

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
GEODETSKI FAKULTET**

Matija Matijević

**GNSS RTK METODA MJERENJA U UVJETIMA  
POJAČANE AKTIVNOSTI IONOSFERE**

Diplomski rad

Zagreb, 2025.

Matija Matijević ♦ DIPLOMSKI RAD ♦ 2025.



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**GEODETSKI FAKULTET**

Matija Matijević

**GNSS RTK METODA MJERENJA U UVJETIMA**  
**POJAČANE AKTIVNOSTI IONOSFERE**

Diplomski rad

Zagreb, 2025.

# SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

## GEODETSKI FAKULTET



Na temelju članka 19. Etičkog kodeksa Sveučilišta u Zagrebu i Odluke br. 1\_349\_11 Fakultetskog vijeća Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, od 26.10.2017. godine (klasa: 643-03/16-07/03), uređena je obaveza davanja „Izjave o izvornosti“ diplomskog rada koji se vrednuju na diplomskom studiju geodezije i geoinformatike, a u svrhu potvrđivanja da je rad izvorni rezultat rada studenata te da taj rad ne sadržava druge izvore osim onih koji su u njima navedeni.

### IZJAVLJUJEM

Ja, **Matija Matijević**, (JMBAG:0007181378), rođen dana 8.8.1999. u Novoj Biljoj, izjavljujem da je moj diplomski rad izvorni rezultat mojeg rada te da se u izradi tog rada nisam koristio drugim izvorima osim onih koji su u njemu navedeni.

U Zagrebu, dana \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
*Potpis studenta / studentice*

<b>I. AUTOR</b>	
<b>Ime i prezime:</b>	Matija Matijević
<b>Datum i mjesto rođenja:</b>	8. kolovoza 1999., Nova Bila, Bosna i Hercegovina
<b>II. DIPLOMSKI RAD</b>	
<b>Naslov:</b>	GNSS RTK metoda mjerenja u uvjetima pojačane aktivnosti ionosfere
<b>Broj stranica:</b>	63
<b>Broj tablica:</b>	14
<b>Broj slika:</b>	48
<b>Broj bibliografskih podataka:</b>	11
<b>Ustanova i mjesto gdje je rad izrađen:</b>	Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu
<b>Mentor:</b>	izv. prof. dr. sc. Danijel Šugar
<b>Komentor:</b>	
<b>Voditelj:</b>	Petar Jelić, mag. ing. geod. et geoinf.
<b>III. OCJENA I OBRANA</b>	
<b>Datum zadavanja teme:</b>	10.1.2025.
<b>Datum obrane rada:</b>	7.7.2025.
<b>Sastav povjerenstva pred kojim je branjen diplomski rad:</b>	izv. prof. dr. sc. Danijel Šugar
	prof. dr. sc. Željko Bačić
	dr. sc. tech. Zvonimir Nevistić

## **Zahvala**

Prije svega želim se zahvaliti dragom Bogu što me je stvorio i što mi je dao sposobnost da mogu napisati ovaj rad. Hvala mojoj Kraljici Mira što mi je izmolila mir kad mi je to bilo najpotrebnije.

Zahvaljujem se svojim roditeljima Josipu i Verici, baki Ljubici i pok. djedu Tadiji, što su mi svojom podrškom, odricanjem i žrtvom pomogli da budem tu gdje sada jesam.

Želim se zahvaliti i svojoj zaručnici/kolegici na najvećoj motivaciji, strpljenju, razumijevanju i pruženoj ljubavi kada je to bilo najpotrebnije.

Posebna zahvala ide mojim cimerima i prijateljima što su mi uljepšali trenutke studiranja svojom radošću i podrškom te mi pomogli stvoriti nezaboravne uspomene.

Hvala mojoj braći salezijancima koji su mi pružili dom i što u njihovom okruženju uvijek mogu pronaći pomoć i potporu.

Neizmajerno se zahvaljujem svom mentoru, izv. prof. dr. sc. Danijelu Šugaru, na njegovom nesebičnom zalaganju i raspoloživosti u svakom trenutku.

Također, zahvaljujem se tvrtki Geomatika Smolčak d.o.o., te njezinom direktoru gosp. Nenadu Smolčaku, kao i kolegi Ediju Smolčaku koji su mi ustupili na korištenje vrhunske i najnovije Trimble GNSS uređaje bez kojih ovaj rad ne bi bio moguć.

Na kraju bih se htio zahvaliti i kolegama iz Geodata Projekta na razumijevanju i izlascima u susret kada god je bilo potrebno.

## ***GNSS RTK metoda mjerenja u uvjetima pojačane aktivnosti ionosfere***

### ***Sažetak:***

*Globalni navigacijski satelitski sustavi (GNSS) omogućuju široku primjenu preciznog pozicioniranja u brojnim industrijama. Međutim, pouzdanost GNSS-a često je ugrožena ionosferskim poremećajima – prirodnim pojavama uzrokovanim Sunčevom aktivnošću koji ometaju radio signale. Ovaj diplomski rad istražuje utjecaj ionosfere na GNSS RTK mjerenja te ocjenjuje učinkovitost inovativne IonoGuard tehnologije, razvijene od strane tvrtke Trimble Inc., u smanjenju tih utjecaja. U prvom dijelu rada provedena su terenska mjerenja na tri lokacije (Kostanjek – 8 km, Donja Bistra – 16 km i Stubička Slatina – 24 km od bazne stanice) koristeći uređaje Trimble R12i, R780 i R980. Rezultati su pokazali povećanje rasapa s udaljenošću rovera od bazne stanice, no zbog nepostojanja simultanih mjerenja s uključenim i isključenim IonoGuard-om nisu doneseni konačni zaključci. Stoga je drugi dio ispitivanja izveden uz poboljšanu metodologiju: na svakoj od dvije lokacije (Stubička Slatina i Viča Sela – 24 km i 33 km) korištena su po dva GNSS prijarnika, jedan s aktiviranim IonoGuard-om, a drugi bez. Analiza je pokazala kako IonoGuard doprinosi stabilnosti rezultata u uvjetima izražene aktivnosti ionosfere. Rad također potvrđuje kako udaljenost od bazne stanice i ionosferski indeks (I95) jako utječu na rasap rješenja. IonoGuard može imati pozitivan učinak, ali njegova učinkovitost uvelike ovisi o vanjskim uvjetima (udaljenost, ionosfera, Sunčev ciklus...). Zaključno, potrebna su daljnja istraživanja za optimizaciju primjene sličnih tehnologija u kontekstu stvarnih promjena u ionosferi.*

***Ključne riječi:*** GNSS RTK, IonoGuard, ionosfera, rasap, Sunčev ciklus.

## ***GNSS RTK surveying under enhanced ionospheric activity conditions***

### ***Abstract:***

*Global Navigation Satellite Systems (GNSS) have enabled widespread use of precise positioning across various industries. However, the reliability of GNSS is often compromised by ionospheric disturbances – natural phenomena caused by solar activity that disrupt radio signal propagation. This thesis investigates the impact of the ionosphere on GNSS RTK measurements and evaluates the effectiveness of the innovative IonoGuard technology, developed by Trimble Inc., in mitigating these effects. In the first phase of study, field measurements were conducted at three locations (Kostanjev – 8 km, Donja Bistra – 16 km and Stubička Slatina 24 km from the base station) using Trimble R12i, R780 and R980 receivers. The results demonstrated increasing position dispersion with greater baseline lengths. However, due to the absence of simultaneous measurements with and without IonoGuard, definitive conclusions could not be drawn. Therefore, a second testing phase was implemented using an improved methodology: at two new sites (Stubička Slatina and Viča Sela – 24 km and 33 km), two GNSS receivers were used per site – one with IonoGuard activated and one without. The analysis revealed that IonoGuard contributes to positional stability during periods of higher ionospheric activity. The study confirms that both the distance from the base station and the ionospheric index (I95) significantly affect measurement accuracy. While IonoGuard can improve performance, its effectiveness depends on external conditions (baseline length, ionosphere, Solar cycle...). In conclusion, further research is required to optimize the deployment of such technologies, particularly by integrating real-time ionospheric data, in order to enhance the accuracy and reliability of GNSS positioning during intense solar activity period, such as the current 25<sup>th</sup> solar cycle.*

***Keywords:*** GNSS RTK, IonoGuard, ionosphere, dispersion, Solar cycle.

## SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. IONOSFERA.....	2
2.1 STRUKTURA I SASTAV IONOSFERE.....	2
2.2 SUNČEVE AKTIVNOSTI (PJEGE, CIKLUS, CME) .....	3
2.3 UTJECAJ IONOSFERE NA GNSS SIGNAL .....	6
2.3.1 Blagi utjecaji ionosfere na GNSS.....	10
2.3.2 Značajni utjecaji ionosfere na GNSS .....	10
2.4 TRIMBLE PLANNING I IONOSFERSKI INDEKS I95 .....	11
3. IONO GUARD TEHNOLOGIJA .....	14
3.1 PROPOINT GNSS ENGINE.....	16
3.1.1 Arhitektura sustava.....	17
3.1.2 Čvrsto spregnuta arhitektura IMU s RTK/RTX podacima .....	18
3.1.3 Filtriranje i modeliranje svih izvora pogrešaka .....	18
3.1.4 Integrirani RTK xFill.....	19
3.2 PREDNOSTI TRIMBLE PROPOINT SUSTAVA .....	19
3.2.1 Točnost (engl. <i>accuracy</i> ).....	19
3.2.2 Dostupnost (engl. <i>availability</i> ).....	20
3.2.3 Integritet (engl. <i>integrity</i> ) .....	20
4. RTK METODA I KORIŠTENI UREĐAJI.....	21
4.1 RTK METODA .....	21
4.2 KORIŠTENI UREĐAJI.....	22
4.2.1 Specifikacije uređaja Trimble Alloy .....	22
4.2.2 Specifikacije uređaja Trimble R12i.....	24
4.2.3 Specifikacije uređaja Trimble R580.....	26
4.2.4 Specifikacije uređaja Trimble R780.....	27
4.2.5 Specifikacije uređaja Trimble R980.....	29
4.3 KORIŠTENI SATELITSKI SUSTAVI.....	30
4.3.1 Galileo .....	31
4.3.2 GPS.....	31
4.3.3 GLONASS.....	31
4.3.4 BeiDou.....	31
5. PLANIRANJE OPAŽANJA I TERENSKE AKTIVNOSTI .....	33
5.1 TERENSKE AKTIVNOSTI DANA 15.11.2024. ....	33

5.2 TERENSKE AKTIVNOSTI DANA 27.5.2025. ....	37
6. REZULTATI .....	41
6.1 OBRADA PODATAKA U TBC-U.....	41
6.2 REZULTATI RTK POZICIONIRANJA DANA 15.11.2024. ....	43
6.3 REZULTATI RTK POZICIONIRANJA DANA 27.5.2025. ....	52
7. ZAKLJUČAK.....	57
LITERATURA.....	59
POPIS SLIKA .....	61
POPIS TABLICA.....	63

## 1. UVOD

Razvoj naprednih tehnologija za precizno pozicioniranje, poput Globalnih navigacijskih satelitskih sustava (engl. *Global Navigation Satellite System* – GNSS), omogućio je široku primjenu istog u industrijama kao što su geodezija, navigacija, poljoprivreda, građevinarstvo, rudarstvo i logistika. Međutim, pouzdanost, preciznost i točnost ovih sustava mogu biti ugroženi zbog ionosferskih poremećaja – prirodnih pojava uzrokovanih Sunčevim zračenjem koje utječu na propagaciju radio signala.

Ionosfera, sloj atmosfere ispunjen električki nabijenim česticama, od ključne je važnosti za prijenos valova na velike udaljenosti, u ovom slučaju radio valova satelita. Promjene u ionosferi, osobito tijekom geomagnetskih oluja i perioda povećane Sunčeve aktivnosti, mogu izazvati kašnjenja, smetnje i degradaciju GNSS signala. Spomenuti negativni utjecaji predstavljaju značajan izazov za industrije koje ovise o preciznom satelitskom pozicioniranju.

Kako bi se smanjio utjecaj ionosfere i njezine negativne posljedice, razvijena je **IonoGuard tehnologija** – inovativno rješenje koje koristi sofisticirane algoritme za praćenje i obradu GNSS signala. Ova tehnologija omogućuje korisnicima održavanje visoke razine preciznosti i pouzdanosti pozicioniranja čak i tijekom razdoblja visoke Sunčeve aktivnosti koja direktno utječe na stanje ionosfere. U ovom radu će biti istražena temeljna svojstva ionosfere, izazove koje predstavlja za GNSS sustave te načine na koje IonoGuard tehnologija doprinosi njihovom smanjenju.

Na kraju ovog rada biti će prikazani rezultati dvaju terenskih ispitivanja IonoGuard tehnologije.

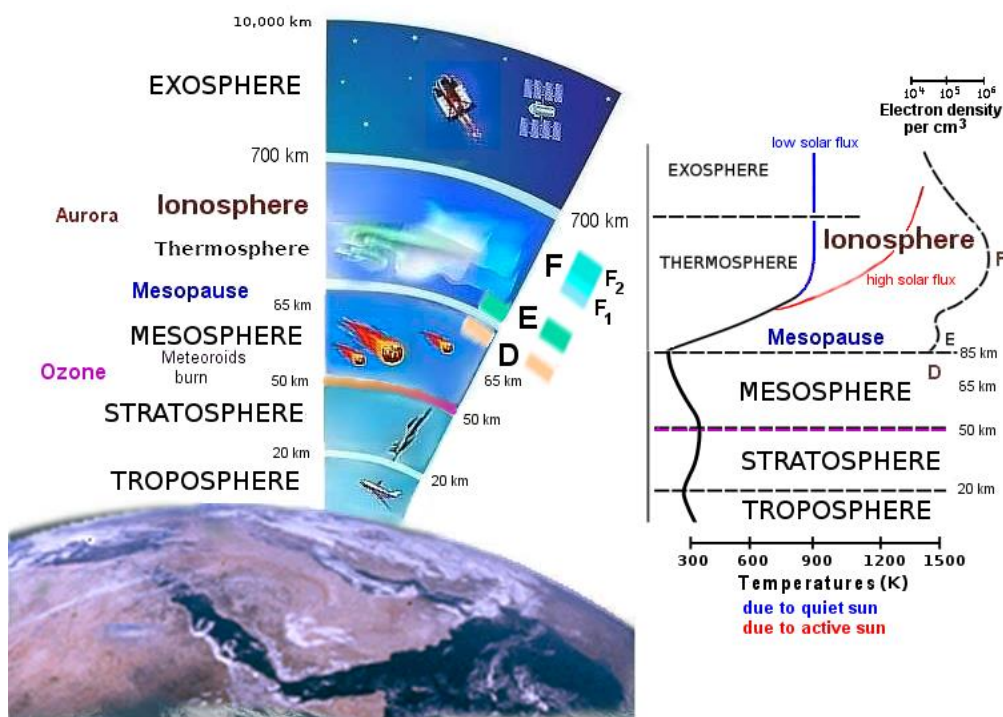
Prvo terensko ispitivanje praktično je realizirano koristeći klasičnu RTK metodu (engl. *Single – Base RTK*) gdje je kao referentni uređaj korišten GNSS prijamnik Trimble Alloy smješten u sjedištu tvrtke Geomatika Smolčak d.o.o. u Gornjem Stupniku. Mjerenja su provedena na lokaciji Kostanjek (8 km od Gornjeg Stupnika), Donja Bistra (16 km od Gornjeg Stupnika) i Stubička Slatina (24 km od Gornjeg Stupnika) primjenom najnovijih uređaja marke Trimble, točnije Trimble R12i (8 km duljine bazne linije), Trimble R780 (16 km duljine bazne linije) i Trimble R980 (24 km duljine bazne linije), u koje je implementiran već spomenuti softver.

Drugi dio terenskog ispitivanja je realiziran na malo drugačiji način u smislu promjene udaljenosti pokretnog prijavnika – *rover* od bazne stanice. Referentni uređaj je kao i u prvom dijelu smješten u sjedištu tvrtke Geomatika Smolčak. Mjerenja su provedena na lokacijama Stubička Slatina i Viča Sela s po dva GNSS uređaja na svakoj lokaciji. Na svakoj lokaciji bio je po jedan uređaj koji ima IonoGuard opciju isključenu i po jedan uređaj koji ima IonoGuard opciju uključenu. Metodologija, obrada, rezultati i interpretacija istih su prikazani u zasebnim poglavljima ovog rada.

## 2. IONOSFERA

### 2.1 STRUKTURA I SASTAV IONOSFERE

Zemljina atmosfera je podijeljena u različite slojeve prema njihovim karakterističnim fizikalnim svojstvima i različitim utjecajima na elektromagnetske valove. S obzirom na elektromagnetska svojstva, atmosfera se dijeli na neutralnu atmosferu i ionosferu. Neutralnu atmosferu čine troposfera i stratosfera (u GNSS zajednici često je samo nazivaju troposferom). Kašnjenje uzrokovano neutralnom atmosferom se naziva troposfersko kašnjenje, o čemu će više riječi biti u sljedećim poglavljima. Troposfera se proteže od Zemljine površine do otprilike 50 km u visinu. Zemljina atmosfera i njezini dijelovi su prikazani na slici 2.1.



Slika 2.1 Slojevi Zemljine atmosfere i slojevi ionosfere (URL 1).

Troposfersko kašnjenje je ovisno o temperaturi, tlaku i parcijalnom tlaku vodene pare. Utjecaj troposferskog kašnjenja na GNSS signale nije previše značajan jer je njegov iznos malen u odnosu na djelovanje ionosfere. Ionosfera predstavlja najveći pojedinačni izvor pogrešaka kod GNSS-a što je vidljivo iz tablice 2.1 te se kao takva mora uzeti u obzir prilikom pozicioniranja i navigacije.

Tablica 2.1 Izvori pogrešaka koji utječu na GNSS signale i njihovi iznosi (Hoffman-Wellenhof i dr., 2008)

Izvor pogreške	Iznos [m]
Podaci efemerida	2,1
Satovi satelita	2,0

Izvor pogreške	Iznos [m]
Ionosfera	4,0
Troposfera	0,5
Multipath	1,0
Šum prijamnika	0,5

Kao što se može zaključiti iz tablice 2.1, ionosfera je glavni i najveći uzrok pogrešaka GNSS signala.

Ionosfera (ion + -sfera) (stariji naziv Heavisideov sloj ili Kennelly-Heavisideov sloj) je električni vodljivi sloj Zemljine atmosfere na visini od 50 km do 1000 km (prema nekim ionosfera u visini nije ograničena) u kojem su plinovi ionizirani pod djelovanjem Sunčeva ultraljubičastoga zračenja (engl. *ultraviolet* – UV) i kozmičkoga zračenja. Gornja granica ionosfere nije strogo definirana jer se gustoća elektrona postupno smanjuje, prelazeći u plasmasferu (ili protonosferu, gdje dominiraju pozitivni protoni) te zatim u međuplanetarnu plazmu. Primarni izvor ionizacije je već spomenuto Sunčevo UV zračenje i X zračenje (rendgensko zračenje), kroz proces poznat pod imenom fotoionizacija ( $X + \text{foton} > X^+ + e^-$ ). Položaj i svojstva ionosfere mijenjaju se ovisno o dobu dana, godišnjem dobu o Sunčevoj aktivnosti (Nikolac 2020).

Ionizacija atmosferskih plinova najjača je kada je najjače Sunčevo zračenje, u lokalno podne, a tijekom noći prevladava rekombinacija (spontano spajanje elektrona i pozitivnih iona u neutralne atome i molekule). Gustoća elektrona u cijeloj ionosferi se smanjuje noću i s obzirom da je za molekularne ione ( $\text{NO}^+$  i  $\text{O}_2^+$ ) razina rekombinacije s elektronima puno veća nego za atomske ione ( $\text{O}^+$ ) niži slojevi ionosfere potpuno iščezavaju (sloj D vidljiv na slici 2.1). Na polarnim područjima za ionizaciju atmosfere jako su bitne i čestice Sunčevog vjetera. Ioni i elektroni stvoreni visoko u atmosferi difuzijom mogu prijeći u niže slojeve, vođeni Zemljinim magnetskim poljem (Nikolac 2020).

Kako se visina smanjuje, apsorpcija UV svjetlosti u ionosferi raste, a gustoća neutralnih atoma i molekula također se povećava. Ukupan rezultat je formiranje sloja s maksimalnom gustoćom elektrona. Međutim, budući da različiti atomi i molekule apsorbiraju UV svjetlost različitim brzinama, formira se niz specifičnih regija ili slojeva gustoće elektrona, poznatih kao D, E, F1 i F2 (Slika 2.1). Sloj F2 obično sadrži najvišu gustoću elektrona (Langley 2000).

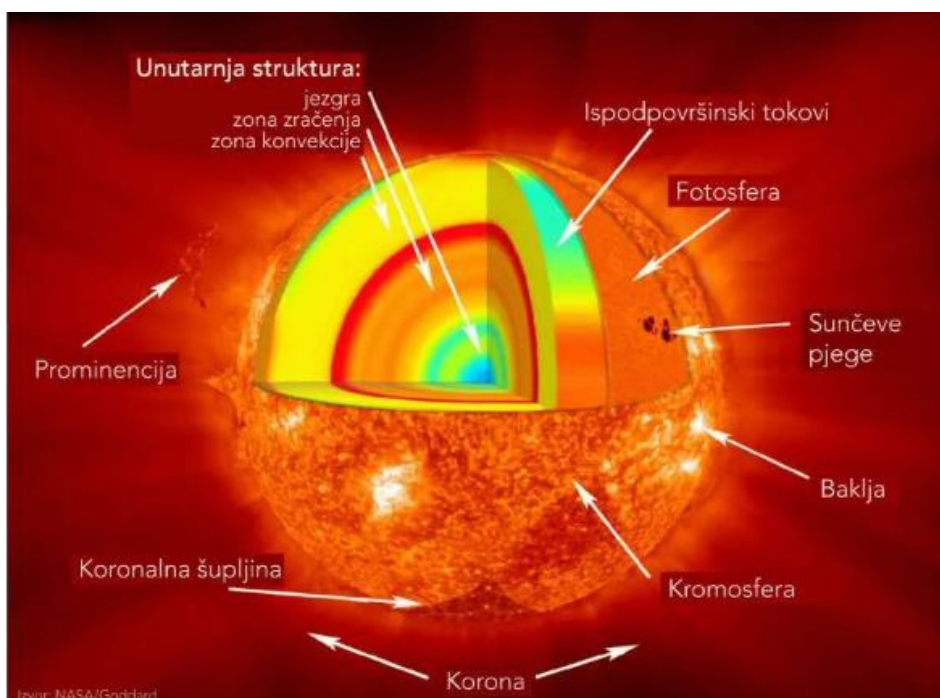
Struktura ionosfere nije stabilna već se neprestano mijenja u skladu s promjenama u Sunčevom zračenju i Zemljinom magnetskom polju. Ova promjenjivost utječe na GNSS signale dok prolaze kroz ionosferski sloj na putu prema prijamnicima korisnika.

## 2.2 SUNČEVE AKTIVNOSTI (PJEGE, CIKLUS, CME)

Osim rendgenskih zraka i ultraljubičaste svjetlosti, Sunce kontinuirano emitira široki spektar elektromagnetskog zračenja, kao i čestično zračenje, u prvom redu u obliku protona i elektrona poznato kao Sunčev vjetar. Iako je razina ovog zračenja gotovo pa stalna, manja odstupanja imaju značajan utjecaj jer izravno utječu na čestice u ionosferi. Pojačana Sunčeva aktivnost se odražava povećavanjem broja bljeskova, koronarnih rupa i izbačaja koronarne mase.

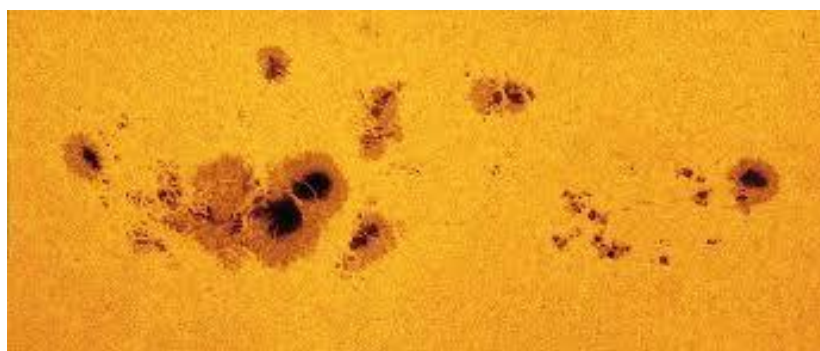
Sunčev bljesak predstavlja naglo oslobađanje energije u Sunčevoj atmosferi, pri čemu se emitira elektromagnetsko zračenje, a ponekad i energetske čestice i dijelovi plazme. Posljedica bljeska jest značajan porast ionizacije u donjim dijelovima ionosfere na onom dijelu Zemlje koje je obasjano Suncem. Zračenje koje putuje brzinom svjetlosti stiže na Zemlju za otprilike 8 minuta, što u prijevodu znači da su posljedice bljeska osjetne ubrzo nakon njegovog nastanka. Suprotno od spomenutih čestica visoke energije, česticama niže energije Sunčevog vjetra potrebno je dva do tri dana kako bi stigle do Zemlje.

Sunčevi bljeskovi su direktno povezani s jakim magnetskim poljima koja se manifestiraju sunčevim pjegama – relativno hladnim područjima koje izgledaju kao tamne mrlje na Sunčevoj površini. Sunčeve pjege nastaju kada se linije magnetskog polja Sunca zatežu i izlaze kroz Sunčevu fotosferu – vidljivi sloj Sunca koji je prikazan na slici 2.2.



