

Επίδραση φορτίων οδοποιίας στις μετακινήσεις τοίχων οπλισμένης γης

Traffic surcharge loads' effect on the displacements of reinforced soil walls

ΖΕΥΓΩΛΗΣ, Ι.Ε. Επίκουρος Καθηγητής ΔΠΘ (υπό διορισμό)
ΝΤΟΥΛΗΣ, Γ.Ι. Πολιτικός Μηχανικός, Γεωτεχνικές Έρευνες ΑΤΕ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Στην παρούσα εργασία, εξετάζεται με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων, η επίδραση τυπικών φορτίων οδοποιίας στις μετακινήσεις της εξωτερικής παρειάς τοίχων αντιστήριξης οπλισμένης γης. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, ανεξαρτήτως ύψους κατασκευής, το φορτίο οδοποιίας έχει αμελητέα επίδραση στην εξωτερική παρειά, όταν δεν υπέρκειται των στοιχείων οπλισμού. Στις περιπτώσεις που αυτό δεν είναι εφικτό, κρίνεται σημαντικό το φορτίο να μην φθάνει έως τον άξονα της παρειάς. Για τοίχους χαμηλού ύψους, κρίσιμη περιοχή ως προς τις μετακινήσεις είναι το ανώτερο σημείο της παρειάς. Όσο το ύψος της κατασκευής αυξάνει, η κρίσιμη περιοχή μετατοπίζεται προς το μέσο της παρειάς.

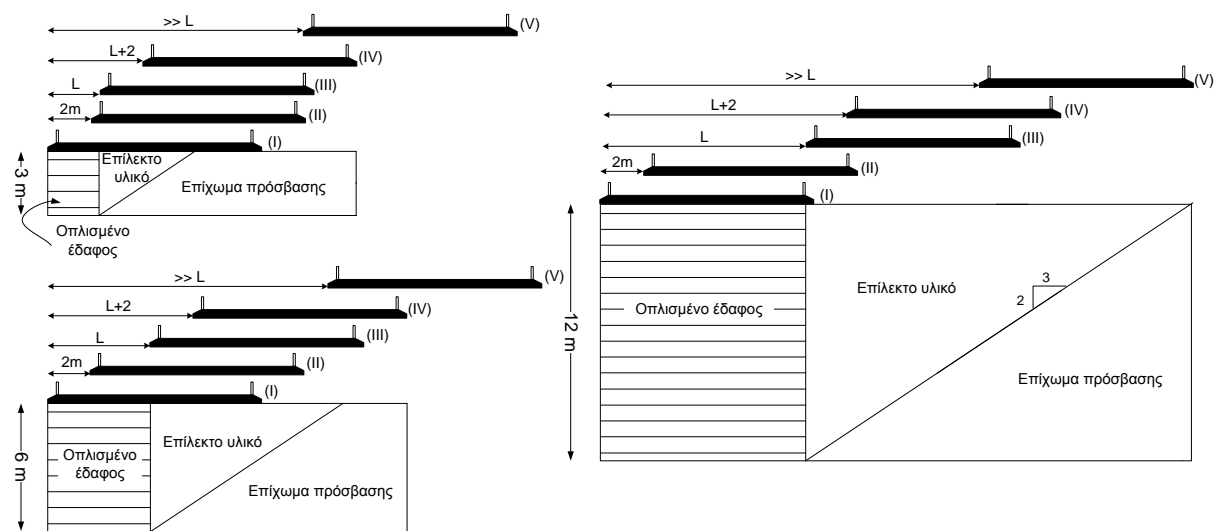
ABSTRACT: The present work examines by means of the finite elements method, the effect of typical traffic surcharge loads on the displacements of the outer face of reinforced earth retaining walls. According to the results, independently of the structure's height, the traffic load has a negligible effect on the outer face when it does not extend above the reinforcing elements. In case this is not feasible, it is considered as critical that the load does not extend up to the axis of the outer face. For low height walls, the critical area with respect to the displacements is at the upper part of the outer face. As the height of the structure increases, the critical area moves towards the central part of the outer face.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι τοίχοι αντιστήριξης από οπλισμένη γη (ή οπλισμένο έδαφος) αποτελούν εδώ και χρόνια σημαντική εναλλακτική επιλογή έναντι των συμβατικών τοίχων οπλισμένου σκυροδέματος (Κωμοδρόμος, 2009). Η φιλοσοφία κατασκευής τους βασίζεται στην ενσωμάτωση στοιχείων μεταλλικού ή γεωσυνθετικού οπλισμού σε κοκκώδη υλικά επίχωσης κατά τη διάρκεια της κατασκευής των στρώσεων της επίχωσης (Schlosser, 1990). Για την αγκύρωση και προστασία του οπλισμού, αλλά και για λειτουργικούς και αισθητικούς λόγους, χρησιμοποιούνται άκαμπτα ή εύκαμπτα στοιχεία εξωτερικής επένδυσης, τα οποία περιβάλλουν εξωτερικά τα υλικά επίχωσης. Τέτοιες κατασκευές βρίσκουν συχνά εφαρμογή σε έργα οδοποιίας (Zevgolis et al., 2008). Σε αυτές τις περιπτώσεις, κατά το σχεδιασμό έναντι εξωτερικής και εσωτερικής ευστάθειας λαμβάνονται υπόψη, εκτός των άλλων, τα φορτία οδοποιίας (Elias et al., 2001). Στην τυπική μεθοδολογία όμως, δεν αντιμετωπίζονται θέματα μετακινήσεων του τοίχου, ενώ ταυτόχρονα γίνεται η παραδοχή ότι η εφαρμογή του φορτίου οδοποιίας ξεκινά από την εξωτερική παρειά του τοίχου. Το τελευταίο δεν ανταποκρίνεται πάντα στις πραγματικές συνθήκες του έργου, οι οποίες συχνά επιβάλλουν τη χωροθέτηση του οδοστρώματος (άρα και του επιβαλλόμενου φορτίου οδοποιίας) σε διαφορετικές αποστάσεις από την εξωτερική παρειά του τοίχου.

