

Nagy András¹ – Jankovics István²

LABORATÓRIUMI BERENDEZÉSEK MÉRŐ ÉS ADATGYŰJTŐ RENDSZEREINEK KORSZERŰSÍTÉSE A BME REPÜLŐGÉPEK ÉS HAJÓK TANSZÉK HŐ- ÉS ÁRAMLÁSTECHNIKAI LABORATÓRIU- MÁBAN³

E cikk, a BME Repülőgépek és Hajók Tanszék hő- és áramlástechnikai laboratóriuma, azon oktatásban használt mérőeszközén elvégzett korszerűsítési munkálatokat mutatja be, melyet a Hő- és Áramlástan I-II, tantárgy alapoktatásához kapcsolódó laboratóriumi gyakorlatok méréseihez használunk. A teljes korszerűsítésen átessett eszköz, új mérő és adatgyűjtő rendszerének felépítését az alábbiakban mutatjuk be.. A tervezési és gyártási munkákat a tanszék mikroelektronikai laboratóriumában végeztük, ahol az ehhez szükséges eszközök rendelkezésre álltak. A fejlesztésbe a tanszék munkatársai mellett hallgatók is részt vettek, így a munka haszna nem csak a modernizált mérőeszközök előállításában, hanem az ő elektronikai ismereteik bővülésében is megmutatkozik. A itt bemutatott eredmények a TÁMOP-4.2.2.B-10/1--2010-0009 projekt támogatásával valósultak meg.

MODERNIZATION OF MEASUREMENT SYSTEMS IN THE AERO- AND THERMOTECHNICS LABORATORY OF THE DEPARTMENT OF AIRCRAFT AND SHIPS

In this article, the modernization of the measurement systems in the laboratory of the Department of Aircraft and Ships is shown. Both of the measurement systems shown here are used in practical training of basic science subjects like Aero- and Thermotechnics I-II. The systems have been fully improved, this article shows how have been the measurement systems rebuilt and modernised. All of development- and manufacture works have been done in the microelectronics laboratory of the Department, in which all equipment necessary are present for works like this. The results discussed in this article are supported by the grant TÁMOP-4.2.2.B-10/1--2010-0009.

„LÉGERŐ MÉRÉS SZÁRNYON” LABORATÓRIUMI GYAKORLATHOZ TARTOZÓ MÉRŐESZKÖZ KORSZERŰSÍTÉSÉNEK BEMUTATÁSA

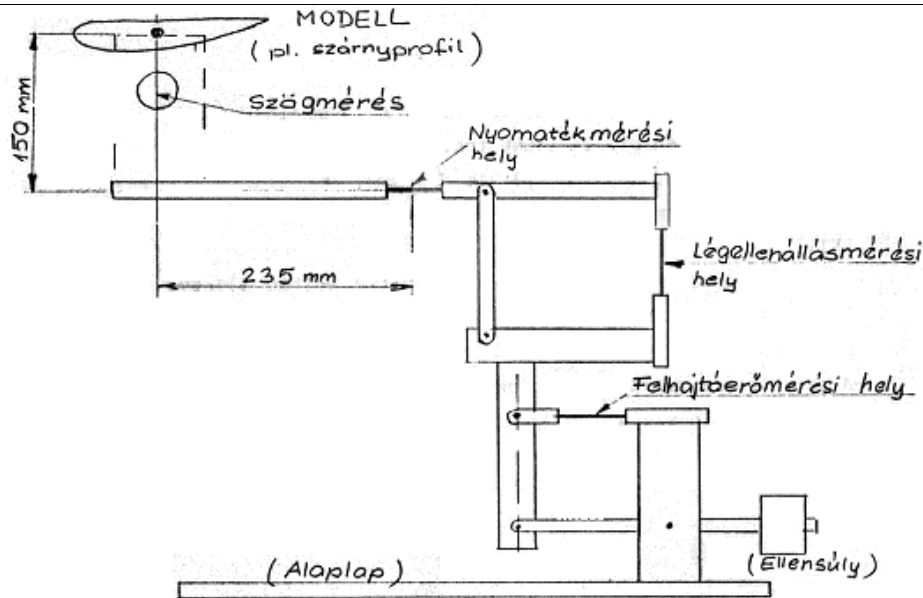
A mérés célja a szárnyprofil felhajtóerő, ellenálláserő és nyomatéki jelleggörbéinek meghatározása [1]. A hallgatók ennek során gyakorlatban is megismerhetik a szárnyon keletkező lég-erők kialakulásának módját és mérésének egy lehetséges eszközét, az aerodinamikai mérleget, melynek oldalnézeti vázlatrajzát az 1. ábra mutatja be.

