

Contractor: Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare pentru Fizica Pământului (INCDFP)

Cod fiscal : 5495458 (anexa la procesul verbal de avizare interna nr.)

**De acord,
DIRECTOR GENERAL
Dr. Ing. Constantin Ionescu**

**Avizat,
DIRECTOR DE PROGRAM
Dr. Mircea Radulian**

RAPORT DE ACTIVITATE AL FAZEI

Contractul nr.: 31N/2019

Proiectul PN 19080201: Dezvoltarea și implementarea de noi instrumente pentru seismologia în timp real și de transfer a produselor și rezultatelor cercetării către potențiali beneficiari

Faza 2f: Densificarea, omogenizarea și standartizarea datelor GNSS disponibile la nivel național și facilitarea accesului utilizatorilor

Termen: 31.05.2019

1. Obiectivul proiectului:

Obiectivul principal al proiectului constă în testarea și implementarea metodelor de ultimă generație, de analiză în timp real a undelor seismice, utilizând tehnologia satelitară GNSS de înaltă frecvență într-o manieră omogenă, integrată, sporind rezoluția și calitatea rezultatelor. Totodată, se dorește analizarea efectelor ce pot influența acuratețea măsurărilor satelitare și pot produce perturbații în diverse domenii de activitate.

2. Rezultate preconizate pentru atingerea obiectivului:

Rezultatele proiectului vor contribui la creșterea înțelegerii noastre asupra proceselor dinamice și vor îmbunătăți capacitățile predictive, un important suport pentru sistemele decizionale în caz de hazarde naturale.

3. Obiectivul fazei:

Analiza deformațiilor crustale din date satelitare a reprezentat întotdeauna un obiectiv major al cercetărilor privitoare la riscul seismic. Este binecunoscut la nivel mondial că un precursor foarte important în studiile legate de predicția cutremurelor de pământ îl constituie deformațiile scoarței terestre evidențiate în vecinătatea unei arii cu grad de seismicitate ridicat. Aceste deformații, manifestate la suprafață prin modificări ale dimensiunilor fizice ale terenului pot fi puse în evidență cu ajutorul măsurărilor geodezice repetate, capabile să ofere parametrii geometrici ai zonei studiate cum ar fi distanțe, direcții și unghiuri.

Obiectivul acestei faze îl constituie primul pas în obținerea rezultatelor menționate anterior și anume: armonizarea, omogenizarea și standardizarea datelor de intrare GNSS folosite în proiectele de cercetare pentru obținerea rezultatelor propuse.

4. Rezultate preconizate pentru atingerea obiectivului fazei:

Pentru atingerea obiectivului fazei avem în vedere obținerea următoarelor rezultate:

- Realizarea unei baze de date GNSS la nivel național;
- Dezvoltarea unui portal web în vederea diseminării produselor GNSS;
- Realizarea unui material științific elaborat și diseminarea rezultatelor;

5. Rezumatul fazei: (maxim 5 pagini)

Teritoriul României este acoperit de o distribuție omogenă și densă care cuprinde peste o sută de stații permanente GNSS (Sistem Satelitar de Navigație Globală) majoritatea stațiilor au fost instalate în ultimii zece ani, fiind întreținute de diferite agenții, având obiective științifice și arhitecturi tehnice diferite. Rețelele care alcătuiesc această distribuție de stații pe teritoriul României sunt:

- Rețeaua GeoPontica, dezvoltată de Institutul Național de Geologie și Geoecologie Marina (GeoEcoMar), scopul principal al rețelei este de monitorizare geodinamică a coastei Mării Negre;
- Rețeaua TGRéF – TopGeocart, dezvoltată de o companie privată a apărut ca un răspuns firesc la cerințele tot mai mari din partea utilizatorilor de echipamente GNSS Leica, asigură corecții DGPS pentru aproape întreg teritoriul țării;
- Rețeaua ROMPOS, o rețea comercială cu scopul de a furniza corecții DGNSS/RTK folosită cu scop cadastral, dezvoltată de Agenția Națională de Cadastru și Publicitate Imobiliară
- Rețeaua dezvoltată de INFP (**Figura 1**) , cu un istoric care începe în anul 2001, când a fost instalată prima stație GPS permanentă în zona de curbură a Carpaților Orientali, pe vârful Lăcăuți, la vest de zona epicentrală Vrancea. Baza rețelei a fost pusă în urma unui proiect internațional de cercetare între: Institutul Național de C-

D pentru Fizica Pământului (INFP), Departamentul de Geofizică, Facultatea de Geologie și Geofizică, Universitatea București (FGG), Universitate Tehnică din Delft, Universitate din Utrecht și Netherlands Research Center for Integrated Solid Earth Sciences (ISES), care a avut contribuția financiară cea mai mare. Începând cu anul 2013, rețeaua s-a extins la un număr de 30 stații, în principal datorită efortului financiar al INFP, care în prezent se ocupă de mentenanța și dezvoltarea rețelei. Rețeaua este într-un proces continuu de dezvoltare.

