



Μηχανική διάνοιξη σηράγγων στα έργα των ΜΕΤΡΟ Αθηνών και Θεσσαλονίκης



Ενότητα Α: Συνθήκες διάνοιξης



Νικόλαος Ζ. Μπούσουλας
Πολιτικός Μηχανικός – Γεωτεχνικός MSc
Προϊστάμενος Τμήματος Γεωτεχνικών Μελετών
ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ ΑΕ

ΕΣΠΕΡΙΔΑ: Τα Έργα της ΑΤΤΙΚΟ
ΜΕΤΡΟ ΑΕ - Η Κατασκευή των ΜΕΤΡΟ
Αθηνών και Θεσσαλονίκης, 05.12.2012

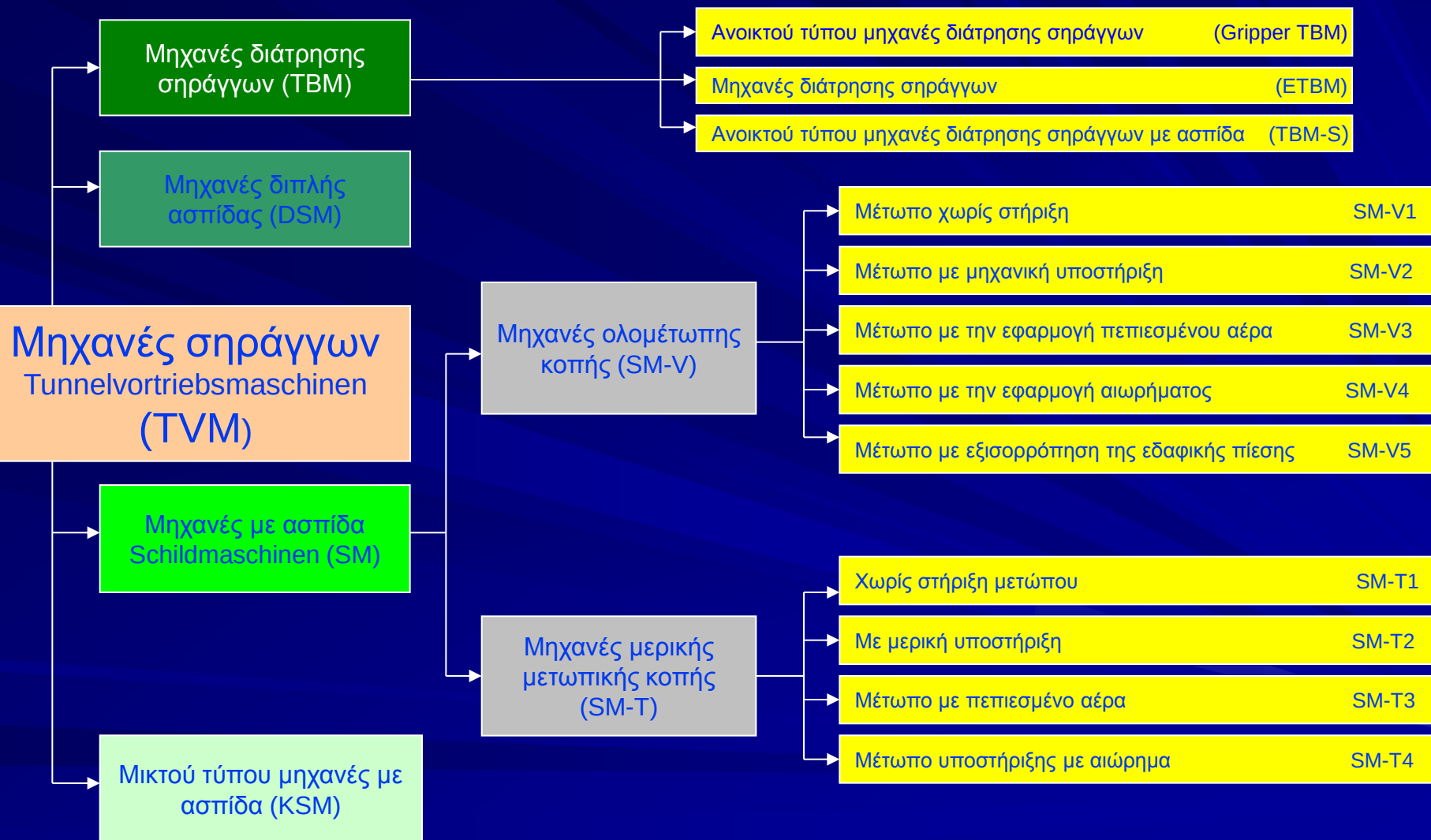


Συνθήκες διάνοιξης σηράγγων

- ΓΕΝΙΚΑ
- Α1 ΜΕΤΡΟ Αθήνας
- Α2 ΜΕΤΡΟ Θεσσαλονίκης
- ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ



Τύποι μηχανών διάνοιξης σηράγγων κατά DAUB (ITA-AITES) [1]



ΠΕΔΙΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΚΑΙ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ SM-V4 [1]

Γεωτεχνικές παράμετροι	Μηχανή με ασπίδα ολομέτωπης κοπής με εφαρμογή αιωρήματος (SM-V4)				
ΜΑΛΑΚΑ ΕΔΑΦΗ					
Ποσοστό λεπτοκόκκων (< 0.06mm)	< 5 %	5 – 15 %	15 – 40 %	> 40 %	
	+	+	+	ο	
Διαπερατότητα k (m/s)	Πολύ υψηλή διαπερατότητα >10 ⁻²	Αρκετά διαπερατό 10 ⁻² – 10 ⁻⁴	Διαπερατό 10 ⁻⁴ – 10 ⁻⁶	Ελαφρά διαπερατό <10 ⁻⁶	
	-	ο	+	ο	
Δείκτης συνεκτικότητας (I _c)		Μαλακό	Στιφρό	Ημιστερεό	Σκληρό
	-	ο	ο	ο	ο
Πυκνότητα	Πυκνό	Σχετικά πυκνό	Χαλαρό		
	+	+	ο		
Πίεση μετώπου (bar)	0	0 - 1	1 - 2	2 - 3	3 - 4
	ο	+	+	+	+
Συμπεριφορά σε διόγκωση	Καμία	Μικρή	Μέτρια	Υψηλή	
	+	+	ο	-	
Δείκτης πρόκλησης φθοράς λόγω τριβής LCPC- Index ABR (g/t)	Πολύ χαμηλή 0-500	Χαμηλή 500-1000	Μεσαία 1000-1500	Υψηλή 1500-2000	Πολύ υψηλή >2000
	+	+	+	ο	ο
Δείκτης ευθρυπτότητας ή ψαθυρότητας LCPC- Index BR (%)	Πολύ χαμηλή 0-25	Χαμηλή 25-50	Μεσαία 50-75	Υψηλή 75-100	Πολύ υψηλή >100
	ο	+	+	+	ο

- Εφαρμογή κρίσιμη

0 Εφαρμογή δυνατή

+ Κύριο πεδίο εφαρμογής



ΠΕΔΙΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΚΑΙ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ SM-V5 [1]

Γεωτεχνικές παράμετροι	Μηχανή με ασπίδα ολομέτωπης κοπής με εξισορρόπηση εδαφικής πίεσης (SM-V5)				
ΜΑΛΑΚΑ ΕΔΑΦΗ					
Ποσοστό λεπτοκόκκων (< 0.06mm)	< 5 %	5 – 15 %	15 – 40 %	> 40 %	
	-	0	0 +	+	
Διαπερατότητα k (m/s)	Πολύ υψηλή διαπερατότητα >10 ⁻⁷	Αρκετά διαπερατό 10 ⁻² – 10 ⁻⁴	Διαπερατό 10 ⁻⁴ – 10 ⁻⁶	Ελαφρά διαπερατό <10 ⁻⁶	
	-	-	0	+	
Δείκτης συνεκτικότητας (I _c)		Μαλακό	Στιφρό	Ημιστερεό	Σκληρό
	0	+	+	0	0
Πυκνότητα	Πυκνό	Σχετικά πυκνό	Χαλαρό		
	+	+	+		
Πίεση μετώπου (bar)	0	0 - 1	1 - 2	2 - 3	3 - 4
	+	+	+	0	-
Συμπεριφορά σε διόγκωση	Καμία	Μικρή	Μέτρια	Υψηλή	
	+	+	0	-	
Δείκτης πρόκλησης φθοράς λόγω τριβής LCPC- Index ABR (g/t)	Πολύ χαμηλή 0-500	Χαμηλή 500-1000	Μεσαία 1000-1500	Υψηλή 1500-2000	Πολύ υψηλή >2000
	+	+	0	0	-
Δείκτης ευθρυπτότητας ή ψαθυρότητας LCPC- Index BR (%)	Πολύ χαμηλή 0-25	Χαμηλή 25-50	Μεσαία 50-75	Υψηλή 75-100	Πολύ υψηλή >100
	+	+	0	0	-

-

Εφαρμογή κρίσιμη

0

Εφαρμογή δυνατή

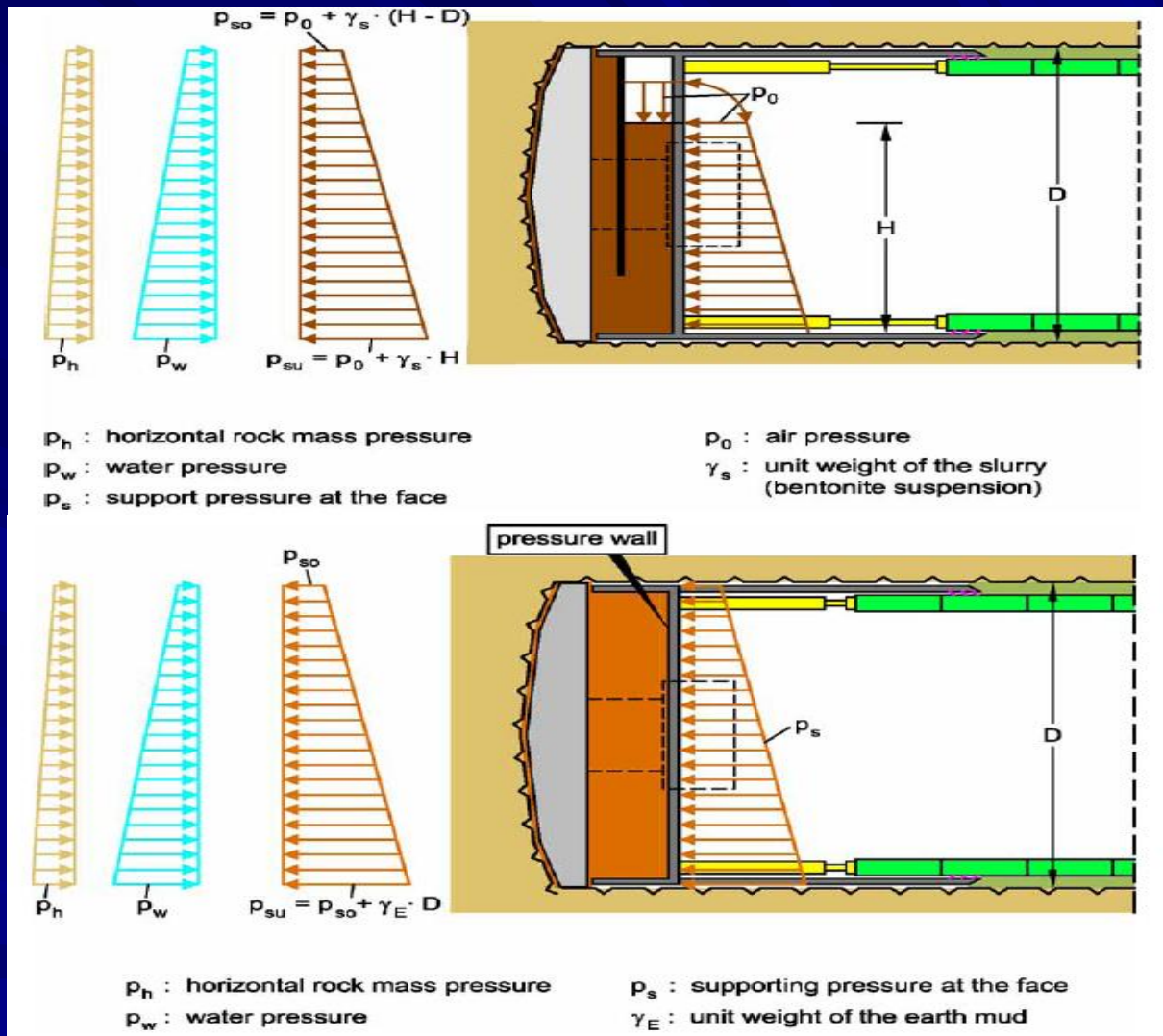
+

Κύριο πεδίο εφαρμογής



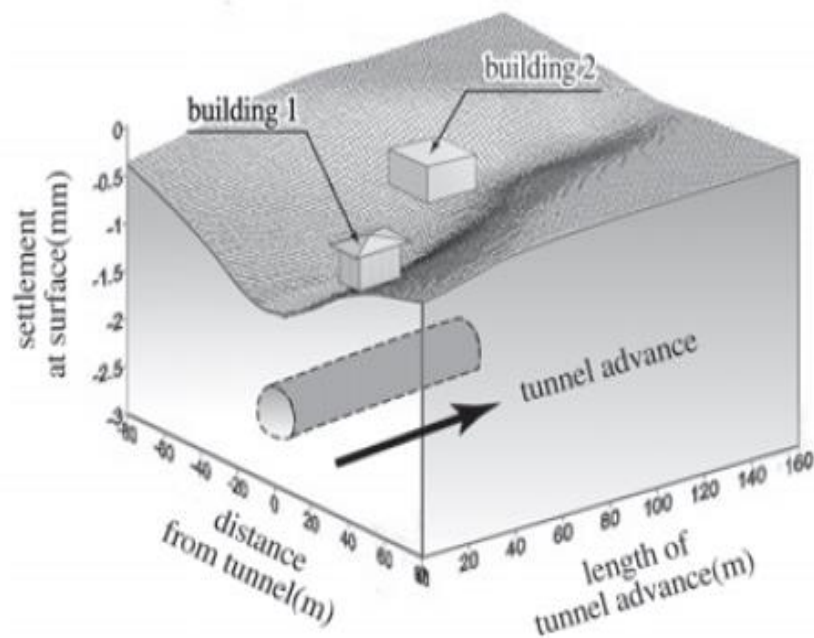
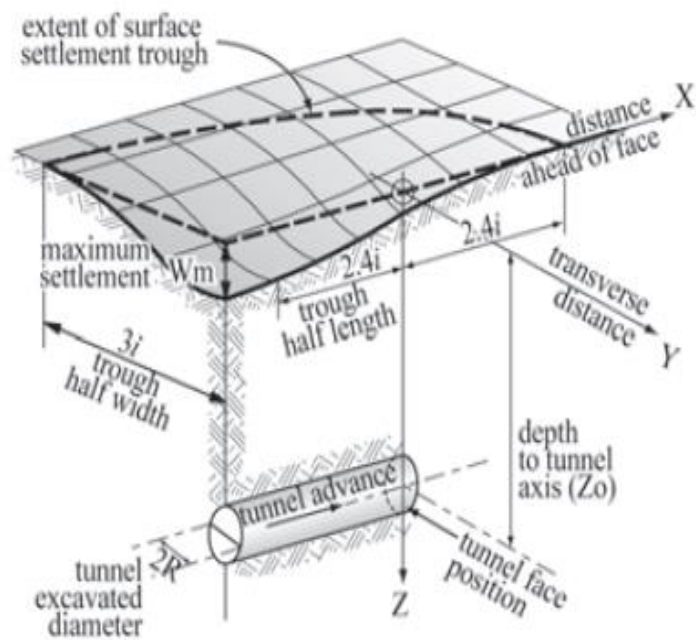
Αρχές σχεδιασμού των SM-V4 & SM-V5 [2]

Υποστήριξη με
αιώρημα

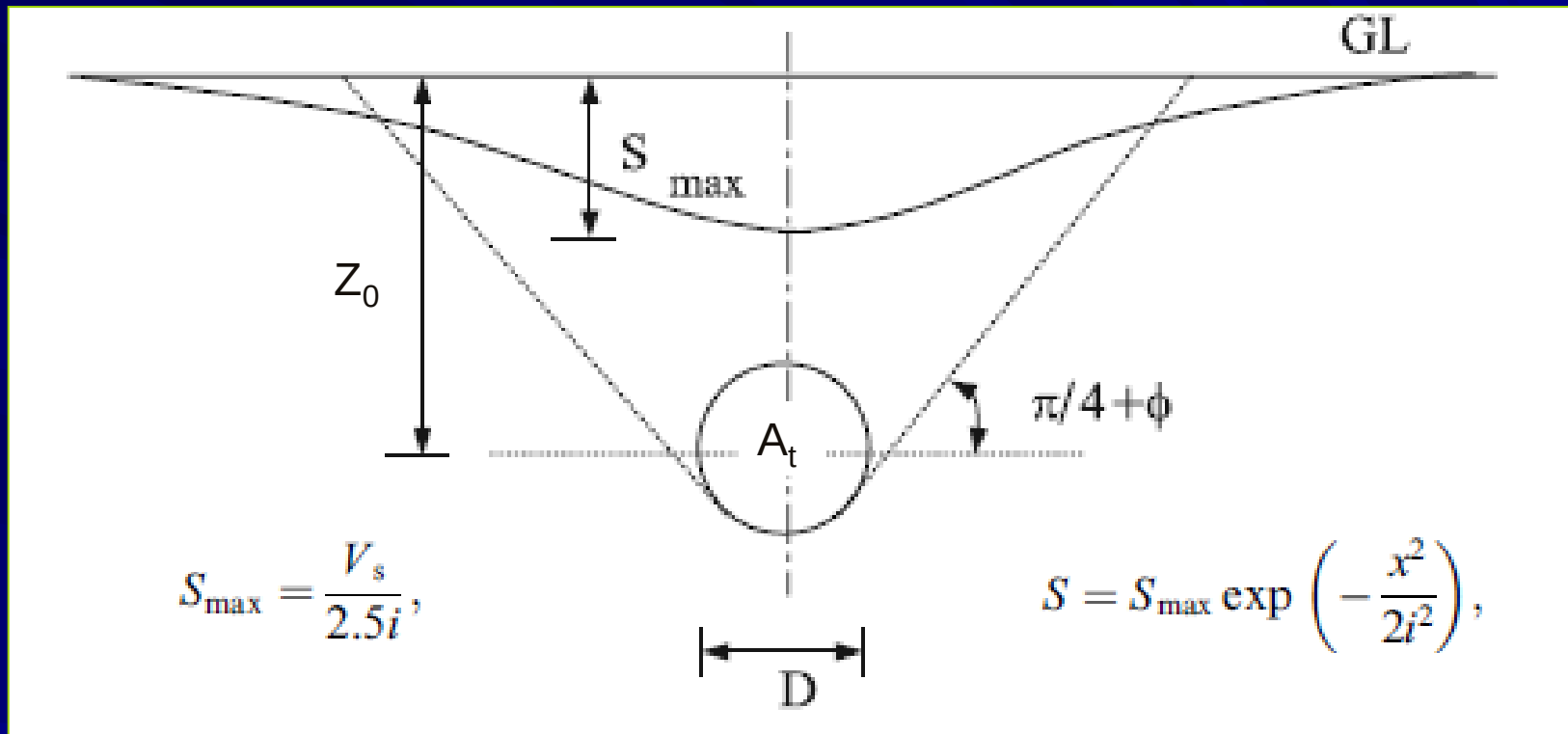


Εξισορρόπηση
εδαφικής πίεσης

Καμπύλη επιφανειακών εδαφικών καθιζήσεων λόγω διάνοιξης σήραγγας



Τυπική διατομή σήραγγας



V_s : απώλεια εδαφικού υλικού (ground loss)

Είναι: $i = Kz_0$, όπου Z_0 είναι το βάθος της σήραγγας (στον άξονα της) και K ένας συντελεστής που εξαρτάται από τις εδαφικές συνθήκες και γενικά λαμβάνει τιμές από 0.2÷0.4 για κοκκώδη υλικά, 0.4÷0.6 για σιφρές αργίλους και 0.6÷0.75 για μαλακές ιλυώδεις αργίλους.

