

Raport final de activitate

Perioada implementare: 1 Aprilie 2022-31 Decembrie 2024

Proiectul cu titlul " **INTELIGENȚĂ ARTIFICIALĂ ȘI TEHNICI COMBINATE DE SONDAJ PENTRU OPTIMIZAREA CARIERELOR DE PIATRĂ**", Acronim: **AI-COSTQO**
Avizat, Coordonator proiect nr305/2022

Raportul științific (**max. 25 pag.**), se realizează pentru întreaga perioadă de implementare a proiectului și conține:

- **Obiectivele prevăzute/realizate;**

1) *Investigatii geofizice la carierele din România: Rușchița (marmură), Cărpiniș (travertine), Pietroasa (andezit) și cariera Finike (marmură) din Turcia.*

- Au fost folosite sistemele Ground Penetrating Radar (Akula 9000-C, cu antenele FLB-390 și GCB-200, pentru carierele din Romania, precum și sistemul Acula 9000, pentru cariera Finike ce a fost inchiriat de la o firma din Turcia pentru reducerea costurilor de transport și de personal)
- Pentru studiile de rezistivitate, am efectuat măsurători la cele trei cariere din România cu aparatura SuperSting R8/IP+64, produs de firma americană *Advanced Geosciences, Inc, Austin, Texas*, fiind un sistem generator de imagini de rezistivitate și polarizație indusă automat, cu 8 canale, folosit cu cabluri pasive multielectrod. ce folosește la emisie un curent continuu pulsatoriu cu durata pulsului egală cu durata pauzei. Compensarea potențialului natural se face automat, pe toată durata măsurătorii. Rezistivitatea este calculată prin introducerea coordonatelor dispozitivului. Atenuarea zgomotului este de minim 100 dB la frecvențe mai mari de 20 Hz și de minim 120 dB la frecvențele de: 16, 20, 50, 60 Hz din linia de emisie, asigurându-se un semnal curat.
- Pentru studiile de sismică, am efectuat de asemenea, măsurători la cele trei cariere din România cu aparatura Geode-Seismograph, cu 24 de canale.

2) *Generarea curbelor de distribuție a dimensiunilor blocurilor (BSDC) și a sistemului de sprijinire a deciziilor (DSS).*

Datele folosite au fost rezultatele din WP1-WP4. Atât poliedrele (cuboizii), cât și volumele paralelipipedurilor convexe (MaxQ-urile) vor fi vizualizate într-un singur grafic. Aceste date sunt afișate împreună ca trei curbe separate pentru cuboizii in situ, atât teoretice cât și reale obținute din producția de exploatare în carieră. Pentru interpretarea graficului a fost dezvoltat un sistem de sprijinire a deciziilor sub forma unui sistem expert bazat pe reguli DSS. Pentru realizarea DSS, au fost incluse motoare de căutare multi-criteriale, generarea de rapoarte și propunerea de soluții optime în site-ul proiectului.

3) *Realizarea tabelului sistemului informational în care au fost introduși parametrii de fractură a rocilor din carieră cum ar fi dimensiunea și intensitatea. Acest tabel cuprinde informații legate de discontinuitate, atribute ale masei de rocă și toate datele geometrice ale discontinuităților. Aceste date vor fi folosite ca intrare pentru toate sistemele care au fost generate.*

4) *Realizarea managementului, coordonarea proiectului, reuniunilor consorțiului și diseminarea rezultatelor.*

Toate aceste obiective au fost realizate în colaborare cu toți partenerii din proiect:

No.	Numele partenerului/acronym	Țara	Person-Month
1	BAY E Bilişim Danışmanlık Eğitim Bilgisayar San. ve Tic. Ltd. Şti (BEB)	Turcia	38
2	University of Petrosani (UPET)	Romania	34.75
3	Faculty of Information Studies in Novo Mesto (FIS)	Slovenia	31.2
4	UNIBO - University of Bologna (UNIBO)	Italia	30
5	Geological Institute of Romania (GIR)	Romania	20.5

Având în vedere caracterul complex și multidisciplinar al proiectului, implicarea partenerilor a fost diferită în cele 8 pachete de lucru (WP-uri), realizarea obiectivelor și livrabilelor în integralitate, în funcție de domeniul de expertiză al membrilor echipelor fiecărui partener.

- **Prezentarea rezultatelor obținute, a indicatorilor de rezultat, a nerealizărilor înregistrate față de rezultatele estimate prin cererea de finanțare (dacă e cazul) cu justificarea acestora;**

În WP1 „Investigații de teren in situ” rezultatul principal a fost „Caracterizarea maselor de rocă din punct de vedere al rosturilor, fracturilor și discontinuităților”, prezentat în livrabilul „Raport de investigație factual și interpretativ in situ”. Investigația de teren in situ a oferit datele de input pentru WP2 „Modele digitale de elevație (DEM) din nori de puncte și rețele de fracturi discrete (DFN)”, WP3 „Reprezentarea grafică 3D a blocurilor și cartografierea/conturarea acestora” și WP4 „MaxQ: Găsirea maximului de cuboizi din poliedre neregulate”. Investigațiile geofizice (GPR, electrometrie, seismică și magnetism) au fost efectuate în locurile de testare de la cariere, pentru a valida abordarea proiectului pentru diferite aplicații de caz real. Natura particulară a carierei de piatră ornamentală necesită, de preferință, sisteme de măsurare nedistructive a masei de rocă pentru a evita degradarea ulterioară a materialului și producerea de deșeuri.

Poziționarea a fost aleasă înainte de achiziționarea datelor pentru a determina corect locația și/sau dimensiunile geometrice (distanța parcursă) ale profilului GPR de achiziție, pentru a ajuta la procesarea și interpretarea datelor. Distanța parcursă a profilului (lungimea acestuia) este utilizată pentru a localiza ținte în raport cu punctul său de pornire.

Localizarea profilelor geofizice de măsurători a fost făcută cu un GPS și reprezentată în Google Earth pentru fiecare carieră și cu culori diferite pentru fiecare metodă utilizată, ca în figura 1.



Fig.1 – Cariera Rușchița (Nouă – în partea stângă, Veche – în partea dreaptă)

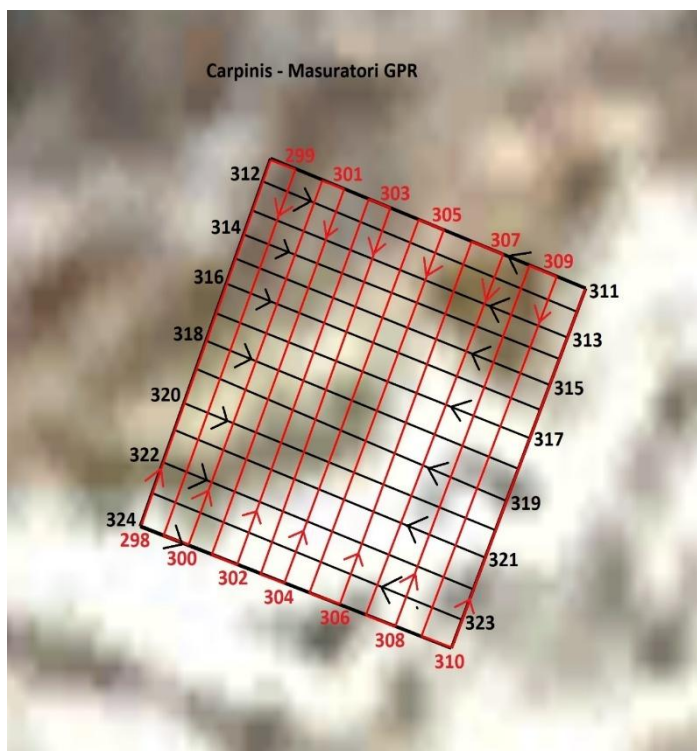
În mod asemănător au fost făcute localizările pentru toate carierele investigate geofizic (Rușchița Nouă, Rușchița Veche, Cărpiniș, Pietroasa – din România și Finike – din Turcia) și pentru toate profilele GPR, electrometrice, seismice și magnetice. Au fost realizate tabele cu coordonate (X, Y, Z) pentru fiecare profil și punct de măsură, ca în tabelul 1 și figura 2.

Tabel 1 – Coordonate pentru profilele GPR dintr-o zonă test de la cariera Cărpiniș.

Nume profil	X început	Y început	X sfârșit	Y sfârșit	Lungime profil
-------------	-----------	-----------	-----------	-----------	----------------

298	45,889028	23,029135	45,889096	23,029171	8,05
299	45,889094	23,029178	45,889025	23,029141	8,10
300	45,889024	23,029149	45,889092	23,029185	8,07
301	45,889090	23,029192	45,889022	23,029155	8,10
302	45,889020	23,029162	45,889089	23,029199	8,10
303	45,889087	23,029205	45,889018	23,029169	8,10
304	45,889017	23,029176	45,889085	23,029213	8,08
305	45,889083	23,029220	45,889015	23,029183	8,08
306	45,889013	23,029192	45,889081	23,029228	8,04
307	45,889079	23,029237	45,889011	23,029199	8,06
308	45,889009	23,029207	45,889077	23,029244	8,04
309	45,889075	23,029252	45,889007	23,029215	8,01
310	45,889005	23,029223	45,889072	23,029260	8,01
311	45,889072	23,029260	45,889096	23,029171	7,41
312	45,889092	23,029168	45,889068	23,029258	7,44
313	45,889063	23,029255	45,889086	23,029166	7,42
314	45,889082	23,029163	45,889059	23,029253	7,42
315	45,889054	23,029251	45,889077	23,029161	7,39
316	45,889073	23,029159	45,889050	23,029248	7,39
317	45,889044	23,029245	45,889067	23,029156	7,38
318	45,889062	23,029153	45,889039	23,029242	7,34
319	45,889033	23,029239	45,889057	23,029150	7,35
320	45,889050	23,029147	45,889027	23,029235	7,34
321	45,889022	23,029233	45,889045	23,029144	7,33
322	45,889039	23,029141	45,889016	23,029230	7,34
323	45,889010	23,029226	45,889033	23,029138	7,32
324	45,889028	23,029135	45,889005	23,029223	7,27

Fig.2 – Detalii de localizare pe baza măsurătorilor GPS pentru profilele GPR dintr-o zonă test de la cariera Cărpiniș. În mod similar, în tabelul 2 și figura 3 sunt prezentate detaliile de localizare pentru profilele GPR dintr-o zonă test de la cariera Pietroasa.



Tabel 2 – Coordonate pentru profilele GPR dintr-o zonă test de la cariera Pietrosa.

Nume profil	X început	Y început	X sfârșit	Y sfârșit	Lungime profil
268	45,859790	22,888836	45,859866	22,888690	14,07
269	45,859861	22,888685	45,859785	22,888831	14,10
270	45,859780	22,888826	45,859855	22,888680	14,11
271	45,859850	22,888674	45,859775	22,888821	14,14
272	45,859769	22,888815	45,859844	22,888669	14,15
273	45,859838	22,888663	45,859763	22,888810	14,17
274	45,859757	22,888805	45,859832	22,888656	14,19
275	45,859825	22,888650	45,859750	22,888798	14,23
276	45,859790	22,888836	45,859750	22,888798	5,32
277	45,859754	22,888790	45,859794	22,888829	5,34
278	45,859798	22,888822	45,859758	22,888783	5,34
279	45,859763	22,888774	45,859802	22,888814	5,37
280	45,859805	22,888807	45,859766	22,888766	5,36
281	45,859771	22,888757	45,859809	22,888799	5,39
282	45,859813	22,888791	45,859775	22,888750	5,36
283	45,859778	22,888742	45,859817	22,888784	5,39
284	45,859821	22,888777	45,859782	22,888736	5,39
285	45,859785	22,888728	45,859824	22,888771	5,42
286	45,859827	22,888764	45,859789	22,888722	5,41
287	45,859792	22,888715	45,859831	22,888758	5,44
288	45,859835	22,888750	45,859796	22,888708	5,43
289	45,859800	22,888701	45,859838	22,888744	5,42
290	45,859841	22,888737	45,859803	22,888693	5,44
291	45,859807	22,888686	45,859845	22,888730	5,46
292	45,859849	22,888722	45,859811	22,888679	5,48
293	45,859814	22,888671	45,859853	22,888715	5,45
294	45,859856	22,888708	45,859818	22,888665	5,46
295	45,859820	22,888660	45,859859	22,888703	5,48
296	45,859863	22,888696	45,859822	22,888655	5,49
297	45,859825	22,888650	45,859866	22,888690	5,48

