

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Πρόλογος	11
Πίνακας κυριότερων συμβόλων.....	13
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Εισαγωγή	21
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Απόκριση μεμονωμένου πασσάλου υπό κατακόρυφη φόρτιση	29
2.1 Εισαγωγή	29
2.2 Οριακό και επιτρεπόμενο φορτίο	32
2.2.1 Γενικά	32
2.2.2 Γεωτεχνικές μέθοδοι	35
2.2.3 Σχετικοί κανονισμοί	47
2.2.3.1 Γερμανικός κανονισμός DIN 4014	47
2.2.3.2 Γαλλικός κανονισμός Fascicule 62-V	53
2.3 Υπολογισμός καθιζήσεων	58
2.4 Προσδιορισμός απόκρισης με χρήση αριθμητικών μεθόδων	62
2.4.1 Προσέγγιση με χρήση καμπυλών "t-z"	62
2.4.2 Προσέγγιση με χρήση τριδιάστατης αριθμητικής ανάλυσης	66
2.5 Δοκιμή στατικής αξονικής φόρτισης	75
2.6 Εφαρμογή του Ευρωκώδικα 7 – Παραδείγματα	92
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Απόκριση ομάδας πασσάλων υπό κατακόρυφη φόρτιση	105
3.1 Χαρακτηριστικά απόκρισης ομάδας πασσάλων	105
3.2 Πρόβλεψη απόκρισης ομάδας πασσάλων	107
3.2.1 Ομάδα πασσάλων σε αργιλικά εδάφη	109
3.2.2 Ομάδα πασσάλων σε αμμώδη εδάφη	138
3.2.3 Ομάδα πασσάλων σε πολυστρωματικά εδάφη	154
3.2.4 Ομάδα πασσάλων σε βραχώδεις σχηματισμούς	156
3.3 Συνεισφορά της πλάκας-κεφαλόδεσμου	171
3.4 Εφαρμογή κατά τη διαδικασία σχεδιασμού	187

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Αποτίμηση των επιπτώσεων της δράσης αρνητικών τριβών	239
4.1 Μηχανισμός ανάπτυξης αρνητικών τριβών	239
4.2 Ανάλυση μηχανισμού με τριδιάστατη μη-γραμμική ανάλυση	244
4.3 Επιπτώσεις αρνητικών τριβών σε ομάδες πασσάλων	248
4.4 Μέτρα Αντιμετώπισης - Συμπεράσματα	253
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Απόκριση μεμονωμένου πασσάλου υπό οριζόντια φόρτιση	255
5.1 Εισαγωγή	255
5.2. Οριακό φορτίο – Μέθοδος Broms	257
5.2.1 Πάσσαλος ελεύθερης κεφαλής σε συνεκτικό έδαφος	257
5.2.2 Πάσσαλος πακτωμένης κεφαλής σε συνεκτικό έδαφος	260
5.2.3 Πάσσαλος ελεύθερης κεφαλής σε μη συνεκτικό έδαφος	262
5.2.4 Πάσσαλος πακτωμένης κεφαλής σε μη συνεκτικό έδαφος	265
5.2.5 Αποτίμηση της μεθόδου Broms	267
5.3 Προσομοίωση εδάφους με χρήση καμπυλών "p-y"	267
5.3.1 Γενικά	267
5.3.2 Προσδιορισμός καμπυλών "p-y" σε αργιλικά εδάφη	272
5.3.3 Προσδιορισμός καμπυλών "p-y" σε αμμώδη εδάφη ν.....	280
5.3.4 Προσδιορισμός καμπυλών "p-y" σε βραχώδεις σχηματισμούς	283
5.3.5 Παράδειγμα προσδιορισμού απόκρισης πασσάλου με χρήση καμπυλών "p-y"	286
5.4 Τριδιάστατη αριθμητική ανάλυση	293
5.5 Δοκιμή στατικής οριζόντιας φόρτισης	297
5.6 Αποτίμηση των επιπτώσεων της ρηγμάτωσης	319
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: Απόκριση ομάδας πασσάλων υπό οριζόντια φόρτιση	333
6.1 Χαρακτηριστικά απόκρισης ομάδας πασσάλων	333
6.2 Πρόβλεψη της απόκρισης ομάδας πασσάλων	338
6.2.1 Ομάδα πασσάλων σε αργιλικά εδάφη	345
6.2.2 Ομάδα πασσάλων σε αμμώδη εδάφη	349
6.3 Κατανομή φορτίου στους χαρακτηριστικούς πασσάλους	352
6.3.1 Χαρακτηριστικοί πάσσαλοι ομάδας σε αργιλικά εδάφη	357
6.3.2 Χαρακτηριστικοί πάσσαλοι ομάδας σε αμμώδη εδάφη	365
6.4 Συνοπτική αποτίμηση των μεθόδων	372
6.5 Εφαρμογή κατά τη διαδικασία σχεδιασμού	376

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: Θεμελιώσεις με φρέατα	385
7.1 Γενικά	385
7.2 Προσωρινά έργα αντιστήριξης φρεάτων	386
7.3 Προσομοίωση – μηχανισμός απόκρισης φρεάτων	390
7.3.1 Γενικά	390
7.3.2 Κατακόρυφα φορτία – Ελατήρια προσομοίωσης	393
7.3.3 Ελατήρια προσομοίωσης σε οριζόντια φόρτιση και στροφή	394
7.4 Αριθμητική ανάλυση	395
7.5 Παράδειγμα απόκρισης φρέατος σε βραχώδες έδαφος	398
7.5.1 Γεωμετρικά – γεωτεχνικά στοιχεία	398
7.5.2 Εφαρμογή εμπειρικών σχέσεων	401
7.5.3 Διδιάστατη αριθμητική ανάλυση	404
7.5.4 Τριδιάστατη αριθμητική ανάλυση	407
7.6 Σύγκριση αποτελεσμάτων	416
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: Ωθήσεις γαιών	419
8.1 Εισαγωγή	419
8.2 Ωθήσεις ηρεμίας	421
8.3 Ενεργητικές ωθήσεις	424
8.4 Παθητικές ωθήσεις	428
8.5 Επιφορτίσεις – Σεισμική δράση	431
8.6 Σχόλια – Εφαρμογή	436
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9: Τοίχοι αντιστήριξης από οπλισμένο σκυρόδεμα	439
9.1 Γενικά.....	439
9.2 Επίλυση με θεώρηση οριακής κατάστασης ισορροπίας	443
9.3 Επίλυση με χρήση αριθμητικών μεθόδων	452
9.3.1 Διατάξεις Ευρωκώδικα EN 1997-1	452
9.3.2 Χρήση αριθμητικών μεθόδων και προσομοίωση των ωθήσεων και του εδάφους έδρασης	455
9.3.3 Επίλυση με θεώρηση πλήρους αλληλεπίδρασης	469
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10: Διαφραγματικοί τοίχοι αντιστήριξης	475
10.1 Γενικά	475
10.2 Επίλυση με θεώρηση οριακής κατάστασης ισορροπίας	480
10.2.1 Διαφραγματικός τοίχος χωρίς αγκύρωση σε συνεκτικό έδαφος	480
10.2.2 Διαφραγματικός τοίχος με αγκύρωση σε συνεκτικό έδαφος	484

