

MARADI ISTVÁN

Ha áram van, minden van

Elektromos energia előállítása az űreszközök fedélzetén

A mikor valaki űreszközről beszél, sokan azonnal egy rakétára gondolunk, amely pályára állítja őket, óriási hang és fényjelenségekkel kísérvé. A manapság önállóan visszatérni és leszállni képes első fokozatok sikerei csak erősítik ezt a képet.

Van azonban egy egyre fontosabb terület a modern kor űreszköz-fejlesztései területén, ez pedig az elektromos energia biztosítása a fedélzetén. Ahogy egyre bonyolultabb feladatokat látnak el a műholdak, és ahogy egyre távolabbi helyekre jutnak el az űrszondák a Naprendszerünkben, úgy értékelődik fel egyre jobban az elektromos energia fedélzeti előállítása. Sőt mi több, mára az elektromosan táplált ionhajtóművel működő, teljesen elektromos műholdak is a mindennapok részei lettek.



A Jupitert kutató Juno űrszonda napelemtábláinak ellenőrzése (Forrás: NASA)

A Szputnyik-1-et, vagyis az első műholdat 1957-ben bocsátották fel az akkori Szovjetunióból. A tervezők, főképp az űrverseny nyomásától hajtva, a lehető legegyszerűbb (és így leggyorsabb) megoldást választották a fedélzeti 1 wattos rádióadó meghajtására. Három darab, az akkori kor szerint legfejlettebb, ezüstcink alapú elemet helyeztek el az ötven centiméternél kicsivel nagyobb átmérőjű, gömb alakú műholdban. Az elemek közül kettő biztosította a rádióadó áramellátását, egy pedig a belső teret kitöltő nitrogént keringető ventilátor meghajtását. Az elemek 21 napig voltak képesek áramot

szolgáltatni a rádió számára, amely két frekvencián sugárzott szaggatott sípoló jelet a Földre. A belső hőmérséklet egy bizonyos alsó és felső határértékének átlépését a rádiójelek hosszába kódolták be.

Érdekesség, hogy abban az időben már lehetőség lett volna napelemeket is elhelyezni a fedélzetén, és így megújuló energiával ellátni a műholdat. A szelén felvevő kristály fény hatására áramot termelő képességét már az 1800-as

évek végén felfedezték, és az 1950-es évekre a gyakorlatban is alkalmazható napelemeket készítettek Amerikában és a Szovjetunióban egyaránt. A későbbi műholdakon a napelem lett a leggyakrabban alkalmazott áramellátó megoldás, amelyet először 1958-ban az amerikai Vanguard-1 műholdon használtak éles körülmények között.

Hamar nyilvánvalóvá vált a tervezőmérnökök számára, hogy a műholdak és űrjárművek számára olyan fedélzeti áramellátásra van szükség, amely hosszabb időn át is fenntartható, és viszonylag nagy teljesítményű áramellátást tesz lehetővé. Az egyszer használatos elemek kora szinte el sem jött, már a korai áramellátást is igyekeztek hosszabb ideig fenntartható technikával biztosítani.

A ma legáltalánosabban alkalmazott fedélzeti áramellátó eszközt a napelemek jelentik. A Föld légkörének külső határán a Napból érkező energia mennyisége körülbelül 1300 watt négyzetméterenként, ami a levegőben található víz- és egyéb molekulák energiaelnyelése vagy fényvisszaverése miatt a Föld felszíné-



Az űrsétát végző űrhajóhoz képest érzékelhető a Nemzetközi Űrállomás energiaellátását biztosító napelemtáblák tekintélyes mérete (Forrás: NASA)

