

# Analiza točnosti pozicioniranja poljoprivrednog traktora uporabom različitih Real-Time-Kinematic (RTK) korekcija

---

**Blažević, Davor**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2020**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:*

**Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:151:040609>

*Rights / Prava:* [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-10**



Sveučilište Josipa Jurja  
Strossmayera u Osijeku

**Fakultet  
agrobiotehničkih  
znanosti Osijek**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek - Repository of the Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU**  
**FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK**

Davor Blažević

Preddiplomski sveučilišni studij Poljoprivreda

Smjer Mehanizacija

**ANALIZA TOČNOSTI POZICIONIRANJA POLJOPRIVREDNOG TRAKTORA**  
**UPORABOM RAZLIČITIH REAL-TIME-KINEMATIC (RTK) KOREKCIJA**

Završni rad

**Osijek, 2020.**

**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU**  
**FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK**

Davor Blažević

Preddiplomski sveučilišni studij Poljoprivreda

Smjer Mehanizacija

**ANALIZA TOČNOSTI POZICIONIRANJA POLJOPRIVREDNOG TRAKTORA**  
**UPORABOM RAZLIČITIH REAL-TIME-KINEMATIC (RTK) KOREKCIJA**

Završni rad

Povjerenstvo za ocjenu i obranu završnog rada:

1. prof. dr. sc. Mladen Jurišić, predsjednik
2. Dorijan Radočaj, mag. ing. geod. et geoinf., mentor
3. izv. prof. dr. sc. Ivan Plaščak, član

**Osijek, 2020.**

# SADRŽAJ

<b>1. UVOD.....</b>	<b>1</b>
1.1. Cilj rada.....	1
1.2. Pregled literature.....	1
<b>2. GLOBALNI NAVIGACIJSKI SATELITSKI SUSTAVI (GNSS).....</b>	<b>3</b>
2.1. Galileo.....	3
2.2. GLONASS.....	4
2.3. BeiDou.....	5
<b>3. PRECIZNO POZICIONIRANJE U TOČKI (PPP).....</b>	<b>6</b>
<b>4. REAL-TIME-EXTENDED (RTX).....</b>	<b>9</b>
<b>5. REAL-TIME-KINEMATIC (RTK).....</b>	<b>10</b>
5.1. Konvencionalni RTK.....	11
5.2. Mrežni RTK.....	11
5.3. Ionosferne i geometrijske korekcije.....	12
5.4. Statična testiranja.....	12
5.4.1. Ciljevi.....	12
5.4.2. Oprema i srodna konfiguracija.....	13
5.4.3. Metodologija analize obrada podataka.....	15
5.4.4. Pouzdanost platforme za obradu podataka.....	16
<b>6. INTEGRACIJA GNSS RTK NAVIGACIJE S POLJOPRIVREDNIM TRAKTOROM</b>	<b>17</b>
6.1. Sustav CROPOS.....	17
6.2. Asistencija pri upravljanju i automatsko upravljanje strojem.....	18
6.3. Navigacijski uređaj Trimble TMX-2050™.....	19
6.4. Autopilot™ automatizirani upravljački sustav.....	21
6.5. Primjena GNSS RTK navigacije u poljoprivrednoj praksi u Hrvatskoj-Belje.....	23

<b>7. ZAKLJUČAK .....</b>	<b>25</b>
<b>8. POPIS LITERATURE .....</b>	<b>27</b>

## **1. UVOD**

U budućnosti će se gotovo svakoj farmi omogućiti uporaba informatičke tehnologije kao što je globalni navigacijski satelitski sustav (GNSS), geografski informacijski sustav (GIS) i tehnologija precizne poljoprivrede. Glavni cilj uporabe geoinformacijskih tehnologija u poljoprivredi je racionalno upravljanje prirodnih resursa i smanjenja gubitaka resursa uzrokovano neadekvatnim upravljanjem. Velika i stalna potreba za hranom uvjetovala je progresivnom razvoj tehnologija poljoprivredne proizvodnje, što je zauzvrat pomoglo razviti više resursa za mehanizaciju. Prema nekim naprednim poljoprivrednicima u visoko razvijenim poljoprivrednim zemljama se već provode neke tehnološke mogućnosti precizne poljoprivrede.

Prijem ispravljačkih signala od iznimne je važnosti tokom raznih visoko preciznih radova u poljoprivredi. Diferencijalni GNSS omogućuje značajno poboljšanje GNSS prijammika. U poljoprivredi se u većini slučajeva koristi RTK (eng. *Real-Time-Kinematic*) sustav. Uporabom RTK sustava moguće je dostići preciznost u centrimetrima. Većina današnjih poljoprivrednih navigacijskih sustava se mogu nadograđivati. Sustav za automatsko navođenje omogućava sigurno automatsko upravljanje pogonskim strojem na način na koji sustav prepozna potrebnim greške u putanji i usmjerava volan upravljača samostalno uz pomoć elektromotora. (Jurišić i sur., 2018.)

### **1.1. Cilj rada**

Analizirati točnost pozicioniranja poljoprivrednog traktora koju omogućavaju različite RTK korekcije dostupne u Hrvatskoj. Ustanoviti primjenjivost različitih korekcija po agrotehničkim operacijama u preciznoj poljoprivredi ovisno o mogućoj točnosti pozicioniranja.

### **1.2. Pregled literature**

Dow i sur. (2009.) govore o istraživanja koja se temelje na vrlo preciznim i točnim opažanjima Zemlje koristeći tehnologije GNSS-a, prije svega američki globalni sustav za pozicioniranje (GPS). Benedicto i sur. (2000.) govore o Izgradnji Gallileo-ve svemirske

jedinice i zemaljskog segmenta proučavani su do najsitnijih detalja, nakon što se završi, mreža sustava Galileo sastojat će se od 30 satelita koji će podlijegati Europskim standardima. Dach i sur. (2011.) govore o poboljšanju modela faznih središnjih antena za ruski GLONASS. Han i sur. (2011.) predstavljaju razvoj i trenutni status kineskog navigacijskog satelitskog sustava BeiDou. Isto tako detaljno opisuju definiciju i realizaciju sistemskog vremenskog razdoblja. Ge i sur. (2008.) govore o preciznom pozicioniranju u točkama (PPP) i kako je njegova točnost gotovo usporediva s mrežnim rješenjima, ali još uvijek se mora poboljšati, što je do sada spriječeno prisutnošću nekalibrirane fazne odgode koja potječe od prijemnika. Chen i sur. (2011.) u radu predstavljaju novu tehnologiju nazvanu RTX koja nadilazi ograničenja postojećih rješenja i sada je dostupna kao dio Trimble CenterPoint RTX usluge. Trimble RTX može osigurati rješenja u najboljem položaju u stvarnom vremenu s vremenima inicijalizacije manjim od jedne minute za nepregledna područja pokrivanja. Feng i Li (2010.) u svom radu prikazuju tehničku osnovu za usluge RTK pozicioniranja u decimetrima u stvarnom vremenu širokog područja pomoću različitih nosivih signala koje prenose budući GNSS, poput moderniziranih GNSS i Compass sustava. Feng i sur. (2013.) govore o GNSS načinu rada na bazi referentne stanice za podršku objedinjenog preciznog pozicioniranja i RTK usluga u stvarnom vremenu. Njihov rad opisuje raspodijeljeni GNSS računalni okvir koji uključuje tri GNSS načina: referentnu stanicu, korisničkom prijemniku i mrežnu obradu podataka. Gan-Mor i sur. (2007.) u istraživanju su zabilježili odstupanja od unaprijed određene rute priključka u tri točke montiranog na RTK-DGNSS automatski vođen traktor i korištena su za provjeru da li je odstupanje stroja jako ovisilo o udaljenosti od stražnje osovine traktora. Marjanović (2010.) opisuje obradu podataka mjerenja i izjednačenje koordinata referentnih GNSS stanica CROPOS sustava koja je obavljena u skladu s preporukama Tehničke radne grupe EUREF-a s Bernese GPS Software Ver. 5.0. Opisan je i postupak registracije korisnika s pregledom broja korisnika i korištenja pojedinih usluga sustava te su navedene aktivnosti Državne geodetske uprave koje imaju za cilj unaprijediti pouzdanost rada sustava, kao i omogućiti korisnicima njegovu što jednostavniju primjenu u svakodnevnom radu.

## 2. GLOBALNI NAVIGACIJSKI SATELITSKI SUSTAVI (GNSS)

Globalni navigacijski satelitski sustav odnosi se na niz satelita koji pružaju signale iz svemira koji odašilju pozicioniranje i mjerenje vremena na GNSS prijemnike. Tada prijemnici koriste te podatke za određivanje lokacije.

