



**UNIVERSITATEA DIN BUCUREȘTI - FACULTATEA DE  
GEOLOGIE ȘI GEOFIZICĂ - ȘCOALA DOCTORALĂ DE  
GEOLOGIE**

# **TEZĂ DE DOCTORAT**

**-Rezumat-**

## **INTEGRAREA METODELOR GEOFIZICE, TOPO- GODEZICE ȘI GIS PENTRU MONITORIZAREA CONSTRUCȚIILOR HIDROENERGETICE**

**Conducător științific**

**Prof.univ.dr.ing. Cornel PĂUNESCU**

**Doctorand**

**Alexandra Georgiana GERA**

**BUCUREȘTI 2022**

## **CUPRINS**

LISTA IMAGINILOR .....	2
1. INTRODUCERE .....	3
2. METODE GEOFIZICE .....	3
3. METODE TOPO-GEODEZICE .....	4
4. SISTEME GIS .....	4
5. STUDIU DE CAZ.....	4
5.1. Măsurători de rezistivitate.....	6
5.2. Măsurători de georadar .....	8
5.3. Măsurători topo-geodezice.....	13
5.4. Măsurători fotogrammetrie.....	14
5.5. Proiect GIS.....	16
6. CONCLUZII ȘI DISCUȚII .....	21
BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ.....	25
ANEXE.....	28

## **LISTA IMAGINILOR**

Figură 1 SEV-ul cu numărul 3. ....	7
Figură 2 realizarea măsurătorilor de rezistivitate pe alunecarea de lângă lacul Poiana Ruscă .....	8
Figură 3 Realizarea măsurătorilor de georadar pe suprafața unui baraj, cu antena de 200MHz. ....	9
Figură 4 Analiza întregului profil format din două fișiere, 34 și 35.....	10
Figură 5 Analiza profilului format din cele două fișiere 27 și 26.....	10
Figură 6 Analiza secțiunilor orizontale a datelor rezultate prin funcția envelope.....	12
Figură 7 Exemple de grafice cu deplasările orizontale ale unor reperi.....	13
Figură 8 Imaginea este rotită și nu este la scară, reprezentând una din zonele pe care s-au efectuat și alte măsurători. Imaginea este procesată. ....	15
Figură 9 Model de elevație rezultat din prelucrarea imaginilor. Imaginea are și scară de culori și este la scară. ....	15
Figură 10 Imagine satelitară procesată, din baza de date Copernicus, reprezentând zona împădurită. ....	16
Figură 11 Imagine satelitară reprezentând zonele de vegetație de tip ierburi și pășuni. ....	17
Figură 12 Imagine satelitară reprezentând situația umidității din sol în luna aprilie 2021. ....	17
Figură 13 Tipuri de informații pe care le au barajele în tabelul lor de atribute. ....	18
Figură 14 Suprapunerea zonelor de interes cu harta tectonico-strcuturală. ....	19
Figură 15 Suprapunere secțiune georadar cu imaginile de fotogrammetrie. ....	19

## **1. INTRODUCERE**

Proiectul de față reprezintă un proiect interdisciplinar în care au fost realizate măsurători de geofizică, în special de rezistivitate și georadar, măsurători topo-geodezice, măsurători de fotogrammetrie, acestea având ca scop monitorizarea construcțiilor hidroenergetice ce fac parte din administrația de hidrocentrale Hațeg, și realizarea unui proiect GIS pentru a putea integra aceste metode și a ajuta la interpretarea și integrarea datelor.

Realizarea unui proiect GIS în care toate aceste informații să fie centralizate reprezintă o modalitate eficientă și de lungă durată pentru a crea o baza de date complexă, cu avantajul flexibilității utilizării de date, accesul în orice moment al datelor, posibilitatea de actualizare a datelor și de adăugare de date noi, ș.a.m.d. Având toate aceste date la un loc oferă perspective noi pentru înțelegerea potențialelor probleme și găsirea de soluții este facilitată prin suprapunerea de informații.

Acest proiect dorește să pună în evidență avantajele posibilităților digitale pentru monitorizarea zonelor de interes prin îmbinarea de metode clasice cu cele moderne.

La final, lucrarea poate fi folosită ca un suport pentru realizarea de proiecte complexe de monitorizare, nu numai a obiectivelor hidroenergetice dar și a altor obiective la orice scară și în diferite domenii, de la domeniul ingineriei civile până la arheologie sau alte monitorizări de mediu. Prin proiecte complexe sunt incluse și realizarea de sisteme de centralizare GIS, realizarea de măsurători cu diverse metode și cu o varietate de aparate de specialitate, realizarea de procesări de date atât cu ajutorul programelor de specialitate cât și metode clasice de calcule matematice în tabele Excel, accesarea serviciilor gratuite pentru imagini din satelit puse la dispoziție de platformele Copernicus, și utilizarea de drone pentru crearea modelelor de elevație și înregistrarea imaginilor de mare rezoluție.

## **2. METODE GEOFIZICE**

Capitolul metode geofizice este împărțit în două sub-capitole majore: metoda rezistivității și metoda georadar. În acest capitol este prezentată atât fundamentarea fizico-matematică a metodelor cât și descrierea metodologiei de aplicare și de lucru a fiecărei metode în parte, discutând despre aplicarea metodelor în teren, tipuri de echipamente, procesarea și

interpretarea datelor și limitările acestora. De asemenea pentru fiecare metodă în parte sunt descrise alte studii cu aplicație a acestor metode în studiul alunecărilor de teren, barajelor și construcțiilor hidroenergetice.

### **3. METODE TOPO-GEODEZICE**

Capitolul metode topo-geodezice începe cu descrierea metodelor topo-geodezice în studiul construcțiilor hidroenergetice și continuă cu detalii legate de realizarea măsurătorilor în teren și prelucrarea acestora. De asemenea sunt descrise metodele utilizate în această lucrare, de nivelment și microtriangulație și tipurile de echipament folosit.

### **4. SISTEME GIS**

Capitolul despre GIS explică noțiuni de bază legate de sistemele GIS și face introducere și în metodele fotogrammetriei. După care este prezentată metodologia proiectelor GIS unde sunt prezentate diverse tipuri de date și de funcții ce pot fi folosite. Acest capitol include și o secțiune care prezintă alte studii cu aplicații de metode GIS în studiul barajelor.

### **5. STUDIU DE CAZ**

Acest capitol prezintă cea mai amplă parte a tezei. Capitolul începe cu o descriere a obiectivului studiat și generalități legate de construcțiile hidroenergetice și structura acestora. După aceea, capitolul este împărțit pe sub-capitole, pentru fiecare metodă folosită în parte, iar pentru fiecare metodă este descris modul în care au fost realizate măsurătorile și cum au fost aplicate metodele, procesarea datelor și elemente de analiză și interpretare a acestora.

Obiectivul studiului de față este reprezentat de construcțiile hidrotehnice ce fac parte din sistemul și administrația de Hidrocentrale Hațeg. Din acest sistem fac parte un număr de 16 hidrocentrale aflate în județele Hunedoara și Caraș-Severin și 15 microhidrocentrale din aceleași județe, incluzând și una din județul Timiș.

Din punct de vedere hidrologic, sistemul de Hidrocentrale Hațeg exploatează potențialul hidroenergetic al râurilor Râul Mare (11 hidrocentrale) și Strei (2 hidrocentrale) din județul

Hunedoara, precum și al râurilor Timiș, Bistra, Cerna (1 hidrocentrală), Sucu și Sebeș (1 hidrocentrală) din județul Caras-Severin (HIDROELECTRICA).

Sistemul hidroenergetic Raul Mare Retezat este format din:

- barajul Gura Apelor - fiind amplasat la confluența râurilor Lăpușnicul Mare, Lăpușnicul Mic și râul Șes (aprox. 45 km de orașul Hațeg) acesta este un baraj de anrocamente cu nucleu central de argila și o înălțime de 168m;
- lacul de acumulare Gura Apelor, cu o suprafață de 390 ha și un volum total de 210 milioane mc apă asigurat prin captarea debitelor Râului Mare și a debitelor cursurilor de apă captate prin intermediul aducțiunii secundare și aducțiunii principale Retezat (HIDROELECTRICA).
- hidrocentralele Retezat și Clopotiva.

Sistemul hidroenergetic Râul Mare Aval este situat în depresiunea Hațegului, între hidrocentrala Clopotiva și confluența Râului Mare cu râul Strei. Acesta este format din:

- Acumulările Ostrovul Mic, Păclișa și Hațeg, realizate cu baraj și diguri perimetrice din materiale locale, și cu centrala în frontul de retenție
- Hidrocentralele Ostrovul Mare, Cârnești I, Cârnești II, Totești I, Totești II și Orlea amplasate pe canale de derivație.

