

ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΚΑΙ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΗΣ ΧΑΡΑΞΗΣ ΤΟΥ ΑΓΩΓΟΥ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ (ΕΛΛΑΔΑ)-ΣΚΟΠΙΩΝ (Π.Γ.Α.Μ.)*

Κ. ΠΑΥΛΟΠΟΥΛΟΣ¹, Κ. ΑΝΤΩΝΙΑΔΗΣ², Μ. ΛΙΟΝΗΣ³, Γ. ΣΤΟΥΡΝΑΡΑΣ⁴

ΣΥΝΟΨΗ

Στα πλαίσια της κατασκευής του αγωγού πετρελαίου Θεσσαλονίκης Σκοπίων, πραγματοποιήθηκαν μια σειρά από γεωλογικές και γεωτεχνικές μελέτες κατά τα έτη 1999-2000. Από την εκπόνηση των μελετών αυτών και κατά τη διάρκεια της κατασκευής του έργου προέκυψαν μια σειρά από προβλήματα γεωλογικά και γεωτεχνικά που αφορούσαν τους γεωλογικούς σχηματισμούς, τη μορφολογία του εδάφους και την ευκολία διάβρωσής του, την αγωγιμότητα των εδαφικών σχηματισμών, την ευστάθεια των ροανών, τα πιθανά προβλήματα και τρόπους αντιμετώπισής τους στις διελεύσεις του αγωγού από υδάτινα ρεύματα, την παρουσία ρηξιγενών ζωνών την παρουσία υπόγειων υδάτων, σε σχέση με τη φάση κατασκευής. Η επίλυση αυτών των προβλημάτων μέσω των μελετών είναι απαραίτητο να προηγούνται της κατασκευής του έργου ανεξάρτητα από τις συνθήκες που επικρατούν. Η διαδικασία αυτή είναι απαραίτητη τόσο για την ασφαλή χάραξη και κατασκευή του έργου όσο και για την μείωση του κόστους κατασκευής (αλλαγές στη χάραξη μετά την κατασκευή).

ABSTRACT

It is very important to perform integrated geological and geotechnical studies when constructing large-scale projects, such as oil-pipelines. These studies are significant, not only for the safety of the pipeline but the schedule and budget of the construction as well. It is estimated that, at least up to date, studies performed for such projects in Greece were not complete, and in any case did not face all possible problems. This happened because the specifications were not applied, the geological & geotechnical construction and safety issues were underestimated and finally because, in many cases, the contractor was responsible for performing all the relative studies. Special studies for landslides, steep slopes etc, were usually performed after the problem occurred, during or after construction, and upon request of the insurance company. The geological and geotechnical studies are performed in order to investigate: the geological formations along the pipeline route, soil conductivity for cathodic protection, ground morphology and erosion processes, slope stability, possible problems and solutions at river crossings, fault zones, shallow groundwater occurrence, special geotechnical problems (such as muddy bottoms, erosion protection, steep slopes etc,) environmental conditions and impact from the project, protection and reinstatement measures. Considering the above and that the longest part of the pipeline is constructed within FYROM, contractor increased the quality of services by employing a specialists team to supervise, and if required perform, geological and geotechnical studies.

The following were completed: a) Geological mapping and study along the pipeline route at a scale of 1:20000 for the Greek part and 1:25000 within FYROM, b) boreholes at a depth of 15 - 30m (SPT & CPT), c) "cross-hole" investigation, d) soil classification, e) "Maag" tests, f) geophysical investigation to evaluate soil conductivity, g) Special investigations at problematic areas (landslides, steep slopes, river crossings, fault zones etc). Mapping at a scale of 1:2500, 1:2000 and 1:1000 depending on the required detail.

Geological formations encountered along the pipeline within Greece are (youngest to oldest): Holocene deposits, Pleistocene deposits, Neogene sediments, U. Eocene and Oligocene sediments, Triassic sediments, a tectonic zone, the metamorphic bedrock (Paleozoic), igneous rocks (granite) and the ophiolite complex. With respect to structural characteristics five major tectonic phases are predominant. Major encountered problems for the pipeline construction are the shallow water table, the Sidirocastro fault zone and the 100 watercourse crossings. However, no significant changes of the pipeline route were required since the geological and

*GEOLOGICAL AND GEOTECHNICAL INVESTIGATIONS ALONG THE CRUDE OIL PIPELINE ROUTE FROM THESSALONIKI (GREECE) TO SKOPJE (FYROM)

1. Χαροκόπειο Παν/μιο, Τμήμα Γεωγραφίας, Ελ. Βενιζέλου 70, 156-71 Αθήνα

2. Συνήγορος του Πολίτη, Κ. Μέξη 5, 115-28 Αθήνα

3. Αριστοφάνους 28, 187-57 Κερατσίνι

4. Παν/μιο Αθηνών, Τμήμα Γεωλογίας, Πανεπιστημίουπολη, 157-84 Αθήνα

geotechnical studies were performed before construction and in many cases before pipeline routing.

For the pipeline route within **FYROM** the **Scopia University** faculty performed the majority of geological and geotechnical studies, which were executed in direct co-operation with the Greek supervision, team. Geological formations encountered along the pipeline within **FYROM** are (youngest to oldest): Holocene deposits, Pleistocene deposits, Pliocene lake deposits, Miocene lake deposits, U. Eocene flysch deposits and Mesozoic diabases formations. The Mesozoic formations are intensely fractured and faulted. Most active faults are covered by Quaternary or lake deposits. The seismotectonic study determined the presence of 14 active faults. Major re-routings occurred along the pipeline within **FYROM** since studies were performed after, or during construction activities. As a result 11 changes were required hence, re-routing was necessary for 30% of the initial pipeline route. Some of the most significant problems encountered when performing the studies were active fault zones, lack of accurate topographic maps, headward erosion phenomena, creeping and landslides, high - steep slopes, shallow groundwater and hot springs, and significant river crossings (overall 150 watercourse crossings).

