

Wpływ pogody kosmicznej na bezpieczeństwo przesyłania i przechowywania informacji elektronicznych

Wstęp

W roku 1837 Amerykanin Samuel F.B. Morse opracował pierwszy, wydajny telegraf elektryczny oparty na prostym systemie krótkich i długich sygnałów elektrycznych (kropek i kresek), który potem został nazwany alfabetem Morse'a. W ciągu trzech następnych dekad system telegrafu znacznie udoskonalono, zaś sieci transmisyjne osiągnęły łączną długość kilkunastu tysięcy kilometrów i pokryły wiele krajów europejskich, azjatyckich i obu Ameryk. W roku 1866 transatlantycką linią telegraficzną połączono zachodnie wybrzeża Irlandii z Nową Funlandią, rozpoczynając erę komunikacji elektrycznej.

Nowa technologia rozwijana w wielu miejscach na świecie w niedługim czasie od momentu narodzin została poddana poważnej próbie. 1 września 1859 roku angielski astronom-amator Richard Carrington zaobserwował gigantyczny rozbłysk na Słońcu poprzedzony pojawieniem się licznych plam słonecznych. Był to tak zwany *koronalny wyrzut masy (CME)*, który wystrzelił w przestrzeń kosmiczną obłok naładowanych elektrycznie cząstek. Dotarły one do Ziemi po upływie 18 godzin, powodując szereg zjawisk w przestrzeni okołoziemskiej oraz na powierzchni Ziemi. Zaobserwowano intensywne zorze polarne na średnich szerokościach geograficznych (np. w okolicach Hawajów) oraz indukcję prądów o znacznym natężeniu w liniach telegraficznych. Mimo odłączenia od zasilania telegrafem, można był przesyłać informacje, zaś wyindukowany prąd doprowadził do awarii licznych urządzeń, a nawet pożarów na skutek zapalenia się papieru od iskiek. W epoce, gdy prąd elektryczny wykorzystywany był w ograniczonym zakresie, zniszczeniu ulegały elementy wrażliwe na prądy indukcyjne, czyli linie telegraficzne. W obecnych czasach zjawisko o skali, którą zaobserwował Carrington, wywołałoby globalną w skutkach awarię systemów elektrycznych i energetycznych, telekomunikacyjnych i sieci komputerowych, nie wspominając o awariach poszczególnych urządzeniach elektrycznych. Szacuje się, że usunięcie jej skutków w samych Stanach Zjednoczonych wymagałoby nakładów w granicach 0.6-2.6 trylionów USD (Lloyds, 2013), zaś okres przywrócenia sprawności urządzeń i infrastruktury technicznej do stanu sprzed awarii trwałby od czterech do dziesięciu lat (Sanders, 2015).

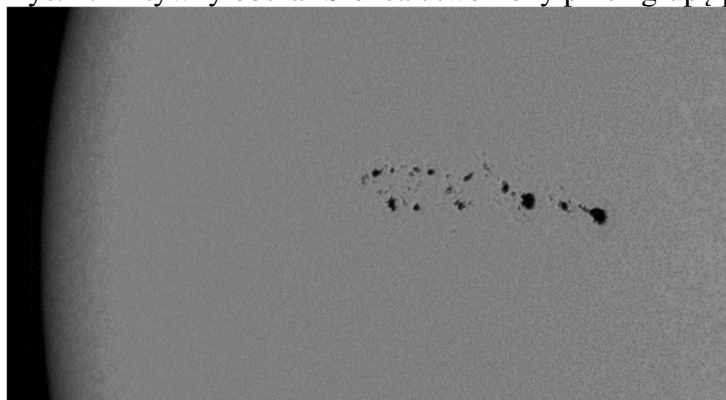
W rozważaniach o bezpieczeństwie informacyjnym, aspekt naturalnych czynników wpływających na jakość przekazu informacji, bezpieczeństwo gromadzonych zasobów danych oraz odporności infrastruktury informatycznej na awarie jest często i zdaniem autora niesłusznie pomijany. Jednym z takich czynników jest tak zwana *pogoda kosmiczna*, czyli „... zespół zmiennych w czasie, wzbudzonych aktywnością Słońca zjawisk na powierzchni Ziemi i w przestrzeni okołoziemskiej, które wyróżnia to, że mają, podobnie jak pogoda atmosferyczna, bezpośredni wpływ na nasze życie codzienne” (Popielawska, 2002, s. 306).

