

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΠΡΟΣΩΡΙΝΗΣ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ ΒΑΘΙΩΝ ΕΚΣΚΑΦΩΝ ΜΕΣΩ ΜΗ ΓΡΑΜΜΙΚΩΝ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ

Κωνσταντίνος Λεοντάρης
Πολιτικός Μηχανικός
Σχολή Πολιτικών Μηχανικών Ε.Μ.Π.
konleontaris@gmail.com

Μαρία Βίλλη
Πολιτικός Μηχανικός
mvilli@ergan.gr

Νίκος Ρούσσος
MSc. Μεταλλειολόγος – Γεωτεχνικός Μηχανικός
ΟΜΙΚΡΟΝ ΚΑΠΠΑ ΜΕΛΕΤΗΤΙΚΗ Α.Ε.
n.roussos@omikronkappa.gr

Χάρης Ι. Γαντές
Καθηγητής ΕΜΠ
Σχολή Πολιτικών Μηχανικών Ε.Μ.Π.
chgantes@central.ntua.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

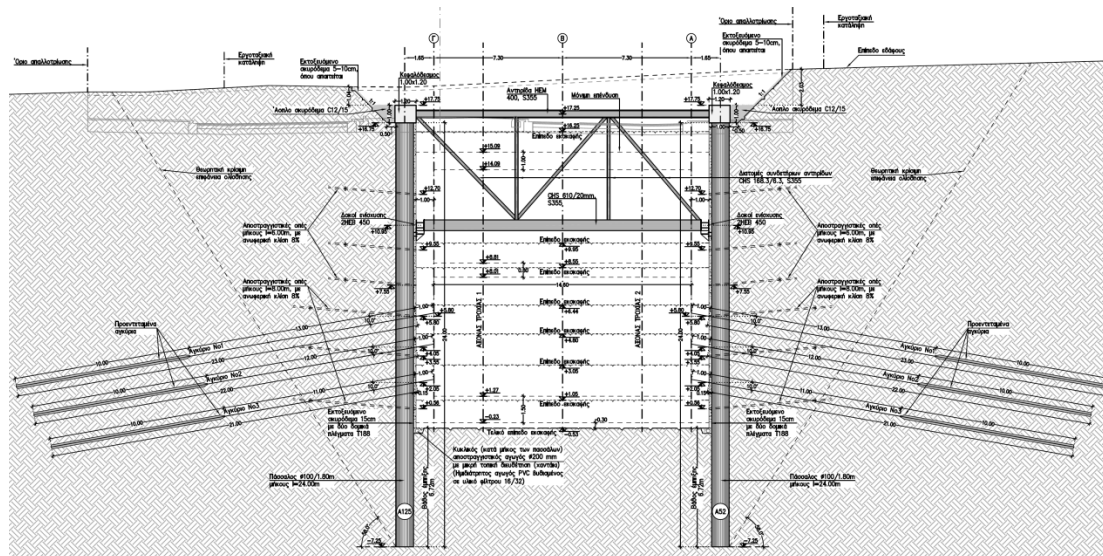
Στην παρούσα εργασία διερευνώνται εναλλακτικά συστήματα προσωρινής αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με χρήση μεταλλικών αντηρίδων. Παρουσιάζεται η λογική μόρφωσης τέτοιων συστημάτων, αναζητείται το βέλτιστο σχήμα διατομής αντηρίδων και εξετάζεται το όφελος από τη χρήση χιαστί συνδέσμων δυσκαμνίας μεταξύ των αντηρίδων της ίδιας και διαφορετικής στάθμης. Για τον υπολογισμό των δράσεων αναλύονται απλούστερα προσομοιώματα όλου του φορέα, στα οποία η μη γραμμικότητα περιορίζεται στην ικανότητα του εδάφους να παραλαμβάνει θλιπτικές μόνον και όχι εφελκυστικές εντάσεις, η οποία προσομοιώνεται μέσω μη γραμμικών εδαφικών ελατηρίων. Για τον υπολογισμό των αντοχών αναλύονται λεπτομερέστερα προσομοιώματα μεμονωμένων αντηρίδων ή ομάδων συνεργαζόμενων αντηρίδων, λαμβάνοντας υπόψη αρχικές ατέλειες λόγω απόκλισης των μελών από την ευθυγραμμία, αλλά και λόγω υψομετρικής διαφοράς των απέναντι σημείων στήριξης, όπως επιβάλλεται κανονιστικά. Στη διαδικασία των αναλύσεων λαμβάνονται υπόψη οι φάσεις κατασκευής του έργου.

Στη συνέχεια πραγματοποιούνται παραμετρικές διερευνήσεις ως προς το μέγεθος της υψομετρικής διαφοράς των στηρίξεων της αντηρίδας και ως προς το μέγεθος της ατέλειας του μέλους της. Από την πρώτη προκύπτει ότι για ρεαλιστικά μεγέθη υψομετρικών διαφορών δεν υπάρχει διαφοροποίηση στο οριακό φορτίο αντοχής της αντηρίδας. Από την δεύτερη συμπεραίνεται ότι η αρχική ατέλεια μέλους επηρεάζει αισθητά την αντοχή της αντηρίδας.

