

Εναλλακτική Θεμελίωση Δομημάτων με Ασύνδετους Πασσάλους

Alternative Design of Rafts with Structurally Unconnected Piles

ΓΕΡΟΛΥΜΟΣ, Ν.
ΔΡΟΣΟΥ, Χ.
ΓΚΑΖΕΤΑΣ, Γ.

Πολιτικός Μηχανικός, Λέκτορας, Ε.Μ.Π.
Πολιτικός Μηχανικός Ε.Μ.Π.
Πολιτικός Μηχανικός, Καθηγητής, Ε.Μ.Π.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ : Παρουσιάζεται μία μέθοδος βελτίωσης προβληματικών εδαφών, η οποία συνδυάζει: (i) «παρεμβαλλόμενους» πασσάλους ωπλισμένου σκυροδέματος, και (ii) στρώση από καλά συμπυκνωμένα και διαβαθμισμένα σκύρα η οποία παρεμβάλλεται μεταξύ των κεφαλών των πασσάλων και της θεμελίωσης. Η μέθοδος αυτή προτείνεται ως εναλλακτική λύση αντί της συμβατικής θεμελίωσης επί ομάδας πασσάλων, με στόχο όχι μόνον την ελαχιστοποίηση του κόστους, αλλά και την βελτιστοποίηση της απόκρισης της ανωδομής υπό στατικές και σεισμικές συνθήκες φόρτισης. Σκοπός του άρθρου είναι η αριθμητική ανάλυση του προβλήματος και η διερεύνηση του ρόλου χαρακτηριστικών παραμέτρων του, όπως π.χ. η δυσστημσία και η αντοχή του εδάφους, το πάχος της εξυγιαντικής στρώσης, η διάταξη των πασσάλων και οι συνθήκες συνάφειας στην διεπιφάνεια πασσάλου-εδάφους, στην αύξηση του “δείκτη” εδάφους .

ABSTRACT : A new foundation method is presented as an alternative to conventional pile foundations. It consists of piles which are structurally unconnected to the raft, with the intervention of a well-compacted coarse grained layer. Since the structural considerations of such piles are no longer critical in the design, the proposed foundation method might be economically more efficient while improving the response of the superstructure to both static and seismic loading. Our main goal is to investigate the role of key parameters such as: soil stiffness and strength, thickness of gravel layer, pile configuration and bonding conditions at the pile-soil interface on the foundation response, in terms of the subgrade modulus coefficient of the raft.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι πάσσαλοι ωπλισμένου σκυροδέματος χρησιμοποιούνται ευρέως στην θεμελίωση δομημάτων. Ο ρόλος τους είναι διττός: (i) Η ασφαλής μεταβίβαση των φορτίων από την ανωδομή στο έδαφος, και (ii) η μείωση των μετακινήσεων του συστήματος ανωδομής-θεμελίου.

Στον σχεδιασμό των πασσάλων σε σεισμικώς επικίνδυνα εδάφη θα πρέπει να συνυπολογίζονται οι εξής τύποι φόρτισης:

- Αδρανειακή επιπόνηση από την ταλάντωση της ανωδομής,
- κινηματική επιπόνηση από την σεισμικώς επιβαλλόμενη παραμόρφωση των εδαφικών στρώσεων,

- φόρτιση λόγω εδαφικής ροής οφειλομένης σε ρευστοποίηση, και
- αρνητική τριβή από την μετασεισμική στερεοποίηση του τυχόν ρευστοποιηθησομένου εδάφους.

Αχίλλειος πτέρνα της πασσαλο-θεμελιώσεως υπό τις ανωτέρω συνθήκες φόρτισης: η σύνδεση των πασσάλων με τον κεφαλόδεσμο. Στην ήδη επιβαρημένη κατάσταση από τις αυξημένες απαιτήσεις στην απόκριση των πασσάλων, έρχεται να προστεθεί η δογματική στάση των κανονισμών (συμπεριλαμβανομένου και του Ελληνικού Αντισεισμικού Κανονισμού), οι οποίοι «απαγορεύουν» την ανελαστική απόκριση του υλικού των πασσάλων. Η υπερβολική πύκνωση του δικτύου των πασσάλων, η οποία πολλές φορές συνοδεύεται και από βελτίωση

του μεταξύ των πασσάλων εδάφους (π.χ. με χαλικοπασσάλους), είναι συνήθως η μοναδική διέξοδος από το πρόβλημα στα πλαίσια του επιβαλλομένου υπερσυντηρητικού σχεδιασμού της πασσαλο-θεμελίωσης. Τελικό αποτέλεσμα η δραματική αύξηση του κόστους της θεμελίωσης, όχι κατ' ανάγκην και της ασφάλειας.

Η λύση που προτείνεται είναι απλή και εύκολα εφαρμόσιμη. Απομόνωση των πασσάλων από την θεμελίωση, με την παρεμβολή ενός ανακουφιστικού στρώματος από καλά διαβαθμισμένα και συμπυκνωμένα σκύρα μεταξύ των κεφαλών των πασσάλων και της πλάκας εδράσεως.

