

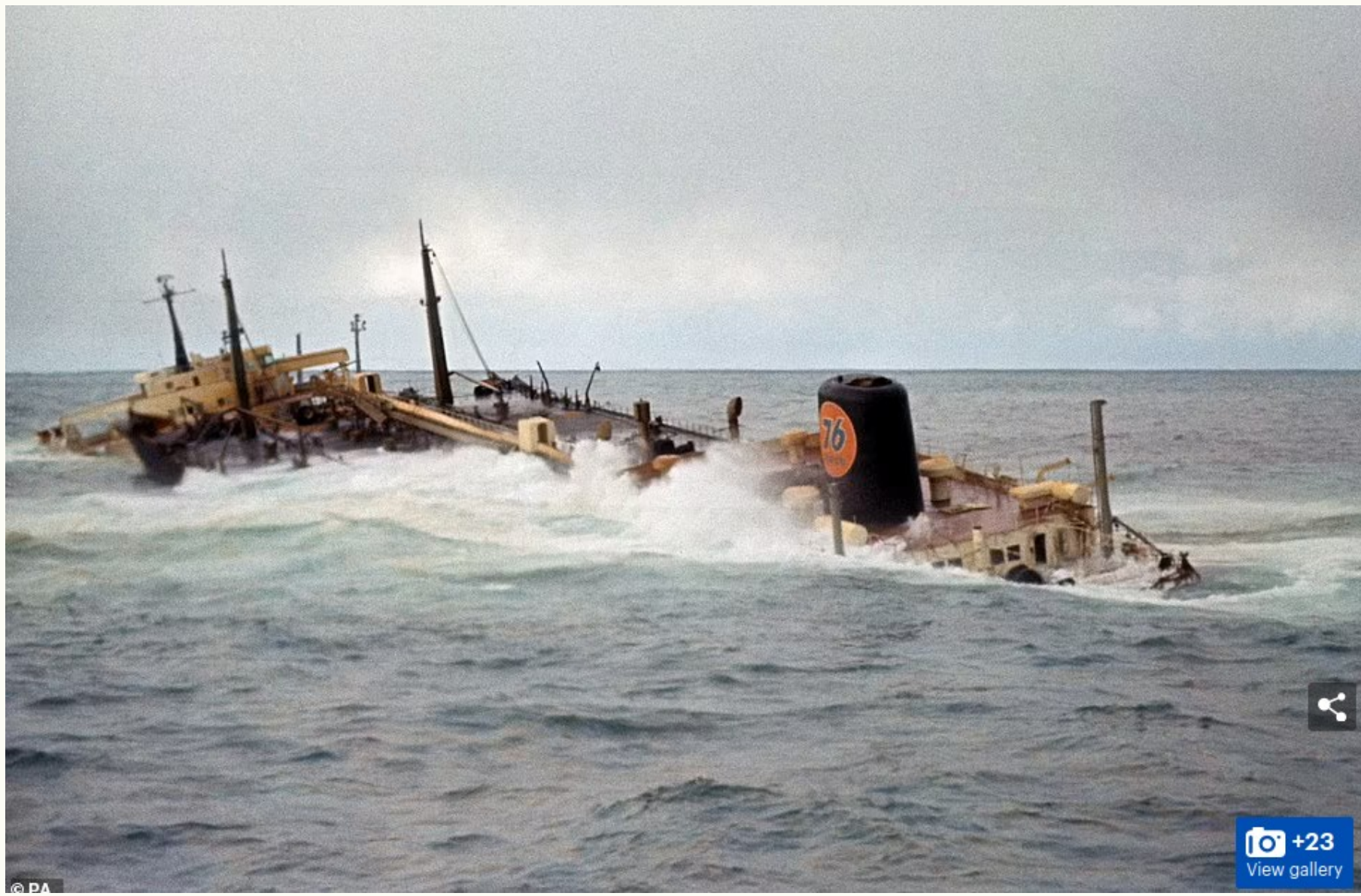
*Točnost usluge
određivanja položaja
GNSS u funkciji
okolišnih utjecaja*



Ivan Toman, dr.sc.
Zadar, ožujak 2023.