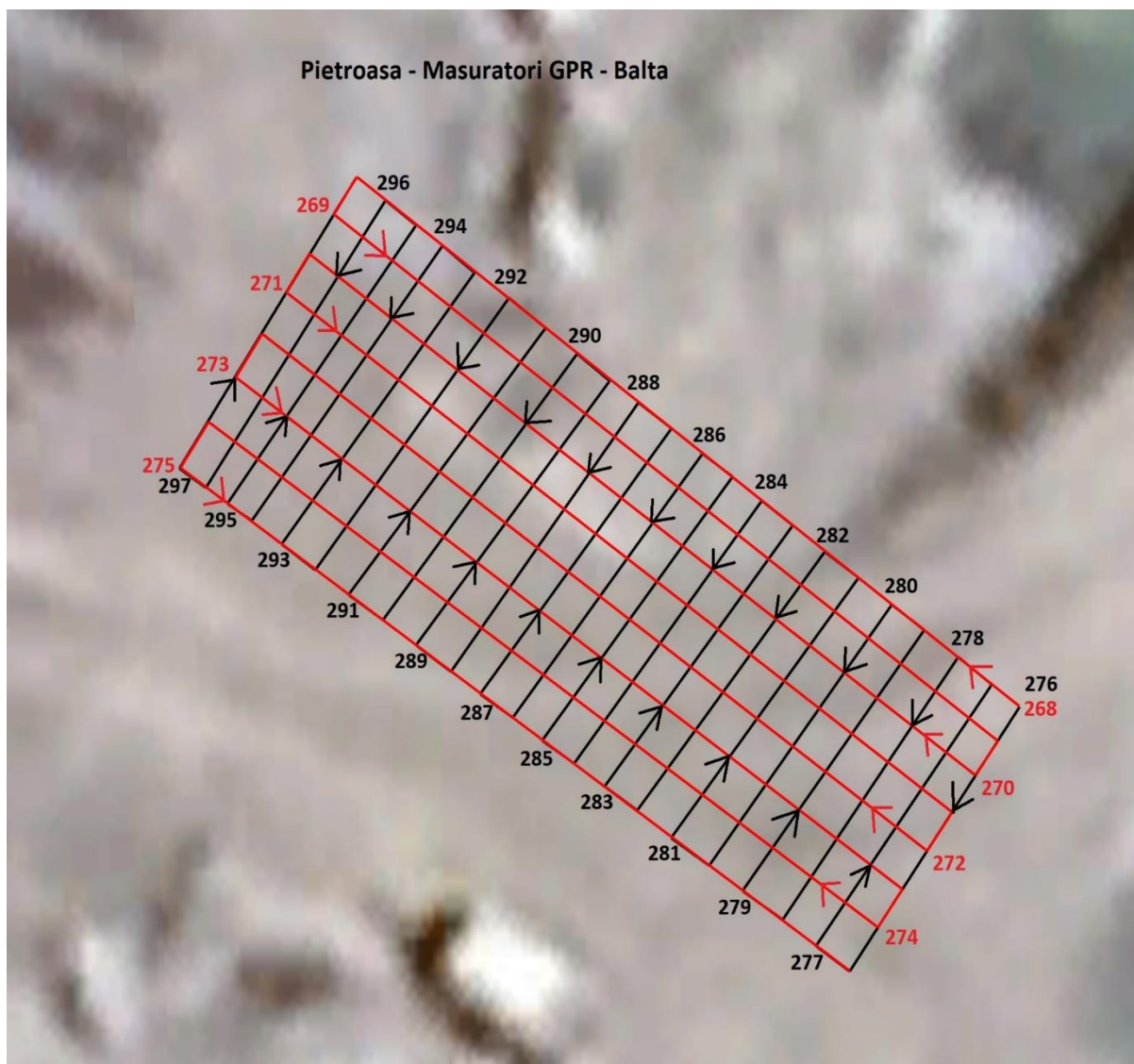


Fig.3 – Detalii de localizare pe baza măsurătorilor GPS pentru profilele GPR dintr-o zonă test de la cariera Pietroasa.

Dispozitivele GPR (AKULA 9000) constau în principal din transmițătoare (pentru a transmite impulsuri de unde EM), receptoare (pentru a primi impulsurile de unde EM transmise/reflectate) și unități de control pentru a declanșa, controla și înregistra impulsurile undei EM (figura 4).

Acest dispozitiv are avantajul de a măsura profilele GPR folosind două antene de frecvențe diferite (FLB-390 și GCB-200): frecvența înaltă (390 MHz) oferă o adâncime de penetrare mică (cca. 3 m) cu imagini de înaltă rezoluție, în timp ce a doua frecvență (200 MHz) oferă o adâncime de penetrare mai adâncă (cca. 10 m) cu imagini de rezoluție mai mică. Acest dispozitiv produce două radargrame (pentru fiecare frecvență de antenă) pentru același profil GPR.

Locațiile profilurilor GPR au fost distribuite pentru a acoperi toate zonele disponibile de testare.

Înainte de efectuarea măsurătorilor, terenul a fost curățat și au fost efectuate analize de testare pentru a determina parametrii optimi pentru măsurătorile GPR. Funcțiile standard de procesare a semnalului GPR au fost folosite pentru corecțiile și optimizarea datelor, inclusiv corecția timpului zero pentru a determina adâncimea exactă a obiectelor, filtrarea trece-bandă pentru a elimina zgomotele nedorite ale semnalului și aplicarea funcțiilor de câștig liniare și netezire, pentru a crește amplitudinea undelor electromagnetice GPR reflectate.

Neomogenitatea mediului subteran a fost o cauză a atenuării semnalelor. GPR măsoară diferența de timp dintre primele pante ale undei directe și semnalele reflectate de la suprafața țintei, ceea ce determină adâncimea țintei în mediu, dacă se cunoaște permitivitatea medie.

Pe baza datelor măsurate de GPR, am prelucrat informațiile cu programul **Prism 2**.
 Prima operațiune a fost conversia datelor din formatul de achiziție ***.gsf** în formatul de procesare/interpretare ***.sgy**.

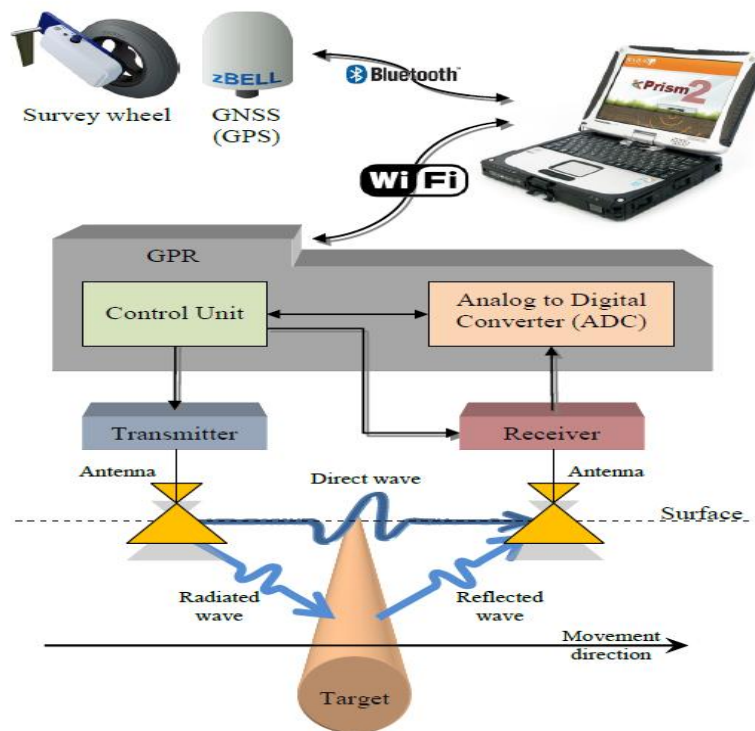
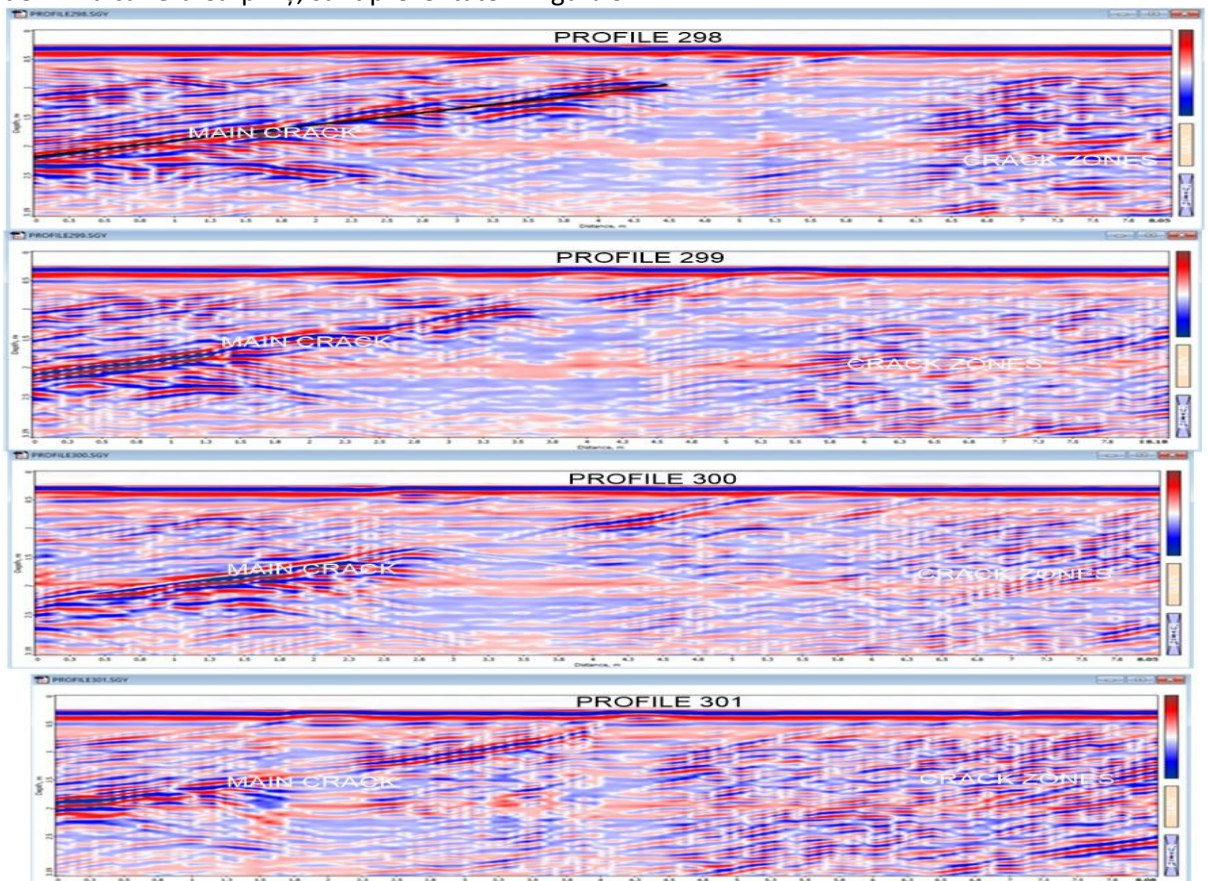
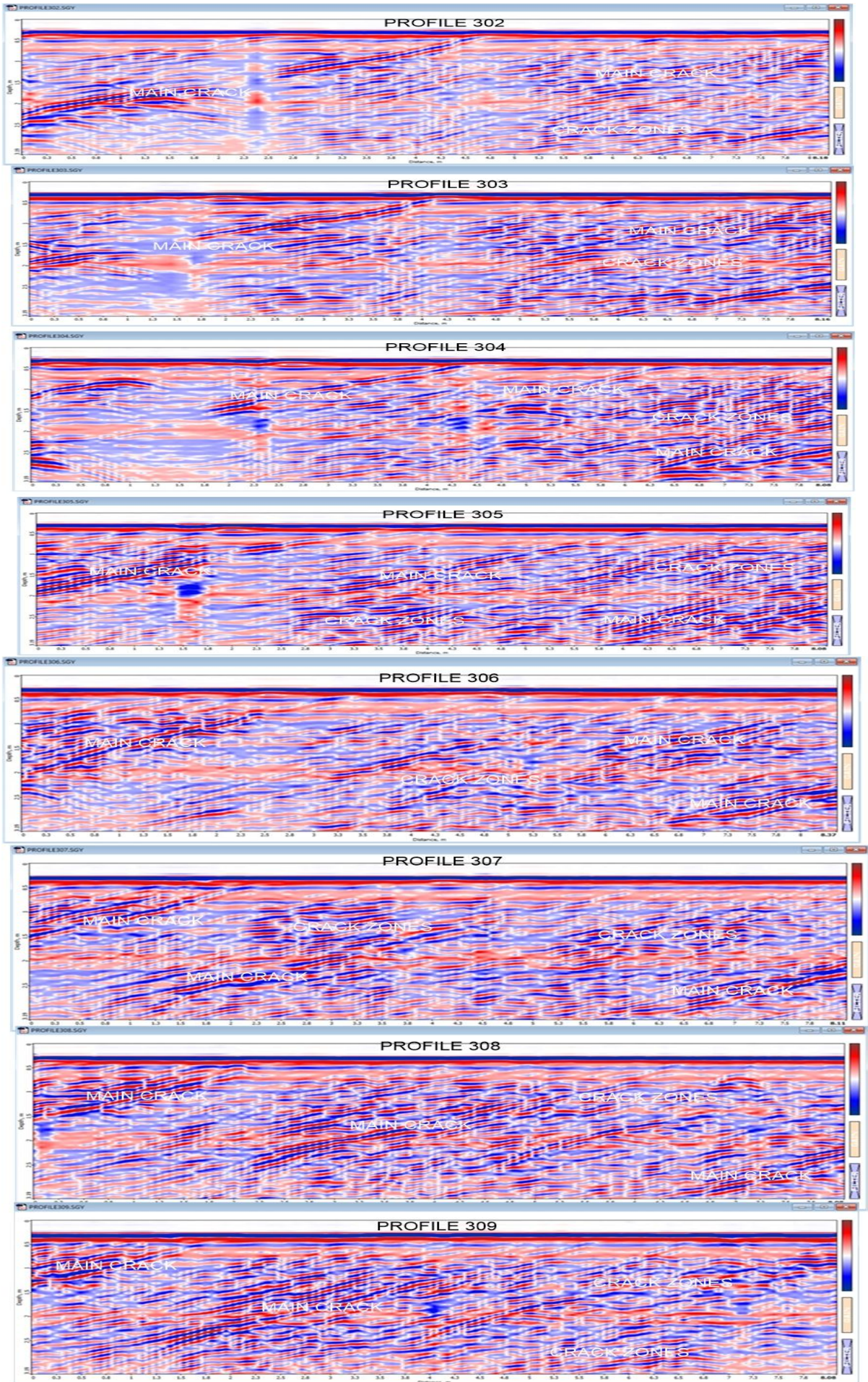
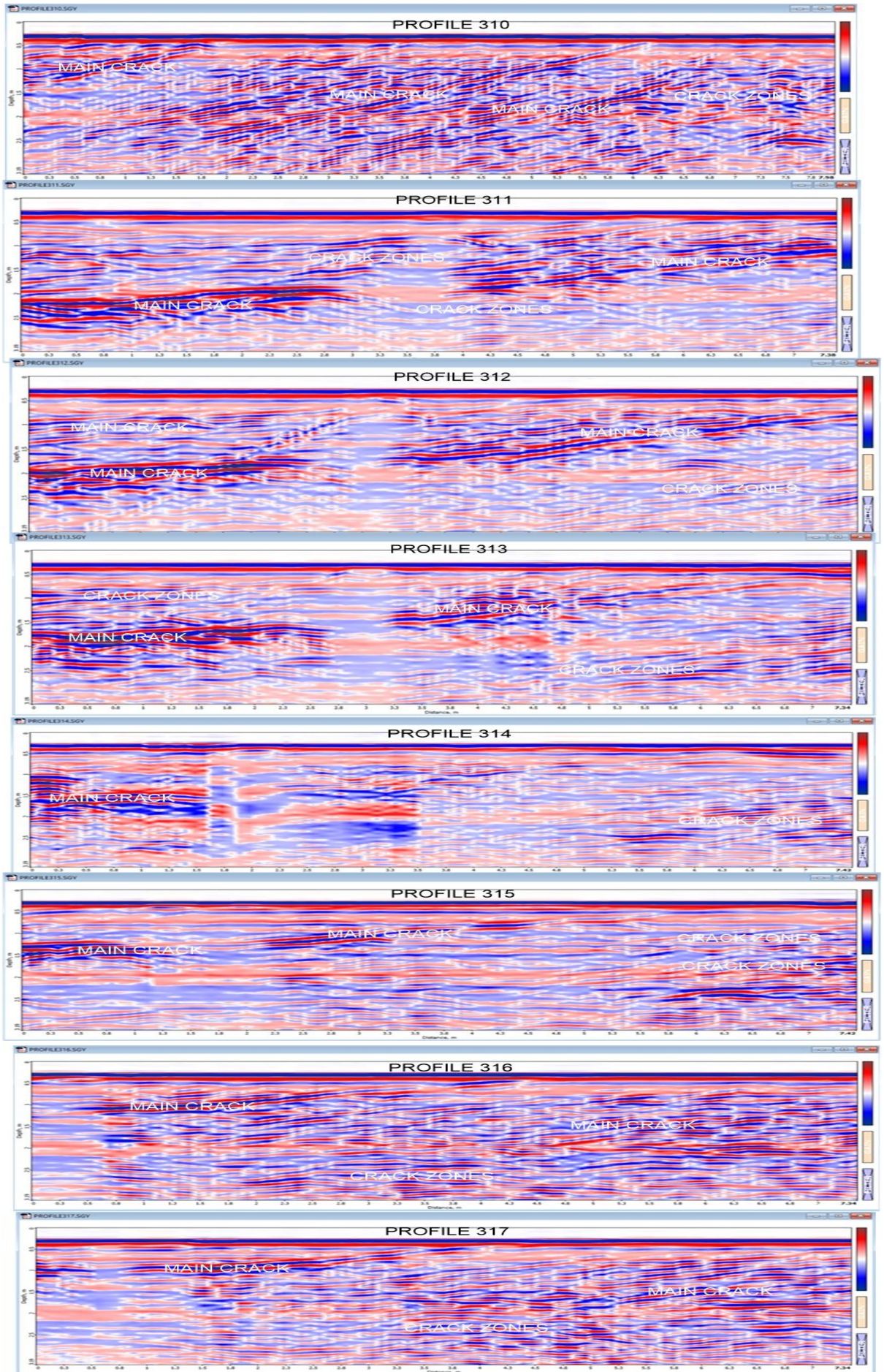