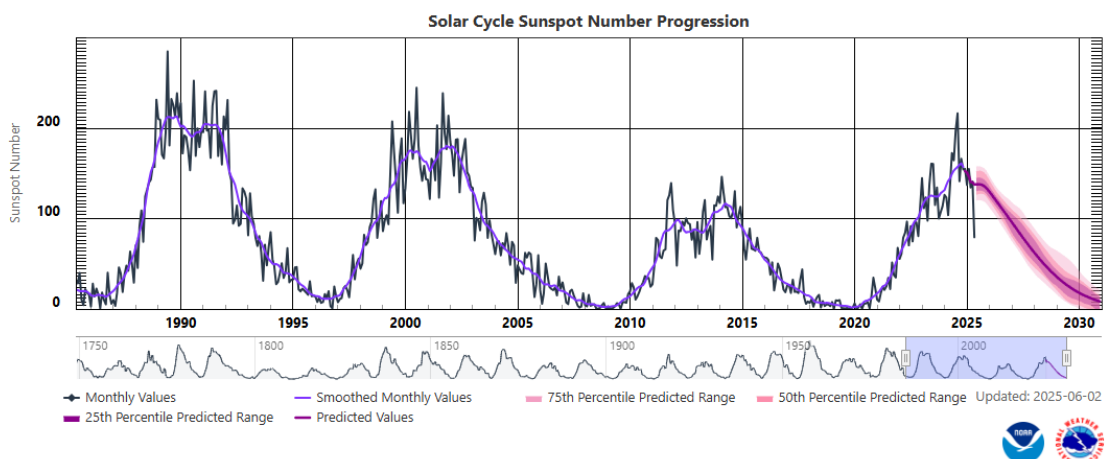
Slika 2.2 Dijelovi Sunca (URL 2).

Sunčeve pjege (Slika 2.3) promatrane su od početka 1600-ih, a redovita dnevna brojanja sunčevih pjega počela su 1749. godine.



Slika 2.3 Sunčeve pjege izbliza (URL 3).

Broj sunčevih pjega raste i opada u ciklusu koji traje približno 11 godina, poznat pod imenom – Solarni ciklus koji je vidljiv na slici 2.4. Znanstvenici umjesto brojanja pojedinačnih Sunčevih pjega izračunavaju broj Sunčevih pjega na temelju broja skupina i pojedinačnih pjega. Broj Sunčevih pjega može značajno varirati iz dana u dan, pa se obično koristi pomični prosjek za prikazivanje dugoročnih trendova. Trenutno se nalazimo u 25. ciklusu i vrijeme kroz 2025. bi trebalo biti vrhunac Sunčeve aktivnosti. Ovaj period je također i 4. ciklus proučavanja i konstantnog razvoja tehnologije koja ima cilj smanjiti posljedice Sunčeve aktivnosti jer je GPS tehnologija točnije RTK metoda doživjela svoj procvat početkom devedesetih godina 20. stoljeća. To nam svjedoči i prikaz na slici 2.4 koji prikazuje broj Sunčevih pjega kroz vrijeme.



Slika 2.4 Sunčevi ciklusi i broj sunčevih pjega (URL 4).

Povećana solarna aktivnost također je očitovana u obliku otpuštanja (izbacivanja) koronine mase (engl. *Coronal Mass Ejection* – CME) (korona – vanjski sloj Sunčeve atmosfere). Koronini izbačaji mase uključuje izbacivanje ogromnih mjehurića plazme, s velikim iznosom mase (red veličine milijarda) koji ubrzavaju do brzina od milijun kilometara na sat. Navedeni događaj je uzrokovan nepravilnostima solarnog magnetskog polja. CME se često povezuje sa Sunčevim bljeskovima i erupcijama – mijenja se u skladu s ciklusom Sunčevih pjega. Tijekom solarnog minimuma primijećeno je otprilike jedan CME događaj tjedno, dok je tijekom solarnog maksimuma zabilježeno dva do tri CME-a na dnevnoj razini. Ako je kojim slučajem CME usmjeren prema Zemlji, može doći do smetnje u cjelokupnom Zemljinom magnetskom polju, poznate kao geomagnetska oluja.

Kada solarne oluje stignu do Zemlje uzrokuju poremećaje u Zemljinu magnetskom polju – nabijene čestice stupaju u interakciju s neutralnom Zemljinom atmosferom stvarajući pobuđene ione i dodatne elektrone (geomagnetske oluje). Ove oluje imaju jako velik utjecaj na propagaciju GNSS signala i vremensko kašnjenje istog pa čak i potpuni prekid dolaska signala do prijemnika.

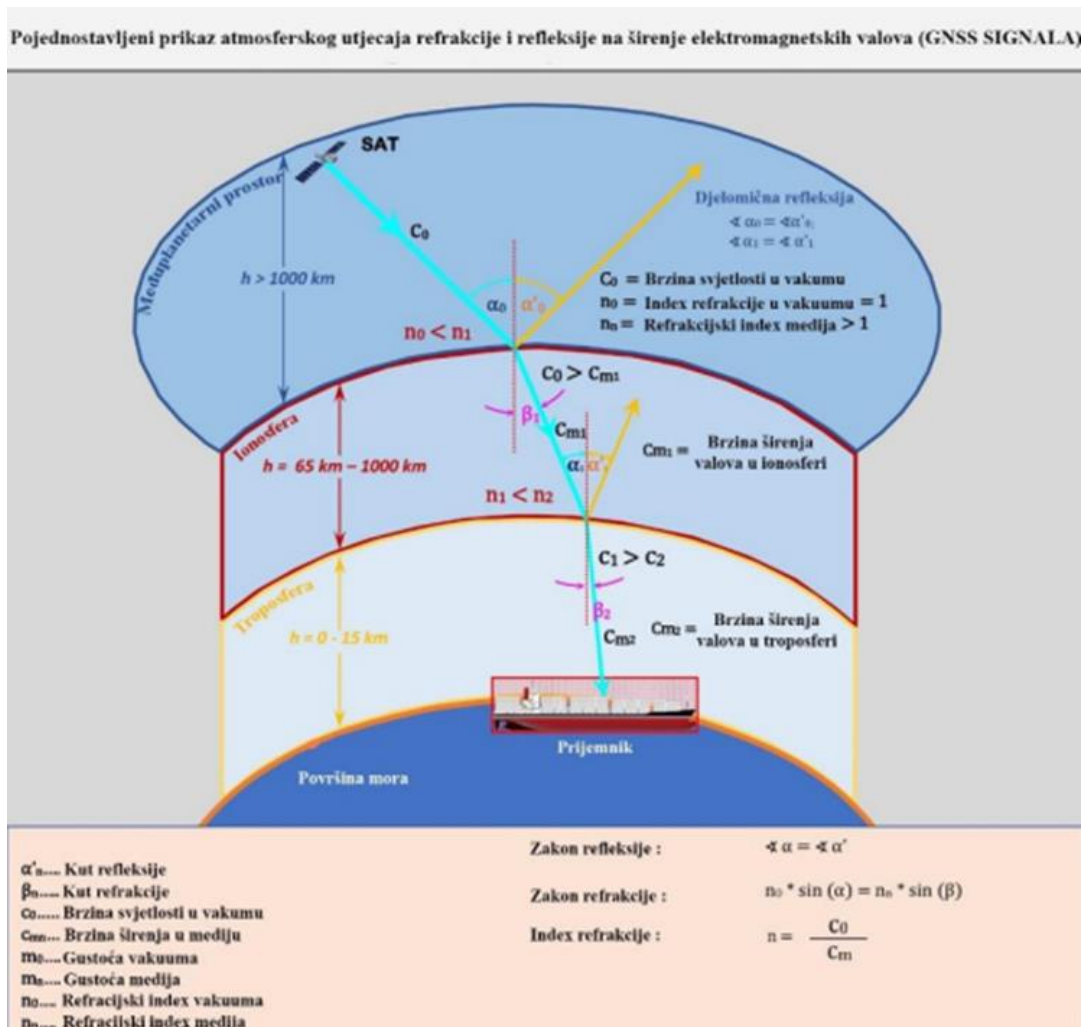
Jedna od vidljivih posljedica geomagnetskih oluja jest pojava polarne svjetlosti – svjetlost koja se javlja u visokim slojevima Zemljine atmosfere, najčešće vidljiva u sjevernim polarnim krajevima (lat. *Aurora borealis*) i južnim polarnim krajevima (lat. *Aurora australis*).

## 2.3 UTJECAJ IONOSFERE NA GNSS SIGNAL

Kada signal satelita uđe u gušću ionosferu iz međuplanetarnog prostora, događaju se dva fenomena:

- refrakcija i
- refleksija

Refrakcija i refleksija vala su prikazani na slici 2.5.



Slika 2.5 Pojednostavljeni primjer djelovanja refrakcije i refleksije na elektromagnetske valove (URL 5).

Refleksija valova u fizici označava odbijanje ravnih valova na graničnoj površini između dva različita medija. Elektromagnetsko zračenje obično se samo djelomično reflektira na toj granici, što nazivamo djelomičnom refleksijom. Zakon refleksije kaže da, ako upadna zraka, okomica na površinu i reflektirani val leže u istoj ravnini, tada je upadni kut ( $\alpha$ ) jednak reflektiranom kutu ( $\alpha'$ ). Indeks loma, koji pokazuje omjer valne duljine svjetlosti u vakuumu i u mediju, ovisi o valnoj duljini svjetlosti, što znači da valovi različitih valnih duljina mogu biti reflektirani u različitim omjerima (Ćopić 2023).

Elektromagnetski valovi rasprostiru se prostorom s valnom duljinom  $\lambda$  i frekvencijom  $f$ . U tom slučaju za faznu brzinu ( $v_{ph}$ ) vrijedi izraz:

$$v_{ph} = \lambda \cdot f, \quad (1)$$

za grupu valova s malo različitim frekvencijama (kodovi) izraz za grupnu brzinu glasi:

$$v_{gr} = -\frac{df}{d\lambda} \cdot \lambda^2. \quad (2)$$

Relacija između fazne i grupne brzine definirana je Rayleigh-ovom jednačbom koja glasi:

$$v_{gr} = v_{ph} - \lambda \frac{dv_{ph}}{d\lambda}. \quad (3)$$

Refrakcija u fizici znači promjenu smjera širenja valova kroz prostornu promjenu indeksa loma medija kroz koji val prolazi. Indeks refrakcije  $n$  se definira kao omjer brzine svjetlosti u vakuumu i brzine svjetlosti u tom mediju:

$$n = \frac{c}{v} \quad (4)$$

gdje je:  $v$  brzina svjetlosti u mediju a  $c$  brzina svjetlosti u vakuumu.

Dok je brzina izvedena iz navedenog izraza i glasi:

$$v = \frac{c}{n}. \quad (5)$$

Ako se navedeni izraz primjeni na faznu i grupnu brzinu mogu se definirati formule za indeks refrakcije faze  $n_{ph}$ ,

$$v_{ph} = \frac{c}{n_{ph}}, \quad (6)$$

te također i indeks refrakcije grupe  $n_{gr}$ ,

$$v_{gr} = \frac{c}{n_{gr}}. \quad (7)$$

Diferenciranjem fazne brzine s obzirom na  $\lambda$  dobije se modificirana Rayleigh-eva jednačba koja glasi:

$$n_{gr} = n_{ph} - \lambda \frac{dn_{ph}}{d\lambda}. \quad (8)$$

Kako je navedeno prije u tekstu, ionosfera se proteže u slojevima 50 – 1000 km iznad Zemljine površine te je ona disperzivni medij za GNSS signale. Aproksimacijom indeksa refrakcije u red dobiva se izraz:

$$n_{ph} = 1 + \frac{c_2}{f^2} + \frac{c_3}{f^3} + \frac{c_4}{f^4} + \dots \quad (9)$$

gdje koeficijent  $c_2$  nije ovisan o frekvenciji nego je ovisan  $N_e$  kojim se označava broj elektrona po metru kubnom ( $m^3$ ) tj. gustoći elektrona duž trajektorije gibanja signala.

Uz pomoć gore navedene formule i zanemarujući članove višeg reda od kvadratnog slijede izrazi za indekse refrakcije faze i grupe:

$$n_{ph} = 1 + \frac{c_2}{f^2} \quad i \quad n_{gr} = 1 - \frac{c_2}{f^2} \quad (10)$$

pri čemu vrijede relacije  $n_{gr} < n_{ph}$  te  $v_{gr} > v_{ph}$  (Hoffman-Wellenhof i dr. 2008).

Zbog odnosa indeksa refrakcije za fazu i grupu, može se zaključiti da su kodna GNSS mjerenja zakašnjela (engl. *code delay*), a fazna mjerenja ubrzana (engl. *phase advance*).

Utjecaj ionosfere na GNSS mjerenja izražen razlikom mjerene i geometrijske udaljenosti te se naziva ionosferskom refrakcijom  $\Delta^{IONO}$ . Uz procjenu kako je  $c_2 = -40,3 N_e$  (Seeber 1993) ionosferska refrakcija se za fazu i grupu može izraziti izrazima:

$$\Delta_{ph}^{IONO} = -\frac{40,3}{f^2} TEC \quad i \quad \Delta_{gr}^{IONO} = \frac{40,3}{f^2} TEC, \quad (11)$$

gdje  $TEC$  (engl. *Total Electron Content – TEC*) označava ukupnu količinu elektrona duž putanje signala satelita, a završni rezultat je izražen dužinom u metrima.  $TEC$  se mjeri u jedinici  $10^{16}$  elektrona po metru kvadratnom ( $m^2$ ).

Bitno je staviti naglasak na to da  $TEC$  u prethodnom izrazu označava ukupnu količinu elektrona uzduž putanje signala na relaciji satelit – prijamnik te uključuje sve elektrone u stupcu poprečnog presjeka od  $1 m^2$ . Iz tog razloga je najčešće korištena modelirana ukupna (totalna) vertikalna količina elektrona (engl. *Total Vertical Electron Content – TVEC*):

$$\Delta_{ph}^{IONO} = -\frac{1}{\cos z'} \frac{40,3}{f^2} TVEC \quad \Delta_{gr}^{IONO} = \frac{1}{\cos z'} \frac{40,3}{f^2} TVEC. \quad (12)$$

gdje je  $z'$  zenitni kut u ionosferskoj točki IP koji je prikazan na slici 2.6.



$$R_{iono-free} = \frac{f_1^2 R_{P1} - f_2^2 R_{P2}}{f_1^2 - f_2^2}$$

Ovakva kombinacija se naziva *iono-free* kombinacija.

### 2.3.1 Blagi utjecaji ionosfere na GNSS

Većina utjecaja ionosfere na GNSS mjerenja smanjena je u velikoj mjeri prijammnicima s dvostrukom frekvencijom koji daju linearnu kombinaciju slobodnu od utjecaja ionosfere koristeći opažanja na L1 i L2 frekvencijama (Mark i dr., 1998). Utjecaj na radiovalove ovisi o frekvenciji. Kašnjenje je obrnuto proporcionalno kvadratu frekvencije, zbog čega L1 (s višom frekvencijom) ima manje kašnjenje od L2.

S druge strane, prijemnici s jednom frekvencijom imaju pristup samo jednoj frekvenciji nositelja i stoga nisu u mogućnosti izravno odrediti ionosferska kašnjenja. Takvi prijemnici moraju se oslanjati na relativno grubi ionosferski model koji se emitira kao dio GPS navigacijske poruke kako bi se smanjila kašnjenja. Ovaj model s jednom frekvencijom temelji se na samo nekoliko parametara i zbog toga ne može uzeti u obzir velike polutrajne strukture koje postoje u ionosferi. Za redukciju utjecaja ionosfere za GPS mjerenja koristi se Klobucharov model (URL 6) dok se kod navigacijskog sustava Galileo koristi NeQuick model ionosfere (URL 7; URL 8).

Blagi utjecaj ionosfere također može izazvati pogreške za DGNSS sustave ako je razmak između bazne stanice i pokretnih prijammnika (rovera) dovoljno velik da ionosfera postane nekorelirana između tih lokacija. To je najčešće slučaj u ekvatorijalnoj regiji, gdje ionosferska plazma može sadržavati velike horizontalne gradijente. Zbog toga sustavi poput WADGPS-a (engl. *Wide Area Differential GPS*) uključuju ionosferski model koji se ažurira u stvarnom vremenu pomoću ionosferskih mjerenja prikupljenih iz mreže nadzornih stanica.

### 2.3.2 Značajni utjecaji ionosfere na GNSS

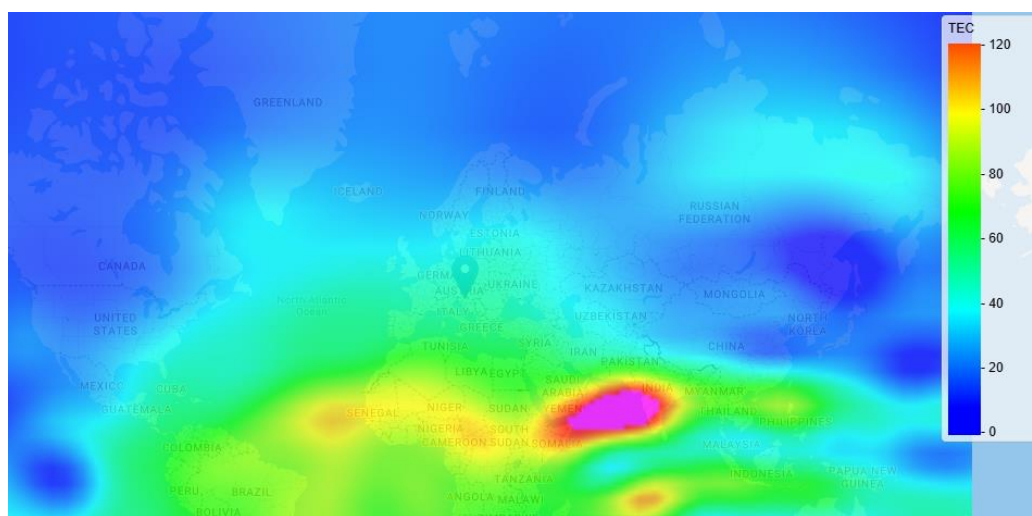
Scintilacije (engl. *scintillations* - hrv. svjetlucanje) u ionosferi su brze promjene u amplitudi, fazi, kutu dolaska i polarizaciji elektromagnetskih valova koje nastaju zbog nepravilnosti u gustoći elektrona u ionosferi (Mark i dr., 1998).

Scintilacije imaju učinak u kojem GNSS signali bivaju pod utjecajem različitih gustoća elektrona u ionosferi, što može rezultirati vrlo brzim promjenama faze i amplitude, što dovodi do lošeg praćenja, potpunog gubitka signala i/ili skokovima i cijelom broju valnih duljina faze nosećeg vala. Navedeni efekti se javljaju kod svih GNSS-a, uključujući prijammnike s jednom ili dvjema frekvencijama, DGPS i WADGPS sustave. Iako scintilacije rijetko utječu na sve satelite unutar „vidnog“ polja prijammnika, one ipak narušavaju točnost navigacijskog rješenja smanjujući kvalitetu geometrije dostupne konstelacije satelita.

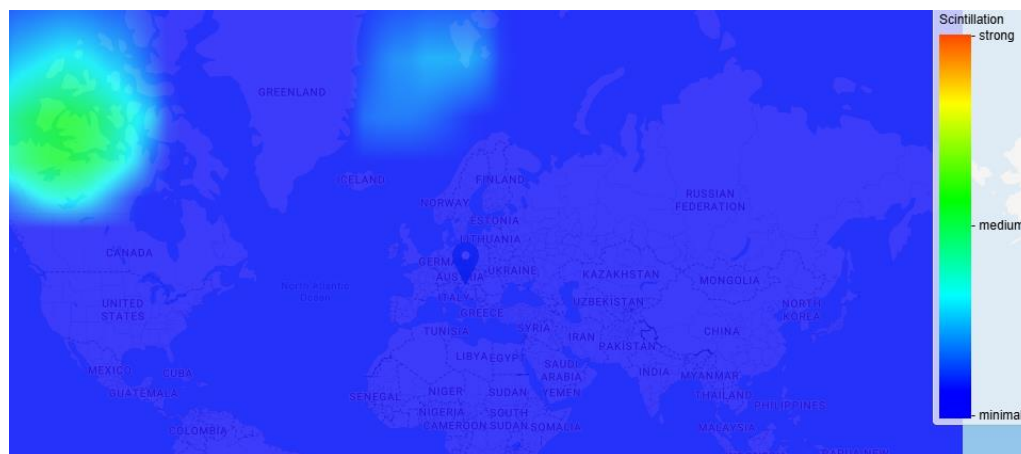
Stoga pokrivenost satelitima, kao i intenzitet scintilacija, ima utjecaj na konačno rješenje navigacije i pozicioniranja. U nepovoljnim elektromagnetskim okruženjima, praćenje signala koji je već oslabljen djelovanjem scintilacija postaje još teže i zahtjevnije jer signal postaje laka meta interferencije koje uzrokuje ionosfera.

## 2.4 TRIMBLE PLANNING I IONOSFERSKI INDEKS I95

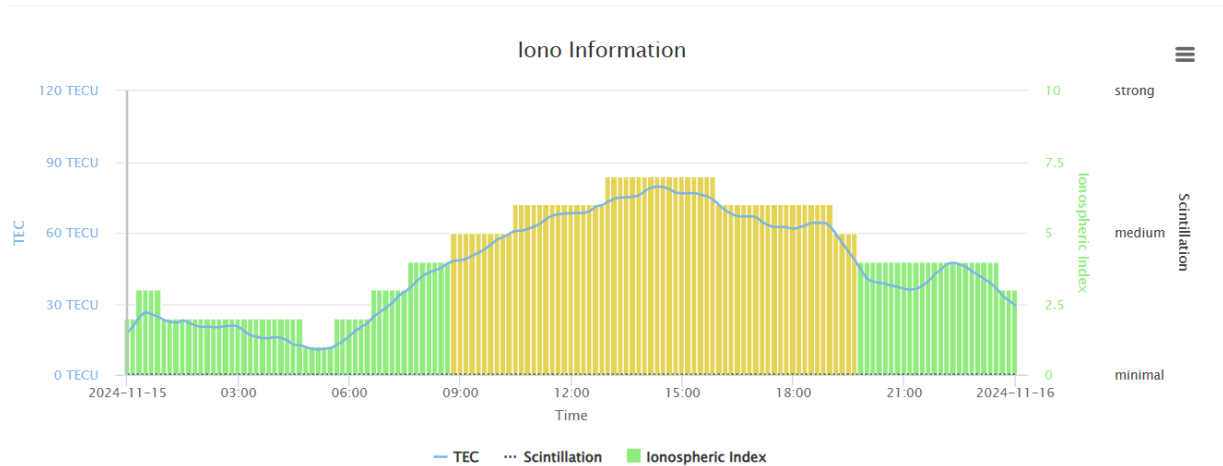
Za vrijeme vrhunca solarne aktivnosti, kada su određeni dijelovi ionosfere pod jakim utjecajem istih, dolazi do većih kašnjenja i pogrešaka u GNSS signalima. Iako je ionosfera najaktivnija tijekom lokalnog podneva i oko lokalnog podneva, to nije baš uvijek slučaj. Zbog toga je Trimble postavio globalnu mrežu čija je zadaća promatranje i mjerenje parametara ionosfere, čiji su podaci dostupni svim ljudima na internetu (*Trimble GNSS Planning Online*). GNSS Planning Online alat izradila je tvrtka Trimble Terrasat GmbH (URL 9). To omogućuje korisnicima planiranje svojih mjerenja i opažanja te ujedno i izbjegavanje nepovoljnog vremena u ionosferi koje može imati jako loše posljedice na mjerenja i opažanja. Na slici 2.7 je prikazana karta svijeta kao podloga vrijednostima TEC-a u ovisnosti o vremenu, dok je na slici 2.8 također prikazana karta svijeta kao podloga scintilacijama ovisnim o vremenu (URL 9).



Slika 2.7 Screenshot Trimble GNSS Planning Online Iono Map – TEC na dan 15.11.2024. u 14:10 UTC (URL 9).



Slika 2.8 Screenshot Trimble GNSS Planning Online Iono Map – Scintillation na dan 15.11.2024. u 11:10 UTC (URL 9).



Slika 2.9 Informacije o aktivnosti ionosfere na dan 15.11.2024. (URL 9).

Na slici 2.9 prikazane su informacije o aktivnosti ionosfere na dan 15.11. (TEC, scintilacije i ionosferski indeks).

Važna veličina za opisivanje djelovanja ionosfere na GNSS signal je TEC koji je detaljno opisan u prethodnom poglavlju. TEC je izražen jedinicom koja prikazuje broj elektrona po metru kvadratnom,  $10^{16}$  elektrona/m<sup>2</sup> = 1 TECU (engl. *TEC Unit*). TEC i grupno kašnjenje GNSS signala povezani su relacijom:

$$\Delta t_{ion} = \frac{k}{f^2} TECU \quad (14)$$

gdje je  $k$  konstanta koja iznosi 40.3, a  $f$  frekvencija nosećeg vala. Za GPS L1 frekvenciju koja je iznosa 1575,42 MHz jedna TEC jedinica (TECU) odgovara kašnjenju u iznosu od 0,162 m.

Trimble također pruža indeks ionosfere za određeno vrijeme i lokaciju na Zemlji. Indeks ionosfere definiran je kao maksimum između vrijednosti TEC-a i indeksa scintilacije pri čemu su obje vrijednosti normalizirane na ljestvicu od 0 do 10 (gdje je 10 najveća moguća vrijednost). Navedeni odnos prikazan je formulom (15) (URL 9) :

$$iono\ indeks = \max\left(\frac{TEC}{12}, \frac{indeks\ scintilacije}{10}\right) \quad (15)$$

Kako je GNSS zajednica rasla i razvijala se, širom svijeta je postavljena gusta mreža referentnih stanica, po prvi put u povijesti je postalo moguće odrediti i izraditi precizne modele korekcije. Temelje se na ovisnosti pogrešaka o udaljenosti koje su u većini slučajeva uzrokovane atmosferskom refrakcijom. Navedeni modeli korekcije utemeljeni su na riješenim ambiguitetima noseće faze određenog opažanja i omogućuju bilježenje razlika u atmosferskim utjecajima s točnošću od milimetra do centimetra.

