

Headquarters

10. Ion Ionescu de la Brad Blvd., PO Box 18-90

013813 Bucharest, Romania

phone: (+4021) 208 31 00

fax: (+4021) 230 24 42

AFTN: LRBBRTYD

e-mail: romatsa.office@romatsa.ro

www.romatsa.ro

AIM Unit

Phone: +40.21.232.56.99; Fax: +40.21.208.99.16; AFS: LRBBYOYX

Web: www.aisro.ro; E-mail: ais@aisro.ro; ais@romatsa.ro

A I C

A05/23
15 JUL 2023

EFFECTS OF EXTREME SPACE WEATHER ON GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEMS (GNSS)

1. Preliminary

The term space weather refers to conditions on the Sun, solar wind, and Earth's magnetosphere, ionosphere, and thermosphere that can affect the performance and reliability of space and ground-based technological systems. Ionospheric disturbances on a small scale can lead to fluctuations in the received satellite signal, so-called signal scintillations. Within GNSS, this reduces the positioning accuracy. Particularly, strong events can even lead to a loss-of-lock between satellite and receiver, which can delay or completely invalidate a positioning solution. Every GNSS user is affected, especially users with high demands on accuracy, integrity, availability, and continuity. During major events the irregularities may extend over a substantial part of the globe for several days.

The sun also has a direct effect on GNSS. Disturbances in the Sun's corona can create solar radio bursts that may cause an increase in the level of radio frequency (RF) noise in the GNSS frequency band(s), thereby affecting the reception of signals from all satellites in view on the dayside of the Earth. In some rare cases, the intensity and frequency band of a solar radio burst can cause GNSS receivers to temporarily lose all satellite signals. Experience has shown that these events may last up to an hour. The vulnerability of receivers to such events is highly dependent on their design. While geodesy receivers have been observed to lose all signals for several minutes, so far no significant impact has been detected on aviation receivers.

GNSS Required Navigation Performance (RNP) operations are always based on the use of integrity monitoring systems, such as RAIM (Receiver Autonomous Integrity Monitoring) and Fault Detection and Exclusion (FDE) techniques for operations down to Non-Precision Approach. SBAS (Satellite Based Augmentation System) and GBAS (Ground Based Augmentation System) use differential techniques to minimise residual errors thereby improving accuracy and these include integrity monitoring to reduce the likelihood of hazardous misleading information. However, users of GNSS without integrity monitoring, for example pilots using hand-held receivers which are not RAIM equipped, (as an aid to visual flight rules – VFR navigation) may get incorrect positional information during major or severe space weather events.

2. The aim of this Aeronautical Information Circular (AIC)

To remind to all aircraft operators and air navigation service provider about the impact of space weather on the GNSS capabilities in positioning, navigation and timing and the potential EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service) underperformance during to current solar cycle.

3. Applicability

This document is applicable to all aircraft operators, air navigation service providers and other aviation stakeholders affected by possible GNSS temporary dysfunctionalities.

4. Effective date

Upon publication, during #25 Solar cycle, especially on the estimated peak period of solar activity.

EPECTELE CONDIȚIILOR METEOROLOGICE SPAȚIALE EXTREME ASUPRA SISTEMELOR GLOBALE DE NAVIGAȚIE PRIN SATELIT (GNSS)

1. Introducere

Termenul de condiții meteorologice spațiale se referă la condițiile de pe suprafața Soarelui, vântul solar și cele din magnetosfera, ionosfera și termosfera Pământului, care pot afecta performanța și fiabilitatea sistemelor tehnologice spațiale și terestre.

Perturbațiile ionosferice la scară mică pot duce la fluctuații ale semnalului recepționat de la sateliți, așa-numitele scintilații ale semnalului. În cadrul GNSS acest lucru reduce precizia de poziționare. În special, evenimentele de mare intensitate pot duce chiar la o pierdere a conexiunii între satelit și receptor, fapt care poate întârzia sau invalida complet o soluție de poziționare. Fiecare utilizator GNSS este afectat, în mod special utilizatorii cu cerințe ridicate în ceea ce privește acuratețea, integritatea, disponibilitatea și continuitatea. În timpul evenimentelor majore, perturbațiile se pot extinde pe o parte substanțială a globului timp de câteva zile.