Amenajarea hidroenergetică Bistra-Poiana-Mărului-Ruieni-Poiana Ruscă este format din:

- barajul Poiana Mărului, baraj de anrocamente cu nucleu de argilă și o înălțime de 125 m, este amplasat pe râul Bistra Mărului; acumularea acestuia are prevăzută aducerea unor debite din bazinele alăturate, pentru care a fost proiectată aducțiunea secundară Bistra – Lac Poiana Mărului (HIDROELECTRICA).
- barajul Poiana Ruscă, este un baraj de beton în arc, cu arce circulare de secțiune variabilă, îngroșate la nașteri și o înălțime de 75 m. Acesta este amplasat pe râul Rece, pe versantul sudic al munților Țarcu (la aprox. 8 km în amonte de comuna Rusca);
- hidrocentrala Ruieni, centrală de tip subteran de mare cădere;
- și Râul Alb.
- hidrocentrala Râul Alb, centrală semi-îngropată, pe derivație.

Sistemul hidroenergetic Cerna-Belareca utilizează apele râului Cerna, colectate din diferența de bazin rămasă între acumularea Valea lui Iovan și 5 km amonte de centrul orașului Herculane. Acesta este compus din barajele Cornereva și Herculane, centrala hidroelectrică Herculane, centrală de suprafață, situată la piciorul barajului, folosește apele lacului Herculane, și centrala hidroelectrică ce are să folosească apele lacului Cornereva este în curs de realizare (HIDROELECTRICA).

Sistemul hidroenergetic Strei se află încă în dezvoltare, însă în prezent acesta are în exploatare hidrocentrala Subcetate și hidrocentrala Plopi, de tip derivație.

Alte centrale ce țin de administrația Hidroelectrică Hațeg sunt reprezentate de (HIDROELECTRICA) hidrocentrala Retezat, construcție subterană (realizată între anii 1977-1986) și hidrocentrala Clopotiva, situată în aval de hidrocentrala Retezat, este o centrală pe derivație cu rol de centrală de restituție.

## **5.1. Măsurători de rezistivitate**

Realizarea măsurătorilor de rezistivitate s-a realizat în zonele din jurul barajelor și construcțiilor hidroenergetice, pe zone de ce prezintă alunecări și deformații ale terenului.

Pentru o mai bună înțelegere în aplicarea metodei și a analizării și interpretării de date pentru acest obiectiv, la începutul proiectului au fost realizate o serie de măsurători pe zone cu alunecări de teren cunoscute. Acestea au fost realizate cu aparatură de tip multielectrod.

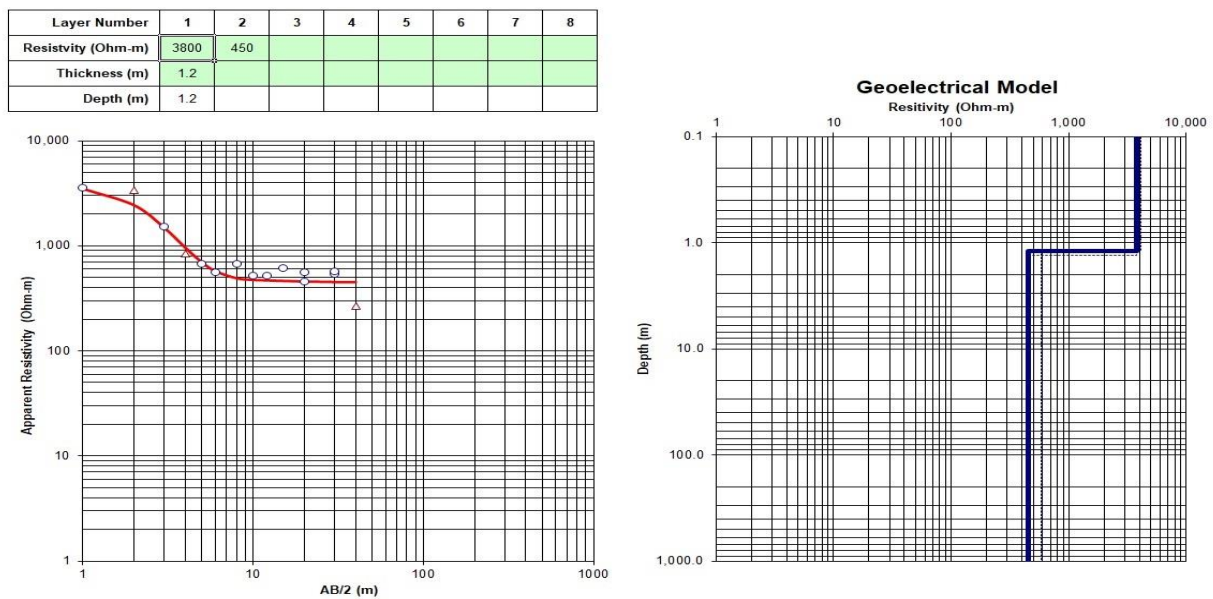
Din cauza indisponibilității acestui tip de echipament, celelalte studii de rezistivitate au fost realizate cu aparatură clasică și au fost realizate profile formate din dispozitive SEV, analizându-se atât SEV-uri individuale cât și realizarea de profile prin interpolarea acestora acolo unde a fost posibil.

Cele mai multe măsurători au fost realizate pe o alunecare de lângă barajul Poiana Ruscă unde au fost efectuate și măsurători de georadar ulterior.

Măsurătorile au fost realizate în doi ani diferiți cu în perioade cu temperaturi diferite și nivel de precipitații diferite.

*Alunecare lacul Poiana Rusca cu ABEM Terrameter*

Datele finale pregătite pentru procesare constau într-un profil în lungul alunecării format din 3 stații SEV, unde SEV-ul cu numărul 1 este cel mai apropiat de drum, iar cel cu numărul 3 cel mai îndepărtat, iar geometria folosită pentru electrozi fiind cea Schlumberger, cu AB/2 maxim de 20m, folosindu-se o scară logaritmică pentru mutarea electrozilor. Deoarece 3 profile reprezintă un număr prea mic pentru realizarea unei pseudosecțiunii de rezistivitate aparentă, aceste date au fost tratate ca SEV-uri individuale și procesate doar cu programele GeoVES\_V1. și programul IPI2Win.



**Figură 1 SEV-ul cu numărul 3.**

Pentru SEV-ul cu numărul 3 a fost realizat un model cu 2 straturi din care au fost eliminate 2 puncte ce păreau să aibă valori anormale. Astfel au fost modelate două straturi, în care primul strat are valori foarte mari de rezistivitate  $3800\Omega\text{m}$ , și o grosime de 1.2m iar cel de-al 2-lea strat are o valoare  $450\Omega\text{m}$ .

Deoarece se poate observa în toate cele 3 profile că forma curbelor nu este una perfect liniară și prezintă puncte de inflexiune sau ‘cusps’, ceea ce indică eterogenități în ambele strate observate, ar putea indica o zonă de alunecare recentă posibil activă, nestabilizată. Această noțiune de eterogenități indicată de prezența punctelor de inflexiune este descrisă în (Zohdy et al., 1974).





**Figură 2 realizarea măsurătorilor de rezistivitate pe alunecarea de lângă lacul Poiana Ruscă**

Este posibil ca suprafața stratului cu numărul 2 să fie asociată cu planul de alunecare, însă este necesară realizarea de măsurători care să ofere informații de la adâncimi mai mari pentru a confirma acest lucru.

Faptul ca toate profilele prezintă aceleași caracteristici arată că problema este similară și extinsă pe toată suprafața pe care au fost realizate măsurătorile, și că toată zona face parte din aceeași alunecare de teren.

Având în vedere și tipul de deformare observat pe drum este posibil să avem de-a face cu o alunecare de teren mai lentă.

## **5.2. Măsurători de georadar**

Au fost realizate o serie de măsurători de georadar atât pe coronamentul barajelor cât și pe alunecările din jurul acestora. Accesul la baraje fiind restricționat, măsurătorile au fost

realizate pe un număr mult mai mic de obiective spre deosebire de măsurătorile topo-geodezice.

Pentru măsurătorile pe baraje, au fost selectate baraje ce prezintă caracteristici cât mai diverse, pentru a putea înțelege atât limitările metodei și pentru a înțelege în ce condiții această metodă poate fi folosită pentru a oferi informații cât mai utile și un nivel de detaliu al componentelor construcțiilor cât mai ridicat. Astfel au fost realizate măsurători atât pe baraje de beton cât și pe baraje de anrocament cu pământ.