W artykule przedstawiono wybrane informacje z zakresu procesów kształtujących pogodę kosmiczną ze zwróceniem szczególnej uwagi na te zjawiska, które mają największy wpływ na infrastrukturę informatyczno-komunikacyjną oraz teleinformatyczną. Omówiono zjawisko burzy kosmicznej, odnotowane przypadki jej wystąpienia oraz pomiaru jej siły. Przedyskutowano również najistotniejsze zagrożenia wynikające z wpływu pogody kosmicznej na przekaz i gromadzenie informacji elektronicznych.

Pogoda kosmiczna

Strumień energii wysyłanej przez Słońce, od ultrafioletu do podczerwieni, jest praktycznie stały. Drobne fluktuacje i systematyczne zmiany w cyklu 11-letnim mają amplitudę sięgającą max 2 promili całkowitego strumienia. Za pogodę kosmiczną w największym stopniu odpowiadają struktury na Słońcu, w których zachodzi proces gromadzenia, a następnie emisji energii, głównie w zakresie krótko- i długofalowym, połączonej niejednokrotnie z intensywną emisją naładowanych cząstek i podmuchów wiatru słonecznego. Emisja ta jest związana z niewielkimi w skali powierzchni Słońca *obszarami aktywnymi*, których czas życia jest zwykle dłuższy niż jeden miesiąc. Są one zbudowane z *plam słonecznych*, tj. chłodniejszych niż otoczenie miejsc o wyjątkowo silnej koncentracji pola magnetycznego (Rys. 1). W obszarach tych następuje ogrzewanie materii słonecznej do temperatur rzędu milionów Kelwinów i długotrwałej, intensywnej emisji promieniowania ultrafioletowego i promieniowania X oraz promieniowania w zakresie fal radiowych. Sporadycznie dochodzi również do *rozbłysków*, czyli uwolnienia energii w postaci promieniowania w całym zakresie spektrum elektromagnetycznego połączonego z wyrzutem w przestrzeń kosmiczną naładowanych cząstek i materii słonecznej. Poziom promieniowania w czasie rozbłysków może tysiącrotnie przewyższyć poziom promieniowania spokojnego Słońca a ponad stukrotnie poziom promieniowania z obszarów aktywnych. W okresach maksymalnej aktywności Słonecznej taki rozbłysk zdarza się średnio raz na tydzień.

Rys. 1. Aktywny obszar Słońca utworzony przez grupę plam słonecznych.



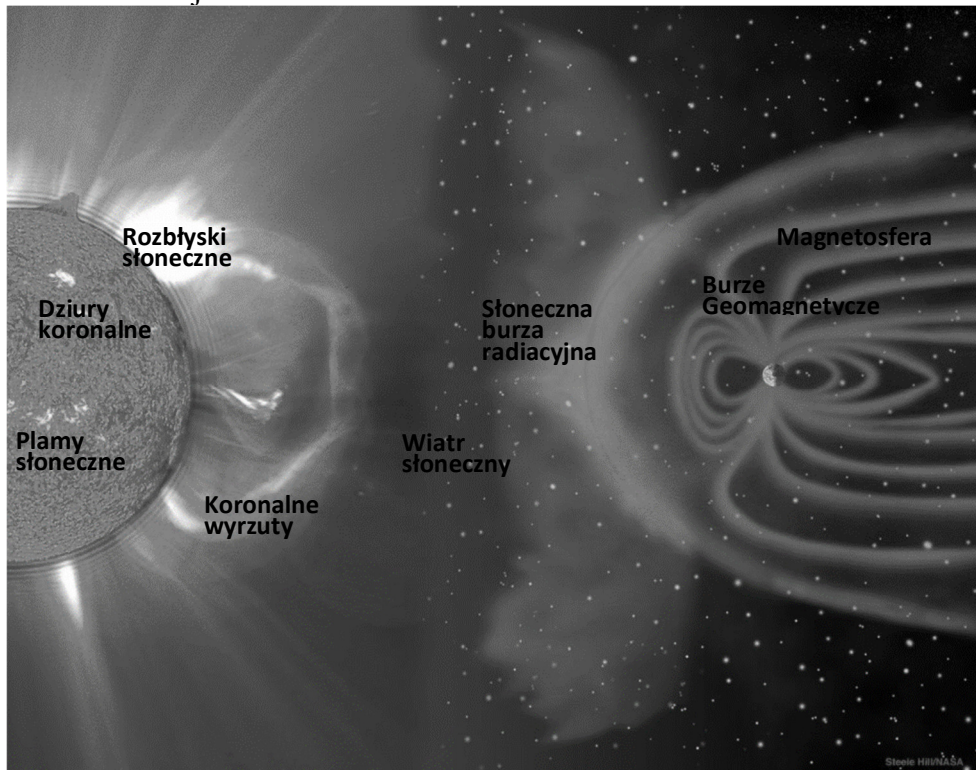
Źródło: Murtagh, B. (2016) tryb dostępu: <http://slideplayer.com/slide/10852217/>

