

Proiectul Neptun Deep

Raport de date geotehnice pe țărm (onshore) și în apropierea țărmului (nearshore)

ROND-EW-YRRPT-24-0008

0	24-Oct-17	Emis pentru utilizare	G. Duyvestyn	Y. Moret	J. Gregory
B	29-Sept-17	Emis pentru IDC	G. Duyvestyn	Y. Moret	J. Gregory
A	9-Aug-17	Emis pentru IDC	G. Duyvestyn	Y. Moret	J. Gregory
REV	DATA	DESCRIERE	ÎNTOCMIT	APROBAT	APROBAT
Sub rezerva dispozițiilor privind confidențialitatea din acordul de concesiune Neptun Deep și din acordul de exploatare în comun aferent și/sau cele ale acordului de confidențialitate aplicabil în numele ExxonMobil Exploration and Production Romania Limited					
Companie	ExxonMobil Exploration and Production Romania Limited				
Contractant	Mott MacDonald			Număr Doc Ctr	408009-00349-8014

Proiect Neptun Deep	Raport de date geotehnice pe țărm (onshore) și în apropierea țărmului (nearshore)	Rev 0
	ROND-EW-YRRPT-24-0008	Page 2 of 120

Pagină de autorizare

Întocmit de:

Glenn Duyvestyn
Vice Președinte, Mott MacDonald

Aprobat de:

Yvonne Moret
Inginer Geotehnician

John D. Howlett
Inginer Petrol și Gaze

Aprobat de:

John C. Gregory
PURF Lead

Neptun Deep Project	Raport de date geotehnice pe țărm (onshore) și în apropierea țărmului (nearshore)	Rev 0
	ROND-EW-YRRPT-24-0008	Page 3 of 120



Raport de date geotehnice pe țărm (onshore) și în apropierea țărmului (nearshore)

Proiect Neptun Deep
Traversarea Tuzla

Issued for Use

ROND-EW-YRRPT-24-0008

October 24, 2017

Neptun Deep Project	Raport de date geotehnice pe țărm (onshore) și în apropierea țărmului (nearshore)	Rev 0
	ROND-EW-YRRPT-24-0008	Page 4 of 120

Raport de date geotehnice pe țărm (onshore) și în apropierea țărmului (nearshore)

Proiect Neptun Deep
Traversarea Tuzla

Emis pentru utilizare

ROND-EW-YRRPT-24-0008

Octombrie 24, 2017

Neptun Deep Project	Raport de date geotehnice pe țărm (onshore) și în apropierea țărmului (nearshore)	Rev 0
	ROND-EW-YRRPT-24-0008	Page 5 of 120

Registru de emitere și revizuire

Neptun Deep Project	Raport de date geotehnice pe țărm (onshore) și în apropierea țărmului (nearshore)	Rev 0
	ROND-EW-YRRPT-24-0008	Page 6 of 120

Revizie	Data	Autor	Verificator	Aprobator	Descriere
A	8/9/17	AW	AS	GD	Proiect prezentat spre examinare
B	9/29/17	AW	AS	GD	Proiect revizuit pentru revizuire
0	10/24/17	AW	AS	GD	Emis pentru utilizare

Tipul documentului:

Clasă de informații: Standard

This document is issued for the party which commissioned it and for specific purposes connected with the above-captioned project only. It should not be relied upon by any other party or used for any other purpose.

We accept no responsibility for the consequences of this document being relied upon by any other party, or being used for any other purpose, or containing any error or omission which is due to an error or omission in data supplied to us by other parties.

This document contains confidential information and proprietary intellectual property. It should not be shown to other parties without consent from us and from the party which commissioned it.

Neptun Deep Project	Raport de date geotehnice pe țărm (onshore) și în apropierea țărmului (nearshore)	Rev 0
	ROND-EW-YRRPT-24-0008	Page 7 of 120

Cuprins

1	Introducere	17
1.1	Descrierea proiectului	18
1.2	Condiții obligatorii și flexibile acceptate ale proiectului	18
2	Surse de informare	20
3	Program de investigații în adâncime	21
3.1	Investigații geotehnice pe țărm (onshore)	21
3.2	Investigații geotehnice în apropierea țărmului (nearshore)	21
4	Geologia regională	23
4.1	Topografia fundului mării	23
4.2	Cadru geologic	23
4.2.1	Cadru geologic din Pre-Cuaternar	23
4.2.2	Cadru geologic din Cuaternar	23
5	Condiții geotehnice pe țărm (onshore)	25
5.1	Fișele forajelor și descrierea straturilor	25
5.1.1	Pământ	25
5.1.2	Roca	26
5.2	Condiții de teren întâlnite	28
5.2.1	Pământ	28
5.2.2	Roca	32
5.3	Rezultatele încercărilor geotehnice de laborator	35
5.3.1	Pământ	35
5.3.2	Roca	44
5.4	Cercetare geofizică	48
5.4.1	Istoric și scop	48
5.4.2	Procesarea datelor și interpretare	48
5.5	Apa subterană	50
5.5.1	Introducere	50
5.5.2	Metode și echipamente	50
5.5.3	Analiză și Software	50
5.5.4	Rezultate	51

Neptun Deep Project	Raport de date geotehnice pe țărm (onshore) și în apropierea țărmului (nearshore)	Rev 0
	ROND-EW-YRRPT-24-0008	Page 8 of 120

6	Condiții geotehnice în apropierea țărmului (nearshore)	53
6.1	Fișele de foraj și descrierea stratificației	53
6.2	Condiții de teren întâlnite	53
6.2.1	Nisip marin	54
6.2.2	Pietriș	55
6.2.3	Calcar mijlociu Sarmațian (Carstic)	55
6.2.4	Caracteristicile de dizolvare și gradul de alterare pentru straturile de calcar	56
6.2.5	Nisip verde din Sarmațianul mijlociu	57
6.2.6	Calcar mijlociu Sarmațian (Intact)	58
6.2.7	Calcar Lutețian	59
6.2.8	Nisip Ypresian	59
6.2.9	Cretă albă Senomiană	60
6.3	Rezultatele încercărilor geotehnice de laborator	60
6.3.1	Introducere	60
6.3.2	Caracteristici de plasticitate	61
6.3.3	Analiza granulometrică	61
6.3.4	Indicele de încărcare punctiformă	61
6.3.5	Încercări de compresiune monoaxială	61
6.3.6	Determinarea durtății Mohs	62
6.3.7	Încercări Cerchar de abraziune	62
6.3.8	Analiza de difracție folosind radiațiile X	62
6.3.9	Determinări ale conținutului de carbonat de calciu	62
6.4	Cercetare geofizică	62
6.4.1	Caracteristici, hazarde și limitări ale fundului mării	62
6.4.2	Caracteristici, hazarde și limitări ale fundului mării	71
6.5	Caracteristici ale geohazardului	71
7	Secțiune geologică	72
7.1	Interpretarea cercetării geofizice și a investigației geotehnice	72
8	Caracterizarea terenului	73
8.1	Generalități	73
8.2	Teren moale (pe țărm - onshore)	73
8.3	Roca de bază (pe țărm-onshore și în largul mării -offshore)	76
8.4	Apa subterană	77
8.5	Condițiile tunelului în adâncime în lungul aliniamentelor	77
4.5.1	Microtunel	78
9	Limite	79

Neptun Deep Project	Raport de date geotehnice pe țărm (onshore) și în apropierea țărmului (nearshore)	Rev 0
	ROND-EW-YRRPT-24-0008	Page 9 of 120

10 Figuri 80

11 Bibliografie 126

Tabele

Tabel 1. Foraje geotehnice pe țărm (onshore)	21
Tabel 2. Foraje geotehnice în apropierea țărmului (nearshore) și adâncimile apei	22
Tabel 3. Sinteză a terenului din unitățile locale ale platformei continentale	23
Tabel 4. Succesiunea litologică a complexului de pământuri din forajul TUZ_FG01	25
Tabel 5. Succesiunea litologică a complexului de pământuri din forajul TUZ_FG02	26
Tabel 6. Succesiunea litologică a rocilor din forajul TUZ_FG01	27
Tabel 7. Succesiunea litologică a rocilor din forajul TUZ_FG02	27
Tabel 8. Clasificarea pământurilor loessoide	30
Tabel 9. Frațiuni granulometrice relevante pentru clasificarea loess-ului (Tuzla)	30
Tabel 10. Caracteristici fizice relevante pentru clasificarea loess-ului (Tuzla)	31
Tabel 11. Clasificarea pământurilor sensibile la umezire funcție de indicele I	31
Tabel 12. Clasificarea pământurilor sensibile la umezire funcție de I_P vs. conținut de argilă	32
Tabel 13. Valori caracteristice ale intercalațiilor de argilă	33
Tabel 14. Valori TCR pentru rocă	34
Tabel 15. Clasificarea RQD a forajelor	35
Tabel 16. Clasificarea pmântului din amplasamentul Tuzla funcție de potențialul de umflare (NP 126-10)	38
Tabel 17. Rezistențe determinate din încercările cu aparatul cu palete vane de buzunar și cu penetrometrul de buzunar	42
Tabel 18. Rezultatele încercării folosind scara Mohs	45
Tabel 19. Rezultatele încercărilor UCS	46
Tabel 20. Număr de încercări PLT pentru fiecare foraj	47
Tabel 21. Rezultatele centralizate ale încercărilor PLT	48
Tabel 22. Rezultatele încercărilor hidraulice	51
Tabel 23. Înălțimile calculate ale coloanei de apă	52
Tabel 24. Sinteza distribuției stratificației terenului	54
Tabel 25. Amplitudinea alterării în calcarul mijlociu Sarmațian (Carstic)	57
Tabel 26. Sinteza încercărilor geotehnice de laborator	60
Tabel 27. Tabel privind panta fundului mării și adâncimea apei de-a lungul Route 9	63
Tabel 28. Fragmente de rocă în zona studiată a Route 9	64
Tabel 29. Puncte de contact în zona studiată a Route 9	64
Tabel 30. Depresiuni cu contact asociat identificate în zona studiată a Route 9	66
Tabel 31. Depresiuni identificate în zona studiată a Route 9	67
Tabel 32. Anomalii magnetice > 20nT identificate în zona studiată a Route 9	68
Tabel 33. Sinteza unităților seismostratigrafice pentru zona în apropierea țărmului (nearshore)	71

Neptun Deep Project	Raport de date geotehnice pe țărm (onshore) și în apropierea țărmului (nearshore)	Rev 0
	ROND-EW-YRRPT-24-0008	Page 10 of 120

Tabel 34: Parametri caracteristici ai pământului (raportate în ROND-FU-GRSIT-25-0017-001) 74

Tabel 35: Parametri geotehnici ai calcarului 77

Tabel 36: Tipuri de pământuri în adâncime în timpul excavației tunelului 78

Figuri

Figura 1. Secțiune geologică (paralel cu coasta Mării Negre) 80

Figura 2. Harta geologică de suprafață a Zonei de interes (AOI) 80

Figura 3. Unități locale de teren cartografiate de-a lungul rutei conductei propuse până la țărm (Fugro 2013a). Unitățile locale de teren au fost determinate pe baza datelor batimetrice TCarta și a datelor disponibile public 81

Figura 4. Sintează a modificărilor nivelului mării și vârsta sedimentelor din Blocul Neptun (Fugro 2014a). 82

Figura 5. Structura macroporică a unui pământ loessoid tipic – TUZ_FG01 Proba nr. 10182 83

Figura 6. Probă de argilă roșiatică - -TUZ_FG02 Proba nr. 10195 83

Figura 7. Probă de argilă roșiatică cu suprafețe netede și lucioase TUZ_FG02 Proba nr. 10198 83

Figura 8. Protecția falezei de loess la amplasamentul Tuzla– vedere de nord 84

Figura 9. Clasificarea pământurilor pentru probele de pământ din amplasamentul Tuzla (părți fine, nisip, pietriș) 84

Figura 10. Clasificarea pământurilor pentru probele de pământ din amplasamentul Tuzla (părți fine, argilă) 85

Figura 11. Variația fracțiunii de argilă cu adâncimea pentru Tuzla 85

Figura 12. Clasificarea loess-ului în funcție de fracțiunea de praf și gradul de umiditate (Tuzla) Etichetă: partea inferioară a probei 86

Figura 13. Clasificarea loess-ului în funcție de fracțiunea de praf și porozitate (Tuzla) Etichetă: partea inferioară a probei 86

Figura 14. Clasificarea loess-ului în funcție de Indicele de plasticitate și Indicele I (Tuzla) Etichetă: partea inferioară a probei; zonele de sub linia roșie sunt considerate MSS 87

Figura 15. Clasificarea loess-ului în funcție de Indicele de plasticitate și fracțiunea de argilă (Tuzla) 88

Figura 16. Argilă reziduală – TUZ_FG02 88

Figura 17. Greenish-grey clay – TUZ_FG02 34.50 m 89

Figura 18. Argilă reziduală – TUZ_FG01 17.46 m 89

Figura 19. Calcar oolitic – TUZ_FG01 34.18 m 90

Figura 20. Folie de plastic înfășurată pe intercalațiile de argilă – TUZ_FG02 cutia nr. 1 90

Figura 21. Recuperarea totală a carotei (Tuzla) 91

Figura 22. Fișa RQD a forajelor pentru Tuzla 92

Figura 23. Compoziția granulometrică (Tuzla) 93

Figura 24. Variația umidității cu adâncimea (Tuzla) 94

Figura 25. Variația gradului de umiditate cu adâncimea (Tuzla) 95

Figura 26. Variația Indicelui de plasticitate cu adâncimea (Tuzla) 96

Figura 27. Variația Indicelui de consistență cu adâncimea (Tuzla) 97

Figura 28. Variația indicelui porilor cu adâncimea (Tuzla) 98

Neptun Deep Project	Raport de date geotehnice pe țărm (onshore) și în apropierea țărmului (nearshore)	Rev 0
	ROND-EW-YRRPT-24-0008	Page 11 of 120

Figura 29. Variația greutății volumice cu adâncimea (Tuzla)	99
Figura 30. Variația conținutului de carbonați cu adâncimea (Tuzla)	100
Figura 31. Variația conținutului de carbonați pentru probele TX și DS în raport cu adâncimea (Tuzla)	101
Figura 32. Variația umflării libere cu adâncimea (Tuzla)	102
Figura 33. $E_{oed200-300}$ (Tuzla)	103
Figura 34. i_{m300} (Tuzla)	104
Figura 35. Calculul valorii I_{mg} pentru pământul loessoid argilos superior (Tuzla)	104
Figura 36. Variația rezistenței la forfecare nedrenată cu adâncimea (Tuzla)	105
Figura 37. Variația rezistenței la forfecare nedrenată cu adâncimea (Tuzla)	106
Figura 38. Variația umflării libere / cedării cu adâncimea (Tuzla)	107
Figura 39. Corelația dintre PLS și UCS	108
Figura 40. Variația UCS cu adâncimea – Tuzla	109
Figura 41. Profile pentru amplasamentele din perimetrul studiat la Tuzla	110
Figura 42. Rețeaua de rezistivitate electrică pentru fiecare profil	110
Figura 43. Profilul 5 pentru Tuzla, VES 4 – (a): inițial, (b): Încercarea 1, (c): Încercarea 2	111
Figura 44. Pământ fărămițat care tinde spre Pământul Rezidual din Calcarul Sarmațian Mijlociu (Carstic) identificat în Forajul R09-03, 8,90 mbsl – 10,40 mbsl	111
Figura 45. Calcar Sarmațian Mijlociu (Carstic) local fărămițat cu caracteristici extinse de dizolvare, local tinzând spre Pământul Rezidual (argilă portocalie) identificat în Forajul R09-04, 0,00 mbsl – 1,30m mbsl	111
Figura 46. Calcar Sarmațian Mijlociu (Carstic) local alterat cu geode și alte goluri identificat în Forajul R09-1, 16,10 mbsl – 17,60 mbsl	112
Figura 47. Calcar Sarmațian Mijlociu (Carstic) parțial alterat cu geode umplute sub orizontul principal alterat identificat în Forajul R09-1, 31,10 mbsl – 32,60 mbsl	112
Figura 48. Calcar Sarmațian Mijlociu (Carstic) parțial alterat cu geode umplute sub orizontul principal alterat identificat în Forajul R09-2, 31,10 mbsl – 32,60 mbsl	112
Figura 49. Calcar Sarmațian Mijlociu (Intact) nealterat spre parțial alterat local, fără caracteristici de dizolvare, identificat în Forajul R09-1, 53,30 mbsl – 54,80 mbsl	112
Figura 50. Calcar Sarmațian Mijlociu (Intact) cu glauconit identificat în Forajul R09-4, 47,00 mbsl – 48,50 mbsl	113
Figura 51. Tranziția de la Calcar Sarmațian Mijlociu (Intact) la Nisip Verde Sarmațian identificat în Forajul R09-4, 53,00 mbsl – 54,50 mbsl	113
Figura 52. Nisip Verde Sarmațian care tranzitează spre Calcar Lutețian la partea inferioară identificat în Forajul R09-4, 56,00 mbsl – 57,50 mbsl	113
Figura 53. Creta identificată în Forajul R09-4, 66,50 mbsl – 66,50 mbsl	113
Figura 54. Batimetrie umbrită pentru amplasamentul Route 9 în apropierea țărmului (nearshore)	114
Figura 55. Exemplu de date MBES care arată caracteristicile identificate ale fundului mării	115
Figura 56. Exemplu de date MBES care arată denivelarea din zona rocii dezvelite	116
Figura 57. Exemplu de date MBES care arată epava și câmpul asociat de fragmente de rocă	117
Figura 58. Exemplu de date SSS care arată epava și câmpul asociat de fragmente de rocă	118

Neptun Deep Project	Raport de date geotehnice pe țărm (onshore) și în apropierea țărmului (nearshore)	Rev 0
	ROND-EW-YRRPT-24-0008	Page 12 of 120

Figura 59. Date SSS suprapuse peste datele MBES care arată epava și câmpul asociat de fragmente de rocă	119
Figura 60. Exemplu de date MBES care arată anomaliile magnetice din zona rocii dezvelite	120
Figura 61. Exemplu de date SSS care arată anomaliile magnetice din zona rocii dezvelite	121
Figura 62. Date SSS suprapuse peste datele MBES care arată anomaliile magnetice	122
Figura 63. Exemplu de date MBES care arată zona de depresiuni din zona studiată a Route 9	123
Figura 64. Exemplu de date CHIRP care arată presupusa rocă de bază care se ridică deasupra nivelului fundului mării și sedimentele lacustre acoperitoare	124
Figura 65: Secțiune geologică presupusă	125

Anexe

Anexa A: Plan de situație

Anexa B: Plan de amplasare a forajelor

Anexa C: Fișe de foraj

Anexa D: Rezultate ale încercărilor de teren

Anexa E: Rezultate ale încercărilor de laborator

Anexa F: Rezultate ale sondajelor geofizice

Anexa G: Inventar al riscurilor geotehnice în apropierea țărmului (nearshore)

Listă de simboluri, Unități și Abrevieri

Simbol	Unități	Descriere
1D	–	Unidimensional
2D	–	Bidimensional
A _{2μ}	%	Procent de argilă. Particule cu diametrul mai mic de 0,002 mm
ATN	–	Notă de anulare a încercării
AUV	–	Vehicul submarin autonom
a _v	1 / kPa	Coeficient de compresibilitate
BS	–	Standard Britanic (British Standard)
BSL	m	Nivel de referință al Mării Negre (1975)
c [`]	kPa	Coeziune efectivă
C _c	–	Coeficient de compresibilitate
Cl	–	Argilă
clGr	–	Pietriș argilos
clSa	–	Nisip argilos
clSi	–	Praf argilos
CM	–	Meridian central (Central Meridian)
cm	cm	Centimetri
C _s	–	Coeficient de umflare

Neptun Deep Project	Raport de date geotehnice pe țărm (onshore) și în apropierea țărmului (nearshore)	Rev 0
	ROND-EW-YRRPT-24-0008	Page 13 of 120

Simbol	Unități	Descriere
C _t	1 / Pa	Compresibilitatea totală
C _u	–	Coeficient de neuniformitate
C _u	kPa	Rezistența la forfecare în condiții nedrenate
CU	–	Consolidat Nedrenat
C _v	m ² / an	Coeficient de consolidare
C _α	–	Coeficient secundar de consolidare
d	mm	Diametru
d ₁₀	mm	Diametru corespunzător cantității procentuale de 10% de pe curba granulometrică
d ₆₀	mm	Diametru corespunzător cantității procentuale de 60% de pe curba granulometrică
D _e ²	mm ²	Diametru echivalent al carotei
e	–	Indicele porilor
e _L	–	Indicele porilor corespunzător limitei superioare de plasticitate, W _L
E _{oed}	kPa	Modul de deformare edometric
E _{oed200-300}	kPa	Modulul de deformare edometric corespunzător intervalului treptelor de încărcare 200 kPa - 300 kPa
FAOL	–	Compania Fugro Oceansismica SpA (Fugro Oceansismica SpA)
FEED	–	Proiectare Front End (Front End Engineering Design)
FOSPA	–	Compania Fugro Alluvial Offshore (Fugro Alluvial Offshore Limited)
g	m / s ²	Accelerația gravitațională
G	kN	Greutatea masei de pământ
Gr	–	Pietriș
grCl	–	Argilă cu pietriș
grclSa	–	Nisip argilos cu pietriș
grclSi	–	Praf argilos cu pietriș
grSa	–	Nisip cu pietriș
grsaCl	–	Argilă nisipoasă cu pietriș
grsacIS	–	Pământ argilos nisipos cu pietriș
grsaSi	–	Praf nisipos cu pietriș
grsasiS	–	Pământ prăfos nisipos cu pietriș
grSi	–	Praf cu pietriș
grsiCl	–	Argilă prăfoasă cu pietriș
grsiSa	–	Nisip prăfos cu pietriș
GSI	–	Coeficient de rezistență geologică
I	–	Indice I
I _A	–	Coeficient de activitate
I _c	–	Indice de consistență
i _{m300}	%	Tasare suplimentară indusă prin umezire sub sarcină de 300 kPa
I _{mg}	cm	Tasare suplimentară indusă prin umezire sub presiunea litostatică
i _{mg}	%	Coeficient al tasării suplimentare indusă prin umezirea stratului "i" sub presiunea litostatică (greutate proprie)

Neptun Deep Project	Raport de date geotehnice pe țărm (onshore) și în apropierea țărmului (nearshore)	Rev 0
	ROND-EW-YRRPT-24-0008	Page 14 of 120

Simbol	Unități	Descriere
I_{mp}	cm	Tasare suplimentară prin umezire sub încărcările transmise de fundație
$i_{m\sigma}$	%	Tasare suplimentară prin coeficientul specific de umezire sub încărcarea σ
I_p	–	Indice de plasticitate
I_s	MPa	Coeficient de rezistență pentru încărcarea punctiformă necorectată
K	–	Factor de corecție a coeficientului de rezistență
kN	kN	Kilonewton
kPa	kPa	Kilopascal
k_s	–	Coeficient seismic
k_{sh}	–	Coeficient seismic orizontal
k_{sv}	–	Coeficient seismic vertical
l	l	Litru
$l_{bucăți\ carote}$	cm	Suma lungimilor carotelor recuperate
$l_{extragere\ carotă}$	cm	Suma lungimii carotelor forate
m	m	Metru
m^2	m^2	Metru pătrat
m^3	m^3	Metru cub
m_d	g	Masa pământ
MBES	–	Sondă cu ecou multi-fascicul de undă (Multibeam Echo Sounder)
MDAC	–	Carbonat autohton derivat din metan
mm	mm	Milimetri
MSL	–	Nivelul mediu al mării
MSS	–	Pământuri Sensibile la Umezire
MSS	–	Pământ sensibil la umezire
m_v	m^2 / MN	Coeficient de compresibilitate volumică
m_w	g	Masă apă
n	%	Porozitate pământ
N	kN	Forța normală aplicată probei în încercarea de forfecare directă
P	kN	Sarcina de cedare
Pa	Pa	Pascal
PLT	–	Încercare de încărcare punctiformă
q_b	kPa	Presiunea dinamică de referință a vântului
q_p	kPa	Rezistența la compresiune neconsolidată determinată cu penetrometrul de buzunar
r	m	Raza efectivă
R_d	kPa	Starea Limită Ultimă de Capacitate Portantă
RI	–	Injectie cu debit constant
RIR	–	Injectie cu debit constant de recuperare
RIS	–	Injectie cu debit constant cu noroi
RQD	–	Denumirea calității rocilor
r_t	m	Raza șirului de testare
RW	–	Retragere cu debit constant
r_w	m	Mărimea nominală a găurii forajului

Neptun Deep Project	Raport de date geotehnice pe țărm (onshore) și în apropierea țărmului (nearshore)	Rev 0
	ROND-EW-YRRPT-24-0008	Page 15 of 120

Simbol	Unități	Descriere
RWR	–	Extracție cu recuperare cu debit constant
RWS	–	Extracția noroiului cu viteză constantă
s	s	Secunde
S	–	Capacitate de stocare
s	cm	Tasarea totală indusă de umezirea stratului de pământ sensibil la umezire
Sa	–	Nisip
saCl	–	Argilă nisipoasă
sacGr	–	Pietriș argilos nisipos
sacSi	–	Praf nisipos argilos
saGr	–	Pietriș nisipos
sagrCl	–	Argilă nisipoasă cu pietriș
sagrcS	–	Pământ argilos cu pietriș nisipos
sagrSi	–	Praf nisipos cu pietriș
sagrsiS	–	Pământ prăfos cu pietriș nisipos
saSi	–	Praf nisipos
sasiCl	–	Argilă prăfoasă nisipoasă
sasiGr	–	Pietriș prăfos nisipos
S _c	–	Coeficient de rigiditate la compresiune
S _c	MPa	Rezistența la compresiune monoaxială
SCR	–	Recuperarea carotelor solide
Si	–	Praf
SI	–	Injectie de noroi
si	cm	Tasarea terenului inundat determinată prin încercarea cu placa statică
siCl	–	Argilă prăfoasă
siGr	–	Pietriș prăfos
siSa	–	Nisip prăfos
S _k	kN / m ²	Valoarea caracteristică a încărcării din zăpadă pe teren
S _n	cm	Tasarea terenului cu umiditate naturală determinată prin încercarea cu placa statică
S _r	%	Gradul de umiditate
S _s	–	Coeficient de rigiditate la umflare
SSS	–	Sonar cu scanare laterală
STR	–	Starea Limită Ultimă corespunzătoare cedării interne și deformației excesive în structură sau în materialele structurii
SW	–	Extragere noroi
T	m ² /s	Transmisivitate
t	h	Timp
T _c	s	Perioadă de colț
TCR	–	Recuperarea totală a carotei
T _e	°C	Temperatura de referință a iernii
TUZ_FG01	–	Forajul nr. 1 din amplasamentul Tuzla
TUZ_FG02	–	Forajul nr. 2 din amplasamentul Tuzla
UCS	–	Rezistența la compresiune neconsolidată

Neptun Deep Project	Raport de date geotehnice pe țărm (onshore) și în apropierea țărmului (nearshore)	Rev 0
	ROND-EW-YRRPT-24-0008	Page 16 of 120

Simbol	Unități	Descriere
UCS	MPa	Rezistența la compresiune monoaxială
U_L	%	Umflarea liberă conform STAS
UU	–	Neconsolidat Nedrenat
V	V	Volt
V	m ³	Volumul total al pământului
V_p	cm ³	Volumul porilor pământului
V_s	cm ³	Volumul scheletului mineral al pământului
w	%	Umiditate
WGS84	–	Sistem geodezic mondial 1984 (World Geodetic System 1984)
W_L	%	Limita superioară de plasticitate
W_p	%	Limita inferioară de plasticitate
w_{sat}	%	Umiditate în stare saturată
γ	kN / m ³	Greutate volumică a pământului
γ_{sat}	kN / m ³	Greutate volumică a pământului în stare saturată
γ_w	kN / m ³	Greutate volumică a apei
γ_w	kN / m ³	Greutate volumică a scheletului mineral
γ_γ	–	Factor de siguranță corespunzător densității pământului
γ_φ	–	Factor de siguranță corespunzător unghiului de frecare interioară
δ	–	Coeficient de clasificare MSS
$\Delta\sigma$ (σ_1 - σ_3)	kPa	Deviator de tensiune
ϵ_c	%	Deformație specifică de cedare / hidrocompresiune
ϵ_{gi}	%	Deformația specifică a probei inundate pentru σ_{gi}
ϵ_{gn}	%	Deformația specifică a probei cu umiditate naturală pentru σ_{gn}
ϵ_i	%	Deformația specifică a probei inundate pentru o încărcare σ
ϵ_n	%	Deformația specifică a probei cu umiditate naturală pentru o încărcare σ
η	–	Coeficient de clasificare MSS
ρ	kg/m ³	Densitate
σ	kPa	Tensiune verticală totală
σ'	kPa	Tensiune verticală efectivă
σ_3	kPa	Presiunea laterală în aparatul triaxial
σ_{gi}	kPa	Sarcina de încărcare calculată cu γ_{sat}
σ_{gn}	kPa	Sarcina de încărcare calculată cu γ
σ_u	MPa	Rezistența la compresiune monoaxială
σ_{gz}	kPa	Sarcina din greutatea proprie a pământului
τ	kPa	Rezistența la forfecare
φ	°	Unghi de frecare interioară

Neptun Deep Project	Raport de date geotehnice pe țărm (onshore) și în apropierea țărmului (nearshore)	Rev 0
	ROND-EW-YRRPT-24-0008	Page 17 of 120

Introducere

Proiectul Neptun Deep este un proiect de exploatare a gazelor naturale în Marea Neagră din România. Acesta constă în două instalații off-shore de gaze naturale, Domino și Pelican Sud, care extrag gaze din puțuri submarine către o platformă situată în apă de mică adâncime care nu este dotată în mod normal cu personal și care este poziționată la aproximativ 160 km în largul mării. Platforma deshidratează gazele și le trimite la o instalație de măsurare de pe uscat prin intermediul unei conducte de producție.

Mott MacDonald a întocmit acest Raport privind Datele Geotehnice (GDR) care cuprinde datele geotehnice determinate pe țărm (onshore) și din apropierea țărmului (nearshore) pentru traversarea propusă spre Tuzla la cererea ExxonMobil Exploration și Production Romania Limited. Scopul acestui Raport este de a furniza un singur Raport care să cuprindă date geotehnice pertinente pentru a fi utilizate în proiectarea și construcția traversării propuse a țărmului fără șanțuri în apropierea țărmului spre Tuzla.

Acest document include descrieri ale conductei care urmează să fie construită; interpretări ale datelor geologice și geotehnice obținute pentru Proiect; și un rezumat al datelor geotehnice și ale apelor subterane preconizat a fi întâlnite. Acest document este destinat să ajute ofertanții în evaluarea cerințelor pentru proiectarea și instalarea conductei Proiectului, inclusiv echipamente, mijloace, metode și traseul proiectului și trebuie citit împreună cu toate rapoartele geotehnice. Interpretarea suplimentară și finală a condițiilor geologice este de competența EPC.

Datele factice prezentate în acest Raport (descrieri ale amplasamentului, fișe de foraj, încercări de laborator etc.) au fost obținute exclusiv din cinci (5) Rapoarte individuale întocmite anterior de către Alții. Mott MacDonald nu a efectuat nicio activitate suplimentară de investigații sau cercetări pe amplasament pentru acest proiect.

Având în vedere volumul mare de date conținute în aceste Rapoarte și prezența unor referințe la alte amplasamente care nu sunt relevante pentru acest proiect, Mott MacDonald a compilat extrase din aceste Rapoarte pentru a genera acest GDR. Extrasele prezentate aici au fost selectate pentru aplicabilitatea lor concisă la amplasamentul proiectului. Cu toate acestea, este posibil ca extrasele să nu reprezinte întreaga amploare a datelor conținute în Rapoartele la care se face referire și care ar putea fi considerate relevante pentru amplasamentul proiectului. Cititorul trebuie să se familiarizeze cu toate sursele de informații geotehnice, potențial incluzând informații care nu sunt furnizate în acest GDR.

Toate extrasele sunt așa-cum-sunt și conțin doar ocazional corecții gramaticale sau de structură a frazelor, care sunt prezentate în [paranteze]. Cu toate acestea, în scopul clarității, toate tabelele, figurile și referințele conținute în extrase au fost renumerotate așa cum sunt prezentate în prezentul GDR.

Cele cinci (5) Rapoarte anterioare la care se face referire în prezentul document, includ un Raport de investigație geotehnică pe țărm (onshore), un Raport de investigație geofizică pe țărm (onshore), un Raport de investigație geotehnică în apropierea țărmului (nearshore) și un Raport de investigație geofizică în apropierea țărmului (nearshore). Rapoartele sursă la care se face referire sunt rezumate în Secțiunea 2.0 din prezentul GDR. Utilizatorii cărora li se adresează acest raport ar trebui să se familiarizeze cu fiecare raport la care se face referire.

În funcție de materialul sursă, amplasamentul proiectului este denumit în prezentul document fie "Tuzla", fie "Route 9". Aceste denumiri ale amplasamentelor sunt utilizate în mod interschimbabil și ambele reprezintă amplasamentul proiectului.

Programele geotehnice originale au fost separate în programe pe țărm (onshore) și programe în apropierea țărmului (nearshore) care au fost finalizate de subcontractori diferiți. Două (2) foraje au fost realizate în timpul investigației pe țărm (onshore) și cinci (5) foraje au fost realizate în timpul investigației în apropierea țărmului (nearshore). De asemenea, a fost efectuat un studiu de rezistivitate electrică pe țărm (onshore) pentru a identifica

Neptun Deep Project	Raport de date geotehnice pe țărm (onshore) și în apropierea țărmului (nearshore)	Rev 0
	ROND-EW-YRRPT-24-0008	Page 18 of 120

potențialele regiuni carstice. De asemenea, a fost realizat și o investigație geofizică în apropierea țărmului (nearshore) pentru a determina topografia fundului mării și pentru a determina potențialele riscuri.

Litiologia geologică determinată din investigațiile geotehnice, din rezultatele încercărilor geotehnice și din rezultatele investigației geofizice sunt prezentate ca extrase din Rapoartele originale care au fost relevante pentru amplasamentul Tuzla.

1.1 Descrierea proiectului

Construcția traversării în apropierea țărmului spre Tuzla include trei (3) trasee diferite în plan vertical în funcție de poziția intrării sau lansării, pe metodologia de instalare și pe geometria tunelului. Cele trei trasee diferite au ca punct comun o singură ieșire. Ofertanților li se cere să selecteze varianta de instalare, metodologia de construcție și traseul preferat.

Celor trei (3) variante diferite ale traseelor le corespund abordări de construcție diferite:

- o opțiune de o singură conductă directă (Direct Pipe);
- o opțiune de microtunel cu lansare la mică adâncime; și
- o opțiune de microtunel cu lansare în puț adânc.

Se preconizează că fiecare dintre aceste trasee va consta în instalarea unei conducte de tubulaturi în spatele MTBM pentru a găzdui un o conductă de producție de 30 de țoli (inches) și un cablu de fibră optică. În prezent, se presupune că diametrul conductei de tubulaturi pentru varianta cu conductă directă va fi de 60 de țoli (inches) și de cel puțin 72 de țoli (inches) pentru opțiunile cu microtunel. Conducta de tubulaturi și mașina de forat microtuneluri vor fi selectate de către antreprenor.

Opțiunea cu o singură conductă directă (Direct Pipe) reprezintă lansarea de la suprafață dintr-o groapă de mică adâncime de la o înălțime de intrare de aproximativ +15 metri. Poziția de ieșire se află la aproximativ 890 de metri pe orizontală față de poziția de intrare, dintr-o groapă de mică adâncime excavată în fundul mării. Cota de ieșire este de aproximativ -11 metri. Această opțiune va necesita excavarea pământului și a rocii de bază.

Opțiunea microtunelului cu lansare de mică adâncime începe la o cotă de aproximativ +13 metri și poziția de ieșire este aceeași cu poziția de la opțiunea cu conductă directă (Direct Pipe). Lungimea orizontală a opțiunii de microtunel de mică adâncime este de aproximativ 890 de metri. Această opțiune va necesita excavarea pământului și a rocii de bază.

Opțiunea de microtunel de lansare în puț adânc începe la o cotă de aproximativ 4 metri și poziția de ieșire este aceeași cu poziția opțiunii de Conductă Directă (Direct Pipe). Lungimea orizontală a opțiunii de microtunel de mică adâncime este de aproximativ 890 de metri. Această alternativă va necesita excavarea, în principal, a rocii de la suprafață.

1.2 Condiții obligatorii și flexibile acceptabile ale proiectului

Anumite elemente din cerințele proiectului sunt fixe și nu pot varia. Alte elemente sunt flexibile și oferă o marjă de manevră contractantului în planificarea traseului aliniamentului, mijloacelor și metodelor sale. Elementele care sunt fixe sunt următoarele:

- Utilizarea unui MTBM cu fața presurizată.
- Utilizarea unei stații de împingere intermediară, o singură stație în cadrul MTBM pentru varianta de Conductă Directă (Direct Pipe)) și mai multe stații de împingere intermediare pentru opțiunile de microtunel.
- Pozițiile de lansare/intrare în zonele generale indicate pe schițele pentru cele trei opțiuni.
- Poziția de ieșire, inclusiv cota de ieșire.

Neptun Deep Project	Raport de date geotehnice pe țărm (onshore) și în apropierea țărmului (nearshore)	Rev 0
	ROND-EW-YRRPT-24-0008	Page 19 of 120

- Puț stabil și impermeabil / groapă de lansare.

Elementele care sunt flexibile și care oferă alternative antreprenorului și proiectantului sunt următoarele:

- Metodologia de construcție. Selectarea metodei de construcție a microtunelului sau a Conductei Directe (Direct Pipe).
- Profilul vertical al microtunelului sau al Conductei Directe (Direct Pipe).
- Diametrul MTBM.
- Diametrul țevii de tubaj / de împingere.
- Cerințe privind tubajul de ghidaj la pornire. Tubajul de ghidaj la pornire se referă la tubajul care este instalat de la poziția de lansare până la interfața sol/rocă de bază, în interiorul căreia este lansat echipamentul de forare al microtunelului.
- Numărul și frecvența adăposturilor de siguranță (pentru opțiunea microtunelului). Scopul unui adăpost sigur este de a oferi o zonă stabilă și relativ uscată pentru a efectua înlocuirea frezelor din interior în timpul deplasării prin microtunel.
- Sprijinire temporară pentru puț sau pentru groapă de lansare.
- Dimensiunile puțului sau ale gropii de lansare.
- Cerințe privind blocul de împingere / ancorare.

Neptun Deep Project	Raport de date geotehnice pe țărm (onshore) și în apropierea țărmului (nearshore)	Rev 0
	ROND-EW-YRRPT-24-0008	Page 20 of 120

Surse de informare

La elaborarea prezentului GDR au fost utilizate următoarele Rapoarte. Se recomandă cititorului să examineze toate sursele originale utilizate pentru elaborarea prezentului GDR.

- Source 1** Raport ROND-FU-GRIST-25-0017-001: Raport final privind investigația geotehnică elaborat pentru amplasamentele 23 August și Tuzla Volumul I
- Source 2** Raport ROND-FU-GRIST-25-0017-002: Raport final privind investigația geotehnică elaborat pentru amplasamentele 23 August și Tuzla Volumul II
- Source 3** Raport N162004W-DATR(02): Raport de date privind investigarea în apropierea țărmului (nearshore) Neptun Deep
- Source 4** Raport ROND-GM-GRSIT-25-0013: Sondaj de rezistivitate electrică pe țărm (onshore)
- Source 5** Raport ROND-FU-GRIST-24-0001: Raport de investigație geofizică pe țărm (onshore) Neptun Block

Alte surse de informații geotehnice, care nu au fost utilizate în mod specific în acest GDR, includ următoarele Rapoarte:

- Raport ROND-GG-GRSTY-25-0008: Raport de documentare geotehnică pe țărm (onshore)
- Raport ROND-GG-GRRPT-25-0018: Raport de documentare privind geologia, pământul și apele subterane
- Raport ROND-GM-GRSTY-00-0012: Studiu geologic și geofizic al zonei sudice de coastă a Mării Negre și a platformei continentale
- Raport ROND-RP-GRSTY-20-0019: Studiu documentar privind potențiala contaminare cu muniție neexplodată
- Raport RONG-FU-GRHAZ-00-0011: Analiza probabilistică a riscului seismic
- ROND-FU-GRSIT-24-0021: Investigații în apropierea țărmului (nearshore), studiu combinat al criteriilor de teren și a celor geotehnice

Program de investigații în adâncime

3.1 Investigații geotehnice pe țărm (onshore)

Cele ce urmează reprezintă un extras din Raportul ROND-FU-GRIST-25-0017-001: Raport final privind investigația geotehnică elaborat pentru amplasamentele 23 August și Tuzla, Volumul I. Planul de amplasare a forajelor este inclus în Anexa B. Informații suplimentare referitoare la investigația geotehnică pe țărm (onshore) sunt incluse în raportul ROND-FU-GRIST-25-0017-002: Raport final privind investigația geotehnică elaborat pentru amplasamentele 23 August și Tuzla, Volumul II.

În vederea identificării și caracterizării succesiunii litologice, au fost realizate două (2) foraje geotehnice până la adâncimi de aproximativ 50 m. Poziția forajelor pe amplasament a fost realizată de către RambollSEE, identificarea lor în amplasament fiind realizată prin ridicări topografice.

Investigarea terenului a fost realizată cu ajutorul unei instalații de foraj ROLATEC RL-400-SO. (foraj cu carotaj rotativ uscat / umed), cu respectarea condițiilor contractuale și a cadrului legal impus de **SR EN 1997-2**, precum și cu cerințele menționate în *Secțiunea 3 Date geotehnice* din Standardul **SR EN 1997-1**.

Amplasarea lucrărilor de investigare este prezentată în [Planul de amplasare a forajelor] și [în cadrul] Tabelului 1:

Tabelul 1. Foraje geotehnice pe țărm (onshore)

ID / Indice de identi ficare	Amplasa ment	Data execuției	Coordonate Stereo 70 [m] Nord / Est		Conversie TM 30 NE [m] Nord / Est		Cota absolută [m]	Adâncimea investigată măsurată de la nivelul terenului natural [m] /
TUZ_FG01	Tuzla	22-26,08,2016	281465,47	793240,15	4869812,76	391982,95	19,20	50,0
TUZ_FG02	Tuzla	27-28,08,2016	281442,16	793356,37	4869782,39	392097,42	16,94	50,0

Recoltarea, manipularea și transportul probelor de pământ au fost efectuate în conformitate cu Standardele ASTM **D 4220** și **SR EN ISO 22475-1**.

Probele de pământ au fost depozitate și transportate la Laboratorul Geo Search în containere termoizolate. Carotele de rocă au fost transportate mai întâi la Laboratorul Geo Search pentru a caracteriza coloana stratigrafică. După analiza coloanei stratigrafice de rocă au fost selectate probe de rocă pentru încercările UCS, trimise la Laboratorul RockStudy Ltd.

3.2 Investigații geotehnice în apropierea țărmului (nearshore)

Ceea ce urmează este un extras din Raportul N162004W-DATR(02): Raport de date privind investigarea din apropierea țărmului (nearshore) Neptun Deep. Planul de amplasare a forajelor este inclus în Anexa B.

Neptun Deep Project	Raport de date geotehnice pe țărm (onshore) și în apropierea țărmului (nearshore)	Rev 0
	ROND-EW-YRRPT-24-0008	Page 22 of 120

Scopul investigației geotehnice marine a fost stabilit de către Client. Inițial, acesta cuprindea efectuarea a până la 16 foraje marine la o adâncime de 65 m sub nivelul fundului mării (bsl) de-a lungul potențialului traseu al conductei, Route 9 "Tuzla".

Programul real al lucrărilor a fost ajustat pentru a se adapta la condițiile de la fața locului, după cum urmează:

Route 9 "Tuzla" – 5 foraje.

