

UNIVERSITATEA TEHNICĂ DE CONSTRUCȚII

BUCUREȘTI

FACULTATEA DE GEODEZIE

TEZĂ DE DOCTORAT

- Rezumat -

**CONTRIBUȚII PRIVIND ÎMBUNĂTĂȚIREA
PRECIZIEI DE POZIȚIONARE ÎN GNSS UTILIZÂND
TEHNOLOGIA MULTI-GNSS**

Conducător științific:

Prof.univ.dr.ing. *Iohan Neuner*

Autor

Ing. Andreea Mihăilescu

**București
2018**

CUPRINS

1. Introducere	4
2. Sisteme de referință utilizate în GNSS	4
2.1. Scări de timp utilizate în Geodezia Spațială.....	5
2.1.1. Scări de timp ce țin cont de rotația Pământului.....	5
2.1.2. Scări de timp ce țin cont de mișcarea de revoluție a Pământului	5
2.1.3. Timpul atomic	5
2.2. Sisteme de coordonate utilizate în Geodezia spațială.....	6
2.2.1. Tipuri de sisteme de coordonate.....	6
3. Prezentarea stadiului actual al sistemelor GNSS	7
3.1. Sistemul de poziționare cu sateliți GPS.....	7
3.1.1. Sateliții sistemului satelitar GPS	7
3.1.2. Semnalele GPS.....	7
3.2. Sistemul Glonass	7
3.2.1. Sateliții sistemului satelitar Glonass	7
3.2.2. Semnalele satelitare Glonass	7
3.3. Sistemul Galileo	8
3.3.1. Sateliții sistemului Galileo	8
3.3.2. Semnalele sistemului Galileo	8
3.4. Compatibilitatea si interoperabilitatea sistemelor GNSS	8
4. Prezentarea problematicei la nivel IGS	9
4.1. Pregatirea segmentului terestru în vederea implementării constelației Multi-GNSS	9
4.1.1. Rețeaua Multi-GNSS IGS	9
4.2. Dezvoltarea conceptului Multi-GNSS în viitorul apropiat.....	10
5. Rezultatele obținute la nivel internațional	11
6. Studiu de caz: Îmbunătățirea preciziei de poziționare în GNSS utilizând tehnologia multi-GNSS.....	14
6.1. Analiza performanței tehnologiei Multi-GNSS utilizând date de la stația POTSDAM (POTS00DEU).....	14
6.2. Analiza rezultatelor obținute la stația IGS POTSDAM la data de 03.01.2011 utilizând un singur sistem GNSS (GPS) în cadrul analizei	20
6.3. Analiza performanței utilizării tehnologiei Multi-GNSS în România.....	21
7. Concluzii și perspective de cercetare	34
7.1. Concluzii.....	Error! Bookmark not defined.

7.2. Contribuții personale	Error! Bookmark not defined.
7.3. Perspective de cercetare.....	Error! Bookmark not defined.
Bibliografie.....	38

1. Introducere

Completarea sistemului de poziționare globală cu sateliți NAVSTAR-GPS cu sistemele de poziționare globală GLONASS și Galileo aflate în faza de operabilitate deplină, oferă posibilitatea de a îmbunătăți precizia de poziționare folosind o metodă combinată de poziționare.

Odată cu dezvoltarea sistemelor de poziționare globală cu sateliți se caută a se utiliza concomitent determinările provenite de la diferite sisteme GNSS pentru a se îmbunătăți precizia de poziționare, dar și pentru a oferi o soluție în medii dificile în care utilizarea datelor provenite de la un singur sistem GNSS nu oferă o soluție optimă.

Progresul științei și al informaticii în majoritatea domeniilor în care oamenii activează vine cu o cerință primordială: calitate. Or, calitatea se răsfrânge în mod direct asupra produsului final înmănat utilizatorului. Utilizatorii sunt din cei mai diverși: atât persoane din sectorul civil, cât și persoane ce activează în sectorul militar.

Sectorul geodezic se bucură de o eră în care modernizarea sistemelor spațiale existente și apariția unor sisteme noi oferă posibilitatea de a rezolva problemele apărute în cazul utilizării unui sistem single-GNSS.

Lucrarea “Contribuții privind îmbunătățirea preciziei de poziționare în GNSS utilizând tehnologia Multi-GNSS” are la bază o analiză a sistemelor globale GNSS actuale precum și a semnalelor acestora. Gradul de aplicabilitate al studiului este vast deoarece în orice poziție de pe glob se poate adopta o soluție Multi-GNSS pentru a spori precizia și a rezolva problemele de vizibilitate cu ajutorul numărului relativ mare de sateliți ce sunt în prezent vizibili din orice poziție de pe Pământ; contribuția sistemului Galileo fiind substanțială deoarece vor fi disponibile servicii destinate aplicațiilor civile de înaltă calitate, servicii care în cazul celorlalte sisteme GNSS sunt destinate doar utilizatorilor autorizați și aplicațiilor militare.

Scopul lucrării este acela de a prezenta maniera în care se pot utiliza date concomitent provenind de la mai multe sisteme satelitare și totodată de a sublinia necesitatea adoptării unei soluții combinate – Multi-GNSS – în medii dificile (cu preponderență în medii în care fenomenul de multipath este prezent – medii urbane dens construite sau zone cu vegetație).

Lucrarea este structurată pe 7 capitole, fiind prezentate sistemele de referință utilizate în GNSS – sisteme de timp și de coordonate – se prezintă stadiul actual al sistemelor GNSS prezentându-se sateliții sistemelor, semnalele precum și modernizarea semnalelor existente. Sistemele GNSS au fost astfel concepute încât să se asigure compatibilitatea și interoperabilitatea, două noțiuni extrem de importante în poziționarea precisă a punctelor.

Structurile noi de semnale au fost concepute robuste în vederea considerării fenomenului de interferență și a efectului de multipath, dar totodată vor fi capabile să înregistreze la niveluri joase ale semnalului satelitar.

În cadrul capitolului ce conține studiul de caz, s-au prezentat datele utilizate în cadrul analizei, metodele și rezultatele, precum și o analiză de semnal interogată funcție de sistemul satelitar utilizat, frecvență, precum și funcție de introducerea mai multor sisteme satelitare/excluderea acestora.

Rezultatele depind foarte mult de câte sisteme GNSS sunt incluse în analiză, tipul observațiilor (de fază, de cod, combinate), tipul informațiilor cu privire la orbită (broadcast, precise), de modelele utilizate pentru estimarea influențelor troposferei, ionosferei. Cu cât modelul de procesare utilizat include toate aceste erori, cu atât precizia este puternic îmbunătățită.

Rezultatele analizei sunt prezentate în Sistemul topocentric north, east, up (n,e,u) care este un sistem asociat unui plan tangent cu normala la plan orientată după direcția dată de vectorul asociat punctului determinat.

În concluzie, utilizând mai multe sisteme satelitare concomitent în cadrul preluării măsurătorilor, precum și în cadrul prelucrării acestora, precizia este sporită cu până la două ordine de mărime.

2. Sisteme de referință utilizate în GNSS

2.1. Scări de timp utilizate în Geodezia Spațială

2.1.1. Scări de timp ce țin cont de rotația Pământului

Sistemele de măsurare a timpului iau în considerare procese periodice asociate cu Rotația Pământului, mecanica cerească sau procese de tranziție a nivelurilor de energie ale oscilatoarelor atomice.

Tabel 2-1: Tipuri de scări de timp

Procesul periodic	Sistemul de timp
1. Rotația Pământului	Timp Universal (TU) Timp Sideral Greenwich (GMST)
2. Revoluția Pământului	Timp Dinamic Baricentric (TDB) Timp Dinamic Terestru (TDT)
3. Oscilații atomice	Timp Atomic Internațional (TAI) Timp Universal Coordonat (UTC) Timp GPS

2.1.2. Scări de timp ce țin cont de mișcarea de revoluție a Pământului

Timpul efemeridelor

Timpul efemeridelor (ET) a fost adoptat în anul 1952 ca și scară de timp utilizată în mecanica Newtoniană. A fost definit funcție de revoluția Pământului în jurul Soarelui, și a fost declarat independent de neregularitățile mișcării polare și ale ratei rotației Pământului.

Secunda ET a fost considerată ca și secunda SI din intervalul de timp 1956-1967 și definită ca și fracție anuală

$$\text{Secunda ET} = \frac{1}{31556925.9747} \quad (2.1)$$

2.1.3. Timpul atomic

TAI (Timpul Atomic Internațional) a fost definit ca și timp de referință de către Biroul Internațional al Orei. Epoca inițială a fost egală cu UT2 la 1 Ianuarie 1958.

Este menținut de ceasuri de atomice de înaltă precizie aflate la institute standard dispuse de-a lungul Globului, fiind un timp statistic. Relația de bază între scara de timp TAI și cea ET este un offset constant de 32.184 s. (ESA, 2013)

2.2. Sisteme de coordonate utilizate în Geodezia spațială

2.2.1. Tipuri de sisteme de coordonate

Coordonatele sateliților, precum și cele ale receptoarelor, trebuie exprimate într-un sistem de coordonate foarte bine definit pentru a se efectua o poziționare precisă GNSS. Se prezintă două tipuri de sisteme de referință utilizate în Geodezia spațială: Sistemul Convențional Cerească de Referință (CRS sau sistemul de referință convențional inerțial CIS) și Sistemul Convențional Terestru de Referință (TRS).

Sistemul Convențional Cerească de Referință (CRS) este un sistem cvasi-inerțial de referință deoarece este afectat de accelerația datorată mișcării de revoluție a Pământului. Are originea în centrul de masă al Pământului (geocentru)

Sistemul Convențional Terestru de Referință (TRS) este cel mai utilizat, fiind aproximarea cea mai bună a unui sistem natural și este considerat sistemul de bază al tehnologiei GNSS în care se realizează poziționarea absolută 3D. Originea acestui sistem este centrul de masă al Pământului (geocentru).

Transformarea coordonatelor din rețea de referință cerească geocentrică în rețea de referință terestră se efectuează prin utilizarea rotațiilor. Pentru un vector arbitrar x , transformarea este:

$$x_{TRF} = R^M R^S R^N R^P x_{CRF}, \quad (2.2)$$

Unde

R^M ... matricea de rotație pentru mișcarea polilor;

R^S ... matricea de rotație pentru timpul sideral Greenwich;

R^N ... matricea de rotație pentru nutație;

R^P ... matricea de rotație pentru precesie.

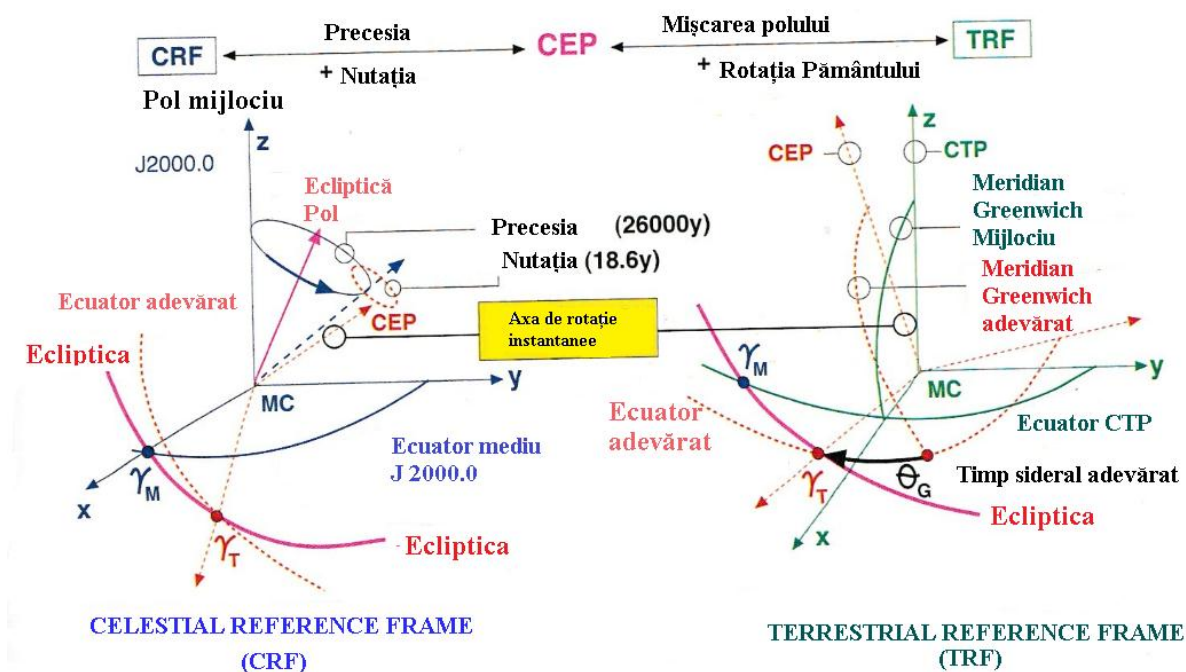


Fig. 2-1 Transformarea din rețea CRF în TRF (după ESA, 2013)

3. Prezentarea stadiului actual al sistemelor GNSS

La nivel internațional se caută să se îmbunătățească precizia de poziționare folosind tehnologia GNSS prin diverse metode, iar una din metodele de actualitate este posibilitatea de a utiliza o tehnică de poziționare combinată a sistemelor de poziționare globale și regionale sau de augmentare în vederea obținerii unei precizii de poziționare superioare, asigurarea vizibilității în zone obstrucționate, îmbunătățirea factorului DOP.

Sistemele de poziționare globală au fost astfel concepute încât să se asigure compatibilitatea și interoperabilitatea, caracteristici ce fac posibilă utilizarea tehnologiei Multi-GNSS.

3.1. Sistemul de poziționare cu sateliți GPS

3.1.1. Sateliții sistemului satelitar GPS

Arhitectura sistemului satelitar GPS are la bază aranjarea sateliților în blocuri: Block I - Sateliții GPS Experimentali; Block II și II A - Sateliții GPS Operaționali; Block II R - Sateliți Operaționali de înlocuire; Block II R-M - Sateliții Modernizați; Block II F - Sateliți în curs de lansare; Block III. Fiecare bloc conține un set de sateliți lansați pe orbită într-un interval de timp prestabilit.

Sateliții GPS au atins Faza de operabilitate totală (FOC) în Martie 1994, perioadă în care s-a atins pragul de 24 sateliți operaționali din Block II/IIA, dar a fost declarată în Iulie 1995. (Hoffman-Wellenhof, 2008)

3.1.2. Semnalele GPS

Sistemul GPS utilizează tehnica CDMA (CODE DIVISION MULTIPLE ACCES), pentru a transmite diferite semnale pe aceeași frecvență radio prin modulare (Enge and Misra, 1999).

Următoarele tipuri de coduri și mesaje sunt modulate pe cele două unde purtătoare (L1 și L2): C/A; P; D(t).

Modernizarea semnalelor GPS implică introducerea unor noi semnale pe frecvența L5, precum și introducerea de noi coduri modulate pe diferite frecvențe – L2C, L5C și L1C disponibile utilizatorilor civili, precum și codul militar M.

3.2. Sistemul Glonass

3.2.1. Sateliții sistemului satelitar Glonass

Generațiile sistemului Glonass: Prototip (Generația zero); Prima Generație; A Doua Generație de Sateliți, denumită Glonass – M (Uragan – M); A Treia Generație, denumită Glonass – K ce include sateliți ce fac posibil accesul la noul cod civil CDMA pe banda G3.

FOC (Faza de operabilitate totală) a fost atinsă în Decembrie 2011. (ESA, 2013)

3.2.2. Semnalele satelitare Glonass

Semnalele GLONASS sunt transmise pe două frecvențe radio pe banda G pe frecvențele G1 și G2.

Fiecare satelit Glonass transmite pe o anumită frecvență din cadrul benzii. Această frecvență permite determinarea numărului canalului de frecvență și permite receptoarelor să identifice sateliții cu ajutorul tehnicii FDMA (FREQUENCY DIVISION MULTIPLE ACCES). Modernizarea semnalelor Glonass face posibilă transmiterea semnalelor CDMA pe benzile G1, G2, G3 (L3), și pe banda GPS L5 în scopul de a transmite semnalele FDMA pe benzile G1, G2.

Modernizarea semnalelor Glonass. Introducerea de noi semnale și utilizarea tehnicii CDMA.

În cadrul modernizării semnalelor Glonass, s-a avut în vedere implementarea unei noi frecvențe G3 specifică sateliților GLONASS-K. Acest semnal va genera un nou cod civil C/A₂, precum și un nou cod militar P₂ pentru aplicații de tip Safety Of Life (SOL).

Adiția tehnicii CDMA, precum și a tehnicii FDMA, a fost posibilă odată cu lansarea sateliților Glonass – K în febr. 2011, furnizând semnale de tip CDMA pe o frecvență $f = 1202.025 \text{ MHz}$ pe banda G3 apropiată de frecvența E5b specifică Galileo.

3.3. Sistemul Galileo

3.3.1. Sateliții sistemului Galileo

- Faza experimentală – au fost lansați doi sateliți experimentali în perioada 2005 – 2008 de tip GIOVE (Galileo In - Orbit Validation) denumiți GIOVE A și GIOVE B.
- Faza IOV. În această fază se efectuează teste pe orbită/la sol.
- Faza FOC. Constelația Galileo a atins un număr de 18 sateliți, iar faza de operabilitate totală se așteaptă a fi atinsă în intervalul 2019-2020 ajungându-se la o constelație de 27 sateliți și trei sateliți de înlocuire.

3.3.2. Semnalele sistemului Galileo

Semnalul E1 este disponibil serviciilor OS, CS, SoL și PRS. Este compus din 3 semnale de navigație modulate pe banda L1. E1-A este criptat și disponibil doar utilizatorilor autorizați PRS, conținând date PRS. Componentele E1-B și E1-C sunt semnale disponibile utilizatorilor civili având coduri necriptate. E1-B este un canal de date, iar E1-C este un canal pilot (fără date).

Semnalul E6 este un semnal dedicat serviciilor CS și PRS. Este compus din 3 semnale de navigație modulate pe banda E6. E6-A este criptat și accesibil doar utilizatorilor autorizați PRS. E6-B și E6-C sunt accesibile serviciului comercial (CS) și include un canal cu date și un canal pilot. Codurile sunt criptate pe frecvența E6 și este similară benzii B3 specifică BeiDou.

E5a este caracteristic serviciului Open Service. Include două componente: E5a-I (ce include date) și E5a-Q. Pe această frecvență se transmit informații cu privire la poziționare (această frecvență se suprapune peste L5 caracteristică GPS, B2a caracteristică BeiDou și L5 caracteristică Glonass).

E5b este caracteristic serviciului OS, CS și SoL. Este disponibil accesului utilizatorilor și include două componente: E5b-I (ce include date) și E5b-Q (acest semnal este comun B2b specific BeiDou, precum și G3 specific Glonass).

Componentele E5a și E5b sunt modulate pe frecvența E5 și pot fi prelucrate împreună ca și un singur semnal cu un receptor specific, reducându-se efectul de multipath și de zgomot. (ESA, 2013)

3.4. Compatibilitatea și interoperabilitatea sistemelor GNSS

Compatibilitatea se referă la abilitatea a două servicii de a fi utilizate împreună sau separat fără a interfera cu semnalul sau cu serviciul fiecăruia.

Interoperabilitatea se referă la abilitatea de a utiliza două sau mai multe servicii împreună pentru a atinge performanțe ridicate la nivel de utilizator. Unele semnale au fost concepute intenționat separat spre a se evita erorile comune ale sistemelor. (Hoffman-Wellenhof, 2008)

Sporirea numărului de sateliți și implicit a semnalelor generează un număr mai mare de observații, prin urmare factorul DOP (Dilution of Precision) va scădea și în consecință precizia de poziționare este ridicată.

