

Universitatea Tehnică de Construcții București

Școala Doctorală

TEZĂ DE DOCTORAT

Contribuții la utilizarea observațiilor GNSS repetate în monitorizarea
deplasărilor

- REZUMAT -

Conducător doctorat:

Prof.univ.dr.ing. **CONSTANTIN MOLDOVEANU**

Doctorand:

ing. **ALEXANDRU-IULIAN ILIESCU**

București, 2018

Nr. 14335 / 11.12.2018

Domnului/Doamnei,

Vă facem cunoscut că în ziua de 17.01.2019 ora 14,00 în Sala Multimedia, din Facultatea de Geodezie, Bdul. Lacul Tei nr. 122-124, sector 2, va avea loc susținerea publică a tezei de doctorat cu titlul: „Contribuții la utilizarea observațiilor GNSS repetate în monitorizarea deplasărilor”, elaborată de ing. ILIESCU P.V. Alexandru - Iulian în domeniul fundamental „Științe ingineresti”, domeniul de doctorat „Inginerie civilă și instalații”, cu următoarea comisie:

Președinte:	Prof.univ.dr.ing.Gheorghe BADEA	Decan - Facultatea de Geodezie Universitatea Tehnică de Construcții București
Conducător de doctorat:	Prof.univ.dr.ing.Constantin MOLDOVEANU	Facultatea de Geodezie Universitatea Tehnică de Construcții București
Referenți oficiali:	Prof.univ.dr.ing. Alexandru BADEA	USAMV București
	Prof.univ.dr.ing. Cornel PĂUNESCU	Universitatea București
	Conf.univ.dr.ing. Tiberiu RUS	Facultatea de Geodezie Universitatea Tehnică de Construcții București

Vă trimitem rezumatul tezei de doctorat, cu rugămintea de a ne comunica în scris, aprecierile și observațiile dumneavoastră până la data de 17.01.2019, pe adresa scoala.doctorala@utcb.ro.

Vă invităm cu acest prilej să participați la susținerea publică a tezei de doctorat.

RECTOR,

Prof.univ.dr.ing. Radu Sorin VĂCĂREANU



Secretar Șef Universitate,

Ing Mihaela VOICA

Radu Sorin

CUPRINS

Lista figurilor	v
Lista tabelor	vii
Abrevieri	viii
Prefața	x
1. Noțiuni generale	1
1.1. Structuri și decizii	1
1.2. Hazard	1
1.2.1. Definiția hazardului	1
1.2.2. Clasificarea hazardelor	2
1.2.3. Dezastrul	3
1.2.4. Riscul	3
2. Stadiul actual	5
2.1. La nivel național	5
2.2. La nivel internațional	6
3. Noțiuni legate de seismicitate și geologie structurală	22
3.1. Noțiuni de tectonică și seismicitate	22
3.1.1. Scurt istoric	22
3.1.2. Plăci tectonice	22
3.1.3. Tipurile de plăci tectonice și coliziune	24
3.1.4. Modul de producere și cauzele declanșatoare ale cutremurelor de pământ	25
3.2. Aspecte privind zona României	28
3.2.1. Tectonica și cutremurele din România	28
3.2.2. Seismicitatea în zona Vrancea	31
3.3. Stres și deformare	31
3.3.1. Tensorul	31
3.3.2. Deplasarea și deformația	32
3.3.3. Noțiunea de stres	34
3.3.4. Strain	41
4. Hărți și modele de deplasare a plăcilor tectonice	46
4.1. Modelul Global Strain Rate Model (GSRM)	46
4.2. Modelele NUVEL și MORVEL	48
4.3. Modele tectonice în România	49
5. Metode actuale utilizate în monitorizarea deplasărilor	53
5.1. Metode geodezice de determinare a deplasărilor construcțiilor	53
5.2. Triangulație și trilateratie	53
5.2.1. Definiție	53
5.2.2. Rețeaua geodezică	54

5.3. Nivelment	54
5.3.1. Aspecte generale	54
5.3.2. Nivelmentul geometric	55
5.3.3. Nivelmentul hidrostatic	56
5.4. Monitorizarea prin GNSS	57
5.4.1. Metode GNSS	57
5.4.2. Metoda statică	58
5.4.3. Metoda PPP	59
5.4. Metode de monitorizare prin scanare laser	60
5.4.1. Prezentare generală	60
5.4.2. Tipuri de scanare laser	62
5.4.3. Monitorizare cu ajutorul InSAR – principiul InSAR	63
6. Tehnologii și sisteme de monitorizare	65
6.1. Sisteme satelitare de poziționare	65
6.1.1. NAVSTAR – GPS	65
6.1.2. GLONASS	66
6.1.3. GALILEO	67
6.1.4. COMPASS (Beidou-2)	67
6.1.5. QZSS - Quasi Zenith Satellite System	68
6.1.6. IRNSS - Indian Regional Navigation Satellite System	69
6.2. Sisteme Sbas regionale (Complementare)	70
6.2.1. EGNOS - European Geostationary Navigation Overlay Service	70
6.2.2. OMNISTAR și StarFix	71
6.2.3. WAAS - GPS wide Area Augmentation System	71
6.2.4. SDCM - System for Differential Corrections and Monitoring	72
6.2.5. GAGAN – GPS Aided Geo-Augmented Navigation	72
6.2.6. MSAS - Multi-funcțional Satellite Augmentation System	73
6.2.7. KASS - Korea Augmentation Satellite System	73
6.3. Sisteme complementare terestre europene	74
6.3.1. EUPOS - European Positioning Determination System	74
6.3.2. ROMPOS - Romanian Position Determination System	74
6.4. Interferometrie cu sateliți	75
6.4.2. Principiul InSAR	76
6.4.3. Moduri de achiziție a datelor	79
6.5. Sisteme de monitorizare	81
6.5.1. Geocube	81
6.5.2. Alert-DDS - Alert Deformation Detection System	83
6.6. Implementarea sistemelor de monitorizare	84
6.6.1. Rețeaua SCIGN – California (Southern California Integrated GPS Network)	84
6.6.2. Rețeaua Geonet – CORS – Japonia	87
6.6.3. Sistemul ConDAS - Continuous Deformation Analysis System	89

6.6.4. Rețele GNSS de monitorizare locale.....	91
6.6.5. Stații permanente I.N.F.P.	92
6.6.6. Monitorizarea turnului de televiziune cu scanare laser	93
6.7. Programe pentru monitorizarea deplasărilor.....	95
6.7.1. Programul Bernese	95
6.7.2. Programul GIPSY-OASIS.....	98
6.8. Utilizarea receptoarelor GNSS ca seismometre.....	98
7. Determinarea strain-ului cu ajutorul GNSS	102
7.1. Algoritm de calcul pentru strain orizontal (2D) cu date GNSS.....	102
7.2. Algoritm de calcul pentru determinarea strainului 3D.....	109
8. Studiu de caz.....	112
8.1. Compararea datelor furnizate de InSAR și GNSS	112
8.2. Determinarea deplasărilor și a vitezelor de deplasare cu tehnologie G.N.S.S. într-o rețea geodinamica 117	
8.2.1. Prelucrarea și afișarea rezultatelor cu programul Bernese	117
8.2.2. Calculul strain-ului din trei stații GNSS pentru zona studiată.....	127
8.2.3. Elaborarea și reprezentarea rezultatelor obținute pentru strain	135
9. Concluzii, contribuții și perspective	140
9.1. Concluzii	140
9.2. Contribuții	142
9.3. Perspective	144
Bibliografie.....	146
Anexa 1.....	151

1. NOȚIUNI GENERALE

1.1. Structuri și decizii

În 11.12.1987, Adunarea Generală a Națiunilor Unite la inițiativa Academiei Naționale de Științe a S.U.A. a adoptat rezoluția nr. 42/169 care a declarat deceniul 1990-1999 ca fiind „Deceniul Internațional pentru Reducerea Efectelor și a Dezastrelor Naturale” (IDNDR). Prin această rezoluție se propune să se reducă impactul dezastrelor naturale asupra tuturor persoanelor, în special asupra țărilor în curs de dezvoltare și desemnează anii 1990 ca un deceniu în care comunitatea internațională, sub auspiciile Organizației Națiunilor Unite, va acorda o atenție specială stimulării cooperării internaționale în domeniul reducerii dezastrelor naturale.

După această inițiativă, apare ideea unui dicționar de termeni, pentru a promova și a avea o înțelegere comună pe această temă, pentru a fi utilizată de către public, autorități și practicieni.

În 1999, Deceniul Internațional pentru Reducerea Efectelor și a Dezastrelor Naturale (IDNDR) comunitatea internațională este din ce în ce mai conștientă de faptul că dezastrele naturale reprezintă o amenințare majoră pentru stabilitatea socială și economică și o soluție ar fi prevenirea dezastrelor, fiind o soluție pe termen lung la această amenințare.

În România, prin Ordonanța numărul 47/1994, se înființează Comisia Guvernamentală de Apărare Împotriva Dezastrelor.

Conform Ordonanței, Comisia Guvernamentală de Apărare Împotriva Dezastrelor își constituie un secretariat tehnic permanent care activează pe lângă secretarul general al Guvernului și care este alcătuit din specialiști din mai multe domenii de activitate, desemnați de ministere și de celelalte autorități.

1.2. Hazard

1.2.1. Definiția hazardului

Dicționarul IDNDR definește hazardul ca fiind un proces, un fenomen sau o activitate umană care poate cauza pierderi de vieți omenești, vătămări corporale sau alte efecte asupra sănătății, pagube materiale, întreruperi sociale și economice sau degradare a mediului. Conform DEX, hazardul este un concurs de împrejurări (favorabile sau nefavorabile) generat de cauze care rămân în general necunoscute.

1.2.2. Clasificarea hazardelor

Hazardul nu este un fenomen întâmplător și nici impredictibil, ci doar manifestarea și consecințele sale sunt în general dificil de prognozat și controlat.

Hazardul se clasifică în funcție de natura lor, geneză, mediul de manifestare, durata de manifestare.

1.2.3. Dezastrul

Dicționarul IDNDR definește dezastrul ca fiind o perturbare gravă a funcționării unei comunități sau a unei societăți la orice nivel, datorită evenimentelor periculoase care interacționează cu condițiile de expunere, vulnerabilitate și capacitate, conducând la una sau mai multe din următoarele: pierderi umane, materiale, economice și de mediu și impacturi.

Conform DEX, dezastru este definit ca o situație anormală deosebit de gravă (cauzată de un eveniment tragic, natural sau provocat).

1.2.4. Riscul

Riscul este definit de DEX ca fiind posibilitatea de a cădea într-o primejdie, într-un necaz, într-o pagubă; pericol posibil. IDNDR îl definește ca fiind potențialul de pierderi de vieți omenești, prejudiciu sau distruse sau deteriorate active care ar putea apărea într-o anumită perioadă a unui sistem, a unei societăți sau a unei comunități, determinate probabilistic în funcție de pericol, expunere, vulnerabilitate și capacitate.

Distincția între termenii pericol și risc o formulează Geomorfologul J. Tricart (1992), definind pericolul ca fiind un fapt brut, neavând în mod necesar consecințe. Pericolul se transforma în risc doar atunci când amenința o ființă sau un obiect. Când acest risc s-a concretizat și a reușit să provoace pagube importante și distrugeri, se poate vorbi de o catastrofă. (State, 2013).

2. STADIUL ACTUAL

2.1. La nivel național

❖ În zona Dobrogea s-au efectuat mai multe măsurători înainte de anul 1990. Pe baza măsurătorilor de nivelment de ordin superior executate în rețeaua îndesită și compensată (între 1933 și 1982), având ca referință maregraful din Constantă, în anul 1986 s-a întocmit o hartă a mișcărilor crustale verticale de Popescu și Dragoescu.

La începutul anului 2000 s-a reluat ideea de efectuare a unui poligon geodinamic, astfel că în perioada 2000-2002 s-a desfășurat proiectul ***Poligonul Geodinamic "Dobrogea"***, care s-a focalizat cu precădere asupra sectoarelor central și nordic al Dobrogei, acolo unde, conform Dimitriu (2002), amplitudinea mișcărilor crustale actuale și stresul transformat exercitat asupra liniei de coastă datorită schimbărilor globale în curs de desfășurare sunt semnificativ mai ridicate și s-a finalizat cu selectarea unui număr minim de 13 locații.

❖ În zona seismică Vrancea s-au desfășurat după anii 1990 diferite proiecte care constau în măsurători repetate, scopul fiind acela de a determina mișcările crustale.

➤ În perioada 1994-1999, UTCB a participat la ***CERGOP*** (Proiectul Geodinamic Regional Central European) extins în 11 țări CEI (Inițiativa Central Europeană) și au fost colectate

înregistrări GPS din an în an (1995-1997) și apoi din doi în doi ani (după 1997).

➤ Proiectul **INDEGEN** a început în 2006 cu o durată de trei ani, fiind coordonat de IGR în colaborare cu UTCB - Facultatea de Geodezie, Universitatea București, Institutul Geologic al României (IGR) și INFP. Obiectivul central al cercetărilor geodezice, care au inclus măsurători GPS și de nivelment repetate, combinate cu alte tipuri de măsurători, cum sunt cele gravimetrice. Rețeaua geodezică geodinamică a fost conectată cu rețeaua națională de stații GPS permanente și rețeaua CEGRN (Rețeaua Geodinamică Central Europeană) prin campanii de măsurători GPS și de nivelment realizate în iulie 2007 și iulie 2008. Primele rezultate au fost obținute după cele două campanii de observații [Rus ș.a., 2008, 2009].

❖ În lucrarea de doctorat "Contribuții la determinarea zonelor afectate de alunecări de teren pe bază de calcul determinist și probabilistic" prezentată în 2013, Adrian Andronic prezintă **monitorizarea satelitară a zonei falezei a municipiului Galați folosind metoda InSar**. Cu ajutorul acestei metode încearcă să monitorizeze alunecările de teren zonale, folosindu-se de două imagini SAR. Având la dispoziție numai două imagini, reușește să calculeze prima interferogramă, dar nu a putut realiza o analiză a deplasărilor între cele două imagini, ci doar o hartă a elevațiilor și concluzionează că metoda se pretează pentru acest tip de studiu, dar necesită prelucrarea unui număr mult mai mare de imagini, un minim de trei imagini.

2.2. La nivel internațional

În introducerea articolului "**How second generation SAR systems are impacting the analysis of ground deformation**" semnat de **E. Sansosti**, autorii afirmă că tehnica SAR este una dintre cele mai importante tehnici de monitorizare de la distanță a suprafeței Pământului de câteva decenii încoace.

Încă din anii 2000 un set de tehnici InSAR au fost dezvoltate nu doar pentru a studia un singur episod al deformațiilor (o singură erupție a vulcanilor sau un singur seism), ci pentru a urmări evoluția temporală a deplasărilor prin generații de serii de timp ale deformațiilor. Ca un efect advers de remarcat, aceasta a permis o filtrare eficientă a zgomotului atmosferic și o mai bună compensare a artefactului topografic (îmbunătățirea imaginii), care au dus la o mai bună precizie a metodei.

Tehnica DInSAR a fost dezvoltată și vine cu o a doua generație de senzori SAR care sunt deja funcționali (TerraSAR-X, Cosmo-SkyMed, Radarsat-2) sau vor fi lansați în viitorul apropiat, care operează pe diferite frecvențe cu diferite rezoluții terestre, dar toți au în comun următoarele caracteristici:

- un timp de revizitare mai scurt a unei zone (la câteva zile);
- o rezoluție îmbunătățită (mai mică de câțiva metri sau chiar mai puțin).

ASNARO-2 acronim de la „Advanced Satellite with New system Architecture for Observation”, este un satelit japonez lansat în ianuarie 2018, care orbitează la 500 km deasupra Pământului, deplasându-se într-un ciclu complet de orbită în 90 minute, primele imagini fiind preluate pe 4 februarie 2018. Este echipat cu senzori SAR în banda X, cu o rezoluție la sol de 1 metru.

Perioada misiunii	Satelit	Mod	Unghiul de incidenta	Bandă	Lungimea de bandă	Rezoluția [m]	Revenire [zile]
1978-1978	SeaSAT	Stripmap	23	L	23.5	20	24
1991-1998	JERS-1	Stripmap	39	L	23.5	16	44
1991-2001	ERS-1	Stripmap	23	C	5.66	25	35
1995-2011	ERS-2	Stripmap	23	C	5.66	25	35
1995-azi	Radarsat-1	Stripmap	20-50	C	5.66	20-30	24
		Scansar					
2002-2012	ENVISAT	Stripmap	15-45	C	5.63	25-50	35
		Scansar					
2007-azi	Radarsat-2	Stripmap	20-49	C	5.55	20-30	24
		Scansar					
		Spotlight					
2006-2011	ALOS-1	Sripmap	8-60	L	23.6	9-30	46
		Scansar					
2007-azi	COSMO-SkyMed	Stripmap	20-60	X	3.1	3-15	1-8
		Scansar	20-60			7-30	
		Spotlight	20-60			1	
2007-azi	TerraSAR-X	Stripmap	20-45	X	3.11	1-3	11
		Scansar	20-45			2-3	
		Spotlight	20-55			1-3	
2014 - azi	Sentinel-1	Stripmap	18-46	C	3.1	5	12
		ScanSAR	30-46				
2014-azi	ALOS-2	Stripmap	8-70	L	22.9	6-10	14
		ScanSAR				10-30	
		Spotlight				3	
Ianuarie 2018-azi	ASNARO-2	Stripmap Spotlight	Mecanism cu 2 axe	X		1	19 ore

Tabel 1 - Caracteristici ale sistemelor satelitare SAR

O altă noutate sunt sateliții dezvoltați de Coreea, prin Institutul de Cercetare aerospațială care a dezvoltat un proiect intitulat KOMPSAT, acronimul de la Korea Multi-Purpose Satellite. În august 2012 a fost lansat satelitul KOMPSAT-5 fiind echipat cu senzori SAR în banda X, situat pe o orbită de 550 km, furnizând imagini SAR cu o rezoluție de 1 metru.

