



NAGY IMRE*

NUKLEÁRIS MŰHOLDDAL MESTERSÉGES HOLDAK ELLEN?

1. ÁBRA. A Topaz reaktor
múzeumban kiállított
méterarányos modellje [22]

Összefoglalás: Egy 2024. februári hír szerint Oroszország nukleáris műholdelhárító rendszert készül telepíteni a világűrbe. Az egyik értelmezés szerint ez egy fedélzeti atomreaktorral ellátott műholdat jelent. Korábban már működtek a világűrben hasonló rendszerek. Jelen cikkben ezen korábbi rendszereket áttekintve vonunk le következtetéseket a feltételezett felfegyverzett műholdra vonatkozóan.

Kulcsszavak: SNAP-10a, BESz-5, USz-A, Topaz, űratomreaktorok

Abstract: According to a report from February 2024, Russia is planning to deploy a nuclear anti-satellite system in space. One interpretation is that this would involve a satellite with an on-board nuclear reactor. Similar systems have been deployed in space before. In this article, we review these previous systems to draw conclusions about the alleged armed satellite.

Key words: SNAP-10a, BES-5, US-A, Topaz, space nuclear reactor

BEVEZETŐ

Az amerikai sajtóban 2024. február 14-én bombaként robbant a hír, miszerint Oroszország egy világűrbe telepített nukleáris műholdelhárító rendszer kifejlesztésén tevékenykedik. A hír alapját Mike Turner, a Képviselőház hírszerzési bizottsága akkori elnökének aznapi nyilatkozata képezi, amely szerint „súlyos nemzetközi fenyegetésről vannak információi”. [1] A fenyegetés mibenlétét mind a mai napig nem hozták nyilvánosságra, ám a Kongresszus képviselői megismertették az adatokat. A sajtóban megjelenő utalások nem egyértelműek. A konzervatívabb magyarázat szerint nukleáris reaktorral felszerelt mesterséges holdról lehet szó, míg más értelmezések szerint nukleáris fegyver világűrbe telepítését tervezi Oroszország. A két változat között lényeges különbség, hogy míg egy nukleáris reaktorral üzemeltetett eszköz

egy-egy műhold precíziós támadására alkalmas, addig egy nukleáris töltet akár az összes műholdat egyszerre támadhatja. Utóbbi esetben ez nem feltétlenül jelent fizikai megsemmisítést, sokkal inkább rádiófrekvenciás kommunikációt lehetetleníti el.

A két változat közül az első tűnik valószínűbbnek, több okból is. Először is, mert a Szovjetunió az 1980-as években több katonai műholdon alkalmazott a magenergia szabályozott felszabadítására alkalmas nukleáris reaktort energiaforrásként. Másrészt a szintén magenergián alapuló, ám szabályozatlanul alkalmazandó nukleáris (és más tömegpusztító) fegyverek világűrbe telepítését a minden állam – így Oroszország – által is elfogadott 1967-es Világűrszerződés kifejezetten tiltja. Ezzel szemben az Amerikai Egyesült Államok diplomáciai reakciói alapján inkább nukleáris töltetről lehet szó.

SNAP-10A, AZ ELSŐ NUKLEÁRIS REAKTOR A VILÁGŰRBE

A nukleáris energiaforrásokat két főbb csoportra lehet osztani. A legelterjedtebbek a radioaktív izotópokat (például a plutónium-238) tartalmazó radioizotópos generátorok. Ezek az atommagok spontán bomlása során keletkező hőt alakítják elektromos árammá. Ezzel szemben a hasadóanyagokkal, jellemzően urán-235, esetleg plutónium-239 izotópokkal üzemelő nukleáris reaktorokban indukált maghasadás során szabadul fel a magenergia. Történelmileg az első mesterséges hold, amelynek a fedélzetén nukleáris reaktor működött, az amerikai SNAP-10a vagy más néven SNAPSHOT volt, (2. ábra) amely 1965. április 3-án állt pályára egy Atlas-Agena D rakétával. [2] A műhold a Space Nuclear Auxiliary Power (űr nukleáris segédenergia – SNAP)¹ program részét képező technológiai demonstráció volt annak igazolására, hogy lehetséges Föld körüli pályán is biztonságosan üzemeltetni egy atomreaktort. A program 1955-ben indult, és az 1973-ban történő leállításáig összesen 850 millió dollárt fordítottak rá, ami mai árfolyamon hozzávetőlegesen 6 milliárd dollárnak felel meg. Az eredeti elképzelések szerint 500 és 1000 W elektromos teljesítményű rendszerek kifejlesztése volt a cél, elsősorban katonai űreszközök számára. Idővel kiderült, hogy a napelemek jobb megoldást jelentenek Föld körüli pályán, így a külső Naprendszer felderítésére tervezett űrszondák energiaellátásának biztosí-

* PhD, Nemzeti
Köszolgálati Egyetem
Hadtudományi
és Honvédtisztképző
Kar. ORCID:
0000-0002-0545-4381

¹ A SNAP rövidítés másik elterjedt feloldása: System for Nuclear Auxiliary Power – nukleáris segédenergia-szolgáltató rendszer.

tása került előtérbe. Idővel az atomreaktorok ezen a területen is kikerültek a képből, és a jóval egyszerűbb és megbízhatóbb radioaktív izotópos generátorok vették át a helyüket.

