GEODETSKI DAN 54

Motenje signalov GNSS: do kolikšne mere se lahko še zanašamo na GNSS?

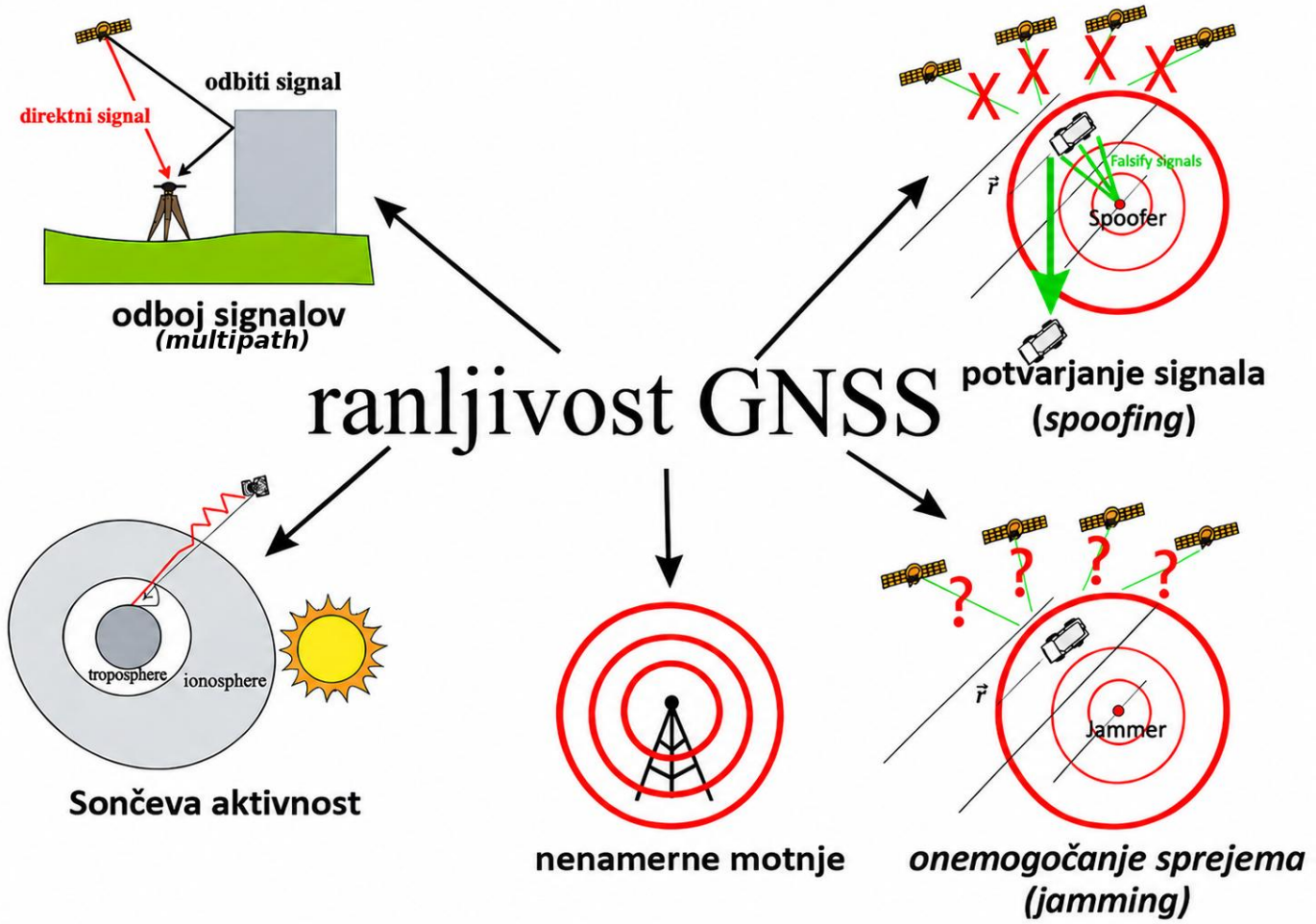
izr. prof. dr. **Polona Pavlovčič Prešeren**
Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo
Katedra za matematično in fizikalno geodezijo ter navigacijo

18. in 19. november 2026
Gospodarsko razstavišče, Ljubljana

LJUBLJANSKO GEODETSKO DRUŠTVO

ZVEZA GEODETOV SLOVENIJE

Ranljivost tehnologije GNSS za motnje

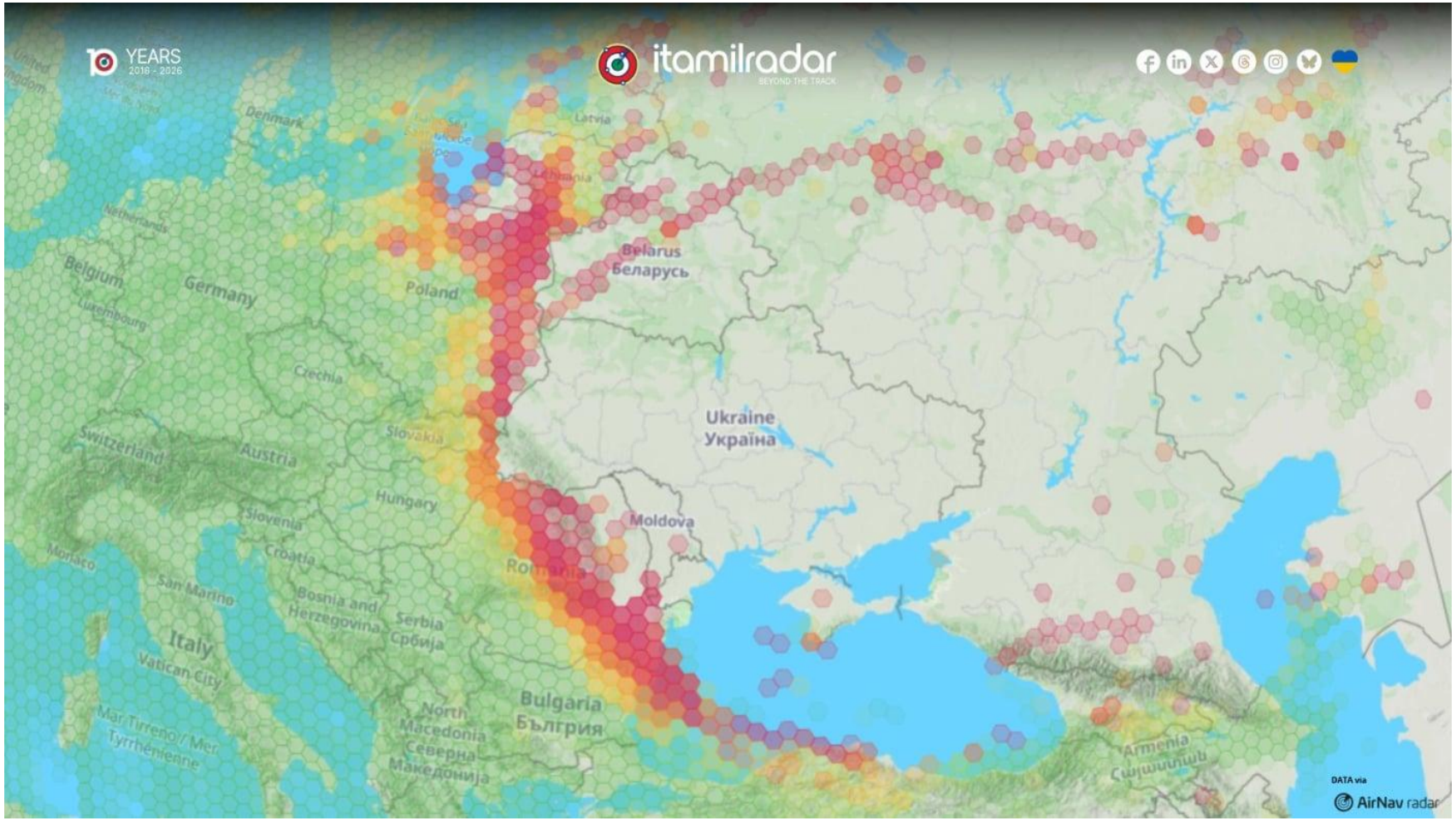


Naravni vzroki:
Sončeva aktivnost (ionosfera)
→ težave z inicializacijo, **julij 2024**
→ odboj signalov (večpotje)

Nenamerni vzroki:
motnje drugih radijskih virov (radar)…

Namerni napadi:
ni položaja → *jamming*
napačen položaj → *meaconing*
napačen položaj → *spoofing*

