

Προς
ΤΕΧΝΙΚΟ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟ ΕΛΛΑΔΑΣ

Αθήνα, 9 Μαρτίου 2010

Υπόψη Προέδρου κ. Ι. Αλαβάνου

Υποβάλλεται συνημμένα το “Πόρισμα Επιτροπής Εμπειρογνομώνων για τις Καταπτώσεις στα Τέμπη” που συνέταξε η ορισθείσα Επιτροπή αποτελούμενη από τους: Γιώργο Γκαζέτα, Σπύρο Καβουνίδη, Δημήτρη Ρόζο και Γιώργο Τσιαμπάο.

Το Πόρισμα υποβάλλεται σε δύο (2) αντίγραφα καθώς και σε ηλεκτρονική μορφή.

Συναδελφικά



Σπύρος Καβουνίδης
Εκ μέρους της Επιτροπής

ΤΕΧΝΙΚΟ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟ ΕΛΛΑΔΑΣ

ΠΟΡΙΣΜΑ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ ΕΜΠΕΙΡΟΓΝΩΜΟΝΩΝ

ΓΙΑ ΤΙΣ ΚΑΤΑΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΑ ΤΕΜΠΗ

Η ΕΠΙΤΡΟΠΗ

**Γιώργος Γκαζέτας
Σπύρος Καβουνίδης
Δημήτρης Ρόζος
Γιώργος Τσιαμπάος**

ΜΑΡΤΙΟΣ 2010

ΤΕΧΝΙΚΟ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟ ΕΛΛΑΔΑΣ

ΠΟΡΙΣΜΑ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ ΕΜΠΕΙΡΟΓΝΩΜΟΝΩΝ

ΓΙΑ ΤΙΣ ΚΑΤΑΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΑ ΤΕΜΠΗ

Η ΕΠΙΤΡΟΠΗ

**Γιώργος Γκαζέτας
Σπύρος Καβουνίδης
Δημήτρης Ρόζος
Γιώργος Τσιαμπάος**

ΜΑΡΤΙΟΣ 2010

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Σελίδα

1.	Εισαγωγή	1
2.	Τί δεν υπάρχει στο πόρισμα	1
3.	Ιστορικό Αστοχίας	2
4.	Μορφολογία	2
5.	Γεωλογική Δομή	2
6.	Το Εδαφικό Υλικό των Ρωγμών	3
7.	Στοιχεία Βροχοπτώσεων	5
8.	Οι εκρήξεις κατά τη διάνοιξη της σήραγγας	8
9.	Μηχανισμός Πτώσεων Βράχων	8
10.	Ιστορικό Βραχοπτώσεων και Μελετών Αντιμετώπισης	9
11.	Η Συγκεκριμένη Αστοχία	11
12.	Τρέχουσες Εργασίες	11
13.	Προτάσεις μέχρι την ολοκλήρωση των οδικών σιράγγων	12
14.	Προτάσεις μετά την ολοκλήρωση των σιράγγων	13

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: Πηγές πληροφοριών

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β: Ιστορικό Πτώσεων Βράχων

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ: Έκθεση Παρουσίασης και Αξιολόγησης Δοκιμών
Εδαφομηχανικής

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ: Ορυκτολογική Εξέταση
Αντιπροσωπευτικού Δείγματος

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ε: Διαγράμματα Σύγκρισης Βροχομετρικών
Δεδομένων

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΣΤ: Πρώτες Εκτιμήσεις της Επιτροπής του ΤΕΕ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ζ: Φωτογραφική Τεκμηρίωση

1. Εισαγωγή

Μετά τις σημαντικές πτώσεις βράχων επί της Ε.Ο. Αθήνας – Θεσσαλονίκης στην κοιλάδα των Τεμπών οι οποίες προκάλεσαν και το θάνατο του ιταλού μηχανικού Σέρτζιο Σιάνι το ΤΕΕ συνέστησε Επιτροπή Εμπειρογνομόνων για την εξέταση του θέματος και τη διατύπωση εκτιμήσεων και προτάσεων.

Στην Επιτροπή μετείχαν οι υπογράφωντες καθώς και ο καθηγητής ΕΜΠ κ. Π. Μαρίνος ο οποίος όμως λόγω ανειλημμένων υποχρεώσεων παρατεταμένης απουσίας του στο εξωτερικό δεν μετέσχε παρά μόνον στην αρχική φάση των εργασιών της Επιτροπής.

Η Επιτροπή Εμπειρογνομόνων μετά από επισκέψεις των μελών της στην περιοχή των Τεμπών (18-20 Δεκ. 2009) και όσων πρώτων πληροφοριών συνέλεξε διατύπωσε στις 21/10/09 το κείμενο “Πρώτες Εκτιμήσεις της Επιτροπής του ΤΕΕ” (Παράρτημα Ζ). Στη συνέχεια με σχετικές επιστολές του Προέδρου του ΤΕΕ έγινε προσπάθεια συλλογής στοιχείων, τόσο αυτών που είχαν παρασχεθεί ως πληροφορίες προς διασταύρωση όσο και άλλων. Επί πλέον τα μέλη της Επιτροπής συνέλεξαν και από μόνα τους στοιχεία. Τέλος μέλη της Επιτροπής παρέδωσαν στοιχεία που δημιούργησαν με ενέργειές τους. Αυτά είναι τα στοιχεία ορυκτολογικής ανάλυσης που πραγματοποίησε το εργαστήριο Ορυκτολογίας – Πετρολογίας και Κοιτασματολογίας της Σχολής ΜΝΜ του ΕΜΠ, τα εργαστηριακά αποτελέσματα δοκιμών επί εδαφικού υλικού που ελήφθη από την περιοχή των καταπτώσεων που προσφέρθηκαν από την ΕΔΑΦΟΣ Α.Ε. και αναλύσεις διάδοσης κυμάτων που πραγματοποίησε ο καθηγητής κ. Γκαζέτας. Όλες οι πηγές τόσο οι δοθείσες από την Εγνατία Οδό Α.Ε. εκ μέρους του Υπ. ΥΠ.ΜΕ.ΔΙ, από την Κ/Ξ Αυτοκινητόδρομος Αιγαίου Α.Ε. και από το Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων και τη ΔΕΚΕ Λάρισας όσο και οι συλλεγείσες από τα μέλη της Επιτροπής, αναφέρονται στο Παράρτημα Α της παρούσας Έκθεσης οι δε προσφερθείσες, ως ανωτέρω, στα Παραρτήματα Γ και Δ. Τα πλήρη στοιχεία βρίσκονται στο σχετικό “Φάκελο Τεμπών” που τηρείται στο Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας.

Τέλος πρέπει να αναγνωριστεί η συμβολή στην όλη εργασία των κ.κ. Κ. Λουπασάκη Δρ. Τεχν. Γεωλόγου, Λ. Σωτηρόπουλου, Ε. Λυμπέρη και Σ. Γρίφιζα, Γεωλόγων και Μ. Μπαρδάνη Πολ. Μηχανικού – Εδαφομηχανικού MSc καθώς και της κας Θ. Περράκη, Καθηγήτριας της Σχολής Μ.Μ.-Μ. του ΕΜΠ.

2. Τί δεν υπάρχει στο πόρισμα

Το παρόν πόρισμα δεν αποτελεί μελέτη. Περιέχει τις εκτιμήσεις της Επιτροπής με βάση τις επιτόπιες παρατηρήσεις και τα στοιχεία που συγκεντρώθηκαν τα οποία μάλιστα δεν ήταν όλα όσα ζητήθηκαν. Η επιτροπή ούτε γνωρίζει τα συμβατικά και άλλα ούτε υπεισήλθε καθόλου στην εξέταση αυτών.

3. Ιστορικό Αστοχίας

Στις 17/12/2009 εκδηλώθηκε βραχύπρωση μεγάλων τεμαχίων στο τμήμα από χ.θ. 386+150 έως χ.θ. 386-200 της Ε.Ο. Αθήνας – Θεσσαλονίκης, στην κοιλάδα των Τεμπών. Συγκεκριμένα ασβεστολιθικοί ογκόλιθοι αποκολλήθηκαν από το πρανές, από ύψος 80m περίπου, αποκαλύπτοντας εδαφικό υλικό πλήρωσης στις ασυνέχειες της βάσης του. Στη συνέχεια οι ογκόλιθοι ανατράπηκαν, θραύστηκαν, παρέσυραν και μικρότερους ογκόλιθους και ακολούθησαν δύο διαδρομές κατά την κίνησή τους μέχρι να καταλήξουν επί της οδού. Η αστοχία προκάλεσε το θάνατο του Διευθυντή του έργου της κατασκευής των γειτονικών σηράγγων της Ν.Ε.Ο., ο οποίος είχε μεταβεί για αυτοψία ύστερα από μικρότερες καταπτώσεις που είχαν παρατηρηθεί στη θέση αυτή την προηγούμενη ημέρα (16/12/2009) και είχαν προκαλέσει ατύχημα σε φορτηγό όχημα με αποτέλεσμα να διακοπεί η κυκλοφορία της οδού. Ο συνολικός όγκος των βραχοτεμαχίων που κατέπεσαν εκτιμώνται σε 300m^3 (800 tn), ενώ το μεγαλύτερο σε όγκο τέμαχος ήταν της τάξεως των 20m^3 .

Στην ευρύτερη περιοχή του στενού των Τεμπών έχουν εκδηλωθεί πολλές φορές στο παρελθόν παρόμοια φαινόμενα με συνέπεια την πρόκληση φθοράς στην οδό και την προσωρινή διακοπή της κυκλοφορίας. Η επικινδυνότητα, δεδομένου του κυκλοφοριακού φόρτου, είναι ιδιαίτερα αυξημένη.

4. Μορφολογία

Η κοιλάδα των Τεμπών έχει διαμορφωθεί ως μια ρηξιγενής ζώνη με δ/νση ΒΑ/κή-ΝΔ/κή κατά μήκος του Πηνειού ποταμού, που διατρέχει την περιοχή και εκφορτίζει τις επιφανειακές απορροές του Θεσσαλικού κάμπου προς τη θάλασσα. Οι δευτερεύοντες υδρογραφικοί άξονες έχουν διεύθυνση σχεδόν κάθετη στον κύριο άξονα του Πηνειού.

Τα ύψη στα οποία αναπτύσσεται το φυσικό ανάγλυφο των κλιτύων κυμαίνονται από 10m έως 350m με μορφολογικές κλίσεις που κυμαίνονται από 20° έως 75° περίπου. Η εθνική οδός (ΠΑΘΕ) κινείται γενικά σε υψόμετρα που κυμαίνονται από 13 έως 50m στο απότομο δεξιό (ανατολικό) πρανές, όπου αναπτύσσονται ακόμα και αρνητικές κλίσεις.

5. Γεωλογική Δομή

Γεωλογικά η περιοχή σύμφωνα με τον χάρτη του ΙΓΜΕ (1987) - φύλλο Ραψάνη, τις βιβλιογραφικές αναφορές, αλλά και τις σύντομες επιτόπιες παρατηρήσεις της Επιτροπής του ΤΕΕ, αποτελείται από τεφρούς έως μελανότεφρους κρυσταλλικούς ασβεστολίθους Μεσοζωικής έως και Ηωκαινικής ηλικίας, πτυχωμένους και έντονα διερρηγμένους, με εμφανή τα ίχνη της καρστικής διεργασίας που έχουν υποστεί. Στους ασβεστολίθους αυτούς, που εντάσσονται στο τεκτονικό παράθυρο της Ενότητας Όσσας-Ολύμπου και εμφανίζονται λεπτο-μεσοστρωματώδεις ή και με ατελή στρώση, κατά θέσεις και κυρίως στα ανώτερα μέλη τους εντοπίζονται παρεμβολές φυλλιτών, που όμως συχνά παίρνουν τη μορφή ενστρώσεων πάχους μέχρι και 50m.

Οι ασβεστόλιθοι παρουσιάζουν μικρή και γενικώς αντίρροπη κλίση ως προς το πρανές, ενώ σύστημα μειζόνων διαρρήξεων διατέμνει τα ασβεστολιθικά στρώματα σχεδόν παράλληλα με το πρανές διαμορφώνοντας μικρού εύρους αναβαθμούς (κλιμακωτή διάταξη πρανούς). Σύμφωνα με τους Ανδρονόπουλο – Κούκη (1979), τα ρήγματα είναι σχεδόν κατακόρυφα, έχουν κατά κανόνα διεύθυνση ΒΑ/κή-ΝΔ/κή έως Α/κή-Δ/κή, παρατηρούνται όμως και ρήγματα, που τέμνουν εγκάρσια τα προηγούμενα, έχουν δηλαδή διεύθυνση ΒΔ/κή-ΝΑ/κή. Εκτιμάται ότι αυτά είναι τα ρήγματα που έχουν παίξει σημαντικό ρόλο στην διαμόρφωση του σημερινού αναγλύφου, αλλά και στις συνθήκες ευστάθειας. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι ενδείξεις περί της ύπαρξης ενεργών και πιθανώς ενεργών ρηγμάτων υπάρχουν στην ευρύτερη περιοχή της ζώνης διέλευσης της χάραξης, σύμφωνα με βιβλιογραφικά δεδομένα και μελέτες διαφόρων φορέων.

Πάνω στη σειρά των ασβεστολίθων έχουν επωθηθεί κατά το Ηώκαινο οι σχηματισμοί της ενότητας των Αμπελακίων, αποτελούμενοι κυρίως από μαρμαρυγιακούς σχιστολίθους, αμφιβολιτικούς σχιστολίθους, αμφιβολίτες, γνευσίους και μάρμαρα. Οι σχηματισμοί αυτοί εμφανίζονται τοπικά στις κλιτύες του νότιου τμήματος της κοιλάδας.

Στη θέση όπου εκδηλώθηκε η πρόσφατη αστοχία του πρανούς, επικρατούν οι κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι με λεπτοστρωματώδη έως μεσοστρωματώδη δομή, διατεμνόμενοι από κύρια και δευτερεύοντα συστήματα ασυνεχειών. Ανάντη της περιοχής από όπου αποκολλήθηκαν τα βραχοτεμάχια (περίπου 30m ψηλότερα) εμφανίζονται οι αποσαθρωμένοι φυλλίτες με πάχος 50m περίπου, σύμφωνα με τα στοιχεία γεωτρήσεων που εκτελέστηκαν στο πλαίσιο μελέτης των σιδηροδρόμων. Το υλικό των αποσαθρωμένων φυλλιτών διαβρώνεται, και με τη δράση του νερού της βροχής μεταφέρεται προς τα κατόντη, πληρώνοντας μερικώς τις ασυνέχειες και τις ρωγμές των ασβεστολίθων καθώς και επικαλύπτοντας το βραχώδες υπόβαθρο στις μισογάγγειες που διαμορφώνονται στα πρανή.

6. Το Εδαφικό Υλικό των Ρωγμών

Σε εδαφικά δείγματα που λήφθηκαν επί τόπου στη θέση της πτώσης από το υλικό που μεταφέρθηκε μαζί με τα βραχώδη τεμάχια έγιναν εργαστηριακές εξετάσεις εδαφομηχανικής στο εργαστήριο της ΕΔΑΦΟΣ Α.Ε. όπως επίσης και ορυκτολογικές στο εργαστήριο Ορυκτολογίας, Πετρολογίας και Κοιτασματολογίας του ΕΜΠ. Οι εξετάσεις εδαφομηχανικής συνίστανται σε κοκκομετρικές αναλύσεις, όρια Atterberg και δοκιμές αντοχής διαφόρων ειδών σε αναζυμωμένα δείγματα, όπως επίσης και δοκιμές συμπίεσης, δοκιμές διαπερατότητας και δοκιμές για εύρεση της χαρακτηριστικής καμπύλης εδάφους – νερού. Η σχετική έκθεση Παρουσίασης και Αξιολόγησης παρατίθεται συνοπτικά στο Παράρτημα Γ και αναλυτικά (με τα φύλλα των δοκιμών) έχει κατατεθεί στο Φάκελο Τεμπών του ΤΕΕ.

Οι ορυκτολογικές εξετάσεις πραγματοποιήθηκαν με τρεις μεθόδους δηλαδή περιθλασιμετρία ακτίνων Χ (X-ray diffraction), Διαφορική θερμική (D.T.A.) και Θερμοβαρυσμετρική (TG/DTG). Η σχετική έκθεση παρατίθεται στο Παράρτημα Δ.

Από τις δοκιμές εδαφομηχανικής προέκυψαν τα εξής:

- Το υλικό είναι αργιλώδης άμμος με χάλικες. Τα όρια Atterberg του το κατατάσσουν ως οριακά μέσης (προς υψηλής) πλαστικότητα με σημαντικό ποσοστό οργανικών λόγω φρέσκων φύλλων και ριζιδίων που το τοποθετούν στο διάγραμμα πλαστικότητας του Casagrande σημαντικά κάτω από την Γραμμή «Α».
- Η περιβάλλουσα διατμητικής αντοχής του αναζυμωμένου υλικού προέκυψε έντονα μη γραμμική διερχόμενη από το 0 (αυταπόδεικτο για πολτούς αναζυμωμένων εδαφικών υλικών) και γωνία διατμητικής αντοχής που αντιστοιχεί σε 37° για την εφαπτομένη στην αρχή (μηδενικές ως μικρές τάσεις) και στις 30° για την τέμνουσα στα 300 kPa. Εφόσον απαιτηθεί πάντως ένα μοναδικό ζεύγος τιμών παραμέτρων διατμητικής αντοχής για μια μέση τάση αυτό αντιστοιχεί σε συνοχή 7 kPa και γωνία διατμητικής αντοχής 31° . Σε κάθε περίπτωση, προκειμένου για αναλύσεις ευσταθείας με κάποιο από τα διαδεδομένα προγράμματα υπολογισμού προτείνεται η χρήση της δυνατότητας εισαγωγής μη γραμμικής περιβάλλουσας διατμητικής αντοχής.
- Προέκυψε καμπύλη μονοδιάστατης συμπίεσης με τα κοίλα έντονα στραμμένα προς τα κάτω, προφανώς λόγω της μεγάλης περιεκτικότητας του υλικού σε άμμο. Αν πρέπει να προσδιοριστεί μία τιμή του δείκτη συμπίεσης αυτή είναι 0.19 για την εφαπτομένη στην μέγιστη τάση των 7600 kPa. Ο δείκτης αποφόρτισης προέκυψε 0.02.
- Η τιμή του συντελεστή διαπερατότητας για κατακόρυφη τάση 120 kPa υπό συνθήκες μονοδιάστατης συμπίεσης προέκυψε 7×10^{-8} cm/s.
- Προσδιορίστηκε η πλήρης χαρακτηριστική καμπύλη εδάφους-νερού κατά την ξήρανση από πλήρη κορεσμό σε δοκίμια που είχαν πρώτα συμπιεστεί μέχρι κατακόρυφη τάση 120 kPa υπό συνθήκες μονοδιάστατης συμπίεσης και η ίδια καμπύλη σε όρους ποσοστού υγρασίας-μύζησης κατά την επανύγρανση από συνθήκες παραμένοντος ποσοστού υγρασίας. Το υλικό έχει σημαντική υστέρηση μεταξύ ξήρανσης από πλήρη κορεσμό και επανύγρανσης από συνθήκες παραμένοντος ποσοστού υγρασίας. Η μύζηση εισόδου στην Περιοχή III είναι περί τα 5 MPa και το ονομαστικό παραμένον ποσοστό υγρασίας περί το 10% που αντιστοιχεί σε βαθμό κορεσμού περί το 25%. Κατά την ξήρανση υπάρχουν σημαντικότερες μεταβολές όγκου (περίπου 50% μέχρι το παραμένον ποσοστό υγρασίας). Η πίεση διεύθυνσης αέρα είναι σαφώς μικρότερη των 100 kPa αλλά εμφανίζεται και δεύτερο σημείο καμπής πριν το παραμένον ποσοστό υγρασίας που αντιστοιχεί περί τα 1000 kPa και σε βαθμό κορεσμού περί το 80%. Προσδιορίστηκε και η καμπύλη ξήρανσης σε όρους ογκομετρικού ποσοστού υγρασίας-μύζησης, ώστε μετά από προσομοίωσή της να είναι δυνατή η εκτίμηση της εξέλιξης του συντελεστή διαπερατότητας με την μύζηση κατά την ξήρανση για χρήση σε κώδικες πεπερασμένων στοιχείων που προσομοιώνουν την υπόγεια ροή σε πλήρως και μη κορεσμένα εδάφη λαμβάνοντας υπόψη την Εξίσωση Richards. Κατά την ξήρανση δεν εμφανίστηκαν ρωγμές συρρίκνωσης ακόμα και στα μεγαλύτερης διαμέτρου δοκίμια (63.5mm).

Σημειωτέον ότι οι ορυκτολογικές αναλύσεις έδωσαν συντριπτική υπεροχή (~80%) ασβεστιτικού υλικού (CaCO_3) στο συνολικό κλάσμα του δείγματος που εξετάστηκε πράγμα αναμενόμενο λόγω του ότι το κοκκώδες υλικό είναι προϊόν διάβρωσης και αποσάθρωσης ασβεστολίθου. Τα ευρεθέντα αργιλικά ορυκτά είναι ιλλίτης – μοσχοβίτης και χλωρίτης. Σε σχετικές αναλύσεις που αφορούσαν στο λεπτότερο κλάσμα η συμμετοχή του ασβεστίου περιορίζεται στο 10-20% και τα κύρια αργιλικά ορυκτά είναι χλωρίτης και μοσχοβίτης, δηλαδή όχι διογκούμενα.

Συμπερασματικά (α) στις ρωγμές υπάρχουν πολλά φυτικά, ρίζες κλπ. (β) το εδαφικό υλικό είναι κυρίως κοκκώδες και άρα δεν είναι διογκούμενο (γ) η αντοχή του φαίνεται να είναι προς τις συνήθεις κατώτερες τιμές άμμου (δ) λόγω της παρουσίας αργιλοίλου η διαπερατότητα εκτιμάται ότι είναι χαμηλή, τάξεις μεγέθους μικρότερη από αυτή της άμμου.

7. Στοιχεία Βροχοπτώσεων

7.1 Εισαγωγή

Οι βροχοπτώσεις είναι ένας από τους βασικούς παράγοντες που επιδρούν στην εκδήλωση εδαφικών αστοχιών και αστοχιών τύπου βραχομηχανικής, τόσο σε μακροχρόνια βάση όσο και ως παράγοντας “πυροδότησης”. Αυτό ισχύει και στην περίπτωση της αστοχίας στα Τέμπη.

Στα πλαίσια του παρόντος μνημονίου:

(α) συγκεντρώνονται τα διαθέσιμα στοιχεία από τους βροχομετρικούς σταθμούς της περιοχής (πρωτογενή στοιχεία περιλαμβάνονται στο Φάκελο Τεμπών στο ΤΕΕ σε έντυπη και σε ηλεκτρονική μορφή). Επίσης στοιχεία επεξεργασμένα από την ΕΓΝΑΤΙΑ Α.Ε. σε ηλεκτρονική μορφή περιέχονται επίσης στο Φάκελο Τεμπών. Τα διαθέσιμα στοιχεία περιλαμβάνουν:

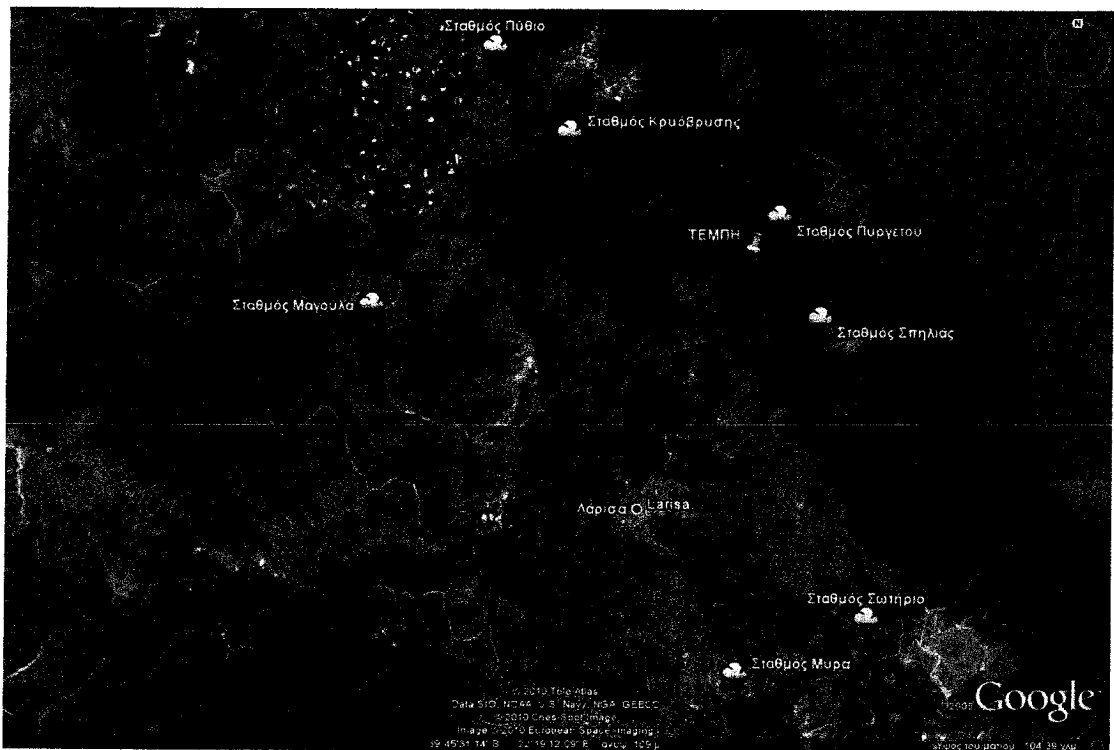
- Για πέντε σταθμούς του Υπ. Γεωργίας (Κρυόβρυση, Πύθιο, Σωτήριο, Μαγούλα, Μύρα): μηνιαίες βροχοπτώσεις για την περίοδο λειτουργίας τους, ημερήσιες για το μήνα Δεκέμβριο 2009 και μέγιστες ημερήσιες για την περίοδο λειτουργίας τους (για τα στοιχεία αυτά ευχαριστούμε τον κ. Ν. Λεουτσαράκο, Γεωλόγο της Δ/σης Γεωλογίας – Υδρολογίας του Υπουργείου, και τον κ. Ζιούρκα, Γεωλόγο της ΥΕΒ Λάρισας).
- Για δύο σταθμούς της ΔΕΚΕ Λάρισας (Πυργετός, Σπηλιά): μηνιαίες βροχοπτώσεις για την περίοδο λειτουργίας τους και ημερήσιες για το διάστημα 1996-2009.

Επίσης, έχει γίνει αίτηση στην ΕΜΥ για βροχομετρικά στοιχεία των σταθμών της περιοχής του δικτύου της, αλλά δεν έχουν χορηγηθεί μέχρι τη συγγραφή του παρόντος.

Οι θέσεις των βροχομετρικών σταθμών σε σχέση με τη θέση της αστοχίας φαίνεται στην Εικόνα 1.

(β) γίνεται μία εκτίμηση για το αν οι βροχοπτώσεις κατά την περίοδο που εκδηλώθηκε η αστοχία ήταν εξαιρετικά ισχυρές.

Σημειώνεται ότι οι αναλύσεις που έγιναν, είναι μία απλή προσέγγιση του θέματος έτσι ώστε να απαντηθούν -και χωρίς να είναι διαθέσιμα τα στοιχεία της ΕΜΥ- ορισμένα κρίσιμα ερωτήματα και δεν συνιστά πλήρη στατιστική ανάλυση των βροχομετρικών δεδομένων.



Εικ. 1. Δορυφορική εικόνα Google-earth με τις θέσεις των διαθέσιμων σταθμών βροχομετρικών δεδομένων (δεν έχουν χορηγηθεί στοιχεία από την ΕΜΥ). Με κίτρινο σημείο φαίνεται το σημείο της κατάρρευσης στα Τέμπη.

7.2 Αποτελέσματα ανάλυσης

Πραγματοποιήθηκαν δύο αναλύσεις για κάθε έναν από τους διαθέσιμους σταθμούς. Στην πρώτη ανάλυση έγινε σύγκριση της μέγιστης ημερήσιας βροχοπτώσης εντός του Δεκεμβρίου των ημερών που προηγήθηκαν της αστοχίας (17/12/2009) με τις διαθέσιμες μέγιστες ημερήσιες βροχοπτώσεις για κάθε έτος λειτουργίας των σταθμών και στη δεύτερη έγινε σύγκριση της μηνιαίας βροχοπτώσης του Δεκεμβρίου 2009 με τις μέγιστες μηνιαίες βροχοπτώσεις για κάθε έτος λειτουργίας των σταθμών. Η σύγκριση φαίνεται στα Διαγράμματα 1 έως 14 που παρουσιάζονται στο Παράρτημα Ε. Για τους σταθμούς Πυθίου, Σωτηρίου, Μύρας, Μαγούλας, και Πυργετού η ημέρα με τη μέγιστη βροχοπτώση εντός του Δεκεμβρίου 2009, πριν το συμβάν, ήταν η 10^η Δεκεμβρίου. Για το σταθμό Σπηλιάς ήταν η 11^η Δεκεμβρίου και για το σταθμό Κρυόβρυσης η 3^η Δεκεμβρίου (εκτός περίπτωσης λάθους καταγραφής για τον τελευταίο σταθμό).