Figura 4 – Schema bloc a aparatului GPR

Exemple privind radargramele, obținute cu programul Prism 2 pe profilele echidistante cu pasul de 1m la cariera Cărpiniș, sunt prezentate în figura 5.







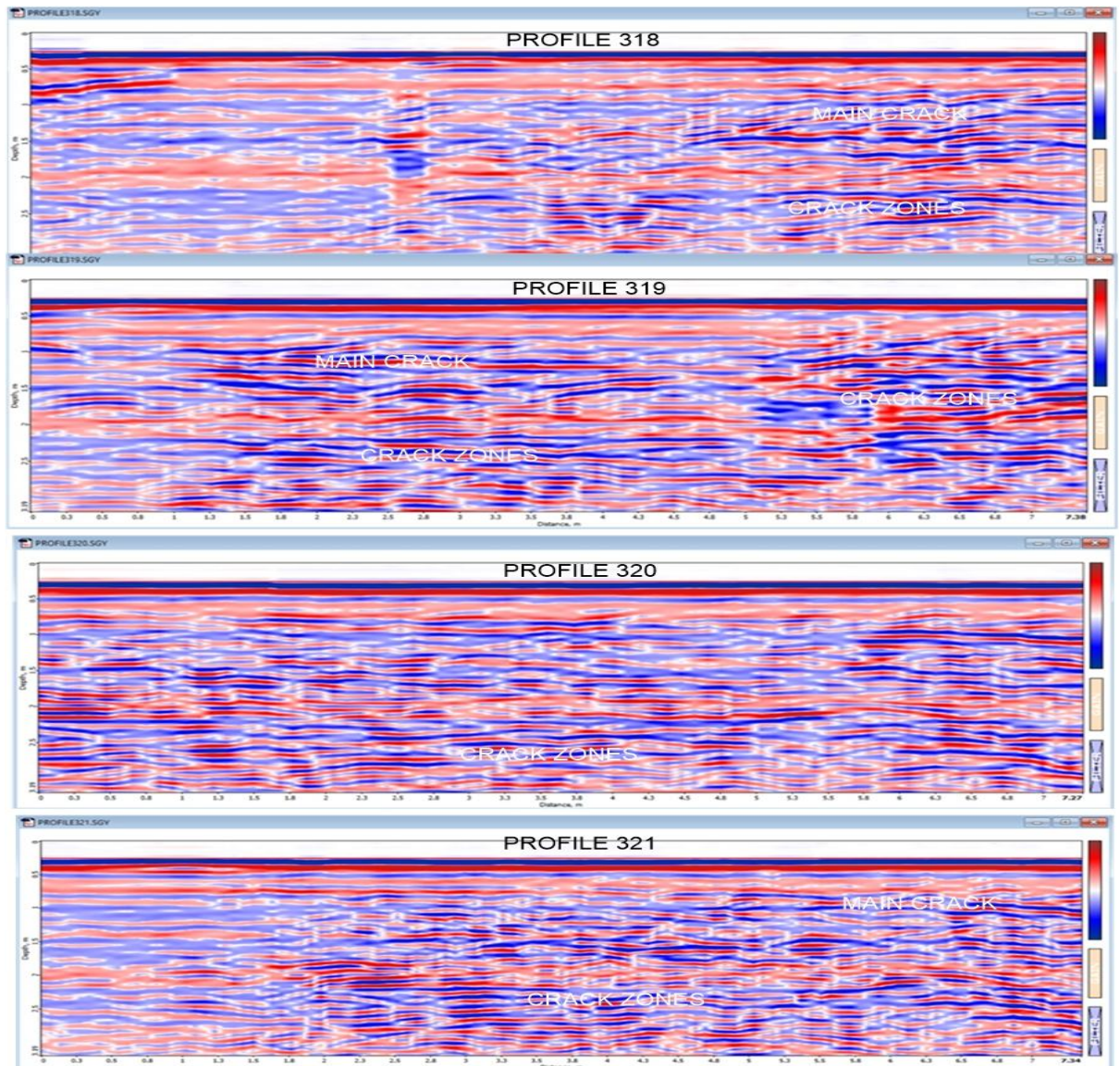


Figura 5 – Radargrame obținute la cariera Cărpiniș. Profilele 298-309 sunt transversale, pe profilele 310-321 longitudinale.

Măsurătorile electrometrice au fost efectuate cu sistemul SuperSting R8/IP+64, generator de imagini de rezistivitate și polarizație indusă automat, cu 8 canale, folosit cu cabluri pasive multielectrod, ce folosește la emisie un curent continuu pulsatoriu cu durata pulsului egală cu durata pauzei. Compensarea potențialului natural se face automat, pe toată durata măsurătorii. Rezistivitatea este calculată automat, introducându-se și coordonatele geografice (măsurate cu teodolitul sau GPS-ul) ale electrozilor și a tipului de dispozitiv folosit (Slumberger, Wenner, dipol-dipol, pol-dipol, etc.).

Comutarea electrozilor injecție sau receție se face conform unui program software de achiziție, ce poate fi setat în funcție de parametri de măsură doriți.

Tot în componența sistemului intră softul Administrator, folosit la crearea fișierelor de comandă și încărcarea lor în memoria aparatului și pentru descărcarea datelor din SuperSting în computer. Fișierul de comandă este un simplu fișier text care comandă instrumentului cum să măsoare. Softurile de inversie EarthImager sunt programe care interpretează datele de rezistivitate înregistrate (procesul de inversie) și produc imagini sub forma de secțiuni care reflecta structura geologică a subsolului. Inversia datelor de rezistivitate este o combinație de simulare directă (forward simulation) și simulare inversă (inverse simulation) având ca rezultat final producerea modelului structural al subsolului (imaginea subsolului obținută pe baza datelor de rezistivitate măsurate pe suprafața terenului).

Mai întâi se realizează o simulare sau modelare directă (prospecțiune virtuală, o aplicație de la model la date, de la cauză la efect), pe un model construit pe baza unor informații apriori, cunoscute

(distribuția rezistivității aparente în subsol, configurația electrozilor) sau prezumate (rezistivitatea medie a unui sector, ipoteza userului sau structura subsolului), obținându-se un set de date sintetice. Modelarea directă (soluția directă) este obținută prin rezolvarea ecuației cu derivate parțiale în domeniul transformatei Fourier:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\sigma \frac{\partial V}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\sigma \frac{\partial V}{\partial z} \right) - k^2 \sigma V = -I \cdot \delta(x) \cdot \delta(z),$$

unde V este potențialul electric scalar în domeniul transformatei Fourier,

I este intensitatea curentului electric al sursei,

σ este conductivitatea electrică, o mărime funcție de (x,y) .

