

Κριτήρια Διαγραμμάτων Περιβάλλουσας Αντοχής Παθητικού Αγκυρίου Ολικής Πάκτωσης (Soil/Rock Nailing).

Classification of Maximum Tension Load Strength Diagrams of Grouted Nails

ΣΑΡΗΓΙΑΝΝΗΣ ΔΗΜΗΤΡΗΣ
ΤΣΟΤΣΟΣ ΣΤΕΦΑΝΟΣ
ΧΑΤΖΗΓΩΓΟΣ ΘΕΟΔΩΡΟΣ
ΚΩΜΟΔΡΟΜΟΣ ΑΙΜΙΛΙΟΣ

Πολιτικός Μηχανικός, M.Sc, D.I.C.
Πολιτικός Μηχανικός, Καθηγητής Α.Π.Θ.
Πολιτικός Μηχανικός, Καθηγητής Α.Π.Θ.
Πολιτικός Μηχανικός Επίκουρος Καθηγητής Π. Θ.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Η μέγιστη εφελκυστική αντοχή που μπορεί να αναπτυχθεί σε κάθε θέση κατά μήκος ενός αγκυρίου πλήρους ενεμάτωσης σε όλο το μήκος του δίδεται με τη μορφή πέντε διαφορετικών μορφών περιβάλλουσας εφελκυστικής αντοχής, οι οποίες διαμορφώνονται ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του αγκυρίου και τη σύσταση του εδάφους. Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας συντάσσεται αναλυτική και διαγραμματική απεικόνιση των διαφόρων μορφών κατάταξης της περιβάλλουσας εφελκυστικής αντοχής, από την οποία είναι δυνατό να διεξαχθούν χρήσιμα και πρακτικά συμπεράσματα για το σχεδιασμό τους.

ABSTRACT: The maximum tension strength that can be mobilized at every point towards a grouted nail length, can be estimated from five types of tension load diagrams. The type of the diagram is related from the features of the nail and the sort of the soil. The shapes of these load diagrams are being presented in this article, together with analytical procedures of calculation, in order to have a better understanding for the design of soil and rock nail stability methods.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ενίσχυση της αντοχής του εδάφους με όπλιση που αποτελείται από παθητικά αγκύρια, βρίσκει εφαρμογή από της αρχές της δεκαετίας του 1970. Με τον όρο «Soil/Rock Nailing» περιλαμβάνεται γενικότερα η ενίσχυση του εδάφους με παθητικά στοιχεία τα οποία λειτουργούν είτε αποκλειστικά σε εφελκυσμό (π.χ. όπλιση ανοικτών εκσκαφών, πρानών), είτε αποκλειστικά σε συνδυασμό διάτμησης-κάμψης (π.χ. όπλιση με διάταξη μικροπασσάλου), είτε σε συνδυασμό εφελκυσμού-διάτμησης (π.χ. όπλιση εκσκαφών σηράγγων).

Στόχος της παρούσας εργασίας αποτελεί η διερεύνηση της μέγιστης εφελκυστικής αντοχής που μπορεί να αναπτυχθεί κατά μήκος ενός παθητικού αγκυρίου ολικής πάκτωσης. Με τον όρο «παθητικό αγκύριο ολικής πάκτωσης»

ορίζεται ένα αγκύριο το οποίο δεν προεντείνεται ενεργητικά, έχει εσωτερικό οπλισμό (συνήθως χαλύβδινη ράβδος) και περιλαμβάνει σε όλο το μήκος του ένεμα το οποίο διαμορφώνεται σε εξωτερική διάμετρο (Διάτρημα) γύρω από τον οπλισμό.

Τα οπλισμένα παθητικά αγκύρια ολικής πάκτωσης έχουν τη δυνατότητα να αναπτύσσουν διατμητικές δυνάμεις συνάφειας κατά μήκος του στοιχείου, τόσο μεταξύ της διεπιφάνειας «Έδαφος-Ένεμα αγκυρίου» όσο και μεταξύ της διεπιφάνειας «Ένεμα αγκυρίου-Οπλισμός αγκυρίου». Οι διατμητικές δυνάμεις συνάφειας αναπτύσσονται προοδευτικά μεταξύ των συγκεκριμένων διεπιφανειών, όταν το αγκύριο τείνει να παραμορφωθεί κατά τη διάρκεια κάποιας εκσκαφής. Η προοδευτική ανάπτυξη των διατμητικών δυνάμεων

συνάφειας στις διεπιφάνειες, έχει σαν αποτέλεσμα την ταυτόχρονη προοδευτική ανάπτυξη εφελκυστικών δυνάμεων αντοχής εσωτερικά του αγκυρίου (FHWA-IF-03-17, 2003).

Η κατανομή των διατμητικών δυνάμεων συνάφειας και κατ' επέκταση των εφελκυστικών δυνάμεων αντοχής ενός αγκυρίου, είναι συνάρτηση διαφόρων παραμέτρων όπως η αρχική εντατική κατάσταση, ο προσανατολισμός και τα χαρακτηριστικά του αγκυρίου, η δυστένεια του αγκυρίου και η δυσκαμψία και τα χαρακτηριστικά των διεπιφανειών (FHWA-SA-96-069R, 1996) (Itasca, 2005).

Ένας ενδεδειγμένος τρόπος επίλυσης προβλημάτων με παθητικά αγκύρια αποτελεί η σύνταξη του διαγράμματος της περιβάλλουσας της μέγιστης εφελκυστικής αντοχής κατά μήκος του αγκυρίου (Seahan, 2003). Με το συγκεκριμένο διάγραμμα λαμβάνεται η μέγιστη εφελκυστική αντοχή που μπορεί να αναπτυχθεί σε κάθε θέση κατά μήκος ενός αγκυρίου. Οι αντίστοιχες τιμές δυνάμεων εφελκυστικής αντοχής που λαμβάνονται από τη περιβάλλουσα, συμμετέχουν υπολογιστικά στην αύξηση του γενικού συντελεστή ευστάθειας του οπλισμένου εδάφους (εκσκαφή αντιστήριξης, σήραγγας κλπ).

