

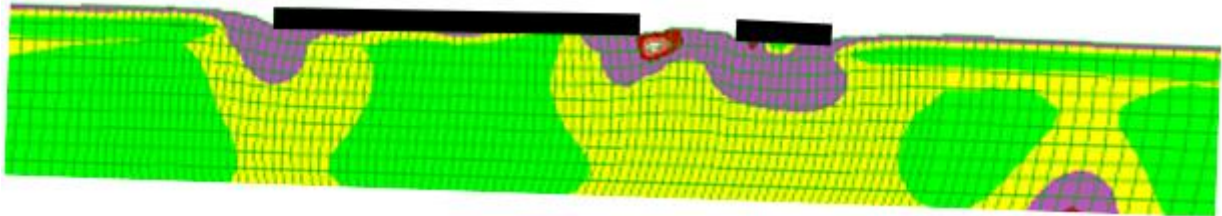
ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗΣ



NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS
SCHOOL OF CIVIL ENGINEERING
GEOTECHNICAL DEPARTMENT

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Αλληλεπίδραση κατασκευής – εδάφους – κατασκευής σε
πλευρικώς εξαπλούμενη εδαφική στρώση ήπιας κλίσης



DIPLOMA THESIS

Structure-soil-structure interaction in a laterally spreading soil
layer of gentle inclination

Δερβίσογλου Αναστάσιος

Επιβλέπων Καθηγητής

Παπαδημητρίου Αχιλλέας – Αναπλ. Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Οκτώβριος 2023

Περιεχόμενα

1.Εισαγωγή.....	8
1.1 Αντικείμενο	8
1.2 Διάρθρωση Εργασίας	9
2.Βιβλιογραφική Ανασκόπηση	10
2.1 Εισαγωγή	10
2.2 Αλληλεπίδραση θεμελιώσεων σε οριζόντιο ρευστοποιήσιμο έδαφος....	10
2.3 Εμπειρικές μέθοδοι εκτίμησης οριζόντιας μετακίνησης λόγω πλευρικής εξάπλωσης	12
2.4 Απλουστευμένη αριθμητική προσομοίωση οριζόντιας μετακίνησης λόγω πλευρικής εξάπλωσης	13
3. Μεθοδολογία Αριθμητικών Αναλύσεων	20
3.1. Λογισμικό FLAC.....	20
3.2 Καταστατικό προσομοίωμα NTUA-SAND.....	22
3.3 Προσομοίωση εδάφους μη ήπια κλίση και θεμέλιο	23
3.3.1 Τυπικοί κάρναβοι	23
3.3.2 Συνοριακές συνθήκες	25
3.3.3 Τύποι εδαφών.....	26
3.3.4 Θεμέλια	27
3.3.5 Απόσβεση - Διέγερση	27
4. Αλληλεπίδραση δίδυμων θεμελίων σε ήπια κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση	29
4.1 Εισαγωγή	29
4.2 Τυπική απόκριση δίδυμων θεμελίων	32
4.3 Επίδραση απόστασης δίδυμων θεμελίων.....	37
4.4 Επίδραση φορτίου δίδυμων θεμελίων	46
4.5 Επίδραση εύρους δίδυμων θεμελίων	53
4.6 Σύνοψη αλληλεπίδρασης δίδυμων θεμελίων	57
5. Αλληλεπίδραση διαφορετικών θεμελίων σε ήπια κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση	59
5.1 Εισαγωγή	59
5.2 Τυπική απόκριση θεμελίων ίδιου πλάτους με διαφορετικό φορτίο	62
5.2.1 Απόκριση στενών θεμελίων	62
5.2.2 Απόκριση ευρέων θεμελίων	67
5.3 Τυπική απόκριση θεμελίων διαφορετικού πλάτους με ίδιο.....	74

5.4 Τυπική απόκριση θεμελίων διαφορετικού πλάτους και διαφορετικού φορτίου.....	80
5.5 Σύνοψη.....	93
6. Συμπεράσματα - Προτάσεις	95
6.1 Βασικά συμπεράσματα.....	95
6.2 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα	97
Βιβλιογραφία.....	98
Παράρτημα Α:.....	100
Πρόσθετα αποτελέσματα από αναλύσεις σεισμικής απόκρισης για δίδυμα θεμέλια	100
Παράρτημα Β:.....	127
Πρόσθετα αποτελέσματα από αναλύσεις σεισμικής απόκρισης για διαφορετικά	127

Περίληψη

Το φαινόμενο της ρευστοποίησης σε κορεσμένες στρώσεις χονδροκόκκου εδάφους αποτελεί μείζον πρόβλημα όταν οι στρώσεις έχουν ήπια κλίση, με αποτέλεσμα τη δημιουργία της πλευρικής εξάπλωσης, δηλαδή την προς τα κατάντη μετατόπιση του εδάφους στη διάρκεια της σεισμικής διέγερσης. Αν επ' αυτού του εδάφους θεμελιώνονται κατασκευές, αυτές αναπτύσσουν καθίζηση, οριζόντια μετακίνηση και στροφή προς τα κατάντη στη διάρκεια της διέγερσης. Η πολύπλοκη απόκριση κατασκευών σε καθεστώς πλευρικής εξάπλωσης έχει διερευνηθεί λίγο στη διεθνή βιβλιογραφία, και κυρίως μέσω ιστορικών περιστατικών. Έτσι, στην παρούσα εργασία διερευνάται η αλληλεπίδραση δύο γειτονικών κατασκευών (ίδιων ή διαφορετικών) σε ήπια κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση.

Η διερεύνηση έγινε αριθμητικά, με χρήση του λογισμικού πεπερασμένων διαφορών FLAC για ήπια κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση (κλίσης 2°), πάχους $H = 10$ m υπό αρμονική διέγερση, με την εδαφική στρώση να προσομοιώνεται με το καταστατικό προσομοίωμα NTUA-SAND. Οι δύο γειτονικές κατασκευές (ανάντη και κατάντη) θεωρούνται θεμελιωμένες στην επιφάνεια του εδάφους μέσω τραχειών και άκαμπτων θεμελίων, που φέρουν ομοιόμορφο φορτίο. Έγιναν αναλύσεις για δίδυμα θεμέλια πλάτους $B = 5$ m, 20 m και φορτία έδρασης $q = 50, 100, 200$ kPa σε ενδιάμεσες αποστάσεις $D = 2.5, 5, 10$ και 20 m. Στη συνέχεια έγιναν αναλύσεις για διαφορετικά θεμέλια, τόσο ως προς το πλάτος όσο και ως προς το φορτίο τους, με επιλογές τιμών για τα πλάτη, τα φορτία και τις ενδιάμεσες αποστάσεις από τα ανωτέρω εύρη.

Με την παρούσα εργασία προκύπτει ότι σε ζεύγος θεμελίων σε έδαφος ήπιας κλίσης, η απόκριση του ανάντη και του κατάντη θεμελίου είναι διαφορετικές, ακόμη και αν αυτά είναι δίδυμα. Οι αποκρίσεις αυτές είναι ταυτόχρονα διαφορετικές και από την απόκριση που θα είχε το κάθε θεμέλιο αν ήταν μεμονωμένο. Σε κάθε περίπτωση, αύξηση της απόστασης D μεταξύ των θεμελίων μειώνει την αλληλεπίδρασή τους.

Ειδικότερα, για στενά δίδυμα θεμέλια η αλληλεπίδραση οδηγεί συνήθως σε μείωση καθιζήσεων, οριζοντίων μετατοπίσεων και στροφών συγκριτικά με ό,τι παρατηρείται αν ήταν μεμονωμένα. Στην πράξη, το κατάντη θεμέλιο έχει μεγαλύτερη καθίζηση και οριζόντια μετατόπιση από το ανάντη,

ενώ το ανάποδο ισχύει, συνήθως, για την τελική τιμή της στροφής. Έτσι, μεγαλύτερη καθίζηση και οριζόντια μετατόπιση από το μεμονωμένο θεμέλιο μπορεί να εμφανίσει μόνο το κατάντη θεμέλιο, υπό κάποιες προϋποθέσεις (π.χ., σε πολύ μικρή απόσταση $D/B = 0.5$, ή αν είναι πολύ βαρύ $q = 200 \text{ kPa}$). Τυπικά, για ευρέα δίδυμα θεμέλια, η αλληλεπίδραση οδηγεί μόνο σε μείωση καθιζήσεων, αλλά ταυτόχρονα σε αύξηση των οριζοντίων μετατοπίσεων και στροφών του κατάντη θεμελίου συγκριτικά με ό,τι παρατηρείται αν ήταν μεμονωμένο. Συνεπώς, σε δίδυμα θεμέλια, το «κατάντη» θεμέλιο πάντα προστατεύει το «ανάντη» θεμέλιο, αλλά κάποιες φορές με το κόστος αύξησης της καθίζησης ή της οριζόντιας μετακίνησης του. Μια απόσταση $D/B = 4$ μεταξύ δίδυμων θεμελίων τείνει να φέρει την απόκριση του κατάντη θεμελίου κοντά σε εκείνη του μεμονωμένου, αλλά το ανάντη εξακολουθεί να εμφανίζει μικρότερες τιμές των χαρακτηριστικών απόκρισης.

Αντίστοιχα, για διαφορετικά θεμέλια, η αλληλεπίδραση αποδεικνύεται συνήθως ευμενής για το ανάντη θεμέλιο, το οποίο δείχνει να «προστατεύεται» από το κατάντη θεμέλιο, κι αυτό ανεξαρτήτως των χαρακτηριστικών των δύο θεμελίων. Η ευμενής αλληλεπίδραση αφορά όλα τα χαρακτηριστικά της απόκρισης. Αντιθέτως, η αλληλεπίδραση αποδεικνύεται εν μέρει δυσμενής για το κατάντη θεμέλιο. Συγκεκριμένα, υπάρχει αύξηση της οριζόντιας μετακίνησης του σε όλες τις περιπτώσεις, με εξαίρεση όταν είναι το βαρύ σε ζεύγος στενών θεμελίων ή όταν είναι το ευρύ/βαρύ δίπλα σε στενό/ελαφρύ (στα ανάντη). Επιπλέον, υπάρχει περίπτωση να προκύψει και αύξηση της καθίζησης, αλλά μόνο όταν είναι το στενό/βαρύ δίπλα σε ευρύ/ελαφρύ (στα ανάντη).

Abstract

The phenomenon of liquefaction in saturated layers of loose coarse-grained soil becomes a major problem when these layers have a gentle slope, thus creating lateral spreading, i.e., the downslope displacement of the soil during the seismic excitation. If any structures are founded on this soil, they develop settlement, horizontal displacement and downslope rotation during the shaking. This complex response of structures in a lateral spreading regime has been scarcely investigated in the international literature, and this has been performed mainly through case histories. Thus, this paper investigates the interaction of two adjacent (identical or different) structures (same or different) in a gently sloping liquefied layer.