Procesy zachodzące na powierzchni Słońca pozostają w ścisłej współzależności z procesami, jakie mają miejsce w jego atmosferze. Jej dolna część to *chromosfera* osiągająca temperaturę do 20 tys. K. Powyżej rozciąga się zewnętrzna część atmosfery zwana *koroną słoneczną*, która osiąga u podstawy temperaturę miliona stopni. W chromosferze zaobserwować można między innymi, ukształtowane przez silne pole magnetyczne Słońca i wynoszone wysoko ponad jego powierzchnię, dynamicznie zmienne chmury gęstej, chłodniejszej niż otoczenie materii zwane protuberancjami. Z kolei w koronie słonecznej mają swoje źródło struktury takie jak wstęgi, pętle i dziury koronalne. Kształtują one wiatr słoneczny unoszący w przestrzeń kosmiczną cząsteczki i mniejsze elementy materii słonecznej. Wiatr słoneczny rozprzestrzeniający się z prędkościami kilkuset kilometrów na sekundę osiąga największe natężenie we wspomnianych już koronalnych wyrzutach masy (CME). Czas dotarcia CME ze Słońca na Ziemię wynosi kilka dni, ale zaobserwowano, dla niektórych z najbardziej intensywnych burz, przybycie w czasie krótszym niż 18 godzin.

Opisane powyżej procesy i struktury dynamiczne zachodzące na powierzchni i w atmosferze Słońca są bezpośrednią przyczyną szeregu zjawisk w otoczeniu Ziemi, na i pod jej powierzchnią, które mają bezpośredni wpływ na przesyłanie i gromadzenie informacji

cyfrowych oraz na infrastrukturę komunikacyjną. Do najważniejszych należą burze magnetyczne, słoneczne burze radiacyjne oraz rozbłyski słoneczne (Rys. 2) (NOAA, 2017).

Rys. 2. Poglądowy obraz ilustrujący procesy zachodzące na Słońcu i w przestrzeni okołozemskiej



Źródło: NOAA, Space Weather Prediction Center (2016) tryb dostępu: <http://www.swpc.noaa.gov/phenomena>

Burza magnetyczna jest głównym zaburzeniem magnetosfery Ziemi, które występuje w warunkach skutecznej wymiany energii pomiędzy wiatrem słonecznym a otoczeniem Ziemi. Burze to rezultat zmienności wiatru słonecznego, którego następstwem są duże zmiany w prądach, plazmie i polu magnetycznym Ziemi. Warunki, które sprzyjają tworzeniu burz geomagnetycznych (trwających od kilku do wielu godzin) to wysoka prędkość wiatru słonecznego oraz kierunek pola magnetycznego wewnątrz wiatru słonecznego przeciwny do kierunku magnetosfery Ziemi (od strony Słońca). Największe burze magnetyczne są związane z koronalnymi wyrzutami masy, gdy miliardy ton plazmy wraz z wbudowanym polem magnetycznym, przybywa na Ziemię.

Słoneczna burza radiacyjna to słoneczny wybuch magnetyczny na dużą skalę, powodujący niejednokrotnie wyrzut masy koronowej i powiązany z rozbłyskiem słonecznym, który przyspiesza naładowane cząstki w atmosferze słonecznej do bardzo dużych prędkości. Najważniejszymi cząstkami są protony, które mogą być przyspieszone do 1/3 prędkości światła (100 000 km / sek). Przy tych prędkościach, protony mogą przemierzać 150 mln km od Słońca do Ziemi w ciągu zaledwie 30 minut. Po dotarciu do Ziemi, mogą przeniknąć magnetosferę, która osłania Ziemię przed naładowanymi cząstkami niższych energii. Po wejściu do środka magnetosfery, cząstki są prowadzone wzdłuż linii pola magnetycznego tak, że przenikają one atmosferę w pobliżu północnego i południowego bieguna.