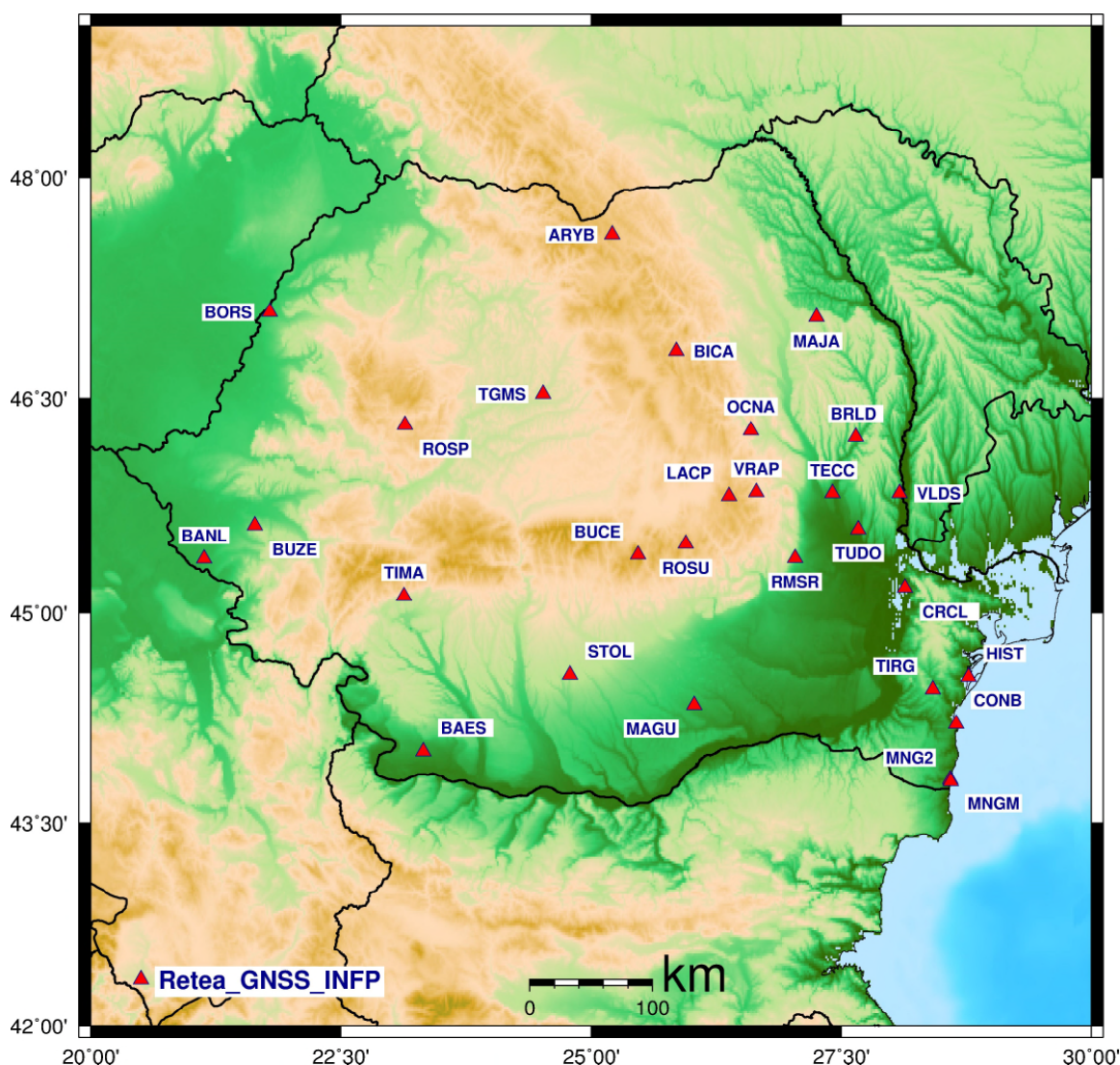


Figura 1: Distribuția rețelei INFP GNSS de stații permanente pe teritoriul României

Ca obiective principale ale rețelei amintite anterior menționăm: monitorizarea la suprafață a mișcărilor crustale care apar în interiorul și în jurul Carpaților românești, precum și ale unităților tectonice învecinate, ca un rezultat direct al proceselor tectonice la scară globală (de exemplu interacțiunea dintre placa Euro-Asiatică și placa Africană);

observații privind mișcările crustale, pentru o mai bună înțelegere a interconexiunii suprafață-adâncime a cutremurelor din zona Vrancea; studiul coseismic în cazul producerii unui eveniment seismic major pe teritoriul României. Rețeaua de stații GNSS/GPS poate oferi, de asemenea, măsurători fiabile, de înaltă precizie privind prognoze meteo la nivel global, monitorizarea climei, precursori seismici (studii ionosferice), studii coseismice, poziționarea și navigarea GNSS și alte cercetări în scopuri complementare [1].

În acest an rețeaua a fost extinsă cu 3 noi stații GNSS (**Figura 2**) Râmnicu Sărat - RMSR, Tecuci - TECC, Bârlad – BRLD, toate amplasate limitrof, în partea de E-SE, zonei seismogene Intermediare Vrancea [2] locații în care au fost amplasate pe lângă aparatura GNSS și alte două tipuri de echipamente, cum ar fi : seismice și de nivelment.