Mobilizarea barjei Fugro Skate III E a început la 23 septembrie 2016 și s-a încheiat la 1 octombrie 2016. Lucrările pe amplasament au fost efectuate între 1 octombrie 2016 și 31 octombrie 2016.

În Tabelul 2 este prezentată un program pentru execuția forajelor. De asemenea, în Tabelul 2 sunt prezentate adâncimile apei înregistrate la fiecare poziție de investigare, la începutul operațiunilor.

Tabelul 2. Foraje geotehnice în apropierea țărmului (nearshore) și adâncimile apei

Poziția forajului	Coordonata Est (m) a poziției forajului	Coordonata Nord (m) a poziției forajului	Latitudinea poziției forajului (ETRS89 / TM 30 NE - EPSG-eur)	Longitudinea poziției forajului (ETRS89 / TM 30 NE - EPSG-eur)	Adâncimea apei (m)	Nivelul fundului mării (m sub MSL)	Adâncimea a forajului (m bsl)
R09-1	393,407.990	4,869,419.048	43°58'12.64725"N	028°40'16.18773"E	13.00	-13.10	61.10
R09-2	393,263.918	4,869,455.639	43°58'13.75773"N	028°40'09.69704"E	11.70	-11.70	53.60
R09-3	393,036.742	4,869,514.776	43°58'15.55514"N	028°39'59.46130"E	10.90	-10.80	55.40
R09-4	392,457.107	4,869,667.547	43°58'20.20113"N	028°39'33.34277"E	2.60	-2.60	66.50
R09-C	392,749.183	4,869,601.837	43°58'18.22546"N	028°39'46.49572"E	7.10	-7.10	58.80

Geologia regională

Ceea ce urmează este un extras din Raportul ROND-FU-GRIST-24-0001: Raport de prospectare geofizică în apropierea țărmului (nearshore) pentru Neptune Block. Informații suplimentare privind geologia regională pot fi găsite în Raportul ROND-FU-GRIST-25-0017-001: Raport final privind investigația geotehnică pentru amplasamentele 23 August și Tuzla, Volumul I.

4.1 Topografia fundului mării

Fugro (2013a) a realizat o cartografiere preliminară a fundului mării de-a lungul traseelor propuse pentru gazoduct, utilizând date disponibile public și batimetria TCarta. Această cartografiere a identificat o serie de unități locale de teren, așa cum sunt prezentate în Figura 3 și în Tabelul 3.

Tabelul 3. Sinteza a terenului din unitățile locale ale platformei continentale

Unitate regională de teren	Descriere	Interpretare
În apropierea țărmului	Mai puțin de 15 m adâncime a apei în apropierea țărmului	Zonă de coastă în apropierea țărmului
Platformă continentală	Zona de mică adâncime a fundului mării digitalizată după Konerding (2008)	Platforma este expusă în timpul nivelului scăzut al mării
Note: Unitățile au fost extrase din datele publice disponibile și din datele batimetrice TCarta.		

4.2 Cadru geologic

4.2.1 Cadru geologic din Pre-Cuaternar

Conducta din apropierea țărmului (nearshore) pentru gazoduct este situată în regiunea Dobrogea din România. Această regiune cuprinde patru zone structurale orientate de la nord-est la sud-vest, care conțin sedimente paleozoice și mezozoice. Geologia de bază a regiunii Dobrogea de Sud cuprinde sedimente jurasice și cretacice suprapuse peste sedimente miocene și pliocene. Aceste sedimente au fost depozitate într-un mediu de bazin structural care s-a dezvoltat adiacent și paralel cu lanțul muntos în timpul orogenezei carpatice (Burchfiel et al., 1974). Sedimentele cuprind straturi de argilit și gresii intercalate, depuse într-un mediu marin cu aporturi periodice de sedimente mai grosiere provenite din ridicarea zonelor departe de coastă sau de malurile râurilor, uneori numite sedimente flyche. În largul mării (offshore), aceste sedimente cuprind calcar și șisturi calcaroase (Konerding, 2009). Hărțile realizate de Institutul Geologic al României (IGR) sugerează că sedimentele miocene sunt prezente la suprafață în zonele din apropierea țărmului.

4.2.2 Cadru geologic din Cuaternar

Pe parcursul Cuaternarului, Marea Neagră a fost conectată periodic la oceanele lumii și, prin urmare, a fost afectată periodic de variațiile eustatice ale nivelului mării prin intermediul strâmtoarei Bosfor. Strâmtoarea Bosfor acționează ca un baraj natural, la aproximativ 35 m sub nivelul mediu actual al mării (Badertscher et al., 2011). În consecință, Marea Neagră a fost izolată în timpul perioadelor de presiune eustatică joasă, cauzate de etapele glaciare din timpul Pleistocenului. În

Neptun Deep Project	Raport de date geotehnice pe țărm (onshore) și în apropierea țărmului (nearshore)	Rev 0
	ROND-EW-YRRPT-24-0008	Page 24 of 120

timpul ultimei Ere Glaciare (21 de mii de ani (ka) în urmă (BP)), Marea Neagră a fost fie un mare lac de apă dulce, fie un bazin salmastru semi-închis (Arkhangel'skiy și Strakhov, 1938) cu un nivel al apei cu cel puțin 120 m sub nivelul actual. Ca urmare, platforma continentală a fost expusă în cea mai mare parte a Cuaternarului, ceea ce a dus la dezvoltarea canalelor de la gurile Dunării și a sedimentelor asociate cu un mediu costier.

La sfârșitul Ere glaciare Weichseliene (aproximativ 12,8 mii de ani (ka) în urmă (BP)), topirea stratului de gheață Fenno-Scandinav a produs suficientă apă dulce pentru a ridica nivelul Mării Negre la un nivel cuprins între 40 și 20 de metri sub nivelul actual. Acest lucru a permis ca apa să depășească strâmtoarea Bosfor și să lege Marea Neagră de Marea Mediterană. În timpul Younger Dryas (12,8 mii de ani (ka) în urmă (BP) până la 11,5 mii de ani (ka) în urmă (BP)), a predominat o climă mai rece și, râurile din nord-estul Europei, în loc să se verse în Marea Neagră, au fost deviate de către creșterea calotelor de gheață glaciară, pentru a se vărsa în Marea Nordului și Marea Baltică. Acest lucru a redus afluxul de apă în Marea Neagră și, împreună cu fenomenul de evaporare, a dus la scăderea nivelului apei și la regresia liniei de coastă, mare parte din platforma continentală fiind expusă.

Zona de lângă țărm a traseului conductei ar fi fost expusă pentru perioade lungi de timp în Cuaternar. Prin urmare, se preconizează că vor fi întâlnite sedimente depuse în medii terestre de coastă și în apropierea țărmului (nearshore). Acestea sunt interpretate ca fiind foarte diverse, cu o gamă de sedimente posibil a fi întâlnite, variind de la sedimente fluviale imersibile, depozite de turbă, dune de nisip și depozite de plajă până la sedimente marine actuale.

Încălzirea climatică ulterioară a dus la reducerea stratului de gheață glaciară și la reconectarea râurilor la Marea Neagră. Aceasta a dus la inundarea rapidă a platformei continentale expuse și la reconectarea Mării Negre cu oceanele lumii prin strâmtoarea Bosfor și Marea Mediterană.

Figura 4 prezintă o curbă a nivelului mării și istoricul depunerii sedimentelor din amplasament. Această schimbare a nivelului mării a dus la o variație a mediului de depunere care se reflectă în tipurile de sedimente observate în zona de platformă continentală a amplasamentului Domino (Fugro, 2014a).

Condiții geotehnice pe țărm (onshore)

5.1 Fișele forajelor și descrierea straturilor

5.1.1 Pământ

Ceea ce urmează este un extras din Raportul ROND-FU-GRIST-25-0017-001: Raport final al investigării geotehnice pentru amplasamentele 23 August și Tuzla Volumul I. Fișele de foraj pentru amplasamentul Tuzla sunt incluse în Anexa C.

Forajele efectuate au identificat o succesiune de straturi de pământ cu o grosime cuprinsă între 16,7 și 17,1 m.

- Strat superior la suprafața terenului cu o adâncime de maxim 0,9 m;
- Strat de loess cu zone macroporoase brun-gălbui și intercalații de paleosol brun-roșiatic;
- Argile reziduale roșii pe un strat de calcar.

Coloana stratigrafică a fost elaborată pe baza observațiilor de pe teren, a programului de încercări de laborator și a sintezei tuturor datelor evaluate (Tabelul 4 și Tabelul 5). Mai multe detalii cu privire la pământul și rocile investigate sunt prezentate în fișele de foraj executate în roci care se găsesc în Anexa 3 a Raportului ROND-FU-GRIST-25-0017-001: Raport final privind investigația geotehnică pentru amplasamentele 23 August și Tuzla, Volumul I.

Tabelul 4. Succesiunea litologică a complexului de pământuri din Forajul TUZ_FG01

Partea inferioară a stratului [m]	Grupa litologică	Litologie	Consistență	Observații
0,8	Strat superior	Argilă maro	Foarte tare	Cu rădăcini, sfărâncioasă
2,3	Loess	Argilă maro	Foarte tare	Macroporoasă, sfărâncioasă, noduli de carbonați
4,0	Loess	Argilă prăfoasă maro-gălbuie	Tare	Macroporoasă, sfărâncioasă, noduli de carbonați
4,6	Paleosol	Argilă maro	Tare	Macroporoasă, sfărâncioasă
6,4	Loess	Argilă prăfoasă maro-gălbuie	Tare	Macroporoasă, sfărâncioasă
8,2	Paleosol	Argilă roșiatică	Tare	Macroporoasă, sfărâncioasă
9,0	Loess	Argilă maro-gălbuie	Tare	Macroporoasă, sfărâncioasă
13,3	Paleosol	Argilă maro-roșiatică	Tare / plastic vârtoasă	Macroporoasă, sfărâncioasă

Partea inferioară a stratului [m]	Grupa litologică	Litologie	Consistență	Observații
15,0	Loess	Argilă maro-gălbuie	Plaatic vârtoasă	Macroporoasă, sfărâmicioasă
17,1	Paleosol	Argilă roșiatică-marou	Tare	Sfărâmicioasă, cu fragmente de calcar

Tabelul 5. Succesiunea litologică a complexului de pământuri din Forajul TUZ_FG02

Partea inferioară a stratului [m]	Grupa litologică	Litologie	Consistență	Observații
0,9	Strat superior	Argilă marou	Tare	Cu rădăcini, sfărâmicioasă
5,9	Loess	Argilă prăfoasă maro-gălbuie	Foarte tare / tare	Macroporoasă, noduli de carbonați, sfărâmicioasă
8,0	Paleosol	Argilă maro-roșiatică	Tare	Macroporoasă, sfărâmicioasă
9,0	Loess	Argilă maro-gălbuie	Tare	Macroporoasă, sfărâmicioasă
16,2	Paleosol	Argilă maro-roșiatică	Tare	Macroporoasă, sfărâmicioasă
16,7	Argilă reziduală	Argilă prăfoasă roșiatică	Tare	Cu fragmente de calcar

5.1.2 Roca

Ceea ce urmează este un extras din Raportul ROND-FU-GRIST-25-0017-001: Raport final al investigații geotehnice pentru amplasamentele 23 August și Tuzla Volumul I. Fișele de foraj pentru amplasamentul Tuzla sunt incluse în Anexa C.

La [amplasamentul] investigat, roca de bază începe direct de la nivelul bazei forajului. Partea superioară s-a dovedit a fi puternic alterată și fragmente dezagregate de diferite tipuri de calcar au fost prinse în matricea de argilă reziduală roșie. Această zonă reprezintă tranziția dintre complexul de pământ și rocă. Ea s-a format pe roca de bază formată după ultima transgresiune, respectiv creșterea nivelului apei în perioada Sarmațiană.

Limita dintre straturile de pământ și rocă este înclinată sub orizontală, [cu] o tendință descendentă (-0,67°). Aceste variații sunt prea mici pentru a prezice înclinarea reală a stratului de calcar. Datorită proceselor de carstificare, este foarte posibil să existe eterogenități locale.

Neptun Deep Project	Raport de date geotehnice pe țărm (onshore) și în apropierea țărmului (nearshore)	Rev 0
	ROND-EW-YRRPT-24-0008	Page 27 of 120

Tabelul 6. Succesiunea litologică a rocilor din Forajul TUZ_FG01

Partea inferioară a stratului [m]	Grupa litologică	Litologie
18,20	Calcar bioclastic	Calcar bioclastic alterat și carstificat
19,00	Argilă reziduală	Argilă reziduală maro-roșiatică
23,30	Calcar bioclastic	Calcar bioclastic carstificat cu intercalații de calcar bioclastic compact și calcar argilos compact
25,40	Argilă verde	Argilă / Argilă verde
26,20	Calcar compact	Calcar compact-carstificat cu fracturi de culoare roșiatică
27,20	Calcar compact	Calcar compact
34,00	Calcar bioclastic	Calcar compact-carstificat
37,00	Calcar oolitic	Calcar oolitic
37,20	Pietriș în matrice argiloasă	Pietriș în matrice argiloasă
41,50	Calcar bioclastic	Calcar bioclastic carstificat cu intercalații de calcar compact – cu fracturi de culoare roșiatică la partea inferioară
43,00	Calcar bioclastic	Calcar bioclastic alterat fără argilă roșie la 43,00-45,50 calcar oolitic și 48,00-49,5
45,50	Calcar oolitic	Calcar oolitic - alterat
48,00	Calcar bioclastic	Calcar bioclastic - alterat
50,00	Calcar oolitic	Calcar oolitic

Tabelul 7. Succesiunea litologică a rocilor din Forajul TUZ_FG02

Partea inferioară a stratului [m]	Grupa litologică	Litologie
20,70	Calcar bioclastic	Calcar bioclastic, alterat cu argilă reziduală
22,00	Argilă gri	Argilă gri - alterată
23,30	Calcar argilos compact	Calcar argilos compact cu bioclaste
27,80	Calcar compact	Calcar compact cu calcar bioclastic foarte carstificat cu intercalații de argilă maro-roșiatică – limita inferioară din argilă maro-roșiatică
29,00	Calcar compact / bioclastic	Calcar compact / bioclastic
30,80	Argilă verde cu calcar compact / bioclastic	Argilă verde cu calcar bioclastic compact
32,70	Calcar compact / bioclastic	Calcar compact / bioclastic
34,00	Calcar compact / bioclastic	Calcar compact / bioclastic foarte carstificat
38,00	Argilă verde cu calcar compact / bioclastic	Argilă verde
42,60	Calcar bioclastic	Calcar bioclastic carstificat
45,60	Calcar compact / bioclastic	Calcar bioclastic compact cu calcar oolitic
50,00	Calcar bioclastic	Calcar bioclastic cu structură oolitică

Neptun Deep Project	Raport de date geotehnice pe țărm (onshore) și în apropierea țărmului (nearshore)	Rev 0
	ROND-EW-YRRPT-24-0008	Page 28 of 120

5.2 Condiții de teren întâlnite

5.2.1 Pământ

Ceea ce urmează este un extras din Raportul ROND-FU-GRIST-25-0017-001: Raport final privind investigația geotehnică pentru amplasamentele 23 August și Tuzla. Volumul I. Fișele de foraj pentru amplasamentul Tuzla sunt incluse în Anexa C, iar înregistrările încercărilor de teren sunt incluse în Anexa D.

5.2.1.1 Strat superior

Stratul superior este un pământ tipic pentru depozitele loessoide, format din argilă maro tare și cu rădăcini de plante ierboase. Conținutul de acid humic este destul de scăzut, așa cum rezultă din observațiile vizuale. S-a observat o îmbogățire relativă a fracțiunii de argilă, spre deosebire de un sol macroporos tipic (Figura 11). Umiditatea naturală depinde de condițiile meteorologice, iar în timpul efectuării investigațiilor nu au fost precipitații și, de fapt, pământul nu era saturat. Umiditatea redusă a pământului este influențată atât de structura macroporoasă a loess-ului, care accelerează drenarea apei spre adâncimi mai mari, cât și de evaporare.

5.2.1.2 Stratul de loess

În cadrul acestui strat vom include toate pământurile investigate de la suprafața terenului natural până la argilele reziduale de la partea inferioară. Trecerea spre aceste argile este graduală, pragul exact fiind destul de greu de precizat și care nu a fost inclus în acest studiu.

Stratul include două subunități de geneză diferită și de aspect diferit, după cum urmează: pământurile macroporice tipice, care au o culoare gălbuie și intercalații de paleosol, care are o culoare ușor roșie.

Straturile tipice de loess (macroporice, pe baza descrierii vizuale) au o culoare gălbuie, maro-gălbuie. Ele au o structură masivă și, de obicei, prezintă macropori cu diametru de până la 1-2 mm (Figura 5). Macroporii sunt dezvoltati pe verticală și prezintă lungimi de câțiva centimetri. În stare nealterată, prezintă o coeziune aparentă semnificativă, dar se fărâmițează cu ușurință la cea mai mică manipulare. La fața locului, pământul se găsește nesaturat și cu o textură prăfoasă fină.

Pe baza cadrului prezentat mai jos, denumirea finală a acestui tip de pământ este un pământ loessoid argilos, cu sensibilitate la umezire.

Paleosolul are o culoare roșiatică, brun-roșiatică (Figura 6). Trecerea de la loess la paleosol nu este bruscă, putându-se observa o trecere treptată de ordinul centimetrilor - decimetrilor în grosime. Textura paleosolului este foarte masivă, fiind alcătuit din argilă fină cu macropori. Abundența acestor pori este destul de scăzută dacă se compară cu stratul de loess. De obicei, se găsește într-o stare mai saturată decât pământurile de la partea superioară a coloanei stratigrafice, dar, în același timp, are un comportament de fărâmițare. Spre baza stratului (la o adâncime sub 7 - 8 m) devine mai accentuat acest comportament de fărâmițare. De asemenea, în cadrul acestei zone se observă fisuri, care de obicei formează unghiuri de 40-60° față de verticală. Fisurile prezintă suprafețe netede și lucioase (Figura 7).

Neptun Deep Project	Raport de date geotehnice pe țărm (onshore) și în apropierea țărmului (nearshore)	Rev 0
	ROND-EW-YRRPT-24-0008	Page 29 of 120

Litoralul este format din acest tip de pământ, dar în prezent este reamenajat și se plantează iarbă după ce au fost efectuate mai multe lucrări de protecție a malului (Figura 8). La nord de amplasamentul investigat loess-ul apare la suprafață și se poate observa o prăbușire locală în cadrul acestui strat.

În ceea ce privește structura litologică a tipurilor de pământ, s-a realizat o clasificare complexă pe baza încercărilor de laborator, a prelucrării datelor specifice din literatura de specialitate și a standardelor în vigoare.

Din foraje au fost recoltate probe netulburate. Acestea au fost recoltate cu ajutorul unor ștuțuri cu pereți subțiri. Procedurile de recoltare și de transport sunt detaliate în cadrul Volumului II.

Distribuția granulometrică indică pământuri fine, fără fracțiuni grosiere (Figura 9). Există două excepții, așa cum au fost recoltate din Forajul FG01, unde probele au prezentat un procent scăzut de nisip și pietriș (Figura 9), dar acestea sunt clasificate ca argile reziduale. Majoritatea probelor sunt încadrate ca argile (Figura 10), deși toate prezintă un procent semnificativ de praf, [A se vedea raportul sursă pentru distribuția granulometrică detaliată a dimensiunilor particulelor].

Cantitatea procentuală a fracțiunii de argilă variază în funcție de adâncime în ambele foraje executate, observându-se o creștere a cantității procentuale de argilă de la partea superioară la partea inferioară a forajelor (Figura 11). Zona în care fracțiunea prăfoasă predomină poate fi identificată în intervalul de adâncime de 3 - 7 m (Figura 11). La partea superioară, îmbogățirea se datorează proceselor pedogenetice, iar la bază se datorează probabil unui proces sinsedimentar (de creștere/dezvoltare sedimentară).

Datorită faptului că pământurile sunt macroporice, s-a efectuat o clasificare în funcție de tipul de loess și de sensibilitatea lor la umezire (pentru a fi clasificate ca pământ sensibil la umezire, care se află sub incidența Normativului NP125-2010), în deplină conformitate cu **NP125**. Dintre metodele enumerate în cadrul Normativului, încadrarea a fost realizată pe baza următoarelor clasificări:

- Parametri:
 - Compoziția granulometrică;
 - Indicele I;
 - Clasificare bazată pe Indicele de plasticitate și pe conținutul de argilă;
- Comportare mecanică:
 - Compresibilitate (vezi Secțiunea 5.3.1: Rezultatele încercărilor de laborator).

Pentru a clasifica un pământ ca PSU (Pământ Sensibil la Umezire) (MSS) în conformitate cu NP125-2010, trebuie să fie îndeplinite cel puțin un criteriu privind parametrii mai sus menționați și un criteriu privind comportamentul mecanic.

Parametrii avuți în vedere pentru clasificarea pământurilor loessoide sunt în conformitate cu Standardul STAS.

Clasificare funcție de distribuția granulometrică a particulelor

Această clasificare se realizează conform Tabelului 8. Frațiunile nu sunt conforme cu dimensiunile incluse în Standardul SR EN ISO 14688:2-2005, dar sunt conforme cu dimensiunile incluse în Standardul STAS 1913/5-85.

Tabelul 8. Clasificarea pământurilor loessoide

Litologie		Distribuția procentuală a particulelor funcție de diametru [%]				
Categorie	Fracțiune predominantă în funcție de dimensiunea particulelor	< 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%)	Nisipos	< 40	35 - 45	15 - 25	0 - 15	-
	Prăfos	< 30	> 45	< 15	0 - 10	-
	Argilos	> 40	> 45	< 15	0 - 15	-
Pământuri loessoide (d = 0,01 - 0,1 mm < 60%)	Nisip și nisip argilos	< 30	10 - 50	10 - 50	25 - 55	> 5
	Prăf nisipos	< 30	35 - 55	35 - 50	< 30	< 5
	Prăf argilos	< 50	40 - 60	40 - 60	10 - 40	0 - 5
	Argile prăfoase	> 50	25 - 50	25 - 50	0 - 10	0 - 5

În primul rând, diferența dintre pământurile de tip loess și cele loessoide se bazează pe procentul de fracțiune granulometrică cuprinsă între 0,01 și 0,1 mm, pragul fiind de 60%. În cazul Forajului TUZ_FG01, procentul fracțiunii variază între 9,7% - 22,7%, cu o medie de 15,7%. În cazul Forajului TUZ_FG02, acesta variază între 13,2% - 21,6%, cu o medie de 17,7% (Tabelul 9). Acest lucru indică faptul că pământul este de tip loessoid.

Subclasificarea acestora se realizează în funcție de procente fracțiunii, așa cum este prezentat mai sus în Tabelul 8. În acest caz, toate pământurile sunt încadrate ca argile prăfoase loessoide datorită faptului că procentul de fracțiune granulometrică $\leq 0,01$ este de peste 50% (Tabelul 9).

Tabelul 9. Frațiuni granulometrice relevante pentru clasificarea loess-ului (Tuzla)

Fracțiune	Parametru statistic	TUZ_FG01 [%]	TUZ_FG02 [%]
0,01 mm – 0,1 mm	minim	9,7	13,2
	mediu	15,7	17,7
	maxim	22,7	21,6
<0,01 mm	minim	77,3	78,4
	mediu	83,2	82,3
	maxim	88,4	86,8

Proprietăți fizice

Încadrarea se bazează pe trei parametri, după cum urmează:

- Frațiune de praf 50 – 80%;
- Stare nesaturată ($S_r < 80\%$);

- Porozitate $n > 40\%$.

Parametrii stabiliți pe baza probelor recoltate sunt prezentați în Tabelul 10, iar reprezentarea grafică a acestora în Figura 12 și Figura 13. Cu excepția gradului de umiditate (S_r), ceilalți parametri nu sunt complet încadrați în intervalele tipice ale PSU (MSS) (Tabelul 10). Diagramele indică PSU (MSS) în cadrul părții de la suprafața terenului, în general până la 7,0 - 8,0 m adâncime (Figura 12, Figura 13).

Tabelul 10. Caracteristici fizice relevante pentru clasificarea loess-ului (Tuzla)

Caracteristică fizică	Parametru statistic	TUZ_FG01	TUZ_FG02	Valori tipice pământurilor de loess
Frațiune de praf [%]	minim	24,0	32,3	50 – 80
	mediu	46,9	50,7	
	maxim	65,8	69,7	
Grad de umiditate (S_r) [%]	minim	29,1	34,8	< 80%
	mediu	58,6	57,4	
	maxim	82,4	76,4	
Porozitate (n) [%]	minim	39,4	41,8	> 40
	mediu	47,0	45,8	
	maxim	55,7	52,1	

Indicele I

Clasificarea se realizează pe baza variației indicelui I funcție de indicele de plasticitate (I_p). Valoarea indicelui trebuie să fie mai mică decât valoarea prezentată în Tabelul 11.

Tabelul 11. Clasificarea pământurilor sensibile la umezire funcție de indicele I

Indice de plasticitate (I_p)	<10	10 ... 14	14 ... 22	>22
I index	0,10	0,17	0,24	0,30

Indicele I este calculat funcție de indicele porilor, conform **Ec. 1** de mai jos:

$$I = \frac{e_L - e}{1 + e} \quad \text{Ec. 1.}$$

Probele recoltate din amplasamentul Tuzla sunt de tip PSU (MSS) (Figura 14), cu excepția a două probe colectate de la baza forajelor. Clasificarea în funcție de indicele I nu este pe deplin conformă cu clasificarea bazată pe proprietățile fizice. Cu toate acestea, este în concordanță cu observațiile vizuale efectuate asupra probelor recoltate, adică pe baza existenței macroporilor la adâncimi mari, inclusiv pentru paleosol (Tabelul 4 și Tabelul 5).

Clasificare pe baza indicelui de plasticitate și a conținutului de argilă

Această clasificare se bazează pe raportul dintre indicele de plasticitate și procentul fracțiunii de argilă, conform Tabelului 12.

Tabelul 12. Clasificarea pământurilor sensibile la umezire funcție de I_P vs. conținut de argilă

Tipul pământului	Indice de plasticitate (I_P)	Conținut de argilă [%]
Prăfos-nisipos	$1 < I_P < 7$	3 – 10
Praf argilos	$7 < I_P < 17$	10 – 30
Argilos	$I_P > 17$	> 30

Toate probele sunt încadrate în categoria de pământuri argiloase PSU (MSS) (Figura 15).

În conformitate cu procedurile de clasificare prezentate mai sus, putem concluziona că toate pământurile identificate prezintă caracteristici PSU (MSS). Această tendință este mult mai pronunțată la partea superioară a coloanei stratigrafice până la adâncimea de aproximativ 8-9 m de la nivelul terenului natural. Din cauza conținutului ridicat de părți fine, în special conținut de argilă, profilul pământului investigat nu este de un loess tipic (ar trebui să aibă mai multă fracțiune de praf). Toate probele analizate sunt pământuri loesso-argiloase cu conținut de argilă prăfoasă.

5.2.1.3 Argile reziduale

Argilele reziduale (Figura 16) reprezintă, din punct de vedere al genezei, o unitate diferită de restul coloanei stratigrafice, incluzând paleosolul în stratul de loess. Diferența exactă dintre aceste pământuri și pământurile loessoide este dificil de stabilit, ambele fiind caracterizate de argile roșiatice cu aspect asemănător. Există câteva caracteristici specifice argilelor reziduale. În primul rând, acestea includ fragmente de calcar cu muchii ascuțite, de diferite dimensiuni (Figura 16), iar culoarea depozitului prezintă o nuanță roșie mai intensă, indicând faptul că mediul de formare a prezentat un potențial de oxidare mai ridicat. Dacă se compară cu argilele roșiatice prezente în paleosol, acestea nu prezintă macropori.

5.2.2 Roca

Ceea ce urmează este un extras din Raportul ROND-FU-GRIST-25-0017-001: Raport final de investigații geotehnice pentru amplasamentele 23 August și Tuzla Volumul I. Fișele de foraj pentru amplasamentul Tuzla sunt incluse în Anexa C, iar înregistrările încercărilor de teren sunt incluse în Anexa D.

Întreaga coloană stratigrafică din [amplasamentul Tuzla era] alcătuită din calcar bioclastic cu bioclaste mari (inclusiv gastropode, cochilii bivalve etc.), ihnofosile, oolite (Figura 19). Există unele intercalații pelitice și foarte puține intercalații arenitice. Straturile pelitice sunt formate din două tipuri principale de argile: argile roșii reziduale la partea superioară (Figura 18) și argile singenetice gri-ușor verzui (Figura 17), în principal în partea de mijloc a forajelor de la amplasamentul Tuzla (Tabelul 6, Tabelul 7). Ca unitate de tranziție au fost identificate, de asemenea, intercalații de calcar argilos în ambele amplasamente.

Nu s-a realizat o documentație petrografică detaliată pentru carotele de calcar, deoarece nu era o cerință a Caietului de sarcini. În consecință, nu a fost posibilă o clasificare a litologiei în conformitate cu clasificarea Dunham a rocilor sedimentare carbonatice și, prin urmare, nici identificarea exactă a mediului de depunere, a naturii bioclastelor și a perioadei de depunere. Corelația straturilor transversale este, de asemenea, dificilă fără aceste informații, deoarece fișele de foraj prezintă stratificații foarte eterogene.

În timpul documentării macroscopice s-au făcut câteva observații generale.

Intercațiile de lungime mare de argilă gri-verzuie sunt specifice amplasamentului Tuzla (Figura 20). Aceste straturi au fost forate aproape fără pierderi, recoltându-se întreaga coloană stratigrafică. Aceste argile au fost recoltate și s-au determinat proprietățile lor fizice. Probele au fost protejate cu folie de plastic din momentul recoltării lor (Figura 20). Deși a ajutat la păstrarea proprietăților lor in-situ, această procedură nu este la fel de riguroasă ca cerințele ASTM, în consecință, probele nu pot fi considerate perfect nealterate. Rezultatele arată o diferență semnificativă în comparație cu probele din pământul aflat în stratul natural (Tabelul 13).

Cea mai importantă caracteristică este conținutul relativ ridicat de argilă (în medie de 86,1%) și valoarea relativ scăzută a indicelui de plasticitate (în medie de 25,4). De asemenea, conținutul de carbonați este mult mai mic (în medie de 5,7%) decât se aștepta din cauza mediului de depunere prezent în jurul intercalațiilor. Ceilalți parametri sunt mai mult sau mai puțin conform așteptărilor, de exemplu, umiditatea ridicată și gradul de umiditate ridicat, precum și indicele porilor (Tabelul 13). Toți aceștia ar fi putut avea valori și mai mari dacă recoltarea și transportul ar fi fost efectuate în conformitate cu ASTM.

Tabelul 13. Valori caracteristice ale intercalațiilor de argilă

Parametri	Conținut de argilă	Coefficient de neuniformitate	Umiditate	Indice de plasticitate	Indice de consistență	Greutatea volumică	Indicele porilor	Grad de umiditate	Conținut de carbonați
Simbol		C _u	w	I _p	I _c	γ	e	S _r	
Unitate de măsură	[%]	–	[%]	–	–	[kN/m ³]	–	[%]	[%]
Min.	84,47	1,00	34,31	23,81	0,77	16,94	1,13	84,95	4,69
Max.	87,69	1,00	35,83	26,99	0,77	17,14	1,18	84,99	6,60

În jumătatea inferioară a carotei recoltate devin din ce în ce mai frecvente calcarele de tip oolitic (Figura 19), ceea ce conferă rocii o textură nisipoasă arenitică/psamitică.

5.2.2.1 Fragmentarea și carstificarea

Cele mai evidente caracteristici ale procesului de fragmentare sunt prezența unor cavități de dizolvare carstică care variază cu cel puțin trei ordine de mărime (de la milimetri la metri). Întreaga coloană stratigrafică este intens carstificată, cu câteva excepții de mică întindere. Acesta a fost

Neptun Deep Project	Raport de date geotehnice pe țărm (onshore) și în apropierea țărmului (nearshore)	Rev 0
	ROND-EW-YRRPT-24-0008	Page 34 of 120

motivul pentru care, în timpul forării s-a pierdut o cantitate semnificativă de apă de răcire. Pentru fiecare lungime de carotaj (1,0 - 1,5 m) s-a folosit în medie 1 m³ de apă.

Cele mai multe dintre aceste goluri carstice sunt deschise și spațiul liber dintre pereții rocii este ocupat de umpluturi. Cele mai frecvente umpluturi sunt compuse din straturi de argile reziduale roșii cu grosimi de milimetri. Mai puțin frecvent apar alte umpluturi argiloase și macrocristale de calcit.

Au fost identificate și fracturi, dar acestea au fost mai puțin frecvente, probabil datorită faptului că intensitatea proceselor de carstificare de-a lungul acestor discontinuități a fost mai mare și majoritatea discontinuităților au fost complet alterate. Din cauza stării de fragmentare a rocii, evaluarea statistică a fisurilor nu a fost posibilă.

5.2.2.2 Gradul de recuperare a carotelor

Gradul de recuperare al carotelor sau gradul de recuperare total al carotelor (TCR) a fost calculat în timpul urmăririi pe teren a lucrărilor de foraj de către inginer conform ecuației Ec. 2.

$$TCR = \frac{\sum l_{bucăți\ carote}}{\sum l_{extragere\ carotă}} \times 100 \quad [\%] \quad \text{Ec. 2.}$$

În care $l_{bucăți\ carote}$ este suma lungimii carotelor recuperate și $l_{extragere\ carotă}$ este suma lungimii carotelor forate.

Gradul de recuperare mediu al carotelor pentru acest proiect variază între 57,5% și 67,3% (după cum se prezintă în Tabelul 14). Materialul căzut în gaura de foraj a fost exclus din calcule, însă chiar și în acest caz, TCR calculat depășește 100% pentru unele carote. Acest lucru este frecvent în cazul înfigeri scurte și intervale cu roci fracturate. Unele fragmente de carote ar putea rămâne în fundul găurii de foraj după extracție și sunt recuperate cu ocazia următoarei forări. În ciuda acestei situații, considerăm TCR peste 100 % pentru calculele statistice și reprezentarea grafică ca fiind de 100 %, deoarece poate modifica semnificativ rezultatele și vizualizarea grafică (Figura 21).

Tabelul 14. Valori TCR pentru rocă

Foraj	Valoare statistică pentru TCR			
	Min. [%]	Medie [%]	Max. [%]	Median [%]
TUZ_FG01	18,8	62,6	100	66,7
TUZ_FG02	26,9	67,3	100	62,5

5.2.2.3 Calitatea rocilor (RQD)

Variabilitatea individuală a RQD în funcție de adâncimea forată este prezentată în Figura 22, în timp ce valorile statistice sunt sintetizate în Tabelul 15.

După cum era de așteptat, valorile RQD sunt mai nefavorabile decât cele ale TCR. Cu excepția câtorva intervale de vârf, care reprezintă roci de calitate medie, toți ceilalți parametri indică roci

Neptun Deep Project	Raport de date geotehnice pe țărm (onshore) și în apropierea țărmului (nearshore)	Rev 0
	ROND-EW-YRRPT-24-0008	Page 35 of 120

foarte slabe. Valoarea mediana calculată rămâne 0% pentru fiecare foraj. Aceasta înseamnă că peste 50% din intervalele documentate au o valoare RQD de 0%.

Tabel 15. Clasificarea RQD a forajelor

Foraj	Valoare statistică RQD			
	Min. [%]	Medie [%]	Max. [%]	Median [%]
TUZ_FG01	0	10,9	60	0
TUZ_FG02	0	14,5	67	0

5.3 Rezultatele încercărilor geotehnice de laborator

5.3.1 Pământ

Ceea ce urmează este un extras din Raportul ROND-FU-GRIST-25-0017-001: Raport final privind investigația geotehnică pentru amplasamentele 23 August și Tuzla, Volumul I. A se vedea Anexa E: Rezultatele încercărilor de laborator pentru rezultatele încercărilor de laborator din cadrul investigației geotehnice pe țărm (onshore).

5.3.1.1 Compoziția granulometrică

Compoziția granulometrică a probelor și încadrarea acestora au fost realizate în timpul caracterizării din punct de vedere geologic. Reprezentarea intervalului minim și maxim și a unei linii medii pentru fiecare strat de pământ [din amplasament] pot fi observate în Figura 23.

5.3.1.2 Umiditatea (w)

Umiditatea definește cantitatea de apă prezentă în proba de pământ în momentul recoltării și se determină cu ajutorul ecuației Ec. 3, fiind calculată în procente:

$$w = \frac{m_w}{m_d} = \frac{m_u - m_d}{m_d} \times 100 \quad [\%] \quad \text{Ec. 3.}$$

Graficele umidității în funcție de adâncime sunt prezentate în Figura 24.

5.3.1.3 Gradul de umiditate (S_r)

Gradul de umiditate (S_r) definește procentul de umplere a porilor cu apă. În același timp, indică raportul dintre umiditatea naturală și conținutul maxim de apă al unei probe de pământ. Se calculează cu ajutorul ecuației Ec. 4:

$$S_r = \frac{w}{w_{sat}} = \frac{w}{\frac{e \cdot \gamma_w}{\gamma_s}} = \frac{w \times \gamma_s}{e \times \gamma_w} \quad [\%] \quad \text{Ec. 4.}$$

Graficele gradului de umiditate în funcție de adâncime sunt prezentate în Figura 25.

Neptun Deep Project	Raport de date geotehnice pe țărm (onshore) și în apropierea țărmului (nearshore)	Rev 0
	ROND-EW-YRRPT-24-0008	Page 36 of 120

5.3.1.4 Limitele Atterberg

Limitele Atterberg (limita superioară de plasticitate – w_L și limita inferioară de plasticitate – w_P) au fost determinate pentru acest proiect, împreună cu Indicele de plasticitate și cu Indicele de consistență.

Indicele de plasticitate caracterizează plasticitatea pământului, adică intervalul de umidități pentru care pământul prezintă o comportare plastică. Acesta se determină pe baza ecuației Ec. 5.

$$I_p = w_P - w_L \quad [\%] \quad \text{Ec. 5.}$$

Pământurile interceptate în Tuzla prezintă un Indice de plasticitate mai mare (Figura 26), atingând o valoare caracteristică maximă la baza forajului (paleosolul inferior) de I_p de 36%.

5.3.1.5 Indicele de consistență

Indicele de consistență caracterizează consistența pământurilor și indică dacă pământul poate fi considerat adecvat ca teren de fundare sau dacă acestea sunt, de fapt, terenuri dificile de fundare. Acesta se stabilește pe baza ecuației Ec. 6.

$$I_c = \frac{w_L - w}{I_p} \quad [-] \quad \text{Ec. 6.}$$

Pentru amplasamentul Tuzla, pământurile testate au o rigiditate constantă după primii 6,4 m ($0,75 < I_c < 0,84$), cu diferențe mici între complexele considerate [Figura 27].

5.3.1.6 Indicele porilor

Indicele porilor reprezintă raportul dintre volumul porilor și volumul particulelor solide și se calculează cu următoarea ecuație (Ec. 7.):

$$e = \frac{V_p}{V_s} \quad [-] \quad \text{Ec. 7.}$$

Conform NP125-2010 valorile de 0,81 - 1,20 caracterizează pământurile loessoide. În ceea ce privește amplasamentul Tuzla, o valoare caracteristică de 1,06 poate fi considerată pentru partea superioară (6-7 m de la suprafața terenului) a stratului de loess, iar o valoare de 0,83 pentru restul coloanei de pământ [Figura 28].

5.3.1.7 Greutatea volumică

Greutatea volumică reprezintă greutatea pământului în starea sa naturală. Ecuația pe baza căreia se calculează greutatea volumică este următoarea (Ec. 8.):

$$\gamma = \frac{G}{V} \quad [kN/m^3] \quad \text{Ec. 8.}$$

NP125-2010 menționează valori tipice de 12-18 kN/m³ pentru pământurile loessoide. Pământul investigat în timpul lucrărilor de teren, prezintă valori caracteristice mai apropiate de limita superioară a intervalului menționat în Normativ [Figura 29].

Neptun Deep Project	Raport de date geotehnice pe țărm (onshore) și în apropierea țărmului (nearshore)	Rev 0
	ROND-EW-YRRPT-24-0008	Page 37 of 120

5.3.1.8 Conținut de carbonați

Pentru a vedea cât de mari sunt cimentațiile locale ale pământului, au fost efectuate încercări privind conținutul de carbonați. Conținutul de carbonați este exprimat în procente raportate la greutatea masei uscate. Principiul metodei este următorul: proba de pământ este tratată cu acid clorhidric și se măsoară volumul de dioxid de carbon rezultat.

Pentru amplasamentul Tuzla (Figura 30) s-au efectuat încercări privind conținut de carbonați pentru ambele foraje. Pentru acest amplasament, valorile caracteristice ale conținutului de carbonați sunt cuprinse între 4,63% și 27,12%. Valoarea de 64,54% a fost obținută pentru o probă care se află la partea inferioară a stratului de pământ loessoid, probă care este în apropierea stratului de calcar.

Pentru a vedea modul în care conținutul de carbonați poate influența rezultatele încercărilor mecanice, au fost realizate grafice cu valorile măsurate din probe în funcție de adâncimea de la care au fost recoltate. Valorile măsurate provin din resturi de probe supuse încercărilor triaxiale și de forfecare directă.

La Tuzla, pentru ambele foraje pot fi observate diferențe semnificative între valorile caracteristice și valorile măsurate (Figura 31), precum și între probele testate. De exemplu, pentru proba 10178 din TUZ_FG01, valoarea conținutului de carbonați prezintă o diferență maximă de 15% între probe. Același comportament poate fi observat și pentru proba 10190 din forajul TUZ_FG02.

După cum s-a menționat, încercările privind conținutul de carbonați au fost efectuate pentru a determina variația conținutului de carbonați din cadrul aceleiași probe (sau al eșantioanelor obținute din același probă). Din punct de vedere vizual, unele probe au prezentat o variație semnificativă a conținutului de carbonați, dar nu a fost posibil de fiecare dată să se recolteze resturile cimentate din aceste probe. Acesta este, de asemenea, un motiv pentru care valorile recomandate pentru proiectare sunt cele corespunzătoare cazului celui mai nefavorabil, deoarece pământul prezintă un grad ridicat de neuniformitate la scară mică, inclusiv referitor la variațiile conținutului de carbonați (cimentările locale pot da valori eronate ale rezistenței la forfecare).

5.3.1.9 Umflarea liberă

Pentru a clasifica un pământ cu umflări mari, conform STAS, unul dintre parametrii necesari este umflarea liberă.

Umflarea liberă U_L se determină conform STAS 1913/12 – 88 și metoda constă în determinarea volumului unei mase de pământ uscat și mojarat, cu un volum inițial de 10 cm³, prin imersarea acesteia în apă distilată. Umflarea liberă se determină cu ajutorul următoarei ecuații (Ec. 9.):

$$U_L = \frac{V_f - V_i}{V_i} \times 100 \text{ [%]} \quad \text{Ec. 9.}$$

Unde,

V_f – volumul final al masei de pământ imersate, în cm³;

V_i – volumul inițial al masei de pământ, egal cu 10 cm³.

Pentru amplasamentul Tuzla (Figura 32), valoarea U_L crește de la o valoare caracteristică de 59,8% la partea superioară a stratului la o valoare de 105,5% la partea inferioară a stratului.

La Tuzla (Tabelul 16), partea superioară a pământului loessoid are un potențial de umflare scăzut, iar celelalte straturi, cu excepția paleosolului inferior, au un potențial de umflare scăzut până la mediu. Paleosolul inferior are un potențial de umflare mediu, caracterizat de o valoare caracteristică pentru U_L de 105,5% cu un maxim de 117,5%. Această clasificare se bazează pe proba pentru care a fost obținută cea mai mare valoare a umflării libere pentru fiecare strat. Cunoscând faptul că pământurile sunt loessoide, considerăm că potențialul de umflare nu reprezintă o problemă.