Ορισμένες εμπειρικές συσχετίσεις απώλειας όγκου VL_S για μαλακά εδάφη [4]

Μηχανές ολομέτωπης κοπής με ασπίδα με εφαρμογή αιωρήματος ή εξισορροπητικής πίεσης SM-V5

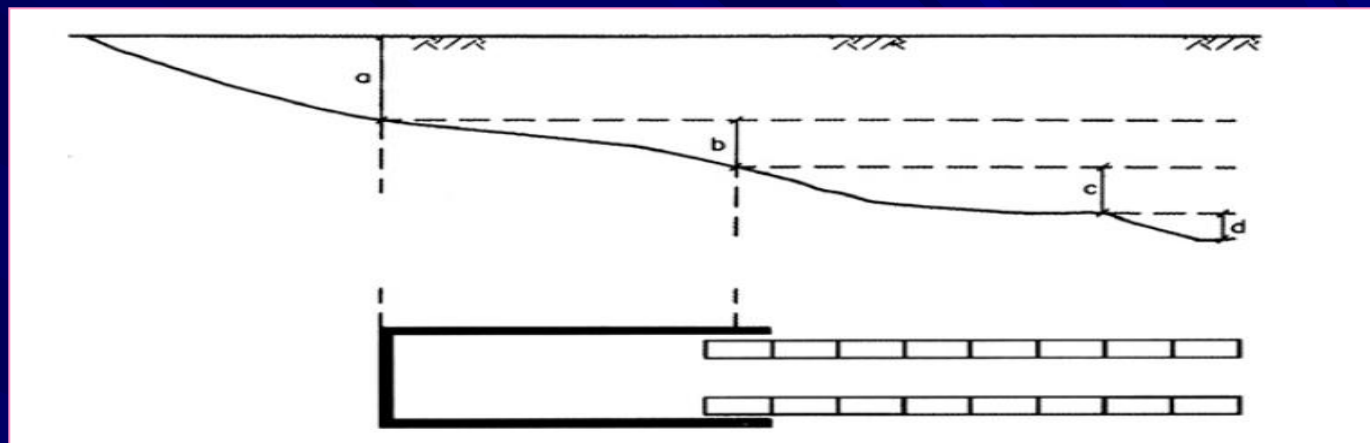
- VL_S ή V_S : απώλεια εδαφικού υλικού,
- A_t : εμβαδόν σήραγγας,
- z_0 : βάθος άξονα σήραγγας απο την επιφάνεια του εδάφους

$$VL_{S,50\%} = 0,003 \left(\frac{A_t}{z_0} \right)^{-0,82}$$

$$VL_{S,90\%} = 0,006 \left(\frac{A_t}{z_0} \right)^{-0,72}$$

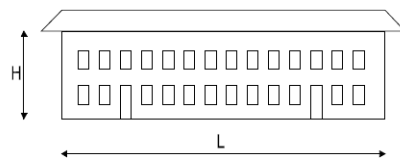
$$VL_{S,99\%} = 0,009 \left(\frac{A_t}{z_0} \right)^{-0,70}$$

Κατανομή επιφανειακών καθιζήσεων στον άξονα της σήραγγας [4]

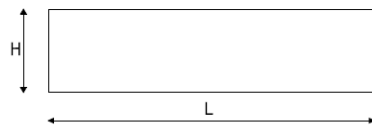


Περιοχή	Ποσοστό επί της συνολικής καθίζησης [%] MT: Μέση τιμή	
	Μηχανή ολομέτωπης κοπής με την εφαρμογή αιωρήματος (SM-V4)	Μηχανή ολομέτωπης κοπής με την εφαρμογή εξισορροπητικής εδαφικής πίεσης (SM-V5)
Μπροστά και πάνω απο το μέτωπο	0 έως 62 MT: 18	38 έως 67 MT: 55
Πάνω απο την ασπίδα	3 έως 74 MT: 34	24 έως 44 MT: 33
Πίσω απο την ασπίδα	0 έως 95 MT: 48	4 έως 28 MT 12

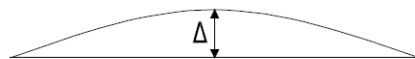
Εκτίμηση επιπτώσεων σε κτήρια απο την διάνοιξη σήραγγων [5]



(α) Πραγματικό κτήριο



(β) Ισοδύναμη δοκός (ομοιογενής, ισότροπη)



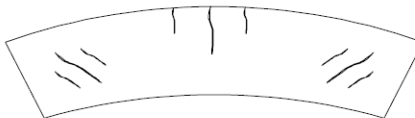
(i)



(ii)

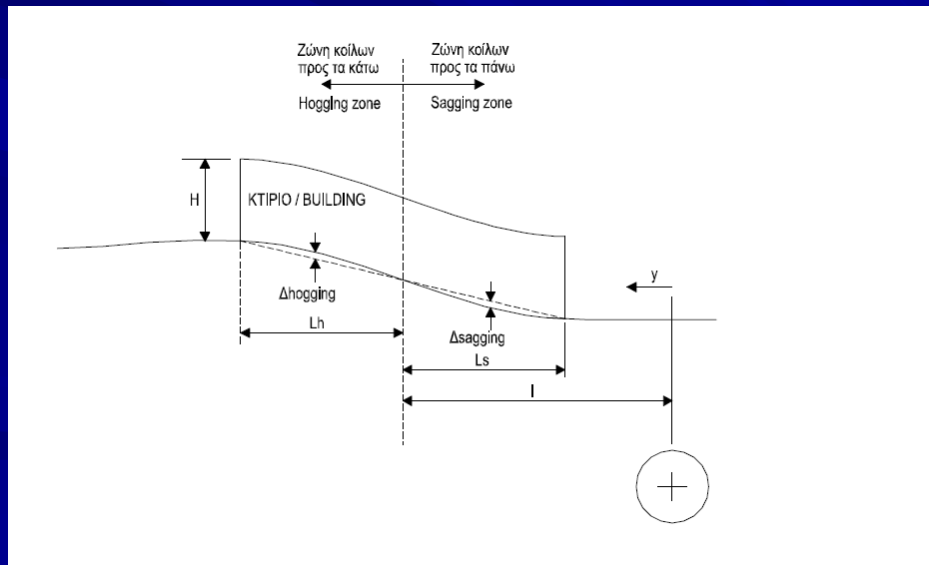
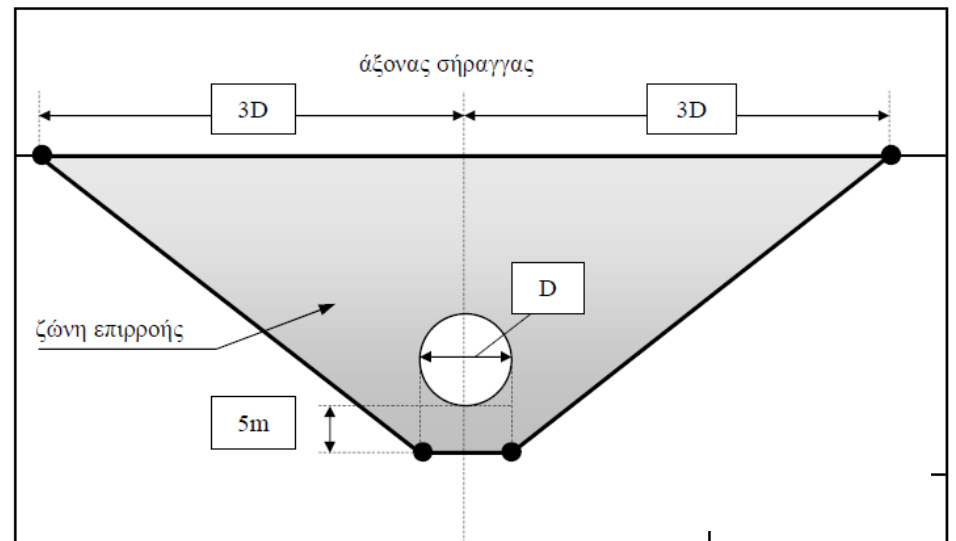
γ) Εδαφική παραμόρφωση

- (i) Καθιζήσεις με τα κοίλα προς τα κάτω (hogging)
- (ii) Καθιζήσεις με τα κοίλα προς τα πάνω (sagging)



(δ) Παραμορφώσεις και ρηγματώσεις

(Καμπτικές και διατμητικές)



A1 ΜΕΤΡΟ Αθήνας

1. Βασικό έργο: Γραμμές 2&3, 1993-1999

2 μηχανές σηράγγων ολομέτωπης κοπής με ασπίδα (TBM)

2. Γραμμή 2 - Τμήμα: Σεπόλια – Αγ. Αντώνιος, 1998

1 μηχανή σηράγγων σημειακής κοπής (OFS)

3. Γραμμή 3 - Τμήμα: Εθνική Άμυνα – Σταυρός, 2001-2003

1 μηχανή σηράγγων ολομέτωπης κοπής με ασπίδα τύπου εξισορροπητικής εδαφικής πίεσης (EPB) ή SM-V5

4. Γραμμή 2 - Τμήμα: Αγ. Δημήτριος - Ελληνικό, 2007-2009

1 μηχανή σηράγγων ολομέτωπης κοπής με ασπίδα τύπου εξισορροπητικής εδαφικής πίεσης (EPB) ή SM-V5

5. Γραμμή 3 - Τμήμα: Χαιδάρι - Πειραιάς, 2013 – 2015 (νέο έργο)

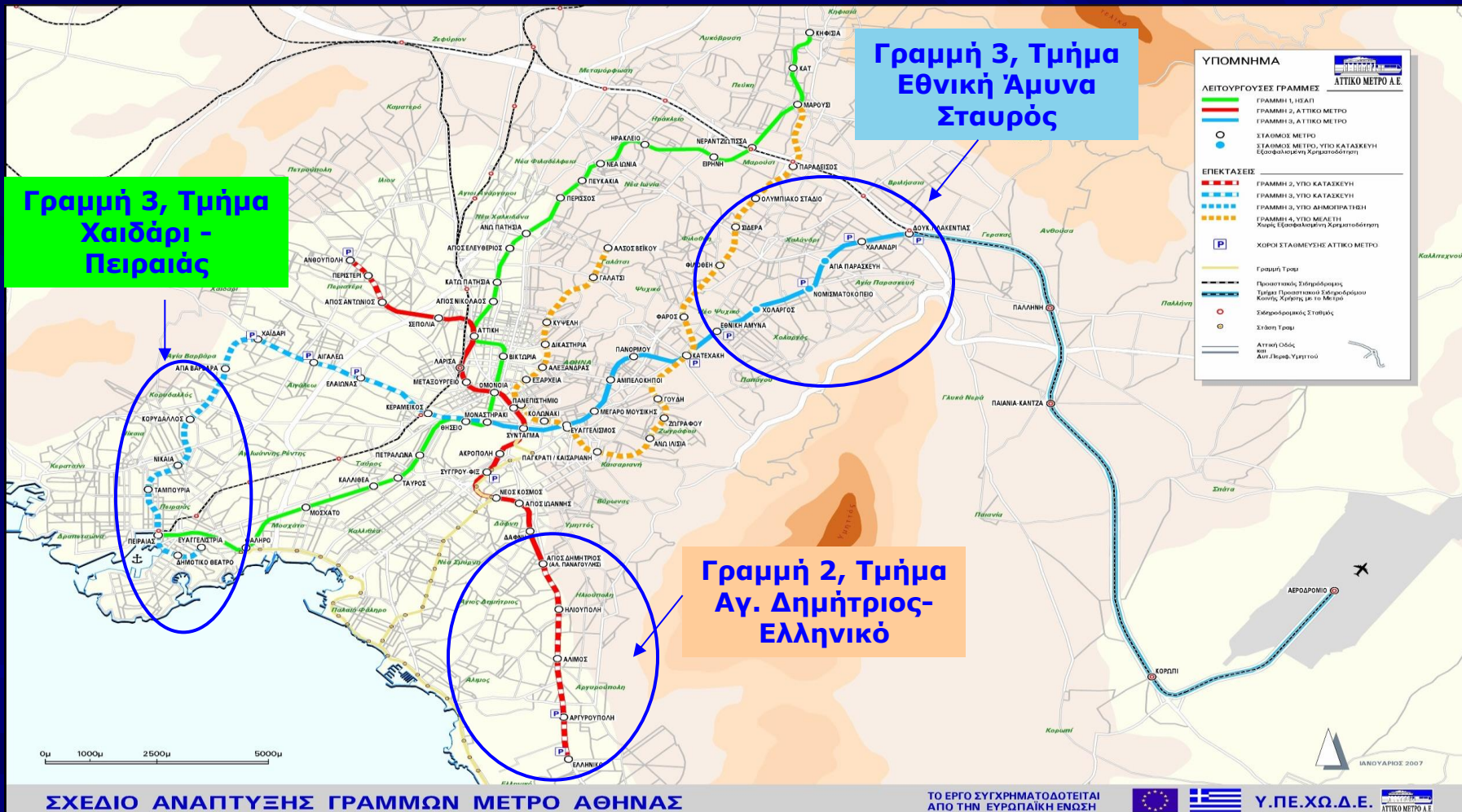
1 μηχανή σηράγγων ολομέτωπης κοπής με ασπίδα τύπου εξισορροπητικής εδαφικής πίεσης (EPB) ή SM-V5



Διάνοιξη σηράγγων με μηχανή ολομέτωπης κοπής με ασπίδα τύπου εξισορροπητικής εδαφικής πίεσης (EPB) ή SM-V5

- **A1.1 Γραμμή 3 - Τμήμα: Εθνική Άμυνα - Σταυρός**
(Ανάδοχος: Κ/Ξ ΑΕΓΕΚ, ΑΚΤΩΡ, SELI, J&P, ΑΒΑΞ)
- **A1.2 Γραμμή 2 - Τμήμα: Αγ. Δημήτριος - Ελληνικό**
(Ανάδοχος: Κ/Ξ ΑΚΤΩΡ, SIEMENS, VINCI)
- **A1.3 Γραμμή 3 – Τμήμα Χαιδάρι – Πειραιάς (Νέο έργο)**
(Ανάδοχος: Κ/Ξ J&P - ΑΒΑΞ Α.Ε. - GHELLA S.p.A,- ALSTOM TRANSPORT S.A.)

ΧΑΡΤΗΣ ΜΕΤΡΟ ΑΘΗΝΑΣ



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

A1.1.1 Εισαγωγή

A1.1.2 Γεωλογικές – γεωτεχνικές συνθήκες έργου

A1.1.3 Βασικά χαρακτηριστικά σήραγγας και τυπική διατομή

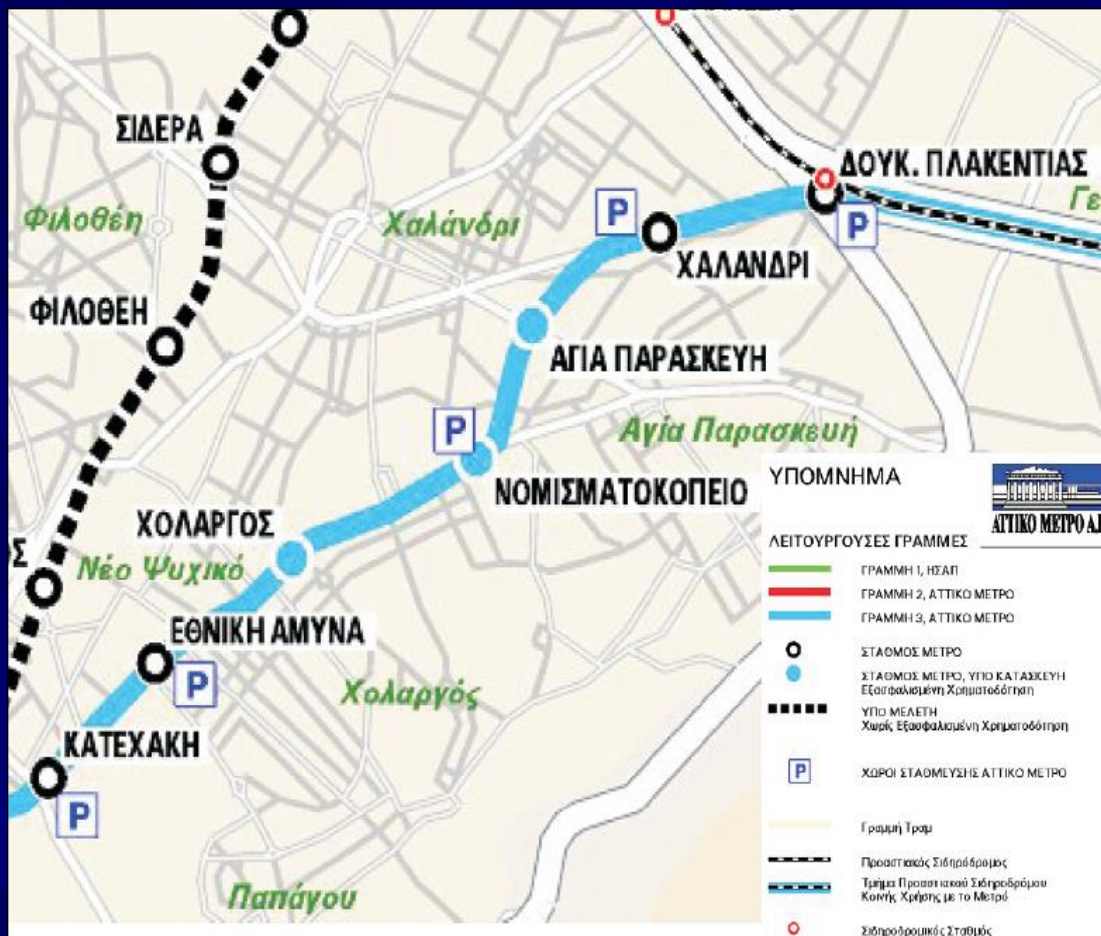
A1.1.4 Μηχάνημα ολομέτωπης κοπής EPB

A1.1.5 Ημερομηνίες ορόσημα

A1.1.6 Φωτογραφίες του Έργου

A1.1.7 Αποτελέσματα εκσκαφής με EPB

Α1.1.1 Εισαγωγή



Η επέκταση Εθνική Άμυνα - Δ. Πλακεντίας - Αεροδρόμιο αποτελεί τμήμα της Γραμμής 3 του Μετρό της Αθήνας, το μεγαλύτερο τμήμα της οποίας (σε μήκος 5,9χλμ.) είναι υπόγειο. Η έγκαιρη διάνοιξη της σήραγγας, για την σύνδεση της Αθήνας με το Διεθνές αεροδρόμιο Ε. Βενιζέλος με γραμμή ΜΕΤΡΟ, ήταν επιβεβλημένη λόγω των Ολυμπιακών αγώνων της Αθήνας του 2004

Χάρτης Επέκτασης της Γραμμής 3 του ΜΕΤΡΟ της Αθήνας

A1.1.2 Γεωλογικές – Γεωτεχνικές συνθήκες (1/2)

Κατηγορίες βασικών γεωυλικών

- Τεχνητές επιχώσεις
- Αθηναϊκός Σχιστόλιθος (Μεταψαμμίτης – μεταίλυόλιθος, με ποικίλο βαθμό αποσάθρωσης και διάβρωσης)
- Κροκαλοπαγή (με μεταβλητό βαθμό σιμεντώσης και χαλαρότητας)
- Στιφρές έως σκληρές άργιλοι-ιλύες με μεταβλητό ποσοστό άμμου και χαλίκων, κατά περιοχές ιλυώδης/αργιλώδης άμμος (τοπικά σιμεντωμένη)

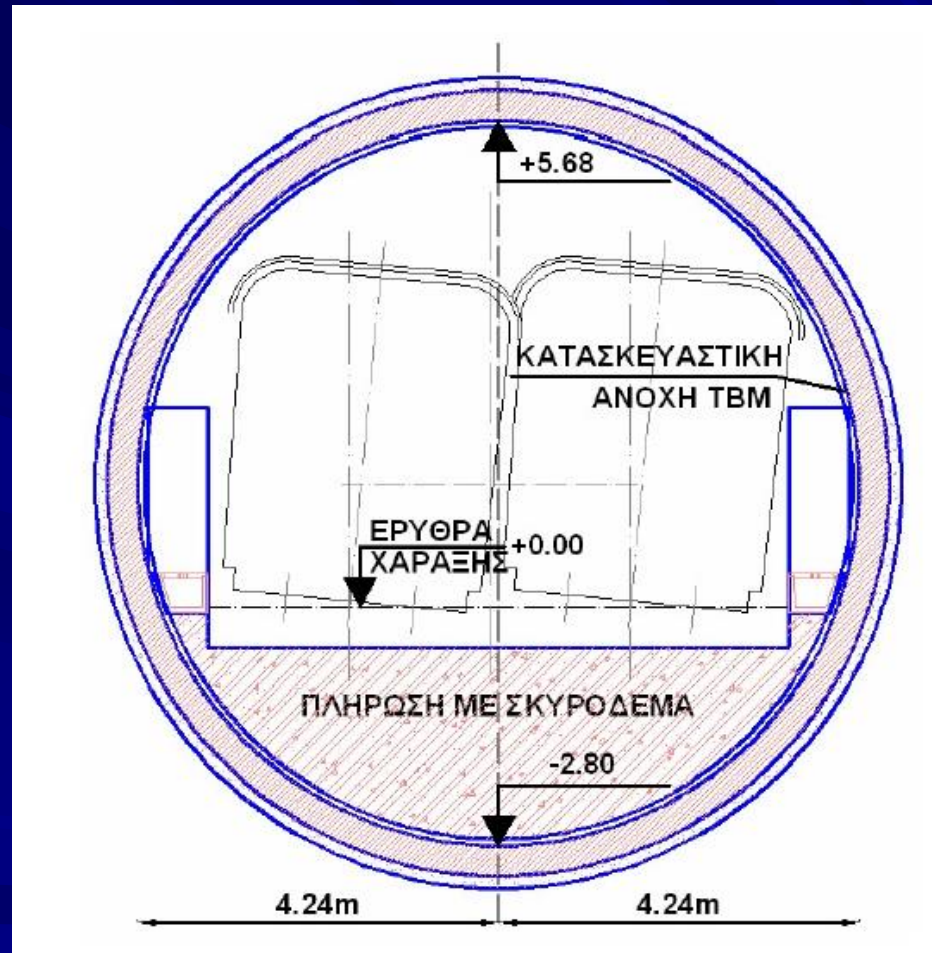
Υδρογεωλογικές συνθήκες

- Οι συνθήκες του υπογείου ύδατος κατά μήκος ολοκλήρου του έργου χαρακτηρίζονται από έναν συνεχόμενο υδροφόρο ορίζοντα.
- Το υπόβαθρο του «Αθηναϊκού Σχιστόλιθου» χαρακτηρίζεται ως «πολύ χαμηλής διαπερατότητας», με τιμές συντελεστή $k < 10^{-6} \text{ m/s}$. Πιθανόν να υπάρχουν και στρώματα με υψηλότερες περατότητες.