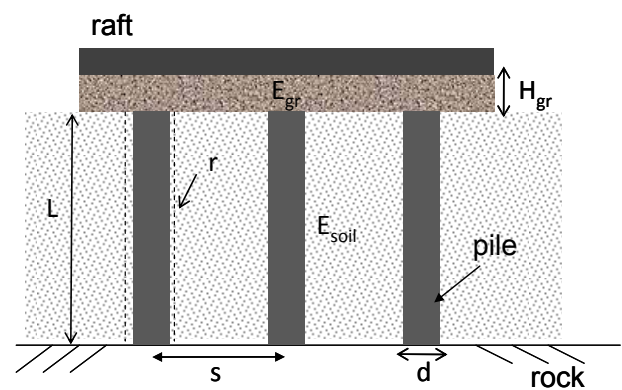
Με αυτό τον τρόπο οι πάσσαλοι δεν χρησιμεύουν ως «μεταφορείς» του φορτίου της ανωδομής, αλλά ως μέσο βελτίωσης και ενίσχυσης της δυστημής του υποκειμένου εδάφους. Δεδομένου ότι οι πάσσαλοι δεν συνδέονται πλέον με την ανωδομή, σχεδόν απαλλάσσονται από την αδρανειακή επιπόνηση και οι αποστάσεις μεταξύ τους μπορούν να ληφθούν αρκετά μεγάλες. Ωστόσο, οι απαιτήσεις σε διαμήκη και εγκάρσιο σπλισμό εξακολουθούν να υφίστανται (αν και αισθητά μειωμένες), χάριν της κινηματικής επιπόνησης.

Πρόσθετο όφελος από την απομόνωση των πασσάλων από τη θεμελίωση είναι η άρση του περιορισμού (κατά τις επιταγές του συμβατικού σχεδιασμού) για οιονεί ελαστική δομητική συμπεριφορά. Ο αναπόφευκτος μηχανισμός πλαστικής αρθρώσεως στον πάσσαλο σε ιδιαίτερα ισχυρή φόρτιση όχι μόνο δεν έπρεπε να «απαγορεύεται», αλλά ενδεχομένως (υπό κατάλληλες συνθήκες) έπρεπε και να επιδιώκεται. Η εξυγιαντική στρώση από καλά διαβαθμισμένα σκύρα συμβάλλει στην ομαλή μεταβίβαση του φορτίου, καθώς επίσης αντικαθιστά τη λειτουργία του κεφαλόδεσμου και το πάχος της πλάκας θεμελίωσης μπορεί να ληφθεί αρκετά μικρότερο, όντας απαλλαγμένο από γεωμετρικούς περιορισμούς που επιβάλλει η αγκύρωση του σπλισμού των πασσάλων.

Το αντίτιμο για την απομόνωση των πασσάλων από την πλάκα εδράσεως είναι η μεγαλύτερη παραμένουσα μετακίνηση και στροφή του θεμελίου, συγκριτικά με την αντίστοιχη για μονολιθική σύνδεση των πασσάλων με την ανωδομή. Γίνεται επομένως αντιληπτό ότι η αποτίμηση της αποδοτικότητας της προτεινόμενης βελτίωσης του εδάφους, θα πρέπει να οριοθετηθεί από στάθμες επιτελεστικότητας.

2. ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ

Εξετάζουμε το πρόβλημα του Σχήματος 1. Πλάκα θεμελίωσης πάχους t_{slab} εδράζεται σε στρώση από σκύρα πάχους H_{gr} , μέτρου ελαστικότητας E_{gr} , και γωνίας τριβής φ_{gr} . Ακολουθεί το φυσικό έδαφος μέτρου ελαστικότητας E_{soil} και γωνίας εσωτερικής τριβής φ_{soil} . Το έδαφος ενισχύεται με πασσάλους Ω.Σ., με ελάχιστη απόσταση από κέντρο σε κέντρο ίση με s , οι οποίοι εδράζονται στον υποκείμενο βράχο, έχουν δε διάμετρο d , μήκος L , και μέτρο ελαστικότητας $E_p = 30$ GPa. Η πλάκα υποβάλλεται σε κατακόρυφη ομοιόμορφη πίεση ίση με p .



Σχήμα 1. Το πρόβλημα
Figure 1. The studied problem

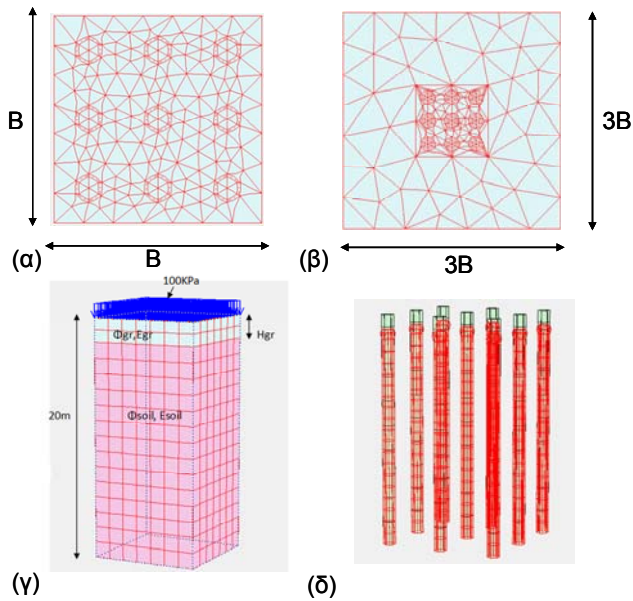
Ζητούμενο του προβλήματος είναι ο υπολογισμός του συντελεστή βελτιώσεως, A , ο οποίος ορίζεται ως:

$$A = \frac{k_{imp}}{k_{init}} \quad (1)$$

δηλαδή ως ο λόγος του δείκτη εδάφους μετά την βελτίωση, προς τον αρχικό.