Από τη σύγκριση φαίνεται κατ' αρχήν ότι για όλους τους σταθμούς, έχουν επαναληφθεί και καταγραφεί στο παρελθόν παρόμοιες ή μεγαλύτερης έντασης μέγιστες ημερήσιες και μηνιαίες βροχοπτώσεις.

Στους σταθμούς Κρυόβρυση (23km απόσταση από το σημείο αστοχίας), Πύθιο (36km απόσταση από το σημείο αστοχίας), Σωτήριο (42km απόσταση από το σημείο αστοχίας), Μαγούλα (42km απόσταση από το σημείο αστοχίας) και Πυργετός (5km απόσταση από το σημείο αστοχίας) έχουν επαναληφθεί πολλές φορές παρόμοιες ή και μεγαλύτερες μέγιστες βροχοπτώσεις.

Συγκεκριμένα για το σταθμό Πυργετού που είναι ο πλησιέστερος στη θέση της αστοχίας (5km απόσταση από το σημείο αστοχίας) και πιο κοντά στο υψόμετρό της (+31m του σταθμού και περίπου +40-100m στη θέση της αστοχίας), δεν καταγράφηκαν αξιοσημείωτες βροχοπτώσεις το διάστημα ενδιαφέροντος.

Στο σταθμό Μύρα (46km απόσταση από το σημείο αστοχίας) έχουν επαναληφθεί παρόμοιου ή μεγαλύτερου μεγέθους ημερήσιες βροχοπτώσεις (64,5mm), αλλά βρίσκονται γενικά στο ανώτερο επίπεδο των μέγιστων ημερήσιων βροχοπτώσεων. Ωστόσο, η μέγιστη ημερήσια βροχοπτώση του 2006 ήταν αρκετά υψηλότερη (97,5mm). Από τη σύγκριση της μηνιαίας βροχοπτώσης του Δεκεμβρίου 2009 με τις μέγιστες μηνιαίες βροχοπτώσεις φαίνεται ότι οι βροχοπτώσεις του Δεκεμβρίου (199mm) ήταν περίπου στο ανώτατο επίπεδο των συνήθων μέγιστων βροχοπτώσεων, αλλά τη διετία 1979 και 1980 είχαν συμβεί πολύ μεγαλύτερες βροχοπτώσεις (390mm και 315mm, αντίστοιχα). Ωστόσο ο σταθμός είναι αρκετά μακριά.

Στο σταθμό Σπηλιά (11km απόσταση από το σημείο αστοχίας, ο δεύτερος πλησιέστερος σταθμός μετά τον Πυργετό, σε υψόμετρο +813m) οι βροχοπτώσεις του Δεκεμβρίου 2009 (350,1mm) είναι κοντά στις μέγιστες μηνιαίες βροχοπτώσεις, αλλά επίσης έχουν προηγηθεί ανάλογες και μεγαλύτερες από το 1972 (έναρξη λειτουργίας), τόσο εντός της προηγούμενης 10-ετίας, όσο και παλαιότερα, με ακραίο

μέγιστο για το διάστημα λειτουργίας του σταθμού βροχόπτωση ύψους 417mm το 1978. Η μέγιστη ημερήσια βροχόπτωση που προηγήθηκε του συμβάντος ανήκει επίσης στις υψηλότερες για το μικρό διάστημα που έχει αξιολογηθεί (από το 1996), αλλά έχουν συμβεί μεγαλύτερες, τόσο εντός του 2009 (166,5mm στις 26/10/2009), όσο και το 2002 (180mm).

Συμπερασματικά, με βάση τις παραπάνω απλές αναλύσεις δεν διαφαίνεται ότι οι βροχοπτώσεις που προηγήθηκαν του συμβάντος, με βάση τα διαθέσιμα στοιχεία των σταθμών, ήταν «ακραίες». Λαμβάνοντας υπόψη τους δύο πλησιέστερους σταθμούς, για το σταθμό Πυργετού, κρίνονται ως συνήθεις, ενώ για το σταθμό Σπηλιάς, κρίνονται ως υψηλές αλλά όχι εξαιρετικές.

Εφόσον διατεθούν και τα στοιχεία της EMY θα μπορεί να συμπληρωθεί πληρέστερα η εικόνα αυτών των αναλύσεων.

8. Οι εκρήξεις κατά τη διάνοιξη της σήραγγας

Την στιγμή του ατυχήματος το μέτωπο της υπό-διάνοιξη σήραγγας βρίσκονταν σε απόσταση $R \approx 750$ m περίπου από την θέση της κατάπτωσης. Μετρήσεις των δονήσεων του εδάφους κατά την διάρκεια των εκρήξεων φαίνεται ότι δεν υπήρξαν για το συγκεκριμένο μέτωπο πριν από την αστοχία. Επίσης δεν μας είναι γνωστή η ποσότητα εκρηκτικού ανά εκτίναξη.

Οι υπολογισμοί μας επομένως είναι εντελώς ενδεικτικοί, βασίζονται δε στην παραδοχή μιας πολύ μεγάλης ποσότητας εκρηκτικού υλικού, $W = 400$ kg ανά έκρηξη. Οι αναλύσεις, βασιζόμενες σε εμπειρικές συσχετίσεις μεταξύ της σημειακής ταχύτητας και της ανηγμένης απόστασης $R/W^{1/2}$ ή $R/W^{1/3}$, και την παραδοχή ενός υγιούς ενδιαμέσου βράχου (μικρής επομένως απόσβεσης), δείχνουν ότι η πιθανή σημειακή ταχύτητα στην θέση της κατάπτωσης μπορεί να ήταν το πολύ ίση με 2 mm/s (χιλιοστά ανά δευτερόλεπτο). Η τιμή αυτή, που αποτελεί ένα άνω πιθανό όριο της πραγματικότητας, κρίνεται ως πολύ μικρή για να έχει προκαλέσει άμεσα την πτώση. Ενδέχεται ωστόσο να συνέτεινε στην μικρή αύξηση του ανοίγματος των ρωγμών.

9. Μηχανισμός Πτώσεων Βράχων

Στη στενή περιοχή εκδήλωσης της κατάπτωσης βράχων, αλλά και στο μεγαλύτερο τμήμα της οδού, από την είσοδο στην κοιλάδα των Τεμπών έως την περιοχή της Αγίας Παρασκευής, υπάρχει άμεσος κίνδυνος εκδήλωσης καταπτώσεων βράχων. Στο συγκεκριμένο τμήμα της πρόσφατης αστοχίας τα συστήματα των διαρρήξεων διατάσσονται παράλληλα, υποπαράλληλα αλλά και κάθετα στο πρηνές διαμορφώνοντας στύλους ή πλάκες βραχομάζας ύψους πολλών μέτρων και δεκάδων τόνων, οι οποίες βρίσκονται σε κατάσταση οριακής ισορροπίας.

Το σύστημα των διαρρήξεων που αναπτύσσεται παράλληλα ή σχεδόν παράλληλα στο πρανές αποτελεί το κυρίαρχο επιφανειακό γεωμετρικό στοιχείο διαμόρφωσης των επικρεμάμενων βραχομαζών. Η διατμητική αντοχή κατά μήκος του συγκεκριμένου συστήματος ασυνεχειών, αλλά κατά αντιστοιχία και κατά μήκος των υπολοίπων συστημάτων που διατάσσονται λοξώς και αντίρροπα προς το πρανές και αλληλοτέμνονται εσωτερικά αυτού, οφείλεται πρωτίστως στις αδιάρρηκτες γέφυρες υγιούς βραχώδους υλικού που αναπτύσσεται κατά μήκος των επιφανειών. Οι συγκεκριμένες αδιάρρηκτες γέφυρες, μαζί με την τραχύτητα των ασυνεχειών προσδίδουν στις διακλάσεις την απαραίτητη διατμητική αντοχή. Δευτερευόντως διατμητική αντοχή -σαφώς μικρότερη- μπορεί να παρέχει τυχόν εδαφικό υλικό πλήρωσης των ρωγμών.

Η σταδιακή απομείωση της διατμητικής αντοχής σαφέστατα αποτελεί την γενεσιουργό αιτία εκδήλωσης των καταπτώσεων. Η μείωση της αντοχής των αδιάρρηκτων γεφυρών υγιούς υλικού μπορεί να προκληθεί από την διαβρωτική δράση του νερού κατά μήκος των διακλάσεων (σε περιόδους παρατεταμένων και έντονων βροχοπτώσεων), αλλά και από τη δυναμική φόρτιση της βραχομάζας (σεισμικές δονήσεις, δονήσεις, ανατινάξεις κ.α.).

Σημαντικός παράγοντας για την εκδήλωση των βραχοπτώσεων αποτελεί και η σταδιακή αύξηση του ανοίγματος των ασυνεχειών και ρωγμών της βραχομάζας από την διεύθυνση και ανάπτυξη του ριζικού συστήματος των θάμνων και δένδρων εντός αυτών.

Έτσι, τα ήδη αποχωρισμένα από την κύρια βραχομάζα τεμάχια βράχων είναι δυνατόν να ανατραπούν με την απότομη αύξηση της υδροστατικής πίεσης των ρωγμών, λόγω έντονης βροχόπτωσης ή και της δυναμικής φόρτισης που μπορεί να υποστούν από σεισμική ή άλλη δόνηση.

Σημειώνεται ότι για τη συγκεκριμένη περίπτωση της βραχόπτωσης, η Επιτροπή ανέτρεξε στα αρχεία του Γεωδυναμικού Ινστιτούτου του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών και διαπίστωσε ότι το αμέσως προηγούμενο χρονικό διάστημα του συμβάντος δεν καταγράφηκε κάποια σεισμική δόνηση που θα μπορούσε να επηρεάσει την ευστάθεια των πρανών.

10. Ιστορικό Βραχοπτώσεων και Μελετών Αντιμετώπισης

Τα προβλήματα αστάθειας των βραχωδών πρανών που επηρεάζουν την ασφαλή κυκλοφορία της οδού στην κοιλάδα των Τεμπών, είχαν απασχολήσει τις υπηρεσίες του αρμόδιου Υπουργείου (τέως ΥΠΕΧΩΔΕ), αμέσως μετά την κατασκευή της οδού. Ήδη το 1962 συντάχθηκε από το ΙΓΜΕ Τεχνική Έκθεση για τις βραχοπτώσεις που είχαν εκδηλωθεί το διάστημα εκείνο, ενώ το 1979 από την ίδια υπηρεσία εκπονήθηκε Γεωλογική-Γεωτεχνική μελέτη των συνθηκών ευστάθειας των πρανών, μετά από βραχοπτώσεις και σημαντικές επίπεδες ολισθήσεις που είχαν ως αποτέλεσμα την προσωρινή διακοπή της κυκλοφορίας της οδού.

Στην πρώτη έκθεση αφού επισημαίνονται ελλείψεις, τόσο στο σχεδιασμό όσο και στην κατασκευή, προτείνονται ορισμένα επείγοντα μέτρα όπως ξεσκαρώματα, τοίχοι αντιστήριξης και ηλώσεις.

Στην δεύτερη έκθεση γίνεται γεωλογική αναγνώριση και περιγραφή της βραχομάζας καθώς και μετρήσεις ασυνεχειών και μικροτεκτονική ανάλυση σε συγκεκριμένες θέσεις πρανών και επισημαίνεται η επικινδυνότητα αρκετών από αυτές. Τέλος προτείνονται μέτρα προστασίας, όπως “ξεσκαρώματα”, σφραγίσματα ρωγμών, επενδύσεις με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, κατασκευή τοίχων ποδός και επενδύσεως, τοποθετήσεις συρματοπλεγμάτων και έλεγχος επιφανειακών νερών, επισημαίνοντας όμως ότι η πλέον αποτελεσματική λύση για την προστασία της οδού θα ήταν η κατασκευή στεγάστρων σε όσα τμήματα απαιτείται.

Το 1990, ύστερα από συνεχείς βραχοπτώσεις, το Κεντρικό Εργαστήριο Δημοσίων Έργων, συντάσσει Τεχνική Έκθεση, επισημαίνοντας τα προβλήματα αστάθειας των πρανών, κυρίως για το τμήμα από χ.θ. 386+000 έως χ.θ. 389+000, και διαπιστώνει την ανάγκη για την άμεση λήψη μέτρων προστασίας, όπως η κατασκευή σκεπάστρων, νέων τοίχων αναχαίτισης ή η υπερύψωση υφιστάμενων και η τοποθέτηση συρματοπλεγμάτων.

Τον Απρίλιο του 1999 εκδηλώθηκε (χ.θ. 390+220) σημαντική κατολίσθηση στο εδαφικό μανδύα αποσάθρωσης των φυλλιτών συμπαρασύροντας και το φυλλιτικό υπόβαθρο (ΙΓΜΕ, 1999) και λήφθηκαν μέτρα προστασίας (κυρίως επιφανειακή και μικρού βάθους αποστράγγιση και αντιστήριξη του πρανούς).

Στη συνέχεια το 2001 και στο πλαίσιο μελέτης του νέου Αυτοκινητοδρόμου και των σηράγγων, εκπονείται Οριστική Γεωλογική Μελέτη για το ΥΠΕΧΩΔΕ από μελετητικό γραφείο (Π. Μεγαλομάστορα). Επειδή οι βραχοπτώσεις συνεχιζόντουσαν, το 2003 ανατέθηκαν από το ΥΠΕΧΩΔΕ επείγουσες μελέτες για την αντιμετώπιση του φαινομένου (Π. Μεγαλομάστορα, 2003 και Εδαφομηχανική – Ερευνητική Α.Τ.Ε. 2003).

Το Μάρτιο του 2007, εκδηλώθηκε σημαντική κατάπτωση βράχων (χ.θ. 387+300), συνολικού όγκου 30m^3 (80 tn) ενώ ο μέγιστος ογκόλιθος που κατέπεσε στην οδό ήταν βάρους περίπου 300 kg.

Από την αυτοψία που έγινε για λογαριασμό του ΥΠΕΧΩΔΕ (Καββαδάς, 2007), διατυπώθηκαν προτάσεις για τη λήψη των απαραίτητων μέτρων προστασίας στις επικίνδυνες θέσεις των πρανών (ανάσχεση βροχοπτώσεων με πλέγματα, φράχτες και ηλώσεις).

Τέλος, τον Αύγουστο του 2008, συντάχθηκε μελέτη ευστάθειας των πρανών (ΟΜΙΚΡΟΝ ΚΑΠΠΑ ΕΠΕ) για το τμήμα της οδού από χ.θ. 385+350 έως 390+350, στο πλαίσιο των συμβατικών υποχρεώσεων της Κοινοπραξίας για την κατασκευή του νέου αυτοκινητοδρόμου που παρακάμπτει την κοιλάδα των Τεμπών με σήραγγες.

11. Η Συγκεκριμένη Αστοχία

Για την κατάπτωση που σημειώθηκε στις 17 Δεκ. 2009 συνέτρεξαν πολλοί παράγοντες μαζί, όπως άλλωστε συμβαίνει συνήθως με καταπτώσεις και κατολισθήσεις. Είναι σαφές ότι στην κοιλάδα των Τεμπών οι γεωλογικές συνθήκες είναι τέτοιες που υπάρχει σημαντικός αριθμός, διαφόρων μεγεθών, βραχωδών τεμαχίων που βρίσκονται σε σχετικά επισφαλή ισορροπία.

Κατά καιρούς αυτό εκδηλώνεται με βραχοπτώσεις όπως έχει συμβεί πολλάκις και στο παρελθόν και τεκμηριώνεται και στο Παράρτημα Β.

Στην περιοχή αποκόλλησης και κατάπτωσης των βράχων στις 17 Δεκεμβρίου 2009 η γενική κλίση του πρανούς είναι περίπου 50° . Το ανώτερο τμήμα του πρανούς παρουσιάζει πιο απότομη κλίση (περίπου 70°), το κεντρικό τμήμα είναι πιο ήπιο (περίπου 45°), ενώ το κατώτερο έχει κλίση 60° περίπου. Το τεχνητό πρανές της οδού, στην περιοχή αυτή έχει διαμορφωθεί σχεδόν κατακόρυφο με ύψος 10 περίπου μέτρων.

Η συγκεκριμένη βραχώδης μάζα που κατέπεσε ανήκε προφανώς στην κατηγορία των βραχωδών τεμαχίων σε επισφαλή ισορροπία. Είναι σαφές δε και από το αποτύπωμά της όσο και από την εξέταση των πεσμένων τεμαχίων ότι διατρεχόταν εσωτερικώς, αλλά και στη βάση της από ρωγματώσεις, μερικώς τουλάχιστον πληρωμένες με, αργιλοϊλυώδεις - αμμόδες ως προς την κοκκομετρία του, εδαφικό υλικό. Δεν μπορεί να εκτιμηθεί η επίδραση των εκρήξεων διότι δεν υπάρχουν στοιχεία μετρήσεων. Οι όποιες μετρήσεις που ενδιαφέρουν (μέτωπο σήραγγας T2S) ξεκίνησαν μετά το γεγονός και δεν υπάρχουν μετρήσεις για τις εκρήξεις που προηγήθηκαν. Έτσι δεν μπορούμε να εκφέρουμε γνώμη για το αν οι δονήσεις εκ των εκρήξεων συνέβαλαν στο άνοιγμα των ρωγμών. Πάντως σε αυτές τις ρωγμές εισέδυσσε το νερό λόγω των έντονων βροχοπτώσεων που προηγήθηκαν. Οι βροχοπτώσεις αυτές ήταν έντονες αλλά όχι ασυνήθεις όπως τεκμηριώνεται με τα στοιχεία που είχαμε στη διάθεσή μας. Το νερό μέσα στις ρωγμές δεν απέρρεε ελευθέρως γιατί αυτές ήταν -τουλάχιστον μερικώς- πληρωμένες με εδαφικό υλικό όχι ιδιαίτερα διαπερατό, όπως τεκμηριώνεται και με τα εργαστηριακά στοιχεία. Ως εκ τούτου πολύ πιθανώς δημιουργήθηκαν πρόσθετες υδατικές πιέσεις ενδεχομένως και στη βάση των ογκολίθων. Ο συνδυασμός της οριακής τους ισορροπίας, της διαβρωτικής δύναμης του νερού και των δημιουργηθεισών υδατοπιέσεων στις ρωγμές που δεν αποκλείεται να διευρύνθηκαν από παράγοντες όπως το ριζικό σύστημα, τυχόν μικροδονήσεις κλπ. πιθανότατα οδήγησε στην αποκόλληση και κατάπτωση.

12. Τρέχουσες Εργασίες

Για όσο διάστημα γίνονται εργασίες “ξεσκαρώματος”, στερέωσης και τοποθέτησης ανασχετικών δικτυωμάτων ή τυχόν άλλων σταθεροποιητικών έργων προφανώς δεν υπάρχει και δεν πρέπει να υπάρχει κυκλοφορία.

Τονίζεται ότι ειδικότερα στη γειτονία της θέσης της πρόσφατης μεγάλης κατάρπτωσης, όπου αναποφεύκτως υπάρχει μία γενικότερη χαλάρωση και ενδεχομένως και πρόσθετα βραχώδη τεμάχια με αυξημένο κίνδυνο αποκόλλησης, πρέπει να γίνει ιδιαίτερως προσεκτική εργασία ξεσκαρώματος και στερέωσης. Η ενίσχυση εκεί των ανασχετικών δικτυωμάτων -έναντι των αρχικών προβλέψεων της μελέτης- θεωρείται αναγκαία.

Το διάστημα μέχρι να ολοκληρωθούν οι εργασίες που εκτελούνται και που θα εκτελεστούν είναι απροσδιόριστο, εξαρτάται δε σε μεγάλο βαθμό και από τον αριθμό των απασχολούμενων συνεργείων. Εκτιμάται πάντως ότι θα χρειαστούν αρκετές εβδομάδες ακόμη. Ως εκ τούτου, αλλά και γενικότερα για κάθε περίπτωση, οι εναλλακτικές λύσεις για τη διέλευση των οχημάτων θα πρέπει να βελτιωθούν.

Με αυτή την έννοια θεωρούμε χρήσιμες τις ήδη αποφασισθείσες -όπως αντιλαμβανόμαστε- εργασίες βελτίωσης των εναλλακτικών διαδρομών, οι οποίες άλλωστε δέχονται εξαιρετικά μεγαλύτερο κυκλοφοριακό φόρτο από ότι συνήθως.

Παράλληλα θεωρούμε ότι η αρχική ιδέα που είχε διατυπωθεί στο κείμενο “Πρώτων εκτιμήσεων” της επιτροπής προσφέρει χρήσιμες λύσεις. Αυτό ιδίως αν η προσφάτως εγκαταλειφθείσα γραμμή του ΟΣΕ μετατραπεί σε λωρίδα κυκλοφορίας οχημάτων.

13. Προτάσεις μέχρι την ολοκλήρωση των οδικών σηράγγων

Θα υπάρξει ικανό διάστημα από την ολοκλήρωση των όποιων σταθεροποιητικών έργων στην κοιλάδα των Τεμπών μέχρι την ολοκλήρωση των σηράγγων του ΠΑΘΕ. Στο διάστημα αυτό:

- (α) η κυκλοφορία θα γίνεται από την Ε.Ο. όπως και παλαιότερα. Για τη διέλευση αυτή θα πρέπει να ισχύσουν οι ειδικές συνθήκες που προβλέπονται σε ανάλογες καταστάσεις διεθνώς όπως π.χ. ελάχιστη ταχύτητα, ικανή απόσταση οχημάτων, απαγόρευση στάθμευσης κλπ.
- (β) Θα πρέπει να υπάρχει συστηματική ενόργανη παρακολούθηση αλλά και καθημερινή επιθεώρηση. Ανάλογα με αυτές μπορεί κατά χρονικά διαστήματα υπό σχετικά έκτακτες συνθήκες (π.χ. ιδιαίτερα υψηλές βροχοπτώσεις) να αποκλείεται η διέλευση δια της Ε.Ο. στην κοιλάδα των Τεμπών.
- (γ) Θεωρούμε γενικά χρήσιμο να διατηρηθούν σε καλή κατάσταση οι εναλλακτικές λύσεις, συμπεριλαμβανομένης, εί δυνατόν και εφ’ όσον τελικά υλοποιηθεί, και της λύσης χρήσης κατάλληλα διασκευασμένης και της σιδηροδρομικής γραμμής που δεν χρησιμοποιείται.

14. Προτάσεις μετά την ολοκλήρωση των σηράγγων

Όταν ολοκληρωθούν οι κατασκευαζόμενες σήραγγες ο αυτοκινητόδρομος Βορρά – Νότου δεν θα διέρχεται από τα Τέμπη κι έτσι δεν θα υπάρχει για τους διερχόμενους αυτό το σημείο επικινδυνότητας.

Όμως τόσο για την τοπική κίνηση όσο και για όλους όσοι θέλουν να θαυμάσουν το φυσικό κάλλος της κοιλάδας των Τεμπών το πρόβλημα θα παραμένει και θα πρέπει να αντιμετωπιστεί. Το ιδιαίτερο φυσικό κάλλος των Τεμπών συναρτάται ακριβώς με την ιδιαίτερη γεωμορφολογία όπως αυτή διαμορφώθηκε ακριβώς λόγω των γεωλογικών διεργασιών που ταυτόχρονα το έχουν καταστήσει επικίνδυνο. Κατά συνέπεια θα πρέπει να γίνουν πρόσθετα έργα που αφ' ενός να αυξάνουν την ασφάλεια κατά τη διέλευση αλλά αφ' ετέρου να μην ακυρώνουν τον λόγο διέλευσης, δηλαδή τα έργα πρέπει να είναι περιβαλλοντικώς αποδεκτά. Τέτοια έργα ασφαλώς θα πρέπει να βασιστούν σε ειδικές μελέτες. Η επιτροπή θεωρεί ότι, παραδείγματος χάριν λύση κεκλιμένων ισχυρών στεγαστρων σε συγκεκριμένες και περιορισμένες περιοχές μπορούν να αυξήσουν θεαματικά την ασφάλεια με μικρή μόνο επίδραση στο φυσικό περιβάλλον. Παράλληλα πρέπει να γίνει κατανοητό ότι ένας βαθμός διακινδύνευσης θα παραμείνει αλλά στόχος πρέπει να είναι αυτός ο βαθμός να μην ξεπερνάει τους αντίστοιχους άλλων αναλόγων περιοχών που απαντώνται στην Ευρώπη.

Γιώργος Γκαζέτας
Καθηγητής Εδαφομηχανικής ΕΜΠ



Δημήτρης Ρόζος
Επ. Καθηγητής Τεχνικής Γεωλογίας ΕΜΠ



Σπύρος Καβουνίδης
Δρ. Πολιτικός Μηχανικός – Εδαφομηχανικός



Γιώργος Τσιαμπάος
Αν. Καθηγητής Τεχνικής Γεωλογίας ΕΜΠ



ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: Πηγές πληροφοριών

(1) ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΚΘΕΣΕΙΣ - ΜΕΛΕΤΕΣ

- Ανδρονόπουλος Β., Κούκης, Γ. (1979) Γεωλογική – Γεωτεχνική Μελέτη των συνθηκών ευστάθειας πρανών της Εθνικής Οδού στην περιοχή των Τεμπών, Έκθεση ΙΓΜΕ, Αθήνα.
- Αρώνης, Γ. (1962) Έκθεσις περί της ασφαλείας εκ καταπτώσεων βράχων της Εθνικής Οδού Λαρίσης-Θεσσαλονίκης εις την περιοχήν των Τεμπών, ΙΓΜΕ, Αθήνα.
- Βακόνδιος, Ι., (1999) Γεωλογική-γεωτεχνική μελέτη της κατολίσθησης στη Χ.Θ. 390+220 της Ν.Ε.Ο. Αθήνας-Θεσ/νίκης στα Τέμπη Ν.Λάρισας, Έκθεση ΙΓΜΕ, Αθήνα.
- Εδαφομηχανική – Ερευνητική Α.Τ.Ε. (2003) Επείγουσες Γεωλογικές – Γεωτεχνικές έρευνες και μελέτες σε θέσεις κατολισθήσεων – καταπτώσεων κατά μήκος της κοιλάδας των Τεμπών στην Ν.Ε.Ο. Αθηνών – Θεσ/νίκης, Γεωτεχνική μελέτη, Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε./Γ.Γ.Δ.Ε./ΔΜΕΟ, Αθήνα.
- Ηλίας, Π. (1999) Γεωτεχνική εξέταση κατολίσθησης στην Εθνική Οδό Αθηνών-Θεσ/νίκης(Χ.Θ. 390+220) στα Τέμπη Ν.Λάρισας : πρόδρομη τεχνικογεωλογική μελέτη, Έκθεση ΙΓΜΕ, Αθήνα.
- ΙΓΜΕ (1987) Γεωλογικός Χάρτης της Ελλάδας –φύλλο Ραψάνη, Κλίμακας 1:50.000 , Έκδοση ΙΓΜΕ, Αθήνα.
- Καββαδάς, Μ. (2007) Έκθεση αυτοψίας και τεχνική γνωμάτευση επί των βραχοπτώσεων και λιθοπτώσεων του αυτοκινητοδρόμου ΠΑΘΕ στην περιοχή της κοιλάδας Τεμπών (νότιο αντέρεισμα), ΥΠΕΧΩΔΕ, Αθήνα.
- Κεντρικό Εργαστήριο Δημοσίων Έργων (1990) Καταπτώσεις βράχων στο τμήμα κοιλάδας Τεμπών της Ν.Ε.Ο. Αθηνών – Θεσσαλονίκης, ΥΠΕΧΩΔΕ, Αθήνα.
- Μεγαλομάστορα, Π. (2003) Μελέτη για την αντιμετώπιση των κατολισθήσεων – καταπτώσεων κατά μήκος της κοιλάδας των Τεμπών – Γεωλογική Μελέτη, Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε./Γ.Γ.Δ.Ε./ΔΜΕΟ, Αθήνα.
- ΟΜΙΚΡΟΝ ΚΑΠΠΑ ΕΠΕ (2008) Μελέτη ευστάθειας πρανών στην κοιλάδα των Τεμπών, από χ.θ. 385+350 έως χ.θ. 390+350.
- ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΔΡΟΜΟΣ ΑΙΓΑΙΟΥ Α.Ε. (2010) Στοιχεία για την Κοιλάδα των Τεμπών
- ΕΞΟΡΥΞΗ Α.Ε. (2010) Πρόγραμμα ελέγχου – παρακολούθησης δονήσεων από τις ανατινάξεις διάνοιξης της Σήραγγας Τ2 και αξιολόγηση του κινδύνου πρόκλησης βραχοπτώσεων από τα πρανή του Αυτοκινητοδρόμου ΠΑΘΕ στο Στενό των Τεμπών.

