

UDK 629.783.056.8:528.28
Pregledni znanstveni članak / Review

Locata – nova tehnologija visokopreciznog pozicioniranja na otvorenome i u zatvorenim prostorima

**Gorana NOVAKOVIĆ, Ante MARENDIĆ, Igor GRGAC,
Rinaldo PAAR – Zagreb¹, Robert ILIJAŠ – Belica²**

SAŽETAK. Iako Globalni navigacijski satelitski sustavi (GNSS) imaju značajnu primjenu u mnogim područjima pozicioniranja i navigacije, pokazalo se da ta tehnologija, u specifičnom okruženju, ima svojih ograničenja ili se ne može primijeniti. Da bi se otklonila ta ograničenja, kontinuirano su se provodila istraživanja kako bi se GNSS upotpunio drugim, uglavnom terestričkim tehnologijama. Jedno od rješenja je primjena pseudolita, terestričkih generatora i odašiljača signala sličnih satelitskim, za primjenu u lokalnom području. Međutim, i tehnologija bazirana na pseudolitima ima nedostataka, od kojih je osnovni taj što pseudoliti rade u tzv. nesinkroniziranom modu. Naime, sinkronizacija odašiljača koji emitiraju signale osnovni je zahtjev za pravilno funkcioniranje sustava radio pozicioniranja. Krajem 2003. godine Locata Corporation (Canberra, Australija) započela je s razvojem koncepta pozicioniranja u svrhu uspostave „lokalne autonomne terestričke replike GNSS-a“. Rezultat je Locata tehnologija, osmišljena da bi se prevladala ograničenja GNSS-a i ostalih sustava za pozicioniranje korištenjem vremenski sinkroniziranih primopredajnika nazvanih LocataLite. Mreža LocataLitea formira LocataNet, koja odašilje signale što omogućuje pozicioniranje točke, na temelju faznih mjerenja, na centimetarskoj razini preciznosti, pomoću mobilnog Locata prijemnika. Najveće tehničko dostignuće Locata sustava je potpuno nova, patentirana, bežična tehnologija sinkronizacije između primopredajnika, tzv. TimeLoc. Zbog toga nije potrebna bazna stanica, veza za prijenos podataka od baze do pokretnog prijemnika, niti je potrebno dvostruko diferenciranje mjerenja. Dodatno, da bi se izbjegla interferencija s GNSS-om, nova generacija Locata tehnologije odašilje signal na slobodno korištenom ISM (Industrial Scientific Medical) frekvencijskom pojasu (2,4 GHz). To omogućuje veliku snagu odaslanih signala pa se Locata može upotrebljavati i na otvorenome i u

¹ Prof. dr. sc. Gorana Novaković, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Kačićeva 26, HR-10000 Zagreb, Hrvatska, e-mail: gorana.novakovic@geof.hr,

Doc. dr. sc. Ante Marendić, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Kačićeva 26, HR-10000 Zagreb, Hrvatska, e-mail: amarendic@geof.hr,

Igor Grgac, mag. ing. geod. et geoinf., Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Kačićeva 26, HR-10000 Zagreb, Hrvatska, e-mail: igrgac@geof.hr,

Doc. dr. sc. Rinaldo Paar, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Kačićeva 26, HR-10000 Zagreb, Hrvatska, e-mail: rpaar@geof.hr,

² mr. sc. Robert Ilijaš, mr. inf., Poljoopskrba d. o. o., I. Mažuranića 37, HR-40319 Belica, Hrvatska, e-mail: robert.ilijas@gmail.com.

zatvorenim prostorima. Locata nije zamjena za GNSS. Ona se može jednostavno kombinirati s GNSS-om, ali se može koristiti i kao neovisan mjerni sustav ondje gdje je GNSS nedostupan ili nepouzdan. U članku se daje kratak pregled razvoja Locata tehnologije pozicioniranja, njezine temeljne komponente: LocataLite – primopredajnik i Locata – prijemnik, postupak sinkronizacije primopredajnika – TimeLoc, zatim formiranje mreže autonomnog sustava za pozicioniranje – LocataNet, primjena Locata tehnologije u nekim područjima pozicioniranja i navigacije te na kraju kratki opis projekta „Project Wanderland“ u sklopu kojeg je nabavljena Locata oprema. To je prilika da se, prvi put u Hrvatskoj, upozna i praktično primijeni ta nova tehnologija pozicioniranja i navigacije. Autori ovog članka uskoro će biti u mogućnosti vlastite rezultate i iskustva prezentirati domaćoj stručnoj javnosti.

Ključne riječi: pozicioniranje, Locata tehnologija, LocataLite, LocataNet, TimeLoc.

1. Uvod

Iako Globalni navigacijski satelitski sustavi (GNSS) imaju vrlo značajnu i široku primjenu na mnogim područjima pozicioniranja i navigacije, pokazalo se da ta tehnologija, u određenom okruženju, ima svojih ograničenja ili se ne može primijeniti. Naime, kvaliteta rezultata dobivenih satelitskim mjernim sustavima izravno ovisi o broju dostupnih satelita i geometrijskom rasporedu satelita-prijemnik. Pod nepovoljnim uvjetima za opažanje, tj. ograničenom vidljivošću satelita, kao što su gradska područja, doline, velika gradilišta ili otvorena rudnička okna, broj dostupnih satelita možda neće biti dovoljan za dobivanje preciznih i pouzdanih podataka. Osim toga, pozicioniranje korištenjem GNSS tehnologije u zatvorenim prostorima ili ispod zemlje kao što su tvorničke hale, unutrašnjost zgrada, tuneli, podzemne garaže, pothodnici i sl., potpuno je onemogućeno zbog nedostupnosti, odnosno niske razine jakosti satelitskih signala. Da bi se otklonila ta ograničenja kontinuirano su se provodila istraživanja kako bi se GNSS upotrijebio drugim tehnologijama u svrhu poboljšanja cjelokupne provedbe mjernog procesa i kvalitete dobivenih rezultata (npr. integracija GNSS-a s Inercijalnim navigacijskim sustavom). Nadalje, mnogi od navedenih nedostataka mogli bi se riješiti primjenom pseudolita, terestričkih generatora i odašiljača signala sličnih satelitskim. Pseudoliti se mogu upotrebljavati kao nadopuna GNSS-a u slučaju nedovoljnog broja vidljivih satelita ili za poboljšanje geometrije te kao samostalan mjerni sustav koji može u potpunosti zamijeniti konstelaciju GNSS satelita u zatvorenim prostorima ili ispod zemlje. Građa vezana uz pseudolite i njihovu primjenu vrlo je opsežna i ponajprije dolazi iz inozemnih izvora. Od domaće literature, detaljniji pregled razvoja tehnologije pseudolita, teorijske osnove, prednosti i nedostaci, daljnji razvoj te prikaz područja pozicioniranja i navigacije korištenjem pseudolita može se naći u radu Novaković i dr. (2009).

Iako se pokazalo da integracija GNSS-a i pseudolita ima znatnih prednosti, međutim i tehnologija bazirana na pseudolitima ima svojih nedostataka, uglavnom vezanih uz konstrukciju sustava pseudolita. Jedan od osnovnih problema je taj što pseudoliti rade neovisno u tzv. nesinkroniziranome modu. Naime, sinkronizacija odašiljača koji emitiraju signale osnovni je zahtjev za pravilno funkcioniranje sustava radio pozicioniranja. Potrebna je iznimno visoka razina sinkronizacije s obzirom na to da je pogreška u mjerenju vremena od 1 ns jednaka pogrešci od 30 cm u duljini (LeMaster 2002, Rizos 2005). Centimetarska preciznost pozicioniranja nesinkroniziranim pseudolitima moguća je jedino korištenjem bazne stanice koja

šalje korekcije putem radio-veze poput standardnoga GNSS-RTK sustava. Međutim, ako bi se mreža pseudolita sinkronizirala bilo bi moguće pozicioniranje točke centimetarskom preciznošću bez korištenja bazne stanice i radio veze.

Najvažnije od svih dostignuća vezanih uz razvoj pseudolita i prevladavanje njihovih nedostataka izum je nove tehnologije pozicioniranja nazvane Locata, koja se može upotrebljavati osim na otvorenome, ali i u zatvorenim prostorima. Dio Locata tehnologije sastoji se od vremenski sinkroniziranih primopredajnika koji se nazivaju *LocataLite*. Mreža tih primopredajnika formira *LocataNet*, s koje se odašilju signali s takvim potencijalom da omogućuju pozicioniranje pokretne jedinice (prijemnika) zvane *Locata* s centimetarskom preciznošću, korištenjem faznih mjerenja. Najveće tehničko dostignuće Locata sustava je potpuno nova, patentirana, bežična tehnologija sinkronizacije između primopredajnika pod nazivom *TimeLoc*. Trenutačno ne postoji u svijetu ni jedan drugi sustav pozicioniranja koji to omogućuje.

Kako Locata koristi mrežu terestričkih primopredajnika koji pokrivaju specifično, lokalno područje, ta tehnologija pozicioniranja, što se tiče geodetske djelatnosti, osobito je pogodna za rješavanje zadataka iz područja inženjerske geodezije.

Kako se do sada u Hrvatskoj još nije koristila ta tehnologija, niti postoji domaća literatura koja detaljnije opisuje to područje, osnovna motivacija autora ovog rada bila je upoznati hrvatsku stručnu javnost s najznačajnijim karakteristikama tog novoga terestričkog radio-frekventnog sustava pozicioniranja. U članku se daje pregled razvoja Locata tehnologije, njezine temeljne komponente: *LocataLite* – primopredajnik, *Locata* – prijemnik, zatim formiranje mreže autonomnog sustava za pozicioniranje – *LocataNet*, sinkronizacija primopredajnika – *TimeLoc*, primjena Locata tehnologije u nekim područjima pozicioniranja i navigacije te na kraju kratki opis domaćeg znanstvenoistraživačkog projekta u sklopu kojeg je, prvi put u Hrvatskoj, nabavljena Locata oprema. Autori ovog rada uskoro će biti u mogućnosti praktično se susresti s tom novom tehnologijom te vlastite rezultate i iskustva objaviti domaćoj stručnoj javnosti.