The accumulated experience dictates that: a) Geological and geotechnical studies must be completed before pipeline construction. Issues investigated should be as mentioned above. b) The referenced studies are necessary for the scheduling, cost effectiveness and safe construction of the pipeline. c) Supervision must be strict and require the application of specifications for all geotechnical activities during construction. d) Supervision is more effective when earth scientists are included (geologists geotechnical engineers etc) in the team. e) Watercourse crossings should not be backfilled during construction. Such actions were observed within **FYROM** and created serious problems. f) "Free spans" are often observed hence endangering pipeline integrity. A solution to this problem is placing initially the pipeline on sandbags and filling the trench with sand to at least 20 cm above the top of the pipeline. This should be a specification and the only acceptable backfill material for bottom, middle and top padding. g) The method of constructing "Rip Raps" at watercourse crossings must be modified so that water may flow through them. This will prevent "rip rap" destruction and enhance safety of pipeline h) during ROW construction the following should be applied: slopes should not be more than 2 meters high, slope gradients should not be more than 1:1, rain and underground water should be drained and transferred at least 100m away from pipeline routing.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Τεχνική γεωλογία, αγωγός πετρελαίου, Ελλάδα, Π.Γ.Δ.Μ.

KEY WORDS: Engineering Geology, crude oil pipeline, Greece, **FYROM**.

1. ΓΕΝΙΚΑ - ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι εργασίες κατασκευής αγωγών μεταφοράς πετρελαίου πραγματοποιούνται μετά από εκπόνηση μιας σειράς μελετών και σύμφωνα με αυστηρές προδιαγραφές. Σε τέτοιου είδους έργα η εκπόνηση των σχετικών γεωλογικών-γεωτεχνικών μελετών είναι ουσιαστικής σημασίας τόσο στην πορεία και εξέλιξη της κατασκευαστικής φάσης όσο και στην πρόληψη πιθανών αστοχιών. Οι μελέτες αυτές διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο σε ότι αφορά τον προϋπολογισμό του έργου.

Οι μελέτες που εκπονούνται, πριν από την έναρξη της κατασκευής, για τέτοιου είδους έργα στον ελληνικό χώρο, μέχρι την εκπόνηση της μελέτης αυτής, στις περισσότερες περιπτώσεις δεν αντιμετώπιζαν ολοκληρωμένα τα εν δυνάμει προβλήματα. Οι λόγοι της κατάστασης αυτής οφείλονταν κυρίως στο γεγονός ότι δεν υπήρχε τήρηση των προδιαγραφών, ενώ παράλληλα δεν αντιμετωπιζόνταν με την απαιτούμενη προσοχή τα γεωλογικά & γεωτεχνικά προβλήματα, κατασκευής και ασφάλειας του αγωγού (πλήρης υποβάθμιση των θεμάτων), και στο ότι πολύ συχνά ο ανάδοχος του έργου επιφορτιζόταν την ευθύνη της εκπόνησης όλων των απαιτούμενων μελετών. Στο πλαίσιο αυτό υποβαθμιζόνταν οι γεωλογικές - γεωτεχνικές μελέτες υποδομής. Οι γεωλογικές μελέτες εξαντλούνταν στην καλύτερη περίπτωση σε μια αναγνωριστική έκθεση και μια μηχοτομή μικρής κλίμακας ενώ οι γεωτεχνικές έρευνες σε επίπεδο προσδιορισμού γενικών γεωτεχνικών χαρακτηριστικών σε ομαδοποιημένους σχηματισμούς. Στις περισσότερες περιπτώσεις ειδικές μελέτες για θέσεις με ιδιαίτερα γεωλογικά-γεωτεχνικά προβλήματα εκπονούνταν μετά από αστοχία σε κάποια περιοχή του έργου (κατολιθώσεις, ερπυσμοί, κ.λ.π.), κατά ή μετά την κατασκευή, ή κατόπιν απαίτησης της εταιρείας που θα ασφάλιζε το έργο.



*Εικόνα 1. Η χάραξη του αγωγού πετρελαίου Θεσσαλονίκης-Σκοπίων.
Figure 1. The route of the crude oil pipeline from Thessaloniki to Skopje.*

1.1 ΣΚΟΠΟΣ

Οι εκπονούμενες γεωλογικές και γεωτεχνικές μελέτες για το έργο, έχουν σκοπό να διερευνήσουν:

- Τους γεωλογικούς σχηματισμούς κατά μήκος της χάραξης.
- Την αγωγιμότητα των εδαφικών σχηματισμών (καθοδική προστασία αγωγού).
- Την μορφολογία του εδάφους και την ευκολία διάβρωσής του.
- Την ευστάθεια πρανών.
- Τα πιθανά προβλήματα και τρόπους αντιμετώπισής τους στις διελεύσεις του αγωγού από υδάτινα ρεύματα.
- Την παρουσία ρηξιγενών ζωνών.
- Την παρουσία υπόγειων υδάτων.
- Τα ειδικά γεωτεχνικά προβλήματα (βαλτωδες εδαφος, μεγάλη κλίση εδάφους, προστασία από την διάβρωση κλπ) και ειδικές κατασκευές προστασίας.
- Τις Περιβαλλοντικές συνθήκες, επιπτώσεις από το έργο και μέτρα προστασίας του περιβάλλοντος.

Ένα από τα ιδιαίτερα προβλήματα που πρέπει να αντιμετωπιστεί κατά την κατασκευή είναι η ελλιπής εφαρμογή των προβλεπόμενων από τις μελέτες προδιαγραφών και ειδικών κατασκευών. Εξίσου σημαντικό είναι να τροποποιούνται οι προδιαγραφές με τη συσσώρευση εμπειρίας και να συμπληρώνονται πάντα προς την κατεύθυνση της ασφάλειας του έργου. Είναι σημαντικό να εκπονούνται οι μελέτες προς τη συντηρητική κατεύθυνση (λαμβάνοντας υπόψη τις χειρότερες δυνατές συνθήκες), και στη συνέχεια να αξιοποιούνται τα ευρήματά τους σε συνδυασμό με τη σχολαστική εφαρμογή των προδιαγραφών κατασκευής.

