



# **Előtanulmány a RAF6 szárnyszegmens Lézer Doppler Anemométer méréshez az NPL szélcsatornában**

**Berkó Balázs**  
/AK4LG8/

Diplomaterv 1.  
/BMEGEÁTMKD1/

Benyújtva az  
Áramlástan Tanszéken  
2011 decemberében  
a  
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem  
Gépészmérnök mesterszak / Áramlástechnika szakirány  
képzésben

Master of Science (MSc)  
fokozat megszerzésére

Témavezető:  
Nagy László, egyetemi tanársegéd

Áramlástan Tanszék  
Gépészmérnöki Kar  
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

## **NYILATKOZAT**

Név: Berkó Balázs  
Neptun kód: AK4LG8  
Egyetem: Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem  
Kar: Gépészmérnöki Kar  
Tanszék: Áramlástan Tanszék  
Mesterszak / Szakirány: Gépészmérnöki mesterszak (MSc képzés)  
Áramlástechnika szakirány  
Diplomaterv 1. feladat címe: Előtanulmány a RAF6 szárnyszegmens Lézer Doppler  
Anemométer méréshez az NPL szélcsatornában  
Beadás éve: 2011 / 2012 - I.

Alulírott, Berkó Balázs (AK4LG8), a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem hallgatója, büntetőjogi és fegyelmi felelősségem tudatában kijelentem és sajátkezű aláírással igazolom, hogy a bírálatra és a védeésre benyújtott Diplomaterv 1. feladat kizárólag saját munkám eredménye, konzulesem útmutatásai alapján meg nem engedett segítség nélkül magam készítettem.

A Diplomaterv 1. feladat kidolgozásakor csak a megadott forrásokat használtam fel. Minden olyan részt, melyet szó szerint vagy azonos értelemben, de átfogalmazva más forrásból átvettem, egyértelműen, a forrás megadásával megjelöltem, és a szerzői jogi szabályoknak megfelelően kezeltem (a szükséges lábjegyzet / végjegyzet hivatkozásokat, valamint az ábrák hivatkozását megfelelően helyeztem el).

Egyúttal elfogadom, hogy a Diplomaterv 1. feladatban szereplő tudományos eredményeket a konzulensem Tanszéke felhasználhatja további kutatási vagy oktatási célokra.

Budapest, 2011. december 12.

---

(aláírás)

## **TÁJÉKOZTATÓ**

A mind nyomtatott, mind elektronikus formátumban benyújtott Diplomaterv 1. feladat, valamint annak hivatalos bírálata a védeést követően a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Áramlástan Tanszék könyvtárában (H-1111 Budapest, Bertalan L. 4-6. BME „Ae” épület) érhető el.

## KIVONAT

A diploma 1 téma célkitűzése az LDA-s és hődrótos mérések előkészítése volt a RAF 6 szárny szegmenshez NPL (Eiffel típusú) szélcsatornában  $Re=1,3E+05$  Reynolds szám mellett. A szárny szélessége  $2,5c$  (ahol  $c$  a húr hossz) és állásszöge pedig  $5^\circ$ . A mérés előkészületeken kívül sikerült elő méréseket is végezni, amely során felmerült problémák figyelmeztettek a mérések nehézségeire, viszont segítséget is nyújtottak a további hibák kiküszöböléséhez. A mérések kiértékelése a sebesség és rms profilra koncentrált.

## TARTALOMJEGYZÉK

1.	A mérési technikák és a kísérleti berendezések és beállítások.....	5
1.1	A mérési technikák alapjai .....	5
1.1.1	Hődrótos anemométer (HWA).....	5
1.1.2	Lézer doppler velociméter (LDV).....	5
1.2	A kísérleti berendezések és beállításai .....	6
1.2.1	NPL szélcsatorna.....	6
1.2.2	RAF-6 szárnyszegmens.....	6
1.2.3	Hődrótos anemométer .....	6
1.2.4	Lézer doppler velociméter.....	7
2.	Eredmények és kiértékelésük .....	9
2.1	Hődrótos mérés érzékenységének vizsgálata .....	9
2.1.1	Irány érzékenység vizsgálata.....	9
2.1.2	Mintavételezési frekvencia.....	11
2.1.3	Átlagolási idő .....	13
2.2	Lézer doppler velociméterrel kapott eredmények .....	15
2.3	Eredmények összevetése .....	15
2.3.1	Sebesség profil vizsgálata .....	15
2.3.2	RMS-ek vizsgálata .....	17
3.	Irodalomjegyzék.....	19
4.	Melléklet.....	20
4.1	Beállítások méréshez és kalibráláshoz nyomástávadó és hődrótos méréshez .....	20
4.1.1	Nyomástávadóhoz tartozó szoftveres beállítások .....	20
4.1.2	1 D-s Hődrótos mérés beállításai .....	29
4.1.3	NPL állvány.....	34

# 1. A MÉRÉSI TECHNIKÁK, KÍSÉRLETI BERENDEZÉSEK ÉS A BEÁLLÍTÁSOK

## 1.1 A mérési technikák alapjai

### 1.1.1 Hődrótos anemométer (HWA)

A hődrótos anemometria az áramlás konvektív hőátadásán alapuló mérés technika, amit egy az áramlásba helyezett felfűtött fémszál érzékel. A hőelvonás az áramlás sebességétől függ, minél nagyobb a sebessége annál nagyobb lesz a hőelvonás.

A hőelvonást befolyásoló tényezők:

- folyadék jellemzői (sűrűsége, dinamikus viszkozitása, hő kapacitása, hővezető képessége),
- áramlási paraméterek (sebesség, hőmérséklet, nyomás, stb.),
- hődrót konfiguráció (hossz, átmérő, túlfűtési arány)

Ennél a mérésnél nagyon fontos a hődrót érzékenysége, ezért a hővezető képessége minél kisebb legyen és a hőellenállási együtthatója pedig nagy, ebből az okból lényeges a fémszál hossz és átmérő aránya is, ami legalább  $200 \times L/D$  szokott lenni.

A mérés során közvetlenül a feszültséget  $U$  [V] tudjuk mérni, ebből a kalibráció segítségével megkapható a sebesség. A módszer lényege, hogy a közeg áramlása a dróttól hőt von el a hő elvonás hatására csökken a drót ellenállása, amit viszont a wheatstone-híd segítségével állandó értéken tudunk tartani és így a drót hőmérsékletét a szabályzással állandó értéken tartjuk, így az időben változó mennyiség a tényleg a feszültség lesz. [1.], [2.]

### 1.1.2 Lézer doppler velociméter (LDV)

Ez a mérés technika a mérőtér egy adott pontjában a lokális sebesség mérésére használatos. A mérő berendezés az áramlásba közvetlenül nem avatkozik be, viszont mivel a sebesség detektálásához szükség van fény visszaszóró részecskékre, ezért arra ügyelnünk kell, hogy azok a lehető legjobban kövessék az áramlást.

Az LDA megfelelő működésének alapjai: fényforrástól, optikai elrendezéstől, fényvisszaszóró részecskéktől, detektortól és az elektronikus jelfeldolgozó rendszertől függ.

A működése során a lézerfényt prizmákon és lencséken keresztül két részre bontják ugyanakkora intenzitással és átmérővel. Ezek egy kis térfogatú pontban metszik egymást – ez a mérő térfogat – itt pedig az interferencia jelensége miatt egy váltakozó intenzitású csíkozott rész alakul ki. Az ezen keresztül haladó részecske a különböző intenzitású sávokból különböző intenzitású fényt szór vissza, és ezt a detektor érzékeli. A interferencia miatti csíkok közötti távolság jó definiált minden lézernél a hullámhosszából és a lézer sugarak metszési szögéből számítható a következőképpen

$$\Delta x = \frac{\lambda}{2 \sin \varphi},$$

ahol a  $\Delta x$  a csíkok közötti távolság,  $\lambda$  a lézer hullámhossza,  $\varphi$  pedig a két lézer sugár által bezárt szög fele.

A detektor a visszaszórt fény jelét átalakítja frekvencia függő részecske sebességgé, amit Doppler frekvenciának is nevezünk és  $U/\Delta x$ -ből kapjuk, ahol az  $U$  a részecske csíkozatra merőleges sebessége.

$$f_D = \frac{2U \sin \varphi}{\lambda}$$

A sebesség és a Doppler frekvencia közötti lineáris kapcsolat ösztönözte az LDA mérés technikának a terjedését a hődróttal szemben, főleg mióta lehetséges a pontos mérés

magas turbulencia fok mellett is. Legnagyobb előnye talán mégis az, hogy a lézer stabil belső paraméterei miatt nem szükséges kalibrálni a berendezést. [1.], [2.]

## 1.2 A kísérleti berendezések és beállításaik

### 1.2.1 NPL szélcsatorna

Az NPL (National Physical Laboratory) szélcsatorna 500 ×500 mm-es négyzetkeresztmetszet mérőterű kis sebességű, nyitott áramú, szívott üzemű, zárt mérőterű.



1. kép - Az Áramlástan Tanszéken található NPL szélcsatorna

A beszívás egy csillapító kamrán majd ezt követően egy konfúzion keresztül történik, a mérőteret egy diffúzor követi majd a levegőt áramoltató axiális ventilátor után az áramoltatott levegő újra eléri a laboratórium légtérét. A csatorna maximális szélessége 15 m/s. [1.]

### 1.2.2 RAF-6 szárnysegmens

Egy a Royal Air Force által kifejlesztet régi és egyszerű manapság általában ipari ventilátoroknál alkalmazott szárny segmens képezi a vizsgálatok tárgyát. A szárny profilt egyébként még az I. Világháború előtt fejlesztették ki és ekkor még kézi megmunkálással történt a gyártásuk. A szárnyprofil azonban a mai kor számára is szolgálhat új adatokkal, mivel a kifejlesztése során elmaradott volt a mérés technika, így kevés adatot lehet arról találni, hogy milyen a segmens körüli áramlási tér dinamikája. Minket különösen a szívott oldalon történő lamináris határréteg áramlás turbulens határréteg áramlássá fejlődése foglalkoztatott. A mérések során a szárny nyomott vízszintes oldala 5,5°-ot zárt be a vízszintessel. [3.]

### 1.2.3 Hődrótos anemométer

A mérés során 1D-s hődrótot használtunk, tehát az áramló levegő három sebesség komponenséből csak az „U” azaz a csatorna hossz tengelyével párhuzamos sebességet tudtuk mérni.

A mérés összeállítása során a mérőtérhez csak a szélcsatorna aljától tudtam hozzá férni, ezért a hődrótot mozgató tarverz is ide került és így csak korlátozott lehetőségem volt mérni a szárny körül. A hődrótos mérések a nyomvonalban és a szárny előtt történtek a következő pozícióban -0,25c; -0,1c; 0,1c; 0,25c; 0,5c; ahol c a szárny húr hossza (200 mm), és az origó a szárny kilépő élén helyezkedik el.

A méréshez P11 jelű hődrótot használtunk 1,8-as túlfűtési aránnyal, a hidegellenállást a szabályozó berendezésen (DISA TYPE 55M01 MAIN UNIT) lehetet leolvasni, amiből a

tanszék által fejlesztett program kiszámítja a felfűtésnél használatos ellenállást. További beállítandó paraméterek, amikre a kalibrációnál is szükség van a környezeti hőmérséklet és nyomás.



2. kép - A kalibrálás elrendezése (hődrót és fúvóka egymáshoz képesti helyzete)

A kalibráláshoz egy  $50 \text{ mm}^2$  kör keresztmetszetű szabadsugarat előállító fúvókát használtunk. A kifúvó nyílásától 15-20 mm-re helyeztük el a hődrótot ügyelve, hogy a kifúvó nyílás középpontja és a hődrót mind vízszintesen és függőlegesen is egy vonalba essen vele, valamint a hődrót merőleges legyen az áramlásra. A kalibrálásnál egy már a Betz-manométerhez előkalibrált nyomástávadót használtunk. A mért pontokra a kalibrációs görbét a King's law szabály szerint illesztettük

$$E^2 = A + B \cdot u^n,$$

ahol az együtthatók sorba  $A = 1$ ,  $B = 2,9$ , valamint a kitevő  $n = 0,5$ . [4.]

#### 1.2.4 Lézer doppler velociméter

A tanszék által nem régiben beszerzett MELLES GRIOT cég által gyártott LA 300-as 2D-s ionlézerrel, FSA 3500/4000 jelfeldolgozó rendszerrel és a PDM 1000 foto detektorral rendelkező LDV berendezéssel történtek a mérések.

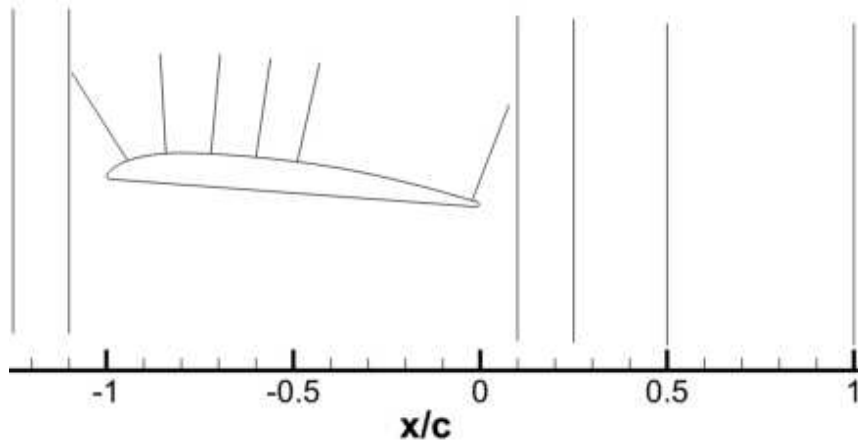
A két lézer sugár optikai beállításai a szétosztásuk előtt:

- hullámhossz: Channel (1) 514,5 nm és Channel (2) 488 nm,
- fókusztávolság mindkettőnél 363 mm, az átmérő 2,65 mm,

a ketté osztott lézer sugarak paraméterei:

- átmérő ugyanúgy 2,65 mm mindkettőnél,
- interferencia csíkok közötti távolság: Channel (1) 3,7441  $\mu\text{m}$ , Channel (2) 3,5513  $\mu\text{m}$ ,
- a lézer sugár nyaka ahol a sugarak metszik egymást: Channel (1) 89,73  $\mu\text{m}$ , Channel (2) 85,11  $\mu\text{m}$ ,
- Bragg cella frekvencia: 40 MHz,
- sebesség mérési határok: Channel (1) 3,74 – 29,95 m/s, Channel (2) 6,04 – 3,55 m/s.

A mérést a szárny szélességének a felétől 5mm-re végeztem, mert a szárnyfelület középvonalán nyomás kivezető nyílások vannak és ezek esetlegesen megzavarhatják a felület közeli méréseket. A szívott oldalon és a nyomban is mértem a következő pozíciókban -0,9115c; -0,8555c; -0,703c; -0,6c; -0,48c; -0,02c; 0,1c; 0,25c; 0,5c.



3. kép - RAF-6 szárnyprofil és a mérési pozíciók

A szárny szívott oldalán kettéosztottam a mérési tartományt az első a szárny felületétől a felületi görbületre merőlegesen 20 mm-ig tartott, a második pedig 20 mm-től a 70/100 mm-es magasságig. A mérési tartomány kettéosztására azért volt szükség, mert a szárny kitakarja az egyik sebesség komponens lézer sugarát, így a szárnyhoz közeli régióban a kellő mennyiségű burst begyűjtéséhez sok idő kell. Egyéb mérési beállítások: a szárny szívott oldalán a felületétől 20 mm-ig a sebesség méréséhez maximálisan összegyűjtött részecske száma 500, majd az ezt követő 20 – 70/100 mm-ig 30 000.



## 2. EREDMÉNYEK ÉS KIÉRTÉKELÉSÜK

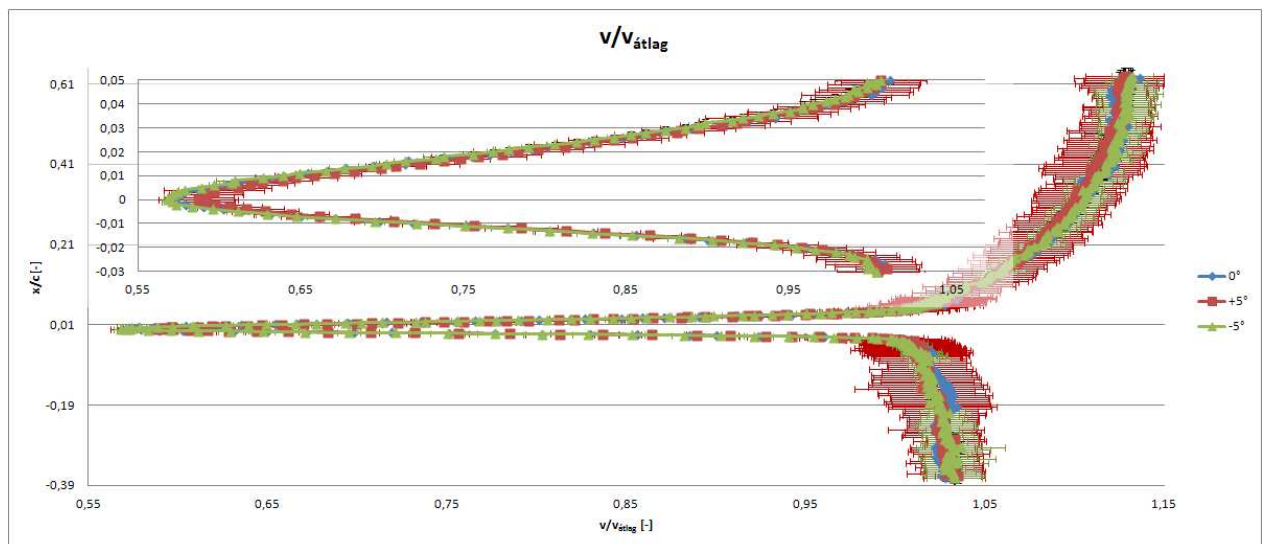
### 2.1 Hődrótos mérés érzékenységének vizsgálata

A mérések során vizsgáltam a hődrót irányérzékenységét valamint az átlagolási idő és a mintavételezési frekvencia hatását a kapott eredményekre.