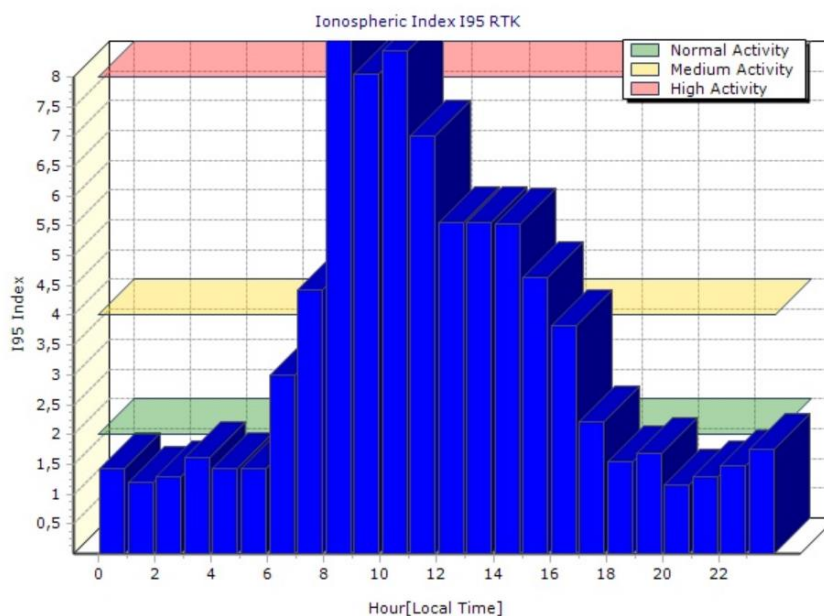
Ionosferski modeli izrađuju se za svaki pojedini satelit i visokom vremenskom razlučivošću. Svaki model korekcije sadrži dva koeficijenta koji predstavljaju razlike ionosferskih pogrešaka u dva smjera: zapad – istok ( $\Delta_{LON}$ ) te jug – sjever ( $\Delta_{LAT}$ ). Frekvencija određivanja koeficijenata je nekoliko stotina na sat.

Ionosferski indeks I95 se temelji na prethodno spomenutim koeficijentima ionosferskog modela. Indeks I95 se također temelji na diferencijalnim ionosferskim rezidualima koji se računaju iz mreže GNSS stanica. Prvobitno je namijenjen isključivo za podršku RTK sustavima s jednom baznom stanicom, ali kasnije se pokazao korisnim i za korisnike mrežnog RTK rješenja. U cilju smanjivanja opsega koeficijenata, svakih nekoliko koeficijenata se kombinira pomoću formule:

$$\Delta I = \sqrt{(\Delta I_{LAT})^2 + (\Delta I_{LON})^2} \quad (16)$$

Pomoću formule (16) uklanja se podatak o smjeru ionosferske pogreške. Nastavno na spomenuto, indeks I95 odgovara 95% svih  $\Delta I$  vrijednosti za neki unaprijed definiran vremenski period. Primijenjena je granica od 95% iz razloga što se pretpostavlja kako softveri za obradu noseće faze GNSS signala mogu prepoznati i odbaciti ona opažanja i signale koji su najviše pogođeni. Indeks I95 objedinjuje diferencijalne ionosferske pogreške svih dostupnih satelitskih signala na najmanje dvije bazne linije (najmanje tri referentne stanice) u jedan broj (URL 10).

U Republici Hrvatskoj na mrežnim stranicama CROPOS-a (CROPOS GNSS Web) (Slika 2.9) također je moguće vidjeti stanje ionosfere za određeni dan i sat, što omogućuje korisnicima u Hrvatskoj detaljnije planiranje opažanja i mjerenja. Na stranici je moguće vidjeti graf ionosferskog indeksa I95 za različite metode opažanja (DGPS, RTK, RTX\_Bds3).



Slika 2.10 Screenshot CROPOS GNSS Web stranice - Ionospheric Index I95 RTK na dan 15.11.2024. (URL 11)

Na slici 2.10 vidljivo je kako je tokom većine dana 15.11.2024. indeks I95 bio jako visok. Najviše vrijednosti su iznosile oko 8 (najviša vrijednost i velika aktivnost ionosfere), a najniže oko 4 (umjerena aktivnost ionosfere). Vrijednosti indeksa I95 koje su manje od 2 smatraju se niskima dok se one iznad 8 smatraju visokima.

### 3. IONOGUARD TEHNOLOGIJA

Kako bi se došlo do konačnog proizvoda – ublažavanje, smanjenje (engl. *mitigation*) ionosferskih utjecaja u GNSS RTK prijemnicima, inženjeri i znanstvenici iz Trimble-a zahtijevaju podatke prikupljene na područjima gdje je problem prisutan. Istraživačko – razvojni centri Trimble-a uglavnom su lokalizirani oko srednjih geografskih širina gdje su utjecaji i poremećaji ionosfere niski. Kako je prikupljanje podataka za sve GNSS frekvencije tijekom razdoblja visoke solarne aktivnosti logistički jako zahtjevan posao, znanstvenici su konstruirali specijalizirane RF (engl. *radio frequency*) prijamnike koji su kontinuirano i simultano prikupljali podatke na više lokacija na nižim i višim geografskim širinama i pohranjivali ih u svoju internu memoriju (URL 12).

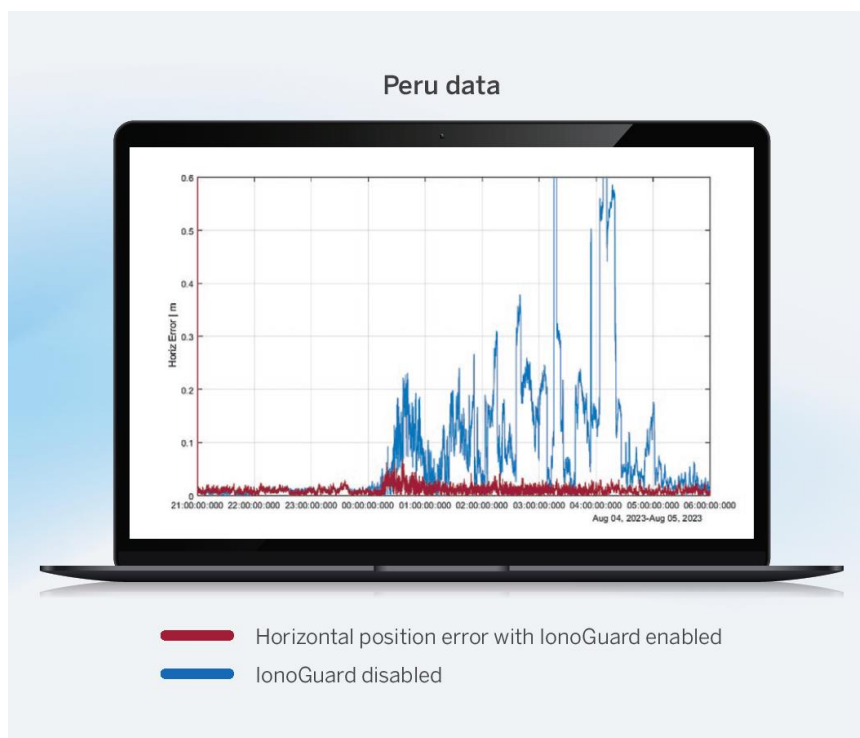
Rezultati su pokazali velike količine sezonske ionosferske aktivnosti, uz poneke veće solarne oluje, te su isti podaci poslužili za istraživanje i razvoj nove tehnologije – IonoGuard tehnologija. Nakon toga ista tehnologija je aplicirana u uređaje na način da se uređajima instalira novi softver (engl. *firmware*) koji pomaže boljem radu uređaja.

Svaki novi solarni ciklus se koristi za prikupljanje novih podataka i unaprjeđenje IonoGuard tehnologije u Trimble uređajima.

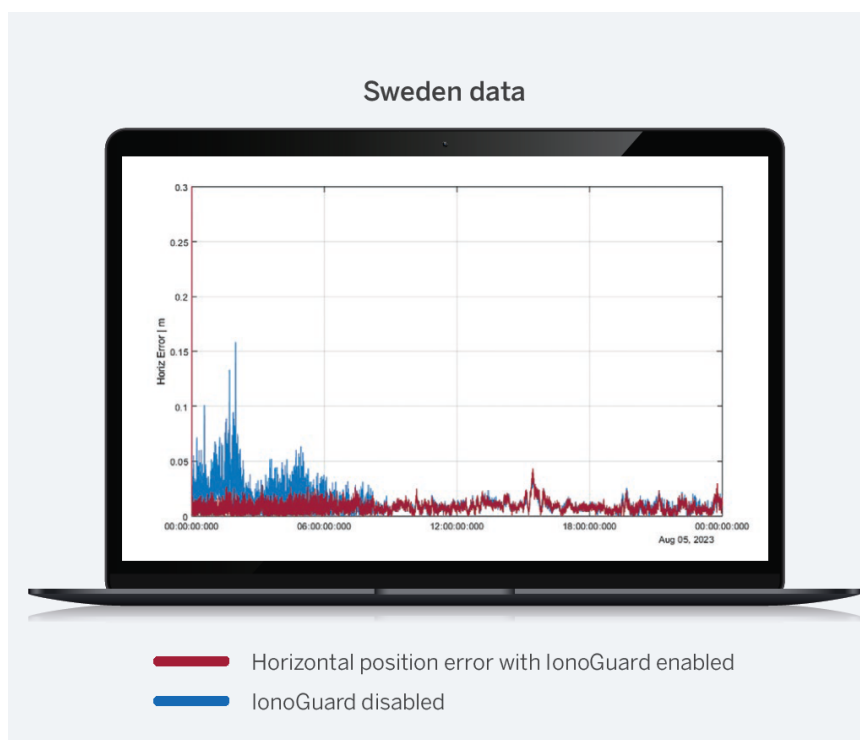
Na slici 3.1, 3.2 i 3.3. vidljivo je poboljšanje primjenom IonoGuard algoritma pozicioniranja za vrijeme solarne oluje za dan 5. kolovoza 2023.



Slika 3.1 Poboljšanje pozicioniranja iz Brazila za vrijeme solarne oluje dana 5. kolovoza 2023. (URL 12).



Slika 3.2 Poboljšanje pozicioniranja iz Perua za vrijeme solarne oluje dana 5. kolovoza 2023. (URL 12).



Slika 3.3. Poboljšanje pozicioniranja iz Švedske za vrijeme solarne oluje dana 5. kolovoza 2023. (URL 12).

Tijekom ionosferskih oluja mogu postojati značajne razlike u faznom i grupnom kašnjenju zbog prolaska kroz ionosferu koje ovise o frekvenciji – stoga je važno da prijammnik ne bude ovisan o samo jednoj frekvenciji za rad. Trimble-ova obrada GNSS signala je poboljšana na način da prati svaki signal neovisno. Iznimka od ovog pravila su L2 kodna mjerenja na GPS satelitima lansiranim prije 2005. godine, za razliku od novijih L2C signala, spomenuti signal je ovisan o L1 signalu za dobivanje rješenja. Kako bi se taj problem riješio, IonoGuard tehnologija prilagođava obradu signala na tim kanalima za minimalnu pogrešku u rješenju.

RTK algoritmi se oslanjaju na mjerenja noseće faze svih frekvencija. Dok su prisutne jake smetnje ionosfere prijammnik može izgubiti vezu s nosećim valom na kratko vrijeme, najčešće na nekoliko sekundi. Poboljšanja implementirana u IonoGuard je smanjila iznos vremena potrebnog za oporavak praćenja nosećeg vala i minimizirala potencijalne pogreške.

Osnovne značajke IonoGuard tehnologije su:

- korekcije ionosfere u stvarnom vremenu – pruža kontinuirano ažuriranje popravaka i podataka u svrhu neutraliziranja kašnjenja i poboljšanje preciznosti pozicioniranja,
- globalna pokrivenost – osigurava besprijekoran rad i pouzdane performanse u svim regijama svijeta,
- jednostavna integracija i instaliranje – dizajnirana za rad s postojećim Trimble GNSS prijammnicima uz minimalnu prilagodbu i konfiguriranje.

Trimble IonoGuard tehnologija je integrirana u Trimble ProPoint RTK sustav. Najbolje performanse se očekuju kada je IonoGuard implementiran na obje strane – na bazi i rover uređaju. Kada je IonoGuard omogućen na baznoj stanici, ionosferske informacije za svaki satelit šalju se putem CMRx (engl. *Compressed Measurement Record – Extended*) ili RTCM (engl. *Radio Technical Commission for Maritime Services*) MSM (engl. *Multiple Signal Messages*) protokola do rover uređaja. IonoGuard rover prijammnici koriste ove informacije zajedno sa svojim vlastitim ionosferskim podacima i rješenjima kako bi optimizirali izračunate pozicije.

### 3.1 PROPOINT GNSS ENGINE

Godine 1992. Trimble je svijetu predstavio prvi komercijalni GPS prijammnik s mogućnosti pozicioniranja u stvarnom vremenu (RTK) s točnošću od centimetra. Iako je ovaj sustav prve generacije zahtijevao od korisnika pozicioniranje rovera na poznatoj lokaciji kako bi se provela inicijalizacija sustava, bio je revolucionaran za geodete jer je omogućavao topografsko kartiranje, iskolčavanje i razna druga mjerenja i opažanja u stvarnom vremenu.

Kasnije primjene poput kontrole građevinskih i poljoprivrednih strojeva dovele su do razvoja rješenja pozicioniranja koja omogućuju trenutne inicijalizacije neovisne o tome je li lokacija poznata ili nepoznata (engl. *On – The – Fly*), veliki broj ažuriranja sustava novim podacima i pružanje točne lokacije s malim kašnjenjem.

Razvoj RTK algoritma doveo je do *Trimble ProPoint GNSS engine*, sustava preciznog RTK/RTX pozicioniranja pete generacije, projektiranog za osiguravanje točnog položaja i orijentacije putem integracije GNSS signala, globalnih korekcijskih servisa i mjernih podataka iz raznih senzora (URL 13).

### 3.1.1 Arhitektura sustava

Svemirski segment GNSS-a neprestano se modernizira i unaprjeđuje novim generacijama satelita. Novi sateliti, a samim time i nova struktura signala s jedne strane poboljšava performanse sustava, a s druge strane daje zadatak proizvođačima prijemnika da budu u korak s novim strukturama i prijenosa signala. Trimble prijammnici opremljeni tehnologijama poput *Trimble Maxwell 7* i *ProPoint* spremni su preuzeti i obraditi sve trenutne GNSS signale na svim frekvencijama (URL 13). Oni uključuju:

- GPS: L1 C/A, L1C, L2E, L2C, L5,
- GLONASS: L1 C/A, L1P, L2P, L2 C/A, L3 CDMA,
- Galileo: E1, E5A, E5B, E5AltBOC, E6,
- BeiDou: B1C, B1i, B2i, B2A, B2B, B3i,
- QZSS: L1 C/A, L1S, L2C, L5, LEX,
- IRNSS: S1 C/A, L5,
- SBAS: L1 C/A, L5,
- MSS: Trimble RTX, OmniSTAR.

*ProPoint* tehnologija ima sposobnost korištenja svih ulaznih signala za rješenje, ali pod uvjetom da RTK bazni prijammnik prenosi sve korekcije za iste signale. To rezultira fleksibilnijim i preciznijim rješenjem u okruženjima koji su zahtjevni za rad GNSS-a. Spomenuta tehnologija također omogućava upravljanje signalima, što pomaže smanjenju degradacije i smanjenju kvalitete signala te rad neovisan o konstelaciji GNSS satelita.

Na primjer, kada su pojedine frekvencije i konstelacije pod ometanjem ili zavaravanjem (engl. *spoofing*) prijammnik nastavlja i dalje pružati rješenja pozicioniranja na temelju dostupnih pravih mjerenja.

Na slici 3.4 prikazani su uređaji koji podržavaju *Pro-Point engine* (npr. R780, R12i, R580...).

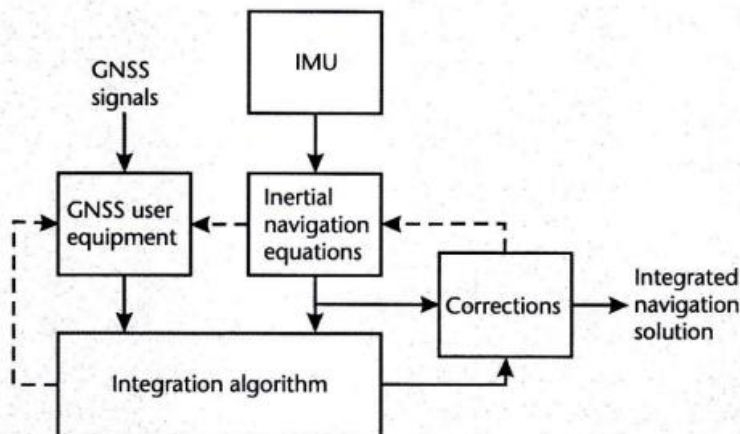


Slika 3.4 Trimble uređaji koji podržavaju *Pro-Point engine* (URL 13).

### 3.1.2 Čvrsto spregnuta arhitektura IMU s RTK/RTX podacima

Spomenuti *ProPoint* sustav dizajniran je također s mogućnošću integriranja pojedinih navigacijskih senzora s drugim vrstama senzora. Sirova GNSS mjerenja, zajedno s podacima žiroskopa i akcelerometra kombiniraju se u jedinstveno rješenje za pozicioniranje i navigaciju. Inercijalna mjerna jedinica (engl. *Inertial Measurement Unit – IMU*) je u većini proizvoda integrirana na istu pločicu elektroničkog sklopa kao i GNSS prijamnik. Ova čvrsto spregnuta integracija pruža robusno rješenje koje maksimizira prednosti GNSS i inercijalnog navigacijskog sustava (engl. *Inertial Navigation System - INS*).

Na slici 3.5 prikazana je generička arhitektura integracije INS-a i GNSS-a.



Slika 3.5 Generička arhitektura INS/GNSS integracije (Groves 2008).

### 3.1.3 Filtriranje i modeliranje svih izvora pogrešaka

Kombiniranjem svih mjerenja u jedan filter i istovremenoj procjeni cjelobrojnih ambiguiteta nosećeg vala postiže se optimalno rješenje. Iako je ovakav način tehnički i tehnološki zahtjevniji, on omogućuje najbolju iskorištenost svih dostupnih GNSS signala.

Rezultat ovog pristupa filtriranju signala jest taj da dopušta upotrebu bilo kojeg ili svih dostupnih signala kako bi se dobilo RTK rješenje, dok su tradicionalne metode koje su temeljene na kombinacijama signala zastarjele. Iako su dvofrekvencijski podaci potrebni za rješavanje atmosferskih utjecaja na GNSS signal, poboljšana tehnologija filtriranja omogućuje procesoru korištenje bilo kojeg ili svih signala, uključujući pojedinačne signale u zahtjevnim uvjetima praćenja, stvarajući optimalno rješenje.

*ProPoint* omogućuje korisnicima odabir raznih dinamičkih modela u ovisnosti o tome koji im najbolje odgovara za njihovu upotrebu. Također identificira sve ulazne podatke koji ne odgovaraju svom stohastičkom modelu. Za svako mjerenje koje ne odgovara svom modelu, sustav će ili odbaciti mjerenje pa prilagoditi stohastički model ili ispraviti samo mjerenje. Ovaj način općenito omogućuje precizno rješenje čak i kada je prisutno mjerenje koje sadrži jednu ili više pogrešaka.

*ProPoint* podržava više modela pozicioniranja, samo GNSS ili GNSS/INS pozicioniranje, kao što su:

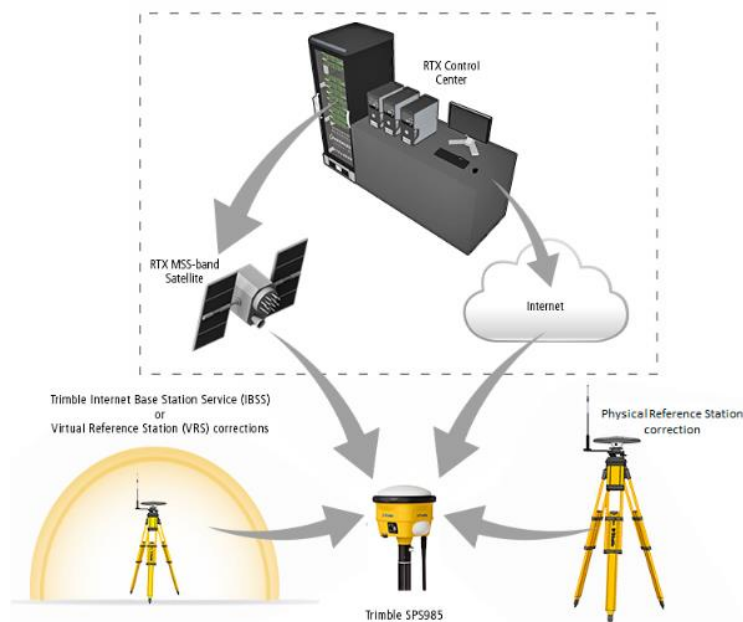
- precizno pozicioniranje: GNSS-SBAS, GNSS-DGNSS, GNSS-RTK, GNSS-RTX

- precizno pozicioniranje s orijentacijom: GNSS/INS-SBAS, GNSS/INS-DGNSS, GNSS/INS-RTK, GNSS/INS-RTX.

U ovisnosti o dostupnim korekcijama, sustav će glatko i bez zadržavanja prelaziti s jednog na drugi način pozicioniranja kako bi se osiguralo neprekidno rješenje.

### 3.1.4 Integrirani RTK xFill

Tijekom razdoblja prekida signala, kada korekcije s bazne stanice nisu dostupne RTK-u s jednom baznom stanicom ili virtualnim referentnim stanicama (engl. *Virtual Reference Station - VRS*), korekcije Trimble xFill-a omogućuju centimetarsku preciznost za kratka razdoblja, čime se sprječava gubitak rješenja. Također omogućuje kratak boravak u područjima koja nisu prekrivena signalom tj. gdje je signal nedostupan, ali je uređaj još uvijek vidljiv GNSS konstelacijama. Za postizanje centimetarske točnosti pozicioniranja, Trimble xFill pruža specijalizirane korekcije koje se emitiraju putem L-pojasnog satelita, a generirane su pomoću Trimble RTX (engl. *Real-time eXtended*) tehnologije (Slika 3.2).



Slika 3.6 Shema rada Trimble xFill tehnologije (URL 14).

Trimble xFill tehnologija može omogućiti RTK rješenja s razinama točnosti kao i kod tradicionalnog diferencijalnog RTK jer smanjuje iste izvore pogrešaka. Pogreške sata satelita, orbite i drugih utjecaja na mjerenja koje se inače poništavaju diferenciranjem u klasičnoj obradi, u ovom slučaju se prenose putem Trimble RTX korekcijskog sustava.

## 3.2 PREDNOSTI TRIMBLE PROPOINT SUSTAVA

### 3.2.1 Točnost (engl. *accuracy*)

Točnost je definirana kao bliskost mjerenja standardnoj ili točnoj vrijednosti. Šume, zgrade, mostovi i druge prepreke blokiraju i reflektiraju dolazne signale. *ProPoint* sustav u načinu rada samo s GNSS-om pruža rezultate s centimetarskom točnošću ispod krošnje drveća, gdje je nekada najbolje rješenje bilo reda veličine decimetra.

Za primjenu u područjima gdje je većina horizonta zaklonjena, integracija IMU-a u sustav pruža najbolje rješenje. U takvim slučajevima čvrsto integrirana arhitektura GNSS-a i IMU-a *ProPoint* sustava omogućuje centimetarsku točnost. Ova prednost sustava se posebno koristi kod autonomnih vozila, pozicija može biti točno određena, ali ako je kasno primijenjena i iskorištena onda ima jako malu vrijednost za performanse sustava i sigurnost. Sustav generira rješenje pozicije i orijentacije s kašnjenjima manjim od 20 milisekundi pri brzinama ažuriranja do 100 Hz.

### 3.2.2 Dostupnost (engl. *availability*)

Već duže vrijeme glavni cilj Trimble-a je pružiti svim korisnicima točnost na centimetarskoj razini gdje god da se oni nalaze. *ProPoint* u načinu rada gdje je aktivan samo GNSS i načinu rada kombinacije GNSS/INS pruža korisnicima centimetarsku točnost ispod gustih krošnji drveća, visokim građevinama gdje bi prijašnji sustavi imali poteškoća pri pružanju rješenja. Vozila koja se kreću cestama ili izvan njih, blizu zgrada ili ispod mostova nastavljaju imati gotovo 100% dostupno rješenje pozicije i orijentacije. Korisnici u RTK načinu rada koriste integriranu xFill tehnologiju koja omogućava nastavak rada i kada se izgubi izvor za korekcije. To povećava dostupnost u odnosu na RTK korisnike koji ne koriste tehnologiju PPP (engl. *Precise Point Positioning*) za nadoknadu gubitka korekcija baze.

### 3.2.3 Integritet (engl. *integrity*)

Mogućnost pružanja točnih rješenja ključno je za upravljanje autonomnim strojevima na centimetarskoj razini. Integritet se odnosi na razinu povjerenja koja se može dati informacijama koje daje navigacijski sustav (Šugar, 2024). Očituje se u sposobnosti navigacijskog sustava da u slučaju problema u radu, uputi pravovremeno upozorenje korisnicima da se sustav ne bi trebao koristiti za navigaciju i orijentaciju tijekom određenog vremenskog razdoblja.

Netočna informacija i rješenje može rezultirati oštećenjem krajnjeg proizvoda, opreme ili u najgorem slučaju osoblja – radnika.

## 4. RTK METODA I KORIŠTENI UREĐAJI

### 4.1 RTK METODA

Tijekom realizacije praktičnog dijela ovog diplomskog rada korištena je RTK metoda o kojoj će nešto više biti rečeno u narednom tekstu. Glavni razlog primjene navedene metode je njezina mogućnost prikupljanja velikog broja podataka i opažanja u kratkom vremenu.

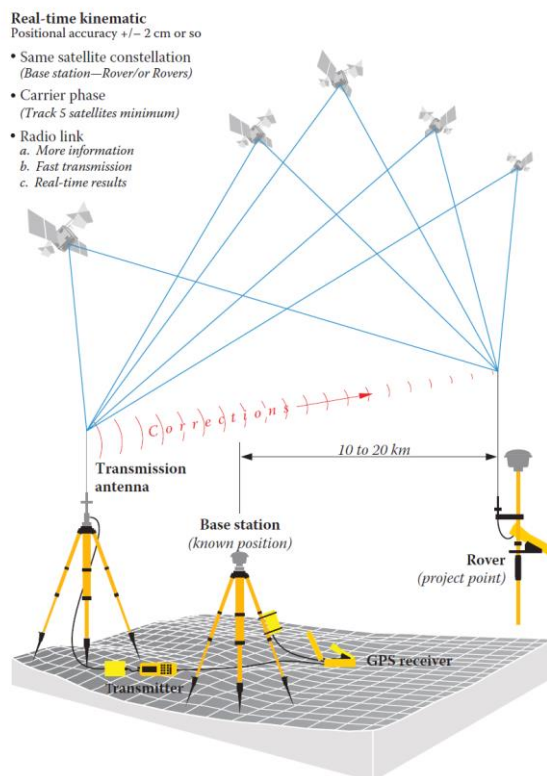
U cilju obrade podataka u stvarnom vremenu razvijena je tehnologija koja omogućuje obradu kinematičkih mjerenja u stvarnom vremenu, kod koje se podaci korekcije jednog prijammnika radio vezom prebacuju do drugog u kojem softver skoro trenutno računa poziciju nepoznatog prijammnika.