re érkeve körülbelül 1000 wattra csökken. Az űrben ma alkalmazott napelemek a többrétegű megoldások következtében már 30% feletti hatékonysággal üzemelnek. A Napból a legtöbb energia a látható tartományban érkezik, ezért a napelemek ebben a tartományban nyerik a legtöbb energiát. A többrétegű megoldások viszont lehetővé teszik, hogy az infravörös és az ultraibolya hullámok energiáját is megessapoljuk, így jön ki a 30% feletti hatásfok (iparági források már 48%-ot elérő hatásfokról is beszélnek). A napelemek alkalmazásának is vannak azonban korlátai. Az egyik, hogy a Naptól való távolság négyzetével arányosan csökken a kinyerhető energia. Így például a Földtől kétszer olyan távolságra elhelyezett napelemtábla csak negyedannyi energiát szolgáltat, mint a Föld körül keringő társa. A nagyobb napelemeket a Föld körüli pályára érve ki kell tudni „csomagolni”, illetve mechanikai rögzítésükhöz passzív tartószerkezetek kellenek, amelyeket fel kell juttatni az űrbe, megnövelve a szállítandó tömeget. Ez is limitálja a használhatóságot, így a Föld körüli pályán nagyjából 300 watt/kg teljesítményarány érhető el.

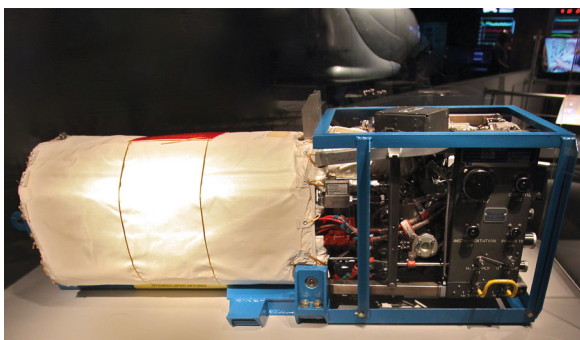
Kísérleteznek fóliaszerűen össze- és kiterítendő napelemekkel is a Nemzetközi Űrállomáson (ISS), ami forradalmasíthatja a napelemek használhatóságát, hiszen könnyebb lesz azokat feljuttatni, és ott kiteríteni, tárolni. Ugyanakkor a napelemek

élettartamát a becsapódó nagysebességű részecskék roncsoló hatása limitálja, ami miatt évente néhány százalékot veszítenek a táblák a kapacitásukból.

Ma 4–5 csillagászati egység távolságig alkalmazunk napelemeket, ami nagyjából a Jupiter távolsága. A Vesta és a Ceres kisbolygókat meglátogató Dawn űrszonda a nukleáris üzemanyag nehézkes elérhetősége miatt napelemmel előállított elektromos energiával hajtotta meg ionhajtóművét. A szonda napelemei a Föld közelében 10 kW elektromos teljesítményt adtak le, ami a Ceres mellett 1300 wattra csökkent.

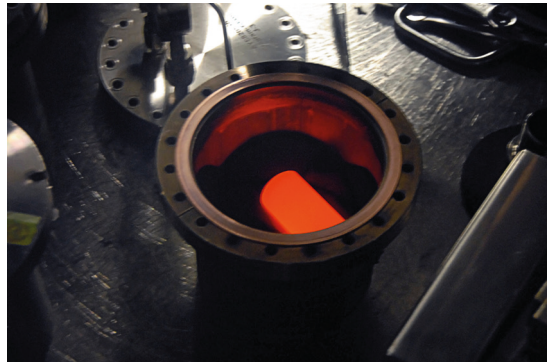
Ma a világ legnagyobb teljesítményű, űrben alkalmazott napelemtáblái a Nemzetközi Űrállomáson működnek. Az ISS összes, napelemekkel előállított teljesítménye eléri a 120 kW-ot, amely teljesítmény egy részét közvetlen elfogyasztja az űrállomás (körülbelül 70 kW-ot), a fennmaradó részét pedig a Föld árnyékában töltött időszakra lítium-ion-akkumulátorokban tárolják.

Ha megnézzük a Space Shuttle programot, akkor észrevehetjük, hogy az űrrepülőgépeken nem alkalmaztak napelemeket, tehát valami más módon kellett megoldani az emberes repülések villamosenergia-ellátását. Az űrrepülőgépek és a korábbi Hold-küldetések energiaellátását az úgynevezett hidrogén-oxigén üzemanyagcellák biztosították. Anélkül, hogy túl mélyre merülnénk a kémiai összefüggésekben: az üzemanyagcella katód, anód és egy elektrolit-környezet segítségével a hidrogénből és oxigénből elektromos áramot, vizet és hőt (utóbbi kettőt mint mellékterméket) állít elő. Az űrrepülőgépeken három ilyen egységet alkalmaztak a teljesítmény megosztása és a tartalékolás érdekében. Az űrrepülőgép egy üzemanyag-cellája átlagosan 7 kW teljesítményt tudott előállítani, amely csúcstüzeben rövid időre elérhette a 12 kW-ot is. A hidrogént és az oxigént két nagy tartályban, folyékony állapotban tá-



Az űrrepülőgépeken használt üzemanyagcella (Forrás: NASA)

rolták. A Hold-program során az egyik ilyen tartály keverőberendezésében történt robbanás az Apollo-13 Hold felé tartó „járatán”, ami miatt a küldetést megszakítva vissza kellett fordulniuk.



