

**Beneda Károly Tamás, Rohács Dániel, Kavas László, Óvári Gyula**

## **MÉRŐ-ADATGYŰJTŐ RENDSZER KIVÁLASZTÁSA ALTERNATÍV TÜZELŐANYAGOK VIZSGÁLATÁRA KÉSZÜLŐ MIKROGÁZTURBINÁS PRÓBAPADHOZ**

*A repülésben széles körben alkalmazott gázturbinás hajtóművek is érintettek a fosszilis tüzelőanyagok korlátozott erőforrásaival. Már régóta folynak kutatások alternatív tüzelőanyagokkal kapcsolatosan, jelen kutatás azonban nemcsak a gázturbina termodinamikai, esetleg emissziós kérdéseivel kíván foglalkozni, hanem rendszer szinten közelíti és vizsgálja a kiszolgálást, üzemeltetést is érintő területeket. Természetesen elsődleges magának a hőerőgépnak az eredetitől eltérő tüzelőanyaggal történő megtáplálása következtében a munkafolyamatban előálló változások feltárása, melyhez egy sugárhajtóműves próbapad kerül megépítésre. Jelen cikk a fenti céloknak megfelelő mérő-adatgyűjtő rendszer kiválasztását vázolja fel, rámutatva annak a kutatás befejeztével oktatási berendezésként történő alkalmazási lehetőségeire.*

**Kulcsszavak:** gázturbina, alternatív tüzelőanyag, sugárhajtómű, mérő-adatgyűjtő rendszer, LabVIEW, mikro-gázturbina

### **BEVEZETÉS**

A repülésben nagy teljesítmény-sűrűségük, egyszerű felépítésük, széleskörű alkalmazhatóságuk révén már döntően gázturbinás hajtóművekkel lehet találkozni. Úgy a polgári, mint a katonai repülőeszközök javarészt egy- és kétáramú gázturbinás sugárhajtóművekkel, esetleg légszaváros gázturbinákkal vannak felszerelve, illetve helikopterekben is széles körben tengelyteljesítményt leadó gázturbinákat alkalmaznak [1]. Nagy sebességek esetén az egy- és kétáramú sugárhajtóművek hangsebesség feletti tartományban kiegészülnek utánégetéssel, amivel azonban napjainkban szinte kizárólag katonai repülőeszközökön találkozhatunk [2]. Napjaink érdekes trendje, hogy a gázturbinás egységek egyre kisebb teljesítményeknél képesek felvenni a versenyt a dugattyús motoros megoldásokkal, így a kisgépes repülésben is egyre nagyobb részesedésük van, már az 500kW alatti tartományban is terjedőben vannak [3], valamint az egyáramú sugárhajtóműveket pilóta nélküli légi eszközökben (Unmanned Aerial Vehicle, UAV) is alkalmazzák néhány száz N tolóerő nagyságrendben [4].

A folyamatosan bővülő alkalmazás és a fogyóban lévő fosszilis tüzelőanyag-források, valamint a környezetvédelem problémái arra sarkallják a mérnököket, hogy alternatív hajtóanyagokat találjanak, fejlesszenek, alkalmazzanak [5]. Jelen kutatás célja, hogy a katonai hajtóművekben alkalmazható újfajta tüzelőanyagokat mind elméleti, mind gyakorlati oldalról megvizsgáljuk, melyben a nagy hajtóműveket egy kisméretű gázturbinás egységgel modellezzük.

A cikk első része összegzi a szerzők mikro gázturbinák terén elért tapasztalatait különös tekintettel az üzemeltetés és a mérő-adatgyűjtő rendszerek kérdéseire. A mikro gázturbinák kis méretüknél fogva bizonyos szempontból sokkal érzékenyebbek lehetnek az eredetitől eltérő tulajdonságokkal rendelkező tüzelőanyagra, mint pl. viszkozitás miatt [6] vagy akár a hővesztések terén [7].

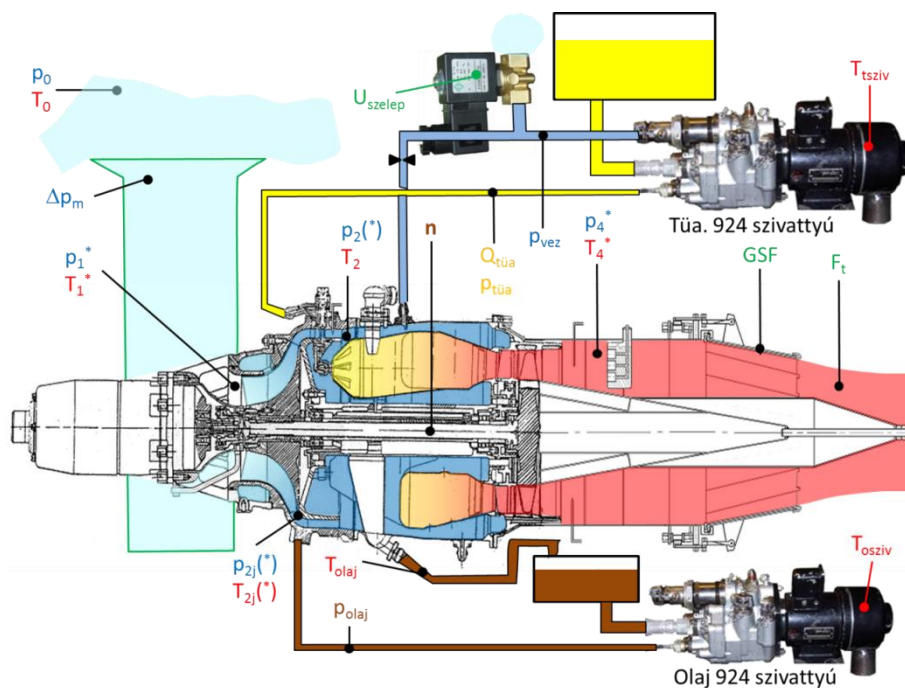
A cikk második része a mérő-adatgyűjtő rendszer kialakítását ismerteti. A tervezett gázturbinás sugárhajtómű, melyen az alternatív tüzelőanyagok hatását kívánjuk vizsgálni, igen kiterjedt mérő-adatgyűjtő rendszerrel kell rendelkezzen, hogy már a kutatások alatt lehetőséget biztosítson a hajtómű termodinamikai folyamatainak megismerésére, a hagyományos és újfajta hajtóanyagok elégetésekor létrejövő különbségek feltérképezésére. Továbbá a megválasztásnál olyan igényeknek is meg kell felelni, hogy a berendezés a kutatás befejeztével végül oktatási eszközként fog üzemelni.

A cikk megírásakor az NKE korábban (szélcsatorna mérésére) megalkotott mérő-adatgyűjtő rendszere, valamint a TJ100 gázturbinás sugárhajtómű gyártója, a PBS Velká Bíteš cég által kínált berendezés összehasonlítása volt lehetséges. Ebben egy komplett, kifejezetten az adott típushoz adaptált megoldás és a saját kialakítású rendszer lehetőségei alapján történik a javaslatétel, ezen felül két kifejezetten a TJ100-hoz használt próbapad bemutatása.

## MIKROGÁZTURBINÁK

A BME Vasúti Járművek Repülőgépek és Hajók Tanszéken (VRHT) kialakított kísérleti kis-méretű gázturbina az TKT-1 elnevezést kapta, ami 2007 decembere óta oktatási-kutatási célokat szolgál [8]. A Tanszéknek birtokában van egy tengelyteljesítményt leadó Deutz T216 típusú gázturbina is, mely egy szabályozással kapcsolatos PhD munka alapját képezte még a 2000-es évek elején [9]. A szerzők ezen túlmenően részt vettek a PD-60R típusú modell sugárhajtómű szabályozórendszerének megtervezésében, melyben igen értékes tapasztalatokat szereztek a mikrogázturbinák mérési és szabályozási kérdéseiben [10].