GNSS „železna zavesa“ v letu 2026…



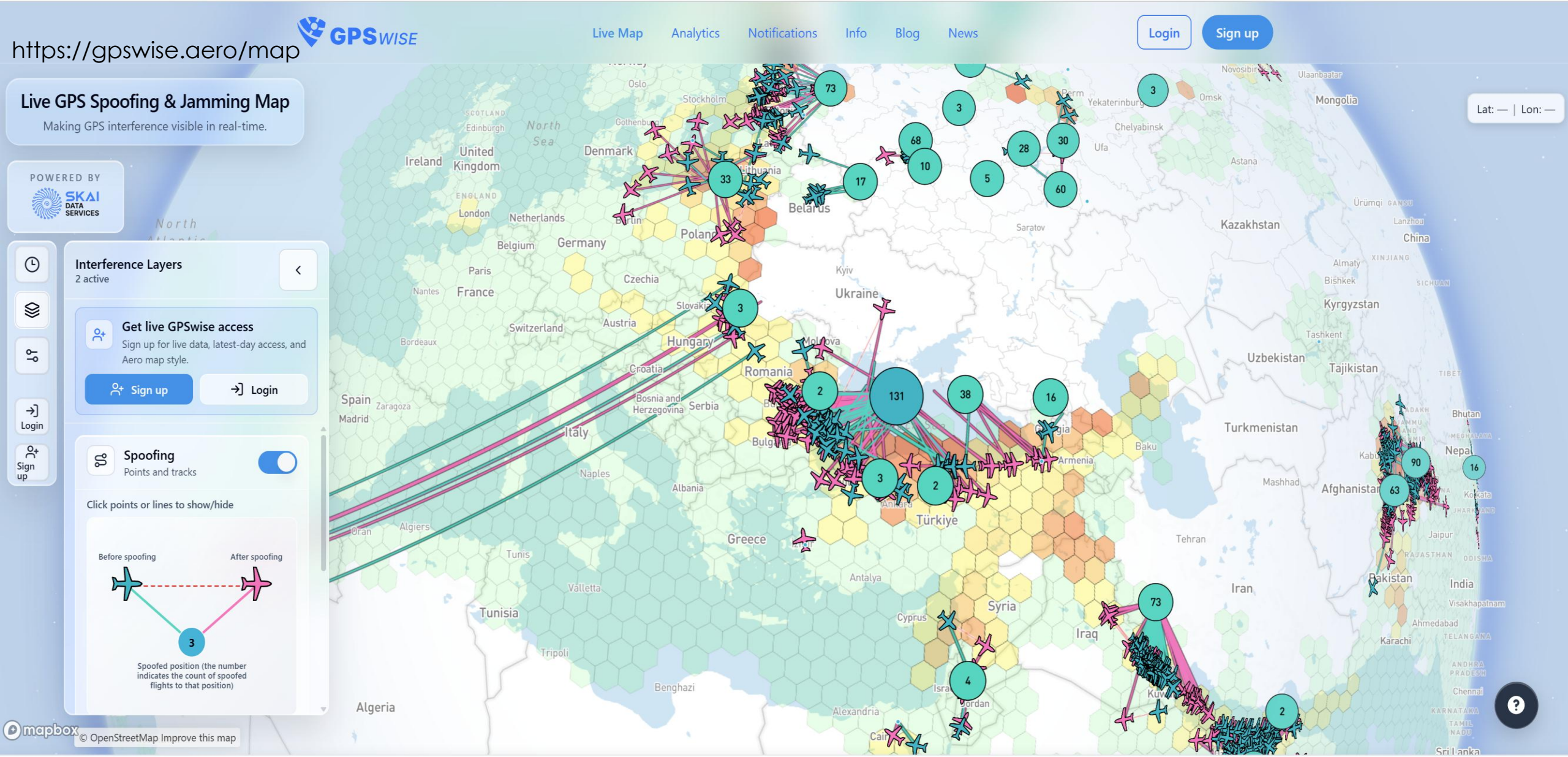
Motnje GNSS, zaznane iz podatkov letal (sistem ADS-B).

rdeča polja = velik delež letal z onemogočeno navigacijo.

Vir: ItaMilRadar.com

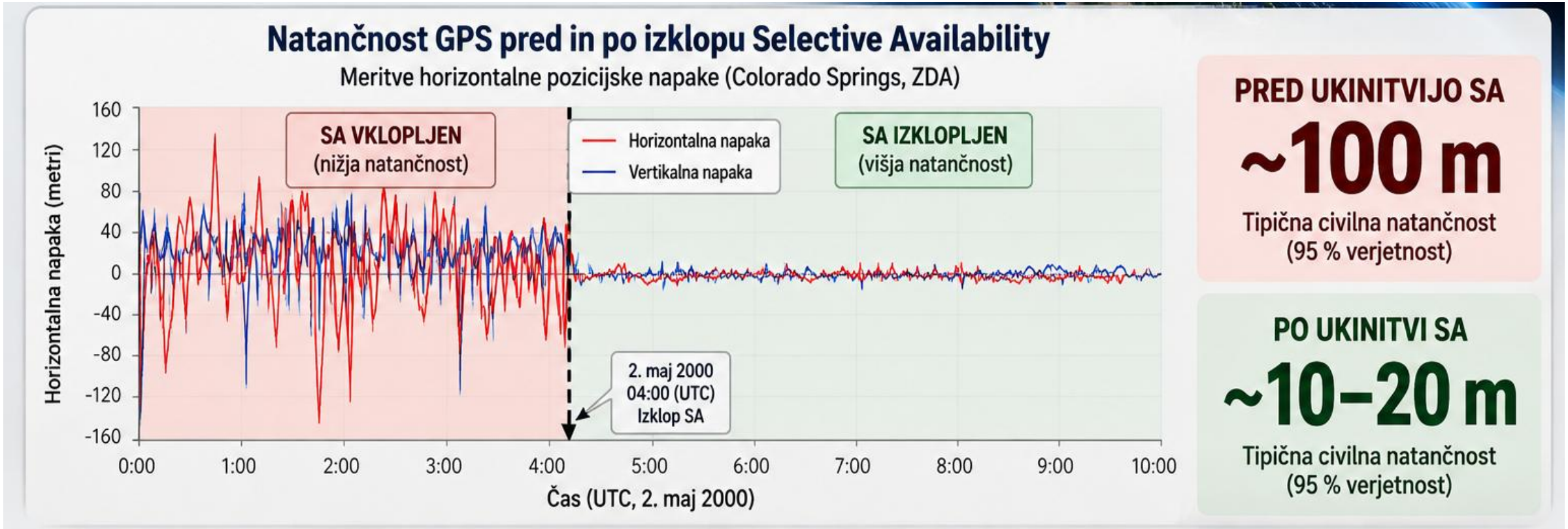

GPSJAM
Daily maps of GPS interference
About | FAQ
11/18/2026
More
gpsjam.org
Kaj se dogaja v Hormuški ožini?
Level of GPS interference
Low 0-2%
Medium 2-10%
High > 10%
Data provided by airplanes.live and ADS-B Exchange

https://gpswise.aero/map



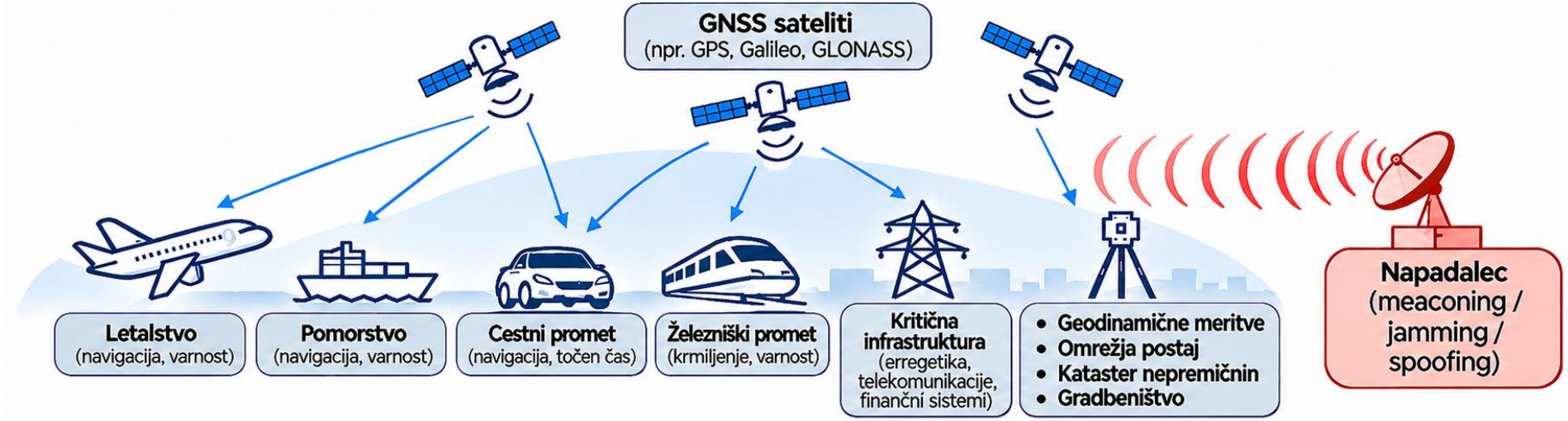
GEODetski dan 54
LJUBLJANSKO GEODETSKO DRUŠTVO
Zveza geodetov Slovenije
18. in 19. november 2026
Gospodarsko razstavišče, Ljubljana
Geodezija brez meja

2. maj 2000 – ukinitev motenja v GPS



Viri:
- Izjava predsednika Billa Clintona, 1. maj 2000 (The White House): https://clintonwhitehouse3.archives.gov/WH/EOP/OSTP/html/0053_2.html
- Bradford Parkinson, "The GPS Program", predstavitev, maj 2023, stran 22: https://www.gps.gov/sites/default/files/2025-06/AdvisoryMeetings_Parkinson-2_May2023.pdf
- GPS.gov – Selective Availability: https://www.gps.gov/selective-availability

Koga prizadene napad na GNSS?



Kdo lahko izvede napad?

Zlonamerni akterji
(npr. kibernetski napadalci, organizirane skupine)

Državni akterji
(npr. v okviru vojaških ali obveščevalnih dejavnosti)

Tudi nepooblaščeni posamezniki
(z zmogljivo, a dostopno opremo)

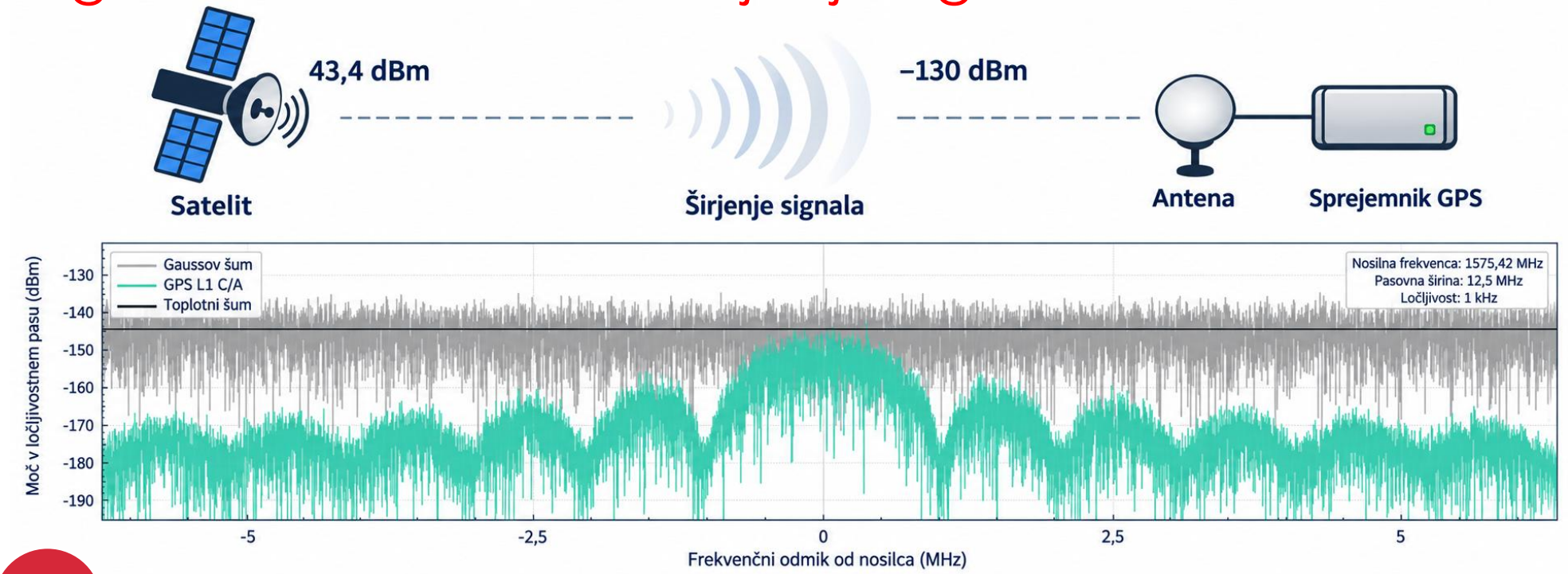
Kako se napad izvede?