Tabelul 16. Clasificarea pământului din amplasamentul Tuzla funcție de potențialul de umflare (NP 126-10)

Tipul pământului	$A_{2\mu}$ [%]	I_p [%]	I_A	U_L [%]	Clasificare funcție de potențialul de umflare
Partea superioară a pământului loessoid argilos (proba 10180a)	43,75 > 30	> 35	> 1,25	> 140	Intens
	20 – 30	25 < 24,99 < 35	1,00 – 1,25	100 – 140	Mare
	15 – 20	12 – 25	0,75 – 1,00	70 – 100	Mediu
	< 15	< 12	0,57 < 0,75	70 < 70	Scăzut
Partea superioară a paleosolului (proba 10183)	55,89 > 30	> 35	> 1,25	> 140	Intens
	20 – 30	25 < 29,43 < 35	1,00 – 1,25	100 – 140	Mare
	15 – 20	12 – 25	0,75 – 1,00	70 < 90 < 100	Mediu
	< 15	< 12	0,53 < 0,75	< 70	Scăzut
Partea inferioară a pământului loessoid argilos (proba 10194b)	54,49 > 30	> 35	> 1,25	> 140	Intens
	20 – 30	25 – 35	1,00 – 1,25	100 – 140	Mare
	15 – 20	12 < 30,42 < 25	0,75 – 1,00	70 < 87,5 < 100	Mediu
	< 15	< 12	0,56 < 0,75	< 70	Scăzut
Partea inferioară a paleosolului (proba 10188a)	67,08 > 30	40,94 > 35	> 1,25	> 140	Intens
	20 – 30	25 – 35	1,00 – 1,25	100 < 117,5 < 140	Mare
	12 – 25	12 – 25	0,75 – 1,00	70 – 100	Mediu
	< 15	< 12	0,61 < 0,75	< 70	Scăzut

Neptun Deep Project	Raport de date geotehnice pe țărm (onshore) și în apropierea țărmului (nearshore)	Rev 0
	ROND-EW-YRRPT-24-0008	Page 39 of 120

5.3.1.10 Caracteristici de compresibilitate

Pentru a obține caracteristicile de compresibilitate și de consolidare au fost efectuate încercări de compresibilitate în edometru.

Încercarea de compresibilitate în oedometru constă în urmărirea evoluției în timp a deformațiilor probei sub efectul unor încărcări axiale verticale, aplicate în trepte. Deformațiile laterale sunt împiedicate, iar apa este drenată atât pe fața superioară, cât și pe cea inferioară.

Pentru determinarea compresibilității, a consolidării și a umflării sau cedării unidimensionale a pământului au fost utilizate următoarele standarde:

- STAS 8942-1/89
 - Modulul de deformare edometric (E_{oed})
 - Coeficientul de compresibilitate (a_v)
 - Coeficientul de compresibilitate volumică (m_v)
 - Indice de compresiune (C_c)
 - Indicele tasării specifice la umezire pentru treapta de 300 kPa (i_{m300})
 - Rezistență structurală (σ_0)
- EN ISO 17892-5:2004
 - Modulul de deformare edometric (E_{oed})
 - Coeficientul de compresibilitate volumică (m_v)
 - Indice de compresiune (C_c)
 - Indicele rigidității la compresiune (S_c)
 - Indicele rigidității la umflare (S_s)
 - Indice de umflare (C_s)
 - Coeficient de consolidare (c_v)
 - Coeficient de consolidare secundară (C_{α})
- ASTM D4546 – 14 – Metoda B
 - Umflare liberă / cedare
 - Cedare / deformare specifică la presiune hidrostatică – (ϵ_c)

Datele [prezentate în] Figura 33 sunt reprezentate grafic împreună cu rezultatele conform STAS (condiții inundate). Condițiile inundate reprezintă cea mai nefavorabilă condiție în care se poate afla o unitate de loess.

La amplasamentul Tuzla, modulul de deformare edometric are valori caracteristice cuprinse între 4354 kPa și 8020 kPa (valoarea maximă reprezintă valoarea caracteristică pentru stratul de paleosol superior). Deoarece nu sunt determinate valori pentru pământul loessoid argilos inferior, linia pentru valoarea caracteristică le unește pe cea de sus și pe cea de jos.

5.3.1.11 Clasificarea unui pământ ca PSU (MSS) funcție de comportarea mecanică

Pentru a considera un pământ ca fiind un pământ PSU (MSS), trebuie să fie îndeplinit unul dintre criteriile de la Capitolul 4.2 și, de asemenea, unul dintre următoarele criterii de comportare mecanică:

Neptun Deep Project	Raport de date geotehnice pe țărm (onshore) și în apropierea țărmului (nearshore)	Rev 0
	ROND-EW-YRRPT-24-0008	Page 40 of 120

- Indicele tasării specifice la umezire pentru treapta de 300 kPa (încercarea în edometru) trebuie să aibă valoare mai mare de 2% (Ec. 10.):

$$i_{m300} \geq 2 \% \quad [cm/m] \quad \text{Ec. 10.}$$

- Indicii din următoarele ecuații (Ec. 11., Ec. 12.) care se referă la tasarea terenului cu umiditate naturală și în stare inundată (prin încercarea de încărcare statică cu placa) trebuie să aibă valori mai mari de 5, respectiv 3 cm.

$$\eta = \frac{s_i}{s_n} \geq 5 \quad \text{Ec. 11.}$$

$$\delta = s_i - s_n \geq 3 \text{ cm} \quad \text{Ec. 12.}$$

Unde,

s_i - tasarea terenului inundat

s_n - tasarea terenului cu umiditate naturală

Pentru a clasifica în ce grupă de pământuri de tip loess se poate încadra pământul investigat, trebuie să se efectueze determinarea I_{mg} . Acest parametru reprezintă tasarea suplimentară prin umezire sub greutate proprie (sarcină geologică).

Clasificarea se efectuează conform NP 125-2010, pe baza parametrului I_{mg} , parametru calculat cu următoarele formule (Ec. 13., Ec. 14.):

$$I_{mg} = \sum_{i=1}^N i_{mg} * h_i \quad \text{Ec. 13.}$$

$$i_{mg} = \varepsilon_{gi} - \varepsilon_{gn} \quad \text{Ec. 14.}$$

Unde,

N - numărul straturilor elementare de calcul

h_i - grosimea straturilor elementare

i_{mg} - indicele tasării specifice suplimentare prin umezire a stratului elementar "i" sub greutate proprie

ε_{gi} -deformația specifică a pământului inundat pentru σ_{gi} (presiune verticală calculată cu γ_{sat})

ε_{gn} -deformația specifică a pământului cu umiditate naturală pentru

σ_{gn} (presiune verticală calculată cu γ)

Dacă pe adâncimea stratului PSU (MSS) există zone în care rezistența structurală (σ_0) $\geq \sigma_{gi}$, parametrul i_{mg} se va calcula cu următoarea ecuație (Ec. 15.)

$$i_{mg} = \varepsilon_{gi} - \varepsilon_{gn} + 0,01 \text{ (1\%)} \quad \text{Ec. 15.}$$

Neptun Deep Project	Raport de date geotehnice pe țărm (onshore) și în apropierea țărmului (nearshore)	Rev 0
	ROND-EW-YRRPT-24-0008	Page 41 of 120

Rezistența structurală a pământurilor de tip loess este presiunea minimă pentru care se produce fenomenul de tasare suplimentară prin umezire și corespunde unui $i_{m\sigma}$ de 1%, ca și în Ec. 16.:

$$i_{m\sigma} = \varepsilon_i - \varepsilon_n = 0,01 = 1\% \quad \text{Eq. 16,}$$

Unde,

$i_{m\sigma}$ - indicele tasării specifice suplimentare prin umezire pentru o presiune verticală σ [%]

ε_i - deformația specifică obținută din încercarea în edometru - condiții inundate [%]

ε_n - deformația specifică obținută din încercarea în edometru - umiditate naturală [%]

Pământul poate fi încadrat în grupa A dacă $I_{mg} \leq 5 \text{ cm}$ și în grupa B dacă $I_{mg} \geq 5 \text{ cm}$.

În conformitate cu clasificarea bazată pe valorile parametrilor (4.2.1, 4.2.2), toate pământurile investigate pot fi considerate PSU (MSS). Din punct de vedere mecanic, referindu-ne la parametrii discutați mai sus (i_{m300} , I_{mg}), menționăm următoarele:

[În cazul] amplasamentului Tuzla, pentru o zonă de influență a fundației de aproximativ 5-6 m, valorile ridicate ale i_{m300} au fost obținute pentru pământul loessoid argilos superior din FG02 (9,38% - 12,31%). Valorile obținute pentru același tip de pământ (pământ loessoid argilos superior) din FG01 sunt mult mai mici (-2,38 - 1,79). Valorile negative ale lui i_{m300} pot apărea din cauza mai multor factori (posibilitatea de umflare - mai puțin probabilă, sensibilitatea pământului în timpul preparării probelor, cimentări locale, neomogenitate - cel mai probabil). Scenariul cel mai nefavorabil este cel care utilizează cele mai mari valori. Astfel, folosind aceste valori, pământul loessoid argilos superior este considerat a fi un pământ sensibil la umezire (Figura 34) care se află sub incidența NP125-2010.

Pentru a încadra pământul în grupa A sau B, a fost determinat parametrul I_{mg} (Figura 35). Pământul loessoid argilos superior este considerat a aparține grupei B. Stratul lut în considerare este cel din Forajul FG01 între 0,8 m și 6,4 m.

5.3.1.12 Rezistența la forfecare

Pentru a determina rezistența la forfecare a pământurilor, au fost efectuate încercări de teren și încercări de laborator triaxiale de tip UU.

În timpul lucrărilor de investigare in-situ a terenului, rezistența la compresiune neconsolidată - UCS (qp) și rezistența la forfecare nedrenată (C_u) au fost testate pe fiecare probă netulburată de pământ cu ajutorul unui penetrometru de buzunar și al unui aparat cu palete vane de buzunar.

Pentru a avea o mai bună definire a variației rezistenței la forfecare, în timpul lucrărilor de investigare in-situ a terenului au fost efectuate încercări cu un aparat de palete vane de buzunar și cu penetrometre de buzunar. Instrumentele măsoară rezistența la forfecare pe baza unor principii diferite. Ambele aparate oferă o posibilitate de măsurare ușoară și rapidă a parametrilor de rezistență pe teren (C_u și UCS), dar rezultatele pot fi utilizate doar pentru a oferi o imagine preliminară despre pământul investigat. Rezultatele nu pot fi utilizate în scopuri de proiectare.

Dispozitivul de măsurare constă dintr-un inel de torsiune, iar măsurarea se face prin rotirea paletelor până la apariția unei cedări. Penetrometrul de buzunar măsoară rezistența maximă a pământului

cu ajutorul unui arc care se comprimă. Valoarea UCS rezultă din forța necesară pentru ca vârful penetrometrului să pătrundă în pământ.

Ambele instrumente au trei terminații de încercare interschimbabile (palete și, respectiv, vârfuri), ceea ce extinde intervalul de măsurare aplicabil. Aparatul cu palete vane de buzunar are un interval de măsurare de până la 540 kPa și este optim pentru pământurile coezive moi și medii, în timp ce penetrometrul de buzunar poate măsura până la 2 MPa și poate fi utilizat pentru pământuri mai tari. Precizia de măsurare a aparatului cu palete vane (2 kPa) este mult mai bună decât cea a penetrometrului de buzunar (50 kPa).

Valoarea rezistenței la forfecare nedrenată poate fi determinată din valorile UCS obținute de la penetrometrul de buzunar conform Ec. 17. Această ecuație se poate utiliza în cazul pământurilor coezive saturate.

$$UCS = 2 \times C_u \quad [MPa] \quad \text{Ec. 17.}$$

Încercările triaxiale de laborator de tip UU au fost efectuate în conformitate cu BS 1377-7:1990 și EN ISO 17892-8:2015. Procedura de obținere a datelor primare este aceeași pentru ambele standarde, cu unele diferențe în ceea ce privește calculele (de exemplu, corecția membranei).

Încercarea de compresiune triaxială este utilizată pentru a încerca o probă cu o secțiune transversală circulară, cu un raport înălțime/diametru ≥ 2 și un diametru minim de 3-4 cm. Prin intermediul celulei de încărcare se aplică o presiune laterală σ_3 , având aceeași valoare în toate direcțiile (presiune hidrostatică) peste care se suprapune, axial, o creștere de presiune $\Delta\sigma$ ($\sigma_1 - \sigma_3$), până la cedarea probei.

Rezultatele încercărilor de teren

Rezultatele încercărilor sunt prezentate în Tabelul 17. De asemenea, valorile rezistenței la forfecare nedrenată au fost calculate cu ajutorul penetrometrului de buzunar, dar acuratețea lor este discutabilă, deoarece pământul este departe de a fi saturat. Cu toate acestea, s-au făcut corelații deoarece este mai ușor să se facă o corelație între cele două metode pentru a calcula C_u din UCS.

Tabelul 17. Rezistențe determinate din încercările cu aparatul cu palete vane de buzunar și cu penetrometrul de buzunar

Foraj	Probă	Adâncimea investigată [m]	Aparat de forfecare cu palete vane de buzunar	Penetrometru de buzunar	
			Rezistența la forfecare nedrenată C_u [kPa]	Rezistența la compresiune neconsolidată UCS [kPa]	Rezistența la forfecare nedrenată C_u [kPa]
TUZ_FG01	P01	1,25	64	600	300
	P02	2,25	nota 1	150	75
	P03	3,25	20	200	100
	P04	4,25	118	450	225
	P05	5,25	44	200	100
	P06	6,25	72	400	200

Foraj	Probă	Adâncimea investigată [m]	Aparat de forfecare cu palete vane de buzunar	Penetrometru de buzunar	
			Rezistența la forfecare nedrenată C_u [kPa]	Rezistența la compresiune neconsolidată UCS [kPa]	Rezistența la forfecare nedrenată C_u [kPa]
	P07	7,25	nota 2	nota 2	nota 2
	P08	9,25	64	500	250
	P09	11,06	36	400	200
	P10	12,95	100	500	250
	P11	14,95	82	400	200
	P12	16,70	nota 3	nota 3	nota 3
TUZ_FG02	P01	1,25	20	450	225
	P02	2,50	26	250	125
	P03	3,65	44	200	100
	P04	5,00	50	250	125
	P05	7,00	54	450	225
	P06	9,00	94	500	250
	P07	10,95	64	500	250
	P08	12,85	44,5	450	225
	P09	13,90	32	400	200
	P10	15,00	92	400	200

Note 1 – pământ prea fărâmițat pentru a fi încercat;

Note 2 – recuperare scăzută, probă păstrată pentru încercări de laborator;

Note 3 – pământ prea tare chiar și pentru un penetrometru de buzunar.

Corelația rezistențelor la forfecare nedrenată cu tipul de pământ și adâncimea sunt prezentate în Figura 36. În unele cazuri, există o diferență vizibilă între tipurile de pământ, dar există, de asemenea, o mare variabilitate a parametrilor în cadrul complexelor de pământuri. Rezistența la forfecare nedrenată determinată prin încercări triaxiale de tip UU se încadrează între limita inferioară a C_u obținută cu aparatul de forfecare cu palete vane de buzunar și limita superioară a C_u obținută cu penetrometrul de buzunar (Figura 36).

Rezultatele încercărilor de laborator

După cum s-a menționat anterior, deoarece probele sunt nesaturate, rezultatele încercării pot varia considerabil, chiar și pentru aceeași adâncime. Rezultatele prezentate în (Figura 37) corespund unei presiuni laterale (σ_3) egală cu suprasarcina geologică a probei. Pentru amplasamentul Tuzla, valorile recomandate sunt cuprinse între 111 kPa și 126 kPa.

5.3.1.13 Comportarea la umflare / cedare

S-a analizat umflarea liberă conform ASTM D4546-14. A fost utilizată metoda de testare B, prin care se determină umflarea și deformația în timpul cedării indusă prin umezire unidimensională. Conform ASTM, umflarea liberă este umflarea procentuală în urma absorbției de apă la o presiune constantă de 1 kPa. Deoarece pământurile sunt sensibile la umezire (pământuri loessoide), sub umezire, acestea cedează, astfel încât umflarea liberă este de fapt o cedare. Din

Neptun Deep Project	Raport de date geotehnice pe țărm (onshore) și în apropierea țărmului (nearshore)	Rev 0
	ROND-EW-YRRPT-24-0008	Page 44 of 120

cauza limitării aparatului utilizat pentru aceste încercări, presiunea minimă constantă a fost de 3 kPa sau 5 kPa (în funcție de diametru).

Pentru partea superioară a pământurilor loessoide cea mai mare valoare de cedare a fost considerate (cazul cel mai nefavorabil) ca fiind cea caracteristică (-1,22%). Se poate observa că toate pământurile sunt sensibile la umezire (cedează sub presiunea constantă), dar pământurile loessoide argiloase de la partea superioară și inferioară sunt chiar mai sensibile. În cazul paleosolului a fost determinată o valoare caracteristică de -0,465 % la partea superioară și o valoare de -0,378% la partea inferioară. În afară de partea superioară a pământului loessoid argilos toate valorile considerate sunt valori medii (Figura 38).

5.3.2 Roca

Ceea ce urmează este un extras din Raportul ROND-FU-GRIST-25-0017-001: Raport final privind investigația geotehnică pentru amplasamentele 23 August și Tuzla, Volumul I. Rezultatele încercărilor de laborator sunt incluse în Anexa E.

În timpul evaluării carotelor de rocă au fost efectuate următoarele încercări și clasificări:

- Încercare de duritate folosind scara Mohs
- Încercări de compresiune neconsolidate conform ASTM D7012-14 metoda D
- Încercări de încărcare punctiformă

5.3.2.1 Încercarea de duritate Mohs

Duritatea carotelor de rocă recoltate a fost determinată prin încercarea de duritate folosind scara Mohs, conform cerințelor Beneficiarului.

Acest tip de încercare este unul simplu și este folosit în principal de mineralogi și de gravori în piatră pentru a estima duritatea mineralelor și/sau a rocilor. Scara de duritate Mohs constă din zece minerale aranjate în ordine crescătoare a durității, astfel încât fiecare mineral îl zgârie pe cel de pe scară de sub el, dar nu îl zgârie pe cel de deasupra lui [13]. Intervalele dintre diferitele grade de duritate nu sunt egale [13] și nu se poate face o distribuție detaliată între limitele standard.

Pentru a obține o distribuție acceptabilă din punct de vedere statistic al durității rocilor, s-au efectuat încercări de duritate Mohs pe fiecare probă selectată pentru încercarea de încărcare punctiformă (PLT). Acest tip de selecție a probelor oferă o uniformitate în ceea ce privește natura probelor de rocă încercate. În plus, poate fi evaluată și corelația dintre PLS și duritatea Mohs. După cum [este descris în Secțiunea 5.3.2.3 de mai jos], a fost testat un număr total de [105] probe (Tabelul 20). Din cauza unor probleme de redare a culorilor, valoarea superioară [zgâriere] este prezentată în diagrame, de exemplu, 3 înseamnă o valoare a durității Mohs cuprinsă între 2 și 3.

Încercările de zgâriere au avut ca rezultat, în mare majoritate, valori ale durității Mohs între 2 și 3 (186) (Tabelul 18). Această duritate caracterizează aproape toate tipurile de calcar. Unele probe (12) au prezentat o duritate mai mică (între 1 - 2), acestea fiind calcare argiloase sau alte tipuri

Neptun Deep Project	Raport de date geotehnice pe țărm (onshore) și în apropierea țărmului (nearshore)	Rev 0
	ROND-EW-YRRPT-24-0008	Page 45 of 120

de calcare ușor alterate. De asemenea, același număr de probe (12) au prezentat valori de rezistență între 3 și 4. Structura acestor probe este mai compactă, cu semne de alterare și dizolvare aproape inexistente.

Tabelul 18. Rezultatele încercării folosind scara Mohs

Interval de duritate Mohs	1-2		2-3		3-4	
	Nr.	%	Nr.	%	Nr.	%
	12	6	186	89	12	6

Posibila conductă poate traversa alte tipuri de roci decât cele încercate și prezentate aici, care pot avea valori ale durității Mohs mai mari (intercalații de gresie - valori între 6-7) sau mai mici (intercalații de argilă).

5.3.2.2 Încercări de compresiune neconsolidate

Încercările de compresiune neconsolidate (UCS) au fost efectuate de RockStudy Ltd, (Ungaria), conform metodei ASTM D7012-14 metoda D. Modulul elastic a fost determinat prin măsurători de deformații cu ajutorul traductorilor.

Probele de rocă selectate au fost manipulate cu mare grijă și ambalate cu trei straturi de protecție împotriva umidității, vibrațiilor și deteriorării prin străpungere. Selecția, ambalarea și transportul probelor au fost realizate de către reprezentanții Geo Search la laboratorul Geo Search din Cluj-Napoca, România. Probele au fost selectate astfel încât să reprezinte fiecare tip principal de calcar din ambele locații. A fost selectat un număr total de 16 probe, care a inclus și o selecție suplimentară a 4 bucăți. Acesta a fost, de asemenea, numărul maxim posibil de probe care să corespundă cerințelor standard de testare UCS. Probele testate au fost selectate din carote de rocă care au fost imediat învelite în folie de plastic după recoltarea lor din carotieră. Umiditatea lor naturală a fost păstrată și au fost încercate în această stare.

Probele de rocă au fost recepționate fără excepții de către reprezentantul laboratorului RockStudy pentru încercări. Laboratorul a efectuat verificări detaliate ale calității fiecărei probe și doar 2 din cele 16 probe îndeplinesc toate cerințele ASTM D4543-08 (Tabelul 19). Cea mai frecventă problemă a fost caracterul torsionat al probei și, bineînțeles, prezența cavitațiilor de dizolvare.

Prezența cavitațiilor de dizolvare a făcut necesară umplerea golurilor cu un material special în zona poziției în care se află traductorii. Adezivul utilizat este pe bază de rășini epoxidice și are valoarea modulului lui Young similară celei a calcarului, chiar și după 24 de ore de la sigilare (Tabelul 19).

Din cauza defectelor aparente ale majorității probelor, s-a folosit un cadru de încărcare mic de 250 kN. Acesta a fost reglat până la 80 kN pentru a preveni cedarea prea rapidă a probelor. Toate măsurătorile au fost efectuate cu celula de încărcare calibrată HBM C6A 1 MN.

Rezultatele încercărilor arată o mare variabilitate (Tabelul 19), valorile fiind cuprinse între 4,4 MPa - 77,9 MPa, cu o medie de 21,8 MPa, dar cu o valoare mediană considerabil mai mică (14,7 MPa).

Tabelul 19. Rezultatele încercărilor UCS

Foraj	ID-ul probei	Conform ASTM D4543	Poziție [m]	Tipul calcarului	Tratament cu rășini	UCS σ_u [MPa]	Modulul lui Young [GPa]	Inversul coeficientului lui Poisson (1/n) [-]	Greutate volumică [MN/m ³]
TUZ_FG01	TUZ_U01	NU	20,12	Breccie	NU	9,2	17,20	2,33	0,023
TUZ_FG01	TUZ_U02	NU	26,12	Breccie oolitică	NU	20,1	15,95	7,11	0,025
TUZ_FG01	TUZ_U03	NU	28,85	Bioclastic	NU	26,3	29,00	4,49	0,025
TUZ_FG02	TUZ_U05	NU	29,12	Bioclastic	NU	21,9	23,10	3,45	0,023
TUZ_FG02	TUZ_U06	NU	30,21	Bioclastic alterat	NU	9,2	13,88	10,40	0,023
TUZ_FG02	TUZ_U07	NU	34,08	Nisipos	NU	24,1	12,87	4,40	0,024
TUZ_FG02	TUZ_U09	NU	44,73	Nisipos oolitic	DA	4,4	8,86	3,16	0,021

Aceste rezultate arată că întregul calcar Sarmatic investigat nu poate fi considerat o unitate omogenă din punct de vedere geotehnic.

Documentația geologică a evidențiat o pronunțată neomogenitate litologică care a făcut practic imposibilă corelarea tipurilor de calcare între forajele efectuate. Acest lucru înseamnă, de asemenea, că această variabilitate a rocii este atât de mare încât caracterizarea rezistenței pentru întregul masiv de rocă nu poate fi făcută doar pe baza valorilor UCS. Încercările de încărcare punctiformă prezintă o rezoluție mult mai mare pentru întreaga secțiune de rocă forată și arată o distribuție mai reală a caracteristicilor mecanice ale rocilor.

5.3.2.3 Încercări de încărcare punctiformă

Încercările de încărcare punctiformă (PLT) au fost efectuate în laboratorul Geo Search din Cluj-Napoca. Procedurile au urmat cerințele ASTM 5731-08. Toate încercările au fost efectuate diametral, lungimile carotelor intacte au depășit 6 cm, ceea ce îndeplinește condiția $L > 0,5 D$, unde L este distanța dintre punctele de contact și cea mai apropiată față liberă, D fiind diametrul carotei.

Indicele necorectat de rezistență la încărcare punctiformă (UPLS) se calculează cu Ec. 18. Din motive de ajustare conform normelor, UPLS este convertit în indicele corectat de rezistență la încărcare punctiformă după Ec. 19 și Ec.20.

$$I_s = \frac{P}{D_e^2} \quad [MPa] \quad \text{Ec. 18.}$$

unde I_s este indicele necorectat de încărcare punctiformă; D_e^2 este diametrul echivalent al carotei [mm²]; P este forța de cedare / rupere a probei [N].

$$F = \left(\frac{D_e}{50} \right)^{0,45} \quad [MPa] \quad \text{Ec. 19.}$$

unde F este factorul de corecție al dimensiunii carotei.

$$I_{s,50} = F * I_s \quad [MPa] \quad \text{Ec. 20.}$$

unde $I_{s,50}$ este coeficientul rezistenței punctiforme corectat în funcție de dimensiunea carotei.

Valorile UCS pot fi estimate din rezultatele UPLS în conformitate cu ecuația Ec. 21. Pentru factorul K ar trebui utilizată corelația specifică amplasamentului, iar dacă acest lucru nu este posibil, se poate utiliza o valoare generală K bazată pe dimensiunea diametrului carotei, care în cazul nostru este de 61 mm, rezultând $K=24,5$.

$$S_c = K * I_s \quad [MPa] \quad \text{Ec. 21.}$$

Unde S_c este rezistența la compresiune monoaxială [MPa]; și K este coeficientul de corecție a rezistenței.

Pentru ambele amplasamente, încercarea UCS a fost corelată cu valorile UCS estimate din PLT. În cazul amplasamentului Tuzla, valorile UPLS și UCS au prezentat corelații corespunzătoare (Figura 39). Factorii de corelație liniară calculați sunt următorii: $A = 21,926$, $B = 2,3118$. Acești factori corecțai în funcție de amplasament au fost utilizați pentru estimările UCS din amplasamentul Tuzla.

Standardul ASTM recomandă prelevarea unui număr minim de 10 carote pentru fiecare tip de rocă pentru a obține rezultate acceptabile din punct de vedere statistic. Au fost efectuate un număr total de 210 încercări PLT, dintre care 187 au fost acceptate și 23 au fost considerate inacceptabile (Tabelul 20). Valorile medii de rupere pentru fiecare foraj și tip litologic sunt prezentate în Tabelul 21. Calculul statistic detaliat este prezentată în fiecare Buletin de analiză [furnizat în anexa sursei de referință].

Există o limitare, de asemenea, pentru încercările PLT pentru probele sub 25 MPa, aceste roci fiind susceptibil a da rezultate ambigue [12].

Tabelul 20. Număr de încercări PLT pentru fiecare foraj

Foraj	Acceptate	Respinse	Total
TUZ_FG01	49	7	56
TUZ_FG02	41	8	49

Tabelul 21. Rezultate centralizate ale încercărilor PLT

Foraj	Tipul litologiei	Număr de probe (accept./neaccept.)	Coeficient de corecție mediu (total) pentru încercarea PLS $I_{s(50)}$	Media (totală) estimată UCS – S_c
			[MPa]	[MPa]
TUZ_FG01	Calcar bioclastic	18/2	0,83	21
	Calcar compact	7/1	1,09	26
	Calcar bioclastic compact	1/0	2,57	55
	Calcar argilos compact	0/1	–	–
	Calcar oolitic	11/1	0,80	19
	Breccie calcaroasă	1/0	0,41	11
	Argilă roșie cimentată	1/0	0,15	6
TUZ_FG02	Calcar bioclastic	17/3	0,91	22
	Calcar compact	7/2	1,08	25
	Calcar bioclastic compact	2/0	1,50	33
	Calcar agilos compact	0/3	–	–
	Calcar oolitic	10/0	0,78	19

5.4 Cercetare geofizică

Ceea ce urmează este un extras din Raportul ROND-GM-GRSIT-25-0013: Cercetare a rezistivității electrice pe țărm (onshore). Rezultatele studiului de rezistivitate electrică pentru amplasamentul Tuzla sunt incluse în Anexa F.

5.4.1 Istoric și scop

Scopul studiului a fost de a efectua măsurători de rezistivitate electrică pentru a obține caracterizarea geofizică a celor două amplasamente de traversare a țărmului și pentru a identifica caracteristicile subterane (de ex. zone carstice, fracturi în calcar) până la 60 m sub nivelul terenului, pe baza rezistivității caracteristice a zonei.

Cercetarea a fost realizată cu ajutorul unui MiniStingR1IP și al unui rezistivimetru SuperSting. Următoarele profile de rezistivitate electrică (Figura 41) au fost obținute pentru zona studiată. Dispunerea matricei de rezistivitate electrică pentru fiecare profil este prezentată în Figura 42.

5.4.2 Procesarea datelor și interpretare

Din măsurătorile de teren, se obțin o serie de valori ale tensiunii (ΔV) în unități de măsură μV . Pentru interpretare, se utilizează valoarea rezistivității aparente (în $\Omega.m$), care se obține din măsurătorile de teren, folosind următoarea formula:

$$\rho_a = K \Delta V / I \quad (1),$$

unde I este intensitatea curentului transmis terenului și factorul K (factor geometric) este obținut pe baza distanței dintre electrozii dispozitivului:

$$K = 2\pi / (1/AM - 1/AN - 1/BM + 1/BN) \quad (2)$$

Neptun Deep Project	Raport de date geotehnice pe țărm (onshore) și în apropierea țărmului (nearshore)	Rev 0
	ROND-EW-YRRPT-24-0008	Page 49 of 120

Achiziția datelor pe teren și prelucrarea datelor se realizează cu ajutorul unui software specific (Earthlimer 1D Software). Toate valorile de rezistivitate pentru fiecare VES (Vertical Electrical Sounding), vor fi atașate în format digital pe DVD.

Pentru fiecare VES se execută o modelare 2D și se convertește adâncimea din AB/2 în adâncime reală. Rezultatele sunt prezentate sub formă de secțiune de rezistivitate electrică pentru fiecare profil, cu distribuția rezistivității aparente în adâncime și la suprafață.

Din punct de vedere geofizic, zona studiată prezintă o rezistivitate cuprinsă între 9 și 889 Ω m.

După modelarea matematică, interpretarea datelor și corelarea cu aflorimentele de stâncă și datele din foraj, putem spune că amplasamentul Tuzla este compus din următoarea succesiune stratigrafică:

- La suprafață un strat subțire de pământ
- Al doilea strat (~0-15m MD), cu rezistivitate care variază de la 9 la 20 Ω m, este loess
- Al treilea strat (~15-40m MD), cu rezistivitate care variază de la 40 până la 300 Ω m, este calcar, care găzduiește un strat freatic acvifer.
- Al patrulea strat (~40-60m MD) prezintă valori mai mari ale rezistivității cuprinse între 250 – 600 Ω m și este interpretat ca fiind un calcar omogen recristalizat mai compact.
- Al cincilea strat (> 60 m MD) are o rezistivitate mai mică, cu valori cuprinse între 50 – 160 Ω m, similar cu cele pentru cel de-al treilea strat. Rezistivitatea determinată este influențată de compoziția diferită a calcarului și de prezența apei. Această litologie nu este vizibilă în aflorimentele de stâncă și nu a fost penetrată de forajele executate pe amplasament.

În urma recomandărilor EMDC, au fost efectuate 2 încercări de teren pentru profilul 5 din amplasamentul Tuzla:

- Încercarea 1 – distanță MN = 1m, pași AB = 2m, lungimea totală AB = 150m (AB/2 = 75m)
- Încercarea 2 – distanță MN = 2m, pași AB = 5m, lungimea AB = până la 50m (AB/2 = 25m), se oprește și se trece la distanța MN = 4m, pași AB = 5m, lungimea AB = 40m până la 110m (AB/2 = 20m până la 55m), se oprește și se trece la distanța MN = 10m, lungimea AB = 100m până la 250m (AB/2 = 50m până la 125m)

Rezultatele din profilul 5, VES 4 sunt prezentate în Figura 43.

Încercarea 1 (AB/2 pas de 2m): Această încercare a fost efectuată pentru a determina dacă se poate obține o rezoluție mai bună decât cea obținută cu ajutorul configurației inițiale (AB/2 pas de 5m). Rezultatele indică faptul că pasul de 2 m crește rezoluția [Figura 43(b)], dar în cazul nostru nu contează prea mult și face ca timpul de achiziție să crească de 3 ori.

Încercarea 2 (MN variabil): Comparând rezultatele celor 2 metode de achiziție a datelor, cu MN=1m, pași AB = 5m, AB total = 150 (AB/2 = 75m), incluse în planul de lucrări inițial, putem observa cu ușurință că măsurarea cu MN variabil, chiar dacă rezistivitatea este în același interval ca și restul, nu poate fi utilizată în modelare din cauza razei mici de curbură a curbei și, de asemenea, din cauza reducerii valorii la sfârșitul măsurătorii din cauza pasului mare pentru MN (10m) care poate acoperi o anumită inflexiune a curbei [Figura 43(c)].

Pe baza rezultatelor obținute, se recomandă păstrarea aranjamentului inițial cu pasul AB/2 de 5m și MN=1.

Neptun Deep Project	Raport de date geotehnice pe țărm (onshore) și în apropierea țărmului (nearshore)	Rev 0
	ROND-EW-YRRPT-24-0008	Page 50 of 120

5.5 Apa subterană

Ceea ce urmează este un extras din Raportul ROND-FU-GRIST-25-0017-001: Raport final privind investigația geotehnică pentru amplasamentele 23 August și Tuzla, Volumul I.

5.5.1 Introducere

Golder Associates (Ungaria), în calitate de subcontractant al S.C. Geo Search S.R.L., a fost responsabilă cu proiectarea și implementarea încercărilor in-situ de conductivitate hidrolică (packer test). Scopul încercării a fost de a determina conductivitatea hidrolică a formațiunilor de rocă investigate.

Acest capitol se concentrează pe sintetizarea procedurilor de testare și a condițiilor determinate ale apei subterane. Raportul original elaborat de Golder Associates este atașat ca Anexa 6.

Programul de încercări planificat inițial - 2-3 încercări hidrolice pe foraj - nu a putut fi realizat. Din cauza carotelor foarte fragmentate și a recuperărilor reduse a carotelor de rocă, a putut fi efectuată doar o singură încercare concludentă per foraj.

5.5.2 Metode și echipament

Toate încercările au fost efectuate în gaura de foraj, în secțiuni specifice, în afara învelișului de protecție. Înainte de fiecare încercare, găurile de foraj au fost spălate și curățate de resturile rezultate în timpul procesului de forare. Pentru cele 2 foraje au fost efectuate încercări de injecție cu viteză constantă (RI). În timpul încercărilor cu viteză constantă au fost urmărite și fazele de recuperare (RIR). Încercările au durat între 3-4 ore.

5.5.3 Analiză și Software

Transmisivitatea a fost determinată prin modelare indirectă pe baza variațiilor de presiune măsurate în timpul încercării. Această problemă poate fi rezolvată în mod indirect. S-a investigat ce reacție poate fi indusă de efectul dat în cazul unor modele de curgere (idealizate). S-a selectat modelul idealizat care se corelează cel mai bine cu rezultatele măsurate și se determină parametrii hidrodinamici ai rocii pe baza parametrilor acestui model idealizat.

Selectarea modelului se realizează, în general, prin ajustarea datelor măsurate la curbele standard. Pentru generarea curbelor standard ale modelelor de curgere cu diferiți parametri hidrodinamici și pentru obținerea celei mai optime, sunt disponibile programe informatice moderne [14].

Rezultatele încercărilor hidrolice au fost evaluate prin utilizarea unei metode uniforme care constă în următoarele etape:

- Au fost determinați parametrii inițiali ai evaluării;
- Au fost identificate debitele pentru fiecare fază de încercare în parte;
- Pe baza caracteristicilor curbelor obținute pentru fazele individuale, au fost selectate modelele de curgere adecvate;
- Utilizând modelele selectate, au fost evaluate fazele individuale de încercare și au fost determinați parametrii hidrodinamici ai acestora;

Neptun Deep Project	Raport de date geotehnice pe țărm (onshore) și în apropierea țărmului (nearshore)	Rev 0
	ROND-EW-YRRPT-24-0008	Page 51 of 120

- În cazul în care a fost necesar, valorile parametrilor hidrodinamici au fost ajustate cu precizie prin iterație între fazele individuale.

Cei mai importanți parametri inițiali sunt următorii:

- Dimensiunea nominală a găurii de foraj pentru fiecare interval de încercare ($r_w = 0,060$ m);
- Raza măsurată a corzii de testare în cazul încercărilor de absorbție ($r_t = 0,025$ m);
- Compresibilitatea totală calculată pe baza variației inițiale a înălțimii în cazul încercărilor cu impulsuri (c_t în general 2×10^{-9} 1/Pa);
- Debitul măsurat în cazul retragerii la debit constant (q , l/min);
- Debitul mediu și durata retragerii anterioare sau a fazei anterioare de încercare de absorbție în cazul fazelor de recuperare a tensiunii;
- Modificarea presiunii în cazul fazelor de injecție la presiune constantă (dp , kPa);
- Debitul mediu și durata fazei anterioare de injecție sau de retragere la debit constant sau la presiune constantă în cazul fazelor de scădere a presiunii după injecție (q , l/min) și (t , h);
- Densitatea apei din pori, care a fost întotdeauna considerată a fi $\rho = 1000$ kg/m³.

Pentru analiză a fost utilizat software-ul HydroBench Versiunea 3.7.1. HydroBench este un program de analiză numerică dezvoltat de Golder Associates pentru a analiza datele provenite din încercările din puțurile de testare efectuate în sisteme hidrogeologice complexe și în condiții non-ideale, adică date care nu pot fi analizate prin metode analitice convenționale.

5.5.4 Rezultate

În timpul etapei de planificare a încercărilor s-a încercat obținerea intervalelor de încercare similare (aproximativ 15 m - Tabelul 22). După evaluarea datelor, rezultatele încercărilor se corelează bine în cadrul fiecărui amplasament testat (Tabelul 22). Conductivitatea hidraulică pentru amplasamentul Tuzla este cu două (2) ordine de mărime mai mică (10^{-4} cm/s) decât în cazul amplasamentului 23 August, pentru care este foarte ridicată. Există o bună corelație între forajele din același amplasament.

Tabelul 22. Rezultatele încercărilor hidraulice

Foraj	Numele încercării	Parte superioară interval de testare	Parte inferioară interval de testare	Transmisivitate [m ² /s]	Conductivitate hidraulică [cm/s]
TUZ_FG01	FG01T_t1	24,90	40,00	$8,7 \times 10^{-5}$	$5,8 \times 10^{-4}$
TUZ_FG02	FG02T_t1	35,50	50,00	$8,6 \times 10^{-5}$	$5,9 \times 10^{-4}$

Presiunile de apă calculate după etapele RIR arată niveluri ale apelor subterane ușor peste nivelul de referință al Mării Negre (Tabelul 23). Presiunea maximă a fost măsurată în forajul TUZ_FG02, unde există o înălțime a coloanei de apă de 1,14 m deasupra nivelului Mării Negre.

Neptun Deep Project	Raport de date geotehnice pe țărm (onshore) și în apropierea țărmului (nearshore)	Rev 0
	ROND-EW-YRRPT-24-0008	Page 52 of 120

Tabelul 23. Înălțimi calculate ale coloanei de apă

Foraj	Adâncime a forajului [m]	Intervalul de adâncime a manometrului [m]	Presiune a statică (RIR) [kPa]	Densitatea [kg/dm ³]	Nivelul apei [m]	Înălțimea coloanei de apă [m]
TUZ_FG01	19,2	25,39	167,7	1,00	18,49	0,71
TUZ_FG02	16,93	35,99	298,1	1,00	15,79	1,14

Neptun Deep Project	Raport de date geotehnice pe țărm (onshore) și în apropierea țărmului (nearshore)	Rev 0
	ROND-EW-YRRPT-24-0008	Page 53 of 120

Condiții geotehnice în apropierea țărmului (nearshore)

6.1 Fișele de foraj și descrierea stratificației

Ceea ce urmează este un extras din Raportul N162004-DATR(02): Raport de date privind investigarea Neptun Deep în apropierea țărmului (nearshore). Fișele de foraj pentru amplasamentul Tuzla/Route 9 sunt incluse în Anexa C.

Descrierile straturilor prezentate în fișele forajului, cu excepția cazului în care se menționează altfel, sunt întocmite pe baza examinării probelor "tulburate", a probelor "netulburate" și a carotelor, împreună cu rezultatele încercărilor de teren. În cazul în care există un grad de incertitudine cu privire la caracterul pământului sau al rocilor, au fost utilizați termenii "probabil" sau "posibil", iar descrierile trebuie tratate cu prudență.

Consistența straturilor coezive se bazează doar pe evaluarea vizuală; identificarea și descrierea consistenței sunt descrise în Notele privind Fișele de înregistrare a modului de execuție a forajului întocmite in-situ.

Recuperarea Carotei Solide (Solid Core Recovery - SCR) și Denumirea Calității Rocilor (Rock Quality Designation -RQD) au fost determinate folosind normele modificate, conform Norbury et al. (1986): un "cilindru solid" ar trebui definit ca având un diametru complet (dar nu neapărat o circumferință completă) fără discontinuități și ar trebui măsurat axial de-a lungul carotei. În mai multe cazuri, geologul care efectuează exploatarea a apreciat că unele din carotele recuperate proveneau din faza anterioară de carotare a rocii. În aceste cazuri, Recuperarea Totală a Carotei (Total Core Recovery - TCR), SCR și RQD au fost determinate presupunând că această carotă a fost recuperată din carotarea anterioară, iar detaliile sunt prezentate în secțiunea "Observații" a datelor forajului. Descrierea rocilor se bazează pe BS EN ISO 14689-1 (2003).

6.2 Condiții de teren întâlnite

Ceea ce urmează este un extras din Raportul N162004-DATR(02): Raport de date privind investigarea Neptun Deep în apropierea țărmului (nearshore). Fișele de foraj pentru amplasamentul Tuzla/Route 9 sunt incluse în Anexa C.

Forajele au întâlnit următoarea succesiune de straturi care au fost interpretate în urma unei revizuirii limitate a geologiei regionale și a rapoartelor de studiu disponibile furnizate de Client:

- Nisip marin
- Pietriș
- Calcar din Sarmațianul mijlociu (Carstic)
- Calcar din Sarmațianul mijlociu (Intact)

- Nisip verde din Sarmațianul mijlociu
- Un posibil calcar Lutețian
- Un posibil nisip verde din Ypresian
- Cretă albă Senoniană

Tabelul 24. Sinteza distribuției stratificației terenului

Denumirea forajului	Adâncimea bazei stratului (m bsl) [m aMSL]							
	Nisip marin	Pietriș	Calcar din Sarmațianul mijlociu (Carstic)	Calcar din Sarmațianul mijlociu (Intact)	Nisip verde din Sarmațianul mijlociu	Calcar Lutețian*	Nisip ⁺	Cretă albă Senoniană
R09-1	0,04 [-13,14]	2,00 [-15,10]	40,00 [-53,10]	>61,10 [<-74,20]	-	-	-	-
R09-2	1,15 [-12,85]	-	38,60 [-50,30]	>53,60 [<-65,30]	-	-	-	-
R09-3	-	0,45** [-11,25]	35,00 [-45,80]	>55,40# [<-66,20]	-	-	-	-
R09-4	-	0,10 [-2,70]	34,5 [-37,10]	53,90 [-56,90]	56,95 [-59,55]	59,24 [-61,84]	65,00 [-67,60]	>66,50 [<-69,10]
R09-C	-	0,00 [-7,10]	32,03 [-39,13]	55,73 [-62,83]	>58,80 [<-65,90]	-	-	-

Note:

Adâncimea bazei stratului este exprimată în metri sub fundul mării (m bsl) și în metri deasupra nivelului mediu al mării [m aMSL].