Următoarea generație de sateliți SAR, care o să înlocuiască satelitul KOMPSAT-5 este KOMPSAT-6, cu termen de lansare anul 2020, având ca obiectiv principal, preluarea imaginilor SAR cu o rezoluție de 0.5 metri, fiind lansat pe orbita de 505 km, având o perioadă de revenire de 11 zile.

❖ În primul studiu de caz, în zona vulcanică Campi Flegrei, se pune accent pe rezultate obținute din procesarea imaginilor în număr de 138 a sateliților ERS-1/2 plus ENVISAT și 107 date obținute de CSK. Achiziția datelor a fost între ianuarie 1993-septembrie 2010 pentru datele de la ERS/ENVISAT și iulie 2009 și iulie 2011 în cazul datelor CSK.

Modelul ERS/ENVISAT arată o surpare a zonei de 25 cm de-a lungul liniei de vizare încă din 2000, iar modelul CSK arată o discontinuă ridicare a terenului care a început la jumătatea anului 2009.

Motivele pentru aceste diferențe sunt următoarele: rezoluția senzorilor de bandă X ne pot da informații detaliate, acolo unde cei în banda C nu oferă informații, unghiul benzii C este un pic nefavorabil, dar și faptul că perioada de achiziție a datelor de către senzorii în banda X (4-8 zile) față de 35 zile a celor în banda C permit o colectare a datelor mult mai detaliată și au o coerență mult mai precisă.

Muntele Etna este un alt exemplu studiat în articol, pentru care s-au folosit 132 de imagini descendente ERS-1/2 plus ENVISAT, 18 imagini ascendente ALOS și 78 CSK SAR imagini descendente. Perioada de studiu a fost cuprinsă în intervalul mai 1992 - august 2010 pentru imaginile ERS/ENVISAT care au fost procesate cu un factor de compresie cu valoarea de 4 în distanță înclinată și 20 în azimut astfel reducând rezoluția la aproximativ 100 cu 100 metri, unghiul de incidență fiind de 23 grade.

Datele preluate de ALOS acoperă perioada ianuarie 2007 - mai 2010 și au fost procesate aplicând un factor de compresie cu valoarea de 8 în distanță și 16 în azimut, rezultând o rezoluție finală de 80 cu 80 metri, unghiul de incidență fiind de 38 grade. Imaginile CSK au fost achiziționate pe perioada iulie 2009 - decembrie 2010 și au fost procesate aplicând un factor de compresie de 8 în ambele direcții, ajung la o rezoluție finală de 25 cu 25 metri, unghiul de incidență fiind de 56 grade.

Compresia interferogramei se aplică în vederea reducerii zgomotului de fază. De regulă, gradul de compresie a interferogramei se calculează astfel încât interferograma finală să fie reprezentată prin pixeli de formă pătrată. (Dana, 2010)

Harta deformațiilor produsă cu ajutorul imaginilor preluate de CSK arată pe partea estică a vulcanului o deplasare pozitivă (distanța țintă-senzor se micșorează), flanc despre care se știe că există un fenomen de prăbușire, o deplasare negativă generală pe parte vestică (distanța țintă-senzor crește), iar pe flancul sudic o surpare locală datorită curgerilor de lavă.

Pentru a putea face o comparație între cele trei seturi de date și anume, CSK, ALOS și ERS/ENVISAT, rezultatele au fost limitate la aceeași perioadă că și datele CSK (2009-2010).

Analizând seriile de timp din figura 4.2, se observă că CSK are o perioadă de revizitare mult mai scurtă ceea ce îmbunătățește categoric capacitatea senzorilor de a detecta semnalul asociat evenimentului seismic. În acest caz se observă clar o discontinuitate de aproximativ 7 cm, cauzată de cutremur. În cazul ALOS sau ERS/ENVISAT această mișcare abia dacă poate fi sesizată.

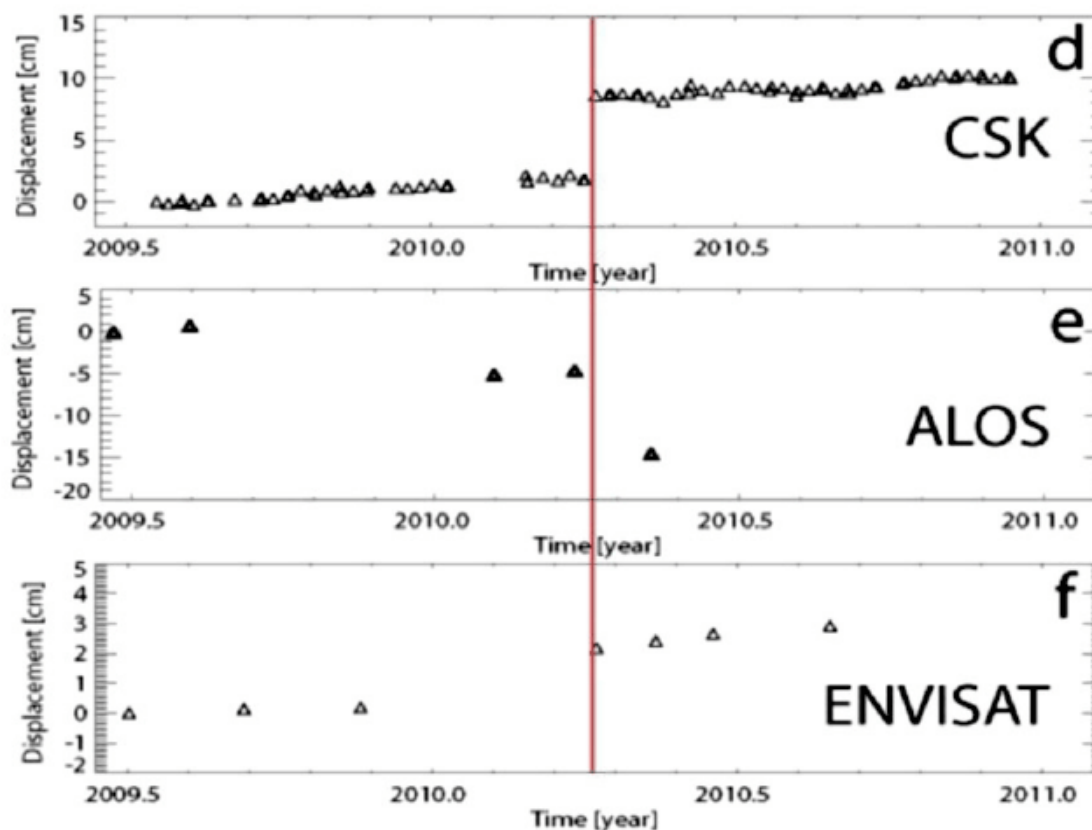


Figura 1 - Comparație măsurători CSK-ALOS-ENVISAT

De remarcat și faptul că deplasarea în cazul acestora este mai mică decât în cazul CSK, deși sunt măsurate aceleași puncte.

Cercetătorii subliniază că măsurătorile deplasărilor, efectuate atât de CSK și ERS/ENVISAT, sunt semnificativ mai mici decât valorile măsurătorilor efectuate în teren. Acest lucru se poate datora faptului că deformația are valoarea maximă aproape de fisură, acolo unde datele preluate de senzorii SAR sunt decorelate.

Printre avantajele prezentate de cercetători sunt:

- ✓ Imaginile SAR pot prelua imagini de până la 100 x 100 km, ceea ce permite monitorizarea cu ușurință a unor suprafețe mari;
- ✓ Sateliții InSAR permit monitorizarea de la distanță care poate fi făcută cu niște costuri reduse, deoarece nu implică deplasările în locuri cu acces și climat dificil și nu pun în dificultate siguranța cercetătorului.
- ✓ Existența unei arhive a imaginilor SAR încă din 1992, ceea ce face posibilă monitorizarea retrospectivă a unor puncte de interes.

✓ În funcție de precizia impusă de diferite proiecte, sateliții InSAR sunt capabili să obțină un nivel de acuratețe centrimetric spre milimetric, în schimb interferometria radar terestră obține nivelul submilimetric.

✓ Un alt avantaj al interferometriei terestre este ca și

✓ temele sunt capabile să monitorizeze obiective de până la 8 km, ceea ce permite amplasarea sa la o distanță sigură și se pot monitoriza multiple obiective dintr-o singură locație.

✓ Prin montarea mai multor sisteme terestre se pot face determinări în trei dimensiuni.

Dezavantajele sunt următoarele:

✓ având o orbită aproape polară (trece prin apropierea ambilor poli), imaginile sunt preluate pe linia de vizare a antenei îndreptată spre Pământ, adică spre Vest sau Est, ceea ce înseamnă că o componentă a solului care este orientată spre nord-sud nu o să fie preluată;

✓ deși sateliți precum ERS-1 și ERS-2 au construit o arhivă substanțială de imagini preluate și alți sateliți au preluat doar imagini comandate, imaginile preluate la o trecere descendentă sunt mult mai întâlnite decât cele la o trecere ascendentă, pentru că la trecerea ascendentă a satelitului este de regulă în beznă, ceea ce face ca panourile solare să nu genereze suficientă energie;

✓ nu este o tehnologie pentru măsurători în timp real

✓ variații în altitudine pot cauza diferite distorsiuni în imaginile SAR, din cauza unghiului oblic de al antenei. Atât dealurile cât și crestele montane pot fi subiectele unor distorsiuni, precum "foreshortening" (scurtare), layover (pune peste) sau "shadowing" (umbrire).

3. NOȚIUNI LEGATE DE SEISMICITATE SI GEOLOGIE STRUCTURALĂ

3.1 Noțiuni de tectonică și seismicitate

3.1.1. Scurt istoric

Teoria formării Pământului și a plăcilor tectonice a fost un subiect dezbătut, formându-se multe teorii, printre care amintesc: Teoria derivei continentelor (Wegener, 1912), Teoria paleomagnetismului (1950), Teoria expansiunii fundului oceanic (Hess, 1962), Teoria plăcilor litosferice (1968).

Morgan, McKenzie și Parker, Xavier Le Pichon, alături de Bryan Ysacks, Jack Oliver și Lynn Sykes sunt cei care, în 1968, dezvoltă teoria plăcilor tectonice, care generează conceptul că litosfera este împărțită (divizată) în blocuri crustale denumite plăci tectonice, aflate în mișcare pe astenosferă. (Juravle, 2013)

3.1.2. Plăci tectonice

Blocurile crustale de diferite mărimi ale litosferei, care se află într-o dinamică continuă, fiind delimitate de mari alinamente de fracturi și au denumirea de plăci tectonice. Blocurile crustale reprezintă ansamblul structural cuprins între suprafața și stratul de viteză redusă, delimitat lateral prin fracturi pe toată această adâncime. Termenul „bloc” indică o regiune relativ stabilă situată între lanțuri de munți, dar într-o concepție dinamică trebuie considerat ca unitate mobilă care s-a deplasat împreună cu altele sau față de altele, alunecând pe stratul de adâncime, adică pe astenosferă.

3.1.3. Tipurile de plăci tectonice și coliziune

Plăcile tectonice se clasifică în funcție de:

- tipurile de scoarță care alcătuiesc blocurile crustale;
- dimensiunea acestora.

În funcție de dimensiunea acestora, se deosebesc:

- Macroplăci;
- Mezoplăci;
- Microplăci;
- Nanoplăci (blocuri tectonice).

3.1.4. Modul de producere și cauzele declanșatoare ale cutremurelor de pământ

Cutremurele sunt fenomenele naturale, reprezentate de mișcări bruște, sub formă unor trepidații ale unor porțiuni din scoarța terestră generate de eliberarea energiilor din interiorul Pământului (focare seismice) în urma ruperii rocilor care sunt supuse anumitor tensiunilor acumulate. Zona de-a lungul căreia rocile “se rup” și se dislocă se numește plan de falie.

Undele seismice sunt undele de structură ce se generează din focar și se clasifică după modul de oscilație al particulelor astfel:

- **unde longitudinale (P – primare)** – produse din comprimări și dilatări repetitive ale structurii materiei în direcția propagării unde, materia suferă modificări de volum. Se transmit cu o viteză de 4-7 km/secundă în funcție de structura Pământului, de tipul de rocă.
- **unde transversale (S – secundare)** oscilează normal pe direcția de propagare, manifestând tensiuni de forfecare, nefiind însoțite de modificări de volum. Conțin 82% din energia cutremurelor, produc deplasări importante la suprafața terenului. Se transmit în structura Pământului cu o viteză ce este la jumătatea undelor P, deci o viteză de 2-5 km/secunda.

3.2. Aspecte privind zona României

3.2.1. Tectonica și cutremurele din România

Conform (INFP,f.d.) pe teritoriul României se deosebesc mai multe zone:

- Zona subcrustală Vrancea (VR)
- Zona Est-Vrancea (EV)
- Zona Făgăraș - Câmpulung (FC)
- Zona Danubiană (DA)

- Zona Banat (BA)
- Zona Crișana - Maramureș (CM)
- Zona Bârlad (BD)
- Depresiunea Predobrogeană (PD)
- Falia Intramosica (IM)
- Depresiunea Transilvaniei (TD)

3.3. Stres și deformare

Considerăm un element de volum paralelipedic de laturi dx , dy , dz care suferă deformații sub efectul solicitărilor care îi sunt aplicate. Este vorba numai de deformații elastice, considerate infinit mici. Punctul O va primi o deplasare în urma deformației, ale cărei componente pe axe se notează cu u , v , w , rezultă că deplasarea pe axa ox este u , pe oy este v și pe oz este w . Punctul A, situat pe axa ox , la distanța dx , va avea o deplasare de $u + \frac{\partial u}{\partial x} dx$. Dacă se cunosc deplasările punctelor O și A, diferența lor va reprezenta lungimea elementului.

$$\Delta dx = u + \frac{\partial u}{\partial x} dx - u = \frac{\partial u}{\partial x} dx$$

Important pentru studiul mecanicii solidelor și fluidelor este cunoașterea legăturii dintre solicitări (stress) și deformații (strain). Analiza stress-ului conduce la precizarea naturii forțelor interne care acționează în interiorul materialului, în timp ce strain-ul definește schimbările dimensiunii și formei care apar în urma exercitării acestor forțe. (M.Socolescu, 1975)

3.3.3. Noțiunea de stres

În literatura de specialitate geotehnică nu există un acord strict cu privire la definițiile termenului de stres, în termeni de geologie, stresul este cauza pentru deformarea crustei Pământului, fie că se observă în roci, prin acumularea pe o perioadă îndelungată, fie că este măsurat cu sisteme G.N.S.S., cum se procedează în prezent. Segmente din crusta își schimbă forma, adică sunt tensionate, dar se mișcă ca și bloc, deci sunt translate și se rotesc, adică suferă o mișcare de rotație. Tensorul de stres descrie forțele interioare dintr-un obiect.

Tensorul de stres este definit ca:

$$p_i = \sigma_{ij} l_j$$

unde:

p_i – este tracțiunea pe un plan perpendicular (vectorul de stres);

l_j – este cosinusul direcției de la pol către plan

σ_{ij} – este tensorul de stres

Această ecuație este cunoscută ca Legea lui Cauchy.

Stresul într-un punct $P(x,y,z)$ se descrie printr-un sistem de axe rectangulare cu nouă componente, dintre care șase componente sunt independente.

3.3.4. Strain

Strain (tensiunea) este o măsură a deformării, reprezentând deplasarea dintre particulele din corp în raport cu lungimea de referință. Noțiunea poate fi privită și ca o forță interioară care ia naștere într-un corp care este supus unei forțe exterioare.

Un corp solid se poate deforma și deplasa. Deplasarea constă din translație și rotație fără modificare de dimensiune sau formă, ambele caracterizând deformarea și poartă numele de „strain”.

Se definește rata de deformare ca fiind deformarea unui material în timp.

Schimbarea corpului în lungime poate fi de două feluri:

- Alungirea (e) relativă– se definește ca fiind raportul dintre lungimea rezultată după deformare (L) și lungimea inițială de referință (L_0)

$$e = (L - L_0)/L_0 = \Delta L / L_0$$

- Scurtarea (S) - raportul dintre lungimea rezultată după deformare (L) și lungimea în stare nedeformată (L_0)

$$S = L / L_0 = 1 - \epsilon$$

Strainul de forfecare (γ) este cantitatea prin care se exprimă forfecarea (alunecarea unui corp în raport cu celălalt). Valoarea maximă a strainului de forfecare este la 45° .