2. Razvoj od pseudolita do Locata tehnologije

Pseudoliti (naziv izveden od pseudo-sateliti) su terestrički odašiljači signala sličnih GPS signalima, primjena kojih na otvorenim prostorima omogućuje dodatni (lokalni) izvor signala, čime se znatno može poboljšati geometrija satelita ili čak mogu u potpunosti zamijeniti konstelaciju GPS satelita za primjenu u zatvorenim prostorima. Većina pseudolita odašilje signale na GPS-ovu pojasu frekvencije (L1: 1575,42 MHz ili/i L2: 1227,6 MHz), a jednako kao i GPS-om, mogu se izvoditi kodna i fazna mjerenja. Primjena pseudolita seže još od početaka razvoja tehnologije GPS-a, kasnih 1970-ih, gdje su na testnom području Inverted Range u Arizoni (SAD) pseudoliti poslužili za testiranje korisničke GPS opreme, odnosno cjelokupnog mjernog sustava, prije lansiranja prvih satelita u orbitu (Harrington i Dolloff 1976). U istu svrhu pseudoliti su poslužili i za testiranje europskoga satelitskog sustava Galileo na testnom području GATE u Njemačkoj (URL 1).

Od prve primjene pseudolita kontinuirano su se provodila istraživanja radi poboljšanja postojećega mjernog sustava te razvoja novih konstrukcija. Međutim, nakon opsežnih istraživanja i testiranja došlo se do zaključka da pseudoliti imaju

određenih tehničkih nedostataka koje je u stvarnosti vrlo teško prevladati, kao što su: kontrola jakosti signala, near/far problem, multipath signala pseudolita, konstruiranje specijalnih antena, interferencija GPS signala i signala pseudolita i najvažniji problem – međusobna nesinkroniziranost pseudolita. Naime, pseudoliti koriste jeftinije kristalne oscilatore ili satove (TCXO – temperature compensated crystal oscillator) i rade neovisno u tzv. nesinkroniziranome modu. U tom slučaju, za precizno satelitsko i pseudosatelitsko pozicioniranje, koristi se postupak dvostrukog diferenciranja za uklanjanje pogreške sata pseudolita i sata prijemnika. Jedini način na koji je moguće postići visoku točnost pozicioniranja koristeći fazna mjerenja je zahtjev da bazni prijemnik prati GPS signale i signale svih pseudolita. Prema tome je centimetarska preciznost pozicioniranja nesinkroniziranim pseudolitima moguća jedino korištenjem bazne stanice koja šalje korekcije putem radioveze poput standardnoga GPS-RTK sustava (Rizos 2005). U svrhu poboljšanja i otklanjanja nedostataka razvijeni su različiti sustavi pseudolita (Novaković i dr. 2009), međutim, do sada je jedini komercijalni proizvod *Terralite XPS*, multifrekventni integrirani sustav GPS-a i pseudolita koji se primjenjuje u rudarstvu (Rizos i dr. 2011a).

Navedeni nedostaci GNSS-a i pseudolita uklonjeni su izumom nove, potpuno neovisne tehnologije preciznog pozicioniranja, na otvorenom i u zatvorenim prostorima, nazvane Locata, koju je u suradnji s istraživačkim timom sa Sveučilišta New South Wales (Satellite Navigation and Positioning group – SNAP) razvila Locata Corporation (Canberra, Australia) (URL 2).

Postavlja se pitanje: je li Locata još jedan od sustava pozicioniranja baziran na pseudolitima? U članku Rizos i dr. (2011a) autori tvrde da postoji dovoljno jedinstvenih karakteristika Locata tehnologije prema kojima ona predstavlja novu, zasebnu klasu terestričkih radiofrekventnih sustava pozicioniranja.

3. Locata tehnologija

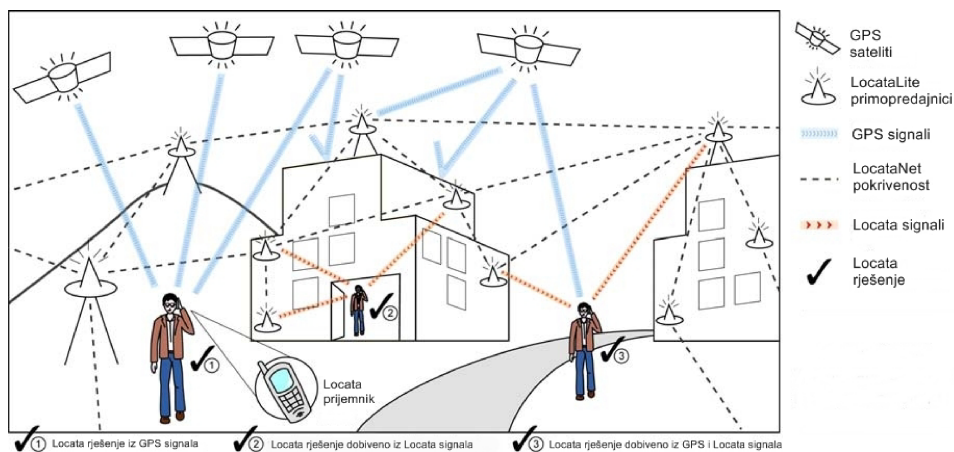
Krajem 2003. godine Locata Corporation (Canberra, Australia) započela je s razvojem koncepta pozicioniranja u svrhu uspostave „lokalne autonomne terestričke replike GNSS-u” (Barnes i dr. 2003c). Rezultat toga je Locata tehnologija pozicioniranja, osmišljena da bi se prevladala ograničenja GNSS-a i ostalih sustava za pozicioniranje korištenjem vremenski sinkroniziranih primopredajnika nazvanih *LocataLite*. Mreža *LocataLitea* formira *LocataNet*, koja odašilje signale što omogućuje pozicioniranje točke, na temelju faznih mjerenja, na centimetarskoj razini preciznosti, pomoću mobilnog *Locata* prijemnika. Dakle, ključna inovacija koja omogućuje da Locata tehnologija bude „kopija GNSS-a na zemlji” potpuno je novi, patentirani postupak precizne vremenske sinkronizacije primopredajnika pod nazivom *TimeLoc*.

Koncept pozicioniranja Locata tehnologijom vrlo je sličan konceptu kojim se koriste GNSS i pseudoliti. Kao i u tim sustavima pokretni uređaj (rover) za rješavanje korekcije vremena i 3D položaja treba primati signale od najmanje četiri *LocataLite* primopredajnika.

Locata nije zamjena za GNSS. Ona se može jednostavno kombinirati s GNSS-om, ali može služiti i kao neovisan mjerni sustav ondje gdje je GNSS nedostupan ili nepouzdan. Umjesto satelita koji kruže oko Zemlje, Locata koristi mrežu malih,

terestričkih primopredajnika koji pokrivaju odabrano područje jakim radiosignalima. Kako je riječ o terestričkom sustavu, jaki signali Locate mogu se upotrebljavati u bilo kojem vanjskom ili unutarnjem okruženju.

Kao što je prikazano na slici 1, *Locata* prijemnik može primati i GNSS i *Locata* signale omogućujući tako neprekinuti prijelaz između okoliša gdje korisnik može koristiti *Locata* signale, GNSS signale, ili oboje. GNSS prijemnik može dati precizan i pouzdan položaj samo pri „čistom nebu“ i dobroj geometriji četiri ili više satelita (slučaj 1 na slici 1). *Locata* je osmišljena da poboljša GNSS pozicioniranje, proširujući njegove mogućnosti u zatvorenim prostorima ili u urbanim sredinama (slučajevi 2 i 3 na slici 1) (Barnes i dr. 2003a).



Slika 1. Koncept pozicioniranja *Locata* tehnologijom (Barnes i dr. 2003a).

LocataNet je nova konstelacija signala analogna s GNSS-om, ali s nekim jedinstvenim karakteristikama: nije potrebna bazna stanica pa tako ni veza od bazne stanice do prijemnika, niti je potreban postupak dvostrukog diferenciranja radi korekcije satova.

Prva generacija *Locata* tehnologije, odnosno *LocataLites* primopredajnika imala je jednaku strukturu signala (L1 C/A kod) kao i GPS. Za pokretni prijemnik *Locata* upotrebljavao se modificirani standardni GPS prijemnik. Međutim, korištenje GPS L1 frekvencije ima znatna ograničenja zbog nekoliko razloga. Pravila za odašiljanje signala na toj frekvenciji razlikuju se u raznim državama, ali nema sumnje da bi dobivanje dozvole za mogućnost primjene terestričkog sustava na L1 frekvenciji bilo iznimno teško (ako ne i nemoguće). Ako bi se i dobila dozvola, nema sigurnosti o mogućoj degradaciji kvalitete GPS signala i problema s međusobnim djelovanjem dvaju sustava. Rezultat toga bila bi ograničena sposobnost *LocataLite* primopredajnika u smislu snage odašiljanog signala, a posljedično i njegova radnog područja – pozicioniranje u zatvorenim prostorima. Također, došlo bi do ograničenja broja *LocataLite* uređaja unutar *LocataNet* mreže kako bi se osiguralo da ne dođe do interferencije ili degradacije kvalitete GPS signala (Rizos i dr. 2011b, Rizos 2013).

Sredinom 2005. godine dogodila se temeljita promjena u odnosu na prvu generaciju Locate, koja negira tvrdnju o ekvivalentnosti s pseudolitima. Naime, da bi se izbjegla interferencija s GNSS-om, nova generacija Locata tehnologije odašilje strukturu signala na slobodno korištenom ISM (Industrial Scientific Medical) frekvencijskom pojasu (2,4-2,4835 GHz) (pojas frekvencije 2,4 GHz također koriste dvije dobro poznate globalne tehnologije – Wi-Fi i Bluetooth). To omogućuje da se snaga odašiljača poveća i do jednoga Watta, što pokriva područje od oko 10 km. Unutar ISM pojasa današnja konstrukcija *LocataLite* primopredajnika korištenjem dvije prostorno odvojene odašiljačke antene omogućuje emitiranje 4 signala na dvije frekvencije, te valnim duljinama između 12,49 i 12,07 cm. Nova struktura signala ima mnogobrojne prednosti u usporedbi s prvom generacijom Locata sustava ili pseudolitima koji koriste GPS L1 i/ili L2 frekvencije (Rizos i dr. 2011b, Rizos 2013).

Locata kao terestrička tehnologija može odrediti položaj točke pomoću faznih ili kodnih mjerenja, slično kao i GNSS. Kako sustav pokriva područje do 10 km, pogodan je i za veće inženjerske radove (Barnes i dr. 2007).

3.1. Osnovne komponente Locata tehnologije

Postoje dvije osnovne komponente Locata tehnologije. To su:

1. *LocataLite* – primopredajnik (engl. transceiver) i
2. *Locata* – pokretni prijemnik (engl. receiver, rover).