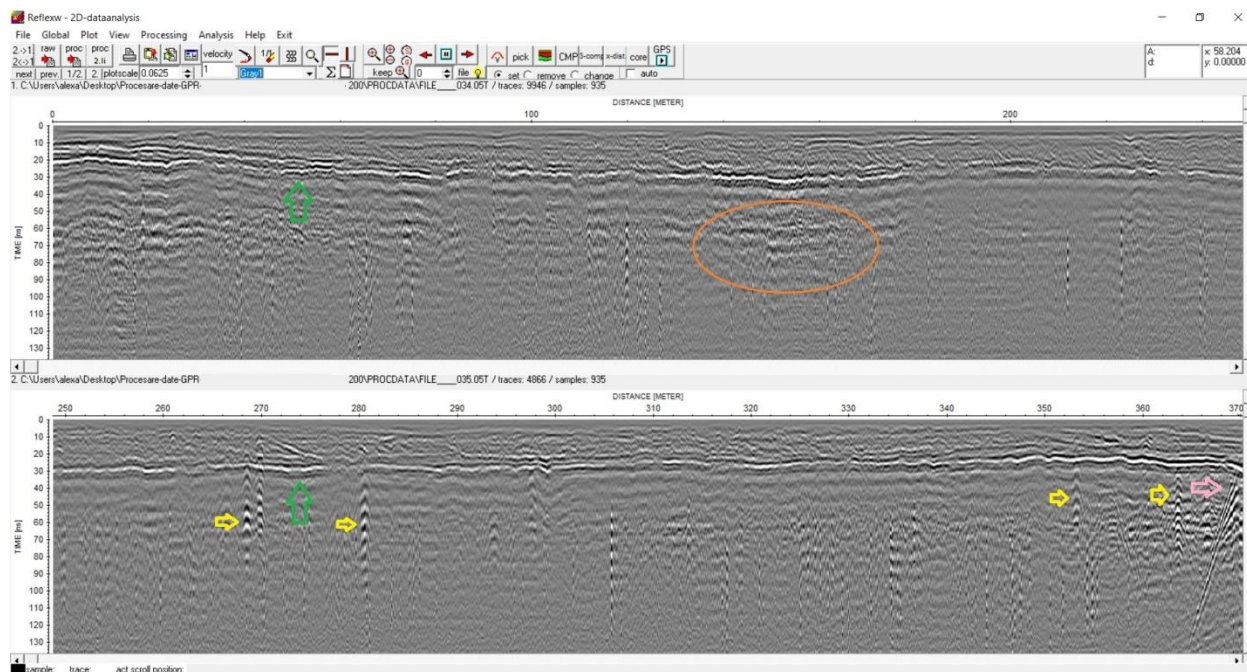
**Figură 3** Realizarea măsurătorilor de georadar pe suprafața unui baraj, cu antena de 200MHz.

Măsurătorile pe alunecări au fost în mare parte realizate în jurul barajului și lacului Poiana Ruscă, unele dintre acestea coincid cu zonele unde au fost realizate și măsurătorile de rezistivitate.

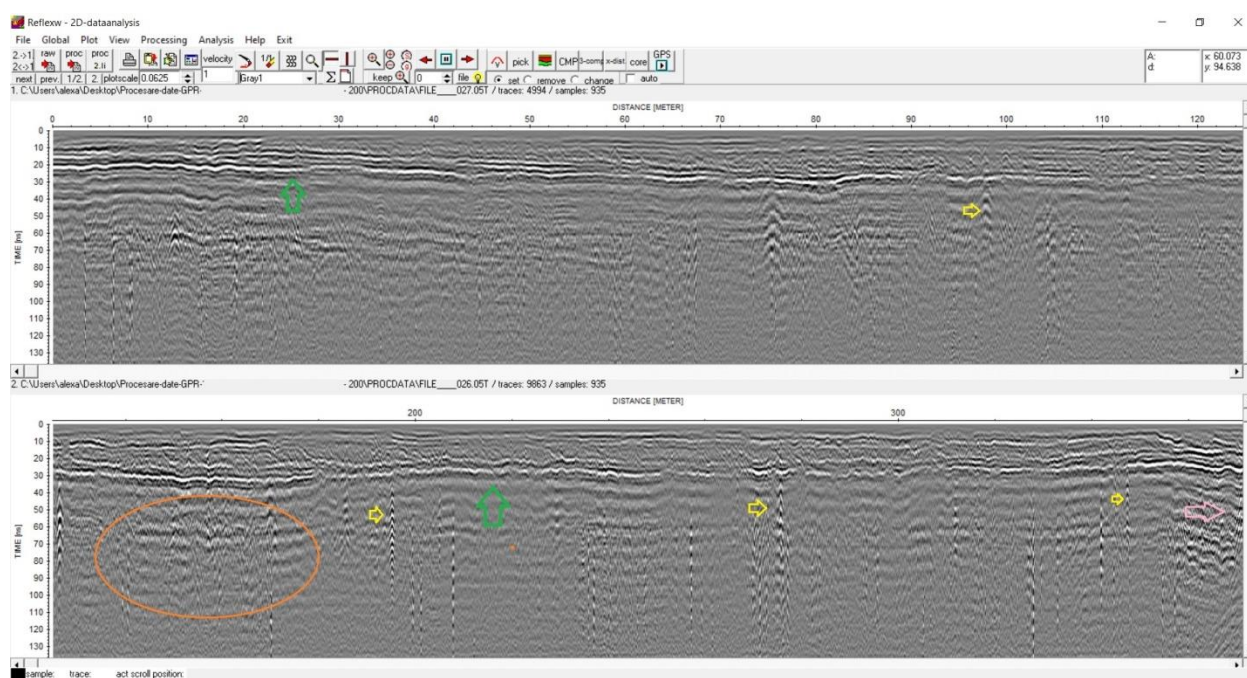
La unele baraje au fost folosite ambele antene (în seturi diferite de măsurători, nu în același timp) însă cel mai des a fost folosită antena de 200MHz, pe profile lungi de la un capăt la celălalt al barajului (de pe malul stâng pe malul drept și invers), în număr de 2-4 profile paralele pe baraj în funcție de tipul și suprafața barajului.

Exemplu de date de georadar de pe un baraj de anrocament și pământ – B.P.M.





**Figură 4** Analiza întregului profil format din două fișiere, 34 și 35.



**Figură 5** Analiza profilului format din cele două fișiere 27 și 26.

Se poate observa din imaginile prezentate că spre deosebire de seturile anterioare, acest set are cele două profile împărțite în câte două bucăți inegale. Însă acest aspect nu reprezintă un impediment pentru analiza și interpretarea datelor.

Marcat cu săgeată verde reprezintă un orizont, care delimitează partea de la suprafață de corpul barajului. Chiar dacă în partea stângă a profilelor și pe alocuri se pot determina până la

3 orizonturi diferite, cele mai de deasupra prezintă un caracter discontinuu, iar în cea mai mare parte acestea se pierd. Aceste orizonturi prezintă foarte multe neregularități, neprezentând o formă continuă uniformă. Există pe lângă reflexiile normale hiperbolice și reflexii inverse ce pot desemna zone de mici surpări sau găuri.

Se poate observa la ultimul orizont, cel mai de jos, cum acesta, de la dreapta la stânga se adâncește, iar marcat cu portocaliu se află o zonă de interes care se află sub zona cea mai joasă a orizontului inferior. Această zonă prezintă un aspect neomogen, cu mai multe reflexii și linii îngroșate ce poate reprezenta o deteriorare.