GNSS po definiciji pruža globalnu pokrivenost. Primjeri GNSS uključuju europski Galileo, američki NAVSTAR globalni sustav za pozicioniranje (GPS), Rusku Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema (GLONASS) i Kineski navigacijski satelitski sustav BeiDou.

Učinkovitost GNSS-a ocjenjuje se korištenjem četiri kriterija:

- Točnost: razlika između izmjerenog i stvarnog položaja, brzine ili vremena prijemnika
- Integritet: sposobnost sustava da osigura prag pouzdanosti i u slučaju anomalije u podacima o pozicioniranju
- Kontinuitet: sposobnost sustava da funkcionira bez prekida
- Dostupnost: postotak vremena kada signal ispunjava gornje kriterije točnosti, integriteta i kontinuiteta

Ova se učinkovitost može poboljšati regionalnim satelitskim sustavima za povećanje sredstava (SBAS), kao što je Europska služba za prekrivanje geostacionarnih navigacija (EGNOS). EGNOS poboljšava točnost i pouzdanost GPS podataka ispravljajući pogreške u mjerenju signala i pružanjem informacija o integritetu svojih signala

(Izvor: <https://www.gsa.europa.eu>).

### 2.1. Galileo

Galileo je europski globalni navigacijski satelitski sustav koji pruža poboljšane informacije o položaju i vremenu sa značajnim pozitivnim posljedicama za mnoge europske usluge i korisnike.

Na primjer:

- Galileo omogućava korisnicima da znaju njihov točan položaj s većom preciznošću od onoga što nude drugi dostupni sustavi.



- Proizvodi koje ljudi svakodnevno koriste, od navigacijskih uređaja u vašem automobilu do mobilnih telefona, imaju koristi od povećane preciznosti koju pruža Galileo.
- Kritične službe za reagiranje u kriznim situacijama koriste Galileo.
- Galileove usluge učinit će europske ceste i željeznice sigurnijima i učinkovitijima.

Nadalje, Galileo pruža Europi i Europskim građanima neovisnost i suvremenost, niz ekoloških koristi i nekoliko novih usluga specifičnih za program Galileo (Otvorena usluga, Komercijalne usluge, potraga i spašavanje). Do sada su korisnici GNSS-a morali ovisiti o necivilnim američkim GPS ili ruskim GLONASS signalima. S Galileom korisnici sada imaju novu, pouzdanu alternativu koja, za razliku od ostalih programa, ostaje pod civilnim nadzorom. Iako je Europska neovisnost glavni cilj programa, Galileo također daje Europi mjesto za brzo rastućim globalnim stolom GNSS-a. Program je osmišljen tako da bude kompatibilan sa svim postojećim i planiranim GNSS-om i interoperativan s GPS-om i GLONASS-om. U tom je smislu Galileo pozicioniran da poboljša pokrivenost koja je trenutno dostupna - pružajući besprijekorno i preciznije iskustvo za korisnike širom svijeta (Izvor: <https://www.gsa.europa.eu/european-gnss/what-gnss>).

## 2.2. GLONASS

GLONASS je satelitski navigacijski sustav razvijen u Rusiji koji se sastoji od 24 satelita, u tri orbitalne ravnine, sa osam satelita po ravnini. Rusija je započela razvijati GLONASS 1976. godine kao eksperimentalni vojni komunikacijski sustav. Prvi GLONASS satelit lansiran je 1982. godine, a konstalacija je u potpunosti postala operativna 1995. godine. Sateliti su smješteni u nominalno kružne orbite s ciljanim nagibima od 64,8 stupnjeva i polumjerom orbite 19,140 km, oko 1,060 km nižim od GPS satelita, s vremenom u orbiti od 11 sati i 15 minuta.

Verzije GLONASS-a:

- GLONASS - Lansirani su 1982. za vojne i službene organizacije. Oni su bili namijenjeni za mjerenje vremena, pozicioniranja i brzine.
- GLONASS-M - Lansirani su 2003. godine radi dodavanja drugog civilnog zakona koji je važan za GIS prijemnike.

- GLONASS-K - Lansirani su 2011. godine radi dodavanja treće civilne frekvencije. To su 3 vrste - K1, K2 i KM.
- GLONASS-K2 - Bit će predstavljeni nakon 2015. godine (trenutno u fazi izrade)
- GLONASS-KM - Ovi sateliti bit će lansirani nakon 2025. godine (trenutno u fazi istraživanja).

Trenutno su u uporabi drugi sateliti GLONASS-M, kao i sateliti GLONASS-K1, dok su sateliti GLONASS-K2 i KM u fazi izrade. GLONASS signali imaju istu polarizaciju (orientacija elektromagnetskih valova) kao GPS signali i imaju usporedivu snagu signala

(Izvor: <https://www.everythingrf.com/community/what-is-glonass>).

### 2.3. BeiDou

BeiDou je sustav globalnog satelitskog navigacijskog sustava koji je Kina razvila kako bi globalnim korisnicima mogla pružiti usluge pozicioniranja, vremenskih prilika, visokih točnosti, usluge navigacije i određivanja vremena. Dobio je ime po sazviježđu Big Dipper, koje se na kineskom naziva BeiDou. Kina je 2000. godine pokrenula prvu generaciju svog navigacijskog sustava BeiDou (BeiDou-1) s tri satelita u konstalaciji. Druga generacija BeiDou-2, poznata i kao COMPASS, počela je s radom 2012. godine. Potpuna orbitalna konstalacija BeiDou (BeiDou-3) bit će gotova do 2020. godine s 35 satelita u orbiti.

Raspored 35 satelita bit će sljedeći:

- 5 BeiDou-G u geostacionarnoj orbiti (GEO)
- 27 BeiDou-M u srednjoj zemaljskoj orbiti (MEO)
- 3 BeiDou-I u nagnutoj geosinhronoj orbiti (IGSO)

Navigacijski satelitski sustav BeiDou (BDS) ima tri segmenta: svemirski segment, prizemni segment i korisnički segment.

- Svemirski segment je hibridna navigacijska zvijezda koja se sastoji od GEO, IGSO i MEO satelita.
- Prizemni segment sastoji se od različitih zemaljskih stanica, uključujući glavne upravljačke stanice, vremensku sinkronizaciju i uzlazne stanice, kao i brojne stanice za nadzor.

- Korisnički segment sastoji se od čipova, modula i antena, kao i terminala, aplikacijskih sustava i aplikacijskih usluga koji mogu biti kompatibilni s drugim GNSS sustavima.

Standardi za izvedbu usluga BeiDou su:

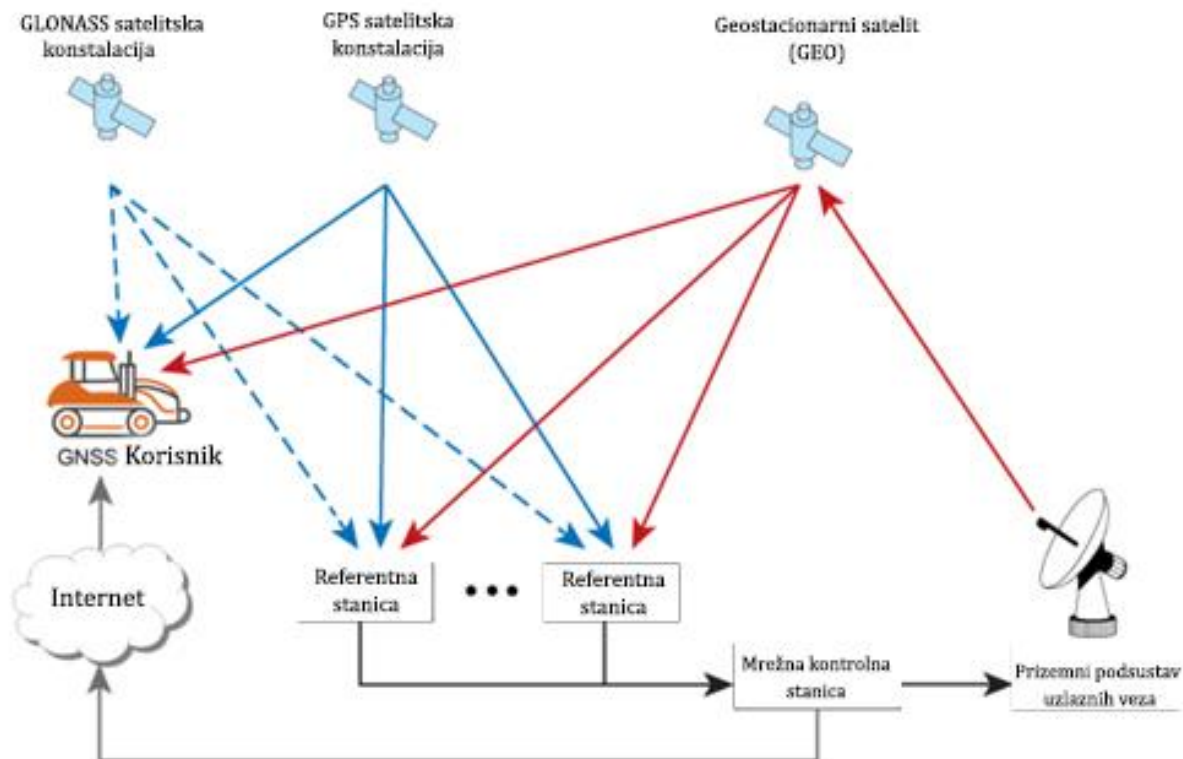
- Pokrivenost BeiDou usluge: Globalna točnost pozicioniranja - vodoravno 10 metara i okomito 10 metara (točnost pozicioniranja u Azijsko-pacifičkoj regiji je 5 metara vodoravno i 5 metara vertikalno)
- Točnost mjerenja brzine: 0,2 m/s
- Točnost vremena: 20 nanosekundi
- Dostupnost usluge sustava: Više od 95%

