



Nyugat-Magyarországi Egyetem Faipari Mérnöki Kar
Cziráki József Faanyagtudomány és Technológiák Doktori Iskola
Fafeldolgozási technológiák
Doktori program

Alagútbordás légsugaras vetülékbevitel áramlástechnikai és szövéstechnológiai vizsgálata

Doktori (PhD) értekezés

Készítette:

Szabó Lóránt

okleveles gépészmérnök

Témavezető:

Dr. habil. Patkó István

dékán, intézetigazgató

Sopron

2011

Alagútbordás légsugaras vetülékbevitel áramlástechnikai és szövés technológiai vizsgálata

Értekezés doktori (PhD) fokozat elnyerése érdekében

Írta:
Szabó Lóránt

Készült a Nyugat-Magyarországi Egyetem Faipari Mérnöki Kar Cziráki József Faanyag-
tudomány és Technológiák Doktori Iskola
Fafeldolgozási technológiák programja keretében

Témavezető: **Dr. habil. Patkó István**

Elfogadásra javaslom (igen / nem):
(aláírás)

A jelölt a doktori szigorlaton 89 %-ot ért el,
Sopron, 2008. október 29.

.....
a Szigorlati Bizottság elnöke

Az értekezést bírálóként elfogadásra javaslom (igen /nem)
Első bíráló (Dr.) igen /nem

.....
(aláírás)

Második bíráló (Dr.) igen /nem

.....
(aláírás)

(Esetleg harmadik bíráló (Dr.) igen /nem

.....
(aláírás)

A jelölt az értekezés nyilvános vitáján.....% - ot ért el
Sopron, 2011.

.....
a Bírálóbizottság elnöke

A doktori (PhD) oklevél minősítése.....

.....
Az EDT elnöke

Nyilatkozat

Alulírott Szabó Lóránt kijelentem, hogy ezt a doktori értekezést magam készítettem, és ebben csak a megadott forrásokat használtam fel. Minden olyan részt, amelyet szó szerint, vagy azonos tartalomban, de átfogalmazva más forrásból átvettem, egyértelműen a forrás megadásával megjelöltem.

Budapest, 2011. június 24.

.....

Szabó Lóránt

Köszönetnyilvánítás

Köszönetemet nyilvánítom ki **Dr. Patkó István** témavezetőmnek szakmai útmutatásaiért és **Várkövi József** kollégámnak a számítógépes rajzolásban nyújtott segítségével.

Továbbá az **Ing-Tex Bt.** és a **Csárda-Tex Kft.** munkatársainak, akik biztosították számomra az ipari körülmények közötti méréseim elvégzését.

Alagútbordás légsugaras vetülékbevitel áramlástechnikai és szövéstechnológiai vizsgálata

PhD értekezés

Kivonat

A légsugaras szövőgépeket elterjedten alkalmazzák nagy termelékenységük miatt a szövődékben. Kutatási munkám célja, hogy eredményeimmel hozzájáruljak a jó minőségű szövetek gazdaságos előállításához.

Ennek érdekében az Óbudai Egyetem Textiltechnológiai Műhelyében laboratóriumi mérőpadot állítottam össze, amellyel a konfúzor lamellásoros valamint a profilbordás légsugaras szövőgép légvezetési csatornájában létrejövő áramlást modelleztem és mértem az áramlási és erőtani paramétereket.

Közvetlen célom volt olyan zárt alakban felírható matematikai függvények létrehozása amelyekkel:

- a légvezetési csatorna tengelyében az áramlási sebesség,
- a felületi súrlódási együttható,
- a vetülékre ható erő a légvezetés tengelyében

meghatározható.

Laboratóriumi mérések után ipari méréseket végeztem. Az ipari mérések eredményei alapján javaslatokat tettem a légsugaras szövőgépek hatékonyabb és gazdaságosabb üzemeltetésére.

Examination of the Weft Insertion by Air Flow and the Weaving Technology on Tunnel Reed Air Jet Looms

PhD Dissertation

Abstract

The air jet looms are used widely in the textile industry due to their high productivity. The main goal of my research work is to contribute to the manufacturing of quality fabrics in an economical way.

In the Textile Technology Laboratory of the Óbuda University I set up a laboratory device by which I modelled the air flow in weft passage and also measured the data related to the air flows and forces acting on weft in the confusor drop wire and those in the profile reed tunnel on air jet loom.

My direct aim was to write down mathematical formulas by which the followings can be determined:

- the flow velocity in the axis of the air tunnel,
- the skin friction coefficient between air flow and weft in the air tunnel,
- the force acting on the weft in the axis of the air tunnel.

After the laboratory tests I also carried out industrial measurements. Based on the results of industrial measurements I made a proposal for more efficient operation of the air jet looms.

Jelölések.....	vii
1. Bevezetés	1
1.1. Kutatómunka időszerűsége	2
2. A kutatómunka célja.....	5
3. Légsugaras szövőgépekkel kapcsolatos irodalom áttekintése.....	7
3.1. Légsugaras szövőgépek fejlesztésének történeti bemutatása.....	7
3.2. P típusú konfúzor lamellásoros légsugaras szövőgépek	8
3.3. Profilbordás segédfűvókás légsugaras szövőgépek	12
3.3.1. Hosszmérős vetüléktárolók	13
3.3.2. Főfűvóka	15
3.3.3. Profilborda kialakítása és mozgatása	17
3.3.4. Segédfűvókák.....	20
3.5.5. Vetülékfonal és bevetése.....	23
3.4. A profilbordás légsugaras szövőgépek szövéstechnológiai vizsgálata, szövési hibái, okai és kiküszöbölésük	29
4. Konfúzor lamellásoros légsugaras szövőgép laboratóriumi, áramlástan vizsgálat	37
4.1. Mérőrendszer és mérési módszerek	37
4.2. Laboratóriumi mérés leírása	40
4.3. Mérési eredmények ismertetése	41
4.4. Mérési eredmények feldolgozása és az ezekből levonható következtetések	45
5. A P típusú légsugaras szövőgépek laboratóriumi erőtan vizsgálat	52
5.1. Mérőrendszer és mérési módszer	52
5.2. Laboratóriumi mérés leírása	53
5.2.1. A vizsgált fonal lineáris sűrűségének és átlagos átmérőjének meghatározása	53
5.2.2. A felületi súrlódási együttható meghatározásának elméleti háttere és mérésének leírása	55
5.2.3. Műanyag konfúzor lamellásor légcsatornájába befektetett vetülék dinamikai vizsgálatának elméleti háttere és mérésének leírása	58
5.3. Mérési eredmények ismertetése	60
5.4. Mérési eredmények feldolgozása és az ezekből levonható következtetések	63
6. Profilbordás segédfűvókás légsugaras szövőgép laboratóriumi vizsgálata	70
6.1. Mérőrendszer és mérési módszerek	70
6.2. Mérés leírása	72
6.3. Mérési eredmények ismertetése	73
6.4. Mérési eredmények feldolgozása és következtetések	78
7. Vizsgálatok ipari körülmények között	82
7.1. Mérőrendszer és a szövőgép légellátási rendszere.....	82
7.2. Mérés leírása	83
7.3. Mérési eredmények ismertetése	85
7.4. Mérési eredményekből levonható következtetések	87
8. Vizsgált légsugaras szövőgépek légfogyasztásának összehasonlítása.....	88
9. Értekezés eredményeinek értékelése és összefoglalása.....	93
9.1. Dolgozat eredményeinek gyakorlati alkalmazhatósága.....	94
9.2. További kutatást igénylő területek.....	94
10. Kutatómunka tézisei	96
11. A kutatómunkával kapcsolatos fontosabb publikációk	103
12. Irodalomjegyzék.....	105
13. Ábrajegyzék.....	110
14. Mellékletek.....	114
15. CD ROM melléklet	123

Jelölések

a	bevetett vetülékfonal gyorsulása	$[m/s^2]$
a_m	műanyag konfúzor lamellásor áramlási együtthatója	$[-]$
A_f	fúvóka kilépő keresztmetszete	$[mm^2]$
b	bordaszélesség	$[cm]$
b_m	műanyag konfúzor lamellásor áramlási együtthatója	$[-]$
b_{sz}	óránként bevetett vetülékszama	$[db/h]$
b_v	bordafog vastagság	$[mm]$
c	csillapítási állandó	$[kg/s]$
c_f	felületi súrlódási együttható	$[-]$
c_m	műanyag konfúzor lamellásor áramlási együtthatója	$[-]$
d_t	fúvókatú fonalvezetőjének belső átmérője	$[mm]$
d_0	fúvóka belső átmérője	$[mm]$
D	vetülékfonal átmérője	$[mm]$
Δh	folyadékoszlop magassága	$[m]$
Δp	légsebességgel arányos dinamikus nyomásváltozás	$[Pa]$
ΔU	dinamikus nyomással arányos elektromos feszültségváltozás	$[V]$
F_f	vetülékre ható felületi súrlódási erő	$[N]$
F_0	lamellásor kezdeti keresztmetszetében a vetülékre ható erő	$[N]$
F_1	első számú mérési pontnál mért erő	$[N]$
F_n	mérési pontoknál mért erő	$[N]$
$F(t)$	vetülékre ható erő	$[N]$
F_S	szilárd test és vetülék közötti súrlódási erő	$[N]$
F_{FF}	főfúvókaerő	$[N]$
F_{SF}	segéd-fúvókaerő	$[N]$
F_{SB}	fonalat lehúzó erő	$[N]$
F^*	vetülékre ható dimenziótlanított erő	$[-]$
F_0^*	lamellásor kezdeti keresztmetszetében a dimenziótlanított erő	$[-]$

F_z^*	lamellakorban a vetűlékre ható dimenziótlanított erő	[-]
f_p	légvezetési módra jellemző dimenziótlanított függvény	[-]
h	P jelű szövőgép fűvókájának hossza	[mm]
H	hézag nagysága a gyorsítócső és a fűvókatű között	[mm]
k	rugalmassági állandó	[kg/s ²]
I	vetűlék impulzusa	[kgm/s]
j	mérések száma	[-]
K	áramlásba helyezett vetűlékre ható erő jellegű állandó	[N]
K_a	áramlásra jellemző konstans szabadsugár esetén	[-]
κ	adiabatikus kitevő	[-]
L	vetűlék fűvás alatti hossza	[m]
L_{gy}	főfűvóka gyorsítócsővének hossza	[mm]
l	feszített vetűlék hossza	[m]
l_t	lineáris termék hossza	[km]
m	légáramba fektetett vetűlék tömege	[kg]
m_t	lineáris termék tömege	[g]
$m_{öl}$	összes levegőfogyasztás	[g]
$\dot{m}$	levegő tömegárama	[g/s]
n	szövőgép főtengelyének fordulatszáma	[1 / min]
N	fűvókák száma	[-]
p_0	légköri nyomás	[MPa]
p_t	laboratóriumi kompresszor légtartályának nyomása	[MPa]
p_{kt}	üzem központi légtartályának nyomása	[MPa]
p_{st}	kifűvott levegő torlónyomása	[hPa]
$p_{ü}$	szövőgép előtti légtartály üzemi nyomása	[MPa]
P_{lev}	levegő előállításához szükséges villamos teljesítmény	[kW]
P_V	szövőgép hajtásához szükséges villamos teljesítmény	[kW]
ρ	levegő sűrűsége	[kg/m ³]
ρ_1	fűvókába vezetett levegő sűrűsége	[kg/m ³]

ρ_{foly}	mérőfolyadék sűrűsége	[kg/m^3]
r	közelítés foka	[-]
r_0	fúvóka belső sugara	[mm]
R^2	determinációs együttható	[-]
R_t	szabadsugár kezdeti szakasza	[mm]
s	bevetett laza vetülék hossza	[m]
T	vetülékfonal lineáris sűrűsége	[tex]
T_f	szövőgép főtengely körülfordulási ideje	[s]
t_{be}	vetülékbevetési idő	[ms]
t_m	fúvóka működési idő	[ms]
τ	áramló közeg belső súrlódási nyíró feszültsége	[N/m^2]
u	légsebesség	[m/s]
u_0	légvezetési mód belépési keresztmetszetében a légsebesség	[m/s]
u / u_0	dimenziólanított légsebesség	[-]
u_{max}	helyi maximális légsebesség	[m/s]
U	nyomásérzékelő kimenő elektromos feszültsége	[V]
v	vetülék sebessége	[m/s]
V_N	normáltérfogatú levegő	[Nm^3]
x	mérési hely a bordaelejétől mérve	[m]
x / b	bordaszélességgel dimenzióatlanított távolság	[-]
x / r_0	fúvóka belső sugarával dimenzióatlanított távolság	[-]
x_{krit}	kritikus távolság a bordaelejétől mérve	[m]
z	x / r_0 dimenzióatlanított távolság helyettesítési értéke	[-]

A dolgozatban használt rövidítések és idegen szavak

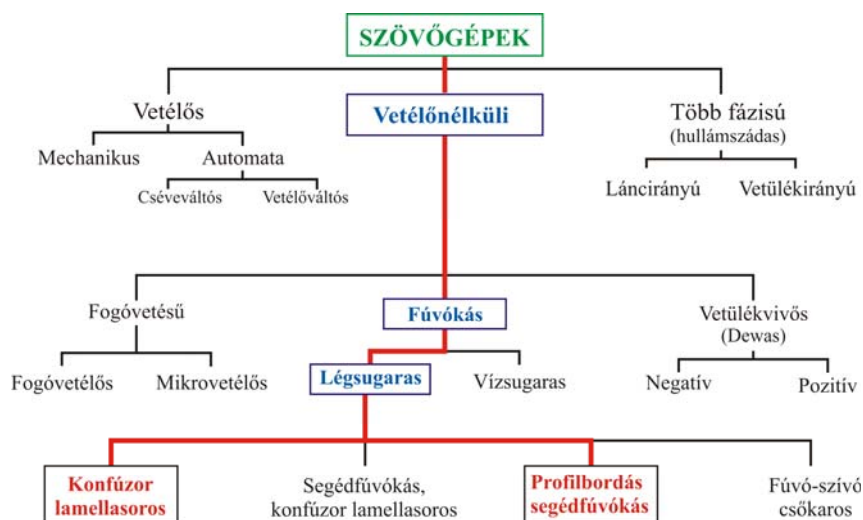
ITMA	Internationalen TextilMaschinen-Ausstellungen
OTEMAS	Osaka International Textile Machinery Show
PIC	Permanent Insertion Control

1. Bevezetés

A szövet az emberiség története során a ruházati textíliák területén alapvető igényeket elégített ki. A ruházati textíliák az igények, a technika- és az életkörülmények fejlődésével a lakástextíliákkal és a műszaki textíliákkal is kibővültek. A szövés a legősibb textil lapképzési technológia, s ma is a legmeghatározóbb. A ma gyártott 70 Mt/év szálanyag 50%-át szövással, 35%-át kötéssel, 15%-át nemszött technológiával dolgozzák fel. A szövetgyártást a teljesítmény és termelékenység vonatkozásában sok esetben az utóbbi technológiák ugyan felül múlják, de a szövással előállított termékekben a textil alapanyagok mechanikai tulajdonságai jól érvényesülnek, s ennek is köszönhető a szövés máig tartó vezető pozíciójának megőrzése. A szövés módja sokat fejlődött az évezredek során, de az alapvető technológiai műveletek változatlanok maradtak.

A szövőgépek vetülékbeviteli teljesítményében végbe menő változást jól szemlélteti, hogy 1950-től napjainkig a szövettermelés többszörösére nőtt, míg a szövőgépek száma közel harmadára csökkent (ma a világon üzemelő szövőgépek száma kb. 1-1,2 millióra tehető). A teljesítmény-növelésén túlmenően a mai szövőgépeknek a fokozott minőségi és szövetkonstrukciós elvárásoknak is meg kell felelniük.

Az elmúlt 60 évben a szövőgépek vetülékbevitelére jelentősen megváltozott, a vetélős gépeket a vetélőnélküli (fogóvetélős, vetülékvivős, lég- és vízsugaras) szövőgépek váltották fel, amelyek vetülékbeviteli teljesítménye nagyságrendű növekedést eredményezett. A szövőgépek vetülékbeviteli elv szerinti csoportosítását az 1.1. ábra mutatja.



1.1. ábra. A szövőgépek csoportosítása a vetülékbeviteli elv alapján [31]

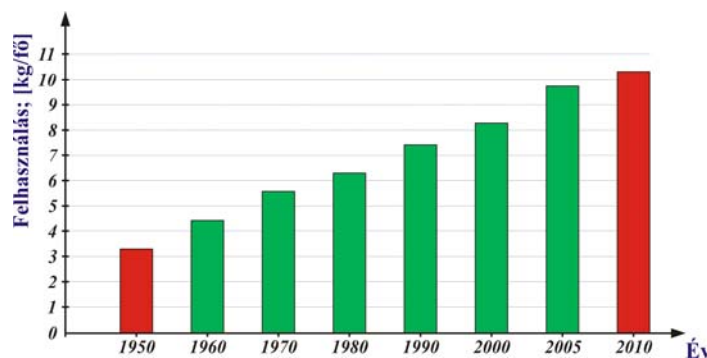
A profilbordás segédfüvókás gépek megjelenése a 70-es években nemcsak a légsugaras szövésben jelentett minőségi áttörést, hanem a nagy gépsebességek miatt a vezérlések a 80-as évektől a szövőgépen szükségessé tették a szövőgép fedélzeti számítógépéről való elektronikus vezérlést is. A ma gyártott légsugaras szövőgépeket nagy teljesítményükön túlmenően a sokoldalú alkalmazhatóság, a magas szintű automatizáltság is jellemzi. Számuk világviszonylatban 250 000-re tehető.

1.1. Kutatómunka időszerűsége

A profilbordás légsugaras szövőgépeket számos előnyös tulajdonságuk fokozásáért napjainkban is dinamikusan fejlesztik. A légsugaras szövőgépeken a vetüléket a beviteli körülményekhez pontosan igazított nagy sebességű levegőárammal vetik be a szádnálba.

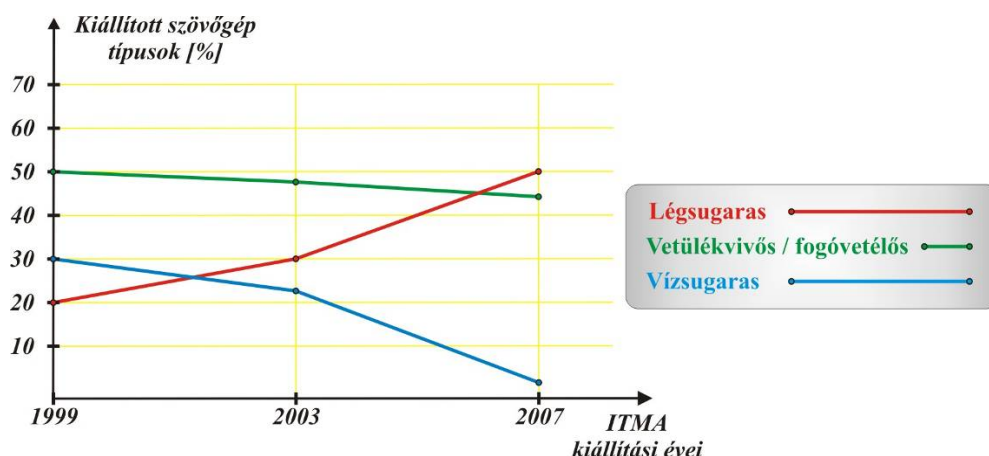
Mivel a vetüléket a szakaszos működésből adódóan fél vetésperiódusnál is rövidebb idő alatt vetik be, így a bevetési idő a ma elért 1200/min fordulatszám esetén kb. 20 ms, míg a vetülékfonal átlagos bevetési sebessége 1,9 m bevetési hossz esetén a 100 m/s-ot megközelíti. Ezen rövid időszakban a fő- és segédfüvókák nyomása és működtetési szakasza által kell az adott vetülék tulajdonságaihoz igazodó légáramot létrehozni és a gazdaságos, hatékony szövetgyártást megvalósítani. A légsugaras gépek energiaigénye - sűrített levegő felhasználása miatt - más vetülékbeviteli eljárásokhoz képest a legnagyobb, így az optimális áramlási viszonyokat a lehető legalacsonyabb levegő nyomáson és lehetőség szerint rövid levegő szelepnitvatartási szakaszban milliszekundum pontosságú szelepnitvatartással és -zárással kell megvalósítani.

A világ egy főre jutó textil felhasználás növekedése (1.2. ábra) arányos a Föld lakosságának növekedésével [36]. A növekvő igények kielégítésére nagy termelékenységű szövőgépekre van szükség.



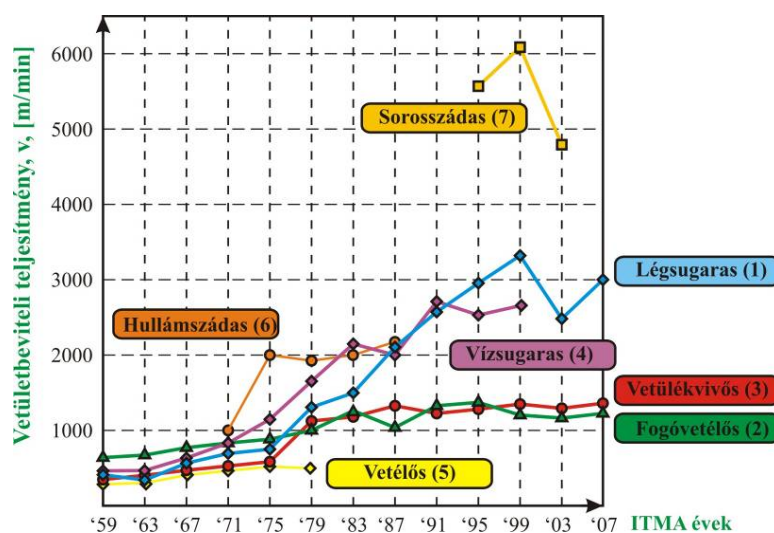
1.2. ábra. Egy főre eső évenkénti szálanyag felhasználás növekedése

A Nemzetközi Textilgépek Kiállításán (ITMA) a légsugaras szövőgépek kínálata egyre nő (1.3. ábra). Az ITMA '07-en bemutatott szövőgépek közel fele [38], míg 2006-ban értékesített 66 633 szövőgép mintegy harmada, azaz 22 947 db légsugaras bevetésű volt [39]. Hasonló jelleget mutat az OTEMAS-on kiállított szövőgépek megoszlása is [17, 18]. A gépekkel magas 1800/min főtengely fordulatszám, nagy bordaszélesség ($b = 540$ cm) érhető el kiállítási szinten. A gépeket széles alkalmazási terület (frottír, abroncskord, üveg, jacquard stb), biztonságos működés jellemezi. A gépek magas szintű műszaki fejlesztéséhez az elektronikus vezérlés is nagyban hozzájárul.



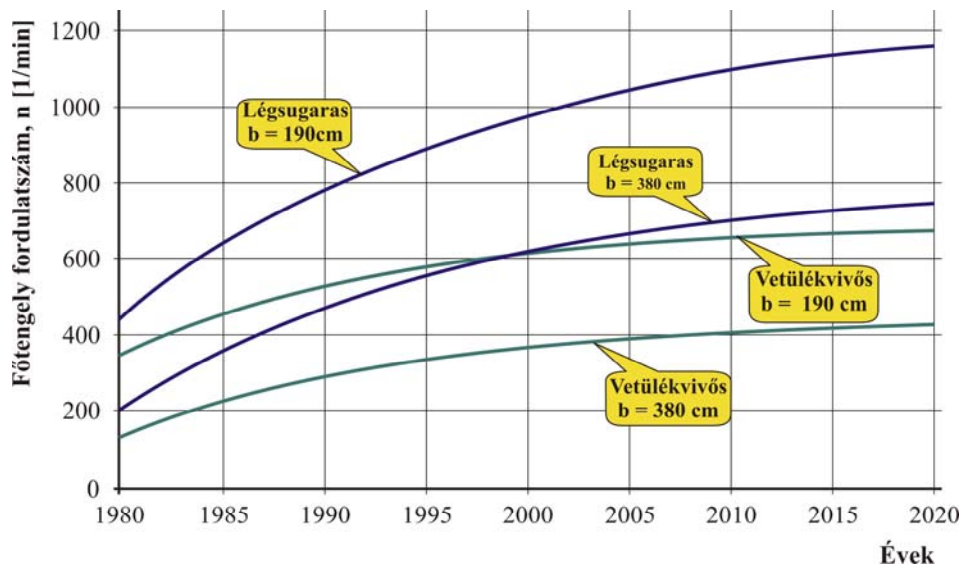
1.3. ábra. Az ITMA-n 1999. és 2007. között kiállított szövőgépek megoszlása [30]

A légsugaras szövőgép vetülékbeviteli teljesítménye az 1970-es évek végétől nagyobb, mint a többi vetélőnélküli szövőgép típusé (1.4. ábra).



1.4. ábra. Az ITMA-n kiállított különböző vetülékbeviteli rendszerű szövőgépek vetülékbeviteli teljesítményeinek alakulása [1, 40, 49, 78]

A vetülékbeviteli sebesség arányos a szövőgép fordulatszámaival. A légsugaras szövőgépek fordulatszáma még növelhető az elektronikus részegységek továbbfejlesztésével (1.5. ábra).



1.5. ábra. Légsugaras szövőgépek várható főtengely fordulatszámának növekedése [2]

A magyar textilipar nyersanyag szempontjából nem önellátó, hanem jelentős behozatalra szorul. A textil lapképzés jellemző alapanyagai a pamut, gyapjú, len és szintetikus anyagok. Mesterséges szálát a Propex Kft, Geo-Tiptex Kft és a Zoltek Zrt gyárt Magyarországon.

A textilipar kihívásai az alábbi három csoportba sorolhatók [15]:

- új anyagok, gyártási eljárások, termékek és termékszolgáltatások kifejlesztése,
- a termékfejlesztés, a gyártási és az értékesítési folyamatok hatékonyságának növelése,
- az erőforrások jobb kihasználása, a környezetvédelem és a személyi biztonság irányában folyó kutatások.

Az újonnan kifejlesztett szálak tulajdonságait a felhasználói igényeknek megfelelően fejlesztik. Az új textilanyagokat széleskörűen felhasználják az ipar majd minden területén. A korszerű, új típusú alapanyagok kifejlesztése a természettudományok ismeretanyaga alapján történik.

2. A kutatómunka célja

A kutatási munka célja a hazai szövődékben is használatos légsugaras szövőgépek vizsgálata a hatékonyabb és gazdaságos működtetésük érdekében. A hazai textil- illetve szövőipar nagymértékű visszaesésével a kutatási és publikációs lehetőségek is korlátozódtak. A vizsgálataim ezt a hiányt is kívánja pótolni. A legújabb nemzetközi irodalom feldolgozásán túlmenően elméleti elemzéseket és laboratóriumi áramlástani méréseket üzemi vizsgálatokkal kívánom alátámasztani.

Vizsgálataim során a két legelterjedtebb típusú légvezetési mód áramlástani viszonyinak elemzését tűztem ki célul, amelyekkel a fűvókától távolabb a vetéspálya vonalában a légsebesség fenntartható:

- konfúzor lamellásoros légszatórnával, amely lehet
 - nyitott fém
 - zárt műanyag
 lamellákkal ellátott,
- profilbordákkal és segédűvókákkal.

Az alábbi konkrét vizsgálati célkitűzéseket fogalmaztam meg a kutatási célok megvalósítása érdekében:

- Mérési eljárás kidolgozása és összeállítása áramlástani és erőtani mérésekre.
- Különböző légvezetési módok áramlási sebességeinek mérése a vetülékcsatorna tengelyében - laboratóriumi és ipari körülmények között - az általam tervezett és felépített mérőrendszerekkel.
- Vetüléket bevető pneumatikus elemek légfogyasztásának mérése.
- Légvezetési módok tengelyirányú légsebességeinek 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 poliészter alapanyagú, multifilament vetülékre.

- Számítási módszer kidolgozása a vetülékre ható erő meghatározására - a bevetés során – az $F^* = f\left(\frac{x}{r_0}, \frac{u}{u_0}\right)$ függvénykapcsolat leírásával.
- A két vizsgált légvezetési mód vetülékcsatornájában létrejövő áramlástanai viszonyok ismeretében a légcsatornába helyezett vetülékre ható erőtanai következtetéseket vontam le.
- A vetülékbeviteli hibák csökkentése a fő- és segédfűvókák nyomásának és működtetési idejének változtatásával.

Disszertáció vizsgálati része elsősorban a fenti célkitűzések megvalósítására irányul.

3. Légsugaras szövőgépekkel kapcsolatos irodalom áttekintése

A dolgozat témájához kapcsolódó szakirodalom áttekintésében a feldolgozott publikációk két fő területről származtak:

- a légsugaras szövőgépek felépítése és működése,
- áramlástan és dinamika jellemzőinek vizsgálata.

A légsugaras szövőgépek irodalmának kritikai elemzésével bemutattam a feldolgozott területen mutatkozó eltéréseket, amelyek vizsgálati eredményeimtől eltérést mutattak.

3.1. Légsugaras szövőgépek fejlesztésének történeti bemutatása

A légsugaras szövőgépek szakaszos működésűek, mechanikai felépítésük a többi vetülékbeviteli rendszerhez képest egyszerűbb, mivel a vetülékbevitellel kapcsolatos mechanizmusokat áramlástechnikai és újabban egyre több elektronikai működtetésű elem váltja fel [24]. A szövőgépek vetülékcsatornájában a vetülékfonal az áramló levegő és a vetülék közötti áramlási ellenállás gyorsítja fel és viszi át a szádnyíláson. A központi sűrített levegőtartályból a szövőgéphez vezetett levegő nyomásából származó energia a fúvókában mozgási energiává alakul, amely felgyorsítja és szállítja a vetüléket a különböző módon kialakított légvezető csatornában. A fúvókából kilépő levegő az álló levegővel keveredik, szétáramlik és sebessége a fúvókától távolodva rohamosan csökken, ezért a nagyobb bordaszélesség elérése végett a vetéspálya vonalában a légsebességet fenn kell tartani.

Brooks [4, 14] 1914-ben elsőként vetette be a vetüléket sűrített levegő felhasználásával. Ebben az évben alkalmazta a hajító fúvókát és ez volt az első szabadalom az USA-ban a légsugaras szövéssel kapcsolatban. A következő években még három szabadalmaztatott újítást fogadtak el a légsugaras szövés területén [5-7]. A további újításokat Ballou [8] 1929-ben hajtotta végre, amikor a szövőgépen a vető oldalon a fúvókát, míg a fogadó oldalon szívócsövet helyezett el és a vetülék szádnyílásban való megvezetésére profilozott bordát alkalmazott.

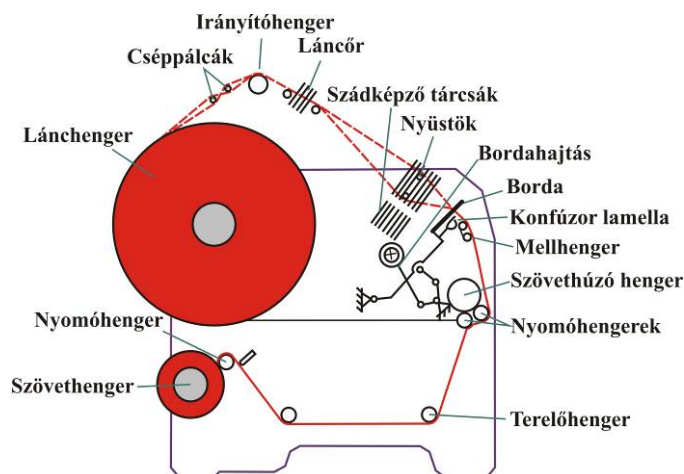
Max Paabo [9,10] 1951-ben vezette be a kereskedelmi értékesítésbe a Maxbo légsugaras szövőgépeket. Vladimir Svaty [11] Csehszlovákiában 1949-ben fejlesztette ki, majd szabadalmaztatta a levegőt megvezető felül nyitott, fém konfúzor lamellasort, ami a

P jelű légsugaras szövőgépek széleskörű elterjedését eredményezte. Te Strake 1969-ben kifejlesztette a vetülékbevetési rendszert főfűvókával és a profilborda mentén elhelyezett segédfűvókákkal, ezt a módszert vette át és fejlesztette tovább a Rüti cég, ezt a technológiát az 1975-ös ITMA-n mutatta be. A Nissan cég 1979-ben kezdte használni a felül záródó műanyag konfúzor légvezetési módot (1. melléklet). Toyoda cég légsugaras gépein a műanyag konfúzor lamellasort segédfűvókákkal kombinálták. Az 1970-es évektől a profilbordás és segédfűvókás szövőgépek kerültek a fejlesztések középpontjába. Picanol 1981-ben mutatta be a két szín, majd Bonas 1983-ban a négy szín szövésére alkalmas gépeiket. A fejlesztéseknek köszönhetően napjainkban nagy bordaszélességű, magas fordulatszámú és nyolc szín szövésére alkalmas légsugaras szövőgépek is üzemelnek a korszerű szövődékben [14].

3.2. P típusú konfúzor lamellásoros légsugaras szövőgépek

A P típusú légsugaras szövőgépeken a fűvókából kilépő légsebesség a vetüléket nagy gyorsulással 20-30 m/s sebességre gyorsítja fel. Ezeket a gépeket az 1940 – es évek végétől Csehszlovákiában intenzíven fejlesztve alakították ki.

A P típusú gépek egyik alapvető sajátossága a szokványostól eltérő gépelrendezés, mivel a szövési sík 36° – kal döntött a vízszinteshez képest, a szövethengert a láncenger oldalán helyezték el (3.1. ábra).

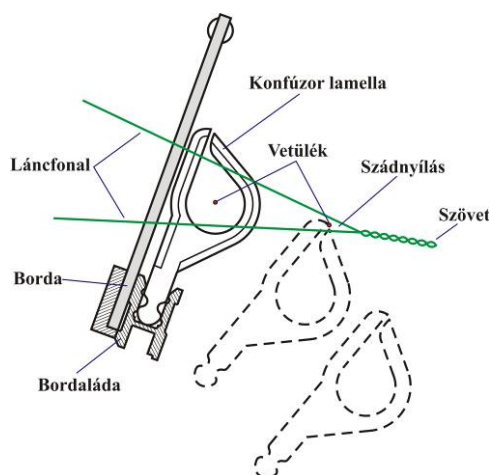


3.1. ábra. A P 165-ös jelű szövőgép elrendezési vázlata [24, 31]

A másik sajátosság, hogy a vetüléket csak a fűvóka légáramával gyorsítják fel, s a vetüléket passzív elemekkel, az ún. konfúzor-lamellásorok segítségével vetik be (3.3. ábra).

A szövőgépet 1,5 kW teljesítményű aszinkron motor hajtja, amelynek fordulatszáma 2900/min. A szövőgép teljesítménye, azaz a főtengely fordulatszáma a hajtómotor ékszíjtárcsájának cseréjével 350-500/min fordulatszám tartományban változtatható.

A bordaládát a legtöbb fűvókás szövőgépen forgattyús mechanizmussal lengetik, a légsugár és a vetülék a borda mozgását követi. A vetülékbevitel szempontjából kedvező, ha a vetüléket a szádnyílás középvezetékében, a szövetszéltől lehetőség szerint távol vetik be (3.2. ábra).

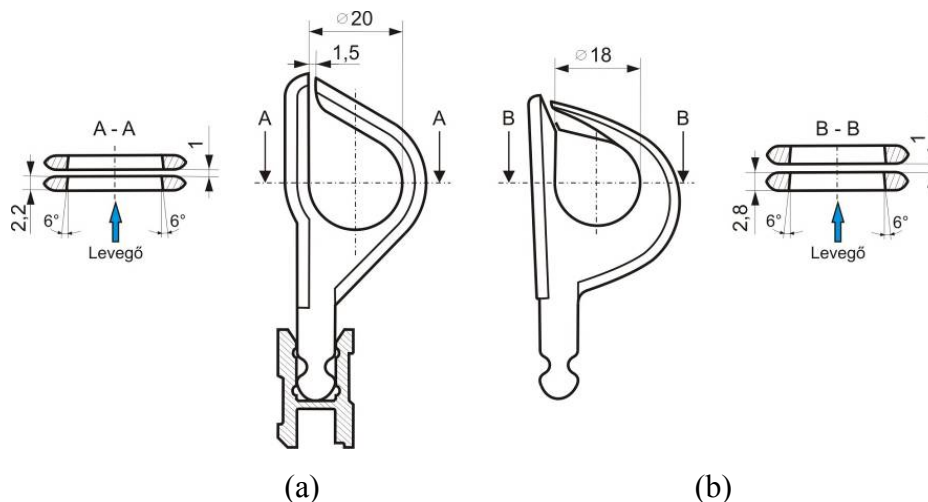


3.2. ábra. A konfúzor lamella elmozdulása szövés közben [3, 20]

A P jelű szövőgépeknél a fűvókát a gépvázra, míg a konfúzor lamellasort a lengő bordaládára erősítik. A konfúzor lamellásoros légsugárvezetés esetén a bevetés tengelyében szűkülő elemeket, konfúzor lamellákat helyeznek el, amelyek csökkentik a légsugár szétáramlását. A konfúzor lamellák közel zárt elemek, a felső részükön azonban nyitottak, hogy a vetülékfonal ki tudjon csúszni belőlük [3].

A nyitott fém konfúzor lamellasort (3.3a. ábra) és a zárt műanyag konfúzor lamellasort (3.3b. ábra) mutatja, hosszuk 175 (245) cm volt a mérések során. A műanyag konfúzornál a zárónyelv, amellyel az áramlás szempontjából csaknem zárt gyűrűt kapunk, mely lehetővé teszi az alsó láncágon fennakadó vetülék kicsúszását a konfúzor lamellasorból a borda szövetszél felé való mozgásakor. Így a felső részen – fémkonfúzorhoz képest – számottevően csökken a levegő kiáramlás a lamellasorból, ezáltal a műanyag konfúzor lamellasorban a bevetés irányában kisebb a lamellasor tengelyében mérhető sebességcsökkenés [3]. A konfúzor lamellák azonban csak akkor hatásosak, ha azokat sűrűn helyezik el. A lamellavastagság és lamellaköz aránya közelítőleg 3 : 1, emiatt a láncfonalak rendelkezésére álló rés kicsi (3.3. ábra). Ez nagyjában korlátozza a

gyártott szövetek láncfonalsűrűségét, illetve a láncfonalak közé behatoló konfúzorok jelentősen megnövelik a láncfonalak súrlódását és így az igénybevételét.



3.3. ábra. A kutatás során használt légvezetési módok [3, 57]
(a) fém nyitott konfúzor lamellaszor, (b) műanyag zárt konfúzor lamellaszor

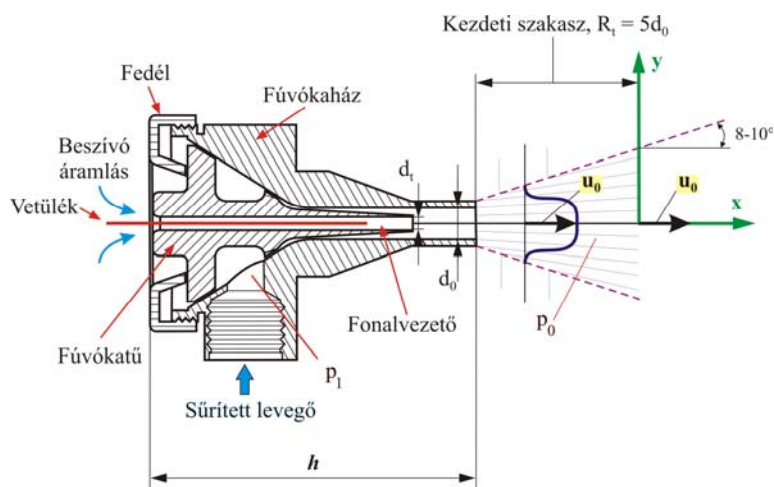
A konfúzorelemek a bevetés irányába 6° -os kúposságúak. Kisebb kúposságnál nagyobb a levegő szétáramlása, míg a nagyobb kúposságú a lamella elemek a légáramát zavarják. A láncfonalak a lamella elemek között helyezkednek el, így a textiltechnológiai és az áramlási igények egymással ellentétesek. A P gépeken a konfúzor lamella vastagsága és a lamellaköz aránya a borda 100 cm-es hossza esetén: 76,5 : 23,5. Emiatt a láncfonalsűrűség, azaz a gyártható szövet területi sűrűsége korlátozott. A nagy konfúzor lamellaszor sűrűség a láncfonalak szétválasztása szempontjából is kedvezőtlen. A nyitott fém konfúzor lamellák 68 % - át, míg a zárt műanyag lamellák a bordaszélesség 69,3 %-át fedik le.

A fúvókás, konfúzor lamellaszoros gépeken a bordaszélesség növelése korlátozott. Gyakorlati tapasztalatok alapján a felső határa kb. 170 cm. A fenti hátrányok kiküszöbölésére napjainkban a profilbordás, segéd-fúvókás vetülékbeviteli rendszerű szövőgép fejlesztése került előtérbe. Ezt a géptípust a 3.3. fejezetben tárgyalom.

A légsugarat a 3.4. ábrán látható kialakítású fúvókával hozzák létre, amelybe a vetüléket középen fűzik be. A gyűrű alakú résen áthaladó sűrített levegő nagy sebességgel lép ki a fúvókából létrehozva a légsugarat, és a hatásába helyezett vetüléket magával ragadja. Fúvókában a fonalvezető cső végén az áramlás hatására szívóhatás lép fel, ami elősegíti a vetülék befűzését és a fúvókába középvonalában tartását.[31].