1.2 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Στο έργο της μελέτης και κατασκευής του πετρελαιοαγωγού Θεσσαλονίκης-Σκοπίων, με δεδομένες τις απαιτήσεις για την ασφάλεια του έργου, και σε συνδυασμό με το γεγονός ότι, το μεγαλύτερο τμήμα του αγωγού ήταν στο έδαφος της Πρώην Γιουγκοσλαβική Δημοκρατία της Μακεδονίας (Π.Γ.Δ.Μ.), αναζητήθηκε ένα σχήμα ελέγχου-επίβλεψης, από την πλευρά του αναδόχου κατασκευαστή, το οποίο θα εξασφάλιζε την όσο το δυνατόν καλύτερη εκπόνηση των μελετών. Συμμετέχοντας στο σχήμα αυτό, και ειδικά στο σχήμα επίβλεψης των αντίστοιχων μελετών στο τμήμα της Π.Γ.Δ.Μ. και της εκπόνησης των γεωλογικών μελετών στο Ελληνικό τμήμα, τέθηκαν οι προϋποθέσεις για πληρέστερη καταγραφή των συνθηκών έδρασης του αγωγού (Εικόνα 1).

2. ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΥΠΑΙΘΡΟΥ ΚΑΙ ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Στα πλαίσια της γεωλογικής και γεωτεχνικής μελέτης του έργου έγιναν οι παρακάτω εργασίες:

- Αναγνωριστική Γεωλογική Μελέτη σε όλο το τμήμα της χάραξης του αγωγού, σε κλίμακα 1:20.000 (Ελληνικό τμήμα) και 1:25.000 (τμήμα Π.Γ.Δ.Μ.), σύμφωνα με τις προδιαγραφές έργων οδοποιίας. Στα πλαίσια των μελετών αυτών προσδιορίστηκαν θέσεις με προβλήματα στην έδρωση του αγωγού ενώ αναζητήθηκαν και προτάθηκαν ενδεδειγμένες λύσεις, πολλές από τις οποίες υιοθετήθηκαν. Στην φάση αυτή επίσης προτάθηκαν και οι απαραίτητες γεωτεχνικές έρευνες για την σεισμική επαλήθευση του αγωγού ανά είδος και φάση σχηματισμών. Παράλληλα, σκοπός των ερευνών σε ορισμένες θέσεις ήταν ο προσδιορισμός του σεισμικού υποβάθρου.
- Στα πλαίσια των γεωτεχνικών ερευνών πραγματοποιήθηκαν ερευνητικές γεωτρήσεις, “cross-hole”, φρέατα, “CPT”. Σε κάθε γεώτρηση πραγματοποιήθηκαν οι απαιτούμενες επιτόπου δοκιμές (SPT, διαπερατότητα, κ.λ.π.) και λήφθηκαν τα απαραίτητα δείγματα για εργαστηριακές δοκιμές (από γεωτρήσεις και φρέατα). Το βάθος των δειγματοληπτικών γεωτρήσεων, ανάλογα με τη γεωλογία και τα χαρακτηριστικά, κυμάνθηκε από 15 έως 30m περίπου. Έγινε καταγραφή των εδαφικών σχηματισμών σύμφωνα με το “ASTM Standard Practice D 2488-84 (or -90)” ή το “(American) Unified Soil Classification System (USCS)”. Επίσης έγινε περιγραφή των βραχώδων σχηματισμών και καταγραφή του “RQD” καθώς και δοκιμές “Maag” για την περατότητα. Τηρήθηκε σχολαστικό πρωτόκολλο για την αποφυγή λανθασμένων χειρισμών και αναλύσεων δειγμάτων (σωστή συσκευασία και συντήρηση δειγμάτων, συμπλήρωση εντύπων με όλα τα απαραίτητα στοιχεία, αναγραφή των ζητούμενων αναλύσεων κλπ). Στις δοκιμές “cross-hole” έγινε προσεκτική τοποθέτηση του σωλήνα με συμπλήρωση του τοιμέντου από κάτω προς τα επάνω μέσω ειδικού σωλήνα (“tremie grouting”).
- Γεωφυσικές εργασίες για την εκτίμηση της αγωγιμότητας των ανωτέρων εδαφικών στρωμάτων (χρήση για καθοδική προστασία).
- Ειδικές τεχνικογεωλογικές μελέτες σε τμήματα που απαιτούσαν περαιτέρω διερεύνηση λόγω προβλημάτων κατολισθήσεων, ευστάθειας πρανών, ερπυσμών, διαβρώσεων, ρηξιγενών ζωνών, υψηλής υδροφορίας, διέλευσης μεγάλων ποταμών - ρεμάτων - μεγάλων καναλιών αποστράγγισης κ.λ.π., σε κλίμακα 1:2500, 1:2000, και 1:1000, σύμφωνα επίσης με τις προδιαγραφές των έργων οδοποιίας καθώς και γεωλογική μηχοτομή σε κλίμακα 1:2500/1:250. Στη γεωλογική χαρτογράφηση αποτυπώθηκαν οι γεωλογικοί σχηματισμοί, τα ρήγματα και τα τεχνικο-γεωλογικά τους χαρακτηριστικά (βραχώδεις, ημιβραχώδεις, μαλακό εδαφος, βαλτώδεις κλπ). Συλλογή στοιχείων για υπόγεια νερά, έλεγχος κλίσης πρανών, στοιχείων διάβρωσης κ.α. Στην φάση αυτή των εργασιών, προτάθηκαν δεύτερο πρόγραμμα γεωτεχνικών εργασιών από γεωτρήσεις με εγκατάσταση πιεζόμετρων, και επιτόπου δοκιμές, φρέατα, εργαστηριακές δοκιμές, CPT.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1 ΓΕΝΙΚΗ ΓΕΩΛΟΓΙΑ

Η διέλευση του αγωγού τόσο στο Ελληνικό όσο και στο τμήμα της Π.Γ.Δ.Μ. ανήκει στη γεωτεκτονική ενότητα του Αξιού (Βαρδάρη)(ARSOVSKI, M. et al., 1976, KOCKEL, F. et al., 1971, MERCIER, J., 1968). Με πιο σύγχρονες απόψεις η ζώνη διέλευσης του αγωγού τοποθετείται στη στην ενότητα της Παιονίας (IGME, 1993, KATSIKATSOS, G., 1992), MOUNTRAKIS, D., 1985, PAPANIKOLAOU, D., 1986). Το ανατολικό τμήμα της άλλοτε ζώνης του Αξιού, αντιστοιχεί σε μια θαλάσσια αλάνια που παρεμβαλλόταν μεταξύ της Σερβομακεδονικής μάζας (από τα ανατολικά) και του υποθαλασσίου υψώματος του Πάϊζου (δυτικά).

