



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Δ. Π. Μ. Σ.

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΕΡΓΩΝ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Διερεύνηση Επιφανειακών Καθιζήσεων Προκληθεισών
από Μηχανοποιημένη Διάνοιξη σε Μαλακό Έδαφος:
Επέκταση της Γραμμής 2 προς Ελληνικό**

ΜΟΝΕΜΒΑΣΙΩΤΗ ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗ

ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΕΣ:

ΔΡ. ΚΑΒΒΑΔΑΣ Μ., ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΔΡ. ΜΑΡΙΝΟΣ Π., ΟΜΟΤΙΜΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

Αθήνα, Απρίλιος 2014

Το περιεχόμενο της ανά χείρας διπλωματικής εργασίας αποτελεί προϊόν της δικής μου πνευματικής προσπάθειας. Η ενσωμάτωση σε αυτήν υλικού τρίτων, δημοσιευμένου ή μη, γίνεται με δόκιμη αναφορά στις πηγές, που δεν επιτρέπει ασάφειες ή παρερμηνείες.

Πρόλογος

Η παρούσα εργασία δε θα ήταν δυνατή χωρίς τη συνεχή βοήθεια και υποστήριξη που μου παρείχαν οι αγαπητοί Πέτρος Φορτάκης και Φίλιππος Χόρτης, αλλά και των στοιχείων που διέθεσε η Αττικό Μετρό Α.Ε. Συγκεκριμένα, ευχαριστώ τους Κούκουρα Σ., Νόβακ Μ. και Δημήτριου Γ., αλλά και το ερευνητικό πρόγραμμα NeTTUN.

Τέλος, ευχαριστώ τους καθηγητές μου Δρ. Μαρίνο και Δρ. Καββαδά που συνέβαλαν με τις συμβουλές τους στην υπερπήδηση εμποδίων όπου αυτά προέκυπταν.

Περίληψη

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η διερεύνηση των αιτιών που συνετέλεσαν και προκάλεσαν την εκδήλωση καθιζήσεων κατά την επέκταση της Γραμμής 2 του Μετρό προς το Ελληνικό.

Στο πλαίσιο αυτό παρατίθεται γενική περιγραφή της Γραμμής 2 του Αττικό Μετρό, της νέας επέκτασης αλλά και του μηχανήματος ολομέτωπης κοπής TBM που χρησιμοποιήθηκε για τη διάνοιξη της σήραγγας. Στη συνέχεια παρουσιάζεται η γεωλογία της περιοχής, οι γεωτεχνικές έρευνες που εκτελέστηκαν, τα αποτελέσματα που προέκυψαν, αλλά και η γεωτεχνική αξιολόγηση της περιοχής, όπως αυτή πραγματοποιήθηκε από τους μελετητές του έργου.

Έπειτα, ακολούθησε λεπτομερής αξιολόγηση όλων των διατιθέμενων στοιχείων (γεωτρήσεις, εργαστηριακές μελέτες, πίνακες GSI, κ.α.) προκειμένου να προσδιοριστούν αντιπροσωπευτικές γεωτεχνικές παράμετροι για τον κάθε σχηματισμό της περιοχής μελέτης. Για κάθε σχηματισμό παρουσιάστηκαν οι εργαστηριακές μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν από τον ανάδοχο, καθώς και η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε προκειμένου να προσδιοριστεί το εύρος τιμών σχεδιασμού για τις παραμέτρους αυτές. Τα εύρη αυτά αξιολογήθηκαν με βάση τη διαθέσιμη βιβλιογραφία, ώστε να προσδιοριστούν αντιπροσωπευτικές τιμές των γεωτεχνικών παραμέτρων. Στην περίπτωση των βραχωδών σχηματισμών πραγματοποιήθηκαν εκ νέου αναλύσεις με ελαφρά διαφορετικές παραδοχές από αυτές της μελέτης, για τον προσδιορισμό ορισμένων παραμέτρων.

Μελετήθηκαν τα στοιχεία που καταγράφηκαν κατά τη προχώρηση του TBM (πίεση μετώπου, πραγματικό – θεωρητικό βάρος και ρυθμός προχώρησης) στην περιοχή όπου πραγματοποιήθηκαν οι καθιζήσεις. Στόχος ήταν η συσχέτιση και αντιπαραβολή τους με την εξέλιξη των καθιζήσεων ώστε να εξαχθούν συμπεράσματα σε σχέση με τα αίτια που τις προκάλεσαν.

Τέλος, εκτελέστηκαν ανάδρομες αναλύσεις με αριθμητικές και εμπειρικές μεθόδους ώστε να εξαχθούν συμπεράσματα σε σχέση με την απώλεια όγκου αλλά και την αποτόνωση του εδάφους κατά την εκσκαφή.

Abstract

This thesis aims to explore the reasons behind the manifestation of settlements during the construction of the extension of Athens Metro Line 2 to Elliniko.

Serving this purpose, there is a brief presentation of Line 2, followed by a description of the new extension, and the basic characteristics of the TBM that was utilized. The area around the extension is described, along with the executed geotechnical studies, their results and the geotechnical evaluation as it was produced by the designers of the project.

In order to determine the geotechnical parameters for each geological formation in the study area, it was necessary to study in detail all available data, such as boreholes, GSI tables and laboratory testing. The laboratory results, performed by the project designers, were presented for each formation, as well as the methodology that was followed for the determination of the value range for these parameters. Those ranges were then evaluated in accordance to the available relative bibliography in order to estimate representative values for the geotechnical parameters. Regarding the rock formations, for the determination of the parameters, new analyses were performed with slightly different assumptions than those of the project.

Additionally, data recorded during the TBM advance in the area where the settlements occurred were examined. It was aimed to compare those data (face pressure, actual – theoretical weight and advance rate) to the development of the settlements in order to reach a conclusion concerning their true causes. Through this process, it was established that there is no direct connection between the settlements and the face pressure drop that was monitored, as they took place several meters behind the face of the TBM.

Finally, back analyses both by numerical and empirical methods were carried out. Through the analyses, it was possible to reach conclusions over the volume loss and the deconfinement of the ground during the excavation.

Extended Abstract

Description of Line 2 –Elliniko Extension

The project is an underground extension of Line 2 of the Athens metro in Greece in the southern direction (Figure 1). Its construction started in May 2007 and was completed in February 2012. The length of the project is 5.5 km, it includes four new stations (Ilioupoli, Alimos, Argiroupoli and Elliniko), seven shafts (Ag. Basiliou, Mauromihali, Leontos, Imittou, Elliniko, Intersection and Sourmena) and one underground stabling facility near the southern end.

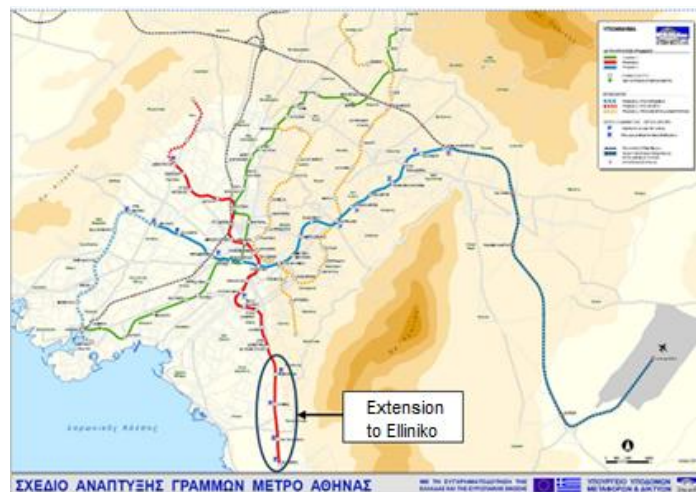


Fig. 1 General overview – Elliniko Extension (Source: <http://www.ametro.gr>)

An EPB-TBM of 9.5 m diameter constructed 9.65 km of double track tunnel. The stations, the shafts and the stabling facility were built with the Cut&Cover method. The single track tunnel that connects the main tunnel with the stabling facility was constructed using NATM. The street level is approximately 21 m from the top of the rail for the majority of the vertical alignment (Leoutsakos *et al.*, 2008). The TBM was used in the past in a different extension in Athens and was fully refurbished for this project. The basic dimensions of the TBM are given in Table 1.

Table 1: TBM basic dimensions (Source: Attiko Metro S.A.)

Tunneling data		Tunneling system	
Tunnel inside diameter	Ø 8 480 [mm]	Max. excavation pressure	3.0 [bar]
Tunnel outside diameter	Ø 9 440 [mm]	Shield outside diameter	Ø 9 440 [mm]
Segment thickness	350 [mm]	Complete length incl. buck-up system	90 [m]
Segment width	1 500 [mm]	Max. tunneling speed	60 [mm/min]
Total number of segments per ring	7 +1		

Geology

The extension to Elliniko is located in the Southern area of Attica. The subbase formation area of the project alignment is consisted mostly of Athens schist of alpine formation. There are Alpine Formations and Post Alpine Formations found as neogene's deposits and quaternary deposits.

Alpine Formation is encountered as Athens schist, transition layers and limestones. Athens schist is a heterogeneous flysch-like system, consisted mainly of clayey and sandy schist, meta-siltstone, metasandstones and phylites. Transition layers, the upper part of Athens schist, are consisted mainly of heterogenous marly-limestone formation with variable composition and a high tectonic fracturing. Limestones are of gray, gray-white colour, microcrystalline, clastic or brecciated.

Post Alpine Formation – Neogene's Deposits encountered as marly formations are sedimentary formations of coastal or marine origin. They are mainly consisted of clayey and sandy marls, with cohesive conglomerates, sandstones and marly sandstones in the lower part.

Post Alpine Formation – Quaternary Deposits are encountered as alluvial deposits of brown and gray colour, materials of stream-river origin, are loose to medium dense and products of weathering and erosion, such as talus debris and cones, in loose structure (Le Van *et al.*, 2008).

The list of formations encountered during the excavation, as classified by Attico Metro S.A., is displayed in Table 2.

Table 2: Main geological formations lengthwise the Extension to Elliniko based on the geological study

1	Made ground
2	Coarse-grained alluvia
3	Fine-grained alluvia
4	Cemented alluvia
5.1	Cemented scree (mainly limestone materials)
5.2	Cemented scree
6	Neogene formations of Ilioupoli
6.1	Sandstone and siltstone-claystone weathering mantle
6.2	Weak (or very weak) to medium strong, yellow - olive green - violet - gray, siltstone-claystone, with mainly wavy and smooth discontinuities
6.3	Weak to medium strong, yellow - olive green, sandstone and calcareous sandstone - marly limestone with mainly rough discontinuities
6.4	Medium strong conglomerate, with mainly rough discontinuities
6.5	Limestone (calcarenite - calciroudite)
7	Neogene formations of Elliniko
7.1	Very weak to medium strong siltstone-claystone
7.2	Very weak to medium strong sandstone
7.3	Medium strong to strong conglomerate, with limestone cobbles and light brown matrix

8	Clastic formation
8.1	Dense to very dense (or stiff to very stiff) brown, brown-red sandy clayey gravel. Gravels of green metasandstone.
8.2	Very weak to medium strong conglomerate. Gravels of green metasandstone
9	Sandstone-marl sequence
9.1	Brown greenish, clayey - sandy - silty weathering mantle of marly limestone.
9.2	Medium strong, whitish - gray, marly limestone - calcareous sandstone colour. Occasionally heterogeneous rock mass. Traces of karstification.
10	Athens Schist
10.1	Weathering mantle of the Athens Schist.
10.2	Alternations of weak, light green metasilstone with medium strong to strong grey metasandstone
10.3	Very weak black shale with metasandstone and metasilstone intercalations.

Geotechnical Investigation

For the estimation of the geology in the project area, 154 boreholes were drilled approximately 8 m under the structure, with a minimum depth of 27.90 m and a maximum depth of 29 m. In situ test followed, which included the extraction of samples through rotary drills, permeability tests and tests of the ground water table by piezometers.

The sandgravel - rocky nature of the geological formations did not allow the realisation of an adequate number of reliable standard penetration tests (SPT) with Terzaghi 's standard split spoon sampler. Only three from a total of seven were successful, offering a rather limited overview of the area. The outcomes with Hand-Held Soil Penetrometers were similarly inconclusive because of a large percentage of sand and fine gravel, which caused the ill-estimation of the value of the undrained shear strength c_u (Source: Attico Metro S.A., document (2GSOEN180R915B)).

Five pressuremeter tests were executed right next to sampling boreholes, for the accomplishment of direct comparison with the ground statigraphy. Based on the result, geotechnical parameters were determined, such as the deformation modulus E_s , which was found to vary between 100 MPa and 700 MPa.

Site permeability tests of type Maag were executed in the shale – sandstone – marly series and the Athens Schist. Lugeon tests were preferred in the healthier areas of the subbase. Based on those tests, high volumes of water inflow were not expected. The coefficient of permeability k was characterised as low to very low ($10^{-5} \leq k < 10^{-4}$). In areas where highly fractured marly limestones and metasandstones exist, increased water inflow was highly probable.

In a total of 55 piezometer boreholes, the fluctuation of the ground water level was observed and measured. The decrease of water level varies from 1.5 m to 4 m. The preliminary study

predicted greater variation and less capacity in the more impermeable formations, such as Athens Schist, and the exact opposite in the permeable formations, such as alluvia.

Geotechnical Evaluation - Design Parameters

Two systems were applied for the rock mass classification for the evaluation of the rock mass: MR and GSI (Geological Strength Index). MR is an modification of the RMR Bieniawski classification system, created by Attiko Metro S.A and utilises the same parameters as RMR. GSI is based on the recent improvement by Hoek *et al.* (2002). A total of 193 classifications according to GSI took place at the cores of the boreholes. The intact rock strength was obtained by laboratory point load test for the determination of relative range of material parameter (m_i) and the disturbance factor. Those classifications only apply to the Alpine Formations (Formations 8,9,10, Table 2).

The range of the geotechnical parameters (shear strength (τ), shear strength of discontinuities (τ_d), compressive strength (q_u), modulus of elasticity (E), intact uniaxial comp. strength (σ_{ci}), coefficient of earth pressure at rest (k_o) and deformation modulus (E_s)) was determined after the evaluation of laboratory tests, in situ tests, and mainly through boreholes in which they were encountered. The range of the result was rather wide, as a result of the difficulty in forming adequate samples from those formations.

Area of Interest – Data Evaluation

The largest settlements took place at tunnel chainages 13+075 (14.3 m) and 13+257 (19.4 m) (Koukoutas *et. al*, 2010). These settlements did not create any issue and the construction was continued without problems. In order to determine the causes for the settlements, the area between Leontos and Imittou shafts (chainage 12+750 and 13+335 respectively) was thoroughly investigated in the framework of this thesis. A total of eleven boreholes were drilled in this area. The excavation in this section was exclusively performed in a conventional closed EPB mode, not affecting the water table in any way. The geological formations that mainly dominate this area are cemented scree (formation 5.1, Table 2), medium strong, whitish - gray, marly limestone - calcareous sandstone (formation 9.2, Table 2), and deeper, very weak black shale with metasandstone and metasiltstone intercalations (formation 10.3, Table 2). Also, there is a zone of intense tectonism.

The GSI classification of the formations met in each borehole were then compared to photographs of the boreholes. In a few cases, there were some concerns and some GSI values were re-determined. The final GSI values are demonstrated in Table 3. As far as geotechnical investigation is concerned, only permeability tests were performed in this area, which was characterised as of low to very low permeability. The laboratory tests in order to determine the mechanical characteristic were rather unsuccessful as a direct result of the difficulty in forming adequate samples of these formations. That was not the case with the physical characteristics, which were easily determined.

Table 3: Rock mass classification GSI values based on the borehole cores in the area of interest. The data have been taken from Attiko Metro S.A. document (2TS4CW180R901B)). The and the highlighted values have been revised in the frame of the thesis.

A/A	BOREHOLE	DEPTH		FORMATION	GSI			
		FROM	TO		CHARACTERISATION		VALUES	
					STRUCTURE	SURFACE CONDITION	FROM	TO
1	HCFP018	3.5	24	9.2bc	BDS - D	VP	13	18
		24	30	10.3bc	BDS - D	VP	13	18
2	HP3273	10	14.1	9.2b	BDS-D	P	20	30
		14	18.6	9.2c	D	VP	10	18
		18.6	23.2	9.2c	D	VP	8	18
		23.2	23.9	9.2a	VB	P	30	40
		23.9	24.8	9.2c	D	VP	8	18
		24.8	25.6	9.2a	VB - BDS	P	25	35
		25.6	26.1	9.2c	D	VP	8	18
		26.1	28	9.2a	B	F	50	60
		28	28.4	9.2c	D	VP	8	18
3	HH2234	4.3	5.6	9.2a	BDS	F-P	33	43
		5.6	6.1	9.2c	D	VP	12	17
		6.1	7.8	9.2a	VB	F-P	33	43
		7.8	8.2	9.2c	D	VP	12	17
		8.2	12	9.2a	VB	F-P	33	43
		12	12.6	9.2c	D	VP	12	17
4	HH2209	4.3	8.7	9.2c	D	P - VP	13	21
		8.7	12.3	9.2c	D-BDS	F - P	35	45
		12.3	15.1	9.2c	D	VP	10	16
5	HP2235	6.3	7.3	9.2a	VB	F	36	45
		7.3	8.3	9.2c	BDS	VP	15	20
		8.3	14	9.2a	BDS	F - P	27	35
6	HP3274	10	13.6	9.2a	VB - BDS	F - P	30	40
		13.6	22.2	9.2b	BDS - D	P	18	28
		22.2	24.3	9.2c	D	VP	10	18
		24.3	24.9	9.2a	D	F - P	20	30
7	HP1109	24.9	27.9	10.3b	D	VP	10	18
		5.7	7	9.2b	D	VP	10	20
		7	15.8	9.2a	BDS	P	23	30
		15.8	18.8	9.2b	BDS	VP	18	25
8	HH2236	18.8	28	10.3b	LS	P	15	20
		3.6	5	9.2b	BDS	F - P	30	35
		5	7.4	9.2a	VB	G - F	42	52
		7.4	9.7	9.2a	B	G	58	66
9	HH2210	9.7	14	9.2b	D	P	20	30
		7	15	9.2b	D	VP	13	20
10	HH3275	3	7.6	9.2b	D	P	20	25
		7.6	9	9.2c	BDS	VP	15	20
		9	18.9	9.2b	D	P	20	325
		18.9	22.7	9.2c	BDS - D	VP	20	30
		22.7	24.2	10.2a	VB	F	35	45
11	HP2237	24.2	28.1	10.3b	BDS - D	VP	15	20
		5.1	5.8	9.2a	BDS	F - P	25	35
		5.8	6.7	9.2a	B	G	56	63
		6.7	8.6	9.2a	BDS	F	28	36
		8.6	12	9.2b	D - LS	F - P	16	26
		12	14.1	9.2a	VB	G	47	52

The settlements took place in the area between the chainages 13+042.02 and 13+305.75. In this section, there were three boreholes drilled (No 7-8-9, Table 3). It was apparent that the

upper layer (forms of formation 9.2) in this section has a higher GSI value in comparison with the lower one (forms of formation 10.3).

The project designers had determined a possible range for the design parameters of each formation met in the broader area. Those values had been reached after assessing the laboratory results and the available relative bibliography. For this thesis, those values were re-evaluated in order to determine specific representative values. Specifically for the rock-like formations (9.2a, 9.2b, 10.2a and 10.3b), the geotechnical values of cohesion (c) and basic friction angle (ϕ) were re-calculated through analyses based on Hoek *et al.* 2002 methodology. The results are presented in Table 4.

The representative values tend to be at the higher end of the design range. This is because design values ought to be conservative to secure the safe conduction of a project whilst representative values intent to depict with outmost accuracy the actual condition of the subsurface.

Table 4: Design range and representative values of the geological formations in the study area

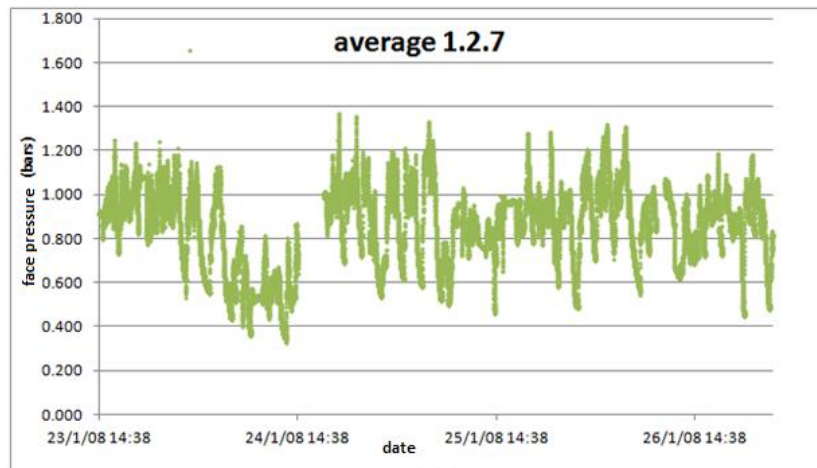
	Geotechnical Formations								
	5.1	9.1	9.2a	9.2b	9.2c	10.2a	10.2c	10.3b	10.3c
γ (KN/m³)									
Design range	21	20	23	23	23	23	23	23	23
Representative values	21	20	23	23	23	23	23	23	23
c (KPa)									
Design range	40 - 50	20 - 30	170 - 200	60 - 80	40 - 50	60 - 85	25 - 35	60 - 75	20 - 30
Representative values	40	30	170	60	40	65	25	58	20
ϕ (°)									
Design range	30 - 40	30 - 35	45 - 55	36 - 45	35 - 40	40 - 50	33 - 40	35 - 45	34 - 42
Representative values	34	30	51	35	35	41	30	30	32
E (MPa)									
Design range	100 - 150	45 - 60	950 - 1100	250 - 350	150 - 200	330 - 400	120 - 200	260 - 300	120 - 200
Representative values	100	65	1100	250	150	500	120	267	150
ν									
Design range	0.3	0.3	0.25	0.25	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Representative values	0.3	0.3	0.3	0.25	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
K_0									
Design range	0.4 - 0.6	0.4 - 0.6	0.35 - 0.6	0.4 - 0.6	0.4 - 0.6	0.4 - 0.6	0.4 - 0.6	0.4 - 0.6	0.4 - 0.6
Representative values	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5

TBM data evaluation

During the excavation of the project, all functions of EPB-TBM (e.g. face pressure, weights, advance, etc.) were monitored and stored in a database by Attiko Metro S.A., which granted National Technical University of Athens the relevant data in the framework of NeTTUN program (<http://nettun.org>). The data were recorded every 20 sec, creating an enormous database and hence making the evaluation of data for the broader area of the settlements (section between Leontos and Imittou shafts) impractical. It was then decided to concentrate strictly on the area where the settlements occurred (chainage 13+042.02 to 13+305.75).

There were seven (7) pressure sensors on the EPB-TBM. After suggestion of Attiko Metro S.A., the evaluation was focused on the data obtained by only three of them (sensors 1, 2 and 7) which were claimed to be more accurate. In comparison to the average values of all seven sensors, the average of the three sensors proved to be 42% lower, which is normal as the three sensors are located higher on the TBM-EPB. The face pressure displayed a repeated fluctuation (Graph 1) which was related with the stoppage of the machine after the excavation for each ring. There were a few cases when the face pressure reached and remained equal to zero during a halt. Those cases were mostly explained after contrasting the respective dates with the project calendar. The longer stoppages concerned the maintenance of the cutting head (23rd January, 2008) and a public holiday (9th and 10th February, 2008). It must pointed out that although the biggest augmentation in settlements occurred in 24th of January, a day after the halt, it took place several meters (37.8 m) behind the cutting head.

Graph 1: Example of face pressure values fluctuation (sensors 1, 2, 7)



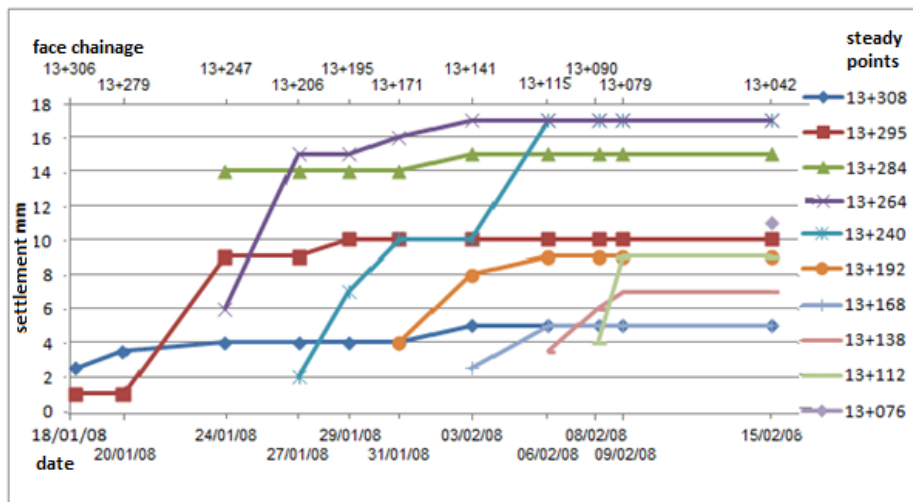
During the excavation, the actual and the theoretical weight of the excavated material were meticulously measured through a mechanical belt scale. The weigh in both cases was recorded in a cumulative mode, depicting indirectly the completion of the excavation for each ring. A total of 175 rings were installed in the area. The average weigh of excavated material for each

ring was 211.9 t. The actual and theoretical weight were then converted to unit weights with an average of 27.276 KN/m^3 and 27.852 KN/m^3 respectively. Their ratio appeared stable when the accumulative form of the original weigh was not taken into account (Graph 2), in comparison with the ratio of each separate accretion. In any way, data concerning actual and theoretical weigh did not aid our understanding in regard to the settlements.

Advance rate in this section retained a stable increasing and then decreasing course as the EPB-TBM advanced 1.5 m for the installation of each ring. In average, the maximum advance rate for each ring was 48.06 mm/min. It was determined that the average advancement rate in this section (7.14 m/day) was lower than the average ration in the entire project (12.4 m/day).

During the completion of this thesis, only a design depicting the evolution of the settlements was available as far as data for the development of settlements in relation to time are concerned. Ten different steady points in this area were selected in order to examine the form in which the settlements occurred time-wise (Graph 2), and their relation with the chainage of the EPB-TBM face.

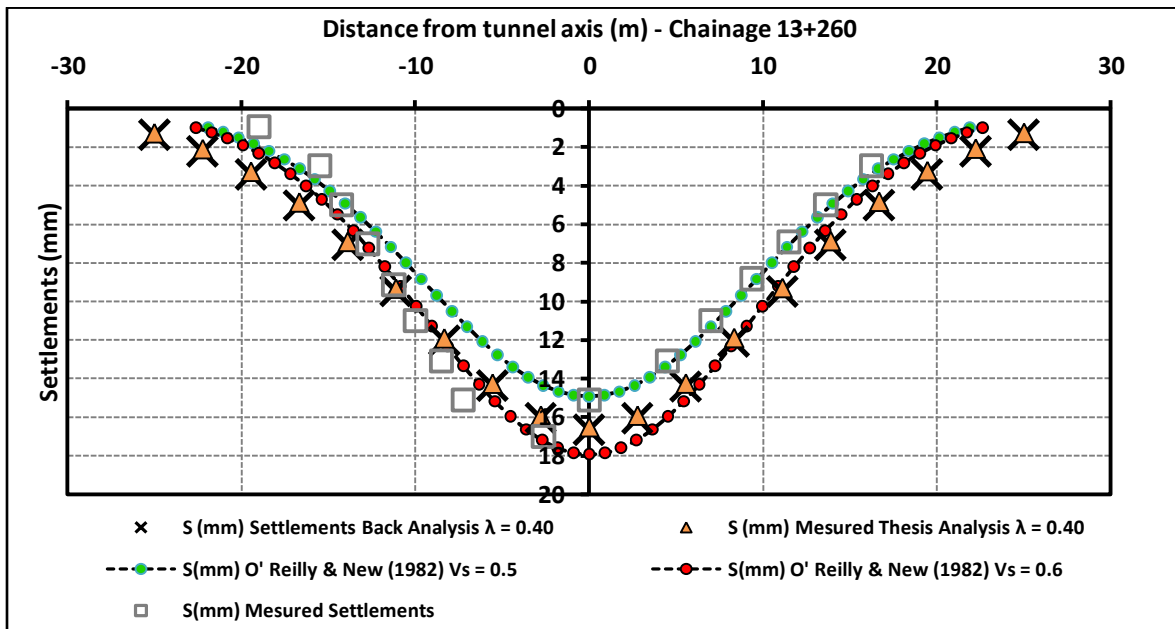
Graph 2: Development of the settlements at steady spatial points in time



Back Analyses

Back analyses were performed through numerical and empirical methods. The numerical method was executed by Phase² 8.0 software. Both the original design stratigraphy and the actual one were examined. It was then determined that in order for the higher settlements to have been equal to 17 to 19 mm, the deconfinement factor (λ) of the ground must have been roughly equal to 0.40 – 0.42. Similarly through the empirical method of O'Reilly & New (1982), it was found that the volume loss (V_s) was between 0.5% and 0.6% (Graph 4).

Graph 4: Measured surface settlements compared with the results of empirical and analytical back analyses



Conclusion

During the excavation of Athens Metro Line 2 to Elliniko, settlements of maximum 19 mm took place between the chainages 13+042.02 to 13+305.75. The EPB-TBM mainly drilled through an upper formation of medium strong, whitish - gray, marly limestone - calcareous sandstone and a lower formation of very weak black shale with metasandstone and metasiltstone intercalations.

The settlements were manifested after the excavation of the respective underground area, leading to the assumption that they were not directly relative to the EPB-TBM stoppages and the pressure drops that were recorded. Data regarding the actual and theoretical weight did not give a clearer picture of the reasons behind the settlements, as they are generally affected by various factors such as the thickness and width of the belt (Banerjee *et al.*, 2013). It is possible however, to connect the settlements with the reduced advancement rate in the area, as that was the case with other tunneling projects (e.g. Sao Paulo, (Santos Jr. & Celestino, 2008)). Since there cannot be a connection between pressure drops and the settlements, it is believed that they were “secondary settlements” correlated with the backfill grouting around the segments. This hypothesis is straightened by a comment in an Attico Metro S.A. document (2TS4CW180R904A), stating that higher grouting consumption was recorded at certain locations in this section during the excavation. It is suggested to further explore this hypothesis through a thorough evaluation of the data concerning grout pressure and grout injection

process. If no such connection is found, then it is logical to assume that the settlements of Elliniko extension were the outcome of consolidation.

Finally, through back analyses it was determined that the deconfinement factor (λ) of the volume loss at the tunnel face must had been roughly equal to 0.40 – 0.42 and the volume loss (V_s) between 0.5% and 0.6%. By simply changing the stratigraphy, settlements grew from 3 to 17 mm. It is hence believed that the scale of the settlements was not predicted as a result of overestimation of the geotechnical structure of the ground, not the geotechnical parameters of its formations.

References

Banerjee I., McLane R., Shorey E. and Gasson P., TBM Conveyor Belt Scale: The University Link Project Experience, *Rapid Excavation and Tunneling Conference Proceedings 2013*, Society for Mining, Metallurgy, and Exploration (SME), 2013.

Hoek, E., Carranza-Torres, C., & Corkum, B., Hoek-Brown failure criterion-2002, edition. Proceedings of NARMS-Tac, 267-273, 2002.

Le Van, C., Leoutsakos, G. and Doulakis I. Athens Metro – Elliniko Extension TBM Tunnel Construction, *BHM Berg- und Hüttenmännische Monatshefte*, 154(10), 450-456, 2008.

Leoutsakos, G., Le Van, C. and Doulakis, I. Elliniko Extension of Athens Metro – Project Description, Structuring and Implementation, *Geomechanik Tunnelbau*, 1, 197–206, 2008.

Santos Jr. O.J., Celestino T.B., Artificial neural networks analysis of São Paulo subway tunnel settlement data, *Tunnelling and Underground Space Technology*, 23(5), 481-491, 2008.

Επέκταση γραμμής 2, Θέσεις Β & Ε, Ηλιούπολη– Ελληνικό, Νέο Αμαξοστάσιο. Τελική Έκθεση Αξιολόγησης Αποτελεσμάτων Γεωτεχνικών Ερευνών, Θέσεις Β& Ε, Ηλιούπολη– Ελληνικό, Νέο Αμαξοστάσιο, Φάση 3, Κωδ. Εγγρ. 2GSOEN180R915B, ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ Α.Τ.Ε., 2005.

Επέκταση Γραμμής 2, «Τμήμα Άγιος Δημήτριος – Ελληνικό», Φάκελος Μεσοδιασημάτων 6 (Σταθμός Αργυρούπολης – Φρέαρ Υμηττού), 5 (Φρέαρ Υμηττού – Φρέαρ Λέοντος) και 4 (Φρέαρ Λέοντος – Σταθμός Αλίμου) και Προχώρηση TBM. Ανάδρομος Υπολογισμός Κωδ. Εγγρ 2TS4CW180R904A, ΟΜΙΚΡΟΝ ΚΑΠΑ Ε.Π.Ε., 2008.

Κουκουτάς Σ., Γιούτα – Μήτρα Π., Πλέτσας Σ., Σοφιανός Α. Ι., Θεωρητικές και Πραγματικές Καθιζήσεις Κατά τη Διάνοιξη του Μετρό της Αθήνας στην Επέκταση του Ελληνικού, 6ο Πανελλήνιο Συνέδριο Γεωτεχνικής & Γεωπεριβαλλοντικής Μηχανικής, Βόλος, 2010.

<http://www.ametro.gr>

(<http://nettun.org>).

Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή	1
2. Περιγραφή Γραμμής 2 - Επέκταση προς Ελληνικό	2
2.1 Γραμμή 2 – Αττικό Μετρό	2
2.2 Επέκταση προς Ελληνικό.....	3
2.2 Τεχνικά Στοιχεία TBM-EPB	7
2.3 Κατασκευή Επέκτασης προς Ελληνικό.....	10
3. Γεωλογικά Στοιχεία	19
4. Γεωτεχνικές Έρευνες	26
4.1 Δοκιμές Διείσδυσης SPT.....	26
4.2 Δοκιμές Πενετρόμετρου χειρός.....	26
4.3 Δοκιμές Πρεσσιομέτρου	28
4.4 Δοκιμές Διαπερατότητας	31
4.5 Κατάσταση Υδροφόρου Ορίζοντα	32
5. Γεωτεχνική Αξιολόγηση – Παράμετροι Σχεδιασμού.....	35
5.1 Συστήματα Ταξινόμησης.....	35
5.2 Παράμετροι Σχεδιασμού.....	39
5.2.1 Περιοχή Β (Χ.Θ 11+700 – 12+900) εκτός της υποπεριοχής Β1.....	41
5.2.2 Περιοχή Γ (Χ.Θ. 12+900 – 13+620).....	45
6. Περιοχή Μελέτης	50
6.1 Χαρακτηριστικά Περιοχής - Γεωτρήσεις.....	50
6.2 Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων.....	65
6.2.1 Αξιολόγηση GSI.....	65
6.2.2 Αξιολόγηση Γεωλογικών Σχηματισμών – Εκτίμηση Γεωτεχνικών Παραμέτρων	68
6.2.2.1 Σχηματισμός Συνεκτικών Κορηματικών Υλικών (5.1)	68
6.2.2.2 Μανδύας Αποσάθρωσης Μαργαϊκού Ασβεστόλιθου (9.1).....	70
6.2.2.3 Σχηματισμός Μαργαϊκού Ασβεστόλιθου – Ασβεστολιθικού Ψαμμίτη - Βραχώδης Φάση (9.2α)	73
6.2.2.4 Σχηματισμός Μαργαϊκού Ασβεστόλιθου – Ασβεστολιθικού Ψαμμίτη - Μεικτή Φάση (9.2β).....	76

6.2.2.5 Σχηματισμός Μαργαϊκού Ασβεστόλιθου – Ασβεστολιθικού Ψαμμίτη - Εδαφική Φάση (9.2γ)	81
6.2.2.6 Σχηματισμός Ματαψαμμιτών – Μεταΐλυολίθων - Βραχώδης Φάση (10.2α)	83
6.2.2.7 Σχηματισμός Ματαψαμμιτών – Μεταΐλυολίθων - Εδαφική Φάση (10.2γ)	87
6.2.2.8 Σχηματισμός Μαύρου Αργιλικού Σχιστόλιθου - Μεικτή Φάση (10.3β)	89
6.2.2.9 Σχηματισμός Μαύρου Αργιλικού Σχιστόλιθου - Εδαφική Φάση (10.3γ)	93
7. Αξιολόγηση Δεδομένων του TBM κατά τη Διάνοιξη της Σήραγγας	96
7.1 Δεδομένα Αξιολόγησης.....	96
7.2 Πίεση Μετώπου.....	99
7.3 Θεωρητικό και Πραγματικό Βάρος.....	108
7.4 Ρυθμός Προχώρησης	112
7.5 Εξέλιξη Καθιζήσεων	113
8. Διερεύνηση Καθιζήσεων με Ανάδρομες Αναλύσεις.....	116
8.1 Ανάδρομες Αναλύσεις	116
8.1.1 Ανάδρομη Ανάλυση – Γεωτεχνικές Τιμές Σχεδιασμού	117
8.1.2 Ανάδρομη Ανάλυση – Γεωτεχνικές Παράμετροι Ερευνητών	122
8.1.2.1 Συντελεστής Αποτόνωσης $\lambda = 0.20$	124
8.1.2.2 Συντελεστής Αποτόνωσης $\lambda = 0.40$	126
8.1.2.3 Συντελεστής Αποτόνωσης $\lambda = 0.42$	128
8.1.3 Ανάδρομη Ανάλυση – Γεωτεχνικές Παράμετροι Διπλωματικής Εργασίας	130
8.1.3.1 Συντελεστής Αποτόνωσης $\lambda = 0.40$	131
8.1.3.2 Συντελεστής Αποτόνωσης $\lambda = 0.42$	133
8.2 Ανάδρομες Αναλύσεις – Εμπειρική Μέθοδος.....	135
9. Συμπεράσματα.....	139
10. Βιβλιογραφικές Αναφορές	141
Παράρτημα Ι - Ιδεατές τομές εδάφους.....	I-1
Παράρτημα ΙΙ - Βιβλιογραφικές αναφορές για την εκτίμηση γεωμετρικών παραμέτρων των σχηματισμών της περιοχής μελέτης.....	II-1

Σχηματισμός 5.1	II-1
Σχηματισμός 9.1	II-2
Σχηματισμός 9.2γ	II-3
Σχηματισμός 10.2γ	II-4
Σχηματισμός 10.3γ	II-5
Παράρτημα III – Διακύμανση μέσης πίεσης μετώπου (αισθητήρων 1, 2, 7) στο διάστημα 18/1/2008-15/2-2008	III-1
Παράρτημα IV – Εξέλιξη Καθιζήσεων	IV-1

1. Εισαγωγή

Η κατασκευή υπόγειων σηράγγων σε κατοικημένες περιοχές έχει γίνει πλέον ένα σύνηθες φαινόμενο, προκειμένου να εξυπηρετηθούν οι συνεχώς αυξανόμενες ανάγκες για γρήγορη μετακίνηση των ανθρώπων. Αυτού του είδους οι εκσκαφές αντιμετωπίζουν επιπρόσθετες προκλήσεις σε σχέση με εκείνες εκτός πόλεων (πχ ορεινή οδική σήραγγα), εξαιτίας της μεγάλης ευαισθησίας που υπάρχει σε σχέση με τη δημιουργία επιφανειακών καθιζήσεων. Κατά τη διάνοιξη σηράγγων εντός πόλεων, οι καθιζήσεις που θα δημιουργηθούν πρέπει να είναι οι ελάχιστες δυνατές, ώστε να μην υπάρξει φθορά κατασκευών, υποδομών αλλά και απώλειες ανθρώπινων ζωών.

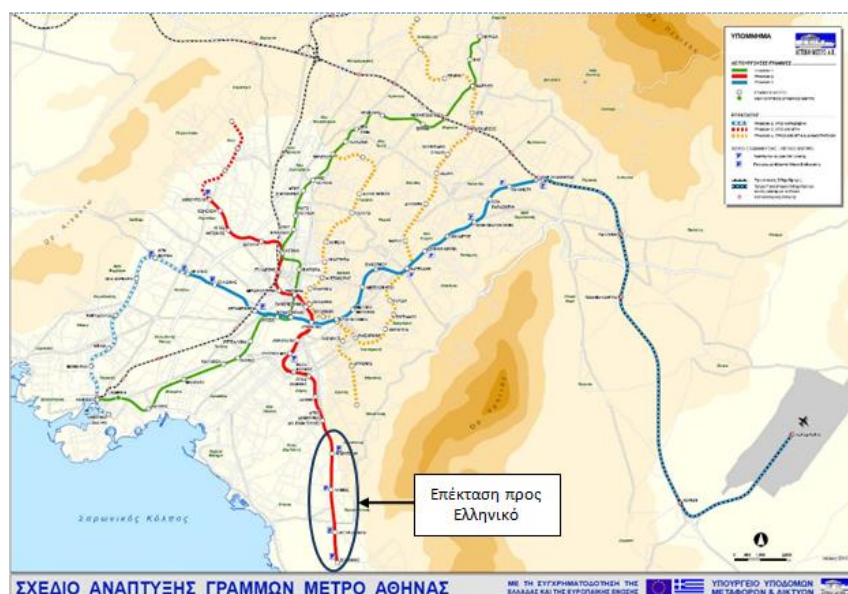
Σε αυτήν την κατεύθυνση, έχουν αναπτυχθεί και εξελιχθεί δύο διαφορετικές τεχνολογίες μηχανημάτων ολομέτωπης κοπής, τα EPB-TBM και τα Slurry TBM, που στόχο έχουν την ελαχιστοποίηση των μετακινήσεων του εδάφους μέσω της διατήρησης μίας σταθερής πίεσης στο μέτωπο κατά την εκσκαφή. Υπάρχουν όμως περιπτώσεις όπου παρόλη τη χρήση των παραπάνω τεχνολογιών, έχουν σημειωθεί καθιζήσεις κατά τη διάνοιξη. Μία τέτοια περίπτωση αποτέλεσε η διάνοιξη για την επέκταση προς Ελληνικό της Γραμμής 2 του Μετρό των Αθηνών. Κατά τη διάνοιξη αυτή, σημειώθηκαν καθιζήσεις σε περιοχή μήκους 263.73 m, οι οποίες δεν προκάλεσαν ζημιές, ούτε διέκοψαν την προχώρηση του μηχανήματος, καθώς ήταν οριακά μικρότερες του ορίου συναγερού (20 mm).

Η παρούσα εργασία στοχεύει μέσω της λεπτομερούς παρουσίασης στοιχείων που σχετίζονται με τη διάνοιξη της Επέκταση της Γραμμής 2 προς Ελληνικό, να διερευνήσει τα αίτια που προκάλεσαν τη δημιουργία των εν λόγω καθιζήσεων.

2. Περιγραφή Γραμμής 2 - Επέκταση προς Ελληνικό

2.1 Γραμμή 2 – Αττικό Μετρό

Το Αττικό Μετρό Α.Ε. αποτελεί τμήμα της ΣΤΑΣΥ (Σταθερές Συγκοινωνίες Α.Ε.) η οποία είναι υπεύθυνη για τη λειτουργία του Ηλεκτρικού Σιδηροδρόμου (Γραμμή 1) του Μετρό (Γραμμή 2 και Γραμμή 3) και του Τραμ. Οι εργασίες κατασκευής της Γραμμής 2 ξεκίνησαν το Νοέμβριο του 1992 και πραγματοποιήθηκαν ως επί των πλείστων με μηχανική μέθοδο εκσκαφής. Η Γραμμή 2 του Αττικού Μετρό (Κόκκινη Γραμμή) ξεκίνησε τη λειτουργία της το 2000. όταν παραδόθηκαν προς χρήση 12 σταθμοί, στο τμήμα Σεπόλια – Δάφνη (7 σταθμοί τον Ιανουάριο και 5 το Νοέμβρη). Αργότερα, το 2004 παραδόθηκαν άλλοι δύο σταθμοί (Άγιος Αντώνιος, Άγιος Δημήτριος) οι οποίοι εκσκάφτηκαν με τις μεθόδους NATM και Cut&Cover, επεκτείνοντας τη γραμμή προς κάθε άκρο. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε επέκταση μήκους 1.5 km από τον Άγιο Αντόνιο προς την Ανθούπολη, η οποία ολοκληρώθηκε τον Απρίλη του 2006. Οι νέοι δύο σταθμοί (Περιστερί και Ανθούπολη) παραδόθηκαν στο κοινό τον Απρίλη του 2013. Στο μεγαλύτερο χρονικό διάστημα της ζωής του έργου, δηλαδή από το 2004 έως τον Απρίλη του 2013, η Γραμμή 2 σε λειτουργία εκτεινόταν σε μήκος 30 km από τον Άγιο Αντώνιο Βορειοδυτικά, μέχρι τον Άγιο Δημήτριο Νοτιοανατολικά της Αττικής (Εικόνα 2.1).



Εικόνα 2.1 Ανάπτυξη γραμμών Μετρό στην Αττική (Γραμμές 1, 2, 3, 4). Η έλλειψη περικλείει την επέκταση προς Ελληνικό (Πηγή: <http://www.ametro.gr>)

2.2 Επέκταση προς Ελληνικό

Η σύμβαση για την υπόγεια επέκταση της Γραμμής 2 του μετρό προς το Ελληνικό υπογράφηκε στις 8 Μαρτίου 2006. Η επέκταση έχει μήκος 5.5 km και εκτείνεται κατά μήκος της Λεωφόρου Βουλιαγμένης Εικόνα 2.2.



Εικόνα 2.2 Απεικόνιση της Γραμμής 2 με υπόβαθρο αεροφωτογραφία της ευρύτερης περιοχής.
(Πηγή: ΧΑΡΤΗΣ: www.ametro.gr. - ΑΕΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ: Google Earth, 14/11/2012)

Η εν λόγω επέκταση περιλαμβάνει 4 νέους σταθμούς Πίνακας 2.1 (Ηλιούπολη, Άλιμος, Αργυρούπολη και Ελληνικό), 7 φρέατα (Αγ. Βασίλειος, Μαυρομιχάλη, Λέοντος, Υμηττού, Ελληνικό, Διασταύρωσης και Σουρμένα), καθώς και υπόγειο χώρο στάθμευσης 8 συρμών για τις ανάγκες λειτουργίας της επέκτασης (<https://www.ametro.gr>). Οι χιλιομετρικές θέσεις των παραπάνω καθώς και οι μεταξύ τους αποστάσεις παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.1.

Πίνακας 2.1 Χιλιομετρικές θέσεις και αποστάσεις μεταξύ σταθμών και φρεάτων



	Χ.Θ.	Αποστάσεις μεταξύ (m)	
Αρχή	10+142	247	890
Αγ. Βασιλείου	10+389	643	
Ηλιούπολη	11+032	618	1226
Μαυρομιχάλη	11+650	608	
Άλιμος	12+258	492	1747
Λέοντος	12+750	585	
Υμηττού	13+335	670	
Αργυρούπολη	14+005	495	1107
Ελληνικό	14+500	612	
Ελληνικό	15+112	414	577
Διασταύρωσης	15+526	55	
Σουρμένα	15+581	108	
Τέλος	15+689		
φρέατια σταθμοί			

Με την επέκταση της Γραμμής αυτής θα εξυπηρετείται συγκοινωνιακά η ευρύτερη περιοχή κατά μήκος του άξονα της Λεωφόρου Βουλιαγμένης, δηλαδή οι περιοχές των δήμων Αγίου Δημητρίου, Ηλιούπολης, Αργυρούπολης, Αλίμου και Ελληνικού. Εκτιμάται ότι η ημερήσια επιβατική κίνηση του Μετρό αναμένεται να αυξηθεί κατά 80.000 επιβάτες με την προσθήκη της εν λόγω επέκτασης στο δίκτυο του Μετρό, ενώ οι ημερήσιες μετακινήσεις με αυτοκίνητο αναμένεται να μειωθούν κατά πενήντα χιλιάδες (<https://www.ametro.gr>).

Η διάνοιξη ξεκίνησε το Μάρτιο του 2007 και ολοκληρώθηκε το Φεβρουάριο του 2012. Η επέκταση μήκους 5.5 km πραγματοποιήθηκε αποκλειστικά υπόγεια. Η διάνοιξη 4.65 km έγινε με TMB-EPB (Earth Pressure Balance) διαμέτρου 9.5 m. (Εικόνα 2.3 και 2.4).



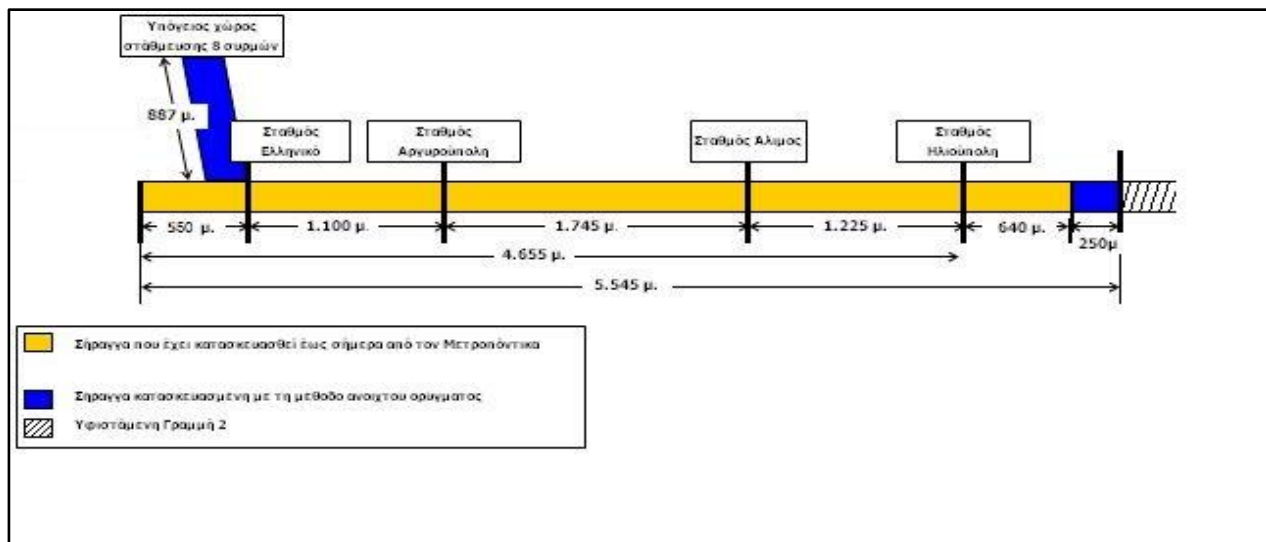
Εικόνα 2.3 TBM αρχικά στο εργοστάσιο(2001-2002) (Πηγή: <http://www.ametro.gr>)



Εικόνα 2.4 Ανακατασκευασμένο TBM σε λειτουργία, 2007 (Πηγή: C. Le Van et al., 2008)

Οι σταθμοί και τα φρέατα κατασκευάστηκαν με τη μέθοδο ανοιχτής εκσκαφής (Cut&Cover) (Αττικό Μετρό Α.Ε., 2006). Η οροφή (στέψη) της σήραγγας απέχει περίπου 21 m από το επίπεδο του δρόμου για το μεγαλύτερο τμήμα της χάραξης. Ακολουθώντας την υπάρχουσα τοπογραφία, η μηκοτομή σχεδιάστηκε με ελάχιστη οριζόντια καμπυλότητα ακτίνας $R = 500$ m, ελάχιστη κατακόρυφη καμπυλότητα $R = 1.250$ m και μέγιστη κλίση 2.1%.

Επιπλέον, κατασκευάστηκε με τη μέθοδο Cut&Cover υπόγειος χώρος στάθμευσης χωρητικότητας οκτώ συρμών, μήκους 275 m. Η συνδετήρια σήραγγα του χώρου στάθμευσης με την κυρίως σήραγγα έχει μήκος 210 m και κατασκευάστηκε με συμβατική μέθοδο NATM. Για τη σύνδεση της επέκτασης με την προϋπάρχουσα Γραμμή 2 του Αγίου Δημήτριου, η σήραγγα μετάβασης κατασκευάστηκε με τη μέθοδο Cut&Cover (Leoutsakos et al., 2008), (Εικόνα 2.6).



Εικόνα 2.6 Κυρίως σήραγγα, συνδετήριες σήραγγες και χώρος στάθμευσης συρμών (Πηγή: <http://www.ametro.gr>)

Οι τέσσερις νέοι σταθμοί έχουν παρόμοια αρχιτεκτονική, είναι ορθογώνιοι και εκτίνονται σε μήκος 110 m ο καθένας. Αποτελούνται από τρία επίπεδα: αποβάθρες, χώρο εισιτηρίων, επίπεδο ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού (Εικόνα 2.5), καθώς και εισόδους/εξόδους σε κάθε πλευρά της Λεωφόρου Βουλιαγμένης.

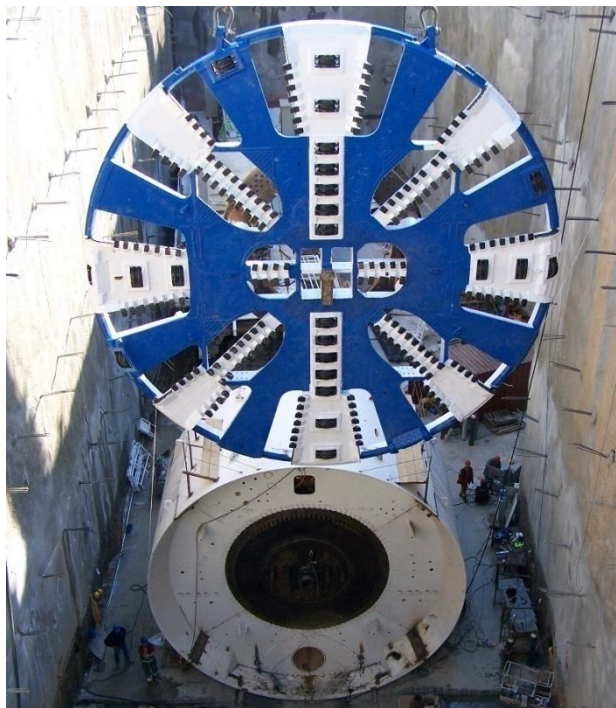


Εικόνα 2.5 Εσωτερικό σταθμών κατά την κατασκευή (Πηγή: <http://www.ametro.gr>)

Η απόσταση μεταξύ των κέντρων των σταθμών ποικίλει από 1.1 έως 1.7 km (Πίνακας 2.1). Τα φρεάτια προορίζονται για τον αερισμό της σήραγγας, καθώς και για την παροχή ασφαλούς διαφυγής σε περίπτωση ανάγκης.

2.3 Τεχνικά Στοιχεία TBM-EPB

Όπως αναφέρθηκε, στην επέκταση προς Ελληνικό χρησιμοποιήθηκε TBM-EPB διαμέτρου 9.5 m. Το TBM-EPB κατασκευάστηκε από την εταιρία Herrenknecht A.G., και αποτελεί ανακατασκευασμένη εκδοχή TBM που χρησιμοποιήθηκε σε προηγούμενη επέκταση του μετρό στην Αθήνα. Κατά την ανακατασκευή, προστέθηκε νέο ρουλεμάν, μεταφορική ταινία, νέο σύστημα AFC (Additional Face Support), σύστημα PSG (Pressurised Steering Gap) καθώς και αναβαθμισμένο μηχανογραφημένο σύστημα καθοδήγησης με όλες τις απαραίτητες γεωτεχνικές λειτουργίες παρακολούθησης (Le Van *et al.*, 2008). Οι κύριες τεχνικές πληροφορίες σε σχέση με το μηχάνημα συνοψίζονται στον Πίνακα 2.2. Αντιπροσωπευτικά τμήματα του TBM παρουσιάζονται στις Εικόνες 2.6 έως 2.9.



Εικόνα 2.6 Κοπτική κεφαλή του TBM-EPB
(Πηγή: Αττικό Μετρό Α.Ε.)



Εικόνα 2.7 Ατέρμον κοχλίας του TBM-EPB (Πηγή:
Αττικό Μετρό Α.Ε.)



Εικόνα 2.8 Θάλαμος αποσυμπίεσης και κύλινδροι προώθησης (Πηγή: Αττικό Μετρό Α.Ε.)



Εικόνα 2.9 Σύστημα τοποθέτησης προκατασκευασμένων στοιχείων (Πηγή: Αττικό Μετρό Α.Ε.)

Πίνακας 2.2 Βασικά χαρακτηριστικά TBM-EPB (Πηγή: Αττικό Μετρό Α.Ε.)

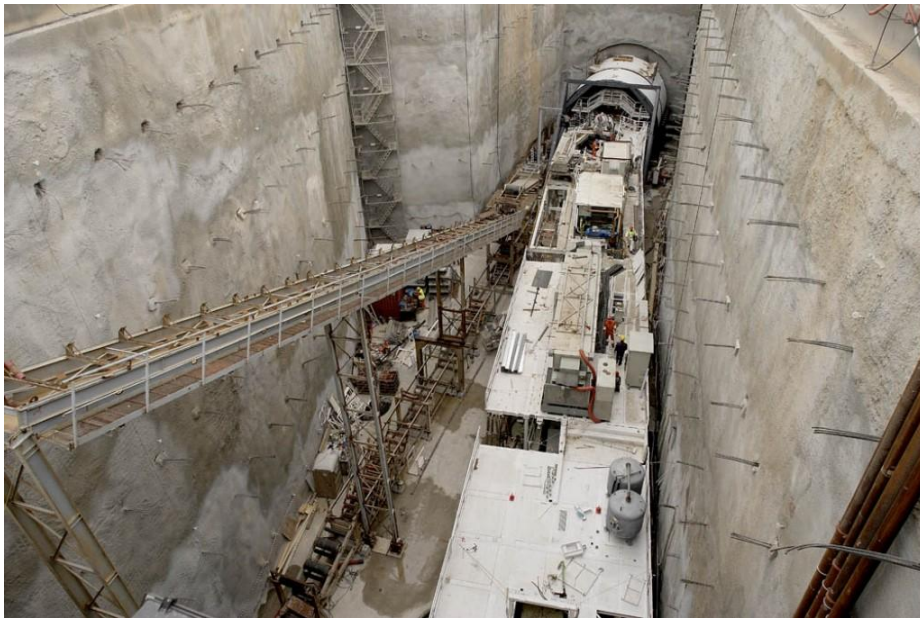
Στοιχεία σήραγγας	Εσωτερική ακτίνα σήραγγας	∅ 8 480 [mm]
	Εξωτερική ακτίνα σήραγγας	∅ 9 440 [mm]
	Πάχος προκατασκευασμένων στοιχείων	350 [mm]
	Μήκος προκατασκευασμένων στοιχείων	1 500 [mm]
	Βάρος προκατασκευασμένων στοιχείων	6 000 [kg]
	Αριθμός προκατασκευασμένων στοιχείων ανά δακτύλιο	7 +1
Σύστημα διάνοιξης σήραγγας	Μέγιστη πίεση εκσκαφής	3.0 [bar]
	Εξωτερική διάμετρος ασπίδας	∅ 9 440 [mm]
	Ολικό μήκος TBM	90 [m]
	Μέγιστη ταχύτητα διάνοιξης	60 [mm/min]
Ασπίδα	Ολικό μήκος ασπίδας	9 040 [mm]
	Ποιότητα χάλυβα	S355J2G3
	Βάρος ασπίδας	625 [to]
	Βάρος κοπτικής κεφαλής	115 [to]
	Αριθμός οπών δειγματοληπτικών λήψεων στην κεντρική ασπίδα	7
	Αριθμός οπών οριζόντιας διάνοιξης	2
1^η Ασπίδα (εμπρόσθια)	Εξωτερική διάμετρος χωρίς σκληρή επικάλυψη	∅ 9 460 [mm]
	Επικάλυψη σκληρού μετάλλου	2 x 5 [mm]
	Μήκος ασπίδας	1 700 [mm]
	Πάχος μανδύα ασπίδας	80 [mm]
	Πάχος μετώπου ασπίδας	60 [mm]
	Αισθητήρες πίεσης μετώπου ασπίδας	7
	Αριθμός θυρών στο μέτωπο πίεσης	1
	Διαστάσεις θύρας	600 x 700 [mm]
Κεντρική ασπίδα	Εξωτερική διάμετρος	∅ 9.460 [mm]
	Μήκος ασπίδας	2.500 [mm]
	Πάχος ασπίδας	50 [mm]
Οπίσθια ασπίδα	Εξωτερική διάμετρος	∅ 9 440 [mm]
	Μήκος ασπίδας	4 417 [mm]
	Πάχος μανδύα ασπίδας	50 [mm]
	Αριθμός σειρών	3 rows
	Αριθμός οπών για ψεκασμού ενέματος	8
	Διάμετρος οπών ενέματος	DN 65
Κύλινδροι προώθησης	Διαστάσεις κυλίνδρων	∅300/250 [mm]
	Μήκος κυλίνδρων	2 300 [mm]
	Αριθμός κυλίνδρων	2 x 14
	Συνολική δύναμη ώθησης στα 315bar	70 900 [kN]
Θύρα εξόδου υλικών εκσκαφής	Διαστάσεις θύρας	1 000x900[mm]
	Αριθμών υδραυλικών κυλίνδρων θύρας	2
	Διαστάσεις κυλίνδρων	∅ 80/45 [mm]
	Διαδρομή κυλίνδρου	1 000 [mm]
Μεταφορική ταινία υλικών εκσκαφής	Εγκατεστημένη ισχύς	22 [kW]
	Ολικό μήκος	14.5 [m]
	Μεταφερόμενη ποσότητα υλικών	650 [to/h]
	Πλάτος ταινίας	800 [mm]
	Ταχύτητα ταινίας	0 – 2.5 [m/s]

2.4 Κατασκευή Επέκτασης προς Ελληνικό

Στο σύνολο της η κατασκευή της επέκτασης προς το Ελληνικό πραγματοποιήθηκε με τρεις μεθόδους εκσκαφής:

- μηχανοποιημένη εκσκαφή με TBM-EPB κλειστής ασπίδας στη σιδηροδρομική σήραγγα
- συμβατικές μέθοδοι για την εκσκαφή των συνδετήριων σηράγγων μεταξύ των σταθμών και των εισόδων/εξόδων
- εκσκαφή με τη μέθοδο Cut&Cover σε όλα τα φρέατα (μεταξύ των σταθμών, αερισμού, φωτισμού και εισόδου/εξόδου)

Η συναρμολόγηση του TBM άρχισε τον Ιανουάριο του 2007 στο Φρέαρ Σουρμένα και ολοκληρώθηκε το Φεβρουάριο της ίδιας χρονιάς. Το Φρέαρ Σουρμένα έχει μήκος 74 m, πλάτος 14 m έως 22 m και βάθος 26 m από επιφάνεια. Εκσκάφτηκε με σκοπό να φιλοξενήσει το TBM-EPB κατά τη συναρμολόγηση του (Εικόνα 2.10), και παρέμεινε έκτοτε ως το νότιο άκρο της εκσκαφής.



Εικόνα 2.10 Συναρμολόγηση TBM-EPB στο Φρέαρ Σουρμένα (Πηγή: Αττικό Μετρό Α.Ε.)

Η διάνοιξη της σήραγγας με το TBM ξεκίνησε το Μάρτιο του 2007 και ολοκληρώθηκε τον Οκτώβριο του 2008. Η εκσκαφή με το TBM-EPB ξεκίνησε από τη Χ.Θ. 15+581, από το Φρέαρ Σουρμένα, και κινήθηκε αντίστροφα, με κατεύθυνση προς την Ηλιούπολη. Συγκεκριμένα, η πρώτη ολομέτωπη εκσκαφή που πραγματοποίησε το TBM-EPB ήταν ένα τμήμα 55 m που μεταξύ του φρέατος Σουρμένας και του φρέατος Διασταύρωσης (κόμβος μορφής σάλπιγγας) που συνδέει την κύρια σήραγγα με το υπόγειο χώρο στάθμευσης των συρμών κοντά στο αεροδρόμιο του Ελληνικού. Το Φρέαρ Διασταύρωσης, συνολικού μήκους 67 m και πλάτους 12.4 m έως 20.4 m εκσκάφτηκε με τη μέθοδο Cut&Cover για τα πρώτα 47 m και έπειτα με συμβατική μέθοδο για τα υπόλοιπα 20 m. Το TBM-EPB διαπέρασε το Φρέαρ Διασταύρωσης και συνέχισε τη λειτουργία του στο τέλος της συμβατικά εκσκαμμένης πεταλοειδής σήραγγας.

Την ίδια περίοδο, βρισκόταν σε εξέλιξη η εκσκαφή του σταθμού Ελληνικό με τη μέθοδο Cut&Cover. Για κάθε σταθμό της επέκτασης ακολουθήθηκε συγκεκριμένο πρόγραμμα κατασκευής, που περιλάμβανε τη δημιουργία τοίχων αντιστήριξης, την εκσκαφή κάποιων επιπέδων μαζί με την εγκατάσταση αγκυρίων και την κατασκευή της πλάκας θεμελίωσης. Μετά τη διέλευση του TBM-EPB μέσα από τον εκάστοτε σταθμό, πραγματοποιούταν η τελική διαμόρφωση του σταθμού. Η ανοιχτή εκσκαφή του σταθμού του Ελληνικού είχε μήκος 123.4 m, πλάτος 10.6 - 28 m και βάθος περίπου 27.5 m με συνολικό εμβαδόν 2 927 m². Το TBM-EPB έφτασε το Σταθμό του Ελληνικού (Χ.Θ. 15+167) στις 30 Μαΐου 2007 (Εικόνα 2.11) έχοντας διανύσει 400 m (7.2% επέκτασης).

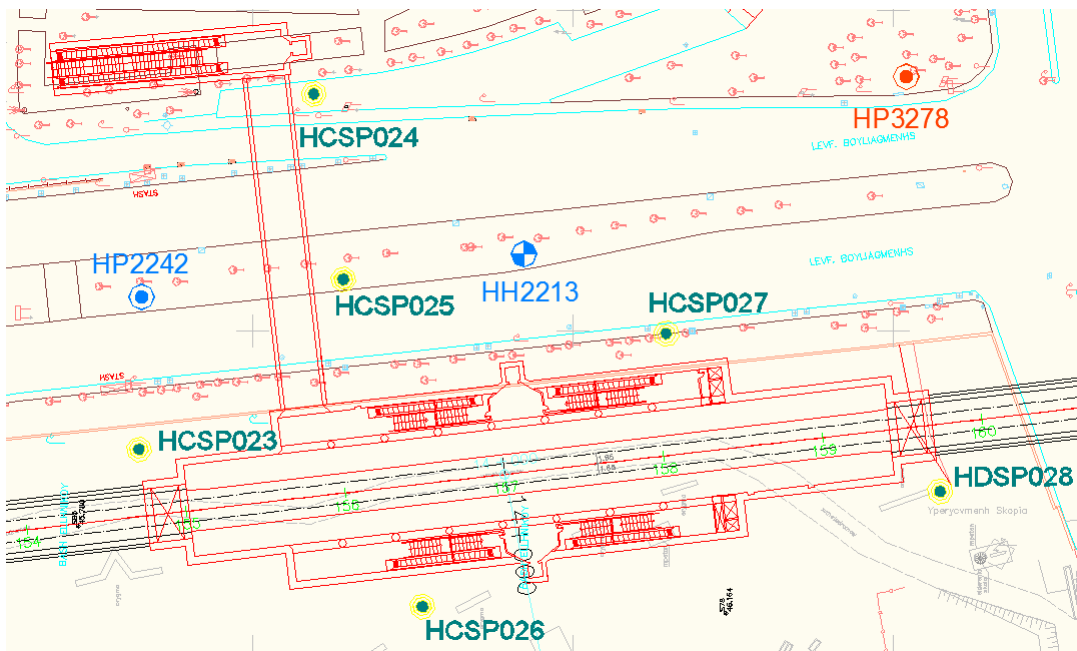


Εικόνα 2.11 Το TBM στο Ελληνικό(Πηγή: Αττικό Μετρό Α.Ε.)

Την ίδια χρονική περίοδο, πραγματοποιήθηκε η εκσκαφή της εισόδου/εξόδου ανατολικά του σταθμού, μήκους 42.5 m πλάτους 7.2 - 8.9 m και βάθους περίπου 16.5 m. Δύο χρόνια αργότερα, κάθετα στη Λεωφόρο Βουλιαγμένης, εκσκάφτηκε με συμβατικά μέσα πεταλοειδής διατομή μήκους 35.5 m, πλάτους 8 m και ύψους 6.4 m η οποία συνδέει την παραπάνω είσοδο/έξοδο με το σταθμό. Παράλληλα διενεργούνταν ποικίλες εργασίες σε μελλοντικούς σταθμούς και φρέατα.

Τον Ιούλιο του 2007 κατασκευάστηκε η πλάκα θεμελίωσης του φρέατος Ελληνικό, ανάμεσα στους σταθμούς Ελληνικό και Αργυρούπολη. Το Φρέαρ Ελληνικό βρίσκεται στον πάνω στον άξονα της κύριας σήραγγας και έχει μήκος 21 m, πλάτος 14 m και βάθος περίπου 25.5 m. Παράλληλα άρχισε η κατασκευή του υπογείου χώρου στάθμευσης των συρμών μαζί με τη διαδικασία μεταφοράς του εργοταξίου του TBM-EPB.