Ezen látható, hogy a felhajtóerő és a légellenállás külön határozható meg, mivel a mérésükre alkalmazott rugólap csak a megfelelő irányú erő hatására deformálódik detektálható mértékben, azaz a nyúlásmérő bélyegek jeladásáig. A nyomatékmérő elem tulajdonképpen a teljes erő (eredő légerő) hatását méri az erőösszetevők ismeretében, az eredő számítható és annak abszolút értékét valamint a nyomatékát ismerve meghatározható az eredőerő hatásvonala.

¹ tanársegéd, BME Repülőgépek és Hajók Tanszék, nagy@rht.bme.hu

² doktorandusz, BME Repülőgépek és Hajók Tanszék, jankovics@rht.bme.hu

³ Lektorálta: Óvári Gyula, egyetemi tanár, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő Tanszék, ovari.gyula@uni-nke.hu



1. ábra „Légerőmérés szárnyon” laborméréshez használt aerodinamikai mérleg rajza [2]

A mérleg az erőket rugólapok deformációján érzékelik, amit a nyúlásmérő bélyegek alakítanak analóg elektromos jellé, ezt dolgozza fel a – cikkünkben bemutatott – mérő- és adatgyűjtő rendszer.

Utóbbi felújítása több okból is szükségszerű és halaszthatatlan volt:

- a védőbevonat nélküli nyúlásmérő bélyegek közel 15 évesen, garantált élettartamukon túl voltak, az általuk szolgáltatott jel igen zajos és szinte már használhatatlan volt;
- az adatfeldolgozó rendszer része volt egy HBM Spider8-as A/D átalakító, amit más eszközökhöz kellett átcsoportosítani;
- a mérőrendszer részét képező szárny profilja és geometriai jellemzői - a rendelkezésre álló szélsatornát figyelembe véve nem voltak megfelelőek, az évek alatt mechanikai sérüléseket szenvedett, ami tovább rontotta tulajdonságai

A felsoroltak miatt a 2012/13 őszi félévben laboratóriumi oktatást ezen az eszközön már nem lehetett volna folytatni, a szükséges felújítások elvégzése nélkül, mely az alábbi munkákat foglalta magába:

- az eszköz fémvázának mechanikai felújítása, a régi nyúlásmérő bélyegek helyeinek megtisztítása;
- új nyúlásmérő bélyegek felragasztása és megfelelő védőbevonattal történő ellátása;
- a mérőeszköz teljes mérő és adatgyűjtő rendszerének újjáépítése;
- a működéshez szükséges szoftverek (mikrovezérlő és PC) megírása, tesztelése;
- a mérés során gyakran fellépő, öngerjesztő rezgés csillapítása;
- a mérés objektuma, az elhelyezett szárny (profil) újratervezése és legyárttatása;
- az eszköz kalibrálása, a hallgatói mérési segédlet frissítése.

A mérőeszköz korszerűsített mérő és adatgyűjtő rendszerének bemutatása

A mérőeszköz mérő és adatgyűjtő rendszerét teljes egészében tanszékünkön terveztük, készítettük, teszteltük és kalibráltuk. Az ehhez szükséges eszközöket tanszéki mikroelektronikai laboratóriumunk biztosította, amely alapítása óta számos diplomaterv, szakdolgozat és PhD



kutatói munka mérő, adatgyűjtő, jelfeldolgozó eszközeinek tervezéséhez és gyártásához nyújtott segítséget [pl. 3,4,5,7].

A korszerűsítése után a mérőeszköznek az alábbi igényeknek kellett megfelelnie:

- legyen képes 3 db nyúlásmérő bélyeg nyers jelét kondicionálni és digitalizálni;
- mérje a környezeti hőmérsékletet és az állásszög jeladóból származó jeleket;
- laptop-hoz is közvetlenül csatlakoztatható legyen, ne igényeljen plusz hardvert, illetve speciális drivert vagy szoftvert;
- az adatközlés módja tegye lehetővé, hogy hallgatók is fejleszthessenek programot az adatok feldolgozására, amennyiben ez szükségesé válik;
- ne igényeljen külső tápellátást, a csatlakoztatott számítógép USB-portjáról üzemeltethető legyen.