3.2 ΤΟ ΤΜΗΜΑ ΤΟΥ ΑΓΩΓΟΥ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

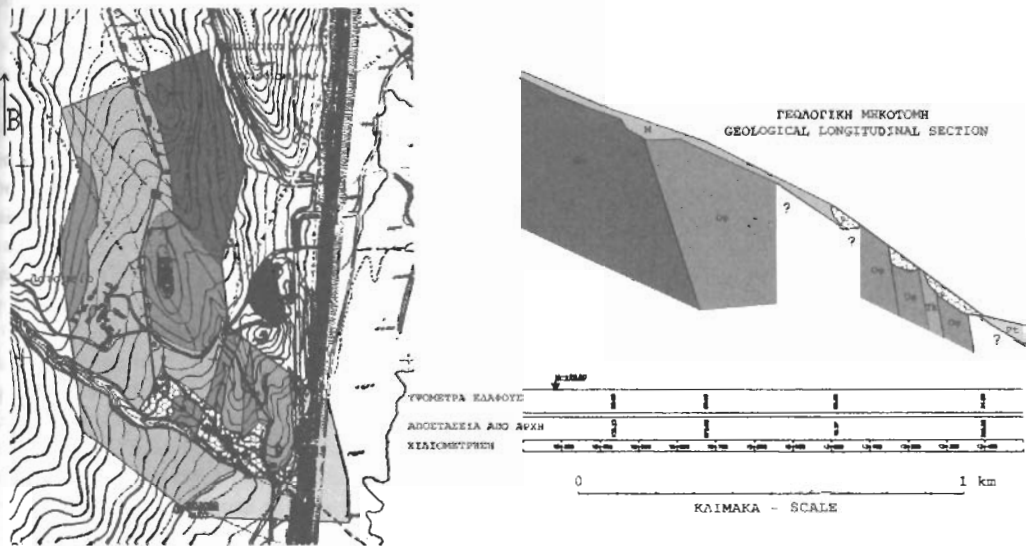
Οι γεωλογικοί σχηματισμοί που συναντώνται κατά μήκος της χάραξης του αγωγού στο Ελληνικό τμήμα, από τους νεότερους προς τους παλαιότερους είναι:

Ολοκαινικές αποθέσεις που διακρίνονται σε:

- Αλλουβιακές αποθέσεις ποταμών και χειμάρρων (al), που αποτελούνται από αμμοχάλικες, άμμους, πηλούς, αμμοχυγές αργίλους. Τα υλικά συνήθως είναι ασύνδετα μεταξύ τους και έχουν μικρό πάχος.
- Ιζηματα αποξηραμένων λιμνών Αοτζάν και Αματόβου (H), που αποτελούνται από ιλυώδεις αργίλους, αργίλους, ιλύ, λεπτόκοκκους άμμους χαλαρού κοίματος και απειρότεροι, πυρεμβολές αδρόκοκκων άμμων και χάλικων.

- Ολοκαινικές αποθέσεις αδιαίρετες (Ho) προσχώσεων των κοιλάδων που αποτελούνται κυρίως από ερυθρές αργίλους με ασβεστιτικά συζυγίματα. Στις ζώνες των χειμάρρων και του Γαλλικού Ποταμού, περιέχουν κροκάλες και άμμους ενώ στη βάση τους επιζυγατούν κροκαλοπαγή.
- Κόνοι κορημάτων (Q). Πρόκειται για αδρόκοκκους άμμους, χαλίγια, κροκάλες, ασβεστιτικής κυρίως σύστασης, με σπανιότερες παρεμβολές χαλαρών κροκαλοπαγών ή ογκολίθων. Εμφανίζονται ελάχιστα κατά μήκος της χάραξης.
- Πλειστοκαινικές αποθέσεις (Pt). Αποτελούνται από ερυθρές αμμούχες αργίλους, ερυθρές αργιούχες άμμους και σπανιότερα από διάσπαστα χαλίγια. Κατά θέσεις παρεμβάλλονται φακοί αμμοχάλικων και ασβεστιτικοί τόφροι.
- Νεογενή ιζήματα. Πρόκειται για σχηματισμούς του Ανώτερου Μειόκαινου που αποτελούνται από ερυθρές αργίλους και ιλυώδεις αργίλους, εναλλαγές αδρόκοκκων άμμων ή αμμοχάλικων με ψαμμίτες και μάργες, εναλλαγές αδρόκοκκων άμμων με αμμοχάλικα, χαλαρά κροκαλοπαγή και μάργες) και εναλλαγές άμμων με αμμούχες αργίλους, μάργες και αργιούχες άμμους.
- Ιζήματα Α. Ηώκαινου - Ολιγόκαινου. Ψαμμίτες και κροκαλοπαγή που συναντώνται στην περιοχή Αρτζάν(Ε). Τριαιδικό ασβεστόλιθοι που ανήκουν στην ενότητα Βαφειοχωρίου (Τζ). Είναι μεσόκοκκοι έως αδρόκοκκοι, συμπαγείς και κατά θέσεις στρωματοώδεις έως λεπτοστρωματοώδεις, σπάνια με παρεμβολές σιπολιτών και εντρούσεις γραφιτιτών σχιστολίθων.
- Τεκτονισμένη ζώνη. Αφορά την ζώνη παράλληλων διαρρηξίων που καταγράφεται κοντά στη θέση "Λατομείο". Η τεκτονισμένη αυτή ζώνη (Τ-Ο) διακόπτει την στρωματογραφική συνέχεια των τριαιδικών ασβεστόλιθων και των οφιολίθων (κυρίως Γάββροι).
- Μεταμορφωμένο υπόβαθρο-Παλαιοζωικό(gn). Πρόκειται για γνεύσιους που διασχίζονται από απιτογρανιτικές φλέβες.
- Ερηξίγενή πετρώματα. Γρανίτης (Γρ) ερυθρού χρώματος, Ανω-ιουρασιατικής ηλικίας.
- Οφιολιθικό σύμπλεγμα. Γάββροι (Γβ) του οφιολιθικού συμπλέγματος με διάσπαστες φλέβες διαβάση. Είναι πολυμεταμορφωμένοι και παρουσιάζει συχνά σε τεχνικά πρηνή φαινόμενα ολισθήσεων και καταπτώσεων (Εικόνα 2).
- Βασικό τεκτονικό χαρακτηριστικό της γεωτεκτονικής ζώνης που εξετάζεται είναι η λεπιοειδής τεκτονική. Οι μυθολογικές ενότητες της ζώνης που περιγράφηκαν στη γεωλογική δομή της ευρύτερης περιοχής αντιπροσωπεύουν ουσιαστικά, η κάθε μια, ένα λέπτος που συγκροτείται από οριομένους σχηματισμούς και που προέκυψε από σχετικές κινήσεις διευθύνσεως Α-Δ.