A1.1.3 Βασικά χαρακτηριστικά και τυπική διατομή σήραγγας ΜΕΤΡΟ Αθηνών (1/2)

- Μήκος: 3,374 km
- Ελάχιστη ακτίνα ευθυγράμμισης: 300μ οριζόντια και 2,500μ κατακόρυφα
- Ελάχιστη ακτίνα εκσκαφής σήραγγας: 250μ
- Μέγιστο όριο κλίσης: $\pm 4\%$
- Εξωτερική διάμετρος εκσκαφής: 9.490μ
- Εσωτερική διάμετρος επένδυσης: 8.480μ
- Υπερκείμενο της ασπίδας: 9μ-17μ
- Πάχος επένδυσης: 0.35μ
- Μήκος προκ. δακτ. επένδυσης: 1.50μ

Α1.1.3 Βασικά χαρακτηριστικά σήραγγας και τυπική διατομή ΜΕΤΡΟ Αθηνών (2/2)



Α1.1.4 Μηχάνημα ολομέτωπης διάνοιξης με ασπίδα εξισορρόπησης πίεσης του εδάφους EPB



Βασικά χαρακτηριστικά του EPB

Μέγιστη πίεση εκσκαφής: 3.0bar

- Εξ. διάμετρος ασπίδας: 9,440mm
- Ολικό μήκος EPB: 90m
- Μέγιστη ταχύτητα διάνοιξης: 60mm/min
- Ολικό μήκος ασπίδας: 9,040mm
- Βάρος ασπίδας: 625 ton
- Βάρος κεφαλής κοπής: 115 ton
- Συνολική εγκατεστημένη ισχύς: 3,580 kW
- Σύστημα περιστροφής: 6x400=2,400 kW, Ταχύτητα περιστροφής: 0-3,0rpm, Μέγιστη ροπή 20,236kNm
- Κοχλίας απόληψης και μεταφοράς προϊόντων εκσκαφής 400 kW, Ταχύτητα περιστροφής: 0-22rpm
- Σπαστήρας: 220 kW
- Κοπτικά εργαλεία: Δίσκοι κοπής, Ξύστρες
- Αριθμός κυλίνδρων: 2x14
- Συνολική δύναμη ώθησης: 70,900kN
- Σύστημα εισπίεσης πρόσμικτων (αφρός, νερό και μπεντονίτης)

A1.1.5 Ημερομηνίες ορόσημα του Έργου

Νοέμβριος 2001	Άφιξη TBM στο σταθμό Χαλάνδρι
Ιανουάριος 2002	Έναρξη εργασιών διάνοιξης σήραγγας από τον Σταθμό Χαλάνδρι προς τον Σταθμό Εθνική Άμυνα
Απρίλιος 2002	Άφιξη TBM στο Φρέαρ Κέας
Μάιος 2002	Άφιξη TBM στο Φρέαρ Αγ. Παρασκευής
Σεπτέμβριος 2002	Άφιξη TBM στο Φρέαρ Νομισματοκοπείου
Φεβρουάριος 2003	Ολοκλήρωση διάνοιξης σήραγγας TBM από τον Σταθμό Χαλάνδρι μέχρι το Φρέαρ Ξάνθου μήκους 3,5km

A1.1.6 Φωτογραφίες

Σταθμός Χαλάνδρι – Γενική άποψη του συστήματος υποστήριξης του ΕΡΒ



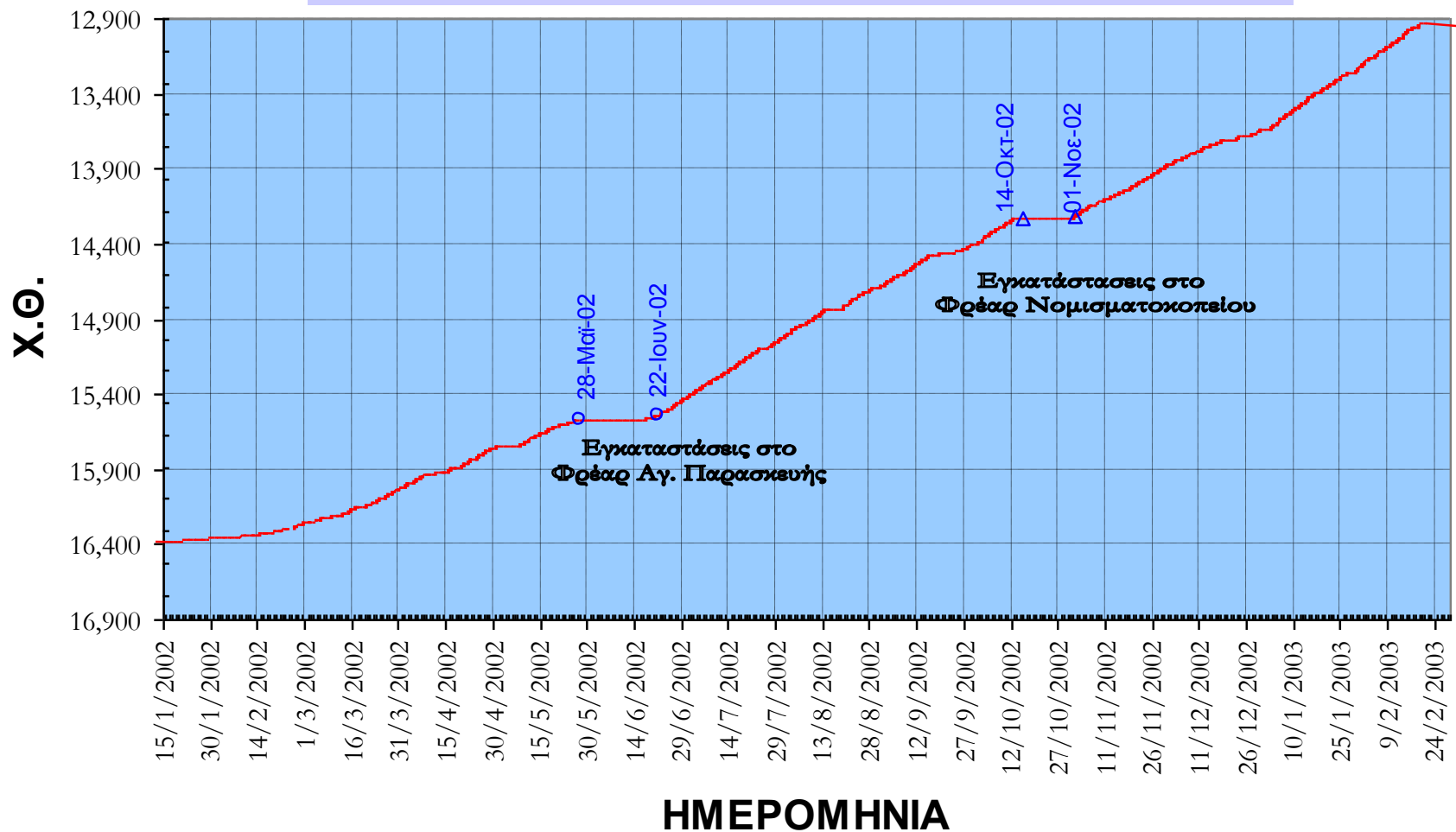
Φρέαρ Κέας – Άποψη της σήραγγας



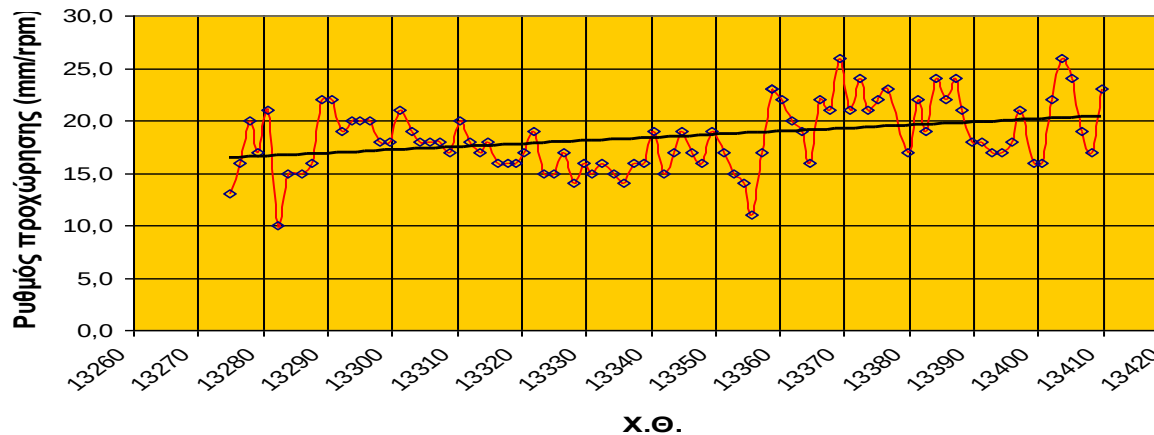
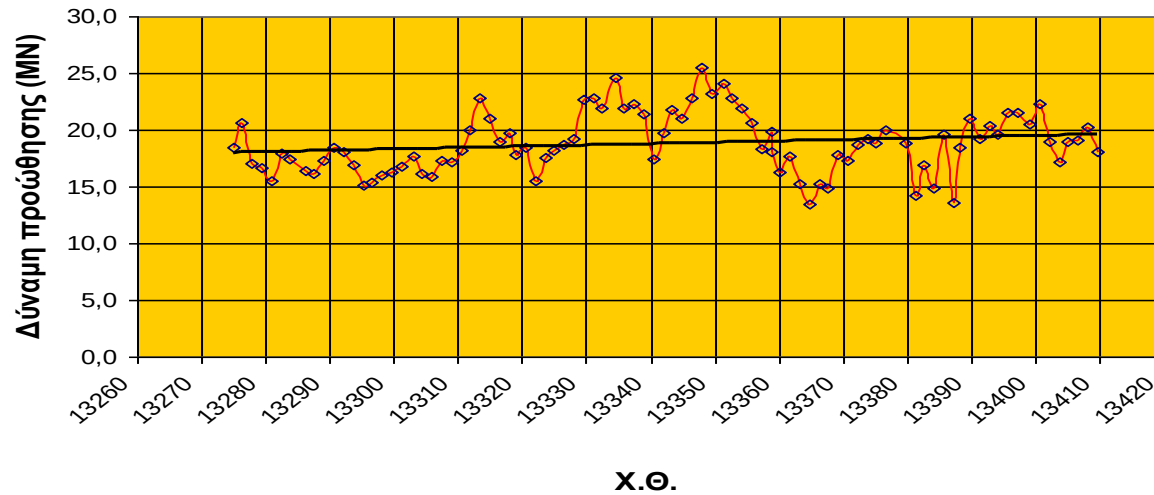
Μέση ημερήσια προχώρηση ανά γεωλογικό σχηματισμό

Σχηματισμός	Μήκος (m)	Ταχύτητα εκσκαφής (m/ημερολ. ημέρα)	Παρατηρήσεις
Αθηναϊκός σχιστόλιθος	1,480	12.0	Περιλαμβάνει και την διέλευση μέσω της άνω ημιδιατομής του υπογείου ανοίγματος του σταθμού Χολαργός
Τεταρτογενή υλικά	510	8.5	Περιλαμβάνει την περίοδο εκμάθησης και την διέλευση μέσω δύο φρεάτων με εκσκαφή σε ημιδιατομή
Τεταρτογενή υλικά & Αθηναϊκός σχιστόλιθος	1,450	10.0	Περιλαμβάνει και την διέλευση μέσω του ορύγματος του σταθμού Νομισματοκοπείο με εκσκαφή σε ημιδιατομή

Διάγραμμα προχώρησης του ΕΡΒ

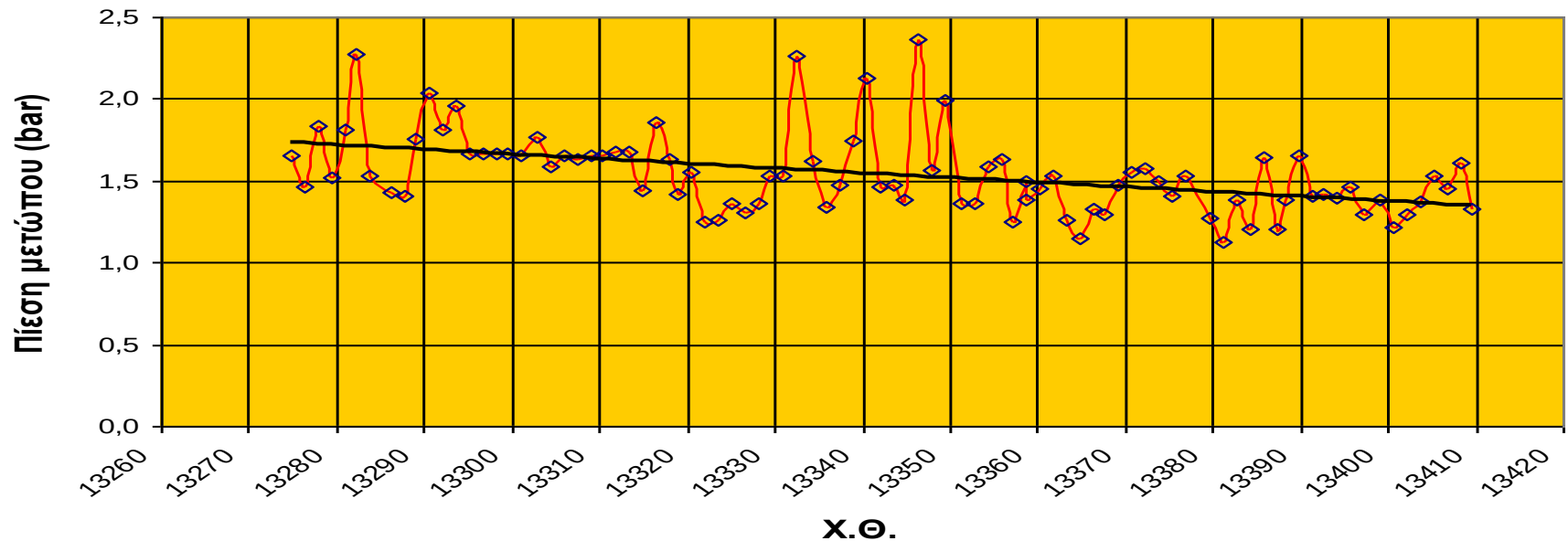


Δύναμη και ρυθμός προχώρησης του EPB σε Αθηναϊκό σχιστόλιθο (μεταψαμμίτες μέσης έως υψηλής αποσάθρωσης)



Γεωτεχνικές παράμετροι	Τιμές
γ (kN/m ³)	24
c' (kPa)	80-150
$\phi'(^{\circ})$	24
c_u (kPa)	150-300
E (MPa)	800-1200
k (m/s)	$10^{-5} - 10^{-6}$
Bieniawski classification	III

Πίεση μετώπου του EPB σε Αθηναϊκό σχιστόλιθο (μεταψαμμίτες μέσης έως υψηλής αποσάθρωσης)



Συμπέρασμα

Ο μέσος ρυθμός προχώρησης του TBM ήταν περίπου 10m/ημέρα. Η διάνοιξη των σηράγγων με το TBM υλοποιήθηκε έγκαιρα, οι μετρηθείσες καθιζήσεις δεν ξεπέρασαν τα όρια της Σύμβασης (30mm).