### TKT-1

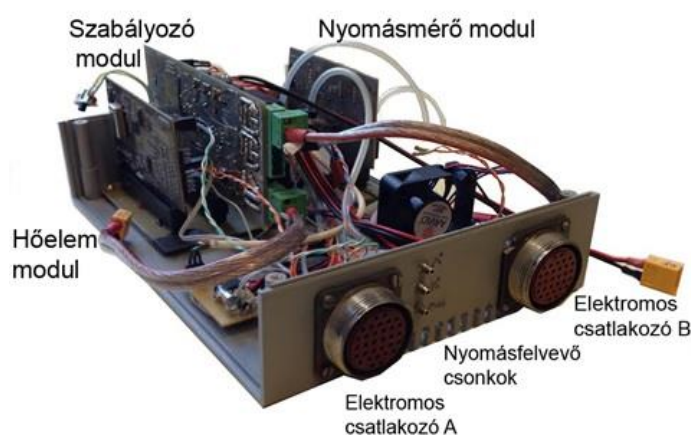


1. ábra A TKT-1 mérési helyei

A TKT-1 gázturbinás sugárhajtómű a TSz-21 indító gázturbinából került kifejlesztésre, ami csaknem 10 éve megbízhatóan üzemel a VRHT-n. Eddig közel 130 sikeres indításból több mint 7,5 óra üzemidőt teljesített. Tekintettel arra, hogy a Magyar Honvédség részéről rendelkezésre álltak a megfelelő dokumentumok, az üzemidő nyilvántartás is lehetővé vált. Már a kezdetekben cél volt az oktatási-kutatási jelleg miatt a kiterjedt mérő-adatgyűjtő rendszer létrehozása, melynek mért adatait a jelenlegi kialakításában az 1. ábra mutatja.

A mért adatok jelenleg kettős feldolgozásra kerülnek, kiépítés alatt van egy kétcsatornás, teljes hatáskörű szabályozórendszer (TEDDI) [11], mely a mérési feladatokat saját célból is elvégzi, tehát az eredeti mérőegységeket feleslegessé teszi. Amíg azonban minden paraméter mérése nincs kivitelezve a TEDDI-n, addig hibrid üzemmódban az eredeti adatgyűjtő is működik. A későbbiekben minden adatot a TEDDI fog az adatokat megjelenítő számítógépre elküldeni, ahogy a már integrált információkkal most is történik.

A TKT-1 saját fejlesztésű szabályozórendszerrel rendelkezik, mely teljes hatáskörű, digitális elektronikus szabályozást alkalmaz (Full Authority Digital Electronic Control, FADEC). A moduláris kialakítás már a koncepcionális fázisban a kétcsatornás működésre fókuszált, jelenleg azonban még csak egyetlen csatorna működik. A TEDDI elrendezéséről, jelenlegi állapotáról a 2. ábra nyújt információt.



2. ábra A TEDDI teljes hatáskörű digitális elektronikus szabályozó egység felépítése

A szabályozás történhet hajtómű nyomásviszony (Engine Pressure Ratio, EPR; az 1. ábra jelöléseivel  $p_4^*/p_1^*$ ), valamint hajtómű teljesítményviszony (Turbofan Power Ratio, TPR;  $p_2^* / p_1^* \cdot \sqrt{[T_4^* / T_1^*]}$ ) alapján. Mivel a TSz-21 nem rendelkezett fordulatszám-érzékeléssel, ezért az egészen mostanáig nem került kiépítésre. Jelenleg zajlik a fordulatszám szerinti szabályozás fejlesztése.

A berendezés alapvetően üzembiztos, az elmúlt tíz év sikertelen indításai minden esetben visszavezethetők voltak a rendszer nagymértékű fejlesztésére, amikor a fokozatosság elve nem volt biztosított, és az új, még be nem járatott új megoldások okoztak problémát.

A sugárhajtómű egy mozgatható próbapadra került felépítésre, amivel a labor udvarán történtek az eddigi üzemelések. Ezt azonban az időjárás befolyásolhatta, így tervbe van véve a zárt térben való működtetés.

### Deutz T216

A német Klöckner-Humboldt-Deutz cég még az 1960-as években fejlesztette ki a 80kW-os tengelyteljesítményt leadni képes T216 típusjelzésű gázturbináját. A VRHT laborjában a 2000-es évek elejére készült el az első próbapad [9], melyen PhD munka mellett hallgatói mérések is zajlottak. A labor 2011-es bontása miatt szét kellett szerelni, és 2015-ig nem üzemelt. Jelenleg, mivel a bontás a rendelkezésre álló helyet rendkívüli módon lecsökkentette, az eredeti kezelőpult megtartása nem vált lehetővé. Emiatt új mérő-adatgyűjtő rendszer került kivitelezésre, mely egy NI USB-6218 típusú 16 bites A/D eszközre épül, és egy laptopon futó LabVIEW program gyűjti és jeleníti meg valós időben a mért adatokat. Itt minden főbb keresztmetszetben van nyomás- és hőmérséklet-mérés, mérhető a fordulatszám, az tüzelőanyag mennyisége egy kifogyasztó tartályban, valamint a terhelőnyomaték. Itt a szabályozás hidromechanikus, a gázkar mozgatása történik félautomatikusan, számítógépről vezérelt motor segítségével. A berendezést a 3. ábra mutatja.

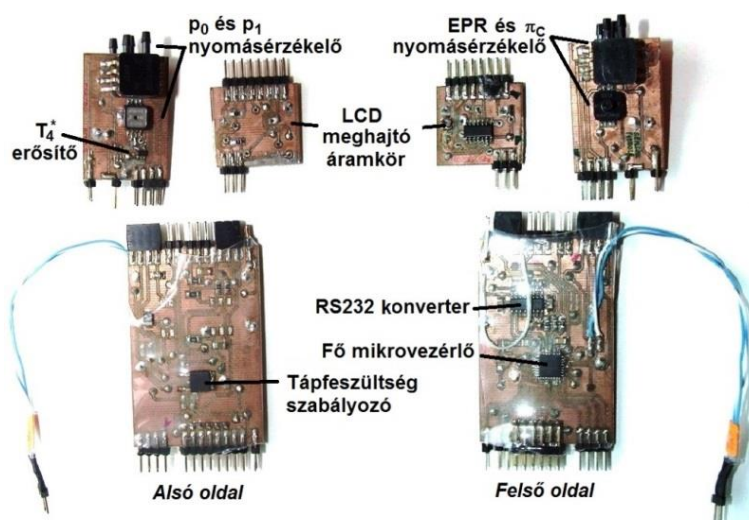


3. ábra A Deutz T216 tengelyteljesítményt leadó gázturбина, próbapadja és mérőrendszere

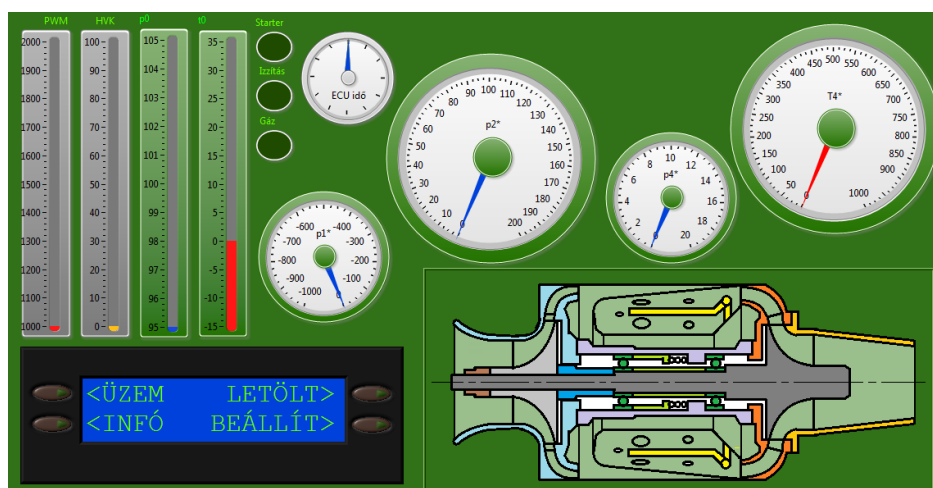
### PD-60R

A modell sugárhajtóművek körébe tartozó, egyéni fejlesztésű PD-60R típusú gázturbinás sugárhajtóműhöz mérő- és szabályozórendszer készült [10], mely TPR szerinti szabályozást valósít meg a rádió távirányítóról érkező vezérlőjelek alapján, itt tehát az előzőekkel ellentétben vezeték nélküli az adatátvitel. Az elektronika moduláris, a méréshez készült egy önálló kijelző egység, melyen megjeleníthetők a mért adatok. Szükség szerint soros kommunikáció is megvalósítható egy, az adatokat fogadó számítógéppel, ahol rögzítés és megjelenítés történhet pl. LabVIEW segítségével. A szabályozórendszer felépítését a 4. ábrán láthatjuk, míg az adatgyűjtő szoftver képe (a sugárhajtómű metszeti ábrájával) az 5. ábrán figyelhető meg.





