

STUDIU GEOTEHNIC
pentru
PROIECTUL NEPTUN DEEP
Tuzla, Constanta, Romania

Antreprenor general:
Geoservices & T.C.



Beneficiar:
ExxonMobil Exploration and Production
Romania Limited

Contractor:
Jacobs

REFERAT DE VERIFICARE nr. K304/22.03.2021

Privind verificarea de calitate la cerința Af a documentației tehnice:

Studiu Geotehnic pentru proiectul Neptun Deep – Tuzla, jud. Constanța

Faza: S.G.

- Date de identificare

Proiectant general:	Halcrow Romania S.R.L. / Jacobs
Proiectant structură:	
Proiectant de specialitate:	Geoservices Tehnic Consulting S.R.L.
Beneficiar:	ExxonMobil Exploration & Production Romania Limited
Amplasament:	Intravilan Tuzla, numere cadastrale 109216, 100178, 100818, 102101, 102099, 108896, 107123, 105769, 107386, 101055, 102100, 107373, 102098, 108897, 106654 și 107418
Data prezentării la verificare:	19.03.2021

- Caracteristicile principale

Conform temei, studiul geotehnic analizează amplasamentul în vederea realizării unei stații de măsurare și reglare gaze, instalațiile aferente și o conductă de aducțiune. Investigarea terenului s-a realizat prin:

- 4 foraje geotehnice cu adâncimea de 50.0m;
- 4 foraje geotehnice cu adâncimea de 15.0m;
- 1 foraj geotehnic cu adâncimea de 20.0m;
- 8 penetrări statice cu piezocon

Litologia pusă în evidență constă în:

- tip 0: pământ vegetal cu grosimi între 0.6m și 1.0m;
- formațiuni acoperitoare:
 - pachet tip I și III – loess, care a fost încadrat atât în cat. A cât și în B, prezentând toate caracteristicile specifice (macro-porozitate, valori ale tasării specifice la umezire ajungând până la aproape 14%. Stratul are grosimi variind între 8.3-9.35m;
 - pachet tip II – paleosol loessoid sub formă de intercalații în stratul de loess, cu grosime variind între 1.0 și 2.5m;
 - pachet tip IV – pachet coeziv format din argilă brun roșcată într-un orizont cu grosime variind între 4.5-11.14m adâncime;
- roca de bază – calcar organogen, lumașelic, cu goluri umplute de argile roșiatice. Structura se dezvoltă cu grosimi între 28.45 până la 30.0m în zona SRM. Au fost puse în evidență intercalații de argile verzi cu grosimi de 1.0 până la 2.45m.

Apa subterană a fost interceptată la adâncimi cuprinse între 19.45m și 31.2m față de CTN, în formațiunea de calcar organogen, ceea ce corespunde unei continuități hidraulice cu Marea Neagră.

Amplasamentul a fost încadrat, conform normativului NP 074-2014, în **categoria geotehnică 3**, prezentând un **risc geotehnic major**.

- **Documente ce se prezintă la verificare**

Piese scrise:

- Studiu Geotehnic

Piese desenate:

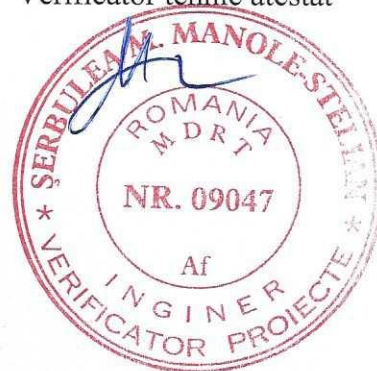
- Plan de situație (Anexa 1)
- Fișe de Foraj (Anexa 2)
- Secțiuni litologice (Anexa 3)

- **Concluzii asupra verificării proiectului**

- se admite la verificare la cerința Af

Am primit 4 exemplare
Proiectant

Am predat 4 exemplare
Verificator tehnic atestat



MINISTERUL DEZVOLTĂRII REGIONALE ȘI TURISMULUI
Direcția Generală Tehnică în Construcții

D-na / Dl. **ȘERBULEA M. MANOLE - STELIAN**

Cod numeric personal: **1740831421539**

Profesie **INGINER**

ATESTAT



Pentru competența: **VERIFICATOR DE PROIECTE**
În domeniile: **TOATE DOMENIILE (AF)**

În specialitatea:

Privind cerințele esențiale: **REZISTENȚA MECANICĂ ȘI STABILITATEA TERENULUI DE FUNDARE A CONSTRUCȚIILOR ȘI A MĂSELOR DE PĂMÂNT (AF)**

Director General
CRISTIAN STAMATIARE



Semnătura titularului

Data eliberării: **25.05.2012**

Șef serviciu/compartiment
ALEXANDRA TEODORESCU

Prezenta legitimație este valabilă însoțită de certificatul de atestare tehnico-profesională emis în baza Legii nr. 10/1995 privind calitatea în construcții, cu modificările ulterioare, și a Hotărârii Guvernului nr. 1631/2009 privind organizarea și funcționarea M.D.R.T.



Seria U Nr. **C9047**

Prezenta legitimație va fi vizată de emitent din 5 în 5 ani de la data eliberării

Prelungit valabilitatea până la	Prelungit valabilitatea până la	Prelungit valabilitatea până la
Prelungit valabilitatea până la	Prelungit valabilitatea până la	Prelungit valabilitatea până la



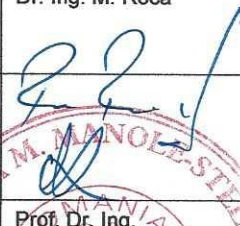
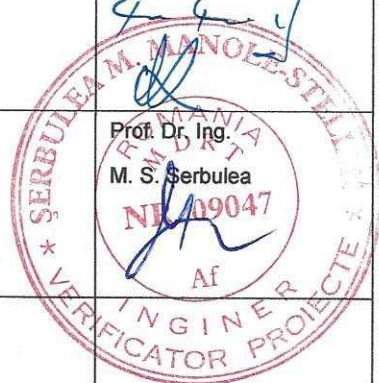

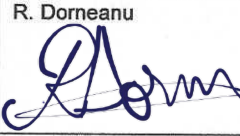
MINISTERUL DEZVOLTĂRII REGIONALE ȘI TURISMULUI

LEGITIMAȚIE

Seria U Nr. **C9047**

C9047

QM

Elaborare/ Revizie	Elaborare1	Revizia 1	Revizia 2
Remarci	Studiu geotehnic – Draft pentru comentarii	Studiu geotehnic cu modificări implementate la solicitarea Jacobs	Studiu Geotehnic Final - Versiunea tradusă în lb. română
Date	03.06.2020	14.08.2020 & 27.08.2020	19.03.2021
Elaborat (GEOSERVICES)	Ing. R. Roca Ing. A. Alexe Dr. Ing. M. Roca	Ing. R. Roca Dr. Ing. M. Roca	Ing. R. Roca Dr. Ing. M. Roca
Semnătura			
Verificator proiecte (cerințe Af)		Prof. Dr. Ing. M. S. Șerbulea	Prof. Dr. Ing. M. S. Șerbulea NI 09047 Af
Semnătura			
Autorizat intern (GEOSERVICES T.C.)	R. Roca	R. Roca	R. Roca
Semnătura			
Client: JACOBS (Halcrow Romania SRL)	R. Moore R. Dorneanu P.Kirk	R. Moore R. Dorneanu P.Kirk	R. Dorneanu 
Semnătura			
Ref. internă proiect	R0543/2019	R0543/2019	R0543/2019
Fișier referință	C:\GTC\02_Projects\2019\R0543_JACOBS_Exxon(6) Final Report\Geotechnical Interpretative Report\Volume 2	C:\GTC\02_Projects\2019\R0543_JACOBS_Exxon(6) Final Report\Geotechnical Interpretative Report\Volume 2\ Revision 1	C:\GTC\02_Projects\2019\R0543_JACOBS_Exxon(6) Final Report\Geotechnical Interpretative Report\Volume 2\ Revision 1\RO



Rezumat

Acest Studiu Geotehnic a constat în efectuarea de investigații geotehnice în vederea caracterizării condițiilor de teren pentru proiectul de execuție a stației de reglare și măsură a gazelor naturale (SRM) și pentru identificarea potențialelor fenomene carstice din formațiunile de roci calcaroase prezente în zona amplasamentului SRM și în lungul coridorului conductei subterane de gaze, de pe uscat. Activitățile au inclus achiziția și prelucrarea de date și informații rezultate din activitățile de teren - foraje geotehnice și teste in situ, precum și rezultatele analizelor de laborator geotehnic, pentru amplasamentul situat în comuna Tuzla, județul Constanța, România.

Prezentul studiu geotehnic a fost realizat în conformitate cu cerințele temei de proiectare urmărind standardele și reglementările românești în vigoare. Studiul geotehnic a fost elaborat în conformitate cu indicațiile și cerințele menționate în normativul NP074-2014 privind elaborarea documentațiilor geotehnice. În elaborarea documentației geotehnice au fost urmate de asemenea și indicații prevăzute în standarde internaționale EC7 (*Eurocode 7*) și ASTM (*American Society for Testing and Materials*), acolo unde a fost cazul.

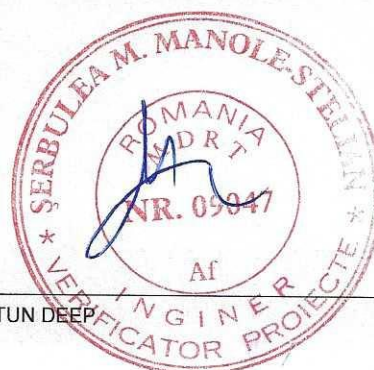
Investigațiile Geotehnice

Scopul investigațiilor geotehnice a inclus efectuarea a 8 teste de penetrare statică cu piezocon (CPTu) cu 200 kN forța de apăsare și execuția a 9 foraje geotehnice la adâncimi cuprinse între 15 – 50 metri (m) față de cota terenului natural (CTN), urmate apoi de încercări și teste/analize de laborator geotehnic.

Investigațiile de teren s-au desfășurat în perioada 9 septembrie - 31 octombrie 2019. Activitățile de testare in situ tip CPTu pentru amplasamentul studiat, au fost efectuate până la o adâncime maximă de 14,7m, care a corespuns adâncimii de refuz. Forajele geotehnice au avut adâncimi cuprinse între 15 – 20m pentru aliniamentul conductei de aducțiune gaze, iar pentru amplasamentul SRM au fost avansate până la adâncimea maximă de 50m față de CTN. Forajele au fost executate în regim de carotaj continuu pentru întreaga secvență litologică interceptată.

Programul de testare a cuprins un total de 280m liniari de foraj geotehnic cu recuperare de probe de pământuri și roci din care au fost prelevate 106 eșantioane netulburate (tip Shelby), 17 carote de pământuri, 129 probe de pământuri tulburate și 20 carote de rocă (din formațiunea de calcar).

De asemenea, au fost efectuate și teste in situ cu penetrometrul de buzunar și cu aparatul de forfecare portabil tip „*vane shear*” (scizometru) pe fiecare probă netulburată de pământuri, pentru evaluarea preliminară a rezistenței la forfecare în condiții nedrenate. Pentru caracterizarea formațiunilor de rocă au fost efectuate evaluări tip RQD (*rock quality designation*), TCR (*total core recovery*), SCR (*solid core recovery*) și evaluarea la zgâriere folosind duritatea în scara Mohs. Pe carotele recuperate din formațiunile de rocă de calcar au fost efectuate teste de compresiune monoaxială, tip „*Point Load Test*”.



Observații legate de foraj

Pentru pământurile coezive, metoda de foraj folosită a fost de tipul forajului în regim uscat și carotaj continuu, cu recuperare de eşantioane și probe.

Forajul în formațiunile de roci reprezentate de calcar organogene bioclastice a avut o rată bună de avansare, cu un recuperaj relativ bun, valorile medii ale TCR (procentul total de formațiune de rocă recuperată) fiind de 81.6 – 87.5%, însă cu valori slabe ale RQD (desemnarea calității rocii) de 35.82% - 44.23%.

Au fost utilizate volume mari de fluid de foraj (apă) pentru avansarea în formațiunea de calcar (până la aproape 30m), pentru care în mod frecvent, circulația fluidului de foraj nu a revenit la suprafață, datorită prezenței calcarului bioclastic, a golurilor și a fisurilor prezente în acesta.

Litologie – formațiuni acoperitoare

Secvența litologică locală identificată pe parcursul investigațiilor, atât pentru amplasamentul SRM, cât și pentru aliniamentul conductei de gaze poate fi rezumată după cum urmează:

- *Sol vegetal* având grosimi variabile de la 0,6 – 1m;
- *Formațiunea de loess* reprezentată de argile și argile prăfoase cu două subdiviziuni: depozite de *loess superioare* (orizont I) macroporice și depozite *loess inferioare* (III) cu intercalații decimetrice de paleosol (subunitatea/orizont II și IV), cu o grosime relativ constantă cuprinsă între 8,30 m – 9,35 m;
- *Argila roșie* – întâlnită la tranziția către formațiunea de calcar Sarmațian, reprezentând fie o parte a calcarului degradat, fie ca parte a unității formațiunilor loessoide;
- *Argila verde* – considerată ca fiind o intercalație în calcarul Sarmațian (grosime de 1 – 2,45 m), întâlnită doar în forajele adânci din zona SRM.

Secvența litologică locală interceptată pentru întregul amplasament a întâlnit pământuri macroporice, distribuția granulometrică fiind dominată de fracția fină (în principal argilă). Acest tip particular de pământuri este încadrat în clasa pământurilor sensibile la umezire (PSU). O caracteristică specială a acestui tip este că atunci când are loc o mică creștere a conținutului de umiditate, structura și comportamentul lor mecanic sunt modificate substanțial și ireversibil. Structura loessului este susceptibilă de colaps ca urmare a scăderii rapide a rezistenței la forfecare la creșteri relativ mici ale conținutului de umiditate, făcând această formațiune vulnerabilă la instabilitate.

Unitățile de loess sunt depozite pleistocene care încep să se dezvolte imediat sub solul vegetal și continuă până la formațiunea calcaroasă, având grosimi de până la 14,2m pentru aliniamentul conductei și de până la 19,45m pentru zona SRM, fiind încadrate în categoria pământurilor sensibile la umezire – PSU.

Formațiunea calcaroasă

Roca de bază este reprezentată de calcar și face parte din structura formațiunii calcaroase organogene Sarmațiene și a fost identificată în toate cele 4 foraje geotehnice de adâncime din zona SRM și doar într-un singur foraj din zona aliniamentului conductei. În timpul executării forajelor s-a observat că formațiunea

calcarului organogen este afectat de cavități de dizolvare și procese de alterare specifice fenomenelor carstice.

Formațiunea de calcar, din punct de vedere al genezei, este încadrată ca fiind *calcar bioclastic* format prin bioacumularea la scară largă a fragmentelor de gastropode și bivalve, iar *calcarul oolitic* este compus în principal din „oolite” de carbonat de calciu formate prin precipitarea carbonatului de calciu. În această formațiune se dezvoltă goluri și fisuri și sunt fie umplute cu argile roșiatice, fie în curs de dezvoltare de fenomene carstice.

Formațiunea de rocă are grosimi variabile în zona investigată, cu grosimi începând de la 28,45m și până la 30m în zona SRM, iar pentru aliniamentul conductei demonstrate doar pentru o grosime de 3,1m în partea de est, în forajul BP5.

Apa subterană

Apa subterană a fost interceptată în toate cele 4 foraje efectuate la 50m adâncime pentru amplasamentul SRM și doar într-un singur foraj corespunzător aliniamentului conductei, în forajul BP5. Nivelurile de apă subterană înregistrate în timpul executării forajelor aveau nivel piezometric cuprins între 0,74m – 0,91m deasupra cotei nivelului Mării Negre (NMN).

Observațiile din timpul activităților de foraj efectuate în regim uscat au indicat faptul că apa subterană nu a fost întâlnită în cadrul formațiunii coezive până la adâncimea maxima de 20,25m CTN în zona SRM, respectiv apa subterană nu a fost interceptată până la adâncimea de 16,9m (CTN) pentru zona aliniamentului conductei.

Pentru zona SRM, apa subterană este cantonată în formațiunea de calcar Sarmațian la adâncimi cuprinse între 30,9m CTN (0,87 m NMN) și 31,2m CTN (0,74m NMN).

Caracteristici geotehnice – formațiuni acoperitoare

Testele geotehnice de laborator efectuate pe eșantioanele selectate prezintă valori ridicate ale rezistenței la forfecare în condiții nedrenate.

Testele edometrice în stare naturală indică o compresibilitate ridicată până la moderată, în condiții saturate având o compresibilitate de la foarte mare până la medie. În practică, valori mari ale tasărilor apar prin umezirea acestui tip particular de pământuri sensibile la umezire.

Recomandări pentru măsurile de prevenire și atenuare a tasărilor pentru pământurile sensibile la umezire (PSU) sunt prezentate în Capitolul 6.2, o atenție specială trebuie acordată în fazele de proiectare și construcție.

Caracteristici geotehnice – formațiunea de roci

Caracteristicile generale de clasificare pentru formațiunea calcaroasă de tipul TCR, SCR, RQD, duritatea Mohs, au fost evaluate în teren pentru întreaga secvență de roci interceptate. Testele de compresiune monoaxială de tipul UCS (*Uniaxial Compressive Strength*) și PLT (*Point Load Strength*) au fost efectuate pentru formațiunea superioară de calcar până la adâncimea maxima de 30m CTN, așa după cum a fost solicitat în caietul de sarcini. Testele și încercările efectuate au indicat roci de o calitate scăzută pentru calcarul bioclastic.

Valorile de compresiune monoaxială din testul UCS indică o valoare statistică medie de 7,22 MPa (cu un minim înregistrat de 2,4 MPa și un maxim de 22,7 MPa). Testul PLT

indică o rezistență medie la compresiune monoaxială pentru o încărcare axială de 22,55 MPa și o încărcare de testare diametrală medie de 17,81 MPa.

Trebuie remarcat faptul că valorile înregistrate pentru RQD sunt slabe, având valori medii cuprinse între 35,82% și 44,23% pentru eșantioanele prelevate din forajele efectuate pentru zona SRM.

Categoria Geotehnică

Amplasamentul a fost încadrat în *categoria geotehnică 3* și considerat a fi un teren dificil pentru fundare (pământuri loessoide) căruia îi corespunde un risc geotehnic major.

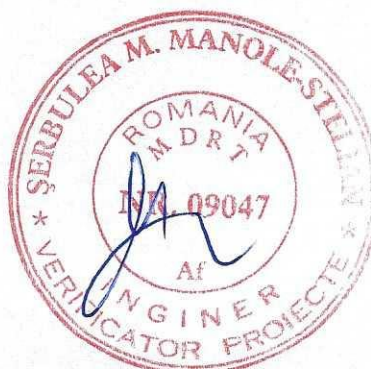
Investigații geotehnice suplimentare ulterioare vor oferi mai multe informații pentru o caracterizare geotehnică mai aprofundată a amplasamentului, astfel s-ar reduce riscul geotehnic asociat cu prezenta unor potențiale fenomene carstice din formațiunea de calcar (cavități de dizolvare în calcarul bioclastic). Aceste investigații ar trebui considerate în cazul unui proiect clasificat ca fiind inclus în *categoria geotehnică 3*.

Recomandări pentru lucrări ulterioare

În funcție de obiectivele propuse ale viitoarei investiții se recomandă completarea informației geotehnice existente în funcție de fazele determinante ale proiectului și efectuarea de investigații geotehnice suplimentare, care ar trebui să includă în program și monitorizarea nivelului apei subterane. De asemenea, teste geotehnice suplimentare de laborator pentru pământuri și roci pot fi necesare, iar acestea vor fi alese în funcție de natura și de tipul de construcție, soluției de fundare și vor fi abordate în continuare în timpul fazei de execuție ca parte a activității de proiectare geotehnică de detaliu.

Studiul geotehnic detaliat este recomandat în cazul prezenței accidentelor carstice sau a altor accidente subterane susceptibile, precum și în studiile de optimizare a soluțiilor de fundare.

Evaluarea și detalierea fenomenelor carstice va fi abordată în continuare în situația în care sistemul de fundare va interfera cu aceste formațiuni, o atenție deosebită se va acorda în special pentru sectorul reprezentat de microtunel pentru subtraversare liniei țărmului Marii Negre de către conducta de aducțiune gaze, unde lucrările de execuție vor interfera cu formațiunea de calcar.

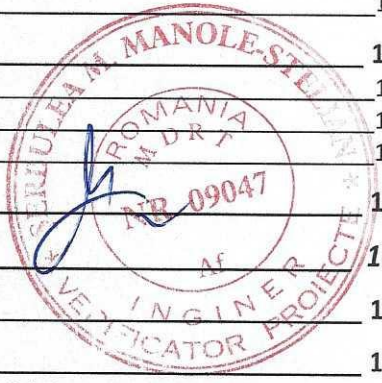


Cuprins

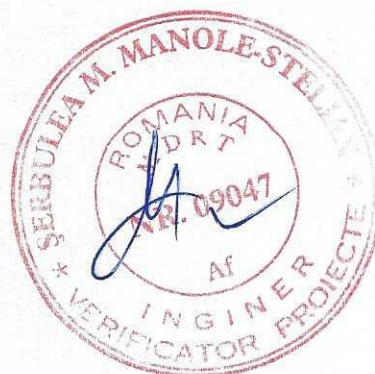
1	Introducere	17
1.1	Descrierea Generală a Proiectului	17
1.2	Scopul Lucrarilor și Tema de Proiectare	17
1.2.1	Activități de foraj și testare in situ pentru aliniamentul conductei	18
1.2.2	Activități de foraj și testare in situ pentru amplasamentul SRM	18
1.3	Clarificari privind Utilizarea Prezentei Raport	20
2	Caracteristici Generale ale Amplasamentului	21
2.1	Informații Preliminare Disponibile	21
2.2	Localizare Amplasament și Vecinătăți	21
2.3	Morfologia și Topografia locală	22
2.4	Geologia	22
2.4.1	Geologia regională	22
2.4.2	Geologia locală	23
2.5	Hidrologia și Hidrogeologia	23
2.5.1	Apele de suprafață	23
2.5.2	Apa subterană	24
2.6	Clima	24
2.6.1	Temperatura	24
2.6.2	Precipitațiile	24
2.6.3	Adâncimea de îngheț	25
2.6.4	Vânturile	26
2.7	Date Seismologice	27
2.8	Zone de Risc și Hazard Natural	29
2.8.1	Riscul la inundații	30
2.8.2	Riscul la alunecări de teren	30
3	Investigații de teren	32
3.1	Investigații de teren – Rezumat al activităților	32
3.1.1	Raționamentul investigațiilor și activitățile efectuate	32
3.2	Suportul topografic	34
3.3	Investigații geofizice – Detecție de utilități îngropate	34
3.4	Tehnică de foraj – instalație foraj Beretta T46	35
3.4.1	Foraj și metode de carotaj	37
3.4.2	Prelevarea probelor	37
3.4.3	Fișe primare de foraj	40
3.5	Foraje geotehnice – Teste in situ	40
3.5.1	Teste de penetrare standard în foraj tip SPT	40
3.5.2	Test cu penetrometrul de buzunar (PPT)	41
3.5.3	Test de forfecare cu palete – "Vane share"	42
3.5.4	Testul cu aparatul de forfecare cu palete de buzunar (Torvane)	43
3.5.5	Test de compresiune monoaxială (Point Load Test) pentru clasificarea rezistenței la compresiune a rocilor	44
3.6	Penetrare statică cu peizocon (CPTu)	45
3.6.1	Echipamente folosite pentru teste CPTu – instalație PAGANI 63-200	45



3.6.2	CPTu – Metodologie de lucru	47
3.6.3	Teste de disipare	47
3.6.4	Software utilizat în achiziția de date și interpretare	48
3.7	Teste de laborator geotehnic	48
3.8	Calibrări și verificări	50
4	Geologia amplasamentului	51
4.1	Secvențele litologice interceptate	51
4.2	Litologia & caracterizarea formațiunilor coezive	51
4.3	Formațiunea de roci - calcar	58
5	Caracterizarea Geotehnică a Amplasamentului	63
5.1	Loess – Clasificarea pământurilor sensibile la umezire	63
5.1.1	Caracteristici generale ale loessului ca și pământuri sensibile la umezire (PSU) NP125:2010	63
5.1.2	Clasificare PSU după criteriul granulometric	63
5.1.3	Identificarea PSU în funcție de proprietățile fizice	64
5.1.4	Identificarea PSU în funcție de comportamentul mecanic	67
5.2	Parametri geotehnici – Pământuri coezive	68
5.2.1	Clasificarea pământurilor pe baza distribuției granulometrice	69
5.2.2	Clasificare pământurilor în funcție de plasticitate	74
5.2.3	Parametrii fizici	79
5.2.4	Parametrii mecanici	89
5.2.5	Parametrii dinamici	93
5.3	Determinarea valorilor caracteristice și de calcul ale parametrilor geotehnici	95
5.4	Formațiunea de Roci – Proprietăți și Parametri	96
5.4.1	Indicele TCR	97
5.4.2	Indicele SCR	97
5.4.3	Indicele RQD	98
5.4.4	Testul de duritate Mohs	99
5.4.5	Rezistența la compresiune monoaxială pentru roci tari (UCS)	99
5.4.6	Compresiune monoaxială tip PLT	101
5.5	Teste de penetrare statică cu piezocon – CPTu	103
5.5.1	Investigații in situ tip CPTu	103
5.5.2	Evaluare potențialului la lichefiere din testele CPTu	104
5.5.3	Evaluarea tasărilor din datele CPTu	105
5.6	Apa subterană	106
6	Concluzii și Recomandări	108
6.1	Clasificarea în categoria geotehnică	108
6.2	Recomandări generale privind proiectarea fundațiilor	110
6.2.1	Recomandări generale privind fundare pe pământuri sensibile la umezire (PSU)	110
6.2.2	Proiectarea geotehnică a sistemelor de fundare pe PSU	110
6.2.3	Evaluarea zonelor deformabile	111
6.2.4	Presiunea convențională	111
6.2.5	Calculul terenului la starea limită de exploatare normală	112
6.2.6	Calculul terenului la starea limită ultimă	112
6.2.7	Măsuri constructive în cazul fundării pe PSU	112
6.2.8	Măsuri referitoare la construcții fundate pe PSU	113
6.2.9	Criterii pentru alegerea și gruparea măsurilor de limitare a mărimii tasărilor suplimentare prin umezire	113



6.2.10	Verificarea lucrărilor de construcții amplasate pe PSU	114
6.2.11	Monitorizarea construcțiilor și instalațiilor amplasate pe PSU	114



LISTA ANEXELOR

ANEXA 1 – PLAN DE SITUAȚIE AMPLASAMENT CU LOCAȚIILE INVESTIGAȚIILOR GEOTEHNICE

ANEXA 2 – FIȘE DE FORAJ

Secțiunea 1 – Fișe primare de foraj

Secțiunea 2 – Fișe complexe de foraj

ANEXA 3 – SECȚIUNI LITOLOGICE

Planșa 1 – Secțiune litologică longitudinală sud – nord, zona SRM

Planșa 2 – Secțiune litologică longitudinală vest – est, zona aliniamentului conductei

ANEXA 4 – REZULTATELE TESTELOR IN SITU

ANEXA 5 – TESTE DE DURITATE MOHS

ANEXA 6 – REZULTATELE TESTELOR RQD, TCR ȘI SCR

ANEXA 7 – REZULTATELE INCERCĂRILOR TIP POINT LOAD TEST

Secțiunea 1 – Rezultatele încercărilor tip Point Load Test

Secțiunea 2 – Documentație fotografică eşantioane încercări

ANEXA 8 – REZULTATE TESTE CPTu

Secțiunea 1 – Reprezentare grafică teste CPTu

Secțiunea 2 – Teste de disipare

Secțiunea 3 – Simulare calcul tasări din date CPTu (teoria elasticității)

ANEXA 9 – INREGISTRĂRI FOTOGRAFICE

ANEXA 10 – CENTRALIZATOR REZULTATE ÎNCERCĂRI DE LABORATOR

ANEXA 11 – RAPOARTE DE ÎNCERCĂRI / TESTE DE LABORATOR



Lista figurilor

Figura 1. Plan de situație cu distribuția punctelor de investigare în lungul aliniamentului propus al conductei de gaze.....	18
Figura 2. Plan de situație cu distribuția punctelor de investigare din zona amplasamentului SRM.....	19
Figura 3. Imagine satelitară cu vecinătățile și amplasamentul proiectului (sursa: Google Earth Pro).....	21
Figura 4. Zonarea valorii caracteristice a încărcării din zăpadă pe sol s_k , în KN/m^2 , pentru altitudini $A=1000\text{m}$, conform CR-1-1-3-2012.....	25
Figura 5. Harta cu distribuția adâncimii de îngheț conform STAS 6054-77.....	26
Figura 6. Harta cu distribuția valorilor de referință ale presiunii dinamice a vântului, q_b , în kPa având $\text{IMR}=50$ ani.....	26
Figura 7. Zonarea valorilor de vârf ale accelerației terenului pentru proiectare a_g cu $\text{IMR}=225$ ani și 20% probabilitate de depășire în 50 ani, conform normativului P 100-1/2013.....	27
Figura 8. Zonarea teritoriului în termeni de perioadă de control T_c , a spectrului de răspuns conform normativului P 100-1/2013.....	28
Figura 9. Harta zonării seismice a teritoriului României în conformitate cu STAS 11100/1-93.....	29
Figura 10. Zonarea teritoriului României la inundații, în conformitate cu Legea 575/2001.....	30
Figura 11. Macrozonarea teritoriului României din punct de vedere al riscului la alunecările de teren, în conformitate cu Legea 575/2001.....	31
Figura 12. Detecție de utilități îngropate înainte de începerea lucrărilor (locator electromagnetic și sondaj magnetometru).....	35
Figura 13. Instalația de foraj Beretta T46, prelevare de probe netulburate în formațiunea de loess (Shelby 101.6mm).....	36
Figura 14. Tipuri de echipamente utilizate pentru carotaj și prelevare probe în formațiuni tari, calcare (freze, coroane).....	37
Figura 15. Activitate de prelevare probe netulburate – prelevare probă din formațiunea de loess (Shelby 101.6mm).....	38
Figura 16. Lăzi depozitare carote și eșantioane pământuri cu secvențele litologice interceptate.....	39
Figura 17. Gestionarea probelor și a eșantioanelor; depozitare probe Shelby și pregătirea pentru transport.....	40
Figura 18. Test SPT, prelevare eșantioane cu ajutorul prelevatorului Raymond (tub "split barrel").....	41
Figura 19. Încercări de penetrare cu penetrometrul de buzunar pe probe netulburate.....	42
Figura 20. Efectuarea testului de forfecare cu palete, cu dispozitivul tip "Vane shear".....	43
Figura 21. Testul de forfecare cu palete cu aparatul portabil (torvane) pe probe netulburate.....	44
Figura 22. Efectuarea testelor de compresiune monoaxială tip PLT – "point load test" (specimen de calcar bioclastic).....	45
Figura 23. Efectuare test de penetrare cu piezocon - CPTu (locatie test: PP3).....	46
Figura 24. Secțiune litologică – profil caracteristic al terenului sud – nord pentru zona SRM (foraje BN1+BN4).....	52
Figura 25. Secțiune litologică – profil caracteristic al terenului vest – est pentru zona aliniamentului conductei (foraje BP1+BP5).....	53
Figura 26. Structură macroporică în formațiunea de loess, orizont 1 – foraj BN2 la 6m, proba SH3B.....	55
Figura 27. Loess friabil, uscat – subunitatea loess superior orizont 1, foraj BN,3 adâncimea 5m și 6m.....	55
Figura 28. Argilă brună /roșcată cu intercalații de paleosol (strat IV), macropori, materie organică (BN4, 11m).....	56
Figura 29. Argilă brună, brun-roșcată tare, friabilă, fisurată, cu înclinări de 45°, cu suprafețe lucioase de desprindere (oglinzi de fricțiune) în BN2, la 18,7m.....	57
Figura 30. Argilă roșie (reziduală) cu fragmente angulare de calcar, zona alterată de tranziție în forajul BN4 la 20,25m.....	58
Figura 31. Argila reziduală înglobată în formațiunea de calcar – interval de calcar alterat în forajul BN1 la 21,2m.....	59
Figura 32. Calcar bioclastic cu macrofosile cu goluri de dizolvare, intervale afectate de oxidare în forajul BN1 la 24,5m.....	59
Figura 33. Calcar argilos cu intercalații de argile verzi-cenușii în forajul BN1, la 33,5m.....	60
Figura 34. Zona de tranziție de la argile verzi la calcare organogene în forajul BN1 la 34,4m.....	60
Figura 35. Calcar oolitic compact alternând cu intervale friabile în forajul BN1 la 39m.....	60
Figura 36. Procese de fragmentare, fisuri, goluri și fenomene de dizolvare asociate carstului în formațiunea de calcar în forajul BN2 pentru intervalul 21m – 47m CTN.....	62
Figura 37. Reprezentarea grafică a procentului de praf în raport cu gradul de saturație (S_r) pentru zona SRM (valorile reprezintă adâncimea inferioară a probei, MSS=PSU).....	65

Figura 38. Reprezentarea grafică a procentului de praf în raport cu gradul de saturație (Sr) pentru zona aliniamentului conductei (valorile reprezintă adâncimea inferioară a probei, MSS=PSU).....	65
Figura 39. Reprezentarea grafică a procentului de praf în raport cu porozitatea pentru SRM (valorile reprezintă adâncimea inferioară a probei, MSS=PSU).....	66
Figura 40. Reprezentarea grafică a procentului de praf în raport cu porozitatea pentru zona aliniamentului conductei (valorile reprezintă adâncimea inferioară a probei, MSS=PSU).....	66
Figura 41. Clasificarea pământurilor pentru stratul (orizont) 1 – siCl (argilă prăfoasă) după SR EN ISO 14688-2:2005.....	69
Figura 42. Clasificarea pământurilor pentru stratul (orizont) 2 – Cl (argilă) după SR EN ISO 14688-2:2005.....	70
Figura 43. Clasificarea pământurilor pentru stratul (orizont) 3 – siCl (argilă prăfoasă) după SR EN ISO 14688-2:2005.....	71
Figura 44. Clasificarea pământurilor pentru stratul (orizont) 4 – Cl (argilă) după SR EN ISO 14688-2:2005.....	72
Figura 45. Distribuția fracției argiloase în raport cu adâncimea pentru zona SRM.....	73
Figura 46. Distribuția fracției argiloase în raport cu adâncimea pentru zona aliniamentului conductei.....	73
Figura 47. Graficul de plasticitate conform SR EN ISO 14688-2:2018.....	74
Figura 48. Graficul de plasticitate pentru forajul BN1 după SR EN ISO 14688-2:2018.....	75
Figura 49. Graficul de plasticitate pentru forajul BN2 după SR EN ISO 14688-2:2018.....	75
Figura 50. Graficul de plasticitate pentru forajul BN3 după SR EN ISO 14688-2:2018.....	76
Figura 51. Graficul de plasticitate pentru forajul BN4 după SR EN ISO 14688-2:2018.....	76
Figura 52. Graficul de plasticitate pentru forajul BP1 după SR EN ISO 14688-2:2018.....	77
Figura 53. Graficul de plasticitate pentru forajul BP2 după SR EN ISO 14688-2:2018.....	77
Figura 54. Graficul de plasticitate pentru forajul BP3 după SR EN ISO 14688-2:2018.....	78
Figura 55. Graficul de plasticitate pentru forajul BP4 după SR EN ISO 14688-2:2018.....	78
Figura 56. Graficul de plasticitate pentru forajul BP5 după SR EN ISO 14688-2:2018.....	79
Figura 57. Valorile rezistenței la compresiune monoaxială din teste de laborator – UCS în funcție de adâncime 100	
Figura 58. Valorile rezistenței la compresiune monoaxială din testele PLT în funcție de adâncime	103



Lista tabelelor

Tabel 1. Adâncimea de investigare a forajelor geotehnice și formațiunile interceptate în zona aliniamentului conductei	18
Tabel 2. Adâncimea de investigare a forajelor geotehnice și formațiunile interceptate în zona SRM	19
Tabel 3. Înregistrări ale nivelului apelor subterane în timpul investigațiilor geotehnice	24
Tabel 4. Inventarul testelor in situ de penetrare statica cu piezocon – CPTu – pentru SRM și aliniament conductă	32
Tabel 5. Tabel centralizator cu programul de investigare geotehnică prin foraje	33
Tabel 6. Inventar coordonate și elevatii pentru locațiile de testare CPTu - aliniament conductă și SRM	34
Tabel 7. Inventar coordonate și elevatii pentru locațiile forajelor geotehnice - aliniament conductă și SRM	34
Tabel 8. Program de testare pentru încercările de laborator efectuate	49
Tabel 9. Sumar cu secvențele stratigrafice interceptate pentru zona SRM (BN1+BN4)	52
Tabel 10. Sumar cu secvențele stratigrafice interceptate pentru zona aliniamentului conductei (BP1+BP5)	53
Tabel 11. Clasificarea depozitelor loessoide după compoziția granulometrică conform NP125:2010	64
Tabel 12. Valori statistice ale fracțiunii granulometrice pentru clasificarea loessurilor conform NP125:2010	64
Tabel 13. Clasificarea PSU în funcție de proprietățile fizice conform NP125:2010 - valori statistice	64
Tabel 14. Încadrarea pământurilor ca PSU în funcție de comportamentul mecanic pentru I_{mg} conform NP125:2010	68
Tabel 15. Valori procentuale pentru umiditate în stare naturală (w) pentru zona SRM	79
Tabel 16. Valori procentuale pentru umiditate în stare naturală (w) pentru zona aliniamentului conductei	80
Tabel 17. Clasificarea pământurilor în funcție de gradul de saturație (Sr) [9]	81
Tabel 18. Gradul de saturație (Sr) pentru zona SRM	81
Tabel 19. Gradul de saturație (Sr) pentru zona aliniamentului conductei	81
Tabel 20. Clasificarea pământurilor după indicele de plasticitate – I_p (SR EN ISO 14688-2:2005)	82
Tabel 21. Clasificarea pământurilor după indicele de consistență – I_c (SR EN ISO 14688-2:2018)	82
Tabel 22. Valori ale indicilor de plasticitate (I_p) și indici de consistență (I_c) pentru zona SRM	82
Tabel 23. Valori ale indicilor de plasticitate (I_p) și indici de consistență (I_c) pentru zona aliniamentului conductei	83
Tabel 24. Valori pentru indicele porilor (e) și porozitate (n) pentru zona SRM	84
Tabel 25. Valori pentru indicele porilor (e) și porozitate (n) pentru zona aliniamentului conductei	84
Tabel 26. Valori pentru greutate volumică (y) pentru zona SRM	85
Tabel 27. Valori pentru greutate volumică (y) pentru zona aliniamentului conductei	85
Tabel 28. Încadrarea potențialului de umflare a pământurilor pe baza proprietăților fizice conform NP126:2010	86
Tabel 29. Clasificarea potențialului de umflare a pământurilor pe baza proprietăților fizice pentru amplasamentul studiat	87
Tabel 30. Clasificarea pământurilor în funcție de conținutul de carbonați conform SR EN 14688-2:2018	87
Tabel 31. Valorile pH pentru probele de pământuri din amplasamentul studiat conform SR ISO 10390: 2015	88
Tabel 32. Conținutul de materie organică pentru probele de pământuri din amplasament conform ASTM D2974	88
Tabel 33. Parametrii de compresibilitate în edometru pentru zona SRM	89
Tabel 34. Parametrii de compresibilitate în edometru pentru zona aliniamentului conductei	90
Tabel 35. Inventar probe teste CRS efectuate în laborator Fugro UK	90
Tabel 36. Parametrii rezistenței la forfecare directă și triaxială pentru SRM	91
Tabel 37. Parametrii rezistenței la forfecare directă și triaxială pentru aliniament conductă	92
Tabel 38. Rezultatele testelor de compactare Proctor (normal)	93
Tabel 39. Inventar cu probele selectate pentru testele de coloană rezonantă	94
Tabel 40. Centralizator cu rezultatele încercărilor de triaxial ciclic - modulul de deformare longitudinală	94
Tabel 41. Valorile coeficientului k_n pentru un nivel de asigurare de 95% în stabilirea valorilor caracteristice	96
Tabel 42. Valorile caracteristice și de calcul pentru parametrii geotehnici conform NP122-2010	96
Tabel 43. Indicele TCR - valori statistice	97
Tabel 44. Indicele SCR - valori statistice	98
Tabel 45. Clasificarea calității rocilor în funcție de indicele RQD	98
Tabel 46. Valori statistice pentru RQD	98
Tabel 47. Duritatea rocilor în scara Mohs	99
Tabel 48. Rezistență la compresiune monoaxială tip UCS - rezultate și valori statistice	100
Tabel 49. Rezistență la compresiune monoaxială din testele PLT - rezultate și valori statistice	102

Tabel 50. Teste CPTu și testele de disipare	104
Tabel 51. Înregistrările nivelului apei subterane în foraje	107
Tabel 52. Analize chimice de laborator pentru probele de apă subterană	107
Tabel 53. Exemple de corelare a factorilor care determina riscul geotehnic, Tabel A1.4 din NP074/2014	108
Tabel 54. Încadrarea în categorii geotehnice, Tabel A1.5 din NP074/2014	109
Tabel 55. Încadrarea geotehnică a amplasamentului conform NP074/2014	109
Tabel 56. Valorile presiunii convenționale pentru PSU cu $S_r \leq 0.8$ conform NP125:2010	111



Lista standardelor și normativelor

- NP 074/2014 Normativ privind documentațiile geotehnice pentru construcții
- SR EN 1997-1:2004 Eurocod 7: Proiectarea geotehnică. Partea 1: Reguli generale
- SR EN 1997-2:2007 Eurocod 7: Proiectarea geotehnică. Partea 2: Investigarea și încercarea terenului
- NP 125:2010 Normativ privind fundarea construcțiilor pe pământuri sensibile la umezire
- NP 126:2010 Normativ privind fundarea construcțiilor pe pământuri cu umflări și contracții mari
- NP 112:2014 Normativ privind proiectarea fundațiilor de suprafață
- NP 122:2010 Normativ privind determinarea valorilor caracteristice și de calcul ale parametrilor geotehnici
- P 100-1/2013 Cod de proiectare seismică - Partea I - Prevederi de proiectare pentru clădiri
- CR-1-1-3/2012 Evaluarea acțiunii zăpezii asupra construcțiilor
- CR-1-1-4/2012 Cod de proiectare. Evaluarea acțiunii vântului asupra construcțiilor
- STAS 11100/1-93 Zonare seismică. Macrozonarea teritoriului României
- STAS 6054-77 Teren de fundare. Adâncimi maxime de îngheț. Zonarea teritoriului României
- SR EN ISO 22475-1:2007 Investigații și încercări geotehnice. Metode de prelevare și măsurări ale apei subterane. Partea 1: Principii tehnice pentru execuție
- SR EN ISO 22476-3:2006 Cercetări și încercări geotehnice. Încercări pe teren. Partea 3: Încercare de penetrare standard
- SR EN ISO 14688-2:2005 Cercetări și încercări geotehnice. Identificarea și clasificarea pământurilor. Partea 2: Principii pentru o clasificare
- SR EN ISO 14688-1:2018 Cercetări și încercări geotehnice. Identificarea și clasificarea pământurilor. Partea 2: Principii pentru o clasificare
- SR EN ISO 14688-2:2018 Cercetări și încercări geotehnice. Identificarea și clasificarea pământurilor. Partea 2: Principii pentru o clasificare
- STAS 1913/5-85 Teren de fundare. Determinarea granulozității
- STAS 1913/1-82 Teren de fundare. Determinarea umidității
- STAS 1913/4-86 Teren de fundare. Determinarea limitelor de plasticitate
- STAS 1913/2-76 Determinarea densității scheletului pământului
- STAS 1913/3-76 Teren de fundare. Determinarea densității pământurilor
- STAS 1913/6-76 Teren de fundare. Determinarea permeabilității în laborator
- STAS 8942/1-89 Teren de fundare. Determinarea compresibilității pământurilor prin încercarea în edometru
- STAS 8942/2-82 Teren de fundare. Determinarea rezistenței pământurilor la forfecare, prin încercarea de forfecare directă
- STAS 1913/13-83 Teren de fundare. Determinarea caracteristicilor de compactare. Încercarea Proctor
- SR EN ISO 17892-8 Investigații și încercări geotehnice. Încercări de laborator ale solului. Partea 8: Încercare triaxială neconsolidată nedrenată
- SR EN ISO 17892-9 Investigații și încercări geotehnice. Încercări de laborator ale solului. Partea 9: Încercări consolidate de compresiune triaxială ale solurilor saturate cu apă
- C 241-92 Metodologia de determinare a caracteristicilor dinamice ale terenului de fundare (triaxial ciclic și coloană rezonantă)
- SR ISO 10390:2015 Calitatea solului. Determinarea pH-ului
- SR EN ISO 10523:2012 Calitatea apei. Determinarea pH-ului
- SR EN 13577:2007 Atac chimic asupra betonului. Determinarea conținutului de dioxid de carbon agresiv din apă
- SR ISO 7150-1:2001 Calitatea apei. Determinarea conținutului de amoniu. Partea 1: Metoda spectrometrică manuală
- SR EN ISO 7980:2002 Calitatea apei. Determinarea conținutului de calciu și magneziu. Metoda prin spectrometrie de absorbție atomică
- SR ISO 9297:2001 Calitatea apei. Determinarea conținutului de cloruri. Titrare cu azotat de argint utilizând cromatul ca indicator (Metoda Mohr)
- ASTM D 4220 Standard Practices for Preserving and Transporting Soil Samples / Practici standard pentru conservarea și transportul probelor de sol
- ASTM D 2113 Standard Practice for Rock Core Drilling and Sampling of Rock for Site Exploration / Practică standard pentru forarea în formațiunile de rocă și eșantionarea rocii pentru explorarea amplasamentului
- ASTM D 6032 – 17 Standard Test Method for Determining Rock Quality Designation (RQD) of Rock Core / Metoda standard de testare pentru determinarea calității rocilor (RQD) a carotelor de rocă
- ASTM D 1587 / D1587M – 15 Standard Practice for Thin-Walled Tube Sampling of Fine-Grained Soils for Geotechnical Purposes / Practică standard pentru eșantionarea pământurilor coezive cu ajutorul tuburilor cu pereți subțiri în scopuri geotehnice
- ASTM D2488 – 17e1: Standard Practice for Description and Identification of Soils (Visual-Manual Procedures) / Practică standard pentru descrierea și identificarea solurilor (proceduri vizuale descriptive)
- ASTM D1586 Standard Test Method for Standard Penetration Test (SPT) and Split-Barrel Sampling of Soils / Metodă standard de testare pentru testul de penetrare dinamică standard (SPT) și eșantionarea cu ajutorul prelevatorului tip Raymond)
- ASTM D5778 Standard Test Method for Electronic Friction Cone and Piezocone Penetration Testing of Soils / Metoda standard de testare pentru testul de penetrare statică cu con electric și piezocon (CPTu) a solurilor
- ASTM D2573 – 18: Standard Test Method for Field Vane Shear Test in Saturated Fine-Grained Soils

ASTM D8121 – Standard Test Method for Approximating the Shear Strength of Cohesive Soils by the Handheld Vane Shear / Metoda standard de testare pentru determinarea rezistenței la forfecare cu ajutorul aparatului de forfecare portabil în soluri cu granulație fină saturată

ASTM D7263 – 09: Standard Test Methods for Laboratory Determination of Density (Unit Weight) of Soil Specimens / Metode standard de testare pentru determinarea în laborator a densității și a greutății volumice a probelor de sol

ASTM D5731: Standard Test Method for Determination of the Point Load Strength Index of Rock and Application to Rock Strength Classifications / Metoda standard de testare pentru determinarea indicelui de rezistență la încărcare cu sarcină punctuală a carotelor rocii și aplicații în clasificările de rezistență a rocilor

ASTM D2974 – 20e1: Standard Test Methods for Determining the Water (Moisture) Content, Ash Content, and Organic Material of Peat and Other Organic Soils / Metode standard de testare pentru determinarea conținutului de apă (umiditate), conținut de cenușă și material organic din turbă și alte soluri organice

ASTM D2938 – 95 Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Intact Rock Core Specimens / Metoda standard de testare pentru rezistența la compresiune a probelor pe carote de rocă

Legea 575/2001 privind aprobarea Planului de amenajare a teritoriului național - Secțiunea a V-a Zone de risc natural.