The Torrey Canyon hit rocks between the Scilly Isles and Land's End. The above graphic shows the beaches in mainland Britain, Guernsey and France that were affected



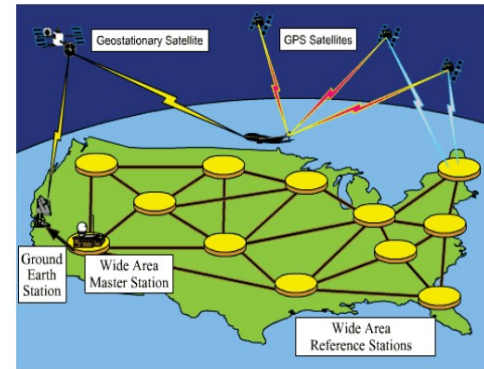
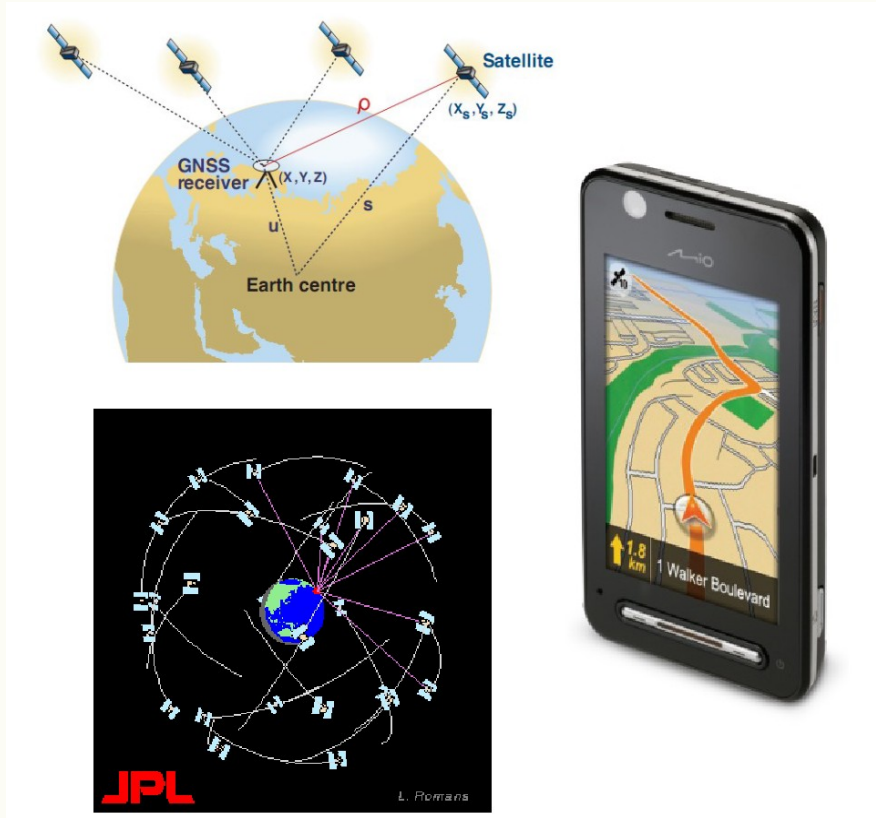
Položaj broda

- Najvažniji podatak tijekom navigacije
 - U odnosu na neki objekt/točku
 - U odnosu na koordinatni sustav
 - X, Y, Z ; ϕ, λ
- Različite metode
 - Terestrička navigacija: azimuti, radar/udaljenost, ...
 -
 - Elektronička navigacija: **GNSS**, radar, hiperbolični sustavi ...

Satelitsko određivanje položaja

- Global Navigation Satellite System (GNSS)
 - Global Positioning System (GPS)
 - GLONASS, BeiDou, Galileo
- Regionalni sustavi (npr. QZSS, IRNSS-NAVIC, ...)
- Razni podsustavi (npr. EGNOS; WAAS, ...)

Principi pozicioniranja



Principi pozicioniranja

- Tehnika “triangulacije”
 - Prijamnik mora znati:
 - Koordinate satelita, odstupanje satelitskog sata
 - Mjerenje udaljenosti:
 - Mjerenjem vremena putovanja radio signala
 - “**Pseudo**udaljenost”: kodna i fazna mjerenja

Izvori pogreški

- Kad bi mogli *točno* izmjeriti udaljenost satelita i prijamnika, tako dobiven položaj bi bio - *točan*
- U praksi to nije slučaj, zbog niza pogreški unutar sustava
 - Tehnološka ograničenja
 - Okolišni učinci

Jednadžba pseudoudaljenosti

$$p_r^s = \rho_r^s + c(dt_r - dt^s) + T_r^s + I_r^s + e_r^s$$

p_r^s pseudoudaljenost

ρ_r^s geometrijska udaljenost

c brzina svjetlosti

dt_r odstupanje sata u prijamniku od vremena sustava

dt_s odstupanje satelitskog sata od vremena sustava

T_r^s troposfersko kašnjenje signala

I_r^s ionosfersko kašnjenje signala

e_r^s ostali izvori pogreški

Zašto je to bitno?