4. ábra A MARCEL fantázianevű szabályozó elektronika felépítése



5. ábra Az adatgyűjtő LabVIEW program képernyője

## Tapasztalatok a mérőrendszerek területén

Mindegyik gázturbinás berendezés hőmérsékleteit K típusú (krómel-alumel) hőelemekkel mérjük, mely jeleket először erősíteni kell. Ez egy kritikus pontja a hőfok érzékelésének, ami azonban kiküszöbölhető kifejezetten erre a célra készült integrált áramkörökkel. Az eddigiekben azonban ezek magas árfekvése miatt nem kerültek alkalmazásra.

A nyomásokat mindenütt piezorezisztív érzékelőkkel mérjük, melyeknek a belső erősítő tartalmazó változatai nagyon egyszerűen illeszthetők akár saját építésű, akár gyártói A/D rendszerekbe. Itt a megfelelő nyomástartomány szem előtt tartása a fontos, de mivel a mérendő gázturbina paraméterei lényegében ismertek, ez nem jelenthet különösebb gondot.

A fordulatszámot a két nagyobb gázturbinánál induktív elven érzékeljük, a PD-60R esetében a tengelyvég anya átfúrásával optikai szondával mérjük. Mindegyik módszer bevált, működőképes, az utóbbi esetben 130 000 fordulat/perc értéknél még mindig megbízhatóan működött. Erő- és nyomatékmérésre erőmérő cellákat alkalmazunk, ezeket – a nyomásméréshez hasonlóan – az ismert működési tartományra való tekintettel előre ki kell választani.

A lineáris avagy forgó elmozdulások követésére a repülésben általában alternáló vagy forgó differenciál transzformátorokat alkalmaznak, ezekben a kísérleti gázturbinákban a potenciométeres megoldás is megfelelő, mivel egyenfeszültséggel is gerjeszthető, és a jel kondicionálása sem igényel különleges áramköröket.

A mérő-adatgyűjtő rendszerben a szoftveres oldalt minden esetben LabVIEW fejlesztőkörnyezetben hoztam létre, mert kellően rugalmas, gyors fejlesztést tesz lehetővé, nem kell a tényleges programozással sokat bajlódni, sok benne a kész megoldás, emellett látványos, kimeneti formátumait pedig egyszerűen be lehet olvastatni táblázatkezelő szoftverrel az üzemelés utáni kiértékelés céljából.

### **Tapasztalatok az üzemeltetésben**

A méretek csökkenésével természetesen a teljes felhasznált tüzelőanyag-mennyiség jelentős mértékben csökken, de a gázturbina mérési lehetőségei is jelentősen beszűkülnek, hiszen egyre kisebb szenzorokat kell létrehozni, egyre körülményesebb azoknak az elhelyezése.

Éppen ezért kedvező, hogy olyan mérettartományba eső hajtóműre esett a választás, mely a szerzők által is üzemeltetett TKT-1 és Deutz T216 turbinákkal egy nagyságrendbe esik. A TJ100 típus felműszerezése, üzemeltetése emiatt vélhetően hasonló jelleggel lesz majd megvalósítható, mint a fentebb említett típusok esetében.

Mivel a TJ100 típus a TKT-1-hez hasonlóan sugárhajtómű, a terhelés változtatása körülményesebb, mint a tengelyteljesítményt leadó gázturbinák (pl. Deutz T216) esetén. Ez utóbbinál ugyanis a kimenő tengelyen fékezőnyomatékot működtetve a valóságos terhelés (pl. légcsavar, forgószárny) egyszerűen modellezhető igen széles tartományban. A TJ100 rendeltetéséből fakadóan (pl. vitorlázó repülőgépek segédhajtóműveként) nem igényel ilyen széles üzemmód-tartományt, ezért állandó keresztmetszetű fűvócsővel készül. Felmerülhet az igény, hogy jelen kutatás céljaira viszont egy változtatható keresztmetszetű fűvócsőre lehet szükség, hogy a hajtómű üzemállapotát minél szélesebb tartományban lehessen változtatni. A TKT-1 tapasztalatai azonban ebben az esetben szintén felhasználhatók lesznek, amennyiben a változtatható fűvócső megépítése szükségessé válik.

## **A LEHETSÉGES MÉRŐRENDSZEREK BEMUTATÁSA**

### **Az NKE jelenleg meglévő mérőrendszere**

#### *Általános leírás*

A berendezéshez tervezett mérőrendszer eredetileg egy szélcsatornához került beszerzésre, így mint a projekt kezdetekor rendelkezésre álló eszköz, a projekt teljes költségvonzatát hatékonyan lehet csökkenteni a már meglévő rendszereknek az új kívánalmakhoz történő adaptálásával, teljesen új rendszer beszerzése helyett.

#### *A központi számítógép*

A mérő-adatgyűjtő rendszer központi eleme a számítógép, mely egy CASON ipari számítógép, legfontosabb jellemzőit az 1. táblázat tartalmazza. A számítógép 2006 évben került beszerzésre. Az 1. táblázat alapján megállapítható, hogy a konfiguráció bár a tíz évvel ezelőtti színvonalat

tükrözi, jelenlegi állapotában, vagy minimális fejlesztéssel (pl. memória-bővítés) megfelel a kívánalmaknak, a mérő-adatgyűjtő rendszer központi egységének feladatait el képes látni.

Alaplap	BG1404 passzív alaplap ipari számítógépekhez
Processzorkártya	Socket478 P4; Intel 845GV chipkészlet 400/533MHz FSB
Processzor	Intel Celeron D 2,8 GHz
Memória	max. 2GB, telepítve 512MB DDR
Grafikus kártya	integrált AGP
Merevlemez	160 GB Samsung EIDE HDD
Optikai lemez meghajtó	LG GSA4167 EIDE DVD RW Dual Layer
USB	5×2.0

1. táblázat A mérő-adatgyűjtő számítógép főbb specifikációi [12]

### A mérő-adatgyűjtő kártya

A hardver kiépítés szempontunkból legkritikusabb eleme a mérő-adatgyűjtő kártya. Erre vonatkozóan egy Advantech PCL-1710L típusú eszköz került beszerzésre, melynek legfontosabb adatait a 2. táblázatban olvashatjuk.

<b>Típus</b>	<b>Advantech PCL-1710L</b>				
Csatlakozás a számítógéphez	PCI buszon keresztül alaplpra				
<b>Analóg bemenetek</b>					
Felbontás	12 bit				
Mintavételezési sebesség	100 000 minta/másodperc				
Egy konverzió időigénye	8 $\mu$ s				
Adatpuffer	FIFO 4096 minta számára				
Csatornák száma	8 differenciális vagy 16 egyvezetékes (SE)				
Csatlakozás a külső jelekhez	68 tűs SCSI csatlakozó				
Erősítések	0,5	1	2	4	8
Bemeneti feszültség-tartomány	diff.	0~10 V	0~5 V	0~2,5 V	0~1,25 V
	SE	$\pm$ 10 V	$\pm$ 5 V	$\pm$ 2,5 V	$\pm$ 1,25V
Integrált nemlinearitás (INL)	$\pm$ 1LSB				
Monotonicitás	12 bit (nincs hiányzó kód)				
Ofszet hiba	Nullázható				
Erősítés hiba (a max. mért érték %-ban)	0,5	1	2	4	8
	0,1	0,1	0,2	0,2	0,4
Ofszet stabilitás	15 ppm/ $^{\circ}$ C				
Erősítés stabilitás	25 ppm/ $^{\circ}$ C				
<b>Digitális ki- és bemenetek</b>					
Csatornák száma	16 kimenet és 16 bemenet				
Jelszint	TTL (5V kompatibilis)				
<b>Digitális számláló</b>					
Csatornák száma	1				
Felbontás	16 bit				
Maximálisan mérhető frekvencia	1 MHz				
Jelszint	TTL (5 V kompatibilis)				

2. táblázat A mérő-adatgyűjtő kártya főbb tulajdonságai [13]

A mérő-adatgyűjtő kártya paramétereit elemezve a következőket szükséges kiemelni:

- ➔ a 12 bites felbontás esetleg kevésnek bizonyulhat a tervezett környezetben. Ajánlott volna a 16 bites felbontás, azonban ez mindenképpen új mérőkártya beszerzését tenné szükségessé. Az elemzést külön alponban lásd alább;