Egy atomreaktor világűrbeli használatához több problémát is meg kell oldani. Először is a reaktornak és kiszolgáló rendszereinek túl kell élnie a pályára állítás során tapasztalható rezgések és gyorsulások miatt fellépő erőhatásokat. További probléma, hogy a működés során keletkező nagy mennyiségű hulladékhőtől vákuumban kell megszabadulni. És végül a reaktor hűtését, illetve az energiaátalakítását súlytalanságban kell megvalósítani. Ráadásul mindezt közvetlen emberi felügyelet nélkül.

A SNAP-10a kísérlet célja legalább 500 W elektromos teljesítmény előállítás volt legalább egy éven keresztül. Ezt a célt csak részben sikerült elérni. Az elért elektromos teljesítmény maximuma 560 W volt, miközben a reaktor 43 kW hőteljesítménnyel mű-

ködött, ám csak 43 napig. Ekkor egy feszültségszabályzó meghibásodása miatt megnövekedő feszültség hatására a vezérlés véglegesen leállította a reaktort.

A reaktor (3. ábra) cirkónium-hidridből (ZrH) készült, ami kettős szerepet töltött be. Egyrészt biztosította a reaktormechanika stabilitását, másrészt a neutronok lassítására is szolgált. A 37 fűtőelem egyenként 128 g U-235 és 11,8 g U-238 izotópból állt, ami összesen mintegy 5172,6 g, 91,55% dúsítású uránt jelent. A hasadás során keletkező neutronokat Be (berillium) reflektorok tartották a reaktorban. A láncreakció szabályozására négy berilliumból készült félhengert használtak, amelyek helyzetüktől függő mértékben tükrözték vissza a neutronokat az aktív zónára (46,8 kg). A reaktor hűtésére eutektikus² NaK (nátrium-kálium) ötvözet szolgált. A hűtőközeg kilépési hőmérséklete 543,3 °C volt, míg a termoelemeket 573 °C (de maximum 593 °C) üzemi hőmérsékletre tervezték. A folyékony fém keringetésére úgynevezett magneto-hidrodinamikai szivattyút használtak. A hőt SiGe termoelemek alakították elektromos árammá, 1,6%-os névleges hatásfokkal. A termoelemek hűtéséről, és így a hulladékhő elvezetéséről egy 324 °C hőmérsékletű radiátor gondoskodott.

A reaktor által termelt elektromos áramot részben egy ionhajtóműhöz használták. Mivel az ionhajtómű működtetésére az előállított 500 W elektromos teljesítményből mindössze 100 W jutott, a működése nem volt folyamatos. Először egy kémiai akkumulátort töltöttek 15 órán keresztül, majd annak alkalmazásával egy órán át működött az ionhajtómű.

A reaktorban keletkező neutron-sugárzástól egy 98,6 kg tömegű lítium-hidridből (LiH), a gamma sugárzástól pedig rozsdamentes acélból álló árnyékolás védte a sugárzásra érzékeny berendezéseket. A mesterséges hold teljes tömege 436,4 kg volt. A reaktor és az ionhajtómű működésének nyomon követésére 22,7 kg tömegű diagnosztikai műszer-csomag szolgált.