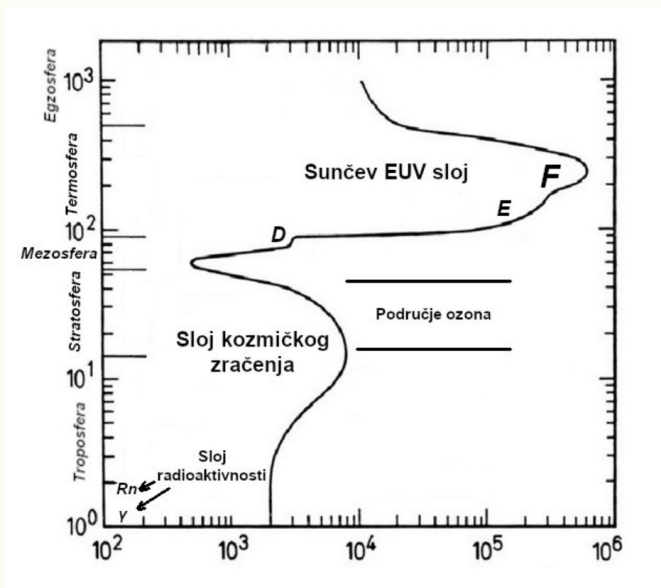
- IMO rezolucija A.915(22)
 - Zahtjevi za točnošću određivanja položaja
 - Tri kategorije:
 - Kategorija 1: odstupanje < 10 m u horizontalnoj ravnini
 - Kategorija 2: odstupanje < 1 m u horizontalnoj ravnini
 - Kategorija 3: odstupanje $< 0,1$ m u horizontalnoj ravnini

Troposfersko kašnjenje signala

- Vakuum - pravocrtno prostiranje signala
- Medij (zrak) - pojava refrakcije signala
 - Refrakciju opisuje *indeks loma*, kao funkcija:
 - **gustoće zraka** (“hidrostatska komponenta t.k.”)
 - najveći dio t.k. otpada na ovu komponentu ali se lako ispravlja
 - **sadržaja vodene pare** (“vlažna komponenta t.k.”)
 - manji dio t.k., ali mnogo teže za točnu ispravku

Ionosfersko kašnjenje signala

- Veći učinak u usporedbi s troposferskim
- Uzrok: električni naboj u atmosferi
- Ionizacija zraka



Vodeći razlozi ionizacije zraka:

- Sunčevo zračenje (EM)
- Kozmičko zračenje (α -čestice)
- Radioaktivnost iz tla (raspad radona, gama zračenje)
- Grmljavinska naoblaka