Στην παρούσα εργασία διερευνάται η επίδραση τυπικών φορτίων οδοποιίας στη συμπεριφορά τριών τοίχων οπλισμένης γης συνολικού ύψους 3, 6 και 12 m, που

εξυπηρετούν ανάγκες διαπλάτυνσης υπάρχοντος επιχώματος οδοποιίας. Σκοπός της εργασίας είναι η μελέτη της επίδρασης της θέσης των φορτίων οδοποιίας στις κατακόρυφες και οριζόντιες μετακινήσεις των εξωτερικών επενδύσεων, σε σχέση με την απόσταση εφαρμογής τους από την εξωτερική παρειά των τοίχων. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 1, για κάθε τοίχο αναλύθηκαν οι ακόλουθες πέντε θέσεις του φορτίου οδοποιίας: (I) Φορτίο το οποίο εκτείνεται ως τον άξονα της εξωτερικής παρειάς του τοίχου, (II) Φορτίο το οποίο εκτείνεται μέχρι 2 m από την εξωτερική παρειά του τοίχου, (III) Φορτίο το οποίο εκτείνεται ως το ελεύθερο άκρο των οπλισμών, (IV) Φορτίο το οποίο εκτείνεται μέχρι 2 m από το ελεύθερο άκρο των οπλισμών και (V) Φορτίο το οποίο βρίσκεται σε μεγάλη απόσταση από την παρειά και πρακτικά δεν επηρεάζει τη συμπεριφορά του τοίχου. Οι αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν για στατικές συνθήκες φόρτισης με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων (Μ.Π.Σ.). Στο πρώτο μέρος της εργασίας παρουσιάζονται οι βασικές αρχές ανάλυσης του συγκεκριμένου προβλήματος με τη Μ.Π.Σ., ενώ στο δεύτερο μέρος παρουσιάζονται αποτελέσματα αναλύσεων ως προς τις προκαλούμενες κατακόρυφες και οριζόντιες μετακινήσεις της εξωτερικής παρειάς.



Εικόνα 1. Θέσεις φορτίου οδοποιίας ως προς την εξωτερική παρειά του τοίχου.
Figure 1. Traffic load location with respect to the wall's facing.

2. ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ

2.1 Γενικά

Για τον προκαταρκτικό σχεδιασμό έναντι εσωτερικής και εξωτερικής ευστάθειας (έλεγχοι οριακής ισορροπίας) χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό MSEW (ADAMA Engineering Inc., 2007). Το μήκος των οπλισμών L ελήφθη ίσο με 0,8 του ύψους H του τοίχου, ώστε να υπερκαλύπτεται το κριτήριο $L \geq 0,7H$ (Elias et al., 2001). Ως στοιχεία οπλισμού θεωρούνται λάμες γαλβανισμένου χάλυβα και ως εξωτερική επένδυση προκατασκευασμένες πλάκες σκυροδέματος. Οι παράμετροι των παραπάνω δίνονται στον Πίνακα 1. Το φορτίο οδοποιίας ελήφθη ίσο με 20 kN/m^2 (συνήθης πρακτική) και κατανομημένο ομοιόμορφα σε πλάτος 10 m, ενώ ο υδροφόρος ορίζοντας θεωρήθηκε σε τέτοιο βάθος ώστε να μην επηρεάζει το πρόβλημα.

Οι αναλύσεις πεπερασμένων στοιχείων πραγματοποιήθηκαν με το πρόγραμμα Plaxis v.8.2 (Brinkgreve, 2002), σε διδιάστατες συνθήκες με θεώρηση επίπεδης παραμόρφωσης και κάνναβο αποτελούμενο από δεκαπεντάκομβα τριγωνικά στοιχεία. Τα γεωμετρικά όρια του προβλήματος ελήφθησαν σε αποστάσεις που δεν επηρεάζουν τα αποτελέσματα των αναλύσεων. Οι επιβαλλόμενες οριακές συνθήκες είναι μηδενικής οριζόντιας μετακίνησης ($u_x = 0$) στα κατακόρυφα (δεξιά και αριστερά) όρια του καννάβου και μηδενικής οριζόντιας και κατακόρυφης μετακίνησης ($u_x = u_y = 0$) στο κάτω όριο του καννάβου. Οι εδαφικοί

σχηματισμοί προσομοιώνονται με ένα τέλεια ελαστοπλαστικό Mohr – Coulomb μοντέλο. Οι τιμές των παραμέτρων για τα υλικά οπλισμένου εδάφους, επίλεκτου υλικού (επιχωμάτωσης) και επιχώματος πρόσβασης αποτελούν τυπικές τιμές από μελέτες οδοποιίας (Πίνακας 2). Οι τιμές των παραμέτρων εδάφους θεμελίωσης έχουν ληφθεί σχετικά υψηλές προκειμένου να μην επηρεάζεται η συμπεριφορά της κατασκευής.