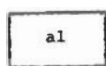
ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΡΗΣΙΓΕΝΟΥΣ ΖΩΝΗΣ
 FROM KP 12+200 TO 13+500
 GEOLOGICAL REPORT ON THE AREA OF INTENSE FAULT ACTIVITY



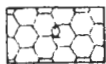
Εικόνα 2. Αντιπροσωπευτική γεωλογική χαρτογράφηση σε περιοχή ειδικής διερεύνησης από 12+200 - 13500ΚΡ.
 Figure 2. Representative geological mapping in special investigation area from 12+200 to 13+500 KP.

Ψηφιακή Βιβλιοθήκη "Θεόφραστος" - Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.

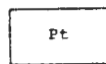
ΥΠΟΜΝΗΜΑ LEGEND



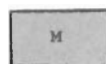
Αποθέσεις χειμάρρων από αμμοχάλικες, άμμους και αργίλους πολύ μικρού πάχους.
Torrent deposits consisting of sandy gravel, sand and clay beds, of small thickness.



Κώνιοι κορημάτων από σβεστωλιθικά υλικά και υλικά οφιολιθών, άμμους και αργίλους. Μέγιστο πάχος 8m.
Conical cones consisting of calcareous and ophiolitic material, sand and clay. Maximum thickness 8m.



Ποταμοχειμάρροι αποθέσεις που αποτελούνται από ερυθρές αργίλους, αργιλούχες άμμους και σπανιότερα από διάσπαστους χάλικες. Σε ελάχιστες θέσεις παρεμβάλλονται φακοί αμμοχαλικών. Μέγιστο εκτιμώμενο πάχος 10m.
River and torrent deposits consisting of red clay, clayey sand beds and rarely of dispersed gravels. In few locations the intercalation of sandy gravel lenses occurs. Maximum estimated thickness 10m.



Ερυθρές αμμούχοι άργιλοι με αδρομερή κλαστικά υλικά σε εναλλαγές με αδρόκοκκες άμμους και ψαθυρούς μαργαίκοις ψαμμίτες. Μέγιστο πάχος 25m.
Red sandy clay beds with coarse clastic material alternating with coarse sands and brittle marly sandstones. Maximum estimated thickness 25m.



Ανακρυσταλλωμένοι ασβεστόλιθοι μεσόκοκκοι έως αδρόκοκοι, συμπαγείς, στρωματώδεις έως λεπτοστρωματώδεις, κερματισμένοι. Ορατό πάχος 200m περίπου.
Recrystallised limestone, medium to coarse grained, fresh, bedded to thin bedded, fractured. Visible thickness approximately 200m.



Γνεΐσις με βιοτίτη, κορδιερίτη, σιλιμανίτη που διασχίζονται από απλιτογρανιτικές φλέβες που υπερ.έχουν τα παραπάνω υλικά. Στα τεχνητά πρανή εμφανίζεται έντονα κερματισμένος. Στα φυσικά πρανή καλύπτεται από εδαφικό μανδύα μικρού πάχους.
Gneiss with biotite, cordierite, sillimanite. The formation is crossed by aplite-granitic dikes, which comprise all the above mentioned minerals. On cut slopes the formation is highly fractured, while on natural slopes is covered by a soil mantle of minimal thickness.



Οφιολιθικό σύμπλεγμα έντονα εξαλλοιωμένο και τεκτονισμένο αποτελούμενο κυρίως από σερικίτες, χλωρίτες και φλέβες διαβάσων.
Ophiolite complex formations, highly altered and tectonised, consisting of sericite, chlorite and diabase dikes.



Κατά βάθος διάβρωση.
Erosion line.



Πιθανό ρήγμα.
Possible fault.



Ορατό ρήγμα.
Visible fault.



Προτεινόμενη θέση ερευνητικού φρέατος.
Proposed trial pit location.



Προτεινόμενη θέση ερευνητικής γεώτρησης.
Proposed exploration borehole.

Εικόνα 3. Αντιπροσωπευτικό cross hole test d1 στην KP 7+000 και CPT test p1 στην KP 14+000.
Figure 3. Geotechnical cross hole test d1 in KP 7+000 and CPT test p1 (in KP 14+000).

Στην περίοδο του Νεογενούς-Τεταρογενούς έχουμε την απόθεση των μεγάλου πάχους μεταλλικών ιζημάτων που κάλυψαν τους αλπικούς σχηματισμούς και απομόνωσαν τα μεγαλύτερη-ενότητες. Τέλος, στο Τεταρογενές σημειώνεται έντονος εφελκυστικός τεκτονισμός όλων των σχηματισμών και κατακόρυφες τεκτονικές κινήσεις, που συνοδεύονται από σεισμική δραστηριότητα.