Το TBM-EPB έφτασε το Σταθμό Αργυρούπολη (Χ.Θ. 14+060) στις 4 Οκτωβρίου 2007 έχοντας διανύσει 1 350 m, δηλαδή το 24,3% της επέκτασης. Ο Σταθμός Αργυρούπολη, στη φάση της εκσκαφής είχε μήκος 123.4 m, πλάτος 28 m και βάθος 24 m. Η είσοδος/έξοδος του σταθμού που κατασκευαζόταν την ίδια περίοδο και έχει μήκος 40 m, πλάτος 7.7 m και βάθος περίπου 14 m. Η είσοδος/έξοδος στην Αργυρούπολη συνδέθηκε με τον κύριο σταθμό με συνδετήρια σήραγγα παρόμοια με την αντίστοιχη στο Σταθμό Ελληνικό, μήκους 52 m, πλάτους 8 m και ύψους 6 m. Η διαφοροποίηση της έγκειται στην ύπαρξη φρέατος αερισμού/φωτισμού στο μέσο της σήραγγας, κάτω από το διαχωριστικό διάζωμα της Λεωφόρου Βουλιαγμένης. Ο Σταθμός Αργυρούπολης, η είσοδος/έξοδος, καθώς και η συνδετήρια σήραγγα παρουσιάζονται οπτικά στην Εικόνα 2.12.



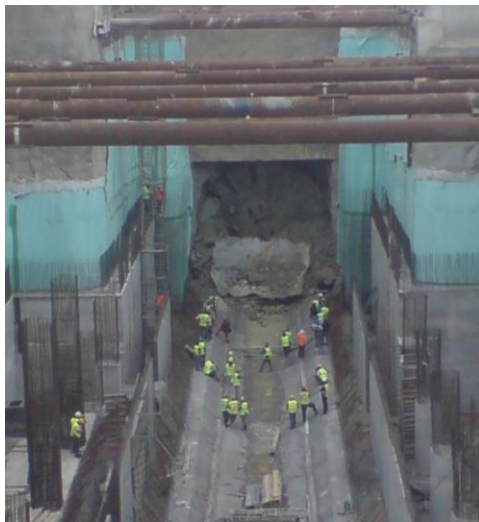
Εικόνα 2.12 Κάτοψη σταθμού Αργυρούπολης (Πηγή: Αττικό Μετρό Α.Ε.)

Ανάμεσα στους σταθμούς Αργυρούπολη και Άλιμος κατασκευάστηκαν δύο φρέατα (Πίνακας 2.1). Το Φρέαρ Υμηττού είναι ορθογωνικό, με τρία επίπεδα ενώ το Φρέαρ Λέοντος είναι κυκλικό. Τα δύο φρέατα έχουν βάθος περίπου 20 m και επικοινωνούν με την κύρια σήραγγα μέσω μίας κυκλικής διατομής συνδετήριας σήραγγας από χυτό σκυρόδεμα, μήκους 15 m. Μέρος της διατομής των φρεάτων αυτών στο επίπεδο του εδάφους καλύπτεται από εσχάρες αερισμού, ενώ το υπόλοιπο περιλαμβάνει σκάλες διαφυγής για έκτακτη ανάγκη.

Το TBM-EPB έφτασε στο Σταθμό Άλιμος (Χ.Θ. 12+313) το Μάιο του 2008 έχοντας διανύσει 3 400 m, δηλαδή φτάνοντας στο 61.3% της διάνοιξης. Ο Σταθμός Άλιμος καθώς και η αντίστοιχη είσοδος/έξοδος κατασκευάστηκαν με πανομοιότυπο τρόπο εκείνων στην Αργυρούπολη. Εξαιτίας των αρχαιολογικών ευρημάτων που συναντήθηκαν, απαιτήθηκε ιδιαίτερη μεταχείριση από ειδικευμένη αρχαιολογική ομάδα.

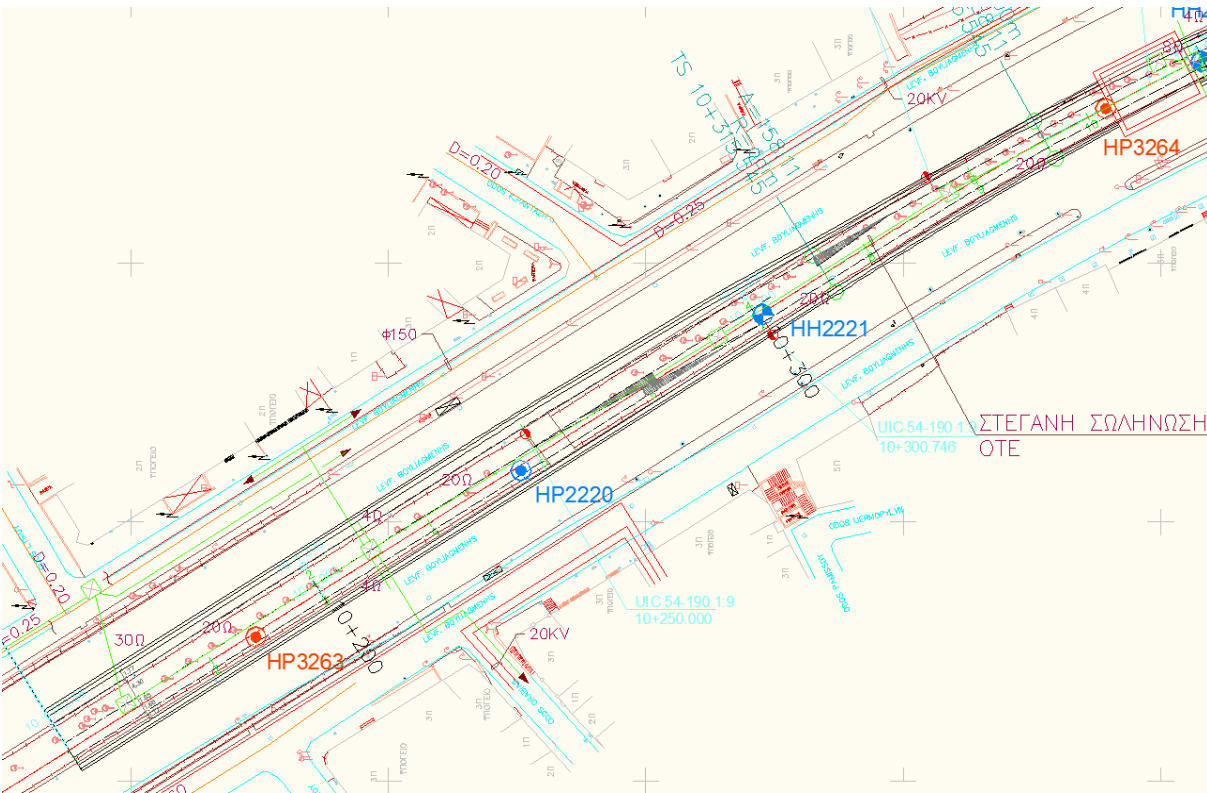
Μεταξύ των σταθμών Άλιμος και Ηλιούπολη κατασκευάστηκε το Φρέαρ Μαυρομιχάλη, με διατομή ίδια εκείνης του φρέατος Λέοντος, αλλά με βάθος 22 m.

Το TBM-EPB βρέθηκε στο Σταθμό Ηλιούπολης (Χ.Θ. 11+087) το Σεπτέμβριο του 2008, έχοντας διανύσει 4 650 m, δηλαδή το 83.9% της επέκτασης (Εικόνα 2.13). Ο Σταθμός Ηλιούπολη, στη φάση της εκσκαφής είχε μήκος 123.4 m, 10.8 m έως 32 m πλάτος και βάθος 28 m από την επιφάνεια του εδάφους, με συνολικό εμβαδόν 3 352 m². Η είσοδος/έξοδος δυτικά του σταθμού έχει μήκος 33.7 m, πλάτος 16.1 m και βάθος 13.5 m. Όπως και στους προηγούμενους σταθμούς, η είσοδος/έξοδος συνδέθηκε με το σταθμό αργότερα, μέσω συνδετήριας σήραγγας πεταλοειδούς διατομής που εκσκάφτηκε με συμβατικά μέσα, κάθετα στον άξονα της Λεωφόρου Βουλιαγμένης. Η συνδετήρια σήραγγα έχει μήκος 32.3 m, πλάτος 8 m και ύψος 6.4 m.



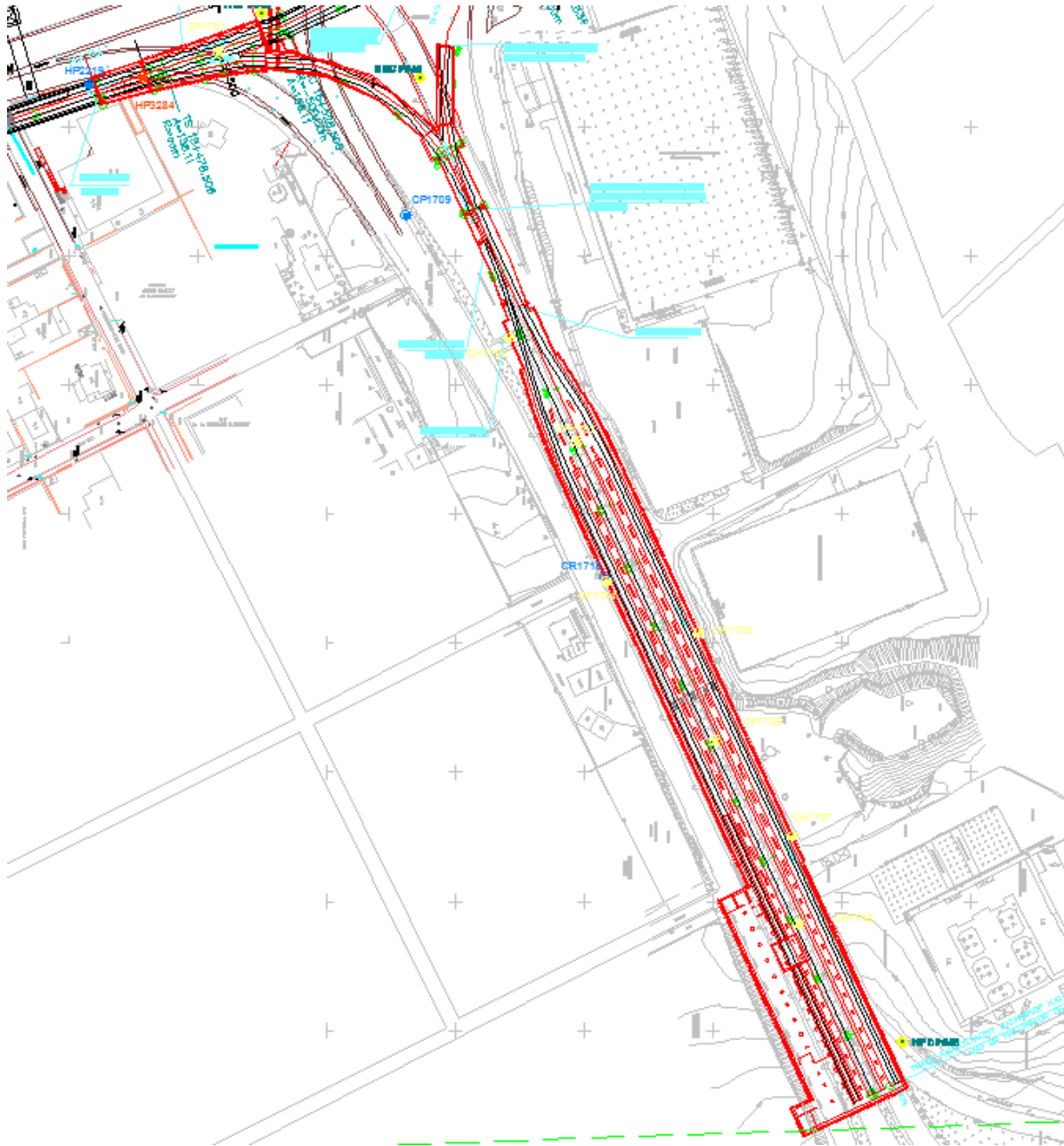
Εικόνα 2.13 Το TBM-EPB φτάνει στο Σταθμό Ηλιούπολη (Πηγή: Αττικό Μετρό Α.Ε.)

Στη συνέχεια το TBM-EPB κινήθηκε προς το Φρέαρ Άγιος Βασίλειος όπου αποσυναρμολογήθηκε τον Ιανουάριο του 2009, έχοντας διανοίξει σήραγγα συνολικού μήκους 5 545 m. Το Φρέαρ Άγιος Βασίλειος είναι ορθογωνικό, συνδέει την προϋπάρχουσα Γραμμή 2 με τη νέα επέκταση προς το Ελληνικό, και θα χρησιμοποιηθεί ως έξοδος κινδύνου. Πριν την πραγματοποίηση της επέκτασης, σε άμεση γειτονία με το Σταθμό Άγιος Δημήτριος υπήρχε τούνελ με τριπλή τροχιά, όπου οι συρμοί στάθμευαν ή και άλλαζαν κατεύθυνση. Το τούνελ αυτό κατά την επέκταση επεκτάθηκε μέσω εκσκαφής Cut&Cover προς το Φρέαρ Άγιος Βασίλειος, μεταβάλλοντας σταδιακά το πλάτος της διατομής από 13.4 m στα 8.9 m ώστε να λειτουργήσει ως μεταβατικό τμήμα τριπλής σε διπλής τροχιάς σήραγγα (Εικόνα 2.14).



Εικόνα 2.14 Κάτοψη κατασκευής μεταβατικής σήραγγας από το σταθμό στάθμευσης συρμών του Αγίου Δημητρίου στο Φρέαρ Άγιος Βασίλειος της επέκτασης προς Ελληνικό (Πηγή: Αττικό Μετρό Α.Ε.)

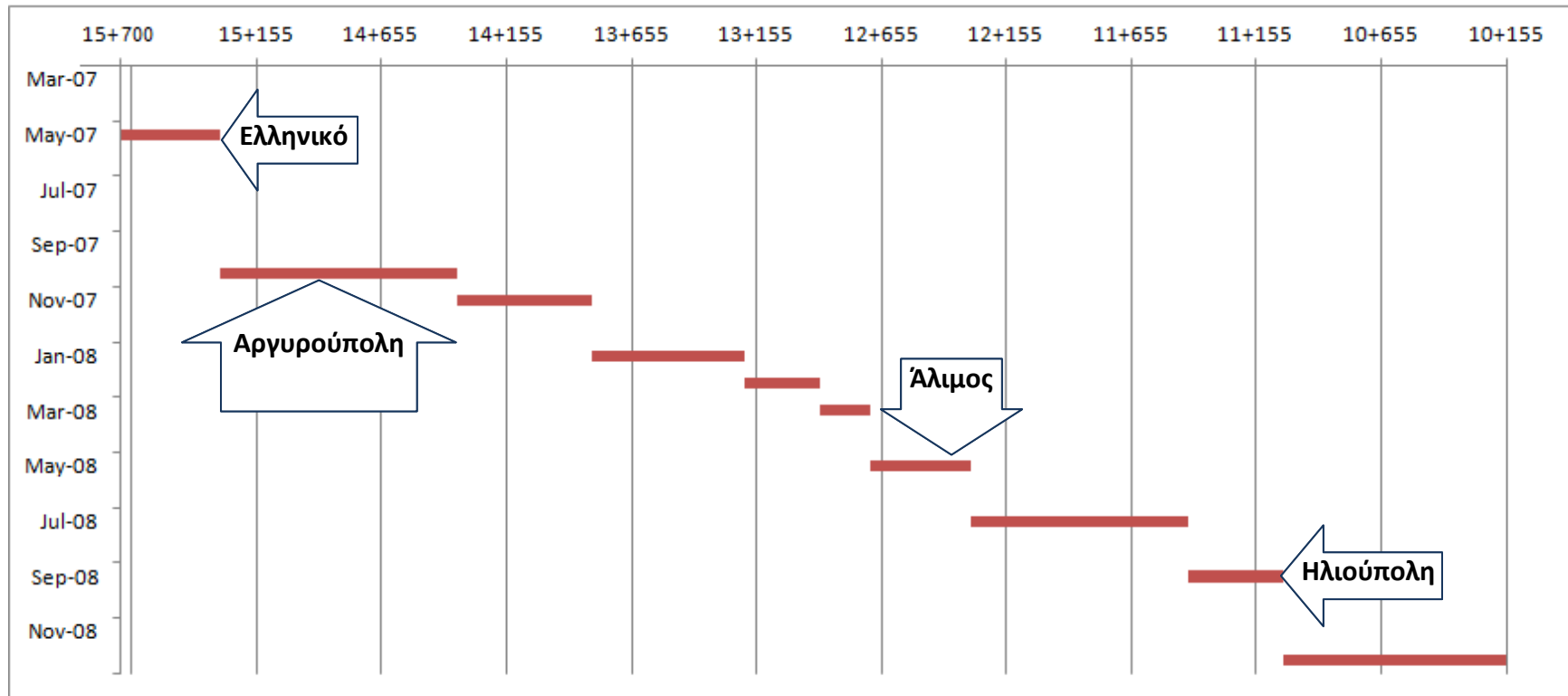
Ο νέος υπόγειος χώρος στάθμευσης των συρμών κατασκευάστηκε παράλληλα με την εκσκαφή της σήραγγας. Τα τρένα με κατεύθυνση προς Ελληνικό θα κατευθύνονται στο Φρέαρ Διασταύρωσης μέσω σήραγγας μονής τροχιάς στο χώρο στάθμευσης διπλής τροχιάς, μήκους 211 m (Εικόνα 2.15). Η σήραγγα μονής τροχιάς έχει μήκος 211 m και κατασκευάστηκε με συμβατική μέθοδο, ενώ ο χώρος στάθμευσης των συρμών με τη μέθοδο Cut&Cover.



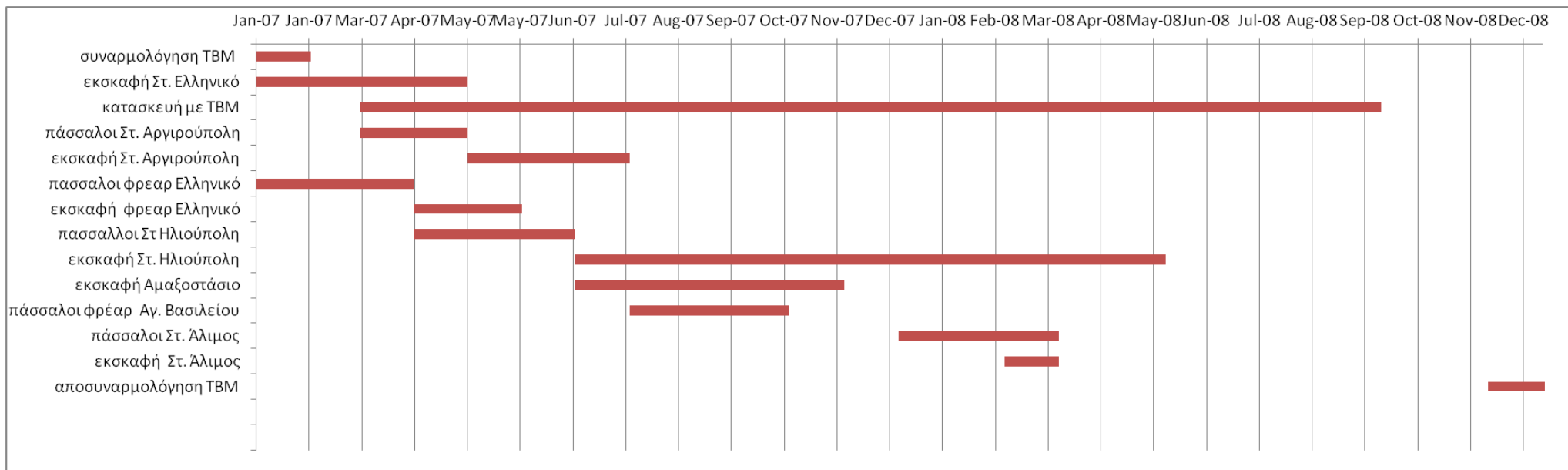
Εικόνα 2.15 Κάτοψη υπόγειου χώρου στάθμευσης συρμών (Πηγή: Αττικό Μετρό Α.Ε.)

Η πορεία εκσκαφής παρουσιάζεται πιο αναλυτικά στον Πίνακα 2.3. Οι εργασίες που σχετίζονται με την εκσκαφή των σταθμών και πραγματοποιήθηκαν παράλληλα με τη διάνοιξη του ΤΒΜ παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.4.

Πίνακας 2.3 Χρονοδιάγραμμα εκσκαφής ΤΒΜ

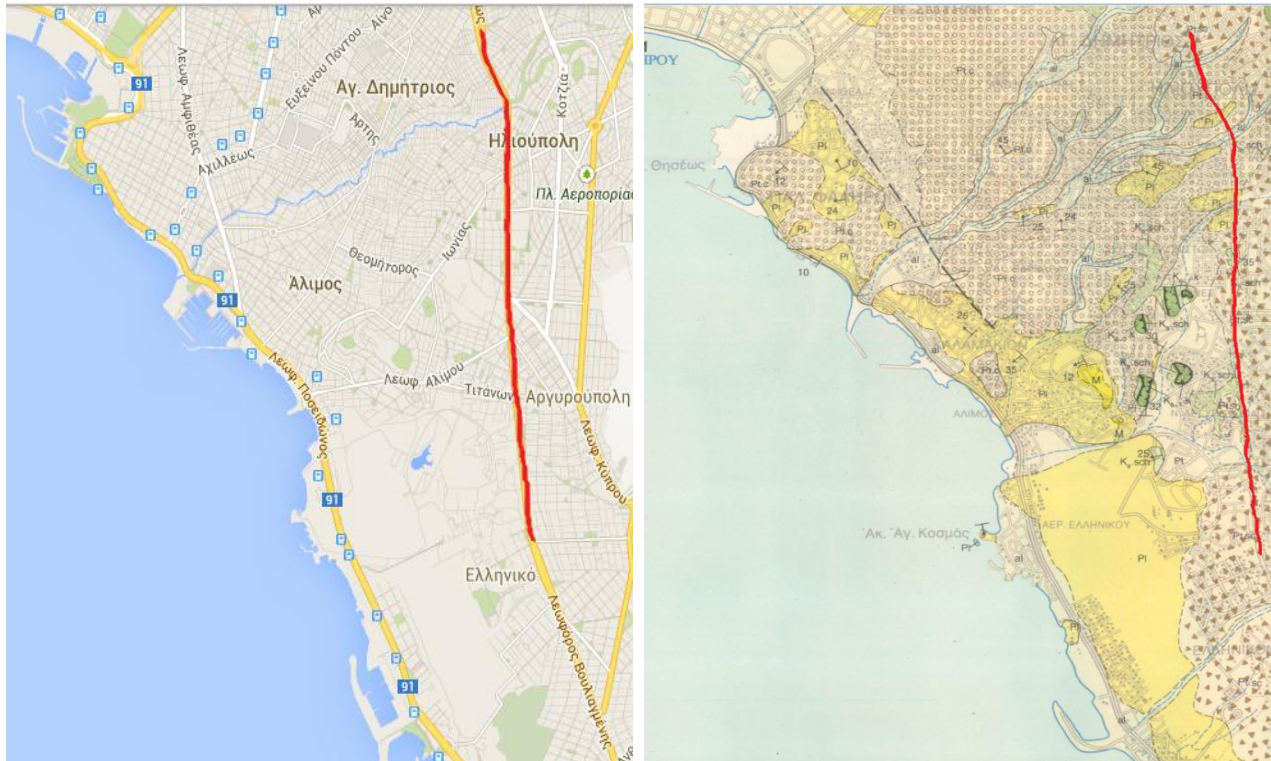


Πίνακας 2.4 Χρονοδιάγραμμα εργασιών εκσκαφής προέκτασης Ελληνικού



3. Γεωλογικά Στοιχεία

Η προέκταση της Γραμμής 2 του μετρό βρίσκεται στο νότιο τμήμα της Αττικής. Στην Εικόνα 3.1 παρουσιάζεται η θέση της προέκτασης σε γεωγραφικό αλλά και σε γεωλογικό επίπεδο. Η γεωλογία της περιοχής όπου κατασκευάστηκε η προέκταση παρουσιάζεται πιο αναλυτικά στην Εικόνα 3.2 (υπόμνημα Πίνακας 3.1).



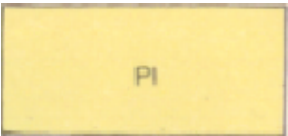

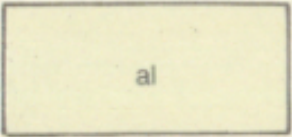
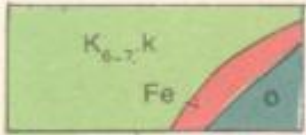


Εικόνα 3.1 Γεωγραφικός και Γεωλογικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής του έργου (Πηγή: GoogleMaps και ΙΓΜΕ Φύλλο Αθήναι-Πειραιεύς)



Εικόνα 3.2: Γεωλογικός χάρτης περιοχής προέκτασης προς Ελληνικό έργου (Πηγή: *GoogleMaps* και *IGME Φύλλο Αθήναι-Πειραιεύς*)

Πίνακας 3.1 Υπόμνημα Γεωλογικού Χάρτη περιοχής προέκτασης προς Ελληνικό (Πηγή: ΙΓΜΕ Φύλλο Αθήναι-Πειραιεύς)

	<p>Παλαιοί Κώνοι κορημάτων: που εξελίσσονται σε συνεκτικά κροκαλοπαγή</p>
	<p>Ποτάμιες αποθέσεις: κροκαλοπαγή εναλλασσόμενα με λεπτές ενστρώσεις λατυποπαγών, πηλών, ψαμμιτών και ερυθρών ψαμμιούχων μαργών με παρεμβολές κίτρινης ψαμμιούχας μάργας σε διασταυρούμενες στρώσεις</p>
	<p>Μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι και ψαμμίτες: επικλυσιογενή ιζήματα θαλάσσιας ή παράκτιας φάσεως. Στη βάση τους απαντούν κροκαλοπαγή (μέγεθος κροκάλων 5 – 20 εκ) με παρεμβολές ψαμμιτών και ψαμμιούχων μαργών. Στα ανώτατα μέλη εναλλάσσονται με λιμναία και χερσαία ιζήματα κυρίως κροκαλοπαγή και η διάκριση τους από τους υπερκείμενους σχηματισμούς του Πλειστοκαίνου είναι δύσκολη.</p>
	<p style="text-align: center;">Αθηναϊκοί σχιστόλιθοι (φλύσχης)</p> <p>Σχιστόλιθοι (K₉^{sch}): σερικιτικοί, χλωριτικοί, εναλλασσόμενοι με αργιλικούς σχιστόλιθους, φακούς ψαμμιτών και ψαμμιούχων κρυσταλλικών ή μικροκλαστικών ασβεστόλιθων (K₉k₂) οι οποίοι σχηματίζουν τις κορυφές των λόφων από τον Άδρητο και ανατολικά. Κατά θέσεις οι Αθηναϊκοί σχιστόλιθοι διασχίζονται από φλέβες χαλαζία και από εξαλλοιωμένα εκρηξιγενή πετρώματα.</p>
	<p>Αλλουβιακές αποθέσεις: σύγχρονες αποθέσεις χειμάρρων άργιλοι, άμμοι, χαλίκια</p>
	<p>Ασβεστόλιθοι: πλακώδεις, κονδυλώδεις, στη βάση τους τεφροί έως σκοτεινότεφροι βιοαρενίτες μεταπίπτουν προς τα πάνω σε λεπτοστρωματώδεις, παχυστρωματώδεις ή άστρωτους τεφρούς, τεφρομέλανες βιομικρίτες. Επίκεινται επικλυσιογενώς στους οφιολίθους, και στην επαφή τους εμφανίζονται λατεριτικά σιδηρομεταλλεύματα</p>

Στην περιοχή του έργου εμφανίζονται στο κεντρικό τμήμα γεωλογικές ενότητες Αθηναϊκού σχιστόλιθου (Αλπικός σχηματισμός υποβάθρου), ενώ στα άκρα της χάραξης, (περιοχές Ηλιούπολη και Ελληνικό), παρουσιάζονται ενότητες Νεογενούς και Τεταρτογενούς (Παπαγεωργίου και Μπουσούλας, 2010). Οι ενότητες Νεογενούς εκδηλώνεται μέσω κώνων κορημάτων, ποτάμιων και αλλουβιακών αποθέσεων. Αντίστοιχα, η ενότητα Τεταρτογενούς εκδηλώνεται με ασβεστόλιθους, μαργαϊκούς ασβεστόλιθους και ψαμμίτες. Για τις γεωλογικές και γεωτεχνικές μελέτες που πραγματοποιήθηκαν για την γεωλογική έρευνα της περιοχής ανεπτύχθη μία πιο λεπτομερή ανάλυση των γεωλογικών σχηματισμών, σε σύγκριση με εκείνη που χρησιμοποιείται στο γεωλογικό χάρτη του ΙΓΜΕ (Πίνακας 3.1). Το ανανεωμένο σύνολο των γεωλογικών σχηματισμών παρουσιάζεται αναλυτικά στον Πίνακα 3.2 και στην Εικόνα 3.3.

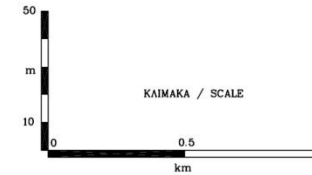
Πίνακας 3.2 . Γεωλογικοί σχηματισμοί κατά μήκος της χάραξης

ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
1	τεχνητές επιχώσεις	7	νεογενείς σχηματισμοί Ελληνικού (νότιο άκρο επέκτασης)
2	αδρομερή υλικά ρέματος	7.1	λυόλιθος – αργιόλιθος, πολύ ασθενούς έως μέτριας αντοχής
3	λεπτόκοκκα υλικά ρέματος	7.2	ψαμμίτης, πολύ ασθενούς έως μέτριας αντοχής
4	σιμεντοποιημένα υλικά ρέματος	7.3	κροκαλοπαγές, μέτρια ισχυρό έως ισχυρό
5.1	συνεκτικά κορηματικά υλικά (κυρίως ασβεστολιθικής σύστασης)	8	κλαστικός σχηματισμός
5.2	σιμεντωμένα κορηματικά υλικά	8.1	συνεκτικός κλαστικός σχηματισμός
6	νεογενείς σχηματισμοί Ηλιούπολης (βόρειο άκρο επέκτασης)	8.2	σιμεντωμένος κλαστικός σχηματισμός
6.1	αποσαθρωμένη ζώνη ψαμμιτών και ιλυολίθων - αργιολίθων	9	σχιστολιθική – ψαμμιτική – μαργαϊκή σειρά
6.2	λυόλιθος – αργιόλιθος, στιφρός έως σκληρός (ή πολύ ασθενής)	9.1	μανδύας αποσάθρωσης μαργαϊκού ασβεστολίθου
6.3	ψαμμίτης και ασβ. ψαμμίτης – μαργαϊκός ασβεστόλιθος	9.2α, β, γ	μαργαϊκός ασβεστόλιθος – ασβ. ψαμμίτης (ασβ. αρενίτης – ασβ. ρουδίτης)
6.4	κροκαλοπαγές, μέτρια ισχυρό	10	αθηναϊκός σχιστόλιθος (υπόβαθρο)
6.5	ασβεστόλιθος (ασβ. αρενίτης – ασβ. ρουδίτης)	10.1	μανδύας αποσάθρωσης μεταψαμμιτών – μεταίλυολίθων
		10.2α, β, γ	μεταψαμμίτης – μεταίλυόλιθος
		10.3α, β, γ	μαύρος αργιλικός σχιστόλιθος με ενστρώσεις μεταψαμμίτη – μεταίλυολίθου

ΥΠΟΜΝΗΜΑ LEGEND

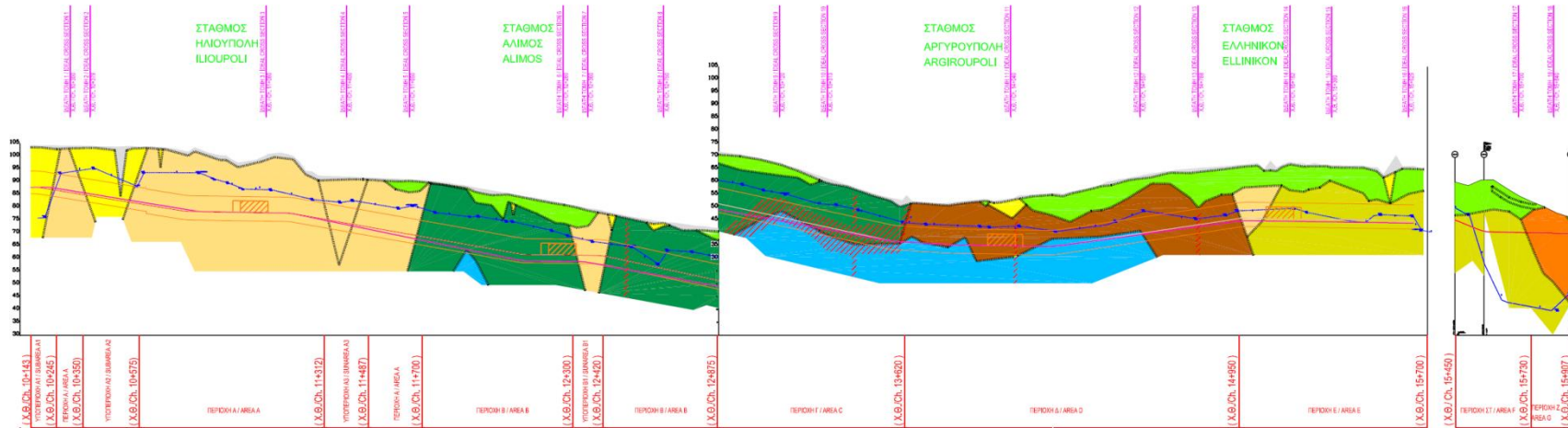
- ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ (1)
FORMATION (1)
- ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ (2), (3) ΚΑΙ (4)
FORMATIONS (2), (3) AND (4)
- ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ (5.1) ΚΑΙ (5.2)
FORMATIONS (5.1) AND (5.2)
- ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ (6.1) ΕΩΣ ΚΑΙ (6.5)
FORMATIONS (6.1) TO (6.5)
- ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ (7.1) ΕΩΣ (7.3)
FORMATIONS (7.1) TO (7.3)
- ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ (8.1) ΚΑΙ (8.2)
FORMATIONS (8.1) AND (8.2)
- ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ (9.1, 9.2α, 9.2β, 9.2γ)
FORMATIONS (9.1, 9.2a, 9.2b, 9.2c)
- ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ (10.1, 10.2α, 10.2β, 10.2γ)
FORMATIONS (10.1, 10.2a, 10.2b, 10.2c)
- ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ (10.3α, 10.3β, 10.3γ)
FORMATIONS (10.3a, 10.3b, 10.3c)
- Προσεγγιστικές ζώνες έπαινου τεκτονισμού
Approximable tectonically disturbed zones
- Προσεγγιστικό όριο σχηματισμών
Approximable formation boundary

**ΑΠΛΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΤΟΜΗ
SIMPLIFIED LONGITUDINAL SECTION**



**ΧΑΡΑΞΗ ΗΛΙΟΥΠΟΛΗ - ΕΛΛΗΝΙΚΟ
ΙΛΙΟΥΠΟΛΙ - HELLINIKO ALIGNMENT**

**ΧΑΡΑΞΗ ΠΡΟΣ
ΑΜΑΞΟΣΤΑΣΙΟ
ΔΕΡΟΤ**



Εικόνα 3.3 Γεωλογική μηκτομή «Επέκτασης προς Ελληνικό» (Πηγή: Αττικό Μετρό Α.Ε.)

Σύμφωνα με το έγγραφο 2GS0PW180S703C της ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ Α.Ε., οι γεωλογικές ενότητες που αναμενόταν να συναντηθούν κατά μήκος του έργου διαχωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες: μεταλλικοί σχηματισμοί και αλπικοί σχηματισμοί. Οι μεταλλικοί σχηματισμοί έχουν κοκκώδη χαρακτηριστικά, ενώ οι αλπικοί σχηματισμοί χαρακτηρίζονται από πλήθος ασυνεχειών.

Πιο αναλυτικά, στους Μεταλλικούς σχηματισμούς εντάσσονται οι σχηματισμοί του Νεογενούς και Τεταρτογενούς, οι οποίοι στην περίπτωση του έργου εμφανίζονται ως μαργαϊκά ιζήματα, ποταμοχειμάρριες αποθέσεις και κορηματικά υλικά. Κατά κύριο λόγο είναι εδαφικού χαρακτήρα υλικά, μεγάλης κατά κανόνα ανομοιομορφίας, τα οποία αναμένεται να παρουσιάσουν πολύ πτωχά μηχανικά χαρακτηριστικά.

Η σύσταση που επικρατεί στους σχηματισμούς της περιοχής είναι αμμοχαλικώδης έως ιλυώδης, με κυμαινόμενο κατά θέσεις ποσοστό άμμου και λατυπών ή κροκαλών κυρίως ασβεστολιθικής σύστασης. Η δομή είναι γενικά χαλαρή στα επιφανειακά τμήματα και στο σύνολο των πιο πρόσφατων σχηματισμών. Οι παλαιότερες αποθέσεις γενικότερα και κυρίως τα Νεογενή ιζήματα παρουσιάζουν πιο συνεκτική δομή.

Κατά θέσεις υπάρχουν οριζοντες πολύμικτων συνεκτικών κροκαλολατυποπαγών, ισχυρά συγκολλημένων με ασβεστιτικό συνδετικό υλικό, οι οποίοι χαρακτηρίζονται από βραχώδη μηχανική συμπεριφορά. Αντίστοιχη συμπεριφορά αναμένεται να παρουσιάσουν οι ψαμμιτικοί και μαργαϊκοί οριζοντες, αλλά και οι μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι των Νεογενών ιζημάτων. Ο ασβεστιτικός ψαμμίτης εμφανίζεται σπάνια να έχει βραχώδη χαρακτήρα, όπου επικρατεί βραχόμαζα «μερικώς διαταραγμένη», (κατηγορία Very Blocky) και «Μέτριας κατάστασης ασυνεχειών», με GSI μεταξύ 45 και 50.

Στην ενότητα των Αλπικών Σχηματισμών κατατάσσονται οι σχηματισμοί του αλπικού υποβάθρου, οι οποίοι στην περιοχή του έργου αντιπροσωπεύονται κυρίως από τους Αθηναϊκούς σχιστόλιθους και τη σχιστολιθική – ψαμμιτική – μαργαϊκή σειρά. Περιλαμβάνουν βραχώδεις έως γαιοημιβραχώδεις κυρίως σχηματισμούς, μεγάλης ανομοιομορφίας. Οι σχηματισμοί αυτοί αναμένεται να διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους ως προς τα γενικότερα μηχανικά τους χαρακτηριστικά.

Λόγω του έντονου τεκτονισμού, στη μάζα των σχηματισμών παρατηρούνται σε μικρότερο σχετικά βαθμό, υγιή βραχώδη τμήματα. Για το λόγο αυτό, το μεγαλύτερο μέρος της ενότητας αυτής μπορεί να διακριθεί σε δύο βασικές φάσεις:

α) Η πρώτη αποτελεί μία εδαφικού έως μικτού περισσότερου χαρακτήρα φάση, στην οποία περιλαμβάνει ζώνες έντονης αποσάθρωσης και διατάραξης/κατακερματισμού της αρχικής βραχόμαζας. Στη φάση αυτή επικρατεί κυρίως η αργιλοαμμώδης έως ιλυώδης σύσταση με χαρακτηριστική παρουσία κυμαινόμενου ποσοστού και μεγέθους λατυπών μεταψαμμίτη ή μαργαϊκού ασβεστόλιθου.

Τα μηχανικά χαρακτηριστικά της αναμένονται να είναι πτωχά έως πολύ πτωχά. Στις εμφανίσεις οι οποίες δε θεωρούνται απόλυτα εδαφικού χαρακτήρα, με βάση τις επιτόπου κατατάξεις της βραχόμαζας, επικρατεί η «Πτωχή αλληλοεμπλοκή – πολύ σπασμένη βραχόμαζα», (κατηγορία Disintegrated) και «Πτωχή έως πολύ πτωχή κατάσταση ασυνεχειών». Το GSI κυμαίνεται δηλαδή μεταξύ 13 και 22.

β) Η δεύτερη φάση είναι περισσότερο μικτού έως βραχώδους χαρακτήρα, και αντιστοιχεί σε πιο υγιή τμήματα της αρχικής βραχόμαζας. Στη φάση αυτή επικρατούν κυρίως εναλλαγές ματαψαμμιτών – μεταϊλυολίθων και οι μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι.

Η φάση αυτή αναμένεται να παρουσιάσει μέτρια έως πτωχά μηχανικά χαρακτηριστικά. Οι εμφανίσεις οι οποίες δε θεωρούνται συμπαγούς βραχώδους χαρακτήρα, με βάση τις επιτόπου κατατάξεις βραχόμαζας, επικρατεί η «Πτυχωμένη ή/και ρωγματωμένη βραχόμαζα», (κατηγορία Blocky/Disturbed/Seamy) και «Πτωχή κατάσταση ασυνεχειών» δηλαδή με GSI μεταξύ 20 και 30. Στις περιορισμένες εμφανίσεις πιο βραχώδους χαρακτήρα, επικρατεί η «Μερικώς διαταραγμένη βραχόμαζα», (κατηγορία Very Blocky) και «Πτωχής κατάστασης ασυνεχειών», δηλαδή με GSI της τάξης του 30 έως 40.

4. Γεωτεχνικές Έρευνες

Πριν την έναρξη των εργασιών για την επέκταση της Γραμμής 2 προς Ελληνικό, πραγματοποιήθηκαν 154 γεωτρήσεις, 104 κατά την Προμελέτη και 46 κατά την Οριστική Μελέτη (Παπαγεωργίου Ε.Ο. & Μπούσουλας Ν.Ζ., 2010). Οι γεωτρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε βάθος κατά μέσο όρο 8 m κάτω από τη στάθμη της μελλοντικής διάνοιξης, με ελάχιστο βάθος 27.90 m και μέγιστο 29 m (Le Van *et al.*, 2008). Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκαν επί τόπου δοκιμές που περιλάμβαναν δειγματοληψία των εδαφικών σχηματισμών μέσω απόσπασης καροταρίας, δοκιμές διείσδυσης, πρεσσιομέτρου και διαπερατότητας.

4.1 Δοκιμές Διείσδυσης SPT

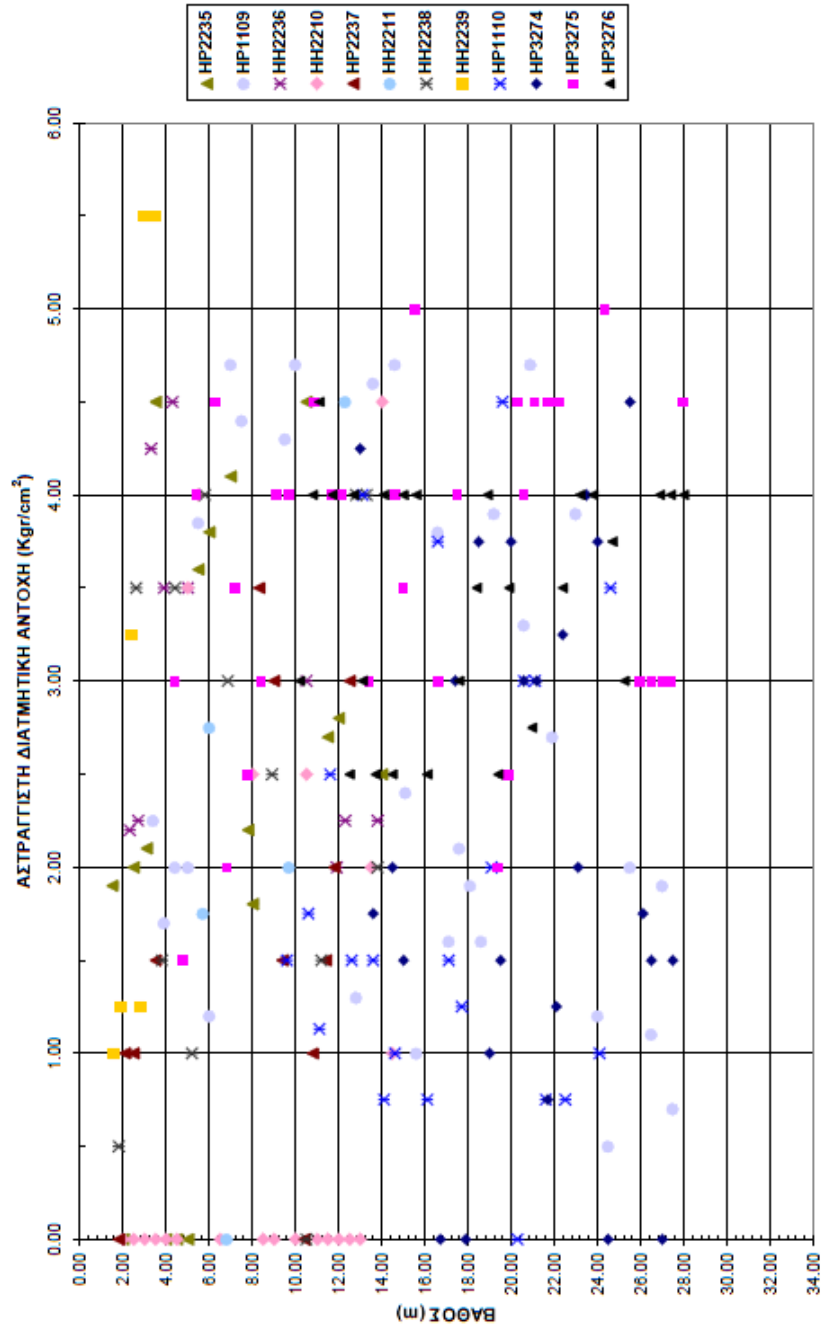
Εξαιτίας της αμμοχαλικώδους ή/και βραχώδους φύσης των γεωτεχνικών ενοτήτων κατά μήκος του έργου, δεν ήταν εφικτή η πραγματοποίηση ικανοποιητικού αριθμού αξιόπιστων δοκιμών διείσδυσης του πρότυπου δειγματολήπτη Terzaghi. Συγκεκριμένα εκτελέστηκαν επτά δοκιμές SPT, από τις οποίες οι τέσσερις παρουσίασαν άρνηση, ενώ στις υπόλοιπες τρεις οι τιμές κυμάνθηκαν μεταξύ 11 και 32. Τα αποτελέσματα αυτά υποδεικνύουν ότι οι χαλικώδεις εδαφικές στρώσεις που ελέγχθηκαν κατατάσσονται στους «πολύ πυκνούς» σχηματισμούς. Αντίστοιχα, τα συνεκτικά εδάφη που ελέγχθηκαν κατατάσσονται ως «στριφρά», «πολύ στριφρά» και «σκληρά», σύμφωνα με την κατάταξη Terzaghi and Peck του 1967.

4.2 Δοκιμές Πενετρόμετρου χειρός

Η κοκκομετρική διαβάθμιση του εκάστοτε υπό έλεγχο δείγματος καθορίζει την αντιπροσωπευτικότητα των αποτελεσμάτων των δοκιμών πενετρόμετρου χειρός. Στόχος των δοκιμών αυτών είναι ο καθορισμός της αστράγγιστης διατμητικής αντοχής (c_u) των αργιλικών ενστρώσεων που βρίσκονται στους σχηματισμούς που διατρήθηκαν. Στα δείγματα που ελέγχθηκαν το ποσοστό της άμμου και των λεπτών χαλικιών ήταν αυξημένο, με αποτέλεσμα η εκτίμηση της πραγματικής τιμής της αστράγγιστης διατμητικής αντοχής c_u των σχηματισμών αυτών να είναι περιορισμένης ακρίβειας. Για το λόγο αυτό, δεν προέκυψε μία ικανοποιητική

νομοτέλεια μεταβολής της αντοχής αυτής για κάθε γεωτεχνική ενότητα με το βάθος. Ενδεικτικά, παρουσιάζεται ένα από τα διαγράμματα της αναδόχου εταιρίας, όπου απεικονίζεται το φάσμα των ορίων μεταβολής της c_u με το βάθος. Στο Διάγραμμα 4.1 παρουσιάζεται η περιοχή, η οποία αντιστοιχεί στο τμήμα μεταξύ Χ.Θ. 12+900 και Χ.Θ. 13+620.

Διάγραμμα 4.1 Δοκιμές Πενετρόμετρου Χειρός. Μεταβολή αστράγγιστης διατμητικής αντοχής – βάθους (Χ.Θ. 12+900 και Χ.Θ. 13+620) (Πηγή: Αττικό Μετρό Α.Ε. (2GS0EN180R915B))



4.3 Δοκιμές Πρεσσιομέτρου

Για τις δοκιμές πρεσσιομέτρου πραγματοποιήθηκαν πέντε πρεσσιομετρικές γεωτρήσεις δίπλα σε αντίστοιχες δειγματοληπτικές, ώστε τα αποτελέσματα να είναι άμεσα συγκρίσιμα με τη στρωματογραφία του εδάφους. Με βάση τα αποτελέσματα των δοκιμών, ήταν δυνατός ο προσδιορισμός του μέτρου συμπίεσεως E_s , που κυμαίνεται μεταξύ 100 και 700 MPa, καθώς και άλλων γεωτεχνικών μεγεθών. Τα μεγέθη αυτά είναι η καθαρή οριακή πίεση θραύσης p^*_L , ο λόγος E_M/p^*_L , η γωνία εσωτερικής τριβής ϕ' , το μέτρο συμπίεσεως E_s , η αστράγγιστη διατμητική αντοχή c_u και ο συντελεστής ωθήσεων γαιών k_o . Πιο αναλυτικά στοιχεία για τις πρεσσιομετρικές γεωτρήσεις και τα αποτελέσματα που προέκυψαν δίνονται στους Πίνακες 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5 και 4.6.

Πίνακας 4.1 Πρεσσιομετρικές Γεωτρήσεις (Πηγή: Αττικό Μετρό Α.Ε. (2GS0EN180R915B))

A/A	Όνομα Γεώτρησης	Δειγματοληπτική Γεώτρηση	Χιλιομετρική Θέση (Χ.Θ.)
1	CR 1710	CH 1704	15 + 760
2	HR 2262	HH 1115	15 + 300
3	HR 2259	HH 1103	11 + 080
4	HR 2261	HH 1112	14 + 196
5	HR 2260	HH 1107	12 + 360

Πίνακας 4.2 Διακυμάνσεις γεωτεχνικών παραμέτρων από πρεσσιομετρικές γεωτρήσεις, Γεώτρηση CR 1710 (Πηγή: Αττικό Μετρό Α.Ε. (2GS0EN180R915B))

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΑΝΤΟΧΗΣ		ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ	
		7.1	7.2
	Λόγος E_M/p^*_L	13 – 19	13 – 25
	Καθαρή οριακή πίεση θραύσεως p^*_L (KPa)	4 500 – 6 500	7 000 – 10 200
	Πρεσσιομετρικό μέτρο E_M (KPa)	81 876 – 84 863	94 618 – 259 540
	Γωνία τριβής ϕ' (°)	18.8 – 34.5	31.10 – 44.0
	Μέτρο συμπίεσεως E_s (KPa)	327 504 – 339 452	378 472 – 1 038 160
	Συντελεστής ωθήσεων γαιών k_o	0.38 – 0.62	0.19 – 0.43
	Αστράγγιστη διατμητική αντοχή c_u (KPa)	N/A	N/A
Γεώτρηση CR 1710	ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ	7.1	Ιλυόλιθος - Αργιλόλιθος
		7.2	Ψαμμίτης

Πίνακας 4.3 Διακυμάνσεις γεωτεχνικών παραμέτρων από πρεσσιομετρικές γεωτρήσεις, Γεώτρηση HR 22562 (Πηγή: Αττικό Μετρό Α.Ε. (2GS0EN180R915B))

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΑΝΤΟΧΗΣ		ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ		
		5.2	8.1	8.2
	Λόγος E_M/p^*_L	19 – 23	18 – 24	11
	Καθαρή οριακή θραύσης p^*_L (KPa)	6 750 – 8 000	6 500 – 10 200	9 350
	Πρεσσιομετρικό μέτρο E_M (KPa)	12 117 – 186 328	118 831 – 201 247	104 328
	Γωνία τριβής ϕ' (°)	44	36	-
	Μέτρο συμπίεσεως E_s (KPa)	512 468 – 745 312	475 324 – 804 988	417 312
	Συντελεστής ωθήσεων γαιών k_o	0.22 – 0.26	0.18 – 0.40	0.21
	Αστράγγιστη διατμητική αντοχή c_u (KPa)	N/A	N/A	N/A
Γεώτρηση HR 2262	ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ	5.2	Σιμεντωμένα κορηματικά υλικά	
		8.1	Συνεκτικός Κλαστικός σχηματισμός	
		8.2	Σιμεντωμένος κλαστικός σχηματισμός	

Πίνακας 4.4 Διακυμάνσεις γεωτεχνικών παραμέτρων από πρεσσιομετρικές γεωτρήσεις, Γεώτρηση HR 2259 (Πηγή: Αττικό Μετρό Α.Ε. (2GS0EN180R915B))

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΑΝΤΟΧΗΣ		ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ		
		6.1	6.2	6.3
	Λόγος E_M/p^*_L	14	12 - 22	17 – 27
	Καθαρή οριακή θραύσης p^*_L (KPa)	2 400	3 750 – 6 250	2 800 – 5 200
	Πρεσσιομετρικό μέτρο E_M (KPa)	32 758	48 801 – 103 406	47 258 – 140 899
	Γωνία τριβής ϕ' (°)	-	-	-
	Μέτρο συμπίεσεως E_s (KPa)	5 516	73 202 – 155 109	47 258 – 140 899
	Συντελεστής ωθήσεων γαιών k_o	0.17	0.20 – 0.78	0.15 – 0.17
	Αστράγγιστη διατμητική αντοχή c_u (KPa)	436	682 – 1 136	509 - 945
Γεώτρηση HR 2259	ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ	6.1	Αποσάθρωση ψαμμιτών και ιλυολίθων	
		6.2	Ιλυόλιθος – Αργιλόλιθος	
		6.3	Ψαμμίτης	

Πίνακας 4.5 Διακυμάνσεις γεωτεχνικών παραμέτρων από πρεσσιομετρικές γεωτρήσεις, Γεώτρηση HR 2261 (Πηγή: Αττικό Μετρό Α.Ε. (2GS0EN180R915B))

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΑΝΤΟΧΗΣ		ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ			
		5.1	10.1	10.2γ	10.3γ
Λόγος E_M/p^*_L		6 – 24	12	4 – 7	9
Καθαρή οριακή θραύσης p^*_L (KPa)		3 600 – 102 000	7 500	8 500 – 8 750	9 350
Πρεσσιομετρικό μέτρο E_M (KPa)		55 184 – 249 748	86 912	38 592 – 55 299	81 645
Γωνία τριβής ϕ' (°)		43.3	36	33.7	-
Μέτρο συμπίεσεως E_s (KPa)		220 736–998 992	347 648	154 368 – 221 196	326 580
Συντελεστής ωθήσεων γαιών k_o		0.16 – 0.27	0.36	0.15 – 0.39	0.11
Αστράγγιστη διατμητική αντοχή c_u (KPa)		N/A	N/A	N/A	N/A
Γεώτρηση HR 2261	ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ	5.1	Συνεκτικά κορηματικά υλικά		
		10.1	Μανδύας αποσάθρωσης μεταψαμμιτών - μεταίλυολίθων		
		10.2γ	Μεταψαμμίτες - μεταίλυολίθοι (Soil like)		
		10.3γ	Μαύρος Αργιλικός Σχιστόλιθος (Soil like)		

Πίνακας 4.6 Διακυμάνσεις γεωτεχνικών παραμέτρων από πρεσσιομετρικές γεωτρήσεις, Γεώτρηση HR 2260 (Πηγή: Αττικό Μετρό Α.Ε. (2GS0EN180R915B))

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΑΝΤΟΧΗΣ		ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ		
		5.1	6.1	6.2
Λόγος E_M/p^*_L		8-22	9	7 – 22
Καθαρή οριακή πίεση θραύσης p^*_L (KPa)		7 500 – 9 350	4 250	4 000 – 6 500
Πρεσσιομετρικό μέτρο E_M (KPa)		59 100 – 203 906	38 340	28 362 – 142 109
Γωνία τριβής ϕ' (°)		40	-	25.5
Μέτρο συμπίεσεως E_s (KPa)		236 400 – 815 624	76 680	42 331 – 212 103
Συντελεστής ωθήσεων γαιών k_o		0.20 – 0.31	0.18	0.14 – 0.51
Αστράγγιστη διατμητική αντοχή c_u (KPa)		N/A	773	727 – 1 182
Γεώτρηση HR 2260	ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ	5.1	Συνεκτικά κορηματικά υλικά	
		6.1	Αποσάθρωση ψαμμιτών και ιλυολίθων	
		6.2	Ιλυόλιθος - Αργιλόλιθος	

Τα παραπάνω μεγέθη υπολογίζονται ως εξής:

- Το μέτρο συμπίεσης E_s υπολογίζεται από τη σχέση $E_s = E_M/\alpha$ του Leblanc (1982), όπου E_M : το πρεσσιομετρικό μέτρο και α ο ρεολογικός συντελεστής. Ο ρεολογικός συντελεστής εξαρτάται από το είδος του υλικού και τις συνθήκες στερεοποίησης του.
- Η γωνία εσωτερικής τριβής ϕ' υπολογίστηκε από τη σχέση Jaky για τους κοκκώδεις σχηματισμούς μέσω της σχέσης: $k_0 = \frac{1-\sin\phi'}{1+\sin\phi'} (1 + \frac{2}{3} \sin\phi')$, θεωρώντας γνωστό το συντελεστή ωθήσεων k_0 .
- Η τιμή της αστράγγιστης διατμητικής αντοχής c_u βρίσκεται σύμφωνα με τη σχέση $p_L^* = 5.5 c_u$ (Amar and Jézéquel, 1972).

4.4 Δοκιμές Διαπερατότητας

Για τους εδαφικούς σχηματισμούς και αποσαθρωμένα τμήματα της σχιστολιθικής – ψαμμιτικής – μαργαϊκής σειράς και του αθηναϊκού σχιστολίθου πραγματοποιήθηκαν δοκιμές εισπίεσεως τύπου Maag. Αντίστοιχα, στα υγιέστερα σχετικώς τμήματα του υποβάθρου οι δοκιμές εισπίεσεως ήταν τύπου Lugeon. Με βάση τις παραπάνω δοκιμές προέκυψε μία αρχική ταξινόμηση της διαπερατότητας των στρωμάτων, η οποία βασίζεται στην αρχική εκτίμηση των Terzaghi – Peck (1967), η οποία όμως εμπεριέχει μία ενδιάμεση βαθμίδα ταξινόμησης, εξαιτίας του μεγάλου εύρους της (Πίνακας 4.7)

Πίνακας 4.7 Κριτήρια κατηγοριοποίησης διαπερατότητας σχηματισμών (Πηγή: Αττικό Μετρό Α.Ε. (2GS0EN180R915B))

Συντελεστής Διαπερατότητας k (cm/sec)	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ
$k \geq 10^{-1}$	ΥΨΗΛΗ
$10^{-3} \leq k \leq 10^{-1}$	ΜΕΤΡΙΑ
$10^{-4} \leq k < 10^{-3}$	ΜΕΤΡΙΑ ΕΩΣ ΧΑΜΗΛΗ
$10^{-5} \leq k < 10^{-4}$	ΧΑΜΗΛΗ ΕΩΣ ΠΟΛΥ ΧΑΜΗΛΗ
$10^{-7} \leq k < 10^{-5}$	ΠΟΛΥ ΧΑΜΗΛΗ
$k < 10^{-7}$	ΑΔΙΑΠΕΡΑΤΟΣ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ

Με βάση τα αποτελέσματα των δοκιμών, δεν αναμένεται μεγάλος όγκος εισροής νερού. Ο συντελεστής διαπερατότητας κυμαίνεται μεταξύ $10^{-5} \leq k < 10^{-4}$, χαρακτηρίζοντας τη

διαπερατότητα χαμηλή έως πολύ χαμηλή. Παρόλα αυτά, σε περιοχές όπου επικρατούν κατακερματισμένοι μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι και μεταψαμμίτες, είναι πιθανό να σημειωθούν αυξημένες εισροές νερού. Επίσης, σε τμήματα όπου υπάρχουν αμμώδεις ή χαλικώδεις φάκες, οι οποίες χαρακτηρίζονται από υψηλή διαπερατότητα, αναμένονται αυξημένες εισροές νερού κατά τη διάρκεια της εκσκαφής, κυρίως μετά από βροχοπτώσεις. Οι περιοχές αυτές εκτίνονται μεταξύ των Χ.Θ. 10+143 έως 10+245, 10+350 έως 10+600 και 11+337 έως 11+462, όπου εκτείνεται το ρέμα Πικροδάφνης για τις δύο πρώτες υποπεριοχές, ενώ στην Τρίτη υποπεριοχή εκτεινόταν παλαιότερο ρέμα, εξηγώντας την τοπικά αυξημένη διαπερατότητα που επικρατεί.

Μεταξύ των Χ.Θ. 14+900 και 15+700, δηλαδή από την αρχή της εκσκαφής μέχρι και το Σταθμό Ελληνικό (υπενθυμίζεται ότι η εκσκαφή εκτελέστηκε με αντίστροφη φορά), η διάνοιξη πραγματοποιήθηκε σε κορηματικά υλικά (κλαστικούς και σιμεντωμένους κλαστικούς σχηματισμούς) κάτω από τη στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα. Για το λόγο αυτό, αναμένονταν εισροές κατά τη φάση εκσκαφής, κυρίως σε περιοχές όπου οι σχηματισμοί που θα διατρήονταν ήταν σε χαλικώδη ή αμμώδη μορφή.

4.5 Κατάσταση Υδροφόρου Ορίζοντα

Η ανάδοχος εταιρία μελέτησε τη διακύμανση της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα μέσω 55 πιεζομετρικών γεωτρήσεων. Η πτώση της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα κυμαίνεται από 1.5 m έως 4 m. Η μεγαλύτερη πτώση της στάθμης παρατηρήθηκε σε τέσσερα σημεία (Διάγραμμα 4.3). Τα πρώτα δύο σημεία ήταν στην αρχή της χάραξης (γεωτρήσεις HP 3263 και HP 3265), όπου βρισκόταν η παλαιότερη κοίτη του ρέματος Πικροδάφνης. Στην περιοχή αυτή, ο πτώση της στάθμης ήταν αναμενόμενος, καθώς οι σχηματισμοί είναι έντονα υδατοπερατοί, διευκολύνοντας την κίνηση του νερού κατά μήκος του ρέματος με κατεύθυνση τη θάλασσα, δηλαδή κάθετα στον άξονα της σήραγγας. Έτσι ο γενικός υδροφόρος της περιοχής παρουσιάζει υδραυλική κλίση προς τις κοίτες του ρέματος. Όμοιος μηχανισμός δικαιολογεί την πτώση της στάθμης στη γεώτρηση HP 1108. Οι γεωτρήσεις αυτές σημειώνονται με κίτρινο χρώμα στο Διάγραμμα 4.3.

Το τρίτο σημείο όπου σημειώνεται πτώση της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα βρίσκεται στο μέσο της χάραξης, και αφορά στις γεωτρήσεις HP 1106 και HP 1107. Στην περίπτωση όμως αυτή, η πτώση είναι εικονική και οφείλεται στην καταγραφή των αρχικών μετρήσεων στα πιεζόμετρα προτού αποκατασταθεί πλήρως η πιεζομετρία τους. Οι παραπάνω γεωτρήσεις σημειώνονται με πράσινο χρώμα στο Διάγραμμα 4.3.

Προς το τέλος της χάραξης παρατηρείται πτώση της πιεζομετρίας, ο οποίος οφείλεται στην παρουσία κορημάτων και νεογενών σχηματισμών στο Ελληνικό. Οι σχηματισμοί αυτοί παρουσιάζουν ανομοιόμορφη αλλά γενικώς αυξημένη περατότητα σε σύγκριση με την υπόλοιπη περιοχή.

Τα δεδομένα των μετρήσεων αναφέρονται στην υγρή περίοδο του έτους, μεταξύ Οκτωβρίου και Δεκεμβρίου, και στη σχετικά ξηρή περίοδο μεταξύ Απριλίου και Μαΐου. Η διακύμανση της στάθμης εξαρτάται από το ύψος των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων, από την υδρολιθολογική συμπεριφορά και τη διαπερατότητα των υδροφορέων. Γενικά η μελέτη προέβλεψε μεγαλύτερη διακύμανση στάθμης και μικρότερη δυναμικότητα στους πιο αδιαπέρατους σχηματισμούς, όπως ο αθηναϊκός σχιστόλιθος. Αντίστοιχα, η διακύμανση στάθμης στους διαπερατούς σχηματισμούς, όπως οι ποταμοχειμάρριες αποθέσεις, αναμενόταν μικρότερη ενώ η δυναμικότητα μεγαλύτερη.

5. Γεωτεχνική Αξιολόγηση – Παράμετροι Σχεδιασμού

5.1 Συστήματα Ταξινόμησης

Για την αξιολόγηση της κατάστασης της βραχώμαζας, χρησιμοποιήθηκαν δύο συστήματα ταξινόμησης:

- *MR*, η οποία αποτελεί μία προσαρμοσμένη εκδοχή του συστήματος ταξινόμησης RMR (Rock Mass Rating) (Bieniawski, 1989) στις συνθήκες του Αθηναϊκού Σχιστολίθου.

Η ταξινόμηση αυτή της βραχώμαζας, χρησιμοποιεί τις εξής παραμέτρους: αντοχή συμπαγούς πετρώματος (σ_c), δείκτη ποιότητας βράχου (RQD), απόσταση μεταξύ ασυνεχειών, κατάσταση και ο προσανατολισμός των ασυνεχειών, και τέλος η κατάσταση του υπόγειου νερού. Η τελευταία παράμετρος λαμβάνεται συμβατικά ίση με 10, δηλαδή Μέτρια υγρό (Damp), για το σύνολο των ταξινομήσεων. Οι υπόλοιπες παράμετροι βαθμονομούνται με βάση μακροσκοπικές παρατηρήσεις στους πυρήνες των ερευνητικών γεωτρήσεων.

- *GSI* (Geotechnical Strength Index), ταξινόμηση με την οποία προσδιορίζεται ο Γεωλογικός Δείκτης Αντοχής με βάση την αναθεωρημένη εκδοχή των Hoek, Carranza, Torres και Corkum του 2002. Η ταξινόμηση έγινε με βάση τη μεθοδολογία Hoek et al., 2002, με χρήση του λογισμικού Roclab. 1.009 της Rocscience Inc, από το οποίο προέκυψαν τα στοιχεία συμπεριφοράς της βραχώμαζας. Συνολικά πραγματοποιήθηκαν 193 ταξινομήσεις κατά GSI στους πυρήνες των ερευνητικών γεωτρήσεων.

Η αντοχή του ακέραιου πετρώματος (σ_c) λαμβάνει τιμές που προέρχονται κυρίως από εργαστηριακές δοκιμές σημειακής φόρτισης στους βραχώδους σχηματισμούς (Πίνακας 5.1). Η διακύμανση της σταθεράς υλικού για άρρηκτο πέτρωμα m_i του κριτηρίου αστοχίας Hoek – Brown παραθέτεται στον Πίνακα 5.2. Ο συντελεστής διατάραξης ελήφθη ίσος με μηδέν ($D = 0$). Το φαινόμενο βάρος για την τεχνικογεωλογική ενότητα 8 ελήφθη ίσο με 0.026 MN/m^3 , ενώ για την ενότητα 9 ίσο με 0.022 MN/m^3 . Το πάχος των υπερκειμένων θεωρήθηκε ίσο με 15 m.

Η ταξινομήσεις της βραχώμαζας αφορούν αποκλειστικά ενότητες του αλπικού υποβάθρου, δηλαδή τη Σχιστολιθική – Ψαμμιτική – Μαργαϊκή Σειρά (Τεχνικογεωλογική 9) και τον Αθηναϊκό Σχιστόλιθο (Τεχνικογεωλογική Ενότητα 10).

Πίνακας 5.1 Εύρος διακύμανσης τιμών αντοχής ακεραίου πετρώματος (Πηγή: Αττικό Μετρό Α.Ε. (2GS0EN180R915B))

Αντοχή σ_c (MPa)							
ΠΕΡΙΟΧΗ	ΤΜΗΜΑ	Σχηματισμοί 10.2α, β, γ		Σχηματισμοί 10.3β, γ		Σχηματισμοί 9.2α, β, γ	
A	10+143 - 11+700	-	-	-	-	-	-
A1	10+143-10+245						
A2	10+350-10+575	-	-	-	-	-	-
A3	11+312-11+487						
B	11+700-12+900	-	-	1*	5*	12.0	100.0
B1	12+300-12+420	-	-	-	-	-	-
Γ	12+900-13+620	-	-	1*	5*	12.0	100.0
Δ	13+620-14+950	6.0	40.0	1*	5*	-	-
E	14+950-15+700	-	-	-	-	-	-
ΣΤ	15+450-15+750	-	-	-	-	-	-
Z	15+750-15+907	-	-	-	-	-	-

* κατ' εκτίμηση όπως στο σύστημα MR

Πίνακας 5.2 Εύρος διακύμανσης τιμών της σταθεράς υλικού για άρρηκτο πέτρωμα m_i (Πηγή: Αττικό Μετρό Α.Ε. (2GS0EN180R915B))

ΛΙΘΟΛΟΓΙΑ	m_i	
ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΙΚΗ – ΨΑΜΜΙΤΙΚΗ – ΜΑΡΓΑΪΚΗ ΣΕΙΡΑ	min	max
ΕΝΑΛΛΑΓΕΣ ΨΑΜΜΙΤΩΝ – ΠΗΛΙΤΩΝ - ΙΛΥΟΛΙΘΩΝ	7	11
ΨΑΜΜΙΤΕΣ		
ΑΘΗΝΑΪΚΟΣ ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΟΣ	min	max
ΜΕΤΑΪΛΥΟΛΙΘΟΣ	9	15
ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΕΣ		
ΕΝΑΛΛΑΓΕΣ ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΩΝ – ΜΕΤΑΪΛΥΟΛΙΘΩΝ		
ΑΡΓΙΛΙΚΟΙ ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΟΙ – ΦΥΛΛΙΤΕΣ	4	10

Ακολουθεί η παρουσίαση των αποτελεσμάτων των δύο διαφορετικών ταξινομήσεων για τη ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΙΚΗ – ΨΑΜΜΙΤΙΚΗ – ΜΑΡΓΑΪΚΗ ΣΕΙΡΑ (Πίνακας 5.3, 5.4) και τον ΑΘΗΝΑΪΚΟ ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΟ (Πίνακας 5.5, 5.6).