* Alternativ, poate fi vorba de depozite de tranziție la baza Sarmațianului mijlociu.

+ Recuperat ca ARGILĂ cu foarte mult pietriș.

Este sugerat că granule glauconitice de la baza calcarului fac trecerea la Nisipul Verde.

6.2.1 Nisip marin

Acest depozit cuprinde în mod obișnuit nisipuri ușor argiloase fine și mari cu pietriș, cu rare până la frecvente cochilii și fragmente de cochilii și ocazional pietriș cu muchii ascuțite fin și mijlociu de silix și calcar.

Neptun Deep Project	Raport de date geotehnice pe țărm (onshore) și în apropierea țărmului (nearshore)	Rev 0
	ROND-EW-YRRPT-24-0008	Page 55 of 120

Acest depozit este un strat acoperitor subțire, de obicei cu o grosime de aproximativ 0,10 m, pe o mare parte a amplasamentului și este considerat a fi un depozit de nisip marin modern (Holocen).

6.2.2 Pietriș

Acest depozit cuprinde PIETRIȘ nisipos spre foarte nisipos, în stare medie de îndesare spre foarte îndesat, local nisip cu pietriș. Depozitul conține frecvent scoici și fragmente de scoici. Fragmentele de mărimea pietrișului sunt de obicei din calcar.

Unitatea de Pietriș este întâlnită într-un număr de foraje și este parțial diferită de calcarul deformat recuperat sub formă de pietriș sau de alte pământuri reziduale, acolo unde sunt prezente, în principal pe baza descrierii că depozitul conține scoici (și, prin urmare, se presupune că este un depozit fluvial de vârstă Cuaternară/posibil chiar un paleo-depoziț, plajă anterioară). Alternativ, se consideră că este posibil ca toate pietrișurile întâlnite să fie de fapt un pământ rezidual/prelucrat de calcar, "scoicile" putând proveni din calcarul puternic fosilizat. Se remarcă faptul că pietrișurile au muchii ascuțite, indicând un transport fluvial/de către valuri limitat. Pentru a determina dacă aceste depozite sunt depozite fluviale cuaternare sau depozite provenite din plaje anterioare, ar fi necesară o analiză mai aprofundată a datelor geofizice și a geomorfologiei fundului mării indicate de datele batimetrice.

Într-un foraj (R09-3), în locul pietrișurilor a fost recoltată o ARGILĂ foarte tare, de culoare alb-crem, maronie-pestriță, cu puțin sau foarte mult pietriș. Fragmentele de mărimea pietrișului din acest depozit erau de calcar și chert, indicând probabil că acesta nu este un produs al intemperierii; cu toate că un pământ rezidual similar a fost prezent dedesubt, conținând urme din roca mamă de calcar. Se consideră că acesta poate fi un depozit paleo-aluvial de vârstă comparabilă cu pietrișurile, dacă se poate demonstra că pietrișurile sunt un depozit fluvial/marin.

6.2.3 Calcar mijlociu Sarmațian (Carstic)

Acest strat cuprinde CALCAR cenușiu deschis și alb-crem, puternic fracturat, local calcar fosilizat spre calcar puternic fosilizat. Stratul are o rezistență variabilă, variind de la extrem de slabă la mediu rezistentă, deși în mod obișnuit este foarte slabă până la slabă, datorită gradului diferit de alterare. Local este puternic colorată în galben spre portocaliu la partea superioară în zona de 5-10 m a stratului. Pe toată adâncimea sa sunt prezente orizonturi de calcar deformat sau cu o alterare distinctă. În partea superioară de 0,50 m a stratului, calcarul a fost degradat local până la un pământ rezidual care conține urme din roca mamă de calcar.

Calcarul este probabil de vârstă Sarmațiană mijlocie (Epoca Miocenă), pe baza descrierii sale, a naturii carstice și a corelației stratigrafice cu depozitele din adâncime, comparativ cu secvența stratigrafică anticipată pentru zona locală, furnizată de către Client din studiul de birou.

Fotografiile selectate ale carotei din calcarul Sarmațian mijlocie (carstic) sunt prezentate în Figura 44, Figura 45, Figura 46, Figura 47 și Figura 48.

Materialul puternic alterat, care se prezintă ca fiind local deformat până la foarte alterat, are în mod obișnuit o rezistență foarte slabă sau slabă. Materialul parțial alterat sau nealterat de sub

Neptun Deep Project	Raport de date geotehnice pe țărm (onshore) și în apropierea țărmului (nearshore)	Rev 0
	ROND-EW-YRRPT-24-0008	Page 56 of 120

această zonă are de obicei o rezistență medie, local foarte mica. Zonele extinse de alterare coincid cu zonele puternic fracturate. În zonele mai puțin alterate sunt frecvente geodele sau cavitățile mai mari, umplute local cu argile și nisip. Cavitățile umplute (cu caracteristici de dizolvare) pot avea un diametru mai mare de un metru (1,0 m).

Calcarul Sarmațian mijlociu (carstic) include straturi rare cu grosimea mai mare de doi metri (2 m) de gresie calcaroasă alb-cenușie și gresie noroioasă ușor calcaroasă verde-oliv foarte slabă (marnă). Acestea nu par a fi continua lateral între pozițiile găurilor de foraj.

Secvența stratigrafică locală, bazată pe un studiu de birou și prezentată de către Client în urma planului inițial al acestui raport, identifică posibile depozite de vârstă Sarmațiană superioară (Miocen) deasupra calcarului descris mai sus. Această unitate de vârstă Sarmațiană superioară este descrisă de către Client ca incluzând straturi de gresie calcaroasă, calcare "tari" (considerate a avea rezistență mare sau foarte mare) și marne cenușii. Straturile au o grosime de 1-4 m. Această vârstă a epocii superioare a Sarmațianului nu este identificată în amplasamentul din apropierea țărmului (nearshore), dar este posibil să fie mascată de gradul ridicat de alterare din partea superioară a stratului de calcar din Sarmațianul mijlociu.

Toate cele cinci (5) foraje au identificat între 40 și 50 de metri de calcar carstic. Calcarul carstic a fost caracterizat ca fiind de obicei foarte slab până la slab, parțial până la distinct alterat, local deformat, puternic până la ușor fracturat, cu fracturi parțial deschise până la fracturi moderat de largi, de la suborizontale până la verticale. Unele fracturi și cavități au fost umplute cu argilă sau nisip. S-au întâlnit frecvent zone de rocă neintactă, iar carota recoltată a constatat din particule de pietriș până la pietricele într-o matrice argiloasă la diferite adâncimi. În timpul carotajului s-au înregistrat valori scăzute de recuperare a carotei și RQD din cauza pierderilor de carote cauzate de roca puternic fracturată/deformată și a dizolvării cavităților și a geodelor.

La diferite adâncimi în toată unitatea de calcar carstic au fost observate frecvent pierderi semnificative de carote, cu o grosime cuprinsă între 0,05 și 1,0 metri. Deși sunt disponibile descrieri limitate ale rocilor pentru investigația în apropierea țărmului (nearshore), ar trebui să se presupună că există condiții similare de rocă pe toată lungimea traversării, atât în apropierea țărmului (nearshore), cât și pe țărm (onshore).

6.2.4 Caracteristicile de dizolvare și gradul de alterare pentru straturile de calcar

Analiza descrierilor tehnice ale calcarului și a fotografiilor de carote indică faptul că calcarele superioare "carstice" (puternic erodate și cu structuri de dizolvare abundente) și cele inferioare "intacte" (intacte, cu mai puține sau fără structuri de dizolvare) pot fi găsite lateral pe amplasament, așa cum se arată în secțiunile transversale prezentate în [a se vedea raportul sursă]. Calcarele au probabil aceeași vârstă de Sarmațian mijlociu și s-au format într-o singură perioadă de depunere marină de mică adâncime.

Se postulează în mod provizoriu că straturile de calcare "carstice" și "intacte" din Sarmațianul mijlociu și proprietățile lor variabile pot fi rezultatul unor grade diferite de dizolvare datorate unui nivel variabil al apelor subterane în timpul Cuaternarului, în special în timpul evenimentelor ultimei glaciațiuni. Fluctuația globală a nivelului mării datorată glaciațiunii este bine documentată,

Neptun Deep Project	Raport de date geotehnice pe țărm (onshore) și în apropierea țărmului (nearshore)	Rev 0
	ROND-EW-YRRPT-24-0008	Page 57 of 120

nivelurile de 40 m sub nivelul actual fiind întâlnite în Marea Neagră în timpul glaciațiunii Weischseliene și probabil mai scăzute în timpul glaciațiunii Elsteriene timpurii.

Distribuția adâncimilor/nivelurilor unei zone extinse de alterare descrisă pentru stratul de mai sus a calcarului Sarmațian mijlociu (carstic) a fost estimată pe baza descrierilor din fișele de foraj a alterării din condiții de alterare/destructurare distincte și în cazul în care în acest material prezintă o frecvență ridicată de fracturare și decolorare. Evaluarea amplitudinii alterării poate fi subiectivă, iar nivelurile prezentate în Tabelul 25 de mai jos ar trebui să fie considerate doar estimări fără o cuantificare (măsurători de laborator ale densității aparente/rezistenței rocii etc.). Exemple de tranziție a gradelor de alterare în calcarul din Sarmațianul mijlociu (carstic) sunt prezentate în Figura 44 până la Figura 48, inclusiv.

Distribuirea adâncimii de alterare puternică a calcarului (carstic) arată o potențială tendință de la vest la est în nordul Route 9. Acolo unde este prezentă, schimbarea de nivel spre est poate fi, de asemenea, legată de fluctuația nivelului paleo-marin în timpul Cuaternarului, la fel ca în cazul caracteristicilor de dizolvare, deși este necesară o evaluare suplimentară pentru a confirma acest lucru.

Tabelul 25. Amplitudinea alterării în calcarul mijlociu Sarmațian (Carstic)

Denumirea forajului	Baza stratului de calcar distinct / destructurat	
	Adâncimea sub fundul mării (m bsl)	Adâncimea deasupra nivelului mediu al mării (m aMSL)
R09-1	30,70	-43,80
R09-2	29,60	-41,30
R09-3	30,80	-41,60
R09-4	33,05	-35,65
R09-C	20,30	-27,40
R11-2	37,10	-43,20
R11-4	41,70*	-45,90*
Note: Adâncimea la baza stratului este exprimată în metri sub fundul mării (m bsl) și metri deasupra nivelului mediu al mării [m aMSL].		
* La limită cu calcarul (inferior).		

6.2.5 Nisip verde din Sarmațianul mijlociu

Acest strat a fost întâlnit doar în forajul R09-4 de la -56,50 m la -59,55 m aMSL și în forajul R09-C de la -62,80 m la -65,9 m aMSL, stratul de nisip verde din Sarmațianul mijlociu cuprindea nisipuri fine și medii, de culoare verde și verde închis, ușor prăfoase și prăfoase, cu lentile frecvente de argilă verde. Depozitul este probabil asemănător cu un nisip glauconitic.

Neptun Deep Project	Raport de date geotehnice pe țărm (onshore) și în apropierea țărmului (nearshore)	Rev 0
	ROND-EW-YRRPT-24-0008	Page 58 of 120

Modelul stratigrafic al Clientului, bazat pe studiul de birou, indică un orizont inferior al depozitelor din Sarmațianul mijlociu care se găsesc în interiorul uscatului și care este descris ca fiind stratul de "Argilă verde", compus din argile cenușii și galbene cu lentile nisipoase care pot înlocui complet argila. Denumirea descriptivă a argilei ar sugera prezența glauconitului, ceea ce indică depunerea în ape mai adânci cu aflux de materiale organice de pe platformă înainte de adâncimea ulterioară și formarea calcarelor Sarmațiene. În largul coastei actuale și în direcția bazinului de depunere și presupunând adâncimi mai mari ale apei în momentul depunerii, ne-am putea aștepta ca componenta glauconitică a depozitului să crească față de cea descrisă pe țărm (onshore). Se propune ca "Nisipul verde" glauconitic întâlnit sub calcarul Sarmațian mijlociu pentru amplasamentul în apropierea țărmului (nearshore) să fie probabil echivalent cu stratul de Argilă verde Sarmațiană și să fie cel mai bine descris ca "Nisip verde Sarmațian".

Un exemplu de Nisip Verde Sarmațian recoltat este prezentat în Figura 52.

Ar fi necesară revizuirea și încorporarea setului de date geofizice și geologice disponibile pentru a confirma acest zăcământ în coloana stratigrafică, întinderea laterală și semnificația pentru proiect.

6.2.6 Calcar mijlociu Sarmațian (Intact)

Acest strat este în mod obișnuit un CALCAR de culoare alb-crem, local fosilizat de la fragmente fine la fragmente grosiere. O oarecare alterare parțială este prezentă întotdeauna în întreaga structură și ocazional, aceasta poate fi descrisă local ca fiind alcătuită din zone subțiri și izolate de alterare distinctă. TCR și RQD sunt semnificativ mai mari decât ale calcarului de deasupra și, de obicei, fracturile sunt mai curate, cu mai puține semne de alterare.

Calcarul are probabil aceeași vîrstă ca cel din Sarmațianul mijlociu (epoca Miocenă) ca și stratul de deasupra. Calcarul de Sarmațian mijlociu (intact) este separat de varianta "carstică" doar pe baza gradului de dizolvare și a gradului general de alterare, așa cum este descris mai jos.

Exemple de calcar din Sarmațianul mijlociu (Intact) sunt prezentate în Figura 49, Figura 50 și Figura 51.

În forajul (R09-C) a fost întâlnit un strat gros de 1,50 m de gresie calcaroasă de culoare alb-cenușie în interiorul stratului de calcar; se crede că acesta nu se extinde în lateral și nu a fost interceptat în celelalte foraje la adâncimi similare.

Au fost descrise rare geode, dar acestea sunt absente în o mare parte în carotele recoltate din acest strat (motivul pentru care acest calcar Sarmațian este diferit de calcarul Sarmațian descris anterior); acolo unde sunt prezente, aceste "geode" sunt adesea umplute cu argile gri-verzui;

Neptun Deep Project	Raport de date geotehnice pe țărm (onshore) și în apropierea țărmului (nearshore)	Rev 0
	ROND-EW-YRRPT-24-0008	Page 59 of 120

acestea pot fi de fapt colorații care rezultă din încorporarea materialului glauconitic existent în sediment înainte de diagenеза sa în calcar, mai degrabă decât caracteristici de dizolvare. În alte locuri, calcarul este întâlnit cu o culoare alb-verzuie cu pete frecvente ceea ce reprezintă probabil granule glauconitice; o astfel de culoare pare să se intensifice odată cu adâncimea până la contactul cu Nisipul Verde Sarmațian în acele foraje care au întâlnit acest depozit (a se vedea Figura 50 și Figura 51). Unele fracturi au fost, de asemenea, umplute cu o argilă verzuie, similară cu cea întâlnită în geode.

6.2.7 Calcar Lutețian

În forajul R09-4 a fost identificat un strat de calcar cu rezistență medie, cu o grosime de peste 3 m, sub inițialul strat de Nisip Verde Sarmațian. Acest calcar alb-gălbui, cu rezistență medie, era de culoare gri și verde închis, cu goluri frecvente umplute cu argilă verde închis. Referindu-se la cadrul stratigrafic local prezentat în studiul de birou al Clienților, sub depozitele Sarmațiene a fost identificat un depozit Lutețian (Eocen) de calcare prăfoase cu concrețiuni de siliciu. Se sugerează, cu titlu provizoriu, că acest depozit de calcar ar putea fi de vârstă Eocenă și este cel mai bine descris ca fiind Calcar Lutețian. Există, de asemenea, posibilitatea ca acest depozit să nu fie de vârstă Lutețiană și să reprezinte doar o fază de tranziție între depunerea în ape de mică și mare adâncime în timpul Sarmațianului timpuriu și mijlociu (Miocen) și poate fi încadrat în grupa calcarelor/nisipului verde de mai sus.

Extinderea depozitului nu poate fi determinată, deoarece a fost întâlnit doar la baza unei găuri de foraj. Pentru a confirma poziția stratigrafică și semnificația acestui zăcământ, precum și întinderea sa laterală, va fi necesară integrarea seturilor de date de foraj, de studiu de birou și de geofizică într-un model observațional al terenului.

6.2.8 Nisip Ypresian

Numai în forajul R09-4, a fost întâlnit, sub calcarul Lutețian, un strat de nisip ușor prăfos fin și mijlociu între cotele de -61,84m și -67,60m a MSL. Recuperarea din depozit este foarte slabă, materialul direct de sub calcar fiind descris ca având culoare verde închis (probabil glauconitic), în timp ce nisipul recoltat din mijlocul stratului este de culoare gri închis. Adâncimea limitei inferioare cu creta subiacentă ar trebui tratată cu prudență. Modelul stratigrafic actual al Clientului pentru această regiune (onshore) identifică un depozit de vârstă Ypresiană (Eocen) sub calcarul Lutețian, descris ca fiind alcătuit din nisipuri cuarțoase cu intercalații de gresii calcaroase. Nisipurile de culoare gri închis întâlnite sunt corelate cu astfel de depozite și li se atribuie o vârstă Ypresiană. Depozitul este denumit "Nisip Ypresian" pentru a reflecta absența gresiei cimentate.

Din cauza recoltării slabe din strat, în acest moment se prezintă o interpretare provizorie și o corelație regională. Întinderea depozitului nu poate fi determinată, deoarece stratul a fost întâlnit doar la baza unui singur foraj. Pentru a confirma poziția stratigrafică și semnificația acestui zăcământ, precum și întinderea sa laterală, va fi necesară integrarea seturilor de date de foraj, de studiu de birou și de geofizică într-un model observațional al terenului.

Neptun Deep Project	Raport de date geotehnice pe țărm (onshore) și în apropierea țărmului (nearshore)	Rev 0
	ROND-EW-YRRPT-24-0008	Page 60 of 120

6.2.9 Creta albă Senomiană

Creta albă Senomiană a fost întâlnită doar în forajul R09-4, acest strat fiind alcătuit dintr-o CRETĂ albă foarte slabă, cu densitate scăzută, local de culoare portocaliu deschis. Un exemplu de cretă recoltată este prezentat în Figura 53.

Se presupune că creta este Cretacică, dar prezența acesteia nu este observată în urma unei revizuirii a hărților geologice din regiune. Corelarea cu cadrul stratigrafic al studiului de birou al Clientului, bazat pe amplasamentele de pe țărm, sugerează că creta este de vârstă Senomiană (Cretacicul târziu) și ar putea avea o grosime mai mare de 300 m. Ar fi necesară revizuirea și încorporarea seturilor de date geofizice și geologice disponibile pentru a confirma acest zăcământ în coloana stratigrafică și pentru a-i defini extinderea laterală și în adâncime.

6.3 Rezultatele încercărilor geotehnice de laborator

Ceea ce urmează este un extras din Raportul N162004-DATR (02): Raport de date privind investigarea în apropierea țărmului (nearshore) Neptune Deep. Rezultatele încercărilor de laborator sunt incluse în Anexa E.

6.3.1 Introducere

Tipul și numărul de încercări geotehnice de laborator care au fost efectuate sunt sintetizate în Tabelul 26 de mai jos.

Tabelul 26. Sinteza încercărilor geotehnice de laborator

Descrierea încercării de laborator	Metoda încercării de laborator	Număr de încercări
Umiditate	BS 1377-2:1990 Clauza 3 BS EN ISO 7892:2014 ASTM D2216:2010	4
Limita superioară de plasticitate, limita inferioară de plasticitate (limitele Atterberg)	BS 1377-2:1990 Clauza 4 & 5 / BS EN ISO 17892:2014	4
Analiza granulometrică prin metoda cernerii umede	BS 1377-2:1990 Clauza 9,2 ASTM D6913 – 04-2009-e1	15
Sedimentare cu pipeta	BS 1377-2:1990 Clauza 9,4	7
Determinarea conținutului de carbonați	BS EN-196 Partea 2:2005	13
Analiza probelor de pământ prin difracție cu raze X	Proceduri Sandberg In House	13
Încercare de compresiune monoaxială	ISRM 2007 Partea 2 ASTM D7012 – 14 (2014) Metoda C	43
Determinarea deformației prin încercarea de compresiune monoaxială	ISRM 2007 Partea 2 ASTM D7012 – 14 (2014) Metoda D	29

Determinarea rezistenței prin încercări de încărcare punctiformă pe carotele de rocă	ISRM 2007 Partea 2 ASTM D5731 – 16 (2016)	115
Abraziunea Cerchar a rocilor	ISRM 2007- 2014 Partea 1 ASTM D7625 – 10 (2010)	43
Duritatea Mohs	Procedura In house bazată pe MNL46, Metode speciale pentru determinarea durității	42

6.3.2 Caracteristici de plasticitate

Au fost efectuate determinări ale limitei superioare și inferioare de plasticitate și ale umidității pe 4 probe de pământ pentru a determina caracteristicile de plasticitate ale materialelor. În 2 cazuri s-a constatat că probele nu sunt în stare plastică și nu s-a determinat limita superioară de plasticitate.

6.3.3 Analiza granulometrică

Au fost efectuate analize granulometrice pe un total de 15 probe pentru a clasifica materialele în funcție de dimensiunea particulelor. Opt analize granulometrice au fost efectuate numai prin metoda cernerii, iar 7 prin metoda combinată de cernere și sedimentare. În zece probe, proporția de fragmente de mărimea pietrișului a fost de așa natură astfel încât nu a existat suficient material pentru a respecta cerințele BS1377. Rezultatele acestor încercări trebuie tratate cu prudență. Rezultatele sunt prezentate sub formă de curbe de distribuție granulometrică a dimensiunilor particulelor.

6.3.4 Indicele de încărcare punctiformă

Indicele de încărcare punctiformă folosind metoda ASTM a fost determinat pentru 115 probe de carote de rocă. Rezultatele sunt [incluse în Anexa E].

6.3.5 Încercări de compresiune monoaxială

A fost determinată rezistența la compresiune monoaxială (UCS) a 43 de probe de carote de rocă. Atunci când a fost posibil, încercările au fost efectuate pe probe cu un raport lungime/diametru de 2,5 la 1. În timpul a 8 încercări, deformația longitudinală și radială a fost măsurată cu ajutorul unor traductori pentru a permite determinarea modulului lui Young și a coeficientului lui Poisson. În alte 14 încercări, s-a măsurat numai deformația longitudinală cu ajutorul traductorilor.

Valoarea măsurată a valorii UCS (C_a) poate fi corectată pentru a lua în considerare variațiile raportului lungime/diametru al probelor încercate. Pentru a obține "UCS corectat" (C) conform ASTM a fost adoptată următoarea relație:

$$C = \frac{C_a}{0,875 + (0,25 \times \frac{D}{L})} \quad \text{Ec. 22.}$$

Unde C este rezistența la compresiune corectată

C_a este rezistența la compresiune măsurată

D este diametrul probei

Neptun Deep Project	Raport de date geotehnice pe țărm (onshore) și în apropierea țărmului (nearshore)	Rev 0
	ROND-EW-YRRPT-24-0008	Page 62 of 120

L este lungimea probei

6.3.6 Determinarea durității Mohs

Duritatea Moh a fost determinată pentru 42 de probe de rocă și rezultatele sunt [incluse în Anexa E].

6.3.7 Încercări Cerchar de abraziune

Abrazivitatea a 43 de probe de rocă a fost determinată cu ajutorul metodei Cerchar de abraziune de către Rock Engineering Services Limited. Raportul lor privind rezultatele încercărilor este [inclus în Anexa E].

6.3.8 Analize de difracție folosind radiațiile X

Sandberg Consultants a analizat 13 probe de pământ folosind metode de difracție cu raze X, iar concluziile lor sunt prezentate în raportul lor cu nr. de referință 58699/K, care este [inclus în Anexa E].

6.3.9 Determinări ale conținutului de carbonat de calciu

Conținutul de carbonat de calciu din 13 probe a fost determinat de Sandberg Consultants, iar rezultatele lor sunt prezentate în raportul lor cu nr. de referință 58699/K-C, care este [inclus în Anexa E].

6.4 Cercetare geofizică

Ceea ce urmează este un extras din Raportul ROND-FU-GRIST-24-0001: Raport de prospectare geofizică în apropierea țărmului (nearshore) Blocul Neptun. Rezultatele studiului geofizic pentru amplasamentul Tuzla/Ruta 9 sunt incluse în Anexa F.

6.4.1 Caracteristici, hazarde și limitări ale fundului mării

6.4.1.1 Generalități

În această secțiune sunt analizate principalele hazarde și limitări identificate pe fundul mării, pe baza interpretării datelor MBES, SSS și MAG. Datele MBES au fost utilizate pentru a identifica principalele caracteristici ale fundului mării, în timp ce datele SSS au fost utilizate pentru a identifica natura sedimentelor de suprafață și, împreună cu datele MAG, pentru a identifica posibile obiecte feromagnetice. Figura 54 prezintă o hartă de ansamblu a zonei de studiu Route 9 și pozițiile caracteristicilor semnificative sunt prezentate în Secțiunea 6.4.

6.4.1.2 Batimetrie

Toate adâncimile apei sunt corectate la MSL. Monitorizarea în timp real a nivelului mării a permis aplicarea reducerii corecte a mareelor (FOSPA, 2014).

Adâncimea apei în zona de studiu a Route 9 (Tabelul 27) variază de la un minim de 3,8 m în partea de vest a zonei studiate la un maxim de 17,7 m în nord-estul zonei studiate. Extinderea estică a zonei studiate este determinate pescajul vasului de pe care s-au făcut măsurătorile.

Tabelul 27. Tabel privind panta fundului mării și adâncimea apei de-a lungul Route 9

Repere geodezice: WG S84 TM 30NE			
Caracteristică	Măsurare	Poziție	
Adâncimea minimă a apei	3,8 m	392 662,8 m E	4 869 603,7 m N
Adâncimea maximă a apei	17,7 m	394 104,0 m E	4 869 737,8 m N
Panta maximă	38,5°	În aflorimentul rocii	

6.4.1.3 Pantele fundului mării

Pantele medii în zonele de afloriment de rocă sunt cuprinse între 1,3° și 11,0°, cu valoare maximă de până la 38,5°. Au fost excluse pantele mai mari asociate cu epava.

O zonă a fundului mării din nord-estul zonei studiate prezintă o textură mult mai netedă, cu pante <1°. Sunt observate două denivelări cu pante de până la 20,7°.

6.4.1.4 Topografia fundului mării

La nord de linia mediană a Route 9, există o zonă a fundului mării netedă, cu o pantă <1°, înconjurată de aflorimente de rocă. Aceasta se întinde spre vest de la marginea estică a zonei studiate până la KP 155,400. Limita dintre cele două tipuri principale de fund de mare conține pete izolate de aflorimente, intercalate cu zone de fund de mare neted, zone de afundare și zone de undulații (Figura 55). Traseul trece prin această zonă de tranziție de la marginea estică a zonei studiate până la KP 155,700. Fundul mării de la KP 155,700 până la marginea vestică a zonei studiate este format din aflorimente de rocă.

La baza aflorimentului de rocă se află straturi erodate umplute cu dune de nisip pe fund. În centrul zonei studiate, de la KP 155,500 la KP 155,700, există o zonă de cratere cu stânci abrupte, cu diametre măsurate de până la 7,4 m. Multe dintre aceste cratere au legături între ele, discutate în continuare în Secțiunea 6.4.1.7 (Depresiuni).

În partea de est a zonei studiate se observă o denivelare care se întinde pe 462 m în direcția nord-vest-sud-est, de la PK 154,784 la PK 155,254. În punctul cel mai apropiat, aceasta se află la 67 m nord de traseu, la KP 154,784. Denivelarea are pante de până la 11,9° și o diferență de nivel pe verticală de 0,5 m. Este mărginită la partea de nord-est de o zonă de dună de nisip pe fundul mării (Figura 55). O a doua denivelare este vizibilă în nordul zonei studiate, în interiorul aflorimentului de rocă. Aceasta este aproximativ paralelă cu traseul dintre KP 155,403 și KP 155,962. În punctul cel mai apropiat, aceasta se află la aproximativ 828 m la nord de traseu. Denivelarea are pante de până la aproximativ 7,1° și o diferență de nivel pe verticală de aproximativ 1,6 m (Figura 56).

6.4.1.5 Caracteristicile fundului mării

Caracteristicile fundului mării au fost interpretate cu ajutorul datelor MBES, SSS, CHIRP și MAG și sunt prezentate pe harta Caracteristicile fundului mării, hazardele și limitări ale fundului mării [a se vedea Anexa F].

O potențială obstrucție, interpretată ca fiind o epavă, este observată la 393 255 m E, 4 869 200 m N, așa cum se arată în Figura 57 și Figura 58. Epava și resturile asociate acoperă o suprafață de 149,7 m pe 73,0 m, iar epava are o înălțime maximă de 4,8 m. O anomalie magnetică mare de 12614 nT confirmă prezența materialului feromagnetic în această zonă.

Din cauza naturii aflorimentului de rocă, s-a dovedit dificil de identificat elementele discrete, altele decât epava și câmpul de resturi asociat, în aceste zone. Datele MAG au reușit să evidențieze câteva obiecte posibile; cu toate acestea, a fost dificil să se lege anomaliile cu datele SSS și MBES (Figura 60 și Figura 61).

6.4.1.6 Puncte de contact

În total, au fost identificate 24 de puncte de contact în zona studiată a Route 9. Două dintre aceste contacte sunt fragmente de rocă (Tabelul 28) care se încadrează în zona de resturilor epavei, așa cum se vede pe harta Caracteristicile fundului mării, hazardele și limitări ale fundului mării [a se vedea Anexa F]. Fragmentele de rocă de la KP 155,345 prezintă o anomalie magnetică puternică de 969,1 nT. Fragmentele de la KP 155,318 se încadrează în anomalia magnetică a epavei și a câmpului de resturi; nu se poate distinge o anomalie magnetică distinctă. Anomalia magnetică a epavei și a câmpului de fragmente de rocă este de 12614 nT. Tabelul 29 detaliază celelalte 22 de contacte din zona studiată a Route 9.

Tabelul 28. Fragmente de rocă în zona studiată a Route 9

Repere geodezice: WG S84 TM 30NE					
KP	Deplasare* [m]	În direcție estică [m]	În direcție nordică [m]	Dimensiuni măsurate (lungime × lățime × înălțime) [m]	Anomalie magnetică [nT]
155,318	-205,0	393 304,7	4 869 161,2	7,6 × 0,5 × 0,6	12614
155,345	-217,7	393 275,8	4 869 157,7	6,3 × 1,6 × nmh	969,1
Note: * = Valorile de deplasare negative indică faptul că zona apare la stânga (sud) Route 9 cu valori KP mărite nmh = înălțime nemăsurabilă					

Tabelul 29. Puncte de contact în zona studiată a Route 9

Repere geodezice: WG S84 TM 30NE							
KP	Deplasare* [m]	În direcție estică [m]	În direcție nordică [m]	Dimensiuni măsurate (lungime × lățime × înălțime) [m]	Anomalie magnetică [nT]	Deplasare până la contact [m]	Direcția deplasării
154,799	-47,5	393 847,3	4 869 142,7	3,6 × 0,6 × 0,4			
154,934	114,5	393 771,8	4 869 339,6	5,3 × 1,2 × 0,9			
154,966	-96,6	393 673,6	4 869 150,0	4,2 × 0,6 × 1,0			

Neptun Deep Project	Raport de date geotehnice pe țărm (onshore) și în apropierea țărmului (nearshore)	Rev 0
	ROND-EW-YRRPT-24-0008	Page 65 of 120

Repere geodezice: WG S84 TM 30NE							
KP	Deplasare* [m]	În direcție estică [m]	În direcție nordică [m]	Dimensiuni măsurate (lungime × lățime × înălțime) [m]	Anomalie magnetică [nT]	Deplasare până la contact [m]	Direcția deplasării
154,992	146,8	393 727,7	4 869 388,7	2,6 × 0,5 × 0,6			
154,998	126,5	393 715,0	4 869 371,7	2,3 × 0,6 × 0,3			
155,002	121,7	393 710,1	4 869 368,2	3,4 × 0,8 × 0,3			
155,002	152,9	393 719,7	4 869 397,9	3,7 × 0,7 × nmh			
155,006	119,9	393 704,9	4 869 368,1	3,0 × 0,7 × nmh			
155,009	160,1	393 715,4	4 869 406,9	4,9 × 1,0 × 0,3			
155,054	159,4	393 672,2	4 869 421,0	4,6 × 0,6 × 0,4			
155,104	130,3	393 615,6	4 869 409,5	3,5 × 1,2 × 1,0			
155,110	132,9	393 610,8	4 869 413,9	7,9 × 2,0 × 0,8			
155,234	381,4	393 573,5	4 869 689,1	1,8 × 1,3 × 0,2			
155,255	-20,2	393 424,4	4 869 315,7	6,9 × 1,8 × nmh			
155,268	-256,4	393 336,0	4 869 096,2	4,6 × 3,2 × 1,0	70,7	31	W
155,268	-256,7	393 335,8	4 869 096,0	4,3 × 4,3 × 1,8	70,7	31	W
155,292	-17,7	393 390,1	4 869 330,0	6,5 × 1,7 × 0,3			
155,297	36,4	393 402,7	4 869 382,8	5,4 × 1,1 × 0,5			
155,500	-107,4	393 164,0	4 869 312,3	7,5 × 1,3 × 1,0	76	34	W
155,452	141,7	393 290,4	4 869 532,4	1,0 × 0,5 × nmh			
155,508	103,4	393 224,6	4 869 514,3	1,1 × 0,7 × 0,9			
155,568	40,2	393 147,8	4 869 473,8	1,6 × 0,5 × 0,2			

Repere geodezice: WG S84 TM 30NE							
KP	Deplasare* [m]	În direcție estică [m]	În direcție nordică [m]	Dimensiuni măsurate (lungime × lățime × înălțime) [m]	Anomalie magnetică [nT]	Deplasare până la contact [m]	Direcția deplasării
Note: * = Valorile de deplasare negative indică faptul că zona apare la stânga (sud) Route 9 cu valori KP mărite nmh = înălțime nemăsurabilă							

6.4.1.7 Depresiuni

În total, au fost identificate 29 de depresiuni în zona studiată a Route 9. Depresiunile pot fi împărțite în două categorii: cele cu un contact asociat și cele fără contact. Din cele 29 de depresiuni, 24 au un contact asociat identificat în interiorul depresiunii. Acestea sunt prezentate în Tabelul 30. Celelalte 5 depresiuni care nu au un contact asociat sunt prezentate în Tabelul 31. Contactele sunt interpretate ca fiind zone cu grad de reflexie ridicat care pot avea sau nu porțiuni umbrite.

Contactele din cadrul unei depresiuni pot fi semnificative, deoarece pot fi legate de carbonații precipitați anorganic derivați din metan (MDAC). Cu toate acestea, nu există nicio dovadă de migrare a fluidelor sau a gazelor în sedimentele din adâncime în zonele în care se găsesc aceste depresiuni, ceea ce susține ideea că acestea pot fi rezultatul unei eroziuni, determinată de un curent cu efect de eroziune din jurul unui bolovan. Acest lucru este susținut de faptul că majoritatea depresiunilor au un contact la bază. Figura 63 prezintă o zonă de depresiuni din datele MBES.

Depresiunile se găsesc într-o zonă de tranziție, la baza rocilor de bază interpretate, înainte ca fundul mării să devină plat și fără caracteristici de relief. Un grup de 21 de depresiuni se află într-o zonă de 203 m × 69 m, la aproximativ 130 m nord de traseu. Restul depresiunilor se găsesc izolat sau în mici grupuri isolate, de două sau trei. Depresiunile sunt ușor alungite de-a lungul unei axe aproximativ est-vest; au o dimensiune maximă de 7,4 m x 5,2 m și o adâncime maximă de aproximativ 0,5 m.

Tabelul 30. Depresiuni cu contact asociat identificate în zona studiată a Route 9

Repere geodezice: WG S84 TM 30NE				
KP	Deplasare* [m]	În direcție estică [m]	În direcție nordică [m]	Dimensiuni măsurate (lungime × lățime × înălțime) [m]
154,841	123,8	393 862,9	4 869 318,3	7,4 × 5,2 × 0,4
155,006	176,2	393 723,6	4 869 421,2	6,2 × 4,5 × 0,2
155,020	169,9	393 708,1	4 869 419,9	3,4 × 3,4 × 0,1
155,029	167,0	393 698,3	4 869 420,1	3,2 × 2,8 × 0,1
155,117	441,7	393 704,1	4 869 708,4	6,3 × 5,0 × 0,1
155,335	-5,3	393 353,4	4 869 355,6	3,0 × 2,8 × 0,1

Repere geodezice: WG S84 TM 30NE				
KP	Deplasare* [m]	În direcție estică [m]	În direcție nordică [m]	Dimensiuni măsurate (lungime × lățime × înălțime) [m]
155,423	180,1	393 329,6	4 869 559,5	3,4 × 2,6 × 0,1
155,430	183,4	393 324,2	4 869 564,8	4,0 × 3,1 × 0,1
155,441	176,9	393 312,2	4 869 562,1	3,3 × 3,1 × 0,1
155,442	156,7	393 304,1	4 869 543,5	4,6 × 4,6 × 0,2
155,448	180,5	393 306,4	4 869 567,9	4,8 × 4,4 × 0,3
155,453	141,2	393 288,8	4 869 532,4	3,8 × 3,2 × 0,1
155,457	111,0	393 275,6	4 869 505,0	5,3 × 4,7 × 0,1
155,471	169,2	393 280,9	4 869 564,6	4,8 × 3,6 × 0,1
155,478	136,6	393 263,5	4 869 536,1	3,4 × 2,2 × 0,1
155,479	113,7	393 255,9	4 869 514,5	4,2 × 4,0 × 0,2
155,481	139,8	393 262,1	4 869 540,0	3,0 × 2,2 × 0,2
155,481	133,5	393 260,3	4 869 534,0	4,9 × 3,6 × 0,1
155,483	173,7	393 270,9	4 869 572,8	3,7 × 3,3 × 0,1
155,495	97,9	393 235,4	4 869 504,8	5,4 × 3,6 × 0,2
155,500	119,9	393 237,8	4 869 527,3	4,8 × 4,2 × 0,2
155,510	101,2	393 222,0	4 869 512,9	6,9 × 3,5 × 0,2
155,518	73,8	393 205,8	4 869 489,5	2,9 × 2,6 × 0,1
155,538	69,0	393 184,9	4 869 491,6	5,1 × 4,8 × 0,2
Note: * = Valorile de deplasare negative indică faptul că zona apare la stânga (sud) Route 9 cu valori KP mărite nmh = înălțime nemăsurabilă				

Table 31. Depresiuni identificate în zona studiată a Route 9

Repere geodezice: WG S84 TM 30NE				
KP	Deplasare* [m]	În direcție estică [m]	În direcție nordică [m]	Dimensiuni măsurate (lungime × lățime × înălțime) [m]
154,794	-970,0	393 554,6	4 868 267,9	5,1 × 4,6 × 0,4
154,978	530,3	393 864,0	4 869 747,4	7,4 × 7,3 × 0,4
155,319	0,3	393 370,2	4 869 355,8	2,7 × 2,7 × 0,2
155,379	183,8	393 373,2	4 869 548,6	5,3 × 5,2 × 0,5
155,538	61,5	393 182,6	4 869 484,4	5,3 × 5,2 × 0,2
Note: * = Valorile de deplasare negative indică faptul că zona apare la stânga (sud) Route 9 cu valori KP mărite				

6.4.1.8 Anomalii magnetice

Anomaliile magnetice au fost identificate linie cu linie de măsurare și apoi trasate pentru a elimina dublurile. Rezultatele au fost apoi comparate cu datele SSS și MBES pentru a încerca să se identifice sursa anomaliei magnetice. În zonele care prezintă aflorimente ale rocii de bază, a fost

Neptun Deep Project	Raport de date geotehnice pe țărm (onshore) și în apropierea țărmului (nearshore)	Rev 0
	ROND-EW-YRRPT-24-0008	Page 68 of 120

dificil să se facă legătura între anomaliile magnetice și datele SSS și MBES din cauza naturii rocii de bază (Figura 60 și Figura 61).

În total, au fost identificate 77 de anomalii magnetice în zona studiată. Dintre acestea, 43 au o amplitudine de peste 20 nT și sunt enumerate în Tabelul 32.

Anomaliile care apar la începutul sau la sfârșitul unei linii de măsurare pot rezulta din cauza unor erori ale modului de colectare a datelor. Nefiind în măsură să asocieze aceste anomalii cu datele SSS și MBES, nu se poate exclude posibilitatea ca acestea să reprezinte caracteristici reale. Există 23 de astfel de anomalii în total, dintre care 22 sunt incluse în Tabelul 32, care enumeră anomaliile magnetice >20nT.

Anomaliile magnetice false de la începutul și sfârșitul liniilor de măsurare pot apărea atunci când:

- Nava accelerează sau încetinește rapid în timp ce începe sau termină linia de măsurare, ceea ce face ca magnetometrul remorcat să urce sau să coboare în coloana de apă;
- Nava începe să vireze, determinând ca magnetometrul remorcat să coboare în coloana de apă;
- Magnetometrul este extras rapid pe măsură ce nava se apropie de ape mai puțin adânci, ceea ce înseamnă că magnetometrul se ridică rapid în coloana de apă și recepționează o citire magnetică crescută de la nava însăși.