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας διενεργείται μία διεξοδική διερεύνηση των μορφών της περιβάλλουσας αντοχής ενός παθητικού αγκυρίου, η οποία περιλαμβάνει διαγραμματική και αναλυτική απεικόνιση. Η ανάλυση καταλήγει σε απλές μαθηματικές σχέσεις, από τις οποίες μπορεί να καταταχθεί η μορφή της περιβάλλουσας αντοχής, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά, τόσο του εδάφους, όσο και του αγκυρίου. Η διαγραμματική και αναλυτική απεικόνιση δίδει τη δυνατότητα παραμετρικής διερεύνησης των μορφών της περιβάλλουσας αντοχής του αγκυρίου, από την οποία είναι δυνατό να διεξαχθούν χρήσιμα και πρακτικά συμπεράσματα για το σχεδιασμό τους.

2. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΥΣΑ ΑΝΤΟΧΗΣ ΠΑΘΗΤΙΚΟΥ ΑΓΚΥΡΙΟΥ

Το διάγραμμα της περιβάλλουσας της μέγιστης εφελκυστικής αντοχής που μπορεί να αναπτυχθεί κατά μήκος ενός οπλισμένου παθητικού αγκυρίου ολικής πάκτωσης, εξαρτάται από τέσσερις βασικές συνθήκες οριακής αστοχίας που είναι οι εξής:

1. Η αντοχή του στοιχείου στη διεπιφάνεια «ένεμα αγκυρίου-έδαφος». Η υπέρβαση αντοχής στη συγκεκριμένη διεπιφάνεια μπορεί να προκαλέσει εξόλκευση του στοιχείου από το έδαφος.
2. Η αντοχή στη διεπιφάνεια «Οπλισμός στοιχείου-ένεμα στοιχείου». Η υπέρβαση αντοχής στη συγκεκριμένη διεπιφάνεια μπορεί να προκαλέσει εξόλκευση του οπλισμού από το ένεμα.
3. Η αντοχή του οπλισμού του στοιχείου. Η υπέρβαση αντοχής του οπλισμού μπορεί να προκαλέσει θραύση του στοιχείου.
4. Η αντοχή στη θέση της κεφαλής του στοιχείου με την επένδυση. Η συγκεκριμένη τιμή αντοχής προέρχεται από την αντοχή που αναπτύσσεται στη σύνδεση του αγκυρίου με την επένδυση της αντιστήριξης (FHWA-SA-96-069R, 1996). Τυχόν υπέρβαση της αντοχής επένδυσης μπορεί να προκαλέσει αστοχία στην επένδυση ή και πλήρη αποκόλληση τεμάχους του οπλισμένου εδάφους προς τα έξω (Bhaskar, 2003).

Οι βασικές παράμετροι οι οποίες συμμετέχουν στη διαμόρφωση των παραπάνω συνθηκών αστοχίας είναι το διάτρημα D του αγκυρίου, η διάμετρος d του οπλισμού, το συνολικό μήκος L του αγκυρίου, η αντοχή f_{yk} του οπλισμού, η οριακή πλευρική τριβή q_s εδάφους-ενέματος αγκυρίου και η αντοχή THFL στην κεφαλή του στοιχείου στη σύνδεση με την επένδυση της αντιστήριξης (Gregory 2001 και FHWA-IF-03-17, 2003).

Πιο συγκεκριμένα:

- Η ανά μονάδα μήκους αντοχή σε εξόλκευση στη διεπιφάνεια ενέματος-εδάφους QDL ισούται με:

$$QDL = \pi D q_s \quad (\text{kN/m}) \quad (1)$$

- Η αντοχή του οπλισμού ισούται με:

$$TNL = \frac{\pi d^2}{4} f_{yk} \quad (\text{kN}) \quad (2)$$

- Η αντοχή στην κεφαλή του στοιχείου στη σύνδεση με την επένδυση συμβολίζεται με THFL (kN) και εξαρτάται από το είδος και την αντοχή της επένδυσης της αντιστήριξης (Bhaskar, 2003).

Η μέγιστη εφελκυστική αντοχή ενός αγκυρίου ολικής πάκτωσης μεταβάλλεται κατά μήκος του στοιχείου και δίδεται με τη μορφή διαγράμματος περιβάλλουσας, όπως ακριβώς παρουσιάζεται στον τύπο 1 του Σχήματος 1(α) (FHWA-IF-03-17, 2003). Στο συγκεκριμένο σχήμα φαίνεται το βασικό πρωτογενές διάγραμμα της περιβάλλουσας της μέγιστης εφελκυστικής αντοχής, όπως σχηματίζεται από τις παραμέτρους THFL, TNL, QDL και L.

Για την περίπτωση ενός προβλήματος ευστάθειας πρανούς, η μέγιστη δύναμη εφελκυστικής αντοχής που συνεισφέρει στην αύξηση του συντελεστή ασφάλειας, λαμβάνεται από το διάγραμμα του σχήματος 1α, ως η τιμή που προκύπτει από το σημείο τομής του υποτιθέμενου κύκλου ολίσθησης με το αγκύριο.