Jamming (motenje)	Oddaja močan radijski signal v pasu GNSS, ki prekrije (zatre) legitimne signale.
Meaconing (ponovno oddajanje)	Zajame legitimne GNSS signale in jih ponovno oddaja (z zamikom ali spremembo).
Spoofing (ponarejanje)	Oddaja ponarejene GNSS signale, s katerimi zavede sprejemnik, da izračuna napačen položaj, čas ali hitrost.

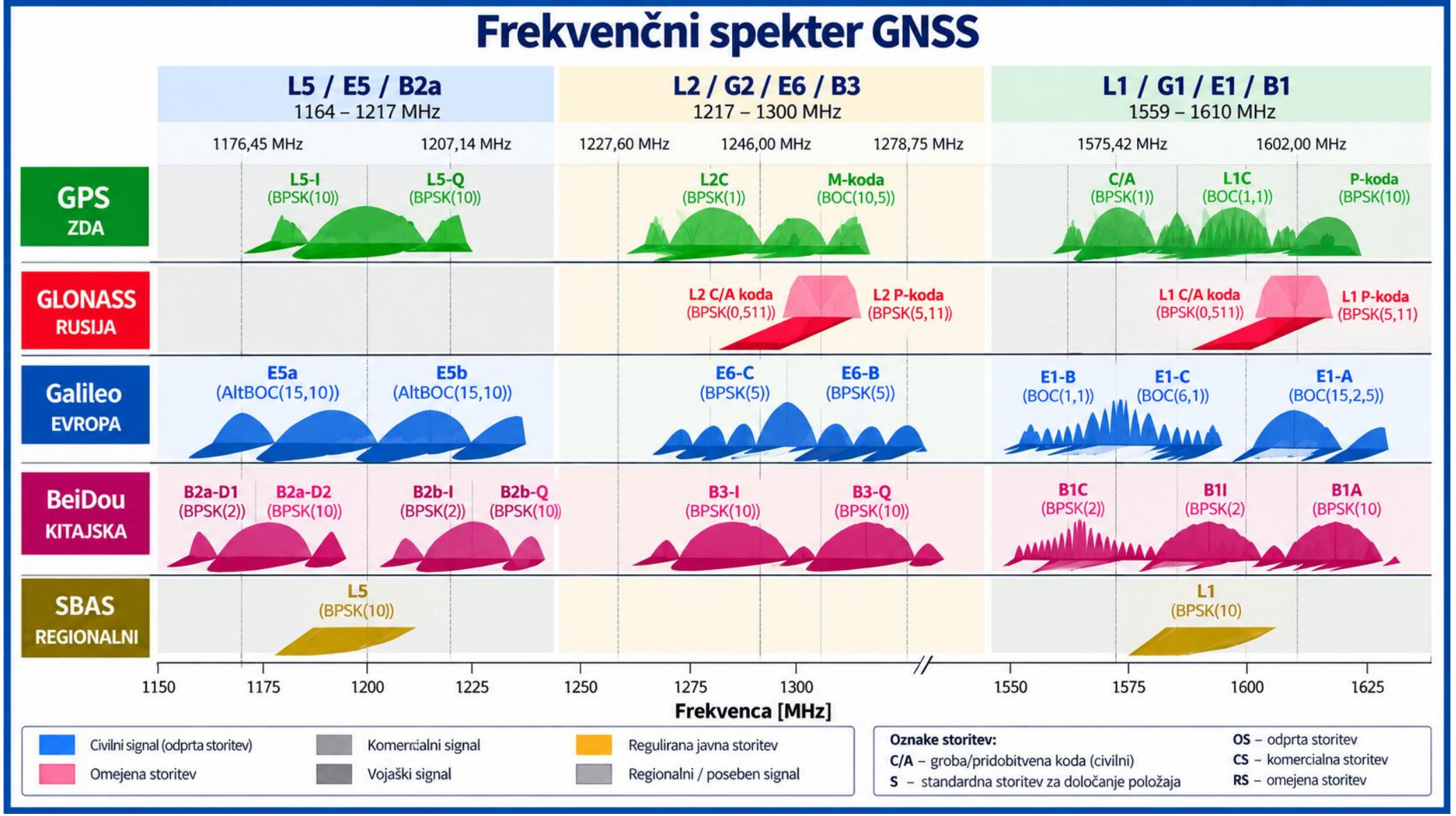
Vir: Ustvarjeno z uporabo ChatGPT (OpenAI, 2026)

Zakaj so signali GNSS občutljivi na motnje?

Izguba moči tekom razširjanja signala

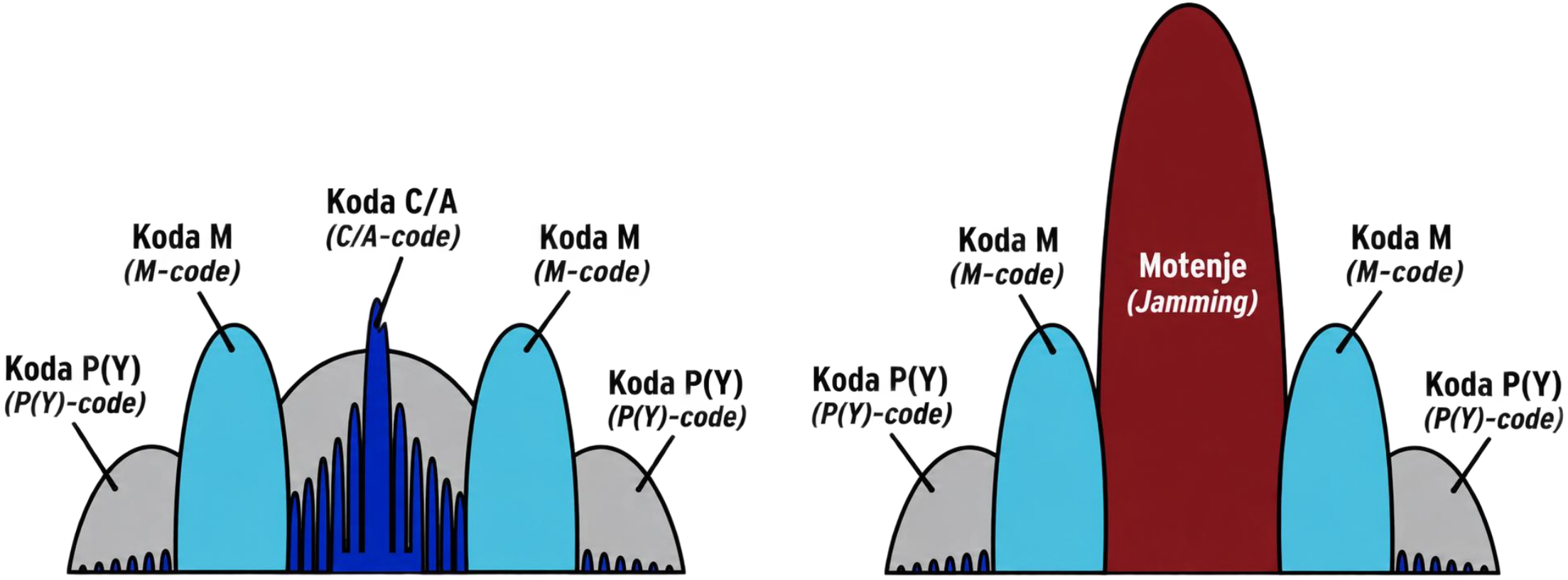


Signal je ≈ 17 dB pod šumom. Sprejemnik ga izlušči šele s korelacijo z znano kodo. Motilnik s močjo nekaj mW na bližnji razdalji ga zato zlahka preglasi, ponaredek pa je mogoč, ker sta struktura in koda civilnih signalov javni.



Prirejeno po: www.safran-navigatiom-timing.com

Kaj naredi motilna naprava?



Je lahko motenje tudi pozitivno?

Za zaščito letališč, elektrarn, vojaških objektov in prireditev se uporabljajo sistemi, ki namerno motijo GNSS in radijske signale → **napadalca vodimo stran od cilja.**

Potek zaščite:
- ZAZNAVANJE: radar, RF, akustika
- IDENTIFIKACIJA: kamere EO/IR
- NEVTRALIZACIJA: motilniki, prestrezanje