A1.2 Γραμμή 2 - Τμήμα: ΑΓ. ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ – ΕΛΛΗΝΙΚΟ [5]

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

A1.2.1 Εισαγωγή

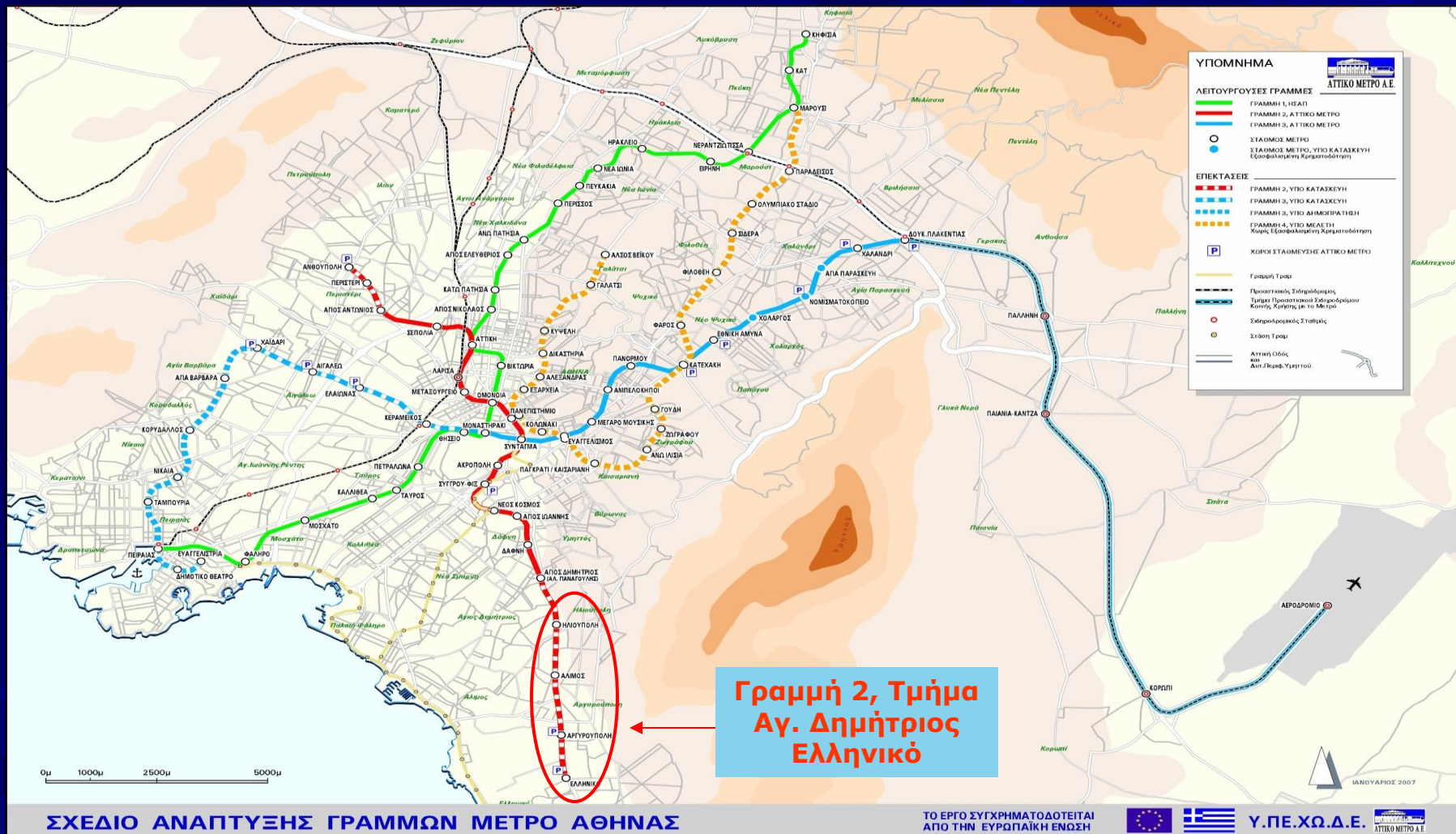
A1.2.2 Γεωλογικές – γεωτεχνικές συνθήκες έργου

A1.2.3 Βασικά χαρακτηριστικά σήραγγας και τυπική διατομή

A1.2.4 Ημερομηνίες ορόσημα

A1.2.5 Φωτογραφίες του Έργου

Α1.2.1 Εισαγωγή



Α1.2.2 Γεωλογικές συνθήκες - σχηματισμοί

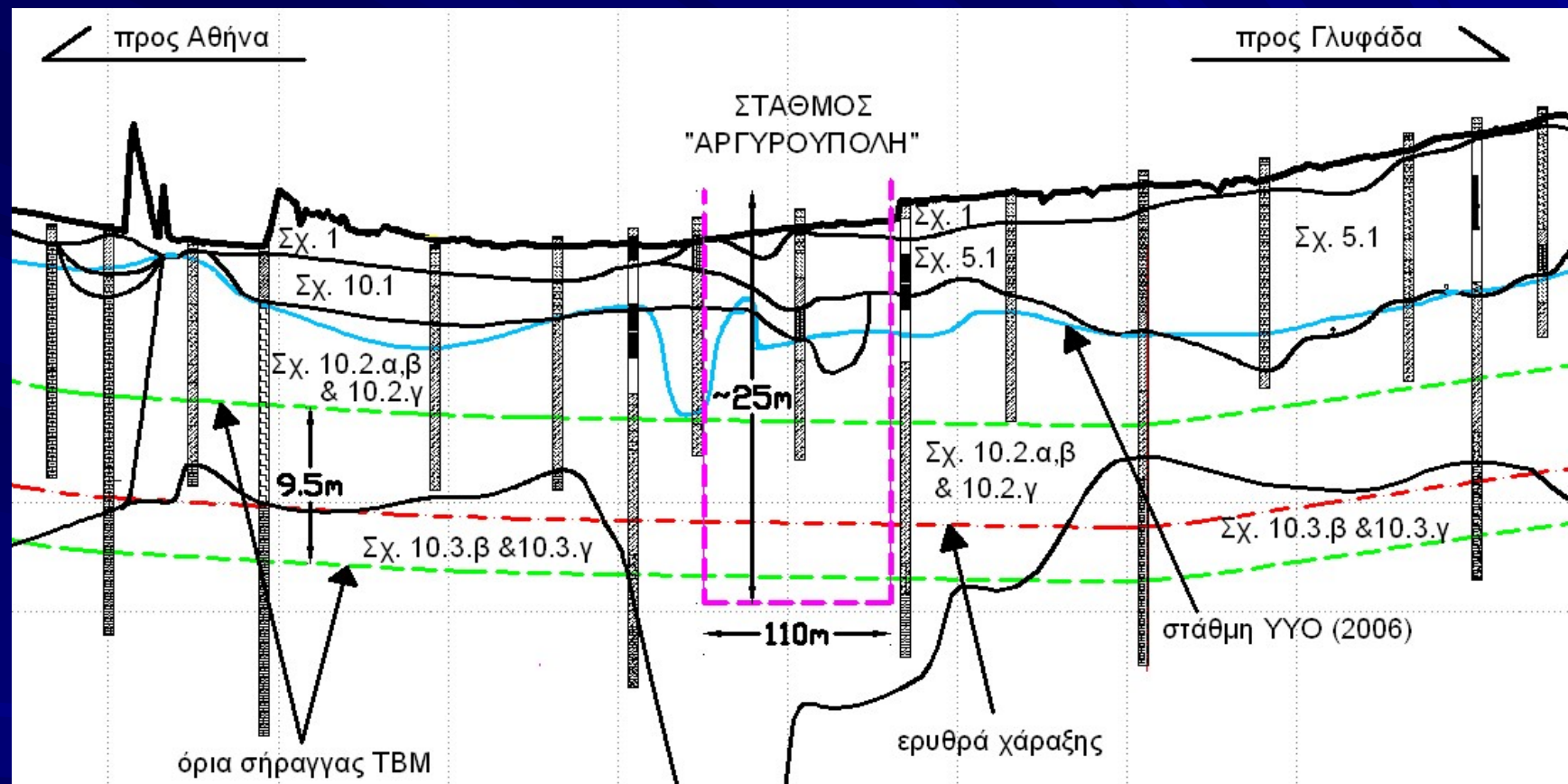
Σχηματισμοί

- Σχ. 1. Τεχνητές επιχώσεις
- Σχ. 2. Αδρομερή υλικά ρέματος
- Σχ. 3. Λεπτόκοκκα υλικά ρέματος
- Σχ. 4. Σιμεντοποιημένα υλικά ρέματος
- Σχ. 5. Κορηματικά υλικά
- Σχ. 6. Νεογενείς σχηματισμοί
- Σχ. 7. Νεογενείς σχηματισμοί Ελληνικού
- Σχ. 8. Κλαστικός σχηματισμός
- Σχ. 9. Σχιστολιθική – ψαμμιτική σειρά
- Σχ. 10. Αθηναϊκός σχιστόλιθος (υπόβαθρο)

Υδρογεωλογικές συνθήκες

Από υδρογεωλογικής πλευράς, το υπόβαθρο των Αθηναϊκών σχιστόλιθων είναι πρακτικά αδιαπέρατο. Η στάθμη ΥΥΟ κυμάνθηκε σε βάθος περίπου 10 m από την επιφάνεια του εδάφους.

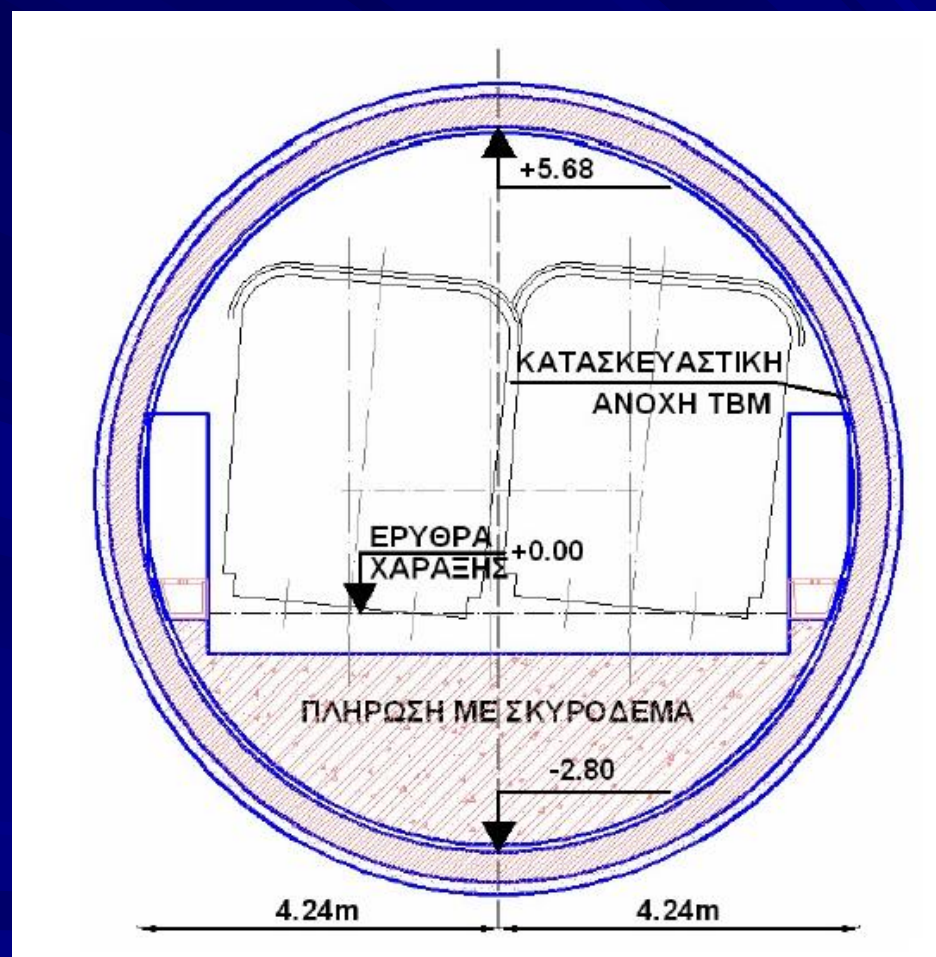
Απόσπασμα γεωτεχνικής μηκοτομής



Πίνακας γεωτεχνικών παραμέτρων

Σχηματισμός	γ (kN/m ³)	c (kPa)	ϕ (°)	E (MPa)	E _o (MPa)	v	E _{SL} (MPa)	E _{SU} (MPa)	k _o
Τεχνητές Επιχώσεις (Σχηματισμός 1)	20	5	32	20	40	0,30	54	160	0,47
Υλικά ρέματος (Εναλλαγές σχηματισμών 2 / 3 / 4)	22	100	30	320	640	0,30	860	1700	0,40
Συνεκτικά κορηματικά υλικά (Σχηματισμός 5.1)	21	40-55	30	100-120	200-240	0,30	270-320	810-960	0,45
Σιμεντωμένα κορηματικά υλικά (Σχηματισμός 5.2)	23	160-200	54-58	1300-1800	2600-3600	0,30	3500-4800	7000-9600	-
Συνεκτικά και σιμεντωμένα κορηματικά υλικά (Εναλλαγές σχηματισμών 5.1 / 5.2)	-	-	-	-	-	-	-	-	0,30-0,40
Αποσαθρωμένη ζώνη ψαμμιτών και ιλυολίθων – αργιολίθων (Σχηματισμός 6.1)	20	50	30	35	70	0,30	95	285	0,40
Ιλυόλιθος – Αργιόλιθος (Σχηματισμός 6.2)	22	45	27	170	340	0,30	460	920	0,50
Νεογενείς σχηματισμοί Ηλιούπολης (Εναλλαγές σχηματισμών 6.2 / 6.3 / 6.4)	23	50-72	27-35	270-470	540-940	0,30	730-1260	1450-2500	0,40
Νεογενείς σχηματισμοί Ηλιούπολης (Εναλλαγές σχηματισμών 6.2 / 6.3 ή 6.4 / 6.5)	23	100-130	35-40	490-500	980-1000	0,30	1300-1350	2600-2700	0,35
Συνεκτικός κλαστικός σχηματισμός (Σχηματισμός 8.1)	21	40-55	35	70-100	140-200	0,30	190-270	570-810	-
Σιμεντωμένος κλαστικός σχηματισμός (Σχηματισμός 8.2)	23	165-200	50	850-900	1700-1800	0,30	2300-2400	4600-4800	-
Συνεκτικός και σιμεντωμένος κλαστικός σχηματισμός (Εναλλαγές σχηματισμών 8.1 / 8.2)	-	-	-	-	-	-	-	-	0,35
Μανδύας αποσάθρωσης μαργαϊκού ασβεστολίθου (Σχηματισμός 9.1)	20	30-50	25-32	40-45	80-90	0,30	100-120	300-360	0,45
Μαργαϊκός ασβεστόλιθος – Ασβ. Ψαμμίτης (Σχηματισμός 9.2α, 9.2β, 9.2γ)	22	65-80	40-45	700-900	1400-1800	0,25	1680-2000	3360-4200	0,30-0,35
Μανδύας αποσάθρωσης μεταψαμμιτών – μεταίλυολίθων (Σχηματισμός 10.1)	20	15	30	35	70	0,30	95	285	0,45
Μεταψαμμίτης – μεταίλυόλιθος (Σχηματισμός 10.2α, 10.2β, 10.2γ)	23	40-50	30-35	200-300	400-600	0,30	540-800	1080-1600	0,40
Μαύρος αργιλικός σχιστόλιθος με ενστρώσεις μεταψαμμίτη – μεταίλυόλιθου (Σχηματισμός 10.3α, 10.3β, 10.3γ)	22	45-50	30-32	200-250	400-500	0,30	540-675	1100-1350	0,45

Α1.2.3 Βασικά χαρακτηριστικά σήραγγας και τυπική διατομή



A1.2.4 Ημερομηνίες ορόσημα του Έργου

Δεκέμβριος 2006	Έναρξη συναρμολόγησης ανακατασκευασμένου TBM στο φρέαρ Σούρμενα
Μάρτιος 2007	Έναρξη εργασιών διάνοιξης σήραγγας από το φρέαρ Σούρμενα
Ιούνιος 2007	Άφιξη TBM στο σταθμό Ελληνικού
Οκτώβριος 2007	Άφιξη TBM στο σταθμό Αργυρούπολης
Μάιος 2008	Άφιξη TBM στο σταθμό Άλιμος
Οκτώβριος 2008	Άφιξη TBM στο σταθμό Ηλιούπολη
Δεκέμβριος 2008	Ολοκλήρωση διάνοιξης σήραγγας TBM από το φρέαρ Σούρμενα μέχρι το τερματικό φρέαρ Αγ. Βασιλείου, μήκους 4,65km, με μέση ταχύτητα προόδου περί τα 10m/εργάσιμη ημέρα

Α1.2.5 Φωτογραφίες



Έναρξη εργασιών TBM στο
όρυγμα του φρέατος Σούρμενα
Μάρτιος 2007



Ιούνιος 2007 το TBM στο
όρυγμα του σταθμού
Ελληνικό



Ξετρύπημα στο όρυγμα του σταθμού
Αργυρούπολη 04.10.2007



Ξετρύπημα όρυγμα του σταθμού
Ηλιούπολη Οκτώβριος 2008

Συμπέρασμα

Ο μέσος ρυθμός προχώρησης του TBM ήταν 10m/ημέρα και η μέγιστη μετρούμενη καθίζηση στην επιφάνεια του εδάφους λόγω της διάνοιξης των σηράγγων ήταν **17mm** < 30mm. Κατά μήκος του 80% της συνολικής της χάραξης, οι μετρηθείσες καθιζήσεις δεν ξεπέρασαν τα 5mm.

A1.3 Γραμμή 3 - Τμήμα: ΧΑΙΔΑΡΙ - ΠΕΙΡΑΙΑΣ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