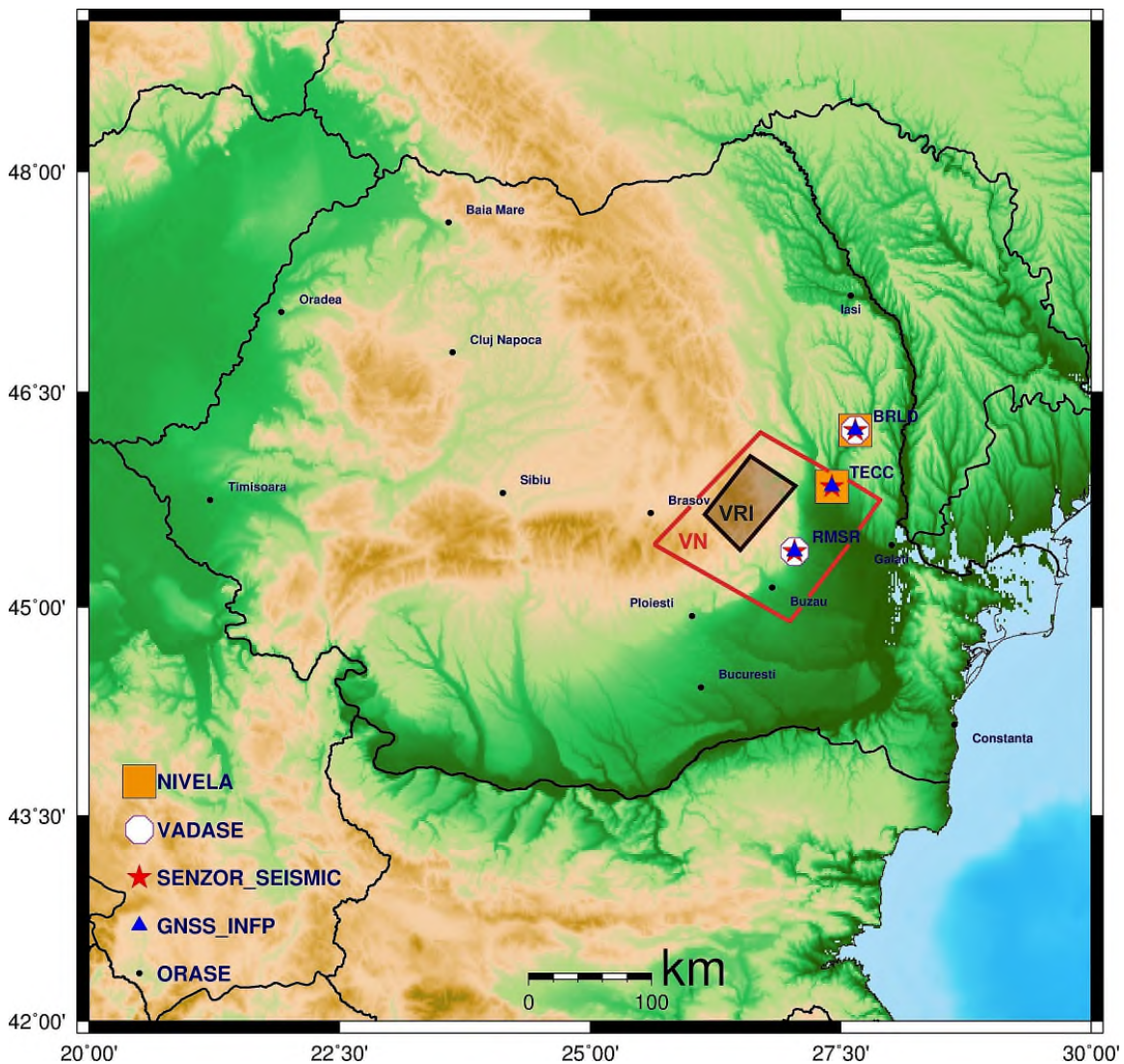


Figura 2: Distribuția noilor stații GNSS instalate în anul 2019, senzorii și sistemele colocate acestora

Pe plan European trendul cercetării de profil este de dezvoltare și utilizare a stațiilor de referință autonome, care să confere în timp real un răspuns prompt și măsurători cu o acuratețe ridicată fără a necesita corecții sau referințe la sol. În această direcție un pas important s-a realizat la Universitatea din Roma, în cadrul secției de Geodezie și Geodinamism prin dezvoltarea sistemului VADASE (Variometric Approach for Displacements Analysis Stand-Alone Engine). Sistemul este folosit pentru deplasări în timp real utilizând un receptor GNSS independent („stand-alone”). Astfel măsurătorile utilizate în studiile seismologice în timp real cu ajutorul tehnologiei GNSS ajung astăzi să capete o precizie de sub 1 cm. Toate cercetările s-au concretizat cu brevete, teze de doctorat, cursuri de specialitate și lucrări științifice valoroase. Dintre acestea se pot menționa [3] și [4].

Scopul amplasării constă în a folosi datele de la aceste stații în viitoare studii de cercetare interdisciplinare.



Figura 3: Stații GNSS Permanente de referință a INFP, extindere 2019

Pentru aceste noi locații au fost efectuate mai multe analize privind calitatea datelor.

Prezenta analiză (**Figura 4 și 5**) ne ajută în vederea evaluării terenului și selectării locațiilor de amplasare pentru stațiile de referință/campanie. Le folosim pentru a evalua („code and phase multipath”), interferențe RF și atenuarea semnalului, măsura calitatea și integritatea datelor și mai mult decât atât, ca și în cazul unei analize „Quality Check”, pentru verificarea cantității (urmărirea informației, discrepanța datelor), calității „cycle

slips, multipath, SNR” și a formatului în conformitatea standardului RINEX, ale datelor colectate.

Monitorizarea calității datelor asigură informații nu numai pentru activitățile de procesare de date, dar și pentru colectarea unor date de mare calitate și pentru arhivarea lor de către furnizori individuali sau de servicii științifice, cum ar fi Institutul Național pentru Fizica Pământului (INFP).