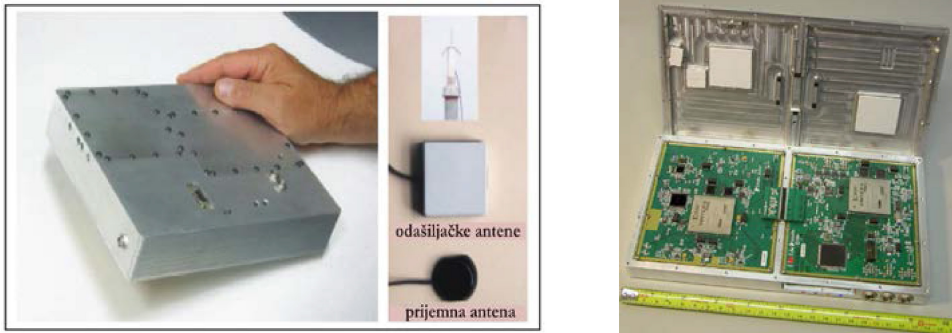
U nastavku će se ukratko opisati ti osnovni elementi, zatim ključno dostignuće Locata tehnologije – postupak vremenske sinkronizacije primopredajnika nazvan *TimeLoc* te formiranje mreže primopredajnika *LocataNet*, koja kao referentna mreža odašilje signale na temelju kojih prijemnik određuje svoj položaj (koordinate).

3.1.1. *LocataLite* – primopredajnik

Hardver *LocataLite* primopredajnika sastoji se od razdvojenih ploča za različite dijelove kao što su odašiljač, prijemnik i radiofrekventne (RF) ploče. Odašiljač i prijemnik upotrebljavaju isti sat, koji je jeftini kristalni oscilator (TCXO) (Barnes i dr. 2005).

Odašiljački dio prototipa *LocataLite* primopredajnika generirao je signale na GPS L1 frekvenciji. U usporedbi s GPS-om, *LocataLite* signali su za red veličine jači od GPS signala, pa mogu prodirati kroz zidove zgrada, odnosno funkcionirati u zatvorenim prostorima. Prijemni dio prototipa temeljio se na postojećem GPS prijemniku. Prototip *LocataLite* primopredajnika, antena i unutrašnjost kućišta prikazani su na slici 2.

Nova generacija Locata tehnologije nadogradnja je osnovnoga tehnološkoga koncepta prve generacije tog sustava. Nova konstrukcija uključuje vlastitu strukturu odašiljanog signala (2,4 GHz – ISM pojas) i potpunu kontrolu nad odašiljačima i korisničkim prijemnikom. To je rezultiralo potpuno novom konstrukcijom i *LocataLite* primopredajnika i *Locata* prijemnika (pokretne jedinice). Na slici 3 prikazan je najnoviji *LocataLite* G4 primopredajnik (vanjski i unutarnji prikaz).

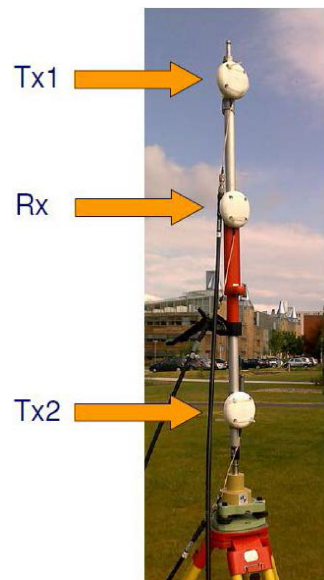


Slika 2. Prototip LocataLite primopredajnika (Barnes i dr. 2003b).



Slika 3. Novi LocataLite G4 primopredajnik (URL 2).

Svaki *LocataLite* postav sastoji se od tri osnovne komponente: vertikalno postavljenog „štapa“ na kojem su pričvršćene prostorno odvojene antene, *LocataLite* uređaja i izvora napajanja. Kako se očekivalo da multipath bude veliki problem kod terestričkog sustava pozicioniranja, Locata je to riješila pomoću različitih, prostorno odvojenih signala. Naime, uvedene su dvije odašiljačke antene (Tx1 i Tx2) i jedna antena (Rx) koja prima signal (slika 4). Namjena je prostorno razdvojenih antena smanjenje utjecaja multipatha i šuma signala. Naime, zbog razdvojenih antena pokretna jedinica (rover) je u mogućnosti prepoznati direktne i indirektno signale (Roberts i dr. 2009, Bonenberg i dr. 2011). Dakle, svaki *LocataLite* odašilje četiri signala (svaki odašiljač po dva) na dvije frekvencije unutar

Slika 4. *LocataLite* antene (Tx1 i Tx2 su odašiljačke, a Rx je prijemna antena) (Bonenberg i dr. 2011).

2,4 GHz – ISM pojasa. Prijemna antena potrebna je za međusobnu sinkronizaciju primopredajnika u *TimeLoc* postupku.

LocataLite primopredajnici smješteni su u odgovarajuće vodootporne kutije, dimenzija 26 cm x 13 cm x 2,5 cm, s mogućnošću vanjskog priključka na antene, priključaka za prijenos podataka i izvora napajanja (slika 5).



Slika 5. *LocataLite* unutar kutije s priključkom na antene (Rizos i dr. 2010).

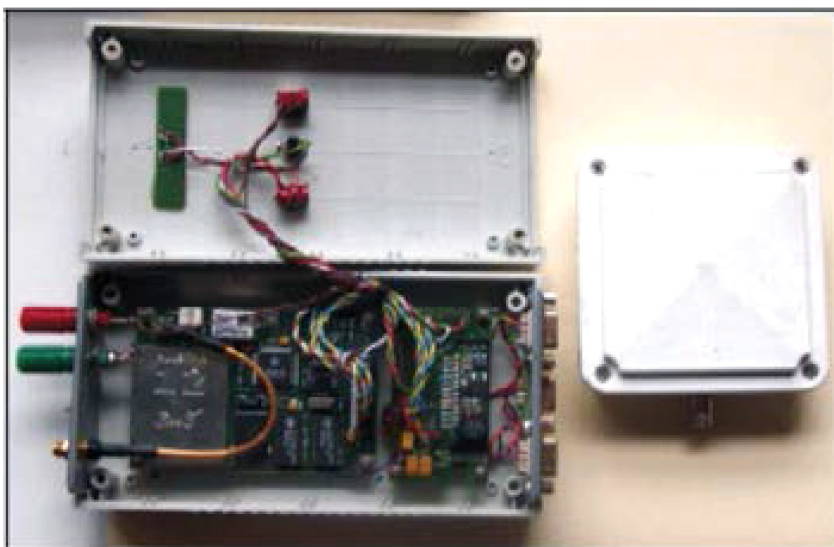
Domet signala *LocataLite* primopredajnika općenito je reda veličine do 10 km, međutim domet je ograničen uglavnom terenom. Za sada, proizvođač ne preporučuje da udaljenost između primopredajnika bude veća od 5 km, osim za posebne namjene kao što je vojno zrakoplovstvo, gdje sustav može funkcionirati i na udaljenostima do 50 km (URL 2).

Kako bi se smanjio near/far utjecaj i interferencija s postojećim GNSS signalima, *Locata* primjenjuje postupak pulsiranja signala u slučajno odabranim ili fiksnim intervalima (Time Division Multiple Access – TDMA) (Kee i dr. 2000, Novaković i dr. 2009). Near/far efekt nastaje kada su dva odašiljača, iste snage signala, na različitim udaljenostima od prijemnika. Odašiljač koji je bliži prijemniku povećava razinu šuma prijemnika, i tada se može dogoditi da prijemnik ne detektira signal udaljenijeg odašiljača. U *LocataNet* mreži precizno je kontrolirano odašiljanje signala na način da primopredajnici ne odašilju signale istovremeno, čime se minimalizira interferencija između signala različitih *LocataLite* primopredajnika.

3.1.2. Locata – prijemnik

Locata prijemnik (rover) određuje svoj položaj (koordinate) na osnovi signala koje odašilju *LocataLite* primopredajnici, na temelju kodnih ili faznih mjerenja.

Kako bi se ubrzao razvoj prototipa *Locata* sustava, odlučeno je da se koristi postojeći GPS hardver za primanja signala u *LocataLite* primopredajniku te *Locata* prijemniku (slika 6). Taj je pristup omogućio brzi razvoj sustava, ali nije bio fleksibilan budući da mu je upotreba bila ograničena, tj. samo u laboratorijskim uvjetima, ne i za upotrebu na otvorenom prostoru. Daljnjim istraživanjima prijemnik je promijenjen i poboljšan. Promjene su se dogodile u primanju signala, algoritmu pozicioniranja te u konstrukciji prijemnika (razdvojene ploče: ploča prijemnika i radiofrekvencijska ploča).



Slika 6. Prototip *Locata* prijemnika (Barnes i dr. 2003a).

Locata prijemnik upotrebljava DCR algoritam (Direct Carrier Ranging) za određivanje vlastitog položaja od najmanje četiri (za 3D pozicioniranje) ili tri (za 2D pozicioniranje) *LocataLite*a. Taj je algoritam sličan onomu koji koristi GPS za pozicioniranje jedne točke; jedina je razlika u tome što upotrebljava fazna mjerenja. Kako bi rješavanje algoritma bilo moguće, potrebno je otkloniti fazne ambiguitete. U prototipu sustava to je bilo riješeno inicijalizacijom prijemnika na poznatoj točki, dok u kasnijem razvoju sustava, pri mjerenjima na dvije frekvencije, to više nije potrebno (Barnes i dr. 2005).

Na slici 7 prikazan je najnoviji tip *Locata* LRx8 prijemnika, dimenzija 14,5 cm x 13 cm x 2,5 cm (vanjski i unutarnji prikaz). *Locata* prijemnik identičan je desnoj strani *LocataLite* primopredajnika.

Koristeći *TimeLoc* postupak (poglavlje 3.2), prijemnik računa koordinate bez potrebe za baznom stanicom i dodatnim korekcijama.



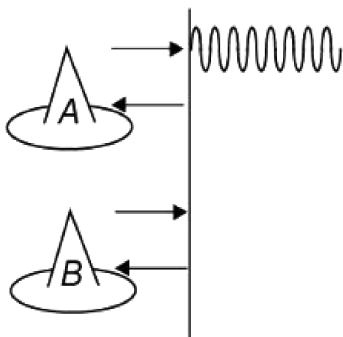
Slika 7. Novi Locata LRx8 prijemnik (rover) (URL 2).