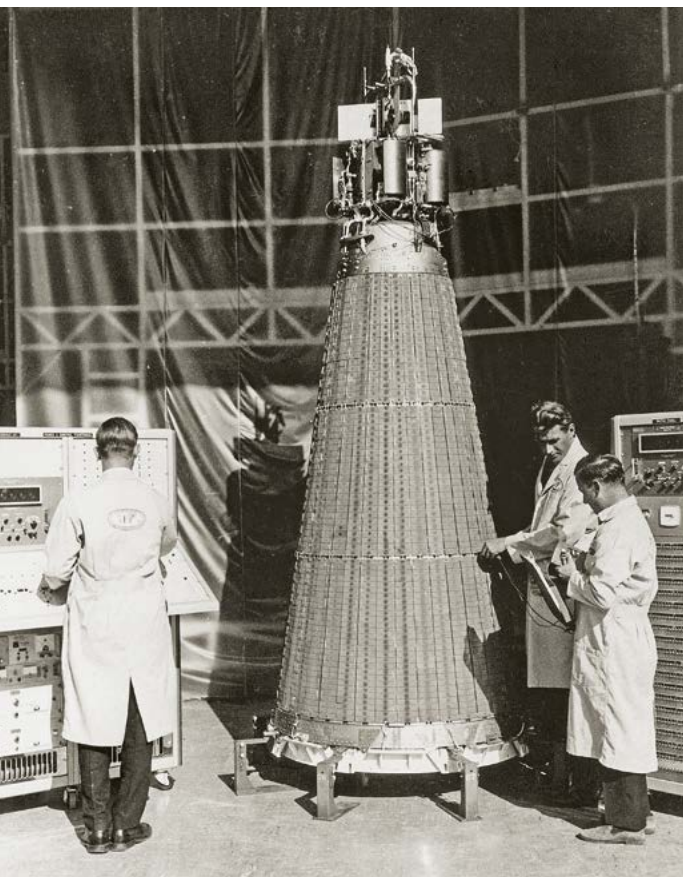
BESZ-5

Az Amerikai Egyesült Államok mellett a Szovjetunió is készített mesterséges holdakra szánt reaktorokat, és feltételezhetően 33 esetben alkalmazták is. Az óceáni hajóforgalom, illetve a hajók kommunikációjának megfigyelésére az USz (Управляемый Спутник – vezérelt műhold) műholdak szolgáltak. [5] A sorozatnak voltak passzív tagjai, amelyek az USz-P jelölést kapták. Ezek a mesterséges holdak passzív elektronikai hírszerzést végeztek átlagosnak nevezhető energiaigény mellett. Ezzel szemben az USz-A holdak aktív módon, apertúraszintézises radarral végeztek felderítést. Ezeket a műholdakat a nyugati irodalomban a Radar Ocean Reconnaissance Satellite (RORSAT – Radaros Óceán Felderítő Műhold) néven is említik. A radar energiaigényének kielégítésére a legtöbbször (31-szer) a BESZ-5 (más elnevezés szerint Buk) nevű reaktort használták, két további esetben pedig – kísérleti jelleggel – a fejlettebb Topaz nevűt. [6]

A világűrbeli használatra szánt reaktorok tervezése 1960-ban indult az ukrán származású Volodimir Mikolajovics Cselomej által vezetett OKB-52 irodában, és a szovjet Hold-program részét képezte. Az elképzelések változásával a nukleáris reaktor kikerült ugyan a Hold-programból, de az elkészült tanulmányokat felhasználták az USz-A programban.

A sorozat első valódi reaktorral felszerelt mesterséges holdja az 1970. október 3-án pályára állított Kozmosz-367 volt, amit 1971. április 1-én követett a Kozmosz-402. Mindkettő esetén felmerült, hogy nem is volt a fedélzetükön teljes értékű reaktor. [7] Erre utalhatna például, hogy mindkét műhold aktív élettartama kevesebb, mint 3 óra volt. Valójában a Kozmosz-367 fedélzetén működőképes reaktor üzemelt, azonban műszaki hiba miatt a reaktormag 110 perc működés után megolvadt, alighanem a hűtőrendszer hibájából. [8] Ez után a reaktortartályt elválasztották a műhold többi részétől, és a szolgálati

2. ÁBRA. A SNAP-10a földi teszten. Felülről lefelé: reaktor, árnyékolás, radiátor [3]



² Két vagy több komponens meghatározott összetételű kristálykeveréke, illetve elegye, amelynek olvadáspontja alacsonyabb, mint a komponenseké. Meghatározott összetétele ellenére nem tekinthető vegyületnek. Az adott többkomponensű rendszerben a legkisebb olvadáspontnak megfelelő hőmérsékleten (izoterm folyamatban) homogén folyadékból, hőelvonás közben, úgynevezett eutektikus fázisátalakulás (kristályosodás) során képződik.

241–267 km magassági pályáról 900 km körüli magasságú „temetői” pályára juttatták. Az első, hosszabb időn át stabilan működő reaktorral felszerelt változat a Kozmosz–469 volt, amely 9,5 napon át üzemelt. Ez volt az első abban a tekintetben is, hogy a radar tesztelése is megtörtént. A teljes funkcionalitást azonban csak az 1972. augusztus 21-én induló Kozmosz–516 érte el.

Felmerül a kérdés, hogy miért kellett az USz–A mesterséges holdakra atomreaktor. Ennek megválaszolásához tekintsük át a kitűzött célokat. A megrendelő alacsony pályán keringő, aktív, apertúraszintézises radarral szerette volna nyomon követni az óceánok hajóforgalmát. Az 1970-es években a Szovjetunió rendelkezésére álló technikai eszközök üzemeltetéséhez 3 kW elektromos teljesítményre volt szükség. Felmerült, hogy nap-elemekkel oldják meg az energiaellátást, viszont a tervezett alacsony, 270 km magasságú pályán ez túl nagy, az élettartamot erősen korlátozó légellenállást eredményezett volna. Továbbá a Föld éjszakai oldala feletti átrepülés közbeni működés nagy kapacitású, és így nagy tömegű akkumulátorok beépítését követelte volna meg. Így a tervezők jobb híján fordultak a nukleáris energia felé.