A kutatás során a P jelű szövőgépeken használt fúvóka metszetét és a kialakult szabad-sugarat mutatja a 3.4. ábra. A fúvóka fontosabb paraméterei az alábbiak: hossza, $h = 70$

mm, kilépő csővének belső átmérője, $d_0 = 7$ mm és az ebből számolható kilépő levegő áramlási keresztmetszete $A_f = 38,46 \text{ mm}^2$, a fonalvezető belső átmérője, $d_t = 3$ mm.



3.4. ábra. *P* gépeken alkalmazott fúvóka és a kialakult szabadsugar kezdeti szakasza [21]

A fúvókából kilépő légáramlás tulajdonságainak meghatározásához fel kell tételezni, hogy a kiáramló levegő [3]:

- inkompresszibilis,
- adiabatikus,
- kvázistacionárius.

Fontos szövéstechnológiai paraméter a fúvóka kilépő síkjában érvényes - maximális - tengelyirányú légsebesség (u_0) meghatározása (3.4. ábra). A fúvókából kilépő levegő sebességét meghatározható összefüggés:

$$u_0 = \sqrt{\frac{2\kappa}{\kappa-1} \frac{p_1}{\rho_1} \left[1 - \left(\frac{p_0}{p_1} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} \right]} \quad (3.1)$$

ahol:

u_0	a fúvókából kilépő levegő sebessége	$[m/s]$,
κ	az adiabatikus kitevő levegőre $\kappa = 1,4$ [-],	[-],
p_1	a fúvókába vezetett levegő nyomása	$[Pa]$,
ρ_1	a fúvókába vezetett levegő sűrűsége	$[kg/m^3]$,
p_0	a légköri nyomás a fúvóka kilépési keresztmetszetében	$[Pa]$.

A fűvókában bonyolult, áramlási viszonyok vannak a vetülékbevetése során, az áramlás pontos elméleti, matematikai leírása nem célja dolgozatomnak.

Japán szerzők Nissan AJL típusú LA-21 jelű légsugaras szövőgép nyitott fém konfúzor légvezetés áramlási viszonyait meghatározták. A dinamikus nyomást Pitot-csővel mérték. Az áramlási sebességek eloszlását grafikusán adták meg és ebből vontak le következtetéseket [51, 52], amelyek jellegében megegyeznek mérési eredményeimmel.

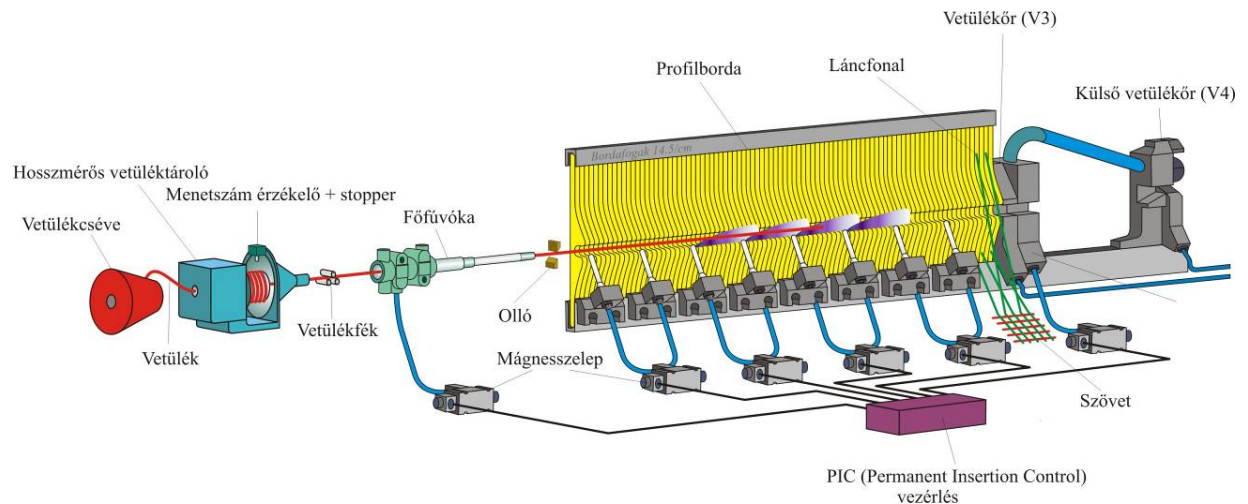
3.3. Profilbordás segédűvókás légsugaras szövőgépek

A profilbordás segédűvókás légsugaras szövőgépek bordaszélességének és láncsűrűségének növelésén túlmenően a láncfonalak igénybevételének csökkentése lehetővé vált.

A textiliparban a profilbordás segédűvókás légsugaras szövőgépek széleskörűen elterjedtek, aminek okai:

- a gép főtengelyének nagy fordulatszáma (700 -1200/min),
- a nagy bordaszélesség (max. 540 cm),
- az elérhető nagy vetülékbeveteli teljesítmény (3000 m/min),
- az egyszerű elektronikus vezérlésük,
- a sokféle vetülékre alkalmazhatók.

A vetülék a vetülékcsévéről a hosszmérős vetüléktárolóra fejtődik át. A vetüléktárolóról a fonal mindenegyik esetben lemérve kerül bevetésre a profilborda vetülékcsatornájába. A főűvóka gyorsítja fel a vetüléket, míg a segédűvókák nagy légsebessége vezeti át a nyitott szádú láncfonalak között. A vetülékolló elvágja a vetülékfonalat, amikor befejeződött a bevetés. A 3.5. ábra a profilbordás vetülékbevitel fontosabb elemeit szemlélteti.



3.5. ábra. Profilbordás légsugaras szövőgépek fontosabb funkcionális elemei [26]

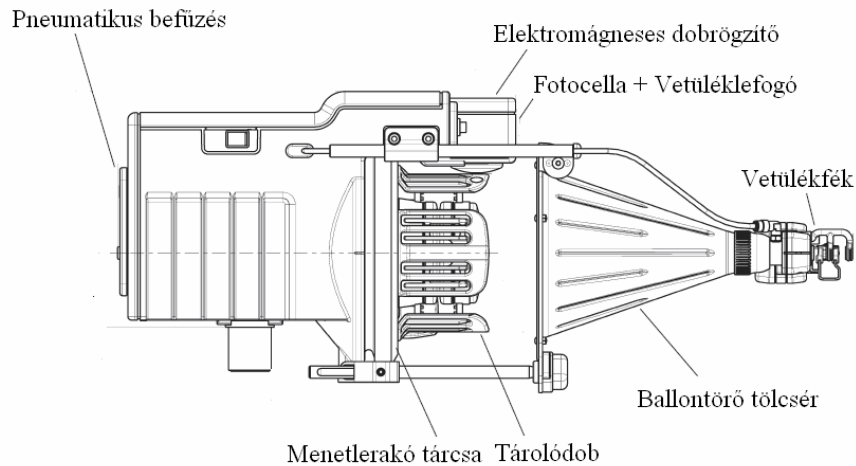
A szövőgép fejlesztők minden esetben törekednek a légfelhasználás csökkentésére. Számos tanulmány elemezte a vetülék bevetését a légsugaras szövőgépeken. Az elmúlt években az alábbiakat kutatták [60, 63, 64, 70-77]:

- a vetülékfonal és a levegő közötti felületi súrlódási együttható meghatározását a Reynolds-szám függvényében,
- a főfúvóka és a segéd-fúvóka alakjának és működtetésének az áramlási viszonyok szempontjából való optimalizálását,
- a légfelhasználás csökkentésének lehetőségét.

3.3.1. Hosszmérős vetüléktárolók

A vetélőnélküli szövőgépeken a vetülékbeviteli körülmények javítására, a fonalerő-ingadozás, a vetülékbeviteli zavarok csökkentésére már 50 évvel ezelőtt felvetődött a vetüléktárolók alkalmazásának gondolata. A fúvókás szövőgépeken a lefejtődési viszonyok javításán túlmenően a vetülék bevetési hosszúságát is le kell mérni és kis feszültséggel a fúvókába juttatni, így a fúvókás szövőgépek fejlesztésének kezdetétől a hossz-mérős vetüléktárolók alkalmazása elengedhetetlen.

A jelenlegi elektromechanikus állódobos hossz-mérős tárolók (3.6. ábra) megfelelnek a sokoldalú technológiai és sebességi követelményeknek.



3.6. ábra. Állódobos elektromechanikus hossz mérős vetüléktároló főbb elemei[12]

Légsugaras gépeken alkalmazott korszerű hossz mérős tárolók (3.7. ábra) jellemzői:

- állódobos kialakítású, az álló dobót a forgó tengelyre csapágyazzák, permanens mágnesek rögzítik,
- a tárolódob kerülete változtatható, ami lehetővé teszi a bevetési hossz pontos beállítását 64-520 cm tartományban [12].
- a dobpalástot fix és támolygó mozgást végző részek alkotják, ezáltal valósítható meg a tárolódobon a vetülékmenetek izolált tárolása, továbbítása,
- a lefejtési igénytől függően a szabályozás a tárolódobon a beállított menetszámot a menetlerakási sebesség változtatásával állandó értéken igyekszik tartani,
- a tárolódob felületén a vetülékmeneteknek mindig rendezetten kell lenniük, és a vetüléknek kis ellenállású lefejthetőségét kell biztosítani,
- a tároló belépő oldalán felszerelt vetülékőr a tároló előtti vetülékszakadásnál kevert bevetés esetén a tárolót átváltva az ép vetülékbeviteli vonalra, a szövőgép leállás nélkül tovább üzemelhet,
- csomóórt felszerelve a tároló és a szövőgép megakadályozza a csomó szövetbe kerülését,
- vetéskezdetkor az elektromosan vezérelt vetülékfegő nyit, a vetülék lefejtődik a tárolóról, és a beállított menetszám lefejtése után lezárja a tárolót,
- a vetülékfegőnél beépített fotocella számolja a lefejtett meneteket, lehetővé teszi a vetülékbevetési sebesség mérését, s pontosítja a vetüléktároló kilépő oldalán levő elektronikusan vezérelt rácsfék működési ciklusát,

- a kilépő oldali vetülékfék a bevetés utolsó szakaszában a vetüléket fékezve csökkenti a vetülék sebességét, ezáltal a rándulási erőcsúcsot,

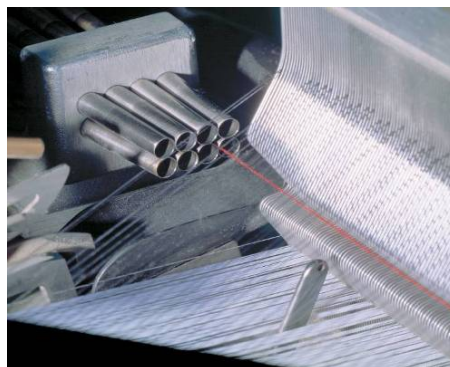


3.7. ábra. Korszerű ROJ SUPER ELF X2 GF hossz mérős vetülettároló[12]

Légsugaras szövőgépen a vetülékbeviteli körülmények pontos ismeretében adott szakaszban csak a vetülék vezérelt fékezése engedhető meg.

3.3.2. Főfúvóka

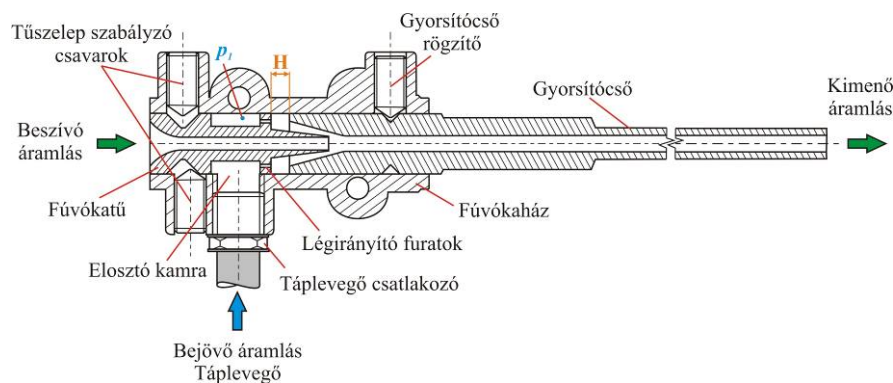
A főfúvóka, mint a szövőgép legtöbb pneumatikus eleme, a gép működési illetve álló helyzetében külön rendszerről kapja a sűrített levegőt. A szövőgép működése közben a főfúvóka légárama a vetüléket felgyorsítja és beveti a vetülécsatornába. A 3.8. ábrán egy nyolcszínű szövésre alkalmas (nyolc darab főfúvóka) gép főfúvóka csoportja látható. Az alacsony nyomású, folyamatosan működő tartólevegő pedig a vetülékvágást követően a vetülékelfogó (stopper) utáni fonalszakaszt kiegyenesíti a főfúvóka gyorsítócsövének kilépési pontjáig [24].



3.8. ábra. Vetülékbevetése nyolcszínű szövés esetén [26]

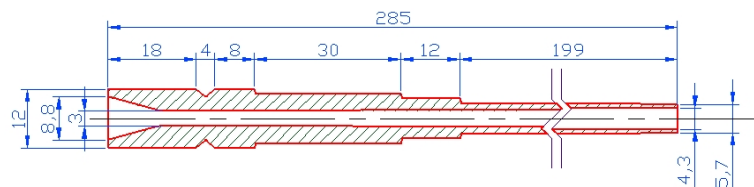
A főfúvóka (3.9. ábra) hosszú hengeres gyorsítócsőből (3.10. ábra), egy kúpos furatban végződő fúvókaházból és a fúvókatúból áll (3.11. ábra).

A fúvókaház kúpos részében a fúvókatú axiális elmozdításával (3.9. ábra) az áramlási keresztmetszet változik, így a kifúvás áramlási sebessége és tömegárama változtatható. A fúvókatú fonalvezető furatában a vetülék befűzhetősége a szívóhatással valósul meg.



3.9. ábra. A vizsgált főfúvóka metszeti rajza [28]

A fúvókatú helyzetét a két állítócsavarral úgy kell megválasztani, hogy a fonal befűzhető legyen, a vetülék megfelelő sebességre gyorsuljon, s a légsugár ne károsítsa a vetüléket.

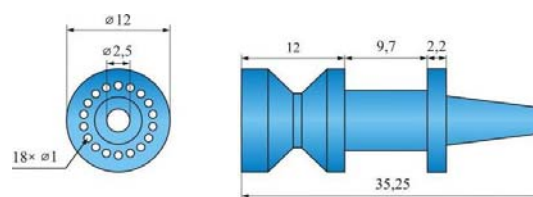


3.10. ábra. Laboratóriumi vizsgálatok során alkalmazott gyorsítócső

A laboratóriumi vizsgálatok során 285 mm hosszúságú (L_{gy}) gyorsítócsövet használtam, amelynek belső átmérője 4,3 mm (3.10. ábra).

Nagyszilárdságú vetülék (20-50 cN/tex) esetén az átáramlási keresztmetszet csökkenthető (a fúvókatút befelé kell mozdítani), ezáltal a vetülékre koncentráltabban nagyobb légsebesség hat. A főfúvókán átáramló levegő tömegárama 0,5 MPa nyomáson nagyszilárdságú vetülék esetén 4 g/s, míg kisszilárdságú fonálnál (12-18 cN/tex) 8 g/s [28].

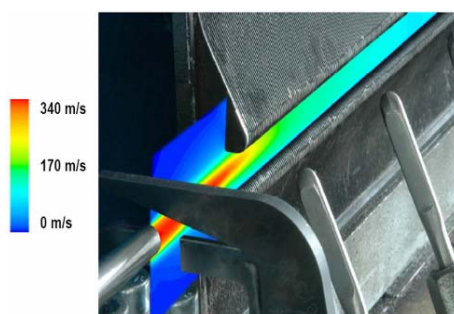
A fúvókatúnek a fúvókaház hengeres részébe illeszkedő tárcsája kétféle kialakítású lehet: a régebbi változat kisszámú, nagy átmérőjű, az újabbak esetében több, de szűkebb átömlőfuratú (3.11. ábra).



3.11. ábra. A fúvókaházban található vizsgált fúvókatú kialakítása

A fűvókátú belső furatátmérője a fonal lineáris sűrűségének függvénye: 2,0; 2,5 és 3,0 mm kialakítású lehet.

A főfűvóka után kialakuló áramlási magban – amelynek hossza a fűvóka átmérőjének kb. ötszöröse – az áramlás tengelyében lévő légsebesség nem változik (3.12. ábra). Az áramlási magon kívül a levegő szétáramlik, a környezeti álló levegővel keveredik, emiatt sebessége a vetülékcatornában a bevetés irányában csökken.

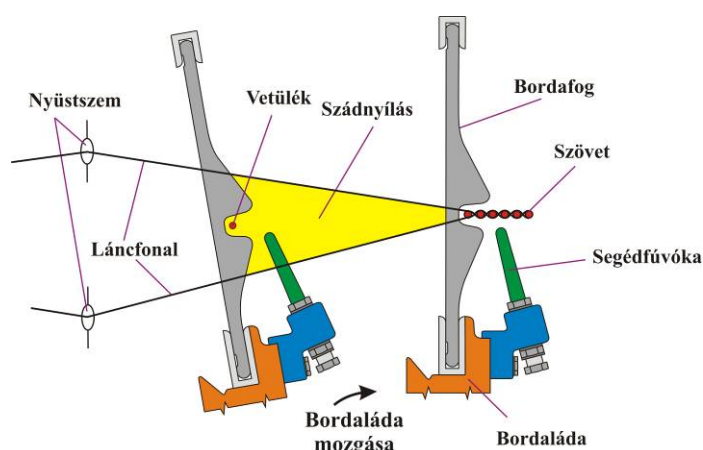


3.12. ábra. Légsebesség változása a főfűvókától távolodva [68]

Ansys Fluent szimulációs programmal történt a 3.12. és 3.17. ábrákon látható áramlási képek meghatározása.

3.3.3. Profilborda kialakítása és mozgatása

A vetülékfonalat a profilbordás szövőgépeken a nyitott szád középvonalában, az alagútborda kis keresztmetszetű vetülékcatornájában, a szövetszéltől viszonylag távol fektetik be a szádnyílásba, ami a fonal elakadását a láncfonalakban nagyban csökkenti (3.13. ábra).



3.13. ábra. Vetülék bevetése és beverése a főfűvóka irányából nézve [26]

A bevetés vonalában az irányított légáram és a vetülék a lengő bortaláda mozgása ellenére is a bordacsatorna vonalát követi. A vetülékfonal azonban a bordafogakon kialakuló

légörvények miatt [24] és - a hivatkozott irodalom nem említi - a Coanda-hatás miatt a bordafogakkal nem ütközik, a bordacsatornában súrlódás nem akadályozza a fonal sebességét.

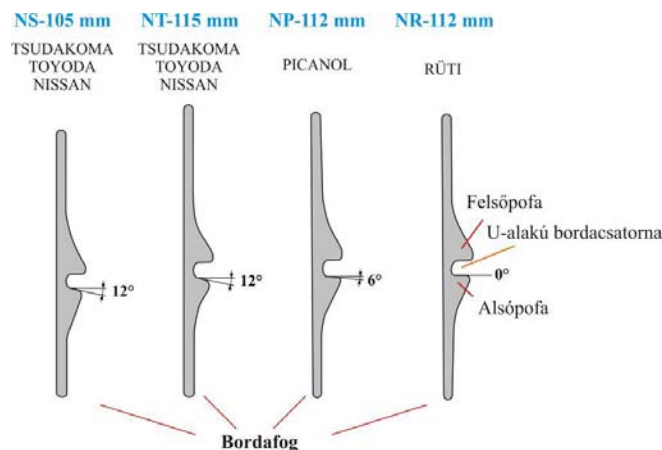
A profilbordás szövőgépek egyes típusainál a magas fordulatszám elérése végett a bordaládát négycsuklós mechanizmussal folyamatos alternáló mozgással lengetik (pl. Toyota JA 500, Rüti L 5000, Sulzer Rüti L 5200 stb.). Más megoldásnál bevetés alatt a bordaláda mozgatását többcsuklós mechanizmussal lassítva mozgatják (pl. Picanol PAT-A), míg a gépek egy részénél a büttyökpáros bordalengtetést alkalmazva a borda a vetés alatt nyugalmi helyzetű (pl. Sulzer Rüti L 5100, Dornier AWS [27]).

A borda, illetve a bordafog kialakítása, a bordafog sűrűsége a légsugaras szövőgépeken áramlástechnikai, technológiai és levegő felhasználási szempontból egyaránt meghatározó. A korábban alkalmazott félprofilú (a fogak váltakozva profilborda és normál kialakítású) bordákat ma már technológiai valamint gazdaságossági okok miatt és alacsonyabb árak ellenére napjainkban már nem használatosak. Napjainkban általában a teljes profilú bordákat alkalmazzák [24].

A bordafogak közötti légrés és a fogvastagság viszonya nemcsak a láncok fogréseken való átvezetése szempontjából fontos, hanem a vetülékcatornában kialakuló áramlásmezőre, így a vetülékmozgást is döntően befolyásolja. A kis légrésarányú borda esetén a vetülékfonal kiléphet a vetülékcatornából (az említett Coanda-hatás miatt), emiatt az ajánlott légrés arány a fogvastagsághoz viszonyítva:

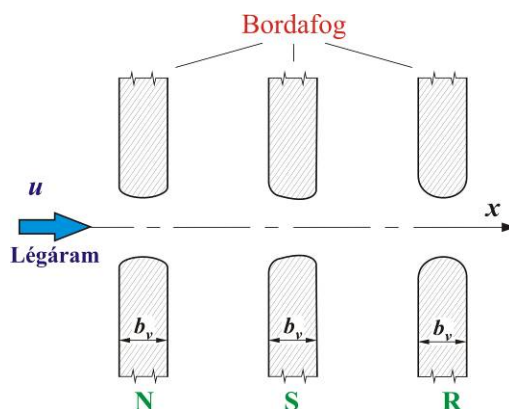
- filament fonal esetén 62-64 %,
- font fonal esetén 64-72 %.

A kereskedelemben jelenleg forgalmazott bordafog vastagságok (b_v): 0,13 - 0,70 mm között találhatók. Számos szövőgépgyár és bordagyártó állít elő profilbordát. A bordafogak, illetve a csatorna alakja kismértékben ugyan, de eltérőek (3.14. ábra).



3.14. ábra. Légsugaras szövőgépeken alkalmazott profilbordák [29]

A bordafog lekerekítése és alakja (3.15. ábra) is különböző. A normál borda (N) előállítása olcsóbb, mint a gyors bordaé (S), amelynél a fogél lekerekítésén túlmenően a bordafog lejtős kialakítású. Ez a bordafog drágább ugyan, de alkalmazásával a levegőfogyasztás csökkenthető, a bevetés biztonsága javítható. Finom fonalakhoz a bordafog élének nagyobb sugarú lekerekítését javasolják a gyártók (R).



3.15. ábra. Különböző bordafog kialakítások [24, 29]

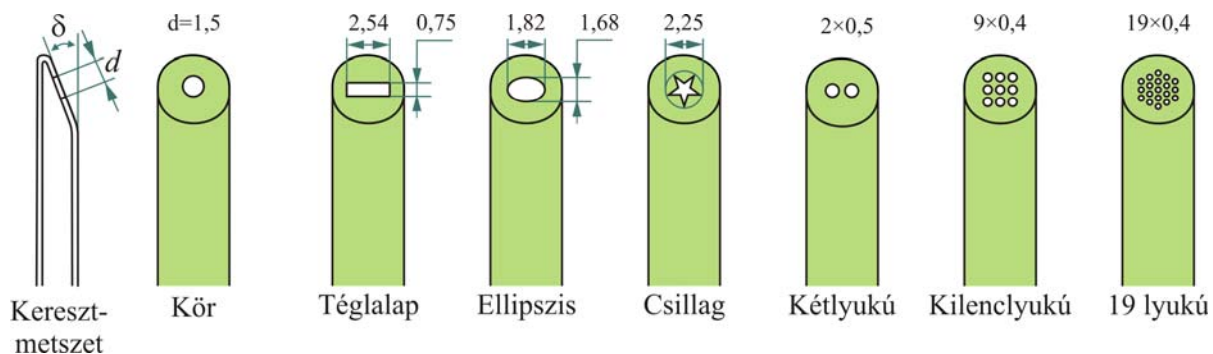
A feszítőfűvókás rendszer esetén a bordát a befűzött bordaszélességének megfelelő hosszúságúra kell beállítani, emiatt a befűzési bordaszélesség változtatásával a bordát cserélni, illetve elvágni kell (a borda toldással nem egészíthető ki). A feszítőfűvóka nélküli gépek esetén a fogadóoldalon a borda kb. 300 mm-rel túlnyúlik, s ezen a részen helyezik el a két vetülékört is. Az alagútborda finom kialakítású, az elszennyeződése, a pontatlan kialakítása és sérülése vetülékbeviteli zavarokat okoz. A bordák tisztítására a segédűvókákhoz hasonlóan ultrahangtisztítókat javasolnak. A profilborda áramlástanai viszonyai a bordára helyezhető torlónyomás mérővel vizsgálható [24].

Többvetülékes szövőgépeken a borda eleje tölcéses (szűkülő) kialakítású a különböző helyzetű főfűvókák légáramának jobb megvezetése végett (2. és 3. melléklet).

3.3.4. Segédfűvókák

A légsebesség fenntartását a vetéspálya mentén és a vetülék bevetését a főfűvóka légáramán túlmenően a segédfűvókák és a feszítőfűvóka összehangolt légáramával való sítják meg. A segédfűvókákat a vetülékbevetés vonalában kb. 70-80 mm-ként helyezik el, míg a fogadóoldal közelében a bevetett vetülék kiegyenesítésére sűrűbben helyezkednek el [24]. A segédfűvókákat csoportonként, a főfűvókával és a vetülékvég haladásával összhangban vezérlik (3.26. ábra). A vetüléket a bordában kialakított csatornában a fő- és segédfűvókák légáramával kis értékű vetülékerővel (3.23. ábra) vetik be a nyitott szádnyílásba. A segédfűvókák légáramának iránya a vetülék benntartását segítik elő, valamint fenntartják a főfűvóka légáramát a profilborda légcsatornájában

A segédfűvókák egy- és többlyukúak lehetnek (3.16. ábra), ezen túlmenően a kilépő furat alakja (kúpos kialakítású) is döntő fontosságú a kilépő légsugár irányára. A segédfűvókák tengelyirányú sebességeloszlását hődrótos sebességmérő szondával mérte a hivatkozott szakirodalom [45] a profilborda vetülékcatornájában. Az 1. táblázat a vizsgált segédfűvókák geometriai adatait tartalmazza.



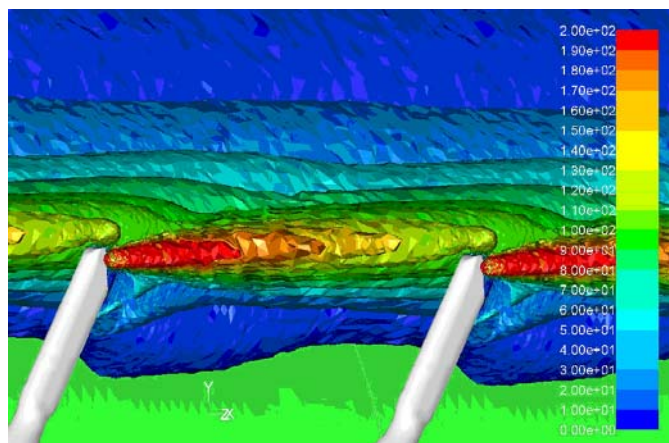
3.16. ábra. Különböző segédfűvóka kialakítások [45]

3.1. táblázat. Vizsgált segédfűvókák fontosabb geometriai adatai

Kifúvási nyílás alakja	Fűvóka típusa	d [mm]	$A_0 [mm^2]$	$\delta [^\circ]$
1 lyukú	SD-1,5	1,5	1,76	4,8
19 lyukú	SD-19H	19·0,4	2,38	7,2

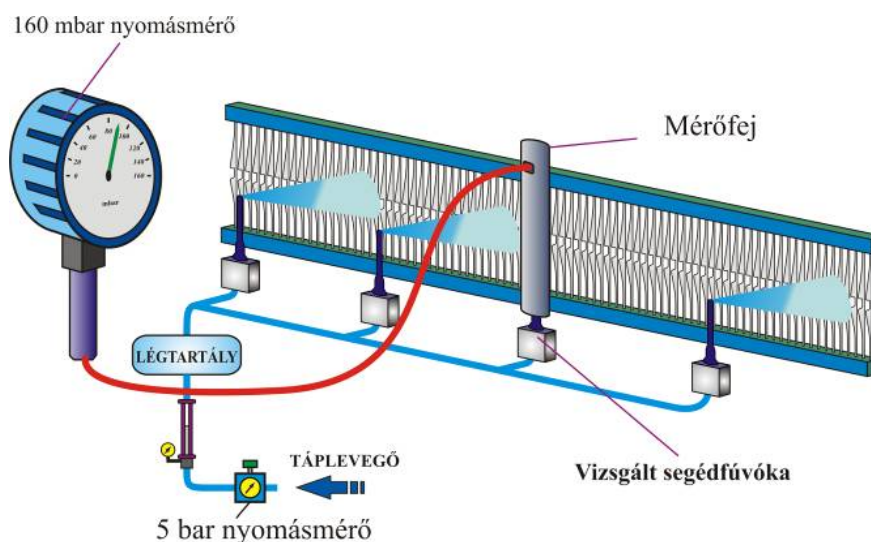
A segédfűvókák furatát úgy alakítják ki, hogy légáramuk koncentrált és irányítható legyen. A több furatú kiömlőnyílással rendelkező segédfűvókák érzékenyebbek a levegő szennyezettségére, de összetartóbb, jobban irányítható légsugár hozható létre, mint egy-

lyukú fűvőkákkal (4. melléklet). Egylyukú segédfűvőkák által létesített légáram szimulációs képét a vetülékcsatorna mentén a 3.17. ábra szemlélteti.



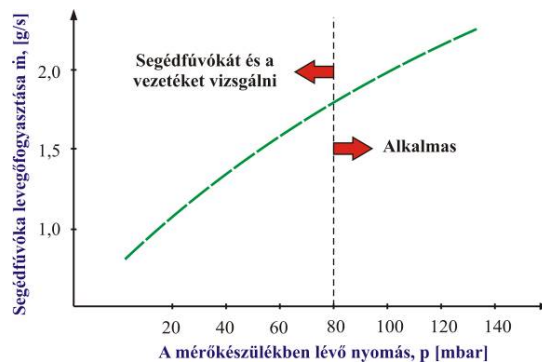
3.17. ábra. Segédfűvőkák légáramának Ansys Fluent szimulációs képe [44]

A segédfűvőkáknál fontos a tisztaság (a 19 lyukú, kis átmérőjű nyílás mindegyikének szabadnak kell lenni), csak ebben az esetben alakul ki a megkívánt áramlásmező. A segédfűvőkák tisztasága egy erre hitelesített, a fűvőkából kiáramló levegő mennyiségét főtárolón átengedő készülékkel mérhető (3.18. ábra).



3.18. ábra. Segédfűvőka tisztaságának ellenőrzése [28]

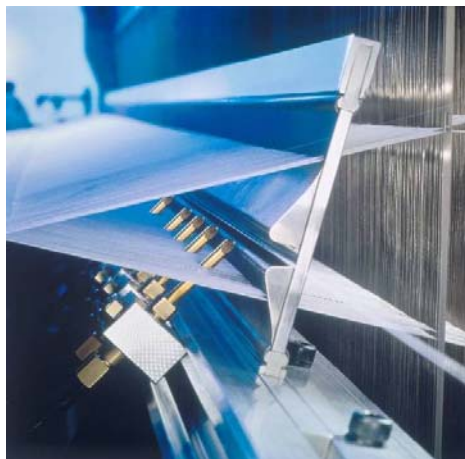
A segédfűvőkák tisztaságának hitelesítési diagramját mutatja a 3.19. ábra 0,5 MPa tápnyomás esetén.



3.19. ábra. Segédfűvőka tisztaságának ellenőrzése 0,5 MPa tápnyomás esetén [24]

A segédfűvőka csoportok nyitásidejét és a fűvási áramlási mező haladását az újabb gépeken a fedélzeti számítógép a vetülék fogadóoldali megérkezésének függvényében vezérli (3.26. ábra). A fűvási vándormező szélessége és a segédfűvőkák tartálynyomása döntő fontosságú a levegő felhasználásra. A légsugaras szövőgépeken a segédfűvőkák a levegő felhasználás közel 80 %-át teszik ki.

A segédfűvőkákat a fűvőkaházhoz a gépgyár rögzíti. A kifűvási irányt ellenőrizni kell, ami a segédfűvőka helyzetének (vetülékcsatornához viszonyítva) kismérvű változtatásával állítható. A segédfűvőkák a bordaládára csavarkötéssel kerülnek rögzítésre (3.20. ábra).



3.20. ábra. Segédfűvőkák rögzítése a bordaládára a vetülékcsatorna mentén [55]

A segédfűvők fűvási iránya a bordacsatorna adott pontjában a kifűvott levegő torlónyomásának mérésével (Pitot-csővel) határozható meg, ennek értéke: $p_{st} = 40 - 85$ hPa [24]. A fő- és segédfűvőkák szelepeit korábban bütyköstengellyel ciklusfüggően működtették. A legújabb fejlesztésű szövőgép fedélzeti számítógépe vezérli az elektromágneses útváltószelepek nyitását és zárását, így a vetülékbevetés gyorsan beállítható, szabályozható és optimalizálható.

3.5.5. Vetülékfonal és bevetése

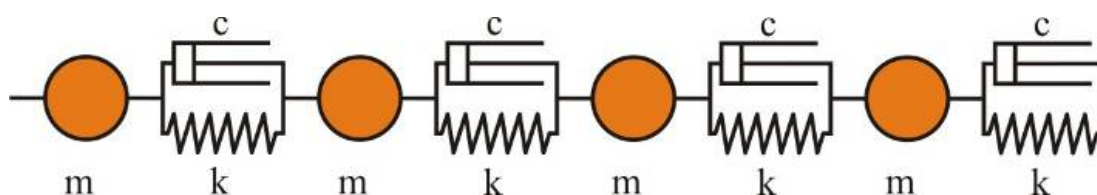
A profilbordás vetülékbevitel lényege, a vetülék bevetése és átjuttatása a fogadóoldalra az előírt bevetési idő alatt. A kutatók több modellt alkottak a vetülékfonal dinamikai vizsgálatára [41, 42, 61].

A vetülékfonal mechanikai modelljét szemlélteti a 3.21. ábra, amely alkalmas a vetülékfonal dinamikai vizsgálatára. Általánosan felírható az idő szerint másodrendű differenciálegyenlet a mozgó vetülékfonalra [37]:

$$m \cdot \frac{d^2 x}{dt^2} + c \cdot \frac{dx}{dt} + k \cdot x = F(t) \quad (3.2)$$

ahol:

m	a bevetett vetülék tömege	[kg],
x	a bevetett vetülék hossza	[m],
c	a csillapítási állandó	[kg / s],
k	a rugalmassági állandó	[kg / s ²]
$F(t)$	a vetülékre ható erő	[N].

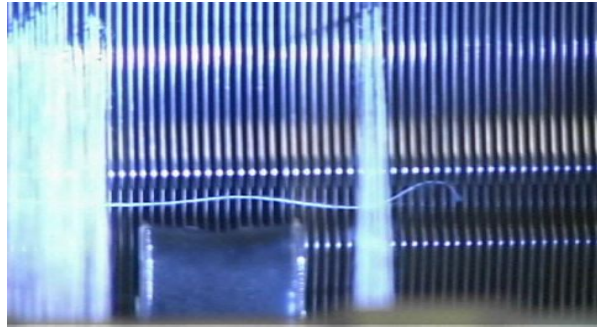


3.21. ábra. Vetülékfonal mechanikai modellje [37]

A percenkénti 600 bordaládabevetés esetén és kb. 40 – 50 m/s vetülékbevetési sebességnél már alig vehető észre a fonal mozgása szabadszemmel. Igényes készülékek alkalmazásával:

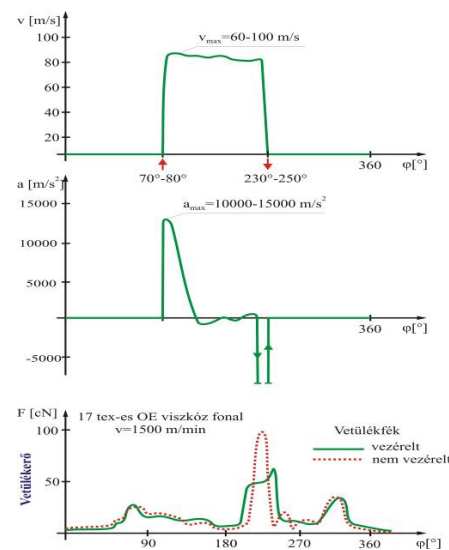
- Schlieren-készülékkel,
- sztroboszkóppal és
- nagysebességű kamerával (3.22. ábra)

láthatóvá és szemléletessé tehető ilyen bevetési sebességek esetén a vetülék mozgása.



3.22. ábra. Vetülékfonal mozgása a vetülékcsatornában [48]

Viszkóz vetülékfonal mechanikai jellemzőit a 3.23. ábra mutatja be a légszatórnában a szövőgép főtenge ly szögelfordulásának függvényében.



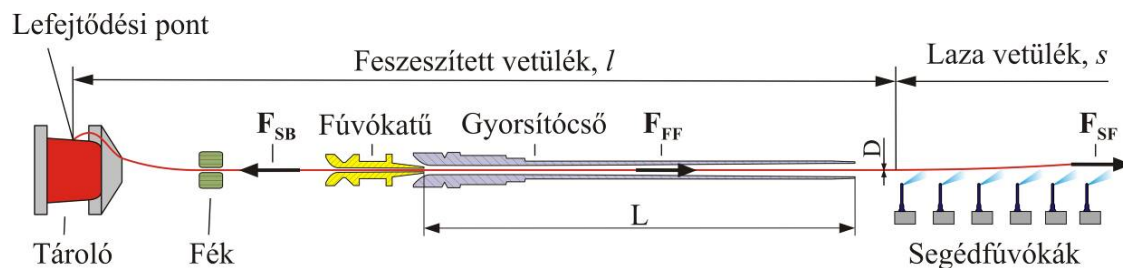
3.23. ábra. A vetülék kinematikai és kinetikai diagramjai [49]

A fonalra ható erőket és a vetülékmozgásra mozgásegyenletek állíthatók fel. A következő erőket kell figyelembe venni a vetülék mozgása során [30]:

- főfűvókaerő (F_{FF}),
- segédűvókaerő (F_{SF}),
- feszítőűvókaerő,
- súrlódási erők (vetülék és a szövőgépalkatrészek között ébredő erők) és ,
- ballonerő (a tárolóról való lefejtődéskor fellépő erő).

A vetüléket a főűvóka légárama húzza le a vetüléktároló dobjáról és gyorsítja fel. A főűvóka gyorsítócsövében F_{FF} nagyságú erő hat a vetülékre (3.24 és 3.25. ábrák). A vetüléktárolóról való lefejtődésekor súrlódási- és ballonerő erő hat a vetülékre, amelyek F_{SB}

lehúzóerőben összegződnek (3.24. ábra). A vetüléktároló lefejtődési pontja és a főfűvóka gyorsítócsövéből való kilépése között a vetülek ki van feszítve, mivel a nagy sebességű légáram által húzóerők hatnak rá.



3.24. ábra. Vetülékre ható erők profilbordás vetülékbevitel esetén [30]

A segédfüvókáknak az a feladata, hogy a vetüléket nagy sebességgel átvezessék a készí-
tendő szövet szélességének megfelelően a profilborda vetülékcsatornáján, de nem gyorsít-
ják a vetüléket, ahogy azt egyes szerzők állítják [30]. Ezt a feltevést támasztja alá a
stroboszkópos megvilágítás vagy a gyorskamerás filmfelvétel is, amelyeknél jól megfi-
gyelhető, hogy a vetülék a bevetés során laza, hullámos alakot vesz fel (3.22. ábra). Eb-
ben az esetben a szádnyílásba fektetett vetülékre a bevetés fázisában a segédfüvókák lég-
árama gyakorlatilag nem ad át gyorsító húzóerőt, csak a felgyorsított vetülék áthaladását
biztosítja [30].

A vetülékbevitel az alábbi folyamatokra osztható:

- a főfűvóka a vetülék bevetéséhez szükséges mozgási energiát szolgáltatja és meghatározza annak bevetési dinamikáját, amely a segédfűvókáktól teljesen független,
- a segédfűvókák a főfűvóka által nagy sebességre gyorsított, hullámos, laza vetülék sebességét a vetülécsatornában az áramlási mező légáramukkal fenntartják,
- a vetüléket a vezérelt fék lassítja, majd a vetüléktároló stopper megállítja,
- a feszítőfűvóka és segédfűvóka csoportok a vetüléket kiegyenesítik és a szádzárásig kifeszítve tartják.

A fő- és segédfüvókák fűvási szakaszát, idejét és nyomását a vetülék mozgásához igazítva vezérlik. Úgy szabályozható, hogy a vetülék a bevetés fázisában minimálisan laza és csak a fékezés végén valamint a kiegyenesítés után lesz megfeszítve.

A vetülék mozgására a gyorsítási szakaszban a Newton mozgástörvénye érvényes (3.24. ábra):

$$m \cdot \frac{d^2 s}{dt^2} = \sum F = F_{FF} - F_{SB} \quad (3.3)$$

ahol:

m	a mozgatott fonaldarab tömege	[kg],
s	a vetülék bevetett hossza	[m],
F_{FF}	a főfúvókaerő	[N],
F_{SB}	a fonalat lehúzó erő	[N].