3.2. TimeLoc – sinkronizacija primopredajnika

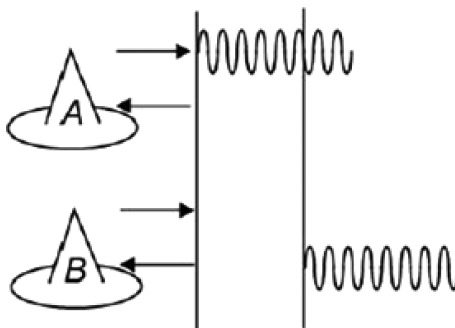
Sinkronizacija odašiljača koji emitiraju signale osnovni je zahtjev za pravilno funkcioniranje sustava radiopozicioniranja. Ako se zahtijeva subcentimetarska preciznost pozicioniranja, razina sinkronizacije treba biti veoma visoka. Kao što je već navedeno, pogreška u određivanju vremena u iznosu od 1 ns rezultira pogreškom u određivanju položaja u iznosu od približno 30 cm (u ovisnosti o brzini svjetlosti). Kod GNSS-a taj je zahtjev riješen korištenjem 3 ili 4 atomska sata postavljena u svakom satelitu, koji su sinkronizirani pomoću drugih atomskih satova smještenih na Zemlji, u Kontrolnom segmentu GNSS-a. Najveće tehničko dostignuće Locata tehnologije je potpuno nova, patentirana, bežična metoda sinkronizacije nazvana *TimeLoc* a koja omogućuje da *LocataLite* primopredajnici mogu postići sinkronizaciju na razini nanosekunde. Prvi puta je to postignuto bez korištenja atomskih satova. Trenutačno ne postoji ni jedna druga tehnologija u svijetu koja to omogućuje. *TimeLoc* postupak detaljno je opisan u Locata TimeLoc Patent (US Patent #7,616,682). U nastavku slijedi kratak opis tog postupka.

Dakle, kako bi pokretni *Locata* prijemnik odredio svoj položaj bez potrebe za podacima bazne stanice, *LocataLite* primopredajnici moraju biti sinkronizirani na jedinstveno vrijeme. *TimeLoc* postupak sinkronizacije jednog *LocataLite* (B) s drugim *LocataLite* (A) uređajem može se razlučiti na sljedeće korake (slika 8) (Barnes i dr. 2003a):

- Korak 1. *LocataLite* A odašilje C/A kod moduliran na nosećem valu s određenim PRN kodom.
- Korak 2. Prijemnički dio *LocataLite* B prikuplja, prati i mjeri signal (C/A kod i noseći val) koji generira *LocataLite* A.
- Korak 3. *LocataLite* B generira svoj vlastiti C/A kod na nosećem valu drugačijeg PRN koda od *LocataLite* A.
- Korak 4. *LocataLite* B računa razliku između koda i nosećeg vala primljenog signala te koda i nosećeg vala signala koji je sam generirao (odaslao). Zanimljivo je da pogreške pri širenju signala, razlike između dvaju signala uzrokovane su zbog odstupanja satova između primopredajnika A i B i geometrijske udaljenosti među njima.

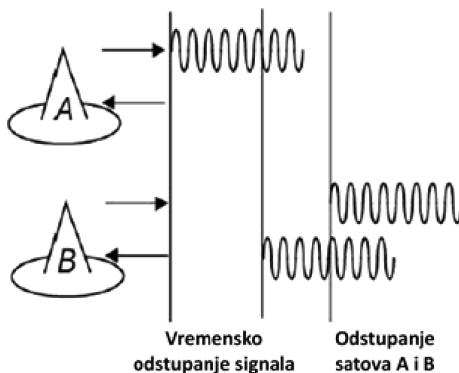


Korak 1. Uređaj A odašilje svoj signal



Vremensko odstupanje signala

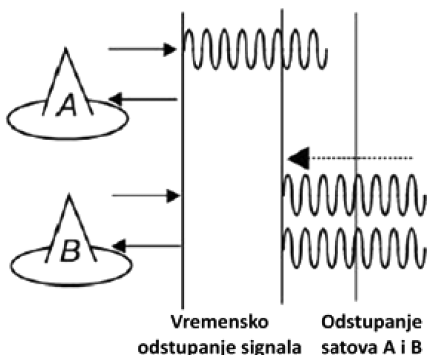
Korak 2. Uređaj B prima signal od uređaja A



Vremensko odstupanje signala Odstupanje satova A i B

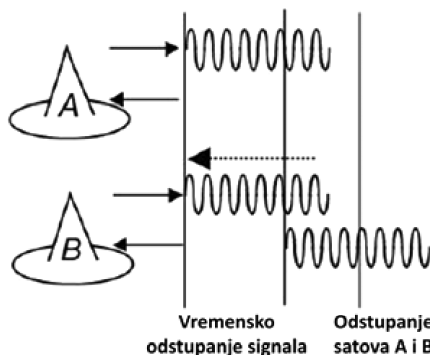
Korak 3. Uređaj B odašilje svoj signal

Korak 4. Uređaj B računa razliku između odašlanog i primljenog signala



Vremensko odstupanje signala Odstupanje satova A i B

Korak 5. Uređaj B prilagođava izračunato odstupanje satova A i B na vrijeme sata A



Vremensko odstupanje signala Odstupanje satova A i B

Korak 6. Sat uređaja B korigira se s obzirom na sat uređaja A

Slika 8. TimeLoc postupak vremenske sinkronizacije primopredajnika (Barnes i dr. 2003a).

Korak 5. *LocataLite* B usklađuje svoj sat pomoću DDS (Direct Digital Synthesis) tehnologije kako bi razlike koda i nosećeg vala između dvaju uređaja (A i B) bile nula. Te se razlike kontinuirano prate i usklađuju kako bi ostale na nuli. Drugim riječima, sat *LocataLite* B korigira se s obzirom na sat *LocataLite* A.

Korak 6. Posljednji korak je uskladiti geometrijsku udaljenost između *LocataLite* A i B. Usklađivanje je moguće jer su poznate koordinate obaju uređaja te se udaljenost određena na temelju mjerenja usklađuje s udaljenošću izračunatom iz koordinata. Nakon toga koraka ostvarena je *TimeLoc* sinkronizacija.

U svakoj *LocataNet* mreži odabire se jedan glavni (master) *LocataLite* (prvoizabran). *TimeLoc* postupak sinkronizacije može se ostvariti na dva načina: sinkronizacija *LocataLite* uređaja unutar *LocataNet* mreže u odnosu na glavni *LocataLite* te međusobna sinkronizacija *LocataLite* unutar *LocataNet* mreže ako glavni primopredajnik nije vidljiv (tzv. „kaskadni“ *TimeLoc*) (Bonenberg i dr. 2011).

Prednost je *TimeLoc* sinkronizacije u tome što ne zahtijeva upotrebu skupih atomskih satova te se, teorijski, beskonačan broj *LocataLite* primopredajnika može međusobno sinkronizirati *TimeLoc* postupkom. Ova metoda omogućuje sinkronizaciju na razini nanosekunde (ili čak bolje).

3.3. Formiranje *LocataNet* mreže za pozicioniranje

Najmanje četiri ili više međusobno povezanih *LocataLite* primopredajnika čine mrežu za pozicioniranje nazvanu *LocataNet*. Mreža je vremenski sinkronizirana pomoću *TimeLoc* postupka, što znači da samostalni *Locata* prijemnik može izračunati svoj položaj bez ikakvih dodatnih informacija ili korekcijskih podataka.

Pri uspostavi *LocataNet* mreže dva su osnovna zahtjeva. Prvo, svaki *LocataLite* treba biti u mogućnosti primati signal od najmanje jednog drugog *LocataLite*. Druga je osnovna pretpostavka da geometrija mreže (DOP) zadovolji zahtjeve preciznosti pozicioniranja.

Uspostava *LocataNet* mreže (slika 9) neovisan je postupak koji se može razložiti na sljedeće korake (Barnes i dr. 2003a):

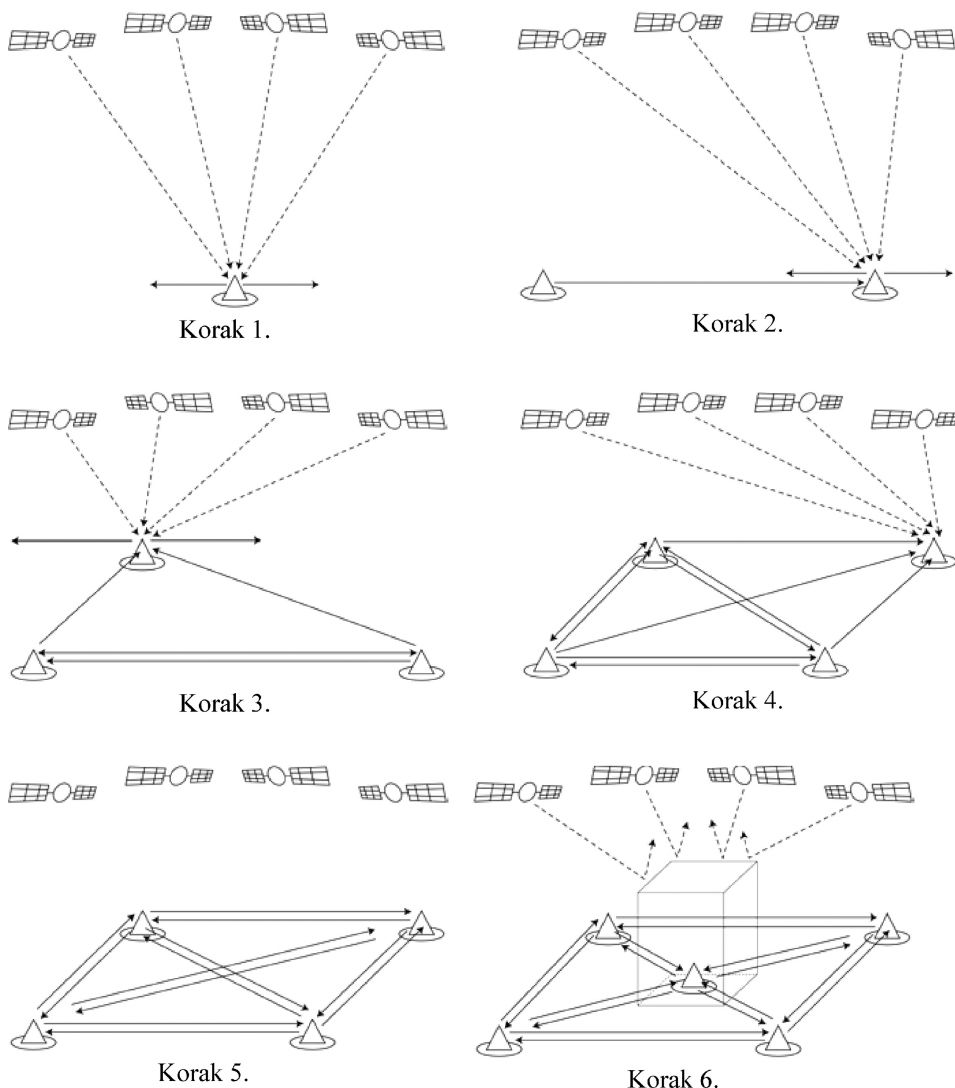
Korak 1. *LocataLite* primopredajnik određuje svoj položaj na osnovi GNSS opažanja i počinje emitirati vlastiti signal.

