

SZALAI SÁNDOR* – SÓDOR BÁLINT** – TRÓZNAI GÁBOR***

A VÉNUSZ KUTATÁSA ŰRSZONDÁVAL MAGYAR KUTATÓK RÉSZVÉTELÉVEL

Összefoglalás: Az Európai Űrügynökség (European Space Agency – ESA) Venus Express missziója a Vénusz atmoszféráját és annak plazmakörnyezetét vizsgálta. A Svéd Űrkutatási Intézet kérésére magyar mérnökök az űrplazmát és a nagy energiájú atomokat vizsgáló műszerhez (Analyser of Space Plasma and Energetic Atoms – ASPERA) automatizált kalibrálórendszert fejlesztettek ki. Ez az elosztott intelligenciájú rendszer három PC/104 szabványú processzorkártyára épült, és valós idejű LINUX operációs rendszert használ, a kezelőfelületét megvalósító program pedig egy külön PC-n Windows alatt fut.

Kulcsszavak: Vénusz, Venus Express, ASPERA, PC/104, valós idejű LINUX

Abstract: The ESA Venus Express mission studied the atmosphere of Venus and its plasma environment. At the request of the Swedish Institute of Space Physics (IRF), Hungarian engineers developed an automated calibration system for the ASPERA (Analyser of Space Plasma and Energetic Atoms) experiment. This distributed intelligence system was built on three PC/104 standard processor cards and operated with a real-time LINUX operating system. The system's user interface program runs on a separate PC under Windows.

Key words: Venus, Venus Express, ASPERA, PC/104, real-time LINUX

A Vénusz a Naptól számított második bolygó, amely a Földhöz leginkább hasonlít a Naprendszerben. Közepes naptávolsága 108,21 millió km. Mivel a Naphoz közelebb kering, mint a Föld, így a Földről nézve a két égitest látóiránya közti szög maximum 47°, ezért napnyugta után és napkelte előtt látható a nyugati, illetve a keleti égbolton. A Földtől mérhető legkisebb távolsága 40 millió km, a Nap és a Hold után a legfényesebb égitest. Átmérője 12 104 km (650 km-rel kisebb a Földénél), tömege a Földének a 81,5%-a, átlagsűrűsége 5,24 g/cm³. Igen lassú tengely-

forgása ellentétes irányú a Föld forgásának irányával, azaz retrográd (keringési irányával ellentétes irányú). Nem közzismert, hogy a Vénuszon egy nap (tengely körüli forgás-ideje 243,16 földi nap) hosszabb, mint egy vénuszi év (Nap körüli keringési periódusa 224,7 földi nap). Forgástengelye a majdnem kör alakú keringési pálya síkjára merőleges iránytól csak 2,7°-kal tér el, és ezért nincsenek évszakok. A bolygót sűrű, fényes kénsav felhők borítják, ezért a felszínét a Földről nem láthatjuk. A légkörének összetétele 96,5% szén-dioxid és 3,5% nitrogén. A felszíni légköri nyomás igen nagy, 90-szer nagyobb a földinél. A légköri magas szén-dioxid-tartalom miatt erős üvegházhatás érvényesül, amely 450–480 °C hőmérsékletet eredményez. A felszínen az éjszakai és a nappali hőmérséklet-különbség kisebb, mint 25 °C. Az 50–60 km magasban húzódó felhők átengedik a fényt, amelyek nagy sebességgel mozognak, és sebességük elérheti a 300 km/órát. A bolygófelszín domborzati viszonyait űrszondák fedélzetén működő radarműszerek segítségével lehet vizsgálni.

A Vénuszt már több űrszonda elérte, vagy elhaladt mellette, ideértve a gravitációs hintamanővereket végző űreszközöket is. A Szovjetunió és az USA az 1960-as években több szondát indított a bolygó irányába. Az USA Mariner-2 űrszondája volt az első sikeres, amely 1962. december 14-én haladt el a Vénusz mellett, és távmérési adatokat sugárzott a Földre, majd folytatta a Nap körüli keringését. A Vénusz felszínét először a szovjet Venyera-7 űrszonda érte el 1970. december 15-én, és a felszínre érve 23 percig igen gyenge jelet sugárzott, amelyet először a kapcsolat megszakadásaként kezeltek. Utólag azonban sikerült kiértékelni a jelet, amely a felszíni hőmérsékletről, az atmoszféra nyomásáról és a szélességről tartalmazott hasznos információkat. Az évek során a Szovjetunió és az Egyesült Államok több tíz űreszközt küldött a Vénuszra, de mára már az ESA és Japán is csatlakozott hozzájuk. [1] Az USA Magellán űrszondája légköri fékezéssel jutott