Η περιβάλλουσα αντοχής του διαγράμματος χωρίζεται σε τρεις κύριες περιοχές αντοχής A, B και C. Οι τιμές αντοχής που προκύπτουν από την περιοχή A εξαρτώνται από την τιμή της αντοχής στην κεφαλή THFL σε συνδυασμό με την τιμή της αντοχής σε εξόλκευση QDL. Οι τιμές αντοχής που προκύπτουν από την περιοχή B εξαρτώνται αποκλειστικά από την τιμή της αντοχής της ράβδου οπλισμού TNL. Οι τιμές αντοχής που προκύπτουν από την περιοχή C εξαρτώνται αποκλειστικά από την τιμή QDL της αντοχής σε εξόλκευση.

3 ΜΟΡΦΕΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΥΣΑΣ ΠΑΘΗΤΙΚΟΥ ΑΓΚΥΡΙΟΥ

Από τη μορφή τύπου 1 του διαγράμματος του Σχήματος 1(α) γίνεται φανερό ότι η αυξομείωση των αντίστοιχων παραμέτρων που συμμετέχουν στη διαμόρφωση του διαγράμματος, είναι δυνατό να οδηγήσει σε διαφορετικές παραλλαγές περιβάλλουσας όπως ακριβώς παρουσιάζεται στις επόμενες περιπτώσεις του Σχήματος 1 [Gregory 2001]. Πιο συγκεκριμένα:

- **Μορφή Τύπου 1 (Σχήμα 1(α))**

Ο τύπος 1 όπως προαναφέρθηκε είναι το πρωτογενές διάγραμμα το οποίο οδηγεί σε ανάπτυξη αντοχής με μέγιστη τιμή ίση με την τιμή της αντοχής του οπλισμού TNL (περιοχή B).

- **Μορφή Τύπου 2 (Σχήμα 1(β))**

Ο τύπος 2 αφορά αγκύρια όπου η ανά μονάδα μήκους αντοχή σε εξόλκευση QDL οδηγεί σε ανάπτυξη μέγιστης εφελκυστικής αντοχής ίσης με την τιμή της αντοχής του οπλισμού TNL, η οποία όμως είναι μικρότερη από την αντοχή της επένδυσης THFL. Στην

περίπτωση αυτή η αντοχή σε εξόλκευση (περιοχή C) εξαντλείται στην αντοχή του οπλισμού TNL (περιοχή A) $QDL \times C = TNL$ και όχι στην αντοχή THFL της επένδυσης της αντιστήριξης. Όπως είναι φανερό τιμές περαιτέρω αύξηση της τιμής της αντοχής THFL δεν επηρεάζει την ανάλυση.

- **Μορφή Τύπου 3 (Σχήμα 1(γ))**

Ο τύπος 3 αφορά αγκύρια όπου η ανά μονάδα μήκους αντοχή σε εξόλκευση QDL δεν αναπτύσσει μέγιστη τιμή αντοχής, ίσης με την τιμή της αντοχής του οπλισμού TNL, η αντοχή όμως της επένδυσης THFL επηρεάζει την τιμή του διαγράμματος στην περιοχή A. Στην περίπτωση αυτή η μέγιστη αντοχή σε εξόλκευση είναι μικρότερη από την τιμή αντοχής του οπλισμού και ισούται με $QDL \times C = THFL + QDL \times A$. Στη συγκεκριμένη περίπτωση περαιτέρω αύξηση της τιμής της αντοχής TNL δεν επηρεάζει την ανάλυση.