The investigation is carried out numerically, using the finite-difference code FLAC. It pertains to a uniform sand layer with a gentle slope (inclination 2°), with a thickness of $H = 10$ m under harmonic excitation. The sand was simulated with the NTUA-SAND constitutive model. The two adjacent structures (upstream and downstream) are assumed to be founded on the ground surface through rough and rigid strip footings, bearing a uniform load (corresponding to the total weight of each structure). Analyses are performed for two identical surface footings with widths $B = 5$ m, 20 m and bearing loads $q = 50, 100, 200$ kPa at interdistance $D = 2.5, 5, 10$ m and 20 m. In the sequel, analyses are performed for pairs of footings that are different in terms of their width B and load q , with value options for widths, loads and interdistances within the above ranges.

The present study shows that regarding a pair of footings in gently sloping liquefied soil, the response of the upstream and downstream footing is different, even if they are identical. In addition, their response is also different from the response that each footing would have had if it was isolated. In any case, an increase of the distance D between the footings reduces their interaction.

In particular, for narrow identical footings the interaction usually leads to a reduction in settlements, horizontal displacements and rotations compared to what would be observed if they were isolated. In practice, the downstream foundation has higher settlement and horizontal displacement

than the upstream one, while the reverse is usually true for the final value of the rotation. Thus, only the downstream footing can have a larger settlement and horizontal displacement than the isolated footing, and this under certain conditions (e.g., at a very short normalized interdistance $D/B = 0.5$, or if it is very heavy $q = 200$ kPa). Typically, for wide identical footings, the interaction leads only to a reduction in settlement, but at the same time to an increase in horizontal displacements and rotations of the downstream footing compared to what would be observed if it was isolated. Therefore, in a pair of identical footings, the downstream one always protects the upstream one, but sometimes at the cost of increased settlement or horizontal displacement. A normalized interdistance $D/B = 4$ between two identical footings tends to bring the response of the downstream footing close to that of the isolated one. However, the upstream footing still exhibits lower values of the response characteristics of interest.

Similarly, for a pair of different footings, the interaction usually turns out to be favorable for the upstream one, which seems to be "protected" by the downstream footing, regardless of the characteristics of the two. The favorable interaction applies to all characteristics of the response. On the contrary, the interaction turns out to be partly unfavorable for the downstream footing. In particular, there is an increase in its horizontal displacement in all cases, except when it is the heavy one in a pair of narrow footings or when it is the wide/heavy one next to narrow/light one (at the upstream). In addition, there is a possibility of an increase in settlement, but only when it is the narrow/heavy one next to wide/light (at the upstream).

1.Εισαγωγή

1.1 Αντικείμενο

Ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα με τα οποία έρχεται αντιμέτωπος ο Πολιτικός Μηχανικός είναι το φαινόμενο του σεισμού. Σε ό,τι αφορά στη γεωτεχνική μηχανική, ένας ισχυρός σεισμός μπορεί να προκαλέσει σεισμική ρευστοποίηση, αν το χονδρόκοκκο έδαφος είναι κορεσμένο και χαλαρό. Σε περίπτωση που το ρευστοποιημένο έδαφος έχει ήπια κλίση, τότε μπορεί να ολισθήσει προς τα κατόντη με μετατόπιση που μπορεί να φτάσει και 1-2 m. Το φαινόμενο αυτό λέγεται πλευρική εξάπλωση.

Για μια κατασκευή Πολιτικού Μηχανικού, η πλευρική εξάπλωση συνήθως αποδεικνύεται καταστροφική. Ο λόγος είναι ότι η κατασκευή, αν είναι θεμελιωμένη αβαθώς, εκτός της αναμενόμενης καθίζησης, παρασύρεται προς τα κατόντη και αποκτά και μόνιμη στροφή. Το φαινόμενο γίνεται ακόμη πιο πολύπλοκο αν η κατασκευή αυτή δεν είναι μεμονωμένη, καθώς τότε υπάρχει αλληλεπίδραση κατασκευής-εδάφους-κατασκευής, η οποία μέχρι στιγμής δεν έχει απασχολήσει τη διεθνή βιβλιογραφία δεδομένης της πολυπλοκότητάς της.

Έτσι, η παρούσα εργασία διερευνά την αλληλεπίδραση δύο γειτονικών επιφανειακών κατασκευών που εδράζονται σε ομοιόμορφο ρευστοποιήσιμο έδαφος ήπιας κλίσης (2°). Η διερεύνηση γίνεται αριθμητικά, με χρήση της μεθόδου των πεπερασμένων διαφορών. Στόχος της εργασίας είναι η καταγραφή των σημαντικών παραμέτρων του προβλήματος και η εκτίμηση των επιδράσεων τους στην καθίζηση, οριζόντια μετακίνηση και στροφή των κατασκευών, συγκριτικά με ό,τι θα είχαν οι ίδιες κατασκευές αν ήταν μεμονωμένες.

1.2 Διάρθρωση Εργασίας

Η παρούσα εργασία αποτελείται από 6 Κεφάλαια. Πιο συγκεκριμένα στο Κεφάλαιο 1 παρουσιάζεται το αντικείμενο και η διάρθρωση της εργασίας. Στη συνέχεια, στο Κεφάλαιο 2 παρουσιάζεται η βιβλιογραφική επισκόπηση που πραγματοποιήθηκε πάνω στο αντικείμενο της σεισμικής ρευστοποίησης και πλευρικής εξάπλωσης επιφανειακών θεμελιώσεων.

Στη συνέχεια, στο Κεφάλαιο 3 γίνεται αναλυτική περιγραφή της αριθμητικής μεθοδολογίας για την πραγματοποίηση των δισδιάστατων αναλύσεων με το λογισμικό πεπερασμένων διαφορών FLAC (Itasca Inc. 2011). Πιο συγκεκριμένα, δίνονται πληροφορίες σχετικά με το χρησιμοποιούμενο λογισμικό, ενώ ταυτόχρονα παρουσιάζονται όλα τα στοιχεία και οι παραδοχές που έγιναν για την προσομοίωση της απόκρισης ζεύγους επιφανειακών θεμελίων επί ρευστοποιήσιμου εδάφους με ήπια κλίση.

Στο Κεφάλαιο 4 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα διερεύνησης της δυναμικής αλληλεπίδρασης δίδυμων κατασκευών ίδιου πλάτους και φορτίου, σε ρευστοποιήσιμη άμμο πάχους $H = 10$ m. Γίνεται παραμετρική διερεύνηση της επίδρασης του εύρους, του φορτίου των δίδυμων κατασκευών, καθώς της ενδιάμεσης, μεταξύ τους, απόστασης.

Το Κεφάλαιο 5 ακολουθεί παρόμοια ερευνητική πορεία με το Κεφαλαίο 4, με τη μόνη διαφορά ότι εξετάζεται η δυναμική αλληλεπίδραση ζεύγους κατασκευών διαφορετικού εύρους και φορτίου, στην ίδια ρευστοποιήσιμη στρώση. Και πάλι, η διερεύνηση αφορά το εύρος, το φορτίο και την ενδιάμεση μεταξύ τους απόσταση, αλλά επιπλέον, κάθε τέτοιος συνδυασμός κατασκευών εξετάζεται 2 φορές, εναλλάσσοντας τη θέση (ανάντη ή κατάντη) του κάθε μέλους του ζεύγους.

Τέλος, στο Κεφάλαιο 6 συνοψίζονται τα βασικά συμπεράσματα που προέκυψαν από την παρούσα εργασία και διατυπώνονται προτάσεις για μελλοντική έρευνα στο ίδιο αντικείμενο.

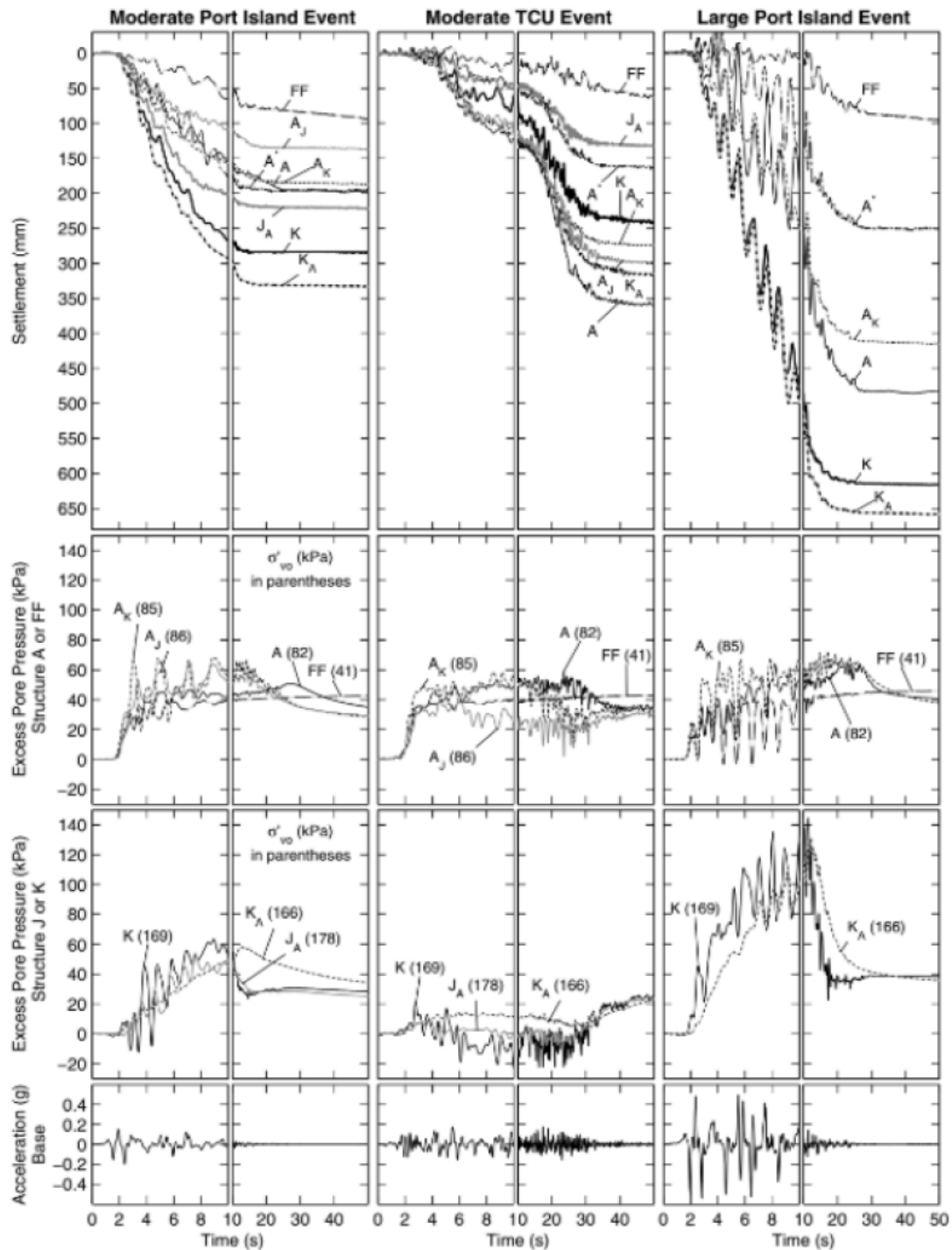
2.Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

2.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο θα παρουσιαστεί βιβλιογραφική ανασκόπηση που σχετίζεται αδρά με την αλληλεπίδραση επιφανειακών γειτονικών θεμελιώσεων πάνω σε ρευστοποιήσιμες ήπια κεκλιμένες εδαφικές στρώσεις, που είναι και ο στόχος της παρούσας εργασίας. Ο λόγος της προαναφερθείσας αδρής σχέσης είναι ότι ενώ έχει διερευνηθεί η αλληλεπίδραση κατασκευών σε οριζόντιο έδαφος και η πλευρική εξάπλωση εδάφους λόγω ήπιας κλίσης χωρίς κατασκευή, ο συνδυασμός τους δεν έχει ακόμη απασχολήσει τη βιβλιογραφία.