(2) ΒΡΟΧΟΜΕΤΡΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ

- Υπ. Αγρ. Ανάπτυξης & Τροφίμων
- Εγνατία Οδός Α.Ε.
- ΔΕΚΕ Λάρισας

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β: Ιστορικό Πτώσεων Βράχων

(Δόθηκε από ΕΓΝΑΤΙΑ ΟΔΟ Α.Ε)

**ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΚΑΤΑΓΕΓΡΑΜΜΕΝΩΝ ΣΥΜΒΑΝΤΩΝ ΑΠΟΚΟΛΛΗΣΕΩΝ ΒΡΑΧΩΝ ΣΤΗΝ ΚΟΙΛΑΔΑ ΤΩΝ
ΤΕΜΠΩΝ ΣΕ ΧΡΟΝΟΛΟΓΙΚΗ ΣΕΙΡΑ**

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΩΡΑ	Χ.Θ.	ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΑΝΤΛΗΣΗΣ ΤΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ
11/8/1997	0:45	390+000	ΤΡΟΧΑΙΑ ΛΑΡΙΣΑΣ	Οχήμα προσεκρούσε σε βράχια που υπήρχαν πάνω στο οδόστρωμα λόγω κατολίσθησης συνέπεια της βροχόπτωσης με αποτέλεσμα να υποστεί σοβαρές υλικές ζημιές.
22/11/1998	Απογευματινή	385+390	ΤΡΟΧΑΙΑ ΛΑΡΙΣΑΣ	Διαδοχικές πτώσεις λίθων από τους παρακείμενους βράχους στο οδόστρωμα. Το περιπολικό του δικτύου έλαβε μέτρα και απομάκρυνε τους λίθους. Οχήματα της 3ης ΔΕΚΕ δηλώθηκε ότι θα περιπαλεί εντός της κοιλάδας των Τεμπών από αρμόδιους της ΔΕΚΕ.
Απρίλιος 1999	Άγνωστη	390+250	Δ.Ε.Σ.Ε. ΛΑΡΙΣΑΣ	Κατολίσθηση ανάντι πρανούς.
10/9/1999	21:20	375+000	ΤΡΟΧΑΙΑ ΛΑΡΙΣΑΣ	Διερχόμενο οχήμα προσεκρούσε σε βράχο που είχε πέσει στο οδόστρωμα με αποτέλεσμα την πρόκληση υλικών ζημιών.
27/4/2000	15:30	387+200	ΤΡΟΧΑΙΑ ΛΑΡΙΣΑΣ	Οχήμα κινούμενο προς Θεσσαλονίκη υπέστη υλικές ζημιές λόγω πτώσης βράχου.
13/7/2000	Άγνωστη	390+250	Δ.Ε.Σ.Ε. ΛΑΡΙΣΑΣ	Ατύχημα με υλικές ζημιές λόγω πρόκλησης καθίζησης. Η συντήρηση προέβει σε συνεχείς συμπληρώσεις με ασφαλτόμινιμα χωρίς την άρση των αιτιών που προκαλούσαν την καθίζηση.
26/7/2001	18:20	387+500	ΤΡΟΧΑΙΑ ΛΑΡΙΣΑΣ	Από άγνωστη αιτία αποκαλλήθηκαν μικρές πέτρες και κατέπεσαν στο αριστερό τμήμα οχήματος με αποτέλεσμα να υποστεί υλικές ζημιές.
6/9/2001	-	385+500	Δ.Ε.Σ.Ε. ΛΑΡΙΣΑΣ	Εντός της κοιλάδας των Τεμπών και σε τμήμα 100μ περίπου στην Χ.Θ. 385+500 παρουσιάστηκαν ζυμώματα τα οποία δεν οφείλονταν στις ασφαλτικές στρώσεις αλλά στην αστάθεια των εδαφικών στρώσεων στην περιοχή και στην ύπαρξη πηγαίων και όχι επιφανειακών υερών.
24/12/2002	21:30	390+000	ΤΡΟΧΑΙΑ ΛΑΡΙΣΑΣ	Πριν την διασταύρωση με Ομόλοιο υπέπεσαν εντός του οδοστρώματος βράχια και πέτρες με αποτέλεσμα το διερχόμενο όχημα να υποστεί υλικές ζημιές.
3/1/2004	21:05	385+000	ΤΡΟΧΑΙΑ ΛΑΡΙΣΑΣ	Υλικές ζημιές οχήματος εξαιτίας πτώσης βράχων στο οδόστρωμα.
15/4/2005	20:10	389+000	ΤΡΟΧΑΙΑ ΜΟΣΧΟΧΩΡΙΟΥ	Πτώση βράχων και υλικές ζημιές οχήματος.
18/4/2005	14:25	382+000	ΤΡΟΧΑΙΑ ΜΟΣΧΟΧΩΡΙΟΥ	Εκτροπή οχήματος εξαιτίας πτώσης βράχων.
6/8/2005	8:10	386+000	ΤΡΟΧΑΙΑ ΜΟΣΧΟΧΩΡΙΟΥ	Πτώση βράχων χωρίς να προκληθούν ζημιές.
30/1/2006	18:50	389+950	ΤΡΟΧΑΙΑ ΜΟΣΧΟΧΩΡΙΟΥ	Πρόκληση ζημιάς σε ελαστικό φορτηγού εξαιτίας πτώσης βράχων.
24/2/2006	22:00	389+700	ΤΡΟΧΑΙΑ ΜΟΣΧΟΧΩΡΙΟΥ	Πρόκληση ζημιάς σε ελαστικό αυτοκινήτου εξαιτίας πτώσης βράχων.
20/8/2006	3:00	387+500	ΤΡΟΧΑΙΑ ΜΟΣΧΟΧΩΡΙΟΥ	Πρόκληση ζημιάς σε ελαστικό αυτοκινήτου εξαιτίας πτώσης βράχων.
22/12/2006	22:40	382+800	ΤΡΟΧΑΙΑ ΜΟΣΧΟΧΩΡΙΟΥ	Πτώση βράχων και υλικές ζημιές οχήματος.
22/12/2006	22:45	382+500	ΤΡΟΧΑΙΑ ΜΟΣΧΟΧΩΡΙΟΥ	Πρόκληση ζημιάς σε ελαστικό αυτοκινήτου εξαιτίας πτώσης βράχων.
26/3/2007	21:30	387+200	Ε.Υ.Δ.Ε./ΠΑΘΕ ΘΕΣ/ΝΙΚΗΣ	Προσωρινή διακοπή της κυκλοφορίας εξαιτίας της πτώσης μεγάλου όγκου βράχων. Λόγω της κατάπτωσης των βράχων προκλήθηκε δυσχέρεια στην κυκλοφορία η οποία διεξάγονταν εκ περιτροπής από το ένα ρεύμα κυκλοφορίας.
20/5/2007	18:35	389+800	Ε.Υ.Δ.Ε./ΠΑΘΕ ΘΕΣ/ΝΙΚΗΣ	Υλικές ζημιές οχήματος εξαιτίας πτώσης βράχων στο οδόστρωμα.
22/10/2007	14:00	387+500	Ε.Υ.Δ.Ε./ΠΑΘΕ ΘΕΣ/ΝΙΚΗΣ	Υλικές ζημιές οχήματος εξαιτίας πτώσης βράχων στο οδόστρωμα.

ΠΕΡΙΣΤΑΤΙΚΑ ΒΡΑΧΟΠΤΩΣΕΩΝ ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΕΝΑΡΞΗ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ ΤΩΝ ΣΗΡΑΓΓΩΝ ΣΤΗΝ ΚΟΙΛΑΔΑ ΤΩΝ ΤΕΜΠΩΝ

**ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΚΑΤΑΓΕΓΡΑΜΜΕΝΩΝ ΣΥΜΒΑΝΤΩΝ ΑΠΟΚΟΛΛΗΣΕΩΝ ΒΡΑΧΩΝ ΣΤΗΝ ΚΟΙΛΑΔΑ ΤΩΝ
ΤΕΜΠΩΝ ΣΕ ΧΡΟΝΟΛΟΓΙΚΗ ΣΕΙΡΑ**

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΩΡΑ	Χ.Θ.	ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΑΝΤΛΗΣΗΣ ΤΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ	ΠΕΡΙΣΤΑΤΙΚΑ ΒΡΑΧΟΠΤΩΣΕΩΝ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΝΑΡΞΗ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ ΤΩΝ ΣΗΡΑΓΓΩΝ ΣΤΗΝ ΚΟΙΛΑΔΑ ΤΩΝ ΤΕΜΠΩΝ
31/10/2007	18:50	388+200	ΤΡΟΧΑΙΑ ΜΟΣΧΟΧΩΡΙΟΥ	Υλικές ζημιές οχήματος εξαιτίας πτώσης βράχων στο οδόστρωμα.	
23/2/2008	13:35	387+000	ΤΡΟΧΑΙΑ ΜΟΣΧΟΧΩΡΙΟΥ	Πτώση βράχων και υλικές ζημιές σε δύο διερχόμενα οχήματα.	
1/3/2008	16:20	386+000	ΤΡΟΧΑΙΑ ΜΟΣΧΟΧΩΡΙΟΥ	Υλικές ζημιές οχήματος εξαιτίας πτώσης βράχων στο οδόστρωμα.	
6/3/2008	9:00	387+000	Ε.Υ.Δ.Ε./ΠΑΘΕ ΘΕΣ/ΝΙΚΗΣ	Υλικές ζημιές οχήματος εξαιτίας πτώσης βράχων στο οδόστρωμα.	
7/3/2008	17:10	387+000	ΤΡΟΧΑΙΑ ΜΟΣΧΟΧΩΡΙΟΥ	Υλικές ζημιές οχήματος εξαιτίας πτώσης βράχων στο οδόστρωμα.	
23/5/2008	20:25	387+300	ΤΡΟΧΑΙΑ ΜΟΣΧΟΧΩΡΙΟΥ	Πτώση βράχων και υλικές ζημιές σε δύο διερχόμενα οχήματα.	
3/6/2008	3:10	387+000	ΤΡΟΧΑΙΑ ΜΟΣΧΟΧΩΡΙΟΥ	Υλικές ζημιές οχήματος εξαιτίας πτώσης βράχων στο οδόστρωμα.	
27/10/2008	19:10	387+600	ΤΡΟΧΑΙΑ ΜΟΣΧΟΧΩΡΙΟΥ	Υλικές ζημιές οχήματος εξαιτίας πτώσης βράχων στο οδόστρωμα.	
23/1/2009	6:45	390+000	ΤΡΟΧΑΙΑ ΜΟΣΧΟΧΩΡΙΟΥ	Υλικές ζημιές οχήματος εξαιτίας πτώσης βράχων στο οδόστρωμα.	
24/1/2009	0:35	387+000	ΤΡΟΧΑΙΑ ΜΟΣΧΟΧΩΡΙΟΥ	Πρόκληση σύγκρουσης δύο οχημάτων εξαιτίας της πτώσης βράχων	
25/10/2009	16:10	388+000	ΤΡΟΧΑΙΑ ΜΟΣΧΟΧΩΡΙΟΥ	Υλικές ζημιές οχήματος εξαιτίας πτώσης βράχων στο οδόστρωμα.	
15/12/2009	18:10	386+000	ΤΡΟΧΑΙΑ ΜΟΣΧΟΧΩΡΙΟΥ	Πρόκληση σύγκρουσης δύο οχημάτων εξαιτίας της πτώσης βράχων	
16/12/2009	16:55	386+100	ΤΡΟΧΑΙΑ ΜΟΣΧΟΧΩΡΙΟΥ	Πτώση βράχων χωρίς να προκληθούν υλικές ζημιές.	

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ:

α) Όλα τα καταγεγραμμένα συμβάντα της ΕΥΔΕ/Π.Α.Θ.Ε Συντήρησης Κεντρικής Μακεδονίας αφορούν περιπτώσεις που έχουν γίνει αγωγές, κατόπιν ζημιών που προκλήθηκαν σε διερχόμενα αυτοκίνητα από μικρούς όγκους βράχων.

β) Η περιγραφή των ατυχημάτων που αντλήθηκαν από την Τροχαία Λάρισας προέρχονται από το δελτίο συμβάντων της Τροχαίας Λάρισας και αντίστοιχα τα συμβάντα του Μοσχοχωρίου από το δελτίο συμβάντων της Τροχαίας Μοσχοχωρίου.

γ) Τα προβλήματα βραχυπρόθεσμων στην κοιλάδα των Τεμπών εντάθηκαν μετά το έτος 1997 λόγω των κυκλογιών που συνέβησαν στον ανάντι της κοιλάδας ορεινό όγκο. (σύμφωνα το υπ.αριθ. 1423/14.02.2000 έγγραφο της Περιφέρειας Θεσσαλίας προς την Δ.Δ.Ε./Περιφερειακή Θεσσαλίας)

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ: Έκθεση Παρουσίασης και
Αξιολόγησης Δοκιμών Εδαφομηχανικής**

ΤΕΧΝΙΚΟ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ

ΒΡΑΧΟΛΙΣΘΗΣΗ ΤΕΜΠΩΝ

ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗΣ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗΣ ΤΗΣ
ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΔΙΑΤΑΡΑΓΜΕΝΟΥ ΕΔΑΦΙΚΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ ΑΠΟ
ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΒΡΑΧΟΛΙΣΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΣΥΝΤΟΜΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ

ΑΘΗΝΑ, ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2010



ΕΔΑΦΟΣ Σύμβουλοι Μηχανικοί Α.Ε.

Κεντρικά: Υπερείδου 9, Πλάκα 105 58, Τηλ. 210 32 22 050, e-mail: admin@edafos.gr

Εργαστήριο: Θεραπειών 2, Κολωνός 104 44, Τηλ. 210 51 49 020, e-mail: lab@edafos.gr

**ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗΣ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗΣ
ΤΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΔΙΑΤΑΡΑΓΜΕΝΟΥ ΕΔΑΦΙΚΟΥ
ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΒΡΑΧΟΛΙΣΘΗΣΗΣ ΚΑΙ
ΣΥΝΤΟΜΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ**

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	2
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	3
2. ΕΔΑΦΙΚΟ ΔΕΙΓΜΑ	3
3. ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΔΟΚΙΜΙΩΝ – ΦΥΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	3
4. ΔΟΚΙΜΕΣ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ	8
4.1 Κατάστρωση προγράμματος δοκιμών	8
4.2 Δοκιμή βραδείας διάτμησης με στερεοποίηση	10
4.3 Δοκιμή μονοδιάστατης συμπίεσης	11
4.4 Δοκιμή μέτρησης συντελεστή διαπερατότητας	12
4.5 Δοκιμές ξήρανσης και επανύγρυνσης – Χαρακτηριστική καμπύλη εδάφους-νερού.....	13
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	23
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	25

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Φύλλα παρουσίασης αποτελεσμάτων εργαστηριακών δοκιμών

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Μετά την εκδήλωση της βραχολίσθησης κατά μήκος της Εθνικής Οδού Αθηνών-Θεσσαλονίκης στο ύψος της κοιλάδας των Τεμπών στις 17/12/2009 και την σύσταση της επιτροπής του ΤΕΕ στην οποία συμμετέχει και ο Σ. Καβουνίδης, Δρ Πολιτικός Μηχανικός-Εδαφομηχανικός έγινε επίσκεψη στην περιοχή της βραχολίσθησης στην οποία συμμετείχαν μεταξύ άλλων οι Σ. Καβουνίδης, Λ. Σωτηρόπουλος, Γεωλόγος, και Ε. Λυμπέρης, Γεωλόγος, της ΕΔΑΦΟΣ Α.Ε. Κατά την επίσκεψη αυτή ελήφθη επιφανειακό εδαφικό δείγμα πλήρωσης ασυνεχειών μεταξύ ογκολίθων βράχου το οποίο και μεταφέρθηκε στο εργαστήριο της ΕΔΑΦΟΣ Α.Ε. για την εκτέλεση πλήρους εργαστηριακής διερεύνησης των ιδιοτήτων του.

Οι δοκιμές αυτές περιελάμβαναν δοκιμές προσδιορισμού φυσικών χαρακτηριστικών και δοκιμές προσδιορισμού μηχανικών χαρακτηριστικών στο αναζυμωμένο δείγμα (αφού το δείγμα ήταν έντονα διαταραγμένο χωρίς να είναι δυνατόν να μορφωθούν δοκίμια από αυτό). Οι δοκιμές αυτές περιελάμβαναν και δοκιμές ξήρανσης και επανύγρυνσης στην ατμόσφαιρα και σε συσκευές ελεγχόμενης μύζησης (suction).

Στην παρούσα έκθεση παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των εργαστηριακών δοκιμών κατάταξης και μηχανικών χαρακτηριστικών που πραγματοποιήθηκαν.

2. ΕΔΑΦΙΚΟ ΔΕΙΓΜΑ

Στην **Φωτ. 1** παρουσιάζεται η θέση απόληψης του δείγματος επιτόπου. Στην **Φωτ. 2** παρουσιάζεται το δείγμα όπως παρελήφθη στο εργαστήριο στις 21/12/2009.

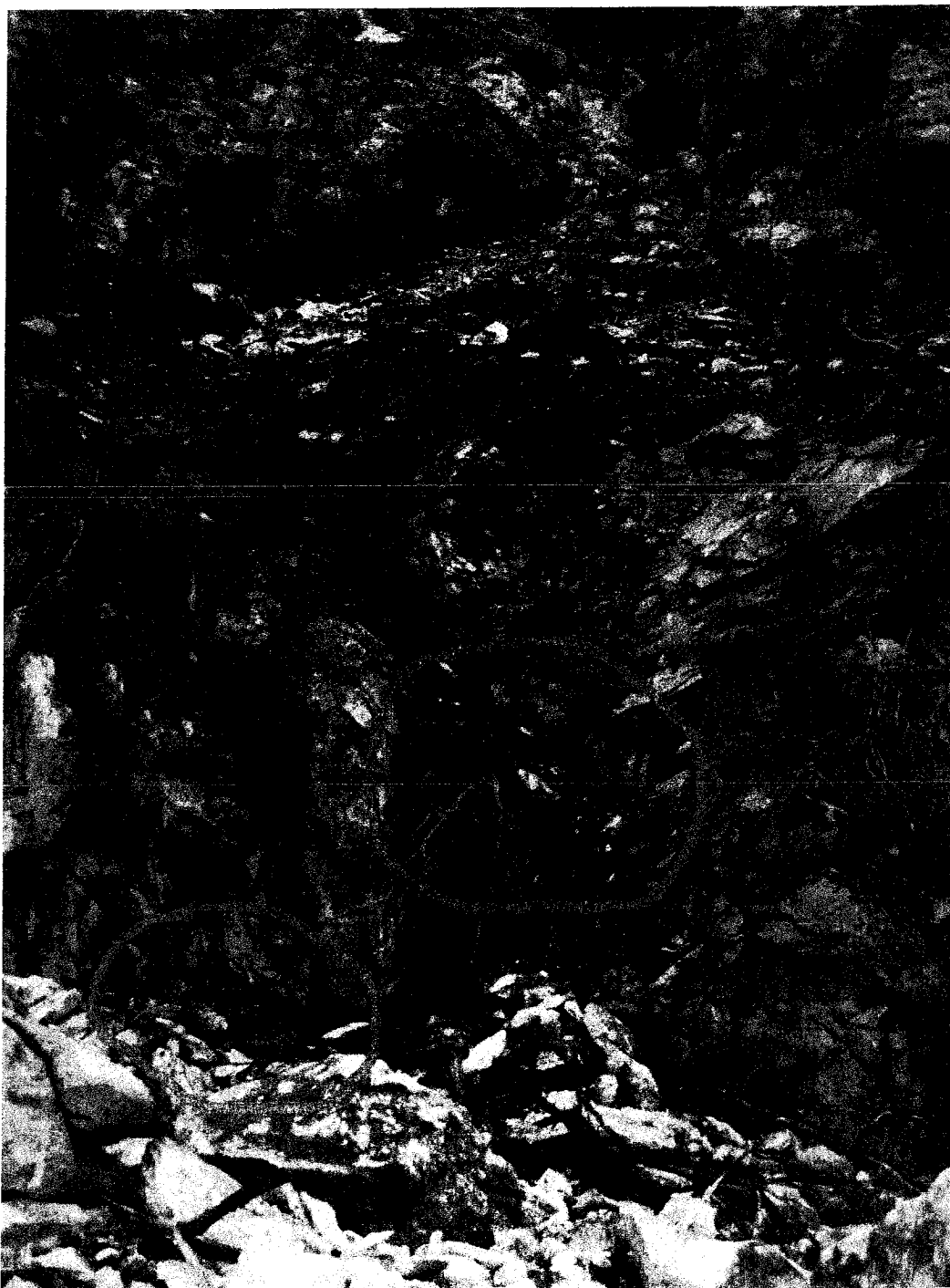
Το δείγμα είχε βάρος 6-7kg με εμφανή παρουσία ριζών φυτών, ακόμα και φύλλων, αλλά και μεγάλου μεγέθους τεμαχών βράχου.

3. ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΔΟΚΙΜΙΩΝ – ΦΥΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Αρχικά απομακρύνθηκαν όλες οι εμφανείς ρίζες, φύλλα και πολύ μεγάλα τεμάχια βράχου. Από το υπόλοιπο υλικό ελήφθη ένα δείγμα για μέτρηση ποσοστού υγρασίας. Η αρχική υγρασία w_0 προέκυψε 29.5%.

Στη συνέχεια το σύνολο του δείγματος ξηράνθηκε αρχικά στον φούρνο θερμοκρασίας 60 °C για 24h και στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε τετραμερισμός για την λήψη δύο αντιπροσωπευτικών δειγμάτων Δ1 και Δ2 στα οποία πραγματοποιήθηκαν δοκιμές προσδιορισμού κοκκομετρικής διαβάθμισης με κόσκινα και δοκιμές προσδιορισμού ορίων Atterberg. Στο δείγμα Δ2

πραγματοποιήθηκε και δοκιμή μέτρησης ανηγμένου ειδικού βάρους στερεών (G_s). Από τις δοκιμές αυτές προέκυψε ότι το υλικό του δείγματος Δ1 κατατάσσεται κατά USCS ως **SC** (αργιλώδης άμμος με χαλίκια) και το υλικό του δείγματος Δ2 ως **SM** (αργιλοίλυδης άμμος με χαλίκια). Παρά την διαφοροποίηση της κατάταξης κατά USCS, οι ιδιότητες και των δύο δειγμάτων είναι πολύ κοντινές και συγκεκριμένα:



ΦΩΤ. 1. Η θέση λήψης του εδαφικού δείγματος.

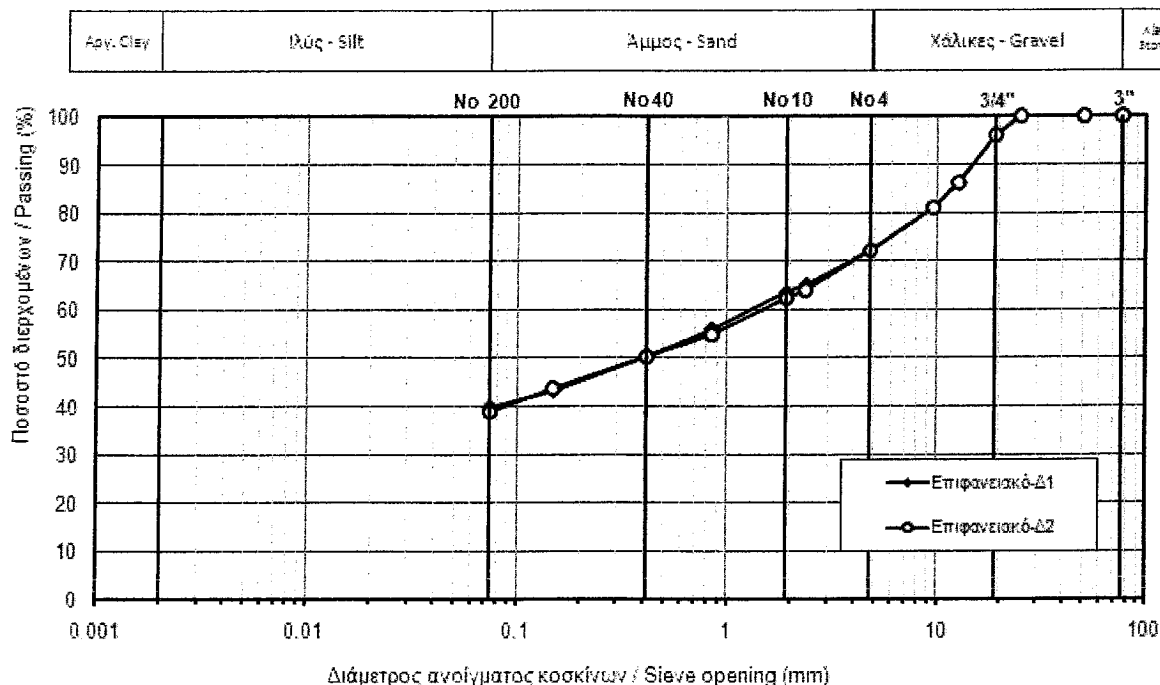


Φωτ. 2. Εδαφικό δείγμα που απεστάλη στο εργαστήριο της ΕΔΑΦΟΣ Α.Ε. από την περιοχή της βραχολίσθησης των Τεμπών για την εκτέλεση εργαστηριακών δοκιμών.

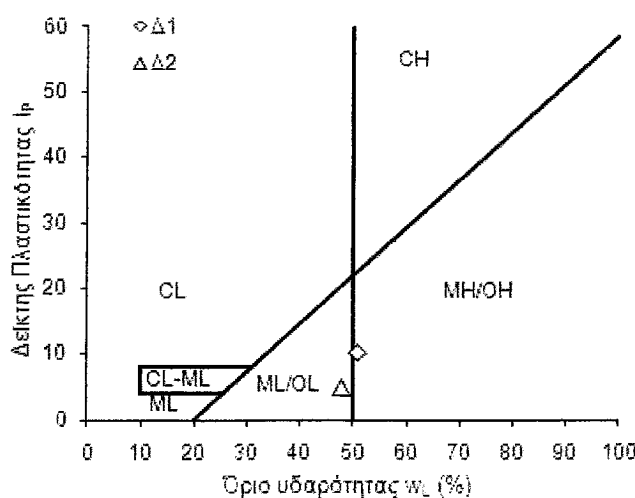
- Ποσοστό χαλίκων 27.7% και στα δύο δείγματα,
- Ποσοστό άμμου από 32.4% έως 33.6% με μέσο όρο 33.0%,
- Ποσοστό αργιλοΐλיוς από 38.8% έως 39.9% με μέσο όρο 39.3%,
- Όριο υδαρότητας από 47.8% έως 50.8% με μέσο όρο 49.3%,
- Όριο πλαστικότητας από 40.6% έως 43% με μέσο όρο 41.8%,
- Δείκτης πλαστικότητας από 4.8 έως 10.2 με μέσο όρο 7.5,
- και ανηγμένο ειδικό βάρος στερεών (G_s) 2.56 από το δείγμα Δ2.

Η μόνη άξια λόγου διαφοροποίηση είναι στον Δείκτη Πλαστικότητας καθώς το δείγμα με το μικρότερο όριο υδαρότητας βρέθηκε και με το μεγαλύτερο όριο πλαστικότητας.

Στο Σχ.1 παρουσιάζονται οι καμπύλες κοκκομετρικής διαβάθμισης από τα δύο δείγματα και στο Σχ. 2 το διάγραμμα πλαστικότητας Casagrande με τα πειραματικά σημεία. Όπως φαίνεται από το Σχ. 2 και τα δύο δείγματα βρίσκονται σημαντικά κάτω από την γραμμή «Α» του διαγράμματος ως αποτέλεσμα της έντονης παρουσίας οργανικών.



Σχήμα 1. Καμπύλη κοκκομετρικής διαβάθμισης δείγματος πλήρωσης ασυνεχειών μεταξύ ογκολίθων βράχου (το δείγμα διαχωρίστηκε σε δύο επιμέρους δείγματα Δ1 & Δ2).