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η διερεύνηση εναλλακτικών συστημάτων προσωρινής αντιστήριξης μιας βαθιάς εκσκαφής με χρήση μεταλλικών αντηρίδων, μέσω εφαρμογής σε μία συγκεκριμένη περίπτωση. Το υπό εξέταση σύστημα προσωρινής αντιστήριξης αποτελείται από πασσάλους διαμέτρου 1.00m, σε αξονικές αποστάσεις 1.80m, δύο σειρές μεταλλικών αντηρίδων, τρεις σειρές προεντεταμένων αγκυριών,

πέτασμα από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα στατικού πάχους 15cm οπλισμένο με δύο πλέγματα T188 και αποστραγγιστικές οπές (Σχ. 1).



Σχ. 1: Κατακόρυφη τομή εξεταζόμενου σύστημα προσωρινής αντιστήριξης

Η 1^η στάθμη των μεταλλικών αντηρίδων τοποθετείται στη στάθμη του κεφαλοδέσμου ενώ η 2^η περί τα 6.5m χαμηλότερα. Η στάθμη της 2^{ης} σειράς των αντηρίδων τοποθετείται πάνω από τη στάθμη της ενδιάμεσης πλάκας της μόνιμης κατασκευής, ώστε μετά την κατασκευή της τελευταίας να είναι δυνατή η καθαίρεση της 2^{ης} σειράς των αντηρίδων. Οι οριζόντιες αποστάσεις μεταξύ των αντηρίδων και των δύο σειρών είναι 4.5m.

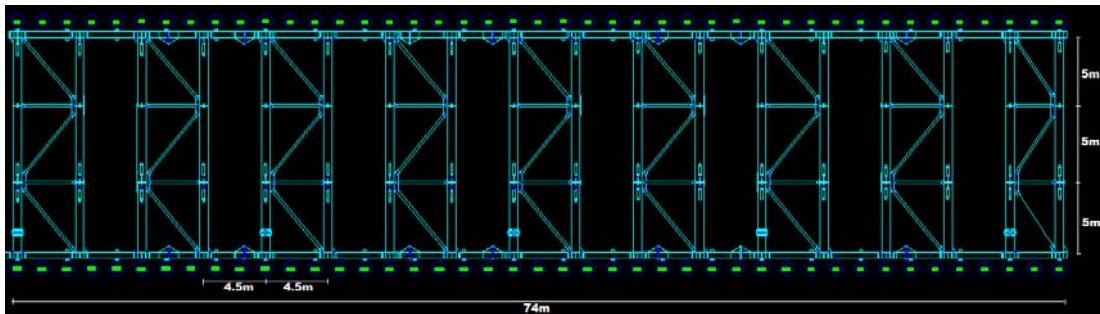
Οι αντηρίδες της κάτω στάθμης έχουν κοίλες κυκλικές διατομές (CHS) θερμής έλασης. Οι αντηρίδες της άνω στάθμης έχουν είτε κοίλες κυκλικές διατομές (CHS) θερμής έλασης, σε περιοχές όπου δεν διατάσσονται διαγώνιοι σύνδεσμοι (οριζόντιοι και κατακόρυφοι) μεταξύ των αντηρίδων για τη μείωση του μήκους λυγισμού τους, είτε διατομές διπλού ται τύπου HEM, σε θέσεις όπου διατάσσονται τέτοιοι διαγώνιοι σύνδεσμοι.

Η επιλογή εφαρμογής μεταλλικών αντηρίδων στο σύστημα προσωρινής αντιστήριξης έγινε με γνώμονα την κατασκευή ενός δύσκαμπτου συστήματος αντιστήριξης, που θα περιορίσει την εκδήλωση επιφανειακών μετακινήσεων. Για τον ίδιο λόγο, αλλά και για τη μείωση των εντατικών μεγεθών των πασσάλων, τοποθετήθηκαν τρεις σειρές προεντεταμένων αγκυρίων μεταξύ της 2^{ης} στάθμης των μεταλλικών αντηρίδων και του τελικού δαπέδου εκσκαφής. Η χρήση προεντεταμένων αγκυρίων και στις υψηλότερες στάθμες δεν ήταν δυνατή λόγω παρεμπόδισης από θεμελιώσεις παρακείμενων κτιρίων και/ή διέλευσης δικτύων κοινής ωφελείας.