Apoi, setul de date sintetice este supus unei simulări inverse (proces de determinare a parametrilor modelului, o aplicație de la date la model, de la efect la cauză), pentru a se reconstrui distribuția rezistivității în subsol pe baza datelor de V și I măsurate la suprafață.

Este obținut astfel un model al subsolului care este comparat cu modelul sintetic inițial și modificat prin iterații succesive până când diferența dintre ele scade sub un prag stabilit. Eroarea medie pătratică (RMS Error, Rooth Mean Squared Error) caracterizează concordanța dintre datele măsurate în teren și datele calculate ale modelului:

$$\text{RMS} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N \left(\frac{d_i^{\text{Pred}} - d_i^{\text{Meas}}}{d_i^{\text{Meas}}} \right)^2}{N}} \times 100\%,$$

unde N este numărul total de măsuratori,

d^{pred} sunt datele predictibile,

d^{meas} sunt datele măsurate.

Inversia datelor de rezistivitate este deci un proces în care modelul este construit plecând de la distribuția rezistivității aparente în subsol (pseudosecțiunea de rezistivitate aparentă măsurată), rezistivitate determinată prin măsurarea la suprafața solului a intensității curentului de injecție și a tensiunii dintre electrozii de măsură.

Rezultatul final este secțiunea inversată de rezistivitate (Inverted Resistivity Section), care reprezintă distribuția rezistivității în subsol reconstruită prin procesul de inversie a datelor sintetice. Este rezultatul final al investigației electrice, o imagine în legătură directă cu structura geologică a subsolului din punctul de vedere al proprietăților electrice ale diferitelor componente ale acestuia.

În următoarele imagini din figura 6 sunt prezentate cele 5 secțiuni de rezistivități pe profilele electrometrice efectuate la cariera Rușchița zona 1.

Zonele de minim, conturate cu albastru, reprezintă fracturile și fisurile din masa de rocă din carieră. De asemenea zonele gradient crescut (trecherile rapide de la minim-albastru la maxim-rosu) reliefează schimbarea caracteristilor geologice și microtectonice ale masei de rocă.

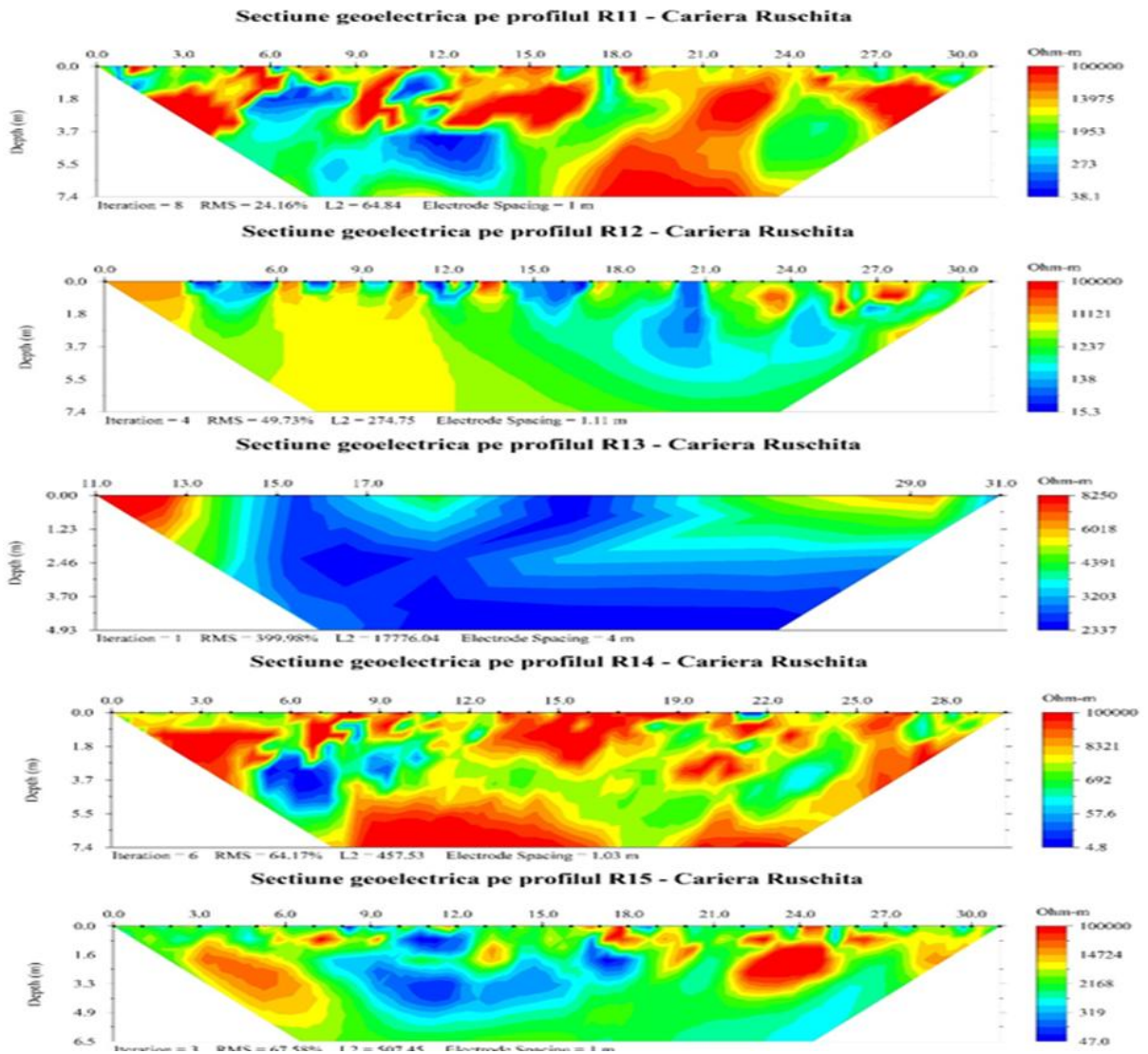


Figura 6 – Secțiunile geoelectrice de pe profilele de la Cariera Rușchița, zona 1.

În următoarele imagini din figura 7 sunt prezentate cele 3 secțiuni de rezistivități pe profilele electrometrice efectuate la cariera Rușchița zona 2.

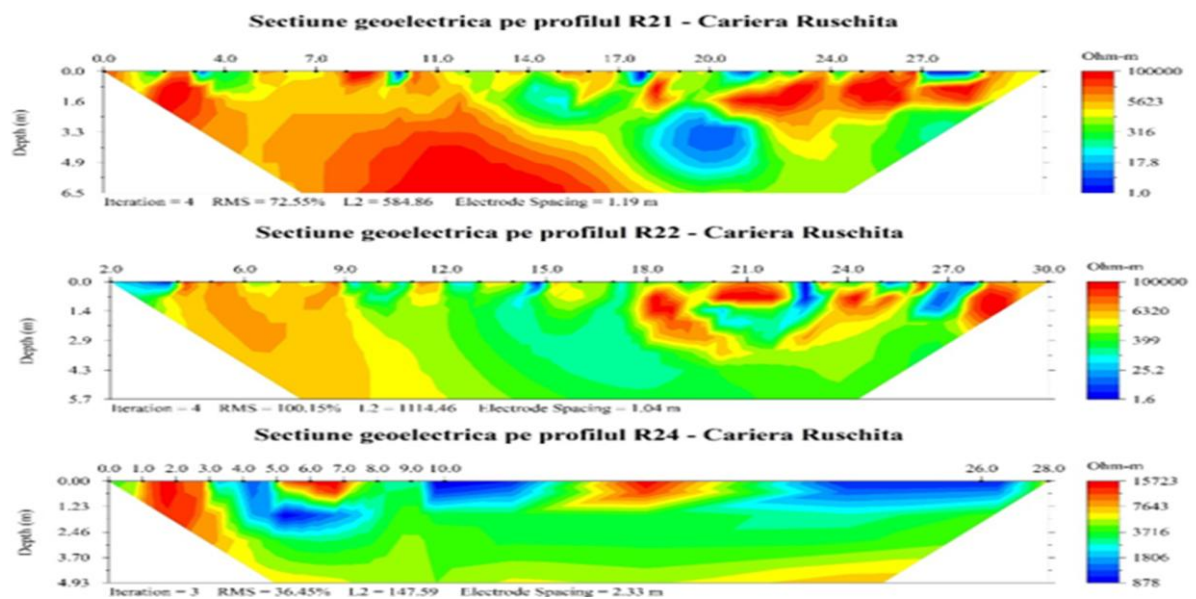


Figura 7 – Secțiunile geoelectrice de pe profilele de la Cariera Rușchița, zona 2.

În următoarele imagini din figura 8 sunt prezentate cele 3 secțiuni de rezistivități pe profilele electrometrice efectuate la cariera Rușchița zona 3.

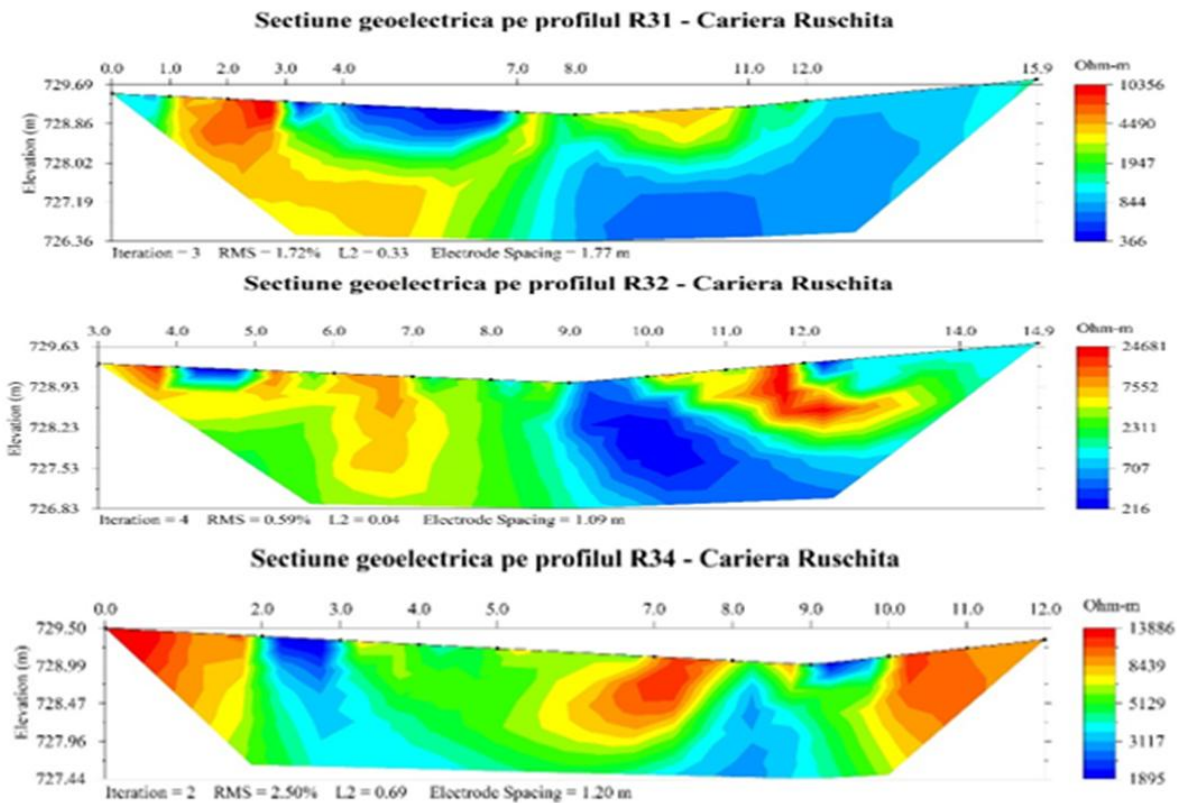


Figura 8 – Secțiunile geoelectrice de pe profilele de la Cariera Rușchița, zona 3.