- a mintavételezés sebessége 100 000 minta/másodperc. A kártya architektúrája szerint egy A/D átalakítót tartalmaz, mely  $8\mu\text{s}$  alatt végez el egy konverziót, tehát 125 000 minta/másodperc lenne az elvi korlát. Itt azonban ún. Multiplex rendszerben több bemenet közül egyidejűleg egynek a kapcsolását tesszük lehetővé, ami feltételezi az egyes bemenetek közötti átváltást, annak időszükségletével együtt. Ha tehát 16 egyvezetékes bemenetet alkalmazunk, akkor kb. 6250 minta/másodperc érhető el minden csatornáról. Ez elegendő időbeli felbontást kínál tranziens jelenségek vizsgálatára is;
- a külső jelekhez történő csatlakozás 68 tűs SCSI szabványú csatlakozón keresztül lehetséges. Ennek érdekében, hogy ne kelljen az általunk mérni kívánt jeleket egy ilyen csatlakozóra felforrasztani, az NKE rendelkezik PCLD-8710 jelű adapterrel, mely sorkapcsokon keresztül bontható kapcsolatot biztosít a jelek számára a mérőrendszerben;
- előnye a kártyának, hogy rendelkezik digitális ki- és bemeneti jelekkel is, melyeket a gázturbinás sugárhajtómű vezérlésében, illetve visszacsatolásaiban lehet felhasználni (pl. olajnyomás-kapcsoló stb.);
- egy további nagyon fontos előny, hogy a kártya biztosít egy 16 bites számlálót, mely maximálisan 1MHz-es jelek mérésére alkalmas (a kártyán 10MHz-es órajellel dolgozik a számláló maga). Ez a bemenet fordulatszám mérését teszi lehetővé számunkra, mely elengedhetetlen a gázturbinás sugárhajtómű üzemállapotának pontos rögzítéséhez.

### *A felbontásból eredő hibák*

A jelenlegi konfigurációban egy laboratóriumi mérőberendezésről van szó, mely temperált (ha nem is léghkondicionált) helyiségben fog működni, tehát számottevő hőmérséklet-eltérés a mérőrendszer környezetében nem várható, az ofszet- és erősítés stabilitásnak így nem lesz számottevő szerepe. A hibák kalkulációjakor ezeket tehát jó közelítéssel elhanyagolhatjuk, így az erősítés hiba és az integrált nemlinearitás (INL) fognak döntően érvényre jutni. Ha 1-szeres erősítést veszünk, amikor pl. 0–10 V-os tartományban kívánunk mérni, az erősítési hiba a táblázat szerint 0,1%, az INL pedig  $\pm 1\text{LSB}$  (Least Significant Bit, legkisebb helyiértékű bit). A 12 bites felbontás (4096 kvantálási szint) miatt a 10 V-os tartományon az LSB értéke 2,44 mV, a skála 0,1%-a pedig 10mV. Így tehát egy mérés esetén a pontosság a tényleges feszültség közel 5LSB-nyi környezetébe eső mérési eredményt fog szolgáltatni. Ez 16 bites felbontással (4096-ról 65 536-ra növelvén a kvantálási szinteket) közel egy nagyságrenddel csökkenthető volna.

A csatornák erősítése egyesével állítható. Így tehát nincs probléma abból fakadóan, hogy bizonyos eszközök (pl. nyomástávadók) már eleve erősített, tipikusan 0–5 V tartományba eső jelet szolgáltatnak, míg mások, pl. hőelemek csupán néhány 10mV-nyi feszültséget adnak. Ezt szoftveresen konfigurálhatjuk, tehát a mérő-adatgyűjtő programba kell majd beépíteni.

### *Érzékelők*

A meglévő érzékelők a ZMNE szélcsatorna berendezéséhez szintén kínálnak lehetőséget a gázturbinás próbapadon történő alkalmazásra.

### *Hőmérséklet-érzékelés*

A szélcsatornában nem alakulnak ki számottevő hőmérsékletek, így PT100 (100  $\Omega$ -os névleges ellenállású platina) ellenállás-hőmérőket alkalmaztak, a hozzájuk tartozó DT100 távadó-



val, mely a platina hőmérsékletfüggő ellenállásjelét 4–20mA szabványos áramjellé alakítja. Megjegyzendő, hogy a PCLD-8710 kártya biztosít lehetőséget a gyakrabban alkalmazott feszültség bemenet helyett áramjel mérésére is.

A gázturbinás sugárhajtóműben azonban előállnak az égéstérben és a turbinában olyan nagy hőmérsékletek is, melyeknek a mérése ellenállás-hőmérővel már nem lehetséges. A turbina előtti és utáni gázhőmérsékletek (melyekből vélhetően csak a kilépést fogjuk mérni) hőelem alkalmazását követelik meg. A hőelemek kifejezetten kis feszültségjeleket hoznak létre, a leggyakrabban használt (és ebben a rendszerben is ajánlott) K típusú, krómél-alumel hőelem tipikusan közel 40  $\mu$ V feszültséget hoz létre 1 °C hőfokkülönbség esetén. Ez természetesen további jelkondicionálást igényel.

Szükséges tehát a nagyobb hőmérsékletek mérését hőelemmel megvalósítani, melyhez magát a hőelemet és a jelkondicionáló áramkört kell beszerezni. Ez utóbbi lehet gyári távadó, de akár saját gyártású erősítő is, mely természetesen kisebb anyagi ráfordítást igényel, miközben az elvárt pontosság teljesíthető.

### Nyomásérzékelők

A szélcsatorna számára a ZMNE 2006-ban négy darab DT701DP típusú nyomástávadót rendszeresített, melyek  $\pm 150$ mbar érzékelési tartománnyal rendelkeznek. Ilyen kis nyomáskülönbség a gázturbinás sugárhajtóműben csak korlátozottan áll rendelkezésre, de ettől függetlenül vannak olyan helyek, ahol a már meglévő komponensek alkalmazhatóak.

A TJ100 típusú gázturbinás sugárhajtómű jellegzetes keresztmetszeteinek nyomásai a következőképpen alakulnak [14] nyomán, atmoszférikus bemenő feltételekkel és álló körülmények között a 3. táblázatban láthatóak. Fontos megjegyezni, hogy ezen értékek csak hozzávetőlegesek, az előzetes tervezéshez a nagyságrendek meghatározására alkalmasak. Az azonban egyértelműen kitűnik, hogy a kompresszor előtti nyomást leszámítva minden esetben nagyobb tartományban mozgunk, mint a meglévő szenzoroké. Következésképpen tehát olyan nyomásérzékelők, avagy –távadók beszerzése elkerülhetetlen, melyek ezeket a nagy nyomásokat képesek mérni.

	Nyomás (kPa)	Hőfok (°C)
Kompresszor előtt	95–100	0–30
Kompresszor után	400–450	200–250
Turbina előtt	350–400	800–1200
Turbina után	150–200	500–800

3. táblázat A TJ100 gázturbinás sugárhajtómű nyomás- és hőmérséklet értékei [14]

### Egyéb mérőeszközök

Legelsőként a fordulatszám-érzékelő megvalósítása válik fontossá, hiszen ez a paraméter alapvetően befolyásolja a gázturbinás sugárhajtómű üzemállapotát. Ennek kivitelezése függ attól, hogy a TJ100 milyen beépített eszközzel rendelkezik, illetve milyen elven működő szerkezet építhető a gázturbinához. Mivel a TJ100 rendelkezik FADEC (Full Authority Digital Electronic Control, teljes hatáskörű, digitális elektronikus szabályozással) rendszerrel, ennek a beépített fordulatszám-érzékelőjének az alkalmazása az egyik kínálgató lehetőség. Amennyiben ez nem érhető el, válik szükségessé a saját érzékelő létrehozása, mely lehetséges optikai vagy induktív jeladók segítségével. A jelfeldolgozás – a fentebb említettek alapján – a

mérő-adatgyűjtő rendszerben meglévő számláló segítségével történhet, melynek szoftveres konfigurálásával a beérkező jelek közötti periódusidőből lehet mérni a fordulatszámot.

### *Szoftver*

A mérő-adatgyűjtő rendszer programját ebben az esetben a felhasználónak kell megírnia, ami LabVIEW fejlesztőkörnyezetben nem igényel programozói előképzettséget, mert a blokk diagramon az egyes csomópontok vezetékezése igen logikus, a felhasználói felület kialakítása minden egyedi igényt kielégíthet néhány alap tulajdonság beállításával.

Ezen felül megemlítendő, hogy a már meglévő szoftverek kiváló kiindulási alapot nyújtanak az új kifejlesztéséhez, tehát nem nulláról kell a program létrehozását megkezdeni, ezáltal a fejlesztési folyamat bizonyosan gyorsítható.

