

Dr. Szalai Sándor*

Két üstököskutató szonda mérnöki szemmel

I. rész

BEVEZETÉS

Az üstökösök magja a Naprendszer külső részén található Oort-felhőből vagy a Kuiper-övből a bolygók zavaró hatására lép ki. Onnan indulva, Nap körüli elliptikus pályára álló üstökössé válhatnak. Ezek a magok a Naprendszer keletkezésének idejéből visszamaradt törmelékek, ősi anyagok. A Nap felé közeledve, a hő hatására távozó gáz és por a magot körülvevő látványos alakzattá fejlődhet. A magot körülvevő kóma egy részét a napszél elfújja, ebből alakul ki az üstökös csóvája. Az üstökösök magját a kóma elfedő hatása miatt a Földről nem lehet megfigyelni. Elsőnek Edmond Halley 1705-ben azonosította korábbi három megjelenése alapján a később róla elnevezett üstökösöt, és megjósolta 1758 decemberi visszatérését. A legtöbb üstökös Nap körüli keringése megegyezik a Föld keringési irányával, azonban van néhány retrográd pályájú üstökös, ilyen a Halley, amelynek keringési ideje körülbelül 76 év és pályasíkja az ekliptikával 18°-os szöget zár be. Két ukrán csillagász 1969-ben fedezte fel a róluk elnevezett Csurjumov-Geraszimenko-üstökösöt, amelynek keringési ideje 6,75 év.

Az üstökösököt kutató űrszondák közvetlen vizsgálatokkal erősítik meg a Naprendszer keletkezésének és korai fejlődésének elméleteit. Az üstökösök révén a Naprendszer korai szakaszát kutatva közelebb jutunk a Naprendszerben az élet kialakulási folyamatának megismeréséhez. A Halley- és a Csurjumov-Geraszimenko-üstökösököt kutató szondák (VEGA és Rosetta) nemcsak a magyar űrkutatás történetében játszottak jelentős szerepet, hanem az egyetemes űrkutatásnak is jelentős eseményei voltak. A VEGA-1 szonda először készített képet egy üstökös magjáról, a Rosetta szonda Philae leszállóegysége pedig először hajtott végre sima leszállást üstökösön, ahol helyszíni méréseket végzett. A két program fejlesztése közt közel

20 év telt el, ezalatt a technika jelentősen fejlődött, ami megnövelte a mérések automatizálási lehetőségeit.

BOLYGÓKÖZI ŰRSZONDÁK

A bolygóközi szondáknál a költségek és a tudományos eredmények szokásos optimalizálása mellett a megbízhatóság a legmagasabb prioritás. A megbízhatóság kompromisszumos megoldások eredménye. Az űrberendezések gyártásánál az amerikai, európai és orosz fejlesztők sok évtizedes tapasztalatokon alapuló, szigorú előírásait/szabványait kell betartani. Ezek az előírások az alkatrészekre, a gyártástechnológiára és a tesztelésekre vonatkoznak.

Az alkatrészek kiválasztása szempontjából az alábbi lehetőségek vannak:

- Megbízható, szükség esetén sugárzásálló alkatrészek alkalmazása:
 - ipari minősítésű,
 - katonai minősítésű,
 - űrminősítésű,
 - derating, az alkatrészek paramétereinél.
- Gyártástechnológiai előírások betartása:
 - pormentesített, klimatizált szerelőszoza,
 - elektrosztatikus feltöltődés elleni védelem,
 - alkatrészek, kábelek, csavarok rögzítése (vibrációs teszt),
 - csatlakozók kímélése a csatlakoztatások számának korlátozásával,
 - felületkezelések (lakkozás), mert az űrben gázok kibocsátása tilos,
 - különleges nyomtatott áramköri tervezési szempontok,
 - úrelektronika szerelési minősítésű műszereszek,
 - külön minőség-ellenőrzés.

ÖSSZEFOGLALÁS: A VEGA program és a Rosetta-Philae űrszondapáros húsz év különbséggel került megvalósításra, az eltelt idő alatti technikai fejlődés visszatükröződik a két sikeres üstököskutató program összehasonlításakor. Mindkét program esetében a magyar részvétel programkritikus egységek fejlesztése volt, amelyek megbízhatósági követelmények szempontjából a legfontosabb egységek. A VEGA programban a képfelvevő és követő rendszer biztosította a retrográd pályájú Halley-üstökös magjának első alkalommal történő megfigyelését. A Rosetta programban a Philae leszállóegység először végzett tudományos méréseket üstökösön felszínén. Magyarok fejlesztették a leszálló egység hibataleráns központi számítógépét.