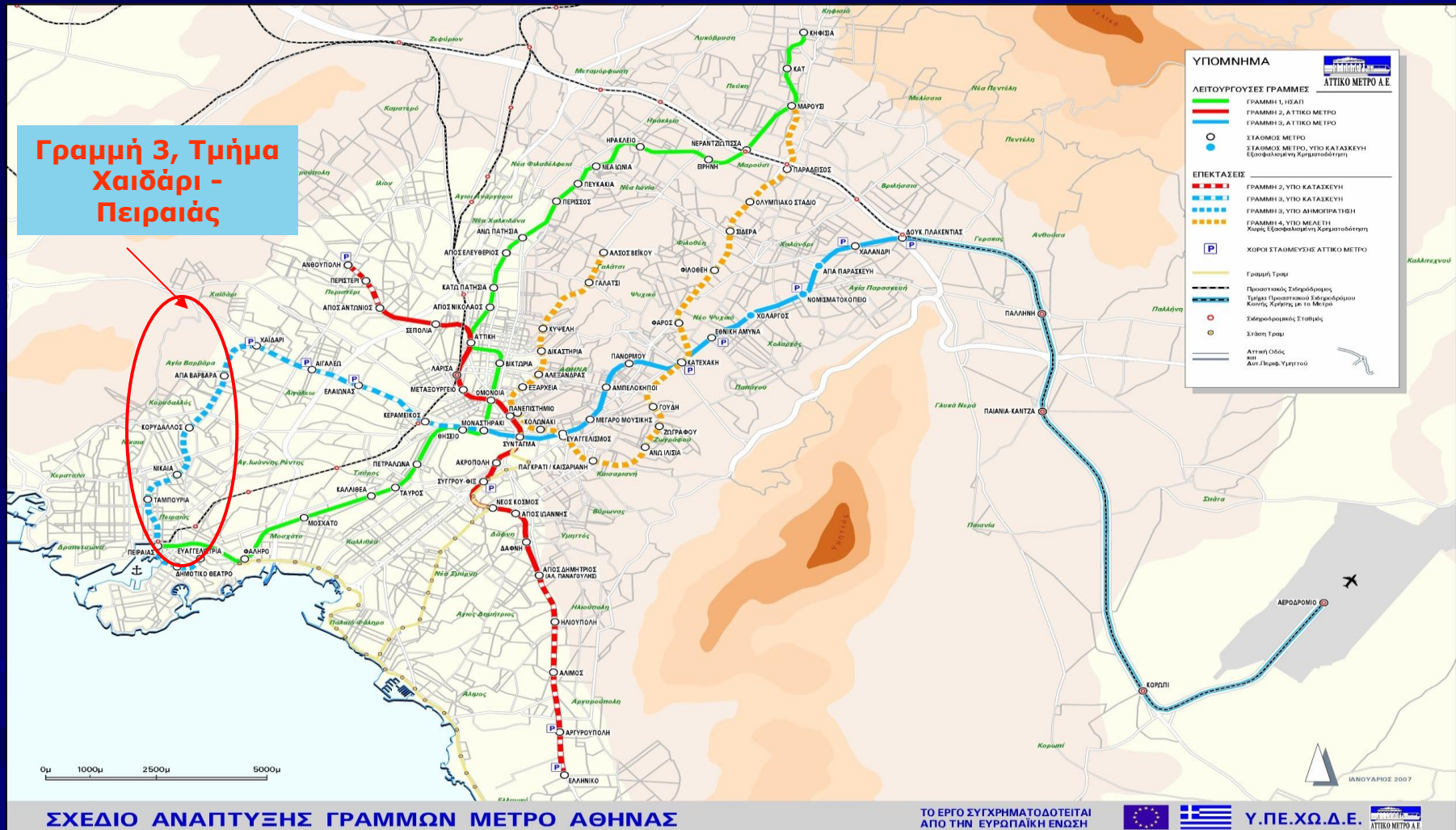
A1.3.1 Εισαγωγή

A1.3.2 Γεωλογικές – γεωτεχνικές συνθήκες έργου

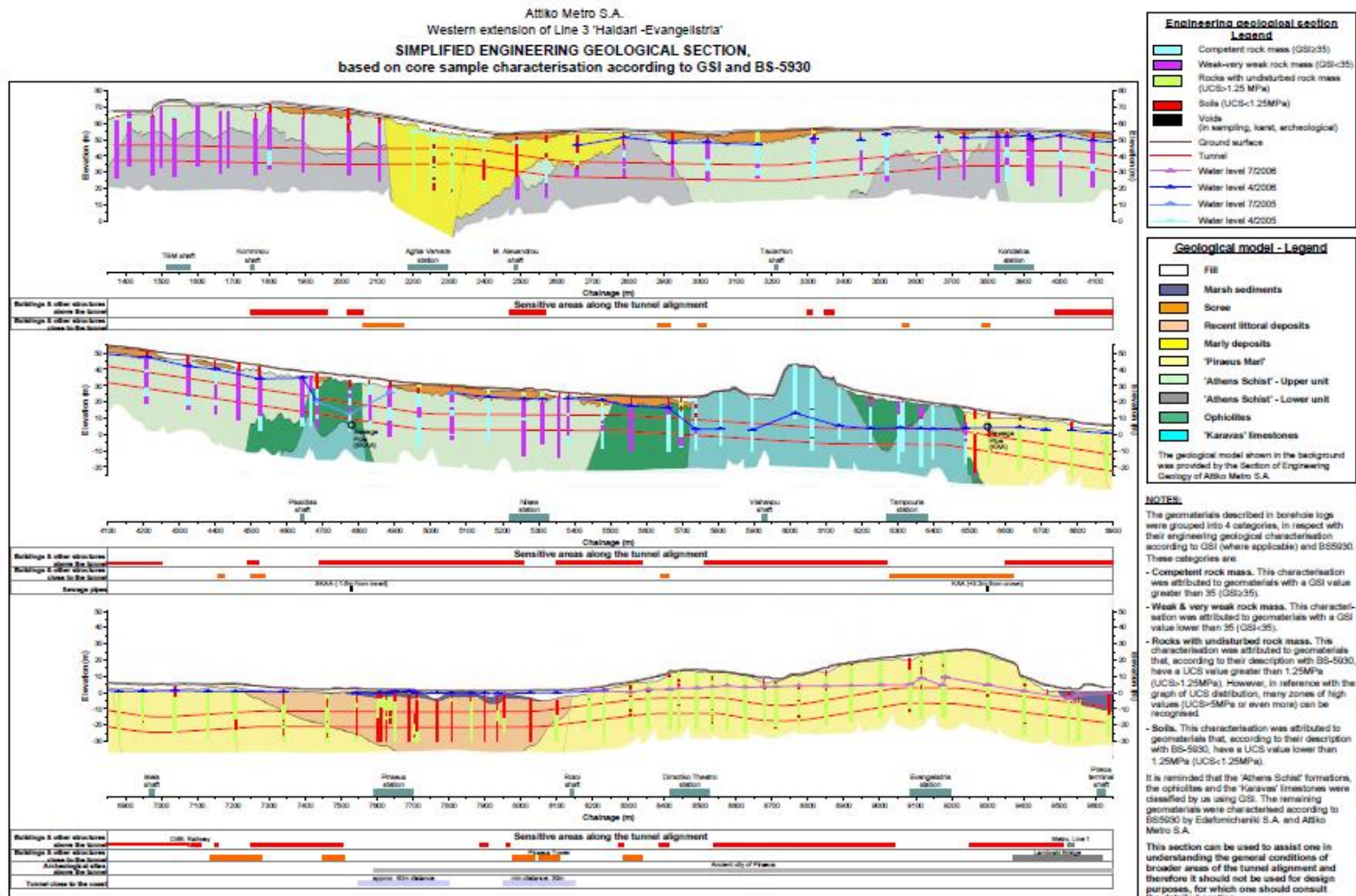
A1.3.3 Μηχάνημα ολομέτωπης κοπής EPB

Σημείωση: Νέο έργο, Σύμβαση CON-12/001 από 01.03.2012

A1.3.1 Εισαγωγή



(κατά την δημοπράτηση του έργου) [6]



ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ Α.Ε.

A1.3.3 Προταθέν μηχάνημα ολομέτωπης διάνοιξης με ασπίδα εξισορρόπησης πίεσης του εδάφους – EPB [7]

Προμηθευτής	LOVAT
Ονομαστική διάμετρος διάτρησης	9.4m
Οριζοντιογραφική καμπύλη (ελάχιστη ακτίνα καμπύλης που μπορεί να ακολουθήσει το TBM)	300m
Ονομαστική Δύναμη ώθησης (μεγ. τιμή)	91800kN (2550kN×36)
Μεγ. Δύναμη ώθησης	122400 (3400×36)
Μήκος Ασπίδας	10.7m
Μέγιστη πίεση EPB	3.5 bar
Αριθμός κυλίνδρων	36
Διαστάσεις πεδίων	508mm×347mm

Ασπίδα εδαφικής εξισορροπητικής πίεσης (EPBS LOVAT (RME-370SE)



(φωτ. πριν την ανακατασκευή)

A2 ΜΕΤΡΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

Διάνοιξη σηράγγων με μηχανή ολομέτωπης κοπής με ασπίδα τύπου εξισορροπητικής εδαφικής πίεσης (EPB) ή SM-V5

- A2.1 Τμήμα: Ν.Σ.Σ – Νέα Ελβετία
(Ανάδοχος: Κ/Ξ AECEK – IMPREGILLO – ANSALDO – SELI - ANSALDOBREDA)
- A2.2 Επέκταση Καλαμαριάς (υπό δημοπράτηση)

A2.1 ΤΜΗΜΑ: ΝΣΣ-ΝΕΑ ΕΛΒΕΤΙΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

- A2.1.1 Εισαγωγή
- A2.1.2 Γεωλογικές – γεωτεχνικές συνθήκες έργου
- A2.1.3 Βασικά χαρακτηριστικά σήραγγας και τυπική διατομή
- A2.1.4 Μηχάνημα ολομέτωπης κοπής EPB
- A2.1.5 Ημερομηνίες ορόσημα
- A2.1.6 Φωτογραφίες του Έργου
- A2.1.7 Αποτελέσματα εκσκαφής με EPB

A2.1.1 Εισαγωγή



A2.1.2 Γεωλογικές – Γεωτεχνικές συνθήκες (1/2)

Κατηγορίες βασικών γεωυλικών

■ Σειρά Ερυθρών Αργίλων (RC)

Καστανέρυθρες, ερυθρές και τοπικά πολύχρωμες, πολύ σφιγρές έως σκληρές, ΑΡΓΙΛΟΙ με άμμο, πάχους που υπερβαίνει τα 48 m.

■ Ψαμμιτομαργαϊκή Σειρά (Sd-M)

Μπεζ συνήθως, καστανοκίτρινες και υπόλευκες σφιγρές έως σκληρές, ασβεσπτικές αμμώδεις ΑΡΓΙΛΟΙ και ΙΛΥΕΣ, πάχους που υπερβαίνει τα 37 m.

■ Ερυθρές Άργιλοι (Q2)

Καστανές έως καστανέρυθρες, σταθερές έως σφιγρές, αμμώδεις ΑΡΓΙΛΟΙ κατά τόπους με ασβεσπικά συγκρίματα, χαμηλής πλαστικότητας, πάχους που υπερβαίνει τα 14 m.

■ Σύγχρονες Αλλουβιακές Αποθέσεις και Υλικά Χειμάρριων Αποθέσεων (Q1)

Καστανές έως καστανοπράσινες, μαλακές έως σταθερές και τοπικά σφιγρές αμμώδεις ΑΡΓΙΛΟΙ, χαμηλής έως μέσης πλαστικότητας και χαλαρές έως μέτρια πυκνές ιλυώδεις ΑΜΜΟΙ με χάλικες, πάχους που υπερβαίνει τα 38μ

■ Τεχνητές Επιχωματώσεις – Αρχαιολογικό Στρώμα (F)

Πρόσφατα υλικά από ανθρωπογενείς δραστηριότητες, όπως πλίνθοι, τμήματα τοίχων, αγγεία, οστά, υλικά της πυρίκαυστης ζώνης, ξύλα κ.λπ., μέσα σε ιλυώδεις - χαλικώδεις - αργιλώδεις άμμους και προϊόντα αποσάθρωσης, πάχους που φθάνει μέχρι και τα 12.5 m.

A2.1.2 Γεωλογικές – Γεωτεχνικές συνθήκες (1/2)

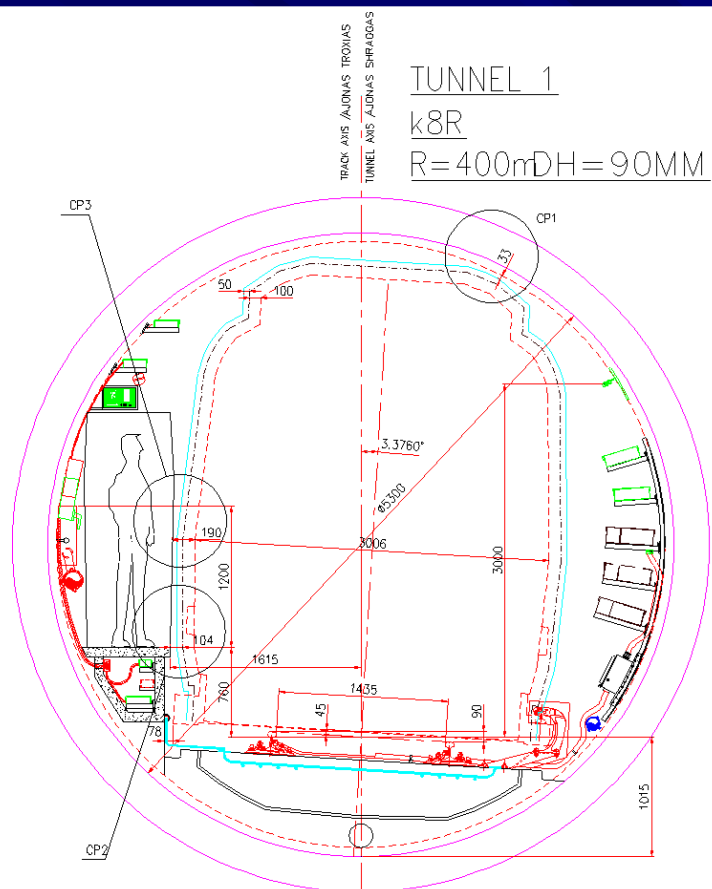
Γεωλογικές και γεωτεχνικές συνθήκες ανά περιοχή

- **Φρέαρ TBM μέχρι τη Διακλάδωση Δημοκρατίας:** Τεταρτογενείς αποθέσεις
- **Διακλάδωση Δημοκρατίας μέχρι το Σταθμό Αγίας Σοφίας:** στη σήραγγα συναντώνται σχηματισμοί της Σειράς των Ερυθρών Αργίλων ενώ στη ζώνη υπερκειμένων απαντώνται και Τεταρτογενείς αποθέσεις.
- **Σταθμός Αγίας Σοφίας μέχρι το Σταθμό Πανεπιστήμιο:** σχηματισμοί της Σειράς των Ερυθρών Αργίλων.
- **Σταθμός Πανεπιστήμιο μέχρι το Σταθμό Παπάφη:** σχηματισμοί των Τεταρτογενών αποθέσεων, της Ψαμμιτομαργαϊκής Σειράς και της Σειράς των Ερυθρών Αργίλων.
- **Σταθμός Παπάφη μέχρι τη Διασταύρωση Αναλήψεως:** Τεταρτογενείς αποθέσεις και η υποκείμενη Ψαμμιτομαργαϊκή Σειρά.
- **Διασταύρωση Αναλήψεως μέχρι το Σταθμό Βούλγαρη:** σχηματισμοί του Τεταρτογενούς.
- **Σταθμός Βούλγαρη μέχρι τη Διασταύρωση Νέας Ελβετίας:** σχηματισμοί της Ψαμμιτομαργαϊκής Σειράς.

A2.1.3 Βασικά χαρακτηριστικά και τυπική διατομή σήραγγας (1/2)

- Μήκος: 7,700 km
- Δύο σήραγγες μονής τροχιάς σε απόσταση εν γένει $\geq 3\mu$
- Ελάχιστη ακτίνα ευθυγράμμισης: 200μ οριζόντια και 1,250μ κατακόρυφα
- Ελάχιστη ακτίνα εκσκαφής σήραγγας: 250μ
- Μέγιστο όριο κλίσης: $\pm 4\%$
- Εξωτερική διάμετρος εκσκαφής: 6.19μ
- Εσωτερική διάμετρος επένδυσης: 5.30μ
- Υπερκείμενο της ασπίδας: 10μ-27μ
- Αριθμός τεμαχίων επένδυσης: 5+1
- Πάχος επένδυσης: 0.30μ
- Μήκος προκ. δακτ. επένδυσης: 1.50μ
- Σκυρόδεμα: C40/50

A2.1.3 Βασικά χαρακτηριστικά και τυπική διατομή σήραγγας (2/2)



A2.1.4 Μηχανή EPB ΜΕΤΡΟ Θεσσαλονίκης [8]

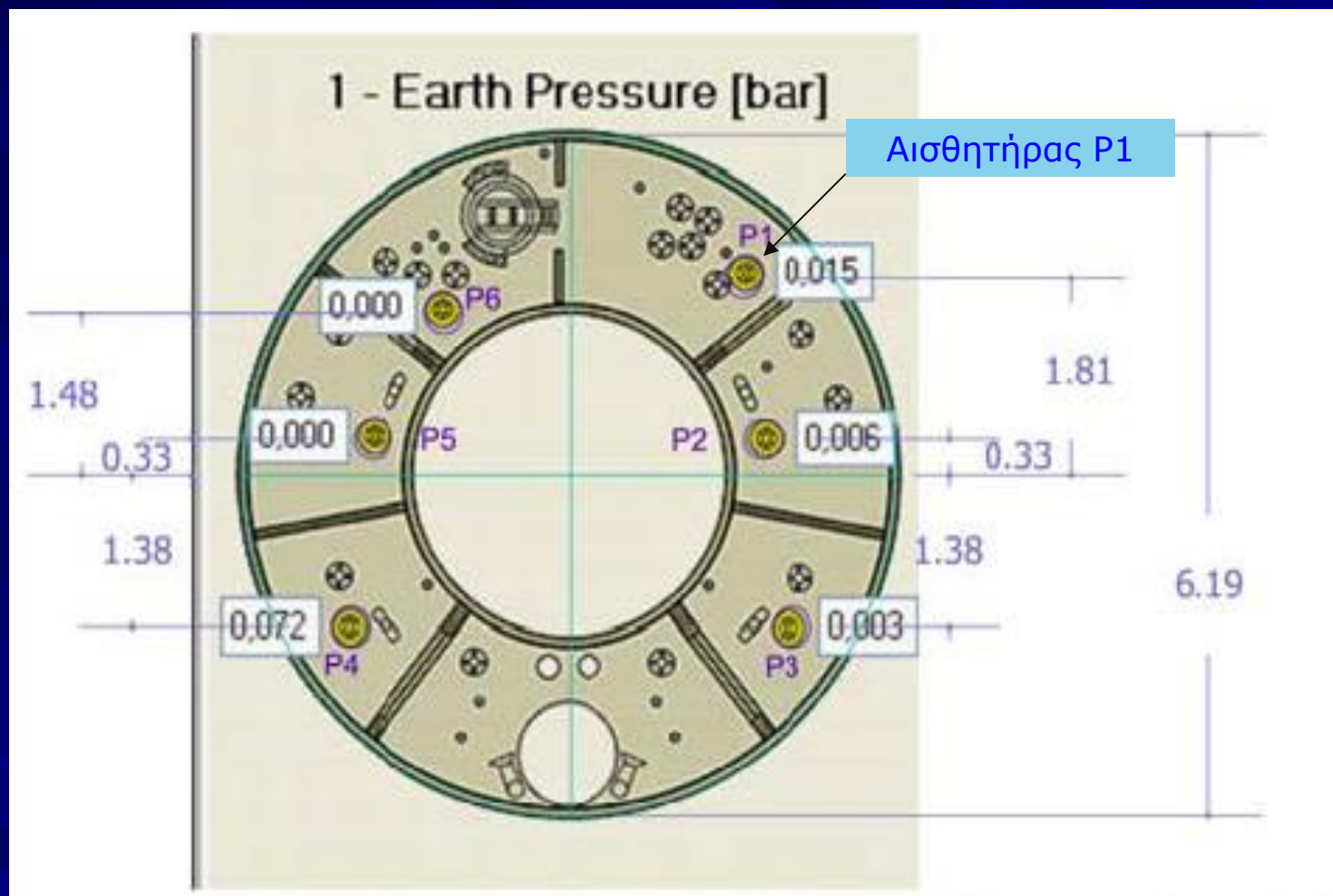


Βασικά χαρακτηριστικά των δύο EPB

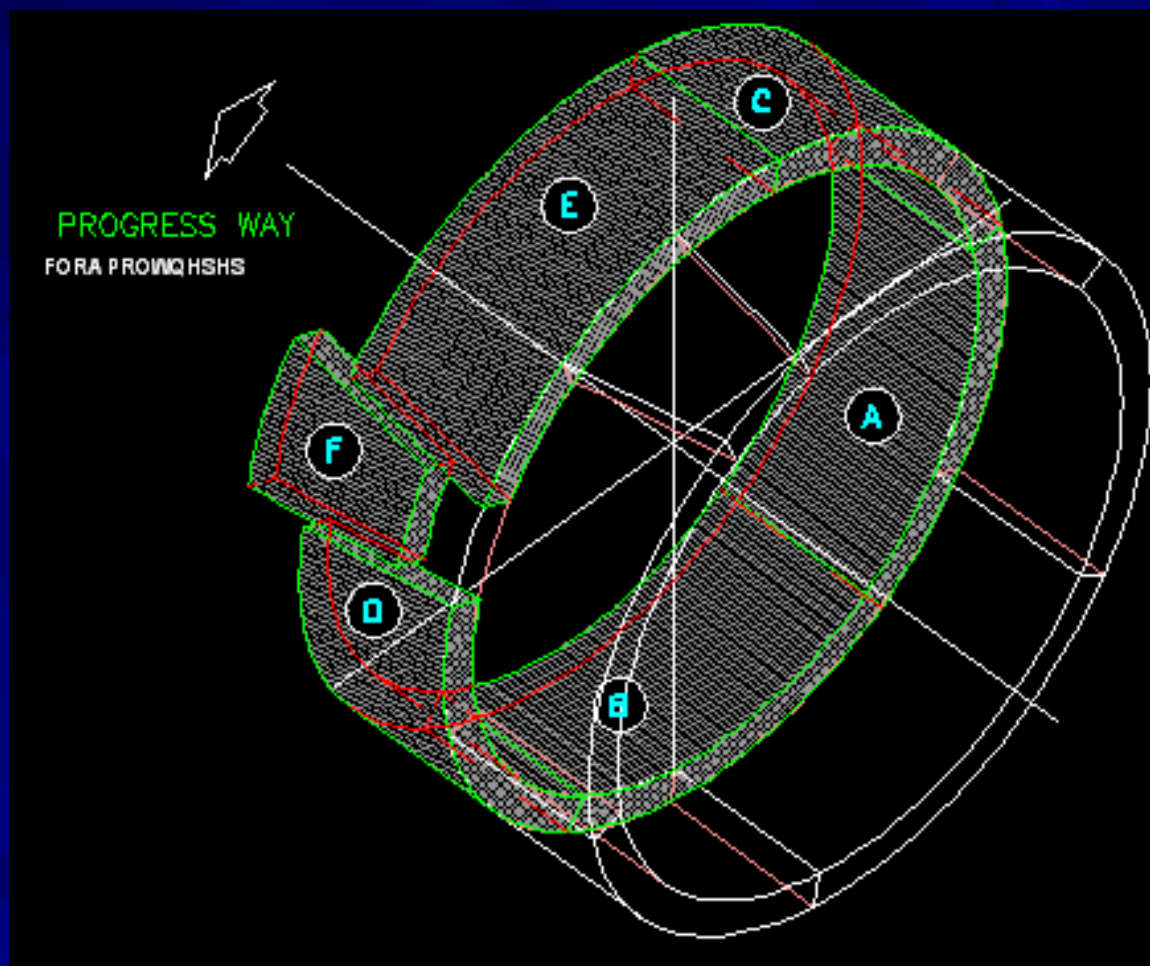
Οι μηχανές EPB που χρησιμοποιούνται στο ΜΕΤΡΟ Θεσσαλονίκης σχεδιάσθηκαν και κατασκευάσθηκαν στη Γερμανία το 2007.