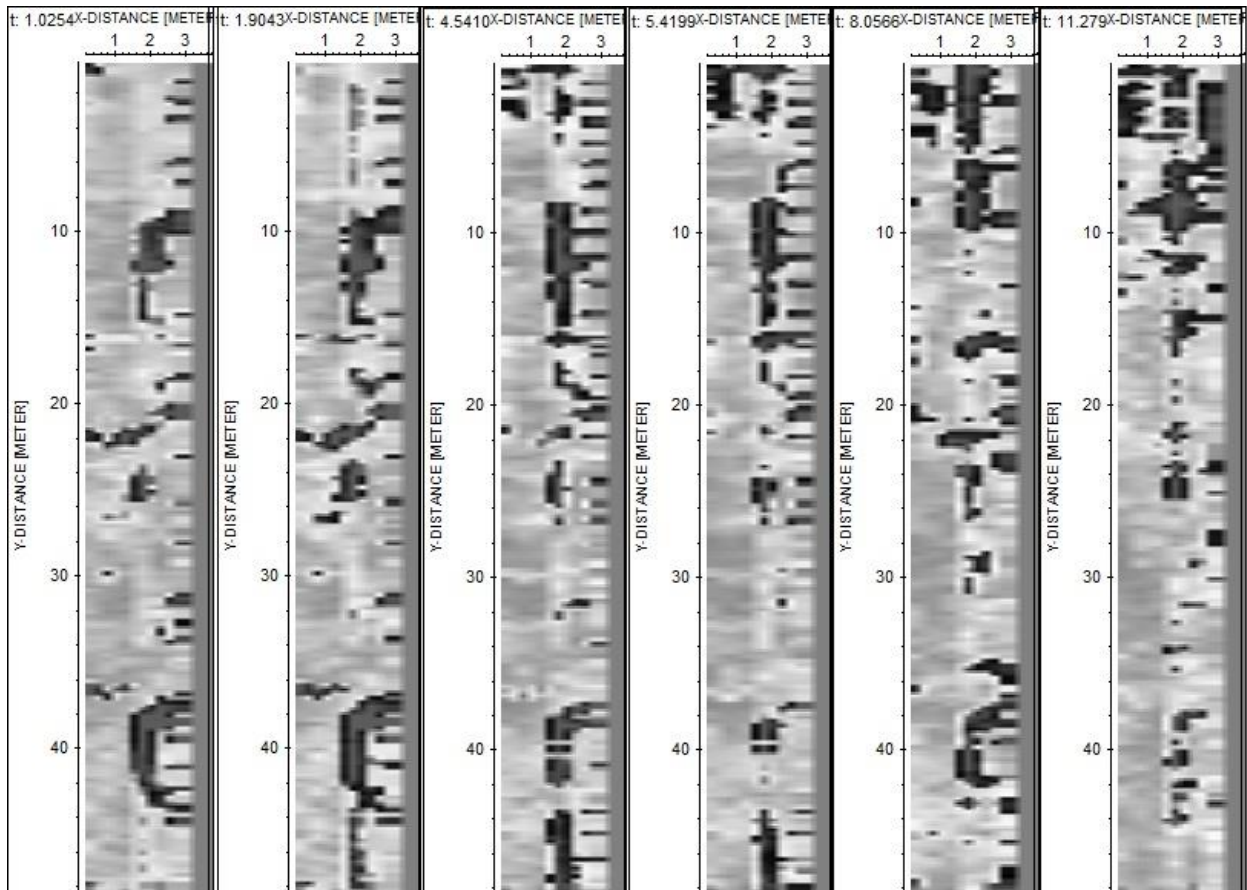
Apariția zonelor mai îngroșate atât din liniile continue cât și din cele discontinue, pot indica apariția umezelii.

Între 10m și 80m pe lungime, și adâncime de 60-70ns, se poate observa o zonă eterogenă unde apar și linii îngroșate ce pot indica apariția umezelei.

Cu săgeți galbene sunt marcate corburi de natură metalică, probabil țevi sau cabluri, care se continuă pe ambele profile.

Cu săgeți roz la capete, sunt reprezentate niște hiperbole puternice, care se asociază cu trecerea de la un mediu de suprafață la altul, întrucât suprafața barajului este una cu piatră cubică, la capete se află beton, iar acest lucru este reprezentat aici.

Un exemplu de date de pe alunecările de teren este prezentat mai jos, de la alunecarea de lângă barajul Poiana Ruscă.



**Figură 6** Analiza secțiunilor orizontale a datelor rezultate prin funcția envelope.

Slice-urile realizate cu funcția envelope oferă o imagine mult mai clară asupra conturării zonelor de crăpături, și a vizibilității continuării acestora în adâncime. Se poate observa cum unele anomalii și forme își pierd din intensitate cu adâncimea iar altele apar doar în adâncime nefiind vizibile la suprafață.

Se pare ca aceste setări au schimbă caracterul datelor și ajută la crearea de imagini mai clare în adâncime, care să contureze mai bine crăpăturile. Cea mai bine conturată crăpătură este cea în formă de semicerc din dreptul metrului 40, crăpătura din dreptul metrului 22 care este dispusă pe lățimea secțiunii orizontale, și crăpătura din dreptul metrului 10 care își pierde din intensitate cu adâncimea.

Este de asemenea posibil, ca pe lângă problema legată de contactul imperfect al antenei cu suprafața, să fie și natura structurii de crăpătură care să permită trecerea apei, astfel, acestea prezentând nu doar o dislocare locală și superficială, dar și o zonă relativ mai umedă față de ce este în jur. Astfel anomaliile apar mai intensificate pe secțiunile orizontale.

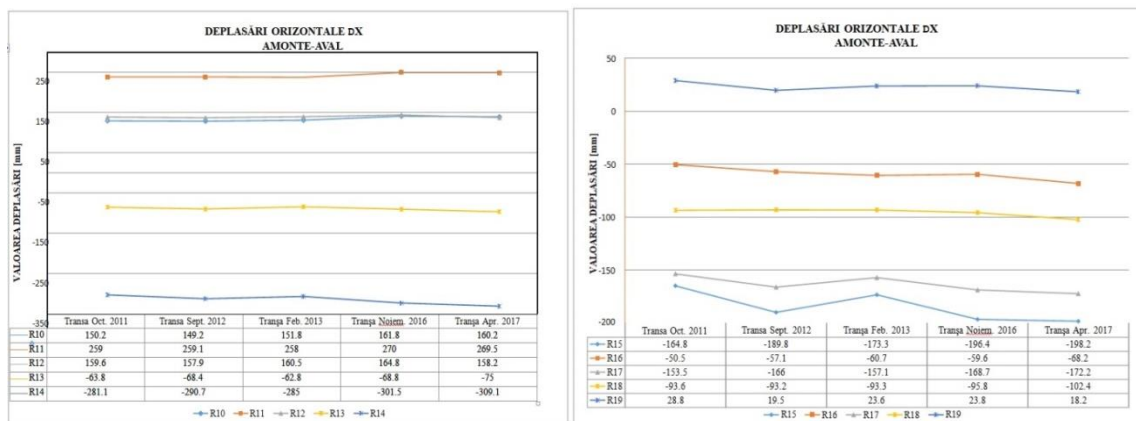
### 5.3. Măsurători topo-geodezice

Au fost realizate o serie de măsurători pentru determinarea deplasărilor atât în plan orizontal cât și în plan vertical, acestea fiind determinate prin realizarea de măsurători de microtriangulație, respectiv de nivelment geometric.

Pentru realizarea măsurătorilor de distanțe și direcții, sau microtriangulație acestea au fost realizate cu ajutorul stației totale Leica TS06 Plus; iar pentru realizarea măsurătorilor pentru depistarea deplasărilor pe verticală au fost folosite nivele Leica Sprinter cu mire de 3 m cu coduri speciale și broaște de nivelment a câte 5 kg fiecare. Acest echipament a fost ales pentru asigurarea preciziei necesare realizării de măsurători conforme cu proiectul.

Metoda de măsurare folosită pentru microtriangulație a fost metoda Schreiber, cu 3-4 serii de măsurători realizate din fiecare pilastru staționat.

Pentru depistarea deplasărilor pe verticală a fost folosită metoda nivelmentului geometric de mijloc, acestea fiind executate pe baza prescripțiilor tehnice ale nivelmentului geometric de ordinul 1.



Figură 7 Exemple de grafice cu deplasările orizontale ale unor reperi.

Compensarea rețelei de nivelment s-a realizat prin metoda compensării măsurătorilor condiționate de precizii diferite, deoarece fiecare obiectiv a avut un mod separat de abordare, în funcție de numărul și amplasare a reperilor de nivelment fundamentali. Astfel că la

compensarea măsurătorilor de nivelment geometric prin această metodă, s-au determinat diferențele de nivel pe baza citirilor efectuate pe mire. Condițiile se referă la neînchiderea obținută în cadrul unui poligon, respectiv suma diferențelor de nivel într-un poligon să fie 0. Numărul de ecuații este dat de numărul de condiții sau de poligoane.

Compensarea rețelei de microtriangulație a fost realizată în bloc, prin utilizarea metodei celor mai mici pătrate. Prelucrarea s-a realizat prin intermediul programelor specializate de compensare a rețelelor de microtriangulație și programul MS Excel, rezultatele fiind prezentate în tabele .xls.