Εμφανίζονται ρήγματα, εγκάρσια, διευθύνσεως ΒΑ έως ΑΒΑ, όπως είναι τα ρήγματα Βαφειοχωρίου, Μεταλλικού, Ασπρης Βρύσης και Ωραιοκάστρου. Στη δράση των ρημάτων Πλειστοκαινικής και Τεταρογενούς ηλικίας αποδίδεται η δημιουργία των βυθιομάτων των Τεταρογενών λιμναίων αποθέσεων των λιμνών Αρτζάν και Αματόβου. Σημαντική επίσης είναι η παρουσία ρημάτων ΒΒΔ διεύθυνσης, που χωρίζουν την ενότητα Βαφειοχωρίου από τα βυθιομάτια της λίμνης Αματόβου.

Η σειμοτεκτονική μελέτη που εκπονήθηκε από το Αστεροσκοπείο Αθηνών εντόπισε ένα ενεργό ρήγμα, εκείνο του Πολυκάστρου που τέμνει σχεδόν κάθετα τη χάραξη. Με βάση τη σειμοτεκτονική ανάλυση οι εδαφικές μετακινήσεις κατά μήκος της χάραξης εκτιμήθηκαν 20 cm το μέγιστο μετά από σεισμό.

Τα κυριότερα προβλήματα που παρουσιάστηκαν κατά την εκπόνηση των μελετών στο Ελληνικό τμήμα της χάραξης του αγωγού ήταν κυρίως: η υψηλή υδροφορία σε ορισμένα τμήματα καθώς και η τομή της χάραξης με το ρήγμα Σιδηροκάστρου. Οι διελεύσεις της χάραξης με χείμαρρους, ποτάμια και αρδευτικά κανάλια ήταν περισσότερες από 100, με κυριότερες τα δύο μεγάλα αποστραγγιστικά κανάλια με αναχώματα (λίμνη Αματόβου) και η διέλευση του Γαλλικού ποταμιού. Παρόλα αυτά δεν πραγματοποιήθηκαν σημαντικές αλλαγές στη χάραξη και αυτό γιατί οι γεωτεχνικές και γεωλογικές μελέτες είχαν προηγηθεί της κατασκευής.

Με βάση το γεωτεχνικό πρόγραμμα πραγματοποιήθηκαν συνολικά, στο ελληνικό τμήμα της χάραξης, 3 cross-hole, 10 ερευνητικά φρέατα, 33 CPT, και 9 δειγματοληπτικές γεωτρονήσεις σε δείγματα των οποίων έγιναν και εργαστηριακές γεωτεχνικές δοκιμές. Καθορίστηκαν έτσι τα πάχη των αποθέσεων στις περιοχές των διελεύσεων του αγωγού από ρέματα, κανάλια, ποτάμια, οι γεωτεχνικές και υδρογεωλογικές τους ιδιότητες (Εικόνα 3).

3.3 ΤΟ ΤΜΗΜΑ ΤΟΥ ΑΓΩΓΟΥ ΣΤΗΝ Π.Γ.Δ.Μ.

Το μεγαλύτερο τμήμα των γεωλογικών και γεωτεχνικών μελετών έγιναν από ομάδα γεωτεχνικών και γεωλόγων του Πανεπιστημίου "Κυρίλλου και Μεθοδίου" των Σκοπίων, με υπεύθυνους τους Prof. Naum Garkovski και Milorad Jovanovski σε άμεση και συνεχή συνεργασία με την Ελληνική ομάδα μελέτης.

Η χάραξη του αγωγού, στην περιοχή της Π.Γ.Δ.Μ. διασχίζει τη γεωτεκτονική ζώνη του Αξιού-Βαρδάρη (ARSOVSKI, M, et al., 1976, KOCKEL, F. et al., 1971, MERCIER, J., 1968, PETKOVSKI, R., 1992)). Το άμεσο-γεωλογικό υπόβαθρο της ζώνης χαρτογράφησης από τους νεότερους προς του παλιότερους σχηματισμούς αποτελούν:

Ολοκαινικές αποθέσεις, χροακαλοπαταγών, ιλύων και άμμων. Πρόκειται για σύγχρονες αποθέσεις οι οποίες αποτελούνται από χροακάλες, λεπτόκοκκες άμμους, ιλυούχες αργίλους, αργίλους και ιλύ. Σπανιότερα παρεμβάλλονται χονδροκόκκοι άμμοι και ακόμα πιο σπάνια χαλαρά χροακαλοπαγή. Πλειστοκαινικές αποθέσεις που αποτελούνται από κτρινοτέφρες ιλύες, αργίλους, ιλυούχους άμμους, διάσπαρτους χάλικες και χροακάλες καθώς και παρεμβολές φακών αμμοχάλικων. Πρόκειται για ποταμοχειμαόριες κυρίως αποθέσεις αναβαθμίδας. Κατά θέσεις στις συμβολές των χείμαρρων με την νεοτριχή κοίτη εμφανίζονται μικρής έκτασης κώνοι αποθέσεις αποτελούμενοι από διάφορα υλικά χροακαλιών, άμμων και ιλύων. Πλειστοκαινικά λιμναία ιζηματα χροακαλοπαγών, άμμων και αργίλων. Μειοκαινικά λιμναία ιζηματα χροακαλοπαγών, άμμων και αργίλων. Α. Ηνωτικά ιζηματα του φλύσχη, χροακαλοπαγών, μαργιών, πυριτιολίθων και ψαμμιτών σε εναλλαγές. Μεσοζωϊκοί σχηματισμοί διαβασών, σπιλιτών και χαλαζιτών-μονζονιτών, οι μεταμορφωμένοι σχηματισμοί των γάββρων οι οποίοι παρουσιάζουν ανάπτυξη σε μεγάλη έκταση.