Πίνακας 1. Παράμετροι χαλύβδινων οπλισμών και εξωτερικής επένδυσης.

Table 1. Parameters of steel strip reinforcement and facing panels.

Στοιχεία οπλισμού	Πλάτος διατομής, b (m)	0,05
	Πάχος (ύψος) διατομής, h (m)	0,004
	Επιφάνεια διατομής, A (m ²)	0,0002
	Μέτρο ελαστικότητας, E (MPa)	200.000
	Αξονική δυσκαμψία, EA (kN)	40.000
	Λόγος Poisson, ν (-)	0,30
	Κατακόρυφη απόσταση οπλισμών S _v (m)	0,75
	Οριζόντια απόσταση οπλισμών S _h (m)	0,75
Εξωτερική επένδυση	Ύψος, h (m)	1,50
	Πλάτος, w (m)	1,50
	Πάχος, d (m)	0,14
	Μέτρο ελαστικότητας, E (MPa)	25.000
	Λόγος Poisson, ν (-)	0,20
	Ειδικό βάρος, γ (kN/m ³)	23,5

Πίνακας 2. Παράμετροι εδαφικών σχηματισμών.

Table 2. Parameters of soil profiles.

Παράμετρος	Οπλισμένο έδαφος	Επίλεκτο υλικό	Επίχωμα πρόσβασης	Έδαφος έδρασης
Ειδικό βάρος γ _{unsat} (kN/m ³)	19	19	19	19
Δείκτης Young E _{ref} (MN/m ²)	50	50	50	75
Συνοχή c _{ref} (kN/m ²)	0	0	0	0
Γωνία τριβής φ (°)	34	32	32	34
Γωνία διογκωσιμότητας ψ (°)	6	6	6	6
Λόγος Poisson ν (-)	0,30	0,35	0,30	0,30

2.1 Διδιάστατη θεώρηση

Στην πραγματικότητα, το πρόβλημα ανάλυσης τοίχων οπλισμένης γης είναι τριδιάστατο, όμως αναλύσεις με παραδοχή δύο διαστάσεων θεωρούνται ικανοποιητικές εφόσον προσομοιώνουν μία αντιπροσωπευτική διατομή της υπό ανάλυση κατασκευής (Rowe and Skinner, 2001). Οι χαλύβδινοι οπλισμοί προσομοιώνονται με τη χρήση διδιάστατων γραμμικών στοιχείων (geogrid elements) που αναλαμβάνουν εφελκυστικές (αλλά όχι θλιπτικές) δυνάμεις. Για την προσομοίωση της δράσης τους γίνεται η ακόλουθη παραδοχή: τα στοιχεία οπλισμού που είναι τοποθετημένα οριζοντίως ανά 0,75 m στις πραγματικές συνθήκες, αντικαθίστανται στις δύο διαστάσεις από έλασμα που εκτείνεται σε όλο το πλάτος (πρόσοψη) της κατασκευής (Εικόνα 2). Για τον προσδιορισμό της αξονικής δυσκαμψίας του ελάσματος προτείνεται η χρήση ισοδύναμης αξονικής δυσκαμψίας. Συγκεκριμένα, η αξονική δυσκαμψία S μίας ράβδου ισούται με:

$$S = \frac{E_s A_s}{L_s} \quad (1)$$

όπου A_s, E_s, και L_s είναι η επιφάνεια διατομής, το μέτρο ελαστικότητας και το μήκος της ράβδου, αντίστοιχα. Έστω N ο αριθμός των ράβδων ανά μέτρο μήκους, τότε η ισοδύναμη

αξονική δυσκαμψία S_N ανά μέτρο μήκους ισούται με:

$$S_N = \sum_{i=1}^N \frac{E_i A_i}{L_i} = N \frac{E_s A_s}{L_s} \quad (2)$$

όπου A_i , E_i , και L_i είναι η επιφάνεια διατομής, το μέτρο ελαστικότητας και το μήκος της τυχαίας ράβδου i , αντίστοιχα. Αντικαθιστώντας τις N ράβδους με το έλασμα, η ισοδύναμη αξονική δυσκαμψία S_{eq} του ελάσματος ισούται με:

$$S_{eq} = \frac{E_{eq} A_{eq}}{L_{eq}} \quad (3)$$

και θα πρέπει να ικανοποιείται η σχέση:

$$S_N = S_{eq} \quad (4)$$

Λαμβάνοντας υπόψη ότι $L_s = L_{eq}$ (το μήκος των στοιχείων οπλισμού είναι ίσο με το μήκος του ισοδύναμου ελάσματος) η παραπάνω σχέση μπορεί να γραφεί:

$$(EA)_{eq} = N \cdot (EA)_s \quad (5)$$

Δεδομένου ότι N ο αριθμός των ράβδων ανά μέτρο μήκους και S_h η οριζόντια απόσταση μεταξύ των ράβδων στις πραγματικές συνθήκες (δηλαδή, για $S_h = 0,75$ m έχουμε 2 ράβδους ανά πλάκα προκατασκευασμένου σκυροδέματος πλάτους 1,5 m), ισχύει η σχέση:

$$N = \frac{1}{S_h} \quad (6)$$

Επομένως, η ισοδύναμη αξονική δυσκαμψία του ελάσματος, δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$(EA)_{eq} = \frac{1}{S_h} \cdot (EA)_s \quad (7)$$