2.2 Αλληλεπίδραση θεμελιώσεων σε οριζόντιο ρευστοποιήσιμο έδαφος

Ενδεικτικά, για την αλληλεπίδραση θεμελιώσεων σε οριζόντιο ρευστοποιήσιμο έδαφος θα αναφερθούν εδώ τα πειράματα των Hayden et al (2015). Σημαντικό σε αυτό το σημείο είναι να αναφερθεί ότι σε όλες αυτές τις περιπτώσεις για την ποσοτικοποίηση της αλληλεπίδρασης οι ερευνητές επικεντρώθηκαν στη ανάπτυξη καθιζήσεων και στροφών, αλλά και στην ταλάντωση που δέχεται η ανωδομή. Προκύπτει ότι οι στρόφες των κατασκευών μπορεί να είναι είτε ομόρροπες είτε αντίρροπες. Σύμφωνα με Hayden et al. (2015), η στρόφη των κατασκευών θα είναι αντίρροπη λόγω των διαφορετικών τάσεων στις άκρες των κατασκευών και της διαφορετικής στιβαρότητας που έχει το έδαφος. Πραγματοποιήθηκαν πειράματα αλλάζοντας τα φορτία έδρασης (A για ελαφριές και J, K για βαρύτερες κατασκευές), τις αποστάσεις των κατασκευών και τις σχετικές πυκνότητες της ρευστοποιήσιμης στρώσης. Παρατηρώντας το Σχήμα 2.1 (από Hayden et al. 2015) γίνεται εμφανές ότι στις πιο ισχυρές δονήσεις οι βαρύτερες κατασκευές ανέπτυξαν πολύ μεγαλύτερες υπερπιέσεις πόρων και καθιζήσεις συγκριτικά με τις ελαφρύτερες κατασκευές. Το αντίστροφο ισχύει στις ήπιες δονήσεις, δηλαδή παρατηρούνται πρακτικώς μηδενικές υπερπιέσεις πόρων και επομένως αρκετά μικρότερες καθιζήσεις στις βαριές κατασκευές.



Σχήμα 2.1 Μετρήσεις καθιζήσεων, υπερπίεσεων πόρων (στον μέσο της εδαφικής στρώσης υπό την κατασκευή) και επιταχύνσεων (Hayden et al. 2015).

Αυτό οφείλεται στην ανάπτυξη μεγαλύτερων ενεργών τάσεων και υπερπίεσεων πόρων που μειώνουν την στιβαρότητα του εδάφους και αυξάνουν την υστερητική απόσβεση. Τα παραπάνω έχουν ως αποτέλεσμα την μείωση των επιταχύνσεων στην βάση των κατασκευών.

2.3 Εμπειρικές μέθοδοι εκτίμησης οριζόντιας μετακίνησης λόγω πλευρικής εξάπλωσης

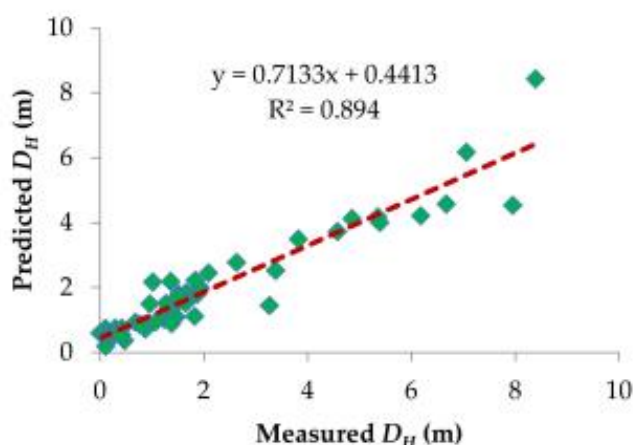
Ο εμπειρικός υπολογισμός της πλευρικής εξάπλωσης για συνθήκες πεδίου αρχικώς προτάθηκε από τους Youd et al. (2002) και ανά τα έτη αρκετοί επιστήμονες βασισμένοι σε πραγματικές μετρήσεις πεδίου προσπάθησαν να βρουν τρόπους εκτίμησης της πλευρικής εξάπλωσης μέσω αντίστοιχων σχέσεων. Οι περισσότερες σχέσεις είναι εμπειρικές ή ημι- εμπειρικές, ενώ τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί νέες εξισώσεις με την βοήθεια της τεχνητής νοημοσύνης. Κάποιες από τις βασικότερες σχέσεις της βιβλιογραφίας συνοψίζονται στον Πίνακα 2.1.

Πίνακας 2.1: Σχέσεις εμπειρικές ή από μηχανική μάθηση για τον προσδιορισμό της οριζόντιας πλευρικής εξάπλωσης λόγω σεισμού (Ahmad et al,2022).

Method and Technique		Model	Reference
Empirical model	Regression Analysis	$D_H = 0.75H^{1/2}\theta^{1/3}$	Hamada et al. [11]
		$\log LSI = -3.49 - 1.86 \log R + 0.98M_w$	Youd and Perkins [25]
		$\log(D_H + 0.01) = -17.372 + 1.248M_w - 0.923 \log R - 0.014R$ $+0.685 \log W + 0.3 \log T_{15} + 4.826 \log(100 - F_{15})$ $-1.091D_{50_{15}} \log(D_H + 0.01)$ $= -14.152 + 0.988M_w - 1.049 \log R - 0.011R$ $+0.318 \log S + 0.619 \log T_{15}$ $+4.287 \log(100 - F_{15}) - 0.705D_{50_{15}}$	Bardet et al. [21]
		$\log(D_H) = -16.713 + 1.532M - 1.406 \log R^* - 0.012R + 0.592 \log W$ $+0.540 \log T_{15} + 3.413 \log(100 - F_{15}) - 0.795 \log(D_{50_{15}} + 0.1\text{mm})$ $\log(D_H) = -16.213 + 1.532M - 1.406 \log R^* - 0.012R + 0.338 \log S$ $+0.540 \log T_{15} + 3.413 \log(100 - F_{15}) - 0.795 \log(D_{50_{15}} + 0.1\text{mm})$ $R^* = R_0 + 10^{0.988M - 5.64}$	Youd et al. [12]
Soft computing methods	ANN	$D_H = f(M, R, D_{50_{15}}, T_{15}, F_{15}, W, S, N_{160s})$	Wang and Rahman [13]
		$D_H = f(M, R, D_{50_{15}}, T_{15}, F_{15}, W, S)$	Baziar and Ghorbani [33]
		$D_H = -163.1 \frac{1}{M^2} + 57 \frac{1}{R \cdot F_{15}} - 0.0035 \frac{T_{15}^2}{W \cdot D_{50_{15}}^2} + 0.02 \frac{T_{15}^2}{F_{15} \cdot D_{50_{15}}^2}$ $-0.26 \frac{T_{15}^2}{F_{15}^2} + 0.006T_{15}^2 - 0.0013W^2 + 0.0002M^2 \cdot W \cdot T_{15} + 3.7$ $D_H = -0.8 \frac{F_{15}}{M} + 0.0014F_{15}^2 + 0.16T_{15} + 0.112S + 0.04 \frac{S \cdot T_{15}}{D_{50_{15}}}$ $-0.026R \cdot D_{50_{15}} + 1.14$	Javadi et al. [31]
		$D_H = f(M, R, D_{50_{15}}, T_{15}, F_{15}, W, S)$	Javdanian [34]

Για να ελεγχθεί η εγκυρότητα και η αξιοπιστία των σχέσεων ελέγχθηκαν τα αποτελέσματα τους με εκείνα πραγματικών μετρήσεων στην εργασία των Ahmad et al. (2022). Η βάση δεδομένων για τις σεισμικές καταγραφές περιείχε τους εξής σεισμούς: 1906 San Francisco, 1964 Alaska, 1964 Niigita, 1971 San Fernando, 1979 Imperial Valley, 1987 Superstition Hills, 1989 Loma

Prieta, 1995 Hyogo-Ken Nanbu, 1999 Chi-Chi και 1999 Kocaeli. Κατέληξαν πώς το Gaussian Process (GP) model που βασίζεται σε μηχανική μάθηση και προτείνουν οι Ahmad et al. (2022) είναι ακριβέστερο από το ευρέως χρησιμοποιούμενο MLR μοντέλο των Youd et al (2002), τουλάχιστον για πλευρική εξάπλωση πλησίον αναβαθμού. Η παραπάνω πρόταση επαληθεύεται στο Σχήμα 2.2 όπου παρατηρείται σχετικά καλή συσχέτιση μεταξύ των υπολογισμένων αποτελεσμάτων και των πραγματικών.

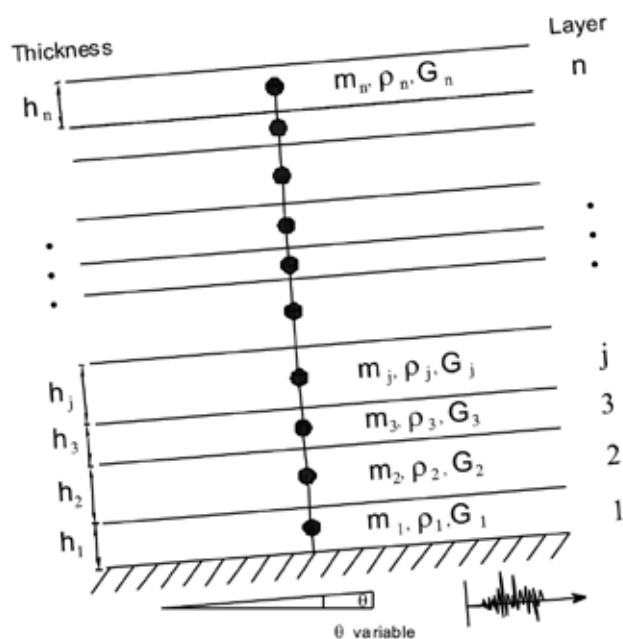


Σχήμα 2.2 Σύγκριση μεταξύ της μετρημένης και υπολογισμένης πλευρικής εξάπλωσης με βάση το GP Model (Ahmad et al. 2022).