Korak 2. Drugi *LocataLite*, postavljen u dometu prvoga, određuje svoj položaj na osnovi GNSS opažanja i prvog *LocataLite*. Vremenski se sinkronizira sa signalom prvog *LocataLite* i započinje emitirati vlastiti signal.

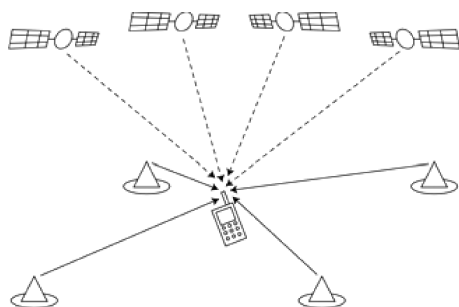
Korak 3. i 4. kako bi se omogućilo trodimenzionalno pozicioniranje samo pomoću *LocataNet* mreže, postavljaju se još dva *LocataLite* primopredajnika. Postupak opisan u drugom koraku ponavlja se za svaki dodatno postavljene *LocataLite* primopredajnik koji određuje svoj položaj pomoću GNSS signala te signala svih prethodno postavljenih *LocataLite* primopredajnika.

Korak 5. Na slici je prikazan osnovni oblik *Locata mreže* koja se sastoji od četiri vremenski sinkroniziranih *LocataLite* primopredajnika. Položaj svakog primopredajnika precizno je određen. Tako uspostavljena *LocataNet* mreža može funkcionirati neovisno o GNSS-u.

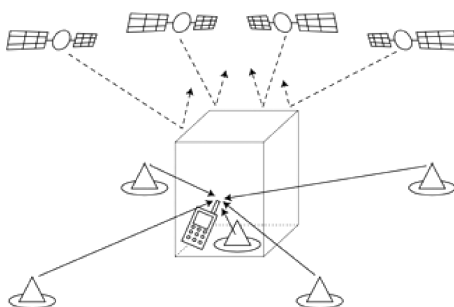
Korak 6. Kada je mreža jednom uspostavljena, u nju se mogu uključiti dodatni *LocataLite* primopredajnici, bilo da se postavljaju na otvorenom ili u zatvorenom prostoru. Peti primopredajnik, postavljen unutar zgrade, određuje svoj položaj samo na temelju *LocataNet* mreže te započinje emitirati vlastiti signal.



Slika 9. Pojedini koraci uspostavljanja *LocataNet* mreže (Barnes i dr. 2003).



Slika 10. Pozicioniranje na otvorenome korištenjem LocataNet mreže i GPS-a.



Slika 11. Pozicioniranje u zatvorenome korištenjem samo LocataNet mreže.

Na slici 10 prikazan je primjer pozicioniranja *Locata* prijemnika na otvorenom prostoru, gdje za pozicioniranje upotrebljava signale GNSS satelita i *LocataLite* primopredajnika. Na slici 11 prikazano je pozicioniranje *Locata* prijemnika unutar zgrade, gdje za pozicioniranje koristi samo signale *LocataLite* primopredajnika jer su signali GNSS satelita nedostupni (blokirani).

Tijekom *TimeLoc* postupka svi ostali primopredajnici sinkroniziraju se sa satom glavnog primopredajnika. Nakon sinkronizacije *LocataNet* počinje emitirati signale. Kada *Locata* prijemnik (rover) primi četiri ili više signala od četiri različita primopredajnika, može se postići centimetarska preciznost pozicioniranja korištenjem faznih mjerenja, na otvorenome i u zatvorenim prostorima, bez postupka diferenciranja i dodatnih korekcija. Međutim, položajna točnost *LocataNet* mreže može se prilagoditi specifičnim zahtjevima pojedinog zadatka, jer je *Locata* autonomni terestrički sustav. Treba napomenuti da na točnost pozicioniranja korištenjem *LocataNet* mreže, isto kao i kod GNSS-a, važnu ulogu ima DOP faktor. Međutim, za razliku od GNSS-a, *LocataLite* primopredajnici mogu se slobodno rasporediti unutar mreže tako da zadovolje zahtijevanu vrijednost DOP-a.

Mogu se rezimirati osnovne karakteristike koncepta *LocataNet* mreže (Barnes i dr. 2003a):

Samostalna instalacija – *LocataLite* primopredajnici mogu samostalno opažati i komunicirati međusobno unutar *LocataNet* mreže. Pritom pozicioniranje može biti izvedeno uz pomoć GNSS-a ili postojeće *LocataNet* mreže. Na taj se način mreža lako može proširiti u svrhu povećanja područja pokrivenosti signalom gdje je to potrebno, pri čemu se broj *LocataLite* primopredajnika može nesmetano povećavati ili smanjivati.

Ad hoc postavljanje mreže – kao što *LocataNet* mreža može biti trajno postavljena na mjestima gdje je potrebno permanentno određivanje položaja, tako je moguća i ad hoc instalacija mreže za hitne potrebe ili pri određenim inženjerskim radovima.

Prodiranje signala – u usporedbi s GNSS signalima, *LocataLite* signali su višeg reda jačine (oko 1 Watt). Zbog toga signali odaslani s *LocataNet* mreže mogu prodirati kroz zidove objekata. U slučajevima gdje se zahtijeva „dublja“ pokrivenost unutar objekta, *LocataNet* mreži mogu biti pridodani dodatni *LocataLite* primopredajnici.

Neprekinuto pozicioniranje s GNSS-om – LocataNet mreža upotrebljava isti referentni WGS84 koordinatni sustav kao i GNSS, što omogućava *Locata* prijemu kontinuirano primanje signala pri prijelazu iz otvorenog u zatvoreni prostor, održavajući pritom konzistentne koordinate (položaj).

Proširenje i priključak – osim dodavanja *LocataLite* primopredajnika za proširenje mreže, *Locata* tehnologija omogućuje spajanje (pridruživanje) dvaju ili više individualnih mreža u svrhu formiranja jedinstvene permanentne *LocataNet* mreže.

Nadogradivost – LocataNet mreže mogu se proširiti na vrlo lak način. Pojam „lokalna“ mreža može se odnositi na sobu ili skladište (do 100 m²), kampus ili otvoreni rudnik (do 10 km²), terminal aerodroma s pristupom sletnim stazama (>100 km²) te veća područja kao što su industrijske zone, gradovi (>1000 km²). Pritom se *LocataNet* mreža može sastojati od minimalno četiri do nekoliko tisuća *LocataLite* primopredajnika.

Vremenski sinkronizirana mreža – signali odašiljani s *LocataNet* mreže koji se upotrebljavaju za pozicioniranje vremenski su sinkronizirani, što omogućuje pozicioniranje jedne točke na isti način kao i pomoću GNSS-a. Vremenska sinkronizacija postignuta je pomoću autonomnog procesa nazvanog *TimeLoc* te je, s tom razinom sinkronizacije između *LocataLite* primopredajnika, postignuta centimetarska preciznost pozicioniranja.

LocataNet mreža trenutačno radi na 2,4 GHz – ISM pojasu frekvencije, koja se širom svijeta može koristiti bez posebne dozvole. *LocataNet* mreža može odašiljati signale i na drugim radio-frekvencijama, ali korištenjem ISM pojasa omogućeno je da *Locata* sustav funkcionira zajedno s GNSS-om, jer *LocataNet* signali ne ometaju GNSS signale. Uglavnom, *LocataLite* primopredajnici mogu se tako konstruirati da odašilju signale na, teorijski, bilo kojoj frekvenciji i bilo koje snage koji se smatraju pogodnim za specifičnu primjenu.

LocataNet mreža može biti definirana u bilo kojem konvencionalnom referentnom sustavu, uključujući i WGS84, ili nekom drugom globalnom, regionalnom ili lokalnom sustavu.

3.4. Navigacijski algoritam Locate

Određivanje trodimenzionalnog položaja točke *Locata* tehnologijom provodi se na temelju faznih mjerenja, pri čemu su potrebna najmanje četiri *LocataLite* primopredajnika. Stoga se može napraviti usporedba s GPS faznim mjerenjima (Barnes i dr. 2003c).

Osnovna formula za određivanje udaljenosti između prijemnika *A* i satelita *j* (u metrima) u slučaju faznih mjerenja na L1 frekvenciji kod GPS-a glasi:

$$\varphi_A^j = \rho_A^j + \tau_{trop} + c\delta T_A - c\delta T^j - \tau_{ion} - \frac{c}{f_{L1}} N_A^j + \varepsilon, \quad (1)$$

gdje je f_{L1} frekvencija L1 nosećeg vala, c je brzina svjetlosti u vakuumu, ρ_A^j je geometrijska udaljenost između prijemnika *A* i satelita *j*, δT_A je pogreška sata prijemnika *A*, δT^j je pogreška sata satelita *j*, N_A^j je nepoznat cijeli broj valnih duljina nosećeg vala između satelita i prijemnika (ambiguitet), τ_{ion} je atmosferska

korekcija zbog utjecaja ionosfere, τ_{trop} je atmosferska korekcija zbog utjecaja troposfere, ε je iznos preostalih pogrešaka što uključuje: pogreške orbite satelita, preostale atmosferske utjecaje, multipath, šum prijemnika i dr. Za GPS kinematičku metodu, jednadžba (1) sadrži parametre koji nisu poznati s dovoljnom točnošću da bi samo jedan GPS prijemnik proveo pozicioniranje točke i odredio položaj prijemnika i pogrešku sata na centimetarskoj razini. Umjesto toga, upotrebljava se drugi GPS prijemnik (bazna stanica) i uglavnom se provodi dvostruko diferenciranje da bi se eliminirale pogreške sata prijemnika i satelita, reducirali utjecaji pogrešaka orbite (ovisne o duljini bazne linije) i pogreške vezane uz utjecaj troposfere i ionosfere. Također, ako se pozicioniranje provodi u realnom vremenu (GPS RTK) potrebna je radioveza između baznog i pokretnog prijemnika.