Fiecare sistem are propriul său sistem de coordonate, prin urmare coordonatele sateliților trebuie calculate în același sistem unic de coordonate înaintea procesului de compensare a observațiilor. Fiecare diferență de datum se regăsește în eroarea orbitală. Parametrii de transformare se regăsesc într-o transformare Helmert. (Hoffman-Wellenhof, 2008)

În ultima versiune a formatului **RINEX 3.03** se prezintă specificațiile având în vedere posibilitatea generării componentelor într-o manieră combinată (ex: Observațiile se prezintă într-un singur fișier). Fișierele de navigație se pot prezenta separat cu specificațiile fiecărui sistem GNSS în parte sau printr-un singur mesaj de navigație caracteristic sistemelor GNSS utilizate în analiză sub condiția repetării Header-ului pentru fiecare sistem GNSS în parte.

4. Prezentarea problematicei la nivel IGS

4.1. Pregătirea segmentului terestru în vederea implementării constelației Multi-GNSS

Cu patru sisteme satelitare noi (BeiDou, Galileo, QZSS, IRNSS) împreună cu sistemele satelitare existente aflate în faza de modernizare, clasa sistemelor satelitare spațiale trece printr-o fază de schimbare. Serviciul Internațional GNSS (IGS) a inițiat serviciul Multi-GNSS Experiment, denumit MGEX, pentru a permite familiarizarea utilizatorului cu noile sisteme satelitare, precum și a permite analiza încorporării acestora într-o modelare și o analiză satelitară globală de înaltă precizie.

Disponibilitatea semnalelor decodificate pe trei frecvențe face posibilă o nouă abordare în vederea determinării ambiguităților în cadrul poziționării relative diferențiale GNSS cu ajutorul observațiilor asupra fazei purtătoare și totodată oferă o precizie considerabilă în determinarea întârzierii semnalului satelitar cauzată de ionosferă.

Cele șase sisteme satelitare spațiale sunt augmentate de cele 13 sisteme SBAS având constelații distribuite pe orbite geostaționare. Un număr în creștere de sisteme spațiale de augmentare geostaționare de tipul SBAS oferă semnale pe două frecvențe L1/L5 ce pot fi înregistrate de receptoarele moderne GNSS și care pot fi dezvoltate în ramura aplicațiilor de poziționare precisă. (IGS – MGEX, 2017)

4.1.1. Rețeaua Multi-GNSS IGS

A fost dezvoltată o rețea Multi-GNSS de către IGS distribuită pe tot Globul, în dezvoltarea celor deja existente (GPS și GLONASS), iar pe baza informațiilor obținute de la agenții naționale, respectiv universități, s-a ajuns la un număr de 90 stații în componența rețelei MGEX la care s-au adăugat 10 stații din zona Asia Pacifică, ajungându-se în final la un număr de 125 stații, iar în septembrie 2015 rețeaua a fost integrată în cadrul rețelei IGS.

MGEX înglobează resurse date de instituții ce și-au modernizat rețelele de stații de monitorizare GNSS sau care și-au stabilit noi stații de monitorizare multi-GNSS capabile a înregistra semnale multiple. MGEX are la bază o rețea globală eterogenă ce înglobează la o scară largă. Cele mai comune receptoare sunt cuprinse în secțiunea Producători. Majoritatea zonelor utilizează antene de tip *choke-ring*, dar sunt folosite preponderent și antene de tip *grade*. (IGS – MGEX, 2014)



Fig. 4-1: Rețeaua Multi-GNSS IGS (www.igs.com)

În Iulie 2015, IGS a reușit a integra corecțiile în modelarea centrului de fază specific antenei în cadrul sistemelor satelitare nou dezvoltate (Galileo, BeiDou, QZSS, IRNSS).

MGEX utilizează date de la NASA, Institutul Geografic Național Francez (IGN) și din arhiva BKG obținându-se date satelitare, precum și distribuie parametrii orbitelor satelitare colectate de rețeaua MGEX. Pentru a facilita aceste activități, a fost adoptat formatul RINEX 3 (Receiver Independent Exchange Format 3). Introducerea unor formate extinse de stocare a datelor este planificată într-o fază în care se coordonează utilizatorii MGEX cu infrastructura IGS.

S-au creat și alte formate de prezentare a datelor satelitare pe lângă formatul RINEX sau RTCM, și anume formatul MSM ale cărui mesaje se pot plia pe toate constelațiile satelitare, semnale și observații satelitare în vederea oferirii unei compatibilități totale cu informațiile conținute în fișierele RINEX. (IGS – MGEX, 2014)

4.2. Dezvoltarea conceptului Multi-GNSS în viitorul apropiat

Crearea rețelei MGEX a pus bazele familiarizării cu noi sisteme și semnale GNSS. Primii pași au fost efectuați prin calcularea orbitelor precise pentru fiecare sistem GNSS și prin integrarea MGEX la rețeaua IGS. Se așteaptă ca în următorii ani să se atingă următoarele obiective:

- Extinderea rețelei Multi-GNSS la rețeaua IGS;
- Difuzarea efemeridelor precise pentru sistemele satelitare noi (BeiDou, IRNSS, și opțional a sistemelor spațiale de augmentare SBAS);
- Dezvoltarea unui nou semnal multi-GNSS/multi-semnal în procesarea datelor și a modelării ionosferei;
- Caracterizarea noilor sateliți GNSS, precum și dezvoltarea unor standarde în vederea procesării comune a datelor cu privire la orbite și a ceasurilor satelitare (acest obiectiv a fost atins);
- Dezvoltarea controlului de calitate a semnalului satelitar multi-GNSS/multi-semnal (în cadrul erorilor de zgomot, detectării *cycle slips*, detectării fenomenului de multipath) extinse la întreaga rețea.

Dezvoltarea rețelei MGEX se axează pe încorporarea constelațiilor satelitare și totodată pe o descriere îmbunătățită a segmentului spațial și terestru. (IGS – MGEX, 2014)

5. Rezultatele obținute la nivel internațional

În diverse lucrări de specialitate se studiază impactul pe care-l are tehnologia Multi-GNSS în îmbunătățirea preciziei de poziționare 3D.

Din anul 2009 până în aprilie 2011 se observă o îmbunătățire a preciziei de poziționare a stațiilor permanente utilizând aportul observațiilor Glonass adăugate observațiilor GPS în sesiuni de 24 ore pe o perioadă de 2,5 ani în rețeaua de referință APREF (Asian-Pacific Reference Frame). (A. Nardo, 2011)

Din cauza faptului că sistemul de poziționare rusesc Glonass n-a fost pe deplin funcțional în acel interval de timp, ajungându-se la constelația de 24 sateliți pe 3 planuri orbitale în decembrie 2011, s-a ajuns la concluzia că îmbunătățirea preciziei de poziționare este de 30%.

Deși constelația sistemului Glonass nu era pe deplin operațională observându-se un număr mai mic de sateliți (în medie 2-3), observațiile Glonass au contribuit la îmbunătățirea preciziei de poziționare pe baza îmbunătățirii factorului DOP (Dilution of Precision). Aceste îmbunătățiri sunt importante în aplicații cinematice, în locuri obstrucționate de vegetație în care vizibilitatea e redusă, în zone dens construite, canioane, zone muntoase.

În general în poziționarea relativă de precizie, se utilizează observații asupra fazei unei purtătoare. Cele mai utilizate tehnici de prelucrare sunt cele în care se generează ecuații de diferențe simple, duble și triple între ecuațiile de observație inițiale (nediferențiate).

Fiecare sesiune zilnică de măsurări a fost procesată în paralel utilizând strategia ce implică patru pași: (1) Prelucrarea datelor (descărcarea datelor, reformatarea fișierelor), (2) Editarea datelor (sincronizarea ceasurilor receptoarelor, detectarea *cycle slips*, estimarea unei prime aproximații a soluției), (3) Determinarea ambiguităților, (4) Ajustarea finală.

Efemeridele precise GPS (IGS) și GLONASS (IGL) au fuzionat într-un singur fișier, iar sincronizarea ceasului receptorului a fost efectuată prin utilizarea codurilor GPS. Pentru fiecare sesiune zilnică de observații satelitare, s-a căutat să se maximizeze observațiile GPS.

A fost obținută o soluție de tip *float* de diferențe duble, având la bază modelul Ionosphere Free prin procesarea unui grup de cinci stații individuale și combinând ecuațiile normale ale grupului pentru a determina o soluție aproximativă a rețelei. Ambiguitățile sunt fixate prin valori întregi pe baza modelului Quasi Ionosphere Free. Fiecare bază este procesată separat, păstrând fixe întârzierile cauzate de efectul troposferei calculate la zenit (ZTDs) și coordonatele unei singure stații estimate în soluția *float*.

Nu s-a reușit nicio încercare de a estima ambiguitățile GLONASS, deoarece strategia de determinare a ambiguităților utilizată (SIGMA Beutler et al. 2007) poate fi aplicată doar pentru baze ce nu depășesc 20 km.

Estimările finale, bazate pe un eșantion de 180 de date, sunt coordonatele zilnice și valorile ZTD (eșantion la interval de 2 h).

Numărul ridicat de observații satelitare datorită includerii observațiilor GLONASS ar trebui să aibă un aport în estimarea coordonatelor stațiilor, precum și în determinarea ZTD, dar această îmbunătățire este redusă de o creștere a numărului parametrilor ce trebuie estimați, în principiu ambiguitățile GLONASS.

Luând în calcul o procesare pe termen lung, se iau în calcul estimările coordonatelor prin două variante (GPS și GPS+GLONASS), în scopul de a evalua posibila îmbunătățire a preciziei (abaterile standard ale coordonatelor). Rezultatele se raportează stațiilor localizate în Antarctica,

Australia și celorlalte 2 stații amplasate pe limita rețelei APREF, pentru a evidenția posibilul efect pe care l-ar putea avea sistemul GNSS GLONASS datorită înclinării orbitei la latitudini ridicate.

Tabel 5-1: Valori specifice rețelei CU de-a lungul a 160 zile din anul 2010

Numărul receptoarelor	84
Numărul sateliților observați	31
Număr fracț. ambiguități fixate per zi	0.83
Procent ambiguități fixate per zi	83%
Raport receptoare GPS-only si GPS+GLO	0.6
Număr ZTD înregistrate per receptor/per zi	13
Număr epoci medii/ sat pass (180 sampl.rate)	130
Număr mediu cycle slips per pass	3

Tabel 5-2: Îmbunătățiri fracționare, intervalul de timp (T) și numărul discontinuităților (nd), stațiile fiind împărțite funcție de latitudine

Site	F_n	F_e	F_u	$T[y]$	n_d
MCM4	0.03	-0.02	-0.03	2.2850	0
VESL	-0.06	0.01	-0.08	2.2820	0
SYOG	-0.01	0.00	-0.02	2.2820	0
DAV1	0.03	0.04	-0.02	2.2140	1
MAW1	0.02	0.00	-0.03	2.2710	0
CAS1	0.03	0.12	0.02	2.2850	0
PALM	-0.03	0.01	0.01	2.2820	0
KERG	0.03	-0.01	0.00	2.2850	0
ALIC	0.01	0.20	0.19	2.2850	1
GUAM	0.01	-0.03	0.00	2.2850	1

Pentru stațiile considerate, matricile de varianță covarianță au fost extrase din fișierele SINEX și convertite în sistem de referință nou (north, east, up). Așa cum vedem îmbunătățirea derivată din matricea de varianță-covarianță este aproximată cu următoarea relație:

$$Q_{GPS+GLONASS} \approx 0.66Q_{GPS} \quad (5.1)$$

În concluzie această perioadă de 2 ani și jumătate de analiză zilnică a fost efectuată cu scopul de a evalua impactul pe termen lung al sistemului GLONASS în studii geodinamice și de întreținere a rețelei de referință. În acest caz îmbunătățirea preciziei de obținere a coordonatelor pentru anumite stații ale rețelei a fost obținută cu ajutorul următoarei relații:

$$Q_{GPS+GLONASS} = \frac{\alpha}{1+\alpha} Q_{GPS} \quad (5.2)$$

Discuție: α – este factorul Bruyninx (2006) și reprezintă raportul dintre numărul sateliților GPS și numărul sateliților GLONASS.

Totodată stabilitatea rețelei de referință nu este afectată de observațiile adiționale GLONASS.

Conform publicației lui Dach (2011), în cazul observațiilor GPS, variația centrului de fază (PCV) poate cauza o diferență medie de 1 cm în modelarea fazei L3 observabilă de sistemul GLONASS (în comparație cu PCV specific GLONASS), care este absorbită parțial de bias-ul sistemului GPS-GLONASS, de altfel, eroarea orbitei sistemului spațial GLONASS ar trebui luată în considerare deoarece reprezintă dublul erorii aferente sistemului GPS, cauzând o eroare de 4mm la o bază de 2000 km.

Este loc suficient de îmbunătățire a modelului funcțional și a modelului stochastic, o estimare grosolană bazată pe numărul de observații arată o îmbunătățire sub-milimetrică a sistemului combinat GPS+GLONASS. Într-un scenariu din viitorul apropiat, în care numărul sateliților GPS va egala numărul sateliților GLONASS, îmbunătățirea preciziei de poziționare va fi de aproximativ 30%.

Pentru a profita pe deplin de noile semnale Galileo, este esențială determinarea cu rigurozitate a caracteristicilor stochastice. Au fost utilizate sesiuni de observații Galileo pentru a studia caracteristicile stochastice ale semnalului E1. Ca și produs secundar, sunt de asemenea determinate caracteristicile stochastice ale semnalului P1, specific GPS, fiind utilizate în scopul de a verifica modelul stochastic dezvoltat de semnalele Galileo. (Akram Afifi, 2013)

S-au utilizat semnalele combinate L1/E1 specifice GPS și Galileo pentru a verifica modelul stochastic.

Pentru a verifica rezultatele obținute, este pus în aplicare modelul stochastic recent dezvoltat pentru a evalua efectul caracteristicilor stochastice în sistemul combinat GPS/Galileo PPP.

Rezultatul combinării observațiilor GPS și Galileo arată un indicator sub-decimetric de acuratețe și un procent de îmbunătățire de 30% în timpul de convergență.

S-a demonstrat faptul că sistemul Galileo oferă mai mulți sateliți vizibili la un unghi de elevație de 45° în comparație cu sistemul GPS, aspect ce face posibilă o poziționare precisă a punctelor la unghiuri de elevație ridicate. Rezultatele au demonstrat o precizie sub-decimetrică în cadrul poziționării și totodată o îmbunătățire a timpului de convergență de până la 30%, aspect posibil cu ajutorul tehnologiei cu o singură frecvență GPS+Galileo. (Akram Afifi, 2013)

Performanța atinsă în cadrul tehnologiei Multi-GNSS în mod RTK poate fi atinsă oriunde pe Glob la orice oră. Constelațiile satelitare includ Galileo și sistemul satelitar BeiDou, sistemul regional japonez QZSS și sistemul satelitar modernizat american GPS.

Performanța Multi-GNSS RTK obținută în Noua Zeelandă în care s-a analizat atât performanța tehnologiei single-GNSS RTK, cât și cea Multi-GNSS RTK combinând observațiile GPS cu cele BeiDou, Galileo și QZSS în Dunedin, Noua Zeelandă, observații efectuate de-a lungul a două zile pe parcursul anului 2015, precum și în Perth, Australia (2013). În ambele zone, lungimile bazelor au fost considerate sub 1 km, spre a se neglija efectele atmosferice. Concluziile obținute pe baza acestui studiu au la bază ideea centrală conform căreia dacă se suprapun frecvențele E1 specifică Galileo cu L1 GPS, L1 QZSS și B1 BDS și se utilizează receptoare capabile a înregistra aceste semnale combinate, se îmbunătățește considerabil precizia de poziționare.

6. Studiu de caz: Îmbunătățirea preciziei de poziționare în GNSS utilizând tehnologia multi-GNSS

6.1. Analiza performanței tehnologiei Multi-GNSS utilizând date de la stația POTSDAM (POTS00DEU)

În cadrul studiului de caz s-a analizat în prima etapă performanța utilizării unui sistem Multi-GNSS în mediul urban la nivelul stației IGS Postdam prin analizarea mai multor seturi de date și de modele.

În cadrul secțiunii 6.1 s-au utilizat date corespunzătoare săptămânii GPS 1982, ziua DOY (Day of Year):2, s-a considerat fișierul în format sp3 corespunzător săptămânii GPS 1982.

Cu ajutorul softului RTKLIB – modul RTKPOST, s-au procesat datele de la stația POTSDAM (POTS00DEU) – Germania, săptămâna GPS 1982, ziua 002.

În cadrul secțiunii de input observation file, putem previzualiza fișierul de observații mixt cu un interval de preluare a datelor de 30 s, tipurile de observații utilizate, sateliții utilizați, timpul preluării primei observații, timpul preluării ultimei observații, sateliții recepționați pe fiecare sesiune de observații.

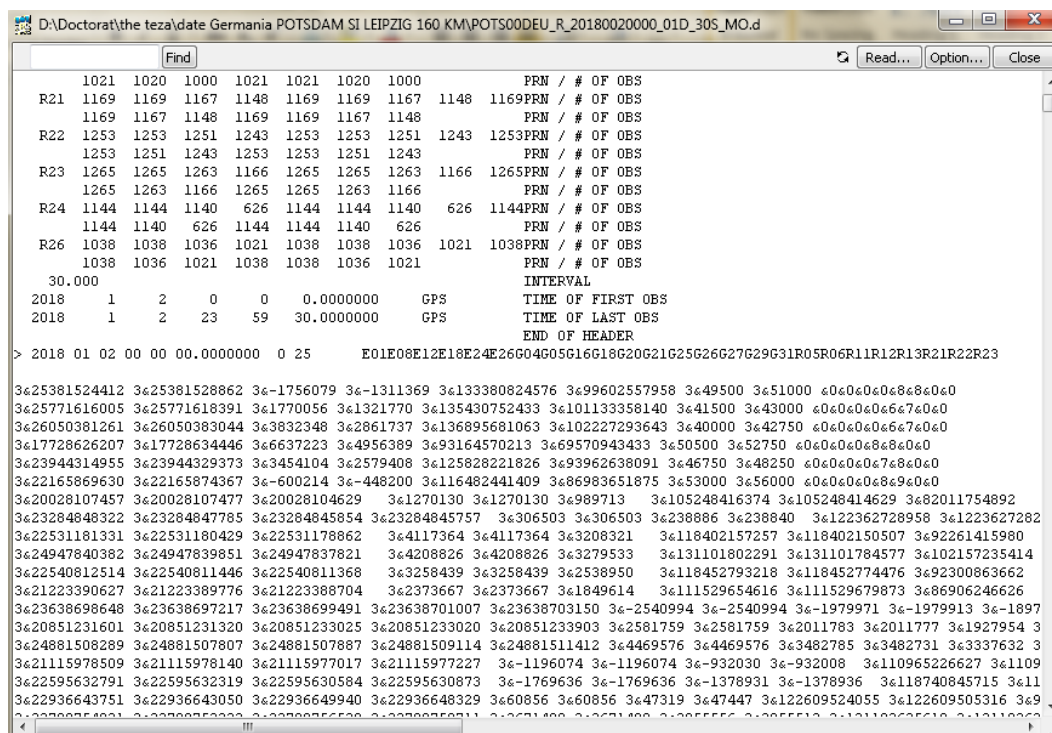


Fig. 6-1: Fișierul de observații mixte

Totodată se poate previzualiza fișierul de navigație mixt aferent sistemelor satelitare luate în considerație:

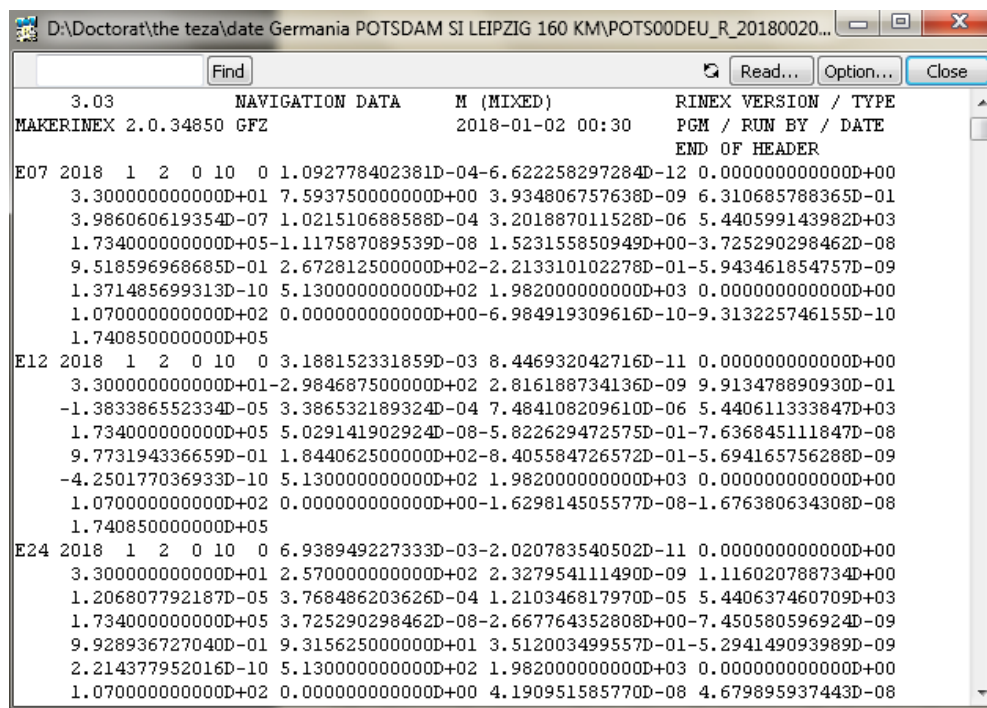


Fig. 6-2: Fișierul de navigație mixt

Dacă se prelucrează observațiile provenite de la trei sisteme satelitare (GPS, Glonass și Galileo) în modul combinat PPP-static cu trei frecvențe, utilizând unghiuri de elevație mai mari de 10°, efemeride precise și modelul Saastamoinen de prelucrare a influenței troposferei, putem observa erori milimetrice pe cele două componente (north, east), eroarea pe componenta up fiind de ordin centimetric în comparație cu eroarea pe celelalte axe.

