

## DR DZIAK-JANKOWSKA: ROZPĘDZONE CZĄSTKI WYSOKOENERGETYCZNE MOGĄ USZKODZIĆ SATELITĘ [WYWIAD]

---

*"Pogoda kosmiczna to szereg czynników. Jej źródłem jest Słońce i rozciąga się ona na szerokie spektrum zjawisk, które wynikają z oddziaływania naszej gwiazdy centralnej (...), powodując zmiany w radiokomunikacji oraz w łączności z satelitami." (...) "Niebezpieczne jest elektryzowanie się powierzchni satelity. Jeżeli dwie strony jego obudowy będą naelektryzowane przeciwnie, wtedy może przeskoczyć iskra, co także grozi spowodowaniem zniszczeń."* Rozmowa z dr Beatą Dziak-Jankowską, kierownikiem Pracowni Prognoz Heliogeofizycznych w Centrum Badań Kosmicznych PAN, która pełni także funkcję kierownika Regionalnego Centrum Ostrzegania Warszawa.

### **Paweł Ziemnicki: Co kryje się pod pojęciem kosmicznej pogody?**

**Dr Beata Dziak-Jankowska:** Pogoda kosmiczna to szereg czynników. Jej źródłem jest Słońce i rozciąga się ona na szerokie spektrum zjawisk, które wynikają z oddziaływania naszej gwiazdy centralnej: procesy na powierzchni Słońca, wiatr słoneczny, reakcje wiatru słonecznego z polem magnetycznym Ziemi, czyli magnetosferą. Do kosmicznej pogody zalicza się także wszystko to, co dzieje się w wyższych warstwach ziemskiej atmosfery: zmiany w pasach Van Allena, ale także niżej, w jonosferze: 60-1000 km nad powierzchnią Ziemi. To w jonosferze mamy zmiany w absorpcji promieniowania, na przykład w obszarach okołobiegunowych tworzą się zorze polarne. Obserwujemy ponadto zmianę zjonizowania cząsteczek atmosfery i wszystko to wpływa na nasze życie, powodując zmiany w radiokomunikacji oraz w łączności z satelitami.

### **Jaki jest wpływ kosmicznej pogody na infrastrukturę, którą użytkujemy na Ziemi?**

Szkodliwe działanie obserwowaliśmy już od XIX wieku. W 1859 r. wystąpił silny rozbłysk, tzw. efekt Carringtona. Bardzo silny rozbłysk na Słońcu był ponoć wtedy widoczny nawet bez użycia teleskopu. To wydarzenie doprowadziło do spalenia się wszystkich istniejących wówczas telegrafów. Dopiero później badacze zdołali ustalić, że przyczyną tej katastrofy była aktywność Słońca, związane z nią silne promieniowanie radiowe i w zakresie rentgenowskim, oraz chmura naładowanych cząstek, a co za tym idzie, indukcja prądu w telegrafach.