(Izvor: <https://www.everythingrf.com>)

### **3. PRECIZNO POZICIONIRANJE U TOČKI (PPP)**

PPP je tehnika pozicioniranja koja uklanja ili modelira GNSS pogreške sustava kako bi osigurala visoku razinu točnosti položaja s jednog prijemnika. PPP rješenje ovisi o GNSS satelitskim satima i korekcijama orbite, generiranim iz mreže globalnih referentnih stanica. Nakon izračuna ispravka, krajnjem korisniku isporučuje se putem satelita ili putem Interneta. Ove korekcije koristi prijemnik, što rezultira u razini decimetra ili boljem pozicioniranju bez potrebe za baznom stanicom.

PPP isporučuje točnost do 3 centimetra. Tipično rješenje PPP-a zahtijeva određeno vrijeme da se konvergira u točnost decimetra kako bi se riješile sve lokalne pristranosti poput atmosferskih uvjeta, okruženja na više puta i satelitske geometrije. Stvarna postignuta točnost i traženo vrijeme konvergencije ovisi o kvaliteti korekcije i načinu na koji se oni primjenjuju na prijemniku. Slično po strukturi kao SBAS sustav, PPP sustav pruža ispravke prijemniku radi povećanja točnosti položaja. PPP sustavi također omogućuju uporabu jednog toka korekcije širom svijeta, dok su SBAS sustavi regionalni.



Slika 1. Način rada sustava PPP

Izvor: <https://novatel.com>

Glavni izvori grešaka za PPP ublažavaju se na sljedeće načine:

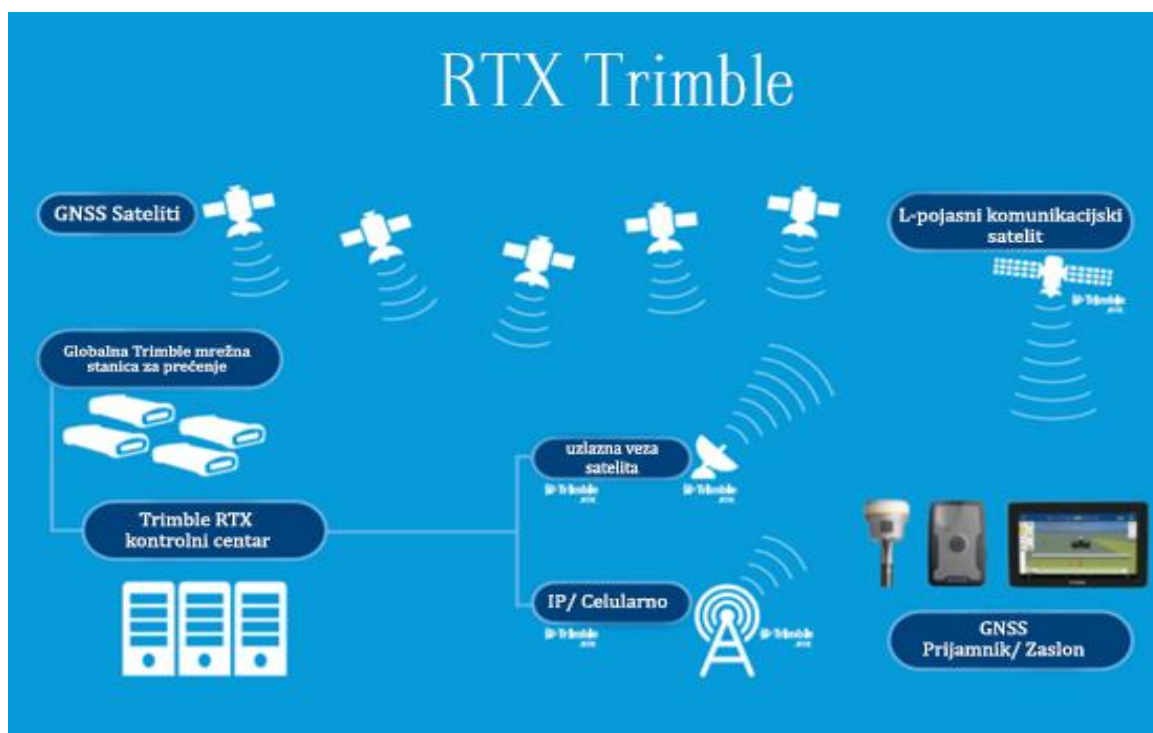
- Rad s dvostrukom frekvencijom: Inosferno kašnjenje prvog reda proporcionalno je frekvenciji nošenog vala. Stoga se odgoda ionosfere s prvim redom može potpuno eliminirati korištenjem kombinacija dvofrekvencijskih GNSS mjerenja.
- Vanjski podaci za ispravljanje pogrešaka: Uključuju satelitske ispravke orbite i sata. U slučaju usluge TerraStar, dobivene korekcije emitiraju se za krajnje korisnike putem telekomunikacijskih satelita Inmarsat.
- Modeliranje: Troposferično odstupanje ispravlja se UNB modelom koje je razvilo Sveučilište u New Brunswicku. Međutim, vlažni dio odstupanja troposfere je vrlo različit i ne može se modelirati s dovoljno točnosti. Stoga se procjenjuje zaostalo troposfersko odstupanje pri procjeni položaja i drugih nepoznanica. Modeliranje se također koristi u PPP prijemniku za ispravljanje efekta čvrste zemlje.

- Algoritmi PPP filtera: Za procjenu PPP koristi se prošireni Kalmanov filter (EKF). Položaj, greška takta prijemnika, nejasnoće troposferskog kašnjenja i faze nosača procjenjuju se stanja EKF. EKF minimizira buku u sustavu i omogućava procjenu položaja s preciznošću centimetra. Procjene za stanja EKF-a poboljšavaju se uzastopnim mjerenjima GNSS-a, sve dok se ne konvergiraju u stabilne i točne vrijednosti. Tipično vrijeme konvergencije PPP-a do horizontalne pogreške ispod 10 cm je između 20 i 40 minuta, ali ovisi o broju dostupnih satelita, satelitskoj geometriji, kvaliteti korekcijskih proizvoda, okruženju prijavnika i više atmosferskim uvjetima.

Postoji nekoliko pružatelja PPP usluga, uključujući VERIPOS, TerraStar, OmniSTAR i StarFire. Pružatelji PPP usluga rade s mrežom referentnih stanica za prikupljanje podataka o korekciji za različite signale koje emitira svaki satelit. Ispravci izračunati iz ovih podataka emitiraju se iz geostacionarnih satelita u prijemnike pretplaćenih korisnika (Izvor: <https://novatel.com> ).

#### 4. REAL-TIME-EXTENDED (RTX)

RTX je tehnologija koja pokreće Trimble RTX usluge korekcije. Trimble RTX koristi satelitska mjerenja u stvarnom vremenu iz globalne mreže praćenja stanice, uz vrlo točne atmosferske modele i algoritme za generiranje Trimble RTX ispravke. Te se korekcije tada emitiraju na prijemnik putem skupa geostacionarnih satelita ili putem Interneta, što ih prijemnik poboljšava točnost svojih GNSS pozicija.