Soarele are, de asemenea, un efect direct asupra GNSS. Perturbațiile în coroana solară pot genera explozii radio solare care pot determina o creștere a nivelului de zgomot de radiofrecvență (RF) în benzile de frecvență GNSS, afectând astfel recepția semnalelor de la toți sateliții aflați în emisfera de pe partea de zi a Pământului. În unele cazuri rare, intensitatea și banda de frecvență a unei explozii radio solare pot face ca receptorii GNSS să piardă temporar toate semnalele satelitului. Experiența a arătat că aceste evenimente pot dura până la o oră. Vulnerabilitatea receptorilor la astfel de evenimente depinde foarte mult de proiectarea lor. Deși s-a observat că receptoarele de geodezie pierd toate semnalele timp de câteva minute, până acum nu a fost detectat niciun impact semnificativ asupra receptoarelor de aviație.

Operațiunile GNSS, cu utilizarea performanței de navigație cerute (RNP), se bazează întotdeauna pe utilizarea sistemelor de monitorizare a integrității, cum ar fi RAIM (monitorizarea autonomă a integrității receptorului) și tehnici de detectare și excludere a erorilor (FDE) pentru operările până la minime asociate apropiierilor de neprecizie. SBAS (sistemele de augmentare cu ajutorul sateliților) și GBAS (sistemele de augmentare cu ajutorul echipamentelor de la sol) folosesc tehnici diferențiale pentru a minimiza erorile reziduale, îmbunătățind astfel acuratețea, acestea incluzând și monitorizarea integrității pentru a reduce probabilitatea unor informații eronate periculoase. Cu toate acestea, utilizatorii GNSS fără monitorizare a integrității, de exemplu piloții care utilizează receptoare portabile care nu sunt echipate cu RAIM, (ca sprijin pentru regulile de zbor la vedere – navigație VFR) pot obține informații de poziție incorecte în timpul evenimentelor meteorologice spațiale majore sau severe.

2. Scopul acestei circulare de informare aeronautică (AIC)

Pentru a reaminti tuturor operatorilor de aeronave și furnizorilor de servicii de navigație aeriană despre impactul condițiilor meteorologice spațiale asupra capacităților GNSS în poziționare, navigație și sincronizare și potențiala degradare a performanțelor EGNOS (Sistemul european geostaționar mixt de navigare) în timpul ciclului solar actual.

3. Aplicabilitate

Acest document se aplică tuturor operatorilor de aeronave, furnizorilor de servicii de navigație aeriană și altor părți interesate din domeniul aviației, afectați de posibile disfuncționalități temporare ale GNSS.

4. Data intrării în vigoare

După publicare, în timpul ciclului solar nr. 25, în special pe perioada de vârf estimată a activității solare.

5. Information

According to NASA (National Aeronautics and Space Administration) and NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), who track Space Weather and the Sun's activity, we are currently in Solar cycle #25. Roughly about every 11 years, the solar magnetic field experiences cyclical variations, called solar cycles, that impact activity on the surface of the Sun. Solar cycle #25 begun around December 2019, with an expected solar maximum to occur between 2023 and 2026.

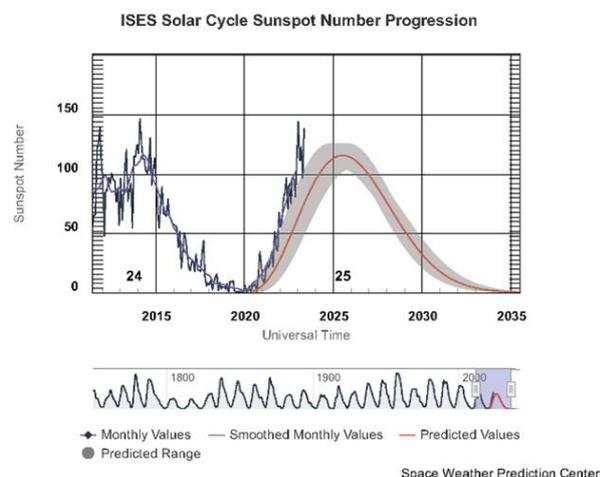
Space weather has a significant impact on the GNSS core constellation by affecting the satellites signals that the GPS depends on.