οπότε, σύμφωνα και με τις τιμές του Πίνακα 1, θα ισχύει:

$$(EA)_{eq} = [1/(0,75\text{m})] \times (200.000\text{MPa} \times 0,0002\text{m}^2) = 53.333 \text{ kN/m}$$

Ως προς το ισοδύναμο πάχος του ελάσματος h_{eq} , υπολογίζεται αντικαθιστώντας στην παραπάνω σχέση $A_{eq} = (b \cdot h)_{eq}$ και $A_s = (b \cdot h)_s$, οπότε:

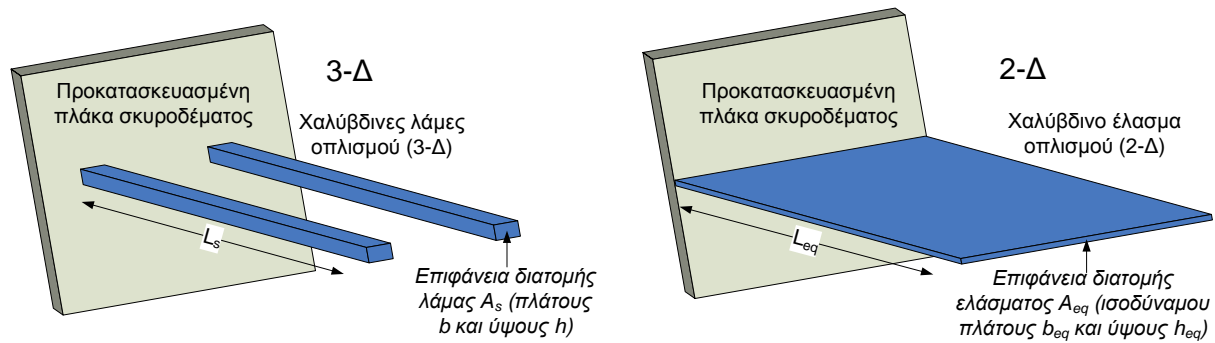
$$E_{eq} (b_{eq} h_{eq}) = \frac{1}{S_h} \cdot E_s (b_s h_s) \quad (8)$$

όπου $E_{eq} = E_s (= 200.000 \text{ Mpa})$, $b_{eq} = 1 \text{ m}$ (1 μέτρο μήκους του ελάσματος), $b_s = 0,05 \text{ m}$, $h_s = 0,004 \text{ m}$. Λαμβάνοντας υπόψη ότι $N = 1/S_h$ και αντικαθιστώντας, έχουμε:

$$200.000\text{MPa} \times 1\text{m} \times h_{eq} = N \times 200.000\text{MPa} \times 0,0002\text{m}^2 \Rightarrow h_{eq} = N \times 0,0002\text{m} \text{ ή αλλιώς:}$$

$$h_{eq} = 0,2N \text{ mm} \quad (9)$$

Άρα, για $N = 4/3$ ($S_h = 0,75 \text{ m}$), το ισοδύναμο πάχος του ελάσματος είναι $h_{eq} = 0,267 \text{ mm}$.

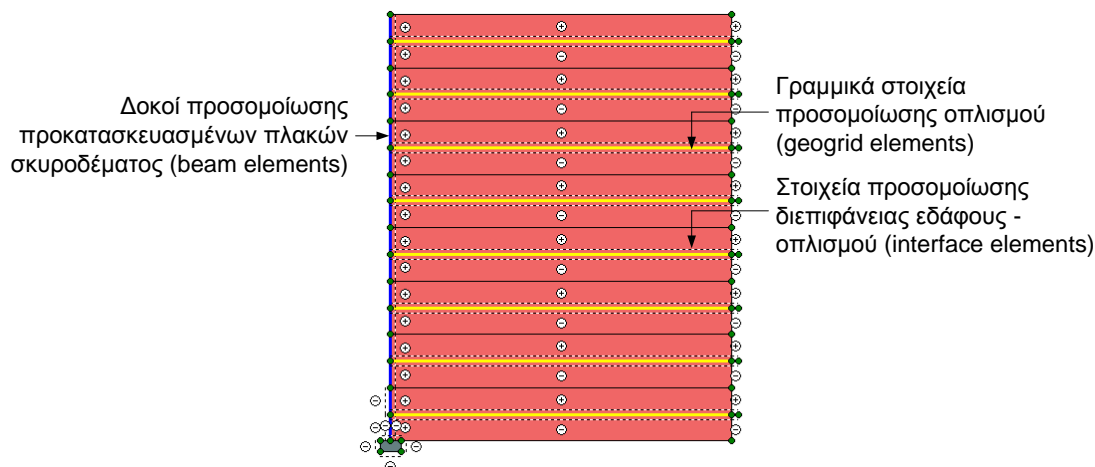


Εικόνα 2. Προσομοίωση οπλισμού σε 2-Δ συνθήκες.
Figure 2. Reinforcement modeling in 2-D conditions.