A BESz–5 reaktor 100 kW hőteljesítmény leadására volt képes, amit a SNAP–10a reaktorhoz hasonlóan folyékony NaK ötvözet szállított a fűtőelemekhez. Az elektromos teljesítmény maximuma 5 kW volt, ám az USz–A műholdaknak csak 3 kW-ra volt szükségük. A reaktorból kilépő hűtőközeg hőmérséklete 700 °C volt. Az üresen 53 kg tömegű reaktor ZrH-ből készült, és 37 darab fűtőelemet tartalmazott. Az üzemanyag 90% dúsítású U-235 izotóp volt ~30 kg tömegben. Az amerikai SNAP–10a reaktorral ellentétben a BESz–5 gyors neutronokkal működött.

A műhold érzékeny elektronikáját a SNAP–10a-hoz hasonlóan LiH védte a neutronoktól, emellett rozsdamentes acél a gamma sugárzástól. A teljes reaktorrendszer sugárvédelemmel együtt mintegy 1250 kg-ot tett ki a műhold 3800 kg tömegéből.

TOPAZ

A BESz–5 reaktorok leváltására készült a Topaz (Топаз – Термоэмиссионный Опытный Преобразователь в Активной Зоне, azaz termionos kísérleti átalakítás az aktív zónában³⁾ vagy más elnevezés szerint Topol reaktor, amely két példányát ki is próbálták egy-egy továbbfejlesztett USz–A műholdon (Kozmosz–1818, Kozmosz–1867). Ezeknek a reaktoroknak nagyobb, 150 kW volt a maximális hőteljesítménye, és a hőenergiát is nagyobb hatásfokkal alakították át elektromos energiává, így akár 6 kW elektromos teljesítményt is tudtak szolgáltatni.

Bár maga a reaktor is jelentősen különbözött az elődtől, a fő különbség mégis az energiaátalakítás módjában rejlik. Az új reaktor ugyanis SiGe termoelemek helyett úgynevezett termionos generátort használt. Ezeknek a működése azon alapul, hogy a melegítés hatására egy katódból elektronok lépnek ki, amelyeket egy anód fog fel. Műszakilag kedvezőbb megvalósítás, ha az anód henger alakú, aminek a tengelyében helyezkedik el a katód. A két elektróda közti teret alacsony nyomású gázállapotú céziummal töltik ki. A melegítés vagy egyéb gerjesztés (pl. sugárzás) hatására a cézium ionizálódik. A szabaddá váló elektronok nagyobb valószínűséggel jutnak a külső elektródára geometriai okokból, így az negatív töltésűvé válik. Mivel a világűrben a cézium, ha lassan is, de szökik a rendszerből, folyamatos utánpótlására van szükség a működés fenntartása érdekében. A módszer előnye, hogy az energiaátalakítást integrálni lehet a reaktorba, így kompaktabb, egyszerűbb felépítés érhető el.

A Topaz reaktor, hasonlóan az amerikai SNAP–10a-hoz, termikus neutronokkal működött. A neutronok lassítására ZrH szolgált. Az aktív zónából távozó neutronokat berilliumreflektorok fordították vissza. A szabályzására hosszanti tengelyük körül forgatható, kétharmad részben (240°) berilliumból, egyharmad részben (120°) bór-karbidból készült hengerek szolgáltak. A berillium visszatükrözte a neutronokat a reaktorba, a bór-karbid pedig elnyelte, így a rudak forgatásával jól lehetett

szabályozni az energiatermelést. A hűtőközeg a két előző reaktorhoz hasonlóan NaK ötvözet volt, amely hozzávetőlegesen 700 °C-ra hevült az aktív zónában. A reaktor 79 termionos fűtőelemrudat tartalmazott. Ezek abban különböznek a szokványos fűtőelemektől, hogy a hasadóanyagot a termionos cellák közepén helyezték el, így a felszabaduló energia közvetlenül fűtötte a katódot. Minden egyes rúd öt termionos cellából állt. A 79 rúdból 19 a reaktor működéséhez szükséges energiát szolgáltatva, míg a fennmaradó 60 a műhold fedélzeti rendszereit táplálta. [6]

Az új reaktor megbízhatóságát jól mutatja, hogy az első változat a Kozmosz–1818 fedélzetén 5-6 hónapig működött. [9] A második példány a Kozmosz–1867 fedélzetén hozzávetőlegesen 11 hónapig biztosította az üresköz számára az energiaellátást. [10]