10.2.3 Διαφραγματικός τοίχος χωρίς αγκύρωση σε αμμώδες έδαφος	487
10.2.4 Διαφραγματικός τοίχος με αγκύρωση σε αμμώδες έδαφος	490
10.3 Επίλυση με χρήση αριθμητικών μεθόδων	493
10.3.1 Διατάξεις Ευρωκώδικα EN 1997-1	493
10.3.2 Χρήση αριθμητικών μεθόδων και προσομοίωση των ωθήσεων και της αντίστασης του εδάφους	498
10.3.3 Επίλυση με θεώρηση πλήρους αλληλεπίδρασης	502
10.3.3.1 Επίλυση αντιστήριξης με διαφραγματικό τοίχο από οπλισμένο σκυρόδεμα	503
10.3.3.2 Επίλυση αντιστήριξης με διάφραγμα από πασσαλοσανίδες	510
10.3.3.3 Επίλυση αντιστήριξης με διαφραγματικό τοίχο τύπου berlinoise	517

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11: Έργα αντιστήριξης από οπλισμένη γη 537

11.1 Εισαγωγή	537
11.2 Μέθοδοι σχεδιασμού – Υπολογιστικοί έλεγχοι	540
11.3 Επιλύσεις - Σχεδιασμός	545
11.3.1 Γεωμετρικά χαρακτηριστικά προβλήματος.....	545
11.3.2 Επίλυση με τη μέθοδο οριακής ισορροπίας	545
11.3.3 Επίλυση με διδιάστατη μη γραμμική ανάλυση	551
11.4 Σύγκριση αποτελεσμάτων οριακής ισορροπίας και αριθμητικής ανάλυσης	556
Βιβλιογραφία	561

6.2 Πρόβλεψη της απόκρισης ομάδας πασσάλων

Η απόκριση ομάδας πασσάλων παρουσιάζει παρόμοια μορφή με αυτήν του αντίστοιχου μεμονωμένου πασσάλου. Κατά τρόπο παρόμοιο με αυτόν που αναφέρεται για την πρόβλεψη απόκρισης ομάδας πασσάλων υπό κατακόρυφη φόρτιση, βλ. Κεφάλαιο 3, η ποσοτική προσέγγιση των αποκρίσεων μεμονωμένου και ομάδας πασσάλων, οδηγεί στην εισαγωγή του συντελεστή επαύξησης R_a , ο οποίος οφείλεται και χαρακτηρίζει την αλληλεπίδραση μεταξύ των πασσάλων. Ο συντελεστής R_a μπορεί να οριστεί, σύμφωνα με την Εξίσωση 6.4, ως ο λόγος της ανηγμένης οριζόντιας μετακίνησης y_G στην κεφαλή ομάδας πασσάλων προς την ανηγμένη οριζόντια μετακίνηση του μεμονωμένου πασσάλου y_D , για το ίδιο μέσο οριζόντιο φορτίο H_m .

$$R_a = \frac{y_{GD}}{y_D} = \frac{y_G}{y_S} \quad (6.4)$$

όπου:

R_a : ο συντελεστής επαύξησης της μετακίνησης,

y_{GD} : η ανηγμένη μετακίνηση στην κεφαλή ομάδας πασσάλων, ίση με y_G/D ,

y_D : η ανηγμένη μετακίνηση στην κεφαλή μεμονωμένου πασσάλου, ίση με y_s/D ,

y_G : η μετακίνηση στην κεφαλή ομάδας πασσάλων,

y_S : η μετακίνηση στην κεφαλή μεμονωμένου πασσάλου.

Από την ανωτέρω εξίσωση παρατηρείται ότι ο συντελεστής R_a αποτελεί τον αντίστροφο του συντελεστή απόδοσης δυσκαμψίας R_G , ο οποίος ορίζεται ως:

$$R_G = \frac{1}{R_a} = \frac{y_D}{y_{GD}} = \frac{y_S}{y_G} \quad (6.5)$$

Θα αποτελούσε ιδιαίτερη συμβολή στην απλοποίηση της εκτίμησης της απόκρισης ομάδας πασσάλων η δυνατότητα προσδιορισμού κάποιας σχέσης, ικανής να προσδιορίζει την καμπύλη απόκρισης της ομάδας από αυτήν του μεμονωμένου πασσάλου. Αναζητείται κατά συνέπεια κάποια συνάρτηση αναγωγής η οποία, σύμφωνα με όσα παρατίθενται ανωτέρω, θα πρέπει να επηρεάζεται τόσο από τη διάταξη των πασσάλων της ομάδας όσο και από το επίπεδο της οριζόντιας μετακίνησης για δεδομένο φορτίο.

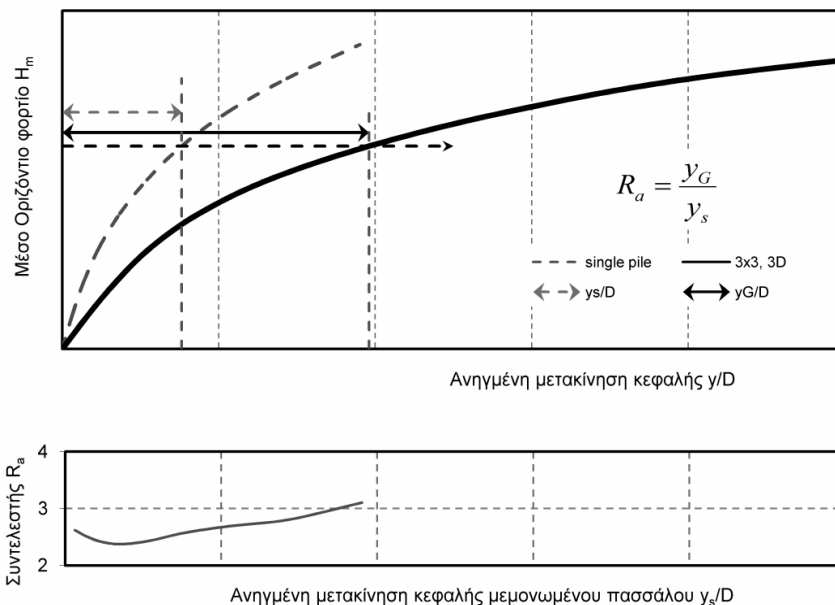
Είναι κοινά αποδεκτό και έχει από πολλούς ερευνητές διαπιστωθεί κατά το παρελθόν ότι η τιμή του επαυξητικού συντελεστή R_a , ή αντίστοιχα του συντελεστή R_G , εξαρτάται από τον αριθμό και τη διάταξη της ομάδας των πασσάλων (Roulos: 1971, 1989, Randolph: 1981, Wakai κ.ά.: 1999). Επιπρόσθετα διατυπώθηκε από τους Comodromos και Pitilakis (2005) η άποψη ότι η τιμή των ανωτέρω συντελεστών μεταβάλλεται συναρτήσει του βαθμού της ανηγμένης μετακίνησης, αναφέρεται δε ως κύρια αιτία η πλαστικοποίηση του περιβάλλοντος εδάφους και εν γένει τα φαινόμενα

μη γραμμικής απόκρισης που συνοδεύουν το πρόβλημα μεμονωμένου πασσάλου και ομάδας πασσάλων υπό οριζόντια φόρτιση.