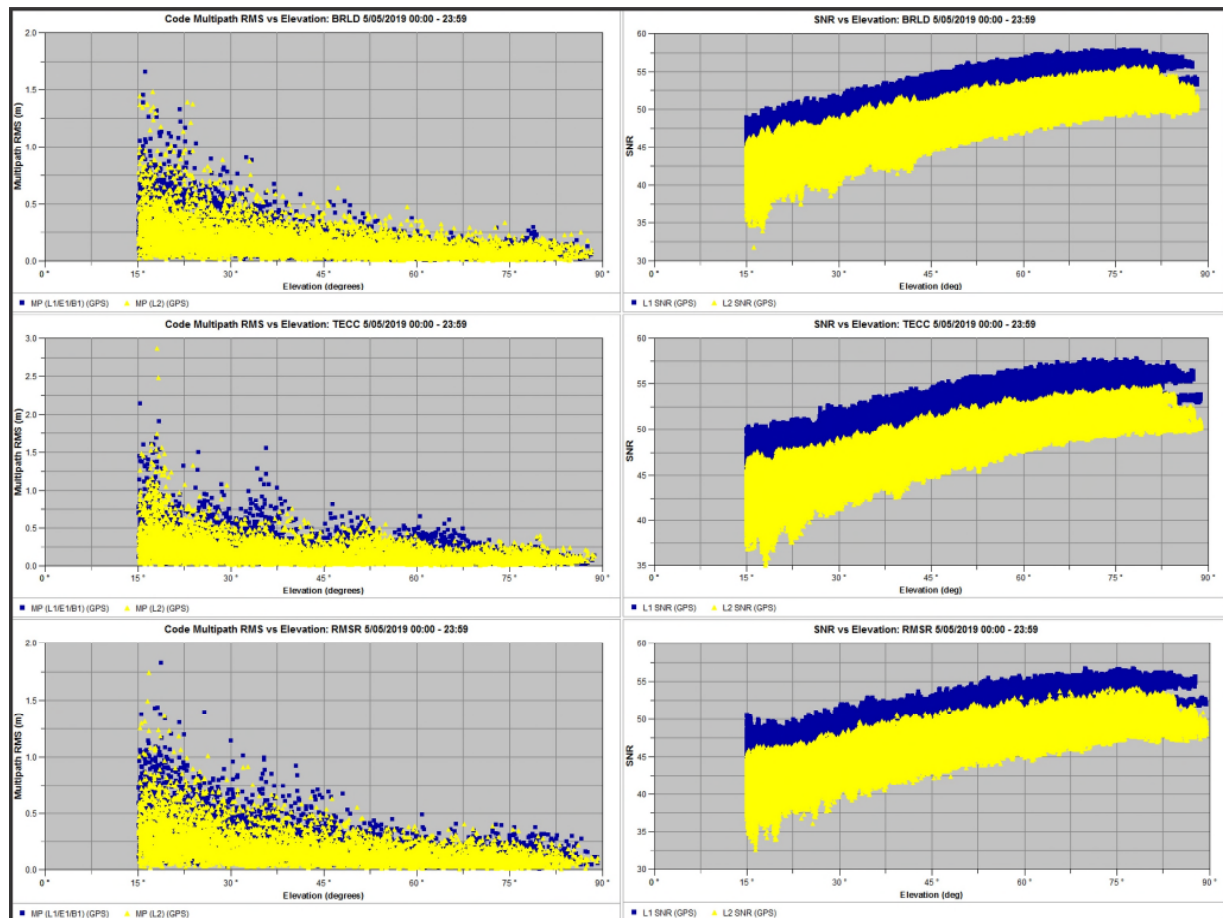


Figura 4: Analiza calității datelor GPS înregistrate în cele 3 noi locații, analiză semnal-zgomot în funcție de înălțime pe frecvențele L1 și L2 înregistrate.

Pentru rețeaua de stații GNSS de referință pe care o operăm și care generează o cantitate mare de date, o analiză detaliată a datelor nu poate fi posibilă fără instrumente sofisticate de analiză și de diseminare. În consecință, am generat o serie de rapoarte HTML, pagini web (“data repository” și “unavailability”) [<http://gps.infp.ro>], grafice și am pregătit distribuirea măsurătorilor calitative ale datelor brute obținute de la rețeaua de referință în vederea realizării unor investigații mai detaliate.

După analizarea întregului set de date, una dintre cele mai importante concluzii extrase s-a dovedit a fi faptul că, pentru anumite locații, avem nevoie de extensii (“pole”)

de cupru în cadrul măsurătorilor de campanie, pentru a elimina erorile multipath și pentru a reduce valorile SNR pentru unghiuri mai mici de elevare ($<15^0$).