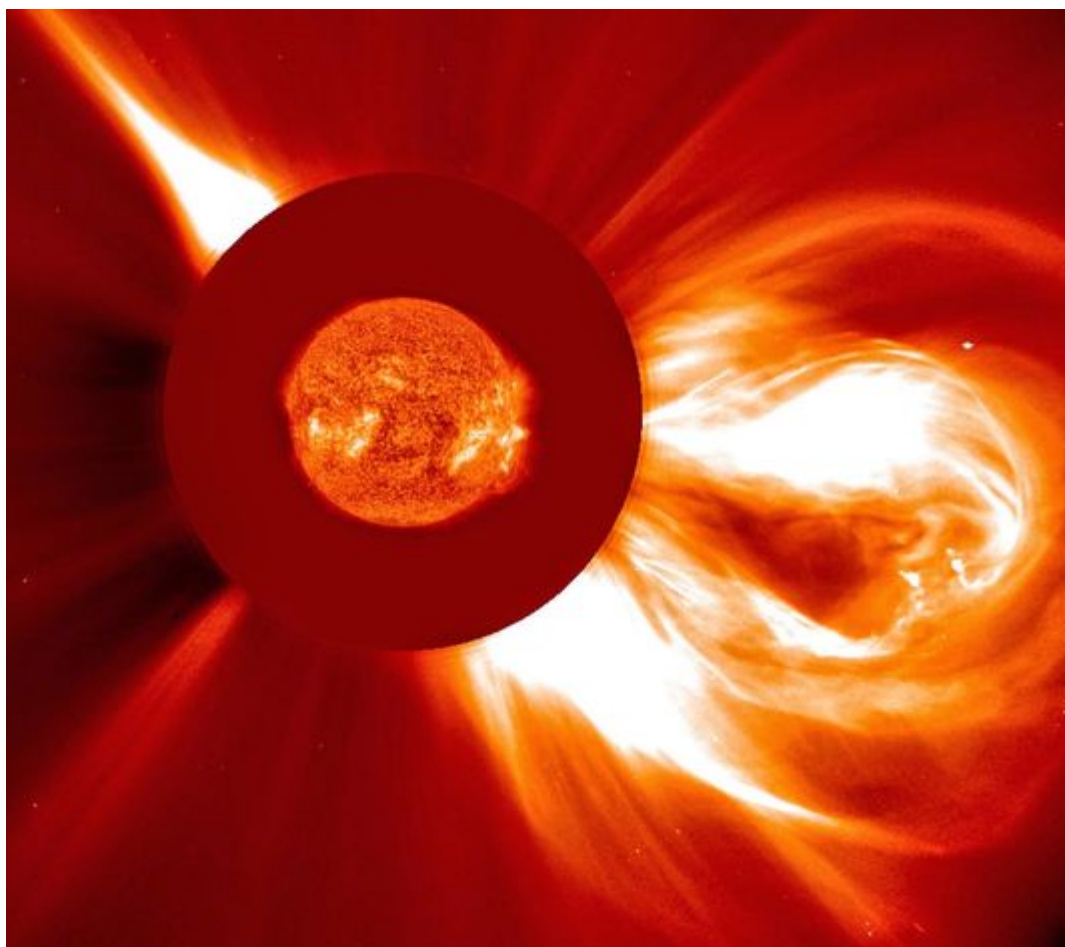
Kolejną tego typu sytuację mieliśmy już w czasach współczesnych. W 1989 r. w Quebecu nastąpiła bardzo duża awaria elektrowni. Okazało się, że miało to związek z aktywnością Słońca. Na długich liniach energetycznych wyindukowały się prądy, co doprowadziło do wysycenia w transformatorach, które się masowo przepaliły. Awaria trwała około 9 godzin.

Innym przykładem negatywnego oddziaływania pogody kosmicznej na infrastrukturę naziemną jest wzrost tempa korozji w rurociągach. Mechanizm przypomina doświadczenia, robione przez dzieci w szkole. Mamy oto roztwór z kwasem. Wkładamy do niego anodę i katodę, pomiędzy którymi

przepływa prąd. Wówczas, na katodzie osiadają cząsteczki. Przepływ prądu powoduje wytrącanie się osadu z roztworu soli. Podobnie, wzmożony napływ wiatru słonecznego, może spowodować, iż za sprawą wyindukowanego prądu na ściankach rurociągu czy ropociągu formują się kolejne warstwy osadu. Powoduje to nie tylko wzmożoną korozję, ale i zmniejszanie drożności takiego przewodu.

### **Które rodzaje aktywności Słońca odgrywają w tych procesach kluczową rolę?**

Przede wszystkim od lat obserwowano na tarczy gwiazdy centralnej aktywne obszary w postaci plam słonecznych. Są one chłodniejsze, ale jednocześnie bardziej aktywne od otoczenia. Na nich dochodzi do rozbłysków w zakresie rentgenowskim lub wybuchów w zakresie radiowym. Często towarzyszą im, choć zjawiska te nie zawsze muszą być ze sobą skorelowane, koronalne wyrzuty masy (CME - Coronal Mass Ejection). Same rozbłyski w zakresie rentgenowskim to fale elektromagnetyczne, które analogicznie jak światło widzialne docierają do nas z prędkością światła. O ich nadejściu nie możemy więc zostać w żaden sposób wcześniej uprzedzeni. Te fale absorbowane są w górnych warstwach atmosfery, gdzie dodatkowo wzmacnia się jonizacja. Właśnie w takiej sytuacji może np. nastąpić absorpcja sygnałów radiowych, podróżujących z Ziemi do satelity, w efekcie czego tracimy łączność z satelitą.