Ova tehnika se naziva kinematika u stvarnom vremenu (engl. *Real Time Kinematic – RTK*).

RTK sustavi odlikuju se i tehnikama određivanja ambiguiteta u pokretu, bez potrebe za statičkom inicijalizacijom, nazvane OTF tehnika (engl. *On – The – Fly*).

Glavni faktor koji ograničava masovno korištenje i primjenu RTK jest činjenica da se prijammnik koji je u pokretu nije mogao nalaziti na udaljenosti većoj od 20 km u odnosu na referentni prijammnik.

Navedeno ograničenje je riješeno razvojem mreža permanentnih GNSS stanica koje omogućuju uz primjenu tehnika Virtualnih referentnih stanica (engl. *Virtual Reference Station – VRS*) međusobni razmak između GNSS stanice permanentne mreže od 70 km.



Slika 4.1 Shematski prikaz RTK tehnologije (Van Sickle, 2015).

Na slici 4.1 shematski je prikazan način rada RTK tehnologije koji uključuje korištenje najmanje jednog stacionarnog referentnog prijavnika (bazna stanica) te najmanje jednog pokretnog prijavnika (rover). Bitno je naglasiti kako svi uključeni prijavnici istovremeno promatraju iste satelite. Bazna stanica je pozicionirana na poznatoj točki dok se rover giba od točke do točke kojima želimo odrediti položaj. Računalo baznog prijavnika računa svoj položaj na temelju prikupljenih satelitskih podataka, uspoređuje ga sa poznatim i stvarnim položajem te računa korekcije. Dobivene korekcije s baze na rover se šalju putem podatkovne bežične veze. Sav ovaj proces se odvija jako brzo, gotovo momentalno zaustavljanjem na točki se dobiva položaj iste. Prikupljeni podaci u stvarnom vremenu omogućuju određivanje vektora između rovera i baznih prijavnika.

U usporedbi s drugim metodama relativnog pozicioniranja, vrlo kratke sesije mjerenja u RTK metodi omogućuju određivanje najvećeg broja položaja u najkraćem vremenu i to se sve postiže uz minimalno i skoro neznatno smanjenje točnosti i preciznosti rezultata.

## 4.2 KORIŠTENI UREĐAJI

Provesti bilo kakve terenske aktivnosti i mjerenja u geodeziji su nemogući bez odgovarajuće opreme i instrumentarija. U ovom projektu su korišteni *Trimble GNSS* uređaji koji su u samom vrhu svjetske tehnologije u kategoriji GNSS prijavnika i teško je naći nešto bolje za komercijalne, pa čak i znanstvene zadatke i usluge. *Trimble* je američka tvrtka i jedan od vodećih svjetskih proizvođača GNSS uređaja i tehnologije. Njihovi uređaji i tehnologije nalaze primjenu u različitim zanimanjima i poslovima kao što su geodezija, građevinarstvo, poljoprivreda, kartografija, pomorstvo, rudarstvo...

Uređaji korišteni u ovom diplomskom radu su:

- Trimble Alloy (baza),
- Trimble R12i (rover),
- Trimble R580 (rover),
- Trimble R780 (rover),
- Trimble R980 (rover).

Neke od zajedničkih značajki i osobina svih uređaja jesu:

- visoka preciznost – preciznost u centimetrima, pa čak i milimetrima, ovisno o načinu mjerenja i obrade,
- podrška za sve konstelacije satelita – GPS (SAD), GLONASS (Rusija), Galileo (EU), BeiDou (Kina) i QZSS (Japan),
- napredni algoritmi i softveri – *ProPoint engine* koji je integriran u svim navedenim uređajima bez kojeg *IonoGuard* tehnologija ne bi funkcionirala,
- integracija s IMU sensorima – omogućuju brže i praktičnije mjerenje (npr. mjerenje s nagnutim štapićem i uređajem bez potrebe horizontiranja),
- robusnost i pouzdanost – kućišta visoke otpornosti na vodu, prašinu, udarce i vibracije te dugotrajne baterije pogodne za terenski rad tijekom cijelog dana.

### 4.2.1 Specifikacije uređaja Trimble Alloy

U tablici 4.1 prikazane su specifikacije Trimble Alloy uređaja, a na slici 4.2 prikazan je navedeni uređaj koji se koristi kao referentan u permanentnim GNSS mrežama poput CROPOS-a. Jedan

takav uređaj je korišten u ovom slučaju kao bazna stanica RTK metode pozicioniranja, a neke od bitnih specifikacija koje se ne nalaze u tablici 4.1 su:

- ugrađen prijamnik za Trimble RTX diferencijalnu korekciju,
- Trimble ProPoint GNSS tehnologija,
- IonoGuard tehnologija za ublažavanje ionosferskih utjecaja,
- mogućnost izbjegavanja *spoofinga* i *jamminga*,
- Trimble RTX korekcijski servis,
- kabelsko napajanje uz dvije Li-Ion baterije (pružaju 15 sati neprekidnog rada kada nema direktnog strujnog napajanja),
- format podataka – T02, T04, BINEX, RINEX v2.x/3.0x, Google Earth KML/KMZ,
- dimenzije 20,98 cm x 21,36 cm x 7,62 cm,
- masa 2,34 kg,
- nagnuti ekran koji može prikazivati informacije o statusu uređaja i baterije, softveru, povezivanju, vrsti pozicijskog rješenja,
- IP68 certifikat za vodootpornost,
- temperatura rada od -40 °C do +65°C,
- interna memorija do 24 GB

Tablica 4.1 Specifikacije Trimble Alloy (URL 15).

Povezivanje	<p>-Dual Maxwell 7 GNSS chipset s 672 kanala svih poznatih i planiranih konstelacija GNSS i radio modemom za slanje i primanje RTK korekcija</p> <p>-Bluetooth</p> <p>-Wi-Fi za Access point i client mod</p>
Mogućnost praćenja sustava	<p>-GPS: L1C, L1 C/A, L2E (L2P), L2C, L5</p> <p>-GLONASS: L1C/A, L1P, L2C/A, L2P, L3</p> <p>-Galileo: E1, E5A, E5B i E5AltBOC, E6<sup>2</sup></p> <p>-BeiDou: B1, B2, B3, B1C, B2A, B2B</p> <p>-QZZS: L1 C/A, L1C, L1S, L2C, L5</p> <p>-IRNSS: L5, S-Band</p> <p>-SBAS: L1 C/A, L1 C/A i L5 (WAAS)</p> <p>L-Band: Trimble RTX</p>
Točnost statike	<p>3mm+0,1 ppm RMS horizontalno</p> <p>3,5mm+0,4 ppm RMS vertikalno</p>
Točnost RTK	<p>8mm+0,5 ppm RMS horizontalno</p> <p>15 mm+0,5 ppm RMS vertikalno</p>



Slika 4.2 Uređaj Trimble Alloy uređaj (URL 15).

#### 4.2.2 Specifikacije uređaja Trimble R12i

U tablici 4.2 prikazane su specifikacije Trimble R12i uređaja koji je u ovom slučaju korišten kao pokretni prijamnik – rover. Uređaj je prikazan na slici 4.3, a neke od bitnih specifikacija koje se ne nalaze u tablici 4.2 su:

- ugrađen prijamnik za Trimble RTX diferencijalnu korekciju,
- Trimble ProPoint GNSS tehnologija,
- IonoGuard tehnologija za ublažavanje ionosferskih utjecaja,
- Trimble RTX korekcijski servis,
- Trimble xFill tehnologija,
- Li-ion baterija 7,4 V,
- format korekcija: CMR+, CMRx, RTCM 2.1, RTCM 2.3, RTCM 3.0, RTCM 3.1, RTCM 3.2,
- dimenzije 11,9 cm x 13,6 cm,
- masa 1,12 kg,
- IP67 certifikat za zaštitu od prašine,
- temperatura rada od -40 °C do +65°C,
- interna memorija 6 GB

Tablica 4.2 Specifikacije Trimble R12i (URL 16).

Povezivanje	-Single Maxwell 7 GNSS chipset s 672 kanala i radio modemom za slanje i primanje RTK korekcija -Bluetooth -Wi-Fi za Access point i client mod
-------------	---

Mogućnost praćenja sustava	<ul style="list-style-type: none"> <li>-GPS: L1C, L1 C/A, L2E (L2P), L2C, L5</li> <li>-GLONASS: L1C/A, L1P, L2C/A, L2P, L3</li> <li>-Galileo: E1, E5A, E5B i E5AltBOC, E6<sup>2</sup></li> <li>-BeiDou: B1, B2, B3, B1C, B2A, B2B</li> <li>-QZSS: L1 C/A, L1C, L1S, L2C, L5</li> <li style="padding-left: 40px;">-IRNSS: L5</li> <li>-SBAS: L1 C/A, L1 C/A i L5 (WAAS)</li> <li style="padding-left: 40px;">L-Band: Trimble RTX</li> </ul>
Točnost statike	<p>3mm+0,1 ppm RMS horizontalno</p> <p>3,5mm+0,4 ppm RMS vertikalno</p>
Točnost RTK	<p>8mm+0,5 ppm RMS horizontalno</p> <p>15 mm+0,5 ppm RMS vertikalno</p>



*Slika 4.3 Uređaj Trimble R12i (foto: Petar Jelić).*

### 4.2.3 Specifikacije uređaja Trimble R580

U tablici 4.3 prikazane su specifikacije Trimble R580 uređaja koji je prikazan na slici 4.4. Neke od bitnijih specifikacija su:

- Trimble ProPoint GNSS tehnologija,
- IonoGuard tehnologija za ublažavanje ionosferskih utjecaja,
- ugrađen prijamnik za Trimble RTX diferencijalnu korekciju,
- Trimble EVEREST Plus ublažavanje multipatha,
- Anti-spoofing mogućnosti,
- Trimble xFill tehnologija,
- Li-ion baterija (do 5 sati trajanja u ovisnosti od vanjske temperature),
- korekcije u formatima: –CMR+, CMRx, RTCM 2.1, RTCM 2.3, RTCM 3.0, RTCM 3.1, RTCM 3.2,
- dimenzije 14,0 cm x 11,4 cm,
- masa 1,08 kg,
- IP65 certifikat za zaštitu od prodiranja čvrstih i tekućih tvari,
- temperatura rada od -40 °C do +65°C,
- interna memorija 256 GB

Tablica 4.3 Specifikacije Trimble R580 (URL 17).

Povezivanje	-Single Maxwell 7 GNSS chipset s 672 kanala i radio modemom za slanje i primanje RTK korekcija -Bluetooth -Wi-Fi za Access point i client mod
Mogućnost praćenja sustava	-GPS: L1C, L1 C/A, L2E (L2P), L2C, L5 -GLONASS: L1C/A, L1P, L2C/A, L2P, L3 -Galileo: E1, E5A, E5B i E5AltBOC -BeiDou: B1, B2, B3, B1C, B2A, B2B -QZSS: L1 C/A, L1C, L1S, L2C, L5 -IRNSS: L5 -SBAS: L1 C/A, L1 C/A i L5 (WAAS) L-Band: Trimble RTX
Točnost statike	3mm+0,5 ppm RMS horizontalno 5mm+0,5 ppm RMS vertikalno
Točnost RTK	10mm+0,5 ppm RMS horizontalno 20 mm+0,5 ppm RMS vertikalno



Slika 4.4 Uređaj Trimble 580 (foto: Matija Matijević).

#### 4.2.4 Specifikacije uređaja Trimble R780

Kao i prethodna dva uređaja ovaj model je korišten kao pokretni prijamnik – rover. U tablici 4.4 prikazane su specifikacije Trimble R780 uređaja. Navedeni uređaj je prikazan na slici 4.5.

Neke od tehničkih specifikacija su:

- ugrađen prijamnik za Trimble RTX diferencijalnu korekciju,
- ugrađen prijamnik za Omnistar diferencijalnu korekciju,
- IonoGuard tehnologija za ublažavanje ionosferskih utjecaja,
- mogućnost izbjegavanja *spoofinga*,
- Trimble RTX korekcijski servis,
- baterija – Li-Ion 7,4 V, 2,8 Ah baterija (za 5,5 sati rada u rover modu),
- dimenzije 13,9 cm x 13 cm,
- masa 1,55 kg,
- IP68 certifikat za vodootpornost,
- temperatura rada -40 °C do +65°C,
- interna memorija 9 GB.

Tablica 4.4 Specifikacije uređaja Trimble R780 (URL 18).

Povezivanje	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Single Maxwell 7 ASIC s 672 GNSS kanala i radio modemom za slanje i primanje RTK korekcija</li> <li>-Bluetooth</li> <li>-Wi-Fi za Access point i client mod</li> </ul>
Mogućnost praćenja sustava	<ul style="list-style-type: none"> <li>-GPS: L1C, L1 C/A, L2E (L2P), L2C, L5</li> <li>-GLONASS: L1C/A, L1P, L2C/A, L2P, L3</li> <li>-Galileo: E1, E5A, E5B i E5AltBOC, E6<sup>2</sup></li> <li>-BeiDou: B1, B2, B3, B1C, B2A, B2B</li> <li>-QZSS: L1 C/A, L1C, L1S, L2C, L5</li> <li>-IRNSS: L5</li> <li>-SBAS: L1 C/A, L1 C/A i L5 (WAAS)</li> <li>L-Band: Trimble RTX</li> </ul>
Točnost statike	<p>3mm+0,1 ppm RMS horizontalno</p> <p>3,5mm+0,4 ppm RMS vertikalno</p>
Točnost RTK	<p>8mm+0,5 ppm RMS horizontalno</p> <p>15mm + 0,5ppm RMS vertikalno</p>



Slika 4.5 Uređaj Trimble R780 (foto: Matija Matijević).

#### 4.2.5 Specifikacije uređaja Trimble R980

U tablici 4.5 prikazane su specifikacije Trimble R780 uređaja a na slici 4.6 prikazan je navedeni uređaj. Neke od bitnijih specifikacija su:

- Trimble ProPoint GNSS tehnologija,
- IonoGuard tehnologija za ublažavanje ionosferskih utjecaja,
- ugrađen prijamnik za Trimble RTX diferencijalnu korekciju,
- Trimble EVEREST Plus ublažavanje multipatha,
- Anti-spoofing mogućnosti,
- Trimble xFill tehnologija,
- Li-ion baterija (do 5 sati trajanja u ovisnosti od vanjske temperature),
- korekcije u formatima: –CMR+, CMRx, RTCM 2.1, RTCM 2.3, RTCM 3.0, RTCM 3.1, RTCM 3.2,
- dimenzije 11,9 cm x 13,6 cm,
- masa 1,13 kg,
- IP67 certifikat za zaštitu od prašine i vode,
- temperatura rada od -40 °C do +65°C,
- interna memorija 9 GB

Tablica 4.5 Specifikacije uređaja R980 (URL 19).

Povezivanje	-Single Maxwell 7 ASIC s 672 GNSS kanala i radio modemom za slanje i primanje RTK korekcija -Bluetooth -Wi-Fi za Access point i client mod
Mogućnost praćenja sustava	-GPS: L1C, L1 C/A, L2E (L2P), L2C, L5 -GLONASS: L1C/A, L1P, L2C/A, L2P, L3 -Galileo: E1, E5A, E5B i E5AltBOC, E6 <sup>2</sup> -BeiDou: B1, B2, B3, B1C, B2A, B2B -QZZS: L1 C/A, L1C, L1S, L2C, L5 -IRNSS: L5 -SBAS: L1 C/A, L1 C/A i L5 (WAAS) L-Band: Trimble RTX
Točnost statike	3mm+0,1 ppm RMS horizontalno 3,5mm+0,4 ppm RMS vertikalno
Točnost RTK	8mm+0,5 ppm RMS horizontalno 15mm + 0,5ppm RMS vertikalno



Slika 4.6 Uređaj Trimble R980 (foto: Petar Jelić).

### 4.3 KORIŠTENI SATELITSKI SUSTAVI

Globalni navigacijski satelitski sustavi (GNSS) opći je pojam koji opisuje bilo koju satelitsku konstelaciju koja pruža usluge pozicioniranja, navigacije i mjerenja vremena na globalnoj ili regionalnoj razini (URL 20). GNSS osiguravaju globalnu pokrivenost te se danas smatraju glavnom metodom navigacije. Kao neizbježan „instrument“ za snalaženje u prostoru primjenjuju se u javnom i civilnom sektoru, od automobila, brodova, zrakoplova pa sve do njihove upotrebe u vojnoj i svemirskoj industriji. Učinkovitost GNSS-a procjenjuje se pomoću četiri kriterija (URL 21):

- točnost,
- cjelovitost,
- permanentnost,
- dostupnost.

Sustavi korišteni u sklopu provedbe terenskog mjerenja za ovaj diplomski rad su:

- Galileo,
- GPS,
- GLONASS,
- BeiDou.

### 4.3.1 Galileo

Galileo sustav kombinira različite radio signale koje svaki satelit emitira u preciznim vremenskim intervalima te tako omogućuje pasivnom prijemniku da odredi svoju poziciju pomoću geometrijske triangulacije. Zapravo se mjeri vrijeme potrebno signalima da prijeđu put od satelita do prijamnika. Koristeći podatke s četiri satelita, prijamnik može bez problema odrediti njegov trodimenzionalni položaj (Fernandez-Hernandez i dr. 2015). Iako su za određivanje položaja dovoljni signali s tri satelita, četvrti satelit je neophodan za rješavanje „vremenskog pomaka“ koji se javlja između sata u prijamniku i onih u satelitima. Na osnovi podataka četvrtog mjerenja računalo eliminira vremenski pomak iz navigacijskog rješenja. Općenito, što je veći broj prikupljenih mjerenja (satelita), veća je preciznost pozicioniranja. Galileo sustav pruža veću točnost od američkog GPS-a, kada se koriste *broadcast* efemeride ima točnost manju od 1 m, dok GPS ima 3 m. Pogreška određivanja dometa signala u prostoru kod Galileo sustava, kada se koriste korekcije u stvarnom vremenu za satelitske orbite i satove, iznosi 1,6 cm, a GPS-a 2,3 cm. Sustav se sastoji iz minimalno 24 MEO (engl. *Medium-Earth Orbit*) satelita u orbiti (24+3(6) rezervna) na visini od oko 23222 km iznad Zemljine površine.

### 4.3.2 GPS

Globalni pozicijski sustav (GPS) je američki satelitski navigacijski sustav kojim upravlja *United States Space Force* (konkretno, 2. eskadrila za svemirske operacije sa baze *Schriever Space Force* u Coloradu) (URL 22). Sustav omogućuje globalno određivanje položaja i vremena s visokom preciznošću. Sustav se sastoji od satelita u srednjoj Zemljinoj orbiti, zemaljskih stanica za upravljanje te korisničkih prijamnika koji primaju signale i izračunavaju lokaciju. NASA koristi GPS za autonomnu navigaciju svemirskih letjelica, znanstvena istraživanja, praćenje klimatskih promjena i razvoj novih tehnologija. Sustav se kontinuirano modernizira, a njegova preciznost i pouzdanost čine ga ključnim alatom za brojne civilne, vojne i znanstvene primjene. Sustav se sastoji iz minimalno MEO 24 (21 + 3) satelita u svemiru koji kruže na visini od oko 20200 km iznad Zemlje (URL 23).

### 4.3.3 GLONASS

Sovjetski sustav satelitske navigacije započeo je s “Cicada” projektom 1960-ih, koji je kasnije doveo do razvoja sustava GLONASS – ruskog globalnog navigacijskog satelitskog sustava. GLONASS koristi 24 satelita u visokoj orbiti (19100 km) raspoređenih u tri orbitalne ravnine, osiguravajući globalnu dostupnost, posebno na području Rusije. Sustav se kontinuirano modernizira kroz programe “GLONASS-K” satelita, poboljšane zemaljske stanice, te razvoj tehnologija za visoku preciznost i otpornost na smetnje. GLONASS danas predstavlja konkurenciju GPS-u i temelj je brojnih civilnih, komercijalnih i obrambenih aplikacija, uz stalni razvoj u smjeru veće preciznosti i globalne upotrebe. Konfiguracija GLONASS sustava se sastoji od 30 MEO satelita koji kruže na visini od oko 19130 km iznad Zemlje (URL 24).

### 4.3.4 BeiDou

BeiDou (BDS) je kineski globalni navigacijski satelitski sustav razvijen radi osiguranja nacionalne sigurnosti te gospodarskog i društvenog razvoja. Sustav nudi visoko precizne usluge pozicioniranja, navigacije i vremena (PNT) širom svijeta i koristi se u brojnim sektorima, uključujući promet, poljoprivredu, sigurnost i e-trgovinu.

BDS se temelji na načelima neovisnosti, otvorenosti, kompatibilnosti i postupnosti, te koristi hibridnu konstelaciju satelita u GEO (engl. *Geostationary Earth Orbit*), IGSO (engl. *Inclined Geosynchronous Orbit*) i MEO (engl. *Medium Earth Orbit*) orbitama. Ima više frekvencija, integrira navigaciju i komunikaciju te omogućuje dodatne usluge poput kratkih poruka i potrage i spašavanja. Kina planira do 2035. uspostaviti sveobuhvatan, inteligentan i integriran PNT sustav. BDS se promovira kao svjetski javni proizvod, a Kina aktivno surađuje na međunarodnoj razini radi interoperabilnosti s drugim GNSS sustavima. Beidou sustav se sastoji iz pet GEO (geosinkrone orbite) satelita, tri IGSO (inklinirane geosinhrone orbite) satelita i 27 MEO satelita (URL 25).

## 5. PLANIRANJE OPAŽANJA I TERENSKE AKTIVNOSTI

Planiranje GNSS opažanja i pripadajućih terenskih aktivnosti ključno je za uspješnu i preciznu provedbu opažanja. Pravilnim planiranjem osigurava se učinkovito i efikasno prikupljanje podataka, smanjuju se potencijalne pogreške, te ono što je u današnjem svijetu najbitnije – optimizira se trajanje i trošak terenskih radova. U ovom poglavlju je opisan postupak planiranja i organiziranja opažanja, izbor metode i instrumentarija i provedba samih opažanja.

Kao što je rečeno u uvodu ovog diplomskog rada ideja je bila ispitivanje *IonoGuard* tehnologije na različitim lokacijama odnosno udaljenostima od bazne stanice. Zadatak je praktično realiziran i ispitan koristeći klasičnu RTK metodu (engl. *Single – Base* RTK) gdje je kao referentni uređaj korišten GNSS prijamnik Trimble Alloy smješten u sjedištu tvrtke Geomatika Smolčak d.o.o. u Gornjem Stupniku. Mjerna kampanja se sastojala od dva dijela koja su provedena u dva različita dana. Razlog tome je promjena načina odnosno metodologije rada. Time se došlo do novih spoznaja i novih rezultata, a neke stvari i rezultati su potvrđeni iz prvog dana mjerenja. Detaljan opis provedbe je prikazan u tekstu ispod.

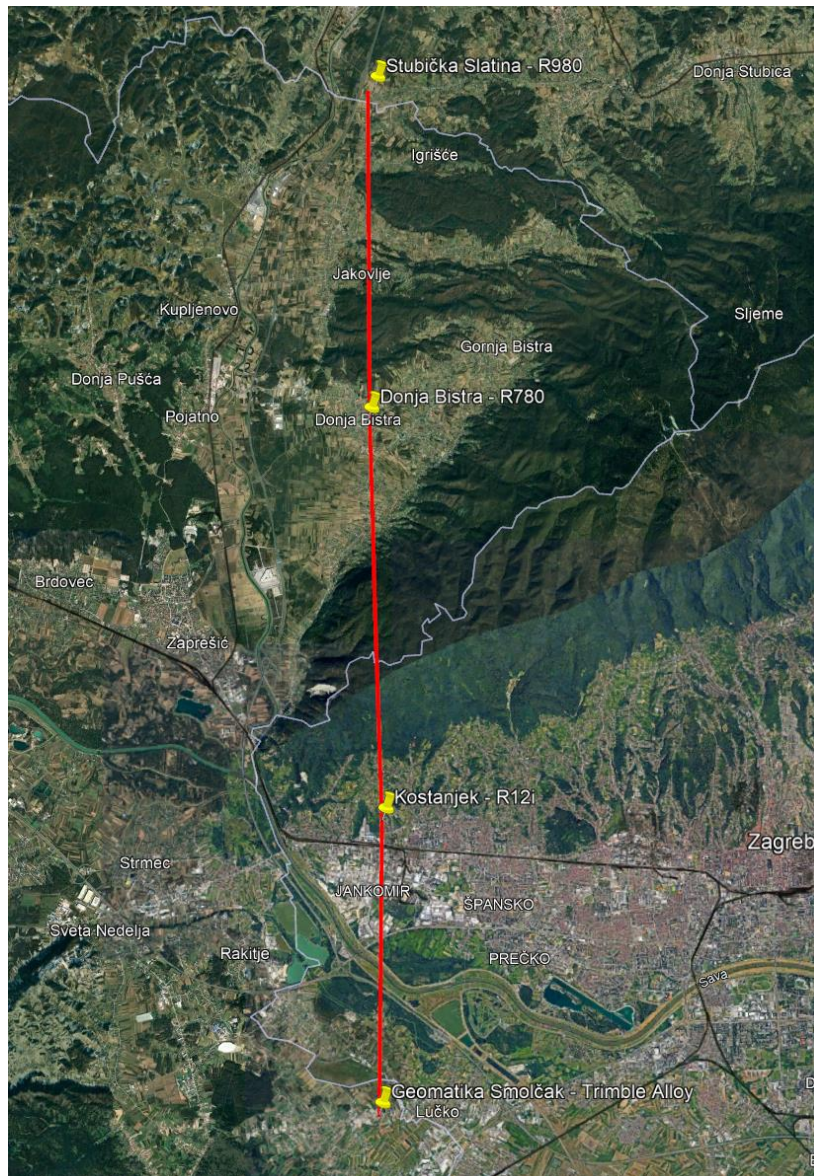
### 5.1 TERENSKE AKTIVNOSTI DANA 15.11.2024.