Οι διεπιφάνειες μεταξύ εδάφους και οπλισμών προσομοιώνονται με τα ειδικά στοιχεία διεπιφάνειας του προγράμματος (interface elements). Η συμπεριφορά των στοιχείων αυτών περιγράφεται από ένα ελαστοπλαστικό μοντέλο, με το κριτήριο Mohr – Coulomb να διαχωρίζει μεταξύ ελαστικής και πλαστικής συμπεριφοράς. Οι προκατασκευασμένες πλάκες εξωτερικής επένδυσης προσομοιώνονται με στοιχεία δοκών (beam elements), για τα οποία υπολογίζονται η αξονική και καμπτική δυσκαμψία, EA και EI , αντίστοιχα ίσες με $3.500.000 \text{ kN/m}$ και $5.716,7 \text{ kN}\cdot\text{m}^2/\text{m}$. Και τα τρία στοιχεία παρουσιάζονται γραφικά στην Εικόνα 3. Ο τυχόν ρόλος των στοιχείων σύνδεσης μεταξύ των πλακών (EPDM) δεν θεωρείται κρίσιμος και αγνοείται στις παρούσες αναλύσεις.

Οι αρχικές (γεωστατικές) τάσεις προσδιορίζονται στο πρώτο στάδιο υπολογισμών με τη μέθοδο της βαρυτικής φόρτισης (gravity loading) από το ίδιο βάρος των γαιών. Με αυτό τον τρόπο λαμβάνεται υπόψη ότι οι αρχικές συνθήκες του προβλήματος περιλαμβάνουν και μη οριζόντιες επιφάνειες (βλ. προϋπάρχον επίχωμα πρόσβασης). Επίσης, οι αναλύσεις δεν λαμβάνουν υπόψη τους τις ωθήσεις γαιών που προκαλούνται λόγω της συμπύκνωσης του υλικού κατά τη διάρκεια κατασκευής.

Τέλος, προκειμένου να διερευνηθεί η επίδραση που έχουν τα διαδοχικά στάδια κατασκευής ενός τοίχου από οπλισμένη γη στα αποτελέσματα της αριθμητικής προσομοίωσης, πραγματοποιήθηκαν συγκριτικές αναλύσεις μεταξύ προσομοίωσης σε ένα στάδιο κατασκευής και σε διαδοχικά στάδια κατασκευής (ύψους $0,375 \text{ m}$ έκαστο). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η πρώτη περίπτωση είναι ελαφρώς πιο συντηρητική. Δεδομένου ότι ο υπολογιστικός χρόνος στη δεύτερη περίπτωση είναι πολλαπλάσιος και ότι σκοπός της εργασίας δεν είναι ο ακριβής προσδιορισμός των μετακινήσεων ενός τοίχου, αλλά η συγκριτική μελέτη των αποτελεσμάτων, οι προσομοιώσεις πραγματοποιήθηκαν θεωρώντας ένα στάδιο κατασκευής. Αυτή η παραδοχή είναι συνήθης σε αντίστοιχες περιπτώσεις (Κωμοδρόμος, 2009).

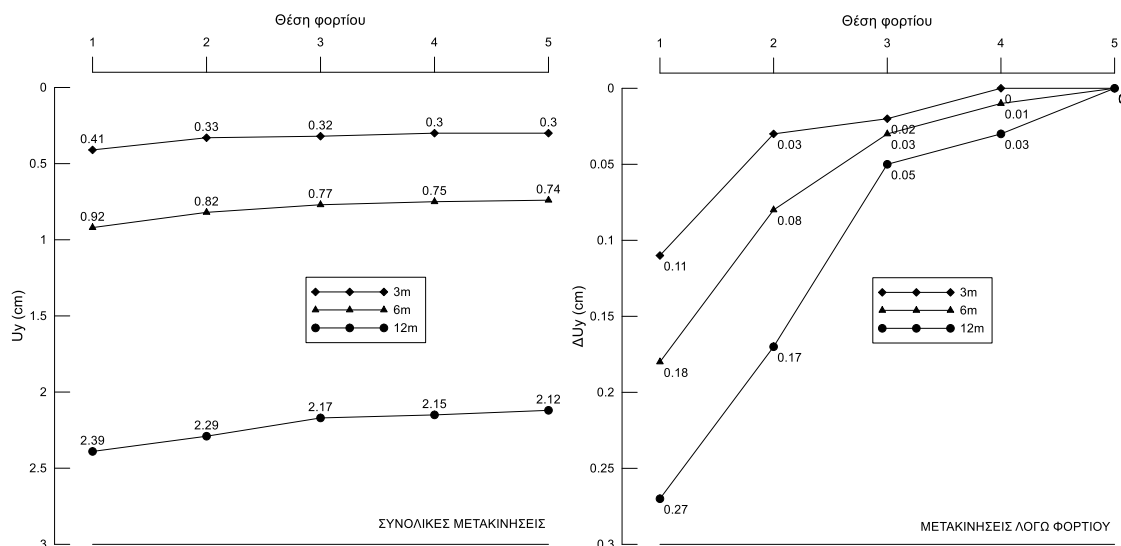


Εικόνα 3. Βασικά στοιχεία προσομοίωσης τοίχου.
Figure 3. Basic elements of wall's simulation.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1 Κατακόρυφες μετακινήσεις