Z kolei *rozbłyski słoneczne* to krótkie wybuchy intensywnego promieniowania o wysokiej energii z powierzchni Słońca, związane z plamami słonecznymi i powodujące

zakłócenia elektromagnetyczne na Ziemi (w tym zakłócenia komunikacji i transmisji radiowych).

Jak wspomniano zjawiska składające się na pogodę kosmiczną były monitorowane od połowy XIX wieku. Do chwili obecnej Ziemia doświadczyła kilkudziesięciu burz słonecznych o ekstremalnie wysokim natężeniu związanych z koronalnymi wyrzutami masy (CME). Ostatnie zdarzenie miało miejsce w 2003 roku i trwało od połowy października do pierwszych dni listopada, z maksimum 29-30 października, kiedy to zorza polarna była obserwowana w krajach śródziemnomorskich (Weaver et al., 2004). Burza spowodowała uszkodzenie kilku satelitarnych systemów łączności, uszkodzenie sieci energetycznej w Szwecji czy zniszczenie kilku satelitów prowadzących badania pogody kosmicznej (np. ACE i SOHO).

Warto również nadmienić, że znacznie większy rozbłysk powiązany z gigantycznym CME miał miejsce 23 lipca 2012 roku. Ocenia się jego siłę na podobną do burzy obserwowanej przez Carringtona w 1859 roku (Baker et al., 2013). Strumień naładowanych cząstek i promieniowania w tym wypadku nieznacznie minął Ziemię.

Monitoring i ostrzeżenie

Procesy zachodzące na Słońcu i bezpośrednio ponad jego powierzchnią są w sposób ciągły obserwowane i monitorowane. Zajmują się tym różne organizacje i instytucje między innymi Europejska Agencja Kosmiczna (ESA) i Amerykańska Narodowa Służba Oceaniczna i Meteorologiczna (NOAA). W ramach tej drugiej wyodrębniono Centrum Prognoz Pogody Kosmicznej (SWPC), które na bieżąco dostarcza informacji o stanie pogody kosmicznej poprzez obserwację zjawisk w fotosferze, chromosferze i koronie słonecznej a także modelowanie i prognoza zjawisk na Słońcu kształtujących pogodę kosmiczną, modelowanie rozprzestrzeniania się zaburzeń ze Słońca do Ziemi oraz ich oddziaływanie z magnetosferą Ziemi.

NOAA jest twórcą skali, przy pomocy której oceniana jest siła zaburzeń „pogody kosmicznej” oraz potencjalnych następstw w odniesieniu do systemów energetycznych, orbitalnych systemów satelitarnych i lotnictwa, radiofonii i nawigacji (NOAA, 2017). Dla każdego z trzech zjawisk (burzy magnetycznej, burzy radiacyjnej i rozbłysku słonecznego) wyróżnia się pięć kategorii siły każdego z tych trzech zjawisk (od najsilniejszej do najsłabszej).

Dla burz magnetycznych kategorie zmieniają się od G5 do G1. Do kategoryzacji jest używany indeks Kp, który w sposób ilościowy, w skali od minimalnej wartości 1 do maksymalnej 9 opisuje amplitudę fluktuacji poziomej składowej pola magnetycznego Ziemi (Bartels et al., 1939), zaś o intensywności i zasięgu zórz decyduje szerokość geomagnetyczna. Dla Polski wynosi ona od 45 do 50 stopni.

Wyróżnia się:

- burza kategorii G5 - burza ekstremalna, pojawia się przy wzroście indeksu Kp do 9. Występowanie zórz polarnych występuje do 40 stopnia szerokości geomagnetycznej lub jeszcze bardziej w kierunku równika (praktycznie cała środkowa Europa, aż po północne granice Włoch czy Hiszpanii). Średnio występuje 4 razy w ciągu cyklu słonecznego (i sumarycznie trwa 4 dni w cyklu) (1 cykl = 11 lat).

- burza kategorii G4 - burza ciężka, pojawia się przy wzroście indeksu Kp do 8. Występowanie zórz polarnych zawęża się do 45 stopnia szerokości geomagnetycznej. Możliwe występowanie zjawiska nad całą Polską i licznymi regionami Europy Środkowej. Średnio występuje 100 razy w ciągu cyklu słonecznego (i sumarycznie trwa 60 dni w cyklu).

- burza kategorii G3 - burza silna, pojawia się przy wzroście indeksu Kp do 7. Występowanie zórz polarnych ogranicza się do 50 stopnia szerokości geomagnetycznej.

Możliwe występowanie zórz nad północną Polską. Ten typ burzy pojawia się średnio 200 razy w ciągu cyklu słonecznego (i sumarycznie trwa 130 dni w cyklu).