Σε αντιδιαστολή με τις επιπτώσεις της αλληλεπίδρασης ομάδας πασσάλων υπό κατακόρυφη φόρτιση, όπου κατά την πλήρη διαρροή του περιβάλλοντος εδάφους επέρχεται εξίσωση της αντίστασης των επιμέρους πασσάλων και όμοια αντίστοιχα απόκριση, η ομάδα πασσάλων σε οριζόντια φόρτιση εμφανίζει μόνιμα μικρότερη ανηγμένη στο μέσο φορτίο δυσκαμψία από αυτήν του μεμονωμένου πασσάλου και η τιμή του συντελεστή R_a παραμένει πάντα μεγαλύτερη της μονάδας.

Σε αντίθεση επίσης με τους πασσάλους υπό κατακόρυφη φόρτιση, όπου το έδαφος παράπλευρα του εδάφους ακόμη και σε αρκετό βάθος κάτω από την αιχμή του κινητοποιείται και επηρεάζει την αντίσταση και την απόκριση του πασσάλου, στην περίπτωση της οριζόντιας δράσης το ανώτερο μόνο τμήμα του εδάφους επηρεάζει την απόκριση των πασσάλων. Ποσοτικά θα μπορούσε να αναφερθεί ότι το βάθος επιρροής είναι της τάξης του 20% του μήκους του πασσάλου για τις περισσότερες των περιπτώσεων.

Η ακριβής εντούτοις τιμή εξαρτάται από το λόγο της δυσκαμψίας του εδάφους προς την καμπτική δυσκαμψία του πασσάλου και από τη διατμητική αντοχή του εδάφους προς την ροπή αντοχής του πασσάλου. Στο Σχήμα 6.6 δίνεται τυπική απόκριση του μεμονωμένου πασσάλου και ομάδας πασσάλων υπό οριζόντια φόρτιση σε στιφρή άργιλο, όπου απεικονίζονται οι συντελεστές επαύξησης μετακινήσεων R_a και απόδοσης δυσκαμψίας R_G .



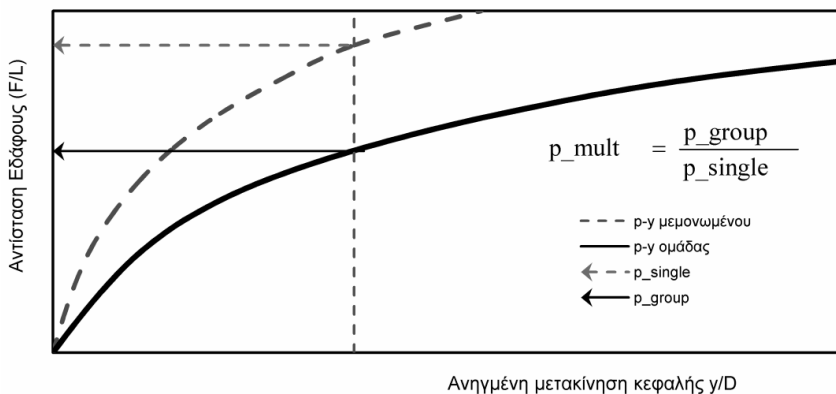
Σχήμα 6.6. Σχηματική απεικόνιση του συντελεστή επαύξησης καθιζήσεων R_a

Σημειώνεται ότι για τον προσδιορισμό της απόκρισης ομάδας πασσάλων υπό οριζόντια φόρτιση έχει κατά το παρελθόν προταθεί η εφαρμογή μειωτικού συντελεστή στις καμπύλες απόκρισης "p-y" του περιβάλλοντος εδάφους. Η μέθοδος είναι γνωστή ως μέθοδος πολλαπλασιαστών p (p -multipliers), κατά την οποία κάθε σημείο της καμπύλης "p-y" μειώνεται αναλογικά, με πολλαπλασιασμό της τιμής του με τον συντελεστή p . Η μείωση αυτή απεικονίζεται στο Σχήμα 6.7 και έχει παρόμοια μορφή με εκείνη του Σχήματος 6.6 με τη διαφορά ότι η αναγωγή αναφέρεται στην ίδια μετακίνηση.

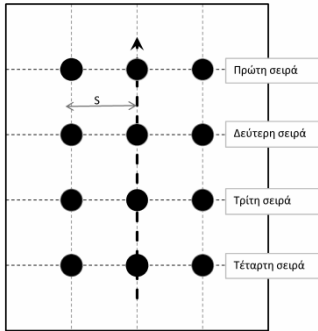
Στον Πίνακα 6.1 δίνονται οι προτεινόμενες τιμές για τον συντελεστή p από τους Rollins κ.ά (1996) και McVay κ.ά (1996) για τη συνήθως εφαρμοζόμενη αξονική απόσταση των 3.0D. Παρατηρείται ότι οι τιμές διαφοροποιούνται ανάλογα με τη θέση του πασσάλου στην ομάδα, αναγνωρίζοντας κατά τον τρόπο αυτό τη διαφοροποίηση της αλληλεπίδρασης στους επιμέρους πασσάλους.

Η διαφορά των δύο προσεγγίσεων αποδίδεται στο γεγονός ότι κατά την πρώτη θεώρηση προσδιορίζεται ο λόγος των μετακινήσεων για ίδιο μέσο επιβαλλόμενο φορτίο, ενώ κατά τη δεύτερη προσδιορίζεται ο λόγος των αντιδράσεων για την ίδια τιμή μετακίνησης.

Η πρόταση διαφοροποιείται από τις προηγούμενες προσεγγίσεις που πρότειναν τη μείωση του μέτρου ελαστικότητας του περιβάλλοντος εδάφους ανάλογα με την αξονική απόσταση των πασσάλων. Χαρακτηριστική περίπτωση των προσεγγίσεων αυτών αποτελεί η πρόταση του καναδικού κανονισμού Canadian Foundation Engineering Manual (CMEF, 1985) ή ακόμη του ναυτικού των Η.Π.Α. (U.S. Navy's Foundations and Earth Structures – Design Manual 7.2, 1982) ή και του στρατιωτικού σώματος των Η.Π.Α. (U.S. Army Corps of Engineers). Οι προτεινόμενες τιμές από τους ανωτέρω οργανισμούς δίνονται στον Πίνακα 6.2.