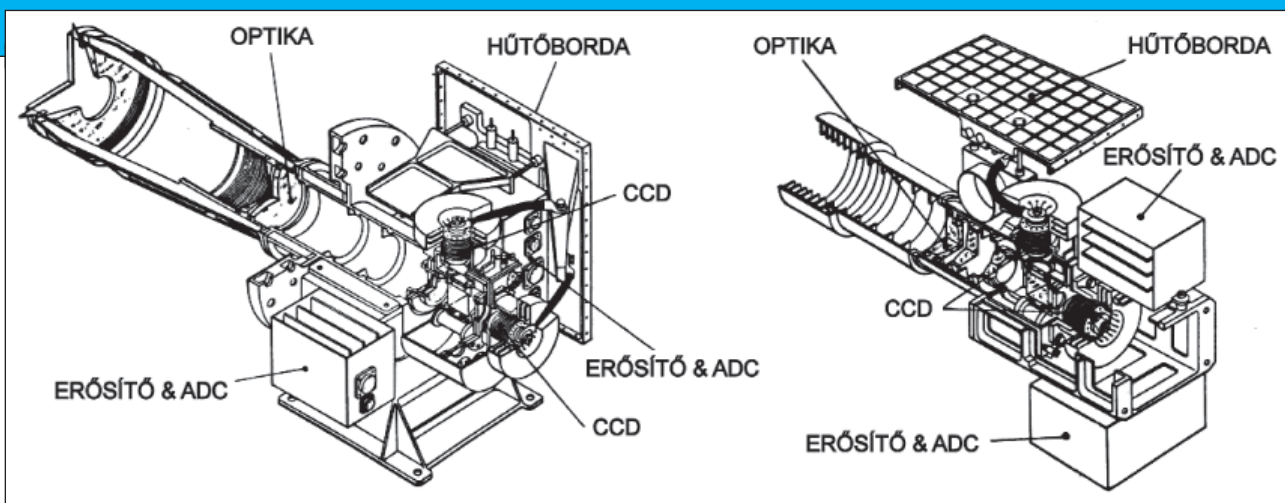
KULCSSZAVAK: Üstökösök, űrszondák, VEGA, Rosetta, Philae, megbízhatóság, hibataleráns rendszer,

ABSTRACT: 20 years had passed between the accomplishment of successful VEGA and the Rosetta-Philae programs, and the technology advancement is reflected in comparing their realization. In both cases the Hungarian participation was the development of mission-critical subsystems, which are of top importance from dependability aspects. In case of VEGA project the imaging and tracking subsystem ensured the closest-ever observation of the nucleus of Halley's comet in spite of its retrograde orbit. In the case of the Rosetta mission the Philae lander performed first-time scientific measurements on the surface of a cometary nucleus. Its fault-tolerant central computer was also a Hungarian development.

KEY WORDS: Comets, spaceprobes, VEGA, Rosetta, Philae, reliability, fault-tolerant system

* Szalai Sándor villamosmérnök, az MTA doktora, a Wigner FK kutató professor emeritusa. A VEGA programban a képfelvevő és követő rendszer magyarországi projekt vezetője volt, eredményes munkájáért Állami Díjban részesült. Részt vett a Fobosz program leszálló egység központi számítógépének fejlesztésében. Közreműködött a Cassini szonda két műszerének fejlesztésében, és az ISS került Obszhanovka műszer földi ellenőrző berendezések szoftvereit fejlesztette. A Rosetta programban a Philae központi számítógép rendszertervezésében és annak tesztelését támogató szoftverfejlesztésben vett részt, valamint a CDMS fejlesztés projektvezetője volt. Nyugdíjazásáig az Úrtechnikai Osztály vezetője volt. A Magyar Mérnökakadémia és a Nemzetközi Asztronautikai Akadémia rendes tagja. A Magyar Asztronautikai Társaság tiszteleti tagja, a Társaság Nagy Ernő- és Fonó Albert-emlékéremmel tüntette ki, valamint a NASA és két alkalommal az ESA munkásságát elismerő oklevélben részesítette.





1. ábra. A VEGA tévérendszer kis látószögű és nagylátószögű egységének ábrája

- Megbízhatóság ellenőrzése:
 - környezeti hatások (hő, vákuum, napsugárzás, vibráció, gyorsulás),
 - tervezett funkciók, mérési paraméterek ellenőrzése.
- Tartalékolás szintjei:
 - rendszerszintű (pl. két szonda),
 - műszerszintű (két azonos feladatot ellátó egység, pl. két rádióadó),
 - funkcionális részegység szintű (műszer belső funkciójának tartalékolása, pl. tápellátás, memóriaegységek),
 - alkatrész szintű (egyes elemek passzív vagy aktív alkatrészek tartalékolása, memóriák hibavédelme).