Lista simbolurilor și abrevierilor

Simbol	Unitate	Descrier
a_g	[m / s ²]	Accelația terenului pentru proiectare
a_v	1 / kPa	Coeeficient de compresibilitate
B	m	Lățimea fundației
CTN	[m]	Cotă teren natural
c	[kPa]	Coeziune
c'	[kPa]	Coeziune în condiții drenate
c_u	[kPa]	Coeziune nedrenată
c_v	[cm ² /s]	Coeeficient de consolidare
CU	-	Consolidate nedrenate
CD	-	Consolidate drenat
Cl	-	Argila (Clay)
$clSi$	-	Praf argilos (Clayey silt)
$clGr$	-	Pietriș argilos (Clayey gravel)
$clSa$	-	Nisip argilos (Clayey sand)
d	[mm]	Diametrul probei
D_e^2	[mm ²]	Diametrul echivalent al carotei
D_f	[m]	Adâncimea de fundare
e	-	Indicele porilor
E_{oed}	[kPa]	Modul de deformare edometric
g	[m/s ²]	Accelație gravitațională
Gr	-	Pietriș (Gravel)
$grCl$	-	Argila cu pietriș (Gravelly clay)
$grclSa$	-	Nisip argilos cu pietriș (Gravelly clayey sand)
$grclSi$	-	Praf argilos cu pietriș (Gravelly clayey silt)
$grSa$	-	Nisip cu pietriș (Gravelly sand)
$grsaCl$	-	Argilă nisipoasă cu pietriș (Gravelly sandy clay)
$grsaclS$	-	Pământ argilos nisipos cu pietriș (Gravelly sandy clayey soil)
$grsaSi$	-	Praf nisipos cu pietriș (Gravelly sandy silt)
$grsasiS$	-	Pământ prăfos nisipos cu pietriș (Gravelly sandy silty soil)
$grSi$	-	Praf cu pietriș (Gravelly silt)
$grsiCl$	-	Argila prăfoasă cu pietriș (Gravelly silty clay)
$grsiSa$	-	Nisip prăfos cu pietriș (Gravelly silty sand)
h_0, h	[mm]	Înălțimea probei
I_A	-	Indice de activitate
I_c	-	Indice de consistență
i_{m3}, i_{m300}	[%]	Indicele tasării specifice la umezire pentru treapta de 300 kPa
i_{mig}	cm	Tasarea suplimentară prin umezire sub sarcina geologică
i_{mp}	cm	Tasarea suplimentară prin umezire sub încărcarea transmisă de fundații
i_{mo}	%	Indice tasare suplimentară prin umezire pentru o valoare sigma
I_p	[%]	Indice de plasticitate
I_s	MPa	Indice compresiune Point Load Test (Uncorrected Point Load Strength Index)
k	[cm/s]	Coeeficient de permeabilitate
M_{2-3}	[kPa]	Modulul de deformare edometrica trepte de presiune 200-300kPa
m_d	[mm]	Masa materialului în stare uscata
m_w	[mm]	Masa materialului în stare umedă
n	[%]	Porozitate
NMN	m	Nivel Marea Neagra
p_c	[kPa]	Efort de preconsolidare
p_u	[kPa]	Presiune de umflare
P	[Kn]	Presiune de cedare

p_{conv}	[kPa]	Presiune convențională
p_{cr}	kPa	Presiunea critică
PLT	-	Încercare de compresiune monoaxială tip Point Load Test
PSU	-	Pământuri sensibile la umezire
RQD	-	Acronim pentru Rock Quality Designation
s	[kPa]	Componenta sferică a reprezentării drumului de efort în coordonate M.I.T
s'	[kPa]	Componenta sferică efectivă a reprezentării drumului de efort în coordonate M.I.T
S_r	-	Gradul de saturație
S_c	[MPa]	Rezistența la compresiune monoaxială
Sa	-	Nisip (Sand)
saCl	-	Argilă nisipoasă (Sandy clay)
saClGr	-	Pietriș nisipos argilos (Sandy clayey gravel)
saClSi	-	Praf nisipos argilos (Sandy clayey silt)
saGr	-	Pietriș nisipos (Sandy gravel)
sagrCl	-	Argilă nisipoasă cu pietriș (Sandy gravelly clay)
sagrClS	-	Pământ argilos nisipos cu pietriș (Sandy gravelly clayey soil)
sagrSi	-	Praf nisipos cu pietriș (Sandy gravelly silt)
sagrsiS	-	Pământ prăfos nisipos cu pietriș (Sandy gravelly silty soil)
saSi	-	Praf nisipos (Sandy silt)
sasiCl	-	Argilă nisipoasă prăfoasă (Sandy silty clay)
sasiGr	-	Pietriș nisipos prăfos (Sandy silty gravel)
Si	-	Praf (Silt)
siCl	-	Argilă prăfoasă (Silty clay)
siGr	-	Pietriș prăfos (Silty gravel)
siSa	-	Nisip prăfos (Silty sand)
SRM	-	Stație de reglare și măsurare gaze naturale
t	[kPa]	Componenta deviatoare a reprezentării drumului de efort în coordonate M.I.T
TCR	-	Total Core Recovery (recuperaj total de carota raportat la un marș)
UCS	[MPa]	Rezistența la compresiune monoaxială (Uniaxial Compressive Strength)
UU	-	Neconsolidat nedrenat (Unconsolidated Undrained)
u	[kPa]	Presiune apei din pori (Pore water pressure)
U_L	[%]	Umflare liberă (Free swell)
v	[mm/min]	Viteza de forfecare
V	[mm ³]	Volumul
w	[%]	Umiditatea
w_L	[%]	Limita superioară de plasticitate (Liquid Limit)
w_p	[%]	Limita inferioară de plasticitate (Plastic Limit)
x_k^{inf}	-	Valoarea caracteristică inferioară
x_k^{sup}	-	Valoarea caracteristică superioară
β	[°]	Unghi de frecare internă în coordonatele în coordonate M.I.T.
β'	[°]	Unghi de frecare internă efectiv în coordonate M.I.T.
ϵ_{axial}	[%]	Deformație axială
ρ	[g/cm ³]	Densitatea în stare naturală
ρ_d	[g/cm ³]	Densitate în stare uscată
ρ_s	[g/cm ³]	Densitatea schelet mineral
ϕ	[°]	Unghi de frecare internă
ϕ'	[°]	Unghi de frecare internă în condiții drenate
γ	[kN/m ³]	Greutate volumică
γ_d	[kN/m ³]	Greutate volumică în stare uscată
γ_s	[kN/m ³]	Greutate volumică a scheletului mineral
γ_{sat}	[kN/m ³]	Greutate volumică în stare saturată
$\Delta\sigma, q$	[kPa]	Efort deviator

Lista standardelor și normativelor

- NP 074/2014 Normativ privind documentațiile geotehnice pentru construcții
- SR EN 1997-1:2004 Eurocod 7: Proiectarea geotehnică. Partea 1: Reguli generale
- SR EN 1997-2:2007 Eurocod 7: Proiectarea geotehnică. Partea 2: Investigarea și încercarea terenului
- NP 125:2010 Normativ privind fundarea construcțiilor pe pământuri sensibile la umezire
- NP 126:2010 Normativ privind fundarea construcțiilor pe pământuri cu umflări și contracții mari
- NP 112:2014 Normativ privind proiectarea fundațiilor de suprafață
- NP 122:2010 Normativ privind determinarea valorilor caracteristice și de calcul ale parametrilor geotehnici
- P 100-1/2013 Cod de proiectare seismică - Partea I - Prevederi de proiectare pentru clădiri
- CR-1-1-3/2012 Evaluarea acțiunii zăpezii asupra construcțiilor
- CR-1-1-4/2012 Cod de proiectare. Evaluarea acțiunii vântului asupra construcțiilor
- STAS 11100/1-93 Zonare seismică. Macrozonarea teritoriului României
- STAS 6054-77 Teren de fundare. Adâncimi maxime de îngheț. Zonarea teritoriului României
- SR EN ISO 22475-1:2007 Investigații și încercări geotehnice. Metode de prelevare și măsurări ale apei subterane. Partea 1: Principii tehnice pentru execuție
- SR EN ISO 22476-3:2006 Cercetări și încercări geotehnice. Încercări pe teren. Partea 3: Încercare de penetrare standard
- SR EN ISO 14688-2:2005 Cercetări și încercări geotehnice. Identificarea și clasificarea pământurilor. Partea 2: Principii pentru o clasificare
- SR EN ISO 14688-1:2018 Cercetări și încercări geotehnice. Identificarea și clasificarea pământurilor. Partea 2: Principii pentru o clasificare
- SR EN ISO 14688-2:2018 Cercetări și încercări geotehnice. Identificarea și clasificarea pământurilor. Partea 2: Principii pentru o clasificare
- STAS 1913/5-85 Teren de fundare. Determinarea granulozității
- STAS 1913/1-82 Teren de fundare. Determinarea umidității
- STAS 1913/4-86 Teren de fundare. Determinarea limitelor de plasticitate
- STAS 1913/2-76 Determinarea densității scheletului pământului
- STAS 1913/3-76 Teren de fundare. Determinarea densității pământurilor
- STAS 1913/6-76 Teren de fundare. Determinarea permeabilității în laborator
- STAS 8942/1-89 Teren de fundare. Determinarea compresibilității pământurilor prin încercarea în edometru
- STAS 8942/2-82 Teren de fundare. Determinarea rezistenței pământurilor la forfecare, prin încercarea de forfecare directă
- STAS 1913/13-83 Teren de fundare. Determinarea caracteristicilor de compactare. Încercarea Proctor
- SR EN ISO 17892-8 Investigații și încercări geotehnice. Încercări de laborator ale solului. Partea 8: Încercare triaxială neconsolidată nedrenată
- SR EN ISO 17892-9 Investigații și încercări geotehnice. Încercări de laborator ale solului. Partea 9: Încercări consolidate de compresiune triaxială ale solurilor saturate cu apă
- C 241-92 Metodologia de determinare a caracteristicilor dinamice ale terenului de fundare (triaxial ciclic și coloană rezonantă)
- SR ISO 10390:2015 Calitatea solului. Determinarea pH-ului
- SR EN ISO 10523:2012 Calitatea apei. Determinarea pH-ului
- SR EN 13577:2007 Atac chimic asupra betonului. Determinarea conținutului de dioxid de carbon agresiv din apă
- SR ISO 7150-1:2001 Calitatea apei. Determinarea conținutului de amoniu. Partea 1: Metoda spectrometrică manuală
- SR EN ISO 7980:2002 Calitatea apei. Determinarea conținutului de calciu și magneziu. Metoda prin spectrometrie de absorbție atomică
- SR ISO 9297:2001 Calitatea apei. Determinarea conținutului de cloruri. Titrare cu azotat de argint utilizând cromatul ca indicator (Metoda Mohr)
- ASTM D 4220 Standard Practices for Preserving and Transporting Soil Samples / Practici standard pentru conservarea și transportul probelor de sol
- ASTM D 2113 Standard Practice for Rock Core Drilling and Sampling of Rock for Site Exploration / Practică standard pentru forarea în formațiunile de rocă și eșantionarea rocii pentru explorarea amplasamentului
- ASTM D 6032 – 17 Standard Test Method for Determining Rock Quality Designation (RQD) of Rock Core / Metoda standard de testare pentru determinarea calității rocilor (RQD) a carotelor de rocă
- ASTM D 1587 / D1587M – 15 Standard Practice for Thin-Walled Tube Sampling of Fine-Grained Soils for Geotechnical Purposes / Practică standard pentru eșantionarea pământurilor coezive cu ajutorul tuburilor cu pereți subțiri în scopuri geotehnice
- ASTM D2488 – 17e1: Standard Practice for Description and Identification of Soils (Visual-Manual Procedures) / Practică standard pentru descrierea și identificarea solurilor (proceduri vizuale descriptive)
- ASTM D1586 Standard Test Method for Standard Penetration Test (SPT) and Split-Barrel Sampling of Soils / Metodă standard de testare pentru testul de penetrare dinamică standard (SPT) și eșantionarea cu ajutorul prelevatorului tip Raymond)
- ASTM D5778 Standard Test Method for Electronic Friction Cone and Piezocone Penetration Testing of Soils / Metoda standard de testare pentru testul de penetrare statică cu con electric și piezocon (CPTu) a solurilor
- ASTM D2573 – 18: Standard Test Method for Field Vane Shear Test in Saturated Fine-Grained Soils

ASTM D8121 – Standard Test Method for Approximating the Shear Strength of Cohesive Soils by the Handheld Vane Shear / Metoda standard de testare pentru determinarea rezistenței la forfecare cu ajutorul aparatului de forfecare portabil în soluri cu granulație fină saturată

ASTM D7263 – 09: Standard Test Methods for Laboratory Determination of Density (Unit Weight) of Soil Specimens / Metode standard de testare pentru determinarea în laborator a densității și a greutății volumice a probelor de sol

ASTM D5731: Standard Test Method for Determination of the Point Load Strength Index of Rock and Application to Rock Strength Classifications / Metoda standard de testare pentru determinarea indicelui de rezistență la încărcare cu sarcină punctuală a carotelor rocii și aplicații în clasificările de rezistență a rocilor

ASTM D2974 – 20e1: Standard Test Methods for Determining the Water (Moisture) Content, Ash Content, and Organic Material of Peat and Other Organic Soils / Metode standard de testare pentru determinarea conținutului de apă (umiditate), conținut de cenușă și material organic din turbă și alte soluri organice

ASTM D2938 – 95 Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Intact Rock Core Specimens / Metoda standard de testare pentru rezistența la compresiune a probelor pe carote de rocă

Legea 575/2001 privind aprobarea Planului de amenajare a teritoriului național - Secțiunea a V-a Zone de risc natural.

Lista simbolurilor și abrevierilor

Simbol	Unitate	Descrier
a_g	$[m / s^2]$	Accelerația terenului pentru proiectare
a_v	$1 / kPa$	Coeficient de compresibilitate
B	m	Lățimea fundației
CTN	$[m]$	Cotă teren natural
c	$[kPa]$	Coeziune
c'	$[kPa]$	Coeziune în condiții drenate
c_u	$[kPa]$	Coeziune nedrenată
c_v	$[cm^2 / s]$	Coeficient de consolidare
CU	-	Consolidate nedrenate
CD	-	Consolidate drenat
Cl	-	Argila (Clay)
$clSi$	-	Praf argilos (Clayey silt)
$clGr$	-	Pietriș argilos (Clayey gravel)
$clSa$	-	Nisip argilos (Clayey sand)
d	$[mm]$	Diametrul probei
D_{e^2}	$[mm^2]$	Diametrul echivalent al carotei
D_f	$[m]$	Adâncimea de fundare
e	-	Indicele porilor
E_{oed}	$[kPa]$	Modul de deformare edometric
g	$[m/s^2]$	Accelerație gravitațională
Gr	-	Pietriș (Gravel)
$grCl$	-	Argila cu pietriș (Gravelly clay)
$grclSa$	-	Nisip argilos cu pietriș (Gravelly clayey sand)
$grclSi$	-	Praf argilos cu pietriș (Gravelly clayey silt)
$grSa$	-	Nisip cu pietriș (Gravelly sand)
$grsaCl$	-	Argilă nisipoasă cu pietriș (Gravelly sandy clay)
$grsaclS$	-	Pământ argilos nisipos cu pietriș (Gravelly sandy clayey soil)
$grsaSi$	-	Praf nisipos cu pietriș (Gravelly sandy silt)
$grsasiS$	-	Pământ prăfos nisipos cu pietriș (Gravelly sandy silty soil)
$grSi$	-	Praf cu pietriș (Gravelly silt)
$grsiCl$	-	Argila prăfoasă cu pietriș (Gravelly silty clay)
$grsiSa$	-	Nisip prăfos cu pietriș (Gravelly silty sand)
h_0, h	$[mm]$	Înălțimea probei
I_A	-	Indice de activitate
I_c	-	Indice de consistență
i_{m3}, i_{m300}	$[\%]$	Indicele tasării specifice la umezire pentru treapta de 300 kPa
I_{mg}	cm	Tasarea suplimentară prin umezire sub sarcina geologică
I_{mp}	cm	Tasarea suplimentară prin umezire sub încărcarea transmisă de fundații
$i_{m\sigma}$	$\%$	Indice tasare suplimentară prin umezire pentru o valoare sigma
I_p	$[\%]$	Indice de plasticitate
I_s	MPa	Indice compresiune Point Load Test (Uncorrected Point Load Strength Index)
k	$[cm/s]$	Coeficient de permeabilitate
M_{2-3}	$[kPa]$	Modulul de deformare edometrică trepte de presiune 200-300kPa
m_d	$[mm]$	Masa materialului în stare uscată
m_w	$[mm]$	Masa materialului în stare umedă
n	$[\%]$	Porozitate
NMN	m	Nivel Marea Neagra
p_c	$[kPa]$	Efort de preconsolidare
p_u	$[kPa]$	Presiune de umflare
P	$[Kn]$	Presiune de cedare

p_{conv}	[kPa]	Presiune convențională
p_{cr}	kPa	Presiunea critică
PLT	-	Încercare de compresiune monoaxială tip Point Load Test
PSU	-	Pământuri sensibile la umezire
RQD	-	Acronim pentru Rock Quality Designation
s	[kPa]	Componenta sferică a reprezentării drumului de efort în coordonate M.I.T
s'	[kPa]	Componenta sferică efectivă a reprezentării drumului de efort în coordonate M.I.T
S_r	-	Gradul de saturație
S_c	[MPa]	Rezistența la compresiune monoaxială
Sa	-	Nisip (Sand)
saCl	-	Argilă nisipoasă (Sandy clay)
saClGr	-	Pietriș nisipos argilos (Sandy clayey gravel)
saClSi	-	Praf nisipos argilos (Sandy clayey silt)
saGr	-	Pietriș nisipos (Sandy gravel)
sagrCl	-	Argilă nisipoasă cu pietriș (Sandy gravelly clay)
sagrClS	-	Pământ argilos nisipos cu pietriș (Sandy gravelly clayey soil)
sagrSi	-	Praf nisipos cu pietriș (Sandy gravelly silt)
sagrsiS	-	Pământ prăfos nisipos cu pietriș (Sandy gravelly silty soil)
saSi	-	Praf nisipos (Sandy silt)
sasiCl	-	Argilă nisipoasă prăfoasă (Sandy silty clay)
sasiGr	-	Pietriș nisipos prăfos (Sandy silty gravel)
Si	-	Praf (Silt)
siCl	-	Argilă prăfoasă (Silty clay)
siGr	-	Pietriș prăfos (Silty gravel)
siSa	-	Nisip prăfos (Silty sand)
SRM	-	Stație de reglare și măsurare gaze naturale
t	[kPa]	Componenta deviatoare a reprezentării drumului de efort în coordonate M.I.T
TCR	-	Total Core Recovery (recuperaj total de carota raportat la un marș)
UCS	[MPa]	Rezistența la compresiune monoaxială (Uniaxial Compressive Strength)
UU	-	Neconsolidat nedrenat (Unconsolidated Undrained)
u	[kPa]	Presiune apei din pori (Pore water pressure)
U_L	[%]	Umflare liberă (Free swell)
v	[mm/min]	Viteza de forfecare
V	[mm ³]	Volumul
w	[%]	Umiditatea
w_L	[%]	Limita superioară de plasticitate (Liquid Limit)
w_p	[%]	Limita inferioară de plasticitate (Plastic Limit)
x_k^{inf}	-	Valoarea caracteristică inferioară
x_k^{sup}	-	Valoarea caracteristică superioară
β	[°]	Unghi de frecare internă în coordonatele în coordonate M.I.T.
β'	[°]	Unghi de frecare internă efectiv în coordonate M.I.T.
ε_{axial}	[%]	Deformație axială
ρ	[g/cm ³]	Densitatea în stare naturală
ρ_d	[g/cm ³]	Densitate în stare uscată
ρ_s	[g/cm ³]	Densitatea schelet mineral
ϕ	[°]	Unghi de frecare internă
ϕ'	[°]	Unghi de frecare internă în condiții drenate
γ	[kN/m ³]	Greutate volumică
γ_d	[kN/m ³]	Greutate volumică în stare uscată
γ_s	[kN/m ³]	Greutate volumică a scheletului mineral
γ_{sat}	[kN/m ³]	Greutate volumică în stare saturată
$\Delta\sigma, q$	[kPa]	Efort deviator

1 Introducere

1.1 DESCRIEREA GENERALĂ A PROIECTULUI

Geoservices & Tehnic Consulting S.R.L. a fost solicitat de către Halcrow Romania S.R.L. / JACOBS în numele ExxonMobil Exploration and Production Romania Limited, să efectueze investigații geotehnice pentru proiectul Neptun Deep pe amplasamentul situat în localitatea Tuzla, județul Constanța, România și care reprezintă amplasamentul propus de construire a SRM și a conductei de aducțiune gaze, de pe uscat.

Investigațiile geotehnice au inclus efectuarea de teste statice de penetrare cu piezocon (CPTu), execuția de foraje geotehnice, teste in situ și încercări/teste de laborator geotehnic.

Obiectivul investigațiilor geotehnice a fost acela de a caracteriza condițiile geotehnice și de realizare a unui profil litologic a formațiunilor de pământuri și roci în zona amplasamentului propus pentru construirea SRM. În realizarea investigațiilor s-a avut ca obiectiv și identificarea și delimitarea potențialelor fenomene de carst care ar putea fi prezente în formațiunile calcaroase din adâncime în zona amplasamentului propus pentru construirea SRM și de-a lungul coridorului conductei de aducțiune gaze.

1.2 SCOPUL LUCRARILOR ȘI TEMA DE PROIECTARE

Scopul lucrărilor este acela de a furniza informații cu privire la condițiile din amplasament obținute din investigațiile geotehnice efectuate, necesare în activitățile ulterioare de proiectare și construcție a SRM și a aliniamentului conductei de aducțiune gaze de pe uscat (*onshore*).

Investigațiile geotehnice au constatat în efectuarea următoarelor tipuri de activități:

- Evaluarea formațiunilor litologice, cât și a condițiilor acestora;
- Investigații de teren pentru identificarea și clasificarea formațiunilor interceptate;
- Încercări/teste de teren (*in situ*) pentru stabilirea proprietăților fizice și mecanice ale pământurilor din amplasament de tipul: CPTu, SPT, teste cu penetrometrul de buzunar și cu aparatul de forfecare portabil tip „*vane shear*”, torvane;
- Prelevarea de probe netulburate și tulburate pentru examinare vizuală și pentru testările geotehnice de laborator;
- Prelevarea de probe de apă subterană pentru analize chimice de laborator;
- Clasificarea și evaluarea eșantioanelor și carotelor utilizând diagrama de culori Munsell;
- Evaluarea și clasificarea formațiunii de roca (calcar) recuperate din foraje având la baza RQD, TCR, SCR;
- Încercări/teste de laborator geotehnic;
- Activități de raportare și pregătire a studiului geotehnic.

Geoservices & Tehnic Consulting a efectuat un număr de 9 foraje geotehnice la adâncimi cuprinse între 15m și 50m CTN, așa cum este prezentat în *Anexa 1. Plan de situație amplasament cu locațiile investigațiilor geotehnice*.

Programul de investigare a luat în considerare două sectoare de investigare principale în conformitate cu dezvoltarea proiectului propus, respectiv: zona SRM și sectorul aferent aliniamentului conductei de gaze de pe uscat.

1.2.1 Activități de foraj și testare in situ pentru aliniamentul conductei

Programul de investigare geotehnică propus pentru aliniamentul conductei a constat în efectuarea a 5 foraje geotehnice la adâncimi cuprinse între 15m și 20 m CTN.

Distribuția spațială a forajelor geotehnice de-a lungul aliniamentului conductei a fost orientată est-vest, urmând un aliniament cu un interspațiu de aproximativ 200m între foraje, alternând cu testele de penetrare statica CPTu poziționate între acestea, urmând același raționament, astfel că distanța dintre oricare tip de investigație a fost de aproximativ 100m.

Tabel 1. Adâncimea de investigare a forajelor geotehnice și formațiunile interceptate în zona aliniamentului conductei

Nr.	Denumire foraj	Adâncime foraj (m)	Foraj în formațiuni coezive (m)	Foraj în formațiuni de rocă (m)
1	BP1	15	15	0
2	BP2	15	15	0
3	BP3	15	15	0
4	BP4	15	15	0
5	BP5	20	16,9	3,1

În Tabelul 1 este prezentat un inventar cu forajele geotehnice pentru aliniamentul conductei în care este menționată adâncimea de foraj și tipul formațiunilor principale interceptate. În Anexa 1 este prezentată detaliat localizarea forajelor în relație cu elemente caracteristice ale amplasamentului, iar în Figura 1 de mai jos este prezentată o distribuție schematică a forajelor geotehnice alternativ cu testele CPTu în lungul aliniamentului conductei.

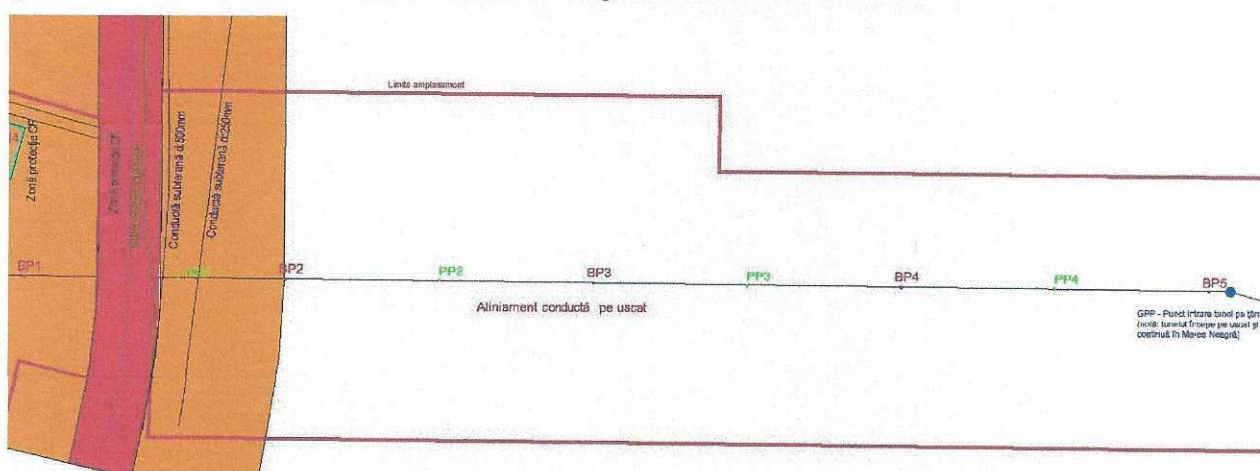


Figura 1. Plan de situație cu distribuția punctelor de investigare în lungul aliniamentului propus al conductei de gaze

1.2.2 Activități de foraj și testare in situ pentru amplasamentul SRM

Programul de investigare geotehnică pentru amplasamentul SRM a constat în efectuarea a 4 foraje geotehnice până la adâncimea de 50m CTN și 4 teste de penetrare statica cu piezocon tip CPTu, acestea din urmă fiind localizate adiacent forajelor geotehnice.

Forajele BN1 ÷ BN4 sunt situate în limita reprezentată de amplasarea obiectivului viitoarei SRM, care include construirea unui centru de control și a unor facilități specifice tipului obiectivului (cameră de control centralizat, cameră tehnică echipamente, platformă tehnologică, gară primire godevil, coș de dispersie gaze, drumuri interioare și alei, parcare, bazin de apă curată, skid pentru încălzitoare, post trafo, bazin colectare apă pluvială, căi de acces și împrejurimi). Construcția SRM va fi realizată în partea de vest a căii ferate, forajele fiind distribuite preponderent pe direcția NE – SV, astfel încât să acopere zona întregului obiectiv, cu o distanță medie între punctele de investigare de aproximativ 50m între foraje

BN1, BN2 și BN3. Forajul BN4 a fost realizat în zona propusă pentru amplasarea viitoarei camere de control centralizat, la o distanță de aproximativ 100m față de forajul BN3.

Tabel 2. Adâncimea de investigare a forajelor geotehnice și formațiunile interceptate în zona SRM

Nr.	Denumire foraj	Adâncime foraj (m)	Foraj în formațiuni coezive (m)	Foraj în formațiuni de roca (m)
1	BN1	50	20	30
2	BN2	50	20,15	29,85
3	BN3	50	20	30
4	BN4	50	20,25	29,75

În Tabelul 2 este prezentat un inventar cu forajele geotehnice realizate în zona obiectivelor SRM, fiind menționată adâncimea de foraj și tipul formațiunilor principale interceptate. În Anexa 1 este prezentată detaliat localizarea forajelor în relație cu elemente caracteristice ale amplasamentului, iar în Figura 2 de mai jos este prezentată o distribuție schematică a forajelor geotehnice alternativ cu testele CPTu realizate în zona SRM.

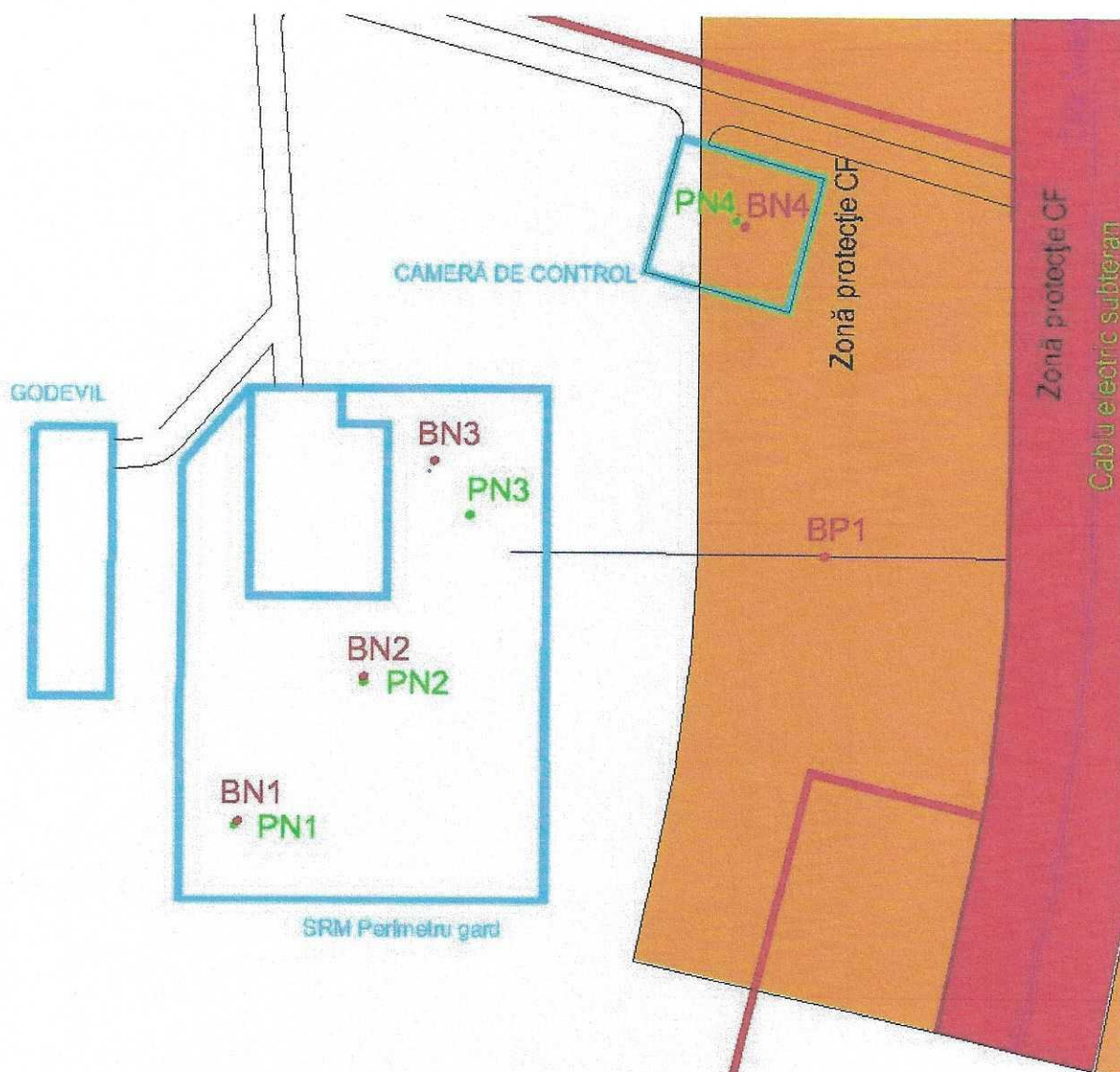


Figura 2. Plan de situație cu distribuția punctelor de investigare din zona amplasamentului SRM

1.3 CLARIFICARI PRIVIND UTILIZAREA PREZENTULUI RAPORT

INTERPRETAREA CONDIȚIILOR AMPLASAMENTULUI: descrierile formațiunilor stratigrafice interceptate (coezive, necoezive, roci) sau a altor materiale, precum și afirmații referitoare la starea lor, făcute în acest raport se bazează pe condițiile de amplasament întâlnite în momentul efectuării lucrărilor și la locațiile specifice de testare și / sau adâncimilor de eșantionare și probare. Clasificările și afirmațiile referitoare la condițiile în care acestea au fost făcute au fost în conformitate cu practicile acceptate în mod normal, care sunt evaluative de natură; nici o descriere specifică nu trebuie considerată exactă, ci mai degrabă reflectă comportamentul anticipat al materialului. Extrapolarea condițiilor de testare in situ nu poate fi făcută decât într-o măsură limitată dincolo de locațiile punctelor de prelevare sau de testare. Extinderea interpretării acestor caracteristici în afara locațiilor testate depinde direct de variabilitatea condițiilor de strat a formațiunilor traversate și a condițiilor reprezentate de prezenta apelor subterane, influențate de procesele geologice, activitatea de construcție și utilizarea amplasamentului.

CONDITII VARII SAU NEAȘTEPTATE: Informațiile prezentate în prezentul raport, inclusiv fișele de foraj, desenele, schițele, tabelele, planșele sau figurile, reprezintă condițiile straturilor și secvența litologică interceptată la data efectuării investigațiilor și se referă exclusiv la locațiile testate. Formațiunile stratigrafice și condițiile amplasamentului și din subsolul acestuia pot fi diferite în cadrul zonelor investigate și ele se pot schimba în timp din cauza activităților din apropiere sau a unor fenomene naturale.

PLANIFICARE, PROIECTARE SAU CONSTRUCȚIE: Planurile de dezvoltare sau proiectare și specificațiile acestora ar trebui să fie revizuite suficient înainte de inițierea etapei următoare a proiectului (de exemplu înainte de începerea construcției), pentru a confirma că acest raport abordează complet specificul proiectului elaborat și că, conținutul acestui raport a fost corect interpretat. Serviciile de asigurare a calității de specialitate (observații pe teren și testări) în timpul construcției sunt o parte necesară a evaluării condițiilor subsolului și a lucrărilor de pregătire necesare proiectului. Lucrările de teren și măsurile necesare a fi luate referitoare la recomandările incluse în acest raport, trebuie efectuate numai în prezența unui inginer geotehnician calificat.

Studiul geotehnic redactat în limba română reprezintă traducerea și adaptarea versiunii din limba engleză predată către Client și Beneficiar, acceptată în forma sa din data de 27.08.2020; referință document: "GEOTECHNICAL STUDY for NEPTUN DEEP PROJECT", Tuzla, Constanta County, România.

2 Caracteristici Generale ale Amplasamentului

2.1 INFORMAȚII PRELIMINARE DISPONIBILE

Informații generale referitoare la condițiile geologice generale, morfologia regională sau locală, condițiile hidrogeologice și hidrologice au fost obținute din documentații specifice, date publice, publicații, baza de date a companiei noastre sau alte surse relevante. Aceste informații au fost completate cu observații de teren, interpretări ale datelor colectate și prezentate în prezentul raport.

2.2 LOCALIZARE AMPLASAMENT ȘI VECINĂȚĂȚI

Amplasamentul studiat este situat în comuna Tuzla, județul Constanța, România, administrativ aparținând comunei Tuzla, fiind în apropierea țărmului Mării Negre și a localității Costinești. Limita administrativ-teritorială între stațiunea Costinești și localitatea Tuzla este situată în imediata vecinătate a limitei de sud a proprietății.

Amplasamentul investigat este situat la aproape 30km distanță de municipiul Constanța spre nord și la aproape 20km distanță de municipiul Mangalia situat către sud.

Accesul la amplasament se face din drumul comunal DC4 care leagă localitatea Tuzla de Costinești, acesta fiind paralel cu calea ferată Constanța - Mangalia. DC4 și calea ferată traversează amplasamentul de la nord la sud, împărțindu-l astfel în cele două obiective majore ale proiectului, respectiv amplasamentul aferent SRM spre vest și aliniamentul conductei de gaze, situat spre est.

În *Figura 3* este prezentată o imagine satelitară cu vecinătățile proiectului și dezvoltarea propusă, în timp ce un plan detaliat de amenajare cu detalii cadastrale, administrative și topografice și detaliile proiectului, inclusiv locațiile de testare, sunt prezentate în *Anexa 1*.



Figura 3. Imagine satelitară cu vecinătățile și amplasamentul proiectului (sursa: Google Earth Pro)

Vecinătățile amplasamentului sunt:

- Est – Marea Neagră;
- Vest – teren agricol și livadă, urmată de Drumul Național DN39 (Drumul European E87) și Aeroportul Tuzla la aproape 2,3km distanță pe direcția nord-vest;
- Sud – teren agricol în imediata apropiere, urmat de parcele de teren agricol și proprietăți rezidențiale aparținând localității Costinești;
- Nord – teren agricol în imediata apropiere, urmat de localitatea Tuzla la aproximativ 2km distanță și Lacul Techirghiol la mai puțin de 4km distanță.

2.3 MORFOLOGIA ȘI TOPOGRAFIA LOCALĂ

Din punct de vedere geomorfologic, amplasamentul este situat în Podișul Dobrogei de Sud, subunitatea Podișului Mangalia. Topografia locală a amplasamentului este reprezentată în principal de o zonă relativ plană, cu cea mai mare altitudine înregistrată în zona testului PN1, căreia îi corespunde altitudinea de 31,88m, iar înclinarea generală a pantei este spre țărmul Mării Negre către est, cu cea mai mică cotă înregistrată pentru punctul investigat BP5, corespunzătoare altitudinii de 21,90m.

Sectorul nordic al țărmului Mării Negre reprezintă cea mai mobilă parte a țărmului românesc în ceea ce privește eroziunea / depunerea sedimentelor. Procesele complexe de eroziune a țărmului sunt combinate cu fluctuații periodice ale nivelului apei Mării Negre și cantitatea de sedimente transportate de fluviul Dunăre și redistribuite de-a lungul țărmului de curenții și valurile Mării Negre. În ultimii ani a fost în derulare un proiect de remediere și reducere a eroziunii țărmului în cadrul căruia s-au realizat lucrări de protecție a litoralului și al taluzului / terasamentului falezii înalte în care sunt prezente depozitele de loess de lângă țărm.

Proiectul actual se referă exclusiv la zona aferentă construcției SRM și a aliniamentului conductei situat între amplasamentul SRM și locul de începere a micro-tunelului de subtraversare a țărmului. Prezentul scop de lucrări nu are ca obiect de studiu linia de coastă și nici zona din largul Mării Negre.

2.4 GEOLOGIA

2.4.1 Geologia regională

Ca parte integrantă a Platformei Moesice, sectorul Dobrogei de Sud are două unități structurale majore dezvoltate în zonă, reprezentate de formațiuni aparținând depozitelor sedimentare care acoperă formațiunea rocii de bază cristaline.

Formațiunile cristaline ale rocii de bază care apar adiacent zonei investigate sunt reprezentate de roci metamorfice (gnais, greywacke și șisturi), formațiuni de vârstă proterozoică - cambriană și formațiuni sedimentare care acoperă rocile metamorfice, formate din gresii și calcare, de vârstă jurasică - cretacică. Grosimea formațiunilor de roci aferente platformei este estimată între 3000 - 4000m [2] [4] și acoperită discordant de depozite sedimentare de diferite perioade începând cu Paleozoic, Mezozoic și Neozoic.

Formațiunile sedimentare aparțin perioadei cuaternare caracterizate prin depozite terigene. Subunitatea de vârstă holocenă este reprezentată de depozite aluviale și coluviale, în timp ce depozitele de loess formate în Pleistocen pot avea grosimi regionale de până la 40m [3]. Procesele de sedimentare din Holocen reprezintă o parte a proceselor gravitaționale dezvoltate în depozite de loess care au fost erodate, modificate și transportate ulterior la baza versanților și văilor unde se acumulează, iar în apropierea zonei de coastă au o componentă mai nisipoasă.

Oscilația nivelului Mării Negre în perioada cuaternară se suprapune cu perioadele glaciare și interglaciare. O scădere importantă a nivelului mării cu aproape 180m corespunde regresiei din perioada Würm cu aproape 11 500 - 11 700 de ani în urmă, în timp ce perioada de transgresiune a depășit nivelul actual al mării cu aproape 4m, iar această perioadă corespunde genezei lacului Techirghiol [3].

Tectonica regională este reprezentată de două direcții principale pentru falii din zona: direcția vest-est corespunzătoare faliei Cernavodă – Constanța, falia Rasova – Costinești, falia Mangalia Nord, falia Mangalia, respectiv pe direcția NNE – SSV care corespunde a două falii mai mici dezvoltate în cadrul celor menționate mai sus.

Procese tectonice actuale sunt caracterizate de fenomene de subsidență cu o valoare medie de subsidență cuprinsă între 1 și 3 mm/an [5] [6].

2.4.2 Geologia locală

Secvența litologică interceptată în foraje corespunde stratigrafiei și condițiilor anticipate și descrise în Harta Geologică a României [7] [8].

Geologia locală este reprezentată în principal de partea acoperitoare, respectiv reprezentate de solul vegetal, (grosime de până la 1m) urmat de depozite de loess de vârstă pleistocenă cu grosimi de până la 17m, urmate de sau cu intercalații roșiatice de straturi de paleosol din perioadele interglaciare.

Depozitele de argilă roșie sunt dezvoltate atât pe calcarele Sarmațiene, cât și asociate cu procesele de formare a loessului, tranziția fiind dezvoltată treptat, ceea ce face dificilă separarea acestor orizonturi.

Formațiunea de rocă este reprezentată în cadrul amplasamentului analizat de formațiuni carstificate de vârstă Sarmațian superior și Khersonian, reprezentată de calcare, calcare compacte, marne argiloase cenușii, afectate de fenomene carstice (goluri și fisuri) umplute de argile roșii. Sarmațianul superior (Bessarabian) corespunde calcarelor lumașelice, calcarelor oolitice, nisipurilor și argilelor, depozite care la rândul lor sunt afectate de fenomene carstice (goluri și fisuri) și umplute cu argile roșii.

Depozitele cuaternare sunt reprezentate de depozite de loess pleistocene cu grosimi medii de 20 – 25m, care acoperă formațiunea calcaroasă sarmațiană. Formațiunea de calcar sarmațiană poate fi observată în apropierea amplasamentului, chiar sub nivelul mării, lângă linia țărmului.

Secvența litologică locală întâlnită în timpul lucrărilor de foraj și investigație corespunde stratigrafiei și condițiilor geologice anticipate indicate în Harta Geologică a României [7] [8].

2.5 HIDROLOGIA ȘI HIDROGEOLOGIA

2.5.1 Apele de suprafață

Amplasamentul este situat în apropierea țărmului Mării Negre, având cel mai apropiat punct de investigare (BP5) situat la aproape 270m distanță de linia țărmului spre partea estică a amplasamentului, în timp ce lacul Techirghiol este situat la aproape 4km distanță spre nord (fata de locația forajului BN4).

Marea Neagră este o mare salmastră, meromictică, marginală, cu o suprafață totală de aproximativ 423 488 km² și cu o salinitate medie de aproximativ 16-18‰.

Adâncimea maximă a Mării Negre atinge 2 212m, cu o adâncime medie de 1 271m. Valurile mareice au amplitudini reduse, de aproximativ 12cm.

Litoralul românesc are o lungime totală de 245km, între granițele Ucrainei în nord și granița Bulgariei în sud.

2.5.2 Apa subterană

Caracteristicile hidrogeologice generale ale zonei sunt clasificate după cum urmează:

- Principalul corp de apă transfrontalieră aparține acviferului identificat ca *RODL04 Cobadin-Mangalia*, dezvoltat în sistemul carstic și fisural; și
- Corpul freatic de apă *RODL05 din Dobrogea Centrală* care se dezvoltă în cadrul formațiunilor permeabile poroase (sursa: www.rowater.ro).

Principalul corp de apă subterană de mică adâncime este reprezentat de acviferul din Sarmațian. Acviferul local cu nivel liber este situat mai jos de formațiunea pleistocenă în depozitele de calcar sarmațiene (Volhinian, Bessarabian și Khersonian) care are o ușoară înclinare spre est și reprezintă principala sursă de apă potabilă pentru majoritatea localităților de la sud de Eforiei [11]. Baza acviferului este reprezentat de cretă și formațiuni senoniene prezente mai jos de depozitele sarmațiene. În partea sa superioară, acviferul este acoperit de depozite loessoide permeabile și ocazional de formațiuni argiloase impermeabile.

Sursa de reîncărcare a acviferului este reprezentată în principal de precipitații și ocazional de pierderi din sistemele de irigații agricole (sezonier în unele zone).

În timpul lucrărilor de investigare, apa subterană a fost interceptată în 5 foraje, la adâncimi cuprinse între 0,18m și 0,91 m (nivel absolut), așa cum este prezentat în *Tabelul 3*.

Tabel 3. Înregistrări ale nivelului apelor subterane în timpul investigațiilor geotehnice

Nivel înregistrat pentru apa subterană din foraj			
Nr. crt	Nume foraj	Adâncime relativă (CTN) (m)	Nivel absolut (NMN) (m)
1	BN1	31,1	0,9
2	BN2	31	0,91
3	BN3	31,2	0,74
4	BN4	30,9	0,87
5	BP5	19,45	0,18

Detalii cu înregistrările nivelului apei subterane în timpul lucrărilor de investigare sunt indicate în fisele primare de foraj prezentate în *Anexa 2: Secțiunea 1 – Fise primare de foraj*.

2.6 CLIMA

2.6.1 Temperatura

Zona investigată este caracterizată de un climat continental temperat moderat, influențat de vecinătatea Mării Negre.

Temperaturile statistice anuale pentru intervalul 2007 - 2012 înregistrate la stația meteorologică Constanța sunt următoarele (sursa: apmct.anpm.ro)

- Temperatura medie: +11,7° C (Celsius);
- Cea mai mare valoare maximă: +38,5° C, înregistrată la 23.07.2007;
- Cea mai mică valoare înregistrată: -17,8° C înregistrată la 25.01.2010.

2.6.2 Precipitațiile

Precipitațiile medii anuale din zona Constanței indică valori de 400 - 500mm, depășind ocazional 500mm.

Înregistrările statistice anuale de precipitații pentru intervalul 2007 - 2012 la stația meteorologică Constanța sunt următoarele (*sursa: apmct.anpm.ro*):

- Regimul mediu de precipitații: 411,5mm;
- Cea mai mare valoare maximă: 583,3mm înregistrată în anul 2010;
- Cea mai mică valoare înregistrată: 380,4mm înregistrată în anul 2008.

Prima zăpadă cade de obicei în primele zile ale lunii decembrie, iar ultima zăpadă este așteptată în ultimele zile ale lunii martie.

Încărcarea din zăpadă la suprafața solului, în conformitate cu normativului tehnic CR-1-1-3/2012 - „Cod de proiectare. Evaluarea acțiunii zăpezii asupra construcțiilor. Evaluarea acțiunii zăpezii asupra construcțiilor” corespunde valorii de 1.5 KN/m² având în vedere efectul zăpezii asupra proiectării construcției (Figura 4).

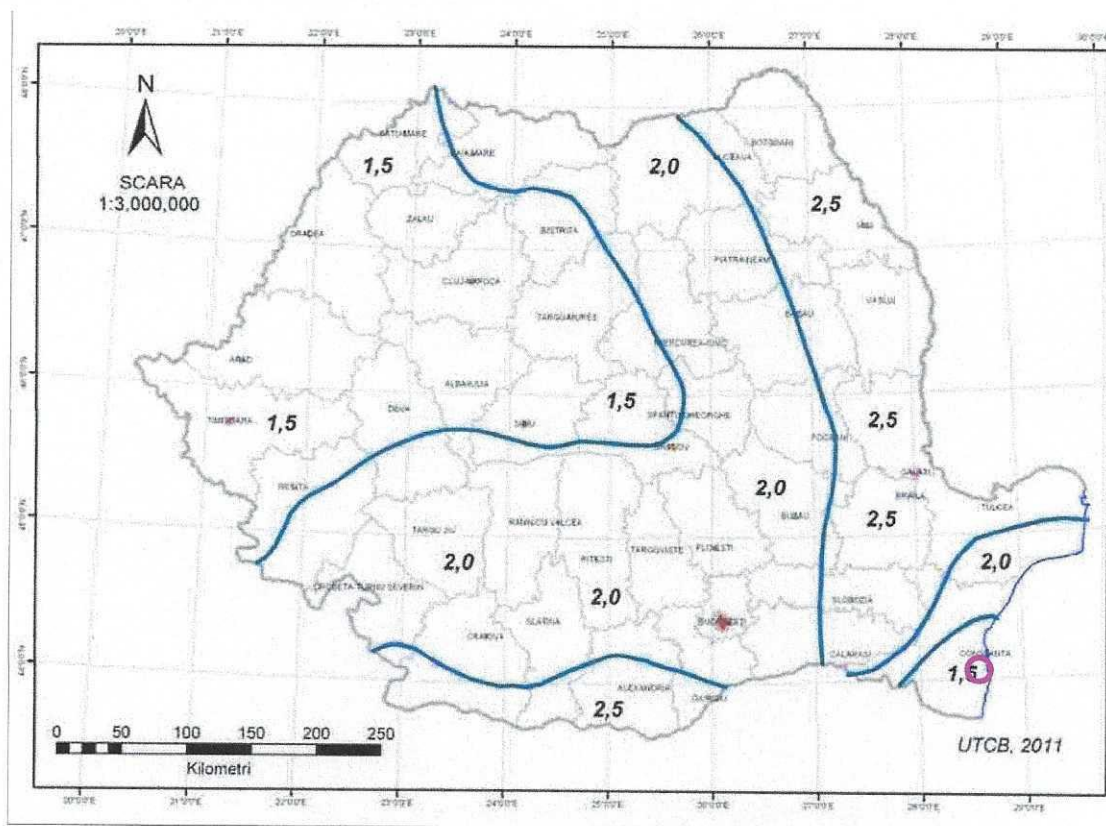



Figura 4. Zonarea valorii caracteristice a încărcării din zăpadă pe sol S_k , în KN/m², pentru altitudini $A=1000m$, conform CR-1-1-3-2012

2.6.3 Adâncimea de îngheț

În conformitate cu prevederile standardului STAS 6054-77 77 - „Teren de fundare – Adâncimi maxime de îngheț – Zonarea Teritoriului României” privind proiectarea fundațiilor, având în vedere adâncimea de îngheț, amplasamentul este situat într-o zonă unde adâncimea de îngheț corespunde intervalului 70 - 80cm (Figura 5), unde zona hașurată  corespunde zonelor pentru care se stabilesc adâncimi maxime de îngheț pe baza observațiilor locale.

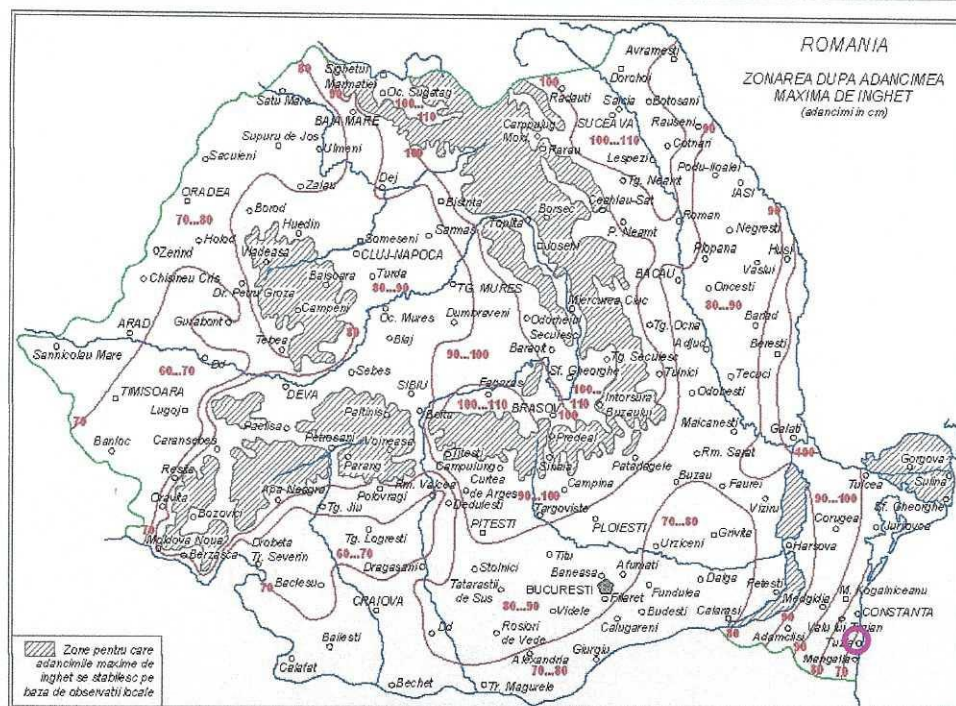


Figura 5. Harta cu distribuția adâncimii de îngheț conform STAS 6054-77

2.6.4 Vânturile

Direcțiile dominante ale vântului, în Costinești, sunt predominant dinspre nord către nord-est. Valorile de referință pentru presiunea dinamică a vântului este de 0,5 kPa, în conformitate cu CR-1-1-4/2012 – „Cod de proiectare. Evaluarea acțiunii vântului asupra construcțiilor”(Figura 6).

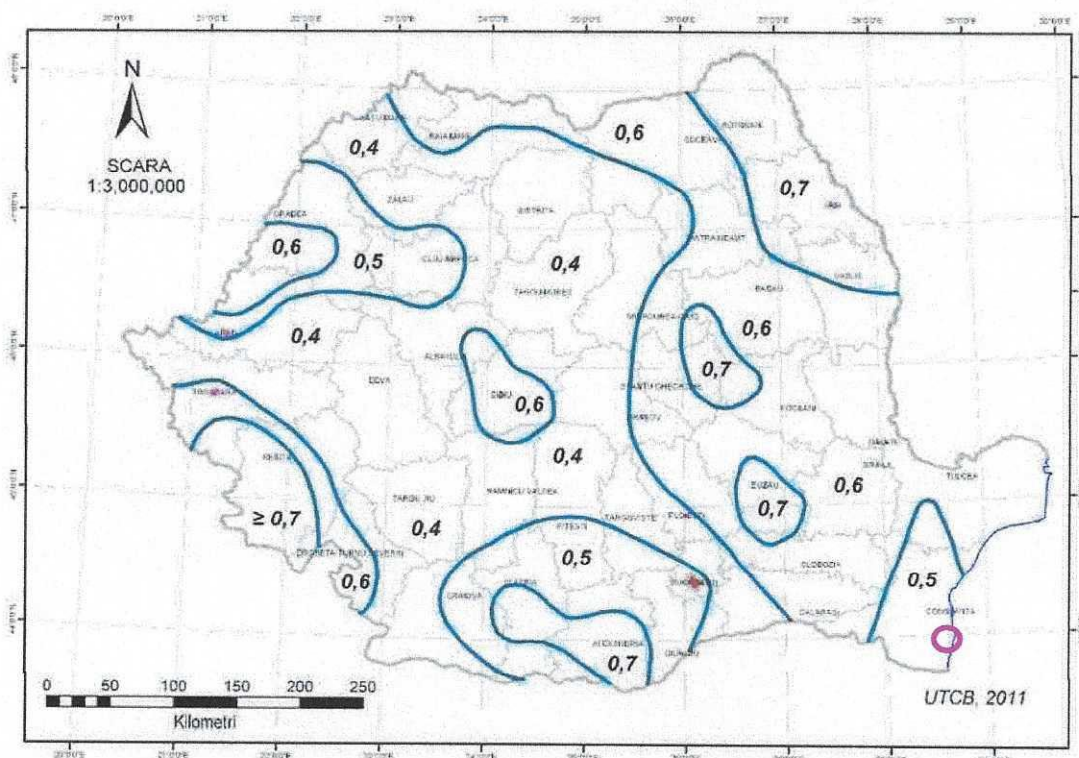


Figura 6. Harta cu distribuția valorilor de referință ale presiunii dinamice a vântului, q_b în kPa având IMR=50 ani

3 Investigații de teren

3.1 INVESTIGAȚII DE TEREN – REZUMAT AL ACTIVITĂȚILOR

3.1.1 Raționamentul investigațiilor și activitățile efectuate

Programul de investigare geotehnică a inclus efectuarea a 8 teste de penetrare statică cu con și măsurarea presiunii apei cu o forță de apăsare de 20 de tone, urmat de execuția a 9 foraje geotehnice de prospecțiune, cu adâncimi cuprinse între 15 – 50m față de CTN.