- burza kategorii G2 - burza umiarkowana, pojawia się przy wzroście indeksu Kp do 6. Występowanie zórz polarnych ogranicza się najczęściej do terenów położonych na szerokości geomagnetycznej większej niż 55 stopni. W praktyce zorze nie są widoczne w Polsce. Średnio występuje 600 razy podczas całego cyklu słonecznego (i sumarycznie trwa 360 dni w cyklu).

- burza kategorii G1 - burza słabej siły, zachodzi przy wzroście indeksu Kp do 5. To najniższy stopień skali. Występowanie zórz polarnych wywołanych podczas takiej burzy najczęściej ogranicza się do rejonów biegunowych i okołobiegunowych. Średnio występuje 1700 razy podczas całego cyklu słonecznego, i sumarycznie trwa 900 dni na cykl.

W *słonecznych burzach radiacyjnych* dochodzi do rozbłysków o znacznej energii. Gdy taka burza promieniowania dociera do Ziemi, może powodować zakłócenia łączności bądź pogorszenie jakości sygnałów radiowych. Samoloty pasażerskie na wysokich szerokościach geograficznych zmuszane zostają do zejścia na niższe pułapy w celu utrzymania kontaktu z kontrolą naziemną, satelity mogą przestać działać lub ulegać usterkom i intensywnej korozji, astronauta podczas spacerów w otwartej przestrzeni kosmicznej narażeni są na niebezpieczną dawkę promieniowania. Wyróżnia się następujące kategorie burz radiacyjnych:

- burza kategorii S5 - burza ekstremalna - strumień jonów o energii $E \geq 10^5$ MeV. Występuje średnio rzadziej niż 1 raz w cyklu słonecznym.

- burza kategorii S4 - burza ciężka - strumień jonów o energii $E \geq 10^4$ MeV. Występuje średnio 3 razy w cyklu słonecznym.

- burza kategorii S3 - burza silna - strumień jonów o energii $E \geq 10^3$ MeV. Występuje średnio 10 razy w cyklu słonecznym.

- burza kategorii S2 - burza umiarkowana - strumień jonów o energii $E \geq 10^2$ MeV. Występuje średnio 25 razy w cyklu słonecznym.

- burza kategorii S1 - burza słaba - strumień jonów o energii $E \geq 10$ MeV. Występuje średnio 50 razy w cyklu słonecznym.

Z kolei podczas trwania najmocniejszych *rozbłysków słonecznych*, zdarza się emitowanie w przestrzeń silnie naładowanych elektrycznie jonów, elektronów, protonów, powodujące zakłócenia lub całkowite przerwy w działaniu urządzeń radiowych na powierzchni Ziemi oraz innych systemów elektronicznych wykorzystujących sygnał GPS. Awarie takie występują zazwyczaj na tej części globu ziemskiego, która znajduje się w strefie dnia podczas trwania takiego rozbłysku. W zależności od siły rozbłysku, jego skierowania w stosunku do Ziemi oraz właściwości materii wyrzucanej w rozbłysku, wyróżnić można pięć podstawowych klas takich rozbłysków.

- rozbłysk stopnia R5 – ekstremalny. Występowanie przy rozbłyskach silniejszych od klasy X20.0. W ciągu cyklu słonecznego pojawia się średnio mniej niż jeden raz.

- rozbłysk stopnia R4 – ostry. Występowanie przy rozbłyskach silniejszych od klasy X10.0. W ciągu cyklu słonecznego pojawia się średnio 8 razy i trwa łącznie również przez 8 dni w ciągu cyklu.

- rozbłysk stopnia R3 – silny. Występowanie przy rozbłyskach silniejszych od klasy X1.0. W ciągu cyklu słonecznego pojawia się średnio 175 razy, a trwa łącznie przez 140 dni w ciągu cyklu.

- rozbłysk stopnia R2 – umiarkowany. Występowanie przy rozbłyskach silniejszych od klasy M5.0. W ciągu cyklu słonecznego pojawia się średnio 350 razy, a trwa łącznie przez 300 dni w ciągu cyklu.

- rozbłysk stopnia R1 – słaby. Możliwe występowanie przy rozbłyskach silniejszych od klasy M1.0. W ciągu cyklu słonecznego pojawia się średnio 2000 razy, a trwa łącznie przez 950 dni w ciągu cyklu.