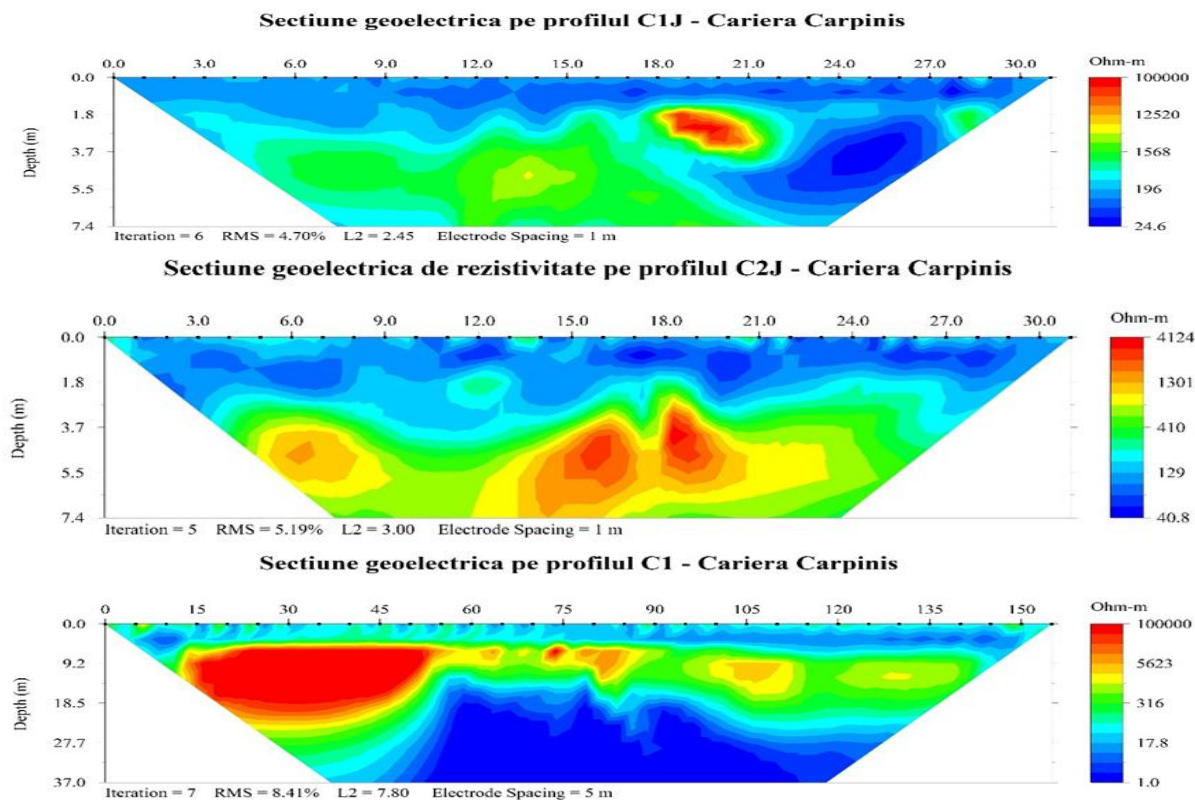


Figura 9 – Secțiunile geoelectrice de pe profilele de la Cariera Cărpiniș.

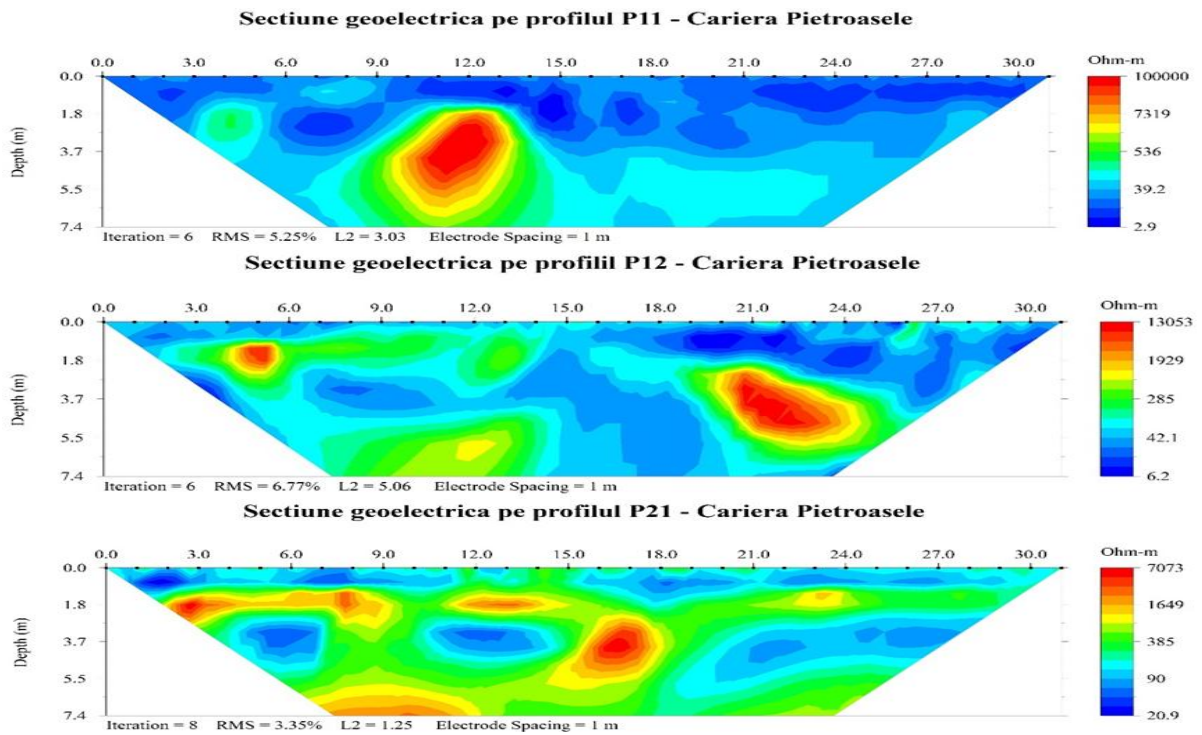
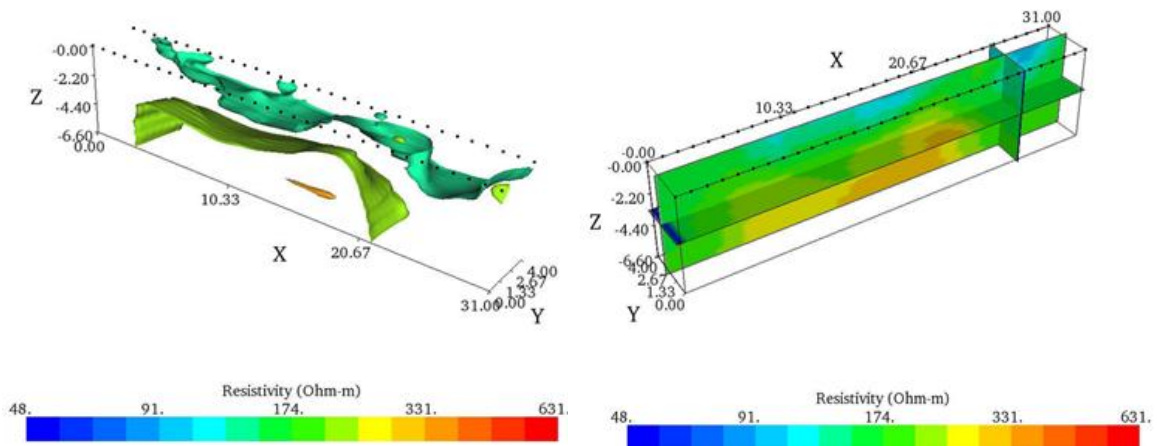


Figura 10 – Secțiunile geoelectrice de pe profilele de la Cariera Pietroasa.

3D Resistivity Contour Plot

Dynamic Slices of Inverted Resistivity



Inverted Resistivity Image

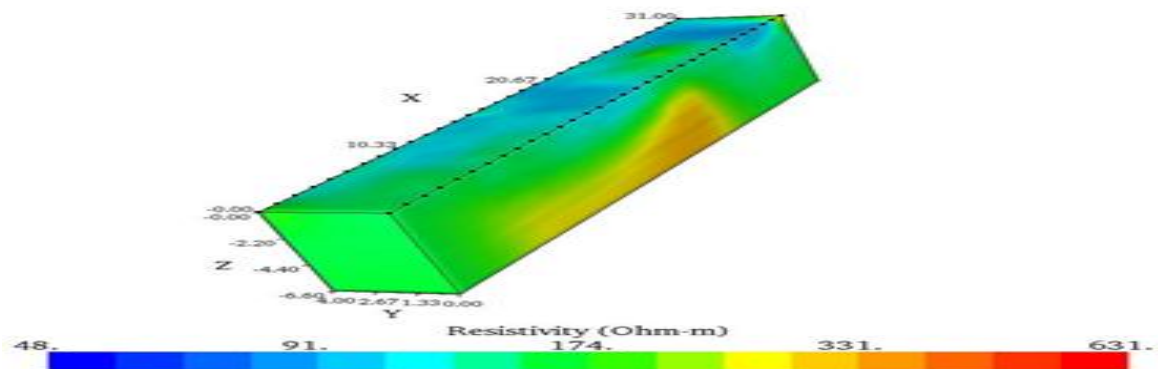


Figura 11 – Interpretarea 3D a secțiunilor de rezistivitate de la Cariera Pietroasa.

Măsurătorile seismice au fost efectuate cu sistemul Geode-Seismograph la carierele Rușchița, Cărpiniș și Pietroasa. Imaginile următoare din figura 12 au fost obținute în urma prelucrărilor și reprezintă exemple referitoare la zonele de fisurație ale rocilor.

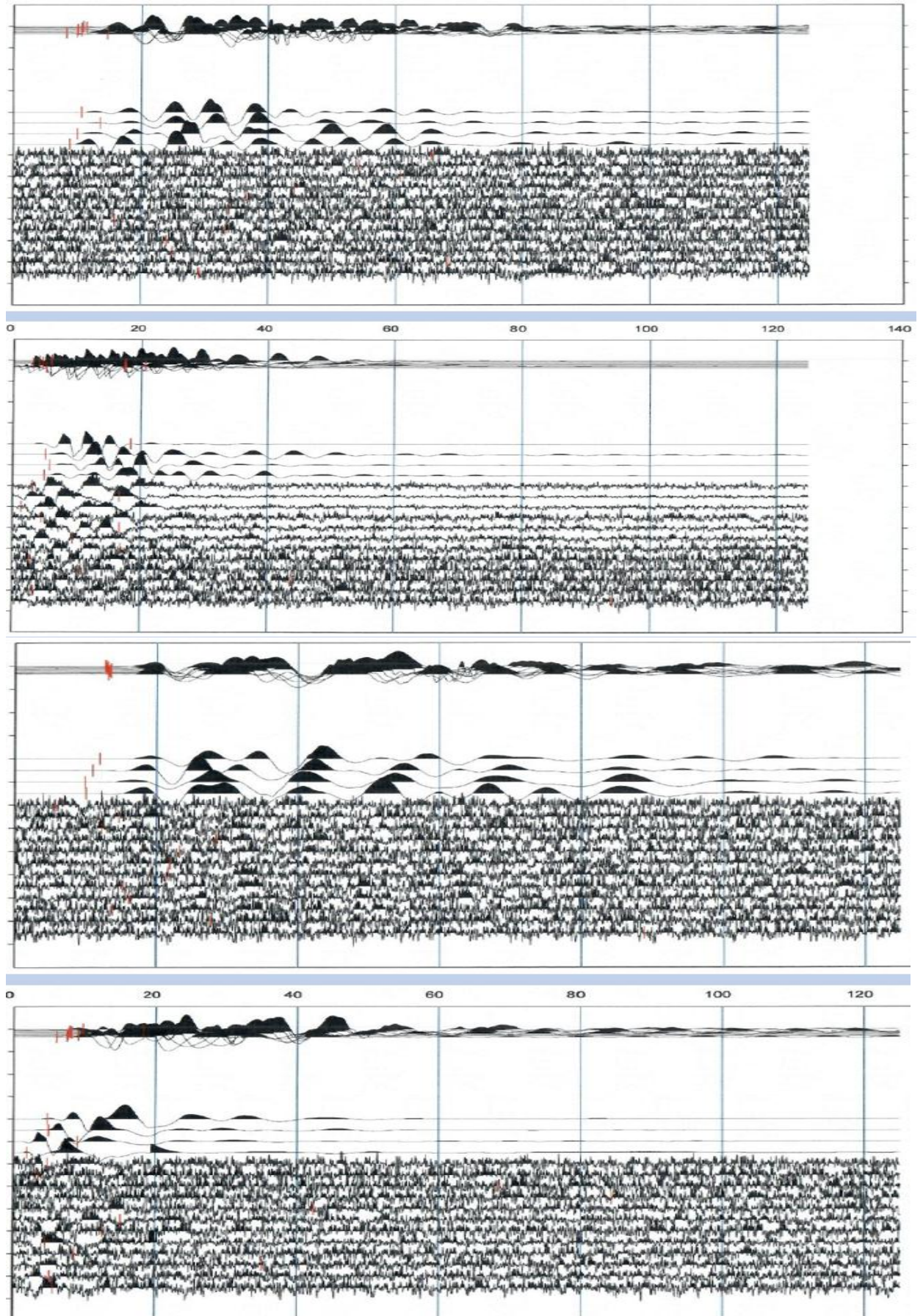


Figura 12 – Secțiuni seismice în zonele test de la carierele Rușchița, Cărpiniș și Pietroasa.