Tabelul 32. Anomalii magnetice > 20nT identificate în zona studiată a Route 9

Repere geodezice: WG S84 TM 30NE						
KP	Deplasare* [m]	În direcție estică[m]	În direcție nordică[m]	Altitudine Towfish [m]	Anomalie măsurată [nT]	Comentarii
155,211	-226,5	393 399,9	4 869 106,0	5,34	-20,2	Capătul liniei de măsurare penru roca dezvelită
155,222	-184,3	393 403,1	4 869 149,5	4,81	76,5	Capătul liniei de măsurare penru roca dezvelită
155,236	-156,2	393 398,5	4 869 180,8	5,99	64,4	Capătul liniei de măsurare penru roca dezvelită
155,237	-199,1	393 383,5	4 869 140,8	4,53	-37,4	Marginea rocii dezvelite
155,238	-249,2	393 367,1	4 869 093,2	6,64	70,7	În roca dezvelită, 2 contacte SSS 31 m E de anomalie
155,320	-196,3	393 305,7	4 869 170,1	7,51	969,1	Contact SSS 7,6 × 0,5 × 0,6, fragmente de rocă din zona epavei

Neptun Deep Project	Raport de date geotehnice pe țărm (onshore) și în apropierea țărmului (nearshore)	Rev 0
	ROND-EW-YRRPT-24-0008	Page 69 of 120

Repere geodezice: WG S84 TM 30NE						
KP	Deplasare* [m]	În direcție estică[m]	În direcție nordică[m]	Altitudine Towfish [m]	Anomalie măsurată [nT]	Comentarii
155,337	-219,8	393 282,1	4 869 153,3	5,4	12614,0	Epava
155,382	-246,7	393 230,7	4 869 142,4	6,6	149,2	În apropiere de epavă, posibile fragmente de rocă
155,482	-698,5	392 990,7	4 868 746,8	5,82	-102,2	Capătul liniei de măsurare penru roca dezvelită
155,484	-748,6	392 973,1	4 868 699,9	5,57	-102,2	Capătul liniei de măsurare penru roca dezvelită
155,495	-326,8	393 098,4	4 869 102,8	5,13	112,3	În roca dezvelită
155,505	-729,2	392 959,5	4 868 725,0	5,22	21,6	În roca dezvelită
155,516	-1048,7	392 845,2	4 868 426,5	5,26	-87,4	Începutul liniei de măsurare în roca dezvelită
155,517	-798,3	392 925,8	4 868 663,5	5,65	-103,7	Capătul liniei de măsurare penru roca dezvelită
155,531	-122,9	393 129,8	4 869 307,5	5,09	76,0	Dezvelire izolată a rocii, Contact SSS 34 m E de anomalie
155,537	-598,6	392 971,1	4 868 859,1	5,63	-105,7	Capătul liniei de măsurare penru roca dezvelită
155,548	-676,5	392 935,8	4 868 788,8	5,34	41,0	În roca dezvelită
155,551	-296,9	393 054,6	4 869 149,4	5,12	29,7	În roca dezvelită
155,554	469,2	393 299,7	4 869 875,2	4,79	22,0	În roca dezvelită
155,556	-897,8	392 856,4	4 868 582,1	5,09	-39,5	Capătul liniei de măsurare penru roca dezvelită
155,568	502,9	393 297,3	4 869 911,6	5,83	22,3	În roca dezvelită
155,574	-569,7	392 944,9	4 868 898,5	4,37	34,6	În roca dezvelită
155,576	-948,8	392 820,7	4 868 540,3	6,15	-99,7	Capătul liniei de măsurare penru roca dezvelită
155,587	-726,9	392 882,5	4 868 753,7	5,45	-55,5	Capătul liniei de măsurare penru roca dezvelită
155,606	-547,2	392 921,8	4 868 930,2	4,95	-21,0	Capătul liniei de măsurare penru roca dezvelită

Neptun Deep Project	Raport de date geotehnice pe țărm (onshore) și în apropierea țărmului (nearshore)	Rev 0
	ROND-EW-YRRPT-24-0008	Page 70 of 120

Repere geodezice: WG S84 TM 30NE						
KP	Deplasare* [m]	În direcție estică[m]	În direcție nordică[m]	Altitudine Towfish [m]	Anomalie măsurată [nT]	Comentarii
155,609	-500,7	392 934,0	4 868 975,1	4,8	-78,5	Capătul liniei de măsurare penru roca dezvelită
155,620	-446,1	392 941,9	4 869 030,1	5,69	-62,6	Capătul liniei de măsurare penru roca dezvelită
155,624	-558,9	392 901,8	4 868 924,6	3,44	-63,3	Capătul liniei de măsurare penru roca dezvelită
155,626	925,7	393 378,2	4 870 330,7	4,78	28,7	În roca dezvelită
155,630	-618,4	392 876,9	4 868 870,2	3,70	-65,7	Capătul liniei de măsurare penru roca dezvelită
155,637	-556,8	392 889,8	4 868 930,9	4,53	364,6	În roca dezvelită
155,637	-810,8	392 807,5	4 868 690,6	5,63	245,1	În roca dezvelită
155,637	-366,0	392 950,9	4 869 111,7	5,81	25,9	În roca dezvelită
155,640	-520,6	392 898,3	4 868 966,3	4,58	23,5	Capătul liniei de măsurare penru roca dezvelită
155,649	-395,8	392 930,6	4 869 087,1	5,06	-33,2	Capătul liniei de măsurare penru roca dezvelită
155,701	881,7	393 293,6	4 870 313,1	5,88	76,5	În roca dezvelită
155,741	833,9	393 240,3	4 870 280,7	5,82	199,9	Denivelare în roca dezvelită
155,797	669,6	393 133,6	4 870 143,5	4	70,7	În roca dezvelită
155,835	3,2	392 883,2	4 869 524,8	6,73	-34,4	Capătul liniei de măsurare penru roca dezvelită
155,887	53,4	392 850,4	4 869 589,0	6,37	-67,3	Capătul liniei de măsurare penru roca dezvelită
155,936	95,2	392 817,5	4 869 644,4	5,44	43,2	Capătul liniei de măsurare penru roca dezvelită
156,047	179,0	392 738,6	4 869 759,8	5,07	88,4	În roca dezvelită
156,098	202,6	392 698,7	4 869 798,3	4,08	66,2	În roca dezvelită
Note: * = Valorile de deplasare negative indică faptul că zona apare la stânga (sud) Route 9 cu valori KP mărite						

Neptun Deep Project	Raport de date geotehnice pe țărm (onshore) și în apropierea țărmului (nearshore)	Rev 0
	ROND-EW-YRRPT-24-0008	Page 71 of 120

6.4.2 Caracteristici din adâncime, hazarde și limitări

6.4.2.1 Generalități

Această secțiune discută hazardele principale și limitările identificate în adâncime din datele CHIRP și SPK.

Conversia adâncimii din interpretarea datelor CHIRP se bazează pe o viteză acustică presupusă de 1600 ms^{-1} . Această valoare este derivată din analiza datelor geotehnice de carotaj (Fugro, 2014a), din evaluarea geohazardului pre-FEED (Fugro 2013a; 2013b; 2013c) și din investigațiile geotehnice (FAOL, 2013 și Fugro 2014a).

6.4.2.2 Unități seismostratigrafice

Geologia de mica adâncime din Route 9 a fost împărțită în două unități de bază funcție de datele CHIRP, după cum se arată în Tabelul 33.

Tabelul 33. Sinteza unităților seismostratigrafice pentru zona în apropierea țărmului (nearshore)

Unitate	Interpretare a mediului de depunere
De la fundul mării la presupusa rocă de bază	Lacustră, sedimente în apropierea țărmului (nearshore) și pe coastă
De la presupusa rocă de bază la limita datelor CHIRP	Roca de bază (depozite marine de carbonat de mică adâncime)

Figura 64 prezintă cele două unități seismostratigrafice identificate în zona studiată a Route 9. În partea superioară a fundamentului de presupusa rocă de bază se poate observa o reflectare ondulatorie care crește la nivelul fundului mării. Între partea superioară a fundamentului presupusei roci de bază și fundul mării se află un pachet de sedimente stratificate.

Nu există dovezi de falii sau de gaze de mică adâncime din datele din adâncimea zonei studiate a Route 9.

Nu este posibilă extinderea orizontului de bază al Sedimentelor Superficiale (strat de nisip bogat în scoici), denumit AUV-H02 în Raportul de studiu geofizic din Blocul Conduței Neptun spre țărm (Fugro, 2014d), în zonele studiate din apropierea țărmului (nearshore) din cauza valorii mari a impulsului fundului mării vizibil pe datele CHIRP.

6.5 Caracteristici ale geohazardului

În Anexa G este inclus un inventar al geohazardului pentru zona studiată din apropierea țărmului (nearshore) din raportul ROND-FU-GRIST-24-0001: Raport de studiu geofizic în apropierea țărmului (nearshore) a Blocului Neptun.

Neptun Deep Project	Raport de date geotehnice pe țărm (onshore) și în apropierea țărmului (nearshore)	Rev 0
	ROND-EW-YRRPT-24-0008	Page 72 of 120

Secțiune geologică

În Anexa A este prezentată o secțiune transversală geologică interpretată. Secțiunea transversală a fost elaborată de Mott MacDonald pe baza unei combinații de date preluate din investigațiile geotehnice pe țărm (onshore) și în apropierea țărmului (nearshore) și din studiile geofizice. Interpretarea suplimentară și finală a secțiunii transversale geologice este responsabilitatea EPC.

7.1 Interpretarea cercetării geofizice și a investigației geotehnice

Nivelul fundului mării și topografia zonei din apropierea coastei (offshore) au fost determinate folosind informații obținute în timpul următoarelor investigații geofizice în apropierea țărmului (nearshore). Investigarea a fost realizată cu ajutorul unui ecosondaj multi-fascicul, al unui sonar cu scanare laterală și a datelor magnetometrice.

- Cercetare batimetrică
 - Determinarea nivelului fundului mării din partea estică a amplasamentului
- Pante ale fundului mării
 - Pante dezvoltate pentru aflorimentele abrupte de rocă de pe fundul mării
- Topografia fundului mării
- Caracteristici ale fundului mării
 - Determinarea poziției câmpurilor de resturi și a potențialelor depresiuni

Secțiunea transversală generală din apropierea țărmului (nearshore) a fost determinată pe baza rezultatelor studiului geofizic din apropierea țărmului (nearshore) realizat cu ajutorul unui sonar CHIRP de adâncime. Cercetarea CHIRP a indicat că roca de bază a fost întâlnită în apropierea fundului mării aproape de țărm. Un strat subțire de depozite lacustre a fost determinat ca fiind suprapus peste roca de bază mai departe în larg (offshore).

Cercetarea geofizică pe țărm (onshore) a constatat dintr-un studiu de rezistivitate electrică. Rezultatele cercetării au fost folosite pentru a determina o secțiune transversală generală pe țărm (onshore), care includea un strat de loess cu grosimea de 15 până la 20 de metri, acoperit de calcar.

Descrierile pământului și ale rocilor și stratificația acestora au fost determinate pe baza investigațiilor geotehnice pe țărm (onshore) și în apropierea țărmului (nearshore), inclusiv a fișelor de foraj (Anexa C) și a rezultatelor de laborator (Anexa E).

Neptun Deep Project	Raport de date geotehnice pe țărm (onshore) și în apropierea țărmului (nearshore)	Rev 0
	ROND-EW-YRRPT-24-0008	Page 73 of 120

Caracterizarea terenului

8.1 Generalități

Amplasamentul proiectului se extinde începând cu un punct de intrare pe țărm (onshore) până la un punct de ieșire în larg (off-shore). Pe baza interpretării cercetării geotehnice anterioare efectuată de către alții, așa cum sunt descrise în RDG, amplasamentul poate fi împărțit în două categorii generale: teren moale (pe țărm - onshore) și rocă de bază.

8.2 Teren moale (pe țărm - onshore)

Materialele întâlnite în adâncime în punctul de intrare pe țărm (onshore) includ următoarele unități geologice generalizate de la suprafața terenului în jos, așa cum au fost identificate în forajele TUZ_FG01 și TUZ_FG02:

- Strat superior
- Pământ loessoid argilos superior
- Paleosol superior
- Pământ loessoid argilos inferior
- Paleosol inferior
- Argilă reziduală care trece la calcar (roca de bază)

În funcție de punctul de intrare, puțul și/sau aliniamentul tunelului va traversa prin fiecare dintre aceste unități geologice. Următoarele caracterizează condițiile de teren care pot fi întâlnite.

Strat superior: Stratul superior are o adâncime limitată, de aproximativ 1,0 metru grosime și nu de așteptat să influențeze proiectarea traversării. Nicio altă caracterizare suplimentară nu este oferită.

Pământ Loessoid: Unitățile tipice de loess (pe baza unei descrieri macroporoase vizuale) au o culoare gălbuie, galben-maronie. Au o structură masivă și, de obicei, au macropori cu diametru de până la 1-2 mm. Macroporii sunt dezvoltati pe verticală și prezintă lungimi de câțiva centimetri. În stare nealterată, prezintă o coeziune aparentă semnificativă, dar se fărâmițează cu ușurință la cea mai mică manipulare. Pe amplasament, pământul se găsește în stare nesaturată și cu o textură fină și prăfoasă. Acest pământ este sensibil la umezire și, atunci când este umezit, va prezenta o scădere a rezistenței la forfecare și o creștere a compresibilității. Este de așteptat ca, dacă sunt saturate, depozitele de loess să cedeze prin colapsul structurii interne. Apa sau noroiul introdus prin realizarea tunelului va provoca prăbușiri locale ale terenului atât în interiorul cât și în jurul execuției tunelului.

Paleosolul: Paleosolul are o culoare roșiatică, brun-roșiatică. Trecerea dintre loess și paleosol nu este bruscă și se poate observa o trecere treptată de centimetri - decimetri în lungime. Textura solului este foarte masivă, din argilă fină și cu macropori. Frecvența acestor pori este destul de redusă dacă se compară cu cea a unității de loess. De obicei, se găsește mai saturat decât pământurile din partea superioară a coloanei stratigrafice, dar, în același timp, are un comportament sfărâmicios. Spre baza unității (sub 7 - 8 m) devine mai abundent. De asemenea, în cadrul acestei zone se observă fisuri, care de obicei formează unghiuri de 40-60° față de verticală. Fisurile prezintă suprafețe netede lucioase. Acest pământ este sensibil la umezire și,

Neptun Deep Project	Raport de date geotehnice pe țărm (onshore) și în apropierea țărmului (nearshore)	Rev 0
	ROND-EW-YRRPT-24-0008	Page 74 of 120

atunci când este umezit, va prezenta o scădere a rezistenței la forfecare și o creștere a compresibilității. Este de așteptat ca, dacă sunt saturate, depozitele de loess să cedeze prin colapsul structurii interne. Apa sau noroiul introdus prin realizarea tunelului va provoca prăbușiri locale ale terenului atât în interiorul cât și în jurul execuției tunelului.

Parametri geotehnici pentru pământurile loessoide /loess soils sunt prezentați în Tabelul 34.

Tabelul 34. Parametri caracteristici ai pământului (raportate în ROND-FU-GRSIT-25-0017-001)

Unitatea geologică	Indici geotehnici (STAS)								
	Coefficient de neuniformitate	Umiditate	Indice de plasticitate	Indice de consistență	Greutatea volumică	Indicele porilor	Grad de umiditate	Umflarea liberă	Conținut de carbonați
	C _u	w	I _p	I _c	γ	e	S _r	U _L	CaCO ₃
	–	[%]	–	–	[kN/m ³]	–	[%]	[%]	[%]
Pământ loessoid argilos superior	4,90 (10)	16,12 (10)	23,09 (10)	0,92 (10)	15,17 (10)	1,06 (10)	53,33 (10)	59,84 (10)	21,63 (10)
Paleosol superior	2,78 (2)	20,35 (2)	29,43 (2)	0,80 (2)	17,85 (2)	0,83 (2)	68,36 (2)	90,00 (2)	4,63 (2)
Pământ loessoid argilos inferior	2,92 (3)	18,29 (3)	30,42 (3)	0,84 (3)	17,20 (3)	0,87 (3)	75,43 (3)	87,50 (3)	26,67 (3)
Paleosol inferior	1,08 (8)	21,76 (8)	35,98 (8)	0,81 (8)	17,83 (8)	0,83 (8)	74,60 (8)	105,51 (8)	27,12 (8)
Unitatea geologică	Parametrii rezistenței la forfecare								
	STAS – DS		ISO EN – DS		BS – Tx CU		BS – Tx UU	ISO EN – Tx UU	
	φ° [°]	c° [kPa]	φ° [°]	φ° [°]	φ° [°]	c° [kPa]	c _u [kPa]	c _u [kPa]	
Pământ loessoid argilos superior	29,50 (3)	3,43 (3)	26 (3)	26 (3)	-	-	112 (4)	111 (4)	
Paleosol superior	-	-	-	-	-	-	116 (1)	114 (1)	
Pământ loessoid			-	-	-	-	114 (1)	115 (1)	

Neptun Deep Project	Raport de date geotehnice pe țărm (onshore) și în apropierea țărmului (nearshore)						Rev 0	
	ROND-EW-YRRPT-24-0008						Page 75 of 120	

argilos inferior								
Paleosol inferior			-	-	24 (1)	0 (1)	122 (2)	126 (2)

Tabelul 34. (continuare) Parametri recomandați ai pământului (raportați în ROND-FU-GRSIT-25-0017-001)

Unitatea geologică	Parametri de compresibilitate								
	STAS				ISO EN				ASTM
	E _{oed} 200-300 [kPa]	m _v [m ² /MN]	C _c	I _{m300} [%] (3)	E _{oed} 100-200 [kPa]	m _v [m ² /MN]	C _c	c _v [m ² /an]	Free Swell [%]
Pământ loessoid argilos superior	4345 (4)	0,241 (4)	0,261 (4)	12,31 (4)	1913 (3)	0,618 (3)	0,371 (3)	0,722 (3)	-1,220 (4)
Paleosol superior	8020 (2)	0,139 (2)	0,131 (2)	-	4300 (2)	0,261 (2)	0,148 (2)	0,868 (2)	-0,465 (1)
Pământ loessoid argilos inferior	3798 (1)	0,263 (1)	0,278 (1)	-	1709 (1)	0,608 (1)	0,366 (1)	0,428 (1)	-1,016 (1)
Paleosol inferior	5144 (1)	0,194 (1)	0,199 (1)	-	2882 (1)	0,374 (1)	0,197 (1)	1,052 (1)	-0,378 (2)

Argile reziduale: Tranziția de la loess la argilele reziduale tari nu este distinctă, însă este probabil să se producă la mai puțin de un (1) metru de partea superioară a rocii de bază. Depozitul este mai pronunțat în porțiunile erodate ale rocii de bază. Stratul este o argilă roșiatică prăfoasă cu fragmente de calcar. Nu au fost efectuate încercări de laborator asupra acestui strat, iar caracterizările se limitează la interpretări generalizate.

8.3 Roca de bază (pe țărm - onshore și în largul mării – offshore)

Roca de bază din zona proiectului constă în calcar bioclastic cu unele intercalații pelitice și foarte puține intercalații arenitice, așa cum a fost identificat în forajele TUZ_FG01, TUZ_FG02, R09-4, R09-3 și R09-C. Straturile pelitice sunt formate din două tipuri principale de argilă: argile roșii reziduale și argile singenetice gri-ușor verzui. Roca de bază este puternic alterată, prezentându-se local ca fiind destructurată până la distinct alterată și prezintă în mod obișnuit o rezistență foarte slabă până la slabă. Masivul de rocă prezintă caracteristici de dizolvare carstică și cavități cu dimensiuni cuprinse între milimetri și un metru, așa cum s-a identificat în foraje. Pentru fiecare carotaj s-a folosit în medie un metru cub (1 m³) de apă (1,0 - 1,5 m lungime forată). Porii pot să apară neumpluți sau deschiși, doar cu umplere parțială. Cea mai frecventă umplere pare a fi cu argile reziduale. Carstul se dezvoltă în rocile calcaroase, cum ar fi calcarul, într-un mod imprevizibil. Caracteristicile carstice pot prezenta o variabilitate semnificativă în ceea ce privește dimensiunea și extinderea. Pozițiile unora dintre aceste caracteristici sunt prezentate în profilul geologic din Figura 65 și sunt indicate în fiecare fișă de foraj. Parametrii geotehnici pentru roca calcaroasă de bază sunt prezentați în Tabelul 35.

RQD a fost foarte variabilă și nu pare să aibă nicio corelație cu nivelul de adâncime propus. În încercarea de a evalua calitatea rocilor, valorile RQD au fost împărțite în foraje pe țărm (onshore) și foraje în apropierea țărmului (nearshore). Alți parametri au fost determinați în mod limitat, fără tendințe specifice evidente, și sunt prezentați ca un singur grup. Încercarea pentru determinarea rezistenței la compresiune neconsolidată (UCS) este, de asemenea, foarte variabilă, cu un interval de la 2,2 la 26,3 MPa, cu o medie de 11,3 MPa. Majoritatea încercărilor par să fie cedări ale materialului intact. Încercările de încărcare punctiformă au prezentat valori pentru IS(50)

Neptun Deep Project	Raport de date geotehnice pe țărm (onshore) și în apropierea țărmului (nearshore)	Rev 0
	ROND-EW-YRRPT-24-0008	Page 77 of 120

cuprinse între 0,089 și 4,708 MPa, cu o medie de 1,072 MPa. Încercările de încărcare punctiformă convertite în UCS au prezentat valori între 2,2 și 115,3 MPa. Abrazivitatea CERCHAR a variat de la un minim de 0,0 la un maxim de 0,26, cu o medie de 0,089.

Roca de bază calcaroasă conține pori care ar trebui să fie de așteptat să fie întâlniți în timpul operațiunilor de excavare a tunelului. În plus, intercalațiile de argilă și discontinuitățile din masa de rocă ar trebui să fie, de asemenea, prezente în timpul construcției.

RQD scăzută și discontinuitățile din rocă pot crea fragmenete și prăbușiri ale rocii între tubulatură și deschiderea forată, ceea ce are ca rezultat un efect de crește a rezistenței la înaintare a instalației de forat. În mod similar, un RQD scăzut poate sugera potențialul de "smulgere a rocii", care va trage pietrele mari în zona capului de forare și va cauza o uzură mai mare a cuțitului și o distrugere a discului de tăiere.

Abrazivitatea calcarului poate cauza uzura capului de forare și uzura cuțitului, ceea ce poate compromite capacitatea echipamentului de a avansa în timpul acțiunii.

Tabelul 35. Parametri geotehnici ai calcarului

Unitatea geologică	RQD	Recuperarea totală a carotei	UCS	Rezistența punctiformă (I ₅₀)	UCS transformat din PL	CERCHAR
	(%)		(MPa)	(MPa)	(MPa)	Abrazivitate
Calcar (pe țărm-onshore)	0 (Min)	18,8 (Min)	26,3 (Max)	4,708 (Max)	115,3 (Max)	0 (Min)
	67 (Max)	100 (Max)	11,3 (Medie)	1,072 (Medie)	26,5 (Medie)	0,26 (Max)
	13,4 (Medie)	62,6 (Medie)				0,089 (Medie)
Calcar (în larg-offshore)	0 (Min)	20 (Min)	2,2 (Min)	0,089 (Min)	3,9 (Min)	0 (Min)
	45,3 (Max)	100 (Max)	26,3 (Max)	4,708 (Max)	82,1 (Max)	0,26 (Max)
	41 (Medie)	85 (Medie)	11,3 (Medie)	1,072 (Medie)	23,9 (Medie)	0,089 (Medie)

Notă: Rezultatele prezentate ale UCS, ale rezistenței punctiforme și a încercării Cerchar au fost obținute în timpul programului de cercetare geotehnică în apropierea țărmului (nearshore) și sunt determinate pentru condițiile de pe țărm (onshore) și a celor din apropierea țărmului (nearshore). Consultați Anexa C a Raportului ROND-FU-GRSIT-24-0020 pentru toate rezultatele de laborator pentru UCS, încărcare punctiformă și încercarea Cerchar.

8.4 Apa subterană

Apa subterană a fost întâlnită la o adâncime de aproximativ de +1,0 metru. Până în prezent, nivelurile apelor subterane nu au fost monitorizate în zona proiectului. Apa subterană va fluctua în funcție de variațiile sezoniere. În cazul acestui raport, se presupune un nivel al apei la țărm cu 3,0 metri mai mare decât nivelul de suprafață a apei asociată cu Marea Neagră.

8.5 Condițiile terenului în adâncime în lungul aliniamentelor

Condițiile terenului în adâncime preconizate a fi întâlnite pentru diferitele variante de traseu sunt sintetizate mai jos, în Tabelul 36.

Neptun Deep Project	Raport de date geotehnice pe țărm (onshore) și în apropierea țărmului (nearshore)	Rev 0
	ROND-EW-YRRPT-24-0008	Page 78 of 120

4.5.1 Microtunel

Tabelul 36. Tipuri de pământuri în adâncime în timpul excavației tunelului

Aliniament vertical	Stație	Unitate geologică estimată
Conducta directă	KP 156,202 la 156,180	Pământ loessoid argilos
	KP 156,180 la 156,131	Paleosol
	KP 156,131 la 155,312	Calcar
Microtunel de mica adâncime	KP 156,202 la 156,122	Paleosol
	KP 156,122 la 155,312	Calcar
Microtunel de mare adâncime	KP 156,202 la 155,312	Calcar

Notă: Stațiile reale pot varia cu până la 5 metri și se consideră că se încadrează în valorile interpretate.

Neptun Deep Project	Raport de date geotehnice pe țărm (onshore) și în apropierea țărmului (nearshore)	Rev 0
	ROND-EW-YRRPT-24-0008	Page 79 of 120

Limite

Rezultatele prezentate în acest raport se bazează în mare parte pe informații privind terenul din adâncime obținute de la alții. În cazul în care investigațiile ulterioare sau încercările de laborator dezvăluie diferențe semnificative în ceea ce privește terenul din adâncime, Mott MacDonald ar trebui să aibă posibilitatea de a revizui și modifica acest raport, dacă este cazul.

Acest document a fost pregătit pentru prezentul proiect sau pentru o parte a acestuia și nu trebuie să se bazeze pe el sau să fie utilizat pentru orice alt proiect fără a se efectua o verificare independentă asupra adecvării sale și fără a se obține în prealabil autorizația scrisă a Mott MacDonald. Mott MacDonald nu își asumă nicio responsabilitate sau răspundere pentru consecințele utilizării acestui document în alte scopuri decât cele pentru care a fost comandat. Orice persoană care utilizează sau se bazează pe acest document în astfel de scopuri este de acord și, prin această utilizare sau întrebuințare, se va considera că își confirmă acordul, să despăgubească Mott MacDonald pentru toate pierderile sau daunele care rezultă din acestea. Mott MacDonald nu își asumă nicio responsabilitate sau răspundere pentru acest document față de orice altă parte decât persoana care l-a comandat.

În măsura în care acest document se bazează pe informații furnizate de alte părți, Mott MacDonald nu își asumă nicio răspundere pentru orice pierdere sau prejudiciu suferit de client, fie el contractual sau delictual, care rezultă din orice concluzii bazate pe date furnizate de alte părți decât Mott MacDonald și utilizate de Mott MacDonald în pregătirea acestui document

Figuri

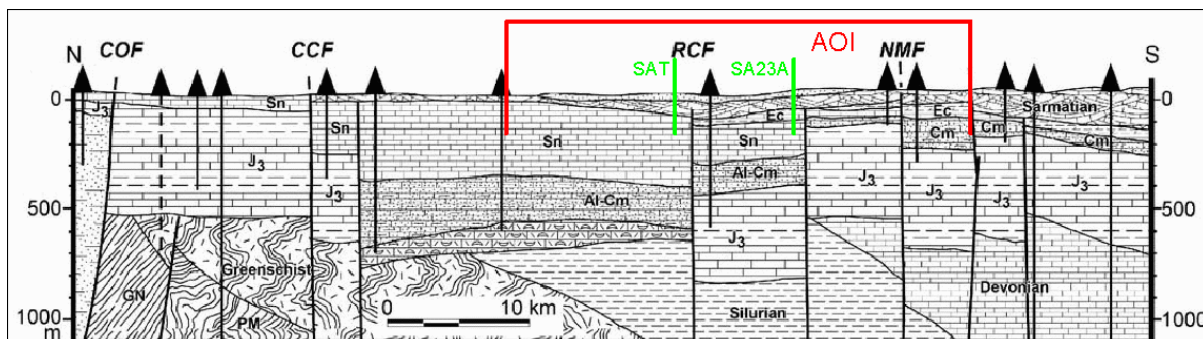


Figura 1. Secțiune geologică (paralel cu coasta Mării Negre)

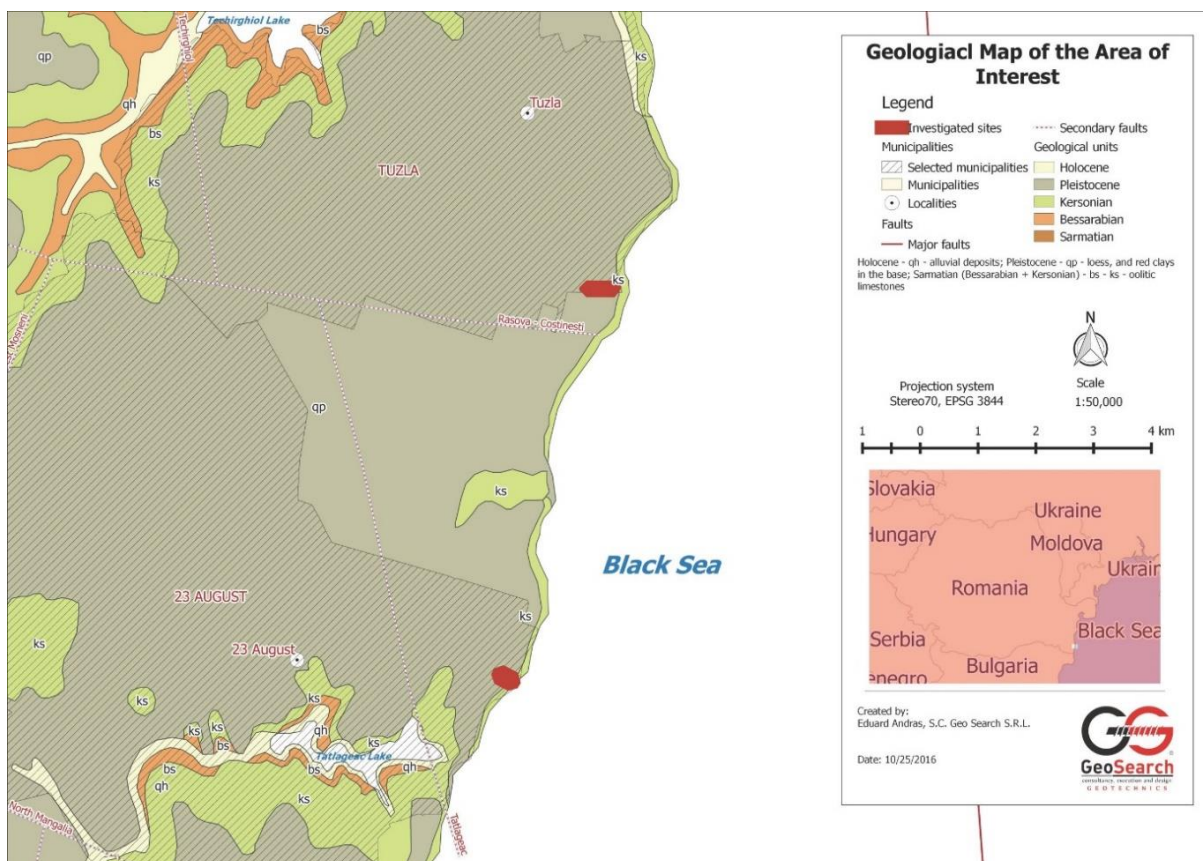


Figura 2. Hartă geologică de suprafață a Zonei de interes (AOI)

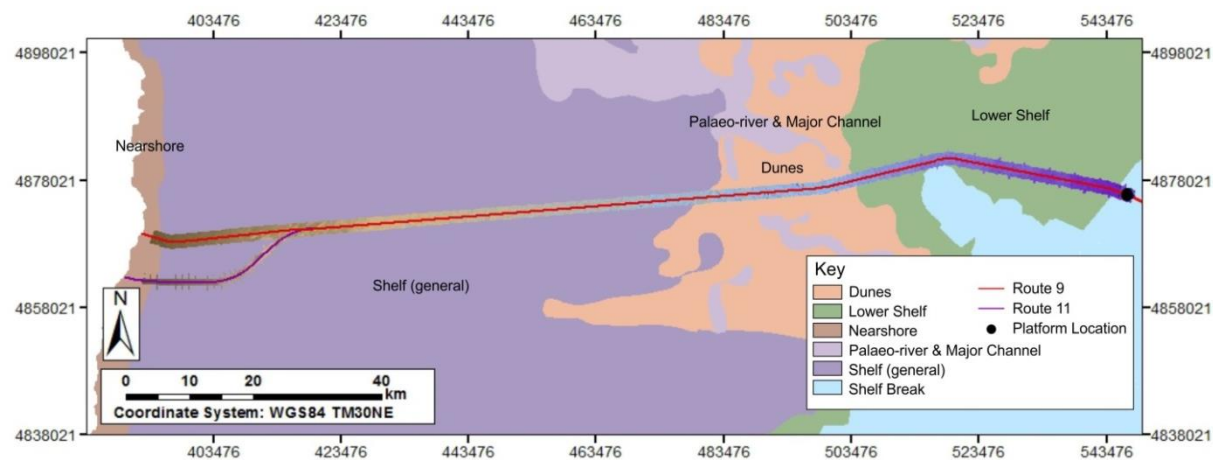


Figura 3. Unități locale de teren cartografiate de-a lungul rutei conductei propuse până la țărm (Fugro 2013a). Unitățile locale de teren au fost determinate pe baza datelor batimetrice TCarta și a datelor disponibile public

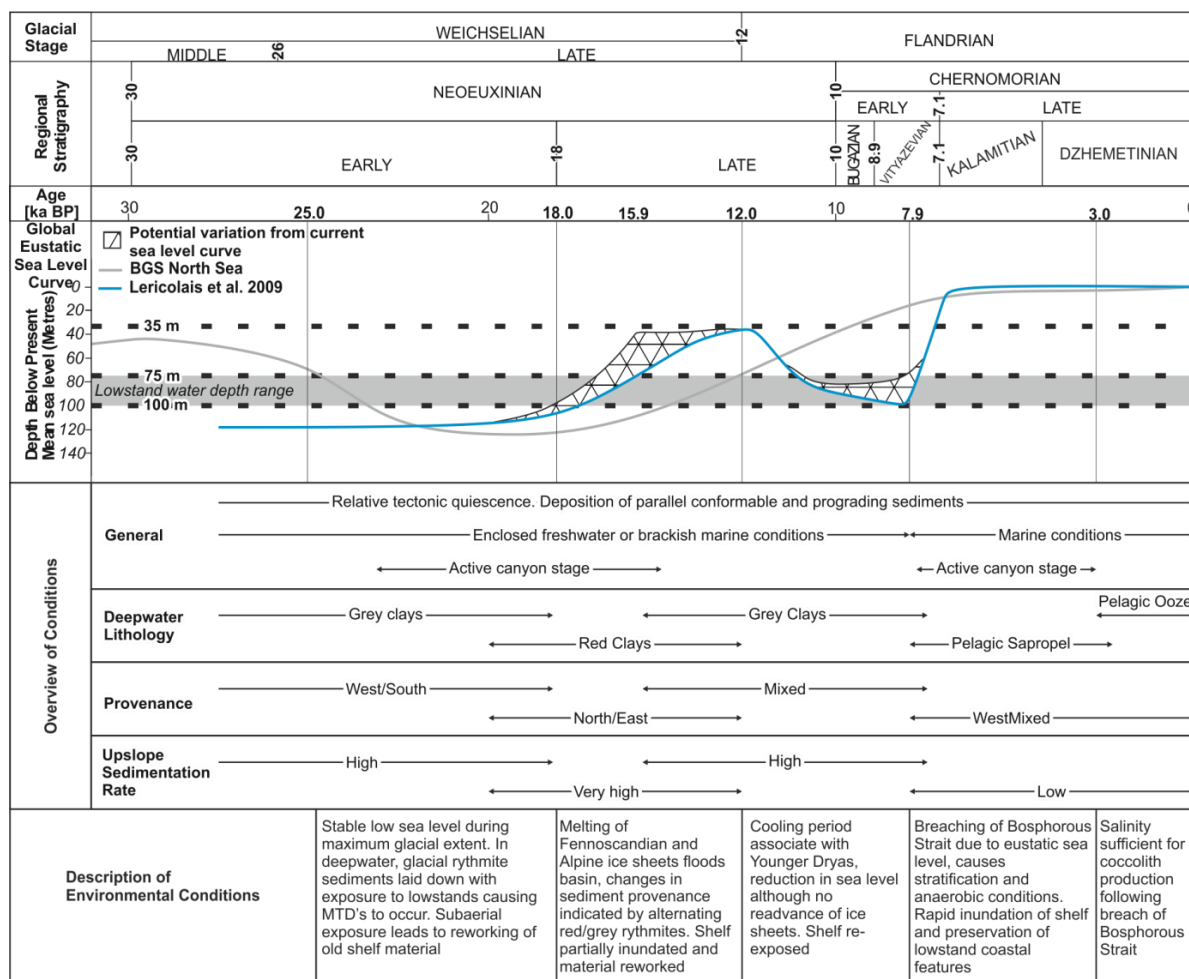


Figura 4. Sintează a modificărilor nivelului mării și vârsta sedimentelor din blocul Neptun (Fugro 2014a). Curbele nivelului mării sunt preluate din literatura de specialitate disponibilă publicului. Curba nivelului mării pentru amplasament sugerează că zona din apropierea țărmului (nearshore) de pe traseul conductei a fost expusă în aer liber pentru o mare parte din Cuaternar înainte de 7,1Ka BP

Neptun Deep Project	Raport de date geotehnice pe țărm (onshore) și în apropierea țărmului (nearshore)	Rev 0
	ROND-EW-YRRPT-24-0008	Page 83 of 120

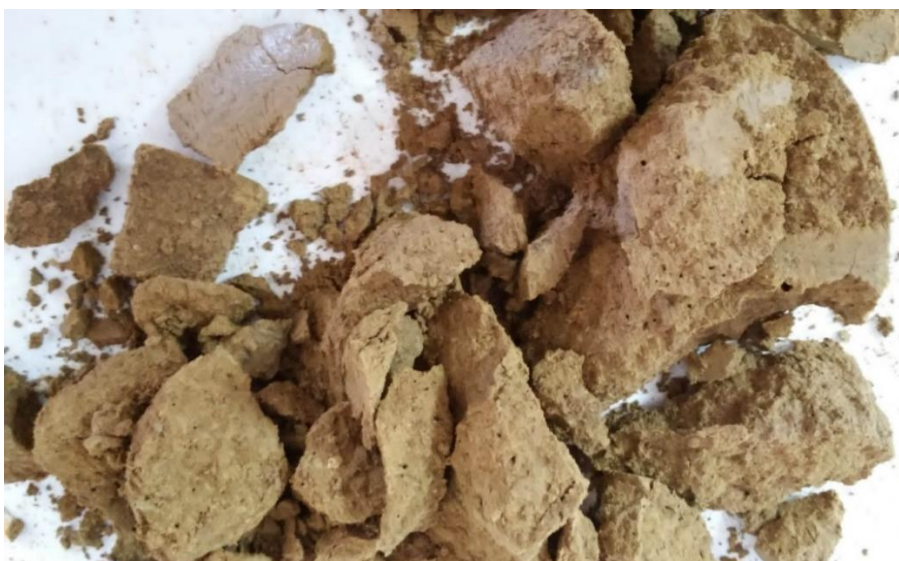


Figura 5. Structura macroporică a unui pământ loessoid tipic – TUZ_FG01 Proba nr. 10182



Figura 6. Probă de argilă roșiatică - TUZ_FG02 Proba nr. 10195

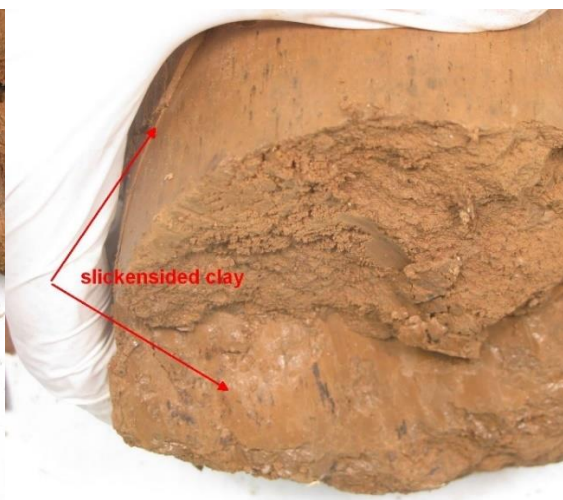


Figura 7. Probă de argilă roșiatică cu suprafețe netede lucioase - TUZ_FG02 Proba nr. 10198



Figura 8. Protecția falezei de loess la amplasamentul Tuzla – vedere de nord

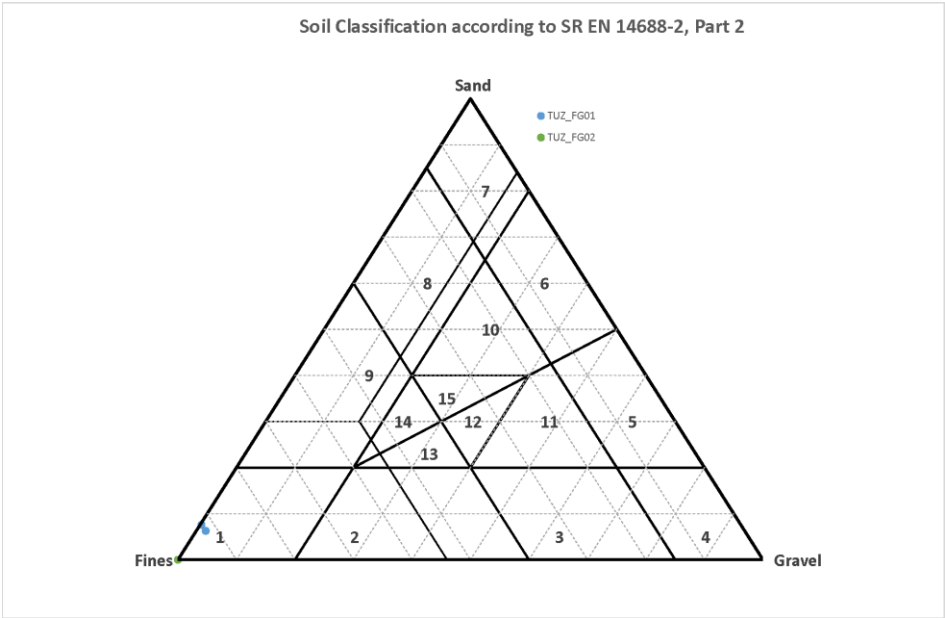


Figura 9. Clasificarea pământurilor pentru probele de pământ din amplasamentul Tuzla (părți fine, nisip, pietriș)

1 – Si, clSi, siCl, Cl; 2 – grSi, grclSi, grsiCl, grCl; 3 – siGr, clGr; 4 – Gr; 5 – saGr; 6 – grSa; 7 – Sa; 8 – siSa, clSa; 9 – saSi, sacSi, sasiCl, saCl; 10 – grsiSa, grclSa; 11 – sasiGr, sacGr; 12 – sagrsiS, sagrcs; 13 – sagrSi, sagrCl; 14 – grsaSi, grsaCl; 15 – grsasiS, grsacs. Vezi lista de simboluri de la pagina 14.