Σχήμα 6.7. Αναγωγή καμπύλης "p-y" μεμονωμένου πασσάλου σε καμπύλη ομάδας με διάιρεση με τον πολλαπλασιαστή p .



Σειρά	Πολλαπλασιαστές ρ (Peterson και Rolins, 1996)	Πολλαπλασιαστές ρ (McVay κ.ά., 1996)
Πρώτη	0.6	0.8
Δεύτερη	0.4	0.4
Τρίτη	0.4	0.2
Τέταρτη	0.4	0.3
Μέσος όρος	0.45	0.43

Πίνακας 6.1. Τιμές προτεινόμενων συντελεστών ρ για ανηγμένη αξονική απόσταση $s/D = 3$ ανά σειρά πασσάλων

Αξονική απόσταση (κατά τη διεύθυνση φόρτισης)	Canadian Foundation E.M. και U.S. Navy's Foundation DM -7	U.S. Army Corps / ASCE group
$8 D$	1.00	1.00
$6 D$	0.70	0.56
$4 D$	0.40	0.38
$3 D$	0.25	0.33

Πίνακας 6.2. Μειωτικοί συντελεστές του μέτρου ελασικότητας του περιβάλλοντος εδάφους ανάλογα με την αξονική απόσταση των πασσάλων

Για τον προσδιορισμό συνάρτησης αναγωγής από την απόκριση του μεμονωμένου πασσάλου σε αυτήν της ομάδας, χρησιμοποιήθηκε από τους Comodromos και Pitiaklis (2005) ειδική υπορουτίνα αποτίμησης της βαρύτητας κάθε όρου με βάση την οποία κατέληξαν στην πρόταση της Εξίσωσης 6.6.

$$R_a = \frac{\left(\frac{3}{n_x}\right)^{0.2} \frac{y_D^a}{d} \frac{1.1\sqrt{d}}{d} \ln(n_x + n_y) y_D^\beta \log\left[\frac{(n_x^4 + n_y)^{0.8}}{y_D}\right] \exp\left(\frac{1}{d}\right)}{(0.7 y_D^y d^3)^{0.03}} \quad (6.6)$$

όπου:

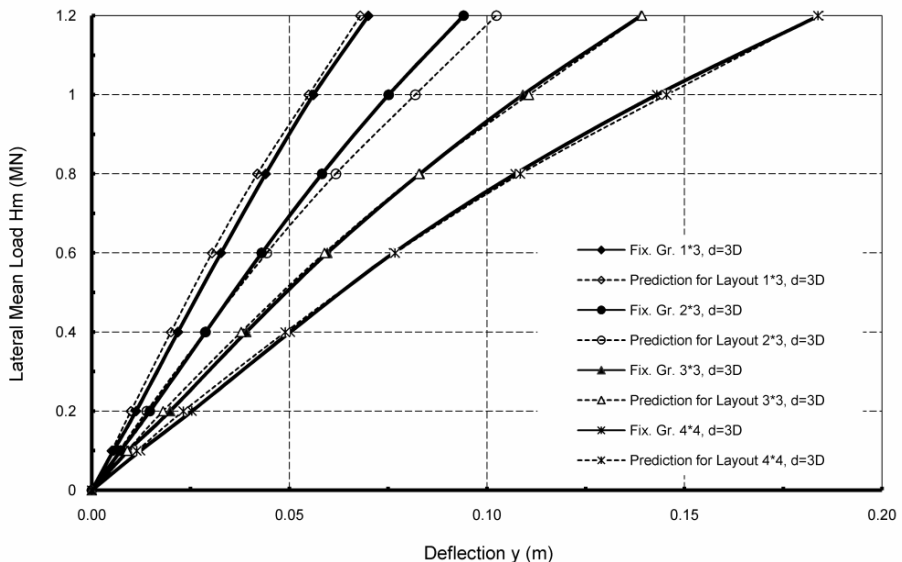
- d : η ανηγμένη αξονική απόσταση ως προς τη διάμετρο του πασσάλου,
 n_x, n_y : ο αριθμός πασσάλων στη διεύθυνση φόρτισης και την κάθετη της,
 α, β, γ : παράμετροι προς προσδιορισμό από αριθμητική διαδικασία επεξεργασίας αποτελεσμάτων τριδιάστατων αναλύσεων.

Με χρήση του ανωτέρω συντελεστή επαύξησης και για δεδομένο μέσο φορτίο (το οποίο αντιστοιχεί στη μετακίνηση y_D), η μετακίνηση στην κεφαλή συγκεκριμένης ομάδας ή η ανηγμένη μετακίνηση δίνονται από τις ακόλουθες εξισώσεις:

$$y_G = R_a y_S \quad (6.7)$$

$$y_{GD} = R_a y_D \quad (6.8)$$

Μετά από επεξεργασία των αποτελεσμάτων σημαντικού αριθμού αναλύσεων προσδιορίστηκαν οι πλέον κατάλληλες τιμές για τις παραμέτρους α, β και γ μέσω αυτοματοποιημένης αριθμητικής επεξεργασίας, οι δε τιμές που προέκυψαν είναι: $\alpha = 0.8, \beta = 0.2$, και $\gamma = 0.1$. Στο Σχήμα 6.8, η τονισμένη γραμμή αντιστοιχεί στην απόκριση ομάδας όπως προσδιορίστηκε από τριδιάστατη ανάλυση, ενώ οι εστιγμένες γραμμές στην απόκριση της ίδιας ομάδας όπως προσδιορίστηκε με χρήση των Εξισώσεων 6.6 και 6.7. Παρατηρείται ότι η πρόβλεψη πρακτικά ταυτίζεται με την