Możliwe skutki oddziaływania na infrastrukturę techniczną

Jak wspomniano, większość dynamicznych składowych pogody kosmicznej ma wpływ na wiele aspektów życia na Ziemi. Można wśród nich wyróżnić te, które są bezpośrednio związane z technologiami informatyczno-komunikacyjnymi lub z technologiami warunkującymi ich działanie. Wymienić należy:

- systemy zasilania w energię elektryczną
- systemy satelitarne
- radiofonię i telewizję
- sieci komputerowe
- telefonię naziemną

W każdym wypadku rozpatrujemy zarówno infrastrukturę złożoną z urządzeń jak również niezbędne do działania zasoby informacyjne (np. w postaci baz danych). W kolejnych tabelach (Tab. 1, Tab. 2. i Tab. 3) przedstawiono możliwe skutki działania burz magnetycznych, słonecznych burz radiacyjnych i rozbłysków słonecznych na wymienione powyżej elementy infrastruktury.

Tab. 1. Skutki oddziaływania burz magnetycznych o różnym natężeniu na infrastrukturę techniczną

skala	Skutki oddziaływania burz magnetycznych
G5	Systemy zasilania: występuje całkowita utrata kontroli nad systemem energetycznym i jego destrukcja. Zniszczenie większości transformatorów. Powszechny brak zasilania. Działanie satelitów: mogą wystąpić rozległe ładowania powierzchni, problemy z orientacją, komunikacją i śledzeniem satelitów. Inne: propagacja fal radiowych HF może być niemożliwa na wielu obszarach od jednego do dwóch dni, nawigacja satelitarna przestaje działać na okres kilku dni, podobnie jak radio niskiej częstotliwości.
G4	Systemy zasilania: może nastąpić utrata kontroli nad częścią systemu energetycznego. Działanie satelitów: orientacja będzie wymagać korekt, może wystąpić ładowanie całych powierzchni i problemy ze śledzeniem. Inne: propagacja fal HF możliwa jedynie sporadycznie, nawigacja satelitarna przestaje działać na okres kilku godzin, radio niskiej częstotliwości działa z przerwami.
G3	Systemy energetyczne wymagają napraw. Liczne fałszywe alarmy systemów zabezpieczających przed przepięciami. Działanie satelitów: może wystąpić ładowanie niektórych elementów satelitów, orientacja będzie wymagać korekt, problem z obniżaniem orbit. Inne: sporadyczne problemy z nawigacją satelitarną i z radiami HF i niskiej częstotliwości
G2	Dla długotrwałych burz możliwe zniszczenia transformatorów. Liczne fałszywe alarmy systemów zabezpieczających przed przepięciami na dużych szerokościach geomagnetycznych. Działanie satelitów: orientacja będzie wymagać korekt z centrów sterowania, problem z obniżaniem orbit. Inne: radio HF może na dużych szerokościach geomagnetycznych przerywać działanie.
G1	Systemy energetyczne: fluktuacje mocy. Działanie satelitów: wpływ niewielki.

Źródło: Opracowanie własne na podstawie <http://www.swpc.noaa.gov/noaa-scales-explanation>

Tab. 2. Skutki oddziaływania słonecznych burz radiacyjnych o różnym natężeniu na infrastrukturę techniczną

skala	Skutki oddziaływania
S5	Działanie satelitów: satelity mogą stawać się bezużyteczne, zaburzenia systemów pamięci mogą powodować utratę kontroli. Poważne szумы i zakłócenia na detektorach satelitów wykonujących fotografie. Możliwe trwałe uszkodzenia baterii słonecznych. Inne systemy: całkowity blackout fal radiowych HF w strefie szerokości okołobiegunowych z możliwością poszerzenia do wysokich szerokości geograficznych. Znaczne błędy systemów nawigacyjnych mogą praktycznie uniemożliwić jakąkolwiek nawigację.
S4	Działanie satelitów: mogą występować problemy z systemami pamięci, znaczne szумы na detektorach satelitów wykonujących fotografie. Duże degradacje efektywności baterii słonecznych. Inne systemy: blackoutu fal radiowych HF w strefie szerokości okołobiegunowych, możliwe zwiększone błędy systemów nawigacyjnych na czas kilku dni.
S3	Działanie satelitów: pojedyncze błędy w systemach elektronicznych, szумы na detektorach satelitów wykonujących fotografie, możliwe trwałe uszkodzenia elementów i detektorów nieosłoniętych przed promieniowaniem, spadek napięcia w bateriach słonecznych. Inne systemy: zdegradowana propagacja radiowa na falach HF w strefie szerokości okołobiegunowych, prawdopodobne błędy systemów nawigacyjnych we wskazywaniu poprawnej pozycji.
S2	Działanie satelitów: możliwe rzadkie zaburzenia, raczej w charakterze pojedynczych zdarzeń. Inne systemy: mały wpływ na propagację fal HF w strefie szerokości okołobiegunowych.
S1	Działanie satelitów: brak. Inne systemy: niewielkie zaburzenia sygnałów radiowych na wysokich częstotliwościach (HF) w strefie szerokości okołobiegunowych.