#### **5.4. Măsurători fotogrammetrice**

Au fost realizate măsurători de fotogrammetrie deasupra alunecărilor de teren pe care au fost realizate măsurători de georadar și de rezistivitate, descrise în capitolele anterioare. Din păcate măsurătorile nu au putut fi realizate și deasupra barajelor din cauza interdicțiilor legale și lipsei de permisiune oficială pentru realizarea acestora. Așadar măsurătorile realizate cu drona sunt realizate în zona alunecării descrise la măsurătorile de rezistivitate, de lângă lacul Poiana Ruscă, și cele două zone cu ruptură de drum asupra cărora au fost realizate măsurătorile de georadar, tot de lângă același lac. Echipamentul folosit pentru realizarea măsurătorilor de fotogrammetrie constă într-o dronă comercială nespecializată DJI Mavic Mini Ultralight dotată cu o cameră foto de 12MP fiind controlată de un telefon mobil pe care a fost instalată aplicația de control a dronei. Drona este echipată cu GPS astfel că imaginile rezultate sunt georeferențiate.

Programul Agisoft Metashape analizează pozele și apoi generează un grup de puncte (în exemplul de mai jos, peste 69,000 de puncte). Deoarece multe dintre aceste puncte sunt comune mai multor poze (care sunt parțial suprapuse), această analiză preliminară ajută și la eliminarea erorilor de poziționare GPS.

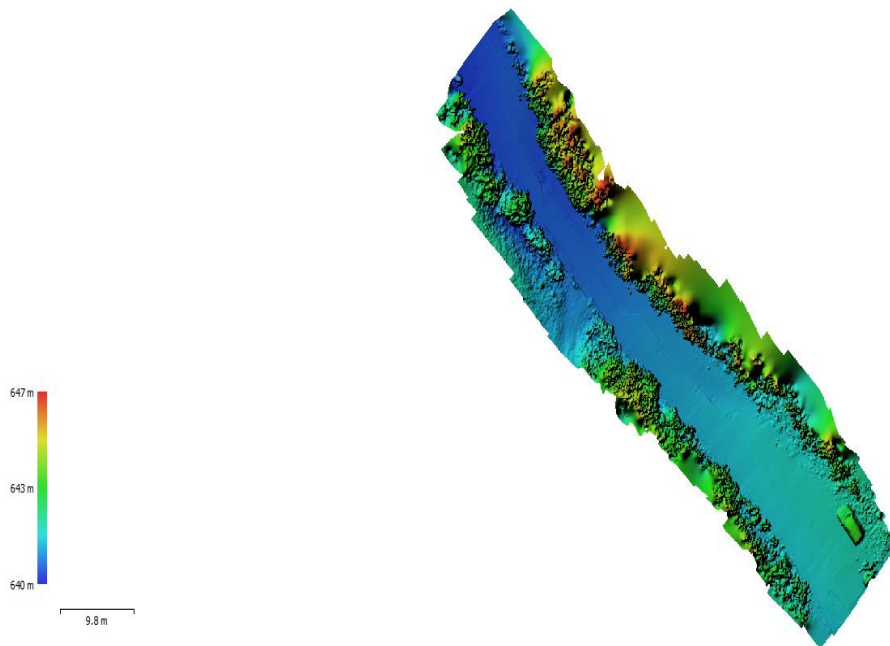
Odată ce norul inițial de puncte este creat (și poziția relativă a imaginilor este stabilită), mult mai multe puncte adiționale (peste 23 de milioane în exemplul următor) pot fi adăugate din imagini individuale.





**Figură 8** Imaginea este rotită și nu este la scară, reprezentând una din zonele pe care s-au efectuat și alte măsurători. Imaginea este procesată.

Din acest grup secundar de puncte, și din informațiile de altitudine ale dronei, se poate crea un model de elevație.



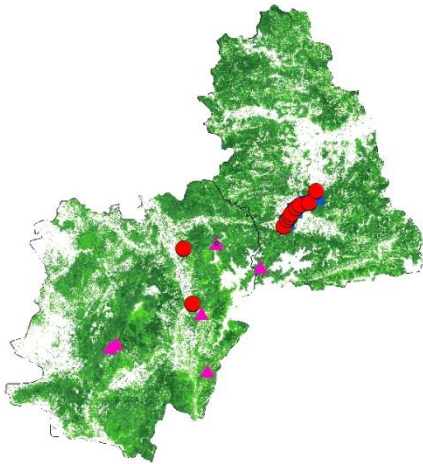
**Figură 9** Model de elevație rezultat din prelucrarea imaginilor. Imaginea are și scară de culori și este la scară.



În cele din urmă, se poate crea și un ortomozaic – o imagine unică, navigabilă, compusă din toate imaginile aeriene, construită în jurul norului secundar de puncte.

## **5.5. Proiect GIS**

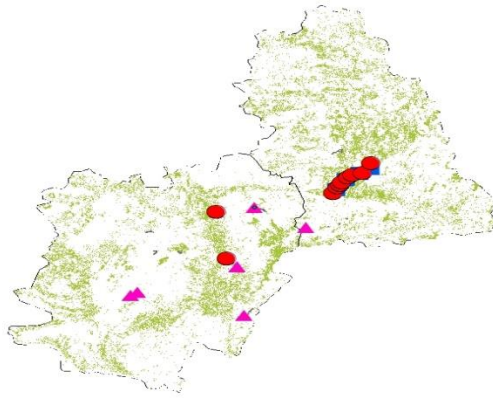
Toate datele prezentate în celelalte capitole au fost introduse într-un proiect GIS. Pe lângă datele rezultate din măsurători, au fost introduse și o varietate de hărți (hărți geologice, tectonice, tectonico-structurale, etc.) și imagini satelitare procesate (vegetație, umiditate, nivel de umiditate de la suprafața solului, etc.). Au fost realizate o serie de procese specifice unui proiect GIS,.



**Figură 10** Imagine satelitară procesată, din baza de date Copernicus, reprezentând zona împădurită.

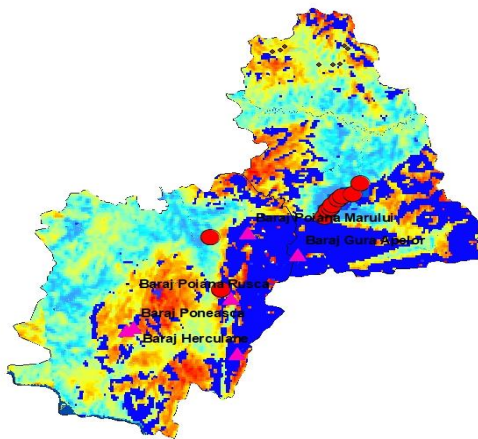
Se pot observa imaginile satelitare procesate, reprezentate individual fără suport de basemap, reprezentând zonele împădurite și zonele de vegetație de tip pășune sau iarbă.

Pe imaginea ce reprezintă vegetația de tip pășune este suprapus și layer-ul de lacuri, care este mult mai vizibil spre deosebire de celelalte imagini, datorită datelor răspândite pe o suprafață mai mică. Pentru o mai bună utilizare a imaginilor satelitare, acestora li s-a schimbat culoarea de fond într-una transparentă, astfel că acestea pot fi suprapuse peste orice altă imagine.

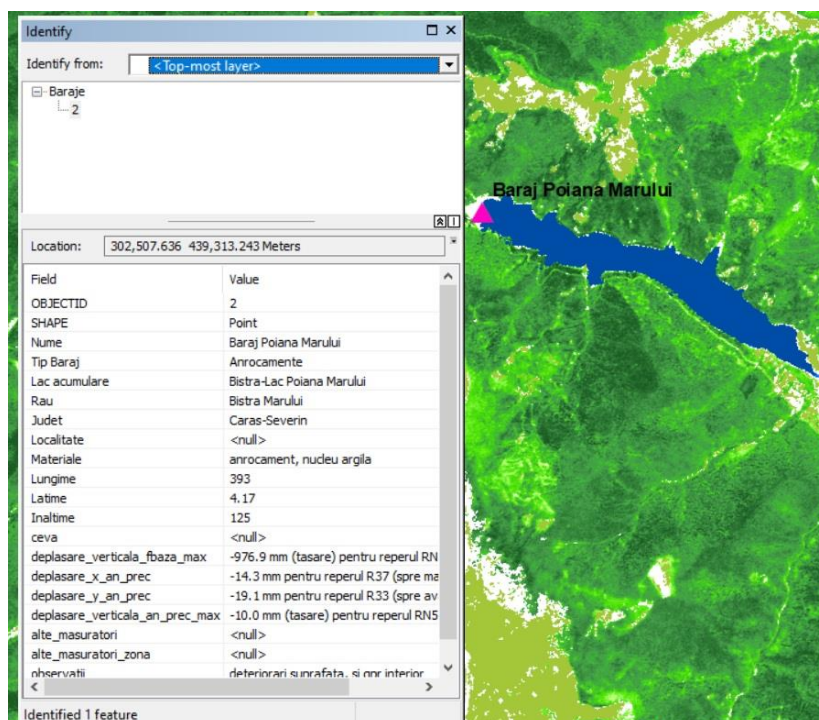


Figură 11 Imagine satelitară reprezentând zonele de vegetație de tip ierburi și pășuni.