Mjera ionizacije: TEC

Učinak Sunčeve aktivnosti

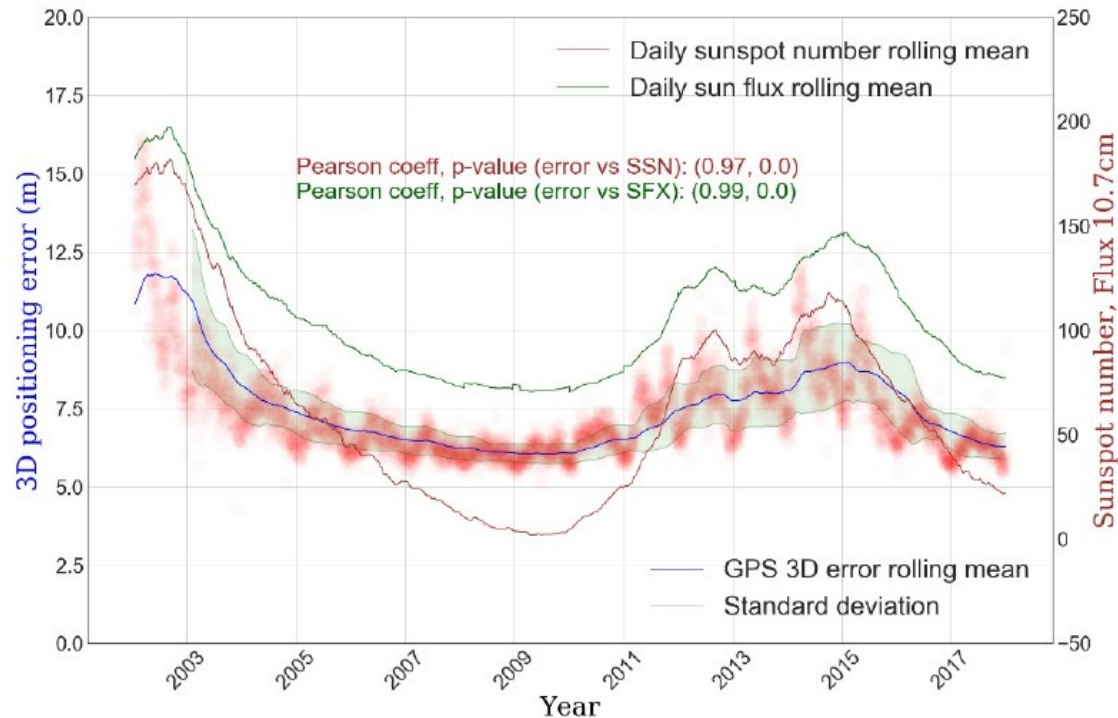
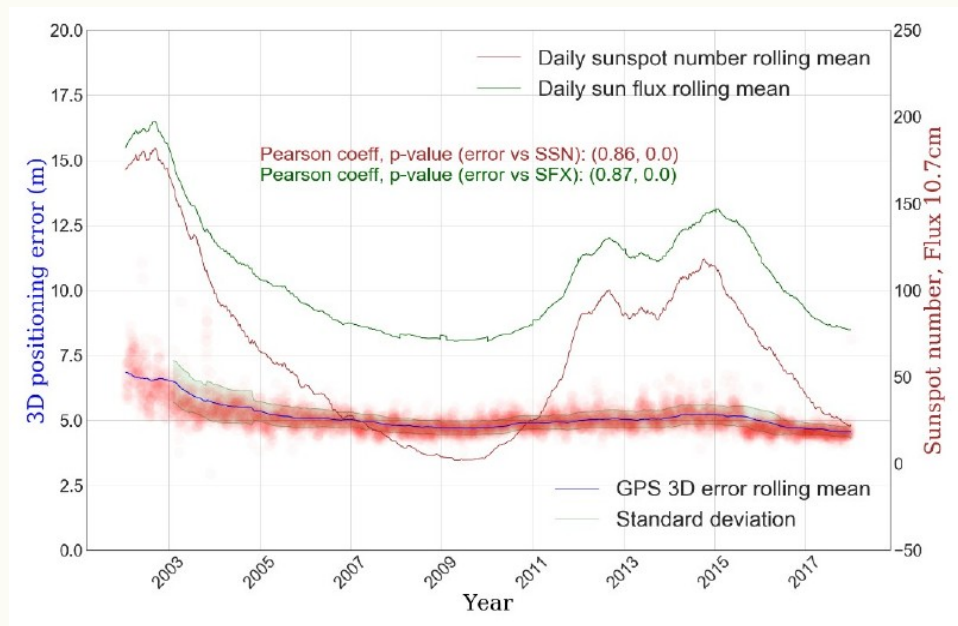
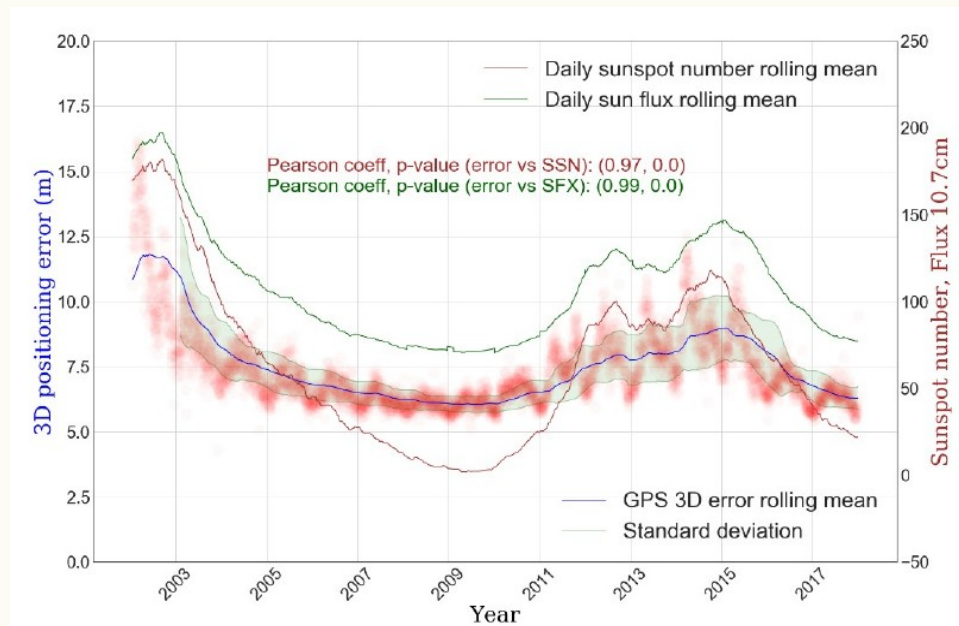


Figure 2. GPS 3D positioning error vs. solar activity (SSN and SFD) indices as observed on IGS station Graz in the period 2002 – 2018. Ionospheric correction model disabled