D:\Doctorat\the teza\pots0020 - ppp-s-sp3.pos

Find

Read...Option...Close

```
% program : RTKPOST ver.2.4.2
% inp file : D:\Doctorat\the teza\date Germania POTSDAM SI LEIPZIG 160 KM\pots0020.18d
% inp file : D:\Doctorat\the teza\date Germania POTSDAM SI LEIPZIG 160 KM\POTS00DEU_R_20180020000_01d_MW.n
% inp file : D:\Doctorat\the teza\date Germania POTSDAM SI LEIPZIG 160 KM\cod19822.eph
% obs start : 2018/01/02 00:00:00.0 GPST (week1982 172800.0s)
% obs end : 2018/01/02 23:59:00.0 GPST (week1982 259140.0s)
% pos mode : ppp-static
% solution : combined
% elev mask : 10.0 deg
% dynamics : off
% tidecorr : off
% tropo opt : saastamoinen
% ephemeris : precise
% navi sys : gps glonass galileo
% antenna : ( 0.0000 0.0000 0.0000)

%
% (lat/lon/height=WGS84/ellipsoidal,Q=1:fix,2:float,3:sbas,4:dgps,5:single,6:ppp,ns=# of satellites)
% GPST latitude(deg) longitude(deg) height(m) Q ns sdn(m) sde(m) sdu(m) sdne(m) sdeu(m) sdun(m) age(s) ratio
2018/01/02 01:45:30.000 52.379298976 13.066095500 144.1529 6 4 0.0069 0.0088 0.0125 0.0016 -0.0020 -0.0044 0.00 0.0
2018/01/02 01:46:00.000 52.379298975 13.066095500 144.1529 6 4 0.0069 0.0088 0.0125 0.0016 -0.0020 -0.0044 0.00 0.0
2018/01/02 01:46:30.000 52.379298974 13.066095500 144.1530 6 4 0.0069 0.0088 0.0125 0.0016 -0.0020 -0.0044 0.00 0.0
2018/01/02 01:47:00.000 52.379298974 13.066095499 144.1530 6 4 0.0069 0.0088 0.0125 0.0016 -0.0020 -0.0044 0.00 0.0
2018/01/02 01:47:30.000 52.379298973 13.066095498 144.1530 6 4 0.0069 0.0088 0.0125 0.0016 -0.0020 -0.0044 0.00 0.0
2018/01/02 01:48:00.000 52.379298973 13.066095497 144.1530 6 4 0.0069 0.0088 0.0125 0.0016 -0.0020 -0.0044 0.00 0.0
2018/01/02 01:48:30.000 52.379298972 13.066095496 144.1530 6 4 0.0069 0.0088 0.0125 0.0016 -0.0020 -0.0044 0.00 0.0
2018/01/02 01:49:00.000 52.379298972 13.066095496 144.1530 6 4 0.0069 0.0088 0.0125 0.0016 -0.0020 -0.0044 0.00 0.0
2018/01/02 01:49:30.000 52.379298971 13.066095496 144.1530 6 4 0.0069 0.0088 0.0125 0.0016 -0.0020 -0.0044 0.00 0.0
2018/01/02 01:50:00.000 52.379298971 13.066095495 144.1530 6 4 0.0069 0.0088 0.0125 0.0016 -0.0020 -0.0044 0.00 0.0
2018/01/02 01:50:30.000 52.379298971 13.066095495 144.1530 6 4 0.0069 0.0088 0.0125 0.0016 -0.0020 -0.0044 0.00 0.0
2018/01/02 01:51:00.000 52.379298971 13.066095495 144.1530 6 4 0.0069 0.0088 0.0125 0.0016 -0.0020 -0.0044 0.00 0.0
2018/01/02 01:51:30.000 52.379298971 13.066095494 144.1530 6 4 0.0069 0.0088 0.0125 0.0016 -0.0020 -0.0044 0.00 0.0
2018/01/02 01:52:00.000 52.379298971 13.066095494 144.1530 6 4 0.0069 0.0088 0.0125 0.0016 -0.0020 -0.0044 0.00 0.0
2018/01/02 01:52:30.000 52.379298971 13.066095493 144.1529 6 4 0.0069 0.0088 0.0125 0.0016 -0.0020 -0.0044 0.00 0.0
2018/01/02 01:53:00.000 52.379298971 13.066095492 144.1529 6 4 0.0069 0.0088 0.0125 0.0016 -0.0020 -0.0044 0.00 0.0
2018/01/02 01:53:30.000 52.379298971 13.066095492 144.1529 6 4 0.0069 0.0088 0.0125 0.0016 -0.0020 -0.0044 0.00 0.0
2018/01/02 01:54:00.000 52.379298971 13.066095491 144.1529 6 4 0.0069 0.0088 0.0125 0.0016 -0.0020 -0.0044 0.00 0.0
2018/01/02 01:54:30.000 52.379298971 13.066095490 144.1528 6 4 0.0069 0.0088 0.0125 0.0016 -0.0020 -0.0044 0.00 0.0
2018/01/02 01:55:00.000 52.379298971 13.066095490 144.1528 6 4 0.0069 0.0088 0.0125 0.0016 -0.0020 -0.0044 0.00 0.0
2018/01/02 01:55:30.000 52.379298971 13.066095489 144.1527 6 4 0.0069 0.0088 0.0125 0.0016 -0.0020 -0.0044 0.00 0.0
```

Fig. 6-3: Rezultatele obținute în urma procesării PPP – Static și abaterile standard corespundente utilizând efemeride precise

În RTKPLOT putem face o analiză a factorului DOP (Dilution of Precision) și o analiză a numărului total de sateliți vizibili pe intervale orare. În figura 6-4 cu verde s-au marcat numărul de sateliți vizibili (se pot observa un număr maxim de 19 sateliți vizibili și un număr minim de 4), iar în partea de jos a figurii sunt reprezentate componentele DOP (GDOP, PDOP, HDOP, VDOP).

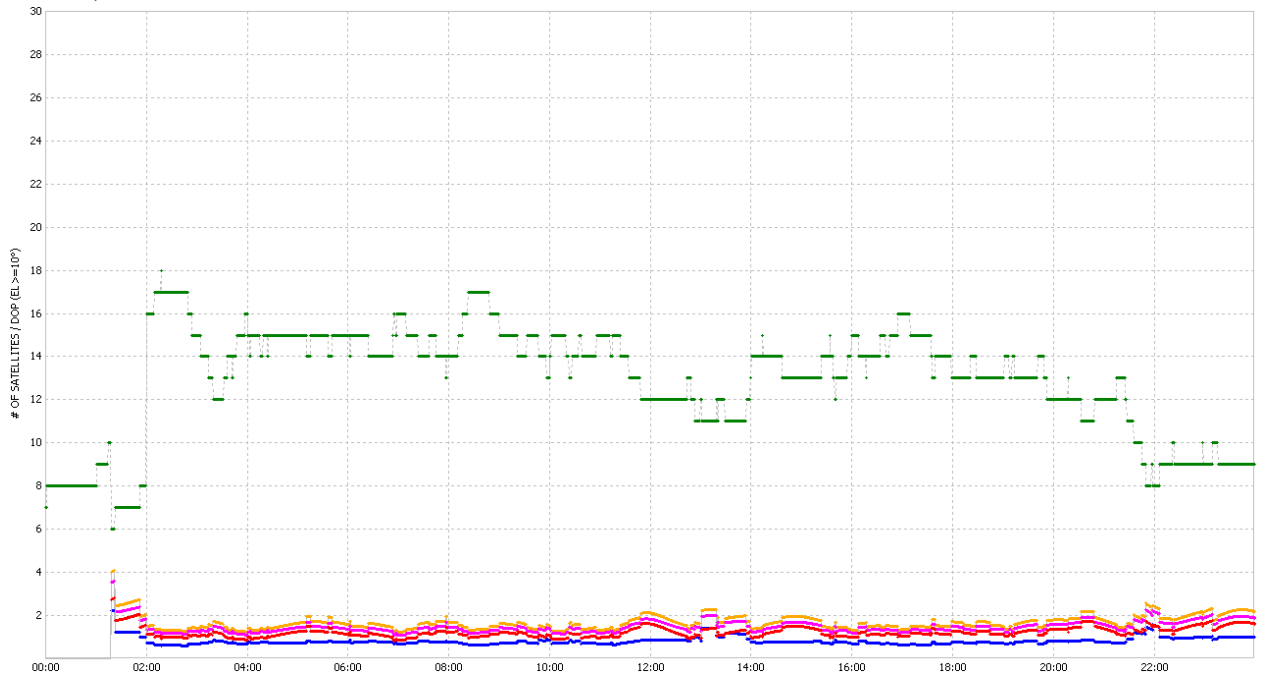


Fig. 6-4: Componentele DOP și numărul sateliților vizibili

Dacă interogăm și dorim afișarea unui singur sistem satelitar obținem următoarele rezultate pentru factorul DOP:

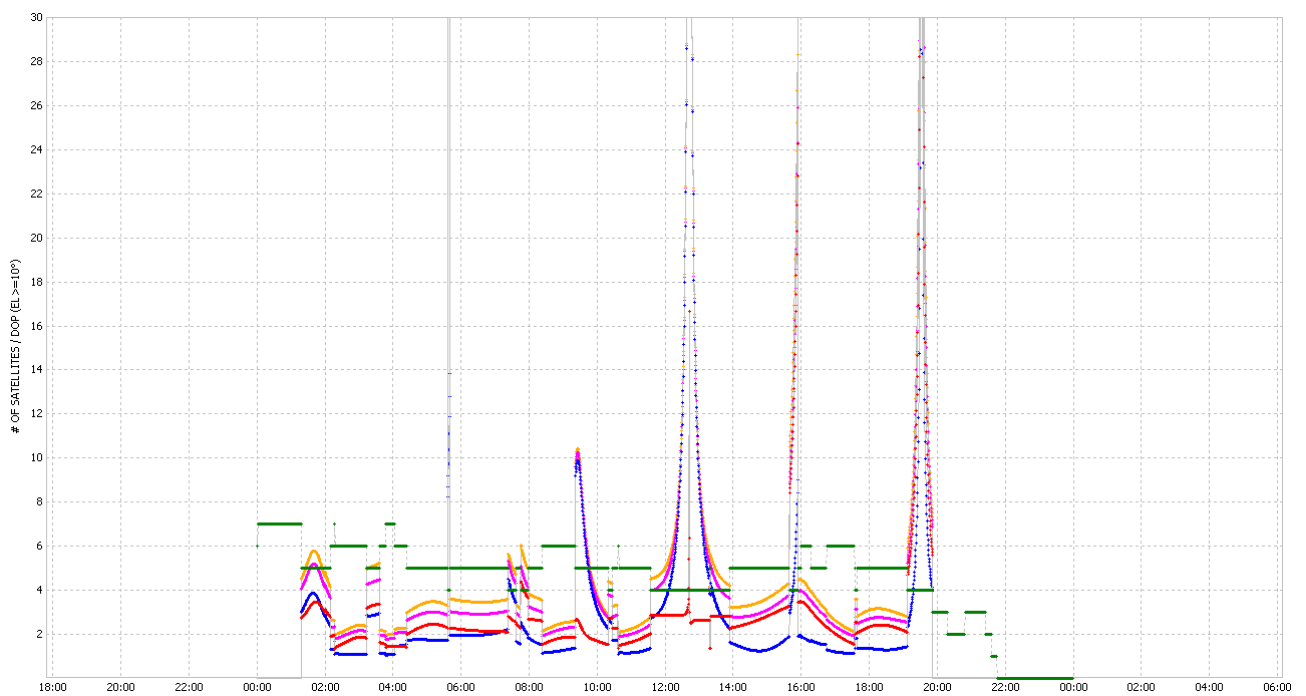


Fig. 6-5: DOP corespunzător sistemului Galileo

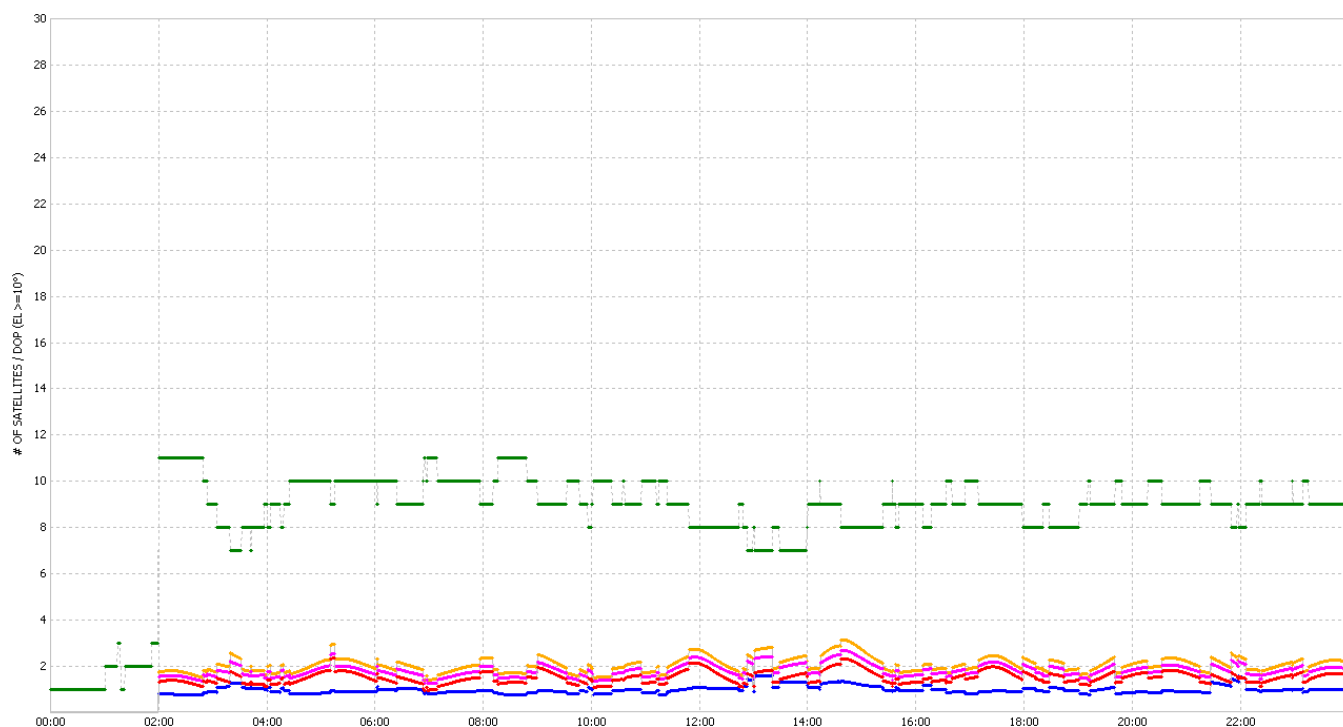


Fig. 6-6: DOP corespunzător sistemului GPS împreună cu numărul de sateliți vizibili

În cadrul figurilor de mai jos se efectuează o analiză de semnal pe diferite sisteme GNSS, frecvențe, combinații de sisteme GNSS spre a vedea în ce măsură un sistem Multi-GNSS este capabil a diminua efectul de multipath, dar și a înregistra un semnal maxim. În cele ce urmează se prezintă raportul semnal-zgomot: SNR – Signal to noise ratio pe diferite frecvențe și luând în considerație diferite sisteme GNSS. În cadrul figurii 6-7 se analizează raportul semnal – zgomot pe frecvența L1 pentru sistemele GNSS: GPS, Glonass, Galileo. Se observă valori maxime ale semnalului satelitar, atingând valoarea de 60dbHz pe L1 utilizând tehnologia multi-GNSS.

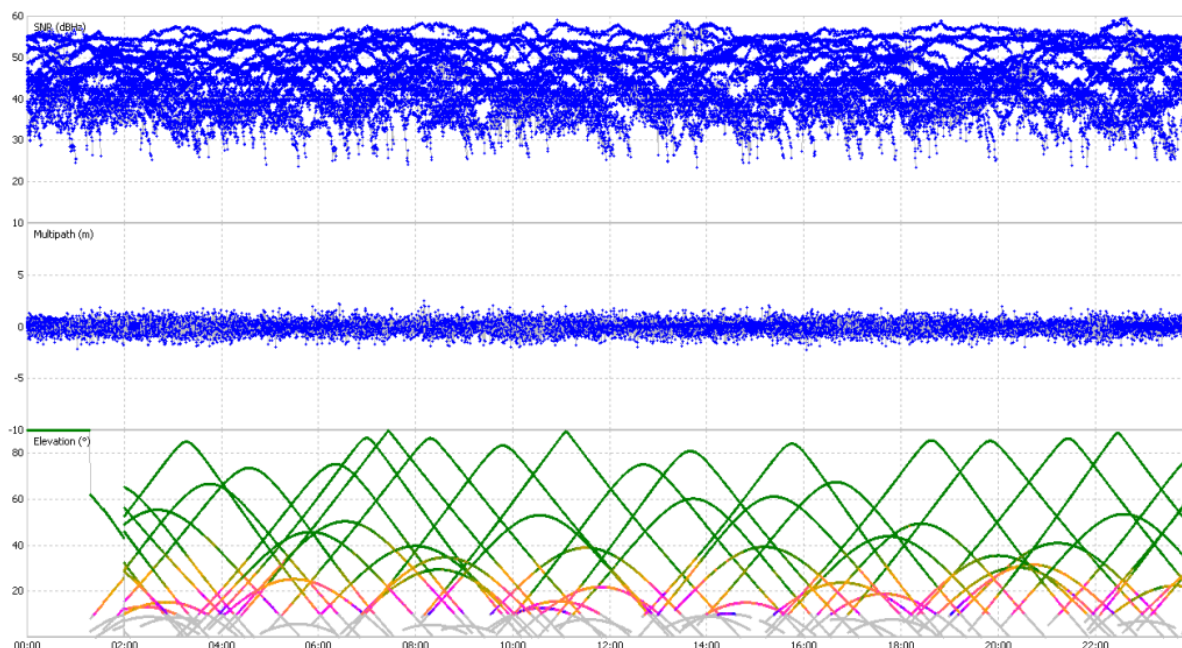


Fig. 6-7: SNR L1 – GPS, Glonass, Galileo

Dacă se analizează raportul semnal – zgomot pe L1-C pentru sistemele GNSS: GPS, Glonass, Galileo, se observă totodată valori maxime ale semnalului satelitar, indicatorul SNR atingând valoarea de 60dbHz utilizând tehnologia multi-GNSS. În cazul analizei raportului

semnal – zgomot pe frecvența L1 utilizând în analiză sistemul single-GPS, valorile indicatorului SNR variază în intervalul (30 dbHz, max 60dbHz), prin urmare utilizarea unui sistem de tipul Multi-GNSS îmbunătățește considerabil raportul semnal/zgomot, iar efectul de multipath este diminuat.