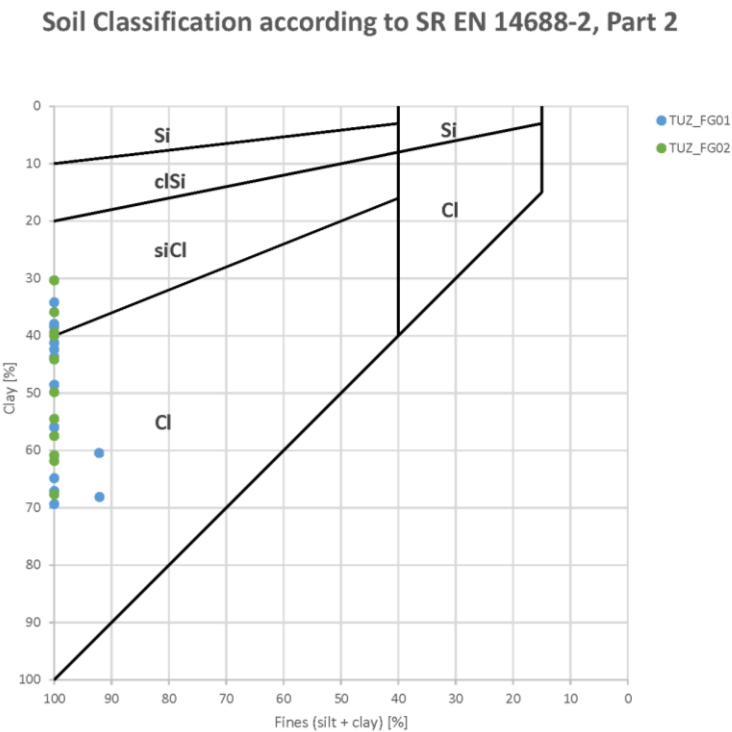


Figura 10. Clasificarea pământurilor pentru probele de pământ din amplasamentul Tuzla (părți fine, argilă)

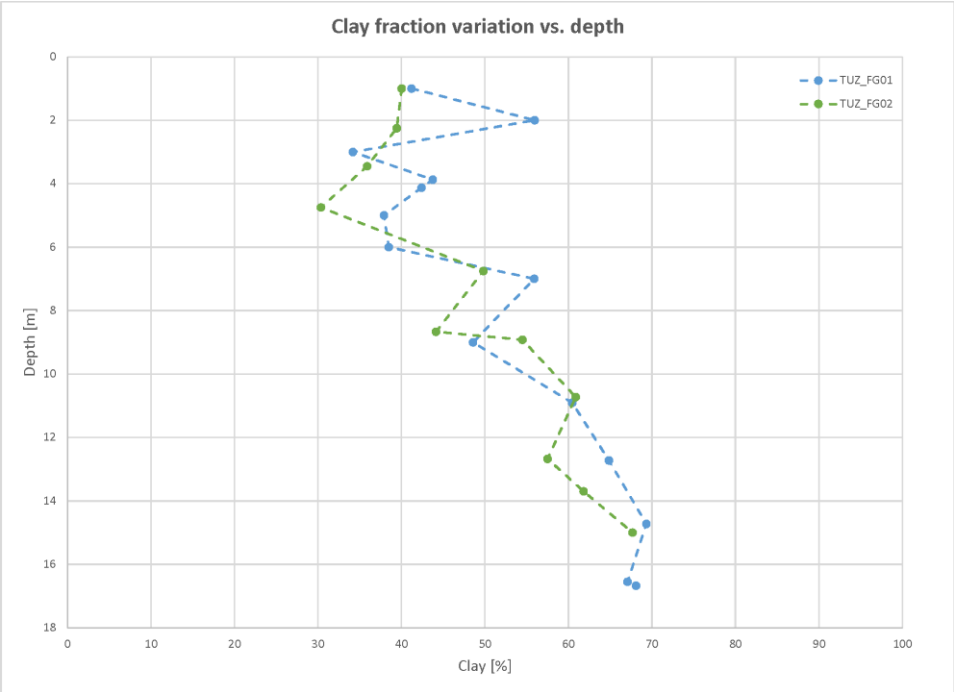


Figura 11. Variația fracțiunii de argilă cu adâncimea pentru Tuzla

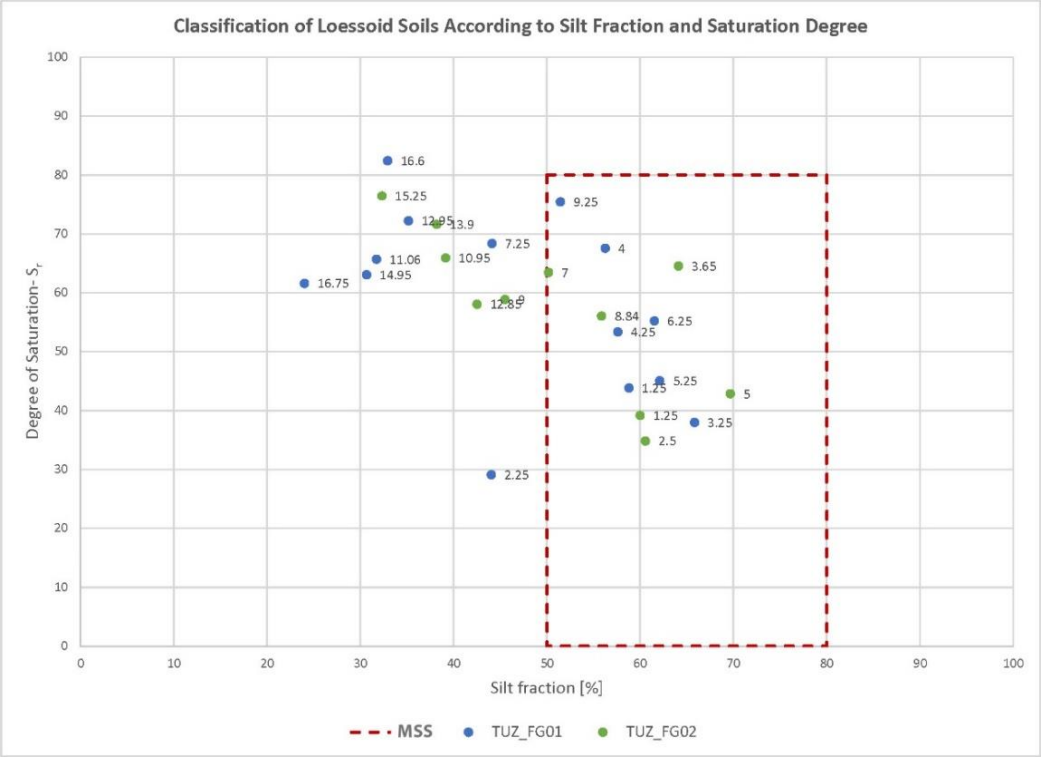


Figura 12. Clasificarea loess-ului în funcție de fracțiunea de praf și gradul de umiditate (Tuzla)
Etichetă: partea inferioară a probei

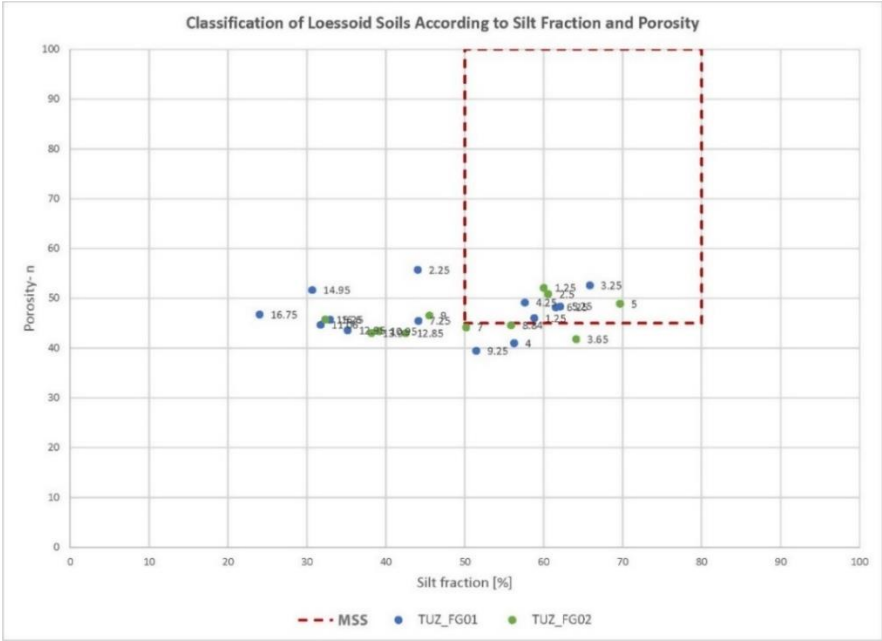


Figura 13. Clasificarea loess-ului în funcție de fracțiunea de praf și porozitate (Tuzla)
Etichetă: partea inferioară a probei

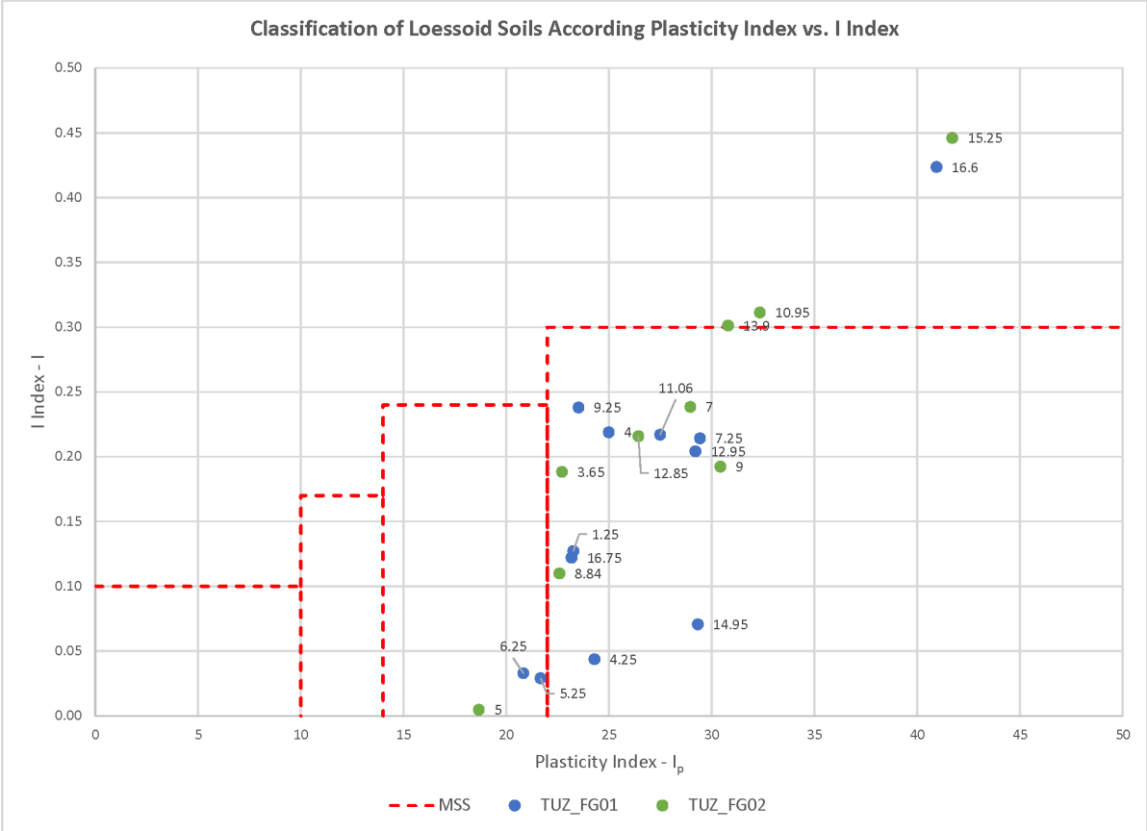


Figura 14. Clasificarea loess-ului în funcție de Indicele de plasticitate și Indicele I (Tuzla)
Etichetă: partea inferioară a probei; zonele de sub linia roșie sunt considerate MSS

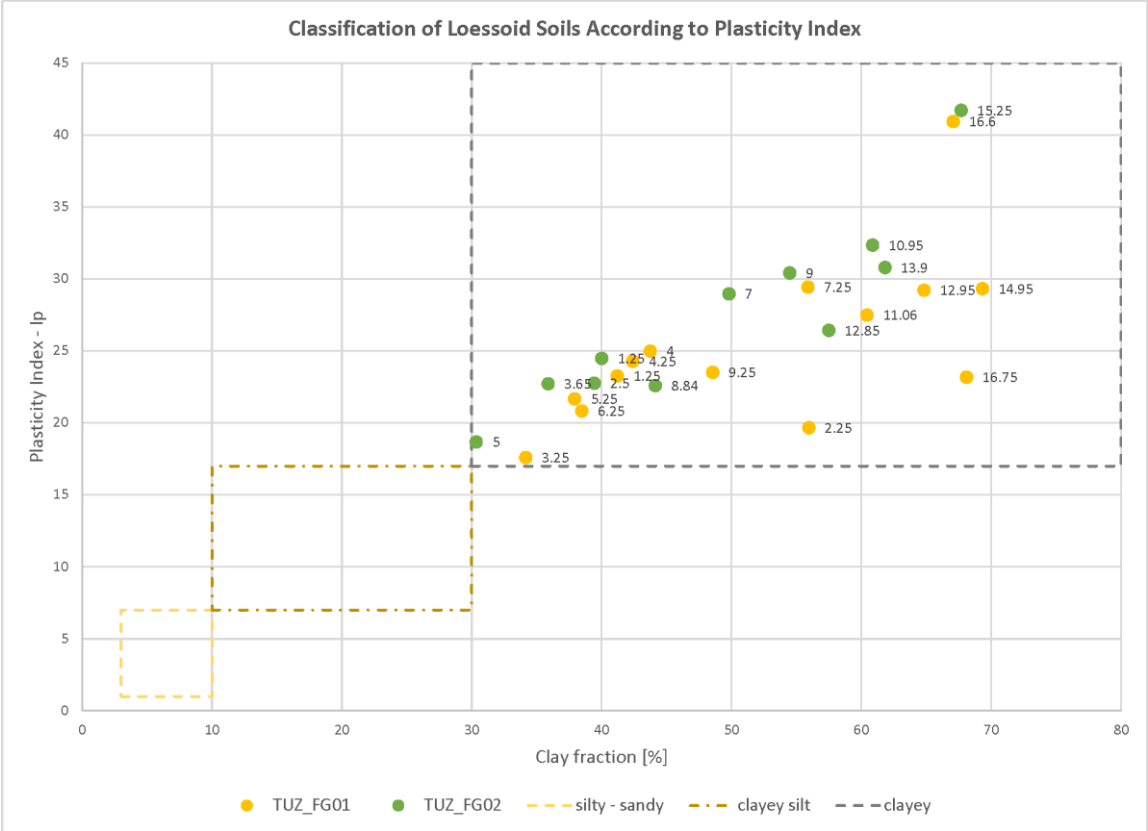


Figura 15. Clasificarea loess-ului în funcție de Indicele de plasticitate și fracțiunea de argilă (Tuzla)



Figura 16. Argilă reziduală – TUZ_FG02

Neptun Deep Project	Raport de date geotehnice pe țărm (onshore) și în apropierea țărmului (nearshore)	Rev 0
	ROND-EW-YRRPT-24-0008	Page 89 of 120



Figura 17. Argilă gri-verzuie – TUZ_FG02 34,50 m



Figura 18. Argilă reziduală – TUZ_FG01 17,46 m

Neptun Deep Project	Raport de date geotehnice pe țărm (onshore) și în apropierea țărmului (nearshore)	Rev 0
	ROND-EW-YRRPT-24-0008	Page 90 of 120

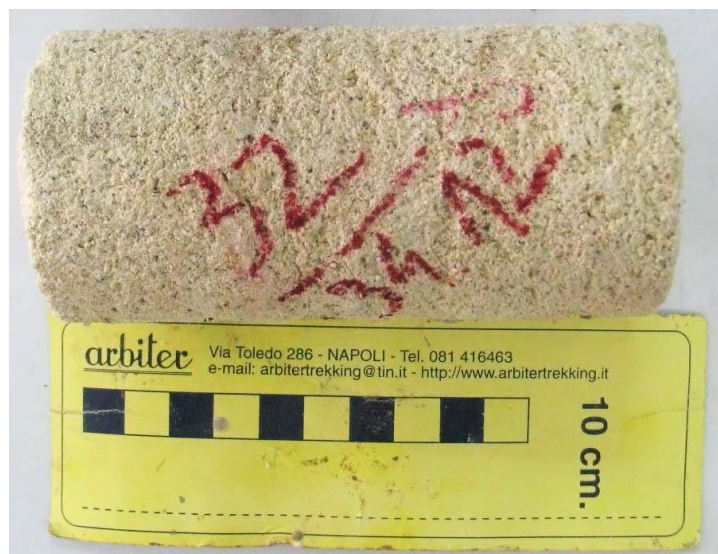


Figura 19. Calcar oolitic– TUZ_FG01 34,18 m



Figura 20. Folie de plastic înfășurată pe intercalațiile de argilă – TUZ_FG02 cutia nr. 1

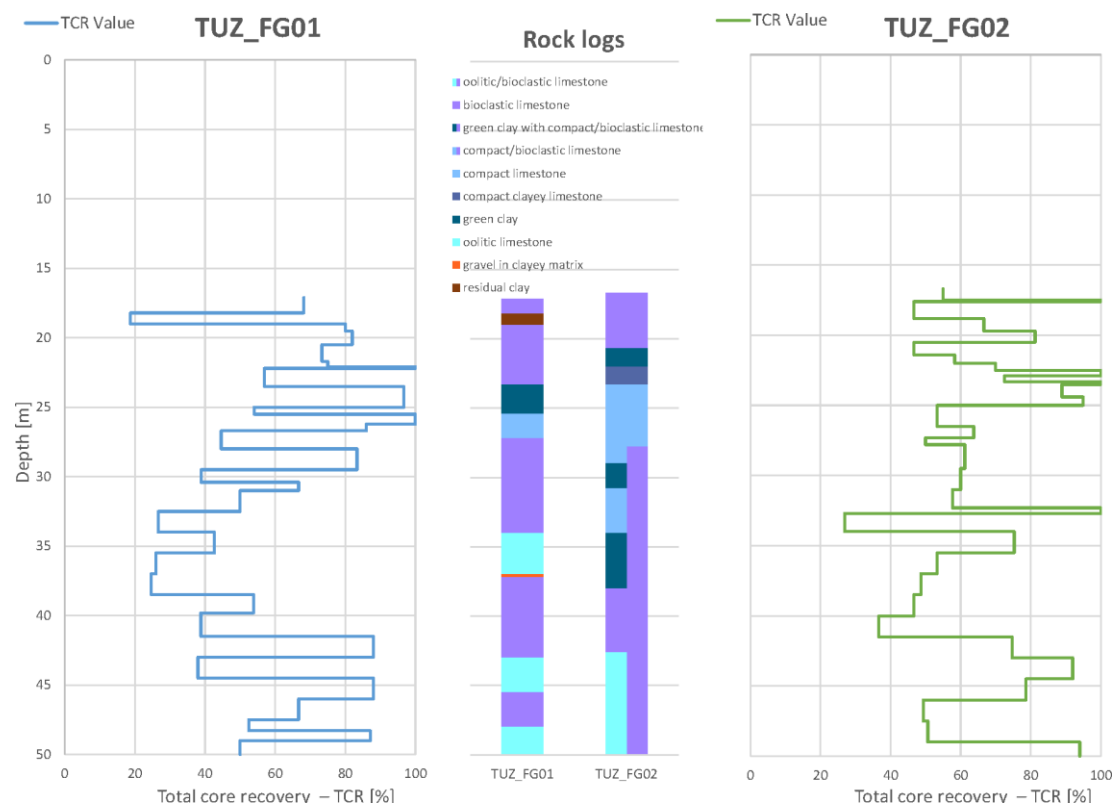


Figura 21. Recuperarea Totală a Carotei (Tuzla)

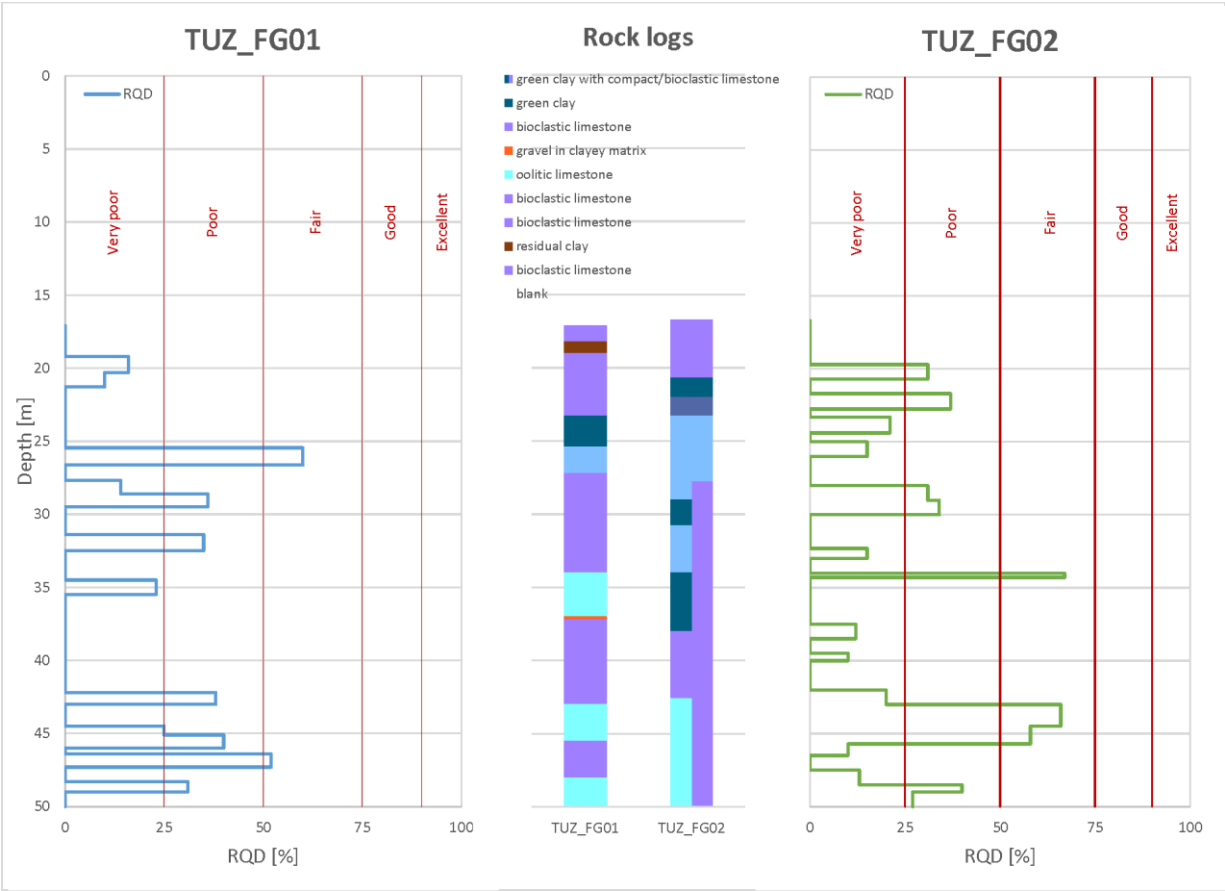


Figura 22. Fișa RQD a forajelor pentru Tuzla

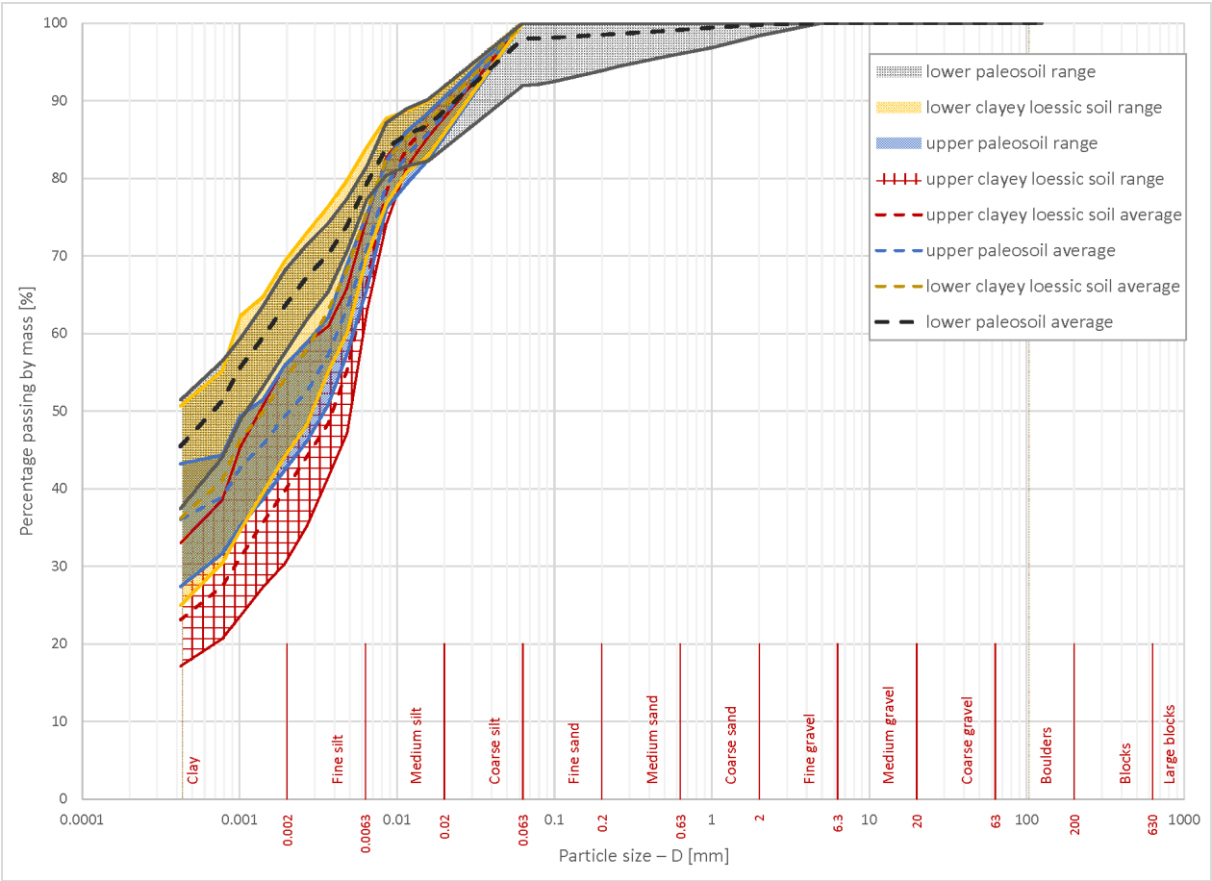


Figura 23. Compoziție granulometrică (Tuzla)

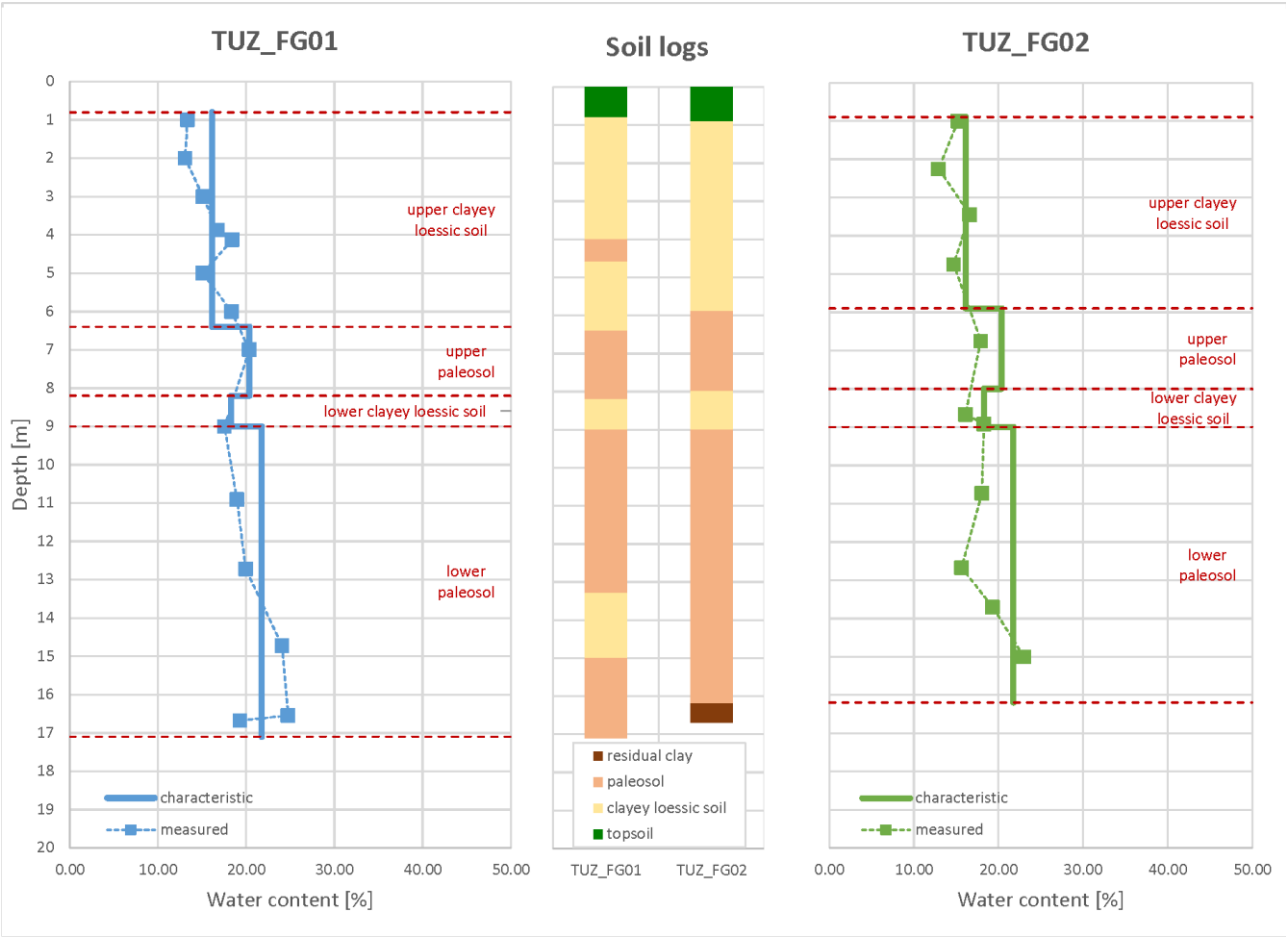


Figura 24. Variația umidității cu adâncimea (Tuzla)

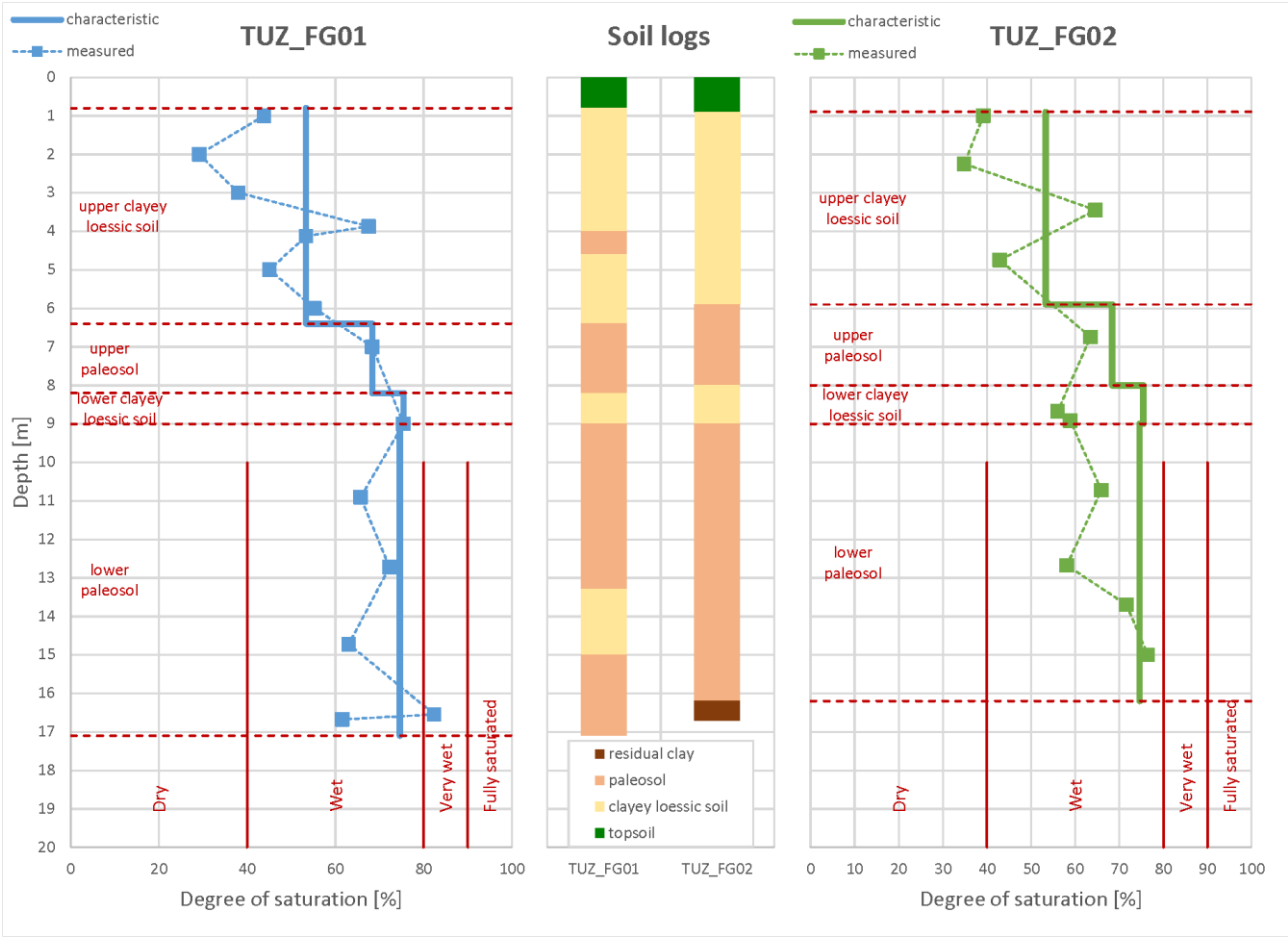


Figura 25. Variația gradului de umiditate cu adâncimea (Tuzla)

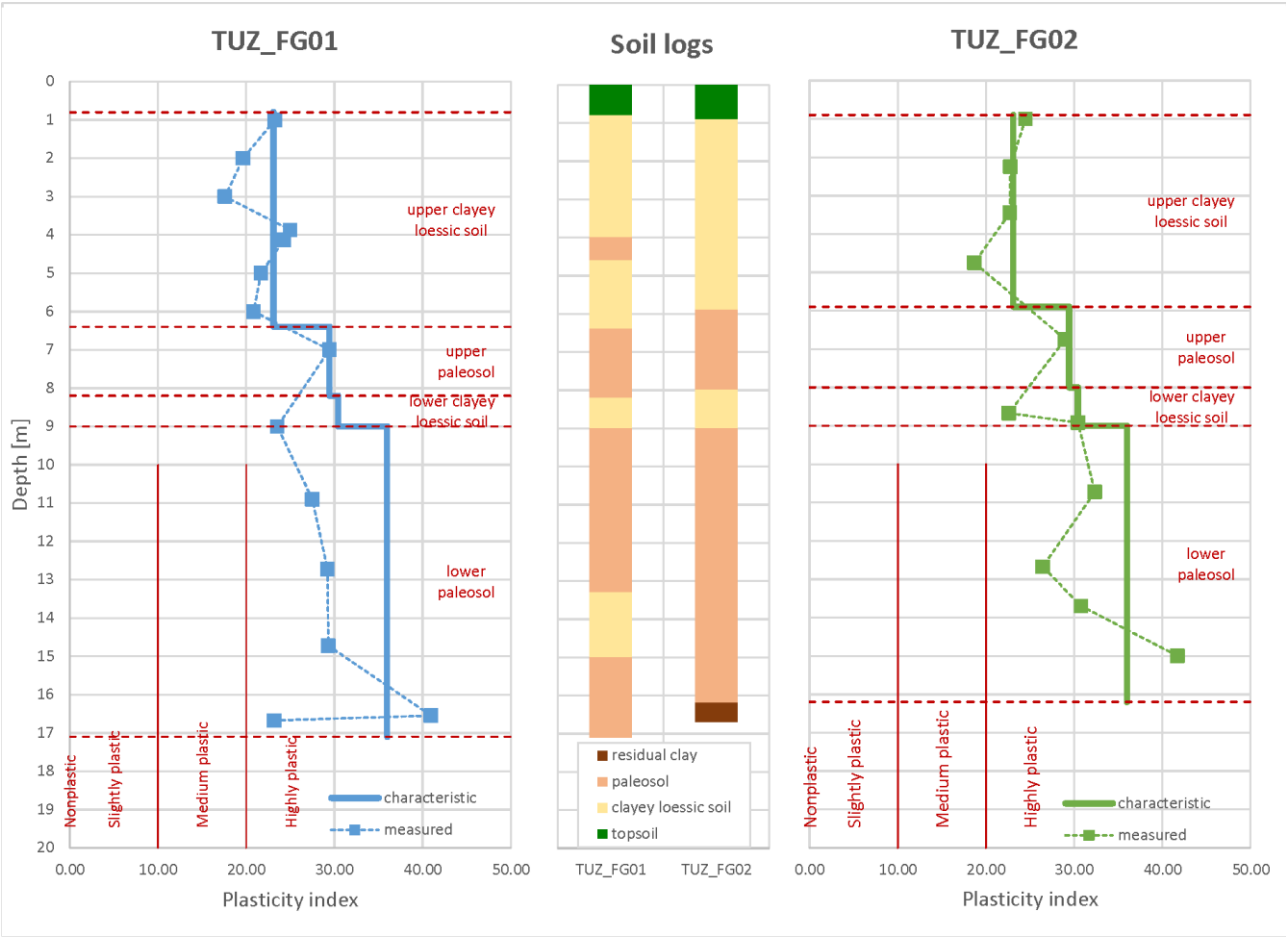


Figura 26. Variația Indicelui de plasticitate cu adâncimea (Tuzla)

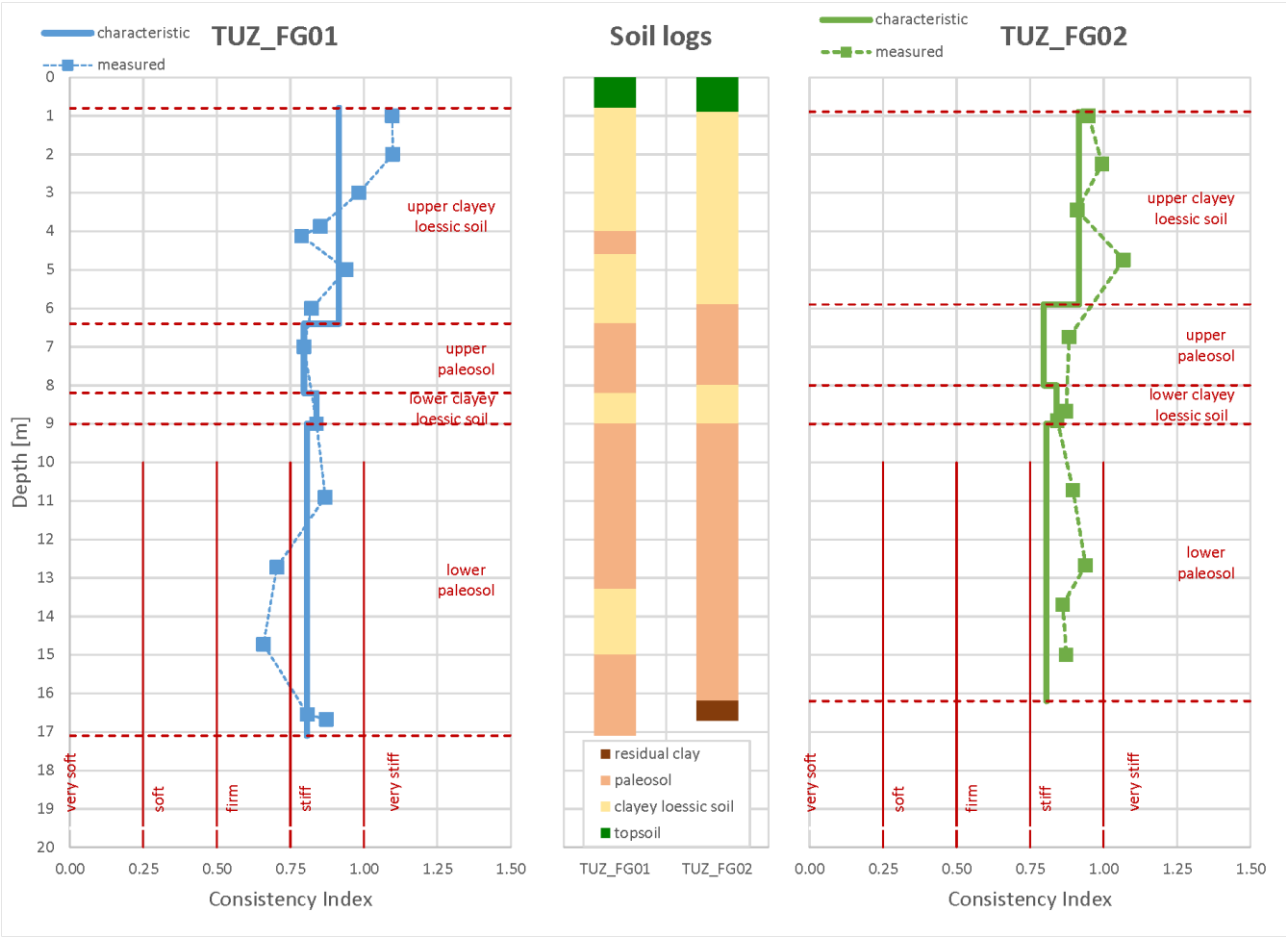


Figura 27. Variația Indicelui de consistență cu adâncimea (Tuzla)

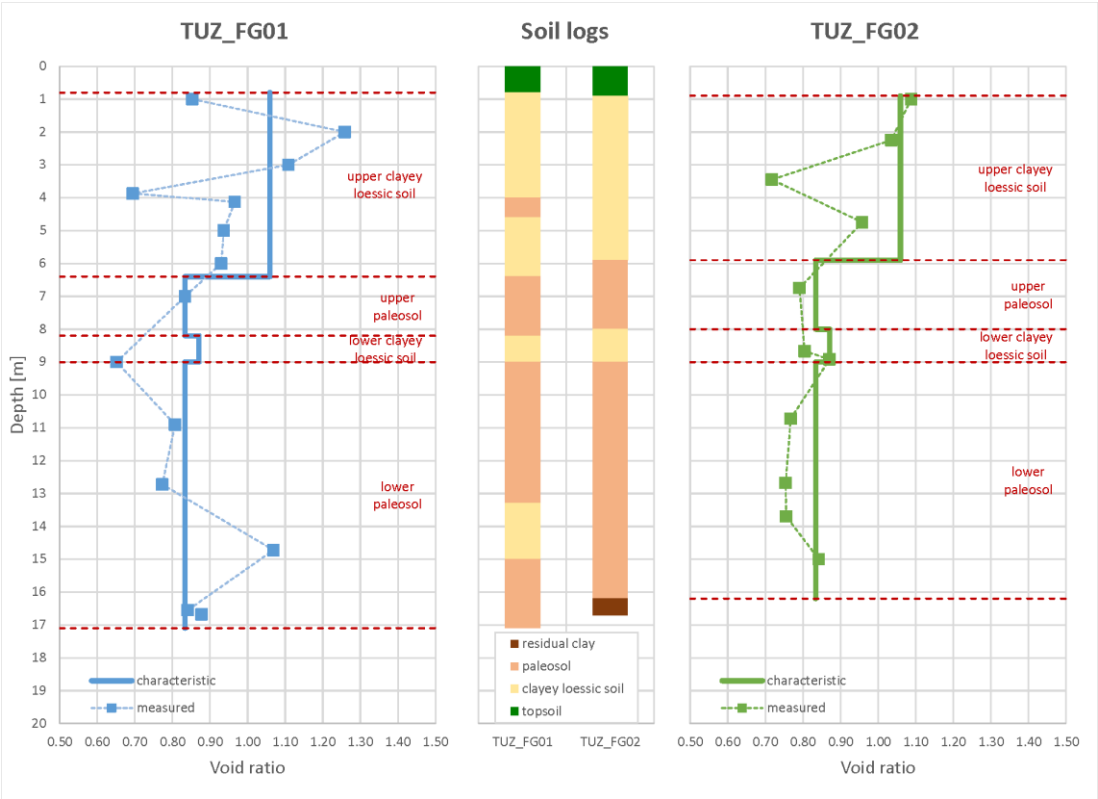
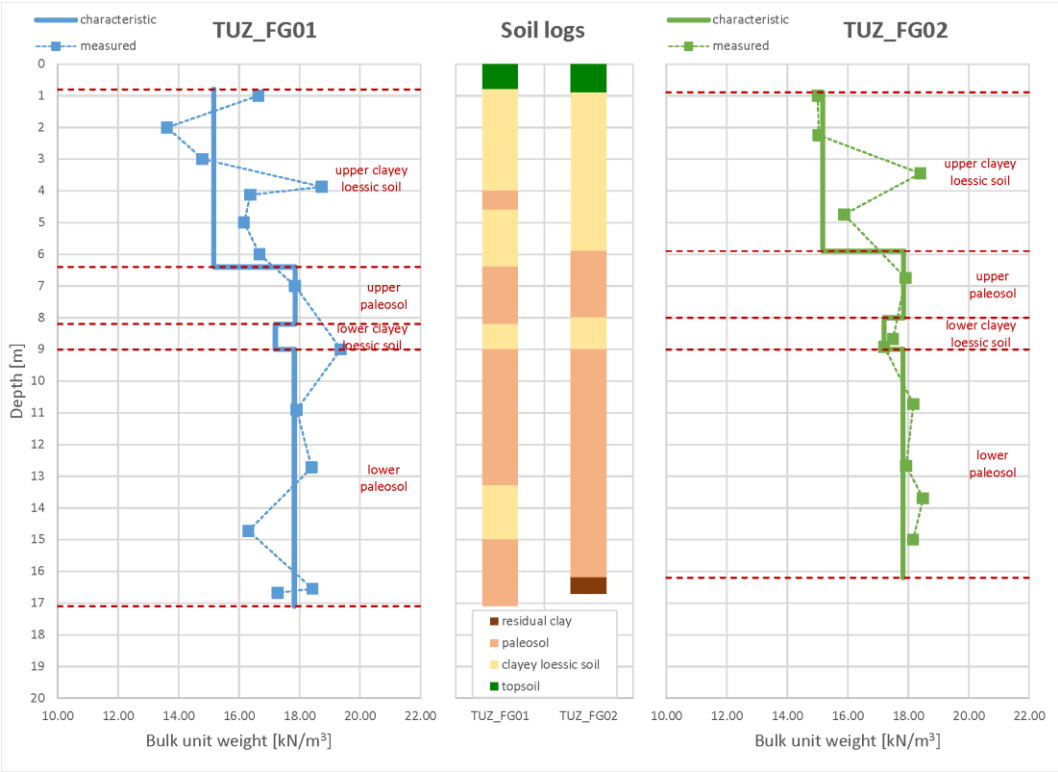