Prvi praktični dio tj. prikupljanje podataka proveden je dana 15.11.2024. godine na lokaciji Donja Bistra, sjeverno od Zaprešića. Cilj mjerenja je ispitivanje funkcionalnosti IonoGuard opcije na RTK SB (engl. *single base – SB*) mjerenja. Druge lokacije na kojima se uz Donju Bistru simultano opažalo jesu Bizek (Kostanjek) i Stubička Slatina. Praktični dio proveden je koristeći bazni i rover uređaje na lokacijama kako slijedi (Slika 5.1.):

1. Trimble Alloy (baza), Geomatika-Smolčak, Gornji Stupnik, Edi Smolčak,
2. Trimble R12i (rover), L.D. Ponikve (Bizek); Kostanjek, udaljenost od baze 8 km, Tomislav Debeljak (Slika 5.2),
3. Trimble R780 (rover), Donja Bistra, udaljenost od baze 16 km, Matija Matijević (Slika 5.2),
4. Trimble R980 (rover), Stubička Slatina, udaljenost od baze 32 km, Danijel Šugar i Petar Jelić (Slika 5.2).

Prije same provedbe mjerenja obavljeno je rekognosciranje terena na dan 12.11.2024. Tada je odabrano približno stajalište uređaja koje je bilo oslobođeno prepreka za neometani prijem signala satelita te nepostojanje izvora višestruke refleksije signala (engl. *multipath*). Također jako bitna karakteristika lokacije bila je postojanje i dostupnost stabilnog signala mobilnog interneta.

Po dolasku na lokaciju instrument je horizontiran, a centriranje nije bilo potrebno provoditi jer nije bila bitna točna pozicija samog instrumenta tj. nismo opažali konkretnu točku. Pomoću kontrolera se kreirao novi posao i definirao stil mjerenja, a preko Wi-Fi mreže prijammnika pomoću mobilnog uređaja se uključivala i isključivala IonoGuard opcija. Na baznoj stanici u Gornjem Stupniku se također uključivala i isključivala IonoGuard opcija. Plan (Slika 5.3) je bio terenska mjerenja provesti s opcijom IonoGuard istovremeno uključenom, odnosno isključenom na baznom i rover prijammniku, kao i u uvjetima ostale dvije kombinacije gdje je IonoGuard opcija uključena na baznom uređaju, a isključena na rover uređaju i obrnuto.



Slika 5.1 Lokacije uređaja na dan opažanja 15.11.2024. (Google Earth Pro).

Svaki spomenuti komplet rover GNSS uređaja sastoji se od:

- kutije (kofera),
- prijamnika (u ovom slučaju R780),
- kontrolera (u ovom slučaju TDC6000 sa softverom Trimble Access 2024),
- baterije + rezervne baterije,
- stativa,
- podnožne ploče,
- adaptera i
- nastavka za antenu (engl. *quick release*) (nije primjenjivo za uređaj R780).



Slika 5.2 Uređaji R12i (lijevo), R780 (u sredini) i R980 (desno) na pripadnim lokacijama na terenu (foto: Tomislav Debeljak, Matija Matijević i Petar Jelić).

Session	Planned (GPST)			BASE	ROVER	Duration	Realized (GPST)		
	Start	Stop	Start				Stop	Duration	
1	7:00	7:30	NO	NO	0:30	6:59	7:31	0:32	
2	7:35	8:05	IONO	IONO	0:30	7:34	8:05	0:30	
3	8:10	8:25	IONO	NO	0:15	8:09	8:25	0:16	
4	8:25	8:40	NO	IONO	0:15	8:26	8:42	0:16	
5	8:45	9:15	IONO	IONO	0:30	8:43	9:13	0:30	
6	9:20	9:50	NO	NO	0:30	9:15	9:45	0:30	
7	9:55	10:25	IONO	IONO	0:30	9:47	10:25	0:37	
8	10:30	11:00	NO	NO	0:30	10:30	11:01	0:31	
9	11:05	11:35	IONO	IONO	0:30	11:04	11:35	0:31	
10	11:40	12:10	NO	NO	0:30	11:38	12:10	0:32	
11	12:15	12:45	IONO	IONO	0:30	12:12	12:45	0:33	
12	12:50	13:20	NO	NO	0:30	12:48	13:20	0:32	
13	13:25	13:55	IONO	IONO	0:30	13:22	13:55	0:33	
14	14:00	14:15	IONO	NO	0:15	13:57	14:11	0:13	
15	14:15	14:30	NO	IONO	0:15	14:17	14:30	0:13	
16	14:35	15:05	IONO	IONO	0:30	14:32	15:05	0:33	
17	15:10	15:40	NO	NO	0:30	15:07	15:40	0:33	

Slika 5.3 Plan opažanja planiranog i realiziranog na lokaciji Donja Bistra - uređaj R780.

Detaljan redoslijed radnji pri provedbi terenskih opažanja, uz neke već prije spomenute korake, je:

1. Dolaskom na dogovorenu lokaciju je postavljen stativ na način da glava stativa bude u visini ramena te je na stativ stavljena podnožna ploča s adapterom,
2. Stativ je učvršćen na način da sve tri noge budu stabilno postavljene i horizontirana je podnožna ploča,
3. Zatim je uključen GNSS uređaj, navrnut je mesingani vijak na uređaj te sve zajedno postavljeno na adapter te je uređaj orijentiran (enlg. *Man-Machine-Interface*) prema sjeveru,

4. Pomoću mobitela obavljeno je spajanje na Wi-Fi pojedinog uređaja. U web-pregledniku upisana je dana IP adresu čime se otvara prozor WUI (engl. *Web User Interface*) gdje su upisani parametri (korisničko ime i lozinku) koji su dani od strane Geomatike Smolčak,
  5. U izborniku konfiguracije odabrana je opcija IonoGuard: *Enable / Disable*,
  6. Uključen je kontroler pritiskom na odgovarajuću tipku te je pokrenut *SW Trimble Access 2024*,
  7. U prozoru projekti je odabrana mapa GEOFF te se u njoj kreirao novi posao iz predloška s odgovarajućim nazivom ovisno o uređaju i lokaciji prikazanih na slici 5.1. (IonoGuard\_1511\_R12i, IonoGuard\_1511\_R780 ili IonoGuard\_1511\_R980), a za predložak je odabran HTRS96,
  8. U padajućem izborniku odabrano je „Opće mjerenje“ te nakon toga i „Kontinuirani topo“ sa sljedećim parametrima: fiksno vrijeme, visina antene (mjerena do dna antene i dna *quick release*): 0.000 m i točku nazvati Sesija1\_1, Sesija1\_2,...
  9. Pritiskom gumba *Start* započelo je mjerenje i automatska pohrana točaka s intervalom od jedne sekunde,
  10. Opažanje tj. pokrenuta sesija je trajala do trenutka predviđenog planom opažanja koji je prikazan na slici 5.3., a pritiskom na gumb *Prekid* se prekida pohrana točaka,
  11. Nakon prekida mjerenja se odabire „Kraj GNSS mjerenja“ čime se zatvara sesija mjerenja (prekida se veza s baznim GNSS uređajem i zatvara se datoteka sa sirovim podacima opažanja u formatu .T04)
  12. Na početku sljedeće sesije je bilo potrebno opet preko WUI isključiti/uključiti IonoGuard opciju,
  13. Ponovljen je korak broj 8 uz razliku u nazivu točaka: Sesija2\_1, Sesija2\_2....,
  14. Opažanje se nastavilo sukladno planu i bilo je potrebno upisati vrijeme početka i kraja pojedine sesije u tablicu plana opažanja,
  15. Tijekom cijelog opažanja praćeno je stanje baterije prijammnika koja je po potrebi bila zamijenjena rezervnom,
  16. Po završetku mjerenja isključen je GNSS prijammnik i ekran kontrolera.
- Na slici 5.4. prikazan je WUI gdje je vidljiva opcija za uključivanje i isključivanje IonoGuard— a.



Slika 5.4 Sučelje za opciju IonoGuard (Screenshot WUI).

Kao što je prethodno spomenuto, rezultati koji će biti prikazani i interpretirani u narednom poglavlju nisu do kraja odgovorili na pitanje o pouzdanosti i primjeni IonoGuard tehnologije na GNSS mjerenja. Iz tog razloga se organizirala i uspješno provela druga terenska mjerna kampanja dana 27.5.2025. s malo drugačijim pristupom i metodologijom, u odnosu na dan 15.11.2024., mjerenja koja će detaljnije biti opisana u nastavku.

## 5.2 TERENSKE AKTIVNOSTI DANA 27.5.2025.

Drugi dio terenskih aktivnosti je realiziran dana 27.5.2025. Kao što je već prije spomenuo ovaj put je primijenjena drugačija metodologija opažanja i prikupljanja podataka u odnosu na prvi dio. Ona se sastojala u tome da na dvije lokacije budu postavljena po dva uređaja na međusobnom razmaku od oko 3 m. Na svakoj lokaciji je na jednom uređaju bila uključena IonoGuard opcija dok na drugom je IonoGuard opcija bila isključena – što bi značilo da na obje lokacije postoji po jedan uređaj kojemu je IonoGuard opcija isključena odnosno uključena. Opažanja su se provodila simultano što uključuje isto vrijeme, isto stanje ionosfere te isti broj vidljivih satelita, ali uz različitu udaljenosti od baznih stanica (24 km i 33 km). Ovoga puta su bazne stanice bile na istoj lokaciji u Gornjem Stupniku uz razliku da na jednoj baznoj stanici kontinuirano IonoGuard opcija bila uključena a na drugoj isključena čiji su podaci kasnije u obradi bili korišteni – dva različita seta podataka bazne stanice.

Drugi praktični dio tj. prikupljanje podataka proveden je na lokaciji Stubička Slatina, sjeverno od Zaprešića. Cilj mjerenja je kao i u prvom dijelu bilo ispitivanje funkcionalnosti IonoGuard opcije na RTK SB (engl. *single base* – SB) mjerenja s maloprije opisanom metodologijom. Druga lokacija na kojoj se simultano opažalo jest Viča Sela. Lokacije i terenske ekipe koje su sudjelovale u provedbi ovih mjerenja uz navedene uređaje (Slika 5.6) su:

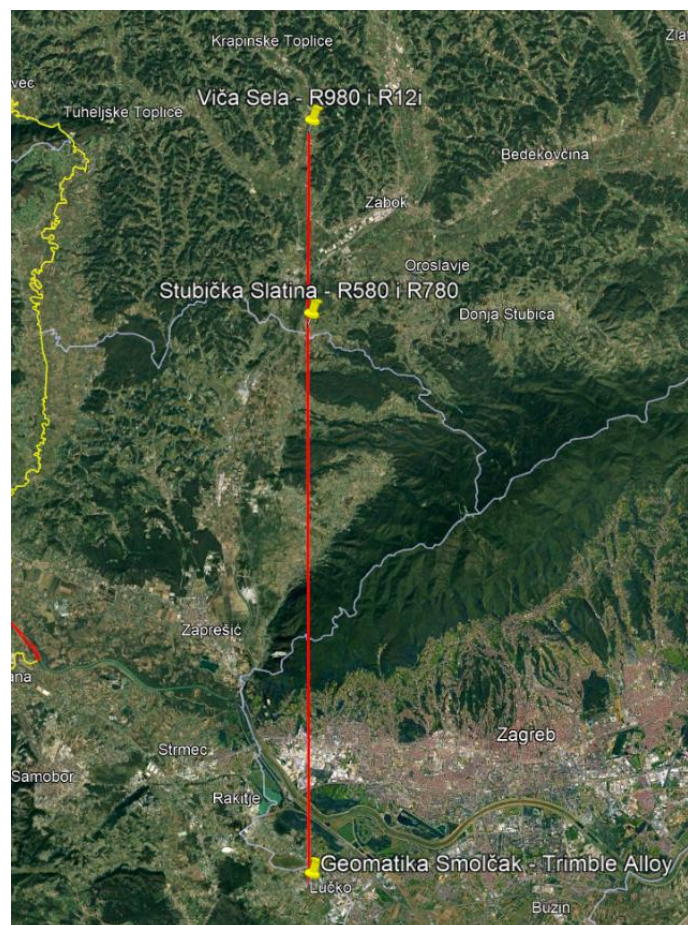
1. Trimble Alloy (baza - IonoGuard OFF/ON), Geomatika-Smolčak, Gornji Stupnik, Edi Smolčak,
2. Trimble R780 (rover - Ionoguard OFF) i Trimble R580 (rover - IonoGuard ON), udaljenost 24 km od baze, Stubička Slatina, Matija Matijević (Slika 5.4),
3. Trimble R980 (rover - IonoGuard OFF) i Trimble R12i (rover - IonoGuard ON), udaljenost 33 km od baze, Viča Sela, Danijel Šugar i Petar Jelić (Slika 5.5).



Slika 5.5 Uređaji R580 (lijevo) i R780 (desno) na lokaciji Stubička Slatina (foto: Matija Matijević).



Slika 5.6 Uređaji R980 (lijevo) i R12i (desno) na lokaciji Viča Sela (foto: Petar Jelić).



Slika 5.7 Lokacije uređaja na dan opažanja 27.05.2025. (Google Earth Pro).

Svaka od navedenih terenskih ekipa u Stubičkoj Slatini i Viča Selima je imala komplete od dva GNSS uređaja koji se sastoje od:

- kutije (kofera),
- prijamnika (R580 i R780 ili R980 i R12i ovisno o lokaciji),
- kontrolera (u ovom slučaju TDC6000 sa softverom Trimble Access 2024),

- baterije + rezervne baterije,
- stativa,
- podnožne ploče,
- adaptera,
- nastavka za antenu (engl. *quick release*) (nije primjenjivo za uređaj R780 i R580),
- produžetak za GNSS prijammnik duljine 0,25 cm marke Trimble (primijenjeno na uređajima R780 i R580).

Upute koje su primijenjene za provedbu terenskih mjerenja su slične onima na dan 15.11.2024. uz sitne izmjene:

1. Dolaskom na dogovorenu lokaciju postaviti stativ na način da glava stativa bude u visini ramena te na stativ staviti podnožnu ploču s adapterom,
2. Stativ učvrstiti na način da sve tri noge budu stabilno postavljene i horizontirati podnožnu ploču,
3. Stativi trebaju biti odmaknuti jedan od drugoga otprilike 3 m te se nalaziti približno na istoj paraleli,
4. Uključiti GNSS uređaj, navrnuti mesingani vijak na uređaj te sve zajedno postaviti na adapter i orijentirati uređaj (engl. *Man-Machine-Interface*) prema sjeveru,
5. Uključiti kontroler pritiskom na odgovarajuću tipku te na zaslonu odabrati odgovarajuću ikonu kojom se pokreće SW Trimble Access 2024,
6. Uređaj i kontroler se povezuju automatski putem Bluetooth-a,
7. Kreirati novi projekt (npr. GEOFF-R580; GEOFF-R780; GEOFF-R980; GEOFF-R12i),
8. U novo-kreiranom projektu se kreira novi posao nazvan sukladno pravilu: GNSS uređaj\_Sesija#\_IonoGuardON/OFF\_datum,
9. U padajućem izborniku odabrati „Opće mjerenje“ te nakon toga odabrati „Kontinuirani topo“ sa sljedećim parametrima: fiksno vrijeme, visina antene (mjerena do dna antene i dna quick release): 0.000m i početnu točku nazvati GNSS uređaj\_Sesija#\_1 (npr. R580\_Sesija1\_1,
10. Pritiskom gumba Start počinje mjerenje i automatska pohrana točaka s intervalom od jedne sekunde,
11. Opažanje tj. pokrenuta sesija traje do trenutka predviđenog planom opažanja, koji je prikazan na slici 5.8, gdje se nalazi 20 sesija u trajanju od 30 minuta, a pritiskom na gumb Prekid se prekida pohrana točaka,
12. Nakon prekida mjerenja se odabire „Kraj GNSS mjerenja“ čime se zatvara sesija mjerenja (prekida se veza s baznim GNSS uređajem i zatvara se datoteka sa sirovim podacima opažanja u formatu .T04)
13. Za iduću sesiju kreirati novi posao unutar istog projekta sukladno pravilu navedenom u 8. koraku,
14. Tijekom cijelog opažanja potrebno je pratiti stanje baterije prijammnika koju će po potrebi biti potrebno zamijeniti rezervnom,
15. Po završetku mjerenja potrebno je isključiti GNSS prijammnik te isključiti ekran kontrolera.

	Planirano		R 780 + IonoGuardOFF	Realizirano		R 580 + IonoGuardON	Realizirano	
	Početak (CET)	Kraj (CET)		START	STOP		START	STOP
Sesija1	8:00	8:30	R 780 + IonoGuardOFF	8:00	8:30	R 580 + IonoGuardON	8:00	8:30
Sesija2	8:30	9:00	R 780 + IonoGuardOFF	8:34	9:00	R 580 + IonoGuardON	8:32	9:00
Sesija3	9:00	9:30	R 780 + IonoGuardOFF	9:01	9:30	R 580 + IonoGuardON	9:03	9:30
Sesija4	9:30	10:00	R 780 + IonoGuardOFF	9:31	10:00	R 580 + IonoGuardON	9:32	10:00
Sesija5	10:00	10:30	R 780 + IonoGuardOFF	10:01	10:30	R 580 + IonoGuardON	10:02	10:30
Sesija6	10:30	11:00	R 780 + IonoGuardOFF	10:31	11:00	R 580 + IonoGuardON	10:32	11:00
Sesija7	11:00	11:30	R 780 + IonoGuardOFF	11:01	11:30	R 580 + IonoGuardON	11:02	-
Sesija8	11:30	12:00	R 780 + IonoGuardOFF	11:31	12:00	R 580 + IonoGuardON	11:30	12:00
Sesija9	12:00	12:30	R 780 + IonoGuardOFF	12:03	12:30	R 580 + IonoGuardON	12:00	12:30
Sesija10	12:30	13:00	R 780 + IonoGuardOFF	12:31	13:00	R 580 + IonoGuardON	12:33	13:00
Sesija11	13:00	13:30	R 780 + IonoGuardOFF	13:02	13:30	R 580 + IonoGuardON	13:01	13:30
Sesija12	13:30	14:00	R 780 + IonoGuardOFF	13:31	14:00	R 580 + IonoGuardON	13:33	14:00
Sesija13	14:00	14:30	R 780 + IonoGuardOFF	14:01	14:30	R 580 + IonoGuardON	14:02	14:30
Sesija14	14:30	15:00	R 780 + IonoGuardOFF	14:31	15:00	R 580 + IonoGuardON	14:32	15:00
Sesija15	15:00	15:30	R 780 + IonoGuardOFF	15:03	15:30	R 580 + IonoGuardON	15:01	15:30
Sesija16	15:30	16:00	R 780 + IonoGuardOFF	15:32	16:00	R 580 + IonoGuardON	15:31	16:00
Sesija17	16:00	16:30	R 780 + IonoGuardOFF	16:01	16:30	R 580 + IonoGuardON	16:03	16:30
Sesija18	16:30	17:00	R 780 + IonoGuardOFF	16:31	17:00	R 580 + IonoGuardON	16:31	17:00
Sesija19	17:00	17:30	R 780 + IonoGuardOFF	17:01	17:30	R 580 + IonoGuardON	17:03	17:30
Sesija20	17:30	18:00	R 780 + IonoGuardOFF	17:31	18:00	R 580 + IonoGuardON	17:32	18:00

Slika 5.8 Plan opažanja za lokaciju Stubička Slatina na dan 27.5.2025.

## 6. REZULTATI

Kako bi se dobili upotrebljivi rezultati i prikazi, mjerenja su obrađena u softveru pod nazivom TBC (engl. *Trimble Business Center*). Za tablični račun i grafičko vizualiziranje korišten je program Excel programskog paketa MS Office.

### 6.1 OBRADA PODATAKA U TBC-U

TBC je softver namijenjen obradi i analizi geodetskih mjerenja s naglaskom na podatke prikupljene putem GNSS tehnologije. Softver je razvila, ali i dalje ga razvija i usavršava tvrtka *Trimble Inc.* koja je jedan od vodećih svjetskih proizvođača geodetske i navigacijske opreme. Ovaj softver omogućuje inženjerima i geodetima preciznu obradu, kombinaciju, analizu i vizualizaciju različitih vrsta podataka uz visok stupanj automatizacije i kontrole kvalitete.

Ključne funkcionalnosti TBC-a pri obradi GNSS podataka:

1. Uvoz (engl. *import*) i organizacija podataka:

- Podržava direktni uvoz podataka s Trimble GNSS prijarnika (formati datoteka: .T02, .T04, .JXL...),
- Omogućuje povezivanje s mrežama permanentnih GNSS stanica (npr. CROPOS),
- Uređivanje i manipulacija metapodataka (vrijeme mjerenja, broj satelita, DOP vrijednosti, tip antene i prijarnika...)

2. Analiza i obrada GNSS mjerenja:

- Statika – koristi se za točno određivanje koordinata fiksnih točaka. Omogućuje izračun baznih linija između prijarnika i vektora te primjenu različitih filtera.
- Post-Processed Kinematic (PPK): Omogućuje naknadnu obradu kinematičkih mjerenja.
- Pruža podršku za različite GNSS sustave,
- Sposobnost prikazivanja kvalitete vektora i njihova vizualizacija,
- Statistička analiza kvalitete rješenja,

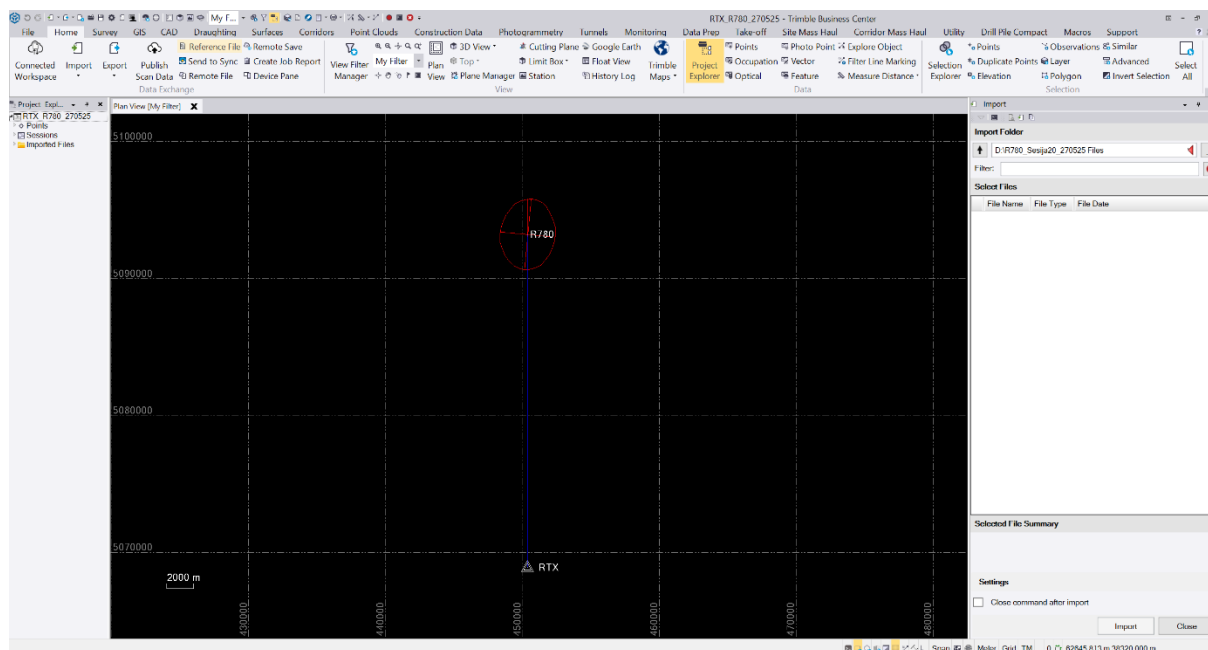
3. Ugrađena podrška za lokalne i globalne koordinatne sustave i međusobna transformacija (HTRS96/TM, HVRS71, WGS84...)

4. Izvoz (engl. *export*) rezultata

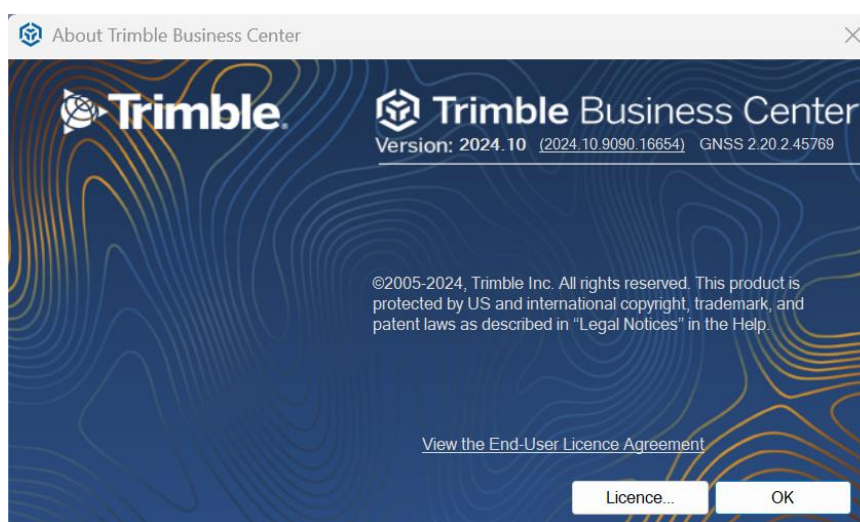
- Izvoz obrađenih mjerenja (koordinata) u različitim formatima (.csv, .txt, .dxf, .shp, .jxl...),
- Generiranje izvješća (engl. *report*) o obradi i izjednačenju,
- Priprema podataka za CAD ili GIS aplikacije.