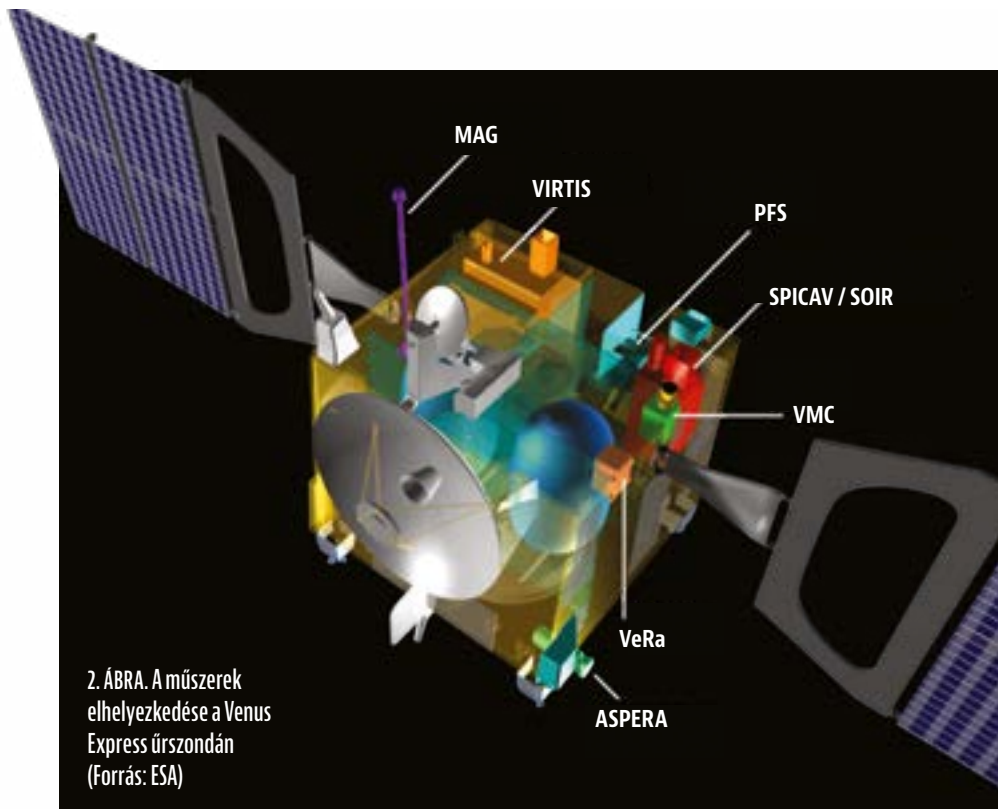
1. ÁBRA. A Magellán űrszonda radarfelvételei alapján készült számítógépes szimuláció a Vénusz északi féltekéjéről (Forrás: Shutterstock)

* Wigner Fizikai Kutatóközpont; MTA doktora. ORCID: 0000-0003-3979-084X

** SGF Kft., szoftverfejlesztő. ORCID: 0009-0009-0829-9709

*** SGF Kft., ügyvezető. ORCID: 0009-0003-8226-3612





2. ÁBRA. A műszerek elhelyezkedése a Venus Express űrszondán (Forrás: ESA)

felszínhez közeli pályára, így 1990 és 1994 között a Vénusz felszínének 98%-át radarral feltérképezte. A NASA radar-térképe alapján a bolygó felszíne 70%-ban sík, de nagyobb meteorok becsapódásai és vulkáni tevékenység nyomai is láthatók rajta.

Az ESA Venus Express űrszondájának elkészítéséhez rövid idő állt rendelkezésre a 2005-ös indítási ablak eléréséhez, mivel az ESA-ban 2001-ben merült fel javaslatként szonda indítása a Vénuszhoz, és csak 2002-ben hagyták jóvá a misszió megvalósítását. Az idő szűkössége miatt a Vénuszhoz adaptált szonda készítéséhez felhasználták a korábbi Rosetta és a Mars Express szondák terveit. Ez nemcsak idő-, hanem költségmegtakarítást is jelentett. A legjelentősebb feladat a hővédő burkolat átalakítása volt, mivel az eszköz Naphoz közelebb működött. Ezen túl a fedélzeti elektronikai rendszereket is át kellett tervezni hőtani szempontból, illetve hatékonyabb hűtőberendezésekre és a 23 rétegű, fekete helyett egy erősen fényvisszaverő aranyzsigetelésre volt szükség. A napelemtáblát is át kellett építeni: az egyes panelek mérete körülbelül fele a Mars Expressének, ezenkívül hőálló gallium-arsenid típust kellett alkalmazni.

Az űrszondát 2005. november 9-én indították Szozuz-FG rakétával Bajkonurból. A szonda indítási tömege 1270 kg volt, mely hét tudományos műszert tartalmazott. A Vénuszhoz küldött űrszonda indulósebessége másfélszer akkora volt, mint a Marshoz küldötté. A Venus Express három tengelyre stabilizált, ~1,7 x 1,7 x 1,4 m-es hővédő borítással ellátott „alumíniumdobozként” lett kialakítva. A kinyitott napelemtáblák fesztávolsága nyolc méter volt. A földi állomásokkal való kommunikációhoz egy nagy és egy alacsony nyereségű antennával látták el.

A szonda kutatási célja a bolygó légkörének vizsgálata volt: tanulmányozta annak összetett dinamikáját és ké-

miáját, valamint azokat a felszínnel való kölcsönhatásokat, amelyek a domborzat jellemzőiről adtak információt. Ezen túlmenően a Vénusz légköre és a bolygóközi környezet (napszél) közötti kölcsönhatásokat is vizsgálta. A szonda kezdetben egy erősen elliptikus, poláris körpályára állt, amelynek a felszínhez közeli pontja 400, a távoli 350 000 km, periódusa pedig 9 nap volt. A Venus Express-t 2006. április 11-én állították a végleges Vénusz-körüli pályára. A kiválasztott működési pálya lefedte egy vénuszi nap alatt a teljes felszínt.

A misszió többszöri meghosszabbítása jelentősen növelte ismereteinket a Vénusz légköréről. A szonda működése 2014. december 16-án légköri fékezéssel fejeződött be, mivel elfogyasztotta pályakorrekciós üzemanyagkészletét. Az utolsó tudományos adatok 2014. november 30-án érkeztek a Földre.

2005-ben a svédországi Űrfizikai Kutatóintézet (Institutet För Rymdfysik – IRF) kutatói keresték meg intézetünket, az MTA KFKI Részecske- és Magfizikai Kutatóintézetet (jelenlegi nevén HUN-REN Wigner Fizikai

Kutatóközpont – Wigner FK) az Európai Űrügynökség Venus Express űrprogramjában való részvétel céljából. A svéd partner az induló Venus Express űrszondára kerülő ASPERA műszer kalibrálásának meggyorsításában kért segítséget, azaz automatizálni kellett a manuálisan időigényes kalibrálási folyamatot. Az IRF kutatói által fejlesztett ASPERA műszer a napszél és a Vénusz légköre közötti kölcsönhatásokat vizsgálta.