Sunčeve oluje



Modeliranje ionosfere



Sezonalne varijacije

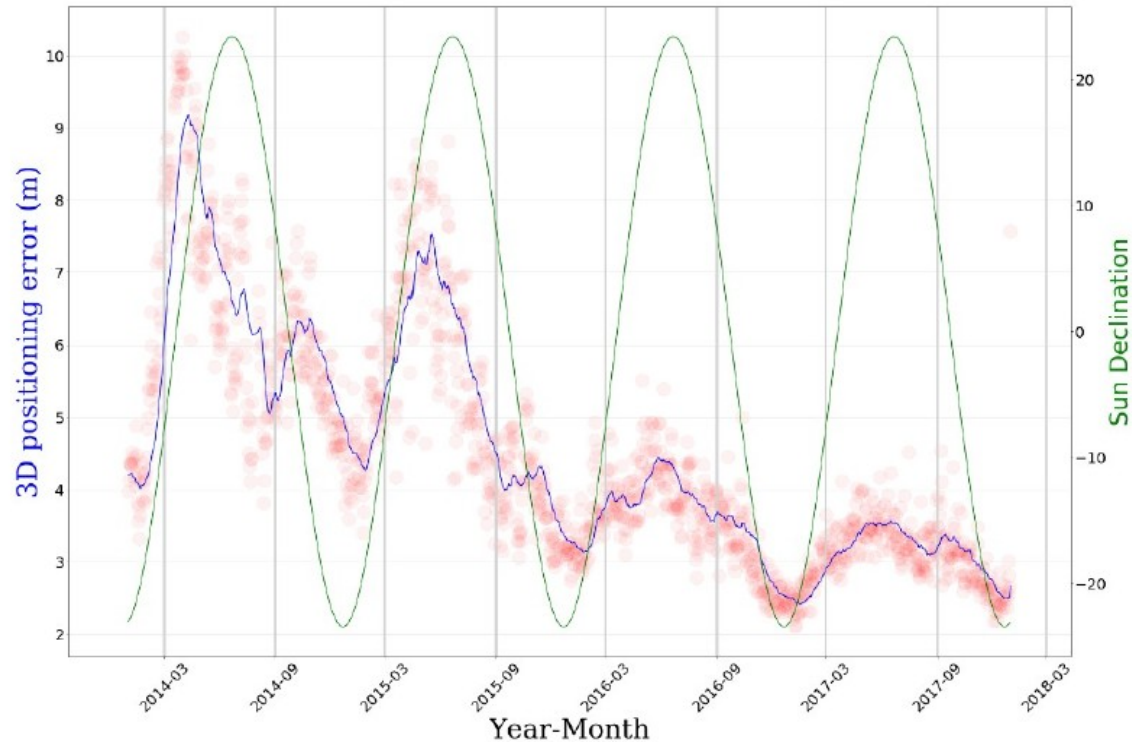
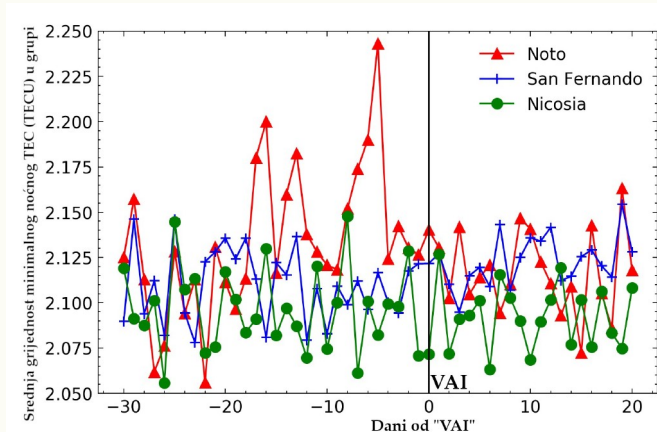