Οι αναλύσεις ευδοχώθηκαν στις δύο και στις τρεις διαστάσεις με την βοήθεια των λογισμικών πεπερασμένων στοιχείων PLAXIS2D και PLAXIS3D. Για τις 2Δ-αναλύσεις θεωρήθηκαν συνθήκες φόρτισης αξονικής συμμετρίας, σε καθεστώς μονοδιάστατης παραμόρφωσης. Συγκεκριμένα αναλύθηκε μία χαρακτηριστική “φέτα” του προβλήματος στην οποία συμπεριλαμβάνεται ένας μόνον πάσσαλος, και η οποία οριοθετείται από την ημιαπόσταση δύο διαδοχικών πασσάλων. Η παραδοχή των συνθηκών αξονικής συμμετρίας

θεωρείται ρεαλιστική για μεγάλες ομάδες πασσάλων.



Σχήμα 2. Τα προσομοιώματα Π.Σ.: για ομάδα πασσάλων 3 x 3: (α) κάτοψη καννάβου για παρεμποδισμένη πλευρική παραμόρφωση, (β) για ελεύθερη παραμόρφωση, (γ) προοπτικό του προσομοιώματος (α), (δ) προοπτικό του παραμορφωμένου καννάβου των πασσάλων.
Figure 2. Finite element models for a 3 x 3 group of piles: (a) plan view of the mesh for fixed lateral boundary conditions, (b) for free conditions, (c) view of the F.E. mesh corresponding to the plan view of model (a), and (d) view of the deformed F.E. mesh of the piles.

Στις τριδιάστατες αναλύσεις (Σχήμα 2) διερευνήθηκε η συμπεριφορά πλακών θεμελιώσεως για τετραγωνικές διατάξεις πασσάλων (3 x 3, 4 x 4, και 5 x 5), για τις εξής συνοριακές συνθήκες στην περίμετρο της πασσαλο-ομάδας: (α) παρεμποδισμένης πλευρικής παραμόρφωσης, και (β) ελευθέρου πεδίου.

Μετά από προκαταρκτική παραμετρική ανάλυση του προβλήματος, βρέθηκε ότι οι αδιάστατοι παράμετροι των οποίων η επιρροή στον λόγο βελτίωσης του εδάφους είναι σημαντική, είναι οι εξής:

- $$\frac{H_{gr}}{s} = \frac{\text{πάχος σκύρων}}{\text{απόσταση πασσάλων}}$$

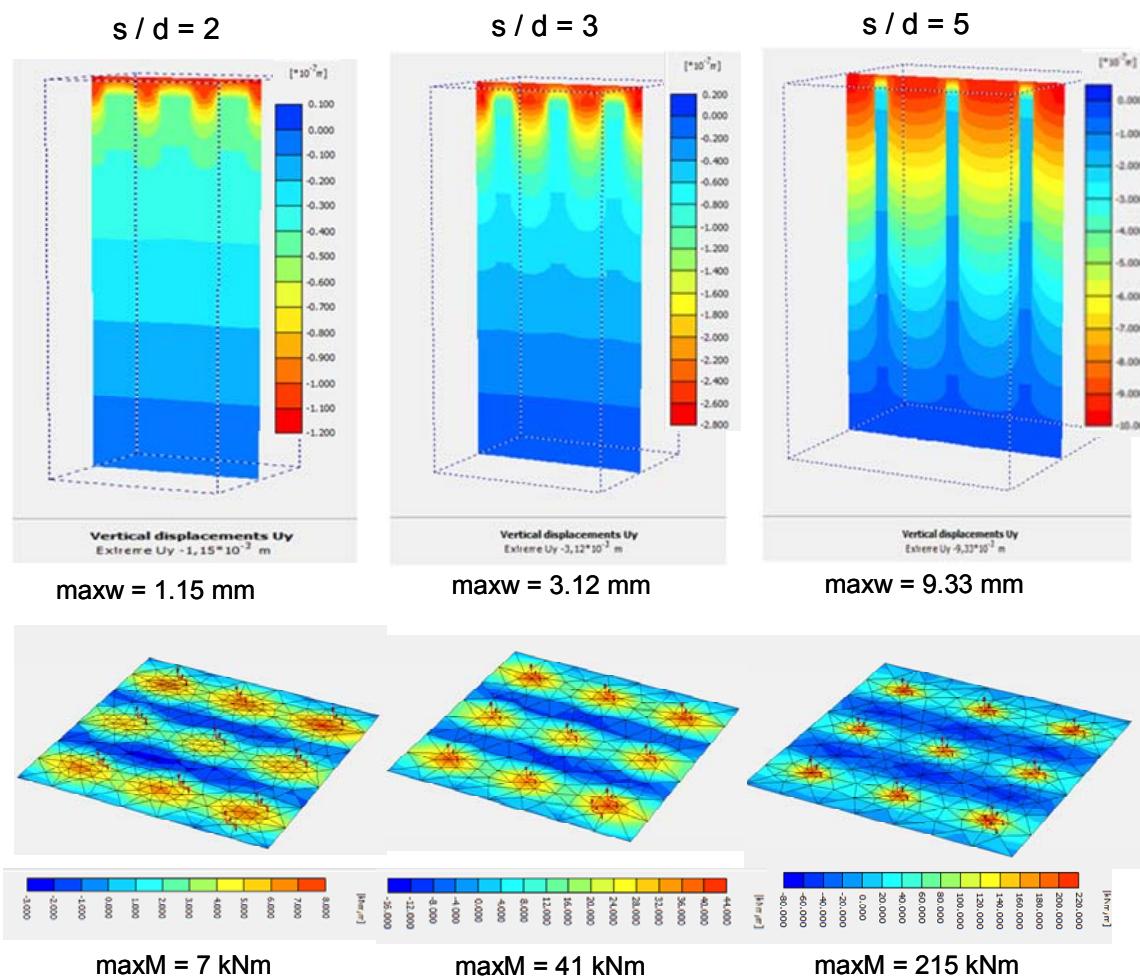
- $$\frac{s}{d} = \frac{\text{απόσταση πασσάλων}}{\text{διάμετρος πασσάλων}}$$
- $$r = \frac{\tan \phi_{int}}{\tan \phi_{soil}} = \frac{\text{αντοχή διεπιφάνειας}}{\text{αντοχή εδάφους}}$$
- $$\frac{E_{gr}}{E_{soil}} = \frac{\text{μέτρο ελαστικότητας σκύρων}}{\text{μέτρο ελαστικότητας εδάφους}}$$
- $$\frac{L}{d} = \frac{\text{μήκος πασσάλων}}{\text{διάμετρος πασσάλων}}$$