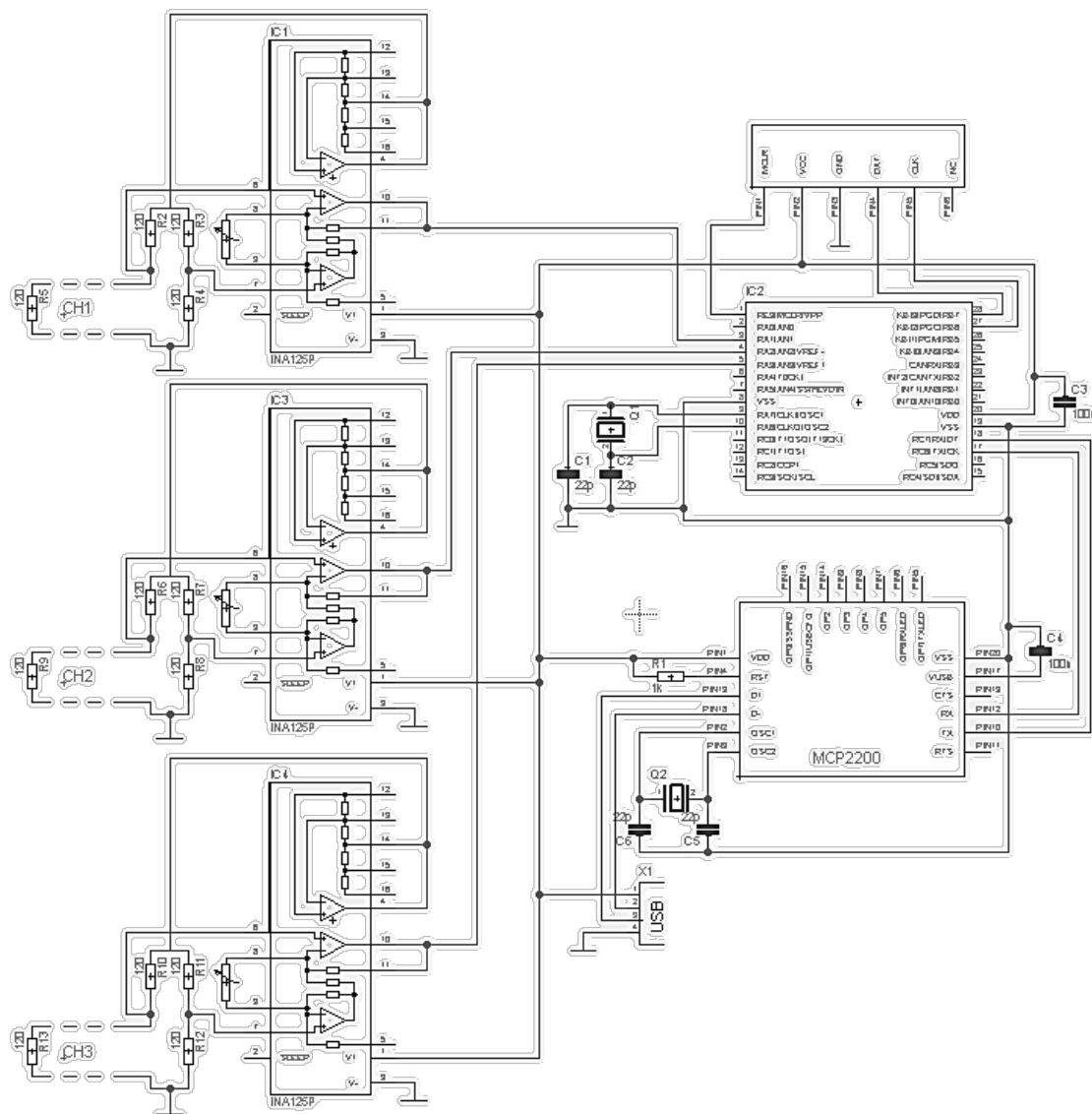
A fenti igényeknek megfelelő áramkör elvi kapcsolási rajza látható a 2. ábrán.