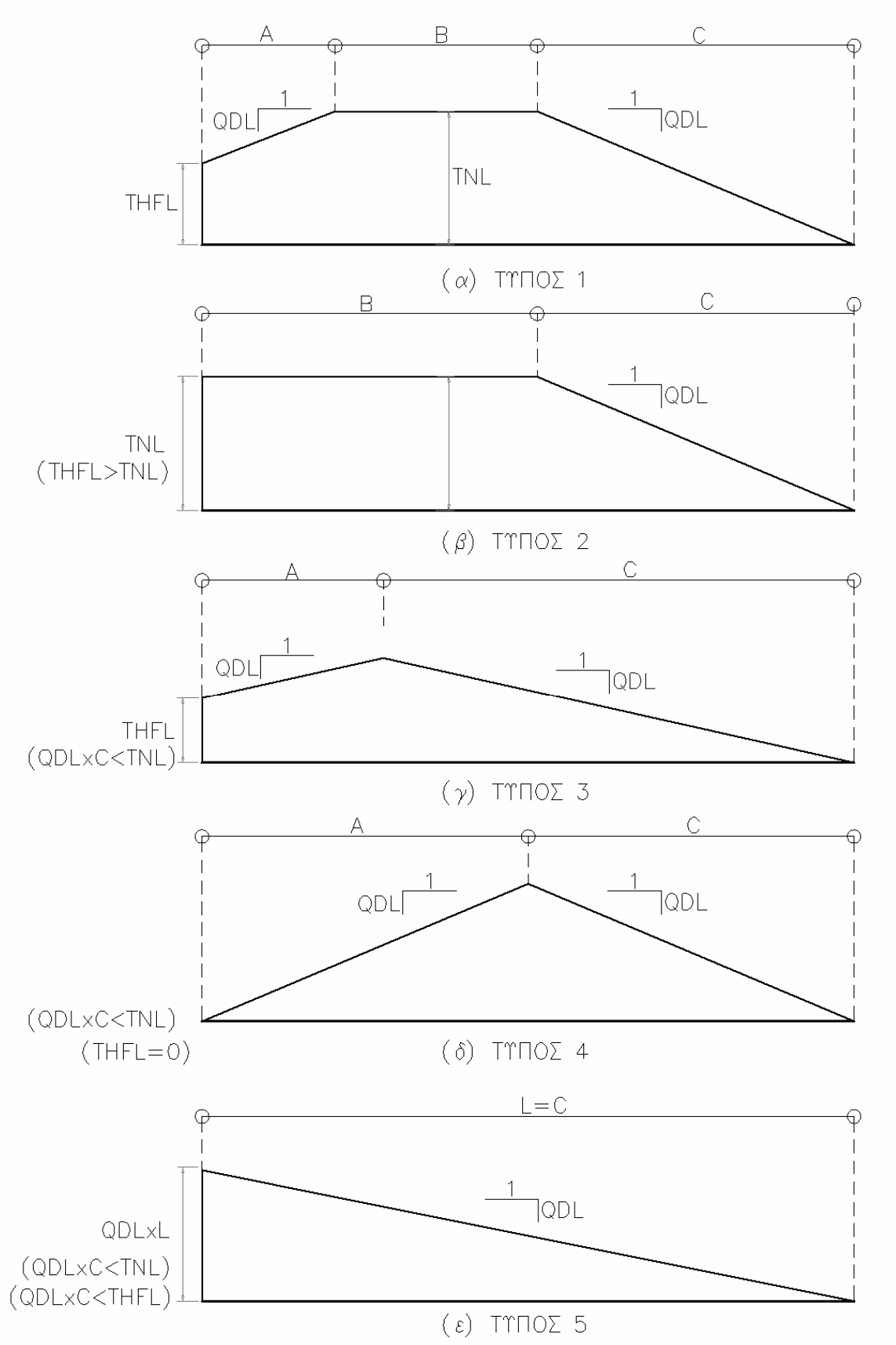
- **Μορφή Τύπου 4 (Σχήμα 1(δ))**

Ο τύπος 4 αφορά αγκύρια όπου η ανά μονάδα μήκους αντοχή σε εξόλκευση QDL δεν οδηγεί σε μέγιστη τιμή εφελκυστικής αντοχής ίσης με την τιμή της αντοχής του οπλισμού TNL, η αντοχή όμως της επένδυσης THFL είναι μηδενική και συνεπώς δεν επηρεάζει τη μορφή του διαγράμματος, το οποίο διαμορφώνεται σε δύο ίσες περιοχές $A=C$ όπου $L=A+C$. Στην περίπτωση αυτή η αντοχή του αγκυρίου εξαντλείται στη μέγιστη αντοχή εξόλκευσης $QDL \times C = QDL \times A$. Στη συγκεκριμένη περίπτωση περαιτέρω αύξηση της τιμής της αντοχής TNL δεν επηρεάζει την ανάλυση.

- **Μορφή Τύπου 5 (Σχήμα 1(ε))**

Ο τύπος 5 αφορά αγκύρια όπου η ανά μονάδα μήκους αντοχή σε εξόλκευση QDL δεν επαρκεί ώστε να αναπτυχθεί μέγιστη τιμή αντοχής ίση με την τιμή της αντοχής του οπλισμού TNL, ούτε και σε ανάπτυξη αντοχής ίσης με την αντοχή της επένδυσης THFL. Στην περίπτωση αυτή η μέγιστη εφελκυστική αντοχή του αγκυρίου εξαντλείται στην αντοχή εξόλκευσης $QDL \times L$. Στη συγκεκριμένη περίπτωση περαιτέρω αύξηση της τιμής της αντοχής TNL ή THFL δεν επηρεάζει την ανάλυση.

Από τα συγκεκριμένα διαγράμματα γίνεται φανερό ότι ο προσδιορισμός της μορφής της περιβάλλουσας για κάθε περίπτωση είναι σύνθετος, δεδομένου ότι εξαρτάται από το συνδυασμό των παραμέτρων THFL, QDL, TNL και L. Το ποσοστό επιρροής και η ευαισθησία κάθε μίας από τις παραπάνω παραμέτρους σε ένα πρόβλημα ευστάθειας με παθητικά αγκύρια ολικής πάκτωσης δεν είναι άμεσα



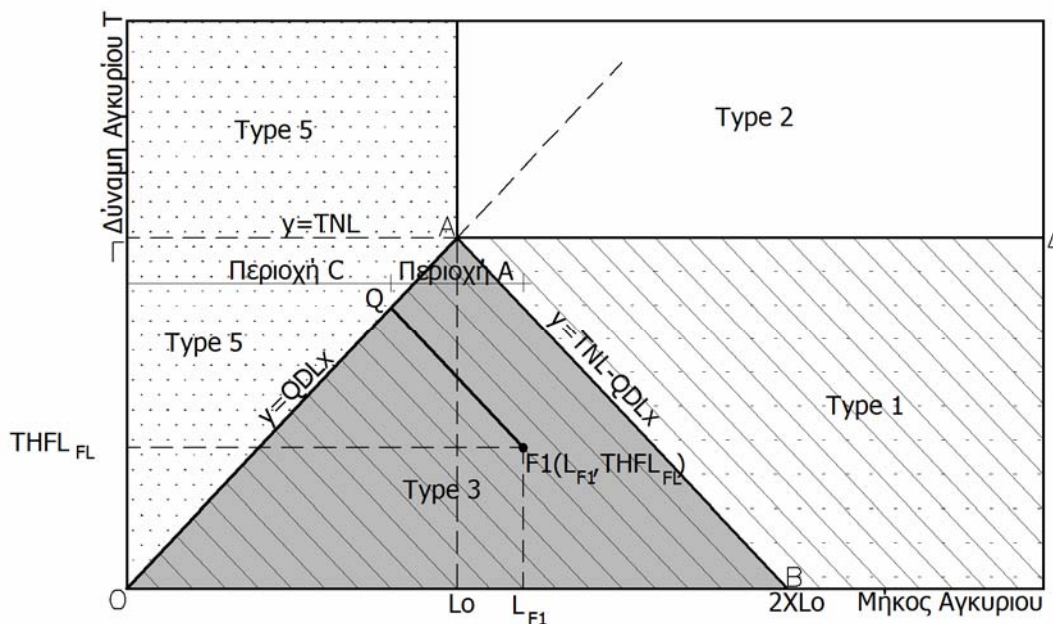
Σχήμα 1. Μορφές περιβάλλουσας μέγιστης εφελκυστικής αντοχής
 Figure 1. Types of maximum tension load diagrams

ξεκάθαρο για να απαντηθεί, δεδομένου ότι προκύπτουν 5 διαφορετικές μορφές περιβάλλουσας αντοχής με βασικές διαφοροποιήσεις μεταξύ τους.