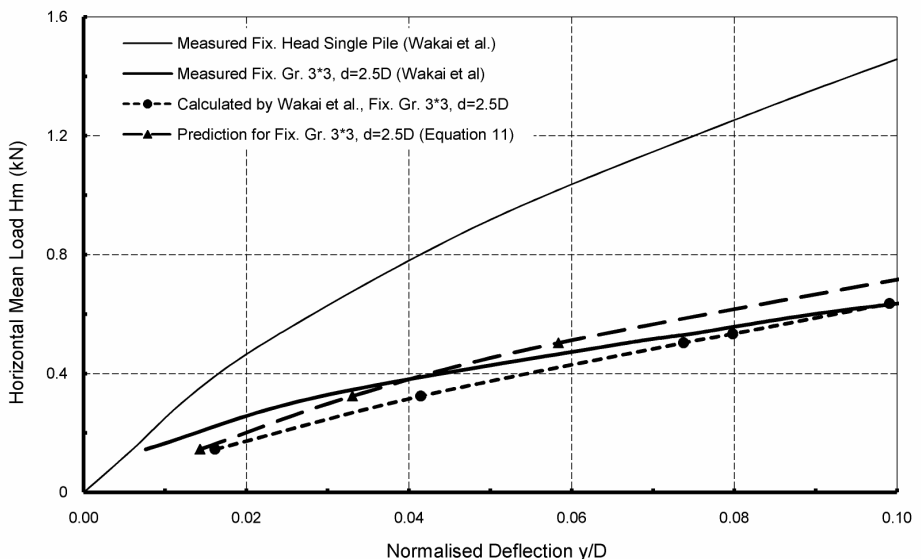


Σχήμα 6.8. Σύγκριση ανάμεσα στις καμπύλες φορτίου – μετακίνησης από τις 3-D αναλύσεις και αυτές που προσδιορίστηκαν με την εφαρμογή των προτεινόμενων Εξισώσεων 6.6 και 6.7 για διάφορες ομάδες πασσάλων (Comodromos και Pitilakis, 2005)

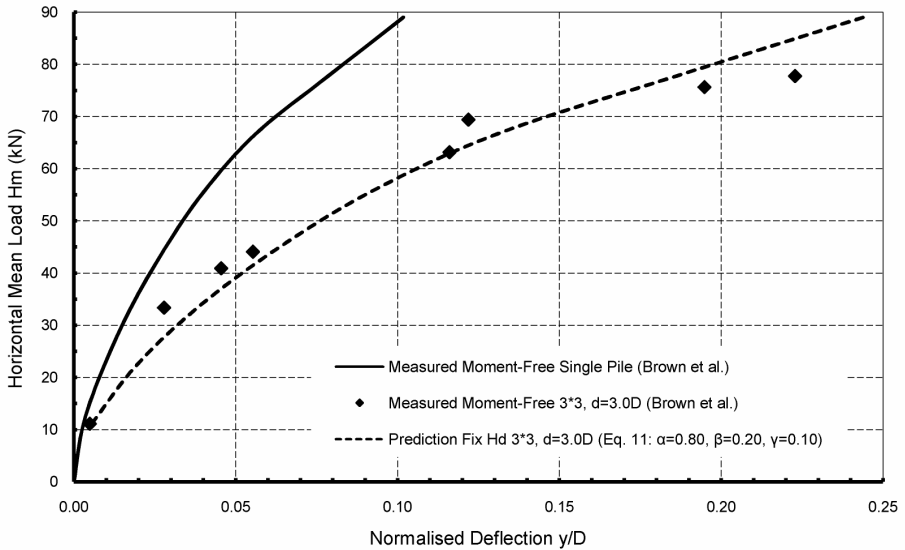
υπολογισθείσα απόκριση. Η αξιοπιστία της Εξίσωσης 6.6 ελέγχθηκε επίσης με σχετική εφαρμογή στα πειραματικά αποτελέσματα των Wakai κ.ά. (1999) σε μεμονωμένο πάσσαλο και ομάδα πασσάλων πακτωμένης κεφαλής. Στο Σχήμα 6.9 δίνεται η πειραματική καμπύλη απόκρισης του μεμονωμένου πασσάλου και της ομάδας, η καμπύλη απόκρισης που αντιστοιχεί σε τριδιάστατη ανάλυση από τους συγγραφείς και η καμπύλη απόκρισης με χρήση της Εξίσωσης 6.6.

Διαπιστώνεται ότι η προτεινόμενη σχέση οδηγεί σε καμπύλη απόκρισης η οποία προσεγγίζει ικανοποιητικά την πειραματικά προσδιορισθείσα. Ικανοποιητικές κρίνονται επίσης οι προβλέψεις για τις περιπτώσεις των πειραματικών δεδομένων των Brown κ.ά. (1987) και Rollins κ.ά. (1998), βλέπε Σχήματα 6.10 και 6.11 αντίστοιχα.

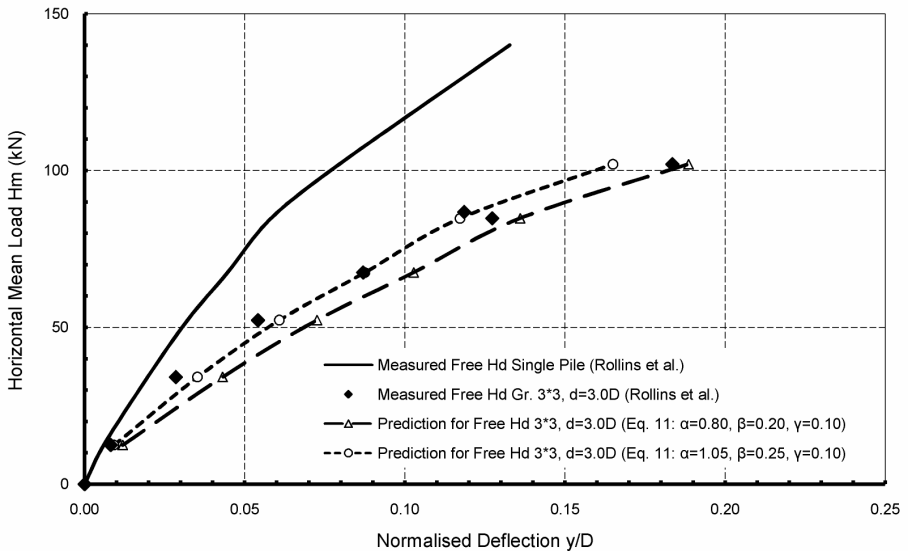
Με στόχο τη διερεύνηση της απόκρισης ομάδας πασσάλων υπό οριζόντια φόρτιση βρίσκεται σε εξέλιξη η εκπόνηση σχετικής διδακτορικής διατριβής (Παπαδοπούλου Μ., 2009). Ειδικότερα, διερευνάται η απόκριση σε αργιλικά και αμμώδη εδάφη, τα δε αποτελέσματα της έρευνας θα δώσουν τη δυνατότητα εξέτασης της γενικής εφαρμογής της Εξίσωσης 6.6 ή ακόμη θα επιτρέψουν τη κατάλληλη τροποποίησή της ώστε να βρει ευρύτερο πεδίο εφαρμογής. Στις επόμενες παραγράφους παρουσιάζονται τα πρώτα αποτελέσματα της απόκρισης για ομάδες σε διάταξη 2×2 και 3×3 για διάφορες αξονικές αποστάσεις πασσάλων, ενώ δίνεται και η κατανομή του επιβαλλόμενου φορτίου στους χαρακτηριστικούς πασσάλους των ανωτέρω διατάξεων.