Οι παράμετροι αντοχής, τόσο των σκύρων όσο και του εδάφους, το πάχος της πλάκας εδράσεως, και το μέγεθος του επιβαλλομένου φορτίου (για τιμές από 30 έως 300 kPa), βρέθηκε να έχουν πολύ μικρή συμβολή στον λόγο βελτίωσης του εδάφους, και γι' αυτό δεν συμπεριλαμβάνονται στις παραμέτρους του προβλήματος.

3. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Τα αποτελέσματα των αναλύσεων συνοψίζονται συμπερασματικά ως εξής:

- Αυξανόμενη της αποστάσεως των πασσάλων (Σχήμα 3) εξασθενεί ο μηχανισμός της τοξωτής λειτουργίας του εδάφους, με αποτέλεσμα αφενός μεν μεγαλύτερη καθίζηση της πλάκας, αφετέρου δε αύξηση των καμπτικών ροπών στις περιοχές της πλάκας πάνω από τις κεφαλές των πασσάλων. Για αποστάσεις μεταξύ των πασσάλων $s/d \leq 3$, η τοξωτή λειτουργία του εδάφους είναι αρκετά ισχυρή ώστε οι πάσσαλοι με το περιβάλλον σε αυτούς έδαφος να συμπεριφέρεται ως ενιαίο σώμα.
- Αύξηση του πάχους των σκύρων (Σχήματα 4 και 5) οδηγεί σε αύξηση αλλά και σε πιο ομοιόμορφη κατανομή των καθιζήσεων στην πλάκα, και σε μείωση των καμπτικών ροπών που αναπτύσσονται σε αυτήν. Αξιοσημείωτο είναι ότι για αποστάσεις των πασσάλων $s/d > 4$ (Σχήμα 4) υπάρχει μία χαρακτηριστική τιμή του πάχους των σκύρων (ίση περίπου με 3 m), πέραν



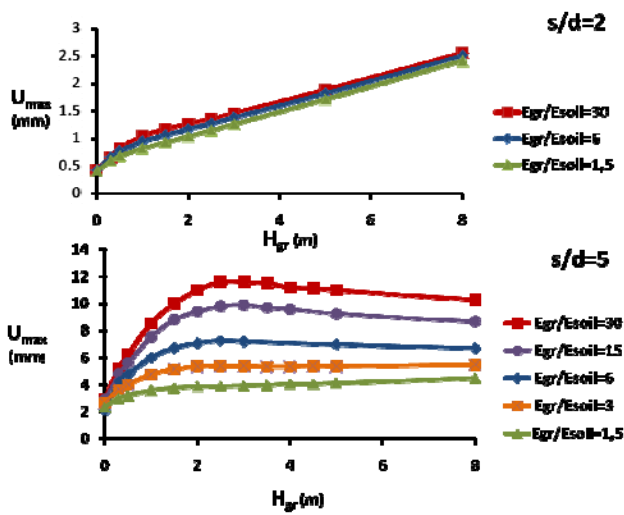
Σχήμα 3. (Επάνω) Ισοϋψείς κατακορύφων μετακινήσεων, και (Κάτω) Ισουψείς καμπτικών ροπών στην πλάκα έδρασης, για τρεις διαφορετικές τιμές του λόγου s/d . Ομάδα πασσάλων 3x3 με: $H_{gr} = 1$ m, $E_{soil} = 50$ MPa, $E_{gr} = 300$ MPa, $t_{slab} = 0.5$ m, $\varphi_{gr} = 40^\circ$, $\varphi_{soil} = 30^\circ$, $L = 20$ m, $d = 1$ m, και $r = 1$.
 Figure 3. (Top) Contours of the vertical displacements, and (bottom) contours of the bending moments of the raft, for three different values of the ratio s/d . Group of 3x3 piles with: $H_{gr} = 1$ m, $E_{soil} = 50$ MPa, $E_{gr} = 300$ MPa, $t_{slab} = 0.5$ m, $\varphi_{gr} = 40^\circ$, $\varphi_{soil} = 30^\circ$, $L = 20$ m, $d = 1$ m, and $r = 1$.