Investigațiile de teren au fost concepute astfel încât să ofere informații relevante pentru caracterizarea geotehnică a amplasamentului.

Planul de situație cu localizarea punctelor de investigare este prezentat în *Anexa 1*.

Programul de investigații geotehnice a inclus teste de penetrare statică cu piezocon tip CPTu și câte un test de disipare pentru fiecare locație, așa cum sunt prezentate în *Tabelul 4*.

Tabel 4. Inventarul testelor in situ de penetrare statica cu piezocon – CPTu – pentru SRM și aliniament conductă

Denumire Test	Test de penetrare statică cu piezocon				Test de disipare		
	Data și perioada de timp			Adâncime finală	Adâncimea de început	Ora începerii testului de disipare	Ora de finalizare a testului disipare
	Data	Începere	Finalizare				
	[z:l]	[hh:mm]	[hh:mm]				
PN1	16 septembrie	11:13	14:32	12,62	9.57	11:18	14:24
PN2	13 septembrie	10:24	13:18	14.78	9.50	10:38	13:05
PN3	12 septembrie	10:44	14:16	13,40	9.50	10:59	14:06
PN4	11 septembrie	10:37	14:25	12,55	8.50	10:50	13:57
PP1	30 septembrie	15:10	16:36	14,79	8.50	15:22	16:23
PP2	10 septembrie	12:58	16:37	14,25	10.67	13:16	16:29
PP3	10 septembrie	10:27	10:59	12,70	9.50	10:42	10:50
PP4	9 septembrie	12:08	13:36	13,98	8.61	12:26	13:22

Testele de penetrare statică au fost efectuate înainte de începerea forajelor geotehnice. Testele CPTu au fost concepute în principal pentru a fi utilizate pentru efectuarea profilului litologic și vin în completarea informațiilor obținute din forajele geotehnice. De asemenea, au avut ca scop identificarea unor potențiale goluri și interceptarea formațiunii de roci. În fiecare test de penetrare statică a fost efectuat câte un test de disipare la adâncimi evaluate în timpul efectuării încercărilor.

Programul de investigare geotehnică care cuprinde foraje geotehnice, inclusiv regimul de probare, eșantionare, evaluare și testare in situ sunt sintetizate în *Tabelul 5*.

2.7 DATE SEISMOLOGICE

În conformitate cu normativul tehnic P 100-1/2013, (Cod de proiectare seismică - Partea I - Prevederi de proiectare pentru clădiri, publicat în Monitorul Oficial al României, partea 1, Nr. 558 bis/3.IX.2013), intrat în vigoare de la 1 ianuarie 2014, pentru amplasamentul analizat situat în localitatea Tuzla, valoarea de vârf a accelerației orizontale a terenului $a_g = 0.20g$ determinată pentru intervalul mediu de recurență $IMR = 225$ ani și 20% probabilitate de depășire în 50 ani, având perioada de control (colt) a spectrului de răspuns $T_c = 0.7s$ (Figura 7 și Figura 8).

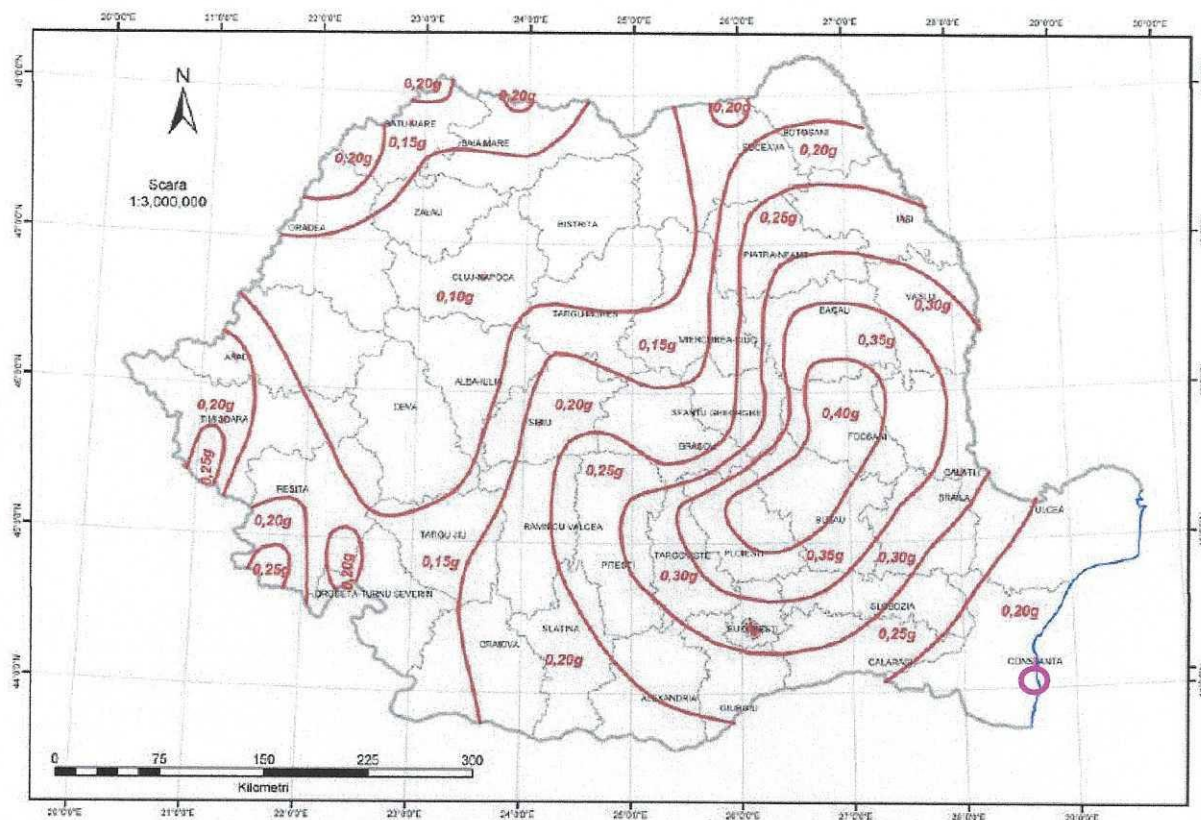


Figura 7. Zonarea valorilor de vârf ale accelerației terenului pentru proiectare a_g cu $IMR = 225$ ani și 20% probabilitate de depășire în 50 ani, conform normativului P 100-1/2013

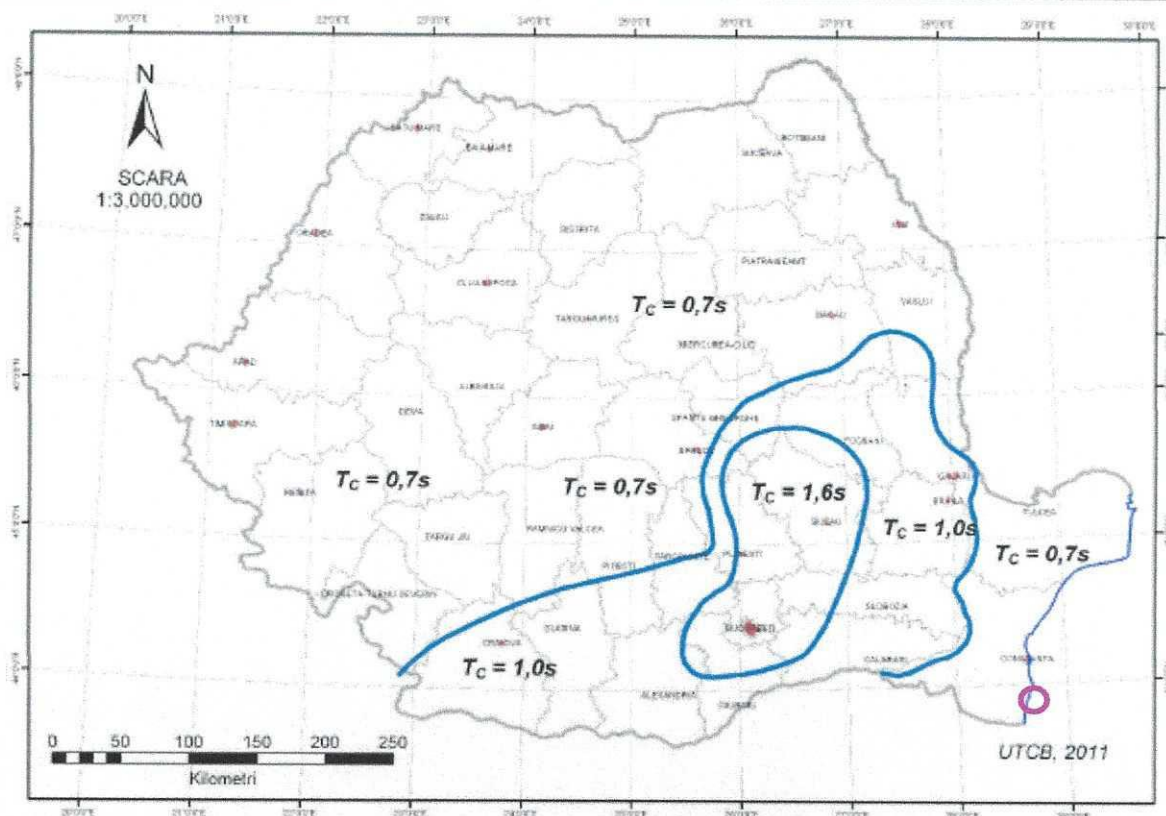


Figura 8. Zonarea teritoriului în termeni de perioadă de control T_c , a spectrului de răspuns conform normativului P 100-1/2013

Din punct de vedere seismic, amplasamentul se încadrează macroseismic în zona $I = 7_1$ în scara MSK, unde indicele "1" corespunde unei perioade medii de revenire de 50 de ani, iar indicele "2" corespunde unei perioade medii de revenire de 100 de ani în conformitate cu STAS 11100/1-93 și Legea 575/2001 – „Planul de amenajare a teritoriului național – Secțiunea V – Zone de risc” (Figura 9).

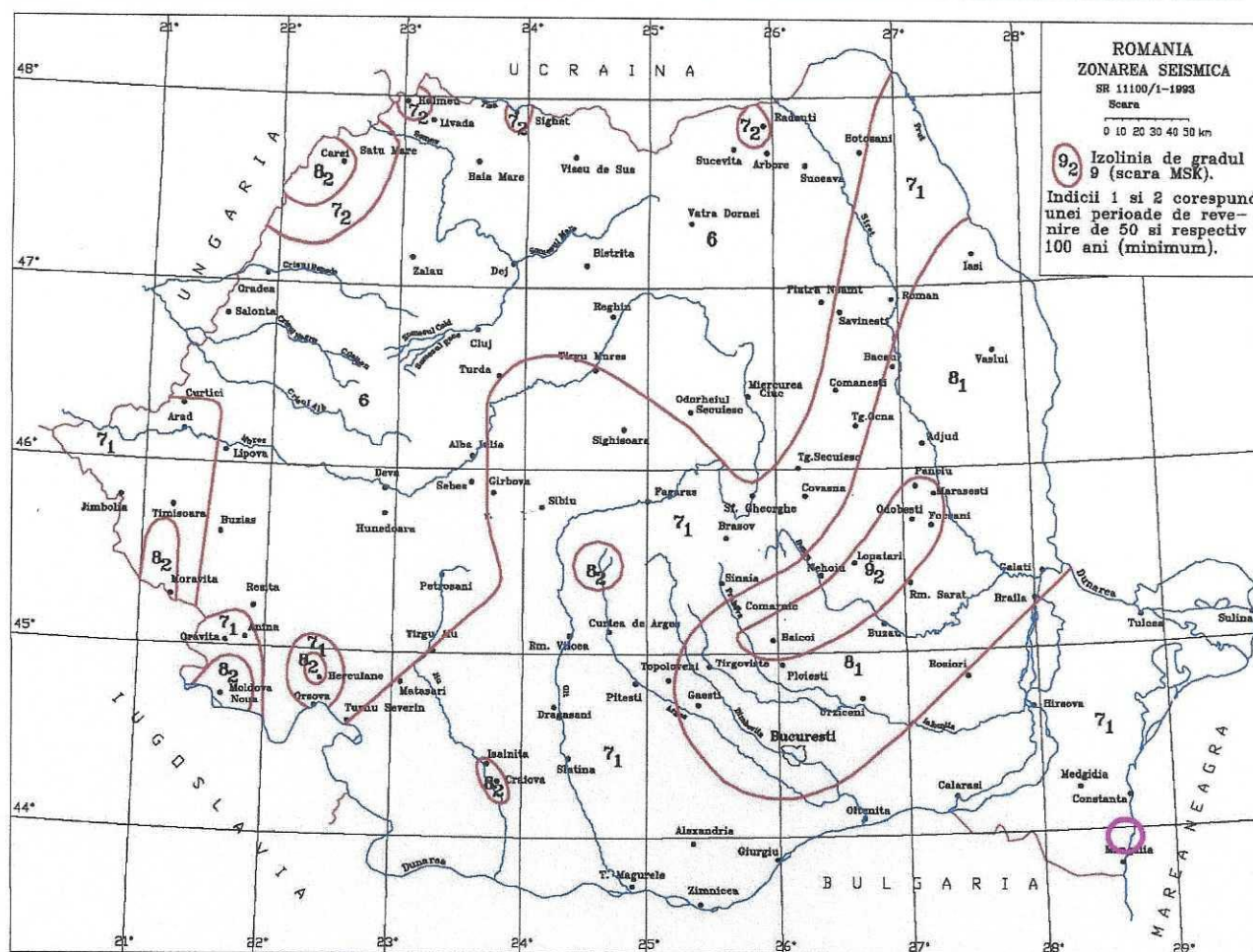


Figura 9. Harta zonării seismice a teritoriului României în conformitate cu STAS 11100/1-93

2.8 ZONE DE RISC ȘI HAZARD NATURAL

Din punct de vedere al hazardurilor și riscurilor naturale, corespunzător „Planului de amenajare a teritoriului național – Secțiunea V – Zone de risc”, urmând prevederile menționate de Legea 575/2001, încadrarea amplasamentului în „Zone de risc” este redată în funcție de potențialul de apariție a unor evenimente cum sunt inundațiile, alunecările de teren și cutremurele de pământ.

Observațiile cu referire la amplasament efectuate pe parcursul desfășurării investigațiilor, indică faptul că nu există riscuri asociate conform clasificării prezentate în Legea 575/2001 (risc seismic, inundații și alunecări de teren). Apariția sau prezența altor potențiale hazarde naturale cum ar fi micro-zonarea seismică, eroziunea costieră, stabilitatea pantelor și a taluzurilor din apropierea țărmului sau a falezei nu pot fi excluse ca lipsite de incidență. Aceste aspecte nu au fost evaluate nefiind incluse în scopul prezent al lucrărilor și nu regăsesc sub incidența „Planului de amenajare a teritoriului național – Secțiunea V – Zone de risc”. Evaluarea unor potențiale riscuri așa după cum au fost menționate anterior este probabil mai adecvată pentru sectorul aferent microtunelului, care nu face parte din prezentul studiu și va fi necesar a fi abordată în timpul efectuării investigațiilor pentru sectorul de microtunel.

2.8.1 Riscul la inundații

Amplasamentul este situat în vecinătatea țărmului Mării Negre, lângă localitatea Tuzla, care este indicată a fi o zonă fără risc potențial de inundații (conform reprezentărilor grafice prezentate în *Figura 10*).

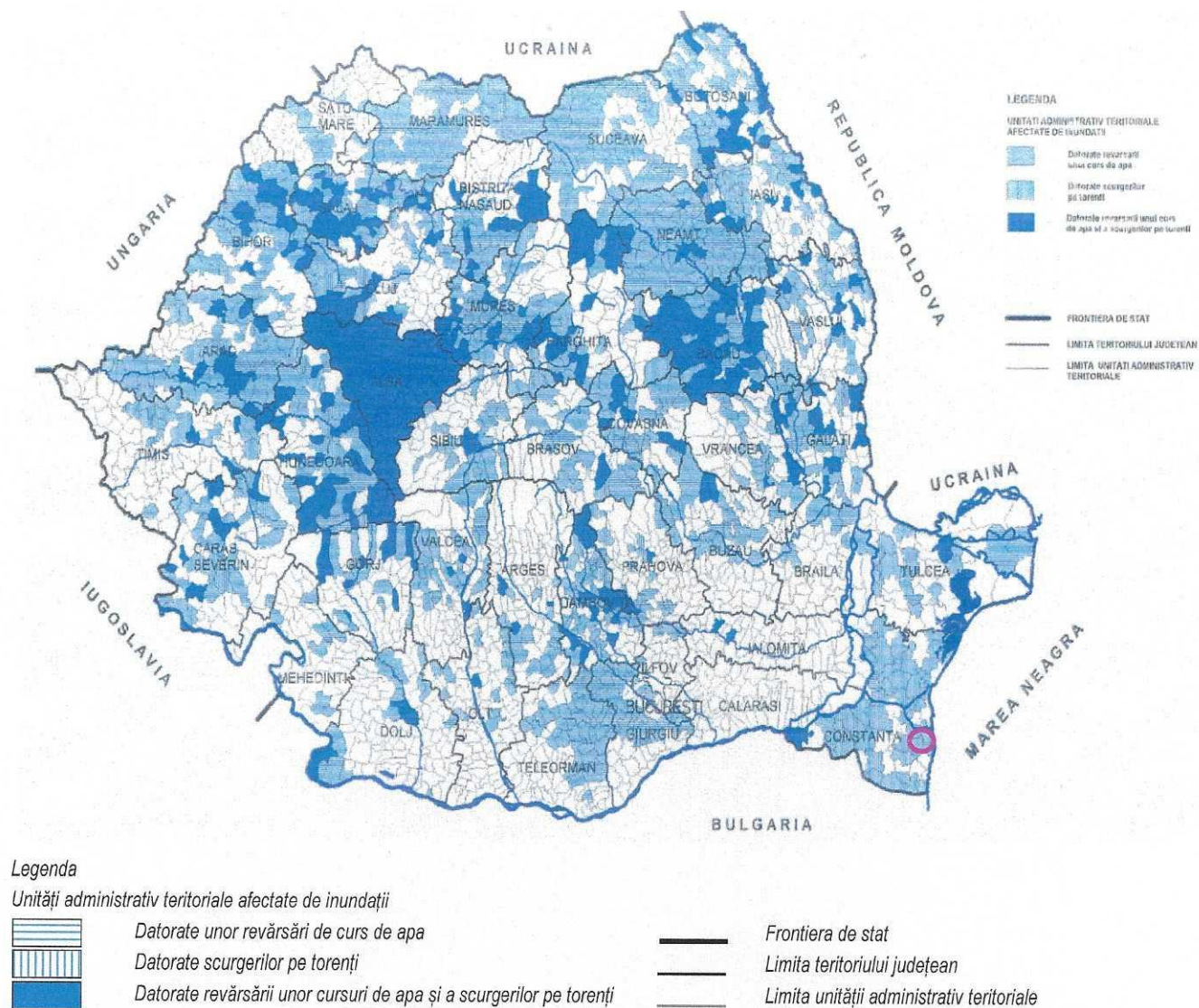


Figura 10. Zonarea teritoriului României la inundații, în conformitate cu Legea 575/2001

2.8.2 Riscul la alunecări de teren

Localitatea Tuzla este indicată să prezinte un risc potențial scăzut pentru apariția alunecărilor de teren în întreaga zonă (așa cum este indicat în *Figura 11*). Investigațiile și observațiile din teren referitoare la topografia locală indică faptul că amplasamentul are o zonă relativ plană, cu gradient de înclinare relativ mic spre țărmul Mării Negre, iar din această perspectivă se consideră că are un potențial limitat de apariție a alunecărilor de teren. De menționat că în această zonă pot apărea eroziuni de coastă și a taluzurilor falezei din cauza vântului și a valurilor mării. S-a observat totuși că în ultima perioadă au fost luat unele măsuri de protecție pentru linia litoralului și a falezei.

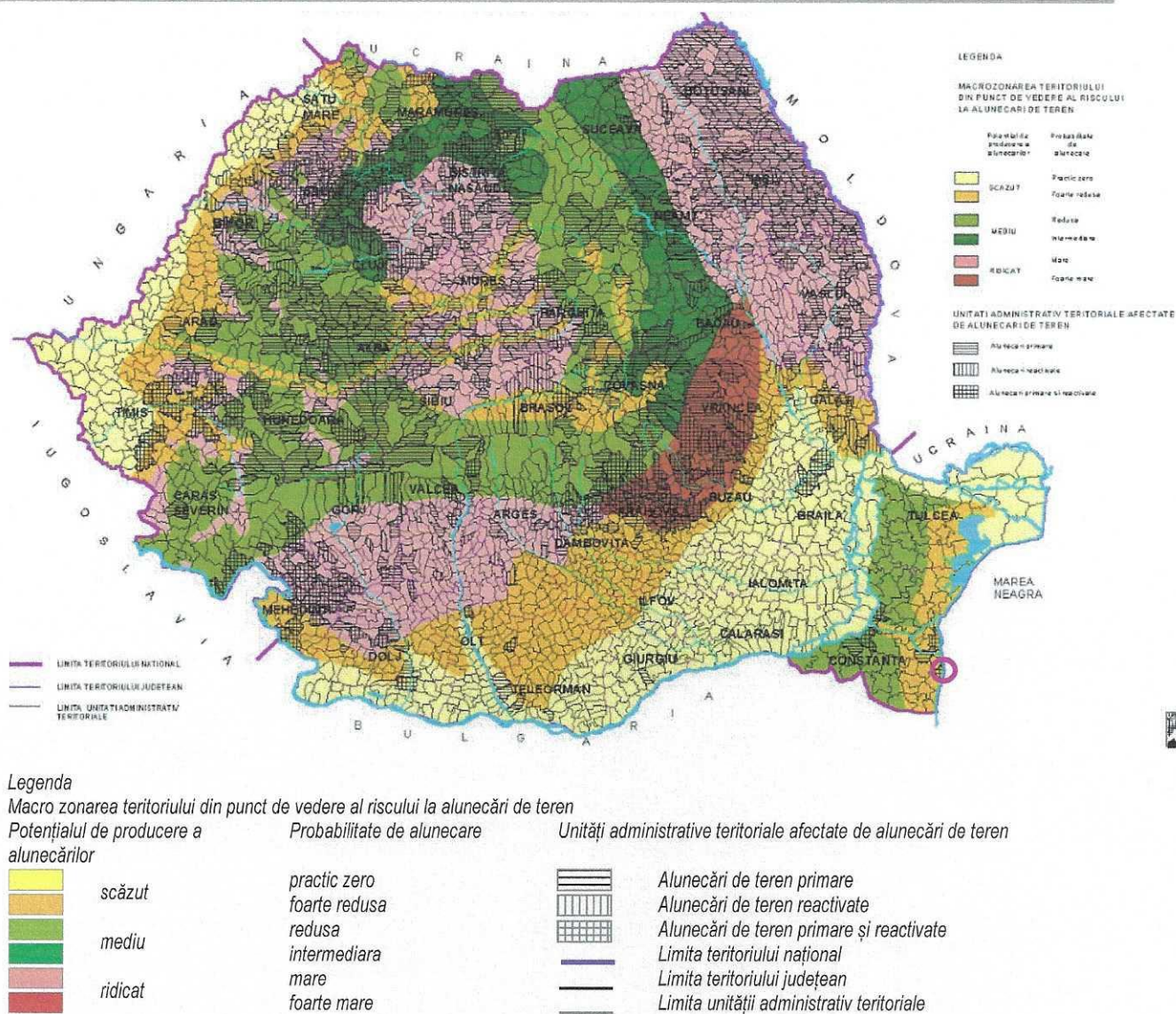


Figura 11. Macrozonarea teritoriului României din punct de vedere al riscului la alunecările de teren, în conformitate cu Legea 575/2001

Tabel 5. Tabel centralizator cu programul de investigare geotehnică prin foraje

Nr. Crt.	Denumire foraj	Adâncimea de investigare	Data începerii	Data finalizării	Tip formațiune		Tipul și numărul de probe prelevate					Teste in-situ, evaluare și clasificare						
					Strat coeziv	Rocă (calcar)	Tulburate + SPT	Netulburate Shelby	Carote pământuri (RC)	Carote roci (R)	Proba apă subterană	SPT	Pocket penetrometru	Vane shear	Torvane	Mohs	Point load (compres. Monoax.)	RQD / TCR / SCR
		(m)	zi/luna	zi/luna	(m)	(m)	nr.	nr.	nr.	nr.	nr.	nr.	nr.	nr.	nr.	nr.	nr.	(m)
1	BN1	50.0	14-oct.	17-oct.	20	30	15	12	2	5	1	10	9	8	8	13	18	30
2	BN2	50.0	7-oct.	11-oct.	20.15	29.85	16	13	4	5	1	11	9	9	9	11	16	30
3	BN3	50.0	1-oct.	4-oct.	20	30.00	19	13	3	6	1	11	8	8	8	14	20	30
4	BN4	50.0	23-sep.	27-sep.	20.25	29.75	18	12	4	4	1	11	12	12	12	15	17	30
5	BP1	15.0	21-oct.	22-oct.	15	0.00	13	11	0	0	0	8	9	9	9	0	0	0
6	BP2	15.0	22-oct.	23-oct.	15	0.00	13	9	0	0	0	7	8	8	8	0	0	0
7	BP3	15.0	24-oct.	25-oct.	15	0.00	11	12	0	0	0	7	8	8	8	0	0	0
8	BP4	15.0	30-oct.	31-oct.	15	0.00	11	13	0	0	0	7	8	8	8	0	0	0
9	BP5	20.0	28-oct.	29-oct.	16.9	3.10	13	11	4	0	0	9	8	8	8	2	6	3
Total		280	29 zile		157.3	122.7	129	106	17	20	4	81	79	78	78	55	77	123

Suplimentar față de activitățile de foraj, prelevare, eșantionare și testare in situ, s-au efectuat și alte activități complementare după cum urmează:

- Evaluarea tuturor eșantioanelor de pământuri prelevate și a carotelor utilizând diagrama de culori Munsell și determinarea rapidă a conținutului de carbonați utilizând reacția cu acid clorhidric;
- Activități care au inclus teste de pompare experimentale pe parcursul purjării pentru prelevarea probelor de apă pentru analize chimice de laborator. Testele au fost făcute în forajele adânci din zona SRM, în gaura liberă de foraj, deoarece acestea nu au fost echipate pentru monitorizarea apei subterane;
- Închiderea tuturor forajelor după finalizarea acestora - au fost sigilate cu argila bentonitică peleți tip Mikolit B, cu o procedură care a presupus umplerea de jos în sus a întregului volum al forajului (în interiorul coloanei de tubaj în timp ce aceasta se retrăgea progresiv, iar volumul găurii era umplut din aproape în aproape cu argila bentonitică tip Mikolit). La suprafață, partea superficială a forajului a fost acoperită cu sol vegetal, activitățile fiind încheiate cu restaurarea zonei în care au fost efectuate lucrările.

Datele înregistrate cu valorile testelor și observațiile efectuate în timpul investigațiilor pe teren sunt prezentate în *Anexa 2: Secțiunea 1 - Fise primare de foraj*, iar completarea acestora cu rezultatele analizelor de laborator geotehnic sunt prezentate în *Anexa 2: Secțiunea 2 - Fise complexe de foraj*. Inventarele cu rezultatele testelor de laborator și valorile înregistrate ale testelor efectuate pe teren sunt prezentate în anexele *Anexa 4 ÷ Anexa 8*, iar înregistrări fotografice cu secvențe stratigrafice întâlnite și activitățile principale de teren efectuate sunt prezentate în *Anexa 9: Înregistrări fotografice*.

3.2 SUPORTUL TOPOGRAFIC

Suportul topografic a fost realizat cu ajutorul unui receptor GPS portabil cu tehnologie GNSS RTK (*Global Navigation Satellite System - Real Time Kinematic*) prin obținerea de corecții diferențiale de la serviciul online ROMPOS (sistemul național românesc pentru localizare precisă utilizând sistemul european ETRS89 pentru poziționare și coordonate topografice). Instrumentul GPS utilizat pentru trasarea și ridicarea punctelor de investigare este de tip *Unistrong G9* cu software dedicat de colectare a datelor *SurvCE*.

Coordonatele propuse pentru locațiile forajelor și testelor CPTu au fost furnizate de Client. Ulterior, trasarea și proiecția sistemului de coordonate au fost realizate în sistemul de referință național STEREO '70 și în WGS 84. Cotele se referă la cota nivelului Mării Negre (NMN).

Adâncimile raportate aferente tuturor locațiilor se referă la cota terenului la data efectuării investigațiilor. Cotele și coordonatele fiecărei locații au fost măsurate după finalizarea forajului/testului și reprezintă locația finală și corespunde referinței locale date pentru locul respectiv și la data efectuării înregistrării (zona nivelată a amplasamentului pregătită pentru testare).

Coordonatele finale pentru fiecare foraj sunt prezentate în Anexa 1 și în Anexa 2.

În Tabelul 6 sunt prezentate coordonatele celor 8 teste de penetrare statică CPTu, iar în Tabelul 7 sunt prezentate coordonatele celor 9 foraje geotehnice executate.

Tabel 6. Inventar coordonate si elevatii pentru locațiile de testare CPTu - aliniament conductă și SRM

CPTu	Coordonatele Stereo 70		
	Nord (x)	Est (y)	Elevație (z)
	m	m	m
PP1	281507.48	792529.41	30,40
PP2	281506.03	792699.36	28,69
PP3	281503.36	792899.26	25,69
PP4	281502.35	793099.33	21,90
PN1	281438.32	792279.21	31,88
PN2	281475.45	792312.03	31,89
PN3	281517.55	792339.11	31,66
PN4	281592.82	792406.68	31,70

Tabel 7. Inventar coordonate si elevatii pentru locațiile forajelor geotehnice - aliniament conductă și SRM

Foraj	Coordonatele Stereo 70		
	Nord (x)	Est (y)	Elevație (z)
	m	m	m
BP1	281507.38	792429.43	30,90
BP2	281506.36	792599.54	29,64
BP3	281504.63	792799.68	27,15
BP4	281502.78	792999.78	23,82
BP5	281501.08	793199.53	19,63
BN1	281439.35	792279.93	32,00
BN2	281476.48	792312.14	31,91
BN3	281531.34	792329.80	31,94
BN4	281591.35	792429.43	31,77

3.3 INVESTIGAȚII GEOFIZICE – DETECȚIE DE UTILITĂȚI ÎNGROPATE

Studiile geofizice întreprinse au fost de tipul investigațiilor neinvazive utilizate în mod obișnuit pentru detectarea utilităților îngropate. Dependent de condițiile de amplasament, una sau mai multe metode au fost utilizate individual sau în conjuncție pentru detectarea diferitelor obiecte cu semnătură magnetică, cum ar fi țevi, cabluri, sisteme de drenaj, artefacte, fundații, etc.

Pentru fiecare locație de testare propusă s-a efectuat o inspecție geofizică pentru identificarea potențialelor utilități sau obiecte îngropate cu ajutorul locatorului electromagnetic tip RIDGID SR 24 și un scanner cu magnetometru de mică adâncime tip RIDGID MR10 (Figura 12).

Înainte de începerea oricăror lucrări intruzive, toate punctele de investigare au fost scanate pentru detecția de utilități subterane active.



Figura 12. Detecție de utilități îngropate înainte de începerea lucrărilor (locator electromagnetic și sondaj magnetometru)

3.4 TEHNICĂ DE FORAJ – INSTALAȚIE FORAJ BERETTA T46

Instalația de foraj constă în esență dintr-o unitate mecanizată montată pe senile, autonomă rotativă, capabilă să introducă instrumente de prelevare probe pământuri și rocă (tuburi carotiere și prelevatoare) atașate unui sistem de prăjini antrenate de capul rotativ. Prin urmare, metoda poate fi clasificată ca o formă de eșantionare cu acționare rotativă, în care un tub carotier (eșantionator) prevăzut sau nu cu un liner interior care se desface, având la capătul inferior o freză cu diferite profile de tăiere, este avansat în pământ prin rotație, impact sau ambele.

Pentru formațiunile coezive din amplasament a fost utilizată o tehnică de foraj în regim de carotaj continuu uscat. Această metodă oferă o fiabilitate mai mare în ceea ce privește calitatea de prelevare a eșantioanelor și permite o evaluare a litologiei mai bună, pentru care nu sunt necesare tehnici alternative de investigație pentru o clasificare generală a formațiunilor carotate. Această metodă de foraj în regim uscat a fost utilizată pentru traversarea formațiunilor coezive superioare, în special pentru orizontul de loess, caz în care utilizarea apei de circulație ar putea deteriora formațiunea și ar afecta calitatea probelor.

Pentru forajul efectuat în formațiunea calcaroasă a fost folosită tehnica de carotaj continuu cu circulație de apă, folosind echipament tip Wireline Technidrill 146 mm cu diametru nominal al tubului carotier interior ID = 101 mm și un diametru nominal al tubului exterior OD = 146mm (echivalent sistemului dezvoltat de Atlas Copco Geobor S - echipament special dezvoltat pentru investigații geotehnice). Tehnica de carotaj diamantată a fost folosită în cazul în care activitatea de foraj a fost necesară folosind diferite tipuri de coroane tăietoare tip PDC (diamant policristalin compact) în formațiunile coezive tari și / sau în formațiunile de calcar compact sau în cele alterate.

După introducerea instrumentelor de carotaj la adâncimea necesară, acestea pot fi extrase folosind sistemul hidraulic al instalației de foraj. Probele de pământuri și rocă obținute prin această metodă pot fi clasificate ca fiind tulburate sau netulburate, în funcție de tipul

dispozitivului de prelevare utilizat, fiind dependent de tipul și caracteristicile echipamentelor și ale instalației.

Instalația de foraj Beretta T46 are capacitatea de a instala coloana de protecție simultan sau alternativ cu tuburile carotiere pentru prelevarea de probe. Utilizarea acestui sistem înseamnă că pentru orice tip de formațiune stratigrafică interceptată în teren, pot fi prelevate probe fără a permite prăbușirea găurii de foraj, asigurând astfel că probele sunt prelevate exact de la adâncimea interceptată propusă. Acest sistem permite de asemenea, instalarea ușoară a sistemelor de monitorizare (piezometrică) sau a altor instrumente în limitele diametrului găurii de foraj.

Pentru activitățile geotehnice, diametrul teoretic maxim al forajului produs de Beretta T46 este $OD = 146\text{mm}$, cu un diametru nominal al probei/carotei extrase $ID = 100\text{mm}$.

Metoda de foraj utilizată pentru formațiunile coezive moi și mediu moi a fost cu carotier simplu în regim uscat (fără apă de circulație), iar pentru prelevarea probelor netulburate de tip Shelby, s-a folosit exclusiv metoda prin împingere.

Pentru formațiunile de roci tari a fost utilizată o metodă de foraj cu circulație de apă cu sistem de prelevare tip carotier dublu pentru forarea în formațiunile de calcar. În activitatea de carotaj au fost utilizate diferite tipuri de coroane și freze adaptate condițiilor de strat. Au fost luate în considerare și alte metode alternative de foraj de tipul carotierului triplu sau cu liner tip "split", însă nu s-a putut obține niciun avantaj suplimentar în comparație cu sistemul de carotier dublu în ceea ce privește raportul de recuperare și caracteristicile de eșantionare și prelevare.

În *Figura 13* este prezentată instalația de foraj Beretta T46 utilizată pentru testarea geotehnică. Detalii privind echipamentele, metodele și instrumentațiile utilizate în timpul forajului sunt prezentate în fișele primare de foraj.

Activitățile de foraj au fost efectuate de ingineri și operatori calificați și cu experiență în activitatea de foraj și prelevare de probe și teste geotehnice.



Figura 13. Instalația de foraj Beretta T46, prelevare de probe netulburate în formațiunea de loess (Shelby 101.6mm)

3.4.1 Foraj și metode de carotaj

Au fost utilizate două metode distincte de foraj pentru prelevarea probelor de pământuri și rocă, în concordanță cu succesiunile stratigrafice întâlnite și anume:

- În formațiuni coezive moi și mediu tari (în special pentru formațiunea de loess) – carotaj continuu în regim uscat utilizând carotier simplu (SCB – *single corre barrel*) cu diametrul nominal exterior OD = 131mm și cel interior al probei ID = 100mm;
- În formațiuni coezive tari – roci calcaroase – carotaj continuu cu fluid de circulație (apă) utilizând carotier tip wireline WL146 (echivalent SQ) cu diametrul nominal exterior OD = 146mm și cel interior al carotierului ID = 101mm (proba având diametrul de 100mm).

Nu s-au folosit aditivi, polimeri sau alți compusi pentru activitățile de foraj, a fost utilizată exclusiv apă de la rețeaua locală de distribuție, din purjare sau a fost recirculată. Tipurile de coroane și freze utilizate în activitățile de foraj sunt prezentate în *Figura 14*.



Figura 14. Tipuri de echipamente utilizate pentru carotaj și prelevare probe în formațiuni tari, calcare (freze, coroane)

3.4.2 Prelevarea probelor

Colectarea, manipularea și transportul probelor de pământuri și roci a fost făcută în conformitate cu specificațiile prevăzute în SR EN ISO 22475-1: 2006 și standardele ASTM D4220. Toate probele au fost etichetate corespunzător, manipulate și transportate în cutii de protecție din lemn la laboratorul geotehnic, însoțite de un document de inventar al tuturor probelor prelevate.

Probele netulburate marcate cu indicativul „SH” au fost colectate din formațiunea coezivă, folosind tuburi Shelby noi cu perete subțire din oțel inoxidabil de 101,6mm, cu diametrul interior de 98mm și lungimea totală de 600mm, fabricate conform cerințelor EC7, așa este prezentat în *Figura 15*. Eșantioanele identificate cu indicativul „SH” au fost colectate și sigilate cu parafină la ambele capete ale tubului de inox și au fost protejate cu capace din PVC. Probele netulburate au fost depozitate vertical în cutii de lemn căptușite cu plăci din polistiren, fiind ferite de lumina soarelui și de expunerea la umiditate, așa cum este prezentat în *Figura 17*.



Figura 15. Activitate de prelevare probe netulburate – prelevare probă din formațiunea de loess (Shelby 101.6mm)

Probele tulburate marcate cu indicativul „D” au fost colectate și sigilate în pungi de plastic etichetate și depozitate ulterior în cutii de lemn.

Eșantioanele din tubul split al prelevatorului SPT (considerate ca probe de clasa B) au fost de asemenea prelevate din toate testele de penetrare standard efectuate în foraj, marcate cu indicativul „SPT” și au fost sigilate și etichetate având menționate inclusiv valorile numărului de băți necesare avansării prelevatorului.

Probe tip carotă – eșantioanele prelevate din formațiunea coezivă tare, cât și din formațiunea de rocă, probe identificate cu indicativul „RC”, au fost prelevate folosind tuburi carotiere duble cu freze și coroane diamantate tip PDC sau din carbură de tungsten, în funcție de tipul stratelor carotate. Toate probele au fost sigilate într-o folie subțire elastică tip stretch, etichetate și depozitate în cutii dedicate pentru transport către laborator.

Cutii pentru depozitare carote/eșantioane au fost utilizate pentru depozitarea materialului carotat care nu a fost selectat pentru testările geotehnice de laborator. Secvența litologică carotată a fost depozitată în cutii de înmagazinare probe din PVC prevăzute cu capace, care conțin 3 compartimente de 1 metru (3 * 100mm * 1000mm).

Cutiile de depozitare pentru carotele și eșantioanele fiecărui foraj geotehnic au fost etichetate corespunzător, marcate specific pentru fiecare marș efectuat, tip de eșantion și interval de prelevare. De asemenea, au fost menționate și testele SPT și numărul de lovituri (Figura 16), apoi au fost transportate la baza Geoservices, unde vor fi depozitate timp de 24 de luni (Figura 17).

Înregistrările fotografice pentru fiecare secvență stratigrafică întâlnită și depozitată în cutiile de probe sunt prezentate în Anexa 9.



Figura 16. Lăzi depozitare carote și eșantioane pământuri cu secvențele litologice interceptate

Manipularea și gestionarea probelor

Etapele importante în evaluarea și gestionarea probelor au inclus următoarele:

- Inspecția vizuală a întregului material carotat, prelevat și depozitat în lăzile de depozitare probe;
- Inspecția capetelor superioare și inferioare pentru probele netulburate;
- Selectarea, ambalarea și etichetarea eșantioanelor - probele netulburate / tulburate în folii stretch subțiri sau în pungi de plastic, cu prelevări de probe la fiecare metru sau la fiecare schimbare de strat;
- Sigilarea / parafinarea, etichetarea, păstrarea corespunzătoare a probelor netulburate;
- Purjarea, prelevarea probelor de apă subterană pentru testarea chimică în laborator;
- Înregistrarea și documentarea tuturor probelor de pământuri și apă în vederea transferului acestora către laborator (borderou de însoțire a probelor).



Figura 17. Gestionarea probelor și a eșantioanelor; depozitare probe Shelby și pregătirea pentru transport

3.4.3 Fișe primare de foraj

Fișele primare de foraj conțin informații complete din timpul activităților de foraj cu înregistrarea intervalelor de prelevare a probelor, având indicate locația, intervalul de timp, datele pentru testările de teren in situ, informații cu descrierea secvențelor litologice, a eșantioanelor pentru fiecare interval de strat identificat în foraj, marcate apoi corespunzător fie prin simbol sau descriere în detaliu, fie prin ambele, realizate pentru fiecare foraj geotehnic în parte. Evenimente importante din timpul forajului și tipul de echipamente folosite, operațiunile de instrumentare, coordonate, condiții meteorologice, metoda de închidere a forajului, sunt de asemenea incluse în fișele primare de foraj din Anexa 2.

Probele reprezentative de pământuri sau rocă din fiecare orizont și care sunt semnificative pentru testarea de laborator, au fost prelevate și evaluate de către un inginer geotehnician / geolog calificat și experimentat în analiza formațiunilor de pământuri și roci.

3.5 FORAJE GEOTEHNICE – TESTE IN SITU

3.5.1 Teste de penetrare standard în foraj tip SPT

Teste de penetrare dinamică standard în foraj (SPT0) au fost efectuate în conformitate cu standardul SR EN ISO 22476-3:2006 „Cercetări și încercări geotehnice. Încercări pe teren. Partea 3: Încercare de penetrare standard”. Procedurile de testare au fost urmate în conformitate cu indicațiile prezentate în ASTM D1586 - Metoda standard de testare pentru testul de penetrare standard și eșantionarea probelor, folosind prelevatorul Raymond (*split barrel*).

Testul utilizează un tub de eșantionare cu pereți groși, cu un diametru exterior de 50,8mm și un diametru interior de 35mm, având o lungime de 650mm. Acesta este avansat în pământ în baza forajului cu ajutorul loviturilor unui berbec (ciocan glisant) cu o masă de 63,5kg care cade liber pe o nicovală sau un cap de batere de la o înălțime de 760mm.

Tubul de eșantionare este introdus pe o distanță de 150mm în pământ și apoi se înregistrează numărul de lovituri necesare pentru ca tubul să pătrundă fiecare 150mm, până la o adâncime de 450mm. Suma numărului de lovituri necesare pentru al doilea și al treilea interval de 150mm reprezintă rezistența la penetrare notată „N”. În cazurile în care 50 de lovituri nu sunt suficiente pentru a avansa pe intervalul de 150mm, se înregistrează adâncimea de avansare pentru penetrarea celor 50 de lovituri.

Numărul de lovituri oferă o indicație a gradului de îndesare a formațiunii și este utilizat în multe formule empirice de inginerie geotehnică.

Toate valorile înregistrate pentru testele de penetrare standard tip SPT din teren sunt prezentate în Anexa 2. În Figura 18 este prezentat echipamentul de testare SPT și în dreapta imaginii este prezentat un eșantion/probă prelevată cu ajutorul tubului split SPT (tip Raymond).



Figura 18. Test SPT, prelevare eșantioane cu ajutorul prelevatorului Raymond (tub "split barrel")

3.5.2 Test cu penetrometrul de buzunar (PPT)

Testele au fost efectuate pe eșantioane reprezentative de pământuri coezive folosind două tipuri de instrumente fabricate de Controls:

- Penetrometru de buzunar model T0163

Este un model de înregistrări cu valori mari ale rezistenței la penetrare, având un inel care este ținut ferm până când este resetat manual. Fabricat din oțel inoxidabil, tija de penetrare permite pătrunderea relativ adâncă în probă (până la 6cm). Acest penetrometru poate fi utilizat pentru valori UCS între 0 și 10 kgf/cm². Include diferite diametre ale pistonului – 4,5mm (pământuri foarte tari), 6,35mm (pământuri medii – moi) și 8,98mm (pentru pământuri foarte moi).

- Penetrometru de buzunar model Geotester T0161

Modelul de penetrometru Geotester are un cadran cu un sistem de menținere a valorii maxime și un buton de resetare la zero. Corelează rezistența la compresiune a unghiului de frecare internă în solurile nisipoase și coeziunea în formațiunile argiloase. Include mai multe diametre ale pistonului – 6,35; 10; 15; 20 și 25mm. Cadranul interior este calibrat pentru înregistrarea rezistenței la compresiune pentru vârful cu diametrul de 6,35mm, cu intervale între 0-6 kgf/cm² (cadranul interior) și 0-11 kgf/cm² (cadranul exterior).

Ambele instrumente au fost utilizate în funcție de condițiile de strat (Figura 19).

Toate înregistrările testelor de teren sunt prezentate în *Anexa 2* și *Anexa 4: Rezultatele testelor in situ*.



Figura 19. Încercări de penetrare cu penetrometrul de buzunar pe probe netulburate

3.5.3 Test de forfecare cu palete – “Vane share”

Testele de forfecare cu palete (scizometru) sau „Vane share test” au fost efectuate cu un instrument Controls 16-T0174, conceput pentru a măsura rezistența la forfecare nedrenată (c_u) a pământurilor. Este compus dintr-un corp cilindric cu arc de torsiune și 3 palete interschimbabile de diferite dimensiuni, utilizate în funcție de rezistența la forfecare așteptată a pământului testat. Raportul înălțime / diametru al paletelor este 2. În timpul testului, paleta este introdusă aproximativ 5 - 6 cm în pământ și apoi rotită manual. Pentru măsurători în interiorul părții superioare a tuburilor Shelby, se folosește tija de extensie de 153mm pentru a ajunge la 300mm adâncime.

Partea de înregistrare a modelului T0174 are la bază un arc de torsiune de 360 grade rotație, produse de un cuplu de aproximativ 0.5 kgm. Domeniul de măsurare este de la 0 la 240 kPa (0 - 24 N / cm²). Valoarea cuplului corespunde valorii de 3.5 Nm.

Testerul de forfecare cu palete tip „Vane share” a fost utilizat pe majoritatea tuburilor Shelby la partea inferioară a tubului Shelby, urmărind indicațiile prezentate în standardul ASTM D2573. O imagine cu aparatul de forfecare portabil tip „Vane share” este prezentată în *Figura 20*.

Toate înregistrările testelor de teren sunt prezentate în *Anexa 2* și *Anexa 4*.



Figura 20. Efectuarea testului de forfecare cu palete, cu dispozitivul tip "Vane shear"

3.5.4 Testul cu aparatul de forfecare cu palete de buzunar (Torvane)

Testul de forfecare cu aparatul cu palete portabil de buzunar (torvane) oferă o metodă rapidă de măsurare aproximativă a rezistenței la forfecare nedrenate (c_u) a formațiunilor fine coezive. Metoda de testare poate fi utilizată în teren sau în laborator, pe capetele probelor netulburate, pe suprafața eșantioanelor tip bloc (monolit), în săpătura deschisă (excavație) sau pe ștanțe de laborator.

Dispozitivul este destinat utilizării în formațiuni coezive saturate pentru determinarea aproximativă a rezistenței la forfecare în condiții nedrenate.

Testele au fost realizate cu un instrument model Controls 16-T0175 / A (Figura 21). Dispozitivul de forfecare cu palete de buzunar este un instrument simplu și practic, utilizat pe scară largă pentru a obține cu ușurință și a măsura cu ușurință rezistența la forfecare în condiții nedrenate (c_u), în termeni de solicitare totală pentru formațiuni coezive sau semi-coezive de la moi la foarte moi și până la tipuri de pământuri vâtoase în intervalul valorii c_u până la 25 N / cm². Se compune dintr-un corp cilindric cu un arc de torsiune cu o scară gradată care indică rezistența la forfecare nedrenată, citită direct în N / cm² sau în tone / ft². Citirea este obținută din cuplul necesar pentru rotirea lamelor introduse în pământ pentru a provoca cedarea unei porțiuni cilindrice din pământul coeziv.

Testul de forfecare cu palete cu aparatul portabil (de buzunar) nu este utilizat pentru o evaluare exactă a condițiilor de teren sau pentru a dubla anumite teste și condiții de teren, ci completează programul general de investigare. Cu toate acestea, parametrii fizici consistenți sunt utilizați în test, astfel încât corelațiile datelor privind rezistența la forfecare pot fi făcute pentru a evalua variabilitatea unui depozit, pentru a evalua calitatea eșantionului, pentru a ajuta la planificarea testelor de laborator și pentru a clasifica consistența.



Figura 21. Testul de forfecare cu palete cu aparatul portabil (torvane) pe probe netulburate

Testele in situ efectuate (cu penetrometru de buzunar, testul de forfecare cu palete tip Vane, torvane) fac parte din metodologia și practica de investigare în teren, sunt complementare testelor de laborator geotehnic și au fost efectuate pe probe în starea lor naturală, în particular pentru formațiunea de loess „natural”, având un conținut foarte mic de umiditate. Rezultatele prezentate prin aceste metode nu stau la baza evaluării parametrilor geotehnici de proiectare, ci doar pentru evaluarea stării formațiunilor și pământurilor in situ.

3.5.5 Test de compresiune monoaxială (Point Load Test) pentru clasificarea rezistenței la compresiune a rocilor

Testul de rezistență la compresiune monoaxială (punctuală) PLT este utilizat ca test index pentru clasificarea rezistenței rocilor. Rezultatele testului nu trebuie utilizate în scopuri de proiectare sau analitice. Această metodă de încercare se aplică rocilor cu rezistență medie (rezistență la compresiune peste 15 MPa).

Testele tip PLT au fost efectuate pe eșantioanele de rocă selectate folosind un instrument model digital Controls 45-D0550, cu 100 kN (kilonewton) forță și o precizie de măsurare a sarcinii de încărcare de $\pm 1\%$, având o rezoluție de 1 N (newton) și o deplasare a pistonului de 100mm. Aparatul de testare PLT constă dintr-un cadru de încărcare care suportă sarcină de compresiune hidraulică de 100 kN acționat de o pompă manuală cu piston.