Tijekom obrade podataka ovog projekta korištene su približno sve navedene funkcionalnosti TBC-a. Prvo su se definirali parametri i postavke projekta (referentni sustav, nivo pouzdanosti obrade podataka...), a zatim su se uvezli sirovi podatci u formatu \*.T02 i \*.T04, nakon toga se pristupilo izračunavanju baznih vektora, a o tome ovisno je li primijenjena statika ili PPK se radilo izjednačavanje mreže uz izvoz izvješća o provedenom izjednačenju. Nakon završene obrade podatci su izvezeni u .asc datoteku koja je potom obrađena u softveru Excel programskog paketa MS Office. Korisničko sučelje TBC-a koje prikazuje obrađeno statičko rješenje jednog od mjerenja prikazano je na slici 6.1.

Verzija TBC-a korištena za obradu podataka prikazana je na slici 6.2.



Slika 6.1 Korisničko sučelje TBC-a statički obrađenih mjerenja za uređaj R780 (Screenshot TBC)



Slika 6.2 Verzija TBC-a korištena pri obradi (Screenshot TBC).

Pri obradi podataka u TBC-u primijenjena je obrada statike i PPK kroz sljedeće korake:

- Kreiranje projekta u TBC-u pri čemu su određeni parametri poput koordinatnog sustava (HTRS96/TM), modela geoida (HVR571), mjernih jedinica (duljina – metri, vrijeme – GPST), razine preciznosti (u ovom slučaju je iznosila 95%),
- Prije učitavanja se odabire opcija „Force Static“, a zatim slijedi učitavanje svih datoteka točke GEOM (Geomatika Smolčak, format datoteke .T02) tj. satne datoteke opažanja za cijeli dan 15.11.2024. ili 27.5.2025.
- Fiksiranje koordinata bazne stanice,
- Učitavanje datoteka \*.T04 s podacima opažanja pokretnog prijamnika – rovera; a prilikom učitavanja ovisno o tome radi li se statika ili PPK odabire se „Force Static“ odnosno „Force Kinematic“,

- Odabir svih segmenata za obradu u prozoru *Raw Receiver Data Check-in*,
- Pritiskom na naredbu *Process Baselines* započinje se s obradom vektora,
- Nakon obrade, ako je riječ o statici potrebno je izjednačiti mrežu pritiskom *Adjust Network* nakon čega su u izvješću dostupne izjednačene vrijednosti koordinata rovera,
- Po završetku obrade potrebno je imenovati i pohraniti projekt,
- Na kraju se podaci izvoze sukladno danom predlošku u \*.asc datoteku koja se kasnije učitava i obrađuje u Excelu.

Obrada u Excelu je započela određivanjem minimalne (naredba „MIN“) i maksimalne (naredba „MAX“) vrijednosti za pojedinu koordinatu ( $E$ ,  $N$ ,  $H$ ) svake sesije. Također je određena i aritmetička sredina uz pomoć funkcije „AVERAGE“. Nakon toga se izračunao raspon koji je rezultat oduzimanja maksimalne i minimalne vrijednosti za svaku pojedinu sesiju.

U sljedećim poglavljima su tablično i grafički prikazani rezultati obrade podataka prikupljenih kroz dva dana na dva različita načina.

## 6.2 REZULTATI RTK POZICIONIRANJA DANA 15.11.2024.

Na temelju rezultata prikazanih tablicama 6.1, 6.2 i 6.3 vidljivo je kako u onim sesijama kada je IonoGuard bio isključen na bazi i na roveru daju bolje krajnje rezultate, tj. manji je raspon između minimalne i maksimalne vrijednosti koordinata pojedine sesije. Potrebno je naglasiti da uspoređivanjem rezultata dobivenih pri različitim duljinama baznih linija (8 km, 16 km, 24 km), vidljivo je povećanje raspona rješenja što je očekivano za RTK metodu pozicioniranja. Ovaj rezultat je oprečan pretpostavci krajnjih rezultata i pokazuje kako IonoGuard nije baš odradio posao za koji je namijenjen, ako uspoređujemo jednu sesiju s uključenim IonoGuardom s prethodnom i sljedećom sesijom s isključenim IonoGuardom. To je moguće zbog neaktivnosti ionosfere na taj dan, ali rezultati pretrage ionosferskog indeksa I95 na stranicama CROPOS-a pokazuju kako je ionosfera itekako bila „aktivna“ na dan opažanja (Slika 6.1). Također postoji mogućnost kako stvarno podaci nisu bili opterećeni greškama unatoč aktivnostima ionosfere i TEC-a taj dan pa IonoGuard nije imao ulogu u cijeloj priči.

Tablica 6.1 Tablica rezultata za sesije s IonoGuard-om uključenim za tri točke na dan 15.11.2024.

Sesija	Start	Stop	Baza	Rover	Trajanje	8 km: RASPON [m]			16 km: RASPON [m]			24 km: RASPON [m]		
						$\Delta E$	$\Delta N$	$\Delta H$	$\Delta E$	$\Delta N$	$\Delta H$	$\Delta E$	$\Delta N$	$\Delta H$
2	7:35	8:05	IONO	IONO	0:30:00									
5	8:45	9:15	IONO	IONO	0:30:00	0,014	0,030	0,054	0,021	0,034	0,089	0,026	0,048	0,061
7	9:55	10:25	IONO	IONO	0:30:00	0,022	0,036	0,059	0,026	0,035	0,069	0,029	0,050	0,164
9	11:05	11:35	IONO	IONO	0:30:00	0,022	0,026	0,047	0,028	0,029	0,062	0,024	0,027	0,061
11	12:15	12:45	IONO	IONO	0:30:00	0,022	0,025	0,040	0,024	0,032	0,054	0,023	0,031	0,056
13	13:25	13:55	IONO	IONO	0:30:00	0,022	0,026	0,060	0,028	0,032	0,083	0,022	0,039	0,075
16	14:35	15:05	IONO	IONO	0:30:00	0,019	0,027	0,048	0,026	0,026	0,061	0,021	0,031	0,078
					MIN	0,014	0,025	0,040	0,018	0,026	0,054	0,021	0,027	0,056
					MAX	0,022	0,036	0,060	0,028	0,035	0,089	0,029	0,050	0,164
					RASPON	0,008	0,011	0,020	0,010	0,009	0,035	0,008	0,023	0,108

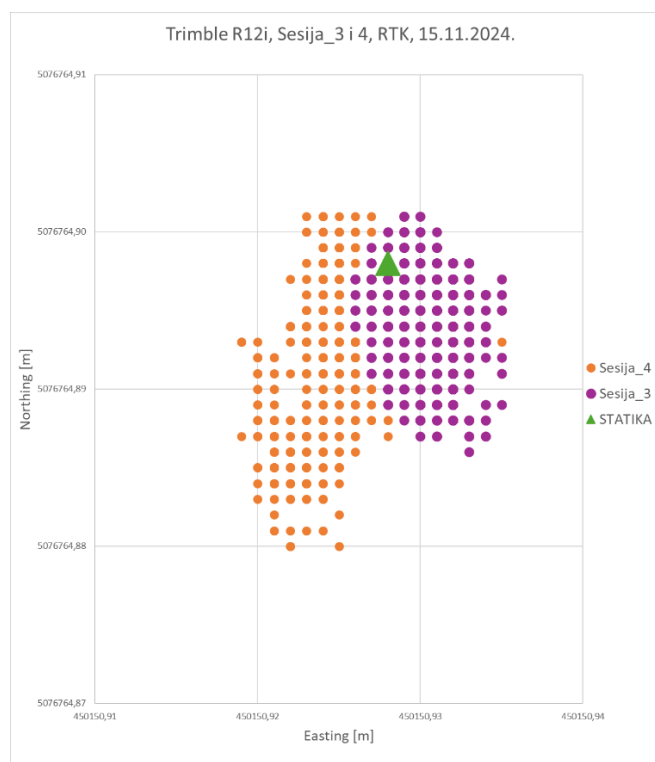
Tablica 6.2 Tablica rezultata za sesije sa IonoGuard-om isključenim za tri točke na dan 15.11.2024.

Sesija	Start	Stop	Baza	Rover	Trajanje	8 km: RASPON [m]			16 km: RASPON [m]			24 km: RASPON [m]		
						$\Delta E$	$\Delta N$	$\Delta H$	$\Delta E$	$\Delta N$	$\Delta H$	$\Delta E$	$\Delta N$	$\Delta H$
1	7:00	7:30	NO	NO	0:30:00				0,016	0,022	0,046	0,019	0,031	0,043
6	9:20	9:50	NO	NO	0:30:00	0,014	0,025	0,037	0,014	0,026	0,045	0,015	0,032	0,048
8	10:30	11:00	NO	NO	0:30:00	0,014	0,021	0,044	0,027	0,025	0,051	0,023	0,026	0,054
10	11:40	12:10	NO	NO	0:30:00	0,016	0,016	0,031	0,023	0,017	0,050	0,015	0,023	0,046
12	12:50	13:20	NO	NO	0:30:00	0,016	0,020	0,039	0,022	0,021	0,060	0,020	0,033	0,063
17	15:10	15:40	NO	NO	0:30:00	0,017	0,026	0,041	0,022	0,024	0,079	0,020	0,030	0,048
MIN						0,014	0,016	0,031	0,014	0,017	0,045	0,015	0,023	0,043
MAX						0,017	0,026	0,044	0,027	0,026	0,079	0,023	0,033	0,063
RASPON						0,003	0,010	0,013	0,013	0,009	0,034	0,008	0,010	0,020

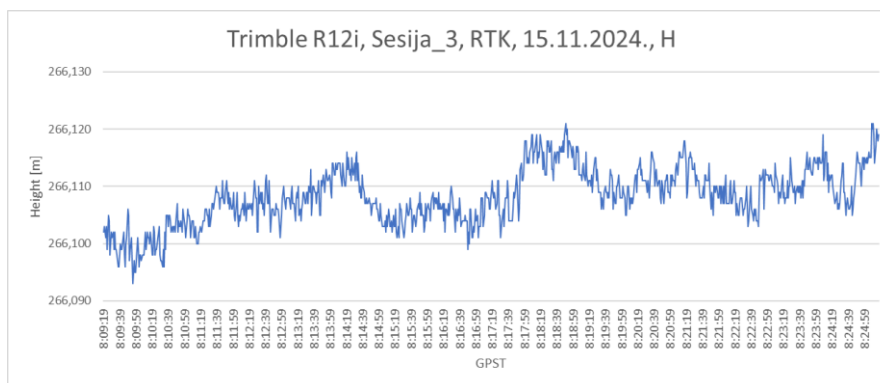
Tablica 6.3 Tablica rezultata za sesije s kombinacijom IonoGuard uključen/isključen za tri točke na dan 15.11.2024.

Sesija	Start	Stop	Baza	Rover	Trajanje	8 km: RASPON [m]			16 km: RASPON [m]			24 km: RASPON [m]		
						$\Delta E$	$\Delta N$	$\Delta H$	$\Delta E$	$\Delta N$	$\Delta H$	$\Delta E$	$\Delta N$	$\Delta H$
3	8:10	8:25	IONO	NO	0:15:00	0,009	0,015	0,028	0,012	0,021	0,045	0,117	0,101	0,114
4	8:25	8:40	NO	IONO	0:15:00	0,016	0,021	0,030	0,025	0,041	0,056	0,115	0,108	0,151
14	14:00	14:15	IONO	NO	0:15:00	0,012	0,016	0,038	0,018	0,016	0,060	0,012	0,019	0,035
15	14:15	14:30	NO	IONO	0:15:00	0,017	0,024	0,036	0,015	0,020	0,035	0,015	0,020	0,058
MIN						0,009	0,015	0,028	0,012	0,016	0,035	0,012	0,019	0,035
MAX						0,017	0,024	0,038	0,025	0,041	0,060	0,117	0,108	0,151
RASPON						0,008	0,009	0,010	0,013	0,025	0,025	0,105	0,089	0,116

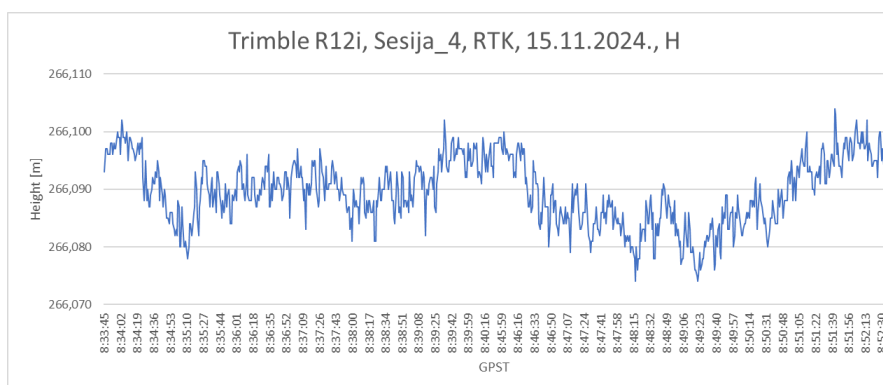
U tablici 6.3 vidljivo je da su RTK rješenja na duljini bazne linije od 24 km pokazala značajan rasap po svim komponentama ( $E$ ,  $N$ ,  $H$ ) u dvije sesije gdje je bila kombinacija IonoGuard-a uključenog/isključenog na baznoj stanici odnosno roverima.



Slika 6.3 Prikaz položajnog rješenja za 3. i 4. sesiju na lokaciji Kostanjek na dan 15.11.2024.

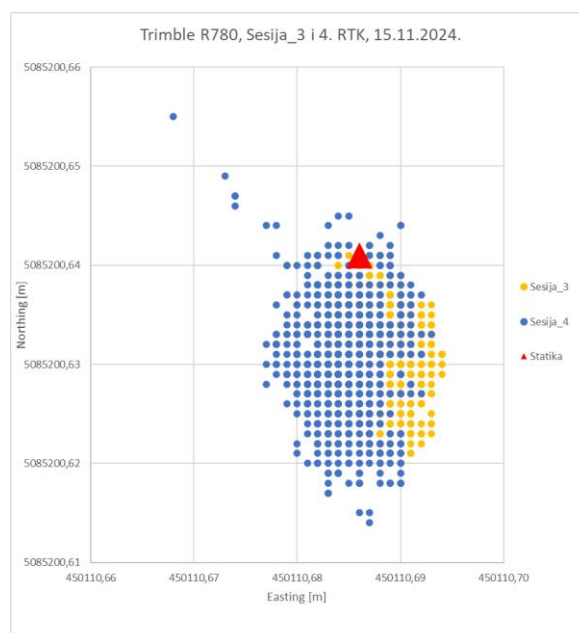


Slika 6.4. Visina na lokaciji Kostaњek tijekom 3. sesije na dan 15.11.2024.

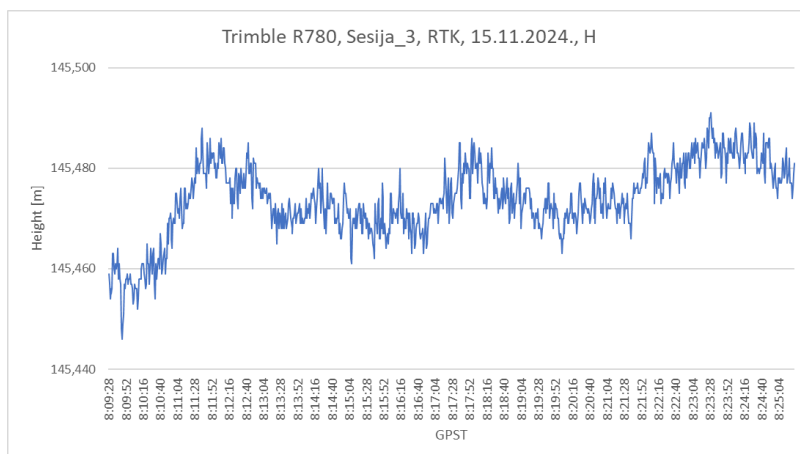


Slika 6.5 Visina na lokaciji Kostaњek tijekom 4. sesije na dan 15.11.2024.

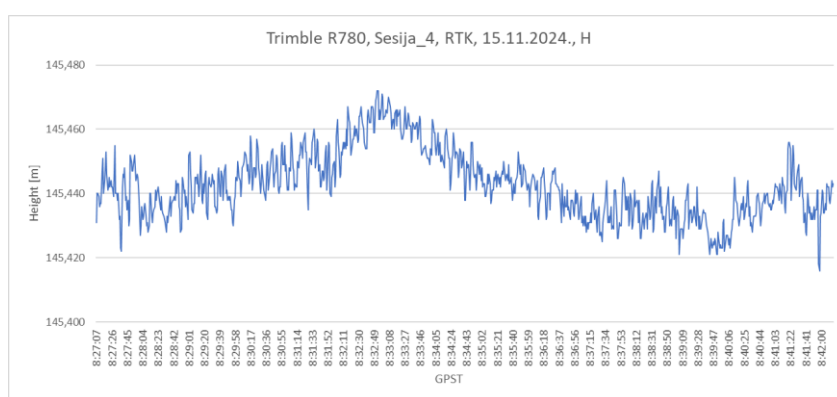
Na slici 6.3, 6.4 i 6.5 grafički su prikazane sesije tri i četiri po pojedinim komponentama ( $E$ ,  $N$ ,  $H$ ) na lokaciji Kostaњek te se može zaključiti sukladno rezultatima u tablici 6.3 da na danoj lokaciji nije bilo prevelikih oscilacija u rješenjima.



Slika 6.6 Prikaz položajnog rješenja za 3. i 4. sesiju na lokaciji Donja Bistra na dan 15.11.2024.

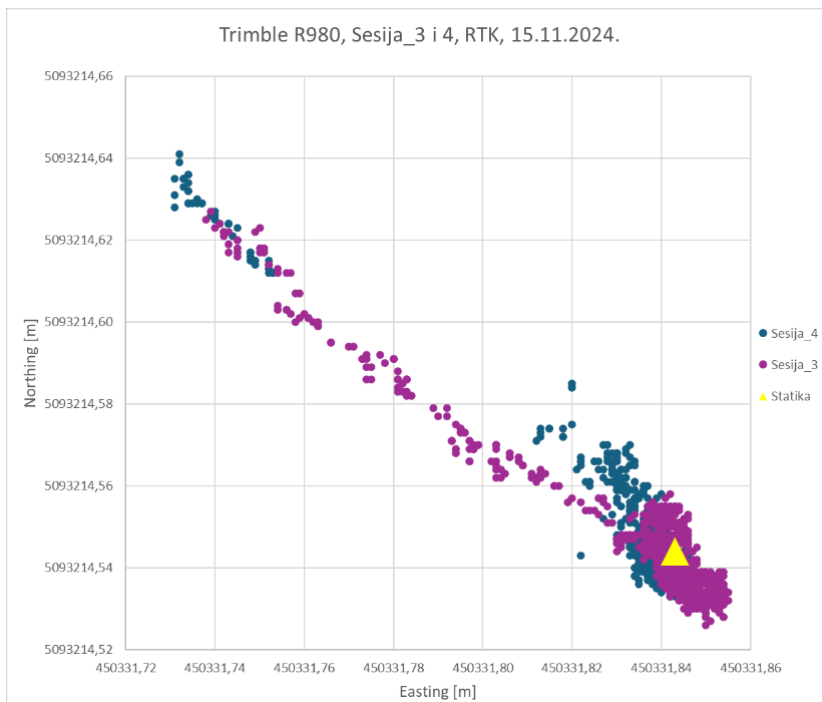


Slika 6.7 Visina na lokaciji Donja Bistra tijekom 3. sesije na dan 15.11.2024.

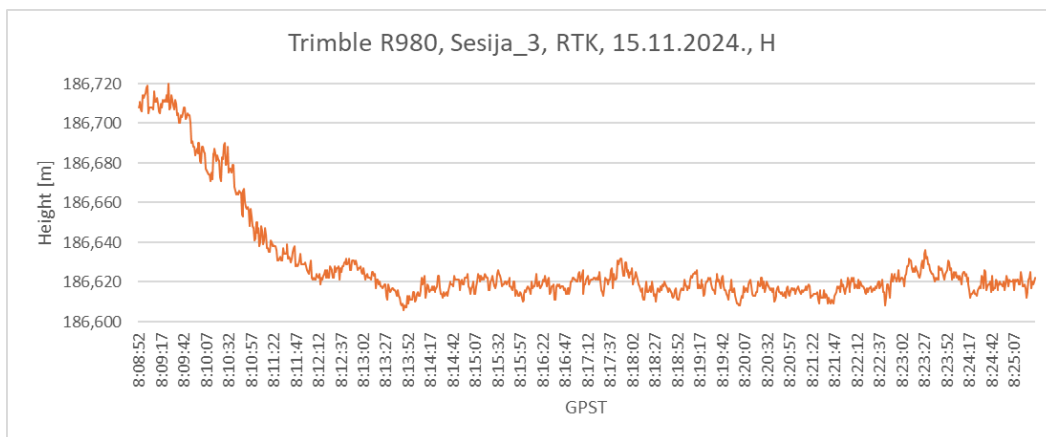


Slika 6.8 Visina na lokaciji Donja Bistra tijekom 4. sesije na dan 15.11.2024.

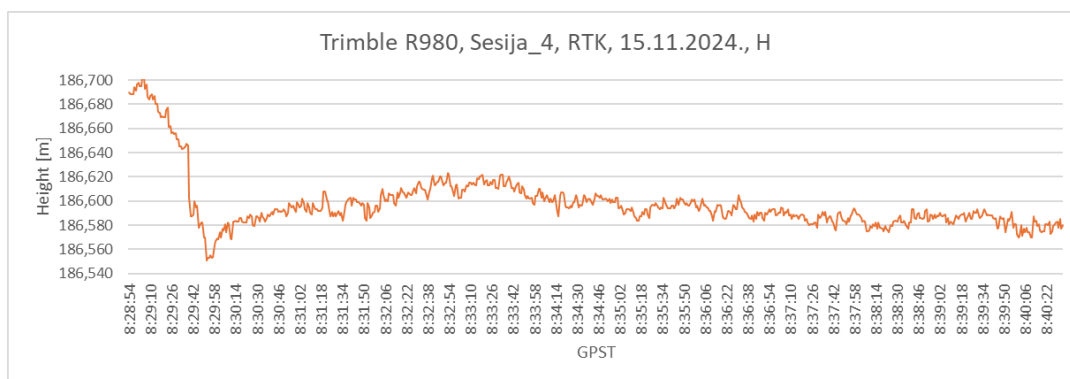
Na slici 6.6, 6.7 i 6.8 prikazane su pojedine komponente RTK rješenja na lokaciji Donja Bistra dana 15.11.2025. Za razliku od rješenja s Kostanjeka u ovom slučaju je na prikazima vidljiv veći rasap i oscilacije kao što je vidljivo iz rezultata u tablici 6.3.



Slika 6.9 Prikaz položajnog rješenja za 3. i 4. sesiju na lokaciji Stubička Slatina na dan 15.11.2024.



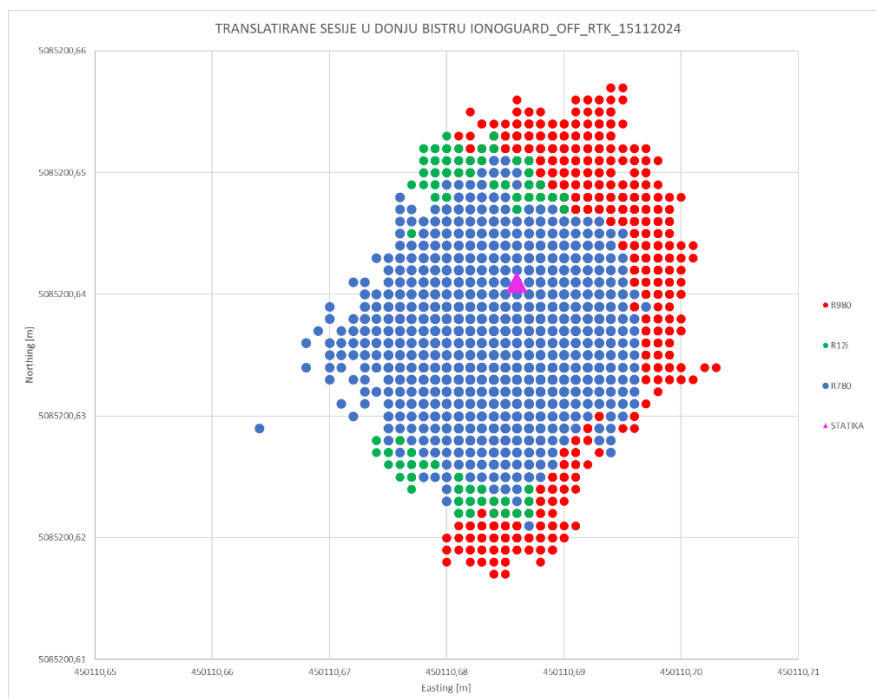
Slika 6.10 Visina na lokaciji Stubička Slatina tijekom 3. sesije na dan 15.11.2024.



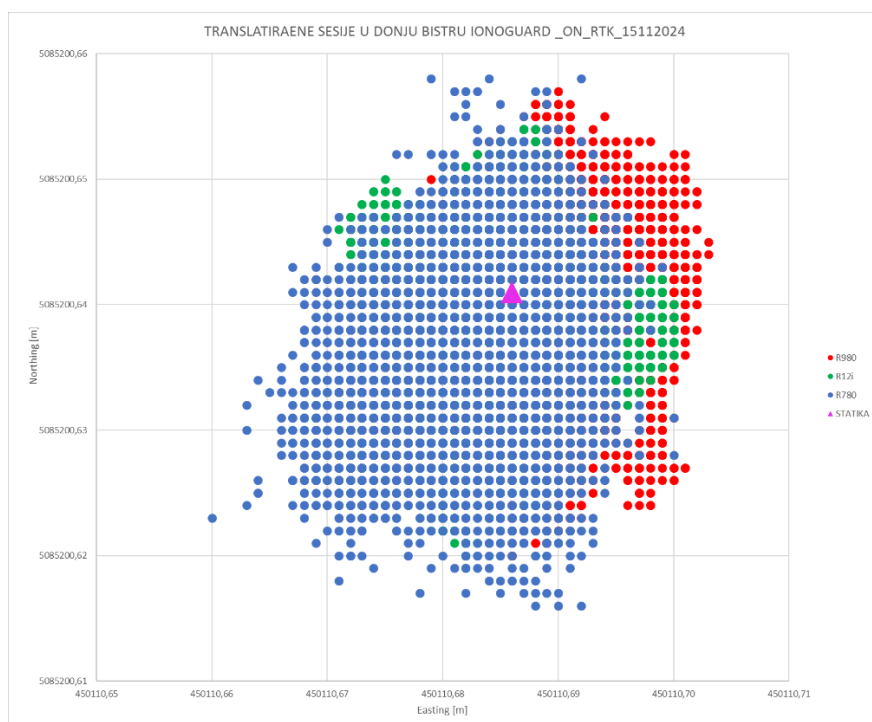
Slika 6.11 Visina na lokaciji Stubička Slatina tijekom 4. sesije na dan 15.11.2024.