Aszerint, hogy a szádnyílásban a fonal (3.24. ábra) kifeszített vagy laza, a tömegét más-képpen kell kiszámolni [30]. Kifeszített fonal esetén:

$$m = l \cdot T \cdot 10^{-6} \quad (3.4)$$

és laza vetülék esetén:

$$m = (l + s) \cdot T \cdot 10^{-6} \quad (3.5)$$

ahol:

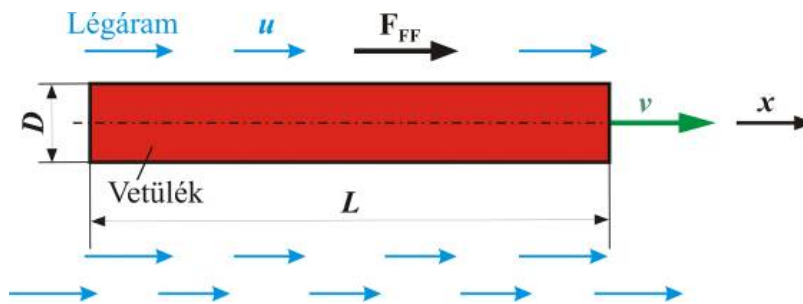
l	a vetüléktároló és a főfúvóka kilépési pontja közötti fonal hossza	[m],
s	a bevetett laza vetülék hossza	[m],
T	a fonal lineáris sűrűsége	[tex = g/km = 10 ⁻⁶ kg/m].

Az F_{SB} fonal-lehúzási erő lényegében függ a fonal és tároló érintkezési helye (ill. a fonal és a levegő) közötti súrlódási feltételektől, a fonalfínomságtól és a lehúzási sebességtől. A főfúvókában érvényesülő erőhatás a vetülékre az alábbiak alapján határozható meg [14, 58, 69] (3.25 ábra):

$$F_{FF} = \frac{1}{2} \rho \cdot c_f \cdot D \cdot \pi \cdot L \cdot (u - v)^2 \quad (3.6)$$

ahol:

ρ	a levegő közepes sűrűsége	[kg/m ³],
c_f	a vetülék és a fonal közötti felületi súrlódási együttható	[-],
D	a fonal átmérője	[m],
L	a vetülék fúvás alatti hossza	[m],
u	a levegő sebessége	[m/s],
v	a vetülék sebessége	[m/s].



3.25. ábra. A főfűvóka légáramába fektetett vetülékre hat erő [14]

Az üzemi, bevetési körülmények között a vetülékre ható erők összetett hatások eredője (a légsebesség, az idő és a hely függvényében változik). A vetülék sebessége az alagútcsatornában közel állandónak (kivéve a kezdeti gyorsítási, illetve a bevetést befejező fékezési szakaszt) tekinthető.

Felírható a fonal mozgásának kezdeti szakaszára, a gyorsuló kifeszített vetülékre az alábbi differenciálegyenlet [30]:

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{\sum F}{m} = \frac{10^6}{l \cdot T} (F_{FF} - F_{SB}) \quad (3.7)$$

A laza vetülékre a bevetés közel állandó sebességű szakaszára:

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{\sum F}{m} = \frac{10^6}{(l + s)T} (F_{FF} + F_{SF} - F_{SB}) = 0 \quad (3.8)$$

ahol:

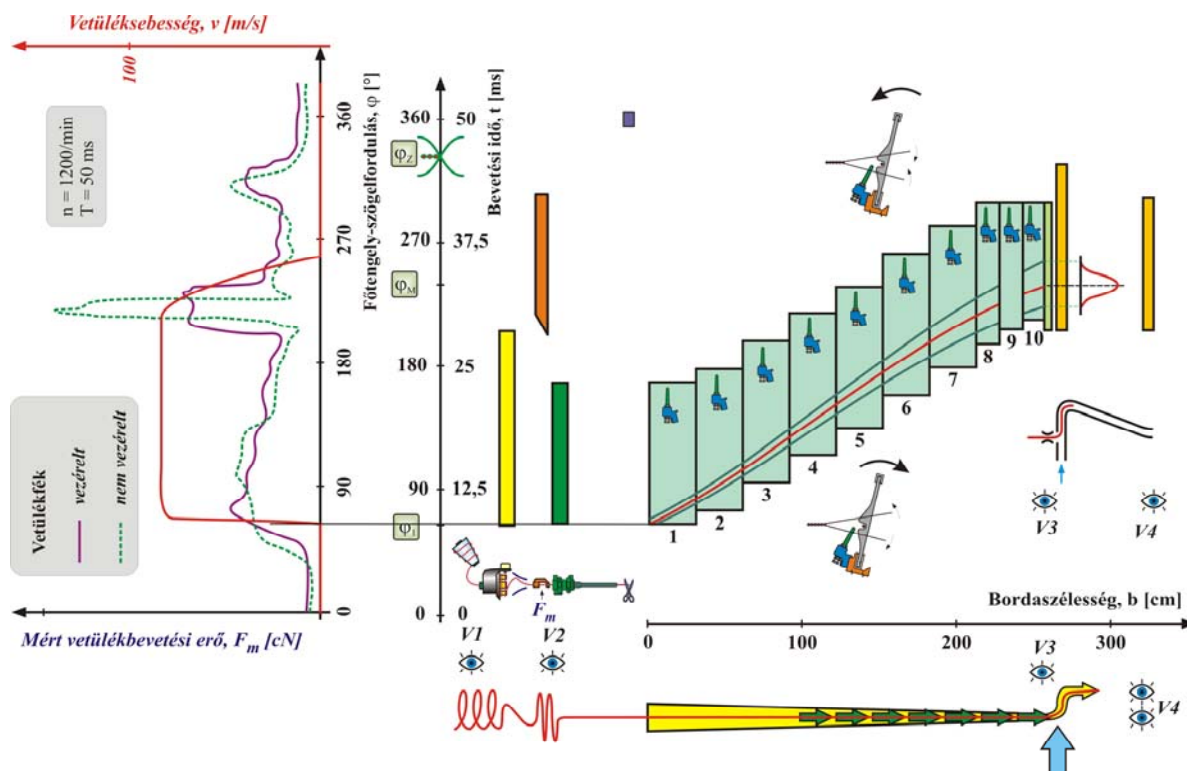
a a bevetett vetülékfonal gyorsulása $[m/s^2]$,

F_{SF} a segédűvókaerő $[N]$.

A főűvóka-hosszmérős vetüléktároló független rendszerének üzemállapotában bekövetkezett minden változást és változtatást hozzá kell igazítani a segédűvókák rendszeréhez. Fontos gyakorlati feladat a segédűvókák fűvási nyomásának és fűvási idejének szabályozása.

A vetülékfonal indításakor a bordacsatornának szabadnak kell lennie, illetve a segédűvókáknak az alsó szádág fölé kell emelkedniük. A főűvóka nyomása és fűvási ideje a vetülék sebességét, azaz a vetülékvég fogadóoldali megérkezését határozza meg. Az első segédűvóka csoport nyitása a főűvóka nyitásával azonos. A további segédűvóka csoportok nyitási (főtengely) szögértékét a vetülékvég helyzetétől függően a fedélzeti számítógép szabályozza. A vetülékbevetést meghatározó fontosabb vezérlőelemek nyitási és zárási főtengely-szögelfordulási helyzetét mutatja a 3.26. ábra. Az első segédűvókát a főűvókához lehetőleg közel kell elhelyezni. Az utolsó segédűvóka csoport tápnomása

legtöbbször nagyobb a többihez képest és kifúvási iránya erősebben hajlik a vetülékcsatornához, ezáltal a légáram a vetülékot feszesebben és jobban benntartja a vetülékcsatornában.



3.26. ábra. Vetülékbevetés lefolyásának szemléltetése [25, 33]

A légsugaras szövőgépek bizonyos típusainál (pl. Sulzer Rütli, Dornier stb.) a vetülék kiegyenlítésére feszítőfűvókát alkalmaznak. A fogadóoldalra megérkező vetülék a vetülékör (V3) után a feszítőfűvóka hatásába kerül (3.26. ábra), amelynek keresztirányú erős légárama a vetülékot a függőleges feszítőcsőbe felfújva feszíti meg, így a megálláskor megárandult, majd hullámos, visszaugró vetülékot kiegyenesíti. A feszítőfűvókát a fogadóoldali szövetszélén a borda végére erősítik (3.27. ábra). A vetülékfonalnak kb. 230° főtengely állás körül kell megérkeznie a fogadóoldalra, amit a borda végére szerelt vetülékör (V3) érzékel és ellenőriz.



3.27. ábra. Vetülékörök és a feszítőfűvóka

A megérkezési szögértéket a vetülékör (V3) ellenőrzi és a fedélzeti számítógépnek vezérlőjelet küld. A fogadóoldali szövetszélén a vetülékfeszítéshez a vetüléket 5-7 cm-rel túl-
adagolják. A vetülékör (V3) jelének felhasználásával a bevetési viszonyokat változtatva szabályozható a vetülékvég előírt főtengely-szögelfordulás helyzetben való megérkezése. A külső vetülékörrel (V4) a vetülék beszakadása ellenőrizhető (3.26. ábra). A fogadóoldali szívócső a vetülék kiegyenesítését segíti elő, illetve megakadályozza a vetülékvégnek a következő szádba való visszafordulását. A feszesen tartott vetüléket az előrelendülő profilborda bordafogával veri be a szövetszélbe (3.13. ábra).

Ha a vetülékvég fogadóoldali megérkezése az előírt értéktől eltér, akkor általában a főfűvóka fűvásidejének és tápnyomásának változtatásával szabályozható a bevetés [24].

A vetülék mozgását az áramlási viszonyokon túl a vetülék felületi szerkezete is nagymértékben befolyásolja. A vetülékfonal előírt idejű megérkezése csak bizonyos tűréshatáron belül tartható, mivel a vetülék alaki tulajdonsága a bevetési hossz mentén változik, valamint a csévén belül a vetülékréteg helyzete is döntően kihat a vetülék megérkezésére.

3.4. A profilbordás légsugaras szövőgépek szövéstechnológiai vizsgálata, szövési hibái, okai és kiküszöbölésük

A főfűvókából kilépő impulzusszerű légáram hullámfrontjának és a vezető vetülékvégnek a sebessége is döntően befolyásolja a vetülék bevetéskori viselkedését. Amikor a vetülékvég a hullámfrontot eléri, akkor a hullámfront szétáramlása miatt a vetülékvég visszahajlik, hurkosodik [19]. A vetülékbevitel során mindig arra kell törekedni, hogy a segédűvókák által létrehozott levegő hullámfrontja a vetülékvég mozgását megelőzze.

A szövet minőségének javítása érdekében nagyon fontos a szövés közben keletkező szövethibák a szövőgép működése közbeni észlelése, a szövőgép gyors leállítása, majd a hibák gyors kijavítása. A légsugaras vetülékbevitel során a szövési hibák elsősorban a

fogadóoldalon keletkeznek. Az összeakadó, laza, elszakadt láncfonalak is szövési hibát okoznak. A szövetminőség javítása érdekében elsősorban a vetüléköröknek döntő a jelentőségük.

A vetülékbevetés beállítására a gépgyártók pontos utasításokat dolgoztak ki, ennek ellenére a végső beállítási értékeket a felhasználónak a fonal tulajdonságai és tapasztalati alapján kell megadni [67]. A körütekintő beállítás ellenére többnyire textiltechnológiai hiányosságokból adódóan fellépnek vetülékbeviteli zavarok, amelyek a szövőgép leállítását okozzák. A szövethibát a szövőgépen kell elhárítani, s a gépet lehetőség szerint úgy kell beállítani, hogy a hibaok megszűnjön, vagy a lehető minimumra csökkenjen.

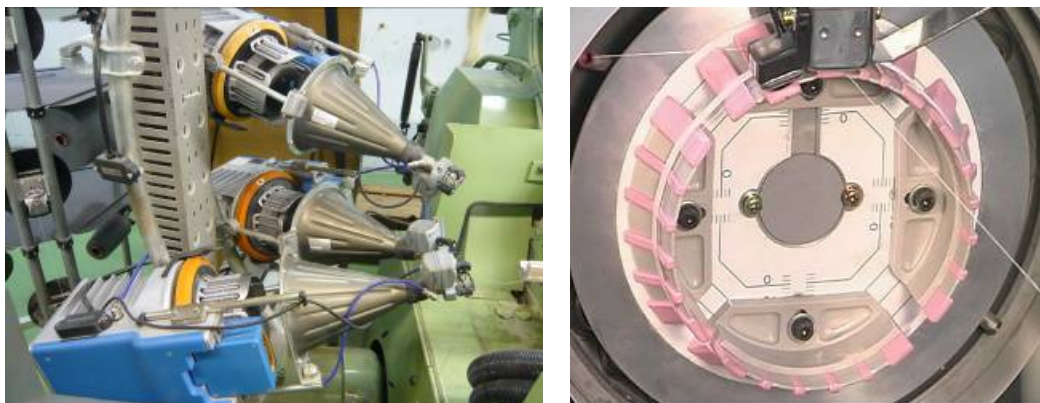
A fonal vezetőcsatornabeli sebességét és a szükséges bevetési időt a vetülékre a hossz mérő vetüléktároló és a fogadóoldal között ható erők eredője határozza meg. A légáram által a vetülékre ható erő egyrészt a levegő sebességétől, másrészt a fonal felületi struktúrájától függ. Ezen kívül a vetülék felületi szerkezete befolyásolja azokat az erőket is, amelyek a fonal szállításával szemben hatnak, befolyásolja az elérhető vetülékbeviteli sebességet, illetve a vetülékbevetési teljesítményt is.

A fonal viselkedése a vetülékcsatornában nagymértékben függ a fonal tulajdonságaitól is:

- finomság, átmérő,
- egyenletesség,
- szőrösség, hullámosság,
- szilárdság,
- merevség, stb.

Így egy adott vetülékhez az optimális gépbeállítás műszeres vizsgálatokkal határozható meg. A légsugaras vetülékbevitellel foglalkozó tanulmányok alapján a szövőgép-fejlesztők nagy figyelmet fordítanak a vetülékbeérkezés idejére, a bevetési idő változására (3.26. ábra). A vetülék beérkezési idők szoros összefüggésben állnak a vetülék tulajdonságokkal, a különböző bevetési paraméterekkel és a vetülék igénybevételeivel.

A vetülék vég megérkezési idő mérése alapján azonban csak a bevetésre kerülő vetülék teljes hosszát tároló vetülékfejtő-hosszmérő légsugaras szövőgépek vetülékbevitelére optimalizálható. A vetülékbevetés befejezésekor a hossz mérő vetüléktároló után elhelyezett ABS fék csökkenti a vetés végi szakaszban a vetülék sebességét, ezáltal a rándulást is [25] (3.28. ábra).



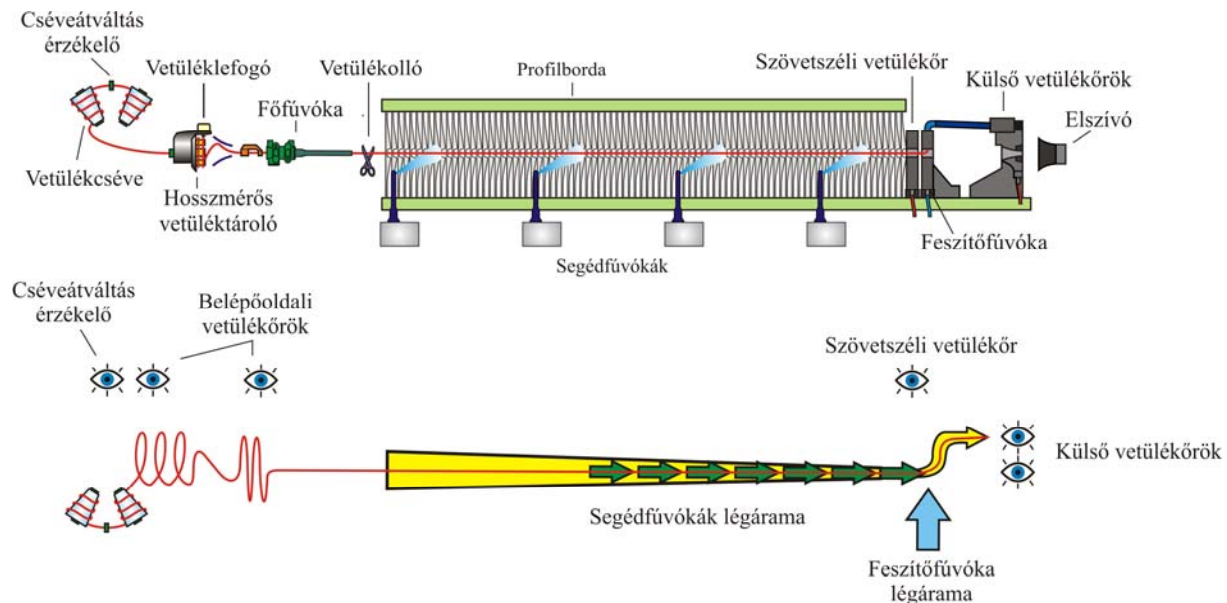
3.28. ábra. Hosszmérős vetüléktárolók (ROY ELF, Toyota) [67]

A bevetésre kerülő vetülék teljes hosszának tárolása esetén a vetülékrándulás a vetülékbeviteli szakasz végén lép fel (3.23. ábra). A vetülékbevitel erőtani vizsgálatán túlmenően a légsugaras vetülékbevitel a fonal mozgásának megfigyelésével is vizsgálható.

A főfűvókából kilépő impulzusszerű légáram hullámfront- valamint a vetülékvég sebessége is döntően befolyásolja a vetülék bevetéskori viselkedését. Ha a vetülékvég a hullámfrontot eléri, akkor a hullámfront szétáramlása miatt a vetülékvég visszahajlik, hurkosodik (a P és PN típusú szövőgépeken a nyitott fém konfúzor lamellásor felső nyílásán is kiléphet). A vetülékbevitel során mindig azt az állapotot kell elérni, hogy a levegő hullámfrontja megelőzze a vetülékvég mozgását.

A láncoldali hibák (nem megfelelő szádnyílás, laza szakadt lánc is vetülékhibaként jelentkeznek, a szádnyílásba belógó láncba ugyanis a vetülék elakad. A vetülék ellenőrzését a fogadóoldalon elhelyezett vetülékörök jeleinek kiértékeléséből kell meghatározni. A szádnyílásba bevetett vetülék állapotától függően 1-2 ms alatt kell dönteni, a gép működésállapotát ennek megfelelően megváltoztatni.

Vetüléket a légsugaras szövőgépeken az alábbi fonalörökkel (3.29. ábra) ellenőrzik.

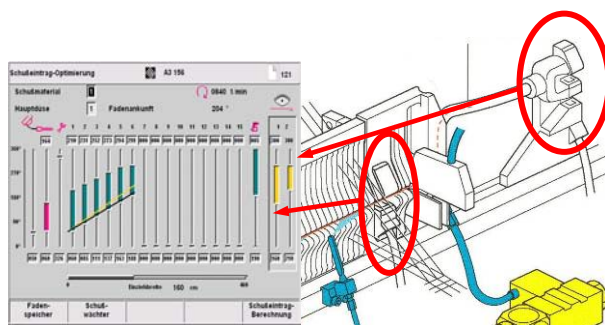


3.29. ábra. A légsugaras szövőgép vetülékbevitelt megvalósító szerkezetei és a vetülék mozgásának ellenőrzése [67]

- Cséveátváltás érzékelő a lefogyó és az új cséve között érzékeli a szövő által a végteleenítéskor behelyezett vetülék cséve lefogyáskori átváltását (3.29. ábra). Erre különösen regenerált filamentek esetében van szükség, mivel a cséve rétegnyomás következtében a cséve belső fonalrétegeiben a vetülék hullámossága megnő, és a vetülék hullámos alakja a késleltetett deformáció miatt a bevetési során nagyobb vetüléksebességet eredményez, mint a külső keresztcséve rétegekben levő kevésbé hullámos alakú vetülék esetében. Emiatt, amíg cséveátváltás után az új csévéről a vetülék bevetése sorra kerül, azon időben a fő- és segédűvókák tápnyomását a tapasztalat alapján megadott értékkel meg kell növelni, hogy a vetülék ne túlságosan későn, jó közelítéssel az előírt szöghelyzetben érkezzon meg. A vetülék pontosabb megérkezési szöghelyzetét a gép az átváltási időszak után pontosan beszabályozza.
- Tároló belépő oldali vetülékör, amely a vetülékcséve lefogyása, vagy a cséve felé eső részen bekövetkező vetülékszakadáskor vetülékkeverős rendszerű bevetése esetén az őr jelzésére a szövőgép fedélzeti számítógépe kiiktatja a tárolót, csak az ép vetülékbeviteli vonalat használja. Jelzőlámpát bekapcsolva jelzi a szövőnek a hibaokot, s a szövőgép működése közben a szövő elhárítja a hibát, s a tárolót újból visszaállítja üzemi állapotba.
- Vetülékkefogó fotoelektronikus érzékelője a tárolóból lefejtett vetülékhozzát méri, számolja a tárolóról lefejtett meneteket a tároló kilépő oldalán, pontosan meghatározza a tároló kilépő oldalán levő vetülékfék működési szakaszát. A bevetés közben el-

akadt vetülék elhárításához a vetülékelfogó (stopper) nyitását vezérelve vetülékmene-
teket tesz szabaddá.

- Fogadóoldali szövetszélnél levő vetülékőr érzékeli a vetülék megérkezését és a meg-
érkezés szöghelyzetét. A vetülékmegérkezés szöghelyzetét az előírt megérkezési
szöghelyzethez viszonyítja, s a fűvászidőket és a nyomást úgy szabályozza, hogy a ve-
tülék előírt szöghelyzetben érkezzon meg a fogadó oldalra. Vetülék kimaradást ész-
lelve megállítja a szövőgépet és működésbe hozza a vetülék visszakeresőt.
- Külső vetülékőr(ök) (3.30. ábra) a vetülék beszakadását, a hossz mérős tároló esetle-
ges túl adagolását és az elakadt vetülék eltávolítását ellenőrzi(k). A bevetés vonalában
levő külső vetülékőr a korai beszakadást, míg a felső a feszítőfűvőka bekapcsolása
utáni szakaszban ellenőrzi a vetülék beszakadását.



3.30. ábra. Fogadóoldali és a külső vetülékőrök elrendezése [27]

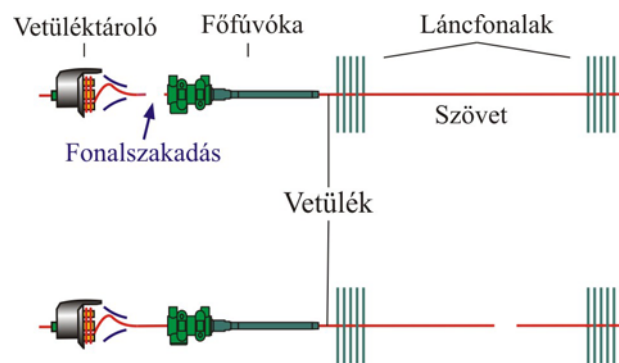
A szövet minőségének javítása szempontjából a vetülékőröknek döntő a jelentőségük, a szövés közben keletkező szövethibák a szövőgép működése közbeni a bevetés végi sza-
kaszában a fogadóoldalon észlelése, a szövőgép gyors leállítása, s a hibák a szövőgépen
való kijavítása szempontjából (3.31. ábra).



3.31. ábra. Vetülékbevetési hiba miatt leállt légsugaras szövőgép

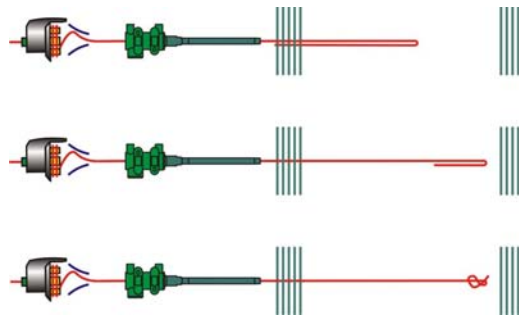
A légsugaras szövőgépeken fellépő jellemző vetülékhibák:

- Vetülékbeszakadás, ami a vetülék megállításakor a nagy rándulási erőcsúcs miatt következik be. Ez a hiba a helyes vetülékmegérkezési szöghelyzet megvalósításával és a bevetés utolsó szakaszában a vetülék sebességét fékezéssel lassítva csökkenthető. A vetülék-beszakadás a főfűvóka előtt, vagy a szádnyílás bármely szakaszán is bekövetkezhet (3.32. ábra).



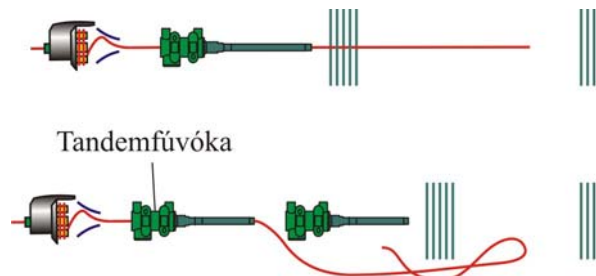
3.32. ábra. Gyakoribb vetülékszakadási helyek [19]

- Vetülékelakadás, ami ugyancsak jellegzetes hibája a légsugaras szövőgépeknek. A fonal nagymértékben, hurok formájában visszahajlik, ennek oka a legtöbb esetben a nem tiszta szádnyílás, a vetülékvég beakad a belógó láncfonalakba. Ez a helyes szádbeállítással és láncfeszültséggel, valamint a vetéskezdet megválasztásával csökkenthető. A vetülékvég összecsomósodása pl. a bevetési szakasz végén a fonal megállítása miatti rántásszerű igénybevétel hatására is keletkezhet. A vetülékvég közbülső szakaszának hurkosodása főként az erősen sodrott, hurkosodásra hajlamos vetülékfonalra jellemző (3.33. ábra).



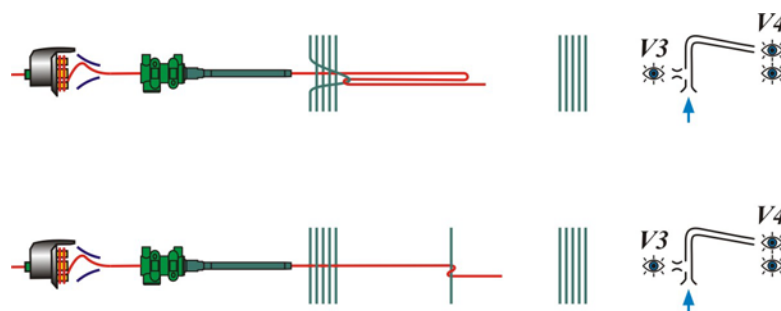
3.33. ábra. A légsugaras szövőgépen keletkező jellegzetes vetülékbevetési hibák [65, 66]

- Szétfűjt vetülékek, amikor a főfűvóka intenzív légárama károsítja a vetüléket. Ez a hiba a főfűvóka nyomás helyes megválasztásával és a megfelelő vetülék alkalmazásával csökkenthető (3.34. ábra).



3.34. ábra. Tandem-fűvóka által szétfűjt, eltérített vetülék [19]

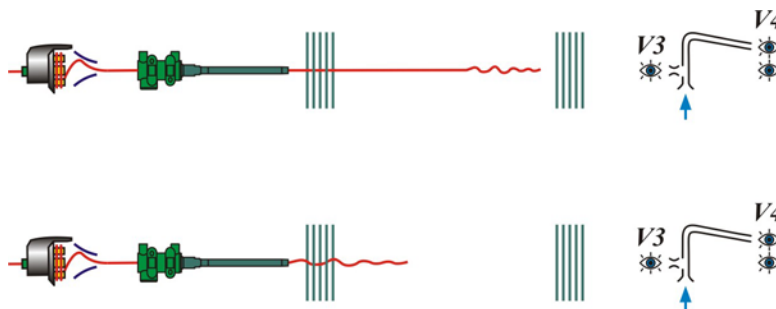
- A légsugaras szövőgépek esetében a leggyakoribb gépleállás oka, hogy a bordacsatornába belógó láncokba a vetülék elakad, a vetülék nem jut el a fogadóoldalra (3.35. ábra).



3.35. ábra. Vetülékfonal elakadása a láncba [27]

- A vetülékvég nem érte el a vetülékőrt (V3), hanem visszaugrott és hullámos helyzetű a szövetben (3.36. ábra). Lehetséges hibaokok: segédűvókák torlónyomása alacsony, illetve a vetüléktároló kevés menetet tesz szabaddá. Lehetséges intézkedések az elhá-

rítésra: segédfűvóka torlónyomásának ellenőrzése, valamint a vetülékbeviteli hosszát növelni kell.



3.36. ábra. A vetülék hurkosodik a bevetés során [27]

Az elakadt vetülék automatikus eltávolítására az alábbi műveletekkel valósítható meg:

- a szövőgép leállító szerkezetének bekapcsolása,
- a vetülékolló vágásának kikapcsolása,
- a szövőgép szakadt szádhelyzetbe való visszaforgatása,
- a szakadt vetülék eltávolításához a vetüléktároló egy vagy két menet vetüléket szabaddá tesz, s álló szövőgép helyzetben a fő- és segédfűvókákat működtetve a légsugár a megnövekedett vetülékszakaszra hatva a tároló által rögzített vetüléket kifejti a szövetszélből, kiegyenesíti, amit a fogadóoldali vetülékörök érzékelnek,
- sikeres vetülékkiegyenesítés esetén az elektromos működtetésű vetülékolló elvágja a vetüléket, amit a fűvókák kifújnak a szádból,
- a hiányzó vetüléket újból bevetik,
- a szövőgép a fenti műveletek elvégzése után kb. 30 s után automatikusan újra indul.

A légsugaras szövés más szövéstechnológiákhoz viszonyítva széles alkalmazási területen jelentős technológiai és gazdasági előnyt biztosít. A vetülékbeviteli zavarok abból adódnak, hogy a vetüléket a levegőáram erőzáróan viszi át a tiszta nyitott szádníyláson. A fonalsebesség, így a bevetési idő erősen függ a szövőgéptől és a fonal paramétereiktől, ill. ezek kölcsönhatásától. A fő- és segédfűvóka fűvásidejének és tápnyomásának a fonaltulajdonságok igazításával biztonságos vetülékbevitel érhető el, és a szövetminőség is javítható. A légsugár kialakítása, a levegőviszonyok beállítása döntő hatású a levegőfogyasztásra, emiatt a légsugaras gépek gazdaságos alkalmazhatóságának kulcsfontosságú eleme [67].

4. Konfúzor lamellásoros légsugaras szövőgép laboratóriumi, áramlás-tani vizsgálata

A vizsgált konfúzorsorok tengelyében kialakuló áramlási viszonyok mérésére az Óbudai Egyetem Textiltechnológiai Műhelyében egy mérőpadot állítottam össze (4.1. ábra). Laboratóriumi körülmények között vizsgáltam a P típusú légsugaras szövőgépek áramlás-tani és erőtani viszonyait (5. fejezet) a 3.2. fejezetben bemutatott fúvóka és a különböző kialakítású konfúzor lamellásorok esetén.

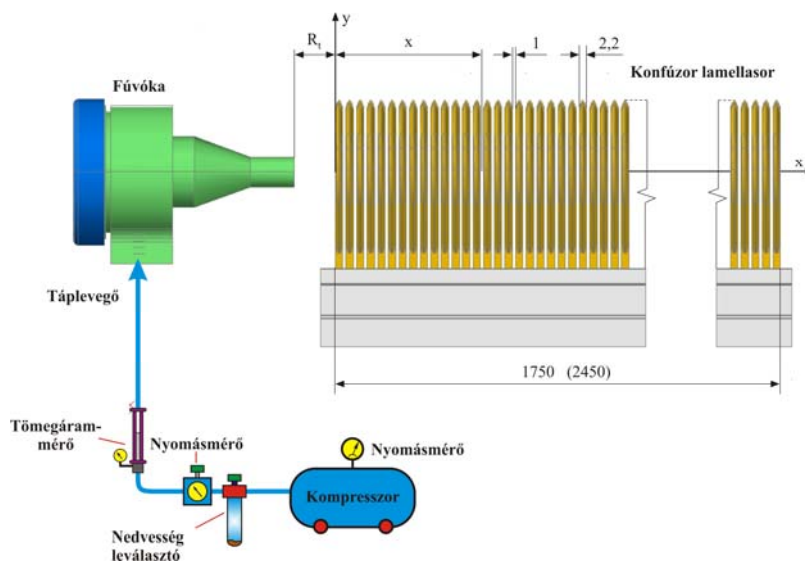
4.1. Mérőrendszer és mérési módszerek

A mérőpad alkalmas a nyitott fém és zárt műanyag konfúzorsorok tengelyében kialakuló, a vetülékbevetést meghatározó sebességfutas, az $u = f(x)$ mérésére. Az összeállított mérőpad a működő gépek pótalkatrészeiből, a szövőgép tényleges méretei alapján állítottam össze. Ezen vizsgálatokhoz a 4.1. ábrán látható mérőpadot terveztem és állítottam össze.



4.1. ábra. Laboratóriumi mérőpad kialakítása

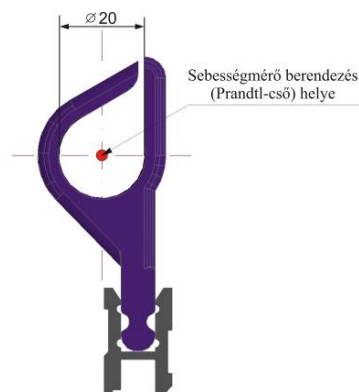
A mérőpad az állványára szerelt fúvókából és tőle réstávolságra (R_t) elhelyezett konfúzor lamellásorból állt [50, 51, 52] (4.2. ábra). A mérőpad levegőellátását dugattyús kompresszor biztosította, amely széles nyomás (0-0,8 MPa)- és légszállítási ($16 \text{ m}^3 / \text{h}$) igényt tudott átfogni. A kompresszort és a mérőpadot összekötő 2,2 m hosszú táplevegő vezeték belső átmérője 10 mm volt. A fúvóka levegőellátásának vezérlését 3/2-es kézi működtetésű útváltó szeleppel oldottam meg.



4.2. ábra. A fúvóka és a konfúzor lamellásor elhelyezése

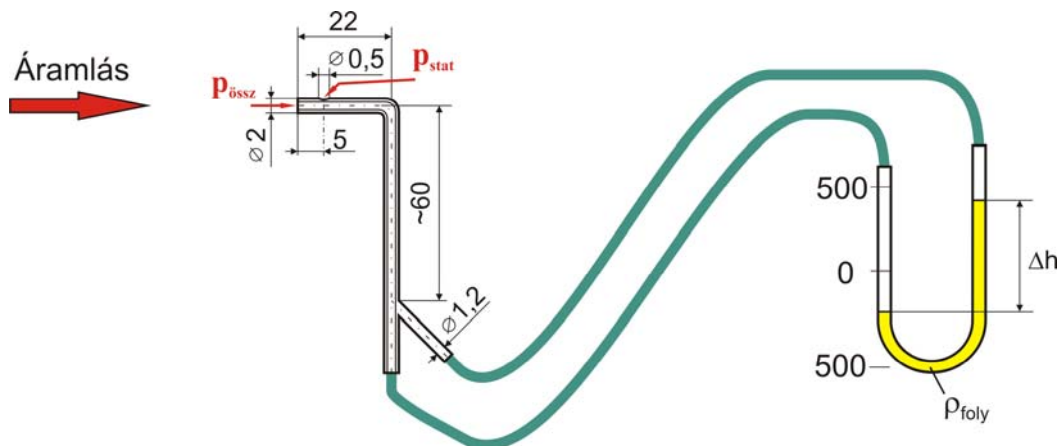
A vizsgálataim során a fúvóka kilépő és a konfúzor lamellásor belépő keresztmetszete közötti szakasz hosszát (R_t) úgy határoztam meg, hogy a fúvókából kilépő légsugár térbeli expanziója során egy $8^\circ - 10^\circ$ -os félkúpszögű csonkakúpot vettem figyelembe (3.4. ábra). Ennek alapján a réstávolságot, $R_t \cong 5d_0$ értékre állítottam be, amely azonos a szabad sugar áramlásoknál ismert kezdeti szakasszal [16] (4.2. ábra). A mérőpad kialakítása során arra törekedtem, hogy a valós szövőgépi viszonyok a lehető legnagyobb mértékben modellezhetőek legyenek, illetve az elemek helyzetének változtatása, valamint cseréje megvalósítható legyen. Üzemelő gépen a mérés a borda lengése miatt nem lehetséges.

A P-típusú szövőgép légfogyasztásának mérése GEMÜ RTS légfogyasztás mérővel történt. A bevetést létrehozó légsebesség meghatározására Prandtl-csövet használtam. A 4.3. ábra a Prandtl-cső elhelyezését szemlélteti az áramlás tengelyében.



4.3. ábra. Sebességmérő berendezés (Prandtl-cső) helyzete az áramlás tengelyében

A bevetés tengelyében mértem az áramlási sebességeket a 4.1. ábrán ismertetett mérőpádon, üzemi körülményeket modellezve. A mérés során a Prandtl-cső által mért össznyomást és statikus nyomást U csöves manométerre vezettem (4.4. ábra). Az U csöves manométer töltete higany, illetve víz volt a mért sebességek nagyságától függően.



4.4. ábra. Prandtl-cső és az U-csöves manometer összekapcsolás [3]

A mérőfejet az áramlás irányával szembe helyezve, a nyomásmérő az össznyomás és statikus nyomás különbségét mérte Δh folyadékoszlop mm-ben (4.4. ábra), amiből a dinamikus nyomás számítható:

$$\Delta p = \rho_{\text{foly}} g \Delta h \quad (4.1)$$

ahol:

$$\begin{aligned} \Delta p & \text{ a dinamikus nyomás} & [Pa], \\ \Delta h & \text{ a folyadékoszlop magasság} & [m], \\ \rho_{\text{foly}} & \text{ a manométer mérőfolyadékának sűrűsége} & [kg/m^3], \\ (\rho_{\text{Hg}} = 13,6 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3, \rho_{\text{víz}} = 10^3 \text{ kg/m}^3). \end{aligned}$$

A mérések alapján számított dinamikus nyomásból a Bernoulli-egyenlettel kaptam az áramlási sebességet a mérés helyén [46]:

$$u = \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}} \quad (4.2)$$

ahol:

$$\begin{aligned} u & \text{ az áramlási sebesség a mérés helyén} & [m/s], \\ \rho & \text{ az áramló levegő sűrűsége } p_0 \text{ légköri nyomáson} & [kg/m^3], \\ (t = 20 \text{ } ^\circ\text{C} - \text{on}, \rho = 1,2 \text{ kg/m}^3). \end{aligned}$$

4.2. Laboratóriumi mérés leírása

A vizsgálataim során csak lamellasorban kialakult hengerszimmetrikus áramlás vizsgálatával foglalkoztam. Az áramlásról feltételeztem, hogy az áramló közeg összenyomhatatlan, súlytalan és súrlódásmentes. A 4.3. fejezetben látható diagrammokon a csőre vonatkozó sebességeloszlásokat nem mértem, mert a csőben kialakult áramlás összenyomhatatlan. Így a cső tengelyében a légáram sebessége állandó, s értéke csak a lég-tartály tápnyomásától függ.

Céлом az volt, hogy meghatározzak egy zárt alakban felírható matematikai formulát, mellyel számolható a lamellasor tengelyében létrejött áramlási sebesség, a hely függvényében.

A 4.1. fejezetben ismertetett módszerrel mértem a konfúzorsorok tengelyében kialakult áramlási sebességek eloszlását. Méréseim során változtattam a konfúzorsor fajtáját (nyitott fém, zárt műanyag) és kompresszor légtartályának tápnyomását. A konfúzorsor tengelyében a sebességmérést stacionárius állapotban végeztem el vetülékbefektetése nélkül.

A méréseket 3-féle légvezetési megoldás esetében, az áramlás tengelyében kialakuló légsebességek meghatározására végeztem el:

- szabadsugár,
- nyitott fém konfúzor lamellasor,
- zárt műanyag konfúzor lamellasor,

és különböző tápnyomások (tartálynnyomások) esetén.

A mérések során a légsebességeket (dinamikus nyomásokat) a borda belépési keresztmetszetétől, $x = 0, 5, 10, 20, 30, 40, \dots, 245$ cm távolságban lévő pontokban mértem (4.2. ábra). Az áramlás tengelyében a sebességmérést három különböző tartálynnyomás, $p_t = 0,2; 0,3$ és $0,5$ MPa esetén végeztem el. A mérési pontoknál a méréseket négyszer ismételttem meg, ezekből határoztam meg a tényleges sebességek átlagértékét.

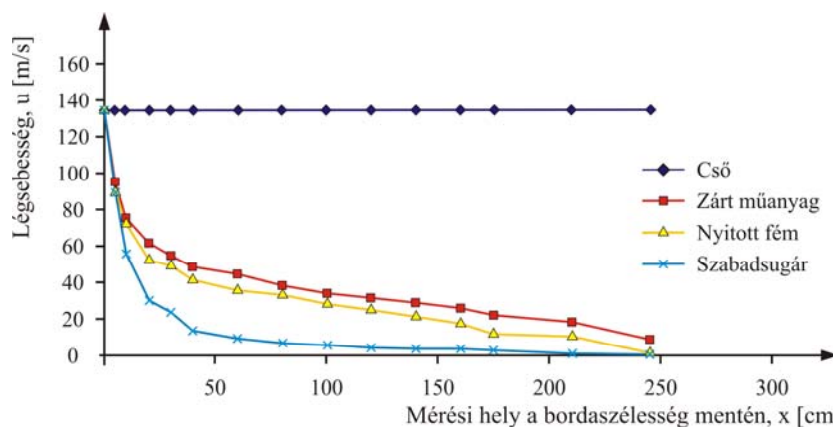
A P 165-ös jelű szövőgép fúvókájának (3.4. ábra) megmértem a sűrített levegőfogyasztását GEMÜ RTS légfogyasztás mérővel különböző tartálynnyomások esetén, a mérési elrendezést a 4.2. szemlélteti.