Az áramkör központi egysége a Microchip által gyártott PIC18F2523 típusú mikrovezérlő, mely többek között tartalmaz egy 13 csatornás, 12 bites A/D átalakítót, UART soros porttal és 256 byte EEPROM-mal is rendelkezik. A programmemóriája 32 kbyte, az adatmemóriája 1536 byte méretű, ami bőségesen elegendő az elvégzendő feladatokra fejlesztett szoftvernek. A gyors adatfeldolgozás érdekében a mikrovezérlő 20 MHz-es órajellel dolgozik.

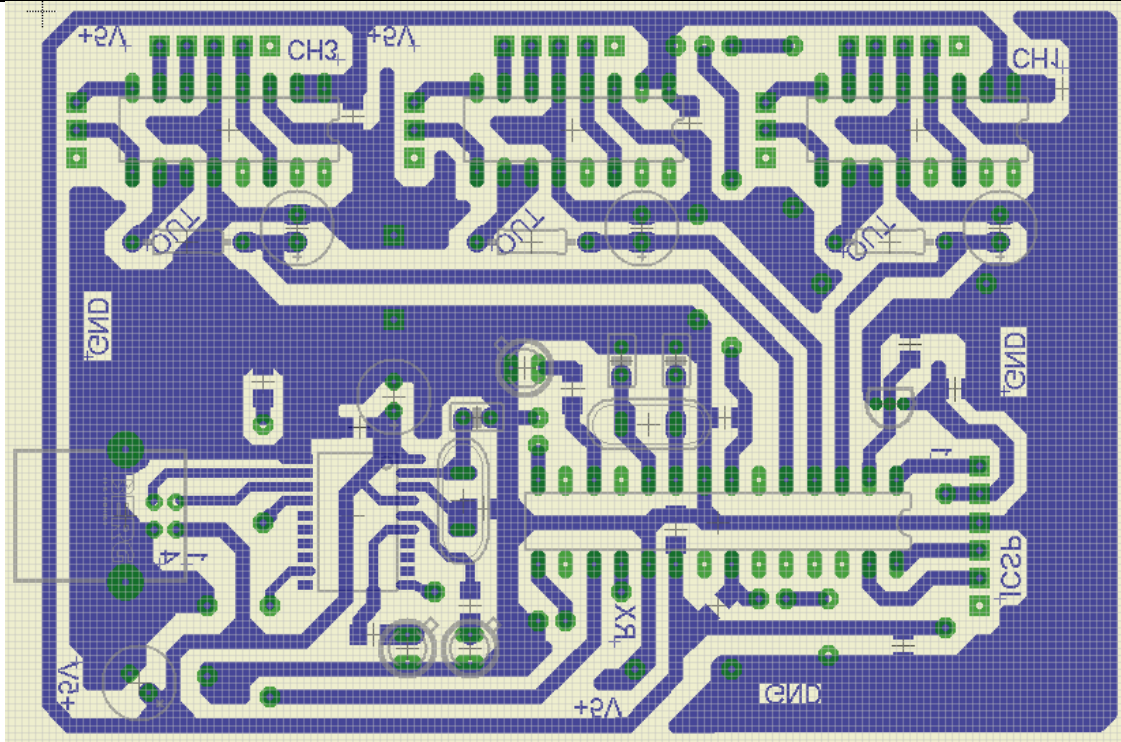
A nyúlásmérő bélyegek egy hagyományos Wheatstone-hídba kapcsolva működnek, amit egy mérőbélyeg és 3 precíziós, passzív ellenállás alkot. A hidak jelét egy-egy Texas Instrument INA125 típusú híderősítő integrált áramkör erősíti és állítja be a megfelelő offszettet (2. ábra bal oldala).

Az áramkör úgy alakítottuk ki, hogy a híderősítő egy potenciométerrel fokozatmentesen állítható legyen 100÷8000-szeres értékek között [6]. Így a mérőrendszer (újralibrálás után) módosítás nélkül felhasználható más áramlásba helyezett testeken keletkező légerők mérésére is. A mérőhíd által felerősített jel a mikrovezérlő A/D átalakítójába jutása előtt egy passzív, aluláteresztőszűrőn halad keresztül, amely levágja a jel spektrumából a 30 Hz feletti összetevőket, így biztosítva a zajszűrést.