Figura 28. Variația indicelui porilor cu adâncimea (Tuzla)



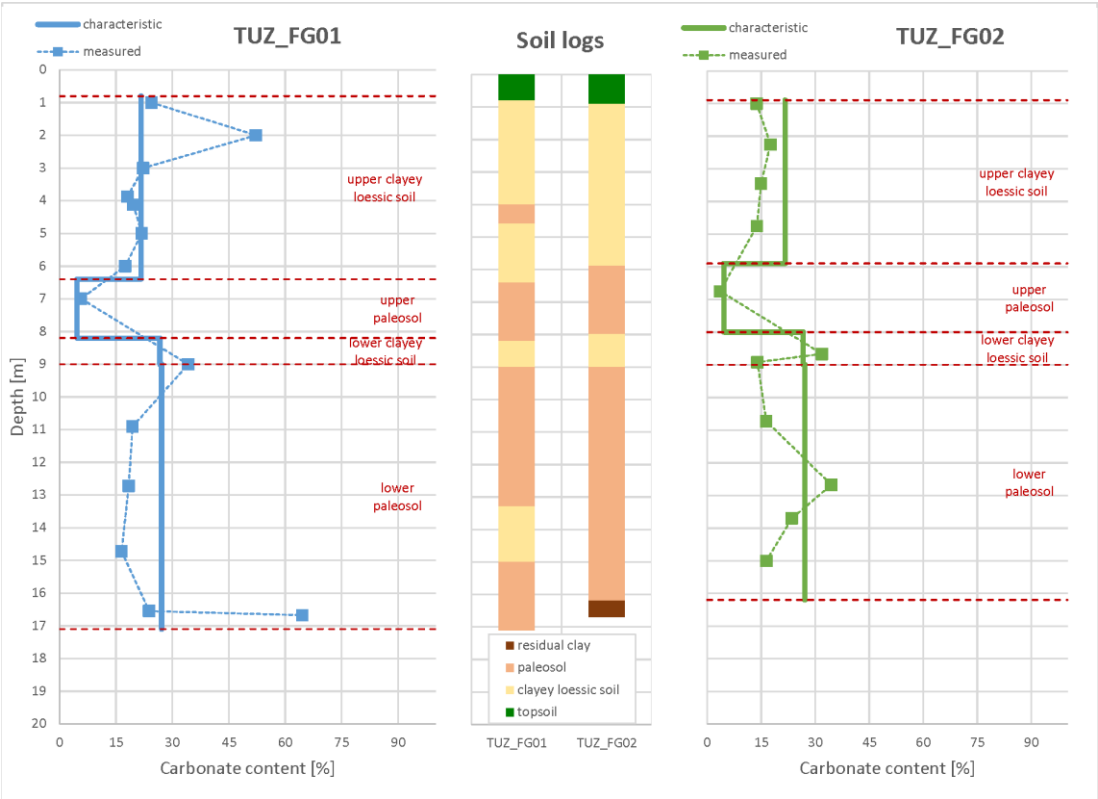


Figura 30. Variația conținutului de carbonați cu adâncimea (Tuzla)

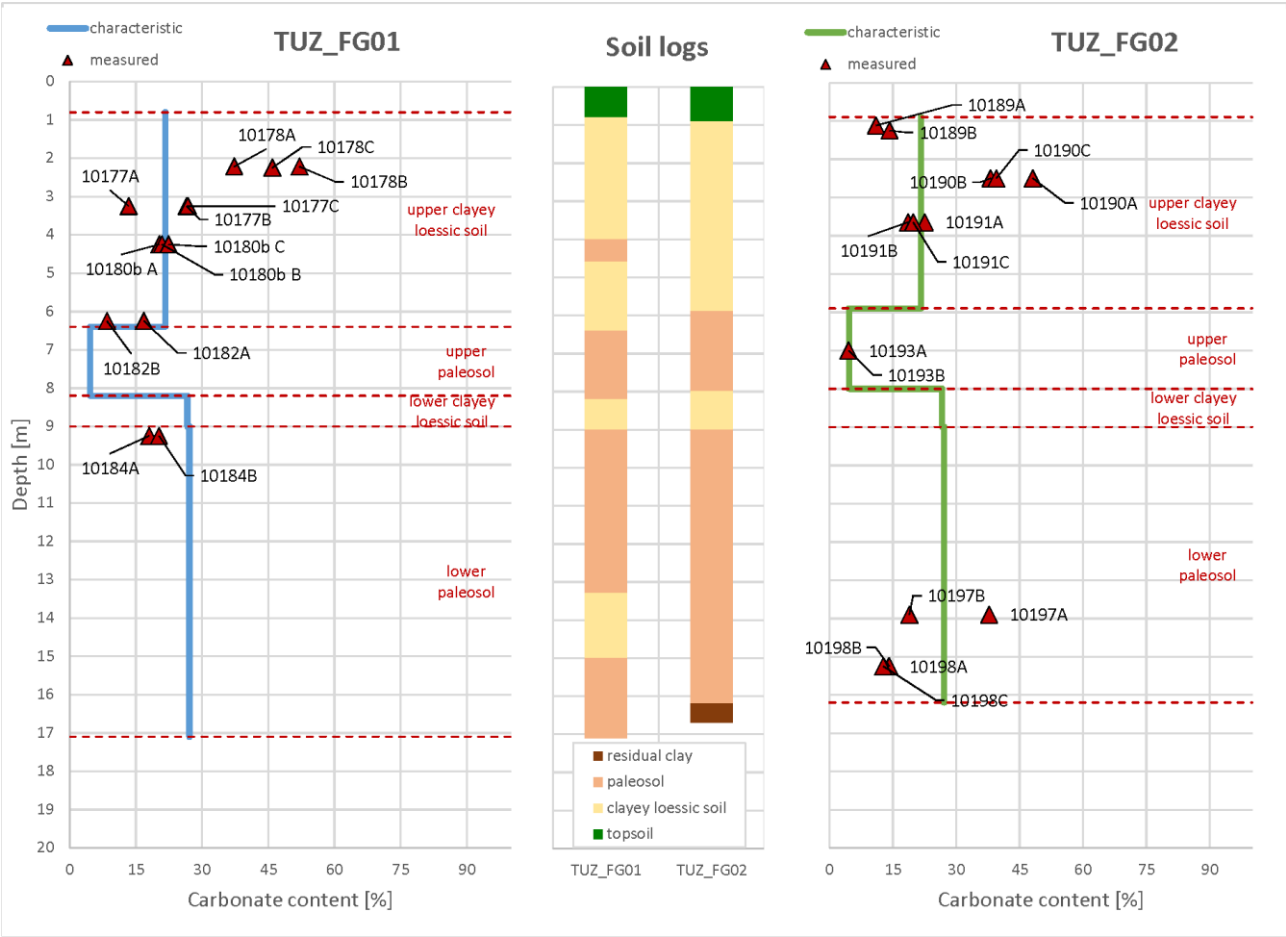


Figura 31. Variația conținutului de carbonați pentru probele TX și DS în raport cu adâncimea (Tuzla)

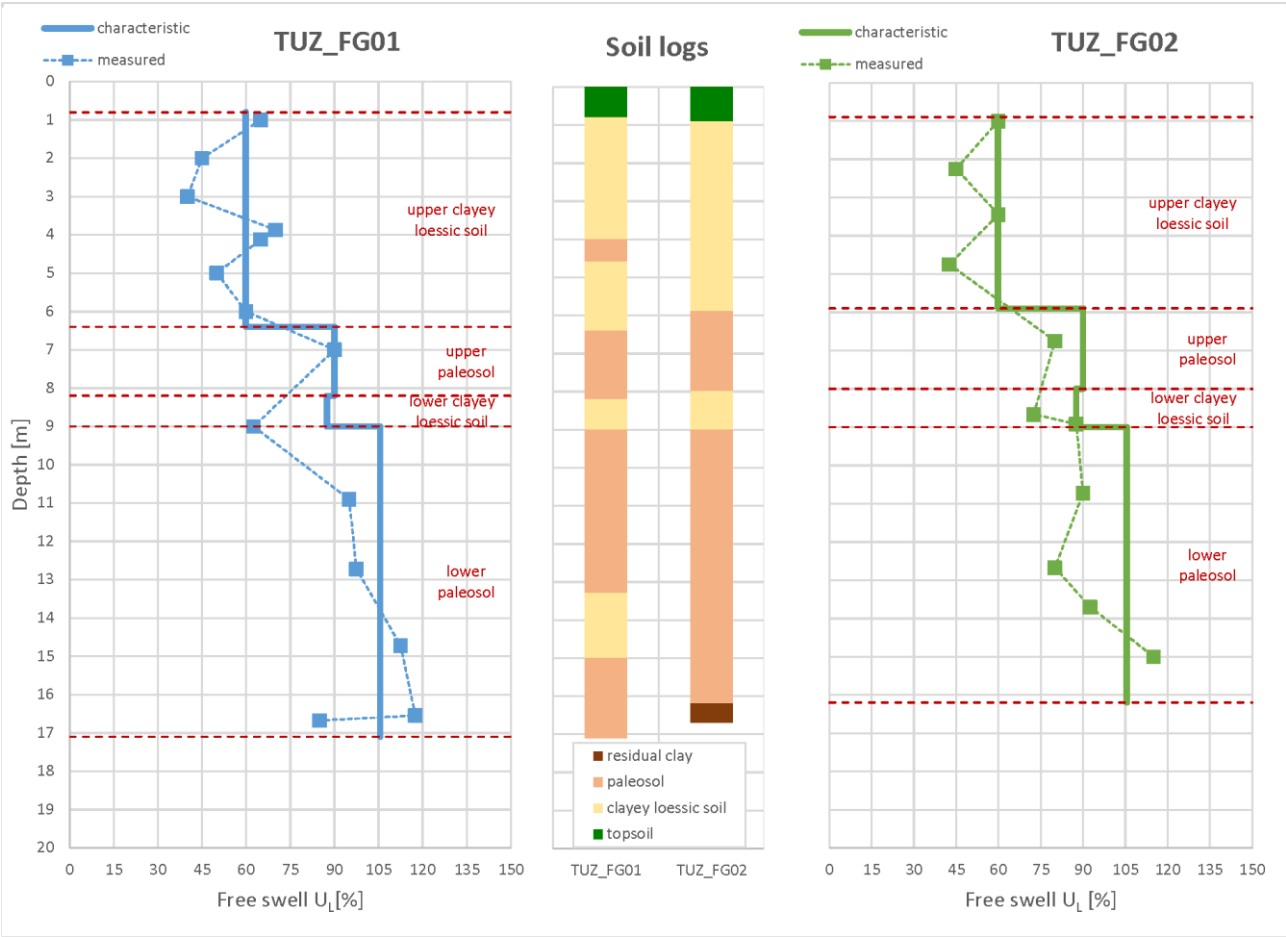


Figura 32. Variația umflării libere cu adâncimea (Tuzla)

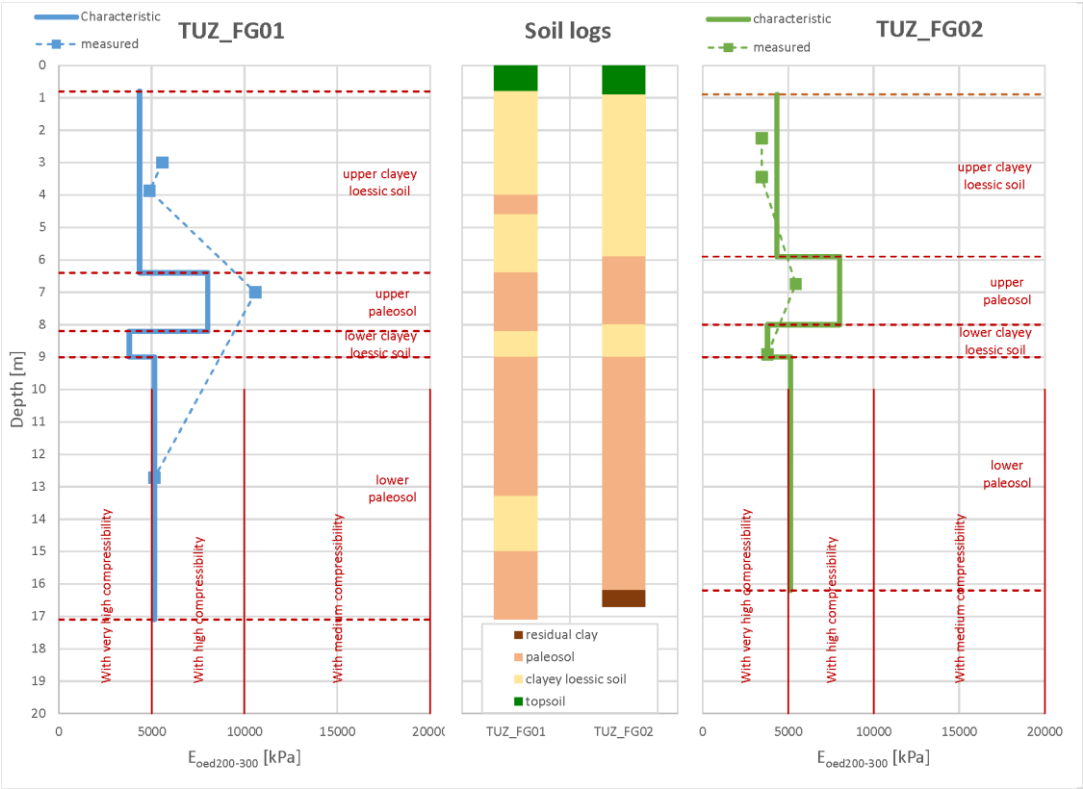


Figura 33. $E_{oed200-300}$ (Tuzla)

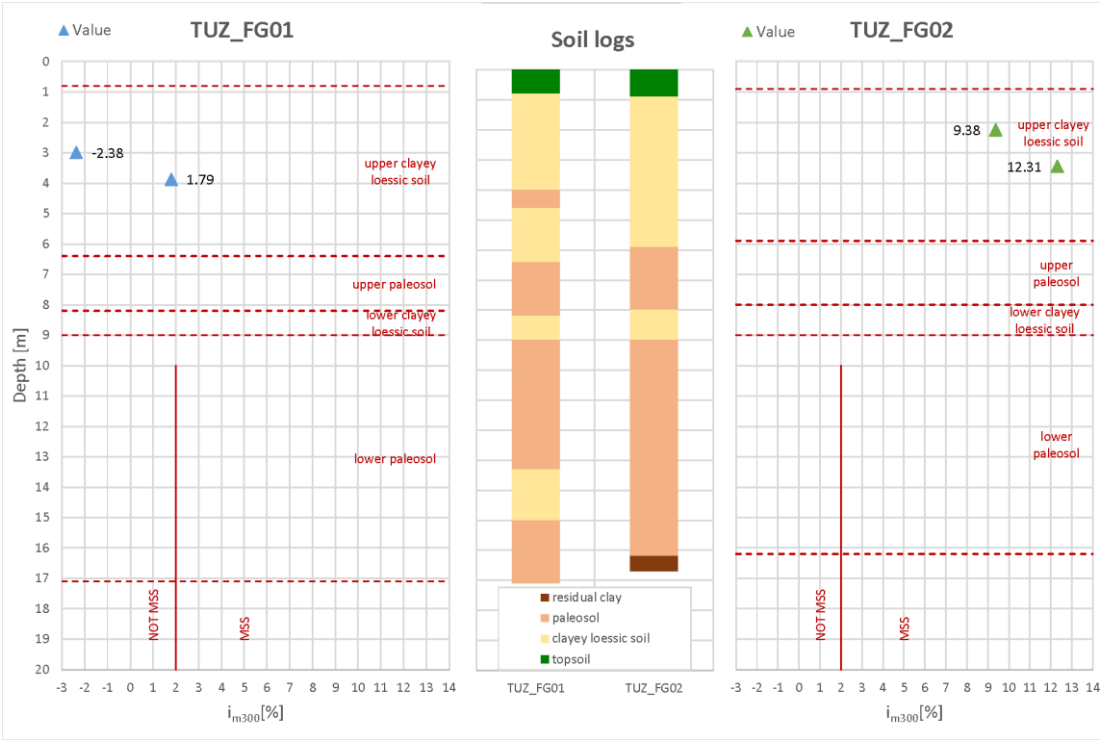


Figura 34. i_{m300} (Tuzla)

n [-]	0.49	γ_s [kN/m ³]	27.1	γ [kN/m ³]	17.03
γ_w [kN/m ³]	9.81	γ_{sat} [kN/m ³]	18.7068	σ_0 [kPa]	20

sup.	h_i [m]	0.5 x h_i + sup. [m]	σ_{gi} [kPa]	ϵ_{gi} [%]	i_{mg} [%]	i_{mg} x h_i [cm]
inf.			σ_{gn} [kPa]	ϵ_{gn} [%]		
0.8	0.2	0.9	16.84	2.57	0.83+1=1.83	0.37
1			15.33	1.74		
1	1	1.5	28.06	3.52	1.61	1.61
2			25.55	1.91		
2	1	2.5	46.77	5.05	2.85	2.85
3			42.58	2.20		
3	1	3.5	65.47	6.51	4.02	4.02
4			59.61	2.49		
4	1	4.5	84.18	7.90	5.13	5.13
5			76.64	2.76		
5	1	5.5	102.89	9.21	6.18	6.18
6			93.67	3.04		
6	0.4	6.2	115.98	10.10	6.87	2.75
6.4			105.59	3.22		
					i_{mg} [cm]	22.90

Figura 35. Calculul valorii I_{mg} pentru pământul loessoid argilos superior (Tuzla)

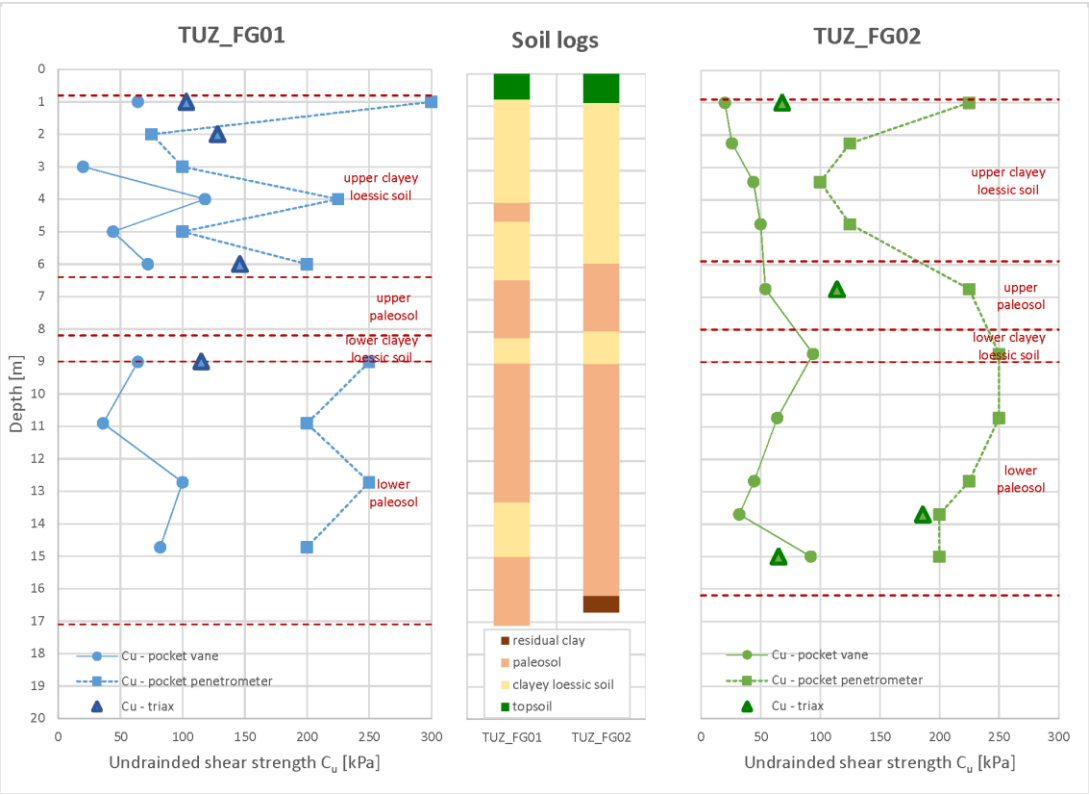


Figura 36. Variația rezistenței la forfecare nedrenată cu adâncimea (Tuzla)

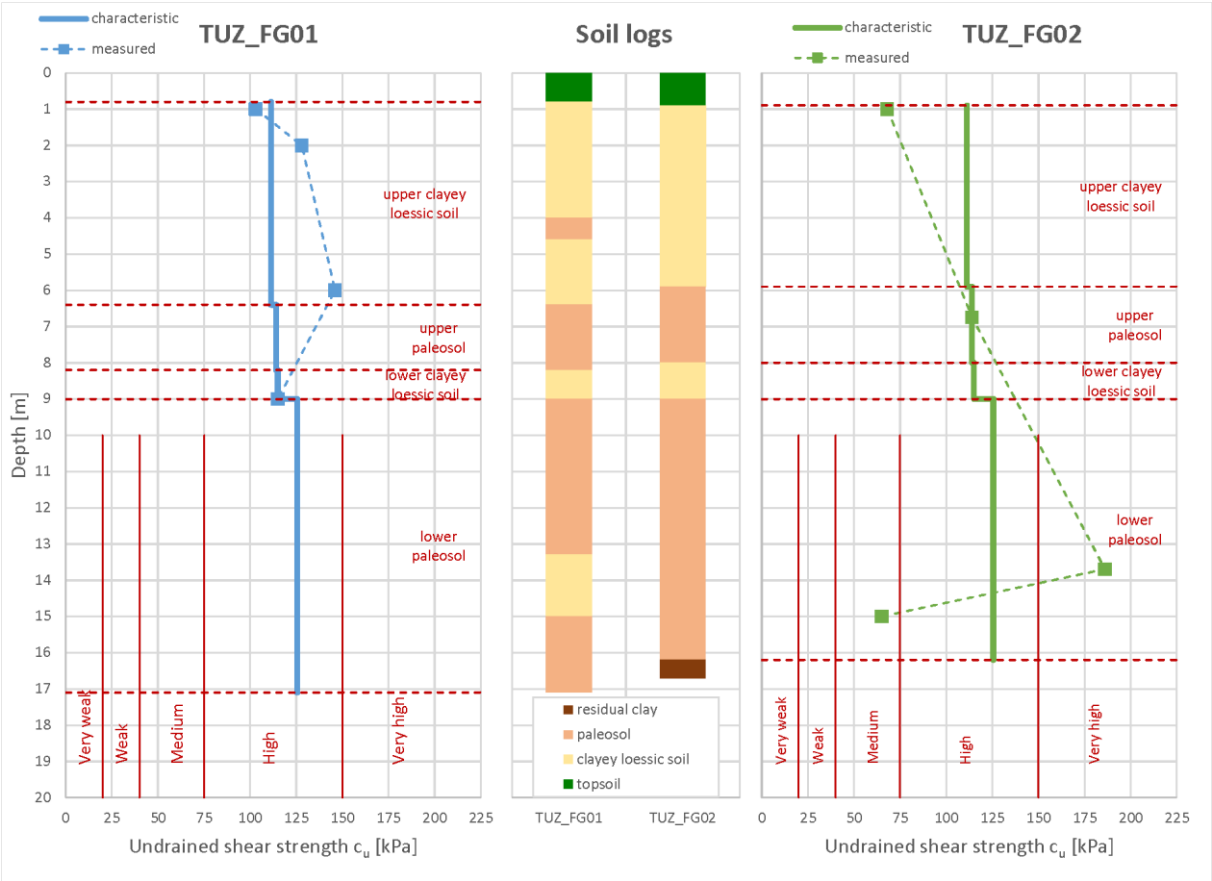


Figura 37. Variația rezistenței la forfecare nedrenată cu adâncimea (Tuzla)

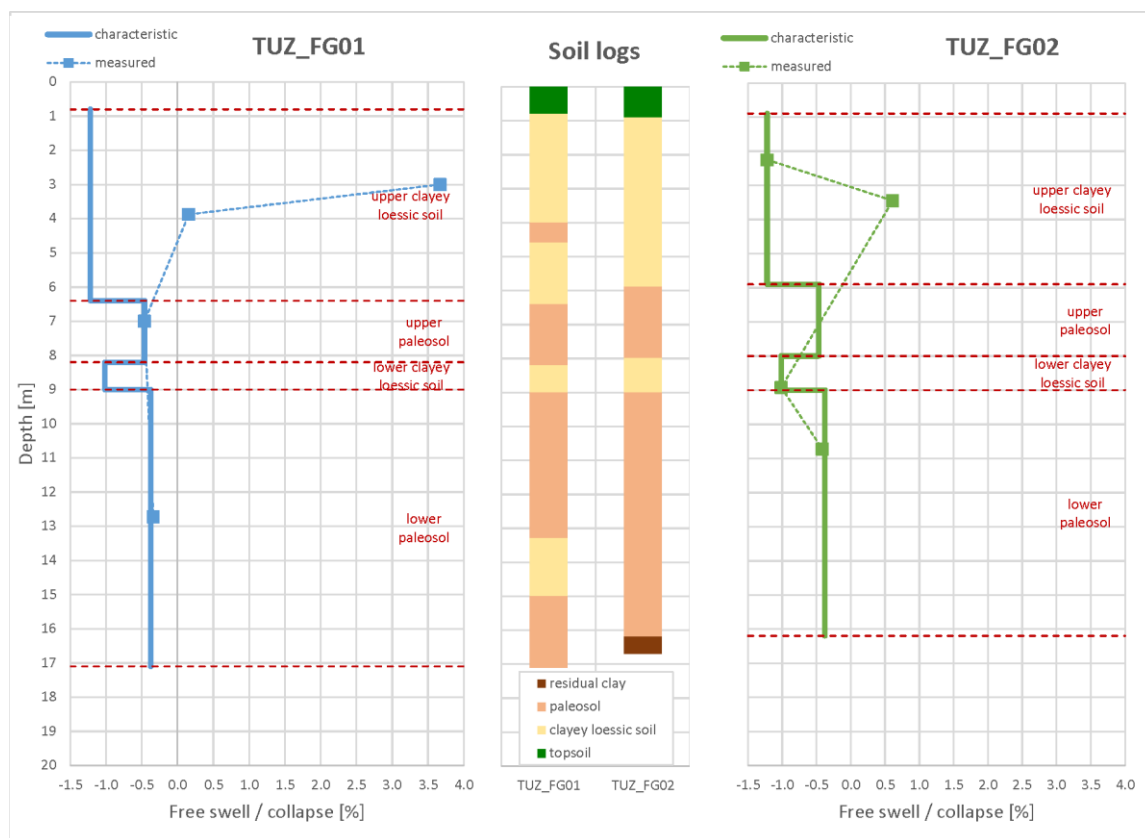


Figura 38. Variația umflării libere / cedării cu adâncimea (Tuzla)

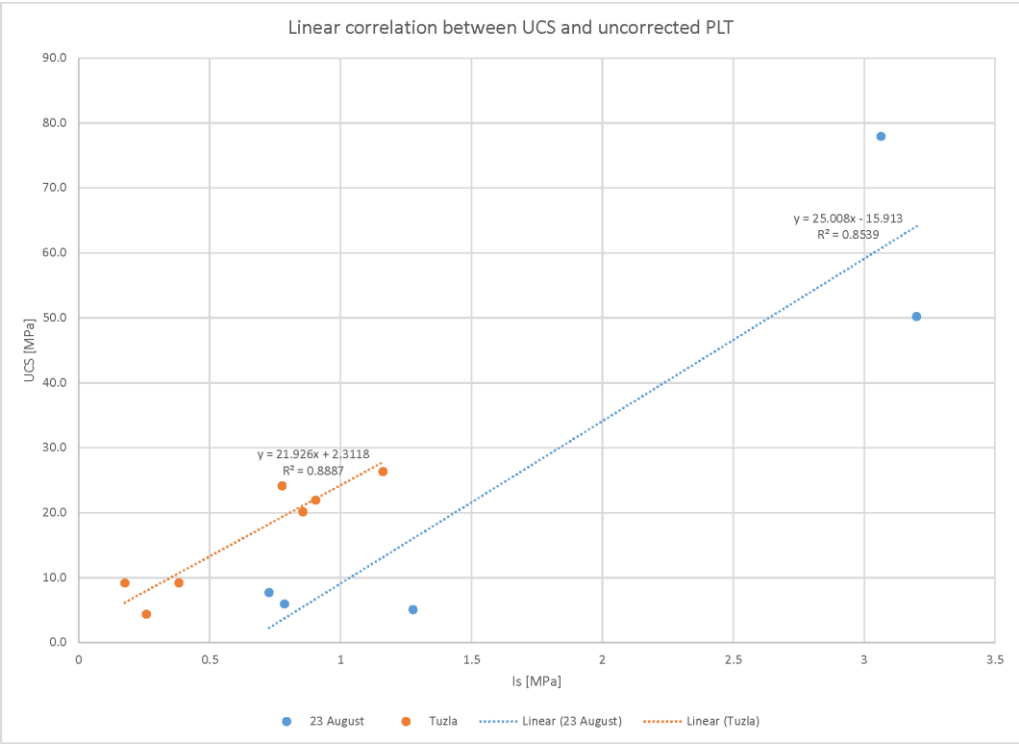


Figura 39. Corelația dintre PLS și UCS

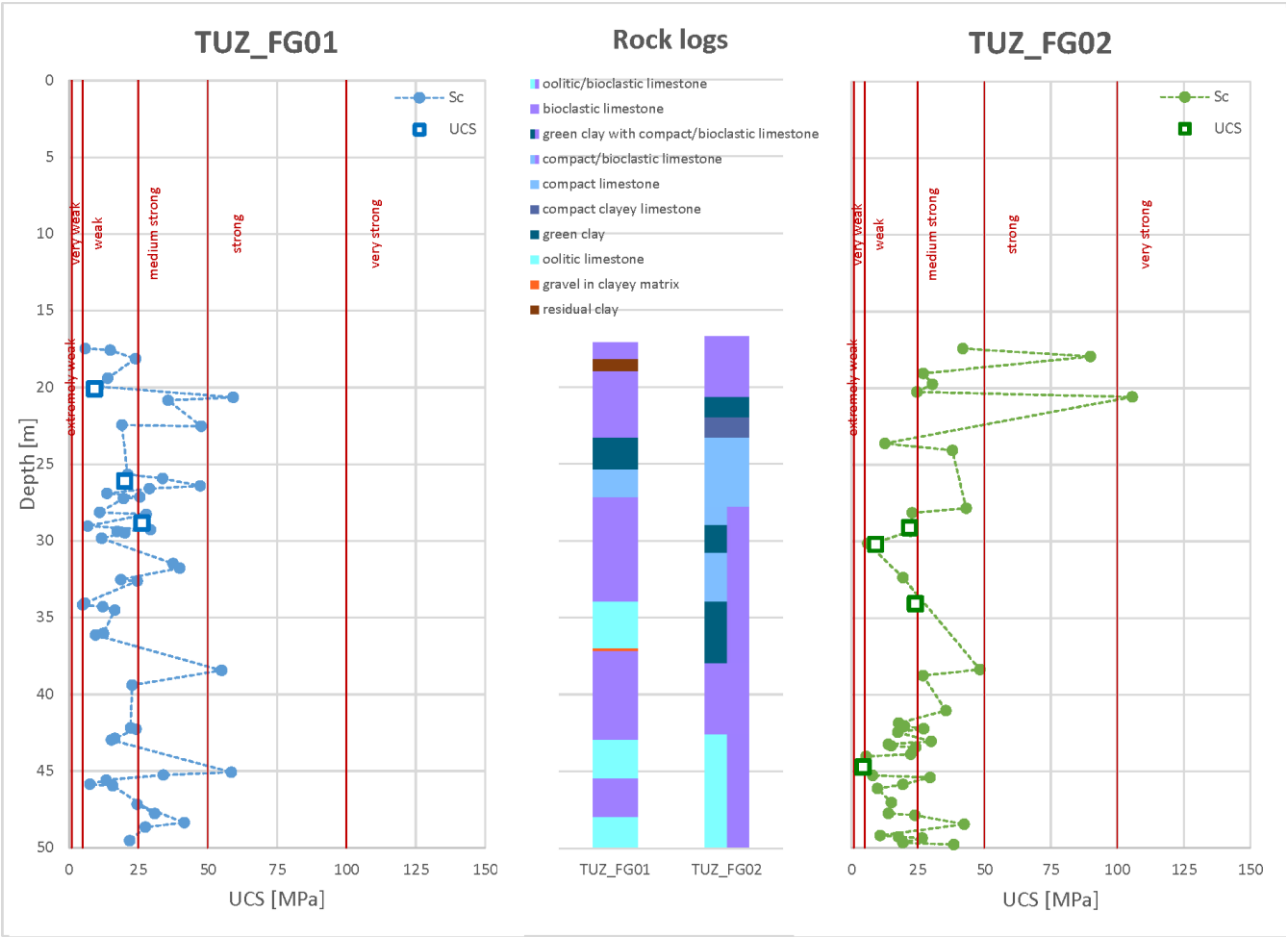


Figura 40. Variația UCS cu adâncimea – Tuzla

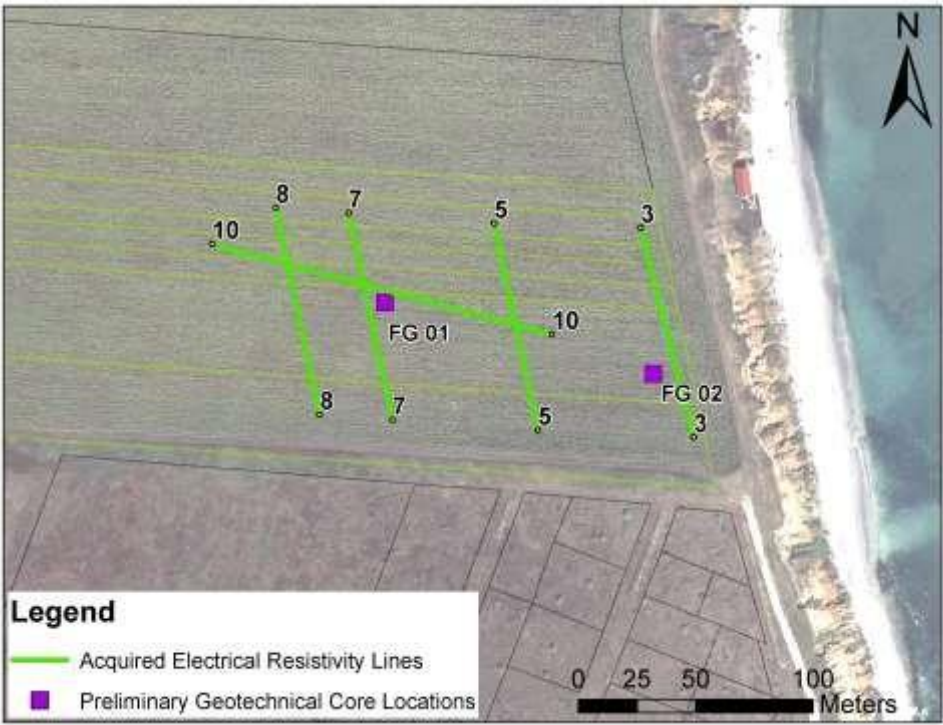


Figura 41. Profile pentru amplasamentele din perimetrul studiat la Tuzla

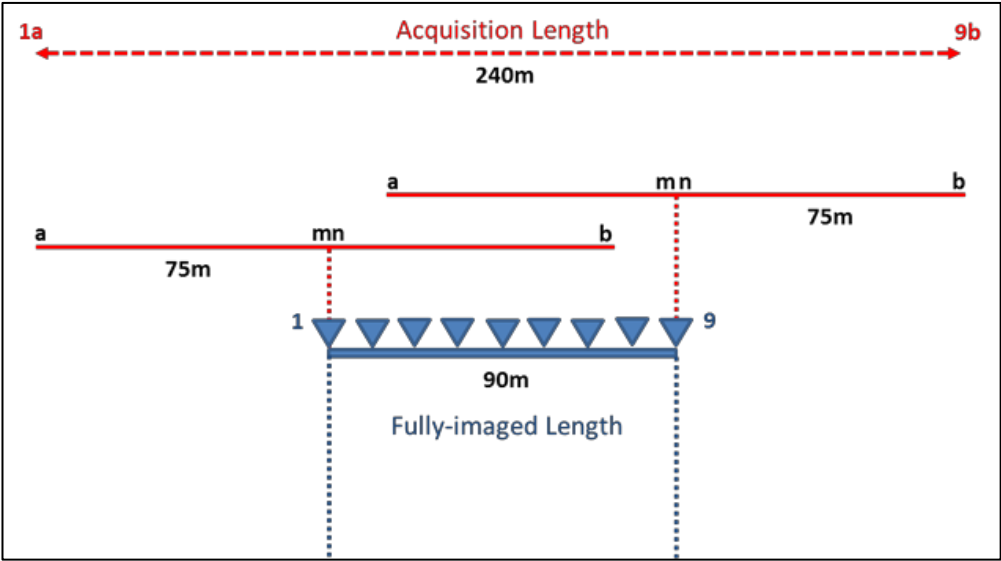


Figura 42. Rețeaua de rezistivitate electrică pentru fiecare profil

- (a): $AB/2 = 5\text{m}$, $MN=1\text{m}$
- (b): $AB/2 = 2\text{m}$, $MN=1\text{m}$
- (c): $AB/2 = 5\text{m}$,
 $MN=2\text{m}, 4\text{m}, 10\text{m}$

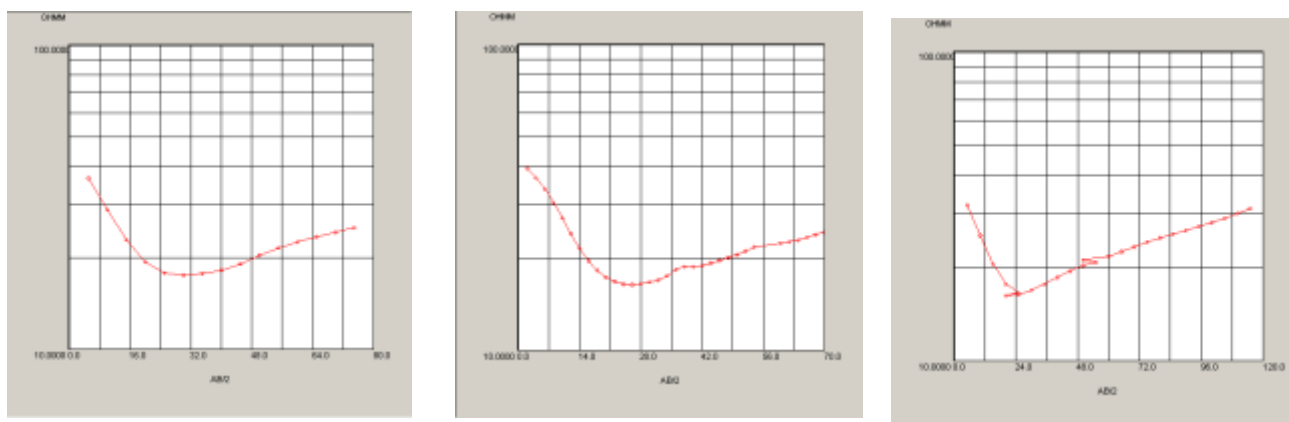


Figura 43. Profilul 5 pentru Tuzla, VES 4 – (a): inițial, (b): Încercare 1, (c): Încercare 2



Figura 44. Pământ fărâmițat care tinde spre Pământul Rezidual din Calcarul Sarmațian Mijlociu (Carstic) identificat în Forajul R09-03, 8,90 mbsl - 10,40 mbsl



Figura 45. Calcar Sarmațian Mijlociu (Carstic) local fărâmițat cu caracteristici extinse de dizolvare, local tinzând spre Pământul Rezidual (argilă portocalie) identificat în Forajul R09-04, 0,00 mbsl – 1,30m mbsl

Neptun Deep Project	Raport de date geotehnice pe țărm (onshore) și în apropierea țărmului (nearshore)	Rev 0
	ROND-EW-YRRPT-24-0008	Page 112 of 120



Figura 46. Calcar Sarmațian Mijlociu (Carstic) local alterat cu geode și alte goluri identificat în Forajul R09-1, 16,10 mbsl – 17,60 mbsl



Figura 47. Calcar Sarmațian Mijlociu (Carstic) parțial alterat cu geode umplute sub orizontul principal alterat identificat în Forajul R09-1, 31,10 mbsl – 32,60 mbsl



Figura 48. Calcar Sarmațian Mijlociu (Carstic) parțial alterat cu geode umplute sub orizontul principal alterat identificat în Forajul R09-2, 31,10 mbsl – 32,60 mbsl



Figura 49. Calcar Sarmațian Mijlociu (Intact) nealterat spre parțial alterat local, fără caracteristici de dizolvare, identificat în Forajul R09-1, 53,30 mbsl – 54,80 mbsl

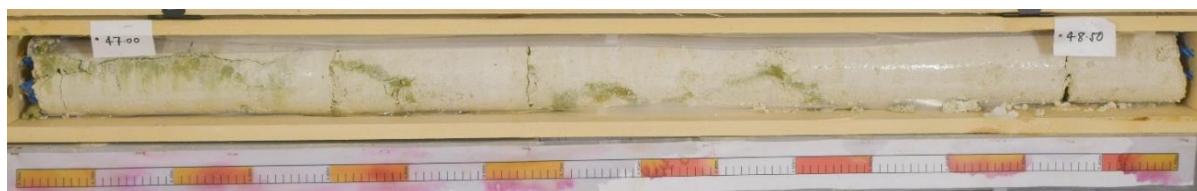


Figura 50. Calcar Sarmațian Mijlociu (Intact) cu glauconit identificat în Forajul R09-4, 47,00 mbsl – 48,50 mbsl



Figura 51. Tranziția de la Calcar Sarmațian Mijlociu (Intact) la Nisip Verde Sarmațian identificat în Forajul R09-4, 53,00 mbsl – 54,50 mbsl



Figura 52. Nisip Verde Sarmațian care tranzitează spre Calcar Lutețian la partea inferioară identificat în Forajul R09-4, 56,00 mbsl – 57,50 mbsl



Figura 53. Creta identificată în Forajul R09-4, 66,50 mbsl – 66,50 mbsl

Neptun Deep Project	Raport de date geotehnice pe țărm (onshore) și în apropierea țărmului (nearshore)	Rev 0
	ROND-EW-YRRPT-24-0008	Page 114 of 120