Οι μεσοζωϊκοί σχηματισμοί είναι έντονα τεκτονισμένοι από τις φάσεις των αλπικών πτυχώσεων. Σε γενικές γραμμές τα περισσότερα από τα ενεργά ρήγματα είναι καλυμμένα από τεταρογενείς αποθέσεις ή από λιμναία ιζήματα του Πλειοκαινικού. Σε πολλές περιπτώσεις συνδέονται και με τις αναβλύσεις θερμών πηγών (Katlanovo). Η ζώνη του Αξιού, όπου και γίνεται η διέλευση του αγωγού, είναι ιδιαίτερα σεισμογενής και μετά από τη σειμοτεκτονική μελέτη του IZHS (Institute of Earthquake Engineering and Engineering Seismology of Skopje), διαπιστώθηκαν 14 ενεργά ρήγματα που τέμνουν την χάραξη του αγωγού πετρελαίου. Τα περισσότερα από αυτά είναι κανονικά ρήγματα (8) και τα υπόλοιπα οριζόντια μετακίνησης, με μεγέθη σεισμών από 4.5 μέχρι και 6.1 της κλίμακας Richter. Με βάση τις σειμοτεκτονικές αναλύσεις οι εδαφικές μετακινήσεις κατά μήκος της χάραξης εκτιμήθηκαν από 10-30 cm το μέγιστο μετά από σεισμό.

Σε αντίθεση με το ελληνικό τμήμα τα προβλήματα που παρουσιάστηκαν στο τμήμα της χάραξης στη Π.Γ.Δ.Μ. ήταν πολύ περισσότερα. Ο κύριος λόγος αυτών των προβλημάτων οφείλεται στο γεγονός ότι τα τμήματα αυτά ταυτοχρόνα με την

εκπόνηση των γεωλογικών και γεωτεχνικών μελετών ενώ πολλές φορές οι μελέτες ακολουθούσαν την κατασκευή. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα να υπάρξουν 11 αλλαγές στην τελική χάραξη, που αντιπροσώπευαν το 30% του μήκους της συνολικής χάραξης. Η αρχική χάραξη που είχε οριοθετηθεί κατά μήκος της κοίτης του Αξιού εργατάλειφθηκε οριστικά για περιβαλλοντικούς και αναπτυξιακούς λόγους (φράγματα).

Τα κυριότερα προβλήματα που διαπιστώθηκαν κατά την εκπόνηση των μελετών στο τμήμα της χάραξης του αγωγού στην Π.Γ.Δ.Μ. ήταν προβλήματα σχετικά με τις τοπογραφικές αποτυπώσεις, τα ενεργά ρήγματα, τα τεχνητά και φυσικά πρηνή, οπισθοδρομούσα διάβρωση, οι ερυσμοί και οι κατολισθήσεις, η υψηλή υδροφορία σε ορισμένα τμήματα, οι διελεύσεις του Αξιού και των παραποτάμων του με υψηλή παροχή και στερεοπαροχή καθώς και οι αναβλύσεις θερών πηγών σε ορισμένες θέσεις. Οι διελεύσεις της χάραξης με ποταμούς και άλλα τεχνικά (δρομους, αναχώματα κ.α.) ήταν περισσότερες από 150 με κυριότερες τις δύο διελεύσεις του Αξιού, τις διελεύσεις των παραποτάμων του "Pcinja, Crna, Luda Mara, Bregalnitsa, Bosava και Pridesvka". Με βάση γεωτεχνικό πρόγραμμα πραγματοποιήθηκαν συνολικά, στο τμήμα αυτό της χάραξης, 3 cross-hole, 14 ερευνητικά φρέατα, 19 CPT, και 12 δειγματοληπτικές γεωτρήσεις σε δείγματα των ολοφών έγιναν και εργαστηριακές γεωτεχνικές δοκιμές. Καθορίστηκαν έτσι τα πάχη των αποθέσεων στις περιοχές των διελεύσεων του αγωγού από τα ποτάμια και τεχνικά έργα, οι γεωτεχνικές και υδρογεωλογικές τους ιδιότητες.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Οι γεωλογικές και γεωτεχνικές μελέτες καθώς και το γεωτεχνικό πρόγραμμα έχουν ολοκληρωθεί και η φάση της κατασκευής βρίσκεται σε εξέλιξη. Με βάση την εμπειρία, τα στοιχεία των μελετών και τις παρατηρήσεις κατά μήκος της χάραξης μπορούν να διατυπωθούν κάποια συμπεράσματα και εκτιμήσεις σχετικά με τις μελέτες και την κατασκευή αυτού του ειδικού έργου.

Η πρώτη εμπειρία από έργα τέτοιας μορφής έδειξε ότι οι γεωλογικές και γεωτεχνικές ερευνητικές εργασίες έλυσαν προβλήματα που αφορούσαν τόσο την ασφαλή χάραξη και κατασκευή του αγωγού, όσο και τη μείωση του κόστους της κατασκευής του έργου (αλλαγές στη χάραξη).

Οι πολύ περιορισμένες σε αριθμό και μήκος γεωτρήσεις για τον προσδιορισμό της γεωμετρίας των ρημάτων απέδωσαν στο σύνολό τους. Τα στοιχεία αυτά ήταν απαραίτητο να προσδιορισθούν, αφού με τον τρόπο αυτό καθορίζονται τα μέτρα προστασίας (πάχος αγωγού, ειδική θεμελίωση, μήκος επιρροής σεισμικού κινδύνου).

Σε αρκετές θέσεις της χάραξης, ιδιαίτερα στο τμήμα της Π.Γ.Δ.Μ. παρατηρήθηκαν ιδιαίτερα προβλήματα, όπως οπισθοδρομούσα διάβρωση ρεμάτων που μπορεί να επηρεάσει την ευστάθεια του ROW, τομές του αγωγού με ενεργά ρήγματα, ζώνες παλαιών κατολισθήσεων, αστάθειες πρηνών, που εντοπίστηκαν και αντιμετωπίστηκαν στη διάρκεια της κατασκευής του έργου.

Το ερευνητικό γεωτεχνικό πρόγραμμα σχεδιάστηκε κατά τέτοιο τρόπο ώστε τα αποτελέσματα προσδιορισμού των γεωτεχνικών παραμέτρων σεισμικής απόκρισης των cross hole να συσχετίζονται με τα αποτελέσματα των CPT. Άμεσο αποτέλεσμα ήταν η μείωση των cross hole και των CPT και παράλληλα ο καλύτερος και πιο αντιπροσωπευτικός προσδιορισμός των γεωτεχνικών παραμέτρων.

Με τα φρέατα, τις γεωτρήσεις, τα SPT και τις εργαστηριακές δοκιμές, προσδιορίστηκαν τα στρωματογραφικά χαρακτηριστικά των χαλαρών σχηματισμών, οι γεωτεχνικές τους ιδιότητες και οι στάθμες του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα.