La cariera Rușchița au fost efectuate și măsurători magnetometrice de camp total, cu sistemul GEM-19, cu trei senzori cu precizie protomică. Imaginile următoare reprezintă hărțile obținute în programul Golden Surfer, pe baza datelor înregistrate.

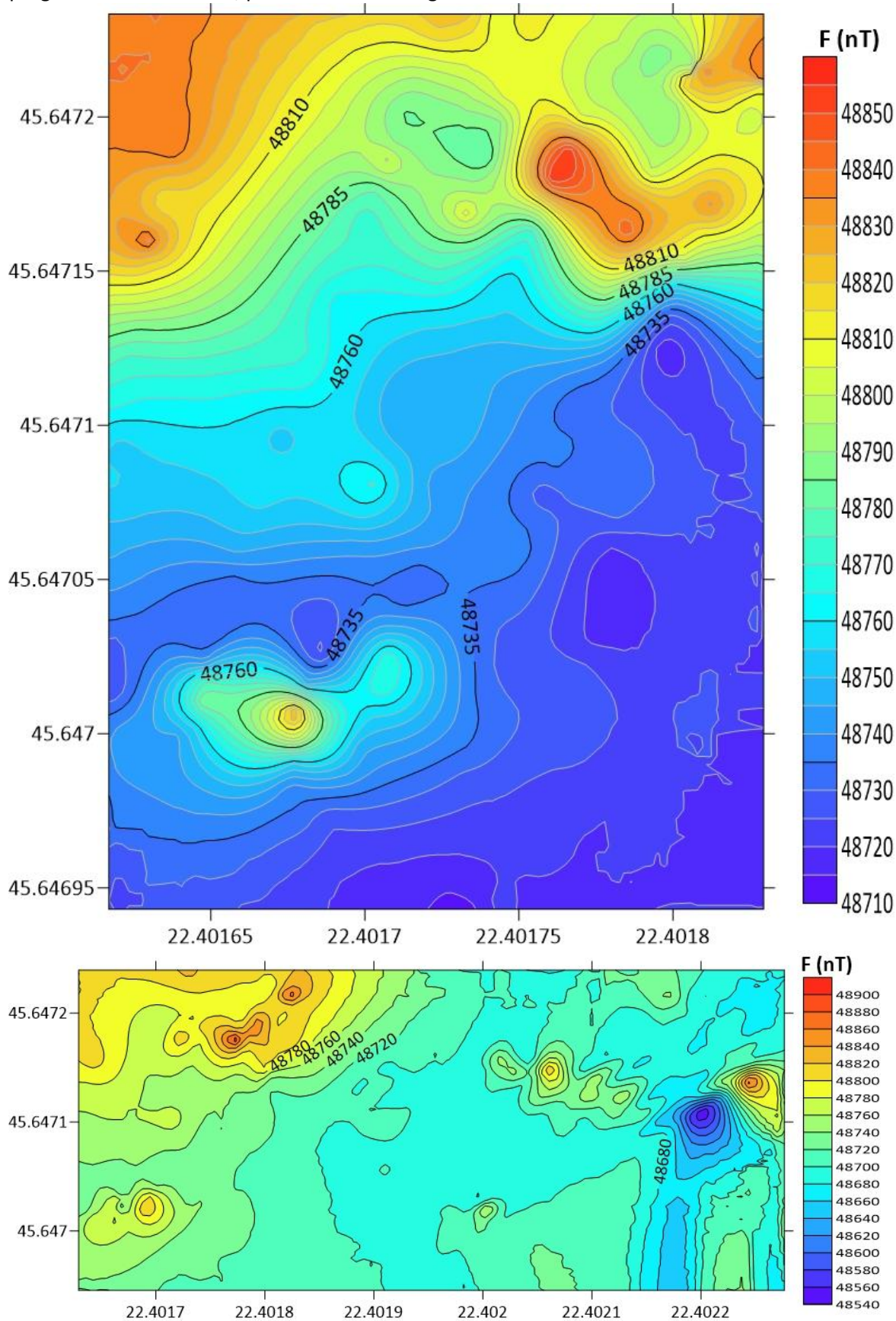


Figura 13 – Hărțile de camp geomagnetic total de la cariera Rușchița, zonele 1 și 2.

Pe baza tuturor acestor imagini și luând în considerație toate datele geologice și de orice altă natură din perimetrelor cercetate, s-a efectuat interpretarea geologică a rezultatelor geofizice, și s-au putut extrage rezultatele legate de caracterizarea rocilor ce au constituit datele de intrare pentru WP 2-4, prin investigațiile geofizice. La acest rezultat au lucrat toți partenerii și am realizat livrabilul „**Raport de investigație factual și interpretativ in situ**”, în februarie 2023.

Pentru **Generarea curbilor de distribuție a dimensiunilor blocurilor (BSDC) și a sistemului de sprijinire a deciziilor (DSS)**, obiectiv ce a fost realizat în pachetul de lucru WP5, am folosit rezultatele obținute anterior WP1-WP4, împreună cu toți partenerii din consorțiu.

În mod ideal, variația dimensiunilor blocurilor într-o locație ar trebui să fie dată ca diagramă de distribuție a blocurilor. Cu toate acestea, acest lucru este rareori posibil deoarece, dimensiunile blocurilor trebuie măsurate unul câte unul prin observare, fie pe suprafețele de rocă, din linii de scanare, fie din carote de foraj.

Cel mai bun mod de a caracteriza dimensiunea blocului, volumele reprezentative ale blocurilor (25, 50 și 75%) ar trebui obținute din masa de rocă.

În cadrul proiectului va fi definitivată o metodologie pentru caracterizarea masei de rocă, generarea BSDC, direcțiile tăierilor în blocuri de piatră privind Limitele Minime și Maxime ale Cuboidelor și Volumelor Comerciale și rosturilor și discontinuităților naturale existente.

Distribuția in situ a dimensiunii fragmentelor din masele de rocă este o componentă cheie pentru evaluarea valorii economice a unui zăcământ. Fragmentarea rocii este deosebit de importantă în determinarea potențialului zăcămintului, în proiectarea procedurilor de exploatare a rocii, în selectarea echipamentelor miniere și în dezvoltarea exploatării și selectarea metodei miniere.

Toate masele de rocă conțin diverse discontinuități. O cunoaștere adecvată a geometriilor de discontinuitate în cadrul oricărei mase de rocă este esențială pentru proiectarea optimă a lucrărilor de inginerie a rocii care urmează să fie realizate. Fragmentarea rocii in situ este importantă pentru tehnicile de clasificare a masei de rocă și pentru estimarea rezistenței masei de rocă, cu o semnificație deosebită pentru panta rocii, inginerie, excavații de rocă și evaluări ale fluxului subteran (permeabilitatea) prin roca fracturată în depozitele subterane. Scopul unei analize in situ a fragmentării rocii este de a cuantifica distribuția spațială a fragmentării naturale, în plus față de dezvoltarea distribuției complete a dimensiunii blocului în masa de rocă.

Estimările generale ale fragmentării rocii au o importanță deosebită pentru analiza stabilității taluzului rocii. Cu toate acestea, dacă fragmentarea naturală a masei de rocă poate fi estimată pentru toate punctele, se poate face o intrare semnificativă în proiectarea și amenajarea carierei sau minei și în secvențierea producției pentru un zăcământ.

Fragmentarea in situ se referă doar la interacțiunea fracturilor preexistente în masa de rocă netulburată, care afectează direct dimensiunea și formele blocurilor de rocă și, în consecință, comportamentul mecanic al masei de rocă.

Extragerea pietrelor de dimensiune este una dintre domeniile tehnice în care este necesară o perspectivă precisă a prezenței discontinuităților pentru a stabili strategii de planificare pentru exploatarea blocurilor de rocă.

În plus, cantitățile excesive de deșeuri și roci sparte trebuie evitate pe cât posibil. Prin urmare, este foarte important să înțelegem rolul geometriei masei de rocă in-situ în ceea ce privește dimensiunile blocurilor în aplicarea producțiilor de piatră naturală. În general, cu masele de rocă dintr-o carieră, se vor forma discontinuități de dimensiuni și dimensiuni diferite datorită forțelor diferite care acționează asupra scoarței terestre. Ca urmare a discontinuităților cu suprafețele libere, blocurile de rocă naturală se pot forma de la o dimensiune foarte mică până la câțiva metri cu mai multe forme și orientări. Aceste caracteristici ar trebui utilizate eficient în strategiile de proiectare ale carierelor eterogene de piatră.

Discontinuitățile sunt criteriile de bază pentru dezvoltarea unui design clasic al carierelor de piatră naturală. Planificatorii carierei iau în considerare experiențele lor înainte și în timpul aplicațiilor de excavare. Cu alte cuvinte, optimizarea operațiunii de tăiere a blocurilor se realizează pe baza unor fracturi vizibile, astfel încât previziunea umană este esențială pentru etapizarea producției. Predicția

volumelor și formelor blocurilor comercializabile ar trebui să fie cunoscute și analizate înainte de excavare.

Studiile anterioare despre productivitatea extracțiilor de roci ornamentale se bazează pe analize geologice, analize de cost și de productivitatea mașinilor. În aceste studii, aplicațiile informatice au fost, de asemenea, utilizate pe scară largă ca instrumente eficiente. Au fost examinate pierderile de materii prime și a fost sugerată o metodă de cartografiere pentru estimarea sistemului de fracturi în roca de bază de interes economic, folosind șanțuri excavate amplasate pentru a completa informațiile obținute din foraje.

Studiul privind siguranța și optimizarea proiectării subterane CAD-PUMA este un suport decizional geologic asistat de calculator, sistem de planificare și optimizare a exploatării subterane a marmurei.

Conceptul de optimizare pentru un model și calitatea unui sistem de fracturi dat se bazează pe alegerea celei mai bune orientări și dimensiuni pentru galerii în raport cu discontinuitățile.

Există, de asemenea, diverse studii anterioare privind evaluarea problemei care se bazează pe baze geostatistice. Structura de excavare și indicii de recuperare au fost evaluate și clasificate în mai multe grupe după criteriile tehnice și comerciale.

Stabilirea unui cadru teoretic pentru optimizarea procesului de extracție în cariere de marmură pentru un anumit sistem de fracturi și estimarea ratei de recuperare a blocurilor excavate, reprezintă un obiectiv principal. Curbele de distribuție au fost folosite ca instrumente de bază pentru a simplifica procedura de determinare volumetrică a distribuției blocurilor și de previziune a ratelor posibile de recuperare a blocurilor excavate.

Rețeaua de fracturi discrete (DFN) este construită atât din date deterministe, cum ar fi reprezentarea structurilor orizontale și falii la scară largă, cât și din date stocastice bazate pe fracturile observate pe teren. Aceste date sunt de obicei achiziționate prin metode geofizice (GPR, electrometrie, seismică) cât și prin cartografierea datelor geologice. Există mai multe geometrii posibile de fractură și au fost dezvoltate programe software de generare a DFN cu facilități pentru a simula intersecția fracturilor ca poligoane cu forme, dimensiuni și orientări diferite, care respectă distribuțiile statistice. Tradițional, se fac simplificări, cum ar fi reprezentări cubice sau hexaedrice ale volumului simulat, cu un număr mic de discontinuități în ipoteza topologiilor plane pentru aceste discontinuități. O altă ipoteză folosită este persistența infinită a fracturilor, suprafețele de fisuratie sunt considerate ca fiind plane iar blocurile formate sunt poliedre cât mai simple.