4.3. Mérési eredmények ismertetése

A kompresszor tartálynyomását 0,2; 0,3 és 0,5 MPa - ra állítottam be. A 4.2. pont alapján elvégeztem a méréseket, az eredményeket táblázatokba foglaltam majd a mérési eredményeket Microsoft Excel program segítségével ábrázoltam.

4.1. táblázat. Mérési eredmények $p_t = 0,2$ MPa tápnyomás esetén

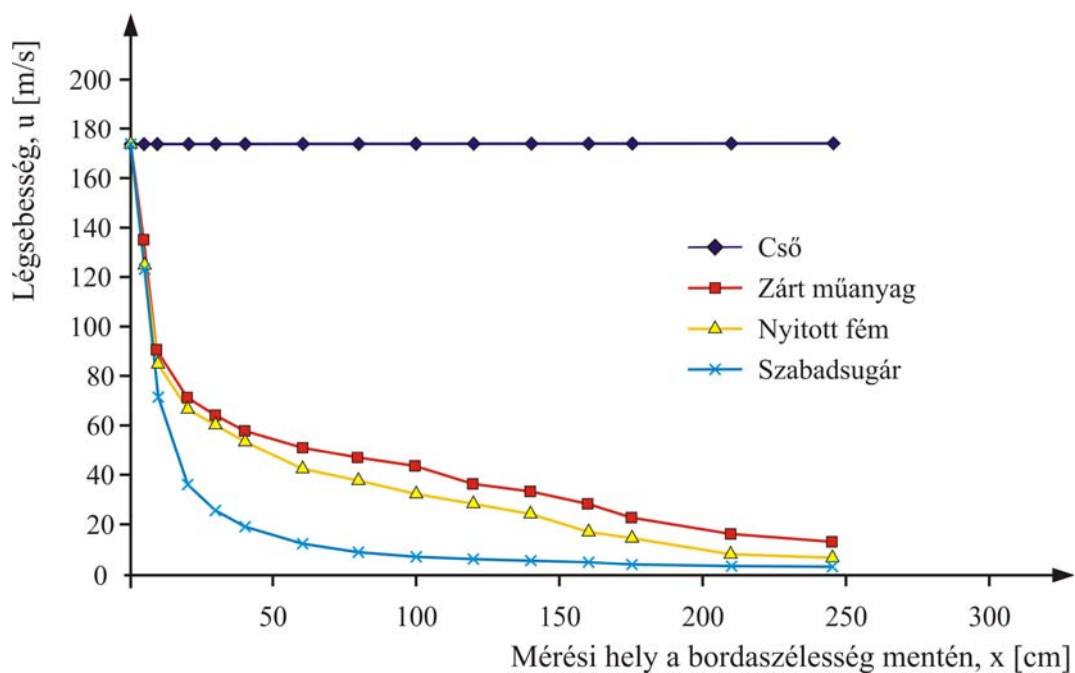
Mérés helye x [cm]	Műanyag konfúzorsor		Fém konfúzorsor		Szabadsugár		Cső
	Din. nyomás Δp [Pa]	Sebesség u [m/s]	Din. nyomás Δp [Pa]	Sebesség u [m/s]	Din. nyomás Δp [Pa]	Sebesség u [m/s]	Sebesség u [m/s]
0	10902,6	134,8	10902,6	134,8	10902,6	134,8	134,8
5	5437,8	95,2	4908,7	90,45	4774	89,2	134,8
10	3465,6	76	3206,2	73,1	1901,8	56,3	134,8
20	2299	61,9	1698,1	53,2	547,2	30,2	134,8
30	1795,2	54,7	1500	50	351,4	24,2	134,8
40	1399,7	48,3	1083,7	42,5	114,2	13,8	134,8
60	1198,8	44,7	799,3	36,5	54,1	9,5	134,8
80	898,6	38,7	699,7	34,15	31,1	7,2	134,8
100	697,7	34,1	501,1	28,9	20,9	5,9	134,8
120	599,1	31,6	399,4	25,8	13,2	4,7	134,8
140	497,6	28,8	298,4	22,3	9,1	3,9	134,8
160	399,4	25,8	201	18,3	7,3	3,5	134,8
175	272,2	21,3	99,8	12,9	6,1	3,2	134,8
210	198,7	18,2	78	11,4	1,3	1,5	134,8
245	44,3	8,6	1,9	1,8	0,1	0,4	134,8



4.5. ábra. Különböző légvezetési módok légsebességeinek változása $p_t = 0,2$ MPa esetén

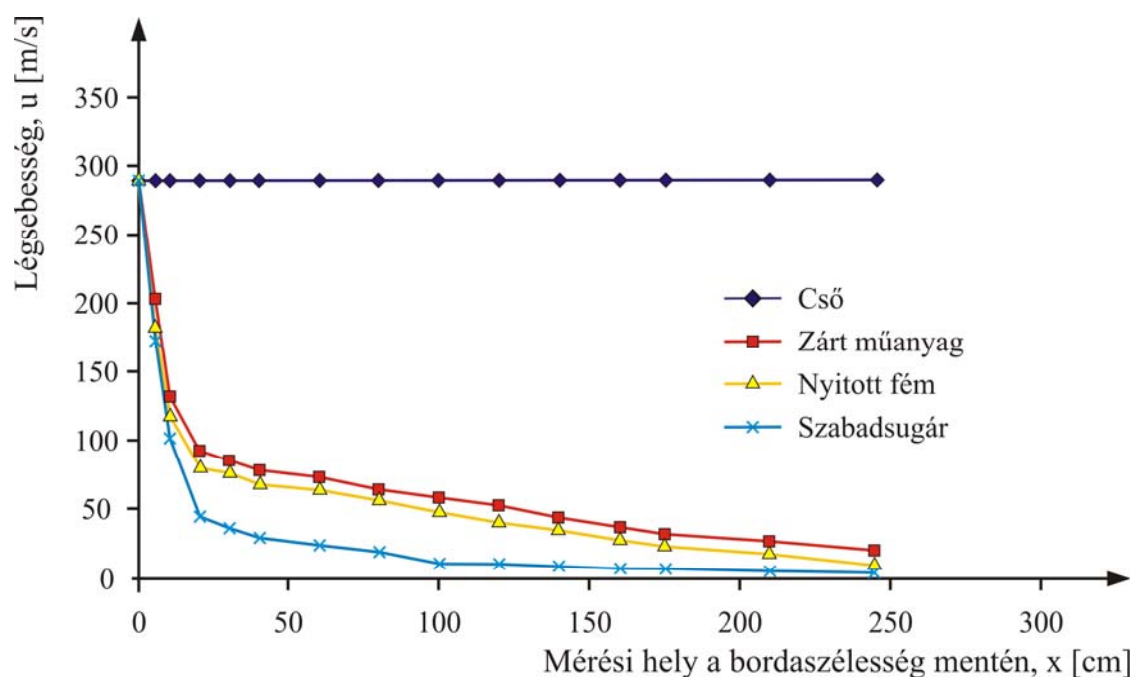
4.2. táblázat. Mérési eredmények $p_t = 0,3$ MPa tápnyomás esetén

Mérés helye x [cm]	Műanyag konfúzor		Fém konfúzor		Szabadsugár		Cső
	Din. nyomás Δp [Pa]	Sebesség u [m/s]	Din. nyomás Δp [Pa]	Sebesség u [m/s]	Din. nyomás Δp [Pa]	Sebesség u [m/s]	
0	18228,3	174,3	18228,3	174,3	18228,3	174,3	174,3
5	10870,3	134,6	9480,3	125,7	9077,4	123	174,3
10	4860	90	4396,4	85,6	3110,4	72	174,3
20	3024,6	71	2782,5	68,1	803,7	36,6	174,3
30	2457,6	64	2239,9	61,1	393,2	25,6	174,3
40	1990,6	57,6	1756	54,1	216,6	19	174,3
60	1536,2	50,6	1140,6	43,6	93,75	12,5	174,3
80	1331	47,1	884,7	38,4	48,6	9	174,3
100	1140,6	43,6	657,3	33,1	33,7	7,5	174,3
120	799,3	36,5	497,6	28,8	23	6,2	174,3
140	653,4	33	384	25,3	18,1	5,5	174,3
160	470,4	28	181,6	17,4	12,1	4,5	174,3
175	309,2	22,7	138,6	15,2	9,6	4	174,3
210	153,6	16	48,6	9	7,35	3,5	174,3
245	101,4	13	29,4	7	5,4	3	174,3

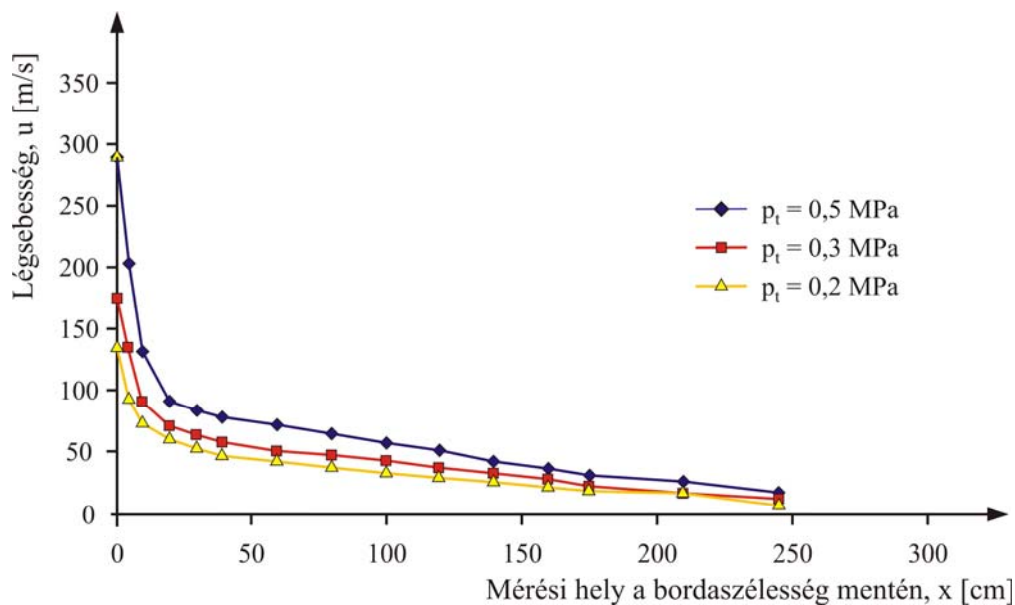
4.6. ábra. Különböző légvezetési módok légsebességeinek változása $p_t = 0,3$ MPa esetén

4.3. táblázat. Mérési eredmények $p_t = 0,5$ MPa tápnyomás esetén

Mérés helye x [cm]	Műanyag konfúzsor		Fém konfúzsor		Szabadsugár		Cső
	Din. nyomás Δp [Pa]	Sebesség u [m/s]	Din. nyomás Δp [Pa]	Sebesség u [m/s]	Din. nyomás Δp [Pa]	Sebesség u [m/s]	Sebesség u [m/s]
0	50460	290	50460	290	50460	290	290
5	24603,7	202,5	20093,4	183	18040,5	173,4	290
10	10517,8	132,4	8568,1	119,5	6316	102,6	290
20	5111,5	92,3	3985,3	81,5	1247,6	45,6	290
30	4314,6	84,8	3603,7	77,5	760,4	35,6	290
40	3669,1	78,2	2948,4	70,1	540	30	290
60	3136,3	72,3	2621,5	66,1	328,5	23,4	290
80	2519,4	64,8	2032,3	58,2	203,1	18,4	290
100	1990,6	57,6	1470,1	49,5	75,2	11,2	290
120	1572,8	51,2	1073,5	42,3	57,6	9,8	290
140	1119,7	43,2	799,3	36,5	46,4	8,8	290
160	812,5	36,8	547,2	30,2	33,7	7,5	290
175	584	31,2	405,6	26	23	6,2	290
210	427,7	26,7	221,1	19,2	16,2	5,2	290
245	198,7	18,2	62,4	10,2	9,6	4	290

4.7. ábra. Különböző légvezetési módok légsebességeinek változása $p_t = 0,5$ MPa esetén

A 4.8. ábra a zárt műanyag konfúzor lamellá sor tengelyében mért áramlási sebességek változását tartalmazza különböző tartálynyomások (p_t) esetén.

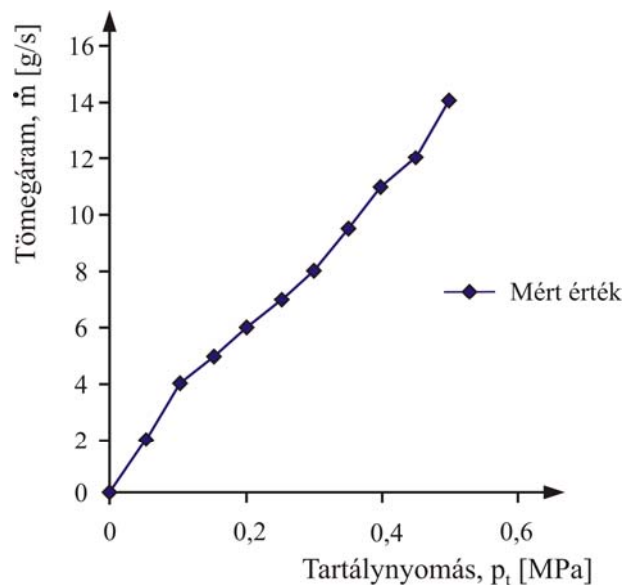


4.8. ábra. Zárt műanyag konfúzor lamellá sor esetén a sebességváltozás különböző tápanyomások esetén

A 4.2. pontban ismertetett módon mértem a P 165-ös jelű szövőgép fúvókájának légfogyasztásának tömegáramát. A mérési eredményeket 4.4. táblázatba foglaltam majd az eredményeket ábrázoltam (4.9. ábra).

4.4. táblázat. A P 165-ös jelű szövőgép fúvókájának légfogyasztása különböző tartálynyomások esetén

Tartálynyomás p_t [MPa]	Tömegáram $\dot{m}$ [g / s]
0,5	14
0,45	12
0,4	11
0,35	9,5
0,3	8
0,25	7
0,2	6
0,15	5
0,1	4
0,05	2
0	0



4.9. ábra. P jelű gép fúvókájának légfogyasztása a tartálynyomás függvényében

4.4. Mérési eredmények feldolgozása és az ezekből levonható következtetések

A 4.5. ábra mutatja a vetülékcsatorna tengelyében a sebességeloszlást $p_t = 2$ bar tartálynyomás esetén a vizsgált légvezetési megoldásokra. Az ábrából kitűnik, hogy a konfúzoros légvezetési megoldással $x > 40$ cm bordaszélességnél 3-5-szörös sebességnövekedés érhető el a szabadsugar áramláshoz képest. A vetülékcsatorna tengelyében létrehozott nagyobb sebesség a vetülékfonalat nagyobb sebességgel szállítja a bevetés során. A $0 < x < 30$ cm tartományban a légsebességek gyorsan csökkennek a bevetés tengelye mentén. Hasonló jeleget mutatnak a 4.6., 4.7. és 4.8. ábrák is. A diagramok egyértelműen mutatják, hogy a zárt műanyag konfúzorsor tengelyében nagyobb a mért légsebesség, mint a nyitott fém lamellasor ugyanazon mérési helyén. Ezért célszerűbb zárt műanyag lamellasort alkalmazni a P jelű légsugaras szövőgépeken.

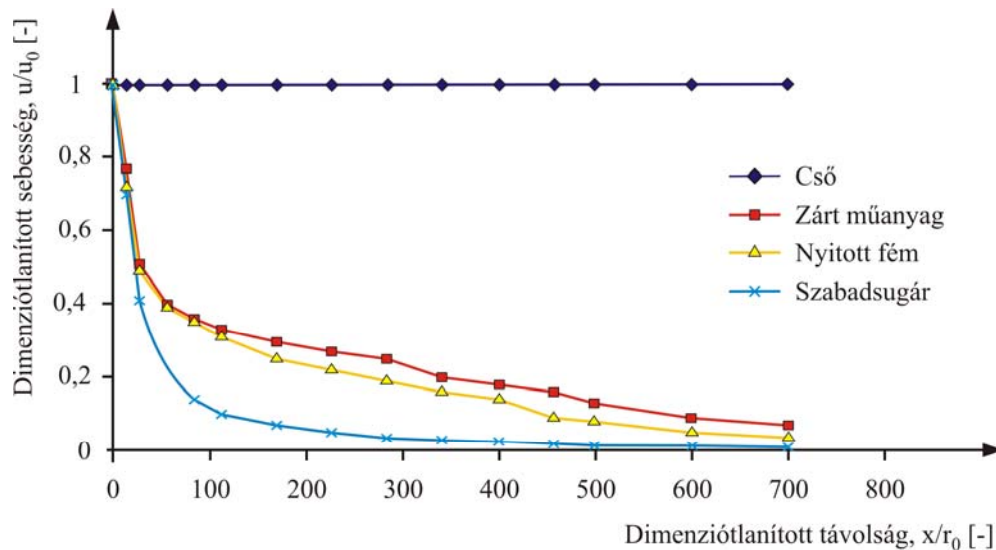
Alkalmazott 0,3 MPa tartálynyomásnál, szabadsugar esetén a légsebesség a kezdeti $u_0 = 174,3$ m/s értékének 2,3 %-ára, nyitott fém lamellasor esetén 8,7 % - ára míg a zárt műanyag lamellasor alkalmazásakor 15,4%-ára csökkent az $x = 175$ cm –es mérési helynél.

A vizsgált légvezetési módok tengelyében a légsebesség nagysága függ (4.8. ábra):

- a kompresszor légtartályának nyomásától,
- a bordaszélességtől

A laboratóriumi sebességmérés eredményeit (4.2. táblázat) a fúvóka kilépési keresztmetszetében mért legnagyobb áramlási sebességgel, a bordaszélesség hosszát a konfúzor

lamellásor esetén alkalmazott fúvóka belső sugarának értékével osztottam, az így nyert dimenziótlan sebességeloszlás általános képet mutat az áramlási viszonyokról a légcsatorna tengelye mentén.



4.10. ábra. Dimenziótlan áramlási sebességek a vizsgált légvezetési módok esetén

A 4.10. ábrából kiindulva a továbbiakban olyan dimenziótlanított függvénykapcsolatot (4.3) határoztam meg, amellyel a vizsgált légvezetési mód tengelyében meghatározható a sebességeloszlás a fent ismertetett mérési sorozatok végrehajtása nélkül.

$$\frac{u}{u_0} = f\left(\frac{x}{r_0}\right) \quad (4.3)$$

ahol:

u az áramlási sebesség a mérés helyén [m / s],

u_0 a fúvóka kilépési keresztmetszetében mért légsebesség [m / s],

x a mérési hely a bordaszélesség mentén [cm],

r_0 a fúvóka belső sugara [cm].

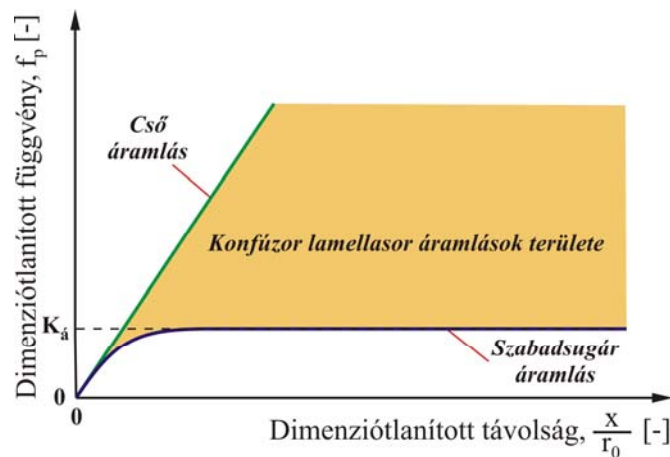
A légvezetési módra jellemző dimenziótlan függvénykapcsolat f_p jellegét az áramlást fenntartó légvezetés megoldása határozza csak meg. A mérési eredményekből (4.2. táblázat) meghatároztam az $f_p\left(\frac{x}{r_0}\right)$ értékeit a (4.4) összefüggés alapján, amelyet a 4.5. táblázat tartalmaz.

4.5. táblázat. Különböző légvezetési módokra meghatározott $f_p\left(\frac{x}{r_0}\right)$ értékei

$\frac{x}{r_0} [-]$	$f_p\left(\frac{x}{r_0}\right) [-]$ Cső	$f_p\left(\frac{x}{r_0}\right) [-]$ Zárt műanyag	$f_p\left(\frac{x}{r_0}\right) [-]$ Nytott fém	$f_p\left(\frac{x}{r_0}\right) [-]$ Szabadsugár
0	0	0	0	0
14,28	14,28	11,03	10,3	10,08
28,57	28,57	14,75	14,03	11,80
57,14	57,14	23,27	22,32	11,99
85,71	85,71	31,47	30,04	12,59
114,28	114,28	37,76	35,47	12,46
171,43	171,43	49,76	42,88	12,3
228,57	228,57	61,76	50,35	11,8
285,71	285,71	71,46	54,25	12,3
342,85	342,85	71,79	56,65	12,2
371,42	371,42	74,58	57,53	12,78
400	400	75,73	58,06	12,62
414,28	414,28	73,68	56,80	12,36
428,57	428,57	73,76	54,1	12,3
457,14	457,14	73,43	45,63	11,8
471,42	471,42	70,86	44,35	11,63
500	500	65,11	43,60	11,47
600	600	55,07	30,98	12,04
700	700	52,20	28,11	12,05

Az $f_p\left(\frac{x}{r_0}\right)$ értékeit a különböző légvezetések esetén az $\left(\frac{x}{r_0}\right)$ függvényében Microsoft Excel Program segítségével ábrázoltam. Ezt követően szabadsugárra constans, csőre lineáris és konfúzor lamellatorra másodfokú polinomiális regressziót alkalmaztam az $f_p\left(\frac{x}{r_0}\right)$ trendvonal meghatározására. A közelítéseknel meghatároztam a determinációs együttható R^2 értékeit is (4.12. ábra).

A lamellatorban lévő áramlás esetén, amikor a lamellák belsejében vizsgáltam az áramlást, akkor az áramlás csőben lévő áramlásként, míg a lamellák közötti térben szabadsugár áramlásként viselkedett. Ha a lamellák közötti távolságot növeljük, akkor az áramlás egyre jobban hasonlít a szabadsugár áramlásra, ellenkező esetben a csőben kialakult áramlásra (4.11. ábra).

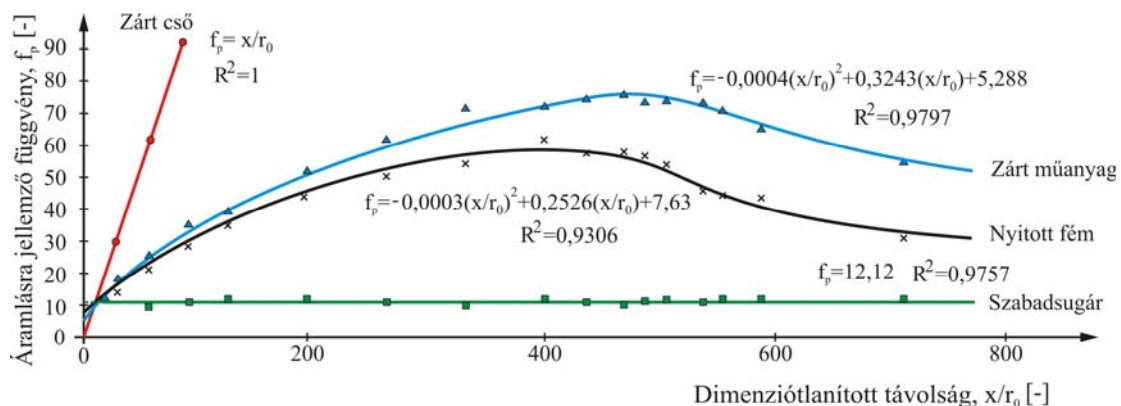


4.11. ábra. Az egyes áramlásokhoz tartozó $f_p\left(\frac{x}{r_0}\right)$ függvények elméleti elhelyezkedése

A 4.11. ábrából látszik, hogy $\frac{x}{r_0} = 0$ környezetében az ábrázolást a határátmenetre tett megállapításai alapján rajzoltam. A konfúzor lamellásor tengelyében kialakult dimenziótlanított áramlási sebességet az alábbi általános formulával írtam le:

$$\frac{u}{u_0} = \frac{f_p\left(\frac{x}{r_0}\right)}{\frac{x}{r_0}} \Rightarrow f_p\left(\frac{x}{r_0}\right) = \frac{u}{u_0} \cdot \frac{x}{r_0} \quad (4.4)$$

Az $f_p\left(\frac{x}{r_0}\right)$ függvény egy olyan dimenziótlan függvény, amely az áramlást fenntartó elem (cső, lamellásor, stb.) típusától, formájától függ csak. Nem függ a lamellásor belsejében kialakult áramlás jellemzőitől. Jellegét, mégis a lamellásorban lévő áramlás méréseiből lehet meghatározni. Az $f_p\left(\frac{x}{r_0}\right)$ értékeit leíró matematikai függvények méréseim és elméleti megfontolásaim szerint a 4.12. ábra szemlélteti.



4.12. ábra. Különböző légvezetési módokra jellemző matematikai függvények

Szabadsugár áramlás esetén a szakirodalom alapján [16]:

$$f_p\left(\frac{x}{r_0}\right) = K_{\dot{a}} \quad (4.5)$$

ahol:

$K_{\dot{a}}$ az áramlásra jellemző konstans [-].

A cső belsejében lévő áramlásra alkalmazva, akkor:

$$f_p\left(\frac{x}{r_0}\right) = \frac{x}{r_0}. \quad (4.6)$$

Amiből a (4.4) összefüggés figyelembe vételével:

$$\frac{u}{u_0} = 1. \quad (4.7)$$

A cső tengelyében lévő sebesség független a helytől és értéke megegyezik a kezdeti keresztmetszetben lévő értékkel.

A koordináta rendszer origóját a lamellásor illetve a cső belépési keresztmetszeténél rögzítettem a 4.2. ábra alapján. Itt $\left(\frac{x}{r_0}\right) = 0$, azaz a kezdeti érték környezetében mind a cső

mind a lamellásor áramlást leíró egyenletek esetében az $\left(\frac{0}{0}\right)$ határozatlan alak jelenik meg. Ezt a problémát az a fizikai tény oldja fel, hogy

$$\left(\frac{u}{u_0}\right)_{\frac{x}{r_0} \rightarrow 0} = \frac{f_p\left(\frac{x}{r_0}\right)}{\frac{x}{r_0}} = 1, \quad (4.8)$$

ami azt jelenti, hogy bármely légvezetés esetén a kezdeti (belépési) keresztmetszetben az

$$\frac{u}{u_0} = 1. \quad (4.9)$$

Azaz $u = u_0$ feltételnek fenn kell állni. Elméleti meggondolásaim alapján a 4.11. ábrán

ábrázoltam az $f_p\left(\frac{x}{r_0}\right)$ függvényeket és megjelöltem azt a területet, ahol a konfúzor

lamellásorokat leíró függvények elhelyezkedhetnek.

Összegezve az egyes légvezetési módokra az $f_p\left(\frac{x}{r_0}\right)$ függvényeket, sebességeloszlásokat

és a determinációs együtthatókat:

- Cső esetére

$$f_p = \frac{x}{r_0} \quad (4.10)$$

$$\frac{u}{u_0} = \frac{f_p}{\frac{x}{r_0}} = \frac{\frac{x}{r_0}}{\frac{x}{r_0}} = 1 \quad (4.11)$$

$$R^2 = 1.$$

- Szabadsugár esetén:

$$f_p = 12,12 \quad (4.12)$$

$$\frac{u}{u_0} = \frac{f_p}{\frac{x}{r_0}} = \frac{12,12}{\frac{x}{r_0}} = 12,12 \frac{r_0}{x} \quad x > 12,12 r_0 \quad (4.13)$$

$$R^2 = 0,9757.$$

- Felül nyitott fém lamellasor légvezetés esetén:

$$f_p = -0,0003\left(\frac{x}{r_0}\right)^2 + 0,2526\frac{x}{r_0} + 7,63 \quad (4.14)$$

$$\frac{u}{u_0} = \frac{f_p}{\frac{x}{r_0}} = \frac{-0,0003\left(\frac{x}{r_0}\right)^2 + 0,2526\frac{x}{r_0} + 7,63}{\frac{x}{r_0}} = 0,003\frac{x}{r_0} + 7,63\frac{r_0}{x} + 0,2526 \quad (4.15)$$

$$x > 10r_0$$

$$R^2 = 0,9306.$$

- Felül közel zárt műanyag lamellasor esetén:

$$f_p = -0,0004 \left(\frac{x}{r_0} \right)^2 + 0,3243 \frac{x}{r_0} + 5,288 \quad (4.16)$$

$$\frac{u}{u_0} = \frac{f_p}{\frac{x}{r_0}} = \frac{-0,0004 \left(\frac{x}{r_0} \right)^2 + 0,3243 \frac{x}{r_0} + 5,288}{\frac{x}{r_0}} = -0,0004 \frac{x}{r_0} + 5,288 \frac{r_0}{x} + 0,3243 \quad (4.17)$$

$$x > 7,8r_0$$

$$R^2 = 0,9797.$$

A 4.12. ábrán látható függvények alapján a bordaszélesség tengelye mentén bárhol meghatározható az áramlási sebesség a kezdeti feltételek ismeretében a fent ismerttetett légvezetési módoknál.

Példaként mutatom be a zárt műanyag kunfúzor lamellasorra a 4.12. ábrán látható (4.16) másodfokú függvényt használva és figyelembe véve a (4.17) összefüggést, az alábbi képlettel határozható meg a légvezetési csatorna tengelyében az áramlási sebesség:

$$u = u(x) = \left(-0,0004 \frac{x}{r_0} + 5,288 \frac{r_0}{x} + 0,3243 \right) u_0 \quad (4.18)$$

$$x > 7,8r_0.$$

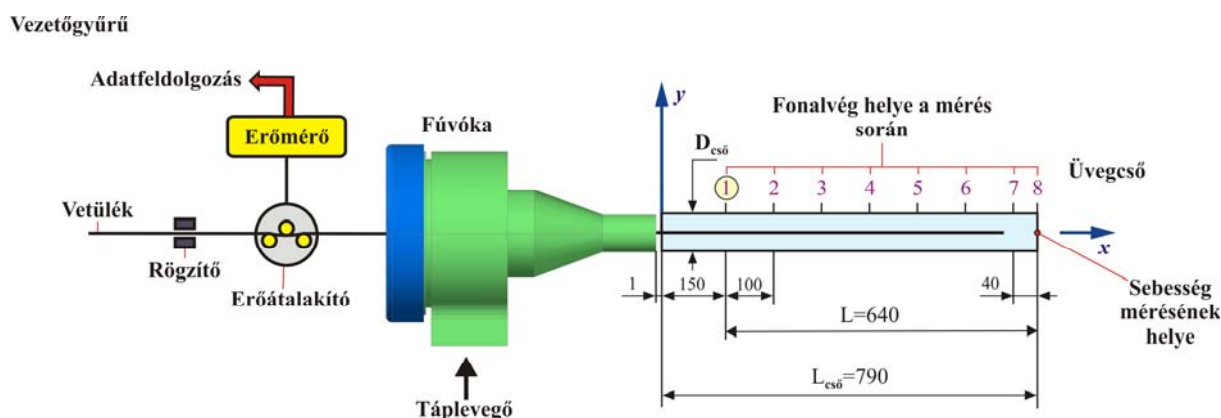
5. A P típusú légsugaras szövőgépek laboratóriumi erőtani vizsgálata

A vetülékbevitelt végző levegősugár áramlástan vizsgálatát a 4. pontban tárgyaltam. Az áramlástan vizsgálat eredményét használtam fel a stacionárius légáramba helyezett álló vetülék dinamikai vizsgálata során.

5.1. Mérőrendszer és mérési módszer

A pontrögzített, multifilament 80 tex-es vetülékfonal átlagos átmérőjét SEM-113 típusú elektromikroszkóppal határoztam meg az Óbudai Egyetem Textil Anyagvizsgálatok Laboratóriumában. Valamint, itt határoztam meg az iparból kapott multifilament fonal lineáris sűrűségét is.

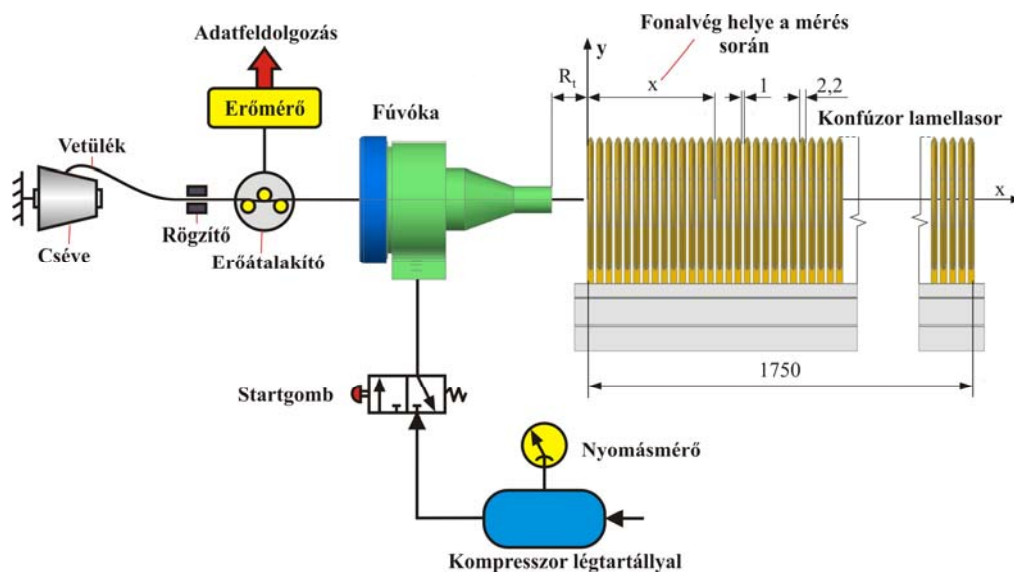
A 4. fejezetben ismertetett helyszínen mérőpadot állítottam össze a vetülékfonal felületi súrlódási együtthatójának meghatározására (5.1. ábra).



5.1. ábra. A felületi súrlódási együttható mérésének elrendezése

Az összeállított mérőberendezés (5.1. ábra), amely állt egy fúvókához kapcsolódó 790 mm hosszú üvegcsőből, amelynek belső átmérője ($D_{cső} = 8 \text{ mm}$) volt. A sebességmérést az üvegcső végén elhelyezett Prandtl-csőhöz kapcsolódó U-csöves manométerrel végeztem (hasonlóan a 4. fejezetben ismertetett módon), feltételezve, hogy az üvegcső tengelyében a légáramlás sebessége állandó. A rögzített vetülékre ható erőt Rothschild R-1192 típusú erőmérővel határoztam meg. A sűrített levegő ellátását WAN-CE típusú légkompresszor $0,115 \text{ m}^3$ - es légtartálya biztosította 0,3-0,6 MPa intervallumban, állásos szabályozással.

A felületi súrlódási együttható meghatározása után átalakítottam a mérőpadot az 5.2. ábrán látható módon.



5.2. ábra. Vetülékre ható erők laboratóriumi mérésének elrendezése

Az üvegcső helyére 1750 mm hosszú, zárt műanyag lamellasort helyeztem. A rögzítő és a fúvóka közé Rothschild R-1192 típusú erőmérőt iktattam be, amely a vetülékfonal hosszának és a légsebesség változásának függvényében mérte a vetülékfonalra ható erőt. A vetülékfonal átmérőjét Conrad 1.3USB9 digitális mikroszkópkamera segítségével határoztam meg.

5.2. Laboratóriumi mérés leírása

Ebben a pontban ismertetem a végrehajtott mérések elméleti háttérét és elvégzésének folyamatát.

5.2.1. A vizsgált fonal lineáris sűrűségének és átlagos átmérőjének meghatározása

A Csárda-Tex Kft-től kapott poliészter alapanyagú, multifilament fonalminta lineáris sűrűségét az alábbi módon határoztam meg (a fonal szilárdságának meghatározása a 14. mellékletben található). A vetüléksévéről 100 m hosszúságot legombolyítottam az Óbudai Egyetem Anyagvizsgálatok Laboratóriumában található hosszmérő berendezéssel, majd tömegét megmértem. A lineáris termék sűrűsége az (5.1) összefüggés alapján határozható meg:

$$T = \frac{m_t}{l_t} \quad (5.1)$$

ahol:

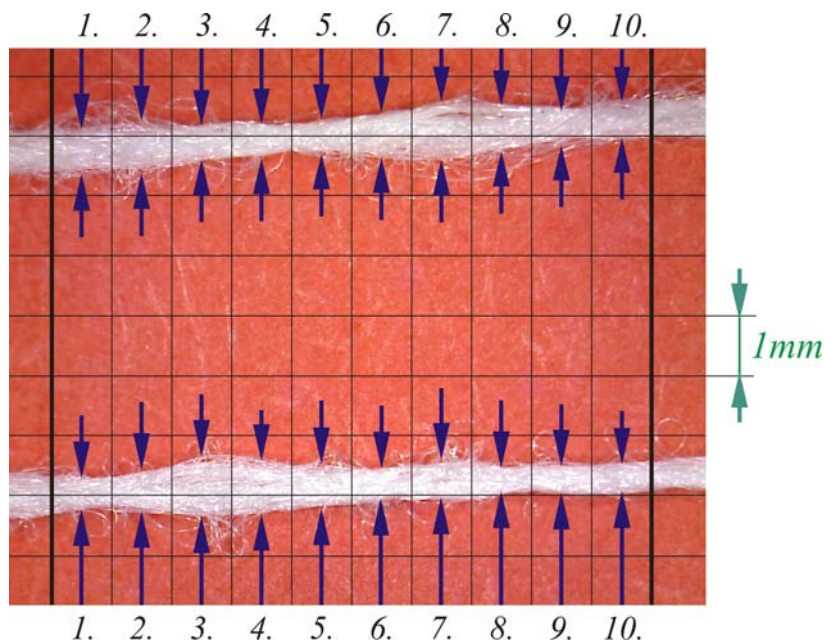
T	a lineáris termék sűrűsége	$[tex = g / km]$,
m_t	a lineáris termék tömege	$[g]$,
l_t	a lineáris termék hossza	$[km]$.

A vizsgált fonal több különböző helyéről vett darabjait 1 mm osztástávolságú milliméterpapíra rögzítettem, majd a mikroszkóp aláhelyeztem. Tíz helyen – arányosítással -megmértem a fonal átmérőjét (amelyet az 5.3. magyarázó ábra szemléltet) és képeztem az átmérők matematikai átlagát az (5.2) kifejezés alapján, amelyből a fonal átlagos átmérője:

$$D = \frac{\sum_{i=1}^j D_i}{j} \quad (5.2)$$

ahol:

D	a fonal átlagos átmérője	$[m]$,
D_i	a mérési helyeken a fonal átmérője	$[m]$,
j	a mérések száma	$[-]$.



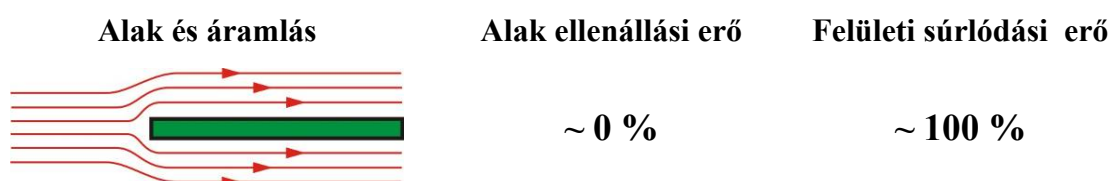
5.3. ábra. A vizsgált multifilament fonal mikroszkópi felvétele

5.2.2. A felületi súrlódási együttható meghatározásának elméleti háttere és mérésének leírása

Abból a kezdeti feltevésből indultam ki, hogy amikor az áramló levegő körülveszi a testet, akkor egy ellenállási erő alakul ki az áramló levegő és a test között. Ennek az erőnek két összetevője van:

- alak közegellenállási erő,
- felületi súrlódási erő.

A 5.4. ábra szemlélteti a vetülékre az alak és áramlás kapcsolata következtében fellépő ellenállási erők arányát.



5.4. ábra. Vetülék esetén az alak közegellenállás és a felületi súrlódás aránya [22]

A súrlódási erő a viszkozus nyírásból ered, amely a test felülete és az áramló közeg határrétege között ébred. Általánosan a vetülék elemi felületére ható elemi felületi súrlódási erő a következő összefüggés alapján határozható meg:

$$dF_f = c_f \cdot \tau \cdot dA \quad (5.3)$$

ahol:

dF_f	az elemi felületi súrlódási erő	[N],
c_f	a felületi súrlódási együttható	[-],
τ	az áramló közeg belső súrlódási nyíró feszültsége	[N / m ²],
dA	a körüláramolt elemi felületelem	[m ²].

Elemi felületelem nagysága vetülékfonal esetén:

$$dA = D \cdot \pi \cdot dx \quad (5.4)$$

ahol:

dx	az elemi vetülékhoosszúság	[m].
------	----------------------------	--------

A levegősugár által mozgatott vetülékfonal és a levegősugár között fellépő belső súrlódási feszültség:

$$\tau = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot (u - v)^2, \quad (5.5)$$

ahol:

ρ	az áramló levegő sűrűsége	$[kg/m^3]$,
u	a levegő áramlási sebessége	$[m/s]$,
v	a vetülék sebessége	$[m/s]$.