A kommunikáció az áramkör és a hozzá csatlakoztatott PC között soros vonalon valósul meg, 19200 b/s sebességgel. Ez a kommunikáció lehetővé teszi a hallgatók számára, hogy egyszerű, széles körben elterjedt protokollt használva saját igényeiknek megfelelő PC szoftvert írjanak az adatok feldolgozására. Mivel az RS-232 szabvány szerinti csatlakozók a laptopokról, sőt mára már az asztali számítógépekről is szinte teljesen eltűntek, a soros vonalon a kommunikáció USB porton keresztül valósul meg. A számítógépen az eszköz csatlakoztatása után egy USB-s virtuális soros port jelenik meg, amelyen keresztül a mérési adatok kiolvashatóak. Az ehhez szükséges protokollt a Microchip MCP2200 típusú integrált áramköre valósítja meg. Ez a számítógéppel USB vonalon, míg a mikrovezérlővel TTL jelszintű soros vonalon kommunikál. Működéséhez nem szükséges driver, mert a legtöbb mai operációs rendszerbe (Windows 7, Debian 6, MacOS X, stb.) beépített VCP driver kompatibilis az IC-vel. Tesztelést csak Windows XP SP3 és Windows 7 SP1 operációs rendszerekkel hajtottuk végre az eszközön.



2. ábra Aerodinamikai mérleg mérő és adatgyűjtő rendszerének elvi kapcsolási rajza

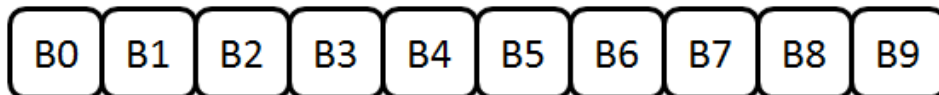


3. ábra Mérő és adatgyűjtő áramkör NYÁK terve

A környezeti hőmérséklet mérésére a Microchip MCP9700A típusú hőérzékelő IC-t építettük be. Ez 0-70 °C tartományban $\pm 2^\circ\text{C}$ pontossággal képes a hőmérséklettel arányos feszültséget szolgáltatni, amely egy aluláteresztő szűrőn keresztül jut a mikrovezérlő A/D átalakítójának 0-s csatornájára. A környezeti hőmérséklet mérése lehetővé teszi a mérőeszköz aktuális hőmérsékletéhez történő automatikus kalibrációját.

Az elvi kapcsolási rajz alapján tervezett áramkör NYÁK-terve a 3. ábrán látható. Az elkészült panel 65x100 mm befoglaló méretű, egyoldalas, hibrid szerelésű panel és tartalmaz minden szükséges áramköri egységet. A számítógéphez történő csatlakozáshoz egy USB-B típusú csatlakozót építettünk be.

A mikrovezérlő programja nagyon egyszerű, folyamatábra ezért nem is készült hozzá. Az A/D átalakítás eredményét nyers formában küldi el a PC felé, semmilyen digitális szűrést, feldolgozást, vagy kalibrációt nem végez. Erre az egyszerűsítésre azért volt szükség, mert ha a jelenlegi szárnyat később lecserélik más profilura, vagy teljesen már testre, az újabb kalibrációt igényel, ami a mikrovezérlő program módosítását követelné meg. Ez a hallgatók számára indokolatlanul tovább bonyolítaná a mérés összeállítását, ráadásul az eredeti PC szoftverrel elveszítené az eszköz a kompatibilitását. Minden kalibrációs feladat ezért a PC programjára van bízva, ami hallgatók által is könnyen átírható, újrafordítható és alkalmazható. A mikrovezérlő programja a bekapcsolás utáni inicializációkat követően 500 ms-onként elvégzi az összes A/D csatornán a digitalizációt, a kapott értékeket pedig rendezve elküldi soros vonalon keresztül a PC-nek. Egy-egy adatblokk a 4. ábrán látható módon épül fel.