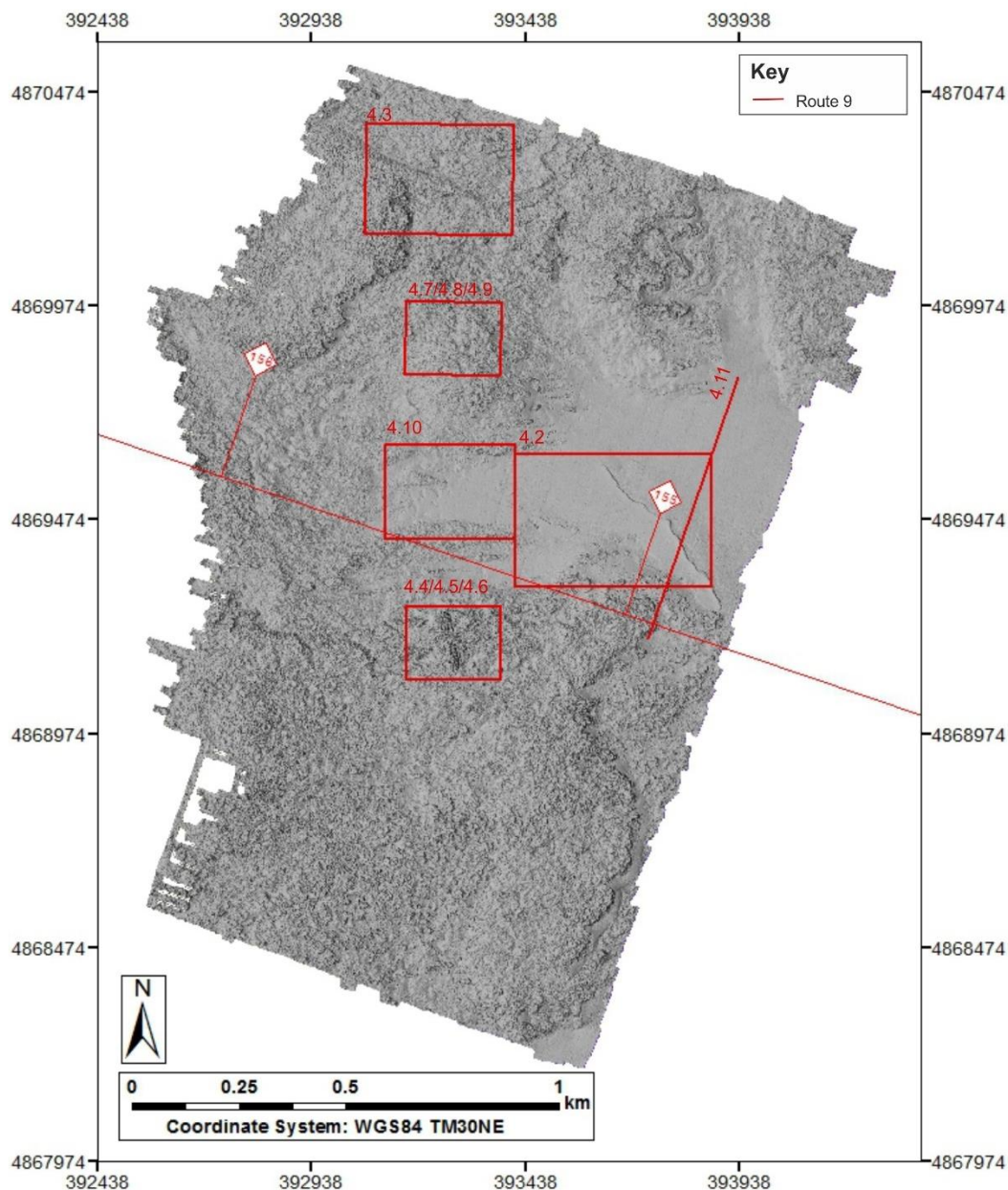


Figura 54. Batimetrie umbrită pentru amplasamentul Route 9 în apropierea țărmului (nearshore). Hartă care arată acoperirea elementelor detaliate de batimetrie și a liniilor de profil a fundului mării

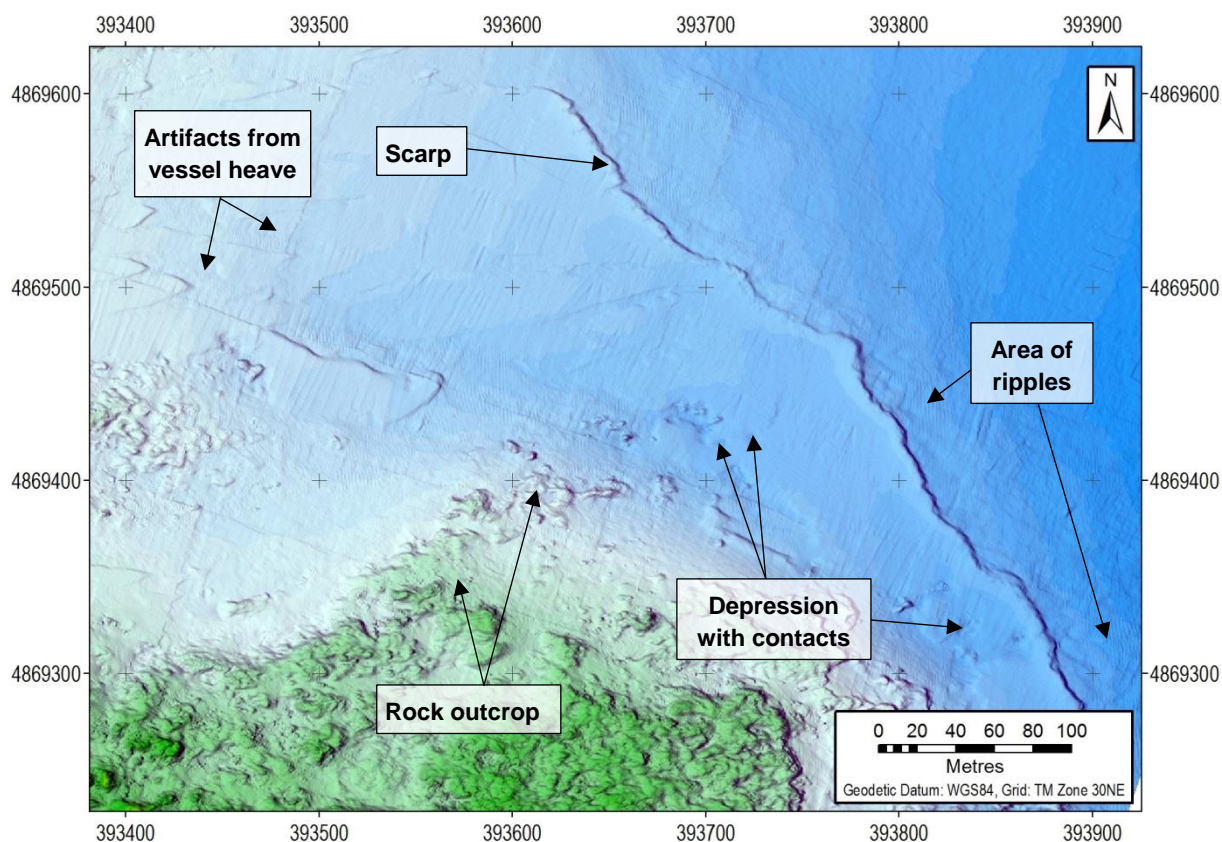


Figura 55. Exemplu de date MBES care arată caracteristicile identificate ale fundului mării, inclusiv o zonă de dune de nisip pe fundul mării, o zonă de denivelare, o zonă de depresiuni și un afloriment de rocă. Extinderea figurii prezentate în Figura 54

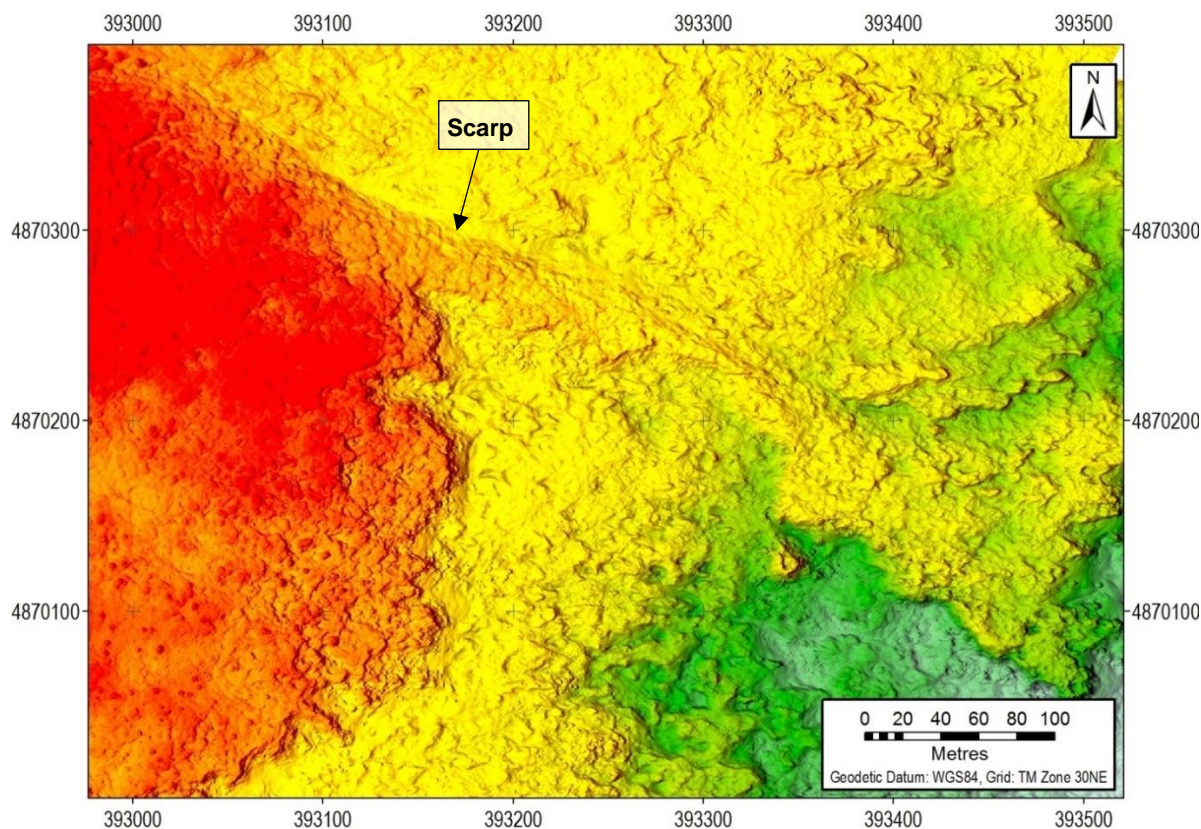


Figura 56. Exemplu de date MBES care arată denivelarea din zona rocii dezvelite.
Extinderea figurii prezentate în Figura 54

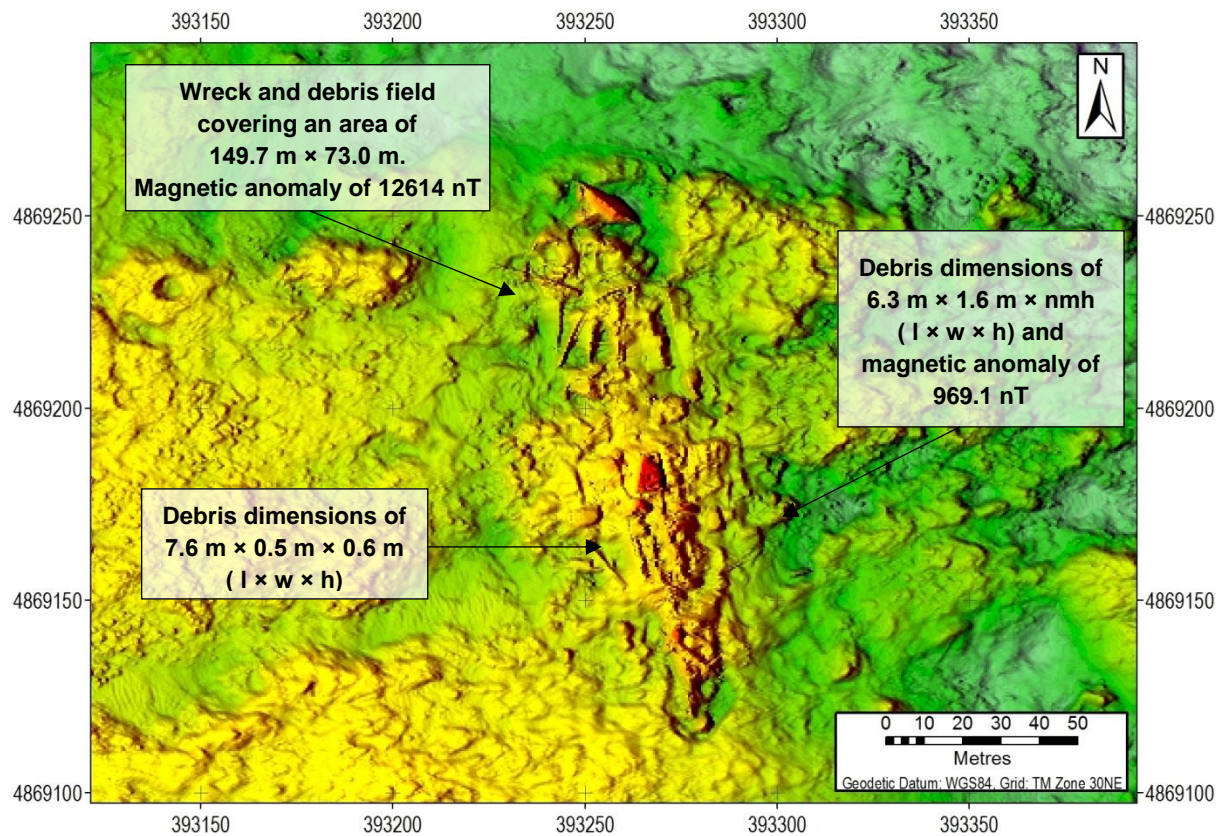


Figura 57. Exemplu de date MBES care arată epava și câmpul asociat de fragmente de rocă. Extinderea figurii prezentate în Figura 54

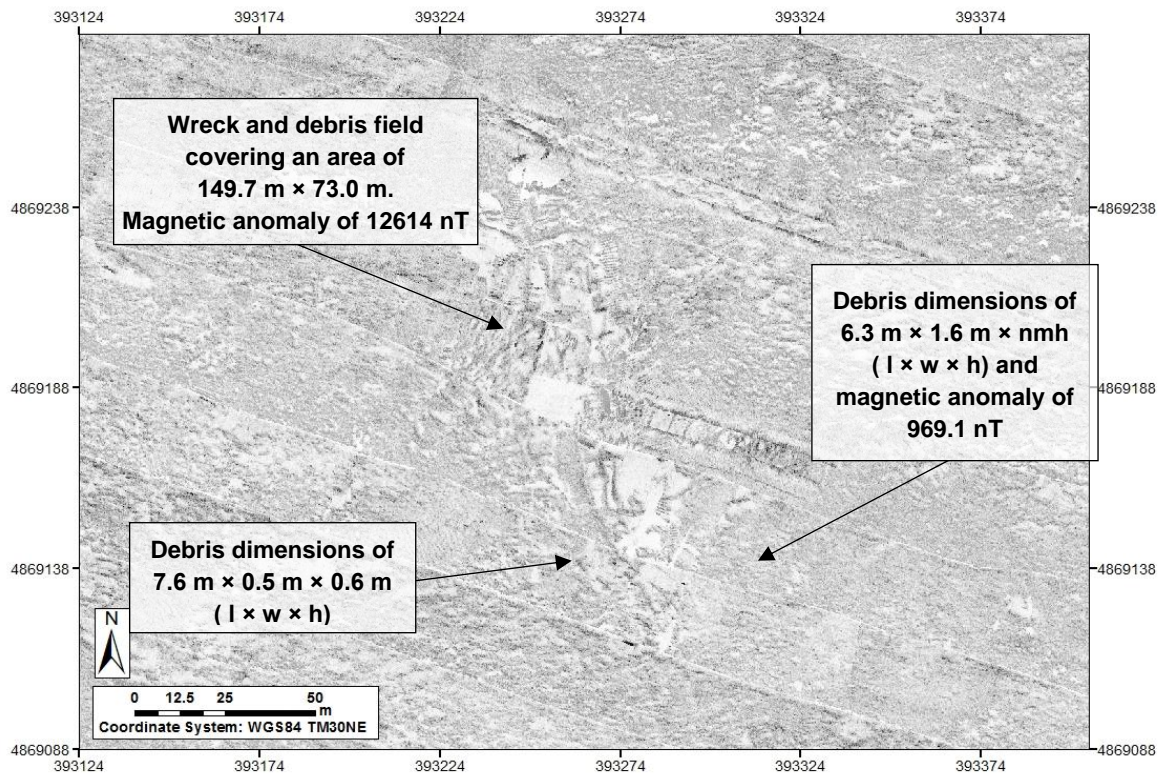


Figura 58. Exemplu de date SSS care arată epava și câmpul asociat de fragmente de rocă. Extinderea figurii prezentate în Figura 54

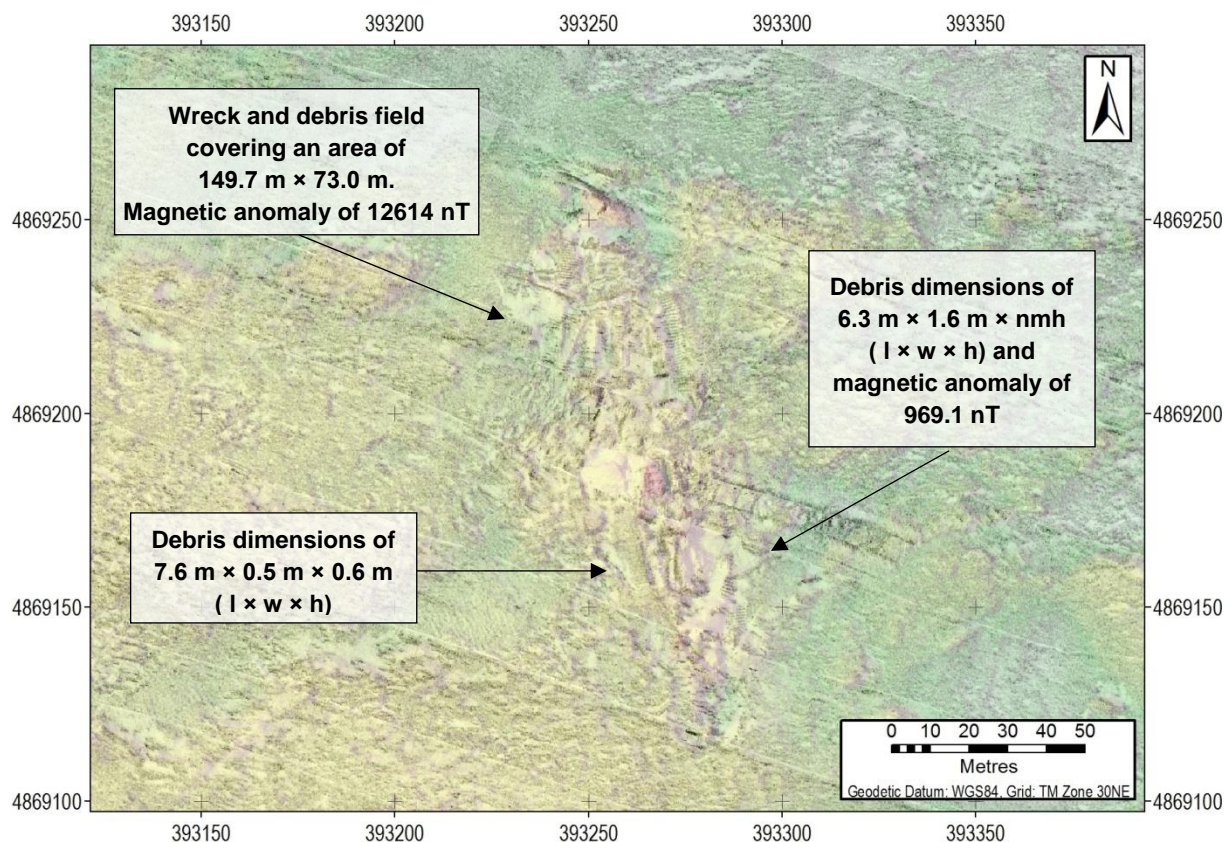


Figura 59. Date SSS suprapuse peste datele MBES care arată epava și câmpul asociat de fragmente de rocă. Extinderea figurii prezentate în Figura 54

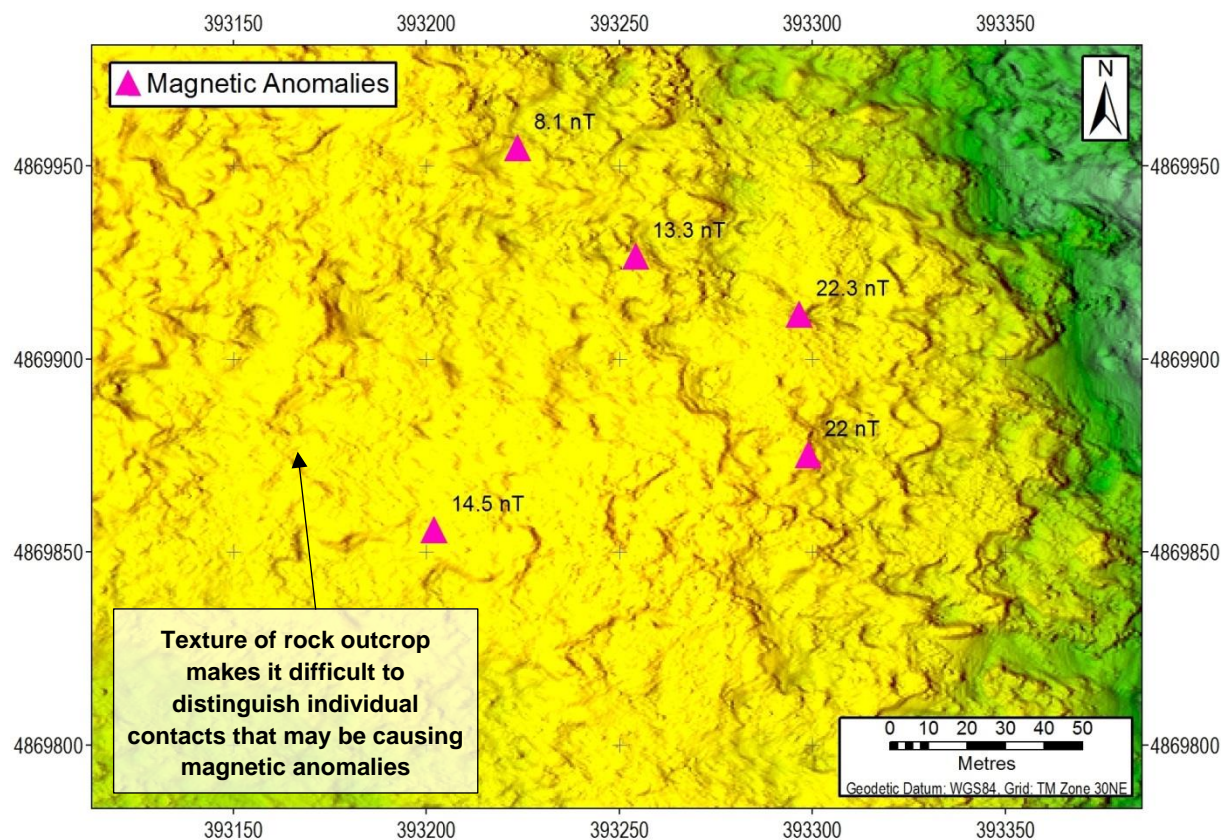


Figure 60. Exemplu de date MBES care arată anomaliile magnetice din zona rocii dezvelite. Extinderea figurii prezentate în Figura 54

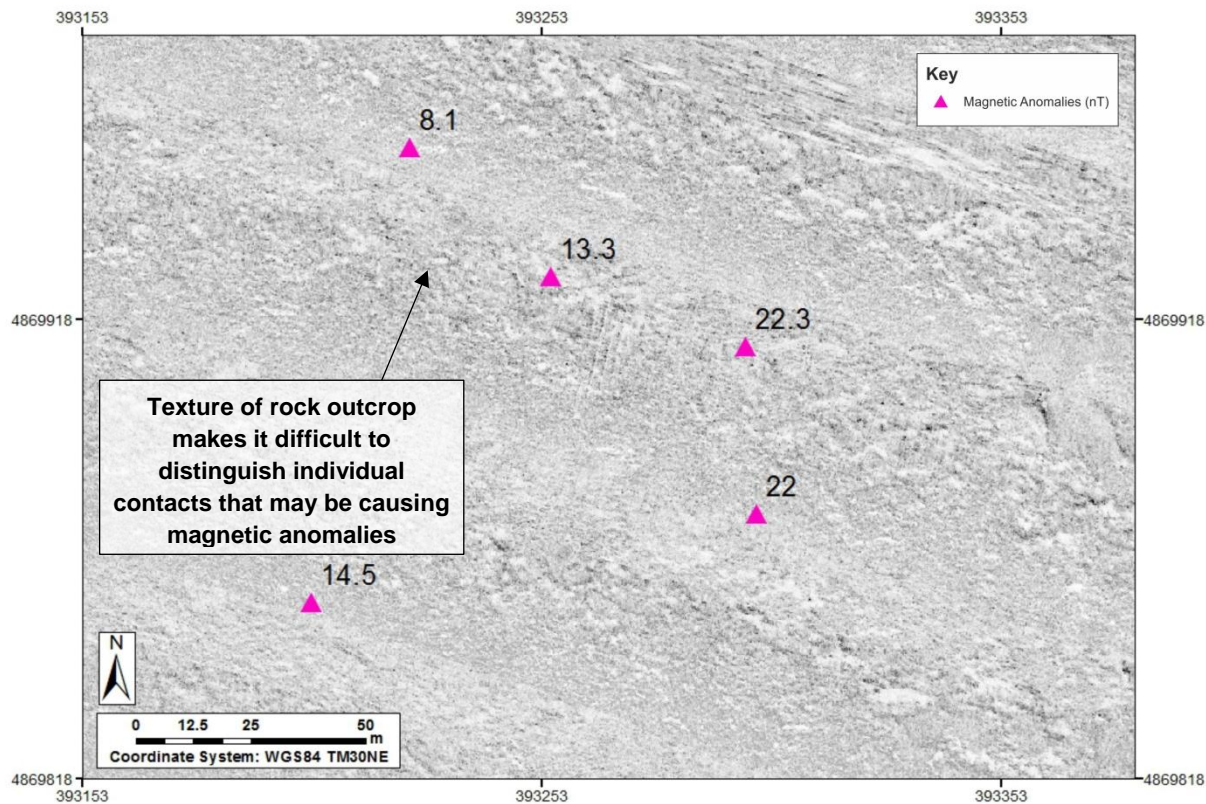


Figure 61. Exemplu de date SSS care arată anomaliile magnetice din zona rocii dezvelite. Extinderea figurii prezentate în Figura 54

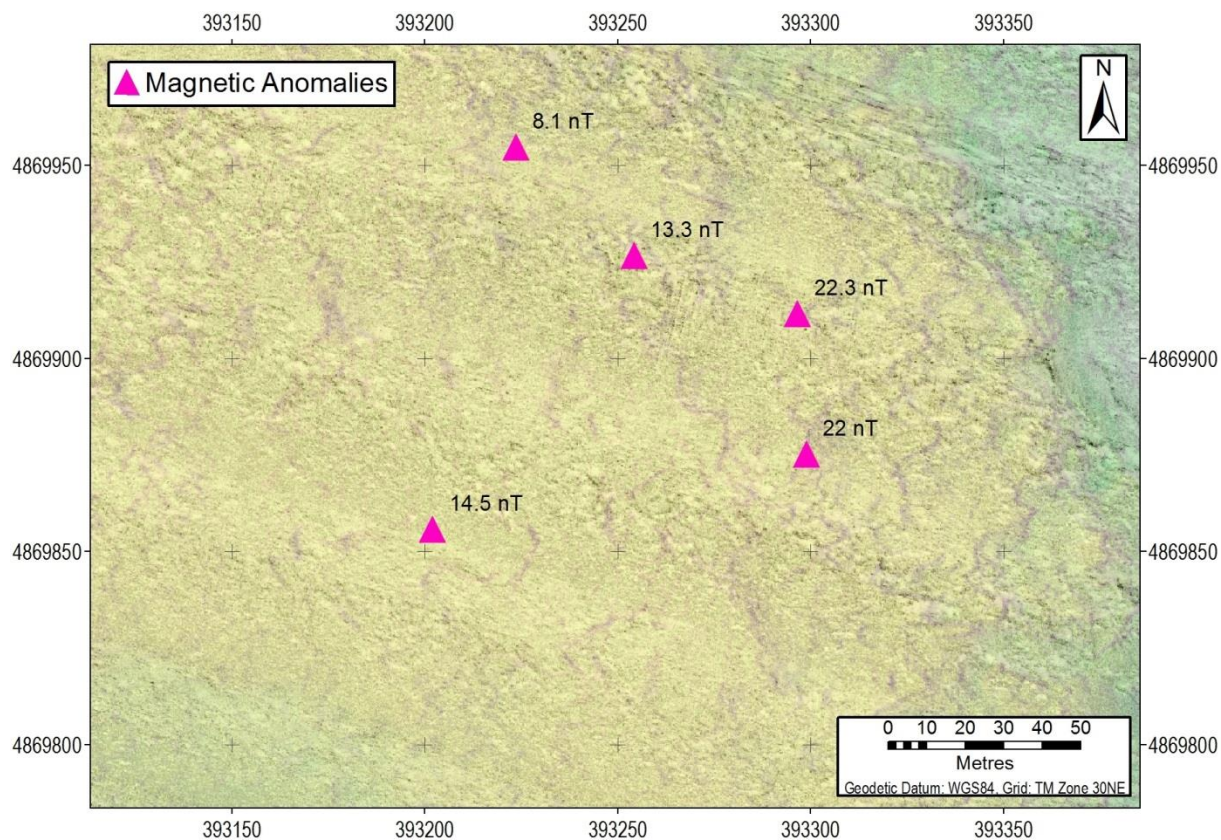


Figura 62. Date SSS suprapuse peste datele MBES care arată anomaliile magnetice. Extinderea figurii prezentate în Figura 54

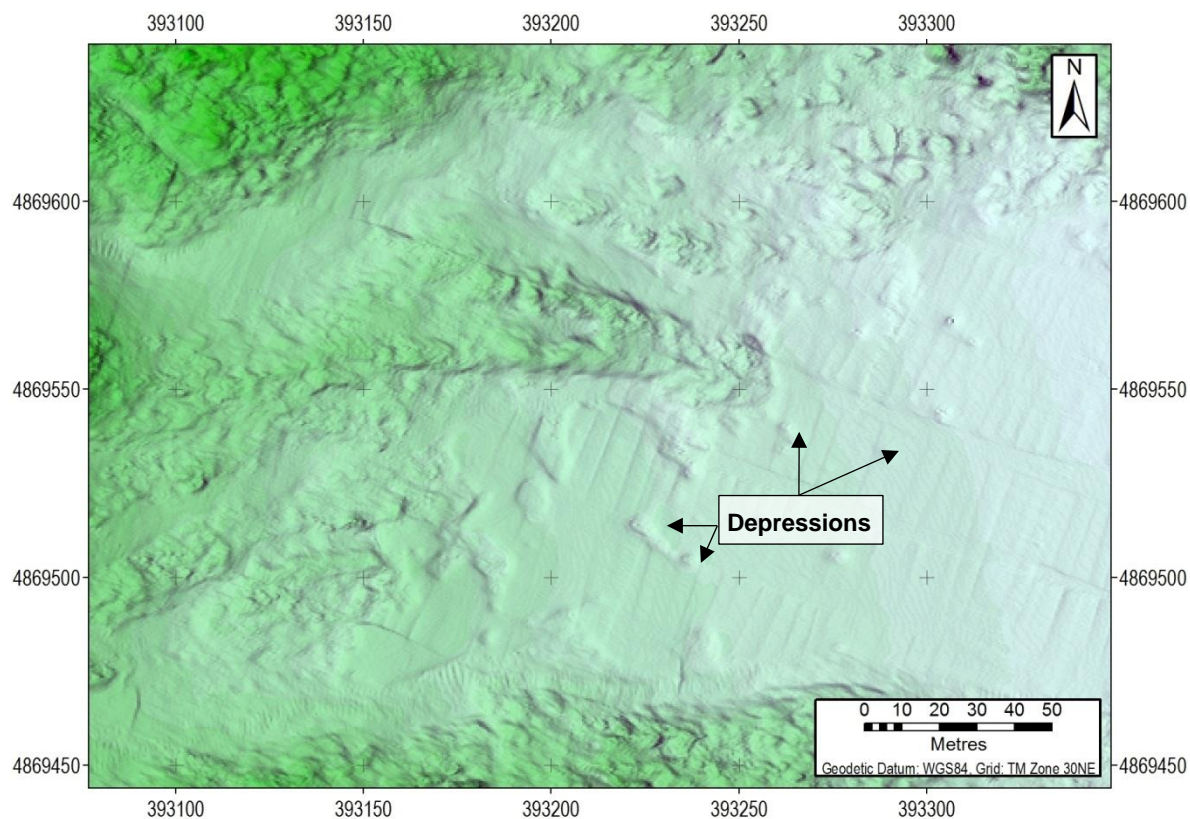


Figura 63. Exemplu de date MBES care arată zona de depresiuni din zona studiată a Route 9. Extinderea figurii prezentate în Figura 54

Neptun Deep Project	Raport de date geotehnice pe țărm (onshore) și în apropierea țărmului (nearshore)	Rev 0
	ROND-EW-YRRPT-24-0008	Page 124 of 120

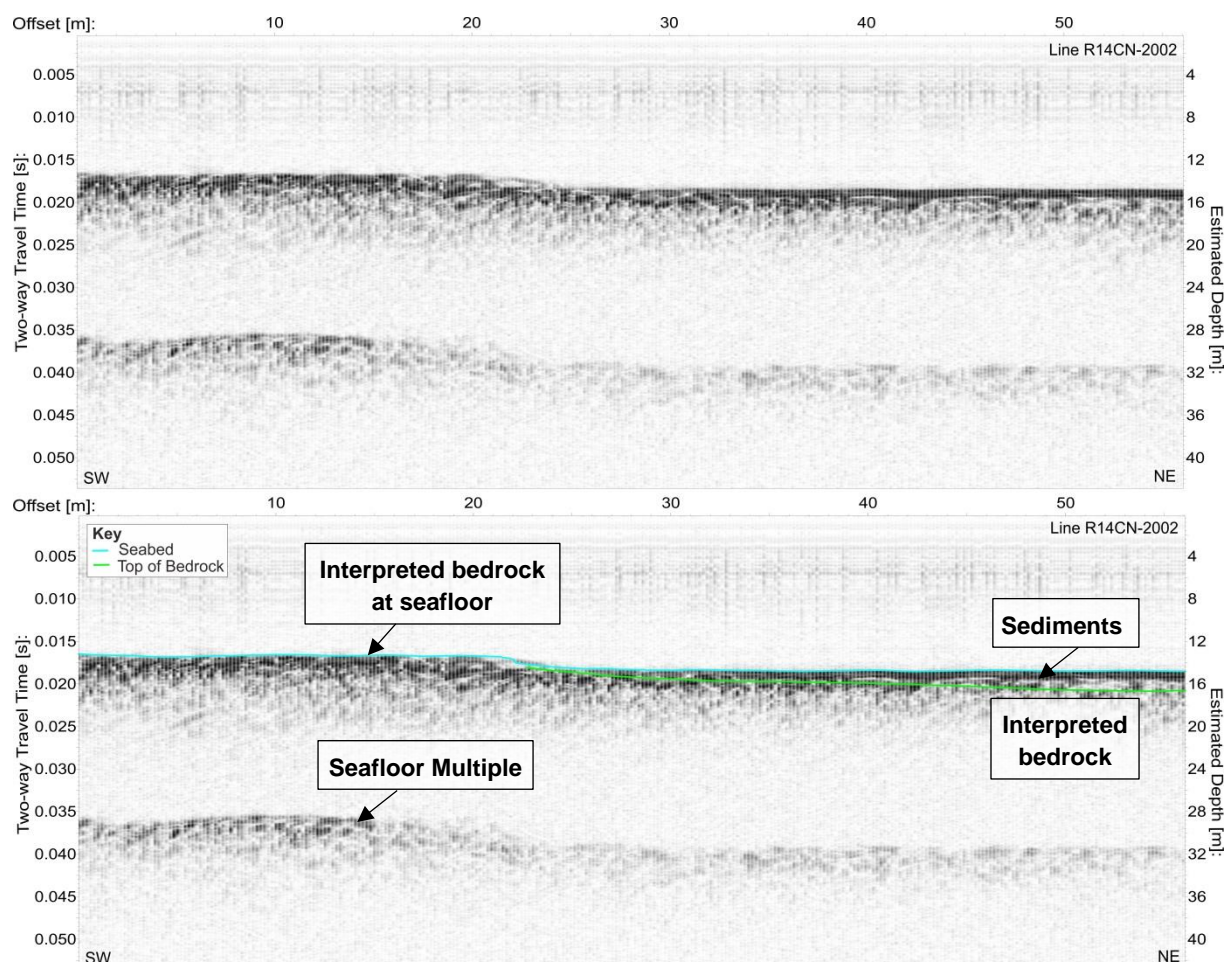
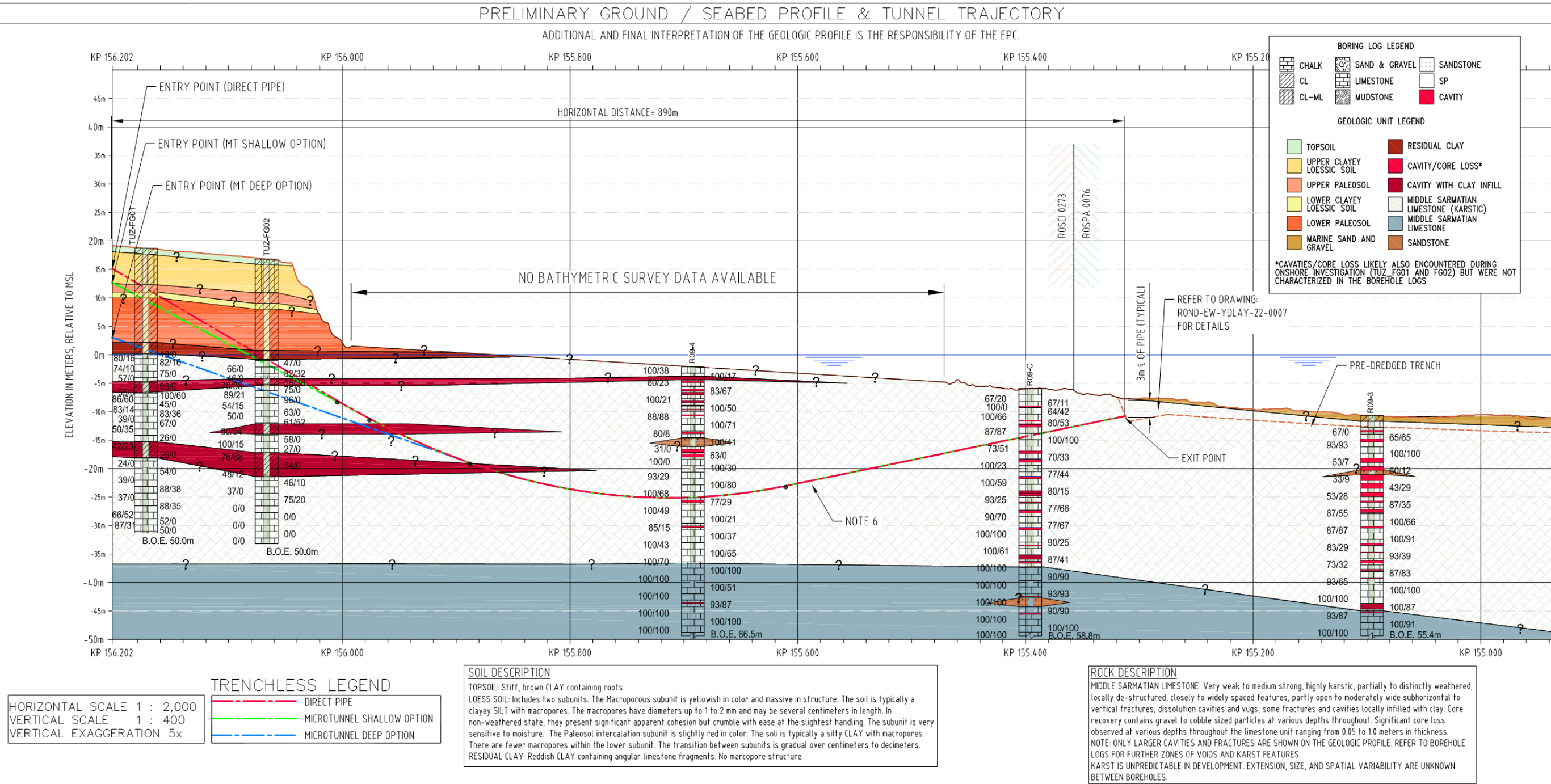


Figura 64. Exemplu de date CHIRP care arată presupusa rocă de bază care se ridică deasupra nivelului fundului mării și sedimentele lacustre acoperitoare. Notă: Exagerare verticală de 10 ×. Extinderea figurii prezentate în Figura 54.



Neptun Deep Project	Raport de date geotehnice pe țărm (onshore) și în apropierea țărmului (nearshore)	Rev 0
	ROND-EW-YRRPT-24-0008	Page 126 of 120

Bibliografie

- [1] Borbei, F., András, E., Marian, M., Brici, A. (Geo Search), Dankó, Gy., Vásárhelyi, B., Goad, D. (Golder Associates) 2014. Geotechnical Desk Study for Two Potential Pipeline Landfall Site at 23 August and Tuzla. Manuscript, Geo Search Internal Library. 2014.
- [2] Borbei, F., Brici, A. (Geo Search), Dankó, Gy., (Golder Associates) 2014. Desktop report on Geology, Soil and Groundwater. Manuscript, Geo Search Internal Library. 2014.
- [3] Ionesi L. 1994. Geology of platform units and of the North Dobrogean Orogeny (in Romanian). Editura Tehnică, Bucharest, 1994.
- [4] Săndulescu M., 1984. Geotectonics of Romania (in Romanian). Editura Tehnică, Bucharest.
- [5] Papanikolaou, D., et al., 2004. Transect VII: East European Craton–Scythian Platform–Dobrogea–Balkanides–Rhodope Massif–Hellenides–East Mediterranean–Cyrenaica. In: Cavazza, W., Roure, F., Spakman, W., Stampfli, G.M., Ziegler, P.A. (Eds.), The TRANSMED Atlas. The Mediterranean Region from Crust to Mantle, Geological and Geophysical Framework. Springer. (CDROM content).
- [6] Konerding, C., (2006). Mio-Pleistocene sedimentation and structure of the Romanian shelf, northwestern Black Sea. PhD thesis. University of Hamburg, Institute of Biogeochemistry and Marine chemistry.
- [7] 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.
- [8] Macarovici, N. (1957). Remarks concerning the Sarmation from the shore of the Black Sea and southern Dobrogea An. St. Univ. Iasi, sect. II, III/1-2.
- [9] Deere, D. U. 1964. "Technical description of rock cores", *Rock Mechanics Engineering Geology*, 1 (16-22).
- [10] Deere, D. U. 1989. "Rock quality designation (RQD) after twenty years", *U.S. Army Corps of Engineers Contract Report GL-89-1*, Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS (67).
- [11] Hoek, E., Carter, T. G., Diederichs, M. S. 2013. Quantification of the Geological Strength Index chart. 47th US Rock Mechanics / Geomechanics Symposium held in San Francisco, CA, USA, 23-26. June 2013.
- [12] Hoek, E., Marinos, P., Benissi, M. 1998. Applicability of the geological strength index (GSI) classification for very weak and sheared rock masses. The case of the Athens Schist Formation. *Bull Eng Geol Env* (1998) 57 : 151–160.
- [13] Tabor, D. 1953. Mohs's Hardness Scale-A Physical Interpretation. *Proc. Phys. Sot.*, London, Sect. B, 67 (1954) 249.
- [14] Horne, R. N. 1997. Modern well test analysis. A computer-aided approach. 2. Edition. – Petroway Inc., 257 p.