Unitatea poate efectua încercări în conformitate cu metoda indicată în ASTM D5731 și permite testarea atât a carotelor de rocă, cât și a probelor de formă neregulată. Dispune de o unitate de citire digitală cu afișaj grafic acționat de la baterie și tastatură cu membrană. Sarcina de compresiune este măsurată de un traductor de presiune încorporat. O riglă gradată permite măsurarea directă a distanței D dintre plăcile conice de încărcare înainte și după test.

Eșantioanele de rocă sub formă de carote (pentru testele diametrale și axiale) sunt testate prin aplicarea unei sarcini concentrate asupra eșantioanelor printr-o pereche de platane conice. Nu este necesară o pregătire specială a probelor, acestea pot fi testate direct după carotaj.

Testele tip PLT au fost efectuate pe un număr de 77 de eșantioane de rocă de calcar prelevate până la adâncimea maximă de 30m din cele 5 foraje geotehnice efectuate. Testele au fost efectuate în baza Geoservices după finalizarea lucrărilor de teren. În Figura 22 este prezentat echipamentul utilizat pentru testarea și pregătirea specimenelor.

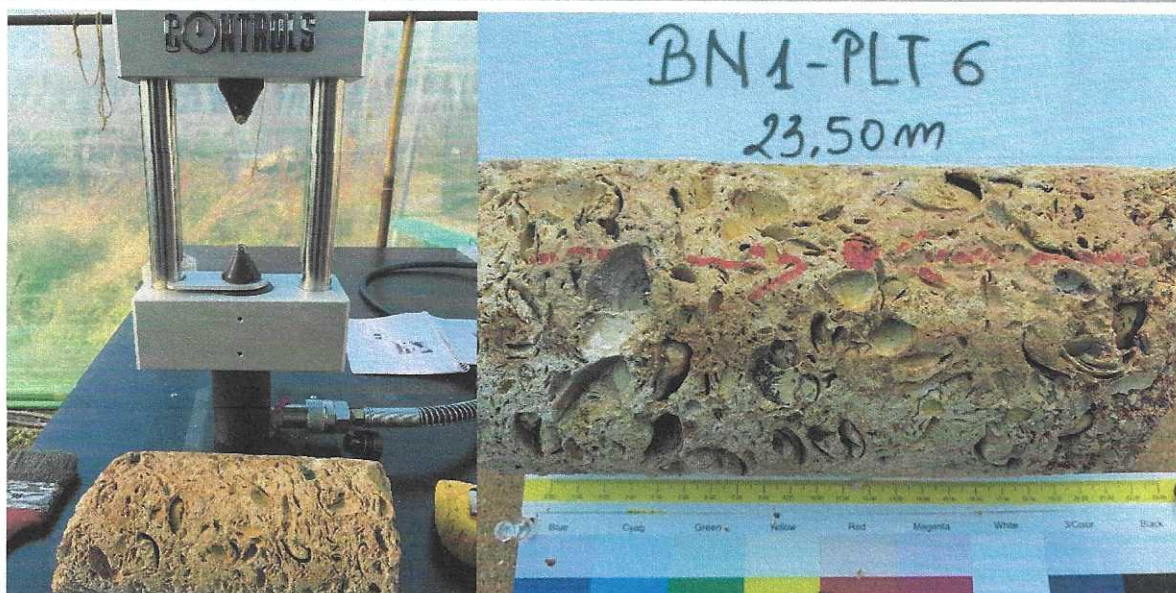


Figura 22. Efectuarea testelor de compresiune monoaxială tip PLT – “point load test” (specimen de calcar bioclastic)

3.6 PENETRARE STATICĂ CU PIEZOCON (CPTU)

Testul de penetrare statică cu piezocon (CPTu) presupune măsurarea rezistenței presiunii pe vârful conului, a frecării laterale pe manta și a excesului de presiune dinamică a apei din pori. Presiunea apei din pori este dezvoltată în timpul pătrunderii constante și lente a conului în pământ. Măsurarea acestor presiuni este o metodă de testare convenabilă care permite o evaluare continuă a stratificației amplasamentului și o estimare economică a proprietăților formațiunilor traversate.

Această metodă de testare oferă date utilizate pentru estimarea proprietăților ingineresti ale pământurilor, destinate să ajute la proiectarea și construcția de lucrări de terasament, fundații pentru structuri și evaluarea comportamentului formațiunilor sub acțiunea sarcinilor statice și dinamice.

Testele efectuate folosind această metodă de încercare oferă o înregistrare detaliată a rezistenței conului la penetrare, care este utilă pentru evaluarea stratigrafiei, a omogenității și a adâncimii orizonturilor cu grad de îndesare ridicat (ferme), identificarea unor eventuale goluri sau cavități și altor discontinuități. Este echipat cu senzori pentru determinarea frecării laterale și cu o membrană pentru măsurarea presiunii apei din pori. Poate oferi o estimare a clasificării formațiunii traversate și corelații cu referire la proprietățile fizico-mecanice a pământurilor.

Această metodă este efectuată doar „in-situ”. Interpretarea rezultatelor acestei metode de testare oferă estimări ale tipurilor formațiunilor traversate, pentru care sunt necesare prelevarea de eșantioane din forajele geotehnice și efectuarea de încercări de laborator geotehnic în scopuri de corelare.

3.6.1 Echipamente folosite pentru teste CPTu – instalație PAGANI 63-200

Modelul de utilaj folosit pentru încercările de penetrare statică cu piezocon este reprezentat de penetrometrul autopropulsat tip Pagani TG63-200KN cu o forță de apăsare de 20 de tone. Metoda de testare utilizată este cea descrisă de ASTM D5778 – “Metoda standard de testare pentru instalații de penetrare cu con electronic de frecare și teste de penetrare cu piezocon”.

Modelele de con utilizate pentru efectuarea investigațiilor CPTu sunt piezoconuri tip Pagani MKj 529 și MKj 530 de generație a 4-a cu frecare egală, cu rezistența pe vârf de 50 MPa. Corpul central al conului este realizat din aliaj de oțel inoxidabil pentru o rezistență sporită. Conul este

echipat cu un senzor de presiune pentru măsurarea presiunii apei din pori "u2", care poate fi saturat fie cu ulei siliconic pentru inele filtrante poroase, fie cu vaselină siliconică utilizând inele solide pentru citirea presiunii apei din pori.

Caracteristicile operaționale ale echipamentului sunt:

- Rezistență pe vârf - capacitate maximă: 50 MPa;
- Frecare laterală pe manta - capacitate maximă: 1600 kPa;
- Presiune din pori - capacitate maximă: 2500 kPa;
- Unghiul de înclinare: 20°;
- Raport suprafață netă a vârfului conului: 0.7850;
- Raport suprafață netă manta: 0.0003;
- Capacitatea maximă de apăsare a instalației: 20 Tf (tone forță) sau 200 kN;
- Capacitatea maximă de tragere a instalației: 21 kN.

Transmiterea datelor este asigurată printr-un cablu continuu care conectează penetrometrul conului direct la sistemul de achiziție de date, oferind un canal de comunicație continuu chiar și atunci când se adaugă tije de împingere, minimizând posibilitatea pierderii semnalului între senzor și sistemul de achiziție.

Sistemul de achiziție de date utilizat este un model digital TGAS-08 data-logger.

În *Figura 23* este prezentată o înregistrare fotografică cu instalația de efectuare a testelor de penetrare static și dinamică continuă Pagani TG63-200. Testul de penetrare statică cu piezocon (CPTu) include măsurarea rezistenței presiunii pe vârf, a frecării laterale pe manta și a excesului de presiune dinamică a apei porilor. Aceste presiuni ale apei porilor sunt dezvoltate în timpul pătrunderii constante și lente a conului în sol.



Figura 23. Efectuare test de penetrare cu piezocon - CPTu (locație test: PP3)

3.6.2 CPTu – Metodologie de lucru

Pregătirea sistemului de ancoraj al instalației – Ancorarea se realizează folosind două module elicoidale de ancorare asistate de două servomotoare cu reductor, câte una pentru fiecare parte a penetrometrului. Utilizarea ancorelor de reacțiune nu influențează achiziția datelor. În unele cazuri, terenul în care se realizează ancorarea poate provoca pierderea forței de reacțiune la ancorare din cauza prezenței eventualelor obstrucții în adâncime sau cedării bolțurilor ancorelor. În situația puțin probabilă în care apar aceste situații, poziția de testare este relocată sau articulația ruptă este înlocuită, iar activitatea de testare este continuată.

Configurarea echipamentului de achiziție – verificarea echipamentului (vârful conului penetrometrului, inelele de etanșare, senzorul, firele și conectorii) sunt verificate conform standardului ASTM D 5778 înainte și după fiecare test efectuat. Dacă în amplasament sunt prezente obstacole la suprafață (placă de beton, umpluturi, etc.), se poate efectua o gaură de degajare pentru a preveni deteriorarea conului penetrometrului sau evitarea înregistrării refuzului mecanic.

Saturația piezoconului – pentru testele care necesită citiri exacte ale presiunii apei din pori, elementele senzorilor necesare înregistrării presiunii porilor sunt saturate fie cu ulei de siliconic, fie cu glicerină. În cazul utilizării inelului solid, elementele de citire a presiunii porilor vor fi saturate cu o vaselină siliconică fluidă cu vâscozitate mai mare. Deși utilizarea inelelor filtrante poroase oferă citiri mai precise ale presiunii porilor, metoda este preferată numai în cazul prezenței apei subterane aproape de suprafața terenului, deoarece există un risc mai mare de desaturare a conului.

Pentru testele efectuate pe amplasament s-a utilizat vaselină siliconică pentru a preveni desaturarea conului (grăsimea siliconică se comportă ca o membrană și atunci când este în contact cu presiunea excesivă a apei porilor). Fenomenul de suțțiune este limitat, deoarece grăsimea siliconică este hidrofobă. Ca măsură de atenuare împotriva desaturării piezoconului în timpul testării, se folosește un inel metalic solid în locul inelului de bronz cu filtru poros.

Achiziția de date – Configurarea data-loggerului este efectuată pentru fiecare locație de testare. Citirea de calibrare a senzorilor este verificată și notată înainte și după test. Conul este avansat apoi cu o viteză constantă de 20 mm/s, iar rezistența pe vârf a conului, frecarea pe mantaua laterală a conului, presiunea apei din pori și valorile de înclinare ale ansamblului fiind înregistrate la fiecare 10mm. Testul este efectuat până la adâncimea propusă de investigare sau până la refuzul mecanic (adâncimea maximă a investigației reprezentată de cota la care sunt atinse valorile maxime ale senzorilor). După atingerea adâncimii finale a investigației, tijele de împingere sunt extrase și citirea finală este înregistrată și verificată cu citirea inițială.

Dacă se întâlnesc obstrucții la adâncime în timpul testului, acesta este imediat oprit și fie poziția de investigație este mutată în limitele acceptabile pentru domeniul de lucru, fie adâncimea finală de investigație este considerată a fi adâncimea la care se întâlnește obstrucția.

Dacă se observă prezența unor formațiuni sensibile cu granulație fină, se vor utiliza tije de împingere echipate cu inel reductor de frecare pentru a reduce frecarea laterală excesivă prezentă pe tijele de împingere. Dacă este posibil, nivelul apei subterane este măsurat și înregistrat.

După fiecare test, fișierul de achiziție de date este descărcat din unitatea de stocare a datelor.

3.6.3 Teste de disipare

În cazul în care sunt programate teste de disipare pentru fiecare locație CPTu, în timpul acestei operații avansarea conului este oprită la adâncimea propusă de efectuare a testului de disipare.

Presiunea pe tijele de împingere este apoi eliberată, variația presiunii apei din pori în funcție de timp înregistrându-se până când presiunea de echilibru este atinsă sau până când 50% din presiunea inițială a porilor s-a disipat sau pentru intervalul de timp pentru care se solicită testul. Timpul necesar pentru un test de disipare depinde de natura formațiunilor. În cazul orizonturilor fine cu conductivitate foarte scăzută, pot fi necesare perioade foarte lungi pentru a atinge 50% din valoarea de disipare, testul fiind astfel oprit la un interval de timp prestabilit.

3.6.4 Software utilizat în achiziția de date și interpretare

Pentru achiziția primară a datelor a fost utilizat software-ul Pagani CPTu - ACQ, datele brute fiind exportate în format ASCII și PDF pentru procesare ulterioară. Pentru interpretări detaliate cu privire la valorile normalizate ale datelor și parametrii estimați, a fost utilizat un software dedicat de prelucrare: Geologismiki CPeT-IT.

3.7 TESTE DE LABORATOR GEOTEHNIC

Toate probele prelevate și propuse pentru testare geotehnică au fost predate laboratorului geotehnic desemnat pentru efectuarea încercărilor. Depozitarea probelor și expedierea către laborator au fost efectuate de personalul și logistica Geoservices sau prin servicii de curierat dedicate și livrate laboratoarelor după cum urmează:

- Probele de pământuri și eșantioanele de rocă au fost trimise la laboratorul geotehnic din cadrul Universității Tehnice de Construcții București – UTCB în data de 22 octombrie 2019 și următoarea tranșă în data 1 noiembrie 2019;
- Un număr selecționat de probe de pământuri au fost trimise către laboratorul internațional FUGRO din Marea Britanie, în data 8 noiembrie 2019;
- Probele de apă subterană au fost trimise pentru analize chimice în *Laborator Central Construcții CCF* în data de 12 noiembrie 2019.

A fost efectuată identificarea tuturor eșantioanelor recuperate (netulburate, tulburate, având inscripționate locația lor, intervalul de adâncime corespunzător, data eșantionării), iar probele au fost predate laboratorului în baza documentelor de recepție.

Programul de testare geotehnică în laborator include testele prezentate în *Tabelul 8*. Programul de testare a probelor în laboratorul geotehnic a fost propus și programat pentru eșantioanele prelevate până la adâncimea maximă de investigație de 30m CTN pentru zona SRM și respectiv până la adâncimea maximă de 15 – 20m pentru aliniamentul conductei. Pentru forajele geotehnice efectuate între 30m și 50m adâncime au fost efectuate numai observații descriptive geologice și stratigrafice, pentru acest interval nefiind solicitate probarea și testarea în cadrul scopului lucrărilor.

În *Anexa 10* sunt prezentate centralizat rezultatele încercărilor de laborator, iar în *Anexa 11* sunt prezentate toate rapoartele și buletinele de laborator și autorizațiile laboratoarelor care au efectuat încercările.

Tabel 8. Program de testare pentru încercările de laborator efectuate

Încercări efectuate în laborator	Standard / normativ testare utilizat	Număr încercări aliniament conductă	Număr încercări SRM	Total Încercări
Determinarea umidității	STAS 1913/1-82	91	86	177
Determinarea limitelor de plasticitate (Atterberg)	STAS 1913/4-86	91	86	177
Greutate volumică	STAS 1913/3-76	64	68	132
Greutate specifică/densitate specifică a scheletului mineral	STAS 1913/2-76	83	82	165
Forfecare cu dispozitivul cu palete mic (pocket Vane)	ASTM D2573	41	37	78
Forfecare cu dispozitivul cu palete mic – modificat (remoulded)	ASTM D2573	41	37	78
Determinarea granulozității - metoda sedimentării (în hidrometru pentru fracții fine < 74 microni)	STAS 1913/5-85; SR EN ISO 14688-2:2005 & 2018	91	86	177
Determinarea conținutului de carbonați	STAS 7107-3:2004	11	6	17
Determinarea conținutului de materie organică	ASTM D 2974	10	8	18
Determinare conductivitate hidraulică/permeabilității din edometru	STAS 8942/1-89	19	16	35
Determinarea parametrilor rezistenței la forfecare triaxială tip (UU)	SR EN ISO 17892-8:2018	11	6	17
Determinarea parametrilor rezistenței la forfecare în aparatul de compresiune triaxială tip (CU) (compression, ko, or extension)	SR EN ISO 17892-9:2018	10	8	18
Test în triaxial ciclic consolidat nedrenat extensie/compresie (Consolidated Undrained Cyclic Triaxial (extension & compression))	C241-92	10	8	18
Test de forfecare în triaxial consolidate drenat (CID)	SR EN ISO 17892-9:2018	10	8	18
Determinarea parametrilor rezistenței la forfecare în aparatul de forfecare directă tip CU, CD, UU	STAS 8942/2-82	20	17	37
Determinarea proprietăților dinamice ale pământului în coloana rezonantă Gmax – condiții nedrenate	C241-92	5	4	9
Determinarea proprietăților dinamice ale pământului în coloana rezonantă Gmax – condiții drenate	C241-92	5	4	9
Determinare pH	SR ISO 10390:2015	11	6	17
Determinarea presiunii de umflare	STAS 1913/12-88; STAS 8942/1-89	10	8	18
Determinarea rezistenței la compresiune monoaxială în aparatul Point Load Test (PLT)	ASTM D5731	6	71	77
Determinarea rezistenței la compresiune monoaxială Unconfined Compression Strength Test (UCS)	ASTM D2938	40	20	60
Determinare Proctor	STAS 1913/13-83	5	4	9
Determinarea compresibilității în edometru cu trepte de încărcare la 12,5, 25, 50, 100, 200, 300, 500 kPa, inclusiv determinarea IM3 pentru caracterizarea loess-ului	STAS 8942/1-89	30	41	71
Determinarea agresivității apei subterane asupra betoanelor (pH, sulfati, amoniu, magneziu)	SR EN 206	0	4	4
Determinarea conținutului de cloruri în apa subterană	SR ISO 9297:2001	0	4	4

Testele de laborator geotehnic pentru pământuri și roci au fost efectuate de Laboratorul Geotehnic autorizat gradul 1 din cadrul Universității Tehnice de Construcții București - UTCB (autorizația nr. 3098 / 26.11.2015, reînnoită ca 3581 / 20.02.2020), adresa: str. Râșcoala 1907, nr. 3-5, București, România; iar cele pentru roci tari au fost efectuate de către *Laboratorul pentru Testarea Materialelor de Construcții „LMC”*, Laborator autorizat de gradul 1 din cadrul UTCB (autorizație nr. 3580 / 19.02.2020), cu adresa în Bd. Lacul Tei, nr. 122-124, sect. 2, București, România.

Încercări chimice de laborator pentru probele de apă subterană au fost efectuate de către laboratorul certificat de gradul 1 *Laborator Central Construcții CCF* (autorizație nr. 2055 / 20.05.2014) având adresa în str. Calea Giulești, nr. 242, București, România.

3.8 CALIBRĂRI ȘI VERIFICĂRI

Toate echipamentele de testare utilizate în campania de investigare geotehnică sunt întreținute și verificate periodic în conformitate cu specificațiile producătorului și standardele aplicabile, cu certificatele de calibrare necesare actualizate (acolo unde este cazul).

Certificatele de calibrare și manualele echipamentelor au fost prezentate spre consultare și aprobare înainte de începerea lucrărilor de teren.

4 Geologia amplasamentului

4.1 SECVENȚELE LITOLOGICE INTERCEPTATE

Secvența litologică locală identificată atât în zona SRM, cât și în lungul aliniamentului conductei poate fi rezumată după cum urmează:

- *Sol vegetal* – praf argilos de la brun la brun închis, brun gălbui, friabil cu rădăcini vegetale frecvente, cu grosime variabilă de la 0,6 – 1m;
- *Formațiunea de Loess* – reprezentată de argile și argile prăfoase de culoare brun gălbuie, la brună, cu două subdiviziuni (orizonturi), respectiv: formațiunea de loess superioară - macroporic (orizont coeziv I) și formațiunea de loess inferioară (orizont coeziv III). Acestea sunt reprezentate de depozite pleistocene cu intercalații decimetrice de paleosol de culoare brună la brun roșcată, cu grosime relativ constantă pe amplasament cuprinsă între 8,30 m – 9,35 m;
- *Formațiunea de paleosol* (subdiviziunea II și IV) – preponderant reprezentată de argile, argile prăfoase, parte din orizontul coeziv loessoid per ansamblu (loessuri / pământuri loessoide);
- *Argila roșie* – interceptată la zona de tranziție către formațiunile calcaroase, fiind dificil de separat ca și unitate distinctă în mod clar, fiind fie o parte a formațiunii calcarului degradat, fie ca parte a unității loessoide (în unele foraje a fost identificată ca argilă roșie reziduală - formațiune degradată / alterată);
- *Formațiunea de calcar* (calcar organogen) – este reprezentată de depozite sarmațiene cu bioacumulare de calcar lumașelic, calcar oolitic, cu goluri care pot fi umplute de argile roșiatice sau în care se pot dezvolta formațiuni carstice. Grosimea formațiunii este variabilă în zona investigată din cauza prezenței intercalației argilelor verzi și a golurilor (această descriere are în vedere și zonele în care a fost pierdută proba sau spălată). Formațiunea de calcar organogen are o grosime de 28,45m până la 30m identificată în forajele geotehnice efectuate pentru zona SRM și doar într-un singur foraj a fost interceptată zona alterată a calcarului pentru aliniamentului conductei, respectiv în apropierea țărmului Marii Negre, unde formațiunea calcaroasă este mai aproape de suprafață;
- *Formațiunea argilelor verzi* – interceptată ca intercalație în formațiunea de calcar sarmațian, având grosimi de strat reduse cuprinse între 1m – 2,45m. Această formațiune coezivă a fost întâlnită doar în forajele adânci din zona SRM, la adâncimi mai mari de 30m față de CTN.

4.2 LITOLOGIA & CARACTERIZAREA FORMAȚIUNILOR COEZIVE

Informațiile cu referire la caracterizarea litologică și geologică a amplasamentului prezentate în acest raport se referă exclusiv la condițiile de strat întâlnite în forajele geotehnice efectuate până la adâncimi de 50m față de CTN pentru zona SRM și respectiv, la adâncimi cuprinse între 15m și 20m față de CTN pentru zona aliniamentului conductei.

Secvența litologică întâlnită este prezentată în fișele primare de foraj împreună cu observații din teren, tipul de probe, intervale de prelevare, testele in situ, adâncimi absolute și relative în schimbările de strat, instrumentarea și închiderea forajului, coordonatele și cotele, prezentate în *Anexa 2: Secțiunea 1 - Fișe primare de foraj*, respectiv *Secțiunea 2 - Fișe complexe de foraj* în acestea din urmă fiind incluse și rezultatele testelor de laborator geotehnic.

Secțiuni litologice longitudinale schematice cu stratificația sunt ilustrate în *Figura 24*, pentru direcția sud - nord aferente SRM, respectiv de la vest la est în lungul aliniamentului conductei în *Figura 25* și detaliat prezentate în *Anexa 3: Secțiuni litologice*.

Secvențele litologice majore au fost evaluate pe baza observațiilor din teren coroborate cu rezultatele de laborator geotehnic și sunt prezentate clasificate după criteriul granulometric și parametri fizico-mecanici, împreună cu adâncimile, grosimile de strat (reprezentare cromatică) în *Tabelul 9* pentru zona SRM și în *Tabelul 10* pentru aliniamentul conductei.

Tabel 9. Sumar cu secvențele stratigrafice interceptate pentru zona SRM (BN1+BN4)

Foraj		BN1				BN2				BN3				BN4			
Grup litologic		Cotă Strat				Cotă Strat				Cotă Strat				Cotă Strat			
(clasificate în funcție de criteriul granulometric și parametri fizico-mecanici din laborator)		Elevație	Superioară	Inferioară	Grosime	Elevație	Superioară	Inferioară	Grosime	Elevație	Superioară	Inferioară	Grosime	Elevație	Superioară	Inferioară	Grosime
Tip formațiune		NMN	(m)	(m)	(m)	NMN	(m)	(m)	(m)	NMN	(m)	(m)	(m)	NMN	(m)	(m)	(m)
Sol vegetal	CI	32,00	0,00	0,60	0,60	31,91	0,00	0,70	0,70	31,94	0,00	0,90	0,90	31,77	0,00	1,00	1,00
Loess unitatea I	SiCI	31,40	0,60	6,00	5,40	31,21	0,70	6,50	5,80	31,04	0,90	7,50	6,60	30,94	1,00	7,40	6,40
Argila/Paleosol unitatea II	CI	26,00	6,00	7,00	1,00	25,41	6,50	7,90	1,40	24,44	7,50	8,50	1,00	24,54	7,40	9,00	1,60
Loess unitatea III	SiCI	25,00	7,00	9,00	2,00	24,01	7,90	9,00	1,10	23,44	8,50	9,20	0,70	22,94	9,00	10,35	1,35
Argila/interc. paleosol unit. IV	CI	23,00	9,00	20,00	11,00	22,91	9,00	20,15	11,15	22,74	9,20	20,00	10,80	21,59	10,35	20,25	9,90
Calcar organogen	rocă	12,00	20,00	50,00	30,00	11,76	20,15	50,00	29,85	11,94	20,00	50,00	30,00	11,69	20,25	50,00	29,75

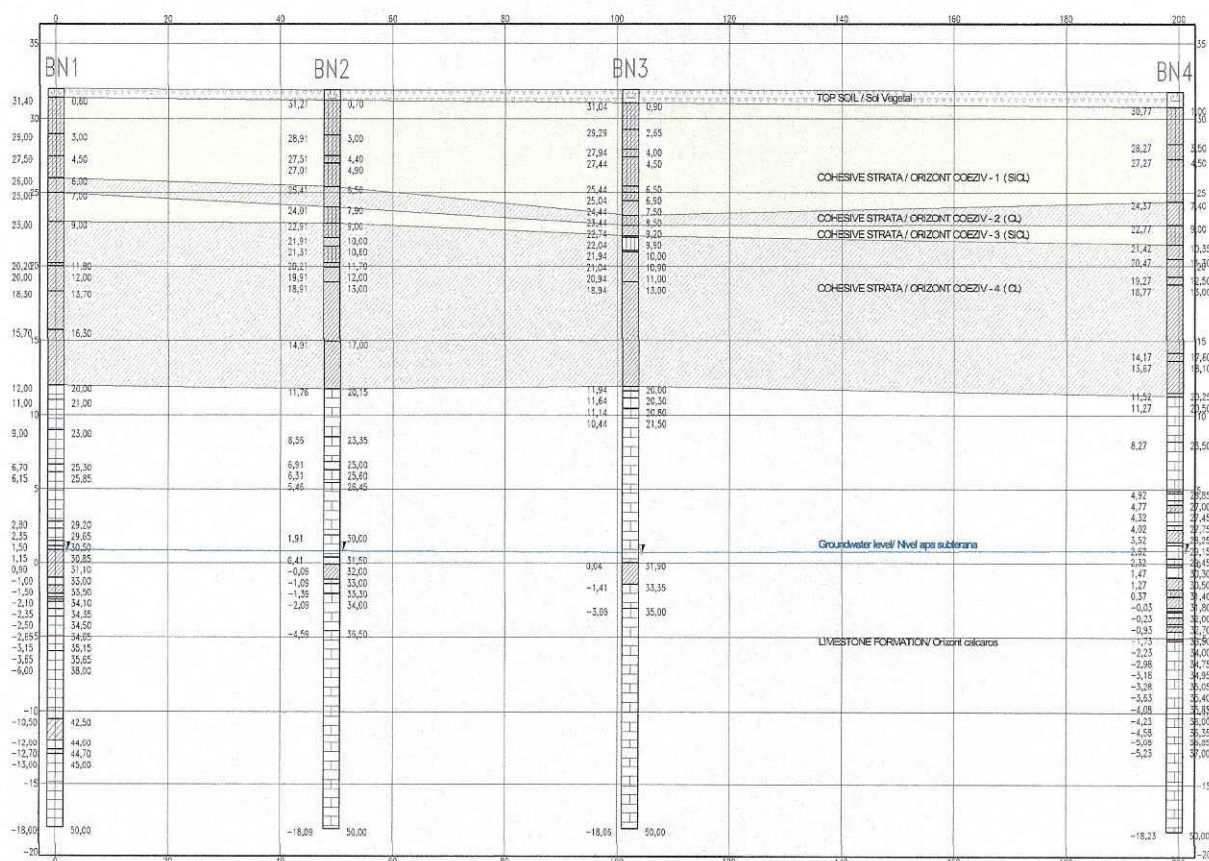


Figura 24. Secțiune litologică – profil caracteristic al terenului sud – nord pentru zona SRM (foraje BN1+BN4)

Tabel 10. Sumar cu secvențele stratigrafice interceptate pentru zona aliniamentului conductei (BP1+BP5)

Foraj		BP1				BP2				BP3				BP4				BP5			
Grup litologic			Cotă Strat			Cotă Strat			Cotă Strat			Cotă Strat			Cotă Strat			Cotă Strat			
(clasificate în funcție de criteriul granulometric și parametrii fizico-mecanici din laborator)		Elevatie	Superioară	Inferioară	Grosime	Elevatie	Superioară	Inferioară	Grosime	Elevatie	Superioară	Inferioară	Grosime	Elevatie	Superioară	Inferioară	Grosime	Elevatie	Superioară	Inferioară	Grosime
Tip formațiune		NMN	(m)	(m)	(m)	NMN	(m)	(m)	(m)	NMN	(m)	(m)	(m)	NMN	(m)	(m)	(m)	NMN	(m)	(m)	(m)
Sol vegetal	CI	30,90	0,00	0,60	0,60	29,64	0,00	0,60	0,60	27,15	0,00	0,80	0,80	23,82	0,00	0,65	0,65	19,63	0,00	0,65	0,65
Loess unitatea I	SiCl	30,30	0,60	7,20	6,60	30,30	0,60	7,20	6,60	30,10	0,80	5,20	4,40	30,25	0,65	4,40	3,75	30,25	0,65	5,90	5,25
Argila/Paleosol unitatea II	CI	23,70	7,20	9,00	1,80	23,70	7,20	9,20	2,00	25,70	5,20	7,20	2,00	26,50	4,40	5,80	1,40	25,00	5,90	8,40	2,50
Loess unitatea III	SICl	21,90	9,00	9,90	0,90	9,20	9,20	10,50	1,30	7,20	7,20	8,50	1,30	25,10	5,80	7,75	1,95	22,50	8,40	9,50	1,10
Argila cu intercalații de paleosol unit. IV	CI	21,00	9,90	15,00	5,10	10,50	10,50	15,00	4,50	22,40	8,50	15,00	6,50	23,15	7,75	15,00	7,25	21,40	9,50	16,90	7,40
Calcar organogen	rocă																	14,00	16,90	20,00	3,10

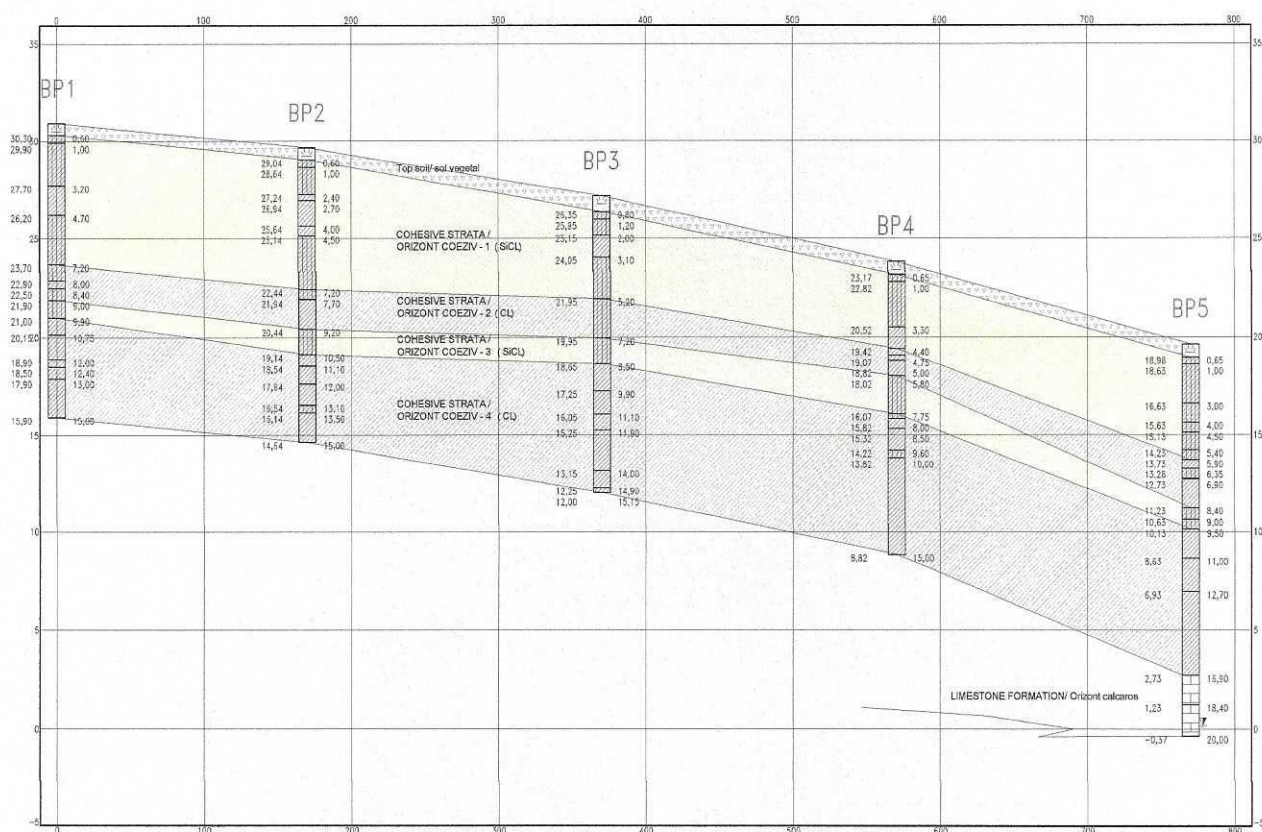


Figura 25. Secțiune litologică – profil caracteristic al terenului vest – est pentru zona aliniamentului conductei (foraje BP1+BP5)

Pentru amplasamentul studiat, stratificația locală pusă în evidență este considerată a fi omogenă pe orizontală, în particular zona SRM unde toate tipurile litologice au fost identificate în toate cele 4 foraje geotehnice, cu ușoare diferențe pentru adâncimile de interceptare.

Distribuția granulometrică între tipurile litologice poate fi considerată ca fiind omogenă pe orizontală, în timp ce fracția fină este majoritară, fiind > 98%, constituită în principal din argile, argile prăfoase ca parte a formațiunii coezive tipice caracteristice loessului (loess / pământuri loessoide, intercalații de paleosoluri).

Înregistrări fotografice cu secvențele stratigrafice locale și poziționarea locației forajelor în raport cu caracteristicile amplasamentului, este prezentată în Anexa 9.

4.2.1 Solul vegetal

Pământul vegetal (solul vegetal) a fost întâlnit în toate locațiile testate, reprezentat în principal de argilă, argilă prăfoasă de culoare de la brun la brun închisă, negricioasă, tare, cu rădăcini vegetale frecvente, cu grosimi începând de la 0,6m până la 1m. Umiditatea naturală este redusă, fiind uscată, influențată de climatul local cu o evaporare ridicată la care se adaugă și structura macroporică a formațiunii de loess situate dedesubt, care favorizează drenajul rapid al apei în adâncime. Conținutul de apă este influențat de regimul pluviometric, iar în timpul lucrărilor de teren nu au fost înregistrate căderi de precipitații (cu excepția ultimei zile de lucrări), solul vegetal fiind uscat până la foarte uscat (zonă expusă constant la vânt și insolație).

4.2.2 Formațiunea de loess

În cadrul formațiunii generice de loess au fost identificate două subdiviziuni care au geneză și aspect diferit după cum urmează: *loessul macroporic* și unitatea de *paleosol cu caracteristici loessoide*.

Loess macroporic – reprezentat predominant de argile prăfoase de culoare gălbui deschis / brun deschis - gălbui, cu frecvent macropori de 1 - 2mm diametru (*Figura 26*), cu lungimi variabile (centimetri până la decimetri), predominant cu dezvoltare în plan vertical, în stare uscată, are o coeziune aparentă semnificativă, dar foarte friabil și sfărâmbicios când este manipulat și sensibil la umezire (*Figura 26* și *Figura 27*).

Adâncimea până la care au fost interceptate aceste formațiuni este cuprinsă între 9m și 10,35m CTN pentru amplasamentul SRM, respectiv până la adâncimi cuprinse între 7,75m și 10,5m față de CTN pentru zona aliniamentului conductei.

Unitatea de loess macroporos prezintă în componenta sa două intervale, separate în funcție de criteriul granulometric și parametrii fizico-mecanici din laborator în două orizonturi, între care se intercalează un orizont de paleosol, după cum urmează:

- subunitatea de loess superior frecvent cu macropori, reprezentat granulometric de argile prăfoase de culoare gălbui/brun deschis - gălbui, identificat în secțiunile litologice ca strat (I) sau orizont (1); și
- subunitatea de loess inferior cu structură mai puțin macroporică, cu un conținut de umiditate crescut reprezentat granulometric tot de argile prăfoase de culoare gălbui – brună, brun deschis – gălbui, identificat pe secțiunile litologice ca strat (III) sau orizont (3).

Subunitatea paleosolurilor cu caracteristici loessoide dominate granulometric de argile de culoare brună la brun roșcată, se dezvoltă preponderent între cele două unități de loess macroporic descrise mai sus, identificat în secțiunile litologice ca stratul (II) sau orizontul (2). Acest orizont intercalat de paleosol a fost interceptat în toate forajele, având grosimi variabile începând de la 1m – 1,6m față de CTN pentru locația SRM și ajungând până la 1,4m – 2,5m față de CTN pentru zona aliniamentului conductei.



Figura 26. Structură macroporică în formațiunea de loess, orizont 1 – foraj BN2 la 6m, proba SH3B



Figura 27. Loess friabil, uscat – subunitatea loess superior orizont 1, foraj BN,3 adâncimea 5m și 6m

O reprezentare schematică a litologiei în funcție de adâncimile de interceptare și grosimile de strat este sintetizată în *Tabelul 9* și *Tabelul 10* iar graficele cu distribuția spațială a acestor strate (orizonturi) sunt prezentate în *Figura 24* și *Figura 25*, cu secțiuni litologice – profile caracteristice ale terenului cu succesiunea formațiunilor traversate de forajele geotehnice.

În conformitate cu criteriile de clasificare a pământurilor sensibile la umezire PSU și în funcție de clasificarea depozitelor loessoide după compoziția granulometrică, întreaga unitate este considerată ca fiind pământuri loessoide – argile prăfoase (ref. Tabel 1 din NP125:2010).

4.2.3 Formațiunea argilelor brune / brun roșcate cu intercalații de paleosol

Această unitate este reprezentată în principal de argile brune, brun roșcate la roșiatice. La partea superioară prezintă macropori (nu la fel de dezvoltată ca pentru formațiunea de loess macroporic din partea superioară a secvenței stratigrafice – orizont 1), vâtoasă la tare și friabilă, umiditate naturală crescută, cu intervale ocazionale în care sunt observate concrețiuni calcaroase, uneori cu materie organică (lemn pseudo-fibros, rădăcini) și intercalații de paleosol, având un caracter mai accentuat loessoid la partea superioară a formațiunii (vezi *Figura 28*).

În secvența argilelor brune - brun roșcate, în partea inferioară a formațiunii, acestea devin mai friabile, tari, fiind observate fisuri cu înclinație de aproximativ 45° și suprafețe de separație lucioase similare cu oglinzile de fricțiune (*Figura 29*).

Formațiunea argilelor brune – brun roșcate a fost identificată în toate forajele investigate, având diferite grosimi cuprinse între 9,9m – 11,15m pentru zona SRM și descrescând către 4,5m – 7,4m grosime spre est, pentru aliniamentul conductei, fiind identificat în secțiunile litologice ca stratul (IV) sau orizont (4) (*Tabelul 9* și *Tabelul 10*).



Figura 28. Argilă brună /roșcată cu intercalații de paleosol (strat IV), macropori, materie organică (BN4, 11m)



Figura 29. Argilă brună, brun-roșcată tare, friabilă, fisurată, cu înclinări de 45°, cu suprafețe lucioase de desprindere (oglinzi de fricțiune) în BN2, la 18,7m

Tranziția de la unitatea de loess inferior (stratul III) la formațiunea argilelor brune – brun roșcate (stratul IV) nu este distinctivă, are unități intercalate din ambele tipuri litologice și uneori, formațiunile sunt interpătrunse. Intervalele de loess de dimensiuni centimetrice au fost observate în cadrul formațiunii argilelor brune și invers, fiind foarte dificil de separat o unitate de cealaltă.

Pe malul Mării Negre, în apropierea amplasamentului, ambele formațiuni coezive loessoide și argiloase au putut fi observate ca aflorimente pe pantele erodate ale falezei înalte, pentru care au fost observate a fi întreprinse unele lucrări recente de protecție a taluzurilor pentru oprirea fenomenelor de eroziune.

4.2.4 Argila roșie (argila reziduală)

Argila roșie (denumită aici argilă reziduală) a fost întâlnită ca strat distinctiv într-un număr restrâns de foraje de investigare, fiind destul de dificil să fie separată de formațiunea coezivă superioară. Acest tip litologic a fost întâlnit la tranziția către formațiunea de calcar sarmațian, fiind fie ca o parte din acesta, fie ca o parte a formațiunii argilelor brune – brun roșcate (stratul IV).

Frecvent, în cadrul argilei roșii reziduale se observă fragmente angulare de calcar, cu conținut crescut de hidroxid de fier (depusă într-un mediu oxidant ridicat), cu o culoare roșiatică mai intensă (Figura 30).



Figura 30. Argilă roșie (reziduală) cu fragmente angulare de calcar, zona alterată de tranziție în forajul BN4 la 20,25m

4.3 FORMAȚIUNEA DE ROCI - CALCAR

Formațiunea de roci reprezentate de calcare a fost întâlnită în toate cele 4 foraje geotehnice efectuate la adâncimi de 50m pentru zona SRM și doar într-un singur foraj executat până la adâncimea de 20m, în zona aliniamentului conductei. În timpul activității de carotaj s-a observat că diferitele tipuri de calcar sarmațian sunt afectate de diferite procese de carstificare și alterare.

Scopul lucrărilor a presupus activități de carotaj cu prelevare de eșantioane pentru testare în laborator până la adâncimi de 30m. În forajele unde a fost întâlnită formațiunea de roci, aceasta a fost evaluată pentru o grosime aproximativă de 10m sub cota de interceptare (grosime care corespunde adâncimii inferioare de prelevare probe și analize de laborator pentru roci tari), interval pentru care au fost efectuate testele de compresiune monoaxială tip "point load test" și de tipul UCS în laborator. Caracterizarea formațiunii de rocă din perspectiva recuperajului

utilizând metode de evaluare de tipul TCR, SCR și RQD, a fost realizată pentru întreg intervalul de rocă pentru care s-a efectuat carotajul până la adâncimea maximă de 50m.

Formațiunea de calcar este reprezentată de depozite organogene sarmațiene formate prin:

- Bioacumularea unor fragmente mari de gastropode, bivalve (bioclaste). Un calcar fosilifer conține fosile evidente și abundente, acestea fiind în mod normal fosile din scoici și schelete ale organismelor care au produs calcarul.
- Precipitare, geneza specifică formării calcarului oolitic compus în principal din „oolite” reprezentând sfere mici formate prin precipitarea concentrică a carbonatului de calciu pe un bob de nisip sau fragmente de cochilii.

În aceste formațiuni calcaroase se dezvoltă goluri (favorizate de circulația apei) și fisuri, care au fost umplute cu argile roșiatice și care pot dezvolta ulterior fenomene carstice (*Figurile 30, 32, 31, 33, 34 și 35*).

Grosimea rocii este variabilă în zona investigată, evaluarea exactă fiind afectată de prezența intercalațiilor de argile verzi, cât și a golurilor (în evaluarea grosimii relative a formațiunii de roci a fost luată în considerare și pierderea de material din timpul carotajului – *core loss*). Calcarul organogen are o grosime de la 28,45m până la 30m în zona SRM și doar de 3,1m grosime în forajul BP5, executat în zona aliniamntului conductei, în partea de est a amplasamentului.

Scopul de lucrări nu a inclus și efectuarea unei evaluări petrografice detaliate pe carotele de calcar. Corelarea detaliată a formațiunilor de calcar este dificilă, stratificația interceptată în foraje fiind încrucișată și heterogenă pentru acest tip de formațiune, neexistând repere pentru o datare stratigrafică.

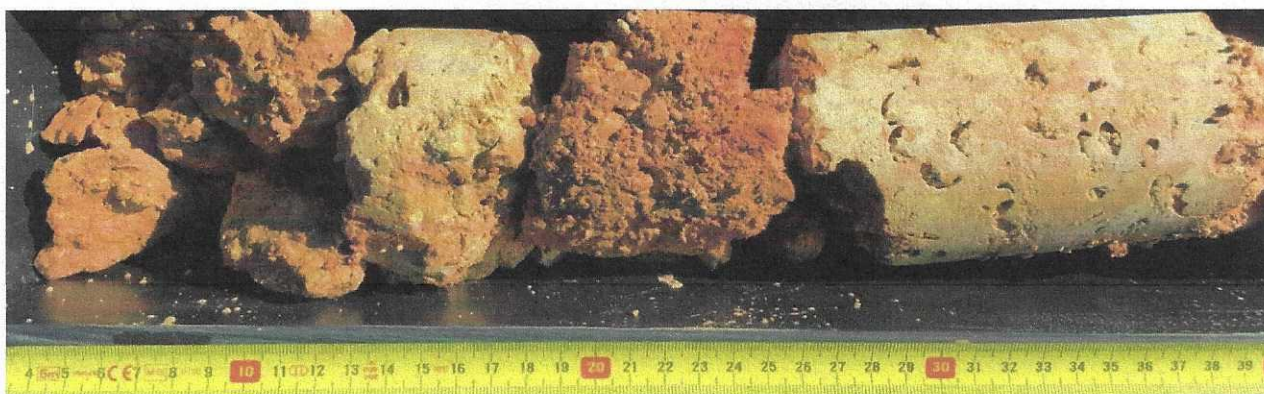


Figura 31. Argila reziduală înglobată în formațiunea de calcar – interval de calcar alterat în forajul BN1 la 21,2m



Figura 32. Calcar bioclastic cu macrofosile cu goluri de dizolvare, intervale afectate de oxidare în forajul BN1 la 24,5m

În cadrul formațiunii de calcar sunt prezente două straturi pelitice: a) argile roșii reziduale la partea superioară a calcarului în zona alterată; și b) argile verzi / verzui cenușii întâlnite la adâncimi cuprinse între 31,1 – 37m CTN, cu intervale de tranziție de calcar argilos (Figura 33 și Figura 34).



Figura 33. Calcar argilos cu intercalații de argile verzi-cenușii în forajul BN1, la 33,5m



Figura 34. Zona de tranziție de la argile verzi la calcare organogene în forajul BN1 la 34,4m



Figura 35. Calcar oolitic compact alternând cu intervale friabile în forajul BN1 la 39m

Fenomene carstice și de fragmentare

S-a observat că formațiunile de calcar sarmațian identificate în foraje sunt afectate pe anumite intervale de cavități și goluri de dizolvare carstică. În timpul activităților de foraj s-au înregistrat pierderi frecvente a apei de circulație pentru anumite intervale de strat și s-au folosit volume mari de apă pentru executia unui singur foraj.

O mare parte a golurilor au fost observate a fi umplute parțial sau în totalitate cu fracție argiloasă (argilă roșie reziduală și argilă verzuie) sau cu calcit din precipitare secundară (cristale de

calcit), observat în materialul carotat (în zonele în care acesta a putut fi recuperat și nu a fost spalat de fluidul de foraj), preponderent în partea inferioară (cea mai de jos) a forajelor, în timp ce unele goluri ar putea fi încă deschise în cadrul formațiunii.

Fracturi și fisuri au fost de asemenea observate în carotele de calcar, cu o frecvență variabilă, deoarece procesul de carstificare afectează și modifică aceste discontinuități, iar evaluarea statistică a acestor fisuri nu a putut fi efectuată (*Figura 36*).

Detalierea fenomenelor carstice va fi necesar să fie abordată în continuare în cazul în care sistemul de fundație va interfera cu aceste formațiuni afectate de aceste fenomene și în special pentru sectorul de proiect unde este preconizată execuția microtunelului pentru subtraversarea țărmului și a zonei litorale a Mării Negre de către conducta de aducțiune a gazelor naturale.

Formațiunea calcarului este reprezentată în secțiunile geologice longitudinale schematice din *Figura 24* și *Figura 25* și secvențele orizonturilor traversate sunt rezumate în *Tabelul 7* și *Tabelul 8* din capitolul anterior.

Detalii privind caracterizarea formațiunii de rocă din perspectiva recuperajului utilizând metode de evaluare de tipul TCR, SCR și RQD, duritate în scara Mohs, instrumentatie în timpul forajului sunt prezentate în *Anexa 2 – Secțiunea 1 – Fise primare de foraj* și *Anexa 3: Secțiunile litologice longitudinale* (diagrame stratigrafice schematice reprezentative). O înregistrare fotografică cu secvențele stratigrafice locale interceptate este prezentată în *Anexa 9*.

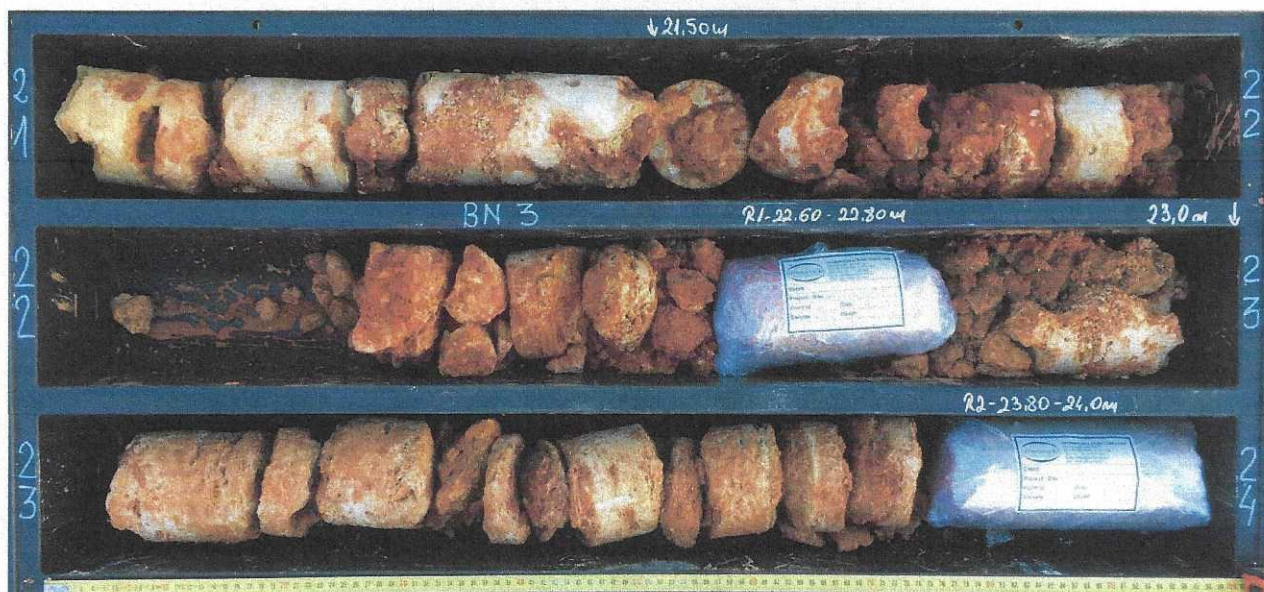




Figura 36. Procese de fragmentare, fisuri, goluri și fenomene de dizolvare asociate carstului în formațiunea de calcar în forajul BN3 pentru intervalul 21m – 47m CTN

5 Caracterizarea Geotehnică a Amplasamentului

5.1 LOESS – CLASIFICAREA PĂMÂNTURILOR SENSIBILE LA UMEZIRE

5.1.1 Caracteristici generale ale loessului ca și pământuri sensibile la umezire (PSU) NP125:2010

Secvența litologică interceptată în amplasament a întâlnit pământuri macroporice. Acest tip special de pământuri sunt clasificate ca fiind sensibile la umezire (PSU), iar caracteristica specială constă în faptul că atunci când apare o mică creștere a umidității, structura și comportamentul lor mecanic este substanțial și ireversibil schimbat. Când este uscată, formațiunea de loess poate sta vertical (în terasamente, versanți, săpătura, etc.). Cu toate acestea, structura loessului este susceptibilă la cedare și este colapsibilă ca urmare a scăderii rapide a rezistenței la forfecare la creșteri relativ mici ale conținutului de umiditate, făcând această formațiune vulnerabilă la instabilitate.