Dacă din măsurători rezultă o deformăție mare între starea inițială și starea finală, aceasta se numește deformăție finală. Dacă deplasarea este foarte mică, de 1% sau mai puțin, aceasta se numește deplasare infinitezimală. Teoria este valabilă numai în cazul deplasărilor mici și este cunoscută ca teoria strainului infinitezimal. (M.Socolescu, 1975) Acesta este și cazul folosit în studiul deplasărilor plăcilor tectonice, deoarece deplasările de la an la an sunt foarte mici. Când valorile sunt mari se aplica teoria strainului finit.

Teoria strainului infinitezimal este satisfăcătoare pentru studiile de seismologie. (M.Socolescu, 1975)

În figura de mai jos sunt reprezentate cinci cazuri posibile, împreună cu simbolistica pentru fiecare caz. Interpretarea cazurilor poate fi făcută în funcție de valorile semiaxei mari și a semiaxei mici. Dacă analizăm prima imagine putem observa că e_{1H} (semiaxa mare) este egală cu 0 și e_{2H} (semiaxa mică) este negativă, atunci corpul suferă doar contracție. În al doilea caz, semiaxa mare are o valoare pozitivă, iar semiaxa mică este egală cu 0, deci corpul suferă doar întindere (o alungire). În cazul în care ambele valori ale semiaxelor sunt pozitive, atunci corpul suferă o alungire pe direcțiile ambelor semiaxe. Dacă semiaxa mare este pozitivă, iar semiaxa mică este negativă, atunci corpul suferă atât o contracție, cât și o alungire. Cazul în care valorile ambelor semiaxe sunt negative, corpul suferă contracții pe toate direcțiile.

Cu linie punctată este reprezentată starea inițială a corpului, înainte de a fi supusă deformării, iar cu linie solidă este reprezentată forma corpului în urma deformării (sub forma unei elipse).

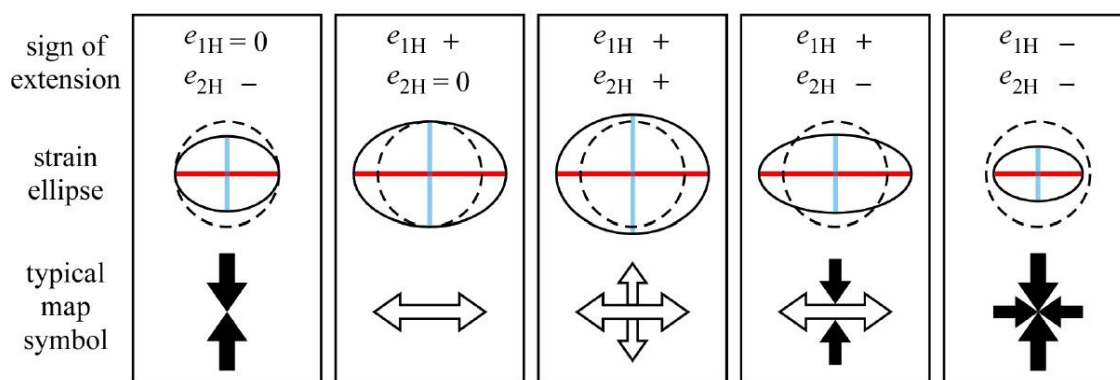


Figura 2 – Interpretarea și simbolistica pentru diferite cazuri de strain (UNAVCO, 2017)

3. HĂRȚI ȘI MODELE DE DEPLASARE A PLĂCILOR TECTONICE

4.1. Modelul Global Strain Rate Model (GSRM)

De la începutul anilor 1990, s-au adus îmbunătățiri constante în estimările vitezelor plăcilor tectonice pe baza sistemelor G.N.S.S. și alte date geodezice.

International Lithosphere Program (ILP) a inițiat un proiect denumit “A global strain map” în anul 1998, misiunea Global Strain Rate Map (G.S.R.M.) fiind de a determina un model global de deformății și viteze bazate pe observații geodezice și geologice în teren.

4.2. Modelele NUVEL și MORVEL

Primul model global de mișcare a plăcilor tectonice a fost conceput la începutul anilor '70, fiind denumit AM02. De-a lungul anilor au fost dezvoltate diferite modele ale plăcilor tectonice precum: NNR-NUVEL 1, NNR-NUVEL-1A, NNR-NUVEL-1B, MORVEL (Mid-Ocean Ridge Velocities).

În cea mai cuprinzătoare descriere până în prezent a configurației limitelor plăcii active, Bird (2003) definește 14 plăci mari și 38 mici, de dimensiuni diferite de la placa Pacific, care cuprinde 20,5% din suprafața Pământului până la microplaca Manus, care cuprinde doar 0,016% din suprafață. Cele 25 de plăci tectonice din circuitul global al plăcii MORVEL (Mid-Ocean Ridge VELOCITY) includ cele mai mari 14 plăci identificate de Bird (2003), care cuprind 95,1% din suprafața Pământului și șapte din următoarele nouă plăci mari, cuprinzând încă 2,0% a suprafeței. (DeMets, 2009)

În plus, pentru unele dintre aceste plăci se utilizează diferite geometrii. O diferență importantă între circuitele plăcilor MORVEL și NUVEL-1 este înlocuirea plăcilor distincte Nubia, Lwandle și Somalia pentru placa africană din NUVEL-1. Datele privind mișcarea plăcii din modelul NUVEL-1, în special cele din Marea Roșie, au fost insuficiente pentru a estima în mod fiabil mișcarea dintre plăcile Nubia și Somalia. (DeMets, 2009)

Pentru estimarea mișcării plăcilor tectonice sunt luate în calcul următoarele observații: rata de deplasare a crustei oceanice, direcția plăcilor transformate oceanice, date GNSS și direcția orizontală de deplasare a faliilor din timpul seismelor.

3.3. Modele tectonice în România

Conceptul tectonicii globale se dezvoltă la începutul anilor '70 când mai mulți cercetători elaborează anumite modele pe baza informațiilor geologice și altele preponderent pe baza informațiilor geofizice.

Modelele dezvoltate pe baza unor date geologice: (Airinei, Teritoriul Romaniei si tectonica placilor, 1979) Rădulescu și Săndulescu, 1973; Bleahu et al., 1973; Herz și Savu, 1974;

Spre exemplu, modelul dezvoltat de Rădulescu și Săndulescu (1973) pleacă de la teoria existenței a două benzi de roci, una bazică alta ultra-bazică, în Carpații Orientali respectiv în Munții Apuseni, care au condus la formarea a doua rifturi, care au evoluat și au condus la formarea a două bazine intra-continentale cu fund de tip oceanic.

Modele dezvoltate pe baze geofizice sunt realizate de: (Airinei, Teritoriul Romaniei si tectonica placilor, 1979) Roman (1970, 1973), Constantinescu et al. (1973,1976), Airinei, (1977), Polonic, (1996), Zugrăvescu și Polonic (1997), Beșuțiu, (2001).

Prima ipoteza a tectonicii plăcilor pe teritoriul României este dezvoltată de Roman (1970) pe baza unor observații din zona Vrancea.

Conform modelelor actuale, prin teoria dezvoltată de Beșuțiu în 2001, se încearcă o delimitare bazată pe argumente geofizice și anume sondajele magneto-telurice care au stabilit o variație neobișnuită a grosimii litosferei de pe teritoriul României: aproximativ 150 km în Platforma Est-Europeană, 120-130 km în Platforma Moesică și 80-90 km în Depresiunea Transilvaniei, iar în zona Vrancea adâncimea la astenosferă depășește 200 km. Autorul actualizează modelul lui Constantinescu (1976) și definește trei plăci/microplaci: (Beșuțiu, 2011) Placa Est-Europeană (EEP), Microplaca Moesică (MoP), Microplaca Intra-alpină (IaP)

Pentru zona Vrancea o posibilă existență a unei triple-jonctiuni instabile care coboară astenosfera în raport cu compartimentele învecinate este o teorie validă.

Primele stații GNSS instalate din rețeaua de stații permanente ale INFP au fost instalate în anii 2001-2003, un număr mai mare fiind instalate în perioada 2009-2012. Un model bazat pe date GNSS prelucrate pe mai mulți ani se poate dezvolta sau actualiza.

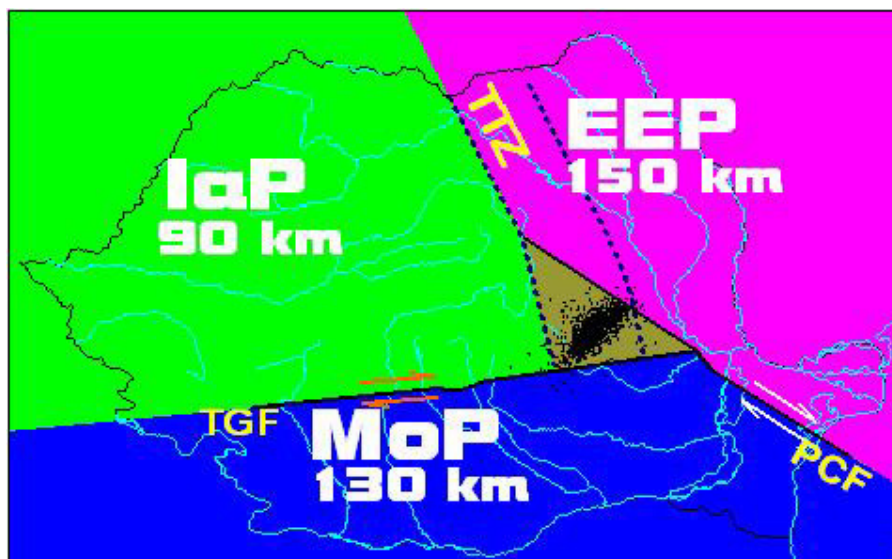


Figura 3 - Grosimea litosferei și model al plăcilor tectonice de pe teritoriul României (Beșuțiu, 2001)

4. METODE ACTUALE UTILIZATE ÎN MONITORIZAREA DEPLASĂRILOR

4.3.1. Metoda PPP

Metoda PPP (Precise Point Positioning) sau metoda poziționării punctuale precise, este o tehnică de poziționare de sine stătătoare care utilizează o singură sau dublă frecvență/pseudo-frecvență și undă purtătoare de fază împreună cu o orbită GNSS satelitară precisă și produse de timp (corecții de ceas ale sateliților).

R.J. Anderle a introdus metoda pentru o singură stație de poziționare cu soluții orbitale precise și observații satelitare Doppler la începutul anilor 1970. Metoda PPP furnizează o precizie de decimetru spre centimetru.

6. TEHNOLOGII ȘI SISTEME DE MONITORIZARE

6.1. Sisteme satelitare de poziționare

Tabel 2 - Comparație sisteme satelitare (ESA, f.d.) (Navipedia, f.d.)

	GPS	Glonass	Galileo	Compass
Plan orbital	6	3	3	3
Altitudinea	20160 km	19100 km	23222 km	21500 km
Înclinarea planului orbital (°)	55	65	56	55
Precizia (95%)	5-10 metri	10-15 metri	4 metri	10 metri
Datum	WGS-84	PZ-90.11	GTRF	CGS2000

Tabel 3 - Comparație sisteme satelitare

Den. sistem satelitar	Lansarea primului satelit	Nr. sateliți funcționali / nr. sat. propuși	Orbita	Banda	Nivel de acoperire
NavStar-GPS	1978	31/32	6 plane orbitale	L1, L2, L5	Global
Glonass	1982	24	3 plane orbitale	L1, L2, L3OC	Global
Galileo	2011	20/30	3 plane orbitale	E1, E5A, E5B, E6	Global
Compass	2011	25/35	6 plane orbitale	E1, E2, E5B și E6	Global
QZSS	2010	4/4	Orbită inclinată la 45 grade	L1, L2C, L5, E6	Regional
IRNSS	2013	7/7	Geostaționară	L5, S	Regional

6.2. Sisteme Sbas regionale (Complementare)

6.2.1. EGNOS - European Geostationary Navigation Overlay Service

Realizarea unor servicii moderne de determinare a poziției bazate pe utilizarea tehnologiilor de poziționare satelitară GNSS, prin furnizarea poziției determinate în mod postprocesare la furnizarea poziției în timp real, impune realizarea unor sisteme de poziționare complementare la un anumit nivel, fie zonal, național sau mondial.

Sistemul complementar european EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay System) are în componența sa 3 sateliți: INMARSAT AOR-E (15.5°V), ARTEMIS (21.3°E), INMARSAT IOR-W (25°E). EGNOS transmite semnale de o calitate foarte bună, semnalul fiind încontinuu începând cu ianuarie 2008.

6.2.3. WAAS - GPS wide Area Augmentation System

WAAS este sistemul SBAS american, fiind fondat în 1994 cu scopul de a îmbunătăți precizia de poziționare a sateliților NAVSTAR-GPS. Este alcătuit din trei sateliți geostaționari, Inmarsat 4F3, Anik F1R și Galaxy 15, iar la sol sunt disponibile 38 de stații de referință, denumite WRS (Wide-area reference stations). Stațiile sunt împărțite astfel: 20 pe teritoriul american, șapte în Alaska, una în Hawaii, una în Puerto Rico, cinci în Mexic, patru în Canada.

6.2.4. SDCM - System for Differential Corrections and Monitoring

SDCM este sistemul SBAS dezvoltat de Federația Rusă, ca o componentă a sistemului satelitar Glonass. Aceste sisteme asigură integritatea monitorizării atât a sistemului Glonass, cât și GPS.

Stațiile de referință sunt în număr de 19 pe teritoriul Rusiei, iar 5 sunt în afara granițelor (Ucraina, Kazakstan, Antarctica).

Sistemul satelitar este format din trei sateliți geostaționari, cu o durată de funcționare de 10 ani, fiind lansați recent și anume:

- ✓ Luch-5A (lansat în 2011);
- ✓ Luch-5B (lansat în 2012);
- ✓ Luch-5 (lansat în 2014).

6.2.5. GAGAN – GPS Aided Geo-Augmented Navigation

GAGAN sau GPS-Aided Geo-Augmented Navigation este sistemul SBAS al Indiei, implementat de către guvernul Indian, cu scopul de a îmbunătăți precizia de poziționare a receptoarele GNSS și destinat către segmentul aviatic al Indiei. Proiectul este prevăzut cu 15 stații de referință INRES (Indian Reference Station), două stații de monitorizare INMCC (Indian Master Control Centre) și trei INLUS (Indian Land Uplink Station).

6.2.6. MSAS - Multi-funcțional Satellite Augmentation System

MSAS (Multi-funcțional Satellite Augmentation System) este varianta japoneză a sistemului SBAS, dezvoltat cu scopul de a suplimenta sistemul GPS prin îmbunătățirea preciziei. Precizia a fost îmbunătățită, s-a obținut o precizie de 1.5-2 metri în plan orizontal și vertical de la 20 de metri, inițial. Sistemul are în componența sa patru stații de monitorizare GMS (Ground Monitor Stations) și două stații de control MCS (Master Control Station), care calculează și transmit datele către sateliții geostaționari. Mesajele sunt transmise pe frecvența L1.

6.2.7. KASS - Korea Augmentation Satellite System

Republica Coreea împreună cu un gigant francez din industria high-tech vor colabora pentru a dezvolta un sistem SBAS pentru GPS, denumit **KASS**. Sistemul este dezvoltat în special pentru domeniul aviației, pentru reducerea erorilor, care în momentul de față au o rată de eroare de 1 la 5 milioane și o localizare cu o precizie mult mai mare a avioanelor, momentan fiind de 16 metri orizontal și 20 metri vertical. Proiectul a fost aprobat în decembrie 2014 și are ca termen de finalizare anul 2022. Ca urmare a unui acord european încheiat, sistemul folosește aceeași tehnologie implementată în rețeaua EGNOS.

6.3. Sisteme complementare terestre europene

6.3.1. EUPOS - European Positioning Determination System

6.3.2. ROMPOS - Romanian Position Determination System

6.4. Interferometrie cu sateliți

6.4.1. Introducere

În anul 1978 S.U.A. lansează prima platformă satelitară echipată cu senzor SAR numită SEASAT, fiind în banda L, cu o rezoluție spațială de 25 metri. Misiunea de 106 zile a fost un succes, motiv pentru care ESA a început dezvoltarea acestui tip de senzor în diverse tipuri de programe spațiale.

Așa cum menționam mai sus, senzorul a devenit popular, în anii '90 când a fost folosit pentru cartografiere și DInSAR pentru măsurători de schimbare ale elevației și a produs rezultate bune fiind folosit:

- ✓ monitorizarea mișcării ghețarilor din Antarctica (Goldstein, 1993);
- ✓ cutremurul din Landers, California (Massonnet, 1993);
- ✓ monitorizarea vulcanului Etna, Italia (Massonnet, 1995). (Sansosti, 2014)

6.4.2. Principiul InSAR

Principiul imagisticii radar constă într-o antenă montată pe o platformă și transmiterea unui semnal de energie electromagnetică în direcția de vizare a obiectului (spre Pământ). Acest semnal se reflectă din suprafața terestră și se întoarce către platforma fiind recepționat de către aceeași antenă într-o fracțiune de secundă mai târziu de la emiterea lui (radar monostatic).