Pe frecvența L5, utilizând un sistem combinat de tipul GPS+Galileo, indicatorul SNR se află în intervalul (40 dbHz, 60 dbHz), îmbunătățindu-se față de utilizarea unui sistem single – GPS:

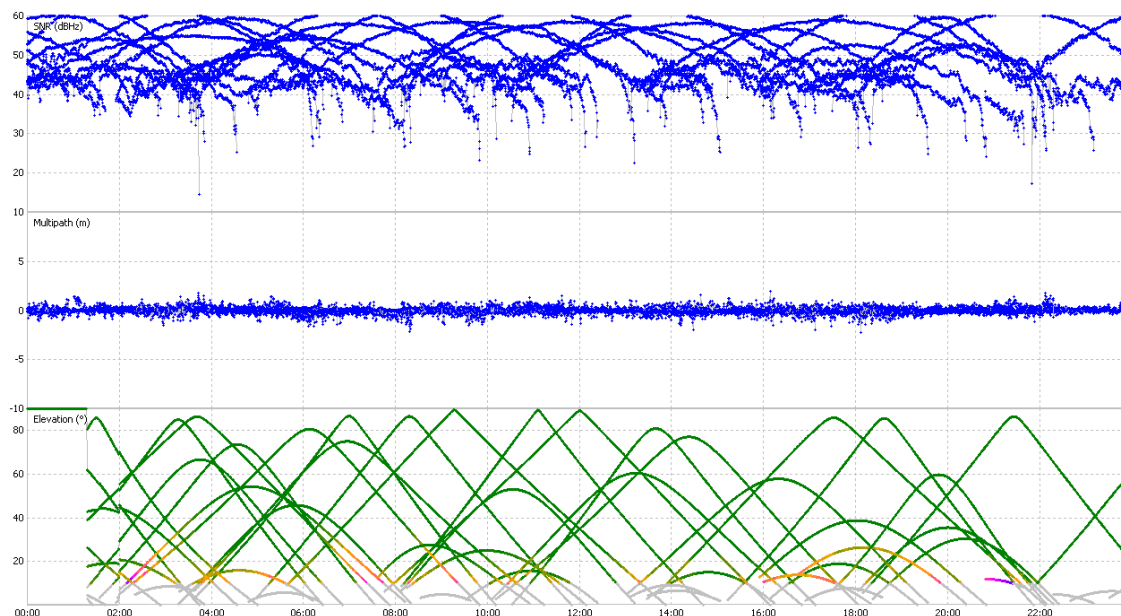


Fig. 6-8: SNR L5 – GPS, GALILEO

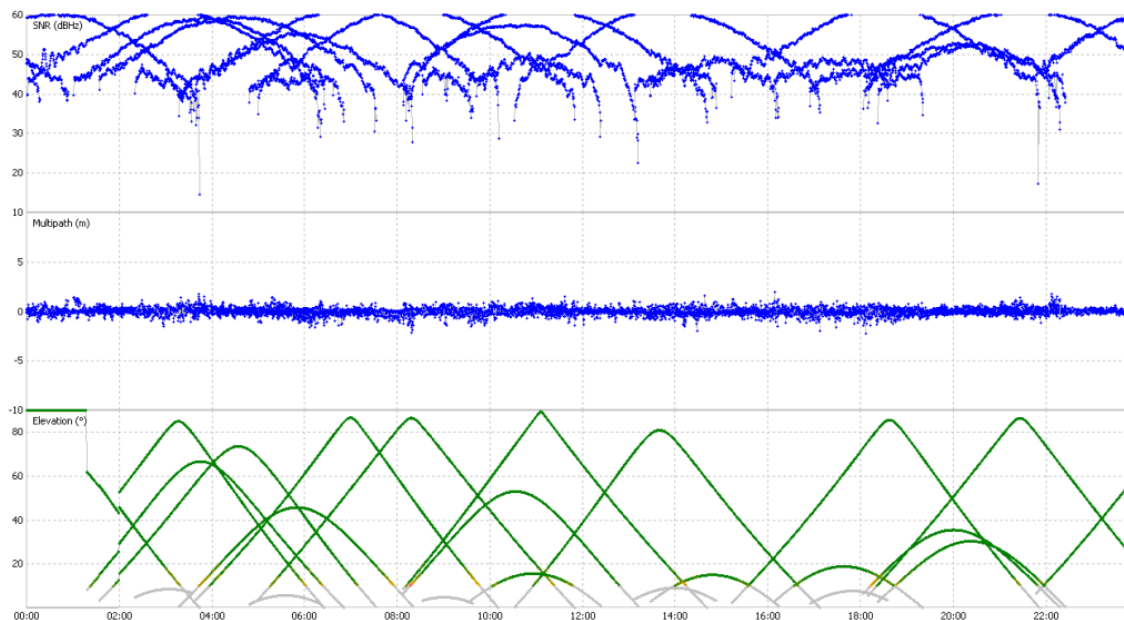


Fig. 6-1: SNR L5 - GPS

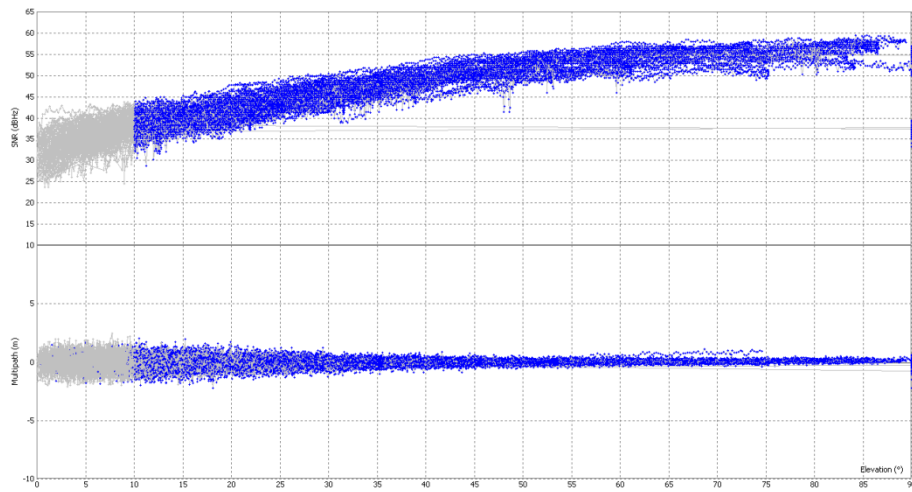


Fig. 6-10: SNR L1 + MULTIPATH – GPS, GLONASS, GALILEO

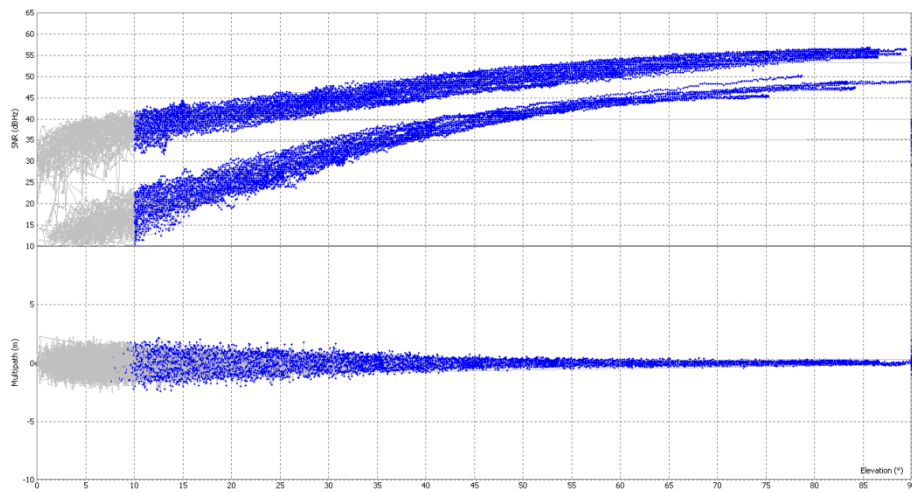


Fig. 6-11: SNR L2 MULTIPATH – GPS, GLONASS, GALILEO

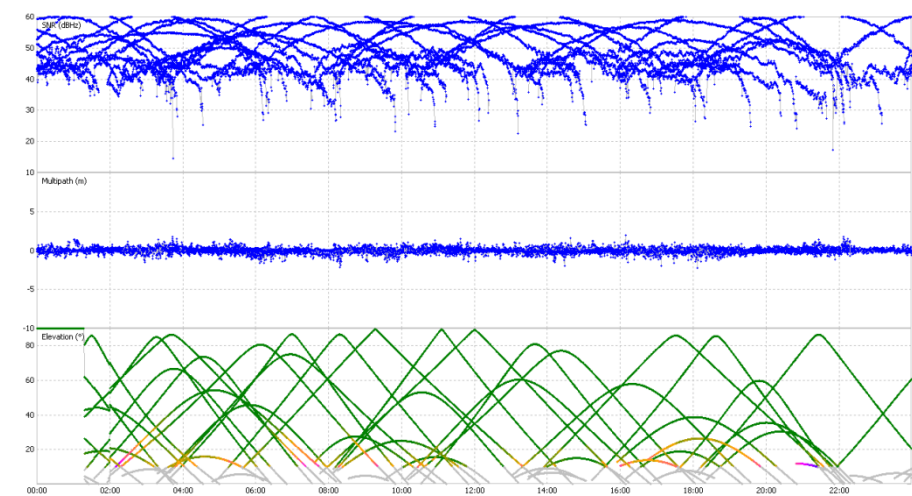


Fig. 6-12: SNR L5 – GPS, GALILEO

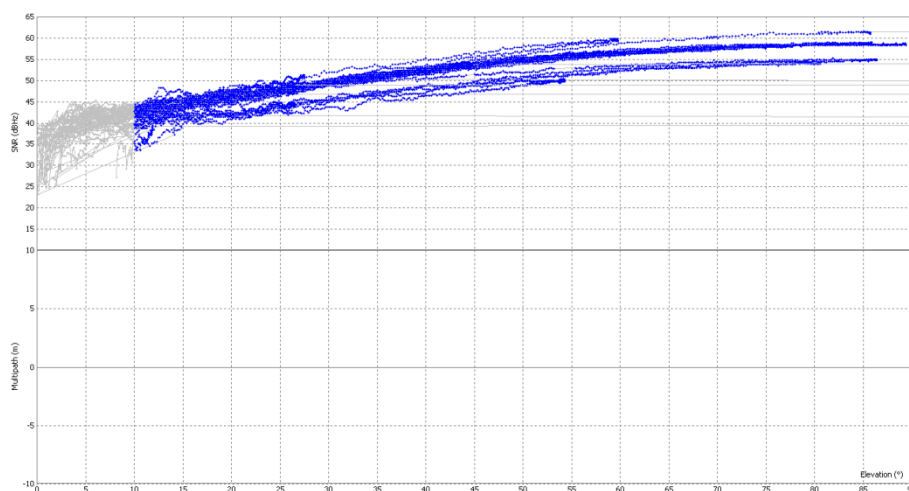


Fig. 6-13: SNR L5X – GALILEO

6.2. Analiza rezultatelor obținute la stația IGS POTSDAM la data de 03.01.2011 utilizând un singur sistem GNSS (GPS) în cadrul analizei

În cea de-a doua parte a studiului de caz se vor utiliza și analiza date provenite de la un singur sistem GNSS, la aceeași stație – POTSDAM, dar la o altă dată afectată înregistrărilor GNSS - 03.01.2011.

S-au utilizat observații de tip GPS împreună cu fișierul de navigație aferent.

Procesând datele în modul PPP –static, cu efemeride broadcast, utilizând unghiuri de elevație mai mari de 10°, utilizând două frecvențe, se pot observa abateri standard de ordinul decimetrilor, abaterea standard pe componenta up fiind evident mai mare.

DA\Doctorat\the teza\POTSDAM 2011\pots0030.pos

Find

Read... Option... Close

```
% program : RTKPOST ver.2.4.2
% inp file : D:\Doctorat\the teza\POTSDAM 2011\pots0030.11d
% inp file : D:\Doctorat\the teza\POTSDAM 2011\pots0030.11n
% obs start : 2011/01/03 00:00:00.0 GPST (week1617 86400.0s)
% obs end : 2011/01/03 23:59:30.0 GPST (week1617 172770.0s)
% pos mode : ppp-static
% solution : combined
% elev mask : 10.0 deg
% dynamics : off
% tidecorr : off
% tropo opt : saastamoinen
% ephemeris : broadcast
% antennal : ( 0.0000 0.0000 0.0000)
%
% (lat/lon/height=WGS84/Q=1:fix,2:float,3:sbas,4:dgps,5:single,6:ppp,ns=# of satellites)
% GPST latitude(deg) longitude(deg) height(m) Q ns sdn(m) sde(m) sdu(m) sdne(m) sdeu(m) sdun(m) age(s) ratio
2011/01/02 23:59:59.997 52.379301066 13.066103656 142.3973 6 8 0.1545 0.1360 0.2542 -0.0249 -0.0802 0.0623 0.00 0.0
2011/01/03 00:00:29.997 52.379301086 13.066103612 142.3908 6 8 0.1546 0.1361 0.2544 -0.0250 -0.0802 0.0625 0.00 0.0
2011/01/03 00:00:59.997 52.379301091 13.066103606 142.3840 6 8 0.1547 0.1361 0.2546 -0.0251 -0.0802 0.0627 0.00 0.0
2011/01/03 00:01:29.997 52.379301115 13.066103596 142.3787 6 8 0.1548 0.1361 0.2548 -0.0253 -0.0802 0.0629 0.00 0.0
2011/01/03 00:01:59.997 52.379301122 13.066103613 142.3738 6 8 0.1549 0.1362 0.2549 -0.0254 -0.0802 0.0631 0.00 0.0
2011/01/03 00:02:29.997 52.379301128 13.066103581 142.3711 6 8 0.1550 0.1362 0.2551 -0.0255 -0.0802 0.0633 0.00 0.0
2011/01/03 00:02:59.997 52.379301141 13.066103561 142.3623 6 8 0.1552 0.1363 0.2553 -0.0256 -0.0802 0.0635 0.00 0.0
2011/01/03 00:03:29.997 52.379301167 13.066103567 142.3558 6 8 0.1553 0.1363 0.2555 -0.0258 -0.0802 0.0637 0.00 0.0
2011/01/03 00:03:59.997 52.379301153 13.066103533 142.3501 6 8 0.1554 0.1364 0.2556 -0.0259 -0.0802 0.0639 0.00 0.0
2011/01/03 00:04:29.997 52.379301164 13.066103532 142.3555 6 8 0.1555 0.1364 0.2558 -0.0260 -0.0802 0.0641 0.00 0.0
2011/01/03 00:04:59.997 52.379301189 13.066103512 142.3448 6 8 0.1556 0.1364 0.2559 -0.0261 -0.0802 0.0642 0.00 0.0
2011/01/03 00:05:29.997 52.379301204 13.066103509 142.3402 6 8 0.1557 0.1365 0.2561 -0.0263 -0.0802 0.0644 0.00 0.0
2011/01/03 00:05:59.997 52.379301227 13.066103485 142.3370 6 8 0.1558 0.1365 0.2563 -0.0264 -0.0802 0.0646 0.00 0.0
2011/01/03 00:06:29.997 52.379301217 13.066103490 142.3333 6 8 0.1559 0.1366 0.2564 -0.0265 -0.0802 0.0648 0.00 0.0
2011/01/03 00:06:59.997 52.379301249 13.066103462 142.3270 6 8 0.1560 0.1366 0.2566 -0.0266 -0.0802 0.0649 0.00 0.0
2011/01/03 00:07:29.997 52.379301262 13.066103430 142.3242 6 8 0.1561 0.1366 0.2567 -0.0268 -0.0802 0.0651 0.00 0.0
2011/01/03 00:07:59.997 52.379301264 13.066103432 142.3204 6 8 0.1562 0.1367 0.2569 -0.0269 -0.0802 0.0652 0.00 0.0
2011/01/03 00:08:29.997 52.379301276 13.066103400 142.3174 6 8 0.1564 0.1367 0.2570 -0.0270 -0.0802 0.0654 0.00 0.0
2011/01/03 00:08:59.997 52.379301304 13.066103366 142.3106 6 8 0.1565 0.1368 0.2572 -0.0271 -0.0802 0.0656 0.00 0.0
2011/01/03 00:09:29.997 52.379301319 13.066103377 142.3066 6 8 0.1566 0.1368 0.2573 -0.0272 -0.0801 0.0657 0.00 0.0
2011/01/03 00:09:59.997 52.379301322 13.066103358 142.3038 6 8 0.1567 0.1368 0.2575 -0.0274 -0.0801 0.0659 0.00 0.0
2011/01/03 00:10:29.997 52.379301331 13.066103349 142.2981 6 8 0.1568 0.1369 0.2576 -0.0275 -0.0801 0.0660 0.00 0.0
2011/01/03 00:10:59.997 52.379301342 13.066103310 142.2960 6 8 0.1569 0.1369 0.2578 -0.0276 -0.0801 0.0662 0.00 0.0
2011/01/03 00:11:29.997 52.379301349 13.066103347 142.2898 6 8 0.1570 0.1369 0.2579 -0.0277 -0.0801 0.0663 0.00 0.0
2011/01/03 00:11:59.997 52.379301364 13.066103297 142.2878 6 8 0.1570 0.1370 0.2581 -0.0278 -0.0801 0.0664 0.00 0.0
```

Fig. 6-14: Rezultatele obținute în urma procesării datelor PPP-static, efemeride broadcast

Discuții

În urma analizei rezultatelor din cadrul secțiunilor 6.1 și 6.2 putem concluziona că utilizând un sistem Multi-GNSS și metoda PPP-static, efemeride precise, trei frecvențe, modele precise de modelare a componentelor atmosferice, se obține o precizie milimetrică pe north, east, precizia pe componenta up este cu un ordin de mărime mai mare decât precizia obținută pe celelalte componente. În schimb, dacă se utilizează un sistem single-GPS cu două frecvențe la nivelul aceleiași stații IGS și dacă se procesează datele în modul PPP-static, cu efemeride broadcast, utilizând unghiuri de elevație mai mari de 10° , se pot observa abateri standard de ordinul decimetrilor, abaterea standard pe componenta up fiind evident mai mare.

Utilizând un sistem Multi-GNSS se îmbunătățește atât precizia de poziționare, cât și raportul semnal-zgomot, indicatorul SNR atinge deseori valoarea maximă de 60 dBHz ce corespunde unui semnal maxim în cadrul utilizării unui sistem combinat, spre deosebire de utilizarea unui sistem single-GPS. Pe frecvența L2 în cadrul utilizării sistemului single-GPS, se poate observa că indicatorul SNR este scăzut fiind în intervalul (10 dBHz, 40dBHz), spre deosebire de utilizarea unui sistem Multi-GNSS în care indicatorul SNR are valori în intervalul (30 dBHz, 60 dBHz).