της οποίας οι καθιζήσεις της πλάκας μειώνονται. Η συμπεριφορά αυτή αποδίδεται στον διπτό ρόλο του “ανακουφιστικού” στρώματος των σκύρων. Αρχικά, όσο πιο μεγάλο είναι αυτό το ενισχυμένο με πασσάλους έδαφος “απομακρύνεται” από την πλάκα θεμελίωσης, με αποτέλεσμα την αύξηση των καθιζήσεων. Για πολύ μεγάλα πάχη όμως η στρώση από σκύρα έχει τον ρόλο της αντικατάστασης του εδάφους. Για μεγάλες αποστάσεις μεταξύ των πασσάλων η συμβολή του αντικαθιστώμενου εδάφους (το οποίο είναι σαφώς πιο δύσμητο από το φυσικό) είναι ισχυρότερη από την αντίστοιχη του ενισχυμένου με πασσάλους εδάφους.

- Η αποδοτικότητα του βελτιωμένου εδάφους αυξάνεται αυξανόμενου του λόγου σχετικής δυσμηνσίας E_{gr}/E_{soil}

(Σχήμα 6), με μικρή ωστόσο επιρροή στις ροπές κάμψης της πλάκας.

- Η επιρροή του συντελεστή διεπιφάνειας r (Σχήμα 7), είναι σημαντική για τις καθιζήσεις του θεμελίου, όχι όμως και για τις καμπτικές ροπές που αναπτύσσονται σε αυτό. Όσο “φτωχότερες” είναι οι συνθήκες συνάφειας στην διεπιφάνεια πασσάλου-εδάφους τόσο πιο εξασθενημένη (λόγω της ολίσθησης σε αυτήν) είναι η τοξωτή λειτουργία του περιβάλλοντος τους πασσάλους έδαφος, με αποτέλεσμα την αύξηση των καθιζήσεων.
- Η συμβολή των συνθηκών φόρτισης και των συνοριακών συνθηκών στην αποδοτικότητα της βελτίωσης είναι



Σχήμα 4. Μέγιστη κατακόρυφη μετακίνηση της πλάκας συναρτήσει του πάχους των σκύρων, για διάφορες τιμές του λόγου σχετικής δυσστησίας E_{gr} / E_{soil} , και για δύο διαφορετικές τιμές του λόγου s/d . Οι τιμές των υπολοίπων παραμέτρων είναι ίδιες με αυτές του Σχήμ. 3.

Figure 4. Maximum vertical displacement of the raft versus thickness of the gravel layer H_{gr} , for different values of the relative stiffness ratio E_{gr} / E_{soil} , and for two different distance ratios s/d . The model parameters are those of Figure 3.

$$\bar{A} = 3.81 r^{0.27} \left(\frac{H_{gr}}{s} \right)^{-0.34} \left(\frac{s}{d} \right)^{-1.79} \left(\frac{E_{gr}}{E_{soil}} \right)^{0.60} \left(\frac{L}{d} \right)^{0.65} \quad (2)$$

με 95%) υπολογίσθηκε σε:

$$A_c = \frac{1}{2} \bar{A} \quad (3)$$

Επειδή η εφαρμογή ενός ενιαίου δείκτη εδάφους για αποστάσεις μεταξύ των πασσάλων μεγαλύτερες από $s/d = 3$, είναι μη συντηρητικός ως προς τον υπολογισμό των καμπτικών ροπών στις περιοχές της πλάκας εδράσεως άνωθεν των κεφαλών των πασσάλων, προτείνεται η εφαρμογή δύο

και

$$A_p = \frac{n s^2}{(n-1) D_{eff}^2 + s D_{eff}} A_c \quad (5)$$

όπου n ο λόγος της συγκέντρωσης τάσεων, στις ανωτέρω αναφερθείσες περιοχές της

επίσης καθοριστικής σημασίας. Στις τρεις διαστάσεις και με θεώρηση παρεμποδιζόμενης πλευρικής παραμόρφωσης στην περίμετρο του βελτιωμένου εδάφους, ο συντελεστής αποδοτικότητας είναι ίσος περίπου με 0.85 φορές επί τον αντίστοιχο για συνθήκες αξονικής συμμετρίας, είναι δε σχεδόν ανεξάρτητος της αποστάσεως των πασσάλων, δεδομένου ότι αυτοί είναι πάσσαλοι αιχμής. Από την άλλη, για συνθήκες ελεύθερης μετακίνησης στην περιφέρεια του βελτιωμένου εδάφους ο συντελεστής αποδοτικότητας εξαρτάται κατά πολύ από τις αποστάσεις μεταξύ των πασσάλων. Όσο μικρότερες οι εν λόγω αποστάσεις, τόσο μικρότερος και ο συντελεστής αποδοτικότητας της βελτίωσης.