Παράλληλα από την εμπειρία αυτή προκύπτουν και μια σειρά γενικών προτάσεων που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά την κατασκευή:

- Σε πολλές περιπτώσεις κατά τη διάνοξη του ROW (διέλευση προσπέλαση του αγωγού) επιχώνονται τα ρέματα (μικρά και μεγάλα). Πρέπει να παραμένει ελεύθερη η αποστράγγιση των ρεμάτων με τα ανώλογα τεχνικά έργα.
- Παρατηρείται ότι πολύ συχνά ο αγωγός δεν ακουμπά στον πυθμένα του χαντακιού (μετά την τοποθέτησή του στο χαντάκι) με αποτέλεσμα να είναι χωρίς στήριξη σε μεγάλο μήκος ("free span"). Αυτό μπορεί να αντιμετωπιστεί κατ' αρχάς με σωστή κατασκευή του χαντακιού και στη συνέχεια εάν τοποθετείται επάνω σε σάκος άμμου και κατόπιν το χαντάκι γεμίζεται με άμμο. Δηλαδή χρησιμοποιούνται τουλάχιστον 20 εκ άμμου σαν υπόστρωμα και 20 εκ άμμου σαν κάλυμμα του αγωγού (top, middle and bottom padding). Αυτή η πρακτική πρέπει να αποτελέσει και την μόνη επιλογή έδρασης του αγωγού.
- Συνίσταται αλλαγή του τρόπου κατασκευής των "tip rap" στα σημεία διέλευσης του αγωγού με ποτάμια. Πρέπει να κατασκευάζονται έτσι ώστε να επιτρέπουν τουλάχιστον εν μέρει τη διόδο του νερού. Αλλιώς υψοζάπτονται και καταστρέφονται από τη διάβρωση.
- Κατά τη φάση κατασκευής του έργου, η **Χηρική Βιβλιοθήκη "Θεόφραστος"** και το **Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ.** να έχουν ήπιες κλίσεις και

μικρό ύψος ανάλογα τους σχηματισμούς, να γίνονται έργα αποστράγγισης κατά τη διάνοιξη, τα νερά που αποστραγγίζονται να οδηγούνται σε αποδέκτη που απέχει 100m τουλάχιστον από την χάραξη και τέλος οι διελεύσεις των υεμάτων να γίνονται σύμφωνα με τα σχετικά τυπικά σχέδια του έργου.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ARSOVSKI M. and PETKOVSKI R. 1975. Neotectonics of Macedonia. IZIIS Publication No.49, Skopje.
- ARSOVSKI M., PETKOVSKI R., HADZIEVSKI D. 1976. Seismotectonic Properties of the Vardar Zone, Proceedings of the Seminar on Seismic Zoning Maps, vol. 1, UNESCO, Skopje.
- COMNINAKIS, P.E. and PAPAZACHOS, B.C. 1986. A catalogue of earthquakes in Greece and the surrounding area for the period 1901-1985. Publ. Geophys. Lab. υπίν. Thessaloniki, 1, 1-167.
- FEDERAL GEOLOGICAL INSTITUTE, BELGRADE, 1970- 1984. Main geological map of Macedonia 1:100000, GAPOVSKI N., JOVANOVSKI M. 2000. Geological reports in special investigation areas, along the crude oil pipeline from Thessaloniki to Skopje (FYROM territories). University of "St. Cyril and Methodius" Skopje.
- IGME, 1989. Seismotectonic Map of Greece.
- IGME, 1993. Geological Sheets. Plati and Evzonoí.
- KATSIKATSOS, G. 1992. Geology of Greece. Athens, 451 σ.
- KOCKEL, F., MOLLAT, H. and WALTHER, H.W. 1971. Geologie Des Serb- Mazedonischen massive and seines mesozoichen Rahmens (Nordgriechenland). Geol. JB., 89, 529-551.
- LIONIS m., ANTONIADES K., STOURNARAS G., PAVLOPOULOS K., ELEFThERIOU M. 2000. Geological reports in special investigation areas along the crude oil pipeline from Thessaloniki to Skopje (Greek territories).
- MERCIER, J. 1968. Etude géologique des zones internes des Hellenides Macedoine centrales. Contribution a l'étude du métamorphisme et de l'évolution magmatique des zones internes des Hellenides. Ann. Geol. Des Pays Hel., 20, 1-735.
- MOUNTRAKIS, O., KILIAS, A., PAVLIDES, S., KOUFOS, G., SPYROPOULOS, N., TRANOS, M., PAPAZACHOS, C., ZOUROS, N., FASSOULAS, Ch. 1995. Map of Active faults of Greece. Macedonia Region, 1: 300.000 (IN Greek) Unpubl. Report. OASP 106σσ.
- MOUNTRAKIS, D. 1985. Geology of Greece. Thessaloniki, 207 σ.
- MOUNTRAKIS, O., PSILOVIKOS, A., and PAPAZACHOS, B. 1983. The Geotectonic regime of the 1978 Thessaloniki earthquakes. In special volume, .The Thessaloniki. Northern Greece. Earthquake of June 20, 1978 and its seismic sequence. Technical Chamber of Greece, Section of Central Macedonia, editors B. C. Papazachos, P. G. Carydis.
- PAPANIKOLAOU D. 1986. Geology of Greece. Athens, 240 pp.
- PAPAZACHOS B. 1997, The Earthquakes in Greece, Thessaloniki.
- PAPAZACHOS, B.C., PAPAIOANNOU, CH. A., PAPAZACHOS, C.B. and SAVVAIDIS, A.S. 1997. Rupture zones and seismic faults of shallow earthquakes in Greece. IASPEI 2gtII General Assembly, Thessaloniki, 18-28 August 1997.
- PETKOVSKI R. (1992), Seismotectonic Characteristics of Macedonia, Mine and Geological Faculty, Belgrade.
- STAVRAKAKIS g. 2000, Seismotectonic analysis and seismic hazard in areas along the crude oil pipeline from Thessaloniki to Skopje (Greek territories)