Utilizarea unui sistem Multi-GNSS ajută foarte mult în atenuarea fenomenului de multipath pe toate frecvențele. Totodată factorul DOP este îmbunătățit prin utilizarea unui sistem combinat GNSS. Deși sistemul Galileo nu a atins faza de operabilitate completă, în anumite intervale orare factorul DOP este slab, dar prin utilizarea sistemului Galileo concomitent cu Glonass și GPS, factorul DOP se îmbunătățește considerabil.

6.3. Analiza performanței utilizării tehnologiei Multi-GNSS în România

În cadrul studiului de caz s-a făcut o analiză a preciziei de poziționare obținută în cadrul utilizării tehnologiei Multi-GNSS în mediul urban, precum și o analiză de semnal a sistemelor GNSS (GPS, Glonass, Galileo și BeiDou). Observațiile s-au efectuat la nivelul stației GNSS permanente din București Topgeocart. S-a utilizat un receptor de tip LEICA GS18 ce utilizează unități de măsură inerțiale precise (IMU).

Tabel 6-1: Datele utilizate (Data source report)

GNSS Intervals

Station Id: tget2

Antenna IGS Name:	LEIGS18	Occupation Mode:	Static	Point Role:	Navigated
Receiver Name:	LEICA GS18	Start Time:	26-03-2018 09:25:32	Satellite System:	GPS/GLONASS/Galileo/Beidou
Receiver Serial Number:	3600482	End Time:	26-03-2018 14:03:01	Sampling Rate:	1.00 sec
Ant. Height:	0.0000 m	Duration:	04:37:29		
WGS84 Latitude:	44° 26' 51.73" N	WGS84 Cartesian X:	4,094,916.4743 m	Easting:	589,654.9363 m
WGS84 Longitude:	26° 07' 29.63" E	WGS84 Cartesian Y:	2,008,285.7269 m	Northing:	328,171.7117 m
Ellip. Height:	129.4341 m	WGS84 Cartesian Z:	4,443,832.1017 m	Ortho. Height:	93.9062 m

Points

Summary

#	Point ID	Point Role	Easting [m]	Northing [m]	Height [m]	Code	Code Group	Code Description	Code Attributes	Date/Time
1	tget2	Navigated	589,654.9363	328,171.7117	93.9062					26-03-2018 09:25:32

S-au avut la dispoziție următoarele fișiere de date:

- un fișier cu observații mixt cu observații provenite de la patru sisteme GNSS analizate (GPS, Glonass, Galileo și BeiDou) cu o rată de înregistrare de 1 secundă
- fișiere de navigație corespunzătoare celor patru sisteme GNSS analizate

În cadrul modulului RTKPOST, se pot previzualiza datele de intrare în cadrul analizei conform fig 6-15:

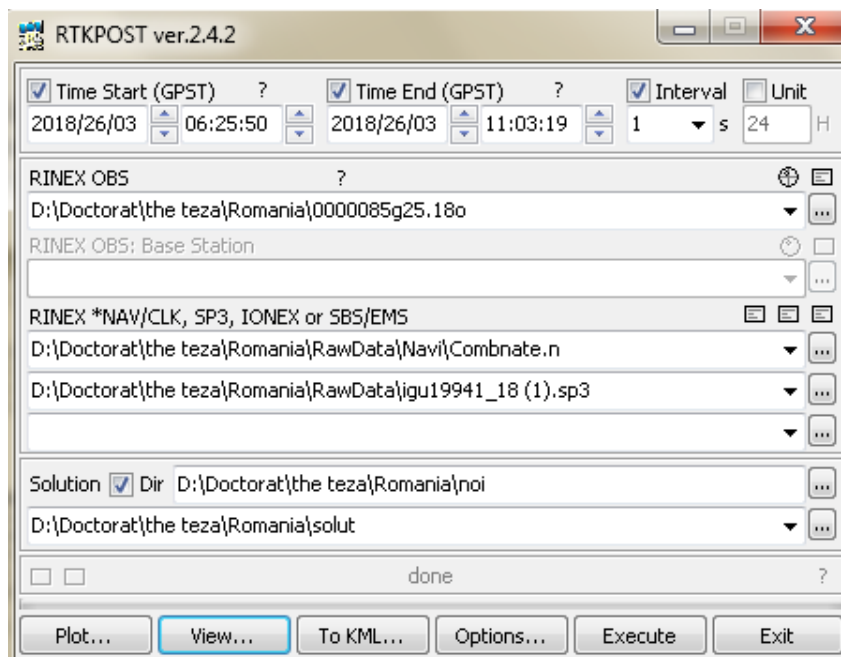


Fig. 6-2: Previzualizarea datelor de intrare în cadrul analizei

Putem previzualiza fișierul de observații mixte în cadrul figurii 6-16 utilizând modulul RTKPOST din cadrul RTKLIB și analiza datele preluate la interval de 1 secundă în data de 26.03.2018, intervalul 06h25m50s- 11h03m19s.


```

#cP2018 3 25 18 0 0.00000000 192 ORBIT IGS14 HLM IGS
## 1994 64800.00000000 900.00000000 58202 0.75000000000000
+ 31 601G02G03G05G06G07G08G09G10G11G12G13G14G15G16G17G18
+ G19G20G21G22G23G24G25G26G27G28G29G30G31G32 0 0 0
+ 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
+ 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
+ 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
++ 4 4 3 3 4 3 3 4 3 3 3 3 3 5 4 3 4
++ 3 4 4 4 3 3 4 4 4 3 4 3 4 3 0 0 0
++ 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
++ 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
++ 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
%c G cc GPS ccc cccc cccc cccc cccc cccc cccc cccc cccc
%c cc cc ccc ccc cccc cccc cccc cccc cccc cccc cccc cccc
%f 1.2500000 1.025000000 0.00000000000 0.000000000000000
%f 0.0000000 0.000000000 0.00000000000 0.000000000000000
%i 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
%i 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
/* ULTRA ORBIT COMBINATION 19941_18 (58203.750) FROM:
/* cou emu esu gfu siu usu whu
/* REFERENCED TO emu CLOCK AND TO WEIGHTED MEAN POLE:
/* PCV:IGS14_1992 OL/AL:FES2004 NONE Y ORB:CMB CLK:CMB
* 2018 3 25 18 0 0.00000000
PG01 -10379.322849 -13495.881604 -20599.544962 -36.387355 5 9 7 147
PG02 -14119.552085 14461.643827 17657.294439 163.902360 7 9 9 226
PG03 -12160.360988 -23298.537191 -4066.287328 36.522790 3 7 7 185
PG05 -3715.504549 18226.104231 18781.138003 -11.300132 7 9 9 148
PG06 -24453.663872 7010.673493 7711.977238 411.501542 7 5 8 201
PG07 -23746.549495 -6428.930265 10779.962030 217.612280 5 10 5 173
PG08 2667.095227 -23754.501715 -11370.768576 -95.558843 6 9 9 215
PG09 -13160.600221 -8037.258243 21589.840631 508.429554 2 11 10 198
PG10 17797.380892 1871.332366 -19636.393585 173.513465 7 11 4 162
PG11 -6222.477329 -15548.102487 -21179.841344 -737.516427 4 8 9 225
PG12 9566.515306 24215.226468 -5948.159264 343.352621 7 9 7 191
PG13 -11847.613237 23440.915442 -4092.365404 -95.408628 8 7 9 176
PG14 17771.995531 -16990.886739 -9534.577139 -95.512619 7 8 9 227
PG15 -153.653111 23843.957730 -11497.682964 -356.119385 9 8 9 173
PG16 4793.788326 -17388.914005 19188.841793 29.400265 10 10 9 242
PG17 -17990.296571 9851.763478 -16421.793266 -112.695956 9 10 6 211
PG18 -805.247104 -15686.271107 -21865.229829 -11.567527 6 11 8 191
PG19 -18621.762608 15364.687696 -11578.539084 -448.381564 8 7 10 224
PG20 15848.912934 21268.330686 1994.539781 504.117187 6 11 6 232
PG21 24961.504237 3765.865133 9067.525139 -415.340999 6 8 6 235
PG22 -7353.157958 -23071.993590 -10655.943788 -335.345678 4 9 6 244

```

Fig. 6-18: Fișierul de navigație IGS precis

În urma procesării datelor în modul PPP-static, se pot observa erori milimetrice pe cele trei componente (north, east, up), eroarea pe componenta up fiind ușor mai mare.

D:\Doctorat\the teza\Romania\solut														
Find														
<pre> % program : RTKPOST ver.2.4.2 % inp file : D:\Doctorat\the teza\Romania\0000085g25.18o % inp file : D:\Doctorat\the teza\Romania\RawData\Navi\Combnate.n % inp file : D:\Doctorat\the teza\Romania\RawData\igul994l_18 (1).sp3 % obs start : 2018/03/26 06:25:50.0 GPST (week1994 109550.0s) % obs end : 2018/03/26 11:03:19.0 GPST (week1994 126199.0s) % pos mode : ppp-static % solution : combined % elev mask : 10.0 deg % dynamics : off % tidecorr : off % tropo opt : saastamoinen % ephemeris : precise % navi sys : gps glonass galileo % antennal : (0.0000 0.0000 0.0000) % % (lat/lon/height=WGS84/ellipsoidal,0=1:fix,2:float,3:sbas,4:dgps,5:single,6:ppp,ns=# of satellites) </pre>														
GPST	latitude(deg)	longitude(deg)	height(m)	Q	ns	sdn(m)	sde(m)	sdu(m)	sdne(m)	sdeu(m)	sdun(m)	age(s)	ratio	
2018/03/26 06:25:50.000	44.447704146	26.124894975	131.2212	6	7	0.0055	0.0078	0.0086	-0.0025	0.0026	-0.0031	0.00	0.0	
2018/03/26 06:25:51.000	44.447704146	26.124894975	131.2212	6	7	0.0055	0.0078	0.0086	-0.0025	0.0026	-0.0031	0.00	0.0	
2018/03/26 06:25:52.000	44.447704146	26.124894975	131.2212	6	7	0.0055	0.0078	0.0086	-0.0025	0.0026	-0.0031	0.00	0.0	
2018/03/26 06:25:53.000	44.447704146	26.124894975	131.2212	6	7	0.0055	0.0078	0.0086	-0.0025	0.0026	-0.0031	0.00	0.0	
2018/03/26 06:25:54.000	44.447704146	26.124894975	131.2212	6	7	0.0055	0.0078	0.0086	-0.0025	0.0026	-0.0031	0.00	0.0	
2018/03/26 06:25:55.000	44.447704146	26.124894974	131.2212	6	7	0.0055	0.0078	0.0086	-0.0025	0.0026	-0.0031	0.00	0.0	
2018/03/26 06:25:56.000	44.447704146	26.124894974	131.2212	6	7	0.0055	0.0078	0.0086	-0.0025	0.0026	-0.0031	0.00	0.0	
2018/03/26 06:25:57.000	44.447704147	26.124894974	131.2212	6	7	0.0055	0.0078	0.0086	-0.0025	0.0026	-0.0031	0.00	0.0	
2018/03/26 06:25:58.000	44.447704147	26.124894974	131.2212	6	7	0.0055	0.0078	0.0086	-0.0025	0.0026	-0.0031	0.00	0.0	
2018/03/26 06:25:59.000	44.447704147	26.124894974	131.2211	6	7	0.0055	0.0078	0.0086	-0.0025	0.0026	-0.0031	0.00	0.0	
2018/03/26 06:26:00.000	44.447704147	26.124894974	131.2211	6	7	0.0055	0.0078	0.0086	-0.0025	0.0026	-0.0031	0.00	0.0	
2018/03/26 06:26:01.000	44.447704147	26.124894973	131.2211	6	7	0.0055	0.0078	0.0086	-0.0025	0.0026	-0.0031	0.00	0.0	
2018/03/26 06:26:02.000	44.447704147	26.124894973	131.2211	6	7	0.0055	0.0078	0.0086	-0.0025	0.0026	-0.0031	0.00	0.0	
2018/03/26 06:26:03.000	44.447704147	26.124894973	131.2211	6	7	0.0055	0.0078	0.0086	-0.0025	0.0026	-0.0031	0.00	0.0	
2018/03/26 06:26:04.000	44.447704147	26.124894973	131.2211	6	7	0.0055	0.0078	0.0086	-0.0025	0.0026	-0.0031	0.00	0.0	
2018/03/26 06:26:05.000	44.447704147	26.124894973	131.2211	6	7	0.0055	0.0078	0.0086	-0.0025	0.0026	-0.0031	0.00	0.0	
2018/03/26 06:26:06.000	44.447704147	26.124894973	131.2211	6	7	0.0055	0.0078	0.0086	-0.0025	0.0026	-0.0031	0.00	0.0	
2018/03/26 06:26:07.000	44.447704147	26.124894973	131.2211	6	7	0.0055	0.0078	0.0086	-0.0025	0.0026	-0.0031	0.00	0.0	
2018/03/26 06:26:08.000	44.447704147	26.124894972	131.2211	6	7	0.0055	0.0078	0.0086	-0.0025	0.0026	-0.0031	0.00	0.0	
2018/03/26 06:26:09.000	44.447704147	26.124894972	131.2210	6	7	0.0055	0.0078	0.0086	-0.0025	0.0026	-0.0031	0.00	0.0	
2018/03/26 06:26:10.000	44.447704147	26.124894972	131.2210	6	7	0.0055	0.0078	0.0086	-0.0025	0.0026	-0.0031	0.00	0.0	
2018/03/26 06:26:11.000	44.447704147	26.124894972	131.2210	6	7	0.0055	0.0078	0.0086	-0.0025	0.0026	-0.0031	0.00	0.0	
2018/03/26 06:26:12.000	44.447704148	26.124894972	131.2210	6	7	0.0055	0.0078	0.0086	-0.0025	0.0026	-0.0031	0.00	0.0	
2018/03/26 06:26:13.000	44.447704148	26.124894972	131.2210	6	7	0.0055	0.0078	0.0086	-0.0025	0.0026	-0.0031	0.00	0.0	
2018/03/26 06:26:14.000	44.447704148	26.124894972	131.2210	6	7	0.0055	0.0078	0.0086	-0.0025	0.0026	-0.0031	0.00	0.0	
2018/03/26 06:26:15.000	44.447704148	26.124894971	131.2210	6	7	0.0055	0.0078	0.0086	-0.0025	0.0026	-0.0031	0.00	0.0	
2018/03/26 06:26:16.000	44.447704148	26.124894971	131.2210	6	7	0.0055	0.0078	0.0086	-0.0025	0.0026	-0.0031	0.00	0.0	
2018/03/26 06:26:17.000	44.447704148	26.124894971	131.2210	6	7	0.0055	0.0078	0.0086	-0.0025	0.0026	-0.0031	0.00	0.0	
2018/03/26 06:26:18.000	44.447704148	26.124894971	131.2209	6	7	0.0055	0.0078	0.0086	-0.0025	0.0026	-0.0031	0.00	0.0	
2018/03/26 06:26:19.000	44.447704148	26.124894971	131.2209	6	7	0.0055	0.0078	0.0086	-0.0025	0.0026	-0.0031	0.00	0.0	

Fig. 6-19: Rezultatele obținute în urma procesării PPP – Static și abaterile standard corespundente utilizând efemeride precise

În RTKPLOT putem face o analiză a factorului DOP și o analiză a numărului total de sateliți vizibili pe intervale orare. În figura de mai jos cu verde s-a marcat numărul de sateliți vizibili (se pot observa un număr maxim total vizibili de 13 sateliți și un număr minim de 8), iar în partea de jos a figurii 6-20 sunt reprezentate componentele DOP (GDOP, PDOP, HDOP, VDOP).

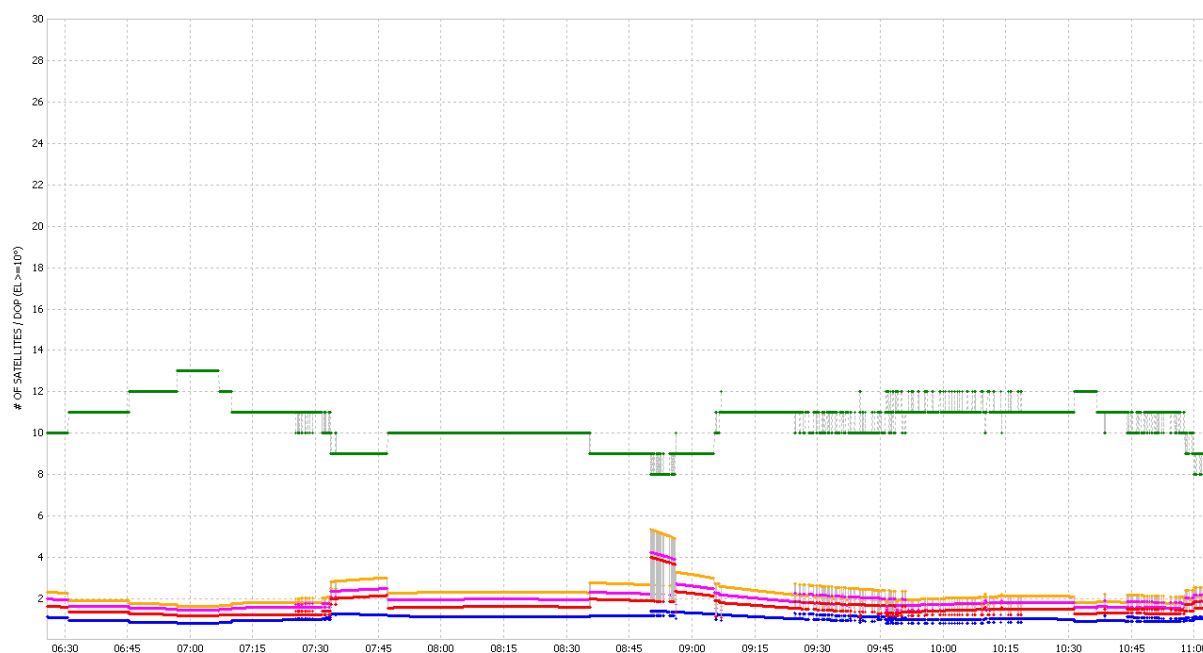


Fig. 6-20: Numărul de sateliți vizibili pe intervale orare și componentele DOP

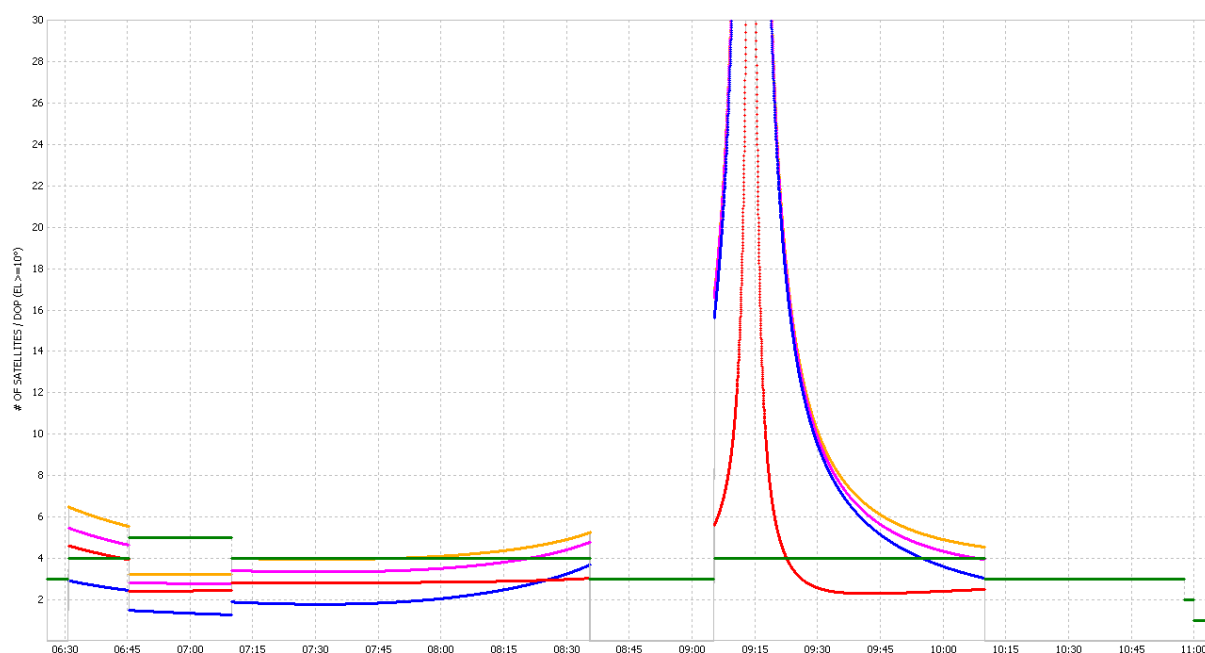


Fig. 6-21: DOP GALILEO

În cele ce urmează se efectuează o analiză a raportului semnal-zgomot (signal to noise ratio prescurtat SNR) pe principalele frecvențe analizate în prezentul studiu de caz, se raportează funcție de sistemul GNSS analizat și se analizează totodată efectul de multipath. Se pot face interogări și elimina din analiză sateliții sistemului satelitar care au semnalul cel mai slab.

