

PRĄD DLA SOND. CZY NASA GROZI DEFICYT PROMIENIOTWÓRCZEGO PLUTONU? [ANALIZA]

Kurczące się zapasy plutonu-238 mogą zagrozić realizacji naukowych misji kosmicznych NASA już w czwartej dekadzie obecnego stulecia. Tamtejsza administracja podejmuje kroki na rzecz przywrócenia krajowej produkcji tego izotopu w ilości niezbędnej dla zaspokojenia potrzeb agencji. Europa tymczasem rozgląda się za alternatywnym źródłem zasilania radioizotopowych generatorów termoelektrycznych.

Generalnie rzecz biorąc, radioizotopowe generatory termoelektryczne (RTG) wykorzystuje się do zasilania energią elektryczną sond, które nie mogą używać do tego celu paneli fotowoltaicznych, najczęściej działając po prostu zbyt daleko od Słońca. Graniczną odległość od Słońca, do jakiej statki kosmiczne używają baterii słonecznych, jest orbita Jowisza, piątej planety licząc od gwiazdy centralnej. Doskonały przykład stanowi tutaj [badająca największego gazowego giganta sonda Juno](#), wyposażona w wielkie pokłady paneli fotowoltaicznych.

W RTG wyposażone są legendarne sondy Voyager 1 i 2, czy sonda New Horizons. Z takiego źródła energii korzystał również pojazd Cassini, który w 2017 r. zakończył swoje wieloletnie badania Saturna, jego księżyców i pierścieni. W radioizotopowy generator termoelektryczny wyposażony jest także łazik Curiosity, który od 2012 r. przemierza i bada powierzchnię Marsa. Pojazd ten wyposażono w 4 kg Pu-238.



Multi-Mission Radioisotope Thermoelectric Generator (MMRTG) - takie urządzenie zasila łązik Curiosity na Marsie. Fot. NASA

Zasada działania i paliwo

Radioizotopowy generator termoelektryczny wytwarza prąd w oparciu o efekt Seebecka – wykorzystuje różnicę temperatur pomiędzy dwoma końcami termopary (ogniwa termoelektrycznego). Jeden koniec termopary jest chłodzony, na przykład poprzez umieszczenie go w sąsiedztwie radiatora lub wystawienie go na oddziaływanie chłodu marsjańskiej atmosfery. Drugi koniec termopary jest natomiast ogrzewany, poprzez wprowadzenie go do pojemnika z izotopem promieniotwórczym, który rozpada się wytwarzając ciepło. Różnica temperatur pomiędzy dwoma złączami ogniwa termoelektrycznego powoduje, że w termoparze zaczyna płynąć prąd. Im większa jest przy tym owa różnica temperatur, tym większa moc powstałego prądu.

Jako źródło ciepła niezbędnego do działania RTG wykorzystuje się np. takie izotopy jak: kiur-244 (Cm-244) czy stront-90 (Sr-90). Materiał taki musi spełniać istotne wymagania. Przede wszystkim, musi się charakteryzować optymalnym okresem połowicznego rozpadu. Proces ten nie może postępować zbyt szybko, gdyż wtedy zaplanowanie dłuższej misji sondy kosmicznej napotkałoby znaczące trudności. Z drugiej strony czas połowicznego zaniku nie może być też nadmiernie długi, gdyż w takiej sytuacji proces ten zachodziłby za wolno, by wygenerować niezbędne, wystarczające ciepło.

Po drugie, izotop powinien być możliwie gęsty, by jego konieczna ilość nie zajmowała na pokładzie statku kosmicznego nadmiernej objętości. Po trzecie wreszcie zaleca się, żeby materiał nie generował nadmiernie przenikliwego promieniowania (np. α czy β), co wiązałoby się z koniecznością stosowania ciężkich ołowianych osłon.

Wszystkie te wymagania doskonale spełnia pluton-238 (Pu-238), który jest też najczęściej

wykorzystywany w urządzeniach RTG dla misji kosmicznych. Jego okres połowicznego rozpadu wynosi 87,7 roku. Pu-238 cechuje się wysoką wydajnością termiczną, a jednocześnie właściwie nie wymaga stosowania dodatkowych osłon, poza obudową samego generatora, której wystarczy nadać grubość kilku mm.