SAR folosește principiul Doppler de transmitere a semnalelor generat de mișcarea înainte a platformei aerportate, pe care este montată o antenă îndreptată spre Pământ care se mișcă împreună cu platforma. Antena transmite un semnal către suprafața terestră în fiecare poziție, iar semnalul reflectat este recepționat și înregistrat.

Tabel 4 - Tipuri de benzi folosite pe platforme satelitare (Sarmap, 2007)

Tip bandă	Lungimea de undă[cm]	Folosită pe:
Banda P	65	AIRSAR
Banda L	23	JERS-1 SAR, ALOS PALSAR
Banda S	10	Almaz-1
Banda C	5	ERS-1/2 SAR, RADARSAT -1/2, ENVISAT
Banda X	3	TerraSAR-X-1, Cosmo-SkyMed
Banda K	1.2	Domeniul militar

6.5. Sisteme de monitorizare

6.5.1. Geocube

Geocube este un sistem produs de Institutul National Francez de Geografie și Informație Forestiera, care combină receptoarele GPS low-cost, implementate cu o tehnologie fără fir prin instalarea unor sisteme de comunicații radio, cu receptori multi-senzori. Avantajul acestuia este că poate integra diferiți senzori, aceștia fiind conectați la o unitate centrală, aleși în funcție de necesitățile fiecărei lucrări. Acești receptori multi-senzori pot înregistra temperatura aerului și a solului, gradul de îmbibare cu apă a solului și presiunea apei din pori, radioactivitatea, viteza vântului, calitatea aerului etc.

6.5.2. Alert-DDS - Alert Deformation Detection System

Alert-DDS (Alert Deformation Detection System) este un sistem automatizat de monitorizare a deplasărilor dezvoltat de CCGE (Canadian Centre for Geodetic Engineering). Acest sistem poate fi folosit cu succes în toată lumea în monitorizarea barajelor mari și a digurilor, mine, terenurilor miniere și a câmpurilor de petrol.

6.6. Implementarea sistemelor de monitorizare

6.6.1. Rețeaua SCIGN – California (Southern California Integrated GPS Network)

Falia San Andreas este o falie transformată (zona situată între două margini de plăci divergente, rar se întâlnește cazul în care sunt două margini de plăci convergente), situată între placa Pacificului și cea Nord Americană. Aceasta se întinde de-a lungul statului California, împărțindu-l în două: San Diego, Los Angeles și Big Sur sunt pe placa Pacificului, iar San Francisco, Sacramento și Sierra Nevada pe partea Americană Nordică, netrecând prin niciun oraș. (Geology.com, f.d.)

Fiind o zonă importantă de studiu, care înregistrează numeroase seisme importante, a fost dezvoltată rețeaua SCIGN (Southern California Integrated GPS Network), o rețea de stații GPS localizată în partea sudică a Californiei, având propuse un număr de 250 de stații.

6.6.2. Rețeaua Geonet – CORS – Japonia

GSI (Geospatial Information Authority of Japan) a început demararea proiectului de dezvoltarea a unor stații permanente GPS în 1993. În momentul de față rețeaua GEONET (GNSS Earth Observation Network System) numără aproximativ 1300 de stații GNSS CORS (Continuously Operating Reference Stations) în toată Japonia, dispuse pe o rază de 25-30 km, 7 stații dintre ele fiind incluse în IGS.

Observațiile măsurate sunt transmise către centru, care se afla în Tsukuba, prin două metode: internet (prin IP/VPN – Virtual Private Network) și telefonie. Un număr de aproximativ 1250 de stații transferă datele prin internet la fiecare secundă, iar un număr de 20 de stații transferă datele prin telefonie la fiecare 3 ore. Un fișier RINEX de 3 ore este compus și stocat într-un server la fiecare 3 ore, apoi un fișier final de 24 ore este compus din opt fișiere de 3 ore. Fișierele sunt prelucrate cu ajutorul soft-ului Bernese v5.0.

6.7.2. Programul GIPSY-OASIS

Laboratorul de Propulsie Jet (JPL) din cadrul Administrației Naționale pentru Aeronautică și Spațială (NASA) din Pasadena, California, oferă suport utilizatorilor pentru GIPSY-OASIS (GOA II), un pachet software de procesare rapidă-automată și control de calitate.

6.8. Utilizarea receptoarelor GNSS ca seismometre

Tehnologia G.N.S.S. are de mult timp un rol important în studiul seismelor și a mișcărilor crustale. Încă din 1994 japonezii au propus și au demonstrat ca măsurătorile GNSS la o rată de 1 Hz sunt fiabile pentru folosirea lor ca seismometru pentru deplasări.

De-a lungul anilor tehnologia GNSS la o rată de înregistrare de 1 Hz a fost folosită pentru studiul seismelor mari printre care amintim: cutremurul Tokachi-Oki (8,3 Mw în 2003, Japonia), cutremurul Parkfield (2004, California), Tohoku (9.1 Mw, 2011, Japonia), cutremurul din Lefkada (6,4 Mw în 2015, Grecia) etc.

Tehnologia a evoluat, măsurătorile cu aparatura GNSS se fac la rate de până la 50 Hz. Datorită acestor caracteristici, GNSS este în momentul de față indispensabil dacă vorbim de studiul mișcărilor seismice și mișcărilor crustale și poate fi folosit cu alte scopuri decât cele prevăzute inițial.

În literatura de specialitate o rată de înregistrare de 1 Hz este denumită “high rate”, iar înregistrările peste 1 Hz (5 Hz, 10Hz, 20Hz, 50 Hz) sunt denumite “very high rate”.

În cazul unui seism, scopul oamenilor de știință este de a detecta cât mai repede unda seismică P, poate chiar din momentul în care aceasta se eliberează din focar. Înregistrând timpii când unda P ajunge prima în aparatele de înregistrare, apoi timpii pentru unda S, se poate detecta epicentru. Acești timpii ajută și la analiza și înțelegerea mediului în care se propaga, a vitezei cu care se deplasează. Având toți parametrii necesari, populația poate fi avertizată cu câteva zeci de secunde pentru a diminua efectele și lua următoarele măsuri:

- Întreruperea alimentării cu gaz, apă, electricitate;
- Adăpostirea populației în locurile indicate;
- Oprirea trenurilor de mare viteză
- Alertarea populației din zonele de risc și evacuarea lor în caz de tsunami;

Un seismometru este un instrument care măsoară mișcările pământului. Acestea pot fi produse de un cutremur, o explozie sau o erupție a unui vulcan. Partea de înregistrare este preluată de aparate precum:

- Seismometru - înregistrează vectorul deplasării, rezultatul fiind o seismogramă;
- Vitezometru - înregistrează vectorul de viteză, rezultatul fiind o vitezogramă;
- Accelerometru (Strong-motion seismometers) - înregistrează vectorul accelerației, rezultatul fiind accelerograma;

Un seismometru modern din ziua de azi poate înregistra mișcările pe o frecvență ce poate varia de la 500 Hz până la 0.00118 Hz, adică $1/500=0.002$ secunde și $1/0.00118 = 850$ de secunde pe ciclu de măsurare.

Vitezometrele și accelerometrele nu înregistrează încontinuu, acestea se activează atunci când se produc anumite mișcări importante ale pământului, motiv pentru care nu înregistrează toate fazele seismului, ci doar faza maximă.

Prin prelucrarea matematică a accelerogramei se poate determina deplasarea.

Studiile au demonstrat faptul că unda seismică P, care ajunge prima, poate fi detectată și cu ajutorul dispozitivelor G.N.S.S.. Având această informație, pasul următor a fost de a folosi tehnologia GNSS ca o metoda prevenție, pentru detectarea și avertizarea populației cu câteva secunde înainte de sosirea undei S, unda care face cele mai mari pagube.

Avallone a prezentat concluziile unui studiu (Măsurători GNSS cu o rată foarte ridicată de 10 Hz în cutremurul de 6.3 Mw în L'Aquila) din 2009 și a ajuns la concluzia că rata minimă de înregistrare a GNSS ar trebui să fie de 2.5 Hz. Același autor susține faptul că înregistrările la frecvențe mai mari de 2.5 Hz au un nivel de zgomot mai mic, spre exemplu 50 Hz sau 20 Hz au un nivel de două-trei ori mai mic decât înregistrările la 10 Hz, dar totuși de trei-patru ori mai mare decât în cazul accelerometrelor de tip „strong motion”. (Avallone, 2011)

Ratele de înregistrare a deplasărilor la frecvențe mari, de aproximativ 20 Hz, ale seismelor din zona Vrancea reprezintă o sursă de date importantă în investigarea seismelor la frecvențe mai mari de 1 Hz furnizate de tehnologia GNSS. (INFP, Raport privind funcționarea Instalațiilor de Interes National din cadrul INCDFP și accesul beneficiarilor în luna martie 2015, 2015)

Analizând avantajele și dezavantajele celor două dispozitive, se poate spune că o soluție pretabilă este de a combina cele două aparate, astfel încât toată banda de frecvențe este acoperită. GNSS-ul se pretează pentru detectarea pe perioade lungi a semnalelor la distanțe mici și seismometrele pentru detectarea de accelerații mari ale pământului pe perioade scurte la distanțe mari.

7. Determinarea strain-ului cu ajutorul GNSS

7.1. Algoritm de calcul pentru strain orizontal (2D) cu date GNSS

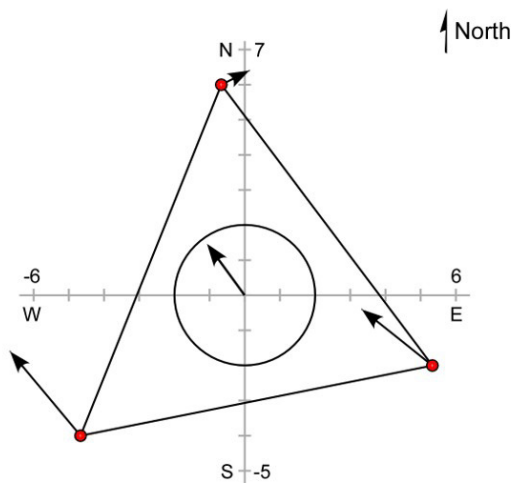


Figura 5 - Formarea celor trei triunghiuri și vectorul rezultat al deplasărilor

Se dau trei stații GNSS, amplasate sub o formă triunghiulară, fiecare dintre unghiuri neavând 30 grade, iar niciuna dintre laturi nu sunt egale. Se consideră strain-ul în plan orizontal, deci nu se cer vitezele în plan vertical.

Se consideră că deformările între laturile stațiilor care formează triunghiul sunt omogene. Se iau în considerare vitezele pe direcțiile N-S și E-V, exprimate în metri pe an (m/an).

(Algoritmul de prelucrare este prezentat pe larg în teza de doctorat)

8. STUDIU DE CAZ

8.1. Compararea datelor furnizate de InSAR și GNSS

Proiectul PanGeo este un proiect la nivel european, finanțat prin programul european “Copernicus”, care vine ca suport pentru politica de mediu a U.E. Este un proiect care a debutat în februarie 2011 cu o durată de trei ani.

În proiect au fost implicate 52 de orașe europene, criteriul principal de alegere a fost mărimea lor. În România au fost alese două orașe, București și Cluj, fiind al doilea oraș ca mărime de la noi din țară, proiectul fiind derulat de către Institutul Geologic al României (IGR).

Imaginile satelitare de tip SAR au fost prelucrate de către Gamma Sensing AG din Elveția, provenite de la sateliții ENVISAT ASAR și ERS 1/2, imagini furnizate de către ESA.

Zona propusă pentru studiu este localizată lângă stația permanentă CLUJ situată la Observatorul Astronomic, din strada Cireșilor nr.19, zona de Sud-Vest a Municipiului Cluj-Napoca, pe partea dreaptă a Someșului Mic. Denumirea poligonului în proiectul din care face parte zona studiată se numește „PGGH Cluj-Napoca 001”, fiind cel mai mare poligon din Cluj studiat în proiect, de 1.817 kmp.

Imaginile din proiect au fost georeferentiate cu programul ArcGis folosind conturul în coordonate pus la dispoziție pe website-ul proiectului în format Shp. Poziționarea stației Cluj s-a efectuat după prelucrarea și obținerea datelor GNSS și a fost amplasată pe fiecare dintre cele trei imagini preluate din proiect.

Imaginea preluată de satelitul ERS nu furnizează multe informații legate de deplasările pe zona în care stația permanentă din Cluj este amplasată, motiv pentru care nu putem să tragem o concluzie.

Mai multe informații pentru regiunea studiată sunt furnizate de imaginile preluate de către satelitul ENVISAT cu orbită descendentă. Zona este încadrată de puncte de culoare galbenă, care reprezintă intervalul -4.49 până la -1.50 mm/an.

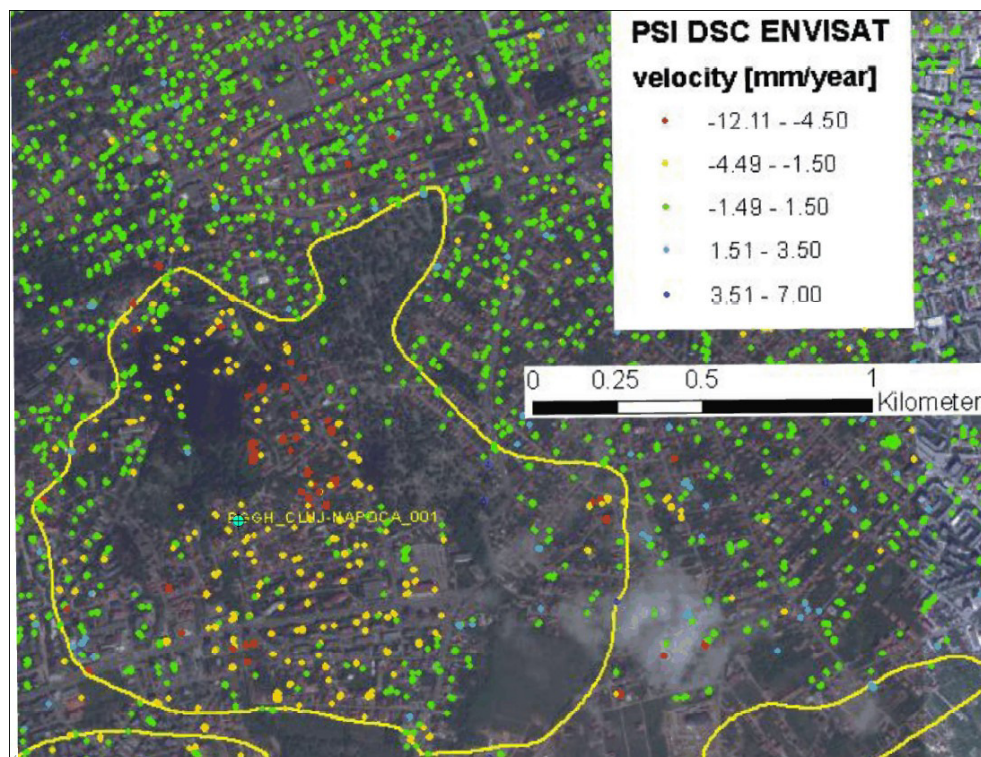


Figura 6 - Imagine preluată de satelitul ENVISAT orbita descendentă

Pentru validarea datelor furnizate de InSAR, s-a ales prelucrarea stației Cluj, deoarece se cunoștea faptul ca aceasta este amplasata într-o zona care suferă anumite probleme de stabilitate a solului. Prelucrarea GNSS pentru stația Cluj s-a executat cu programul Topcon Tools, un software comercial.

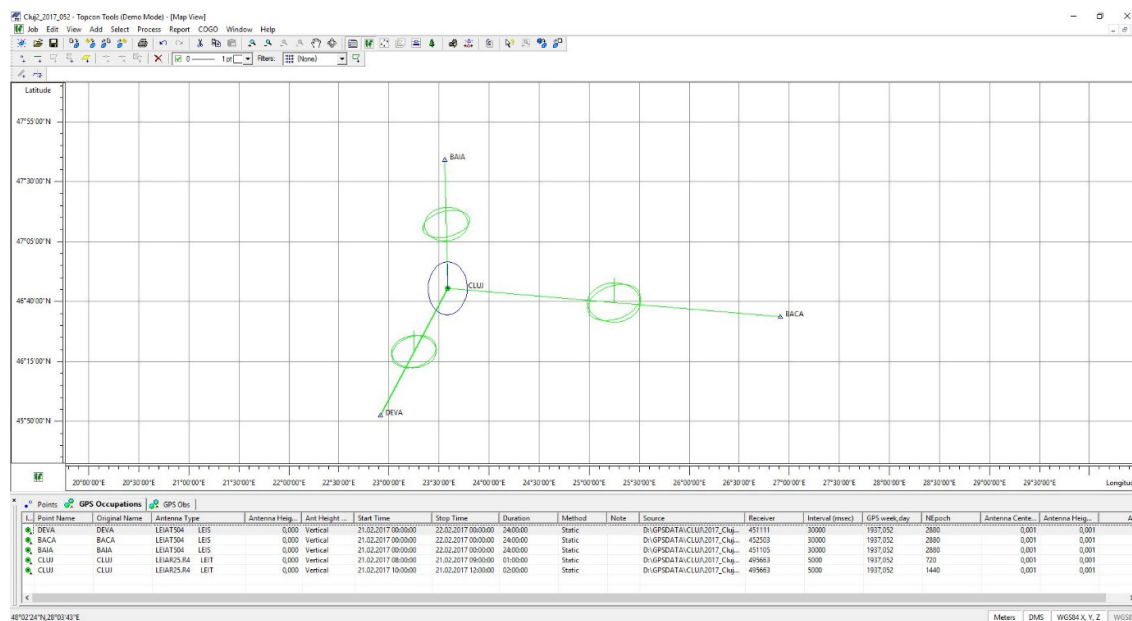


Figura 7 - Prelucrarea cu Topcon Tools

Au fost efectuate prelucrări pentru anii 2007, 2008, 2009, 2010 și 2013. Anii au fost aleși pentru a avea perioade comune cu anii în care au fost preluate imaginile InSAR. Pentru anul 2007 au fost prelucrate cinci sesiuni, o singură sesiune pentru 2008, pentru 2009 două sesiuni, cinci sesiuni pentru anul 2010 și cinci sesiuni pentru anul 2013.