Zródło: Opracowanie własne na podstawie <http://www.swpc.noaa.gov/noaa-scales-explanation>

Tab. 3. Skutki oddziaływania rozbłysków słonecznych o różnym natężeniu na infrastrukturę techniczną

skala	Skutki oddziaływania
R5	Nawigacja satelitarna: systemy niskich częstotliwości nie działają przez wiele godzin. Zwiększone błędy satelitarnych systemów nawigacyjnych na całej nasłonecznionej powierzchni, a strefa przerwy może rozprzestrzeniać się częściowo nawet nad rejony znajdujące się w strefie nocy (nieosłonecznionej). Radio HF: pojawia się przerwa radiowa na wszystkich, również wysokich częstotliwościach, w całej strefie nasłonecznionej i utrzymuje się co najmniej przez kilka godzin. Powoduje m.in. całkowity zanik komunikacji radiowej z jednostkami morskimi i powietrznymi.
R4	Nawigacja satelitarna: dochodzi do całkowitego wyłączenia systemów pracujących na niskich częstotliwościach, co powoduje

	zwiększenie błędu pozycjonowania na okres od jednej do dwóch godzin. Możliwe również drobne zakłócenia nawigacji satelitarnej na terenach nasłonecznionych. Radio HF: komunikacja radiowa zostaje przerwana na większości z terenów nasłonecznionych podczas rozbłysku, na czas trwania od jednej do dwóch godzin.
R3	Nawigacja satelitarna: sygnały nawigacyjne niskich częstotliwości są degradowane przez około godzinę. Radio HF: obejmuje szerokie rejony (w strefie nasłonecznionej) z przerwami radiowymi na czas około godziny.
R2	Nawigacja satelitarna: sygnały nawigacyjne na niskich częstotliwościach są degradowane na czas do kilkudziesięciu minut. Radio HF: porównywalne przerwy jak przy systemach nawigacyjnych, możliwe utraty kontaktu radiowego do kilkudziesięciu minut.
R1	Nawigacja satelitarna: sygnały nawigacyjne niskich częstotliwości są degradowane w krótkich odstępach czasu. Radio HF: słabe lub nieznaczne pogorszenie komunikacji HF po stronie nasłonecznionej, sporadyczne utraty kontaktu radiowego.

Źródło: Opracowanie własne na podstawie <http://www.swpc.noaa.gov/noaa-scales-explanation>

Osobnego omówienia wymaga wpływ ekstremalnych zmian pogody słonecznej na naziemne sieci telefonii komórkowej. Generalnie systemy stosujące synchronizację stacji nadawczych opartą na wykorzystaniu globalnego systemu nawigacji satelitarnej (GNSS) są znacznie bardziej podatne na zakłócenia związane z wpływem wszystkich trzech wymienionych powyżej zaburzeń pogody kosmicznej (Cannon, 2013). W przeciwieństwie do nich sieci opierające synchronizację nie tylko na GNSS, lecz równolegle wykorzystujące lokalne zegary rubidowe lub cezowe pozwalają na pracę w trakcie burzy trwającej przez ponad trzy doby. Większość sieci komórkowych w USA, Europie i na Bliskim Wschodzie jest sieciami pierwszego typu. W przeciwieństwie do nich sieci w Wielkiej Brytanii (poza cyfrową radiotelefonią opartą na standardzie TETRA) są bardziej odporne na zakłócenia, gdyż ich budowa opiera się na standardzie drugiego typu.