Η πλήρης διερεύνηση της διαμόρφωσης των εκάστοτε μορφών περιβάλλουσας ανάλογα με τις τιμές που λαμβάνουν οι παράμετροι THFL, TNL, QDL και L θα μπορούσε να συνεισφέρει, ώστε να γίνει περισσότερο κατανοητή η ποιοτική και ποσοτική συνεισφορά της σύστασης του εδάφους και των χαρακτηριστικών του παθητικού στοιχείου στη διαμόρφωση της εφελκυστικής αντοχής του αγκυρίου.

TNL, QDL και L θα μπορούσε να συνεισφέρει, ώστε να γίνει περισσότερο κατανοητή η ποιοτική και ποσοτική συνεισφορά της σύστασης του εδάφους και των χαρακτηριστικών του παθητικού στοιχείου στη διαμόρφωση της εφελκυστικής αντοχής του αγκυρίου.

4 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΜΟΡΦΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΥΣΑΣ



Σχήμα 2. Διάγραμμα κατάταξης μορφών περιβάλλουσας
Figure 2. Classification figure of tension load diagrams

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας συντάχθηκε το διάγραμμα του Σχήματος 2, από το οποίο μπορεί να καταταχθεί άμεσα ο τύπος και η μορφή της περιβάλλουσας ενός παθητικού αγκυρίου ολικής πάκτωσης. Στον άξονα των x δίδεται το συνολικό μήκος L του αγκυρίου και στον άξονα των y λαμβάνεται είτε η αντοχή του οπλισμού του αγκυρίου TNL, είτε η αντοχή της επένδυσης THFL. Το συγκεκριμένο διάγραμμα αποτελείται από τα ευθύγραμμο τμήματα OA (εξίσωση ευθείας $y=QDLx$ [$x < L_0$]), AB (εξίσωση ευθείας $y=TNL-QDLx$ [$L_0 < x < 2L_0$]) και ΓΔ (εξίσωση ευθείας $y=TNL$), οι οποίες διαμορφώνουν τις τέσσερις από τις πέντε περιοχές κατάταξης του τύπου του αγκυρίου όπως έχουν παρουσιαστεί στο Σχήμα 1.

Για παράδειγμα για ένα αγκύριο συνολικού μήκους L_{F1} και τιμή αντοχής επένδυσης στην κεφαλή του αγκυρίου $THFL_{F1}$ ορίζεται το σημείο $F1(L_{F1}, THFL_{F1})$, η θέση του οποίου στο διάγραμμα κατάταξης υποδηλώνει τον τύπο περιβάλλουσας της εφελκυστικής αντοχής του

αγκυρίου. Στη συγκεκριμένη περίπτωση πρόκειται για αγκύριο που δίδει περιβάλλουσα εφελκυστικής αντοχής τύπου 3 (βλ. Σχήμα 1(γ)) εφόσον το σημείο F1 βρίσκεται εντός της περιοχής 3 του διαγράμματος κατάταξης.

Το ευθύγραμμο τμήμα που ορίζεται από τα σημεία $L_{F1}F1$ εκπροσωπεί την τιμή της αντοχής στη θέση της κεφαλής του αγκυρίου. Ακολουθώντας τα ευθύγραμμο τμήματα $L_{F1}F1$, $F1Q$ και QO σχηματίζεται άμεσα η περιβάλλουσα εφελκυστικής αντοχής του συγκεκριμένου αγκυρίου συνολικού μήκους L_{F1} με τη θέση της κεφαλής στο σημείο L_{F1} .

Το συγκεκριμένο διάγραμμα κατάταξης δίδει μία αρχική ποιοτική και ποσοτική δυνατότητα διερεύνησης της περιβάλλουσας της εφελκυστικής αντοχής ενός παθητικού αγκυρίου ολικής πάκτωσης. Με τη χρήση του υπολογίζεται άμεσα η διαμόρφωση των περιοχών A, B και C και μπορούν να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα για τον κατάλληλο τεχνοοικονομικό σχεδιασμό μίας ενίσχυσης οπλισμένου εδάφους.

5 ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΙΚΗΣ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗΣ
ΜΟΡΦΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΥΣΑΣ

Με βάση το ήδη διαμορφωμένο διάγραμμα του Σχήματος 2, επιχειρείτε μία αναλυτική προσέγγιση της κατάταξης των διαφόρων μορφών περιβάλλουσας. Για το λόγο αυτό καθορίζονται οι συγκεκριμένοι βοηθητικοί συντελεστές όπως:

$$L_0 = \frac{TNL}{QDL} \quad (3)$$

Όπου L_0 είναι το απαιτούμενο μήκος για να αναπτυχθεί δύναμη αντοχής σε εξόλκευση ίση με TNL (QDL $L_0 = TNL$).

$$L_1 = \frac{THFL}{QDL} \left(L_1 = THFL \frac{1}{\pi D} \frac{1}{q_s} \rightarrow L_1 = THFL a_k \right) \quad (4)$$

$$\text{Όπου: } a_k = \frac{1}{\pi D} \frac{1}{q_s} = \frac{1}{QDL} \quad (5)$$

L_1 είναι το απαιτούμενο μήκος για να αναπτυχθεί δύναμη αντοχής σε εξόλκευση ίση με THFL (QDL $L_0 = THFL$).