Vrste namernih motenj signalov GNSS

Nenamerne motnje
harmoniki drugih oddajnikov, okvarjene naprave, radarji

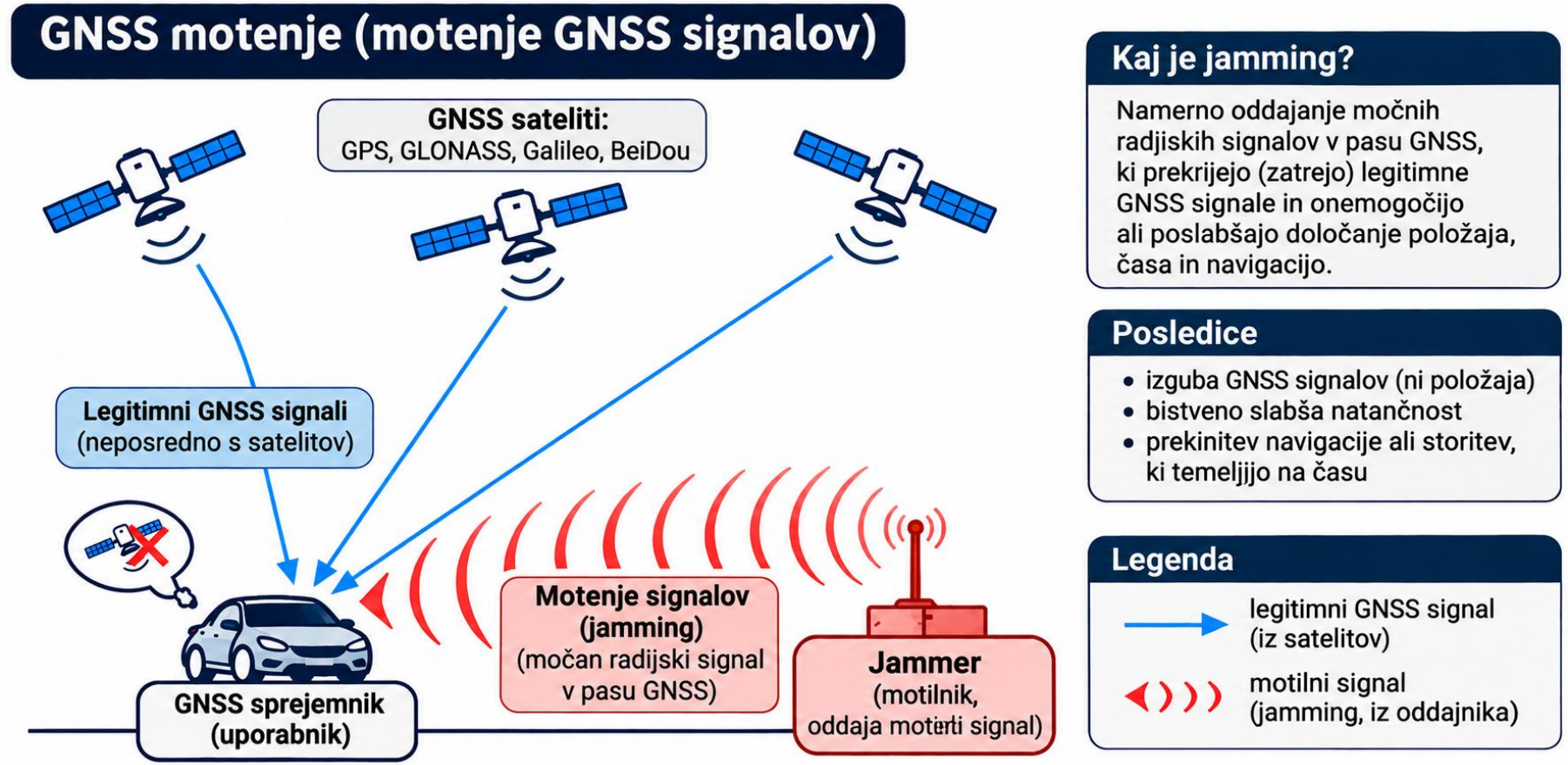
Jamming (motenje)
namerno oddajanje šuma ali tonov na frekvencah GNSS – sprejemnik izgubi signal

Meaconing

snemanje in ponovno oddajanje pravih signalov z zakasnitvijo

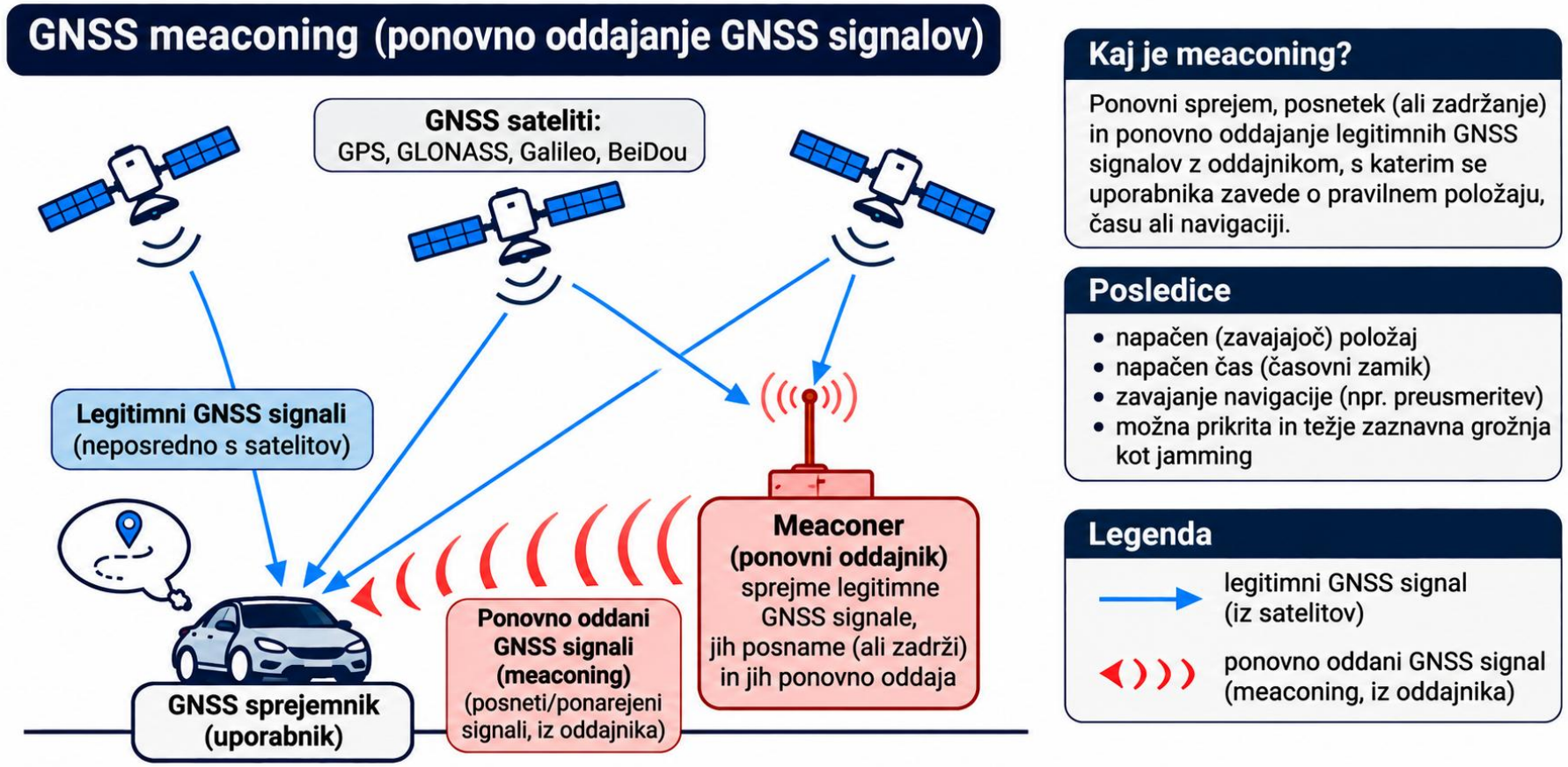
Spoofing (zavajanje)
oddajanje ponarejenih signalov – sprejemnik izračuna napačen položaj ali čas

Onemogočanje sprejema signalov
JAMMING



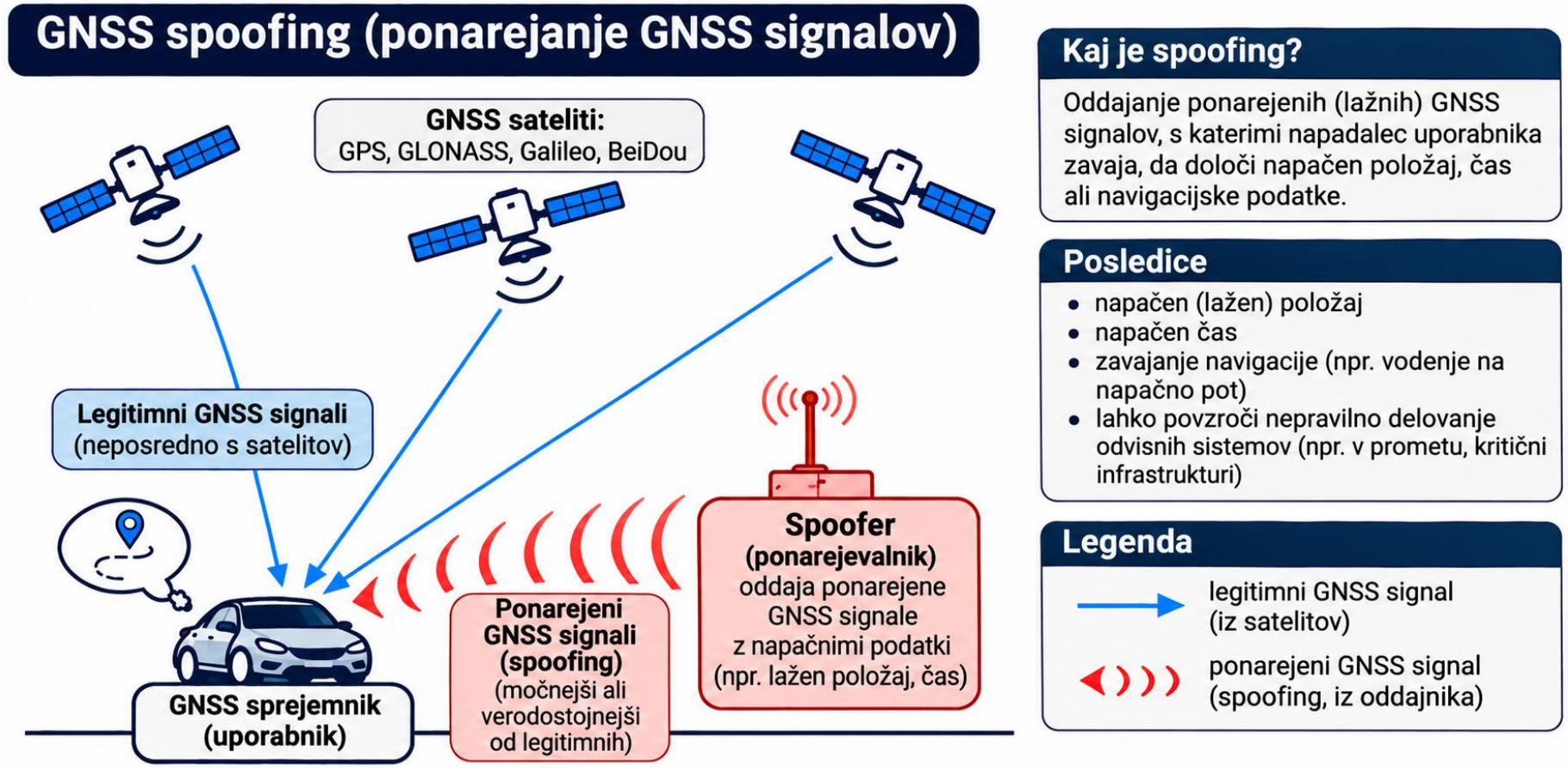
Vir: Ustvarjeno z uporabo ChatGPT (OpenAI, 2026)