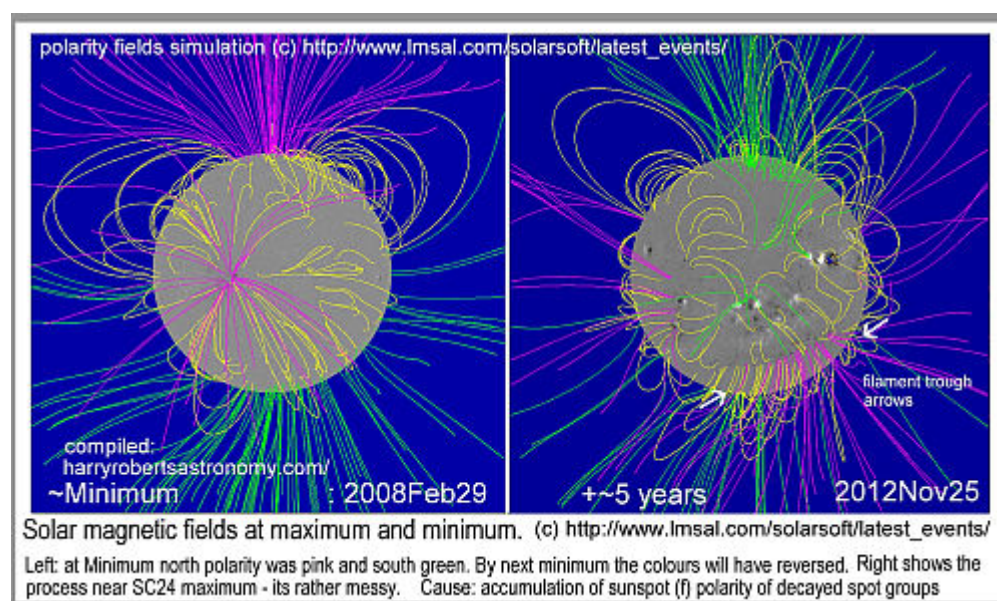
Koronalny wyrzut masy sfotografowany przez obserwatorium SOHO. Fot. ESA&NASA/SOHO

Naładowana dodatkowo chmura cząstek może się przemieszczać w jonosferze. Wtedy obserwujemy w niej przesuujące się prądy. A ponieważ zjawiska elektryczności i magnetyzmu są ze sobą powiązane, więc jeśli mamy prąd w jonosferze, który przemieszcza się nad powierzchnią Ziemi, wówczas generuje się dodatkowo wyindukowane pole magnetyczne. Wynikające z tego zmiany w ziemskim polu magnetycznym powodują indukcję dodatkowych prądów w sieciach przesyłowych na Ziemi.

### **Na czym dokładnie polega oddziaływanie Słońca na warunki na Ziemi?**

Nadciągająca od gwiazdy centralnej chmura naładowanych cząstek wpływa na zmiany w magnetosferze. Przyczyną narodzin takiej chmury może być koronalny wyrzut masy lub po prostu zmiany zagęszczenia w wietrze słonecznym. W otoczeniu naszej planety powstają wówczas burze magnetyczne. Zmiany w magnetosferze mogą generować także dodatkowe prądy w jonosferze.

Kiedy Słońce jest w aktywnej fazie swojego cyklu, wówczas obserwujemy zanik klasycznego dipolowego pola magnetycznego gwiazdy. Na jej powierzchni pojawia się w takim okresie dużo plam, wskazujących obszary szczególnie aktywne. Plamy często pojawiają się parach, gdzie jedna z nich ma biegunowość północną a druga południową. Na zdjęciach widać wtedy jak plazma porusza się wzdłuż linii pola magnetycznego wychodzącego z jednej plamy, a zanikającego w sąsiedniej plamie. Spotykamy też linie pola magnetycznego, które są otwarte. Poruszając się wzdłuż nich wiatr słoneczny ma możliwość łatwiejszej ucieczki - wyrwania się oddziaływaniu grawitacyjnemu Słońca. Ten właśnie szybki wiatr słoneczny, pochodzący z tzw. dziur koronalnych, również może powodować burze magnetyczne wokół Ziemi.



Konfiguracja pola magnetycznego Słońca w 2008 r. podczas minimum (po lewej) oraz w 2012 r. podczas maksimum aktywności słonecznej. Ilustracja: Lockheed Martin Solar and Astrophysics Laboratory

### **Które sektory gospodarki, dziedziny aktywności człowieka są szczególnie narażone na negatywny wpływ kosmicznej pogody?**

Z pewnością nawigacja satelitarna i łączność radiowa z satelitami. Także łączność radiowa w zakresach użytkowanych przez krótkofalowców. Na negatywne oddziaływania narażone są, o czym już mówiliśmy, sieci energetyczne. Należy też wspomnieć o zwiększonej korozji w ropociągach, czy innych rurociągach przesyłowych.

Oczywiście, problemy z nawigacją i dystrybucją energii elektrycznej przekładają się na szereg innych dziedzin - chociażby lotnictwo, czy transport lądowy, ale także operacje bankowe, ponieważ bankowość masowo korzysta z synchronizacji czasu w oparciu o satelity GNSS. Zaburzona komunikacja z satelitami wpływa negatywnie na bezpieczeństwo - jest takie słynne zdjęcie ukazujące dwa samoloty, które właśnie z powodu tego typu problemów, znalazły się na kursie kolizyjnym.