Az űrszonda (2. ábra) hét műszere [2]:

1. ASPERA (Analyser of Space Plasma and Energetic Atoms: űrplazma és nagyenergiájú atomok analízátora): a napszél és a Vénusz légköre közötti kölcsönhatást vizsgálta a bolygó légköréből kiáramló és a napszelet alkotó részecskék mérésével. Tanulmányozta, hogy a molekulák és az ionok hogyan távoznak a bolygóról. [3]
2. MAG (Venus Express Magnetometer): a Vénusznak nincs kimutatható saját belső mágneses mezője, viszont a napszél és a légkör kölcsönhatásának köszönhetően létrejön egy gyenge indukált mágneses tér. A MAG mérőműszer azt a folyamatot tanulmányozta, hogy milyen hatással van ez a Vénusz légkörére, például a légkör szökési folyamatára.
3. PFS (Planetary Fourier Spectrometer: Fourier-spektrométer): 55-100 kilométeres magasságok között nagyon nagy felbontással tudta mérni a légkör hőmérsékletét. A felszíni hőmérsékletet is mérte a vulkáni tevékenység keresése során. A hőmérsékletmérések mellett a PFS a légkör összetételét is vizsgálta.
4. SPICAV/SOIR (Ultraviolet and Infrared Atmospheric Spectrometer: ultraviola és infravörös atmoszféraspektrométer): segítette a Vénusz légkörének elemzésében, különösen a Vénusz légkörében feltételezhető kis mennyiségű víz után kutatott. Kénvegyületek és mole-

kuláris oxigén után is vizsgálódott a légkörben, meghatározta a légkör sűrűségét és hőmérsékletét 80–180 kilométeres magasságban.

5. VeRa (Venus Radio Science Experiment: Vénusz rádiós tudományos kísérlet): az űrszonda és a Föld közötti erős rádiókapcsolatot használta fel a Vénusz ionoszférájában uralkodó viszonyok vizsgálatára. A légkör sűrűségének, hőmérsékletének és nyomásának kutatására is alkalmazták a felszíntől mért 35–40 km-től 100 km távolságig, valamint a felszín „érdességének” és elektromos tulajdonságainak meghatározására is szolgált, és lehetővé tette a napszél vizsgálatát is.
6. VIRTIS (Visible and Infrared Thermal Imaging Spectrometer: látható és infravörös hőképképző spektrométer): a 40 kilométeres magasság és a felszín közötti alsó légkör összetételét vizsgálta. A felhőket ultraibolya és infravörös hullámhosszon is követte, továbbá különböző magasságokban mérte a légkör dinamikáját.
7. VMC (Venus Monitoring Camera: Vénuszt megfigyelő kamera): egy széles látószögű, olyan többcsatornás eszköz, amely a közeli infravörös, az ultraibolya és a látható hullámhosszon készített felvételeket a bolygóról. A VMC globális felvételeket készített a felhők dinamikájáról, továbbá más műszerek által látott jelenségek azonosítását is megkönnyítette.

Az 500 napra tervezett missziót 2007. február végén hosszabbították meg 2009 közepéig. 2008 júliusában megkezdtek a szonda pályamagasságának csökkentését, így a szonda lassulásával mérni tudták a felső légkör által kifejlesztett légellenállást, annak sűrűségét. Mivel az űrszonda üzemképes volt, 2014-ig négy alkalommal meghosszabbították a működtetését. Az alacsonyabb pályára állítás során adatokat nyertek a Vénusz alacsonyabb légrétegeiről is, ami a légkör fékező hatásáról szolgáltatott információt a későbbi küldetések számára. Az űrszonda működéséhez szükséges üzemanyag 2014. november 28-án elfogyott, így a szonda befejezte a közel nyolcéves misszióját.

A Vénusz légkörét vizsgáló ASPERA négy érzékelőt tartalmazó műszeregységet több mint tíz, európai, amerikai és japán intézetekből álló nemzetközi konzorcium (Auszt-

ria, Finnország, Franciaország, Írország, Japán, Olaszország, Magyarország, Németország, Svájc, Svédország, USA) fejlesztette [4] a svédországi Űrfizikai Intézet vezetése alatt. Az említett négy érzékelő az alábbi volt (3. és 4. ábrák):

1. A semleges részecskék térbeli eloszlását mérő érzékelő (Neutral Particle Imager – NPI) az integrális semleges atomok (0,1 – 60 keV tartományban) áramlását méri tömeg- és energiafelbontás nélkül, nagy szögterületben.
2. A semlegesrészecske-detektor (Neutral Particle Detector – NPD) a semleges részecskék tömeg (hidrogén és oxigén) és sebesség (0,1–10 keV energiatartomány) szerinti eloszlását méri.
3. Az elektron-spektrométer (Electron Spectrometer – ELS) regisztrálja az elektron 0,01 – 20 keV-ig terjedő energiáit.
4. A tömeg szerinti ionanalizátor (Ion Mass Analyser – IMA) méri a fő ionkomponenseket (H^+ , H_2^+ , He^+ , O^+), a molekuláris ionokat 20 – 80 amu¹ és poros plazmáknál 106 amu-ig, 100 eV – 40 keV közötti tartományban. (4. ábra)