Μέγιστη πίεση εκσκαφής:	5.00bar
Εξ. διάμετρος ασπίδας:	6.19mm
Ολικό μήκος EPB:	90m
Μέγιστη ταχύτητα διάνοιξης:	130mm/min
Ολικό μήκος ασπίδας:	6,500mm
Βάρος ασπίδας:	100 ton
Βάρος κεφαλής κοπής:	42.5 ton
Συνολική εγκατεστημένη ισχύς:	2,500 kW
Λόγος ανοίγματος:	42%
Σύστημα περιστροφής:	3x400=1,200 kW
▪ Ταχύτητα περιστροφής:	0-3,0rpm
▪ Μέγιστη ροπή:	5,460kNm
Κοχλίας απόληψης και μεταφοράς προϊόντων εκσκαφής	250 kW
▪ Ταχύτητα περιστροφής:	0-22rpm
Κοπτικά εργαλεία	
▪ Δίσκοι κοπής, Αναμοχλευτές,	
▪ Αποξέστες, Φρέζες αντιγραφής	
Αριθμός κυλίνδρων:	2x16
Συνολική δύναμη ώθησης:	42,575kN
Σύστημα εισπίεσης πρόσμικτων (αφρός, νερό και μπεντονίτης)	

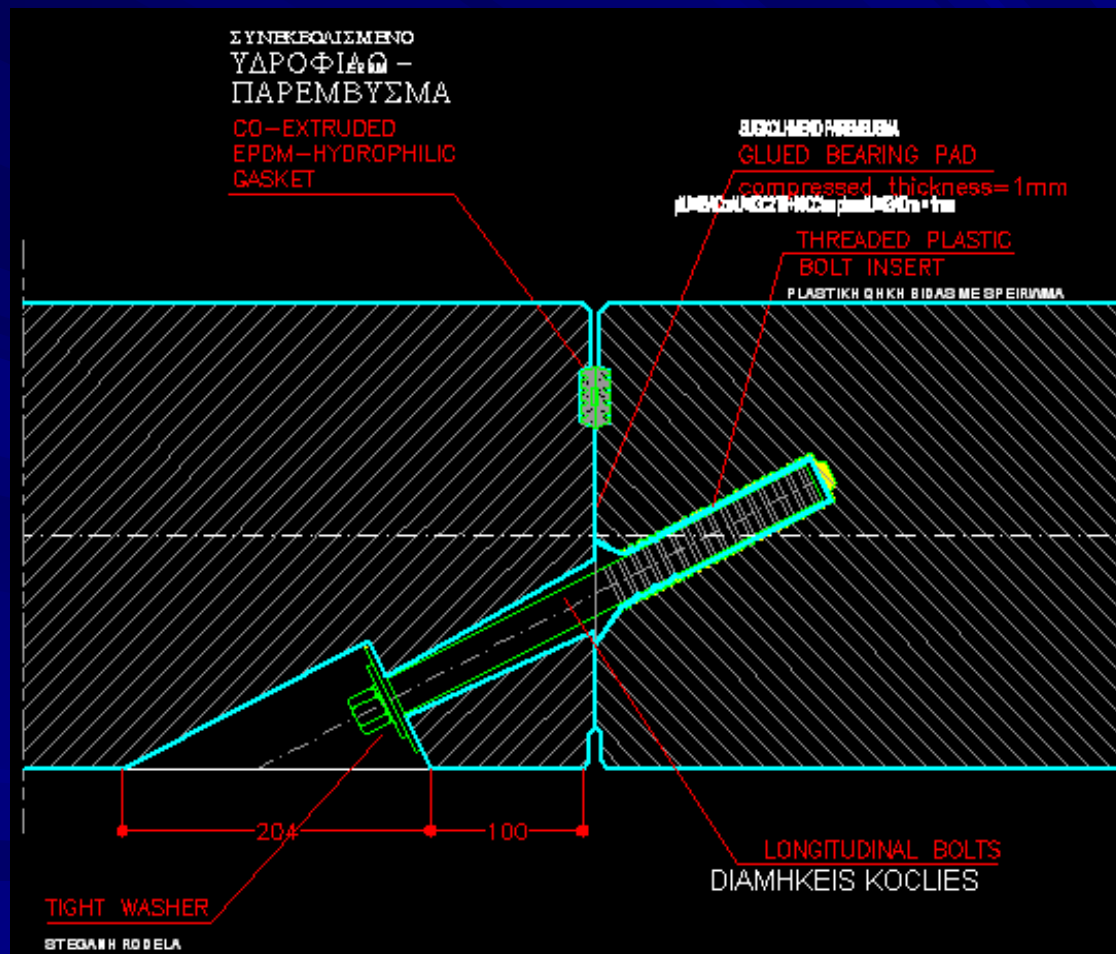
Θέσεις αισθητήρων μέτρησης πίεσης μετώπου στο ΕΡΒ



Επένδυση προκατασκευασμένων στοιχείων σήραγγας TBM (τύπος δακτυλίου: universal)



Διαμήκης αρμός δακτυλίων επένδυσης σήραγγας TBM



A2.1.5 Ημερομηνίες ορόσημα του Έργου (1/2)

Δεκέμβριος 2008	Έναρξη συναρμολόγησης TBM1 στο φρέαρ ΝΣΣ
Μάρτιος 2009	Έναρξη εργασιών διάνοιξης σήραγγας από το φρέαρ ΝΣΣ με το TBM1
Απρίλιος 2009	Έναρξη εργασιών διάνοιξης σήραγγας από το φρέαρ ΝΣΣ με το TBM2
Μάρτιος 2009 – Νοέμβριος 2009	Διάνοιξη σήραγγας και διέλευση TBM1 από τη Διασταύρωση Δημοκρατίας και Σταθμούς Δημοκρατίας, Βενιζέλου, Αγ. Σοφίας και Σιντριβάνι (μέσω άσκαφτων Σταθμών)
Νοέμβριος 2009 – Αύγουστος 2010	Άφιξη και παραμονή TBM1 στη Διασταύρωση Σιντριβάνι (ανοικτό σκάμμα)
Απρίλιος 2009 – Ιανουάριος 2010	Διάνοιξη σήραγγας και διέλευση TBM2 από τη Διασταύρωση Δημοκρατίας και Σταθμούς Δημοκρατίας, Βενιζέλου, Αγ. Σοφίας και Σιντριβάνι (μέσω άσκαφτων Σταθμών)
Ιανουάριος 2010 – Σεπτέμβριος 2010	Άφιξη και παραμονή TBM2 στη Διασταύρωση Σιντριβάνι (ανοικτό σκάμμα)
Αύγουστος 2010	Έναρξη διάνοιξης TBM1 από τη Διασταύρωση Σιντριβάνι
Αύγουστος 2010 – Μάρτιος 2011	Διάνοιξη σήραγγας και διέλευση TBM1 από Σταθμό Πανεπιστήμιο, Παπάφη (μέσω άσκαφτων σταθμών)
Σεπτέμβριος 2010	Έναρξη διάνοιξης TBM2 από τη Διασταύρωση Σιντριβάνι

A2.1.5 Ημερομηνίες ορόσημα του Έργου (2/2)

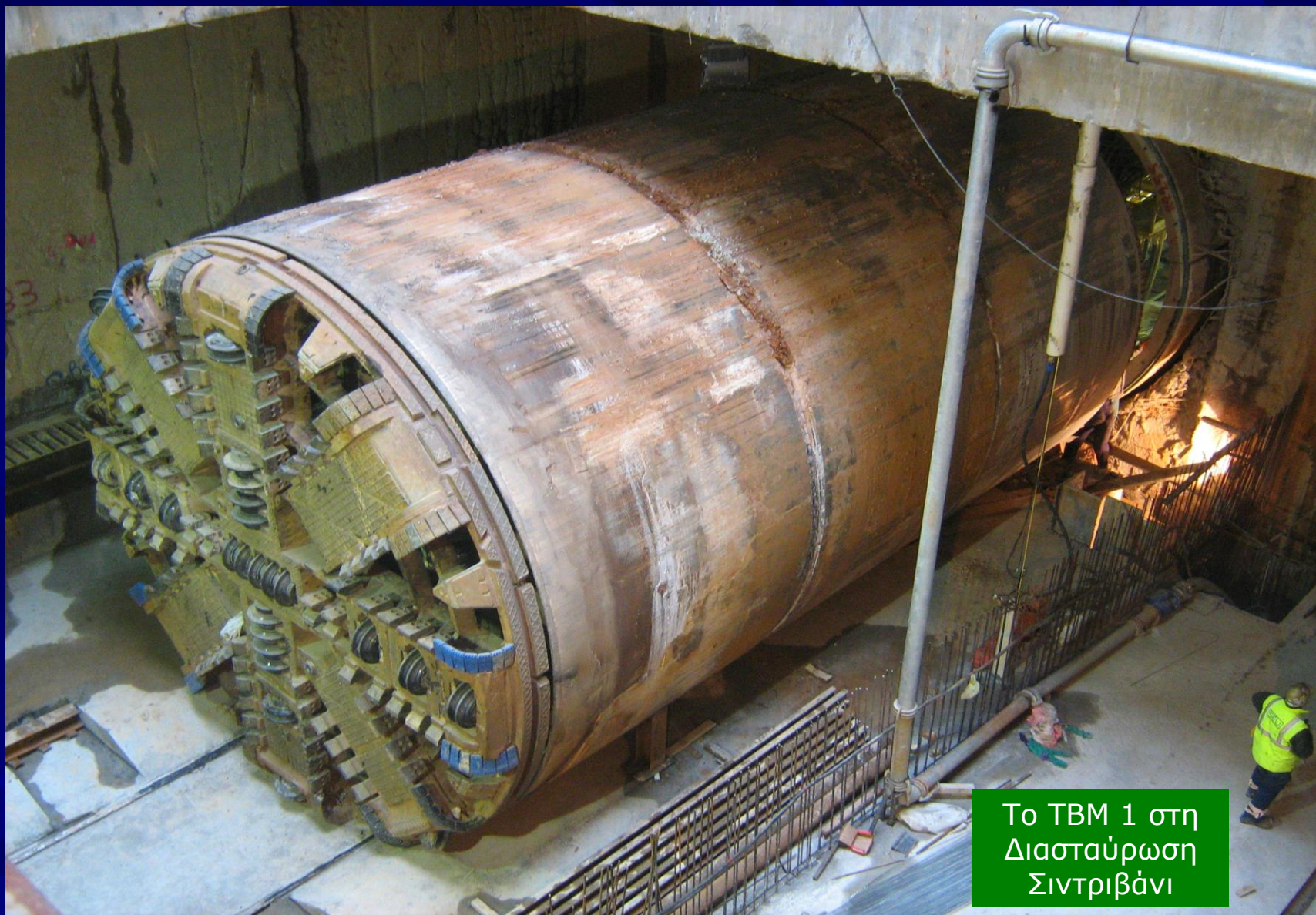
Σεπτέμβριος 2010 – Απρίλιος 2011	Διάνοιξη σήραγγας και διέλευση TBM2 από Σταθμό Πανεπιστήμιο, Παπάφη (μέσω άσκαφτων σταθμών)
Μάρτιος 2011 – Ιούνιος 2011	Άφιξη και παραμονή TBM1 στο Σταθμό Ευκλείδη (ανοικτό σκάμμα)
Απρίλιος 2011 – Σεπτέμβριος 2011	Άφιξη και παραμονή TBM2 στο Σταθμό Ευκλείδη (ανοικτό σκάμμα)
Ιούνιος 2011 – Ιούλιος 2011	Διάνοιξη σήραγγας TBM1 από Σταθμό Ευκλείδη έως Σταθμό Φλέμινγκ
Ιούλιος 2011 – Νοέμβριος 2011	Άφιξη, διέλευση και παραμονή στο Σταθμό Φλέμινγκ του TBM1 (τμήμα του Σταθμού κατασκευασμένο, εκσκαφή στο επίπεδο του TBM)
Νοέμβριος 2011 – Φεβρουάριος 2012	Διάνοιξη σήραγγας TBM1 από Σταθμό Φλέμινγκ στο Σταθμό Ανάληψη
Φεβρουάριος 2012	Άφιξη TBM1 στο Βόρειο Φρέαρ του Σταθμού Ανάληψη
Σεπτέμβριος 2011 – Οκτώβριος 2011	Διάνοιξη σήραγγας TBM2 από Σταθμό Ευκλείδη έως Σταθμό Φλέμινγκ
Οκτώβριος 2011 – Ιανουάριος 2012	Άφιξη, διέλευση και παραμονή στο Σταθμό Φλέμινγκ (τμήμα του Σταθμού κατασκευασμένο, εκσκαφή στο επίπεδο του TBM)
Ιανουάριος 2012 – Μάρτιος 2012	Διάνοιξη σήραγγας TBM2 από Σταθμό Φλέμινγκ στο Σταθμό Ανάληψη και άφιξη στο Β. Φρέαρ του Σταθμού Ανάληψη

Συνολικό μήκος κατασκευασθείσας σήραγγας μονής τροχιάς / TBM περί τα 5,5km (03/2012)

Α2.1.6 Φωτογραφίες



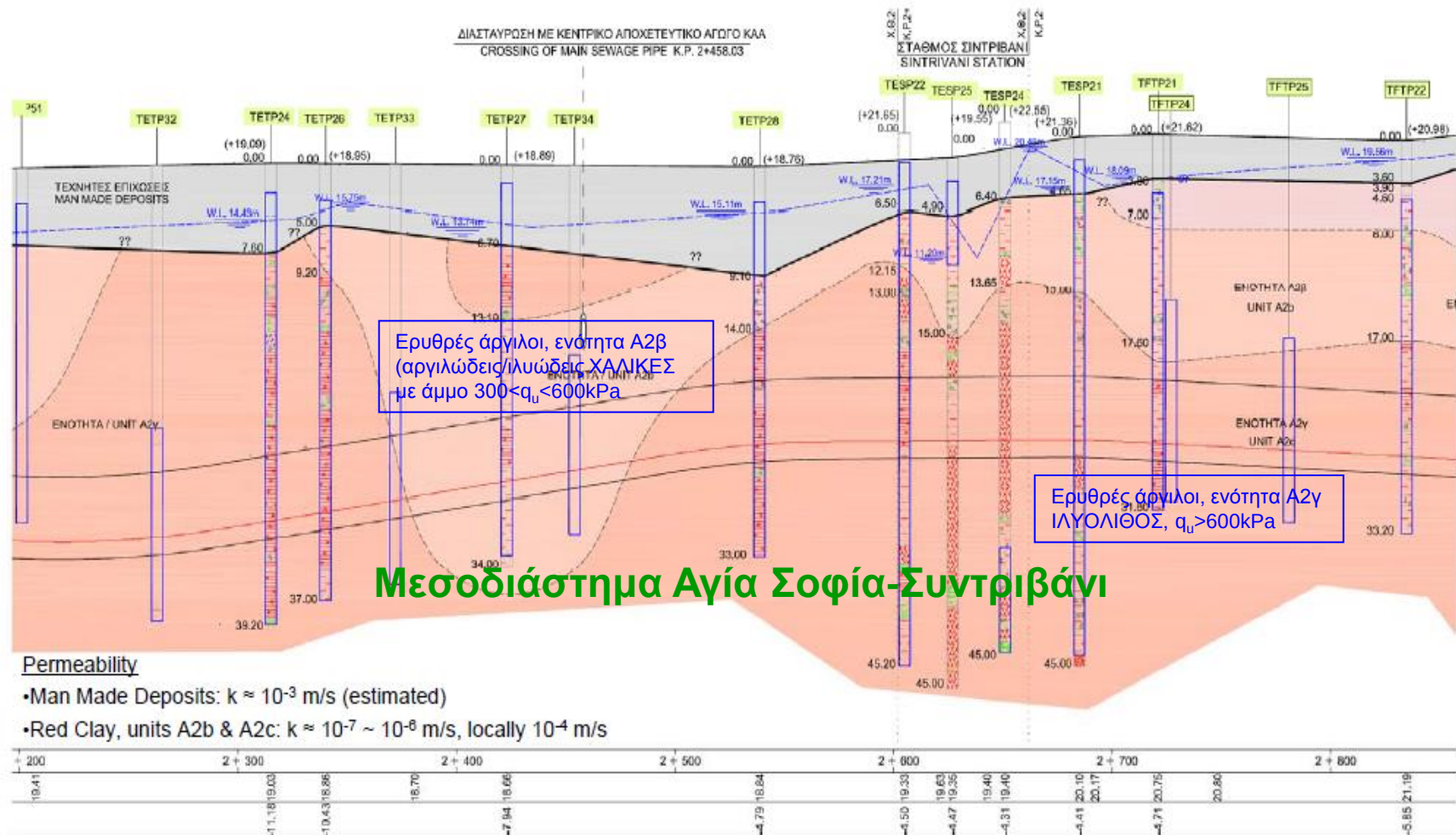
Ξετύπωμα του
TBM 1 στη
Διασταύρωση
Σιντριβάνι
27.01.2010



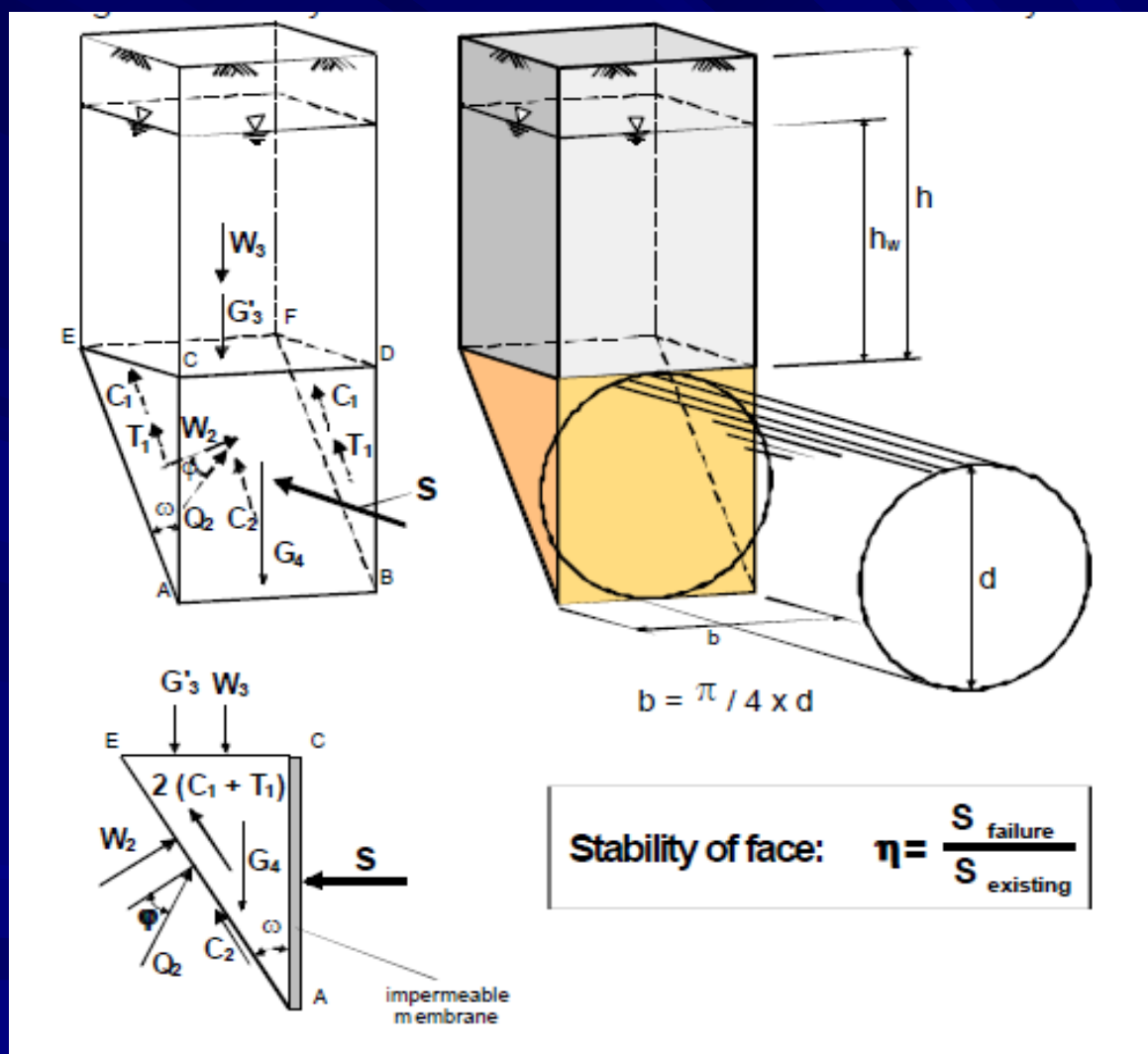
Το TBM 1 στη
Διασταύρωση
Σιντριβάνι

A2.1.7 Αποτελέσματα εκσκαφής με τα ΕΡΒ

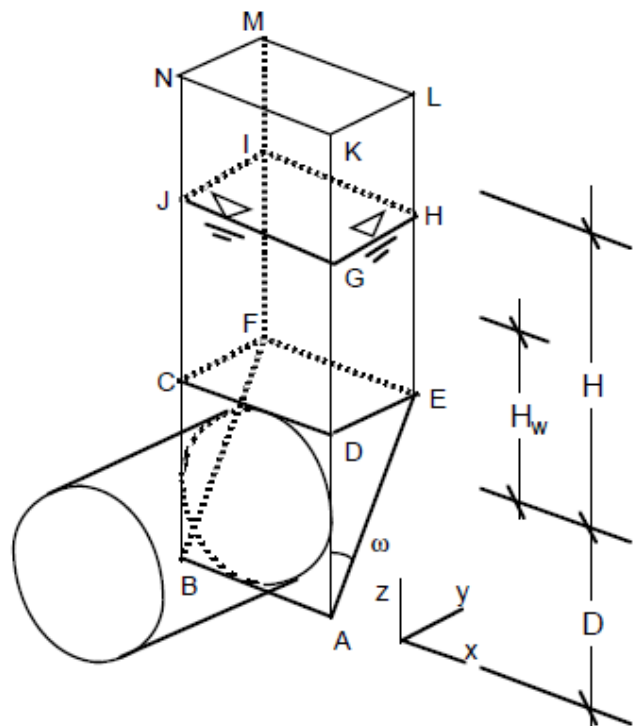
Απόσπασμα γεωτεχνικής μηκοτομής



Υπολογισμός αναγκαίας πίεσης μετώπου κατά την μελέτη [9]