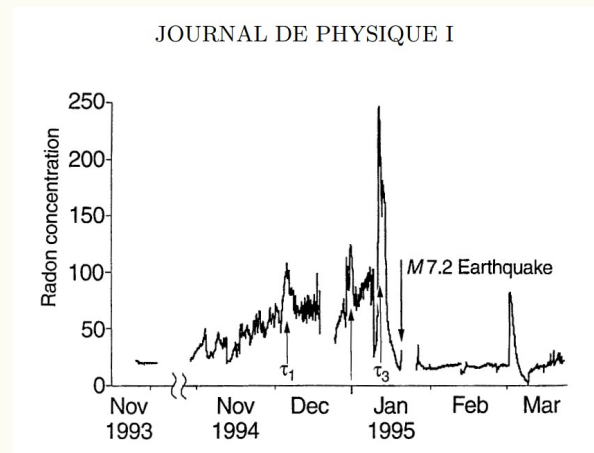
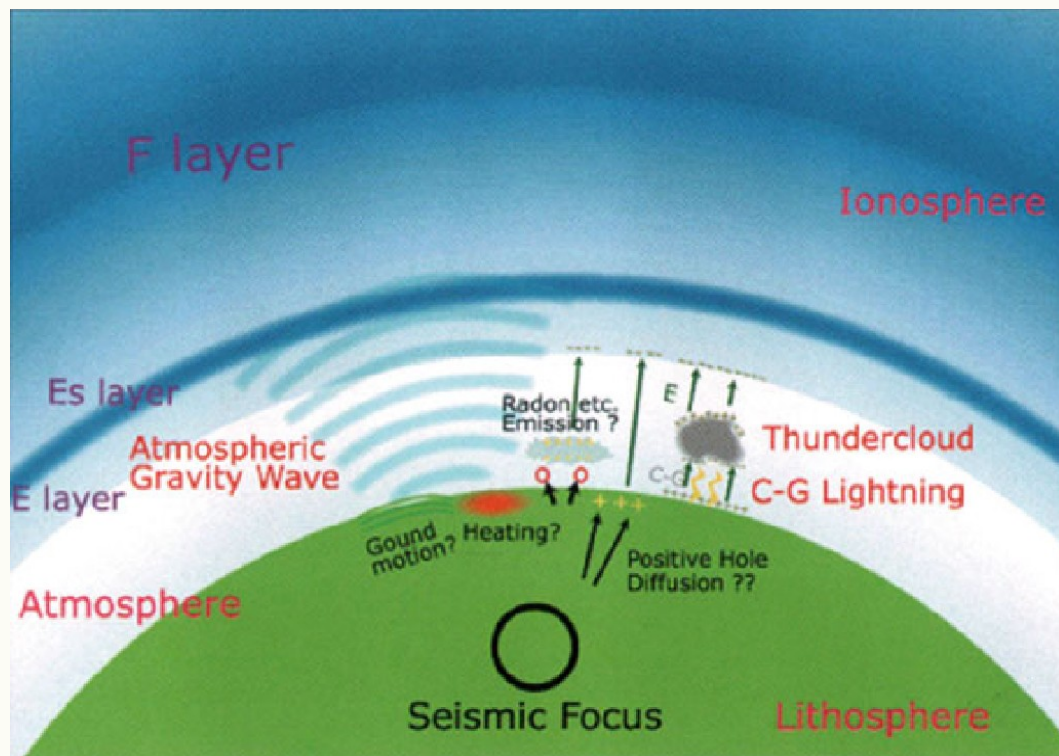
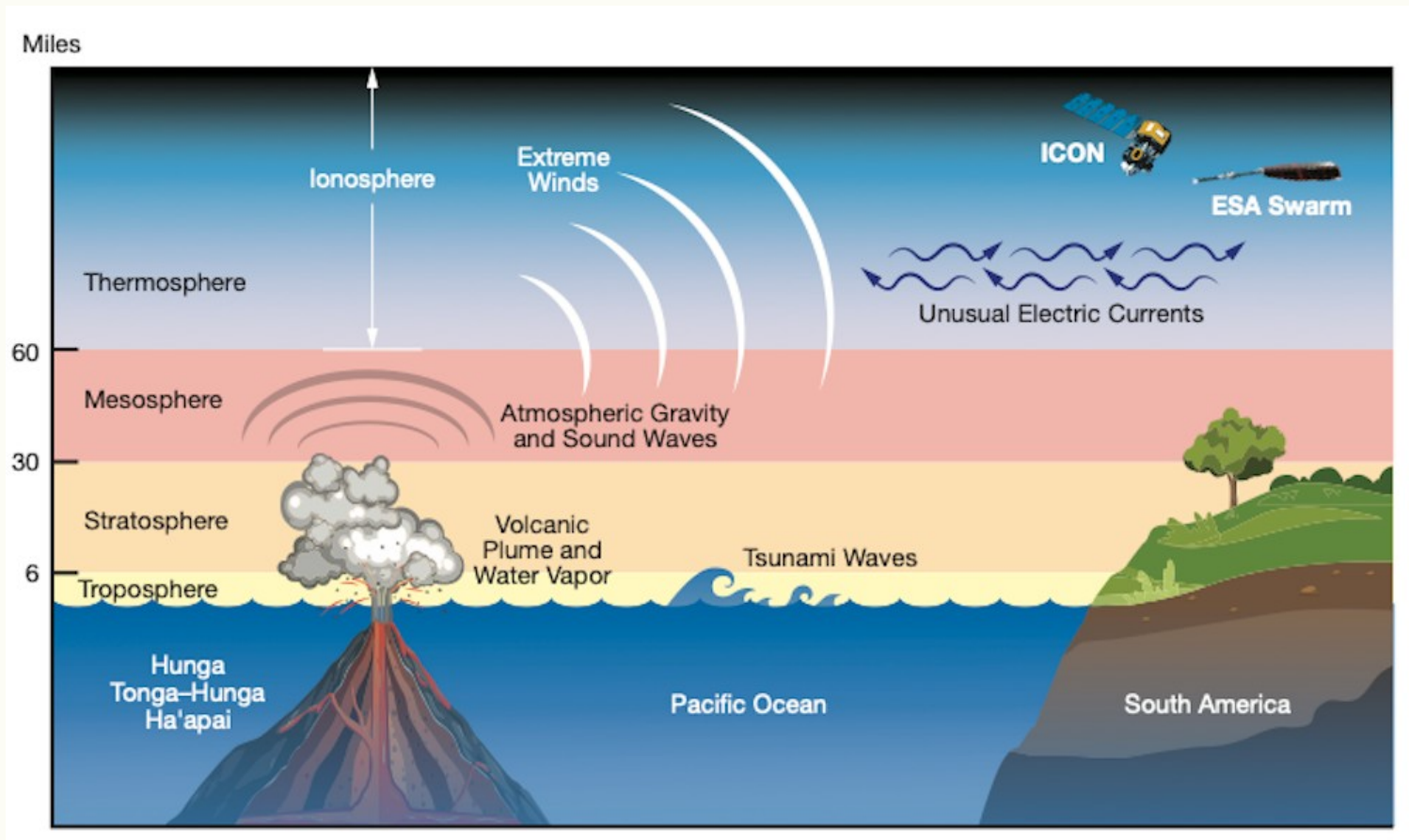