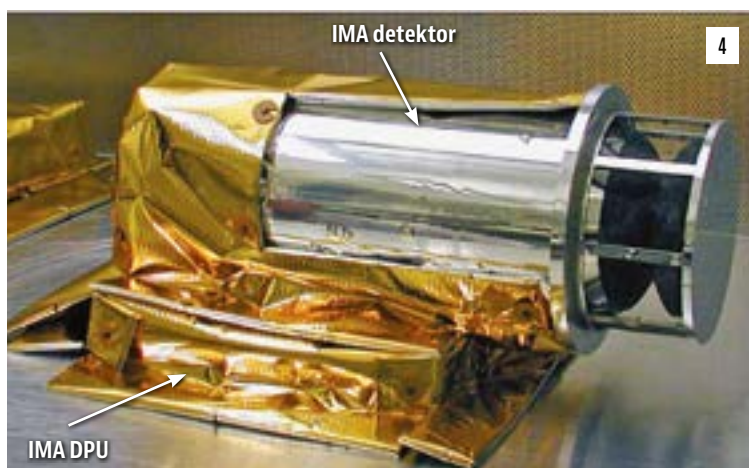
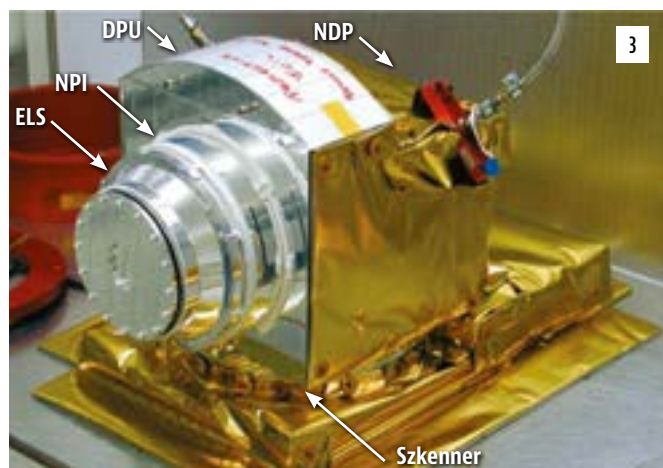
Az irány szerinti lefedettség növelése érdekében az NPI, az NPD és az ELS detektorokat az űrszondán egy pásztázó (Scanner) platformra szerelték. (3. ábra)

A mérések pontossága céljából az érzékelőket kalibrálni kellett, azaz a mechanikai méretek és az elektromos elemek paramétereinek szórásából adódóan a tényleges értékek nem pontosan egyeztek meg a tervezés elvi értékeivel. Ezért ismert paraméterű részecskeforrások használatával a megvalósított érzékelők valóságos mérési paramétereit ellenőrizni kellett. A kalibráló méréseket a műszerek mérési tartományainak több pontjában kellett elvégezni. Az igen rövid fejlesztési idő miatt a Wigner FK az SGF Technológia Fejlesztő Kft.-vel (Space and Ground Facilities Technology Associated Co. Ltd.) együttműködve fejlesztette ki a svédországi kalibrálórendszerhez az elosztott intelligenciával az automatizálást.

Az automatizált rendszer tervezése során alkalmazkodni kellett az egymástól viszonylag távol álló, már meglévő alegységek (mérő- és vezérlőegységek) elektromos illesztőfelületeinek paramétereire. [6] Az aktuális kalibrálási értékeket és a szabályozás különböző paramétereit célszerűen egy integrált kezelői felületen kellett

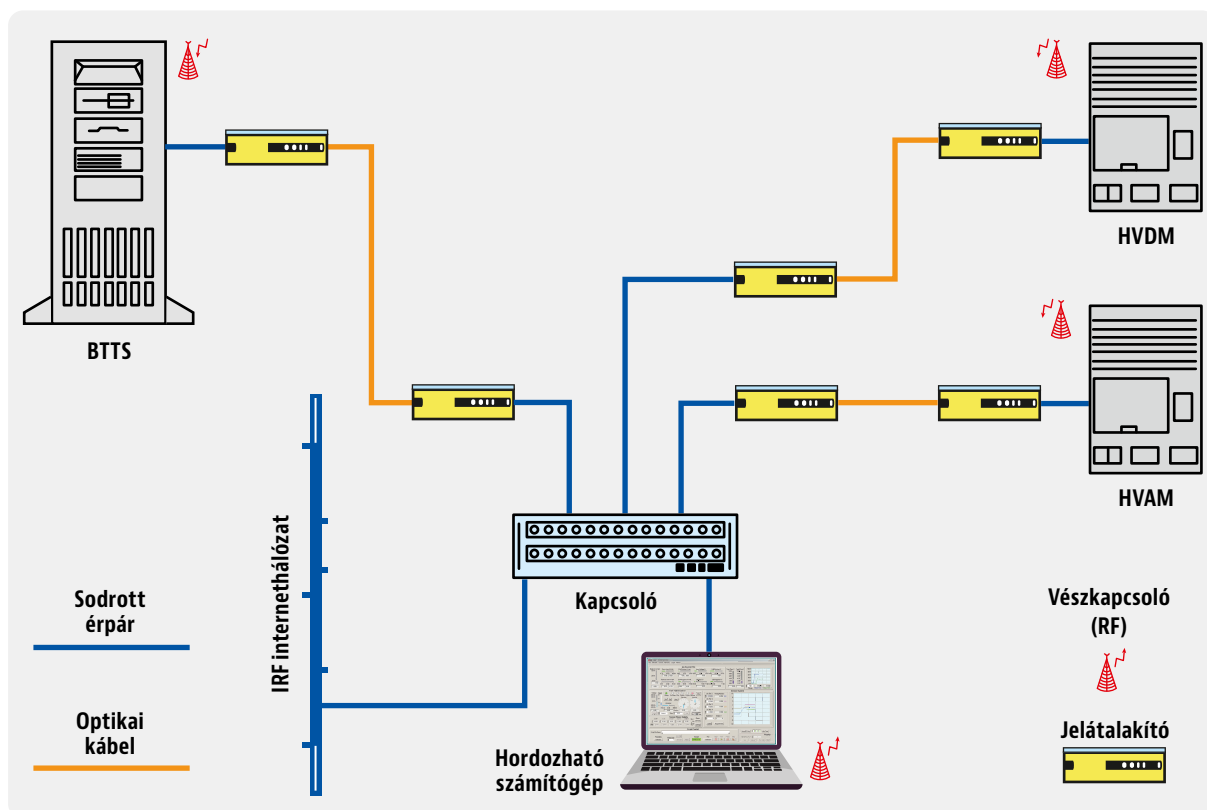
3. ÁBRA.
A forgatóplatformra szerelt három érzékelő fényképe (Forrás: IRF)

4. ÁBRA. Az IMA ionanalizátor és a processzor egységének fényképe (Forrás: IRF)



¹ Atomi tömegegység (atomic mass unit – amu), mely a szén-12 izotóp tömegének 1/12-ed része.