Πίνακας 5.5. Αξιολόγηση ταξινόμησης βραχώμαζας Τεχνικογεωλογικής Ενότητας 9 κατά MR (Πηγή: Αττικό Μετρό Α.Ε. (2GS0EN180R915B))

ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ	ΕΥΡΟΣ ΤΙΜΩΝ MR (min/max)	ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ - ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ	ΣΥΝΟΧΗ C (KPa)	ΓΩΝΙΑ ΤΡΙΒΗΣ ϕ (°)
ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΙΚΗ – ΨΑΜΜΙΤΙΚΗ – ΜΑΡΓΑΪΚΗ ΣΕΙΡΑ				
Μαργαϊκοί Ασβεστόλιθοι - Ψαμμίτες				
9.2α	26	IV ΠΤΩΧΗ	100 – 200	15 - 25
	54	III ΜΕΤΡΙΑ	200 – 300	25 – 35
9.2β	18	V ΠΟΛΥ ΠΤΩΧΗ	< 100	< 15
	30	IV ΠΤΩΧΗ	100 - 200	15 – 25
9.2γ	-	-	-	-

Πίνακας 5.6. Αξιολόγηση ταξινόμησης βραχώμαζας Τεχνικογεωλογικής Ενότητας 9 κατά GSI (Πηγή: Αττικό Μετρό Α.Ε. (2GS0EN180R915B))

ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ	ΕΥΡΟΣ ΤΙΜΩΝ GSI (min/max)	σ_c (MPa)	m_i	c/σ_c	ΣΥΝΟΧΗ C (MPa)	ΓΩΝΙΑ ΤΡΙΒΗΣ ϕ (°)	ΑΝΤΟΧΗ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ σ_{cm} (MPa)	ΜΕΤΡΟ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ E_m (MPa)
ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΙΚΗ – ΨΑΜΜΙΤΙΚΗ – ΜΑΡΓΑΪΚΗ ΣΕΙΡΑ								
Μαργαϊκοί Ασβεστόλιθοι - Ψαμμίτες								
9.2α	20	12	7	0.0039	0.047	39	0.804	616
	66	100	11	0.0189	1.885	62	26.287	25119
9.2β	10	12	7	0.0024	0.029	32	0.515	346
	35	100	11	0.0029	0.290	61	13.043	4217
9.2γ	8	12	7	0.0022	0.026	31	0.458	309
	21	100	11	0.0014	0.143	57	8.845	1884

Πίνακας 5.7. Αξιολόγηση ταξινόμησης βραχώμαζας Τεχνικογεωλογικής Ενότητας 10 κατά MR (Πηγή: Αττικό Μετρό Α.Ε. (2GS0EN180R915B))

ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ	ΕΥΡΟΣ ΤΙΜΩΝ MR (min/max)	ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ – ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ	ΣΥΝΟΧΗ C (KPa)	ΓΩΝΙΑ ΤΡΙΒΗΣ φ (°)
ΑΘΗΝΑΪΚΟΣ ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΟΣ				
Μεταψαμμίτες – Μεταϊλύολιθοι				
10.2α	21	IV ΠΤΩΧΗ	100 – 200	15 - 25
	40			
10.2β	20	V ΠΟΛΥ ΠΤΩΧΗ	< 100	< 15
	30	IV ΠΤΩΧΗ	100 - 200	15 – 25
10.2γ	-	-	-	-
Μαύροι αργιλικοί σχιστόλιθοι				
10.3β	19	V ΠΟΛΥ ΠΤΩΧΗ	< 100	< 15
	21	IV ΠΤΩΧΗ	100 – 200	15 – 25
10.3γ	-	-	-	-

Πίνακας 5.8. Αξιολόγηση ταξινόμησης βραχώμαζας Τεχνικογεωλογικής Ενότητας 10 κατά GSI (Πηγή: Αττικό Μετρό Α.Ε. (2GSOEN180R915B))

ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ	ΕΥΡΟΣ ΤΙΜΩΝ GSI (min/max)	σ_c (MPa)	m_i	c / σ_c	ΣΥΝΟΧΗ C (MPa)	ΓΩΝΙΑ ΤΡΙΒΗΣ ϕ (°)	ΑΝΤΟΧΗ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ σ_{cm} (MPa)	ΜΕΤΡΟ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ E_m (MPa)
ΑΘΗΝΑΪΚΟΣ ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΟΣ								
Μεταψαμμίτες – Μεταίλυόλιθοι								
10.2α	15	6	9	0.0048	0.029	34	0.379	327
	48	40	15	0.0063	0.250	62	8.120	5 637
10.2β	8	6	9	0.0033	0.020	30	0.266	218
	32	40	15	0.0032	0.129	59	5.683	2 244
10.2γ	8	6	9	0.0033	0.020	30	0.266	218
	20	40	15	0.0021	0.083	55	4.045	1 125
Μαύροι αργιλικοί σχιστόλιθοι								
10.3β	10	1	4	0.0080	0.008	15	0.031	100
	25	5	10	0.0078	0.039	39	0.477	530
10.3γ	8	1	4	0.0070	0.007	14	0.027	89
	18	5	10	0.0064	0.032	36	0.378	354

5.2 Παράμετροι Σχεδιασμού

Κατά τη μελέτη του αναδόχου, το μήκος της χάραξης της επέκτασης προς Ελληνικό είχε διαιρεθεί σε επτά περιοχές (Α, Β, Γ, Δ, Ε, ΣΤ, Ζ). Στο υποκεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται το εύρος των τιμών των γεωτεχνικών παραμέτρων σχεδιασμού στις περιοχές όπου εκδηλώθηκαν οι καθιζήσεις, η κρίσιμες ιδεατή τομή σχεδιασμού για την περιοχή. Κατά το σχεδιασμό των τομών εκτός από τις πληροφορίες που αντλήθηκαν από τις γεωτρήσεις, χρησιμοποιήθηκαν γεωλογικά στοιχεία από την υφιστάμενη βιβλιογραφία.

Το εύρος αυτό προέκυψε μετά από αξιολόγηση των αποτελεσμάτων από εργαστηριακές και επί τόπου δοκιμές, κυρίως από γεωτρήσεις όπου συναντήθηκαν οι αντίστοιχοι σχηματισμοί. Αναφέρεται για λόγους πληρότητας ότι για τον επιφανειακό σχηματισμό των συνεκτικών κορηματικών υλικών (σχηματισμός 5.1), αλλά και για το σχηματισμό των σιμεντωμένων κορημάτων (σχηματισμός 5.2) προτιμήθηκαν ενιαίες συντηρητικές τιμές. Οι κρίσιμες παράμετροι σχεδιασμού που προσδιορίστηκαν είναι:

1. Διατμητική Αντοχή. Για τον προσδιορισμό της χρησιμοποιήθηκαν

1.1. Η ενεργώς γωνία τριβής ϕ' .

Ο προσδιορισμός της προέρχεται από δοκιμές τριαξονικής θλίψης CUPP, βραδείας διάτμησης CD και με έμμεσο συσχετισμό από δοκιμές πρεσσιόμετρου. Σε κάποιες περιπτώσεις αξιολογούνται και στοιχεία από δοκιμές προστερεοποιημένης διάτμησης (CU).

1.2. Η ενεργός συνοχή c'

Προσδιορίστηκε από δοκιμές CUPP, ενώ σε κάποιες περιπτώσεις αξιολογούνται και στοιχεία από δοκιμές προστερεοποιημένης διάτμησης (CU).

1.3. Αστράγγιστη διατρητική αντοχή c_u

Προσδιορίστηκε από δοκιμές ταχείας τριαξονικής θλίψης UU, δοκιμές ανεμπόδιστης θλίψης ($c_u=q_u/2$), και με τη βοήθεια συσχετισμού από δοκιμές πρεσσιόμετρου. Οι μετρήσεις των δοκιμών πενετρόμετρου χειρός δεν αξιοποιήθηκαν, καθώς η διασπορά των τιμών δεν επέτρεψε κάποια ικανοποιητική εκτίμηση αντιπροσωπευτικής τιμής c_u .

2. Διατμητική Αντοχή Ασυνεχειών Βραχώμαζας

Προέκυψε μέσω δοκιμών διάτμησης βραχωδών δοκιμών σε προδιαγεγραμμένη ασυνέχεια πετρώματος.

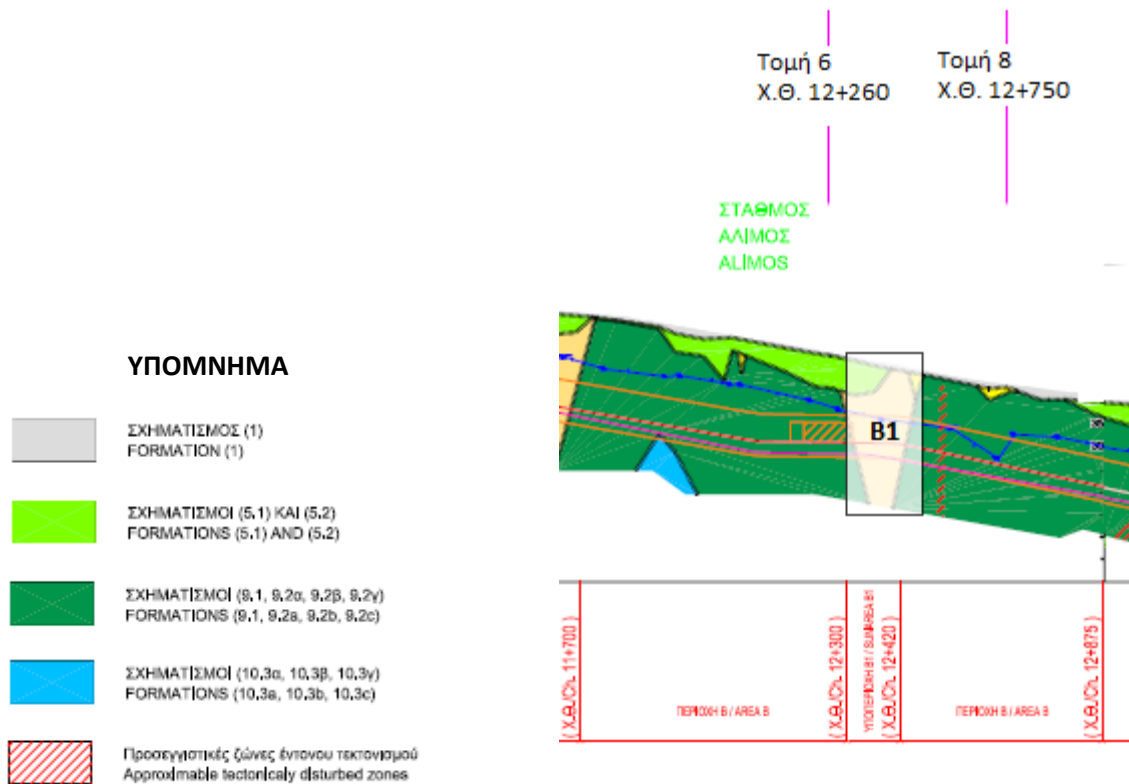
3. Αντοχή σε Θλίψη – Μέτρο Ελαστικότητας – Αντοχή Ακέραιου Πετρώματος

3.1. Για τον καθορισμό της αντοχής σε θλίψη (q_u) και μέτρου ελαστικότητας (E) χρησιμοποιήθηκαν αποτελέσματα εργαστηριακών δοκιμών μονοαξονικής θλίψης εδαφικών και βραχωδών δειγμάτων.

- 3.2. Συγκεκριμένα, για τα βραχώδη δοκίμια χρησιμοποιήθηκαν και τα αποτελέσματα των δοκιμών Point Load, μέσω του συσχετισμού $q_u = 24 \cdot I_{S50}$. Με τον όρο I_{S50} συμβολίζεται ο μέσος όρος των αντιδιαμετρικών μετρήσεων για τον καθορισμό της αντοχής του ακέραίου πετρώματος.
- 3.3. Ο προσδιορισμός της αντοχής της συνολικής βραχώμαζας επετεύχθη μέσω της ταξινόμησης βραχώμαζας GSI, κατά την οποία είχε εκτιμηθεί η αντοχή ακέραίου πετρώματος σ_{ci} .
- 3.4. Για τον προσδιορισμό του μέτρου ελαστικότητας χρησιμοποιήθηκαν αποτελέσματα από δοκιμές πρεσσιομέτρου και ανεμπόδιστης θλίψης βραχωδών δοκιμίων. Στις περιπτώσεις όπου οι σχηματισμοί ανήκουν στο αλπικό υπόβαθρο, αξιοποιήθηκε και η ταξινόμηση GSI.
4. Συντελεστής Ωθήσεων Γαιών K_0 -Μέτρο Συμπιεστότητας E_s
Οι παράμετροι αυτές προσδιορίστηκαν από τις δοκιμές πρεσσιομέτρου.

5.2.1 Περιοχή Β (Χ.Θ 11+700 – 12+900) εκτός της υποπεριοχής Β1

Στην περιοχή αυτή (Εικόνα 5.3) το υπέδαφος χαρακτηρίζεται ως πτωχής ποιότητας βραχώμαζα μαργαϊκού ασβεστόλιθου (σχηματισμός 9.2α, β, γ). Η τεκτονική κατάσταση συχνότερα κατατάσσεται στην κατηγορία «μικτού υλικού» ενώ σπάνια υπάρχουν ζώνες που υπάγονται στις κατηγορίες «κυρίως βραχώδους» ή «κυρίως εδαφικού» υλικού. Η βραχώμαζα φαίνεται να αποτελείται από μικρά γωνιώδη τεμάχια ασβεστόλιθου και από εδαφικό υλικό. Ο ασβεστόλιθος είναι μέτρια ισχυρός, υπόλευκου γκρίζου χρώματος, ενώ εμφανίζει ίχνη καρστικοποίησης. Το εδαφικό υλικό είναι καστανού – υποπράσινου χρώματος, και η σύσταση του είναι αργίλι-ιλυο-αμμώδης. Προέρχεται από την τεκτονική αποσαθρωματική υποβάθμιση του ασβεστόλιθου. Τονίζεται ότι τα ανώτερα τμήματα του σχηματισμού παρουσιάζονται εντελώς αποσαθρωμένα, προσομοιάζοντας έδαφος.



Εικόνα 5.3 Γεωλογική μηκτομή Περιοχής Β (Πηγή: Αττικό Μετρό Α.Ε. (2GS0EN180R915B))

Επιφανειακά υπάρχουν τεχνητές επιχώσεις και συνεκτικά σύγχρονα κορηματικά υλικά όπως φυτική γη και αργιλοϊλύδης άμμος με χάλικες (σχηματισμοί 1., 5.1). Τοπικά απαντώνται σιμεντωμένα σύγχρονα κορήματα (σχηματισμός 5.2), που το βάθος τους φτάνει μέχρι τα 8.5 m.

Σε μία μόνο θέση έχει βρεθεί σε βάθος βραχώμαζα πτωχής ποιότητας μεταψαμμιτικής – φυλλιτικής σύστασης (μαύρος αργιλικός σχιστόλιθος). Το χρώμα του είναι σκούρο γκρίζο έως μαύρο και βρίσκεται σε τεκτονική κατάσταση κατηγορίας «μικτού υλικού» (σχηματισμοί 10.3α, β, γ).

Παρουσιάζονται δύο συντηρητικές διαφορετικές ιδεατές τομές εδάφους με τον αντίστοιχο Πίνακα 5.12. Η ιδεατή τομή 6 (Παράρτημα Ι) περί τη Χ.Θ. 12+260 αφορά στο Σταθμό Άλιμος. Η ιδεατή τομή 8 (Παράρτημα Ι) περί τη Χ.Θ. 12+750 το Φρέαρ Λέοντος.

Πίνακας 5.12 Γεωτεχνικές παράμετροι σχεδιασμού στην Περιοχή Β (Πηγή: Αττικό Μετρό Α.Ε. (2GS0EN180R915B))

ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ	ΣΥΝΕΚΤΙΚΑ ΚΟΡΗΜΑΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ	ΜΑΝΔΥΑΣ ΑΠΟΣΑΡΦΩΣΗΣ ΜΑΡΓΑΪΚΟΥ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΥ	ΜΑΡΓΑΪΚΟΣ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΣ – ΨΑΜΜΙΤΗΣ (R)	ΜΑΡΓΑΪΚΟΣ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΣ – ΨΑΜΜΙΤΗΣ (M)	ΜΑΡΓΑΪΚΟΣ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΣ – ΨΑΜΜΙΤΗΣ (S)
ΚΩΔΙΚΟΣ	5.1	9.1	9.2α	9.2β	9.2γ
ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ					
φυσική υγρασία W_n (%)	3 – 26	7 – 21	-	5 – 18	8 – 13
Ξηρό φαινόμενο βάρος γ_{dry} (KN/m ³)	18.8*	-	25.4 – 26.5***	20.8 – 22.1	20.3 – 22.4
δείκτης πλαστικότητας I_p (%)	N.P. – 19	N.P. – 15	-	N.P. – 16	N.P. – 12
N stp	30 - APN	-	-	-	-
R= κυρίως βραχώδες υλικό M = μικρό: βραχώδες υλικό και υλικό προσομοιάζον με έδαφος S = κυρίως υλικό προσομοιάζον με έδαφος					

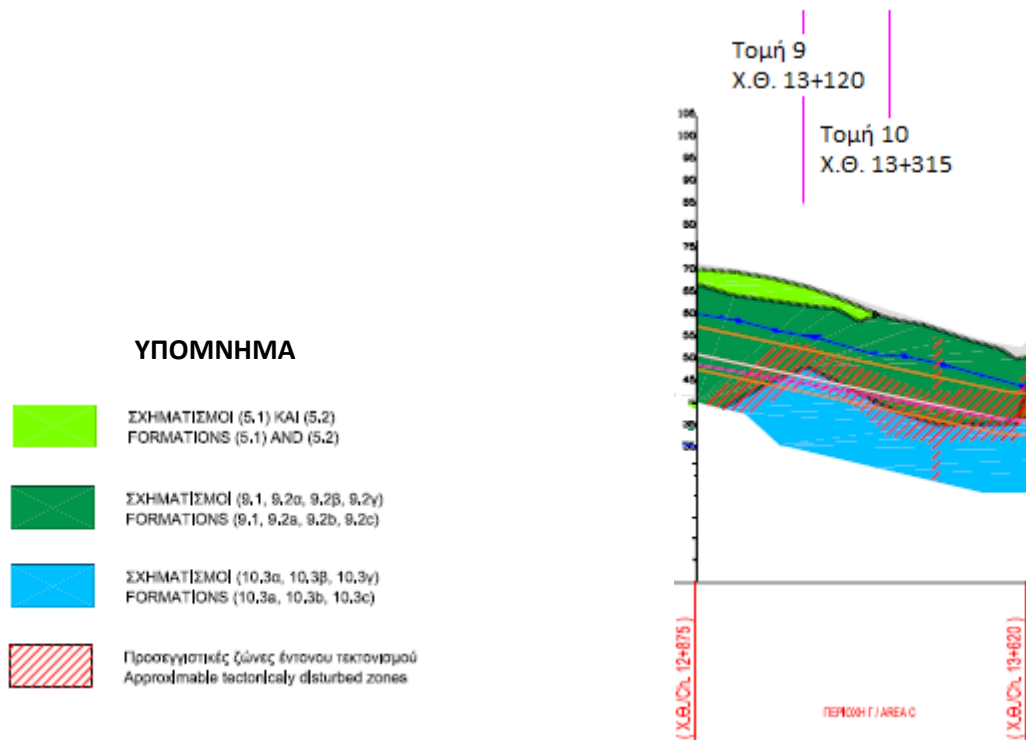
*από μία δοκιμή **μη αξιόπιστη τιμή ***από δοκιμή προσδιορισμού πορώδους

συνέχεια Πίνακα 5.12 *από μία δοκιμή** μη αξιόπιστη τιμή ***από δοκιμή προσδιορισμού πορώδους

		ΚΩΔΙΚΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ				
Προέλευση Τιμών		5.1	9.1	9.2α	9.2β	9.2γ
ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ						
Διατμητική Αντοχή – Ενεργές τάσεις						
Φ' (°)	δοκιμές CUPP	27*	-	-	-	-
	δοκιμές διάτμησης (CU, CD)	30.5 – 35.5	-	-	29 – 39	-
	δοκιμές πρεσσιομέτρου	40 – 43.3	-	-	-	-
	κατάταξη βραχόμαζας	-	-	39 – 62	32 – 61	31 – 57
c' (KPa)	δοκιμές CUPP	55*	-	-	-	-
	δοκιμές διάτμησης (CU, CD)	3 – 3.5	-	-	5.20 – 10.40	-
	κατάταξη βραχόμαζας		-	47 - 1885	29 - 290	26 - 143
Αστράγγιστη διατμητική αντοχή						
Cu (KPa)	τριαξονική δοκιμή UU	77*	-	-	-	-
	δοκιμές ανεμπόδιστης θλίψης	30 – 160	50 - 115	-	15 – 150	45 – 115
	δοκιμές πρεσσιομέτρου	--	-	-	-	-
Διατμητική αντοχή ασυνεχειών βραχόμαζας						
δοκιμή διάτμησης βραχώδους δοκιμίου		-	-	15 - 42	-	-
Αντοχή σε θλίψη (MPa)						
δοκιμές μονοαξονικής θλίψης q _u		60 - 320	100 - 230	4 600 -217 000	30 – 29 000	87 – 232
δοκιμές Point Load (I _{s50})		-	-	4.8 – 123.6	2.6 – 44.5	-
κατάταξη	Αντοχή ακέραιου βράχου σ _c	-	-	12 – 100	12 – 100	12 – 100
βραχόμαζας	Αντοχή συνολικής βραχόμαζας q _u	-	-	0.8 – 26.2	0.5 – 13.0	0.5 - 100
Μέτρο Ελαστικότητας E (MPa)						
δοκιμές ανεμπόδιστης θλίψης		-	-	450 – 5850	320 – 3 100	-
δοκιμές πρεσσιομέτρου		55 – (250)**	-	--	-	-
κατάταξη βραχόμαζας		-	-	616 – 25 119	346 – 4 217	309 -1 884
Συντελεστής Ωθήσεων Γαιών						
Κο -δοκιμή πρεσσιομέτρου		0.16 – 0.31	-	-	-	-
Συμπίεστικότητα						
Μέτρο συμπίεσης Es (MPa)	δοκιμές πρεσσιομέτρου	220– (1000)**	-	-	-	-
	εργαστηριακές δοκιμές	-	-	-	7.5*	-
Τάση διόγκωσης (KPa)		-	-	-	-	-
Τάση προστερεοποίησης P _c (KPa)		-	-	-	90*	-

5.2.2 Περιοχή Γ (Χ.Θ. 12+900 – 13+620)

Στην Περιοχή Γ (Εικόνα 5.5) το υπέδαφος χαρακτηρίζεται ως βραχώμαζα πτωχής ποιότητας μαργαϊκού ασβεστόλιθου (σηματισμός 9.2α, β, γ). Η τεκτονική κατάσταση είναι ως επί των πλείστων «μικτού υλικού», ενώ λίγες είναι οι ζώνες «κυρίως βραχώδους» ή «κυρίως εδαφικού» υλικού. Η βραχώμαζα φαίνεται να αποτελείται κυρίως από μικρά γωνιώδη τεμάχια ασβεστόλιθου και εδαφικό υλικό. Τα τεμάχια ασβεστόλιθου είναι μέτρια ισχυρής αντοχής, υπόλευκου γκρίζου χρώματος και εμφανίζουν ίχνη καρστικοποίησης. Αναφορικά με το εδαφικό υλικό, το χρώμα του είναι υποπράσινο και η σύσταση του είναι αργιλο-ιλυο-αμμώδης. Προέρχεται από την υποβάθμιση του ασβεστόλιθου, τόσο τεκτονικά όσο και λόγω αποσάθρωσης. Αξίζει να τονιστεί ότι τα ανώτερα τμήματα του σχηματισμού παρουσιάζονται εντελώς αποσαθρωμένα.



Εικόνα 5.5 Γεωλογική μηκοτομή Περιοχής Γ (Πηγή: Αττικό Μετρό Α.Ε. (2GS0EN180R915B))

Σε μεγαλύτερο βάθος υπάρχει βραχώμαζα πτωχής ποιότητας μεταψαμμιτικής – φυλλιτικής σύστασης που ανήκει στην κατηγορία του μαύρου αργιλικού σχιστόλιθου (σηματισμός 10.3α,

β, γ). Το χρώμα του είναι σκούρο γκρίζο – μαύρο και απαντάται σε όλο το φάσμα εδαφικών καταστάσεων («κυρίως βραχώδεις», «μικτό» και «κυρίως εδαφικό» υλικό).

Όλες οι γεωτρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στην εν λόγω περιοχή συνάντησαν επιφανειακά τεχνητές επιχώσεις και συνεκτικά σύγχρονα κορηματικά υλικά, όπως φυρική γη και αργιλοϊλυώδης άμμος με χάλικες (σχηματισμοί 1 και 5.1). Το μέγιστο βάθος εμφάνισης τους (5.0m) εντοπίστηκε στη γεώτρηση HP 1109.

Στο Παράρτημα Ι Παρουσιάζονται δύο συντηρητικές ιδεατές τομές εδάφους, η ιδεατή τομή 9 περί τη Χ.Θ. 13+120 και η ιδεατή τομή 10 περί τη Χ.Θ. 13+315 που αφορά στο Φρέαρ Υμηττού. Ακολουθούν οι αντίστοιχοι πίνακες (Πίνακας 5.14 και 5.15) όπου συνοψίζονται οι γεωτεχνικές παράμετροι σχεδιασμού ως εύρος διακύμανσης.

Πίνακας 5.14 Γεωτεχνικές παράμετροι σχεδιασμού στην Περιοχή Γ (Ιδεατή τομή 9 Χ.Θ. 13+120) (Πηγή: Αττικό Μετρό Α.Ε. (2GS0EN180R915B))

ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ	ΣΥΝΕΚΤΙΚΑ ΚΟΡΗΜΑΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ	ΜΑΝΔΥΑΣ ΑΠΟΣΑΘΡΩΣΗΣ ΜΑΡΓΑΙΚΟΥ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΥ - ΨΑΜΜΙΤΗ	ΜΑΡΓ. ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΣ - ΨΑΜΜΙΤΗΣ (S)	ΜΑΡΓ. ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΣ - ΨΑΜΜΙΤΗΣ (M)	ΜΑΡΓ. ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΣ - ΨΑΜΜΙΤΗΣ (S)	ΜΑΥΡΟΣ ΑΡΓΙΛΙΚΟΣ ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΟΣ
	5.1	9.1	9.2α	9.2β	9.2γ	10.3β
ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ						
φυσική υγρασία W _n (%)	3 – 26	7 – 21	-	5 – 18	8 – 13	5 – 12
Ξηρό φαινόμενο βάρος γ _{dry} (KN/m ³)	18.8*	-	25.4 – 26.5***	20.8 – 22.1	20.3 – 22.4	19.8 – 21.9
δείκτης πλαστικότητας I _p (%)	N.P. – 19	N.P. – 15	-	N.P. – 16	N.P. – 12	N.P. – 8
N stp	30 - APN	-	-	-	-	-

*από μία δοκιμή*** από δοκιμή προσδιορισμού πορώδους

συνέχεια Πίνακα 5.14 *από μία δοκιμή **μη αξιόπιστη τιμή ***από δοκιμή προσδιορισμού πορώδους

		ΚΩΔΙΚΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ					
Προέλευση Τιμών		5.1	9.1	9.2α	9.2β	9.2γ	10.3β
ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ							
Διατμητική Αντοχή – Ενεργές τάσεις							
φ' (°)	δοκιμές CUPP	27*	-	-	-	-	-
	δοκιμές διάτμησης (CU, CD)	30.5 – 35.5	-	-	29 – 39	-	-
	δοκιμές πρεσσιομέτρου	40 – 43.3*	-	-	-	-	-
	κατάταξη βραχώμαζας	-	-	39 – 62	32 – 61	31 – 57	15 – 39
c' (KPa)	δοκιμές CUPP	55*	-	-	-	-	-
	δοκιμές διάτμησης (CU, CD)	3 – 3.5	-	-	5.2 – 10.4	-	-
	κατάταξη βραχώμαζας	-	-	47 - 1885	29 - 290	26 - 143	8 - 39
Αστράγγιστη διατμητική αντοχή							
Cu (KPa)	τριαξονική δοκιμή UU	77*	-	-	-	-	-
	δοκιμές ανεμπόδιστης θλίψης	30 – 160	50 - 115	-	15 – 150	45 – 115	45 – 115
	δοκιμές πρεσσιομέτρου	--	-	-	-	-	-
Διατμητική αντοχή ασυνεχειών βραχώμαζας							
δοκιμή διάτμησης βραχώδους δοκιμίου		-	-	15 - 42	-	-	-
Αντοχή σε θλίψη(Mpa)							
δοκιμές μονοαξονικής θλίψης q _u		60 - 320	100 - 230	4600 - 217000	30 – 29 000	87 – 232	90 – 230
δοκιμές Point Load (I _{s50})		-	-	4.8 – 123.6	2.6 – 44.5	-	-
κατάταξη βραχώμαζας	Αντοχή ακέρατου βράχου σ _c	-	-	12 – 100	12 – 100	12 – 100	(1 – 5)
	Αντοχή συνολικής βραχώμαζας q _u	-	-	0.8 – 26.2	0.5 – 13.0	0.5 - 100	0.031-0.477
Μέτρο Ελαστικότητας E (MPa)							
δοκιμές ανεμπόδιστης θλίψης		-	-	450 – 5850	320 – 3 100	-	-
δοκιμές πρεσσιομέτρου		55 – (250)**	-	--	-	-	-
κατάταξη βραχώμαζας		-	-	616 – 25 119	346 – 4 217	309-1 884	100 - 530
Συντελεστής Ωθήσεων Γαιών							
K _o -δοκιμή πρεσσιομέτρου		0.16 – 0.31	-	-	-	-	-
Συμπίεστικότητα							
Es (Mpa)	δοκιμές πρεσσιομέτρου	220– (1000)**	-	-	-	-	-
	εργαστηριακές δοκιμές	-	-	-	7.5*	-	7.3*
Τάση διόγκωσης (KPa)		-	-	-	-	-	-
Τάση προστερεοποίησης P _c (KPa)		-	-	-	90*	-	120*

Πίνακας 5.15 Γεωτεχνικές παράμετροι σχεδιασμού στην Περιοχή Γ – Φρέαρ Υμηττού (Ιδεατή τομή 10 Χ.Θ. 13+315) (Πηγή: Αττικό Μετρό Α.Ε. (2GS0EN180R915B))

ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ	ΜΑΡΓ. ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΣ – ΨΑΜΜΙΤΗΣ (S)	ΜΑΡΓ. ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΣ – ΨΑΜΜΙΤΗΣ (M)	ΜΑΡΓ. ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΣ – ΨΑΜΜΙΤΗΣ (S)	ΜΑΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ – ΜΕΤΑΪΛΟΛΙΘΟΣ (R)	ΜΑΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ – ΜΕΤΑΪΛΟΛΙΘΟΣ (M)	ΜΑΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ – ΜΕΤΑΪΛΟΛΙΘΟΣ (S)	ΜΑΥΡΟΣ ΑΡΓΙΛΙΚΟΣ ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΟΣ
	9.2α	9.2β	9.2γ	10.2α	10.2β	10.2γ	10.3β
ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ							
φυσική υγρασία Wn (%)	-	5 – 18	8 – 13	-	5 – 17	3 – 16	5 – 12
Ξηρό φαινόμενο βάρος γ_{dry} (KN/m ³)	25.4 – 26.5**	20.8 – 22.1	20.3 – 22.4	21.3**	21.2 – 22.5	24.2*	19.8 – 21.9
δείκτης πλαστικότητας Ip (%)	-	N.P. – 16	N.P. – 12	-	N.P. – 12	N.P. – 9	N.P. – 8
N stp	-	-	-	-	-		-

*από μία δοκιμή **από δοκιμή προσδιορισμού πορώδους

συνέχεια Πίνακα 5.15

*από μία δοκιμή **από δοκιμή προσδιορισμού πορώδους

		ΚΩΔΙΚΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ						
Προέλευση Τιμών		9.2α	9.2β	9.2γ	10.2α	10.2β	10.2γ	10.3β
ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ								
Διατμητική Αντοχή – Ενεργές τάσεις								
φ' (°)	δοκιμές CUPP	-	-	-	-	-	-	-
	δοκιμές διάτμησης (CU, CD)	-	29 – 39	-	-	-	-	-
	δοκιμές πρεσσιομέτρου	-	-	-	-	-	-	-
	κατάταξη βραχόμαζας	39 – 62	32 – 61	31 – 57	34 – 62	30 – 59	30 – 55	15 – 39
c' (kPa)	δοκιμές CUPP	-	-	-	-	-	-	-
	δοκιμές διάτμησης (CU, CD)	-	5.2 – 10.4	-	-	-	-	-
	κατάταξη βραχόμαζας	47 - 1885	29 - 290	26 - 143	29 - 250	20 - 129	20 - 83	8 - 39
Αστράγγιστη διατμητική αντοχή								
Cu (kPa)	τριαξονική δοκιμή UU	-	-	-	-	-	-	-
	δοκιμές ανεμπόδιστης θλίψης	-	15-120	45 - 115	-	20 - 200	27 - 345	45 – 115
	δοκιμές πρεσσιομέτρου	-	-	-	-	-	-	-
Διατμητική αντοχή ασυνεχειών βραχόμαζας								
δοκιμή διάτμησης βραχώδους δοκίμιου		15 - 42	-	-	22.5*	-	-	-
Αντοχή σε θλίψη (MPa)								
δοκιμές μονοαξονικής θλίψης q _u		4 600 – 21 700	30 – 29 000	87 – 232	2 510 – 3 060	20 – 2 500	54 – 684	90 – 230
δοκιμές Point Load (I _{s50})		4.8 – 123.6	2.6 – 44.5	-	7.4 – 44	2.9 – 49	-	-
κατάταξη βραχόμαζας	Αντοχή ακέραιου βράχου σ _c	12 – 100	12 – 100	10 - 100	6 – 40	6 – 40	6 – 40	(1 – 5)
	Αντοχή ολικής βραχόμαζας q _u	0.8 – 26.3	0.5 - 13	0.5 – 8.8	0.4 – 8.1	0.3 – 0.8	0.3 – 4.0	0.03-0.47
Μέτρο Ελαστικότητας E (MPa)								
δοκιμές ανεμπόδιστης θλίψης		450 – 5 850	320 – 3 100	-	-	-	-	-
δοκιμές πρεσσιομέτρου		-	-	-	-	-	38 – 55	-
κατάταξη βραχόμαζας		616 – 25 119	346 – 4 217	309 – 1 884	327 – 5 637	218-2 244	218-1 125	100 -530
Συντελεστής Ωθήσεων Γαιών								
Κο -δοκιμή πρεσσιομέτρου		-	-	-	-	-	-	-
Συμπίεστότητα								
Es (MPa)	δοκιμές πρεσσιομέτρου	-	-	-	-	-	154-221	-
	εργαστηριακές δοκιμές	-	7.5*	-	-	-	-	7.3*
Τάση διόγκωσης (KPa)		-	-	-	-	-	-	-
Τάση προστερεοποίησης P _c (KPa)		-	90*	-	-	-	-	120*

6. Περιοχή Μελέτης

6.1 Χαρακτηριστικά Περιοχής - Γεωτρήσεις

Σύμφωνα με τους Κουκουτάς κ.α., (2010) κατά τη διάρκεια διάνοιξης της σήραγγας, πραγματοποιήθηκαν χωροσταθμικές μετρήσεις για την παρακολούθηση μετακινήσεων στον περιβάλλοντα χώρο, σύμφωνα με τις προδιαγραφές της Αττικό Μετρό Α.Ε. Οι μετρήσεις αυτές αφορούσαν μετακινήσεις κτηρίων και κατασκευών εντός της ζώνης επιρροής του έργου και της επιφάνειας του εδάφους. Με βάση τις μετρήσεις αυτές, οι μεγαλύτερες καθιζήσεις εκδηλώθηκαν σε τρία μεσοδιαστήματα:

- 1) Στο μεσοδιάστημα των Σταθμών Ελληνικού και Αργυρούπολης.

Περιλαμβάνει το τμήμα από τη Χ.Θ. 12+826 έως Χ.Θ. 13+935, μήκους 108 m με μέγιστη καθίζηση 9.8 mm, και το τμήμα από τη Χ.Θ. 14+919 έως Χ.Θ. 14+974, μήκους 55 m με μέγιστη καθίζηση 5.7 mm.

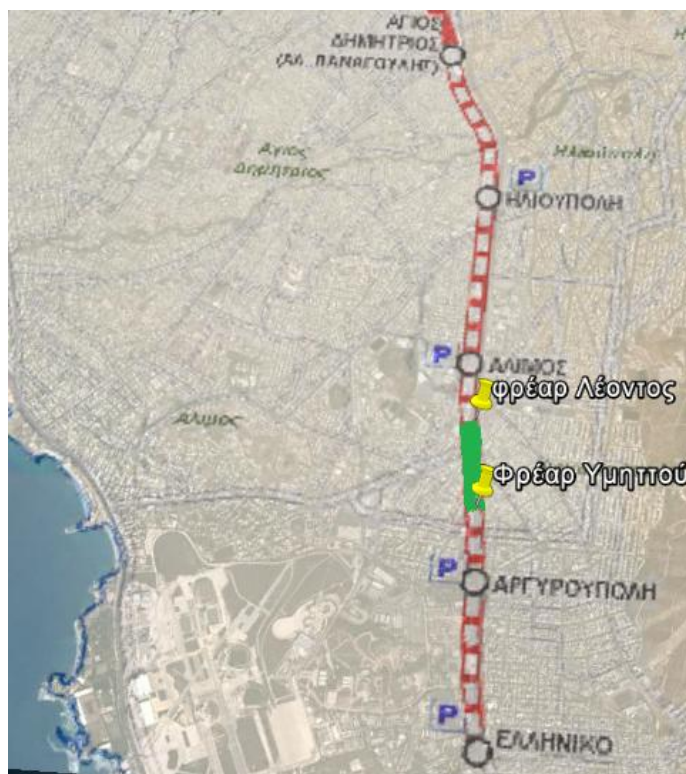
- 2) Στο μεσοδιάστημα των Σταθμών Αργυρούπολης και Αλίμου.

Περιλαμβάνει το τμήμα από τη Χ.Θ. 13+188 έως Χ.Θ. 13+313, μήκους 125 m με μέγιστη καθίζηση 19.4 mm στη Χ.Θ. 13+257, και το τμήμα από τη Χ.Θ. 12+969 έως Χ.Θ. 13+150, μήκους 108 m με μέγιστη καθίζηση 14.3 mm στη Χ.Θ. 13+075.

- 3) Στο μεσοδιάστημα των Σταθμών Αλίμου και Ηλιούπολης

Περιλαμβάνει το τμήμα από τη Χ.Θ. 11+096 έως Χ.Θ. 11+182, μήκους 86 m με μέγιστη καθίζηση 6.9 mm, και το τμήμα από τη Χ.Θ. 11+195 έως Χ.Θ. 11+421, μήκους 23 m με μέγιστη καθίζηση 6.2 mm.

Στα πλαίσια αυτής της εργασίας, θα μελετηθεί αποκλειστικά η περιοχή στο μεσοδιάστημα μεταξύ των Σταθμών Ελληνικού και Αργυρούπολης, όπου εκδηλώθηκαν οι μεγαλύτερες καθιζήσεις (19.4 mm και 14.3 mm). Συγκεκριμένα, θα εξεταστεί ενδελεχώς το τμήμα μεταξύ των Φρεάτων Λέοντος και Υμηττού (Εικόνα 6.1), που βρίσκονται στις Χ.Θ. 12+750 και 13+335 αντίστοιχα, και εκτίνεται σε μήκος 585 m. Πρόκειται δηλαδή για ένα μικρό τμήμα της Περιοχής Β συνδυασμένο με ένα μεγαλύτερο της Περιοχής Γ (βλέπε Κεφάλαια 5.2.3 και 5.2.5).



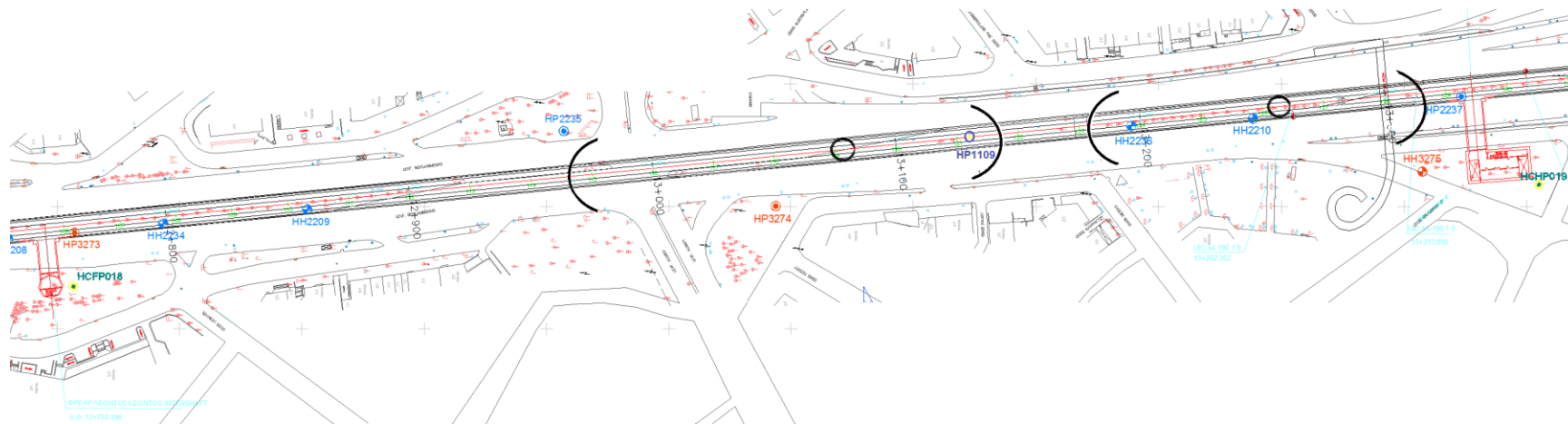
Εικόνα 6.1 Περιοχή Μελέτης (με πράσινο χρώμα) στο έργο Επέκταση προς Ελληνικό (Πηγή: <http://www.ametro.gr> – GoogleEarth)



Πριν από την έναρξη του έργου είχαν πραγματοποιηθεί για λογαριασμό του κυρίου του έργου από την ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΑΤΕ δέκα δειγματοληπτικές γεωτρήσεις, ενώ από τον ανάδοχο πραγματοποιήθηκε αργότερα ακόμα μία (από τη ΣΩΤΗΡΟΠΟΥΛΟΣ & ΣΥΝΕΡΓΑΤΕΣ), δίνοντας ένα σύνολο έντεκα (11) γεωτρήσεων στην εν λόγω περιοχή. Οι γεωτρήσεις αυτές παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.1 και στην Εικόνα 6.2. Οι γεωτρήσεις διαχωρίζονται σε βασικές και συμπληρωματικές. Όσες βρίσκονται εντός ή επί της γεωμετρικής περιμέτρου του έργου θεωρούνται βασικές, ενώ όσες πραγματοποιήθηκαν σε μία ευρύτερη περίμετρο χαρακτηρίζονται ως συμπληρωματικές. Στο τμήμα μας, ως συμπληρωματική θεωρείται μονάχα η γεώτρηση ΗΗ 3276. Στην πλειονότητα των γεωτρήσεων αυτών τοποθετήθηκε πιεζόμετρο, απλό είτε δονούμενης χορδής.

Σύμφωνα το έγγραφο 2TS4CW180R901B της Αττικό Μετρό Α.Ε., στο τμήμα αυτό υπάρχει μία σημαντική υφιστάμενη κατασκευή που θεωρείται «Ευαίσθητο κτίριο ή Κατασκευή» σύμφωνα

με το Τεύχος Προδιαγραφών Μελετών Έργων Πολιτικού Μηχανικού, ενότητα 2.7.7.2, το μεσόβαθρο της πεζογέφυρας στη Χ.Θ. 13+300.

Κατά την εκσκαφή του τμήματος αυτού, εφαρμόστηκε αποκλειστικά Κλειστός Τρόπος Λειτουργίας του μηχανήματος EPB-TBM, εξασφαλίζοντας έτσι την απαιτούμενη υποστήριξη μετώπου μπροστά από την κεφαλή και γύρω από την ασπίδα, αντισταθμίζοντας την υδροστατική πίεση και την εδαφική ώθηση. Για το λόγω αυτό, κατά τη διάνοιξη του τμήματος αυτού δε σημειώθηκαν εισροές νερών και πτώση της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα, ο οποίος παρέμεινε σε σταθερά επίπεδα.



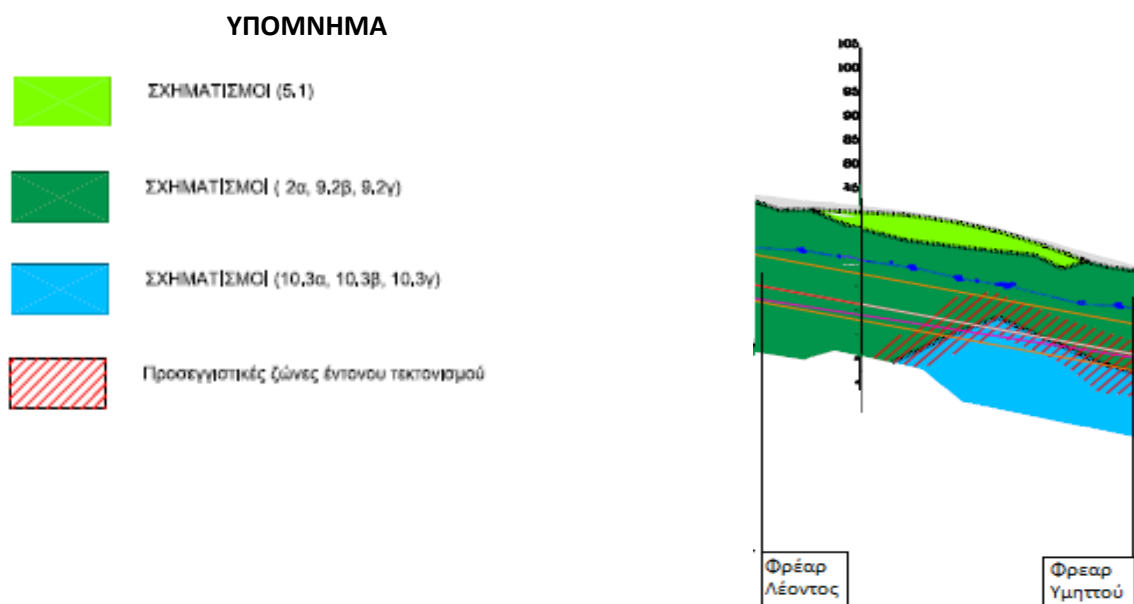
-  Περιοχές καθιζήσεων
-  Μέγιστες καθιζήσεις

Εικόνα 6.2 Κάτοψη Περιοχής Μελέτης (Πηγή: Αττικό Μετρό Α.Ε. (2TS4CW180R901B))

Πίνακας 6.1 Τοπογραφικά στοιχεία γεωτρήσεων στην Περιοχή Μελέτης (Πηγή: Αττικό Μετρό Α.Ε. (2GS0EN180R915B))

A/A	γεωτρήσεις	Χ.Θ.	απόκλιση από χάραξη	βάθος έρευνας (m)	συντεταγμένες		απόλυτο υψόμετρο εδάφους (m)	εκτέλεση από
1	HCFP018	12762	24.7m - Δ	30	100717.32	93093.36	67.177	ανάδοχο
2	HP3273	12763	3.0m - Δ	28.4	100739.2	93092.91	67.09	κύριο έργο
3	HH2234	12800	2.8m - Δ	14	100742.95	93056.63	66.66	κύριο έργο
4	HH2209	12850	2.8m - Δ	15.1	100748.71	92997.73	65.86	κύριο έργο
5	HP2235	12963	18.6m - Α	14	100780.68	92892.96	64.68	κύριο έργο
6	HP3274	13051	20.1m - Δ	27.9	100750.21	92805.94	63.231	κύριο έργο
7	HP1109	13130	0	28	100778.37	92726.91	62.902	κύριο έργο
8	HH2236	13196	1.9m - Δ	14	100782.83	92661.11	55.34	κύριο έργο
9	HH2210	13246	3.7m - Δ	15	100785.77	92611.54	59.41	κύριο έργο
10	HH3275	13315	32m - Δ	28.1	1000764.2	92545.54	55.632	κύριο έργο
11	HP2237	13331	3.1m - Δ	14.1	100794.78	92526.67	54.55	κύριο έργο

Από τη γεωλογική περιγραφή των σχηματισμών που συναντήθηκαν στις γεωτρήσεις αυτές (Πίνακας 8.2), γίνεται εμφανές ότι οι σχηματισμοί που επικρατούν είναι ο σχηματισμός 5.1 (συνεκτικά κορηματικά υλικά) επιφανειακά, οι σχηματισμοί 9.2 (μαργαϊκός ασβεστόλιθος – ασβεστολιθικός ψαμμίτης) και 10.3 (μαύρος αργιλικός σχιστόλιθος με ενστρώσεις μεταψαμμίτη – μεταίλουλίθου) σε μεγαλύτερο βάθος (Εικόνα 6.3). Αξίζει να τονιστεί η ύπαρξη ζώνης έντονου τεκτονισμού.



Εικόνα 6.3 Γεωλογική μηκτομή Περιοχής Μελέτης (Πηγή: Αττικό Μετρό Α.Ε. (2GS0EN180R915B))

Πίνακας 6.2 Γεωλογική περιγραφή σχηματισμών στις γεωτρήσεις της Περιοχής Μελέτης (Πηγή: Αττικό Μετρό Α.Ε. (2TS4CW180R901B))

Α/Α	ΓΕΩΤΡΗΣΗ	ΒΑΘΟΣ		ΛΙΘΟΛΟΓΙΑ	ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ
		ΑΠΟ	ΕΩΣ		
1	HCFP018	3.5	24	ΜΑΡΓΑΪΚΟΣ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΣ- ΑΣΒΕΣΤΙΤΙΚΟΣ ΨΑΜΜΙΤΗΣ	9.2βγ
		24	30	ΜΑΥΡΟΣ ΑΡΓΙΛΙΚΟΣ ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΟΣ	10.3βγ
2	HP3273	10	14.1	ΜΑΡΓΑΪΚΟΣ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΣ	9.2β
		14	18.6	ΜΑΡΓΑΪΚΟΣ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΣ	9.2γ
		18.6	23.2	ΜΑΡΓΑΪΚΟΣ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΣ	9.2γ
		23.2	23.9	ΜΑΡΓΑΪΚΟΣ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΣ	9.2α
		23.9	24.8	ΜΑΡΓΑΪΚΟΣ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΣ	9.2γ
		24.8	25.6	ΨΑΜΜΙΤΗΣ	9.2α
		25.6	26.1	ΜΑΡΓΑΪΚΟΣ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΣ	9.2γ
		26.1	28	ΨΑΜΜΙΤΗΣ	9.2α
3	HH2234	28	28.4	ΜΑΡΓΑΪΚΟΣ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΣ	9.2γ
		4.3	5.6	ΜΑΡΓΑΪΚΟΣ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΣ	9.2α
		5.6	6.1	ΜΑΡΓΑΪΚΟΣ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΣ	9.2γ
		6.1	7.8	ΜΑΡΓΑΪΚΟΣ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΣ	9.2α
		7.8	8.2	ΜΑΡΓΑΪΚΟΣ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΣ	9.2γ
		8.2	12	ΜΑΡΓΑΪΚΟΣ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΣ	9.2α
		12	12.6	ΜΑΡΓΑΪΚΟΣ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΣ	9.2γ
4	HH2209	12.6	14	ΜΑΡΓΑΪΚΟΣ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΣ	9.2α
		4.3	8.7	ΜΑΡΓΑΪΚΟΣ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΣ	9.2γ
		8.7	12.3	ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΣ	9.2β
5	HP2235	12.3	15.1	ΜΑΡΓΑΪΚΟΣ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΣ	9.2γ
		6.3	7.3	ΨΑΜΜΙΤΗΣ	9.2α
		7.3	8.3	ΨΑΜΜΙΤΗΣ	9.2γ
6	HP3274	8.3	14	ΨΑΜΜΙΤΗΣ	9.2α
		10	13.6	ΜΑΡΓΑΪΚΟΣ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΣ	9.2α
		13.6	22.2	ΜΑΡΓΑΪΚΟΣ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΣ	9.2β
		22.2	24.3	ΜΑΡΓΑΪΚΟΣ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΣ	9.2γ
		24.3	24.9	ΜΑΡΓΑΪΚΟΣ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΣ	9.2α
7	HP1109	24.9	27.9	ΑΡΓΙΛΙΚΟΣ ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΟΣ	10.3β
		4.2	4.7	ΚΟΡΗΜΑΤΑ	5.1
		5.7	7	ΜΑΡΓΑΪΚΟΣ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΣ	9.2β
		7	15.8	ΜΑΡΓΑΪΚΟΣ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΣ	9.2α
		15.8	18.8	ΜΑΡΓΑΪΚΟΣ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΣ	9.2β
8	HH2236	18.8	28	ΑΡΓΙΛΙΚΟΣ ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΟΣ	10.3β
		2.4	2.8	ΚΟΡΗΜΑΤΑ	5.1
		3.6	5	ΜΑΡΓΑΪΚΟΣ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΣ	9.2β
		5	7.4	ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΣ	9.2α
9	HH2210	7.4	9.7	ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΣ	9.2α
		9.7	14	ΜΑΡΓΑΪΚΟΣ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΣ	9.2β
		7	15	ΨΑΜΜΙΤΗΣ	9.2β
		3	7.6	ΜΑΡΓΑΪΚΟΣ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΣ	9.2β
10	HH3275	7.6	9	ΜΑΡΓΑΪΚΟΣ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΣ	9.2γ
		9	18.9	ΜΑΡΓΑΪΚΟΣ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΣ	9.2β
		18.9	22.7	ΜΑΡΓΑΪΚΟΣ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΣ	9.2γ
		22.7	24.2	ΜΑΡΓΑΪΚΟΣ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΣ	10.2α
		24.2	28.1	ΑΡΓΙΛΙΚΟΣ ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΟΣ	10.3β
11	HP2237	5.1	5.8	ΜΑΡΓΑΪΚΟΣ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΣ	9.2α
		5.8	6.7	ΨΑΜΜΙΤΗΣ	9.2α
		6.7	8.6	ΜΑΡΓΑΪΚΟΣ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΣ	9.2α
		8.6	12	ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΣ	9.2β
		12	14.1	ΨΑΜΜΙΤΗΣ	9.2α

Οι σχηματισμοί που συναντήθηκαν στις γεωτρήσεις ταξινομήθηκαν με βάση τα συστήματα ταξινόμησης του Υποκεφαλαίου 5.1. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.3.

Πίνακας 6.3 Ταξινόμηση βραχώμαζας γεωτρήσεων Περιοχής Μελέτης (Πηγή: Αττικό Μετρό Α.Ε. (2TS4CW180R901B))

Α/Α		1		GSI						MR					
ΓΕΩΤΡΗΣΗ		HCFP018		ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ				ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ		σ _{ci}	RQD	ΑΠΟΣΤΑΣΗ	ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ	ΝΕΡΟ	ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ
ΑΠΟ	ΕΩΣ	ΔΟΜΗ	ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ		ΑΠΟ	ΕΩΣ									
0	3.5														
3.5	24	BDS - D	VP		13	18									
24	30	BDS - D	VP		13	18									

Α/Α		2		GSI						MR					
ΓΕΩΤΡΗΣΗ		HP3273		ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ				ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ		σ _{ci}	RQD	ΑΠΟΣΤΑΣΗ	ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ	ΝΕΡΟ	ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ
ΑΠΟ	ΕΩΣ	ΔΟΜΗ	ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ		ΑΠΟ	ΕΩΣ									
10	14.1	BDS	P		20	30									
14	18.6	D	VP		10	18									
18.6	23.2	D	VP		8	18									
23.2	23.9	VD	P		30	40									
23.9	24.8	D	VP		8	18									
24.8	25.6	VB - BDS	P		25	35	3	1	4	10	10	28			
25.6	26.1	D	VP		8	18									
26.1	28	B - VB	F		45	55	3	7	7	20	10				
28	28.4	D	VP		8	18									

Α/Α		3		GSI						MR					
ΓΕΩΤΡΗΣΗ		HH2234		ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ				ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ		σ _{ci}	RQD	ΑΠΟΣΤΑΣΗ	ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ	ΝΕΡΟ	ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ
ΑΠΟ	ΕΩΣ	ΔΟΜΗ	ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ		ΑΠΟ	ΕΩΣ									
4.3	5.6	VB	F-P		33	43	2	1	3	19	10	35			
5.6	6.1	D	VP		12	17									
6.1	7.8	VB	F-P		33	43	2	1	3	19	10	35			
7.8	8.2	D	VP		12	17									
8.2	12	VB	F-P		33	43	2	1	3	19	10	35			
12	12.6	D	VP		12	17									
12.6	14	VB	F-P		33	43	2	1	3	19	10	35			

Α/Α		4		GSI						MR					
ΓΕΩΤΡΗΣΗ		HH2209		ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ				ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ		σ _{ci}	RQD	ΑΠΟΣΤΑΣΗ	ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ	ΝΕΡΟ	ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ
ΑΠΟ	ΕΩΣ	ΔΟΜΗ	ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ		ΑΠΟ	ΕΩΣ									
4.3	8.7	D	P - VP		13	21									
8.7	12.3	D	F - P		23	31									
12.3	15.1	D	VP		10	16									

Α/Α		5		GSI						MR					
ΓΕΩΤΡΗΣΗ		HP2235		ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ				ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ		σ _{ci}	RQD	ΑΠΟΣΤΑΣΗ	ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ	ΝΕΡΟ	ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ
ΑΠΟ	ΕΩΣ	ΔΟΜΗ	ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ		ΑΠΟ	ΕΩΣ									
6.3	7.3	VB	F		36	45	2	1	4	18	10	35			
7.3	8.3	D	VP		13	18									
8.3	14	BDS	F-P		27	35	2	1	2	15	10	30			

Α/Α		6									
ΓΕΩΤΡΗΣΗ		ΗΡ3274									
ΒΑΘΟΣ (m)		GSI				MR					
		ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ		ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ		σci	RQD	ΑΠΟΣΤΑΣΗ	ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ	ΝΕΡΟ	ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ
ΑΠΟ	ΕΩΣ	ΔΟΜΗ	ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ	ΑΠΟ	ΕΩΣ						
10	13.6	VB - BDS	F - P	30	40	3	2	3	15	10	33
13.6	22.2	BDS - D	P	18	28						
22.2	24.3	D	VP	10	18						
24.3	24.9	BDS	F - P	25	35	3	1	2	15	10	31
24.9	27.9	D	VP	10	18						

Α/Α		7									
ΓΕΩΤΡΗΣΗ		ΗΡ1109									
ΒΑΘΟΣ (m)		GSI				MR					
		ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ		ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ		σci	RQD	ΑΠΟΣΤΑΣΗ	ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ	ΝΕΡΟ	ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ
ΑΠΟ	ΕΩΣ	ΔΟΜΗ	ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ	ΑΠΟ	ΕΩΣ						
5.7	7	D	VP	10	20	1	1	1	5	10	18
7	15.8	BDS	P	23	30	2	1	3	11	10	27
15.8	18.8	BDS	VP	18	25	2	1	3	7	10	23
18.8	28	LS	P	15	20	1	1	1	8	10	21

Α/Α		8									
ΓΕΩΤΡΗΣΗ		ΗΗ2236									
ΒΑΘΟΣ (m)		GSI				MR					
		ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ		ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ		σci	RQD	ΑΠΟΣΤΑΣΗ	ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ	ΝΕΡΟ	ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ
ΑΠΟ	ΕΩΣ	ΔΟΜΗ	ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ	ΑΠΟ	ΕΩΣ						
3.6	5	LS	F - P	15	23	1	1	1	11	10	24
5	7.4	VB	G - F	42	52	3	1	4	22	10	40
7.4	9.7	B	G	58	66	3	6	8	27	10	54
9.7	14	BDS	P	23	32						

Α/Α		9									
ΓΕΩΤΡΗΣΗ		ΗΗ2210									
ΒΑΘΟΣ (m)		GSI				MR					
		ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ		ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ		σci	RQD	ΑΠΟΣΤΑΣΗ	ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ	ΝΕΡΟ	ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ
ΑΠΟ	ΕΩΣ	ΔΟΜΗ	ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ	ΑΠΟ	ΕΩΣ						
7	15	D	VP	13	20						

Α/Α		10									
ΓΕΩΤΡΗΣΗ		ΗΗ3275									
ΒΑΘΟΣ (m)		GSI				MR					
		ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ		ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ		σci	RQD	ΑΠΟΣΤΑΣΗ	ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ	ΝΕΡΟ	ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ
ΑΠΟ	ΕΩΣ	ΔΟΜΗ	ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ	ΑΠΟ	ΕΩΣ						
3	7.6	BDS - D	P	20	30						
7.6	9	D	VP	10	18						
9	18.9	BDS - D	P	20	30						
18.9	22.7	D	VP	10	18						
22.7	24.2	VB	F	35	45	3	3	6	18	10	40
24.2	28.1	D	VP	10	18						

Α/Α		11									
ΓΕΩΤΡΗΣΗ		ΗΡ2237									
ΒΑΘΟΣ (m)		GSI				MR					
		ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ		ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ		σci	RQD	ΑΠΟΣΤΑΣΗ	ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ	ΝΕΡΟ	ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ
ΑΠΟ	ΕΩΣ	ΔΟΜΗ	ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ	ΑΠΟ	ΕΩΣ						
5.1	5.8	BDS	F - P	25	35	2	1	2	17	10	32
5.8	6.7	B	G	56	63	3	6	8	27	10	54
6.7	8.6	BDS	F	28	36	2	1	3	19	10	35
8.6	12	D - LS	F - P	16	26	1	1	1	12	10	25
12	14.1	VB	G	47	52	3	1	3	25	10	42

Στη συνέχεια, έγινε επαναξιολόγηση των παραπάνω τιμών, και η αντιπαραβολή τους με τις διαθέσιμες εικόνες των αντίστοιχων γεωτρήσεων. Σε λιγοστές περιπτώσεις παρατηρήθηκαν μη συμβατές τιμές, οι οποίες κατόπιν συνεργασίας της Αττικό Μετρό Α.Ε. επαναπροσδιορίστηκαν.

Στον Πίνακα 6.4 επισημαίνονται οι αλλαγές που εκτελέστηκαν στις τιμές του GSI.

Πίνακας 6.4 Τιμές GSI βασισμένες στις γεωτρήσεις της Περιοχής Μελέτης σύμφωνα με το έγγραφο (2TS4CW180R901B) της Αττικό Μετρό Α.Ε. Οι τιμές με επισήμανση έχουν τροποποιηθεί στο πλαίσιο της εργασίας

Α/Α	ΓΕΩΤΡΗΣΗ	ΒΑΘΟΣ		ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ	GSI			
		ΑΠΟ	ΕΩΣ		ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ		ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ	
					ΔΟΜΗ	ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ	ΑΠΟ	ΕΩΣ
1	HCFP018	3.5	24	9.2βγ	BDS - D	VP	13	18
		24	30	10.3βγ	BDS - D	VP	13	18
2	HP3273	10	14.1	9.2β	BDS-D	P	20	30
		14	18.6	9.2γ	D	VP	10	18
		18.6	23.2	9.2γ	D	VP	8	18
		23.2	23.9	9.2α	VB	P	30	40
		23.9	24.8	9.2γ	D	VP	8	18
		24.8	25.6	9.2α	VB - BDS	P	25	35
		25.6	26.1	9.2γ	D	VP	8	18
		26.1	28	9.2α	B	F	50	60
3	HH2234	28	28.4	9.2γ	D	VP	8	18
		4.3	5.6	9.2α	BDS	F-P	33	43
		5.6	6.1	9.2γ	D	VP	12	17
		6.1	7.8	9.2α	VB	F-P	33	43
		7.8	8.2	9.2γ	D	VP	12	17
		8.2	12	9.2α	VB	F-P	33	43
		12	12.6	9.2γ	D	VP	12	17
4	HH2209	12.6	14	9.2α	VB	F-P	33	43
		4.3	8.7	9.2γ	D	P - VP	13	21
		8.7	12.3	9.2γ	D-BDS	F - P	35	45
5	HP2235	12.3	15.1	9.2γ	D	VP	10	16
		6.3	7.3	9.2α	VB	F	36	45
		7.3	8.3	9.2γ	BDS	VP	15	20
6	HP3274	8.3	14	9.2α	BDS	F - P	27	35
		10	13.6	9.2α	VB - BDS	F - P	30	40
		13.6	22.2	9.2β	BDS - D	P	18	28
		22.2	24.3	9.2γ	D	VP	10	18
		24.3	24.9	9.2α	D	F - P	20	30
		24.9	27.9	10.3β	D	VP	10	18

7	HP1109	4.2	4.7	5.1				
		5.7	7	9.2β	D	VP	10	20
		7	15.8	9.2α	BDS	P	23	30
		15.8	18.8	9.2β	BDS	VP	18	25
		18.8	28	10.3β	LS	P	15	20
8	HH2236	2.4	2.8	5.1				
		3.6	5	9.2β	BDS	F - P	30	35
		5	7.4	9.2α	VB	G - F	42	52
		7.4	9.7	9.2α	B	G	58	66
		9.7	14	9.2β	D	P	20	30
9	HH2210	7	15	9.2β	D	VP	13	20
10	HH3275	3	7.6	9.2β	D	P	20	25
		7.6	9	9.2γ	BDS	VP	15	20
		9	18.9	9.2β	D	P	20	325
		18.9	22.7	9.2γ	BDS - D	VP	20	30
		22.7	24.2	10.2α	VB	F	35	45
		24.2	28.1	10.3β	BDS - D	VP	15	20
11	HP2237	5.1	5.8	9.2α	BDS	F - P	25	35
		5.8	6.7	9.2α	B	G	56	63
		6.7	8.6	9.2α	BDS	F	28	36
		8.6	12	9.2β	D - LS	F - P	16	26
		12	14.1	9.2α	VB	G	47	52

Από τις γεωτεχνικές έρευνες που παρουσιάστηκαν στο Κεφάλαιο 4 (δοκιμές πενετρόμετρου SPT, πενετρόμετρου χειρός, πρεσιόμετρου και διαπερατότητας), στην εν λόγω περιοχή εκτελέστηκαν μονάχα δοκιμές διαπερατότητας. Όπως είναι εμφανές στον Πίνακα 6.5, στην πλειοψηφία των γεωτρήσεων, η διαπερατότητα χαρακτηρίζεται χαμηλή έως πολύ χαμηλή.

Στις γεωτρήσεις εκτελέστηκαν εργαστηριακές δοκιμές προκειμένου να προσδιοριστούν τα φυσικά χαρακτηριστικά των πετρωμάτων. Έτσι, προσδιορίστηκε η κοκκομετρική διαβάθμιση των σχηματισμών, τα όρια Atterberg, το φαινόμενο βάρος, η φυσική υγρασία, η σχετική πυκνότητα, ο λόγος κενών και ο βαθμός κορεσμού. Τα αποτελέσματα αυτά παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.6.

Πίνακας 6.5 Διαπερατότητες ανά γεώτρηση στην Περιοχή μελέτης (Πηγή: Αττικό Μετρό Α.Ε. (2GS0EN180R915B))

ΓΕΩΤΡΗΣΗ	ΒΑΘΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ (m)		ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ	ΕΙΔΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ	ΜΕΣΟΣ ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ $K_{\alpha\alpha}$ (cm/s _{αα})	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ
	ΑΠΟ	ΕΩΣ				
HCFP018	6.20	8.20	9.2βγ	MAAG	4.11E-04	ΧΑΜΗΛΗ
	16.90	18.50	9.2βγ	MAAG	6.45E-04	ΧΑΜΗΛΗ
	24.00	25.70	10.3βγ	MAAG	4.68E-04	ΧΑΜΗΛΗ
HP3273	11.50	16.50	9.2α,β,γ	LUGEON	9.45E-05	ΧΑΜΗΛΗ
HH2234	5.00	8.20	9.2α,β,γ	MAAG	4.90E-05 (στα 15 min)	ΧΑΜΗΛΗ
HH2209	5.60	7.80	9.2α,β,γ	MAAG	2.99E-05	ΧΑΜΗΛΗ
	7.80	10.20	9.2α,β,γ	MAAG	3.42E-05	ΧΑΜΗΛΗ
HP2235	4.50	9.50	9.1/9.2α,β,γ	LUGEON	1.48E-06	ΠΟΛΥ ΧΑΜΗΛΗ
HP3274	13.50	17.50	9.2α,β,γ	LUGEON	5.20E-05	ΧΑΜΗΛΗ
HP1109	10.40	15.40	9.2α,β,γ	LUGEON	2.87E-05	ΧΑΜΗΛΗ
	15.20	20.20	9.2α,β,γ/10.3α,β,γ	LUGEON	3.00E-05	ΧΑΜΗΛΗ
	22.60	25.20	10.3α,β,γ	MAAG	4.3E-06 (στα 15 min)	ΠΟΛΥ ΧΑΜΗΛΗ
HH2236	4.60	9.60	9.2α,β,γ	LUGEON	6.46E-04	ΧΑΜΗΛΗ
HH2210	8.00	10.60	9.2α,β,γ	MAAG	1.70E-05	ΧΑΜΗΛΗ
HH3275	14.30	19.30	9.2α,β,γ	LUGEON	1.00E-05	ΧΑΜΗΛΗ
HP2237	7.50	9.70	9.2α,β,γ	MAAG	8.65E-06 (στα 15 min)	ΠΟΛΥ ΧΑΜΗΛΗ

Μέσω των εργαστηριακών δοκιμών υπήρξε προσπάθεια προσδιορισμού των μηχανικών χαρακτηριστικών των σχηματισμών που απαντήθηκαν στις γεωτρήσεις. Δυστυχώς, όπως φαίνεται στον Πίνακα 6.7, οι πληροφορίες που αποκομίστηκαν σχετικά με τις μηχανικές ιδιότητες των εδαφικών σχηματισμών της περιοχής είναι λιγοστές, εξαιτίας της αδυναμίας διαμόρφωσης των κατάλληλων δοκιμών, λόγω της πτωχής ποιότητας των σχηματισμών.