### **Jak kosmiczna pogoda oddziałuje na kondycję samych satelitów?**

Silnie promieniowanie czy to w postaci elektromagnetycznej, czy w postaci naładowanych cząstek, może prowadzić do wzmożonej degradacji urządzeń na orbicie. Najbardziej szkodliwe są

wysokoenergetyczne protony, obdarzone dużą masą. Mogą one bezpośrednio uszkodzić pewne instrumenty, na przykład niszczyć poszczególne piksele kamery CCD. Wrażliwe są również inne elementy elektroniczne. Niebezpieczne jest elektryzowanie się powierzchni satelity. Jeżeli dwie strony jego obudowy będą naelektryzowane przeciwnie, wtedy może przeskoczyć iskra, co także grozi spowodowaniem zniszczeń. Ze względu na tego typu czynniki występujące w przestrzeni kosmicznej z czasem spada wydajność paneli słonecznych, zapewniających statkowi energię elektryczną. Elektryzowanie satelity może wywołać samo światło, promieniowanie elektromagnetyczne, poprzez wybijanie elektronów z jego powierzchni. Należy pamiętać, że satelity krążące przykładowo 600-800 km nad Ziemią nie znajdują się w idealnej próżni, lecz w jonosferze, w górnych, rozrzedzonych warstwach atmosfery planety. Jeśli przemieszcza się tam urządzenie, wokół którego wytworzyła się dodatkowa, "własna" jonosfera, to maszyna jest szczególnie narażona na to, że dojdzie do jakiejś reakcji, potencjalnie negatywnej w skutkach.

### **Czy można wskazać jakieś spektakularne przykłady awarii z przeszłości?**

W 2010 r. komercyjny satelita telekomunikacyjny Galaxy 15 na orbicie geostacjonarnej stracił kontakt z Ziemią i zaczął wykonywać niekontrolowane ruchy. Na zatłoczonej orbicie GEO mogło to doprowadzić do wypadku. Kontrolę nad tym urządzeniem udało się odzyskać po kilku miesiącach. Inna znana sytuacja miała miejsce w 1998 r. kiedy to japoński skoczek narciarski Kazuyoshi Funaki skakał by zdobyć jeden z medali podczas igrzysk olimpijskich w Nagano. Ugięcie ziemskiej magnetosfery sprawiło, że japoński satelita telewizyjny znalazł się poza jej obszarem i w efekcie mieszkańcy Japonii nie mogli na żywo obejrzeć sukcesu swojego zawodnika.



Satelita Galaxy 15 przed wystrzeleniem. Fot. Orbital Sciences

### **Czym posługujemy się w celu prognozowania kosmicznej pogody?**

Kluczowe są dla nas informacje o tym, co dzieje się na Słońcu oraz w jego bezpośrednim otoczeniu. Zapewniają je satelity krążące wokół Słońca, lub te zgromadzone w punkcie Lagrange'a L1, czyli bezpośrednio na drodze pomiędzy gwiazdą a Ziemią. Jeśli chodzi o koronalne wyrzuty masy, to obecnie tylko częściowo umiemy je prognozować. Gdy mamy do czynienia z nadciągającą w naszym kierunku chmurą naładowanych cząstek, szczególnie pożądaną informacją jest ta o polu

magnetycznym, jakie ów obłok ze sobą niesie. Wiedząc to jesteśmy w stanie oszacować, na ile silna będzie burza magnetyczna, kiedy ta chmura dotrze do naszej magnetosfery. Jeżeli dociera do nas plazma o polu magnetycznym skierowanym w tym samym kierunku, co pole magnetyczne Ziemi, to magnetosfera się jedynie minimalnie odkształca i strumień wiatru słonecznego łatwo minie planetę. Zakłócenia, jakich możemy doświadczyć będą niewielkie.

Jeśli natomiast plazma, która dolatuje od Słońca, ma bieguny skierowane przeciwnie w stosunku do pola magnetycznego Ziemi, wtedy dochodzi do zjawiska rekoneksji - rozszczepienia magnetosfery. Linie pola magnetycznego zanikają z przodu, od strony Słońca, i są zdmuchiwane do ogona magnetosfery. Ochronna otoczka naszej planety zostaje od strony gwiazdy mocno spłaszczona. W efekcie satelity mogą znaleźć się poza obszarem chronionym przez ziemską magnetosferę.