5. ÁBRA. Négy számítógépet tartalmazó kalibrálórendszer
(Forrás: Wigner FK)



megjeleníteni. Ezt egy asztali számítógép-képernyőn egy célszoftver grafikus kezelői felületén (Graphics User Interface – GUI) valósítottuk meg, amely jó áttekinthetőséget biztosított a rendszer működéséről. A mérési paramétereket is ezen a GUI-felületen lehetett beállítani. A létező három kalibráló alegység egymástól néhány méter távolságban volt, és néhány kV-os feszültséget kellett kezelni. Biztosítani kellett a mérőállomások egymástól való elektromos elszigetelését (izolációját), nehogy egy esetleges nagyfeszültségű átütés tovaterjedhessen. Az adatgyűjtő és vezérlő automatizált kalibrálórendszert PC/104 ipari szabványra alapoztuk. Ez a szabványrendszer széles választékkal rendelkezik mind a vezérlő processzorok, mind a különböző illesztőfelületeket biztosító kártyáival, így meggyorsította a hardverfejlesztést. Lehetővé vált a szükséges funkciójú elektromos kártyák jelentős részé-

nek a kereskedelmi forgalomból való beszerzése, csupán három egyedi fejlesztésű egységet kellett megvalósítani. A PC/104 beágyazott számítógépes szabvány kompakt kártyamérettel (96×90 mm) bővíthető, és robusztus rendszerek megvalósítására alkalmas. Alaplap nélkül a kártyák közvetlenül egymásra illeszthetők, és az oldalon lévő csatlakozók alkotják a moduláris buszt (Industry Standard Architecture – ISA, majd Peripheral Component Interconnect – PCI). Egyetlen CPU-kártyán az összes számítási, valamint ki- és bemeneti (In/Out – I/O) funkció biztosítható.

A mérendő jelek és vezérlési helyek elosztottsága miatt három mérő- és adatgyűjtő egységet alkalmaztunk (5. ábra); mindhárom egység processzorral rendelkezett, és üvegszál optikai lokális hálózaton kapcsolódott a vezérlő és adatgyűjtő központi számítógéphez. A központi

6. ÁBRA. BTTS, HVDM és HVAM beágyazott processzoros egységek
(Forrás: Wigner FK)



számítógép képernyőjén volt elérhető a kalibrálórendszer állapotát tükröző összes adat és a különböző kalibrálási paraméter beállítása/kezelése. Az üvegcszál adathálózat a nagy sebesség (100 Mbit/s) mellett biztosítja az elektromos izolációt is. Az adatforgalom izolációján felül az energiaellátás 230 V-os tápellátásánál is galvanikus leválasztást kellett alkalmazni, hogy a három mérőhely a csatlósokon keresztül a legkisebb mértékben se zavarhassák egymást. Nagyfeszültségű problémák esetére vészkiparcsolást is rendszeresíteni kellett mindhárom alegységben, amit rádiófrekvenciás (RF) vezérelt hálózati ki-be kapcsolóval oldottunk meg, így a vészkiparcsolás a problémás helytől távolabb is megoldható volt.

Az elosztott intelligenciájú, három beágyazott processzoros mérő és vezérlő számítógéprendszer (5. ábra) funkciói:

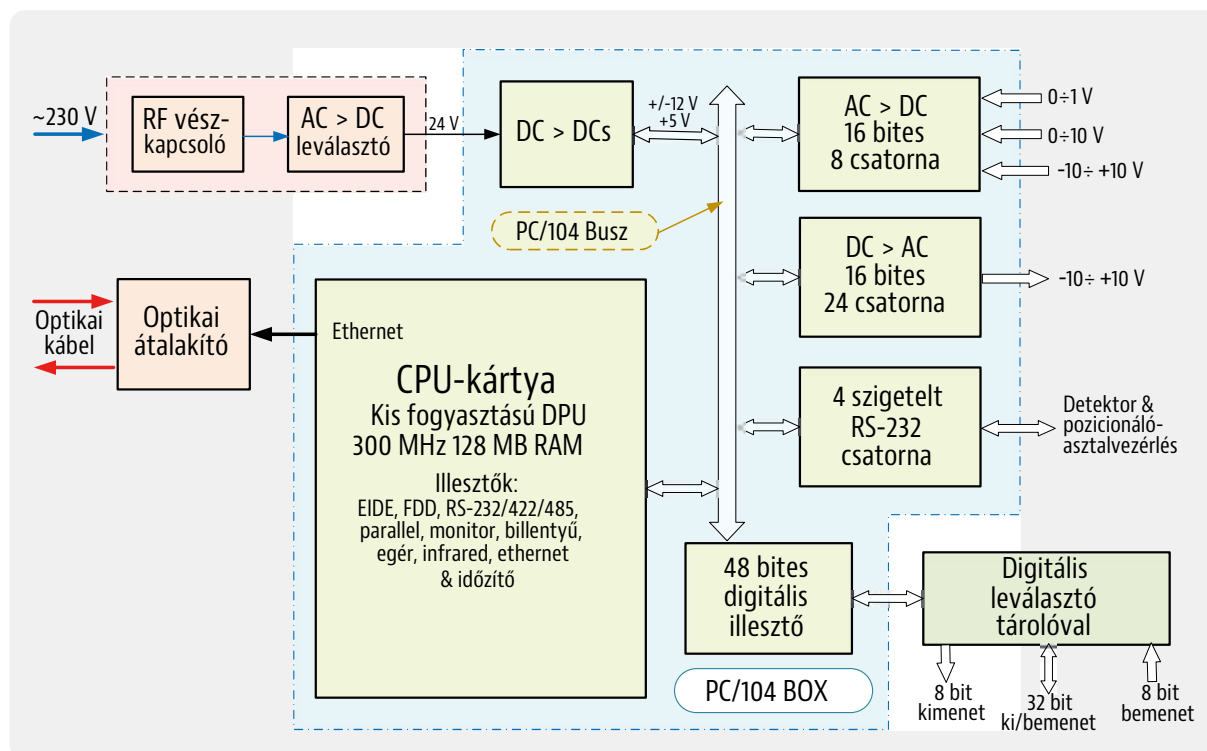
1. Nagyfeszültség közvetlen mérése (High Voltages Direct Measurement – HVDM); a kalibrációhoz szükséges iongenerátor bemenetén méri az általunk kifejlesztett nagyfeszültségű szondák és izolációs erősítők felhasználásával a tényleges feszültséget. A feszültségosztó részben több biztonsági elemet is beépítettünk, hogy ne juthasson nagyfeszültség az érzékeny kisfeszültségi tartományban működő mérőbemenetekre.
2. Az ionforrás működtetéséhez szükséges kiegészítő nagyfeszültségek mérése (High Voltages on Analog Monitor – HVAM), amely a manuális kalibráció számára már alacsony jelszinten valósult meg, azaz itt nem kellett nekünk nagyfeszültségre feszültségosztót beiktatni.
3. Az ionsugár, a mintatartó asztal és a szenzor mérőrendszerének feladata (Beam, Turn-Table and Sensor system – BTTS) a legösszetettebb. (8. ábra) Az ASPERA érzékelőinek kalibrálása egy másfél méter átmérőjű vákuumkamrában,