Παρόμοια κατάσταση παρουσιάστηκε στα αποτελέσματα των εργαστηριακών δοκιμών βραχομηχανικής και αδρανών που εκτελέστηκαν. Συγκεκριμένα, οι μόνες δοκιμές που εκτελέστηκαν επιτυχημένα σε μικρό αριθμό δοκιμών είναι αυτές της ανεμπόδιστης θλίψης βράχου και της σημειακής φόρτισης βραχωδών δοκιμών (Πίνακας 6.8).

Πίνακας 6.6 Φυσικά χαρακτηριστικά σχηματισμών στις γεωτρήσεις της Περιοχής Μελέτης (Πηγή: Αττικό Μετρό Α.Ε. (2TS4CW180R901B))

Α/Α	ΓΕΩΤΡΗΣΗ	ΒΑΘΟΣ (m)		ΚΩΔΙΚΟΣ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΛΟΓΩ ΚΑΤΑΤΑΞΗΣ	ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΑ							ΦΑΙΝ. ΒΑΡΟΣ		ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ	ΦΥΣΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ	ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ e					
						ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΑ			ΟΡΙΑ ATTERBERG				ΥΓΡΟ υwet	ΞΗΡΟ υdry								
		ΑΜΜΟΣ+ΧΑΛΙΚΕΣ	ΙΛΥΣ			ΑΡΤΙΛΟΣ	ΙΛΥΣ+ΑΡΤΙΛΟΣ	ΟΡΙΟ ΥΔΑΡΟΤΗΤΑΣ %L	ΟΡΙΟ ΠΛΑΣΤΗΤΑΣ %P	ΔΕΙΚΤΗΣ ΠΛΑΣΤΗΤΑΣ IP	%	%						KN/m ³	KN/m ³			
1	HCFP018	4.8	4.9	9.2β	Αργιλώδεις χάλικες με άμμο	85.9	13.8	0.4	14.1	30.2	16.9	13.3	22.3	20.7	2.74	7.51	0.32					
		6	6.5	9.2β		Αργιλώδης άμμος με χάλικες	59.8	33	7.2	40.2	36.7	15.2						21.5	2.78			
		9	9.6	9.2β		Αργιλώδης άμμος με χάλικες	63.6	32.8	3.6	36.4	35.9	15.8						20.1	23.4	21.7	2.85	8.27
		12	12.3	9.2β	71.2		24.6	4.1	28.7	32.9	14.1	18.8						2.83	7.66			
		14	14.5	9.2β	Αργιλώδης άμμος με χάλικες	38.6	50	11.4	61.4	45.1	20	25.1						2.8	7.25			
		15.4	16	9.2β	Αμμώδης άργιλος	75.5	21.7	2.8	24.5	24.2	13.7	10.5						24.9	23.3	2.84	6.51	0.22
		20	20.7	9.2β	Αργιλώδης άμμος με χάλικες	83			17	29	22	7						23.7	22.4		11.1	
25.4	26.1	10.3β	Αργιλώδης άμμος με χάλικες	73			27	31		NP				14.7								
2	HP3273	19.6	20	9.2γ	Αργιλώδεις χάλικες με άμμο	91			9	25		NP			9.4							
3	HH2234	3.6	4	9.1	Ιλυώδεις χάλικες με άμμο																	
		7.8	8.2	9.2γ	Χάλικες κακής διαβάθμισης με ιλύ και άμμο																	
4	HH2209																					
5	HP2235	5	5.4	9.1	Ιλυώδης άργιλος με άμμο	19	50	31		22	17	5				21.1						
6	HP3274	14.8	15.2	9.2β	Ιλυώδεις χάλικες με άμμο	86	9	5		25		NP				10.1						
		18.2	18.7	9.2β	Αργιλώδεις χάλικες με άμμο	78	12	10		29	17	12	23	20.8		8.8						
		22.3	22.7	9.2γ	Αργιλώδης Άμμος με χαλίκια	74	15	11		27	17	10	22.5	20.3		12.9						
		25.7	26.2	10.3β	Αργιλώδης Άμμος	64	22	14		25	18	7	22.2	19.8	2.7	12.4						
7	HP1109	4.2	4.7	5.1	Αμμώδης ισχνή άργιλος	31			69	24	17	7				16.6						
		5	5.6	9.1	Ιλύς με άμμο	24			76	27		NP				14.9						
		14	14.4	9.2β	Αργιλώδης Άμμος με χαλίκια	75			25	32	16	16				17.6						
8	HH2236	2.4	2.8	5.1	Αμμώδης ισχνή άργιλος	45			55	24	16	8				12.4						
		4.2	4.6	9.2β	Ιλυώδεις χάλικες με άμμο	84			16			NP				10.4						
		11.6	12	9.2β	Ιλυώδης Άμμος με χαλίκια	84			16	27		NP				11.2						
9	HH2210	5.7	6.3	9.1	Χαλικώδης ισχνή άργιλος με άμμο	49			51	27	18	9				21.1						
		13.6	14.1	9.2β	Αργιλώδης Άμμος με χαλίκια	68			32	27	17	10				4.8						
10f	HH3275	7.6	8	9.2γ	Ιλυώδης Άμμος	60	25	15		21	17	4				8.3						
		14.8	15.3	9.2β	Αργιλώδης Άμμος με χαλίκια	72	17	11		25	16	9				12.8						
		19.6	20.1	9.2γ	Αργιλώδης Άμμος με χαλίκια	72	18	10		24	15	9				8.9						
11	HP2237			10.3β	Ιλυώδεις χάλικες με άμμο	84	11	5		23		NP				6.3						
		2.8	3.2	9.1	Ιλυώδεις χάλικες με άμμο	85	11	4		25		NP				14.8						



Πίνακας 6.7 Μηχανικά χαρακτηριστικά σχηματισμών στις γεωτρήσεις της Περιοχής Μελέτης (Πηγή: Αττικό Μετρό Α.Ε. (2TS4CW180R901B))

Α/Α	ΓΕΩΤΡΗΣΗ	ΒΑΘΟΣ (m)		ΚΩΔΙΚΟΣ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΑΣΤΜ	ΑΝΕΜΠΟΔ.		ΔΟΚΙΜΗ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ					
						ΘΛΙΨΗ		CU		UU		CD	
						ΤΑΣΗ	ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ	ΓΩΝΙΑ ΕΣΩΤ. ΤΡΙΒΗΣ φ	ΣΥΝΟΧΗ c	ΓΩΝΙΑ ΕΣΩΤ. ΤΡΙΒΗΣ φ	ΣΥΝΟΧΗ c	ΓΩΝΙΑ ΕΣΩΤ. ΤΡΙΒΗΣ φ	ΣΥΝΟΧΗ c
		KN/m ²	%			ο	KN/m ²	ο	KN/m ²	ο	KN/m ²		
1	HCFP018	9	9.6	9.2β	SC								
		11	11.4	9.2β	CL					46.4	62.3		
		20	20.7	9.2β						0	265.7		
		22.5	23	9.2β									
		28.2	29.2	10.3β						52.8	61.6		
2	HP3273	19.6	20	9.2γ	GC	203	4.25						
3	HH2234	3.6	4	9.1	GM								
		7.8	8.2	9.2γ	GP-GM								
4	HH2209												
5	HP2235	5	5.4	9.1	CL-ML								
6	HP3274	14.8	15.2	9.2β	GM								
		18.2	18.7	9.2β	GC								
		22.3	22.7	9.2γ	SC								
		25.7	26.2	10.3β	SC								
7	HP1109	4.2	4.7	5.1	CL	77	1.93						
		5	5.6	9.1	ML	99	2						
		14	14.4	9.2β	SC	0							
8	HH2236	2.4	2.8	5.1	CL	CL							
		4.2	4.6	9.2β	GM								
		11.6	12	9.2β	SM								
9	HH2210	5.7	6.3	9.1	CL			20.5	5.7				
		13.6	14.1	9.2β	SC			39	5.2				
10	HH3275	7.6	8	9.2γ	SM								
		14.8	15.3	9.2β	SC	118	5.04						
		19.6	20.1	9.2γ	SC	225	4.63						
		24.6	25.1	10.3β	GM	64	2.25						
11	HP2237	2.8	3.2	9.1	GM								

(συνέχεια) Πίνακας 6.7 Μηχανικά χαρακτηριστικά σχηματισμών στις γεωτρήσεις της Περιοχής Μελέτης (Πηγή: Αττικό Μετρό Α.Ε. (2TS4CW180R901B))

Α/Α	ΓΕΩΤΡΗΣΗ	ΒΑΘΟΣ (m)		ΚΩΔΙΚΟΣ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ	ΤΡΙΑΞΟΝΙΚΗ ΔΟΚΙΜΗ								ΔΟΚΙΜΗ ΣΥΜΠΙΕΣΟΜΕΤΡΟΥ					ΔΙΟΓΚΩΣΗ		
					UU		CD		CUPP				ΜΕΤΡΟ ΣΥΜΠΙΕΣΕΩΣ Es							Cc
					ΓΩΝΙΑ ΕΣΩΤ. ΤΡΙΒΗΣ φ	ΣΥΝΟΧΗ c	ΓΩΝΙΑ ΕΣΩΤ. ΤΡΙΒΗΣ φ	ΣΥΝΟΧΗ c	ΕΝΕΡΓΗ φ	ΟΛΙΚΗ φ	ΕΝΕΡΓΗ c	ΟΛΙΚΗ c	σ = 50 KN/m ²	σ = 100 KN/m ²	σ = 200 KN/m ²	σ = 400 KN/m ²	σ = 800 KN/m ²	ΔΕΙΚΤΗΣ ΣΥΜΠΙΕΣΤΟΤΗΤΑΣ	ΑΡΧΙΚΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ ΠΟΡΩΝ	ΣΥΝΤ. ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΗΣ
		ο	KN/m ²		ο	KN/m ²	ο	ο	KN/m ²	KN/m ²	KN/m ²	KN/m ²	KN/m ²	KN/m ²	KN/m ²			m ² /year	KN/m ²	%
1	HCFP018	9	9.6	9.2β																
		11	11.4	9.2β																
		20	20.7	9.2β						0.143										
		22.5	23	9.2β							0.08									
		28.2	29.2	10.3β													2.96		16.187	
2	HP3273	19.6	20	9.2γ																
3	HH2234	3.6	4	9.1																
		7.8	8.2	9.2γ																
4	HH2209																			
5	HP2235	5	5.4	9.1																
6	HP3274	14.8	15.2	9.2β																
		18.2	18.7	9.2β																
		22.3	22.7	9.2γ																
		25.7	26.2	10.3β						-	3713	5080	7320	12861	0.141	0.368	474			
7	HP1109	4.2	4.7	5.1																
		5	5.6	9.1																
		14	14.4	9.2β																
8	HH2236	2.4	2.8	5.1																
		4.2	4.6	9.2β																
		11.6	12	9.2β																
9	HH2210	5.7	6.3	9.1																
		13.6	14.1	9.2β																
10	HH3275	7.6	8	9.2γ																
		14.8	15.3	9.2β																
		19.6	20.1	9.2γ																
		24.6	25.1	10.3β																
11	HP2237	2.8	3.2	9.1																

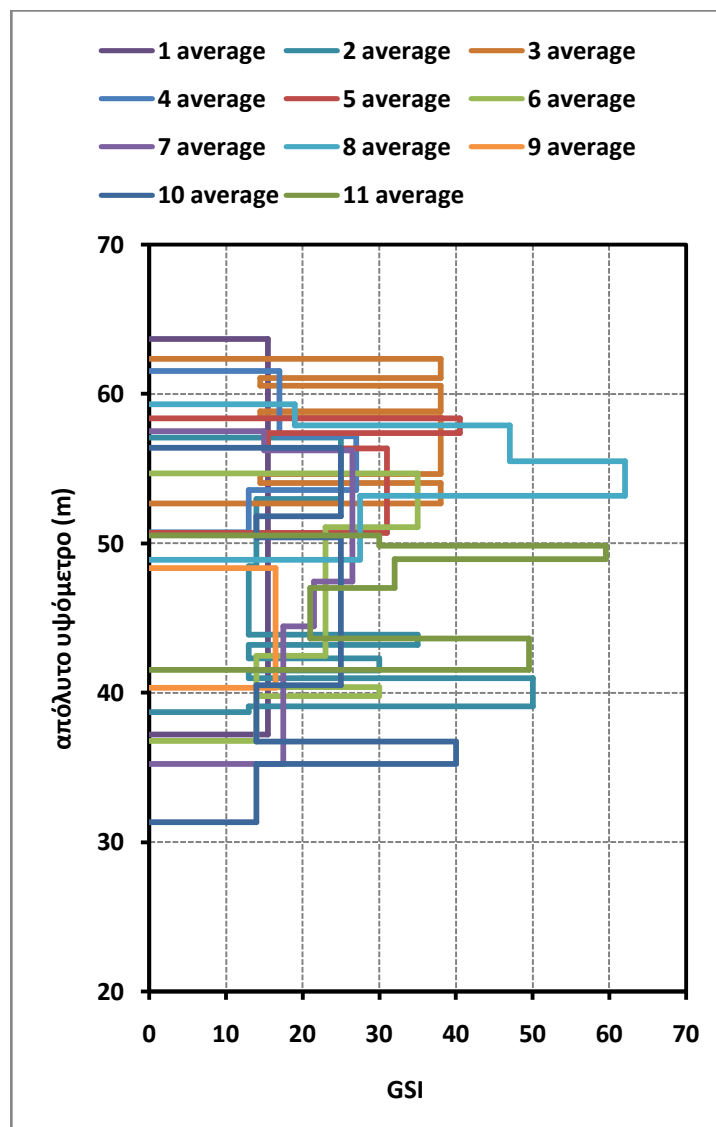
Πίνακας 6.8 Αποτελέσματα εργαστηριακών δοκιμών βραχομηχανικής και αδρανών στις γεωτρήσεις της Περιοχής Μελέτης (Πηγή: Αττικό Μετρό Α.Ε. (2TS4CW180R901B))

Α/Α	ΓΕΩΤΡΗΣΗ	ΒΑΘΟΣ (m)		ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ	ΚΩΔΙΚΟΣ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ	ΑΝΕΜΠΟΔ.			ΔΕΙΚΤΗΣ POISSON ν	ΣΗΜ. ΦΟΡΤΙΣΗ		
						ΘΛΙΨΗ ΒΡΑΧΟΥ				ΒΡΑΧ. ΔΟΚΙΜΙΩΝ		
						ΤΑΣΗ	ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ	ΜΕΤΡΟ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ				la
Mpa	%	Mpa	Mpa	Mpa	Mpa							
1	ΗCFP018	21.3	21.4		9.2β				0.58			
2	ΗΡ3273	12.7	13.1	ΑΣΒΕΣΤΙΤΙΚΟΣ ΑΡΓΙΛΟΛΙΘΟΣ	9.2β				0.39	0.22	1.75	
3	ΗΗ2234	10.6	10.8	ΜΑΡΓΑΪΚΟΣ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΣ	9.2α				0.8	0.62	1.28	
4	ΗΗ2209	6.8	7	ΜΑΡΓΑΪΚΟΣ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΣ	9.2β				0.3	0.87	2.93	
		8.8	9.1	ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΣ	9.2β	5.1	1.03	939.77				
		10.6	10.9	ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΣ	9.2β	29.14	1.57	3139.07				
5	ΗΡ2235	9.5	9.7	ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΣ	9.2α							
6	ΗΡ3274											
7	ΗΡ1109											
8	ΗΗ2236											
9	ΗΗ2210											
10	ΗΗ3275											
11	ΗΡ2237											

6.2 Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων

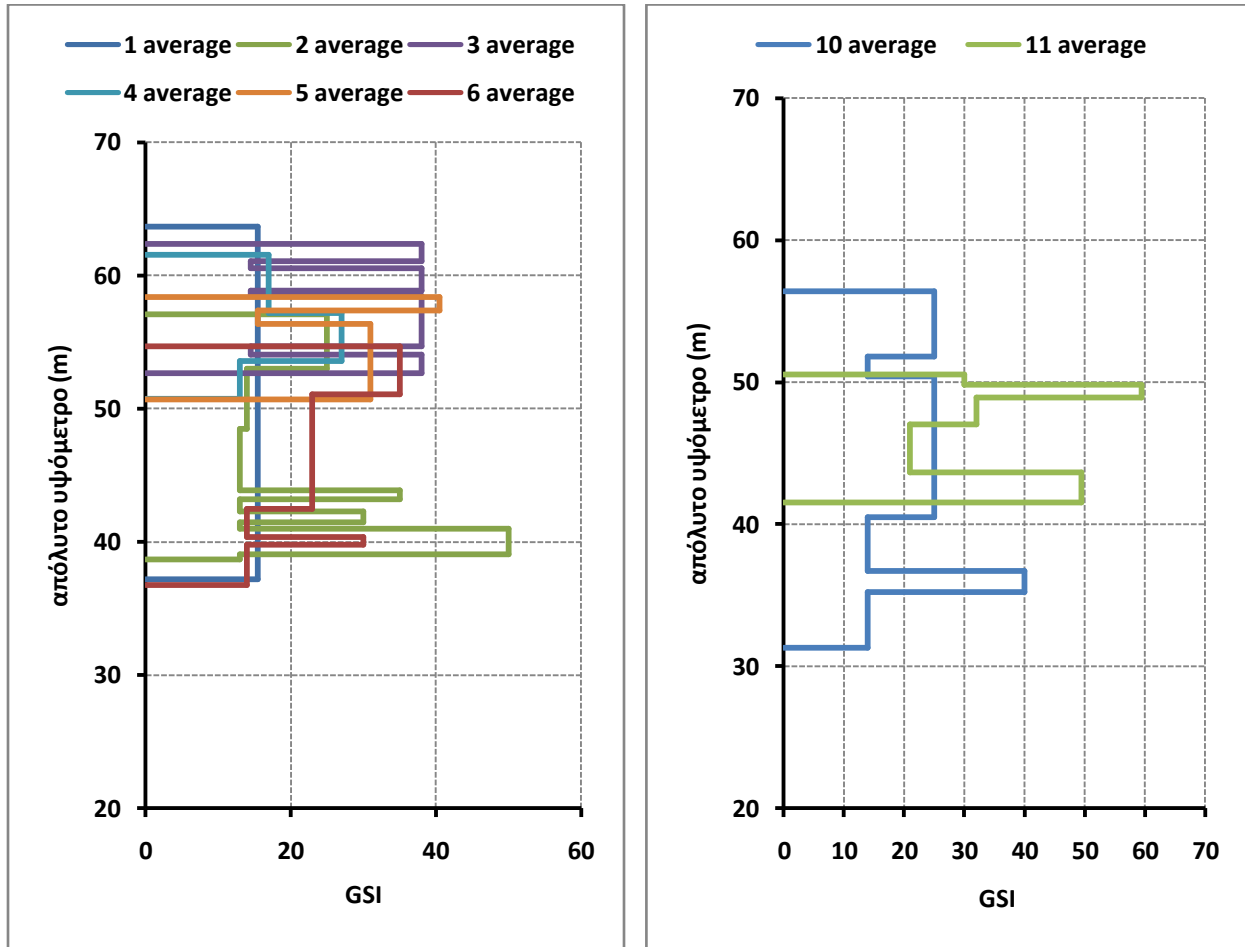
6.2.1 Αξιολόγηση GSI

Στη συνέχεια αξιολογήθηκε η διακύμανση των μέσων τιμών του GSI και να διαπιστωθεί η ύπαρξη ή όχι κάποιας ακολουθίας. Η αντιπαραβολή των διακυμάνσεων έγινε με συνάρτηση το απόλυτο υψόμετρο και όχι το βάθος γεώτρησης, καθώς η το υψόμετρο της επιφάνειας του εδάφους των γεωτρήσεων δεν ήταν σταθερό. Το αποτέλεσμα της αντιπαραβολής όλων των γεωτρήσεων της περιοχής ήταν χαοτικό και δεν παρουσίασε κάποια σταθερή τάση (Εικόνα 6.4).



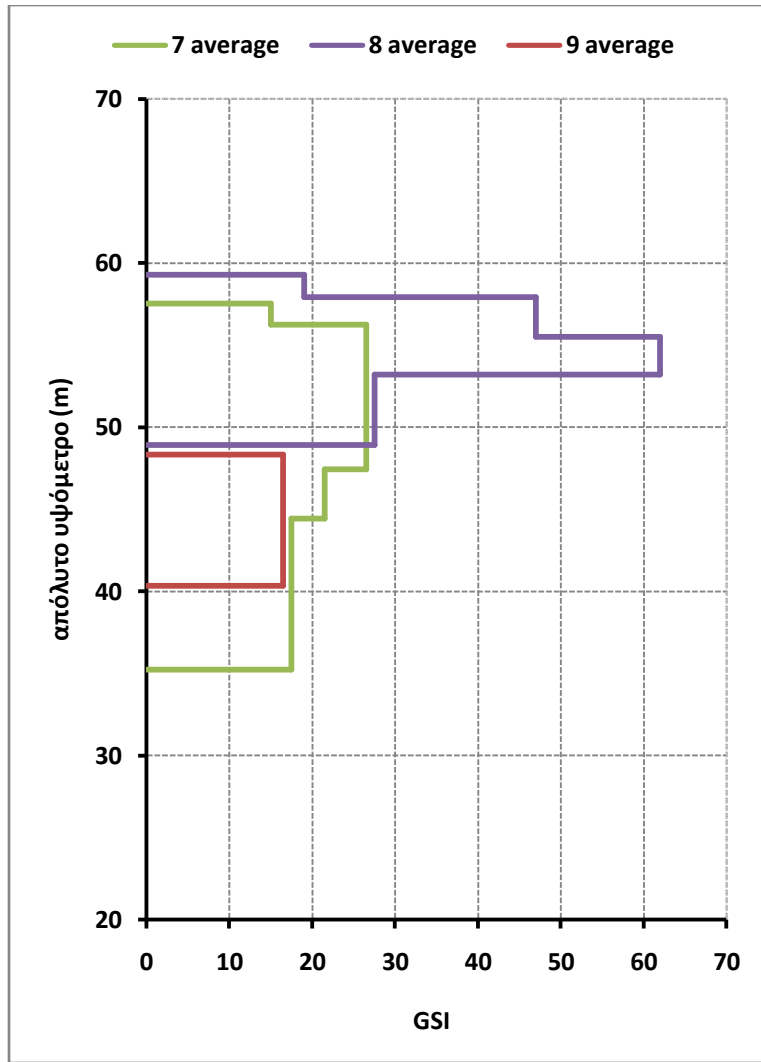
Εικόνα 6.4 Αντιπαραβολή διακυμάνσεων GSI γεωτρήσεων Περιοχής Μελέτης

Όταν επιχειρήθηκε η ομαδοποίηση των γεωτρήσεων με βάση τη γειτνίαση τους, τα αποτελέσματα ήταν αισθητά πιο εύκολο να γίνει αντιληπτή η κατανομή του GSI (Εικόνες 6.5, 6.6).



Εικόνα 6.5 Διακύμανση GSI σε ομαδοποιημένες γεωτρήσεις στην Περιοχή Μελέτης

Ειδικότερα στα τμήματα που εκδηλώθηκαν οι καθιζήσεις (Εικόνα 6.6), γίνεται εμφανές ότι τα υπερκείμενα στρώματα (σχηματισμός μαργαϊκού ασβεστόλιθου – ασβεστολιθικού ψαμμίτη) έχουν υψηλότερο GSI σε σύγκριση με τα υποκείμενα (σχηματισμός μαύρου αργιλικού σχιστόλιθου με ενστρώσεις μεταψαμμίτη – μεταίλυολίθου).



Εικόνα 6.5 Διακύμανση GSI σε ομαδοποιημένες γεωτρήσεις στην περιοχή πραγματοποίησης καθιζήσεων

6.2.2 Αξιολόγηση Γεωλογικών Σχηματισμών – Εκτίμηση Γεωτεχνικών Παραμέτρων

6.2.2.1 Σχηματισμός Συνεκτικών Κορηματικών Υλικών (5.1)

Στο σχηματισμό αυτό για τον προσδιορισμό της τάσης σ_c του πετρώματος πραγματοποιήθηκε μία δοκιμή ανεμπόδιστης θλίψης στην περιοχή, και έντεκα δοκιμές στο συνολικό έργο. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.9. Όπως γίνεται εμφανές, το εύρος και η τυπική απόκλιση είναι μεγάλα, και δε διευκολύνουν την άντληση συγκεκριμένου συμπεράσματος για την τάση του σχηματισμού.

Πίνακας 6.9 Στοιχεία για τη τάση (σ_c) του σχηματισμού 5.1 (Πηγή: Αττικό Μετρό Α.Ε. (2TS4CW180R901B))

σ_c (KN/m ²)	αφορά	από	έως	δοκιμές	Μ.Ο.	Τυπική απόκλιση
	περιοχή	77	77	1	77	0
	σύνολο έργου	30	692	11	208.95	282.52

Ο προσδιορισμός του μέτρου ελαστικότητας πραγματοποιήθηκε με τρεις διαφορετικούς τρόπους: μέσω των μετρήσεων του πρεσσιόμετρου στο σύνολο της περιοχής του έργου, από τον τύπο $E = 200 \chi \sigma_c$ και μέσω σχέσης που συσχετίζει την τιμή του δείκτη N των δοκιμών SPT με το μέτρο ελαστικότητας (Bowles J.E., 1977). Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.10. Η μέθοδος του πρεσσιόμετρου απέφερε μεγάλο εύρος τιμών, ενώ οι άλλες δύο μέθοδοι μη ρεαλιστικές, μικρές τιμές.

Πίνακας 6.10 Στοιχεία για το μέτρο ελαστικότητας (E) του σχηματισμού 5.1 (Πηγή: Αττικό Μετρό Α.Ε. (2TS4CW180R901B))

Μέτρο ελαστικότητας (MPa)	Μέθοδοι	από	έως
	$E_s = 300 (N+6)$	3	24.3
	$E = 200 * \sigma_c$, για $\sigma_c = 77 \text{ KN/m}^2$	15.4	
	Πρεσσιόμετρο	55	250

Για τη γωνία τριβής (ϕ) και τη συνοχή (c) του σχηματισμού πραγματοποιήθηκαν δοκιμές διάτμησης για στερεοποιημένα – αστράγγιστα δοκίμια (CU), μη στερεοποιημένα – αστράγγιστα δοκίμια (UU), καθώς και τριαξονική δοκιμή (CUPP). Επιπρόσθετα η γωνία τριβής προσδιορίστηκε και μέσω πρεσσιόμετρου. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα

6.11. Όσον αφορά στη γωνία τριβής, τα αποτελέσματα του πρεσσιόμετρου και της δοκιμής διάτμησης CU, παρουσιάζουν ρεαλιστικές τιμές. Οι υπόλοιπες δοκιμές έδωσαν σχετικά μειωμένες τιμές. Αντίστοιχα, τα αποτελέσματα που αφορούν τη συνοχή του σχηματισμού δε μπορούν να αξιοποιηθούν με άμεσο τρόπο, καθώς οι τιμές τους είναι γενικά μικρές, και στην περίπτωση της διαξονικής διάτμησης UU, παρόλο που η μέγιστη δυνατή τιμή θεωρείται λογική, ο μικρός μέσος όρος και η μεγάλη τυπική απόκλιση δε μας επιτρέπουν να της αποδώσουμε αξιοπιστία. Αξίζει να τονισθεί ότι για την αδυναμία αξιοποίησης των αποτελεσμάτων οφείλεται στην αντικειμενικά μεγάλη δυσκολία διαμόρφωσης αντιπροσωπευτικών δοκιμών λόγω των πτωχών χαρακτηριστικών του εν λόγω σχηματισμού.

Πίνακας 6.11 Στοιχεία για τη γωνία τριβής και τη συνοχή του σχηματισμού 5.1 (Πηγή: Αττικό Μετρό Α.Ε. (2TS4CW180R901B))

	Μέθοδοι	αφορά	από	έως	δοκιμές	Μ.Ο.	Τυπική απόκλιση
Γωνία τριβής (°)	Πρεσσιόμετρο	περιοχή	43		-		
	CU	σύνολο έργου	30.50	35.5	2	33	3.54
	UU	σύνολο έργου	0	37	7	23.13	13.1
	CUPP	σύνολο έργου	27	27	1	27	0
συνοχή(KN/m ²)	CU	σύνολο έργου	30.50	35.5	2	33	0.35
	UU	σύνολο έργου	0	37	7	23.13	80.76
	CUPP	σύνολο έργου	27	27	1	27	0

Ο προσδιορισμός του συντελεστή ουδέτερων ωθήσεων εκτιμήθηκε από τους μελετητές από:

- τη θεωρία ελαστικότητας: $K_0 = \left(\frac{\nu}{1-\nu}\right)$ (6.1)

- τη σχέση του Massarch: $K_0 = 0.44 + 0.42 \frac{PI}{100}$ (6.2)

- τη σχέση Jaky: $K_0 = 1 - \sin\phi_{eq}$ (6.3)

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.12. Η ελάχιστη αποδεκτή τιμή είναι $K_0 = 0.30$. Με βάση τους παραπάνω υπολογισμούς, αλλά και το είδος του σχηματισμού, λαμβάνεται ως αποδεκτό εύρος $K_0 = 0.40 - 0.60$.

Πίνακας 6.12 Προσδιορισμός συντελεστή ουδετέρων ωθήσεων του σχηματισμού 5.1 (Πηγή: Αττικό Μετρό Α.Ε. (2TS4CW180R901B))

K_o	Μέθοδοι	από	έως
	Θεωρία ελαστικότητας	0.43	
	Σχέση Massarch	0.47	
	Σχέση Jaky	0.27	
min = 0.30	Πρεσιόμετρο	0.16	0.31

Οι μελετητές του έργου (Κατσά Ο., Κοντοθανάσης Π. και Κορονάκης Ν.) προκειμένου να προσδιορίσουν τις τιμές σχεδιασμού του σχηματισμού, συναξιολόγησαν τα αποτελέσματα των παραπάνω δοκιμών καθώς και τα διαθέσιμα στοιχεία βάση βιβλιογραφικών δεδομένων (Παράρτημα ΙΙ), για να καταλήξουν σε συγκεκριμένα εύρη. Αντίστοιχα, κατά την ακόλουθη επαναξιολόγηση των δεδομένων για τη σύνταξη της παρούσας διπλωματικής εργασίας, επιλέχθηκαν ελαφρά τροποποιημένες αντιπροσωπευτικές τιμές των γεωλογικών παραμέτρων. Τα παραπάνω στοιχεία παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.13.

Πίνακας 6.13 Ενδεικτικά εύρη και αντιπροσωπευτικές τιμές των γεωτεχνικών παραμέτρων του σχηματισμού 5.1 (Προέλευση: Αττικό Μετρό Α.Ε. (2TS4CW180R901B) μετά από προσαρμογή)

Παράμετροι	Ενδεικτικό Εύρος		Αντιπροσωπευτικές τιμές
γ (KN/m ³)	21		21
c (KPa)	40	50	40
ϕ (°)	30	40	34
E (MPa)	100	150	100
ν	0.3		0.3
K_o	0.4	0.6	0.5

6.2.2.2 Μανδύας Αποσάθρωσης Μαργαϊκού Ασβεστόλιθου (9.1)

Στο σχηματισμό αυτό για τον προσδιορισμό της τάσης του πετρώματος πραγματοποιήθηκε μία δοκιμή ανεμπόδιστης θλίψης οσοτην περιοχή, και τέσσερεις δοκιμές στο συνολικό έργο. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.14. Όπως γίνεται εμφανές, το εύρος και η τυπική απόκλιση είναι μεγάλα, ενώ ο αριθμός των δοκιμών μειωμένος, λόγω της αδυναμίας

μόρφωσης πρότυπων δοκιμών στον πτωχό αυτό σχηματισμό. Για το λόγο αυτό δεν είναι δυνατό να αντλήσουμε οριστικό συμπέρασμα για την τάση του σχηματισμού.

Πίνακας 6.14 Στοιχεία για την τάση (σ_c) του σχηματισμού 9.1 (Πηγή: Αττικό Μετρό Α.Ε. (2TS4CW180R901B))

σ_c (KN/m ²)	αφορά	από	έως	δοκιμές	Μ.Ο.	Τυπική απόκλιση
	περιοχή	99	99	1	77	0
	σύνολο έργου	76	229	4	208.95	68.94

Ο προσδιορισμός του μέτρου ελαστικότητας από τους μελετητές πραγματοποιήθηκε με δύο διαφορετικούς τρόπους: από τον τύπο $E = 200 \times \sigma_c$ και μέσω σχέσης που συσχετίζει την τιμή του δείκτη N των δοκιμών SPT με το μέτρο ελαστικότητας (Bowles J.E., 1977). Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.15. Στο συγκεκριμένο σχηματισμό δεν κατέστην εφικτή η πραγματοποίηση δοκιμών με πρεσσιόμετρο. Οι παραπάνω σχέσεις απέφεραν μικρές μη ρεαλιστικές τιμές.

Πίνακας 6.15 Στοιχεία για το μέτρο ελαστικότητας (E) του σχηματισμού 9.1 (Πηγή: Αττικό Μετρό Α.Ε. (2TS4CW180R901B))

Μέτρο ελαστικότητας (MPa)	Μέθοδοι	από	έως
	$E_s = 300 (N+6)$	16.8	
	$E = 200 * \sigma_c$, για $\sigma_c = 99 \text{KN/m}^2$	19.8	

Για τη γωνία τριβής (ϕ) και τη συνοχή (c) του σχηματισμού πραγματοποιήθηκαν δοκιμές διάτμησης για στερεοποιημένα – αστράγγιστα δοκίμια (CU), μη στερεοποιημένα – αστράγγιστα δοκίμια (UU), καθώς και τριαξονική δοκιμή (CUPP). Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.16. Όσον αφορά στη γωνία τριβής, με εξαίρεση την τριαξονική δοκιμή, οι δοκιμές έδωσαν σχετικά μειωμένες τιμές. Αντίστοιχα, τα αποτελέσματα που αφορούν τη συνοχή του σχηματισμού δε μπορούν να αξιοποιηθούν με άμεσο τρόπο, καθώς οι τιμές θεωρούνται ιδιαίτερα μικρές, με εξαίρεση το αποτέλεσμα της δοκιμής διάτμησης UU. Και στις δύο περιπτώσεις, γεγονός είναι ότι οι δοκιμές που εκτελέστηκαν είναι λιγοστές, και δε μας επιτρέπουν να αντλήσουμε οριστικό συμπέρασμα σε σχέση με τη γωνία τριβής και τη συνοχή του σχηματισμού.

Πίνακας 6.16 Στοιχεία για τη γωνία τριβής και τη συνοχή του σχηματισμού 9.1 (Πηγή: Αττικό Μετρό Α.Ε. (2TS4CW180R901B))

Γωνία τριβής (°)	Μέθοδοι	αφορά	από	έως	δοκιμές	Μ.Ο.	Τυπική απόκλιση
	Γωνία τριβής (°)	CU	περιοχή	20.50	20.50	1	20.50
CU		σύνολο έργου	20.50	39	2	19.75	13.08
UU		σύνολο έργου	28	28	1	28	-
CUPP		σύνολο έργου	31	31	1	31	-
συνοχή(KN/m ²)	CU	περιοχή	5.70	5.70	1	5.70	-
	CU	σύνολο έργου	0	5.70	2	2.58	4.03
	UU	σύνολο έργου	28.50	28.50	1	28.50	-
	CUPP	σύνολο έργου	4	4	1	4	-

Ο προσδιορισμός του συντελεστή ουδέτερων ωθήσεων εκτιμήθηκε από τους μελετητές μέσω της θεωρίας ελαστικότητας, τη σχέση του Massarch και τη σχέση Jaky (σχέσεις (6.1), (6.2) και (6.3)).

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.17. Η ελάχιστη αποδεκτή τιμή είναι $K_0 = 0.30$. Με βάση τους παραπάνω υπολογισμούς, αλλά και το είδος του σχηματισμού, λαμβάνεται ως αποδεκτό εύρος $K_0 = 0.40 - 0.60$.

Πίνακας 6.17 Προσδιορισμός συντελεστή ουδετέρων ωθήσεων του σχηματισμού 9.1 (Πηγή: Αττικό Μετρό Α.Ε. (2TS4CW180R901B))

K_0	Μέθοδοι	από	έως
	min = 0.30	Θεωρία ελαστικότητας	0.43
Σχέση Massarch		0.44	
	Σχέση Jaky	0.41	

Οι μελετητές του έργου προκειμένου να προσδιορίσουν τις τιμές σχεδιασμού του σχηματισμού, συναξιολόγησαν τα αποτελέσματα των παραπάνω δοκιμών καθώς και τα διαθέσιμα στοιχεία βάση βιβλιογραφικών δεδομένων (Παράρτημα II) και κατέληξαν σε συγκεκριμένα εύρη. Αντίστοιχα, κατά την ακόλουθη επαναξιολόγηση των δεδομένων για τη σύνταξη της παρούσας διπλωματικής εργασίας, επιλέχθηκαν ελαφρά τροποποιημένες αντιπροσωπευτικές τιμές των γεωλογικών παραμέτρων. Τα παραπάνω στοιχεία παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.18.

Πίνακας 6.18 Ενδεδειγμένα εύρη και αντιπροσωπευτικές τιμές των γεωτεχνικών παραμέτρων του σχηματισμού 9.1 (Προέλευση: Αττικό Μετρό Α.Ε. (2TS4CW180R901B) μετά από προσαρμογή)

Παράμετροι	Ενδεδειγμένο Εύρος		Αντιπροσωπευτικές τιμές
γ (KN/m ³)	20		20
c (KPa)	20	30	30
ϕ (°)	30	35	30
E (MPa)	45	60	65
ν	0.3		0.3
K_o	0.4	0.6	0.5

6.2.2.3 Σχηματισμός Μαργαϊκού Ασβεστόλιθου – Ασβεστολιθικού Ψαμμίτη - Βραχώδης Φάση (9.2α)

Στο σχηματισμό αυτό για τον προσδιορισμό της τάσης του πετρώματος πραγματοποιήθηκε μία δοκιμή ανεμπόδιστης θλίψης σ_{ci} στην περιοχή, και είκοσι μία δοκιμές στο συνολικό έργο. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.19.

Πίνακας 6.19 Στοιχεία για την τάση (σ_{ci}) του σχηματισμού 9.2α (Πηγή: Αττικό Μετρό Α.Ε. (2TS4CW180R901B))

σ_{ci} (MPa)	αφορά	από	έως	δοκιμές	Μ.Ο.	Τυπική απόκλιση
	περιοχή	43.3	43.3	1	43.3	-
	σύνολο έργου	2.06	43.30	21	15.95	16.68

Ο προσδιορισμός του μέτρου ελαστικότητας πραγματοποιήθηκε μέσω μετρήσεων ανεμπόδιστης θλίψης βράχου. Στην περιοχή μελέτης πραγματοποιήθηκε μία δοκιμή, ενώ συνολικά στο έργο είκοσι μία. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.20.

Πίνακας 6.20 Στοιχεία για το μέτρο ελαστικότητας (E) του σχηματισμού 9.2α (Πηγή: Αττικό Μετρό Α.Ε. (2TS4CW180R901B))

Μέτρο ελαστικότητας (MPa)	αφορά	από	έως	δοκιμές	Μ.Ο.
	περιοχή	4325.58	4325.58	1	4325.58
	σύνολο έργου	241	5847	21	2473.52

Δεδομένου ότι ο σχηματισμός αυτός είναι βραχώδης, στα πλαίσια της διπλωματικής, επιδιώχθηκε ο προσδιορισμός των γεωτεχνικών του παραμέτρων μέσω αναλύσεων με βάση τη μεθοδολογία Hoek et al., 2002. Τα δεδομένα για το συνδυασμό των παραδοχών επιλέχθηκαν ως εξής:

- Η τιμή του ειδικού βάρους επιλέχθηκε ίση με 23 KN/m^3 , σε συμφωνία με την τιμή των μελετητών (Πηγή: Αττικό Μετρό Α.Ε. (2TS4CW180R901B)).
- Η επιλογή ενδεικτικού βάθους εκσκαφής έγινε με ποσοστιαία συνεκτίμηση του βάθους του εν λόγω σχηματισμού στα τμήματα 6A, 7A και 6B σε συνάρτηση του μήκους τους σε σχέση με το συνολικό μήκος της περιοχής. Η εκτίμηση του βάθους έγινε ως εξής:

$$\begin{aligned} \text{βάθος} &= \text{βάθος } 6A * \frac{\text{μήκος } 6A}{\text{μήκος περιοχή μελ έτης}} + \text{βάθος } 7A * \frac{\text{μήκος } 7A}{\text{μήκος περιοχή μελ έτης}} + \\ &\text{βάθος } 6B * \frac{\text{μήκος } 6B}{\text{μήκος περιοχή μελ έτης}} = 11 * \frac{250}{585} + 13 * \frac{260}{285} + 16 * \frac{95}{585} = 13.1 \text{ m.} \quad (6.4) \end{aligned}$$

- Για την αντοχή του άρρηκτου πετρώματος επιλέχθηκαν οι τιμές 16 και 23 MPa, οι οποίες αποτελούν τη μέση τιμή σ_{ci} και μία μέση τιμή μεταξύ της μέσης και της μέγιστης στο σύνολο του έργου (Πίνακας 6.19).
- Για το m_i επιλέχθηκαν οι τιμές 8 και 11 ως κατάλληλες για το συγκεκριμένο σχηματισμό, καθώς και η μέση τιμή τους 11.
- Για την τιμή GSI, επιλέχθηκε η τιμή 39, που αποτελεί τη μέση τιμή του σχηματισμού βάση των αναθεωρημένων τιμών του Πίνακα 6.4. Για το σχηματισμό αυτό οι τιμές GSI συνοψίζονται στον Πίνακα 6.21.
- Η εκτίμηση του μέτρου ελαστικότητας του άρρηκτου πετρώματος E_{intact} έγινε μέσω του συντελεστή MR από τη σχέση $E_{\text{intact}} = MR * \sigma_{ci}$. Ως τιμές του MR επιλέχθηκαν οι τιμές 170, 300 και 280. Οι τιμές αυτές αποτελούν τη μέση, τη μέγιστη και μία ενδιάμεση τιμή του εύρους που δίνεται για μαργαϊκούς ασβεστόλιθους κατά τους Marinou P.V & Tsiambaos G., 2010.

Πίνακας 6.21 Αναθεωρημένες τιμές GSI για το σχηματισμό 9.2α στο πλαίσιο της διπλωματικής

ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ	Α/Α	ΓΕΩΤΡΗΣΗ	ΒΑΘΟΣ		GSI			
			ΑΠΟ	ΕΩΣ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ		ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ	
					ΔΟΜΗ	ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ	ΑΠΟ	ΕΩΣ
9.2α	2	HP3273	23.2	23.9	VB	P	30	40
	2	HP3273	24.8	25.6	VB - BDS	P	25	35
	2	HP3273	26.1	28	B	F	50	60
	3	HH2234	4.3	5.6	VB	F-P	33	43
	3	HH2234	4.3	5.6	VB	F-P	33	43
	3	HH2234	8.2	12	VB	F-P	33	43
	3	HH2234	12.6	14	VB	F-P	33	43
	5	HP2235	6.3	7.3	VB	F	36	45
	5	HP2235	8.3	14	BDS	F - P	27	35
	6	HP3274	10	13.6	VB - BDS	F - P	30	40
	6	HP3274	24.3	24.9	D	F - P	20	30
	7	HP1109	7	15.8	BDS	P	23	30
	8	HH2236	5	7.4	VB	G - F	42	52
	8	HH2236	7.4	9.7	B	G	58	66
						min	20	30
						max	58	66
						average	33.8	43.2
						τυπική απόκλιση	10.3	10.3

Οι αναλύσεις έγιναν με χρήση του λογισμικού Roclab 1.033, στη λειτουργία που αφορά σήραγγες (tunnel). Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.21.

Πίνακας 6.21 Αποτελέσματα αναλύσεων για το σχηματισμό 9.2α

Συνδιασμός Παραδοχών								Αποτελέσματα Αναλύσεων		
βάθος (m)	γ (KN/m ³)	D	σ_{ci} (MPa)	GSI	m_i	E_{intact} (MPa)	MR	c (KPa)	ϕ (°)	E_m (MPa)
13.1	23	0	16	39	8	2720	170	94	51	405.51
13.1	23	0	23	39	8	3910	170	119	53	582.91
13.1	23	0	16	39	11	4800	300	95	54	715.6
13.1	23	0	23	39	11	6900	300	117	56	1028.67
13.1	23	0	16	39	13	4480	280	96	55	667.89
13.1	23	0	23	39	13	6440	280	117	57	960.09
							min	94	51	405.51
							max	119	57	1028.67
							M.O.	106	54	727

Τα παραπάνω αποτελέσματα παρόλο που είναι αριθμητικά ορθά, δεν αντιπροσωπεύουν απόλυτα την πραγματική κατάσταση του σχηματισμού. Αφενός, ο σχηματισμός όντας ασβεστολιθικής σύστασης και βραχώδης, αναμενόταν να έχει αυξημένη συνοχή, μεγαλύτερη από τη μέγιστη τιμή των αναλύσεων που πραγματοποιήθηκαν. Η γωνία τριβής παρουσιάζει διακυμάνσεις που θεωρούνται ως επί των πλείστων λογικές, με εξαίρεση τις τιμές που υπερβαίνουν τις 55°. Το μέτρο ελαστικότητας λαμβάνει μονάχα μία ρεαλιστική τιμή, για το συνδυασμό $\sigma_{ci} = 23 \text{ MPa}$, $m_i = 13$ και $MR = 280$.

Οι μελετητές του έργου, προσδιόρισαν ένα δυνατό εύρος τιμών για τις γεωτεχνικές παραμέτρους του σχηματισμού. Κατά τη σύνταξη της παρούσας διπλωματικής μετά από αξιολόγηση των τιμών των αναλύσεων του Πίνακα 6.21 προσδιορίστηκαν ελαφρά τροποποιημένες τιμές. Τα παραπάνω παρουσιάζονται συνοπτικά στον Πίνακα 6.22

Πίνακας 6.22 Ενδεδειγμένα εύρη και αντιπροσωπευτικές τιμές των γεωτεχνικών παραμέτρων του σχηματισμού 9.2α (Προέλευση: Αττικό Μετρό Α.Ε. (2TS4CW180R901B) μετά από προσαρμογή)

Παράμετροι	Ενδεδειγμένο Εύρος		Αντιπροσωπευτικές τιμές
$\gamma \text{ (KN/m}^3\text{)}$	23		23
$c \text{ (KPa)}$	170	200	170
$\phi \text{ (}^\circ\text{)}$	45	55	51
$E \text{ (MPa)}$	950	1100	1100
ν	0.25		0.3
K_o	0.35	0.6	0.5

Αξίζει να σημειωθεί ότι καθώς ο σχηματισμός είναι βραχώδης το μέγεθος των πλευρικών ωθήσεων αναμένεται εξαιρετικά περιορισμένο.

6.2.2.4 Σχηματισμός Μαργαϊκού Ασβεστόλιθου – Ασβεστολιθικού Ψαμμίτη - Μεικτή Φάση (9.2β)

Στο σχηματισμό αυτό για τον προσδιορισμό της τάσης σ_c του πετρώματος πραγματοποιήθηκε μία δοκιμή ανεμπόδιστης θλίψης εδάφους στην περιοχή, και δεκατρείς δοκιμές στο συνολικό

έργο. Καθώς ο σχηματισμός θεωρήθηκε μεικτής φάσης, πραγματοποιήθηκαν επιπλέον δοκιμές ανεμπόδιστης θλίψης βράχου. Στην περιοχή μελέτης εκτελέστηκαν δύο δοκιμές ενώ στο σύνολο του έργου δεκαεφτά. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.23.

Πίνακας 6.23 Στοιχεία για την τάση (σ_{ci}) του σχηματισμού 9.2β (Πηγή: Αττικό Μετρό Α.Ε. (2TS4CW180R901B))

σ_{ci} (KN/m ²) εδαφομηχανική	αφορά	από	έως	δοκιμές	Μ.Ο.	Τυπική Απόκλιση
	περιοχή		118	118	1	118
σύνολο έργου		17	1506	13	277.69	428.20
σ_{ci} (MPa) βραχομηχανική	αφορά	από	έως	δοκιμές	Μ.Ο.	Τυπική Απόκλιση
	περιοχή		5.10	29.14	2	17.12
σύνολο έργου		1.18	29.14	17	7.42	7.72

Ο προσδιορισμός του μέτρου ελαστικότητας πραγματοποιήθηκε μέσω μετρήσεων ανεμπόδιστης θλίψης βράχου. Στην περιοχή μελέτης πραγματοποιήθηκαν δύο δοκιμές, ενώ συνολικά στο δεκαεφτά. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.24.

Πίνακας 6.24 Στοιχεία για το μέτρο ελαστικότητας (E) του σχηματισμού 9.2β(Πηγή: Αττικό Μετρό Α.Ε. (2TS4CW180R901B))

Μέτρο ελαστικότητας (MPa)	αφορά	από	έως	δοκιμές	Μ.Ο.	Τυπική Απόκλιση
	περιοχή		939.77	3139.07	2	2039.42
σύνολο έργου		320.82	3139.07	17	117.69	833.3

Για τη γωνία τριβής (ϕ) και τη συνοχή (c) του σχηματισμού πραγματοποιήθηκαν δοκιμές διάτμησης για στερεοποιημένα – αστράγγιστα δοκίμια (CU),μη στερεοποιημένα – αστράγγιστα δοκίμια (UU), καθώς και τριαξονική δοκιμή (CUPP) τόσο στη περιοχή μελέτης όσο και στο συνολικό έργο. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.25. Και στις δύο περιπτώσεις, γεγονός είναι ότι οι δοκιμές που εκτελέστηκαν είναι λιγοστές λόγω της αντικειμενικά μεγάλης δυσκολίας να μορφωθούν ικανοποιητικά δοκίμια στον εν λόγω σχηματισμό. Για το λόγο αυτό, τα αποτελέσματα δε μας επιτρέπουν να αντλήσουμε οριστικά συμπεράσματα.

Πίνακας 6.25 Στοιχεία για τη γωνία τριβής και τη συνοχή του σχηματισμού 9.2β (Πηγή: Αττικό Μετρό Α.Ε. (2TS4CW180R901B))

	Μέθοδοι	αφορά	από	έως	δοκιμές	Μ.Ο.	Τυπική απόκλιση
Γωνία τριβής (°)	CU	περιοχή	39	39	1	39	-
	UU	περιοχή	0	46.40	2	23.20	16.4
	CUPP	περιοχή	24.70	24.70	1	24.70	-
	CU	σύνολο έργου	29	39	2	34	7.07
	UU	σύνολο έργου	5.2	10.40	2	7.80	3.70
	CUPP	σύνολο έργου	24.70	24.70	1	24.70	-
συνοχή(KN/m ²)	CU	περιοχή	5.20	5.20	1	5.20	-
	UU	περιοχή	32.30	265.70	2	164	165.04
	CUPP	περιοχή	0	0	1	0	-
	CU	σύνολο έργου	0	46.40	3	29.27	3.66
	UU	σύνολο έργου	62.20	265.70	3	130.07	117.46
	CUPP	σύνολο έργου	0	0	1	0	-

Ο προσδιορισμός του συντελεστή ουδέτερων ωθήσεων εκτιμήθηκε από τους μελετητές μέσω της θεωρίας ελαστικότητας, τη σχέση του Massarch και τη σχέση Jaky (σχέσεις (6.1), (6.2) και (6.3))

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.26. Η ελάχιστη αποδεκτή τιμή είναι $K_0 = 0.30$. Με βάση τους παραπάνω υπολογισμούς, αλλά και το είδος του σχηματισμού, λαμβάνεται ως αποδεκτό εύρος $K_0 = 0.40 - 0.60$.

Πίνακας 6.26 Προσδιορισμός συντελεστή ουδέτερων ωθήσεων του σχηματισμού 9.1 (Πηγή: Αττικό Μετρό Α.Ε. (2TS4CW180R901B))

K_0	Μέθοδοι	από	έως
		Θεωρεία ελαστικότητας	0.43
	Σχέση Massarch	0.49	
min = 0.30	Σχέση Jaky	0.37	

Δεδομένου ότι ο σχηματισμός αυτός είναι και βραχώδης, στα πλαίσια της διπλωματικής, επιδιώχθηκε ο προσδιορισμός των γεωτεχνικών του παραμέτρων μέσω αναλύσεων με βάση τη μεθοδολογία Hoek et al., 2002. Τα δεδομένα για το συνδυασμό των παραδοχών επιλέχθηκαν ως εξής:

- Η τιμή του ειδικού βάρους επιλέχθηκε ίση με 23 KN/m^3 , σε συμφωνία με την τιμή των μελετητών (Πηγή: Αττικό Μετρό Α.Ε. (2TS4CW180R901B)).
- Η επιλογή ενδεικτικού βάθους εκσκαφής έγινε με ποσοστιαία συνεκτίμηση του βάθους του εν λόγω σχηματισμού στα τμήματα 6A, 7A και 6B σε συνάρτηση του μήκους τους σε σχέση με το συνολικό μήκος της περιοχής. Η εκτίμηση του βάθους έγινε ως εξής:

$$\begin{aligned} \text{βάθος} &= \text{βάθος } 6A * \frac{\text{μήκος } 6A}{\text{μήκος περιοχ ής μελ έτης}} + \text{βάθος } 7A * \frac{\text{μήκος } 7A}{\text{μήκος περιοχ ής μελ έτης}} + \\ &\text{βάθος } 6B * \frac{\text{μήκος } 6B}{\text{μήκος περιοχ ής μελ έτης}} = 19 * \frac{250}{585} + 15 * \frac{260}{285} + 16 * \frac{95}{585} = 17.4 \text{ m.} \end{aligned} \quad (6.4)$$

- Για την αντοχή του άρρηκτου πετρώματος επιλέχθηκαν οι τιμές 5 και 7.5 MPa, οι οποίες αποτελούν την ελάχιστη τιμή στην περιοχή μελέτης αλλά και την πλέον συνήθη κατά τις μετρήσεις στο σύνολο του έργου, και τη μέση τιμή σ_{ci} αντίστοιχα (Πίνακας 6.23).
- Για το m_i επιλέχθηκαν οι τιμές 8 και 13 ως κατάλληλες για το συγκεκριμένο σχηματισμό, καθώς και η μέση τιμή τους 11.
- Για την τιμή GSI, επιλέχθηκε η τιμή 23, που αποτελεί τη μέση τιμή του σχηματισμού βάση των αναθεωρημένων τιμών του Πίνακα 6.4. Για το σχηματισμό αυτό οι τιμές GSI συνοψίζονται στον Πίνακα 6.27.
- Η εκτίμηση του μέτρου ελαστικότητας του άρρηκτου πετρώματος E_{intact} έγινε μέσω του συντελεστή MR από τη σχέση $E_{\text{intact}} = MR * \sigma_{ci}$. Ως τιμές του MR επιλέχθηκαν οι τιμές 170, 300 και 280. Οι τιμές αυτές αποτελούν τη μέση, τη μέγιστη και μία ενδιάμεση τιμή του εύρους που δίνεται για μαργαϊκούς ασβεστόλιθους κατά τους Marinou P.V & Tsiambaos G., 2010.

Πίνακας 6.27 Αναθεωρημένες τιμές GSI για το σχηματισμό 9.2β στο πλαίσιο της διπλωματικής

ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ	Α/Α	ΓΕΩΤΡΗΣΗ	ΒΑΘΟΣ		GSI				
			ΑΠΟ	ΕΩΣ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ		ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ		
					ΔΟΜΗ	ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ	ΑΠΌ	ΕΩΣ	
9.2β	1	HCFP018	3.5	24	BDS - D	VP	13	18	
	2	HP3273	10	14.1	BDS-D	P	20	30	
	6	HP3274	13.6	22.2	BDS - D	P	18	28	
	7	HP1109	5.7	7	D	VP	10	20	
	7	HP1109	15.8	18.8	BDS	VP	18	25	
	8	HH2236	3.6	5	BDS	F – P	30	35	
	8	HH2236	9.7	14	D	P	20	25	
	9	HH2210	7	15	D	VP	13	20	
	10	HH3275	3	7.6	D	P	20	25	
	10	HH3275	9	18.9	D	P	20	25	
	11	HP2237	5.1	5.8	BDS	F – P	25	35	
	11	HP2237	6.7	8.6	BDS	F	28	36	
							min	10	18
							max	30	36
							average	19.6	26.8
							τυπική απόκλιση	6.0	6.1

Οι αναλύσεις έγιναν με χρήση του λογισμικού Roclab1.033, στη λειτουργία που αφορά σήραγγες (tunnel). Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.28.

Πίνακας 6.28 Αποτελέσματα αναλύσεων για το σχηματισμό 9.2β

Συνδιασμός Παραδοχών								Αποτελέσματα Αναλύσεων			
βάθος (m)	γ (KN/m ³)	D	σ_{ci} (MPa)	GSI	m_i	E_{intact} (MPa)	MR	c (KPa)	ϕ (°)	E_m (MPa)	
17.4	23	0	5	23	8	850	170	39	35	45.43	
17.4	23	0	7.5	23	8	1275	170	45	38	67.42	
17.4	23	0	5	23	11	1500	300	43	37	80.18	
17.4	23	0	7.5	23	11	2250	300	50	40	118.98	
17.4	23	0	5	23	13	1400	280	46	39	74.83	
17.4	23	0	7.5	23	13	2100	280	53	42	111.05	
								min	39	34.62	45.43
								max	53	41.92	118.98
								M.O.	46	38	83

Τα παραπάνω αποτελέσματα παρόλο που είναι αριθμητικά ορθά, δεν αντιπροσωπεύουν απόλυτα την πραγματική κατάσταση του σχηματισμού. Ο σχηματισμός, όντας ασβεστολιθικής σύστασης και βραχώδης, με βάση τη σχετική βιβλιογραφία, αναμενόταν να έχει αυξημένη συνοχή, μεγαλύτερη από εκείνη της μέγιστης τιμής των αναλύσεων που πραγματοποιήθηκαν. Η γωνία τριβής παρουσιάζει διακυμάνσεις ως επί των πλείστων λογικές. Αντίθετα, το μέτρο ελαστικότητας για όλους τους παραπάνω συνδυασμούς προκύπτει ιδιαίτερα μειωμένο (Π. Μαρίνος, κατόπιν προσωπικής επικοινωνίας).

Οι μελετητές του έργου, προσδιόρισαν ένα δυνατό εύρος τιμών για τις γεωτεχνικές παραμέτρους του σχηματισμού. Αντίστοιχα, κατά τη σύνταξη της παρούσας διπλωματικής μετά από αξιολόγηση των τιμών των αναλύσεων του Πίνακα 6.28 προσδιορίστηκαν ενδεικτικές τιμές. Τα παραπάνω παρουσιάζονται συνοπτικά στον Πίνακα 6.29.

Πίνακας 6.29 Ενδεδειγμένο εύρος και αντιπροσωπευτικές τιμές των γεωτεχνικών παραμέτρων του σχηματισμού 9.2β (Προέλευση: Αττικό Μετρό Α.Ε. (2TS4CW180R901B) μετά από προσαρμογή)

Παράμετροι	Ενδεδειγμένο Εύρος		Αντιπροσωπευτικές τιμές
γ (KN/m ³)	23		23
c (KPa)	60	80	60
ϕ (°)	36	45	35
E (MPa)	250	350	250
ν	0.25		0.25
K_0	0.4	0.6	0.5

6.2.2.5 Σχηματισμός Μαργαϊκού Ασβεστόλιθου – Ασβεστολιθικού Ψαμμίτη - Εδαφική Φάση (9.2γ)

Στο σχηματισμό αυτό για τον προσδιορισμό της τάσης σ_c του πετρώματος πραγματοποιήθηκαν δύο δοκιμές ανεμπόδιστης θλίψης στο συνολικό έργο εξαιτίας της πρακτικής αδυναμίας μόρφωσης δοκιμίων σε αυτόν τον εδαφικό απόλυτα πλέον σχηματισμό. Το αποτέλεσμα παρουσιάζεται στον Πίνακα 6.30. Είναι προφανές ότι δύο δοκιμές δεν επαρκούν ως αξιόπιστο δείγμα προκειμένου να ληφθούν σαφή συμπεράσματα για το σχηματισμό.

Πίνακας 6.30 Στοιχεία για την τάση (σ_c) του σχηματισμού 9.2γ (Πηγή: Αττικό Μετρό Α.Ε. (2TS4CW180R901B))

σ_c (KN/m ²)	αφορά	από	έως	δοκιμές	Μ.Ο.	Τυπική απόκλιση
		σύνολο έργου	203	225	2	214

Ο προσδιορισμός του μέτρου ελαστικότητας πραγματοποιήθηκε από τη σχέση $E = 200 \times q_u$. Το αποτέλεσμα παρουσιάζεται στον Πίνακα 6.10. Η μέθοδος του πρεσιόμετρου απέφερε μεγάλο εύρος τιμών, ενώ οι άλλες δύο μέθοδοι μη ρεαλιστικές, μικρές τιμές.

Πίνακας 6.31 Στοιχεία για το μέτρο ελαστικότητας (E) του σχηματισμού 9.2γ (Πηγή: Αττικό Μετρό Α.Ε. (2TS4CW180R901B))

Μέτρο ελαστικότητας (MPa)	Μέθοδοι	από	έως
		$E = 200 * q_u$, για $q_u = 200 \text{KN/m}^2$	40

Ο προσδιορισμός του συντελεστή ουδέτερων ωθήσεων εκτιμήθηκε από τους μελετητές μέσω της θεωρίας ελαστικότητας, τη σχέση του Massarch και τη σχέση Jaky (σχέσεις (6.1), (6.2) και (6.3)).

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.32. Η ελάχιστη αποδεκτή τιμή είναι $K_o = 0.30$. Με βάση τους παραπάνω υπολογισμούς, αλλά και το είδος του σχηματισμού, λαμβάνεται ως αποδεκτό εύρος $K_o = 0.40 - 0.60$.

Πίνακας 6.32 Προσδιορισμός συντελεστή ουδέτερων ωθήσεων του σχηματισμού 9.2γ (Πηγή: Αττικό Μετρό Α.Ε. (2TS4CW180R901B))

K_o	Μέθοδοι	από	έως
		Θεωρεία ελαστικότητας	0.43
	Σχέση Massarch	0.44	
min = 0.30	Σχέση Jaky	0.41	

Οι μελετητές του έργου προκειμένου να προσδιορίσουν τις τιμές σχεδιασμού του σχηματισμού συναξιολόγησαν τα αποτελέσματα των παραπάνω δοκιμών καθώς και τα

διαθέσιμα στοιχεία βάση βιβλιογραφικών δεδομένων (Παράρτημα ΙΙ), καταλήγοντας σε συγκεκριμένα εύρη. Αντίστοιχα, κατά την ακόλουθη επαναξιολόγηση των δεδομένων για τη σύνταξη της παρούσας διπλωματικής εργασίας, επιλέχθηκαν αντιπροσωπευτικές τιμές των γεωλογικών παραμέτρων, που ταυτίζονται με εκείνες των μελετητών της Αττικό Μετρό Α.Ε. Τα παραπάνω στοιχεία παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.33.

Πίνακας 6.33 Ενδεικτικά εύρη και αντιπροσωπευτικές τιμές των γεωτεχνικών παραμέτρων του σχηματισμού 9.2γ (Πηγή: Αττικό Μετρό Α.Ε. (2TS4CW180R901B))

Παράμετροι	Ενδεικτικό Εύρος		Αντιπροσωπευτικές τιμές
γ (KN/m ³)	23		23
c (KPa)	40	50	40
ϕ (°)	35	40	35
E (MPa)	150	200	150
ν	0.3		0.3
K_o	0.4	0.6	0.5

6.2.2.6 Σχηματισμός Ματαψαμμιτών – Μεταϊλυολίθων - Βραχώδης Φάση (10.2α)

Στο σχηματισμό αυτό για τον προσδιορισμό της τάσης σ_{ci} του πετρώματος πραγματοποιήθηκε μία δοκιμή ανεμπόδιστης θλίψης στην περιοχή, και τρεις δοκιμές στο συνολικό έργο. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.34.

Πίνακας 6.34 Στοιχεία για την τάση (σ_{ci}) του σχηματισμού 9.2α (Πηγή: Αττικό Μετρό Α.Ε. (2TS4CW180R901B))

σ_{ci} (MPa)	αφορά	από	έως	δοκιμές	Μ.Ο.	Τυπική απόκλιση
	περιοχή	2.51	2.51	1	2.51	-
	σύνολο έργου	2.51	4.41	3	3.33	1

Ο προσδιορισμός του μέτρου ελαστικότητας πραγματοποιήθηκε μέσω μετρήσεων ανεμπόδιστης θλίψης βράχου. Αντίστοιχα, στην περιοχή μελέτης πραγματοποιήθηκε μία δοκιμή, ενώ συνολικά στο έργο τρεις. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.35.

Πίνακας 6.35 Στοιχεία για το μέτρο ελαστικότητας (E) του σχηματισμού 9.2α (Πηγή: Αττικό Μετρό Α.Ε. (2TS4CW180R901B))

	αφορά	από	έως	δοκιμές	Μ.Ο.	Τυπική απόκλιση
Μέτρο ελαστικότητας (MPa)	περιοχή	607.93	607.93	1	607.93	-
	σύνολο έργου	462.14	1356.08	3	808.72	476.6

Οι δοκιμές είναι περιορισμένες εξαιτίας της πρακτικής αδυναμίας μόρφωσης δοκιμίων στο σχηματισμό αυτό. Για το λόγο αυτό, δεν είναι δυνατόν να ληφθούν σαφή συμπεράσματα από τα παραπάνω αποτελέσματα, τόσο για την αντοχή του άρρηκτου βράχου, όσο και για το μέτρο ελαστικότητας.

Δεδομένου ότι ο σχηματισμός αυτός θεωρείται βραχώδης, στα πλαίσια της διπλωματικής επιδιώχθηκε ο προσδιορισμός των γεωτεχνικών του παραμέτρων μέσω αναλύσεων με βάση τη μεθοδολογία Hoek et al., 2002. Τα δεδομένα για το συνδυασμό των παραδοχών επιλέχθηκαν ως εξής:

- Η τιμή του ειδικού βάρους επιλέχθηκε ίση με 23 KN/m^3 , σε συμφωνία με την τιμή των μελετητών (Πηγή: Αττικό Μετρό Α.Ε. (2TS4CW180R901B)).
- Η επιλογή ενδεικτικού βάθους εκσκαφής θεωρήθηκε ίση με το βάθος του σχηματισμού στο τμήμα 6.B, δηλαδή 25 m, καθώς απαντάται μονάχα σε εκείνο το τμήμα της περιοχής μελέτης.
- Για την αντοχή του άρρηκτου πετρώματος επιλέχθηκαν οι τιμές 3 και 4.5 MPa, οι οποίες αποτελούν τη μέση τιμή σ_{ci} και μία μέγιστη στο σύνολο του έργου (Πίνακας 6.34)
- Για το m_i επιλέχθηκαν οι τιμές 10 και 16 ως κατάλληλες για το συγκεκριμένο σχηματισμό, καθώς και η μέση τιμή τους 13.
- Για την τιμή GSI, επιλέχθηκε η τιμή 33, που αποτελεί τη μέση τιμή του σχηματισμού βάση των αναθεωρημένων τιμών του Πίνακα 6.4 αλλά και των τιμών στο γειτονικό τμήμα του έργου μεταξύ του Φρέαρ Υμηττού και του Σταθμού Αργυρούπολης, καθώς

τα δεδομένα για το σχηματισμό αυτό στη περιοχή μελέτης είναι περιορισμένα. Για το σχηματισμό αυτό οι τιμές GSI συνοψίζονται στον Πίνακα 6.36.

- Η εκτίμηση του μέτρου ελαστικότητας του άρρηκτου πετρώματος E_{intact} έγινε μέσω του συντελεστή MR από τη σχέση $E_{intact} = MR \cdot \sigma_{ci}$. Ως τιμές του MR επιλέχθηκαν οι τιμές 300, 1000 και 600. Οι τιμές αυτές αποτελούν τη μέση, τη μέγιστη και μία ενδιάμεση τιμή του εύρους που δίνεται για σχιστόλιθους κατά τους Hoek & Diederich, 2006, καθώς ο μεταϊλύολιθος έχει υποστεί μεταμόρφωση, και αυξάνεται η σχιστότητα του, προσεγγίζοντας τους σχιστόλιθους. Επιπλέον η τιμή του MR = 300 αποτελεί και το άνω όριο του δυνατού εύρους για μεταψαμμίτες.

Πίνακας 6.36 Αναθεωρημένες τιμές GSI για το σχηματισμό 10.2α στο πλαίσιο της διπλωματικής

ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ	Α/Α	ΓΕΩΤΡΗΣΗ	ΒΑΘΟΣ		GSI			
			ΑΠΟ	ΕΩΣ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ		ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ	
					ΔΟΜΗ	ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ	ΑΠΟ	ΕΩΣ
9.2α	10	HH3275	22.7	24.2	VB	F	35	45
	11	HP2237	12	14.1	VB	G	47	52
	-	HP3276	25.6	26.6	VB	F	33	43
	-	HH2240	3.9	4.9	VB	F	38	47
	-	HH2240	7.6	8.7	VB	P	32	38
	-	HP3277	10	10.7	BDS	P	20	30
	-	HP3277	10.7	12.3	BDS	P-VP	15	25
	-	HP3277	13	13.5	BDS	P	20	30
	-	HP3277	19.9	21.3	BDS	P	20	30
						min	15	25
						max	47	52
						average	28.9	37.8
						τυπική απόκλιση	10.6	9.4

Οι αναλύσεις έγιναν με χρήση του λογισμικού Roclab1.033, στη λειτουργία που αφορά σήραγγες (tunnel). Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.37.