Definiția PSU conform normativului tehnic NP125:2010 corespunde pământurilor macroporice, nesaturate, coezive, care atunci când sunt expuse la umiditate se confruntă cu o schimbare rapidă și ireversibilă a structurii interne, ceea ce duce la tasări suplimentare colapsibile, care scad caracteristicile mecanice ale parametrilor geotehnici.

În următoarele secțiuni, clasificarea formațiunii loessoide a fost făcută în conformitate cu normativul tehnic NP125:2010, având în vedere criteriile specifice care includ: granulozitatea, proprietățile fizice (conținutul de umiditate, densitatea, gradul de saturație, porozitatea) și proprietățile mecanice.

Un pământ este încadrat în categoria PSU dacă îndeplinește cel puțin un criteriu pentru clasificarea parametrilor fizici și un criteriu pentru clasificarea comportamentului mecanic.

5.1.2 Clasificare PSU după criteriul granulometric

Depozitele de loess pleistocene sunt împărțite tipic în *loess (in-situ loess)* și *depozite derivate din loess* care includ materiale fluviale, marine și coluviale. Pentru amplasamentul în cauză, loessul și depozitele de loessoide sunt clasificate din perspectivă granulometrică ca *argile și argile prăfoase* după SR EN ISO 14688:2-2005.

Generic, terminologia de referință pentru „loess” corespunde pământurilor care îndeplinesc în totalitate caracteristicile de colapsabilitate. Termenul de „loessoid / loessic” se referă la pământuri care în timp nu au un comportament colapsibil sau au o valoare scăzută a indicelui i_{m3} (mai puțin de 2% pentru valori ale tasărilor suplimentare specifice prin umezire); cu toate acestea posedă toate celelalte caracteristici pentru clasificarea PSU, așa cum este descris în NP125: 2010.

Criteriul granulometric utilizat pentru clasificarea PSU după NP125: 2010 este prezentat în *Tabelul 11*. Acest criteriu utilizează clasificarea granulometrică în procente pe diametre (d) ale particulelor (în mm) conform STAS 1913/5-85 și clasifică PSU în **loessuri** (loess în situ sau loess) având dimensiunea particulelor (d) = 0,01 - 0,1 mm > 60%, și **pământuri loessoide** având dimensiunea particulelor (d) = 0,01 - 0,1 mm < 60%.

Criteriul acesta de clasificare a fost aplicat pentru toate formațiunile coezive interceptate în toate forajele geotehnice și încadrează formațiunile coezive în clasa *pământurilor loessoide* (*Tabelul 11*).

Tabel 11. Clasificarea depozitelor loessoide după compoziția granulometrică conform NP125:2010

Tipuri litologice		Conținut de material pe diametre (d) ale particulelor [%]				
Major	Funcție de fracțiunea predominantă	< 0.01 mm	0.01 – 0.05 mm	0.05 – 0.1 mm	0.1 – 0.25 mm	> 0.25 mm
Loess (d = 0.01 – 0.1 mm > 60%)	Nisipoase	< 40	35 – 45	15 – 25	0 – 15	-
	Prăfoase	< 30	> 45	< 15	0 – 10	-
	Argiloase	> 40	> 45	< 15	0 – 15	-
Pământuri loessoide (d = 0.01 – 0.1 mm < 60%)	Nisipuri argiloase	< 30	10 – 50	10 – 50	25 – 55	> 5
	Prafuri nisipoase	< 30	35 – 55	35 – 50	< 30	< 5
	Prafuri argiloase	< 50	40 – 60	40 – 60	10 – 40	0 – 5
	Argile prăfoase	> 50	25 – 50	25 – 50	0 – 10	0 – 5

Pentru amplasamentul studiat, pentru pământurile loessoide, fracțiunea predominantă este reprezentată de argila prăfoasă (pentru care dimensiunea particulelor cu diametrul < 0,01mm este mai mare de 50%). Valorile medii pentru conținutul de material pe diametre (d) ale particulelor în procente au fost calculate și sunt prezentate statistic în Tabelul 12.

Tabel 12. Valori statistice ale fracțiunii granulometrice pentru clasificarea loessurilor conform NP125:2010

Dimensiunea particulelor	Parametrii statistici	BN1	BN2	BN3	BN4	BP1	BP2	BP3	BP4	BP5
		[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
d= 0,01 - 0,1 mm	minim	11,0	13,0	19,0	18,0	27,0	26,0	24,0	20,0	20,0
	media	35,0	34,5	37,5	36,9	40,6	42,1	37,0	35,7	35,7
	maxim	56,0	55,0	57,0	59,0	55,0	55,0	54,0	60,0	60,0
d < 0,01 mm	minim	44,0	44,0	42,0	39,0	43,0	44,0	44,0	40,0	40,0
	media	64,3	64,9	61,8	62,0	57,9	56,5	62,1	62,9	62,9
	maxim	89,0	87,0	81,0	81,0	73,0	74,0	78,0	79,0	79,0

5.1.3 Identificarea PSU în funcție de proprietățile fizice

Identificarea pământurilor sensibile la umezire în funcție de proprietățile fizice ia în considerare următorii parametri:

- fracțiunea de praf d = 0,002-0,062 mm în proporție de 50 – 80%;
- aflate în stare nesaturată $S_r < 0.8$; și cu porozitate în stare naturală $n > 40\%$.

Pentru toate probele de pământuri prelevate din foraje și care au fost analizate în laboratorul geotehnic, valorile statistice medii pentru parametri fizici corespunzători sunt prezentate în Tabelul 13. Reprezentarea grafică a procentului de praf în raport cu gradul de saturație este prezentată în Figurile 37 și 38, iar reprezentarea grafică a fracțiunii de praf în raport cu porozitatea este prezentată în Figurile 39 și 40.

Tabel 13. Clasificarea PSU în funcție de proprietățile fizice conform NP125:2010 - valori statistice

Proprietăți fizice	Criterii de clasificare	Parametrii statistici	BN1	BN2	BN3	BN4	BP1	BP2	BP3	BP4	BP5
			[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Procentul de praf (%)	50 - 80 % (d=0,002-0,062)	minim	43,00	24,00	32,00	19,00	45,00	47,00	41,00	41,00	36,00
		media	54,30	51,20	53,30	52,20	57,60	59,50	55,10	53,50	54,71
		maxim	73,00	71,00	75,00	75,00	73,00	73,00	73,00	77,00	72,00
Gradul de saturație S_r (-)	$S_r < 0,8$	minim	0,30	0,32	0,41	0,42	0,33	0,39	0,35	0,33	0,52
		media	0,67	0,68	0,66	0,72	0,55	0,72	0,70	0,71	0,78
		maxim	0,91	0,93	0,89	0,98	0,77	0,95	0,91	0,89	0,95
Porozitate, n (%)	$n > 40$	minim	35,10	37,40	37,00	35,00	41,80	37,00	33,80	36,70	35,70
		media	41,82	43,96	42,89	41,36	44,96	40,57	41,78	40,25	40,42
		maxim	48,80	49,90	50,10	48,90	48,80	47,60	52,70	45,30	44,40

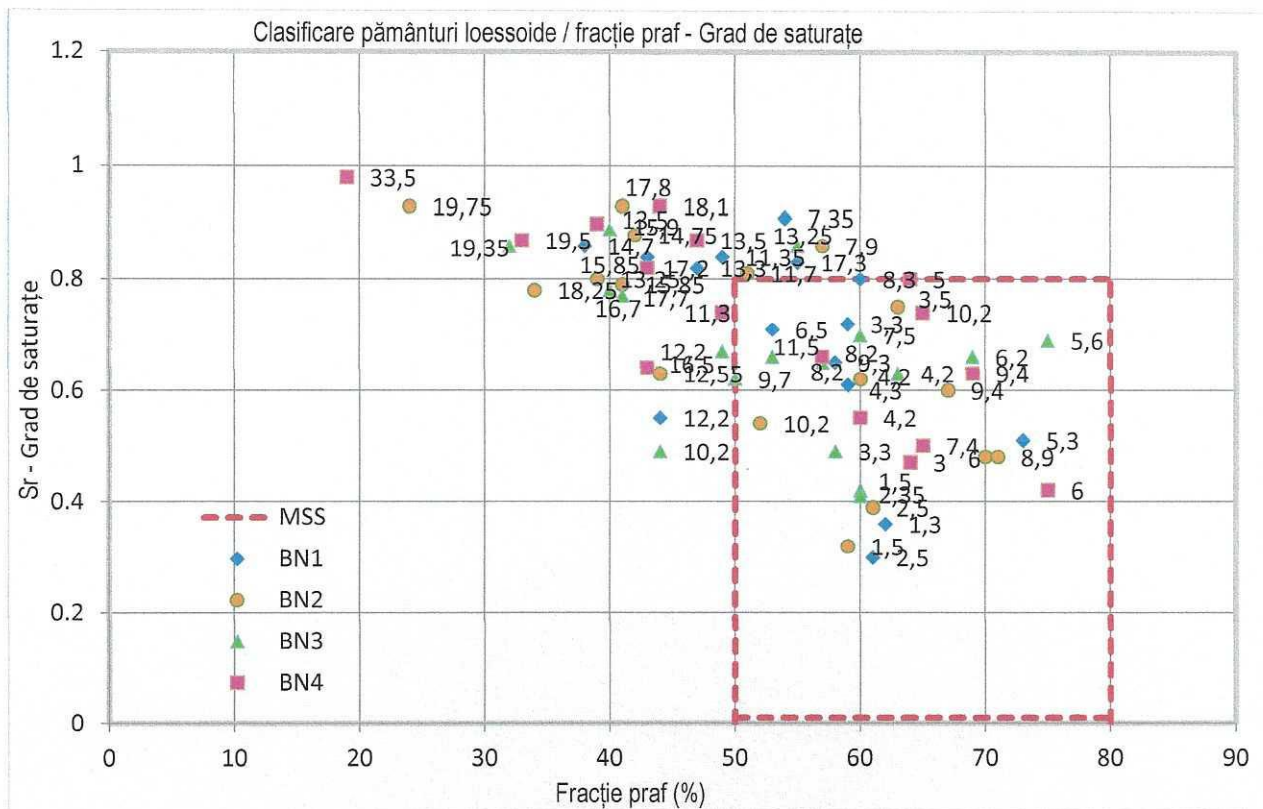


Figura 37. Reprezentarea grafică a procentului de praf în raport cu gradul de saturație (Sr) pentru zona SRM (valorile reprezintă adâncimea inferioară a probei, MSS=PSU)

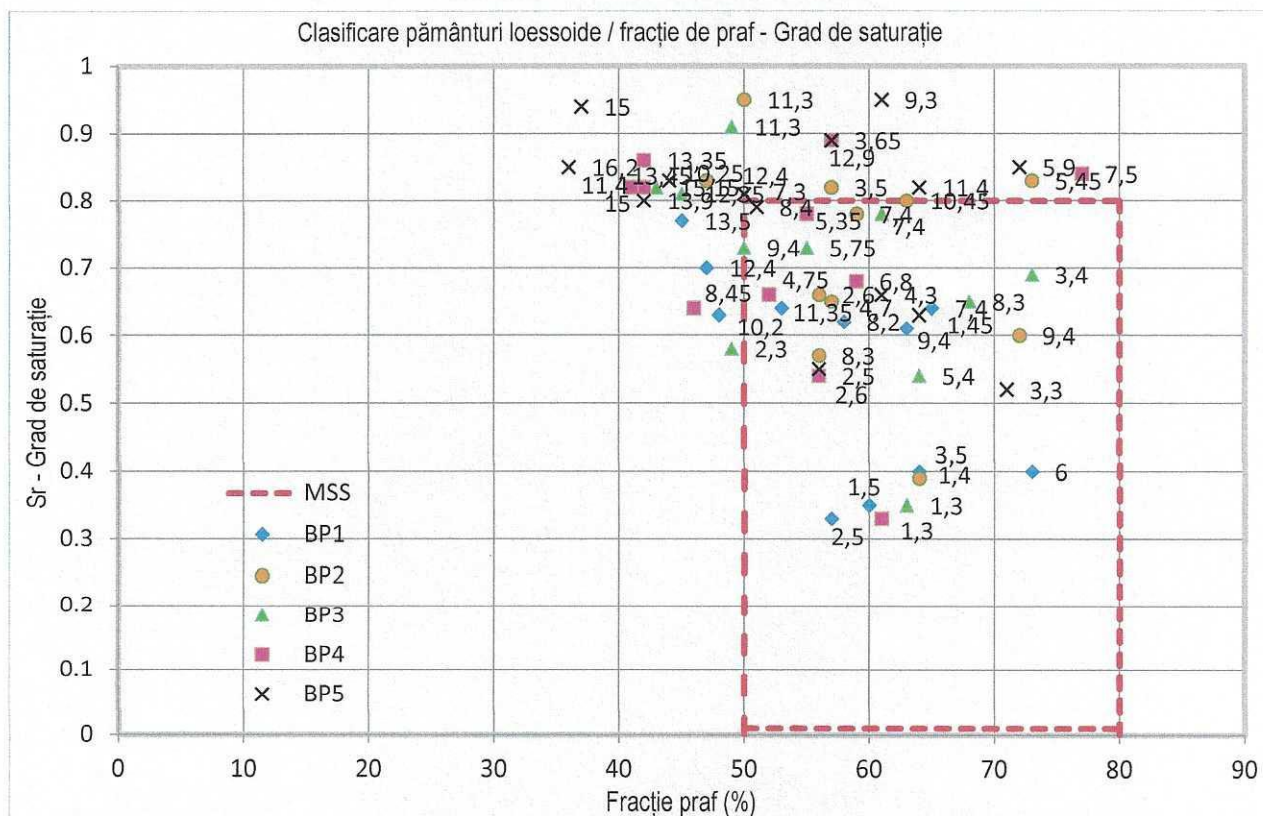
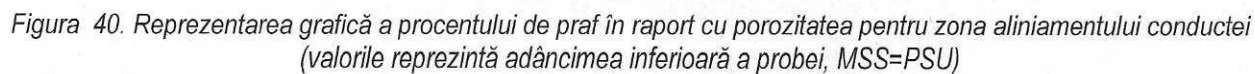
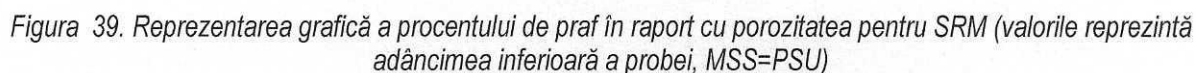


Figura 38. Reprezentarea grafică a procentului de praf în raport cu gradul de saturație (Sr) pentru zona aliniamentului conductei (valorile reprezintă adâncimea inferioară a probei, MSS=PSU)



5.1.4 Identificarea PSU în funcție de comportamentul mecanic

Un pământ este clasificat ca fiind sensibil la umezire în funcție de proprietățile mecanice, dacă respectă cel puțin unul dintre cele două criterii de comportament mecanic, respectiv:

- Indicele tasării suplimentare prin umezire sub treapta de 300 kPa - i_{m300} în încercarea edometrică are valoarea $\geq 2\%$;

$$i_{m300} \geq 2\% \quad [\text{cm/m}]$$

- Indicii (η) și (δ) la tasările terenului în stare naturală și inundată în încercarea cu placă (încărcată până la presiunea de 300 kPa) au valorile:

$$\eta = \frac{S_i}{S_n} \geq 5$$

$$\delta = S_i - S_n \geq 3 \text{ cm}$$

unde:

S_i = tasarea terenului inundat;

S_n = tasarea terenului în condiții de umiditate naturală.

Clasificarea unui pământ în grupa A sau B se realizează pe baza estimării tasării suplimentare la umezire sub greutate proprie, I_{mg} (Anexa 5 din NP125:2010).

$$I_{mg} = \sum_{i=1}^N i_{mg} * h_i$$

$$i_{mg} = \varepsilon_{gi} - \varepsilon_{gn}$$

Unde

N = numărul straturilor elementare de calcul;

h_i = grosimea straturilor elementare;

i_{mg} = indicele tasării specific suplimentare prin umezire a stratului elementar "i" sub greutate proprie și se obține pe baza rezultatelor încercărilor edometrice duble cu relația:

$$i_{mg} = \varepsilon_{gi} - \varepsilon_{gn}$$

ε_{gi} = deformația specifică a pământului inundat sub σ_{gi} (sarcina calculată cu greutatea volumică a pământului saturat γ_{sat});

ε_{gn} = deformația specifică a pământului natural pentru σ_{gn} (sarcina geologică corespunzătoare mijlocului stratului elementar calculată cu greutatea volumică în stare naturală γ).

Dacă pe adâncime sunt zone în care rezistența structurală $\sigma_0 \geq \sigma_{gi}$, se va ține seama în calcul de I_{mg} astfel:

$$i_{mg} = \varepsilon_{gi} - \varepsilon_{gn} + 0.01 (1\%)$$

Indicele tasării specifice la umezire $i_{m\sigma}$ este diferența de tasare specifică la o presiune σ pe curba presiune – tasare, obținută pentru o probă cu umiditatea naturală ε_n și respectiv inundată inițial ε_i în cadrul unor încercări duble în edometru.

$$i_{m\sigma} = \varepsilon_i - \varepsilon_n = 0.01 = (1\%)$$

unde

$i_{m\sigma}$ = indicele tasării specifice la umezire σ (%);

ε_i = deformația specifică a pământului în edometru – saturat (%);

ε_n = deformația specifică a pământului în edometru la umiditate naturală (%).

Tasarea suplimentară prin umezire sub sarcina geologică I_{mg} constituie un criteriu de încadrare astfel:

Grupa A dacă $I_{mg} < 5\text{cm}$

Grupa B dacă $I_{mg} \geq 5\text{cm}$

Pentru probele de pământuri testate și având înregistrări ale I_{mg} , se poate concluziona că orizonturile coezive testate sunt încadrate în categoria PSU, îndeplinind astfel condiția ca cel puțin un criteriu referitor la proprietățile fizice și un criteriu referitor la comportamentul mecanic să fie îndeplinită.

Încadrarea în una din cele două grupe este prezentată în *Tabelul 14*, pentru care:

- *subunitatea de loess superior* corespunde grupei **A** de PSU, până la adâncimi aproximative de 6 – 7,5m, iar

- *subunitatea de loess inferior* corespunde grupei **B** de PSU pentru grosimi de strat de până la 11,5m.

Tabel 14. Încadrarea pământurilor ca PSU în funcție de comportamentul mecanic pentru I_{mg} conform NP125:2010

Foraj	Nume proba	adâncime	γ_{nat}	h_{strat}	σ_g	ε_{gi}	ε_{gn}	i_{mg}	I_{mg}	Grupa
		[m]	[kN/m ³]	[m]	[kPa]	[%]	[%]	[%]	[cm]	
BN02	SH01	1,5	14,8	6	22	0,31	0,07	0,24	1,44	A
BN03	SH02	3,3	15,7	7,5	51	0,33	0,19	0,14	1,05	A
BN03	SH04	7,5	18,5	7,5	138	1,7	0,55	1,16	8,66	B
BP01	SH3B	6	15,3	11,5	91	4,09	0,89	3,2	36,8	B
BP01	SH6AB	11,3	17,5	11,5	197	5,54	1,09	4,45	51,18	B

Pentru amplasamentul studiat, determinarea categoriei de pământuri loessoide din grupa A sau B a fost făcută pentru un număr relativ redus de probe care au respectat condiția $i_{m300} \geq 2\%$ cm/m pentru care parametrul I_{mg} a fost calculat, iar rezultatele indică un comportament diferit al probei în cadrul aceleiași unități. Deoarece această clasificare are un rol major în stabilirea categoriei geotehnice, se recomandă să se efectueze teste in situ în incinta experimentală, încercările cu placa urmărind indicațiile prezentate în NP125: 2010 - Anexa 3.

Testarea experimentală se va efectua după stabilirea detaliilor de proiectare (dimensionare fundații, încărcări, etc.). În scopuri de proiectare, se recomandă luarea în considerare a celei mai nefavorabile grupe.

5.2 PARAMETRI GEOTEHNICI – PĂMANTURI COEZIVE

O caracterizare a formațiunilor interceptate din amplasamentul studiat a fost efectuată pe baza rezultatelor obținute din testele de laborator și a prelucrării datelor din teren, necesare pentru pregătirea documentației geotehnice urmărind standardele și normativele în vigoare.

Din forajele geotehnice au fost prelevate 252 de probe reprezentând un număr de 106 tuburi Shelby (probe netulburate), 17 carote, 126 de probe tulburate (inclusiv probe recuperate din

prelevatorul Raymond - SPT), din care un număr reprezentativ de probe au fost selectate pentru încercările de laborator geotehnic.

5.2.1 Clasificarea pământurilor pe baza distribuției granulometrice

Pentru amplasamentul studiat, distribuția granulometrică încadrează formațiunile în clasa pământurilor fine reprezentate de argile prafoase și argile. Analiza granulometrică a fost realizată conform STAS 1913 / 5-85, iar identificarea și clasificarea pământului pentru fiecare strat a fost realizată în conformitate cu SR EN ISO 14688-2: 2005 (Figurile 41 ÷ 44) și SR EN ISO 14688-2: 2018 (Figurile 48 ÷ 56).

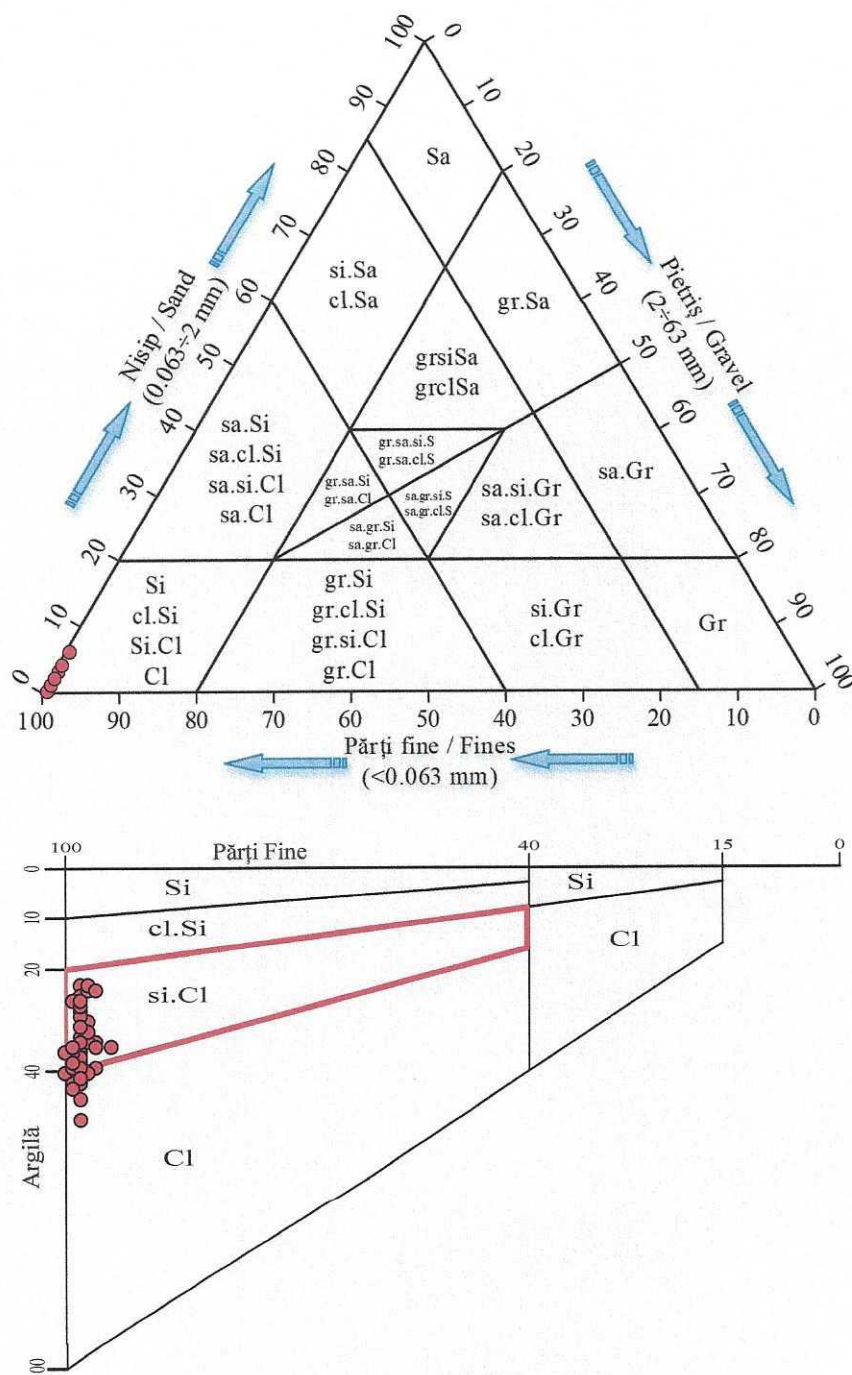


Figura 41. Clasificarea pământurilor pentru stratul (orizont) 1 – siCl (argilă prafoasă) după SR EN ISO 14688-2:2005

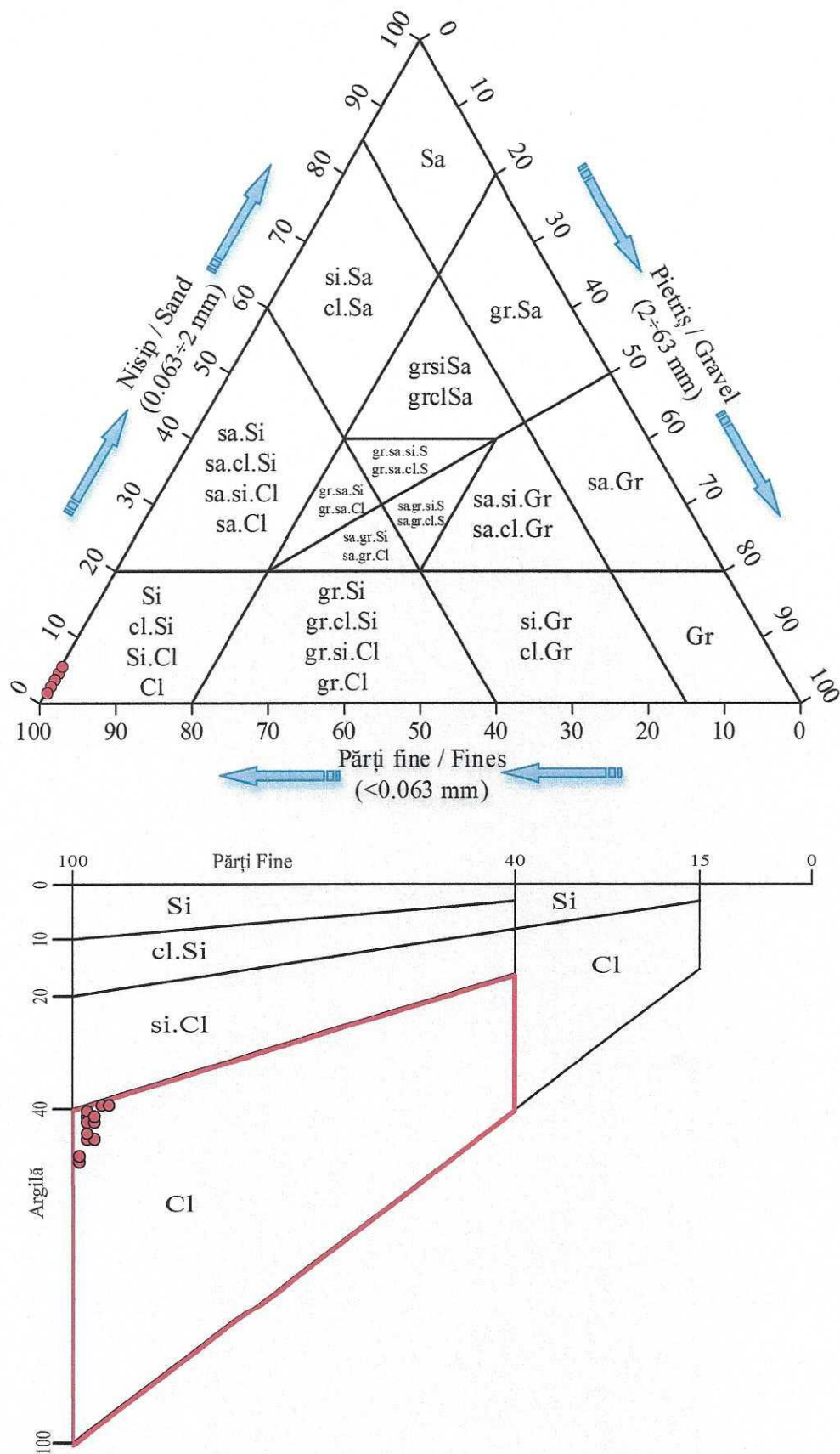


Figura 42. Clasificarea pământurilor pentru stratul (orizont) 2 – CI (argilă) după SR EN ISO 14688-2:2005

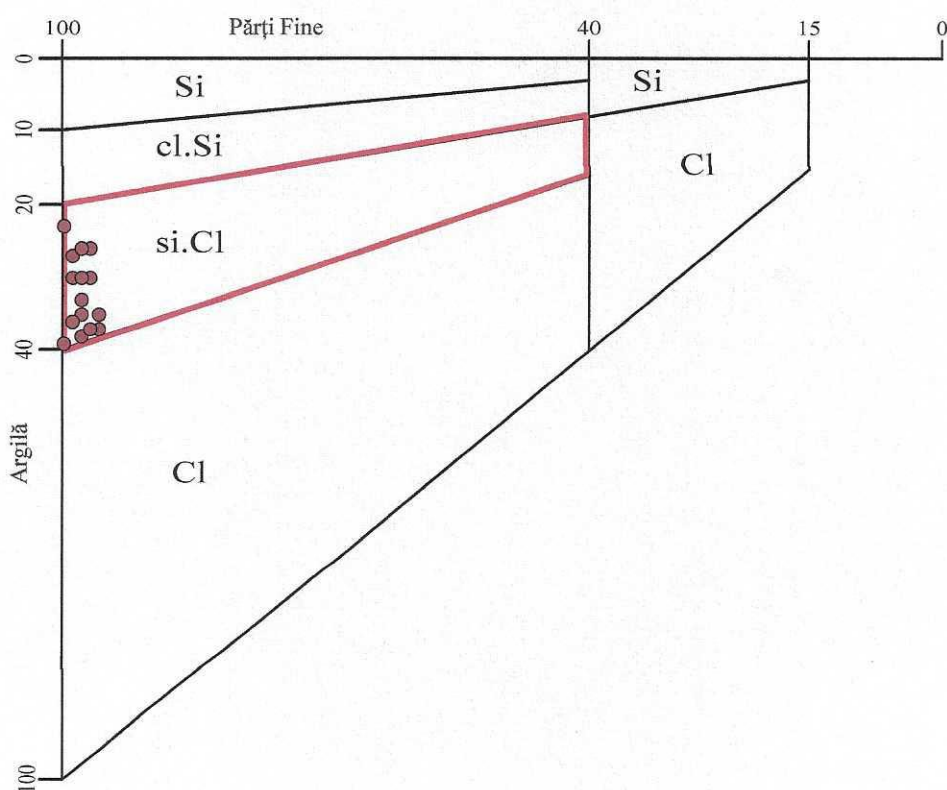
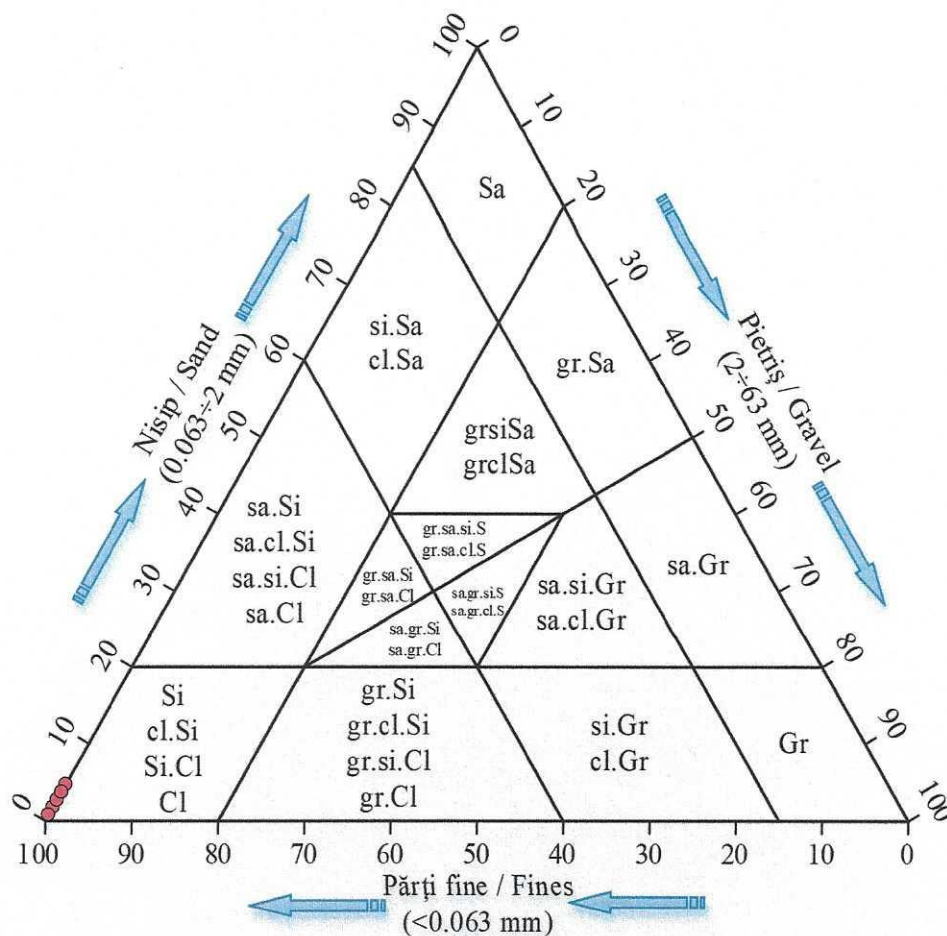


Figura 43. Clasificarea pământurilor pentru stratul (orizont) 3 – siCl (argilă prăfoasă) după SR EN ISO 14688-2:2005

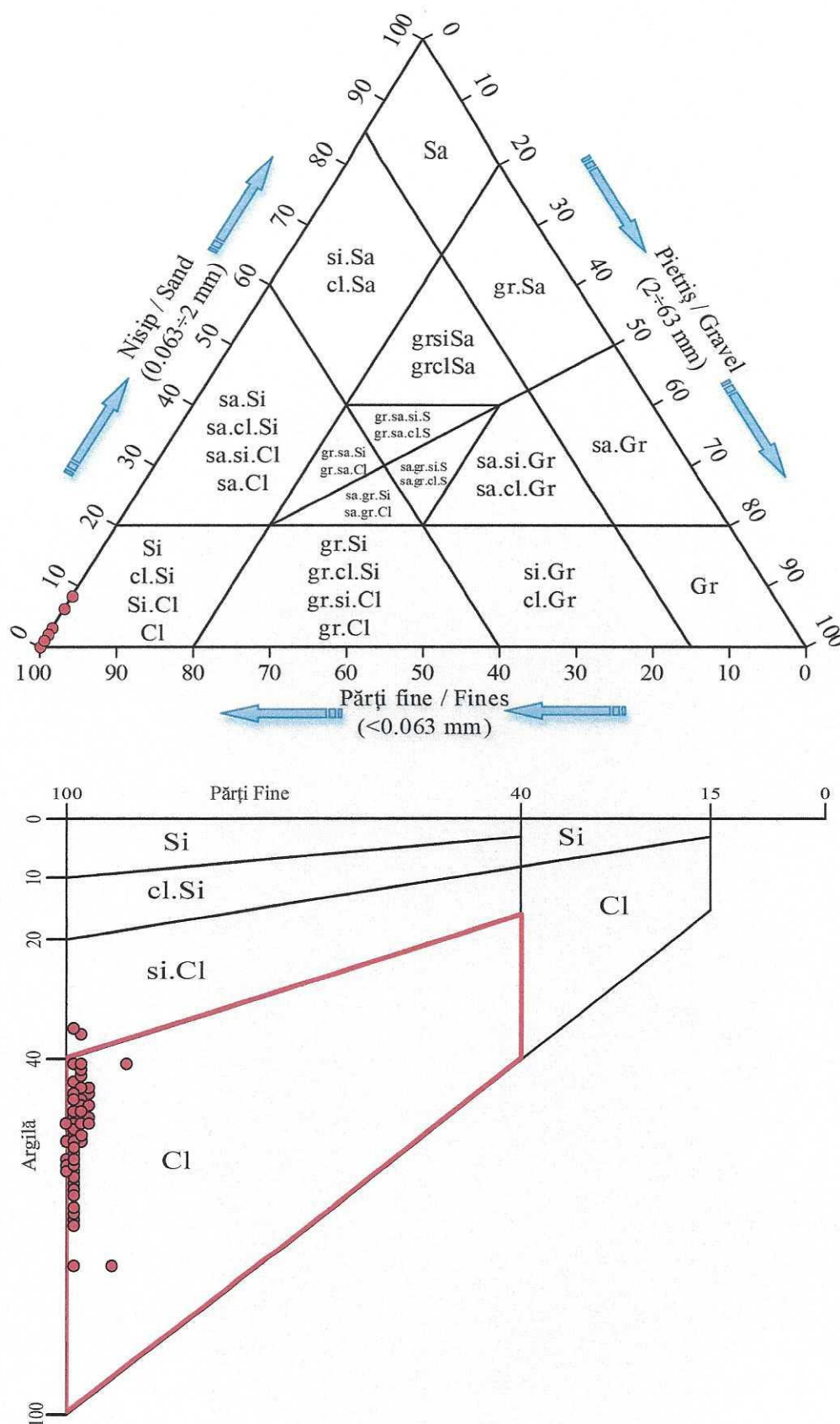


Figura 44. Clasificarea pământurilor pentru stratul (orizont) 4 - Cl (argilă) după SR EN ISO 14688-2:2005

S-a observat că fracția de argilă variază în funcție de adâncime, un conținut mai mare de argilă fiind în partea inferioară a formațiunii coezive atât pentru zonele SRM, cât și pentru cele din lungul aliniamentului conductei (Figura 45 și Figura 46).

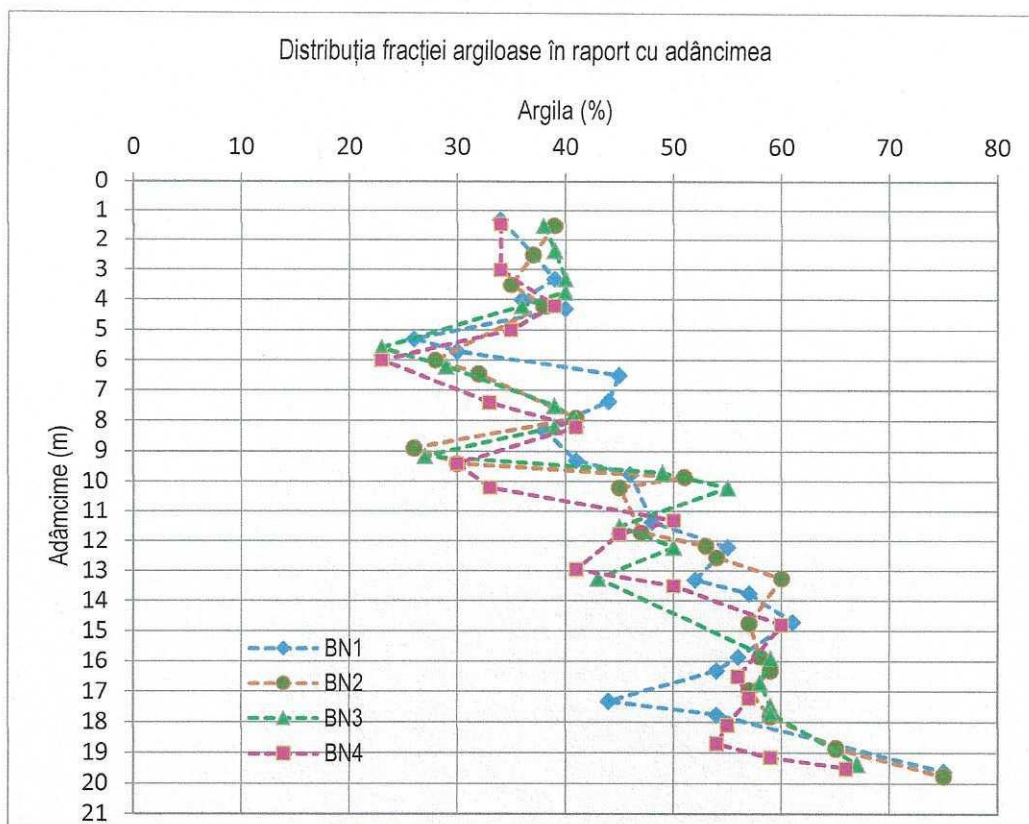


Figura 45. Distribuția fracției argiloase în raport cu adâncimea pentru zona SRM

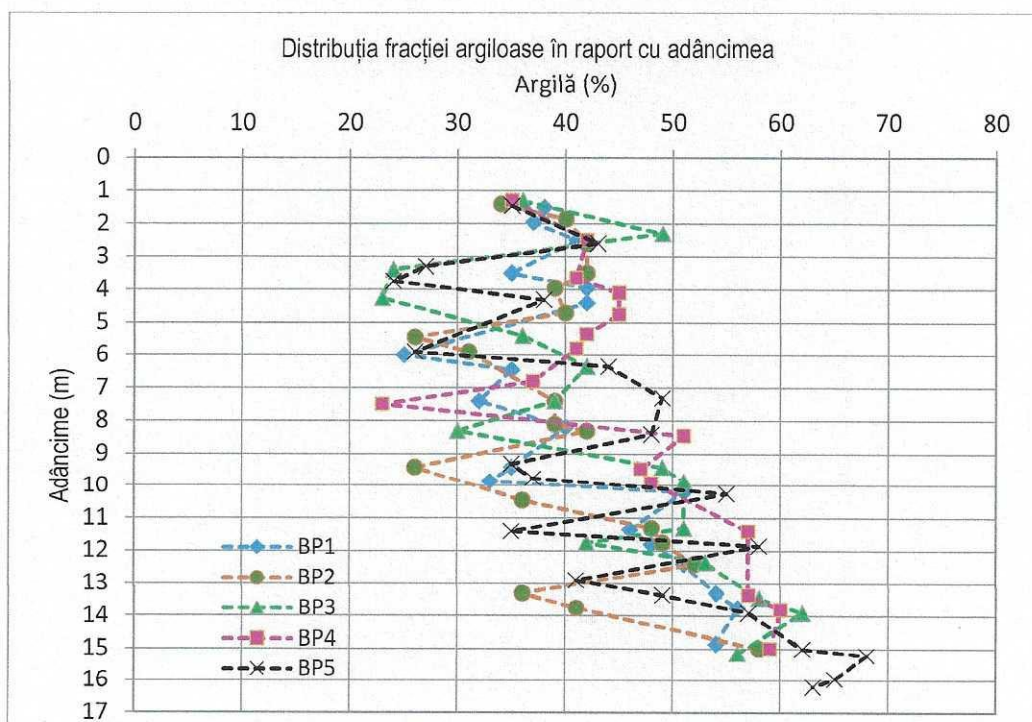


Figura 46. Distribuția fracției argiloase în raport cu adâncimea pentru zona aliniamentului conductei

5.2.2 Clasificare pământurilor în funcție de plasticitate

Plasticitatea a fost determinată în laborator conform STAS 1913/4-86. Gradul de plasticitate al pământurilor fine a fost încadrat conform SR EN ISO 14688-2: 2018 (Figura 47).

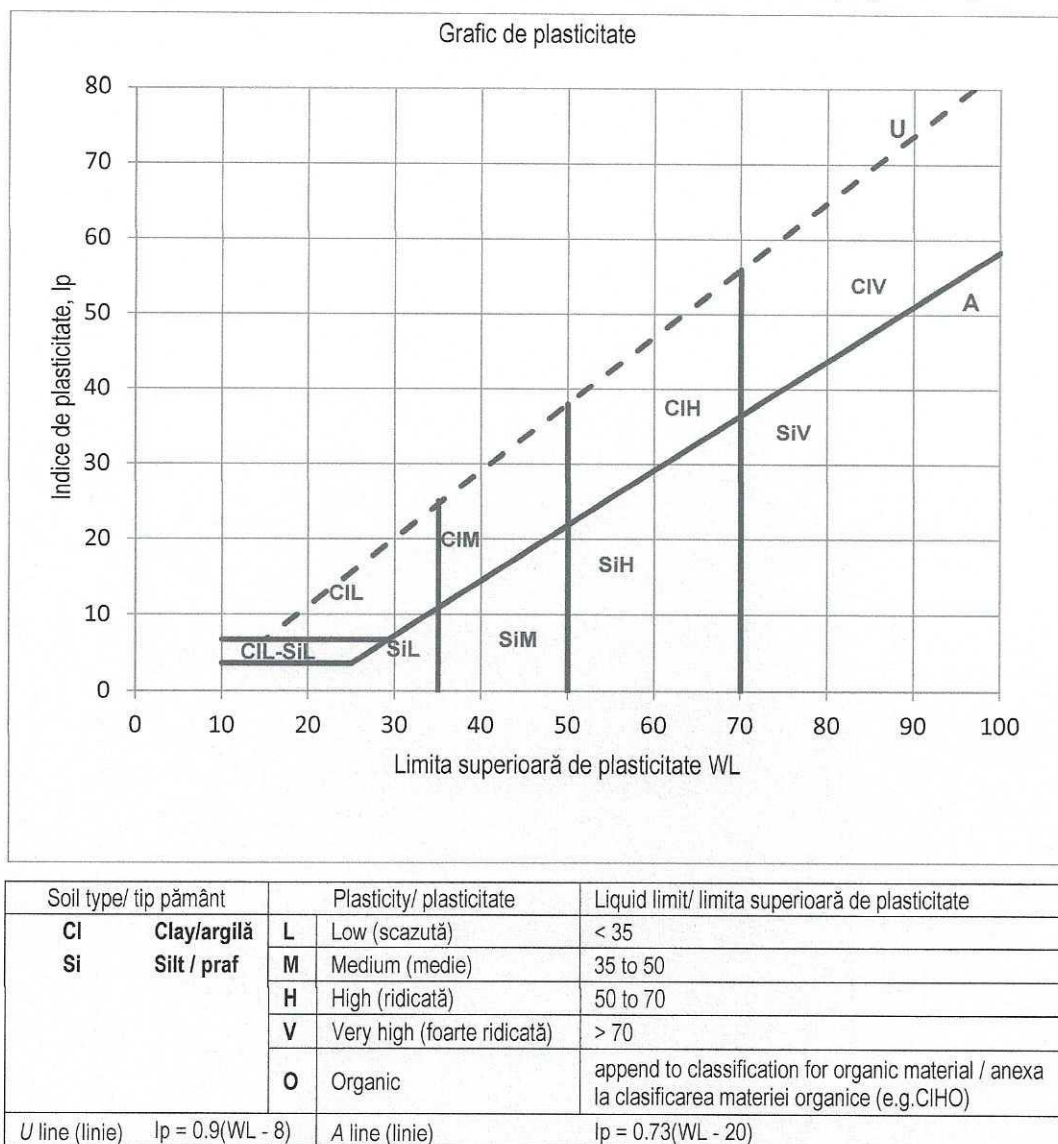


Figura 47. Graficul de plasticitate conform SR EN ISO 14688-2:2018

Pentru toate forajele geotehnice au fost făcute grafice de plasticitate, cu reprezentarea indicelui de plasticitate I_p în raport cu limita de plasticitate superioara w_L și s-a observat că majoritatea probelor analizate au fost încadrate ca argile cu plasticitate medie (CIM) și argile cu plasticitate mare (CIH) - Figurile 48 ÷ 56.

Unele probe se încadrează la limita dintre domeniile de plasticitate medie și ridicată (CIH – CLM). Ocazional au fost întâlnite valori de plasticitate foarte mare și corespunde argilelor brun roșcate inferioare din orizontul 4.