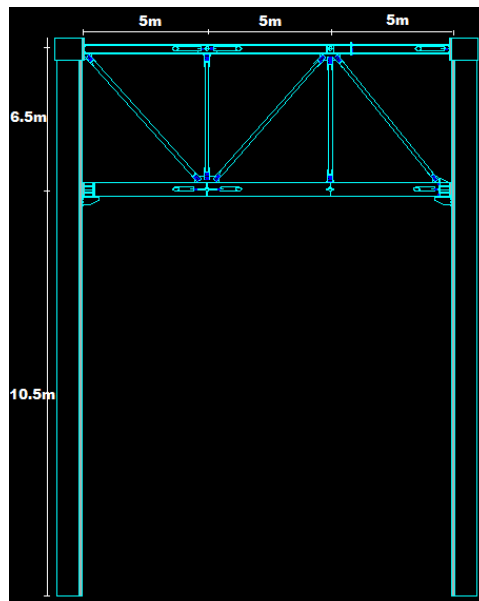
Για την στήριξη των πασσάλων που βρίσκονται μεταξύ των αντηρίδων, τοποθετούνται οριζόντιες τραβέρσες δίδυμων διπλών ται τύπου HEB συγκολλημένων μεταξύ τους, με τον ισχυρό τους άξονα να λειτουργεί σε οριζόντιο επίπεδο ώστε να αντιστέκεται στις ωθήσεις γαιών. Στην 1^η στάθμη των αντηρίδων δεν απαιτείται η τοποθέτηση τραβερσών λόγω της ύπαρξης του κεφαλοδέσμου από οπλισμένο. Ως προς τα κατακόρυφα φορτία οι τραβέρσες εδράζονται επί κοντών προβόλων που αγκυρώνονται σε κάποιους από τους πασσάλους προσωρινής αντιστήριξης, ο σχεδιασμός των οποίων δεν αποτελεί αντικείμενο της παρούσας εργασίας.

Για τον υπολογισμό των ωθήσεων γαιών μορφώνονται κατάλληλα προσομοιώματα σε εξειδικευμένα γεωτεχνικά λογισμικά. Οι ωθήσεις ασκούνται στη συνέχεια επί των δομικών

στοιχείων του συστήματος προσωρινής αντιστήριξης σε προσομοιώματα όλου του φορέα, στα οποία η μη γραμμικότητα περιορίζεται στην ικανότητα του εδάφους να παραλαμβάνει θλιπτικές μόνον και όχι εφελκυστικές εντάσεις, η οποία προσομοιώνεται μέσω μη γραμμικών εδαφικών ελατηρίων θεωρώντας δείκτη εδάφους $K_s=40000\text{kN/m}^3$. Στα παρακάτω σχήματα (Σχ. 2, Σχ. 3) και στον Πίν. 1 παρουσιάζονται οι γεωμετρικές διαστάσεις του χωρικού προσομοιώματος του συστήματος προσωρινής αντιστήριξης.



Σχ. 2: Κάτοψη χωρικού προσομοιώματος συστήματος προσωρινής αντιστήριξης – Απεικόνιση γεωμετρικών διαστάσεων



Σχ. 3: Εγκάρσια τομή χωρικού προσομοιώματος συστήματος προσωρινής αντιστήριξης – Απεικόνιση γεωμετρικών διαστάσεων

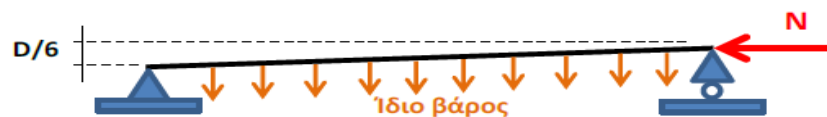
Είδος	Μήκος
Συνολικό μήκος εκσκαφής	74.00m
Πλάτος εκσκαφής	15.00m
Βάθος εκσκαφής	17.00m
Βάθος έμπηξης	7.00m
Κατακόρυφη απόσταση αντηρίδων	6.50m
Διαμήκη απόσταση διαδοχικών αντηρίδων	4.50m
Μήκος αντηρίδας πλευρικά εξασφαλισμένο	5.00m
Απόσταση διαδοχικών πασσάλων	1.80m

Πίν. 1: Γεωμετρικά χαρακτηριστικά χωρικού προσομοιώματος

Οι ποιότητες των υλικών των δομικών μελών που χρησιμοποιήθηκαν είναι χάλυβας S355 για τις αντηρίδες και σκυρόδεμα C20/25 για τους πασσάλους. Όλες οι διατομές των χαλύβδινων μελών είναι κατηγορίας 1 ώστε να αποφεύγονται τα φαινόμενα τοπικού λυγισμού.

Τα παραπάνω προσομοιώματα φορτίζονται με τα ίδια βάρη του συστήματος αντιστήριξης (G), με τις ωθήσεις γαιών σε στατική κατάσταση (φορτίο $\Omega\Gamma$ άνω και κάτω στάθμης 428kN/m και 1407kN/m αντιστοίχως) ή σε κατάσταση σεισμού ($\Omega\Gamma\Sigma$) και με επιβαλλόμενη ομοιόμορφη θερμοκρασιακή μεταβολή ($\Delta T=20^{\circ}\text{C}$). Εξετάστηκαν διάφοροι συνδυασμοί φόρτισης, εκ των οποίων ο δυσμενέστερος που προέκυψε είναι αυτός των στατικών φορτίων $1.35G+1.35\Omega\Gamma+1.50\Delta T$. Μέσω των αναλύσεων αυτών υπολογίζονται τα αναπτυσσόμενα στα δομικά μέλη εντατικά μεγέθη.

Για τον υπολογισμό των αντοχών αναλύονται στη συνέχεια λεπτομερέστερα προσομοιώματα μεμονωμένων αντηρίδων ή ομάδων συνεργαζόμενων αντηρίδων, λαμβάνοντας υπόψη αρχικές ατέλειες λόγω απόκλισης των μελών από την ευθυγραμμία, αλλά και λόγω υψομετρικής διαφοράς των απέναντι σημείων στήριξης, όπως επιβάλλεται κανονιστικά. Το συνιστώμενο μέγεθος αυτής της υψομετρικής εκκεντρότητας είναι ίσο με $1/6$ του ύψους της διατομής της αντηρίδας (Σχ. 4) [1].