Με βάση τους παραπάνω βοηθητικούς συντελεστές και αναλόγως το συνολικό μήκος L του αγκυρίου προκύπτουν τα εξής:

1) Για μήκη αγκυρίων $L < L_0$ ισχύει:
Για αγκύρια στην περιοχή του τύπου 5

$$THFL > QDL \quad L \Rightarrow \underline{L < L_1} \quad (6)$$

Για αγκύρια στην περιοχή του τύπου 3

$$THFL < QDL \quad L \Rightarrow \underline{L > L_1} \quad (7)$$

2) Για μήκη αγκυρίων $L_0 < L < 2L_0$ ισχύει:
Για αγκύρια στην περιοχή του τύπου 3

$$THFL < TNL - QDL(L - L_0) \Rightarrow \Rightarrow \frac{THFL}{QDL} < \frac{TNL}{QDL} - L + L_0 \Rightarrow \underline{L < 2L_0 - L_1} \quad (8)$$

Για αγκύρια στην περιοχή του τύπου 1 ισχύει:

$$THFL > TNL - QDL(L - L_0) \Rightarrow \underline{L > 2L_0 - L_1} \quad (9)$$

$$\text{και πρέπει } THFL < TNL \text{ ή } \underline{L_1 < L_0} \quad (10)$$

Για αγκύρια στην περιοχή του τύπου 2 ισχύει:

$$THFL > TNL - QDL(L - L_0) \Rightarrow \underline{L > 2L_0 - L_1} \quad (11)$$

$$\text{και πρέπει } THFL > TNL \text{ ή } \underline{L_1 \geq L_0} \quad (12)$$

3) Για μήκη αγκυρίων με $L > 2L_0$ ισχύει:

Για αγκύρια στην περιοχή του τύπου 1 ισχύει:

$$THFL < TNL \text{ ή } \underline{L_1 < L_0} \quad (13)$$

Για αγκύρια στην περιοχή του τύπου 2 ισχύει:

$$THFL > TNL \text{ ή } \underline{L_1 \geq L_0} \quad (14)$$

4) Για οποιοδήποτε μήκος αγκυρίου όταν $THFL = 0$

Τότε $L_1 = 0$ και ισχύει:

1) Τύπος 4 όταν $L < 2L_0$ (εξισ. (8) & σχήμα 2)

2) Τύπος 1 όταν $L > 2L_0$ (σχήμα 2)

Οι συντελεστές L_0 και L_1 μπορούν να συσχετιστούν και με τις αντίστοιχες περιοχές A, B και C κάθε τύπου αγκυρίου, οι οποίες ανάλυση των οποίων δεν αποτελεί αντικείμενο της συγκεκριμένης εργασίας. Στο πίνακα 1 φαίνεται η συνοπτική παρουσίαση των αποτελεσμάτων τόσο για την κατάταξη της περιβάλλουσας όσο και τη συσχέτιση με τις περιοχές A, B και C.

Πίνακας 1. Κατάταξη περιβάλλουσας αγκυρίων
Table 1. Classification of tension load diagram

ΤΥΠΟΣ 5	ΤΥΠΟΣ 3	ΤΥΠΟΣ 1	ΤΥΠΟΣ 2
$L < L_1$ & $L < L_0$	$L_1 < L < 2L_0 - L_1$	$L > 2L_0 - L_1$ & $L_1 < L_0$	$L > 2L_0 - L_1$ & $L_1 > L_0$
A=0 B=0 C=L	$A = \frac{L}{2} - \frac{L_1}{2}$ B=0 $C = \frac{L}{2} + \frac{L_1}{2}$	A= $L_0 - L_1$ B= $L - 2L_0 + L_1$ C= L_0	A=0 B=L- L_0 C= L_0

Σημείωση: Όταν $THFL = 0$
 $L < 2L_0$ τότε Τύπος 4
 $L > 2L_0$ τότε Τύπος 1

5 ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ

Επιλέγεται ένα οπλισμένο αγκύριο ολικής πάκτωσης με χαρακτηριστικά οπλισμού $f_{yk} = 500 \text{ Mpa}$ και $d = 25 \text{ mm}$.

Στο πρώτο διάγραμμα του Σχήματος 3 παρουσιάζεται η μεταβολή του συντελεστή L_0 σε σχέση με την παράμετρο της οριακής

πλευρικής τριβής q_s εδάφους-αγκυρίου για διάφορες τιμές διατρημάτων του ενέματος από $D=50\text{mm}$ έως και $D=150\text{mm}$.

Στο δεύτερο διάγραμμα παρουσιάζεται η μεταβολή του συντελεστή a_k (βλ. παρ. 4) σε σχέση με την παράμετρο q_s για τις ίδιες τιμές διατρημάτων ενέματος D που ισχύουν και για το πρώτο διάγραμμα.