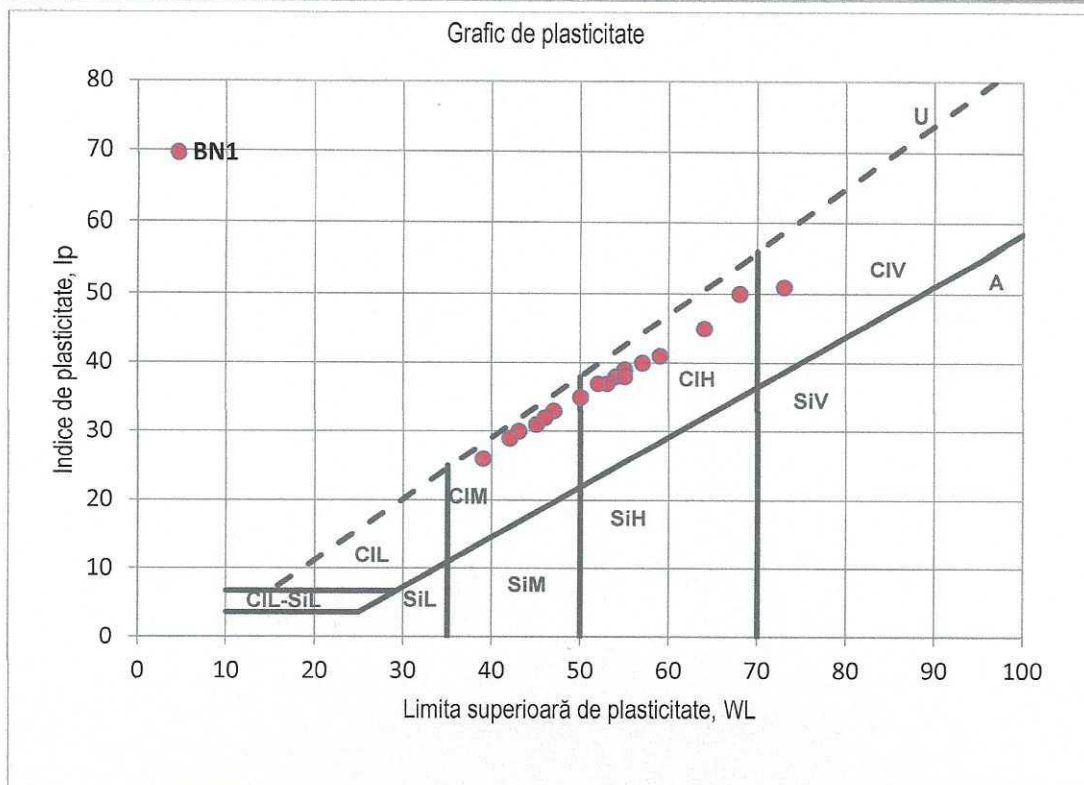


Figura 48. Graficul de plasticitate pentru forajul BN1 după SR EN ISO 14688-2:2018

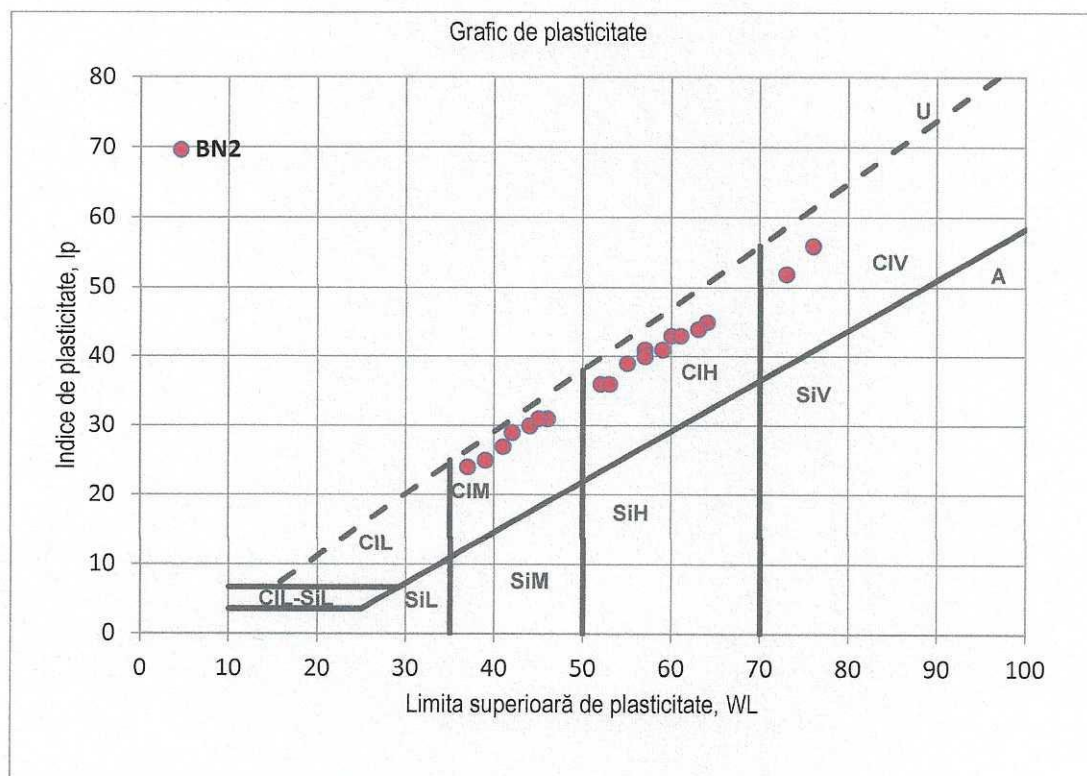


Figura 49. Graficul de plasticitate pentru forajul BN2 după SR EN ISO 14688-2:2018

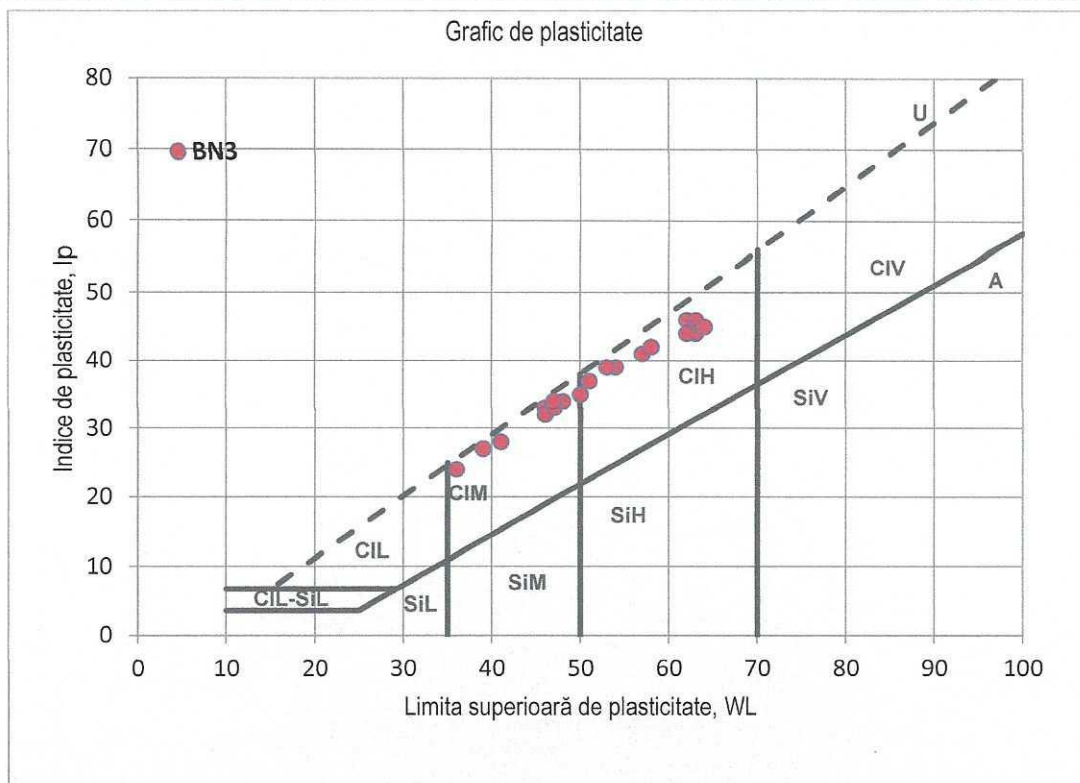


Figura 50. Graficul de plasticitate pentru forajul BN3 după SR EN ISO 14688-2:2018

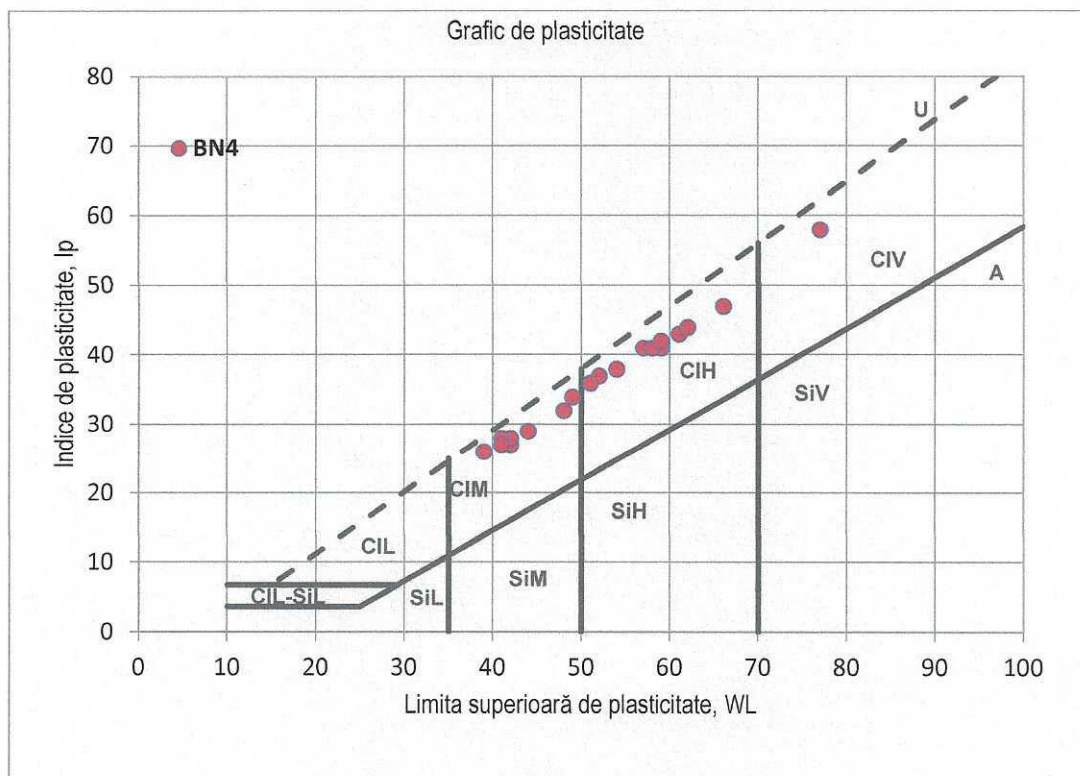


Figura 51. Graficul de plasticitate pentru forajul BN4 după SR EN ISO 14688-2:2018

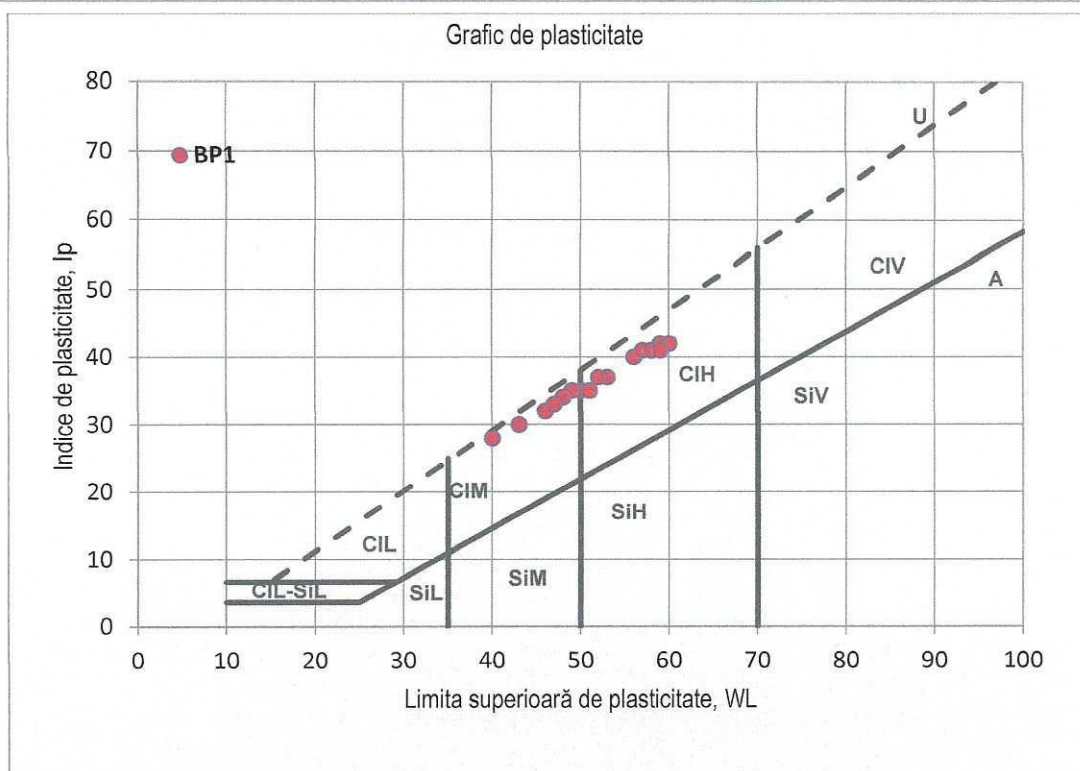


Figura 52. Graficul de plasticitate pentru forajul BP1 după SR EN ISO 14688-2:2018

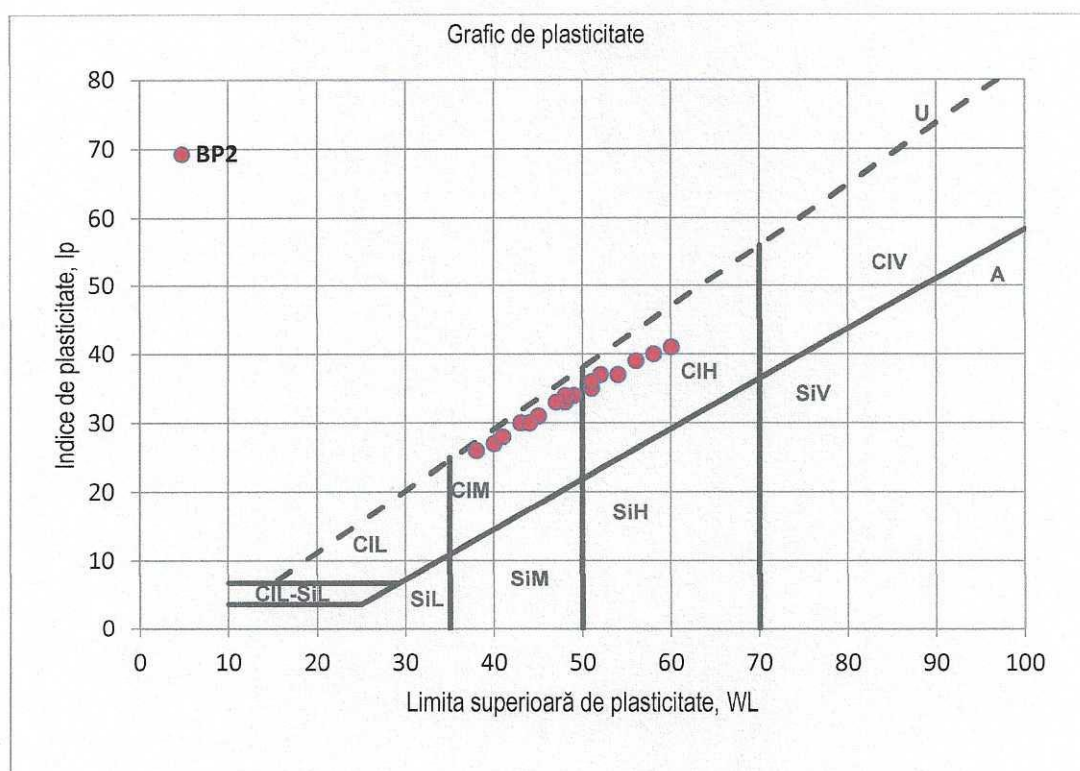


Figura 53. Graficul de plasticitate pentru forajul BP2 după SR EN ISO 14688-2:2018

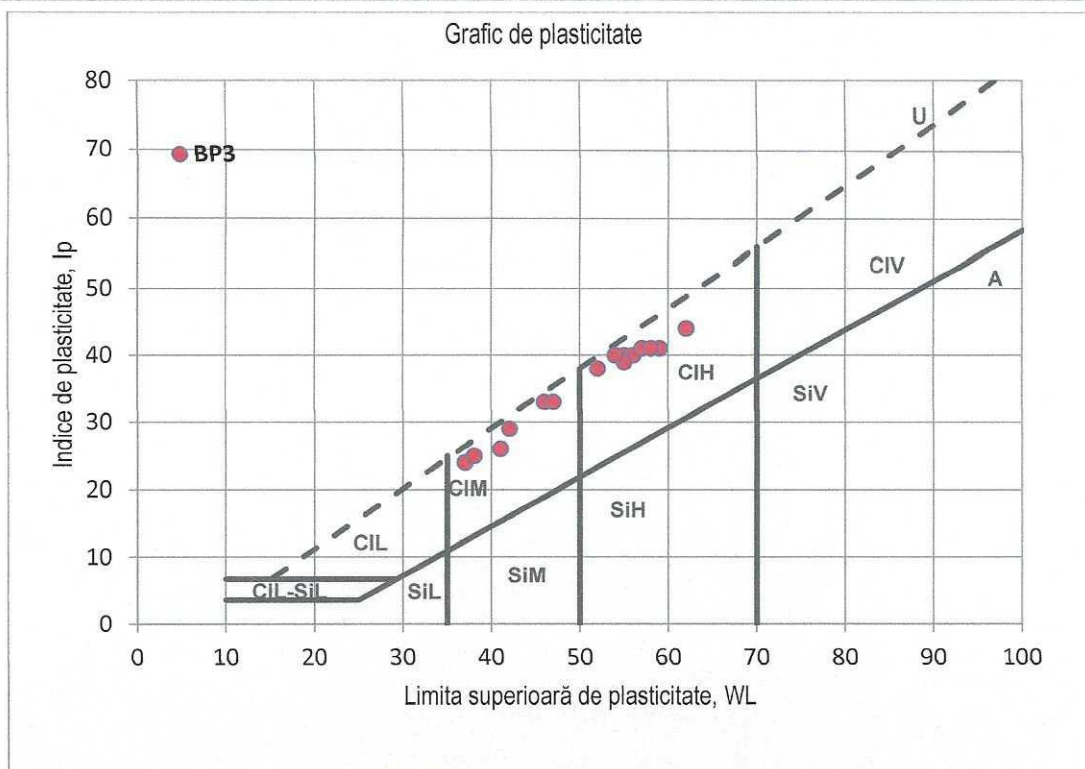


Figura 54. Graficul de plasticitate pentru forajul BP3 după SR EN ISO 14688-2:2018

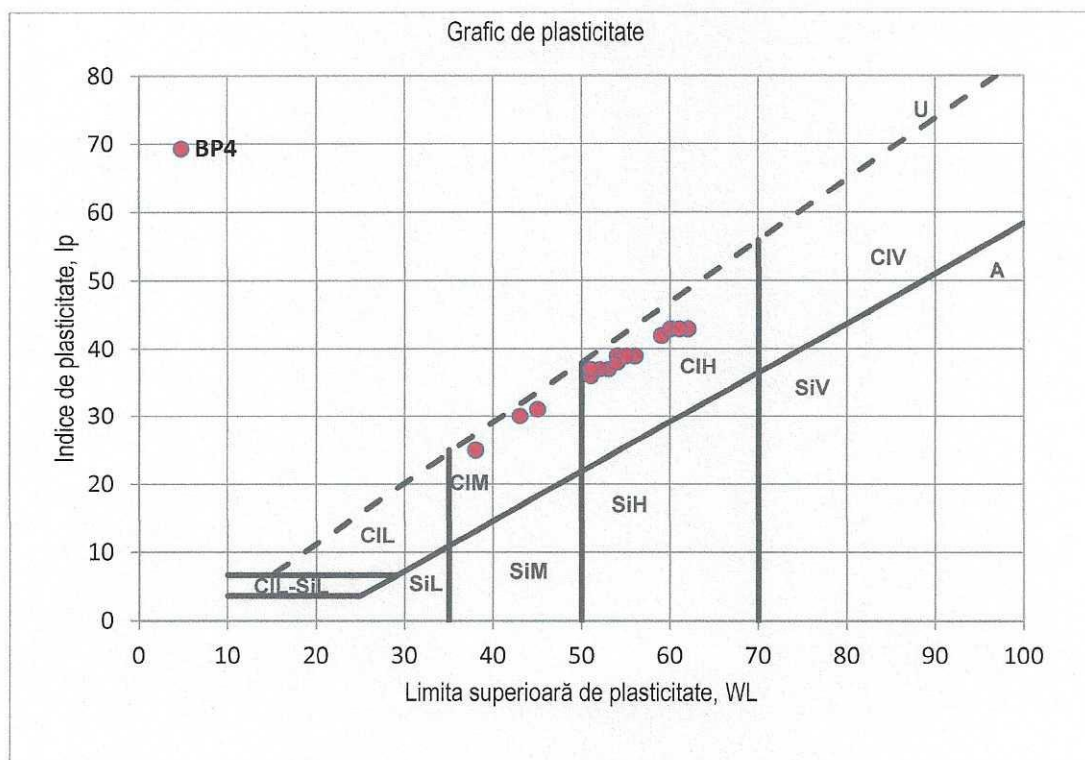


Figura 55. Graficul de plasticitate pentru forajul BP4 după SR EN ISO 14688-2:2018

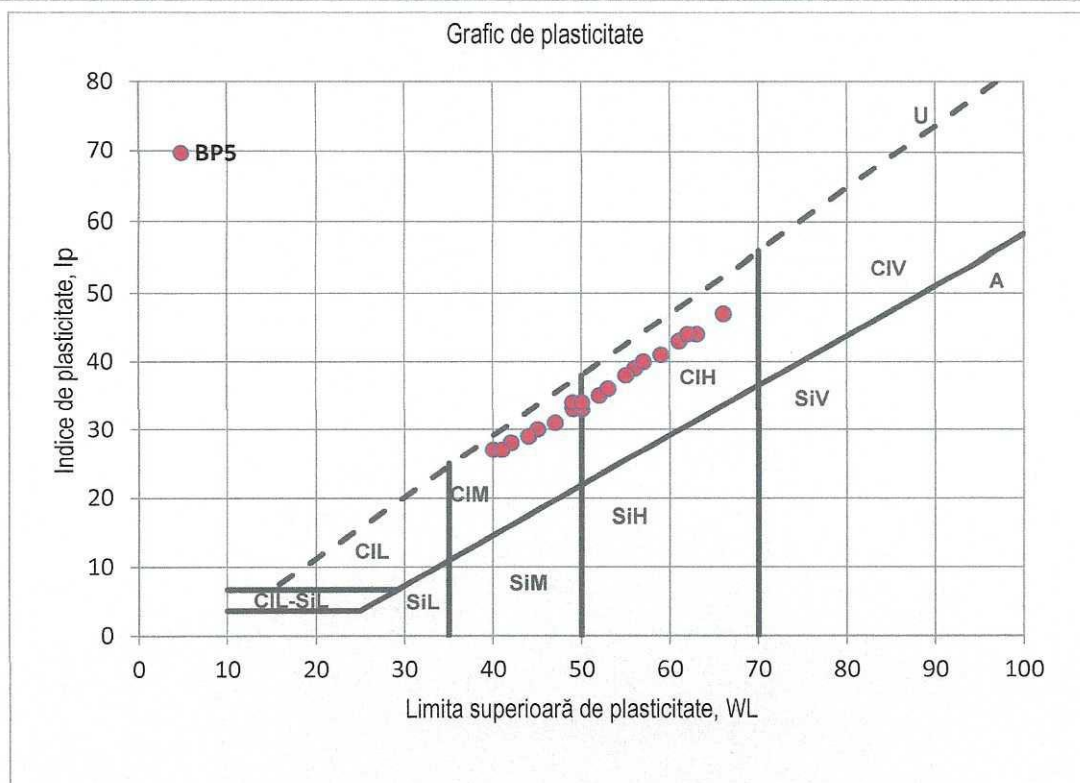


Figura 56. Graficul de plasticitate pentru forajul BP5 după SR EN ISO 14688-2:2018

Clasificarea în funcție de plasticitate a fost realizată în conformitate cu ambele versiuni ale aceluiași standard, deoarece identificarea și caracterizarea pământurilor sensibile la umezire după NP125: 2010 se face conform SR EN ISO 14688-1 și 2: 2005, iar graficul de plasticitate pentru clasificarea pământurilor în funcție de plasticitate este realizat conform versiunii SR EN ISO 14688-2: 2018 (actualizat recent).

5.2.3 Parametrii fizici

Umiditate în stare naturală (w)

Conținutul de umiditate în stare naturală a fost efectuat după STAS 1913/1-82 pentru 177 de probe din toate cele 9 foraje geotehnice, așa cum este rezumat în *Tabelele 15 și 16*, iar valorile au fost obținute utilizând ecuația de mai jos:

$$w = \frac{m_w}{m_d} = \frac{m_u - m_d}{m_d} \times 100 [\%]$$

Tabel 15. Valori procentuale pentru umiditate în stare naturală (w) pentru zona SRM

Foraj BN1			Foraj BN2			Foraj BN3			Foraj BN4		
ID probă	Adâncime [m]	Umiditate (w) [%]	ID probă	Adâncime [m]	Umiditate (w) [%]	ID probă	Adâncime [m]	Umiditate (w) [%]	ID probă	Adâncime [m]	Umiditate (w) [%]
SH01	1,30	12	SH01	1,50	12	SH01	1,50	12	SPT01	1,45	12
D01	2,50	11	D01	2,50	14	D01	2,35	13	SH2B	3,00	13
SH2A	3,30	17	SH02	3,50	17	SH02	3,30	18	D02	4,20	17
SPT02	4,00	18	D02	4,20	18	SPT02	3,75	17	SH03	5,00	16
D02	4,30	17	SH3B	6,00	19	D02	4,20	19	D03	6,00	14
SH03	5,30	14	SPT03	6,45	19	SH3B	5,60	15	SH04B	7,40	18
SPT03	5,70	19	SH04	7,90	20	D03	6,20	20	D04	8,20	19
D03	6,50	20	D03	8,90	16	SH4AB	7,50	18	SH5AB	9,40	16
SH04	7,35	19	SH05	9,40	18	SPT04	7,95	18	D05	10,20	16
D04	8,30	18	SPT05	9,85	22	D04	8,20	17	SH6AB	11,30	20
SH05	9,30	18	D04	10,20	19	SH05	9,15	17	SPT06	11,75	17

Foraj BN1			Foraj BN2			Foraj BN3			Foraj BN4		
ID probă	Adâncime [m]	Umiditate (w) [%]	ID probă	Adâncime [m]	Umiditate (w) [%]	ID probă	Adâncime [m]	Umiditate (w) [%]	ID probă	Adâncime [m]	Umiditate (w) [%]
SPT05	9,75	20	SH6B	11,70	22	D05	9,70	21	SPT07	12,95	23
SH6A	11,35	21	SPT06	12,15	20	D06	10,20	18	RC01	13,50	22
D05	12,20	19	D05	12,55	20	SH6AB	11,50	19	D06	14,80	25
SH07	13,30	24	SH07	13,25	22	D07	12,20	17	D07	16,50	16
SPT07	13,75	22	RC01	14,75	22	SH7A	13,25	14	SH07	17,20	22
RC01	14,70	22	SH8AB	15,85	21	SH8AB	15,90	23	RC02	18,10	21
SH8AB	15,85	23	SPT08	16,30	21	RC01	16,70	21	SH08	18,70	22
SPT08	16,30	23	RC02	16,95	21	SPT09	17,45	20	SPT10	19,15	24
SH09	17,30	20	RC03	17,80	23	RC02	17,70	22	RC03	19,50	25
SPT09	17,75	23	SH9AB	18,85	26	RC03	19,35	25	-	-	-
RC02	19,60	29	RC04	19,75	30	-	-	-	-	-	-

Tabel 16. Valori procentuale pentru umiditate în stare naturală (w) pentru zona aliniamentului conductei

Foraj BP1			Foraj BP2			Foraj BP3			Foraj BP4			Foraj BP5		
ID probă	Adâncime [m]	Umiditate (w) [%]	ID probă	Adâncime [m]	Umiditate (w) [%]	ID probă	Adâncime [m]	Umiditate (w) [%]	ID probă	Adâncime [m]	Umiditate (w) [%]	ID probă	Adâncime [m]	Umiditate (w) [%]
SH01	1,50	12	SH01	1,40	12	SH1A	1,30	12	SH01	1,30	10	SH1AB	1,45	13
SPT01	1,95	12	SPT01	1,85	13	D01	2,30	12	D01	2,50	13	D01	2,60	15
D01	2,50	11	D01	2,60	15	SH2AB	3,40	13	SH2B	3,65	21	SH02	3,30	14
SH02	3,50	15	SH02	3,50	19	SPT02	4,25	15	SPT02	4,10	19	SPT02	3,75	15
SPT02	3,95	17	SPT02	3,95	17	SH03	5,40	19	D02	4,75	19	D02	4,30	17
D02	4,40	17	D02	4,70	17	D02	6,35	19	SH03	5,35	18	SH3B	5,90	19
SH3B	6,00	14	SH03	5,45	19	SH04	7,40	19	SPT03	5,80	19	SPT03	6,35	20
SPT03	6,45	19	SPT03	5,90	18	D03	8,30	16	D03	6,80	17	SH04	7,30	20
SH04	7,40	19	SH4A	7,40	20	SH05	9,40	22	SH04	7,50	19	D03	8,40	19
D03	8,20	18	SPT04	8,10	18	SPT05	9,85	19	D04	8,45	18	SH05	9,30	19
SH05	9,40	17	D04	8,30	19	SH06	11,30	22	SH5AB	9,45	19	SPT05	9,75	19
SPT05	9,85	16	SH05	9,40	18	SPT06	11,75	18	SPT05	9,90	18	D04	10,25	22
D04	10,20	21	D05	10,45	22	D04	12,35	34	SH6AB	11,40	21	SH6AB	11,40	23
SH6AB	11,35	17	SH06	11,30	21	SH7AB	13,45	22	SH7AB	13,35	21	SPT06	11,85	21
SPT06	11,80	19	SPT06	11,75	17	SPT07	13,90	23	SPT07	13,80	22	SH7AB	12,90	23
D05	12,40	20	D06	12,40	19	SH8AB	15,15	21	SH8AB	15,00	20	SPT07	13,35	19
SH07	13,30	21	SH07	13,30	20	-	-	-	-	-	-	RC01	13,90	22
SPT07	13,75	21	SPT07	13,75	18	-	-	-	-	-	-	RC02	15,00	26
SH8AB	14,85	19	SH08	15,00	24	-	-	-	-	-	-	RC03	15,20	28
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	SPT09	15,95	29
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	RC04	16,20	26

Legenda pentru scara cromatică din tabele:	
Loess unitatea superioară (strat / orizont I - layer I)	SiCl
Argila/Paleosol (strat / orizont II - layer II)	Cl
Loess unitatea inferioară (strat / orizont I - layer III)	SiCl
Unitatea argilelor brune / brun roșcate cu intercalații de paleosol (layer IV)	Cl

După cum se poate vedea din tabelele de mai sus, conținutul de umiditate crește odată cu adâncimea, începând cu valoarea de 12% și ajungând la 30% în baza formațiunii coezive.

Gradul de saturație (S_r)

Gradul de saturație (S_r) reprezintă procentul de apă care ocupă spațiile porilor prezenți în pământuri și reprezintă, de asemenea, raportul dintre conținutul natural de umiditate și saturația unui eșantion de pământ.

Gradul de saturație pentru probele încercate în laborator sunt clasificate conform STAS 1243-88, variind în funcție de adâncime, de la uscat până la complet saturat, așa cum este prezentat în Tabelul 17.

Tabel 17. Clasificarea pământurilor în funcție de gradul de saturație (S_r) [9]

Limite S_r	Clasificare
$S_r \leq 0.4$	Uscate
$0.4 < S_r \leq 0.8$	Umede
$0.8 < S_r \leq 0.9$	Foarte umede
$S_r > 0.9$	Complet saturate

Gradul de saturație este unul dintre parametrii utilizați pentru clasificarea PSU, unde $S_r < 0.8$ și este utilizat pentru calcularea presiunii convenționale p_{conv} (conform NP125:2010).

În Tabelele 18 și 19 sunt prezentate valori ale gradului de saturație pentru probele analizate, unde se observă o creștere a S_r odată cu adâncimea, începe de la o stare uscată în partea superioară a solului loessic superior din stratul 1, până la foarte umed în partea inferioară a stratului 4. În culoarea roșie îngroșată sunt raportate valorile S_r pentru probele analizate și utilizate pentru încadrarea pământurilor în categoria PSU conform NP125: 2010.

Tabel 18. Gradul de saturație (S_r) pentru zona SRM

Foraj BN1			Foraj BN2			Foraj BN3			Foraj BN4		
ID probă	Adâncime [m]	Grad de saturație S_r [%]	ID probă	Adâncime [m]	Grad de saturație S_r [%]	ID probă	Adâncime [m]	Grad de saturație S_r [%]	ID probă	Adâncime [m]	Grad de saturație S_r [%]
SH01	1,30	0,36	SH01	1,50	0,32	SH01	1,50	0,42	SH2B	3,00	0,47
D01	2,50	0,3	D01	2,50	0,39	D01	2,35	0,41	D02	4,20	0,55
SH2A	3,30	0,72	SH02	3,50	0,75	SH02	3,30	0,49	SH03	5,00	0,8
D02	4,30	0,61	D02	4,20	0,62	D02	4,20	0,63	D03	6,00	0,42
SH03	5,30	0,51	SH3B	6,00	0,5	SH3B	5,60	0,69	SH04B	7,40	0,5
D03	6,50	0,71	SH04	7,90	0,86	D03	6,20	0,66	D04	8,20	0,66
SH04	7,35	0,91	D03	8,90	0,48	SH4AB	7,50	0,7	SH5AB	9,40	0,63
D04	8,30	0,8	SH05	9,40	0,6	D04	8,20	0,65	D05	10,20	0,74
SH05	9,30	0,65	D04	10,20	0,54	D05	9,70	0,62	SH6AB	11,30	0,74
SH6A	11,35	0,84	SH6B	11,70	0,81	D06	10,20	0,49	RC01	13,50	0,87
D05	12,20	0,55	D05	12,55	0,63	SH6AB	11,50	0,73	D06	14,80	0,9
SH07	13,30	0,82	SH07	13,25	0,8	D07	12,20	0,67	D07	16,50	0,64
RC01	14,70	0,86	RC01	14,75	0,88	SH7A	13,25	0,6	SH07	17,20	0,82
SH8AB	15,85	0,84	SH8AB	15,85	0,79	SH8AB	15,90	0,89	RC02	18,10	0,93
SH09	17,30	0,83	RC02	16,95	0,8	RC01	16,70	0,77	SH08	18,70	0,91
RC02	19,60	1	RC03	17,80	0,93	RC02	17,70	0,78	RC03	19,50	0,87
-	-	-	SH9AB	18,85	0,78	RC03	19,35	0,86	-	-	-
-	-	-	RC04	19,75	0,93	-	-	-	-	-	-

Tabel 19. Gradul de saturație (S_r) pentru zona aliniamentului conductei

Foraj BP1			Foraj BP2			Foraj BP3			Foraj BP4			Foraj BP5		
ID probă	Adâncime [m]	Grad de saturație S_r [%]	ID probă	Adâncime [m]	Grad de saturație S_r [%]	ID probă	Adâncime [m]	Grad de saturație S_r [%]	ID probă	Adâncime [m]	Grad de saturație S_r [%]	ID probă	Adâncime [m]	Grad de saturație S_r [%]
SH01	1,50	0,35	SH01	1,40	0,39	SH1A	1,30	0,35	SH01	1,30	0,33	SH1AB	1,45	0,63
D01	2,50	0,33	D01	2,60	0,66	D01	2,30	0,58	D01	2,50	0,54	D01	2,60	0,55
SH02	3,50	0,4	SH02	3,50	0,82	SH2AB	3,40	0,69	SH2B	3,65	0,89	SH02	3,30	0,52
SH3B	6,00	0,4	D02	4,70	0,65	SH03	5,40	0,54	D02	4,75	0,66	D02	4,30	0,66
SH04	7,40	0,64	SH03	5,45	0,83	D02	6,35	0,73	SH03	5,35	0,78	SH3B	5,90	0,85
D03	8,20	0,62	SH4A	7,40	0,78	SH04	7,40	0,78	D03	6,80	0,68	SH04	7,30	0,81
SH05	9,40	0,61	D04	8,30	0,57	D03	8,30	0,65	SH04	7,50	0,84	D03	8,40	0,79
D04	10,20	0,63	SH05	9,40	0,6	SH05	9,40	0,73	D04	8,45	0,64	SH05	9,30	0,95
SH6AB	11,35	0,64	D05	10,45	0,8	SH06	11,30	0,91	SH6AB	11,40	0,82	D04	10,25	0,83

Foraj BP1			Foraj BP2			Foraj BP3			Foraj BP4			Foraj BP5		
ID probă	Adâncime [m]	Grad de saturație Sr [%]	ID probă	Adâncime [m]	Grad de saturație Sr [%]	ID probă	Adâncime [m]	Grad de saturație Sr [%]	ID probă	Adâncime [m]	Grad de saturație Sr [%]	ID probă	Adâncime [m]	Grad de saturație Sr [%]
D05	12,40	0,7	SH06	11,30	0,95	D04	12,35	0,81	SH7AB	13,35	0,86	SH6AB	11,40	0,82
SH07	13,30	0,77	D06	12,40	0,83	SH7AB	13,45	0,82	SH8AB	15,00	0,82	SH7AB	12,90	0,89
-	-	-	-	-	-	SH8AB	15,15	0,82	-	-	-	RC01	13,90	0,8
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	RC02	15,00	0,94
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	RC03	15,20	0,94
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	RC04	16,20	0,85

Plasticitate și indici de consistență

Limitele de plasticitate Atterberg (limita superioară de plasticitate – w_L și limita superioară de plasticitate – w_p) sunt definite de ecuația de mai jos, unde *indicele de plasticitate* (I_p) este prezentat în Tabelul 20, iar *indicele de consistență* (I_c) în Tabelul 21.

$$I_p = w_p - w_L \quad [\%]$$

$$I_c = \frac{w_L - w}{I_p} \quad [-]$$

Tabel 20. Clasificarea pământurilor după indicele de plasticitate – I_p (SR EN ISO 14688-2:2005)

Limite indici de plasticitate	Plasticitate pământuri
$I_p = 0$	Non-plastic
$0 < I_p < 10$	Plasticitate redusă
$10 < I_p < 20$	Plasticitate medie
$20 < I_p$	Plasticitate ridicată

Tabel 21. Clasificarea pământurilor după indicele de consistență – I_c (SR EN ISO 14688-2:2018)

Indice de consistență I_c	Încadrare
< 0.25	Foarte moale
$0.25 \text{ la } 0.5$	Moale
$0.5 \text{ la } 0.75$	Vârtoasă
$0.75 \text{ la } 1.00$	Tare
> 1.00	Foarte tare

Indicele de plasticitate în relație cu conținutul de fracție argiloasă este utilizat pentru încadrarea pământurilor loessoide în clasa pământurilor loessoide argiloase (NP125:2010, Tabel 2), având $I_p > 17\%$ și fracția de argilă $> 30\%$.

Tabel 22. Valori ale indicilor de plasticitate (I_p) și indici de consistență (I_c) pentru zona SRM

Foraj BN1				Foraj BN2				Foraj BN3				Foraj BN4			
ID probă	Adâncime [m]	I_p [%]	I_c [-]	ID probă	Adâncime [m]	I_p [%]	I_c [-]	ID probă	Adâncime [m]	I_p [%]	I_c [-]	ID probă	Adâncime [m]	I_p [%]	I_c [-]
SH01	1,30	29	1,05	SH01	1,50	31	1,08	SH01	1,50	33	1,04	SPT01	1,45	27	1,11
D01	2,50	31	1,10	D01	2,50	31	1,01	D01	2,35	34	1,03	SH2B	3,00	29	1,08
SH2A	3,30	33	0,91	SH02	3,50	30	0,89	SH02	3,30	37	0,88	D02	4,20	34	0,94
SPT02	4,00	30	0,84	D02	4,20	31	0,89	SPT02	3,75	37	0,91	SH03	5,00	32	0,98
D02	4,30	35	0,95	SH3B	6,00	25	0,80	D02	4,20	32	0,83	D03	6,00	26	0,94
SH03	5,30	26	0,93	SPT03	6,45	29	0,78	SH3B	5,60	24	0,86	SH04B	7,40	28	0,85
SPT03	5,70	29	0,81	SH04	7,90	36	0,90	D03	6,20	28	0,76	D04	8,20	37	0,92
D03	6,50	38	0,91	D03	8,90	24	0,86	SH4AB	7,50	33	0,88	SH5AB	9,40	28	0,91
SH04	7,35	37	0,93	SH05	9,40	27	0,83	SPT04	7,95	35	0,91	D05	10,20	27	0,91
D04	8,30	32	0,88	SPT05	9,85	39	0,86	D04	8,20	34	0,89	SH6AB	11,30	41	0,92
SH05	9,30	37	0,92	D04	10,20	36	0,94	SH05	9,15	27	0,82	SPT06	11,75	38	0,95
SPT05	9,75	39	0,91	SH6B	11,70	39	0,84	D05	9,70	41	0,86	SPT07	12,95	36	0,76
SH6A	11,35	38	0,88	SPT06	12,15	41	0,89	D06	10,20	46	0,95	RC01	13,50	41	0,85

Foraj BN1				Foraj BN2				Foraj BN3				Foraj BN4			
ID probă	Adâncime [m]	Ip [%]	Ic [-]	ID probă	Adâncime [m]	Ip [%]	Ic [-]	ID probă	Adâncime [m]	Ip [%]	Ic [-]	ID probă	Adâncime [m]	Ip [%]	Ic [-]
D05	12,20	41	0,96	D05	12,55	40	0,91	SH6AB	11,50	39	0,90	D06	14,80	47	0,88
SH07	13,30	40	0,84	SH07	13,25	45	0,93	D07	12,20	42	0,96	D07	16,50	41	1,04
SPT07	13,75	41	0,92	RC01	14,75	43	0,89	SH7A	13,25	39	1,00	SH07	17,20	43	0,91
RC01	14,70	45	0,93	SH8AB	15,85	41	0,94	SH8AB	15,90	45	0,91	RC02	18,10	41	0,89
SH8AB	15,85	41	0,89	SPT08	16,30	43	0,93	RC01	16,70	46	0,91	SH08	18,70	42	0,86
SPT08	16,30	40	0,85	RC02	16,95	41	0,91	SPT09	17,45	44	0,96	SPT10	19,15	44	0,87
SH09	17,30	50	0,96	RC03	17,80	44	0,91	RC02	17,70	44	0,91	RC03	19,50	58	0,90
SPT09	17,75	40	0,83	SH9AB	18,85	56	0,89	RC03	19,35	45	0,86	-	-	-	-
RC02	19,60	51	0,86	RC04	19,75	52	0,82	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabel 23. Valori ale indicilor de plasticitate (Ip) și indici de consistență (Ic) pentru zona aliniamentului conductei

Foraj BP1				Foraj BP2				Foraj BP3				Foraj BP4				Foraj BP5			
ID probă	Adâncime [m]	Ip [%]	Ic [-]	ID probă	Adâncime [m]	Ip [%]	Ic [-]	ID probă	Adâncime [m]	Ip [%]	Ic [-]	ID probă	Adâncime [m]	Ip [%]	Ic [-]	ID probă	Adâncime [m]	Ip [%]	Ic [-]
SH01	1,50	35	1,10	SH01	1,40	30	1,04	SH1A	1,30	33	1,06	SH01	1,30	30	1,10	SH1AB	1,45	30	1,06
SPT01	1,95	35	1,07	SPT01	1,85	34	1,08	D01	2,30	40	1,05	D01	2,50	39	1,05	D01	2,60	33	1,07
D01	2,50	35	1,14	D01	2,60	37	1,02	SH2AB	3,40	24	0,98	SH2B	3,65	36	0,83	SH02	3,30	28	1,01
SH02	3,50	34	0,99	SH02	3,50	35	0,90	SPT02	4,25	25	0,91	SPT02	4,10	37	0,90	SPT02	3,75	27	0,94
SPT02	3,95	37	0,98	SPT02	3,95	33	0,90	SH03	5,40	33	0,84	D02	4,75	38	0,92	D02	4,30	33	0,95
D02	4,40	37	0,96	D02	4,70	33	0,94	D02	6,35	38	0,88	SH03	5,35	37	0,91	SH3B	5,90	27	0,82
SH3B	6,00	28	0,93	SH03	5,45	27	0,79	SH04	7,40	33	0,87	SPT03	5,80	37	0,87	SPT03	6,35	35	0,92
SPT03	6,45	32	0,85	SPT03	5,90	28	0,84	D03	8,30	29	0,88	D03	6,80	31	0,88	SH04	7,30	39	0,91
SH04	7,40	30	0,78	SH4A	7,40	34	0,83	SH05	9,40	40	0,83	SH04	7,50	25	0,77	D03	8,40	38	0,94
D03	8,20	37	0,92	SPT04	8,10	33	0,88	SPT05	9,85	40	0,92	D04	8,45	39	0,97	SH05	9,30	29	0,84
SH05	9,40	33	0,92	D04	8,30	36	0,89	SH06	11,30	39	0,86	SH5AB	9,45	38	0,91	SPT05	9,75	34	0,91
SPT05	9,85	30	0,91	SH05	9,40	26	0,77	SPT06	11,75	40	0,89	SPT05	9,90	39	0,94	D04	10,25	40	0,88
D04	10,20	41	0,90	D05	10,45	31	0,74	D04	12,35	41	0,56	SH6AB	11,40	42	0,90	SH6AB	11,40	31	0,78
SH6AB	11,35	40	0,96	SH06	11,30	37	0,91	SH7AB	13,45	41	0,88	SH7AB	13,35	43	0,90	SPT06	11,85	41	0,92
SPT06	11,80	41	0,92	SPT06	11,75	39	1,01	SPT07	13,90	44	0,90	SPT07	13,80	43	0,92	SH7AB	12,90	34	0,79
D05	12,40	41	0,91	D06	12,40	40	0,98	SH8AB	15,15	41	0,90	SH8AB	15,00	43	0,95	SPT07	13,35	36	0,94
SH07	13,30	42	0,90	SH07	13,30	30	0,78	-	-	-	-	-	-	-	-	RC01	13,90	41	0,91
SPT07	13,75	42	0,94	SPT07	13,75	36	0,93	-	-	-	-	-	-	-	-	RC02	15,00	43	0,81
SH8AB	14,85	41	0,96	SH08	15,00	41	0,88	-	-	-	-	-	-	-	-	RC03	15,20	47	0,80
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	SPT09	15,95	44	0,77
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	RC04	16,20	44	0,83

Atât pentru zona SRM, cât și pentru zona aliniamentului conductei, pentru I_p s-au înregistrat valori $>20\%$, reprezentând un indice de plasticitate ridicat, iar fracțiunea de argilă crește către partea inferioară a stratului coeziv (Tabelele 22 și 23).

Indicele de consistență I_c pentru probele analizate corespunde în linii mari valorilor pentru pământuri tari (0,75 la 1), iar numai partea superioară a formațiunii de loess superior (stratul 1) are înregistrate valori mai mari, corespunzând pământurilor foarte tari.

Indicele porilor (e) și porozitatea (n)

Indicele porilor (e) = raportul dintre volumul porilor V_p , dintr-o cantitate de pământ și volumul particulelor solide V_s din aceeași cantitate de pământ. Este adimensional și este strâns legată de porozitate, definit de relația de mai jos:

$$e = \frac{V_p}{V_s} \quad [-]$$

Porozitatea (n) reprezintă volumul porilor raportat la volumul total de pământ, măsurat în procente (ASTM D7263-09).

$$n = \frac{e}{1 + e} \times 100 \quad [\%]$$

Indicele porilor (e) și porozitatea (n) au fost determinate în laborator, iar valorile obținute sunt prezentate în Tabelul 24 și Tabelul 25.

Tabel 24. Valori pentru indicele porilor (e) și porozitate (n) pentru zona SRM

Foraj BN1				Foraj BN2				Foraj BN3				Foraj BN4			
ID Probă	Adâncime [m]	Indicele porilor e [-]	Porozitate n [%]	ID Probă	Adâncime [m]	Indicele porilor e [-]	Porozitate n [%]	ID Probă	Adâncime [m]	Indicele porilor e [-]	Porozitate n [%]	ID Probă	Adâncime [m]	Indicele porilor e [-]	Porozitate n [%]
SH01	1,30	0,85	46,0	SH01	1,50	1,00	49,9	SH01	1,50	0,73	42,2	SH2B	3,00	0,71	41,6
D01	2,50	0,95	48,8	D01	2,50	0,93	48,2	D01	2,35	0,82	45,1	D02	4,20	0,82	45,0
SH2A	3,30	0,63	38,7	SH02	3,50	0,60	37,5	SH02	3,30	0,99	49,8	SH03	5,00	0,54	35,0
D02	4,30	0,73	42,1	D02	4,20	0,75	43,0	D02	4,20	0,79	44,0	D03	6,00	0,90	47,4
SH03	5,30	0,74	42,5	SH3B	6,00	0,98	49,6	SH3B	5,60	0,59	37,0	SH04B	7,40	0,96	48,9
D03	6,50	0,73	42,1	SH04	7,90	0,60	37,4	D03	6,20	0,78	43,8	D04	8,20	0,74	42,5
SH04	7,35	0,54	35,1	D03	8,90	0,89	47,1	SH4AB	7,50	0,67	40,0	SH5AB	9,40	0,65	39,3
D04	8,30	0,58	36,9	SH05	9,40	0,81	44,6	D04	8,20	0,68	40,5	D05	10,20	0,58	36,6
SH05	9,30	0,73	42,2	D04	10,20	0,94	48,5	D05	9,70	0,91	47,7	SH6AB	11,30	0,70	41,2
SH6A	11,35	0,67	40,2	SH6B	11,70	0,71	41,5	D06	10,20	1,00	50,1	RC01	13,50	0,68	40,3
D05	12,20	0,94	48,4	D05	12,55	0,86	46,4	SH6AB	11,50	0,68	40,6	D06	14,80	0,73	42,1
SH07	13,30	0,77	43,4	SH07	13,25	0,74	42,5	D07	12,20	0,69	40,7	D07	16,50	0,65	39,4
RC01	14,70	0,69	40,7	RC01	14,75	0,65	39,6	SH7A	13,25	0,63	38,7	SH07	17,20	0,70	41,2
SH8AB	15,85	0,72	41,7	SH8AB	15,85	0,69	40,8	SH8AB	15,90	0,67	40,3	RC02	18,10	0,61	37,8
SH09	17,30	0,63	38,5	RC02	16,95	0,70	41,3	RC01	16,70	0,74	42,5	SH08	18,70	0,65	39,6
RC02	19,60	0,73	42,1	RC03	17,80	0,65	39,4	RC02	17,70	0,74	42,5	RC03	19,50	0,78	43,8
-	-	-	-	SH9AB	18,85	0,90	47,4	RC03	19,35	0,78	43,7	-	-	-	-
-	-	-	-	RC04	19,75	0,87	46,6	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabel 25. Valori pentru indicele porilor (e) și porozitate (n) pentru zona aliniamentului conductei

Foraj BP1				Foraj BP2				Foraj BP3				Foraj BP4				Foraj BP5			
Probă	Adâncime [m]	Indicele porilor e [-]	Porozitate n [%]	Probă	Adâncime [m]	Indicele porilor e [-]	Porozitate n [%]	Probă	Adâncime [m]	Indicele porilor e [-]	Porozitate n [%]	Probă	Adâncime [m]	Indicele porilor e [-]	Porozitate n [%]	Probă	Adâncime [m]	Indicele porilor e [-]	Porozitate n [%]
SH01	1,50	0,87	46,5	SH01	1,40	0,78	43,9	SH1A	1,30	0,88	46,9	SH01	1,30	0,83	45,3	SH1A B	1,45	0,55	35,7
D01	2,50	0,85	46,0	D01	2,60	0,59	37,2	D01	2,30	0,56	35,7	D01	2,50	0,63	38,5	D01	2,60	0,70	41,1
SH02	3,50	0,95	48,8	SH02	3,50	0,63	38,5	SH2A B	3,40	0,51	33,8	SH2B	3,65	0,61	37,9	SH02	3,30	0,69	41,0
SH3B	6,00	0,94	48,5	D02	4,70	0,69	40,9	SH03	5,40	0,92	48,0	D02	4,75	0,74	42,5	D02	4,30	0,70	41,1
SH04	7,40	0,79	44,2	SH03	5,45	0,59	37,0	D02	6,35	0,68	40,6	SH03	5,35	0,62	38,3	SH3B	5,90	0,58	36,6
D03	8,20	0,78	43,9	SH04	7,40	0,68	40,6	SH04	7,40	0,63	38,6	D03	6,80	0,68	40,3	SH04	7,30	0,65	39,5
SH05	9,40	0,72	41,8	D04	8,30	0,91	47,6	D03	8,30	0,67	40,0	SH04	7,50	0,58	36,7	D03	8,40	0,65	39,5
D04	10,20	0,90	47,3	SH05	9,40	0,80	44,5	SH05	9,40	0,79	44,0	D04	8,45	0,75	43,0	SH05	9,30	0,53	34,6
SH6A B	11,35	0,72	41,9	D05	10,45	0,72	41,9	SH06	11,30	0,63	38,7	SH6A B	11,40	0,69	40,9	D04	10,25	0,70	41,1
D05	12,40	0,76	43,3	SH06	11,30	0,57	36,3	D04	12,35	1,11	52,7	SH7A B	13,35	0,65	39,6	SH6A B	11,40	0,73	42,1
SH07	13,30	0,73	42,4	D06	12,40	0,61	37,9	SH7A B	13,45	0,72	41,9	SH8A B	15,00	0,66	39,7	SH7A B	12,90	0,69	40,9
-	-	-	-	-	-	-	-	SH8A B	15,15	0,68	40,5	-	-	-	-	RC01	13,90	0,71	41,6
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	RC02	15,00	0,74	42,7
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	RC03	15,20	0,80	44,4
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	RC04	16,20	0,80	44,4

În culoarea roșie îngroșată sunt reprezentate valorile porozității (n) utilizate pentru identificarea PSU ca pământuri loessoide pentru care se respectă condiția $n > 40\%$ și pentru calcularea presiunii convenționale p_{conv} (conform NP125:2010).

Valorile caracteristice de calcul pentru indicele porilor și porozitate au fost calculate și prezentate pentru fiecare dintre cele patru strate (orizonturi) identificate în cadrul amplasamentului și prezentate în Capitolul 5.3.