Mai departe se va face o analiză doar pe anumite zone din tot ansamblul de date, deoarece toate datele prezintă aceleași tipuri și clase de atribute, iar metodologia este similară pentru oricare obiectiv în parte. Am ales ca zone de interes, 2 baraje individuale din județul Caraș-Severin și anume barajul Poiana Mărului și Barajul Poiana Ruscă.



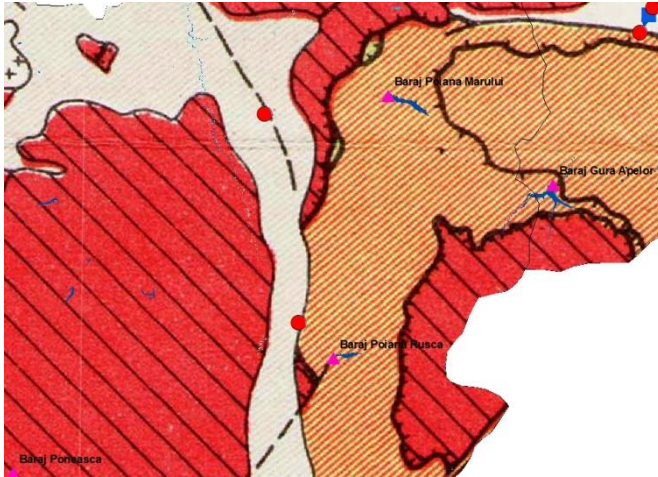
Figură 12 Imagine satelitară reprezentând situația umidității din sol în luna aprilie 2021.



**Figură 13** Tipuri de informații pe care le au barajele în tabelul lor de atribute.

Atributele introduse pentru fiecare obiectiv reprezintă un aspect foarte important ce poate oferi numeroase informații despre obiectele de interes. De exemplu, pe lângă datele introduse legate de localizare și generalități, au fost introduse și date legate de rezultatele măsurătorilor topo-geodezice, de deplasări atât pe orizontală cât și pe verticală a construcției. Se pot adăuga mereu date noi, sau schimba informații. Cu funcțiile queries, este posibilă îmbinarea mai multor informații din mai multe tabele, și menținerea acestora cu informații la zi.

De asemenea se mai poate observa cum barajul Poiana Mărului și lacul sunt înconjurat de vegetație de tip pădure, zonele de vegetație joasă fiind vizibile abia la coada lacului. Alte zone de umezeală nu sunt vizibile în afara zonei lacului.



Figură 14 Suprapunerea zonelor de interes cu harta tectonico-structurală.



Figură 15 Suprapunere secțiune georadar cu imaginile de fotogrammetrie.

Ultimele date de acest gen, arată mai promițător. Există aceeași problemă ca mai devreme, unde secțiunea este perfect rectangulară aplicată pe o suprafață curbă, însă georeferențierea cu punctele din colțurile secțiunii aplicate pe punctele din punctele vopsite pe bucata de șosea de când au fost realizate măsurătorile, și ușor vizibile cu drona, s-au potrivit mai bine pentru acest caz. Chiar dacă acest aspect reduce precizia măsurătorilor, se poate vedea foarte ușor cu anomalii suprapun foarte bine ca formă peste crăpăturile asfaltului, în anumite locuri fiind vizibile anomalii mai lunguiețe ce s-a potrivit perfect pe zona de delimitare sau rosturile suprafeței betonate. Adâncimea aproximativă a secțiunii de georadar este de aproximativ 3m

adâncime, și nu doar că se pot observa anomalii cu aspect asemănător ca la suprafață, însă se pot observa anomalii similare în zonele în care nu există crăpătură la suprafață sau crăpătura este mult mai slabă.

Integrarea datelor topo-geodezice cu cele geofizice, a fost realizată prin suprapunerea și introducerea informațiilor în proiectul GIS.

Pentru datele de la Poiana Mărului, prin integrarea informațiilor planului rețelei de urmărire în plan orizontal și vertical, cu radargramele de georadar și datorită diverselor funcții din programul ArcGIS, s-a reușit corelarea anumitor aspecte. Chiar dacă poziționarea datelor de georadar prezintă anumite erori, se pot corela zone care ar putea să explice comportamentul barajului. Există o corelare între zona cu anomalie descrisă în subcapitolul de măsurători de georadar și valorile de deplasări maxime pe verticală, descrise în subcapitolul de măsurători topo-geodezice. Astfel că, zona pusă în evidență cu datele de georadar poate explica comportamentul tasărilor observate la reperii R42, R32 și eventual și la reperii de la nivel inferior, R12, R19 și R23. Imaginile de georadar sunt ale radargramelor verticale, însă acestea au fost așezate în plan orizontal pentru o mai bună vizualizare, la interpretarea datelor ținându-se cont de acest aspect. Este nevoie de mai multe măsurători, iar datele de georadar ar trebui realizate cu ajutorul unui sistem GNSS pentru a putea poziționa cu exactitate, și a putea suprapune și corela cu un grad cât mai mic de erori, zonele de interes. Se pot urmări valorile măsurate pentru fiecare reper, prin analizarea tabelului Attributes întrucât aceste valori au fost introduse pentru a ușura interpretarea datelor.

Pentru alunecarea de la Poiana Ruscă, au fost integrate datele de georadar rezultate din secțiunile orizontale 3D, cu datele de fotogrammetrie și schița planului de situație, unde au fost introduse valorile rezultate din măsurătorile topo-geodezice. Astfel s-a observat că drumul pe care au fost realizate măsurătorile de georadar și fotogrammetrie, privind în ansamblu și corelând cu informațiile din planul de situație, există o corelare între partea de ruptură a drumului și zona afectată de alunecare de teren aflată sub drum, care duce până în lac. De asemenea s-a mai observat că există o porțiune de dimensiuni reduse, vizibilă și în date de georadar și în cele din fotogrammetrie, care prezintă o zonă cu aspect perturbat, cum este zona cu mai multă umezeală văzută și descrisă la subcapitolul cu date de georadar, și datele de fotogrammetrie, acestea corespunzând cu zona alunecată în lac din dreptul reperului RN3.

Pentru această porțiune integrarea efectivă a datelor de topo-geodezie a fost dificil de realizat cu celelalte date din simplul fapt ca cea mai mare parte din reperi au dispărut, aceasta în sine fiind un efect rezultat din activitatea alunecării de teren, care poate fi corelat cu celelalte date, în special ținându-se cont de faptul ca ultimele măsurători pe reperi lipsă nu au mai fost realizate din anul 2013. De-a lungul drumului reperi sunt prezenți și au putut fi observate diverse valori de tasări sau umflări, caracteristici destul de specifice unei alunecări active. Din păcate datele de rezistivitate și georadar ies din raza de monitorizare cu reperi topo-geodezici, însă rezultatele din aceste date arată că, alunecarea este activă și continuă și în afara zonei de observații topo-geodezice, chiar dacă nu la fel de puternic cum se prezintă în zona imediat apropiată zonei barajului.

## **6. CONCLUZII ȘI DISCUȚII**

Capitolul prezintă atât concluziile pentru fiecare metodă în parte, cât și concluziile generale rezultate din integrarea metodelor.

Lucrarea de față și-a atins obiectivul de a prezenta și aplica metode geofizice, topo-geodezice și GIS pentru a aduce contribuții la monitorizarea construcțiilor hidroenergetice și analiza comportamentul atât al construcțiilor în sine cât și a anumitor zone din jurul acestora predispușe la deplasări și deformări.

Mai departe voi puncta doar câteva concluzii principale.

Măsurătorile de georadar realizate pe coronamentul barajului au fost folosite cu succes atât pe barajele de anrocament și pământ cât și pe cele de beton. La începutul lucrării așteptările erau ca imaginile rezultate din măsurători pe cele din beton să ofere mai multe informații utile decât cele de cele din anrocament și pământ, dar în studiul de față au fost observate limitări ale metodei în ceea ce privește barajele de beton. Cu toate acestea, au fost obținute rezultate utile pe toate tipurile de baraje. În special, s-au putut observa urme de degradare structurală în partea superioară a coronamentului barajelor în anumite cazuri; deși aceasta degradare nu prezintă un risc structural pentru baraj, este recomandată monitorizarea acestor zone.