Σχ. 4: Υψομετρική διαφορά στηρίξεων ίση με $D/6$

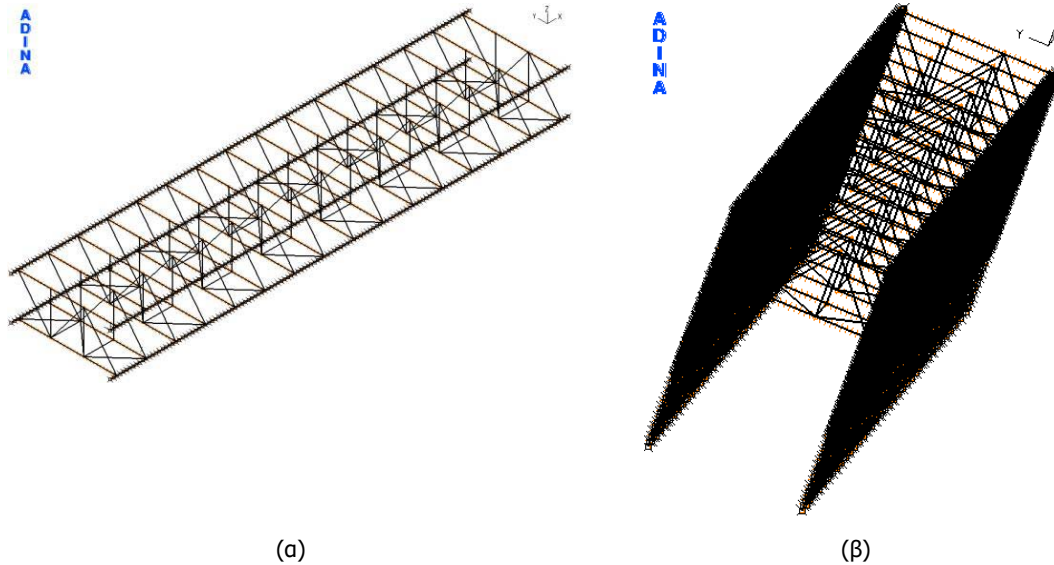
Εξετάστηκαν δύο εναλλακτικά συστήματα προσωρινής αντιστήριξης. Σε πρώτη φάση μορφώθηκε ένα απλό σύστημα, με χρήση αντηρίδων άνω και κάτω στάθμης οι οποίες δεν συνδέονται μεταξύ τους με διαγώνια στοιχεία. Σε αυτό το σύστημα αντιστήριξης δεν παίζει ρόλο η ακολουθία των φάσεων κατασκευής, αφού οι αντηρίδες των δύο σταθμών λειτουργούν ανεξάρτητα μεταξύ τους. Σε δεύτερη φάση επιλέχθηκε η μόρφωση ενός πιο σύνθετου συστήματος αντιστήριξης στο οποίο οι αντηρίδες συνδέονται μεταξύ τους με οριζόντια και κατακόρυφα διαγώνια μέλη. Στην περίπτωση αυτή η ακολουθία των φάσεων κατασκευής παίζει ρόλο, αφού κατά την πρώτη φάση κατασκευής οι αντηρίδες της άνω στάθμης θα διαθέτουν μόνο οριζόντια εξασφάλιση, ενώ κατά την δεύτερη φάση θα διαθέτουν επιπροσθέτως και κατακόρυφη εξασφάλιση. Αυτό δικαιολογεί σε τέτοιες περιπτώσεις την επιλογή διατομών τύπου διπλού ταυ, προσανατολισμένων έτσι ώστε για την πρώτη φάση κατασκευής ο ισχυρότερος τους άξονας να ενεργοποιείται για κάμψη σε κατακόρυφο επίπεδο.

2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ

2.1 Γραμμικές Αναλύσεις

Για την ανάλυση και διαστασιολόγηση των ανωτέρω συστημάτων προσωρινής αντιστήριξης μορφώνονται δύο διαφορετικοί τύποι προσομοιωμάτων στο λογισμικό πεπερασμένων στοιχείων ADINA και εκτελούνται αρχικά γραμμικές αναλύσεις. Η διαστασιολόγηση γίνεται με βάση τα δυσμενέστερα εντατικά μεγέθη από τους δύο αυτούς τύπους προσομοιωμάτων.