Πίνακας 6.37 Αποτελέσματα αναλύσεων για το σχηματισμό 10.2α

Συνδυασμός Παραδοχών								Αποτελέσματα Αναλύσεων		
βάθος (m)	γ (KN/m ³)	D	σ_{ci} (MPa)	GSI	m_i	E_{intact} (MPa)	MR	c (KPa)	ϕ (°)	E_m (MPa)
25.0	23	0	3	33	10	900	300	56	34	89.2
25.0	23	0	4.5	33	10	1350	300	65	37	130.82
25.0	23	0	3	33	13	1800	600	61	36	178.39
25.0	23	0	4.5	33	13	2700	600	70	39	261.64
25.0	23	0	3	33	16	3000	1000	65	38	297.32
25.0	23	0	4.5	33	16	4500	1000	75	41	436.07
min								56	34	89
max								75	41	436
average								65	37	232

Τα παραπάνω αποτελέσματα φαίνονται λογικά για τον εν λόγω σχηματισμό, με εξαίρεση το μέτρο ελαστικότητας, το οποίο φαίνεται μειωμένο (Π. Μαρίνος, κατόπιν προσωπικής επικοινωνίας).

Οι μελετητές του έργου, προσδιόρισαν ένα δυνατό εύρος τιμών για τις γεωτεχνικές παραμέτρους του σχηματισμού. Αντίστοιχα, κατά τη σύνταξη της παρούσας διπλωματικής μετά από αξιολόγηση των τιμών των αναλύσεων του Πίνακα 6.37 προσδιορίστηκαν ενδεικτικές τιμές. Τα παραπάνω παρουσιάζονται συνοπτικά στον Πίνακα 6.38.

Πίνακας 6.38 Ενδεικμένα εύρη και αντιπροσωπευτικές τιμές των γεωτεχνικών παραμέτρων του σχηματισμού 10.2α (Προέλευση: Αττικό Μετρό Α.Ε. (2TS4CW180R901B) μετά από προσαρμογή)

Παράμετροι	Ενδεικμένο Εύρος		Αντιπροσωπευτικές τιμές
γ (KN/m ³)	23		23
c (KPa)	60	85	65
ϕ (°)	40	50	41
E (MPa)	330	400	500
ν	0.3		0.3
K_o	0.4	0.6	0.5

Δεδομένου ότι ο σχηματισμός είναι βραχώδης, το μέγεθος των πλευρικών ωθήσεων αναμένεται εξαιρετικά περιορισμένο.

6.2.2.7 Σχηματισμός Ματαψαμμιτών – Μεταίλυολίθων - Εδαφική Φάση (10.2γ)

Στο σχηματισμό αυτό για τον προσδιορισμό της τάσης σ_c του πετρώματος πραγματοποιήθηκε μία δοκιμή ανεμπόδιστης θλίψης σε γειτονική περιοχή, καθώς στην περιοχή μελέτης δεν κατέστη δυνατόν να ληφθούν δοκίμια. Στο συνολικό έργο εκτελέστηκαν οκτώ δοκιμές στο συνολικό έργο. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.39. Όπως γίνεται εμφανές, το εύρος και η τυπική απόκλιση για το σύνολο του έργου είναι μεγάλα, μην επιτρέποντας την άντληση συγκεκριμένων συμπεράσματα για την τάση του σχηματισμού.

Πίνακας 6.39 Στοιχεία για την τάση (σ_c) του σχηματισμού 10.2γ (Πηγή: Αττικό Μετρό Α.Ε. (2TS4CW180R901B))

σ_c (KN/m ²)	αφορά	από	έως	δοκιμές	Μ.Ο.	Τυπική απόκλιση
	περιοχή	684	684	1	684	-
	σύνολο έργου	54	684	8	226.54	201.41

Ο προσδιορισμός του μέτρου ελαστικότητας πραγματοποιήθηκε με τρεις διαφορετικούς τρόπους: μέσω μετρήσεων του πρεσσιόμετρου στο σύνολο της περιοχής του έργου, από τον τύπο $E = 200 \times q_u$ και μέσω σχέσης που συσχετίζει την τιμή του δείκτη N των δοκιμών SPT με το μέτρο ελαστικότητας (Bowles J.E., 1977). Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.40. Η μέθοδος του πρεσσιόμετρου απέφερε μεγάλο εύρος τιμών, ενώ οι άλλες δύο μέθοδοι μη ρεαλιστικές, μικρές τιμές.

Πίνακας 6.40 Στοιχεία για το μέτρο ελαστικότητας (E) του σχηματισμού 10.2γ (Πηγή: Αττικό Μετρό Α.Ε. (2TS4CW180R901B))

Μέτρο ελαστικότητας (MPa)	Μέθοδοι	από	έως
	$E_s = 300 (N+6)$	3	24.3
	$E = 200 * \sigma_c$, για $\sigma_c = 77 \text{ KN/m}^2$	15.4	
	Πρεσσιόμετρο	55	250

Για τη γωνία τριβής (ϕ) και τη συνοχή (c) του σχηματισμού πραγματοποιήθηκαν δοκιμές διάτμησης για στερεοποιημένα – αστράγγιστα δοκίμια (CU) και μη στερεοποιημένα – αστράγγιστα δοκίμια (UU) τόσο στη περιοχή μελέτης όσο και στο συνολικό έργο. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.41. Και στις δύο περιπτώσεις, γεγονός είναι ότι

οι δοκιμές που εκτελέστηκαν είναι λίγες εξαιτίας της αντικειμενικά μεγάλης δυσκολίας να μορφωθούν ικανοποιητικά δοκίμια. Για το λόγο αυτό, τα αποτελέσματα δε μας επιτρέπουν να αντλήσουμε οριστικά συμπεράσματα. Παρόλα αυτά, η τιμή που προήλθε από τη δοκιμή του πρεσσιόμετρου έδωσε ρεαλιστική τιμή για τη γωνία τριβής. Το ίδιο συμβαίνει και για το μέσο όρο των δοκιμών σε μη στερεοποιημένα – αστράγγιστα δοκίμια για το σύνολο του έργου.

Πίνακας 6.41 Στοιχεία για τη γωνία τριβής και τη συνοχή του σχηματισμού 10.2γ (Πηγή: Αττικό Μετρό Α.Ε. (2TS4CW180R901B))

	Μέθοδοι	αφορά	από	έως	δοκιμές	Μ.Ο.	Τυπική απόκλιση
Γωνία τριβής (°)	Πρεσσιόμετρο	περιοχή	34				
	CU	περιοχή	-	-	-	-	-
	UU	περιοχή	2.70	17.80	2	10.25	10.68
	CU	σύνολο έργου	52.60	52.60	1	52.60	-
	UU	σύνολο έργου	2.70	65	8	35.69	52.60
συνοχή (KN/m ²)	CU	περιοχή	-	-	-	-	-
	UU	περιοχή	39	137	2	88	88
	CU	σύνολο έργου	0	0	1	0	-
	UU	σύνολο έργου	0	137	8	44.53	49.33

Ο προσδιορισμός του συντελεστή ουδέτερων ωθήσεων εκτιμήθηκε από τους μελετητές μέσω της θεωρίας ελαστικότητας, τη σχέση του Massarch και τη σχέση Jaky (σχέσεις (6.1), (6.2) και (6.3))

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.17. Η ελάχιστη αποδεκτή τιμή είναι $K_0 = 0.30$. Με βάση τους παραπάνω υπολογισμούς, αλλά και το είδος του σχηματισμού, λαμβάνεται ως αποδεκτό εύρος $K_0 = 0.40 - 0.60$

Πίνακας 6.42 Προσδιορισμός συντελεστή ουδέτερων ωθήσεων του σχηματισμού 10.2γ (Πηγή: Αττικό Μετρό Α.Ε. (2TS4CW180R901B))

K_0	Μέθοδοι	από	έως
		Θεωρεία ελαστικότητας	0.43
	Σχέση Massarch	0.44	0.49
	Σχέση Jaky	0.23	
min = 0.30	Πρεσσιόμετρο	0.20	0.39

Οι μελετητές του έργου προκειμένου να προσδιορίσουν τις τιμές σχεδιασμού του σχηματισμού συναξιολόγησαν τα αποτελέσματα των παραπάνω δοκιμών καθώς και τα διαθέσιμα στοιχεία βάση βιβλιογραφικών δεδομένων (Παράρτημα ΙΙ), κατέληξαν σε συγκεκριμένα εύρη. Αντίστοιχα, κατά την ακόλουθη επαναξιολόγηση των δεδομένων για τη σύνταξη της παρούσας διπλωματικής εργασίας, επιλέχθηκαν αντιπροσωπευτικές τιμές των γεωλογικών παραμέτρων. Τα παραπάνω στοιχεία παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.13.

Πίνακας 6.43 Ενδεδειγμένα εύρη και αντιπροσωπευτικές τιμές των γεωτεχνικών παραμέτρων του σχηματισμού 10.2γ (Προέλευση: Αττικό Μετρό Α.Ε. (2TS4CW180R901B) μετά από προσαρμογή)

Παράμετροι	Ενδεδειγμένο Εύρος		Αντιπροσωπευτικές τιμές
γ (KN/m ³)	23		23
c (KPa)	25	35	25
ϕ (°)	33	40	30
E (MPa)	120	200	120
ν	0.3		0.3
K_o	0.4	0.6	0.5

6.2.2.8 Σχηματισμός Μαύρου Αργιλικού Σχιστόλιθου - Μεικτή Φάση (10.3β)

Στο σχηματισμό αυτό για τον προσδιορισμό της τάσης σ_c του πετρώματος πραγματοποιήθηκε μία δοκιμή ανεμπόδιστης θλίψης εδάφους στην περιοχή, και πέντε δοκιμές στο συνολικό έργο. Παρόλο που ο σχηματισμός θεωρήθηκε μεικτής φάσης, δεν πραγματοποιήθηκαν δοκιμές ανεμπόδιστης θλίψης βράχου. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.44.

Πίνακας 6.44 Στοιχεία για την τάση (σ_{ci}) του σχηματισμού 10.3β (Πηγή: Αττικό Μετρό Α.Ε. (2TS4CW180R901B))

σ_c (KN/m ²) εδαφομηχανική	αφορά	από	έως	δοκιμές	Μ.Ο.	Τυπική Απόκλιση
	περιοχή	64	64	1	64	-
	σύνολο έργου	64	232	5	146.60	69.4

Ο προσδιορισμός του μέτρου ελαστικότητας δεν ήταν δυνατός με τη χρήση εργαστηριακών δοκιμών.

Για τη γωνία τριβής (ϕ) και τη συνοχή (c) του σχηματισμού πραγματοποιήθηκαν δοκιμές διάτμησης για στερεοποιημένα – αστράγγιστα δοκίμια (CU) στην περιοχή μελέτης, και μη στερεοποιημένα – αστράγγιστα δοκίμια (UU) τόσο στη περιοχή μελέτης όσο και στο συνολικό έργο. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.45. Και στις δύο περιπτώσεις, γεγονός είναι ότι οι δοκιμές που εκτελέστηκαν είναι λιγιστές λόγω της αντικειμενικά μεγάλης δυσκολίας να μορφωθούν ικανοποιητικά δοκίμια στον εν λόγω σχηματισμό. Για το λόγο αυτό, τα αποτελέσματα δε μας επιτρέπουν να αντλήσουμε οριστικά συμπεράσματα και δε μπορούν να θεωρηθούν αξιόπιστες. Για παράδειγμα, η δοκιμή διάτμησης UU έπρεπε να αποφέρει μηδενική γωνία τριβής, καθώς το δείγμα βρίσκεται σε πλήρη κορεσμό και δε μετράται η πίεση πόρων.

Πίνακας 6.45 Στοιχεία για τη γωνία τριβής και τη συνοχή του σχηματισμού 10.3β (Πηγή: Αττικό Μετρό Α.Ε. (2TS4CW180R901B))

	Μέθοδοι	αφορά	από	έως	δοκιμές	Μ.Ο.	Τυπική απόκλιση
Γωνία τριβής ($^{\circ}$)	UU	περιοχή	52.80	52.80	1	52.80	-
	CU	σύνολο έργου	55.60	55.60	1	55.60	-
	UU	σύνολο έργου	7.40	52.80	4	32.58	20.8
συνοχή(KN/m^2)	UU	περιοχή	61.60	61.60	1	61.60	-
	CU	σύνολο έργου	0	0	1	0	-
	UU	σύνολο έργου	61.50	121.70	4	76.95	29.8

Ο προσδιορισμός του συντελεστή ουδέτερων ωθήσεων εκτιμήθηκε από τους μελετητές μέσω της θεωρίας ελαστικότητας, τη σχέση του Massarch και τη σχέση Jaky (σχέσεις (6.1), (6.2) και (6.3))

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.46. Η ελάχιστη αποδεκτή τιμή είναι $K_0 = 0.30$. Με βάση τους παραπάνω υπολογισμούς, αλλά και το είδος του σχηματισμού, λαμβάνεται ως αποδεκτό εύρος $K_0 = 0.40 - 0.60$.

Πίνακας 6.46 Προσδιορισμός συντελεστή ουδέτερων ωθήσεων του σχηματισμού 10.3β (Πηγή: Αττικό Μετρό Α.Ε. (2TS4CW180R901B))

K_0	Μέθοδοι	από	έως
	Θεωρεία ελαστικότητας	0.43	
	Σχέση Massarch	0.45	
min = 0.30	Σχέση Jaky	0.39	

Δεδομένου ότι ο σχηματισμός αυτός είναι και βραχώδης, στα πλαίσια της διπλωματικής επιδιώχθηκε ο προσδιορισμός των γεωτεχνικών του παραμέτρων μέσω αναλύσεων με βάση τη μεθοδολογία Hoek et al., 2002. Τα δεδομένα για το συνδυασμό των παραδοχών επιλέχθηκαν ως εξής:

- Η τιμή του ειδικού βάρους γ επιλέχθηκε ίση με 23 KN/m^3 , σε συμφωνία με την τιμή των μελετητών (Πηγή: Αττικό Μετρό Α.Ε. (2TS4CW180R901B)).
- Η επιλογή ενδεικτικού βάθους εκσκαφής έγινε με ποσοστιαία συνεκτίμηση του βάθους του εν λόγω σχηματισμού στα τμήματα 6A και 7A σε συνάρτηση του μήκους τους σε σχέση με το συνολικό μήκος της περιοχής. Η εκτίμηση του βάθους έγινε ως εξής:

$$\text{βάθος} = \text{βάθος } 6A * \frac{\text{μήκος } 6A}{\text{μήκος } 6A + \text{μήκος } 7A} + \text{βάθος } 7A * \frac{\text{μήκος } 7A}{\text{μήκος } 6A + \text{μήκος } 7A} = 29 * \frac{250}{510} + 20 * \frac{260}{285} = 24.4 \text{ m.} \quad (6.4)$$

- Για την αντοχή του άρρηκτου πετρώματος επιλέχθηκε μονάχα η τιμή των 13 MPa , η οποία αποτελεί την τιμή που προκύπτει από τα αποτελέσματα των δοκιμών σημειακής φόρτισης (Πηγή: Αττικό Μετρό Α.Ε. (2TS4CW180R901B)).
- Για το m_i επιλέχθηκαν οι τιμές 10 και 13 ως κατάλληλες για το συγκεκριμένο σχηματισμό.
- Για την τιμή GSI, επιλέχθηκε η τιμή 16, που αποτελεί τη μέση τιμή του σχηματισμού βάση των αναθεωρημένων τιμών του Πίνακα 6.4. Για το σχηματισμό αυτό οι τιμές GSI συνοψίζονται στον Πίνακα 6.47.
- Η εκτίμηση του μέτρου ελαστικότητας του άρρηκτου πετρώματος E_{intact} έγινε μέσω του συντελεστή MR από τη σχέση $E_{\text{intact}} = \text{MR} * \sigma_{ci}$. Ως τιμές του MR επιλέχθηκαν οι τιμές 300, 500. Οι τιμές αυτές αποτελούν δύο ενδιάμεσες τιμές του εύρους που δίνεται για σχιστόλιθους κατά τους Hoek & Diederich, 2006.

Πίνακας 6.47 Αναθεωρημένες τιμές GSI για το σχηματισμό 10.3β στο πλαίσιο της διπλωματικής

ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ	Α/Α	ΓΕΩΤΡΗΣΗ	ΒΑΘΟΣ		GSI			
					ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ		ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ	
			ΑΠΟ	ΕΩΣ	ΔΟΜΗ	ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ	ΑΠΟ	ΕΩΣ
10.3β	1	HCFP018	24	30	BDS - D	VP	13	18
	6	HP3274	24.9	27.9	D	VP	10	18
	7	HP1109	18.8	28	LS	P	15	20
	10	HH3275	24.2	28.1	BDS - D	VP	15	20
						min	10	18
						max	15	20
						average	13.3	19.0
						τυπική απόκλιση	2.4	1.2

Οι αναλύσεις έγιναν με χρήση του λογισμικού Roclab1.033, στη λειτουργία που αφορά σήραγγες (tunnel). Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.48.

Πίνακας 6.48 Αποτελέσματα αναλύσεων για το σχηματισμό 10.3β

Συνδιασμός Παραδοχών								Αποτελέσματα Αναλύσεων		
βάθος (m)	γ (KN/m ³)	D	σ_{ci} (MPa)	GSI	m_i	E_{intact} (MPa)	MR	c (KPa)	ϕ (°)	E_m (MPa)
24.4	23	0	13	16	10	3900	300	58	38	148.15
24.4	23	0	13	16	13	7020	540	63	40	266.66
							min	58	38	148
							max	63	40	267
							M.O.	61	39	207

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις αναλύσεις θεωρούνται γενικώς λογικά, αντιπροσωπεύοντας ρεαλιστικά το σχηματισμό του αργιλικού σχιστόλιθου σε μεικτή φάση.

Οι μελετητές του έργου, προσδιόρισαν ένα δυνατό εύρος τιμών για τις γεωτεχνικές παραμέτρους του σχηματισμού. Αντίστοιχα, κατά τη σύνταξη της παρούσας διπλωματικής μετά από αξιολόγηση των τιμών των αναλύσεων του Πίνακα 6.48 προσδιορίστηκαν ενδεικτικές τιμές. Τα παραπάνω παρουσιάζονται συνοπτικά στον Πίνακα 6.49.

Πίνακας 6.49 Ενδεδειγμένα εύρη και αντιπροσωπευτικές τιμές των γεωτεχνικών παραμέτρων του σχηματισμού 10.3β (Προέλευση: Αττικό Μετρό Α.Ε. (2TS4CW180R901B) μετά από προσαρμογή)

Παράμετροι	Ενδεδειγμένο Εύρος		Αντιπροσωπευτικές τιμές
γ (KN/m ³)	23		23
c (KPa)	60	75	58
ϕ (°)	35	45	30
E (MPa)	260	300	267
ν	0.3		0.3
K_o	0.4	0.6	0.5

6.2.2.9 Σχηματισμός Μαύρου Αργιλικού Σχιστόλιθου - Εδαφική Φάση (10.3γ)

Στο σχηματισμό αυτό για τον προσδιορισμό της τάσης σ_c του πετρώματος δεν πραγματοποιήθηκαν δοκιμές ανεμπόδιστης θλίψης στην περιοχή μελέτης. Συνολικά στο έργο εκτελέστηκαν δέκα δοκιμές. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.50. Όπως γίνεται εμφανές, το εύρος και η τυπική απόκλιση είναι μεγάλα, και δε μας επιτρέπουν να αντλήσουμε οριστικά συμπεράσματα για την τάση του σχηματισμού.

Πίνακας 6.50 Στοιχεία για την τάση (σ_c) του σχηματισμού 10.3γ (Πηγή: Αττικό Μετρό Α.Ε. (2TS4CW180R901B))

σ_c (KN/m ²)	αφορά	από	έως	δοκιμές	Μ.Ο.	Τυπική απόκλιση
	σύνολο έργου	31	408	10	116.92	111.47

Ο προσδιορισμός του μέτρου ελαστικότητας πραγματοποιήθηκε με δύο διαφορετικούς τρόπους: μέσω των μετρήσεων του πρεσσιόμετρου στο σύνολο της περιοχής του έργου και από τη σχέση $E = 200 \times q_u$. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.51. Η μέθοδος του πρεσσιόμετρου απέφερε μεγάλο εύρος τιμών για το σχηματισμό, ενώ και οι δύο τρόποι απέδωσαν μικρές σχετικά τιμές για τον εν λόγω σχηματισμό.

Πίνακας 6.51 Στοιχεία για το μέτρο ελαστικότητας (E) του σχηματισμού 10.3γ (Πηγή: Αττικό Μετρό Α.Ε. (2TS4CW180R901B))

Μέτρο ελαστικότητας (MPa)	Μέθοδοι	από	έως
	E = 200*q _u , για q _u =120KN/m ²	24	
	Πρεσσιόμετρο	55	80

Για τη γωνία τριβής (φ) και τη συνοχή (c) του σχηματισμού πραγματοποιήθηκαν δοκιμές διάτμησης για στερεοποιημένα – αστράγγιστα δοκίμια (CU) και μη στερεοποιημένα – αστράγγιστα δοκίμια (UU) στο συνολικό έργο. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.52. Γεγονός είναι ότι οι δοκιμές που εκτελέστηκαν είναι λίγες εξαιτίας της αντικειμενικά μεγάλης δυσκολίας να μορφωθούν ικανοποιητικά δοκίμια. Για το λόγο αυτό, τα αποτελέσματα δε μας επιτρέπουν να αντλήσουμε οριστικά συμπεράσματα. Παρόλα αυτά, οι τιμές που αφορούν τη γωνία τριβής είναι ρεαλιστικές, σε αντίθεση με εκείνες της συνοχής, που παρουσιάζονται αυξημένες.

Πίνακας 6.52 Στοιχεία για τη γωνία τριβής και τη συνοχή του σχηματισμού 10.3γ (Πηγή: Αττικό Μετρό Α.Ε. (2TS4CW180R901B))

Γωνία τριβής (°)	Μέθοδοι	αφορά	από	έως	δοκιμές	Μ.Ο.	Τυπική απόκλιση
	CU	σύνολο έργου	31.30	31.30	1	31.30	-
	UU	σύνολο έργου	25	65	8	31.99	13.62
	CU	σύνολο έργου	84.40	84.40	1	84.40	-
	UU	σύνολο έργου	0	124.80	8	47.08	54.47

Ο προσδιορισμός του συντελεστή ουδέτερων ωθήσεων εκτιμήθηκε από τους μελετητές μέσω της θεωρίας ελαστικότητας, τη σχέση του Massarch και τη σχέση Jaky (σχέσεις (6.1), (6.2) και (6.3)), αλλά και μέσω πρεσσιόμετρου.

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.53. Η ελάχιστη αποδεκτή τιμή είναι K₀ = 0.30. Με βάση τους παραπάνω υπολογισμούς, αλλά και το είδος του σχηματισμού, λαμβάνεται ως αποδεκτό εύρος K₀ = 0.40 – 0.60.

Πίνακας 6.53 Προσδιορισμός συντελεστή ουδετέρων ωθήσεων του σχηματισμού 10.3γ (Πηγή: Αττικό Μετρό Α.Ε. (2TS4CW180R901B))

K _o	Μέθοδοι	από	έως
	Θεωρία ελαστικότητας	0.43	
	Σχέση Massarch	0.46	
	Σχέση Jaky	0.43	
min = 0.30	Πρεσσιόμετρο	0.11	0.15

Οι μελετητές του έργου προκειμένου να προσδιορίσουν τις τιμές σχεδιασμού του σχηματισμού συναξιολόγησαν τα αποτελέσματα των παραπάνω δοκιμών καθώς και τα διαθέσιμα στοιχεία βάση βιβλιογραφικών δεδομένων (Παράρτημα ΙΙ), καταλήγοντας σε συγκεκριμένα εύρη. Αντίστοιχα, κατά την ακόλουθη επαναξιολόγηση των δεδομένων για τη σύνταξη της παρούσας διπλωματικής εργασίας, επιλέχθηκαν αντιπροσωπευτικές τιμές των γεωλογικών παραμέτρων. Τα παραπάνω στοιχεία παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.54.

Πίνακας 6.54 Ενδεικτικά εύρη και αντιπροσωπευτικές τιμές των γεωτεχνικών παραμέτρων του σχηματισμού 10.3γ (Προέλευση: Αττικό Μετρό Α.Ε. (2TS4CW180R901B) μετά από προσαρμογή)

Παράμετροι	Ενδεικτικό Εύρος		Αντιπροσωπευτικές τιμές
γ (KN/m ³)	23		23
c (KPa)	20	30	20
φ (°)	34	42	32
E (MPa)	120	200	150
ν	0.3		0.3
K _o	0.4	0.6	0.5

7. Αξιολόγηση Δεδομένων του TBM κατά τη Διάνοιξη της Σήραγγας

7.1 Δεδομένα Αξιολόγησης

Κατά τη διάρκεια της διάνοιξης, η Αττικό Μετρό Α.Ε. κατέγραψε και αποθήκευσε όλες τις πληροφορίες που αφορούν στο σχεδιασμό και την κατασκευή της επέκτασης σε βάση δεδομένων, χρησιμοποιώντας τη μορφή AGS (<http://www.ags.org.uk>), επιτρέποντας έτσι την εύκολη ανάκτηση, αξιολόγηση και τον συσχετισμό των δεδομένων. Τα δεδομένα αυτά διαιρούνται στις παρακάτω κατηγορίες:

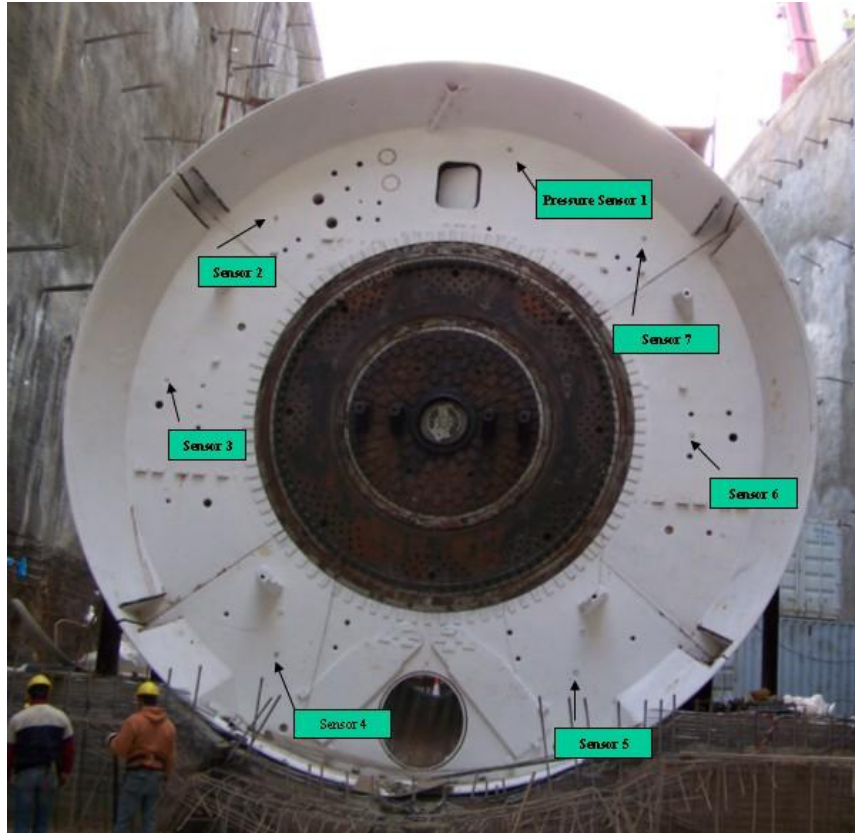
- Γεωλογικά στοιχεία
- Γεωτεχνική έρευνα
- Δεδομένα παρακολούθησης καθιζήσεων – εδαφικών μετακινήσεων
- Δεδομένα του TBM-EPB.

Το παρόν κεφάλαιο αφορά στην αξιολόγηση των στοιχείων που εμπεριέχονται στην τελευταία κατηγορία.

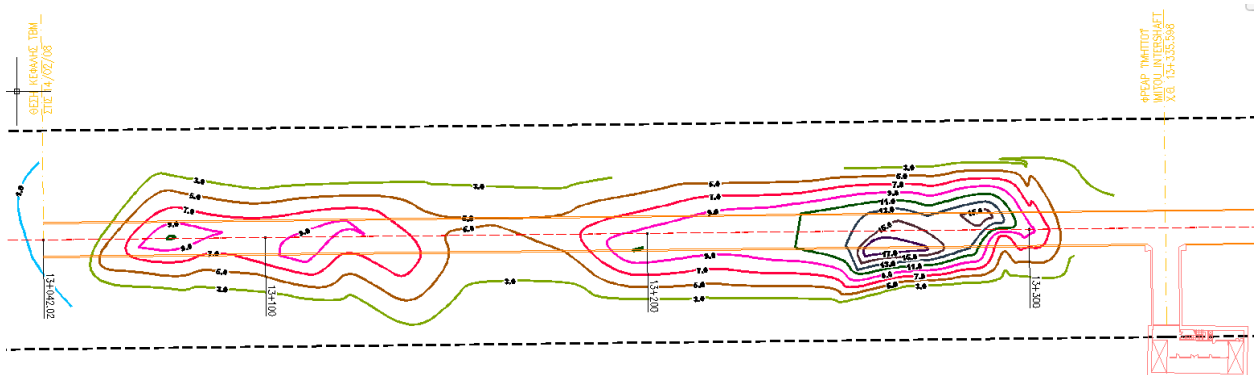
Τα δεδομένα παραχωρήθηκαν στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο από την Αττικό Μετρό Α.Ε. στο πλαίσιο του ερευνητικού προγράμματος NeTTUN (<http://nettun.org>) υπό τη μορφοποίηση που χρησιμοποιεί η εν λόγω εταιρία. Η αξιολόγηση τους πραγματοποιήθηκε έπειτα από μετατροπή τους σε μορφή φύλλων Microsoft Excel. Τα φύλλα αυτά περιείχαν δεδομένα για την πίεση μετώπου του μηχανήματος, όπως αυτά καταγράφηκαν από τους εφτά (7) αισθητήρες στο μέτωπο (Εικόνα 7.1), το πραγματικό και το θεωρητικό βάρος του εκσκαπτόμενου υλικού, αθροιστικά, όπως καταγραφόταν κατά τη ζύγιση του εκσκαπτόμενου υλικού, και το ρυθμό προχώρησης του TBM-EPB.

Αρχική επιδίωξη της παρούσας εργασίας ήταν η αξιολόγηση όλων των δεδομένων που αφορούσαν την περιοχή μελέτης, δηλαδή την περιοχή μεταξύ των Φρεάτων Λέοντος και Υμηττού (Χ.Θ. 12+750 έως Χ.Θ. 13+335, μήκους 585 m). Αυτό κατέστη αδύνατο λόγω του τεραστίου όγκου δεδομένων, καθώς ο καταγραφές ανανεώνονταν κάθε είκοσι (20) δευτερόλεπτα, και η εκσκαφή της συγκεκριμένης περιοχής διήρκεσε πενήντα οκτώ (58) ημέρες.

Έτσι αποφασίστηκε η αξιολόγηση των στοιχείων που αφορούσαν μονάχα την υποπεριοχή όπου εκδηλώθηκαν οι καθιζήσεις, δηλαδή από τη Χ.Θ. 13+042.02 έως Χ.Θ. 13+305.75, (Εικόνα 7.2) μήκους 263.73 m, η εκσκαφή της οποίας διήρκησε είκοσι εννιά (29) ημέρες.

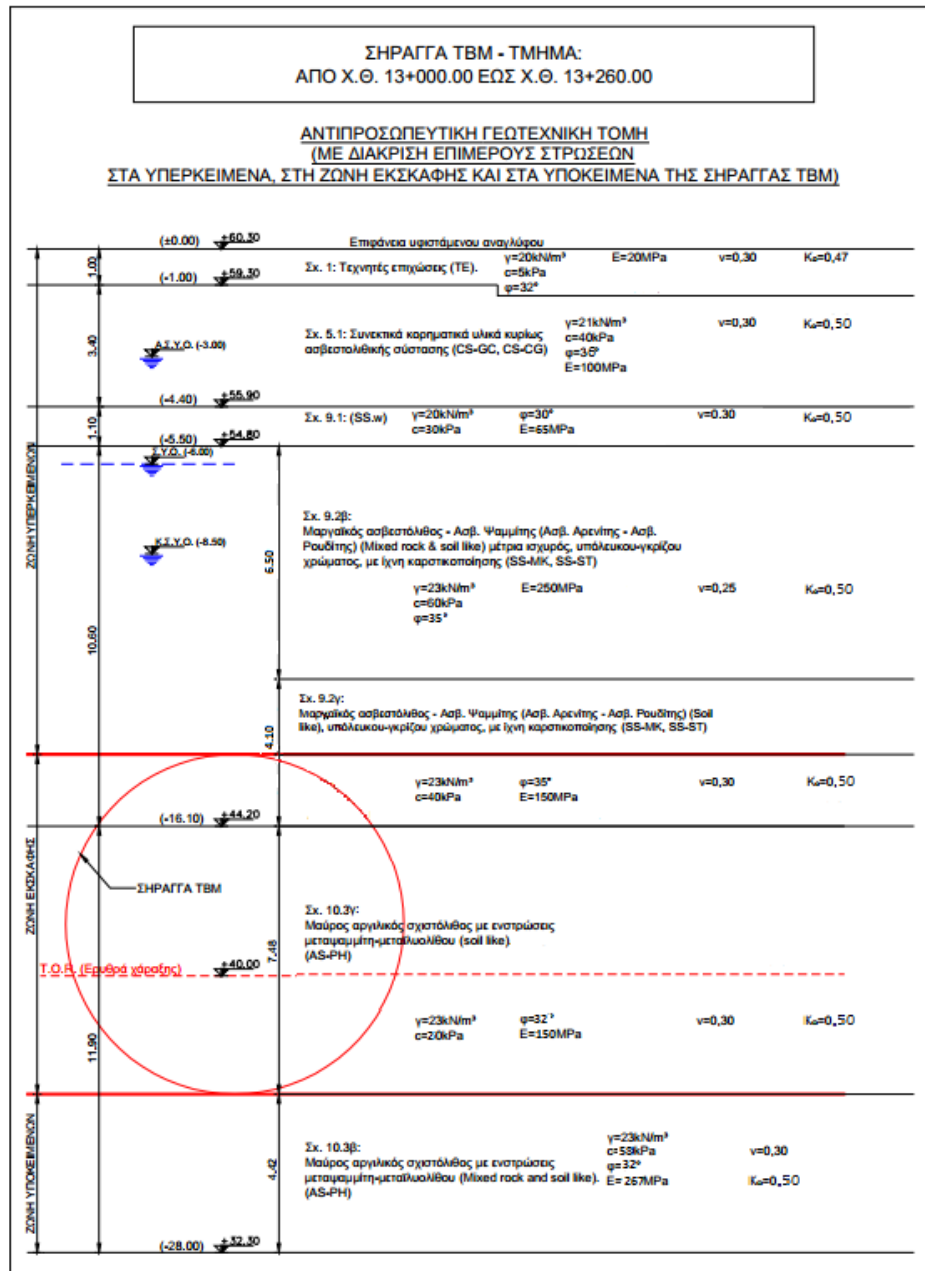


Εικόνα 7.1 Θέσεις των επτά αισθητήρων για τη μέτρηση της εφαρμοζόμενης πίεσης αντιστήριξης στο μέτωπο της εκσκαφής (Πηγή: Αττικό Μετρό Α.Ε.)



Εικόνα 7.2 Περιοχή εκδήλωσης καθιζήσεων (Πηγή: Αττικό Μετρό Α.Ε., 2TS4CW180C007A_5.)

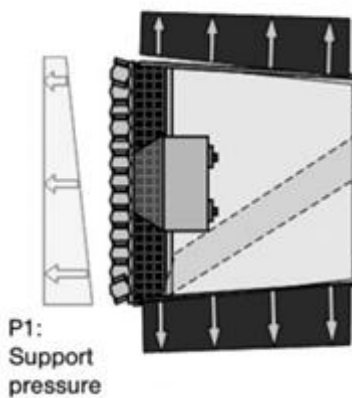
Σε ποσοστό 82.65%, η εκσκαφή πραγματοποιήθηκε εντός των σχηματισμών 9.2γ (Μαργαϊκός Ασβεστόλιθος – Ασβεστολιθικός Ψαμμίτης - Εδαφική φάση) και 10.3γ (Μαύρος Αργιλικός Σχιστόλιθος – Εδαφική φάση), σύμφωνα με το έγγραφο 2TS4CW180R904A της Αττικό Μετρό Α.Ε. Η στρωματογραφία καθώς και τα γεωτεχνικά χαρακτηριστικά της περιοχής, όπως προσδιορίστηκαν στο Κεφάλαιο 6, παρουσιάζονται αναλυτικά στην Εικόνα 7.3.



Εικόνα 7.3 Αντιπροσωπευτική τομή και γεωτεχνικές παράμετροι της περιοχής εκδήλωσης καθιζήσεων (Προέλευση: Αττικό Μετρό Α.Ε. (2TS4CW180R904A) μετά από προσαρμογή)

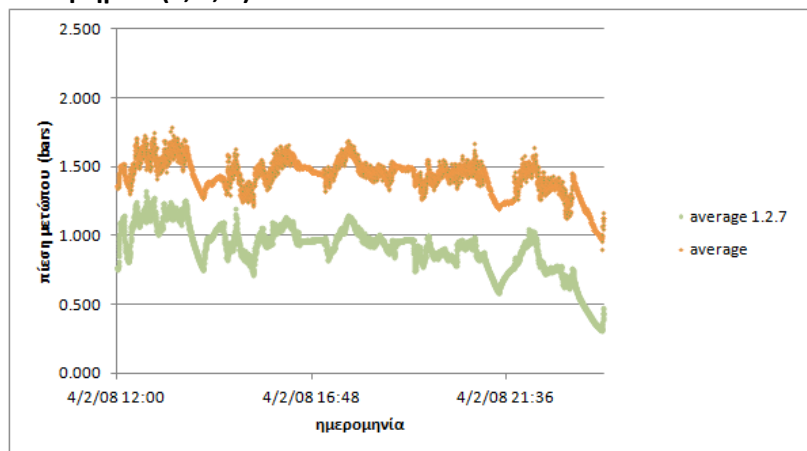
7.2 Πίεση Μετώπου

Η πίεση μετώπου καταγραφόταν ανά είκοσι (20) δευτερόλεπτα από επτά διαφορετικούς αισθητήρες (Εικόνα 7.1). Παρόλα αυτά, η Αττικό Μετρό Α.Ε. υπέδειξε ότι τρεις αισθητήρες κατέγραφαν πιο αξιόπιστα δεδομένα· οι αισθητήρες ένα (1), δύο (2) και επτά (7) και πρότεινε τη χρήση των τιμών που κατέγραφαν ως πιο αντιπροσωπευτικές. Κατά μέσο όρο, οι μέσες τιμές που καταγράφηκαν από τους τρεις αυτούς αισθητήρες ήταν κατά 42% μικρότερες από τις μέσες τιμές που κατέγραφαν και οι επτά αισθητήρες, γεγονός που εξηγείται από τη θέση των τριών αισθητήρων στην άνω ημιδιατομή (Εικόνα 7.4), όπου η πίεση που δέχεται και ασκεί το μηχάνημα είναι μικρότερες. Η σύγκριση των παραπάνω μέσων τιμών παρουσιάζεται στο Διάγραμμα 7.1.



Εικόνα 7.4 Κατανομή πίεσης στην κεφαλή (Πηγή: Madl et al., 2012)

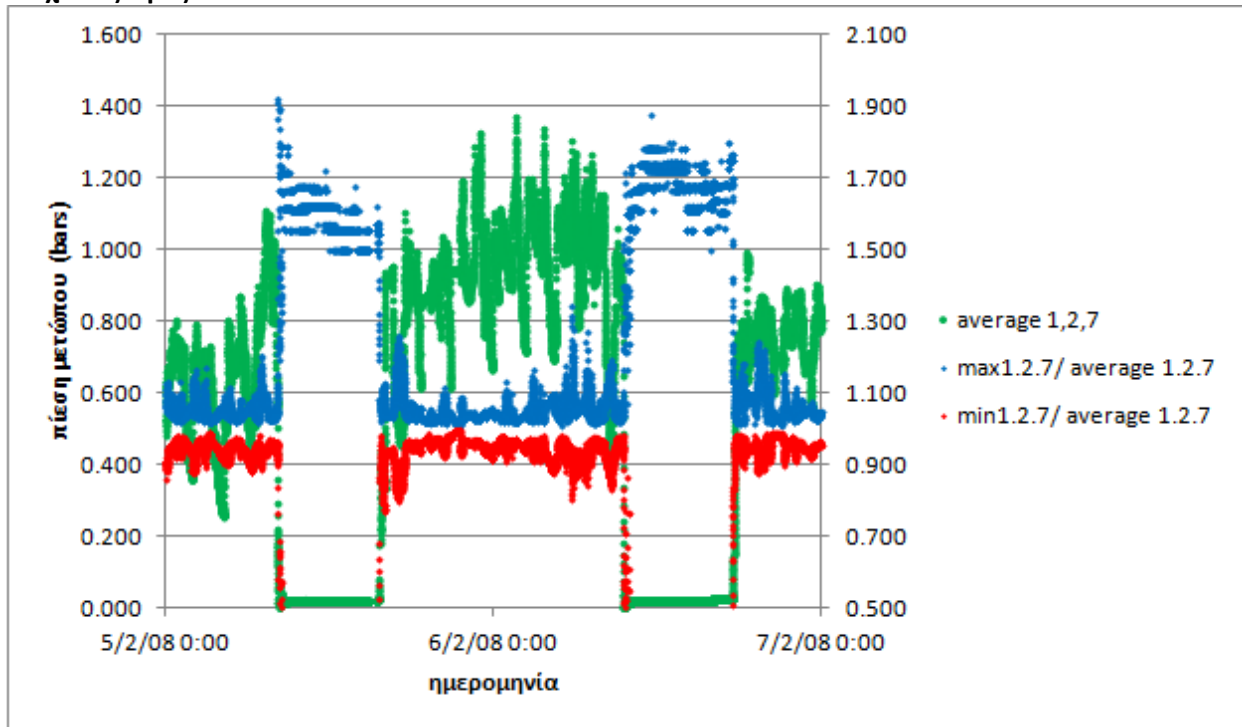
Διάγραμμα 7.1 Αντιπαραβολή μέσων τιμών πίεσης όλων των αισθητήρων σε σχέση με τις τιμές των τριών πιο αξιόπιστων αισθητήρων (1, 2, 7)



Κατά τη διάρκεια της αξιολόγησης των τιμών της πίεσης μετώπου η διερεύνηση επικεντρώθηκε στο μέσο όρο των τιμών των τριών πιο αξιόπιστων αισθητήρων. Οι μέγιστες τιμές που καταγράφηκαν από τους αισθητήρες αυτούς στην περιοχή όπου σημειώθηκαν οι καθιζήσεις ήταν μεγαλύτερη κατά μέσο όρο 11% από την αντίστοιχη μέση τιμή, ενώ οι μέγιστη και η ελάχιστη απόκλιση που σημειώθηκε ήταν της τάξης του 75% και 0% όταν οι τιμές ταυτίζονταν. Οι ελάχιστες τιμές που καταγράφηκαν στην εν λόγω περιοχή ήταν μικρότερες κατά 14% κατά μέσο όρο από τη μέση τιμή, ενώ η απόκλιση αυτή μηδενιζόταν στις περιπτώσεις που η πίεση μηδενιζόταν, και οι μέση και ελάχιστη τιμή ταυτίζονταν. Όταν μονάχα η ελάχιστη τιμή μηδενιζόταν, τότε η απόκλιση έφτανε το 100%. Στο Διάγραμμα 7.2

παρουσιάζεται η μέση πίεση μετώπου όπως αυτή καταγράφηκε από τους αισθητήρες (1), (2) και (7), καθώς και η συσχέτισή της με τις αντίστοιχες μέγιστες και ελάχιστες τιμές. Συγκεκριμένα, στο δεξιό κατακόρυφο άξονα παρουσιάζονται οι λόγοι της μέγιστης και ελάχιστης τιμής της πίεσης μετώπου κανονικοποιημένες ως προς τη μέση τιμή.

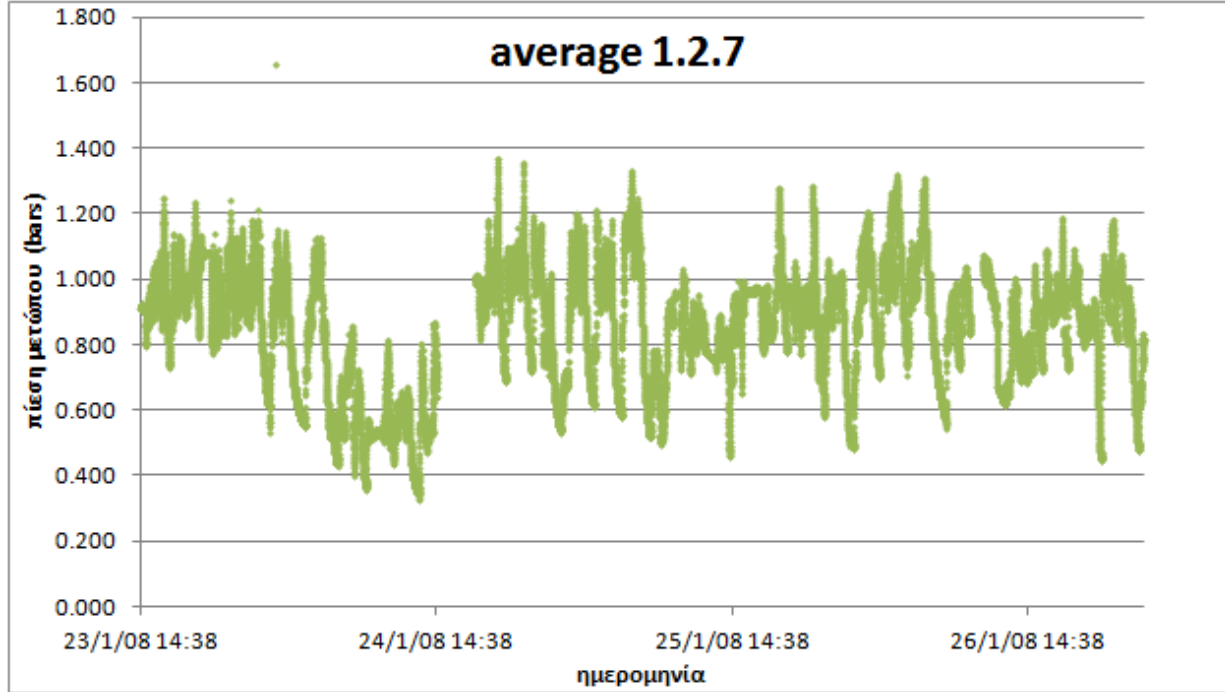
Διάγραμμα 7.2 Μέση πίεση μετώπου (αισθητήρες 1, 2, 7), και αντιπαραβολή με μέγιστες και ελάχιστες τιμές



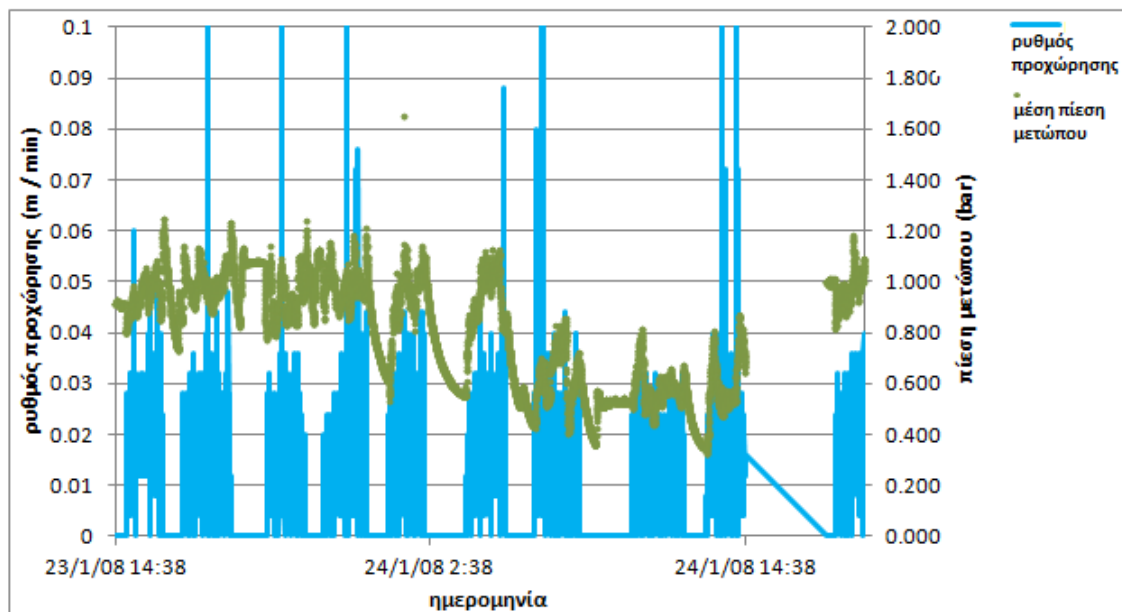
Η πίεση μετώπου κατά τη διάνοιξη δεν ήταν σταθερή και παρουσίαζε διακύμανση μεγάλου εύρους, η οποία εκ πρώτης όψεως δεν ήταν απόλυτα κατανοητή (Διάγραμμα 7.3). Στη συνέχεια, όταν έγινε αντιπαραβολή της πίεσης μετώπου με το ρυθμό προχώρησης (Διάγραμμα 7.4), έγινε φανερό ότι η τακτή απότομη πτώση της συνδεόταν με τη διακοπή της προχώρησης του μηχανήματος μετά την ολοκλήρωση εκσκαφής του κάθε δακτυλίου. Αντίστοιχα, η γρήγορη επαναφορά και σχετική σταθεροποίηση της πίεσης σε υψηλότερες τιμές για περιορισμένο χρονικό διάστημα αντιστοιχούσε στην επαναλειτουργία του TBM-EPB. Η μορφή αυτή θεωρήθηκε ιδιαίτερη, καθώς σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, πίεση μετώπου διατηρείται

πάντα, ακόμη κι αν το μηχάνημα είναι σταματημένο είτε με το θάλαμο πληρωμένο με υλικό εκσκαφής, είτε με πεπιεσμένο αέρα στο θάλαμο (Madl *et al.*, 2012).

Διάγραμμα 7.3 Ενδεικτική διακύμανση μέσω των τιμών πίεσης μετώπου (αισθητήρες 1, 2, 7)



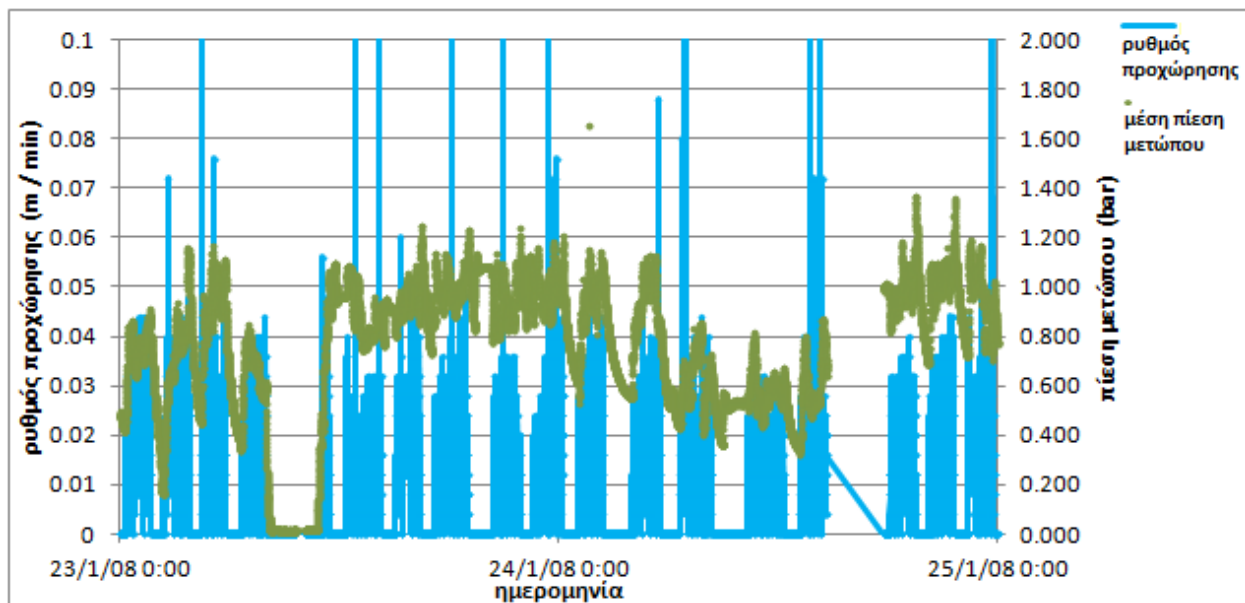
Διάγραμμα 7.4 Αντιπαραβολή πίεσης μετώπου TBM-EPB με ρυθμό προχώρησης



Στο Παράρτημα ΙΙΙ παρουσιάζονται αναλυτικά οι μέσες πιέσεις μετώπου, όπως αυτές καταγράφηκαν από τους αισθητήρες 1, 2 και 7, καλύπτοντας το χρονικό διάστημα μεταξύ 18/1/2008 και 15/2/2008. Οι καταγραφές αυτές μελετήθηκαν σε σχέση με το ημερολόγιο του έργου σύμφωνα με το έγγραφο 2TS4CW180R904A, το οποίο δόθηκε από την Αττικό Μετρό Α.Ε. Με βάση το ημερολόγιο έργου είναι σε ένα βαθμό δυνατή η επεξήγηση των τιμών της πίεσης μετώπου.

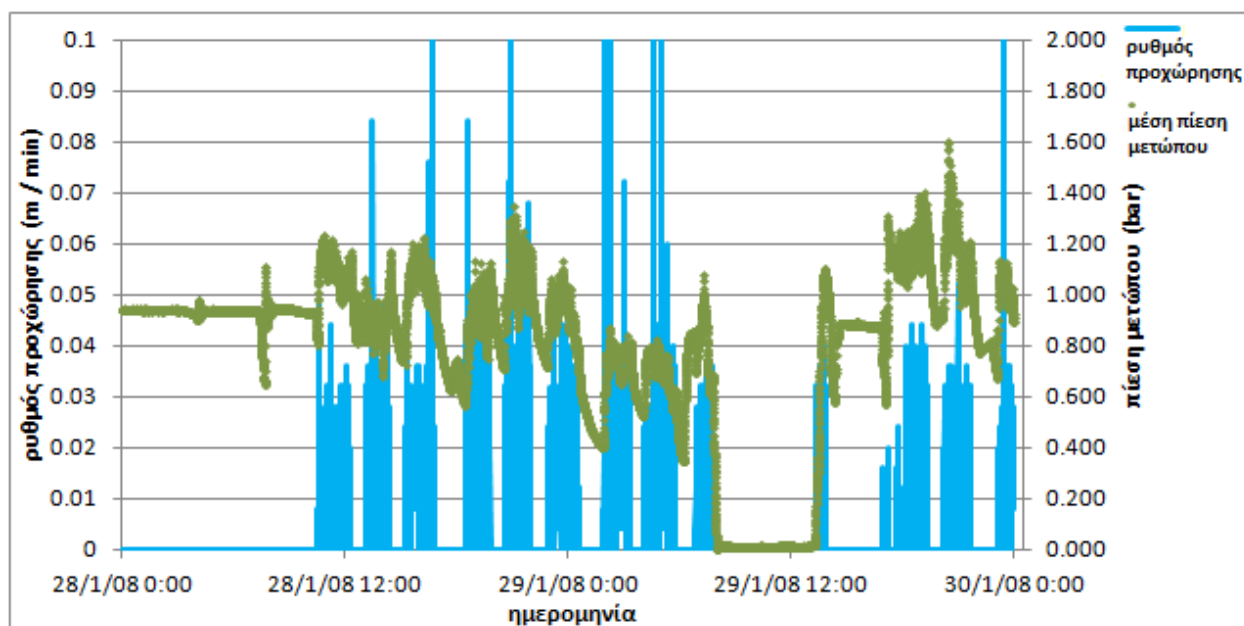
Κατά το δεύτερο μισό της 19/1/2008 καθώς και ολόκληρη τη 20/1/2008 δεν πραγματοποιήθηκε αποστολή των δεδομένων του TBM, σύμφωνα με το ημερολόγιο έργου, γεγονός που δικαιολογεί την απουσία καταγραφών στο συγκεκριμένο τμήμα. Στις 23/1/2008 παρατηρείται πτώση της πίεσης μετώπου στο μηδέν, καθώς πραγματοποιήθηκε συντήρηση της κοπτικής κεφαλής, γεγονός που συμβαδίζει με την καθυστέρηση στην προχώρηση, που αντανακλάται από τις καταγραφές της Χ.Θ. της κεφαλής. Στις 24/1/2008 εμφανίζεται μία διακοπή των δεδομένων που καταγράφηκαν μεταξύ των 14:48 και 17:45, οι οποίες δεν επεξηγούνται στο ημερολόγιο του έργου. Οι ημέρες 23/1/2008 και 24/1/2008 παρουσιάζονται με μεγαλύτερη ανάλυση στο Διάγραμμα 7.5.

Διάγραμμα 7.5 Διακύμανση πίεσης μετώπου κατά τις 23/1/2008 – 24/1/2008 και αντιπαραβολή με το ρυθμό προχώρησης



Στις 28/1/2008 καταγράφηκε στο ημερολόγιο έργου ότι δεν πραγματοποιήθηκε εκσκαφή μέχρι τις 12:17, κάτι που συνάπτει με τη σταθερή πίεση που καταγράφηκε στο διάστημα αυτό. Στις 29/1/2008 παρατηρείται πτώση της πίεσης μετώπου στο μηδέν, η οποία δεν επεξηγείται από το ημερολόγιο έργου, αλλά συμβαδίζει με καθυστέρηση στην προχώρηση, που αντανακλάται από τις καταγραφές της Χ.Θ. της κεφαλής. Συγκεκριμένα, στις 5:47 η κεφαλή βρισκόταν στη Χ.Θ. 13+194.88 με την αμέσως επόμενη καταγραφή να πραγματοποιείται στις 13:55, στη Χ.Θ. 13+193.26. Οι καταγραφές των παραπάνω δύο ημερών παρουσιάζονται σε μεγαλύτερη ανάλυση στο Διάγραμμα 7.6.

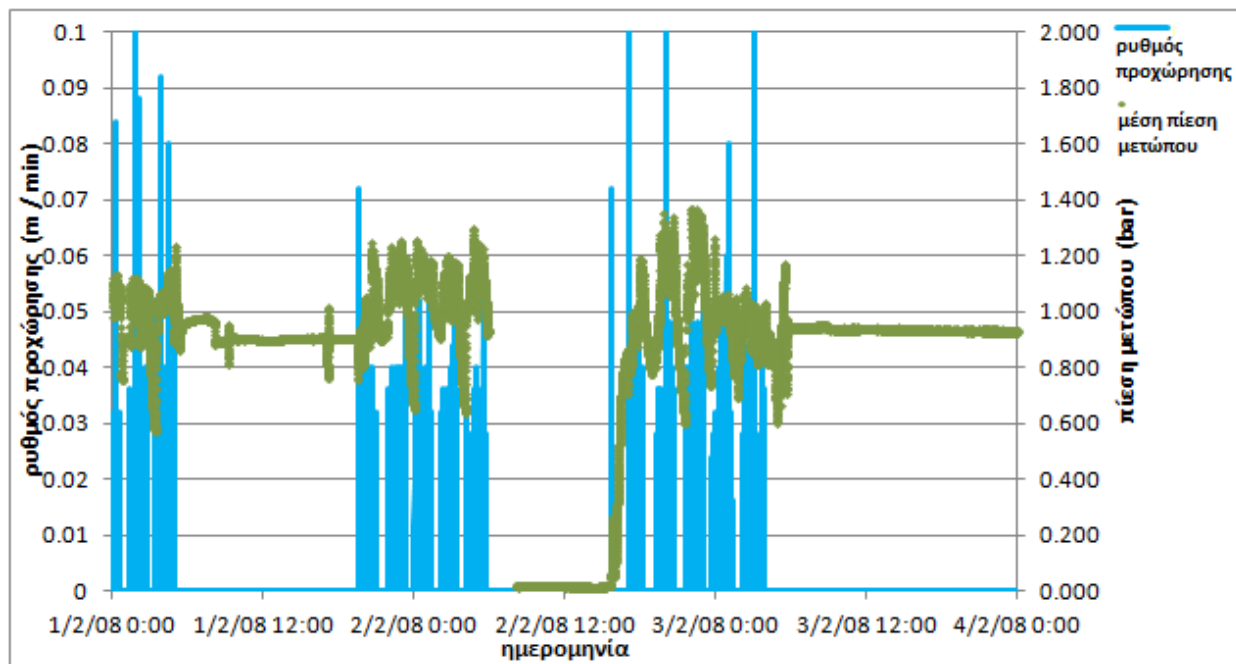
Διάγραμμα 7.6 Διακύμανση πίεσης μετώπου κατά τις 28/1/2008 – 29/1/2008 και αντιπαραβολή με το ρυθμό προχώρησης



Στις 1/2/2008 φαίνεται να υπήρξε καθυστέρηση κατά την εκσκαφή, που διαφαίνεται από τις καταγραφές της Χ.Θ. της κεφαλής στο ημερολόγιο του έργου. Το μηχάνημα βρισκόταν στη Χ.Θ. 13+157.25 στις 4:56. Η αμέσως επόμενη καταχώρηση το εντοπίζει στη Χ.Θ. 13+157.25 στις 21:00. Η καθυστέρηση αυτή αντιστοιχίζεται με σταθερή πίεση μετώπου εκείνο το διάστημα. Στις 2/2/2008, η πίεση μετώπου δεν καταγράφεται για ένα σύντομο διάστημα και στη συνέχεια γίνεται ίση με μηδέν για περίπου έξι ώρες. Το γεγονός αυτό δεν επεξηγείται στο ημερολόγιο έργου, αλλά συμβαδίζει με την προχώρηση του TBM-EPB, η οποία φαίνεται να

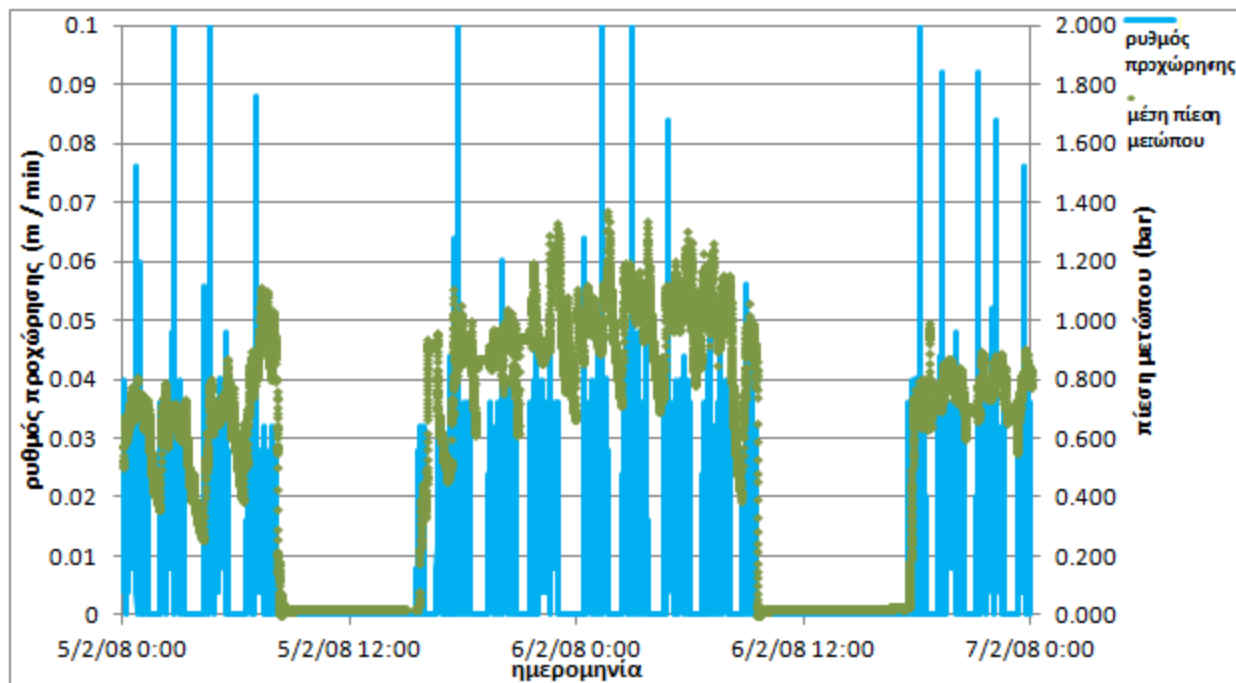
σημειώνει καθυστέρηση. Συγκεκριμένα, στις 5:40 η κεφαλή βρισκόταν στη Χ.Θ. 13+149.97 με την αμέσως επόμενη καταγραφή να πραγματοποιείται στις 15:45 στη Χ.Θ. 13+148.38. Στις 3/2/2008, καταχωρείται στο ημερολόγιο έργου ότι δεν πραγματοποιήθηκε εκσκαφή, κάτι που διαφαίνεται στις καταγραφές των δεδομένων του TBM-EPB από τη σταθερή πίεση μετώπου. Οι καταγραφές των παραπάνω τριών ημερών παρουσιάζονται σε μεγαλύτερη ανάλυση στο Διάγραμμα 7.7.

Διάγραμμα 7.7 Διακύμανση πίεσης μετώπου κατά τις 1/2/2008 – 3/2/2008 και αντιπαραβολή με το ρυθμό προχώρησης



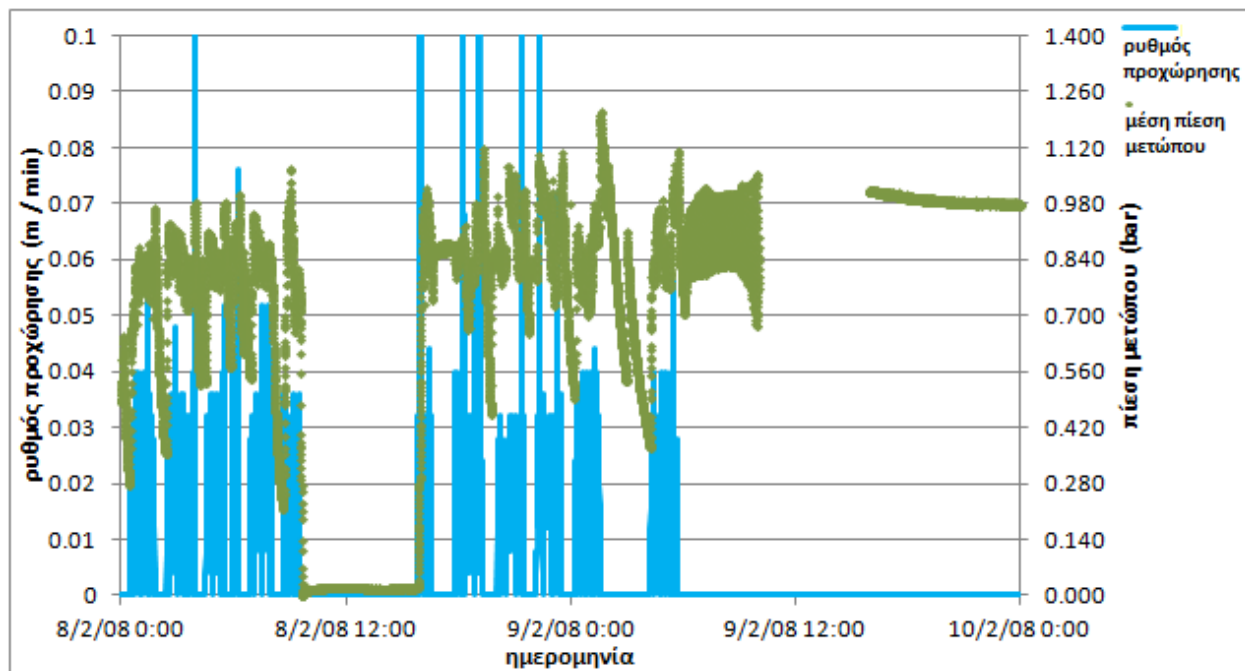
Στις 5/2/2008, η πίεση μετώπου παραμένει ίση με μηδέν για περίπου επτά ώρες. Το γεγονός αυτό δεν επεξηγείται στο ημερολόγιο έργου, αλλά συμβαδίζει με την προχώρηση του TBM-EPB, η οποία φαίνεται να σημειώνει καθυστέρηση. Συγκεκριμένα, στις 5:31 η κεφαλή βρισκόταν στη Χ.Θ. 13+125.98 με την αμέσως επόμενη καταγραφή να πραγματοποιείται στις 15:54 στη Χ.Θ. 13+124.98. Παρόμοια κατάσταση παρατηρήθηκε και στις 6/2/2008, με μηδενισμό της πίεσης μετώπου με την κεφαλή να βρίσκεται στις Χ.Θ. 13+115.47 στις 8:02 και Χ.Θ. 13+113.97 στις 18:25. Οι καταγραφές των παραπάνω δύο ημερών παρουσιάζονται σε μεγαλύτερη ανάλυση στο Διάγραμμα 7.8.