Στο τρίτο και τελευταίο διάγραμμα παρουσιάζεται η μεταβολή του συντελεστή L_1 σε σχέση με την παράμετρο a_k για διάφορες τιμές αντοχής της επένδυσης THFL βάση ποσοστού της αντοχής του οπλισμού του σιδήρου TNL. Με βάση τα παραμετρικά διαγράμματα του Σχήματος 3 προκύπτουν τα εξής:

1. Διάστημα τιμών $q_s < 75\text{kPa}$

Το συγκεκριμένο διάστημα τιμών αντιπροσωπεύει κυρίως σιφρά αργιλικά εδάφη ή μέσης πυκνότητας κοκκώδη εδάφη για τα οποία προκύπτουν τα εξής:

- Οι τιμές του συντελεστή L_0 αναμένονται σχετικά υψηλές με $L_0 > 13\text{m}$ για διάτρημα $D=150\text{mm}$ και $L_0 > 20\text{m}$ για διάτρημα $D=50\text{mm}$.
- Η τελική τιμή του συντελεστή L_1 για διάτρημα ενέματος $D=150\text{mm}$ ($a_k=0,03$) έχει αρκετά σημαντικό εύρος διακύμανσης από $L_1=1,0$ έως $7,0\text{m}$ (THFL=10%TNL÷100%TNL αντίστοιχα) αφού η τιμή της αντοχής της επένδυσης έχει αρκετά μεγάλα περιθώρια να μεταβάλει σημαντικά την τιμή του L_1 .
- Για διάτρημα ενέματος $D=50\text{mm}$ ($a_k=0,08$) το L_1 κυμαίνεται μεταξύ $2,0$ έως $20,0\text{m}$ (THFL=10%TNL÷100%TNL αντίστοιχα) ανάλογα με την αντοχή της επένδυσης.

Οι μεγάλες τιμές L_0 και οι έντονα κυμαινόμενες αλλά εξίσου υψηλές τιμές L_1 υποδηλώνουν ότι για συμβατικά ολικά μήκη αγκυρίων της τάξης των $3,0 \div 6,0\text{m}$ το διάγραμμα περιβάλλουσας είναι κυρίως της μορφής 5 ή 3 (βλ. πίνακα 1). Σε περίπτωση αύξησης της αντοχής της επένδυσης στην κεφαλή του αγκυρίου (αύξηση L_1) η κατάταξη του αγκυρίου θα οδηγήσει σε αγκύριο τύπου 5.

2. Διάστημα τιμών $q_s = 100 \div 200\text{kPa}$

Το συγκεκριμένο διάστημα τιμών αντιπροσωπεύει κυρίως σιφρές αμμώδης

αργίλους ή πολύ πυκνά αμμώδη εδάφη για τα οποία προκύπτουν τα εξής:

- Οι τιμές του συντελεστή L_0 αναμένονται χαμηλές με $L_0 > 3\text{m}$ για διάτρημα $D=150\text{mm}$ και $L_0 > 8\text{m}$ για διάτρημα $D=50\text{mm}$
- Η τελική τιμή του συντελεστή L_1 για διάτρημα ενέματος $D=150\text{mm}$ ($a_k=0,01$) έχει εύρος διακύμανσης από $L_1=0,5$ έως $2,5\text{m}$ (THFL=10%TNL÷100%TNL αντίστοιχα). Σε αυτήν την περίπτωση η τιμή της αντοχής της επένδυσης δεν έχει αρκετά περιθώρια να μεταβάλει την τιμή του L_1 .
- Για διάτρημα $D=50\text{mm}$ ($a_k=0,03$) το L_1 κυμαίνεται μεταξύ $1,0$ έως $7,0\text{m}$ (THFL=10%TNL÷100%TNL αντίστοιχα) ανάλογα με την αντοχή της επένδυσης.

Οι μικρές τιμές L_0 και οι σχετικά χαμηλές και όχι έντονα κυμαινόμενες τιμές L_1 υποδηλώνουν ότι το διάγραμμα περιβάλλουσας είναι κυρίως της μορφής 1,3 ή 2 (βλ. πίνακα 1).

6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ένας ενδεξιγμένος τρόπος επίλυσης προβλημάτων ευστάθειας με παθητικά αγκύρια ολικής πάκτωσης, αποτελεί η σύνταξη του διαγράμματος της περιβάλλουσας εφελκυστικής αντοχής η οποία μπορεί να αναπτυχθεί κατά μήκος ενός αγκυρίου. Για την περίπτωση ενός προβλήματος ευστάθειας πρानούς, η μέγιστη δύναμη εφελκυστικής αντοχής που συνεισφέρει στην αύξηση του συντελεστή ασφάλειας, λαμβάνεται από το διάγραμμα της περιβάλλουσας ως η τιμή που προκύπτει από το σημείο τομής του υποτιθέμενου κύκλου ολίσθησης με το διάγραμμα της περιβάλλουσας.

Σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση της περιβάλλουσας έχει το συνολικό μήκος του αγκυρίου, η αντοχή του οπλισμού, η εξωτερική διάμετρος του ενέματος του στοιχείου (διάτρημα), η αντοχή σε εξόλκευση και η αντοχή της επένδυσης. Ο συνδυασμός των παραπάνω παραμέτρων καταλήγει σε πέντε πιθανές μορφές του διαγράμματος της περιβάλλουσας εφελκυστικής αντοχής, από τη διερεύνηση των οποίων προκύπτει η άλλοτε μικρή η μεγάλη συνεισφορά κάποιας παραμέτρου στην ανάλυση ευστάθειας.

Η σύνταξη διαγραμματικής απεικόνισης των διαφόρων μορφών της περιβάλλουσας αντοχής, όπως επίσης και η αναλυτική προσέγγιση του ίδιου προβλήματος,

συντελούν στη διαμόρφωση κάποιων αρχικών συμπερασμάτων για την ποιοτική και ποσοτική κατανόηση του μηχανισμού των συγκεκριμένων συστημάτων ενίσχυσης.