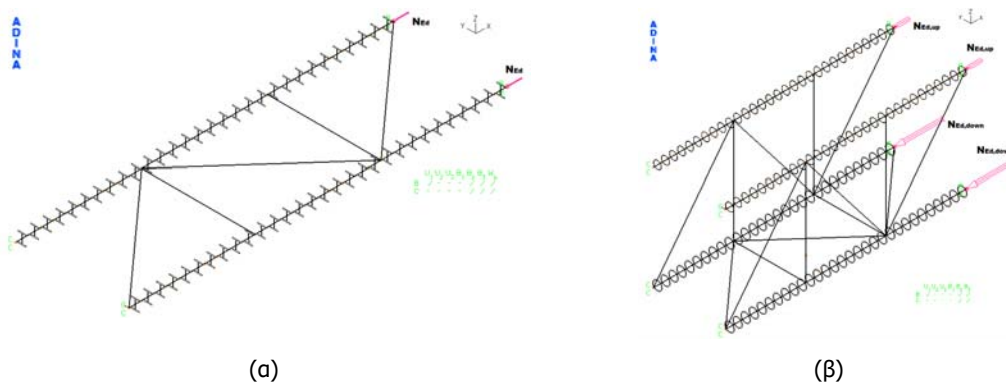
Στην 1^η ομάδα προσομοιωμάτων, για λόγους απλούστευσης, δεν προσομοιώθηκαν οι πάσσαλοι και το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα (Σχ. 5α). Με το μοντέλο αυτό υπολογίζονται αξιόπιστα οι εντάσεις λόγω ωθήσεων γαιών. Στη 2^η ομάδα προσομοιωμάτων προσομοιώθηκαν επιπλέον οι πάσσαλοι με ραβδωτά στοιχεία και το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα με επιφανειακά στοιχεία (Σχ. 5β). Με τον τρόπο αυτό λήφθηκε υπόψη η πραγματική πρόσθετη δυσκαμψία του συστήματος αντιστήριξης, ώστε να υπολογίζονται πιο αξιόπιστα και οι εντάσεις λόγω θερμοκρασιακών μεταβολών.



Σχ. 5: Τρισδιάστατη απεικόνιση του γραμμικού συνολικού προσομοιώματος (α) 1^η ομάδα προσομοιωμάτων, (β) 2^η ομάδα προσομοιωμάτων

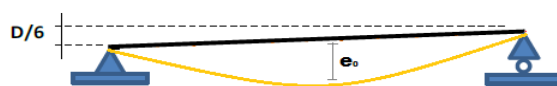
2.2 Μη Γραμμικές Αναλύσεις

Για τα διαγώνια μέλη και τις τραβέρσες δεν κρίνεται σκόπιμη η πραγματοποίηση μη γραμμικών αναλύσεων, δεδομένου ότι η λειτουργία και οι απαιτήσεις ελέγχου τους είναι οι συνήθεις. Για τις αντηρίδες γίνεται μια προδιαστασιολόγηση με βάση την περιβάλλουσα των αποτελεσμάτων των γραμμικών στατικών αναλύσεων και λαμβάνονται αξονικές δυνάμεις για τις αντηρίδες, οι οποίες εν συνεχεία εισάγονται ως αξονικά φορτία σχεδιασμού στις μη γραμμικές αναλύσεις (τύπου GNIA και GMNIA), με βάση τις οποίες γίνεται η τελική διαστασιολόγηση των αντηρίδων. Στο Σχ. 6 παρουσιάζονται τα μη γραμμικά προσομοιώματα που μορφώθηκαν για τις δύο φάσεις κατασκευής.



Σχ. 6: Μη γραμμικό προσομοίωμα συστήματος προσωρινής αντιστήριξης με χιαστί συνδέσμους μεταξύ των αντηρίδων (α) 1^η φάση κατασκευής, (β) 2^η φάση κατασκευής

Η υψομετρική διαφορά των σημείων στήριξης εισάγεται στο προσομοίωμα ως αρχική κατασκευαστική ατέλεια. Εισάγεται επίσης γεωμετρική ατέλεια λόγω καμπυλότητας του φορέα με βάση το σχήμα των ιδιομορφών λυγισμού στο κατακόρυφο και στο οριζόντιο επίπεδο το οποίο προκύπτει από Γραμμική Ανάλυση Λυγισμού (LBA) με το πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων ADINA και μέγεθος συμβατό με τις καμπύλες λυγισμού του EC3 για τον χρησιμοποιούμενο τύπο διατομής σύμφωνα με τον πίνακα 5.1 του EN1993-Μέρος 1-1. Η φορά της ατέλειας αυτής στο κατακόρυφο επίπεδο λαμβάνεται προς τα κάτω (Σχ. 7), δηλαδή προστίθεται στα βέλη λόγω ιδίου βάρους.



Σχ. 7: Φορά ατέλειας μέλους στο κατακόρυφο επίπεδο

3 ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ ΜΕΜΟΝΩΜΕΝΩΝ ΑΝΤΗΡΙΔΩΝ

Με βάση τα διαγράμματα εντατικών μεγεθών (M,Q,N) που προκύπτουν από γραμμικές αναλύσεις, τα οποία επαληθεύονται ποιοτικώς και με πιο απλουστευμένες διαδικασίες, διεξάγονται οι έλεγχοι διατομής και μέλους για τις αντηρίδες και των 2 σταθμών και προκύπτουν οι οριακές διατομές. Στη συνέχεια, λόγω της υψομετρικής διαφοράς των σημείων στήριξης του μέλους της αντηρίδας, πραγματοποιούνται επιπροσθέτως και μη γραμμικές αναλύσεις GNIA, GMNIA για το μέλος της αντηρίδας. Στην περίπτωση αναλύσεων GNIA γίνεται έλεγχος διατομής με τα προκύπτοντα εντατικά μεγέθη, ενώ στις αναλύσεις GMNIA η αντοχή προσδιορίζεται ως το οριακό σημείο του δρόμου ισορροπίας.