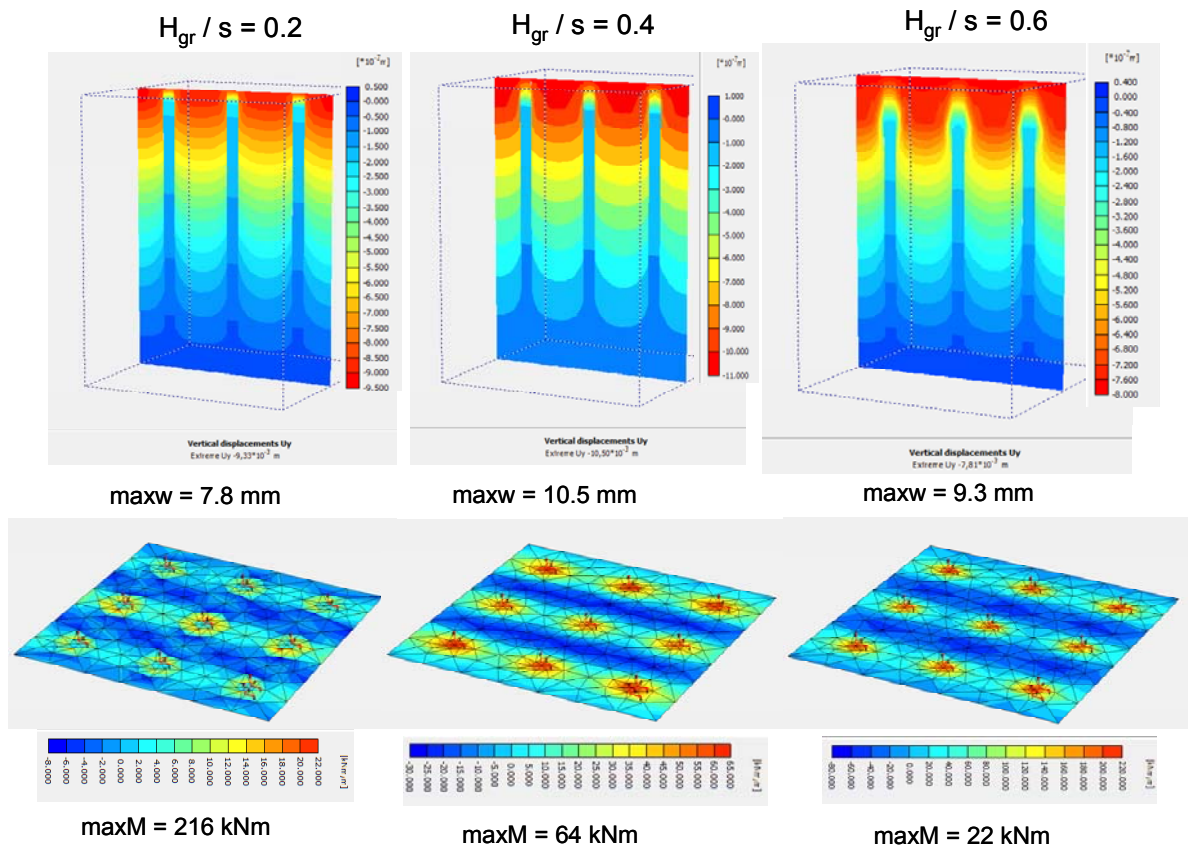
Από την στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων της παραμετρικής αναλύσεως, καταλήξαμε στην εξής προσεγγιστική σχέση για την μέση τιμή του συντελεστή βελτίωσης A : Η δε χαρακτηριστική τιμή του εν λόγω συντελεστή (για πιθανότητα υπέρβασης ίσης

ομάδων συντελεστού βελτίωσης. Μία (A_s) για την περιοχή της πλάκας που εδράζεται στο μεταξύ των πασσάλων έδαφος (ισοδύναμη διάμετρο $s-D_{eff}$), και μία δεύτερη (A_p) για τις περιοχές της πλάκας (σχ. 8) που αντιστοιχούν στις προβολές σε αυτήν των κεφαλών των πασσάλων (ισοδύναμη διάμετρο D_{eff}):

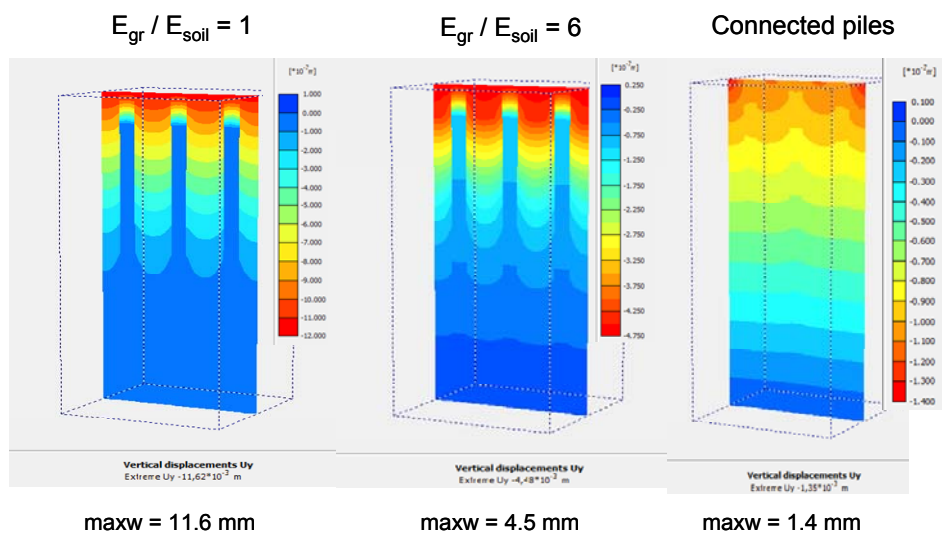
$$A_s = \frac{D_{eff}^2}{(s - D_{eff})^2 + n D_{eff} (s - D_{eff})} A_c \quad (4)$$

πλάκας ($n = \sigma_p / \sigma_s$). Γραφική απεικόνιση του συντελεστή n , δίνεται στο σχήμα 9.