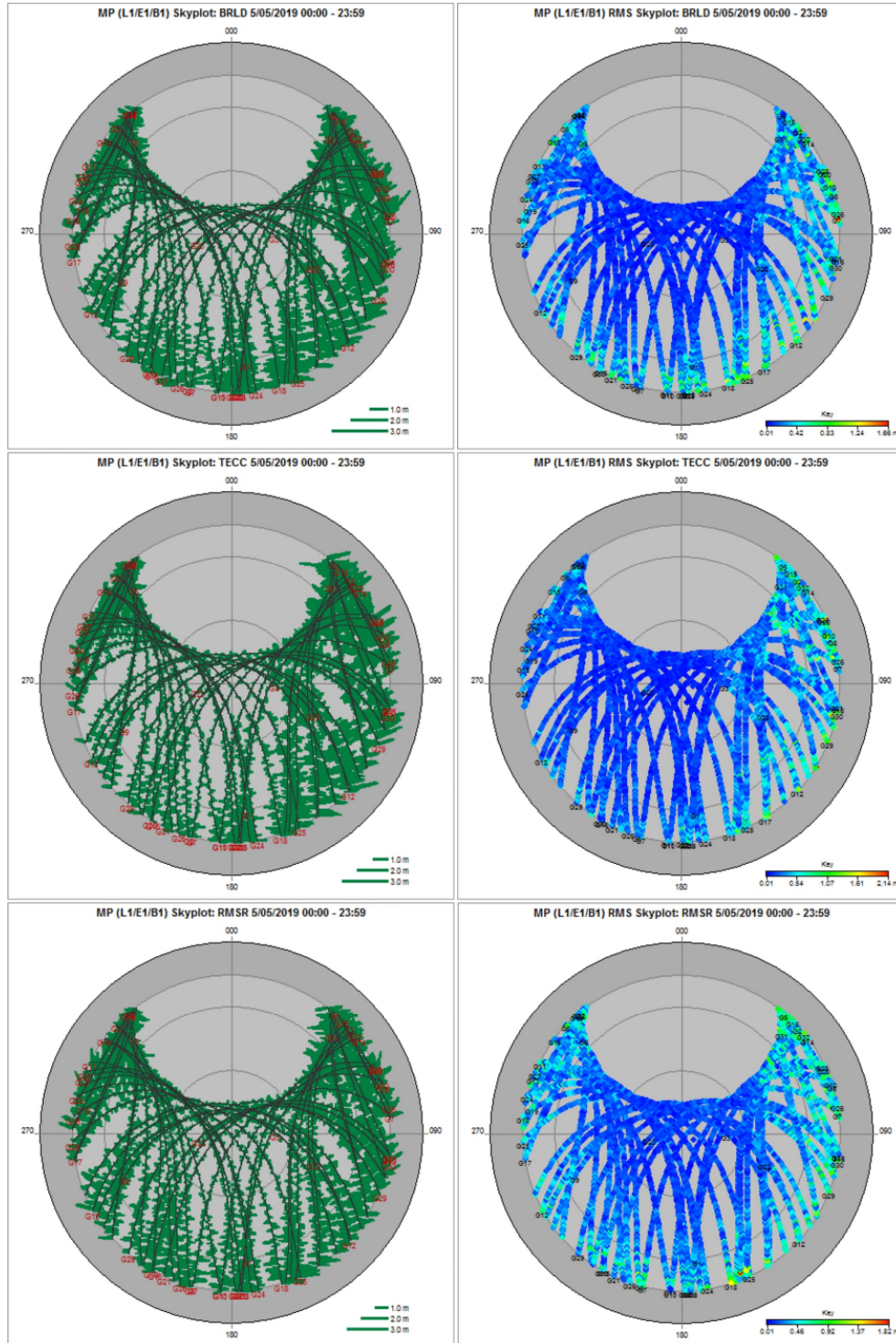


Figura 5 Analiza calității datelor GPS înregistrate în cele 3 noi locații, sky plots – analiza vizibilității sateliților pe tot parcursul înregistrării datelor, implementarea unui unghi de tăiere de 15^0 și observarea obstrucțiilor

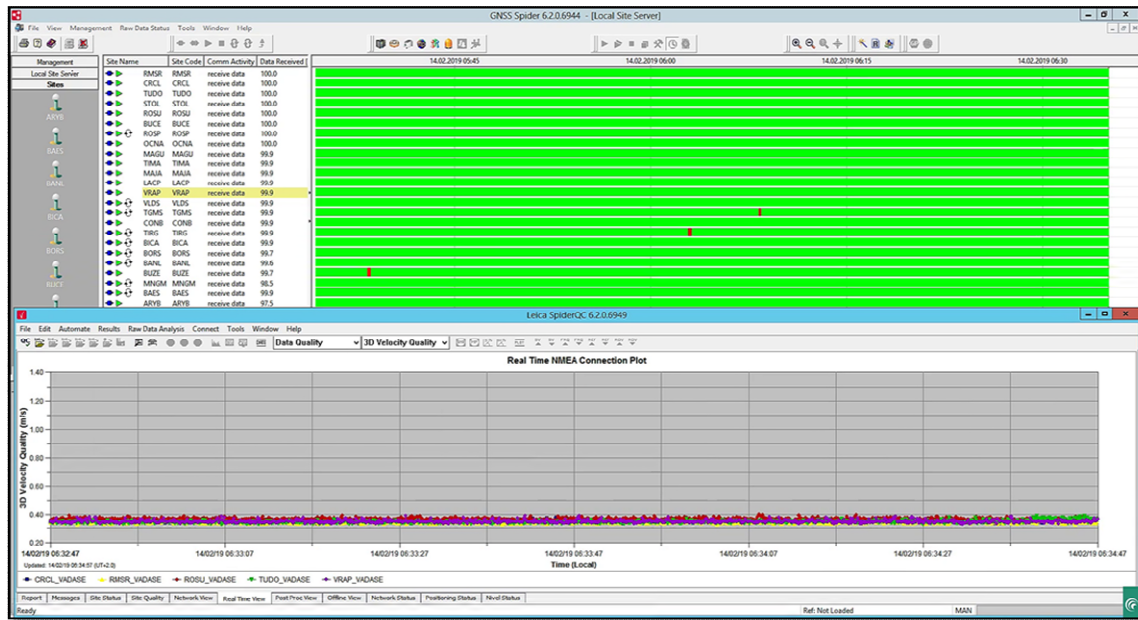


Figura 6: Reprezentarea grafică în timp real a fluxului de date de la cele 30 de stații GNSS ale INCDFP și a vitezelor de deplasare (la o frecvență de 10 Hz) combinate, pe toate cele 3 direcții (Est, Nord și Verticală) achiziționate folosind Leica SpiderQC.