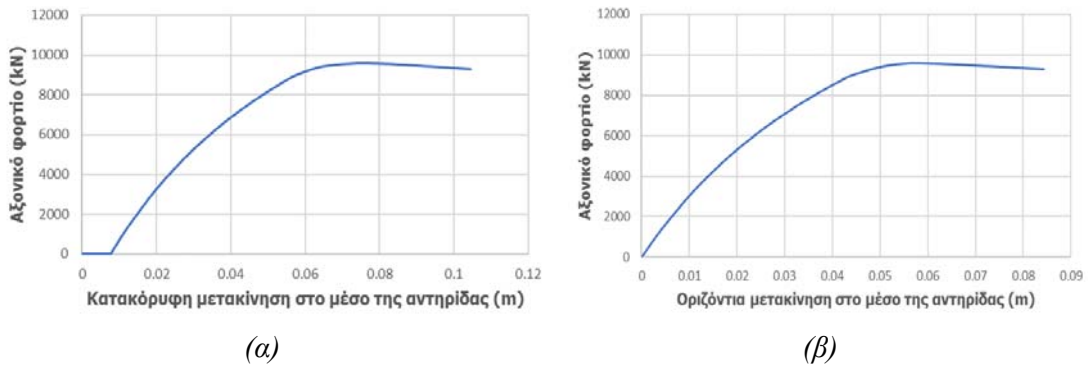
Προσεγγίζοντας το πρόβλημα προσδιορισμού της οριακής διατομής της αντηρίδας μέσω των ανωτέρω 3 διαφορετικών τρόπων προέκυψαν οι ελάχιστες απαιτούμενες διατομές του Πίν. 2. Παρατηρείται ότι η απόκλιση στο μέγεθος της οριακής διατομής μέσω των διαφορετικών αυτών προσεγγίσεων είναι μικρή. Η τελική επιλογή της οριακής διατομής γίνεται με βάση τις συντηρητικότερες προβλέψεις των αναλύσεων GMNIA.

Είδος Ανάλυσης	Διατομή (άνω στάθμη)	Διατομή (κάτω στάθμη)
Γραμμική ανάλυση	CHS457/16	CHS610/30
GNIA	CHS508/16	CHS610/30
GMNIA	CHS508/16	CHS610/40

Πίν. 2: Ελάχιστες απαιτούμενες διατομές αντηρίδων από γραμμική/μη γραμμική ανάλυση για τις δύο στάθμες

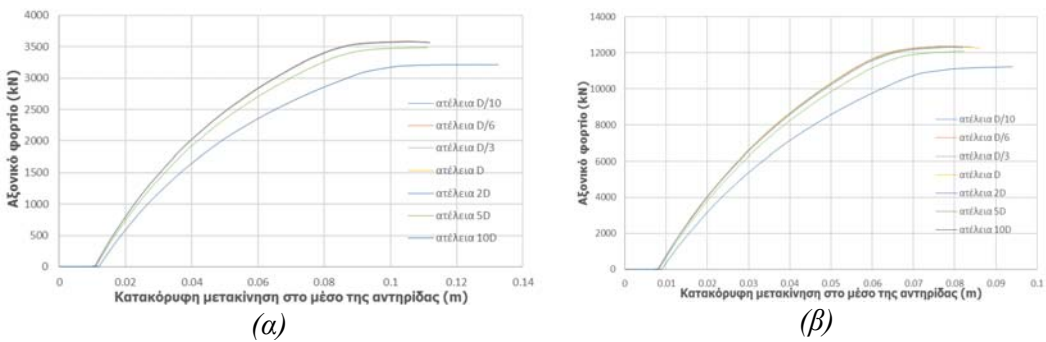
Στο Σχ. 8 παρουσιάζονται ενδεικτικά οι δρόμοι ισορροπίας για τις αντηρίδες της κάτω στάθμης με βάση την ανάλυση GMNIA. Ανάλογη είναι η μορφή των δρόμων ισορροπίας και για τις αντηρίδες της άνω στάθμης. Ο αρχικός οριζόντιος κλάδος του δρόμου ισορροπίας (Σχ. 8α) οφείλεται στην αρχική βύθιση της αντηρίδας λόγω ιδίου βάρους.

Στη συνέχεια πραγματοποιείται παραμετρική διερεύνηση ως προς το μέγεθος της υψομετρικής διαφοράς των στηρίξεων της αντηρίδας. Παρατηρώντας το Σχ. 9 γίνεται αντιληπτό ότι για ρεαλιστικά μεγέθη υψομετρικών διαφορών, τα οποία είναι αυτά πλησίον του D/6, δεν υπάρχει διαφοροποίηση στο οριακό φορτίο αντοχής της αντηρίδας λόγω της γεωμετρικής αυτής ατέλειας. Δηλαδή τα αποτελέσματα γραμμικών και μη γραμμικών αναλύσεων πρακτικά ταυτίζονται και ως εκ τούτου οι μη γραμμικές αναλύσεις μπορούν να παραληφθούν.