Vizsgálataimat álló vetülék esetére ($v = 0$) végeztem el, így a belső súrlódási feszültségre a következő adódik:

$$\tau = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot u^2. \quad (5.6)$$

Behelyettesítve az (5.3) összefüggésbe az (5.4) és (5.5) egyenleteket kapjuk az elemi súrlódási erőt:

$$dF_f = c_f \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot u^2 \cdot D \cdot \pi \cdot dx. \quad (5.7)$$

Az (5.7) egyenlet mindkét oldalát integrálva:

$$\int dF_f = \frac{1}{2} \cdot c_f \cdot \rho \cdot D \cdot \pi \cdot \int u^2 \cdot dx. \quad (5.8)$$

Az (5.8) egyenlet integrálásával az u sebességű légáramba helyezett D átmérőjű és L hosszúságú álló vetülékre ható felületi súrlódási erő:

$$F_f(L) = F_f = \frac{1}{2} \cdot c_f \cdot \rho \cdot D \cdot \pi \int_0^L u^2 dx. \quad (5.9)$$

Figyelembe véve, hogy a levegő sebessége az üvegcső tengelyében a helytől függetlenül állandó, behelyettesítve az (5.9) kifejezésbe:

$$F_f = \frac{1}{2} \cdot c_f \cdot \rho \cdot u^2 \cdot \underbrace{D \cdot \pi \cdot L}_A, \quad (5.10)$$

ahol:

L	a vetülék hossza	$[m]$.
-----	------------------	---------

A felületi súrlódási együttható az álló L hosszúságú légáramba fektetett vetülék felületének és a ráható erő ismeretében az alábbiak alapján határozható meg az (5.10) összefüggés alapján:

$$c_f = \frac{2 \cdot F_f}{\rho \cdot A \cdot u^2}. \quad (5.11)$$

Ismert légsebesség (u) esetén az álló (L) hosszúságú vetülékre ható felületi súrlódási erő (F_f) két erő méréséből meghatározható (5.1 ábra):

$$F_f = F_n - F_1, \quad (5.12)$$

ahol:

F_1 az 1. számú mérési pontnál mért erő (5.1. ábra) [N],

F_n az $n = 2, 3, 4, \dots, 7, 8$ mérési pontoknál mért erő [N].

A kezdeti erő (F_1) az 1-es mérési helynél rögzített vetülékre ható mért felületi súrlódási erőből adódott. Végigvezetve a vetüléket az üvegcsőben a mérési pontokig, minden esetben rögzítve, adódtak a mérési pontoknak megfelelő erők (F_n). Az (5.11) és (5.12) egyenletből számoltam c_f különböző értékeit.

A súrlódó erő függ a fonal szerkezetétől és felületétől, ezen jellemzőket a felületi súrlódási együtthatóban lehet figyelembe venni. A mérési eredményeket táblázatokba foglaltam és ábrázoltam (5.3. pont).

A további vizsgálataim célja (a 4.4. pontban ismertetett dimenziótlanított sebesség profilokhoz hasonlóan), a felületi súrlódási együttható $c_f = f\left(\frac{u}{u_0}\right)$ meghatározása

dimenziótlanított függvénykapcsolat megadásával, amelynek segítségével a későbbiekben (5.4. pont) meghatározható az álló vetülékre ható dimenziótlanított erő. A 4.4. pontban a vetülékcsatorna tengelyében mért áramlási sebességeket a légvezetési mód belépési keresztmetszetében mért legnagyobb u_0 sebességgel - ez a belépési sebesség közel azonos a fűvóka kilépési keresztmetszetében mérhető sebességgel - dimenziótlanítottam. A vetülékfonal és az áramló levegő közötti felületi súrlódási együttható értéke a vetülék anyagi jellemzőin túl függ a fonalat körülvevő levegő áramlási sebességétől is. A légvezetési mód tengelyében kialakuló légsebesség változása a hely függvényében alapvetően a tartálynymástól függ és ebből következőleg a vetülékcsatorna belépési keresztmetszetében mérhető u_0 sebességtől. A c_f értékeinek meghatározásánál $p_t = 0,3$ MPa tartálynymást alkalmaztam és ehhez a nyomásértékhez $u_0 = 174,3$ m/s belépési légsebesség tartozik. Így az általam vizsgált multifilament, poliészter alapanyagú, 80 tex finomságú vetülékre meghatározott $c_f = f\left(\frac{u}{u_0}\right)$ kapcsolatot $u = 30 - 174,3$ m/s áramlási sebesség tar-

tományban határoztam meg és a dimenziótlanítást $u_0 = 174,3$ m/s értékkel végeztem el.

További kutatást igényelne $c_f = f\left(\frac{u}{u_0}, p_t\right)$ kapcsolat meghatározása. Ez a vizsgálat jelen disszertáción túl mutat.

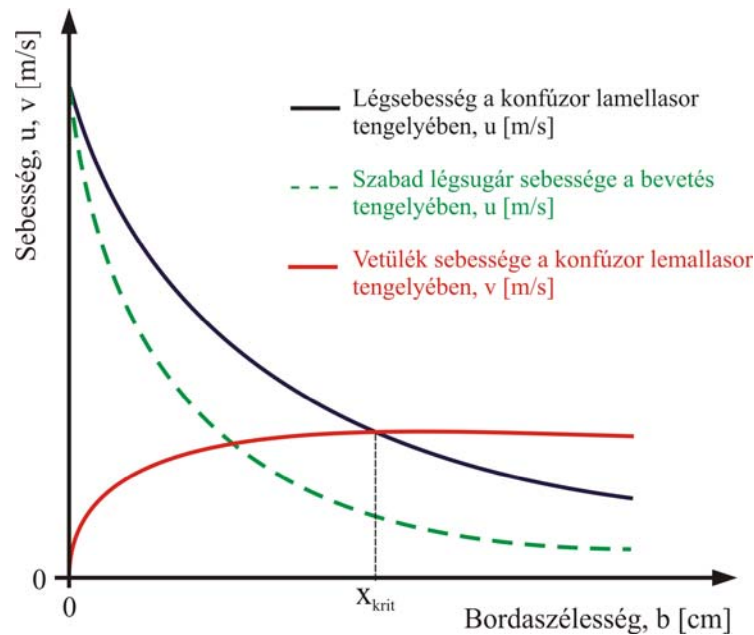
Először az 1-es mérési pontban mértem a kezdeti F_1 erőt, majd a vetülékvéget a 8-as mérési pontnak megfelelően rögzítettem és állandó légsebesség mellett mértem az F_8 erőt (5.1. ábra). A 640 mm hosszúságú vetülékre ható felületi súrlódási erő az (5.13) összefüggés alapján:

$$F_f = F_8 - F_1. \quad (5.13)$$

5.2.3. Műanyag konfúzor lamelláslégcsatornájába befektetett vetülék dinamikai vizsgálatának elméleti háttere és mérésének leírása

Amikor a fűvókába befűzött nyugalmi helyzetű vetülék a bevetés indításának pillanatában a légáram hatásába kerül, akkor a vetülék gyorsuló mozgást végez, amelyet a vetülék és a levegő kapcsolatából adódó felületi súrlódási erő hoz létre. A vetülékbevetésnek ezen szakaszát (amikor a vetülék sebessége kisebb, mint a légáram sebessége) a vetülék gyorsulási állapotának nevezzük $0 \leq b \leq x_{krit}$ intervallumban. A gyorsulási állapot két részre osztható (5.5. ábra) [14]:

- intenzív gyorsulási szakasz, a konfúzor lamelláslégcsatorna kezdeti részén, itt a vetülék sebessége gyorsan növekszik,
- a légvezetési mód további részén a vetüléksebessége lassan növekszik, amíg meg nem egyezik a légsebességgel.



5.5. ábra. Vetülék sebességének alakulása egyfúvókás, konfúzor lamellákkal fenntartott légárammal

A vetülék gyorsulásának megszűnését a konfúzor lamelláiban a légsebesség csökkenése, azaz felületi súrlódási erő irányának megváltozása okozza azáltal, hogy a vetüléksebessége meghaladja a fúvóka fenntartott légáramát (5.5. ábra) amely fékezi a vetüléket $b > x_{krit}$ tartományban. A vetülék továbbmozog tehetetlensége miatt és sebessége tovább nem nő. Ezért az lenne az ideális helyzet konfúzor légsugaras gépek esetén, ha a bordaszélesség kisebb lenne mint x_{krit} .

A vetülékbevitel során az elemi vetülékszakra ható elemi felületi súrlódási erő a (5.7) egyenletből és figyelembe véve, hogy a vetüléksebessége nem nulla a következő összefüggés alapján határozható meg:

$$dF_f = \frac{1}{2} \rho \cdot c_f \cdot D \cdot \pi \cdot (u - v)^2 dx. \quad (5.14)$$

A légáramba helyezett vetülékre ható erők egyensúlya [3]:

$$\frac{d}{dt} I = F_f - F_S, \quad (5.15)$$

ahol:

- | | | |
|-------|---|-------------|
| I | a vetülék impulzusa | $[kgm/s]$, |
| F_f | a felületi súrlódási erő | $[N]$, |
| F_S | a vetülék és más szilárd test súrlódásából származó erő | $[N]$. |

A további vizsgálataim során az F_S súrlódó erőtlől eltekintek, mert a vetülék elhanyagolható súrlódó erő ellenében fejtődik le a tárolóról és halad át a vezetőgyűrűn. Kutatásaim csak a fúvókát elhagyó, a különböző légvezetési módokba helyezett vetülék és áramlás erőtan vizsgálatára irányultak. Az (F_S) súrlódási erő elhanyagolásával a felállított modell nem teljes, de alkalmas a bevetés tengelye mentén a kialakuló, a vetüléket mozgató erő vizsgálatára.

A konfúzor lamellásoros légvezetés esetén a vetülék impulzusa:

$$\frac{d}{dt}I = \frac{d}{dt}mv = F_f, \quad (5.16)$$

ahol:

m a légáramba fektetett vetülék tömege $[kg]$,

v a fonalvég sebessége a vizsgált helyen $[m/s]$.

Az 5.2. ábrán látható laboratóriumi mérőpadon mértem a folyamatos légáramba helyezett 80 tex-es multifilament vetülékre ható felületi súrlódási erőt.

5.3. Mérési eredmények ismertetése

Az 5.2.1. pontban ismertetett mérési leírás alapján megmértem a fonal 0,1 km hosszúságának tömegét, amelyre 8 g kaptam, majd behelyettesítettem az (5.1) egyenletbe.

$$T = \frac{m_t}{l_t} = \frac{8}{0,1} = 80 \text{ tex} = 80 \text{ g / km} \quad (5.17)$$

A vizsgált vetülék lineáris sűrűségére 80 tex értéket kaptam.

Ezt követően a mikroszkópos felvétel alapján a fonalátmérőket mértem és az 5.1. táblázatban foglaltam össze a mérési eredményeket.

5.1. táblázat. Fonalátmérők a mérési helyeken

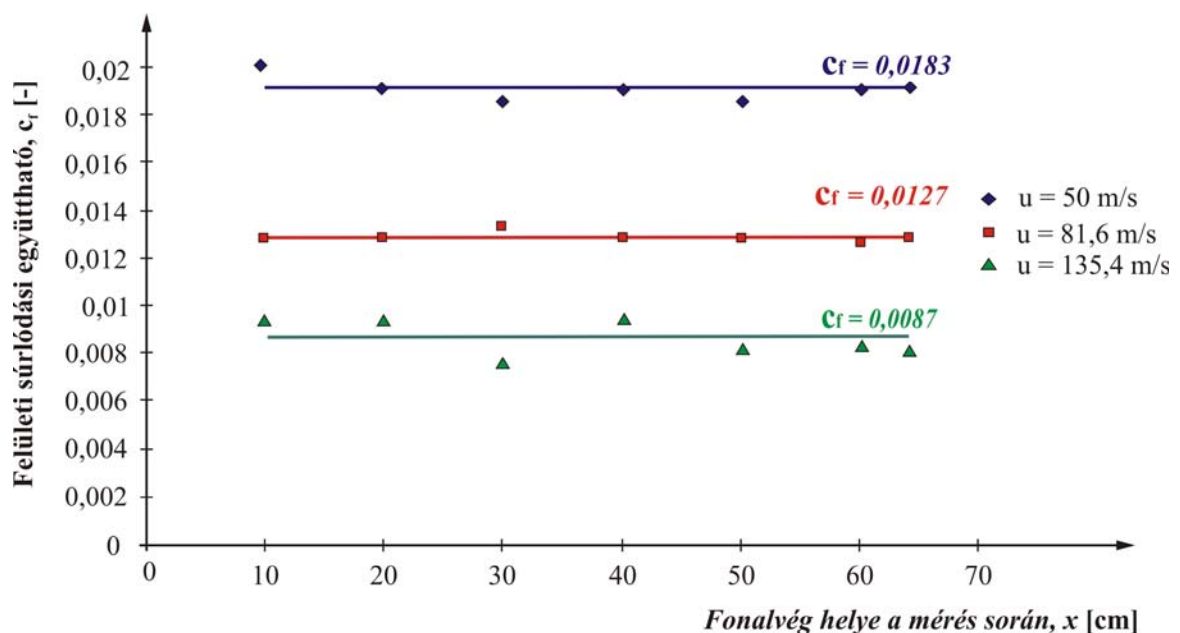
Mérés sorszáma [-]	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.
Mért fonalátmérő [$\cdot 10^{-4}$ m]	5,65	6,98	5,96	7,12	6,45	6,12	5,42	6,92	6,12	6,66

Az 5.1. pontban ismertetett alapján 50 m/s; 81,6 m/s és 135,4 m/s légsebességek és különböző fonalhosszúságok esetén meghatároztam a vizsgált vetülék felületi súrlódási együtthatóit. A mérési eredményeket az 5.2. táblázat tartalmazza.

5.2. táblázat. Felületi súrlódási együtthatók alakulása különböző légsebességek esetén

Mérési hely x [cm]	Felületi súrlódási együttható c_f [-]		
	$u = 50$ m/s	$u = 81,6$ m/s	$u = 135,4$ m/s
10	0,0211	0,0127	0,0091
20	0,0184	0,0127	0,0091
30	0,0174	0,0136	0,0083
40	0,0181	0,0126	0,0091
50	0,0170	0,0126	0,0086
60	0,0180	0,0124	0,0087
64	0,0184	0,0126	0,0085

Az 5.2. táblázatban a számolt felületi súrlódási együtthatókat ábrázoltam a mérési hely függvényében. A 5.6. ábra a felületi súrlódási együttható (c_f) és az állandó légsebességek közötti kapcsolatot ábrázolja $u = 50$; $81,6$ és $135,4$ m/s légsebesség értékeknél különböző hosszúságú multifilament (80 tex) vetülék esetén.



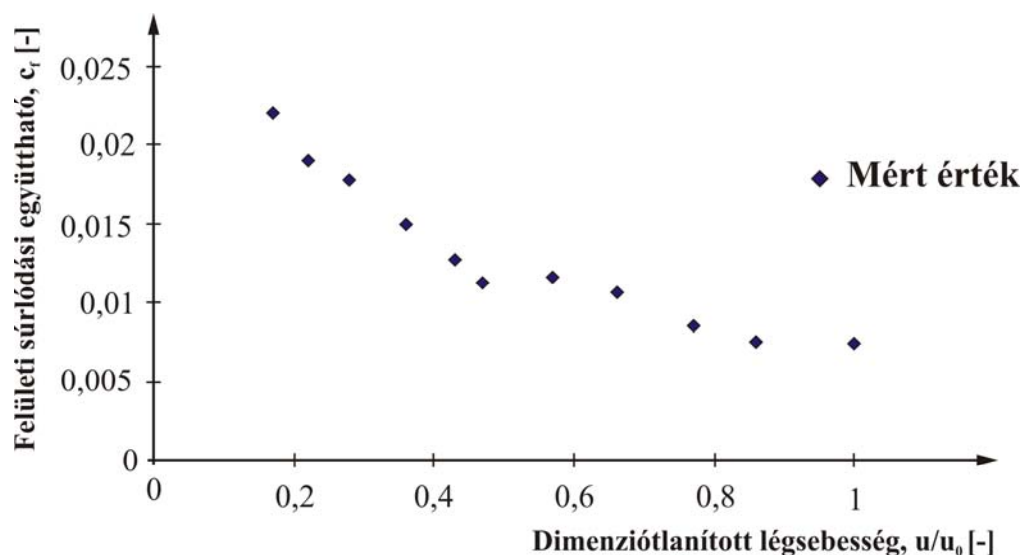
5.6. ábra. Felületi súrlódási együttható változása három állandó légsebesség esetén

A légtartály nyomásának változtatásával 30 - $174,3$ m/s légsebesség tartományában álló 640 mm hosszúságú vetülékre megmértem a felületi súrlódási erőket (5.1. ábra). Ezt követően az (5.12) és (5.11) összefüggés alapján számoltam a felületi súrlódási együtthatókat, amelyeket az 5.3. táblázat tartalmazza.

5.3. táblázat. Felületi súrlódási együttható értékei különböző sebességek esetén

Levegő sebessége u [m/s]	Dimenziótlanított sebesség u/u_0 [-]	Erő F_f [$\cdot 10^{-2}$ N]	Felületi súrlódási együttható c_f [-]
30	0,17	1,5	0,022
39	0,22	2,25	0,019
50	0,28	3,4	0,0183
63	0,36	4,5	0,015
76,3	0,43	5,5	0,0127
81,6	0,47	5,75	0,012
100	0,57	9	0,013
115,4	0,66	11	0,0108
135,4	0,77	12	0,0087
150	0,86	13	0,0076
$u_0 = 174,3$	1,0	15	0,0074

Az 5.3. táblázat eredményeit felhasználva és a levegő sebességét u_0 -al dimenziótlanítva kaptam az 5.7. ábrán látható függvényt, amely a c_f értékeit szemlélteti különböző (u/u_0) dimenziótlan légsebességek függvényében.



5.7. ábra. Dimenziótlan felületi súrlódási együttható változása a dimenziótlanított légsebesség függvényében

Az 5.2. ábrán látható mérési elrendezés alapján megmértem a zárt műanyag konfúzor lamelláiban stacionárius légáramba helyezett álló vetülékre ható erőt 0,3 MPa tartály-

nyomás esetén (5.4. táblázat). A mért értékeket $K = 0,095 \text{ cN}$ (lásd 5.21 egyenlet) értékkel dimenziótlanítottam, a kapott eredményeket az 5.4. táblázat tartalmazza.

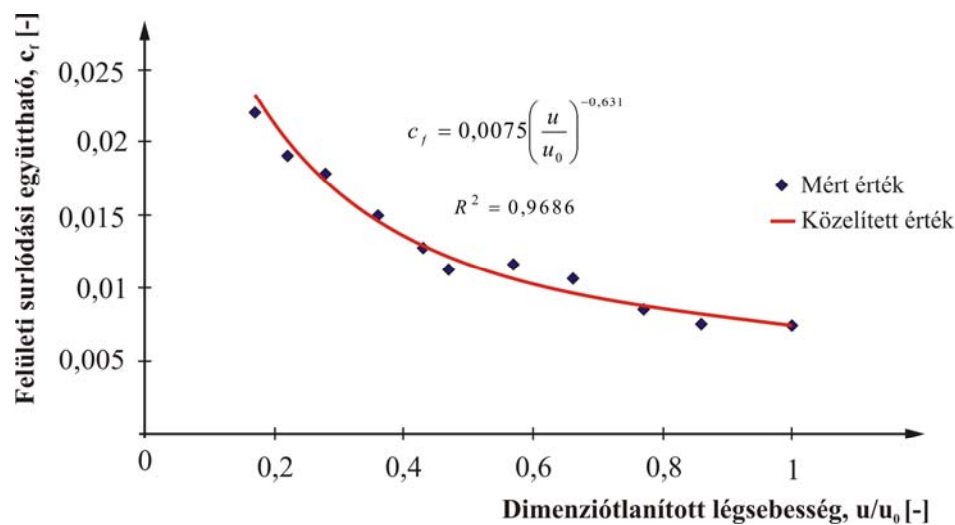
5.4. táblázat. Zárt műanyag konfúzorsorban a vetülékre ható erő

Bevetett vetülék hossza $x \text{ [cm]}$	Dimenziótlanított távolság $x/r_0 \text{ [-]}$	Mért erő $F_f \text{ [cN]}$	Dimenziótlanított erő $F^* \text{ [cN]}$
0	0	2	21
5	14,2	4	42
10	28,5	5,5	57,9
20	57,1	6,5	68,4
30	85,7	8	84,2
40	114,3	9	94,7
60	171,4	9,5	100
80	228,6	10	105,2
100	285,7	10,5	110,5
120	342,8	11,2	117,9
140	400	11,5	120
160	457	11,5	121

5.4. Mérési eredmények feldolgoása és az ezekből levonható következtetések

Az 5.6. ábrából látható, hogy a felületi súrlódási együttható függ a légsebességtől, de független a légáramba fektetett vetülék hosszától.

Az 5.7. ábrán látható mérési ponthalmaz alapján a $c_f = f\left(\frac{u}{u_0}\right)$ függvénykapcsolat meghatározására hatványfüggvény közelítést alkalmaztam (5.8. ábra).



5.8. ábra. A felületi súrlódási együttható változása hatványközelítés esetén

Az 5.8. ábrából leolvasható a $c_f = f\left(\frac{u}{u_0}\right)$ függvénykapcsolatot leíró közelítő hatványfüggvény:

$$c_f = 0,0075 \left(\frac{u}{u_0}\right)^{-0,63}. \quad (5.17)$$

A felületi súrlódási együttható a sebesség növekedésének függvényében csökken, amelynek magyarázata, hogy a növekvő sebesség megváltoztatja a vetülékfonal tulajdonságait:

- a felületi jellemzőit,
- a keresztmetszetének alakját.

A továbbiakban azt vizsgáltam, hogy a konfúzor lamellákkal fenntartott légáramba fektetett álló vetülékre ható erő (5.4. táblázat), amelyet mértem milyen kapcsolatban van az elméletileg meghatározható vetülékre ható felületi súrlódási erővel. Az (5.14) egyenletbe behelyettesítve a $v = 0$ vetüléksebességet visszakaptam az (5.7) egyenletet:

$$dF_f = \frac{1}{2} \rho \cdot c_f \cdot D \cdot \pi \cdot u^2 \cdot dx. \quad (5.18)$$

Zárt műanyag lamellákkal esetén az $\left(\frac{u}{u_0}\right)$ dimenziótlan sebességeloszlásra az alábbi zárt alakú függvénykapcsolatot kaptam (4.4) összefüggés alapján:

$$\left(\frac{u}{u_0}\right) = \frac{a_m \left(\frac{x}{r_0}\right)^2 + c_m \left(\frac{x}{r_0}\right) + b_m}{\left(\frac{x}{r_0}\right)} = a_m \left(\frac{x}{r_0}\right) + b_m \left(\frac{r_0}{x}\right) + c_m \quad (5.19)$$

ahol az állandók zárt műanyag konfúzor lamellákkal (4.4. pont alapján):

$$a_m = -0,0004$$

$$b_m = 5,288$$

$$c_m = 0,3243$$

$$r_0 = \frac{d_0}{2} = 3,5 \text{ mm},$$

$$u_0 = 174,3 \text{ m/s}, \text{ a lamellásor elején mérhető sebesség, } p_t = 0,3 \text{ MPa esetén.}$$

Az (5.18) egyenletet u_0 és r_0 értékekkel dimenziótlantva:

$$dF_f = \frac{1}{2} \rho \cdot D \cdot \pi \cdot u_0^2 \cdot r_0 \cdot c_f \cdot \left(\frac{u}{u_0} \right)^2 \cdot d \left(\frac{x}{r_0} \right). \quad (5.20)$$

Majd figyelembe véve a (5.18) egyenletet, amit behelyettesítve c_f helyébe kapjuk:

$$dF_f = \underbrace{\frac{1}{2} \rho \cdot D \cdot \pi \cdot u_0^2 \cdot r_0 \cdot 0,0075}_{K=0,95 \cdot 10^{-3} \text{ N}} \cdot \left(\frac{u}{u_0} \right)^{-0,63} \cdot \left(\frac{u}{u_0} \right)^2 \cdot d \left(\frac{x}{r_0} \right) = K \cdot \left(\frac{u}{u_0} \right)^{1,37} d \left(\frac{x}{r_0} \right), \quad (5.21)$$

ahol:

$$K \text{ az áramlásba helyezett vetülékre jellemző konstans} \quad [-]$$

és abban az esetben, ha:

$$\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3,$$

$$D = 6,34 \cdot 10^{-4} \text{ m},$$

$$u_0 = 174,3 \text{ m/s},$$

$$r_0 = 3,5 \cdot 10^{-3} \text{ m},$$

$$\text{akkor } K = 0,95 \cdot 10^{-3} \text{ [N]}.$$

$$\text{A } z = \left(\frac{x}{r_0} \right) \text{ helyettesítéssel, és műanyag lamellásort vizsgálva a vetülékfonalra ható ele-}$$

mi erőt az alábbi összefüggéssel számolhatjuk:

$$dF_f = K \cdot \left(a_m z + \frac{b_m}{z} + c_m \right)^{1,37} dz. \quad (5.22)$$

Az (5.22) egyenletet mindkét oldalát integrálva kapjuk:

$$\int_{F_{z_0}}^{F_z} dF_f = \int_{z_0}^z K \cdot \left(a_m z + \frac{b_m}{z} + c_m \right)^{1,37} dz. \quad (5.23)$$

Az (5.23) egyenletből kapjuk:

$$F_f(z) - F_f(z_0) = K \cdot \int_{z_0}^z \left(a_m z + \frac{b_m}{z} + c_m \right)^{1,37} dz. \quad (5.24)$$

ahol:

$$F(z_0) = F_0 \quad z_0 = 0 - \text{nála légvezetési mód kezdeténél a vetülékre ható mért erő} \\ \text{[N]}, \text{ a 4.12. ábrán bemutatott mérés alapján: } F_0 = 2 \cdot 10^{-2} \text{ N.} \\ F(z) = F \quad z > 7,8 \text{ esetén a konfúzor lamellasor tengelyében a vetülékre ható} \\ \text{elméleti felületi súrlódási erő [N].}$$

A (5.24) kifejezést K értékével osztva és (5.19) egyenlet állandóit az (5.24) kifejezésbe behelyettesítve kaptam a dimenziótlánított integrálásra alkalmas egyenletet:

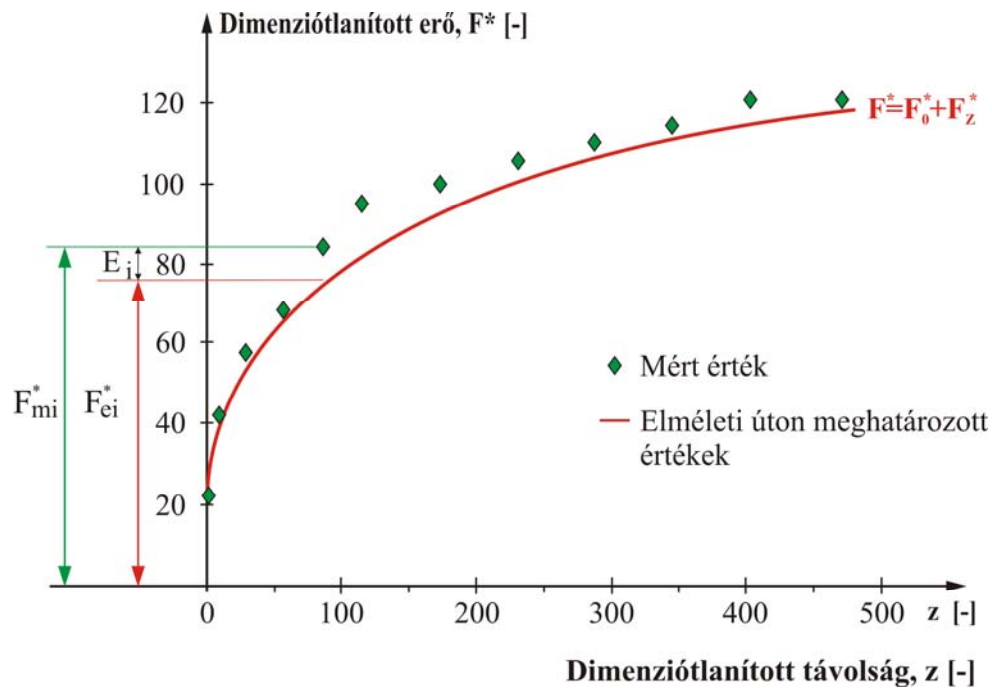
$$F^* = F_0^* + \underbrace{\int_{z_0}^z \left(-0,0004z + \frac{5,288}{z} + 0,3243 \right)^{1,37} dz}_{F_z^*} = F_0^* + F_z^* \quad (5.25)$$

ahol:

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

Maple programmal végeztem el az (5.25) egyenlet integrálását (11. melléklet).

Az 5.9. ábrán látható folyamatos légáramba helyezett multifilament 80 tex-es vetülékre ható dimenziótlánított mért erők alakulását mutatja zárt műanyag konfúzor lamellasor (5.4. táblázat) esetén összehasonlítva az (5.25) összefüggésből számolt értékekkel.



5.9. ábra. Zárt műanyag lamellakor esetén a mért és elméleti értékek összehasonlítása

Az 5.9. ábrán látható mért és a közelített elméleti értékekből meghatároztam a mérési helyekhez tartozó eltéréseket (E_i), amelyeket az 5.5. táblázat tartalmazza.

5.5. táblázat. Mért - és számolt értékek eltérése $\left(\frac{x}{r_0}\right)$ függvényében

Mérési hely, $i [-]$	Dimenziótlanított távolság $x / r_0 [-]$	Mért érték, $F_{mi}^* [-]$	Elméleti érték, $F_{ei}^* [-]$	Eltérés, $E_i [-]$	Viszonyszám $V_i [-]$
1	14,3	42,1	41,5	0,6	0,985
2	28,6	57,9	54,3	3,6	0,937
3	57,2	68,4	67,5	0,9	0,986
4	85,8	84,2	78,1	6,1	0,927
5	114,4	94,7	84	10,7	0,88
6	171,6	100	94,7	5,3	0,947
7	228,8	105,3	101,5	3,7	0,964
8	286	110,5	108	2,5	0,977
9	343,2	117,1	115,6	1,5	0,987
10	400,4	121	118	3	0,975
11	471,4	121	120	1	0,991

Az 5.5. táblázat 3. és 4. oszlopának adataiból meghatározhatóak az eltérések:

$$E_i = F_{mi}^* - F_{ei}^*, \quad (5.26)$$

ahol:

E_i	a mérési helyhez tartozó eltérés (5.5. táblázat 5. oszlop)	[-],
F_{mi}^*	a mért érték	[-],
F_{ei}^*	a mérési helyhez tartozó számolt elméleti érték	[-].

Az ($n = 11$) eltérésekből kiszámítottam az átlagukat:

$$\bar{E} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n E_i, \quad (5.27)$$

ahol:

$\bar{E}$	az eltérések átlaga	[-]
	esetemben $\bar{E} = 3,53$	[-].

A mért –, és a számolt értékek közötti eltérések elemzésére bevezettem a viszonyszámot:

$$V_i = \frac{F_{ei}^*}{F_{mi}^*}, \quad (5.28)$$

ahol:

V_i	a mérési helyhez tartozó viszonyszám (5.5. táblázat 6. oszlop)	[-].
-------	--	------

Az (5.28) kifejezéshez hasonlóan meghatároztam a viszonyszámok átlagát. Mivel méréseim száma $n < 30$, ezért a módosított tapasztalati szórást alkalmaztam:

$$S_V^* = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (V_i - \bar{V})^2}{n-1}}, \quad (5.29)$$

ahol:

S_V^*	a mérési helyekhez tartozó viszonyszámokból számított korrigált tapasztalati szórás [-], amely esetben 0,0342-re adódott,
$\bar{V}$	a viszonyszámok átlaga [-].

A viszonyszámok módosított tapasztalati szórásának értéke kicsi, tehát a számolt értékek jól közelítik a mérési eredményeket. Ez alapján kijelenthető, hogy az F_0 megmérésével

jó közelítéssel meghatározható a vetülékre ható erő z -től függően a műanyag konfúzor lamellasor légcsatornájában, amennyiben ismert:

- a vizsgált légvezetési módra meghatározott dimenziótlan sebességeloszlás (4.4. fejezet),
- a vetülékátmérő és felületi súrlódási együttható.

Általánosan megállapítható, hogy a vetülékre ható felületi súrlódási erő függ:

- az alkalmazott tartálynyomás nagyságától, amely meghatározza a főfúvóka kilépési keresztmetszetében a légsebességet,
- a légvezetési módtól,
- a bevetett vetülék hosszától a konfúzor lamellasorban, kb. $x = 170$ cm-ig,
- a vetülék finomságától, átmérőjétől,
- a vetülék felületének tulajdonságától,
- a vetülék felületi súrlódási együtthatójától.

6. Profilbordás segédfűvókás légsugaras szövőgép laboratóriumi vizsgálata

A 3.3. fejezetben bemutatott profilbordás légsugaras szövőgép laboratóriumi vizsgálatára az Óbudai Egyetem Textiltechnológiai Műhelyében egy mérőpadot állítottam össze (6.1. és 6.2. ábrák).

6.1. Mérőrendszer és mérési módszerek

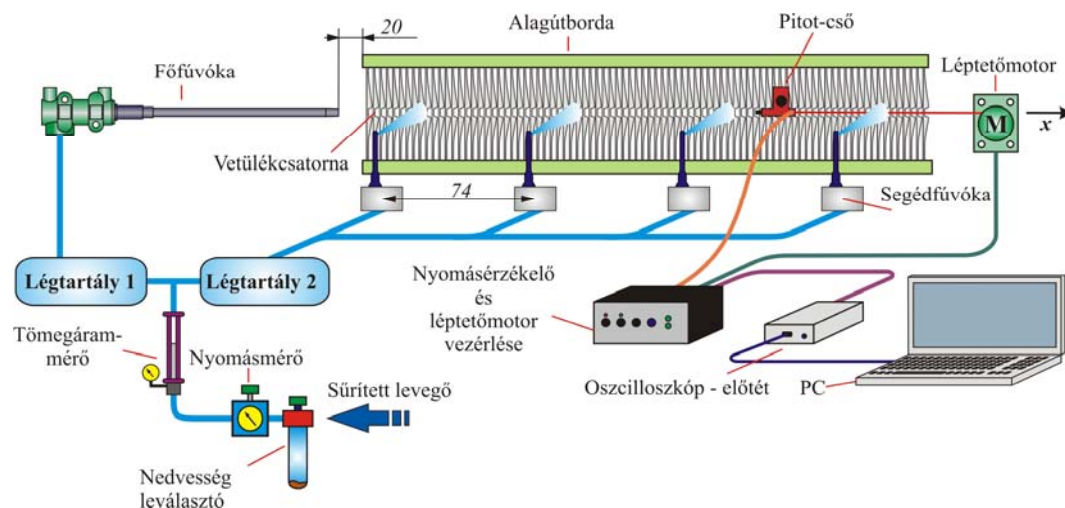
Az összeállított mérőpad (6.1. ábra) alkalmas a profilborda vetülécsatornájában kialakuló sebességeloszlást befolyásoló tényezők modellezésére és mérésére. A mérési összeállítás során gondoskodtam az elemek helyzetének megváltoztatásának és cseréjének lehetőségéről.



6.1. ábra. A laboratóriumi mérőpad a profilborda tengelyében kialakuló áramlási sebesség mérésére

A kialakított mérőrendszer (6.1 és 6.2. ábra) az alábbi fő elemeket tartalmazza:

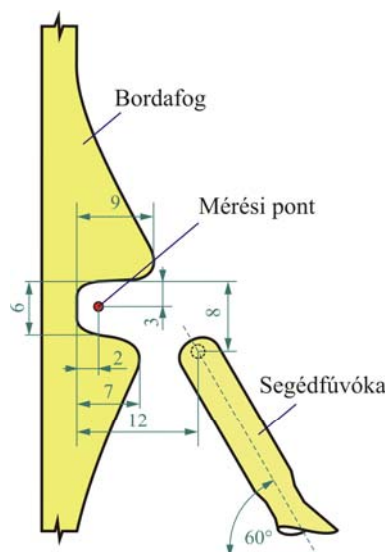
- WAN-CE típusú dugattyúskompresszor 115 literes légtartállyal,
- főfűvóka és egyenként vezérelhető segédfűvókák
- GEMÜ RTS légfogyasztás(tömegáram)mérő,
- alagútbordában léptetőmotorral mozgatott Pitot-cső,
- 140PC (PK 8763 9) nyomásérzékelő és léptetőmotor vezérlés,
- USB-s DSO 2090 oszcilloszkóp-előtét USB-s csatlakozással a számítógéphez.



6.2. ábra. Profilborda légsugaras szövőgép sebességeloszlásának-és légfogyasztásának mérésének elvi elrendezése [55]

Laboratóriumi mérések során a főfűvőka gyorsítócsövének (3.10. ábra) kilépési keresztmetszete 20 mm-re lett elhelyezve a profilborda elejétől (6.2. ábra), amely megegyezik a valós, ipari beállítással. Az összeállított mérőpadon (6.2. ábra) az első segédűvőkát 5 mm-re helyeztem el a bordaládán a profilborda kezdetétől, a további segédűvőkat egymástól 74 mm-re helyeztem el. Laboratóriumi viszonyok között vizsgáltam a főfűvőka, a 19 lyukú és egylyukú segédűvőkat a 6.1. és 6.2. ábrákon látható mérési összeállítással.

A 6.3. ábra a profilborda és a segédűvőka helyzetét ábrázolja. A Pitot-cső dinamikus nyomást érzékelő pontja megegyezik a mérési ponttal.



6.3. ábra. Mérési pont helyzete a vetülécsatornában [70]

A 140PC nyomásérzékelő a dinamikus nyomással arányos villamos jelet állított elő. A nyomásérzékelő karakterisztikájából (5. melléklet) meghatároztam a villamos feszültség-változással arányos dinamikus nyomást.

A nyomásérzékelő által mért dinamikus nyomás nagysága:

$$\Delta p = \frac{\Delta U}{6,25} 1,034 \cdot 10^5 \quad (6.1)$$

ahol:

Δp a légsebességgel arányos dinamikus nyomásváltozás [Pa],

ΔU a dinamikus nyomással arányos feszültségváltozás [V].

A dinamikus nyomásból a 4.1. fejezet (4.2) összefüggése alapján számoltam a kialakult légsebességet a vetülékcatorna mérési pontjában.

6.2. Mérés leírása

A vetülékcatornában kialakuló áramlás jellemzőinek kezdeti feltevései azonosak a 4.2. pontban ismertetettekkel. A 3.9. ábrán látható főfúvóka által létrehozott áramlási viszonyt az alábbiak alapján határoztam meg. Az érzékelő Pitot-csövet a borda kezdetétől állandó $17,6 \text{ cm/s}$ sebességgel mozgatta a léptetőmotor a profilborda vetülékcatornájában. Az összehangolt mérőrendszerrel (6.2. ábra) a vetülékcatorna x tengelyében folyamatos méréssel mértem a főfúvóka által létrehozott légsebesség változást különböző tartálynyomások esetén. Az adatokat táblázatba foglaltam (az adatok nagy száma miatt a mérési eredmények a mellékletben találhatók), majd ábrázoltam őket a bordaszélesség függvényében

A nagy bordaszélességű bevetést a borda tengelye mentén elhelyezett sűrű, de kis hatótávolságú légáramlást létrehozó különböző kialakítású (3. 16. ábra) segéd-fúvókákkal valósítják meg. A segéd-fúvókák légáramának iránya a vetüléknek az alagútcatornában való benntartását is elősegítik. Ezt követően a 6.2. mérési összeállítás alapján mértem a főfúvóka és a segéd-fúvókák együttes működése során létesített légsebességeket, valamint a légfogyasztásukat. A mérési eredményeket rögzítettem és ábrázoltam a 6.3. pontban.

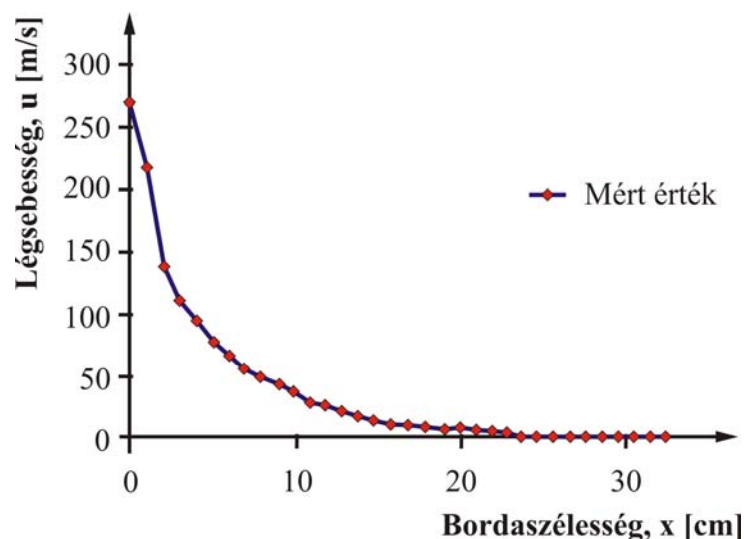
6.3. Mérési eredmények ismertetése

A 6.1. táblázat a bordaszélesség kezdeti szakaszában kialakult légsebességek mért értékeit tartalmazza 0,5 MPa tartálynomás esetén (a 6. melléklet mutatja részletesebben a mérési eredményeket). A nagyszámú mérési eredmények terjedelme miatt az eredményeket a 12. mellékletben található Excel makro program segítségével átlagoltam.