4. ábra Adatblokk struktúra, ahol:

B0: mondat kezdete byte: értéke: 122; B1, B2: környezeti hőmérséklet: $T_0 = B1 \cdot 100 + B2$, értéke: 0..4095;
B3, B4: Nyomatékmérési hely nyúlás érték: $\varepsilon = B3 \cdot 100 + B4$, értéke: 0..4095; B5, B6: Ellenálláserő mérési hely nyúlás érték: $\varepsilon = B5 \cdot 100 + B6$, értéke: 0..4095; B7, B8: Felhajtóerő mérési hely nyúlás érték: $\varepsilon = B7 \cdot 100 + B8$, értéke: 0..4095; B9: Állásszög jeladó, értéke 0..255

A PC szoftver bemutatása

Az alkalmazott szoftvert Delphi nyelven implementáltuk. Ezt a programnyelvet a karunk hallgatói is tanulják alapképzésük alatt, így szükség esetén könnyen alkalmazzák a program saját igényeiknek megfelelő módosításra.

A mérőeszközhöz fejlesztett PC program feladatai:

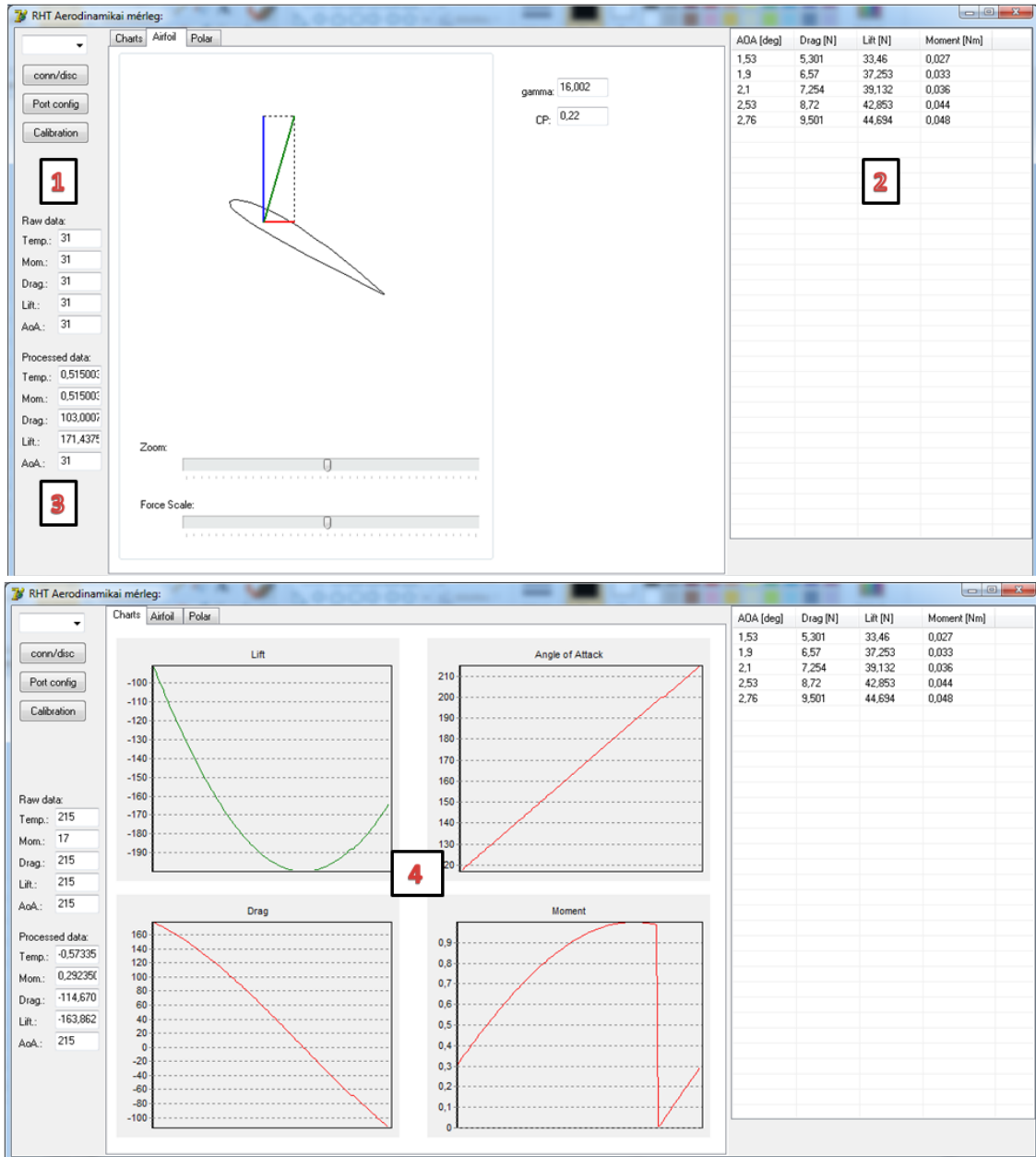
- adatok fogadása soros vonalon keresztül,
- kalibrációs függvények alkalmazása a nyers adatokra, ezzel az erőösszetevők meghatározása;
- mérési eredmények időbeni lefolyásának on-line, diagramon történő megjelenítése;
- szemléltető erőábra on-line rajzolása;
- egy méréssorozat után a $C_l(\alpha)$, $C_d(\alpha)$, $C_m(\alpha)$ görbék megrajzolása.