A berendezés az űrszondán való általános funkcionális működőképességének bizonyítására az elektromos példányok szolgálnak, amelyek nem a drága űrminősítésű alkatrészeket tartalmazzák, de működési funkciói a repülő példánnyal megegyeznek. A minősítő példányon (amely az alkatrészek szintjén is megegyezik a repülő példánnyal) végzett környezeti próbák igazolják a berendezés megbízható működését az űrszondán. Az áramköri tervezés során lehetőség szerint keresni kell az egyszerű, robusztus, kis alkatrészigényű, meghibásodásra vagy bizonytalan működésre kevésbé hajlamos megoldásokat, még akkor is, ha a rendszer tartalék elemeket is tartalmaz. Ez egyrészt az alapkövetelmények – kis súly, kis fogyasztás, kis térfogat – következménye, másrészt pedig több alkatrész használatra több meghibásodási lehetőséget jelent.

A rendszerszintű tartalékolás, vagyis a két azonos felépítésű és műszerezettségű szonda indítása brutális megoldásának tűnhet. Ez az űrkutatásban talán nem is túlzottan drága megoldás, hiszen az egyes műszerek, szolgálati egységek több példányban készülnek és a repülő példányon kívül elvárják a tartalék egység gyártását is. Alapvetően a fejlesztési fázis, a teljes rendszer véglegesítése, a több különböző célt ellátó egységek létrehozása és véglegesítése igényli a legtöbb időt és munkaerőt. E megoldás jó példája a VEGA-1 és a VEGA-2 szondák esete, ugyanakkor ez a megoldás nem feltétlenül sikeres, amint mindkét Fobosz (Φοβος) szonda meghibásodása ezt példázta.

Ha a folyamatos működés fontos elvárás, és nincs lehetőség gyors földi beavatkozásra, akkor a meleg tartalékolt üzemet kell választani. Ha a földi beavatkozás időkésése elviselhető, akkor a hideg tartalékolt üzemet lehet választani, amely fogyasztás és élettartam szempontjából is kedvező. A tartalékolt rendszerek tervezésének legkritikusabb pontja az önálló döntési képesség biztosítása. A rendszernek képesnek kell lennie önmaga hibás működésének felismerésére s az eredeti működőképesség helyreállításához szükséges lépések megtételére. A hibafelderítőnek nemcsak hatékonynak, de egyszerűnek is kell lennie, hiszen

egy bonyolult áramkör vagy eljárás növeli a rendszer meghibásodásának veszélyét.