S-a creat o rețea formată din stațiile permanente BACA, BAIA, DEVA, CLUJ. Rețeaua a fost constrânsă pentru fiecare etapă pe stația BACA, considerată a fi fixă.

Din rezultatele de mai sus rezultă o viteză de 0.011 metri/an sau 11 mm/an și indică faptul că zona se ridică, lucru înfirmat de datele InSAR care prezintă zona studiată ca fiind într-un proces de tasare.

Procesul de ridicare este confirmat și de rezultatele furnizare de CERGOP care indică o valoare a vitezei de 0.00519 metri/an, adică 5.19 mm/an.

Aceste diferențe pot apărea din următoarele cauze:

- Imaginile InSAR furnizează o valoare zonală, pe care am interpolat-o pentru a afla o valoare, ceea ce nu poate fi o valoare fixă de încredere, pe când în cazul prelucrării GNSS valoarea este fixă într-un singur punct
- Programele de prelucrare a datelor, atât pentru GNSS și InSAR;
- Interpretarea rezultatelor;

8.2. Determinarea deplasărilor și a vitezelor de deplasare cu tehnologie G.N.S.S. într-o rețea geodinamica

8.2.1. Prelucrarea și afișarea rezultatelor cu programul Bernese

Începând cu anii '90 tehnologia G.N.S.S., în urma cercetărilor efectuate anterior care au girat încredere în acest tip de aparatură pentru studiul deplasărilor, a cunoscut o dezvoltare continuă astfel:

- Din punct de vedere al acoperirii zonale, s-a pornit de la campanii GNSS de 2-3 zile care acopereau zone mici de studiu, până la dezvoltarea de rețele de stații GNSS, care acoperă zone și teritorii întregi, independente din punct de vedere energetic;

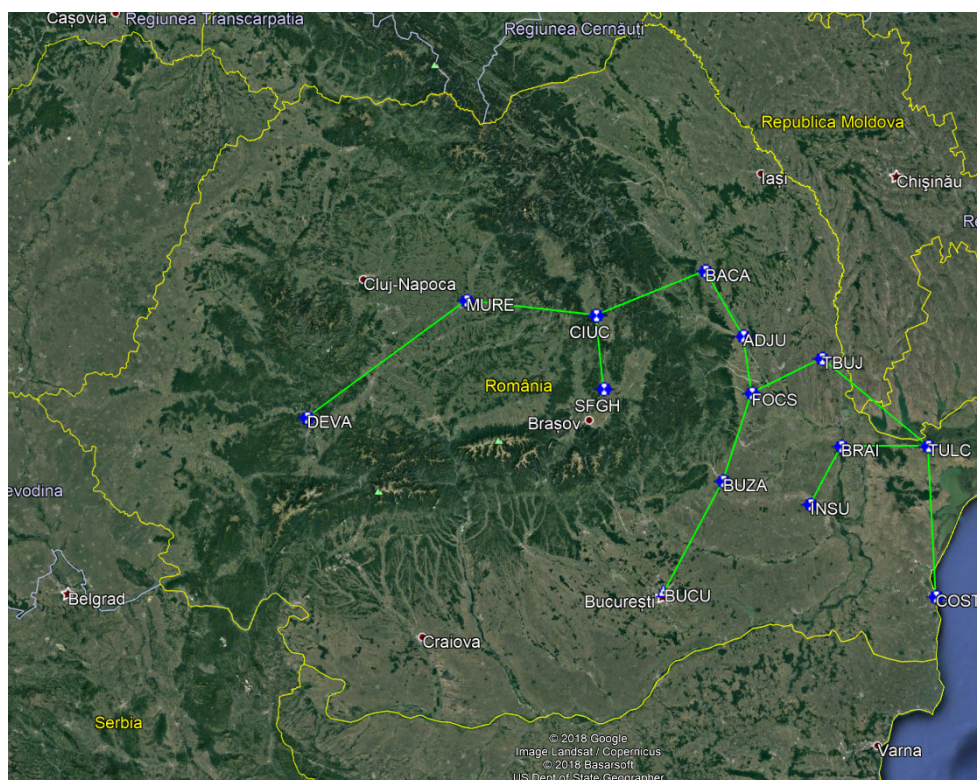


Figura 8 -Schia rețelei

- Sunt efectuate măsurători continue, iar datele sunt transmise în timp real, cu 2-3 sisteme de comunicații, unul principal și celelalte de back-up;
- Sunt folosite în multe domenii de monitorizare precum: studiul plăcilor tectonice, zonele vulcanice, alunecări de teren, monitorizarea obiectivelor de interes național (poduri, baraje etc.), ca și componente importante în sistemele de alarmare a populației în caz de tsunami etc.;

Dezvoltarea unor programe de prelucrare care să se preteze pentru determinarea deplasărilor cu precizie ridicată și prelucrarea în timp real a măsurătorilor a fost următoarea fază în acest ciclu de dezvoltare. În momentul de față sunt două-trei programe care îndeplinesc aceste condiții, printre care și programul Bernese, descris și folosit în aceasta teză.

Ca zonă de studiu a fost aleasă una care să conțină și stații GNSS din zona seismică Vrancea (Buzău, Adjud, Focșani, Bacău, Miercurea Ciuc și Sfântul Gheorghe), astfel că poligonul geodinamic utilizat în studiu cuprinde punctele prezentate în figura 68. Un alt element important a fost alegerea unor stații de referință de încredere, care pot fi într-un anumit context considerate stabile.

Știind faptul că deși România este o țară cu seismicitate ridicată, deplasările sunt foarte mici, s-au prelucrat datele pe un interval cât mai mare de timp, astfel că pentru calculul vitezelor s-au ales datele de la stațiile permanente pe trei ani, respectiv 2008, 2010 și 2015.

În anul 2008 s-au ales zilele 09-12 iulie adică zilele GPS 191,192,193,194, în anul 2010 s-au ales zilele 14-17 iulie, iar în 2015 intervalul 10-13 iulie, 191,192,193,194. Au fost alese pentru prelucrare următoarele stațiile permanente: ADJU(Adjud), BRAI (Brăila), BUZA (Buzău), CIUC

(Ciuc), FOCS (Focșani), INSU (Însurăței), NEHU (Nehoiu), SFGH (Sfântu-Gheorghe), TBUJ (Târgu Bujor), TLCA (Tulcea), COST (Constanța), BUCU (București), FOCS (Focșani). În anumite zile sau chiar ani, anumite stații permanente, din diferite motive tehnice, nu au putut furniza date, motiv pentru care vectorii din configurația rețelei au fost schimbați.

Datele brute în format RINEX au fost puse la dispoziție de către A.N.C.P.I. prin C.N.C.

Prelucrarea s-a executat pe etape, respectiv 2008, 2010, 2015, iar fiecare an a fost prelucrat separat pe sesiuni (zile), înregistrări de 24 ore, la o rată de 30 secunde, de la 00:00:00 la 23:59:59.

Datele brute au fost aranjate pentru prelucrare, s-au verificat fișierele RINEX, s-au făcut mici modificări la datele generale a fișierelor acolo unde a fost cazul, s-au importat fișierele RINEX în programul Bernese și s-au extras informații legate de stația permanentă (tipul de receptor, antena și înălțimea antenei).

VRANCEA 2010 DOY 195										29-MAY-18 14:59									
TYPE 001: RENAMING OF STATIONS																			
STATION NAME		FLG	FROM		TO		OLD STATION NAME		REMARK										
*****		***	YYYY MM	DD HH MM SS	YYYY MM	DD HH MM SS	*****		*****										
TYPE 002: STATION INFORMATION																			
STATION NAME		FLG	FROM		TO		RECEIVER TYPE		ANTENNA TYPE		REC #	ANT #	NORTH	EAST	UP	DESCRIPTION		REMARK	
*****		***	YYYY MM	DD HH MM SS	YYYY MM	DD HH MM SS	*****		*****		*****	*****	*****	*****	*****	*****		*****	
ADJU		001	1980 01	06 00 00 00	2099 12	31 00 00 00	LEICA GRX1200GGPRD		LEIAT504GG		LEIS 356317	200891	0.0000	0.0000	0.0000			From adju1950.100	
BACA		001	1980 01	06 00 00 00	2099 12	31 00 00 00	LEICA GRX1200GGPRD		LEIAT504		LEIS 452503	102525	0.0000	0.0000	0.0000			From baca1950.100	
BRAI		001	1980 01	06 00 00 00	2099 12	31 00 00 00	LEICA GRX1200+GNSS		LEIAR25_R3		LEIT 495664	0	0.0000	0.0000	0.0000			From brai1950.100	
BUCU		001	1980 01	06 00 00 00	2099 12	31 00 00 00	LEICA GRX1200GGPRD		LEIAT504GG		LEIS 355368	200456	0.0000	0.0000	0.0970			From bucu1950.100	
BUZA		001	1980 01	06 00 00 00	2099 12	31 00 00 00	TPS NET-G3		TPSCR-G3		TPSH 0	0	0.0000	0.0000	0.0000			From buza1950.100	
CIUC		001	1980 01	06 00 00 00	2099 12	31 00 00 00	TPS NET-G3		TPSCR-G3		TPSH 0	0	0.0000	0.0000	0.0000			From ciuc1950.100	
COST		001	1980 01	06 00 00 00	2099 12	31 00 00 00	ASHTech Z-X		ASH7019458_M		NONE 0	0	0.0000	0.0000	0.0380			From cost1950.100	
DEVA		001	1980 01	06 00 00 00	2099 12	31 00 00 00	LEICA GRX1200GGPRD		LEIAT504		LEIS 451111	102186	0.0000	0.0000	0.0000			From deva1950.100	
FKCS		001	1980 01	06 00 00 00	2099 12	31 00 00 00	TPS NET-G3		TPSCR-G3		TPSH 0	0	0.0000	0.0000	0.0000			From focs1950.100	
INSU		001	1980 01	06 00 00 00	2099 12	31 00 00 00	LEICA GRX1200GGPRD		LEIAT504GG		LEIS 356319	200903	0.0000	0.0000	0.0000			From insu1950.100	
MURE		001	1980 01	06 00 00 00	2099 12	31 00 00 00	TPS NET-G3		TPSCR-G3		TPSH 0	0	0.0000	0.0000	0.0000			From mure1950.100	
SFGH		001	1980 01	06 00 00 00	2099 12	31 00 00 00	LEICA GRX1200GGPRD		LEIAT504		LEIS 451108	0	0.0000	0.0000	0.0000			From sfgh1950.100	
TBUJ		001	1980 01	06 00 00 00	2099 12	31 00 00 00	LEICA GRX1200GGPRD		LEIAT504GG		LEIS 355390	200466	0.0000	0.0000	0.0000			From tbuj1950.100	
TULC		001	1980 01	06 00 00 00	2099 12	31 00 00 00	TPS NET-G3		TPSCR-G3		TPSH 0	0	0.0000	0.0000	0.0000			From tulc1950.100	
TYPE 003: HANDLING OF STATION PROBLEMS																			

Figura 9 – Fișier prelucrat, rezultat în urma importului fișierelor RINEX

A fost ales ca punct de încredere stația permanentă BUCU pe care am adus-o la epoca observațiilor pentru fiecare etapa de prelucrare, în Sistemul de Referință ITRF 2008, folosind programul Topcon Tools. Coordonatele inițiale la fiecare epocă au fost transformate folosind calculatorul furnizat de site-ul EPN (European Permanent GNSS Network).

În urma prelucrărilor am obținut coordonate și viteze ale punctelor din rețea. Pentru anul 2008 s-au obținut coordonate pentru 11 stații: BUCU, BACA, CONST, DEVA, BUZA, FOCS, MURE, SFGH, TBUJ, TULC, CIUC. În figura 72 sunt prezentate coordonatele în sistem de coordonate cartezian geocentric pentru anul 2008.

LOCAL GEODETIC DATUM: IGB08					EPOCH: 2008-07-11 0:00:00				
NUM	STATION NAME	X (M)	Y (M)	Z (M)					
1	BUCU	4093760.8073	2007793.8718	4445130.0122					
2	BACA	3917524.9040	1988524.1616	4608585.6447					
3	COST	4021613.6347	2197896.3954	4421014.7307					
4	DEVA	4097210.4355	1731870.4471	4556026.7865					
5	BUZA	4021519.3046	2032285.9450	4499273.0100					
6	FOCS	3968458.0906	2039039.5391	4542736.4762					
7	MURE	3996006.6864	1826697.4269	4608392.7478					
8	SFGH	4006268.0727	1935694.7585	4555337.6400					
9	TBUJ	3931132.8563	2002546.4817	4555330.3966					
10	TULC	3946525.2750	2169746.1672	4501321.5282					
11	CIUC	3970238.2509	1919412.2547	4593561.2998					

Figura 10 – Rezultate obținute pentru etapa 2008

Pentru anul 2010 s-au obținut coordonate pentru 14 stații: ADJU, BUCU, BACA, BRAI, BUZA, CIUC, COST, DEVA, FOCS, INSU, MURE, SFGH, TBUJ, TULC. Mai jos sunt afișate coordonatele în sistem de coordonate cartezian geocentric pentru anul 2010.

Pentru anul 2015 s-au obținut rezultate pentru 15 stații: ADJU, BUCU, BACA, BRAI, BUZA, CIUC, COST, DEVA, FOCS, INSU, MURE, SFGH, NEHU, TBUJ, TLCA. Coordonatele prezentate în figura 74 de mai jos sunt în sistem de coordonate cartezian geocentric. Coordonatele în sistem de coordonate topocentric local sunt prezentate în anexa 1.

Tabel 5 - Rezultate viteze medii obținute din etapele 2010 și 2015 (s.c. geocentric și topocentric)

VITEZE MEDII - ETAPELE 2010-2015 [metri/an]						
	V _x	V _y	V _z	V _N	V _E	V _U
ADJU	-0.018	0.017	0.011	0.014	0.023	0.0006
BUCU	-0.016	0.018	0.011	0.012	0.023	0.003
BACA	-0.018	0.016	0.010	0.013	0.023	-0.0006
BRAI	-0.020	0.015	0.012	0.016	0.022	-0.0008
BUZA	-0.017	0.018	0.010	0.013	0.023	0.0004
CIUC	-0.017	0.017	0.011	0.013	0.023	0.0005
COST	-0.016	0.016	0.012	0.013	0.022	0.0008
DEVA	-0.016	0.018	0.010	0.013	0.022	-0.0001
FOCS	-0.019	0.016	0.009	0.013	0.023	-0.0013
INSU	-0.019	0.017	0.011	0.014	0.024	-0.0003
MURE	-0.019	0.016	0.008	0.013	0.022	-0.0024
SFGH	-0.019	0.018	0.009	0.013	0.024	-0.0005
TBUJ	-0.019	0.016	0.011	0.014	0.023	-0.0004
TLCA	-0.019	0.015	0.009	0.012	0.022	-0.0013

Din prelucrările efectuate pentru fiecare an a rezultat un număr mai mare de stații, dar pentru prelucrarea finală s-au ales doar stațiile comune pe toți anii propuși pentru studiu.

Preciziile de determinare a poziției absolute rezultate în urma prelucrărilor cu programul Bernese sunt cuprinse între 0.1 mm și 2 mm, conform Anexa 1.

O metodă de verificare și validare a rezultatelor se poate efectua prin compararea lor cu rezultatele oficiale obținute în proiectul CERGOP, afișate mai jos.