Σχήμα 2. Διάγραμμα πλαστικότητας Casagrande με τιμές ορίων Atterberg δείγματος πλήρωσης ασυνεχειών μεταξύ ογκολίθων βράχου (το δείγμα διαχωρίστηκε σε δύο επιμέρους δείγματα Δ1 & Δ2).

Στο συνολικό δείγμα μετρήθηκε η περιεκτικότητα σε οργανικά με την μέθοδο ξηρής καύσης σε 6 δείγματα. Τα δύο από αυτά ήταν τα δείγματα για τις κατατάξεις, τα τρία ήταν δείγματα από τον πολτό προετοιμασίας δοκιμίων και το ένα ήταν το δοκίμιο της δοκιμής μονοδιάστατης συμπίεσης μετά την εξαγωγή του από την κυψέλη. Η περιεκτικότητα σε οργανικά κυμάνθηκε από 7.0% έως 21.3% με μέσο όρο 13.2% και τυπική απόκλιση 5.6%. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται αναλυτικά στον Πίν. 1. Από την εικόνα του δείγματος φαίνεται ότι τα περιεχόμενα οργανικά είναι σχετικά φρέσκιες ρίζες και φύλλα από φυτά της περιοχής.

Πίνακας 1. Περιεκτικότητες σε οργανικά με την μέθοδο ξηρής καύσης.

α/α δοκιμής	Δείγμα	Περιεκτικότητα σε οργανικά (%)
1	Δ1 κατάταξης	10.4
2	Δ2 κατάταξης	10.8
3	Από τον πολτό – 1	10.8
4	Από τον πολτό – 2	19.1
5	Από τον πολτό – 3	21.3
6	Στο δοκίμιο δοκιμής μονοδιάστατης συμπίεσης	7.0
Μέσος όρος:		13.2
Τυπική απόκλιση:		5.6

4. ΔΟΚΙΜΕΣ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ

4.1 Κατάστρωση προγράμματος δοκιμών

Το δείγμα που παρελήφθη ήταν έντονα διαταραγμένο με τις ιδιότητές του προφανώς σαφώς αλλοιωμένες σε σχέση με αυτές που είχε στην φυσική του κατάσταση. Ταυτόχρονα η παρουσία ριζών και μεγάλων τεμαχίων βράχου ήταν τόσο έντονη που δεν ήταν δυνατόν να μορφωθούν έστω μέσα από αυτό το διαταραγμένο δείγμα δοκίμια για την εκτέλεση δοκιμών προσδιορισμού μηχανικών χαρακτηριστικών. Έτσι αποφασίστηκε ο καθαρισμός του υλικού από μεγάλες ρίζες και βραχώδη τεμάχια και στην συνέχεια η ξήρανσή του, ο θρυμματισμός του και η διέλευσή του από το κόσκινο No 4.

Το σκεπτικό ήταν να συγκρατηθεί το κλάσμα της αργιλοίλλους και της άμμου θεωρούμενο ως πιο αντιπροσωπευτικό για την παρουσία του μεταξύ ογκολίθων της περιοχής και οι ιδιότητες αυτού του υλικού να προσδιοριστούν εργαστηριακά μετά από αναζύμωσή του και παρασκευή πολτού. Έτσι παρόλο που δεν ήταν δυνατή η μέτρηση των ιδιοτήτων του αδιατάρακτου υλικού από την περιοχή, να μετρηθούν τουλάχιστον οι ιδιότητες του αναζυμωμένου υλικού (εγγενείς ιδιότητες: intrinsic properties) ώστε από αυτές να καθοριστούν όρια έστω των αναμενόμενων τιμών παραμέτρων και ταυτόχρονα να παρασκευαστούν και δοκίμια συμπιεσμένου αναζυμωμένου υλικού για να μετρηθούν ιδιότητες του υλικού που θα αντιπροσωπεύουν μια συγκεκριμένη εντατική κατάσταση για λογικά βάθη στα οποία μπορεί να βρεθεί το υλικό αυτό επιτόπου.

Γενικά:

- ο δείκτης συμπίεσης των αναζυμωμένων εδαφών είναι η ανώτερη τιμή που μπορεί να έχει αυτή η παράμετρος σε σχέση με τις τιμές από δείγματα του ίδιου υλικού σε άλλες αρχικές καταστάσεις,
- αντίστοιχα, το μέτρο μονοδιάστατης συμπίεσης και το μέτρο ελαστικότητας των αναζυμωμένων εδαφών είναι η κατώτερη τιμή που μπορεί να έχουν αυτές οι παράμετροι,
- η γωνία διατμητικής αντοχής του αναζυμωμένου υλικού είναι η ελάχιστη γωνία διατμητικής αντοχής που αντιστοιχεί σε σχετικά μικρές διατμητικές παραμορφώσεις. Σε σύγκριση δηλαδή με την γωνία διατμητικής αντοχής του φυσικού εδάφους, είναι η τιμή που θα προέκυπτε μετά από διατμητικές παραμορφώσεις τόσο μεγάλες ώστε να καταλυθεί η επιπλέον συνιστώσα της γωνίας διατμητικής αντοχής λόγω διαστολικότητας αλλά όχι και τόσο μεγάλες παραμορφώσεις που να αρχίσει η διευθέτηση των αργιλικών πλακιδίων παράλληλα με την επιφάνεια διάτμησης. Η εντατική κατάσταση από την οποία προκύπτει αυτή η τιμή της γωνίας διατμητικής αντοχής ονομάζεται διεθνώς post-rupture strength.

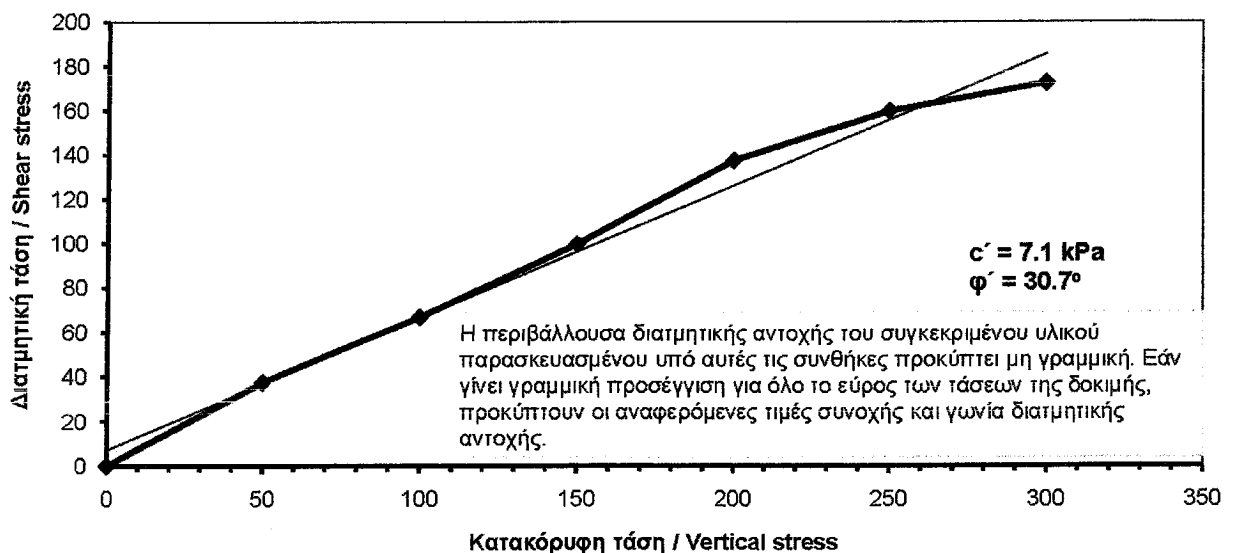
Εκτελέστηκαν δοκιμές μονοδιάστατης συμπίεσης σε αναζυμωμένο υλικό και δοκιμές βραδείας διάτμησης με στερεοποίηση, καθώς και δοκιμές ξήρανσης στην ατμόσφαιρα και σε συσκευές ελεγχόμενης μύζησης (suction) για τον προσδιορισμό της χαρακτηριστικής καμπύλης εδάφους-νερού σε δοκίμια αναζυμωμένου υλικού συμπιεσμένα υπό μονοδιάστατες συνθήκες φορτίσεως μέχρι τα 120kPa και πλήρως αποφορτισμένα. Η τάση των 120kPa επιβλήθηκε προκειμένου τα δοκίμια να περιέλθουν σε μία στερεά κατάσταση για να μπορούν να τοποθετηθούν στις σχετικές συσκευές αλλά αρκετά μικρή για να μην είναι πολύ μακριά από τις τιμές της τάσης που αναμένονται για το υλικό πλήρωσης των διακλάσεων και παρεμβολής μεταξύ ογκολίθων στην περιοχή.

Στη συνέχεια του κεφαλαίου παρουσιάζονται τα αποτελέσματα όλων των δοκιμών που εκτελέστηκαν σε αναζυμωμένο υλικό.

4.2 Δοκιμή βραδείας διάτμησης με στερεοποίηση

Στο Σχ. 3 παρουσιάζεται η περιβάλλουσα διατμητικής αντοχής που προσδιορίστηκε για το αναζυμωμένο υλικό. Όπως είχε επισημανθεί στην προσωρινή έκθεση υπήρχε σημαντική διασπορά στα αρχικά αποτελέσματα και γι' αυτό κάποιες από τις δοκιμές επαναλήφθηκαν. Η απεικονιζόμενη περιβάλλουσα διατμητικής αντοχής είναι έντονα μη γραμμική διερχόμενη από το 0 (αυταπόδεικτο για πολτούς αναζυμωμένων εδαφικών υλικών) και γωνία διατμητικής αντιστοιχεί σε 37° για την εφαπτομένη στην αρχή (μηδενικές ως μικρές τάσεις) και στις 30° για την τέμνουσα στα 300 kPa. Εφόσον απαιτηθεί πάντως ένα μοναδικό ζεύγος τιμών παραμέτρων διατμητικής αντοχής για μια μέση τάση αυτό αντιστοιχεί σε συνοχή 7 kPa και γωνία διατμητικής αντοχής 31° .

Σε κάθε περίπτωση, προκειμένου για αναλύσεις ευσταθείας με κάποιο από τα διαδεδομένα προγράμματα υπολογισμού προτείνεται η χρήση της δυνατότητας εισαγωγής μη γραμμικής περιβάλλουσας διατμητικής αντοχής.

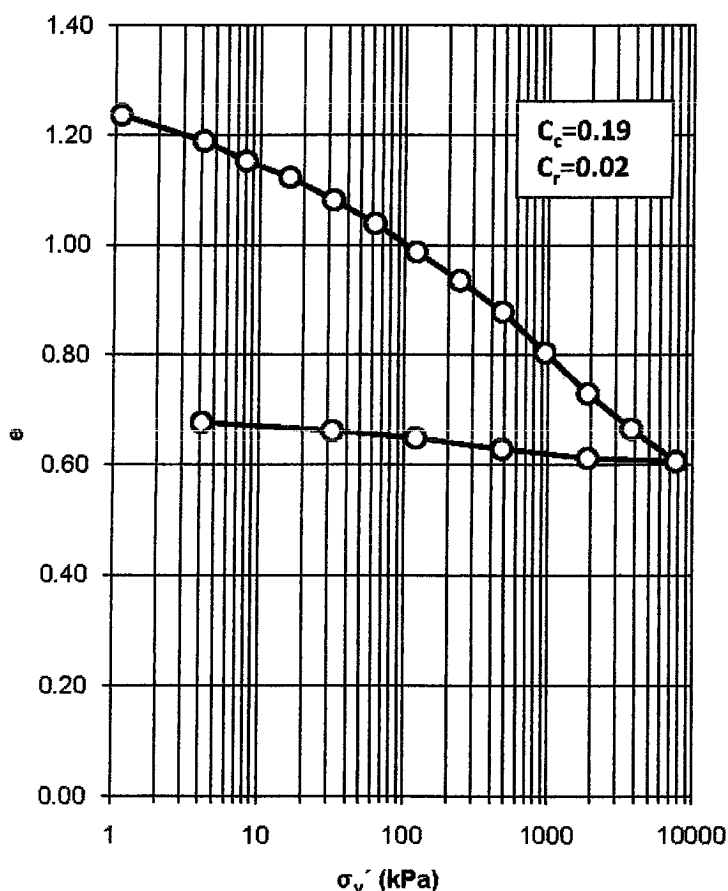


Σχήμα 3. Αποτελέσματα δοκιμών βραδείας διάτμησης με στερεοποίηση σε αναζυμωμένο υλικό.

4.3 Δοκιμή μονοδιάστατης συμπίεσης

Στο Σχ. 4 παρουσιάζεται η καμπύλη μονοδιάστατης συμπίεσης του αναζυμωμένου υλικού. Το υλικό αναζυμώθηκε σε αρχικό ποσοστό υγρασίας 1.35 φορές το όριο υδαρότητάς του (66.37%) οπότε προέκυψε πολτός αρχικού λόγου κενών 1.4.

Η καμπύλη μονοδιάστατης συμπίεσης αναζυμωμένων αργιλικών εδαφικών υλικών προκύπτει γενικά ευθεία ή με τα κοίλα ελαφρώς στραμμένα προς τα πάνω (Burland, 1990, Chandler, 2000). Προκειμένου για αργιλικά υλικά χαμηλής πλαστικότητας ή υλικά με μεγάλη περιεκτικότητα σε άμμο, όπως άλλωστε και το συγκεκριμένο, οι καμπύλες μονοδιάστατης συμπίεσης μπορούν να αναμένονται και με τα κοίλα προς τα κάτω (Bardanis, 1999). Στο συγκεκριμένο εδαφικό υλικό προέκυψε καμπύλη μονοδιάστατης συμπίεσης με τα κοίλα έντονα στραμμένα προς τα κάτω, προφανώς λόγω της μεγάλης περιεκτικότητας του υλικού σε άμμο. Αν πρέπει να προσδιοριστεί μία τιμή του δείκτη συμπίεσης αυτή είναι 0.19 για την εφαπτομένη στην μέγιστη τάση των 7600 kPa. Ο δείκτης αποφόρτισης προέκυψε 0.02.



Σχήμα 4. Καμπύλη μονοδιάστατης συμπίεσης σε αναζυμωμένο υλικό.

4.4 Δοκιμή μέτρησης συντελεστή διαπερατότητας

Για τον προσδιορισμό της χαρακτηριστικής καμπύλης εδάφους-νερού απαιτήθηκε η προετοιμασία πολλών δοκιμών υπό μονοδιάστατες συνθήκες συμπίεσης με φόρτιση ως τα 120 kPa. Σε ένα δοκίμιο εξ αυτών, στα 120 kPa κατακόρυφης τάσης μετρήθηκε και ο συντελεστής διαπερατότητας με την μέθοδο πτώσης στάθμης (falling head test) στην κυψέλη της συσκευής μονοδιάστατης συμπίεσης.

Η τάση αυτή επιλέχθηκε γιατί για μικρότερες τιμές υπήρχε κίνδυνος διατάραξης του αναζυμωμένου δοκιμίου κατά την δοκιμή μέτρησης του συντελεστή διαπερατότητας με την μέθοδο πτώσης στάθμης (falling head test), ενώ όπως και για τον προσδιορισμό της χαρακτηριστικής καμπύλης εδάφους-νερού επιδιώχθηκε να μην αυξηθεί υπερβολικά η τάση για να είναι αντιπροσωπευτική των μικρών υπερκειμένων που απαντάται το υλικό επιτόπου.

Η τιμή του συντελεστή διαπερατότητας προέκυψε 7×10^{-8} cm/s.

4.5 Δοκιμές ξήρανσης και επανύγρανσης – Χαρακτηριστική καμπύλη εδάφους-νερού

4.5.1 Ορισμοί

Πολύ συχνά σε περιπτώσεις κατολισθήσεων αλλά και βραχολισθήσεων παίζει πολύ μεγάλο ρόλο ο βαθμός κορεσμού των εδαφικών υλικών που αποτελούν τα υλικά κατολίσθησης ή το υλικό πλήρωσης ασυνεχειών μιας βραχομάζας ή των εδαφικών υλικών που παρεμβάλλονται μεταξύ ογκολίθων ή επί των οποίων επικάθονται ογκόλιθοι.

Η μεταβολή του βαθμού κορεσμού σε αυτά τα φαινόμενα δρα με τρεις τρόπους:

α) Μεταβάλλει αυτή καθεαυτή την διατμητική αντοχή των εδαφικών υλικών. Μειούμενου του βαθμού κορεσμού, η διατμητική αντοχή αυξάνει συνεχώς και μονοτονικά σε σχέση με αυτή κατά τον πλήρη κορεσμό για αργιλικά εδάφη, αυξάνει αρχικώς και στη συνέχεια σταθεροποιείται για ιλυώδη εδάφη και αυξάνει αρχικώς για να μειωθεί στη συνέχεια προκειμένου για κοκκώδη εδάφη όπως άμμοι και χάλικες (Μπαρδάνης & Καββαδάς, 2006α).

β) Συμβάλλει με μετακινήσεις. Όλα τα εδαφικά υλικά επιδεικνύουν μεταβολές όγκου κατά την μεταβολή του βαθμού κορεσμού. Για χαμηλές τάσεις σε όλα τα εδαφικά υλικά επέρχεται μείωση του όγκου με την μείωση του βαθμού κορεσμού και αύξηση με την αύξησή του, ενώ για υψηλές τάσεις μπορεί να επέλθει μείωση του όγκου για αύξηση του βαθμού κορεσμού. Προφανώς για κοκκώδη εδάφη οι μετακινήσεις αυτές είναι πολύ μικρότερες των αντίστοιχων για αργιλικά εδάφη, ενώ για κοκκώδη εδαφικά υλικά με σημαντικό ποσοστό λεπτοκόκκων το μέγεθος εξαρτάται από το ποιο κλάσμα κυριαρχεί και κυρίως την ορυκτολογική σύσταση των λεπτοκόκκων.

γ) Μεταβάλλει την τιμή του συντελεστή διαπερατότητας. Σε όλα τα εδαφικά υλικά ο συντελεστής διαπερατότητας ως προς το νερό μειώνεται και μάλιστα κατά τάξεις μεγέθους ως προς τον συντελεστή διαπερατότητας στον πλήρη κορεσμό, όσο μειώνεται ο βαθμός κορεσμού. Εφόσον τα υλικά δεν επιδεικνύουν ρηγμάτωση λόγω της συρρίκνωσης που προκαλεί αυτή η μείωση, αυτή η τιμή του συντελεστή διαπερατότητας είναι που καθορίζει και την κίνηση του νερού των πόρων μέσα στην μάζα των εδαφικών υλικών. Προκειμένου για υλικά που εμφανίζουν ρωγμές λόγω συρρίκνωσης, ο συντελεστής διαπερατότητας μειώνεται αρχικά μέχρι την εμφάνιση των ρωγμών συρρίκνωσης οπότε εν συνεχεία αυξάνει και μάλιστα κατά τάξεις μεγέθους ως προς τον συντελεστή διαπερατότητας στον πλήρη κορεσμό, αφού η κίνηση του νερού πλέον καθορίζεται από το άνοιγμα, τη συχνότητα και το βάθος των ρωγμών λόγω συρρίκνωσης.

Το βασικό φυσικό μέγεθος μέσω του οποίου μελετάται η μηχανική συμπεριφορά ενός εδαφικού υλικού σε ό,τι αφορά αυτά τα φαινόμενα είναι η πλήρης χαρακτηριστική καμπύλη εδάφους-νερού (full soil-water characteristic curve). Χαρακτηριστική καμπύλη εδάφους-νερού ονομάζεται η καμπύλη που συνδέει τον βαθμό κορεσμού με την αναπτυσσόμενη στους πόρους του εδάφους αρνητική πίεση πόρων αρχικά και μύζηση (suction) στη συνέχεια μετά το σημείο

αποκορεσμού/πίεση διείσδυσης αέρα. Πλήρης χαρακτηριστική καμπύλη εδάφους-νερού ονομάζεται το σύνολο των καμπυλών που συνδέουν τον βαθμό κορεσμού (S_r), το ποσοστό υγρασίας (w), το ογκομετρικό ποσοστό υγρασίας (θ) και τον λόγο κενών (e) με την αναπτυσσόμενη στους πόρους του εδάφους αρνητική πίεση πόρων αρχικά και μύζηση στη συνέχεια, καθώς και εκείνες που συνδέουν αυτά τα μεγέθη μεταξύ τους. Η εργαστηριακή προσπάθεια για τον προσδιορισμό της πλήρους χαρακτηριστικής καμπύλης εδάφους-νερού είναι πολλαπλάσια σε σχέση με εκείνη που απαιτείται αν αναζητείται μόνο η συσχέτιση βαθμού κορεσμού-αρνητικής πίεσης πόρων/μύζησης.

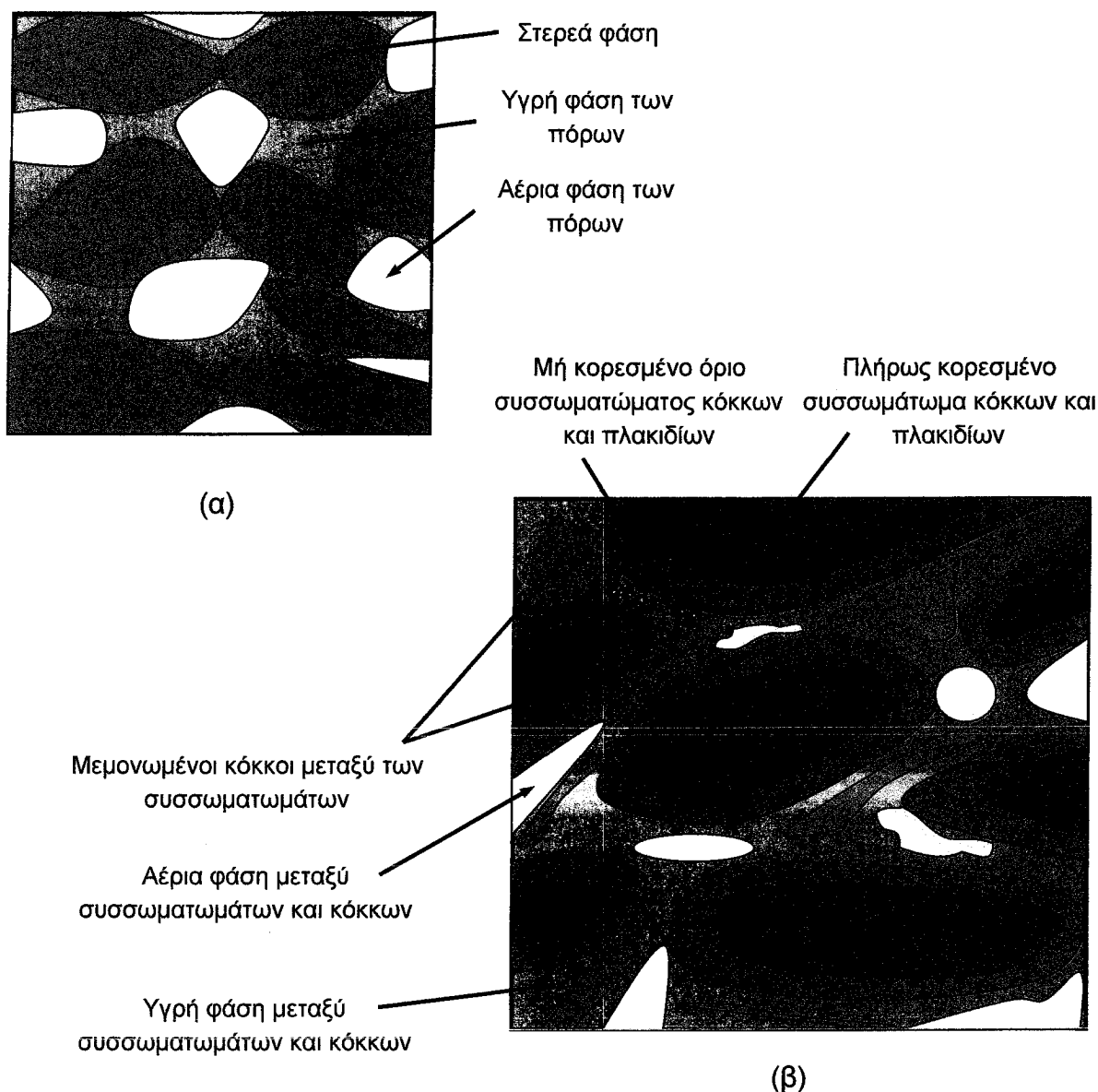
Μή κορεσμένο ή ακόρεστο είναι το έδαφος εκείνο το οποίο έχει βαθμό κορεσμού μικρότερο του 100% και μεγαλύτερο του 0 και είναι ομοιογενές ως προς τον βαθμό κορεσμού. Ακόμη δηλαδή και στο επίπεδο του στοιχειώδους αντιπροσωπευτικού όγκου, στο εδαφικό αυτό υλικό υπάρχει και αέρας και νερό μεταξύ των κόκκων και των πλακιδίων που το αποτελούν (Σχ. 5α) και μάλιστα κατά τρόπο που το εδαφικό υλικό να είναι ομοιογενές ως προς τον βαθμό κορεσμού.

Μερικώς κορεσμένο είναι το έδαφος το οποίο έχει βαθμό κορεσμού μικρότερο του 100% και μεγαλύτερο του 0 αλλά είναι ανομοιογενές ως προς το βαθμό κορεσμού του, δηλαδή μπορεί κατά τόπους να είναι πλήρως κορεσμένο, μή κορεσμένο ή ακόμη και απολύτως ξηρό (Σχ. 5β). Οι ορισμοί της παρούσας παραγράφου και κυρίως αυτοί σχετικά με την χαρακτηριστική καμπύλη εδάφους-νερού αφορούν μη κορεσμένα εδάφη.

Αρνητική πίεση πόρων είναι η πίεση που αναπτύσσεται στο νερό των πόρων του εδάφους, όσο αυτοί είναι πλήρως κορεσμένοι με νερό και είναι μικρότερη της ατμοσφαιρικής. Το μέγεθος αυτό είναι μονόμετρο αφού οι πόροι του εδάφους είναι πλήρεις και η πίεση του νερού των πόρων ασκείται ολόπλευρα. Αποτελεί αμιγώς μηχανικό μέγεθος χωρίς χημικές συνιστώσες.

Πίεση διείσδυσης αέρα (air-entry pressure) ή σημείο αποκορεσμού είναι η τιμή της αρνητικής πίεσης πόρων που αντιστοιχεί σε κάθε εδαφικό υλικό υπό δεδομένες αρχικές συνθήκες (λόγο κενών, ιστορία φόρτισης-αποφόρτισης, εντατική κατάσταση) μέχρι την οποία δεν έχει αρχίσει να εμφανίζεται και η αέρια φάση εντός των πόρων του υλικού.

Μύζηση (suction) είναι η συνισταμένη δύναμη ανά μονάδα επιφανείας που ασκεί το περιορισμένο σε τριχοειδείς σωλήνες νερό των πόρων μεταξύ των κόκκων και των πλακιδίων του εδάφους λόγω της επιφανειακής τάσης της διεπιφάνειας νερού-αέρα των πόρων και της χημικής αντίστασης του νερού στην μεταβολή της συγκέντρωσής του σε ξένες ουσίες και ιόντα αντηλλαγμένα με τα πλακίδια της αργίλου. Το μέγεθος αυτό είναι διανυσματικό αλλά ισότροπο και ανομοιογενές εξαρτώμενο από τον βαθμό κορεσμού. Έχει και μηχανική συνιστώσα καθοριζόμενη αμιγώς από τα τριχοειδή φαινόμενα (μύζηση εδαφικού σκελετού –matric suction) και χημική συνιστώσα καθοριζόμενη από το ωσμωτικό δυναμικό του νερού των πόρων με τις ουσίες και τα αντηλλαγμένα ιόντα των αργιλικών πλακιδίων που περιέχει (ωσμωτική μύζηση – osmotic suction). Το άθροισμα της μύζησης εδαφικού σκελετού και της ωσμωτικής μύζησης ονομάζεται ολική μύζηση (total suction) ή απλώς μύζηση. Συνήθως η μύζηση εδαφικού σκελετού συμβολίζεται με $u_a - u_w$ ή s και η ολική μύζηση με ψ . Η μύζηση αναφέρεται με θετικές



Σχήμα 5. Ιδεατή απεικόνιση α) μή κορεσμένου και β) μερικώς κορεσμένου εδάφους.