Οι βοηθητικοί συντελεστές L_0 και L_1 οι οποίοι προκύπτουν ως αποτέλεσμα της αναλυτικής διερεύνησης της διαγραμματικής απεικόνισης των μορφών της περιβάλλουσας αντοχής, δίδουν τη δυνατότητα άμεσης κατάταξης της μορφής περιβάλλουσας ενός αγκυρίου και διευκολύνουν τη παραμετρική αξιοποίηση για τη σύνταξη παραμετρικών διαγραμμάτων.

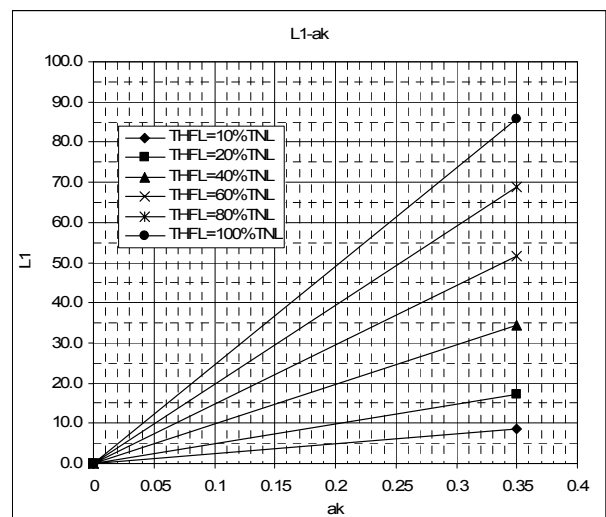
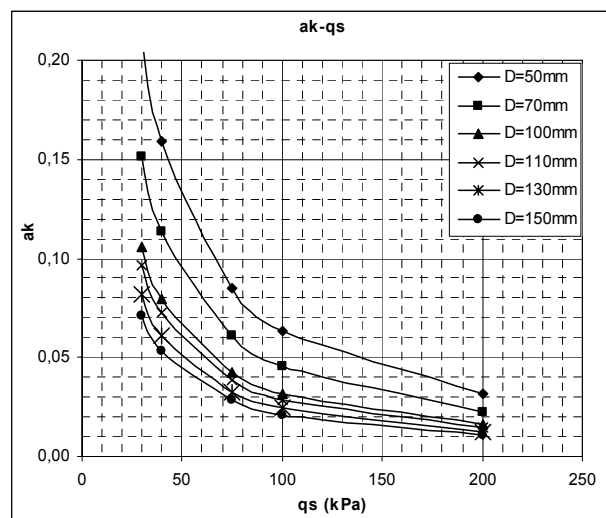
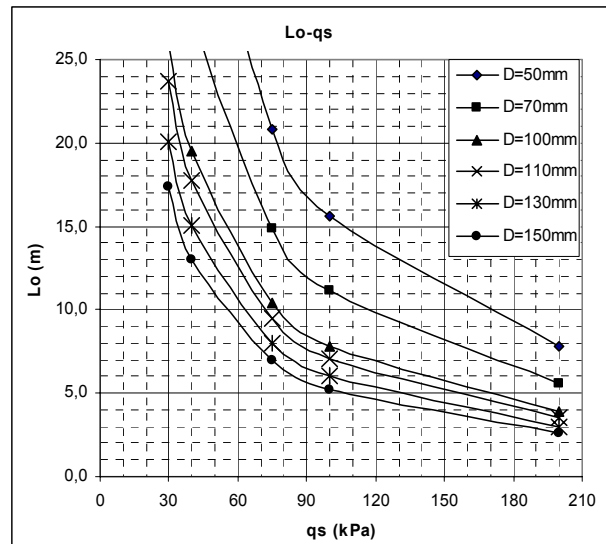
Από τα αποτελέσματα των παραμετρικών αναλύσεων προκύπτει ότι για συνήθη μήκη αγκυρίων της τάξης των 3,0÷6,0m περίπου, τα οποία διατρύωνται σε στιφρά αργιλικά εδάφη ή μέσης πυκνότητας κοκκώδη εδάφη, οι μορφές περιβάλλουσας οι οποίες προκύπτουν και χρησιμεύουν για τον υπολογισμό του γενικού συντελεστή ασφάλειας ενός προβλήματος ευστάθειας, διαμορφώνονται κυρίως με βάση τις παραμέτρους της αντοχής της επένδυσης και της διαμέτρου του διατρήματος του ενέματος.

Παρομοίως για αγκύρια με μήκη άνω των 6,0m τα οποία διατρύωνται σε πολύ στιφρές αμμώδης αργίλους ή πολύ πυκνά αμμώδη εδάφη, οι μορφές περιβάλλουσας οι οποίες προκύπτουν, διαμορφώνονται κυρίως με βάση το συνολικό μήκος του αγκυρίου, την αντοχή του οπλισμού και τη διάμετρο του διατρήματος του ενέματος.

Η σύνταξη και η κατανόηση των μορφών περιβάλλουσας ενός αγκυρίου μπορεί να αξιοποιηθεί για τον υπολογισμό αγκυρίων που διατρύουν πολυστρωματικά εδάφη

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Bhaskar Joshi, (2003), "Behavior of Calculated Nail Head Strength in Soil-Nailed Structures" Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, A.S.C.E. F.H.W.A. 03-017, (2003), "Soil nail walls". U.S. Department of Transportation.
- F.H.W.A.-SA-96-069R, (1996), "Manual for design & construction monitoring of soil nail walls". U.S. Department of Transportation.
- Gregory Garry, (2001), "Gstabl7 version 2.0".
- Itasca Consulting Group, (2005), "F.L.A.C Version 5".
- Sheahan Thomas and Carlton Ho, (2003), "Simplified trial wedge method for soil nailed wall analysis" Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, A.S.C.E.



Σχήμα 3. Παραμετρική ανάλυση μορφών περιβάλλουσας.

Figure 3. Parametric analysis of load diagrams