Tabel 6 - Rezultate viteze CEGRN 2015 (cegrn, 2018)

REZULTATE VITEZE CEGRN 2015 [metri/an]						
ID stație	V _x	V _y	V _z	V _N	V _E	V _U
BUCU	-0.016	0.018	0.011	0.0124	0.0230	0.0001
BRAI	-0.019	0.017	0.006	0.0107	0.0240	-0.0018
COST	-0.018	0.016	0.009	0.0125	0.0234	0.0001

Prin utilizarea programului de calcul a vitezelor plăcilor tectonice la nivel global pus la dispoziție de UNAVCO am reușit transformarea datelor obținute în prelucrarea anterioară și determinarea vitezelor pentru cele trei modele, respectiv NUVEL-1A, MORVEL (versiunea 2010) și GSRM (versiunea 2014). (UNAVCO Plate Motion Calculator, 2018)

Tabel 7 - Date obținute din MORVEL și din prelucrarea cu programul Bernese

Viteze MORVEL [m/an]			Viteze obținute [m/an]	
ID	N	E	N	E
ADJU	0.012	0.021	0.014	0.023
BACA	0.012	0.021	0.013	0.023
BUCU	0.012	0.021	0.012	0.023
BRAI	0.012	0.021	0.016	0.022
BUZA	0.012	0.021	0.013	0.023
CIUC	0.012	0.021	0.013	0.023
COST	0.011	0.021	0.013	0.022
DEVA	0.013	0.020	0.013	0.022
FOCS	0.012	0.021	0.013	0.023
INSU	0.012	0.021	0.014	0.024
MURE	0.012	0.021	0.013	0.022
SFGH	0.012	0.021	0.013	0.024
TBUJ	0.012	0.021	0.014	0.023
TLCA	0.011	0.021	0.012	0.022

Tabel 8 - Viteze rezultate calculate relativ la modelul MORVEL

Viteze relative [mm/an]			
ID	N	E	Rezultanta
ADJU	2.22	1.95	2.95
BACA	1.17	2.04	2.35
BUCU	0.02	1.96	1.96
BRAI	4.38	0.75	4.44
BUZA	1.15	1.92	2.24
CIUC	0.96	2.19	2.39

COST	1.52	0.57	1.62
DEVA	0.42	1.58	1.63
FOCS	1.23	1.92	2.28
INSU	2.31	2.78	3.61
MURE	0.72	1.4	1.57
SFGH	0.95	3.14	3.28
TBUJ	2.37	1.83	2.99
TLCA	0.55	0.64	0.84

Calculul strain-ului din trei stații GNSS pentru zona studiată

ID	Stații	Azimut e1h/e2h	e1h/e2h	Invariant	Viteza[m/an]	exx±uncer n	exy±uncer n	eyy±uncer n	Reprezentare grafică - Elipsa
1	INSU COST BUC U	27.7146 117.714 6	29.8370 6	17.72276	0.002	-3.04073	17.27191	20.76349	
			-12.1143	-3.61455E-07		±	±	±	
				-3.61455E-07		2.930666	4.035593	8.98993	
2	TBUJ BRAI FOCS	56.9742 146.974 2	8.36314 3	-34.2392	0.003	-6.77577	23.28896	-27.4634	
			-42.6023	-3.56289E-07		±	±	±	
				-3.56289E-07		8.84615	7.022198	10.82334	

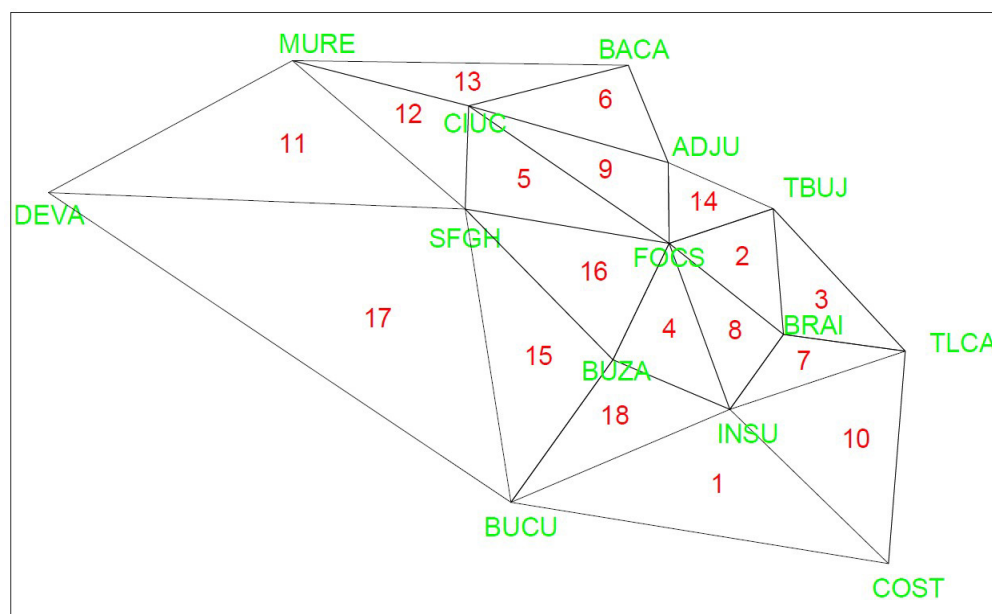


Figura 11 - Schița triunghiurilor formate din stații GNSS pentru calculul strain-ului

Analizând tabelul de mai sus se poate observa că majoritare sunt situațiile în care $e1H$ are o valoare pozitivă, iar $e2H$ are o valoare negativă, deci există atât o extensie (dilatare) cât și o contracție (compresiune). Al doilea caz întâlnit, $e1H$ și $e2H$ au o valoare negativă, deci rezultă faptul că există o contracție.

8.2.3. Elaborarea și reprezentarea rezultatelor obținute pentru strain

Rezultatele obținute se pot reprezenta sub o formă grafică pentru o mai bună interpretare a rezultatelor obținute.

Având vitezele absolute calculate, acestea s-au putut reprezenta grafic. Coordonatele pentru punctele stațiilor permanente prelucrate au fost transformate într-un sistem de proiecție, Stereografic 1970, cu programul TransDat 4.04 pus de dispoziție de ANCPI. Cu ajutorul programului ArcGis s-a realizat reprezentarea grafică.

Direcția de deplasare rezultă din raportarea coordonatelor punctelor prelucrate în prealabil, pentru etapa 2008 și 2015. Se poate observa din reprezentarea grafică faptul că vectorii rezultați au direcția de deplasare pe direcția NE.

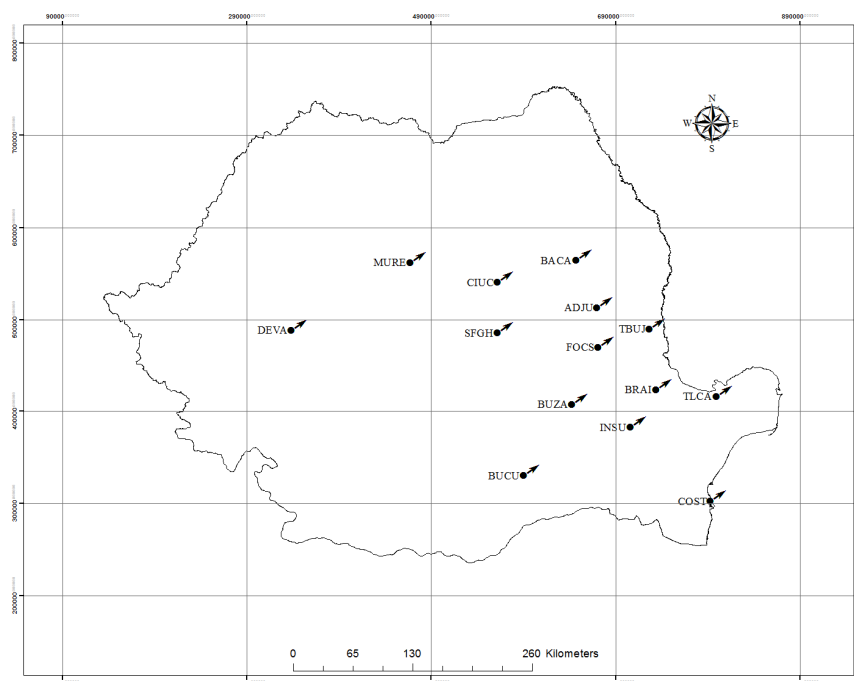


Figura 12 - Harta direcțiilor de deplasare absolute

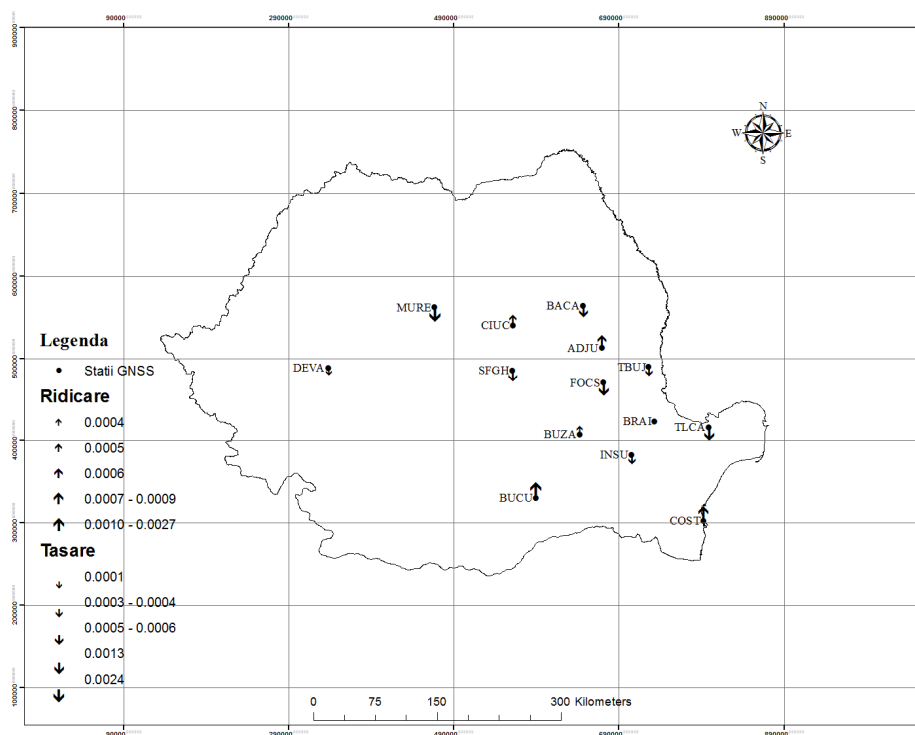


Figura 13 - Deplasarea în valoare absolută în plan vertical

Harta deplasărilor în plan vertical a fost creată pentru a avea o mai bună viziune de ansamblu a zonelor care se tasează sau se ridică. Se constată că următoarele stații suferă un proces de tasare: DEVA, MURE, SFGH, BACA, FOCUS, TBUI, TLCA, INSU. Stațiile care indică o ridicare sunt: CIUC, ADJU, BUZA, BUCU, COSTI. Valorile sunt foarte mici, de ordinul zecimilor de milimetru

până la aproape 3 milimetri. Deplasarea pe vertical poate furniza informații prețioase despre delimitare microplăcilor.

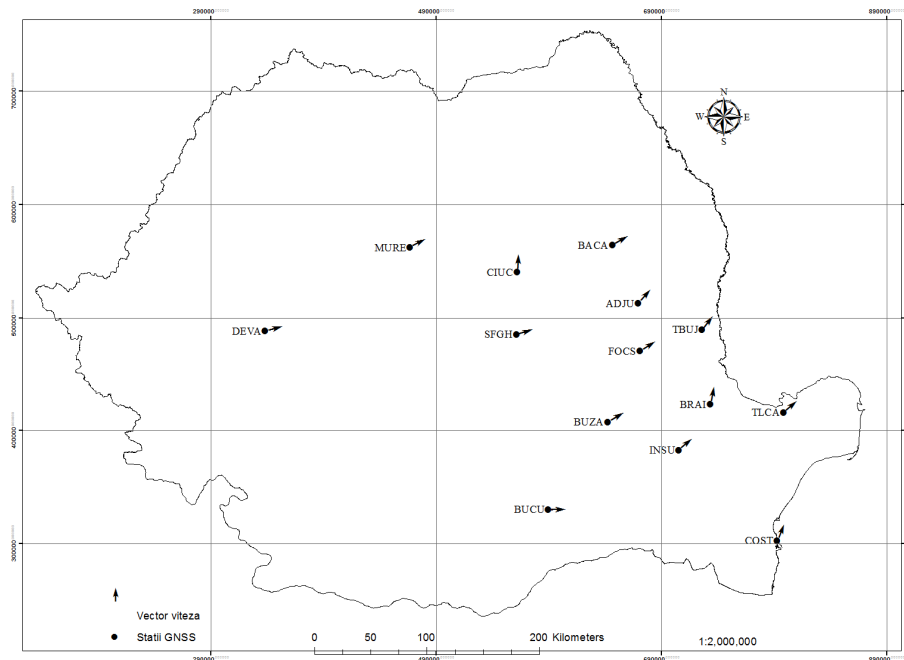


Figura 14 - Viteze relative la MORVEL

Din rezultatele afișate putem remarca anumite anomalii, rezultate din direcțiile de deplasare, pe care le-am împărțit în trei zone în funcție de zona și direcția de deplasare. Prima zonă este definită de vectorii stațiilor INSU, BUZA, FOCS, care se deplasează pe aceeași direcție NE. Stația TLCA poate fi introdusă în această zonă, luând în calcul direcția de deplasare, dar se recomandă o analiză și o colectare a datelor zonală amănunțită.

A doua zonă este zona definită de vectorii stațiilor CONST, BRAI, ADJU, TBUI care respectă aceeași direcție de deplasare. A treia zonă este definită de vectorii stațiilor DEVA, MURE, BACA. Stația CIUC indică o deplasare pe partea de Nord, din lipsa datelor zonale, nu se poate trage o concluzie clară a factorilor care influențează această schimbare de direcție.

O altă observație se poate face pentru direcția de deplasare a stației BUCU spre Est. Cercetările inițiale, preliminară prelucrării nu au indicat orașul București ca fiind într-o zonă cu probleme, motiv pentru care nu s-au ales și prelucrat mai multe stații de referință zonale, această stație fiind aleasă ca o stație de încredere. Pentru o mai bună interpretare a rezultatelor din această zonă este necesară prelucrarea mai multor stații de referință apropiate stației BUCU.

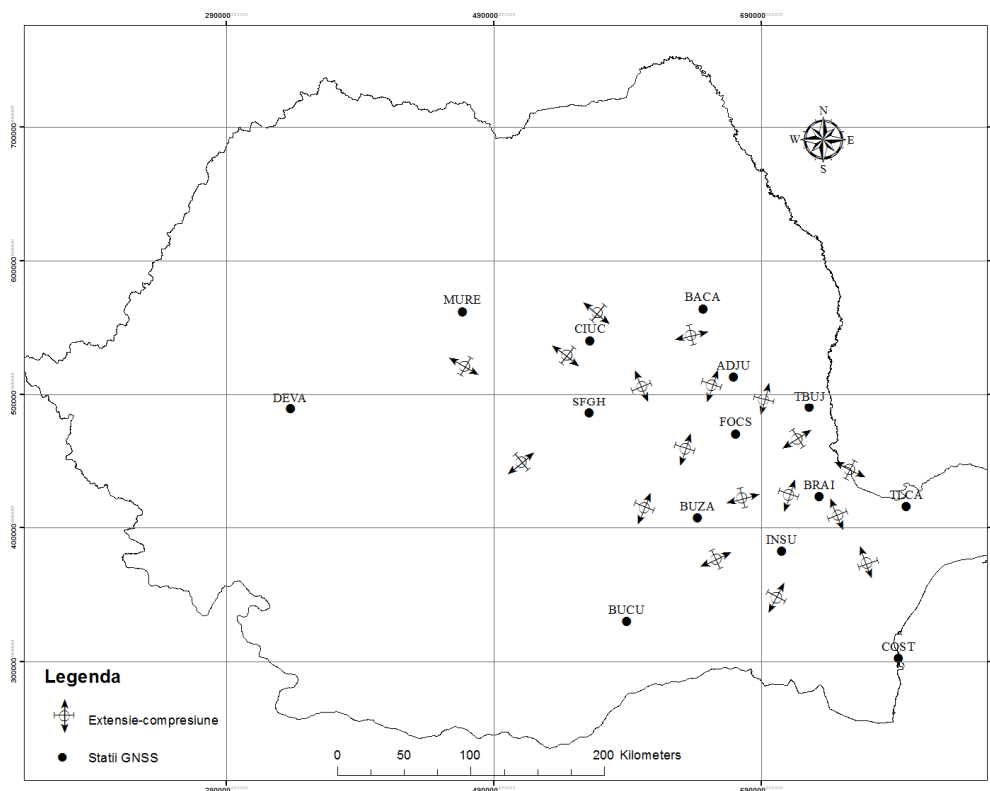


Figura 15 - Hartă strain

Harta strain (figura 79) a fost creată folosind valorile obținute din calculul strain-ului din capitolul 8.2.2. Reprezentarea s-a efectuat în programul ArcGIS, iar pentru fiecare valoare s-a calculat o orientare. Simbolul alcătuit din săgețile negre reprezintă extensia strain-ului, iar compresiunea este reprezentată de segmentul perpendicular pe săgeți. Se pot observa anumite zone care au atras atenția, reprezentate de triunghiurile 2,3,7,8.

Din figura de mai sus se pot evidenția mai multe „linii” clasificate după direcția de extensie a strain-ului:

- Linia 1 – pe direcția COST –BRAI
- Linia 2 – pe direcția INSU spre TBUJ
- Linia 3 – pe direcția BUCU – BRAI
- Linia 4 – pe direcția BUCU – ADJU
- Linia 5 – pe direcția MURE - SFGH

Linia 1, linia 2 și linia 3 exercită o extensie, practic „împing” pe direcția SE, la Nord de orașul Brăila în perimetrul județului Galați spre Târgu Bujor unde se exercită o compresiune.