#### 2.1.1 Irány érzékenység vizsgálata

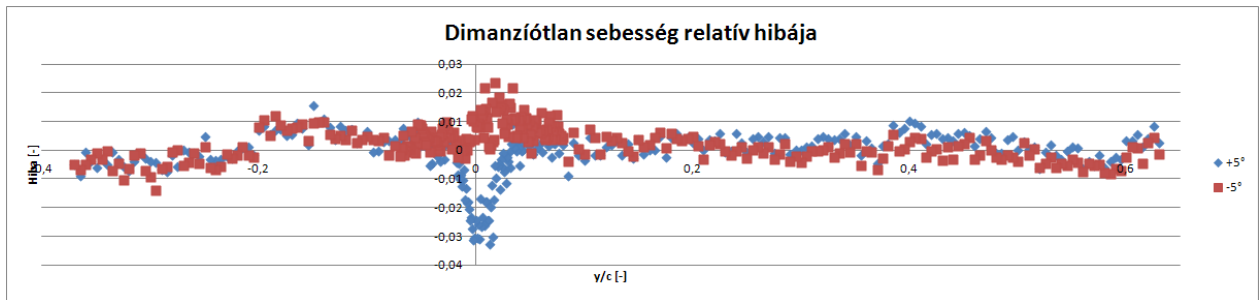
A mérések során 1D-s hődrótot használtunk, ami a szélcsatorna hossz tengelyével párhuzamos sebességről szolgáltat információkat. Mérés során fontos, hogy a hődrót merőleges legyen az őt érő áramlásra, ezt hajszál pontosan lehetetlen beállítani, ezért szükségesnek éreztük  $\pm 5^\circ$ -os szög elfordításban is mérni az  $x/c=0,1$ -es pozícióban a sebesség profilt. Így képet kaphattunk, mennyire irányfüggő a mérés és ezzel becsülhetővé vált a hibája.

A kapott eredmények biztatóak voltak. A mérések során a hődrót szögeltérése az áramlásra merőlegestől, ha  $\pm 5^\circ$  belül van, nem befolyásolja mérvadóan a további mérések pontosságát. A dimenziótlanított sebesség maximális relatív hibája 3,5% alatt maradt mindkét irányú elforgatásnál, 2. diagram. A sebesség profil hiba sávval az 1. diagramon látható. A nyom kisebb abszolút hibával van terhelve, mint a szívott vagy a nyomott oldal.



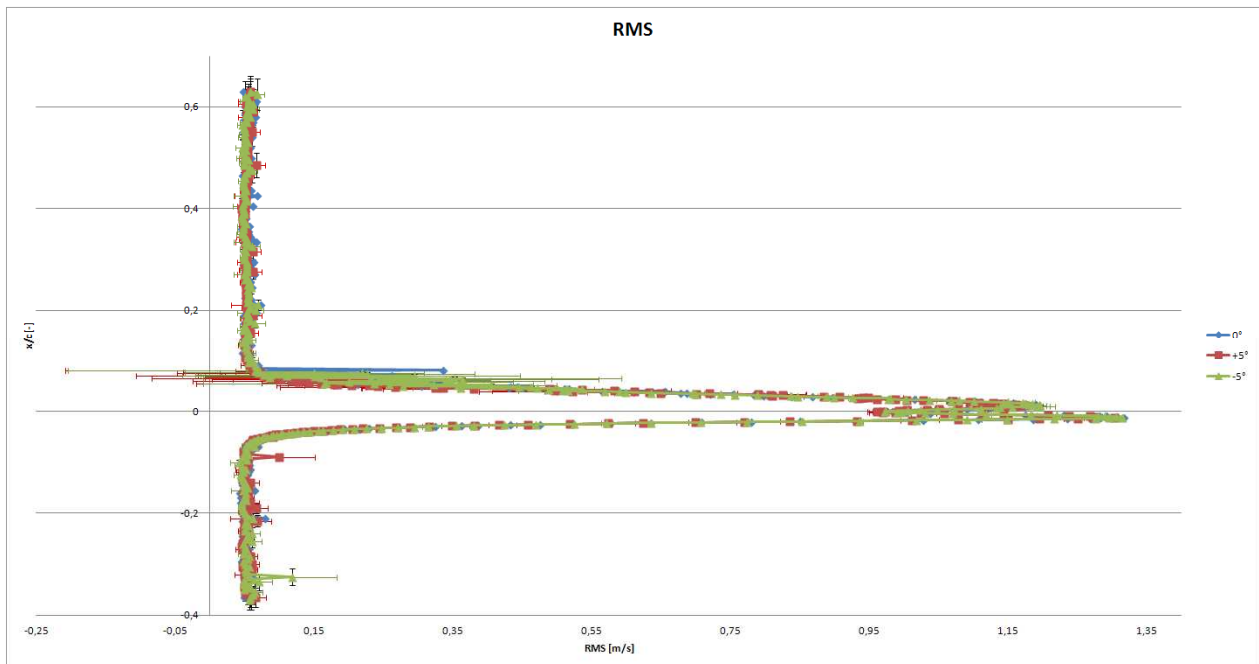
1. diagram – Irányérzékenység vizsgálat, dimenziótlanított sebesség profil hibasávval az  $x/c=0,1$ -es pozícióban

A relatív hiba eloszlása a sebesség profilnál elég egyenletes volt a szívott oldalon  $-1$  és  $1\%$  értékek között ingadozott, viszont kiugró értékeket kaptunk különösen a kilépő él magaságában. Valamint a nyomott oldalon pedig egy kis bizonytalanság volt tapasztalható körülbelül a  $0,21 y/c$ -nél a pozitív tartományból áttért a negatívba, 2. diagram. Az is jól megfigyelhető, hogy a nyomban a  $-5^\circ$ -os forgatásnál pozitív irányba tolódik el a relatív hiba csúcsa, míg a  $+5^\circ$ -os szögnél a negatív irányba. A nyomott oldali jel alakjában viszont nem tapasztalható ez a szimmetria. Ennek az oknak kiderítésére további vizsgálatok szükségesek.

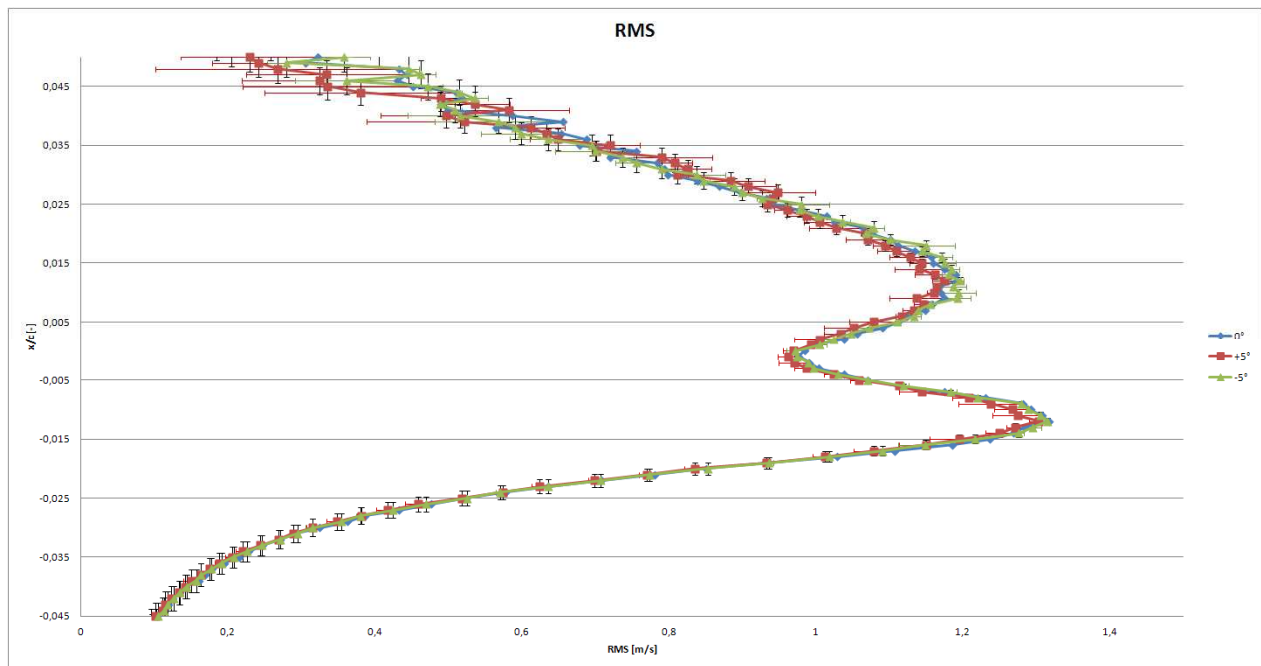


2. diagram - Irányérzékenység vizsgálat - dimenziótlantított sebesség relatív hibája az  $x/c=0,1$ - es pozícióban

Az rms, az időben mért sebesség négyzetes középértékéről tájékoztat minket. Ennek abszolút hibája egy nagyságrenddel nagyobb volt a sebesség abszolút hibájánál. A határrétegben az rms is kisebb hibával terhelt, mint a szívott vagy nyomott oldalon, 3-,4. diagram. A legnagyobb hibával terhelt rész az a turbulens-lamináris határátmeneti áramlásnál volt tapasztalható.

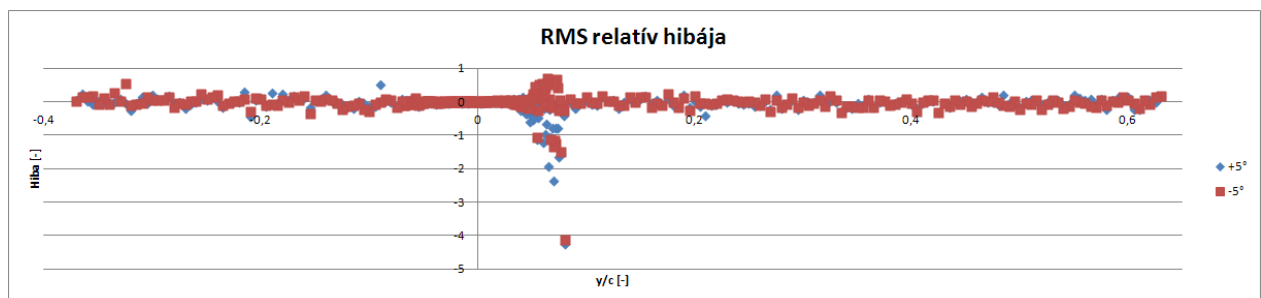


3. diagram - Irányérzékenység vizsgálat - rms hibásával az  $x/c=0,1$ - es pozícióban a)



4. diagram - Irányérzékenység vizsgálat - rms hibásával az  $x/c=0,1$ - es pozícióban b)

Az rms relatív hibája – hasonlóan, mint az abszolút – (5. diagram) a határrétegen belül a legkisebb 0% körüli, viszont az is jól kitűnik az eredményekből, hogy az  $y/c=0,65\pm 0,75$  tartományban egy csúcs alakul ki, ez az a hely ahol a szívott oldalon a lamináris határréteg véget ér és inntől kezdődik a turbulens áramlás. Erről mind az abszolút mind a relatív hiba tanúskodik, 5. diagram.



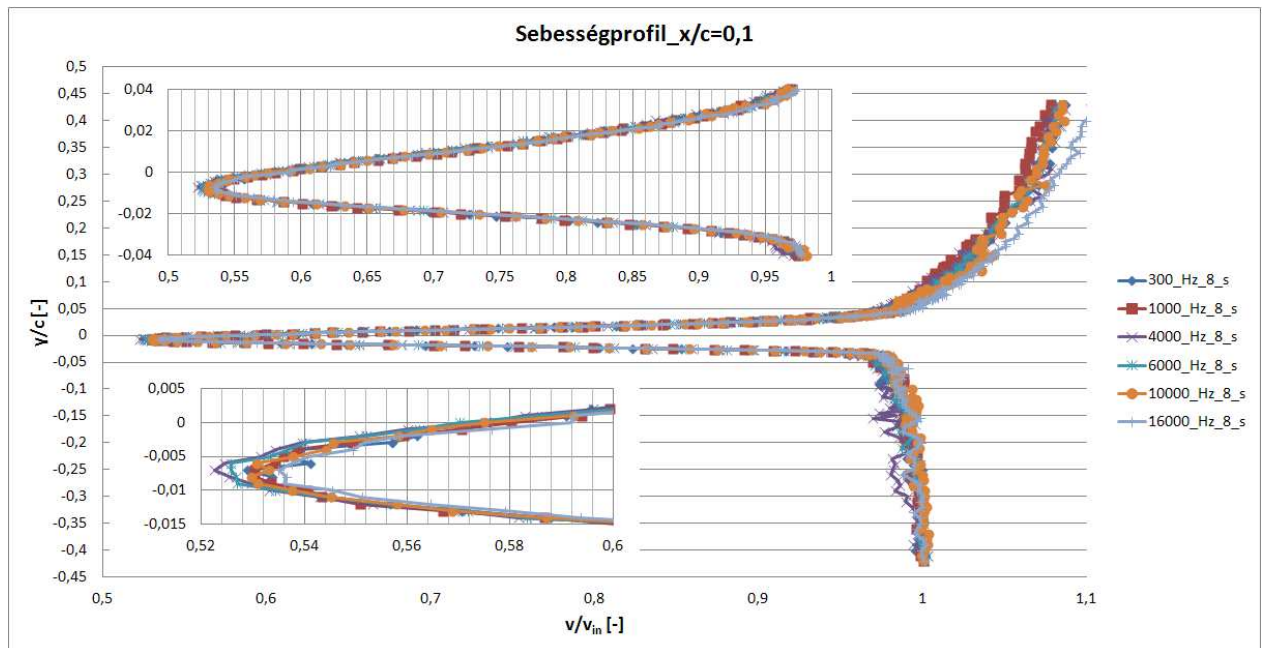
5. diagram - Irányérzékenység vizsgálat - rms abszolút hibája az  $x/c=0,1$ - es pozícióban

## 2.1.2 Mintavételezési frekvencia

Az irány érzékenység után a mintavételezési frekvenciát vizsgáltuk ( $f_m=300, 1000, 4000, 6000, 10000, 16000$  [Hz]). Az átlagolási időt 8 s-ra állítottuk be, így kellően elegendő adatmennyiségből tudott a program átlagolni (átlagolási adat mennyiség  $n_{300}=2400, n_{1000}=8000, n_{4000}=32000, n_{6000}=48000, n_{10000}=80000, n_{16000}=128000$ ). Látható, hogy míg a 300 Hz-es mérésnél 2400, addig a 16000 Hz-es mérésnél 128000 adat áll rendelkezésünkre, ez több mint 50 szer töb, így valószínű, hogy ez a jel minőségére is hatással van.