Σχήμα 6.9. Σύγκριση ανάμεσα στα πειραματικά και αριθμητικά αποτελέσματα των Wakai κ.ά. (1999) και σε αυτά της πρόβλεψης με την εφαρμογή των προτεινόμενων εξισώσεων (Comodromos και Pitilakis, 2005)



Σχήμα 6.10. Σύγκριση ανάμεσα στα αποτελέσματα των Brown κ.ά. (1997) και σε αυτά της πρόβλεψης με την εφαρμογή των προτεινόμενων εξισώσεων (Comodromos και Pitilakis, 2005)



Σχήμα 6.11. Σύγκριση ανάμεσα στα αποτελέσματα των Rollins κ.ά. (1998) και σε αυτά της πρόβλεψης με την εφαρμογή των προτεινόμενων εξισώσεων (Comodromos και Pitilakis, 2005)

6.2.1 Ομάδα πασσάλων σε αργιλικά εδάφη

Στο πλαίσιο της διερεύνησης της απόκρισης ομάδας πασσάλων υπό οριζόντια φόρτιση διεξάγεται κατά την παρούσα φάση (Παπαδοπούλου Μ., 2009) παραμετρική ανάλυση η οποία περιλαμβάνει πασσάλους διαμέτρου $D = 1.0$ m και μήκους $L = 25$ m σε διάταξη 2×2 , 3×3 , 4×4 και 5×5 , σε αξονικές αποστάσεις $2.0D$, $3.0D$, $6.0D$ και $9.0D$. Η ανάλυση πραγματοποιείται με χρήση του κώδικα πεπερασμένων διαφορών $FLAC^{3D}$, κατά την οποία το έδαφος προσομοιώνεται με ελαστοπλαστικούς καταστατικούς νόμους συμπεριφοράς.

Για την προσομοίωση της αποκόλλησης εδάφους – πασσάλου και την ανάπτυξη διατμητικής αντίστασης κατά μήκος της διεπιφάνειας χρησιμοποιούνται στοιχεία διεπιφάνειας, βλ. Κεφάλαιο 5. Για την προετοιμασία των πλεγμάτων πεπερασμένων στοιχείων χρησιμοποιούνται οι ειδικές υπορουτίνες που αναφέρονται στο Κεφάλαιο 3 και 5.

Εξετάζονται τέσσερις τύποι αργιλικών εδαφών, των οποίων τα χαρακτηριστικά δίνονται στον Πίνακα 6.3. Για τη διατμητική αντοχή και το μέτρο του Young θεωρείται γραμμική αύξηση με το βάθος, ενώ ο συντελεστής ωθήσεων ηρεμίας θεωρήθηκε ίσος με μονάδα. Σημειώνεται στο σημείο αυτό ότι όλες οι αναλύσεις αναφέρονται σε ομάδες πασσάλων και μεμονωμένους πασσάλους πακτωμένης κεφαλής.

	C1	C2	C3	C4
Μέτρο του Young, E (MPa)	$400 c_u$	$300 c_u$	$300 c_u$	$100 c_u$
Συντελεστής Poisson, ν	0.45	0.45	0.45	0.45
Αστράγγιστη διατμητική αντοχή, c_u (kPa)	$25+z$	$50+z$	$100+z$	$150+z$
Συνάφεια εδάφους – πασσάλου, c_{int} (kPa)	25	50	72	75
Φαινόμενο βάρος, γ (kN/m ³)	20	20	20	20

Πίνακας 6.3. Γεωτεχνικές παράμετροι για τους τύπους εδαφών C1 (μαλακή άργιλος), C2 (μέσης συνεκτικότητας άργιλος), C3 (σιφρή άργιλος) και C4 (πολύ σιφρή άργιλος)

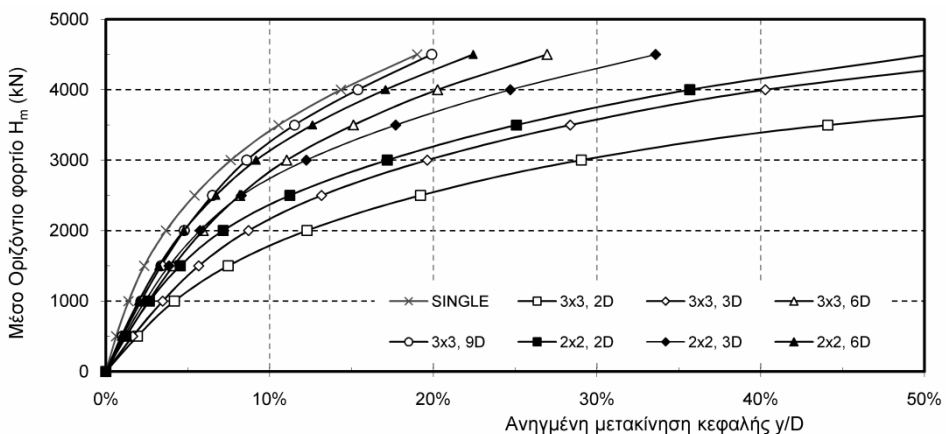
Ο λόγος Poisson λήφθηκε ίσος με 0.45, σύμφωνα με όσα αναφέρονται στην παράγραφο 3.2, καθώς επίσης και από τους Comodromos κ.ά. (2009, 2009b). Είναι προφανές ότι η αύξηση του λόγου Poisson οδηγεί σε αύξηση του μέτρου μεταβολής όγκου και κατά συνέπεια περιορίζει τη μεταβολή όγκου. Άμεση επίπτωση, ανάλογα πάντα και με τον τύπο φόρτισης, αποτελεί η μείωση των μετακινήσεων γεγονός που καθιστά τον πάσσαλο πιο δύσκαμπτο. Η επίπτωση αυτή επέρχεται τόσο στο μεμονωμένο πάσσαλο όσο και στην ομάδα πασσάλων. Στην παράγραφο 6.4 συγκρίνονται οι διαφοροποιήσεις που επιφέρει η μεταβολή του λόγου Poisson στον συντελεστή R_a .

Στο Σχήμα 6.12 δίνονται οι αποκρίσεις ομάδων 2×2 και 3×3 σε αξονικές αποστάσεις $2.0D$, $3.0D$, $6.0D$ και $9.0D$ μαζί με την αντίστοιχη του μεμονωμένου πασσάλου σε αργιλικό σχηματισμό τύπου C1. Επιβεβαιώνεται από τα αποτελέσματα του ανωτέρω σχήματος το συμπέρασμα της προηγούμενης παραγράφου ότι, για το ίδιο μέσο επιβαλλόμενο φορτίο H_m (οριζόμενο ως το συνολικό επιβαλλόμενο φορτίο ομάδας διαιρούμενο με τον αριθμό των πασσάλων της ομάδας), η απόκριση της ομάδας εμφανίζει καμπύλη παρόμοια με αυτήν του μεμονωμένου πασσάλου, με ουσιαστική διαφορά ότι για το ίδιο μέσο φορτίο η μετακίνηση της ομάδας είναι μεγαλύτερη. Αναλυτικότερη εξέταση του Σχήματος 6.12 επιβεβαιώνει επίσης τον ισχυρισμό ότι η αξονική απόσταση των πασσάλων αποτελεί τον πλέον καθοριστικό παράγοντα των επιπτώσεων της αλληλεπίδρασης.