Pentru barajele de anrocament și pământ, metoda georadar s-a dovedit una foarte utilă în monitorizarea zonei de suprafață, și pentru a pune în evidență diferite elemente din

construcția internă a barajului, semnalate prin orizonturi diferite, iar urmărirea acestora este una ușoară atunci când materialele prezintă proprietăți diferite. De asemenea au putut fi puse în evidență și corelate adânciri ale acestor orizonturi ce se corelează cu zone ce ar putea semnala uzură sau intruziuni de apă. Intruziunile de apă sunt mult mai vizibile pe aceste tipuri de baraje.

Măsurătorile de rezistivitate realizate pe alunecările din jurul barajelor pot pune în evidență elemente din interiorul zonelor afectate. Realizarea acestora în perioade de an diferite s-a dovedit a fi foarte importantă. Structurile pot apărea cu aspecte diferite în funcție de condițiile meteorologice, după cum a fost observat din măsurătorile realizate.

Măsurătorile topo-geodezice reprezintă un standard de monitorizare pentru astfel de construcții iar din date se pot observa atât deplasări și deformări pe plan orizontal cât și pe plan vertical. Periodicitatea cu care se realizează astfel de măsurători este una anuală, astfel că datele rezultate din măsurătorile în anul curent sunt raportate nu doar la tranșa de bază ci și la tranșa din anul anterior. Astfel, se poate realiza o monitorizare și o analiză riguroasă a comportării construcției pentru o înțelegere aprofundată a aspectului și stării structurii analizate. Analizând datele pe mai mulți ani, s-a evidențiat (cum este cazul prezentat și în acest studiu, al Barajului Poiana Mărului) că aceste deplasări nu semnalizează un comportament anormal ce ar putea prezenta riscuri majore. Măsurătorile planimetrice prezintă o distribuție normală și valori foarte mici. De asemenea se poate observa că deplasarea este mai accentuată pe axa Y spre aval. Tasările prezintă un caracter normal, cu observația unui singur punct cu comportament diferit în ultimii doi ani însă nu reprezintă un aspect semnificativ. Comportamentul în această situație este unul normal pentru tipul de construcție studiat și nu prezintă motive majore de îngrijorare.

Utilizarea sistemelor GIS pentru astfel de aplicații de monitorizare reprezintă un aspect foarte important care facilitează introducerea de noi date în urma măsurătorilor anuale sau doar repetitive (fără periodicitate prestabilită). Având toate datele în același loc ajută la o mai bună înțelegere a schimbărilor în timp a diverselor structuri, în cazul de față a construcțiilor hidroenergetice și a zonelor din jurul acestora. De asemenea, într-un astfel de sistem GIS s-ar putea introduce algoritmi care să detecteze automat eventuale probleme sau deformări problematice.



Accesul la noi imagini satelitare generate de platforma Copernicus, reprezintă un aspect semnificativ și inovator ce aduce un factor în plus în înțelegerea asupra variațiilor și schimbărilor de mediu din zone specifice ce poate fi corelat cu datele măsurate prin celelalte metode.

Observarea imaginilor satelitare pe mai multe perioade de timp oferă o mult mai bună înțelegere a factorilor ce pot determina diferite mecanisme de formare a deplasărilor, deformărilor construcțiilor de interes și a zonelor din jurul acestora.

Pe lângă utilizarea acestor imagini satelitare, realizarea de imagini prin metoda fotogrammetriei reprezintă un avantaj important datorat flexibilității utilizării metodei pe zonele de interes sau pe porțiuni specifice din zone de interes, cu rezoluție mare. Pe lângă rezoluția foarte bună, realizarea de modele de elevație ajută la mai bună înțelegere a diverselor structuri cum este exemplul alunecărilor și a drumurilor afectate prezentate în lucrare.

Proiectul de față prezintă diferite metode ce pot fi aplicate la monitorizarea construcțiilor hidroenergetice și a zonelor din jurul acestora. Unele metode sunt folosite deja în permanență pentru monitorizarea acestora, iar alte metode sunt folosite mai rar iar limitările lor nu sunt încă în totalitate cunoscute dată natura diverselor tipuri de construcții și zone de alunecări.

Metodele topo-geodezice reprezintă metodele cu cea mai mare precizie atunci când este vorba despre monitorizarea deplasărilor și deformărilor, fiind posibilă observarea acestora la nivel milimetric.

Metodele geofizice s-au dovedit a fi foarte potrivite pentru studiile pe baraje și pot fi utile în monitorizări ajutând cu aducerea de posibile explicații la diferite comportamente de deplasare și deformare, prin punerea în evidență a structurii interne a construcției sau a zonelor afectate de alunecări.

Măsurătorile fotogrammetrice reprezintă o metodă ce poate ajuta la determinarea unei precizii mai ridicate a datelor geofizice și poate oferi imagini localizate, detaliate și de ansamblu ce pot ajuta la monitorizări zonelor de interes. Deși instrumentele folosite aici sunt unele simple, instrumente mai avansate pot oferi acuratețea și precizia necesară unor astfel de măsurători.



Proiectul GIS reprezintă un sistem foarte complex, care permite aducerea de date noi din imagini satelitare, dar și din date introduse ce reprezintă valori ale măsurătorilor, imagini rezultate în urma măsurătorilor, diverse tipuri de hărți, care ajută în general la o mai bună înțelegere a comportării construcțiilor și zonelor din jurul acestora în timp.

Integrarea metodelor crește precizia cu care se realizează interpretarea datelor și oferă un sistem în care toate datele pot fi accesate și analizate în mod facil, ceea ce este util în monitorizările de lungă durată.

În acest studiu, am pus accent pe caracterul interdisciplinar al datelor obținute. Deși metodele prezentate au fost discutate anterior în literatură, noutatea constă în corelarea și aplicarea datelor într-un context interdisciplinar, pe studii de caz din zona barajelor. De asemenea, rezultatele prezentate aici reprezintă doar un prim pas în dezvoltarea de noi metodologii și abordări multidisciplinare în astfel de studii. Există un potențial real de a dezvolta colaborări noi, interdisciplinare, mai ales având în vedere caracterul complementar al datelor geofizice și topo-geodezice.

Deși atât metodele geofizice cât și cele topo-geodezice au devenit destul de răspândite, există încă multe zone potențiale de studiu neexplorate suficient. Spre exemplu, dronele reprezintă un element relativ nou în peisajul geostiințelor, iar aplicarea lor prezintă noi căi de cercetare. De asemenea, o astfel de corelare a datelor poate oferi nu doar informații despre structura geologică sau pedologică asociată barajelor, ci și asupra construcției însăși. În acest caz, suma informațiilor dobândite este mai mare decât părțile componente, iar noutatea constă în integrarea tuturor datelor (spre exemplu, într-un sistem GIS).

Aspectul multidisciplinar și integrarea acestor date reprezintă un aspect de noutate, aflat încă la început în studiul și analiza construcțiilor hidroenergetice și a zonelor din jurul acestora, aceste metode putând fi folosite cu ușurință și la alte aplicații de monitorizări ale diferitelor tipuri de construcții.

## **BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ**

- Albano, R., Mancusi, L., Adamowski, J., Cantisani, A., & Sole, A. (2019). A GIS tool for mapping dam-break flood hazards in Italy. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 8(6). <https://doi.org/10.3390/ijgi8060250>
- Annan, A. P. (2009). Ground Penetrating Radar (GPR) Principles. In *Ground Penetrating Radar Theory and Application*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53348-7.00001-6>
- Camarero, P. L., Moreira, C. A., & Pereira, H. G. (2019). Analysis of the Physical Integrity of Earth Dams from Electrical Resistivity Tomography (ERT) in Brazil. *Pure and Applied Geophysics*, 176(12), 5363–5375. <https://doi.org/10.1007/s00024-019-02271-8>
- Conyers, L., B., (2004). *Ground-Penetrating Radar for Archaeology*. AltaMira Press.
- Conyers, L., B., (2016). *Interpreting Ground-Penetrating Radar for Archaeology*. Taylor and Francis.
- Copernicus Land Monitoring Service (2018). High Resolution land cover characteristics. Tree-cover/forest and change 2015-2018 – User Manual.
- Cornel & Cornel Topoexim, (2017). *Memoriu Tehnic Baraj Poiana Mărului*
- Prișcu, R., (1974). *Construcții Hidrotehnice. Volumul I*. Editura Didactică și Pedagogică București.
- Prișcu, R., (1974). *Construcții Hidrotehnice. Volumul II*. Editura Didactică și Pedagogică București.
- Ghosh, D. P. (1971). The application of Linear Filter Theory to the direct interpretation of geoelectrical resistivity sounding measurements. Paper read at the 32nd Meeting of the European Association of Exploration Geophysicists at Edinburgh, May 1970.
- Green, K., Congalton, R., G., Tukman, M., (2017). *Imagery and GIS: Best Practices for Extracting Information from Imagery*. Esri Press.
- Heywood, D., I., Cornelius, S., Carver, S., (2011). *An Introduction to Geographical Information Systems*. 4th Edition. Pearson.
- Huisman, O., de By, R., A., (2009). *Principles of Geographyc Information Systems*. 4th

edition.