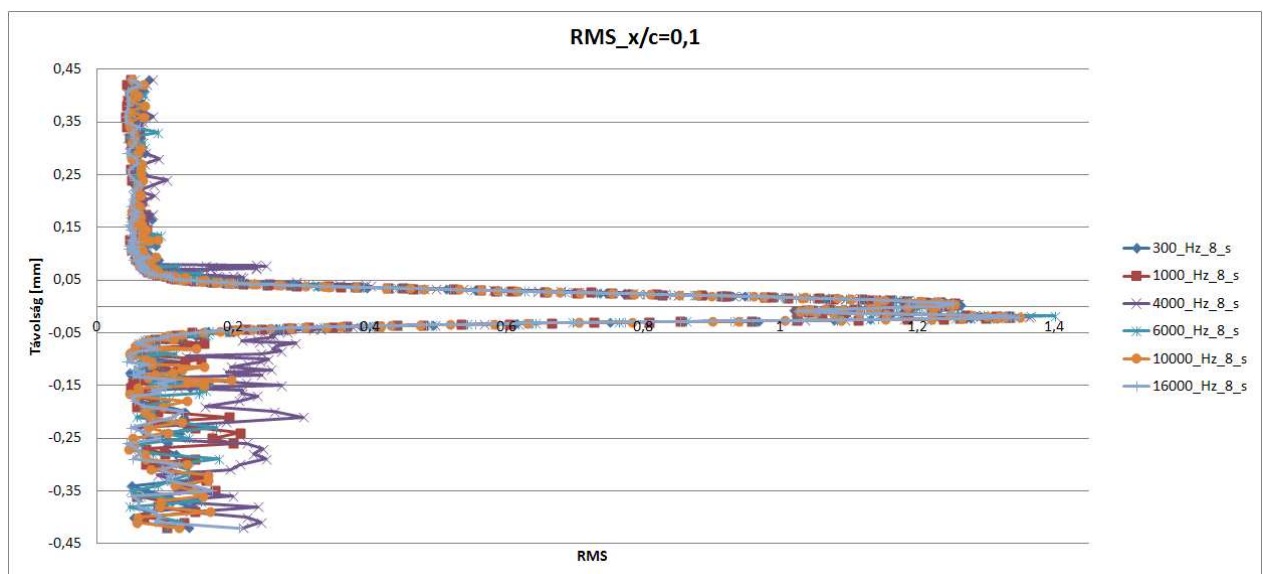
A különböző frekvenciákon mért sebesség profilok elég jó egyezést mutattak, eltérések igazából a szívott oldalon és a nyomott oldalon voltak. Ezek a 16000 Hz-es mérés, ami a szívott oldalon mutatott különbséget, valamint a 4000 Hz-es mérés, ami pedig a nyomott oldalon volt bizonytalansággal jobban terhelve. A határrétegen a kilépő élnél az eltérések

pedig  $0,01$  értéken belül mozogtak, ezek a különbségek picik és sok minden befolyásolhatta őket.

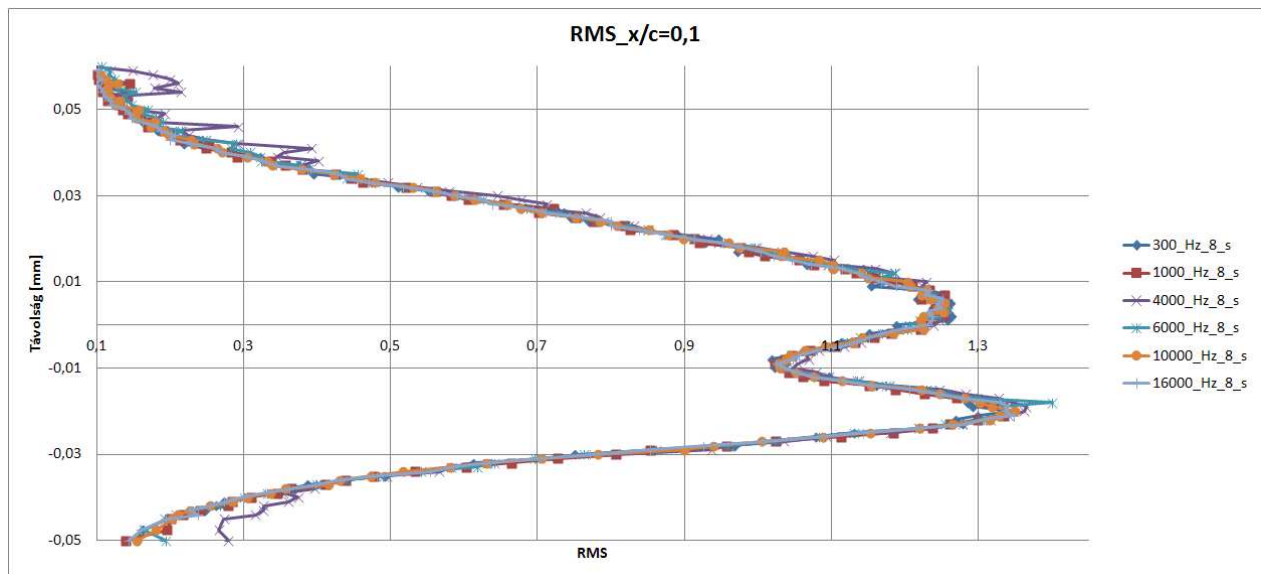


6. diagram - Mintavételezési frekvencia vizsgálata - dimenziótlantított sebesség profil az  $x/c=0,1$ -es pozícióban

Az rms profilnál nagyobb eltérések mutatkoztak, mit a sebesség profilnál. Itt is a nagyobb különbségek a szívott valamint a nyomott oldalon voltak tapasztalhatóak. A legrosszabb eredményt itt is a  $4000\text{ Hz}$ -es mérés produkálta különösen a nyomott oldalon. Ennek okának a feltárására további mérések szükségesek, 7.,8. diagram.



7. diagram - Mintavételezési frekvencia vizsgálata - rms profil az  $x/c=0,1$ -es pozícióban a)

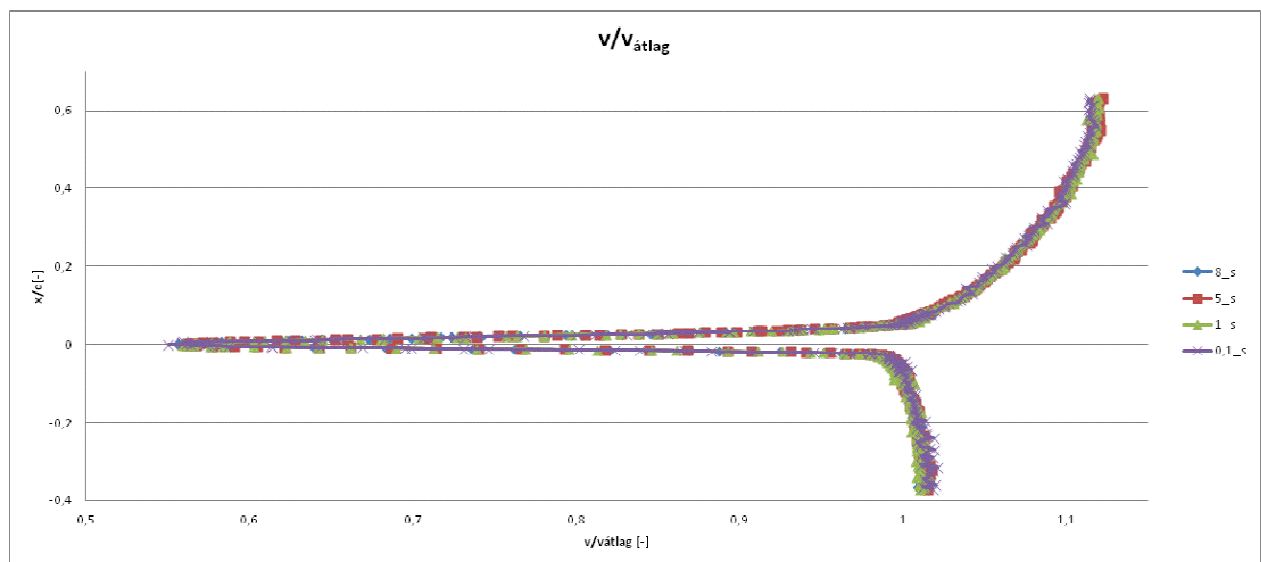


8. diagram - Mintavételezési frekvencia vizsgálata - rms profil az  $x/c=0,1$ -es pozícióban b)

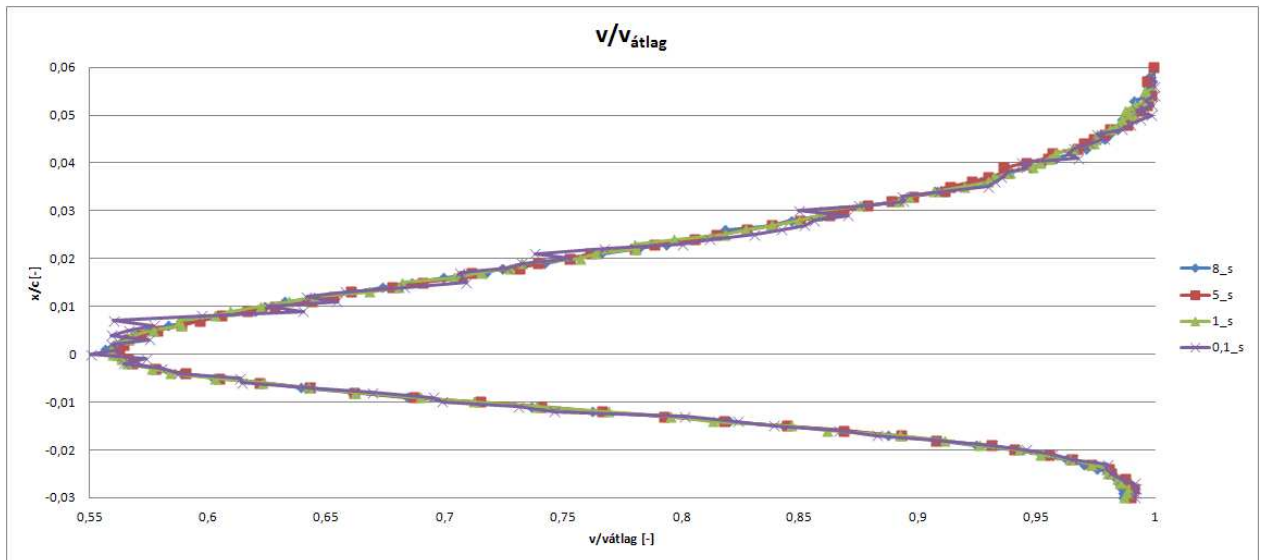
A további mérések során 6000 Hz-es mintavételezési frekvenciával fogunk dolgozni. Ez a frekvencia úgy lett kiválasztva, hogy kellően sok adatból átlagol a további FFT-s spektrum analízishez, valamint az egyes mérési pontok számítógép általi feldolgozási ideje is alacsonyabb.

### 2.1.3 Átlagolási idő

Az átlagolási idő vizsgálata során a különböző átlagolási idők különböző sebesség profiljai jól simuláltak egymásra, a legtöbb bizonytalansággal a 0,1 s-os profil volt terhelve, 9., 10. diagram.

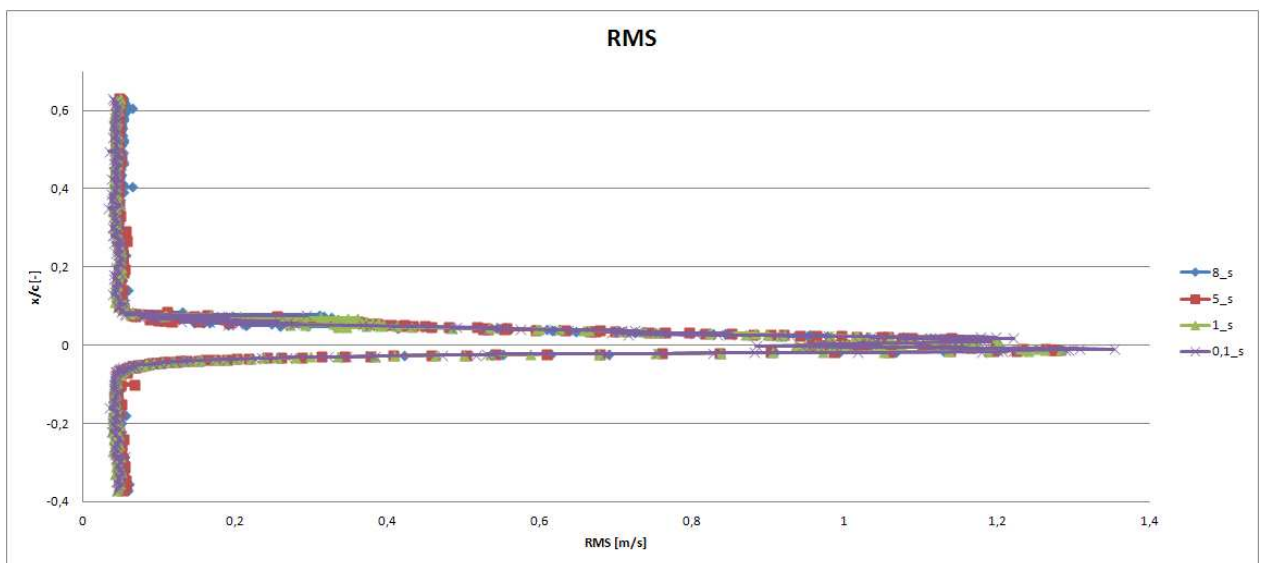


9. diagram - Átlagolási idő - dimenziótlanított sebesség profil az  $x/c=0,1$ -es pozícióban a)

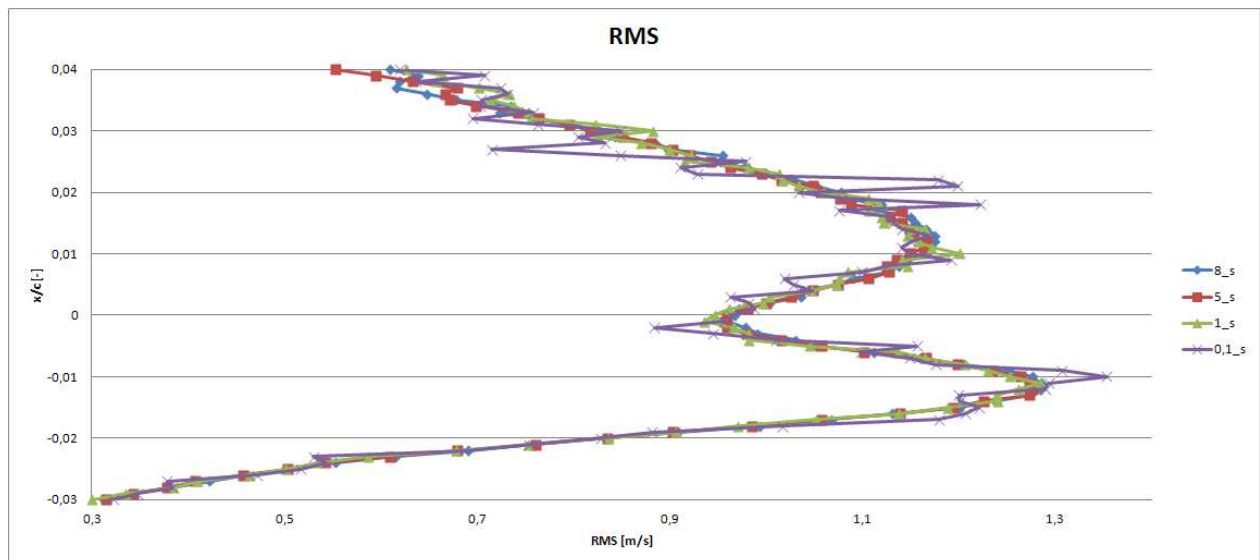


10. diagram - Átlagolási idő - dimenziótlantított sebesség profil az  $x/c=0,1$ -es pozícióban b)

Az rms profil vizsgálata során is a 0,1 s-os majd az 1 s-os jel tért el legjobban, viszont az 5 és 8 s-os jelek nagyon jó egyezést mutattak, 11.,12. diagram. A további mérésekhez ezért a mérési idő lerövidítése végett az 5 s-os átlagolási időt választottuk.