Oprócz pojazdów kosmicznych Pu-238 wykorzystuje się też niekiedy do produkcji prądu na Ziemi – na przykład w odległych, trudno dostępnych bojach nawigacyjnych dla żeglugi. Promieniotwórczy surowiec wykorzystywano także w rozrusznikach serca. Jeśli osoba nosząca taki instrument miała być po śmierci spopielona, wówczas należało koniecznie usunąć radioaktywny materiał przed dokonaniem kremacji.

Kurczące się zapasy USA

Zasoby plutonu-238 wykorzystywane w kosmicznych sondach badawczych USA przez lata powstawały niejako w wyniku trwania zimnej wojny. Pu-238 był bowiem efektem ubocznym budowy bojowych głowic jądrowych, co było z kolei napędzane poprzez rywalizację pomiędzy Stanami Zjednoczonymi a ZSRR. Rozluźnienie, jakie nastąpiło pomiędzy mocarstwami na przełomie lat 80. i 90. XX wieku, okazało się zgubne dla produkcji strategicznie ważnego izotopu plutonu w USA. W 1988 r. zaprzestano tam jego wytwarzania.

W następnych latach Amerykanie zaopatrywali się w pluton-238 importując go z Rosji, płacąc ok. 45 tys. USD za uncję cennego surowca. Jednak w 2009 r. Moskwa zaprzestała sprzedaży tego materiału Amerykanom. W tym samym roku amerykański Kongres odrzucił pierwsze wezwanie Baracka Obamy o przeznaczenie funduszy na wznowienie produkcji plutonu. Prezydent spotkał się wtedy z odmową, a parlamentarzyści zażądali bardziej szczegółowych informacji o projekcie, w tym dotyczących ewentualnego wkładu NASA w przedsięwzięcie.

Obecnie Stany Zjednoczone są w posiadaniu mniej więcej 35 kg Pu-238, z czego część była kupiona od Rosji. 17 kg zasobów to surowiec gotowy do natychmiastowego użytku, zaś pozostałym 18 kg można będzie przywrócić pełną użyteczność, mieszając ten materiał z nowymi porcjami izotopu, które zostaną dopiero wytworzone. Posiadane zasoby powinny wystarczyć do realizacji misji NASA do 2030 r. Najbliższe misje amerykańskiej agencji kosmicznej, które będą potrzebować plutonu-238 dla swoich RTG, to *Mars 2020* oraz niewyłoniona jeszcze misja *medium-class* w programie *New Frontiers*, która zostanie wybrana do 2019 r., a wystartuje najprawdopodobniej w 2025.

Obecnie, w oparciu o produkcję nowego Pu-238, zmieszanego ze starym, potrzeby będą zaspokojone w krótkiej perspektywie. Jeśli nowa dostawa Pu-238 się nie pojawi, a cele Departamentu Energii nie będą zrealizowane, [wówczas] może to stać się w przyszłości ponownie czynnikiem ograniczającym.

Shelby Oakley, dyrektor ds. pozyskiwania i zarządzania dostawami w Government Accountability Office

Nieśmiałe działania naprawcze

Wysiłki na rzecz przywrócenia Stanom Zjednoczonym samowystarczalności w zakresie wytwarzania niezbędnych zasobów plutonu-238 ruszyły w 2011 r. Wtedy to uruchomiony został, finansowany z

funduszy NASA, a realizowany przez Departament Energii USA (*Department of Energy, DOE*) program *Pu-238 Supply Project*. Zanim to nastąpiło, malejący zapas promieniotwórczego izotopu był istotnym czynnikiem, brany przez NASA pod uwagę przy wybieraniu przyszłych misji kosmicznych. Celem tej inicjatywy jest doprowadzenie do sytuacji, że w USA będzie rocznie wytwarzane 1,5 kg plutonu-238, począwszy najdalej od 2026 r.

Jak pokazał sukces niedawnej misji Cassini, systemy energetyczne oparte o radioizotopy są niezbędne do przyspieszenia eksploracji przestrzeni kosmicznej przez nasz kraj. Produkcja izotopów promieniotwórczych pozwala nam badać zewnętrzne planety i przemierzać powierzchnie innych światów. (...) Z niecierpliwością czekam na współpracę z administracją, aby zapewnić, że przyszłość NASA jest tak samo jasna, jak jej przeszłość.