Διάγραμμα 7.8 Διακύμανση πίεσης μετώπου κατά τις 5/2/2008 – 6/2/2008 και αντιπαραβολή με το ρυθμό προχώρησης



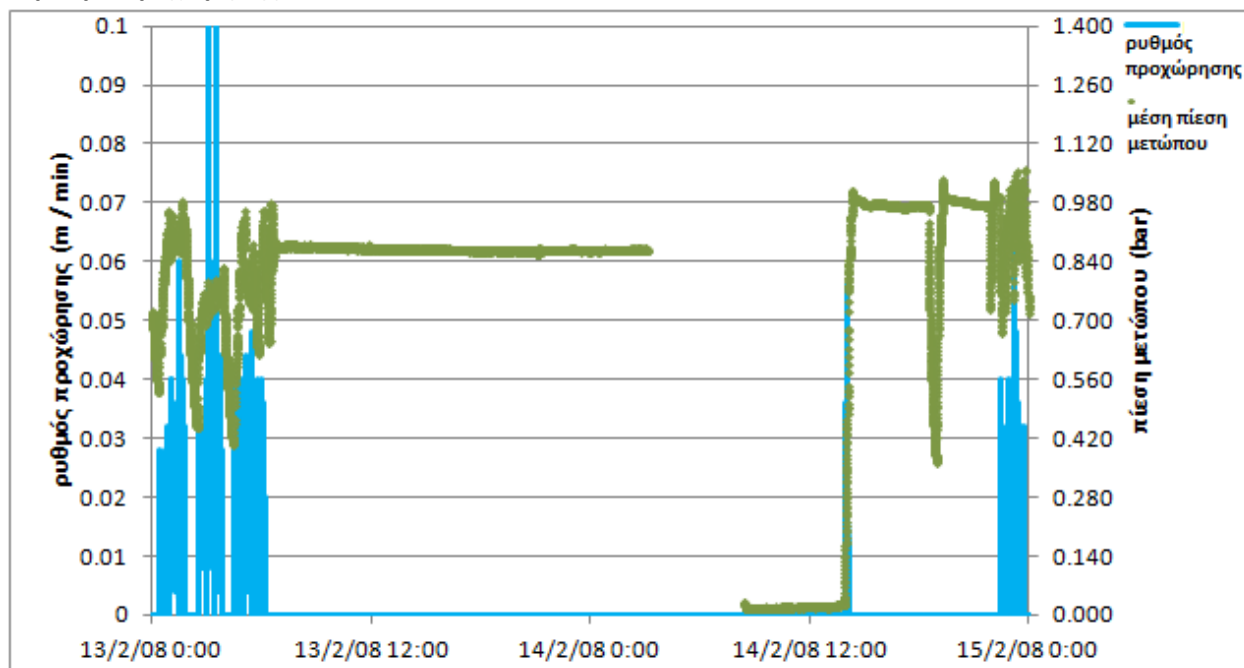
Στις 8/2/2008, η πίεση μετώπου παραμένει ίση με μηδέν για περίπου έξι ώρες. Το γεγονός αυτό δεν επεξηγείται στο ημερολόγιο έργου, αλλά συμβαδίζει με την προχώρηση του TBM-EPB, η οποία φαίνεται να σημειώνει καθυστέρηση. Συγκεκριμένα, στις 8:04 η κεφαλή βρισκόταν στη Χ.Θ. 13+088.48 με την αμέσως επόμενη καταγραφή να πραγματοποιείται στις 16:34 στη Χ.Θ. 13+086.99. Στις 9/2/2008 φαίνεται να διακόπτεται η καταγραφή των δεδομένων για την πίεση μετώπου, η οποία εμφανίζεται μετά σταθερή, όπως και παραμένει έως και τις 10/2/2008. Τις ημέρες εκείνες σημειώνεται στο ημερολόγιο έργου ότι δεν πραγματοποιήθηκε εκσκαφή, το οποίο υποθέτουμε ότι οφείλεται στο γεγονός ότι η 10/2/2008 αποτελούσε αργία (Καθαρά Δευτέρα). Επομένως η σταθερή πίεση μετώπου είναι δικαιολογημένη. Οι καταγραφές των παραπάνω δύο ημερών παρουσιάζονται σε μεγαλύτερη ανάλυση στο Διάγραμμα 7.9.

Διάγραμμα 7.9 Διακύμανση πίεσης μετώπου κατά τις 8/2/2008 – 9/2/2008 και αντιπαραβολή με το ρυθμό προχώρησης



Τέλος, στις 13/2/2008 η εκσκαφή φαίνεται να σταματάει στις 6:09, υπόθεση που προκύπτει τόσο από τη σταθερή πίεση μετώπου κατά την υπόλοιπη ημέρα, αλλά και τη μη περεταίρω καταγραφή στοιχείων στο ημερολόγιο έργου την ημέρα εκείνη. Την επόμενη μέρα, στις 14/2/2008 σημειώνεται στο ημερολόγιο έργου ότι δεν πραγματοποιήθηκε εκσκαφή το πρωί. Οι μοναδικές καταγραφές της ημέρας σε σχέση με τη Χ.Θ. της κεφαλής του TBM συνέβησαν στις 8:25 και 23:46, στις Χ.Θ. 13+047.49 και 13+042.22 αντίστοιχα. Την ίδια ημέρα, η πίεση μετώπου καταγράφηκε αρχικά σταθερή, έπειτα υπήρξε διακοπή των δεδομένων, για να ακολουθήσει μηδενισμός της πίεσης, αύξηση της, σταθεροποίηση, απότομη πτώση, νέα αύξηση και σταθεροποίηση, για να καταλήξει σε φυσιολογική διακύμανση. Ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι η προχώρηση δείχνει να αυξάνεται μαζί με την πίεση λίγο μετά τις 12:00 για να μειωθεί ξανά απότομα και να παραμείνει ίση με μηδέν μέχρι τις 22:30 περίπου. Δυστυχώς δεν υπάρχει λεπτομερής σχολιασμός στο ημερολόγιο έργου που να επεξηγεί ακριβώς όσα έλαβαν χώρα την ημέρα αυτή. Οι καταγραφές των παραπάνω δύο ημερών παρουσιάζονται σε μεγαλύτερη ανάλυση στο Διάγραμμα 7.10.

Διάγραμμα 7.10 Διακύμανση πίεσης μετώπου κατά τις 13/2/2008 – 14/2/2008 και αντιπαραβολή με το ρυθμό προχώρησης

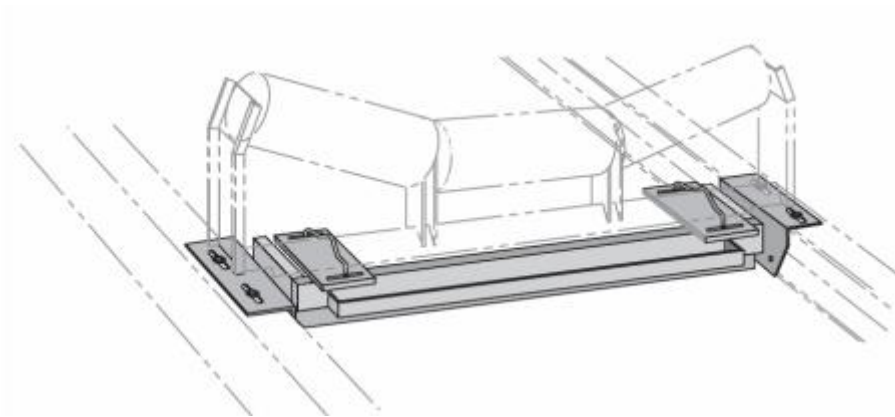


Το ερώτημα που προκύπτει αφορά στην πίεση μετώπου στις περιπτώσεις που το TBM-EPB παραμένει στάσιμο. Παρόλο που συχνά η πίεση μετώπου παραμένει σταθερή όπως αναμενόταν, υπάρχουν φορές που η πίεση φαίνεται να μηδενίζεται, και να διατηρεί τη μηδενική αυτή τιμή για αρκετές ώρες, γεγονός που με τα υφιστάμενα στοιχεία δε μπορεί να τεκμηριωθεί.

Η μέση τιμή της πίεσης μετώπου που ασκήθηκε στην περιοχή όπου εκδηλώθηκαν οι καθιζήσεις ήταν 0.799 bar, μικρότερη από εκείνη στην υπόλοιπη περιοχή μελέτης (1.2 – 1.5 bar) και σίγουρα μικρότερη από την προβλεπόμενη (1.5 – 1.9 bar), σύμφωνα με το έγγραφο 2TS4CW180R904A της Αττικό Μετρό Α.Ε. Σε θέσεις οι τιμές που καταγράφηκαν ήταν μικρότερες των 0.5 bar, για περιορισμένο όμως χρονικό διάστημα.

7.3 Θεωρητικό και Πραγματικό Βάρος

Είναι απαραίτητο κατά τη διάρκεια της διάνοιξης να πραγματοποιείται συνεχής μέτρηση και παρακολούθηση του όγκου του εκσκαπτόμενου υλικού σε σχέση με την προχώρηση του TBM-EPB. Η καταμέτρηση στην περίπτωση της επέκτασης προς Ελληνικό πραγματοποιήθηκε μέσω συστήματος μεταφορικών ταινιών. Το σύστημα μεταφορικών ταινιών είναι εγκατεστημένο στο μεταφορικό ιμάντα (Εικόνα 7.5). Το σύστημα έχει ενσωματωμένη ζυγαριά, με κυψέλες μέτρησης πίεσης, που καταμετρά το βάρος του υλικού που διέρχεται. Το βάρος του υλικού εξασκεί μία δύναμη μέσω του ατέρμονα κοχλία στα δυναμικό πλαίσιο. Το δυναμικό πλαίσιο στη συνέχεια υποχωρεί αναλογικά με το βάρος. Τα παραμορφωσιόμετρα μετρούν την κίνηση στις κυψέλες μέτρησης πίεσης και τη μετατρέπουν αναλογικά στο βάρος του εκσκαπτόμενου υλικού (Slinchenko, 2009). Στην περίπτωση του Ελληνικού, η ταχύτητα κίνησης του συστήματος μεταφορικών ταινιών είχε ταχύτητα κίνησης 2.0 m/s (Κουκουτάς κ.α., 2010).

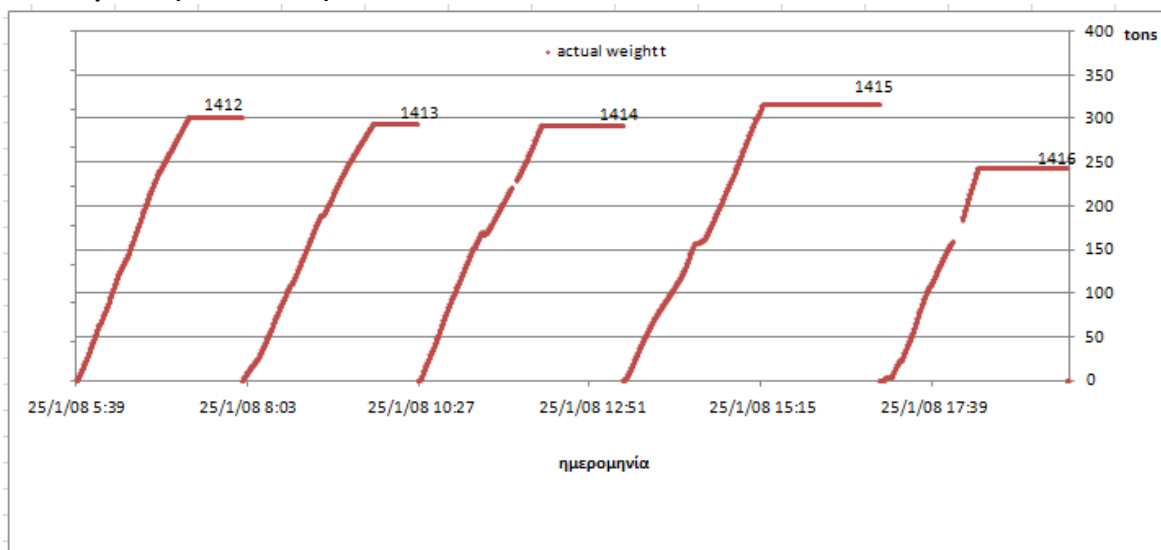


Εικόνα 7.5 Σύστημα μεταφορικών ταινιών (Πηγή Slinchenko, 2009)

Στα δεδομένα που παραχωρήθηκαν από την Αττικό Μετρό Α.Ε. υπάρχει αναλυτική καταγραφή του θεωρητικού και του πραγματικού βάρους σε σχέση με το χρόνο, ανά είκοσι (20) δευτερόλεπτα. Το θεωρητικό βάρος αντιστοιχεί στις μετρήσεις που ανέμενε η Αττικό Μετρό Α.Ε. με βάση τα ειδικά βάρη που είχαν θεωρηθεί κατά τη μελέτη για τον κάθε σχηματισμό. Το πραγματικό βάρος αφορά στο βάρος που όντως μετρήθηκε κατά την εκσκαφή. Και στις δύο περιπτώσεις, το βάρος καταμετρήθηκε αθροιστικά, καθώς γέμιζε με εκσκαπτόμενο υλικό ο

θάλαμος, μέχρι να ολοκληρωθεί η τοποθέτηση του εκάστοτε δακτυλίου. Για το λόγο αυτό, οι τιμές παρουσιάζουν μία αυξητική πορεία μέχρι τη σταθεροποίησή τους (Διάγραμμα 7.11).

Διάγραμμα 7.11 Πραγματικό βάρος σε συνάρτηση με το χρόνο και σε αντιστοιχία με τοποθετούμενους δακτυλίους



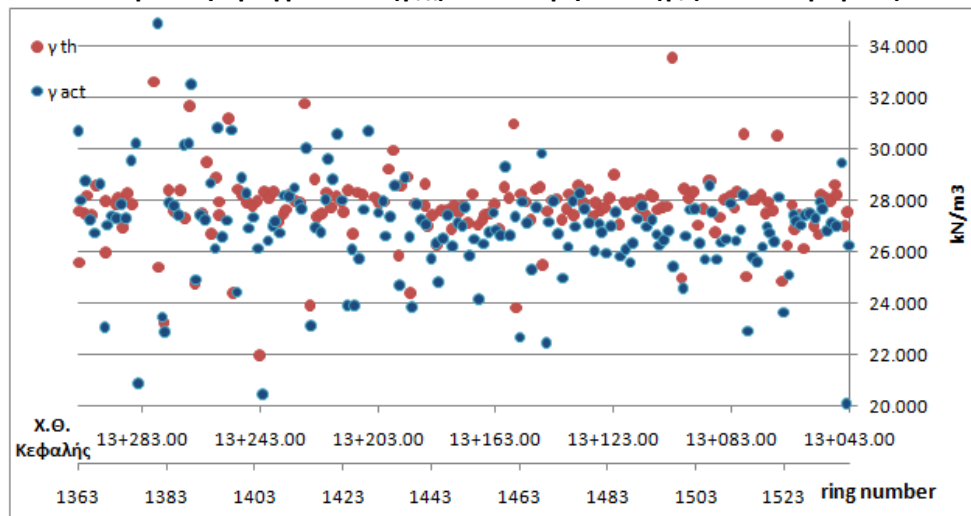
Στην περιοχή όπου σημειώθηκαν οι καθιζήσεις τοποθετήθηκαν 175 δακτύλιοι, με κωδικούς αριθμούς από 1363 έως 1538. Δεν έχουν καταγραφεί δεδομένα για τους δακτυλίους 1378 - 1380. Οι περισσότερες τιμές πραγματικού βάρους που μετρήθηκαν στην περιοχή προσεγγίζουν τους 300 τόνους, με μέσο όρο 211.9 t. Υπήρξαν 24 δακτύλιοι που υπερέβησαν τους 300 t, με απόκλιση κατά μέσο όρο 12%. Η μέγιστη τιμή που μετρήθηκε αντιστοιχεί στο δακτύλιο 1430 με τιμή 601.8 t, τιμή που οφείλεται στον μη μηδενισμό και επανεκκίνησης της καταγραφής μετά το πέρας της εκσκαφής για την τοποθέτηση του προηγούμενου δακτυλίου. Οι υπόλοιπες τιμές ήταν κατά 7% μικρότερες, κατά μέσο όρο, από τους 300 t, με μικρότερη καταγεγραμμένη τιμή τους 211 t.

Το θεωρητικό βάρος ποικίλει ανά θέση καθώς αν και αντιστοιχεί στο θεωρητικό όγκο εκσκαφής πολλαπλασιασμένο επί το ειδικό βάρος που είχε θεωρηθεί κατά το σχεδιασμό, το οποίο είναι πρακτικώς σταθερό για κάθε σχηματισμό, αλλά μεταβάλλεται μεταξύ των διαφορετικών σχηματισμών, ωστόσο ο όγκος του εκσκαπτόμενου υλικού επιβαρύνεται από τα πρόσμικτα (αφρός και νερό) που προστίθενται για την παραγωγή του ομοιογενούς δείγματος. Το βάρος των πρόσμικτων μεταβάλλεται με βάση τις απαιτήσεις κατά την εκσκαφή του κάθε

δακτυλίου και επομένως για τον ίδιο σχηματισμό το θεωρητικό βάρος παρουσιάζει διακυμάνσεις και δεν παραμένει σταθερό.

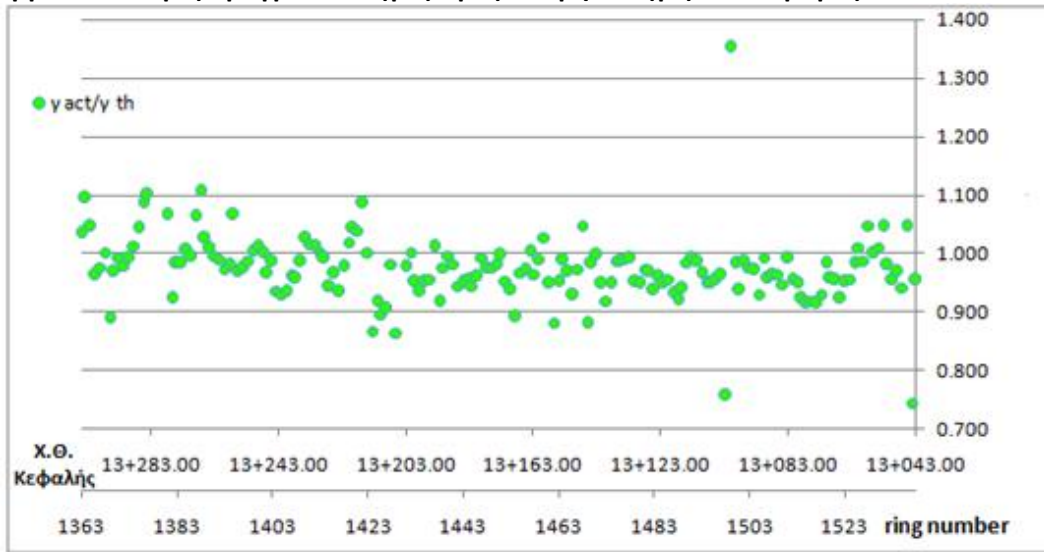
Στη συνέχεια το πραγματικό βάρος που μετρήθηκε ανάχθηκε σε πραγματικό ειδικό βάρος (γ_{act}), θεωρώντας τον όγκο που αντιστοιχεί σε ένα γεμάτο δακτύλιο ($D_{κοπτικής\ κεφαλής} = 9.47\text{ m}$, $I_{στοιχείων\ επένδυσης} = 1.5\text{ m}$, $V_{δακτυλίου} = 105.653\text{ m}^3$). Το ίδιο συνέβη για το θεωρητικό βάρος (γ_{th}). Κατά μέσο όρο, το πραγματικό βάρος έλαβε την τιμή 27.276 KN/m^3 , ενώ το θεωρητικό την τιμή 27.852 KN/m^3 . Η διακύμανση των δύο αυτών τύπων ειδικού βάρους παρουσιάζεται στο Διάγραμμα 7.12.

Διάγραμμα 7.12 Διακύμανση πραγματικού (γ_{act}) και θεωρητικού (γ_{th}) ειδικού βάρους

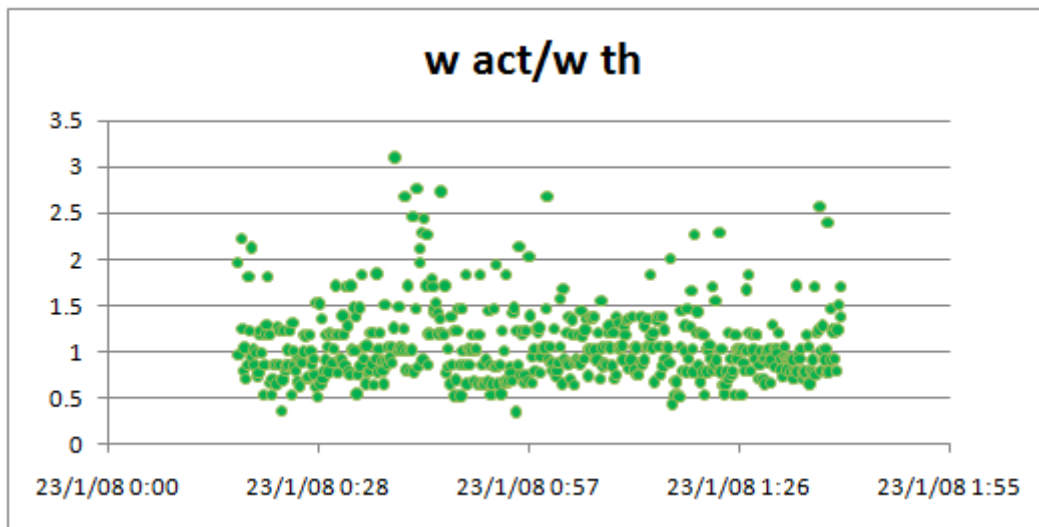


Ο λόγος των δύο ειδικών βαρών ($\gamma_{act} / \gamma_{th}$) (Διάγραμμα 7.13) είχε μέσο όρο 0.978 και τυπική απόκλιση 0.070. Αξίζει να σημειωθεί ότι η μεγάλη αυτή σύγκλιση αποτελεί στο γεγονός ότι κάθε μετρούμενη τιμή στην πραγματικότητα ισούται με την αμέσως προηγούμενη τιμή, αυξημένη κατά το βάρος του επιπλέον υλικού που εκσκάφτηκε στο μεταξύ. Έτσι η απόκλιση της τιμής του πραγματικού από το θεωρητικό βάρος μικραίνει όσο πλησιάζει η ολοκλήρωση του κάθε δακτυλίου. Στην πραγματικότητα η απόκλιση του λόγου της κάθε προσαύξησης του βάρους παρουσιάζει μεγάλη διακύμανση κατά τη διάρκεια τοποθέτησης του κάθε δακτυλίου (Διάγραμμα 7.14).

Διάγραμμα 7.13 Λόγος πραγματικού (γ_{act}) προς θεωρητικό (γ_{th}) ειδικό βάρος



Διάγραμμα 7.14 Λόγος προσαύξησης πραγματικού (w_{act}) προς θεωρητικό (w_{th}) βάρος για τον δακτύλιο 1392

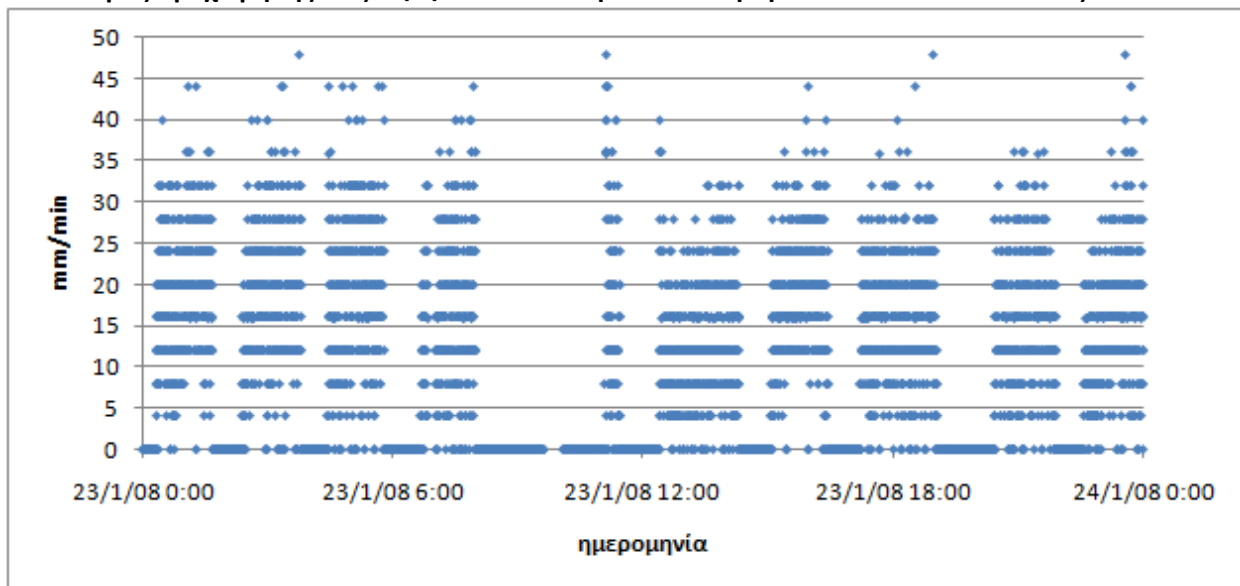


Τα στοιχεία που αποκομίσαμε σε σχέση με το πραγματικό και θεωρητικό βάρος δε βοήθησαν στον εντοπισμό υπερεκσκαφών. Το γεγονός αυτό δεν αποτελεί ιδιάζον χαρακτηριστικό της εν λόγω διάνοιξης καθώς, σε κάθε διάνοιξη, τα στοιχεία που αφορούν το βάρος του εκσκαπόμενου υλικού δε θεωρούνται απόλυτα αξιόπιστα (Babendererde & Babendererde, 2007). Ο λόγος είναι ότι οι μετρήσεις επηρεάζονται από τη ειδικό βάρος του εκσκαπόμενου υλικού, τη γωνία, το πλάτος το πάχος και την τάση του μεταφορικού ιμάντα, καθώς και την εκκεντρότητα των τροχαλιών, και θα πρέπει να αξιολογούνται σε συνδυασμό πάντα με τα υπόλοιπα καταγεγραμμένα δεδομένα (πίεση μετώπου, κλπ) (Banerjee *et al.*, 2013).

7.4 Ρυθμός Προχώρησης

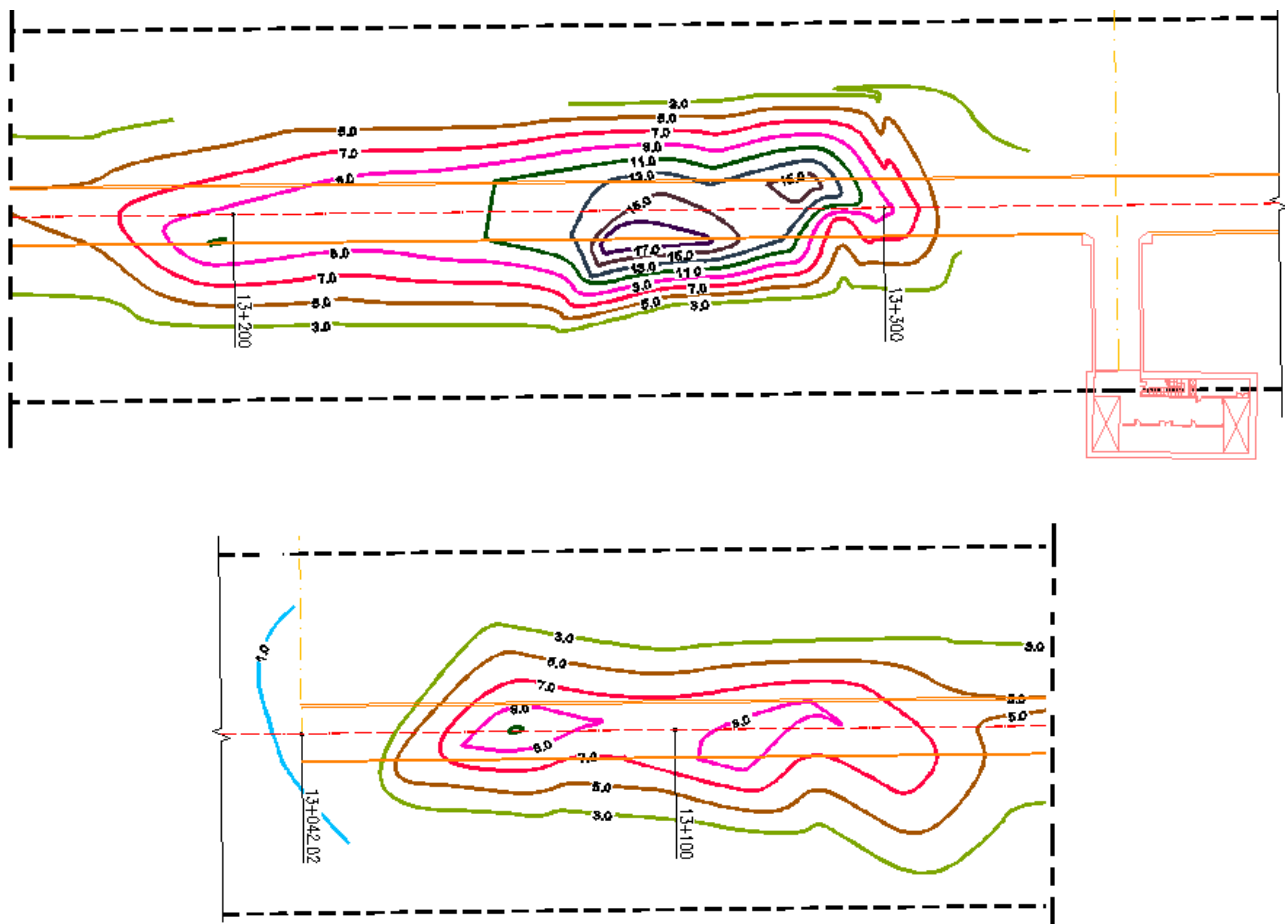
Ο ρυθμός προχώρησης κατά την εκσκαφή του τμήματος όπου σημειώθηκαν οι καθιζήσεις παρουσίασε μία γενικά σταθερή διακύμανση, όπως για παράδειγμα φαίνεται στο Διάγραμμα 7.15 που αφορά στις 23/1/2008. Κάθε φορά, για την εκσκαφή των 1.5 m που απαιτούνται για την τοποθέτηση του εκάστοτε δακτυλίου, η προχώρηση ξεκινούσε από μηδενική τιμή, και σταδιακά αύξανε μέχρι να φτάσει τη μέγιστη τιμή, που κατά μέσο όρο για στη περιοχή ήταν ίση με 48.06 mm/min, για να επανέλθει ξανά σταδιακά στη μηδενική τιμή, την οποία διατηρούσε κατά την τοποθέτηση του κάθε δακτυλίου. Σημειώνεται ότι καταγράφηκαν κάποιες ακραία μεγάλες τιμές των οποίων ο μέσος όρος στη περιοχή μελέτης ήταν 244.8 mm/min. Οι τιμές αυτές δε μπορούν να θεωρηθούν αξιόπιστες, καθώς το 99.72% των μη μηδενικών τιμών προχώρησης ήταν μικρότερο από 50 mm/min. Ο μέσος ρυθμός προχώρησης στη περιοχή υπολογίστηκε σε 19.85 mm/min, που αντιστοιχούν σε 1.19 m/h. Θεωρώντας ότι ο χρόνος διάτρησης σε μία εργάσιμη μέρα αντιστοιχεί σε 6 ώρες, με δεδομένο ότι ο χρόνος διάτρησης αντιστοιχεί στο 25% του χρόνου στο έργο, (Κουκουτάς κ.α., 2010), η μέση προχώρηση στη περιοχή όπου εκδηλώθηκαν οι καθιζήσεις προκύπτει ίση με 7.14 m/day. Παρατηρούμε λοιπόν ότι η προχώρηση στην περιοχή αυτή ήταν μικρότερη με τη μέση ημερήσια προχώρηση σε ολόκληρο το έργο που ισούται με 12.4 m/day (Κουκουτάς κ.α., 2010).

7.15 Ρυθμός προχώρησης στις 23/1/2008 κατά την τοποθέτηση των δακτυλίων 1391 έως 1400



7.5 Εξέλιξη Καθιζήσεων

Στη φάση συγγραφής την παρούσας διπλωματικής εργασίας, τα μόνα στοιχεία σχετικά με τη χρονική εξέλιξη των καθιζήσεων στην περιοχή προέρχονται από το σχέδιο 2TS4CW180C007A_5 που δόθηκε από την Αττικό Μετρό Α.Ε. Στο σχέδιο αυτό παρουσιάζονται για έντεκα διαφορετικές ημέρες του έτους 2008 (18/1, 20/01, 24/01, 27/01, 29/01, 31/01, 3/02, 6/02, 8/02, 9/02 και 15/02) οι καθιζήσεις στη γύρω περιοχή, καθώς και η Χ.Θ. της κεφαλής εκείνη τη στιγμή. Στο Παράρτημα ΙV παρουσιάζονται αναλυτικά οι καθιζήσεις που αντιστοιχούν στην κάθε μέρα. Η τελική μορφή των καθιζήσεων παρουσιάζεται στην Εικόνα 7.6.



Εικόνα 7.6 Τελική διαμόρφωση καθιζήσεων, Χ.Θ. Κεφαλής 13+042, 15/02/2008 (Πηγή: Αττικό Μετρό Α.Ε. (2TS4CW180C007A_5))

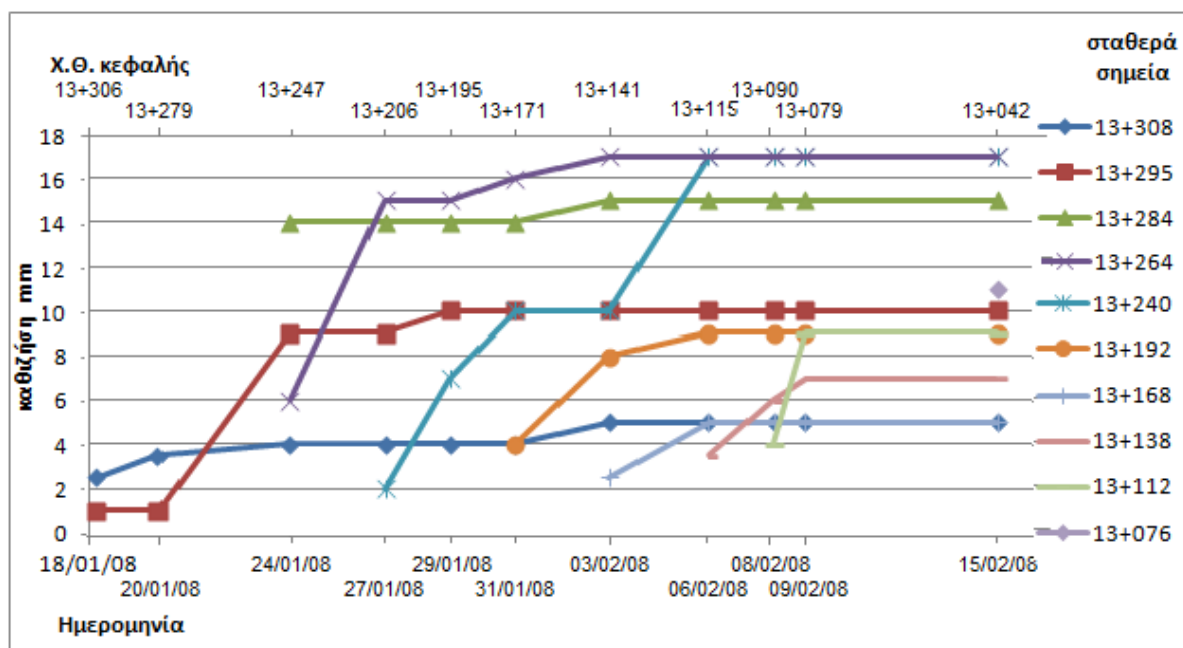
Οι καθιζήσεις εκδηλώθηκαν 80 m περίξ της Χ.Θ. 13+260 και 30 m περίξ της Χ.Θ. 13+070.

Πρέπει να σημειωθεί ότι υπάρχουν κάποιες διαφοροποιήσεις στα στοιχεία που είναι διαθέσιμα:

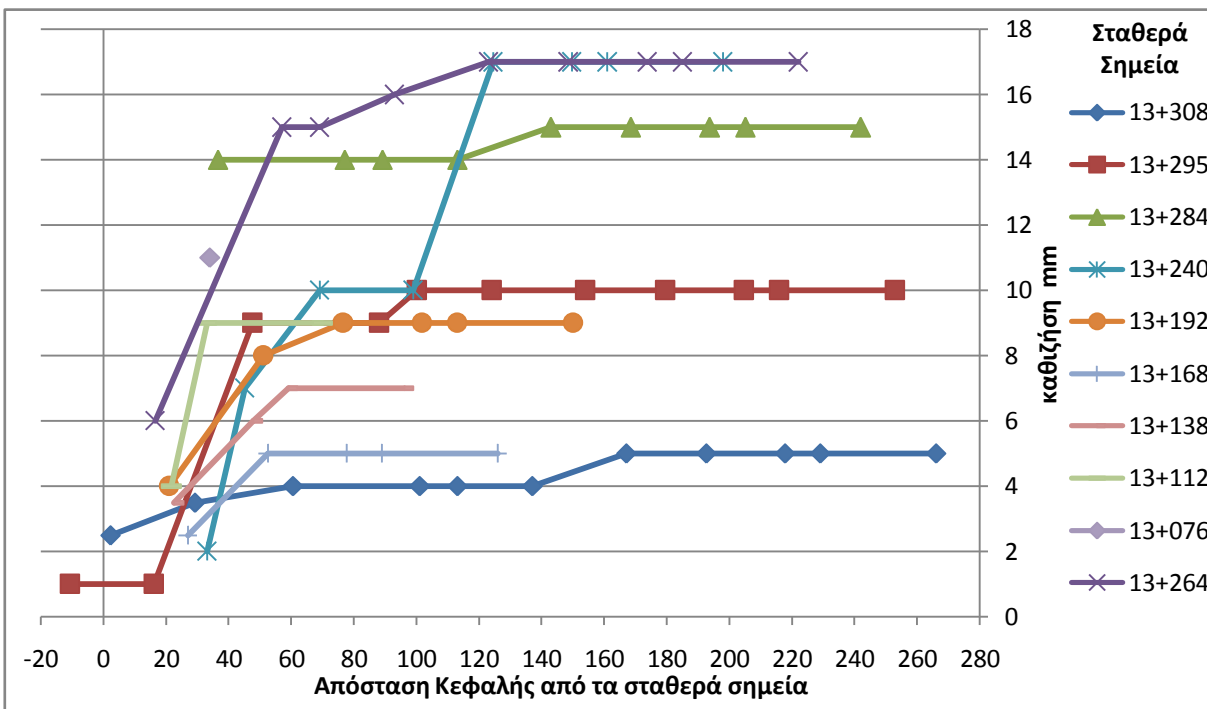
- Σύμφωνα με τους Κουκουτάς κ.α. 2010, οι μέγιστες καθιζήσεις που καταγράφηκαν κατά την εκσκαφή ήταν 19.4 mm στη Χ.Θ. 13+257 και 14.3 mm στη Χ.Θ. 13+075. Αντίθετα, στο σχέδιο 2TS4CW180C007A_5 οι μέγιστες καθιζήσεις παρουσιάζονται ως 17 mm και 11 mm αντίστοιχα (Εικόνα 7.5).
- Η εννιά από τις έντεκα ημερομηνίες που έχουν καταγραφεί στο σχέδιο 2TS4CW180C007A_5 και αντιστοιχούν σε συγκεκριμένες χιλιομετρικές θέσεις της κεφαλής του TBM διαφέρουν με τις ημερομηνίες που έχουν καταγραφεί στο ημερολόγιο έργου το έγγραφο 2TS4CW180R904A κατά μία ημέρα.

Κατά την επεξεργασία της εξέλιξης των καθιζήσεων, θεωρήθηκε ότι οι καθιζήσεις είναι αυτές που παρουσιάζονται στο σχέδιο 2TS4CW180C007A_5 και οι ημερομηνίες εκείνες που καταγράφηκαν στο ημερολόγιο έργου. Στη συνέχεια επιλέχθηκαν 10 σταθερά σημεία μεταξύ των Χ.Θ. 13+305.75 και 13+042 σχέδιο 2TS4CW180C007A_5 και μελετήθηκε η εξέλιξη των καθιζήσεων που εκδηλώθηκαν σε αυτά κατά τις έντεκα διαφορετικές διαθέσιμες στιγμές. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στα Διαγράμματα 7.16 και 7.17.

Διάγραμμα 7.16 Εξέλιξη καθιζήσεων σταθερών σημείων στο χρόνο



Διάγραμμα 7.16 Εξέλιξη καθιζήσεων σταθερών σημείων σε σχέση με την απόστασή τους από τη Χ.Θ. της κεφαλής



Από τα παραπάνω γίνεται εμφανές ότι οι καθιζήσεις εκδηλώθηκαν αφότου είχε ολοκληρωθεί η διάτρηση της αντίστοιχης κάθε φορά υποκείμενης περιοχής, και όχι μπροστά από την κεφαλή του TBM (της τάξεως των 10 m με 20 m ανάλογα με την ταχύτητα προχώρησης, σύμφωνα με το έγγραφο 2TS4CW180R904A της Αττικό Μετρό Α.Ε.).

8. Διερεύνηση Καθιζήσεων με Ανάδρομες Αναλύσεις

Με στόχο την εκτενέστερη διερεύνηση των καθιζήσεων που πραγματοποιήθηκαν κατά την Επέκταση του Μετρό προς Ελληνικό, πραγματοποιήθηκαν ανάδρομες αναλύσεις με αριθμητικές και εμπειρικές μεθόδους.

8.1 Ανάδρομες Αναλύσεις

Οι αριθμητικές αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν με χρήση του λογισμικού Phase² 8.0 σε ανάλυση δύο διαστάσεων. Το έδαφος θεωρήθηκε ισότροπο, ελαστοπλαστικό και ικανοποιεί το κριτήριο αστοχίας Mohr–Coulomb. Ορίστηκαν κάποιες παράμετροι που παρέμειναν σταθερές σε όλες τις αναλύσεις: Οι εδαφικοί σχηματισμοί θεωρήθηκε ότι έχουν διασταλτικότητα $\delta = 0$. Για τα προκατασκευασμένα στοιχεία πάχους 0.35 m, χρησιμοποιήθηκε σκυρόδεμα ποιότητας C40/50, με μέτρο ελαστικότητας ίσο με $E = 35000$ MPa, λόγο Poisson $\nu = 0.2$ και αντοχή σε εφελκυσμό ίση με 3.5 MPa όπως προβλέπεται και στη μελέτη και εφαρμόστηκε στην κατασκευή. Για την αντοχή σε θλίψη, χρησιμοποιήθηκε η μέση τιμή της αντοχής σκυροδέματος x_{fc} όπως υπολογίσθηκε από τη Σχέση (8.1):

$$x_{fc} = \frac{f_{ck}}{1 + \text{Erf}^{-1}(5\%)V_c} = \frac{40\text{MPa}}{1 - 1.644 * 0.10} = 47.9 \text{ MPa} \quad (8.1)$$

όπου f_{ck} η χαρακτηριστική τιμή της αντοχής του σκυροδέματος σε θλίψη, και V_c ο συντελεστής μεταβλητότητας, για τον οποίο επιλέχθηκε η τιμή $V_c = 0.10$ (Araujo, 2001).

Όλες οι αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν σε τέσσερα διαδοχικά βήματα:

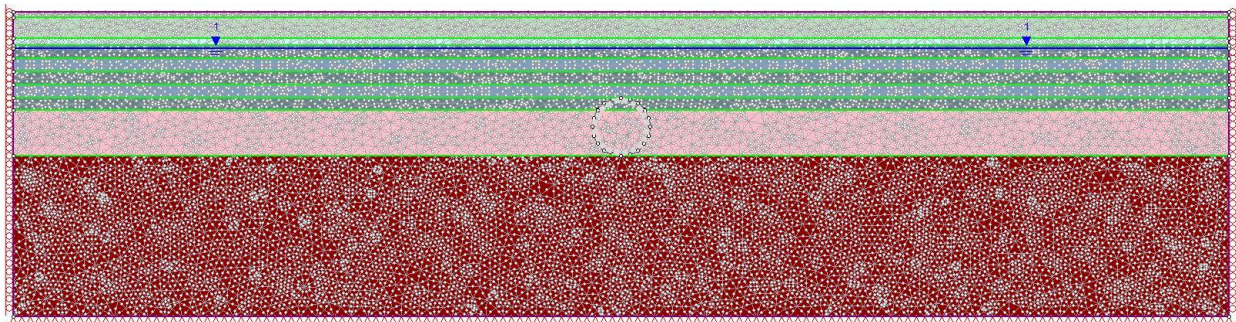
1. Υπολογισμός Αρχικού Εντατικού (Γεωστατικού) Πεδίου, όπου εφαρμόζονται οι γεωστατικές τάσεις δημιουργώντας το αρχικό εντατικό πεδίο.
2. Επιβολή Επιφανειακής Ομοιόμορφης Φόρτισης, όπου επιβάλλονται τα φορτία της επιφάνειας (κυκλοφορίας, κτηρίων, κλπ.), που προσομοιάζονται με ομοιόμορφη φόρτιση στην επιφάνεια, ίση με 50 KPa (Εικόνα 8.3).
3. Προσομοίωση της Αποτόνωσης, όπου προσομοιώνεται των προσυγκλίσεων του εδάφους στο μέτωπο εκσκαφής και μπροστά από το μέτωπο εκσκαφής στον πυρήνα προώθησης. Η προσομοίωση του συγκεκριμένου βήματος θα παρουσιαστεί αναλυτικότερα, στη συνέχεια.

4. Εκσκαφή & Υποστήριξης της Σήραγγας όπου υπολογίζεται το εντατικό και παραμορφωσιακό πεδίο έτσι όπως έχει μεταβληθεί μετά το τέλος της εκσκαφής και υποστήριξης της διατομής.

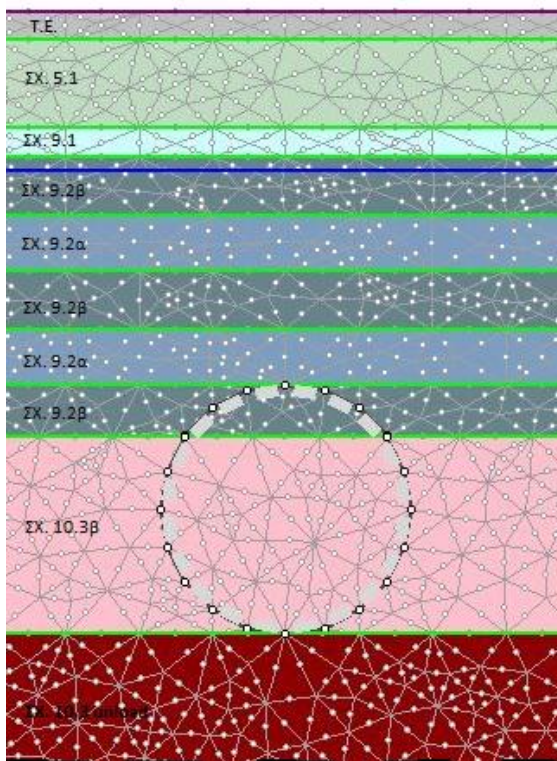
Σε κάθε ανάλυση, ως στάδιο αναφοράς για την αξιολόγηση των καθιζήσεων θεωρείται το βήμα 2.

8.1.1 Ανάδρομη Ανάλυση – Γεωτεχνικές Τιμές Σχεδιασμού

Αρχικά, διερευνήθηκαν οι καθιζήσεις σε μοντέλο βασισμένο στη μελέτη σχεδιασμού (Εικόνα 8.1), χρησιμοποιώντας την στρωματογραφία (Εικόνα 8.2) και τις γεωτεχνικές παραμέτρους (Πίνακας 8.1), έτσι όπως αυτές προσδιορίστηκαν στο στάδιο της μελέτης.



Εικόνα 8.1 Μοντέλο Ανάλυσης Σχεδιασμού– Βήμα 1



Περιγραφή

Τ.Ε. : Τεχνικές Επιχώσεις

ΣΧ. 5.1: Συνεκτικά κορηματικά υλικά

ΣΧ. 9.1: Μανδύας αποσάθρωσης μαργαϊκού ασβεστόλιθου

ΣΧ. 9.2α: Μαργαϊκός Ασβεστόλιθος – Ασβεστολιθικός Ψαμμίτης (Βραχώδης Φάση)

ΣΧ. 9.2β: Μαργαϊκός Ασβεστόλιθος – Ασβεστολιθικός Ψαμμίτης (Μεικτή Φάση)

ΣΧ. 10.3β: Μαύρος Αργιλικός Σχιστόλιθος (Μεικτή Φάση)

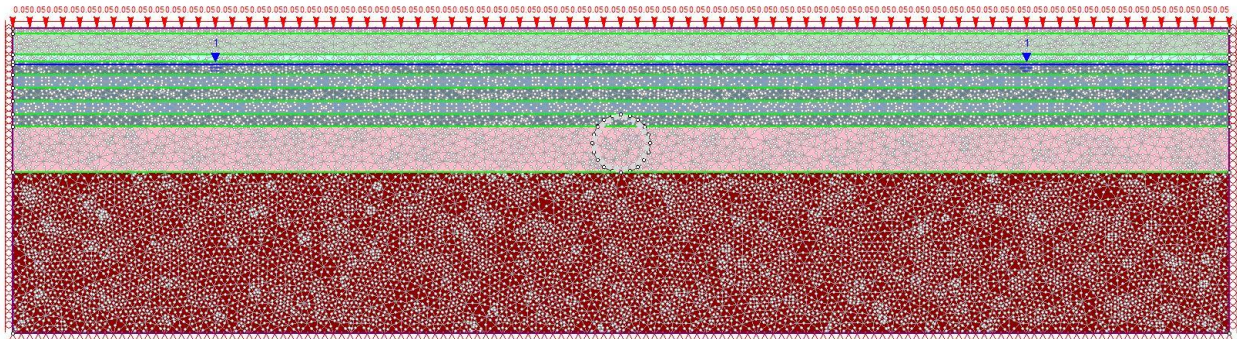
ΣΧ. 10.3β unload: Μαύρος Αργιλικός Σχιστόλιθος (Μεικτή Φάση) με $E'=10E$

Εικόνα 8.2 Στρωματογραφία Ανάλυσης Τιμών Σχεδιασμού

Πίνακας 8.1 Γεωτεχνικές Παράμετροι Μελέτης Σχεδιασμού (Πηγή: Αττικό Μετρό Α.Ε. (2TS4CW180R903A))

Γεωτεχνικές Παράμετροι	Γεωλογικοί Σχηματισμοί					
	Τ.Ε	5.1	9.1	9.2α	9.2β	10.3β
γ (KN/m ³)	20	21	20	23	23	23
c (KPa)	5	40	20	170	60	60
ϕ (°)	32	30	30	45	36	35
E (MPa)	20	100	45	950	250	260
ν	0.3	0.3	0.3	0.25	0.25	0.3
K_0	0.47	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5

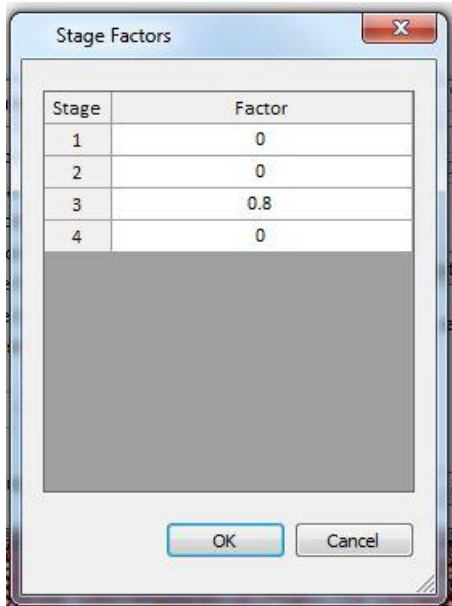
Όπως αναφέρθηκε, τα επιφανειακά φορτία προσομοιάζονται με ομοιόμορφη φόρτιση ίση με 50 KPa (Εικόνα 8.3).



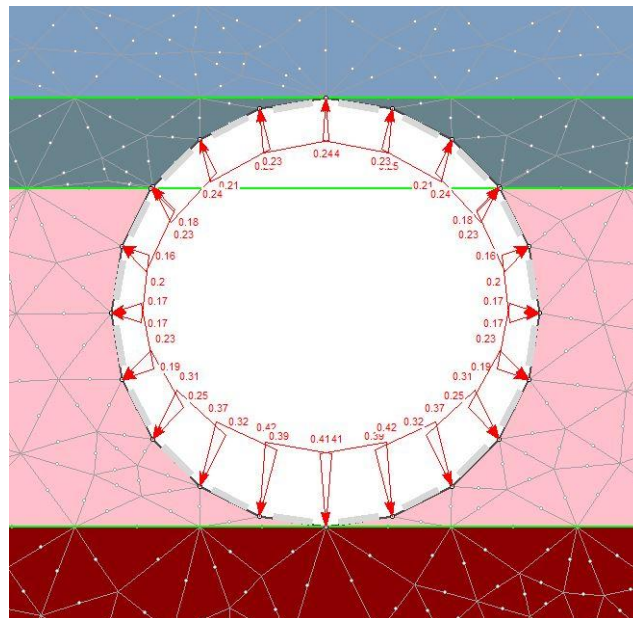
Εικόνα 8.3 Μοντέλο Ανάλυσης Τιμών Σχεδιασμού - Βήμα 2

Για να προσομοιωθεί το φαινόμενο της αποτόνωσης σε μοντέλο δύο διαστάσεων (συνθήκες επίπεδης παραμόρφωσης), χρησιμοποιήθηκε λειτουργία του Phase² 8.0, κατά την οποία μπορεί να επιβληθεί το ολικό ή μερικό αρχικό (γεωστατικό) φορτίο στο εσωτερικό της εκσκαφής. Συγκεκριμένα, με χρήση συντελεστή καθορίζεται το ποσοστό του γεωστατικού φορτίου που επιβάλλεται. Έτσι, η αποτόνωση του εδάφους στο μέτωπο εκσκαφής και στον πυρήνα προώθησης, προσομοιώθηκε με εκσκαφή και επιβολή ιδεατής εσωτερικής πίεσης p , μικρότερης του αρχικού εντατικού πεδίου p_0 (Εικόνα 8.5). Υπενθυμίζεται ότι σύμφωνα με τη θεωρία σύγκλισης - αποτόνωσης, ο συντελεστής αποτόνωσης λ ισούται με $1 - p/p_0$. Καθορίζοντας το συντελεστή αποτόνωσης λοιπόν, υπολογιζόταν εμμέσως η ιδεατή εσωτερική πίεση p .

Στην περίπτωση της Ανάλυσης Τιμών Σχεδιασμού, λήφθηκε $\lambda = 0.20$ και $p/p_0 = 0.80$ (Εικόνα 8.4).

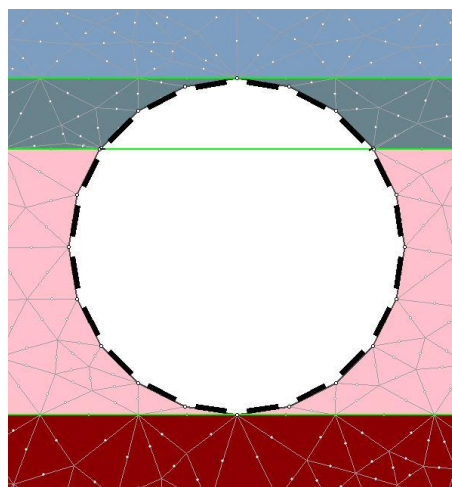


Εικόνα 8.4 Λειτουργία επιβολή ιδεατής εσωτερικής πίεσης p



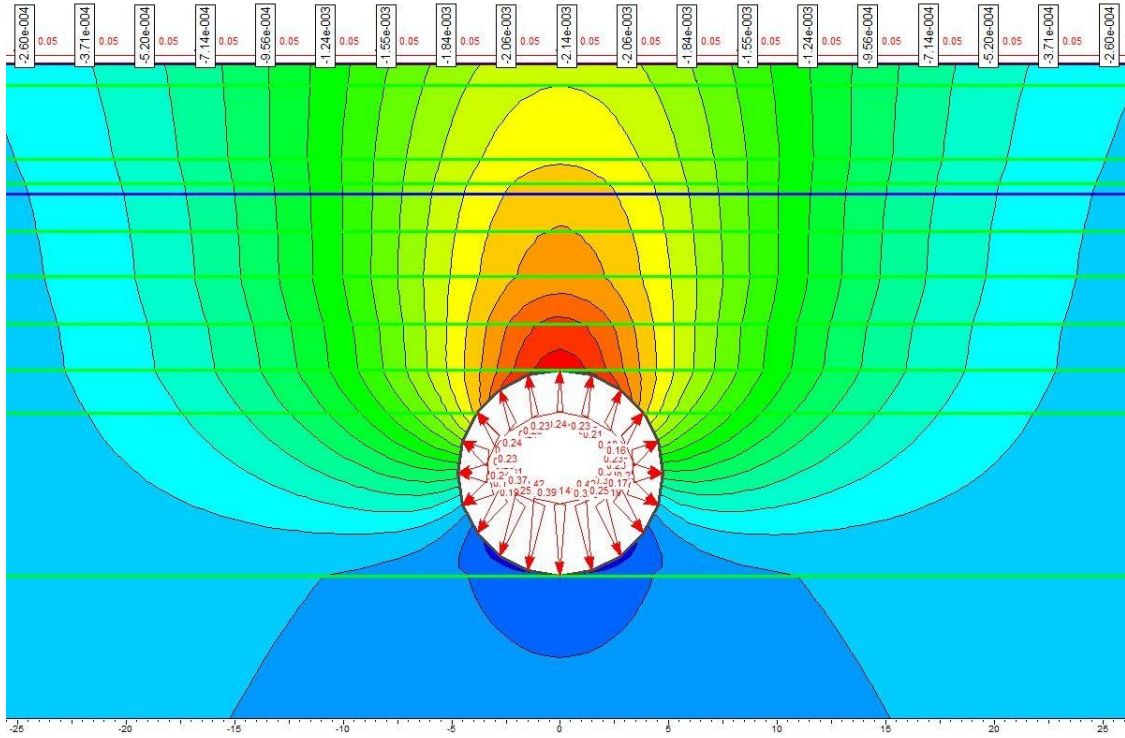
Εικόνα 8.5 Μοντέλο Ανάλυσης Τιμών Σχεδιασμού - Βήμα 3

Κατά την εκσκαφή, η σήραγγα εκσκάπτεται (Εικόνα 8.6) και υποστηρίζεται από τα προκατασκευασμένα στοιχεία.

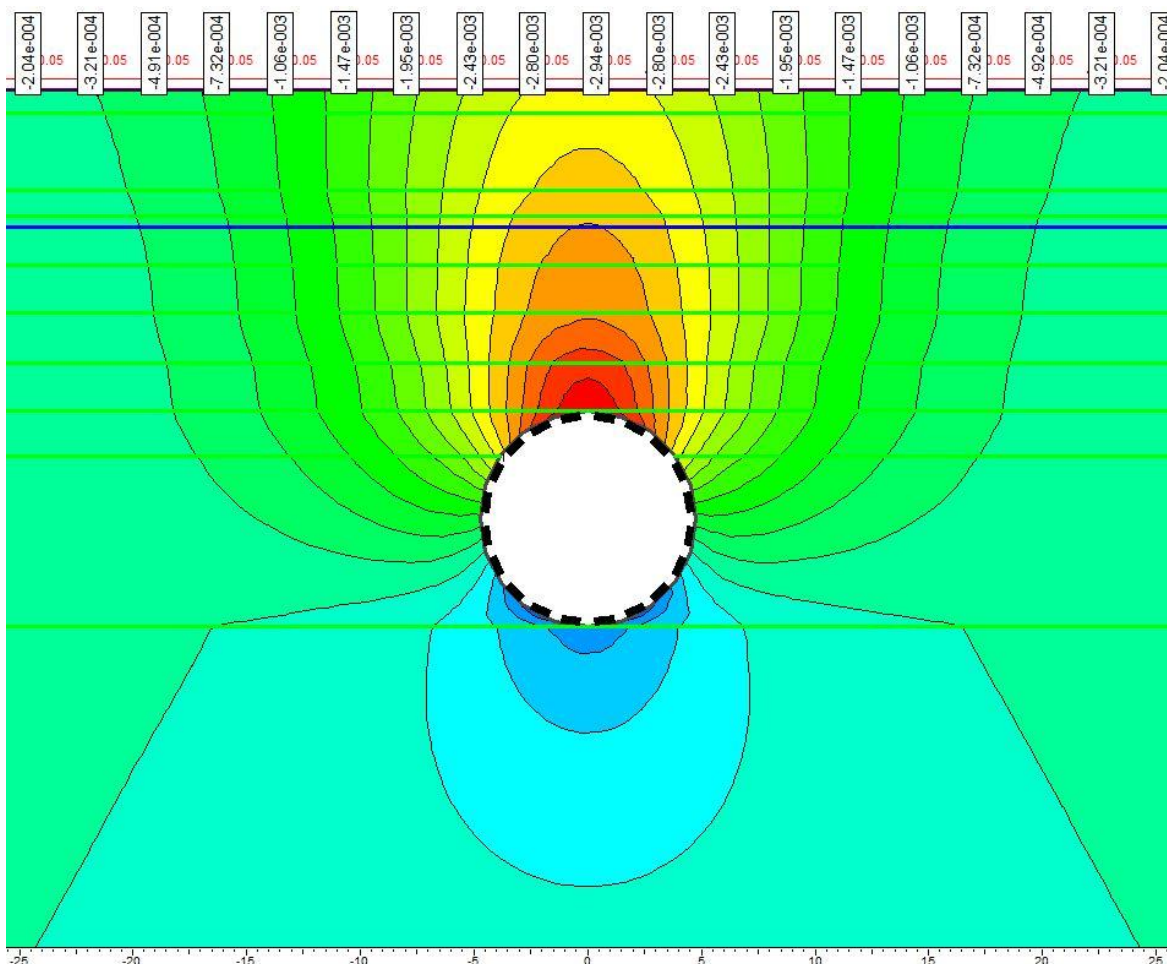


Εικόνα 8.5 Μοντέλο Ανάλυσης Τιμών Σχεδιασμού - Βήμα 4

Οι καθιζήσεις που υπολογίστηκαν κατά την Ανάλυση Σχεδιασμού Βήμα 3 (αποτόνωση) και το Βήμα 4 (εκσκαφή και υποστήριξη) παρουσιάζονται στις Εικόνες 8.7 και 8.8 αντίστοιχα. Η μέγιστη καθίζηση υπολογίστηκε ίση με 2.9 mm. Η τιμή αυτή ουσιαστικά ταυτίζεται με την τιμή που είχε υπολογίσει η Αττικό Μετρό Α.Ε. (3.0 mm) κατά τη μελέτη σχεδιασμού του έργου σύμφωνα με το έγγραφο (2TS4CW180R903A).



Εικόνα 8.7 Καθιζήσεις κατά την Αποτόνωση (Βήμα 3) στην Ανάλυση Τιμών Σχεδιασμού ($\lambda = 0.20$)



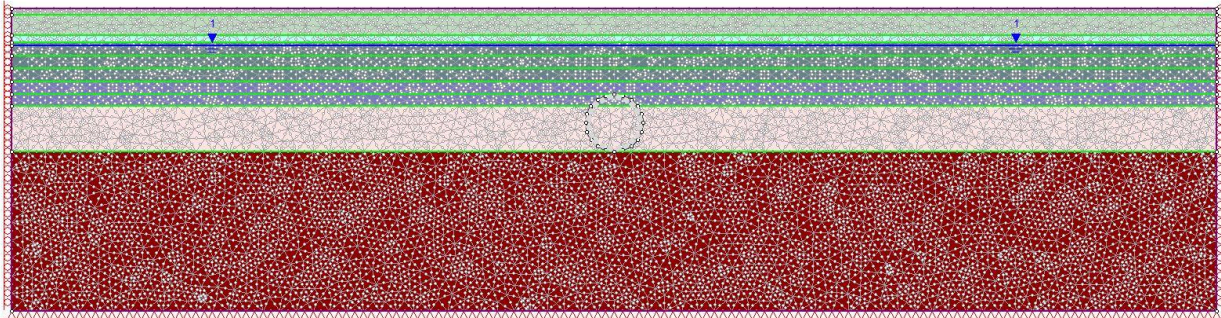
Εικόνα 8.13 Καθιζήσεις κατά την Εκσκαφή (Βήμα 4) στην Ανάλυση Τιμών Σχεδιασμού ($\lambda = 0.20$)

8.1.2 Ανάδρομη Ανάλυση – Γεωτεχνικές Παράμετροι Ερευνητών

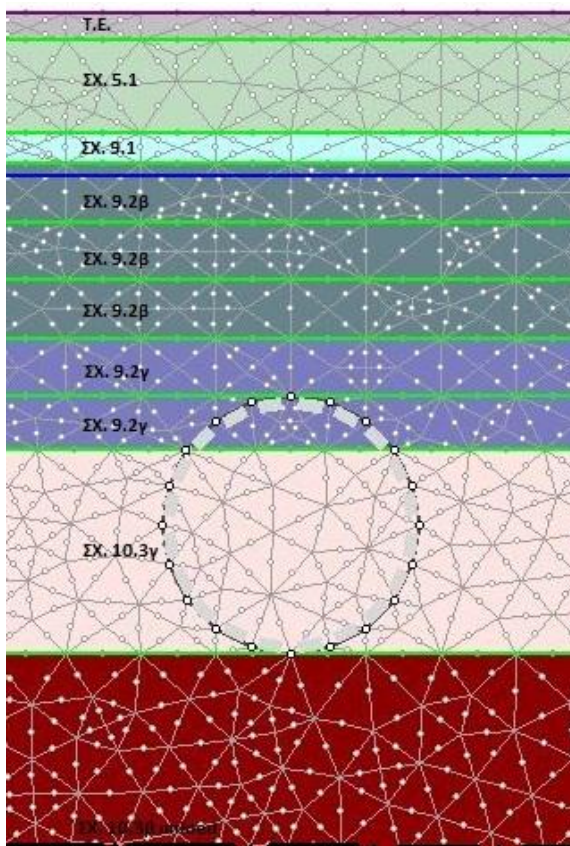
Οι καθιζήσεις που καταγράφηκαν στην πραγματικότητα, ήταν ιδιαίτερα υψηλότερες σε σχέση με εκείνες που αναμένονταν με βάση την ανάλυση σχεδιασμού. Οι ερευνητές του έργου, πραγματοποίησαν ανάδρομες αναλύσεις μετά την ολοκλήρωση του έργου, τροποποιώντας το εδαφικό μοντέλο καθώς και τις εδαφικές παραμέτρους, προκειμένου να προσεγγίσουν πιο ρεαλιστικά την πραγματική κατάσταση του υπεδάφους (έγγραφο 2TS4CW180R904A, Αττικό Μετρό Α.Ε.). Οι αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν από την Όμικρον Κάπα Μελετητική Ε.Π.Ε. με χρήση του λογισμικού SOFiSTiK.

Στην παρούσα διπλωματική, αρχικά πραγματοποιήθηκε ανάλυση με το λογισμικό Phase² 8.0, ακολουθώντας ίδια μεθοδολογία με εκείνη της ανάδρομης ανάλυσης σχεδιασμού (Κεφάλαιο

8.1.1), χρησιμοποιώντας το εδαφικό μοντέλο (Εικόνες 8.9, 8.10) και τις εδαφικές παραμέτρους (Πίνακας 8.2) που επιλέχτηκαν από την Όμικρον Κάπα Μελετητική Ε.Π.Ε.



Εικόνα 8.9 Μοντέλο Ανάδρομης Ανάλυσης – Βήμα 1



Περιγραφή

- Τ.Ε. : Τεχνικές Επιχώσεις
- ΣΧ. 5.1: Συνεκτικά κορηματικά υλικά
- ΣΧ. 9.1: Μανδύας αποσάθρωσης μαργαϊκού ασβεστόλιθου
- ΣΧ. 9.2β: Μαργαϊκός Ασβεστόλιθος – Ασβεστολιθικός Ψαμμίτης (Μεικτή Φάση)
- ΣΧ. 9.2γ: Μαργαϊκός Ασβεστόλιθος – Ασβεστολιθικός Ψαμμίτης (Εδαφική Φάση)
- ΣΧ. 10.3γ: Μαύρος Αργιλικός Σχιστόλιθος (Εδαφική Φάση)
- ΣΧ. 10.3β upload: Μαύρος Αργιλικός Σχιστόλιθος (Μεικτή Φάση) με $E' = 10E$

Εικόνα 8.10 Στρωματογραφία Ανάδρομης Ανάλυσης (Πηγή: Αττικό Μετρό Α.Ε. (2TS4CW180R904A))

Πίνακας 8.2 Γεωτεχνικές Παράμετροι Ανάδρομης Ανάλυσης (Πηγή: Αττικό Μετρό Α.Ε. (2TS4CW180R904A))

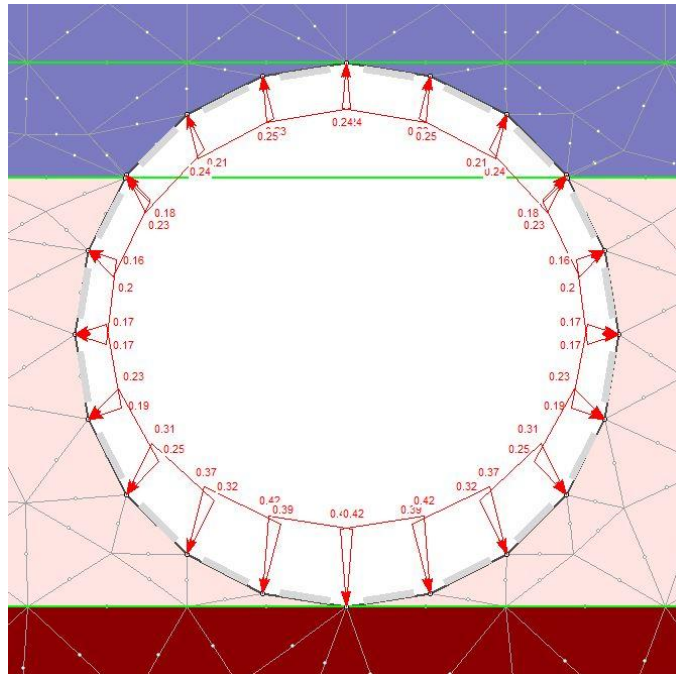
Γεωτεχνικές Παράμετροι	Γεωλογικοί Σχηματισμοί						
	T.E	5.1	9.1	9.2β	9.2γ	10.3β	10.3γ
γ (KN/m ³)	20	21	20	23	23	23	23
c (KPa)	5	40	20	60	40	60	20
ϕ (°)	32	30	30	36	35	35	34
E (MPa)	20	100	45	250	150	260	120
ν	0.3	0.3	0.3	0.25	0.30	0.3	0.3
K_0	0.47	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5

Στόχος των αναλύσεων που ακολούθησαν ήταν να εντοπισθεί ο κατάλληλος συντελεστής αποτόνωσης λ , και κατά συνέπεια η αντίστοιχη εσωτερική πίεση p κατά την αποτόνωση του εδάφους, για τον οποίον στο συγκεκριμένο εδαφικό μοντέλο προκαλούνται καθιζήσεις της τάξεως των 17 mm έως 19 mm έπειτα από εκσκαφή.