Motenje z oddajo originalnih signalov
MEACONING



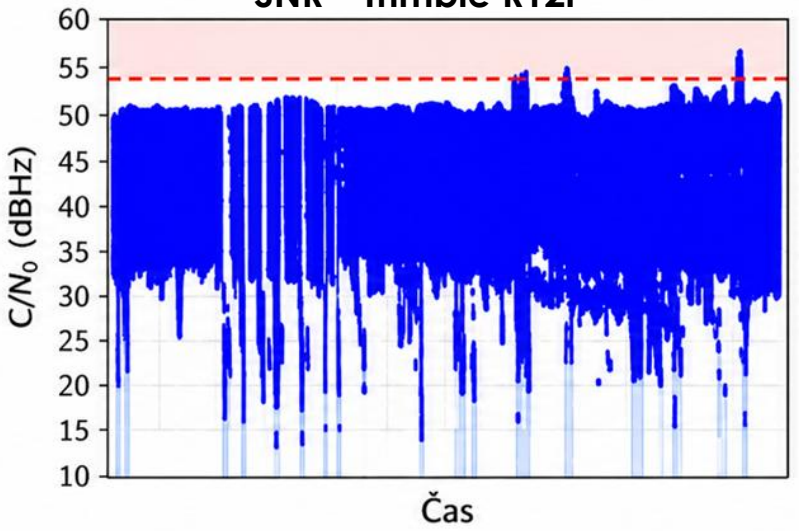
Vir: Ustvarjeno z uporabo ChatGPT (OpenAI, 2026)

Motenje z oddajo lažnih signalov
SPOOFING

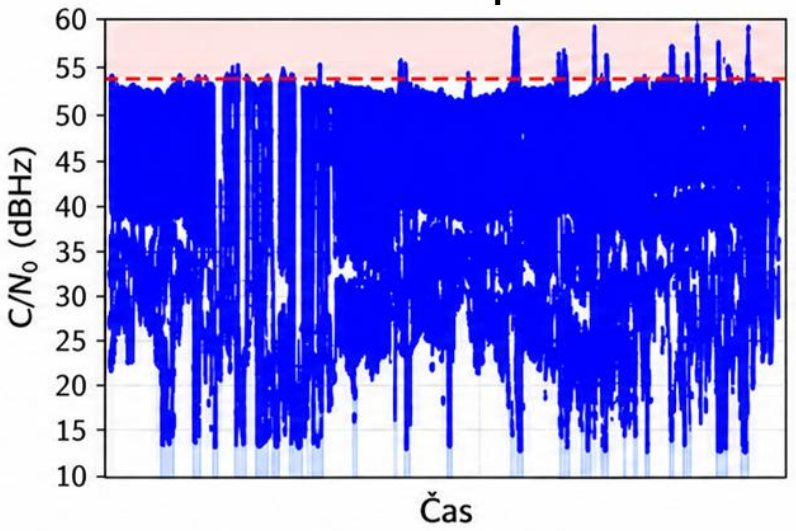


Vir: Ustvarjeno z uporabo ChatGPT (OpenAI, 2026)

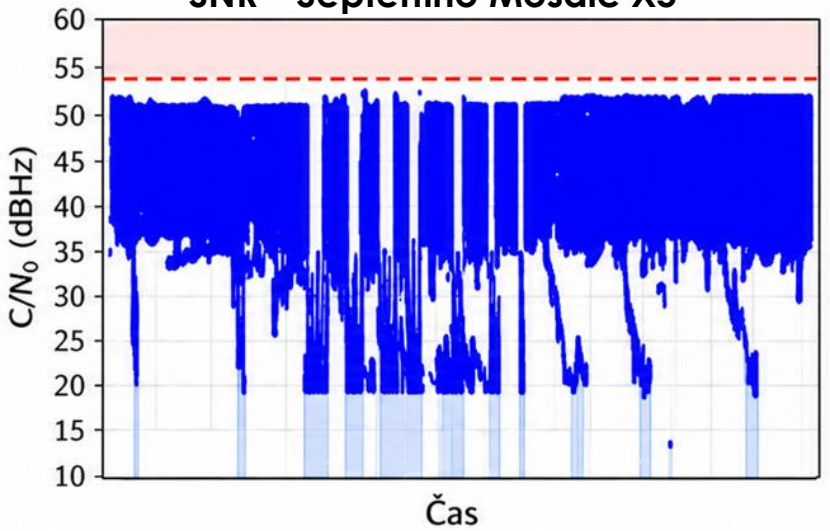
SNR – Trimble R12i



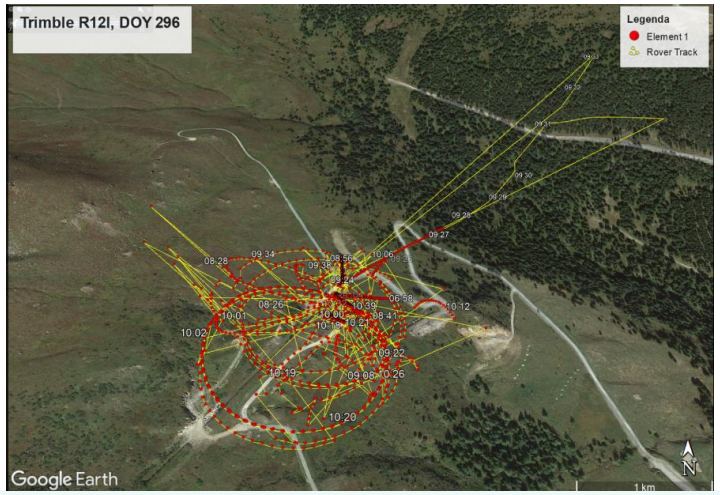
SNR – Javad Triumph-LSA



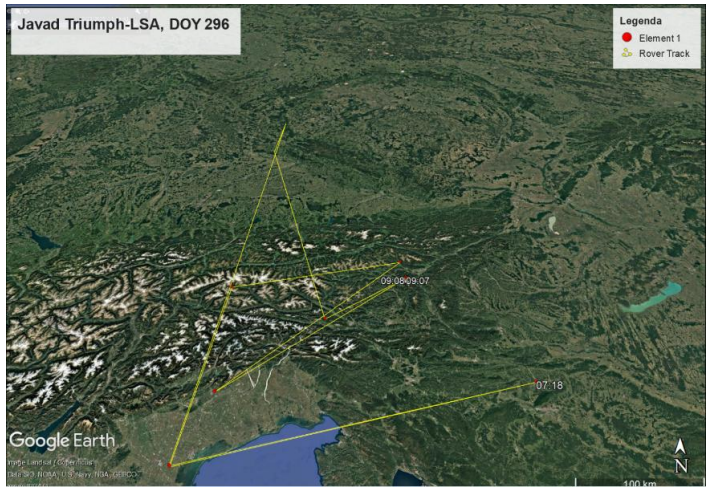
SNR – Septentrio Mosaic X5



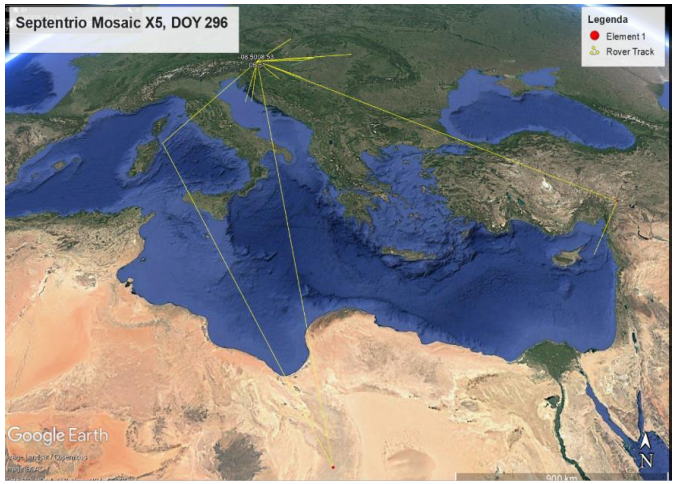
SPP položaji – Trimble R12i



SPP položaji – Javad Triumph-LSA

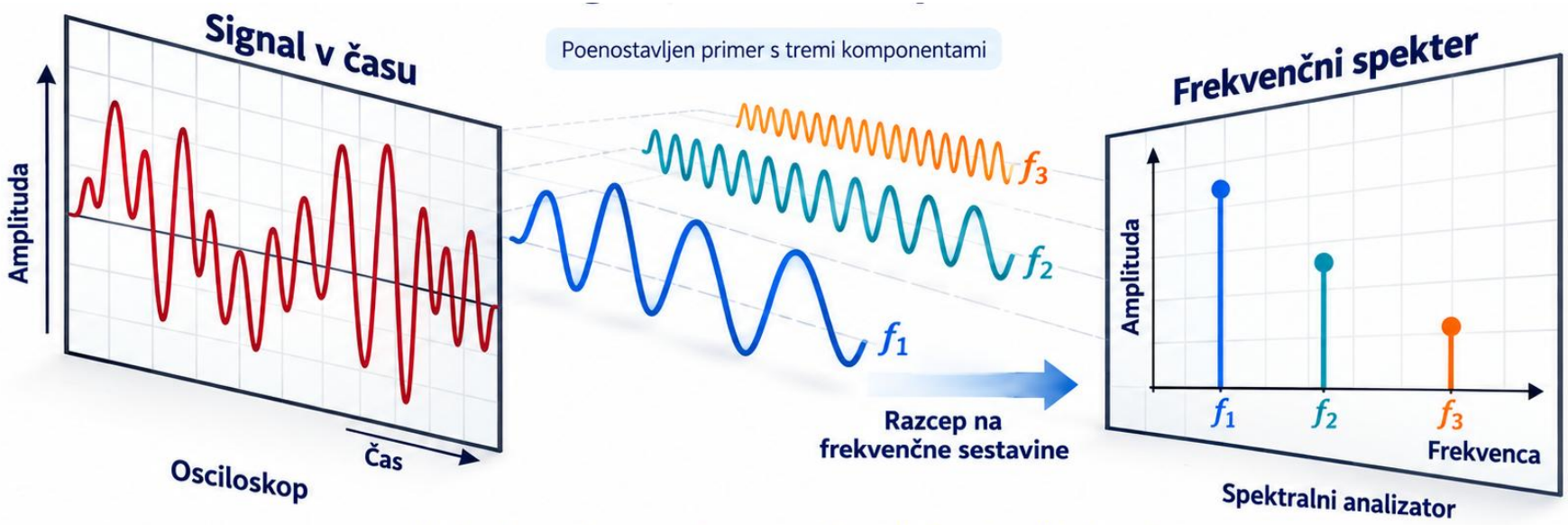


SPP položaji – Septentrio Mosaic X5



Izmera v Avstriji, oktober 2025, motenje: Accurission GmBH

Kako zaznavamo motnje?