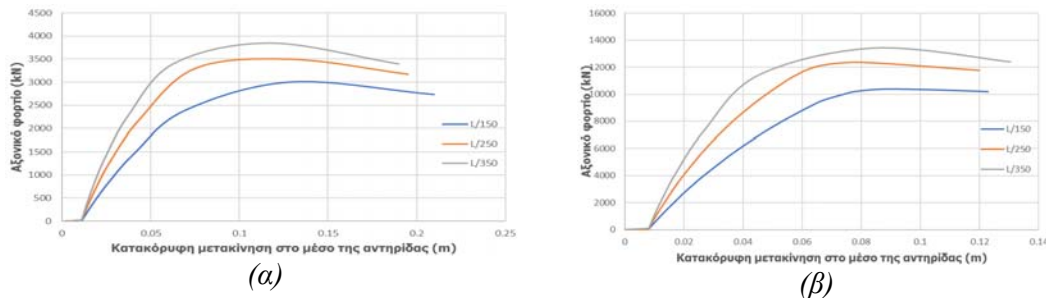


Σχ. 8: Δρόμος ισορροπίας αντηρίδας κάτω στάθμης διατομής CHS610/30 από ανάλυση GMNIA για μετακίνηση (α) στο κατακόρυφο επίπεδο (β) στο οριζόντιο επίπεδο

Επίσης, πραγματοποιείται παραμετρική διερεύνηση ως προς το μέγεθος της ατέλειας του μέλους της αντηρίδας για ένα ρεαλιστικό εύρος που κυμαίνεται από $L/350$ έως $L/150$, όπου L το μήκος του μέλους της αντηρίδας. Παρατηρώντας το Σχ. 9 συμπεραίνεται ότι η αρχική ατέλεια μέλους επηρεάζει αισθητά την αντοχή της αντηρίδας, μεταβάλλοντας την αντοχή της περίπου κατά 20% για το εξεταζόμενο εύρος ατέλειας, όπως προκύπτει από τις αναλύσεις τόσο της άνω όσο και της κάτω στάθμης.



Σχ. 9: Δρόμος ισορροπίας αντηρίδας για μετακίνηση στο κατακόρυφο επίπεδο από ανάλυση GMNIA για υψομετρικές διαφορές από $D/10$ έως $10D$ (α) άνω στάθμης διατομής CHS508/16 (β) κάτω στάθμης διατομής CHS610/40



Σχ. 10: Δρόμος ισορροπίας αντηρίδας για μετακίνηση στο κατακόρυφο επίπεδο από ανάλυση GMNIA για μεγέθη ατελειών από $L/350$ έως $L/150$ (α) άνω στάθμης διατομής CHS508/16 (β) κάτω στάθμης διατομής CHS610/40

4 ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ ΜΕ ΔΙΑΓΩΝΙΟΥΣ ΣΥΝΔΕΣΜΟΥΣ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΑΝΤΗΡΙΔΩΝ

Πραγματοποιήθηκαν τέλος γραμμικές και μη γραμμικές αναλύσεις στα προσομοιώματα που αφορούν την 1^η φάση κατασκευής του συστήματος προσωρινής αντιστήριξης με τις αντηρίδες της άνω στάθμης και μεταξύ τους διαγώνιους συνδέσμους στο οριζόντιο επίπεδο μόνον, και προέκυψε οριακή διατομή των αντηρίδων HEM340. Συγκρίνοντας την διατομή αυτή με την αντίστοιχη που προκύπτει από το σύστημα αντιστήριξης μεμονωμένων αντηρίδων, γίνεται αντιληπτό ότι είναι προτιμότερο να χρησιμοποιηθεί η CHS508/16, η οποία είναι ελαφρύτερη και κατασκευαστικά ευκολότερη αφού αποφεύγεται η τοποθέτηση οριζοντίων συνδέσμων. Επομένως, στις αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν στα προσομοιώματα της 2^{ης} φάσης κατασκευής, οι αντηρίδες της άνω στάθμης έχουν διατομή CHS508/16, της οποίας η επάρκεια ελέγχθηκε ξανά στην φάση αυτή. Επίσης προσδιορίστηκε απαιτούμενη διατομή για τις αντηρίδες της κάτω στάθμης CHS610/20.

Πραγματοποιήθηκαν ανάλογες παραμετρικές διερευνήσεις με αυτές του συστήματος προσωρινής αντιστήριξης μεμονωμένων αντηρίδων και διαπιστώθηκε ότι η μορφή των διαγραμμάτων και τα συμπεράσματα που προέκυψαν από αυτά είναι ποιοτικώς ίδια με αυτά που παρουσιάστηκαν ανωτέρω.

5 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Παρουσιάστηκε μια μεθοδολογία ανάλυσης και διαστασιολόγησης μεταλλικών αντηρίδων για προσωρινή αντιστήριξη βαθιάς εκσκαφής. Διερευνήθηκε η αναγκαιότητα εκτέλεσης μη γραμμικών αναλύσεων, προκειμένου να ληφθεί υπόψη η τυχηματική υψομετρική εκκεντρότητα των άκρων κάθε αντηρίδας λόγω κατασκευαστικής ανακρίβειας. Διαπιστώθηκε ότι η επιρροή αυτής της εκκεντρότητας είναι μικρή, επομένως κρίνεται επαρκής η διαστασιολόγηση βάσει απλών γραμμικών αναλύσεων.