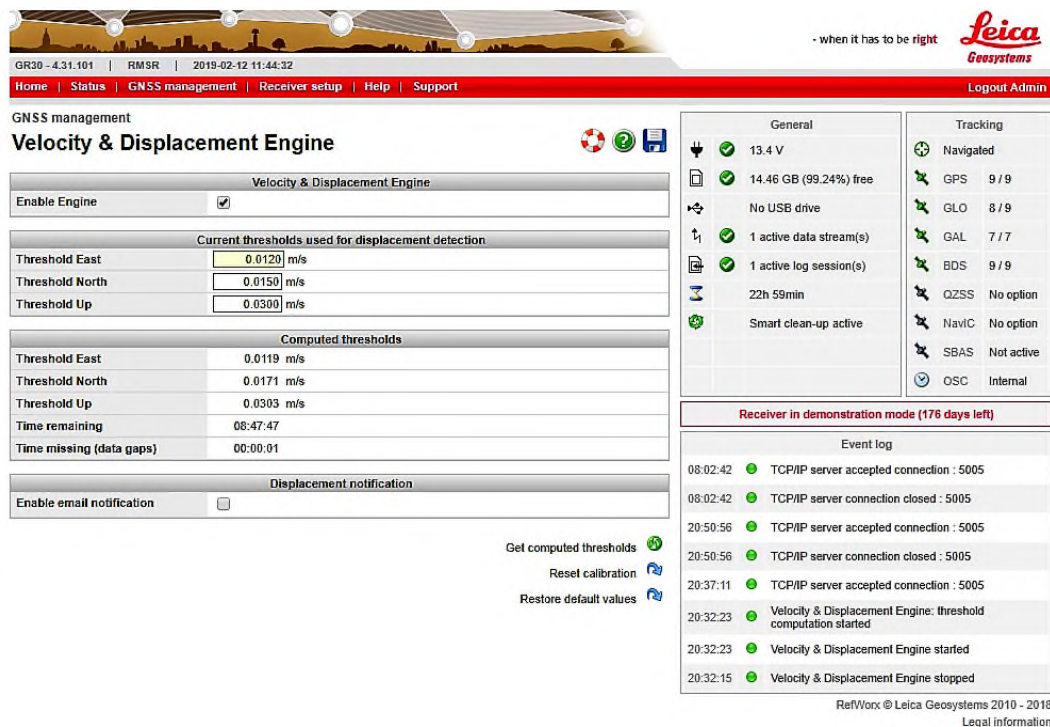


Figura 7: Configurarea stației GNSS RMSR: stabilirea pragurilor de viteze pentru fiecare componentă, parametrizarea constelațiilor și a sistemului VADASE în cadrul receptorului.

Cutremurele sunt unele dintre fenomenelor naturale cu efecte devastatoare, adesea fatale. În mod tradițional, accelerometrele și seismometrele înregistrează mișcările rapide ale solului cauzate de undele seismice. Accelerometrele înregistrează cele mai puternice mișcări din proximitatea epicentrului, iar seismometrele au o acuratețe mai bună în a înregistra undele seismice mai îndepărtate. Receptoarele GNSS (Global Navigation Satellite Systems / Sistemele globale de navigare prin satelit) înregistrează deplasările mult mai lente ale scoarței, deplasări ce se produc de-a lungul a ani de zile. De exemplu, ridicarea lentă dar continuă a unui edificiu vulcanic cauzată de aflusul de magmă sau mișcarea plăcilor tectonice, ambele măsurabile cu înaltă rezoluție temporală folosind receptoare GNSS [5]. În ultimii ani, a fost aplicată tehnologia GNSS pentru a se obține măsurători cu o rată de eșantionare mare, frecvențe care pot ajunge până la 50 Hz și pentru a se obține parametri de inversie ai surselor cutremurelor.