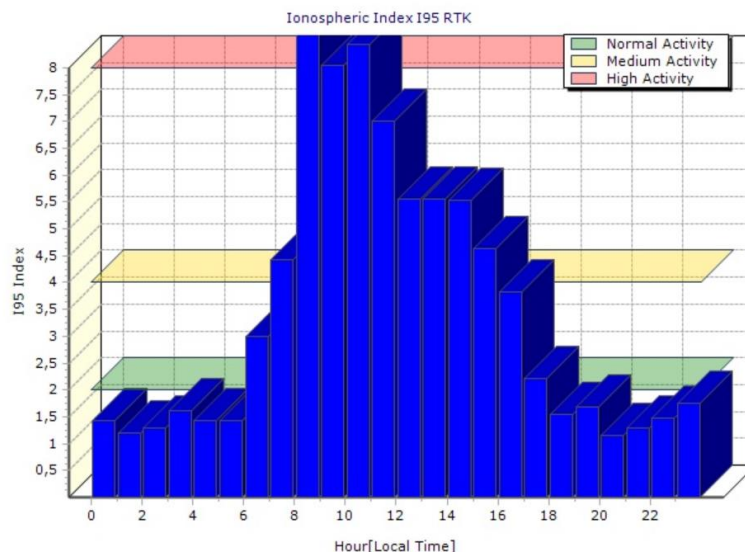
Na slici 6.12. i slici 6.13. grafički su prikazani rasponi tj. raspršenja translahiranih točaka u Donju Bistru s opcijom IonoGuard isključenom odnosno uključenom. Iz prikaza je vidljivo kako sesije na kojima je IonoGuard bio isključen imaju manje raspšenje (rasap) nego one sesije kod kojih je bio uključen. To je jasno vidljivo jer su minimalne i maksimalne vrijednosti na osima postavljene na jednake iznose.



Slika 6.12 Translatirane sesije sa isključenom IonoGuard opcijom u Donju Bistru.



Slika 6.13 Translatirane sesije s uključenom IonoGuard opcijom u Donju Bistru.



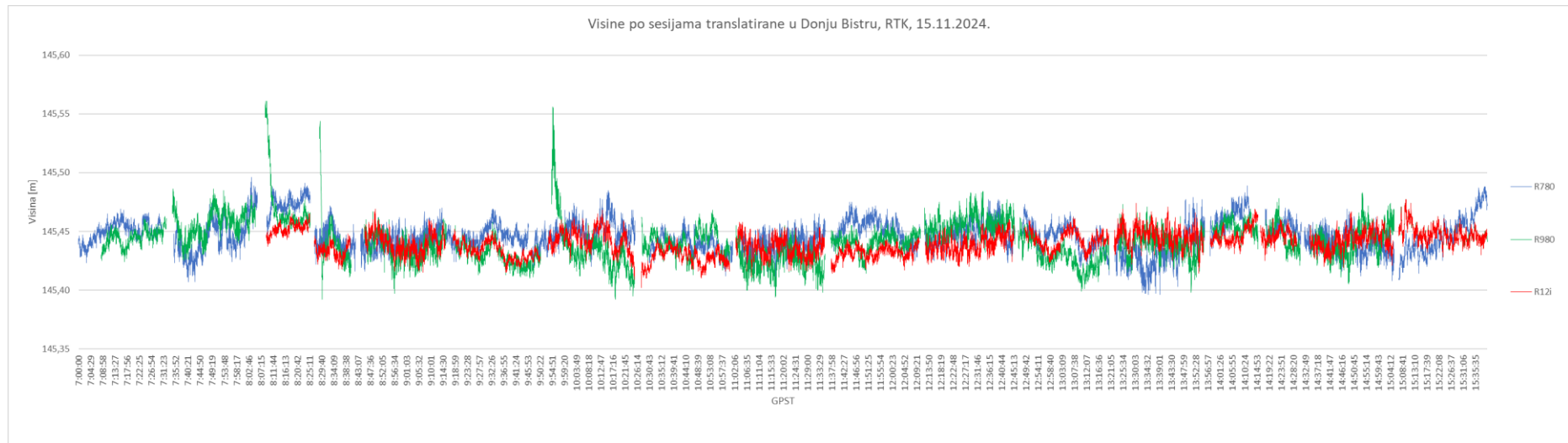
Slika 6.14 Ionosferski indeks I95 na dan 15.11.2024. (URL 11).

S obzirom na stanje ionosfere koji je prikazano kroz ionosferski indeks I95 na slici 6.14. može se zaključiti kako je velika korelacija ionosferskog indeksa I95 i rasapa rezultata, tj. da je rasap povezan s ionosferom. To je vidljivo iz sesija koje se nalaze u istom vremenskom okviru kada je i aktivnost ionosfere bila najveća. Npr. sesije 4-8 koje su trajale od 8:00 do 11:30 po lokalnom vremenu imaju najveće vrijednosti raspona minimalne i maksimalne vrijednosti dok se to podudara sa najvećom aktivnosti ionosfere vidljivoj na slici 6.14.

Također još jedan jako bitan zaključak koji se može izvesti iz rezultata obrade je da raspon rezultata uvelike ovisi o udaljenosti pojedinog uređaja odnosno točke od bazne stanice. U tablici 6.4 vidljivo je da se na 8 km nalazi najmanji raspon, dok se na 16 km nalazi malo veći raspon, a na udaljenosti od 24 km najveći raspon čije vrijednosti iznose preko 0.1 m što predstavlja ozbiljniju sistematsku pogrešku.

Na slici 6.15. prikazane su visine translirane iz pojedine lokacije u Donju Bistru. Vidljivo je kako linije nisu kontinuirane nego prekinute na određenim dijelovima, a ti prekidi predstavljaju prekide sesija tokom mjerenja. Također je vidljiv veliki skok visinske komponente u 3. i 4. sesiji opažanja što potvrđuju brojke u tablici 6.4.

Najveći rasponi H komponente su na uređaju koji se nalazio u Stubičkoj Slatini (R980), nešto manji rasponi su na lokaciji Donja Bistra (R780), a najmanji rasponi su zabilježeni na lokaciji Kostanjek (R12i). Najveći rasponi tj. rasapi odgovaraju vremenima kada su bile visoke vrijednosti indeksa I95.



Slika 6.15 Visine translirane iz drugih lokacija u Donju Bistru, RTK, 15.11.2024.

### 6.3 REZULTATI RTK POZICIONIRANJA DANA 27.5.2025.

Nakon provedenih mjerenja dana 15.11.2024. tvrtka Trimble je upoznata s rezultatima te su najavili novu (poboljšanu) verziju IonoGuard-a koja će biti implementirana pri novom ažuriranju *firmware-a* prijavnika.

Uočivši nedostatak metodologije primijenjene prilikom testiranja od dana 15.11.2024. kada nije bilo simultanih mjerenja s uključenom odnosno isključenom IonoGuard opcijom prešlo se na testiranje koristeći dva GNSS prijavnika na pojedinoj lokaciji.

Umjesto lokacija Kostanjek i Donja Bistra, po dva uređaja su postavljena na lokaciju Viča Sela te Stubička Slatina kao i u prvom mjerenju. Kao što je prethodno spomenuto u poglavlju 5.2, lokacija Viča Sela se nalazi na udaljenosti 33 km od bazne stanice GEOM (Gornji Stupnik). Detaljni opisi o postavljenim uređajima se nalaze u istom poglavlju. Također, važno je naglasiti da su lokacije mjerenja na približno istom meridijanu. Iz analize rezultata prvog mjerenja je zaključeno da raspon rezultata uvelike korelira s udaljenosti između uređaja. Sukladno toj činjenici i dodatnim potrebama istraživanja, na jednom uređaju je IonoGuard tehnologija bila uključena, dok na drugom ne. Dodatni razlog za ponovni izlazak na teren je i različito stanje ionosfere.

Za provedbu terenskih aktivnosti pomno je praćeno stanje Sunca i svemirskog vremena (URL 26) kao i stanje ionosfere (URL 11), TEC-a i scintilacije (URL 9).

Tablica 6.5 Rezultati na dan 27.5.2025. na lokaciji Stubička Slatina (uređaji R580 i R780).

Sesija	Planirano (CET)			24 km: RASPON [m]										
	Start	Stop	Trajanje	Baza	over(R580)	$\Delta E$	$\Delta N$	$\Delta H$	Baza	over (R780)	$\Delta E$	$\Delta N$	$\Delta H$	
1	8:00	8:30	0:30:00	IONO	IONO	0,029	0,023	0,072	NO	NO	0,022	0,018	0,043	
2	8:30	9:00	0:30:00	IONO	IONO	0,020	0,018	0,045	NO	NO	0,018	0,015	0,052	
3	9:00	9:30	0:30:00	IONO	IONO	0,022	0,020	0,055	NO	NO	0,018	0,021	0,036	
4	9:30	10:00	0:30:00	IONO	IONO	0,018	0,022	0,039	NO	NO	0,016	0,018	0,039	
5	10:00	10:30	0:30:00	IONO	IONO	0,024	0,027	0,041	NO	NO	0,017	0,027	0,054	
6	10:30	11:00	0:30:00	IONO	IONO	0,027	0,026	0,065	NO	NO	0,023	0,023	0,080	
7	11:00	11:30	0:30:00	IONO	IONO	0,032	0,026	0,065	NO	NO	0,031	0,026	0,067	
8	11:30	12:00	0:30:00	IONO	IONO	0,023	0,028	0,081	NO	NO	0,029	0,031	0,087	
9	12:00	12:30	0:30:00	IONO	IONO	0,017	0,031	0,059	NO	NO	0,014	0,023	0,054	
10	12:30	13:00	0:30:00	IONO	IONO	0,021	0,029	0,058	NO	NO	0,020	0,027	0,071	
11	13:00	13:30	0:30:00	IONO	IONO	0,026	0,026	0,041	NO	NO	0,015	0,026	0,050	
12	13:30	14:00	0:30:00	IONO	IONO	0,018	0,025	0,072	NO	NO	0,015	0,026	0,075	
13	14:00	14:30	0:30:00	IONO	IONO	0,021	0,032	0,079	NO	NO	0,017	0,032	0,079	
14	14:30	15:00	0:30:00	IONO	IONO	0,013	0,013	0,036	NO	NO	0,024	0,027	0,045	
15	15:00	15:30	0:30:00	IONO	IONO	0,022	0,026	0,043	NO	NO	0,016	0,019	0,053	
16	15:30	16:00	0:30:00	IONO	IONO	0,033	0,030	0,036	NO	NO	0,016	0,019	0,030	
17	16:00	16:30	0:30:00	IONO	IONO	0,029	0,021	0,064	NO	NO	0,030	0,024	0,065	
18	16:30	17:00	0:30:00	IONO	IONO	0,024	0,025	0,054	NO	NO	0,026	0,027	0,050	
19	17:00	17:30	0:30:00	IONO	IONO	0,029	0,030	0,055	NO	NO	0,021	0,024	0,063	
20	17:30	18:00	0:30:00	IONO	IONO	0,032	0,023	0,056	NO	NO	0,016	0,016	0,051	
						MIN	0,013	0,013	0,036		MIN	0,014	0,015	0,030
						MAX	0,033	0,032	0,081		MAX	0,031	0,032	0,087
						RASPON	0,020	0,019	0,045		RASPON	0,017	0,017	0,057

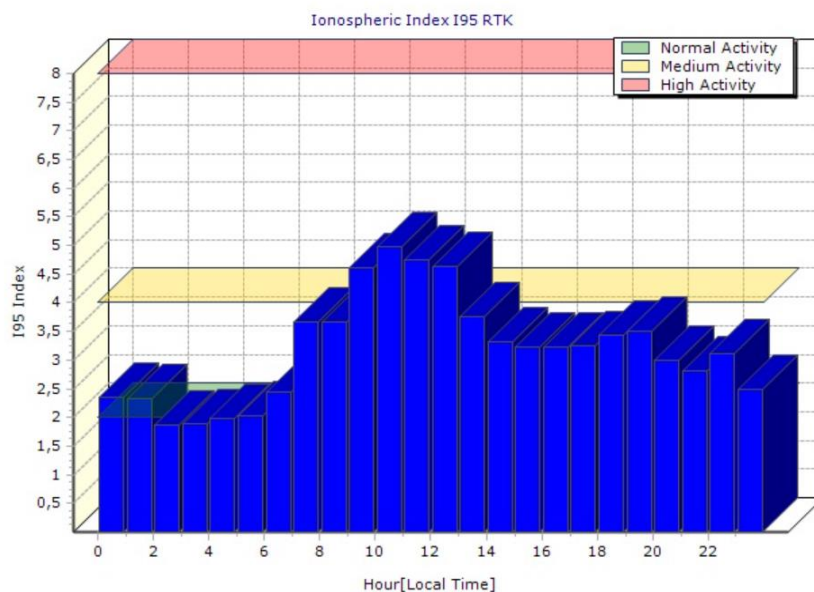
U tablici 6.5 su prikazani rezultati tj. minimalne i maksimalne vrijednosti te raspon podataka i vidljivo je da su rasponi malo manjeg iznosa na uređaju koji je imao isključenu IonoGuard opciju u odnosu na raspone uređaja sa isključenom opcijom. Razlika iznosa nije značajna nego se može reći da je na razini šuma. U tablicama su označene sesije u kojima se dogodio skok u

mjerenjima koji se mogu povezati s aktivnosti ionosfere na dan opažanja koja je prikazana na slici 6.16.

Tablica 6.6 Rezultati na dan 27.5.2025. na lokaciji Viča Sela (uređaji R980 i R12i).

Sesija	Planirano (CET)		Trajanje	33 km: RASPON [m]										
	Start	Stop		Baza	over(R12i)	$\Delta E$	$\Delta N$	$\Delta H$	Baza	over (R980)	$\Delta E$	$\Delta N$	$\Delta H$	
1	8:00	8:30	0:30:00	IONO	IONO	/	/	/	NO	NO	0,018	0,017	0,064	
2	8:30	9:00	0:30:00	IONO	IONO	0,020	0,017	0,048	NO	NO	0,016	0,025	0,050	
3	9:00	9:30	0:30:00	IONO	IONO	0,021	0,017	0,054	NO	NO	0,024	0,023	0,035	
4	9:30	10:00	0:30:00	IONO	IONO	0,022	0,020	0,058	NO	NO	0,018	0,022	0,06	
5	10:00	10:30	0:30:00	IONO	IONO	0,017	0,023	0,048	NO	NO	0,024	0,025	0,081	
6	10:30	11:00	0:30:00	IONO	IONO	0,028	0,025	0,070	NO	NO	0,028	0,027	0,077	
7	11:00	11:30	0:30:00	IONO	IONO	0,023	0,027	0,074	NO	NO	0,029	0,044	0,063	
8	11:30	12:00	0:30:00	IONO	IONO	0,026	0,034	0,065	NO	NO	0,020	0,032	0,058	
9	12:00	12:30	0:30:00	IONO	IONO	0,023	0,028	0,057	NO	NO	0,025	0,031	0,047	
10	12:30	13:00	0:30:00	IONO	IONO	0,026	0,027	0,055	NO	NO	0,021	0,031	0,042	
11	13:00	13:30	0:30:00	IONO	IONO	0,020	0,045	0,065	NO	NO	0,014	0,031	0,049	
12	13:30	14:00	0:30:00	IONO	IONO	0,017	0,034	0,058	NO	NO	0,020	0,027	0,081	
13	14:00	14:30	0:30:00	IONO	IONO	0,018	0,028	0,069	NO	NO	0,018	0,029	0,038	
14	14:30	15:00	0:30:00	IONO	IONO	0,011	0,017	0,05	NO	NO	0,023	0,030	0,051	
15	15:00	15:30	0:30:00	IONO	IONO	0,020	0,022	0,049	NO	NO	0,017	0,022	0,055	
16	15:30	16:00	0:30:00	IONO	IONO	0,032	0,022	0,055	NO	NO	0,030	0,024	0,071	
17	16:00	16:30	0:30:00	IONO	IONO	0,025	0,024	0,072	NO	NO	0,024	0,026	0,052	
18	16:30	17:00	0:30:00	IONO	IONO	0,021	0,027	0,073	NO	NO	0,026	0,027	0,042	
19	17:00	17:30	0:30:00	IONO	IONO	0,023	0,022	0,067	NO	NO	0,023	0,029	0,066	
20	17:30	18:00	0:30:00	IONO	IONO	0,028	0,027	0,073	NO	NO	0,028	0,027	0,067	
						MIN	0,011	0,017	0,048		MIN	0,014	0,017	0,035
						MAX	0,032	0,045	0,074		MAX	0,030	0,044	0,081
						RASPON	0,021	0,028	0,026		RASPON	0,016	0,027	0,046

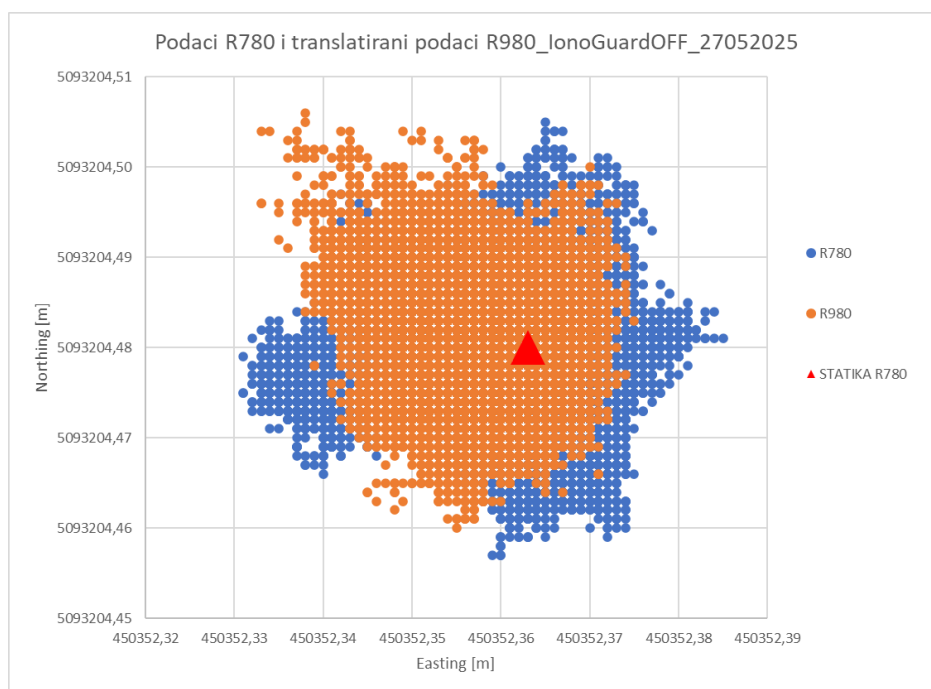
U tablici 6.6 vidljivo je također kao i u tablici 6.5 kako je raspon mjerenja za mali iznos manji na uređaju na kojem je IonoGuard opcija bila isključena, ali se ipak vidi smanjenje raspona po visini (komponenta H) na uređaju s uključenim IonoGuard-om. Ta je pojava vidljiva i na točki u Stubičkoj Slatini. Ali, ono što je isto vidljivo iz prethodne dvije tablice je da su rasponi na uređajima koji su na udaljenosti 33 km veći nego na uređajima koji su na udaljenosti od 24 km od baznog uređaja.



Slika 6.16 Aktivnost ionosfere na dan mjerenja 27.5.2025. (URL 11).

Nastavno na prethodne tablice (tablica 6.5 i 6.6) i indeks I95 prikazan na slici 6.16 može se zaključiti da su se za vrijeme najveće aktivnosti ionosfere toga dana (vremenski prozor 9-13h CET) dogodili i najveći rasponi po komponentama ( $E$ ,  $N$ ,  $H$ ) na obje lokacije tj. na svim uređajima.

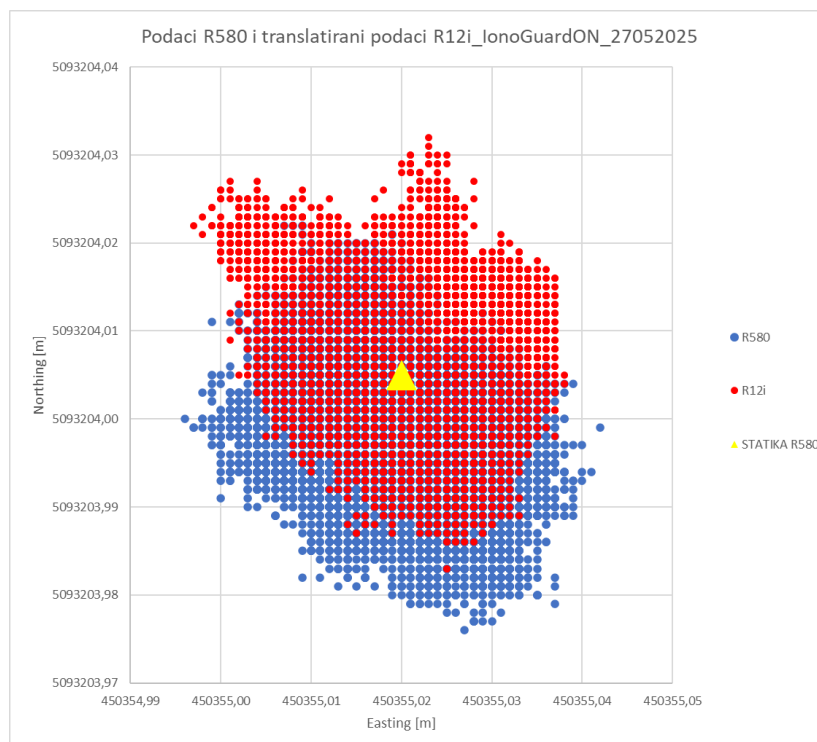
Na slici 6.7. i na slici 6.8. su prikazani translaterani podaci iz Viča Sela u Stubičku Slatinu te je iz prikaza vidljivo kako podaci koji su prikupljeni na uređajima koji su imali IonoGuard opciju uključenu imaju ipak manje razilaženje tj. „raspršenje“ po grafu. Također je vidljivo kako na slici 6.8. podaci uređaja s uključenom IonoGuard opcijom su raspoređeni tako da su bliže dnevnom statičkom rješenju koje je prikazano žutim trokutom.



Slika 6.17 Podaci uređaja sa isključenom IonoGuard opcijom na dan 27.5.2025.

Na slici 6.17 prikazana su rješenja cijelog dana RTK pozicioniranja na lokacijama Stubička Slatina (uređaj R780) i Viča Sela (uređaj R980). Na oba uređaja je opcija IonoGuard isključena. Ako se pogleda na rezultate tj. rasape uređaja R980 vidi se da su „udaljili“ od ostalih rješenja, a taj „pomak“ se dogodio u vremenskom prozoru kada je aktivnost ionosfere bila najveća toga dana (9-13h CET), ali bitno je napomenuti također da se uređaj nalazio na 33 km udaljenosti od bazne stanice.

Na slici 6.18 su prikazana cjelodnevna rješenja RTK pozicioniranja na lokacijama Stubička Slatina (uređaj R580) i Viča Sela (uređaj R12i). Na oba uređaja je opcija IonoGuard uključena. U ovom slučaju nije uočljiv tako veliki „pomak“ pojedinih od svih rješenja. Iz ovog se može zaključiti da je IonoGuard ipak zagladio rješenja i umanjio rasap u vremenskom prozoru kada je aktivnost ionosfere najveća.



Slika 6.18 Podaci uređaja sa uključenom IonoGuard opcijom na dan 27.5.2025.

Tablica 6.7 Rezultati sesija s uključenim IonoGuard-om na obje lokacije dana 27.5.2025

Sesija	Planirano (CET)		Baza	Rover	Trajanje	24 km: RASPON [m]			33 km: RASPON [m]		
	Start	Stop				$\Delta E$	$\Delta N$	$\Delta H$	$\Delta E$	$\Delta N$	$\Delta H$
1	8:00	8:30	IONO	IONO	0:30:00	0,029	0,023	0,072	/	/	/
2	8:30	9:00	IONO	IONO	0:30:00	0,020	0,018	0,045	0,020	0,017	0,048
3	9:00	9:30	IONO	IONO	0:30:00	0,022	0,020	0,055	0,021	0,017	0,054
4	9:30	10:00	IONO	IONO	0:30:00	0,018	0,022	0,039	0,022	0,020	0,058
5	10:00	10:30	IONO	IONO	0:30:00	0,024	0,027	0,041	0,017	0,023	0,048
6	10:30	11:00	IONO	IONO	0:30:00	0,027	0,026	0,065	0,028	0,025	0,070
7	11:00	11:30	IONO	IONO	0:30:00	0,032	0,026	0,065	0,023	0,027	0,074
8	11:30	12:00	IONO	IONO	0:30:00	0,023	0,028	0,081	0,026	0,034	0,065
9	12:00	12:30	IONO	IONO	0:30:00	0,017	0,031	0,059	0,023	0,028	0,057
10	12:30	13:00	IONO	IONO	0:30:00	0,021	0,029	0,058	0,026	0,027	0,055
11	13:00	13:30	IONO	IONO	0:30:00	0,026	0,026	0,041	0,020	0,045	0,065
12	13:30	14:00	IONO	IONO	0:30:00	0,018	0,025	0,072	0,017	0,034	0,058
13	14:00	14:30	IONO	IONO	0:30:00	0,021	0,032	0,079	0,018	0,028	0,069
14	14:30	15:00	IONO	IONO	0:30:00	0,013	0,013	0,036	0,011	0,017	0,050
15	15:00	15:30	IONO	IONO	0:30:00	0,022	0,026	0,043	0,020	0,022	0,049
16	15:30	16:00	IONO	IONO	0:30:00	0,033	0,030	0,036	0,032	0,022	0,055
17	16:00	16:30	IONO	IONO	0:30:00	0,029	0,021	0,064	0,025	0,024	0,072
18	16:30	17:00	IONO	IONO	0:30:00	0,024	0,025	0,054	0,021	0,027	0,073
19	17:00	17:30	IONO	IONO	0:30:00	0,029	0,030	0,055	0,023	0,022	0,067
20	17:30	18:00	IONO	IONO	0:30:00	0,032	0,023	0,056	0,028	0,027	0,073
MIN						0,013	0,013	0,036	0,011	0,017	0,048
MAX						0,033	0,032	0,081	0,032	0,045	0,074
RASPON						0,020	0,019	0,045	0,021	0,028	0,026

Tablica 6.8 Rezultati sesija s isključenim IonoGuard-om na obje lokacije dana 27.5.2025.