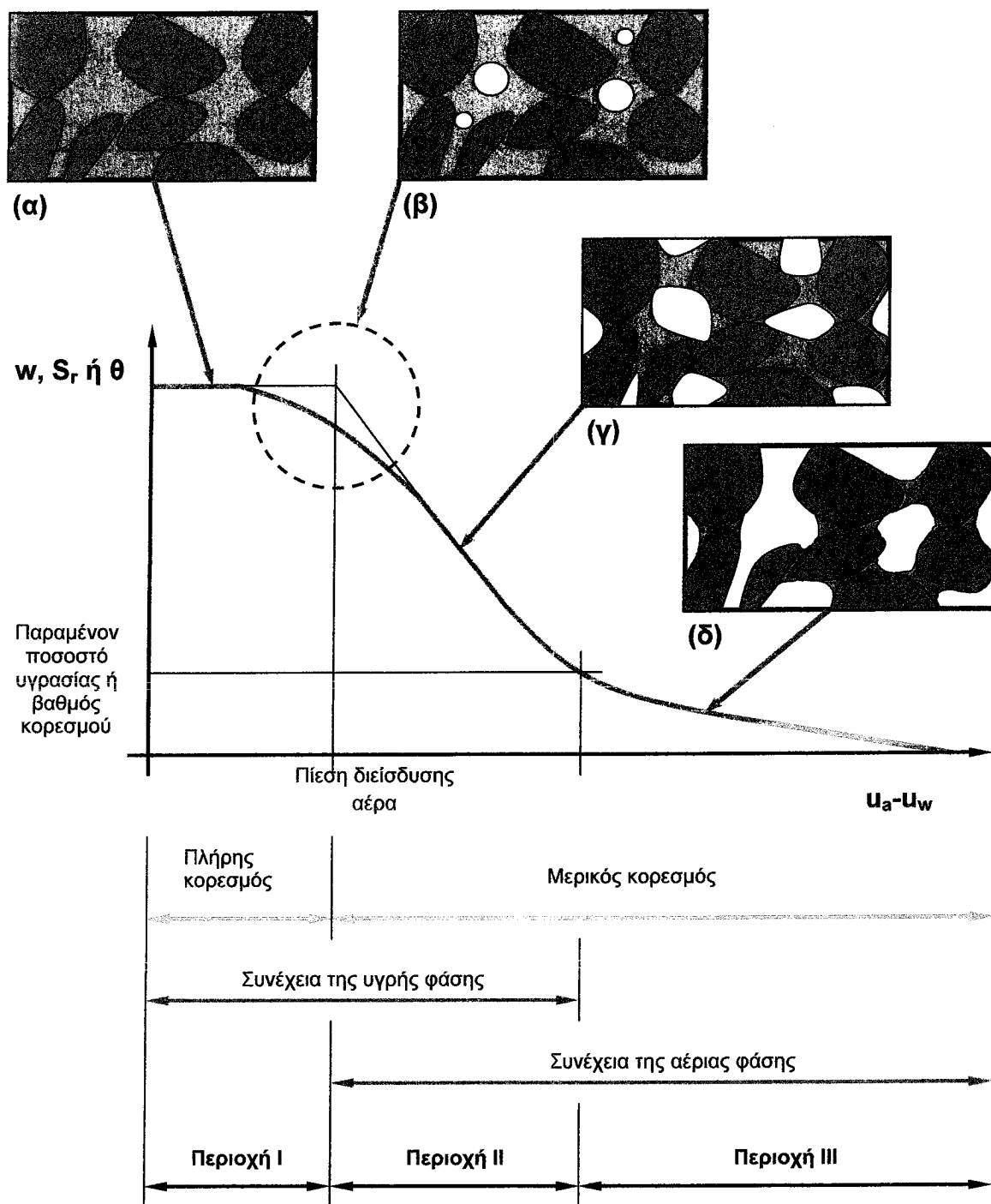
τιμές αφού αποτελεί την διαφορά της πίεσης της αέριας φάσης από την πίεση στην υγρή φάση των πόρων. Η μύζηση είναι εξ ορισμού μικρότερης της ατμοσφαιρικής πίεσης (0) και λαμβάνει τιμές μέχρι 1000000 kPa όπως αποδεικνύεται θεωρητικά από τον Νόμο του Kelvin ότι αντιστοιχεί σε μηδενική σχετική υγρασία. Πριν από την πίεση διείσδυσης αέρα ή μύζηση εκφυλίζεται στην αρνητική πίεση πόρων.

Παραμένον ποσοστό υγρασίας/Παραμένων βαθμός κορεσμού (residual water content/degree of saturation) είναι το μέγεθος εκείνο μέχρι το οποίο θα ξεραθεί ένα δείγμα εδαφικού υλικού εάν αφεθεί να ισορροπήσει με την σχετική υγρασία της ατμόσφαιρας. Αποτελεί συνάρτηση της

σχετικής υγρασίας του ατμοσφαιρικού αέρα στο περιβάλλον που γίνεται η ξήρανση του δοκιμίου. Από την επίτευξή του και μετά λόγω της βραδύτητας επίτευξης των μεταβολών στο ποσοστό υγρασίας και τον βαθμό κορεσμού αλλάζει πολύ λίγο κατά τις καθημερινές μεταβολές της τιμής της σχετικής υγρασίας του ατμοσφαιρικού αέρα.

Τα σημεία καμπής επί της χαρακτηριστικής καμπύλης εδάφους-νερού περιγράφουν τα σημεία κατά τα οποία έχουμε ραγδαίες αλλαγές της συνύπαρξης της υγρής και της αέριας φάσης των πόρων και συνακόλουθα της μηχανικής συμπεριφοράς των εδαφών. Όπως φαίνεται και στο **Σχήμα 6** η χαρακτηριστική καμπύλη εδάφους-νερού έχει σχήμα ανάστροφης «σιγμοειδούς» καμπύλης με τα δύο σημεία καμπής της να αντιστοιχούν σε δύο χαρακτηριστικά φυσικά μεγέθη και να οριοθετούν τρεις περιοχές μεταξύ των ακραίων καταστάσεων που αντιστοιχούν στα πλήρως κορεσμένα και στα απολύτως ξηρά εδάφη. Συνοπτικά, το πρώτο σημείο καμπής αντιστοιχεί στην πίεση διείσδυσης αέρα και το δεύτερο στο παραμένον ποσοστό υγρασίας. Στην περιοχή που ορίζεται μεταξύ πλήρους κορεσμού ($u_a - u_w = 0$) και πίεσης διείσδυσης αέρα (Περιοχή I), το έδαφος είναι πρακτικά πλήρως κορεσμένο, έχουμε αρνητική πίεση πόρων ασκούμενη ολόπλευρα στο στερεό σκελετό και ισχύει η αρχή των ενεργών τάσεων. Στην περιοχή περί την πίεση διείσδυσης αέρα, ο αέρας των πόρων βρίσκεται υπό τη μορφή διακριτών φυσαλίδων, ενώ αμέσως μετά από αυτό το στάδιο η αέρια φάση των πόρων γίνεται συνεχής, συνυπάρχοντας με τη συνεχή υγρή φάση των πόρων ως τη μύζηση που αντιστοιχεί στο παραμένον ποσοστό υγρασίας (Περιοχή II). Από την τιμή αυτή της μύζησης και μετά η υγρή φάση του εδαφικού υλικού χάνει τη συνέχειά της και η κίνηση του νερού εντός των πόρων γίνεται με αυτό σε μορφή υδρατμών (Περιοχή III) καθοριζόμενη από την σχετική υγρασία στην αέρια φάση των πόρων. Μεταξύ Περιοχής I και II υπάρχει μία μεταβατική περιοχή στην οποία η αέρια φάση υπάρχει μεν αλλά είναι μη συνεχής περιοριζόμενη σε διακριτές φυσαλίδες εντός της υγρής φάσης των πόρων. Στις Περιοχές I και II η μύζηση εδαφικού σκελετού αποτελεί την κυρίαρχη συνιστώσα της μύζησης που καθορίζει τις μεταβολές στο ποσοστό υγρασίας και τον βαθμό κορεσμού. Αντίθετα στην Περιοχή III όλα τα φαινόμενα καθορίζονται από την ολική μύζηση.

Χαρακτηριστικές καμπύλες εδάφους νερού με δύο μόνο σημεία καμπής (όπως αυτή στο Σχ. 6) εμφανίζονται για εδαφικά υλικά με κοκκομετρική διαβάθμιση τέτοια που οδηγεί σε ένα κυρίαρχο μέγεθος πόρων. Εφόσον ένα υλικό έχει κοκκομετρική διαβάθμιση ή/και ορυκτολογική σύσταση λεπτοκόκκων τέτοια που να οδηγεί σε δύο ή περισσότερα κυρίαρχα μεγέθη πόρων, τότε και η χαρακτηριστική καμπύλη εδάφους-νερού αντίστοιχα έχει επιπλέον σημεία καμπής.



Σχήμα 6. Χαρακτηριστική καμπύλη εδάφους-νερού με τα ονομαστικά όρια πλήρους και μερικού κορεσμού, τα όρια της συνέχειας της κάθε ρευστής φάσης και την ποιοτική απεικόνιση της συνύπαρξης στερεάς, υγρής και αέριας φάσης: (α) πλήρης κορεσμός (Περιοχή I), (β) μερικός κορεσμός με την αέρια φάση σε μορφή φυσαλίδων (οριακή περιοχή μεταξύ Περιοχής I και II), (γ) μερικός κορεσμός με την υγρή και την αέρια φάση να είναι ταυτόχρονα συνεχείς (Περιοχή II) και (δ) μερικός κορεσμός με την υγρή φάση να μην είναι πια συνεχής (Περιοχή III).

4.5.2 Εργαστηριακός εξοπλισμός και μέθοδοι

Το εργαστήριο της ΕΔΑΦΟΣ Α.Ε. είναι εξοπλισμένο με συσκευές που επιτρέπουν την μέτρηση και τον έλεγχο της μύζησης σε όλο το εύρος των δυνατών τιμών της. Διαθέτει δε τον πιο πλούσιο εξοπλισμό για την μελέτη των μη κορεσμένων εδαφών από οποιοδήποτε εργαστήριο (εμπορικό ή ερευνητικό) στον ελλαδικό χώρο.

Στα πλαίσια του προσδιορισμού της χαρακτηριστικής καμπύλης εδάφους-νερού της αναζυμωμένης αργιλώδους άμμου από την περιοχή της βραχολίσθησης των Τεμπών υιοθετήθηκαν οι ακόλουθες μέθοδοι:

i) Μέθοδος θαλάμου μύζησης τύπου Tempe για μεμονωμένα δοκίμια (δυνατότητα εφαρμογής μύζησης ως 100 kPa). Ελέγχεται η μύζηση εδαφικού σκελετού.

ii) Μέθοδος θαλάμου μύζησης πολλαπλών κεραμικών πορολίθων πίεσης διείσδυσης αέρα 1500 kPa (δυνατότητα εφαρμογής μύζησης έως 1500 kPa μέχρι και σε 40 δοκίμια διαμέτρου 63.5mm ταυτόχρονα). Ελέγχεται η μύζηση εδαφικού σκελετού.

iii) Μέθοδος ελέγχου της ολικής μύζησης με κορεσμένα υδατικά διαλύματα αλάτων. Χρησιμοποιούνται διαλύματα ένυδρου χλωριούχου βαρίου, χλωριούχου καλίου, χλωριούχου νατρίου, ένυδρου νιτρικού μαγνησίου και ένυδρου χλωριούχου μαγνησίου που εξασφαλίζουν αντίστοιχα ονομαστικές τιμές μύζησης 14.0 MPa, 23.6 MPa, 39.3 MPa, 87.7 MPa και 153.5 MPa¹. Τα συγκεκριμένα υδατικά διαλύματα έχουν επιλεγεί επειδή δίνουν μια ομαλή αλληλουχία τιμών μύζησης στην λογαριθμική κλίμακα (λαμβάνομένης υπόψη της ευκολίας ανεύρεσης των ουσιών αυτών στο εμπόριο και της πολύ χαμηλής επικινδυνότητάς τους κατά την αποθήκευση, διαχείριση και απόρριψη).

iv) Επειδή η μέθοδος υδατικών διαλυμάτων ενδέχεται να μην επιτύχει την ονομαστική τιμή της μύζησης που επιτυγχάνει κάθε διάλυμα λόγω μικρομεταβολών στις ατμοσφαιρικές συνθήκες του εργαστηρίου ή την παραμικρή αστοχία στην στεγάνωση των δοχείων που φιλοξενούν τα εδαφικά δείγματα και τα υδατικά διαλύματα, η μέθοδος αυτή πρέπει πάντοτε να συνδυάζεται με μία μέθοδο μέτρησης της ολικής μύζησης. Στο εργαστήριο της ΕΔΑΦΟΣ Α.Ε. χρησιμοποιείται υγρόμετρο ψυχρού κατόπτρου (chilled mirror hygrometer) με ικανότητα μέτρησης 0-300 MPa και χαρτιά φίλτρου Whatman No 42 με πλέγμα σε απόσταση από τα εδαφικά δοκίμια που επιτρέπει την μέτρηση της ολικής μύζησης στο πλήρες εύρος των δυνατών τιμών της (0-1000 MPa).

4.5.3 Διαδικασία

¹ Προς το παρόν αποφεύγονται υδατικά διαλύματα ουσιών που θα οδηγούσαν σε μεγαλύτερες τιμές ολικής μύζησης γιατί οι περισσότερες διαθέσιμες εμπορικά ουσίες είναι τοξικές εισάγοντας σημαντικά προβλήματα ασφαλείας.

4.5.3 Διαδικασία

Για τον προσδιορισμό της χαρακτηριστικής καμπύλης εδάφους-νερού παρασκευάστηκαν δοκίμια αναζυμωμένης και συμπιεσμένης αργιλώδους άμμου Τεμπών με παρασκευή πολτών σε ποσοστό υγρασίας περίπου 1.5 φορές το όριο υδαρότητας και συμπίεστηκαν μέχρι κατακόρυφη τάση 120 kPa και στη συνέχεια αποφορτίστηκαν.

Τα δοκίμια που εξάγονταν από τις κυψέλες τοποθετούντο είτε στους θαλάμους μύζησης, είτε (μετά από τεμαχισμό²) στους θαλάμους διατήρησης των υδατικών διαλυμάτων.

Προκειμένου για τα δοκίμια στους θαλάμους μύζησης η μύζηση διατηρείτο για τουλάχιστον 3 ημέρες και στη συνέχεια οι θάλαμοι ανοίγονταν τα δοκίμια εξάγονταν και τεμαχίζονταν ώστε ένα μέρος τους να χρησιμοποιηθεί για μέτρηση του ποσοστού υγρασίας και ένα μέρος τους για υπολογισμό του φαινόμενου βάρους με παραφίνωση (η μέθοδος περιγράφεται αναλυτικά από τους Μπαρδάνη & Καββαδά, 2005, και Μπαρδάνη & Καββαδά, 2006β).

Προκειμένου για τα δοκίμια από τους θαλάμους διατήρησης των υδατικών διαλυμάτων, το ολικό τους βάρος παρακολουθείτο μέχρι σταθεροποίησης με άνοιγμα των θαλάμων κάθε περίπου 2 ημέρες για ζύγιση. Μετά την σταθεροποίηση του ολικού βάρους κάθε δοκιμίου, αυτά εξάγονταν από τους θαλάμους και τεμαχίζονταν ώστε ένα μέρος να χρησιμοποιηθεί για μέτρηση ποσοστού υγρασίας, ένα για μέτρηση της πραγματικής ολικής μύζησης στο υγρόμετρο ψυχρού κατόπτρου και σε ορισμένα δοκίμια και ένα για μέτρηση του φαινόμενου βάρους με παραφίνωση.

4.5.4 Αποτελέσματα

Στο **Σχ. 7** παρουσιάζονται τα αποτελέσματα μέτρησης της χαρακτηριστικής καμπύλης εδάφους νερού. Στον **Πιν. 2** παρουσιάζονται και αριθμητικά τα αποτελέσματα για το στάδιο της ξήρανσης με όλες τις υιοθετηθείσες μεθόδους και στον **Πιν. 3** για το στάδιο της επανύγρυνσης μετά από ξήρανση σε θάλαμο με διάλυμα χλωριούχου μαγνησίου.

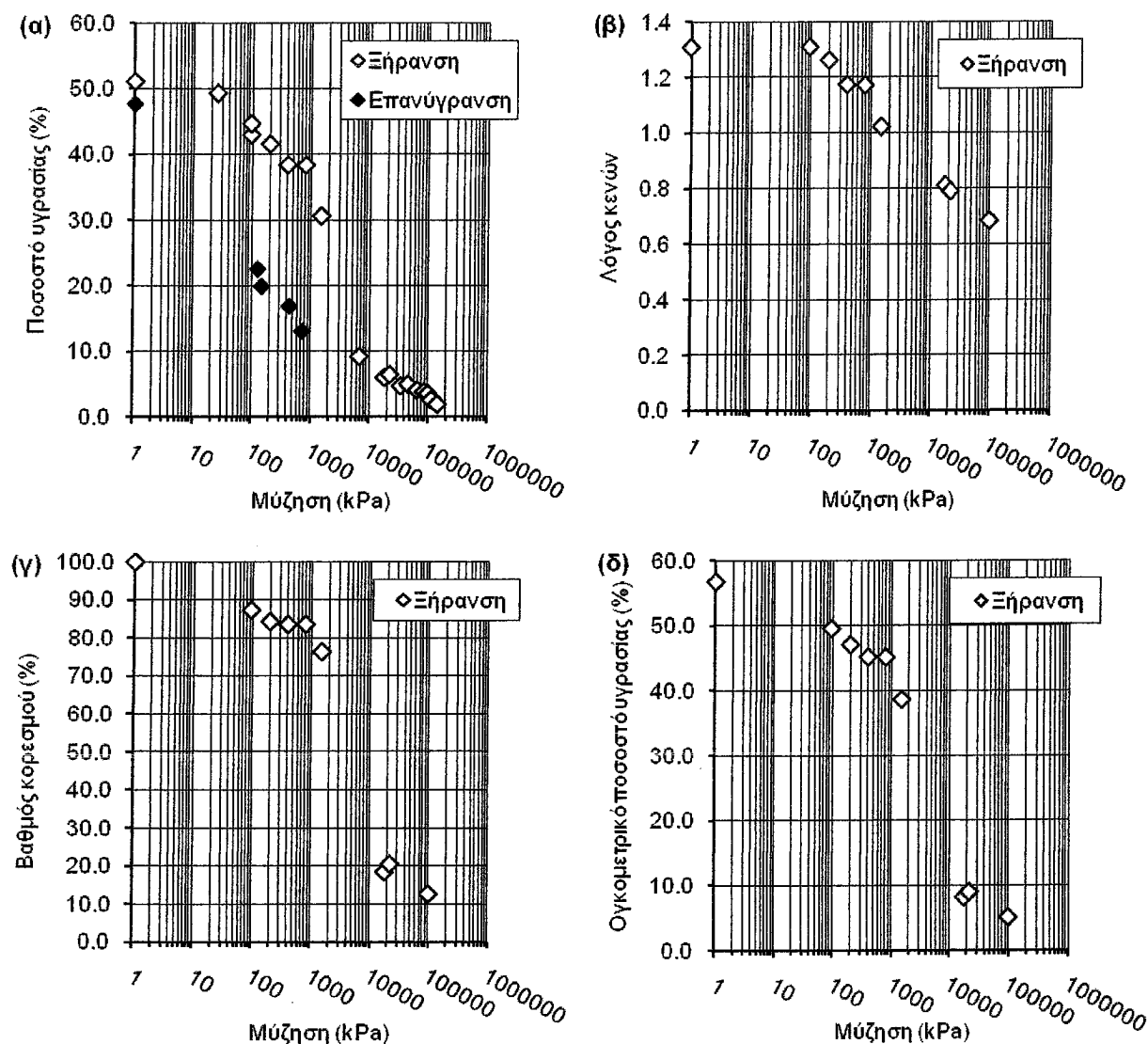
² Στην μέθοδο υδατικών διαλυμάτων διαρκεί πάρα πολύ χρόνο η επίτευξη υδραυλικής ισορροπίας. Γι' αυτόν τον λόγο τα δοκίμια που εισάγονται είναι αρκετά μικρά (περίπου 10ml) για να ολοκληρώνεται η δοκιμή σε λογικά χρονικά πλαίσια (περίπου 2 εβδομάδες για κάθε δοκίμιο).

Πίνακας 2. Αποτελέσματα ξήρανσης με διάφορες μεθόδους.

	s (kPa)	w (%)	e	S _r (%)	Θ (%)
Υπόθεση	1	51.19	1.31	100	56.7
Tempe	25	49.40			
	95	43.05			
	95	44.75	1.31	87.4	49.7
Θάλαμος μύζησης πολλαπλών πορολίθων	200	41.63	1.26	84.4	47.1
	400	38.41	1.18	83.6	45.2
	800	38.36	1.17	83.6	45.2
	1500	30.61	1.03	76.4	38.7
Μερική ξήρανση στην ατμόσφαιρα	6771	9.13			
KCl	18250	5.86	0.81	18.5	8.3
BaCl ₂	22418	6.34	0.79	20.5	9.1
Μερική ξήρανση στην ατμόσφαιρα	34844	4.59			
NaCl	46942	4.88			
MgCl ₂ (μερική ξήρανση)	67072	3.94			
Mg(NO ₃) ₂	87703	3.65			
Πλήρης ξήρανση στην ατμόσφαιρα	101368	3.39	0.69	12.7	5.2
MgCl ₂ (πλήρης ξήρανση)	116510	2.42			
Πλήρης ξήρανση στην ατμόσφαιρα (κάτω από λάμπες)	145630	1.77			

Πίνακας 3. Αποτελέσματα επανύγνωσης μετά από ξήρανση σε θάλαμο με υδατικό διάλυμα χλωριούχου μαγνησίου και προσθήκη διαφόρων ποσοτήτων ύδατος.

s (kPa)	w (%)
736	13.10
445	16.89
150	19.94
129	22.56
1	47.63



Σχήμα 7. Χαρακτηριστική καμπύλη εδάφους-νερού: α) Ποσοστό υγρασίας ως προς την μύζηση, β) λόγος κενών ως προς την μύζηση, γ) βαθμός κορεσμού ως προς την μύζηση, και δ) ογκομετρικό ποσοστό υγρασίας ως προς την μύζηση.

Από το **Σχ. 7α** προκύπτει ότι το υλικό έχει σημαντική υστέρηση μεταξύ ξήρανσης από πλήρη κορεσμό και επανύγρυνσης από συνθήκες παραμένου ποσοστού υγρασίας. Η μύζηση εισόδου στην Περιοχή III είναι περί τα 5 MPa και το ονομαστικό παραμένον ποσοστό υγρασίας περί το 10% που αντιστοιχεί σε βαθμό κορεσμού περί το 25%. Από το **Σχ. 7β** προκύπτει ότι κατά την ξήρανση υπάρχουν σημαντικότερες μεταβολές όγκου (περίπου 50% μέχρι το παραμένον ποσοστό υγρασίας). Από το **Σχ. 7γ** προκύπτει ότι η πίεση διεύδυσης αέρα είναι σαφώς μικρότερη των 100 kPa αλλά στην καμπύλη εμφανίζεται και δεύτερο σημείο καμπής πριν το παραμένον ποσοστό υγρασίας που αντιστοιχεί περί τα 1000 kPa και σε βαθμό κορεσμού περί το 80%. Αυτό είναι χαρακτηριστικό εδαφικών υλικών με δύο κύρια μεγέθη

κόκκων (τυπικά εμφανίζεται σε υλικά με μεγάλη ποσότητα κοκκώδους υλικού μεν αλλά και σημαντική περιεκτικότητα σε αργιλοϊλύ). Τέλος στο **Σχ. 7δ** δίνεται και η καμπύλη ξήρανσης σε όρους ογκομετρικού ποσοστού υγρασίας-μύζησης, ώστε μετά από προσομοίωσή της να είναι δυνατή η εκτίμηση της εξέλιξης του συντελεστή διαπερατότητας με την μύζηση κατά την ξήρανση για χρήση σε κώδικες πεπερασμένων στοιχείων που προσομοιώνουν την υπόγεια ροή σε πλήρως και μη κορεσμένα εδάφη λαμβάνοντας υπόψη την Εξίσωση Richards. Τονίζεται ότι κατά την ξήρανση δεν εμφανίστηκαν ρωγμές συρρίκνωσης ακόμα και στα μεγαλύτερης διαμέτρου δοκίμια (63.5mm).

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στο εργαστήριο της ΕΔΑΦΟΣ Α.Ε. μεταφέρθηκε δείγμα αργιλώδους άμμου από την περιοχή της Βραχολίσθησης των Τεμπών της 17/12/2009. Στο δείγμα αυτό πραγματοποιήθηκαν δοκιμές κατάταξης και μηχανικών χαρακτηριστικών σε αυτό μετά από αναζύμωση και δημιουργία πολτών αρχικής υγρασίας 1.5 φορές το όριο υδαρότητας του υλικού.

Από τις δοκιμές αυτές προέκυψαν τα εξής:

- Το υλικό είναι αργιλώδης άμμος με χάλικες. Τα όρια Atterberg του το κατατάσσουν ως οριακά μέσης (προς υψηλής) πλαστικότητας με σημαντικό ποσοστό οργανικών λόγω φρέσκων φύλλων και ριζιδίων που το τοποθετούν στο διάγραμμα πλαστικότητας του Casagrande σημαντικά κάτω από την Γραμμή «Α».
- Η περιβάλλουσα διατμητικής αντοχής του αναζυμωμένου υλικού προέκυψε έντονα μη γραμμική διερχόμενη από το 0 (αυταπώδεικτο για πολλούς αναζυμωμένων εδαφικών υλικών) και γωνία διατμητικής αντοχής που αντιστοιχεί σε 37° για την εφαπτομένη στην αρχή (μηδενικές ως μικρές τάσεις) και στις 30° για την τέμνουσα στα 300 kPa. Εφόσον απαιτηθεί πάντως ένα μοναδικό ζεύγος τιμών παραμέτρων διατμητικής αντοχής για μια μέση τάση αυτό αντιστοιχεί σε συνοχή 7 kPa και γωνία διατμητικής αντοχής 31° . Σε κάθε περίπτωση, προκειμένου για αναλύσεις ευσταθείας με κάποιο από τα διαδεδομένα προγράμματα υπολογισμού προτείνεται η χρήση της δυνατότητας εισαγωγής μη γραμμικής περιβάλλουσας διατμητικής αντοχής.
- Προέκυψε καμπύλη μονοδιάστατης συμπίεσης με τα κοίλα έντονα στραμμένα προς τα κάτω, προφανώς λόγω της μεγάλης περιεκτικότητας του υλικού σε άμμο. Αν πρέπει να προσδιοριστεί μία τιμή του δείκτη συμπίεσης αυτή είναι 0.19 για την εφαπτομένη στην μέγιστη τάση των 7600 kPa. Ο δείκτης αποφόρτισης προέκυψε 0.02.
- Η τιμή του συντελεστή διαπερατότητας για κατακόρυφη τάση 120 kPa υπό συνθήκες μονοδιάστατης συμπίεσης προέκυψε 7×10^{-8} cm/s.
- Προσδιορίστηκε η πλήρης χαρακτηριστική καμπύλη εδάφους-νερού κατά την ξήρανση από πλήρη κορεσμό σε δοκίμια που είχαν πρώτα συμπιεστεί μέχρι κατακόρυφη τάση 120 kPa υπό συνθήκες μονοδιάστατης συμπίεσης και η ίδια καμπύλη σε όρους ποσοστού υγρασίας-μύζησης κατά την επανύγρανση από συνθήκες παραμένοντος ποσοστού υγρασίας. Το υλικό έχει σημαντική υστέρηση μεταξύ ξήρανσης από πλήρη κορεσμό και επανύγρανσης από συνθήκες παραμένοντος ποσοστού υγρασίας. Η μύζηση εισόδου στην Περιοχή III είναι περί τα 5 MPa και το ονομαστικό παραμένον ποσοστό υγρασίας περί το 10% που αντιστοιχεί σε βαθμό κορεσμού περί το 25%. Κατά την ξήρανση υπάρχουν σημαντικότερες μεταβολές όγκου (περίπου 50% μέχρι το παραμένον ποσοστό υγρασίας). Η πίεση διείσδυσης αέρα είναι σαφώς μικρότερη των 100 kPa αλλά εμφανίζεται και δεύτερο σημείο καμπής πριν το παραμένον ποσοστό υγρασίας που αντιστοιχεί περί τα 1000 kPa και σε βαθμό κορεσμού περί το 80%. Προσδιορίστηκε και η καμπύλη ξήρανσης σε όρους ογκομετρικού ποσοστού υγρασίας-μύζησης, ώστε μετά από προσομοίωσή της να είναι δυνατή η εκτίμηση της εξέλιξης

του συντελεστή διαπερατότητας με την μύζηση κατά την ξήρανση για χρήση σε κώδικες πεπερασμένων στοιχείων που προσομοιώνουν την υπόγεια ροή σε πλήρως και μη κορεσμένα εδάφη λαμβάνοντας υπόψη την Εξίσωση Richards. Τονίζεται ότι κατά την ξήρανση δεν εμφανίστηκαν ρωγμές συρρίκνωσης ακόμα και στα μεγαλύτερης διαμέτρου δοκίμια (63.5mm).