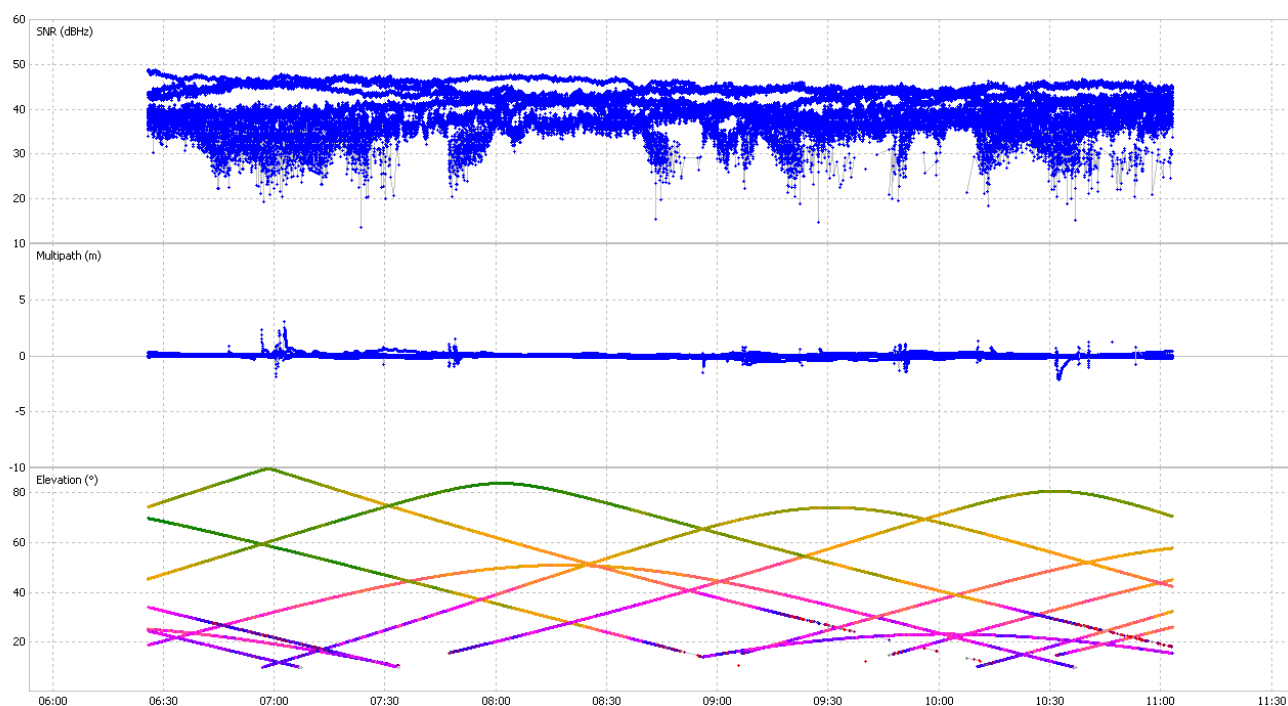


Fig. 6-22: SNR L1

În cadrul fig. 6-23 se afișează raportul semnal-zgomot pe L1 considerând trei sisteme satelitare: GPS, Glonass, Galileo, valorile indicatorului SNR fiind în intervalul (30 dbHz, 50 dbHz). Pe L2, indicatorul SNR este în același interval considerând un sistem combinat. Pe L1C

și pe L2, raportul semnal-zgomot coboară până la o valoare de 20 dBHz considerându-se un sistem single-GPS.

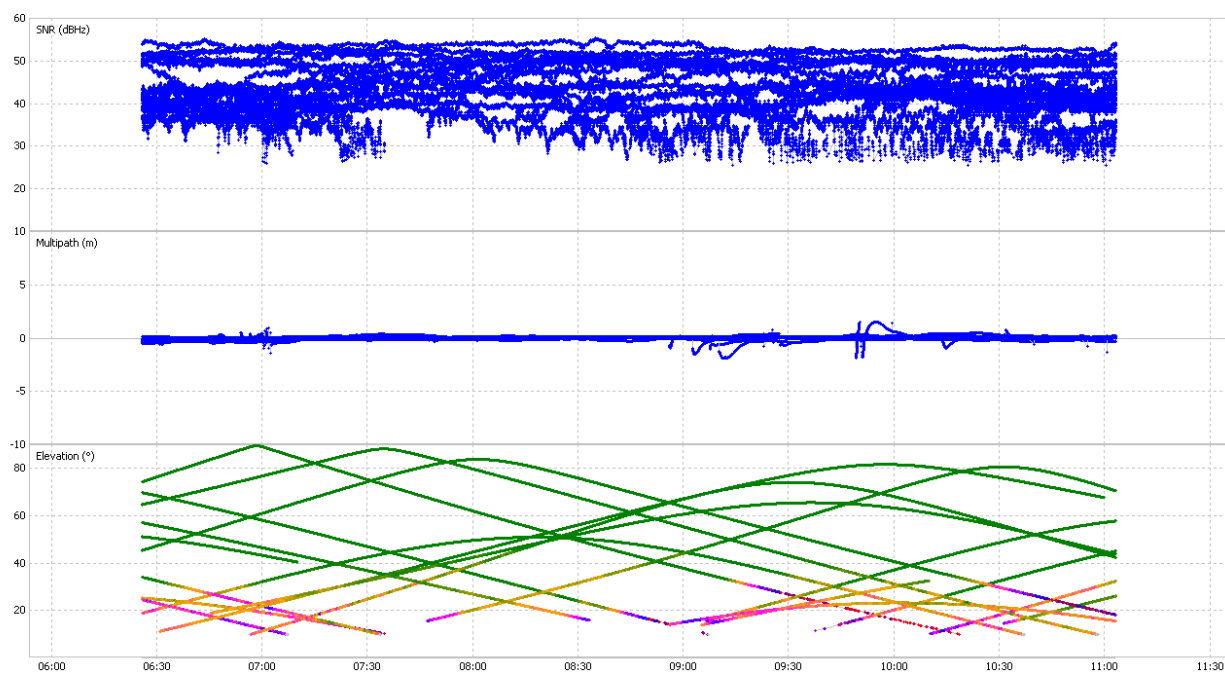


Fig. 6-33: SNR L1C

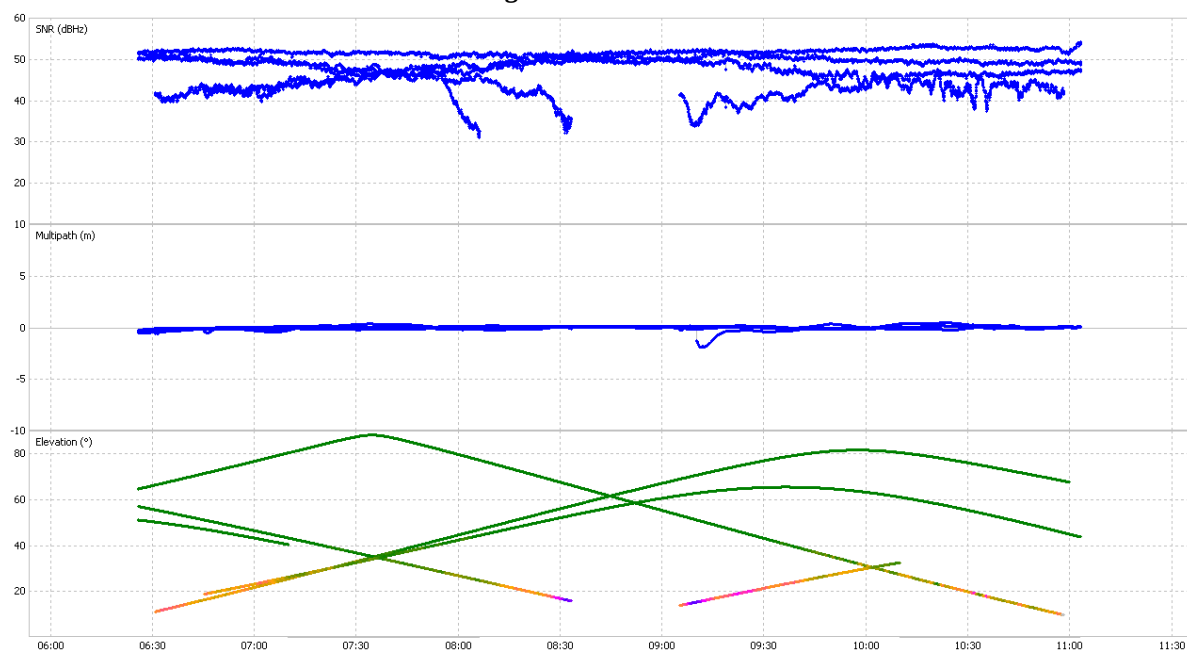


Fig. 6-24: SNR L1C - Galileo

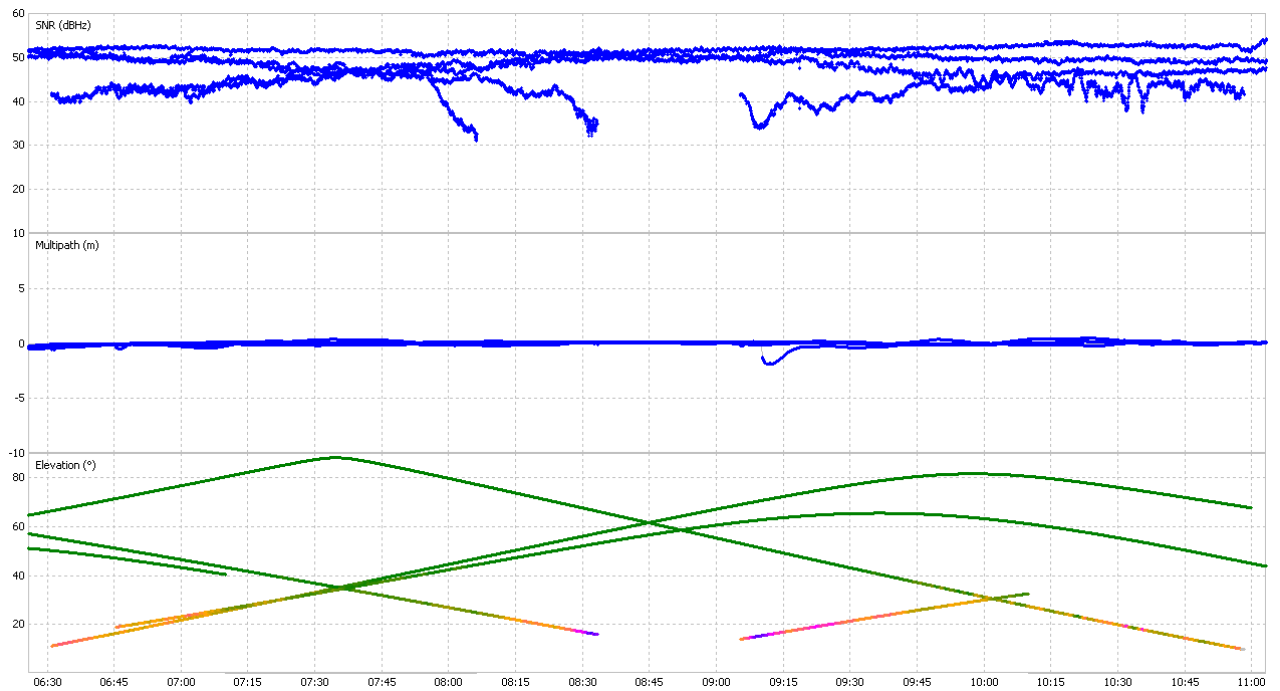


Fig. 6-4: SNR L1 - Galileo

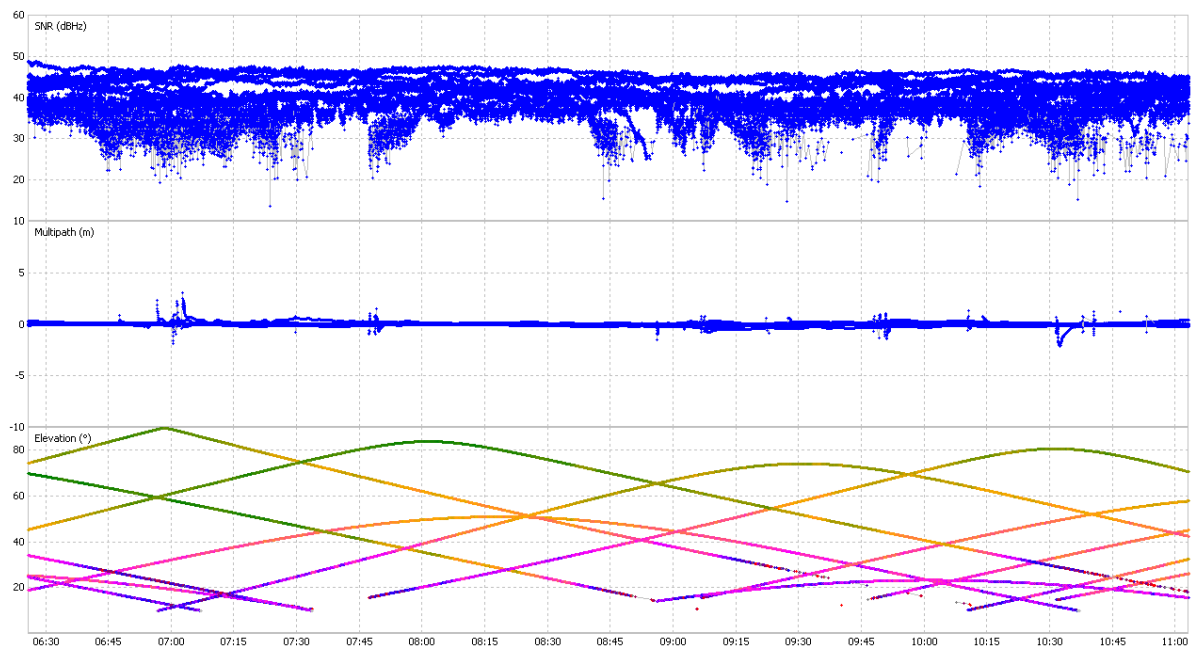


Fig. 6-5: SNR L2

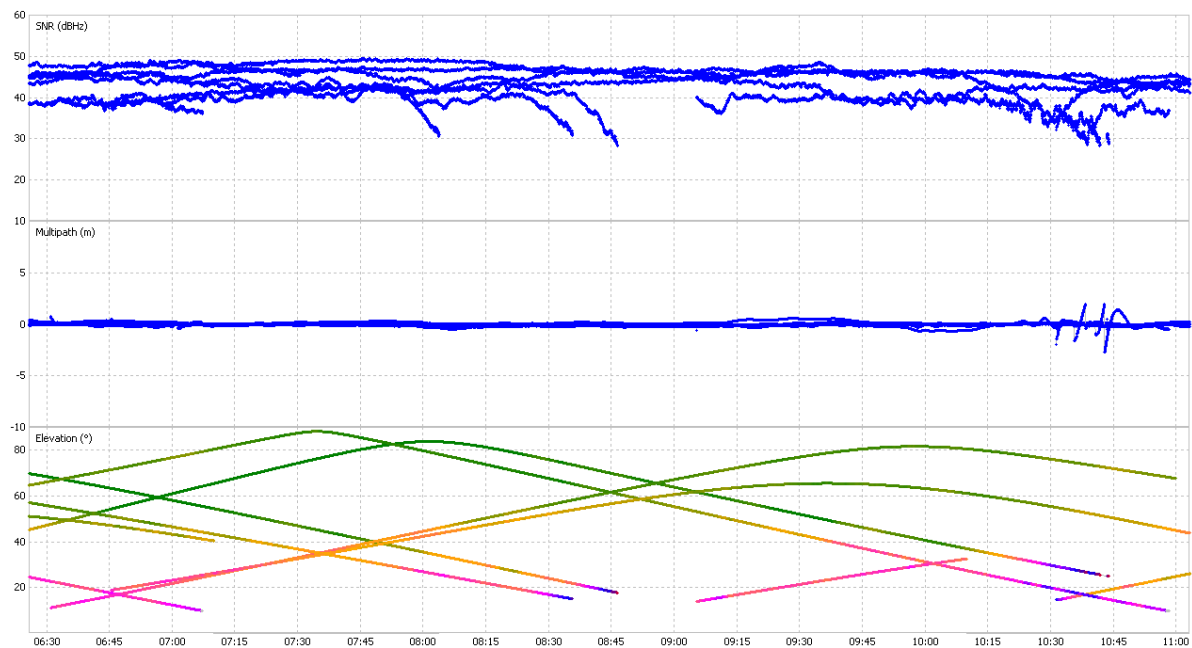


Fig. 6-27: SNR L5

Pe frecvența L5, indicatorul SNR are valori între (30 dbHz, 50 dbHz), similare utilizării unui singur sistem GNSS (GPS sau Galileo).

În cele ce urmează se face o analiză funcție de frecvență, sistem GNSS analizat și a efectului de multipath funcție de unghiul de elevație. Pe L1C, la unghiuri de elevație în intervalul (10°, 30°), indicatorul SNR are valori în intervalul (25 dbHz, 45 dbHz), iar la unghiuri de elevație mai mari de 30°, indicatorul SNR atinge valori de până la 50 dbHz.