U usporedbi s GPS-om, kod *LocataNet* mreže osnovna jednadžba opažanja između prijemnika A i *LocataLite* primopredajnika j (u metrima) glasi:

$$\varphi_A^j = \rho_A^j + \tau_{trop} + c\delta T_A^j - \frac{c}{f_{L1}} N_A^j + \varepsilon, \quad (2)$$

gdje su oznake iste kao i kod GPS-a, samo što se one odnose na *LocataLite* primopredajnike umjesto na satelite. Vidljivo je da u formuli (2) nema člana koji označava pogrešku sata primopredajnika budući da su oni međusobno vremenski sinkronizirani. Također, budući da više nema ovisnosti o svemirskom segmentu, u formuli (2) nema ni člana koji se odnosi na pogrešku zbog utjecaja ionosfere. Troposferska korekcija ovisit će o udaljenosti između *Locata* prijemnika i *LocataLite* primopredajnika, kutu elevacije prema primopredajniku i atmosferskim uvjetima (tlak, temperatura, vlaga) uzduž puta prolaska signala.

Član u jednadžbi (2) koji uzrokuje najviše poteškoća je nepoznati broj cijelih valnih duljina između *Locata* prijemnika i *LocataLite* primopredajnika kada je postignut *TimeLoc*. U prototipu sustava, otklanjanje ambiguiteta i pogreška sata prijemnika određeni su putem statičke inicijalizacije na poznatoj točki. Uz modeliranje ili zanemarivanje utjecaja troposfere zbog relativno kratkih udaljenosti između prijemnika i primopredajnika, taj utjecaj (pogreška sata i ambiguitet), u metrima, može se napisati kao:

$$B_A^j = c\delta T_A^j - \frac{c}{f_{L1}} N_A^j + \varepsilon \quad (3)$$

$$B_A^j = \varphi_A^j - \rho_A^j. \quad (4)$$

Prema tome, osnovna jednadžba opažanja (2) glasi:

$$\varphi_A^j = \rho_A^j + B_A^j + \delta dT_A + \varepsilon \quad (5)$$

i

$$\rho_A^j = \sqrt{(X_A - X^j)^2 + (Y_A - Y^j)^2 + (Z_A - Z^j)^2}, \quad (6)$$

gdje je δdT_A promjena pogreške sata prijemnika od vremena statičke inicijalizacije, koja zajedno s koordinatama *Locata* prijemnika X_A, Y_A, Z_A čini ukupno četiri nepoznanice koje se mogu riješiti korištenjem minimalno četiri *LocataLite*

faznih mjerenja i procijeniti pomoću metode najmanjih kvadrata. Postupak procjene po metodi najmanjih kvadrata sličan je postupku koji se primjenjuje pri GPS pozicioniranju jedne točke (SPP – single point positioning), osim što se upotrebljavaju vrlo precizna fazna mjerenja. Nakon što je obavljena inicijalizacija, *Locata* prijemnik je spreman za kinematičko mjerenje.

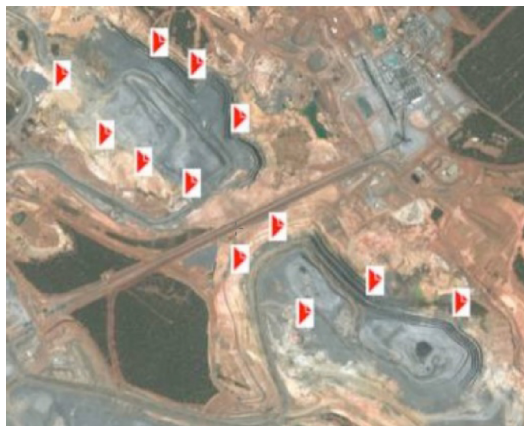
4. Primjena Locata tehnologije za pozicioniranje

Od samih početaka osnovni cilj Locata tehnologije bio je razviti sustav pozicioniranja centimetarske preciznosti koji bi dopunio ili zamijenio konvencionalni GNSS-RTK u područjima koja su nepovoljna za korištenje GNSS-a kao što su: otvoreni rudnici, šumska i gusto naseljena urbana područja, pa i u zatvorenim prostorima gdje je GNSS nedostupan.

Od 2005. godine Locata tehnologija se kontinuirano unaprjeđuje zahvaljujući ispitivanjima na testnim područjima kao što su: Locata Corporation's Numeralla Test Facility (NTF) u blizini Canberre (Australija), na UNSW kampusu (Australija), na kampusu University of Nottingham (Velika Britanija), na Ohio State University kampusu (SAD), i na stvarnim objektima što uključuje nekoliko mostova, cesta, otvorenih rudnika i brana (URL 2). U nastavku slijedi nekoliko primjera testiranja i primjene Locata sustava pozicioniranja.

4.1. Primjena u rudarstvu

Razvoj preciznih sustava za navigaciju, upravljanje strojevima i njihovo praćenje u rudarstvu (bušilice, buldožeri, dizalice, bageri) povećava efikasnost rada u rudniku i smanjuje izloženost ljudi opasnim situacijama. Otvoreni rudnici s vremenom postaju sve dublji, što uzrokuje smanjenje broja vidljivih GNSS satelita i nepovoljnu geometriju satelita. To je razlog što precizno pozicioniranje pomoću isključivo GNSS metoda u otvorenim rudnicima nije moguće.



Slika 12. Konfiguracija LocataNet mreže u otvorenom rudniku Newmont Boddigton Gold Mine (Rizos i dr. 2013).

Leica Geosystems Mining prva je tvrtka koja je uvela Locata tehnologiju u komercijalnu upotrebu. Godine 2012. uspostavila je funkcionalni Locata sustav na jednom od najvećih svjetskih rudnika – Newmont Boddigton Gold Mine u Zapadnoj Australiji (Rizos 2013) (slika 12). Tijekom i nakon uspostave Locata sustava provedena su testiranja točnosti i dostupnosti Locata sustava u navedenom rudniku, pri čemu su postignuti više nego zadovoljavajući rezultati (Rizos i dr. 2011a, Rizos i dr. 2013).

Treba napomenuti da je u tu svrhu Leica Geosystems proizveo kombinirani GPS+Locata prijemnik integracijom njihovih prijemnika u zajedničko kućište – JPS prijemnik (Jigsaw Positioning System). Takav prijemnik računa svoj položaj pomoću signala primljenih samo od GNSS satelita, samo od *LocataLites* primopredajnika ili signala odaslanih od oba sustava. JPS prijemnik nova je klasa prijemnika za pozicioniranje koje Locata naziva „GPS 2.0“ (URL 2).

4.2. Primjena u navigaciji vozila

Osim za navigaciju kopnenih vozila, kao što je primjer u rudarstvu, Locata sustav testiran je za navigaciju pomorskih vozila u lukama, te za navigaciju zrakoplova. Testiranje Locata sustava za navigaciju pomorskih vozila provedeno je 2012. godine u luci Sydney, pri čemu se primjenjivala integracija Locata sustava s GNSS uređajima i INS senzorom (Jiang i dr. 2013a, Jiang i dr. 2013b) (slika 13 lijevo). Testiranje Locata sustava za navigaciju zrakoplova provedeno je 2011. godine u zračnoj luci Cooma, New South Wales, Australija, pri čemu se također primjenjivala integracija Locata sustava s GNSS uređajima i INS senzorom (Jiang i dr. 2013c) (slika 13 desno).



Slika 13. Konfiguracija LocataNet mreže i područje testiranja navigacije pomorskih vozila (lijevo) (Jiang i dr. 2013a), te zrakoplova (desno) (Jiang i dr. 2013c).

Testiranje Locata sustava, u kombinaciji s GNSS-om, za navigaciju bespilotnih letjelica opisano je u članku (Amt i Raquet 2007).

4.3. Primjena u praćenju pomaka i deformacija objekata

Značajno je područje primjene Locata tehnologije (samostalno ili u kombinaciji s GNSS-om) praćenje pomaka i deformacija izgrađenih objekata kao što su mostovi, brane, velike zgrade i sl. Prva testiranja Locata tehnologije za praćenje pomaka i deformacija građevina provedena su u Sydneyu (Australija) i Nottinghamu (Velika Britanija). U članku (Barnes i dr. 2003d) opisuje se primjena Locata tehnologije na primjeru visećeg pješačkog mosta u Nottinghamu, gdje su rezultati pokazali jednaku položajnu (subcentimetarsku) preciznost sviju komponenti položaja. U članku (Barnes i dr. 2004a) opisuje se samostalna primjena Locata tehnologije (bez GPS mjerenja) na primjeru visećeg pješačkog mosta u Sydneyu, gdje je ostvarena subcentimetarska položajna preciznost. Primjena Locata tehnologije u praćenju pomaka i deformacija brana ispitana je na Tumut Pond brani u Australiji (Choudhury i Rizos 2010). Brana je visoka 86,3 m i duga 217,9 m, te su za određivanje njezina pomaka postavljena četiri *LocataLite* primopredajnika i jedan *Locata* prijemnik na samoj brani (slika 14).



Slika 14. Tumut Pond brana s prikazanim položajem Locata uređaja (Choudhury i Rizos 2010).

Usporedbom koordinata točaka određenih Locata tehnologijom s koordinatama dobivenim pomoću robotizirane mjerne stanice, određena je milimetarska preciznost pozicioniranja. Osim toga, integracija Locata tehnologije i GNSS-a za potrebe inženjerskih radova, osobito praćenja pomaka i deformacija, opisano je u radu (Roberts i dr. 2009).

Na velike prednosti i mogućnosti navedene tehnologije upućuje i činjenica da se od 2014. godine Locata tehnologija počela primjenjivati u Kini, fokusirajući se na projekte praćenja pomaka i deformacija izrazito dugačkih mostova i brana na mnogim lokacijama (URL 3). Osim toga, NASA je uključila Locata tehnologiju kao osnovnu tehnologiju pozicioniranja u projektu razvoja nove generacije bespilotnih letjelica (URL 2).

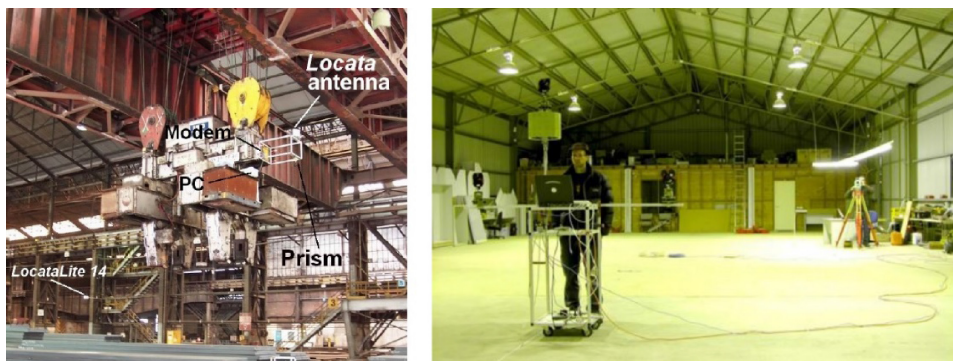
4.4. Pozicioniranje u zatvorenim prostorima

Kako nema „GNSS ekvivalenta“ za pozicioniranje u zatvorenim prostorima, ne može se govoriti o Locati kao proširenju GNSS-a, nego se ta tehnologija primjenjuje kao samostalni mjerni sustav. Prva testiranja Locata uređaja za pozicioniranje u zatvorenim prostorima provedena su u prosincu 2002. godine u prostorijama zgrade Locata Corporation (slika 15), pri čemu je postignuta subcentimetarska preciznost statičkog pozicioniranja te submetarska preciznost kinematičkog pozicioniranja (Rizos i dr. 2003, Barnes i dr. 2003a, Barnes i dr. 2003b).