11. diagram - Átlagolási idő - rms profil az  $x/c=0,1$ -es pozícióban a)



12. diagram - Átlagolási idő - rms profil az  $x/c=0,1$ -es pozícióban b)

## 2.2 Lézer doppler velociméterrel kapott eredmények

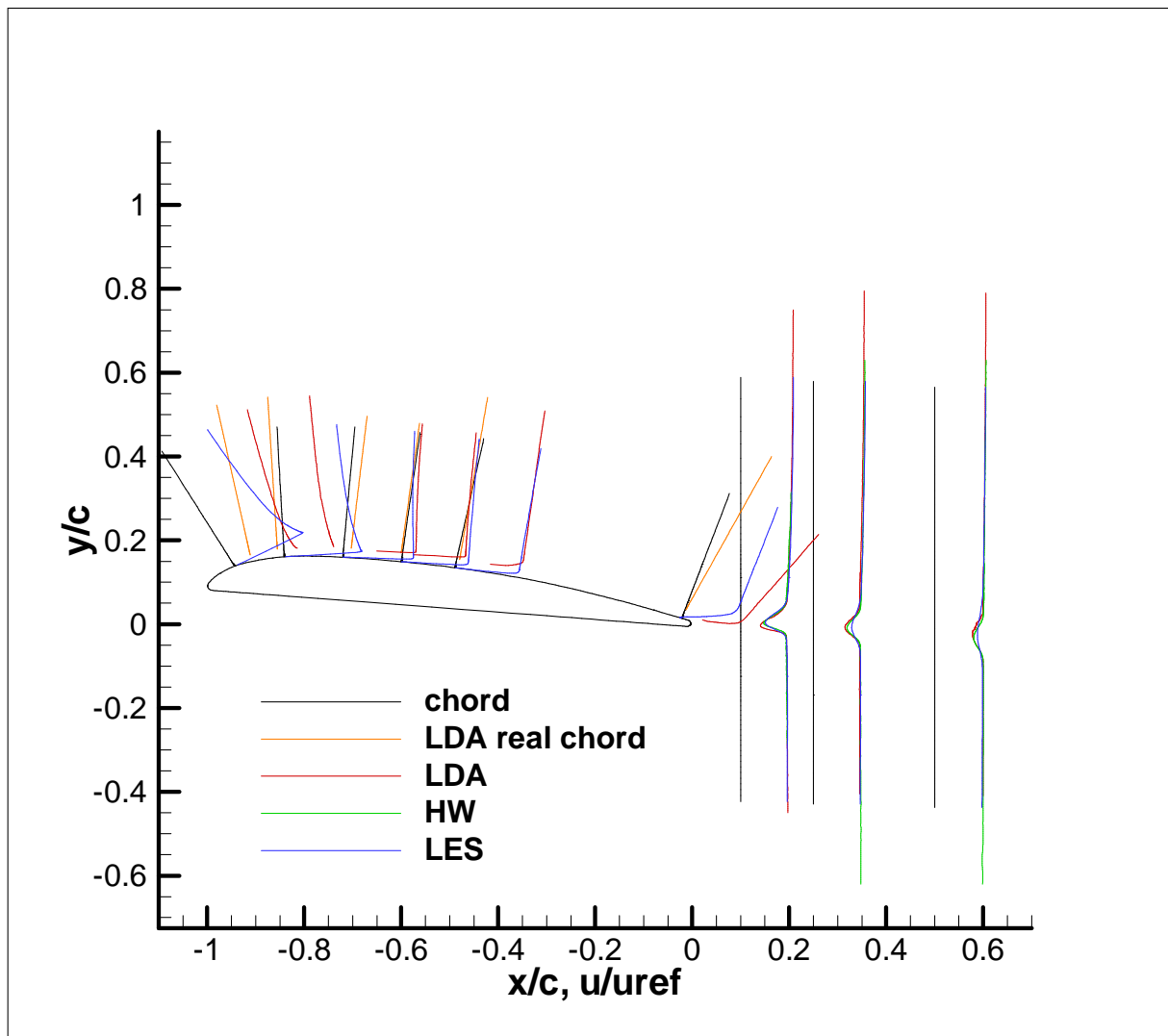
A diplomamám a lézer doppler velociméteres mérés előkészítése és megismerése volt. A mérések során a legtöbb probléma a helyes mérési beállítás megtalálásával akadt. A lézerrel az origó bemérése – szárny kilépő éle – valamint a pozicionálás – a szárny felületének megkeresése az adott pozícióban – volt a legnehezebb.

A mérési eredményeket egy az ANSYS-FLUENT-ben végzett régebbi LES szimuláció (LES\_05\_25, ahol az első szám  $L_z=0,5$  a szárny szélességének a felét jelenti, és az  $N_z=25$  pedig azt, hogy a szárny a szélessége mentén hány cellára van bontva) és a nyomban mért hődrótos eredményekhez hasonlítom.

## 2.3 Eredmények összevetése

### 2.3.1 Sebesség profil vizsgálata

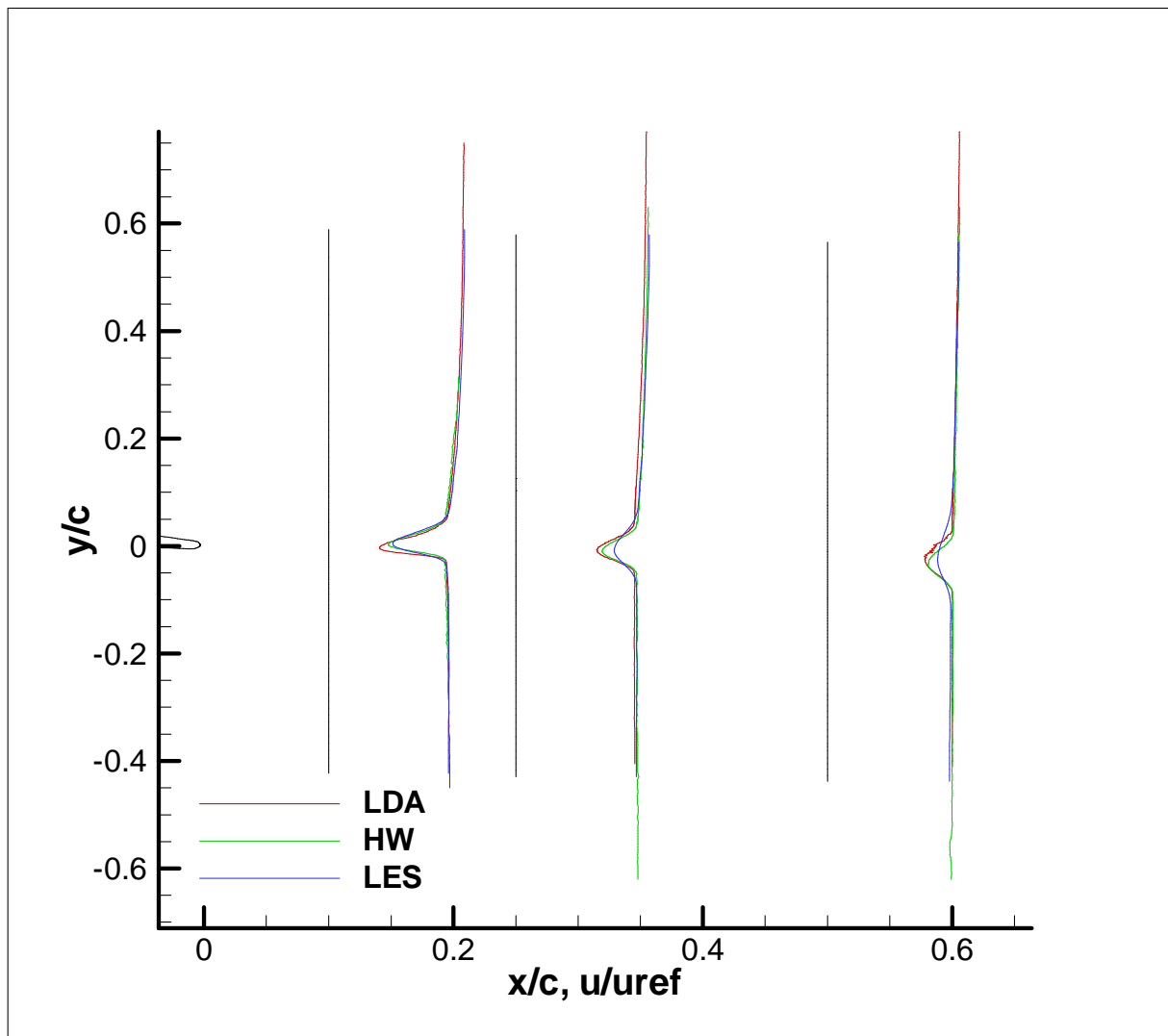
A 13. diagramon a különböző pozíciókban ( $x/c$ ) sebesség profilok láthatóak a szívott oldalon és a nyomban is. Megfigyelhető, hogy a nyomban való mérések és a LES eredményei jól simulnak egymásra. A szívott oldalon azonban nem volt ekkora szerencsénk. Itt a különböző pozíciókban a mért LDA-s eredmények nagy mértékben eltérnek a szimulációtól. A legnagyobb hiba mégis valószínű a rossz pozíció felvétel miatt lehetett. Így újabb mérésekre lesz szükségünk.



13. diagram - Eredmények összevetése - szárny körüli sebesség profilok az egyes pozíciókban

A nyomban megfigyelhető, hogy a hődrótos és az LDA-s eredmények jó egyezést mutatnak, míg a LES eredményei eltérnek tőlük, ez azért is lehetséges, mert ez egy régebbi futtatás és nem biztos, hogy megfelelőek voltak a beállítások, 14. diagram.

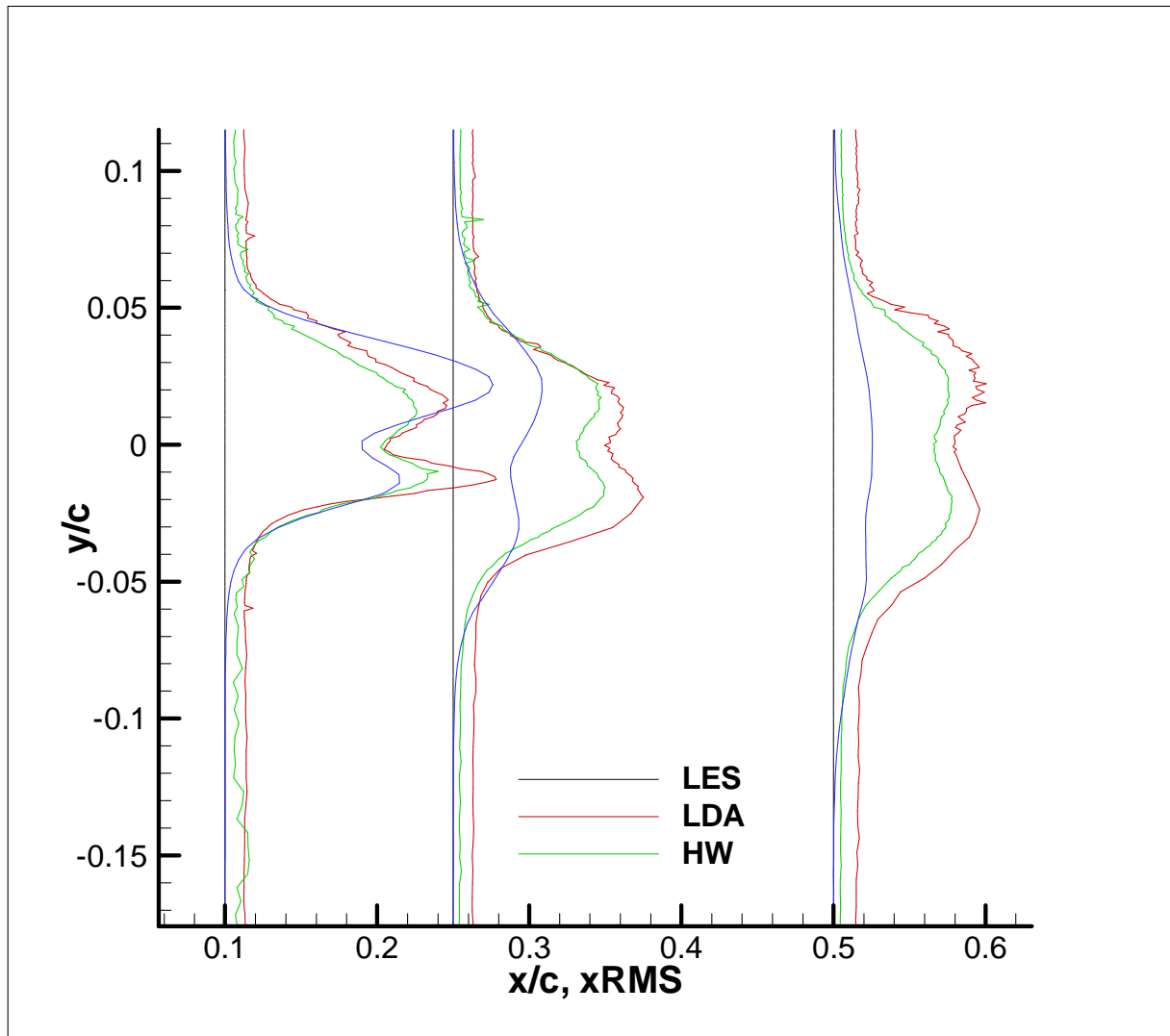




14. diagram - Eredmények összevetése – sebesség profilok a nyomban

### 2.3.2 RMS-ek vizsgálata

Az rms eredményeinek összevetésénél már csak a nyomot vizsgáltam, mivel a szívott oldalon nem a kívánt pozícióba kaptunk meg az eredményeket. Itt is mint a sebességprofilnál az LDA-s és a hődrótos eredmények eléggé hasonlóak voltak, az esetleges eltérésekre pedig a diploma 2 témámban szeretnék fényt deríteni, 15. diagram.



15. diagram - Eredmények összevetése – rms profilok a nyomban

### 3. IRODALOMJEGYZÉK

- [1.] LAJOS, T. (2008) Az áramlástan alapjai, pp.244-245.
- [2.] ZANOUN, E. S. (2003) Answers to Some Open Questions in Wall-Bounded Laminar and Turbulent Shear Flows, pp.31-33.
- [3.] [http://www.centennialofflight.gov/essay/Evolution\\_of\\_Technology/airfoils/Tech5.htm](http://www.centennialofflight.gov/essay/Evolution_of_Technology/airfoils/Tech5.htm)
- [4.] RÉGERT, T., NAGY, L., BALCZÓ, M., MOLNÁR, B. Investigation of the characteristic of turbulent boundary layer over an airfoil. In: *Conference on Modelling Fluid Flow(CMFF'06) Budapest, Hungary, September 6-9, 2006*

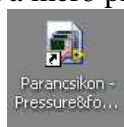
## 4. MELLÉKLET

### 4.1 Beállítások méréshez és kalibráláshoz nyomástávadó és hődrótos méréshez

#### 4.1.1 Nyomástávadóhoz tartozó szoftveres beállítások

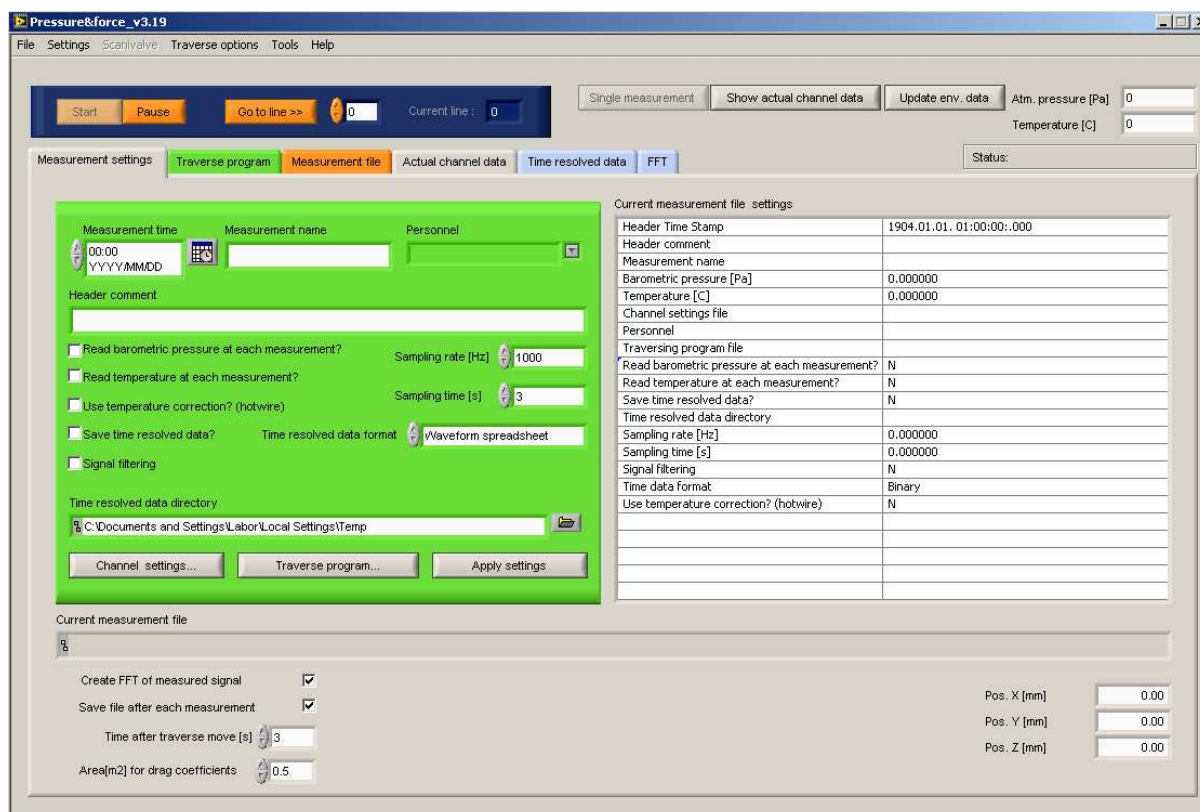
##### *Program indítása*

Valószínű a tanszék összes laborban lévő PC-jén az Asztalon megtalálható ez az Pressure&force ikon, amivel elindíthatjuk a mérő programot, ami egy LabWIEV alkalmazást:



4. ábra - Parancsikön

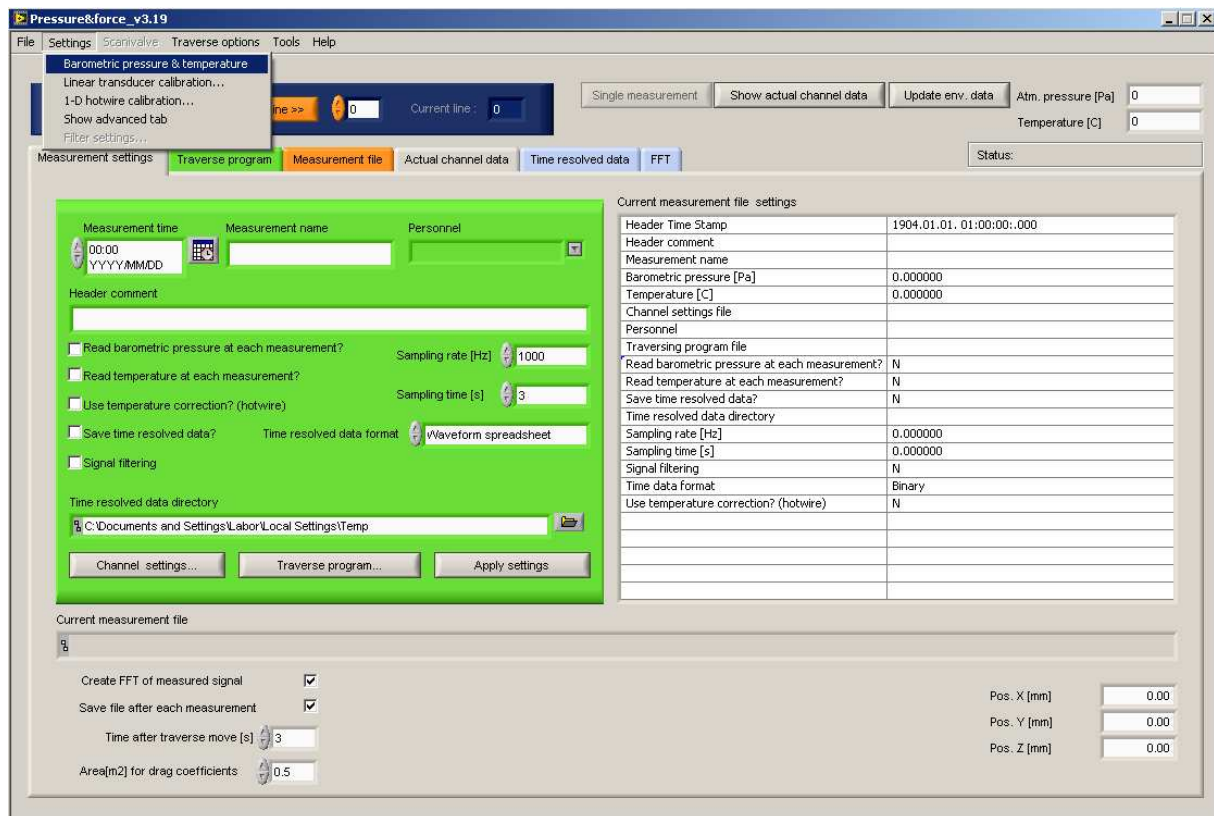
Az előugró ablakban a pressure&force\_main.vi-re kattintva indul a szoftver. Kezelőfelülete a 2. ábrán látható. Számos beállítási lehetőség áll rendelkezésünkre, amik közül a legfontosabbak megismerhetők a jegyzetből.



5. ábra - A program alapfelülete

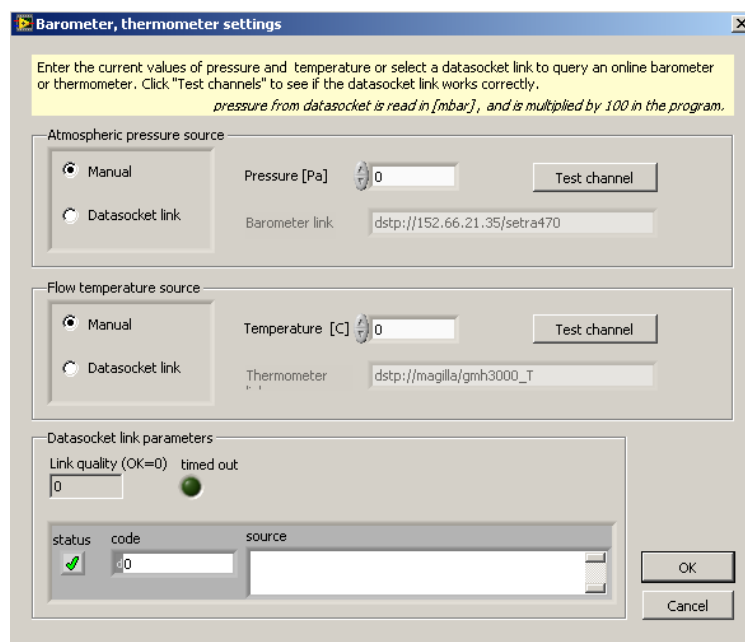
##### *Méréshez szükséges beállítások lépésről-lépésre*

Légköri nyomás és a hőmérséklet beállítása – Főmenü – Settings fül – Barometric pressure & temperature-ben lehetséges 3. ábra.



6. ábra - Nyomás és hőmérséklet beállítása, a)

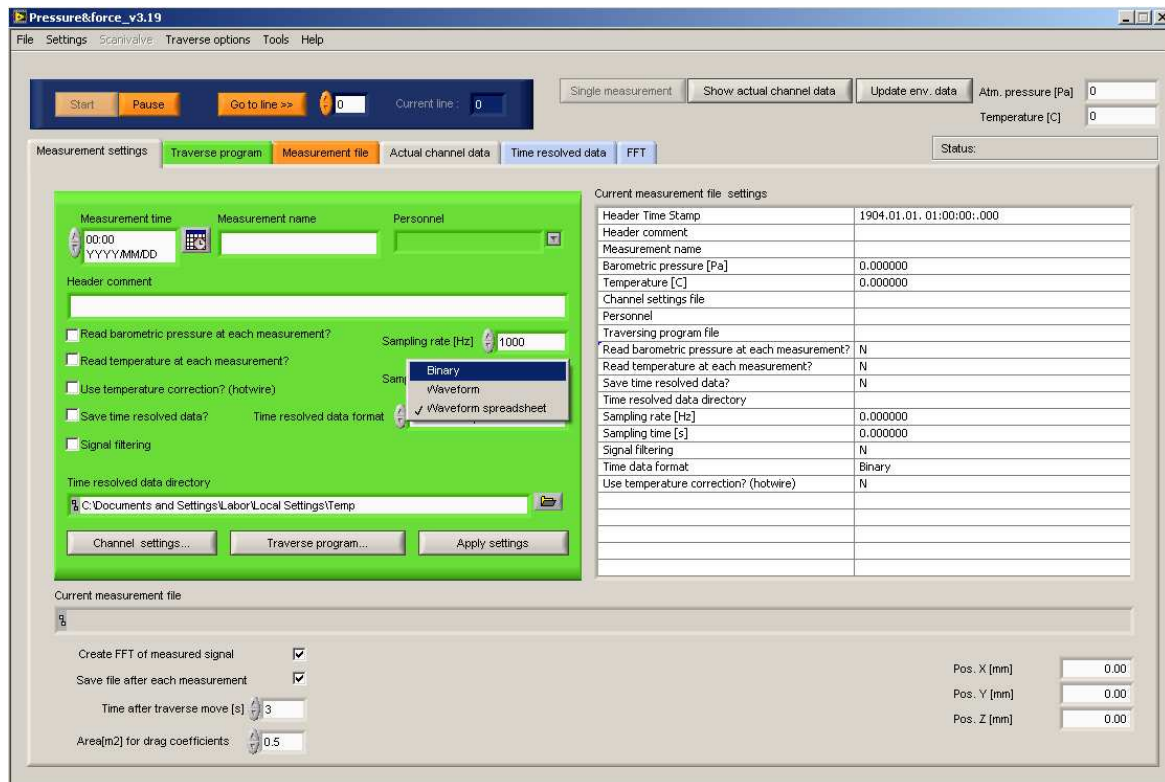
A 4. ábrán látható ablak ugrik fel amibe, ha nincsen a mérésünkönél nyomás és hőmérséklet szenzor, időben állandóan veszi a jelet, akkor a labor nagy szélesatornájánál elhelyezett hőmérőről és barométerről vagy a számítógépről leolvassuk a szükséges információt, és így a programban mindkét opciónál a Manual-t bejelölve beírjuk az adatokat. Ez az első lépés és elég fontos, ha kihagyjuk, akkor a mérés során a program a számított adatokat nem fogja tudni kiszámítani.



7. ábra - Nyomás és hőmérséklet beállítása, b)

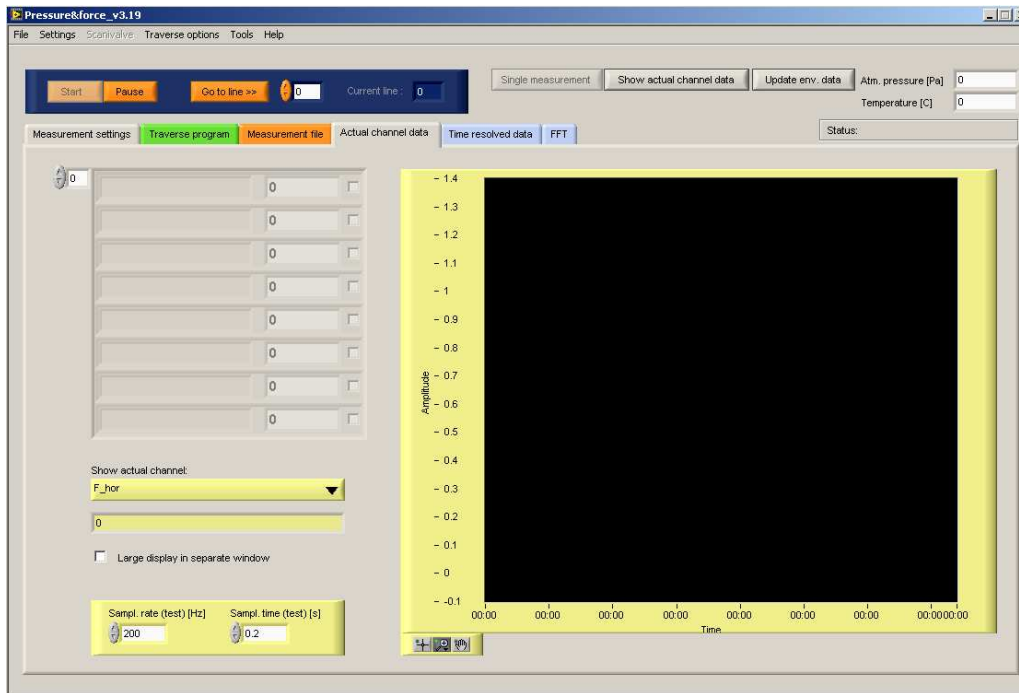
## Adatok kimentésének beállításai

A Time resolved data format (időfelbontásos adatformátum) beállításánál három lehetőségünk van (Binary, Waveform, Waveform spreadsheet). Én a mérés során a Waveform spreadsheetet használtam. Az adatok időbeni kimentéséhez a kezdő felületen be kell jelölni a Save time resolved data kapcsolót. A program képes az időbeli jelet FFT segítségével a frekvencia tartományba átvinni, ha az alapfelületen a beállításoknál bejelöljük a Create FFT of measured signal. Az így kapott jelet az FFT fül alatt tudjuk megnézni, és itt van lehetőségünk külön kimenteni is az adatokat. A mérések során szükséges mintavételezési frekvencia és mintavételezési idő is az alapfelületen állítható be a Sampling rate [Hz] és Sampling time [s].



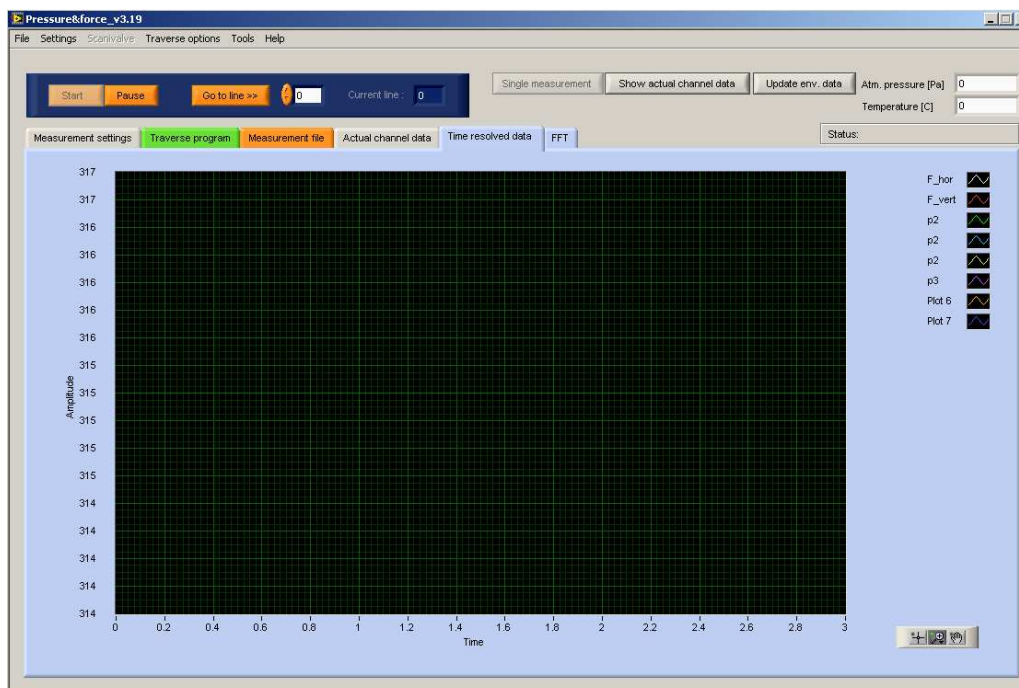
8. ábra – Alapbeállítások a)

Az Actual channel data fül segítségével a mérés pillanatnyi értékét tudjuk nyomon követni 6. ábra. Ki tudjuk választani az aktuális mérés során használni kívánt csatornákat és ezeket lehet például figyelni a mérés előtti beállításoknál, mivel ez az aktuális időbeli értéket mutatja.



9. ábra - Alapbeállítások d) Actual chanel data

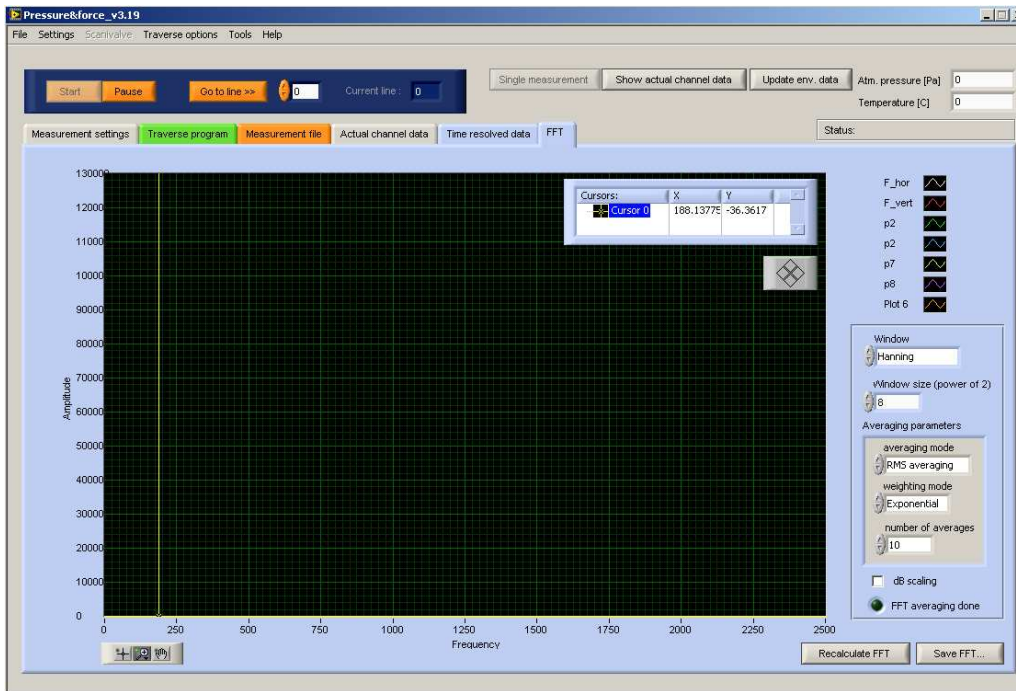
A Time resolved data fül alatti ablakban vizuálisan nyomon tudjuk követni a mért mennyiségek időbeni lefutását 7. ábra.



10. ábra - Alapbeállítások b) Time resolved data

Az FFT fül alatt pedig a mért jelek FFT transzformáltját láthatjuk és itt van lehetőség az FFT-hez szükséges beállítások megadására valamint ezeket az adatokat kimenteni is itt tudjuk.