The Sun's activity produces intense bursts of high-energy particles that can cause disruptions in the Earth's upper atmosphere. When these particles collide with the Earth's magnetic field, they create disturbances known as geomagnetic storms. These storms can cause disruptions to GPS signals, affecting the accuracy and reliability of GPS.

Under geomagnetic storm, the rapid penetration of magnetospheric electric field can lead to the sharp increase of ionospheric total electron content (TEC) as well as the irregular variations of ionospheric TEC, thus affecting the performance of precise positioning and timing of GPS. In addition, the storms can interfere with the radio signals that GPS satellites use to communicate with on-board receivers, leading to signal loss or other errors.

Space weather is particularly important to consider for critical applications of GPS, such as aviation, navigation, and military operations.

The impact in EGNOS services is observed since the beginning of 2022, mainly in the North and South of Europe with regards to the normal levels of SoL APV-I & LPV-200 (both Availability and Continuity parameters) and OS performances, and has increased with the evolution of the solar cycle, reaching the highest impact so far during the first quarter of 2023. This increase is presented in the following plot, being possible to observe that the measured values are significantly higher than the predicted ones.



Since the occurrence of these underperformances is linked to the ionospheric behavior, it is not possible either to estimate the number of occurrences or to accurately forecast the evolution of this degradation.

According to the ICAO PBN Manual, the absence of service monitoring for PBN operations can be mitigated even if they are essential operations. Mitigations include the availability of pre-flight GNSS prediction services, the provision of GNSS NOTAM and real-time information to ATC provided by pilots

It is up to the operator to ensure that there is GNSS coverage for the flights he is planning. To ensure about GNSS coverage, users should use:

- on-board monitoring capabilities;
- software and tools available on the Internet (e.g. AUGUR tool);
- GNSS NOTAMs.

Three types of NOTAM are to be considered:

- GPS NOTAMs, concerning the operating status of the GPS constellation;
- RAIM NOTAMs, concerning the unavailability of the RAIM autonomous integrity monitoring function. These NOTAMs are supplied for each aerodrome for which an RNAV (GNSS) approach is published, leading to LNAV or LNAV/VNAV minima;
- EGNOS NOTAMs, concerning the unavailability of the LPV procedures, with regard to the performance of the EGNOS system. These NOTAMs are supplied for each aerodrome for which an RNAV (GNSS) approach leading to LPV minima is published.

5. Informații

Potrivit NASA (Administrația Națională Aeronautică și Spațială) și NOAA (Administrația Națională Oceanică și Atmosferică), care urmăresc condițiile meteorologice spațiale și activitatea Soarelui, ne aflăm în prezent în ciclul solar nr. 25. Aproximativ la fiecare 11 ani, câmpul magnetic solar prezintă variații ciclice, numite cicluri solare, care influențează activitatea de pe suprafața Soarelui. Ciclul solar nr. 25 a început în jurul lunii decembrie 2019, cu un maxim solar preconizat care va avea loc între 2023 și 2026.

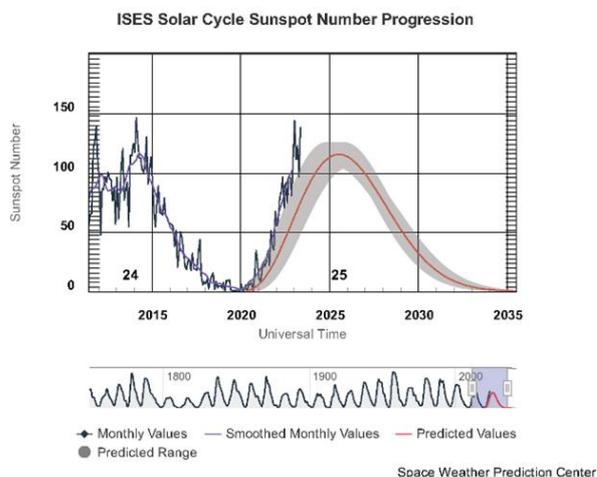
Condițiile meteorologice spațiale au un impact semnificativ asupra constelației de bază GNSS, prin afectarea semnalelor sateliților de care depinde GPS-ul.