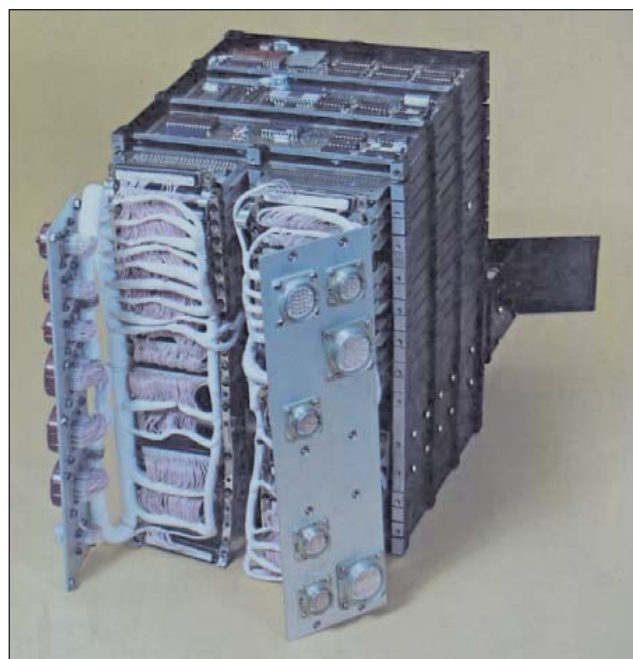
A VEGA PROGRAM

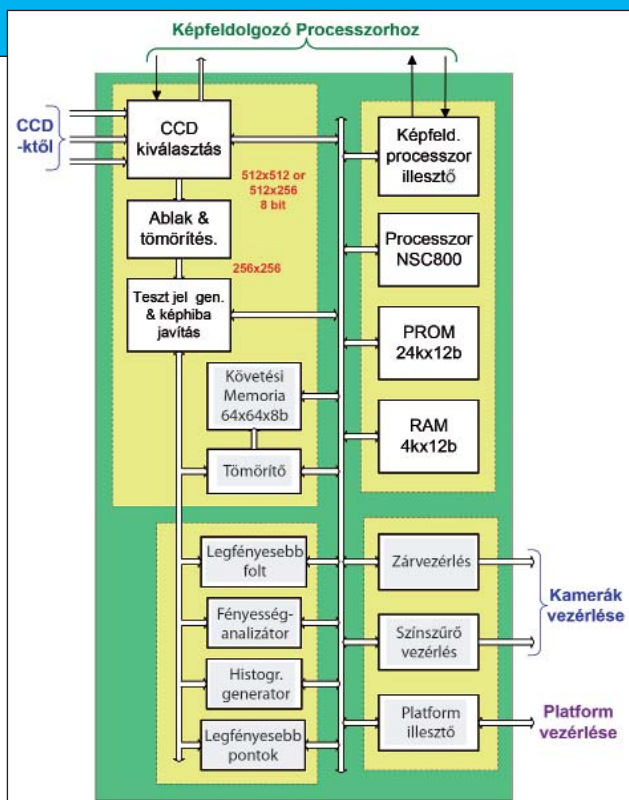
A Halley-üstökös megfigyelésére hat szonda indult, hogy kihasználják a ritka lehetőséget. A találkozáskor az üstökös távolsága a Naptól 130 millió km, a Földtől pedig 160 millió km volt. A VEGA program viszonylag későn indult, a NASA Halley-programjának törlése után döntöttek a Vénuszhoz készülő Venyera program módosításáról. 1980 végén kérték fel a KFKI RMKI-t a képkészítő és követő rendszer (tévérendszer) elektronikájának fejlesztésére. Az optikák a Szovjetunióban és Franciaországban készültek. A követést biztosító, két tengely mentén elforduló platformot Csehszlovákiában készítették.

A Föld és a szonda közti jelterjedési idő és az üstökös retrográd pályája miatti rövid közeli találkozási szakasz (3 óra) autonóm pályakövetést és előrejelzést tett szükségessé. A tévérendszer három szerkezeti egységből állt (1. és 2. ábra):

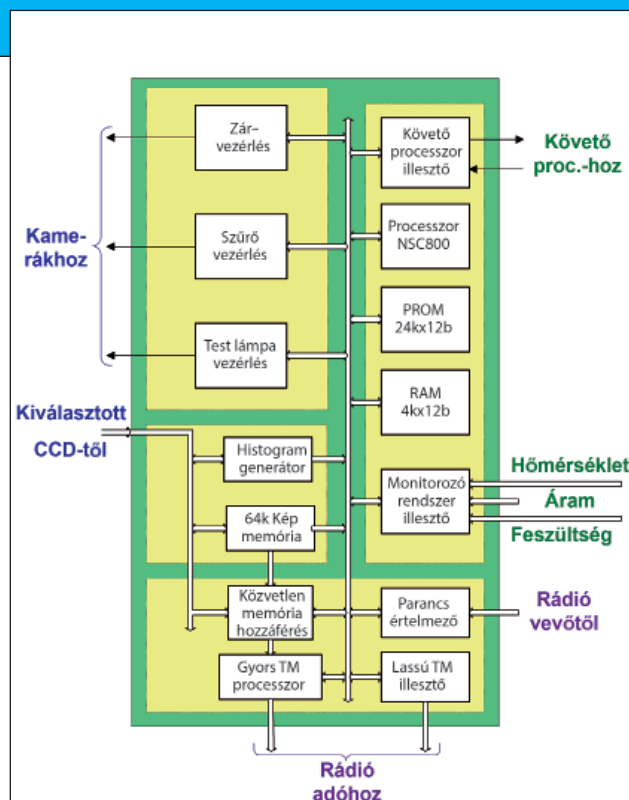
- kis látószögű kamera (NAC – Narrow Angle Camera)
f = 1200 mm,

2. ábra. A VEGA tévérendszer elektronikus blokkja





3. ábra. A VEGA tévérendszer pályakövető processzor részének funkcionális blokkvázlata



4. ábra A tévérendszer képfeldolgozó processzor részének funkcionális blokkvázlata

– nagylátószögű kamera (WAC – Wide Angle Camera) $f = 150 \text{ mm}$,

– a tévérendszer elektronikai feldolgozó egysége. Mindkét kamera két-két képérzékelőt tartalmazott. A felhasznált szovjet gyártmányú töltéscsatolt fényérzékelő mátrixok (CCD-k) 512×576 , egyenként $18 \times 14 \mu\text{m}$ méretű képelemből (pixelből) állnak. Mivel ezek optimális működéséhez kb. $-40 \text{ }^\circ\text{C}$ hőmérsékletet kellett biztosítani, a kamerák hűtésére az űrszonda árnyékos oldalán passzív hűsugárzók működtek.