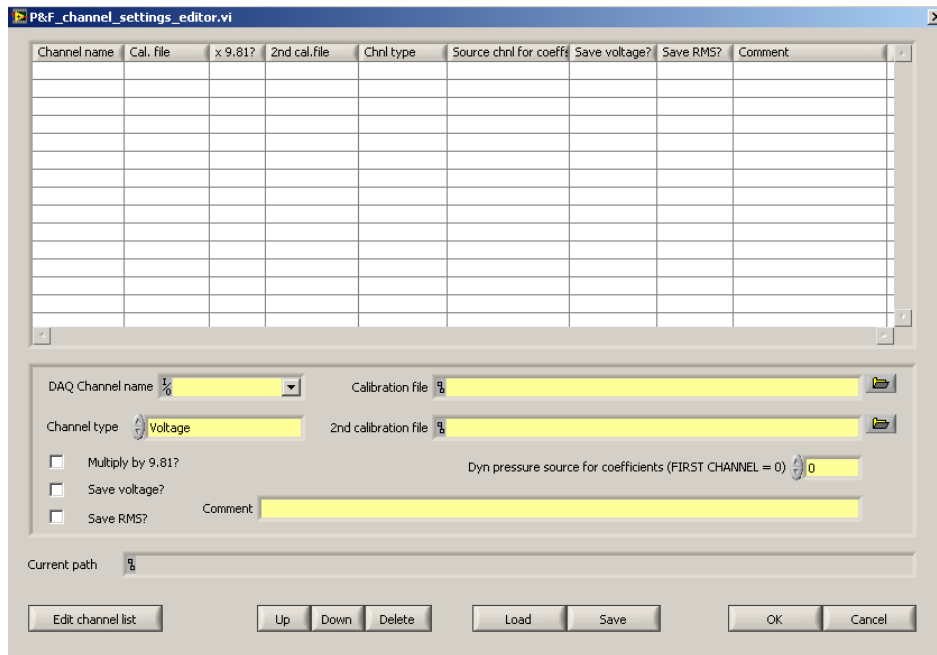




11. ábra - Alapbeállítások c) FFT

### Csatornák beállításai

A kezdő felületen a Channel settings... fülre kattintva előugrik az 9. ábrán látható ablak. A DAQ Channel name lehetőséget ad beállítani azt a csatornát ahová helyeztük a nyomástávadó adatkábelét az adat gyűjtőkártyába. A beállításnál figyelni kell arra, hogy ami az adat gyűjtőkártyán a 0-val jelzett csatorna az a szoftverbe az 1-es. Tehát 1-el el van tolvá az szoftveres csatornák az adat gyűjtő kártyához képest. A nyomástávadóhoz a p1... p7 jelű csatornák tartoznak a szoftverben.



12. ábra - Csatorna beállítások a)



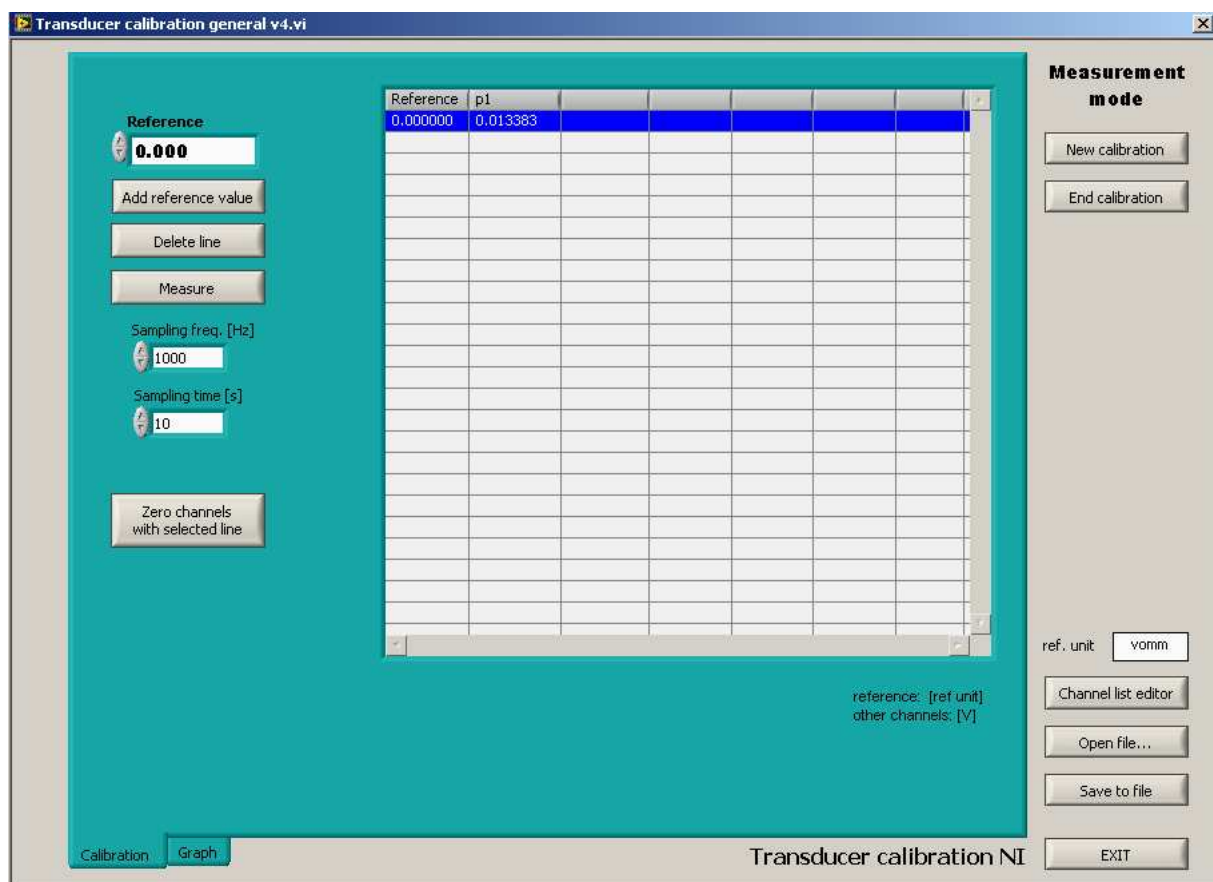
Aztán be kell állítanunk az adott csatornán a mért fizikai mennyiséghez a megfelelő mértékegységet, amit a Channel type-ban tehetünk meg. Mivel a nyomástávadóval a nyomást mérem ezért ebben az esetben a Pressure (nyomás) kell. Megjegyzés: valamint, ha hozzá adom még egyszer ugyanazt a csatornát a listához akkor lehetőségem van pl. szoftveresen kiszámolni a nyomásból a sebességet ez a Velocity (from pressure) beállításával lehetséges (sebesség nyomásból).

Szükségünk van a csatorna beállításnál a kalibrációs fájlra is, ami, ha nincsen, akkor magunknak kell csinálni, ezt a későbbiekben leírom, hogyan is kell. Tehát a kalibrációs fájlt a Calibration file fülnél kell beolvasni. Ezeket a beállításokat tetszőleges néven ki lehet menteni a lényeg, hogy tudjuk melyik az a fájl, amit így a későbbiekben fel tudunk használni.

### Kalibrálás

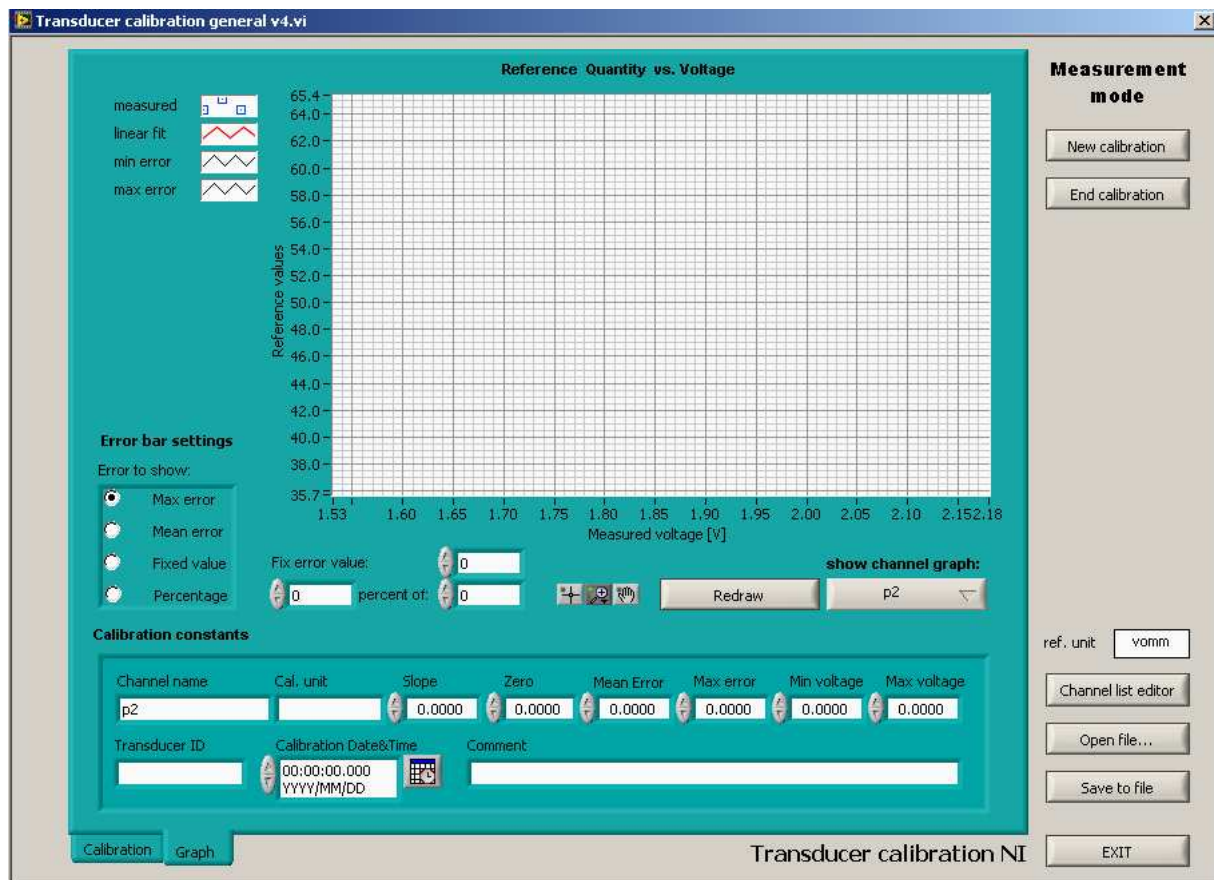
A kalibrálás a főmenübe a Settings fül alatt a Linear transducer calibration-ra kattintva lehetséges. Rákattintunk a New Calibration fülre. Betöltjük a használni kívánt csatornákat a Channel list editor-ba, a DAQ Channel Name alatt választjuk ki a használni kívánt csatornát, és az Add gombra kattintva hozzá adjuk.

A kalibrálást Boltzman-mikromanométerrel végeztem és fecskendővel biztosítottam a nyomást hozzá. Ügyelnünk kell a nyomástávadó mérési tartományára, nehogy nagyobb nyomást engedjünk rá mint amire tervezték. Ha beállítottuk a megfelelő nyomás értéket, majd indítunk egy mérést a Measure gombra kattintva és utána vagy előtte leolvassuk a manométer állását. Beírjuk a manométer értékét a Reference-be és az Add reference value gombbal a megfelelő nyomást hozzá is adtuk a feszültség értékhez. Kb. 15-30 mérési pont szükséges, hogy kellően pontos kalibrálási görbét illesszünk a kapott mérési pontokra *10. ábra.*



13. ábra - Kalibrálás a)

A Graph alsó fülre majd a Redraw gombra kattintva megrajzolja a program a lineáris kalibrációs görbét. Ezt a Save to file segítségével kimentjük. Tanácsos másolatot készíteni a kalibrációs fájlról, hogy a nullázásnál ne az eredetit használjuk, mert felülírja a fájlt.



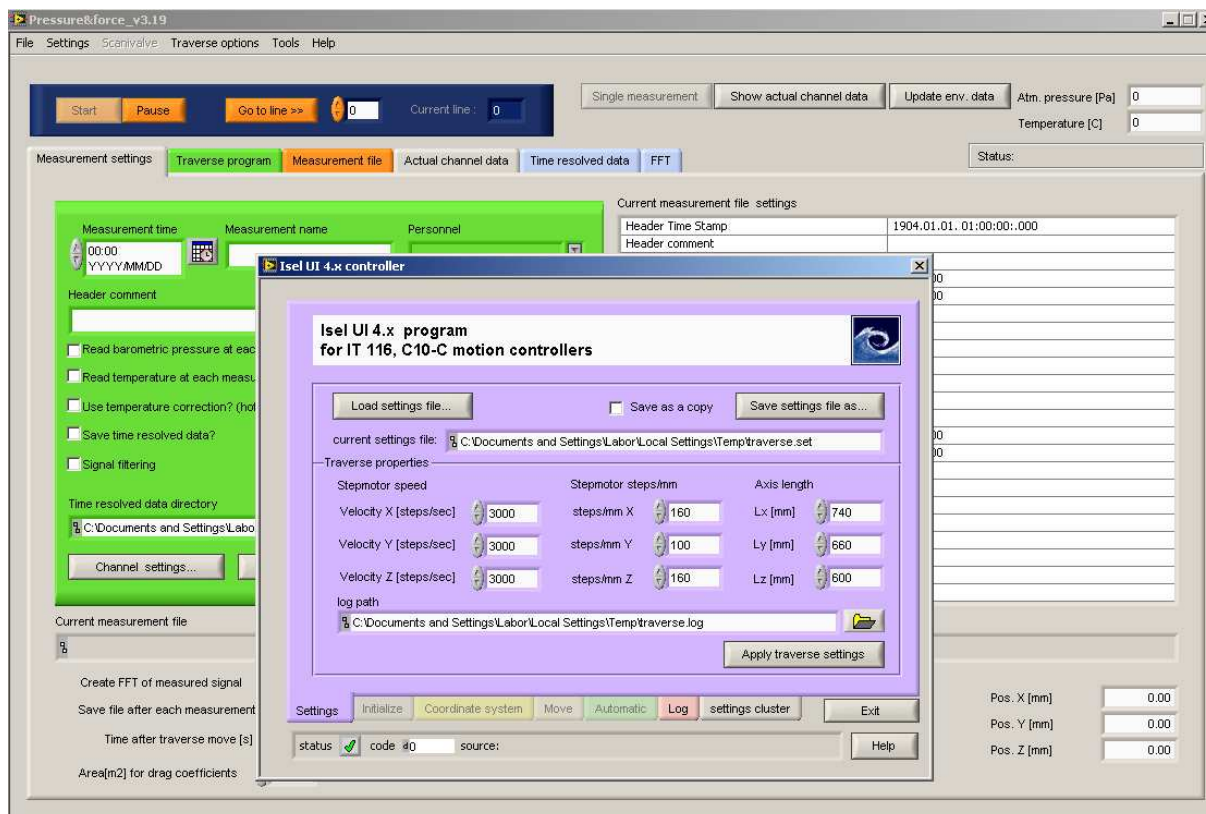
14. ábra - Kalibrálás b)

### Nullázás

A nullázásnál is hasonlóképpen járunk el, mint a kalibrálásnál. Be kell tölteni a már meglévő kalibrációs fájlt vagy fájlokat. Majd mérni kell, úgy hogy a nyomástávadó két kivezetése között ne legyen nyomáskülönbség. Elindítjuk a mérést. A program kiírja a kapott értéket voltban, majd a Zero channels with selected line-nal nullát rendelünk a kapott értékhez. Ellenőrzés képpen kirajzoltatjuk a Graph fülnél az eltolt görbét és elmentjük lehetőleg más néven, mint az eredeti kalibrációs fájlt. A Channels settings-nél ezeket a nullázott kalibrációs fájlokat kell betölteni a Calibration file-ba, ahogy az előző pontban már írtam.

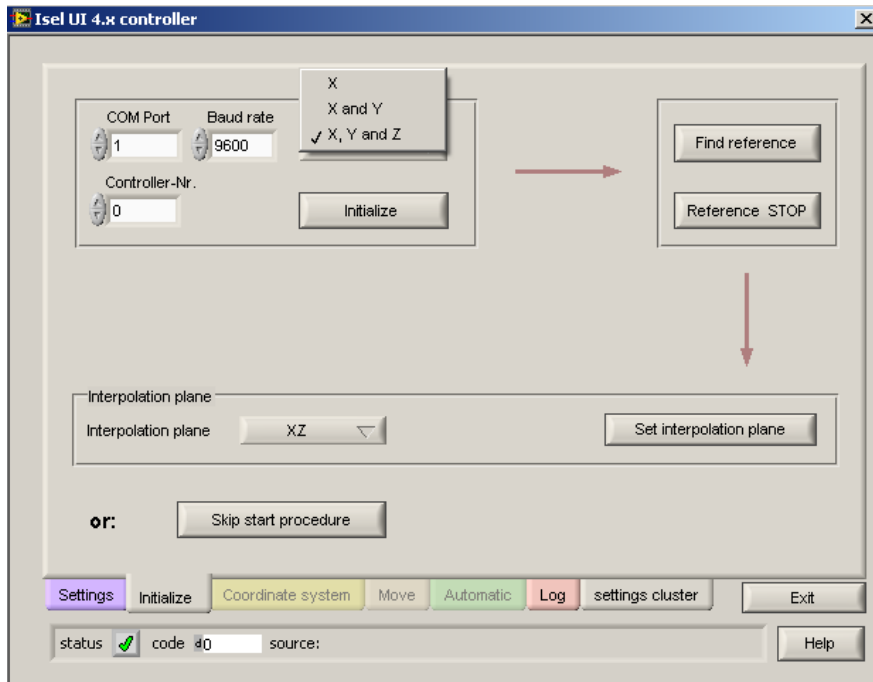
## Traverz beállításai

Traverz a mérésekhez nem feltétlenül szükséges, de ha kell használni, akkor ez az egység felelős a prandtl-cső/hődrót mozgásáért. A traverz beállítása a főmenüben a Traverse options fülre katintva felugró ablakban lehetséges. Be kell állítanunk a traverz mozgatóegységeinek fő paramétereit. Ezek a Stepmotor speed – velocity [step/sec], Stepmotor steps/mm - steps/mm, Axis length - L [mm]. Ez a három fő adat a traverzek motorral átellenes oldalán egy sárga bilétán vannak feltüntetve. Ezekből az adatokból egyébként a lépés finomságot is ki lehet számolni. Ha beállítottuk ezeket az adatokat, akkor érdemes kimenteni ezt a fájlt is, 12. ábra.