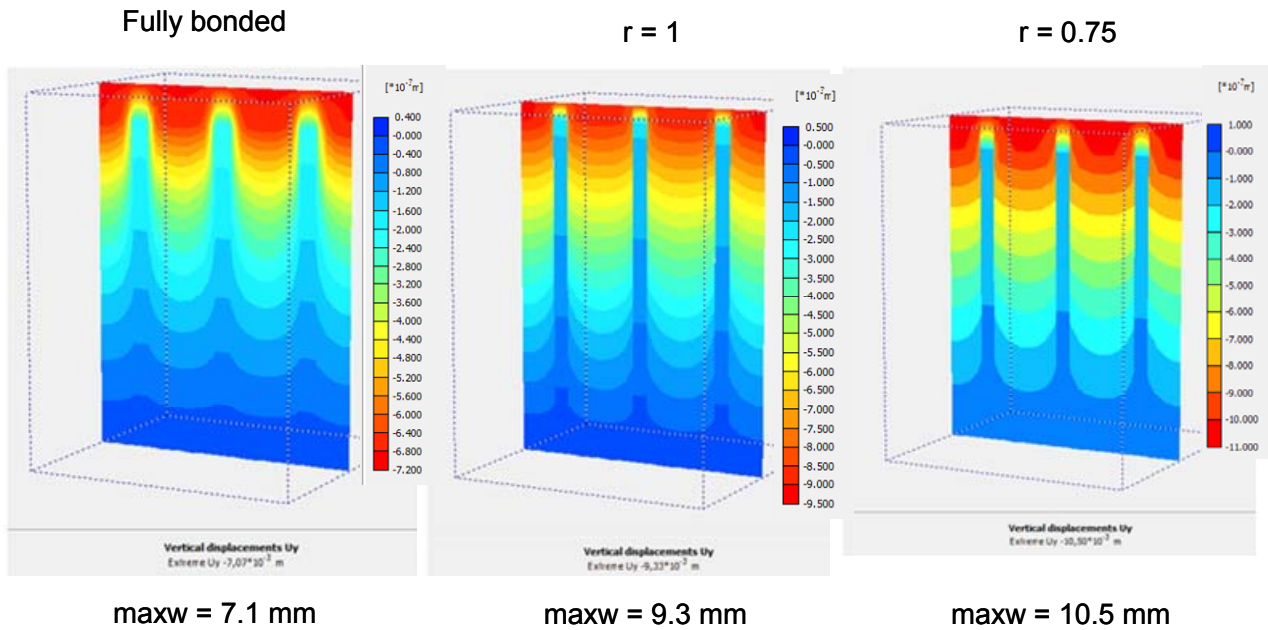
Για τον συνυπολογισμό των συνοριακών συνθηκών στον συντελεστή βελτίωσης του εδάφους, προτείνεται η εφαρμογή στην σχέση (2) και στις σχέσεις (4) και (5), του εξής μειωτικού συντελεστή λ :



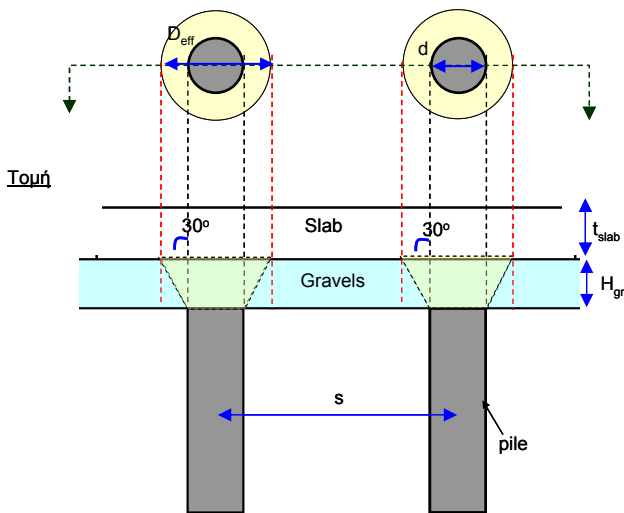
Σχήμα 5. (Επάνω) Ισοϋψείς κατακόρυφων μετακινήσεων, και (Κάτω) Ισουψείς καμπτικών ροπών στην πλάκα έδρασης, για τρεις διαφορετικές τιμές του λόγου H_{gr} / s . Ομάδα πασσάλων 3x3 με: $s = 5$ m, $E_{soil} = 50$ MPa, $E_{gr} = 300$ MPa, $t_{slab} = 0.5$ m, $\varphi_{gr} = 40^\circ$, $\varphi_{soil} = 30^\circ$, $L = 20$ m, $d = 1$ m, και $r = 1$.
 Figure 5. (Top) Contours of the vertical displacements, and (bottom) contours of the bending moments of the raft, for three different values of H_{gr} / s . Group of 3x3 piles with: $s = 5$ m, $E_{soil} = 50$ MPa, $E_{gr} = 300$ MPa, $t_{slab} = 0.5$ m, $\varphi_{gr} = 40^\circ$, $\varphi_{soil} = 30^\circ$, $L = 20$ m, $d = 1$ m, and $r = 0.75$.