6.1. táblázat. Légsebességek alakulása 0,5 MPa tartálynomás esetén

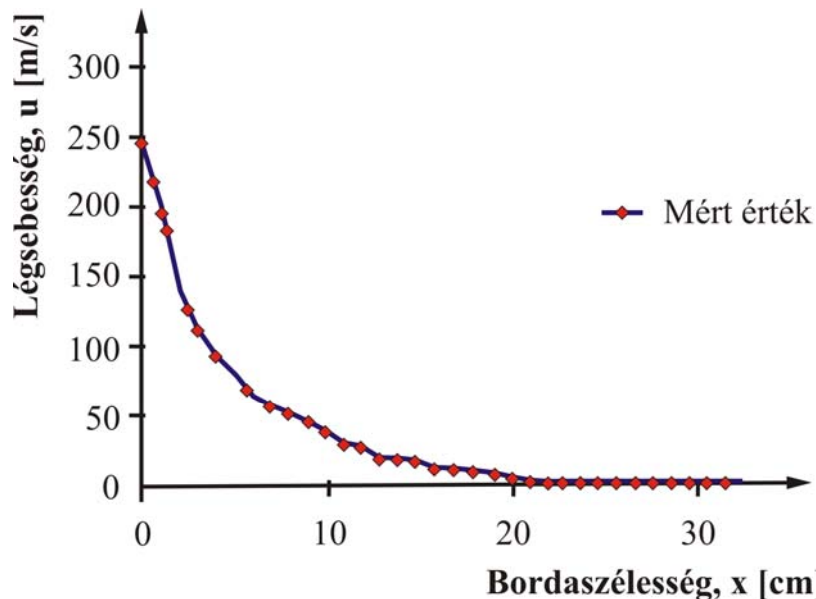
Bordaszélesség x [cm]	Feszültség ΔU [V]	Din. nyomás Δp [Pa]	Légsebesség u [m/s]
0	2,64	44010,42	270,83
0,98	1,72	28645,83	218,5
1,97	0,67	11197,92	136,61
2,95	0,44	7291,67	110,24
3,94	0,33	5468,75	95,47
4,92	0,22	3645,83	77,95
5,91	0,16	2604,17	65,88
6,89	0,11	1822,92	55,12
7,88	0,09	1562,5	51,03
8,86	0,06	1041,67	41,67
9,84	0,05	781,25	36,08
10,83	0,03	520,83	29,46

A 6. melléklet mérési eredményeit kirajzoltatva a 6.4. ábra szemlélteti.



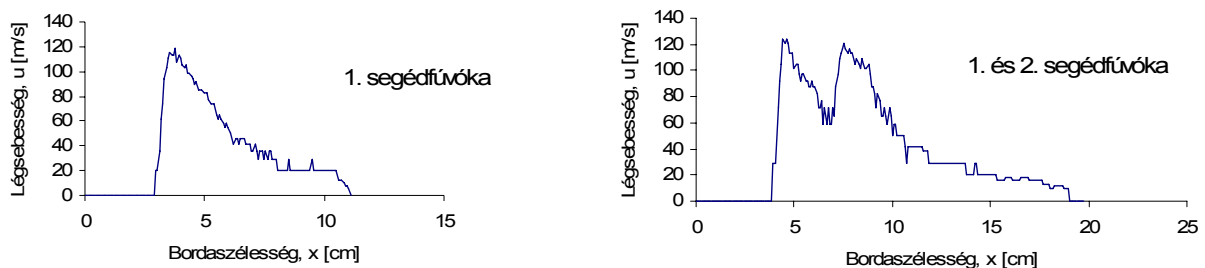
6.4. ábra. Az alagútborda tengelyében a főfűvóka által létrehozott légsebesség alakulása 0,5 MPa tartálynomás esetén

A kompresszor tartálynyomását 0,4 MPa-ra csökkentettem. A mérési eredményeket a 7. melléklet tartalmazza. A mérési eredmények alapján a sebességeloszlást a bordaszélesség mentén a 6.5. ábra mutatja.



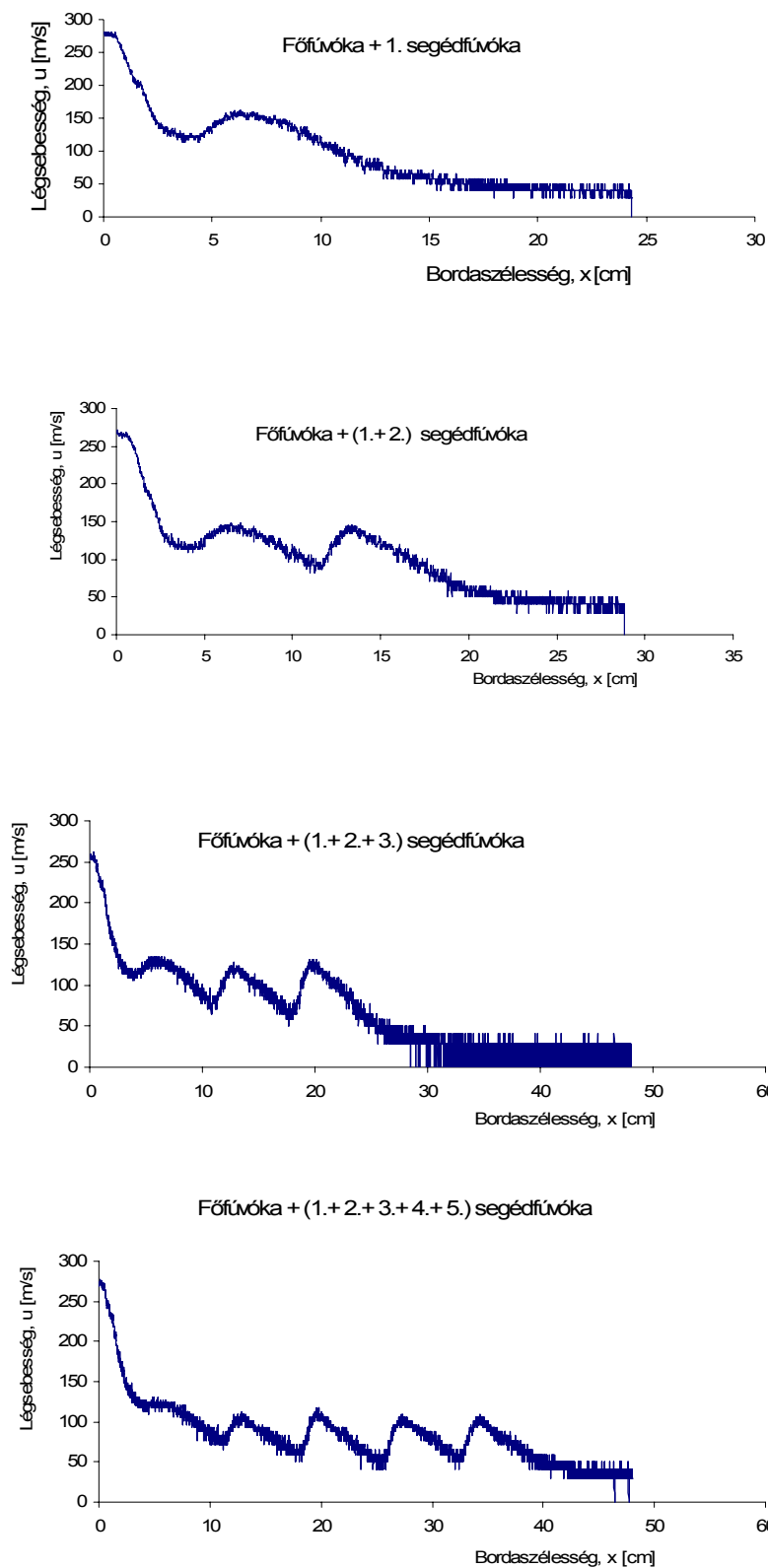
6.5. ábra. Az alagútborda tengelyében a főfúvóka által létrehozott légsebesség alakulása 0,4 MPa tartálynyomás esetén

A bordaszélesség mentén a kialakult áramlási viszonyokat egy és kettő segédfúvóka esetén a 6.6. ábra szemlélteti, amelyek a 8. melléklet JPG ábra adatai alapján készültek.



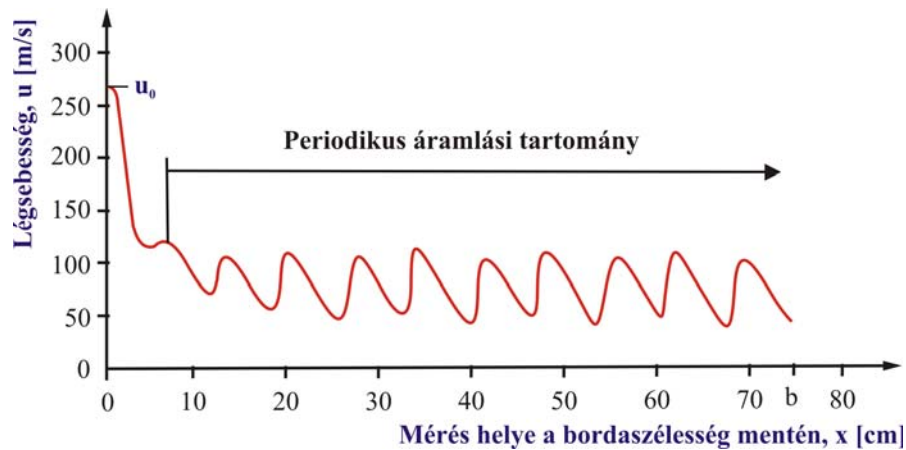
6.6. ábra. Légsebesség alakulás a vetülécsatornában 1. és 2. segédfúvóka által $p_t = 0,5$ MPa tartálynyomás esetén

A 9. melléklet a főfúvóka és a segédfúvókák (segédfúvóka csoportok) által létesített mért áramlási sebességekkel arányos feszültségváltozások jellegét mutatja. A 9. melléklet eredményeit ábrázolva a légsebességek alakulását a 6.7. ábra együttes szemlélteti.



6.7. ábra. A főfúvóka fenntartott légárama segédfúvókákkal a vetülékcatornában
 $p_t = 0,5 \text{ MPa}$ tartálynyomás esetén

Tovább növeltem a bordaszélesség mentén a működtetett segédfűvókák számát. A 10. melléklet a főfűvóka és 10 segédfűvóka által fenntartott légsebességek mérési eredményeinek kirajzolását szemlélteti Microsoft Excel program alkalmazásával. A légsebességek alakulását mutatja a bordacsatorna mentén a 6.8. ábra a 10. melléklet alapján.

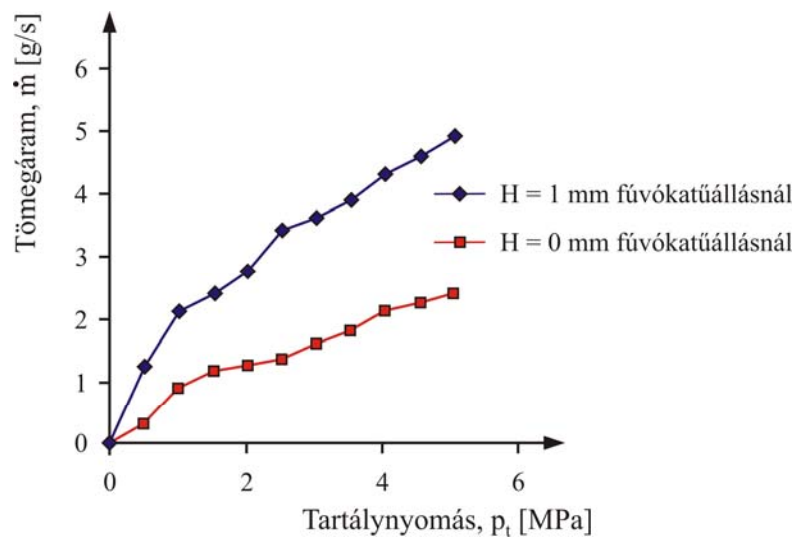


6.8. ábra. A főfűvóka és 10 segédfűvóka által létrehozott légsebesség eloszlás $p_t = 0,5 \text{ MPa}$ tartálynyomás esetén

Megmértem a főfűvóka légfogyasztását különböző tartálynyomások és a fűvókatű két helyzetében (3.9. ábra). A mérési eredményeket a 6.2. táblázat és 6.9. ábra mutatja.

6.2. táblázat. Főfűvóka légfogyasztása különböző tartálynyomások esetén

Tartálynyomás $p_t [\text{MPa}]$	Tömegáram $\dot{m} [\text{g} / \text{s}]$	
	H = 1 mm	H = 0 mm
0,5	4,9	2,4
0,45	4,6	2,25
0,4	4,3	2,1
0,35	3,9	1,8
0,3	3,6	1,6
0,25	3,4	1,35
0,2	2,75	1,25
0,15	2,4	1,15
0,1	2,1	0,9
0,05	1,25	0,3
0	0	0

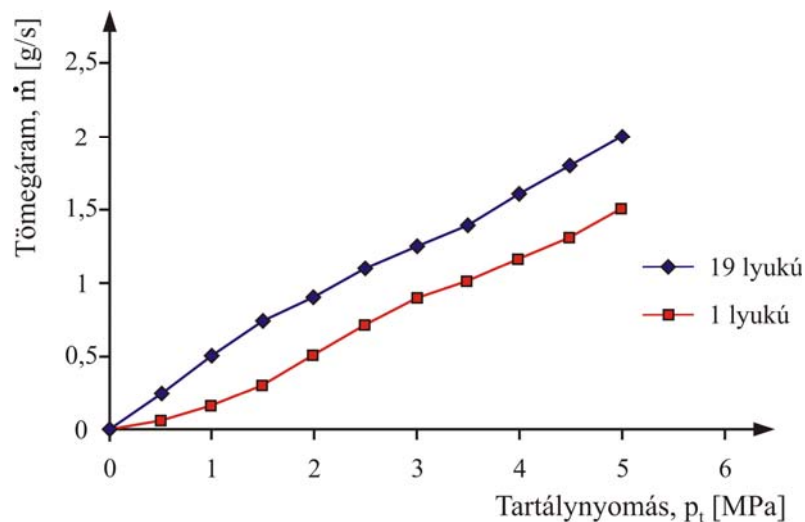


6.9. ábra. A vizsgált főfúvóka tömegárama a fúvókatű két állásánál

A 6.3. táblázat és a 6.10. ábra az egy- és 19 lyukú segédfúvókák tömegáramát mutatja.

6.3. táblázat. Segédfúvókák légfogyasztása különböző tartálynyomások esetén

Tartálynyomás p_t [MPa]	Tömegáram $\dot{m}$ [g / s]	
	19 lyukú	1 lyukú
0,5	2	1,5
0,45	1,8	1,3
0,4	1,6	1,15
0,35	1,4	1
0,3	1,25	0,9
0,25	1,1	0,7
0,2	0,9	0,5
0,15	0,75	0,3
0,1	0,5	0,15
0,05	0,25	0,05
0	0	0



6.10. ábra. A vizsgált segédfúvókák légfogyasztása

6.4. Mérési eredmények feldolgozása és következtetések

A profilborda belépési keresztmetszetében a légáram sebessége 270,83 m/s 0,5 MPa tartálynnyomáson illetve 246,5 m/s volt 0,4 MPa tartálynnyomás esetén, majd exponenciálisan 22 cm távolság után közel nullára csökkent (6.4. és 6.5. ábrák).

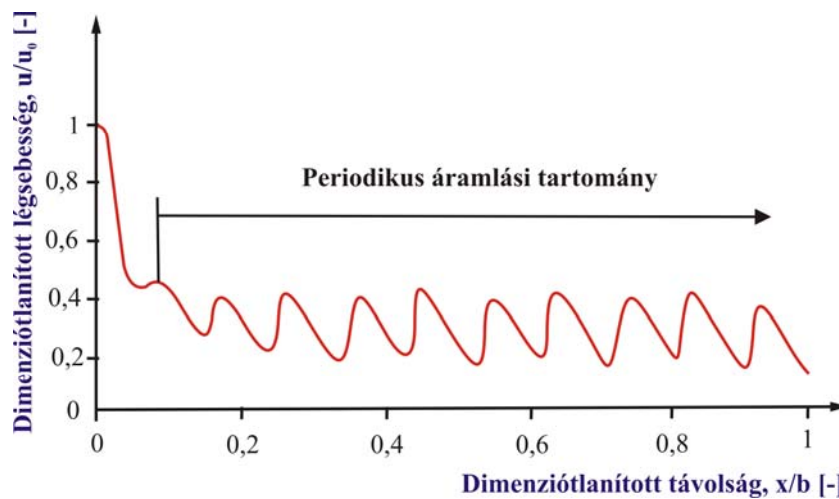
Az első segédfúvóka a hatását a borda kezdetétől 3 cm-re kezdi kifejteni. A segédfúvókából kilépő légáramnak 2,5 cm holttere van a bordacsatorna tengelyéhez képest az áramlás kúposága és segédfúvóka elhelyezése miatt.

A főfúvóka légáramát az U-alakú bordacsatornában segédfúvókákkal tartható fenn (6.7. és 6.8. ábrák). Növelve a bordaszélesség mentén a működtetett segédfúvókák számát megállapítható, hogy az első segédfúvóka légáramától a profilborda vetülékcatornájában az áramlási mező periodikusnak- és a főfúvóka légáramától függetlennek tekinthető (6.8. ábra).

A légsebesség nagysága a profilborda vetülékcatornájának tengelyében két tényezőtől függ:

- a fúvókákat működtető tápnnyomástól,
- a borda kezdeti keresztmetszetétől mért távolságtól.

Az általános áramlási viszonyok leírásához a légsebességeket (6.8. ábra) a borda belépési keresztmetszetében mérhető maximális u_0 sebességgel a bordaszélesség mentén az x távolságot a vizsgált bordaszakasz $b = 74,8 \text{ cm}$ hosszával dimenziótlanítottam, az így kapott dimenziótlan sebességeloszlást a 6.11. ábra szemlélteti a dimenziótlanított távolság függvényében.



6.11. ábra. Dimenziótlanított légsebesség eloszlás a bevetés tengelye mentén

A dimenziótlanított sebességeloszlás a profilborda tengelyében nem fejezhető ki zárt formulával, ezért a Diszkrét Fourier Transzformációt (DFT) használtam a légsebesség közelítő meghatározására a vetülékcatorna tengelye mentén.

Periodikus $f(x)$ függvény Fourier sora általánosan felírható [56]:

$$f(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} \left(a_k \cos \frac{2k\pi}{p}x + b_k \sin \frac{2k\pi}{p}x \right) \quad x \in (0, p) \quad (6.1)$$

ahol Fourier együtthatók a_k és b_k :

$$a_k = \frac{2}{p} \int_0^p f(x) \cos \frac{2k\pi}{p}x dx \quad \text{and} \quad b_k = \frac{2}{p} \int_0^p f(x) \sin \frac{2k\pi}{p}x dx. \quad (6.2)$$

Ebben a diszkrét $k = 0$ esetben határozható meg a_0 Fourier együttható:

$$a_0 = \frac{2}{p} \int_0^p f(x) dx \Rightarrow \frac{a_0}{2} = \frac{\int_0^p f(x) dx}{p} \cong \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} u_i}{u_0} \quad (6.3)$$

ahol:

n azonos távolságú mérési pontok száma, $n = 935$ [-]

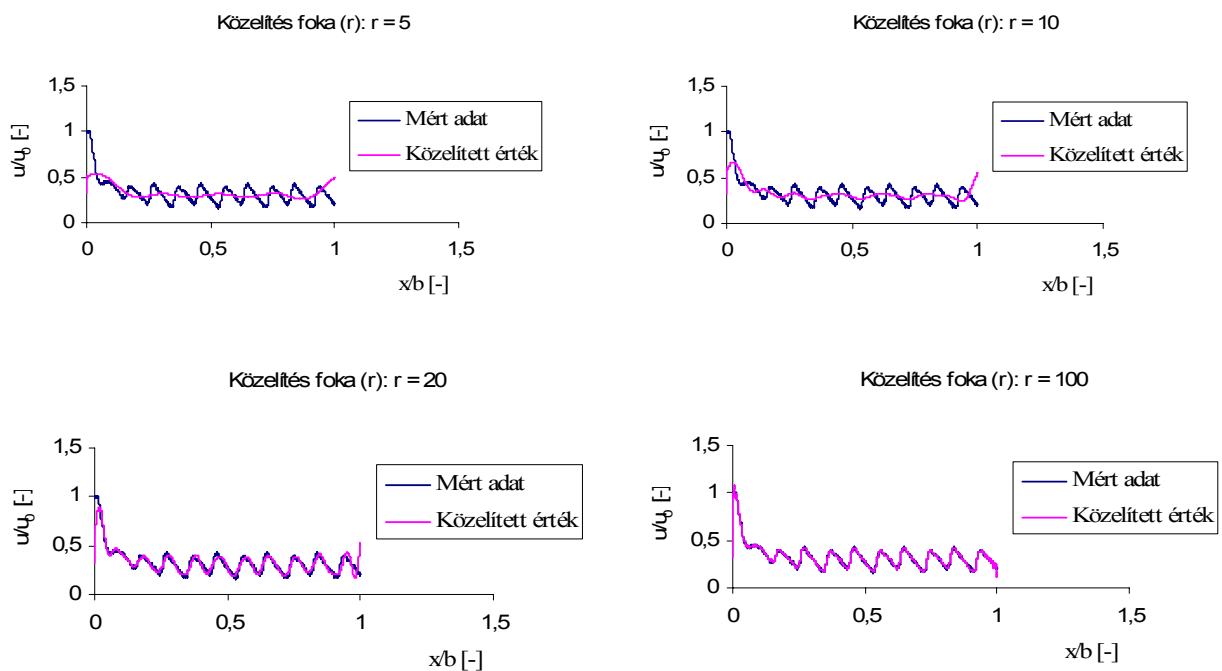
u_i mért sebességek a borda mentén adott lépésközzel $i \cdot \Delta x$ ($\Delta x = 0.08 \text{ cm}$) [m/s].

$$a_k = \frac{1}{u_0} \frac{2}{n} \sum_{i=0}^{n-1} u_i \cos \frac{2\pi k i}{n} \quad \text{és} \quad b_k = \frac{1}{u_0} \frac{2}{n} \sum_{i=0}^{n-1} u_i \sin \frac{2\pi k i}{n} \quad k = 1, 2, \dots, r-1 \quad (6.4)$$

Bevezetve az $y = x/b$ helyettesítést kapjuk a közelített dimenziótlan légsebességeloszlást a borda tengelye mentén:

$$\frac{u(y)}{u_0} \cong \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{r-1} \left[a_k \cdot \cos\left(\frac{2\pi k}{n} y\right) + b_k \cdot \sin\left(\frac{2\pi k}{n} y\right) \right] \quad x \in (0, p) \quad (6.5)$$

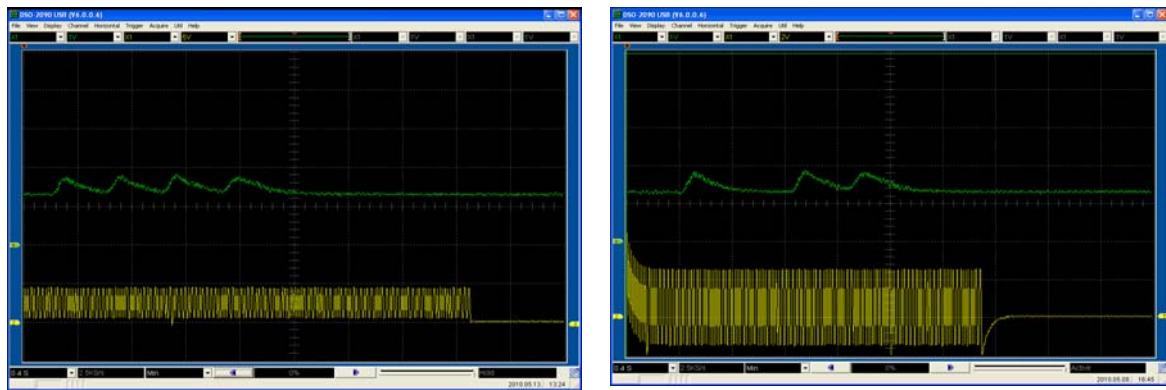
A 6.12. ábra a különböző fokú közelítéseket mutatja a vetülécsatornában mért dimenziótlanított sebességeloszlásra. A közelítő program Excel makro nyelven íródott, amelyet a 13. melléklet mutat be.



6.12. ábra. Fourier approximáció különböző közelítési fokokkal

A 6.12. ábrából megállapítható, hogy $r > 20$ közelítési fokot alkalmazva az áramlási sebességek a vetülécsatorna tengelyében Fourier sorral jól közelíthetők.

Az első segédfűvókacsoport 2. tagját kiiktattam, így áramlási zavar lépett fel a vetülécsatornában, az összeállított mérőrendszerrel azonnal kiszűrhető, amelyet az 6.13. JPG ábra szemléltet.



6.13. ábra. Segédfűvóka csoport helyes működésének ellenőrzése

Ezt a vizsgálatot ipari körülmények között is elvégeztem.

7. Vizsgálatok ipari körülmények között

Az ipari méréseket Csárdaszálláson a Csárda-Tex Kft. telephelyén végeztem el. A szövődében 23 db Dornier profilbordás segédfűvókás légsugaras szövőgép üzemelt (7.1. ábra).



7.1. ábra. Csárda-Tex Kft. szövő csarnoka előtérben a vizsgált szövőgéppel

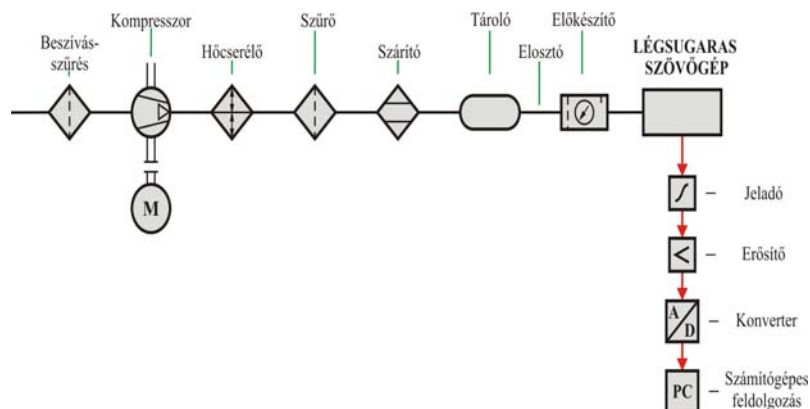
A vizsgált Dornier légsugaras szövőgép főbb jellemzői (7.1. ábra):

- típusa: Dornier ATVF 4/S,
- gépszám: 76154,
- gyártási év: 2003,
- fordulatszám: 500/min,
- bordaszélesség: 180 cm,
- segédfűvókák száma: 24 db.

7.1. Mérőrendszer és a szövőgép légellátási rendszere

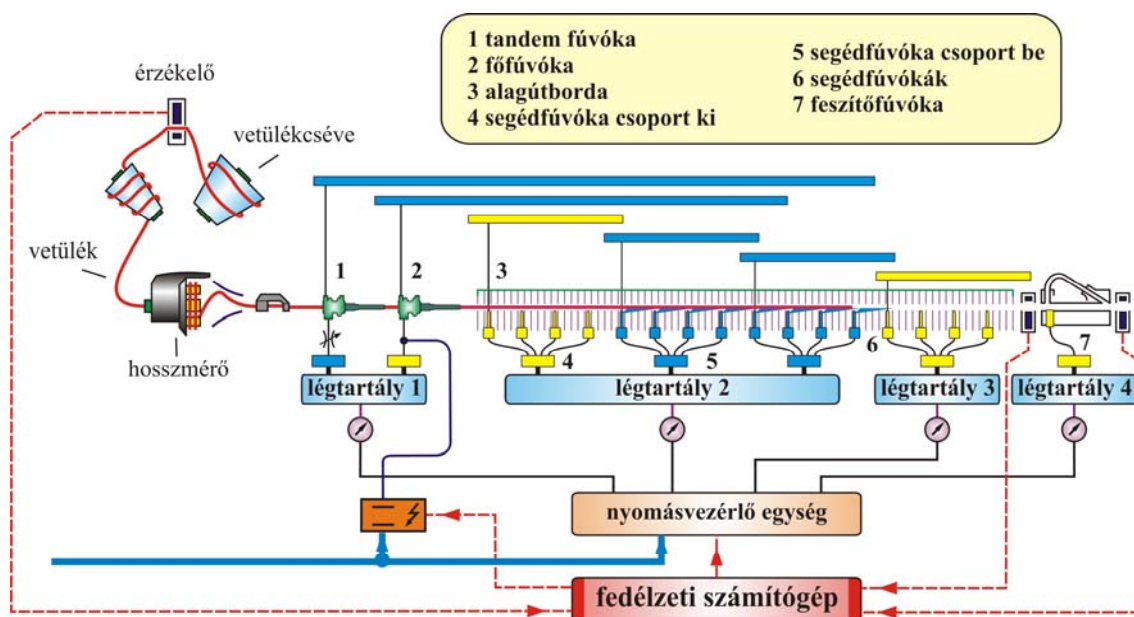
A laboratóriumi vizsgálatok során alkalmazott mérési összeállítás (6.2. ábra) alkalmas az ipari körülmények között üzemelő légsugaras szövőgépek áramlási viszonyainak vizsgálására.

Az üzemcsarnokon kívül elhelyezett kompresszor telepen állítják elő a sűrített levegőt. A központi légtartály nyomása 0,65 MPa. A megfelelően előkészített levegő a 7.2. ábrán látható módon jut el a vizsgált szövőgéphez.



7.2. ábra. Profilbordás légsugaras szövőgép levegő ellátása és mérési módszerének sémája [47]

A vizsgált szövőgép légellátási rendszerét szemlélteti a 7. 3. ábra szemlélteti.



7.3. ábra. A vizsgált szövőgép levegőrendszere [55]

7.2. Mérés leírása

A vizsgált időszakban a fűvókák előtti légtartályok üzemi nyomása $p_{ii} = 0,5$ MPa, amely a vetülék igényeinek megfelelően tetszőlegesen változtatható (7.3. ábra).

A mérést álló gépen hajtottam végre vetülékbefektetése nélkül (7.4. ábra). Üzemelő gépen a mérés a bordaláda periodikus lengése miatt nem lehetséges.



7.4. ábra. Ipari mérés összeállítása

Laboratóriumi körülmények között végrehajtott méréssorozat esetén lehetséges volt, hogy a főfűvóka és segédfűvókák hatását együtt vizsgálni. Az üzemelő gép beállítása miatt csak a főfűvóka és segédfűvóka csoportok áramlástani vizsgálata csak külön-külön lehetett elvégezni. A főfűvóka gyorsítócsövének vége 20 mm-re volt a profilborda belépő keresztmetszete előtt. Az első segédfűvóka 25 mm-re volt rögzítve a bordaládára a borda elejétől mérve, a többi segédfűvókák 74 mm osztásközzel helyezkedtek el egymástól, egy segédfűvóka csoport négy darab egylyukú segédfűvókából állt (7.5. ábra).



7.5. ábra. Segédfűvókák elhelyezése a borda mentén

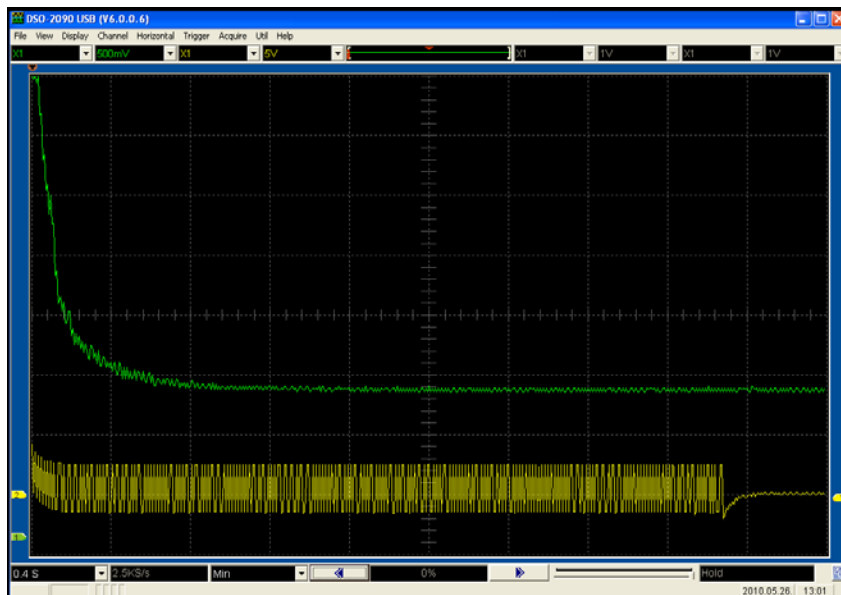
Szimuláltam a 4., 12. és 14. segédfűvóka helytelen, teljesen működésképtelen üzemállapotát és mértem a vetülékcsatornában kialakult torzult sebességeloszlással arányos feszültségváltozásokat (7.6. ábra).



7.6. ábra. Segédfűvókák helytelen üzemállapotának modellezése

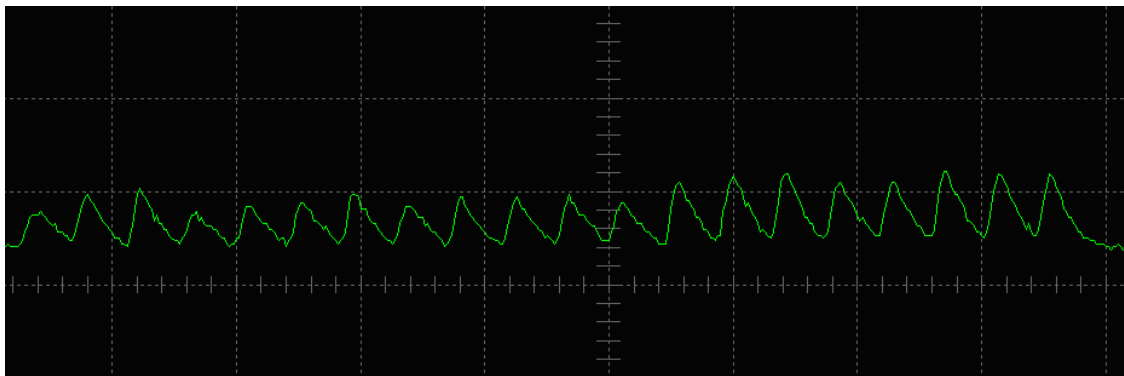
7.3. Mérési eredmények ismertetése

A főfűvóka által létesített légsebesség eloszlással arányos feszültségváltozást szemlélteti a bordacsatornában a 7.7. ábra 0,5 MPa üzemi tápnyomás esetén.



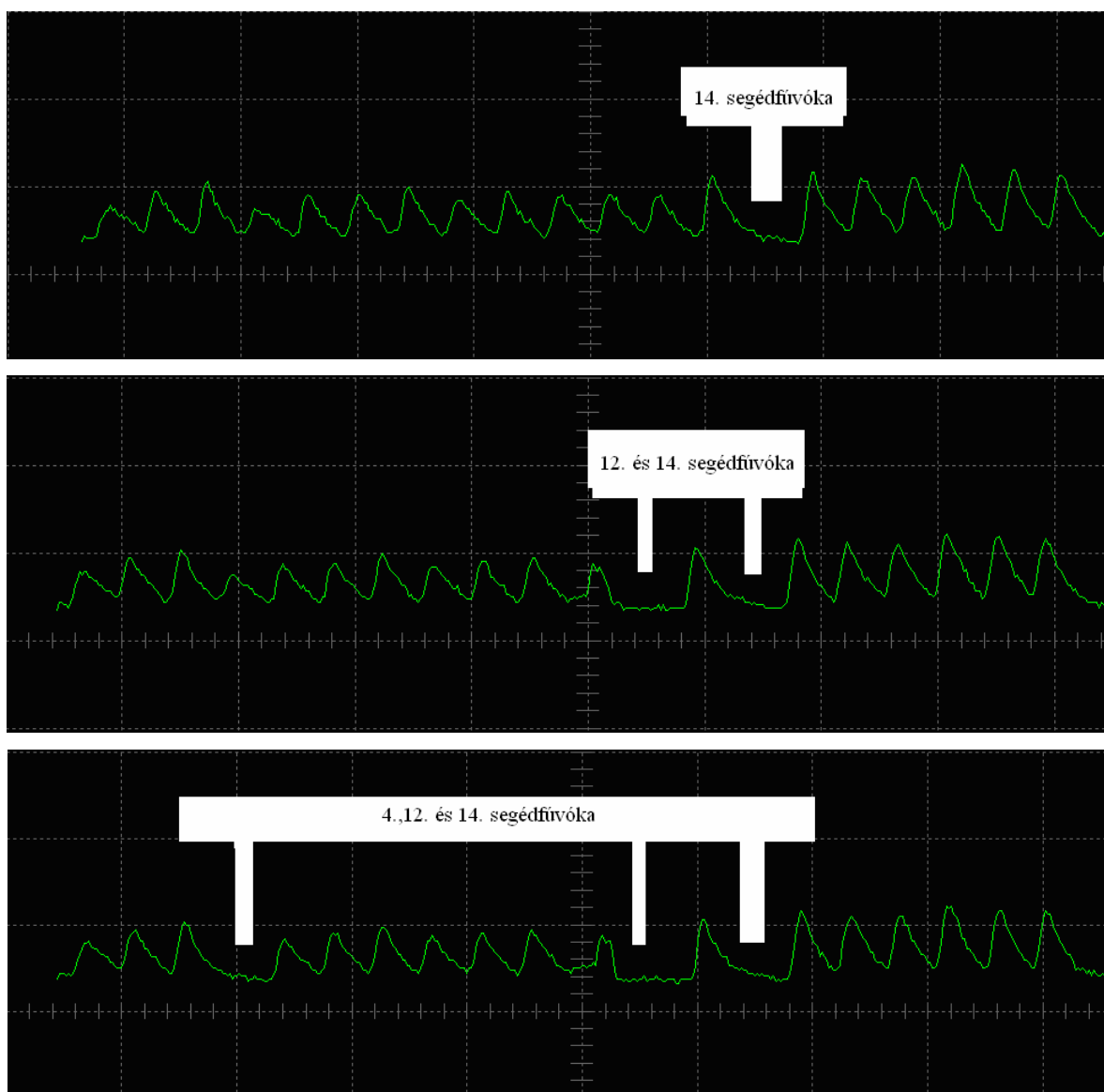
7.7. Dornier légsugaras szövőgép főfűvókájának áramlási képe JPG ábrázolásban

A laboratóriumi megfigyelések alapján bizonyos segédfűvókákat kiiktattam a fenntartott légáram létrehozásában, így vizsgáltam a vetülékcsatornában kialakult áramlási képet. Helyesen beállított fenntartott légáramot a bevetés tengelyében a 7.8. ábra szemlélteti.



7.8. ábra. Helyesen működő segédfűvókák JPG ábrája

A vetüléksatorna mentén elhelyezett segédfűvókák közül kiiktattam a 14., 12. és 4. segédfűvókát. Az így előállt sebességeloszlásokat a 7.9. ábra szemlélteti.



7.9. ábra. Az elvárttól eltérő hibás légáramok a vetüléksatornában

7.4. Mérési eredményekből levonható következtetések

Laboratóriumi körülményekre kidolgozott mérő- ellenőrző rendszer alkalmas üzemelő gépek fűvókáinak áramlási viszonyainak gyors ellenőrzésére. Az eljárás alkalmas kimutatni a fő- és segédűvókák helytelen üzemállapotait, amelyek lehetnek:

- teljes működésképtelenség,
- nem megfelelő tápnyomás,
- kifűvási nyílás elszennyeződése,
- helytelen kifűvási irány

következményei.

8. Vizsgált légsugaras szövőgépek légfogyasztásának összehasonlítása

A légsugaras szövéstechnika elterjedését és gazdaságos üzemeltetését kezdetben a konfúzor lamellásoros, majd a 70-es évek második felétől a profilbordás segédfűvókás gépek kifejlesztése tette lehetővé. A légsugaras szövőgépek vetülékbeviteli teljesítménynövelésének egyik módja a bordaszélesség növelése (a konfúzor lamellásoros gépek $b = 170$ cm bordaszélességig használatosak), ekkor azonban elengedhetetlen a segédfűvókák alkalmazása bordamentén. A légsugaras szövőgépeken a megfelelő kialakítású fő- és segédfűvókákban expandált sűrített levegő légáramával gyorsítják fel, illetve vetik be a vetüléket a vetülékcsatornába. A levegő komprimálása jelentős energiabefektetést igényel, emiatt a szövőgépek üzemeltetési költségeit tekintve döntő fontosságú a sűrített levegő felhasználásának gazdaságossága. A légsugaras vetülékbevetéshez előírt nyomású (min. 0,6 MPa), ingadozásmentes, tiszta (olaj-, kondenzvíz és mechanikai szennyeződésektől mentes) sűrített levegő szükséges. A levegőrendszerrel összefüggő elvárásoknak leginkább a csavarkompresszorok felelnek meg, mivel a levegővel érintkező gépalkatrészeket nem kell kenni [32]. A P jelű és a profilbordás légsugaras szövőgépek levegőigénye az óránkénti normálállapotú levegőszükséglettel megadható, amely több tényezőtől függ:

- a fűvóka kialakításától,
- a légsugár fenntartási módjától,
- a bordaszélességtől,
- a főtengely fordulatszámától, amellyel fordítottan arányos a bevetési idő,
- a bevetett vetülékfonal tulajdonságától,
- a segédfűvóka kialakításától.