Podsumowanie

Niestety, nie opracowano do tej pory metod przewidywania burz słonecznych. Mimo intensywnych badań teoretycznych i prowadzonych obserwacji zarówno z powierzchni Ziemi jak i z pokładów satelitów realizujących misje słoneczne nie można przewidzieć ani miejsca, ani czasu pojawienia się obszarów aktywnych na powierzchni Słońca, dających początek anomalii pogody kosmicznej. Jedno jest pewne – wcześniej lub później te anomalie na pewno wystąpią. Trudno tym samym nazwać wysiłki podejmowane w wielu krajach na świecie działaniami na wyrost lub bezcelowymi. Powszechnie dostępna w serwisach internetowych informacja dotycząca stanu pogody kosmicznej i dostarczane na bieżąco informacje o pojawiających się anomaliach pozwalają na podejmowanie niezbędnych kroków chroniących na przykład osoby na pokładach samolotów. Zabezpieczenie infrastruktury telekomunikacyjnej i energetycznej musi być wykonane znacznie wcześniej i wymaga określonych nakładów inwestycyjnych. Pozwoli to uniknąć nie tylko znacznie większych szkód w infrastrukturze, lecz również gwarantuje bezpieczeństwo transmisji i gromadzenia danych elektronicznych.

Praca sfinansowana z badań statutowych AGH nr 11.11.140.613

Bibliografia

- Baker, D. N.; X. Li; A. Pulkkinen; C. M. Ngwira; M. L. Mays; A. B. Galvin; K. D. C. Simunac (2013). *A major solar eruptive event in July 2012: Defining extreme space weather scenarios*. Space Weather. 11 (10): 585–591.
- Bartels, J., Heck, N.H. & Johnston, HF. (1939). *The three-hour range index measuring geomagnetic activity*. Geophysical Research, 44, 411–454.
- Cannon, P. (red) (2013). *Extreme space weather: impacts on engineered systems and infrastructure*. Royal Academy of Engineering. Dostęp: 05.01.2017. Tryb dostępu: www.raeng.org.uk/spaceweather
- Lloyd's report, (2013), *Solar Storm Risk to the North American Electric Grid*. Dostęp: 05.01.2017. Tryb dostępu: <http://www.lloyds.com/news-and-insight/risk-insight/library/natural-environment/solar-storm>
- NOAA Space Weather Scales*, National Oceanic and Atmospheric Administration, Space Weather Prediction Center, Dostęp: 05.01.2017. Tryb dostępu: <http://www.swpc.noaa.gov/noaa-scales-explanation>
- Popielawska, B., (2002) *Pogoda kosmiczna – bardzo przyziemna sprawa*. Publs. Inst. Geophys. Pol. Acad. Sc., M-25 (347).
- Sanders, R. (2015) *Fierce solar magnetic storm barely missed Earth in 2012*, Dostęp: 05.01.2017. Tryb dostępu: <http://newscenter.berkeley.edu/2014/03/18/fierce-solar-magnetic-storm-barely-missed-earth-in-2012/>
- Usoskin, Ilya G.; Gennady A. Kovaltsov (2012). *Occurrence of Extreme Solar Particle Events: Assessment from Historical Proxy Data*. The Astrophysical Journal. **757** (92): 1–6.
- Michael Weaver, (editor), (2004) *Halloween space weather storms of 2003*, NOAA Technical Memorandum OAR SEC-88. Dostęp: 05.01.2017. Tryb dostępu: http://www.nuevatribuna.es/media/nuevatribuna/files/2016/10/28/2004_noaa_halloweenstorms2003_assessment.pdf.

Wpływ pogody kosmicznej na bezpieczeństwo przesyłania i przechowywania informacji elektronicznych

Influence of the space weather on transmission and storage of electronic information

Aktywność Słońca (wybuchy plazmy i uderzenia wiatru słonecznego) indukuje szereg zjawisk na powierzchni Ziemi i w przestrzeni okołozemskiej. Zjawiska te mogą znacznie zakłócać działanie naziemnych i orbitalnych urządzeń elektronicznych oraz systemów teleinformatycznych do przesyłania i przechowywania informacji elektronicznych. Artykuł omawia najważniejsze typy burz słonecznych i ich wpływ na bezpieczeństwo informacji związane z uszkodzeniami sieci energetycznych i satelitów telekomunikacyjnych oraz naziemnych sieci komputerowych i telefonicznych.

Sun activity (eruptions and Sun wind blows) induces a lot of phenomena on Earth surface and in circumterrestrial space. These phenomena can considerably interfere operation of surface or orbital electronic equipment and telecommunication systems used for transmission and storage of electronic information. The most important solar storms and its influence on information safety is discussed in the article. The possible damages on electrical power grid, telecommunication satellites and terrestrial telephone and computer networks are presented also.

Pogoda kosmiczna, burza słoneczna, zniszczenia urządzeń

Space weather, solar storm, equipment damage