Sesija	Planirano (CET)		Baza	Rover	Trajanje	24 km: RASPON [m]			33 km: RASPON [m]		
	Start	Stop				$\Delta E$	$\Delta N$	$\Delta H$	$\Delta E$	$\Delta N$	$\Delta H$
1	8:00	8:30	NO	NO	0:30:00	0,022	0,018	0,043	0,018	0,017	0,064
2	8:30	9:00	NO	NO	0:30:00	0,018	0,015	0,052	0,016	0,025	0,050
3	9:00	9:30	NO	NO	0:30:00	0,018	0,021	0,036	0,024	0,023	0,035
4	9:30	10:00	NO	NO	0:30:00	0,016	0,018	0,039	0,018	0,022	0,060
5	10:00	10:30	NO	NO	0:30:00	0,017	0,027	0,054	0,024	0,025	0,081
6	10:30	11:00	NO	NO	0:30:00	0,023	0,023	0,080	0,028	0,027	0,077
7	11:00	11:30	NO	NO	0:30:00	0,031	0,026	0,067	0,029	0,044	0,063
8	11:30	12:00	NO	NO	0:30:00	0,029	0,031	0,087	0,020	0,032	0,058
9	12:00	12:30	NO	NO	0:30:00	0,014	0,023	0,054	0,025	0,031	0,047
10	12:30	13:00	NO	NO	0:30:00	0,020	0,027	0,071	0,021	0,031	0,042
11	13:00	13:30	NO	NO	0:30:00	0,015	0,026	0,050	0,014	0,031	0,049
12	13:30	14:00	NO	NO	0:30:00	0,015	0,026	0,075	0,020	0,027	0,081
13	14:00	14:30	NO	NO	0:30:00	0,017	0,032	0,079	0,018	0,029	0,038
14	14:30	15:00	NO	NO	0:30:00	0,024	0,027	0,045	0,023	0,030	0,051
15	15:00	15:30	NO	NO	0:30:00	0,016	0,019	0,053	0,017	0,022	0,055
16	15:30	16:00	NO	NO	0:30:00	0,016	0,019	0,030	0,030	0,024	0,071
17	16:00	16:30	NO	NO	0:30:00	0,030	0,024	0,065	0,024	0,026	0,052
18	16:30	17:00	NO	NO	0:30:00	0,026	0,027	0,050	0,026	0,027	0,042
19	17:00	17:30	NO	NO	0:30:00	0,021	0,024	0,063	0,023	0,029	0,066
20	17:30	18:00	NO	NO	0:30:00	0,016	0,016	0,051	0,028	0,027	0,067
MIN						0,014	0,015	0,030	0,014	0,017	0,035
MAX						0,031	0,032	0,087	0,030	0,044	0,081
RASPON						0,017	0,017	0,057	0,016	0,027	0,046

Iz raspona prikazanih u tablici 6.7 i tablici 6.8 može se sumirati predmet istraživanja ovog poglavlja, a to je da su:

- Razlike u rasponima na uređaju s uključenim IonoGuard-om u odnosu na uređaj bez IonoGuard-a su na razini šuma, ali ipak postoje,
- Vremenske ovisnosti rasapa uslijed djelovanja ionosfere tj. korelacija I95 sa rezultatima, točnije rečeno da su najveći rasapi uočljivi u vremenskom prozoru kada je indeks I95 najvećeg iznosa,
- Korelacija udaljenosti prijavnika od bazne stanice je velika s rasponom mjerenja, veća udaljenost – veći raspon,
- IonoGuard tehnologija je uvijek prisutna, ali se aktivira tek kada se pređe neki određeni prag odnosno kada se događaju veliki skokovi u podacima ona je zadužena da „izgladi“ mjerenja, ali kada nema tih skokova ona nije aktivna, čak je vidljivo iz nekih rezultata kako su mjerenja manjeg raspona kada je IonoGuard isključen.

## 7. ZAKLJUČAK

Ovaj diplomski rad temelji se na istraživanju utjecaja ionosfere na GNSS RTK mjerenja te evaluaciji učinkovitosti IonoGuard tehnologije, razvijene od strane tvrtke *Trimble Inc.*, u cilju smanjenja navedenih utjecaja. Ionosfera, kao promjenjiv sloj Zemljine atmosfere, predstavlja značajan izvor pogrešaka u GNSS mjerenjima zbog njenog utjecaja na signale. Usprkos tome što danas postoji čitav niz metoda za ublažavanje tog utjecaja, fokus ovog rada je na praktičnoj primjeni i ispitivanju, već spomenute, jedne od najnovijih tehnologija u tom području – *IonoGuard* algoritma.

Kroz prvi praktični dio rada provedena su terenska mjerenja s ciljem usporedbe rezultata pri različitim konfiguracijama uključenosti *IonoGuard* opcije, što je omogućilo detaljnu analizu i interpretaciju utjecaja algoritma u realnim uvjetima na udaljenosti rovera od bazne stanice Geomatike Smolčak (GEOM) u iznosima od 8 km (Kostanjek), 16 km (Donja Bistra) i 24 km (Stubička Slatina). Opažanja su provedena kroz 17 sesija dana 15.11.2024. godine, a rezultati su prikazani i analizirani grafički i tablično. Nedostatak prvog praktičnog dijela jest metodologija gdje nije bilo simultanih mjerenja s *IonoGuard* opcijom uključenom, odnosno isključenom. Usprkos nedostacima ipak se može zaključiti da se rasap rezultata sukladno očekivanju povećava s duljinom bazne linije, da su hibridne sesije (*IonoGuard* isključen/uključen) na 24 km udaljenosti od baze pokazale značajne rasape posebice u uvjetima povećanog indeksa I95.

Za testiranje efikasnosti *IonoGuard* algoritma praćena je aktivnost Sunca i stanje ionosfere.

Zbog svega navedenog se odlučilo za ponovljeno testiranje, ali ovoga puta koristeći dva GNSS uređaja na lokacijama udaljenim 24, odnosno 33 km od bazne stanice dana 27.5.2025. godine. U ovom dijelu primijenjena je modificirana metodologija u odnosu na prvi dan, a izmijenjene su lokacije mjerenja – umjesto Kostanjeka i Donje Bistre korištene su lokacije Viča Sela i Stubička Slatina. Lokacija Viča Sela nalazi se na udaljenosti od 33 km od bazne stanice GEOM, što je omogućilo dodatno testiranje utjecaja udaljenosti na rezultate mjerenja. S obzirom na spoznaje i zaključke prvog dijela mjerenja o velikoj povezanosti raspona rezultata i udaljenosti među bazne stanice i pokretnog prijavnika, mjerenja su provedena tako da je *IonoGuard* tehnologija bila uključena na jednom uređaju, a isključena na drugom na istoj lokaciji. Dodatni motiv za ponovni izlazak na teren bio je i promijenjeno stanje ionosfere u odnosu na prvi dan i ažurirani *firmware* prijavnika s novom verzijom *IonoGuard*-a što je omogućilo usporedbu rezultata u različitim uvjetima ionosferske aktivnosti.

Iako se inicijalno pretpostavljalo da će uključenost *IonoGuard* na oba uređaja rezultirati manjim rasponima i stabilnijim rješenjima, analiza je pokazala kako razlike postoje, ali ne značajnijeg iznosa – na razini šuma. U određenim slučajevima postignuti su i manji rasponi s isključenim *IonoGuard*-om, što ukazuje na ovisnost algoritma o stanju signala i ionosfere. Ovdje je bitno naglasiti da *IonoGuard* opcija nije uvijek aktivna, već se uključuje tek pri detekciji većih skokova u signalima – što znači da u stabilnim uvjetima, gdje nema izraženih anomalija algoritam ne intervenira odnosno ne uključuje se te stoga njegov doprinos ostaje minimalan ili čak može u manjoj mjeri utjecati negativno na rezultate.

Poseban naglasak je stavljen na vremensku ovisnost rasapa – pokazalo se da postoji korelacija između ionosferskog indeksa I95 (pokazatelj ionosferske aktivnosti) i veličine odstupanja koordinata. Tijekom razdoblja povišene aktivnosti ionosfere uočeni su veći rasponi kako u položajnim rješenjima tako i u visinskom smislu. To potvrđuje važnost uključivanja podataka

o aktivnosti Sunca i stanja ionosfere pri planiranju GNSS mjerenja, posebno u razdobljima povećane Sunčeve aktivnosti.

Također je potvrđena velika korelacija udaljenosti prijavnika od bazne stanice s kvalitetom mjerenja. S povećanjem udaljenosti baze od rovera zapažena je veća razlika i veći raspon pozicijskih (3D) rješenja.

Zaključno, rezultati ovog diplomskog rada potvrđuju složenost povezanosti GNSS sustava i ionosferskih utjecaja te ukazuju na potrebu za pažljivim planiranjem mjerenja i uzimanjem u obzir vanjskih čimbenika uključujući udaljenost od bazne stanice, trenutnu aktivnost ionosfere i način rada različitih tehnologija kao što je u ovom slučaju IonoGuard. Iako IonoGuard predstavlja važan alat u smanjenju ionosferskih smetnji, njegova učinkovitost ovisna je o kontekstu i uvjetima mjerenja. U budućnosti je potrebno dodatno istražiti načine kako pametno upravljati aktivacijom sličnih algoritama, ali i integrirati više izvora informacija o stanju ionosfere u realnom vremenu kako bi se povećala pouzdanost i preciznost GNSS pozicioniranja u svim uvjetima, a posebno u uvjetima snažne aktivnosti ionosfere kao što je aktualni 25. ciklus Sunčeve aktivnosti.

## LITERATURA

Bačić, Ž. (2022): Materijali s predavanja – Satelitsko pozicioniranje, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.

Ćopić, M. (2023): Pogreške satelitskih sustava za navigaciju, diplomski rad, Pomorski fakultet Sveučilišta u Splitu, Split.

Fernandez-Hernandez, I., Perez Bartolome, J., Maufroid, X., Lopez-Salcedo, J.A., Seco-Granados, G., Sand, S., Hurskainen, H. (2015): Overview of Galileo System, Galileo Positioning Technology.

Groves, P. (2008): Principles of GNSS, Inertial, and Multisensor Integrated Navigation Systems, First edition, University of London, London.

Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H. & Wasle, E. (2008): GNSS – Global Navigation Satellite Systems: GPS, GLONASS, Galileo, and more, 65-67, 109-111, 116-122, 126-128.

Langley, R.B. (2000): GPS, the Ionosphere, and the Solar Maximum, GPS World, Vol. 11, No. 7, 44-49.

Mark, F., Finn, A., Cervera, M. (1998): Ionospheric Effects on Global Positioning System Receivers, Department of Defence, Defence science and technology organisation, Australia.

Nikolac, I. (2020): Utjecaj Zemljine ionosfere na niskofrekventna radioastronomska promatranja, diplomski rad, Prirodoslovno-matematički fakultet, Geofizički odsjek, Sveučilište u Zagrebu.

Seeber, G. (2003): Satellite Geodesy: foundations, methods, and applications. 2nd rev. & extended edn. Berlin; New York: De Gruyter.

Šugar, D. (2024): Materijali s predavanja – Navigacija, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.

Van Sickle, J. (2015): GPS for Land Surveyors. 4th edition. Boca Raton, FL / London / New York: CRC Press, 246-249.

## POPIS URL-OVA

URL 1.

<https://www.qsl.net/4x4xm/Propagation/Radio-Communication-and-the-Ionosphere.htm> (10. 1. 2025.).

URL 2. <https://www.nasa.gov/> (10. 1. 2025.).

URL 3. <https://enciklopedija.hr/clanak/sunceva-pjega> (10. 1. 2025.).

URL 4. <https://www.swpc.noaa.gov/products/solar-cycle-progression> (26.6.2025.)

URL 5. <https://www.marine-pilots.com/articles/14518-gps-part-2-physical-and-technical-errors-of-gnss-error-analysis> (11. 1. 2025.).

URL 6. [https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/Klobuchar\\_Ionospheric\\_Model](https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/Klobuchar_Ionospheric_Model) (23.6.2025.)

URL 7. [https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/NeQuick\\_Ionospheric\\_Model](https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/NeQuick_Ionospheric_Model) (23.6.2025.)

URL 8.

[https://www.gsceuropa.eu/sites/default/files/sites/all/files/Galileo\\_Ionospheric\\_Model.pdf](https://www.gsceuropa.eu/sites/default/files/sites/all/files/Galileo_Ionospheric_Model.pdf) (24.6.2025.)

URL 9. <https://www.gnssplanning.com> (11. 1. 2025.).

URL 10.

[https://gssc.esa.int/navipedia/index.php?title=Ionospherefree\\_Combination\\_for\\_Dual\\_Frequency\\_Receivers](https://gssc.esa.int/navipedia/index.php?title=Ionospherefree_Combination_for_Dual_Frequency_Receivers) (25.6.2025.)

URL 11. <https://gnss.cropos.hr/MemberPagesNetwork/Ionosphere.aspx> (11. 1. 2025.).

URL 12.

<https://geospatial.trimble.com/en/resources/whitepaper/trimble-ionoguard-rtk-gnss-techpub> (20.6.2025.)

URL 13:

<https://geospatial.trimble.com/en/resources/i/1514887-trimble-propoint-whitepaper-english/0?> (19.6.2025.)

URL 14. <https://receiverhelp.trimble.com/alloy-gnss/en-us/xFill.html> (12. 1. 2025.).

URL 15. [https://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-867350/022506-243G\\_en-US\\_Alloy\\_GNSS\\_Ref\\_Receiver\\_USL\\_1122.pdf](https://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-867350/022506-243G_en-US_Alloy_GNSS_Ref_Receiver_USL_1122.pdf) (19.6.2025.)

URL 16.

[https://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-950413/022516\\_511G\\_Trimble%20R12i%20GNSS%20Receiver\\_SS\\_USL\\_0225\\_LR\\_SEC.pdf](https://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-950413/022516_511G_Trimble%20R12i%20GNSS%20Receiver_SS_USL_0225_LR_SEC.pdf) (19.6.2025.)

URL 17.

[https://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-1057351/022516\\_677E\\_TrimbleR580\\_SpecSheet\\_USL\\_0424\\_LR\\_SEC.pdf](https://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-1057351/022516_677E_TrimbleR580_SpecSheet_USL_0424_LR_SEC.pdf) (19.6.2025.)

URL 18.

[https://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-1073539/022516-682A\\_TrimbleR780\\_Model2\\_SpecSheet\\_USL\\_0924\\_LR-SEC.pdf](https://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-1073539/022516-682A_TrimbleR780_Model2_SpecSheet_USL_0924_LR-SEC.pdf) (19.6.2025.)

URL 19.

[https://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-1075726/022516-681A\\_TrimbleR980\\_SpecSheet\\_USL\\_0624\\_LR\\_SEC.pdf](https://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-1075726/022516-681A_TrimbleR980_SpecSheet_USL_0624_LR_SEC.pdf) (19.6.2025.)

URL 20. <https://www.gps.gov/systems/gnss/> (24.6.2025.)

URL 21. <https://www.euspa.europa.eu/> (24.6.2025.)

URL 22. <https://www.nasa.gov/directorates/somd/space-communications-navigation-program/gps/> (26.6.2025.)

URL 23. <https://www.spoc.spaceforce.mil/About-Us/Fact-Sheets/Display/Article/2381726/global-positioning-system> (26.6.2025.)

URL 24. [https://glonass-iac.ru/en/about\\_glonass/](https://glonass-iac.ru/en/about_glonass/) (26.6.2025.)

URL 25. <http://en.beidou.gov.cn/SYSTEMS/System/> (26.6.2025.)

URL 26. <https://soho.nascom.nasa.gov/data/realtime-images.html> (26.6.2025.)

## POPIS SLIKA

Slika 2.1 Slojevi Zemljine atmosfere i slojevi ionosfere (URL 1).....	2
Slika 2.2 Dijelovi Sunca (URL 2). .....	4
Slika 2.3 Sunčeve pjegice izbliza (URL 3). .....	4
Slika 2.4 Sunčevi ciklusi i broj sunčevih pjega (URL 4). .....	5
Slika 2.5 Pojednostavljeni primjer djelovanja refrakcije i refleksije na elektromagnetske valove (URL 5). .....	6
Slika 2.6 Geometrija ionosferske refrakcije (Hoffman-Wellenhof i dr., 2008). .....	9
Slika 2.7 Screenshot Trimble GNSS Planning Online Iono Map – TEC na dan 15.11.2024. u 14:10 UTC (URL 9). .....	11
Slika 2.8 Screenshot Trimble GNSS Planning Online Iono Map – Scintillation na dan 15.11.2024. u 11:10 UTC (URL 9). .....	11
Slika 2.9 Informacije o aktivnosti ionosfere na dan 15.11.2024. (URL 9). .....	12
Slika 2.10 Screenshot CROPOS GNSS Web stranice - Ionospheric Index I95 RTK na dan 15.11.2024. (URL 11) .....	13
Slika 3.1 Poboljšanje pozicioniranja iz Brazila za vrijeme solarne oluje dana 5. kolovoza 2023. (URL 12). .....	14
Slika 3.2 Poboljšanje pozicioniranja iz Perua za vrijeme solarne oluje dana 5. kolovoza 2023. (URL 12). .....	15
Slika 3.3. Poboljšanje pozicioniranja iz Švedske za vrijeme solarne oluje dana 5. kolovoza 2023. (URL 12). .....	15
Slika 3.4 Trimble uređaji koji podržavaju Pro-Point engine (URL 13). .....	17
Slika 3.5 Generička arhitektura INS/GNSS integracije (Groves 2008). .....	18
Slika 3.6 Shema rada Trimble xFill tehnologije (URL 14). .....	19
Slika 4.1 Shematski prikaz RTK tehnologije (Van Sickle, 2015). .....	21
Slika 4.2 Uređaj Trimble Alloy uređaj (URL 15). .....	24
Slika 4.3 Uređaj Trimble R12i (foto: Petar Jelić). .....	25
Slika 4.4 Uređaj Trimble 580 (foto: Matija Matijević). .....	27
Slika 4.5 Uređaj Trimble R780 (foto: Matija Matijević). .....	28
Slika 4.6 Uređaj Trimble R980 (foto:Petar Jelić). .....	30
Slika 5.1 Lokacije uređaja na dan opažanja 15.11.2024. (Google Earth Pro). .....	34
Slika 5.2 Uređaji R12i (lijevo), R780 (u sredini) i R980 (desno) na pripadnim lokacijama na terenu (foto: Tomislav Debeljak, Matija Matijević i Petar Jelić). .....	35
Slika 5.3 Plan opažanja planiranog i realiziranog na lokaciji Donja Bistra - uređaj R780. ....	35
Slika 5.4 Sučelje za opciju IonoGuard (Screenshot WUI). .....	36

Slika 5.5 Uređaji R580 (lijevo) i R780 (desno) na lokaciji Stubička Slatina (foto: Matija Matijević). .....	37
Slika 5.6 Uređaji R980 (lijevo) i R12i (desno) na lokaciji Viča Sela (foto: Petar Jelić). .....	38
Slika 5.7 Lokacije uređaja na dan opažanja 27.05.2025. (Google Earth Pro). .....	38
Slika 5.8 Plan opažanja za lokaciju Stubička Slatina na dan 27.5.2025. ....	40
Slika 6.1 Korisničko sučelje TBC-a statički obrađenih mjerenja za uređaj R780 (Screenshot TBC).....	42
Slika 6.2 Verzija TBC-a korištena pri obradi (Screenshot TBC).....	42
Slika 6.3 Prikaz položajnog rješenja za 3. i 4. sesiju na lokaciji Kostanjek na dan 15.11.2024. ....	44
Slika 6.4. Visina na lokaciji Kostanjek tijekom 3. sesije na dan 15.11.2024.....	45
Slika 6.5 Visina na lokaciji Kostanjek tijekom 4. sesije na dan 15.11.2024.....	45
Slika 6.6 Prikaz položajnog rješenja za 3. i 4. sesiju na lokaciji Donja Bistra na dan 15.11.2024. ....	45
Slika 6.7 Visina na lokaciji Donja Bistra tijekom 3. sesije na dan 15.11.2024. ....	46
Slika 6.8 Visina na lokaciji Donja Bistra tijekom 4. sesije na dan 15.11.2024. ....	46
Slika 6.9 Prikaz položajnog rješenja za 3. i 4. sesiju na lokaciji Stubička Slatina na dan 15.11.2024. ....	47
Slika 6.10 Visina na lokaciji Stubička Slatina tijekom 3. sesije na dan 15.11.2024.....	47
Slika 6.11 Visina na lokaciji Stubička Slatina tijekom 4. sesije na dan 15.11.2024.....	47
Slika 6.12 Translatirane sesije sa isključenom IonoGuard opcijom u Donju Bistru.....	49
Slika 6.13 Translatirane sesije s uključenom IonoGuard opcijom u Donju Bistru. ....	49
Slika 6.14 Ionosferski indeks I95 na dan 15.11.2024. (URL 11).....	50
Slika 6.15 Visine translatirane iz drugih lokacija u Donju Bistru, RTK, 15.11.2024.....	51
Slika 6.16 Aktivnost ionosfere na dan mjerenja 27.5.2025. (URL 11).....	53
Slika 6.17 Podaci uređaja sa isključenom IonoGuard opcijom na dan 27.5.2025. ....	54
Slika 6.18 Podaci uređaja sa uključenom IonoGuard opcijom na dan 27.5.2025.....	55

## POPIS TABLICA

Tablica 2.1 Izvori pogrešaka koji utječu na GNSS signale i njihovi iznosi (Hoffman-Wellenhof i dr., 2008) .....	2
Tablica 4.1 Specifikacije Trimble Alloy (URL 15). .....	23
Tablica 4.2 Specifikacije Trimble R12i (URL 16).....	24
Tablica 4.3 Specifikacije Trimble R580 (URL 17).....	26
Tablica 4.4 Specifikacije uređaja Trimble R780 (URL 18). .....	28
Tablica 4.5 Specifikacije uređaja R980 (URL 19). .....	29
Tablica 6.1 Tablica rezultata za sesije s IonoGuard-om uključenim za tri točke na dan 15.11.2024. ....	43
Tablica 6.2 Tablica rezultata za sesije sa IonoGuard-om isključenim za tri točke na dan 15.11.2024. ....	44
Tablica 6.3 Tablica rezultata za sesije s kombinacijom IonoGuard uključen/isključen za tri točke na dan 15.11.2024.....	44
Tablica 6.4 Tablica rezultata za tri točke na dan 15.11.2024. ....	48
Tablica 6.5 Rezultati na dan 27.5.2025. na lokaciji Stubička Slatina (uređaji R580 i R780)..	52
Tablica 6.6 Rezultati na dan 27.5.2025. na lokaciji Viča Sela (uređaji R980 i R12i). .....	53
Tablica 6.7 Rezultati sesija s uključenim IonoGuard-om na obje lokacije dana 27.5.2025 ....	55
Tablica 6.8 Rezultati sesija s isključenim IonoGuard-om na obje lokacije dana 27.5.2025....	56



## Matija Matijević

**Osobna iskaznica:** 117255572 **Radna dozvola:** hrvatsko **Državljanstvo:** hrvatsko  
**Datum rođenja:** 08. kolovoza 1999. **Mjesto rođenja:** Nova Bila, Bosna i Hercegovina  
**Spol:** Muško **Telefonski broj:** (+385) 0923782054  
**E-adresa:** [matija.matijevic1999@gmail.com](mailto:matija.matijevic1999@gmail.com)  
**Kućna:** Dugoratska 2, 10000 Zagreb (Hrvatska)

### O MENI

Ovdje možete unijeti svoj opis...

### OBRAZOVANJE I OSPOBLJAVANJE

#### Sveučilišni prvostupnik inženjer geodezije i geoinformatike (univ. bacc. ing. geod. et geoinf.)

*Geodetski fakultet u Zagrebu* [ 23. srpnja 2017. – 19. srpnja 2023. ]

Mjesto: Zagreb | Zemlja: Hrvatska | Internetska stranica: <https://www.geof.unizg.hr/> | Razina Europskoga kvalifikacijskog okvira: razina 6 EKO-a

#### Srednjoškolska diploma

*KŠC Don Bosco Žepče* [ 01. rujna 2014. – 01. lipnja 2018. ]

Mjesto: Žepče | Zemlja: Bosna i Hercegovina | Razina Europskoga kvalifikacijskog okvira: razina 4 EKO-a

### RADNO ISKUSTVO

#### *Modum geodetski ured d.o.o. – Zagreb, Hrvatska*

Mjesto: Zagreb | Zemlja: Hrvatska

#### Studentski posao

[ 10. veljače 2021. – 10. travnja 2021. ]

#### *Geodata projekt d.o.o. – Zagreb, Hrvatska*

Mjesto: Zagreb | Zemlja: Hrvatska

#### Studentski posao

[ 06. ožujka 2023. – 01. svibnja 2025. ]

#### *Geodata projekt d.o.o. – Zagreb, Hrvatska*

Mjesto: Zagreb | Zemlja: Hrvatska

#### Geodet

[ 01. svibnja 2025. – Trenutačno ]

### JEZIČNE VJEŠTINE

**Materinski jezik/jezici:** hrvatski

Drugi jezici:

**engleski**

**SLUŠANJE B2 ČITANJE B2 PISANJE B1**

**GOVORNA PRODUKCIJA B2 GOVORNA INTERAKCIJA B2**

*Razine: A1 i A2: temeljni korisnik; B1 i B2: samostalni korisnik; C1 i C2: iskusni korisnik*

### **VJEŠTINE**

---

Osnovno poznavanje QGIS / Dobro poznavanje AutoCAD programa / ESA SNAP / MS Office (MS Word, MS PowerPoint, MS Excel, MS) / Global mapper / Rad u TBC-Trimble Business Centar

### **VOZAČKA DOZVOLA**

---

**Vozačka dozvola:** B