2.4 Απλουστευμένη αριθμητική προσομοίωση οριζόντιας μετακίνησης λόγω πλευρικής εξάπλωσης

Οι εμπειρικές σχέσεις της παραγράφου 2.3 προκύπτουν από στατιστική επεξεργασία. Οι σχέσεις αυτές ωστόσο έχουν αποδειχθεί ανεπαρκείς σε αρκετές περιπτώσεις, κυρίως λόγω των περιορισμένων πληροφοριών με τις οποίες αναπτύχθηκαν, όπως αναφέρουν στις δημοσιεύσεις τους ο Cetin (2004) και οι Garcia et al. (2007). Αντιθέτως, οι μέθοδοι που βασίζονται στην αριθμητική ολοκλήρωση της επιτάχυνσης που διατρέχει την εδαφική στρώση είναι αρκετά πιο πολύπλοκες, ξεκινώντας από την αρχική δημοσίευση του Newmark (1965) και συνεχίζοντας στις μεταγενέστερες των Finn (1990) και Cundall (1995). Σύμφωνα με τους Mayoral et al. (2009), για τον υπολογισμό της οριζόντιας μετακίνησης κατασκευάζεται ένα μοντέλο εδάφους αρκετά πιο απλουστευμένο από τις προαναφερθείσες

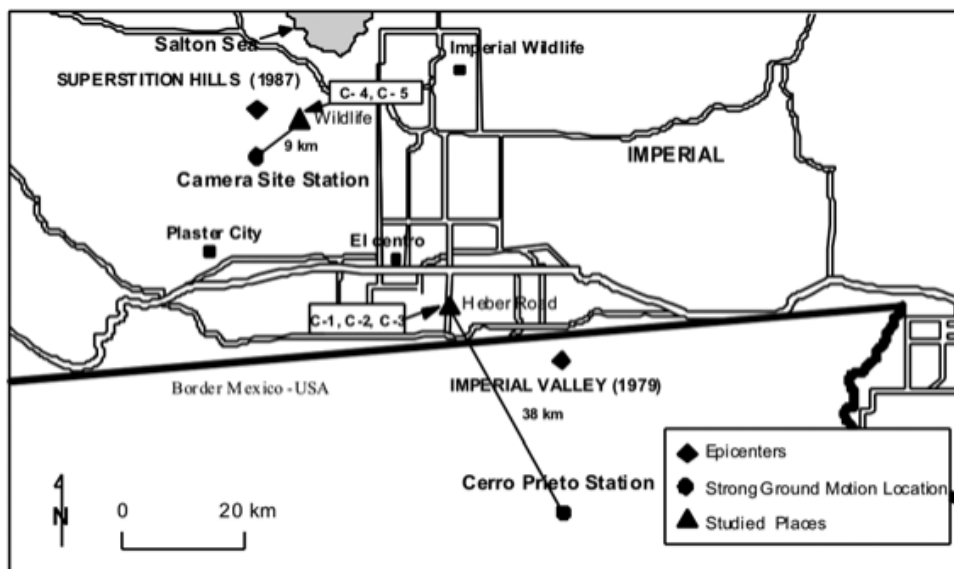
δημοσιεύσεις. Αυτό δίνεται στο Σχήμα 2.3, όπου φαίνεται ένα στρωματοποιημένο έδαφος με ήπια κλίση, όπου το έδαφος προσομοιώνεται ως μια στήλη με συγκεντρωμένες μάζες. Η εξίσωση κίνησης επιλύεται στο πεδίο του χρόνου ώστε να ληφθεί υπόψη η μη γραμμικότητα στη σχέση τάσης-παραμόρφωσης του εδάφους και η ανάπτυξη υπερπιέσεων πόρων. Το προτεινόμενο αριθμητικό μοντέλο επιλύεται θεωρώντας ότι τα κύματα SH διαδίδονται κάθετα μέσα στο εδαφικό προφίλ.



Σχήμα 2.3 Προτεινόμενο μοντέλο προσομοίωσης της διέγερσης εδαφικής στρώσης με ήπια κλίση (Mayoral et al, 2009).

Για να αξιολογηθεί η αξιοπιστία-απόδοση του μονοδιάστατου μοντέλου συγκρίθηκαν τα αποτελέσματα του με τα αντίστοιχα των πραγματικών αποτελεσμάτων. Στη δημοσίευση των Mayoral et al. (2009), οι σεισμοί που επιλέχθηκαν ήταν Imperial Valley του 1979, Superstition Hills του 1987 και Kocaeli του 1999, με κριτήριο την έγκυρη τεκμηρίωση τους από την βιβλιογραφία. Οι οριζόντιες μετακινήσεις που παρατηρήθηκαν ήταν από 0.1 - 2.4 m. Ενδεικτικά εδώ θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα των σεισμικών γεγονότων 1979 Imperial Valley και 1987 Superstitions hills, οι οποίοι είχαν μέγεθος σεισμού $M = 6.5$ και $M = 6.6$, αντίστοιχα. Στο Σχήμα 2.4 φαίνονται οι θέσεις των πλησιέστερων σεισμολογικών σταθμών και οι περιοχές Wildlife και

Herber Road οι οποίες ρευστοποιήθηκαν. Οι σταθμοί όπου κατέγραψαν το σεισμικό γεγονός απείχαν 9 km από το Wildlife και 38 km από το Herber Road.

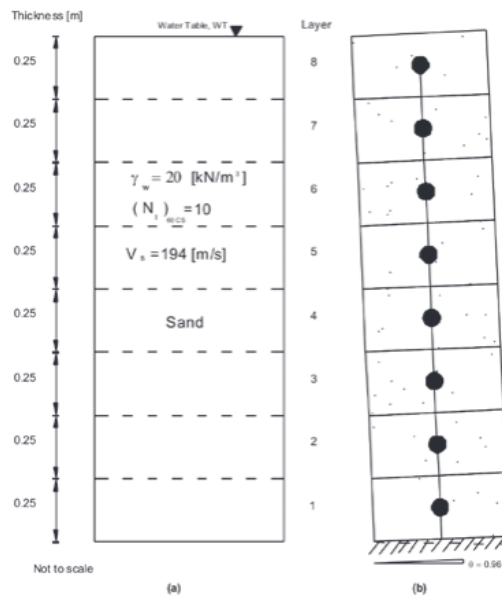


Σχήμα 2.4 Οι περιοχές ενδιαφέροντος, οι σεισμικές καταγραφές, και τα επίκεντρα των σεισμών Imperial Valley (1979) και Superstition Hills (1987), (Mayoral et al, 2009).

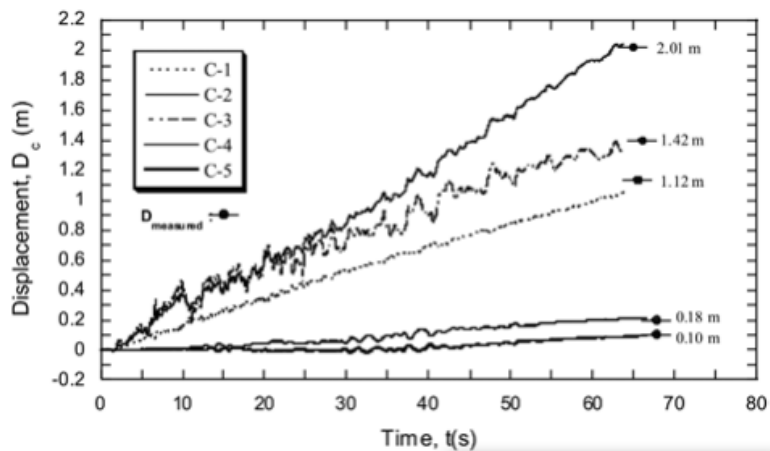
Το υπέδαφος προσομοιώθηκε με απλουστευμένα μονοδιάστατα μοντέλα (συγκεντρωμένες μάζες) με χαρακτηριστικά όπως φαίνεται στον Πίνακα 2.2. Οι πρώτες τρεις περιπτώσεις αφορούν το Herber Road (C1 – C3) και οι δύο τελευταίες (C4 και C5) αφορούν το Wildlife. Σύμφωνα με τους Barlett and Youd (1992) οι εν λόγω περιοχές είχαν χαλαρή άμμο με διορθωμένο αριθμό χτύπων $(N_1)_{60-CS}$ από 2 έως 10 και ταχύτητα διαμηθικών κυμάτων V_s μικρότερη των 200 m/s. Το έδαφος παρουσίαζε μία μικρή κλίση $\theta(^{\circ})$ σε σχέση με το οριζόντιο επίπεδο. Το ιδεατό μοντέλο του εδαφικού προφίλ φαίνεται στο Σχήμα 2.5 και θα υποβληθεί σε δυναμική φόρτιση με βάση τα χαρακτηριστικά του σεναρίου C1. Τα αποτελέσματα της οριζόντιας μετακίνησης σε σχέση με τον χρόνο φαίνονται στο Σχήμα 2.6 και παρατηρείται ότι οι παραμένουσες μετακινήσεις μετά το πέρας της ανάλυσης προέκυψαν σχεδόν ίσες με τις μετρημένες στο πεδίο.

Πίνακας 2.2: Χαρακτηριστικά Εδάφους στα παραδείγματα αναλύσεων (Mayoral et al, 2009)

Σενάριο	Σεισμός	Περιοχή	γ (kN/m ³)	Vs(m/s)	Πάχος(m)	θ (°)	(N ₁) _{60-CS}	ζ (%)
C-1	Imperial Valley	Heber Road	20	194	2	0.96	10	5
C-2	Imperial Valley	Heber Road	20	93	3.9	1.4	2	15
C-3	Imperial Valley	Heber Road	20	153	3.5	2.86	6	5
C-4	Superstition Hills	Wildlife	20	147	4.1	0.27	6	5
C-5	Superstition Hills	Wildlife	20	125	3.7	0.27	4	15

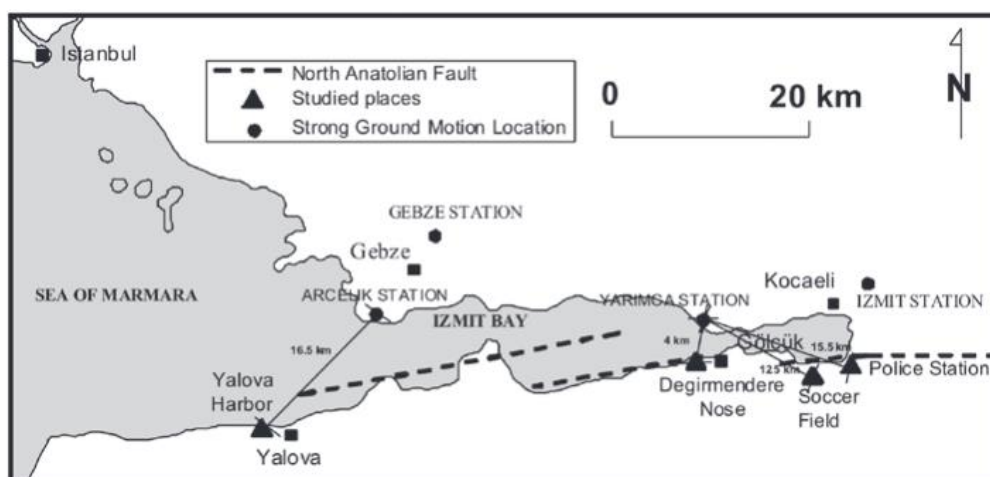


Σχήμα 2.5 Σενάριο C-1: (α) Εξιδανικευμένο εδαφικό προφίλ (β) διακριτοποιημένο μοντέλο (Mayoral et al, 2009).