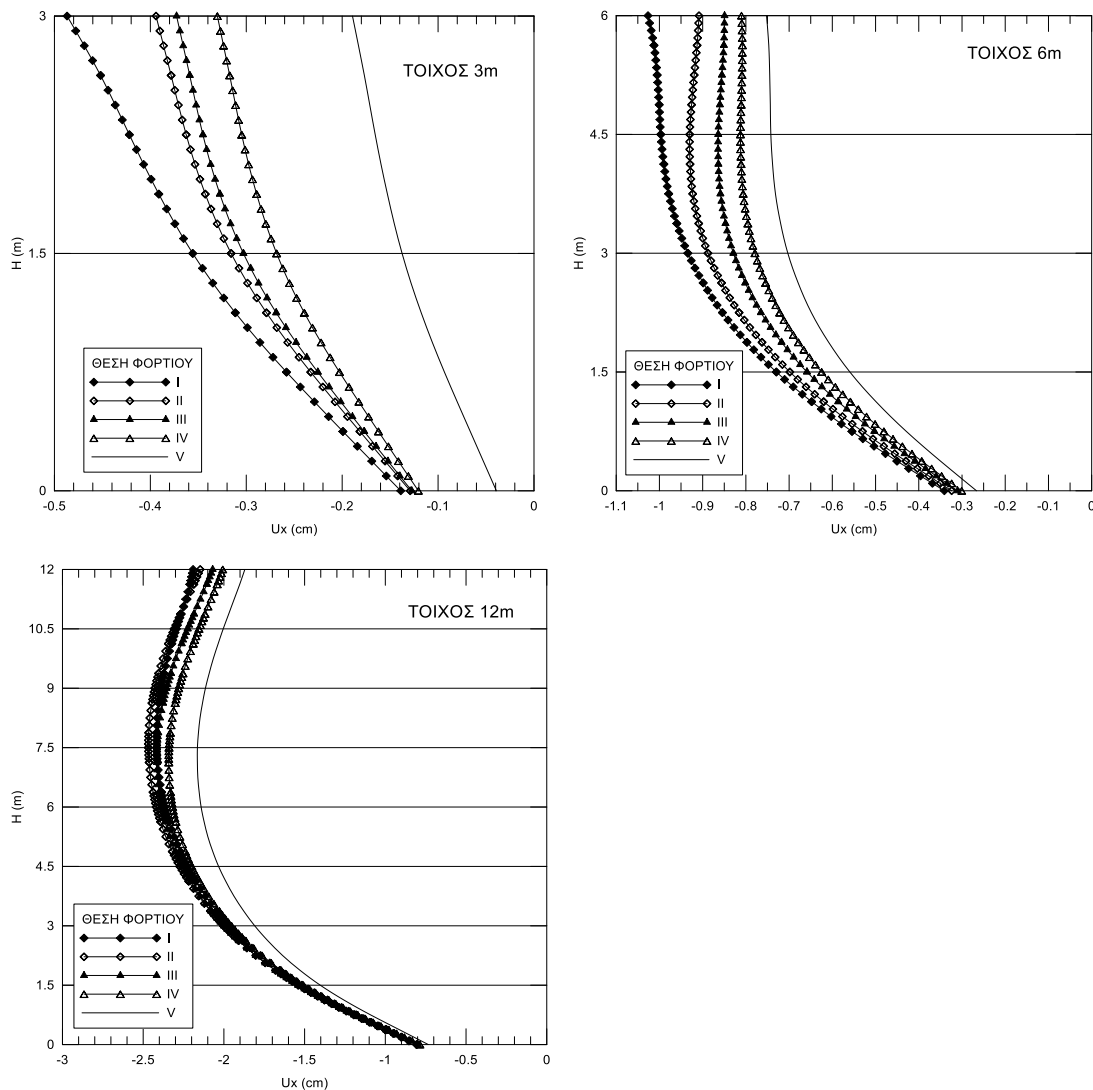
Οι συνολικές κατακόρυφες μετακινήσεις U_y , αλλά και οι μετακινήσεις που οφείλονται αποκλειστικά στο φορτίο οδοποιίας ΔU_y , στη βάση της εξωτερικής παρειάς των τοίχων, δίνονται στα διαγράμματα της Εικόνας 4. Όπως αναμενόταν, παρατηρείται ότι όσο το φορτίο οδοποιίας πλησιάζει στην εξωτερική παρειά, οι μετακινήσεις αυξάνονται. Πιο συγκεκριμένα, στις θέσεις φορτίου III έως V, οι κατακόρυφες μετακινήσεις λόγω του φορτίου είναι πολύ μικρές και σχεδόν οι ίδιες και για τις τρεις περιπτώσεις (Εικόνα 4β). Δηλαδή, ανεξαρτήτως ύψους τοίχου, όταν το φορτίο οδοποιίας δεν υπέρκειται του οπλισμένου κυρίως σώματος του τοίχου, τότε η εξωτερική παρειά δεν αντιλαμβάνεται την ύπαρξή τους. Στη θέση II παρατηρείται ότι η επίδραση του φορτίου οδοποιίας (σε σχέση με τη θέση III) για τον τοίχο ύψους 3 m εξακολουθεί να είναι μικρή. Αυτό συμβαίνει γιατί το πλάτος του οπλισμένου τμήματος τοίχου είναι τόσο μικρό (2,4 m) που στην ουσία το φορτίο εξακολουθεί να μην υπέρκειται των οπλισμών σε μεγάλο βαθμό, καθώς απέχει 2 m από την παρειά. Αντίθετα, στους τοίχους ύψους 6 και 12 m, το φορτίο υπέρκειται της οπλισμένης γεωκατασκευής, με αποτέλεσμα να επηρεάζει την απόκρισή της και κατά συνέπεια τις μετακινήσεις των προκατασκευασμένων πλακών. Τέλος, στη θέση I, ο ρυθμός αύξησης των μετακινήσεων (σε σχέση με τη θέση II) είναι πρακτικά ο ίδιος ανεξαρτήτως ύψους, καθώς πλέον και στις τρεις περιπτώσεις επηρεάζεται άμεσα η εξωτερική παρειά.