Ενεργή τάση στήριξης μετώπου [9]



Μηχανισμός ολίσθησης πρίσματος μετώπου κατά Horn (1961)

$$s' = F_0 \gamma' D - F_1 c + F_2 \gamma' \Delta h - F_3 c \Delta h / D$$

s' : ενεργός τάση στήριξης του μετώπου,

F_0, F_1, F_2, F_3 αδιάστατοι παράμετροι από σχετικά νομογραφήματα,

c : συνοχή,

ϕ : γωνία τριβής,

Δh : η διαφορά πιεζομετρικού ύψους, μεταξύ υδροφόρου ορίζοντα και θαλάμου εκσκαφής,

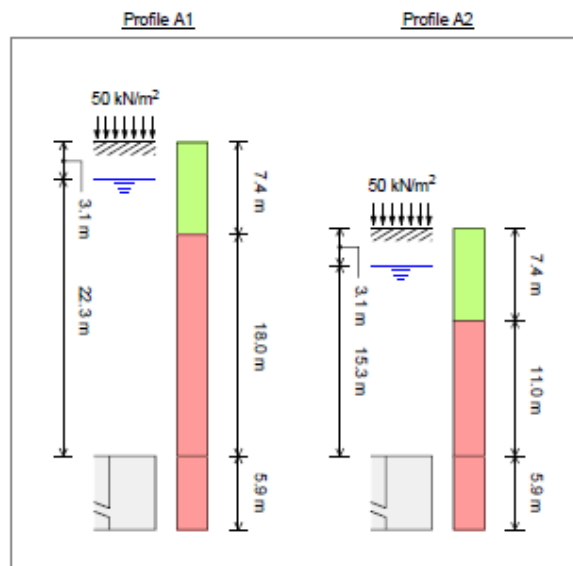
D : διάμετρος εκσκαφής σήραγγας,

H : ύψος υπερκειμένων,

γ' : ειδικό βάρος υπό άνωση

Πρόσθετες αναλύσεις ευστάθειας μετώπου - δεδομένα [10]

Geotechnical section
Section A from K.P. 2+200 to 2+600 (Profiles A1 and A2)

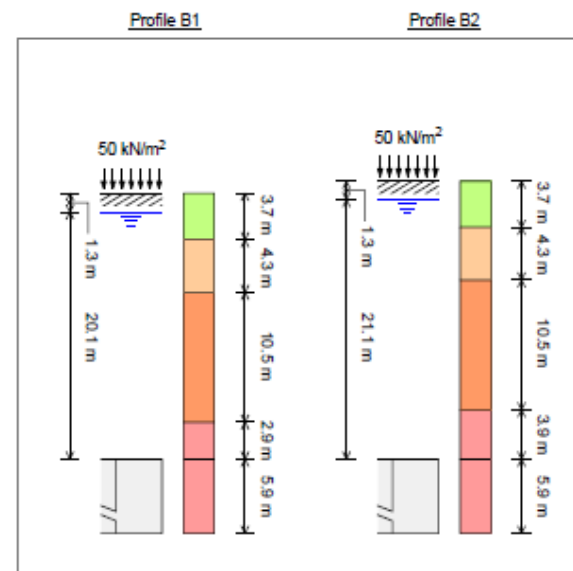


	total unit weight γ	undrained shear strength s_u	effective cohesion c	effective friction angle ϕ
fill	20.0 kN/m ³	-	0 kN/m ²	0°
unit A2a	-	-	-	-
unit A2b	-	-	-	-
unit A2c	21.5 kN/m ³	400 kN/m ²	135 kN/m ²	28°

Ερυθρές άργιλοι, ενότητα A2B
(αργιλώδεις / ιλυώδεις ΧΑΛΙΚΕΣ
με άμμο $300 < q_u < 600 \text{ kPa}$)

Ερυθρές άργιλοι, ενότητα
A2γ ΙΛΥΟΛΙΘΟΣ, $q_u > 600 \text{ kPa}$

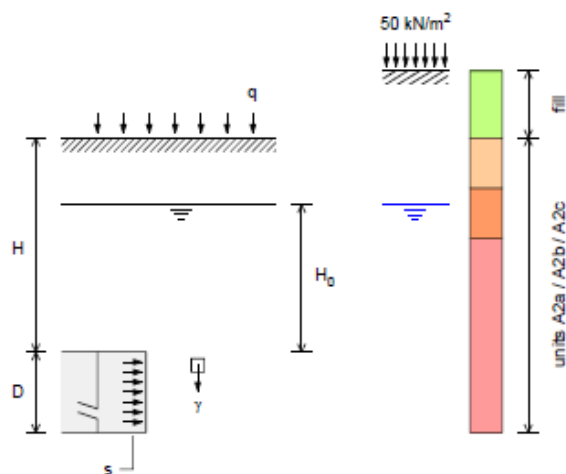
Geotechnical section
Section B from K.P. 2+660 to 2+900 (Profiles B1 and B2)



	total unit weight γ	undrained shear strength s_u	effective cohesion c	effective friction angle ϕ
fill	20.0 kN/m ³	-	0 kN/m ²	0°
unit A2a	21.0 kN/m ³	80 kN/m ²	40 kN/m ²	30°
unit A2b	21.5 kN/m ³	170 kN/m ²	90 kN/m ²	27°
unit A2c	21.5 kN/m ³	300 kN/m ²	110 kN/m ²	27°

Αστράγγιστες και στραγγιζόμενες συνθήκες με και δίχως ροή Προσομοίωση [10]

Computational model
Undrained conditions

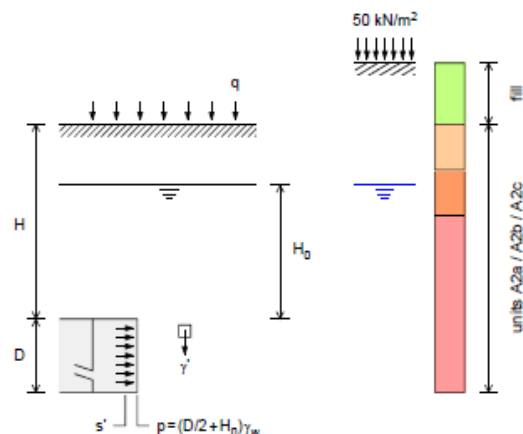


Total stress analysis

Notations:

- D = diameter of the tunnel
- H = overburden
- H_0 = elevation of water table (H_0 may be higher than H)
- q = loading due to fill (in total stresses) and buildings
- s = total support pressure in the chamber (at tunnel axis)
- γ = total unit weight of ground

Computational model
Drained conditions without seepage

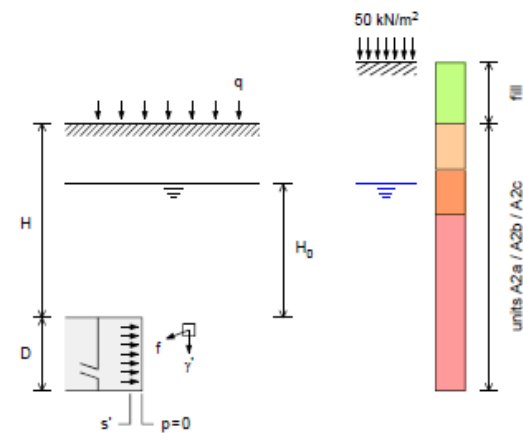


Effective stress analysis (without seepage forces)

Notations:

- D = diameter of the tunnel
- H = overburden
- H_0 = elevation of water table (H_0 may be higher than H)
- q = loading due to fill (in effective stresses) and buildings
- s' = effective support pressure in the chamber (at tunnel axis)
- p = pore water pressure in the chamber (at tunnel axis)
- γ' = submerged unit weight of ground
- γ_w = unit weight of water

Computational model
Drained conditions with max. seepage



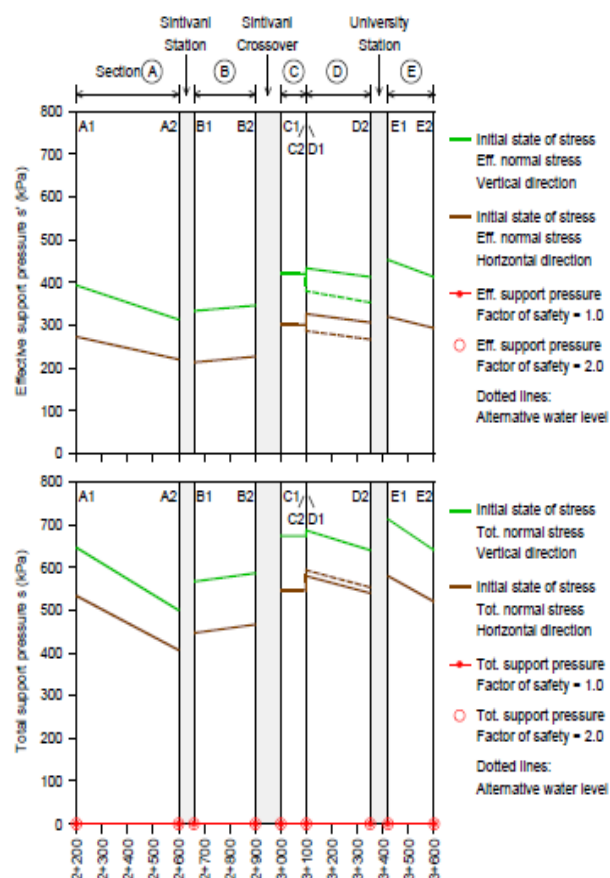
Effective stress analysis (with max. seepage forces)

Notations:

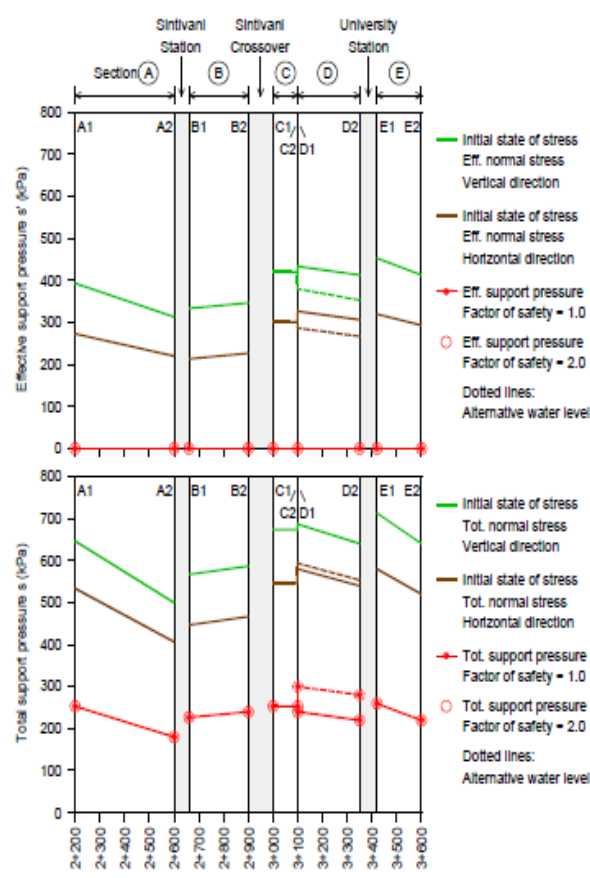
- D = diameter of the tunnel
- H = overburden
- H_0 = elevation of water table (H_0 may be higher than H)
- q = loading due to fill (in effective stresses) and buildings
- s' = effective support pressure in the chamber (at tunnel axis)
- p = pore water pressure in the chamber (at tunnel axis)
- γ' = submerged unit weight of ground
- f = seepage force per unit volume

Αστράγγιστες και στραγγιζόμενες συνθήκες – Αποτελέσματα [10]

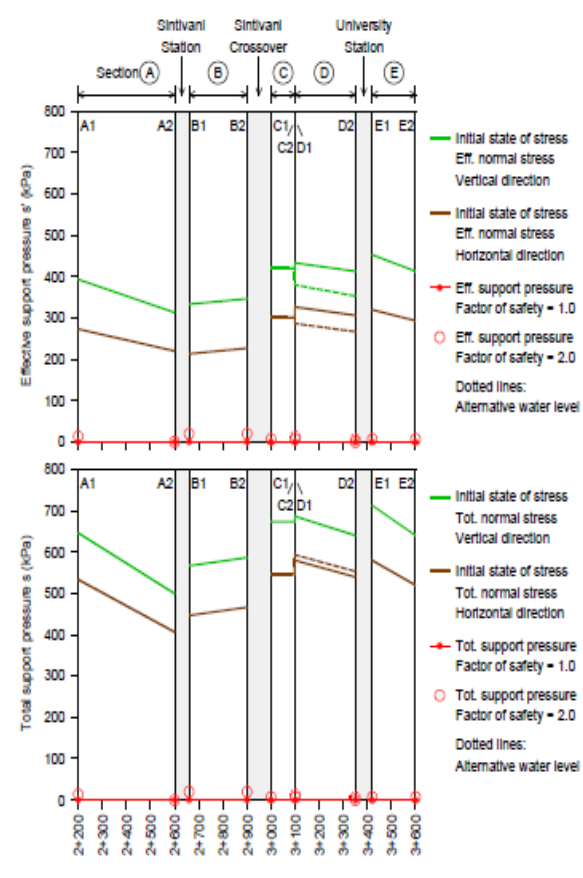
Computational results
Undrained conditions



Computational results
Drained conditions without seepage



Computational results
Drained conditions with max. seepage



Παρατηρήσεις

1. Η πίεση μετώπου ενός μηχανήματος EPB οφείλει να διασφαλίσει τη σταθερότητα του μετώπου και να αποτρέψει μεγάλες εισροές νερού εντός του θαλάμου. Μια ελάχιστη τιμή της πίεσης λειτουργεί ως μέτρο ασφαλείας για να διασφαλιστεί η πληρότητα του θαλάμου κατά τη διάρκεια της διάνοιξης.

2. Λαμβάνοντας υπόψη τις υψηλές παραμέτρους διατμητικής αντοχής της ερυθράς αργίλου, οι γεωτεχνικοί υπολογισμοί με συντελεστή ασφαλείας $FS=2$ έχουν δώσει τα παρακάτω αποτελέσματα

- Οι αστράγγιστες συνθήκες δεν απαιτούν ενεργή υποστήριξη μετώπου,
- Στραγγισμένες συνθήκες με ατμοσφαιρική πίεση εντός θαλάμου (μέγιστη επίδραση των δυσμενών δυνάμεων ροής) απαιτούν μια ενεργή πίεση μετώπου 0,1 bar

Εν όψει της πιθανής παρουσίας ενστρώσεων υλικών με μικρή συνοχή και υψηλότερη διαπερατότητα που ήταν να συναντηθούν, αρχικά αποφασίστηκε να πραγματοποιηθεί η εκσκαφή με μια **ελάχιστη συνολική πίεση μετώπου 1,0 bar**. Λόγω πτώσης στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα όπως έδειξαν ορισμένα, τα πιεζόμετρα, αποφασίστηκε αργότερα (από τη Χ.Θ. 2+260) να αυξηθεί η πίεση μετώπου στο 1,7 bar, τιμή που θα παρείχε μεγαλύτερη εξασφάλιση για έναν συνεχώς πλήρη θάλαμο.

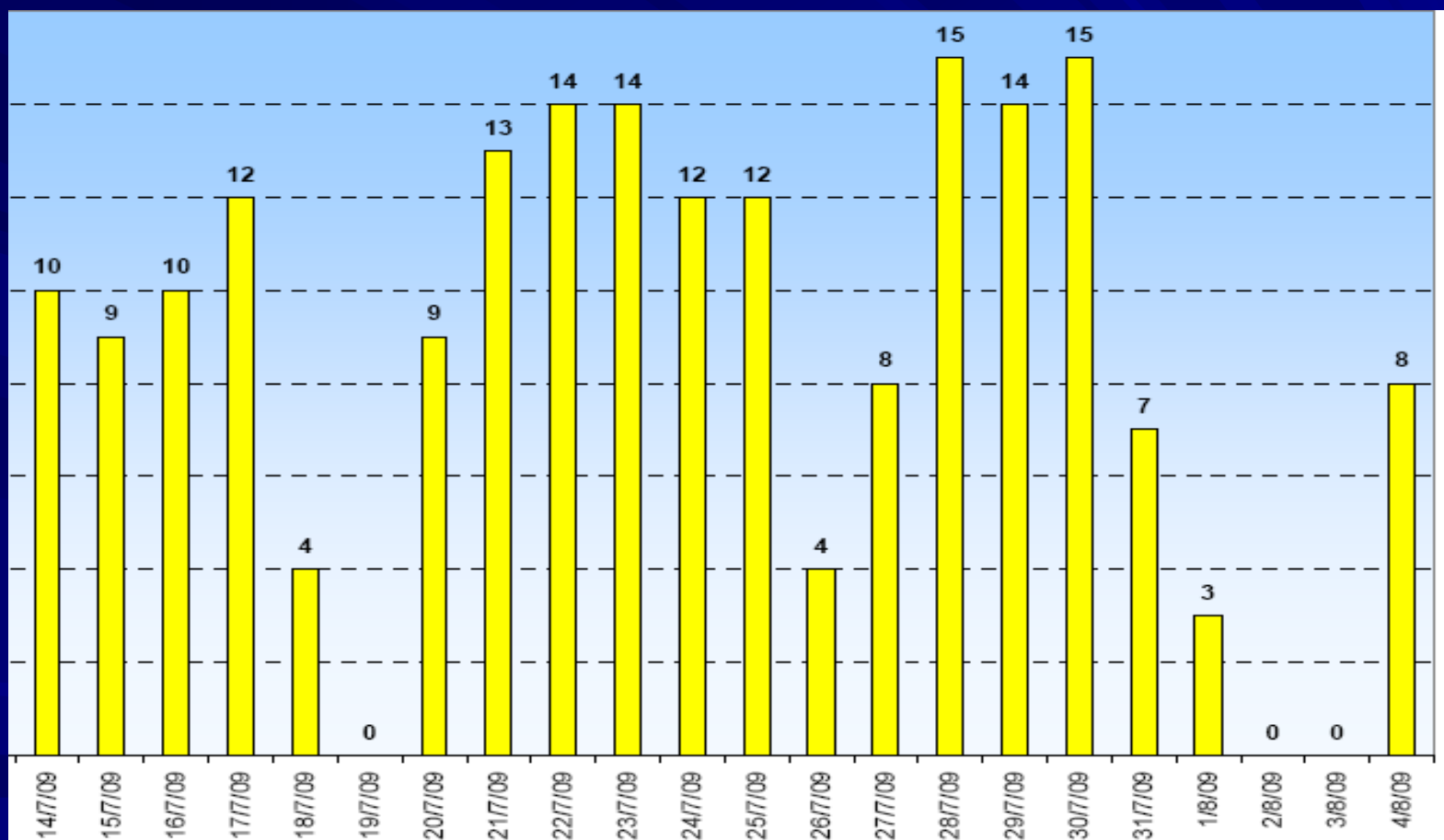
Ορισμένα συμπεράσματα

- Η απουσία περιστατικών στην επιφάνεια του εδάφους και στο μηχάνημα όπως επίσης και οι πολύ ήπιες καθιζήσεις στην επιφάνεια του εδάφους ($<5\text{mm}$) με συμβατικό όριο τα 25mm που προκλήθηκαν από την διάνοιξη της σήραγγας με TBM τύπου EPB στην υπόψη περιοχή, είναι ενδεικτικές του σχεδιασμού και της εκτέλεσης του έργου.
- Ουσιαστικά, οι γεωτεχνικές συνθήκες με τις προβλεπόμενες αποκλίσεις από το μέσο όρο, ανταποκρίθηκαν καλά στις προβλέψεις.
- Το επιλεγμένο βάθος της σήραγγας με υπερκείμενα $\geq 2D$ όπως και η μέθοδος εκσκαφής με TBM τύπου EPB, κρίνονται ικανοποιητικά.