7. ÁBRA. Magyar fejlesztésű illesztőegységek (Forrás: Wigner FK)

10 cm-es párhuzamos (ion-, illetve semleges) részecskesugárral történt. Az összeszerelt érzékelők egy minden irányban elfordítható „tárgyasztalra” lettek szerelve, ezáltal a különböző irányú érzékenység mérhető volt a fix irányból érkező ion- és semleges részecskék komponensei esetén. A szenzorok által mért érzékenységi adatok, valamint a mérés paraméterei (koordináták, vákuum, feszültségek stb.) digitális formában továbbítottak a központi hordozható számítógépbe. (5. ábra)

Az automatizált rendszer mindhárom egységében (HVDM, HVAM és BTTS) az Advantech cég PC/104 szabványú PCM-3350 processzorkártyája került alkalmazásra. (6. és 8. ábra) Ez a kártya egy GX1-300 MHz-es, kis fogyasztású, nagy sebességű processzort tartalmazott, [5] Ethernet illesztője 100 MHz-en



8. ÁBRA. A BTTS-rendszer blokkvázlata (Forrás: Wigner FK)

is működött, és a teljes PC/104 modulok skálájának egymásra helyezhetőségének köszönhetően sok különböző interfész-kártyát volt képes fogadni moduláris jelleggel.

A szenzorok adatainak vákuumkamrából való biztonságos kivezetése céljából egy saját fejlesztésű digitális izolációs adaptert alkalmaztunk, amely 32 bites 4 MByte/s-os, kétirányú multiplexált adatbusszal és az adatok átmeneti tárolására szolgáló 4 kilobájtos memóriával rendelkezik, továbbá 3,5 kV-os izolációt biztosít a vákuumkamrában lévő eszközök és a külvilág között. (7. ábra felül) Az adapter tartalmaz 8 bites 3,5 kV-ot elviselő, leválasztott digitális be- és kimenetet is a PC/104 processorkártya számára. A meglévő manuális kalibrálórendszerben csak közvetett mérések voltak az 5-25 kV-os tartományban, de a pontosságuk nem volt kielégítő. Ezért a nagyfeszültségek mérésére nagy pontosságú nagyfeszültségosztót alkalmaztak. (6. ábra alul jobbra, fehér teflon doboz) A már leosztott mérendő feszültséget túlfeszültségtől védő áramköröket galvanikus leválasztó követi (7. ábra alul balra). A továbbított adatok AD-konverziója a HVDM processzoros egységben található.

A 9. ábrán a HVAM-, valamint a KFKI-ban fejlesztett illesztőegységek láthatók az IRF laboratóriumában. A háttérben a vákuumkamra, az előtérben a részecskegenerátor látható.

A szoftver fejlesztése két vonalon valósult meg: a PC/104-es beágyazott processorkártyák számára valós idejű (Real Time – RT), sokfeladatos Linux- (RT-Linux) alapú programrendszert, míg a kezelői felület biztosítására Windows rendszerben grafikus elemeket tartalmazó szoftver készült. A beágyazott processzorok számára az RT-Linux megfelelő szolgáltatású operációs rendszermag (kernel) legmagasabb prioritású feladatként fut Linux környezetben. A valós idejű feladatok kernelmodulként betölthetők, és így a kernel lehetőséget adott az illesztők közvetlen kezelésére, megszakításkezelő rutinok készítésére, nagy felbontású időzítések használatára. A valós idejű operációs rendszer alkalmazását indokolta többek között, hogy négy különböző, soros vonalon illesztett eszközt kellett