Για την ΕΔΑΦΟΣ Α.Ε.

Μιχάλης Μπαρδάνης
Πολιτικός Μηχανικός, MSc

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Bardanis, M. E., 1999, An experimental study of the properties of intrinsic compressibility of one clay and one marl, Proc. 13th Young Geotechnical Engineers Conference, Santorini, Greece, 23-25 September 1999, pp. 88-97.
- Burland, J. B., 1990, On the compressibility and shear strength of natural clays, Géotechnique, 40, No. 3, pp. 327-378.
- Chandler, R. J., 2000, Clay Sediments in Depositional Basins: the Geotechnical Cycle, Q. J. of Eng. Geol. and Hydrogeology, 33, pp. 5-39.
- Μπαρδάνης, Μ., Καββαδάς, Μ., 2005, Εργαστηριακή διάταξη προσδιορισμού χαρακτηριστικών καμπυλών εδάφους-νερού. Χρήση ξεχωριστών δοκιμών χωρίς υπόθεση σταθερού όγκου, Πρακτικά 1^{ου} Τακτικού Εθνικού Συνεδρίου Μετρολογίας, Αθήνα, 11-12 Νοεμβρίου 2005, σελ. 405-414.
- Μπαρδάνης, Μ., Καββαδάς, Μ., 2006α, Ελαστοπλαστική καταστατική προσομοίωση της μηχανικής συμπεριφοράς των μη κορεσμένων εδαφών, 5ο Παν. Συν. Γεωτεχνικής & Γεωπεριβαλλοντικής Μηχανικής, Ξάνθη, 31 Μαΐου-2 Ιουνίου 2006, Τόμος 1, σελ. 127-134.
- Μπαρδάνης, Μ., Καββαδάς, Μ., 2006β, Χαρακτηριστικές καμπύλες εδάφους-νερού εδαφικών υλικών από τον ελλαδικό χώρο, 5^ο Παν. Συν. Γεωτεχνικής & Γεωπεριβαλλοντικής Μηχανικής, Ξάνθη, 31 Μαΐου-2 Ιουνίου 2006, Τόμος 1, σελ. 135-142.

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ: Ορυκτολογική Εξέταση
Αντιπροσωπευτικού Δείγματος**

A.Ορυκτολογική εξέταση αντιπροσωπευτικού δείγματος

Η ορυκτολογική σύσταση του συγκεκριμένου δείγματος προσδιορίστηκε με περιθλασιμετρία ακτίνων-Χ (XRD), σε συνδυασμό με διαφορική θερμική (DTA) και θερμοβαρυτομετρική (TG/DTG) ανάλυση.

Γενικά:

Από τη μελέτη του υλικού με συνδυασμό των παραπάνω μεθόδων, προέκυψε ότι:

- Το δείγμα περιέχει, κύρια, ασβεστίτη (calcite CaCO_3) σε ποσοστό 80%, περίπου.
- Περιέχει, επίσης, μικρό ποσοστό αστρίων, πολύ λίγο χαλαζία και μικρή περιεκτικότητα φυλλοπυριτικών ορυκτών (ιλλίτης – μοσχοβίτης, χλωρίτης).

Συγκεκριμένα:

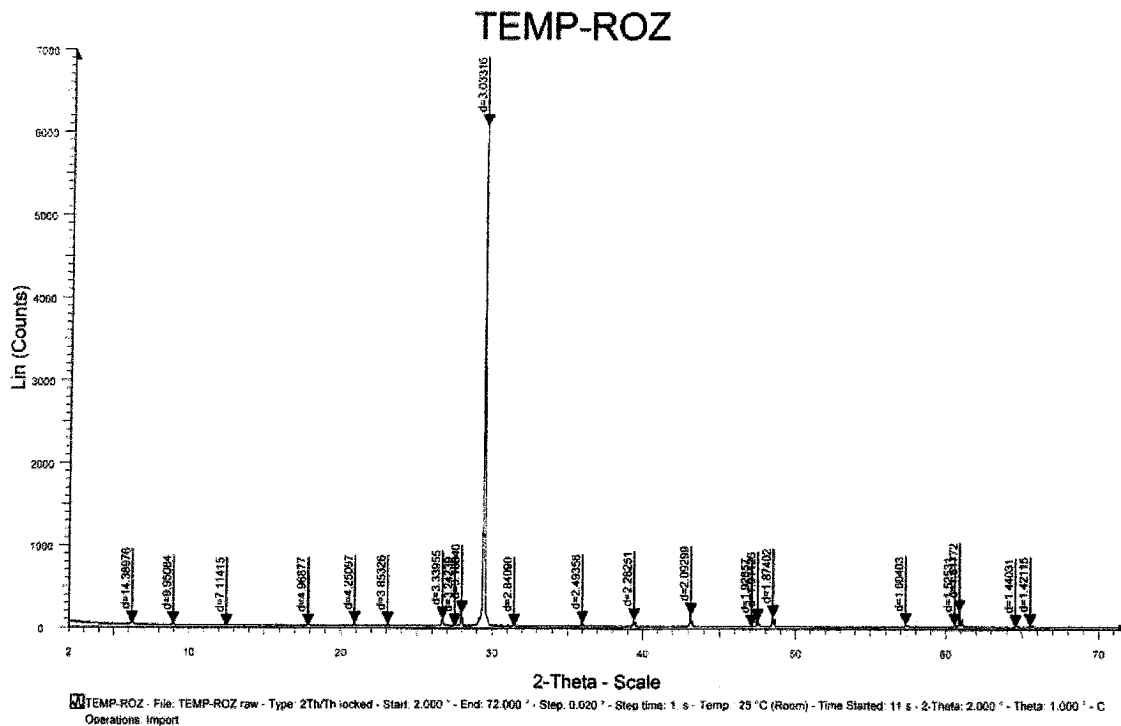
Για την εξέταση με περιθλασιμετρία ακτίνων – Χ (X-rays diffraction) χρησιμοποιήθηκε περιθλασίμετρο τύπου Siemens D-5000, με τις ακόλουθες συνθήκες λειτουργίας: Ακτινοβολία $\text{CuK}\alpha$ ($\lambda = 1.5405 \text{ \AA}$), με φίλτρο Ni, ένταση 30mA, τάση 40kV και ταχύτητα γωνιομέτρου $1^\circ 2\theta/\text{min}$.

Η διαφορική θερμική (DTA) και θερμοβαρυτομετρική (TG/DTG) ανάλυση έγινε με όργανο Mettler Toledo 851. Τα δείγματα πυρώθηκαν έως τους 1200°C , με ταχύτητα αύξησης της θερμοκρασίας $10^\circ \text{C}/\text{min}$.

Εξέταση με περιθλασιμετρία ακτίνων -Χ.

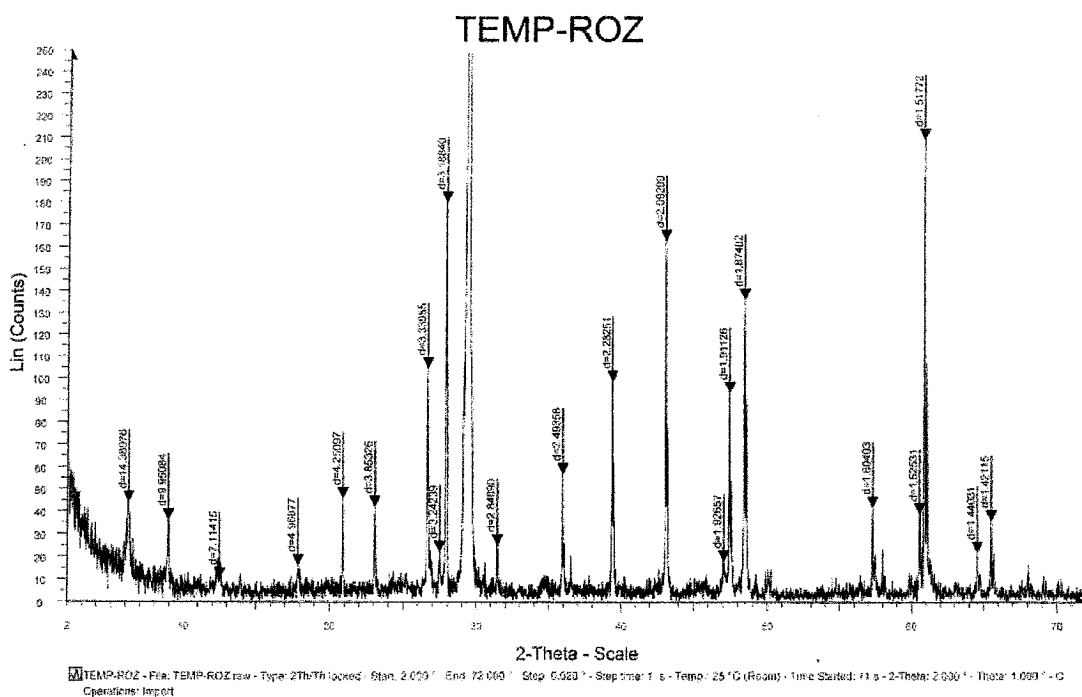
Η ταυτοποίηση των διαφόρων ορυκτών έγινε με βάση τις χαρακτηριστικές τους ανακλάσεις.

Για τον προσδιορισμό του ασβεστίτη, ο οποίος απαντά σε ποσοστό 80%, περίπου, χρησιμοποιήθηκαν οι ανακλάσεις $\text{hkl}:(104)$ στα $d=3.03 \text{ \AA}$, (113) στα $d=2.28 \text{ \AA}$, (202) στα $d=2.09 \text{ \AA}$, (102) στα $d=3.84 \text{ \AA}$ κ.λ.π. (Σχ.1).



Σχ.1. Διάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων – Χ του υλικού «ως έχει».

Δεδομένου ότι στο υλικό επικρατεί ο ασβεστίτης και επομένως οι εντάσεις των ανακλάσεων είναι πολύ μικρές έγινε μεγέθυνση του ακτινοδιαγράμματος, με σκοπό να ταυτοποιηθούν και τα συνυπάρχοντα ορυκτά (Σχ.2).



Σχ.2. Μεγέθυνση διαγράμματος περιθλασιμετρίας ακτίνων - Χ

Έτσι:

Οι άστριοι προσδιορίστηκαν από τις κύριες ανακλάσεις (002) στα $d=3.19 \text{ \AA}$ και (040) στα $d=4.24 \text{ \AA}$.

Για την ταυτοποίηση του χαλαζία, ο οποίος απαντά και σε πολύ μικρό ποσοστό, χρησιμοποιήθηκαν οι ανακλάσεις (1011) στα $d=3.34 \text{ \AA}$, και (1010) στα $d=4.26 \text{ \AA}$.

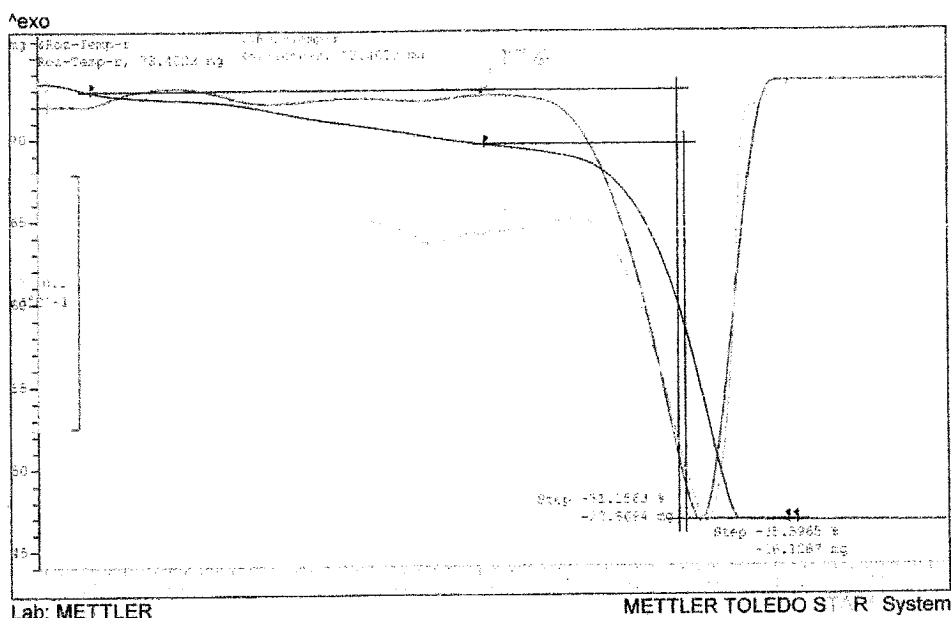
Τέλος, ο ιλλίτης-μοσχοβίτης και ο χλωρίτης προσδιορίστηκαν από τις ανακλάσεις (100) στα $d\sim 9.95 \text{ \AA}$ και $d\sim 14.45 \text{ \AA}$, αντίστοιχα.

Εξέταση με θερμική ανάλυση (TG/DTG/DTA)

Οι καμπύλες TG/DTG/DTA μας δίνουν πληροφορίες για τις ακριβείς μεταβολές του βάρους που συμβαίνουν κατά την έψηση του υλικού, στις διάφορες θερμοκρασιακές περιοχές.

Από τη μεταβολή του βάρους που προέρχεται από την έκλυση του CO_2 του ασβεστίτη, είναι δυνατό να υπολογίσουμε την περιεκτικότητα του υλικού σε ασβεστίτη, σύμφωνα με την αντίδραση:

Έτσι, από το ενδόθερμο peak στους $\sim 900^\circ \text{C}$ στην καμπύλη DTA (Σχ.3), με απώλεια βάρους $\sim 31.2\%$, επιβεβαιώνεται η παρουσία του ασβεστίτη σε ποσοστό 80% περίπου.



Σχ.3. Διάγραμμα Θερμικής Ανάλυσης (TG/TGA/DTA) του δείγματος «ως έχει».

1. ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΡΕΥΝΑΣ

Προκειμένου να προσδιοριστεί η ορυκτολογική σύσταση των δειγμάτων, εφαρμόστηκαν οι ακόλουθες μέθοδοι έρευνας:

1. 1 Περιθλασιμετρία ακτίνων – Χ (XRD)

Τα δείγματα εξετάστηκαν με περιθλασιμετρία ακτίνων – Χ (X- rays diffraction). Για τη μέθοδο χρησιμοποιήθηκε περιθλασίμετρο τύπου Siemens D-5000, με τις ακόλουθες συνθήκες λειτουργίας: Ακτινοβολία CuK α ($\lambda = 1.5405 \text{ \AA}$), με φίλτρο Ni, ένταση 30mA, τάση 40kV και ταχύτητα γωνιομέτρου $1^\circ 2\theta/\text{min}$. Η ταυτοποίηση των διαφόρων ορυκτών έγινε με βάση τις χαρακτηριστικές τους ανακλάσεις.

1.2 θερμική ανάλυση (TG/DTG/DTA)

Για την εφαρμογή της μεθόδου TG/DTG χρησιμοποιήθηκε όργανο της Mettler Toledo 851. Τα δείγματα πυρώθηκαν έως τους 800°C , με ταχύτητα αύξησης της θερμοκρασίας $10^\circ \text{C}/\text{min}$. Η αξιολόγηση των καμπυλών έγινε με βάση τα δεδομένα της βιβλιογραφίας (Mackenzie, R. 1957, Smykatz-Kloss W., 1974).

Η μέθοδος της διαφορικής θερμικής ανάλυσης (Differential Thermal Analysis ή DTA), βασίζεται στο γεγονός ότι, όταν μια ουσία θερμαίνεται, υφίσταται διάφορες μετατροπές. Οι μετατροπές αυτές συνοδεύονται από πρόσληψη ή απώλεια θερμότητας, με αποτέλεσμα την εμφάνιση χαρακτηριστικών peaks (κορυφών) στο διάγραμμα DTA.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Mackenzie R. 1957. The Differential Thermal Investigation of Clays. Mineralogical Society (clay mineral group), London.

Smykatz-Kloss W., 1974. Differential Thermal Analysis. Application and results in Mineralogy. Springer-Verlang Berlin Heidelberg, New York.

B. Ορυκτολογική εξέταση αργιλοϊλυώδους κλάσματος του δείγματος

Η ορυκτολογική σύσταση του αργιλοϊλυώδους κλάσματος του δείγματος προσδιορίστηκε με τις ίδιες μεθόδους, δηλαδή με περιθλασιμετρία ακτίνων-Χ (XRD), και με διαφορική θερμική ανάλυση (TG/DTG/DTA).

Γενικά:

Από τη μελέτη του κλάσματος αυτού με συνδυασμό των παραπάνω μεθόδων, προέκυψε ότι:

- Το δείγμα περιέχει, κύρια, χαλαζία (Qz) αστρίους (Fd), ενώ ο ασβεστίτης περιορίζεται πάρα πολύ (μόλις γύρω στα 10%) και Γκετίτη (Goe).
- Όσον αφορά στα αργιλικά ορυκτά αυτά εκπροσωπούνται από τα φυλλοπυριτικά χλωρίτη και μοσχοβίτη.

Συγκεκριμένα:

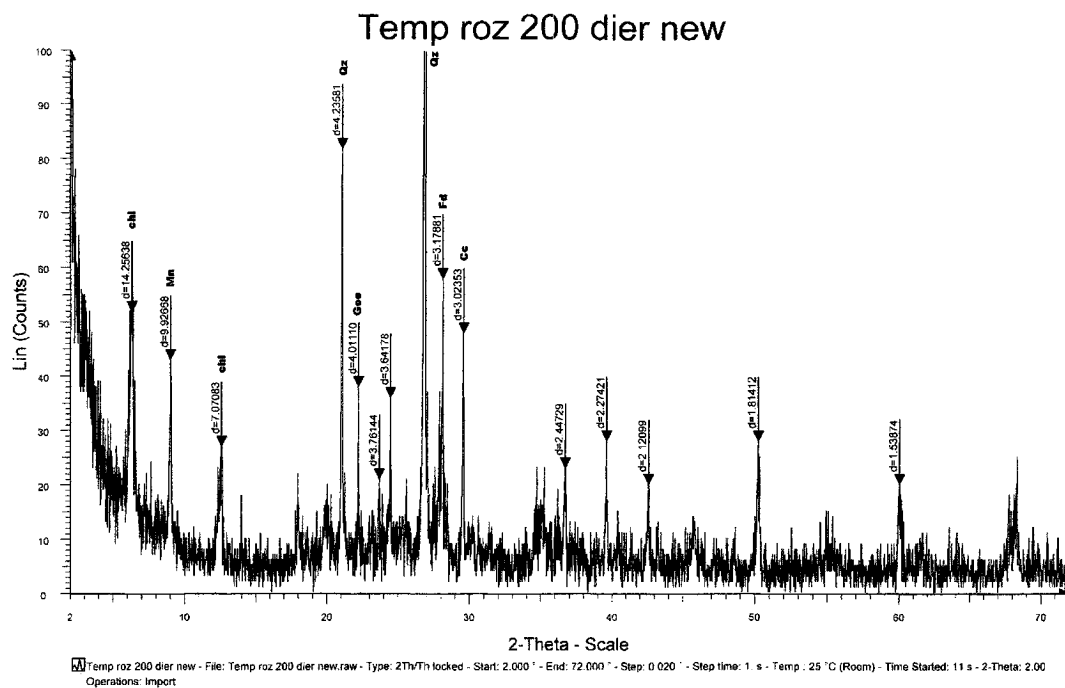
Για την εξέταση με περιθλασιμετρία ακτίνων – Χ (X-rays diffraction) χρησιμοποιήθηκε περιθλασίμετρο τύπου Siemens D-5000, με τις ακόλουθες συνθήκες λειτουργίας: Ακτινοβολία CuK α ($\lambda = 1.5405 \text{ \AA}$), με φίλτρο Ni, ένταση 30mA, τάση 40kV και ταχύτητα γωνιομέτρου $1^\circ 2\theta/\text{min}$.

Η διαφορική θερμική (DTA) και θερμοβαρυτομετρική (TG/DTG) ανάλυση έγινε με όργανο Mettler Toledo 851. Τα δείγματα πυρώθηκαν έως τους 1200°C , με ταχύτητα αύξησης της θερμοκρασίας $10^\circ \text{C}/\text{min}$.

Εξέταση με περιθλασιμετρία ακτίνων -Χ.

Η ταυτοποίηση των διαφόρων ορυκτών έγινε με βάση τις χαρακτηριστικές τους ανακλάσεις.

Για τον προσδιορισμό του ασβεστίτη, ο οποίος απαντά σε ποσοστό 10%, περίπου, χρησιμοποιήθηκαν κυρίως οι ανακλάσεις hkl:(104) στα $d=3.03 \text{ \AA}$, (113) στα $d=2.28$ κ.λ.π.. Για καλύτερη παρατήρηση καθώς οι εντάσεις των ανακλάσεων είναι πολύ μικρές έγινε μεγέθυνση του ακτινοδιαγράμματος, με σκοπό να ταυτοποιηθούν και τα συνυπάρχοντα ορυκτά (Σχ.1).



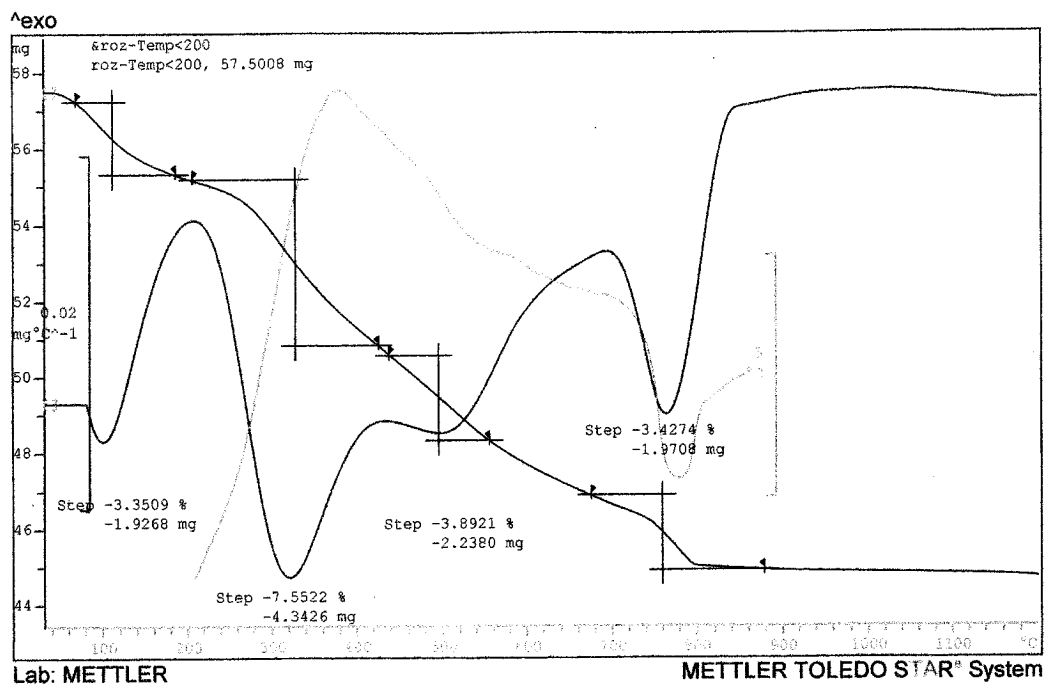
Σχήμα 1. Διάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων – Χ του του αργιλοϊλυώδους κλάσματος του δείγματος.

Οι άστριοι προσδιορίστηκαν από την κύρια ανάκλαση (002) στα $d=3.18 \text{ \AA}$. Για την ταυτοποίηση του χαλαζία, ο οποίος απαντά σε αυξημένο ποσοστό, χρησιμοποιήθηκαν οι ανακλάσεις (1011) στα $d=3.33 \text{ \AA}$, και (1010) στα $d=4.24 \text{ \AA}$.

Τέλος, ο μοσχοβίτης προσδιορίστηκε από την ανάκλαση $d\sim 9.93 \text{ \AA}$, ενώ ο χλωρίτης, από τις ανακλάσεις $d\sim 7.10 \text{ \AA}$ και $d\sim 14.30 \text{ \AA}$.

Εξέταση με θερμική ανάλυση (TG/DTG/DTA)

Από την καμπύλη TG/DTG/DTA προκύπτει ότι από το ενδόθερμο peak στους $\sim 800^\circ\text{C}$ στην καμπύλη DTA (Σχ.2), με απώλεια βάρους $\sim 3.4\%$, επιβεβαιώνεται η παρουσία του ασβεστίτη σε ποσοστό 10% περίπου.



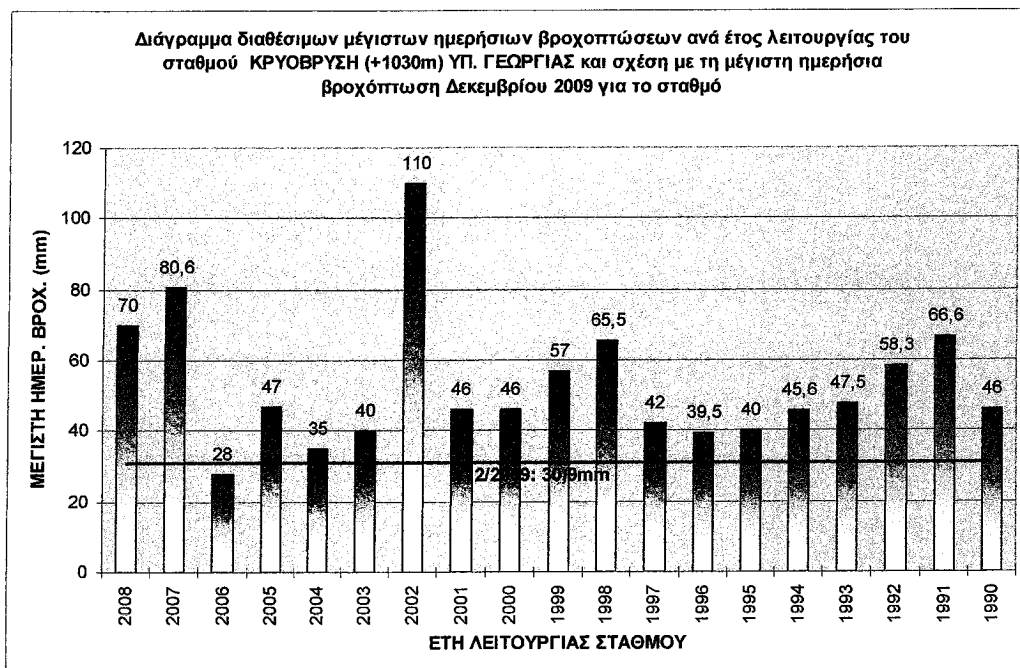
Σχήμα 2. Διάγραμμα Θερμικής Ανάλυσης (TG/TGA/DTA) του αργιλοϊλυώδους κλάσματος του δείγματος.