A nagylátószögű kamera egyik CCD-je félig fedett típusú, zár nélküli, televíziós üzemmódban dolgozott, a többit elektromechanikus zárral látták el, azok csak az expozíció ideje alatt kaptak fényt. Mindkét kamera egy-egy CCD-je előtt színszűrő tárcsa volt. A kamerákra szerelték fel a CCD-k kiolvasását biztosító elektronikákat, a videojel erősítőt, az analóg-digitál átalakítót, az elektromechanikus zárvezérlőt, a színszűrő tárcsa léptető egységét és az ellenőrző fényforrást vezérlő elektronikát.

A tévérendszer két mikroszámítógépet (NSC 800) tartalmazott (3. és 4. ábra). Mindkét processzornál a működtető programot bipoláris PROM-okban tárolták. Mivel a bipoláris memóriák fogyasztása magas, a tápfeszültséget mindig csak az olvasás idejére kapta a megfelelő PROM. Az első számítógép feladata a tudományos képkészítés és a gyors telemetrián (65 kbit/s) keresztül a kapcsolat tartása volt a Földdel. Képeket, technológiai paramétereket és a rendszer egyes elemeinek működőképességére jellemző adatokat továbbított a Földre, valamint értelmezte az onnan érkező parancsokat. A második számítógép feladata az üstökös felismerése volt a képi információ alapján, majd a platform vezérlésével – az üstököshöz viszonyított pálya figyelembevételével – a követés biztosítása. A képfeldolgozó számítógép továbbította azokat az adatokat is, amelyeket a követő- (orientációs) rendszer szolgáltatott, valamint átadta azokat a földi parancsokat, amelyek az orientációra vonatkoztak.

(Folytatjuk)

IRODALOM

1. R. Z. Sagdeev, F. Szabó, G. A. Avanesov, P. Cruvellier, L. Szabó, K. Szegő, A. Abergel, A. Balázs, I. V. Barinov, J. L. Bertoux, J. Blamont, M. Detaillé, E. Demarellis, G. N. Dulnev, G. Endrőczy, M. Gárdos, M. Kanyó, V. I. Kostenko, V. A. Krasikov, T. Nguyen-Trong, Z. Nyitrai, I. Rényi, P. Rusznyák, V. A. Shamis, B. Smith, K. G. Sukhanov, S. Szalai, V. I. Tarnapolsky, I. Tóth, G. Tsukanova, B. I. Valnicek, L. Várhalmi, Yu. K. Zaiko, S. I. Zatsepin, Ya. L. Ziman, M. Zsenei, B. S. Zhukov: Television observation of comet Halley from VEGA spacecraft, *Nature* Vol. 321, 15 May 1986, p. 262–266.
2. Balázs A., Bangó Gy., Gárdos M., Hamza E., Kanyó M., Kovács G., Nyitrai Z., Redl R., Rusznyák P., Szabó L., Szalai S., Szűcs K., Szabó B.: Televíziós rendszer a VEGA kísérlethez. *Mérés és Automatika*, 33. évf., 1985. 1–2. szám, 9–12. old.
3. S. Szalai: The Imaging System on board the VEGA Spacecraft, *Images of the Nucleus of Comet Halley*, ESA SP-1127, 1996, Vol. 2, p. 20–32.
4. Attila Baksa, András Balázs, Zoltán Pálos, Sándor Szalai, László Várhalmi: Embedded Computer System on the Rosetta Lander, *DASIA 2003 Data Systems In Aerospace*, SP-532, p. 250–256, Prague, 2–6 June 2003.
5. Szalai Sándor, Balázs András: A Rosetta Lander központi vezérlő és adatgyűjtő számítógépe, *Híradástechnika*, 2004. május, 34–36. oldal.
6. S. Szalai, A. Balázs, A. Baksa, G. Tróznai: Rosetta Lander Software Simulator, 57th International Astronautical Congress, Valencia, Spain, 2006, (on DVD of 57 IAC).
7. A. Balázs, A. Baksa, H. Bitterlich, I. Hernyes, O. Küchemann, Z. Pálos, J. Rustenbach, W. Schmidt, P. Spányi, J. Sulyán, S. Szalai, and L. Várhalmi: The Central on-Board Computer of the Philae Lander in the Context of the Rosetta Space Mission; *Reliable Software Technologies - Ada-Europe 2015*, p. 18–32.