Greutate volumică (γ)

Greutatea volumică este raportul dintre greutatea unei probe de pământ umed G și volumul V , definită de relația:

$$\gamma = G/V \quad [kN/m^3]$$

Valorile înregistrate pentru greutatea volumică au fost utilizate pentru încadrarea PSU conform NP125:2010 și sunt prezentate în Tabelul 26 și Tabelul 27.

Tabel 26. Valori pentru greutate volumică (γ) pentru zona SRM

Foraj BN1			Foraj BN2			Foraj BN3			Foraj BN4		
Probă ID	Adâncime [m]	Greutate Volumică γ [kN/m³]	Probă ID	Adâncime [m]	Greutate Volumică γ [kN/m³]	Probă ID	Adâncime [m]	Greutate Volumică γ [kN/m³]	Probă ID	Adâncime [m]	Greutate Volumică γ [kN/m³]
SH01	1,30	15,85	SH01	1,50	14,82	SH01	1,50	16,90	SH2B	3,00	17,86
D01	2,50	14,88	D01	2,50	15,72	D01	2,35	16,25	D02	4,20	16,92
SH2A	3,30	18,96	SH02	3,50	19,41	SH02	3,30	15,68	SH03	5,00	19,87
D02	4,30	17,89	D02	4,20	17,66	D02	4,20	17,83	D03	6,00	15,81
SH03	5,30	17,35	SH3B	6,00	15,71	SH3B	5,60	19,06	SH04B	7,40	15,87
D03	6,50	18,31	SH04	7,90	19,77	D03	6,20	17,69	D04	8,20	18,02
SH04	7,35	20,35	D03	8,90	16,17	SH4AB	7,50	18,53	SH5AB	9,40	18,46
D04	8,30	19,55	SH05	9,40	16,78	D04	8,20	18,37	D05	10,20	19,34
SH05	9,30	17,28	D04	10,20	16,23	D05	9,70	16,80	SH6AB	11,30	18,05
SH6A	11,35	19,19	SH6B	11,70	17,77	D06	10,20	15,66	RC01	13,50	19,30
D05	12,20	16,35	D05	12,55	17,11	SH6AB	11,50	18,71	D06	14,80	19,16
SH07	13,30	18,73	SH07	13,25	18,65	D07	12,20	18,42	D07	16,50	18,59
RC01	14,70	19,31	RC01	14,75	19,50	SH7A	13,25	19,52	SH07	17,20	19,01
SH8AB	15,85	18,67	SH8AB	15,85	18,93	SH8AB	15,90	19,41	RC02	18,10	19,95
SH09	17,30	19,07	RC02	16,95	18,89	RC01	16,70	18,52	SH08	18,70	19,64
RC02	19,60	19,96	RC03	17,80	19,71	RC02	17,70	18,56	RC03	19,50	18,40
-	-	-	SH9AB	18,85	17,65	RC03	19,35	18,72	-	-	-
-	-	-	RC04	19,75	18,53	-	-	-	-	-	-

Tabel 27. Valori pentru greutate volumică (γ) pentru zona aliniamentului conductei

Foraj BP1			Foraj BP2			Foraj BP3			Foraj BP4			Foraj BP5		
Probă ID	Adâncime [m]	Greutate Volumică γ [kN/m³]	Probă ID	Adâncime [m]	Greutate Volumică γ [kN/m³]	Probă ID	Adâncime [m]	Greutate Volumică γ [kN/m³]	Probă ID	Adâncime [m]	Greutate Volumică γ [kN/m³]	Probă ID	Adâncime [m]	Greutate Volumică γ [kN/m³]
SH01	1,50	15,58	SH01	1,40	16,46	SH1A	1,30	15,62	SH01	1,30	16,51	SH1AB	1,45	19,19
D01	2,50	15,76	D01	2,60	19,04	D01	2,30	19,07	D01	2,50	18,31	D01	2,60	17,87
SH02	3,50	15,41	SH02	3,50	19,41	SH2AB	3,40	19,92	SH2B	3,65	19,76	SH02	3,30	17,68
SH3B	6,00	15,26	D02	4,70	18,28	SH03	5,40	16,26	D02	4,75	18,00	D02	4,30	18,20
SH04	7,40	17,51	SH03	5,45	19,65	D02	6,35	18,67	SH03	5,35	19,29	SH3B	5,90	19,81
D03	8,20	17,64	SH4A	7,40	18,76	SH04	7,40	19,15	D03	6,90	18,52	SH04	7,30	19,15

Foraj BP1			Foraj BP2			Foraj BP3			Foraj BP4			Foraj BP5		
Probă ID	Adâncime [m]	Greutate Volumică γ [kN/m ³]	Probă ID	Adâncime [m]	Greutate Volumică γ [kN/m ³]	Probă ID	Adâncime [m]	Greutate Volumică γ [kN/m ³]	Probă ID	Adâncime [m]	Greutate Volumică γ [kN/m ³]	Probă ID	Adâncime [m]	Greutate Volumică γ [kN/m ³]
SH05	9,40	16,74	D04	8,30	16,53	D03	8,30	18,36	SH04	7,50	19,73	D03	8,40	19,13
D04	10,20	16,88	SH05	9,40	17,21	SH05	9,40	18,10	D04	8,45	17,84	SH05	9,30	20,51
SH6AB	11,35	17,50	D05	10,45	18,61	SH06	11,30	19,74	SH6AB	11,40	18,86	D04	10,25	19,04
D05	12,40	18,04	SH06	11,30	20,27	D04	12,35	18,54	SH7AB	13,35	19,51	SH6AB	11,40	18,65
SH07	13,30	18,54	D06	12,40	19,58	SH7AB	13,45	18,92	SH8AB	15,00	19,26	SH7AB	12,90	19,31
-	-	-	-	-	-	SH8AB	15,15	19,19	-	-	-	RC01	13,90	18,72
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	RC02	15,00	19,25
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	RC03	15,20	18,90
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	RC04	16,20	18,54

În culoarea roșie îngroșată sunt prezentate valorile greutății volumice (γ) utilizate pentru încadrarea pământurilor în limitele de variație specifice PSU, respectiv ca greutatea volumică să fie cuprinsă între 12 – 18 kN/m³ (conform Tabel A3.1 din Anexa 3 din NP125:2010).

Umflarea liberă (U_L)

Determinarea umflării libere U_L se face conform STAS 1913/12-88. Ecuația utilizată pentru determinarea umflării libere este prezentată mai jos, unde V_f = volumul final al sedimentului, iar V_i = volumul inițial al pământului egal cu 10cm³.

$$U_L = \frac{V_f - V_i}{V_i} \times 100 \quad [\%]$$

Potențialul de umflare al pământurilor este încadrat conform NP126: 2010 – *Normativ privind fundarea construcțiilor pe pământuri cu umflări și contracții mari.* (Tabelul 28).

Tabel 28. Încadrarea potențialului de umflare a pământurilor pe baza proprietăților fizice conform NP126:2010

Fracție argiloasă $A_{2\mu}$ [%]	Indicele de plasticitate I_p [%]	Indicele de activitate I_A $I_A = I_p / A_{2\mu}$	Umflare liberă U_L [%]	Clasificare în funcție de potențialul de umflare
> 30	> 35	> 1,25	> 140	foarte mare
20 - 30	25 - 35	1,00 - 1,25	100 - 140	mare
15 - 20	12 - 25	0,75 - 1,00	70 - 100	mediu
< 15	< 12	< 0,75	< 70	redus

Potențialul de umflare a pământurilor pe baza proprietăților fizice ale acestora pentru probele analizate din amplasamentul studia, este prezentat în Tabelul 29.

18 probe au fost testate în laborator pentru umflarea liberă și s-a observat că partea superioară a formațiunii de loess (stratul 1) are un potențial de umflare redus, în timp ce majoritatea probelor testate, spre partea inferioară a secvenței litologice, au un potențial de umflare activ mediu. Partea inferioară a întregii formațiuni coezive (stratul 4) are un potențial de umflare mediu activ, cu cea mai mare valoare înregistrată pentru U_L de 120%. Amplasamentul studiat nu se încadrează în categoria pământurilor cu activitate foarte mare din punct de vedere al potențialului de umflare a pământurilor.

Tabel 29. Clasificarea potențialului de umflare a pământurilor pe baza proprietăților fizice pentru amplasamentul studiat

Nume foraj	Probă	Adâncime [m]	A _{2μ} [%]	I _P [%]	I _A	Umflare liberă, U _L [%]	Clasificare în funcție de potențialul de umflare
BN01	SPT02	4.00	36	30.29	0.84	70	redusa
BN01	SPT03	5.70	30	28.53	0.95	80	mediu
BN02	D02	4.20	38	30.98	0.82	80	mediu
BN02	RC01	14.75	57	43.41	0.76	100	mediu
BN03	D01	2.35	39	34.07	0.87	70	redus
BN03	D07	12.20	50	42.43	0.85	100	mediu
BN04	D03	6.00	23	26.43	1.15	60	redus
BN04	SPT10	19.15	59	43.79	0.74	120	mare
BP01	SPT01	1.95	37	34.84	0.94	62	redus
BP01	D02	4.40	42	37.23	0.89	82	mediu
BP02	D01	2.60	42	36.76	0.88	63	redus
BP02	D02	4.70	40	33.33	0.83	70	redus
BP03	D01	2.30	49	39.97	0.82	75	mediu
BP03	D02	6.35	42	37.50	0.89	80	mediu
BP04	D01	2.50	42	38.87	0.93	63	redus
BP04	D04	8.45	51	39.48	0.77	105	mare
BP05	SPT03	6.35	44	35.12	0.80	80	mediu
BP05	SPT07	13.35	48	36.51	0.76	100	mare

Conținutul de carbonați

Determinarea conținutului de carbonați conform STAS 7107-3/1974, a fost făcută pentru 17 probe, din cele 9 foraje geotehnice. Clasificarea pământurilor în funcție de conținutul de carbonat se face în conformitate cu standardul SR EN 146882: 2018 și este prezentată în **Tabelul 30**.

Conținutul de carbonat poate influența rezultatele testelor mecanice, deoarece intervalele cimentate pot duce la valori anormale ale rezistenței la forfecare, iar acest aspect trebuie avut în vedere în alegerea parametrilor de proiectare.

Tabel 30. Clasificarea pământurilor în funcție de conținutul de carbonați conform SR EN 14688-2:2018

Zona proiectului	Nume foraj	Nume proba	Interval de adâncime		Conținut de carbonați [%]	Clasificare
	[-]	[-]	baza [m]	top [m]	STAS 7107-3/1974	SR EN 14688-2:2018
SRM	BN2	SH4	7,50	7,90	20,09	calcaros
	BN2	D5	12,35	12,55	19,50	calcaros
	BN3	D2	4,00	4,20	12,82	calcaros
	BN4	D3	5,80	6,00	19,84	calcaros
	BN4	SPT6	11,30	11,75	30,07	foarte calcaros
	BN4	SH7	17,00	17,20	15,90	calcaros
Aliniament conductă	BP1	D1	2,30	2,50	14,53	calcaros
	BP1	D4	10,00	10,20	5,09	calcaros
	BP2	D1	2,40	2,60	22,65	calcaros
	BP2	SPT7	13,30	13,75	28,89	foarte calcaros
	BP3	D1	2,10	2,30	23,22	calcaros
	BP3	SPT5	9,40	9,85	6,35	calcaros
	BP3	SH8A,B	14,70	15,15	17,86	calcaros
	BP4	D1	2,30	2,50	29,67	foarte calcaros
	BP4	SPT7	13,35	13,80	17,03	calcaros
	BP5	SPT3	5,90	6,35	7,87	calcaros
	BP5	SPT9	15,50	15,95	13,62	calcaros

pH

Determinarea pH-ului conform SR ISO 10390: 2015 a fost efectuată pentru 17 probe, fiind o metodă instrumentală pentru determinarea de rutină a pH-ului, folosind un electrod de sticlă într-o suspensie 1:5 (fracție de volum) a solului în apă (pH în H₂O), în soluție de clorură de potasiu 1 mol / l (pH în KCl) sau în soluție de clorură de calciu 0,01 mol / l (pH în CaCl₂). Rezultatele de laborator sunt prezentate în Tabelul 31.

Tabel 31. Valorile pH pentru probele de pământuri din amplasamentul studiat conform SR ISO 10390: 2015

Zona proiectului	Nume foraj	Nume proba	Adâncime [m]		Valoare pH
SRM	BN2	SH4	7,50	7,90	9,22
	BN2	D5	12,35	12,55	9,28
	BN3	D2	4,00	4,20	8,74
	BN4	D3	5,80	6,00	8,91
	BN4	SPT6	11,30	11,75	9,35
	BN4	SH7	17,00	17,20	9,30
Aliniament conductă	BP1	D1	2,30	2,50	8,42
	BP1	D4	10,00	10,20	8,86
	BP2	D1	2,40	2,60	8,58
	BP2	SPT7	13,30	13,75	9,39
	BP3	D1	2,10	2,30	8,85
	BP3	SPT5	9,40	9,85	8,92
	BP3	SH8A.B	14,70	15,15	9,42
	BP4	D1	2,30	2,50	9,02
	BP4	SPT7	13,35	13,80	9,16
	BP5	SPT3	5,90	6,35	8,71
	BP5	SPT9	15,50	15,95	9,20

Conținutul de materie organică

Determinarea conținutului de materie organică conform ASTM D2974-20e1 a fost efectuată pentru 17 probe selectate. Rezultatele încercărilor încadrează probele ca având un conținut scăzut de materie organică, iar valorile procentuale sunt prezentate în Tabelul 32.

Tabel 32. Conținutul de materie organică pentru probele de pământuri din amplasament conform ASTM D2974

Zona proiectului	Nume foraj	Nume probă	Adâncime [m]	Conținut materie organică [%]	Clasificare în funcție de conținutul de materie organică
SRM	BN1	D1	2,50	3,3	scăzut
	BN1	SPT2	4,00	3,0	scăzut
	BN2	D2	4,20	3,0	scăzut
	BN2	SPT8	16,30	3,0	scăzut
	BN3	SPT2	3,75	3,0	scăzut
	BN3	D7	12,20	3,0	scăzut
	BN4	D2	4,20	3,0	scăzut
	BN4	D4	8,20	3,0	scăzut
Aliniament conductă	BP1	D1	2,50	3,0	scăzut
	BP1	D5	12,40	3,0	scăzut
	BP2	SPT2	3,95	2,0	scăzut
	BP2	SPT4	8,10	2,0	scăzut
	BP3	D1	2,30	3,0	scăzut
	BP3	D2	6,35	2,0	scăzut
	BP4	D1	2,50	3,0	scăzut
	BP4	D4	8,45	4,0	scăzut
	BP5	D1	2,60	2,0	scăzut
	BP5	SPT7	13,40	3,0	scăzut

5.2.4 Parametrii mecanici

Compresibilitate

Testul de edometru, denumit și test de consolidare sau test de compresie unidimensională, permite caracterizarea comportamentului stres-solicitare a solului în timpul compresiei sau umflării unidimensionale. Testele edometrice sunt efectuate prin aplicarea de sarcini diferite pe o probă de sol și măsurarea răspunsului la deformare.

Testele de edometru au fost efectuate pentru probe de pământuri selectate și au cuprins 72 de încercări, respectiv 41 de teste în stare naturală și 31 de teste în stare saturată. Rezultatele încercărilor cu parametri de compresibilitate sunt prezentate în *Tabelul 33* și în *Anexa 10*, iar buletinele de laborator sunt prezentate în *Anexa 11: Rapoarte de incercari/teste de laborator geotehnic*.

Încercările edometrice au fost efectuate pentru identificarea PSU (NP125:2010), pentru care a fost determinat indicele tasării specific la umezire i_{m300} , aplicând o sarcină de 300 kPa (a se vedea Subcapitolul 5.1.4. de mai sus). În *Tabelele 33 și 34*, în culoarea roșie îngroșată sunt reprezentate valorile i_{m300} utilizate pentru identificarea PSU.

Tabel 33. Parametrii de compresibilitate în edometru pentru zona SRM

Foraj	Formațiuni/ orizonturi	Adânci- me [m]	Proba	Test edometru (STAS 8942-1/89)					
				Presiune de umflare	Permeabilitate	Modul de deformare edometrică		Tasarea suplimentară la umezire	Coefficient de consolidare
				P_u	k (edom.)	M_{2-3} natural s.	M_{2-3} saturat s.	i_{m3} (at 300kPa)	C_v
				[kPa]	[cm/s]	[kPa]	[kPa]	[%]	[kPa ⁻¹]
BN01	layer 1	1,3	SH01	40	-	28571	4357	5,08	-
		3,3	SH2A	232	5.44E-09	26316	14184	-	0,000349003
	layer 4	9,3	SH05	20	-	7246	5525	1,84	-
		13,3	SH07	75	9.86522E-09	25974	19231	0,11	0,001933901
		15,85	SH8AB	-	-	15748	-	-	-
		17,3	SH09	26	-	23256	12987	1,05	-
BN02	layer 1	1,5	SH01	-	9.07947E-08	23810	3195	13,98	0,002787748
		3,5	SH02	130	-	17857	12579	-	-
		6	SH3B	-	-	10695	-	7,01	-
	layer 2	7,9	SH04	-	-	22472	14286	0,37	-
	layer 3	9,4	SH05	-	2.58E-08	15873	-	2,86	0,001064012
		11,7	SH6B	101	-	-	7042	-	-
		13,25	SH07	-	-	21053	-	0,29	-
		15,85	SH8AB	13	-	20408	16000	0,56	-
		17,8	RC03	88	1.45E-08	-	8097	-	0,001197719
		19,75	RC04	164	-	-	11628	-	-
BN03	layer 1	3,3	SH02	-	9.00E-08	39216	5362	4,27	0,010673442
		7,5	SH4AB	36	3.84E-09	26316	6623	2,86	0,000259477
	layer 4	11,5	SH6AB	-	-	22727	-	1,43	-
		15,9	SH8AB	-	-	12121	-	0,33	-
		17,7	RC02	-	-	21053	-	-	-
BN04	layer 1	3	SH2B	-	5.30E-09	29412	-	0,64	0,001001232
		7,4	SH04B	-	-	28571	-	5,55	-
	layer 3	9,4	SH5AB	-	1.30E-08	18018	-	0,61	0,001853954
	layer 4	11,3	SH6AB	-	-	13423	-	2,15	-
		17,2	SH07	81	-	26667	17544	0,18	-
		18,1	RC02	39	-	12270	10870	0,49	-
		19,5	RC03	42	-	12048	10870	0,48	-

Tabel 34. Parametrii de compresibilitate în edometru pentru zona aliniamentului conductei

Foraj	Formațiuni / orizonturi	Adâncime [m]	Proba	Test edometru (STAS 8942-1/89)					
				Presiune de umflare	Permeabilitate	Modul de deformare edometrică		Tasarea suplimentară la umezire	Coefficient de consolidare
				P_u [kPa]	k (edom.) [cm/s]	M_{2-3} natural s. [kPa]	M_{2-3} saturat s. [m]	i_{m3} (at 300kPa) [%]	P_u [kPa]
BP01	layer 1	1,5	SH01	34	2.02E-08	20833	3490	13,44	0,0005342
		6	SH3B		1.22E-07	9091	3086	9,68	0,0022843
	layer 3	9,4	SH05		-	20619		2,06	-
	layer 4	11,35	SH6AB	13	-	19802	7843	5,22	-
BP02	layer 1	3,5	SH02	55	1.63E-08	18349	10811	1,23	0,000993
		7,4	SH4A	86	-	13986	12500	-	-
	layer 3	9,4	SH05	18	1.56E-08	15152	13158	1,55	0,001369
BP03	layer 1	1,3	SH1A	-	-	35088		8,17	
		3,4	SH2AB	73	4.37E-08	37037	16667	0,88	0,0037114
	layer 4	9,4	SH05	75	-	17241	13605	-	-
		13,45	SH7AB	94	4.59841E-09	17241	15152		0,0007102
BP04	layer 1	1,3	SH01	106	-	28986	8000	1,95	-
	layer 2	5,35	SH03	134	-	-	16949	-	-
	layer 4	11,4	SH6AB	113	1.11978E-08	22727	20619		0,0023535
BP05	layer 1	1,45	SH1AB	179	4.09E-08	25974	10309		0,0023671
		5,9	SH3B	-	-	16260		1,12	-
	layer 4	13,9	RC01	83	1.25605E-08	18349	16949	-	0,0018033

Încercare în consolidometru cu viteza de deformare impusă (CRS)

Încercări de tip CRS au fost efectuate pentru 13 probe netulburate care au fost trimise în laboratorul Fugro din Marea Britanie (Tabelul 35). Încercările CRS au fost efectuate utilizând o metoda internă a laboratorului, indicativ L-T-027 urmărind indicațiile din ASTM D4186. Rezultatele testelor sunt prezentate în Anexa 11. Inventarul de probe analizate în laboratorul Fugro este prezentat în Tabelul 35.

Tabel 35. Inventar probe teste CRS efectuate în laborator Fugro UK

Zona proiectului	Nr. Crt.	Foraj	Nume proba	Adâncime proba	
				superioara [m]	inferioara [m]
SRM	1	BN1	SH2B	3,3	3,55
	2	BN1	SH6B	11,35	11,5
	3	BN2	SH3A	5	5,5
	4	BN2	SH6A	11	11,3
	5	BN3	SH3A	5	5,3
	6	BN3	SH7B	13,25	13,4
	7	BN4	SH2A	2,5	2,75
	8	BN4	SH4A	6,5	7
Aliniament conducta	9	BP1	SH3A	5	5,5
	10	BP2	SH4B	7,4	7,65
	11	BP3	SH1B	1,3	1,5
	12	BP4	SH2A	3	3,3
	13	BP5	SH3A	5	5,4

Parametrii rezistenței la forfecare

Pentru evaluarea rezistenței la forfecare au fost efectuate teste de forfecare directă de tip CU (consolidat nedrenate), teste de forfecare triaxială tip UU (neconsolidat nedrenate), CU (consolidat nedrenate) și CD (consolidat drenat). În Tabelul 36 și Tabelul 37 sunt prezentate valorile pentru parametrii rezistenței la forfecare pentru zonele SRM și aliniamentul conductei.

Tabel 36. Parametrii rezistenței la forfecare directă și triaxială pentru SRM

Foraj	Strat	Adâncime [m]	Probă	Forfecare directă		Forfecare triaxială							
				C.U. - FD		U.U. - TX		C.U. - TX		C.D. - TX		Coefficient Permeabilitate	Coefficient Consolidare
				STAS 8942/2-82		SR EN ISO 17892-8		SR EN ISO 17892-9		SR EN ISO 17892-9		STAS 1913-6/76	SR EN ISO 17892-9
				Φ [deg]	c [kPa]	Φ [deg]	c [kPa]	Φ [deg]	c [kPa]	Φ [deg]	c [kPa]	k _{TX} [cm/s]	k ₀ -
BN01	layer 1	3,3	SH2A	23,7	27,2	-	-	-	-	-	-	-	-
		5,3	SH03	-	-	-	-	23,2	16,7	-	-	4.78E-06	0,33
	layer 2	7,35	SH04	-	-	-	-	-	-	22,2	21,8	-	-
	layer 4	9,3	SH05	22,9	50,4	-	-	-	-	-	-	-	-
		11,35	SH6A	-	-	-	-	19,8	106,6	-	-	3.57E-07	0,395
		13,3	SH07	16,9	76,6	-	-	-	-	-	-	-	-
		14,7	RC01	-	-	-	-	-	-	18,3	57,2	-	-
		15,85	SH8AB	19,4	70,9	-	184,3	-	-	-	-	-	-
		17,3	SH09	19,9	96,1	-	-	-	-	-	-	-	-
BN02	layer 1	1,5	SH01	-	-	-	-	-	-	25,4	0,4	-	-
		3,5	SH02	21,8	27	-	145,6	-	-	-	-	-	-
	layer 2	7,9	SH04	-	-	-	-	25,1	70,4	-	-	4.28E-08	0,422
	layer 3	9,4	SH05	23,4	22,8	-	59,9	-	-	-	-	-	-
	layer 4	11,7	SH6B	17	65,3	-	-	-	-	-	-	-	-
		14,75	RC01	-	-	-	-	-	-	17,4	73,4	-	-
		16,95	RC02	18	75,2	-	-	-	-	-	-	-	-
		17,8	RC03	-	-	-	-	20,9	80,6	-	-	1.66E-08	0,322
		18,85	SH9AB	17,7	93,5	-	-	-	-	-	-	-	-
BN03	layer 1	1,5	SH01	-	-	-	94,9	11,9	97,1	-	-	5.17E-07	0,468
		5,6	SH3B	18,3	21,5	-	-	-	-	-	-	-	-
		7,5	SH4AB	-	-	-	199,3	-	-	-	-	-	-
	layer 4	11,5	SH6AB	18,9	70,1	-	-	-	-	-	-	-	-
		13,25	SH7A	-	-	-	-	20,6	60,7	-	-	1.40E-07	0,55
		15,9	SH8AB	-	-	-	-	-	-	20,5	55,5	-	-
		16,7	RC01	22,6	80,2	-	-	-	-	-	-	-	-
		19,35	RC03	16	82,5	-	-	-	-	-	-	-	-
BN04	layer 1	3	SH2B	20,9	24,2	-	-	-	-	-	-	-	-
		5	SH03	-	-	-	182,6	-	-	25,6	6,6	-	-
	layer 3	9,4	SH5AB	-	-	-	-	-	-	21,7	45,1	-	-
	layer 4	11,3	SH6AB	19,4	62,9	-	-	-	-	-	-	-	-
		13,5	RC01	-	-	-	-	16,2	90,3	-	-	1.38E-07	0,438
		18,1	RC02	16,2	81,9	-	-	15,4	76,6	-	-	2.09E-08	0,351
		19,5	RC03	21	86,6	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabel 37. Parametrii rezistenței la forfecare directă și triaxială pentru aliniament conductă

Foraj	Strat	Adâncime	Probă	Forfecare directă		Forfecare triaxială							
				C.U. - FD		U.U. - TX		C.U. - TX		C.D. - TX		Coef. permeabilitate	Coef. Consolidare
				STAS 8942/2-82		SR EN ISO 17892-8		SR EN ISO 17892-9		SR EN ISO 17892-9		STAS 1913-6/76	SR EN ISO 17892-9
				Φ	c	Φ	c	Φ	c	Φ	c	k _{TX}	k ₀
		[m]		[deg]	[kPa]	[deg]	[kPa]	[m]	[kPa]	[deg]	[kPa]	[cm/s]	-
BP01	layer 1	1,50-2,70	P01	22,6	49,9	-	-	-	-	-	-	-	-
		1,5	SH01	29,1	5,3	-	161,7	-	-	-	-	-	-
		3,5	SH02	-	-	-	-	23,2	5,1	-	-	1.28E-06	0,361
		6	SH3B	24,1	17,4	-	-	-	-	26	1,1	-	-
		7,4	SH04	-	-	-	140	-	-	-	-	-	-
	layer 3	9,4	SH05	24,8	13,1	-	-	-	-	-	-	-	-
	layer 4	11,35	SH6AB	24	10	-	-	-	-	-	-	-	-
		13,3	SH07	-	-	-	119,3	22,3	33,1	-	-	4.42E-07	0,358
		14,85	SH8AB	-	-	-	-	-	-	14,8	114,9	-	-
BP02	layer 1	1,4	SH01	23,1	11	-	-	-	-	25,2	0,4	-	-
		3,5	SH02	26,4	29,9	-	53,4	-	-	-	-	-	-
		5,45	SH03	-	-	-	-	23	65,5	-	-	1.15E-07	0,455
		7,4	SH4A	21,6	60,4	-	-	-	-	-	-	-	-
	layer 3	9,4	SH05	19,8	27,4	-	-	-	-	-	-	-	-
	layer 4	11,3	SH06	-	-	-	153,4	-	-	-	-	-	-
		13,3	SH07	-	-	-	-	23,3	28,7	-	-	5.78E-08	0,418
		15	SH08	-	-	-	-	-	-	12,3	69,7	-	-
BP03	layer 1	3,4	SH2AB	16,4	36,5	-	-	-	-	21,9	30,5	-	-
		5,4	SH03	22,6	27,4	-	-	23	36	-	-	2.96E-08	0,421
	layer 3	7,4	SH04	-	-	-	203,2	-	-	-	-	-	-
	layer 4	9,4	SH05	16,6	74,3	-	-	-	-	18,5	31,3	-	-
		11,3	SH06	-	-	-	230,9	-	-	-	-	-	-
		13,45	SH7AB	22	77,3	-	-	-	-	-	-	-	-
BP04	layer 1	1,3	SH01	23,2	12,2	-	-	-	-	-	-	-	-
		3,65	SH2B	-	-	-	-	-	-	22,2	35,3	-	-
	layer 2	5,35	SH03	-	-	-	-	21,2	69,4	-	-	2.66E-07	0,614
	layer 3	7,5	SH04	20,6	26,2	-	128,1	-	-	-	-	-	-
	layer 4	9,45	SH5AB	-	-	-	-	-	-	10	39,7	-	-
		11,4	SH6AB	20,5	62,3	-	-	-	-	-	-	-	-
		13,35	SH7AB	-	-	-	-	20,2	75,5	-	-	8.92E-08	0,385
		15	SH8AB	24,1	84,4	-	171,1	-	-	-	-	-	-
BP05	layer 1	1,45	SH1AB	-	-	-	-	-	-	15,7	107,5	-	-
		3,3	SH02	-	-	-	149,1	-	-	-	-	-	-
		5,9	SH3B	-	-	-	-	25,1	37,8	-	-	5.03E-08	0,413
	layer 2	7,3	SH04	25,2	56,3	-	-	-	-	-	-	-	-
	layer 3	9,3	SH05	-	-	-	263,7	-	-	-	-	-	-
	layer 4	11,4	SH6AB	17,9	55,7	-	-	-	-	-	-	-	-
		13,9	RC01	21,8	64,1	-	-	-	-	-	-	-	-
		15	RC02	-	-	-	-	12,5	112,9	-	-	8.17E-08	0,53
		16,2	RC04	17,4	100,8	-	-	-	-	-	-	-	-

Proctor

Teste de compactare tip proctor au fost efectuate pentru 9 probe de pământuri pentru determinarea caracteristicilor de compactare în funcție de modificarea conținutului de umiditate.

Gradul de compactare este măsurat în funcție de densitatea în stare uscată maximă la umiditatea optimă de compactare. Valorile densității în stare uscată și umiditatea optimă de compactare sunt prezentate în *Tabelul 38*.

Tabel 38. Rezultatele testelor de compactare Proctor (normal)

Zona proiect	Foraj	Adâncime	Proba	Granulozitate			Limite Atterberg					Test Proctor	
				Argilă	Praf	Nisip	w _L	w _p	I _p	I _c	w	ρ _{d,max}	w _{opt}
		[m]		[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[-]	[%]	[g/cm³]	[%]
SRM	BN01	0,60-2,00	P01	38	59	3	37	13	24	1,08	12	1,76	16,70
	BN02	0,70-2,50	P01	33	64	3	36	12	24	1,14	9	1,77	15,90
	BN03	0,90-2,50	P01	37	61	2	38	13	25	1,19	9	1,73	16,90
	BN04	2,00-4,00	P01	43	56	1	44	14	30	1,24	7	1,71	18,50
Aliniament conducta	BP01	1,50-2,70	P01	40	58	2	41	14	27	0,77	20	1,75	16,70
	BP02	0,60-2,40	P01	40	58	2	41	14	27	1,05	13	1,73	17,00
	BP03	2,00-3,00	P01	42	57	1	41	15	26	0,95	16	1,70	19,20
	BP04	0,80-2,00	P01	38	60	2	39	14	25	1,11	11	1,74	17,10
	BP05	1,50-3,00	P01	42	56	2	41	14	27	1,01	14	1,74	17,20

5.2.5 Parametrii dinamici

Coloana rezonantă

Teste de coloană rezonantă pentru măsurarea proprietăților dinamice ale pământurilor au fost realizate pentru 9 probe, conform indicativului C2421-92.

Proprietățile dinamice ale pământurilor sunt importante pentru analiza și proiectarea structurilor solicitate la sarcini dinamice, cum ar fi mișcări seismice, vibrațiile mașinilor, încărcări de trafic, etc. Fiecare dintre aceste condiții de încărcare dinamică supune sistemul structura/teren la amplitudini și frecvențe foarte diferite de sarcini și prin urmare răspunsul terenului la o mare varietate de amplitudini și frecvențe trebuie determinat pentru condiții de proiectare corectă pentru diferite situații și scenarii.

Testul de forfecare torsională pentru determinarea modulului de forfecare pe diferite niveluri de deformare a fost efectuat împreună cu testul pe coloană rezonantă pentru a determina modulul de forfecare complet versus curba de deformare pentru probele de pământuri supuse încercărilor și sunt prezentate în *Anexa 10* și în *Anexa 11*.

Testele au fost realizate pe probe selectate care acoperă întregul profil coeziv al formațiunilor reprezentative, începând cu adâncimea de 3m până la 19,6m CTN pentru determinarea parametrilor dinamici la încovoiere și torsiune (*Tabelul 39*).

Tabel 39. Inventar cu probele selectate pentru testele de coloană rezonantă

Zonă proiect	Foraj	Probă	Adâncime probă [m]	
			top	inferioară
SRM	BN1	RC02	19,25	19,60
	BN2	SH3B	5,50	6,00
	BN3	SH6AB	11,00	11,50
	BN4	SH4B	7,00	7,40
Aliniament conducta	BP1	SH2	3,00	3,50
	BP2	SH3	5,00	5,45
	BP3	SH4	7,00	7,40
	BP4	SH5AB	9,00	9,45
	BP5	RC3	15,00	15,20

Teste Triaxial Ciclic

Teste de triaxial ciclic au fost efectuate pentru 18 probe selectate pentru a acoperi întreaga secvență de orizonturi coezive. Rezultatele testelor de rezistență ciclică triaxială sunt utilizate pentru evaluarea capacității terenurilor de a rezista la solicitări de forfecare induse în masa de pământuri ca urmare a seismelor sau a altor încărcări ciclice.

Modulul de deformare longitudinală obținut este prezentat în *Tabelul 40* iar valorile cu efortul vertical maxim și rezultatele testelor sunt prezentate în buletinele de laborator din *Volumul 3*.

Tabel 40. Centralizator cu rezultatele încercărilor de triaxial ciclic - modulul de deformare longitudinală

Foraj	Strat / orizont	Adâncime [m]	Probă	Triaxial ciclic / Ciclic TX		
				Modul de deformare longitudinală		
				E _d [kPa]		
BN01	layer 1	5,3	SH03	8261	11384	13455
	layer 4	11,35	SH6A	13570	23226	34017
BN02	layer 2	7,9	SH04	7681	12917	14657
	layer 4	17,8	RC03	19789	20552	22548
BN03	layer 1	1,5	SH01	9430	12494	17430
	layer 4	13,25	SH7A	9099	16220	20979
BN04	layer 4	13,5	RC01	8790	14327	22066
	layer 4	18,1	RC02	19747	21874	22169
BP01	layer 1	3,5	SH02	6972	11598	15147
	layer 4	13,3	SH07	9026	15305	23551
BP02	layer 1	5,45	SH03	9787	13929	15233
	layer 4	13,3	SH07	13092	15362	16239
BP03	layer 1	5,4	SH03	7412	12573	15234
	layer 4	15,15	SH8AB	11707	14942	18473
BP04	layer 2	5,35	SH03	12443	13675	22888
	layer 4	13,35	SH7AB	14006	18734	27115
BP05	layer 1	5,9	SH3B	11589	15034	17223
	layer 4	15	RC02	14078	16603	18509

5.3 DETERMINAREA VALORILOR CARACTERISTICE ȘI DE CALCUL ALE PARAMETRILOR GEOTEHNICI

O împărțire a secvenței litologice întâlnite pentru zonele SRM și aliniamentului conductei a fost efectuată pe baza rezultatelor testelor de laborator și testelor in situ, precum și a observațiilor directe din teren. Formațiunea coezivă a fost împărțită în patru strate (unități) în funcție de granulozitate și a proprietăților fizice și este delimitată după cum urmează:

Unități litologice identificate în cadrul amplasamentului	
Loess unitatea superioară (strat / orizont I - layer I)	SiCl
Argila/Paleosol (strat / orizont II - layer II)	Cl
Loess unitatea inferioară (strat / orizont I - layer III)	SiCl
Unitatea argilelor brune / brun roșcate cu intercalații de paleosol (layer IV)	Cl

Parametrii geotehnici obținuți din încercările de laborator au fost prelucrați și evaluați urmând instrucțiunile din normativul NP122-2010.

Valorile caracteristice pentru parametrii geotehnici sunt obținute prin metode statistice, cu un coeficient de siguranță de 95% pentru valoarea caracteristică a parametrului geotehnic X_k .

Variația coeficientului V_x este calculată utilizând formula:

$$V_x = \frac{s_x}{X_m}$$

$$s_x = \sqrt{\frac{\sum (X_i - X_m)^2}{n - 1}}$$

$$X_m = \frac{\sum X_i}{n}$$

unde

s_x – abaterea standard ale valorilor individuale X_i determinate prin încercări sau derivate din rezultatele încercărilor pe teren sau în laborator;

X_m – media aritmetică a valorilor X_i selectate;

n – numărul de valori X_i selectate;

Valorile superioare și inferioare pentru parametrii aleși se determină cu ecuațiile:

$$X_{k\ sup} = X_m * (1 + k_n * V_x)$$

$$X_{k\ inf} = X_m * (1 - k_n * V_x)$$

unde

k_n – reprezintă coeficientul statistic de variație a mediei care depinde de numărul de valori selectate și de nivelul de asigurare al mediei dat în Tabelul 3.2 ținând seama de explicațiile de la subpunctele 4 și 5 din normativul NP122-2010.

Valorile statistice pentru parametrii geotehnici prelucrate pentru amplasamentul studiat sunt prezentate în Tabelul 41. Pentru valori intermediare n sunt admise interpolări liniare a valorilor k_n din tabelul de mai jos.

Tabel 41. Valorile coeficientului k_n pentru un nivel de asigurare de 95% în stabilirea valorilor caracteristice

Număr de valori n	Valori k_n pentru	
	V_x necunoscut	V_x cunoscut
3	1,69	0,95
4	1,18	0,82
5	0,95	0,74
6	0,82	0,67
8	0,67	0,58
10	0,58	0,52
20	0,39	0,37
≥ 30	0,31	0,30

Valorile caracteristice de calcul ale parametrilor geotehnici recomandate trebuie să corespundă celor mai nefavorabile condiții. Interpretarea a fost făcută în conformitate cu NP122-2010: *Normativ privind determinarea valorilor caracteristice și de calcul ale parametrilor geotehnici*, iar valorile caracteristice pentru amplasamentul studiat sunt prezentate în Tabelul 42.

Tabel 42. Valorile caracteristice și de calcul pentru parametrii geotehnici conform NP122-2010

Valori caracteristice recomandate (NP122-2010)	w_L	w_P	I_p	I_c	w	γ	n	e	S_r	P_u	k	$M_{2-3} (E_{oed})$		i_{m3}	U.U.	C.U.		C.D.	
												natural	saturat		c	ϕ	c	ϕ	c
	[%]	[%]	[%]	[-]	[%]	[kN/m ³]	[%]	[-]	[-]	[kPa]	[cm/s]	[kPa]	[kPa]	[%]	[kPa]	[°]	[kPa]	[°]	[kPa]
Orizont 1 / Layer 1 (siCl)																			
$x_{k,sup}$	47,06	14,48	32,70	0,98	16,56	18,00	43,82	0,79	0,61	130,03	7.99E-07	27644,60	10609,11	7,38	157,00	23,82	40,34	24,86	49,80
$x_{k,inf}$	44,35	13,82	30,42	0,92	14,85	17,07	41,06	0,71	0,52	64,17	1.02E-07	20840,73	6492,89	3,45	85,55	20,76	21,10	20,97	6,80
Orizont 2 / Layer 2 (Cl)																			
$x_{k,sup}$	52,88	15,81	37,23	0,91	19,24	19,07	42,30	0,74	0,78	134,00	2.02E-07	22472,00	17249,79	0,37	-	25,60	71,51	22,20	21,80
$x_{k,inf}$	50,87	14,82	35,89	0,90	18,51	18,12	39,28	0,65	0,68	134,00	1.07E-07	22472,00	13985,21	0,37	-	22,07	59,22	22,20	21,80
Orizont 3 / Layer 3 (siCl)																			
$x_{k,sup}$	44,19	13,93	30,37	0,88	18,37	18,98	41,67	0,72	0,76	18,00	2.05E-08	19154,84	13158,00	2,44	226,91	23,82	26,96	23,03	52,22
$x_{k,inf}$	41,18	13,19	27,88	0,83	17,00	17,88	38,59	0,63	0,65	18,00	1.58E-08	15676,16	13158,00	1,10	101,89	20,50	17,79	21,56	44,38
Orizont 4 / Layer 4 (Cl)																			
$x_{k,sup}$	60,59	17,72	42,97	0,91	22,63	18,95	43,74	0,80	0,83	86,52	1.23E-07	20392,53	14888,25	-	196,36	21,22	80,16	19,51	74,65
$x_{k,inf}$	57,27	16,82	40,35	0,87	20,62	18,17	41,26	0,70	0,75	50,41	6.90E-08	16202,36	10973,35	-	142,32	19,27	64,99	14,59	45,77

5.4 FORMAȚIUNEA DE ROCI – PROPRIETĂȚI ȘI PARAMETRI

Formațiunea de roci tari interceptată în forajele geotehnice este reprezentată de calcare organogene sarmațiene. Activitățile de carotaj au fost efectuate folosind tehnica de foraj în regim de carotaj continuu, cu circulație de apă cu sistem *wireline WL146mm* (echivalent SQ) obținând un diametru al carotei ID = 100mm.

Grosimea rocii este variabilă în zona investigată, având prezente unele intercalații de argilă verde și goluri. Grosimea formațiunii de calcar variază de la 28,45m până la 30m în zona SRM și doar pentru o grosime relativ mică de 3,1m reprezentată de calcar degradat a fost interceptat în BP5 (în apropiere de țărmul Marii Negre, pentru zona aliniamentului conductei).

S-a observat că eșantioanele de rocă recuperate prezintă cavități și goluri de dizolvare carstică (diferite dimensiuni, de la centimetrice până la decimetrice), fisuri, iar în timpul execuției carotajului au fost semnalate frecvent pierderi de fluid de foraj. Majoritatea golurilor sunt umplute cu fracțiune argiloasă (argilă roșie reziduală și argilă verzuie) sau în unele cazuri cu calcit precipitat secundar.

Pentru evaluarea calității și proprietății rocilor au fost efectuate următoarele activități și teste:

- Indicele RQD (*Rock Quality Designation*);
- Indicele TCR (*Total Core recovery*);
- Indicele SCR (*Solid Core Recovery*);
- Test de duritate la zgâriere în scara Mohs;
- Compresiune monoaxială tip *Point Load Test* (PLT);
- Rezistența la compresiune monoaxială pentru roci tari în laborator, tip UCS.

5.4.1 Indicele TCR

Indicele TCR reprezintă recuperajul total de rocă carotată dintr-un marș de foraj, raportat la lungimea totală a cursei de avansare (marș de foraj) și este exprimat în procente. Procentul TCR a fost evaluat în teren și descris în fisele primare de foraj folosind relația de mai jos [14].

$$TCR = \frac{\sum length_{core\ pieces}}{\sum length_{core\ run}} \times 100 \quad [\%]$$

Manevrele de avansare efectuate în timpul forajului (marșurile) au fost notate și sunt prezentate în *Anexa 2: Secțiunea 1 – Fise primare de foraj*. Un marș corespunde unei manevre de avansare a tubului carotier pe o lungime de 1,5m.

Rezultatele indicelui TCR pentru forajele care au interceptat calcarul (BN1, BN2, BN3, BN4 și BP5) sunt prezentate în *Anexa 6: Rezultatele testelor RQD, TCR și SCR*.

Pentru zona SRM, indicele TCR are valori cuprinse între 81,6% - 87,5%. Pentru zona aliniamentul conductei, calcarul degradat apare doar în BP5, pentru intervalul de adâncime 16,9m – 20m, având doar 2 valori ale indicelui TCR.

Rezultatele indicelui TCR sunt prezentate statistic în *Tabelul 43*.

Tabel 43. Indicele TCR - valori statistice

Zona Proiectului	Nume foraj	Valori statistice TCR			
		Minim [%]	Maxim [%]	Media aritmetică [%]	Valoarea medie [%]
SRM	BN1	53,33	100,00	83,00	88,67
	BN2	44,67	100,00	84,53	93,00
	BN3	33,33	100,00	87,50	90,00
	BN4	26,67	100,00	81,60	92,33
Aliniament conductă	BP5	88,67	100,00	94,33	94,33

5.4.2 Indicele SCR

Indicele SCR reprezintă suma lungimilor carotelor solide cilindrice recuperate și raportate la lungimea unui marș de foraj (manevra de avansare). Procentul SCR a fost evaluat în teren și descris în fisele primare de foraj folosind relația de mai jos [14]:

$$SCR = \frac{\sum length_{solid\ cylindrical\ core\ pieces}}{Total\ length_{core\ run}} \times 100 \quad [\%]$$

Rezultatele indicelui SCR sunt prezentate statistic în *Tabelul 44*, descrise și prezentate în *Anexa 2* și *Anexa 6*.

Tabel 44. Indicele SCR - valori statistice

Zona Proiectului	Nume foraj	Valori statistice TCR			
		Minim [%]	Maxim [%]	Media aritmetică [%]	Valoarea medie [%]
SRM	BN1	13,30	100,00	52,77	53,65
	BN2	12,00	98,30	57,41	62,00
	BN3	15,30	100,00	59,75	65,00
	BN4	0,00	95,70	48,53	49,80
Aliniament conductă	BP5	78,60	88,00	83,30	83,30

5.4.3 Indicele RQD

Indicele RQD reprezintă o evaluare calitativă a nivelului de fracturare în masa carotei solide recuperate. Este o expresie procentuală a raportului dintre suma lungimilor fragmentelor de carotă care au lungimea >100 mm (măsurate în zona mediana a carotei), raportată la lungimea totală a unui marș de foraj (manevra de avansare), descrisă (după D. U. Deere) [12] și este definită de ecuația de mai jos:

$$RQD = \frac{\sum length\ (L)\ of\ core\ pieces\ >\ 100mm\ length}{Total\ length\ of\ core\ run} \times 100 \quad [\%]$$

Rezultatele indicelui RQD sunt prezentate statistic în *Tabelul 45*, descrise și prezentate în *Anexa 2* și *Anexa 6*.

Tabel 45. Clasificarea calității rocilor în funcție de indicele RQD

RQD	Descrierea calității masei de roci
<25%	Foarte slabă
25-50%	Slabă
50-75%	Acceptabilă
75-90%	Bună
90-100%	Excelentă

Pentru zona SRM, indicele RQD are valori cuprinse între 35,82% - 44,23%. Pentru forajul BP5 s-a interceptat formațiunea de calcar pentru intervalul de adâncime 16,9m – 20m.

Rezultatele indicelui RQD sunt prezentate statistic în *Tabelul 46*.

Tabel 46. Valori statistice pentru RQD

Zona Proiectului	Nume foraj	Valori statistice RQD			
		Minim [%]	Maxim [%]	Media aritmetică [%]	Valoarea medie [%]
SRM	BN1	7,33	94,67	43,23	40,67
	BN2	0,00	76,67	44,23	48,33
	BN3	0,00	99,33	43,87	44,67
	BN4	0,00	82,14	35,82	37,00
Aliniament conductă	BP5	63,33	58,67	61,00	61,00

5.4.4 Testul de duritate Mohs

Scara Mohs a durității mineralelor este evaluarea calitativă care caracterizează rezistența la zgâriere a diferitelor minerale referitor la capacitatea materialului mai dur de a zgâria materialul mai moale [13]. Testul se efectuează prin zgâriere cu o parte ascuțită al unui exemplar pe o suprafață nemarcată a altui exemplar și încercarea de a produce o zgârietură. Duritatea Mohs este o metodă obișnuită folosită pentru a evalua mineralele în funcție de duritate și clasifică mineralele pe o scară de la 1 – foarte moale, la 10 – foarte tare (Tabelul 47).

Tabel 47. Duritatea rocilor în scara Mohs

Duritate Mohs	Descriere duritate				
	1 - 2	2 - 4	4 - 6	6 - 8	8 - 10
	friabilă	scăzută	moderată	tare	foarte tare

Au fost efectuate 55 de teste de duritate Mohs. Marea majoritatea a valorilor sunt cuprinse între 2 – 4 (duritate scăzută), în timp ce doar un număr restrâns de probe au înregistrat valori cuprinse între 4 – 6 (duritate moderată), fiind întâlnite pe eșantioane mai compacte de calcar. Rezultatele testelor sunt prezentate în *Anexa 5: Teste de duritate Mohs*.

5.4.5 Rezistența la compresiune monoaxială pentru roci tari (UCS)

Încercări de rezistență la compresiune monoaxială (UCS) au fost efectuate în laboratorul geotehnic pe 20 de specimene conform ASTM D 2938 – 95.

Probele au fost testate într-o stare de umiditate naturală (corespunde umidității carotelor după eșantionare), temperatura în timpul testării în laborator a fost de 20°C, iar încărcarea a fost făcută în lungul axei longitudinale (direcția de carotaj) cu o viteză de încărcare de 0,03 MPa/s utilizând un aparat tip MATEST CYBERTRONIC.

Rezultatele testelor de laborator și valorile statistice sunt prezentate în *Tabelul 48*, iar distribuția rezultatelor testelor în funcție de adâncime sunt reprezentate grafic în *Figura 57*. Buletinele de încercări pentru rezistența la compresiune monoaxială sunt incluse în *Anexa 10* și în *Anexa 11*.

Rezultatele testelor indică valori cu variabilitate mare, de la 2,4 MPa la 22,7 MPa (N/mm²), cu media valorilor de 7,22 MPa și cu o valoare medie de 4,45 MPa, aplicabilă pentru intervalul testat de calcar bioclastic pe intervalul de adâncime cuprins între 21,1m – 29,2m față de CTN.

Calcarul organogen sarmațian are în componenta sa bioclaste de diferite dimensiuni, include fragmente de bivalve, gastropode, fosile, cochilii, afectat de procese de alterare, având din acest punct de vedere un caracter heterogen, grad de neuniformitate care se reflecta în rezultatele obținute în laborator. Din aceasta perspectivă caracterizarea masei de roci bazată exclusiv pe valorile UCS, nu este reprezentativă.

Prin comparație cu încercările tip PLT care au fost efectuate pe un număr mai mare de probe și au înregistrat o rezoluție mai bună pentru intervalul de rocă testat, având totuși aceeași variabilitate a valorilor datorită proprietăților fizice și genezei calcarului bioclastic.