Slika 15. Konfiguracija LocataNet mreže (lijevo i sredina) te položaj Locata antene pri statičkom pozicioniranju (desno) prilikom prvog testiranja pozicioniranja u zatvorenom prostoru (Rizos i dr. 2003).

U travnju 2004. godine mogućnosti Locata sustava testirane su u stvarnim industrijskim uvjetima pozicioniranjem dizalice u hali tvornice željeza BlueScope Steel u Sydneyu u Australiji (slika 16 lijevo) (Barnes i dr. 2004b). Za potrebe pozicioniranja u zatvorenim prostorima Locata je razvila novu antenu (TimeTenna), koje je glavna karakteristika smanjenje utjecaja multipatha na pozicioniranje (URL 2). Ispitivanje točnosti statičkog i kinematičkog pozicioniranja u zatvorenom prostoru



Slika 16. Testiranje mogućnosti Locate u stvarnim industrijskim uvjetima (lijevo), ispitivanje TimeTenne (desno) (Rizos i dr. 2010, Rizos 2013).

pomoću antene TimeTenna provedeno je 2010. godine u Locatinom prostoru za ispitivanje (slika 16 desno). Rezultati testiranja mogu se naći u člancima (Rizos i dr. 2010, Rizos i dr. 2011a, Rizos i dr. 2011b, Rizos 2013).

5. Locata u Hrvatskoj

Iako Locata tehnologija još nije primijenjena u Hrvatskoj, detaljan prikaz teorijskih osnova pseudolita (razvojem kojih je nastala Locata), njihove prednosti i nedostaci, daljnji razvoj, istraživanja i nove konstrukcije uključujući i Locata tehnologiju, te njihova primjena u nekim područjima pozicioniranja i navigacije, od domaće literature može se naći u članku (Novaković i dr. 2009), a također i u radu (Novaković i dr. 2010). Osim toga, već nekoliko godina studenti na Geodetskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, u sklopu jednoga kolegija koji se predaje na Katedri za inženjersku geodeziju, imaju priliku upoznati se s razvojem novih tehnologija pozicioniranja uključujući pseudolite i novu Locata tehnologiju. Kao rezultat interesa studenata za tu materiju napisano je nekoliko seminarskih radova i dva diplomatska rada (Kodžić 2010, Dobrinčić 2012). Kako Locata oprema nije bila na raspolaganju, a time nije bila moguća praktična primjena, u svim su navedenim radovima uz teorijska saznanja opisana istraživanja i rezultati inozemnih istraživačkih timova.

Međutim, u sklopu projekta “Nosivi sustav proširene stvarnosti u vanjskom prostoru za obogaćivanje turističkih sadržaja”, skraćenog naziva “Project Wonderland” (koji je sufinanciran iz strukturnih fondova Europske unije preko natječaja Ministarstva znanosti, obrazovanja i sporta “Jačanje kapaciteta za istraživanje, razvoj i inovacije”), Međimursko veleučilište u Čakovcu i tvrtka Infigo IS d. o. o. u Zagrebu (partner na projektu) u posljednjem kvartalu 2015. planirali su nabavku i implementaciju prvog Locata sustava u Hrvatskoj (a moguće i u Europi). U sklopu navedenog projekta, Locata oprema se sastoji od 6 *LocataLite* primopredajnika i 2 *Locata* prijemnika, a služit će za što preciznije pozicioniranje pokretne točke.

Više informacija o projektu dostupno je na službenoj web-stranici projekta www.projectwonderland.eu. Navedeni Locata sustav će, u sklopu projekta, isporučiti i postaviti u rad tvrtka Poljoopskrba d. o. o. iz Belice, koja je sredinom 2014. godine postala prvi Locata certificirani SME integrator na području Europske unije. Ta će tvrtka također angažirati strane stručnjake za potreban prijenos znanja na hrvatske istraživače i stručnjake kako bi mogli samostalno nastaviti istraživačko-stručni rad na projektu.

Zahvaljujući znanstveno-stručnom projektu “Project Wonderland”, u sklopu kojeg je prvi put u Hrvatskoj nabavljena Locata oprema, autori ovog članka uskoro će biti u mogućnosti praktično se upoznati s Locata tehnologijom i objavljivati vlastite rezultate i iskustva.

6. Zaključak

Korištenje GNSS-a nezaobilazna je tehnologija suvremenoga preciznog pozicioniranja i navigacije, međutim njegova primjena ima znatnih ograničenja kao što je nemogućnost korištenja u zatvorenim prostorima i pod zemljom te ovisnost

kvalitete rezultata o vidljivosti, broju i rasporedu satelita. Postalo je jasno da korištenje samo satelitskog sustava nije dovoljno za potrebe pozicioniranja u raznovrsnom okruženju. Zbog toga je bilo potrebno postojeći mjerni sustav satelitskog pozicioniranja unaprijediti, odnosno nadopuniti novim tehnologijama, čak ga pod određenim uvjetima i zamijeniti. Koncept i tehnologija pseudolita kao terestričkih generatora i odašiljača signala sličnih satelitskim, za primjenu u lokalnom području, pokazala je velike mogućnosti, ali i mnoga ograničenja. Ponajprije se to odnosi na to što pseudoliti nisu međusobno sinkronizirani pa se centimetarska preciznost pozicioniranja može postići jedino korištenjem bazne stanice koja, putem radioveze, šalje korekcije prijemniku. Taj veliki nedostatak otklonjen je izumom Locate, nove tehnologije koja funkcionira kao „lokalna terestrička replika GNSS načina pozicioniranja“.

Od samih početaka osnovni cilj Locata tehnologije bio je razviti sustav pozicioniranja centimetarske točnosti koji bi upotpunio, ili zamijenio, konvencionalni GNSS u, za taj sustav, nepovoljnom okruženju kao što su gusto naseljena gradska područja, doline, šumska područja, velika gradilišta ili otvorena rudnička okna, pa čak i u zatvorenim prostorima. Dakle, Locata tehnologija nije zamišljena kao zamjena za GNSS, nego kao njegovo proširenje i nadopuna u uvjetima gdje samo satelitske metode ne mogu dati, odnosno osigurati rezultate zadovoljavajuće kvalitete.

Osnovne su komponente Locata tehnologije primopredajnici (pod nazivom *Locata-Lite*) koji formiraju mrežu referentnih točaka (*LocataNet*) s koje se odašilju radio-signali prema prijemnicima (pod nazivom *Locata*). *LocataNet* mreža predstavlja „novu konstelaciju terestričkih satelita“ ili alternativnih referentnih točaka. Te referentne točke mogu se upotrebljavati zajedno s GNSS satelitskom mrežom ili potpuno neovisno.

Glavni tehnološki napredak Locate je patentirana metoda sinkronizacije primopredajnika nazvana *TimeLoc*, koja rješava osnovni problem uvođenja terestričkog ekvivalenta za GNSS. U današnje vrijeme Locata odašilje signale na 2,4 GHz – ISM pojasu frekvencije od dvije prostorno udaljene odašiljačke antene, što zajedno s *TimeLoc* postupkom omogućuje sinkronizaciju mreže na razini nanosekunde čime se može postići centimetarska preciznost pozicioniranja bez referentne stanice i dodatnih korekcija. Ta nova struktura signala ima mnogobrojne prednosti u usporedbi s prvom generacijom Locata sustava pozicioniranja ili s pseudolitima koji koriste GPS L1 i/ili L2 frekvencije, što uključuje: interoperabilnost s GNSS-om, nije potrebna posebna dozvola za korištenje, mogućnost za OTF rješenje ambiguiteta korištenjem dvofrekventnih mjerenja, veće smanjenje utjecaja multipatha, odašiljanje signala snage do 1 Watta što omogućuje doseg signala do oko 10 km i sinkronizacija svih *LocataLite* primopredajnika takve razine koja omogućuje pozicioniranje točke s centimetarskom preciznošću (Rizos i dr. 2011, Rizos 2013).

LocataNet pristup ima nekoliko bitnih prednosti u usporedbi s ostalim tehnologijama pozicioniranja. Zbog samog rješenja mreže (nema pogreške sata primopredajnika, nema utjecaja ionosfere) koncept dva prijemnika povezana radiovezom (baza-rover) gubi smisao te je za kinematička mjerenja dovoljan jedan prijemnik. Zbog istog razloga (upotreba jednog prijemnika) skraćeno je vrijeme inicijalizacije jer nema potrebe da prijemnik čeka korekcije s baze da bi dao točan položaj, već ga računa iz vremenski sinkroniziranih signala *LocataLite* primopredajnika. U *LocataNet* mreži precizno se kontrolira odašiljanje signala od svakog primopredajnika kako bi se otklonila pojava interferencije signala.

LocataNet je, ustvari, lokalna konstelacija terestričkih „satelita“ koji se ponašaju baš kao i GNSS konstelacija u svemiru. Međutim, rečeno klasičnim GNSS terminima, *LocataNet* sadrži ujedno i Svemirski i Korisnički segment preko *LocataLite* primopredajnika i *TimeLoc* postupka. Kao i kod GNSS-a, signali koje odašilje mreža sinkroniziranih odašiljača jednosmjerni su, omogućujući kodna ili fazna mjerenja. Međutim, terestričku infrastrukturu sustava neusporedivo je lakše održavati, ažurirati ili zamijeniti nego svemirski sustav.

LocataNet uključuje Terestrički segment i Korisnički segment. Ne postoji odvojeni Kontrolni segment. Terestrički segment uključuje niz *LocataLite* primopredajnika smještenih unutar ili oko definiranog područja rada. Korisnički segment uključuje niz fiksnih ili pokretnih *Locata* prijemnika koji određuju položaj i vrijeme unutar radnog područja, korištenjem signala koje odašilju *LocataLite* uređaji iz Terestričkog segmenta.

Locata tehnologija obuhvaća i odašiljačku i prijemnu stranu mreže za pozicioniranje, omogućujući takvu konfiguraciju sustava koja može zadovoljiti specifične lokalne zahtjeve dostupnosti, preciznosti i pouzdanosti. Dakle, kod Locata tehnologije nema ničeg „globalnog“, riječ je o „lokalnim“ zahtjevima i potrebama. Stoga je ta tehnologija pozicioniranja naročito pogodna za rješavanje mnogih zadataka iz područja inženjerske geodezije.