BIZTONSÁG ÉS MEGBÍZHATÓSÁG

Az atomenergia alkalmazása mindig nagy körütekintést és óvatosságot követel. Ez alól a világűrben működő reaktorok sem kivételek. Az űrreaktorok története során rendszeresen előfordultak biztonsági incidensek. A SNAP–10a a tervezett egy év helyett mindössze 43 napig működött egy feszültség szabályzó meghibásodása miatt. A szovjet USz–A mesterséges holdak közül az első 18-ból 9-nek az üzemideje nem érte el a tervezett 45 nap körüli időtartamot, feltehetően legalább részben az energiatermelő rendszer meghibásodása miatt. A Kozmosz–1365 után javult a helyzet, az átlagos működési idő megközelítette a 82 napot, ám meglehetősen nagy, 50%-ot meghaladó szórással. A legrövidebb működési idő 39 nap volt (Kozmosz–1412), míg a legtöbb 135 nap (Kozmosz–1365). Ez azt jelzi, hogy a rendszer megbízhatatlan, működése kiszámíthatatlan volt. Ezt tetézte, hogy a deaktivált reaktort „temetői” pályára emelni hivatott rendszer több esetben sem az elvárt módon működött, illetve csődöt mondott.

Az első a Kozmosz–954 esete volt, amely a feltételezések szerint 1978. január 6-án űrszeméttel ütközve üzemképtelenné vált, és elvesztette a kapcsolatot a földi irányítással. Az irá-

³⁾ A nyugati szakirodalomban a betűszó átírásának angol változata: „Thermionic Experimental Conversion in the Active Zone”.

nyíthatatlanná vált űreszköz 1978. január 24-én belépett a légkörbe. Nagy része elégett a visszatérés során, ám becslések szerint a reaktor üzemanyagának kb. 20%-a mintegy 100 000 km² területen szóródott szét Kanada északnyugati területén. Mivel a reaktor erősen dúsított U-235 izotóppal üzemelt, a rövid felezési idejű hasadványok mellett csak csekély mennyiségű hosszú felezési idejű transzurán elem (pl. plutónium, amely kémiai tulajdonságai miatt erősen mérgező) keletkezett, illetve szóródott szét. Az érintett régióban nem emelkedett meg jelentős mértékben a háttérsugárzás a szennyezés hatására. A terület megtisztításért a Szovjetunió 3 millió kanadai dollár kártérítést fizetett Kanadának. Az eset után áttervezték a műhold többi részéről leválasztott reaktort biztonságos magasságba emelő rendszert, jelentős autonómiával felruházva azt. Az új változatok földi utasítás nélkül is aktiválták a rendszert, amennyiben az űreszközön nyomáscsökkenést észleltek, vagy megszűnt a magasságkontroll. Amennyiben ennek ellenére csődöt mondana a rendszer, 115–120 km magasan a légköri sűrűség miatt fellépő hőmérséklet-emelkedés észlelésére is a reaktor pályájának megemelésével reagál a vezérlés. A „temetői” pálya elérése után a re-

aktortartályból kilöködik a mag, így biztosított, hogy a majdani visszatérés során az üzemanyagrudak teljesen elégnek, és nem érik el a felszínt.

A Kozmosz–1402 balesete során nem veszítették el a kapcsolatot a műholddal, de amikor bizonyossá vált, hogy a reaktort nem tudják a tervezett pályára emelni, földi utasításra aktiválták az űreszköz három részre bontását. Ennek során leválasztották a reaktortartályt a műhold többi részéről, majd a tartályból kilökték a magot. A mesterséges hold darabjai az Atlanti-óceán déli felén léptek be a légkörbe 1983. január 23. és február 7. között. Ezúttal nem tudtak kimutatni a felszínen radioaktív szennyeződést, ami bizonyította a korábban végrehajtott módosítások helyességét.

A Kozmosz–1900 esetében nem sikerült a tervezett időben beindítani a reaktortartály leválasztását. 1988. szeptember 30-án a biztonsági rendszer észlelte a repülési magasság korrekciójának elmaradását, és beindította a reaktortartály leválasztását és biztonságos pályára emelését. Az elért magasság közel 300 km-rel alacsonyabb volt a korábbiaknál.

Míg a fenti esetek a pályára állás után történtek, az 1973. április 25-én indított mesterséges hold a rakéta rendellenes működése miatt el sem érte a keringési magasságot. Az űreszköz maradványai a Csendes-óceán északi részén zuhantak le. Mivel a reaktor indítása még nem történt meg, az okozott radioaktív szennyezés is minimális, bár kimutatható volt. [11]

Egy további műhold, a Kozmosz–265 1969. január 25-ei indítása is kudarcra végződött, ám ebben az esetben nem egyértelmű, hogy volt-e a fedélzetén atomreaktor. A kérdés eldöntése azért nehéz, mert a megelőző négy indítás még egyértelműen reaktor nélkül történt, ám a kudarcot követően indított Kozmosz–367 az első működőképes reaktorral szerelt műhold volt.