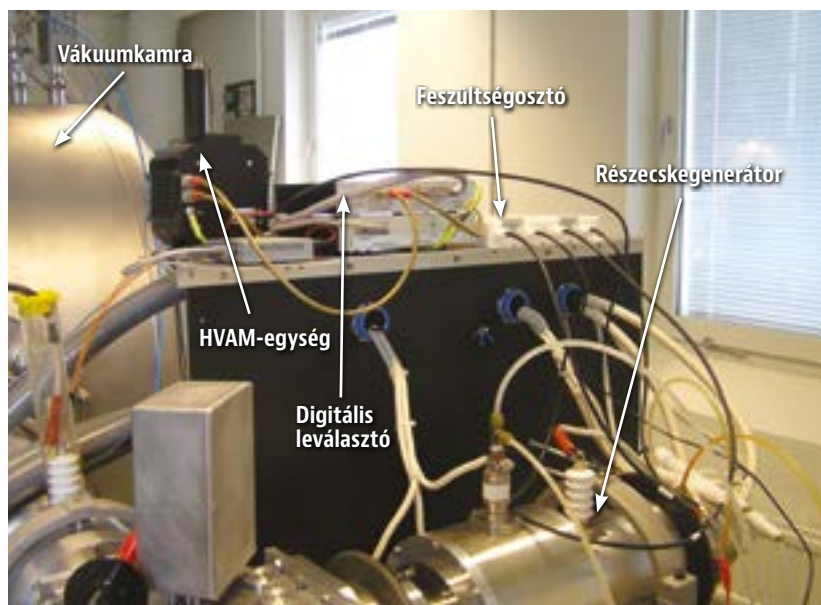
kiszolgálni. Az RT-kernel lehetővé tette, hogy saját futásideőre optimalizált drivereket és nem a viszonylag lassabb, standard Linux-szoftverdrivereket lehetett használni. Nagy mennyiségű adat pontos időzítéssel való beolvasása az I/O-lapról ugyancsak megoldhatatlan lett volna valós idejű operációs rendszer használata nélkül. A kalibrálódó rendszerhez készült illesztőkártyáról másodpercenként több száz kilobájt adatot kellett kiolvasni és adatvesztés nélkül továbbítani az Ethernet kapcsolaton keresztül a kezelői felületet is megjelenítő számítógéphez. Az analóg jelek konverziójának 1 kHz-es ciklusa sem volt kivitelezhető valós idejű óra használata nélkül.

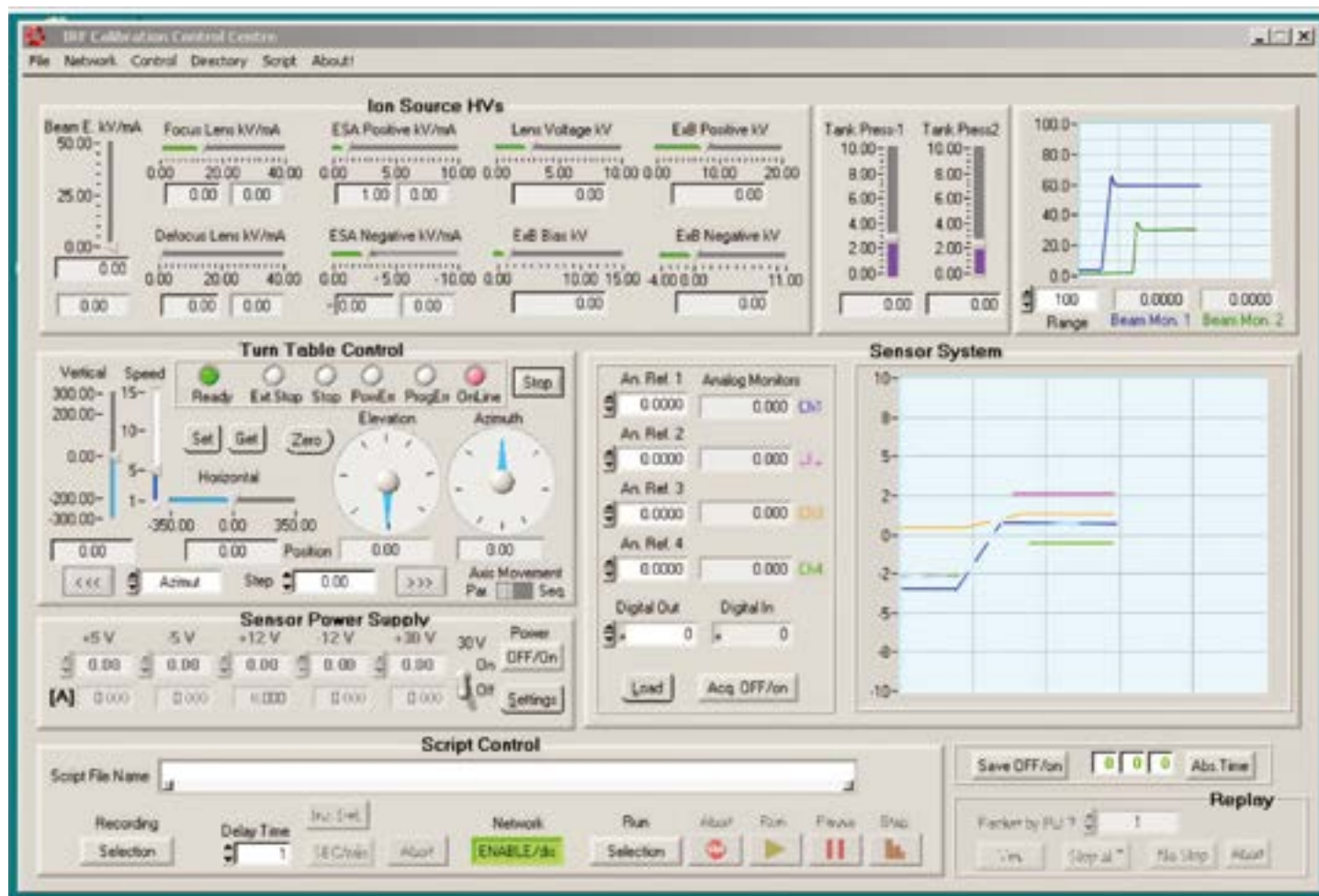
Az RT-Linux az időkritikus feladatokat a valós idejű operációs rendszer kerneléhez készített saját fejlesztésű szoftvermodulokkal oldotta meg. A saját kernelmodulok csak korlátozott memóriaterületet tudtak kezelni. A nagyobb és gyors véletlenszerű adatforgalom miatt egy ún. FIFO-tároló (First In, First Out – elsőként be, elsőként ki) egyenlíti ki az adatok véletlenszerű feltorlódását, így a Linux-rendszerprogramok már nagy adatterületet használhattak átmeneti adattárolásra. Az adatokat Ethernet hálózaton a TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol) protokoll-kezelőrutinok továbbították. A TCP gondoskodik a megbízható, sorrendhelyes adatátvitelről a kapcsolatok létesítése, fenntartása és bontása során, míg az IP felelős az adatok csomagolásáért és az egyedi hálózati azonosítók (IP-címek) alapján történő útvonalválasztásért. Ez az adattovábbítási fázis már kellően egyenletes sebességgel működik, így nem jött létre adatvesztés. A feladatok két szinten való megoldása biztosította, hogy a kalibráció minden adata pontosan mintavételezve kerüljön beolvasásra, míg ezek továbbítása, eltárolása és megjelenítése időben kissé eltolódva, a változó adatforgalmat kiegyenlítve történjen.