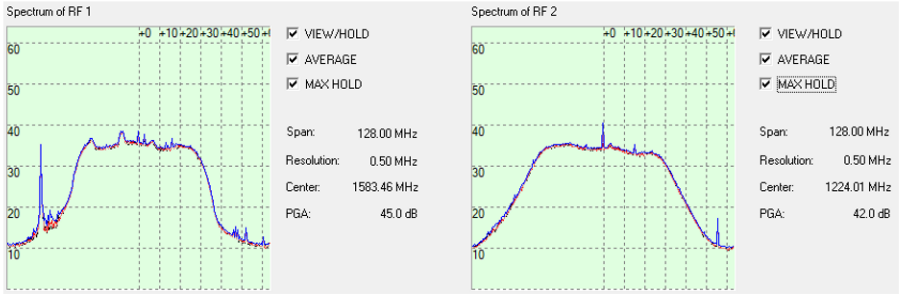
Osciloskop
- opazovanje signala v časovnem prostoru
- frekvenčno neselektivno
- omejeno dinamično področje

Spektralni analizator
- opazovanje signala v frekvenčnem prostoru
- na osnovi preletanja spektra ali hitre Fourierjeve transformacije zajetega časovnega signala

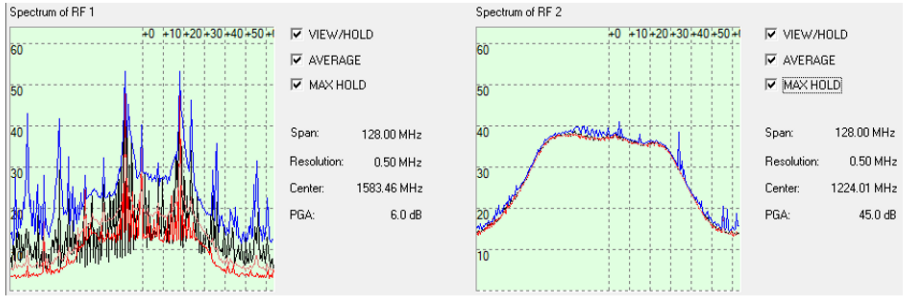




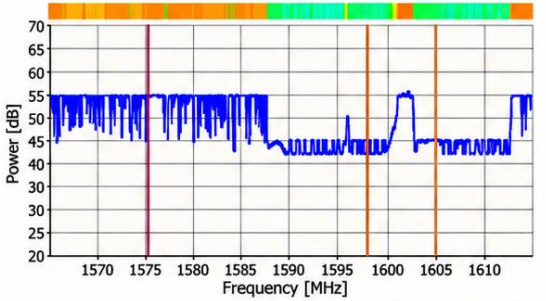
→ u-blox ZED-F9P (L1, L2)



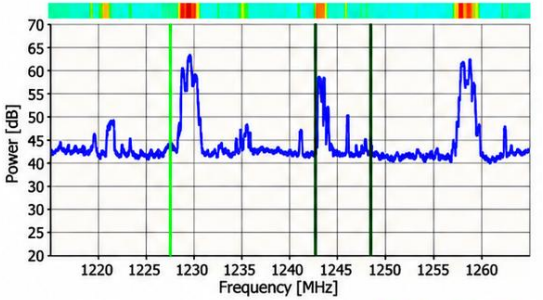
(a)



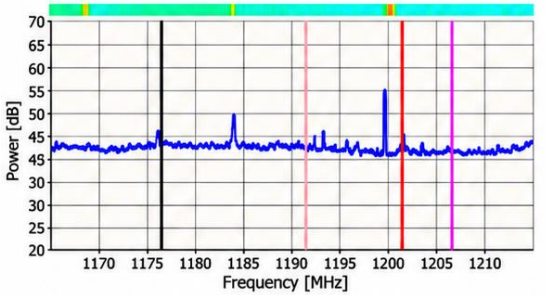
Namerne motnje Črnotiče,
2019, 2023, 2025
(odobritev AKOS-a za namen raziskave).



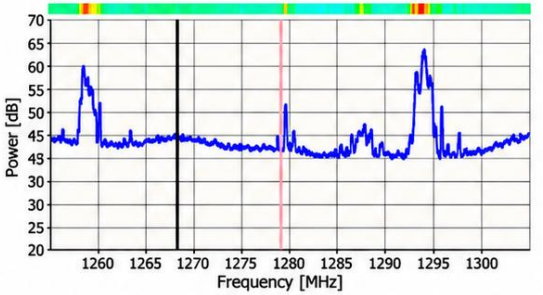
(a) izris L1 z označenimi frekvencami: L1, območje G1, Max Hold, motilnik Keysight, čas motenja 2024/05/15, 11:25:00



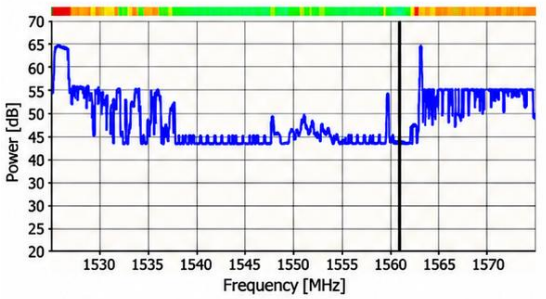
(b) izris L2 z označenimi frekvencami: L2, območje G2, Max Hold, motilnik Keysight, čas motenja 2024/05/15, 11:25:00



(c) izris L5 z označenimi frekvencami: L5, E5a/b, G3, (E5b, E5AltBOC, B2I, B2b), Max Hold, motilnik Keysight, čas motenja 2024/05/15, 11:25:00



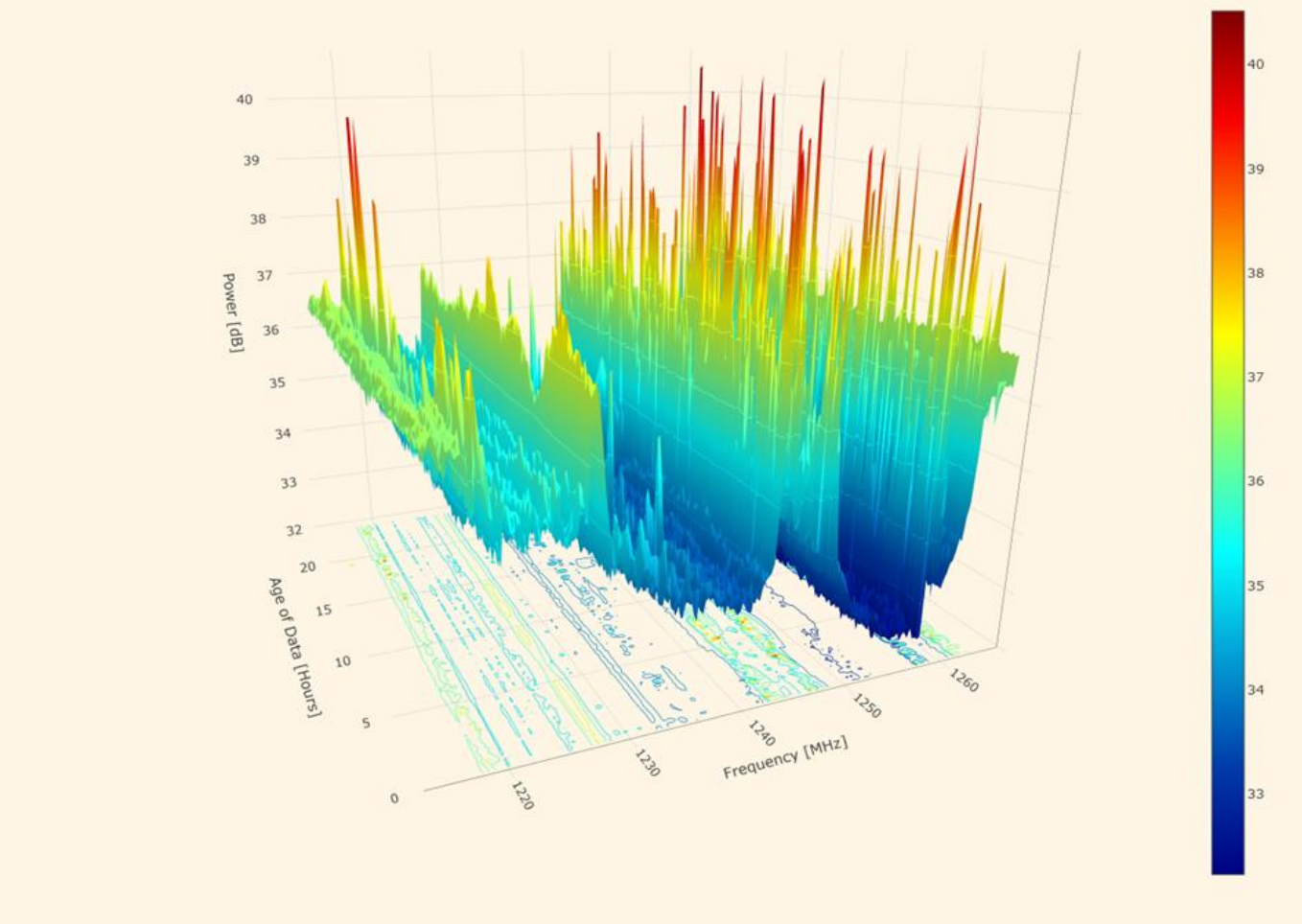
(d) izris E6 z označenimi frekvencami: B3I, E6, Max Hold, motilnik Keysight, čas motenja 2024/05/15, 11:25:00



(e) izris B1 z označeno frekvenco B1, Max Hold, motilnik Keysight, čas motenja 2024/05/15, 11:25:00



Kaj se vidi na spektru?