Natomiast to, czego doświadczamy wówczas na powierzchni Ziemi wynika z wydarzeń w ogonie magnetosfery. To nie jest tak, że chmura cząstek od Słońca bezpośrednio dociera do oświetlonej w danym momencie przez Słońce części planety. Rozzerwane "z przodu" linie pola magnetycznego są, jak wspomniałam, zdmuchiwane do ogona. Tam, z powodu kolejnego spłaszczenia, znów dochodzi do rekoneksji. Uwalniana jest energia i cząstki właśnie z tego, "tylnego" obszaru magnetosfery po liniach pola magnetycznego wchodzą w obszary okołobiegunowe, toteż mamy do czynienia z zorzą polarną.

Informacje o właściwościach nadciągającej chmury naładowanych cząstek otrzymujemy na 40-60 minut przed jej uderzeniem w pole magnetyczne naszej planety.

### **Jaką rolę pełnią w tym prognozowaniu urządzenia naziemne?**

Są one przydatne z punktu widzenia badań jonosfery i pola magnetycznego. Bardzo wiele rzeczy dzieje się tutaj lokalnie. Przykładowo, burza magnetyczna, która ma miejsce w obszarach polarnych, nie zawsze rozchodzi się na strefę średnich szerokości geograficznych, nie mówiąc już o terenach zwrotnikowych. Jeszcze bardziej lokalny charakter niż wydarzenia w magnetosferze mają zjawiska zachodzące w jonosferze. Stacja badawcza w Warszawie może zarejestrować coś, co w Moskwie będzie już niedostrzegalne. Do obserwowania jonosfery służą jonosondy, których działanie opiera się na przesyłaniu sygnału radiowego w górę i rejestrowaniu jak powraca on po odbiciu. Zmiany jonosfery można także mierzyć za pomocą systemu GPS. Mierzy się zawartość elektronów w "tunelu" pomiędzy satelitą a odbiornikiem na Ziemi - jednak w tym przypadku możemy jedynie oszacować całkowitą zawartość elektronów, bez możliwości wyodrębnienia rozkładu dla poszczególnych warstw, na różnych wysokościach. Do mierzenia zmian pola magnetycznego planety wykorzystujemy magnetometrię.

### **Czy oprócz tego, że Słońce może nam zaszkodzić, to także nas chroni?**

Patrząc szerzej, już nie z perspektywy samej Ziemi, ale całego Układu Słonecznego, należy stwierdzić, że jak najbardziej tak. Mniejsza aktywność Słońca oznacza dla nas zmniejszoną ochronę ze strony heliosfery przed promieniowaniem kosmicznym, pochodzącym z Galaktyki. Ono może nieść ze sobą dużo większe energie, powodujące innego typu reakcje w atmosferze. Tego typu zmiany obserwują klimatolodzy pogody kosmicznej, zajmujący się modelowaniem kosmicznej pogody w długich horyzontach czasowych. Podsumowując można powiedzieć, że choć generalnie niska aktywność słoneczna jest dla nas pożądana, to też nie jest to stan do końca bezpieczny, gdyż mamy automatycznie do czynienia ze zwiększonym promieniowaniem kosmicznym.



Stanowisko pracy kierownika Regionalnego Centrum Ostrzegania Warszawa. Fot.: archiwum Beaty Dziak-Jankowskiej

## **Możemy wskazać Polski wkład w globalną wymianę informacji dotyczących kosmicznej pogody?**

Angażujemy się w to już od lat 70-tych XX wieku. Ojcem tego przedsięwzięcia był profesor dr hab. Zbigniew Kłos, a kontynuowała je profesor dr hab. Iwona Stanisławska, obecna dyrektor CBK PAN. Założyli Regionalne Centrum Ostrzegania (Regional Warning Center – RWC) Warszawa. W latach 80-tych stworzono światową sieć ISES - International Space Environment Service. Obejmuje ona szereg Regionalnych Centrów Ostrzegania. Zgodnie z "konstytucją" ISES wszystkie RWC za darmo udostępniają swoje dane i pobierają je od innych podmiotów, które przesyłają swoje pomiary. Wśród innych znanych Regionalnych Centrów Ostrzegania można wskazać np. oddział NOAA w Boulder, placówki zlokalizowane m. in. w Moskwie i Pradze, a także w odległych krajach jak Australia, Chiny czy Brazylia. Polskie RWC było drugim otwartym na świecie, zaraz po australijskim. Po wejściu Polski do ESA staramy się angażować w programy Agencji dotyczące Space Situational Awareness (SSA). Bierzymy udział w tworzeniu portalu internetowego, gromadzącego w jednym miejscu wszystkie dane o parametrach pogody kosmicznej istotnych dla operatorów satelitów.

**Dziękuję za rozmowę.**