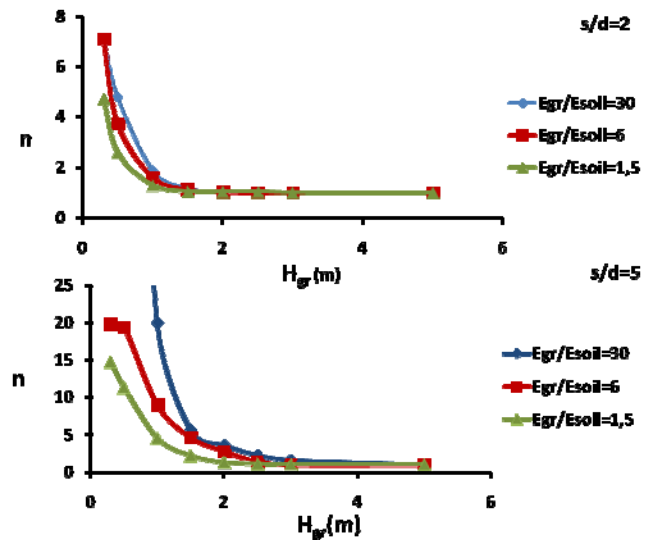
Σχήμα 6. Ισοϋψείς κατακόρυφων μετακινήσεων, για τρεις διαφορετικές τιμές του λόγου σχετικής δυστημότητας E_{gr} / E_{soil} . Ομάδα πασσάλων 3 x 3 με: $s = 3$ m, $E_{gr} = 300$ MPa, $t_{slab} = 0.5$ m, $\varphi_{gr} = 40^\circ$, $\varphi_{soil} = 30^\circ$, $L = 20$ m, $d = 1$ m, και $r = 0.75$.
 Figure 6. Contours of the vertical displacements, for three different values of the stiffness ratio E_{gr} / E_{soil} . Group of piles with: $s = 5$ m, $E_{gr} = 300$ MPa, $t_{slab} = 0.5$ m, $\varphi_{gr} = 40^\circ$, $\varphi_{soil} = 30^\circ$, $L = 20$ m, $d = 1$ m, and $r = 0.75$.



Σχήμα 7. Ισοϋψείς κατακόρυφων μετακινήσεων για τρεις διαφορετικές τιμές του συντελεστή διεπιφάνειας r . Ομάδα πασσάλων 3x3 με: $s = 5$ m, $H_{gr} = 2$ m, $E_{soil} = 50$ MPa, $E_{gr} = 300$ MPa, $t_{slab} = 0.5$ m, $\varphi_{gr} = 40^\circ$, $\varphi_{soil} = 30^\circ$, $L = 20$ m, $d = 1$ m.
 Figure 7. Contours of the vertical displacements for three different values of the interface coefficient r . Group of piles with: $s = 5$ m, $H_{gr} = 2$ m, $E_{gr} = 300$ MPa, $t_{slab} = 0.5$ m, $\varphi_{gr} = 40^\circ$, $\varphi_{soil} = 30^\circ$, $L = 20$ m, $d = 1$ m.



Σχήμα 8. Ορισμός της ενεργού διαμέτρου D_{eff} , για την εφαρμογή του συντελεστή βελτίωσης του εδάφους A_s .
 Figure 8. Definition of the effective diameter D_{eff} , for the application of the soil improvement ratio A_s .



Σχήμα 9. Συντελεστής συγκέντρωσης τάσεων, $n = \sigma_p / \sigma_s$, συναρτήσει του πάχους των σκύρων και του λόγου απόστασης s/d .
 Figure 9. Stress concentration coefficient $n = \sigma_p / \sigma_s$, as a function of the thickness of the gravel layer and the distance ratio s/d .

$$\lambda = \begin{cases} 1/3, & s/d \leq 3 \\ 2/3, & 3 < s/d \leq 6 \\ 1, & s/d > 6 \end{cases} \quad (6)$$

4. ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα εργασία έγινε στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος "DARE", χρηματοδοτούμενο από το European Research Council (ERC) Advanced Grant "Ideas" [Grant Agreement 228254].

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Cao X. D., Wong I. H. and Chang M. F. (2004). "Behaviour of model rafts resting on pile-reinforced sand", *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ASCE 130(2), pp 129-138.

Fa-Yun Liang, Long-Zhu Chen, Xu-Guang Shi (2003). "Numerical analysis of composite piled raft with cushion subjected to vertical load", *Computers and Geotechnics* 30(6), pp 443-453.

Jung-In Choi, Ki-Hoon Min, Sung-Ho Kim, Oh Sung Kwon and Myoung Mo Kim (2009). "Behavior of Disconnected Pile Foundation system", *Contemporary Topics in Ground Modification, Problem Soils and Geo-Support*, 305-312.

Kumar A. and Saran S. (2003). "Bearing capacity of rectangular footing on reinforced soil", *Geotechnical and Geological Engineering* 21, pp 201-224.

Shin E. C., Das B. M., Lee E. S. and Atalar C. (2002). "Bearing capacity of strip foundation on geogrid-reinforced sand", *Geotechnical and Geological Engineering*, 20: 169-180.

Smith, M. and Filz, G. (2007). "Axisymmetric numerical modeling of a unit cell in geosynthetic-reinforced, column-supported embankments", *Geosynthetics International* 14(1), pp 13-22.

Wong, I. H., Chang, M. F. and Cao, X. D. (2000). "Raft foundations with settlement reducing piles". *Design applications of raft foundations*, Thomas Telford, London, Chap. 17, pp 469-486.