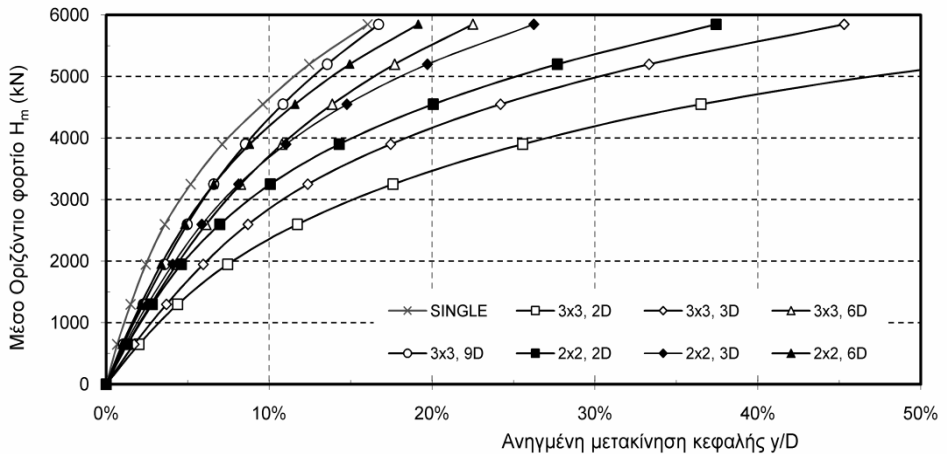
Παρατηρείται επίσης ότι η απόκριση της ομάδας 3×3 σε αξονική απόσταση $9.0D$ εμφανίζει μικρή μόνο διαφοροποίηση από αυτήν του μεμονωμένου πασσάλου, γεγονός που βρίσκεται επίσης σε συμφωνία με τις διεθνώς επικρατούσες αντιλήψεις. Η μείωση της αξονικής απόστασης οδηγεί σε αντίστοιχη μετάθεση της καμπύλης προς μεγαλύτερες τιμές μετακινήσεων και αύξηση του συντελεστή R_a .

Σημαντική είναι και η επίπτωση από τον αριθμό των πασσάλων. Χαρακτηριστικά παρατηρείται ότι για την ίδια αξονική απόσταση οι ομάδες σε διάταξη 3×3 εμφανίζουν μετακινήσεις αισθητά μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες ομάδες με διάταξη 2×2 .

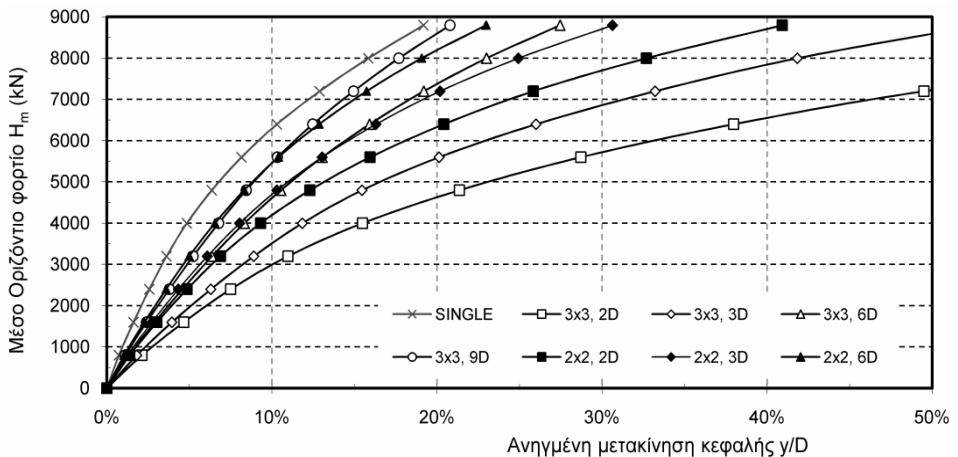
Παρόμοια είναι και τα αποτελέσματα των συγκεντρωτικών αποκρίσεων για μέσης συνεκτικότητας άργιλο (κατηγορία ανάλυσης C2, Σχήμα 6.13), για σφιγρή άργιλο (κατηγορία ανάλυσης C3, Σχήμα 6.14) και για πολύ σφιγρή άργιλο (κατηγορία ανάλυσης C4, Σχήμα 6.15).



Σχήμα 6.12. Καμπύλες απόκρισης ομάδων 2×2 και 3×3 , σε αξονικές αποστάσεις $2.0D$, $3.0D$, $6.0D$ και $9.0D$ μαζί με την αντίστοιχη του μεμονωμένου πασσάλου σε αργιλικό σχηματισμό τύπου C1



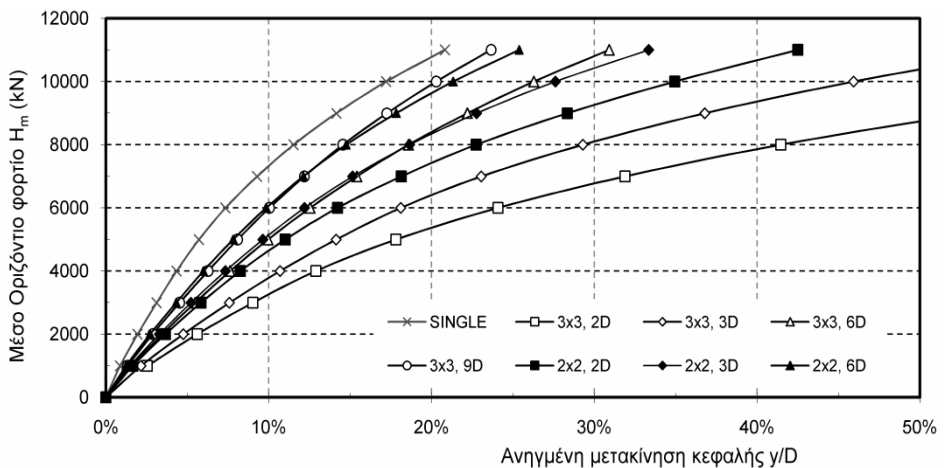
Σχήμα 6.13. Καμπύλες απόκρισης ομάδων 2×2 και 3×3 , σε αξονικές αποστάσεις 2.0D, 3.0D, 6.0D και 9.0D μαζί με την αντίστοιχη του μεμονωμένου πασσάλου σε αργιλικό σχηματισμό τύπου C2