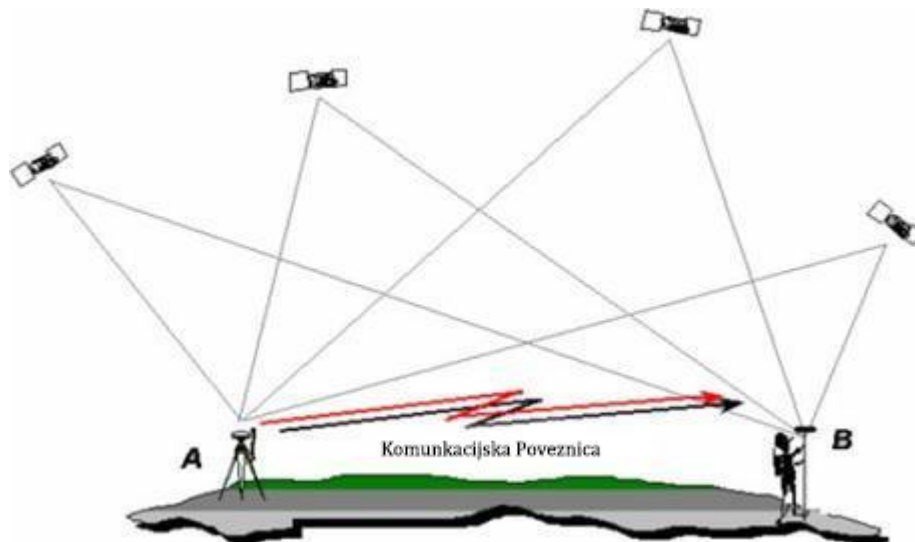
Slika 2. Način rada sustava Trimble RTX

Izvor: <https://positioningservices.trimble.com>

Trimble RTX je GNSS usluga pozicioniranja u stvarnom vremenu koja je dostupna putem IP / mobilne ili satelitske isporuke širom svijeta. Pogodno za sve industrije, pruža visoku razinu točnosti i maksimizira vaš tijekom rada uz slobodu rada na bilo kojem mjestu (Izvor: <https://positioningservices.trimble.com/services/rtx/>).

## 5. REAL-TIME-KINEMATIC (RTK)

RTK je tehnologija koja koristi raspon temeljen na nosaču i pruža raspone (a samim tim i pozicije) koji su narednih razmjera precizniji od raspoloživih pomoću pozicioniranja na osnovi koda. RTK tehnike su komplicirane. Osnovni koncept je smanjiti i ukloniti pogreške uobičajene za par baznih stanica i rovera. RTK se koristi za aplikacije koje zahtijevaju veću točnost, poput pozicioniranja u centimetru, do 1 cm + 1 ppm točnosti.



Slika 3. Ispravljanje grešaka s baznom stanicom i roverom

Izvor: <https://en.paperblog.com>

Na vrlo osnovnoj konceptualnoj razini raspon se izračunava određivanjem broja ciklusa nosača između satelita i rover stanice, zatim množenjem tog broja s valnom duljinom nosača. Izračunati rasponi i dalje uključuju pogreške iz takvih izvora kao što su satelitski sat i efemeridi, te ionosferna i troposferska kašnjenja. Da bi se uklonile ove pogreške i iskoristila preciznost mjerenja na bazi nosača, za RTK-ove performanse potrebno je mjerenje prenijeti s bazne stanice na rover stanicu. Trenutno se mrežna RTK tehnologija sve više koristi zbog njezine visoke točnosti, operativne izvedivosti i komercijalne održivosti. Umrežene referentne stanice pružaju usluge korekcije GNSS širom zemlje s točnošću pozicioniranja na razini centimetra u stvarnom vremenu. Služi različitim aplikacijama, uključujući geodetske izmjere i mapiranje, izgradnju, inteligentni prometni sustav, preciznu poljoprivredu i ribarstvo.

Također, razvija se i mrežni RTK za nadolazeće sustave za pozicioniranje kao što su Galileo, GPS L5C i GLONASS CDMA, koji će se ubuduće koristiti (Izvor:<https://novatel.com>).

### **5.1. Konvencionalni RTK**

Konvencionalna jednostruka osnovna RTK-a može obaviti centimetarnu točnost relativnih ispitivanja koja uključuju faze nosača i opažanja pseudo-raspona. Promatranjem uobičajenih satelita iz baznih stanica i rovera, pogreške pomicanja orbite satelita i atmosferski učinci mogu se eliminirati ili ublažiti diferencijacijom. Glavno ograničenje jednog osnovnog RTK-a, međutim, je točnost pozicioniranja koja se može održavati samo kada je udaljenost između baznih stanica i rovera manja od 20 km. Izvan tog raspona, atmosferski uvjeti na dva kraja osnovne linije mogu se uvelike razlikovati, a bilo bi teško popraviti nejasnoće za rover. Zbog ozbiljne degradacije točnosti na velike udaljenosti, potrebno je graditi gustu distribuciju baznih stanica za usluge pozicioniranja u cijeloj državi s visokim troškovima infrastrukture, opreme i obuke osoblja. Ovi nedostaci ograničavaju daljnju raširenu uporabu jedinstvene osnovne RTK-a (Izvor:<https://www.researchgate.net> ).

### **5.2. Mrežni RTK**

Kako bi se prevladalo ograničenje početne udaljenosti, razvijen je koncept mrežnog RTK-a i komercijaliziran posljednjih godina. Za razliku od konvencionalnog RTK-a, mrežni RTK podržava veću udaljenost rovera do 50 km ili duže, a razmak između stanica može se proširiti na 100 km ili više. Te referentne stanice za neprekidno funkcioniranje (CORS), kao mreža, provode satelitska promatranja i dostavljaju neobrađene podatke poslužitelju kontrolnog centra u stvarnom vremenu. Tada poslužitelj generira ispravke i šalje roveru, od kojeg bi rover mogao dobiti točno rješenje nakon izračuna. Mrežni RTK nudi brojne prednosti u odnosu na uobičajeni RTK, posebno s obzirom na točnost i preciznost pozicioniranja. Mogao bi učinkovitije modelirati prostorno povezane i pogreške ovisne o daljini, poput satelitskih orbita, ionosfernih i troposferskih efekata, što bi dovelo do značajnog poboljšanja u rješavanju nejasnoća faze nosača. Stoga se točnost i preciznost pozicioniranja mogu održavati na većoj osnovnoj udaljenosti (100 km). Kao izravni rezultat povećane početne duljine, radni raspon mrežnog RTK-a značajno se proširio u usporedbi s jednostrukim RTK-om polazne linije.



Osim toga, cijela mreža mogla bi omogućiti izgradnju sustava koji ne samo da će olakšati održavanje, već i pružiti najveću moguću pouzdanost i dostupnost servisu. U pogledu isplativosti, ulaganje u infrastrukturu mreže RTK-a smanjilo bi troškove rovera (Izvor:<https://www.researchgate.net> ).

### **5.3. Ionosferne i geometrijske korekcije**

Ionosferne i geometrijske korekcije su dva ključna parametra koja se koriste u mreži RTK za modeliranje pogrešaka ovisnih o udaljenosti. Ionosferna korekcija interpolira disperzijsku pristranost iz ionosfere, a Geometrijska korekcija modelira nedisperzivne pristranosti sa satelitske orbite i troposfere. Prema RTCM standardu za GNSS prijenos podataka, oni su prikazani vrstom poruke (MT) 1015, odnosno MT 1016. Svaka poruka 1015 (ionosferska) ili 1016 (geometrijska) prenosi informacije za jednu pomoćnu referentnu stanicu s korekcijskim razlikama koje odgovaraju svim satelitima u pogledima, a obično se prenose u svakih pet sekundi (Izvor:<https://www.researchgate.net> ).

### **5.4. Statična testiranja**

#### **5.4.1. Ciljevi**

Svrha statičkih testova je procijeniti dostupnost i točnost mrežnog RTK pozicioniranja pomoću NGI mrežnog RTK poslužitelja i Leica SmartNet poslužitelja, te ispitati prijenos ispravke poruka tijekom operacija. Svi izvedeni eksperimenti navedeni su u tablici 1 s relevantnim ciljevima.

Tablica 1. Popisi statičkih testova s relevantnim ciljevima

Stacionarna testiranja	Poslužitelj koji nudi ispravke	Cilj
1	NGI	Evaluacija dostupnosti i točnosti
2	Leica	
3.1	NGI	Istraživanje prijenosa točnosti poruka
3.2	Leica	(duplikacija poruka, praznina i gubitaka)
4.1	Leica	Procijenjivanje aktivnosti poruke (tip 1015 i 1016) gubitak
4.2	Leica	Procijenjivanje aktivnosti poruke (tip 1004) gubitak

Izvor: <https://www.researchgate.net>

Test 1 i Test 2 provedeni su na poznatim referentnim točkama tijekom 24 sata, pri čemu GPS prijemnik neprekidno radi i bilježi podatke o pozicioniranju (u NMEA formatu). Stoga se raspoloživost može procijeniti računanjem udjela rješenja NRTK, a točnost bi se procijenila usporedbom stvarnih koordinata rješenja točke i rezultirajućeg pozicioniranja. Što se tiče testova 3.1 i testa 3.2, korekcijske poruke istovremeno su sakupljene s NGI-a i Leica poslužitelja, kako bi se razmotrilo pojavljivanje duplikata, praznina i gubitak tijekom širenja ispravki. Tijekom testa 4.1 i testa 4.2, ispravke su namjerno izbrisane u različitim postotcima kako bi se proučavali učinci gubitka poruke na dostupnost i točnost rješenja konačnog pozicioniranja. Tijekom svih testova, primljene poruke ispravke praćene su i spremljene za naknadnu obradu.