A két Topaz reaktor lényegesen kiforrottabbnak és megbízhatóbbnak bizonyult az előzőkhez képest, már amennyiben a két esetből ezt meg lehet ítélni. Ezek a műholdak már eleve 800 km körüli magasságú pályára kerültek. Így nem volt szükség további manőverekre a reaktor biztonságos magasságba emelésére. Az űrreak-

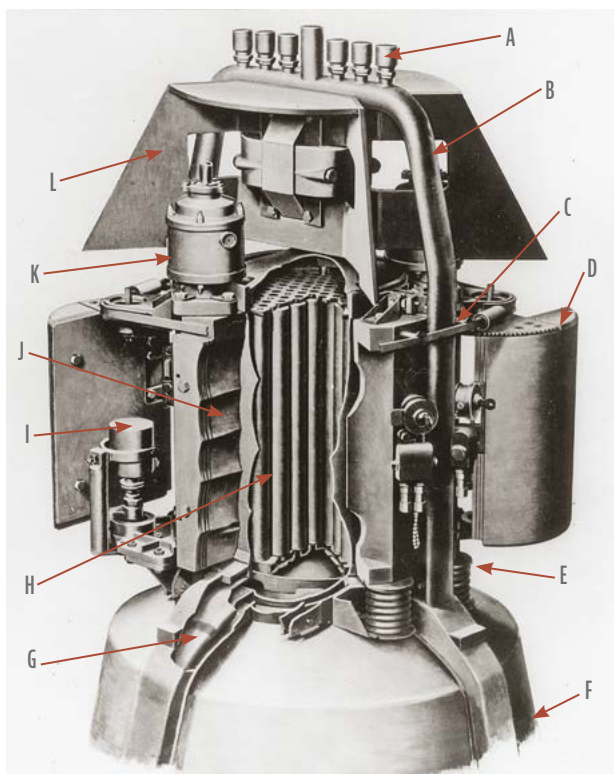
torok nem csak aktív élettartamuk közben jelentenek biztonsági kockázatot. A Kozmosz–954 balesetét követően bevezetett eljárás részeként a „temetői” pályán kilökték a magot a reaktortartályból. Mivel a tartályban a reaktormagon kívül jelen volt a hűtőközegként használt folyékony NaK ötvözet is, a dehermetizálás következményeként a folyékony fém is kiszabadult, és apró cseppekre szakadva megfagyott, így egy törmelékfelhő keletkezett. A SNAP–10a, a Kozmosz–1818 és a Kozmosz–1867 esetében is megfigyelték nem tervezett törmelékfelhők kialakulását a passzív életszakaszban. [12][13][14] Ezek a törmelékek nagy veszélyt jelentenek a tervezett, illetve jelenleg kiépülő alacsony pályás műholdseregére, amely tagjainak száma középtávon akár a százezret is meghaladhatja. [15] Mivel a törmelék idővel egyre jobban szétterül a kibocsájtó objektum körüli térségben, egyre több pályát veszélyeztet, ami jelentős mértékben csökkentheti a Föld körüli pályára állítható műholdak maximális számát. [16] Míg egy nagy magasságban keringő műhold esetén a pálya akár a teljes élettartamra is nagy pontossággal kiszámítható a kezdeti pályaelemek ismeretében [17], addig az alacsony pályán keringő törmelék esetében ugyanez nagy kihívást jelent, mivel a fizikai jellemzőik nagyrészt ismeretlenek. Így a veszélyeztetett pályák meghatározása is csak röviddel a potenciális ütközések előtt lehetséges.

KÖVETKEZTETÉSEK

Tegyük fel, hogy a fejlesztés alatt álló orosz űrfegyver atomreaktort használ energiaforrásként. Milyen jellemzői lehetnek egy ilyen műholdnak? Kiindulhatunk abból, hogy Oroszország jelenlegi legnagyobb teljesítményű hordozórakétája, az Angara–5, amely ~25 tonnát képes alacsony Föld körüli pályára juttatni. Egy ilyen tömegű műholdat feltételezve a reaktorrendszer tömege legfeljebb a teljes érték fele, azaz 12,5 t lehetne. A korábbi rendszerek használatával ekkora tömegből legfeljebb 50 kW elektromos teljesítmény nyerhető, amely optimalizációval, modernizációval megnövelhető esetleg 75–100 kW-ig. Radikálisabban változtatva az energiaátalakítás módján,

3. ÁBRA.