Brian Babin, prezes podkomisji ds. przestrzeni kosmicznej, wchodzącej w skład U.S. House Science, Space, and Technology Committee

W październiku 2015 r. dwaj Republikanie z Teksasu, wspomniany Brian Babin i przewodniczący U.S. House Science, Space, and Technology Committee (amerykańskiej Komisji ds. Nauki, Przestrzeni i Technologii) Lamar Smith wystosowali w sprawie Pu-238 list do biura instytucji kontrolnej Kongresu, jaką jest *Government Accountability Office (GAO)*. Parlamentarzyści domagali się w swoim piśmie, by GAO przyjrzało się założeniom NASA w zakresie zapotrzebowania na pluton-238 w najbliższej przyszłości oraz planom Departamentu Energii w kwestii przywrócenia produkcji tego izotopu.



Siedziba GAO w Waszyngtonie. Fot. AgnosticPreachersKid; licencja: CC BY-SA 4.0; źródło: Wikimedia Commons

Biuro GAO odniosło się do pytań z listu Babina i Smitha w raporcie pt. „*SPACE EXPLORATION: DOE Could Improve Planning and Communication Related to Plutonium-238 and Radioisotope Power Systems Production Challenges*”, [opublikowanym na początku października 2017 r. na stronie tej instytucji](#). W swoim opracowaniu *Government Accountability Office* wskazało, że w sytuacji braku wystarczających zasobów Pu-238 realizacja przyszłych misji kosmicznych NASA może być zagrożona, zwłaszcza jeśli w harmonogramie pojawi się nowa, nieprzewidziana wcześniej misja lub izotop będzie wykorzystywany do innych celów związanych z bezpieczeństwem, czy innych operacji, nie organizowanych pod egidą agencji kosmicznej USA.

W 2015 r. DOE zdołał wytworzyć 100 g nowego plutonu-238 w ramach „*Pu-238 Supply Project*”. Jeszcze jesienią 2017 r. ma się zakończyć przygotowanie następnej partii. Departament Energii zidentyfikował też podstawowe wyzwania, jakie mogłyby zagrozić produkcji izotopu, oraz przyjął założenie, że do roku 2019 osiągnie zdolność wytwarzania 300-500 g Pu-238 rocznie. Docelowy poziom produkcji, sięgający 1,5 kg surowca w skali roku, zostanie osiągnięty najwcześniej w 2023 r.

Rozpoznane trudności

Jednym z kluczowych problemów, jakie GAO zidentyfikował po stronie DOE jeśli chodzi o wytwarzanie plutonu-238 jest fakt, że Departament Energii dotąd nie wprowadził oczekiwanego udoskonalenia chemicznego aspektu technologii produkcji strategicznego surowca. Ponadto, cała produkcja izotopu możliwa jest obecnie tylko w jednym laboratorium w USA. Choć teoretycznie w kraju działają trzy reaktory, które można by wykorzystywać do tego celu, w praktyce mają być używane jedynie dwa z nich. Przy czym, póki co, jedno z tych dwóch urządzeń wymaga prac konserwacyjnych, nie spełnia wymagań technicznych i nie ma certyfikatów niezbędnych dla wytwarzania Pu-238.

Wśród zagrożeń dla długofalowej produkcji plutonu-238 dla NASA *Government Accountability Office* wymieniło również problemy Departamentu Energii jeśli chodzi o zatrudnienie wystarczającej liczby pracowników i szkolenie kadr do realizacji tego celu.

GAO negatywnie zaopiniowało także wdrażane przez DOE założenie polegające na utrzymywaniu stałego poziomu produkcji promieniotwórczego izotopu, co pozwala zachować wielkość potrzebnej do tego siły roboczej na stałym poziomie. Według organu kontrolnego takie podejście Departamentu Energii uniemożliwia długofalową ocenę efektywności chemicznego procesu produkcji plutonu i dostępności reaktora, oraz uniemożliwia prawidłowe dzielenie się wiedzą o tych aspektach procesu z NASA.

Zalecenia dla Departamentu Energii

Generalnie rzecz biorąc w swoim raporcie *Government Accountability Office* udzieliło Departamentowi Energii wskazówek, które pozwolą nie tylko na uzyskanie wystarczającego poziomu produkcji Pu-238, ale także na poprawę planowania tego procesu i wzmocnienie komunikacji Departamentu z NASA.