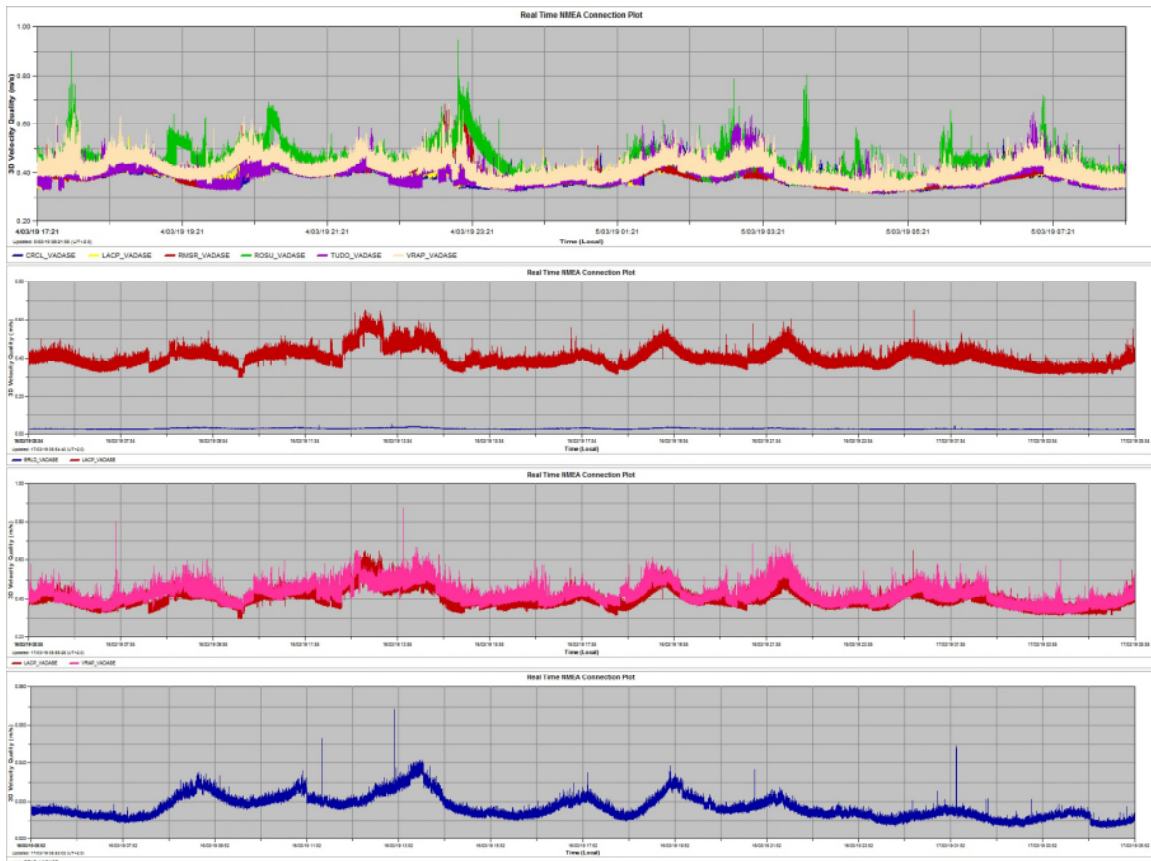


Figura 8: Reprezentarea grafică în timp real a vitezelor de deplasare (la o frecvență de 10 Hz) combinate, pe toate cele 3 direcții (Est, Nord și Verticală)

Utilizarea observațiilor precise de diferență de fază permite calcularea vitezei unei locații sau a poziției antenei GNSS, aceasta din urmă permițând o estimare precisă a mișcării. Pentru a elimina parametrul de ambiguitate necunoscut, este necesară o diferențiere în timp a observațiilor de fază. Se poate obține deci procesarea observațiilor

fără a fi nevoie să se realizeze nici o ambiguitate de fază și permite sistemului VADASE să producă o estimare a vitezei din oricare două epoci de observații de fază. Erorile, cum ar fi ionosfera, troposfera, erorile de linearizare și erorile de orbită ale sateliților trebuie compensate. Efectele ionosferei sunt atenuate prin procesarea unei combinații liniare - un proces comun de eliminare a efectelor refracției ionosferei, a semnalelor GNSS - care diminuează devierea ionosferei de prim ordin în soluția de viteză, în timp ce un model precis de troposferă este utilizat pentru a estima și a compensa troposfera. În cazul unei soluții de o singură frecvență, se utilizează un model ionosferic a priori precis pentru a compensa efectele acesteia. Erorile de linearizare pot fi, de asemenea, reduse la minimum utilizând două tehnici:

- Primul este de a lineariza setul de ecuații în jurul unui punct precis cunoscut, cum ar fi coordonatele site-ului antenei GNSS. Acestea ar trebui să se refere la cadrul de referință GNSS și să fie corecte cu cel puțin câteva zeci de centimetri.
- Al doilea este de a repeta soluția pentru a minimiza eventualele tendințe de linearizare. Dacă coordonatele site-ului sunt indisponibile sau de o calitate insuficientă, poate fi utilizată și o soluție de poziționare cu un singur punct ca punct de linearizare inițial.

Dat fiind faptul că VADASE este realizat la bordul receptorului ca soluție în timp real, vitezele de orbită prin satelit necesare pentru calcule trebuie să fie derivate direct din efemeridele emise prin satelit. Deoarece observațiile folosite sunt observații de fază diferențiate în timp, acestea reprezintă de fapt diferența de poziție între epocile ulterioare, ceea ce echivalează cu viteza medie pe perioada dată [6]. Mai mult, deoarece vitezele derivate din efemerida difuză sunt vitezele instantanee la timpul epocii, este necesar să se compenseze aceste valori pentru a obține viteza medie calculată pe întreaga epocă. Astfel, VADASE calculează accelerația prin satelit și ajunge la un nivel înalt de precizie în calcularea termenului de viteză mediu așteptat.

Sistemele de avertizare rapidă a cutremurelor pot utiliza tehnologia VADASE pentru a avertiza oamenii de știință atunci când undele de șoc generate de un cutremur sunt așteptate să ajungă la locația lor. În plus, pentru aplicații care necesită informații instantanee cu privire la impactul asupra naturii și infrastructurii ca urmare a catastrofelor seismice și naturale, metoda poate oferi informații despre deplasările co-seismice și formele de undă pentru analiză [7].

Bibliografie

[1] E. I. Nastase, A. Muntean, D. Toma-Danila, V. Mocanu, C. Ionescu, A regional GPS network for monitoring the Carpathian-Danubian -Pontic space deformations and the impact of local earthquakes. SGEM2016 Conference Proceedings Volume (accepted for publication), 2016;

[2] Iren-Adelina Moldovan, Dragoș Toma-Dănilă, Angela Petruța Constantin, Anica Otilia Plăcintă, Emilia Popescu, Cristian Ghiță, Mihail Diaconescu, Traian Moldoveanu, Cosmin Marian Paerele. Seismic risk assessment for large Romanian dams on Bistrita

and Siret rivers and their tributaries. Studia UBB AMBIENTUM, LXI, 1-2, 2016, pp. 57-72

[3] Department of Civil Engineering, Building and Environment, Geodesy and Geomatics Area Ph.D. course Infrastructures and Transportations „VADASE Variometric Approach for Displacement Analysis Stand-alone Engine”;

[4] G. Colosimo, M. Crespi, and A. Mazzoni „Real-time GPS seismology with a stand-alone receiver A preliminary feasibility demonstration”