Εικόνα 4. Κατακόρυφες μετακινήσεις.
Figure 4. Vertical displacements.

3.2 Οριζόντιες μετακινήσεις

Εξετάζονται οι οριζόντιες μετακινήσεις U_x των προκατασκευασμένων πλακών σκυροδέματος (ύψους 1,5 m έκαστη) που αποτελούν την εξωτερική παρειά του τοίχου. Αυτές δίνονται για τις τρεις εξεταζόμενες περιπτώσεις στα διαγράμματα της Εικόνας 5, όπου φαίνεται η επίδραση τόσο του ίδιου βάρους του τοίχου (θέση V), όσο και των διαφορετικών θέσεων του φορτίου οδοποιίας (θέσεις I έως IV). Σημειώνεται ότι οι οριζόντιες γραμμές των διαγραμμάτων αντιστοιχούν στα υψόμετρα που συνδέονται μεταξύ τους οι πλάκες σκυροδέματος. Οι μέγιστες οριζόντιες μετακινήσεις λόγω ίδιου βάρους των τοίχων (θέση V) ήταν 0,19, 0,75 και 2,16 cm για ύψος τοίχων 3, 6 και 12 m, αντίστοιχα. Οι μέγιστες αυτές τιμές εμφανίσθηκαν στην κορυφή της εξωτερικής επένδυσης για τα ύψη 3 και 6 m, ενώ στον τοίχο ύψους 12 m εμφανίσθηκε σε ύψος 7,3 m από τη βάση του τοίχου. Πιο αναλυτικά, γίνονται οι ακόλουθες παρατηρήσεις:



Εικόνα 5. Οριζόντιες μετακινήσεις.
Figure 5. Horizontal displacements.

Ανεξάρτητα από το ύψος του τοίχου και τη θέση του φορτίου οδοποιίας, οι οριζόντιες μετακινήσεις αυξάνονται σχετικά απότομα από τη βάση του εκάστοτε τοίχου και μέχρι τη μέση περίπου αυτού (δηλαδή, στα υπόμετρα 0 έως 1,5 m για τον τοίχο 3 μέτρων, 0 έως 3 m για τον τοίχο 6 μέτρων και 0 έως 6 m για τον τοίχο 12 μέτρων). Στη συνέχεια όμως, δηλαδή στο ανώτερο τμήμα της παρειάς, ο ρυθμός αύξησης των μετακινήσεων μειώνεται για τον τοίχο 3 μέτρων, μηδενίζεται για τον τοίχο 6 μέτρων και γίνεται αρνητικός, δηλαδή οι μετακινήσεις στο ανώτερο τμήμα είναι χαμηλότερες, για τον τοίχο 12 μέτρων.

Για τον τοίχο ύψους 3 m, ανεξαρτήτως θέσης του φορτίου οδοποιίας, οι μέγιστες οριζόντιες μετακινήσεις των προκατασκευασμένων πλακών παρατηρούνται στο ανώτερο σημείο της εξωτερικής παρειάς. Η μέγιστη μετακίνηση παρατηρείται όταν το φορτίο εκτείνεται ως την εξωτερική παρειά (θέση I). Μετατόπιση του φορτίου προς τα δεξιά (θέσεις II, III και IV) προκαλεί αξιοσημείωτη μείωση των οριζόντιων μετατοπίσεων. Μεταξύ των θέσεων I, II, III και IV, η επίδραση του φορτίου οδοποιίας από τη μέση περίπου του τοίχου και κάτω δεν διαφοροποιείται σε μεγάλο βαθμό.

Για τον τοίχο ύψους 6 m, οι μέγιστες οριζόντιες μετακινήσεις παρατηρούνται στο ανώτερο σημείο της εξωτερικής παρειάς μόνο στη θέση I, όπου το φορτίο οδοποιίας ξεκινά από την ίδια την παρειά. Στις υπόλοιπες θέσεις (II, III και IV) αυτές εμφανίζονται σε ολοένα και χαμηλότερο ύψος και συγκεκριμένα στη δεύτερη (από πάνω) προκατασκευασμένη πλάκα σκυροδέματος, καθώς το φορτίο μετατοπίζεται προς τα δεξιά. Δηλαδή, οι μετακινήσεις λόγω φορτίου ακολουθούν τη μορφή των οριζόντιων μετακινήσεων που εμφανίζει ο τοίχος λόγω

ίδιου βάρους (θέση V). Η μέγιστη μετακίνηση παρατηρείται στη θέση I. Μετατόπιση του φορτίου κατά 2 m προς τα δεξιά (θέση II) προκαλεί σημαντική μείωση των μετακινήσεων.