GAO wystosowało wobec DOE trzy zasadnicze rekomendacje:

1. Departament Energii powinien wdrożyć długofalowy plan zarządzania produkcją plutonu-238, uwzględniający kamienie milowe (cele do osiągnięcia) i kroki pośrednie;
2. Należy oceniać długofalowe efekty rozpoznanych ryzyk na wolumen produkcji izotopu, trzymanie się harmonogramów i potrzebne finansowanie, oraz informować o tych efektach amerykańską agencję kosmiczną;
3. Rozwinąć kompleksowy system śledzenia systemowych zagrożeń dla programu, poza zagrożeniami o podłożu ściśle technicznym, które to ryzyka identyfikują już bezpośrednio laboratoria odpowiedzialne za wytwarzania surowca.

Departament Energii Stanów Zjednoczonych zgodził się ze wszystkimi powyższymi zaleceniami organu kontrolnego. GAO wskazało, że określanie kamieni milowych i etapów pośrednich w dziedzinie odbudowy krajowej produkcji Pu-238 jest warunkiem niezbędnym, by móc oceniać postępy w realizacji tego zadania. Takie podejście jest zdaniem urzędników *Government Accountability Office* niezbędne, ażeby:

- wskazywać priorytety,
- efektywnie gospodarować posiadanymi zasobami,
- w razie potrzeby modyfikować podejmowane działania i wcielane w życie plany.

Bez narzędzi oceny wzrostu produkcji promieniotwórczego izotopu i odpowiedniej komunikacji DOE z NASA, długofalowe plany kosmiczne Agencji mogą być, zdaniem GAO, narażone na szwank.



The Forrestal Building, siedziba DOE. Fot. Departament Energii USA

W odpowiedzi na rekomendację nr 1 Departament Energii oznajmił, że jest w trakcie implementacji nowego podejścia do zarządzania produkcją, pod hasłem *Constant Rate Production*. Ta nowa strategia zakłada lepsze dokumentowanie postępów w wytwarzaniu Pu-238 oraz jest w większym stopniu ukierunkowana na potrzeby NASA w tym zakresie. *Constant Rate Production* ma zostać wdrożona do września 2018 r.

Ustosunkowując się do drugiego zalecenia DOE zapewnił, że współpraca i komunikacja z NASA w kwestii zagrożeń dla produkcji plutonu będą sukcesywnie ulepszone, który to proces potrwa do września 2019 r. Z kolej w odpowiedzi na rekomendację nr 3 Departament Energii USA zapewnił, że w swoich zamierzeniach i działaniach będzie uwzględniał systemowe ryzyka dla programu.

Inne wyzwania dla programów NASA

Nawet przy założeniu, że ilość dostępnego plutonu-238 będzie w zupełności wystarczająca, na decyzję agencji kosmicznej USA w kwestii organizacji misji wykorzystującej izotop mogą wpływać też inne czynniki - przykładowo - duży koszt takiego przedsięwzięcia. Z wypowiedzi decydentów wynika, że koszt sondy kosmicznej wyposażonej w RTG jest na tyle duży, iż Agencja może ze swojego budżetu finansować co najwyżej jedną taką misję na cztery lata. Sytuację mógłby w tej kwestii poprawić postęp technologiczny i związane z nim zwiększenie efektywności użytkowanych radioizotopowych generatorów termoelektrycznych. Przykładowo, zaawansowany generator radioizotopowy Stirlinga, nad którym trwają prace, będzie potencjalnie zdolny wytworzyć tyle samo energii elektrycznej co tradycyjny RTG, wykorzystując do tego celu zaledwie $\frac{1}{4}$ porcji Pu-238, jakiej wymagałoby klasyczne urządzenie tego typu.

Należy przy tym zaznaczyć, że jeszcze dziesięć lat temu prognozowane roczne zapotrzebowanie NASA na pluton-238 sięgało aż 5 kg. Wynikało to z realizacji obowiązującego wówczas programu Constellation, który zakładał dużą liczbę załogowych lotów kosmicznych, w tym m. in. szeroką eksplorację Księżyca przez amerykańskich astronautów. Program Constellation anulował na przełomie pierwszej i drugiej dekady obecnego stulecia Barack Obama. Już rok później szacunkowa ilość Pu-238 potrzebnego NASA w skali roku spadła z 5 do 1,5 kg, czyli do poziomu docelowej rocznej produkcji tego surowca, jaki Departament Energii chce osiągnąć pomiędzy 2023 a 2026 r.