- Milsom, J., Eriksen, A., (2003). *Field Geophysics*. 3rd edition. John Wiley and Sons Ltd.
- The International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation.
- Jol, H., M., (2009). *Ground Penetrating Radar Theory and Application*. 1st edition. Elsevier.
- Kilburn, C. R. J., & Pasuto, A. (2003). Major risk from rapid, large-volume landslides in Europe (EU Project RUNOUT). *Geomorphology*, 54(1–2), 3–9.  
[https://doi.org/10.1016/S0169-555X\(03\)00050-3](https://doi.org/10.1016/S0169-555X(03)00050-3)
- Laurens, S., Balayssac, J. P., Rhazi, J., Klysz, G., & Arliguie, G. (2005). Non-destructive evaluation of concrete moisture by GPR: Experimental study and direct modeling. *Materials and Structures/Materiaux et Constructions*, 38(283), 827–832.  
<https://doi.org/10.1617/14295>
- Loke, M. H., & Barker, R. D. (2002). Least-squares deconvolution of apparent resistivity pseudosections. *Geophysics*, 60(6), 1682–1690. <https://doi.org/10.1190/1.1443900>
- Mihai, A. E., Gereă, A. G., Curioni, G., Atkins, P., & Hayati, F. (2019). *Direct measurements of tree root relative permittivity for the aid of GPR forward models and site surveys*. 1–31.
- Naudet, V., Lazzari, M., Perrone, A., Loperte, A., Piscitelli, S., & Lapenna, V. (2008). *Integrated geophysical and geomorphological approach to investigate the snowmelt-triggered landslide of Bosco Piccolo village ( Basilicata , southern Italy )*. 98, 156–167.  
<https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2008.02.008>
- Nistor, G., (1993). *Geodezie aplicată la studiul construcțiilor*, Gh. Asachi Publishing House, Iași.
- Of, R., Em, E., Ismail, N. A., Muztaza, N. M., & Saad, R. (2016). *Jurnal Teknologi IN SHALLOW*. 3, 117–121.
- Păunescu, C., Paicu, G (2001). *Curs de Geodezie-Topografie. Volumul II*. Editura Universității din București.
- Păunescu, C., Păunescu, V., (2014). *Teoria Erorilor, Geodezie, GNSS – Caiet de lucrări*

practice. Editura Universității din București.

Popescu, M. (2014). Revealing the Landslide Structure Using the Electrical Tomography. *Geographica Timisensis, XXIII*(February 2016), 87–96.

Reynolds, J., M., (2011). An Introduction to Applied and Environmental Geophysics. 2nd edition. Wiley Blackwell.

Salih, S. A., & Al-Tarif, A. S. M. (2012). Using of GIS Spatial Analyses to Study the Selected Location for Dam Reservoir on Wadi Al-Jirnaf, West of Shirqat Area, Iraq. *Journal of Geographic Information System, 04*(02), 117–127.  
<https://doi.org/10.4236/jgis.2012.42016>

Thomas, G., & Carsten, R. (2006). *Boundless Electrical Resistivity Tomography 2 – Open Access Software for Advanced and Flexible Imaging. January, 30655.*

Zohdy, a. a. R., Eaton, G. P., & Mabey, D. R. (1974). Application of surface geophysics to ground-water investigations. *Techniques of Water-Resources Investigations of the United States Geological Survey, 123.*

Zohdy, A., A., R., (1975). Automatic interpretation of Schlumberger sounding curves, using modified Dar Zarrouk functions. Geological Survey Bulletin 1313-E

.  
<https://www.hidroelectrica.ro/>

<https://www.copernicus.eu/>

<https://land.copernicus.eu/>

<https://docs.sentinel-hub.com/>

<https://sentinel.esa.int/>

<https://docs.sentinel-hub.com/api/latest/data/sentinel-2-12a/>

## ANEXE

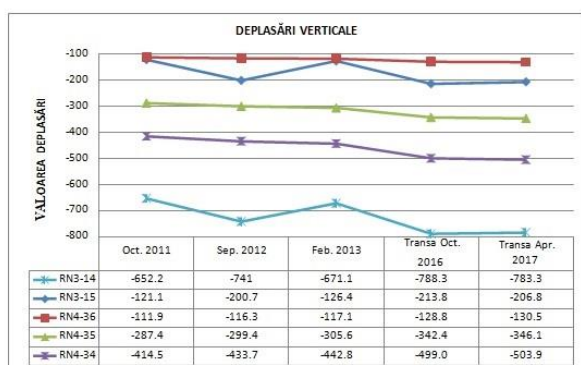
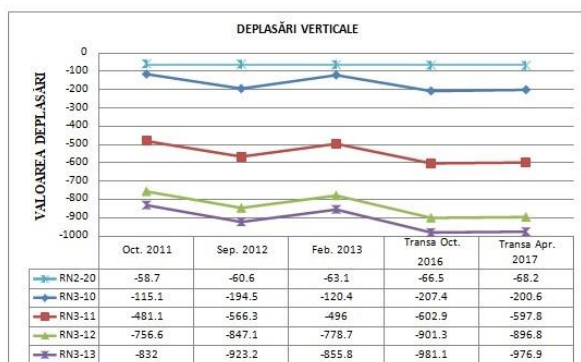
La anexe sunt adăugate tabele despre setările de aparatură pentru metoda georadar, tabele cu informații legate de procesarea datelor georadar, tabele cu măsurători planimetrice pentru barajul Poiana Mărului, tabel cu unitățile asupra cărora au fost realizate măsurători topo-geodezice și grafice pentru reprezentarea reperilor de urmărire în plan vertical.

Nume set date	B.P.R.							
Subset	1				2			
Profil	25	26	27	28	29	30	31	32
Directie	dus	întors	dus	întors	dus	întors	dus	întors
Antena	200	200	200	200	400	400	400	400
Parametri								
T-rate	100kHz	100kHz	100kHz	100kHz	100kHz	100kHz	100kHz	100kHz
Samples	1024	1024	1024	1024	1024	1024	1024	1024
Format	16bit	16bit	16bit	16bit	16bit	16bit	16bit	16bit
Offset	-12.75	-12.75	-12.75	-12.75	-12.75	-12.75	-12.75	-12.75
Rate	64	64	64	64	64	64	64	64
Scn/Unit	80	80	80	80	80	80	80	80
Gain	Manual	Manual	Manual	Manual	Manual	Manual	Manual	Manual
Points	1	1	1	1	1	1	1	1
GP1	0	0	0	0	0	0	0	0
GP2								
GP3								
Filters								
LP	0	0	0	0	0	0	0	0
HP	0	0	0	0	0	0	0	0
Position offset	-12.75	-12.75	-12.75	-12.75	-12.75	-12.75	-12.75	-12.75
surface	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%
stacking	0	0	0	0	0	0	0	0

Anexa 1. Exemplu de tabel cu datele legate de achiziția și parametri de achiziție de date pentru unul din seturile de măsurători de pe barajul P.R.

Nume set date	B.G.A.							
Frecvența antena	200							
Nume fisier	26		27		28		29	
Procesare date	parametru	extensie	parametru	extensie	parametru	extensie	parametru	extensie
<b>Corectii geometrice</b>								
remove range								
front range								
back range								
move starttime	-13.021	0	-13.021	0	-13.021	0	-13.021	0
<b>Filtre 1D</b>								
dewow	5	1	5	1	5	1	5	1
bandpassbutterworth	100/400	2	100/400	2	100/400	2	100/400	2
<b>Filtre 2D</b>								
background removal		3		3		3		3
stack traces	4	4	4	4	4	4	4	4
<b>Gain</b>								
manual gain y								
energy decay	3	5	2.5	5	2.5	5	2.55	5
<b>Migrare</b>								
fk migration (Stolt)	0.055	11	0.055	11	0.055	11	0.055	11
	0.052	12	0.052	12	0.052	12	0.052	12
<b>Pentru 3D</b>								
envelope								
running average								

Anexa 2. Exemplu de tabel cu datele de procesare pentru unul dintre seturile de date realizate la barajul G.A.



Anexa 3. Exemplu de grafice unde sunt reprezentate deplasările verticale pentru anumiți reperi, pentru anii 2011, 2012, 2013, 2016 și 2017, pentru barajul Poiana Mărului.