Összehasonlítottam az általam vizsgált konfúzor lamellásoros (3.2. fejezet) - és a profilbordás segédfűvókás (3.3. fejezet) légsugaras szövőgép sűrített levegő felhasználását azonos bordaszélesség esetére. Mindkét vetülékbeviteli rendszerű szövőgép fűvókáit 0,5 MPa tartálynomással működtettem. Az összehasonlítás során a szövőgépek főtengelyének fordulatszámát $n = 500/\text{min} \Rightarrow 8,3/s$ választottam, így a főtengely körülfordulásának periódusideje:

$$T_f = \frac{1}{n} = \frac{1}{8,3} = 0,12 \text{ s} = 120 \text{ ms} \quad (8.1)$$

ahol:

T_f a főtengely körülfordulási ideje [s],

n a szövőgép főtengelyének fordulatszáma [1/s].

A vetülékbevetése a főtengely körülfordulási idejének kb. fél periódusa alatt megy végbe. A bevetési időt az alábbiak alapján határoztam meg:

$$t_{be} = \frac{0,12}{2} = 0,06 \text{ s} = 60 \text{ ms.} \quad (8.2)$$

A konfúzor lamellásoros vetülékbevetés esetén - technológiai adatok alapján - a fúvókát működtető szelep nyitvatartási ideje megegyezik a (8.2) összefüggés eredményével. A profilbordás segéd fúvókás szövőgép esetén a fúvókákat működtető szelepek nyitvatartási idejét a 3. fejezet 3.26. ábrája alapján határoztam meg. A fúvókák sűrített levegőfogyasztását 0,5 MPa tartálynomás esetén a 4.4., 6.2. és 6.3. táblázatok alapján határoztam meg. Profilbordás vetülékbevetés esetén $b = 170$ cm bordaszélesség esetén 6 segéd fúvóka csoport (csoportonként 4 segéd fúvóka, összesen 24 segéd fúvóka) működtetésére van szükség. A fogadóoldalon a vetülék kifeszítését a fúvókacsoportok valósították meg 0,5 MPa tartálynomással. A különböző típusú fúvókák bevetésenkénti összes levegőfogyasztását az alábbiak alapján határoztam meg:

$$m_{öl} = \dot{m} \cdot t_m \cdot N \quad (8.3)$$

ahol:

$m_{öl}$ a fúvóka típus összes levegőfogyasztása [g],

$\dot{m}$ a fúvóka légfogyasztásának tömegárama [g/s],

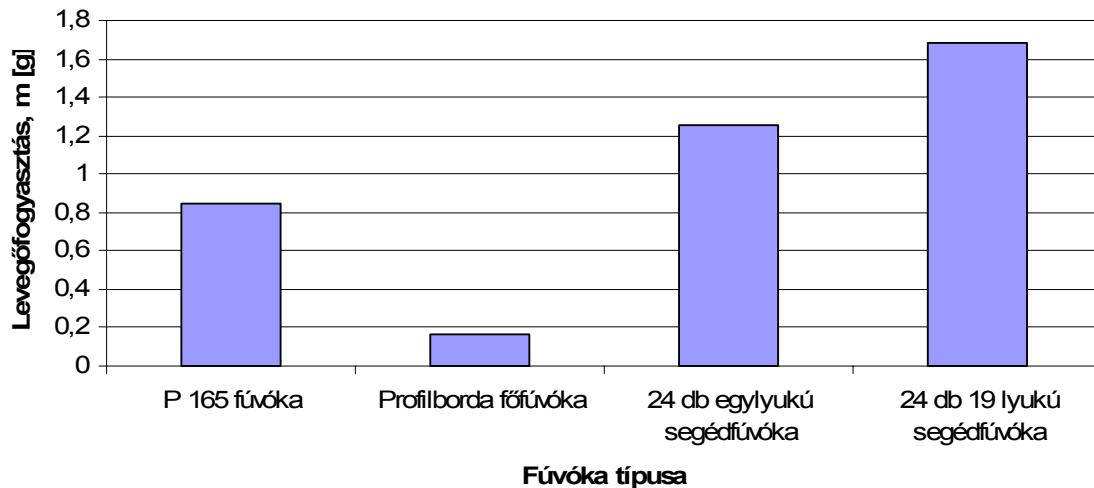
t_m a fúvóka működési ideje [s],

N a bevetés során működtetett fúvókák száma [db].

A (8.3) alapján számolt értékeket a 8.1. táblázat tartalmazza, ezt követően ábrázoltam a különböző típusú fúvókák levegőfogyasztását egy vetülékbevetést figyelembe véve (8.1. ábra).

8.1. táblázat. Fúvókák levegő fogyasztása egy bevetés alatt $p_t = 0,5$ MPa esetén

Fúvóka típusa	Tömegáram $\dot{m}$ [g / s]	Működési idő t_m [s]	Fúvóka darabszáma N [db]	Összes levegőfogyasztás $m_{öl}$ [g]
P 165-ös fúvóka	14	0,06	1	0,84
Profilborda főfúvóka + 19 lyukú segéd fúvóka	4,9 2	0,035 0,035	1 24	0,17 1,68 } 1,85
Profilborda főfúvóka + egylyukú segéd fúvóka	4,9 1,5	0,035 0,035	1 24	
				0,17 1,26 } 1,43



8.1. ábra. Különböző fűvókák légfogyasztása egy vetülékfonal bevetése során 0,5 MPa alkalmazott tartálynyomás esetén

A 8.1. táblázat és 8.1. ábra alapján megállapítható, hogy a profilbordás 19 lyukú segédűvókás légsugaras szövőgép légfogyasztása azonos főtengely fordulatszám és bordaszélesség esetén 2,2-szer nagyobb, mint a P 165-ös jelű gépe.

A profilbordás segédűvókás szövőgép főtengelyének hajtását és bordaládájának mozgását biztosító hajtómotorjának teljesítménye 3 kW, valamint figyelembe véve a további két villamos motor teljesítményét, amelyek 0,6 kW és 0,37 kW-osak. Összesen 3,97 kW. A P 165-ös jelű légsugaras szövőgép hajtásához szükséges hajtási teljesítmény 1,5 kW.

A következő lépésben összehasonlítottam a légsugaras szövőgépek hajtásához és levegőellátásához szükséges teljesítményeket alakulását.

Csavarkompresszorral (ALUP SCK 151-8SG) történő légsűrítés esetén 1 kWh munkával 10 Nm^3 normáltérfogatú levegő komprimálható össze a szövőgép 0,6 MPa nyomású levőigényének kielégítésére. A fűvókákból kilépő légáramlás tulajdonságaira a 3.2. pontban ismertetett feltételezéseket vettem figyelembe. Meghatároztam a szövőgépek óránkénti (3600 s) bevetési számát a fenti főtengelyfordulatszám esetén, amely az alábbira adódott:

$$b_{sz} = n \cdot 3600 = 8,3 \cdot 3600 = 29880 \quad (8.4)$$

ahol:

b_{sz} az óránkénti bevetések száma [db/h].

Az óránkénti bevetésszám alapján meghatároztam a normáltérfogatra átszámított levegő-igényt:

$$V_N = \frac{b_{sz} \cdot m_{öl} \cdot 10^{-3}}{\rho} \quad (8.5)$$

ahol:

V_N a normáltérfogatú levegőigény $[m^3]$,

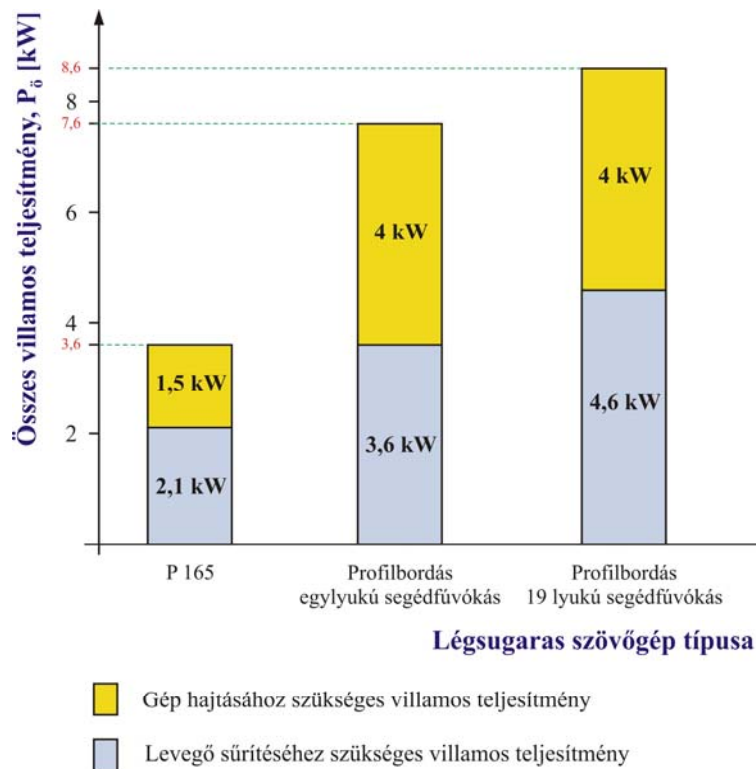
ρ a levegő sűrűsége p_0 légköri nyomáson $[kg/m^3]$.

A 8.2. táblázatban összefoglaltam a gép típusokra jellemző sűrített levegőfogyasztást és az ehhez szükséges villamos teljesítményt valamint a gépek hajtásának teljesítményigényét is.

8.2. táblázat. A levegőellátáshoz és a szövőgép hajtásához szükséges teljesítmények

Szövőgép típusa	Normáltérfogatú levegő $V_N [Nm^3]$	Levegő előállításához szükséges teljesítmény $P_{lev} [kW]$	Szövőgép hajtásához szükséges teljesítmény $P_v [kW]$
P 165	21	2,1	1,5
Profilbordás 19 lyukú	46	4,6	~ 4 kW
Profilbordás egylyukú	36	3,6	~ 4 kW

A 8.2. táblázat adatait ábrázoltam, amelyet a 8.2. ábra szemléltet.



8.2. ábra. Légsugaras szövőgépek villamos teljesítményének megoszlása

Megállapítható, hogy légsugaras szövés esetén a villamos teljesítményigény 50-60 %-a sűrített levegő előállítására fordítódik. A fenti vizsgálatok során nem vettem figyelembe:

- a főfűvókák állandó 0,02-0,03 MPa tartónyomását (mindkét vizsgált típusnál azonos), amely a vetülék benntartását biztosítja a fűvókában
- az üzemelés közben fellépő szivárgásokat.

A kompresszorok helyes kiválasztásával, szabályozásával, a rendszerben levő veszteségek, szivárgások feltárásával és kiküszöbölésével a sűrített levegőfogyasztására fordítandó villamos energia költsége csökkenthető.

9. Értekezés eredményeinek értékelése és összefoglalása

A kutatási munkatervem és az elvégzett szakirodalmi kutatás alapján a disszertációm az alábbi fő célkitűzésekkel foglalkozott:

- a különböző kialakítású alagútbordás légsugaras szövőgépek vetülékbevitelét megvalósító - lamellák és profilbordák közötti – áramlás tulajdonságainak leírásával,
- a konfúzor lamellásoros és a profilbordás légvezetési módok esetén a légsebesség-eloszlás hatásával a vetülékfonalra,
- az áramlástani mérések és elméleti megfontolások alapján kapott zárt alakú matematikai függvények alapján a konfúzor lamellásorba fektetett vetülékre ható erő meghatározásával elméleti úton és mérési ellenőrzésével,
- a légsugaras szövőgépek levegőellátásához- és mechanikai hajtásához szükséges vilamos teljesítmények összehasonlításával.

Áramlástani és dinamikai méréseket végeztem a különböző légvezetési csatornák áramlási tengelyében. Meghatároztam a légsebesség eloszlását a bordaszélesség függvényében különböző tápnyomások esetén vetülékbefektetése nélkül. Általánosabb áramlástani vizsgálatok érdekében a mért eredmények alapján a dimenziótlanított légsebességekkel írtam le az áramlási és dinamikai viszonyokat a vetülékcsatorna tengelye mentén. A nagyszámú mérési eredmények lehetővé tették konkrét közelítő függvények meghatározását. A statisztikai számításokhoz és a determinációs együttható meghatározásához a mérési eredményeket Microsoft Excel programmal dolgoztam fel.

Mérési eredményeimből megállapíthatóak az alábbiak a vetülékbevitellel kapcsolatban a különböző kialakítású légvezetési módokban, amelyek több tényezőtől függenek:

- a levegő fizikai jellemzőitől,
- a fenntartott légsebesség jellegétől,
- a vetülékfonal szerkezetétől és lineáris sűrűségétől, amelyek a felületi súrlódási együtthatóval írható le, a felületi súrlódási együttható fontos szerepet játszik a vetülékbevetése során, ezért fontos a meghatározása minden egyes felhasznált fonal típusra,
- a levegő által körüláramolt vetülék felületének nagyságától,
- a levegő és a vetülék relatív sebességétől,
- a vetüléktárolás megoldásától.

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

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

közötti kapcsolatot.

Valamint kimutattam, hogy a légsugaras szövés esetén a villamos teljesítményigény 50-60 %-a a sűrített levegő előállítására fordítódik.

9.1. Dolgozat eredményeinek gyakorlati alkalmazhatósága

A különböző légvezetési módokra - laboratóriumi méréseim alapján – származtatott matematikai függvényekkel (1. tézis) a vetülékcsatorna tetszőleges helyén meghatározható a vetülékbevetést megvalósító légsebesség nagysága ipari méréssorozat végrehajtása nélkül.

Laboratóriumi viszonyokra összeállított mérőrendszerrel az ipari körülmények között üzemelő profilbordás légsugaras szövőgép pneumatikus elemeinek:

- főfúvóka,
- segéd-fúvókák

helyes illetve helytelen működéséről gyors és megbízható képet kaphatunk (7.3. pont). A fúvókák helytelen működése esetén azonnali beavatkozásra van szükség az alábbiak alapján:

- működtetési nyomás változtatásával,
- segéd-fúvókák elszennyeződésének megszüntetése ultrahangos tisztítással,
- helyes pozicionálása a segéd-fúvókáknak a bevetés tengelyéhez viszonyítva.

9.2. További kutatást igénylő területek

Az alagútbordás (P 165 jelű és profilbordás) légsugaras szövőgépeken (3.2. és 3.3. fejezetek) a vetülékfonalat a beveteli körülményekhez pontosan igazított nagysebességű légárammal fektetik be a szádníylásba. A fúvókából kilépő levegő és a hatásába helyezett vetülék

között bonyolult áramlási és dinamikai viszonyok alakulnak ki, pontos matematikai leírása nem ismert.

Laboratóriumi és ipari méréseimet vetülék befektetése nélkül végeztem el (disszertáció témája az áramlási viszonyok leírása volt). További kutatási célkitűzés lehetne annak vizsgálata, hogy a főfűvókába és a vetüléksatornába helyezett fonal milyen módon változtatja meg az áramlási és dinamikai viszonyokat a bevetés tengelyében. Ez új mérőrendszer kifejlesztését igényli.

A 3.2. fejezet feltételezéseit finomítva figyelembe vehető, hogy a fűvókából kilépő levegő expandációja esetén a hőmérséklet és a nyomás nem állandó. Ezen fizikai mennyiségek vizsgálatához alkalmas az Ansys Fluent szimulációs program (3.17. ábra).

A felületi súrlódási együtthatót (c_f) 80 tex multifilament fonatra határoztam meg. A vetülékfonalakat csoportosítani lehet alapanyaguk, szerkezetük valamint felületi tulajdonságaik szerint és ezek alapján meghatározni a felületi súrlódási együtthatókat, így széles skáláját kapnánk a dimenziótlan súrlódási együtthatóknak.

Kimutattam, hogy a légsugaras szövőgépek energiaigényének 50-60 %-a a sűrített levegő előállítására fordítódik. Vizsgálatokat igényel a sűrített levegő felhasználás csökkentésének lehetősége a növekvő energiaárak miatt.

10. Kutatómunka tézisei

A következő megállapításokat tettem a vizsgált konfúzor lamellásoros és profilbordás légsugaras szövőgépek vetülékcsatornáiban az áramlási viszonyokkal kapcsolatban, amelyek döntően befolyásolják a vetülékfonal mozgását a bevetés során a különböző típusú légvezetési módokban.

1. Tézis

Laboratóriumi mérések alapján meghatároztam a különböző légvezetési módokra jellemző zárt matematikai függvényeket (10.1. ábra), amelyek segítségével a bordaszélesség tengelye mentén meghatározható a légsebesség a fúvóka kilépési keresztmetszetében mért áramlási sebesség ismeretében. A függvények lefolyását csak az áramlást fenntartó légvezetési megoldások kialakításai befolyásolják.

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 vetülékcsatorna bevetési tengelyében dimenziótlanított sebességváltozásra, amely nem függ a tartálynyomástól és a bordaszélességtől:

$$\frac{u}{u_0} = \frac{f_p\left(\frac{x}{r_0}\right)}{\frac{x}{r_0}} \Rightarrow f_p\left(\frac{x}{r_0}\right) = \frac{u}{u_0} \cdot \frac{x}{r_0}. \quad (10.1)$$

ahol:

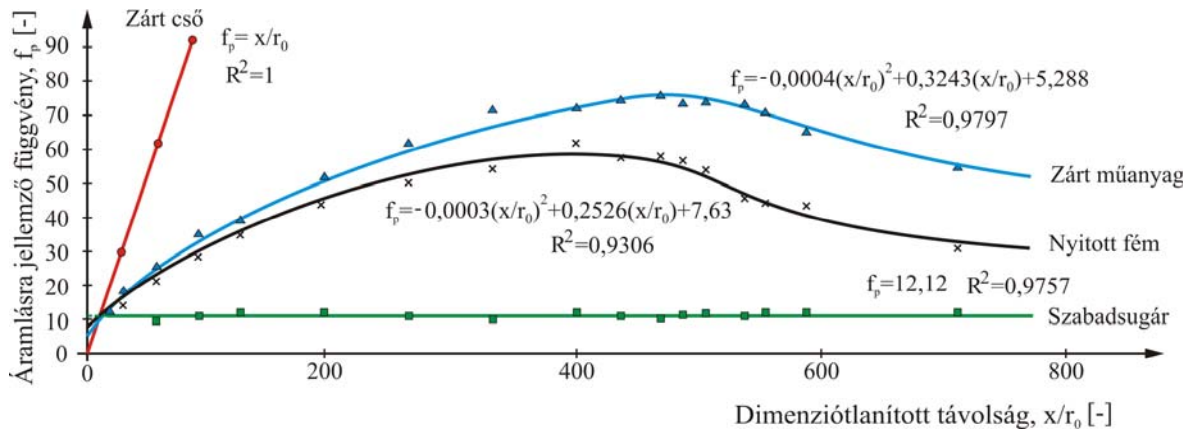
u	a légvezetési megoldás tengelye mentén az áramlás sebessége	$[m/s]$,
u_0	a fúvóka kilépési keresztmetszetében mért áramlási sebesség	$[m/s]$,
f_p	az áramlásra jellemző dimenziótlanított függvény	$[-]$,
x	a mérési pont helye a légvezetési csatorna tengelyében	$[mm]$,
r_0	a fúvóka belső sugara	$[mm]$.

Az áramlást fenntartó légvezetési megoldás kialakítása lehet:

- cső,
- szabadsugár,

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

Zárt cső esetére a mérési eredmények $\operatorname{tg} \alpha = 1$ meredekségű egyenessel, míg szabadsugar esetén egy vízszintes egyenessel közelíthetők. Zárt műanyag és nyitott fém lamellák esetén a mérési eredményeket egy-egy másodfokú polinommal közelítettem (10.1. ábra).



10.1. ábra. Különböző légvezetési módokra jellemző zárt matematikai függvények

A 10.1. ábrán látható függvénykapcsolatok segítségével a vizsgált légvezetési megoldások áramlási tengelyének tetszőleges helyén meghatározható a dimenziótlanított áramlási sebesség a (10.1) összefüggés alapján. Zárt műanyag lamellásor esetén, ha $\frac{x}{r_0} > 7,8$:

$$\frac{u}{u_0} = \frac{f_p}{\frac{x}{r_0}} = \frac{-0,0004\left(\frac{x}{r_0}\right)^2 + 0,3243\frac{x}{r_0} + 5,288}{\frac{x}{r_0}} = -0,0004\frac{x}{r_0} + 5,288\frac{r_0}{x} + 0,3243. \quad (10.2)$$

Zárt műanyag lamellásor tengelyirányú sebessége a (10.2) egyenlet alapján határozható meg:

$$u = \frac{-0,0004\left(\frac{x}{r_0}\right)^2 + 0,3243\frac{x}{r_0} + 5,288}{\frac{x}{r_0}} \cdot u_0 = \left(-0,0004\frac{x}{r_0} + 0,3243 + 5,288\frac{r_0}{x}\right) \cdot u_0 \quad (10.3)$$

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

2. Tézis

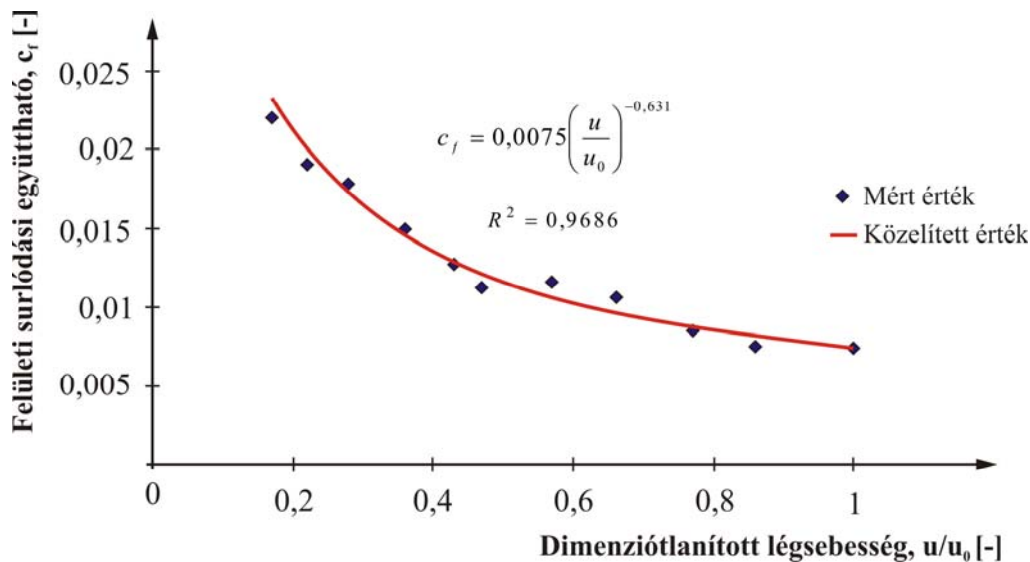
Lamináris áramlás esetén a multifilament, 80 tex lineáris sűrűségű vetülék felületi súrlódási együtthatóját az alábbi formában határoztam meg:

$$c_f = f\left(\frac{u}{u_0}\right) \quad (10.4)$$

A dimenziótlan felületi súrlódási együttható függ:

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

Az adott poliészter alapanyagú fonaltípus és levegő állapot esetére a mértékegység nélküli felületi súrlódási együttható a mérési eredmények alapján a 10.2. ábrán láthatóan alakul a dimenziótlanított sebesség függvényében.



10.2. ábra. A vetülék és légáram közötti súrlódási együttható változása hatványközelítés esetén

A vizsgált multifilament vetülék esetén a mérési eredményeket hatványfüggvénnyel közelítve - a vizsgált $30 \text{ m/s} \leq u \leq 174,3 \text{ m/s}$ légsebességtartományban – a determinációs együttható ($R^2 = 0,9686$) értéke jónak mondható. Így a közelítő függvény:

$$c_f = 0,0075 \left(\frac{u}{u_0}\right)^{-0,631} \quad (10.5)$$

A felületi súrlódási együttható a sebesség növekedésének függvényében (10.5) csökken, amelynek magyarázata, hogy a növekvő sebesség megváltoztatja a vetülékfonal alakjait.

3. Tézis

Elméleti úton meghatároztam a vizsgált, álló vetülékre ható dimenziótlanított erő nagyságát a dimenziótlanított bordaszélesség függvényében műanyag konfúzor légvezetési mód esetére.

Az elemi, álló vetülék hosszra ható elemi felületi súrlódó erő:

$$dF_f = \frac{1}{2} \rho \cdot c_f \cdot D \cdot \pi \cdot u^2 \cdot dx. \quad (10.6)$$

A (10.6) egyenletet u_0 és r_0 értékekkel dimenziótlanítva:

$$dF_f = \frac{1}{2} \rho \cdot D \cdot \pi \cdot u_0^2 \cdot r_0 \cdot c_f \cdot \left(\frac{u}{u_0}\right)^2 \cdot d\left(\frac{x}{r_0}\right) \quad (10.7)$$

Behelyettesítve (10.7) egyenletbe a (10.5) dimenziótlanított kifejezést:

$$dF_f = \underbrace{\frac{1}{2} \rho \cdot D \cdot \pi \cdot u_0^2 \cdot r_0 \cdot 0,0075}_{K=0,95 \cdot 10^{-3} \text{ N}} \cdot \left(\frac{u}{u_0}\right)^{-0,63} \cdot \left(\frac{u}{u_0}\right)^2 \cdot d\left(\frac{x}{r_0}\right) = K \cdot \left(\frac{u}{u_0}\right)^{1,37} d\left(\frac{x}{r_0}\right), \quad (10.8)$$

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 lamellasor tengelyében [-].

A $z = \left(\frac{x}{r_0}\right)$ behelyettesítéssel és műanyag lamellasort vizsgálva a (10.2) összefüggés alapján

a vetülékfonalra ható elemi erőt az alábbi összefüggéssel számolható:

$$dF_f = K \cdot \left(-0,0004z + \frac{5,288}{z} + 0,3243\right)^{1,37} dz. \quad (10.9)$$

A (10.9) egyenlet mindkét oldalát integrálva z_0 -tól z -ig kapjuk:

$$F_f(z) - F_f(z_0) = K \cdot \int_{z_0}^z \left(-0,0004z + \frac{5,288}{z} + 0,3243 \right)^{1,37} dz. \quad z_0 = 7,8 \quad (10.10)$$

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 5.2. ábrán bemutatott mérés alapján: $F_0 = 2 \cdot 10^{-2}$ N.

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

Az integrálásra alkalmas dimenzióatlanított egyenlet:

$$F^* = F_0^* + \underbrace{\int_{z_0}^z \left(-0,0004z + \frac{5,288}{z} + 0,3243 \right)^{1,37} dz}_{F_z^*} = F_0^* + F_z^* \quad (10.11)$$

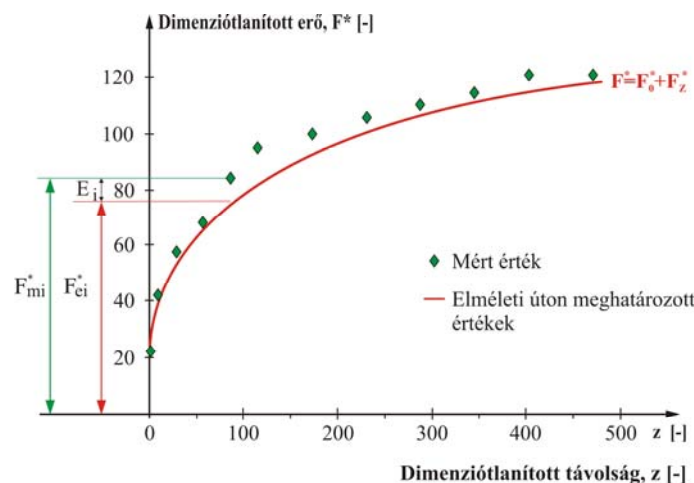
ahol:

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

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

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

Maple programmal végeztem el a (10.11) egyenlet integrálását. A mért és számolt elméleti értékeket a 10.3. ábra tartalmazza.



10.3. ábra. Zárt műanyag lamellásor esetén a mért és az elméleti úton kapott eredmények összehasonlítása

A 10.3. ábrán látható dimenzióatlanított erők: $F_{mi}^* = \frac{F_{mi}}{K}$ és F_{ei}^*

ahol:

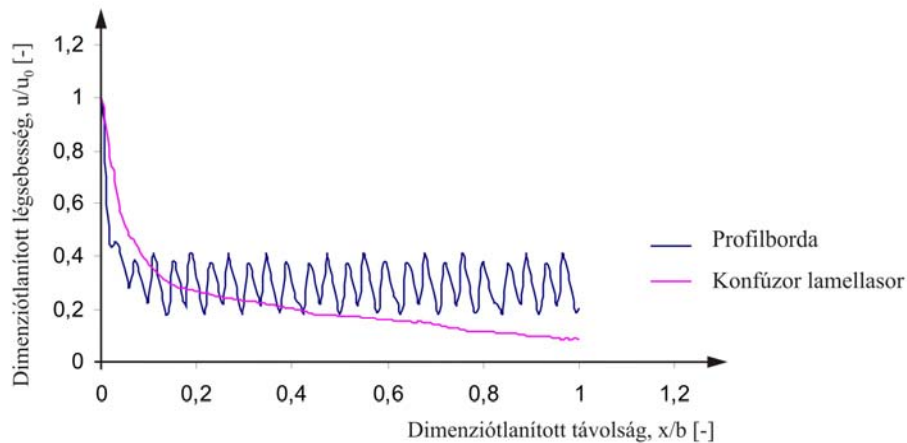
F_{mi}^*	a mért dimenziótlanított erők a zárt műanyag lamellakor tengelyében	[-],
F_{mi}	a konfúzor lamellakor tengelyében kialakult áramlásba helyezett álló vetülékre ható erők mért értékei	[N],
K	az adott légáramba helyezett vetülékre jellemző konstans	[N],
F_{ei}^*	az elméleti dimenziótlanított erők, amely tartalmazza a mért F_0 erőt.	[-].

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

4. Tézis

A vizsgált konfúzor lamellakoros és profilbordás légvezetési módok áramlási viszonyaira és a vetülékre ható erőkre az alábbi megállapításokat tettem (10.4. ábra):

- **A konfúzor lamellakoros légvezetési mód esetén az áramlás sebessége a bevetés irányában $\frac{x}{b} < 0,1$ tartományban exponenciálisan csökken, hasonlóan a hengeres szabadsugar 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 fonatra kisebb, de egyenletes felületi súrlódási erő hat.**
- **A profilbordás légvezetési mód esetén, ha $\frac{x}{b} > 0,1$ az áramlási sebesség változása a segédűvőkák 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.**



10.4. ábra. A vizsgált légvezetési módok légáramainak összehasonlítása

A vizsgált műanyag konfúzor lamellásoros és profilbordás légvezetési módok esetén a vetülékcsatorna mérési helyeinek x távolságát $b = 170 \text{ cm}$ bordaszélességgel dimenziótlanítottam. A légvezetési mód tengelyében mérhető egymáshoz tartozó sebességeket a vetülékcsatorna kezdeti keresztmetszetében mért maximális légsebességgel dimenziótlanítottam, Konfúzor lamellásor esetén 290 m/s értékkel, profilbordás légvezetés esetén $270,83 \text{ m/s}$ -mal osztottam az áramlási sebességeket $p_t = 0,5 \text{ MPa}$ légtartály nyomás esetén.

5. Tézis

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

- A profilbordás légsugaras szövőgépek segédfúvóka csoportjai kezdetben öt segéd-fúvókából álltak. Az ipari körülmények között vizsgált Dornier légsugaras szövőgépen négyes csoportokban működtetik a segédfúvókákat (7.3. ábra). A segéd-fúvókák által létesített légáram - amely a vetüléket szállítja - egyenletesebbé tételére javaslom, hogy az áramlási mezőt a segédfúvókák minél kisebb csoportú, illetve egyenkénti stafétaszerű vezérlésével célszerű megvalósítani. A fúvási szakasz hosszának rövidítésével a sűrített levegő felhasználása csökkenthető.

11. A kutatómunkával kapcsolatos fontosabb publikációk

Disszertációhoz szorosan kapcsolódó tudományos 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 segédűvőkáinak 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 áramlástani vizsgálata.
Gép, LXI. évfolyam, 2010/8. pp. 38-42. (ISSN 0016-8572)

14. Szabó L., Szabó L.: Légsugaras szövőgépeken alkalmazott hosszmerős vetüléktárolók.
Magyar Textiltechnika, 2011/1. pp. 13-15. (HU ISSN 2060-453X)
15. Bodor Á., Szabó L.: Profilbordás légsugaras szövőgép segédfűvókájának áramlástani szimulációja.
Magyar Textiltechnika, 2011/2. pp. 55-57. (HU ISSN 2060-453X)

Konferencia előadás magyar és angol nyelven:

1. Szabó, L., Dénes, J., 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.

Tudományos konferencia kiadvány magyar és angol nyelven:

1. Dénes J., Szabó L., Szabó R.: Légsugaras vetülékbevitel elemzése.
IN-TECH-END'05 Budapest, 2005. 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)

12. Irodalomjegyzék

1. Weinsdörfer, H.; (2003): Webmaschinen, International Textile Bulletin, 2003/6, p. 46.
2. Wahhound, A.; (2008): Möglichkeiten der Materialensparung mit der Jacquard-Dreher-Technologie, Weberei Kolloquium ITV Denkendorf (07. Oktober 2008.).
3. Patkó I.; (1994): Lamellák közötti áramlás tulajdonságainak meghatározása, Kandidátusi disszertáció, 2-55 o.
4. Brooks, J.C.; (1914): U.S. Patent No. 1,096,283.
5. Brooks, J.C.; (1921): U.S. Patent No. 1,368,691.
6. Brooks, J.C.; (1921): U.S. Patent No. 1,386,550.
7. Brooks, J.C.; (1922): U.S. Patent No. 1,405,096.
8. Ballou, E.H. ; (1929): U.S. Patent No. 1,721,940.
9. Paabo, M.; (1945): Swedish Patent No. 253,930.
10. Paabo, M.; (1949): British Patent No. 616,323.
11. Svaty, V.; (1961): British Patent No. 860,970.
12. Dornier Superelf (2003): User's Guide and Spare Parts Drawings, pp. 1-4.
13. Leutert, R.; (1981): Wohin geht die Entwicklung im Webmaschinen, Melliand Textilberichte, 52, No.2, pp. 148-152.
14. Adanur, S.; (2001): Handbook of Weaving, Technomic publication, pp.175-219.
15. <http://hu.textilipar/372j.doc.pdf/> (2010.04.06.) Textilipar helyzete.
16. Lajos T.; (2004): Az áramlástan alapjai, Műegyetem kiadó, Budapest, 296-300 o.
17. Chikaoka, K., Shintani, R.; (1997): Weaving Machine, pp. 35-39.
18. Szabó R.; (1994): 5. OTEMAS textiltgép kiállítás újdonságai a szövés-előkészítés a szövés területén, Magyar Textiltechnika, 1994/2. 52-56 o.
19. Mangold, S.; (2000): Schussstillstände beim Luftdüsenweben; Ursachen und Vermeidung, International Textile Bulletin, 5/2000. pp. 54-59.
20. Holecek, J., Kuda, V.; (1981): Simple and Relay-System Weft Insertion on Pneumatic Jet Weaving Machines, Melliand Textilberichte, 8/1981. p. 634.

21. Patkó I., Szabó L.; (2009): A szövés és áramlás kapcsolatának vizsgálata légsugaras szövőgépeken, Magyar Textiltechnika, 2009/5. 194-199 o.
22. Patkó I., Szabó L.; (2010): Légsugaras szövőgépek vetülékbevitelének erőtanai vizsgálata, Magyar Textiltechnika, 2010/1. 6-11 o.
23. Szab R.; (1993): Légsugaras vetülékbevitel, Magyar Textiltechnika, 1993/2. 71-79 o.
24. Szabó R.; (1992): Szövéstechnológia III/II. Budapest, 88-139 o.
25. Tsudakoma, Terry Towel Air Jet Loom ZAX-e katalógus p. 3.
26. Dornier AS-Type (2007): Katalógus pp. 1-18.
27. Dornier (2004): Airjet Weaving Machine AWS. 6/S, User Manual
28. Sulzer Airjet Weaving Machine L5100, User Manual, p. 030.3U
29. Kiji Reed (2001): Profile Reed Technical Report
30. Roger, A.; (1993): Automatische Optimierung des Schussenstrages beim Luftdüsenweben, pp.54-57.
31. Szabó R.; (1985): Szövőgépek, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 9-11 o., 130-151 o.
32. Elek I., Hudáky J.; (1979): Az ipari pneumatika alapjai, Interpress Kiadó és Nyomda Vállalat, Budapest, 14-29 o.
33. Dénes J., Szabó L., Szabó R.; (2005) Légsugaras vetülékbevitel elemzése, IN-TECH-ED'05 5th International Conference Proceedings 8-9 september 2005 Budapest, pp.157-170.
34. Adanur, S., Mohamed, M.H.; (1985): Analysis of Yarn Motion in Single-nozzle Air-jet Filling Insertion, Part I: Theoretical Models for Yarn Motion, Japan Text. Inst. 83 No.1, pp. 45-48.
35. Adanur, S.; (1989): Dynamic Analysis of Single Nozzle Air-Jet Filling Insertion, Ph.D. Thesis, North Carolina State University, pp. 29-38.
36. Szabó L., Szabó R.; (2008): Szálasanyag statisztikák, Textil Forum, XVIII. évf. 353. szám, 22-23 o.
37. Maccabruni, D.; (2001): Finite Element Calculation of Yarn Kinematics, New Year Pages of the Institute for Manufacturing Automation Federal Institute of Technology, Zürich, Switzerland, pp. 27-28.
38. Textilwirtschaft (2008): Weltmarkt für Textilmaschinen 2007, Melliand Textilberichte 9/2008, p. 292.

39. Aktuell (2007): Weltmarkt für Textilmaschinen 2006, Melliand Textilberichte 7-8/2007, p. 503.
40. Bauder, H. J.; (2007): ITMA 2007 Trends in Weaving, Melliand International, 4/2007, p. 348.
41. Strauf Amabile, M., Hoffmann, S., Gries, T.; (2007): Weft Insertion of Elastic Yarns, Aachen Dresden International Textile Conference, Aachen, Nov. 29-30, 2007, p. 14.
42. Strauf Amabile, M., Hoffmann, S., Gries, T.; (2007): Simulationstool für den Schusseintrag von Elastischen Garnen, Melliand Textilberichte 7-8/2007, pp. 526-529.
43. Belforte, G., Costamagna, A., Mattiazo, G., Testore, F.; (2005): Test Methodologies for the Measure of Main Nozzles Efficiency in Air Jet Looms, 5th World Textile Conference AUTEX 2005, Portorož Slovenia, 27-29 June 2005, pp. 762-767.
44. Bodor Á.; (2010): Légsugaras szövőgép mellékfűvókájánál kialakuló áramlás modellezése, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Áramlástan Tanszék TDK dolgozat (Konzulens Kristóf Gergely), pp. 9-27.
45. Shintani, R., Donjou I., Chikaoka, K., Okajima, A.; (1996): Air Stream Ejected from Sub-nozzles of Air Jet Loom, Part 1: Velocity Distribution of Air Jet from Commercial Sub-nozzles, Journal of the Textile Machinery Society of Japan, Vol.42, No.3,4, pp. 80-85.
46. Wegener, P.P.; (1991): What Makes Airplanes Fly? Springer-Verlag New York Inc. pp. 67-83.
47. Szabó L.; (2009): A sűrített levegő a textiltechnikában, Magyar Textiltechnika, LXII. évf. 2009/1. pp. 4-8.
48. Patkó I., Szabó L.; (2010): Alagútbordás légsugaras szövőgépek vetülékbevitelének vizsgálata, Magyar Textiltechnika, LXIII. évf. 2010/4. pp.153-156.
49. Patkó I., Szabó L.; (2008): Vetülékbeviteli elvek összehasonlító elemzése, Magyar Textiltechnika, LXI. évf. 2008/5. pp. 108-117.
50. Ishida, T., Chikaoka, K.; Textile Industry and Technical Innovation from the Viewpoint of the Jet Looms at the ITMA 83, Part 2, JTN january 1984. p. 70.
51. Minoru, I., Atsushi, O., Yukiyasu, S., Takeo, K., Fumitaka, H.; (1990): Experiment of Flow of Air Jet Loom with Air Guides Part 1: Characteristics of Flow Injected into Air Guides, Journal of the Textile Machinery Society of Japan, vol.36, no.4. pp.127-132.
52. Minoru, I., Atsushi, O., Yukiyasu, S., Takeo, K., Fumitaka, H.; (1990): Experiment of Flow of Air Jet Loom with Air Guides Part 2: Characteristics of Flow in Air Guides and Air Tubes, Journal of the Textile Machinery Society of Japan, vol.37, no.1. pp.8-13.