### *Következtetés*

A PCL-1710L kártya megfelelőnek mutatkozik a feladatra, bár egy esetleges csere egy újabb, csatornaszámban azonos, felbontásban viszont nagyobb képességekkel rendelkező eszközre kedvező hatással lenne a mérő-adatgyűjtő rendszer pontosságára. Egy USB buszra csatlakoztatható multifunkciós adatgyűjtő (mint pl. NI USB6218) alkalmas lehet erre a feladatra, hiszen a LabVIEW fejlesztőkörnyezet kifejezetten egyszerű programozást biztosít, miközben 16 bites analóg-digitális konverziót kínál, lehetővé teszi különféle kétállapotú jelek vételét és kiadását is (pl. berendezések ki- ill. bekapcsolására), valamint rendelkezik kettő analóg kimenettel is, mellyel proporcionális feladatok (adagolószelep pozicionálás stb.) is megvalósítható. Ez a lehetőség közel 1500 € költséget igényelne.

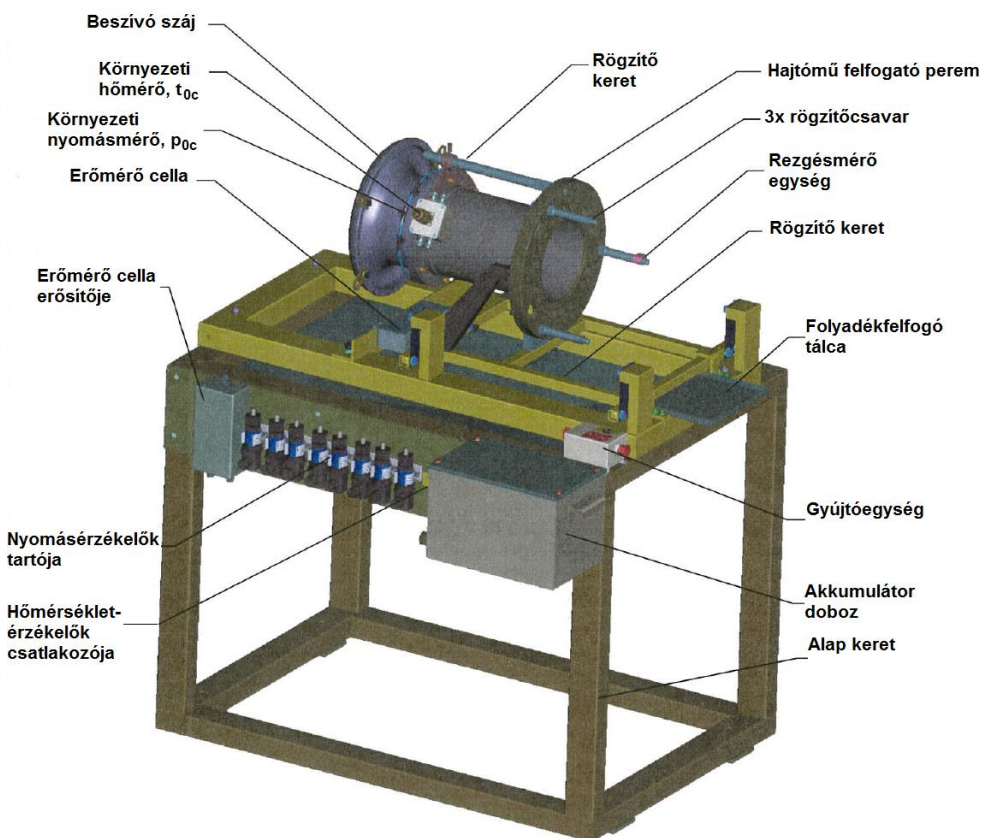
Az eredeti szélcsatorna mérőrendszer sok olyan szenzort nem tartalmaz, amely a gázturbina üzemállapotának felügyeletéhez szükséges, de ezek viszonylag kis anyagi ráfordítással (nagyágrendileg 1000 € körüli értékben) beszerezhetők, és nagyobb átalakítás nélkül illeszthetők a jelenlegi rendszerhez.

Megállapítható tehát, hogy a már meglévő mérő-adatgyűjtő rendszer átalakítása a kívánt cél elérésére megvalósítható és költséghatékony megoldásnak tekinthető.

## **A TJ100 gyári mérőrendszere ([15] nyomán)**

### *Általános leírás*

A gyári mérőrendszer tulajdonképpen egy komplett fékpad, melyen a sugárhajtómű üzeme vizsgálható. A fékpad rendelkezik a megfelelő rögzítési pontokkal, melyek segítségével elsődlegesen konténeres üzemeléshez biztosítható a felfogatás. Az alap keret idomacélból készül, cink védőbevonattal a korrózióvédelem érdekében. Ezen a kereten hozták létre a nyomásérzékelők tartóját, valamint az akkumulátor is itt rögzíthető. A levegő a mérőhelyiség légtéréből történik, a friss levegőellátásról mindenképpen gondoskodni kell. A füstgáz elvezetésére pedig különálló gázvezető csövet kell építeni. A fékpad nézeti képe az 6. ábrán látható.



6. ábra A TJ100 gázturbinás sugárhajtómű gyári fűpadja ([15] alapján)

### Szabályozó, mérő-adatgyűjtő rendszerek

A TJ100 hajtómű FADEC típusú szabályozórendszerrel rendelkezik, mely a beállított gázkar pozíció alapján a fordulatszám kívánt értéken tartását teszi lehetővé.

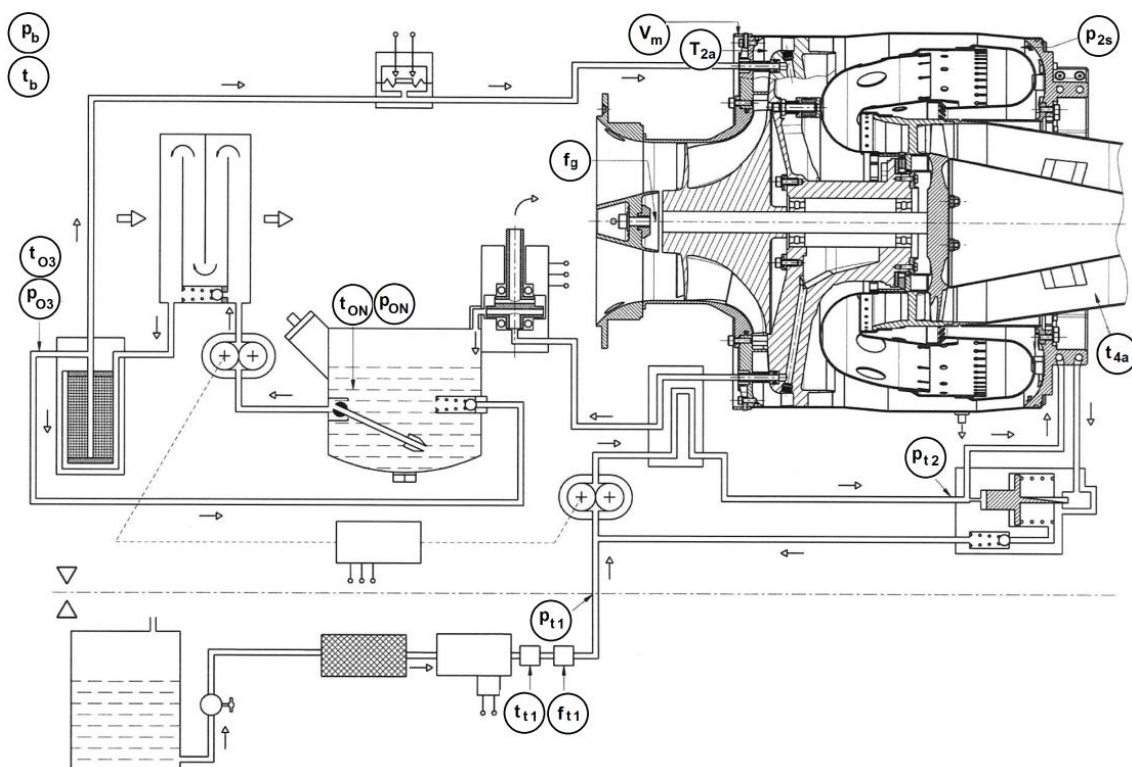
Az adatgyűjtő rendszer a szenzoroktól külön szerezhető be a hajtóműhöz, és egy adatrögzítő- és kiértékelő egységet tartalmaz, mely összesen 22 paraméter mentését, továbbá nemzetközi normál atmoszféra szerinti átszámított értékekre történő konvertálását valósítja meg.

Az adatgyűjtőről USB interfészen keresztül lehet az adatokat számítógépre küldeni.

### Érzékelők

Az érzékelők elhelyezését és megnevezését a 4. táblázat és a 7. ábra mutatja. (Megjegyzés: a 7. ábra nem mutatja a mérőpadhoz tartozó szívócsatornát, és az abban elhelyezett mérőperem nyomásesés valamint kompresszor előtti hőmérséklet mérőpontokat.)