A SNAP–10a felépítése
(A: hőkapcsoló; B: NaK kivezetése;
C: a reflektor rögzítése;
D: vezérlőhenger;
E: a reflektort
vérszeálláskor kilökö
rugók; F: árnyékolás;
G: NaK bevezetése;
H: fűtőelemek;
I: a vezérlőhenger
pozícióérzékelője;
J: Be reflektor;
K: a vezérlőhenger
meghajtása;
L: keringető szivattyú)
(A szerző szerkesztése a
[4] alapján)



például Rankine-ciklusra⁴ váltva [18] [19] 30 W/kg egységnyi tömegre jutó elektromos teljesítmény is elérhető. Így akár 375 kW-ig is növelhető a fegyverrendszer számára rendelkezésre álló elektromos teljesítmény.

A reaktorról elérendő hőteljesítmény az energiaátalakítás hatásfokától függ. Az USz-A rendszereinek az egyszerű felskálázásával 1–2 MW hőteljesítmény adódik. Ennek akár 95%-a a hulladékhő. Ha 30% hatásfokú Rankine-ciklussal számolunk, akkor 1250 kW hőteljesítmény adódik. Az 1250 kW és a 375 kW közötti különbség, azaz 875 kW (~9-szerese az USz-A hasonló mennyiségének), amitől meg kell szabadulnia a műholdnak.

Felmerül a kérdés, hogy mire használja a műhold ezt az energiát. A legvalószínűbb változat, hogy valamilyen típusú energiafegyver, például lézer üzemeltetésére. Ha ez CO₂ lézert jelent, 20% hatásfokkal számolva legfeljebb 75 kW folytonos optikai teljesítmény nyerhető. Nagy, akár 60% hatásfokú gallium-arsenid lézert [20] alkalmazva 225 kW folyamatos optikai teljesítmény érhető el. A 75 kW-os sugár nagyjából a használhatóság alsó határa lehet, bár optikai tartományban működő eszközök elvákítására vagy a napelemek megrongálására kisebb teljesítmény is elég. Impulzus üzemmódban ennél nagyobb teljesítményű sugár is nyerhető CO₂ lézerből is, ám akkor két impulzus között tárolni kell az energiát, ami nagy tömegű kondenzátorokat feltételez. A rendszer harcértéke erősen függ a lézer optikájától és a célkövetés pontosságától.

ÖSSZEGZÉS

Az űrkorszak hajnalán logikus ötlet volt, hogy az űreszközök energiaellátását nukleáris energiával biztosítsák. Ennek egyik módja az abban az időben megszülető atomerőművek miniaturizált változata (első atomerőmű: 1954, első műhold: 1957). Mind az USA-ban, mind a Szovjetunióban megindultak a fejlesztések, azonban idővel nyilvánvalóvá vált, hogy a Föld-kö-

rüli térségben a napenergia általában jobb és biztonságosabb megoldás⁵. Ennek ellenére mindkét ország kipróbálta a fejlesztések eredményét. Míg az USA egyetlen reaktort állított pályára, a Szovjetunió 33 mesterséges holdon használt két fejlesztést. Mindkét állam műholdjain előfordultak meghibásodások. A szovjet műholdak közül kettőnek a reaktora irányítatlanul belépett a légkörbe, és egy esetben kimutatható mértékű radioaktív szennyezést okozott. Egy további esetben a sikertelen indítás miatt nem érte el a keringési sebességet, és visszazuhan az óceánba.

Mire a technika kiforrottá vált, addigra túlhaladott lett. Az 1987-ben pályára kerülő szovjet Topaz reaktorok már fél-egy éven át működtek, ám a napelemekhez képest nem adtak semmi pluszt. Napjainkra a műszaki fejlődésnek köszönhetően az USz-A műholdakhoz hasonló elven működő, 100 kg alatti tömegű ICEYE műholdak atomreaktor nélkül is el tudnak érni 1 m alatti felbontást 5–600 km magasságból. [21]

Az atomenergia űrbeli használatának gyenge pontja, hogy jelenleg az energiaátalakítás hatásfoka nagyon alacsony. Emiatt a reaktor által termelt energia nagy részétől meg kell szabadulni, amihez nagy méretű radiátorokra van szükség. A probléma megoldására felmerült a termoelektromos, illetve termionos átalakítás helyett a magasabb hatásfokú Rankine-ciklus alkalmazása.

Ha a reaktor energiafegyvert táplál, akkor a korábbi rendszerek felskálázásával nyerhető 50 kW villamosenergia csak impulzusüzem esetén elegendő, amihez viszont nagy kapacitású energiatároló egység szükséges. Rankine-ciklus használatával a fegyverrendszer számára rendelkezésre álló teljesítmény 7–8-szorosára növelhető. Ez akár feleslegessé is teheti az energiatárolást, vagy a tárolást megtartva az impulzus energiája akár 1 MW fölé is növelhető.