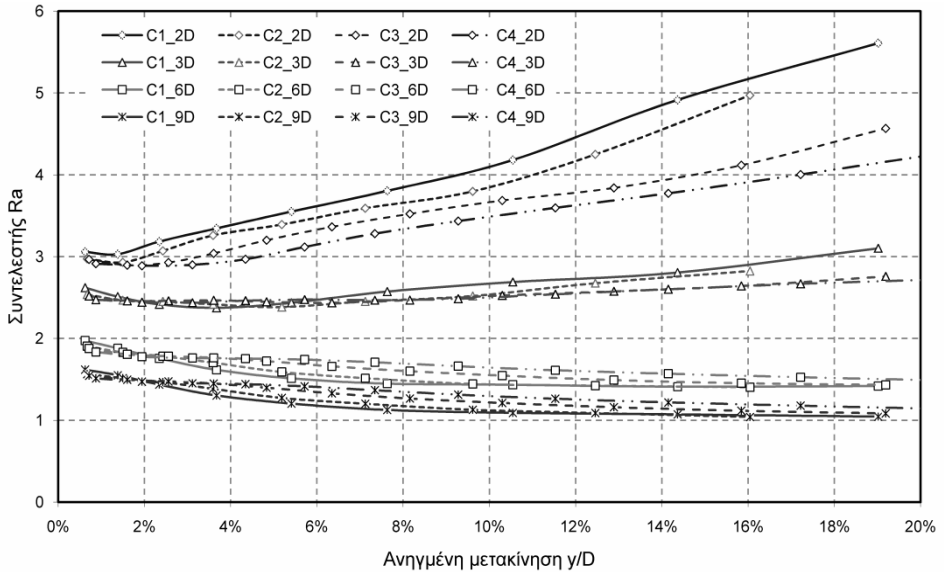
Σχήμα 6.14. Καμπύλες απόκρισης ομάδων 2×2 και 3×3 , σε αξονικές αποστάσεις 2.0D, 3.0D, 6.0D και 9.0D μαζί με την αντίστοιχη του μεμονωμένου πασσάλου σε αργιλικό σχηματισμό τύπου C3

Στο Σχήμα 6.16 δίνεται συγκεντρωτικά η μεταβολή του συντελεστή επαύξησης δυσκαμψίας R_a , για όλους τους τύπους εδαφών, αξονικές αποστάσεις 2.0D, 3.0D, 6.0D και 9.0D και διάταξη 3×3 . Από την εξέταση της μεταβολής του συντελεστή R_a αναδεικνύονται τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Η τιμή της αξονικής απόστασης των πασσάλων επηρεάζει καθοριστικά και με τη μεγαλύτερη βαρύτητα, σε σχέση με τους υπόλοιπους όρους, την τιμή του συντελεστή R_a .
- Η τιμή του συντελεστή R_a εξαρτάται από το επίπεδο μετακίνησης της κεφαλής του πασσάλου.
- Η μεταβολή της τιμής του συντελεστή R_a για τη διάταξη με αξονική απόσταση $3.0D$ μέχρι το επίπεδο μετακίνησης $10\%D$ είναι πρακτικά αμελητέα.
- Για αξονικές αποστάσεις μεγαλύτερες του $3.0D$ επέρχεται σταδιακά μικρή μείωση του συντελεστή R_a , ενώ για απόσταση $9.0D$ η αύξηση της μετακίνησης οδηγεί σε μοναδιαία τιμή του συντελεστή R_a , γεγονός που επιβεβαιώνει την κρατούσα αντίληψη ότι για την αξονική αυτή απόσταση ή μεγαλύτερη είναι πρακτικά μηδενικές οι επιπτώσεις της αλληλεπίδρασης.
- Σε αντίθεση με τις υπόλοιπες αξονικές αποστάσεις, η μείωση κάτω από το όριο των $3.0D$ οδηγεί σε αύξηση των επιπτώσεων της αλληλεπίδρασης όσο η μετακίνηση της κεφαλής της ομάδας αυξάνει. Επιπρόσθετα παρατηρείται και σημαντική διαφοροποίηση ανάλογα με τον τύπο του εδάφους. Μεγαλύτερη επίπτωση καταγράφεται στην περίπτωση της μαλακής αργίλου, ενώ η αύξηση της διατμητικής αντοχής οδηγεί σε μείωση των επιπτώσεων της αλληλεπίδρασης.
- Για τιμές ανηγμένης μετακίνησης μεγαλύτερη του $5\%D$ η τιμή του συντελεστή R_a θα μπορούσε να θεωρηθεί σταθερή και ανεξάρτητη της ανηγμένης μετακίνησης.



Σχήμα 6.15. Καμπύλες απόκρισης ομάδων 2×2 και 3×3 , σε αξονικές αποστάσεις $2.0D$, $3.0D$, $6.0D$ και $9.0D$ μαζί με την αντίστοιχη του μεμονωμένου πασσάλου σε αργιλικό σχηματισμό τύπου C4



Σχήμα 6.16. Μεταβολή του συντελεστή R_a συναρτήσει της ανηγμένης μετακίνησης για ομάδα 3×3 , σε αξονικές αποστάσεις $2.0D$, $3.0D$, $6.0D$ και $9.0D$ σε αργιλικούς σχηματισμούς τύπου C1, C2, C3 και C4

6.2.2 Ομάδα πασσάλων σε αμμώδη εδάφη

Η διερεύνηση αναφορικά με την απόκριση ομάδας πασσάλων σε αμμώδη εδάφη είναι παρόμοια με αυτήν της προηγούμενης παραγράφου για αργιλικά εδάφη. Ειδικότερα, η παραμετρική ανάλυση περιλαμβάνει πασσάλους διαμέτρου $D = 1.0$ m και μήκους $L = 25$, σε διάταξη 2×2 , 3×3 , 4×4 και 5×5 και σε αξονικές αποστάσεις $2.0D$, $3.0D$, $6.0D$ και $9.0D$. Εξετάζονται και προσομοιώνονται οι ίδιοι μηχανισμοί για τρεις τύπους αμμοδών εδαφών, των οποίων τα χαρακτηριστικά δίνονται στον Πίνακα 6.4. Όλες οι αναλύσεις αναφέρονται σε ομάδες πασσάλων και μεμονωμένους πασσάλους πακτωμένης κεφαλής.

	S1	S2	S3
Μέτρο του Young, E (MPa)	15	30	80
Συντελεστής Poisson, ν	0.25	0.30	0.35
Συντελεστής ωθήσεων ηρεμίας, k_o	0.53	0.48	0.43
Γωνία τριβής, φ (deg)	30	35	40
Γωνία τριβής στη διεπιφάνεια, φ_{int} (deg)	28	31	35
Φαινόμενο βάρος, γ (kN/m ³)	20	20	20

Πίνακας 6.4. Γεωτεχνικές παράμετροι για τους τύπους εδαφών S1 (χαλαρή άμμος), S2 (μέσης πυκνότητας άμμος), S3 (πολύ πυκνή άμμος)