Desigur, în natură masele de rocă constau din blocuri neregulate sau poliedre concave. Intersecțiile parțiale ale fețelor trebuie procesate pentru a se asigura că algoritmul de „urmărire a feței” utilizat pentru detectarea poliedrică are succes. Informațiile pentru margini, fețe și poliedre trebuie calculate pentru mai multe cazuri, cum ar fi detectarea poligoanelor parțial intersectate și izolate (reprezentând fracturi care nu sunt asociate cu blocuri de rocă) și identificarea poliedrelor încorporate și a golurilor interne din masa rocii. Poliedrele pot fi concave și pot conține un număr arbitrar de fațete. Poliedrele sunt definite în termeni de fețe orientate, permițând efectuarea calculelor de volum prin calcule de determinanți. Validările și simulările sunt legate de generarea fracturilor și predicția curbelor de distribuție a dimensiunilor blocurilor (BSDC). Au fost efectuate simulări ale cazurilor banale de spațiu împărțit de trei mulțimi ortogonale de plane cu distanțe constante s_1 , s_2 și s_3 (ca în figura 14).

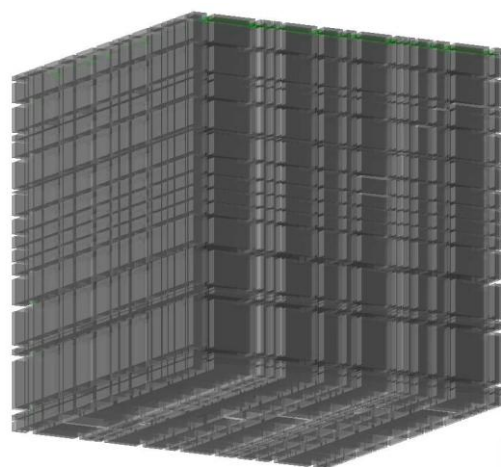
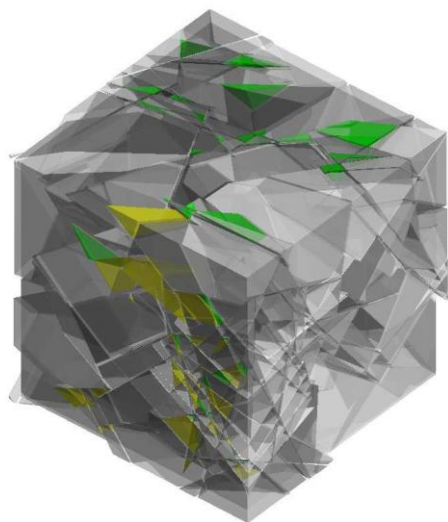


Figura 14 – Model de fracturi ortogonale în cadrul blocului de piatră.

O metodă pentru a prognoza BSDC s-a bazat pe eșantionarea Monte Carlo a unei baze de date cu discontinuități predeterminate. Grupuri de discontinuități au fost prelevate aleatoriu din această bază de date și verificate pentru a vedea dacă formarea poliedrică este posibilă. Densitatea discontinuității a fost definită ca numărul de discontinuități detectate în fiecare metru al unei linii de eșantionare simulate.

Deoarece orientarea liniei de eșantionare nu a fost specificată (ca în figura alăturată), se presupune un scenariu ideal de simulare în care linia este orientată ortogonal la orientarea medie a setului de discontinuități. Pentru planurile persistente, densitatea se definește ca fiind distanța dintre mulțimi. Factorul de persistență p_f reprezintă raportul dintre suprafața totală a fracturii dintr-un plan persistent și zona plană.



Astfel, persistența infinită este echivalentă cu un factor de persistență de 1. Factorul de persistență globală pentru cele trei mulțimi combinate este determinat ca $p_f = (p_1 p_2 p_3)^{1/3}$ unde p_1 , p_2 și p_3 sunt factorii de persistență pentru fiecare set comun (figura 15).

Figura 15 – Model de discontinuități predeterminate în cadrul blocului de piatră.

În figura 16 se arată influența densității discontinuității asupra curbelor BSDC. Pentru cazul cu densitate scăzută (curba cea mai din dreapta), variația observată pe măsură ce densitatea crește este de aproape trei ori mai mare decât cea observată în partea din stânga graficului. Valoarea procentuală variază până la 90% de la aproximativ 0,5 m până la 3 m.

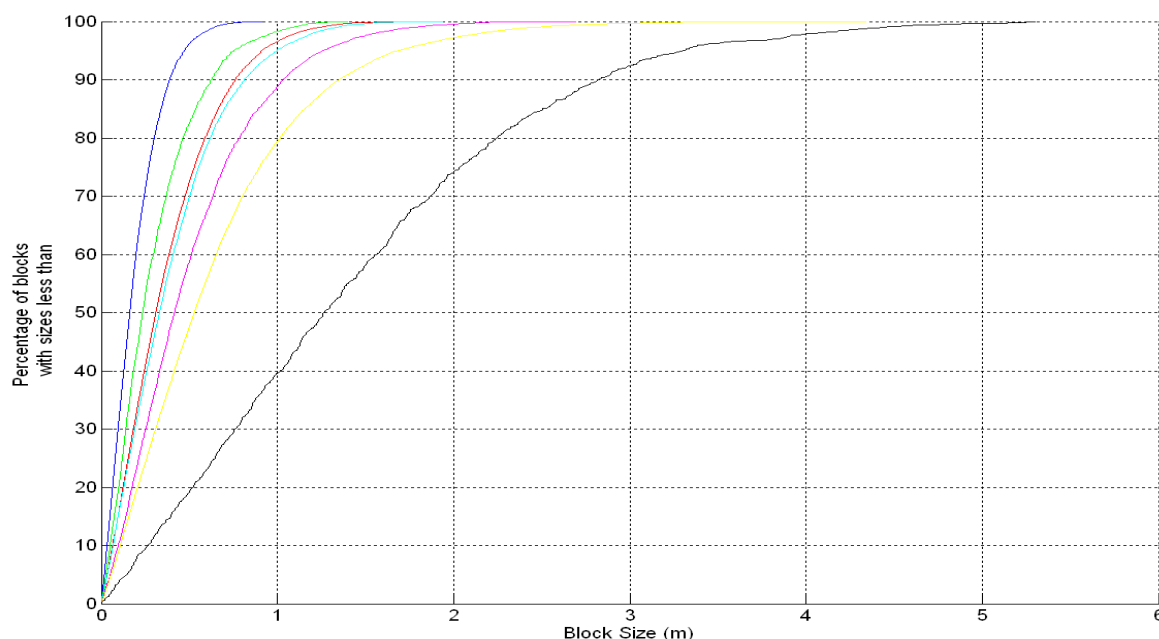


Figura 16 - influența densității discontinuității asupra curbelor BSDC

Folosind DFN realist, modelare poliedrică robustă și o abordare de eșantionare Monte Carlo, variabilitatea stocastică a geometriei fracturii poate fi luată în considerare. Metoda se poate ocupa de un număr arbitrar de mulțimi de discontinuități, reprezentări de persistență finită a fracturilor,

formarea ulterioară a poliedricului concav și proprietățile fracturii descrise prin distribuții statistice arbitrare.

Pentru generarea BDSC – cea mai bună modalitate de a caracteriza dimensiunea blocului, volumele reprezentative de bloc (25, 50 și 75%) ar trebui să fie obținute din masa de rocă cu o metodologie pentru a caracteriza masa de rocă și a genera BDSC.

Pe baza modelului rețelelor de fracturi (DFN), s-a calculat dimensiunea blocurilor și distribuția lor. Astfel, s-a evaluat influența dimensiunii blocurilor de rocă asupra integrității și proprietăților mecanice ale maselor de rocă din carieră. Distribuția spațială a blocurilor constă din seturi de îmbinări discontinue. Cu toate acestea, odată cu creșterea setului de îmbinare discontinuă, curbele de distribuție a dimensiunii blocurilor (BDSC) se schimbă în mod evident, iar dimensiunea blocului va scădea. Calitatea masei de rocă este un parametru foarte important care ar putea influența volumul blocurilor și distribuția acestora.

BDSC depinde de parametrii de fractură, cum ar fi orientarea setului de articulații, distanța dintre articulații, numărul de seturi de articulații și persistența. Masa de rocă este formată din fracturi principale și zonă fracturată (matrice), iar blocurile de diferite dimensiuni sunt generate de intersecțiile lor.

Pentru găsierea limitelor minime și maxime ale cuboizilor și volumelor comerciale, am calculat direcțiile tăierilor în blocuri de piatră privind limitele minime și maxime ale cuboizilor și volumelor comerciale și rosturilor și discontinuităților naturale existente. În plus, folosind datele obținute în urma aplicațiilor pe teren, a fost luată în considerare locația carierei pentru o eficiență maximă a carierei (pentru un zăcământ virgin).

Măsurătorile combinate in situ, neinvazive, metodele de sondaj, utilizarea vehiculelor aeriene fără pilot (UAV) echipate cu un senzor LIDAR (dectecție și distanță a luminii), GPR, imagistica digitală de foraj, procesarea integrată a datelor (tehnologii de recunoaștere a imaginii) și a norului de puncte formând un model poligonal au fost utilizate pentru detectarea suprafețelor de discontinuitate.

Tehnicile de învățare automată (cum ar fi algoritmii de clasificare) sunt deja implementate pentru a identifica obiecte și suprafețe. Identificarea seturilor de discontinuitate a fost îmbunătățită prin procedura efectivă „vizuală” operată manual la un grad mai ridicat de automatizare prin algoritmi Deep Learning (nesupravegheați). Rezultatele finale au fost determinarea direcției de scufundare/cufundare, persistența discontinuității și lungimile urmelor de fractură și, în final, o analiză în cluster a seturilor de discontinuități într-un proces automat, cu generarea DFN – ului.

Concluzionând, sunt posibile diferențe semnificative în estimările fragmentării masei de rocă, în special atunci când persistența fracturilor nu este modelată într-un sens realist din punct de vedere geometric sau fizic. Aceste diferențe sunt extrem de importante atunci când se modelează masele de rocă care conțin seturi de discontinuitate cu factori de persistență scăzuți, dar pot să nu fie severe pentru cazurile cu factor de persistență ridicat.

Modul în care au fost proiectate etapele de analiză (figura 17) pornește de la datele brute, prelucrarea lor, interpretarea în termeni geologici, generarea DFN-ului, generarea BDSC-ului și interpretarea cu ajutorul softwer-ului SaaS.

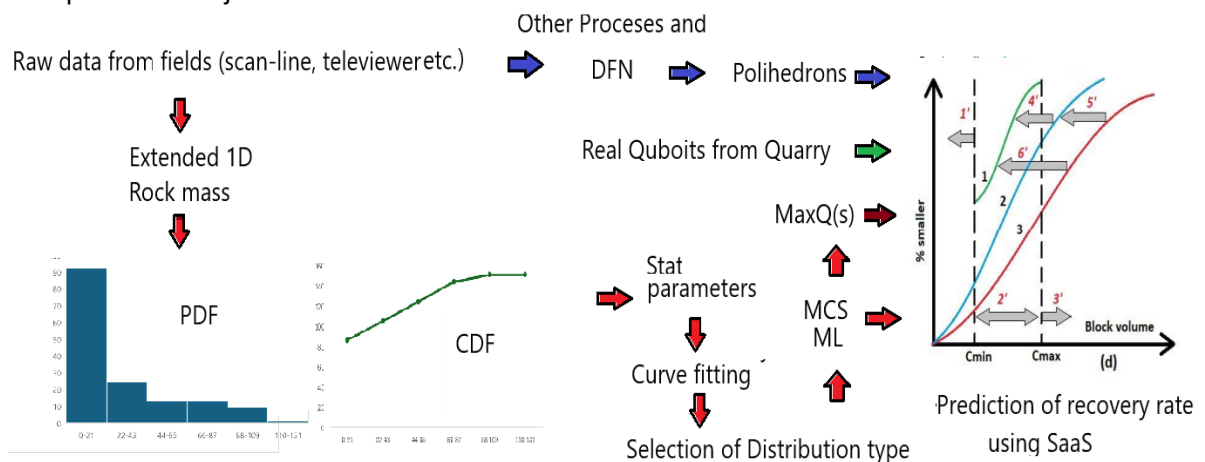


Figura 17 – Proiectarea etapelor de analiză

Pentru realizarea **tabelului sistemului informational în care au fost introduși parametrii de fractură a rocilor din carieră** a fost dezvoltată o procedură de introducere a datelor din DFN.

Atât poliedrele, cât și MaxQ-urile au fost vizualizate într-un singur grafic. Aceste date au fost afișate împreună ca trei curbe separate pentru cuboizi la fața locului, atât teoretice cât și reale, obținute din producția de mină în carieră.

Pentru a interpreta graficul a fost dezvoltat un sistem de sprijinire a deciziilor (DSS) sub forma unui sistem expert bazat pe reguli.