#### 5.4.2. Oprema i srodna konfiguracija

Sva statička ispitivanja izvršena su u laboratoriju na geološkom institutu Nottingham s istim uređajima navedenim u nastavku:

- GPS prijemnik (tip: Leica Viva GS10)
- Antena (tip: Leica AS10)

- Računalni terminal s softverom 'HyperTerminal' koji bilježi NMEA podatke, 'RTK platforma', razvio je NGI za evidentiranje NRTK korekcijskih poruka.

Antena s koordinatama predstavljenim u tablici 2 bila je fiksirana na točki s poznatim koordinatama na krovu zgrade NGI. Detaljne informacije za svaki statički test predstavljene su u tablici 3, uključujući izlazne podatke, broj korištene točke i vrijeme ispitivanja.

Tablica 2. Točke korištene u statičkim ispitivanjima s OSGB36 nacionalnim mrežnim koordinatama

<b>Točka br.</b>	<b>NGB 6</b>	<b>NGB 7</b>
<b>Istočno (m)</b>	454944.573	454951.437
<b>Sjeverno (m)</b>	339708.125	339709.354
<b>Visina (Newlyn) (m)</b>	42.6888	42.6833
<b>Relevantni testovi</b>	Test 1	Test 2, Test 4.1 i 4.2

Izvor: <https://www.researchgate.net>

Tablica 3. Detaljne informacije za sve statičke testove

<b>Testovi</b>	<b>Izlazni podatci</b>	<b>Točka br.</b>	<b>Vrijeme i datum testiranja (UTC vrijeme)</b>
<b>Test 1</b>	NMEA i ispravci	NGB6	15:00 14.11.2011.-17:00 14.11.2011.
<b>Test 2</b>		NGB7	17:30 23.2.2012.- 24:00 24.2.2012
<b>Test 3.1</b>	Ispravci	N/A	17:30 23.2.2012.-
<b>Test 3.2</b>			13:15 25.2.2012.
<b>Test 4.1</b>	NMEA i ispravci	NGB7	23.-25.3.2012. (Sastoji se od pet 30- minutnih testova)
<b>Test 4.2</b>			16.-17.3.2012. (Sastoji se od pet 30- minutnih testova)

Izvor: <https://www.researchgate.net>

Korekcijske poruke s RTCM (Verzija 3.1) standarda s mrežnog poslužitelja NGI zabilježene su putem računala prije slanja na prijemnik. U međuvremenu, PC je spremio i finalno NRTK rješenje u NMEA formatu s prijavnika putem softvera "*Hyper Terminal*". Za sve pretrage postavljene su vrijednosti promatranja na 1 Hz. U odnosu na korištene referentne stanice koje ispravljaju tijekom usporednog pokusa, Ispitivanje 3.1 i 3. 2, njihove lokacije i ID-ovi dobiveni iz dekodiranih poruka o korekciji. Treba napomenuti da stanica ima dvije različite identifikacije između korekcija koje pružaju Leica i NGI poslužitelji. Sva su imena stanica s odgovarajućim ID-om u dvije mreže navedene u tablici 4

(Izvor:<https://www.researchgate.net> ).

Tablica 4. Popis korištenih CORS-a tijekom usporednih testova (Test 3.1 i test 3.2)

<b>Tip stanice</b>	<b>Ime</b>	<b>ID (NGI)</b>	<b>ID (Leica)</b>
<b>Glavna stanica</b>	Keyw	57	11
<b>Pomoćne stanice</b>	Lino	9	222
	Hoob	12	25
	Buxt	11	54
	Leek	12	82
	Licf	35	84

Izvor:<https://www.researchgate.net>

#### 5.4.3. Metodologija analize obrada podataka

Postoje tri vrste ciljnih podataka, od kojih se dva prikupljaju za vrijeme statičkog ispitivanja, a jedna nakon njih. To su informacije o položaju u stvarnom vremenu u NMEA formatu izvezene sa GPS prijemnika, poruke o korekciji u RTCM standardu prikupljene s Leica SmartNet ili NGI testbed servera i podaci o efemeriji u RINEX formatu preuzeti sa FTP servera Nacionalnog instituta za geografiju. Svi ovi podaci naknadno su obrađeni putem Matlab programa, njihove se funkcionalnosti sažimaju na sljedeći način:

- 1) Izdvajanje podataka o pozicioniranju u NMEA podacima, uključujući informacije o pozicioniranju (istočno, sjeverno i visina), Broj pregledanih satelita, Starost korekcije, PDOP i Popravka kvalitete (Vrsta rješenja).

- 2) Dešifriranje većine poruka ispravka (isključujući korekciju GLONASS-a zbog nedostatka najnovije verzije RTCM standarda). Korisne informacije za analizu u okviru ovog rada su položaj glavnih i pomoćnih referentnih stanica, ionosferna korekcija i geometrijska korekcija.
- 3) Uzmite koordinate satelita iz podataka RINEX-a za dobivanje kutova povišenja satelita koji odgovaraju određenoj epohi.

(Izvor:<https://www.researchgate.net> )

#### **5.4.4. Pouzdanost platforme za obradu podataka**

Kao što je već spomenuto, u testovima su korištena dva nekomercijalna programa. Jedna je 'RTK platforma', koju je razvio dr. Lei Yang, za bilježenje NRTK korekcijskih poruka. Sve ispravke putem ove platforme prvo se bilježe bez ikakvih modifikacija, pa bi sirovi podaci trebali biti pouzdani. Drugi program je UI sustav temeljen na Matlabu koji je razvio autor i koji nije u potpunosti uklonjen. Iako nudi funkcionalnosti praćenja ispravka u stvarnom vremenu i prikaza svih relevantnih informacija u porukama o ispravljanju, svi analizni radovi na neobrađenim podacima naknadno su obrađeni kako bi se omogućila dvostruka provjera

(Izvor:<https://www.researchgate.net> ).

## **6. INTEGRACIJA GNSS RTK NAVIGACIJE S POLJOPRIVREDNIM TRAKTOROM**

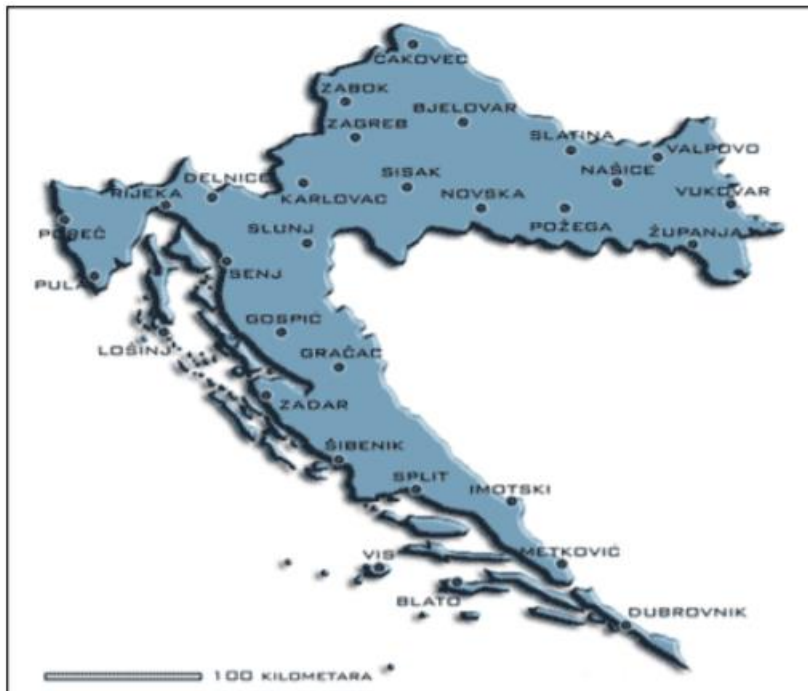
U poljoprivredi se u većini slučajeva koristi RTK sustav koji se sastoji od stacionirane radne bazne stanice koja se nalazi u blizini polja i šalje korigirani signal navigacijskim prijemnicima u poljoprivrednim strojevima. Uporabom RTK sustava moguće je postići preciznost od svega nekoliko centimetara što je osobno pogodno za operacije poput kultivacije ili precizne sjetve. Dostupnost korekcijskih signala i izvođenje preciznih poljoprivrednih radova u Republici Hrvatskoj moguće je i plaćanjem usluga raznim institucijama koje se bave poboljšanjem preciznosti signala poput sustava CROPOS (Marjanović, 2010.).