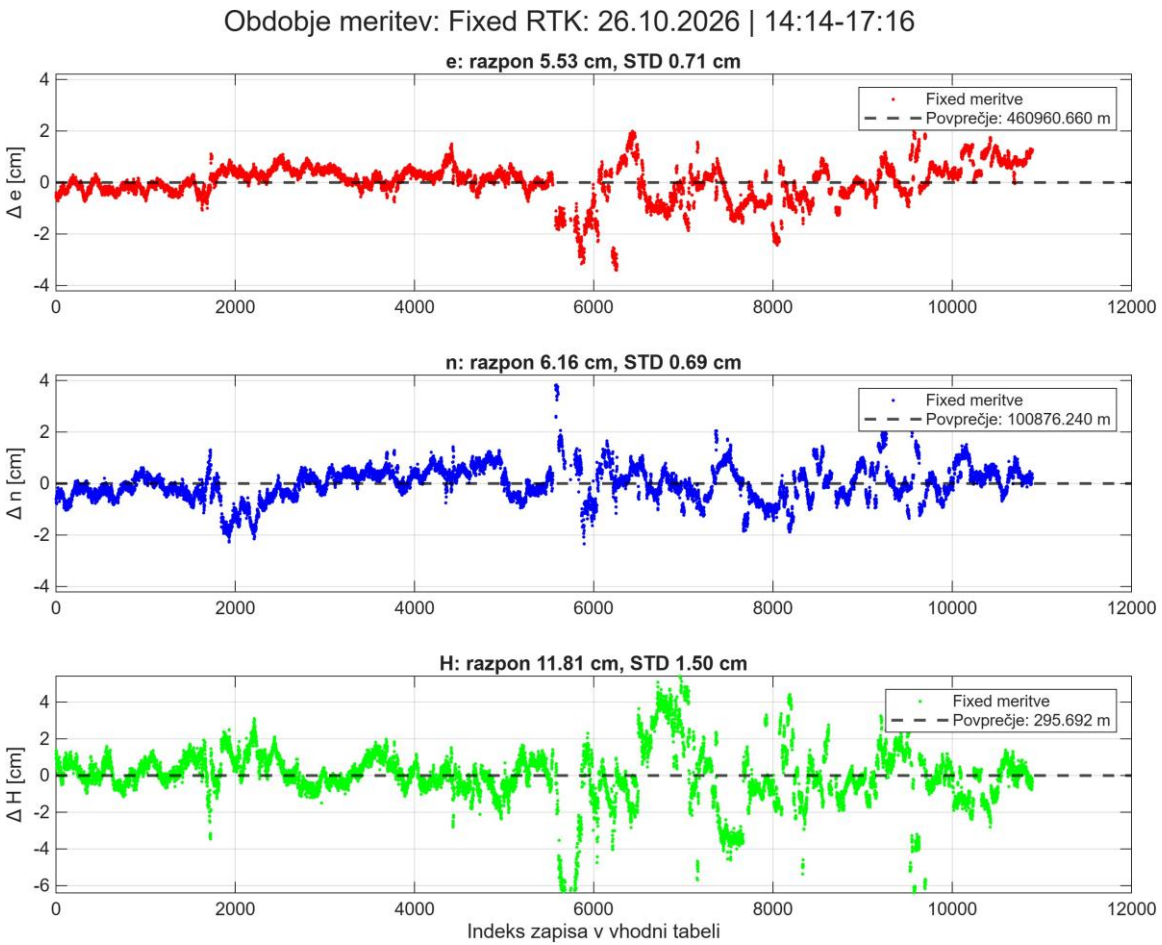
Spremljanje spektra v pasu L2 (1215–1265 MHz) v obdobju 20 ur:

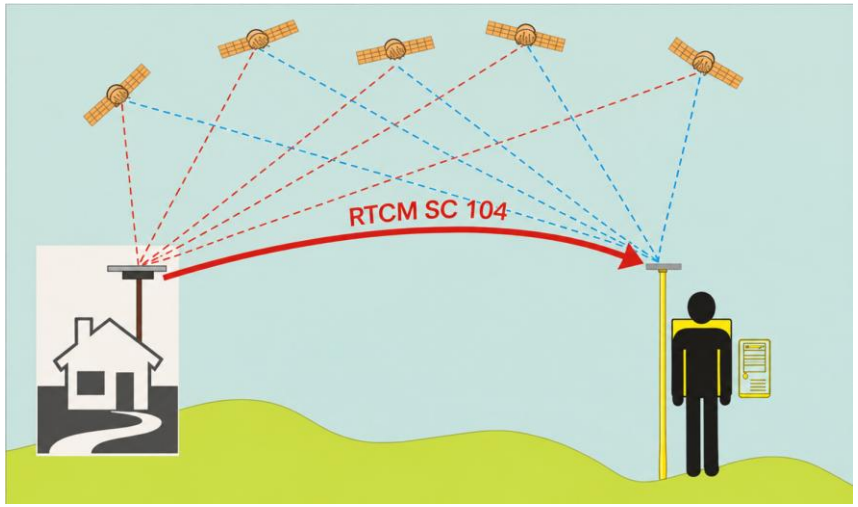
- os X kaže frekvenco,
  os Y čas,
  višina in barva pa moč signala.
- Ozadje je na približno 33–35 dB, ostri **vrhovi do 40 dB pa so motnje.**
- Motnje se ponavljajo skozi ves čas in na več frekvencah hkrati.

GNSS signali so na Zemlji šibkejši od šuma, zato že nekaj dB motenj zadošča za izgubo sprejema ali slabši sprejem.

Geodetsko določanje položaja in motenje signalov GNSS

Geodetsko določanje položaja z RTK





	e	n	h
razpon	5,5 cm	6,2 cm	11,8 cm
st.dev	0,7 cm	0,7 cm	1,5 cm

So bile to motnje? Ne, to je definicijsko območje RTK-koordinat – prisotnost ovir.

S primernim programom lahko ocenimo motenje

Ocena motenj GNSS iz shranjenih opazovanj

1 Sprejemnik
- stalna postaja ali terenski sprejemnik
- sledi signalom vseh satelitov in frekvenc

→

2 Zapis v RINEX
- C – psevdorazdalje
- L – fazna opazovanja
- D – Doppler
- S – signal/šum C/N0
- vsi sateliti in signali
- gost interval (npr. 1 s)

KLJUČNI KORAK

→

3 Analiza
- padci C/N0
- fazni skoki in izgube sledenja
- večpotje (MP)
- ionosferske motnje
- št. satelitov, DOP

→

4 Ocena motnje
- vrsta motnje
- začetek in trajanje
- jakost
- vpliv na položaj (npr. izguba RTK fix)

✗ Shranjene le koordinate (NMEA, RTK)
- ni podatkov po satelitih in signalih
- motnje ni mogoče naknadno oceniti

✓ Shranjena surova opazovanja (RINEX)
- C/N0, faza in koda za vsak satelit in signal
- naknadna analiza kadarkoli



LAŽNI ALARMI PREMIKOV

Ključna je programska oprema z validiranimi algoritmi in preverjeno zanesljivostjo rezultatov.

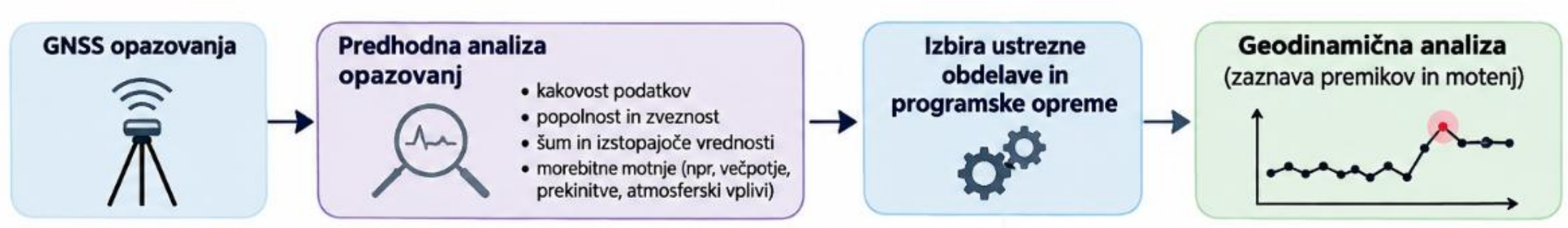
Za ustrezno obdelavo v nalogah spremljanja premikov je treba uporabljati KAKOVOSTNO PROGRAMJE, ki izvaja oceno kakovosti signalov in opazovanj.

Tehnologije za zaznavanje/ zmanjšanje GNSS-motenj

POZOR: Zaznavanje motenj, njihovo filtriranje in zaznavanje lažnih signalov so različne funkcije.

Trimble	**Maxwell 7,8 / Spectrum Analyzer**	Obdelava signalov več sistemov (G, R, E, C; analiza RF-spektra in spremljanje motenj (odvisno od modela).
Leica Geosystems	**RefWorx / SmartTrack+**	Analiza in spremljanje motenj; robustnejše sledenje GNSS-signalom.
JAVAD GNSS	**J-Shield**	Zaščita pred RF-motnjami; filtriranje in mehanizmi za preverjanje signalov.
Septentrio	**AIM+**	Spremljanje motenj, ozkopasovno in širokopasovno zmanjševanje motenj ter zaznavanje lažnih signalov (spoofing).
u-blox	**UBX-MON-RF / ITFM**	Diagnostika RF-motenj in opozorilni statusi; možnosti so odvisne od sprejemnika.