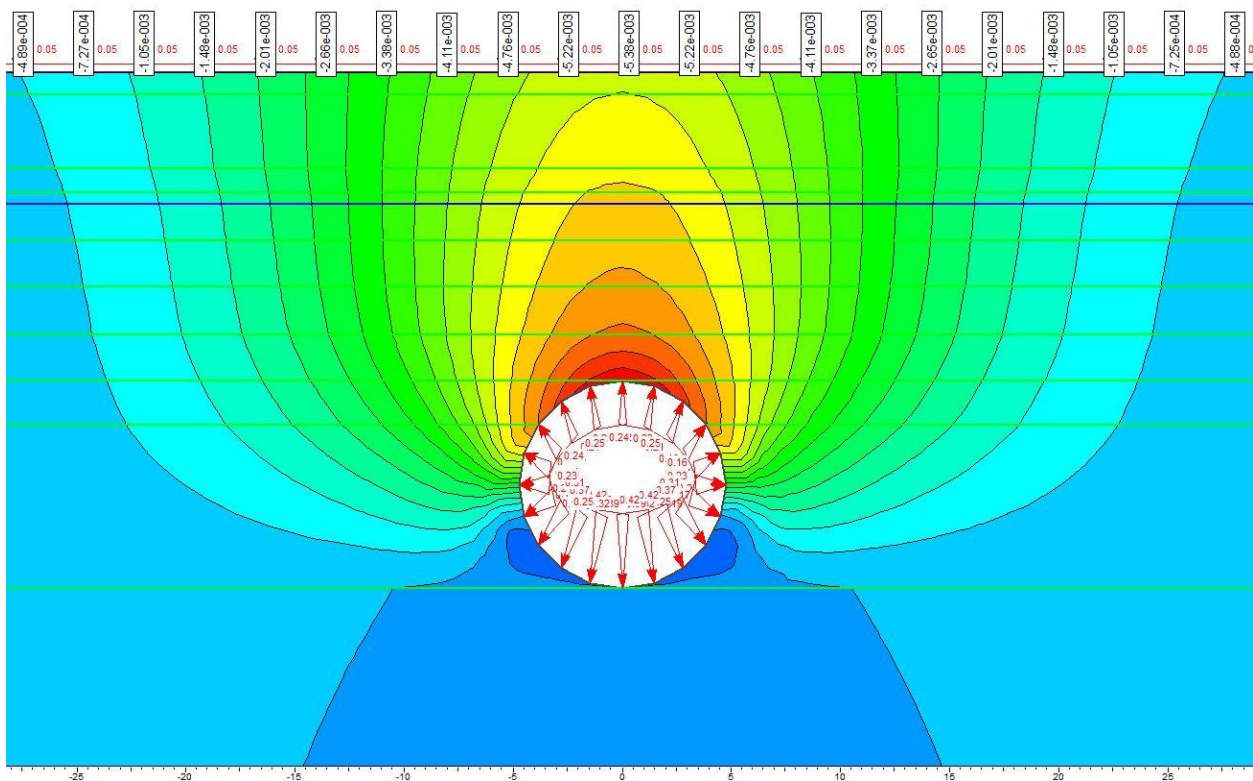
8.1.2.1 Συντελεστής Αποτόνωσης $\lambda = 0.20$

Αρχικά επιβλήθηκε φορτίο στο εσωτερικό της εκσκαφή για συντελεστή αποτόνωσης $\lambda = 0.20$ και $p/p_0 = 0.80$ (Εικόνα 8.11).

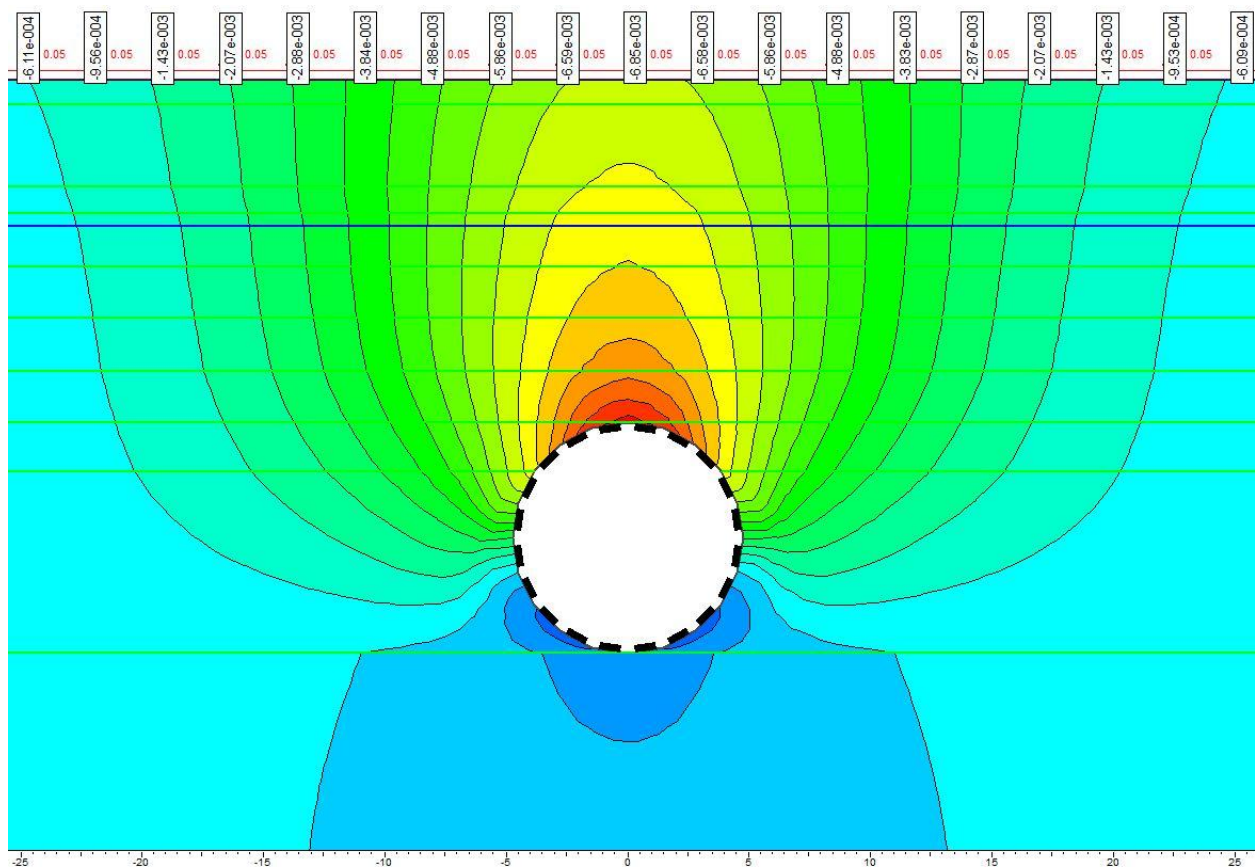
Οι καθιζήσεις που υπολογίστηκαν για τις γεωτεχνικές τιμές σχεδιασμού στο Βήμα 3 (αποτόνωση) και το Βήμα 4 (εκσκαφή και υποστήριξη) παρουσιάζονται στις Εικόνες 8.12 και 8.13 αντίστοιχα. Η μέγιστη καθίζηση υπολογίστηκε ίση με 6.9 mm, τιμή 59.4% μικρότερη από την πραγματική (17 mm). Επομένως, έπρεπε να ακολουθήσει δοκιμή με μεγαλύτερο συντελεστή αποτόνωσης.



Εικόνα 8.11 Μοντέλο Ανάδρομης Ανάλυσης – Βήμα 3 ($\lambda = 0.20$)



Εικόνα 8.11 Καθιζήσεις κατά την Αποτόνωση (Βήμα 3) στην Ανάδρομη Ανάλυση ($\lambda = 0.20$)

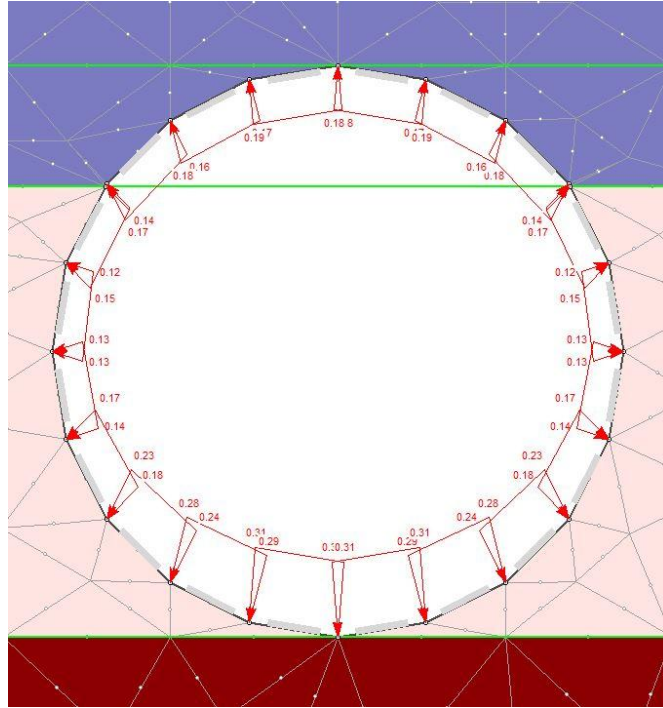


Εικόνα 8.13 Καθιζήσεις κατά την Εκσκαφή (Βήμα 4) στην Ανάδρομη Ανάλυση ($\lambda = 0.20$)

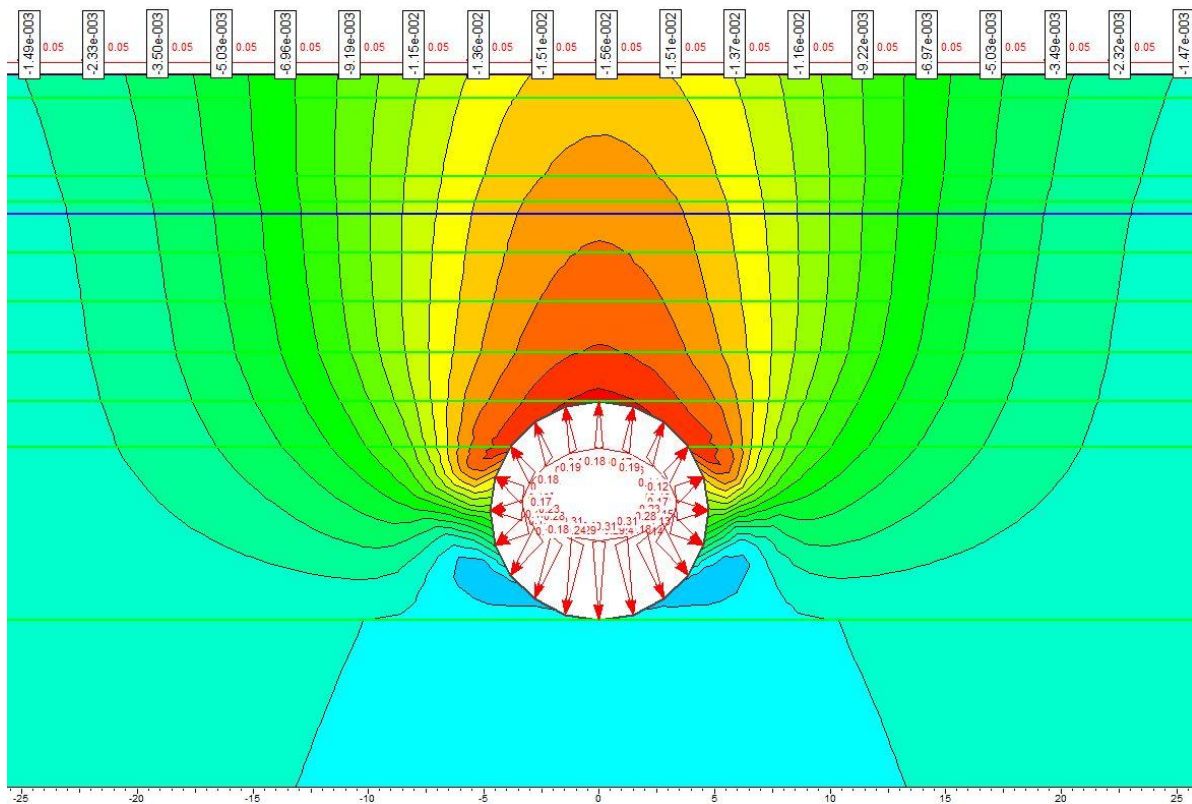
8.1.2.2 Συντελεστής Αποτόνωσης $\lambda = 0.40$

Στη συνέχεια, επιβλήθηκε φορτίο στο εσωτερικό της εκσκαφή για συντελεστή αποτόνωσης $\lambda = 0.40$ και $p/p_0 = 0.60$ (Εικόνα 8.14).

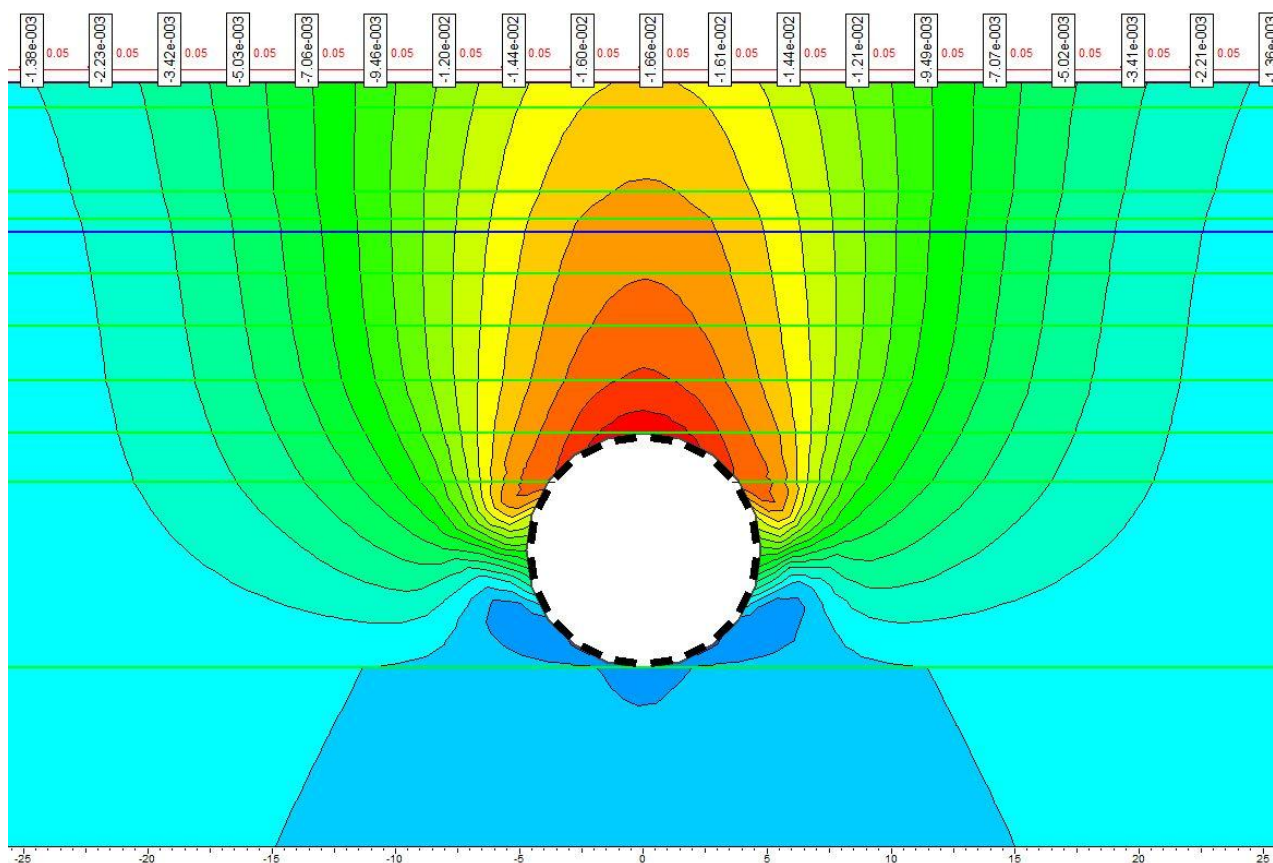
Οι καθιζήσεις που υπολογίστηκαν κατά την Ανάλυση Σχεδιασμού στο Βήμα 3 (αποτόνωση) και το Βήμα 4 (εκσκαφή και υποστήριξη) παρουσιάζονται στις Εικόνες 8.15 και 8.16 αντίστοιχα. Η μέγιστη καθίζηση υπολογίστηκε ίση με 16.6 mm, πρακτικά ίση με την πραγματική (17 mm) σύμφωνα με το έγγραφο 2TS4CW180R904A της Αττικό Μετρό Α.Ε.



Εικόνα 8.14 Μοντέλο Ανάδρομης Ανάλυσης - Βήμα 3 ($\lambda = 0.40$)



Εικόνα 8.15 Καθιζήσεις κατά την Αποτόνωση (Βήμα 3) στην Ανάδρομη Ανάλυση ($\lambda = 0.40$)

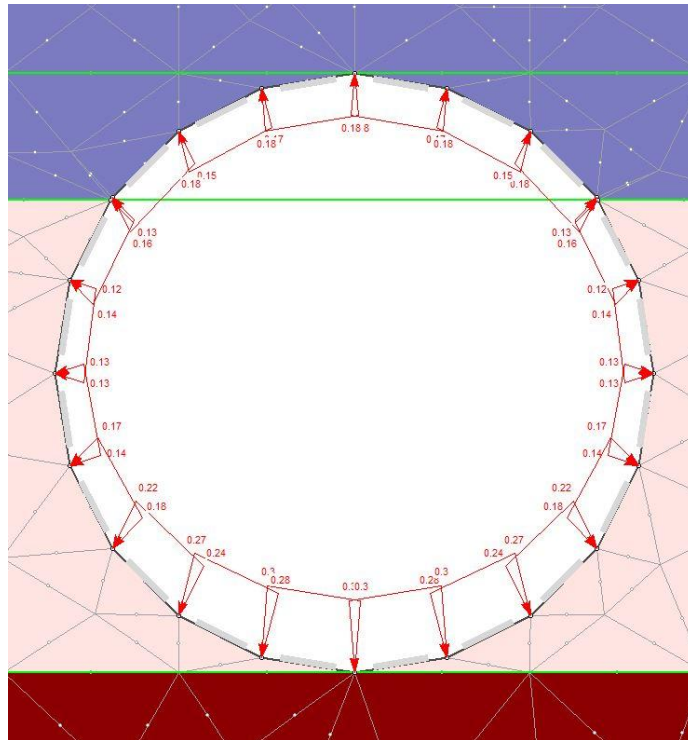


Εικόνα 8.16 Καθιζήσεις κατά την Εκσκαφή (Βήμα 4) στην Ανάδρομη Ανάλυση ($\lambda = 0.40$)

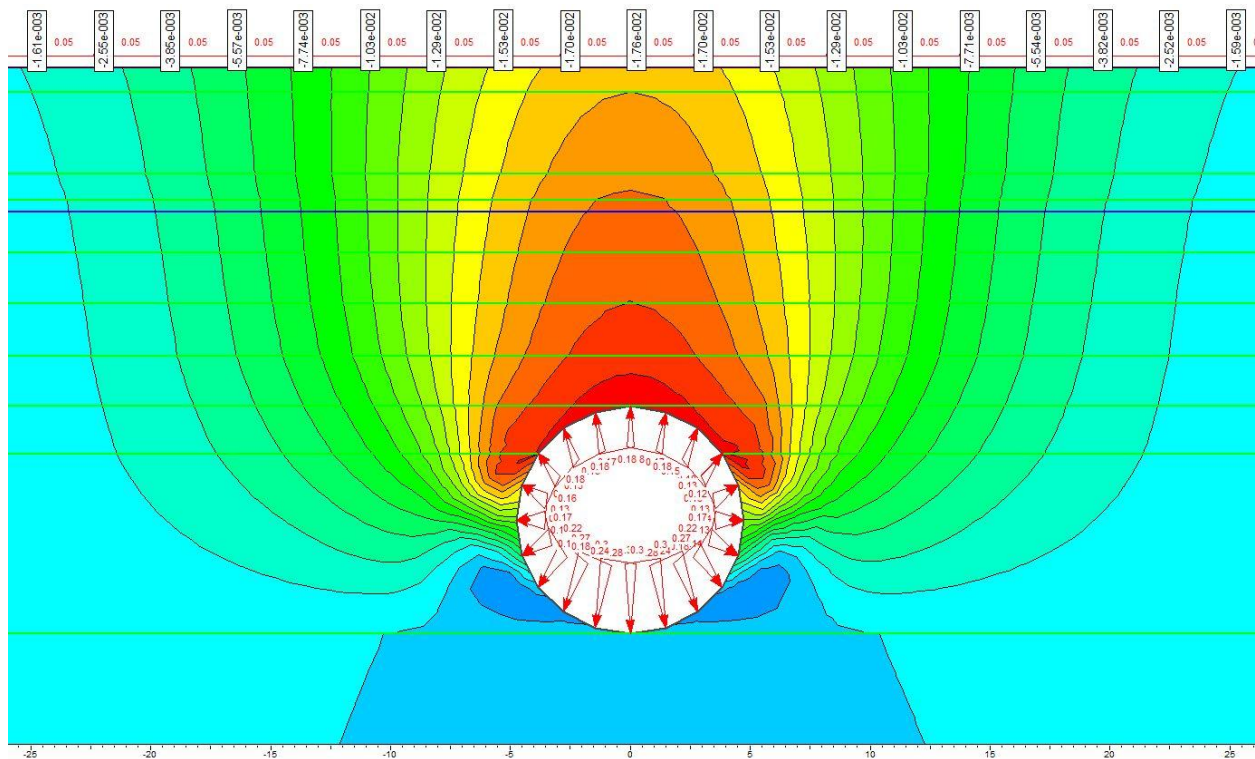
8.1.2.3 Συντελεστής Αποτόνωσης $\lambda = 0.42$

Έχει αναφερθεί στο Κεφάλαιο 7.5 ότι υπάρχει ασυμφωνία μεταξύ των διαθέσιμων πληροφοριών σε σχέση με το ακριβές μέγιστο μέγεθος των καθιζήσεων (17 mm σύμφωνα με το έγγραφο 2TS4CW180R904A και 19.4 mm σύμφωνα με τους Κουκουτάς κ.α. 2010. Για το λόγο αυτό έγινε ακόμα μία ανάλυση με συντελεστή αποτόνωσης $\lambda = 0.42$ και $\rho/\rho_0 = 0.58$, ώστε να προσεγγιστεί το δυσμενέστερο μέγεθος καθιζήσης (Εικόνα 8.17).

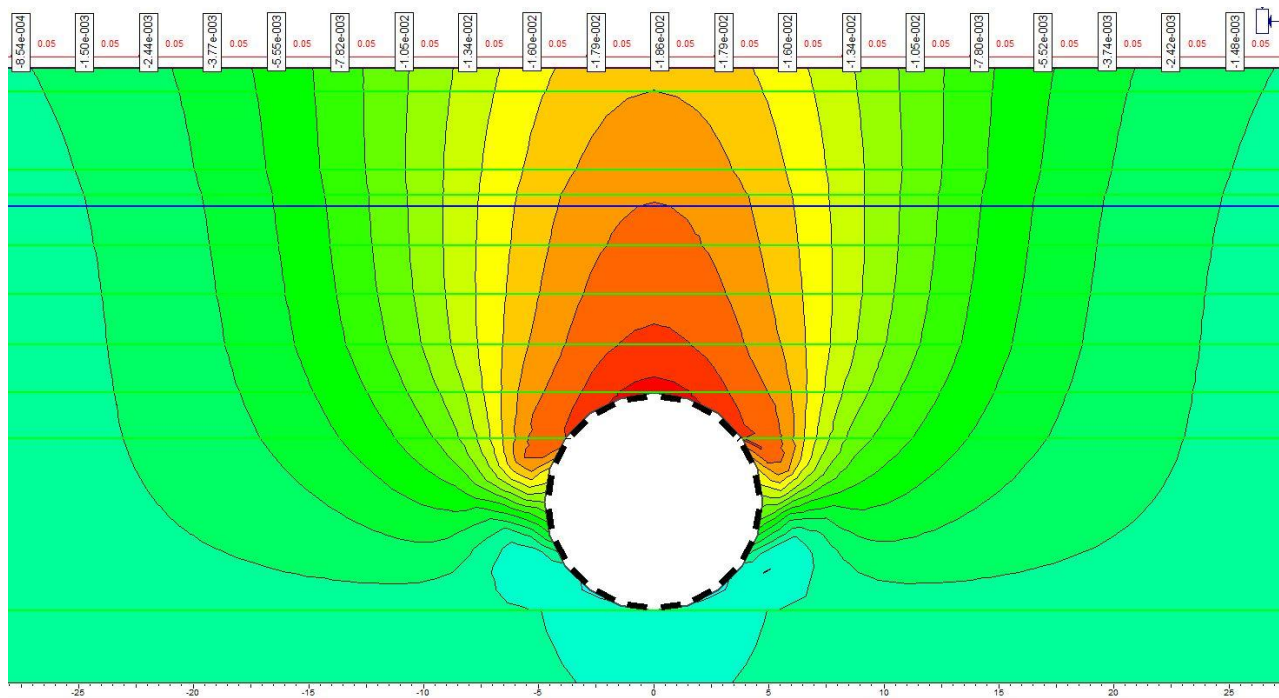
Οι καθιζήσεις που υπολογίστηκαν κατά την Ανάλυση Σχεδιασμού Βήμα 3 (αποτόνωση) και το Βήμα 4 (εκσκαφή και υποστήριξη) παρουσιάζονται στις Εικόνες 8.18 και 8.19 αντίστοιχα. Η μέγιστη καθιζήση υπολογίστηκε ίση με 18.6 mm, προσεγγίζοντας αρκετά την πραγματική (19.4 mm) σύμφωνα με τους Κουκουτάς κ.α. 2010



Εικόνα 8.17 Μοντέλο Ανάδρομης Ανάλυσης - Βήμα 3 ($\lambda = 0.42$)



Εικόνα 8.18 Καθιζήσεις κατά την Αποτόνωση (Βήμα 3) στην Ανάδρομη Ανάλυση ($\lambda = 0.42$)



Εικόνα 8.19 Καθιζήσεις κατά την Εκσκαφή (Βήμα 4) στην Ανάδρομη Ανάλυση ($\lambda = 0.42$)

Αξίζει να σημειωθεί ότι για αύξηση 50% του συντελεστή αποτόνωσης (από 0.2 σε 0.4), υπήρξε 58% αύξηση των υπολογιζόμενων καθιζήσεων (από 6.9 mm σε 16.6 mm), ενώ η μετέπειτα αύξηση 5% του λ από 0.40 σε 0.42, είχε ως αποτέλεσμα αύξηση 11% στις καθιζήσεις (από 16.6 mm σε 18.6 mm). Το γεγονός αυτό υποδεικνύει ότι για μικρότερες τιμές του συντελεστή αποτόνωσης λ , η αύξηση των καθιζήσεων γίνεται πιο ευαίσθητη στις μεταβολές του.

8.1.3 Ανάδρομη Ανάλυση – Γεωτεχνικές Παράμετροι Διπλωματικής Εργασίας

Στη συνέχεια, ακολουθώντας ίδια μεθοδολογία πραγματοποιήθηκε ανάδρομη ανάλυση, χρησιμοποιώντας την ίδια στρωματογραφία (Εικόνες 8.9, 8.10) που χρησιμοποίησε η Όμιλον Κάπα Μελετητική Ε.Π.Ε., αλλά τις ενδεικτικές εδαφικές παραμέτρους που προσδιορίστηκαν στο Κεφάλαιο 6.2.2. (Πίνακας 8.3).

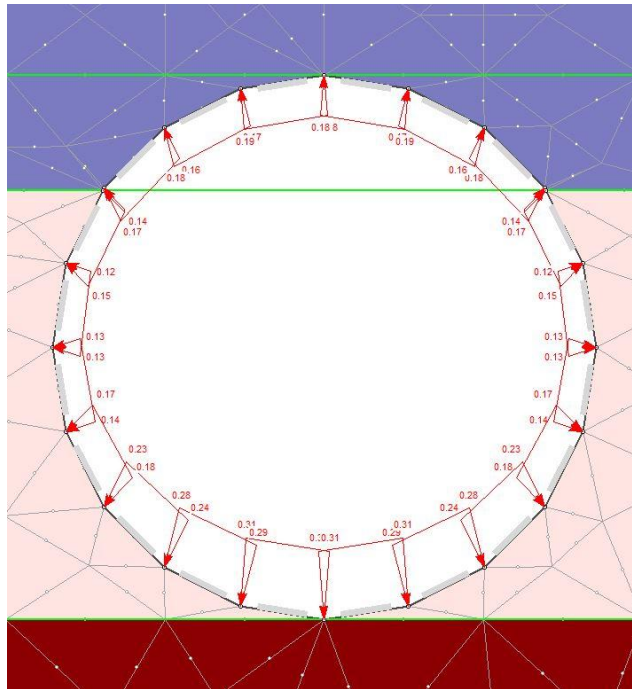
Πίνακας 8.3 Τροποποιημένες Γεωτεχνικές Παράμετροι Ανάδρομης Ανάλυσης

Γεωτεχνικές Παράμετροι	Γεωλογικοί Σχηματισμοί						
	T.E	5.1	9.1	9.2β	9.2γ	10.3β	10.3γ
γ (KN/m ³)	20	21	20	23	23	23	23
c (KPa)	5	40	30	60	40	58	20
ϕ (°)	32	30	30	35	35	30	32
E (MPa)	20	100	65	250	150	267	150
ν	0.3	0.3	0.3	0.25	0.30	0.3	0.3
K_o	0.47	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5

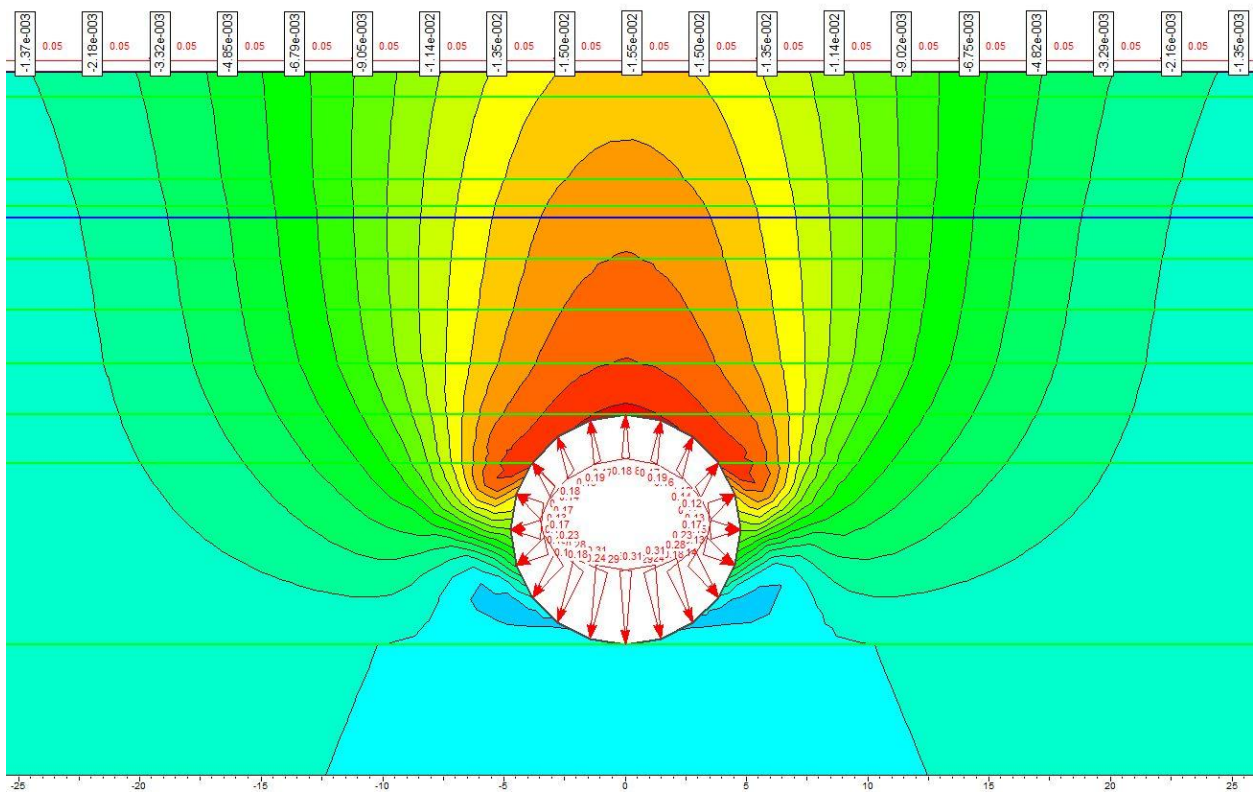
8.1.3.1 Συντελεστής Αποτόνωσης $\lambda = 0.40$

Στην πρώτη δοκιμή, επιβλήθηκε φορτίο στο εσωτερικό της εκσκαφή για συντελεστή αποτόνωσης $\lambda = 0.40$ και $p/p_0 = 0.60$ (Εικόνα 8.20).

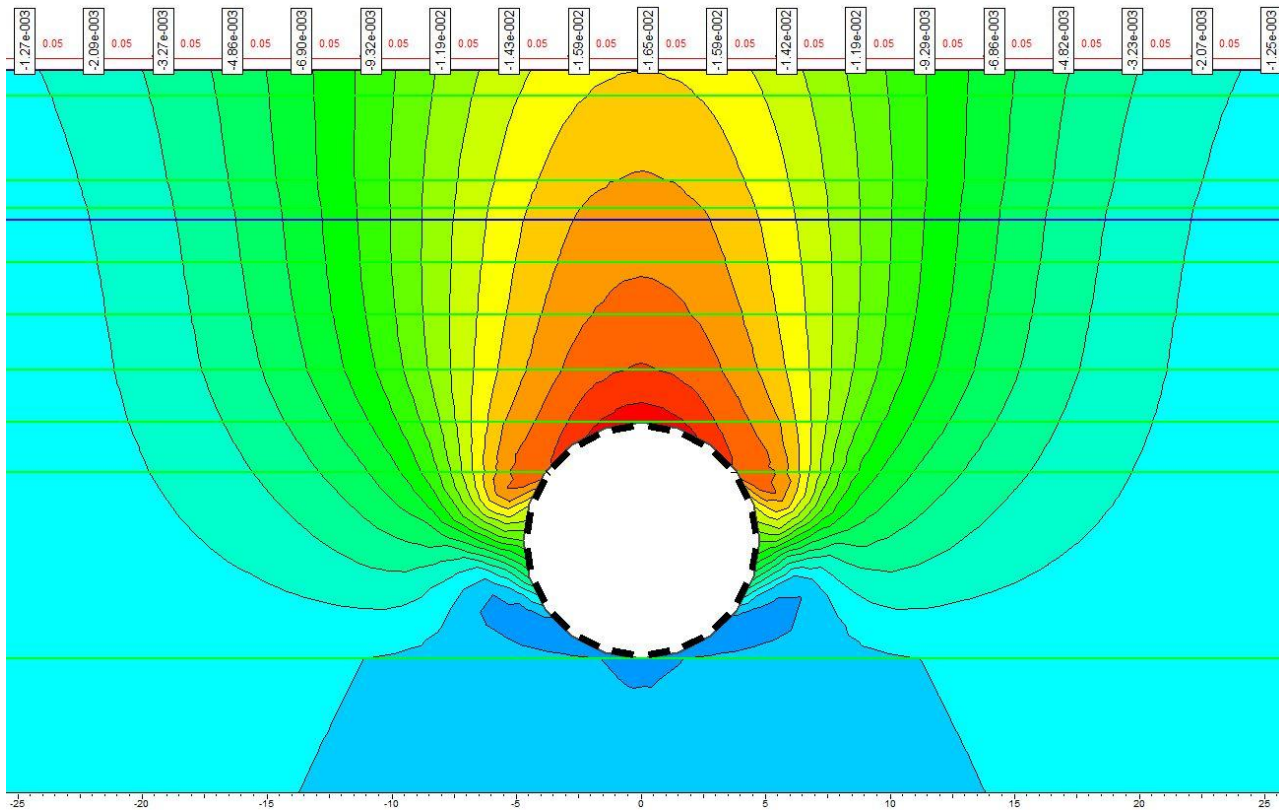
Οι καθιζήσεις που υπολογίστηκαν κατά την Ανάλυση Σχεδιασμού στο Βήμα 3 (αποτόνωση) και το Βήμα 4 (εκσκαφή και υποστήριξη) παρουσιάζονται στις Εικόνες 8.21 και 8.22 αντίστοιχα. Η μέγιστη καθίζηση υπολογίστηκε ίση με 16.5 mm, πρακτικά ίση με την πραγματική (17 mm) σύμφωνα με το έγγραφο 2TS4CW180R904A της Αττικό Μετρό Α.Ε., και ίση με τη καθίζηση που υπολογίστηκε για τις παραμέτρους που χρησιμοποίησαν οι ερευνητές (Κεφάλαιο 8.1.2.2).



Εικόνα 8.20 Μοντέλο Ανάδρομης Ανάλυσης - Βήμα 3 ($\lambda = 0.40$)



Εικόνα 8.21 Καθιζήσεις κατά την Αποτόνωση (Βήμα 3) στην Ανάδρομη Ανάλυση ($\lambda = 0.40$)

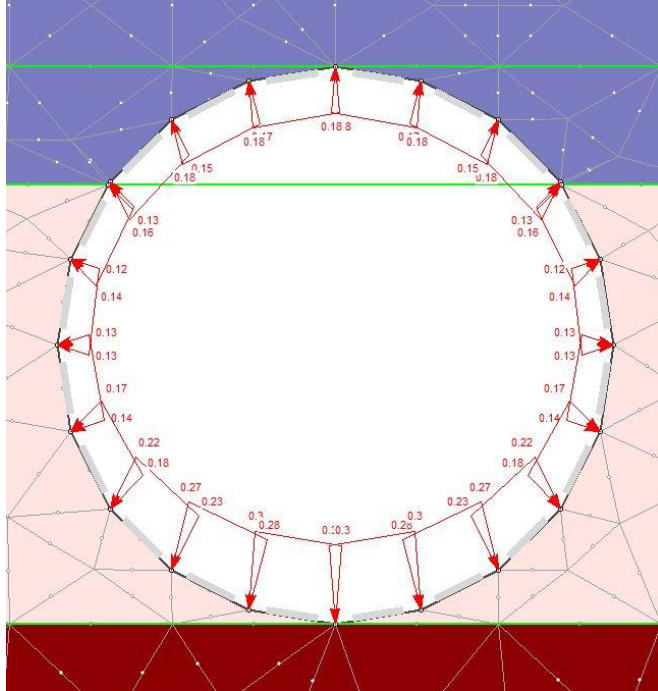


Εικόνα 8.22 Καθιζήσεις κατά την Εκσκαφή (Βήμα 4) στην Ανάδρομη Ανάλυση ($\lambda = 0.40$)

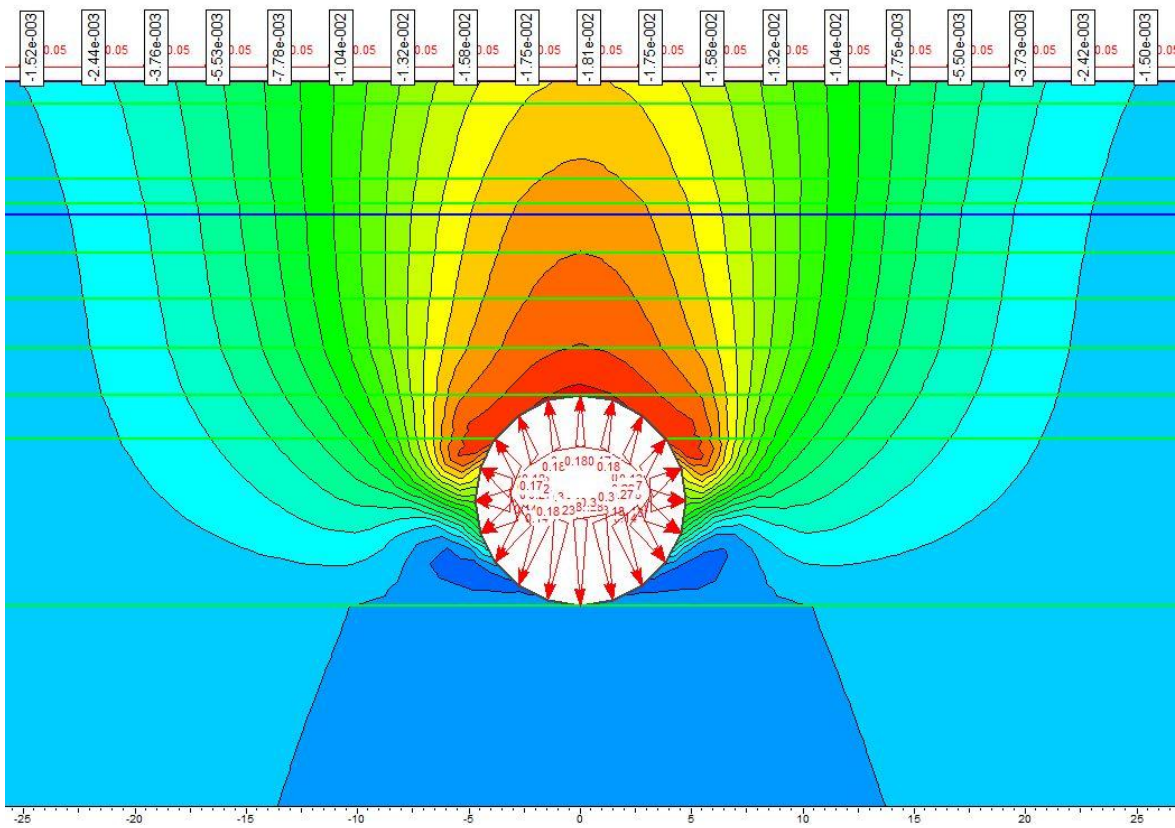
8.1.3.2 Συντελεστής Αποτόνωσης $\lambda = 0.42$

Για να προσεγγισθεί η δυσμενέστερη εκδοχή σε σχέση με το μέγεθος της πραγματικής καθίζησης (19.4 mm σύμφωνα με τους Κουκουτάς κ.α. 2010), πραγματοποιήθηκε ανάδρομη ανάλυση με συντελεστή αποτόνωσης $\lambda = 0.42$ και $\rho/\rho_0 = 0.58$ (Εικόνα 8.23).

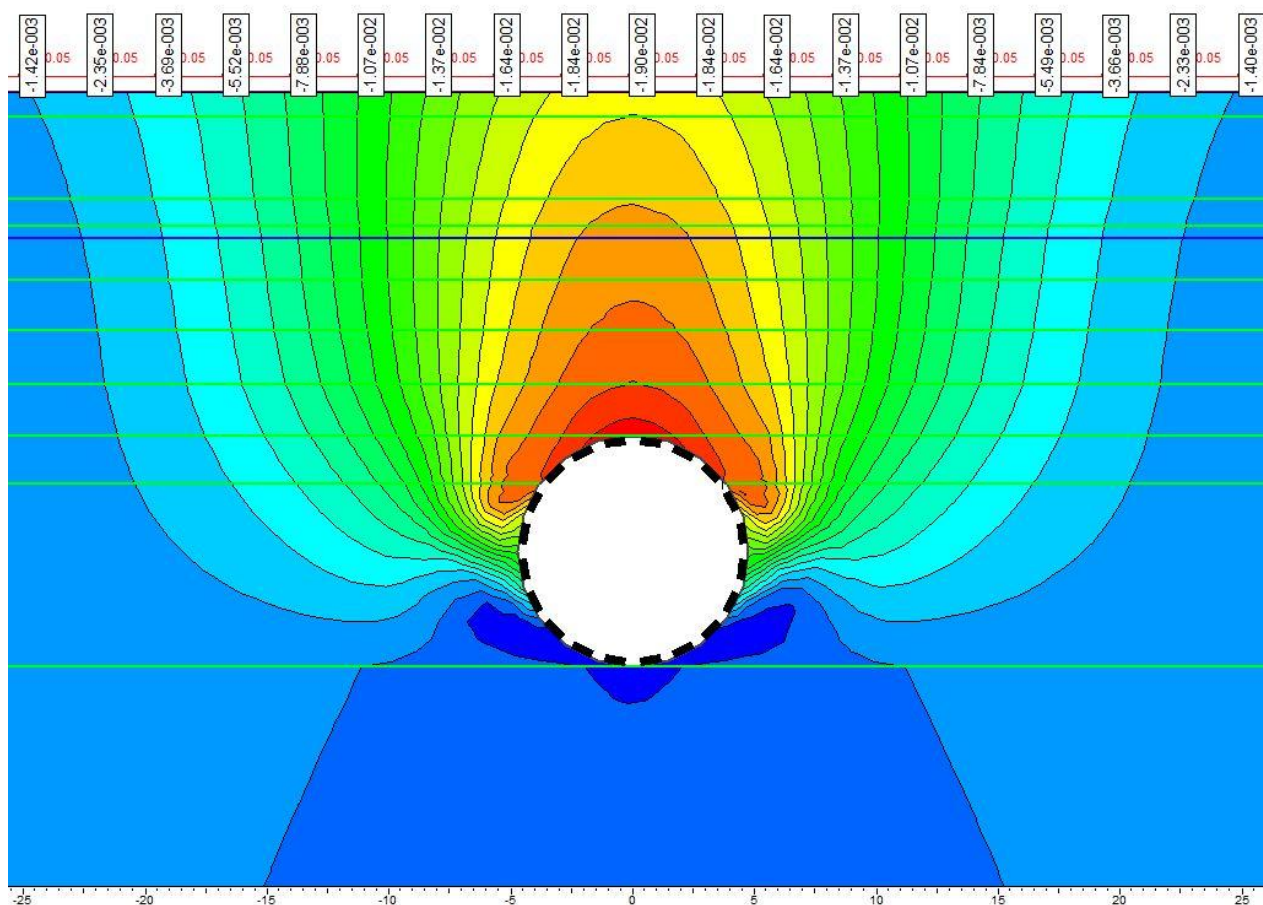
Οι καθιζήσεις που υπολογίστηκαν κατά την Ανάλυση Σχεδιασμού στο Βήμα 3 (αποτόνωση) και το Βήμα 4 (εκσκαφή και υποστήριξη) παρουσιάζονται στις Εικόνες 8.24 και 8.25 αντίστοιχα. Η μέγιστη καθίζηση υπολογίστηκε ίση με 19.00 mm, πρακτικά ίση με την πραγματική (19.4 mm) σύμφωνα με τους Κουκουτάς κ.α. 2010



Εικόνα 8.23 Μοντέλο Ανάδρομης Ανάλυσης - Βήμα 3 ($\lambda = 0.42$)



Εικόνα 8.24 Καθιζήσεις κατά την Αποτόνωση (Βήμα 3) στην Ανάδρομη Ανάλυση ($\lambda = 0.42$)



Εικόνα 8.25 Καθιζήσεις κατά την Εκσκαφή (Βήμα 4) στην Ανάδρομη Ανάλυση ($\lambda = 0.42$)

8.2 Ανάδρομες Αναλύσεις – Εμπειρική Μέθοδος

Επιπρόσθετα υπολογίσθηκαν οι επιφανειακές καθιζήσεις με τη μέθοδο κατά O'Reilly & New (1982) για σταθερά K (Peck) = 0.50. Η κατανομή και το μέγεθος των κατακόρυφων επιφανειακών καθιζήσεων S , περιγράφονται από καμπύλη Gauss της ακόλουθης μορφής:

$$S = S_{\max} \cdot \exp(-\gamma^2/2i^2) \quad (8.2)$$

όπου S είναι η κατακόρυφη επιφανειακή καθίζηση στην εγκάρσια απόσταση γ από τον άξονα της σήραγγας, S_{\max} η μέγιστη κατακόρυφη επιφανειακή καθίζηση (για $\gamma = 0$) και i είναι το σημείο καμπής της συνάρτησης. Το σημείο καμπής υπολογίζεται από τη σχέση 8.2 μέσω της σταθεράς $K = 0.5$ και υπερκείμενο ύψος σήραγγας $H = 18.84$ m.

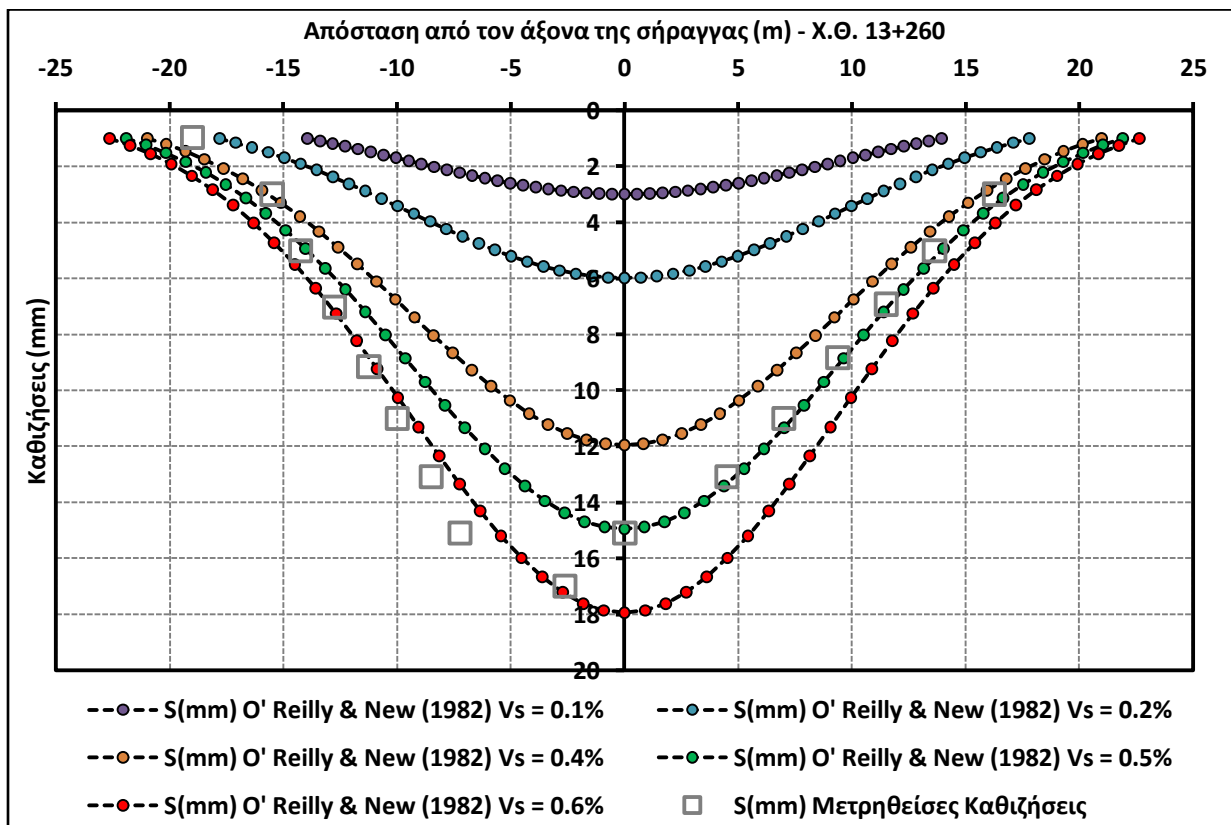
$$i = K \cdot H, \quad (8.3)$$

Η μέγιστη επιφανειακή καθίζηση εξαρτάται από το σημείο καμπής και την απώλεια όγκου που σημειώνεται, και υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$S_{\max} = V_s / \sqrt{2\pi} \cdot i \quad (8.4)$$

Οι επιφανειακές καθιζήσεις υπολογίσθηκαν για απώλεια όγκου $V_s = 0.10\%$, 0.20% , 0.40% , 0.50% , και 0.60% . Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο Διάγραμμα 8.1, όπου συγκρίνονται με τις μετρηθείσες επιφανειακές καθιζήσεις, όπως αυτές παρουσιάζονται στο έγγραφο 2TS4CW180R904A της Αττικό Μετρό Α.Ε.

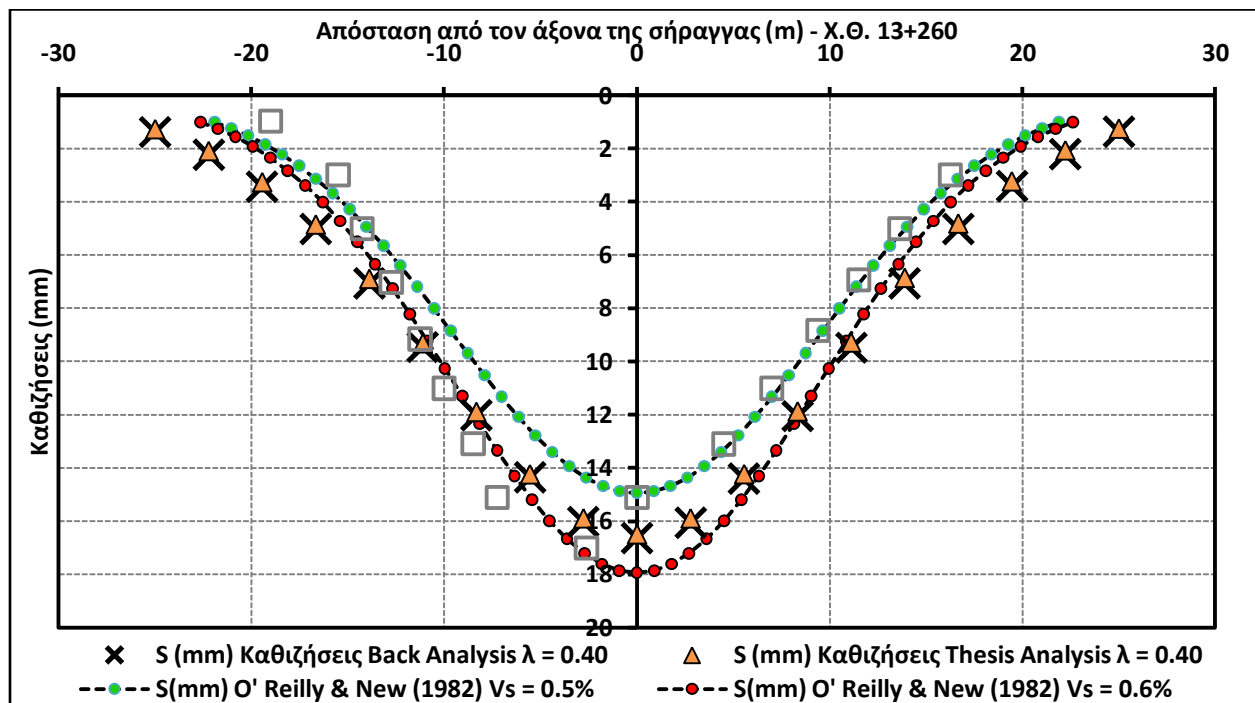
Διάγραμμα 8.1 Μετρηθείσες επιφανειακές καθιζήσεις σε σχέση με τα αποτελέσματα των εμπειρικών ανάλυσεων.



Από το παραπάνω διάγραμμα γίνεται εμφανές ότι αν θεωρήσουμε ότι οι μέγιστες καθιζήσεις που σημειώθηκαν ήταν της τάξης των 17 mm, η απώλεια όγκου που σημειώθηκε είναι μεταξύ 0.5% και 0.6%.

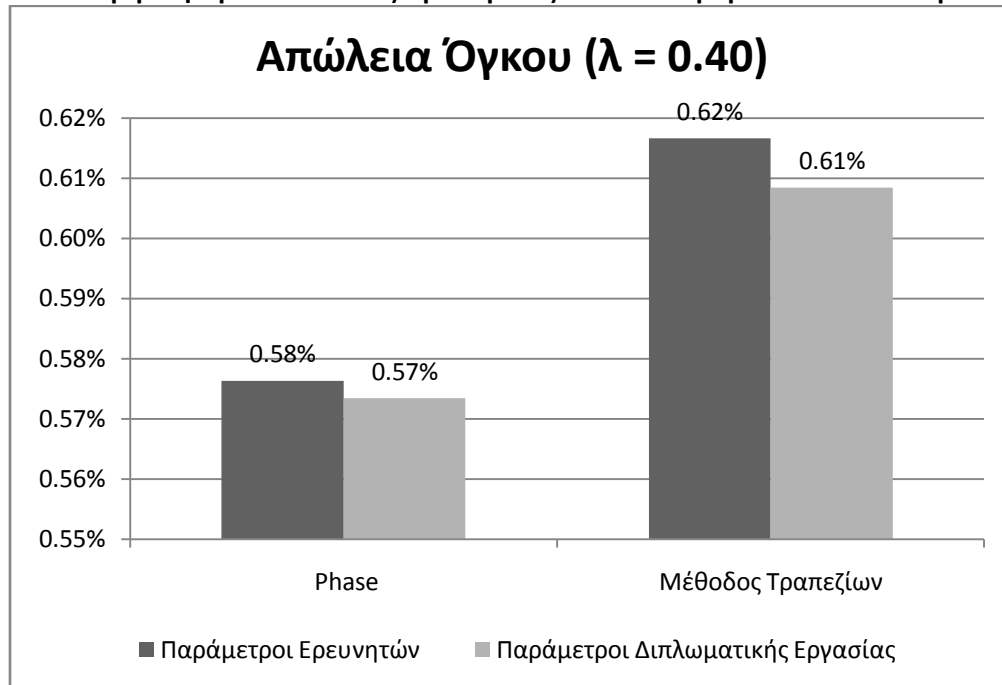
Θεωρήθηκε σκόπιμη η σύγκριση των εμπειρικών αναλύσεων με απώλεια όγκου $V_s = 0.50\%$, και 0.60% με τις ανάδρομες αναλύσεις όπου χρησιμοποιήθηκε συντελεστής αποτόνωσης $\lambda = 0.40$ (Διάγραμμα 8.2). Γίνεται εμφανές ότι υπάρχει σχεδόν απόλυτη ταύτιση των δύο ανάδρομων αναλύσεων. Σε σχέση με τις μετρηθείσες καθιζήσεις, για θετικές αποστάσεις από τον άξονα, η εμπειρική μέθοδος για απώλεια όγκου $V_s = 0.50\%$ προσεγγίζει εξαιρετικά την πραγματικότητα. Αντίθετα, για αρνητικές αποστάσεις από τον άξονα, οι ανάδρομες αναλύσεις όπου χρησιμοποιήθηκε λογισμικό δίνουν καλύτερα αποτελέσματα.

Διάγραμμα 8.2 Μετρηθείσες επιφανειακές καθιζήσεις σε σχέση με τα αποτελέσματα των εμπειρικών και αναλυτικών ανάδρομων αναλύσεων.



Τέλος, υπολογίστηκε η απώλεια όγκου που αντιστοιχεί στις ανάστροφες αναλύσεις για συντελεστή αποτόνωσης ίσο με $\lambda = 0.40$, χρησιμοποιώντας την αντίστοιχη λειτουργία του λογισμικού Phase² 8.0, αλλά και τη μέθοδο των τραπεζιών. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο Διάγραμμα 8.3. Η αρχική μας υπόθεση ότι η απώλεια όγκου είναι μεταξύ 0.50% και 0.60% επαληθεύεται για τις τιμές που υπολογίσθηκαν από το λογισμικό, αλλά αποκλίνουν λίγο για τις τιμές της μεθόδου των τραπεζιών. Αυτό οφείλεται στην μικρότερη ακρίβεια της μεθόδου αυτής, που προκαλεί μικρές, αλλά όχι ουσιώδεις αποκλίσεις.

Διάγραμμα 8.3 Σύγκριση τιμών απώλειας όγκου μεταξύ των ανάδρομων αναλύσεων για $\lambda = 0.40$



9. Συμπεράσματα

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν να αποτελέσει μία ρεαλιστική διερεύνηση γύρω από τα αίτια που προκάλεσαν την εκδήλωση καθιζήσεων κατά την ολομέτωπη μηχανοποιημένη εκσκαφή της Επέκτασης προς Ελληνικό της Γραμμής 2 του Μετρό των Αθηνών.

Η διάτρηση πραγματοποιήθηκε κυρίως σχηματισμούς μαργαϊκού ασβεστόλιθου – ασβεστολιθικού ψαμμίτη, μέτρια ισχυρό με ίχνη καρστικοποίησης, και πολύ ασθενή μαύρου αργιλικού σχιστόλιθου με ενστρώσεις μεταψαμμίτη – μεταϊλυολίθου. Κατά την εκσκαφή καταγράφηκαν μέγιστες καθιζήσεις μέγιστης τιμής 17 mm έως 19 mm, μεταξύ των Χ.Θ. 13+042.02 και 13+305.75.

Οι καθιζήσεις εκδηλώθηκαν αφότου είχε ολοκληρωθεί η διάτρηση της αντίστοιχης κάθε φορά υποκείμενης περιοχής. Το γεγονός αυτό δυσκολεύει το συσχετισμό των καθιζήσεων με τις πτώσεις της πίεσης που σημειώθηκαν κατά την εκσκαφή αλλά και με τη διακοπή προχώρησης στις 23/1/2008 για τη συντήρηση της κοπτικής κεφαλής (Διάγραμμα 7.5).

Από τα δεδομένα σε σχέση με το πραγματικό και το θεωρητικό βάρος δεν προκύπτει κάποια συσχέτιση στο μηχανισμό εκδήλωσης των καθιζήσεων, καθώς οι καθιζήσεις επηρεάζονται από ποικίλους παράγοντες και θα πρέπει να συνεκτιμώνται και αξιολογούνται σε συνδυασμό πάντα με τα υπόλοιπα καταγεγραμμένα δεδομένα.

Αντίθετα ο μειωμένος σε σχέση με το υπόλοιπο έργο ρυθμός προχώρησης μπορεί να συνδέεται με τις καθιζήσεις που σημειώθηκαν. Υπάρχουν περιπτώσεις που υποστηρίζουν αυτήν την υπόθεση όπως αντίστοιχη εκσκαφή στο Σάο Πάολο, όπου η πτώση του ρυθμού προχώρησης επηρέασε τη δημιουργία καθιζήσεων όχι μόνο στο άμεσα υπερκείμενο έδαφος, αλλά και σε περιοχές πριν και μετά (Santos Jr. & Celestino, 2008).

Η μη συσχέτιση με την πτώση της πίεσης, οδηγεί στην υπόθεση ότι οι καθιζήσεις που πραγματοποιήθηκαν αποτελούν «δευτερογενείς» καθιζήσεις, καθώς σημειώθηκαν μετά τη διέλευση του TBM. Οι δευτερογενείς καθιζήσεις μπορούν διατηρηθούν υπό έλεγχο με καλή ενεμάτωση γύρω από τα προκατασκευασμένα στοιχεία (Lovat R.P., 2007). Η ανεπαρκής ενεμάτωση αποτελεί συνηθισμένο αίτιο δευτερογενών καθιζήσεων (Slinchenko, 2009). Το

συμπέρασμα αυτό συνάδει με το σχόλιο της Αττικό Μετρό Α.Ε. στο έγγραφο 2TS4CW180R904A, όπου παρατηρείται ότι σημειώθηκε υψηλότερη κατανάλωση ενέματος κατά θέσεις στο εν λόγω τμήμα της σήραγγας κατά τη διενέργεια των δευτερογενών ενεματώσεων.

Χάρης στις ανάδρομες αναλύσεις, προσδιορίστηκε ότι για να έγινε εφικτή η εκδήλωση των πραγματοποιημένων μέγιστων καθιζήσεων, ο συντελεστής αποτόνωσης του εδάφους λ θα έπρεπε να κυμαίνεται μεταξύ 0.40 και 0.42, ενώ η απώλεια όγκου κατά τις καθιζήσεις μεταξύ 0.5% και 0.6%.

Έγινε εμφανές ότι μεταβάλλοντας τη στρωματογραφία αλλά διατηρώντας σταθερές τις γεωτεχνικές παραμέτρους, οι καθιζήσεις αυξήθηκαν από 6.9 σε 16.6 mm. Αντίθετα, η ανάλυση στη μεταβλημένη στρωματογραφία με ελαφρά τροποποιημένες γεωτεχνικές παραμέτρους, οι οποίες προσδιορίστηκαν κατά τη διπλωματική εργασία, απέφερε ουσιαστικά όμοια αποτελέσματα με την ανάδρομη ανάλυση όπου χρησιμοποιήθηκαν οι παράμετροι των ερευνητών (για ίδιο συντελεστή αποτόνωσης).

Τέλος, προκειμένου να πραγματοποιηθεί διερεύνηση υπόθεσης ότι οι καθιζήσεις που εκδηλώθηκαν αποτελούν δευτερογενείς καθιζήσεις, προτείνεται η αξιολόγηση δεδομένων του TBM-EPB που να σχετίζονται με την πίεση ενεμάτωσης και τη διαδικασία έκχυσης του ενέματος αμέσως μετά τη διέλευση του TBM από τις θέσεις όπου παρατηρήθηκαν οι καθιζήσεις. Έτσι θα διαπιστωθεί αν υπάρχει σύνδεση μεταξύ τους, όπως στην περίπτωση παρόμοιας εκσκαφής στο Μιλάνο (Fangoliet. *et al.*, 2006). Εάν η σύνδεση αυτή δεν καταστεί δυνατή, οδηγούμαστε στη λογική υπόθεση, ότι οι καθιζήσεις ήταν αποτέλεσμα στερεοποίησης.

10. Βιβλιογραφικές Αναφορές

Επέκταση γραμμής 2, Θέσεις Β & Ε, Ηλιούπολη– Ελληνικό, Νέο Αμαξοστάσιο. Τελική Έκθεση Αξιολόγησης Αποτελεσμάτων Γεωτεχνικών Ερευνών, Θέσεις Β & Ε, Ηλιούπολη– Ελληνικό, Νέο Αμαξοστάσιο, Φάση 3, Κωδ.Εγγρ. 2GS0EN180R915B, ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ Α.Τ.Ε., 2005.

Επέκταση Γραμμής 2, «Τμήμα Άγιος Δημήτριος – Ελληνικό», Κύρια Σήραγγα Διανοιγόμενη Με Μηχανικά ΤΒΜ, Τμήματα Από Φρέαρ Λέοντος – Φρέαρ Υμηττού & Από Φρέαρ Υμηττού – Σταθμός Αργυρούπολη, (Μεσοδιαστήματα 5 & 6 Κύριας Σήραγγας), Έκθεση Γεωτεχνικής Αξιολόγησης. Τεχνική Έκθεση, Κωδ.Εγγρ 2TS4CW180R901B, ΟΜΙΚΡΟΝ ΚΑΠΑ Ε.Π.Ε., 2007.

Επέκταση Γραμμής 2, «Τμήμα Άγιος Δημήτριος – Ελληνικό», Φάκελος Μεσοδιαστημάτων 6 (Σταθμός Αργυρούπολης – Φρέαρ Υμηττού), 5 (Φρέαρ Υμηττού – Φρέαρ Λέοντος) και 4 (Φρέαρ Λέοντος – Σταθμός Αλίμου) και Προχώρηση ΤΒΜ. Τεχνική έκθεση Κωδ.Εγγρ 2TS4CW180R903A, ΟΜΙΚΡΟΝ ΚΑΠΑ Ε.Π.Ε., 2007.

Επέκταση Γραμμής 2, «Τμήμα Άγιος Δημήτριος – Ελληνικό», Φάκελος Μεσοδιαστημάτων 6 (Σταθμός Αργυρούπολης – Φρέαρ Υμηττού), 5 (Φρέαρ Υμηττού – Φρέαρ Λέοντος) και 4 (Φρέαρ Λέοντος – Σταθμός Αλίμου) και Προχώρηση ΤΒΜ. Ανάδρομος Υπολογισμός Κωδ.Εγγρ 2TS4CW180R904A, ΟΜΙΚΡΟΝ ΚΑΠΑ Ε.Π.Ε., 2008.

Κουκουτάς Σ., Γιούτα – Μήτρα Π., Πλέτσης Σ., Σοφιανός Α. Ι., Θεωρητικές και Πραγματικές Καθιζήσεις Κατά τη Διάνοιξη του Μετρό της Αθήνας στην Επέκταση του Ελληνικού, 6ο Πανελλήνιο Συνέδριο Γεωτεχνικής & Γεωπεριβαλλοντικής Μηχανικής, Βόλος, 2010.

Ξενόγλωσσες βιβλιογραφικές αναφορές

Araujo, J.M., Probabilistic analysis of reinforced concrete columns. *Advances in Engineering Software*, 32, 871-879, 2001.

ΑΤΤΙΚΟ METRO: Elliniko Extension. CON-06/003 Contract Documents. Athens, 2006.