[5] Hirahara, Y., Tsuji, H., Iimura, T., Kobayashi, K., and H., M. An experiment for GPS strain seismometer. National Committee for Geodesy, Science council of Japan, GPS consortium of Japan. presented in Japanese symposium on GPS, 1994

[6] Ge, L., Han, S., Rizos, C., Ishikawa, Y., Hoshiba, M., Yoshida, Y., Izawa, M., Hashimoto, N., and Himory, S. GPS seismometers with up to 20 Hz sampling rate. Earth Planets Space 52 (2000), 881-884

[7] Larson, K. M. GPS Seismology. Journal of Geodesy 83 (2009), 227- 233. doi:10.1007/s00190-008-0233-x

6.Rezultate, stadiul realizării obiectivului fazei, concluzii și propuneri pentru continuarea proiectului

Activitate științifică:

Conferințe internaționale:

[I] C. Neagoe, M. Rogozea, M. Popa, C. Ionescu, M. Radulian. Real Time Estimation of Peak Ground-motion Parameters and Moment Tensor Computation for Vrancea intermediate depth earthquakes. 27th IUGG General Assembly, July 8-18, 2019, Montreal, Canada. Datele seismice sunt complementare datelor GNSS, tehnologia GNSS poate avea un rol vital în monitorizarea în timp real a potențialelor cutremure distructive, studiu interdisciplinar.

[II] D. Ghica, B. Grecu, M. Popa. Seismo-acoustic observation of the ocean swell sources at BURAR site. CTBT: Science and Technology 2019, June 23-29 , 2019, Vienna, Austria. Acest studiu prezintă rezultatele seismo acustic privind deplasările crustei, rezultatele vor fi comparate cu rezultatele obținute în urma procesării datelor GNSS si vor fi utilizate în cercetările viitoare interdisciplinare.

[III] Csenge Czanik, Daniela Ghica, Tereza Sindelarova, Ulrike Mitterbauer. Improving the infrasound monitoring capability in Europe incorporating CEEIN, June 23-19, 2019, Vienna, Austria. Acest studiu prezintă monitorizarea utilizând infrasunetele în Europa. Diseminarea acestor rezultate pe plan internațional sunt de maxima importanță pentru cercetările viitoare interdisciplinare.

[IV] PhD Andrei Mihai, Dr. Iren Adelina Moldovan, Dr. Victorin Emilian Toader. Anomalous geomagnetic variation associated with the Vrancea earthquake ($m_w=5.5$) on 28 october 2018. 19th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM, 28 June – 7 July, 2019, Albena, Bulgaria. Măsurătorile din domeniul GNSS sunt complementare datelor seismologice deoarece ele documentează un întreg ciclu seismic, procesele postseismice interseismice și tranzitorii, precum și deformarea coseismică.

[V] Dr. Victorin Emilian Toader, Dr. Iren Adelina Moldovan, PhD Andrei Mihai. Forecast earthquakes using acoustic emission. 19th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM, 28 June – 7 July, 2019, Albena, Bulgaria. Măsurătorile din domeniul GNSS sunt complementare datelor seismologice deoarece ele documentează un întreg ciclu seismic, procesele postseismice interseismice și tranzitorii, precum și deformarea coseismică.

Workshop:

[I] A. Marmureanu, F. Borleanu 27 - 28 Mai 2019, Thessaloniki, Grecia Participare întâlnire proiect internațional AdriaArray, studiu privind procesul de deformare și procesele geodinamice din zona plăcii Adriatice. Rezultatele obținute vor fi folosite în viitoare studii de cercetare alături de rezultatele obținute în urma procesării datelor GNSS. Vom putea trage o concluzie, la nivel regional, privind efectele interacțiunii între sistemul Pancardi, platforma Scitica, sistemul Aegean privind către sud până la domeniul nord-African.

[II] C. Neagoe 21 - 24 Mai 2019, Potsdam, Germania EIDA technical meeting - ETC Meeting mai 2019 (European Integrated Data Archive). Întâlnire de lucru privind integrarea datelor seismice și a datelor GNSS la nivel european.

[III] D. Ghica 4 – 7 iunie 2019, Ungaria Participare la ședința de pregătire a viitorului proiect european ARISE3, care va fi continuarea proiectului ARISE2, încheiat în octombrie 2018, datele GNSS ale rețelei INFP vor fi folosite în acest proiect.

- **Baze de date, portaluri, etc:**

[I] Realizare bază de date: <http://rognss.infp.ro/>

[II] Contributie portal: <https://gnss-metadata.eu/>

[III] Contributie portal: <http://glass.unice.fr/#/site>

Intentionam ca această bază de date standardizată creată să servească la depunerea de noi inițiative științifice și la realizarea a cât mai multe studii de caz, cercetări și publicații. În ceea ce privește extinderea/continuarea proiectului, ne propunem ca pe viitor să integrăm și date GNSS de frecvență mare (de până la 1Hz) și țintim și către realizarea unui serviciu de produse în aceeași tematică.

Concluzii:

Activitatea desfășurată este foarte importantă deoarece a fost creată o bază unică de date GNSS, fiind o combinație omogenă a rețelelor permanente ce acoperă întreg teritoriul țării și au fost create metadate standardizate pentru toate stațiile. Toate aceste date ne vor ajuta în viitoarele studii de cercetare pe care intenționăm să le facem, să promovăm studiile interdisciplinare cu un accent special pe seismologie și geologie. Măsurătorile din domeniul GNSS sunt complementare datelor seismologice deoarece ele documentează un întreg ciclu seismic, procesele postseismice interseismice și tranzitorii, precum și deformarea coseismică.

Responsabil proiect

Dr. Alexandru Mărmureanu

Responsabil fază

Dr. Ing. Alexandra Muntean