Μεσοδιάστημα Βενιζέλου – Αγία Σοφία

Ημερήσια παραγωγή δακτυλίων EPB ανά εργάσιμη ημέρα

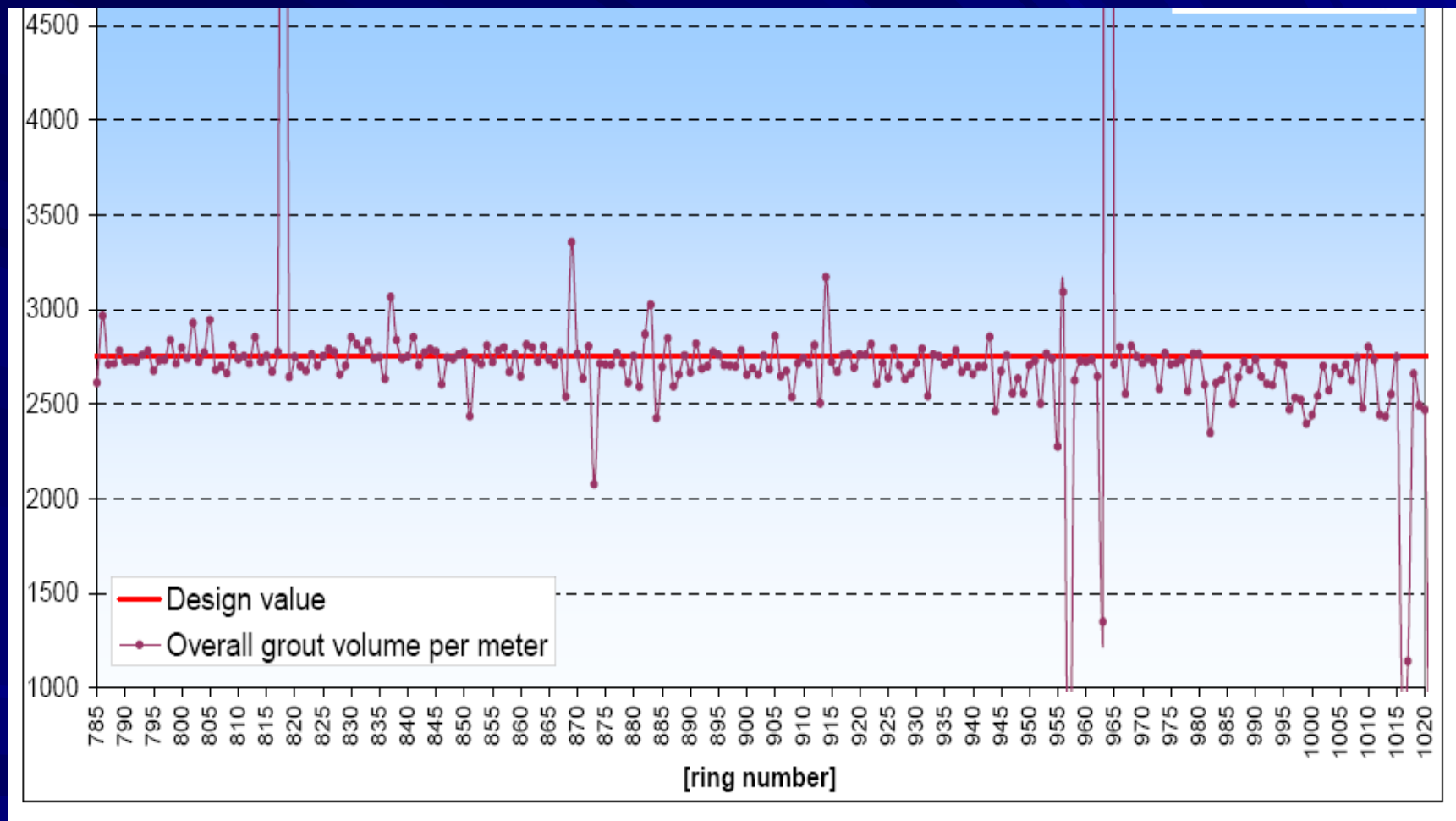
Αριθμός δακτυλίων



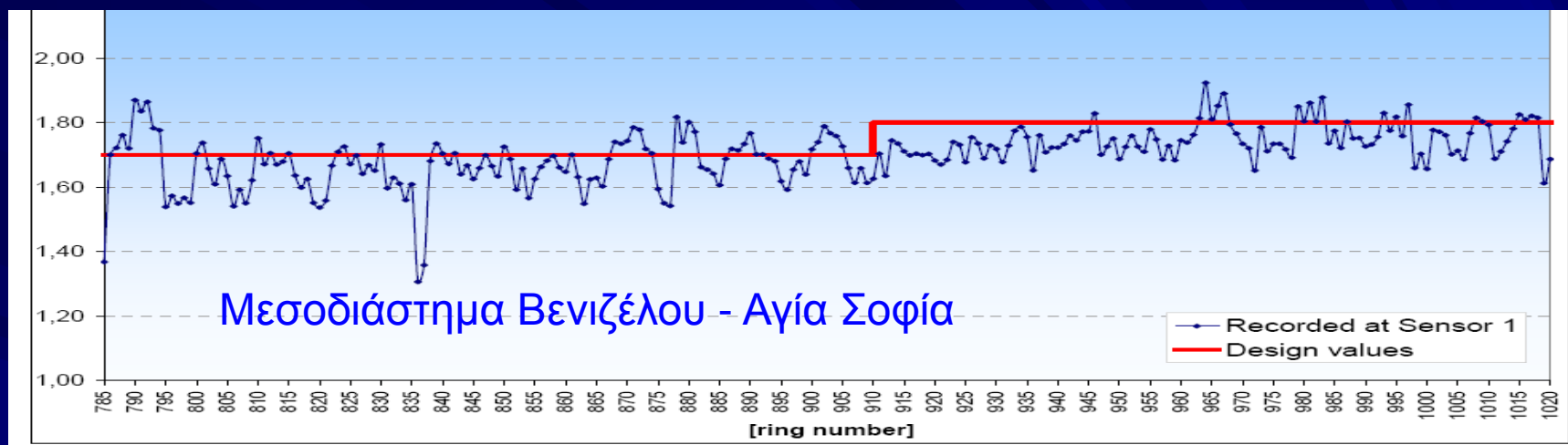
Ημερομηνία

Μεσοδιάστημα Βενιζέλου - Αγία Σοφία

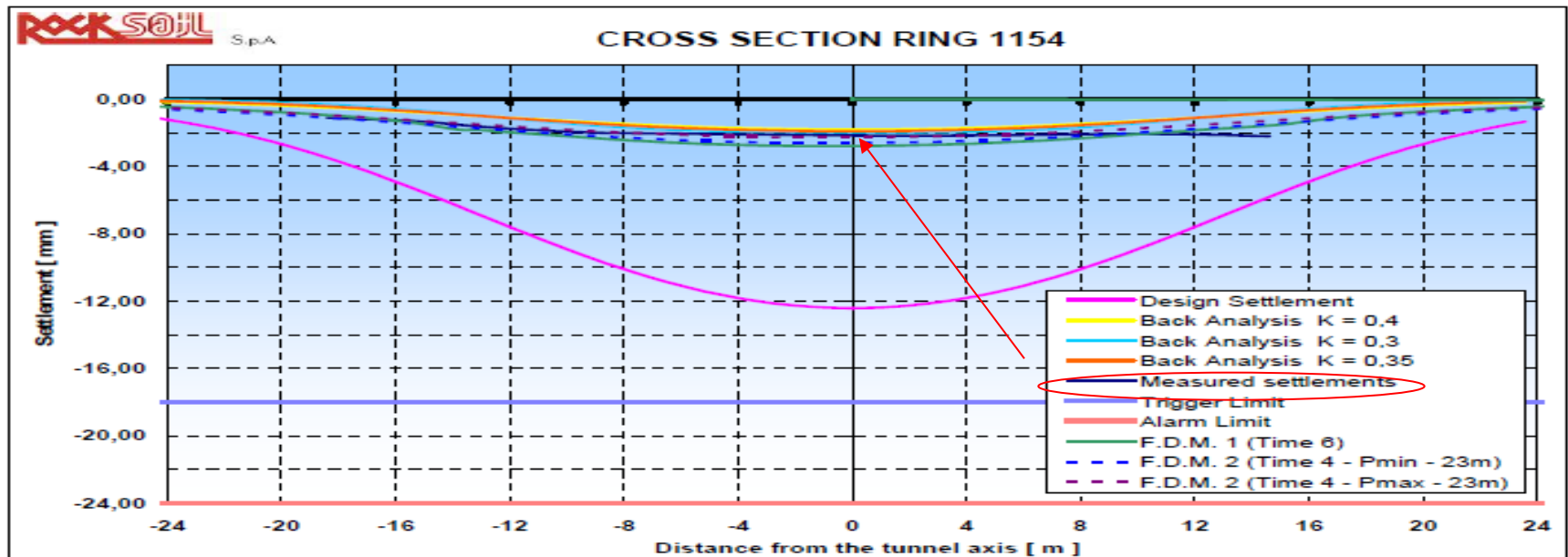
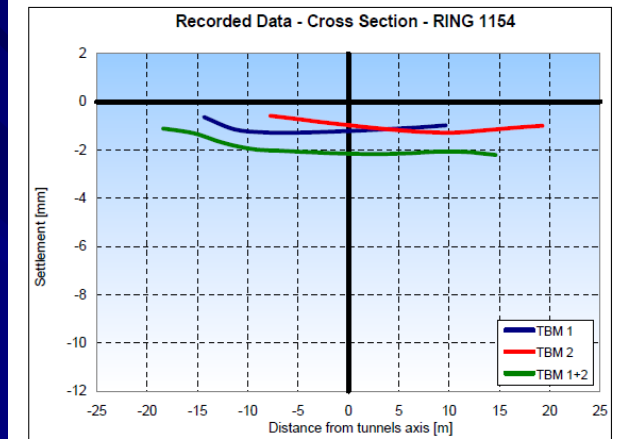
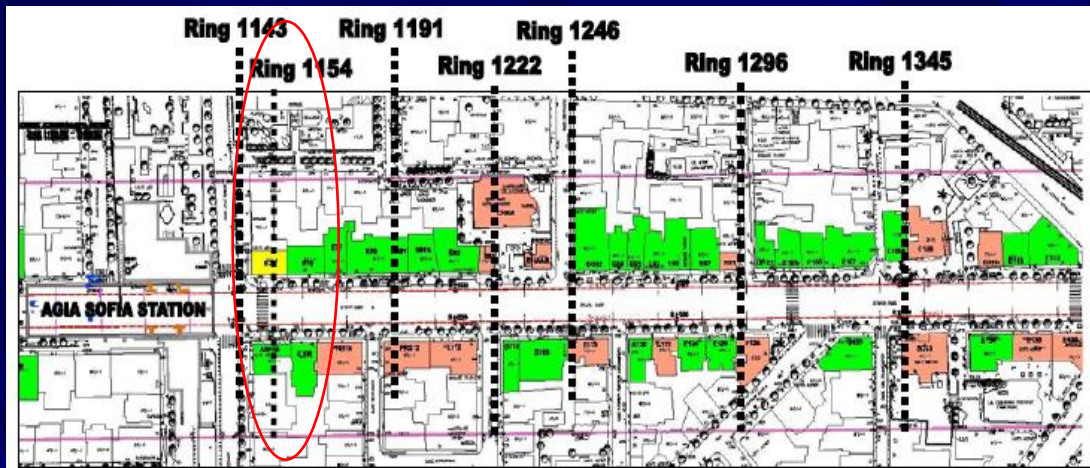
Όγκος ενεμάτωσης (lit/m)



Τιμές σχεδιασμού και καταγραφείσες τιμές πίεσης μετώπου EPB (bars)

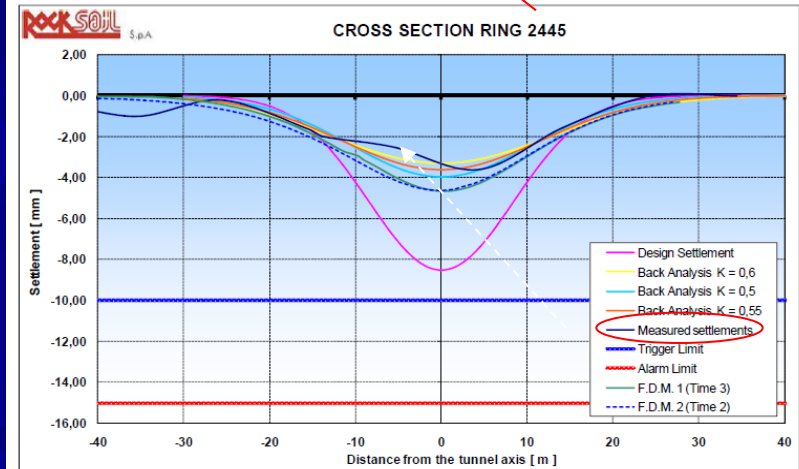
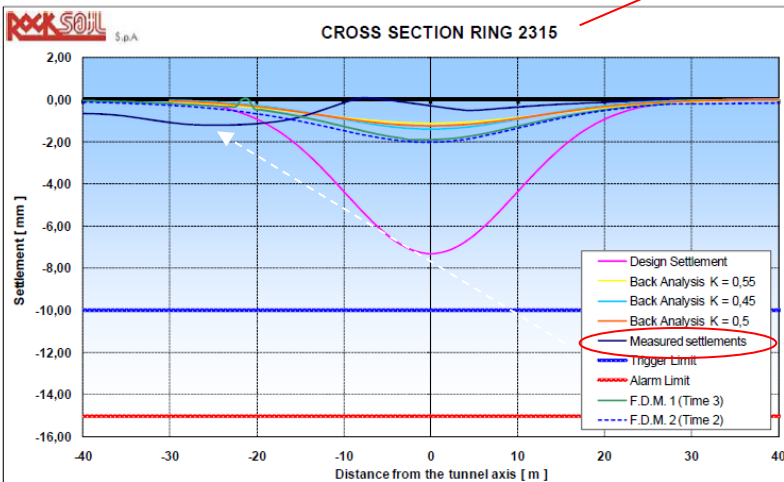
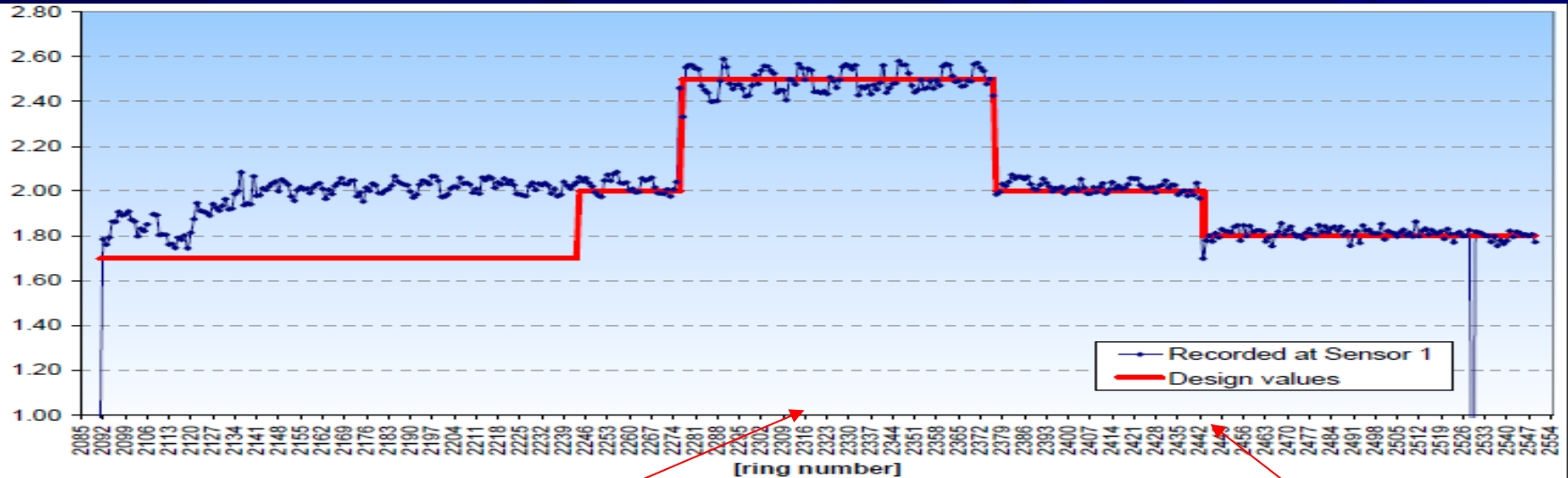


Μεσοδιάστημα Αγία Σοφία-Συντριβάνι, διατομές και τάφρος καθιζήσεων



Μεσοδιάστημα Πανεπιστήμιο - Πάπαφη

Τιμές σχεδιασμού και καταγραφείσες τιμές της πίεσης μετώπου του EPB (bars)



ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Η διάνοιξη σιράγγων με TBM-EPB (SM-V5) σε “κατάλληλα” συνεκτικά γεωυλικά μπορεί να μειώσει τις καθιζήσεις τόσο στην επιφάνεια του εδάφους όσο και βαθύτερα από αυτή.
 - Οι καθιζήσεις μπορούν να ελεγχθούν με το κατάλληλο εύρος πιέσεων στο μέτωπο από το EPB, που επιτυγχάνεται κυρίως με το βέλτιστο λόγο προχώρησης ως προς την ταχύτητα περιστροφής του κοχλία αποκομιδής και τα κατάλληλα πρόσμικτα.
 - Οι απαιτούμενες τιμές των πιέσεων στο μέτωπο του EPB για μια ασφαλή διάνοιξη της σήραγγας, μπορούν να υπολογισθούν με την χρήση εμπειρικών, αναλυτικών και αριθμητικών μεθόδων για τα διάφορα γεωυλικά με βάσει τις συνθήκες κατά την διάνοιξη (αστράγγιστες, στραγγισμένες).
 - Η ανάλυση, παρουσίαση, συσχέτιση και αξιολόγηση των δεδομένων του EPB με τα αποτελέσματα της γεωμηχανικής παρακολούθησης και την γεωλογική-γεωτεχνική μηκοτομή πρόβλεψης του έργου σε κατάλληλα γραφήματα, αποτελεί ένα σημαντικό εργαλείο για τον αποτελεσματικό έλεγχο της κατασκευής των σιράγγων.
- Προοπτικές εφαρμογής TBM με ασπίδα ολομέτωπης κοπής EPB (SM-V5)

Στην υπό δημοπράτηση Επέκταση προς Καλαμαριά του ΜΕΤΡΟ Θεσσαλονίκης και στην υπό μελέτη νέα ΓΡΑΜΜΗ 4 του ΜΕΤΡΟ Αθήνας



Τέλος Ενότητας Α



Ευχαριστώ για την προσοχή σας



ΕΣΠΕΡΙΔΑ: Τα Έργα της ΑΤΤΙΚΟ
ΜΕΤΡΟ ΑΕ - Η Κατασκευή των ΜΕΤΡΟ
Αθηνών και Θεσσαλονίκης, 05.12.2012