53. Nissan Jet Weaving Machine Air Type LA51
54. Burckle gyártmánykatalógus, p.2.
55. Szabó, L.; (2010): Pneumatic Weft Insertion of Profile Reed in Air Jet Looms, Proceedings of the International Joint Conference on Environmental and Light Industry Technologies, Óbuda University Budapest, 2010. november 18-19. pp. 117-128.
56. Anthony, R.; (1969): Bevezetés a numerikus analízisbe, Műszaki Könyvkiadó Budapest, pp. 262-263.
57. Patkó, I.; (2005): Material Transport with Air Jet, Acta Polytechnica Hungarica, Vol.2. No.2. pp. 54-56.
58. Cross, C.; (2006): Analysis of Yarn Flight Characteristics in Air-Jet Weaving Applicatons, Undergraduate Honors Thesis, University Honors College, pp. 2-3.
59. Rosiepen, C., Neumann, F., Gries, T.; (2008): Flat yarns in slow-motion optical analysis of the weft insertion of flat yarns on air-jet looms, Melliand International, 5/2008. pp. 302-304.
60. Agelinchaab, M., Tachies, M.F.; (2006): Open channel turbulent flow over hemispherical ribs, International Journal of Heat and Fluid Flow No 27. pp. 1010-1019.
61. Sasic, S., Almstedt, A.; (2011): Dynamics of fibres in a turbulent flow field. A particle-level simulation technique, International Journal of Heat and Fluid Flow No. 31, pp. 1058-1060.
62. Szabó L., Szabó L.; (2011): A légsugaras szövőgépeken alkalmazott hosszmérős vetüléktárolók, Magyar Textiltechnika LXIV. Évf. 2011/1. 13-15 o.
63. De Chant, L. J.; (1998): An analytical skin friction and heat transfer model for compressible, turbulent, internal flows, International Journal of Heat and Fluid Flow No. 19, pp. 623-628.
64. Heuy-Dong, K., Chae-Min, L., Ho-Joon, L., Doo-Hwan, C.; (2007): A Study of the Gas Flow through Air Jet Loom, Journal of Thermal Science Vol.16, No.2, pp. 159-163.
65. Mangold, S., Weinsdörfer, H.; (2003): Problematik unvollständig eingetragener Schüsse beim Luftdüsenweben, Melliand Textilberichte 9/2003. pp. 718-723.
66. Mangold, S., Weinsdörfer, H.; (2003): Problem of incomplete weft insertion in air-jet weaving, Melliand International Vol.9, pp. 220-223.
67. Patkó I., Szabó L.; (2010): Vetülékbevetési hibák elemző vizsgálata légsugaras szövőgépeken, Magyar Textiltechnika LXIII. Évf. 2010/5. 205-209 o.

68. Patkó I., Szabó L., Várkövi J.; (2010): Alagútbordás légsugaras szövőgépek fő- és segédfúvókáinak áramlási vizsgálata, Magyar Textiltechnika LXII. Évf. 2010/2. 66-68 o.
69. Kiyoshi, H., Toshiyasu, K., Sukenori, S., Nobuo, I.; (1999): Effect of Yarn Cross Section on Air Drag for Spandex Yarn, Journal of the Textile Machinery Society of Japan, Vol.45, No.1. pp. 6-11.
70. Shintani, R., Okijama, A.; (2002): Air Flow through a Weft Passage of Profile Reed in Air Jet Looms, Journal Textile England, Vol.48, No.2. pp. 56-63.
71. Ye, G.M., Shen, D.F.; (2007): Study on Pneumatic Weft Insertion Behaviour in Main Nozzle, Fibres & Textiles in Eastern Europe, Vol. 15, No.4. pp. 68-72.
72. Sadasuke, F.; (1992): Flow Characteristics in Weft-Acceleration Pipe of Air-Jet Loom, Journal of the Textile Machinery Society of Japan, Vol. 38. No.4. pp. 95 -100.
73. Nobuo, I.,Toshiyasu, K., Hiroyuki, Y.; (1988): Analysis of Yarn Tension in Air-Jet Nozzles, Journal of the Textile Machinery Society of Japan, Vol.37. No.2, pp. 35-40.
74. Minoru, U.; (1972): A Study on an Air-Jet Loom with Substreams Added, Part 1: Deriving the Equation of Motion for Weft, Journal of the Textile Machinery Society of Japan, Vol. 18. No.2. pp. 37-44.
75. Minoru, U.; (1972): A Study on an Air-Jet Loom with Substreams Added, Part 4: Length of Main Nozzle, Journal of the Textile Machinery Society of Japan, Vol. 18. No.4. pp. 114-119.
76. Chamlong, P., Katsumi, A.; (2005): Flow Characteristics and Pattern of Main Nozzle of Air Jet Loom, Proceedings of the School of Engineering Tokai University, pp. 7-14.
77. Kayacan, C., Dayik, M., Colac, O., Kodaloglu, M.; (2004): Velocity Control of Weft Insertion on Air Jet Looms by Fuzzy Logic, Fibres & Textiles in Eastern Europe, Vol.12, No.3. pp. 29-31.
78. Weinsdörfer, H.; (2004): 50 Jahre Webereitechnik, International Textile Bulletin 3/2004. p.55.

13. Ábrajegyzék

Ábraszám és cím	oldal
<u>1. Fejezet</u>	
1.1. ábra. A szövőgépek csoportosítása a vetülékbeviteli elv alapján	1.
1.2. ábra. Egy főre eső évenkénti szálanyag felhasználás növekedése	2.
1.3. ábra. Az ITMA-n 1999. és 2007. között kiállított szövőgépek megoszlása	3.
1.4. ábra. Az ITMA-n kiállított különböző vetülékbeviteli rendszerű szövőgépek vetülékbeviteli teljesítményeinek alakulása	3.
1.5. ábra. Légsugaras szövőgépek várható főtengely fordulatszámának növekedése	4.
<u>2. Fejezet</u>	
Nem tartalmaz ábrát.	
<u>3. Fejezet</u>	
3.1. ábra. A P 165-ös jelű szövőgép elrendezési vázlata	8.
3.2. ábra. A konfúzor lamella elmozdulása szövés közben	9.
3.3. ábra. A kutatás során használt légvezetési módok	10.
3.4. ábra. P gépeken alkalmazott fűvóka és a kialakult szabadsugar kezdeti szakasza	11.
3.5. ábra. Profilbordás légsugaras szövőgépek fontosabb funkcionális elemei	13.
3.6. ábra. Állódobos elektromechanikus hossz mérős vetüléktároló főbb elemei	14.
3.7. ábra. Korszerű ROJ SUPER ELF X2 GF hossz mérős vetüléktároló	15.
3.8. ábra. Vetülékbevetése nyolcszínű szövés esetén	15.
3.9. ábra. A vizsgált főfűvóka metszeti rajza	16.
3.10. ábra. Laboratóriumi vizsgálatok során alkalmazott gyorsítócső	16.
3.11. ábra. A fűvókaházban található vizsgált fűvókátű kialakítása	16.
3.12. ábra. Légsebesség változása a főfűvókától távolodva	17.
3.13. ábra. Vetülék bevetése és beverése a főfűvóka irányából nézve	17.
3.14. ábra. Légsugaras szövőgépeken alkalmazott profilbordák	19.
3.15. ábra. Különböző bordafog kialakítások	19.
3.16. ábra. Különböző segéd fűvóka kialakítások	20.
3.17. ábra. Segéd fűvóka áramlásának szimulációs képe	21.
3.18. ábra. Segéd fűvóka tisztaságának ellenőrzése	21.
3.19. ábra. Segéd fűvóka tisztaságának ellenőrzése 0,5 MPa tápnyomás esetén	22.

3.20. ábra. Segédfűvókák rögzítése a bordaládára a vetülékcsatorna mentén	22.
3.21. ábra. Vetülékfonal mechanikai modellje	23.
3.22. ábra. Vetülékfonal mozgása a vetülékcsatornában	24.
3.23. ábra. A vetülék kinematikai és kinetikai diagramjai	24.
3.24. ábra. Vetülékre ható erők profilbordás vetülékbevitel esetén	25.
3.25. ábra. A főfűvóka légáramába fektetett vetülékre hat erő	27.
3.26. ábra. Vetülékbevetés lefolyásának szemléltetése	28.
3.27. ábra. Vetülékörök és a feszítőfűvóka	29.
3.28. ábra. Hosszmérős vetüléktárolók (ROY ELF, Toyota)	31.
3.29. ábra. A légsugaras szövőgép vetülékbevitelt megvalósító szerkezetei és a vetülék mozgásának ellenőrzése	32.
3.30. ábra. Fogadóoldali és a külső vetülékörök elrendezése	33.
3.31. ábra. Vetülékbevetési hiba miatt leállt légsugaras szövőgép	34.
3.32. ábra. Gyakoribb vetülékszakadási helyek	34.
3.33. ábra. A légsugaras szövőgépen keletkező jellegzetes vetülékbevetési hibák	35.
3.34. ábra. Tandem-fűvóka által szétfűjt, eltérített vetülék	35.
3.35. ábra. Vetülékfonal elakadása a láncba	34.
3.36. ábra. A vetülék hurkosodik a bevetés során	36.
<u>4. Fejezet</u>	
4.1. ábra. Laboratóriumi mérőpad kialakítása	37.
4.2. ábra. A fűvóka és a konfúzor lamellásor elhelyezése	38.
4.3. ábra. Sebességmérő berendezés (Prandtl-cső) helyzete az áramlás tengelyében	38.
4.4. ábra. Prandtl-cső és az U-csöves manometer összekapcsolás	39.
4.5. ábra. Különböző légvezetési módok légsebességeinek változása $p_t = 0,2 \text{ MPa}$ esetén	41.
4.6. ábra. Különböző légvezetési módok légsebességeinek változása $p_t = 0,3 \text{ MPa}$ esetén	42.
4.7. ábra. Különböző légvezetési módok légsebességeinek változása $p_t = 0,5 \text{ MPa}$ esetén	43.
4.8. ábra. Zárt műanyag konfúzor lamellásor esetén a sebességváltozás különböző tápanyomások esetén	44.
4.9. ábra. P jelű gép fűvókájának légfogyasztása a tartálynymomás függvényében	45.
4.10. ábra. Dimenziótlan áramlási sebességek a vizsgált légvezetési módok esetén	46.

4.11. ábra. Az egyes áramlásokhoz tartozó $f_p \left(\frac{x}{r_0} \right)$ függvények elméleti elhelyezkedése 48.

4.12. ábra. Különböző légvezetési módokra jellemző matematikai függvények 49.

5. Fejezet

5.1. ábra. A felületi súrlódási együttható mérésének elrendezése 52.

5.2. ábra. Vetülékre ható erők laboratóriumi mérésének elrendezése 53.

5.3. ábra. A vizsgált multifilament fonál mikroszkópi felvétele 54.

5.4. ábra. Vetülék esetén az alak közegellenállás és a felületi súrlódás aránya 55.

5.5. ábra. Vetülék sebességének alakulása egyfűvókás, konfúzor lamellással fenntartott légárammal 59.

5.6. ábra. Felületi súrlódási együttható változása három állandó légsebesség esetén 61.

5.7. ábra. Dimenziótlan felületi súrlódási együttható változása a dimenziótlanított légsebesség függvényében 62.

5.8. ábra. A felületi súrlódási együttható változása hatványközelítés esetén 63.

5.9. ábra. Zárt műanyag lamella sor esetén a mért és elméleti értékek összehasonlítása 67.

6. Fejezet

6.1. ábra. A laboratóriumi mérőpad a profilborda tengelyében kialakuló áramlási sebesség mérésére 70.

6.2. ábra. Profilbordás légsugaras szövőgép sebességeloszlásának-és légfogyasztásának mérésének elvi elrendezése 71.

6.3. ábra. Mérési pont helyzete a vetülékcatornában 71.

6.4. ábra. Az alagútborda tengelyében a főfűvóka által létrehozott légsebesség alakulása 0,5 MPa tartálynyomás esetén 73.

6.5. ábra. Az alagútborda tengelyében a főfűvóka által létrehozott légsebesség alakulása 0,4 MPa tartálynyomás esetén 74.

6.6. ábra. Légsebesség alakulás a vetülékcatornában 1. és 2. segédűvóka által $p_t = 0,5 \text{ MPa}$ tartálynyomás esetén 74.

6.7. ábra. A főűvóka fenntartott légárama segédűvókákkal a vetülékcatornában $p_t = 0,5 \text{ MPa}$ tartálynyomás esetén 75.

6.8. ábra. A főűvóka és 10 segédűvóka által létrehozott légsebesség eloszlás $p_t = 0,5 \text{ MPa}$ tartálynyomás esetén 77.

6.9. ábra. A vizsgált főfúvóka tömegárama a fúvókatú két állásánál	77.
6.10. ábra. A vizsgált segédfúvókák légfogyasztása	78.
6.11. ábra. Dimenziótlanított légsebesség eloszlás a bevetés tengelye mentén	79.
6.12. ábra. Fourier approximáció különböző közelítési fokokkal	80.
6.13. ábra. Segédfúvóka csoport helyes működésének ellenőrzése	81.

7. Fejezet

7.1. ábra. Csárda-Tex Kft. szövő csarnoka előtérben a vizsgált szövőgéppel	82.
7.2. ábra. Profilbordás légsugaras szövőgép levegő ellátása és mérési módszerének sémája	83.
7.3. ábra. A vizsgált szövőgép levegőrendszere	83.
7.4. ábra. Ipari mérés összeállítása	84.
7.5. ábra. Segédfúvókák elhelyezése a borda mentén	84.
7.6. ábra. Segédfúvókák helytelen üzemállapotának modellezése	85.
7.7. Dornier légsugaras szövőgép főfúvókájának áramlási képe JPG ábrázolásban	85.
7.8. ábra. Helyesen működő segédfúvókák JPG ábrája	86.
7.9. ábra. Az elvárttól eltérő hibás légáramok a vetülékcsatornában	86.

8. Fejezet

8.1. ábra. Különböző fúvókák légfogyasztása egy vetülékfonal bevetése során 0,5 MPa alkalmazott tartálynyomás esetén	90.
8.2. ábra. Légsugaras szövőgépek villamos teljesítményének megoszlása	92.

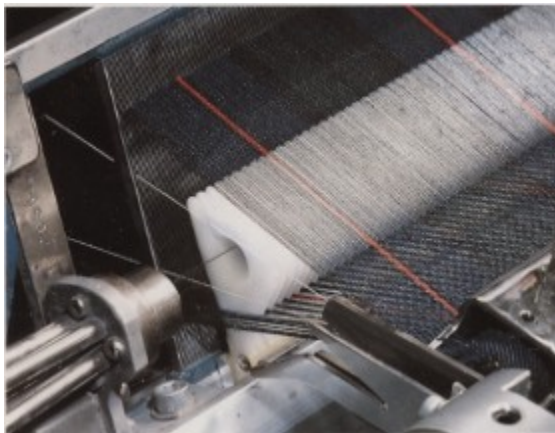
9. Fejezet

Nem tartalmaz ábrát.

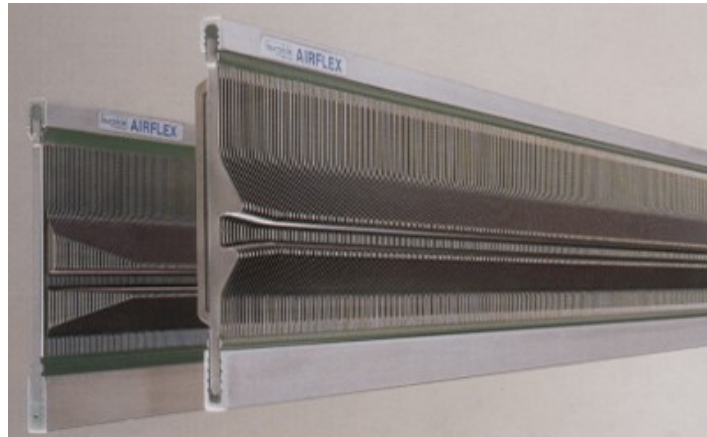
10. Fejezet

10.1. ábra. Különböző légvezetési módokra jellemző zárt matematikai függvények	97.
10.2. ábra. A felületi súrlódási együttható változása hatványközelítés esetén	98.
10.3. ábra. Zárt műanyag lamellásor esetén a mért és az elméleti úton kapott eredmények összehasonlítása	100.
10.4. ábra. A vizsgált légvezetési módok légáramainak összehasonlítása	102.

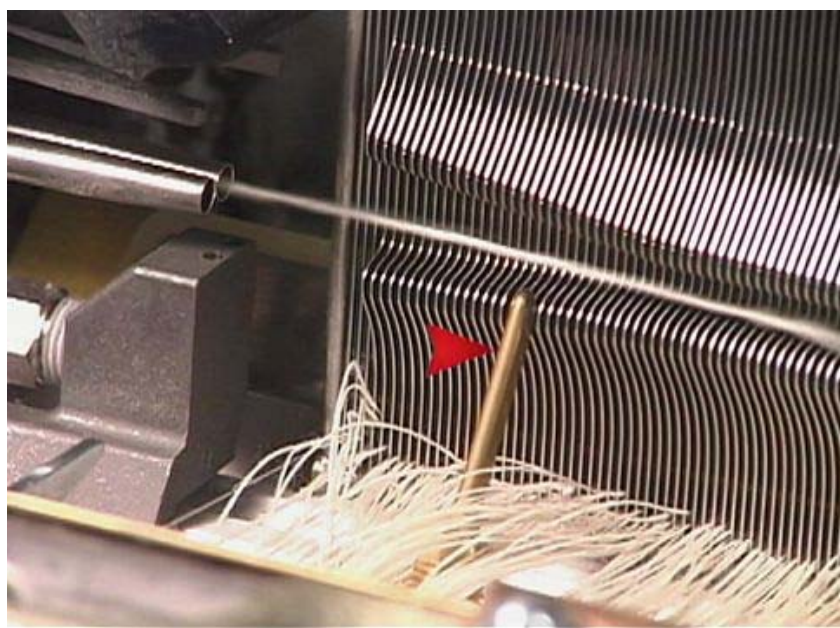
14. Mellékletek



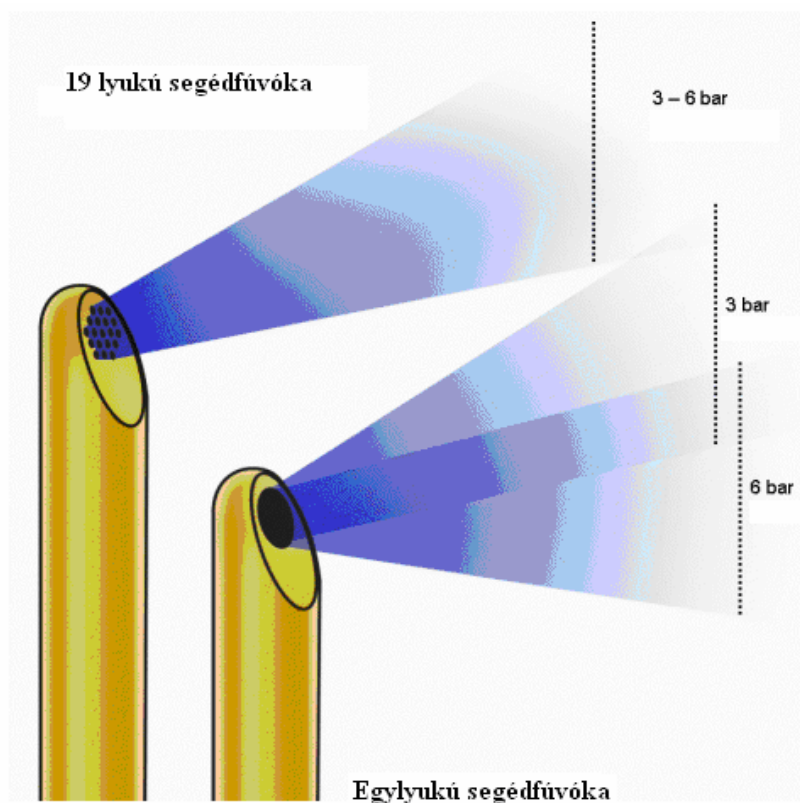
1. melléklet. Műanyag konfúzor lamellásoros Nissan légsugaras szövőgép [53]



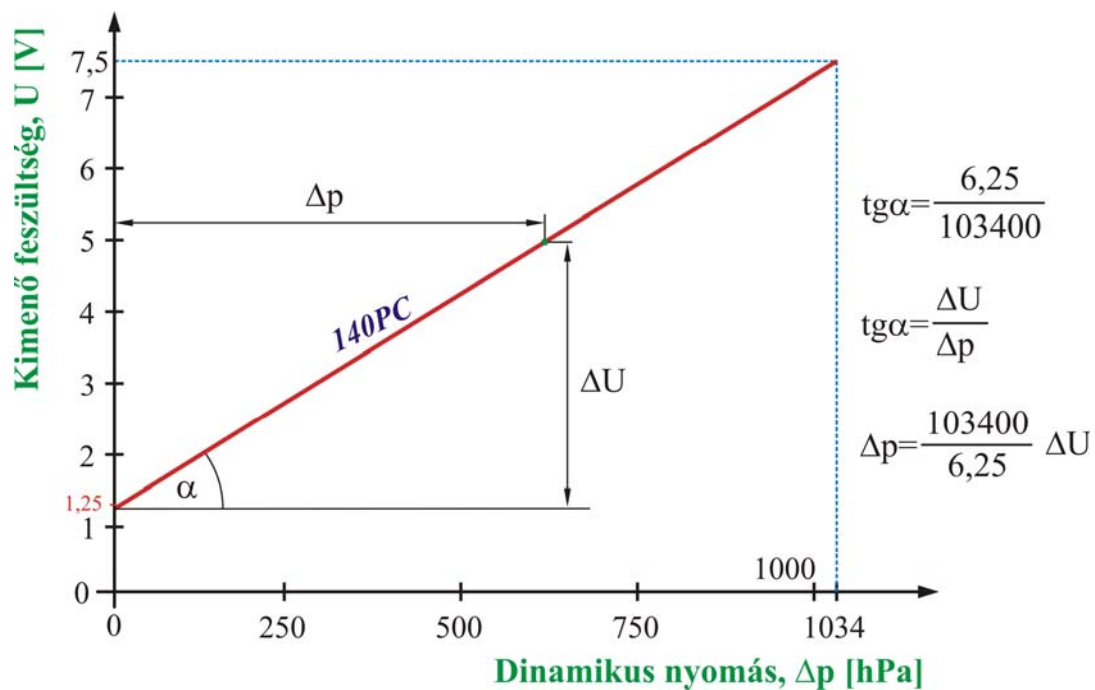
2. melléklet. Különböző kialakítású tölcséres profilbordák [54]



3. melléklet. Tölcséres kialakítású bordában a vetülék mozgása a fő-és az első segédívóka hatásában [48]



4. melléklet. Egy és 19 lyukú segédfűvókák légáramának összehasonlítása [14]



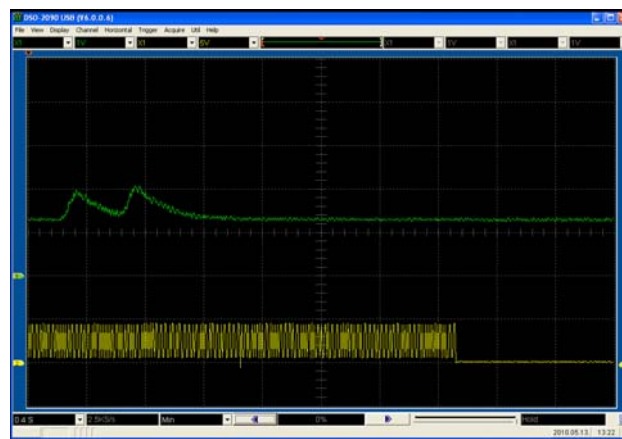
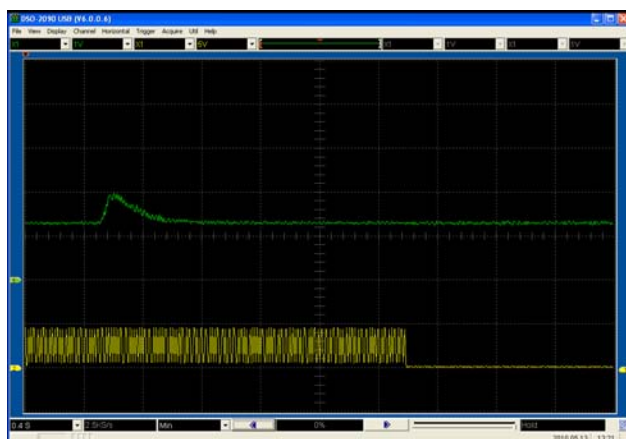
5. melléklet. 140PC nyomásérzékelő hitelesítési diagramja

Bordaszélesség x [cm]	Feszültség ΔU [V]	Din. nyomás Δp [Pa]	Légsebesség u [m/s]
0	2,64	44010,42	270,83
0,98	1,72	28645,83	218,5
1,97	0,67	11197,92	136,61
2,95	0,44	7291,67	110,24
3,94	0,33	5468,75	95,47
4,92	0,22	3645,83	77,95
5,91	0,16	2604,17	65,88
6,89	0,11	1822,92	55,12
7,88	0,09	1562,5	51,03
8,86	0,06	1041,67	41,67
9,84	0,05	781,25	36,08
10,83	0,03	520,83	29,46
11,81	0,05	781,25	36,08
12,8	0,03	520,83	29,46
13,78	0,03	520,83	29,46
14,77	0,03	520,83	29,46
15,75	0,03	520,83	29,46
16,73	0,03	520,83	29,46
17,72	0,02	260,42	20,83
18,7	0,02	260,42	20,83
19,69	0,03	520,83	29,46
20,67	0,05	781,25	36,08
21,66	0,03	520,83	29,46
22,64	0,02	260,42	20,83
23,63	0,02	260,42	20,83
24,61	0	0	0

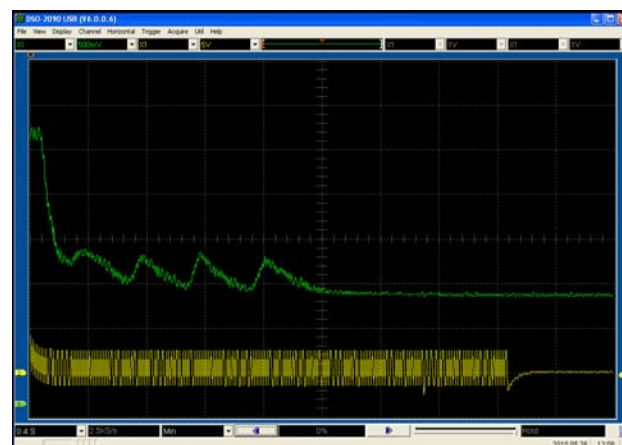
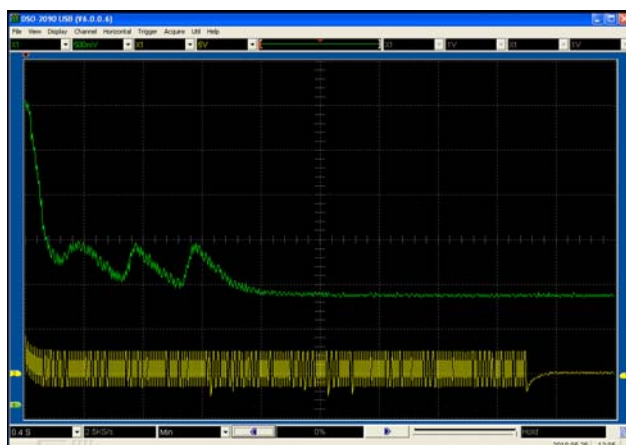
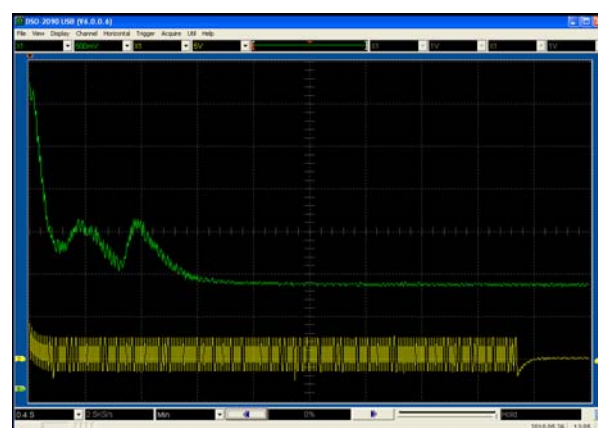
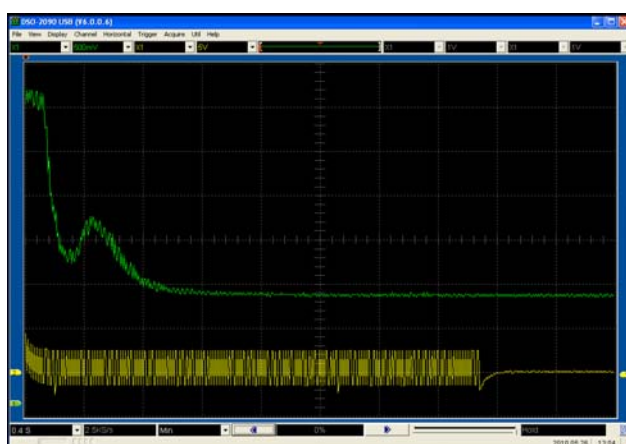
6. melléklet. Légsebességek alakulása a vetüléksatornában $p_t = 0,5$ MPa tartálynymás esetén

Bordaszélesség x [cm]	Feszültség ΔU [V]	Din. nyomás Δp [Pa]	Légsebesség u [m/s]
0	2,19	36458,33	246,5
0,86	2,22	36979,17	226,16
1,72	2,09	34895,83	196,5
2,58	1,19	19791,67	181,62
3,45	0,59	9895,83	128,43
4,31	0,44	7291,67	110,24
5,17	0,31	5208,33	93,17
6,03	0,25	4166,67	83,33
6,89	0,22	3645,83	77,95
7,75	0,16	2604,17	65,88
8,61	0,12	2083,33	58,93
9,47	0,08	1450,023	49,16
10,34	0,07	1216,621	45,03
11,2	0,05	876,9197	38,23
12,06	0,02	322,1093	23,17
12,92	0,016	272,9813	21,33
13,78	0,016	272,9813	21,33
14,64	0,006	100,6215	12,95
15,5	0,006	100,6215	12,95
16,37	0,004	61,206	10,1
17,23	0,003	61,206	10,1
18,09	0,003	61,206	10,1
18,95	0,002	40,04934	8,17
19,81	0,002	40,04934	8,17
20,67	0,001	10,78656	4,24
21,53	0,001	10,78656	4,24
22,4	0	0	0
23,26	0	0	0
24,12	0	0	0
24,98	0	0	0
25,84	0	0	0

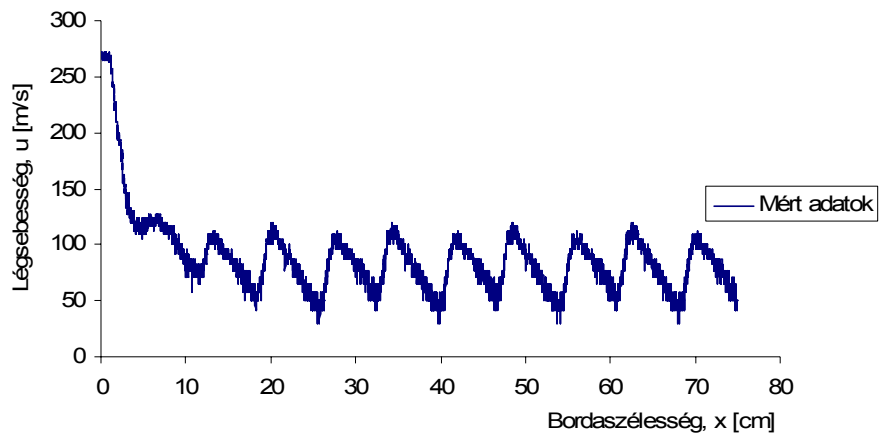
7. melléklet. Légsebességek alakulása a vetülékcatornában $p_t = 0,4$ MPa tartálynyomás esetén



8. melléklet. Segédfűvőkák által létesített áramlási képpel arányos feszültség eloszlás



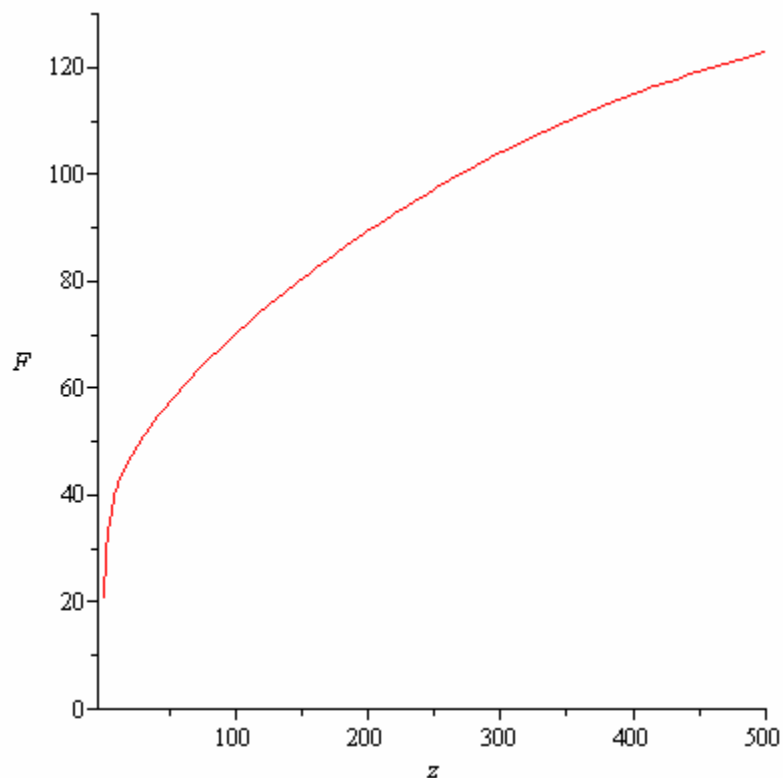
9. melléklet. A főfűvőka és a segédfűvőkák áramlási képének JPG ábrája



10. melléklet. A főfűvóka és 10 segédűvóka légáramának alakulása a vetüléksatornában
Microsoft Excel Programmal ábrázolva

$$> F_f := 21 + \int_{7.8}^z \left(-0.0004 \cdot z + \frac{5.288}{z} + 0.3243 \right)^{1.37} dz :$$

$plot(F_f, z = 7.8..500, F = 0..130);$



11. melléklet. Az (5.25) egyenlet Maple integrálása

```

Sub adatgen()
' adatgen Makró
' Rögzítette: Szabó L., dátum: 2011.03.05.
' Billentyűparancs: Ctrl+i
Dim aes, ker, t0, idszorzo, i, j, k As Integer
Dim idkoz As Double
aes = Val(InputBox("Első adat sorszáma="))
t0 = Val(InputBox("Kezdő időpont="))
idkoz = Val(InputBox("A mérési időköz (mp)="))
idszorzo = Val(InputBox("Az időköz ismétlődényezője="))
ker = Val(InputBox("Pontos tizedesek száma="))
i = aes
j = 2
Do While Not IsEmpty(Cells(i, 1))
Do While Cells(i, 1).Value < t0
    i = i + 1
Loop
Cells(j, 8) = Cells(i, 1).Value
Cells(j, 9) = Round(Cells(i, 1).Value, ker)
Cells(j, 10) = Round(Cells(i, 2).Value, ker)
Cells(j, 11) = Round(Cells(i, 2).Value / 6 * 10 ^ 5, ker)
Cells(j, 12) = Round(Cells(i, 1).Value * Cells(1, 8).Value, ker)
Cells(j, 13) = Round(Sqr(Cells(i, 3).Value * 2 / 1.2), ker)
i = i + idszorzo
j = j + 1
Loop
Cells(3, 7) = "Adatszám:"
Cells(4, 7) = Str(j - 2)
End Sub

```

12. melléklet. Átlagoló Excel makroja

FOURIER közelítés a teljes bordaszélesség mentén

```

Sub FTGR()
'
' FTGR Makro
' Rögzítette: Szabó L., dátum: 2011.02.14.
'
' Billentyűparancs: Ctrl+g
'
' az adatsorok indexe:0,1,...,2*L
Dim F(2000) As Double
Dim XT(2000) As Double

Dim maszsz As String
Dim mm, xx As String
maszsz = InputBox("Mért adatok páratlan száma=")

```

```

Dim aj(2000) As Double
Dim bj(2000) As Double
Dim KETPI, VA As Double
Dim KETL, KETL1 As Integer
Dim i, j, k, l, m, masz As Integer
masz = Val(maszs)
'masz mért adatok száma
KETPI = 2 * 3.14159265358979
KETL = masz - 1
KETL1 = KETL + 1
For i = 0 To 2000
aj(i) = 0
bj(i) = 0
F(i) = 0
Next
VA = Cells(KETL + 2, 4).Value
For i = 0 To KETL
F(i) = Cells(i + 2, 5).Value
XT(i) = Cells(i + 2, 4).Value
XT(i) = (XT(i) - XT(0)) * KETPI / (VA - XT(0))
Next
For j = 0 To KETL

For i = 0 To KETL
aj(j) = aj(j) + F(i) * Cos(KETPI * i * j / KETL1)
bj(j) = bj(j) + F(i) * Sin(KETPI * i * j / KETL1)
Next
aj(j) = 2 / KETL1 * aj(j)
bj(j) = 2 / KETL1 * bj(j)

Next

```

'KÖZELÍTÉS

```

Dim YMX As Double
Dim x As Double
Dim h As Double
Dim hh As String
Dim n As Integer

'xx = InputBox("Közelítés helye=")
'x = Val(xx)
hh = InputBox("Közelítés lépésköze=")
n = 0
h = 0
Do While h <= VA

```

```

x = h
x = (x - XT(0)) * KETPI / (VA - XT(0))
YMX = aj(0) / 2
For j = 1 To KETL
  YMX = YMX + aj(j) * Cos(j * x) + bj(j) * Sin(j * x)
  DJNEGYZET = 0
  FNEGYZET = 0
  For i = 0 To KETL
    FNEGYZET = FNEGYZET + F(i) * F(i)
  Next
  GYUJT = 0
  For k = 1 To j
    GYUJT = GYUJT + aj(k) * aj(k) + bj(k) * bj(k)
  Next

  DJNEGYZET = FNEGYZET - KETL1 / 2 * (aj(0) * aj(0) / 2 + GYUJT)

If DJNEGYZET <= 0.00001 Then
  Exit For
End If
Next
Cells(n + 2, 7) = YMX
Cells(n + 2, 6) = x / KETPI * 74.91035
n = n + 1
h = h + Val(hh)
Loop
End Sub

```

13. melléklet. Fourier közelítés Excel makroja

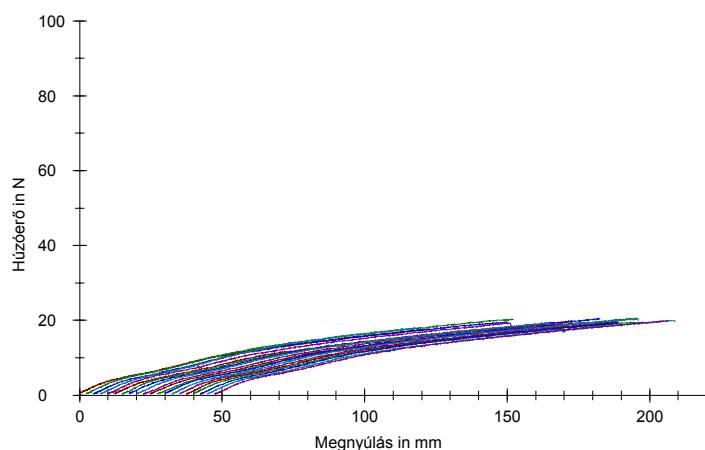
Az alábbi 14. mellékletben a 5.2.1. pontban ismertetett (poliészter alapanyagú, multifilament fonalminta) vetülék szilárdságát (σ^*) határoztam meg. Dolgozatomnak nem volt célja a vetülékminta részletes vizsgálata. Azonban annak eldöntésére, hogy a fonal kis- vagy nagyszilárdságú elvégeztem a szilárdság meghatározásához szükséges méréseket és számításokat.

A vizsgálatokat az Óbudai Egyetem Anyagvizsgálatok Laboratóriumában a Zwick I 1454-MOPS típusú 20 kN-os szakítógéppel végeztem el.

14.1. táblázat. Szakítási próbák eredményei

Nr	Fmax. N	□ Rm %	RB N/mm ²	□ Break %	□ Fmax. mm
max.	2500,00				
min	5,00				
1	17,67	24,44	17,53	24,46	122,58
2	20,27	29,66	20,27	29,85	148,84
3	19,55	28,68	19,55	28,82	144,30
4	17,94	21,92	17,91	21,96	109,84
5	19,28	27,65	18,53	28,16	138,70
6	19,62	31,88	19,38	31,96	160,06
7	18,73	28,57	18,73	28,58	143,89
8	20,41	32,84	20,38	32,89	164,90

Nr	Fmax. N	□ Rm %	RB N/mm ²	□ Break %	□ Fmax. mm
max.	2500,00				
min	5,00				
9	19,35	28,88	19,08	28,99	144,52
10	19,11	29,13	19,08	29,34	145,89
11	19,45	30,59	19,18	30,91	153,26
12	20,55	33,37	19,90	33,56	167,59
13	18,70	27,16	18,67	27,17	136,72
14	20,34	32,51	20,31	32,55	162,96
15	19,59	30,36	19,55	30,79	152,20
16	19,38	29,85	19,35	30,05	150,29
17	19,45	30,82	19,45	31,28	154,96
18	19,38	28,92	19,35	29,01	146,12
19	19,93	32,22	19,52	32,58	162,06
20	19,93	31,53	19,93	31,59	158,82



14.1. ábra. Vetülminták szakítódigramjai

14.2. táblázat. Szakítási próbák átlagértékei

Series	Fmax. N	ε Rm %	RB N/mm ²	ε Break %	ε Fmax. mm
n = 20					
$\bar{F}_{\max}$	19,43	29,55	19,28	29,73	148,42
s	0,75	2,82	0,75	2,85	14,17
v	3,88	9,53	3,87	9,60	9,55

A 14.2 táblázat $\bar{F}_{\max}$ értékéből és az 5.3. pontban meghatározott $T = 80 \text{ tex}$ lineáris sűrűség-
ből

$$\sigma^* = \frac{\bar{F}_{\max}}{T} = \frac{1943 \cdot cN}{80 \cdot tex} = 24,28 \cdot \frac{cN}{tex}.$$

A vetülmék nagyszilárdságú: ($\sigma^* > 20 \cdot cN / tex$).

13. melléklet. Vetülminta szilárdságának meghatározása

15. CD ROM melléklet