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ε: Διαγράμματα Σύγκρισης Βροχομετρικών
Δεδομένων**

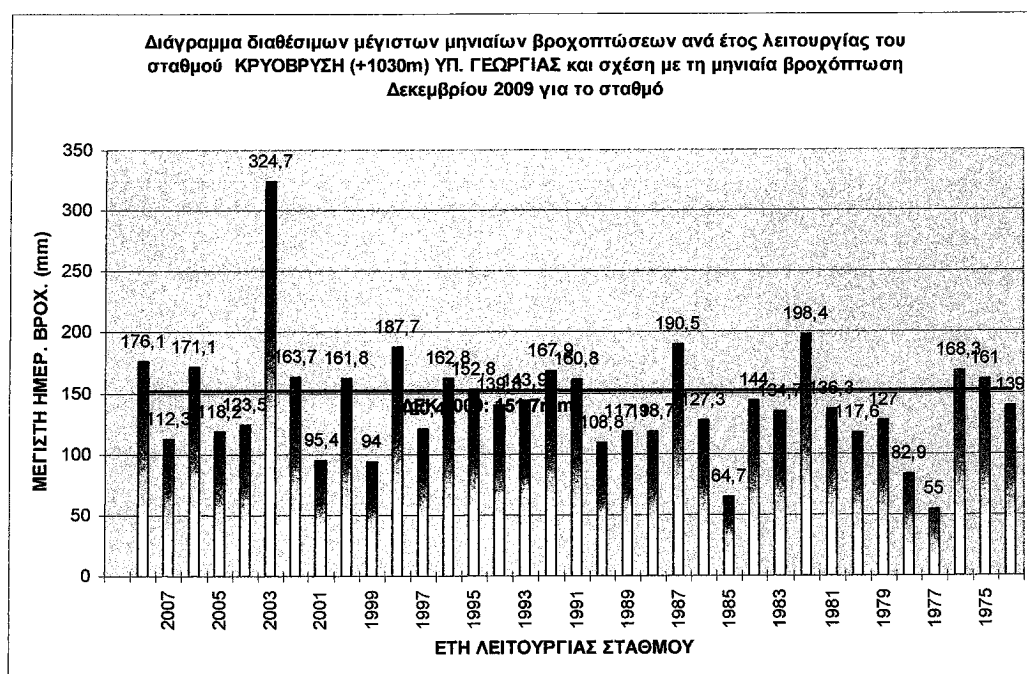
Σταθμός ΚΡΥΟΒΡΥΣΗ ΥΠ. ΓΕΩΡΓΙΑΣ

ΥΨΟΜΕΤΡΟ: 1030m, x: 39°59', y: 22°20'

ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΑΠΟ ΣΗΜΕΙΟ ΑΣΤΟΧΙΑΣ: ~23km



Διάγραμμα 1

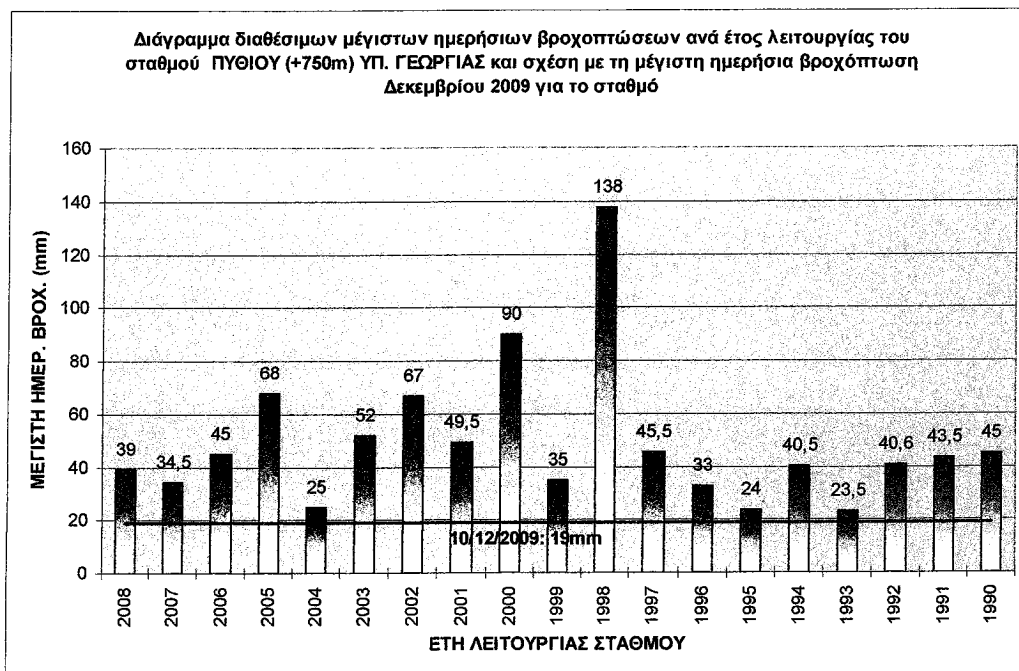


Διάγραμμα 2

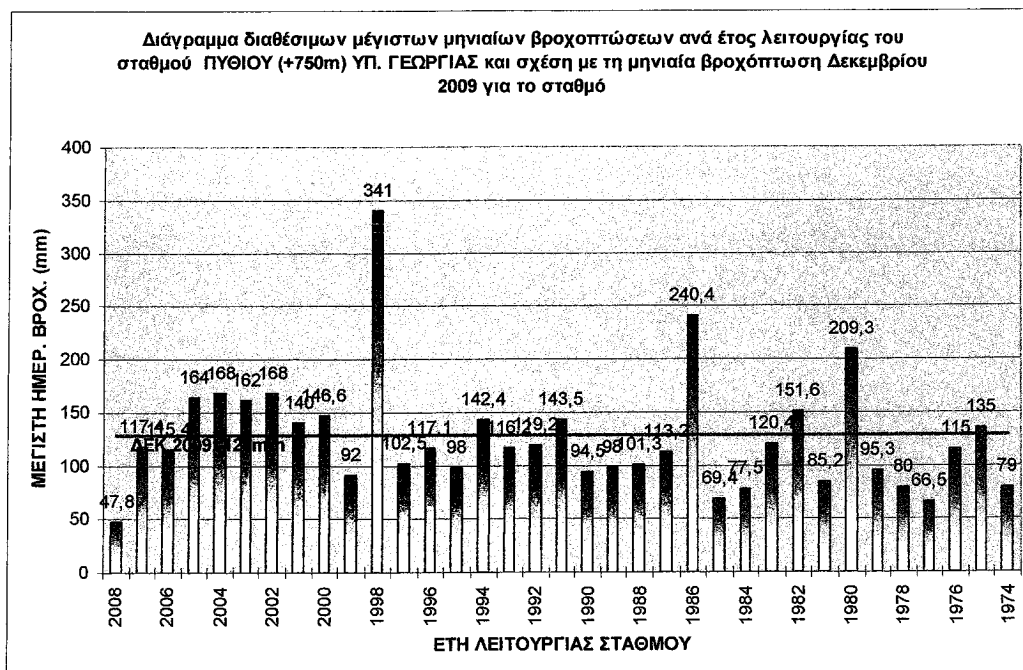
Σταθμός ΠΥΘΙΟ ΥΠ. ΓΕΩΡΓΙΑΣ

ΥΨΟΜΕΤΡΟ: 750m, x: 40°04', y: 22°14'

ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΑΠΟ ΣΗΜΕΙΟ ΑΣΤΟΧΙΑΣ: ~36



Διάγραμμα 3

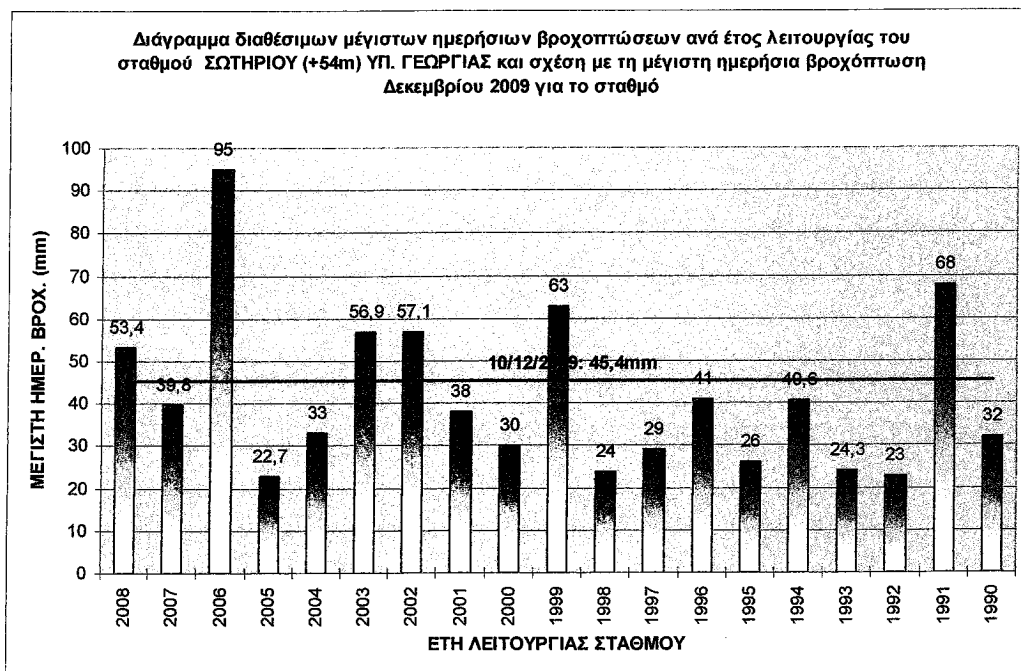


Διάγραμμα 4

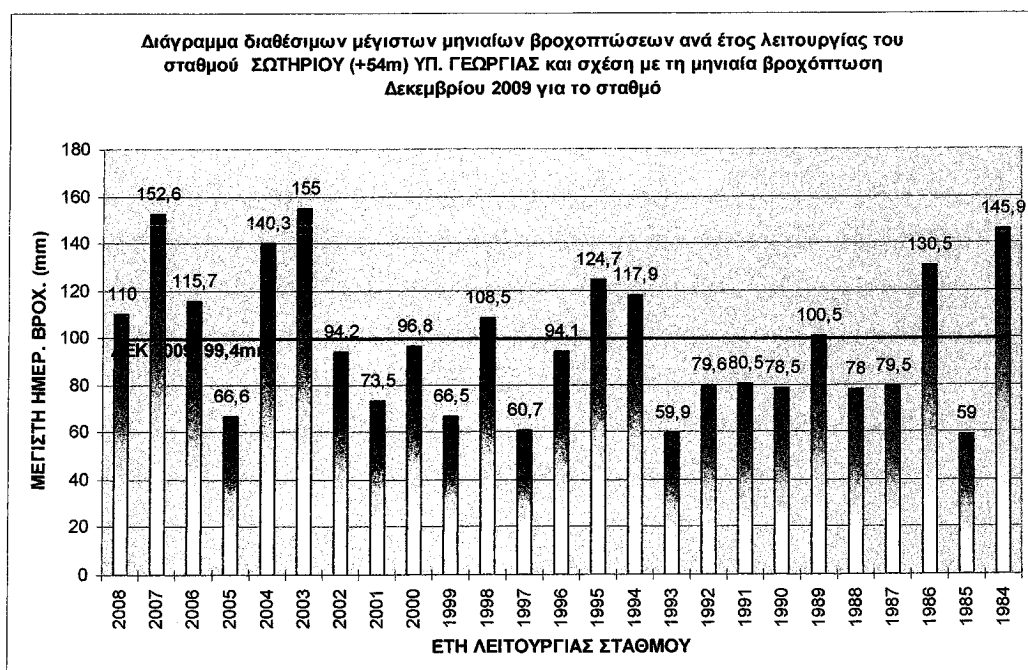
Σταθμός ΣΩΤΗΡΙΟ ΥΠ. ΓΕΩΡΓΙΑΣ

ΥΨΟΜΕΤΡΟ: 51m, x: 39°30', y: 22°43'

ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΑΠΟ ΣΗΜΕΙΟ ΑΣΤΟΧΙΑΣ: ~42km



Διάγραμμα 5

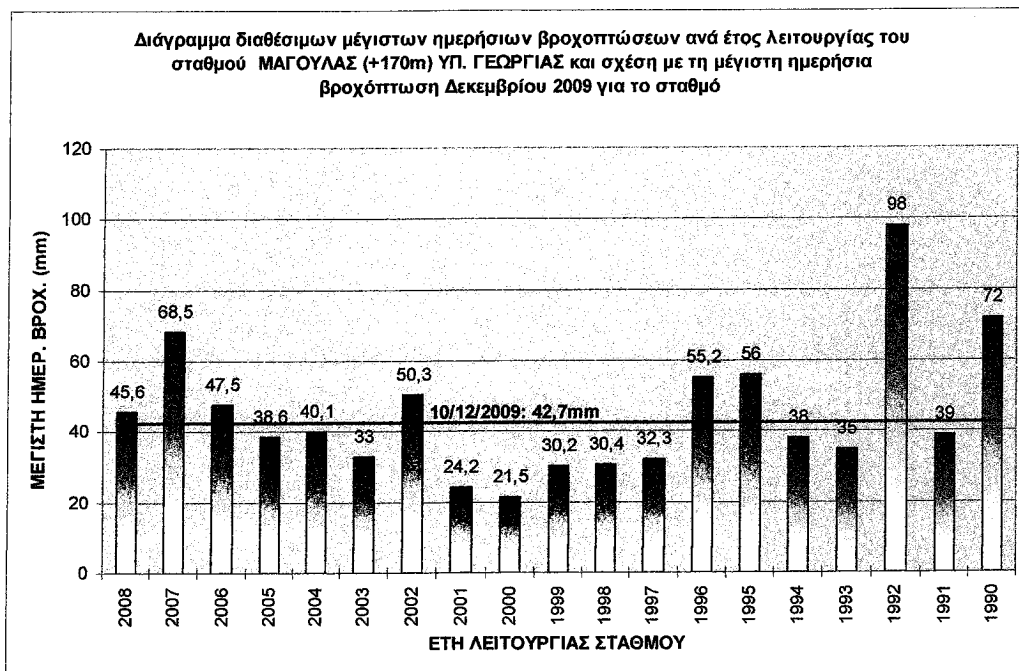


Διάγραμμα 6

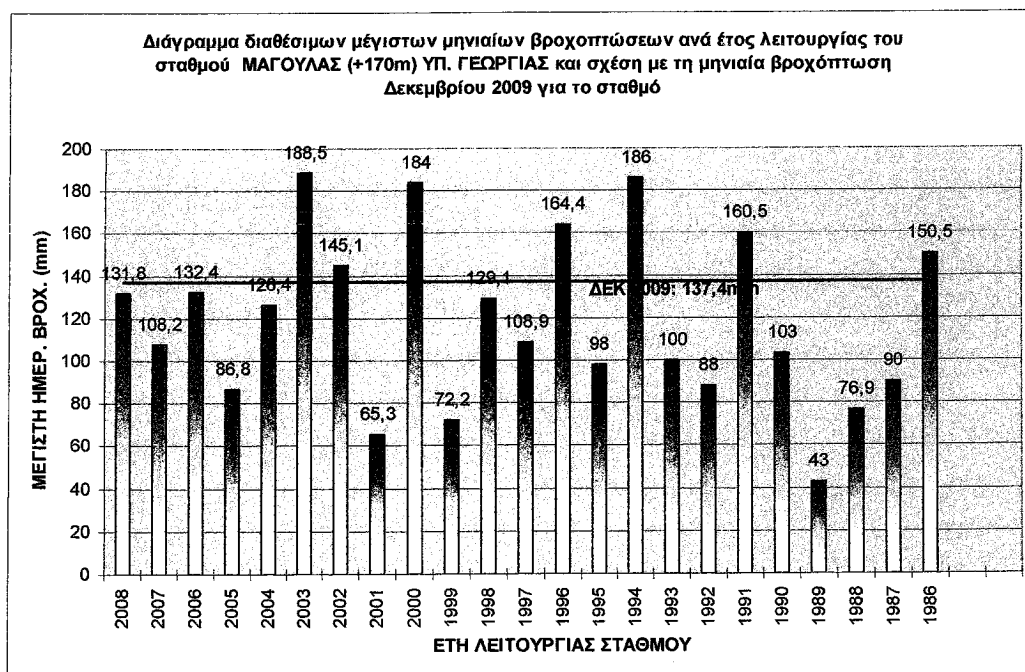
Σταθμός ΜΑΓΟΥΛΑ (ΠΟΤΑΜΙΑ) ΥΠ. ΓΕΩΡΓΙΑΣ

ΥΨΟΜΕΤΡΟ: 170m, x: 39°74', y: 22°11'

ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΑΠΟ ΣΗΜΕΙΟ ΑΣΤΟΧΙΑΣ: ~42km



Διάγραμμα 7

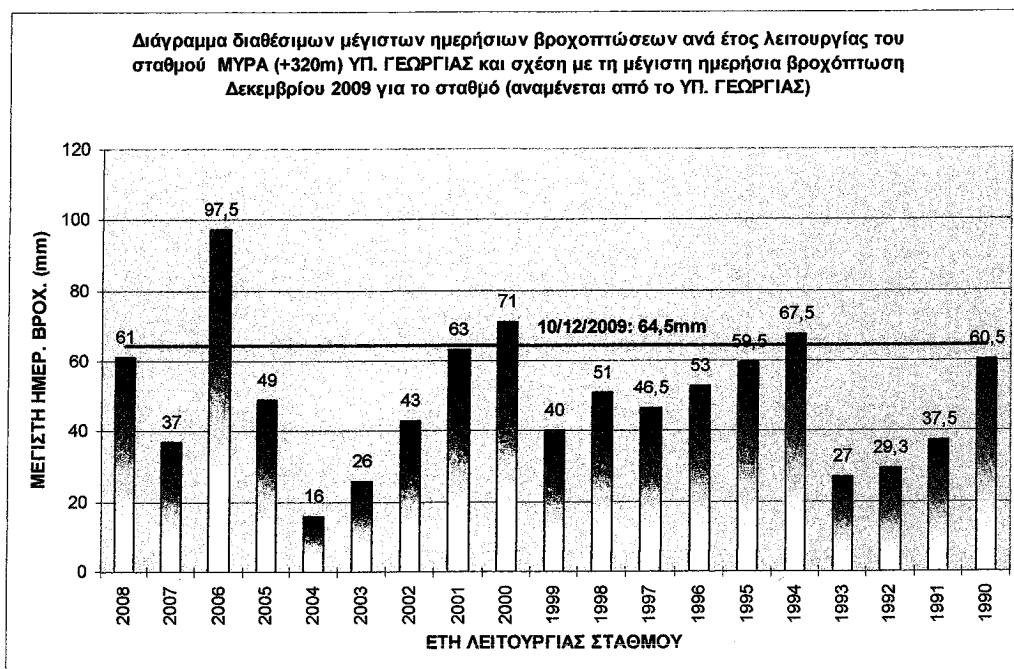


Διάγραμμα 8

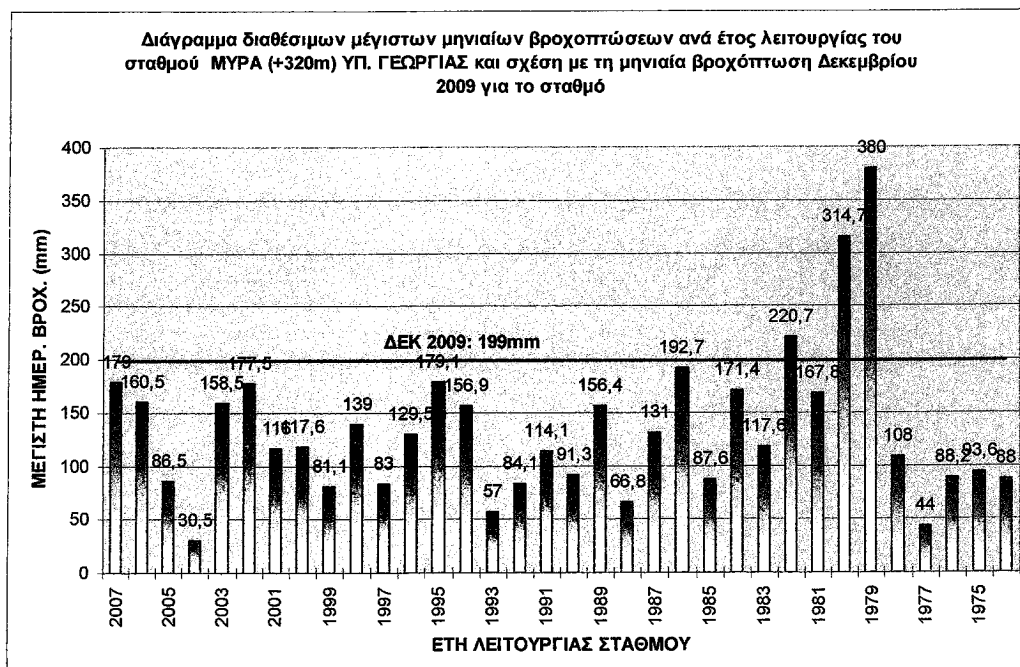
Σταθμός ΜΥΡΑ ΥΠ. ΓΕΩΡΓΙΑΣ

ΥΨΟΜΕΤΡΟ: 320m, χ: 39°27', γ: 22°33'

ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΑΠΟ ΣΗΜΕΙΟ ΑΣΤΟΧΙΑΣ: ~46km



Διάγραμμα 9

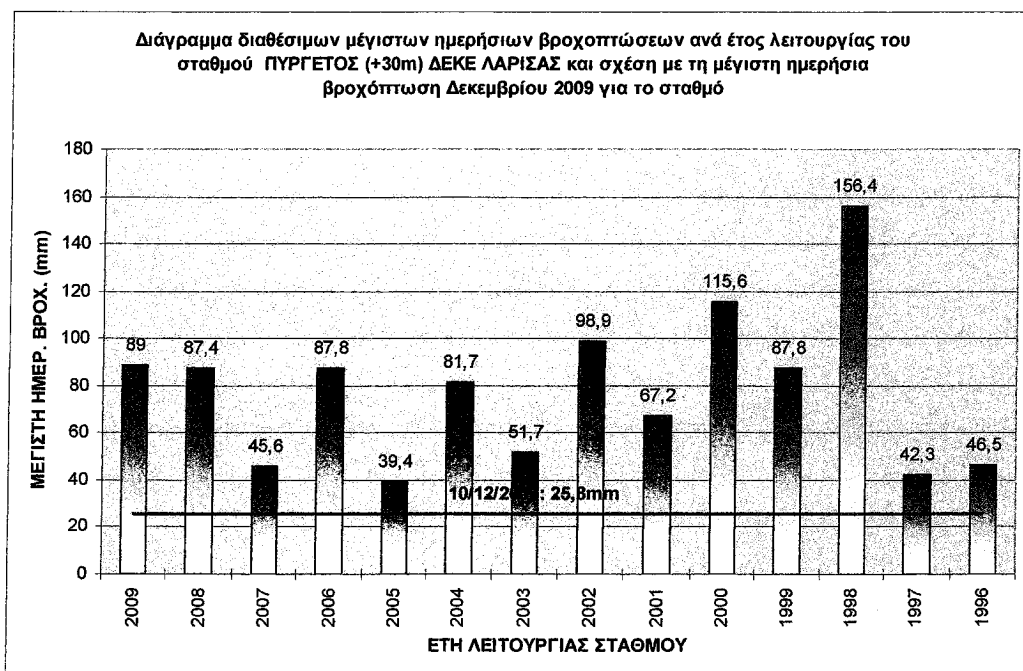


Διάγραμμα 10

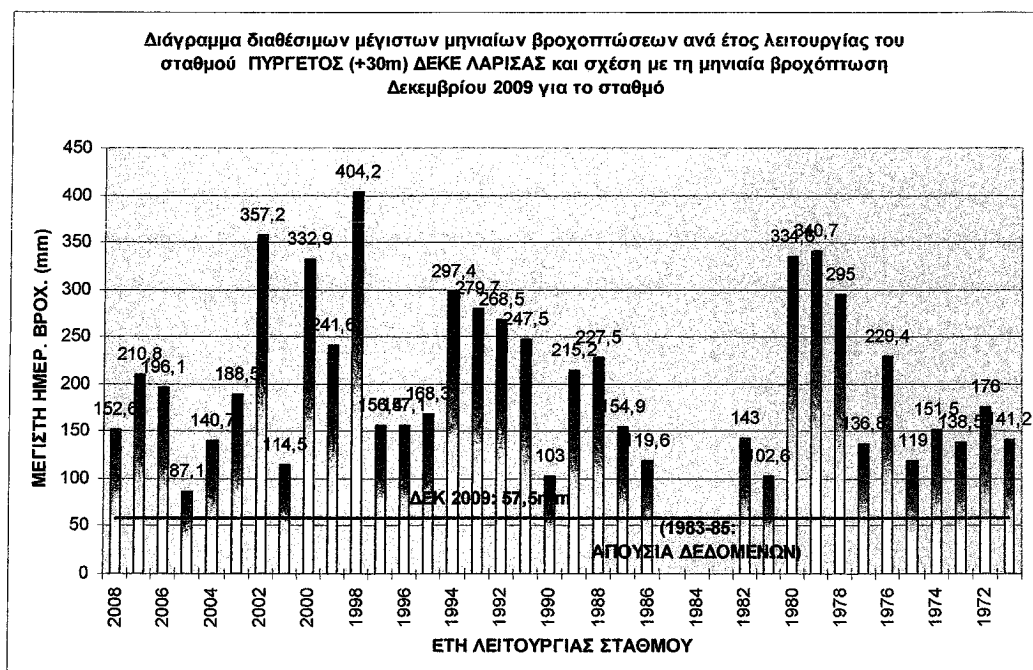
Σταθμός ΠΥΡΓΕΤΟΣ ΔΕΚΕ ΛΑΡΙΣΑΣ

ΥΨΟΜΕΤΡΟ: 31m, x: 39°54', y: 22°36'

ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΑΠΟ ΣΗΜΕΙΟ ΑΣΤΟΧΙΑΣ: ~5km



Διάγραμμα 11

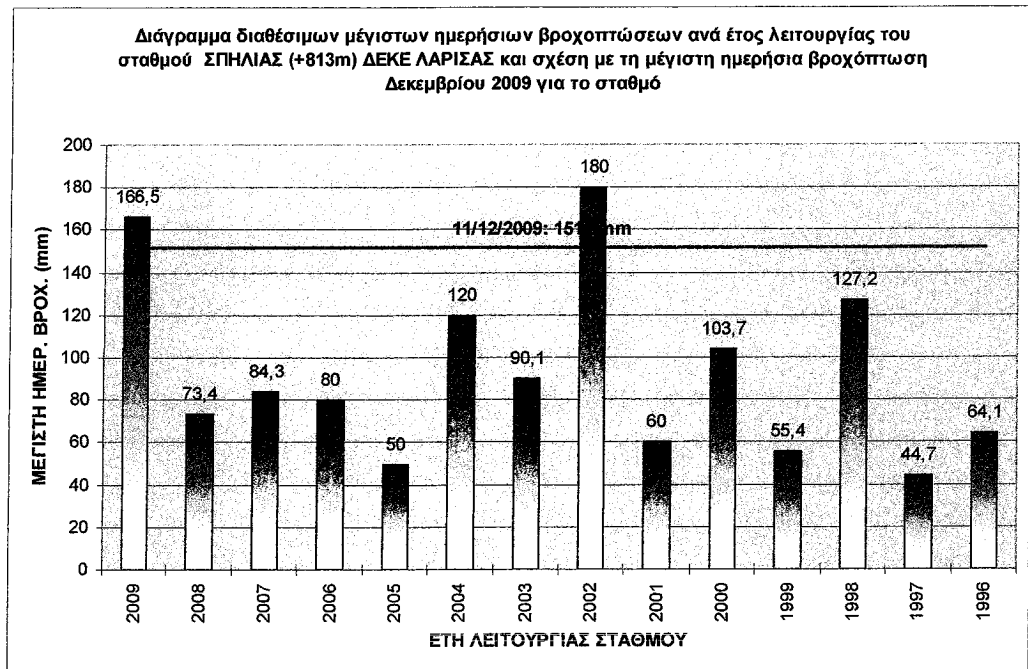


Διάγραμμα 12

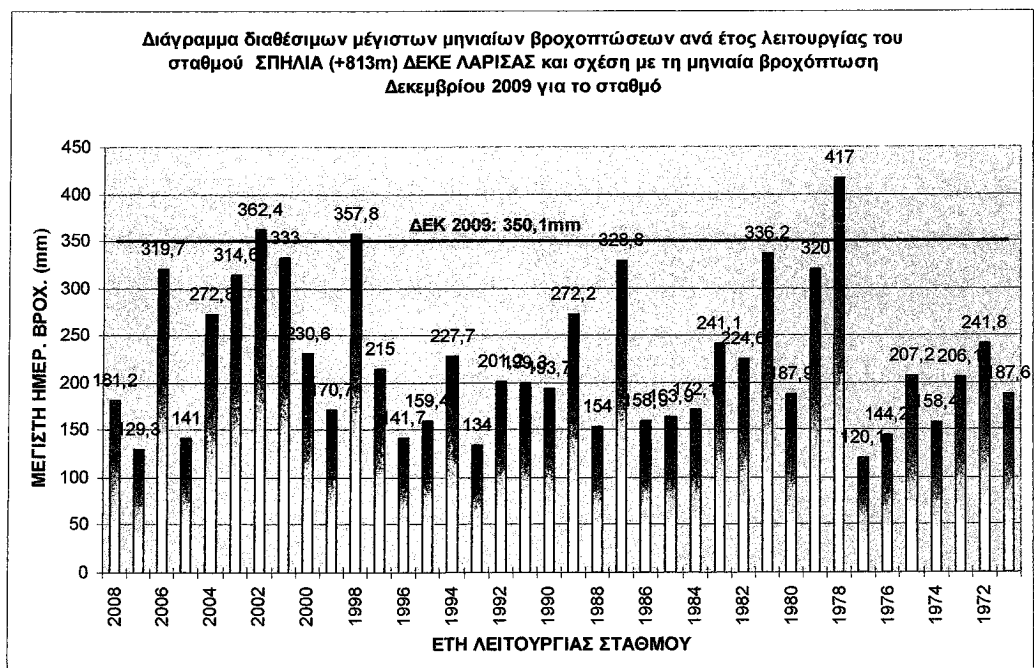
Σταθμός ΣΠΗΛΙΑ ΔΕΚΕ ΛΑΡΙΣΑΣ

ΥΨΟΜΕΤΡΟ: 1030m, x: 39°48', y: 22°39'

ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΑΠΟ ΣΗΜΕΙΟ ΑΣΤΟΧΙΑΣ: ~11km



Διάγραμμα 13



Διάγραμμα 14

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΣΤ: Πρώτες Εκτιμήσεις της Επιτροπής του ΤΕΕ

Το πλήρες κείμενο, με τίτλο «Πρώτες εκτιμήσεις της Επιτροπής ΤΕΕ», που δόθηκε στη δημοσιότητα, έχει ως εξής: «Η Επιτροπή Εμπειρογνομόνων του ΤΕΕ επισκέφθηκε την περιοχή των Τεμπών (18-20 Δεκ. 2009) και καταλήγει σε ορισμένες πρώτες εκτιμήσεις βάσει της αυτοψίας και των πληροφοριών που συνέλεξε. Τονίζεται ότι η πρώτη αυτή εκτίμηση θα επανεξεταστεί αφού: α) εξασφαλιστούν τα στοιχεία που τεκμηριώνουν τη ληφθείσα πληροφορόρηση και β) συμπληρωθεί η πληροφορόρηση αυτή με στοιχεία παλαιότερων μελετών διαφόρων φορέων.