Activitatea Soarelui produce explozii intense de particule de înaltă energie care pot provoca perturbări în atmosfera superioară a Pământului. Când aceste particule interacționează cu câmpul magnetic al Pământului, ele creează perturbări cunoscute sub numele de furtuni geomagnetice. Aceste furtuni pot cauza perturbări ale semnalelor GPS, afectând acuratețea și fiabilitatea acestuia.

În timpul furtunii geomagnetice, penetrarea rapidă a câmpului electric magnetosferic poate duce la creșterea accentuată a conținutului total de electroni ionosferici (TEC), precum și la variațiile neregulate ale TEC ionosferici, afectând astfel performanțele de poziționare precisă și sincronizare a GPS-ului. În plus, furtunile pot interfera cu semnalele radio pe care sateliții GPS le folosesc pentru a comunica cu receptoarele de la bord, ducând la pierderea semnalului sau la alte erori.

Condițiile meteorologice spațiale sunt deosebit de importante pentru aplicațiile critice ale GPS, cum ar fi aviația, navigația și operațiunile militare și trebuie luate în considerare.

Impactul în serviciile EGNOS se observă încă de la începutul anului 2022, în principal în nordul și sudul Europei, în ceea ce privește nivelurile normale ale SoL APV-I și LPV-200 (parametrii disponibilitate și continuitate), cât și în performanțele sistemului de operare și a crescut odată cu evoluția ciclului solar, atingând cel mai mare impact de până acum în cursul primului trimestru al anului 2023. Această creștere este prezentată în graficul următor, fiind posibil să se observe că valorile măsurate sunt semnificativ mai mari decât cele prognozate.



Deoarece apariția acestei degradări a performanței este legată de comportamentul ionosferic, nu este posibilă nici estimarea numărului de apariții, nici prognozarea cu exactitate a evoluției acestei degradări.

Conform manualului PBN al OACI, absența monitorizării serviciilor pentru operațiunile PBN poate fi atenuată chiar dacă sunt operațiuni esențiale. Măsurile de reducere a riscurilor includ disponibilitatea serviciilor de predicție GNSS înainte de zbor, furnizarea NOTAM-uri GNSS și informații în timp real către CTA furnizate de piloți.

Operatorul aerian trebuie să se asigure că există acoperire GNSS pentru zborurile pe care le planifică. Pentru a se asigura de acoperirea GNSS, utilizatorii ar trebui să utilizeze:

- capacități de monitorizare la bord;
- software și instrumente disponibile pe Internet (de ex. instrumentul AUGUR);
- NOTAM-uri GNSS.

Trebuie luate în considerare trei tipuri de NOTAM:

- NOTAM-uri GPS, privind starea de funcționare a constelației GPS;
- NOTAM-uri RAIM: privind indisponibilitatea funcției de monitorizare autonomă a integrității RAIM. Aceste NOTAM-uri sunt furnizate pentru fiecare aerodrom pentru care este publicată o apropiere RNAV (GNSS), cu minime LNAV sau LNAV / VNAV;
- NOTAM-uri EGNOS, privind indisponibilitatea procedurilor LPV, cu referire la performanța sistemului EGNOS. Aceste NOTAM-uri sunt furnizate pentru fiecare aerodrom pentru care este publicată o apropiere RNAV (GNSS) cu minime LPV.