Pentru realizarea DSS au fost incluse motoare de căutare multicriteriale cu generarea de rapoarte, iar propunerea de soluții optime pe site-ul proiectului a stat la baza studiilor privind evaluarea direcțiilor de tăiere a blocurilor a piatră din cariere, amplasamentul. și dimensiunile carierei care urmează să fie exploată într-o zonă virgină, precum și evaluarea unei cariere efective din punct de vedere al eficienței.

Setul de reguli pentru deciziile comerciale sa bazat pe BSDC și cerințele beneficiarilor (și mai multe standarde comerciale). Alți parametri (fracturi, textură) observați în urma cercetărilor de teren și care pot afecta valoarea comercială a pietrelor naturale au fost adăugați la BSDC ca noi reguli.

DSS a fost dezvoltat pe baza sistemelor informatice expert, Inteligența artificială (AI), precum și pe alți algoritmi, care ar putea include metode multi-criteriale și procese de ierarhizare analitică (AHP).

A fost dezvoltat sistemul Stone Quarries Optimization Software (SaaS), care include un Tabel de Sistem Informațional pe baza căruia, parcurgând mai multe etape, va apărea o Interfață de Sisteme de Suport pentru Decizie.

Unul dintre aspectele inovatoare ale AI-COSTSQO este DSS (Decision Support Systems Interface). Succesul final este generat DSS susținut de AI.

Conform procedurilor de bază, caracteristicile fundamentale ale fracturii naturale în cazul real, cum ar fi localizarea, persistența, orientarea și densitatea, sunt necesare pentru a calcula dimensiunea blocurilor de rocă nefisurate.

Pentru a genera DFN sunt necesare și proprietățile mecanice ale rocilor investigate în carieră. Cu toate acestea, acești parametri din masa de rocă fracturată la adâncime nu pot fi extrași pe deplin.

De fapt, caracteristicile fracturilor naturale se supun distribuției de probabilitate. Prin urmare, distribuția parametrilor de fractură este confirmată pe baza datelor din foraj. Conform modelului DFN, distribuția spațială a masei de rocă fracturată este reconstruită.

Pentru calibrarea modelului numeric, rezultatele simulării sunt comparate cu rezultatele testelor de teren.

Apoi, dimensiunea blocului și distribuția acestuia sunt calculate. În cele din urmă, se studiază comportamentul rocii în timpul exploatării cu diferite dimensiuni de bloc.

Pe baza rezultatelor, se analizează influența dimensiunii blocului asupra proprietății mecanice a rocii. Folosind DFN realist, modelare poliedrică robustă și o abordare de eșantionare Monte Carlo, poate fi luată în considerare variabilitatea stocastică în geometria fracturii.

- **Modul de atribuire și exploatare de către parteneri a drepturilor de proprietate (intelectuală, de producție, difuzare, comercializare etc.) asupra rezultatelor proiectului;**

Diseminarea și comunicarea rezultatelor proiectului în reviste științifice internaționale majore și prezentarea la evenimente științifice relevante au avut caracterul de acces deschis.

Am vizat atât publicul despre activitatea noastră de cercetare, în țările noastre și la nivel internațional. atât în reviste și conferințe interdisciplinare cât și din domeniul specific.

În cadrul întâlnirilor fizice pe care le-am avut la fiecare partener (Petroșani, Antalya, Ljubljana, Desenzano del Garda și București) cât în întâlnirile frecvente on-line am dezbătut despre progresele în cadrul proiectului, informarea publicului larg și menținerea site-ului proiectului actualizat în orice moment.

Prin acordul nostru de consorțiu ne-am angajat pentru a comunica deschis toate detaliile relevante despre colaborarea noastră, bazându-se pe experiențe din proiecte similare din trecut și să fim specifici cu privire la toate problemele previzibile, atât științifice, cât și organizatorice.

Nu au existat probleme legate de atribuirea și exploatarea de către parteneri a drepturilor de proprietate intelectuală asupra rezultatelor proiectului.

Lucrările publicate cu parteneri din cadru consorțiului:

- Stefano Bonduà, André Monteiro Klen, Massimiliano Pilone, Laurentiu Asimopolos and Natalia-Silvia Asimopolos, 2024, A Set of Ground Penetrating Radar Measures from Quarries, *MDPI - Data* 2024, 9(3), 42; <https://doi.org/10.3390/data9030042> - 3 Mar 2024, IF:2,2, CiteScore:4,3, Impact Factor: 2.2 (2023); 5-Year Impact Factor: 2.4 (2023)
- Asimopolos Natalia-Silvia, Bondua Stefano, Asimopolos Laurentiu, Filipciuc Constantina, Tataru Adrian, 2023, Evaluation of Cracks in the Carpinis Travertine Quarry using Ground Penetrating Radar, Muzeul Olteniei Craiova. Oltenia. Studii și comunicări. Științele Naturii. Tom. 39, No. 1/2023 ISSN 1454-6914, p 67-74.
- Asimopolos Laurentiu, Asimopolos Natalia-Silvia, Madear Camelia, Avram Ovidiu-Eugen, Madear Gelu, 2023, Resistivity Study Regarding the Alteration Zones of Marble, Travertine and Andesite Quarries, Muzeul Olteniei Craiova. Oltenia. Studii și comunicări. Științele Naturii. Tom. 39, No. 1/2023 ISSN 1454-6914, p44-50.
- Asimopolos Laurentiu, Asimopolos Natalia-Silvia, Balea-Roman Bogdan-Valeriu-Constantin, 2023, Wavelet analysis of the august 17, 2022 geomagnetic storm, Muzeul Olteniei Craiova. Oltenia. Studii și comunicări. Științele Naturii. Tom. 39, No. 1/2023 ISSN 1454-6914, p 51-58
- Camelia Madear, Laurentiu Asimopolos, Natalia Asimopolos, Gelu Madear, 2023, Rockmass Fracture Analysis at Cărpiniș Travertine Quarry using Ground Penetrating Radar and Geophysical Methods, *Jurnal Mining Revue*, vol. 29, nr 2, pp 75-81, published 01.06.2023, ISSN-L 1220-2053 , ISSN 2247-8590; Sciendo open acces, DOI: <https://doi.org/10.2478/minrv-2023-0017>
- Laurențiu Asimopolos, Natalia-Silvia Asimopolos, Alparslan Turanboy, Erkan Ülker, Adrian-Aristide Asimopolos, 2024, Study about Block Size Distribution Curves and Commercial Boundaries of the marble quarries, European Association of Geoscientists & Engineers, 12th Congress of the Balkan Geophysical Society BGS 2024, www.scopus.org, www.earthdoc.org
- Asimopolos Laurentiu, Asimopolos Natalia-Silvia, Turanboy Alparslan, Ulker Erkan, Asimopolos Adrian-Aristide, 2024, Optimizing the Exploitation of Ornamental Rock Quarries by Analysing the Fracture Network, Muzeul Olteniei Craiova. Oltenia. Studii și comunicări. Științele Naturii. Tom. 40, No. 1/2024 ISSN 1454-6914
- Asimopolos Laurentiu, Asimopolos Natalia-Silvia, Vijdea Anca-Marina, Dinu Luminita, Asimopolos Adrian-Aristide, 2024, Analysis of geomagnetic databases impacting space weather, International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2024, Space Technologies and planetary Science, ISBN 978-619-7408-50-8 / ISSN 1314-2704, <https://www.sgem.org/>, www.scopus.org

Participari la conferinte, prezentari orale si publicatii in volumul conferintei

- ASIMOPOLOS Natalia-Silvia, BONDUUA Stefano, ASIMOPOLOS Laurentiu, FILIPCIUC Constantina, TATARU Adrian, 2023, EVALUATION OF CRACKS IN THE CARPINIS TRAVERTINE QUARRY USING GROUND PENETRATING RADAR, Biodivest 2023 -6-9.09.2023, Muzeul Olteniei Craiova. Oltenia. Studii și comunicări. Științele Naturii. Book of abstracts. ISSN 2668-5469, ISSN-L 2668-5469, p 50
- ASIMOPOLOS Laurentiu, ASIMOPOLOS Natalia-Silvia, MADEAR Camelia, AVRAM Ovidiu-Eugen, MADEAR Gelu, 2023, RESISTIVITY STUDY REGARDING THE ALTERATION ZONES OF MARBLE, TRAVERTINE AND ANDESITE QUARRIES, Biodivest 2023 -6-9.09.2023,

- Muzeul Olteniei Craiova. Oltenia. Studii și comunicări. Științele Naturii. Book of abstracts. ISSN 2668-5469, ISSN-L 2668-5469, p 48.
- ASIMOPOLOS Laurentiu, ASIMOPOLOS Natalia-Silvia, BALEA-ROMAN Bogdan-Valeriu-Constantin, 2023, WAVELET ANALYSIS OF THE AUGUST 17, 2022 GEOMAGNETIC STORM, Biodivest 2023 -6-9.09.2023, Muzeul Olteniei Craiova. Oltenia. Studii și comunicări. Științele Naturii. Book of abstracts. ISSN 2668-5469, ISSN-L 2668-5469, p 49.
 - Keynote: Laurențiu Asimopolos, Violeta-Carolina Niculescu, Adrian-Aristide, Asimopolos, Natalia-Silvia Asimopolos, 2023, CONSIDERATIONS REGARDING THE DEVELOPMENT OF DEEP LEARNING REGRESSION ALGORITHMS USED IN MATERIAL SCIENCE, ENERGY, AND ENVIRONMENT, New Cryogenic and Isotope Technologies for Energy and Environment - EnergEn 2023 Băile Govora, Romania October 18-20, 2023, Book of abstracts, ISSN (print): 2601-9965, ISSN-L (print): 2601-9965, p.117, <https://www.energen2023.ro/keynote-speakers/>
 - Laurențiu Asimopolos, Natalia-Silvia Asimopolos, Alparslan Turanboy, Erkan Ülker, Adrian-Aristide Asimopolos, 2024, Study about Block Size Distribution Curves and Commercial Boundaries of the marble quarries, European Association of Geoscientists & Engineers, 12th Congress of the Balkan Geophysical Society, BGS 2024, www.scopus.org, www.earthdoc.org
 - Asimopolos Laurentiu, Asimopolos Natalia-Silvia, Turanboy Alparslan, Ulker Erkan, Asimopolos Adrian-Aristide, 2024, Optimizing the Exploitation of Ornamental Rock Quarries by Analysing the Fracture Network, Muzeul Olteniei Craiova. Oltenia. BIODIVEST 2024
 - Asimopolos Laurentiu, Asimopolos Natalia-Silvia, Vijdea Anca-Marina, Dinu Luminita, Asimopolos Adrian-Aristide, 2024, Analysis of geomagnetic databases impacting space weather, International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2024, Space Technologies and planetary Science, ISBN 978-619-7408-50-8 / ISSN 1314-2704.

Pagină web proiect: <https://www.ai-costsqr.igr.ro/> și <http://ai-costsqr-project.com/>

- **Impactul estimat al rezultatelor obținute, cu sublinierea celui mai semnificativ rezultat obținut;**

Principalele coordonate al impactului realizării proiectului sunt:

- Extinderea cunoștințelor, bazelor de date și inventarului formațiunilor geologice europene;
- Utilizarea metodelor inovatoare de cercetare aplicate carierelor de piatră ornamentală;
- Creșterea ofertei și eficienței extracției de materii prime naturale;
- Minimizarea deșeurilor îmbunătățind strategiile pe termen lung pentru protecția mediului, ceea ce poate duce și la reducerea costurilor implicate.

Impactul așteptat va răspunde direct provocărilor prezentate în subtemele 1.1, 1.2 și subiectul 5 din apelul ERA-MIN3. Acestea implică o mai bună înțelegere a resurselor de materii prime primare pentru securizarea lanțului de aprovizionare, tehnici de explorare neinvazivă, îmbunătățirea modelării resurselor de piatră naturală, abordări și instrumente inovatoare pentru caracterizarea minereului și noi metodologii pentru evaluarea riscurilor de aprovizionare cu resurse minerale.

În plus, proiectul nostru include crearea de exploatare minerală durabilă și eficientă din punct de vedere al mediului prin optimizarea producției și reducerea deșeurilor.

Cel semnificativ rezultat obținut este că metoda propusă va permite exploatarea selectivă, evitând blocurile fracturate, care sunt considerate în mod tradițional deșeuri, ducând la economii de energie și de utilizare a apei.

Finalizarea acestui proiect va contribui la tehnologiile miniere europene și va deschide noi căi pentru IMM-urile europene implicate în minerit, ceea ce va stimula competitivitatea europeană în lumea minieră modernă.