Mint az a 7. ábrán és a 4. táblázatban megfigyelhető, a TJ100 mérőrendszere nem teszi lehetővé minden termodinamikai paraméter megfigyelését, de számos más, az üzemmel kapcsolatos információt tartalmaz. A tüzelőanyag- és olajnyomások, valamint – hőmérsékletek nem feltétlenül szükséges információk a jelenlegi kutatásban, de meglétük, ismeretük segítheti a gázturbina viselkedésének megértését, amennyiben a normálistól eltérő paraméterekkel rendelkező tüzelőanyag használatkor a vártól eltérő jelenségeket tapasztalunk (pl. eltérő tüzelőanyag viszkozitás még azonos hőmérséklet mellett is okozhatja a tüzelőanyag fűvókák rendellenes működését, ezáltal a hajtómű szabálytalan járását).



7. ábra A mérési pontok elhelyezkedése a TJ100 rendszerben ([15] nyomán)

Termodinamikai paraméterek	Nyomás (kPa)	Hőmérséklet (°C)
Atmoszférikus	$p_b$	$t_b$
Mérőperem	$\Delta p_m$	
Kompresszor előtt	$t_1^*$	–
Kompresszor után	$p_{2s}$	$t_{2a}$
Turbina előtt	–	–
Turbina után	–	$t_{4a}$

Hajtómű paraméterek	
Fordulatszám	$f_g$ (ford/perc)
Tolóerő	$F_t$ (N)
Tüzelőanyag-fogyasztás	$f_{t1}$ (l/óra)
Vibráció	$V_m$ (mm/s)

Segédberendezések paramétereit, egyéb értékek	
Olajnyomás a szivattyú után	$p_{o2}$ (kPa)
Olajhőmérséklet a szűrő után	$t_{o3}$ (°C)
Olajnyomás a szűrő után	$p_{o3}$ (kPa)
Tüzelőanyag nyomás a hajtómű bemenetén	$p_{t1}$ (kPa)
Tüzelőanyag nyomás a szivattyú után	$p_{t2}$ (kPa)
Tüzelőanyag hőmérséklet a hajtómű bemenetén	$t_{t1}$ (°C)
Olajhőmérséklet a tartályban	$t_{ON}$ (°C)
Olajnyomás a tartályban	$p_{ON}$ (kPa)
Akkumulátor feszültség	$U_A$ (V)
Akkumulátor árama	$I_A$ (A)
Környezet páratartalma	RHø (%)

4. táblázat A TJ100 gázturbinás sugárhajtómű mért paramétereit [15]

Fontos többlet lehet a vibráció mérésének lehetősége, mely a hajtómű állapotfelügyeletének kiemelt része a nagygépes repülésben is. A BME Vasúti Járművek, Repülőgépek és Hajók Tanszékén a közelmúltban történt egy rezgésdiagnosztikai vizsgálat, illetve rendszerterv, mely egy diplomamunka keretében lett összefoglalva [16]. Ebben a munkában megállapításra került, hogy a gázturbina különböző üzemmódjain az esetleges rendellenességek spektrumképei megkülönböztethetők egymástól, így lehetőséget nyújtanak nemcsak a probléma létrejöttének jelzésében, hanem a kiváltó ok, a meghibásodott vagy rendellenesen működő komponens (csapágy, lapátok stb.) szelektálásában is.

Mivel a gyár összesen 200 üzemóra nagyjavításközi üzemidőt írt elő, ez a kutatás során – hosszabb tartampróbákat is figyelembe véve – viszonylag nagy valószínűséggel elérhető, illetve, tekintettel a berendezés későbbi oktatási-kutatási célját, mindenképpen szem előtt tartandó. Amennyiben összetett rezgésdiagnosztikai rendszer kerül kiépítésre (nem feltétlenül az első időszakban), akkor a gázturbinás hajtómű használata során létrejövő elhasználódás és más, rendellenességek időben felderíthetővé válnak, így az állapot szerinti üzemeltetés feltételei is megteremthetők.

### **Következtetés**

A gyár által rendelkezésre bocsátott brosúra alapján kijelenthető, hogy az általuk kínált mérő-adatgyűjtő rendszer igen alapos ismereteket képes nyújtani a hajtómű üzemállapotáról, de van néhány olyan paraméter (pl. kompresszor utáni torlóponyi hőmérséklet és nyomás, turbina utáni nyomás), melyek a hajtómű termodinamikai jellemzésére igen kívánatosak volnának.

Továbbá szükséges megemlíteni, hogy bár eltekintve az esetleges további jelek rendszerbe integrálásától, mely igen bonyolultnak tűnik, egy garanciával rendelkező komplett rendszert kínálnak. Ez azt is jelenti, hogy adatgyűjtő szoftver is tartozik hozzá, nem kell annak megírását a felhasználónak magára vállalnia.

Ez egyúttal az anyagi vonzatát is jelentősen megnöveli, nagyságrendileg 15 000 € környéki beszerzési árral lehet kalkulálni.

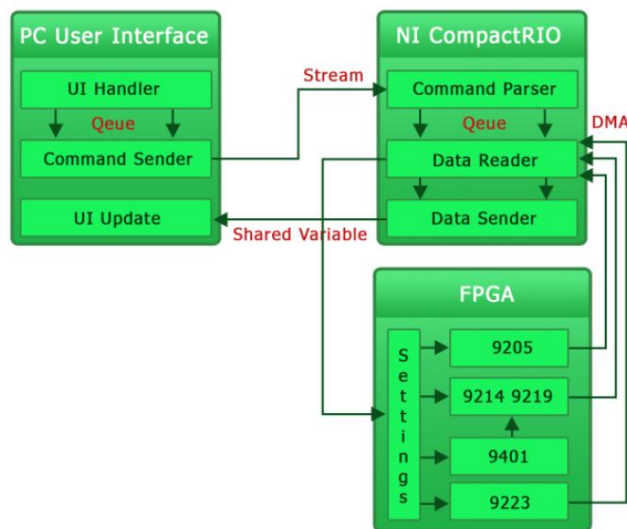
### **Megvalósított TJ100 mérőpadok**

A közép-európai régióban eddig kettő TJ100 laboratórium épült, egyik a Brnoi Honvédelmi Egyetemen, a másik pedig a Kassai Műszaki Egyetemen. Az előbbiről egy cikkben is beszámoltak a fejlesztők [17], a másik esetben csupán szóban volt lehetőségem az építést, üzemeltetést végző kutatókkal egyeztetnem.

#### ***A brnoi TJ100 mérőpad ([17] nyomán)***

A mérőpad alapvetően a gyári berendezésen alapul, viszont a mérő-adatgyűjtő rendszer, mely a szenzorok adatait feldolgozza, már saját összeállítású, melynek architektúráját a 8. ábra mutatja. Amint az látható, komplex architektúrával rendelkezik a különböző mintavételezési frekvenciájú változók elkülönített mérése érdekében. A központi egység egy hagyományos személyi számítógép, mely négy képernyőn tudja a mért adatokat valós időben megjeleníteni, továbbá az eredmények rögzítéséért is felelős. Ez a számítógép 1 gigabit/s sebességű Ethernet hálózaton keresztül kommunikál a mérő-adatgyűjtő komplexum vezérlési feladatait ellátó National Instruments (NI) CompactRIO (cRIO) 9081 típusú egységgel, mely 8 kártyás foga-

dóegységet is tartalmaz a különböző feladatokra szolgáló A/D kártyák számára. Továbbá tartalmaz egy Spartan-6 LX75 FPGA (Field Programmable Gate Array, a felhasználás helyén programozható logikai kapumátrix) integrált áramkört, mely az egyedi időzítések, vezérlések és adatfeldolgozás lehetőségét kínálja. Az integrált közvetlen memória-hozzáférés (Direct Memory Access, DMA) kiemelten fontos a nagy mennyiségű adat valós idejű átvitelében.