For flight missions where GNSS use are predicted and desirable, during pre-flight planning, aircrews are strongly encouraged:

- to ensure the availability of the RAIM function (or any equivalent function) at the estimated time of arrival (ETA) +/-15 minutes, using either the RAIM prediction NOTAMs or the on-board equipment prediction tool or a software performing the same function as that of the on-board equipment;
- to ensure the availability of the procedure and required navigation aids, by using the SBAS NOTAMs (in Europe EGNOS NOTAMs);
- to consider the availability of ground-based navaids infrastructure with associated conventional departure, arrival and approach procedures;
- to be prepared to abort GNSS, as a primary mean of navigation, in case of detected underperformances or anomalies and resume conventional navigation based on existent solution in the area of operation and on-board capabilities;
- to use all available information sources to check the status of the GNSS core constellation and SBAS;
- to take into account the operational impact or limitations induced by the temporary unavailability of GNSS, in accordance with the MEL (Minimum Equipment List).

Anomalies reporting

From the perspective of the aircrew, a GNSS anomaly occurs when navigation guidance is lost or when it is not possible to trust GNSS guidance. In this respect, an anomaly is similar to a service outage. An anomaly may be associated with a receiver or antenna malfunction, insufficient satellites in view, poor satellite geometry or masking of signals by the airframe. The perceived anomaly may also be due to signal interference with the severe space weather phenomena, but such a determination requires detailed analysis based on all available information.

Pilot's actions may include:

- reporting the situation to ATC as soon as practicable and requesting special handling as required;
- forwarding to ATC the aircraft call sign, location, altitude and time of occurrence; and
- forwarding information to the designated authority as soon as possible, including a description of the event (e.g. how the avionics failed/reacted during the anomaly).

Ai Traffic Controller's actions may include:

- recording minimum information, including aircraft call sign, location, altitude and time of occurrence;
- attempting to identify other GNSS-equipped aircraft that may be experiencing the anomaly;
- broadcasting the anomaly report to other aircraft, as necessary;
- forwarding information to the designated authority; and
- requesting the aircrew to file a complete report in accordance with applicable procedures.

A robust conventional navigation network is available in București FIR for en-route navigation, approach and landing operations, consisting of VORs, DMEs, ILSs and NDBs.

Romanian Air Navigation Service Provider (ROMATSA) and Romanian Space Agency (ROSA) deployed ECHO project. The objective of the project is to provide the local ANSP with GNSS performance reports and real-time alerts about any issues that could affect the GNSS-based operations: interference, jamming, spoofing or GNSS signal degradation.

6. References

For more information please consult:

- ICAO Doc 9849, Global Navigation Satellite System;
- ICAO Doc 10100, Manual on Space Weather Information in Support of International Air Navigation;
- EUR Doc 025, EUR RNP APCH GUIDENCE MATERIAL;
- EGNOS SERVICE NOTICE No. 025, Potential EGNOS underperformance due to Solar Cycle.

Airspace users may access these information following the link:

- For RAIM prediction and GNSS/SBAS status,

<https://augur.eurocontrol.int/status/>

<https://egnos-user-support.essp-sas.eu/aviation-portal/aviation-dashboard>

<http://echo.roinspace.com/>

- For current GNSS related NOTAMs,

<http://www.aisro.ro/> (under Publications then NOTAM)

<https://notams.aim.faa.gov/notamSearch/nsapp.html#/>

- For information related to the GPS core constellation, Notice Advisory to Navstar Users (NANU) and EGNOS Service Notices,

<https://www.navcen.uscg.gov/gps-nanus-almanacs-opsadvisories-sof>

https://egnos-user-support.essp-sas.eu/documents/field_gc_document_type/87

- END -

Pentru misiunile de zbor în care utilizarea GNSS este prevăzută și de preferat, în timpul planificării înainte de zbor, echipajele aeronavelor sunt încurajate:

- să se asigure despre disponibilitatea funcției RAIM (sau a oricărei funcții echivalente) la ora estimată de sosire (ETA) +/-15 minute, folosind NOTAM-urile de predicție RAIM sau instrumentul de predicție a echipamentelor de bord sau a unui software-ul care îndeplinește aceeași funcție ca cea a echipamentului de bord;
- să se asigure de disponibilitatea procedurii și a mijloacelor de navigație necesare, utilizând NOTAM-urile SBAS (în Europa NOTAM-urile EGNOS);
- să ia în considerare disponibilitatea infrastructurii de navigație de la sol și a procedurilor convenționale de plecare, sosire și apropiere asociate;
- să fie pregătite pentru renunțarea la GNSS, ca mijloc principal de navigație, în cazul detectării unor performanțe degradate sau anomalii și pentru reluarea navigației convenționale, bazate pe soluții existente în zona de operare și a capacităților de la bord;
- să utilizeze toate sursele de informații disponibile pentru a verifica starea constelației de bază GNSS și SBAS;
- să ia în considerare impactul operațional sau limitările induse de către indisponibilitatea temporară a GNSS, în conformitate cu MEL (lista de echipamente minime).