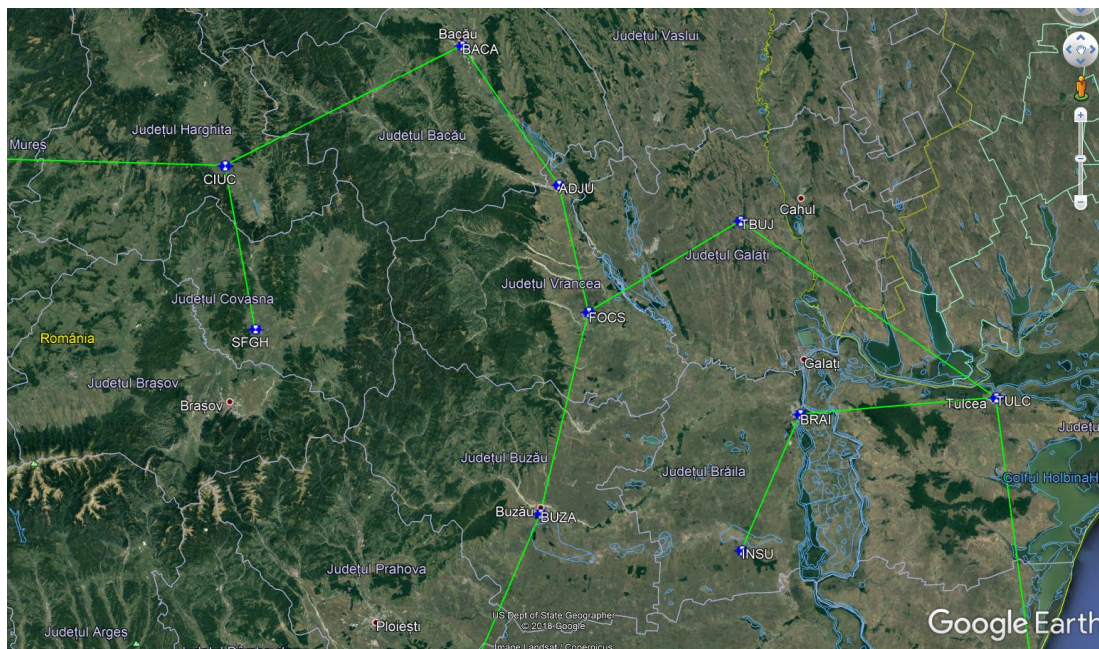


Figura 16 - Imagine de ansamblu cu limite județe pentru zona studiată

Extensia reprezentată de linia 5 exercită o forță („împinge”) spre linia 4, din centrul țării, din zona CIUC - depresiunea Transilvaniei spre proximitatea orașului Focșani, unde se exercită o compresiune.

Concluzionând, se poate afirma, conform rezultatelor prezentate, că în zona stațiilor TBUI-FOCS-BRAI există un nod unde se întâlnesc mai multe tipuri de mișcări crustale, din mai multe direcții, care poate fi tradus și determinat prin strain și stres. Se recomandă îndesirea rețelelor GNSS în teren pe aceste zone. Necesitatea delimitării cât mai precise a acestor zone care se întâlnesc, viteza cu care se deplasează fiecare este de un interes foarte mare.

9. CONCLUZII, CONTRIBUȚII ȘI PERSPECTIVE

9.2. Concluzii

În contextul în care țara noastră se afla într-o zonă seismică activă, lucru demonstrat prin seismele de-a lungul anilor care au afectat marile orașe și au produs pagube materiale și pierderi de vieți omenești și activitatea seismică care se resimte aproape în fiecare zi în anumite zone, nevoia de a cerceta și investi în metode și sisteme performante de monitorizare este de un real interes.

Nevoia de a standardiza anumiți termeni s-a materializat la începutul anilor 1990, când O.N.U. a adoptat rezoluția privind Deceniu International pentru Reducerea Efectelor și a Dezastrelor Naturale (IDNDR) au formulat și publicat un dicționar de termeni, pentru ca specialiștii din domeniu să folosească un limbaj comun.

Dacă inițial metodele geodezice erau folosite pentru determinarea formei, poziției și dimensiunilor suprafețelor, cu trecerea timpului, tehnologia a evoluat și furnizează date obținute cu o precizie ridicată care au atras atenția specialiștilor din alte domenii. Tehnologia GNSS și sistemele de monitorizare sunt într-o continuă dezvoltare, fie ca vorbim de state care își lansează propriul lor sistem satelitar, sisteme complementare noi pentru a ajuta la o poziționare cât mai precisă, fie de proiecte de cercetare care au ca scop îmbunătățirea acestor servicii sau de producători care dezvoltă receptoare performante.

Interesul pentru monitorizare ar trebui să fie unul crescut, fie că vorbim de alunecări de teren, surpări, erupții vulcanice sau monitorizarea plăcilor tectonice, scopul principal fiind de a preveni anumite dezastre, care se pot produce numeroase pagube materiale sau mai rău sau pot produce rănirea sau chiar decesul oamenilor.

Teza de doctorat abordează un subiect de actualitate și de o importanță națională, determinarea deplasărilor plăcilor tectonice, determinarea valorilor și reprezentarea lor sub formă grafică pentru „stres” și „strain”, crearea unui model de deplasare a plăcilor tectonice la nivel național. Determinarea deplasărilor, a valorilor de stres și strain sunt parametri foarte importanți pentru interpretarea și înțelegerea fenomenelor seismice în domenii importante precum inginerie seismică, geologie, industria petrolieră etc.

Etapele de calcul pentru determinarea strain-ului din trei puncte GNSS, prezentat pe larg în această teză, poate fi folosit de specialiștii din domeniu care execută determinări GNSS.

Tendința la nivel global este de a implementa sisteme de monitorizare automate, autonome, care să transmită date în timp real, dotate cu sisteme de back-up care să transmită continuu și în cazul unor evenimente deosebite.

Implementarea automatizării măsurătorilor în timp-real sau post-procesarea datelor necesită programe adecvate, dar nu toate programele de pe piață se pretează pentru acest tip de prelucrare și cerințelor de precizie. Programul Bernese folosit pentru prelucrarea măsurătorilor în această teză, este recomandat pentru astfel de prelucrări.

În urma prelucrărilor efectuate, s-a dovedit că tehnologia GNSS se pretează pentru studiul deplasărilor crustale recente. Totodată, ca urmare a cercetărilor efectuate s-a demonstrat că sistemele

complexe compuse dintr-un sistem GNSS și senzori periferici – senzori de temperatură, aer, umiditate etc. dau rezultate foarte bune în teren, apoi, în interpretarea rezultatelor.

Necesitatea de a elabora un model de deplasare a plăcilor tectonice la nivel național devine de o importanță foarte mare. Ultimul model, așa cum a fost prezentat în acesta teză, elaborat în 2001, nu are la bază determinări GNSS. La nivel global, modelele sunt generate în proporții foarte mari din măsurători GNSS.

Singurele măsurători și prelucrări ale datelor GNSS au fost furnizate de către specialiștii implicați în proiectul CERGOP. Stațiile permanente implicate în prelucrare au acoperit o suprafață foarte mică pe partea estică a țării, cunoscută pentru generarea cutremurelor.

Deși prelucrări pentru determinarea mișcărilor crustale nu sunt de mare interes pentru instituțiile publice, datele brute pentru prelucrarea individuală de la rețelele GNSS se obțin greu sau contracost, iar informații spațiale legate de limitele plăcilor și microplăcilor nu sunt făcute publice. La nivel global, rețelele GNSS mari furnizează înregistrările în mod public și gratuit.

Cu ajutorul sistemelor GNSS putem realiza monitorizări permanente pentru punctele de interes cu o precizie subcentimetrică, însă pentru a avea o imagine de ansamblu sau pentru a începe monitorizarea unor anumite zone este recomandată utilizarea interferometriei satelitare.

Sistemul satelitar de interferometrie, încă din 1978 de la lansarea primei platforme satelitare, cunoaște o dezvoltare continuă. Interesul pentru această metodă de monitorizare este crescut, iar cercetarea la nivel mondial contribuie la dezvoltarea acestei metode prin lansarea de noi sateliți cu sisteme SAR avansate, având o rezoluție mult mai bună și cu un timp de revenire asupra țintei mult mai scăzut, ceea ce face din această metodă una care se pretează pentru măsurători de monitorizare.

Metoda de determinare a deplasărilor de tip InSAR poate fi folosită pentru a monitoriza suprafețe mari și de a atrage un semnal de alarmă asupra zonelor care prezintă anumite deplasări. Spre exemplu în zonele urbane sau industriale unde se execută constant lucrări de întreținere sau construire, care nu sunt monitorizate, prin monitorizarea permanentă la o scară mare, putem determina de la o prelucrare la alta, dacă zonal se manifestă anumite fenomene (tasare sau ridicare). Apoi, interesul se îndreaptă către aceea zonă pentru care se efectuează monitorizări zonale prin diferite alte metode geodezice.

În această lucrare au fost prezentate atât avantajele cât și dezavantajele acestei metode. Dacă facem referire la precizia de determinare a deplasărilor cu ajutorul InSAR, acesta depinde de mulți factori precum: tipul de platforma satelitară care preia imaginile, unghiul și poziția antenei de preluare a datelor, erorile atmosferice, erorile geometrice de preluare la sol, tipul reliefului preluat la sol, timpul de revenire a satelitului în aceeași poziție, prelucrarea imaginilor, dar și numărul imaginilor prelucrate, softul de prelucrare și interpretare. Prin prelucrarea unui număr mare de imagini (peste 20) monitorizarea cu această metodă poate atinge o precizie centimetrică.

Monitorizarea cu ajutorul InSAR pe întreg teritoriul țării și elaborarea unor hărți de hazard pe baza datelor obținute ar putea ajuta specialiștii din foarte multe domenii pentru o interpretare mult mai bună a anumitor fenomene sau pentru a putea începe studiul zonal, dar și instituțiile publice care eliberează autorizații de construire.

Datele obținute în această lucrare și reprezentarea lor grafică, a hărților de strain ajută la o înțelegere și o interpretare mult mai bună a fenomenelor seismice.

9.3. Contribuții

Elaborarea unei sinteze de actualitate pentru domeniul cercetat, tectonica globală, studiul zonelor seismice, crearea și actualizarea hărților de stres și strain la nivel global și național, crearea unui model de deplasare a plăcilor tectonice, determinarea anumitor parametri care pot conduce la prezicerea cutremurelor, sunt de un interes național și internațional.

În această teză de doctorat s-a reușit actualizarea informațiilor referitoare la sistemele satelitare existente la momentul actual, precum și informații referitoare la sistemele complementare de tip SBAS. Totodată au fost prezentate rețele GNSS din întreaga lume, modul în care funcționează și au fost implementate, dar și sisteme de monitorizare care furnizează date cu succes în studiul monitorizărilor, pe baza poziționării GNSS integrate cu sisteme complementare care furnizează parametri necesari (temperatura, presiune, umiditate etc.) care conduc la interpretări mult mai de bune.

Tehnologia InSAR ajută la abordarea unui domeniu relativ nou, anume monitorizarea deformațiilor Pământului și a construcțiilor din imagini satelitare. Principiul acestei tehnologii este prezentată în detaliu în lucrare, se detaliază atât principiul de preluare a imaginilor, sateliții care au implementat această tehnologie, cât și proiectele în care a fost folosită cu succes, prezentarea datelor și a rezultatelor obținute, concluzionând că este o tehnologie care se pretează pentru monitorizarea suprafețelor mari. Având aceste rezultate validate, se pot implementa și pe teritoriul țării noastre programe de cercetare în cadrul cărora să se prelucreze și analizeze imaginile satelitare preluate de-a lungul anilor de către sateliții activi și inactivi la momentul de față din care să rezulte informațiile necesare pentru a fi folosite de către mai mulți specialiști din domenii diferite, precum și dezvoltarea unor hărți seismice sau de alunecări de teren. O altă contribuție este studiul comparativ între datele obținute de InSAR și GNSS, un subiect dezbătut în multe articole de nivel internațional.

Implementarea și folosirea receptoarelor GNSS pentru măsurători la frecvențe mari este un alt subiect de actualitate dezbătut în lucrare. Până în momentul de față, măsurătorile pentru studiul deplasărilor crustale se înregistrează la o frecvență de 1 Hz, dar odată cu dezvoltarea tehnologiei receptoarelor GNSS, care pot înregistra la o frecvență de 100 Hz, se deschide un nou capitol, cel al măsurătorilor la o rată mare de înregistrare (very high rate). Acest tip de măsurătoare concurează și completează măsurătorile efectuate până în prezent de către seismometre. Argumentele pro și contra implementării acestor măsurători, cauzele erorilor care afectează cele două tipuri de măsurători și frecvența optimă pentru acestea sunt dezbătute pe larg în lucrarea de față. Analizând specificul zonei noastre, cu o activitate seismică intensă, prin abordarea acestui subiect se arată interesul și se recomandă implementarea măsurătorilor la frecvențe ridicate. Crearea unor rețele de stații GNSS cu receptoare moderne care pot măsura la frecvențe mari, rețele amplasate în zonele cu intensitate seismică ridicată pot furniza rezultate foarte bune.

Pentru o înțelegere corectă a studiului privind mișcările crustale, în lucrare sunt prezentate numeroase noțiuni de tectonică și geologie structurală, care conduc spre o mai bună înțelegere a subiectului monitorizărilor crustale. Cunoașterea tipurilor de unde seismice, prezentarea modului de propagare (manifestare) a acestora conduc spre o mai bună înțelegere a fenomenului și transformă receptoarele GNSS în componentele principale din sistemele de alarmare în timp real.

Cauzele producerii seismelor, tipurile de plăci tectonice întâlnite la nivel global și național, tipuri de coliziuni ale plăcilor tectonice și istoricul cutremurelor resimțite în România sunt subiecte care sunt abordate în aceasta lucrare. Contribuția adusă prin acest proiect de cercetare este cu atât mai importantă cu atât încât prin abordarea și prezentarea detaliată a noțiunilor de „stres” și „strain” aduce în prim plan doi parametri importanți și actuali la nivel global, deoarece cu ajutorul acestora se încearcă înțelegerea și anticiparea seismelor.

Metoda de calcul al strain-ului determinat din trei puncte prin metoda statica GNSS este o noutate pentru domeniul seismic din România. O altă fiind calculul valorilor strain-ului pentru zona de Est și Sud-Est a României din măsurători GNSS. Valorile obținute și prezentate în acesta teză ar trebui să atragă atenția specialiștilor și să conducă spre acordarea unui interes mult mai mare pentru acest tip de determinări și la un studiu amănunțit al zonelor seismice studiate.

În lucrarea de față s-au prelucrat numeroase date înregistrate de la peste zece stații permanente GNSS, cu unul dintre cele mai bine cotate programe din lume, structurate în trei etape, într-un interval mare, respectiv 2008, 2010, 2015. Fiecare etapă este alcătuită din câte patru sesiuni, cu înregistrări de 24 ore, de la sateliții GPS și Glonass.

În această lucrare sunt prezentate cele două mai bine cotate programe la nivel mondial care se pretează pentru studiul deformațiilor crustale, Gipsy-Oasis și Bernese, cel din urmă fiind folosit pentru prelucrarea datelor din aceasta teză. Prelucrări executate până în momentul de față cu programul Bernese sunt foarte puține, singurele efectuate neavând ca subiect principal determinarea mișcărilor crustale, acest tip de prelucrare cu Bernese nefiind abordat până acum în nicio teză de doctorat din România. Rezultatele obținute în urma prelucrărilor au fost comparate și validate cu rezultatele obținute din alte prelucrări la nivel european (exemplu CERGOP), fapt ce certifică o bună înțelegere și cunoaștere a programului și furnizează un grad de încredere ridicat pentru rezultate.

S-au studiat modele de deplasare a plăcilor tectonice la nivel național și mondial. Important pentru studiul mișcărilor tectonice din România este de a cunoaște istoricul acestora, motiv pentru care s-au studiat modelele tectonice începând cu anul 1970 până în 2001, precum și teoriile în baza cărora au fost dezvoltate. La nivel global, s-a prezentat istoricul modelelor tectonice, parametri luați în calcul în dezvoltarea lor, cele mai recente versiuni ale modelelor de deplasare a plăcilor tectonice GSRM, NUVEL, MORVEL și diferențele dintre acestea. În această teză s-a reușit transformarea și obținerea valorilor vitezelor absolute și relative pentru fiecare dintre cele trei modele globale de deplasare.

În cadrul acestui proiect de cercetare se determină vitezele relative la modelul global MORVEL, cel mai nou și complet model de deplasare a plăcilor tectonice până în momentul de față.

O altă contribuție este reprezentată de depistarea anomaliilor pentru zonele studiate, zone care sunt în atenția analizei a specialiștilor din domeniul seismic, care sunt de un interes național și internațional. Noutatea provine și din faptul că determinările relative pentru țara noastră s-au efectuat până în momentul de față doar pentru modelul NUVEL-1A, acesta fiind un model învechit și neactualizat.