Τέλος, για τον τοίχο ύψους 12 m, σε όλες ανεξαιρέτως τις θέσεις του φορτίου οδοποιίας, το σημείο εμφάνισης της μέγιστης μετακίνησης βρίσκεται μεταξύ της τρίτης και τέταρτης πλάκας σκυροδέματος (δηλαδή σε υψόμετρο 6 έως 9 m από τη στάθμη θεμελίωσης). Με εξαίρεση το ανώτερο προκατασκευασμένο πάνελ (ύψος 10,5 έως 12 m από τη στάθμη θεμελίωσης), η μετατόπιση είναι μεγαλύτερη στη θέση II έναντι της θέσης I. Επίσης, στη θέση III παρατηρείται μεγαλύτερη οριζόντια μετατόπιση έναντι της θέσης I κάτω από τα 7.3 m ύψος τοίχου.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία διερευνήθηκε η επίδραση τυπικών φορτίων οδοποιίας στις μετακινήσεις τοίχων αντιστήριξης οπλισμένου εδάφους, υπό το πρίσμα κατακόρυφων και οριζόντιων μετακινήσεων της εξωτερικής παρειάς του. Η μελέτη πραγματοποιήθηκε με το πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων Plaxis. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, κύριο ρόλο στις κατακόρυφες και οριζόντιες μετακινήσεις των προκατασκευασμένων πλακών σκυροδέματος της εξωτερικής παρειάς, έχει η θέση του οδοστρώματος οδοποιίας, δηλαδή ο βαθμός στον οποίο το φορτίο οδοποιίας υπέρκειται των στοιχείων οπλισμού. Επομένως, πέρα από το προφανές – τη θέση δηλαδή του ίδιου του φορτίου ως προς την εξωτερική παρειά – σημασία έχει και το πλάτος του τοίχου, δηλαδή το μήκος των στοιχείων οπλισμού, το οποίο όμως εξαρτάται άμεσα από το ύψος του τοίχου. Γενικά, όσο το φορτίο οδοποιίας πλησιάζει στην εξωτερική παρειά, τόσο οι μετακινήσεις αυτής αυξάνονται. Συγκεκριμένα, για τις κατακόρυφες μετακινήσεις βρέθηκε ότι ανεξάρτητα από το ύψος κατασκευής (εξεταζόμενες περιπτώσεις ύψους 3 έως 12 m), όταν το φορτίο εκτείνεται από το επίχωμα πρόσβασης έως το ελεύθερο άκρο των οπλισμών (δηλαδή, δεν υπέρκειται των τελευταίων), τότε η εξωτερική παρειά δεν αντιλαμβάνεται την ύπαρξη του φορτίου. Στην περίπτωση όμως, που το φορτίο εκτείνεται ως την παρειά ή πολύ κοντά σε αυτή, τότε οι μετακινήσεις αυξάνονται εντονότερα όσο μεγαλύτερο είναι το ύψος του τοίχου. Ως προς τις οριζόντιες μετακινήσεις, η καμπύλη κατανομής των μετακινήσεων που προκαλούνται καθ' ύψος του τοίχου λόγω του φορτίου οδοποιίας, είναι παρόμοια με την καμπύλη μετακινήσεων που προκαλούνται και χωρίς την ύπαρξη του φορτίου οδοποιίας. Για τοίχους μικρού ύψους, κρίσιμο είναι το ανώτερο σημείο της κατασκευής. Όσο όμως το ύψος της κατασκευής αυξάνει, η κρίσιμη περιοχή της εξωτερικής παρειάς εντοπίζεται προς το μέσο του τοίχου. Το φαινόμενο αυτό γίνεται ιδιαίτερα έντονο στους τοίχους μεγάλου ύψους.

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Adama Engineering Inc. (2007). "MSEW (3.0)", www.geoprograms.com, Newark, USA.
- Brinkgreve, R. B. J. (2002). "Manual for Plaxis 2D - Version 8". Balkema, Plaxis b.v., Netherlands.
- Elias, V., Christopher, B. R., and Berg, R. R. (2001). "Mechanically stabilized earth walls and reinforced soil slopes – Design & construction guidelines". FHWA-NHI-00-043, US Department of Transportation, Washington D.C., USA.
- Rowe, R. K., and Skinner, G. D. (2001). "Numerical analysis of geosynthetic reinforced retaining wall constructed on a layered soil foundation". *Geotextiles and Geomembranes*, 19(7): 387-412.
- Schlosser, F. (1990). "Mechanically stabilized earth retaining structures in Europe". Design and Performance of Earth Retaining Structures (Geotechnical Special Publication No. 25), P. Lambe and L. A. Hansen, eds., ASCE, Ithaca, USA, 347-378.
- Zevgolis, I. E., Bourdeau, P. L., and Huang, W.-C. (2008). "Applications of reinforced soil walls in transportation". 10th International Conference on Application of Advanced Technologies in Transportation, 27-31 May 2008, Athens, Greece.
- Κωμοδρόμος, Α. Ι. (2009). "Βαθίες Θεμελιώσεις - Αντιστηρίξεις: Οριακή Ισορροπία - Αριθμητικές Μέθοδοι". Κλειδάριθμος.