A TKP2021-NVA-16 számú projekt az Innovációs és Technológiai Minisztéri-

um Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a TKP2021-NVA pályázati program finanszírozásában valósult meg. ■

HIVATKOZÁSOK

- [1] Officials sound alarm about new Russian "space threat". Washington post, 2024.02.14. <https://www.washingtonpost.com/national-security/2024/02/14/national-security-threat-mike-turner/> (Letöltve: 2024.12.20.)
- [2] Voss, S. S.: SNAP (Space Nuclear Auxiliary Power) reactor overview. Final Report, Jun. 1982 – Dec. 1983. Air Force Weapons Lab., Kirtland AFB, NM., 1984. <https://doi.org/10.21236/ADA146831>
- [3] [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:HD.6D.533_\(10967230866\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:HD.6D.533_(10967230866).jpg)
- [4] https://commons.wikimedia.org/wiki/File:SNAP-10A_Reactor.png
- [5] Siddiqi, Asif: Staring at the sea: The Soviet RORSAT and FORSAT programmes. Journal of the BIS, 1992/52, 397–416. <https://bis-space.com/shop/product/staring-at-the-sea-the-soviet-rorsat-and-eorsat-programmes/> (Letöltve: 2024.12.20.)
- [6] El-Genk, Mohamed S.: Deployment history and design considerations for space reactor power systems. Acta Astronautica, 2009/9, 833–849. <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2008.12.016>
- [7] Encyclopedia Astronautica. <http://www.astronautix.com/u/us-a.html> (Letöltve: 2024.12.20.)
- [8] US-A and US-P military satellites. <https://www.russianspaceweb.com/us.html> (Letöltve: 2025.02.12.)
- [9] Kosmos 1818. https://en.wikipedia.org/wiki/Kosmos_1818 (Letöltve: 2024.12.20.)
- [10] Kosmos 1867. https://en.wikipedia.org/wiki/Kosmos_1867 (Letöltve: 2024.12.20.)
- [11] Koszmosz-954. <https://hu.wikipedia.org/wiki/Koszmosz%E2%80%93954> (Letöltve: 2024.12.20.)
- [12] Stokely, C. L. – Stansbery E. G.: Identification of a debris cloud from the nuclear powered SNAPSHOT satellite with haystack radar measurements. Advances in Space Research 2008, 41, 1004–1009. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2007.03.046>
- [13] Wiedemann, Carsten et al.: Possible NaK release from a TOPAZ reactor onboard Cosmos 1818. 38th COSPAR Scientific Assembly. 2010.07.15–18, Bréma, 8. https://www.researchgate.net/publication/252289718_Possible_NaK_release_from_a_TOPAZ_reactor_onboard_Cosmos_1818 (Letöltve: 2024.12.20.)
- [14] Flurry of Small Breakups in First Half of 2014. Orbital Debris Quarterly News, 2014/3.
- [15] Nagy Imre: Megakonstellációk. Repüléstudományi Közlemények 2021/2, 31–44. <https://doi.org/10.32560/rk.2021.2.3>
- [16] Nagy Imre: Meddig növelhető alacsony Föld körüli pályán a mesterséges holdak száma? Repüléstudományi Közlemények 2024/2, 77–183. <https://doi.org/10.32560/rk.2023.2.19>
- [17] Nagy Imre – Érdi Bálint: Numerical investigation of the orbit of Interball-1. Astronomische Nachrichten, 2007/8, 793–796. <https://doi.org/10.1002/asna.200710811>
- [18] Lahey, Richard T. Jr. – Dhir, Vijay: Research in Support of the Use of Rankine Cycle Energy Conversion Systems for Space Power and Propulsion. NASA/CR—2004-213142, 2004. július.
- [19] Qi-qi Sun et al.: Thermodynamic analysis of potassium Rankine cycle in space nuclear power by energy analysis and exergy analysis. Energy, Vol. 273, id.127241 <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.127241>
- [20] Crump, P. et al.: 60% efficient monolithically wavelength-stabilized 970-nm DBR broad-area lasers. IEEE Photonics Journal, 2022/3, 1–5. <https://doi.org/10.1109/JPHOT.2022.3166591>
- [21] Accurate, near real-time Earth monitoring with SAR data. ICEYE, 2024.
- [22] https://en.m.wikipedia.org/wiki/TOPAZ_nuclear_reactor.

⁴ A Clausius–Rankine-ciklus egy termodinamikai körfolyamat, mely a hőenergiát mechanikai munkává alakítja, külső hőforrást használva. Az üzemi közeg általában víz, de ritkán előfordul más folyadék is, mely a körfolyamat alatt gőz halmazállapotot is felvesz. A legtöbb fosszilis tüzelőanyagot (szént, kőolajszármazékokat és földgázt) égető és nukleáris erőmű ezt a körfolyamatot használja energiatermelésre.

⁵ A Nemzetközi Űrállomás napelemei akár 90 kW elektromos teljesítményt is szolgáltathatnak, szemben a BESz-5 általi 3 kW körüli értékkel.