Specialiștii din domeniul geodezic se rezumă în studiile efectuate doar la determinarea deplasărilor și a vitezelor de deplasare. În prezenta teză de doctorat se abordează și se folosesc datele GNSS într-un alt mod, prin determinarea altor indicatori, de stres și strain, din datele GNSS prelucrate, care furnizează parametri necesari pentru o mai bună înțelegere și interpretare a fenomenelor geologice.

Reprezentarea grafică a rezultatelor sub forma unor hărți elaborate în această teză, conduc spre o mai bună înțelegere și interpretare a rezultatelor obținute.

Autorul trage un semnal de alarmă legat de actualizarea modelului de deplasare a plăcilor tectonice de pe teritoriul României, acesta nefiind determinat prin măsurători GNSS, lipsa hărților de stres și strain, lipsa datelor puse la dispoziție în mod gratuit pentru prelucrări, precum și datele privind delimitarea plăcilor și microplăcilor de pe teritoriul României.

9.4. Perspective

La capitolul perspective se pot menționa următoarele:

- Studiul și prelucrarea imaginilor InSAR de la sateliții noi (Sentinel, TerraSAR-X, ASNARO-2) și generarea unor hărți de hazard pe baza datelor rezultate în urma prelucrărilor efectuate;
- Crearea unor hărți seismice din rezultatele obținute din prelucrarea imaginilor InSAR pe o perioadă mare de timp;
- Efectuarea și prelucrarea măsurătorilor GNSS pe întreg teritoriul țării, pentru o mai bună înțelegere a deplasărilor plăcilor tectonice și a fenomenului seismic;
- Furnizarea, în urma studiilor efectuate, de informații necesare pentru amplasarea stațiilor GNSS în alte zone unde se manifesta mișcări crustale importante sau îndesirea rețelilor de stații GNSS pentru zonele deja cunoscute;
- Implementarea înregistrărilor „very high rate” pe teritoriul României, crearea de rețele GNSS cu receptoare moderne care suporta acest tip de măsurători combinate cu seismometre și realizarea unor studii care să îmbunătățească configurația rețelei, dar și rezultatele obținute;
- Obținerea prin prelucrarea măsurătorilor GNSS a valorilor de strain pentru întreaga suprafață a țării, precum și a parametrilor de stres.
- Reprezentarea valorilor obținute sub formă grafică și elaborarea unor hărți de strain pe întreg teritoriul țării;
- Aducerea de contribuții prin prelucrarea datelor GNSS și furnizarea lor pentru elaborarea unui model actual și modern de deplasarea a plăcilor tectonice pe teritoriul României.
- Elaborarea hărților de stres pentru întreg teritoriul țării și furnizarea datelor pentru integrarea lor în World Stress Map;
- Definirea și delimitarea cat mai precisă a limitelor plăcilor și microplăcilor tectonice din România, în urma rezultatelor obținute;
- Realizarea infrastructurii și a unui algoritm de prelucrare automatizată în timp real a măsurătorilor cu soft-uri de specialitate;
- Integrarea receptoarelor GNSS cu module periferice de măsurare a mai multor tipuri de parametri (temperatura, presiune, umiditate etc.) pentru furnizarea tuturor datelor din teren;
- Colaborarea cu specialiștii de la Fizica Pământului pentru interpretarea rezultatelor și găsirea unor noi căi și forme de a utiliza tehnologia GNSS și InSAR în monitorizările crustale;
- Contribuții privind dezvoltarea unui sistem de alarmare în timp real pe baza măsurătorilor GNSS pentru avertizarea populației în cazul producerii unor seisme;

BIBLIOGRAFIE

- Abdi, N. &.-H.-H. (2017). Performance assessment of multi-GNSS real-time PPP over Iran. *Advances in Space Research*, Volume 59, Issue 12, p. 2870-2879.
- Airinei, S. (1979). *Teritoriul României și tectonica plăcilor*. Editura Științifică și Enciclopedică.
- Airinei, S. (1979). *Teritoriul României și tectonica plăcilor*. Editura științifică și enciclopedică.
- Alkan, R. M. (2018). A comparative study for accuracy assessment of PPP technique using GPS and GLONASS in urban areas.
- Allmendinger, R. (2015). *Modern structural practice*.
- Altamimi. (2003). The impact of a No-Net-Rotation Condition on ITRF2000.
- Argus, D. (1991). No-net-rotation model of current plate velocities incorporating plate motion model NUVEL-1.
- astronoo.com*. (f.d.). Preluat pe 2018, de pe <http://www.astronoo.com/es/articulos/gps.html>
- Avallone. (2011). Very high rate (10 Hz) GPS seismology for moderate-magnitude earthquakes: The case of the Mw 6.3 L'Aquila (central Italy) event. Preluat de pe https://www.earth-prints.org/bitstream/2122/7799/1/Avallone_et_al_revised_def.pdf
- Benoit, L. &.-P. (2015). Monitoring landslide displacements with the Geocube wireless network of low-cost GPS. *Engineering Geology* 195, 111–121.
- Beșuțiu, L. A. (2011). Studiu privind analiza modelelor geodinamice existente.
- cegrn*. (2018). Preluat de pe <http://cegrn.cisas.unipd.it>
- Chrzanowski, A. &. (2009). Deformation monitoring surveys – old problems and new solutions, .
- Cronin, V. (2012). Algorithm for computing infinitesimal strain rate between three non-colinear GPS stations, given their N-S and E-W velocities, with a worked example. Preluat de pe https://nanopdf.com/download/algorithm-for-computing-infinitesimal-strain_pdf
- Dana, I. (2010). Analiza comparativă a exploatarei 3D a imaginilor satelitare. *UTCB*.
- DeMets, C. (2009). *Geologically current plate motions*.
- Diego Di Martire, A. I. (2014). Combined observations of surface displacements using Differential Interferometry SAR (DInSAR) and tradițional monitoring techniques.
- E.C. (2014). Preluat pe 2014, de pe http://ec.europa.eu/dgs/energy_transport/galileo/doc/galileo_stf_ion2002.pdf
- eoPortal. (2018). Preluat pe 2018, de pe <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/a/asnaro>
- ESA. (2009). *EGNOS*. Preluat pe 2014, de pe http://www.egnos-pro.esa.int/Publications/ESA_EGNOS_br284_2009.pdf

- ESA. (2014). Preluat de pe http://www.esa.int/Our_Activities/Navigation/The_future_-_Galileo/What_is_Galileo
- ESA. (2014). Preluat de pe http://www.cosmos.esa.int/documents/13611/375201/170513_Ventura_Traveset.pdf/f8224fde-c352-48a6-ba58-a373a0facc9b -COMPASS
- ESA. (f.d.). Preluat pe 2014, de pe http://www.cosmos.esa.int/documents/13611/375201/170513_Ventura_Traveset.pdf/f8224fde-c352-48a6-ba58-a373a0facc9b
- EUPOS. (f.d.). *EUPOS.org*. Preluat pe 2014, de pe eupos.org
- European Permanent GNSS Network*. (2017). Preluat de pe http://www.epncb.oma.be/_productsservices/coord_trans/
- exelisvis.com. (2014, accesat august 2014). <https://www.exelisvis.com>. Preluat de pe https://www.exelisvis.com/portals/0/pdfs/envi/SAR_Guidebook.pdf
- Fădur, (. P. (2016). Contribuții la modernizarea serviciilor de poziționare ce utilizează Sistemele Satelitare de Navigație Globală (GNSS).
- Ferretti, A. e. (2007). *InSAR Principle*, 2007.
- Friedsam, H. &. (1996). *Deformation Measurements at the Vehicle Tunnel Overpass using a Hydrostatic Level System*.
- GCIM. (2014). GeoConnexion Internațional Magazine. volume 13, issue 8.
- Geology.com*. (f.d.). Preluat pe 2017, de pe <http://geology.com/articles/san-andreas-fault.shtml>
- Ghițău, D. (1972). *Geodezie*. Editura Didactica si Pedagogica Bucuresti.
- Grecu, F. (2008). Hazarde si riscuri naturale geologice si geomorfice. Preluat de pe http://www.unibuc.ro/prof/grecu_f/docs/res/2011decHazarde_si_riscuri08.pdf
- GSI. (f.d.). Preluat de pe Geospatial Information Authority of Japan: <http://www.gsi.go.jp/cais/chikakuhendo40010.html>
- gsn.cri.nz*. (f.d.). Preluat pe 2018, de pe <https://www.gns.cri.nz/Home/Learning/Science-Topics/Earthquakes/Earthquakes-and-Faults/Different-types-of-Faults>
- GSRM2 UNAVCO*. (2017). Preluat de pe http://gsrm2.unavco.org/model/velocities/GEM_GSRM_VelocityViewer.html
- Heidbach, O. (2016). *World stress map – Scientific tehnical report*. <http://www.world-stress-map.org>. (2017). Preluat de pe <http://dataservices.gfz-potsdam.de/wsm/showshort.php?id=escidoc:1809897>
- Hudnut, K. W. (2013). The Southern California Integrated GPS Network (SCIGN) – .
- Hurst, K. &. (1986). *Hydrostatic levels in precision geodesy and crustal deformation measurement*.
- Ilie, A. (2015). *Prelucrarea, analiza și optimizarea rețelelor geodezice combinate*.
- IMAKIIRE, T. &. (2014). GPS earth observation network (Geonet) of japan.

- INFP. (2015). *Raport privind funcționarea Instalațiilor de Interes National din cadrul INCDFP și accesul beneficiarilor în luna martie 2015*. Bucuresti: INFP. Preluat de pe http://intranet.infp.ro/wp-content/uploads/public_dirs/rapoarte_interne/Rapoarte_RSN/2015.03.Raport%20IIN-RSN-MARTIE_2015-final.pdf
- INFP. (2017). *Raport cutremur 06.05.2017 zona Vrancea*.
- INFP. (f.d.). Preluat de pe www.infp.ro/despre-cutremure
- INFP. (f.d.). Preluat de pe http://www.infp.ro/monitorizarea-seismica/#ch_12
- interactivia.ro. (f.d.). Preluat pe 2018, de pe <http://www.interactivia.ro/ce-sunt-faliile/#>
- Iordan, P. (f.d.). Note de curs, UTCB.
- Jalba, L. (2015). *Vectori, tensori, câmpuri*.
- Juravle, D. (2013). Preluat de pe http://doru.juravle.com/cursuri/resurse/cursuri_2013-2014/iig/08.%20INTRODUCERE%20IN%20GEOLOGIE%20-%20CURS%2008%20-%20TECTONICA%20GLOBALA.pdf
- kass.re.kr. (2018). Preluat de pe http://kass.re.kr/bbs/config/filedown.php?f_idx=146
- Kim, S.-K. &.-H.-H.-W. (2013). Surface deformation monitoring of Augustine volcano, Alaska using GPS measurement - A case study of the 2006 eruption. *The Korean Society of Remote Sensing, Volume 29, Issue 5*, 545-554.
- Kreemer, C. (2014). *GEM technical report*.
- Licurici M, I. O. (2013). Evaluarea și reducerea hazardelor natural și tehnologice. Editura Universitaria.
- Lim, M. &. (2010). GPS deformation monitoring and analysis for local cors network: Iskandarnet . *Geoinformation Science Journal, Vol. 10, No. 2*, 1-14.
- LIM, M. C. (2014). Procedure and Software System for CORS Coordinate Monitoring.
- M.Socolescu, S. A. (1975). *Fizica și structura scoartei terestre din Romania*. editura Tehnica.
- Malia, L. M. (2015). Near Real-Time High-Rate GPS Data Analysis for Earthquake and Tsunami Early Warning.
- Marrett, R. (1999). Strain and stress. *Jurnal of structural geology*.
- MEIER, E. P. (2010). *Hydrostatic Leveling Systems: Measuring at the System Limits*. FIG Congress.
- Moldoveanu, C. (2002). *Geodezie*. MatrixRom.
- Murărescu, O. (f.d.). Curs Riscuri climatice extreme. *Universitatea „Valahia” din Târgoviște*.
- Navipedia. (f.d.). Preluat pe 2014, de pe http://www.navipedia.net/index.php/GLONASS_Space_Segment#câte_note-GLONASS.it-3
- Navipedia. (f.d.). Preluat pe 2014, de pe <http://www.navipedia.net/index.php/GAGAN>
- Network, E. P. (2017). Preluat de pe http://www.epncb.oma.be/_productsservices/coord_trans/

- Nishimura, T. &. (2011). The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake and its aftershocks observed by GEONET.
- Radartutorial.eu. (f.d.). Preluat pe 2014, de pe <http://www.radartutorial.eu/11.coherent/co06.ro.html>
- ROMPOS. (f.d.). *ROMPOS.ro*. Preluat pe 2014, de pe http://www.rompos.ro/images/Pliant_ROMPOS.pdf
- Rui Tu, P. Z. (2016). Comparison of high-rate GPS, strong-motion records and their joint use for earthquake monitoring: a case study of the 2011 Mw 9.0 Tohoku earthquake.
- Rusu, G. (2016). *Contribuții privind urmărirea în timp a deplasărilor și deformațiilor construcțiilor prin metode topo-geodezice*. Editura Politehnica.
- Sansosti, E. (2014). *How second generation SAR systems are impacting the analysis of ground deformation, de E. Sansosti*.
- Sarmap. (2007). *SAR Guidebook*. Preluat de pe http://www.harrisgeospatial.com/portals/0/pdfs/envi/SAR_Guidebook.pdf
- Schneider, D. (2006). Terrestrial laser scanning for area based deformation analysis of towers and water damns.
- Scientia.ro. (2009). *Scientia.ro*. Preluat de pe <http://www.scientia.ro/fizica/mecanica-clasica/438-ce-sunt-tensorii-si-la-ce-folosesc.html>
- semanticscholar.org*. (f.d.). Preluat pe 2018, de pe <https://www.semanticscholar.org/paper/2D-and-3D-millimeter-wave-synthetic-aperture-radar-Watts-Lancaster/3c247b018a8134c704e95892b94d5de10d286252>
- Shariff, N. S. (2015). ISKANDARnet: COOPERATIVE GPS CORS IN MALAYSIA. Preluat de pe https://www.researchgate.net/publication/266525408_ISKANDARnet_COOPERATIVE_GPS_CORS_IN_MALAYSIA
- Socolescu, M. (1967). *Geofizica*. Editura Didactica si Pedagogica.
- Spatialsource.com.au*. (2017). Preluat de pe <https://www.spatialsource.com.au/company-news/skm-invests-in-riegl-laser-scanner>
- Stanford*. (f.d.). Preluat pe 2014, de pe http://scpn.stanford.edu/pnt/PNT08/Presentations/8_Cao-Jing-Luo_PNT_2008.pdf
- State, L. (2013). Cutremurul, un hazard invizibil si mut pana la dezlantuire. *Universiateta "Valahia"*.
- Sturgess, B. N. (1995). *The surveying handbook*.
- TSUJI, H. (2015). How GNSS CORS in Japan (GEONET) works for disaster mitigations - Hiromichi TSUJI.
- UNAVCO. (2017). GPS Strain & Earthquakes: Explanation of Strain Calculator Output.
- Unavco*. (f.d.). Preluat pe 2014, de pe <https://www.unavco.org/software/data-processing/postprocessing/bernese/bernese.html>
- UNAVCO*. (f.d.). Preluat de pe <http://gsrm.unavco.org/intro/>
- UNAVCO*. (f.d.). Preluat de pe <http://gsrm2.unavco.org/intro/intro.html>

- UNAVCO. (f.d.). Preluat de pe <https://spotlight.unavco.org/station-pages/popo/popo.html>
- UNAVCO Plate Motion Calculator. (2018). Preluat de pe <https://www.unavco.org/software/geodetic-utilities/plate-motion-calculator/plate-motion-calculator.html>
- UNAVCO.org. (2016). <https://www.unavco.org/science/snapshots/solid-earth/2016/howell.html>.
- Unavco.org. (f.d.). Preluat pe 2017, de pe <https://www.unavco.org/software/data-processing/postprocessing/gipsy/gipsy.html>
- UNIBE. (f.d.). Preluat pe 2016, de pe <http://www.bernese.unibe.ch/features/index.php>
- UNIBE.ch. (f.d.). Preluat pe 2016
- United Nations. (2007). Preluat pe 2014, de pe <http://www.oosa.unvienna.org/pdf/icg/2007/icg2/presentations/01.pdf>
- USA GOV. (2014). Preluat de pe <http://www.gps.gov/systems/gps/space/#IIF>
- Vișan, A. (2017). *Contributii de imbunatatirea preciziei de determinare a pozitiei utilizand sisteme GNSS complementare*. UTCB.
- Wikimedia. (f.d.). Preluat de pe https://commons.wikimedia.org/wiki/File:GEONET_Komatsu.jpg
- wikipedia.org. (2018, iunie accessat). Preluat de pe https://en.wikipedia.org/wiki/Plate_tectonics#/media/File:Plates_tect2_en.svg -
- wikipedia.org. (2018). Preluat de pe https://en.wikipedia.org/wiki/Focal_mechanism
- Yanxiang YU1, Y. H. (f.d.). Calculation of long-period ground motion response spectrum by using broad-band digital record. Preluat de pe <http://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/1424.pdf>