Για το εξεταζόμενο παράδειγμα αναλύθηκαν και διαστασιολογήθηκαν συστήματα αντιστήριξης με μεμονωμένες αντηρίδες, καθώς και με αντηρίδες συνδεδεμένες μεταξύ τους με διαγώνιους συνδέσμους σε οριζόντιο και κατακόρυφο επίπεδο. Λόγω φάσεων κατασκευής, οι αντηρίδες της άνω στάθμης πρέπει να ελεγχθούν και όταν είναι πλευρικά εξασφαλισμένες σε οριζόντιο επίπεδο μόνον. Αυτός ο έλεγχος οδηγεί σε διατομή διπλού του που είναι βαρύτερη από την απαιτούμενη κοίλη κυκλική διατομή όταν η αντηρίδα δεν έχει καμία πλευρική εξασφάλιση. Επομένως κρίνεται προτιμότερη για την άνω στάθμη η μη πλευρικά εξασφαλισμένη κοίλη κυκλική διατομή.

Αντίθετα για την κάτω στάθμη η πλευρική εξασφάλιση στα τρίτα του ανοίγματος, τόσο σε οριζόντιο όσο και σε κατακόρυφο επίπεδο, οδηγεί σε σημαντική ελάφρυνση, η οποία στο εξεταζόμενο παράδειγμα είναι της τάξης μεγέθους του 50%.

Στην περίπτωση που συνυπολογιστούν και τα βάρη των διαγωνίων μελών διατομής CHS168.3/6.3 που απαιτούνται στα 2 κατακόρυφα επίπεδα και στο κάτω οριζόντιο επίπεδο, προκύπτει ότι συνολικά το σύστημα με τους διαγώνιους συνδέσμους είναι βαρύτερο κατά 16%. Δηλαδή παρά την ελάφρυνση της αντηρίδας της κάτω στάθμης λόγω πλευρικής εξασφάλισης οριζοντίως και κατακόρυφως, λαμβανομένου υπόψη του βάρους των διαγωνίων αυτών μελών, το συνολικό βάρος αυτού του συστήματος προσωρινής αντιστήριξης είναι μεγαλύτερο συγκριτικά με αυτό της λύσης μεμονωμένων αντηρίδων.

6 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] German Geotechnical Society, «EAB-Recommendations on Excavations», 3rd edition, 2014.
- [2] Eurocode 3, “Design of steel structures Part 1.1: General rules and rules for buildings”, CEN Brussels 2004, CEN document EN 1993-1-1, 2004.
EAB «Recommendations on Excavations»
- [3] Πιτιλάκης Κ. (2010). Γεωτεχνική Σεισμική Μηχανική, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.
- [4] Ghasemian M., Mortazavi M., Schmidt L.C. (1999), “Behaviour of hollow curved steel struts subjected to compressive load”, Journal of Constructional Steel Research, Vol.52, pp. 219-234.
- [5] Robertson A. (1925), “The strength of Struts”, Selected Engineering Paper No.28 I.C.E.
- [6] Al-Shawi, F.A.N. (1998), “Determination of restraint forces for steel struts”, Structures & Buildings 128(3), pp. 282-289.
- [7] Al-Shawi, F.A.N. (2001), “Stiffness of restraint for steel struts with elastic end supports”, Structures & Buildings 146(2), pp. 153-159.

DESIGN OF STEEL BRACING FOR THE TEMPORARY SUPPORT OF DEEP EXCAVATIONS THROUGH NONLINEAR NUMERICAL ANALYSIS

Konstantinos Leontaris

Civil Engineer
School of Civil Engineering N.T.U.A.
konleontaris@gmail.com

Nikos Roussos

MSc. Mining – Geotechnical Engineer
OMIKRONKAPPA Consulting Company
n.roussos@omikronkappa.gr

Maria Villi

Civil Engineer
mvilli@ergan.gr

Charis J. Gantes

Dr. Civil Engineer, Professor N.T.U.A.
School of Civil Engineering N.T.U.A.
chgantes@central.ntua.gr

ABSTRACT

The present paper deals with the investigation of different temporary support systems of deep excavations with the use of steel struts. The selection of the appropriate structural system and cross-section types, as well as the design approach for such temporary retaining systems, are presented. Furthermore, the benefits from the use of vertical and horizontal diagonal bracing between the struts are examined. The action forces are calculated through simplified simulations, in which nonlinear soil springs are used to simulate soil behavior. More detailed nonlinear simulations are required for the calculation of the resistances of the temporary retaining system members. For that purpose, both a possible accidental altitude difference between the supports of the strut and the initial bow imperfection are considered and the construction stages of the temporary retaining system are taken into account.

Moreover, parametric investigations considering the size of the altitude difference between the supports of the strut and the size of the initial bow imperfection are carried out. The results of the first parametric investigation showed that there is no reduction in the resistance of the struts, for a realistic range of values of altitude difference of the supports. From the second parametric investigation it is concluded that the resistance load of the strut is significantly reduced as the initial bow imperfection increases.