Raportarea anomaliilor

Din perspectiva echipajelor, apare o anomalie GNSS atunci când soluția de navigație satelitară este pierdută sau când indicațiile de navigație cu utilizarea GNSS nu mai prezintă încredere. În acest sens, o anomalie este similară cu o întrerupere a serviciului. O anomalie poate fi asociată cu o defecțiune a receptorului sau a antenei, sateliți insuficienți în vedere, geometrie satelitară slabă sau mascarea semnalelor de către fuselaj. Anomalia percepută se poate datora și interferenței semnalului cu fenomenele meteorologice spațiale severe, dar o astfel de determinare necesită o analiză detaliată pe baza tuturor informațiilor disponibile.

Acțiunile pilotului pot include:

- raportarea situației către CTA cât mai curând posibil și solicitarea sprijinului, după cum este necesar;
- transmiterea către CTA a indicativului aeronavei, locația, altitudinea și ora apariției; și
- transmiterea informațiilor către autoritatea desemnată cât mai curând posibil, inclusiv o descriere a evenimentului (de ex. modul în care avionica a devenit indisponibilă /a reacționat în timpul anomaliei).

Acțiunile controlorului pot include:

- înregistrarea informațiilor minime, inclusiv indicativul de apel al aeronavei, locația, altitudinea și ora apariției;
- încercarea de a identifica alte aeronave echipate cu GNSS care se pot confrunta cu anomalia;
- difuzarea raportului de anomalie către alte aeronave, după caz;
- transmiterea informațiilor către autoritatea desemnată; și
- solicitarea adresată echipajului pentru a depune un raport complet în conformitate cu procedurile în vigoare.

O rețea de navigație convențională robustă este disponibilă în București FIR pentru operațiuni de navigație pe rută, apropiere și aterizare, constând din echipamente VOR, DME, ILS și NDB.

Furnizorul Român de Servicii de Navigație Aeriană (ROMATSA) și Agenția Spațială Română (ROSA) au implementat proiectul ECHO. Obiectivul proiectului este de a furniza ANSP local rapoarte de performanță GNSS și alerte în timp real despre orice probleme care ar putea afecta operațiunile bazate pe GNSS: interferență, bruijaj, falsificare sau degradare a semnalului GNSS.

6. Referințe

Pentru mai multe informații vă rugăm să consultați:

- Doc OACI 9849, Global Navigation Satellite System;
- Doc OACI 10100, Manual on Space Weather Information in Support of International Air Navigation;
- EUR Doc 025, EUR RNP APCH GUIDENCE MATERIAL;
- EGNOS SERVICE NOTICE No. 025, Potential EGNOS underperformance due to Solar Cycle.

Utilizatorii spațiului aerian pot accesa aceste informații urmând link-ul:

- Pentru predicția RAIM și starea GNSS/SBAS,

<https://augur.eurocontrol.int/status/>

<https://egnos-user-support.essp-sas.eu/aviation-portal/aviation-dashboard>

<http://echo.roinspace.com/>

- Pentru NOTAM-uri curente referitoare la GNSS

<http://www.aisro.ro/> (urmând Publications și apoi NOTAM)

<https://notams.aim.faa.gov/notamSearch/nsapp.html#/>

- Pentru informații referitoare la constelația de bază GPS, Notificări de avertizare pentru utilizatorii NAVSTAR (NANU) și Notificări de service EGNOS,

<https://www.navcen.uscg.gov/gps-nanus-almanacs-opsadvisories-sof>

https://egnos-user-support.essp-sas.eu/documents/field_gc_document_type/87

- SFÂRȘIT -