### **6.1. Sustav CROPOS**

CROPOS (Hrvatski pozicijski sustav) je državna mreža referentnih GNSS stanica Republike Hrvatske. Svrha mu je omogućiti određivanje položaja u realnom vremenu s točnošću od 2 cm u horizontalnom te 4 cm u vertikalnom smislu na čitavom području države. CROPOS sustav čini 30 referentnih GNSS stanica na međusobnoj udaljenosti od 70 km raspoređenih tako da prekrivaju cijelo područje Republike Hrvatske u svrhu prikupljanja podataka satelitskih mjerenja i računanja korekcijskih parametara. Korekcijski parametri dostupni su korisnicima na terenu putem mobilnog Interneta (GPRS/GSM).

Karakteristike CROPOS sustava (Marjanović, 2010.):

- prikupljanje podataka 30 referentnih GNSS stanica,
- razmjena podataka mjerenja referentnih GNSS stanica sa susjednim zemljama u realnom vremenu,
- umrežavanje i računanje korekcijskih parametara u realnom vremenu,
- distribucija podataka mjerenja i korekcijskih parametara korisnicima u realnom vremenu,
- distribucija podataka mjerenja korisnicima za naknadnu obradu,
- praćenje rada sustava i podrška korisnicima,
- dostupnost sustava 24 h/7 dana.



Slika 4. Prostorni razmještaj referentnih stanica (Izvor: <https://zir.nsk.hr>)

## 6.2. Asistencija pri upravljanju i automatsko upravljanje strojem

Zbog mogućnosti postizanja različite razine preciznosti, pri vrlo osjetljivim i manje osjetljivim poljoprivrednim operacijama, proizvođači poljoprivrednih strojeva i navigacijske opreme prilagođene za rad na poljoprivrednim površinama, omogućuju izbor između dva sustava navođenja poljoprivrednih strojeva:

- Asistencija prilikom upravljanja poljoprivrednim strojem (ručno navođenje)
- Automatsko upravljanje poljoprivrednim strojem

Asistencija prilikom upravljanja poljoprivrednim strojem očituje se ručnim ispravljanjem putanje agregata u proходу na osnovu podat vizualnih pomagala (kursor, strelica) prezentiranih na zaslonu navigacijskog uređaja. Kursor se prikazuje preko podloge te je obično potrebno samo osigurati da se smjer linija vođenja prikazanih na zaslonu preklapa s vizualnim kursorom. Sustav pomoću GNSS/DGNSS prijemnika prima informacije o potrebnoj količini ispravljanja putanje i te informacije prikazuje na zaslonu, dok rukovatelj poljoprivrednog stroja uvažava potrebne korekcije putanje okretanjem upravljača. Ipak, većina današnjih navigacijskih uređaja za poljoprivredu ima mogućnost nadogradnje sustava

pomoću uređaja koji služe za automatsko ispravljanje putanje. Ovakvi uređaji instaliraju se na kolo upravljača ili su izvedeni na način da se posebnim hidrauličkim blokom utječe na protok ulja do uređaja za upravljanje pogonskog stroja koji onda vrši korekciju putanje.

Automatski sustav upravljanja karakterizira puna kontrola sustava za upravljanje pomoću GPS-a. Sustav za upravljanje vrši automatsku korekciju pravca tijekom prohoda, na osnovi podataka prikupljenim antenom, dok se pri okretu na uvratinama sustav uglavnom ručno isključuje te kontrolu preuzima rukovatelj. Nakon okreta rukovatelj pritiskom na ikonu za automatsko vođenje na navigacijskom zaslonu kontrolu vođenja opet predaje sustavu automatskog vođenja. Sustavi automatskog upravljanja obično se koriste za operacije koje zahtijevaju najveću preciznost i redovito se obavljaju uz korištenje vrlo preciznih korekcijskih signala odnosno uporabom baznih stanica. Kod ovakvih sustava rukovatelj se rasterećuje te se njegov posao sastoji uglavnom od nadgledanja stanja sustava i nadgledanja rada priključnih strojeva (Marjanović, 2010.).

### **6.3. Navigacijski uređaj Trimble TMX-2050™**

Sustav prikaza TMX-2050™ koji se jednostavno koristi ima veliki zaslon osjetljiv na dodir s oštrim vizualnim prikazima i izborom FmX® Plus ili Precision-IQ™ zaslona

Značajke:

- Veliki zaslon s dodirnim zaslonom visoke razlučivosti od 12,1 inča (30,8 cm)
- Operativni sustav temeljen na Androidu omogućuje vam prilagođavanje načina rada zaslona
- Čvrsta konstrukcija za svakodnevnu upotrebu na terenu, udovoljavanje zahtjevima u otežanim uvjetima
- Jedan integrirani GNSS prijemnik
- Jedna integrirana kamera s podrškom za dodatnu vanjsku kameru
- Laka prenosivost između vozila
- Radi s AutoSync™





Slika 5. Trimble TMX-2050™ (Izvor: <https://agriculture.trimble.com>)

Povezivanje uređaja omogućuje upravljanje svim odjeljcima, redovima, sjemenom na farmi. A prikaz TMX-2050 pruža trenutni pristup na nadzornoj ploči Connected Farm™ - središnjem mjestu za prikaz informacija koje utječu na poljoprivredu, kao što su vremenske prognoze i kiše, cijene roba i informacije o upravljanju voznim parkom. Zaslone pruža podatke u stvarnom vremenu, tako da se mogu optimizirati performanse operatera i jamčiti sigurnost opreme. *Connected Farm* upravlja podacima u *cloud-u*, eliminirajući potrebu za USB memorijom, uz brži pristup informacijama s bilo kojeg mjesta.

Dostupne usluge korekcije:

- Trimble nudi širok spektar usluga - bilo za usjeve kojima treba preciznost ispod inča ili kulture koje zahtijevaju samo podmjernu točnost kao što je prikazano u tablici 5.

(Izvor: <https://agriculture.trimble.com>)

Tablica 5. Dostupne usluge korekcije

Službe za ispravljanje	Razina točnosti prijelaza	Točnost iz godine u godinu
<b>CenterPoint RTX</b>	<1" (2.5 cm)	
<b>CentarPoint VRS</b>	<1" (2.5 cm)	
<b>CenterPoint RTX</b>	<1" (2.5 cm)	<1" (2.5 cm)
<b>OmniSTAR HP/XP</b>	2-4" (5-10 cm)	
<b>OmniSTAR</b>	3-4" (8-10 cm)	
<b>RangePoint RTX</b>	6" (15 cm)	20" (50 cm) ponovljivo
<b>OmniSTAR</b>	<1 metar	
<b>SBAS</b>	6-8" (15-20 cm)	

Izvor: <https://agriculture.trimble.com>

#### 6.4. Autopilot™ automatizirani upravljački sustav

Značajke:

- Omogućuje automatsko upravljanje vozilom s ponovljivošću od jednog inča
- Integrira se izravno u hidrauliku vozila za jasan pristup upravljanju kabinom
- Koristi tehnologiju kompenzacije terena za visoku točnost na teškim terenima
- Idealno za najzahtjevnije primjene uzgoja
- Ugrađuje se u mnoga vozila spremna za navođenje, smanjujući potrebu za dodatnom opremom
- Smanjuje umor operatera i povećava sigurnost
- Radi danju i noću i u prašnjavim uvjetima i/ili pri slaboj vidljivosti

Trimble Autopilot sustav za automatizirano upravljanje omogućuje integriranu visoku točnost, upravljanje na bilo kojoj vrsti poljoprivrednog zemljišta - slobodne ruke. Sustav automatskog pilota automatski upravlja vozilom na liniji za maksimalnu preciznost i povećana produktivnost u najzahtjevnijim primjenama uzgoja usjeva. Kad vozilo nije povezano na mrežu, sustav autopilota to signalizira i prilagođava svoj položaj tako da slijedi pravi put - bez obzira na obrazac zemljišta ili vrstu terena.

Montaža - Integrira se izravno u hidrauliku vozila i omogućuje jasan pristup kontrolama kabine. Uključuje se i u mnoga vozila spremna za navođenje, minimiziranje potrebe za dodatnom opremom.

Povećana proizvodnost - S preciznošću i brzinama do 30 mph (40 km / h), može pomoći brzo i učinkovito dovršavanje terenske operacije.