Zapotrzebowanie na promieniotwórczy izotop może się znów istotnie zwiększyć, o ile amerykańscy decydenci będą chcieli wrócić do koncepcji załogowych podróży na Srebrny Glob. Wiele wskazuje, że [administracja prezydenta Donalda Trumpa będzie podążać właśnie w tym kierunku](#).

W tym momencie nie podejmujemy żadnych założeń dotyczących zapotrzebowania [na pluton-238] dla załogowej eksploracji [kosmosu]. Jeśli stwierdzimy, że Pu-238 stanowi wartość dla lotów załogowych, [wtedy] prawdopodobnie będzie to wymagało zwiększenia produkcji.

David Schurr, zastępca dyrektora NASA Planetary Science Division

Europa stawia na ameryk

Obecnie plutonu-238 właściwie nie sposób kupić na światowym rynku. Jak wspomniano, Rosja go nie sprzedaje, a Stany Zjednoczone same borykają się z deficytem tego materiału na własne potrzeby. W zaistniałej sytuacji Europa zdecydowała się postawić na alternatywne źródło zasilania radioizotopowych generatorów elektrycznych w swoich przyszłych sondach kosmicznych - ameryk-241 (Am-241). Izotop ten dziś stosuje się chociażby w wykrywaczach dymu, w ilości 0,3 mikrograma na egzemplarz takiego urządzenia.



Pojemnik na ameryk-241 w wykrywaczu dymu. Fot. domena publiczna

Okres połowicznego zaniku dla Am-241 wynosi 432,2 roku, co jest czasem wystarczającym jak na potrzeby misji kosmicznych. Niemniej, w porównaniu do plutonu-238, ameryk-241 cechuje się pewnymi wadami. Przede wszystkim mniejszą efektywnością. Wydajność termiczna Pu-238 wynosi 570 W/kg, podczas gdy dla Am-241 jest to tylko 115 W/kg. To oznacza, że 4 kg izotopu plutonu, które wystarczają, by zasilać przemierzający powierzchnię Marsa łazik Curiosity, trzeba by zastąpić aż 15-20 kilogramami izotopu ameryku.

W przypadku załogowych misji kosmicznych Am-241 jest też źródłem promieniowania groźniejszego dla ludzkiego zdrowia niż Pu-238.

Pluton-238 jest emitorem [cząstek] alfa, a przed cząstkami alfa można osłonić się kawałkiem papieru. [Tkanki] ludzi uszkadzają neutrony, a ameryk jest w większym stopniu emitorem neutronów niż pluton-238.

Jim Adams, zastępca dyrektora NASA Planetary Science Division w latach 2007-2012

Niewątpliwą jednakże zaletą Am-241, przemawiającą na jego korzyść w stosunku do Pu-238, jest jego zdecydowanie niższa cena. Wedle szacunków ekspertów Europejskiej Agencji Kosmicznej 10 lat eksploatacji laboratorium, zdolnego produkować 10 kg izotopu ameryku rocznie, to koszt rzędu kilkudziesięciu mln USD. Natomiast koszt działania przez dekadę analogicznego zakładu produkcyjnego dla izotopu plutonu wyniósłby kilkaset mln USD.

Jak można przeczytać na stronach polskiego Ministerstwa Energii: „Brytyjskie Narodowe Centrum Badań Jądrowych (National Nuclear Laboratory – NNL) podpisało kontrakt o wartości 3 mln £ z Europejską Agencją Kosmiczną, w ramach którego ma ono dostarczyć radioizotop ameryk-241 przeznaczony do zasilania badawczych sond kosmicznych.”

Władze ESA żywią nadzieję, że wykorzystanie znacznie tańszego od Pu-238 ameryku-241 umożliwi szersze zaangażowanie w badania kosmosu państwom uboższym, które nie mogą sobie pozwolić na przeznaczanie na ten cel tak dużych funduszy jak Rosja czy USA.

Czytaj też: [Skąd czerpać prąd? Źródła energii elektrycznej dla statków kosmicznych](#)