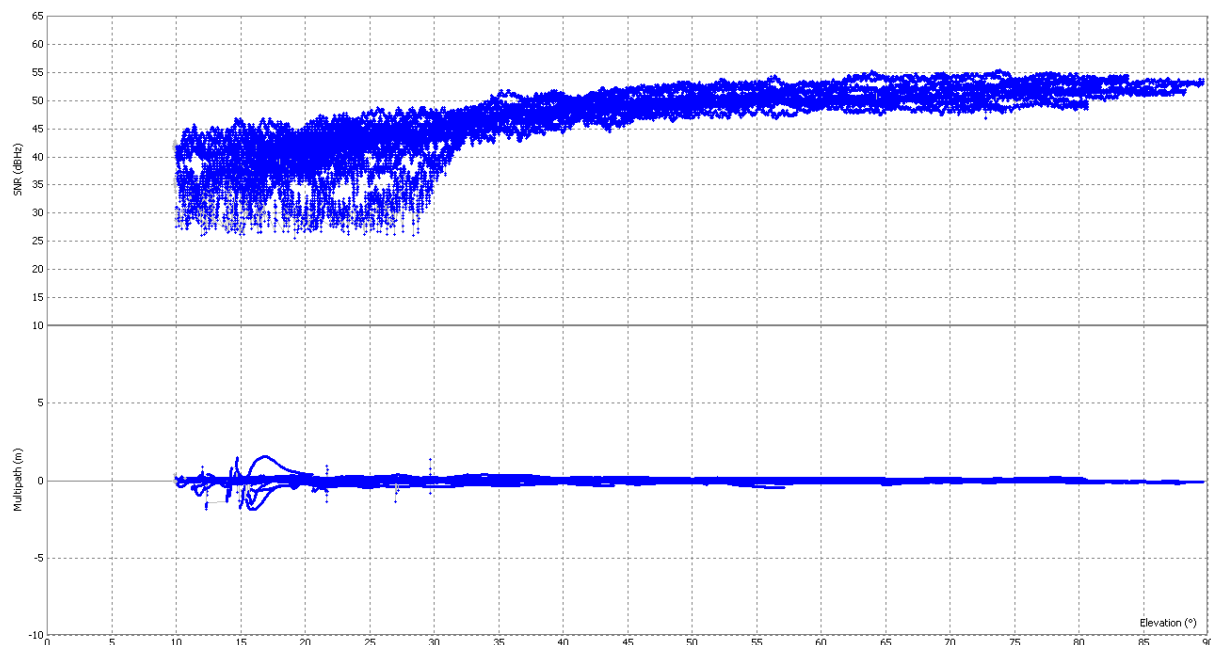


Fig. 6-28: SNR – MP L1C

În cadrul fig 6-29, se observă că satelitul E07 oferă cea mai mare eroare de multipath și poate fi eliminat din cadrul analizei:

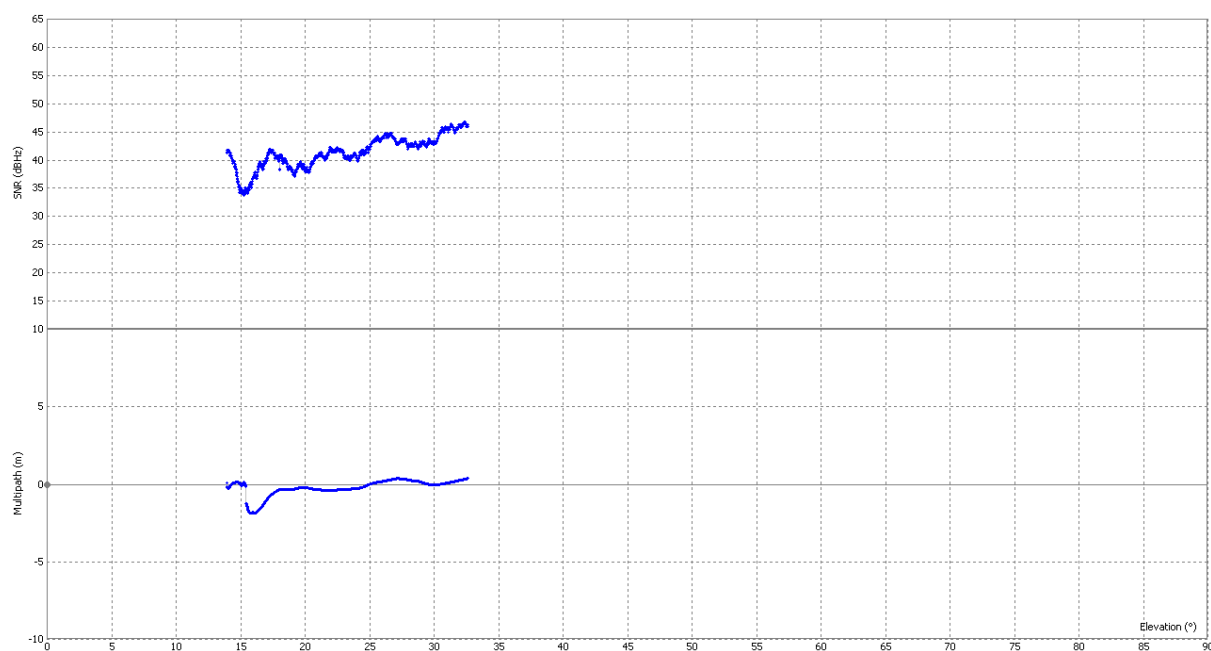


Fig. 6-29: SNR –MP - L1C-Galileo – satelit E07

Pe L1, la unghiuri de elevație în intervalul (10° , 25°), indicatorul SNR are valori în intervalul (25 dBHz, 40 dBHz), în cazul GPS-only.

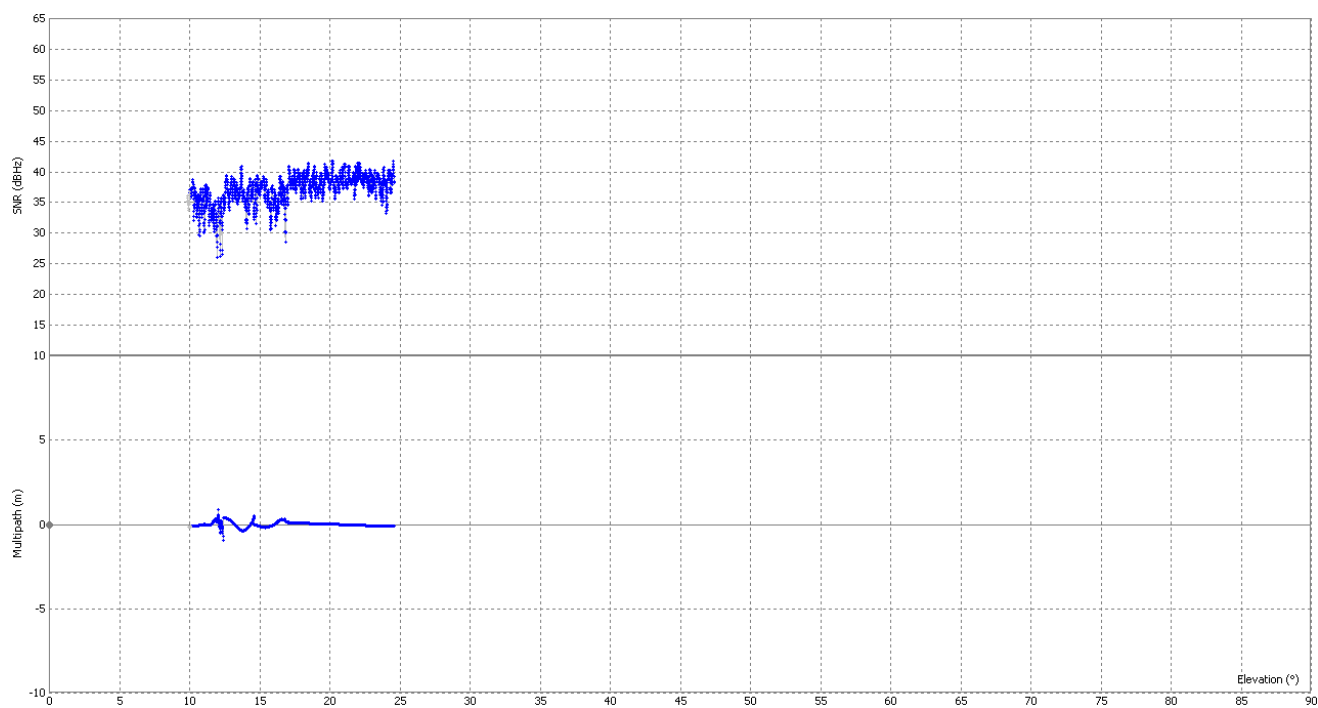


Fig. 6-30: SNR-MP-L1-GPS-SNRLOW

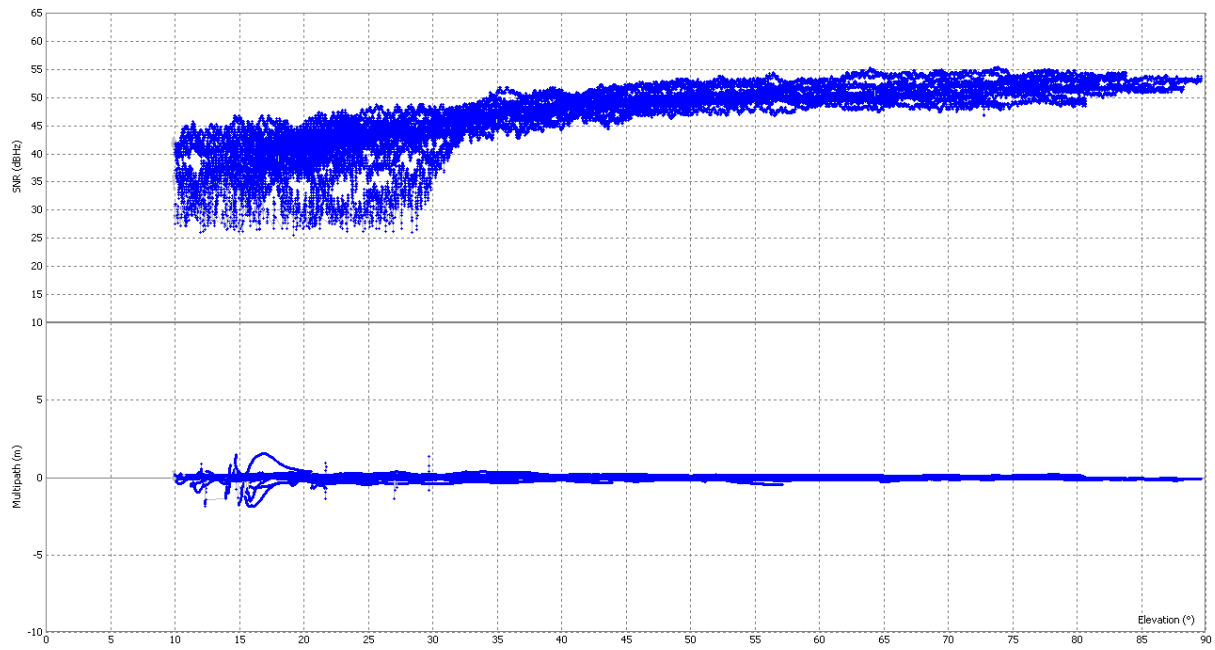


Fig. 6-31: SNR-MP-L1C

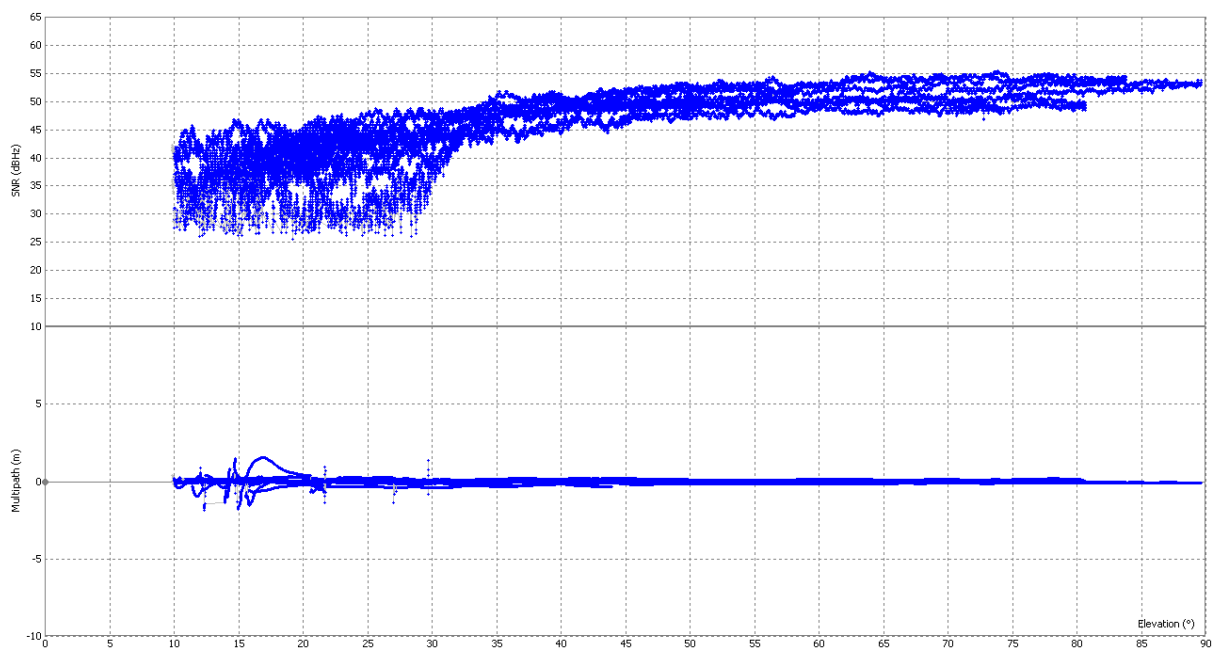


Fig. 6-32: SNR -MP - L1- GPS

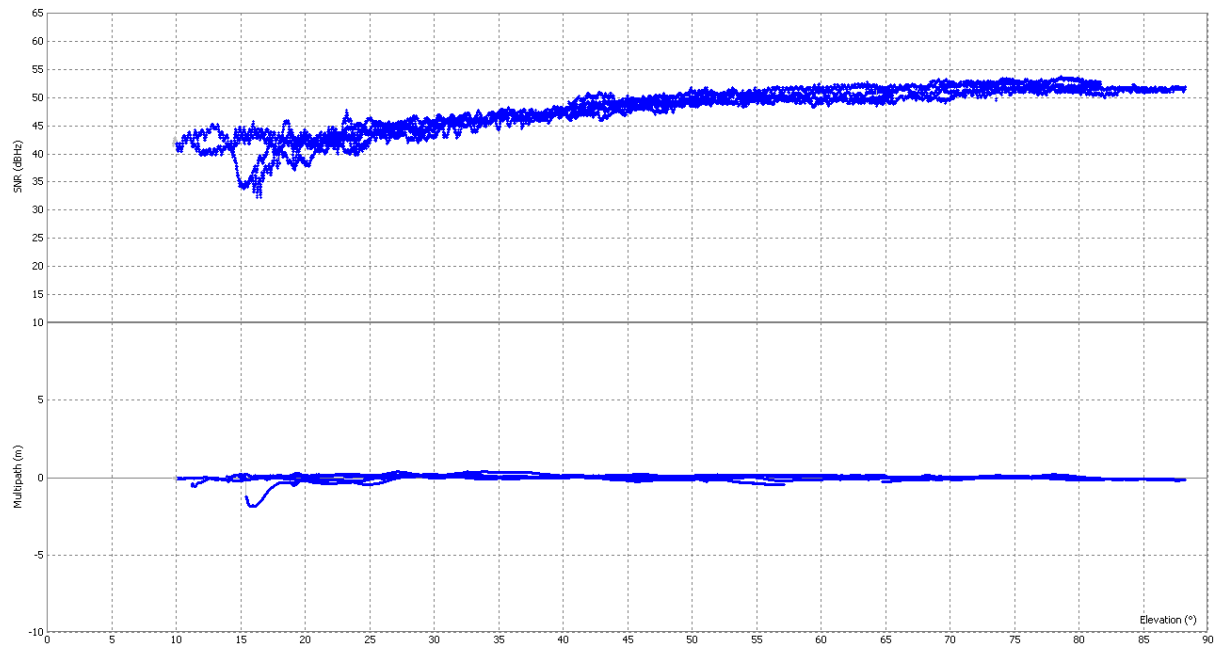


Fig. 6-33: SNR –MP - L1- Galileo

Pe L2, la unghiuri de elevație cuprinse în intervalul (10° , 30°), indicatorul SNR are valori în intervalul (20 dbHz, 40 dbHz), iar pe L5 indicatorul SNR are valori în intervalul (30 dbHz, 40 dbHz) dacă se consideră un sistem combinat GNSS.

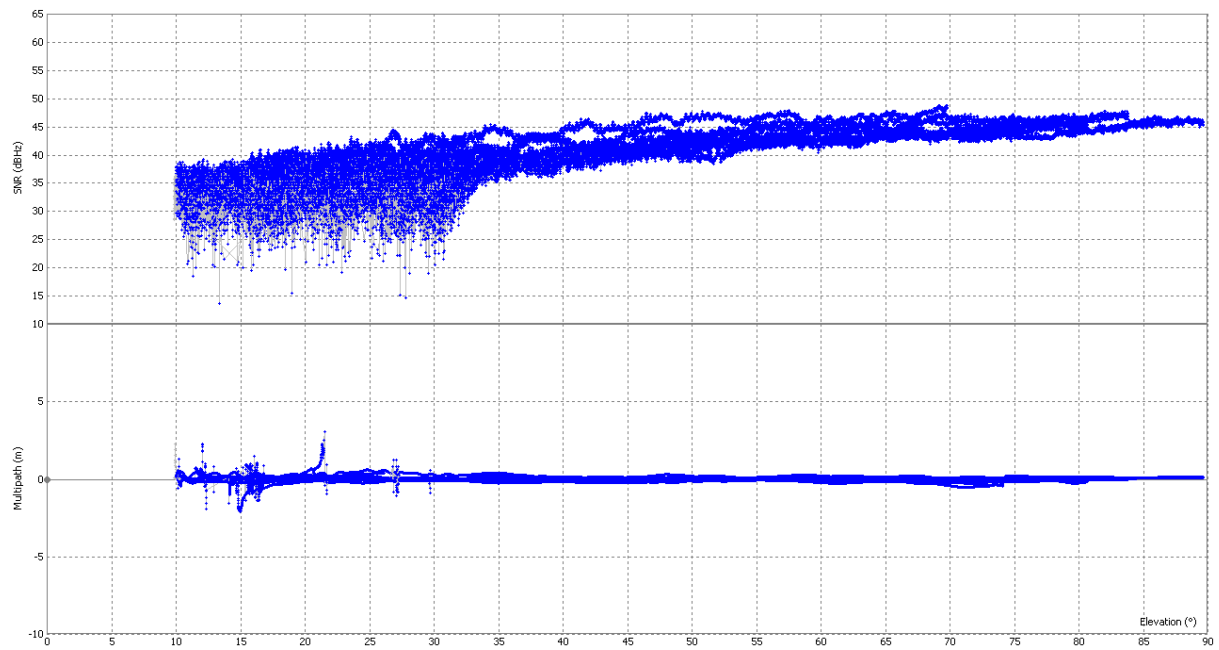


Fig. 6-34: SNR- MP- L2

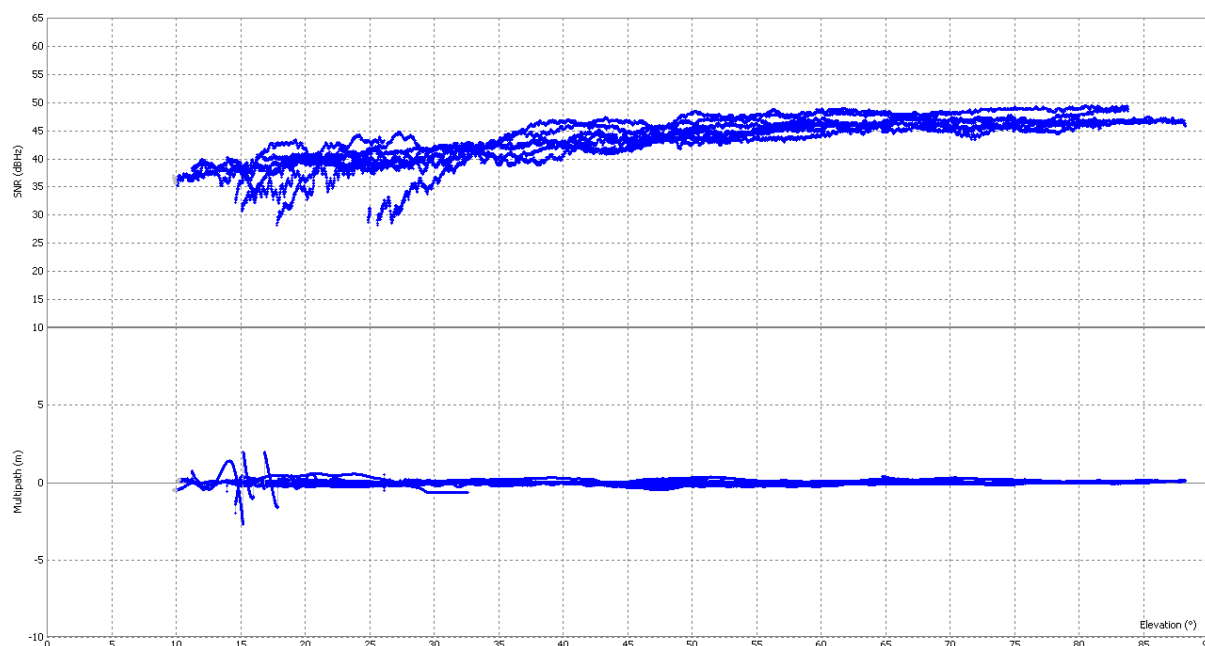


Fig. 6-35: SNR- MP- L5

Pe frecvența L5, la unghiuri de elevație cuprinse în intervalul (10° , 30°), indicatorul SNR are valori medii în intervalul (30 dbHz, 40 dbHz) considerând sistemul Galileo, iar dacă se consideră în analiză sistemul GPS, indicatorul SNR are valori cuprinse în intervalul (28 dbHz, 45 dbHz).