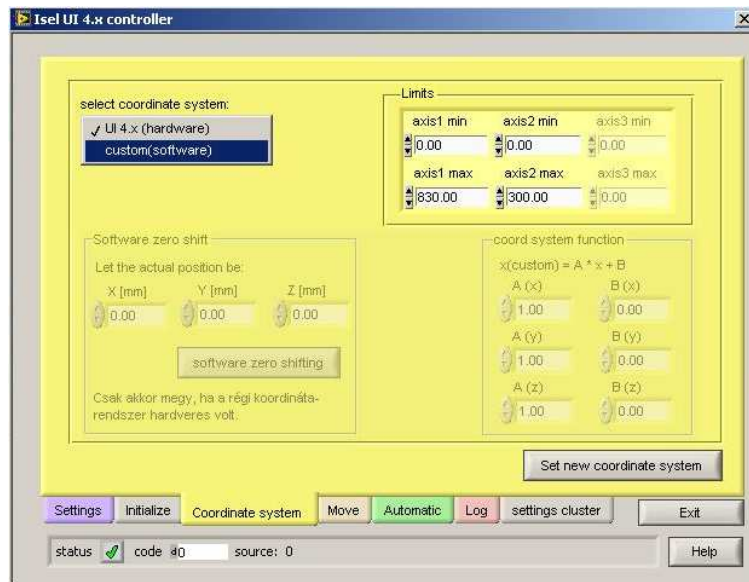
15. ábra - Traverz beállítások a)

Ezek után inicializálnunk kell. Beállítjuk az X (1-D), X-Y (2-D), X-Y-Z (3-D) tengelyek közül melyikeket kívánjuk használni és inicializálni, ugyanis nem minden esetben szükséges a mozgató összes tengelyét használni illetve lehet, hogy kevesebb traverzből van összerakva a mozgató. Majd az Initialize gomb után a Find reference gombra kattintva és a felugró ablakot le OK-ézva beáll a mozgó egység a traverz abszolút nullájába.



16. ábra - Traverz beállítások b)

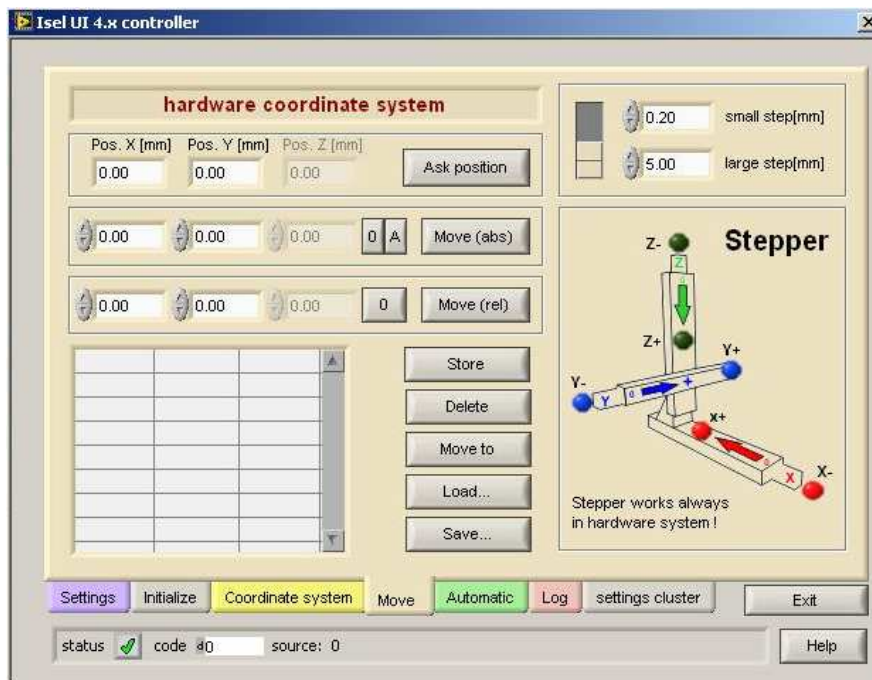
*Megjegyzés: Vigyázni kell, mert nem mindegy, hogy a tanszék által készített kábelek közül melyik kábellel csatlakoztatjuk. A fordított bekötésűnél a motorral átellenes oldal lesz a nulla, a sima bekötésűnél pedig a motor felé lesz. Ezek a vezetékek nagyon sérülékenyek vigyázni kell rájuk. Valamint a referencia pont beállítása előtt mindenféleképpen győződjünk meg róla, hogy semmilyen akadályba nem fog beleütközni a traverzünk, ezzel bármit is tönkre téve. A nullapont megtalálása után a Coordinate system fülre kattintva beállítjuk custom(software) opciót, 14. ábra.*



17. ábra - Traverz beállítások c)

Ezek után a Move fülre kattintva bárhová be tudjuk állítani manuálisan is a traverzet. Itt van lehetőség a méréshez szükséges mérőpontok felvételére és kimentésére. Ha sok mérési pont és pontosan tudjuk, hol akarunk mérni, akkor érdemes az egyik biztos mérő pontot felvenni a

Save gombbal kimenteni, majd ezt a fájlt Excel-be szerkeszteni tovább a traverse fájlt. Ezt ugyanebbe a „.pts” formátumba kimenteni és a program alapfelületén a Trvarse program segítségével beolvasni, 15.ábra.



18. ábra - Traverz beállítások e)

A megfelelő traverz fájl ellenőrzésére az alapfelületen a Traverse program fülre kattintva van lehetőségünk.

*Megjegyzés: minden beállítás változtatás után az alapfelületen kattintsunk az Apply settings-re, mert így lesznek érvényesek a módosításaink. Ellenőrzésképpen, ha tényleg meg akarunk győződni arról, hogy a beállításainkat használja a program, az alapfelületen a Current measurement file settings jobb oldali felületen tudjuk*

Az alap beállításokkal végeztünk már csak el kell menteni a mérést. Mentésnél meg kell adni melyik mappába kívánjuk menteni és milyen néven a mérést. Fontos, hogy az új mérést más néven mentjük, mert különben felülírhatja az előzőt. Ezek után kezdődhet a mérés, hődrótos mérésnél, is ezeken a főbb beállítási pontokon kell sorba menni ezért csak a azokat a beállításokat írjuk le a továbbiakban amik csak a hődrótos mérésnél szükségesek.

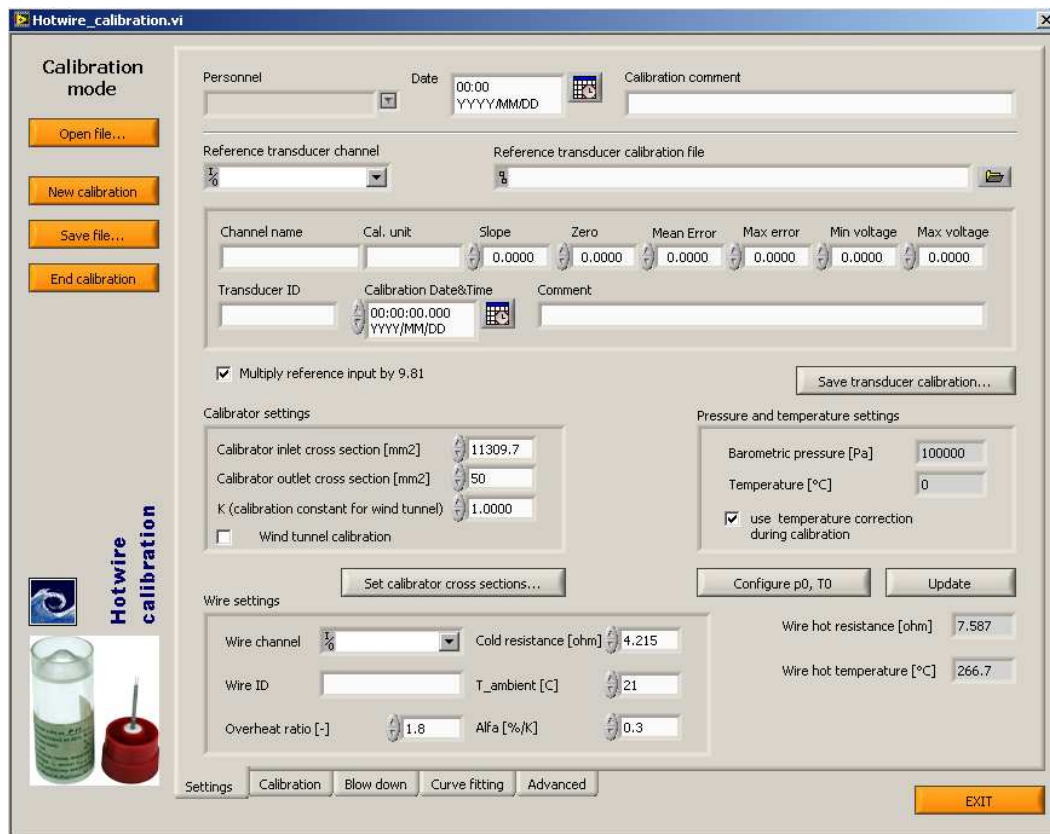
#### 4.1.2 1 D-s Hődrótos mérés beállításai

A hődrótos mérésnél is hasonlóan kell beállítani a szoftvert, mint a nyomástávadós méréshez. A hődrótos mérés nagyon érzékeny a hőmérsékletváltozásra. Ezért a mérések között figyelni kell és abban az esetben szükséges újra kalibrálni, ha a hőmérséklet 2 °C-nál többet változik két mérés között.

#### *Hődrót kalibrációja*

A főmenüben a Settings fül alatt az 1-D hotwire calibration...-ra kattintva a 16. ábrán látható ablak ugrik fel.





19. ábra - Hődrót kalibráció a)

Itt elsőként meg kell adni, hogy mihez kalibrálom a hődrótot, ki kell választani a csatornáját (Reference transducer channel), majd a kalibrációs fájlját kell megadni (Reference transducer calibration file) 16. ábra.

A következő lépésben még mindig ebben az ablakban meg kell adnunk a kalibráló fúvóka keresztmetszetének területét (Set calibration cross section – Set calibrator outlet cross-section [mm<sup>2</sup>])

Hasonlóan, mint a nyomástávadás mérésnél itt is ugyanúgy kell be állítani az atmoszférikus nyomást és a hőmérsékletet, amit a Configure p0, T0 gombra kattintva tehetünk meg.

Ezek után, megadjuk a Wire settings ablakban a 16. ábrán láthatóan a hődrót típusát, ami p11 és a környezeti hőmérsékletet itt is be kell állítani. Valamint szükség van még a hődrót hidegellenállására is.

A hidegellenállást a 17. ábrán látható DISA TYPE 55M01 készülék segítségével mérjük meg, valamint a mérés során a hődrótot is ez az egység szabályozza. A készüléket a hátul lévő fekete kapcsolójával bekapcsoljuk, majd a FUNCTION tekerhető gombot a RES. MEAS. állásba kapcsoljuk. A jobb felső négy gombbal az ellenállás értékét addig állítgatjuk, míg a bal felső sarokban lévő mutató kijelzőn a 0 a legközelebb nem lesz a piros jelzéshez (ami középen a műanyagburkolaton található), (nagyságrendileg a hidegellenállás 4 Ω körül változik a hőmérséklettől és egyéb tényezőktől függően. Az ellenállást század pontossággal lehet beállítani. Ezt az értéket beütjük a LabWIEV programba, ami kiszámítja nekünk, a túlfűtési arányból a felfűtött szál ellenállását. Ezt a 17. ábrán látható készüléken az Stanby állásban beállítjuk. Majd a mérést az Operate állásban kezdhetjük meg.



20. ábra - Hődrót kalibráció b)

A beállítások megvannak a programban, de a kalibráció előtt még a fúvóka nyomástartó tartóját a tanszéki kompresszor segítségével 5 bar-ig felkomprimáljuk (18. ábra (nyomástartó), 19. ábra (kompresszor)). A nyomástartó feltöltése a Primary pressure kapcsolóval történik, amit a higher állás felé kell nyomni. Majd, ha megvan a kellő nyomás akkor a flow gomb állításával lehet a fúvókán keresztül kiengedett a levegő sebességét szabályozni.



21. ábra - Hődrót kalibráció c)

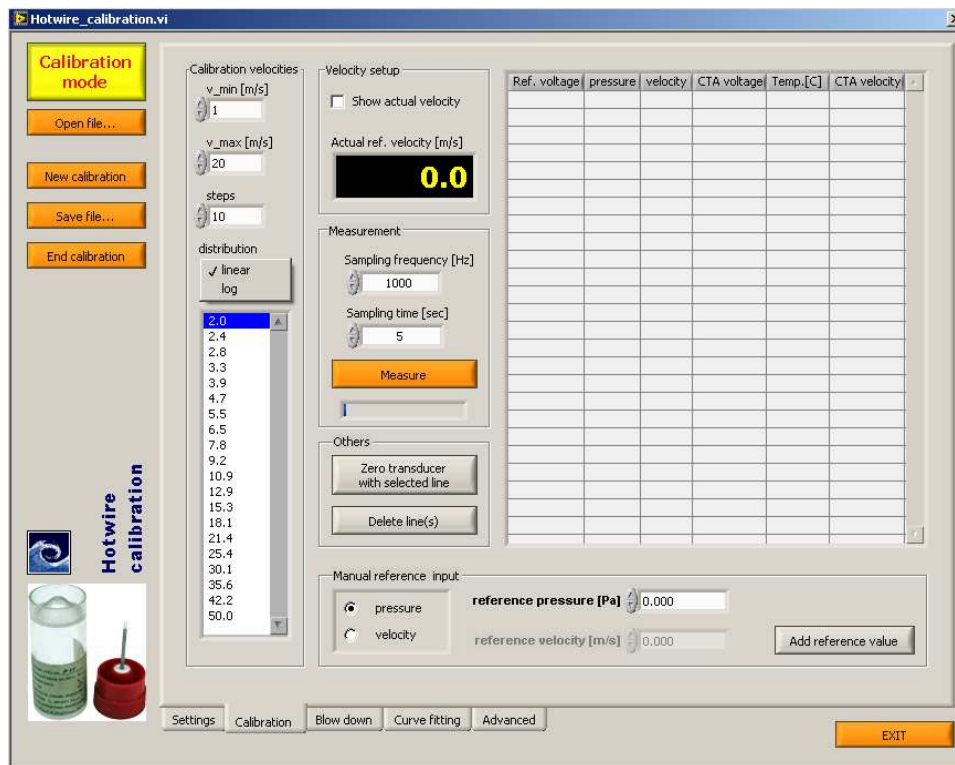


22. ábra - Hődrót kalibráció d)

A hődrót kalibrációja általában egy előre már kalibrált nyomástávadó segítségével történik, érdemes a nyomástávadót és a kalibrációs görbét ellenőrizni.

A kalibrációnál a Calibration fül alatt a minimális és a maximális sebességet is be tudjuk állítani és azt is hogy ezt a differenciát hány lépésben hidalja át, tehát megtudjuk adni a mérési tartomány és azt, hogy a kalibrációs görbénk, hány pontot tartalmazzon. Valamint azt is megadhatjuk, hogy a min és a max közötti differencia lineárisan vagy log szabály alapján legyen felosztva, 20. ábra.





23. ábra - Hődrót kalibráció e)

Először mérnünk kell egy nulla sebességet a fúvóka elindítása előtt, majd az így kapott feszültségértékhez a Zero transducer with selected the gombbal, hozzá rendeljük a 0 m/s sebességet. A továbbiakban ajánlott nagyobb sebességtől a kisebb felé menni a kalibráció során.

A kalibrációt követően miután meg van az összes pont a Curve fitting fülre kattintva a mért pontokra illesztjük a kalibrációs görbét és elmentjük azt a Save file... gomb segítségével.