Literatura

- Amt, J. H. R., Raquet, J. F. (2007): Flight testing of a pseudolite navigation system on a UAV, ION Conference, San Diego, California, January 2007.
- Barnes, J., Rizos, C., Wang, J., Small, D., Voigt, G., Gambale, N. (2003a): High precision indoor and outdoor positioning using LocataNet, Journal of Global Positioning Systems, Vol. 2, No. 2, 73–82.
- Barnes, J., Rizos, C., Wang, J., Small, D., Voight, G., Gambale, N. (2003b): Locatanet: A new positioning technology for high precision indoor and outdoor positioning, 16th Int. Tech. Meeting of the Satellite Division of the U.S. Institute of Navigation, Portland, Oregon, USA, 9–12 September, 1119–1128.
- Barnes, J., Rizos, C., Wang, J., Small, D., Voigt, G., Gambale, N. (2003c): Locatanet: Intelligent time-synchronised pseudolite transceivers for cm-level stand-alone positioning, 11th Int. Assoc. of Institutes of Navigation (IAIN) World Congress, Berlin, Germany, 21–24 October 2003.
- Barnes J., Rizos, C., Wang, J., Meng, X., Cosser, E., Dodson, A. H., Roberts, G. W. (2003d): The monitoring of bridge movements using GPS and pseudolites, 11th Int. Symp. on Deformation Measurements, Santorini, Greece, 25–28 May, 563–572.
- Barnes, J., Rizos, C., Kanli, M., Pahwa, A., Small, D., Voigt, G., Gambale, N., LaMance, J. (2004a): Structural Deformation Monitoring using Locata, 1st FIG International Symposium on Engineering, University of Nottingham, United Kingdom, 28 June – 1 July 2004.
- Barnes, J., Rizos, C., Kanli, M., Small, D., Voigt, G., Gambale, N., Lamance, J., Nunan, T., Reid, C. (2004b): Indoor industrial machine guidance using Locata: a pilot study at BlueScope Steel, 60th Annual Meeting of the U.S. Inst. Of Navigation, Dayton, Ohio, USA, 7–9 June, 533–540.

- Barnes, J., Rizos, C., Kanli, M., Pahwa, A., Small, D., Voigt, G., Gambale, N., Lamance, J. (2005): High accuracy positioning using Locata's next generation technology, 18th Int. Tech. Meeting of the Satellite Division of the U.S. Institute of Navigation, Long Beach, California, 13–16 September, 2049–2056.
- Barnes, J., Van Cranenbroeck, J., Rizos, C., Pahwa, A., Politi, N. (2007): Long Term Performance Analysis of a New Ground-transceiver Positioning Network (Locata-Net) for Structural Deformation Monitoring Applications, FIG Working Week 2007, Hong Kong SAR, China, 13–17 May 2007.
- Barnes, J., Rizos, C., Li, Y., Gambale, N., Politi, N. (2011): A new constellation for high accuracy outdoor and indoor positioning, FIG Working Week 2011, Bridging the Gap between Cultures, Marrakech, Morocco, 18–22 May, 1–14.
- Bonenberg, L. K., Roberts, G. W., Hancock, C. M. (2011): Using Locata to augment GNSS in a kinematic urban environment, Archives of Photogrammetry, Cartography and Remote Sensing, Vol. 22, 2011, 63–74.
- Choudhury, M., Rizos, C. (2010): Slow structural deformation monitoring using Locata – a trial at Tumut Pond Dam, Journal of Applied Geodesy, Vol. 4, Issue 4, 177–187.
- Dobrinić, D. (2012): Poboljšanje GNSS-a primjenom pseudolita s posebnim osvrtom na Locata tehnologiju, diplomski rad, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
- Harrington, R. L., Dolloff, J. T. (1976): The inverted range: GPS user test facility, IEEE PLANS'76, San Diego, California, 1–3 Nov., 204–211.
- Jiang, W., Li, Y., Rizos, C., Barnes, J., Hewitson, S. (2013a): Precise Maritime Navigation with a Locata-Augmented Multi-Sensor System, China Satellite Navigation Conference (CSNC) 2013 Proceedings, Lecture Notes in Electrical Engineering Vol. 245, 577–587.
- Jiang, W., Li, Y., Rizos, C. (2013b): On-the-fly Locata/inertial navigation system integration for precise maritime application, Measurement Science and Technology, Vol. 24, No. 10.
- Jiang, W., Li, Y., Rizos, C., Barnes, J. (2013c): Flight Evaluation of a Locata-augmented Multisensor Navigation System, Journal of Applied Geodesy, Vol. 7, No. 4.
- Kee, C., Jun, H., Yun, D., Kim, B., Kim, Y., Parkinson, B., Lenganstein, T., Pullen, S., Lee, J. (2000): Development of Indoor Navigation System using Asynchronous Pseudolites, Proceedings of ION GPS-2000, Salt Lake, Utah, USA, September 19–22, 1038–1045.
- Kodžić, D. (2010): Primjena pseudolita u pozicioniranju i navigaciji s posebnim osvrtom na „Locata“ tehnologiju, diplomski rad, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
- LeMaster, E. (2002): Self-Calibrating Pseudolite Arrays: Theory and Experiment, PhD thesis, Stanford University, Department of Aeronautics and Astronautics, Stanford, CA.
- Novaković, G., Đapo, A., Mahović, H. (2009): Razvoj i primjena pseudolita u pozicioniranju i navigaciji, Geodetski list, 3, 215–241.
- Novaković, G., Đapo, A., Kodžić, D. (2010): Pseudolite applications in positioning and navigation, 10th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2010 – Conference Proceedings Volume 1, Sofia: STEF92 Technology Ltd, 829–836.
- Rizos, C., Barnes, J., Small, D., Voigt, G., Gambale, N. (2003): A new pseudolite-based positioning technology for high precision indoor and outdoor positioning, Int. Symp. & Exhibition on Geoinformation 2003, Shah Alam, Malaysia, 13–14 October, 115–129.

- Rizos, C. (2005): Pseudolite Augmentation of GPS, Workshop on Geolocation Technology to Support UXO Geophysical Investigations, Annapolis, Maryland, 1–2 June 2005.
- Rizos, C., Roberts, G., Barnes, J., Gambale, N. (2010): Locata: A new high accuracy indoor positioning system, Proc. Int. Conf. on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN), Mautz, R., Kunz, M. & Ingensand, H. (eds.), Zurich, Switzerland, 15–17 September, 441–447.
- Rizos, C., Lilly, B., Robertson, C., Gambale, N. (2011a): Open cut mine machinery automation: Going beyond GNSS with Locata, 2nd Int. Future Mining Conf., Sydney, Australia, 22–23 November, Australasian Institute of Mining & Metallurgy Publication Series 14/2011, 87–93.
- Rizos, C., Li, Y., Politi, N., Barnes, J., Gambale, N. (2011b): Locata: A new constellation for high accuracy outdoor and indoor positioning, FIG Working Week, Marrakech, Morocco, 18–22 May 2011.
- Rizos, C. (2013): Locata: A positioning system for indoor and outdoor applications where GNSS does not work, 18th Annual Conf., Association of Public Authority Surveyors, Canberra, Australia, 12–14 March, 73–83.
- Rizos, C., Gambale, N., Lilly, B. (2013): Mine machinery automation using Locata-augmented GNSS, U.S. Institute of Navigation Pacific PNT Symp., Honolulu, Hawaii, USA, 22–25 April, 463–469.
- Roberts, G. W., Bonenberg, L. K., Hancock, C. M. (2009): Integrating Localites and GNSS for engineering works, 7th FIG Regional Conference, Spatial Dana Serving People: Land Governance and the Environment – Building the Capacity, Hanoi, Vietnam, 19–22 October 2009.

Mrežne adrese

URL 1: Galileo Rest Range Berchtesgaden,
<http://www.gate-testbed.com/>, (25. 6. 2015.).

URL 2: Locata,
<http://www.locata.com>, (23. 8. 2015.).

URL 3: Locata, Locata Launches in China,
<http://www.locata.com/article/locata-launches-in-china/>, (30. 9. 2015.).

Locata – A New Technology for High Precision Outdoor and Indoor Positioning

ABSTRACT. Although the Global Navigation Satellite Systems (GNSS) have been widely used in many areas of positioning and navigation, it is well known that this technology, in a specific environment, has its limitations or can not be applied. To overcome these limitations many researches were conducted to complement GNSS with other, mainly terrestrial technologies. One of the solutions is the application of pseudolites, ground-based generators and transmitters of GPS-like signals, for use in the local area. However, the technology based on pseudolites also has its limitations. The basic problem is that the pseudolites operate independently in so-called „unsynchronised mode“. In fact, the synchronization of transmitters that are broadcasting a positioning signal is the fundamental requirement for radio-positioning systems. In 2003, Locata Corporation (Canberra, Australia), began with the development of the concept of positioning for the purpose of establishing “a local autonomous terrestrial replica of GNSS”. The result is Locata positioning technology, designed to overcome the limitations of GNSS and other positioning systems, by developing a time-synchronized transceivers called LocataLite. These transceivers form a network – LocataNet, which transmits signals that allow carrier-phase point positioning, with cm-level precision, for a mobile Locata receiver. The biggest technical achievement of Locata system is completely new, patented, wireless technology of time synchronization between LocataLites, called TimeLoc. Therefore, there is no need for base station, the connection for data transfer from the base to the mobile receiver, and no need to double differentiation measurements. Locata incorporates proprietary signal transmission structure that operates in the licence free Industry Scientific and Medical (ISM) band (2.4 GHz). This allows high power of transmitted signals so that Locata can be used for the indoor applications too. Locata is not a substitute for GNSS. It can be easily combined with GNSS, or can be used as an independent measuring system, where the GNSS is unavailable or unreliable. The article presents a brief overview of the development of Locata positioning technology, its basic components: LocataLite – transceiver and Locata – receiver, process of synchronization – TimeLoc, then the establishment of a network of LocataLites transceivers – LocataNet, the application of Locata technology in some areas of positioning and navigation, and at the end a brief description of the project “Project Wanderland” which includes the acquisition of the Locata equipment. It is an opportunity, for the first time in Croatia, to practically apply this new technology of positioning and navigation. The authors of this article will soon be able to present their own results and experience to the local professional community.

Keywords: positioning, Locata technology, LocataLite, LocataNet, TimeLoc.

Primljeno / Received: 2015-10-15

Prihvaćeno / Accepted: 2015-12-05