Discuții

În cadrul studiului de caz s-a efectuat o analiză a factorului DOP observându-se în cadrul figurii 6-20 că odată cu sporirea numărului de sateliți observați, componentele DOP scad, prin urmare la un număr minim de 8 sateliți observați, PDOP atinge o valoare de 4, spre deosebire de cazul în care se observă 13 sateliți, iar PDOP are o valoare aproximativ egală cu 2.

În cazul utilizării unui singur sistem GNSS în cadrul analizei, componentele DOP sunt mult mai scăzute față de cazul precedent în care se utilizează un sistem Multi-GNSS, PDOP atingând o valoare de 5 în momentul în care sunt observați 5 sateliți GPS.

Deoarece sistemul Galileo nu a atins faza de operabilitate completă (FOC), factorul DOP are anumite decalaje majore, se așteaptă ca până în anii 2020 să se atingă FOC, iar factorul DOP va fi îmbunătățit.

Analiza raportului semnal/zgomot (SNR) pe principalele frecvențe analizate în prezentul studiu de caz, se raportează funcție de sistemul GNSS analizându-se totodată efectul de multipath. Se pot face interogări și elimina din analiză sateliții sistemului satelitar care au semnalul cel mai slab pentru a elimina *cycle slips*. În cadrul fig. 6-29, se observă că satelitul E07 oferă cea mai mare eroare de multipath și poate fi eliminat.

Odată cu înregistrarea mai multor semnale provenite de la mai multe sisteme GNSS, capacitatea receptorului de a recepționa semnale satelitare este ridicată chiar și în medii dificile, obstrucționate, prin urmare *cycle slips* vor fi puternic reduse.

Raportul SNR pe toate frecvențele disponibile utilizând un sistem Multi-GNSS, atinge valori de până la 50 dbHz, ce corespunde unui semnal maxim, iar efectul de multipath este redus, *cycle slips* fiind puternic reduse. Utilizând un singur sistem GNSS, efectul de multipath se resimte, iar în raportul SNR apar anumite decalaje, putând apărea și *cycle slips*.

7. Concluzii și perspective de cercetare

7.1. Concluzii

În cadrul prezentei lucrări s-a analizat performanța metodei Multi-GNSS utilizând o analiză a informațiilor provenite de la diferite stații amplasate la latitudini diferite. În prima fază a studiului de caz, s-au utilizat observațiile provenind de la trei sisteme GNSS – GPS, GLONASS și Galileo – la nivelul stației IGS din Potsdam, precum și un fișier de navigație mixt ce include informații cu privire la orbitele celor trei sisteme satelitare. S-au utilizat observații preluate pe parcursul a 24 ore, la un interval de preluare de 30 secunde. Procesând datele într-un mod PPP-RTK (Precise Point Positioning Real Time Kinematic) cu două frecvențe la unghiuri de elevație mai mari de 10° , precum și un model în care informațiile cu privire la orbita satelitară se preiau broadcast, iar efectul ionosferei este neglijat, se pot observa erori metrice.

Dacă se consideră modelul PPP-static, modelul Saastamoinen, se consideră fișiere cu orbite precise IGS, fișiere ce conțin corecții de ceas satelitar de tip .clk, precum și o modelare a ionosferei de tip Ionosphere Free L-C, ordinul de precizie obținut este sub-centimetric pe direcțiile nord și est, respectiv centimetric pe direcția up.

În secțiunea a doua a studiului de caz, s-au analizat informații de tip single-GNSS – GPS – în care utilizăm informații din data de 03.01.2011 la nivelul stației IGS POTSDAM.

S-au utilizat observații de tip GPS împreună cu fișierul de navigație aferent preluate pe parcursul a 24 ore, la un interval de preluare de 30 secunde. Dacă se consideră modelul PPP-static, modelul Saastamoinen, precum și o modelare a ionosferei de tip Ionosphere Free L-C, ordinul de precizie obținut este decimetric pe cele trei componente.

Analizând rezultatele obținute considerând poziționarea punctuală precisă la nivelul stației IGS Potsdam, putem observa o îmbunătățire a preciziei de poziționare de la nivel decimetric la nivel milimetric utilizând un sistem Multi-GNSS în cadrul preluării observațiilor satelitare, totodată interoperabilitatea semnalelor oferă o calitate a semnalului viabilă.

În cea de-a treia parte a studiului de caz s-a făcut o analiză a performanței tehnologiei Multi-GNSS în mediul urban pe teritoriul României. S-au avut la dispoziție fișiere cu observații Multi-GNSS (GPS, Glonass, Galileo, BeiDou) și fișiere de navigație aferente fiecărui sistem GNSS în parte. S-au considerat orbite precise IGS în cadrul analizei. În urma analizei s-a concluzionat că utilizând Poziționarea Punctuală Precisă Statică (PPP Static) împreună cu tehnici de modelare a componentelor atmosferice (ionosfera, respectiv troposfera) se pot obține precizii milimetrice de poziționare, prin urmare tehnologia Multi-GNSS în mediul urban este viabilă și pe teritoriul României.

În cadrul prezentului studiu de caz s-a efectuat o analiză de semnal funcție de sistemele GNSS utilizate și de frecvență observând că sporirea numărului de sisteme GNSS mărește indicatorul SNR (până la 70 Dbhz) până la valoarea maximă de 9 în cazul observațiilor de la stația IGS Potsdam pe frecvențele L1, L2, L5.

La stația IGS Potsdam, în cadrul analizei de la secțiunea 6.1, numărul maxim de sateliți vizibili este de 13 sateliți, iar numărul minim este de 8, iar factorul DOP este puternic îmbunătățit având disponibile mai multe constelații satelitare.

În urma analizelor s-a constatat că factorul DOP în cazul Galileo are anumite decalaje din cauza faptului că faza de operabilitate totală nu a fost pe deplin atinsă, sistemul numărând 19 sateliți funcționali în faza de operabilitate totală FOC în ianuarie 2018, așteptându-se ca până în anul 2020 să se atingă FOC.

Totodată a fost de interes să se analizeze raportul-semnal zgomot pe diferite frecvențe.

În cadrul fig. 6-22 s-a făcut o analiză de semnal utilizând toate sistemele satelitare disponibile pe frecvența L1 și s-a observat o calitate a semnalului ridicată, raportul semnal-zgomot aflându-se în intervalul 30dbHz-55dbHz.

Pe L1C, în cadrul secțiunii 6.3, raportul semnal-zgomot are anumite oscilații în intervalul 20dbHz ce corespunde unui semnal nesatisfăcător până la 50dbHz ce corespunde unui semnal bun.

În cadrul fig. 6-23 s-a efectuat o analiză de semnal pe frecvența L2 utilizând toate sistemele satelitare disponibile, se observă că SNR se află în intervalul 30dbHz-50dbHz cu anumite scăderi bruște la valori de până la 20 dbHz în intervalul orar 08:00-08:15AM, respectiv 08:45-11:00AM.

În cadrul fig. 6-26 s-a efectuat o analiză de semnal pe frecvența L5 luând în considerație toate sistemele satelitare disponibile, se observă că SNR se află în intervalul 40dbHz-50dbHz având anumite scăderi bruște până la valori de cca 30dbHz în intervalul orar 08:00-09:00AM.

Disponibilitatea semnalelor decodificate pe trei frecvențe face posibilă o nouă abordare în vederea determinării ambiguităților în cadrul poziționării relative diferențiale GNSS cu ajutorul observațiilor asupra fazei purtătoare și totodată oferă o precizie considerabilă în determinarea întârzierii cauzată de ionosferă.

În cele din urmă, sporirea numărului de sateliți nu numai îmbunătățește considerabil precizia în cadrul aplicațiilor de poziționare satelitare, dar și oferă un număr sporit de semnale satelitare în vederea aplicațiilor spațiale meteorologice ceea ce implică înregistrarea razei în atmosfera neutră și în ionosferă.

În concluzie, utilizând receptoare capabile să înregistreze semnale de la mai multe sisteme satelitare concomitent în cadrul preluării măsurătorilor, precizia este sporită cu până la două ordine de mărime (de la nivel decimetric la nivel milimetric) după prelucrarea observațiilor satelitare.

7.2. Contribuții personale

Contribuțiile personale țin cont de analiza de semnal și a preciziei obținute în diverse modalități de poziționare pe teritoriul României utilizând un sistem Multi-GNSS.

În cadrul prezentei teze de doctorat, s-a analizat performanța Multi-GNSS în diferite zone de pe glob, la diferite latitudini și longitudini, special pentru a evidenția zonele cu o vizibilitate bună spre sateliți, dar și spre a demonstra viabilitatea acestei tehnologii în medii dificile, obstrucționate, oriunde pe glob.

În cadrul prezentei lucrări, s-a efectuat o analiză de semnal pe diferite frecvențe, utilizând atât un sistem single-GNSS, cât și un sistem Multi-GNSS, atât în zone cu vizibilitate bună spre sateliți (Potsdam), dar și în România, analizându-se raportul semnal-zgomot în diferite situații. Totodată s-a analizat efectul de multipath spre a putea elimina din analiză sateliții care nu dau rezultate satisfăcătoare.

S-a utilizat un model de prelucrare îmbunătățit luând în considerare modele precise de prelucrare a efectelor atmosferice (în speță efectele ionosferei, troposferei), s-a evidențiat astfel că poziționarea PPP statică în comparație cu poziționarea PPP cinematică, în cadrul tehnologiei Multi-GNSS oferă o precizie net superioară, de ordin milimetric, dacă se utilizează efemeride precise și se iau în considerare efectele atmosferice.

În urma analizei rezultatelor, s-a dovedit că tehnologia oferă o precizie ridicată în rezolvarea ambiguităților prin îmbunătățirea factorului DOP, sporirea numărului de observații adiționale provenite de la sistemele GNSS oferind posibilitatea de a alege metoda potrivită pentru a rezolva ambiguitățile într-un timp optim.

Metoda are aplicabilitate și în procesul de detecție și prevenție a *cycle slips*. Odată cu înregistrarea mai multor semnale provenite de la mai multe sisteme GNSS, capacitatea receptorului de a recepționa semnale satelitare este ridicată chiar și în medii dificile, obstrucționate, prin urmare *cycle slips* vor fi puternic reduse. Raportul semnal-zgomot este puternic îmbunătățit considerându-se un sistem Multi-GNSS, prin urmare *cycle slips* sunt reduse.

Poziționarea Punctuală Precisă Multi-GNSS este o metodă viabilă pe teritoriul României în contextul poziționării în medii dificile, obstrucționate de vegetație sau clădiri și în zone montane. În acest context, utilizând concomitent date provenite de la mai multe sisteme satelitare, tehnologia Multi-GNSS are aplicabilitate în navigația rutieră în zone în care tehnologia single-GNSS nu oferă o soluție de poziționare.

Tehnologia Multi-GNSS oferă o soluție puternic îmbunătățită în domeniul *machine control* prin îmbunătățirea preciziei de poziționare, corecțiile diferențiale transmise au o precizie foarte ridicată deschizând o nouă eră a aplicațiilor în acest domeniu, sporind astfel productivitatea.

În aplicațiile de agricultură precisă, metoda PPP-Multi-GNSS este viabilă și oferă o precizie ridicată – milimetrică – în medii dificile, obstrucționate, în care poziționarea cu un sistem single-GNSS nu oferă o soluție optimă. Totodată valorile PDOP scad odată cu creșterea numărului de sateliți observați utilizând tehnologia PPP-Multi-GNSS.

7.3. Perspective de cercetare

În urma analizei rezultatelor obținute în studiile de caz prezentate, s-a ajuns la concluzia că dezvoltarea mai multor sisteme satelitare (atât la nivel global, cât și regional) oferă un număr ridicat de sateliți și implicit de semnale satelitare, care utilizate în același timp oferă o soluție de poziționare în medii dificile. Totodată propun optimizarea tehnicilor de determinare a *cycle slips* și a efectului ionosferei în cadrul aplicațiilor de precizie, prin urmare propun metoda “IAR” (Integer Ambiguity Resolution) dezvoltată de către Teunissen și modelul Ionosphere Free.

În cadrul studiului de caz s-au coroborat concepte teoretice cu cele practice în vederea obținerii rezultatelor estimate prin utilizarea tehnicii PPP-RTK (care se bazează pe corecții precise referitoare la ionosferă), dar rezultate foarte bune s-au obținut utilizând PPP-static cu orbite precise și modelul Ionosphere Free L-C.

Propun utilizarea receptoarelor capabile a înregistra atât semnale GPS și GLONASS, cât și semnale Galileo, BeiDou în vederea efectuării poziționării precise a punctelor.

Pe viitor, studiul poate demonstra aplicabilitate în cadrul lucrărilor de determinare a mișcărilor plăcilor tectonice și a studiilor de geodinamică.

La nivelul stațiilor GNSS permanente din România este necesară disponibilitatea semnalelor provenite de la restul sistemelor GNSS funcționale – Galileo și BeiDou – spre a spori inclusiv calitatea datelor furnizate către beneficiari.

Sporirea numărului de sateliți oferă un număr sporit de semnale satelitare în vederea aplicațiilor spațiale meteorologice ceea ce implică înregistrarea semnalului în atmosferă neutră și în ionosferă, studiul putând demonstra aplicabilitate în aceste tipuri de aplicații.

Bibliografie

- [1] Akram Afifi, A. E.-R. (2013). *Single frequency GPS/Galileo precise point positioning*. Coordinates.
- [2] A.Nardo, L. a. (2011). *Earth on the Edge: Science for a Sustainable Planet*. International Association of Geodesy Symposia (pp. 239-246). Melbourne, Australia: Springer.
- [3] Dach R, Brockmann E, Schaer S, Meindl M, Prange L, Bock H, Jaggi A, Ostini L (2009) *GNSS processing at code: status report*. J Geodes 83:353–365
- [4] Dach R, Schmid R, Schmitz M, Thaller D, Schaer S, Lutz S, Steigenberger P, Wubben G, Beutler G (2011) *b. GPS Solut* 15:49–65
- [5] Deng, C., Tang, W., Liu, J. and Shi, C. (2013) *Reliable single-epoch ambiguity resolution for short baselines using combined GPS/BeiDou system*. GPS Solutions, 18(3):375-386, doi: 10.1007/s10291-013-0337-5
- [6] Draper, N. R. (2002). *Applied regression analysis: bibliography update 2000-2001*. Communications in Statistics- Theory and Methods, 31(11), 2051-2075.
- [7] El-Rabbany, A. (2006). *Introduction to GPS: The global positioning system*. Artech House Publishing
- [8] Elsobeiey, M. and A. El-Rabbany (2010). *On stochastic modeling of the modernized global positioning system (GPS) L2C signal*. Journal of Measurement Science and Technology, Volume 21, Number 5, pp. 1-6.
- [9] Euler, H. J. and Goad, C. G. (1991) *On optimal filtering of GPS dual frequency observations without using orbit information*. Bulletin Geodesique, 65:130–143
- [10] Habrich H (2009) *Evaluation of analysis options for GLONASS observations in regional GNSS networks*. Geodetic Ref Frames 134:121–129
- [11] Hofmann-Wellenhof, B. H. (2008). *GNSS global navigation satellite systems; GPS, Glonass, Galileo & more*. Wien New York: Springer.
- [12] IGS - MGEX, Oliver Montenbruck, Peter Steigenberger (2014). *Preparing the ground for Multi-GNSS Constellation*. (www.insidegnss.com)
- [13] IGS. (2018, ianuarie 19). *MGEX*. Preluat pe 19 ianuarie, 2018, de pe <http://igs.org/mgex>.
- [14] International GNSS Service (IGS), RINEX Working Group and Radio Technical Commission for Maritime Services Special Committee 104 (RTCM-SC104), *The Receiver Independent Exchange Format Version 3.03*
- [15] J.Sanz Subirana, J.M. Juan Zornoza and M. Hernandez-Pajares (2013). *GNSS Data Processing. Volume I. Fundamentals and Algorithms*. An ESA Communications Production.

- [16] Kouba J, Heroux P (2001): *Precise Point Positioning using IGS orbit products*. GPS Solutions, 5(2): 12-28
- [17] Langley RB (1997): *GPS receiver system noise*. GPS World, 8(6): 40-45
- [18] Nadarajah, N., Khodabandeh, A. and Teunissen, P.J.G. (2015) *Assessing the IRNSS L5-signal in combination with GPS, Galileo , and QZSS L5/E5a-signals for positioning and navigation*. GPS Solutions, doi:10.1007/s10291-015-0450-8
- [19] Nadarajah, N., Teunissen, P.J.G., Sleewaegen, J.M. and Montenbruck, O. (2014) *The mixed-receiver BeiDou inter-satellite-type bias and its impact on RTK positioning*. GPS Solutions, doi:10.1007/s10291-014-0392-6
- [20] Neuner J., *Sisteme de Pozitionare Globală*, Editura Matrix, 2000;
- [21] Odijk, D. and Teunissen, P.J.G. (2013) *Characterization of between-receiver GPS-Galileo inter-system biases and their effect on mixed ambiguity resolution*. GPS Solutions, 17(4):521-533.
- [22] Odolinski, R, Teunissen, P.J.G. and Odijk, D. (2013) *Quality analysis of a combined COMPASS/BeiDou-2 and GPS RTK positioning model*. International Global Navigation Satellite Systems Society (IGNSS) Symposium, Outrigger Gold Coast, Qld Australia 16-18 July, 2013
- [23] Odolinski, R., Teunissen, P.J.G. and Odijk, D. (2014a) *First combined COMPASS/BeiDou-2 and GPS positioning results in Australia. Part II: Single- and multiple-frequency single-baseline RTK positioning*. Journal of Spatial Science, 59(1):25-46. doi: 10.1080/14498596.2013.866913
- [24] Odolinski, R., Teunissen, P.J.G. and Odijk, D. (2014b). *Combined GPS+BDS+Galileo +QZSS for long baseline RTK positioning*. Proceedings of the 27th International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation (ION GNSS+), pp. 2326-2340. Manassas, VA: Institute of Navigation
- [25] Odolinski, R., Teunissen, P.J.G. and Odijk, D. (2015a) *Combined BDS, Galileo , QZSS and GPS single-frequency RTK*. GPS Solutions, 19:151-163. doi: 10.1007/s10291-014-0376-6
- [26] Odolinski, R., Teunissen, P.J.G. and Odijk, D. (2015b) *Combined GPS + BDS for short to long baseline RTK positioning*. Measurement Science & Technology, 26, 045801. doi: 10.1088/0957-0233/26/4/045801
- [27] Teunissen P.J.G. (1995): *The least squares ambiguity decorrelation adjustment: a method for fast GPS integer estimation*. Journal of Geodesy 70:65-82
- [28] Teunissen PJG (2009): *Adjustment theory: an introduction*. Delft University Press, Delft