A hődrót kalibrációját követően a méréshez szükséges beállításokat hasonlóan kell elvégezni mint a nyomástávadós mérésnél.

Ha minden paramétert beállítottunk és az alap felületen lévő Apply settings gombbal elfogadtattunk, akkor ezek után jöhet a mérés, amit a Start gombra kattintva tudunk indítani és a Measurement file alatt tudunk nyomon követni.

### 4.1.3 NPL állvány

Az NPL szélcsatornában történő hődrótos és LDA-s mérések során a pozicionálási nehézségek és más méréseket megkönnyítendően, felmerült, hogy a mérőtér köré kívülről egy a szélcsatornától független állványzat építése, 24. ábra. Ez nem csak a hődrótos és az LDA-s, de egyéb mérésekkel is kompatibilis lehet, és megkönnyítheti azok folyamatát, illetve a mérőtér egyszerűbb elérését teszi lehetővé.

Az NPL szélcsatorna  $10 \pm 0,5$ - m/s-os sebességű áramlásnál berezonál. Ezért, ha mérések állványzata fizikailag érintkezik a szélcsatornával, akár a mérés eredményeit is befolyásolhatja a rezgés. A csatornától való függetlenség ezért is olyan fontos.

A dokumentum tartalmazza az összeállítási rajzot valamint az alkatrész rajzokat is.

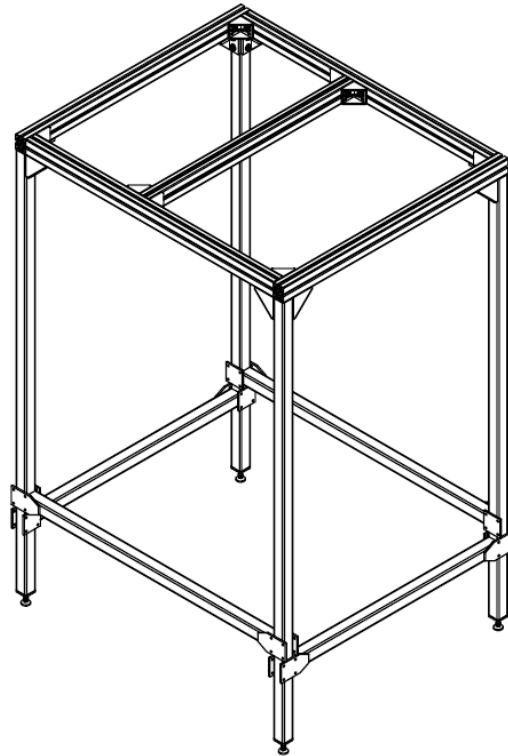
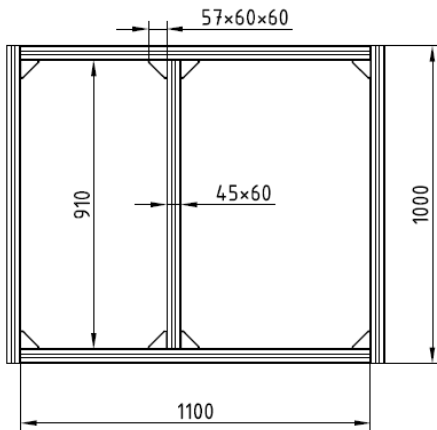
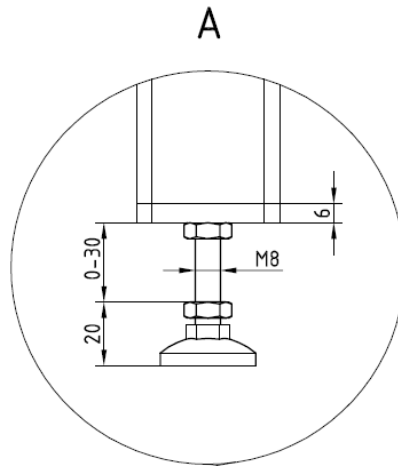
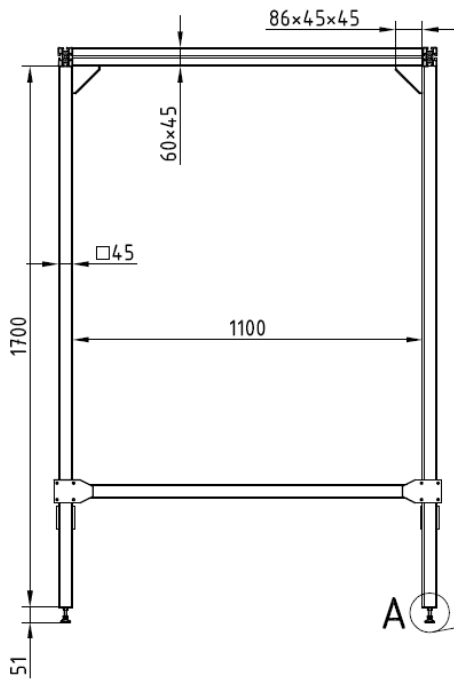
Az állvány szabványos elemekből készült el, részben a Bosch cég által gyártott profilos sínek, összekötőelemek és 45×45-ös zártszelvényből lett megtervezve.

#### **Darabjegyzék:**

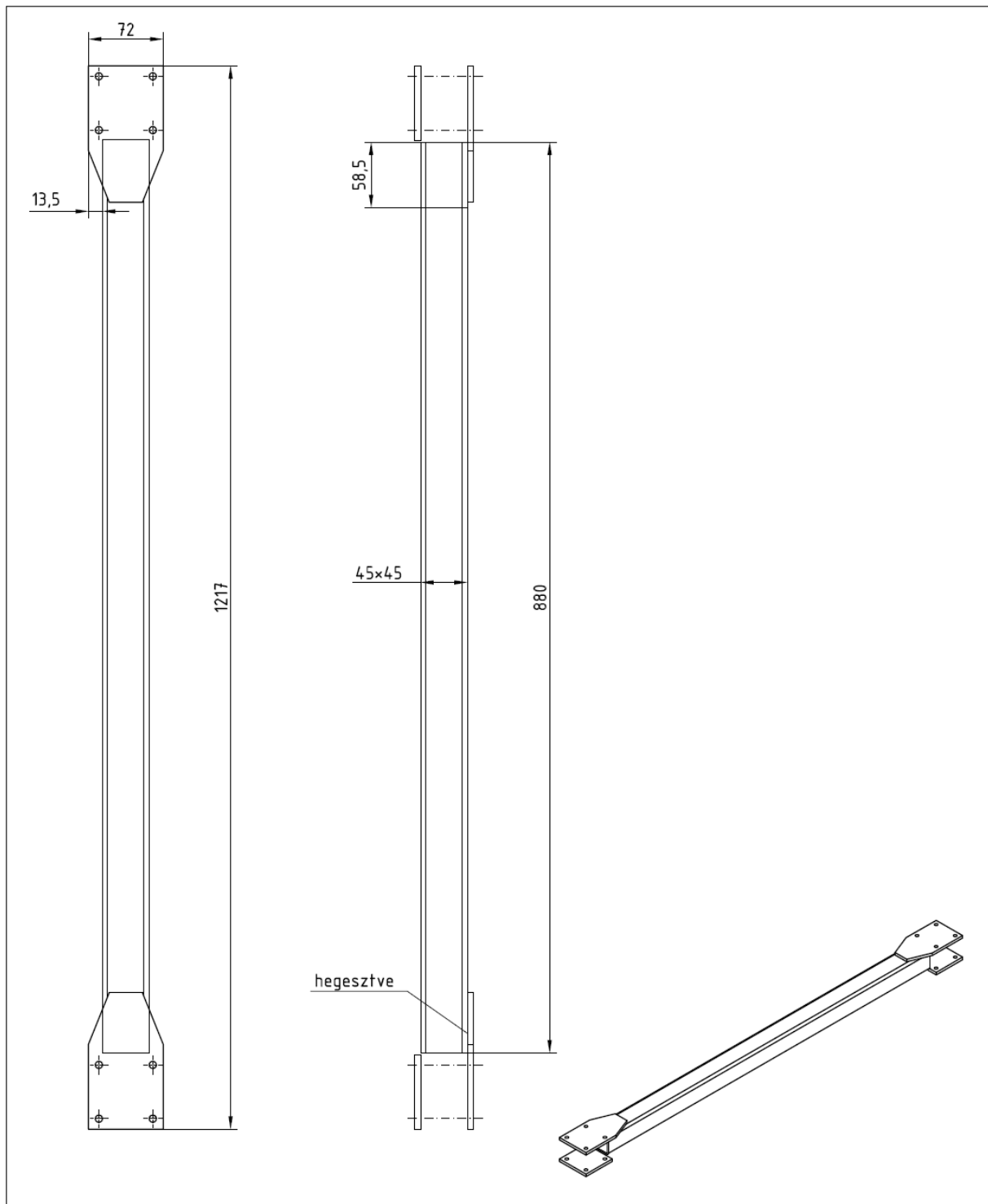
Db	Név	Méret	Megjegyzés	Cikk szám
4	Lábak	45×45×1700	zártszelvény	
2	Keret 1	45×60×1100_N10	Bosch profil	3 842 990 570
2	Keret 2	45×60×1000_N10	Bosch profil	3 842 990 570
1	Keret 3	45×60×910_N10	Bosch profil	3 842 990 570
2	Merevítő 1	45×45×890	zártszelvény	
2	Merevítő 2	45×45×1080	zártszelvény	
8	Kis derékszög	60×60×57_N10	Bosch	3 842 523 553
8	Nagy derékszög	45×45×90_N10	Bosch	3 842 523 570
8	Szorító pofa 1	72×132×6	lézerrel vágott lemez	
8	Szorító pofa 2	72×72×6	lézerrel vágott lemez	
4	Láb záró rész	45×45×6	lézerrel vágott lemez	
4	Állítható lábak	M8×65	Bosch	3 842 502 257
48	T-bolt HS10-M8x20	M8x20	Bosch	3 842 528 715



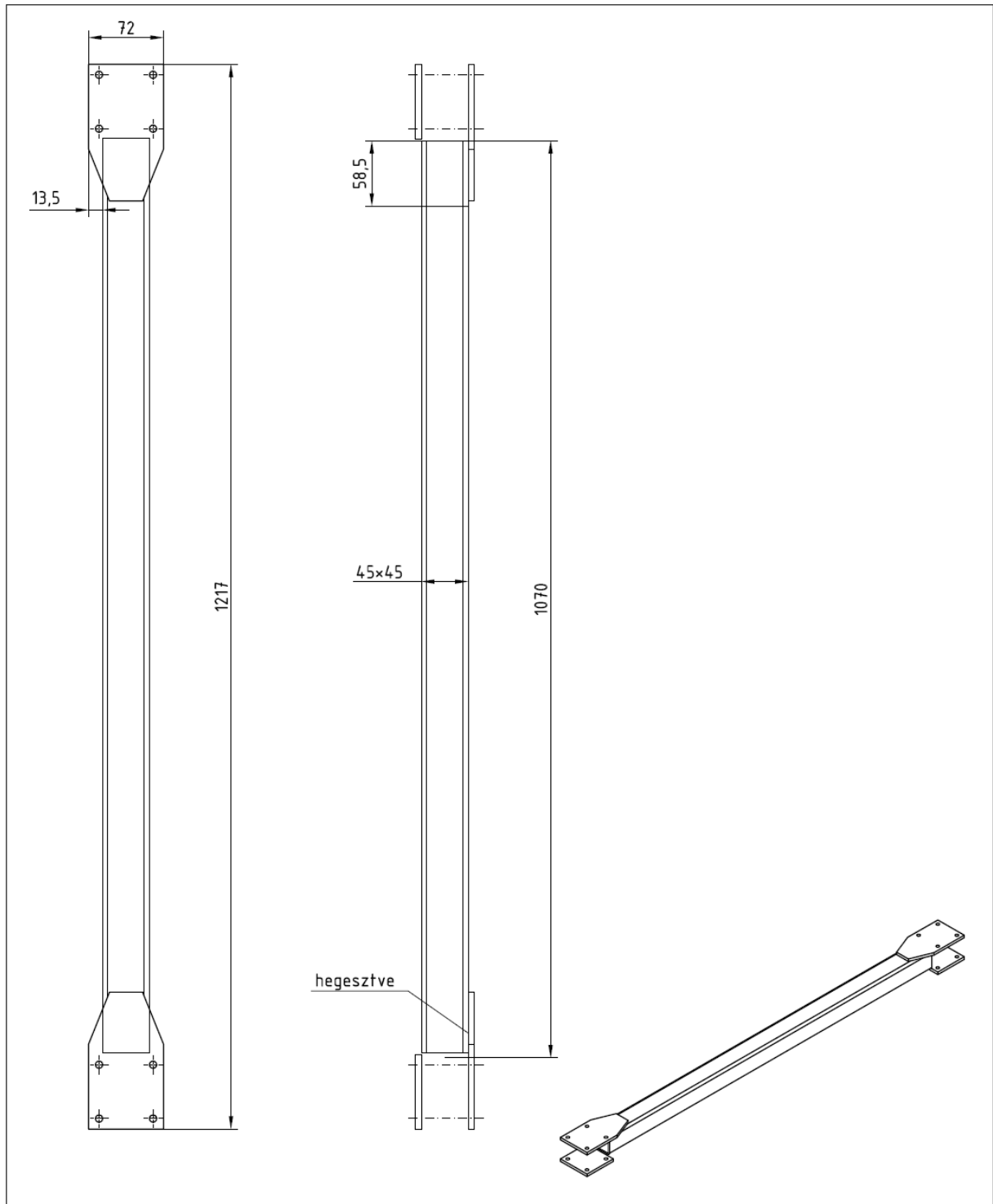
24. ábra – NPL állvány a valóságban



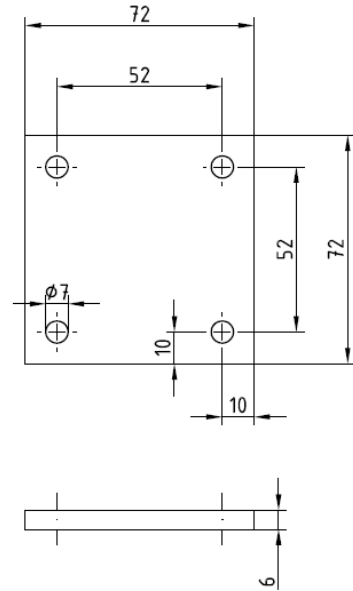
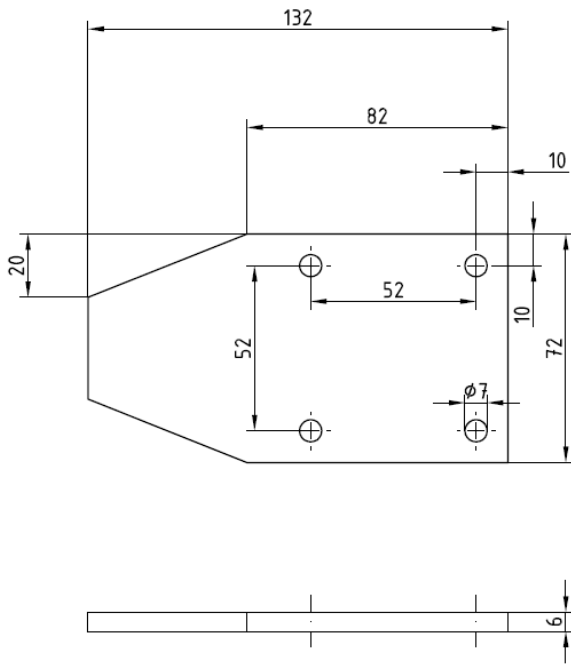
Készítette: <b>Berkó Balázs</b>	Gyártmány:	Méret- arány:	<b>BME</b>
Dátum: 2011.11.06.	Megnevezés: <b>NPL mérőállvány</b>	<b>M 1:20</b>	<b>Áramlástan</b>
Ellenőrizte:	Anyag:	Tömeg:	<b>Tanszék</b>
			Rajzszám: <b>NPL_001</b>



Készítette: <b>Berkó Balázs</b>	Gyártmány:	Méret- arány:	<b>BME Áramlástan Tanszék</b>
Dátum: 2011.11.06.	Megnevezés: <b>Merevítő_880</b>	<b>M 1:4</b>	
Ellenőrizte:	Anyag:	Tömeg:	Rajzszám: <b>NPL_002</b>



Készítette: <b>Berkó Balázs</b>	Gyártmány:	Méret- arány:	<b>BME Áramlástan Tanszék</b>
Dátum: 2011.11.06.	Megnevezés: <b>Merevítő_1070</b>	<b>M 1:4</b>	
Ellenőrizte:	Anyag:	Tömeg:	Rajzszám: <b>NPL_003</b>



Készítette:  
Berkó Balázs

Gyártmány:  
Megnevezés:  
**Szorító pofa 1, 2**

Dátum:  
2011.11.06.

Ellenőrizte:

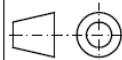
Anyag:

Tömeg:

Méret-  
arány:

**M 1:2**

Vet.mód.



**BME  
Áramlástan  
Tanszék**

Rajzszám:

**NPL\_004**