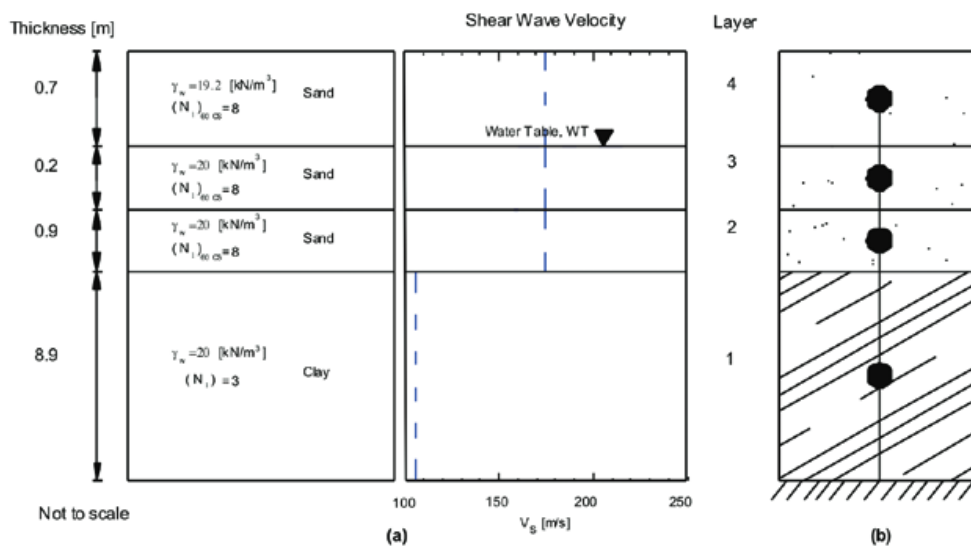


Σχήμα 2.6 Χρόνο-ιστορίες μετακινήσεων από τις αναλύσεις (σενάρια C-1 έως C-5) και σύγκριση με τις πραγματικές τιμές (Mayoral et al, 2009).

Αναφορικά με το σεισμό της Τουρκίας στο Kocaeli το 1999, αρκετές περιοχές αντιμετώπισαν προβλήματα ρευστοποίησης, όπως ενδεικτικά οι περιοχές Police Station, Soccer Field, Degirmendere Nose και Yalova Harbor (Σχήμα 2.7). Τα εδαφικά χαρακτηριστικά της περιοχής φαίνονται στον Πίνακα 2.3 με οριζόντια κλίση και αυτό επιτυγχάνεται αφού το μονοδιάστατο μοντέλο μπορεί να προσομοιώνει εδαφικά προφίλ συμπεριλαμβανομένης της μη-οριζόντιας κλίσης. Συγκεκριμένα, σύμφωνα με τους Mayoral et al. (2009), η περιοχή του Soccer Field έχει προσομοιωθεί με το εξιδανικευμένο μονοδιάστατο μοντέλο (Σχήμα 2.8) για την γεώτρηση SF5. Οι πραγματικές οριζόντιες μετακινήσεις που καταγράφηκαν μετά την σεισμική διέγερση ήταν 0.3 και 1.2 m για τις γεωτρήσεις SF5 και SF6. Σε αυτήν την περίπτωση όπως και σε αυτές που προαναφέρθηκαν, η γεωτεχνική μελέτη ανέδειξε χαλαρές στρώσεις άμμου με τροποποιημένο αριθμό χτύπων SPT $(N_1)_{60-CS}$ να κυμαίνεται από 3 έως 10. Με την πραγματοποίηση της ανάλυσης τα αποτελέσματα συγκρίνονται με τις πραγματικές μετακινήσεις και με τις εμπειρικές σχέσεις της βιβλιογραφίας Shamoto (1998), Hamada (1986) και Youd (2002) (Σχήμα 2.9).



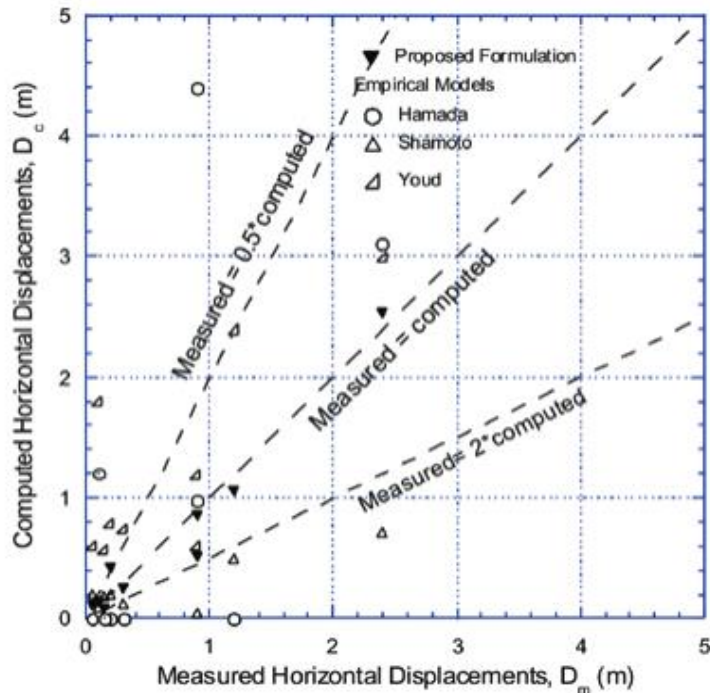
Σχήμα 2.7 Οι σεισμολογικοί σταθμοί και οι περιοχές μελέτης της πλευρικής εξάπλωσης (Cetin et al, 2003).



Σχήμα 2.8 Περιοχή Soccer Field: (α) Εξιδακτυκωμένο εδαφικό προφίλ (β) διακριτοποιημένο μοντέλο για την περιοχή (Mayoral et al, 2009).

Πίνακας 2.3: Χαρακτηριστικά Εδάφους στα παραδείγματα αναλύσεων (Mayoral et al, 2009).

	Είδος εδάφους	Πάχος (m)	γ (kN/m ³)	$(N_1)_{60-cs}$	V_s (m/s)	ζ (%)
SPT-SF5	Sand	0.7	19.2	8	175	5
	Sand	0.2	20	8	175	5
	Sand	0.9	20	8	175	5
	Clay	8.9	20	3	106	5
SPT-SF6	Sand	0.7	19.2	10	190	5
	Sand	0.2	20	10	190	5
	Sand	0.9	20	10	190	5
	Clay	22	20	3	106	5



Σχήμα 2.9 Σύγκριση μεταξύ της μετρημένης και υπολογισμένης πλευρικής εξάπλωσης για το σεισμό του 1999 στο Kocaeli με βάση την προτεινόμενη μεθοδολογία και άλλες εμπειρικές σχέσεις της βιβλιογραφίας (Mayoral et al, 2009).

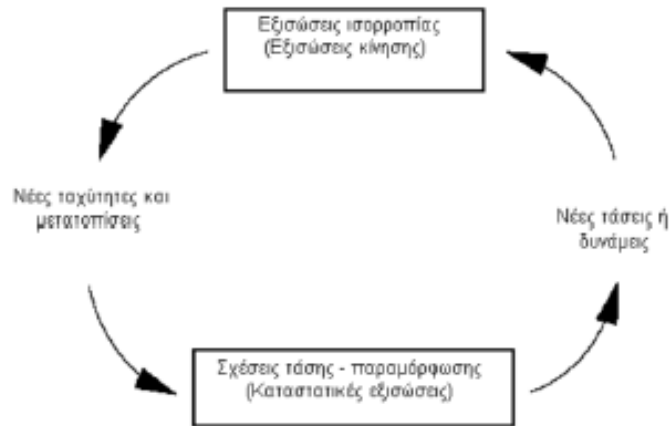
Από τη σύγκριση στο Σχήμα 2.9 προκύπτει ότι οι μετακινήσεις του μονοδιάστατου μοντέλου των Mayoral et al. (2009) προσεγγίζουν με καλύτερη ακρίβεια τις πραγματικές μετακινήσεις, συγκριτικά με τις συνήθως χρησιμοποιούμενες εμπειρικές σχέσεις. Από την άλλη, το μοντέλο των Mayoral et al. (2009) κάνει χρήση ανάλυσης και χρειάζεται παραδοχή για τη χρονοϊστορία της διέγερσης, κάτι που κάποιες από τις εμπειρικές σχέσεις δεν χρειάζονται (π.χ. οι Youd et al. 2002 θεωρούν μόνο σεισμολογικές παραμέτρους: μέγεθος M και επικεντρική απόσταση R). Σε κάθε περίπτωση, η χρήση αριθμητικής ανάλυσης προσθέτει αξιοπιστία, και αυτός ο δρόμος θα ακολουθηθεί στην παρούσα εργασία.

3. Μεθοδολογία Αριθμητικών Αναλύσεων

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται η αριθμητική μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε για την προσομοίωση της εδαφικής συμπεριφοράς θεμελίων υπό οριζόντια εξάπλωση λόγω ήπιας κλίσης. Αρχικά θα πραγματοποιηθεί συνοπτική παρουσίαση του λογισμικού πεπερασμένων διαφορών FLAC (Itasca, 2005), καθώς και του καταστατικού προσομοιώματος NTUA-SAND (Andrianopoulos et al.2010) που χρησιμοποιήθηκε για την προσομοίωση της ρευστοποιήσιμης εδαφικής στρώσης. Στη συνέχεια θα γίνει εκτενής αναφορά σε όλες τις παραμέτρους που έπρεπε να οριστούν για την εκτέλεση των παραμετρικών αναλύσεων της εργασίας, όπως για παράδειγμα ο κάρναβος πεπερασμένων διαφορών, ο τρόπος προσομοίωσης της ήπιας κλίσης, οι εδαφικές παράμετροι, η απόσβεση και η σεισμική διέγερση.