A szoftver minden Windows XP SP3 vagy Windows 7 operációs rendszert futtató számítógépen alkalmazható, telepítést vagy driver-t nem, de egy szabad USB portot természetesen igényel.

A PC szoftver felhasználói interfésze az 5. ábrán látható módon 4 fő részből áll:

1. adatátviteli (port) beállítások megadása;
2. kapott adatok táblázatos és grafikonos on-line kijelzése;
3. kalibrációs függvény paramétereinek megadása;
4. a polárdiagram ($C_l(\alpha)$, $C_d(\alpha)$, $C_m(\alpha)$ görbék) megjelenítése.

Az 5. ábrán látható, PC szoftvert bemutató kép a tesztelési szakaszban készült, valós fizikai tartalom nem jelenik meg a diagramokon.



5. ábra A mérőeszközhöz fejlesztett PC szoftver kezelőfelületének képe

A mérőeszköz kalibrálása

Azért, hogy a mérőrendszer segítségével ne csak változások, hanem abszolút mennyiségek is meghatározhatóak legyenek, azt kalibrálni szükséges. Ennek során meghatározásra kerülnek azok a függvények, amelyek segítségével az A/D átalakítóból érkező adatokat fizikai mennyiségekké alakíthatóak. Az erőmérők kalibrálását precíziós súlyokkal terhelve végeztük, az állásszögjeladónál ehhez szögmérőt használtunk. A hőmérsékletérzékelőt az eszköz adatlapjában található összefüggés alkalmazásával kalibráltuk, az ellenőrzésére $\pm 1\% + 3$ digit hibájú multimétert használtunk, kiegészítő hőérzékelő szondával. A mérőeszköz további mechanikai változtatások miatt újrakalibrálásra szorul, így jelen cikkben az eredeti eszköz kalibrációs eredményeit nem közöljük.



Köszönetnyilvánítás

A munka szakmai tartalma kapcsolódik a „Új tehetséggondozó programok és kutatások a Műegyetem tudományos műhelyeiben” c. projekt szakmai célkitűzéseinek megvalósításához. A projekt megvalósítását a TÁMOP-4.2.2.B-10/1-2010-0009 program támogatja.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] PÁSZTOR Endre: Hő- és Áramlástechnika Laboratóriumi gyakorlatok. Egyetemi jegyzet 71043, Műegyetemi kiadó, 2007
- [2] JANKOVICS István, GYÖRGY Dávid: Hő- és áramlástan II, Laboratóriumi gyakorlatok, 2011
- [3] SZABÓ András: Pilóták fiziológiai jellemzőinek repülés közbeni mérésére alkalmas kormány szerv fejlesztése. Diplomamunka, 2012
- [4] Andras NAGY, Prof. Jozsef ROHACS: Barometric sensor for smartphones used by sport and recreational pilots. Airtec „Supply on the wing”, 2011
- [5] Andras NAGY, prof. Jozsef ROHACS: Unmanned measurement platform for paragliders, ICAS2012-P1.4, 2012
- [6] TEXAS INSTRUMENTS: Instrumentation Amplifier With Precision Voltage Reference. Application Note, Datasheet, 1998
- [7] NAGY András: Mérőrendszer siklóernyők repülésdinamikai vizsgálatához, Repüléstudományi Közlemények, 2012/2 különszám 970. oldal