Figure 10. Presentation of seasonal variations positioning errors and declination of the Sun as determined for the IGS station Ohrid during four consecutive years (2014-2017). Ionospheric correction model disabled

Međudjelovanje litosfere i ionosfere

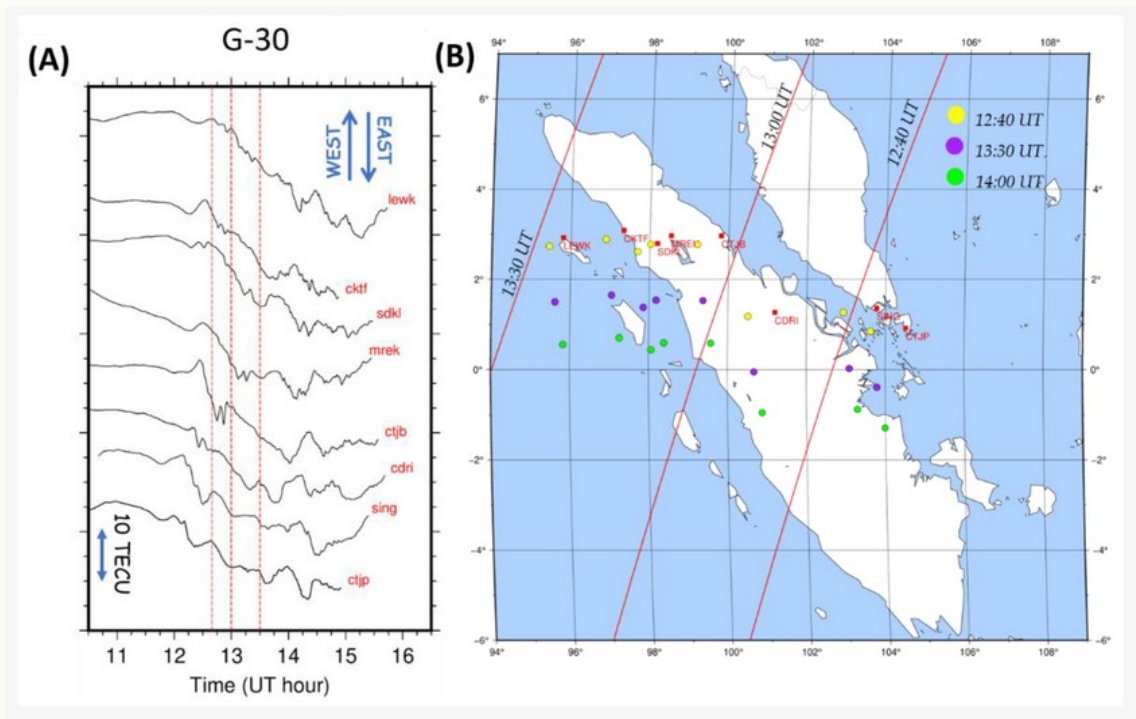


Vulkanske erupcije i ionosfera

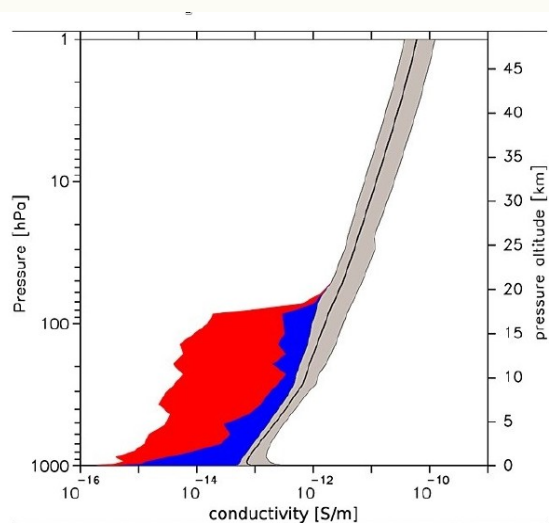


Tonga, 15.1.2022.

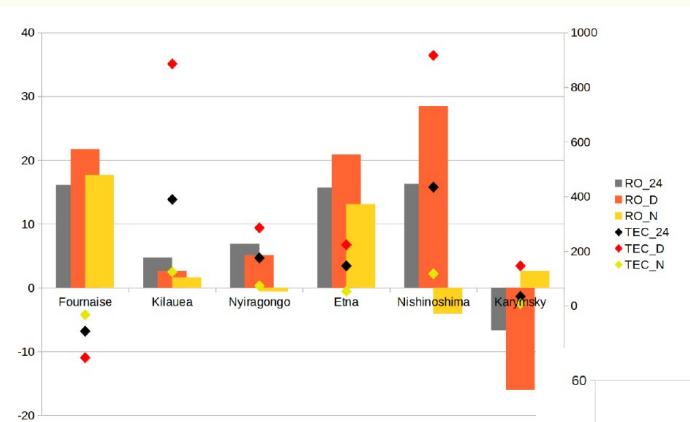
- Eksplozivna erupcija -> poremećaji tlaka -> snažni vjetrovi na visini ionosfere (do 700 km/h) -> poremećaji ionosferske električne struje -> **detekcija putem GNSS sustava**



Vulkanski aerosol?

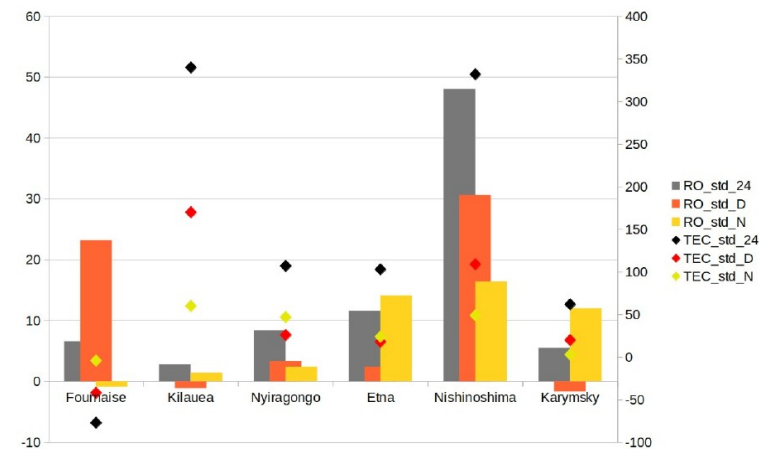


Slika 15: Modelirani gubitak električne vodljivosti zraka u troposferi uslijed naoblake i aerosola



Slika 38: Usporedba površina (A) između krivulja aktivnih i neaktivnih perioda odstupanja i ukupnom sadržaju elektrona

Statistički pokazatelj: aritmetička sredina



Slika 39: Usporedba površina (A) između krivulja aktivnih i neaktivnih perioda, po rezidualima odstupanja i ukupnom sadržaju elektrona

Statistički pokazatelj: standardna devijacija

Rezime

- Pojedine aktivnosti u pomorstvu zahtijevaju **vrlo visoku točnost** određivanja položaja
- GNSS sustavi omogućuju odličnu točnost za opću navigaciju, ali za preciznije aktivnosti potreban je pažljiviji pristup
- Okolišni učinci mogu imati značajan utjecaj na točnost; Sunce i njegove oluje = **primarni utjecaj**
- Sprega litosfere i ionosfere = **sporedni utjecaj**
- Budućnost navigacije? Autonomni brodovi? Potrebna točnost pozicioniranja?