3.1. Λογισμικό FLAC

Το FLAC (Fast Lagrangian Analysis of Continua) είναι ένα λογισμικό πεπερασμένων διαφορών το οποίο χρησιμοποιεί τη Μέθοδο των Κεντρικών Διαφορών μη πεπλεγμένης μορφής (Finite Element Difference Method) προκειμένου να επιλύσει την εξίσωση ισορροπίας σε υπολογιστικά προβλήματα κυρίως γεωτεχνικής μηχανικής. Για τη λειτουργία του απαιτεί τη διακριτοποίηση του χωρίου που θα προσομοιωθεί, με χρήση πλέγματος πεπερασμένων επιφανειών ή όγκων (ανάλογα αν η ανάλυση είναι σε δύο ή τρεις διαστάσεις) οι οποίες ονομάζονται ζώνες (zones). Η επίλυση της εξίσωσης ισορροπίας πραγματοποιείται στους κόμβους (grid points) που δημιουργούνται από τις επαφές των ζωνών. Προκειμένου να επιλυθεί η εξίσωση αυτή, το FLAC ακολουθεί μια επαναληπτική διαδικασία στην οποία υπολογίζει τις τάσεις και παραμορφώσεις που αναπτύσσονται προκειμένου κάθε κόμβος να ισορροπεί, λαμβάνοντας υπόψη το καταστατικό προσομοίωμα της κάθε ζώνης, αλλά και τα επιβαλλόμενα στο χωρίο φορτία και μετατοπίσεις. Η διαδικασία η οποία ακολουθείται από το FLAC προκειμένου να υλοποιηθεί αυτό φαίνεται συνοπτικά στο Σχήμα 3.1.



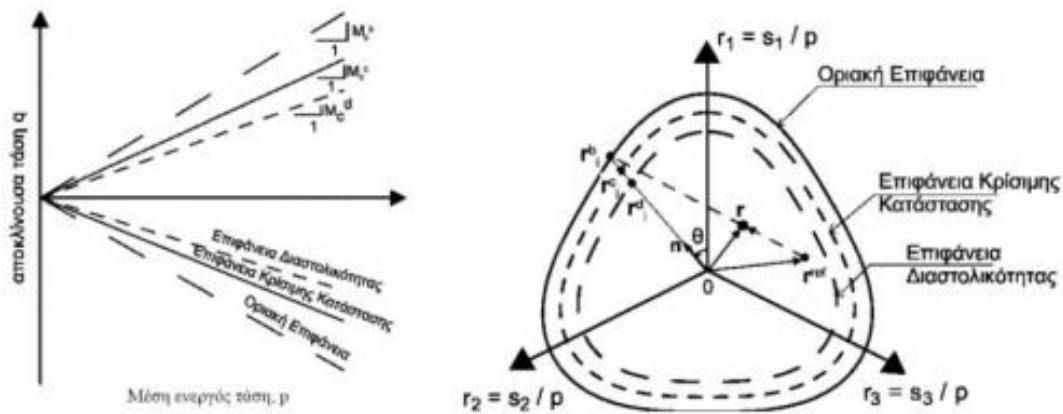
Σχήμα 3.1 Μη πεπλεγμένη διαδικασία υπολογισμού τάσεων που χρησιμοποιείται στους κώδικες FLAC και FLAC^{3D}.

Σύμφωνα με τη διαδικασία αυτή τέσσερα είναι τα βασικά βήματα τα οποία πραγματοποιούνται από το FLAC σε κάθε επανάληψη μέχρι να επιτευχθεί ισορροπία. Αρχικά, έχοντας γνωστές τις τάσεις από το προηγούμενο βήμα υπολογίζονται οι ισοδύναμες δυνάμεις στους κόμβους του πλέγματος. Χρησιμοποιώντας της δυνάμεις αυτές, αλλά και τις εξωτερικές δυνάμεις που ασκούνται σε κάθε κόμβο, υπολογίζεται η μη-ισορροπούσα δύναμη κάθε κόμβου, η οποία είναι και η ποσότητα που θα πρέπει να «μηδενιστεί» για να επιτευχθεί ισορροπία. Στη συνέχεια, με χρήση μη-ισορροπούσας δύναμης υπολογίζονται οι ταχύτητες κάθε κόμβου από την εξίσωση κίνησης. Επόμενο βήμα αποτελεί η παραγωγή των ταχυτήτων αυτών, προκειμένου να προκύψουν οι ρυθμοί μεταβολής των ανηγμένων παραμορφώσεων κάθε ζώνης και τέλος, με χρήση των παραμορφώσεων, προκύπτουν οι καινούργιες τάσεις από τον καταστατικό νόμο που διέπει τη κάθε ζώνη. Η επαναληπτική διαδικασία σταματά όταν η μη-ισορροπούσα δύναμη σε όλους τους κόμβους γίνεται μικρότερη από το επιλεγμένο επίπεδο σφάλματος της αριθμητικής σύγκλισης και επομένως έχει επιτευχθεί ισορροπία. Το μειονέκτημα της μεθόδου πεπερασμένων διαφορών που χρησιμοποιείται από το FLAC είναι ότι ακόμα και στη περίπτωση επίλυσης γραμμικών συστημάτων απαιτούνται επαναλήψεις προκειμένου να επιτευχθεί ισορροπία σε όλους τους κόμβους. Αντιθέτως, πεπλεγμένες μέθοδοι όπως η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων είναι πολύ πιο αποτελεσματική σε

τέτοιου είδους συστήματα όμως παρουσιάζει έντονα προβλήματα σύγκλισης όταν τα συστήματα που πρέπει να λυθούν είναι έντονα μη γραμμικά όπως τα προβλήματα που αφορούν τη ρευστοποίηση.

3.2 Καταστατικό προσομοίωμα NTUA-SAND

Το προσομοίωμα NTUA-SAND σχεδιάστηκε από τους Papadimitriou & Bouckovalas (2002) και πήρε την τελική του μορφή στα πλαίσια διδακτορικών διατριβών των Andrianopoulos (2006) και Karamitros (2010). Βασίζεται στις αρχές της θεωρίας πλαστικότητας καθώς και της Κρίσιμης Κατάστασης και αναπτύχθηκε με στόχο την ακριβή προσομοίωση της δυναμικής απόκρισης των χονδρόκοκκων εδαφών κάτω από μικρές, μεσαίες και μεγάλες ανακυκλικές παραμορφώσεις. Το προσομοίωμα βασίζεται σε τρεις ανοιχτές κωνοειδείς (μη κυκλικές) επιφάνειες στο χώρο των τάσεων, με κοινή κορυφή στην αρχή των αξόνων. Αυτές οι επιφάνειες, που ονομάζονται επιφάνεια Κρίσιμης Κατάστασης, Οριακή επιφάνεια και επιφάνεια Διαστολικότητας, αντιστοιχούν στους λόγους αποκλίνουσας τάσης στην Κρίσιμη Κατάσταση, στη μέγιστη αντοχή και στο σημείο αλλαγής φάσης (από συστολή σε διαστολή), αντίστοιχα. Το άνοιγμα αυτών των επιφανειών, ή οι τιμές των τριών προαναφερθέντων λόγων αποκλίνουσας τάσης, σχετίζεται αποκλειστικά με την παράμετρο κατάστασης ψ (Been and Jefferies, 1985), επιτρέποντας έτσι την ενσωμάτωση της Θεωρίας Κρίσιμης Κατάστασης στις εξισώσεις και τη χρήση ενός ενιαίου σετ τιμών για τις σταθερές του προσομοιώματος, ανεξάρτητα από τις αρχικές συνθήκες τάσης, σχετικής πυκνότητας και φόρτισης. Στο Σχήμα 3.2 απεικονίζονται οι τρεις επιφάνειες του προσομοιώματος στον τρισδιάστατο χώρο τάσεων (αριστερά), όπου p είναι η μέση ενεργός τάση ενώ q η αποκλίνουσα τάση, και η προβολή των επιφανειών στο αποκλίνον επίπεδο π του γενικευμένου χώρου αποκλινουσών τάσεων (δεξιά).



Σχήμα 3.2 Επιφάνειες του προσομοιώματος στο χώρο p - q και η προβολή τους στο αποκλίνον επίπεδο- π του γενικευμένου χώρου αποκλινουσών τάσεων.

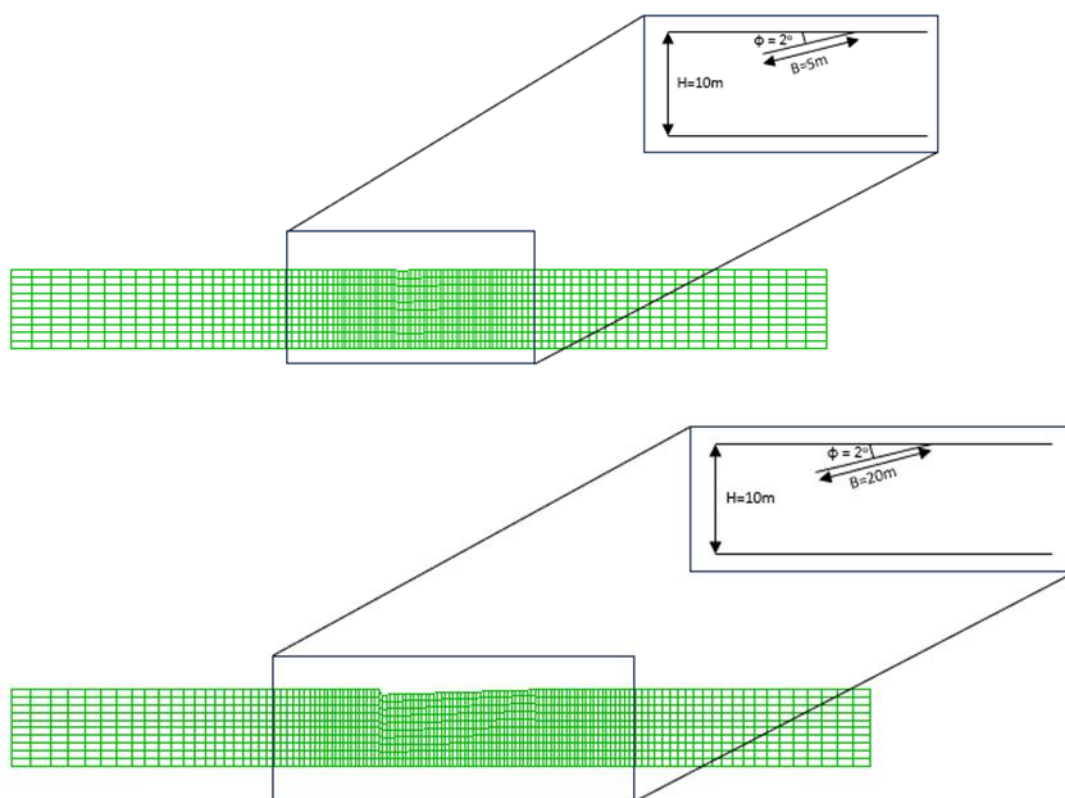
Το καταστατικό προσομοίωμα NTUA-SAND έχει τη δυνατότητα να προσομοιώσει την απόκριση χονδρόκοκκων εδαφών για στραγγιζόμενες και αστράγγιστες συνθήκες φόρτισης, μικρών, μεσαίων και μεγάλων ανακυκλικών παραμορφώσεων, διαφορετικών τιμών δείκτη πόρων (ή σχετικής πυκνότητας) καθώς και διαφορετικών ενεργών τάσεων στερεοποίησης, χωρίς ανάγκη αναβαθμονόμησης. Συνολικά, έχει ανάγκη βαθμονόμησης 13 αδιάστατων και θετικών παραμέτρων, από τις οποίες οι 11 αναφέρονται σε μονοτονική φόρτιση, ενώ οι υπόλοιπες 2 προστίθενται σε ανακυκλική φόρτιση. Για τη περίπτωση προσομοίωσης εδαφικής στρώσης από (λεπτή) άμμο τύπου Nevada το προσομοίωμα αυτό έχει βαθμονομηθεί από τους Andrianopoulos et al (2010).