- Babendererde S. & Babendererde T., TBM Full Face Driving – Recent Innovations, *Ημερίδα Νέες Εξελιγμένες Μέθοδοι Μηχανικής Διάνοιξης Σηράγγων*, 2007.
- Banerjee I., McLane R., Shorey E. and Gasson P., TBM Conveyor Belt Scale: The University Link Project Experience, *Rapid Excavation and Tunneling Conference Proceedings 2013*, Society for Mining, Metallurgy, and Exploration (SME), 2013.
- Bowles J.E., *Foundation analysis and design*, 5th Edition McGraw-Hill companies, Inc, 1996.
- Fargoli V., Boldini D. and Amorosi A., TBM tunneling-induced settlements in coarse-grained soils: The case of the new Milan underground line 5, *Tunneling and Underground Space Technology* 38, 336-337, 2013.
- Hoek, E., Carranza-Torres, C., & Corkum, B., Hoek-Brown failure criterion - 2002, edition. *Proceedings of NARMS-Tac*, 267-273, 2002.
- Hoek E., Diederichs M.S. Empirical estimation of rock mass modulus, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 43, 203-215, 2006.
- Le Van, C., Leoutsakos, G. and Doulakis I. Athens Metro – Elliniko Extension TBM Tunnel Construction, *BHM Berg- und Hüttenmännische Monatshefte*, 154(10), 450-456, 2008.
- Leoutsakos, G., Le Van, C. and Doulakis, I. Elliniko Extension of Athens Metro – Project Description, Structuring and Implementation, *Geomechanik Tunnelbau*, 1, 197–206, 2008.
- Lovat R. P., TBM design considerations: Selection of earth pressure balance or slurry pressure balance tunnel boring machines, *Εισήγηση Ημερίδας Νέες Εξελιγμένες Μέθοδοι Μηχανικής Διάνοιξης Σηράγγων*, TEE, Αθήνα, 2007.
- Maidl, B., Herrenknecht, M., Maidl, U., & Wehrmeyer, G., *Mechanised shield tunnelling*. John Wiley & Sons, 2012.
- Marinos P.V., & Tsiambaos G., Strength and deformability of specific sedimentary and ophiolitic rocks, *Proceedings of the 12th International Congress Patras*, 2010.

O'reilly, M. P., & New, B. M., Settlements above tunnels in the United Kingdom-their magnitude and prediction, *Proc. of Tunnelling '82 Symposium*, 173-181, London, 1982.

Santos Jr. O.J., Celestino T.B., Artificial neural networks analysis of São Paulo subway tunnel settlement data, *Tunnelling and Underground Space Technology*, 23(5), 481-491, 2008.

Slinchenko D., Control Of Ground Settlement In EPB Tunnelling, *ITA–AITES World Tunnel Congress 2009 and 35th ITA–AITES General Assembly*, Budapest, Hungary May 23–28, 2009.

Ιστοσελίδες

<http://www.ametro.gr>

<http://nettun.org>

Παράρτημα Ι - Ιδεατές τομές εδάφους

ΙΔΕΑΤΗ ΤΟΜΗ 6 ΣΤΗ Χ.Θ. 12+260 (ΣΤΑΘΜΟΣ ΑΛΙΜΟΣ)

ΑΡΧΙΚΟ ΦΥΣΙΚΟ ΕΔΑΦΟΣ INITIAL GROUND LEVEL	±0,00	(+75,50)
Σχηματισμός 1 : Τεχνητές Επιχώσεις Formation 1 : Man made deposits	-0,80	(+74,70)
	Σ.Υ.Ν. (G.W.L) ▼	
Σχηματισμός 5.1 : Συνεκτικά κορήματα Formation 5.1 : Cohesive recent scree	-8,80	(+89,00)
	-8,00	(+87,50)
Σχηματισμός 9.1 : Μανδύας αποσάθρωσης μαργαϊκού ασβεστολίθου Formation 9.1 : Weathered mantle of marly limestone	-11,00	(+84,50)
Σχηματισμός 9.2 α,β,γ : Μαργαϊκός ασβεστόλιθος έως ψαμμίτης Formation 9.2 a,b,c : Marly limestone - Sandstone		
T.O.R. (Ερυθρά χάραξης)	-20,30	(+56,20)
	-28,00	(+47,50)

Εικόνα 5.1 Ιδεατή Τομή 6 Χ.Θ. 12+260 Πηγή: Αττικό Μετρό Α.Ε.(2GS0EN180R915B)

ΙΔΕΑΤΗ ΤΟΜΗ 8 ΣΤΗ Χ.Θ. 12+750 (ΦΡΕΑΡ ΛΕΟΝΤΟΣ)

ΑΡΧΙΚΟ ΦΥΣΙΚΟ ΕΔΑΦΟΣ INITIAL GROUND LEVEL	±0,00	(+67,09)
<hr/>		
Σχηματισμός 1 : Τεχνητές Επιχώσεις Formation 1 : Man made deposits	-1,90	(+65,19)
<hr/>		
Σχηματισμός 9.1 : Μανδύας αποσάθρωσης μαργαϊκού ασβεστολίθου Formation 9.1 : Weathered mantle of marly limestone	Σ.Υ.Ν. (GWL) ▼ -4,47	(+62,62)
	-4,60	(+62,49)
<hr/>		
Σχηματισμός 9.2 α,β,γ : Μαργαϊκός ασβεστόλιθος έως ψαμμίτης Formation 9.2 a,b,c : Marly limestone - Sandstone		
	-19,35	(+47,74)
<hr style="border-top: 1px dashed black;"/>		
T.O.R. (Ερυθρά χάραξης)		
	-29,00	(+38,09)
<hr/>		

Εικόνα 5.2 Ιδεατή Τομή 8 Χ.Θ. 12+750 Πηγή: Αττικό Μετρό (2GSOEN180R915B)

ΙΔΕΑΤΗ ΤΟΜΗ 9 ΣΤΗ Χ.Θ. 13+120

ΑΡΧΙΚΟ ΦΥΣΙΚΟ ΕΔΑΦΟΣ INITIAL GROUND LEVEL	±0,00	(+61,10)
Σχηματισμός 1 : Τεχνητές Επιχώσεις Formation 1 : Man made deposits	-0,80	(+60,30)
Σχηματισμός 5.1 : Συνεκτικά κορήματα Formation 5.1 : Cohesive recent scree	-5,00	(+56,10)
Σχηματισμός 9.1 : Μανδύας Αποσάθρωσης Μαργ. Ασβεστόλιθου - Ψαμμίτη Formation 9.1 : Weathered Mantle of Marly Limestone - Sandstone		
	Σ.Υ.Ν. (GWL)	
	-8,00	(+55,10)
Σχηματισμός 9.2 α,β,γ : Μαργαϊκός ασβεστόλιθος έως ψαμμίτης Formation 9.2 a, b, c : Marly limestone - sandstone	-19,00	(+42,10)
Σχηματισμός 10.3 α,β,γ : Μαύρος Αργιλικός Σχιστόλιθος Formation 10.3 a,b,c : Black clayey schist		
T.O.R. (Ερυθρά χάραξης)	-21,20	(+41,70)
	-28,00	(+33,10)

Εικόνα 5.3 Ιδεατή Τομή 9 Χ.Θ. 13+120 Πηγή: Αττικό Μετρό Α.Ε.(2GS0EN180R915B)

ΙΔΕΑΤΗ ΤΟΜΗ 10 ΣΤΗ Χ.Θ. 13+315 (ΦΡΕΑΡ ΥΜΗΤΤΟΥ)

ΑΡΧΙΚΟ ΦΥΣΙΚΟ ΕΔΑΦΟΣ INITIAL GROUND LEVEL	±0,00	(+55,63)
Σχηματισμός 1 : Τεχνητές Επιχώσεις Formation 1 : Man made deposits	-3,00	(+52,63)
Σχηματισμός 9.2 α,β,γ : Μαργαϊκός ασβεστόλιθος έως ψαμμίτης Formation 9.2 a, b, c : Marly limestone - sandstone	Σ.Υ.Ν. (GWL) ▼----- -4,60	(+51,03)
O.R. (Ερυθρά χάραξης)	-19,60	(+36,03)
	-22,70	(+32,93)
Σχηματισμός 10.2 α,β,γ : Εναλλαγές μεταψαμμιτών και μεταίλουλίθων Formation 10.2 a,b,c : Alternations of Metasandstones and metasiltstones	-24,10	(+31,53)
Σχηματισμός 10.3 α,β,γ : Μαύρος Αργιλικός Σχιστόλιθος Formation 10.3 a,b,c : Black clayey schist	-28,00	(+27,63)

Εικόνα 5.3 Ιδεατή Τομή 10 Χ.Θ. 13+315 Πηγή: Αττικό Μετρό Α.Ε.(2GSOEN180R915B)

Παράρτημα II - Βιβλιογραφικές αναφορές για την εκτίμηση γεωμετρικών παραμέτρων των σχηματισμών της περιοχής μελέτης

Σχηματισμός 5.1

Εκτίμηση των γεωτεχνικών παραμέτρων σχεδιασμού για το σχηματισμό 5.1 σύμφωνα με βιβλιογραφικά δεδομένα (Πηγή: Αττικό Μετρό Α.Ε. (2TS4CW180R901B))

A/A	Βιβλιογραφική αναφορά / ερευνητής	Δεδομένα	Τυπολόγιο	Εύρος γεωλογικών παραμέτρων
1	NAVFAC (1971)	Κατάταξη: CL	Πίνακας	$\phi' = 28^\circ$, $c = 13$ kPa $\phi' = 19^\circ$, $c = 11$ kPa
2	DIN 1055	Κατάταξη: CL	Πίνακας	$\phi' = 22,5^\circ - 27,5^\circ$, $c = 0$ kPa – 10 kPa
3	Earth Manual, 3rd Edition, Πίνακας 1-3, σελ. 50	Κατάταξη: CL	Πίνακας	$\phi' = 11^\circ - 37^\circ$, $c' = 10$ kPa – 104 kPa $\phi' = 11^\circ - 31^\circ$, $c' = 0$ kPa – 108 kPa
4	Γεωτεχνική Μηχανική, Ν. Παπαχαρίσης, Ν. Μάνου-Ανδρεάδη, Ι. Γραμματικόπουλος, Πίνακας 3.13, σελ. 181	Άργιλος ξηρή, υγρή και πυκνή	Πίνακας	$\phi = 0^\circ - 30^\circ$
5	Γεωτεχνική Μηχανική, Ν. Παπαχαρίσης, Ν. Μάνου-Ανδρεάδη, Ι. Γραμματικόπουλος, Πίνακας 3.14, σελ. 182	Άργιλος ξηρή, υγρή και πυκνή	Πίνακας	$\phi = 11^\circ - 45^\circ$
6	Essential of soil mechanics and foundations – Basic geotechnics, D.F. McCarthy 5th Edition, Πίνακας 11-1, σελ. 376	Αργιλώδη εδάφη	Πίνακας	$c = 24 - 190$ kPa
7	Foundation analysis and design, J.E. Bowles, 5th Edition, Πίνακας 2-8, σελ. 125	Άργιλος	Πίνακας	$E_s = 2$ MPa – 250 MPa
8	Θεμελιώσεις – Αντιστηρίξεις, Χ. Αναγνωστόπουλος, Μ. Γεωργιάδης, Κ. Πιτιλάκης, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 1994, Πίνακας 3.5, σελ. 47	Αργιλώδη εδάφη	Πίνακας	$E_s = 2$ MPa – 40 MPa
9	Αγκυρώσεις, Παπασπύρου, 1985, Πίνακας 2.2, σελ. 17	Συνεκτικά εδάφη μέσης έως υψηλής πλαστικότητας	Πίνακας	$E_s = 1,0$ MPa – 4 MPa Λόγος Poisson $\nu = 0,46$
10	Αγκυρώσεις, Παπασπύρου, 1985, Πίνακας 2.4, σελ. 19	Συνεκτικά εδάφη μέσης έως υψηλής πλαστικότητας	Πίνακας	$\phi = 0^\circ - 25^\circ$ $c = 10$ kPa – 50 kPa

Σχηματισμός 9.1

Εκτίμηση των γεωτεχνικών παραμέτρων σχεδιασμού για το σχηματισμό 9.1 σύμφωνα με βιβλιογραφικά δεδομένα (Πηγή: Αττικό Μετρό Α.Ε. (2TS4CW180R901B))

A/A	Βιβλιογραφική αναφορά / ερευνητής	Δεδομένα	Τυπολόγιο	Εύρος γεωλογικών παραμέτρων
1	NAVFAC (1971)	Κατάταξη: CL Κατάταξη: ML	Πίνακας	$\phi' = 28^\circ$, $c = 13$ kPa $\phi' = 32^\circ$, $c = 10$ kPa
2	DIN 1055	Κατάταξη: CL Κατάταξη: ML	Πίνακας	$\phi' = 17,5^\circ$, $c = 0$ kPa – 25 kPa $\phi' = 22,5^\circ$ – 27,5°, $c = 0$ kPa – 10 kPa
3	Earth Manual, 3rd Edition, Πίνακας 1-3, σελ. 50	Κατάταξη: CL Κατάταξη: ML	Πίνακας	$\phi' = 11^\circ$ – 37°, $c' = 10$ kPa – 104 kPa $\phi' = 25^\circ$ – 38°, $c' = 0$ kPa – 82 kPa
4	Γεωτεχνική Μηχανική, Ν. Παπαχαρίσης, Ν. Μάνου-Ανδρεάδη, Ι. Γραμματικόπουλος, Πίνακας 3.13, σελ. 181	Άργιλος ξηρή, υγρή και πυκνή Άμμος αργιλώδης	Πίνακας	$\phi = 0^\circ$ – 30° $\phi = 30^\circ$ – 40°
5	Γεωτεχνική Μηχανική, Ν. Παπαχαρίσης, Ν. Μάνου-Ανδρεάδη, Ι. Γραμματικόπουλος, Πίνακας 3.14, σελ. 182	Άργιλος ξηρή, υγρή και κορεσμένη Αργιλώδης άμμος ξηρή Εδάφη χαλικιώδη	Πίνακας	$\phi = 11^\circ$ – 45° $\phi = 30^\circ$ – 46° $\phi = 25^\circ$
6	Essential of soil mechanics and foundations – Basic geotechnics, D.F. McCarthy 5th Edition, Πίνακας 11-1, σελ. 376	Αργιλώδη εδάφη	Πίνακας	$c = 24$ – 190 kPa
7	Foundation analysis and design, J.E. Bowles, 5th Edition, Πίνακας 2-8, σελ. 125	Άργιλος Άμμος και χάλικες	Πίνακας	$E_s = 2$ MPa – 250 MPa $E_s = 5$ MPa – 200 MPa
8	Θεμελιώσεις – Αντιστηρίξεις, Χ. Αναγνωστόπουλος, Μ. Γεωργιάδης, Κ. Πιτιλάκης, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 1994, Πίνακας 3.5, σελ. 47	Αργιλώδη εδάφη	Πίνακας	$E_s = 2$ MPa – 40 MPa
9	Αγκυρώσεις, Παπασπύρου, 1985, Πίνακας 2.2, σελ. 17	Συνεκτικά εδάφη μέσης έως υψηλής πλαστικότητας	Πίνακας	$E_s = 1,0$ MPa – 4 MPa Λόγος Poisson $\nu = 0,46$
10	Αγκυρώσεις, Παπασπύρου, 1985, Πίνακας 2.4, σελ. 19	Συνεκτικά εδάφη μέσης έως υψηλής πλαστικότητας Χαλικώδες έδαφος με χαλαρό ιστό και συνεκτικό υλικό	Πίνακας	$\phi = 0^\circ$ – 25° $c = 10$ kPa – 50 kPa $\phi = 22^\circ$ – 32° $c = 10$ kPa – 20 kPa $E = 50$ MPa – 200 MPa Λόγος Poisson $\nu = 0,40$

Σχηματισμός 9.2γ

Εκτίμηση των γεωτεχνικών παραμέτρων σχεδιασμού για το σχηματισμό 9.2γ σύμφωνα με βιβλιογραφικά δεδομένα (Πηγή: Αττικό Μετρό Α.Ε. (2TS4CW180R901B))

A/A	Βιβλιογραφική αναφορά / ερευνητής	Δεδομένα	Τυπολόγιο	Εύρος γεωλογικών παραμέτρων
1	NAVFAC (1971)	Κατάταξη: SM Κατάταξη: SC	Πίνακας	$\phi' = 34^\circ$, $c = 20$ kPa $\phi' = 31^\circ$, $c = 11$ kPa
2	DIN 1055	Ιλυώδης χάλικες- λεπτόκοκκα	Πίνακας	$\phi' = 27.5^\circ$, $c = 0$ kPa – 5 kPa
3	Earth Manual, 3rd Edition, Πίνακας 1-3, σελ. 50	Κατάταξη: SM Κατάταξη: SC	Πίνακας	$\phi' = 24^\circ - 41^\circ$, $c' = 0$ kPa – 90 kPa $\phi' = 25^\circ - 38^\circ$, $c' = 0$ kPa – 42 kPa
4	Γεωτεχνική Μηχανική, Ν. Παπαχαρίσης, Ν. Μάνου- Ανδρεάδη, Ι. Γραμματικόπουλος, Πίνακας 3.13, σελ. 181	Χονδρόκοκκη άμμος Μέτρια άμμος Άμμος αργιλώδης υγρή	Πίνακας	$\phi = 25^\circ - 35^\circ$ $\phi = 25^\circ - 35^\circ$ $\phi = 30^\circ - 40^\circ$
5	Γεωτεχνική Μηχανική, Ν. Παπαχαρίσης, Ν. Μάνου- Ανδρεάδη, Ι. Γραμματικόπουλος, Πίνακας 3.14, σελ. 182	Χονδρόκοκκη ξηρή άμμος Αργιλώδης άμμος ξηρή	Πίνακας	$\phi = 30^\circ - 35^\circ$ $\phi = 30^\circ - 46^\circ$
6	Essential of soil mechanics and foundations – Basic geotechnics, D.F. McCarthy 5th Edition, Πίνακας 11-1, σελ. 376	Μίγμα άμμου και χαλίκων	Πίνακας	$\phi = 33^\circ - 36^\circ$
7		Άμμος, μεσόκοκκη έως λεπτόκοκκη		$\phi = 29^\circ - 32^\circ$
8		Ιλυώδης άμμος		$\phi = 27^\circ - 32^\circ$
9	Foundation analysis and design, J.E. Bowles, 5th Edition, Πίνακας 2-8, σελ. 125	Άμμος πυκνής απόθεσης	Πίνακας	$E_s = 50$ MPa – 81 MPa
10		Άμμος και χάλικες, πυκνής απόθεσης		$E_s = 100$ MPa – 200 MPa
11	Θεμελιώσεις– Αντιστηρίξεις, Χ. Αναγνωστόπουλος, Μ. Γεωργιάδης, Κ. Πιτιλάκης, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 1994, Πίνακας 3.5, σελ. 47	Άμμος πυκνή	Πίνακας	$E_s = 50$ MPa – 100 MPa
12	Αγκυρώσεις, Παπασπύρου, 1985, Πίνακας 2.2, σελ. 17	Μαλακά βραχώδη πετρώματα– αποσαθρωμένο ελαφρά στερεοποιημένο	Πίνακας	$E_s = 20$ MPa – 30 MPa Λόγος Poisson $\nu = 0,35$
13	Αγκυρώσεις, Παπασπύρου, 1985, Πίνακας 2.4, σελ. 19	Μεσόκοκκη έως λεπτόκοκκη άμμος με αργιλικό κλάσμα >2%, ξηρή έως υγρή	Πίνακας	$\phi = 27^\circ - 32^\circ$ $c = 10$ kPa – 20 kPa $E_s = 8$ MPa – 25 MPa Λόγος Poisson $\nu = 0,30 - 0,36$

Σχηματισμός 10.2γ

Εκτίμηση των γεωτεχνικών παραμέτρων σχεδιασμού για το σχηματισμό 10.2γ σύμφωνα με βιβλιογραφικά δεδομένα (Πηγή: Αττικό Μετρό Α.Ε. (2TS4CW180R901B))

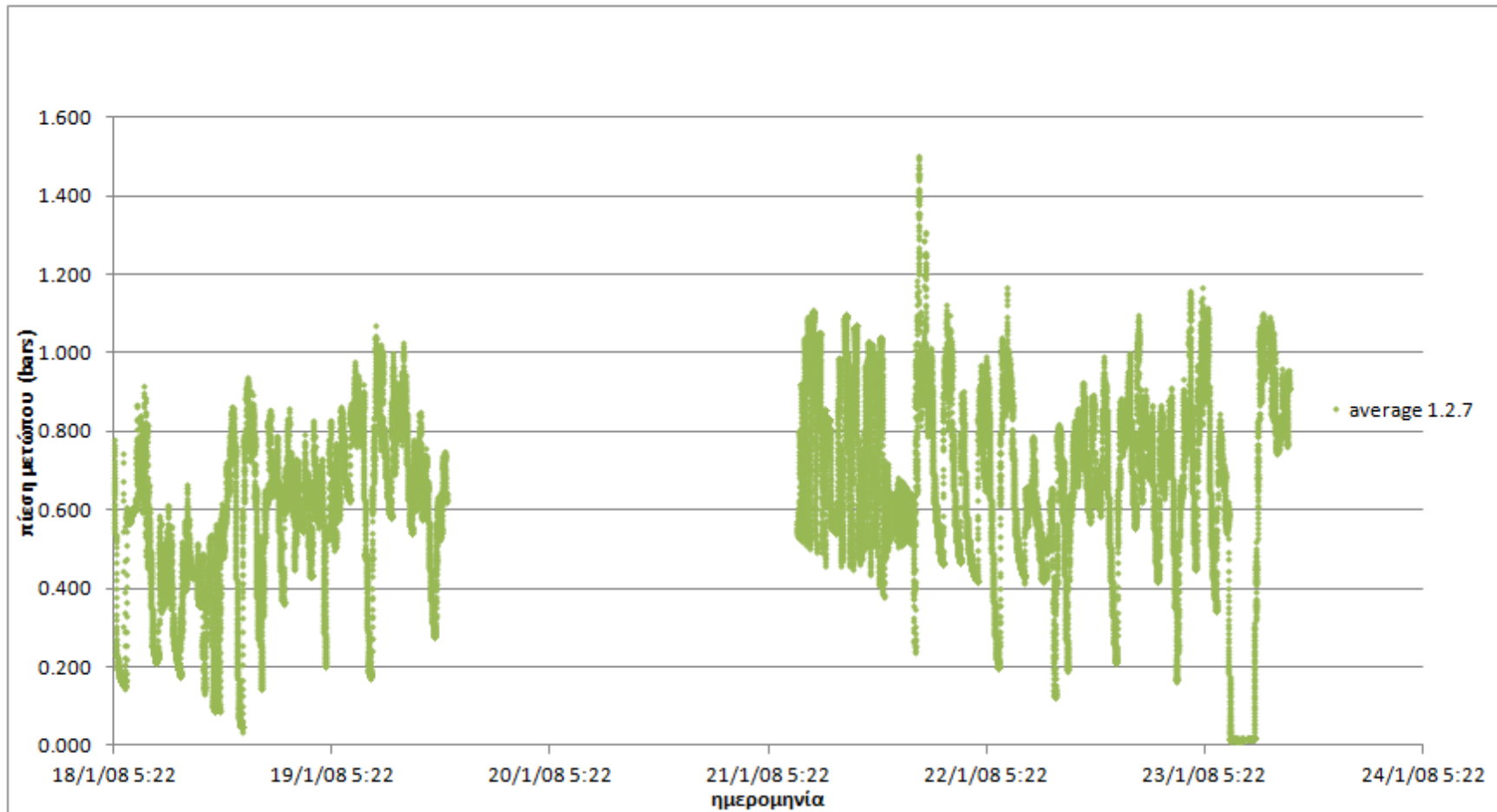
A/A	Βιβλιογραφική αναφορά / ερευνητής	Δεδομένα	Τυπολόγιο	Εύρος γεωλογικών παραμέτρων
1	NAVFAC (1971)	Κατάταξη: SM Κατάταξη: SC	Πίνακας	$\phi' = 34^\circ$, $c = 20$ kPa $\phi' = 31^\circ$, $c = 11$ kPa
2	DIN 1055	Ιλυώδης χάλικες- λεπτόκοκκα	Πίνακας	$\phi' = 27.5^\circ$, $c = 0$ kPa – 5kPa
3	Earth Manual, 3rd Edition, Πίνακας 1-3, σελ. 50	Κατάταξη: SM Κατάταξη: SC	Πίνακας	$\phi' = 24^\circ - 41^\circ$, $c' = 0$ kPa – 90kPa $\phi' = 25^\circ - 38^\circ$, $c' = 0$ kPa – 42 kPa
4	Γεωτεχνική Μηχανική, Ν. Παπαχαρίσης, Ν. Μάνου- Ανδρεάδη, Ι. Γραμματικόπουλος, Πίνακας 3.13, σελ. 181	Χονδρόκοκκη άμμος Μέτρια άμμος Άμμος αργιλώδης υγρή	Πίνακας	$\phi = 25^\circ - 35^\circ$ $\phi = 25^\circ - 35^\circ$ $\phi = 30^\circ - 40^\circ$
5	Γεωτεχνική Μηχανική, Ν. Παπαχαρίσης, Ν. Μάνου- Ανδρεάδη, Ι. Γραμματικόπουλος, Πίνακας 3.14, σελ. 182	Χονδρόκοκκη ξηρή άμμος Αργιλώδης άμμος ξηρή	Πίνακας	$\phi = 30^\circ - 35^\circ$ $\phi = 30^\circ - 46^\circ$
6	Essential of soil mechanics and foundations – Basic geotechnics, D.F. McCarthy 5th Edition, Πίνακας 11-1, σελ. 376	Μίγμα άμμου και χαλίκων	Πίνακας	$\phi = 33^\circ - 36^\circ$
7		Άμμος, μεσόκοκκη έως λεπτόκοκκη		$\phi = 29^\circ - 32^\circ$
8		Ιλυώδης άμμος		$\phi = 27^\circ - 32^\circ$
9	Foundation analysis and design, J.E. Bowles, 5th Edition, Πίνακας 2-8, σελ. 125	Άμμος πυκνής απόθεσης	Πίνακας	$E_s = 50$ MPa – 81 MPa
10		Άμμος και χάλικες, πυκνής απόθεσης		$E_s = 100$ MPa – 200 MPa
11	Θεμελιώσεις– Αντιστηρίξεις, Χ. Αναγνωστόπουλος, Μ. Γεωργιάδης, Κ. Πιτιλάκης, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 1994, Πίνακας 3.5, σελ. 47	Άμμος πυκνή	Πίνακας	$E_s = 50$ MPa – 100 MPa
12	Αγκυρώσεις, Παπασπύρου, 1985, Πίνακας 2.2, σελ. 17	Μαλακά βραχώδη πετρώματα– αποσαθρωμένο ελαφρά στερεοποιημένο	Πίνακας	$E_s = 20$ MPa – 30 MPa Λόγος Poisson $\nu = 0,35$
13	Αγκυρώσεις, Παπασπύρου, 1985, Πίνακας 2.4, σελ. 19	Μεσόκοκκη έως λεπτόκοκκη άμμος με αργιλικό κλάσμα >2%, ξηρή έως υγρή	Πίνακας	$\phi = 27^\circ - 32^\circ$ $c = 10$ kPa – 20 kPa $E_s = 8$ MPa – 25 MPa Λόγος Poisson $\nu = 0,30 - 0,36$

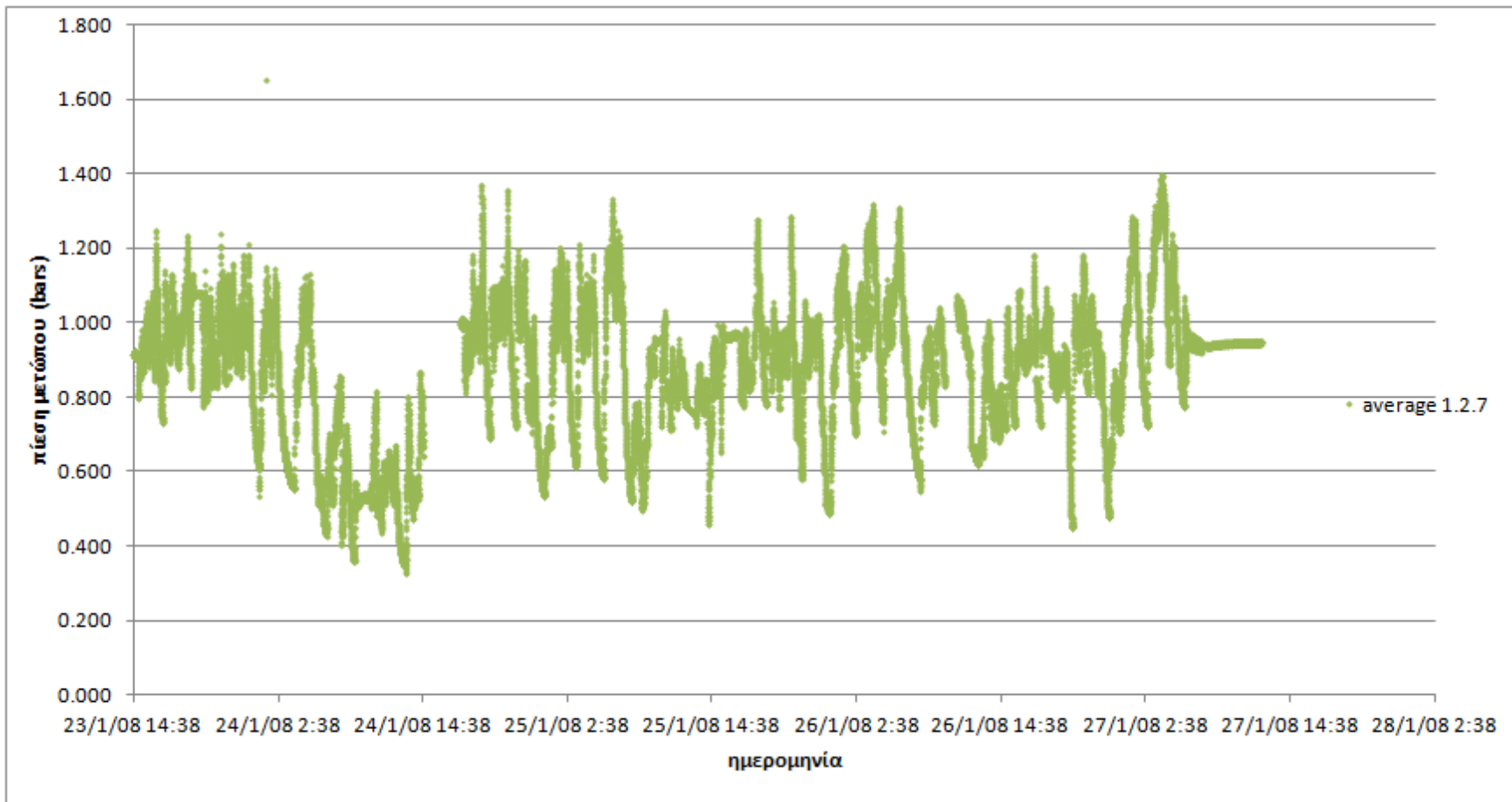
Σχηματισμός 10.3γ

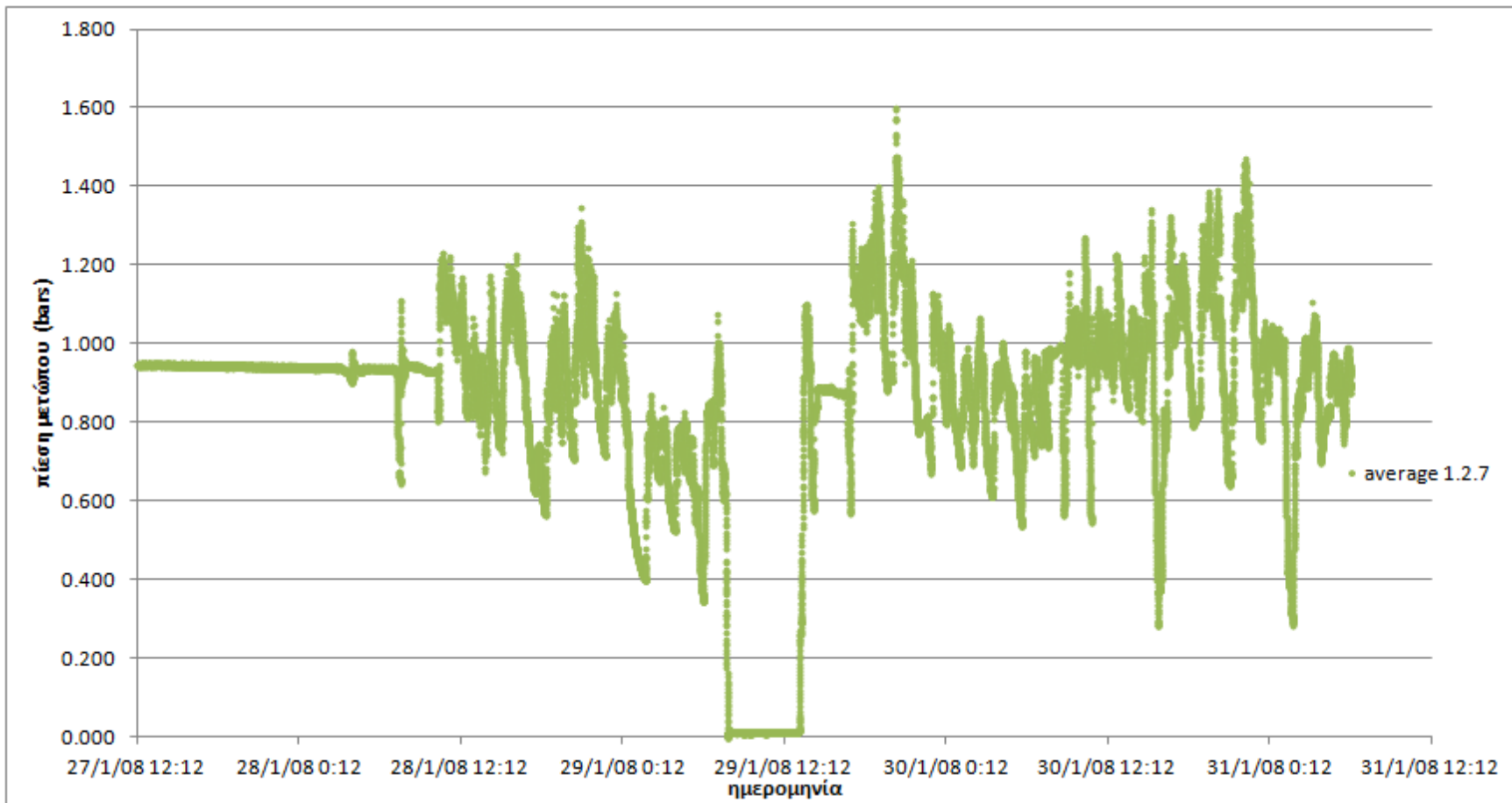
Εκτίμηση των γεωτεχνικών παραμέτρων σχεδιασμού για το σχηματισμό 10.3γ σύμφωνα με βιβλιογραφικά δεδομένα (Πηγή: Αττικό Μετρό Α.Ε. (2TS4CW180R901B))

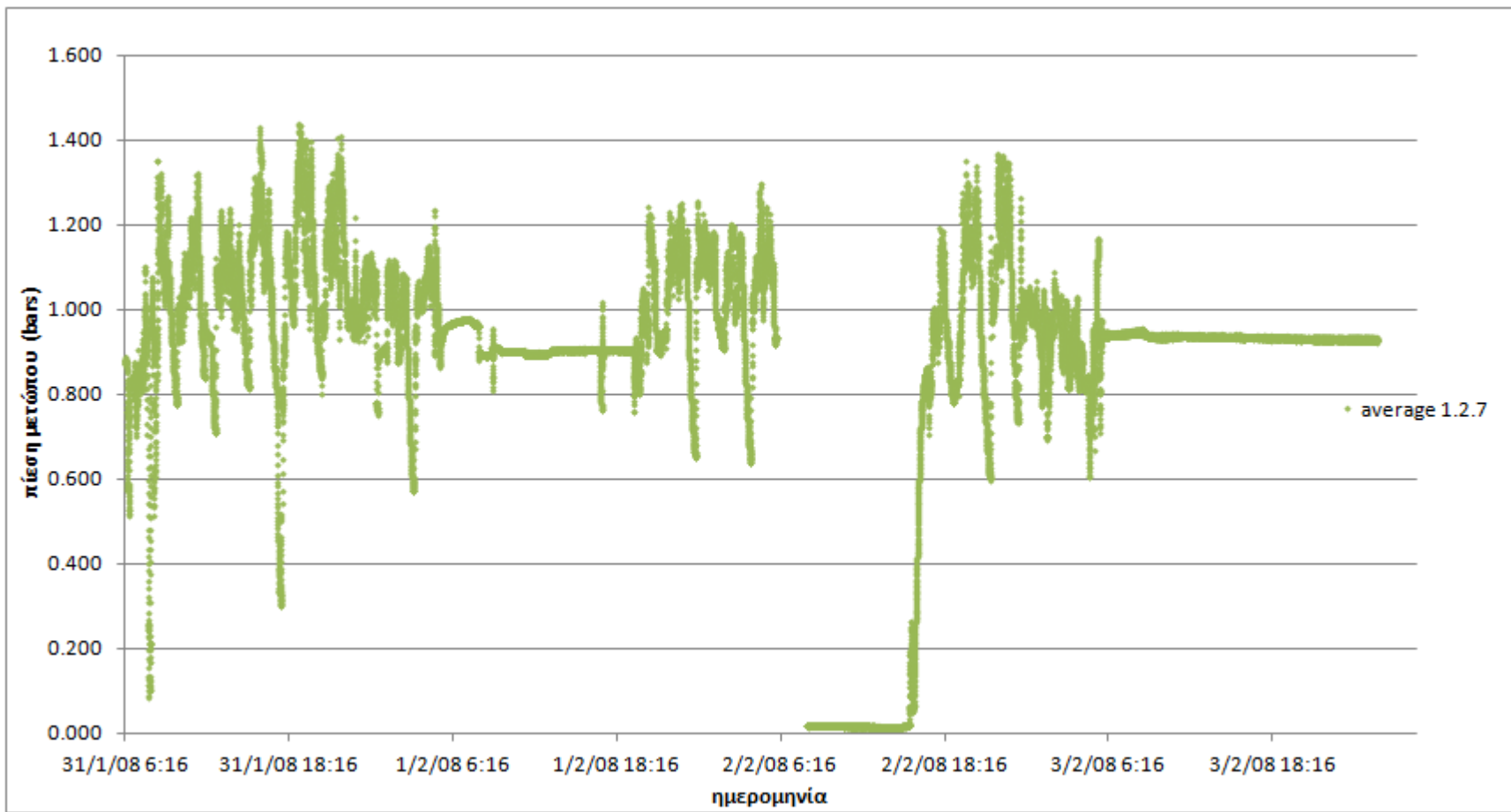
A/A	Βιβλιογραφική αναφορά / ερευνητής	Δεδομένα	Τυπολόγιο	Εύρος γεωλογικών παραμέτρων
1	NAVFAC (1971)	Κατάταξη: SM Κατάταξη: SC	Πίνακας	$\phi' = 34^\circ$, $c = 20$ kPa $\phi' = 31^\circ$, $c = 11$ kPa
2	DIN 1055	Ιλυώδης χάλικες- λεπτόκοκκα	Πίνακας	$\phi' = 27.5^\circ$, $c = 0$ kPa – 5 kPa
3	Earth Manual, 3rd Edition, Πίνακας 1-3, σελ. 50	Κατάταξη: SM Κατάταξη: SC	Πίνακας	$\phi' = 24^\circ - 41^\circ$, $c' = 0$ kPa – 90 kPa $\phi' = 25^\circ - 38^\circ$, $c' = 0$ kPa – 42 kPa
4	Γεωτεχνική Μηχανική, Ν. Παπαχαρίσης, Ν. Μάνου- Ανδρεάδη, Ι. Γραμματικόπουλος, Πίνακας 3.13, σελ. 181	Χονδρόκοκκη άμμος Μέτρια άμμος Άμμος αργιλώδης υγρή	Πίνακας	$\phi = 25^\circ - 35^\circ$ $\phi = 25^\circ - 35^\circ$ $\phi = 30^\circ - 40^\circ$
5	Γεωτεχνική Μηχανική, Ν. Παπαχαρίσης, Ν. Μάνου- Ανδρεάδη, Ι. Γραμματικόπουλος, Πίνακας 3.14, σελ. 182	Χονδρόκοκκη ξηρή άμμος Αργιλώδης άμμος ξηρή	Πίνακας	$\phi = 30^\circ - 35^\circ$ $\phi = 30^\circ - 46^\circ$
6	Essential of soil mechanics and foundations – Basic geotechnics, D.F. McCarthy 5th Edition, Πίνακας 11-1, σελ. 376	Μίγμα άμμου και χαλίκων	Πίνακας	$\phi = 33^\circ - 36^\circ$
7		Άμμος, μεσόκοκκη έως λεπτόκοκκη		$\phi = 29^\circ - 32^\circ$
8		Ιλυώδης άμμος		$\phi = 27^\circ - 32^\circ$
9	Foundation analysis and design, J.E. Bowles, 5th Edition, Πίνακας 2-8, σελ. 125	Άμμος πυκνής απόθεσης	Πίνακας	$E_s = 50$ MPa – 81 MPa
10		Άμμος και χάλικες, πυκνής απόθεσης		$E_s = 100$ MPa – 200 MPa
11	Θεμελιώσεις– Αντιστηρίξεις, Χ. Αναγνωστόπουλος, Μ. Γεωργιάδης, Κ. Πιτιλάκης, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 1994, Πίνακας 3.5, σελ. 47	Άμμος πυκνή	Πίνακας	$E_s = 50$ MPa – 100 MPa
12	Αγκυρώσεις, Παπασπύρου, 1985, Πίνακας 2.2, σελ. 17	Μαλακά βραχώδη πετρώματα– αποσαθρωμένο ελαφρά στερεοποιημένο	Πίνακας	$E_s = 20$ MPa – 30 MPa Λόγος Poisson $\nu = 0,35$
13	Αγκυρώσεις, Παπασπύρου, 1985, Πίνακας 2.4, σελ. 19	Μεσόκοκκη έως λεπτόκοκκη άμμος με αργιλικό κλάσμα >2%, ξηρή έως υγρή	Πίνακας	$\phi = 27^\circ - 32^\circ$ $c = 10$ kPa – 20 kPa $E_s = 8$ MPa – 25 MPa Λόγος Poisson $\nu = 0,30 - 0,36$

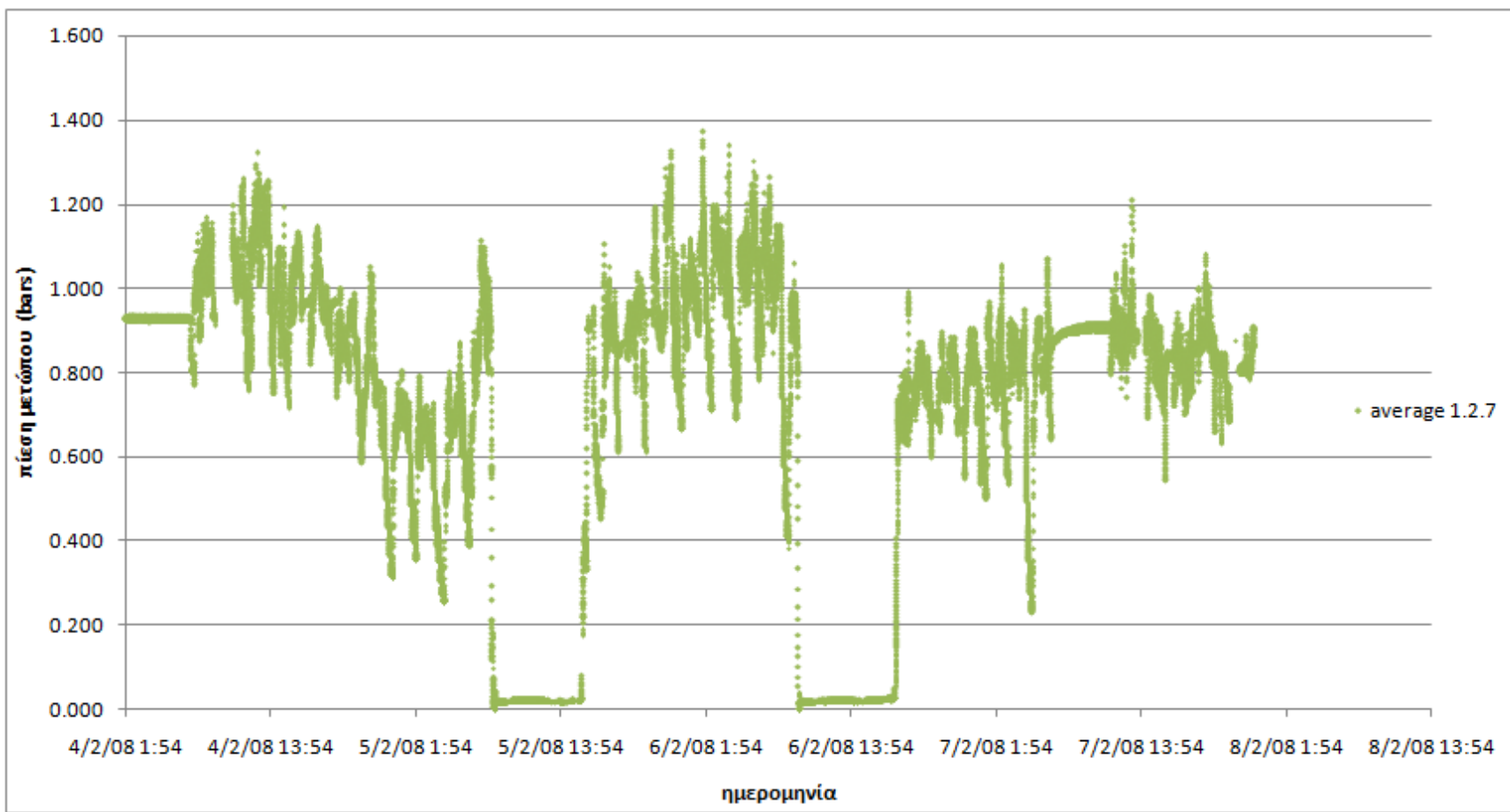
Παράρτημα III – Διακύμανση μέσης πίεσης μετώπου (αισθητήρων 1, 2, 7) στο διάστημα 18/1/2008-15/2-2008
(στοιχεία από Αττικό Μέτρο Α.Ε.)

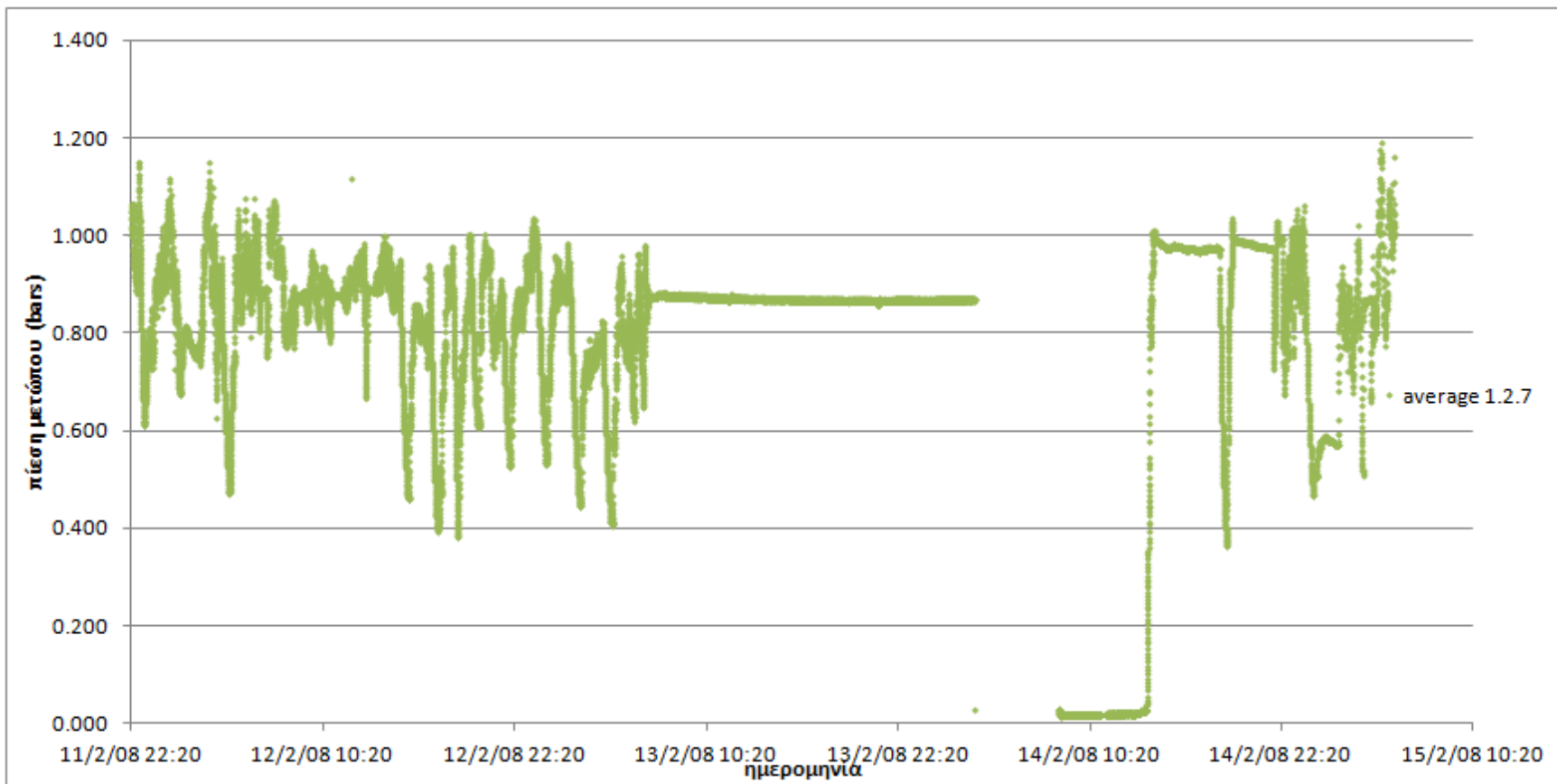




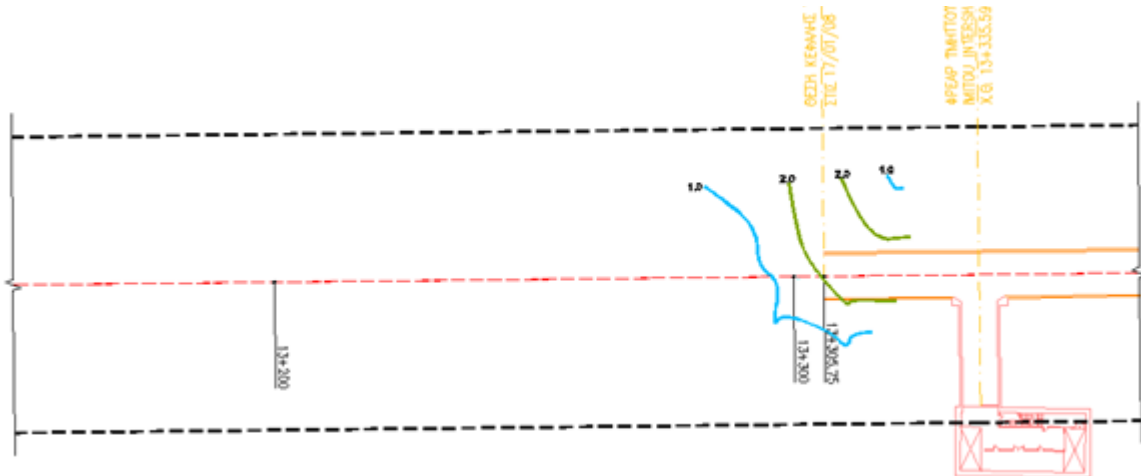




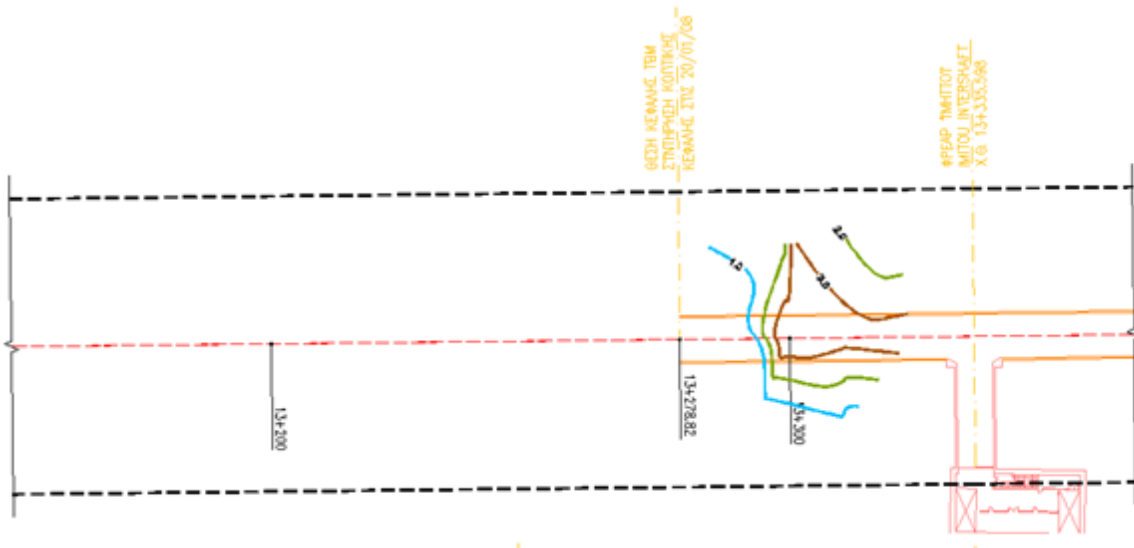




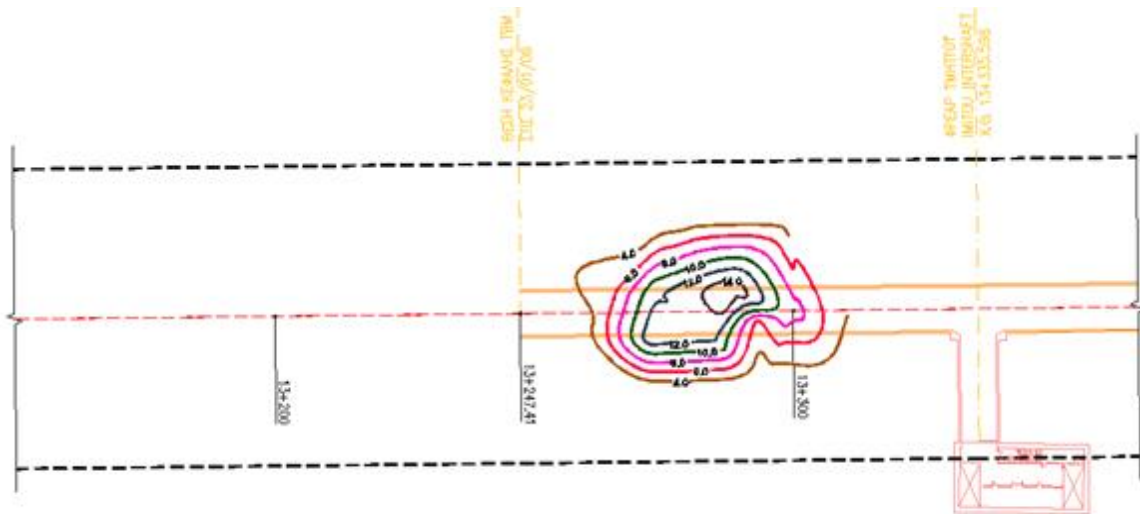
Παράρτημα IV – Εξέλιξη Καθιζήσεων



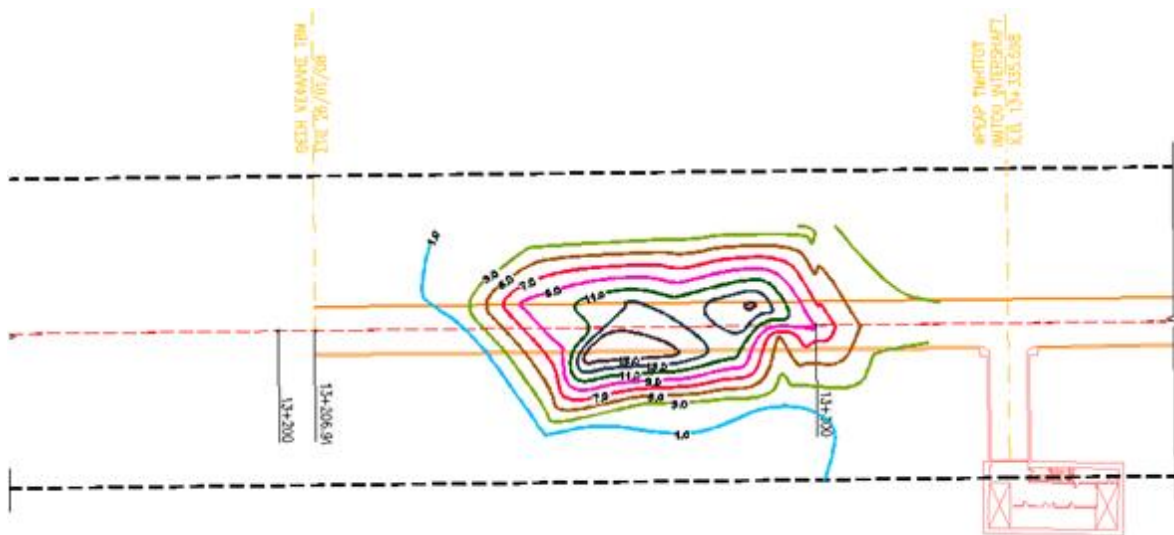
Εικόνα IV.1 18/1/2008 – Χ.Θ. 13+305.75 (Πηγή: Αττικό Μετρό Α.Ε. (2TS4CW180C007A_5))



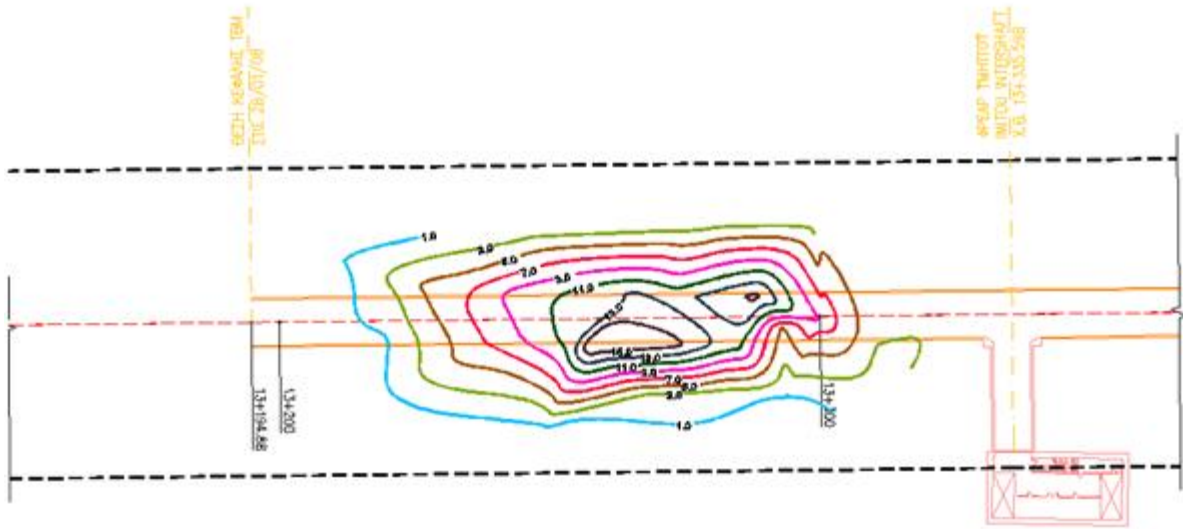
Εικόνα IV.2 20/1/2008 – Χ.Θ. 13+278.83 (Πηγή: Αττικό Μετρό Α.Ε. (2TS4CW180C007A_5))



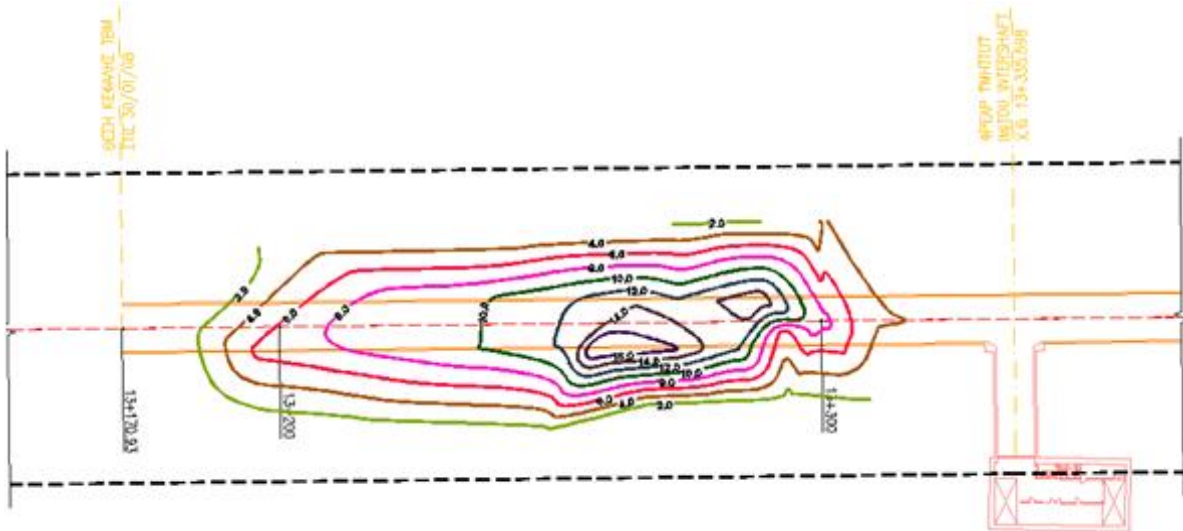
Εικόνα IV.3 24/1/2008 – Χ.Θ. 13+247.41 (Πηγή: Αττικό Μετρό Α.Ε. (2TS4CW180C007A_5))



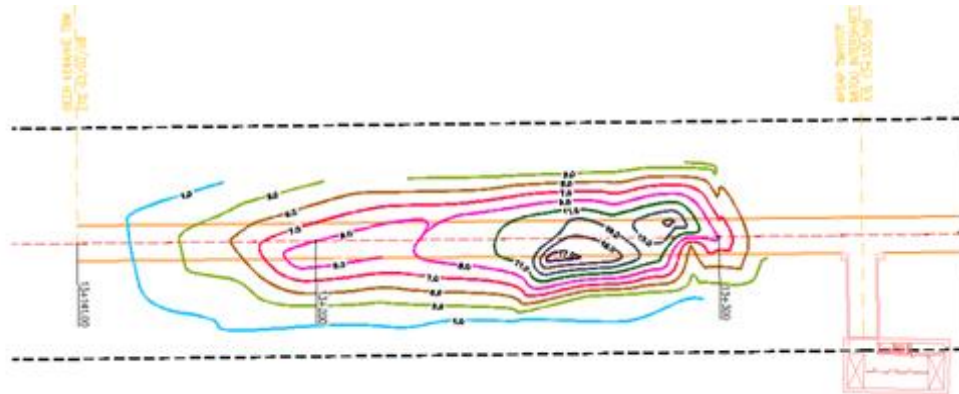
Εικόνα IV.4 27/1/2008 – Χ.Θ. 13+206.91 (Πηγή: Αττικό Μετρό Α.Ε. (2TS4CW180C007A_5))



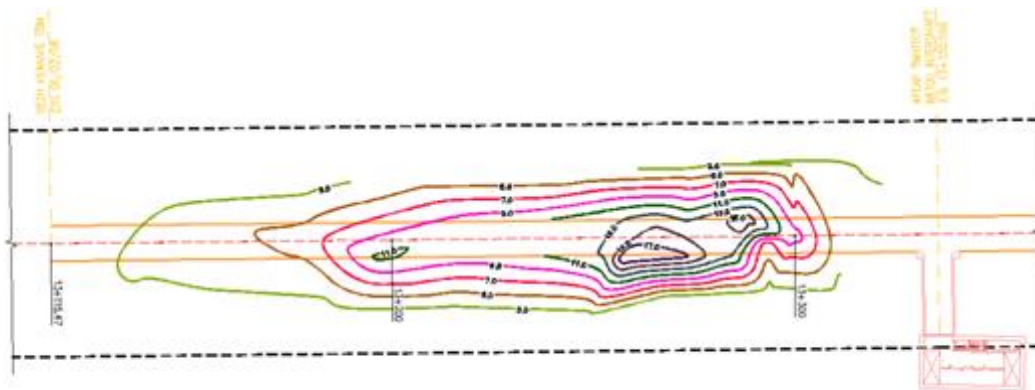
Εικόνα IV.5 29/1/2008 – Χ.Θ. 13+194.88 (Πηγή: Αττικό Μετρό Α.Ε. (2TS4CW180C007A_5))



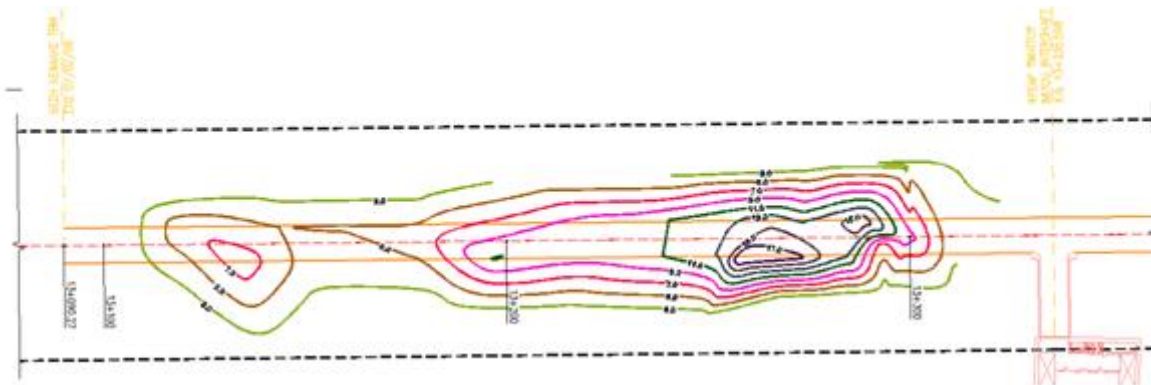
Εικόνα IV.6 31/1/2008 – Χ.Θ. 13+170.93 (Πηγή: Αττικό Μετρό Α.Ε. (2TS4CW180C007A_5))



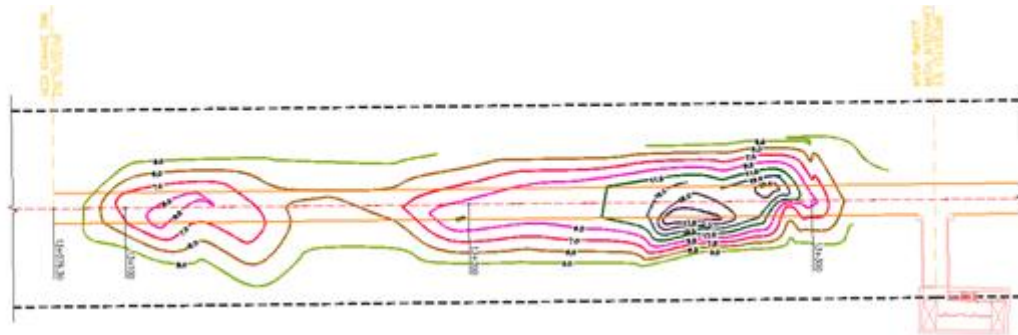
Εικόνα IV.7 3/2/2008 – Χ.Θ. 13+141.00 (Πηγή: Αττικό Μετρό Α.Ε. (2TS4CW180C007A_5))



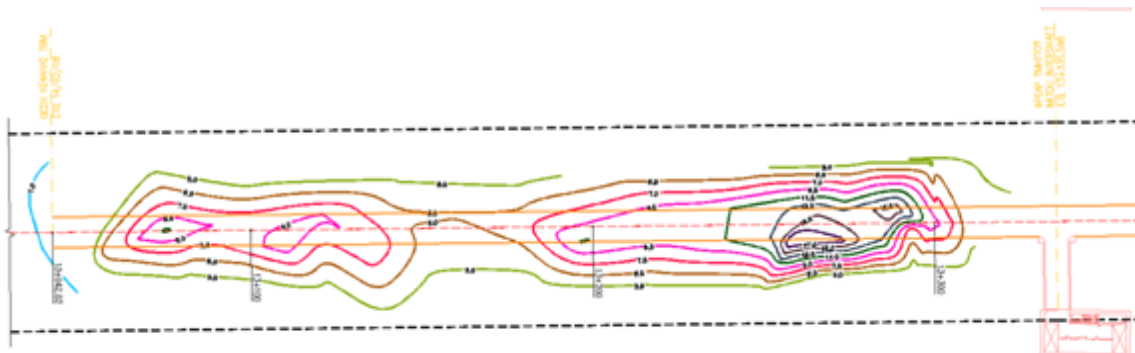
Εικόνα IV.8 6/2/2008 – Χ.Θ. 13+115.47 (Πηγή: Αττικό Μετρό Α.Ε. (2TS4CW180C007A_5))



Εικόνα IV.9 8/2/2008 – Χ.Θ. 13+090.27 (Πηγή: Αττικό Μετρό Α.Ε. (2TS4CW180C007A_5))



Εικόνα IV.10 9/2/2008 – Χ.Θ. 13+079.00 (Πηγή: Αττικό Μετρό Α.Ε. (2TS4CW180C007A_5))



Εικόνα IV.11 15/2/2008 – Χ.Θ. 13+042.00 (Πηγή: Αττικό Μετρό Α.Ε. (2TS4CW180C007A_5))