Az érzékelők kalibrálási folyamata egy hosszantartó mérési sorozat, melynek során egy vagy több mérési paraméter megváltoztatásával ismételt mérési sorozatot kell végrehajtani. Az ASPERA érzékelőinek kalibrálásakor például négy tengelyirányú helyzetét kellett lépéseként vezérelni a többi változatlan paraméter mérése mellett (vákuummérték, az ionforrás különböző paramétereit biztosító nagyfeszültségek), amelyeket naplózni kellett. A vákuumban lévő helyzetbeállító elektronika egy USA-gyártmányú készülék, amelyik nem rendelkezik abszolút helyzetviszajelzéssel, és soros RS-232 szabványú ASCII karaktervezérléssel. Az operátori kezelőfelület (Graphical User Interface – GUI) programja C programozási nyelven készült, és Windows alatt fut. A GUI fejlesztésére a National Instrument cég LabWindows/CVI fejlesztő környezetét használtuk, amely akkoriban kiemelkedően sok, könnyen kezelhető könyvtári függvénnyel rendelkezett, és ezek jelentősen csökkentették a fejlesztési időt.

A különböző pozícióba állító elektromechanikát az annak közelében lévő BTTS beágyazott processzor vezérli a GUI-n beállított pozícióba. A helyzetbeállító, továbbá néhány más paraméter automatikus vezérlése egy könnyen szerkeszthető és olvasható külső fájl feldolgozásával történik. A vezérlés szintaxisa olvashatóan szövegalapú, strukturált adatok szabványos kezelésére használt

9. ÁBRA. HVAM-processzor és a hazai fejlesztésű illesztők/leválasztók a kalibrálórendszerben
(Forrás: Wigner FK)





jelölőnyelvre (eXtensible Markup Language – XML) épült. Az XML szintaxis használata mind a fájl elkészítését, mind annak végrehajtását megkönnyítette. A helyzetbeállító elektronikát működtető XML-fájl készítése nemcsak egy szövegszerkesztő vagy „XML-editor” segítségével állítható elő, hanem a kezelői programban megvalósítottuk a működtetési szekvenciák fájlba való írását is. Természetesen a mérési idők kivárása helyett a megfelelő időértékek számszerű beírásával tárolható az adott állapothoz tartozó adatgyűjtési időtartam. Az ASPERA műszer automatizált kalibrációs GUI kezelői felülete a 9. ábrán látható.

A kifejlesztett program két szálát tartalmaz. A kezelői felület és az adatok grafikus megjelenítése képezi az egyiket, míg a véletlenszerűen és többnyire csoportosan érkező események fogadása és tárolása egy másik szálban történik. Ez a működés megakadályozza, hogy egy eseményre való várakozás adatvesztést okozzon a véletlenszerűen érkező adatfolyamban. Az adattárolás (archiválás) az eseményfogadással azonos szálban történik, míg annak megjelenítése és a kezelői beavatkozások a másik szálban kerülnek feldolgozásra.

A kalibrálórendszer automatizálását a magyar mérnökök időre elkészítették, és így a mérési eredményeket a kalibrálás adataival pontosítani lehetett. E rendszer fejlesztése tette lehetővé, hogy a magyar fizikusok az első közt vehettek részt a Vénusz környezetében végzett mérések kiértékelésében és a tudományos eredmények publi-

kálásában. A svédországi kalibrálórendszer automatizálásának fejlesztésében Szalai Sándor projektvezető mellett részt vett Balajthy Kálmán, Lipusz Csaba, Sódor Bálint, Sulyán János, Szalai Lajos és Tróznai Gábor. A magyar anyagi hozzájárulást az ASPERA-kísérlet fejlesztésében kezdetben a Magyar Űrkutatási Iroda, majd az ESA PECS és később a PRODEX programja támogatta.

10. ÁBRA. GUI kezelői felület (Forrás: SGF Kft.)

HIVATKOZÁSOK

- [1] A Vénuszhoz indított űrszondák listája. https://hu.wikipedia.org/wiki/A_V%C3%A9nuszhoz_ind%C3%ADtott_%C5%B1rszond%C3%A1k_list%C3%A1ja (Letöltve 2025.09.26)
- [2] Welcome to the Cryptic Planet. <https://esamultimedia.esa.int/docs/VENUSEXPRESSLR.pdf> (Letöltve 2025.09.26)
- [3] The general objective of ASPERA-4: Analyser of Space Plasmas and Energetic. <https://sci.esa.int/web/venus-express/-/41518-the-general-objective-of-aspera-4-analyser-of-space-plasmas-and-energetic> (Letöltve 2025.09.26)
- [4] Barabash, S. et al: The analyser of space plasmas and energetic atoms (ASPERA-4) for the Venus Express mission. Planetary and Space Science 55., 1772–1792 <https://doi.org/10.1016/j.pss.2007.01.014>
- [5] PCM-3350 Series. https://advdownload.advantech.com/productfile/Downloadfile2/1-12AIC93/PCM-3350_user_manual_Ed3.pdf (Letöltve 2025.11.28)
- [6] Balajthy K. et al: Elosztott intelligenciájú automatizált rendszer a Venus Express űrmisszió kísérletének kalibrálására. Híradástechnika, 2006/4, 34–38.