3.3 Προσομοίωση εδάφους μη ήπια κλίση και θεμέλιο

3.3.1 Τυπικοί κάρναβοι

Για τη διερεύνηση της συμπεριφοράς κατασκευών σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση επιλέχθηκε να προσομοιωθεί η κατασκευή ως άκαμπτο τραχύ λωριδωτό (απειρομήκες) θεμέλιο με πλάτος B . Τα πλάτη θεμελίου που επιλέχθηκαν στις αναλύσεις ήταν $B = 5$ m και $B = 20$ m. Προκειμένου να αποτραπούν οι επιρροές των συνοριακών συνθηκών

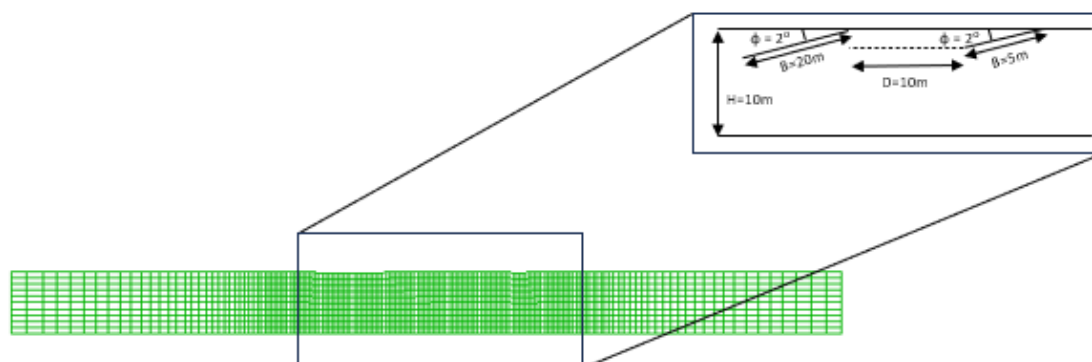
επιλέχθηκαν δύο διαφορετικοί ευρείς κάναβοι διαστάσεων 100m x 10m, 130m x 10m για θεμέλια $B = 5\text{ m}$ και $B = 20\text{ m}$, αντίστοιχα. Η διακριτοποίηση των δύο μοντέλων ακολούθησε την ίδια λογική: μακριά από το θεμέλιο ο κάναβος ήταν αδρός με στοιχεία μήκους 1.33 m τα οποία μειώνονταν σε πλάτος μέχρι 10 m απόστασης από το θεμέλιο $B = 5\text{ m}$ και μέχρι 15 m απόστασης από το θεμέλιο $B = 20\text{ m}$. Εντός της απόστασης αυτής αλλά και κάτω από το θεμέλιο τα στοιχεία είχαν πλάτος 0.5 m.



Σχήμα 3.3 Κάναβος προσομοίωσης εδάφους με ήπια κλίση για μονό θεμέλιο πλάτους: (α) $B = 5\text{ m}$ (β) $B = 20\text{ m}$.

Για τη προσομοίωση της κλίσης 2° της εδαφικής στρώσης επιλέχθηκε να εφαρμοστεί το διάνυσμα της επιτάχυνσης της βαρύτητας κεκλιμένο προς τα δεξιά κατά 2° . Επειδή όμως τα θεμέλια κατασκευάζονται οριζόντια και όχι σε κλίση, επιλέχθηκε να δημιουργηθεί μικρή ζώνη εκσκαφής στο κάναβο στο σημείο εφαρμογής του θεμελίου όπως φαίνεται στις λεπτομέρειες του Σχήματος 3.3, ώστε με τη στροφή του διανύσματος της βαρύτητας, η επιφάνεια έδρασης του θεμελίου να είναι κάθετη σε αυτό.

Στις αναλύσεις με 2 θεμέλια, υπήρχαν αντίστοιχα 2 εκσκαφές. Τα θεμέλια προσομοιώθηκαν με στοιχεία συνεχούς μέσου, όπως δείχνεται στο παράδειγμα καννάβου του Σχήματος 3.4, για θεμέλια με $B = 20$ m ανάντη (αριστερά) και $B = 5$ m κατάντη (δεξιά) σε απόσταση $D = 10$ m.

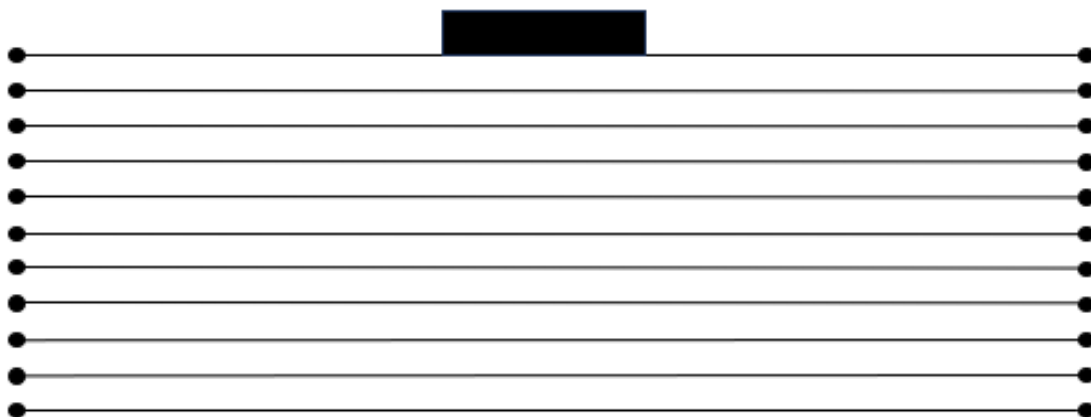


Σχήμα 3.4 Καννάβος προσομοίωσης εδάφους με ήπια κλίση με τα θεμέλια να έχουν διαφορετικά πλάτη $B = 20$ m (ανάντη) και $B = 5$ m (κατάντη), σε απόσταση $D = 10$ m.

3.3.2 Συνοριακές συνθήκες

Σε όλες τις αναλύσεις το έδαφος θεωρήθηκε κορεσμένο, με τη στάθμη υδροφόρου ορίζοντα να βρίσκεται στην επιφάνεια του εδάφους. Προτού εφαρμοστεί η σεισμική διέγερση στην εδαφική στρώση, γίνεται στατική επίλυση του συστήματος με σκοπό τον προσδιορισμό των αρχικών τάσεων λόγω ίδιου βάρους και στατικής επιφόρτισης των θεμελίων. Για την επίλυση αυτή, τα πλευρικά όρια του καννάβου δεσμεύονται κατά την οριζόντια διεύθυνση x (κατακόρυφες κυλίσεις), ενώ η βάση του κατά τη κατακόρυφη διεύθυνση y (οριζόντιες κυλίσεις). Σημειώνεται ότι κατά την στατική επίλυση θεωρήθηκαν πλήρως στραγγιζόμενες συνθήκες, όπως αυτές που επικρατούν σε χονδρόκοκκα εδάφη υπό στατική φόρτιση. Προκειμένου να λυθεί η δυναμική φόρτιση, η προσομοίωση που πραγματοποιήθηκε συνδέεται με την απόκριση εύκαμπτου δοχείου (laminar box) που χρησιμοποιείται ευρέως σε πειράματα φυγοκεντρική και σεισμική τράπεζας για την προσομοίωση συνθηκών ελεύθερου πεδίου και επιλέχθηκε να εφαρμοστεί η μέθοδος των «συζευγμένων κόμβων» για τις συνοριακές συνθήκες των πλευρικών κόμβων. Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή οι πλευρικοί κόμβοι του εδαφικού μοντέλου ίδιου υψομέτρου συνδέονται με τη χρήση οριζόντιων καλωδίων όπως φαίνεται στο

Σχήμα 3.5. Η σύνδεση αυτή εξασφαλίζει ότι οι μετακινήσεις των κόμβων που βρίσκονται στο ίδιο ύψος του δεξιού και αριστερού άκρου του προσομοιώματος παραμένουν ίδιες σε όλη τη διάρκεια της δόνησης, όπως συμβαίνει και στη φύση.



Σχήμα 3.5 Σχηματική απεικόνιση δέσμησης αριστερών και δεξιών κόμβων ίδιου υψομέτρου με την χρήση καλωδίων.

3.3.3 Τύποι εδαφών

Για όλες τις αναλύσεις το έδαφος προσομοιώθηκε με μία ήπια κεκλιμένη στρώση κορεσμένης ρευστοποιήσιμης άμμου τύπου Nevada, πάχους 10m με τα εξής εδαφικά χαρακτηριστικά :

- Σχετική πυκνότητα $D_r = 45\%$
- Δείκτης πόρων $e = 0.7178$ (πορώδες $n = 0.418$)
- Ξηρή πυκνότητα $\rho = 1.554 \text{ Mgr/m}^3$
- Διαπερατότητα $k = 6.5 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$

Για να επιτευχθεί αυτό, υιοθετούνται οι τιμές των παραμέτρων του NTUA_SAND που αφορούν στην άμμο Nevada, με βάση τη βαθμονόμηση των Andrianopoulos et al. (2010).