Tabel 48. Rezistență la compresiune monoaxială tip UCS - rezultate și valori statistice

Nume foraj	Adâncime [m]	Nume probă	Tip formațiune rocă	Rezistența la compresiune monoaxială (ASTM D2938)
				σ [MPa]
BN01	21,1	R01	Calcar bioclastic	4,3
	23	R02	Calcar bioclastic	2,9
	26,6	R03	Calcar bioclastic	7
	27,6	R04	Calcar bioclastic	2,8
	29	R05	Calcar bioclastic	3,9
BN02	21,8	R01	Calcar bioclastic	21,4
	23,35	R02	Calcar bioclastic	3,7
	24	R03	Calcar bioclastic	2,4
	26,8	R04	Calcar bioclastic	12,7
	28,5	R05	Calcar bioclastic	2,4
BN03	22,6	R01	Calcar bioclastic	17
	23,8	R02	Calcar bioclastic	2,6
	24,8	R03	Calcar bioclastic	3,8
	26,7	R04	Calcar bioclastic	5,1
	28	R05	Calcar bioclastic	4,7
	29,5	R06	Calcar bioclastic	4,6
BN04	22,35	R01	Calcar bioclastic	22,7
	24,55	R02	Calcar bioclastic	4,2
	27	R03	Calcar bioclastic	8,2
	29,2	R04	Calcar bioclastic	8
Valori statistice			minimum	2,4
			maximum	22,7
			valoarea medie	4,45
			media valorilor	7,22
			abatere standard	6,26

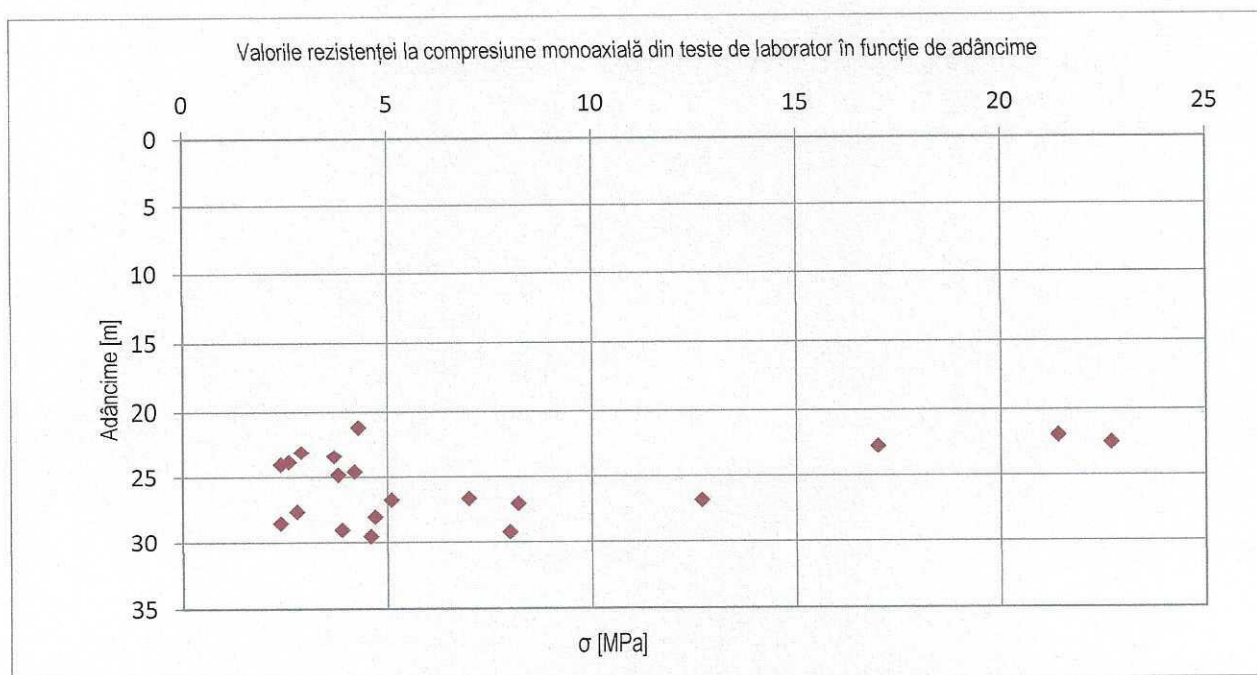


Figura 57. Valorile rezistenței la compresiune monoaxială din teste de laborator – UCS în funcție de adâncime

5.4.6 Compresiune monoaxială tip PLT

Testul PLT este un test index rapid, de determinare a rezistenței rocilor la compresiune. Testul este efectuat urmărind prevederile standardului ASTM D 5731-02.

Testul poate fi utilizat pentru a estima alte caracteristici ale rocilor, cu care se corelează, cum ar fi rezistența la compresie uniaxială și rezistența la tracțiune [15]. Testul determină valorile indicelui de rezistență într-un punct (I_s (50)).

Valoarea rezistenței este calculată și ajustată de factorul de corecție pentru diametrul carotei (în acest caz diametrul carotei este de 100mm). După aplicarea factorului de corecție, se obține valoarea finală a indicelui de rezistență. Valoarea medie a indicelui de rezistență este calculată prin eliminarea valorilor extreme pentru un număr de 10 sau mai multe teste validate pentru care se calculează media rezultatelor rămase.

Valoarea indicelui de rezistență necorectată într-un punct (I_s) se obține cu relația:

$$I_s = \frac{P}{D_e^2} \quad [MPa]$$

Unde D_e^2 este diametrul echivalent al carotei [mm]; iar P este presiunea de cedare [N].

Valoarea corectată $I_{s,50}$ se obține aplicând indicelui de rezistență I_s un factor de corecție (F) conform ecuației de mai jos:

$$I_{s,50} = F * I_s \quad [MPa]$$

$$F = \left(\frac{D_e}{50} \right)^{0,45} \quad [MPa]$$

Pentru a obține corelarea valorilor din testul PLT cu valorile de compresiune monoaxială din testul UCS se aplica un factor de corecție $K = 24.5$ (indicat în standard pentru diametrul carotei $d > 60$ mm), folosind ecuația de mai jos:

$$S_c = K * I_s \quad [MPa]$$

unde S_c este rezistența la compresiunea monoaxială în [MPa], K este un factor de corecție.

Teste de tip PLT au fost efectuate pentru 77 eșantioane de roci din care 71 au fost pentru zona SRM și 6 pentru zona aliniamentului conductei (doar din forajul BP5). Din cele 77 teste PLT (52 axiale și 25 diametrale), doar 60 de teste au fost acceptate și 17 au fost respinse.

Rezultatele testelor PLT au fost corectate pentru a obține valori echivalente UCS (S_c) prin aplicarea factorului de corecție K . Rezultatele testelor centralizate pentru testele PLT și valorile statistice sunt prezentate în *Tabelul 49*, iar distribuția rezultatelor testelor PLT în funcție de adâncime sunt reprezentate grafic în *Figura 58*. Rapoartele de încercări și documentația fotografică pentru rezistența la compresiune monoaxială din testul PLT sunt incluse în *Anexa 7: Rezultate încercări tip Point Load Tests – secțiunile 1 și 2*.

Tabel 49. Rezistența la compresiune monoaxială din testele PLT - rezultate și valori statistice

Nume foraj	Nume test	Tip test			Nume test	Tip test		
		Axial - (Perpendicular)				Diametral - (Paralel)		
		Adâncime	I _{s(50)}	UCS (S _c)		Adâncime	I _{s(50)}	UCS (S _c)
		(m)	(MPa)	(MPa)		(m)	(MPa)	(MPa)
BN1	PLT1	21,55	0,26	6,29	PLT2	21,35	0,88	21,56
	PLT3	21,40	0,43	10,42	-	-	-	-
	PLT5	22,90	0,26	6,30	PLT4	22,90	0,50	12,17
	PLT8	23,50	1,08	26,47	PLT6	23,50	1,12	27,54
	PLT10	24,30	0,94	23,00	PLT9	24,30	0,97	23,72
	PLT14	26,30	1,26	30,99	PLT13	26,30	1,56	38,24
	PLT16	27,15	0,85	20,92	PLT15	27,15	0,84	20,63
	PLT18	29,50	0,74	18,22	PLT17	29,50	0,80	19,71
BN2	PLT1	21,60	0,95	23,35				
	PLT4	23,65	0,80	19,54	PLT3	23,65	0,56	13,84
	PLT6	24,30	0,95	23,28	PLT5	24,30	0,84	20,61
	PLT9	26,55	1,69	41,42	PLT8	26,55	1,91	46,90
	PLT11	27,20	0,56	13,83	PLT10	27,20	1,27	31,04
	PLT12	27,45	0,50	12,19				
	PLT14	28,95	0,23	5,60	PLT13	28,35	0,45	11,06
	PLT16	29,35	0,44	10,79	PLT15	29,35	0,23	5,72
BN3	PLT2	20,90	2,20	54,02	-	-	-	-
	PLT3	21,20	2,83	69,42	-	-	-	-
	PLT4	21,80	3,10	76,06	-	-	-	-
	PLT6	23,10	1,80	44,19	PLT5	23,10	0,39	9,54
	PLT7	23,45	2,04	49,96	-	-	-	-
	PLT9	24,55	1,40	34,40	PLT8	24,55	0,57	14,07
	PLT11	25,70	0,54	13,13	PLT10	25,70	0,30	7,36
	PLT14	27,40	0,78	19,17	PLT13	27,40	0,25	6,22
	PLT15	27,80	0,31	7,49	-	-	-	-
	PLT17	28,65	0,35	8,53	-	-	-	-
	PLT19	29,10	0,63	15,32	PLT18	29,10	0,75	18,36
BN4	PLT1	21,60	1,76	43,10				
	PLT4	23,60	0,42	10,29	PLT3	23,60	0,49	11,91
	PLT6	24,15	1,18	28,79	PLT5	24,15	0,87	21,42
	PLT8	24,90	0,60	14,62	PLT7	24,90	0,54	13,19
	PLT10	26,25	0,49	12,11	-	-	-	-
	PLT11	26,45	1,32	32,36	-	-	-	-
	PLT12	27,40	0,93	22,67	-	-	-	-
	PLT13	27,65	0,81	19,88	-	-	-	-
	-	-	-	-	PLT15	28,90	0,37	8,98
BP5	PLT1	18,40	1,08	26,43	-	-	-	-
	PLT6	19,90	0,29	7,08	PLT4	19,90	0,24	5,92
Valori statistice	minim		0,26	6,30	minim		0,25	6,22
	maxim		2,20	49,96	maxim		1,27	31,04
	valoarea medie		0,81	19,88	valoarea medie		0,57	14,07
	media		0,92	22,55	media		0,73	17,81
	abatere standard		0,52	12,84	abatere standard		0,43	10,57

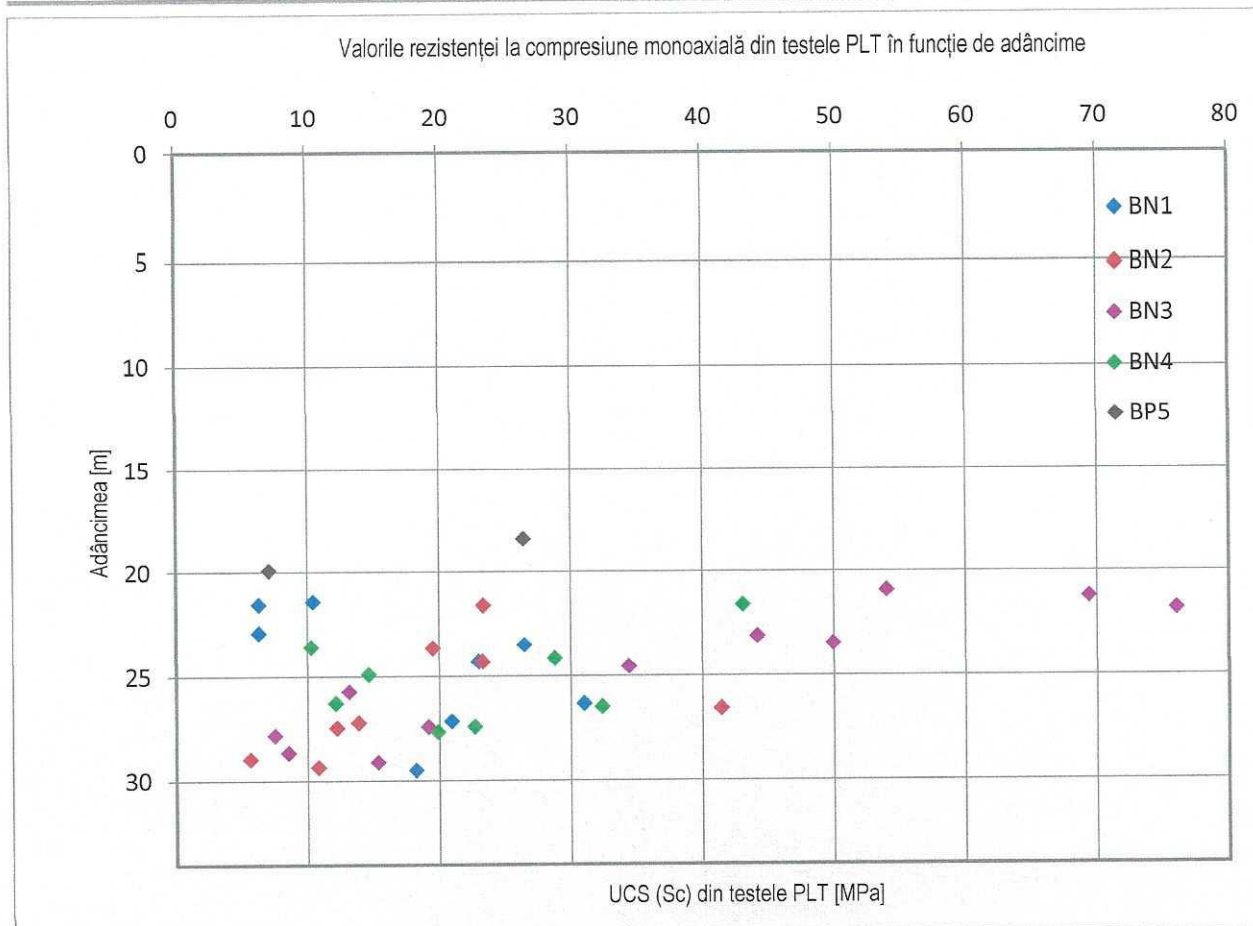


Figura 58. Valorile rezistenței la compresiune monoaxială din testele PLT în funcție de adâncime

5.5 TESTE DE PENETRARE STATICĂ CU PIEZOCON – CPTU

5.5.1 Investigații in situ tip CPTu

Programul de investigații geotehnice a inclus efectuarea a 8 teste de penetrare statică cu piezocon cu o forță de apăsare de 20 de tone apăsare, pana la adâncimi de maxim de 20m fata de CTN sau refuzul mecanic al echipamentului. In timpul testului au fost efectuate înregistrări pentru presiune pe vârf (q_c), frecarea laterala pe manta (f_s) și presiunea apei din pori (u_2). A fost efectuat câte un test de disipare pentru fiecare locație de penetrare statica, la adâncimi unde au fost înregistrate valori în creștere ale presiunii apei din pori.

Investigațiile de teren tip CPTu au venit în completarea informațiilor geotehnice obținute din foraje și pentru verificarea continuității stratificației din teren și realizarea pofilelor litologice. Un inventar cu testele de penetrare statica cu piezocon și adâncimile testelor de disipare efectuate pentru proiect, sunt prezentate în *Tabelul 50*, iar reprezentările grafice ale acestora sunt prezentate în *Anexa 8: Rezultate teste CPTu*.

Tabel 50. Teste CPTu și testele de disipare

Teste CPTu								Teste de disipare		
Nume test	Coordonate (Stereo 70)			Data și timpul de execuție			Adâncime finală	Adâncime testare	Timp începere	Timp finalizare
	x	y	z	Date	Început	Finalizare				
	[m]	[m]	[m]	[d:m]	[hh:mm]	[hh:mm]	[m]	[m]	[hh:mm]	[hh:mm]
PP4	281502.35	793099.33	21,90	9-sep.	12:08	13:36	13,98	8,61	12:26	13:22
PP2	281506.03	792699.36	28,69	10-sep.	12:58	16:37	14,25	10,67	13:16	16:29
PP3	281503.36	792899.26	25,69	10-sep.	10:27	10:59	12,70	9,50	10:42	10:50
PN4	281592.82	792406.68	31,70	11-sep.	10:37	14:25	12,55	8,50	10:50	13:57
PN3	281517.55	792339.11	31,66	12-sep.	10:44	14:16	13,40	9,50	10:59	14:06
PN2	281475.45	792312.03	31,89	13-sep.	10:24	13:18	14,78	9,50	10:38	13:05
PN1	281438.32	792279.21	31,88	16-sep.	11:13	14:32	12,62	9,57	11:18	14:24
PP1	281507.48	792529.41	30,40	30-sep.	15:10	16:36	14,79	8,50	15:22	16:23

Toate testele CPTu au fost efectuate în condiții operaționale standard, fără dificultăți, până la o adâncime medie raportată la întregul amplasament de aproximativ 9,5m fata de CTN; mai jos de această adâncime și până la adâncimea maximă de testare înregistrată de 14,79m, viteza de avansare a conului nu a putut fi menținută la valoarea recomandată de avansare de 2 cm/s, din cauza condițiilor de strat. Scăderea vitezei de avansare a piezoconului a fost din cauza valorilor mari de frecare laterala înregistrate pe ansamblul de prăjini, chiar și în condițiile în care au fost folosiți centrori pentru reducerea frecării.

Prezența de urme de calcar degradat și friabil pe vârful piezoconului a fost observată pentru fiecare locație de testare, la sfârșitul manevrelor de retragere a piezoconului, ca urmare a avansării prin formațiunile coezive cu prezența de concrețiuni calcaroase. Toate testele CPTu efectuate au înregistrat refuzul mecanic în orizontul coeziv 4, reprezentat de argile brune / brun roșcate.

În timpul testării in situ, creșterea presiunii apei din pori a fost înregistrată în orizontul de argila brun roșcata (orizontul 4). Încercările de laborator pentru probele testate la adâncimi comparabile cu zonele în care au fost înregistrate creșteri ale presiunii apei în pori din testul CPTu, au valori ale gradului de saturație S_r cuprins între 0,8 și 0,9. Prin apăsarea conului apare o creștere excesivă a presiunii apei din pori din cauza permeabilității scăzute a stratului traversat și are nevoie de timp pentru a se disipa.

Testele CPTu au fost efectuate în condiții de sol semi-saturat, la conținutul natural de umiditate. De menționat este că apa subterană a fost interceptată în foraje la adâncimi mari de aproximativ 31m față de CTN pentru zona SRM și la adâncimi de 19,45m față de CTN pentru zona aliniamentului conductei (în BP5), cu mult sub adâncimea maximă de investigare a testelor CPTu.

5.5.2 Evaluare potențialului la lichefiere din testele CPTu

Datele CPTu au fost utilizate pentru o evaluare preliminară a susceptibilității la lichefiere utilizând software-ul de interpretare *C-Liq*. Analize grafice pentru indicele potențialului de lichefiere au fost evaluate pentru tasarea verticală și deplasări laterale în stare naturală a terenului. Rezultatele obținute au fost evaluate utilizând metoda NCEER (Young și colab., 2001) și după Zhang și colab. (2002 și 2004). Aceasta include, de asemenea, cea mai recentă procedură de evaluare dezvoltată de Robertson (2009), care se aplică tuturor tipurilor de pământuri, combinând o verificare a lichefierii ciclice (pentru nisipuri) și a cedării prin reducere ciclica (în pământuri cu granulație fină). A se avea în vedere totuși, ca loessul are un

comportament particular, prezentând potențial de lichefiere și cedare prin curgere, lichefierea loessului fiind un fenomen complex și unic în comparație cu lichefierea nisipurilor, iar evaluarea făcută prin metoda mai sus menționată are un caracter orientativ.

Programul de analiză parametrică din software a permis variația atât a magnitudinii cutremurului, cât și a accelerației suprafeței, pentru a evalua sensibilitatea atât a indicelui potențialului de lichefiere, cât și a tasărilor post-seism, rezultatele fiind prezentate într-o formă grafică.

Evaluarea potențialului de lichefiere folosind metoda Robertson (2009) a fost efectuată pentru toate testele CPTu efectuate și au avut în vedere următoarele premise:

- magnitudinea cutremurului: $M_w = 7,5$;
- $a_g = 0,2$.

Nivelul apei subterane nu a fost luat în considerare (acesta fiind situat la adâncimi mai mari decât adâncimea de investigare CPTu, în stratul de calcar).

În concluzie, după prelucrarea datelor, s-a remarcat faptul că factorul de siguranță (FS) a indicat o probabilitate foarte redusă de lichefiere pentru toate locațiile testate, în timp ce potențialul de lichefiere (LPI) este prezentat ca fiind fără risc pentru toate locațiile testate în condiții naturale.

De asemenea, în normativul NP125:2010 sunt menționate condițiile în care fenomenele de lichefiere din PSU se pot manifesta numai în situația în care gradul de saturație $S_r > 0,8$, ca urmare a pierderii temporare, parțiale sau totale a rezistenței la forfecare a pământului sub influența unor solicitări dinamice. Pentru amplasamentul studiat, gradul de saturație $S_r > 0,8$ a fost obținut în foarte puține încercări de laborator, în orizontul 4 (argila brună/ argila brun roșcată), la baza stratului coeziv.

5.5.3 Evaluarea tasărilor din datele CPTu

Datele CPTu au fost utilizate pentru un calcul preliminar al tasării, în stare naturală și nu au fost luate în considerare faptul că sunt pământuri sensibile la umezire. De asemenea, la momentul efectuării investigațiilor nu au fost disponibile elemente cu referire la tipul de fundare (adâncime de fundare, dimensiuni ale fundației, forma fundației, încărcările transmise terenului de fundare, etc.).

S-a realizat o simulare de calcul bazată pe teoria elasticității folosind datele CPTu, având următoarele premise: tipul de fundație rectangulară, rigidă, cu lățimea de 1m; $L/B = 1$ (raportul lungime/ lățimea fundației); încărcarea transmisă de fundație = 200 kPa; adâncimea de fundare = 1m; perioada de consolidare primară considerată la 6 luni; perioada de timp pentru tasările secundare considerată la 24 luni. Valorile tasărilor primare și secundare orientative rezultate din procesarea datelor din CPTu, cu software CPe-IT, au indicat valori mici pentru tasări, de ordinul milimetrelor, acestea nefiind valori reale pentru formațiunile de loess, atât timp cât nu au fost luate în considerare valori pentru tasări specifice la umezire care se obțin din testul de edometru inundat.

Calculul de tasare pentru pământurile sensibile la umezire trebuie făcut urmărind indicațiile prevăzute în normativul NP125:2010. Acest tip de analiză trebuie făcut în faza de proiectare, atunci când sunt cunoscute toate elementele constructive (adâncime de fundare, dimensiuni ale fundației, forma fundației, încărcările transmise terenului de fundare, elementele constructive ale echipamentelor, etc.), și vor fi făcute într-o etapă următoare a proiectului.

5.6 APA SUBTERANĂ

Caracteristicile hidrogeologice generale cu referire la amplasamentul studiat și vecinătățile acestuia, au fost prezentate în Capitolul 2.5 din prezentul raport.

În timpul lucrărilor de investigații, apa subterană a fost interceptată în toate cele 4 foraje efectuate la adâncimi de 50m fata de CTN pentru zona SRM. Pentru aliniamentul conductei, apa subterana a fost interceptata la adâncimea de 20m fata de CTN într-un singur foraj (BP5 – localizat cel mai aproape de țărmul Marii Negre).

Valorile înregistrate ale nivelului apei subterane la finalizarea forajului sunt prezentate în *Tabelul 51*, atât în valori absolute, cât și în valori relative.

Nivelul apei subterane înregistrat în forajele BN1 + BN4 (zona SRM) au valori înregistrate cuprinse între 0,74m – 0,91m deasupra cotei nivelului Mării Negre.

Cu referire la înregistrările pentru nivelul de apa subterana, sunt de facut urmatoarele mentiuni:

- Tema de proiectare nu a inclus echiparea forajelor cu sisteme de monitorizare pentru apa subterană (piezometre sau foraje de monitorizare), iar toate măsurătorile pentru nivelul apei au fost făcute în foraj deschis sau în interiorul coloanei de tubaj;
- Activitatea de foraj în formațiunile coezive superioare (loess) a folosit tehnica de foraj în regim uscat fără fluid de circulație; apa subterană nu a fost întâlnită până la contactul cu formațiunea de calcar;
- Pentru foraj în calcare s-a folosit exclusiv apă (din rețea, sau apa din recirculare), nu s-au folosit polimeri sau aditivi, noroiuri sau bentonite;
- Măsurători ale nivelului apei subterane au fost efectuate în timpul execuției forajului și după finalizarea acestuia, valorile înregistrate sunt prezentate în fisele primare de foraj (*Anexa 2*);
- După finalizarea forajului, acesta a fost sigilat în întregime de jos în sus, cu bentonită granulată tip Mikolit, activitatea de sigilare a forajului s-a făcut progresiv pe măsura extragerii coloanei de foraj pentru a asigura o sigilare adecvată. Întregul volum al găurii de foraj a fost sigilat cu bentonită granulată (aproximativ 1 tona pentru forajele de 50m), iar partea superioară de aproximativ 0,7m – 1m fiind completată cu sol vegetal.

În timpul efectuării forajului în regim uscat, apa subterană nu a fost întâlnită în formațiunea coezivă până la adâncimea de 20,25m fata de CTN pentru SRM și până la 16,9m CTN pentru aliniamentul conductei.

În forajele de 50m (SRM), apa subterană a fost întâlnită în calcarul organogen sarmațian la adâncimi cuprinse între 30,9m față de CTN (0,87 m NMN) și 31,2m față de CTN (0,74m NMN).

De menționat este faptul că în timpul forajului pentru intervalul superior al formațiunii de calcar (pana la aproximativ 30m adancime), au fost utilizate cantități mari de apa pentru foraj și frecvent circulația fluidului de foraj nu a revenit la suprafață. Mai jos de această adâncime, se dezvoltă orizontul de argilă cenușiu verzuie (având diferite grosimi de la 1m în BN2 și până la 5,2m în BN4), iar sub aceasta argila se dezvoltă calcarele oolitice, bioclastice, fisurate și saturate. Se pare că apa subterană întâlnită în acest orizont de calcar, se ridică deasupra părții superioare a orizontului de argile cenușiu verzui, ducând la concluzia unui acvifer slab sub presiune, iar argilă verzuie poate fi considerată acviclud; aceasta este o ipoteză bazată pe observațiile din teren.

Pe de altă parte, apa subterană interceptată în forajul BP5 la o adâncime de 19,45m față de CTN (0,18m NMN) indică faptul că nivelul freatic este aproape de cota nivelului Mării Negre și posibil să fie în continuitate hidrolică cu aceasta.

Toate aceste premise și ipoteze trebuie verificate, deoarece observațiile au fost efectuate exclusiv pe parcursul efectuării forajelor, iar scopul lucrărilor nu a inclus instalarea de sisteme de monitorizare pentru apa subterană.

În cazul în care elemente de execuție ale proiectului vor interfera cu apa subterană, aceste aspecte vor necesita o investigație și monitorizare adecvată. Apa subterană reprezintă un factor important care ar putea influența lucrările ulterioare în relație cu PSU sau alte activități dependente de prezența apei.

O evaluare corespunzătoare a nivelului apei subterane ajută la încadrarea amplasamentului în categoria geotehnică prin evaluarea riscului geotehnic prin prisma lucrărilor ulterioare necesare (daca sunt necesare epuizmente).

Tabel 51. Înregistrările nivelului apei subterane în foraje

Nr.	Coordonate foraje în STEREO 70				Observații cu privire la nivelul apei subterane			
	Nume foraj	Nord (X)	Est (Y)	Cota terenului	Adâncime relativă apă	Adâncime absolută apă	Nume probă apă	Data prelevării probei de apă
		(X)	(Y)	(z) [m]	[m]	[m]		[z-l-a]
1	BN1	281439.35	792279.93	32,00	31,10	0,90	W-BN1	17.oct.19
2	BN2	281476.48	792312.14	31,91	31,00	0,91	W-BN2	11.oct.19
3	BN3	281531.34	792329.80	31,94	31,20	0,74	W-BN3	07.oct.19
4	BN4	281591.35	792408.83	31,77	30,90	0,87	W-BN4	30.sep.19
5	BP5	281501.08	793199.53	19,63	19,45	0,18	-	-

Nivelul apei subterane este indicat în fisele primare de foraj prezentate în *Anexa 2*, iar un profil cu nivelul apei subterane este prezentat în *Figura 24* și *Anexa 3*.

Au fost efectuate analize chimice de laborator pentru apa subterană pentru 4 probe prelevate din forajele din zona SRM și analizate pentru agresivitatea apei față de beton. S-au realizat analize și pentru metale care au inclus determinarea următorilor parametri: pH [la 20°C], sulfat (SO_4^{2-}), CO_2 agresiv, amoniu (NH_4^+), magneziu (Mg^{2+}).

Rezultatele analizelor de laborator sunt prezentate în *Tabelul 52*. În conformitate cu standardului SR 13510: 2006, probele de apă subterană testate nu indică agresivitate împotriva betonului și metalelor. Suplimentar au fost făcute și analize chimice pentru cloruri (Cl) dizolvate în apă, iar rezultatele testelor de laborator indică valori cuprinse între 249,46 mg/l și 271 mg/l. Buletinele de analize chimice de laborator sunt prezentate în *Anexa 11*.

Tabel 52. Analize chimice de laborator pentru probele de apă subterană

Parametri/încercări efectuate	Valori de referință conform SR EN 206			Metoda de testare	Nume foraj / adâncime proba de apă subterană			
	XA1	XA2	XA3		BN1 / 31,10m	BN2 / 31,00m	BN3 / 31,20m	BN4 / 30,90m
pH [at 20°C]	≤6,5 și ≥5,5	≤6,5 și ≥5,5	≤4,5 și ≥4,0	SR EN ISO 10523:2012	7,51	7,63	7,61	7,65
SO_4^{2-} [mg/l]	≥200 și ≤600	≥600 și ≤3000	≥3000 și ≤6000	PTE-LC,CCF-041/P IV	47,80	62,10	90,50	85,20
CO_2 agresiv [mg/l]	≥15 și ≤40	≥40 și ≤100	>100 până la saturare	SR EN 13577:2007	2	2	2	2
NH_4^+ [mg/l]	≥15 și ≤30	≥30 și ≤60	≥60 și ≤100	SR SO 7150-1:2001	< 0,02	< 0,02	0,066	0,066
Mg^{2+} [mg/l]	≥300 și ≤1000	≥1000 și ≤3000	>3000 până la saturare	SR EN ISO 7980:2002	43,10	48,10	51,00	43,80
Cloruri [mg/l]	-	-	-	SR ISO 9297:2001	271,003	257,105	249,461	250,156

6 Concluzii și Recomandări

Prezentul studiu geotehnic a fost elaborat urmărind indicațiile prezentate în normativul NP074-2014 și standardele în vigoare pentru pregătirea și verificarea documentației geotehnice. În cuprinsul studiului au fost făcute referiri și la alte standarde, precum EC7 și ASTM.

Anexele includ rezultatele testelor, interpretări ale acestora după caz și fac parte integrantă din prezentul studiu geotehnic și vor fi citite și analizate împreună cu prezentul studiu.

6.1 CLASIFICAREA ÎN CATEGORIA GEOTEHNICĂ

Pentru amplasamentul studiat, evaluarea riscului geotehnic și încadrarea în categoria geotehnica s-a făcut după normativul tehnic NP074 / 2014, luând în considerare elementele prezentate în *Tabelul 53*.

Încadrarea preliminară a lucrării într-una din categoriile geotehnice înainte de investigarea terenului de fundare a fost efectuată de către beneficiar într-o etapă preliminară anterioară din cadrul proiectului (referință document: „*Final report on Geotechnical investigation at 23 August and Tuzla sites, Constanta County*” – elaborat de S.C. Geotechnical Search S.R.L. datat august – decembrie 2016) [16]. Această încadrare poate fi ulterior schimbată. Categoria poate fi verificată și eventual schimbată în fiecare fază a procesului de proiectare și de execuție.

Categoria geotehnică este definită și exemplificată în NP074-2014, *capitolul A1.3, tabelul A1.4. – Exemple de corelare a factorilor care determina riscul geotehnic și tabelul A1.5 – Încadrarea în categorii geotehnice*. Factorii și criteriile care definesc categoria geotehnică și riscul geotehnic al amplasamentului au fost evaluați pe baza punctajului atribuit fiecărui factor, după cum este prezentat în *Tabelul 53*. De regula, factorul cel mai nefavorabil dintre cei evidențiați în tabel determină nivelul riscului geotehnic și în mod corespunzător încadrarea în categoria geotehnică cea mai mare.

Tabel 53. Exemple de corelare a factorilor care determina riscul geotehnic, Tabel A1.4 din NP074/2014

Factori de avut în vedere	Exemplu 1	Punctaj	Exemplu 2	Punctaj	Exemplu 3	Punctaj total
Condiții de teren	Terenuri bune	2	Terenuri medii	3	Terenuri dificile	6
Apa subterană	Fără epuizmente	1	Cu epuizmente normale	2	Cu epuizmente excepționale	4
Clasificarea construcției după categoria de importanță	Redusa	2	Normală	3	Deosebită, excepțională	5
Vecinătăți	Fără riscuri	1	Risc moderat	3	Risc major	4
Punctaj total		6		11		19

Încadrarea în categorii geotehnice se face în funcție de punctajul total în concordanță cu tabelul A1.5 din NP074-2014 (vezi *Tabelul 54* mai jos).

Tabel 54. Încadrarea în categorii geotehnice, Tabel A1.5 din NP074/2014

Riscul geotehnic		Categoria geotehnică
Tip	Limite punctaj	
redus	6...9	1
moderat	10...14	2
major	15...22	3

După efectuarea investigațiilor de teren și caracterizarea geotehnică a amplasamentului, având în vedere elementele cunoscute până la data redactării prezentului raport, a fost stabilită categoria geotehnică, iar corelarea factorilor care determină riscul geotehnic este prezentată în *Tabelul 55*.

Tabel 55. Încadrarea geotehnică a amplasamentului conform NP074/2014

Anexa 66. Încadrarea geotehnică a amplasamentului conform NP 07-1/2011			
Nr.	Factori		Punctaj
1	Condiții de teren: terenuri dificile – pământuri loessoide grupa B		6
2	Apa subterană	In cazul în care excavația nu coboară sub nivelul apei subterane, nu sunt necesare epuizmente	1
		In cazul în care excavația coboară sub nivelul apei subterane: se prevăd lucrări normale de epuizmente (directe sau de drenaj fără riscul de a influența nefavorabil structuri alăturate)	2
3	Clasificarea construcției după categoria de importanță: deosebită		5
4	Vecinătăți: fără riscuri		1
5	Încadrarea în funcție de zona seismică conform P100-1/2013 ($a_g=0.20$)		2
Punctaj (total)			15 la 16
Risc geotehnic			major
Categoria geotehnică			3

Înainte de începerea programului de investigație geotehnică, clientul a furnizat în caietul de sarcini tipul de lucrări necesare pe teren și în laborator.

Programul de investigație și testare a fost realizat pe baza unui plan conceptual de dezvoltare al proiectului care include construcția unei stații de reglare și măsurare pentru gaze naturale (SRM) și o conductă de aducțiune gaz natural pentru segmentul reprezentat de sectorul dintre SRM și punctul de intrare în zona microtunelului situat în apropierea țărmului Mării Negre.

La data începerii investigațiilor, proiectul nu avea definitive detalii cu privire la tipul de construcții, încărcări sau adâncimi propuse de fundare, etc. În cazul în care vor exista variații de la tema de proiectare sau modificări ulterioare în proiect, prezentul studiu geotehnic va trebui reevaluat și/ sau completat cu studiul geotehnic de detaliu pentru faza de detalii de execuție, în cazul în care pentru această fază de proiectare sunt necesare elemente suplimentare față de cele furnizate de studiul geotehnic.

Pentru amplasamentul studiat, categoria geotehnică a fost evaluată pentru cele mai nefavorabile condiții, iar evaluarea finală a categoriei geotehnice a amplasamentului va fi realizată odată ce sunt cunoscute toate elementele de proiectare și de execuție. Echipa de proiectare va trebui să reevalueze (după caz) următoarele aspecte:

- Categoria de importanță a construcției (atât pentru conductă, cât și pentru SRM) și decide pe baza expertizei lor dacă construcția poate fi considerată ca fiind un caz de importanță deosebită, excepțională sau normală.
- În funcție de tipul de lucrări necesare pentru construirea conductei (în particular pentru zona microtunelului) și a clasificării importanței obiectivului, de asemenea, dacă sistemele de fundare vor interfera cu apa subterană și sunt necesare lucrări de epuizmente.

Încadrarea amplasamentului în categoria geotehnică 3 stabilește și exigențele privind investigațiile geotehnice, caz în care pot fi necesare efectuarea de investigații geotehnice suplimentare de teren (îndesirea punctelor de investigare) și de laborator. Informațiile suplimentare vor veni în completarea datelor existente și ajută la o mai bună înțelegere și interpretare a condițiilor amplasamentului (monitorizarea nivelului apei subterane, prezența unor potențiale formațiuni de carst, etc.) și pentru realizarea unui model spațial al terenului. Aceste investigații vor trebui corelate cu alte faze de construcție a proiectului și anume: zona de microtunel, drumuri de acces, subtraversarea căii ferate, relocarea sau subtraversarea unor rețele de utilități (canal, gaz, aducțiuni apă, telecom, după caz).

6.2 RECOMANDĂRI GENERALE PRIVIND PROIECTAREA FUNDAȚIILOR

6.2.1 Recomandări generale privind fundare pe pământuri sensibile la umezire (PSU)

La amplasarea construcțiilor pe terenuri constituite din PSU, se va ține seama de caracteristicile terenului și se va decide asupra soluțiilor de fundare în funcție de tipul structurii, de nivelul de risc acceptat și de costuri, așa cum este indicat în NP125: 2010.

Din punct de vedere al modului de fundare pe terenuri constituite din PSU, se pot analiza următoarele soluții:

Fundarea directă

- pe teren în stare naturală, cu estimarea tasărilor totale incluzând tasările suplimentare la umezire și compararea acestora cu tasările admisibile pentru structură;
- pe terenul la care se elimină sensibilitatea la umezire pe toată zona din teren care determină în principal comportarea construcției;
- pe terenul la care se elimină sensibilitatea la umezire și totodată se iau măsuri pentru micșorarea sensibilității construcțiilor la deformarea terenului.

Fundarea indirectă

- prin sisteme de fundare care să depășească stratul de PSU și să pătrundă într-un strat insensibil la umezire aflat în adâncime.

În cazul în care sistemul de fundare indirectă va fi în formațiunea de calcar, în proiectarea geotehnică se va ține cont și de fenomenul carstic care reprezintă un risc geotehnic major.

6.2.2 Proiectarea geotehnică a sistemelor de fundare pe PSU

La proiectarea soluțiilor de fundare pe PSU se vor respecta prevederile din SR EN 1997-1:2004 și după caz, cu eratele, amendamentele și anexele naționale asociate, cele din NP-112/2006 în cazul fundării directe și respectiv din NP 123/2010 în cazul fundării indirecte, astfel:

- în cadrul verificării la starea limită de exploatare normală, tasările diferențiate ale fundațiilor vor fi limitate pentru a nu conduce la o stare limită în structură;

- se va lua în considerare compatibilitatea deformațiilor la starea limită ultimă, în cazul în care se poate produce cedarea combinată a elementelor structurii și a terenului, ținând seama de rigiditatea relativă a structurii și terenului;
- în cadrul stărilor limită ultime, starea limită GEO este critică pentru determinarea dimensiunilor elementelor structurale din fundații și pentru rezistența elementelor de structură;
- la alegerea acțiunilor geotehnice, în funcție de destinația și durata construcției, vor fi considerate cele datorate umezirii (saturării) terenului ținând cont de: sursele de umezire și tipul acestora (locale, generale); sensul umezirii care poate fi gravitațional sau generat de ridicarea nivelului apei subterane; viteza și sensul de curgere al apei subterane;
- în cazul utilizării soluțiilor de fundare pe piloți care pătrund într-un strat insensibil la umezire situat sub stratul PSU, dacă este posibilă umezirea și tasarea suplimentară sub greutate proprie a stratului PSU, se va considera frecarea negativă pe piloți conform prevederilor din NP 123/2010.

6.2.3 Evaluarea zonelor deformabile

Cunoscându-se rezistența structurală (σ_0) se pot defini zonele din teren în cuprinsul cărora se produc deformații ca urmare a prăbușirii structurii pământului prin umezire, numite zone deformabile.

Sunt identificate 3 zone:

- zona deformabilă superioară definită de relația de mai jos:

$$\sigma = \sigma_z + \sigma_{gz} \geq \sigma_0$$

- zona deformabilă inertă, definită de relația de mai jos:

$$\sigma = \sigma_z + \sigma_{gz} < \sigma_0$$

- zona deformabilă inferioară, definită de relația de mai jos:

$$\sigma = \sigma_z + \sigma_{gz} \geq \sigma_0$$

unde: (σ) – efort unitar vertical total; (σ_z) – efort unitar vertical datorat încărcării date de fundație; (σ_{gz}) – sarcina geologică.

6.2.4 Presiunea convențională

Predimensionarea fundațiilor directe pe pământuri sensibile la umezire în stare naturală, având $S_r \leq 0.8$ se realizează pe baza presiunii convenționale p_{conv} , conform NP125:2010, prezentată în Tabelul 56.

Tabel 56. Valorile presiunii convenționale pentru PSU cu $S_r \leq 0.8$ conform NP125:2010

Orizont / denumirea pământului loessoide	p_{conv} [kPa]
Orizont 1 - argilă prăfoasă (siCl)	167
Orizont 2 - argilă (Cl)	165,5
Orizont 3 - argilă prăfoasă (siCl)	165
Orizont 4 - argilă (Cl)	161

Presiunile p_{conv} prezentate în Tabelul 56 corespund suprafeței terenului natural constituit din PSU și sunt valabile pentru orice lățime a fundației B.

Valorile presiunilor convenționale p_{conv} corespunzătoare unei situații de proiectare se determină utilizând valorile de bază din Tabelul 56 corectate în funcție de adâncimea de fundare cu valoarea D_f , care se adaugă la valoarea din tabel.

Prin compactare la un grad de compactare Proctor D = 95%, presiunile convenționale ale PSU cresc cu circa 15 ÷ 20 %.

6.2.5 Calculul terenului la starea limită de exploatare normală

La evaluarea tasărilor probabile se vor lua în considerare tasările suplimentare prin umezire sub sarcina geologică (I_{mg}) și sub presiuni exterioare (I_{mp}) în funcție de grupa pământului (A sau B) și măsurile de desensibilizare la umezire prevăzute.

Tasarea totală suplimentară prin umezire (s) se calculează cu formula:

$$s = I_{mg} + I_{mp} \quad [m]$$

unde,

I_{mg} – tasarea suplimentară prin umezire sub greutate proprie (m);

I_{mp} – tasarea suplimentară prin umezire sub acțiunea încărcărilor transmise de fundații (m).

Pentru stabilirea valorilor admisibile ale deformațiilor structurale și ale deplasărilor fundațiilor se vor avea în vedere prevederile din NP 112/2004 și cele din Anexa H - SR EN 1997-1:2004.

6.2.6 Calculul terenului la starea limită ultimă

Pentru calculul capacității portante se vor introduce valorile parametrilor rezistenței la forfecare φ (unghiul de frecare internă) și c (coeziune) conform situațiilor de proiectare 1 și 2 (Cap. 6.2 din NP125:2010). Se pot utiliza diferite formule conform NP 112/2004 și Anexa D-SR EN 1997-1:2004.

6.2.7 Măsuri constructive în cazul fundării pe PSU

Pentru fundația pe pământuri sensibile la umezire, este necesar să se adopte un set de măsuri specifice pentru protejarea terenului contra umezirii, astfel:

- Sistematizarea verticală și în plan a amplasamentului pentru asigurarea colectării și evacuării rapide către un emisar a apelor din precipitații, prin prevederea unor pante de minimum 2%;
- Colectarea și evacuarea rapidă a apei din precipitații pe toată durata execuției săpăturilor prin amenajări adecvate (pante, puțuri, instalații de pompare, etc.); în situația în care la cota de fundare se constată existența unui strat de pământ afectat de precipitații, acesta va fi îndepărtat imediat înainte de turnarea betonului;
- Evitarea stagnării apelor în jurul construcțiilor, atât în perioada execuției, cât și pe toată durata exploatării, prin soluții constructive adecvate (trături, compactarea terenului în jurul construcțiilor, execuția de strate etanșe din argilă, pante corespunzătoare, rigole, etc.);
- Evitarea perturbării echilibrului hidrogeologic fără a realiza lucrări care pot bara căile naturale de scurgerea a apei către emisarii naturali și artificiali în funcțiune conducând la ridicarea nivelului apei subterane; nu vor fi străpunse orizonturi impermeabile aflate deasupra pânzei freatice;
- Execuția umpluturilor în jurul fundațiilor și pereților subsolurilor pe măsură ce acestea sunt realizate;
- Protecția rețelelor purtătoare de apă sau rezervoare, în caz de necesitate, prin prevederea unor soluții de impermeabilizare a terenului.

Măsuri de îmbunătățire a terenului din PSU prin diferite tehnologii

Pe unele amplasamente, poate fi fezabil să se aplice o tehnică de tratare și îmbunătățire a terenului pentru stabilizarea acestuia. O mare varietate de metode de tratare sunt disponibile:

- compactare intensivă;
- injectare prin silicatizare;
- tratare termică;
- coloane de îndesare având corpul realizat din beton simplu sau materiale locale compactate; la stabilirea materialului ce va fi utilizat în coloană se va ține seama de modul în care este influențată permeabilitatea stratului astfel îmbunătățit, corelat cu litologia specifică și măsurile referitoare la prezența apei; se interzice alcătuirea coloanelor din material granular permeabil.

La partea superioară, terenul îmbunătățit va fi închis (uniformizat și protejat) printr-un strat practic impermeabil. Pentru aplicarea unei soluții se recomandă organizarea unui poligon experimental, înainte de a se trece la execuția lucrărilor.

Realizarea unei perne din material compactat controlat, pe stratul de PSU, eventual prin excavarea parțială a acestuia

Vor fi evaluate tasările suplimentare la umezire ale PSU rămas neconsolidat, a căror probabilitate de apariție se va estima în funcție de toate celelalte măsuri prevăzute pentru evitarea umezirii.

Se interzice alcătuirea pernei din material granular permeabil.

Perna trebuie dimensionată și verificată pentru a asigura: o bună compactare a materialului; un modul de deformare în corpul său care să conducă la deformări compatibile cu structura; o permeabilitate cât mai redusă (practic impermeabilă); o presiune la bază care să fie în concordanță cu caracteristicile geotehnice ale terenului aflat sub pernă.

6.2.8 Măsuri referitoare la construcții fundate pe PSU

Proiectarea fundațiilor pe PSU este o sarcină foarte dificilă.

Adoptarea unor sisteme de fundații indirecte (piloți, barete, etc.) care să depășească stratul de PSU și să pătrundă într-un strat insensibil la umezire, se vor utiliza atunci când deformările admisibile atât pentru structură, cât și pentru funcționarea utilajelor tehnologice nu pot fi respectate doar prin adoptarea măsurilor prevăzute mai sus.

La fundarea directă pe terenuri constituite din PSU, structura de rezistență a construcției trebuie să se poată adapta unor tasări neuniforme, iar în acest sens se recomandă:

- La structuri multietajate în cadre, evitarea fundațiilor izolate și utilizarea de preferință a fundațiilor continue (grinzi încrucișate și radiere).
- Micșorarea sensibilității construcțiilor la deformările terenului sporindu-le rezistența și rigiditatea spațială prin utilizarea centurilor armate, separarea în tronsoane de lungime limitată prin rosturi de tasare, întărirea și rigidizarea infrastructurii, alegerea unor forme în plan a construcțiilor cât mai simple.

6.2.9 Criterii pentru alegerea și gruparea măsurilor de limitare a mărimii tasărilor suplimentare prin umezire

Se vor adopta măsuri de protecție adecvate de limitare a mărimii tasărilor suplimentare prin umezire și vor include următoarele criterii și factori:

- clasa de importanță, caracterul și destinația construcțiilor, natura proceselor tehnologice pe care le adăpostesc;
- sensibilitatea la umezire a pământului, exprimată prin grupa în care se încadrează terenul de fundare (A sau B) și prin mărimea tasărilor probabile prin umezire;
- gradul de seismicitate al regiunii în care este amplasată construcția;
- costul lucrărilor inițiale și al lucrărilor de întreținere.

Pentru limitarea mărimii tasărilor suplimentare prin umezire, se va alege una din situațiile descrise în NP125: 2010, pentru una din grupele PSU (A sau B).

6.2.10 Verificarea lucrărilor de construcții amplasate pe PSU

Verificarea lucrărilor pe parcursul execuției și recepționarea lor se va face în conformitate cu prevederile prescripțiilor tehnice specifice diferitelor categorii de lucrări și cu reglementările legale în vigoare, conform NP125:2010.

Toate actele privind verificările pe faze de execuție, inclusiv buletinele de laborator, diagrame, schițe, se vor păstra de către beneficiar și se vor prezenta la recepție, după care se vor anexa la cartea tehnică a construcției.

6.2.11 Monitorizarea construcțiilor și instalațiilor amplasate pe PSU

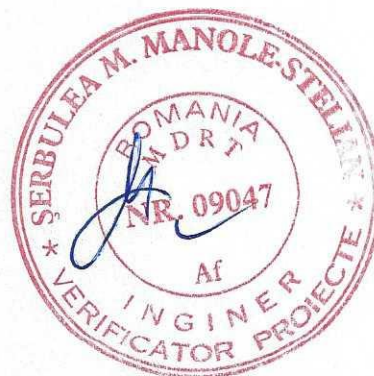
Beneficiarii care exploatează sau folosesc construcții și instalații amplasate pe PSU vor lua măsurile necesare pentru ca urmărirea, exploatarea și întreținerea construcțiilor, instalațiilor și amenajărilor din interiorul incintelor respective să se facă potrivit prevederilor proiectului și normelor în vigoare referitoare la întreținerea, repararea și urmărirea comportării construcțiilor.

Construcțiile fondate pe terenuri PSU vor fi monitorizate obligatoriu conform programului de supraveghere și de monitorizare geotehnică inclus în raportul de monitorizare în standardul SR EN 1997:1-2004, iar pentru măsurarea tasărilor se vor avea în vedere prevederile STAS 2745/90.

Elaboratori,

Ing. R. Roca

Dr. Ing. M. Roca



Bibliografie

- [1] Posea, G. 2005. Geomorfologia Romaniei: Relief – tipuri, geneză, regionale, Editia a doua. București. Editura Fundației Romania de Maine, 2005.
- [2] Visarion et. al 1988. An improved geotectonic model of east Carpathians. Rev.ROUM.GEOL.GEOPHIS et GEOGR., Serie geophysics 32, 43-52.
- [3] Ionesi L. 1994. Geologia unitatilor de platforma și a orogenului Nord Dobrogean. Editura Tehnică, 1994.
- [4] Săndulescu M., 1984. Geotectonica Romaniei. Editura Tehnică, București.
- [5] Zugravescu, D., Polonic G., Horomnea, M., Dragomir, V. (1998). Recent vertical crustal movements on the Romanian territory, major tectonic compartments and their relative dynamics, Revue Roumaine de Geophysique, Ed. Academiei Romane, Tome 42, 1998.
- [6] Dinu, C., Wong H.K., Tambrea D., Matenco L., 2005. Stratigraphic and structural characteristics of the Romanian Black Sea shelf. Tectonophysics 410 (2005) 417–435.
- [7] Harta Geologică a României, 1968 Institutul Național de Geologie, scara 1:200 000 indicativ K-35-V – Mangalia.
- [8] Harta Geologică a României 1968 Institutul Național de Geologie, scara 1:200 000 indicativ L-35-XXXV; 46. Constanta.
- [9] Păunescu, M., Pop, V., Sillion, T., 1982, Geotehnică și Fundații, Editura Didactică și Pedagogică, București, p. 42.
- [10] Resonant column. An introductory guide (www.resonantcolumn.com)
- [11] Moldoveanu V., 1998, Teza de doctorat (Conditii hidrogeologice ale Dobrogei de Sud)
- [12] Deere, D.U. 1989. Rock quality designation (RQD) after 20 years. U.S. Army Corps of Engineers Contract Report GL-89-1. Vicksburg, MS: Waterways Experimental Station.
- [13] Cordua, William S. (1990). The Hardness of Minerals and Rocks. Lapidary Digest.
- [14] Burt G.Look, 2014. Rock classification from: Handbook of Geotechnical Investigation and Design Tables, Second edition, www.routledgehandbooks.com.
- [15] ISRM 1985. Suggested method for determining point load strength. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanical Abstracts. Vol. 22. No. 2. p. 51 - 60.
- [16] S.C. Geo Search S.R.L. , Cluj-Napoca, august – decembrie 2016, Final Report on Geotechnical Investigation at 23 August and Tuzla Sites, Constanța County.
apmct.anpm.ro (documentatie publica tip open source) – informatii climatice
www.rowater.ro (documentatie publica tip open source – informatii hidrologice
www.google.earth.com – preluări de imagini satelitare