GNSS-sprejemniki in analiza signalov/opazovanj





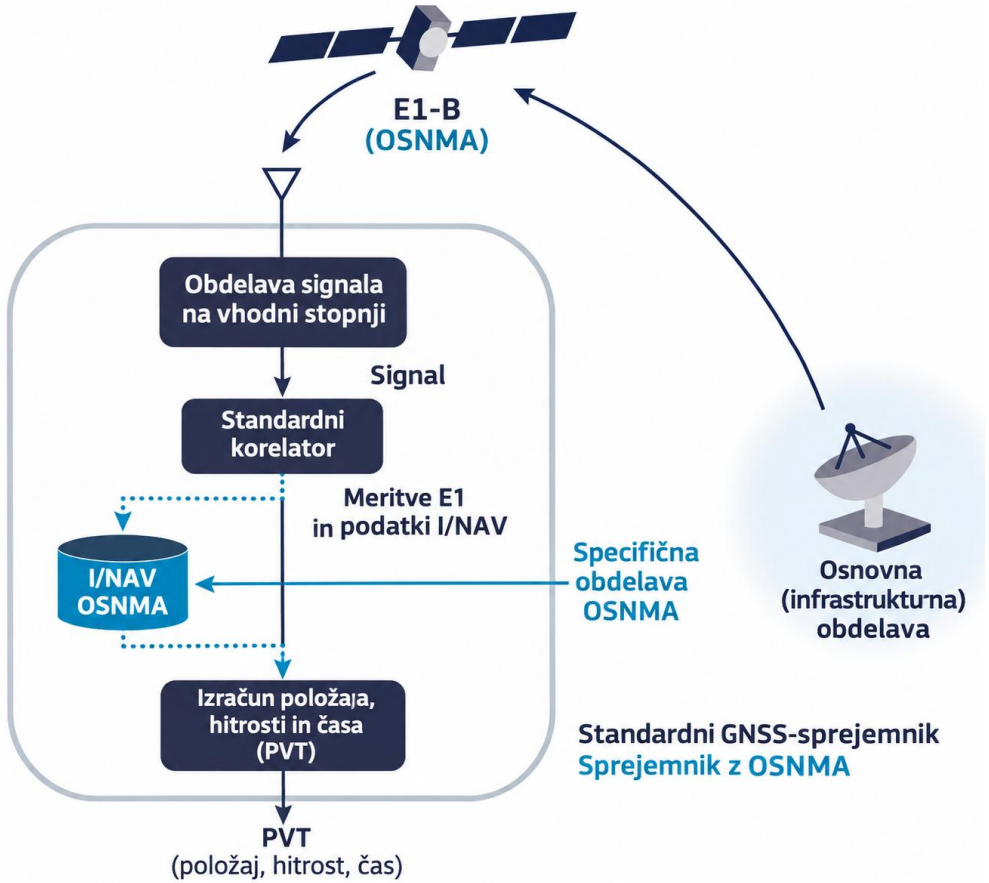
POZOR!

1. Vsaka oprema GNSS ne zazna lažnih signalov.
2. V program vstopijo opazovanja, ki niso pristna.
3. Pri zelo naprednih motnjah program **ne spozna**, da gre za **lažne signale**.

a) **Prednost geodetskih sprejemnikov**: pri določenih motnjah prenehajo delovati.
b) **Slabost slabši sprejemnikov GNSS**: nadaljujejo s sprejemom signalov in določijo napačen položaj, čas.

Rešitev glede lažnih signalov v sistemu Galileo

Open Service Navigation Message Authentication – OSNMA



Od 24. 7. 2025 naprej

OSNMA omogoča **kriptografsko preverjanje pristnosti navigacijskih podatkov Galileo** in preverjanje, ali izvirajo iz sistema Galileo ter med prenosom niso bili spremenjeni.

Deluje na **Galileo signalu E1-B**, kjer se nahaja standardni OSNMA podatkovni tok.

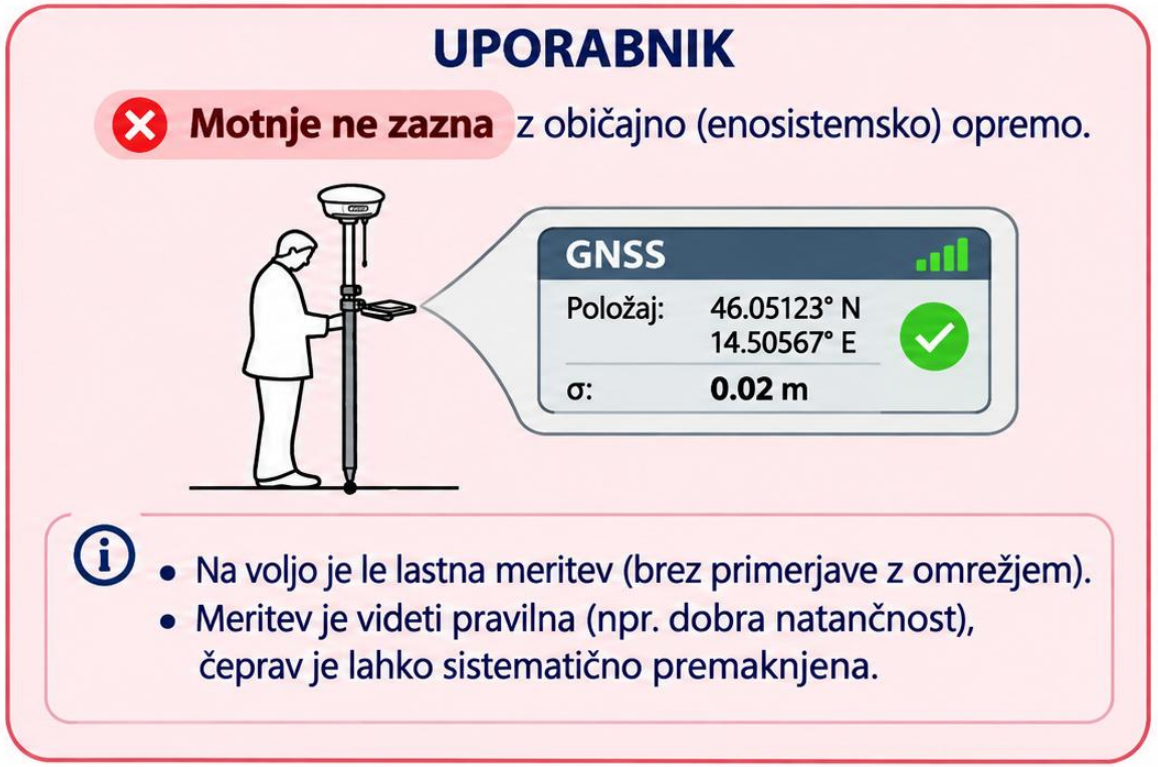
OSNMA je vključen izključno v **E1-B navigacijsko sporočilo**, v podatkovnem delu.

https://gamms.eu/index.php/osnma-what-is-it-and-why-it-is-used-in-gamms/

Lokalna ali globalna motnja? Posledice…

Napaka, izpad ali poslabšanje delovanja GNSS





Vir: Slika prirejena z uporabo ChatGPT (OpenAI, 2026)

Kaj lahko naredi uporabnik?

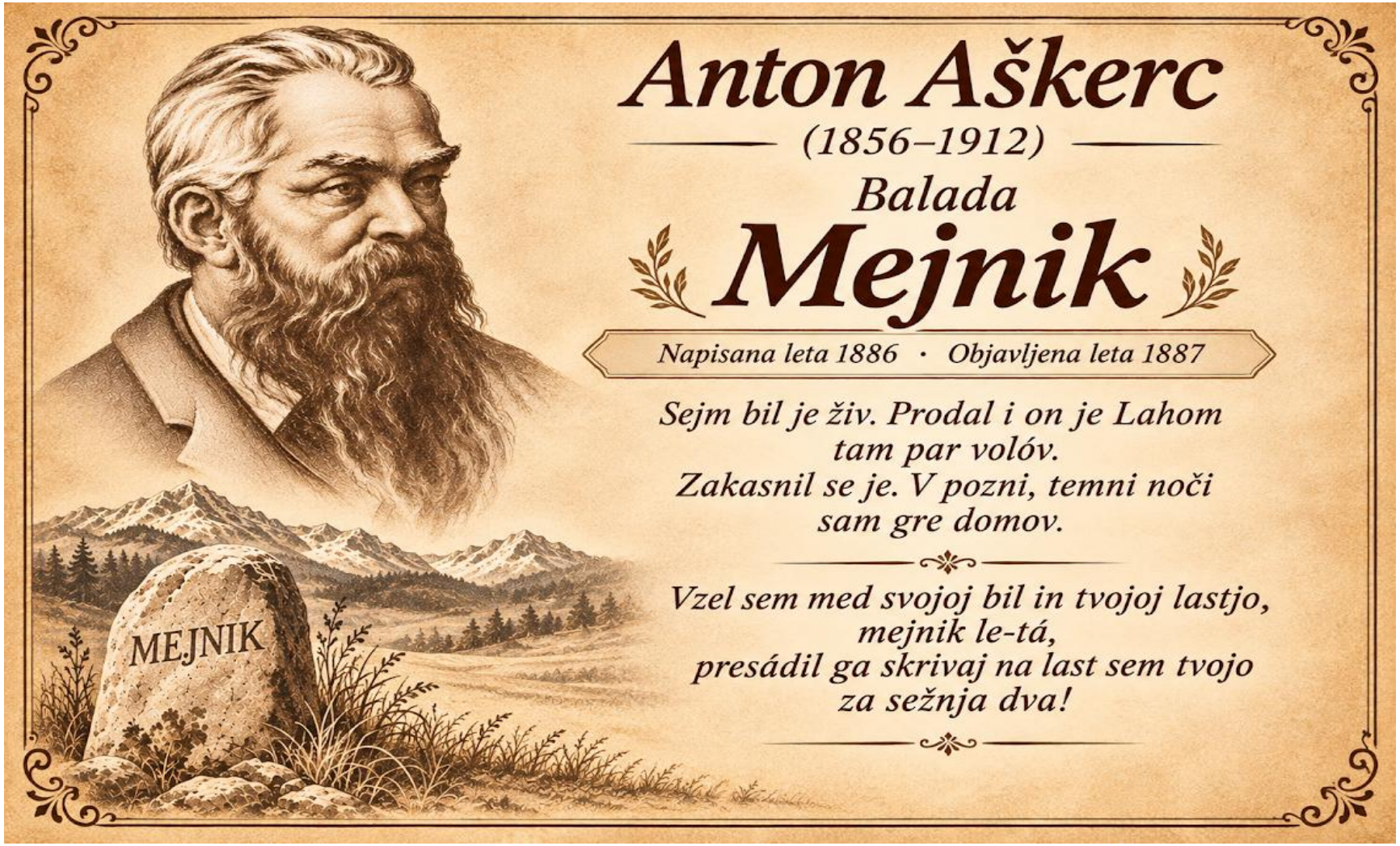
Večkrat izmeri isto točko.

Shrani surova opazovanja (težave: meaconing).

Motnja lahko ostane neopažena

→ imamo ustrezno (angl. fix) rešitev

→ motenje se prenese v napačno koordinato, čas



Vir: Slika narejena z uporabo ChatGPT (OpenAI, 2026)

Včasih so mejnike prestavljali fizično, danes pa jih lahko brez fizičnega napora (virtualno).

HVALA ZA POZORNOST.

izr. prof. dr. Polona Pavlovčič Prešeren

FGG | UNIVERZA V LJUBLJANI
Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo

Katedra za matematično in fizikalno geodezijo ter navigacijo

Jamova cesta 2 · 1000 Ljubljana

polona.pavlovcic-preseren@fgg.uni-lj.si