Η διακινδύνευση κατά τη διέλευση από την κοιλάδα των Τεμπών υπήρχε ήδη από παλιά. Πρόκειται για ένα υψηλό, σχεδόν κατακόρυφο, πρηνές αποτελούμενο από διερρηγμένο βράχο, στη βάση του οποίου διέρχεται η Εθνική οδός. Η αναστόφρευκη επικινδυνότητα, ως αποτέλεσμα φυσικών διεργασιών, είχε ήδη επισημανθεί, στο παρελθόν, σε διάφορες τεχνικές εκθέσεις -

τιμές. Στη συγκεκριμένη θέση των εκρήξεων, η απόσταση από την κατάπτωση είναι μερικές εκατοντάδες μέτρα, δηλαδή είναι μεγάλη για να προκληθούν κραδασμοί που θα επηρέαζαν το πέτρωμα. Υπό την προϋπόθεση ότι θα επαληθευτούν οι πληροφορίες αυτές, εκτιμάμε ότι δεν πρέπει να έπαιξαν ρόλο στην κατάπτωση οι εκρήξεις για τη διάνοιξη της σήραγγας. Επιβάλλεται, πάντως, ο έλεγχος της ζώνης επιρροής και της έντασης των δονήσεων από τις εκρήξεις, για να εξασφαλιστεί ότι δεν θα επηρεάσουν κατ' ελάχιστον την υπάρχουσα ασφαλή ισορροπία σε θέσεις όπου η σήραγγα θα πλησιάσει τα πρανή της οδού.

Κατά μήκος της οδού, στην κοιλάδα των Τεμπών, υπάρχουν πλείστες περιοχές με επικρεμάμενους βράχους. Άλλωστε, η όλη κοιλάδα έχει προκύψει από σειρά παράλληλων ρηγμάτων και η βραχομαζά είναι ιδιαίτερα καταπονημένη, με έντονο κερματισμό, πολλά συστήματα ασυνεχειών, αλλά συχνά και με σημαντική αποσάθρωση στα χείλη των ασυνεχειών. Είναι

πόψη της ορμής του, λόγω ύψους εκκίνησης. Εδώ επισημαίνεται ότι τα μέτρα αυτά, αλλά ενδεχομένως και άλλα που θα μπορούσαν να προταθούν (π.χ. ηλώσεις, αγκυρώσεις, τοιχεία, πλέγματα συγκράτησης κλπ.) μειώνουν τους κινδύνους, αλλά δεν μπορούν να τους εξαλείψουν.

Μέχρις ότου ολοκληρωθεί η κατασκευή των σιράγγων του ΠΑΘΕ, που παρακάμπτουν την κοιλάδα των Τεμπών, η όποια διέλευση θα εμπεριέχει πάντα διακινδύνευσή, αλλά πάντως, εφόσον ληφθούν τα κατάλληλα μέτρα προστασίας, θα είναι μικρότερη από τη σημερινή.

Εκτιμάται ότι αξίζει να εξεταστεί η πρόταση μέλους της επιτροπής για χρήση της οδού της του παλαιού σιδηροδρομικού δικτύου με ταχεία εκτέλεση περιορισμένων έργων. Μια τέτοια προσωρινή λύση θα μπορούσε να προσφέρει στην κίνηση μία λωρίδα εκτός περιοχής καταπτώσεων και σύντομη σύνδεση με τον ΠΑΘΕ (παράκαμψη της τάξεως των 4-5 χλμ.) και τεχνικά μπορεί να υλοποιηθεί εντός μηνός.

Μετά την ολοκλήρωση των σιράγγων η υπερτοπική κίνηση των οχημάτων δεν θα αντιμετωπίζει πρόβλημα. Η τοπική - τουριστική κίνηση μέσα στην κοιλάδα θα εξακολουθεί να παρουσιάζει -μειωμένους ασφαλής- κινδύνους. Πρέπει να εξεταστεί από την πολιτεία αν μπορεί να συνδυαστεί η ενίσχυση της ασφάλειας με τη διατήρηση του φυσικού κάλλους της περιοχής, μέσω της κατασκευής πρόσθετων μόνιμων προστατευτικών έργων, όπως π.χ. κεκλιμένων, ιδιαίτερα ισχυρών, στεγάστρων.

Προτείνεται η δημιουργία "Φακέλου" στο ΤΕΕ, όπου θα συγκεντρωθούν όλα τα κατά καιρούς στοιχεία, όπως παλαιότερες ή νεότερες μελέτες, στοιχεία βροχομετρικά, στοιχεία δονήσεων και σεισμικά. Με τη συγκέντρωση και μελέτη αυτών των στοιχείων θα είναι δυνατόν να γίνουν καλύτερες εκτιμήσεις. Αυτός ο "Φάκελος" θα αποτελέσει χρήσιμο υλικό.

Τέλος, θεωρείται σκόπιμο να προταθεί στο υπουργείο ΥΠΜΕΔΙ να αναθέσει, με τη διαδικασία του κατεπείγοντος, μελέτη εξέτασης και βελτίωσης νέων ή των υπάρχουσών εναλλακτικών διαδρομών».

Το προκαταρκτικό πόρισμα της επιτροπής ΤΕΕ-ΕΜΠ για τα Τέμπη



μελέτες. Πράγματι, πτώσεις λίθων, βράχων κλπ. έχουν συμβεί επανειλημμένα κατά το παρελθόν. Η ιδιαιτερότητα της πρόσφατης κατάπτωσης είναι ότι αφορούσε έναν ιδιαίτερα μεγάλο όγκο, από μεγάλο ύψος, και ότι προκάλεσε την απώλεια ανθρώπινης ζωής.

Ο μεγάλος ασβεστολιθικός ογκόλιθος αποκολλήθηκε από την υπόλοιπη μάζα και μαζί με εδαφικό αργιλικό υλικό κινήθηκε προς τα κατάντη. Στη συνέχεια ο ογκόλιθος ανετράπη, θραύσθηκε και παρέσυρε και άλλα τεμάχια. Τελικώς, δε, το υλικό που μετακινήθηκε, ακολούθησε δύο διαδρομές, για να καταλήξει επί της οδού. Το συνολικό ύψος της πτώσης είναι περί τα εβδομήντα μέτρα.

Σημαντικό ρόλο έπαιξαν οι ιδιαίτερα υψηλές και παρατεταμένες βροχοπτώσεις όλου του προηγούμενου διαστήματος, που μάλιστα ακολούθησαν περίοδο ξηρασίας.

Βάσει των πληροφοριών που έχουν παρασχεθεί (και οι οποίες θα ελεγχθούν), οι μετρήσεις των δονήσεων του βράχου σε απόσταση 150 μέτρων, περίπου, από τη θέση των εκρήξεων για τη διάνοιξη της σήραγγας έδωσαν πολύ μικρές (ασήμαντες)

σφαρές ότι σε όλες αυτές τις περιοχές η διέλευση ενέχει σχετικά αυξημένους κινδύνους. Το "ξεσκάρωμα", δηλαδή η καθαίρεση βραχωδών τεμαχίων που παρουσιάζουν αυξημένη πιθανότητα πτώσης, είναι ένα πρώτο μέτρο προς τη σωστή κατεύθυνση, αρκεί βεβαίως να γίνεται από εξειδικευμένο συνεργείο και με τρόπους που δεν θα προκαλούν πρόσθετη χαλάρωση άλλων βραχωδών τεμαχίων.

Εκτιμάται, επίσης, ότι η υλοποίηση των ήδη προβλεπόμενων (εξ όσων γνωρίζουμε) μέτρων με δικτυώματα αναχαίτισης και μάλιστα με ενίσχυση αυτών των μέτρων -τόσο ως προς την έκταση και τη θέση τους, όσο και ως προς την ικανότητά τους- θα συμβάλει στη μείωση του κινδύνου.

Τα ίδια μέτρα θα πρέπει να εφαρμοστούν κατά προτεραιότητα, ενισχυμένα ειδικά στην περιοχή της αστοχίας, όπου η συγκεκριμένη κατάπτωση έχει δημιουργήσει συνθήκες περαιτέρω διατάραξης του βράχου. Η επιτροπή εκτιμά ότι τα μέτρα αυτά είναι δυνατόν να υλοποιηθούν σε σχετικά σύντομο χρονικό διάστημα.

Τονίζεται ότι αυτά τα μέτρα δεν θα μπορούσαν να συγκρατήσουν τον συγκεκριμένο ογκόλιθο, λαμβανομένης μάλιστα υ-

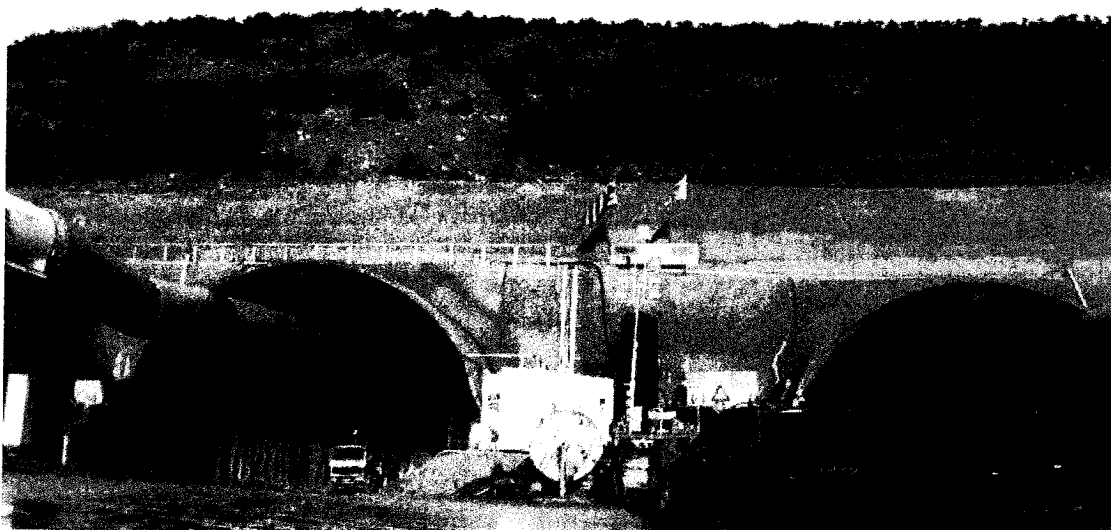
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ζ: Φωτογραφική Τεκμηρίωση

ΤΕΜΠΗ

ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ



Φωτο 1. Γενική άποψη του ανατολικού τμήματος της κοιλάδας των Τεμπών από τα απέναντι (νότια) αντερείσματα. Με κόκκινο βέλος η θέση της αστοχίας και με κίτρινο βέλος η περιοχή της εισόδου της σήραγγας T2 από την πλευρά του μετώπου T2S.



Φωτο 2. Άποψη της εισόδου της σήραγγας T2 από την πλευρά του μετώπου T2S.



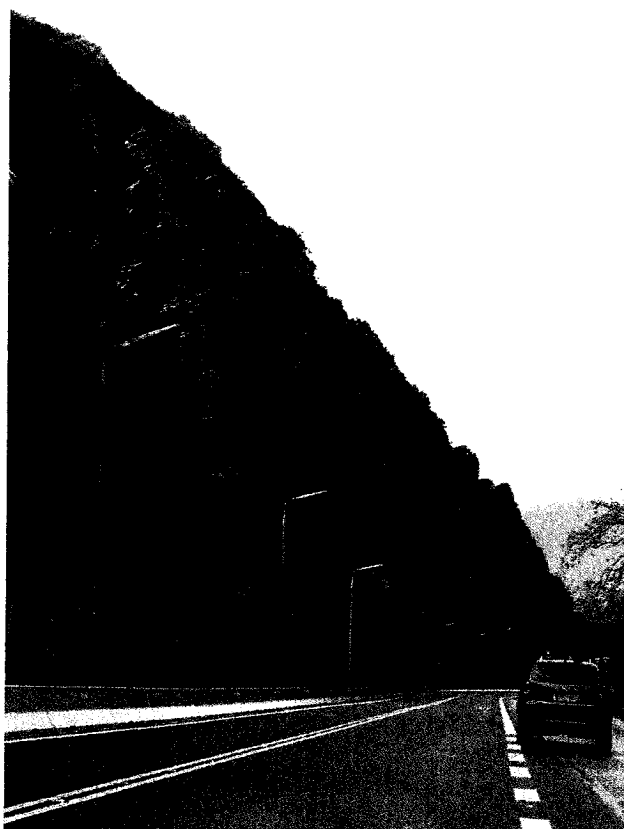
Φωτο 3. Η απότομη μορφολογία και οι τρεις κύριες ασυνέχειες στη βραχομάζα των ασβεστόλιθων, που διαμορφώνουν υπερμεγέθη τεμάχια βράχου επιρρεπή σε καταπτώσεις.



Φωτο 4. Τα απότομα πρανή στους ασβεστολίθους της κοιλάδας των Τεμπών. Διακρίνεται παλαιά αστοχία επιπέδου.



Φωτο 5. Κατακόρυφο πρανές στους ασβεστολίθους της κοιλάδας των Τεμπών. Διακρίνεται πρόσφατη κατάπτωση βραχωδών τεμαχίων.



Φωτο 6. Άποψη από ανατολικά των απότομων πρανών της κοιλάδας των Τεμπών. Διακρίνεται ο κερματισμός της βραχομάζας από τα κύρια συστήματα ασυνεχειών ένα εκ των οποίων είναι υποπαράλληλο του πρανούς.



Φωτο 7. Άποψη από δυτικά των απότομων πρανών της κοιλάδας των Τεμπών. Διακρίνεται το σημαντικό για την ασφάλεια της βραχομάζας σύστημα ασυνεχειών που διαμορφώνεται υποπαράλληλα του πρανούς.



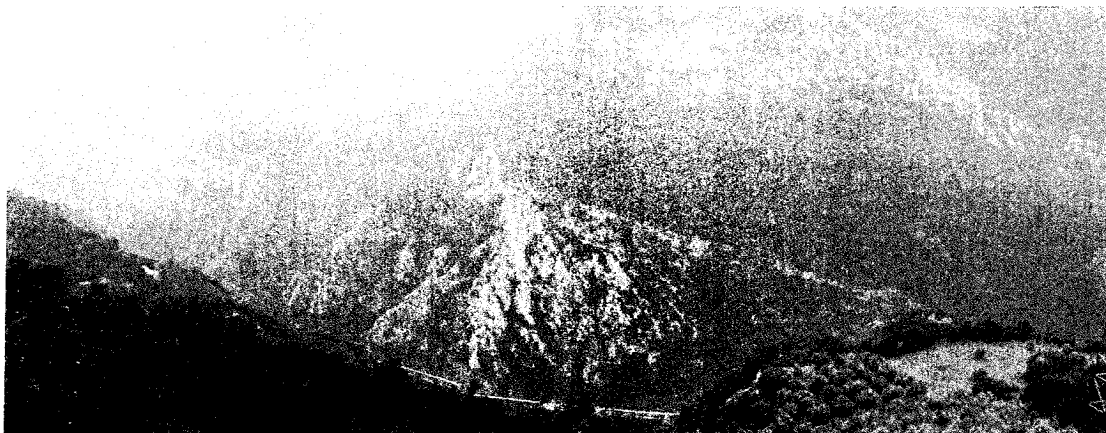
Φωτο 8. Συνολική άποψη από δυτικά τμήματος πρανούς της κοιλάδας των Τεμπών κοντά στην αστοχία. Διακρίνεται το μεγάλο ύψος, η απότομη κλίση και ο κερματισμός της ασβεστολιθικής βραχομάζας.



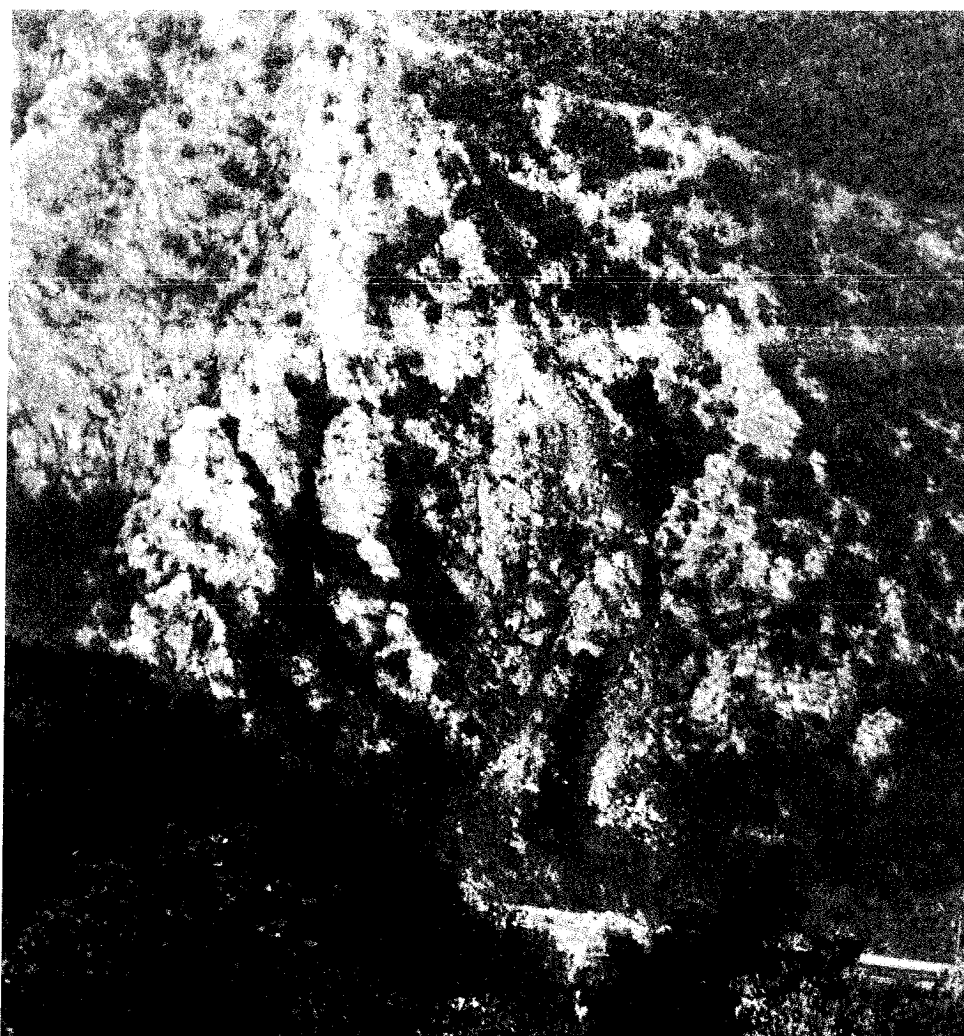
Φωτο 9. Χαρακτηριστικές ασυνέχειες στη βραχομάζα των ασβεστολίθων στα πρηνή των Τεμπών. Διακρίνεται η καταστρεπτική δράση του ριζικού συστήματος κατά μήκος κύριας ασυνέχειας.



Φωτο 10. Ανατολικό τμήμα κοιλάδας Τεμπών. Διακρίνεται η εγκατάσταση φράκτη τύπου Geobrugg κάτω από προεξέχουσα βραχομάζα (άστοχη τοποθέτηση).



Φωτο 11. Γενική άποψη των πρανών στα οποία εκδηλώθηκε η αστοχία από τα νότια αντερείσματα των Τεμπών.



Φωτο 12. Άποψη της θέσης αστοχίας από τα νότια αντερείσματα των Τεμπών. Στο ανώτερο τμήμα φαίνεται η περιοχή αποκόλλησης, ενώ στο κατώτερο τμήμα διακρίνεται η διαδρομή που ακολούθησαν τα βραχώδη υλικά, η οποία διχοτομείται εκατέρωθεν επιμήκους ράχης.



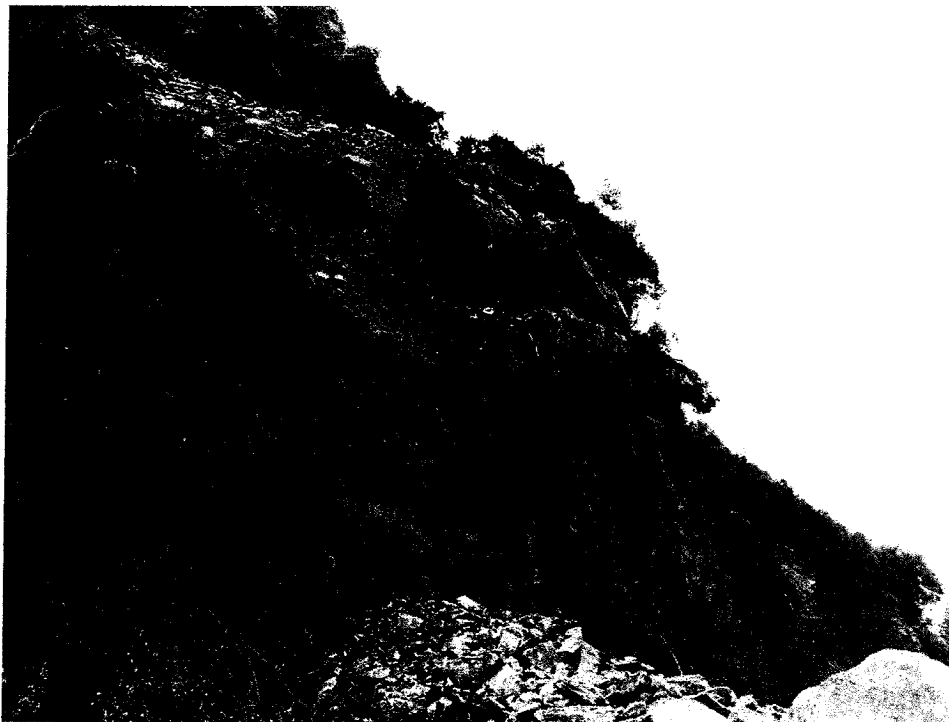
Φωτο 13. Το τμήμα του πρανούς όπου εκδηλώθηκαν οι πρόσφατες αστοχίες της βραχομάζας. Διακρίνονται ο χώρος απόσπασης των βραχομαζών που μετακινήθηκαν και η άφθονη παρουσία λεπτομερούς υλικού από την αποσάθρωση των σχηματισμών.



Φωτο 14. Λεπτομέρεια της Φωτο 10 από το χώρο απόσπασης των τμημάτων της βραχομάζας που μετακινήθηκαν στα κατόντη.



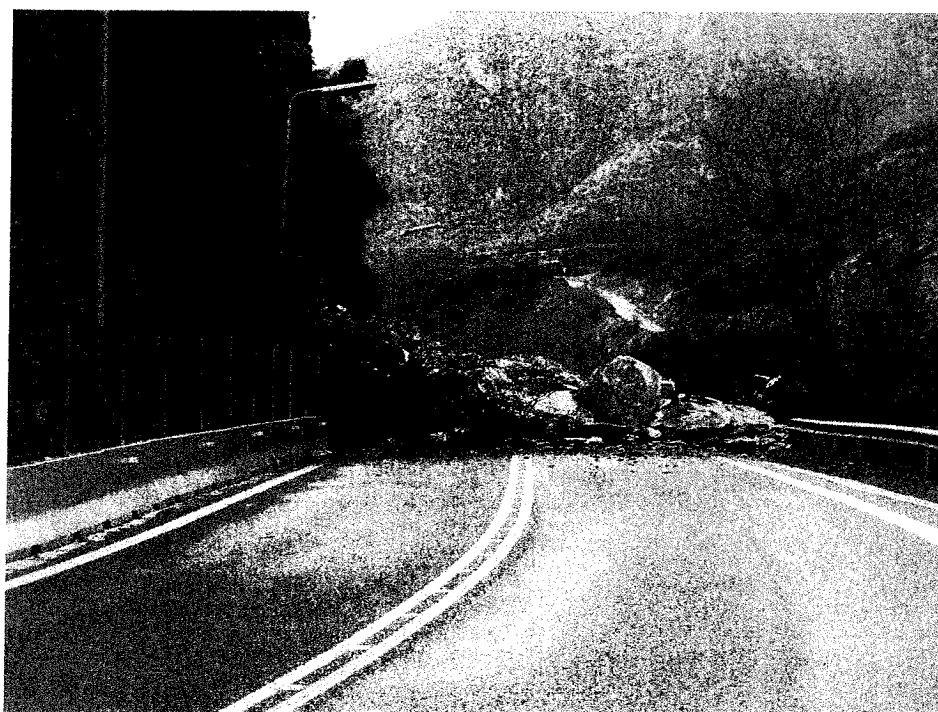
Φωτο 15. Μετωπική άποψη της αστοχίας και της απόσπασης μικρών τεμαχίων από το πρανές της οδού κατά τη μετακίνηση των βράχων κατά μήκος της ανατολικής διαδρομής τους προς κατάντη.



Φωτο 16. Ο μικρός αναβαθμός αμέσως ανάντι του οδοστρώματος στο χώρο της αστοχίας. Η παρουσία σε αυτόν του λεπτομερούς υλικού λειτούργησε αποσβεστικά για την κινητική ενέργεια των βραχομαζών που αστόχησαν με αποτέλεσμα να καταλήξουν τελικά στο οδόστρωμα, χωρίς σημαντική αναπήδηση.



Φωτο 17. Τα τρία κύρια συστήματα ασυνεχειών στο χώρο της αστοχίας. Η στρώση αντίρροπη με μικρές κλίσεις στο πρανές και τα δύο υποκατακόρυφα που διακρίνονται καλά στο κάτω τμήμα του πρανούς.



Φωτο 18. Αποψη από δυτικά του χώρου απόθεσης στο οδόστρωμα των βραχομαζών που αστόχησαν. Διακρίνεται η ολική απόφραξη του οδοστρώματος και το πολύ μεγάλο μέγεθος κάποιων βραχοτεμαχίων.



Φωτο 19. Κοντινή άποψη από δυτικά του χώρου υποδοχής στο οδόστρωμα των βραχομαζών που αστόχησαν. Διακρίνονται τα κατεστραμμένα οχήματα του συνεργείου επιθεώρησης των πρόδρομων αστοχιών.



Φωτο 20. Ο χώρος του οδοστρώματος με τις βραχομάζες που αστόχησαν από δυτικά.



Φωτο 21. Ανατροπή του φράκτη από new jersey και πλέγμα που προκλήθηκε από την κατάπτωση στο οδόστρωμα των βραχομαζών της αστοχίας, αλλά σε αρκετή απόσταση από αυτήν.



Φωτο 22. Η ανατολική είσοδος της μεγάλης σήραγγας της παλαιάς γραμμής του τραίνου στην κοιλάδα των Τεμπών. Διακρίνεται η λίθινη επένδυσή της.



Φωτο 23. Εσωτερικό σήραγγας ΟΣΕ, η οποία λειτουργούσε μέχρι πριν δύο χρόνια. Διακρίνεται η επένδυση από σκυρόδεμα.