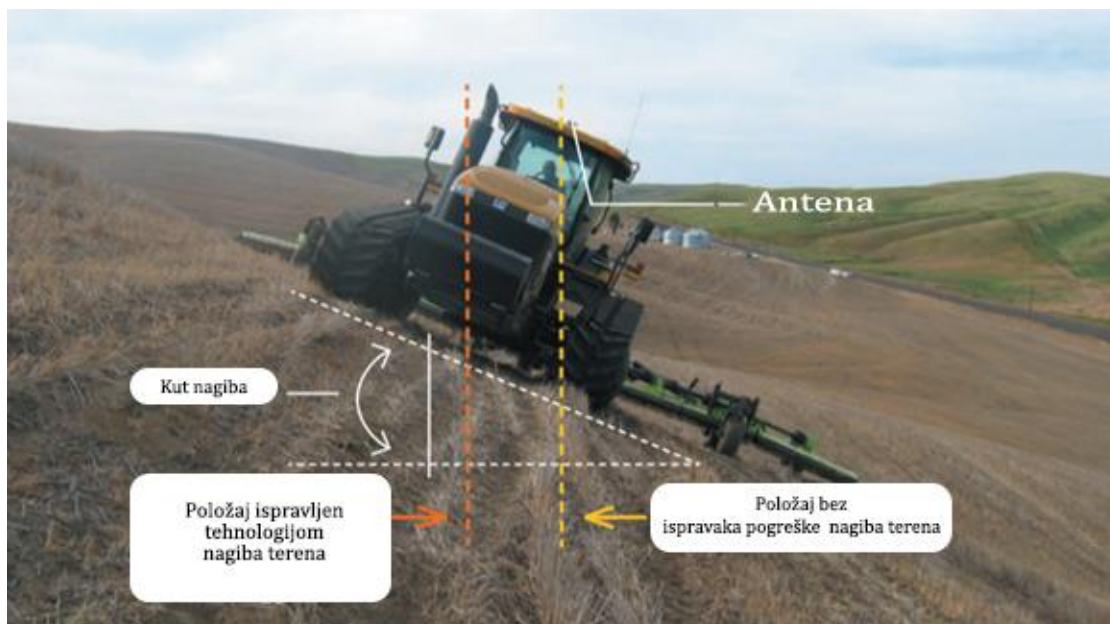
Obrađivanje bez rizika - uklanja probleme poljoprivrede. Sa upravljanjem bez ruku omogućuje smanjenje umora i usredotočenost na druge poljoprivredne zadatke.

Kompatibilnost- Koristi Trimble TMX-2050 zaslon, FmX integrirani zaslon, GFX-750 zaslon ili CFX-750 zaslon kao upravljački sustav.



Slika 6. Autopilot™ automatizirani upravljački sustav (Izvor: <https://agriculture.trimble.com>)

Visoka točnost na svakom terenu – Vozilo se kreće s ponovljivošću od jednog inča (2,5 cm) i poboljšanom preciznošću na nagnutom terenu. Napredni T3 senzori ugrađeni u navigacijski kontroler sustava Autopilot izračunava kut kotača vozila kako bi ga prebacili na liniju - pomažući u smanjenju preskakanja i preklapanja između svakog prolaza.



Slika 7. Ispravljanje položaja pod nagibom

Izvor: <https://agriculture.trimble.com>

Podržava razne varijante tipova vozila:

- Traktori
- Samohodne prskalice
- Zglobni traktori
- Kombajni
- rasipači
- Kombajni za stočnu hranu
- Vozila sa gusjenicama

(Izvor: <https://agriculture.trimble.com> )

### 6.5. Primjena GNSS RTK navigacije u poljoprivrednoj praksi u Hrvatskoj-Belje

Oranice Belja prostiru se na 20.000 hektara po cijeloj Baranji i duž kontinentalnog dijela Hrvatske. Najzastupljenije ratarske kulture su pšenica, ječam, kukuruz, šećerna repa te uljana repica koje se uzgajaju iz pažljivo biranog sjemena. Kontinuiranim ulaganjem u zaposlenike,

sustave navodnjavanja, novu mehanizaciju i inovacije u poljoprivredi Belje ostvaruje rekordne prinose u svim navedenim ratarskim kulturama.

Suvremene tehnologije, poput preciznih traktora sa satelitskom navigacijom i bespilotnih letjelica dronova, omogućuju rad u svim vremenskim uvjetima, praćenje stanja oranica i usjeva te kanalske mreže. Na taj način smanjuju se troškovi proizvodnje, a povećava se financijski i ekološki učinak (Izvor: <https://www.belje.hr>).



Slika 8. Primjena navigacije na mehanizaciji u Belju

Izvor: <https://www.belje.hr>

## 7. ZAKLJUČAK

Uporaba navigacijskih tehnologija neophodna je za kvalitetne poljoprivredne postupke, racionalizacija potrošnja i bolji zapis izvršenog polja operacije. Razina ulaganja trebala bi se temeljiti na mogućnosti i potrebi uvođenja novih tehnologija u većoj mjeri s obzirom na to da uglavnom procesiraju velike poljoprivredne površine na kojima su gubici, ali i uštede masivne. Na ove vrste površina moguće je nanijeti većinu preciznih poljoprivrednih postupaka kao i informacijske i navigacijske tehnologije. Veliki proizvođači imaju veće potrebe za uvođenjem novih tehnologija iz razloga što posjeduju velike površine na kojima mogu ostvariti velike gubitke, ali i uštede.

Na obiteljskim poljoprivrednim gospodarstvima najbolje je primijeniti mjere racionalne proizvodnje s dobrim strategijama rukovanja i tla analizu kao i uporabu navigacijskih tehnologija kao važan je element koji donosi bolji uspjeh poslovanja i osigurava određene uštede koje se pojavljuju racionalnim korištenjem poljoprivredne sirovine. Rasterećivanje rukovatelja i fizički i psihički pokazuje sjajan pozitivan učinak, posebno tijekom automatske kontrole poljoprivrednog stroja. Automatsko upravljanje donosi određene uštede i ne opterećenje operatera, ali je gotovo beskorisno ako nije upotpunjeno preciznim najnovijim tehnologijama poljoprivrede i bez dodatnih ulaganja u precizno ispravljačke signale.

## **SAŽETAK**

Glavni cilj uporabe geoinformacijskih tehnologija u poljoprivredi je racionalno upravljanje prirodnih resursa i smanjenja gubitaka resursa uzrokovano neadekvatnim gospodarenjem. Primanje korektivnih signala od značajne je važnost u poljoprivredi tijekom izvršavanja raznih poljoprivrednih operacija, koje zahtijevaju visoku razinu preciznosti. Ovaj rad obuhvaća objašnjenje GNSS-a i važnosti RTK sustava zbog njegove centimetarske preciznosti. Rasterećivanje rukovatelja, i fizički i psihički pokazuje sjajan pozitivan učinak, posebno tijekom automatske kontrole poljoprivrednog stroja. Razina ulaganja trebala bi se temeljiti na mogućnosti i potrebu uvođenja novih tehnologija, s obzirom na to da se uglavnom procesiraju velike poljoprivredne površine na kojima su gubici, ali i uštede masivne.

Ključne riječi: GNSS, RTK, automatska kontrola

## **SUMMARY**

The main goal of using geoinformation technologies in agriculture is the rational management of natural resources and the reduction of resource losses is obtained by inadequate management. Examples of corrective signals of importance are important in agriculture during the execution of various agricultural operations, which require a high level of precision. This paper includes an explanation of the GNSS and the importance of the RTK system because of its centimeter precision. Relieving the operator, both physical and mental, shows a great positive effect, especially during the automatic control of the agricultural machine. The level of investment should be based on opportunities and we should use new technologies to a greater extent, given that we mainly process large agricultural areas where losses, but also savings are massive.