A kerámiapogácsába épített plutónium üzemanyagot a radioaktív bomlás hője vörösen izzó állapotban tartja. A forró üzemanyag és a hideg külső környezet közötti hőmérséklet-különbséget használják elektromos energia termelésére (Forrás: NASA)

Az űrrepülőgépek közül az Atlantis volt az egyetlen, amely nem volt képes az űrállomással történő dokkolás után az ISS áramellátó rendszeréhez kapcsolódni (és annak napelemtábláiból nyerni az energiát), ezért a teljes program alatt végig az üzemanyagcellájára kellett támaszkodnia. Ez természetesen korlátozta a küldetések elérhető időtartamát. A leghosszabb űrrepülőgépés küldetés 17 napig tartott.

Az üzemanyagcellák nagy előnye, hogy mindaddig képesek áramot termelni, amíg hidrogén és oxigén van a fedélzetén. Az űrsiklón melléktermékként keletkezett víz szolgált az űrhajósok által fogyasztott ivóvíz és használati víz biztosításához is. Amennyiben túl sok vizet termeltek, a felesleget egy fűtött szelepen keresztül kipumpálták a világűrbe.

Vannak azonban olyan küldetések, amelyek vagy nagyon távolra mennek, és a Napunkat csak mint csillagot látják már, vagy pedig sokáig kell, hogy üzemeljenek (vagy e kettőnek a kombinációi). Ilyen küldetés például a Voyager-1 és -2, amely szondák 40 évi utazás után még ma is működnek, pedig elérték a Naprendszerünk határát. A Marson működő Curiosity, amely egy kisautó méretű jármű, távirányítással ma is a Gale-kráter szikláit járja. Ezekon az eszközökön úgy-

nevezett radioizotópos nukleáris minierőművet alkalmaznak. Az úgynevezett RTG (Radioisotope Thermoelectric Generator, magyarul nagyjából rádíoizotópos (mini)hőerőmű) azt az elvet használja ki, hogy bizonyos anyagok elektromos áramot generálnak, ha két oldaluk között elég nagy hőkülönbséget hozunk létre. Egy RTG minierőműben a hőt kerámiába ágyazott plutónium-238 por biztosítja, amely 1000 °C hőmérsékleten izzik mindaddig, amíg a felezési idejével arányosan lassan csökken a leadott hő mennyisége (azaz feleződik nagyjából 87 éven-

te). A hideget az űr vagy a meglátogatott bolygó hidege biztosítja. Az így előállított elektromos teljesítmény ugyan csak töre-



A Curiosity marsjáró számára készült radioizotópos termoelektromos generátor laboratóriumi tesztje (Forrás: NASA)

déke az elsugárzott hőnek, mégis néhány száz watt elektromos teljesítményt lehet tartósan biztosítani vele.

Az ilyen minierőművek hordoznak bizonyos mértékű nukleáris kockázatot, bár a Földtől távol üzemelnek, de indításkor mégis történhet baleset. Ezért alkalmazták a plutóniumot kerámiapogácsában. A kerámia jellegzetessége, hogy nem porlik, hanem viszonylag nagy darabokban törik szét egy esetleges balesetben. A plutónium akkor mérgező igazán, ha por formájában belélegezzük, így baleset esetén a kerámiás megoldás nyújt valamennyi védelmet.

RTG minierőműveket a Föld körüli pályán ma már nem alkalmaznak. Korábban voltak rá példák, amiből baleset is származott, szerencsére nem okoztak nagy sugár-szennyezést. Az RTG erőművek egyértelműen a jövő fedélzeti energiaforrásai, fejlesztésükre az űrutatásban aktív országok sok energiát fordítanak.