8. ábra A brnoi mérő-adatgyűjtő rendszer architektúrája [17]

Ezen felül az alap konfigurációban öt különböző adatgyűjtő bővítőkártyát alkalmaznak:

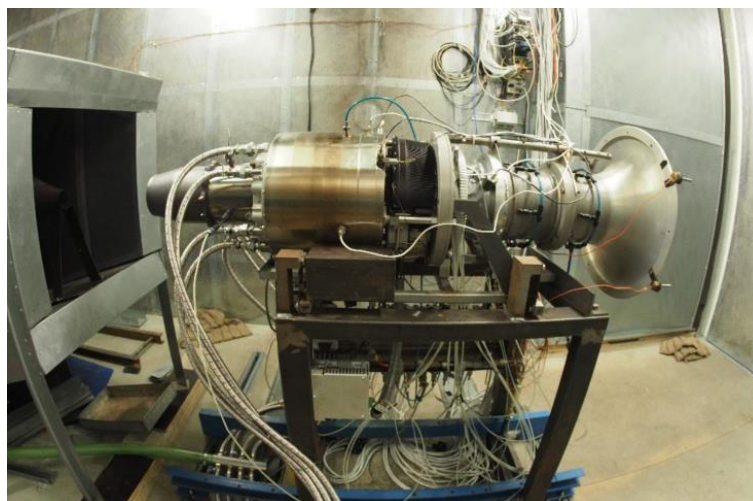
1. Az első egy 32 csatornás, 16 bit felbontással és összesített 250 kS/s mintavételezési sebességgel rendelkező NI9205 modul, nyomástávadók és a tüzelőanyag-átfolyásmérő jeleinek vételére.
2. A hőelemek jeleit egy 16 csatornás, 24 bit felbontású, csatornánként 70 minta/másodperc sebességű NI9214 modul dolgozza fel.
3. A tolóerőt egy hídkapcsolású erőmérő cella szolgáltatja, melynek jele a 4 csatornás NI9219 univerzális híd-erősítőbe csatlakozik, mely 24 bit felbontással és csatornánként 100 minta/másodperc sebességgel rendelkezik.
4. A negyedik modul egy 8 csatornás NI9401, mely digitális impulzusok mérését teszi lehetővé, azaz fordulatszám-érzékelést lehet vele megvalósítani.
5. Az utolsó modul egy NI9223, mely  $\pm 10$  V tartományban 1 MS/s sebességre képes, ezzel nagysebességű nyomásmérést terveznek (pl. kompresszor pompázs terén).

Érdeemes még megjegyezni, hogy mindezen túl RS232 kommunikációval zajlik az olyan lényegében statikusnak tekinthető paramétereknek a rögzítése, mint a környezeti nyomás és hőmérséklet, valamint a páratartalom.

Az újabb fejlesztések során bekerült egy további NI9237 adatgyűjtő a további gyors nyomásérzékelők számára, valamint egy NI9234 három gyorsulásmérő és egy mikrofon számára [18].

A kiépített rendszer igen fejlett, valós idejű mintavételezésre, így tranziens folyamatok feltárására is tökéletesen alkalmas, a probléma, hogy ez a rendszer a NI honlapján megadott árak alapján közelítőleg (a gyári mérőpadon felül) 20 000 € összeget igényel.



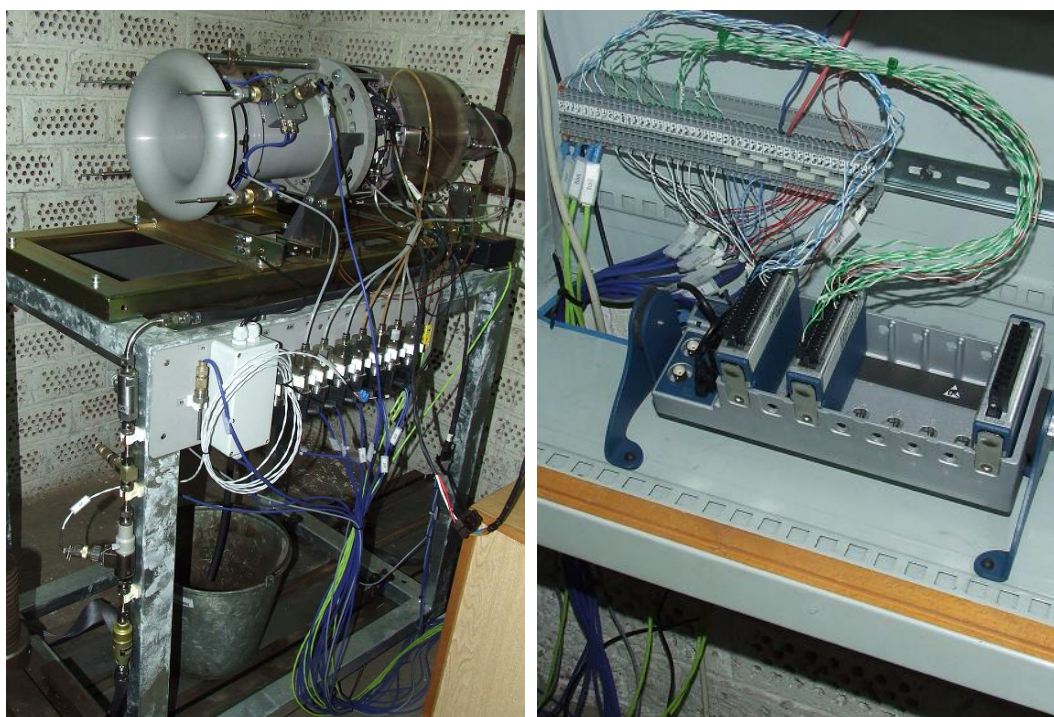


9. ábra A brnoi TJ100 mérőpad [18]

### *A kassai TJ100 mérőpad*

A Kassai Műszaki Egyetem Repülőmérnöki Karán a Repülőgép Hajtóművek Intelligens Szabályozórendszerei Laboratórium (LIRSLM, Laboratórium inteligentných riadiacich systémov leteckých motorov) birtokában van egy TJ100 mérőpad, mely szintén a gyári fékpadon és a vele szállított szenzorokon alapul, és a brnoi megoldáshoz hasonlóan saját összeállítású mérőrendszert tartalmaz, ez viszont egy szerényebb költségvetésű rendszer.

A NI CompactDAQ rendszerét alkalmazzák, mely teljesítményben nem éri el a cRIO képességeit, de azonos modulok alkalmazhatóak, és leszámítva a kiemelten nagy mintavételezési sebességeket (>100 kS/s) és a valós idejű adattovábbítást, közel azonos végeredményre juthatunk. A mérsékelt képességekből fakadóan a rendszer kiépítési költsége nagyságrendileg fele a cRIO alapú adatgyűjtőnek. A kiépített rendszer elemeit az 10. ábra mutatja.



10. ábra A kassai mérőpad és a mérő-adatgyűjtő egység (a szerző fényképei)

## ÖSSZEFOGLALÁS

Végeredményben megállapítható, hogy a megvizsgált négy különböző megoldás bármelyike alkalmazható a kutatási munkában, mivel mindegyik biztosít lehetőséget a vizsgálni kívánt paraméterek rögzítésére. Az anyagi oldalon igen jelentős eltérések tapasztalhatók a vizsgált összeállítás képességeinek függvényében.

A meglévő rendszer átalakítása mutatkozik a legköltséghatékonyabb változatnak, melyben a már meglévő adatgyűjtő rendszerben a szenzorok bővítését és új kezelőprogram létrehozását kell csupán megvalósítani. Egy új adatgyűjtő beszerzése még szintén elenyésző a további lehetőségek bekerülési költségeihez képest, ami javíthatja a rendszer képességeit, miközben nem igényel számottevő anyagi ráfordítást. A vezérlőszoftvert a felhasználó alakítja ki, amely így teljes mértékben idomulhat a kívánalmaknak megfelelően, azonban természetesen némi többletmunkát jelent.

A gyári mérőrendszer olyan kész megoldást kínál, melyben tulajdonképpen felhasználásra kész rendszert kaphat a vevő.

Ha komolyabb, erőforrás-igényes feladatokat is szeretnénk végrehajtani, akkor a gyári mérőpad szenzorrendszerét vagy a NI compactDAQ vagy a NI compactRIO rendszereket érdemes kialakítani, azonban ezek nem rendelkeznek gyári vezérlőszoftverrel, azt a felhasználónak kell létrehoznia.

Végül érdemes megemlíteni azt a lehetőséget is, amikor pl. NI compactDAQ mellé saját összeállítású érzékelőket alkalmazunk, ez magában hordozza a rugalmas bővítés lehetőségét, nem kell feltétlenül a gyári kialakítás keretein belül megmaradni.

Az is megállapítható, hogy mindegyik rendszer magában hordozza a későbbi oktatási berendezésként történő alkalmazást, bár a gyári rendszer bővítése korlátozott, de nem lehetetlen, ezért inkább az olyan megoldások közül volna célszerű választani, mely az egyszerűbb bővítetőséget is biztosítja.

### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] BICSÁK György, SZIROCZÁK Dávid, Dr. ROHÁCS Dániel: Changes in Aerospace Development Process Trends. In: Rolandas Makaras, Robertas Keršys, Rasa Džiaugienė (szerk.), Proceedings of 20th International Scientific Conference Transport Means 2016.. 1159 p., Juodkrantė, Litvánia, 2016.10.05-2016.10.07. pp. 528-535.
- [2] Foroozan ZARE, VERESS Árpád: Derivation and Application of a New Equation for Design and Analysis of Triple Spool Mixed Turbofan Jet Engines with Verification. Acta Polytechnica Hungarica, ISSN 1785-8860, vol. 13 (2016), issue 6, pp. 147-162, DOI: 10.12700/APH.13.6.2016.6.8
- [3] VERESS Árpád, BICSÁK György, ROHÁCS Dániel: Pressure Loss and Flow Uniformity Analysis of Baseline and Redesigned Engine Inlet Duct for a Small Turboprop Aircraft. In: Czech Aerospace Proceedings, 2016/1, pp. 3-9.
- [4] BABURIN Róbert, BICSÁK György, JANKOVICS István, Dr. ROHÁCS Dániel: Using UAVs in Education to Support the Development of Engineering Skills. In: The Proceedings of the First International Scientific Workshop "Extremal and Record Breaking Flights of the UAVs and the Aircraft with Electrical Power Plant" ERBA 2013, konferencia helye, ideje: Moszkva, Oroszország, 2013.08.23. 12 p.
- [5] Michael PALOCZ-ANDRESEN: Decreasing Fuel Consumption and Exhaust Gas Emissions in Transportation. Springer, Heidelberg, 2013. ISBN 978-3-642-11975-0, DOI 10.1007/978-3-642-11976-7
- [6] J. L. H. P. SALLEVELT, J. E. P. GUDDE, A. K. POZARLIK, G. BREM: The impact of spray quality on the combustion of a viscous biofuel in a micro gas turbine. Applied Energy 132 (2014), pp. 575-585, doi: 10.1016/j.apenergy.2014.07.030

- [7] Dries VERSTRAETE, Carlos BOWKETT: Impact of heat transfer on the performance of micro gas turbines. *Applied Energy* 138 (2015), pp. 445-449, doi: 10.1016/j.apenergy.2014.10.075
- [8] PÁSZTOR Endre, BENEDA Károly: A TKT-1 kisméretű, oktatási és kutatási célú gázturbinás sugárhajtómű első tíz éve. *REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK* 2015:(3) pp. 117-132. XVIII. Magyar Repülés-tudományi Napok. Budapest, Magyarország: 2015.12.03 -2015.12.04.
- [9] AILER Piroška: Mathematical modeling of a low-power gas turbine engine and its control system. In: *CD Proceedings 22nd International Congress of Aeronautical Sciences*. Konferencia helye, ideje: Harrogate, Egyesült Királyság / Anglia, 2000.08.27-2000.09.01.pp. 1-7.
- [10] BENEDA Károly: Modular Electronic Turbojet Control System Based on TPR. *ACTA AVIONICA* 17:(31) Paper 1. 14 p. (2015) ISSN 1339-9853
- [11] BENEDA Károly: Development of a modular FADEC for small scale turbojet engine. In: *SAMI 2016: IEEE 14th International Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics*. Konferencia helye, ideje: Herlany, Szlovákia, 2016.01.21-2016.01.23. New York: IEEE, 2016. pp. 51-56. (ISBN:978-1-4673-8739-2; 978-1-4673-8740-8)
- [12] TECHNO-CONTROL: Dokumentációs lista a ZMNE részére szélcsatorna mérő-adatgyűjtő rendszerről. Budapest, 2006.
- [13] ADVANTECH: PCL-1710L mérő-adatgyűjtő kártya adatlap. A <http://advdownload.advantech.com/productfile/Downloadfile1/1-13L5V9R/USER%20MANUAL%20FOR%20PCI-1710U.PDF> (2017-02-20)
- [14] Z. KATOLICKÝ, B. BUŠOV, M. BARTLOVÁ: Turbojet Innovation and TRIZ. 16th International Conference on Mechatronics, pp. 16-23, 3-5 Dec. 2014. doi: 10.1109/MECHATRONIKA.2014.7018230
- [15] PBS VELKÁ BITEŠ: Test bench for turbojet engine TJ100A-Z. Operation and maintenance manual. Brno, 2012.
- [16] TOLNAI András: TKT-1 típusú sugárhajtómű rezgésdiagnosztikai rendszerének kiépítése. MSc diplomaterv, BME Vasúti Járművek, Repülőgépek és Hajók Tanszék, 2014. Konzulens: Beneda Károly, külső konzulens: dr. Szabó József Zoltán.
- [17] Jakub HNIDKA, Jiri PECINKA: Measurement automation for small jet engine testing. 2016 IEEE 14th International Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics (SAMI), pp. 29-34, doi: 10.1109/SAMI.2016.7422977
- [18] Jiří PEČINKA: Small Gas Turbine Engine Test Cell DAQ System. *NI Case Studies* – megjelenés alatt.

---

**SELECTION OF DATA ACQUISITION SYSTEM FOR A MICRO GAS TURBINE TEST BENCH USED IN THE RESEARCH FOR ALTERNATIVE FUELS**

*The various gas turbine engines widely spread in aviation are also prone to the diminishing resources of fossil fuels. There were several researches regarding alternative fuels, present investigation tries to look further and does not only focuses on changes in thermodynamic and emission properties of the gas turbine itself, but tries to create an insight on system level differences like operation, service, etc. Nevertheless, the primary goal is to identify the changes of gas turbine working process, and for this reason a small gas turbine test bench is to be produced. The goal of the present article is to provide an overview of the selection of data acquisition system, with special emphasis on the planned usage beyond the reach of the research as an educational equipment.*

**Keywords:** *gas turbine engine, alternative fuel, jet engine, data acquisition system, LabVIEW, micro gas turbine*

---

---

Dr. Beneda Károly (PhD)  
adjunktus  
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem  
Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar, Vasúti  
Járművek, Repülőgépek és Hajók Tanszék  
  
kbeneda@vrht.bme.hu  
orcid.org/0000-0003-1900-7934

---

Beneda Károly (PhD)  
Assistant professor  
Budapest University of Technology and Economics  
Faculty of Transportation Engineering and Vehicle  
Engineering, Department of Aeronautics, Naval Ar-  
chitecture and Railway Vehicles  
kbeneda@vrht.bme.hu  
orcid.org/0000-0003-1900-7934

---

Dr. Rohács Dániel (PhD) egyetemi docens Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar  Vasúti Járművek, Repülőgépek és Hajók Tanszék  drohacs@vrht.bme.hu orcid.org/0000-0002-4629-4417	Rohács Dániel (PhD) Associate professor Budapest University of Technology and Economics Faculty of Transportation Engineering and Vehicle Engineering Department of Aeronautics, Naval Architecture and Railway Vehicles drohacs@vrht.bme.hu orcid.org/0000-0002-4629-4417
Dr. Kavás László (PhD) egyetemi docens Nemzeti Közszolgálati Egyetem, Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Katonai Repülő Intézet Repülőgép Sárkány-hajtómű Tanszék kavas.laszlo@uni-nke.hu orcid.org/0000-0002-7375-3527	Kavás László (PhD) Associate Professor National University of Public Service Faculty of Military Science and Officer Training Institute of Military Aviation Department of Aircraft and Engine kavas.laszlo@uni-nke.hu orcid.org/0000-0002-7375-3527
Dr. Óvári Gyula egyetemi tanár Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Katonai Repülő Intézet Repülő Sárkány-hajtómű Tanszék ovari.gyula@uni-nke.hu orcid.org/0000-0002-8604-5861	Óvári Gyula, CSc Professor National University of Public Service Faculty of Military Science and Officer Training Institute of Military Aviation Department of Aircraft And Engine ovari.gyula @uni-nke.hu orcid.org/0000-0002-8604-5861

A GINOP 2.3.2-15-2016-00007 „A légitölekedés-biztonsághoz kapcsolódó interdiszciplináris tudományos potenciál növelése és integrálása a nemzetközi kutatás-fejlesztési hálózatba a Nemzeti Közszolgálati Egyetemen – VOLARE” című projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Regionális Fejlesztési Alap társfinanszírozásával valósul meg.

A kutatás a fenti projekt „AVIATION\_FUEL” nevű kiemelt kutatási területén valósult meg.



[http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2017\\_1/2017-1-08-0376\\_Beneda\\_Karoly\\_et\\_al.pdf](http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2017_1/2017-1-08-0376_Beneda_Karoly_et_al.pdf)