Key words: GNSS, RTK, automatic control

## 8. POPIS LITERATURE

1. Dow, J. M., Neilan, R. E., & Rizos, C. (2009). The international GNSS service in a changing landscape of global navigation satellite systems. *Journal of geodesy*, 83(3-4), 191-198.
2. Benedicto, J., Dinwiddy, S., Gatti, G., Lucas, R., & Lugert, M. (2000). GALILEO: Satellite system design. In European Space Agency. Int. Business.
3. Dach, R., Schmid, R., Schmitz, M., Thaller, D., Schaer, S., Lutz, S., ... & Beutler, G. (2011). Improved antenna phase center models for GLONASS. *GPS solutions*, 15(1), 49-65.
4. Han, C., Yang, Y., & Cai, Z. (2011). BeiDou navigation satellite system and its time scales. *Metrologia*, 48(4), S213.
5. Ge, M., Gendt, G., Rothacher, M. A., Shi, C., & Liu, J. (2008). Resolution of GPS carrier-phase ambiguities in precise point positioning (PPP) with daily observations. *Journal of geodesy*, 82(7), 389-399.
6. Chen, X., Allison, T., Cao, W., Ferguson, K., Grünig, S., Gomez, V., ... & Lu, G. (2011, September). Trimble RTX, an innovative new approach for network RTK. In *ION GNSS* (pp. 2214-2219).
7. Feng, Y., & Li, B. (2010). Wide area real time kinematic decimetre positioning with multiple carrier GNSS signals. *Science China Earth Sciences*, 53(5), 731-740.
8. Feng, Y., Gu, S., Shi, C., & Rizos, C. (2013). A reference station-based GNSS computing mode to support unified precise point positioning and real-time kinematic services. *Journal of Geodesy*, 87(10-12), 945-960.
9. Gan-Mor, S., Clark, R. L., & Upchurch, B. L. (2007). Implement lateral position accuracy under RTK-GPS tractor guidance. *Computers and Electronics in Agriculture*, 59(1-2), 31-38.
10. Marjanović, M. (2010.) CROPOS hrvatski pozicijski sustav. *Ekscentar*, (12), 28-34.
11. Jurišić, M., Plašćak, I., Zimmer, D., Barač, Ž., Rapčan, I., (2018.): Modern Navigation System DGPS as a Function of Saving in Agriculture, original scientific paper
12. <https://hrcak.srce.hr/file/300932>
13. <https://www.gsa.europa.eu/european-gnss/what-gnss>



14. <https://novatel.com/an-introduction-to-gnss/chapter-5-resolving-errors/precise-point-positioning-ppp/>
15. <https://positioningservices.trimble.com/services/rtx/>
16. <https://www.everythingrf.com/community/what-is-glonass>
17. <https://www.everythingrf.com/community/what-is-beidou>
18. <https://positioningservices.trimble.com/wp-content/uploads/2019/02/Trimble-RTX-FAQ-2020-Brochure.pdf>
19. <https://www.belje.hr/poljoprivreda/ratarstvo/>
20. [https://www.researchgate.net/publication/260000257\\_Network\\_RTK\\_GNSS\\_Quality\\_Assessment](https://www.researchgate.net/publication/260000257_Network_RTK_GNSS_Quality_Assessment)
21. <https://agriculture.trimble.com/product/tmx-2050-display/>
22. <https://agriculture.trimble.com/product/autopilot-automated-steering-system/>
23. <https://novatel.com/an-introduction-to-gnss/chapter-5-resolving-errors/real-time-kinematic-rtk>

## POPIS SLIKA

Slika 1. Tipični sustav PPP (izvor: <https://novatel.com/an-introduction-to-gnss/chapter-5-resolving-errors/precise-point-positioning-ppp/>)

Slika 2. Kako radi Trimble RTX (izvor: <https://positioningservices.trimble.com/wp-content/uploads/2019/02/Trimble-RTX-FAQ-2020-Brochure.pdf>)

Slika 3. Ispravljanje grešaka s baznom stanicom i roverom (izvor: <https://en.paperblog.com/guidelines-for-real-time-kinematic-rtk-surveying-1186769/>)

Slika 4. Prostorni razmještaj referentnih stanica (izvor: <https://zir.nsk.hr/islandora/object/pfos:57>)

Slika 5. Trimble TMX-2050™ (izvor: <https://agriculture.trimble.com/product/tmx-2050-display/>)

Slika 6. Autopilot™ automatizirani upravljački sustav (izvor: <https://agriculture.trimble.com/product/autopilot-automated-steering-system/>)

Slika 7. Ispravljanje položaja pod nagibom (izvor: <https://agriculture.trimble.com/product/autopilot-automated-steering-system/>)

Slika 8. Primjena navigacije na mehanizaciji u Belju (izvor: <https://www.belje.hr/poljoprivreda/ratarstvo/>)

## POPIS TABLICA

Tablica 1. Popisi statičkih testova s relevantnim ciljevima (izvor:

[https://www.researchgate.net/publication/260000257\\_Network\\_RTK\\_GNSS\\_Quality\\_Assessment](https://www.researchgate.net/publication/260000257_Network_RTK_GNSS_Quality_Assessment))

Tablica 2. Točke korištene u statičkim ispitivanjima s OSGB36 nacionalnim mrežnim koordinatama

(izvor:[https://www.researchgate.net/publication/260000257\\_Network\\_RTK\\_GNSS\\_Quality\\_Assessment](https://www.researchgate.net/publication/260000257_Network_RTK_GNSS_Quality_Assessment))

Tablica 3. Detaljne informacije za sve statičke testove

(izvor:[https://www.researchgate.net/publication/260000257\\_Network\\_RTK\\_GNSS\\_Quality\\_Assessment](https://www.researchgate.net/publication/260000257_Network_RTK_GNSS_Quality_Assessment))

Tablica 4. Popis korištenih CORS-a tijekom usporednih testova (Test 3.1 i test 3.2)

(izvor:[https://www.researchgate.net/publication/260000257\\_Network\\_RTK\\_GNSS\\_Quality\\_Assessment](https://www.researchgate.net/publication/260000257_Network_RTK_GNSS_Quality_Assessment))

Tablica 5. Dostupne usluge korekcije (izvor:<https://agriculture.trimble.com/product/tmx-2050-display/>)

## TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku  
Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek  
Sveučilišni preddiplomski studij, smjer Mehanizacija

Završni rad

Analiza točnosti pozicioniranja poljoprivrednog traktora uporabom različitih *Real-Time-Kinematic* (RTK) korekcija

Davor Blažević

### Sažetak:

Glavni cilj uporabe geoinformacijskih tehnologija u poljoprivredi je racionalno upravljanje prirodnih resursa i smanjenja gubitaka resursa uzrokovano neadekvatnim gospodarenjem. Primanje korektivnih signala od značajne je važnost u poljoprivredi tijekom izvršavanja raznih poljoprivrednih operacija, koje zahtijevaju visoku razinu preciznosti. Ovaj rad obuhvaća objašnjenje GNSS-a i važnosti RTX sustava zbog njegove centimetarske preciznosti. Rasterećivanje rukovatelja, i fizički i psihički pokazuje sjajan pozitivan učinak, posebno tijekom automatske kontrole poljoprivrednog stroja. Razina ulaganja trebala bi se temeljiti na mogućnosti i potrebu uvođenja novih tehnologija, s obzirom na to da se uglavnom procesiraju velike poljoprivredne površine na kojima su gubici, ali i uštede masivne.

**Rad je izrađen pri:** Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek  
**Mentor:** Dorijan Radočaj, mag. ing. geod. et geoinf

**Broj stranica:** 32

**Broj slika:** 8

**Broj tablica:** 5

**Broj literaturnih navoda:** 23

**Broj priloga:** 0

**Jezik izvornika:** hrvatski

**Ključne riječi:** GNSS, RTK, pozicioniranje, automatsko navođenje

**Datum obrane:**

### Stručno povjerenstvo:

1. prof. dr. sc. Mladen Jurišić, predsjednik
2. Dorijan Radočaj, mag. ing. geod. et geoinf, mentor
3. izv. prof. dr. sc. Ivan Plaščak., član

**Rad je pohranjen u:** Knjižnica Fakulteta agrobiotehničkih znanosti Osijek, Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Vladimira Preloga 1.

Analysis of the accuracy of positioning of an agricultural tractor using different Real-Time-Kinematic (RTK) corrections

Davor Blažević

**Summary:**

The main goal of using geoinformation technologies in agriculture is the rational management of natural resources and the reduction of resource losses is obtained by inadequate management. Examples of corrective signals of importance are important in agriculture during the execution of various agricultural operations, which require a high level of precision. This paper includes an explanation of the GNSS and the importance of the RTX system because of its centimeter precision. Relieving the operator, both physical and mental, shows a great positive effect, especially during the automatic control of the agricultural machine. The level of investment should be based on opportunities and we should use new technologies to a greater extent, given that we mainly process large agricultural areas where losses, but also savings are massive.

**The paper was prepared by:** Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek

**Mentor:** Dorijan Radočaj, mag. geod. et geoinf

**Number of pages:** 32 pages

**Number of pictures:** 8

**Number of tables:** 5

**Number of references:** 23

**Number of attachments:** 0

**Original language:** Croatian

**Key words:** GNSS, RTK, positioning, automatic guidance

**Thesis defended on date:**

**Reviewers:**

1. Prof.dr.sc. Mladen Jurišić, president
2. Dorijan Radočaj, mag. ing. geod. et geoinf, mentor
3. izv. prof. dr. sc. Ivan Plaščak, member

**Thesis deposited at:** Library, Faculty of Agrobiotechnical Sciences in Osijek, Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Kralja Petra Svačića 1d.