3.3.4 Θεμέλια

Τα θεμέλια τοποθετήθηκαν στην επιφάνεια του εδάφους και προσομοιώθηκαν με εδαφικές ζώνες όπως του εδάφους. Θεωρούνται απολύτως τραχιά, καθώς οι ζώνες τους είναι συνδεδεμένες απολύτως με τις ζώνες του υποκείμενου εδάφους. Τα θεμέλια που προσομοιώθηκαν είχαν πλάτος $B = 5 \text{ m}$ και 20 m . Απλουστευτικά, το ύψος των θεμελίων ήταν πάντα 1 m , ενώ είχαν ειδικό βάρος ίσο με 0.2 KN/m^3 , ώστε να μην δημιουργούνται (ουσιώδεις) αδρανειακές δυνάμεις κατά τη διέγερση. Είχαν διαπερατότητα 10^4 φορές μικρότερη εκείνης του εδάφους, καθιστώντας τα πρακτικώς αδιαπέρατα. Προσομοιώθηκαν ως ελαστικά μέσα με τιμές:

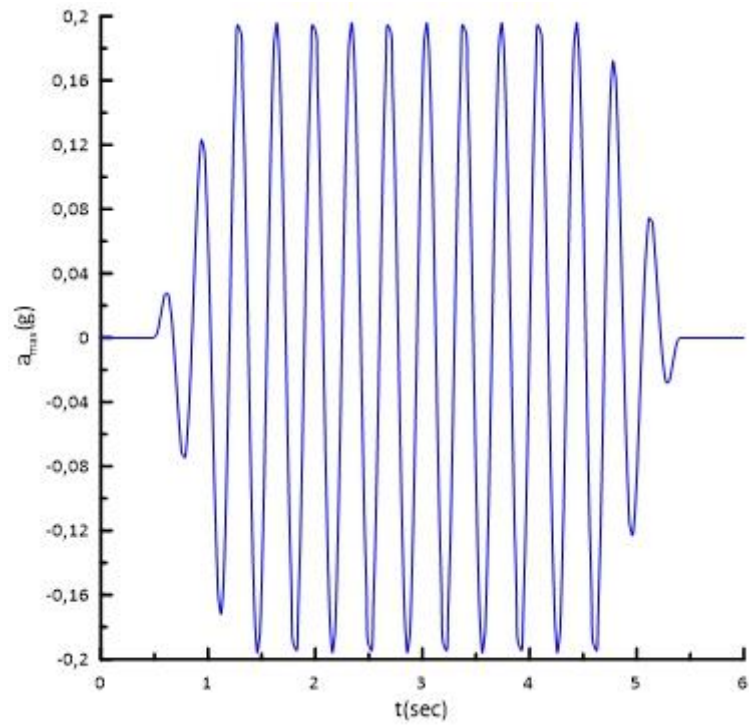
- Μέτρο διάτμησης $G = 1 \text{ GPa}$, Μέτρο ισότροπης συμπίεσης $K = 2 \text{ GPa}$, για $B = 5 \text{ m}$
- Μέτρο διάτμησης $G = 10 \text{ GPa}$, Μέτρο ισότροπης συμπίεσης $K = 20 \text{ GPa}$, για $B = 20 \text{ m}$

Οι τιμές αυτές υποδηλώνουν την άκαμπτη φύση των θεμελίων. Υπογραμμίζεται η ανάγκη αύξησης των ελαστικών σταθερών για το θεμέλιο $B = 20 \text{ m}$, ώστε να εξασφαλιστεί η άκαμπτη απόκρισή τους, παρά το μεγάλο πλάτος. Οι αναλύσεις είναι 2Δ , και τα θεμέλια θεωρούνται απείρου μήκους, δηλαδή θεμελιολωρίδες.

3.3.5 Απόσβεση - Διέγερση

Σε όλες τις αναλύσεις η εδαφική στρώση υποβλήθηκε σε σεισμική διέγερση 10 κύκλων όπως φαίνεται Σχήμα 3.6, περιόδου $T = 0.35 \text{ s}$ και σταθερής μέγιστης επιτάχυνσης a_{\max} . Προκειμένου να εξασφαλιστεί η σταδιακή αύξηση και μείωση της επιβαλλόμενης επιτάχυνσης, προστέθηκαν 2 κύκλοι μικρότερου και μεταβαλλόμενου πλάτους στην αρχή και στο τέλος της διέγερσης αντίστοιχα, και η επιβολή της διέγερσης έγινε στη βάση του καννάβου. Οι αναλύσεις έγιναν για $a_{\max} = 0.2 \text{ g}$. Σε όλες τις αναλύσεις θεωρήθηκε ελάχιστη απόσβεση 2% (ανεξάρτητης της συχνότητας), καθώς το

προσομοίωμα NTUA_SAND αποδίδει την πραγματική υστερητική απόσβεση του εδάφους κατά τη διάρκεια της διέγερσης.



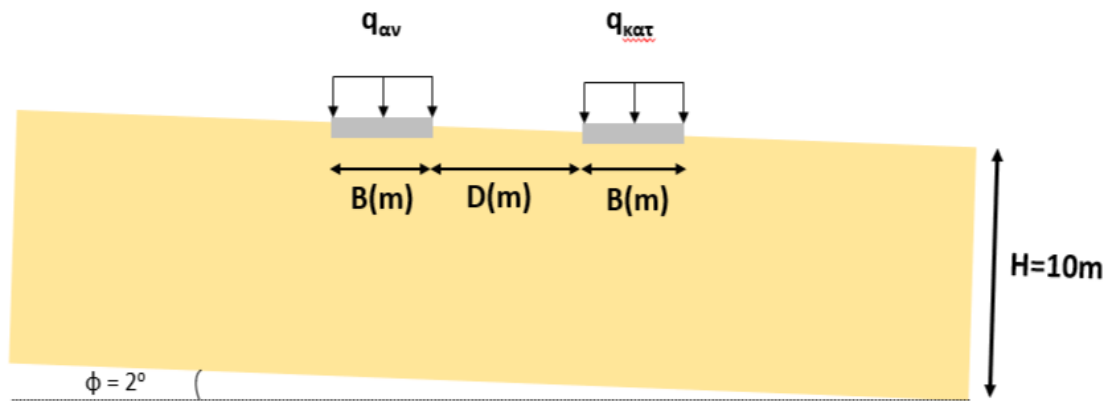
Σχήμα 3.6 Επιβαλλόμενη σεισμική διέγερση βάσης.

4. Αλληλεπίδραση δίδυμων θεμελίων σε ήπια κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση

4.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των αναλύσεων που πραγματοποιήθηκαν για γειτονικές κατασκευές ίδιου πλάτους και ίδιου φορτίου σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη εδαφική στρώση υπό ίδια σεισμική διέγερση. Στόχος είναι η μελέτη της αναπτυσσόμενης αλληλεπίδρασης κατασκευής – εδάφους – κατασκευής υπό συνθήκες ήπιας κλίσης εδάφους, όταν οι δύο κατασκευές είναι ολόιδιες (δίδυμες). Η αλληλεπίδραση μελετάται κυρίως σε όρους (μέσης) καθίζησης, οριζόντιας μετακίνησης και στροφής των τραχιών και άκαμπτων θεμελίων. Ως απόκριση αναφοράς θεωρείται η απόκριση μίας ίδιας μεμονωμένης κατασκευής στην ίδια κεκλιμένη στρώση, υπό την ίδια διέγερση. Επιπλέον, αποκρίσεις αναφοράς θεωρούνται η απόκριση μίας ίδιας μεμονωμένης κατασκευής στην ίδια στρώση αν ήταν οριζόντια σε ό,τι αφορά στη (μέση) καθίζηση της κατασκευής, και η απόκριση της κεκλιμένης στρώσης χωρίς κατασκευή (ανάλυση ελευθέρου πεδίου) σε ό,τι αφορά στην οριζόντια μετακίνηση της κατασκευής. Ενδιαφέρον παρουσιάζει επίσης η κατανομή της συσσωρευμένης παραμόρφωσης γ και του λόγου υπερπίεσεων πόρων u στο έδαφος υπό των θεμελίων στο τέλος της διέγερσης, η οποία μελετάται μέσω διαγραμμάτων ισοκαμπυλών.

Στο παρακάτω Σχήμα 4.1 απεικονίζεται η τυπική διάταξη του προβλήματος με ομοιόμορφη στρώση άμμου πάχους $H = 10$ m και ήπιας κλίσης 2° επί της οποίας εδράζονται δύο επιφανειακές κατασκευές ίσου πλάτους B και ομοιόμορφων φορτίων $q_{\text{ανάντη}}$ και $q_{\text{κατάντη}}$, με ενδιάμεση απόσταση D υπό αρμονική διέγερση βάσης με μέγιστη εδαφική επιτάχυνση $a_{\text{max}} = 0.2$ g. Στο παρόν κεφάλαιο ισχύει ότι $q_{\text{ανάντη}} = q_{\text{κατάντη}} = q$, ώστε να επιτυγχάνεται ο στόχος να μελετηθούν δίδυμα θεμέλια.



Σχήμα 4.1 Σκαρίφημα διάταξης ζεύγους θεμελίων πλάτους B , φορτίων έδρασης q_{av} και $q_{κατ}$ σε ενδιάμεση απόσταση D εδραζόμενων σε ήπια κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση πάχους H υπό αρμονική διέγερση μέγιστης επιτάχυνσης $a_{max} = 0.2 g$ για τον υπολογισμό καθιζήσεων $z(m)$, οριζόντιας μετακίνησης $x(m)$ και στροφής $\theta(^{\circ})$ αυτών.

Παρακάτω παρατίθενται οι συγκεντρωτικοί Πίνακες 4.1 και 4.2, όπου παρουσιάζονται τα παραμετρικά χαρακτηριστικά κάθε ανάλυσης που πραγματοποιήθηκε για τις ανάγκες του παρόντος κεφαλαίου. Ο Πίνακας 4.1 παρουσιάζει τις αναλύσεις για την περίπτωση δίδυμων κατασκευών, ενώ ο Πίνακας 4.2 συνοψίζει τις αναλύσεις αναφοράς για μονή ίδια κατασκευή στο ίδιο έδαφος υπό την ίδια διέγερση. Οι τελευταίες έχουν γίνει είτε σε ήπια κεκλιμένο είτε σε οριζόντιο έδαφος, ενώ οι πρώτες μόνο σε ήπια κεκλιμένο έδαφος. Επισημαίνεται ότι υπάρχει και μία ανάλυση αναφοράς ελευθέρου πεδίου για έδαφος $H = 10 m$ υπό κλίση 2° υπό την ίδια διέγερση, δηλαδή για την περίπτωση ήπια κεκλιμένης στρώσης χωρίς κατασκευή. Διευκρινίζεται τέλος ότι οι καθιζήσεις θεμελίου εμφανίζονται αρνητικές όταν υποδηλώνουν συμπίεση του εδάφους, οι οριζόντιες μετακινήσεις θετικές όταν είναι προς τα κατάντη (δεξιά) και οι στροφές αρνητικές όταν είναι ημερολογιακές (προς τα κατάντη).

Πίνακας 4.1 Χαρακτηριστικά αναλύσεων για σεισμική απόκριση ζεύγους δίδυμων θεμελίων επί ρευστοποιήσιμης στρώσης πάχους $H = 10$ m και κλίσης 2° που εκτελέστηκαν για τις ανάγκες του παρόντος κεφαλαίου.

	$B_{av}(m)$	$q_{av}(kPa)$	$D(m)$	$q_{κατ}(kPa)$	$B_{κατ}(m)$
4.2	5	100	5	100	5
4.3	5	100	2.5	100	5
	5	100	10	100	5
	5	100	20	100	5
4.4	5	50	5	50	5
	5	200	5	200	5
4.5	20	100	5	100	20
	20	100	20	100	20
Παράρτημα Α	5	50	2.5	50	5
	5	50	10	50	5
	5	50	20	50	5
	5	200	10	200	5
	5	200	20	200	5

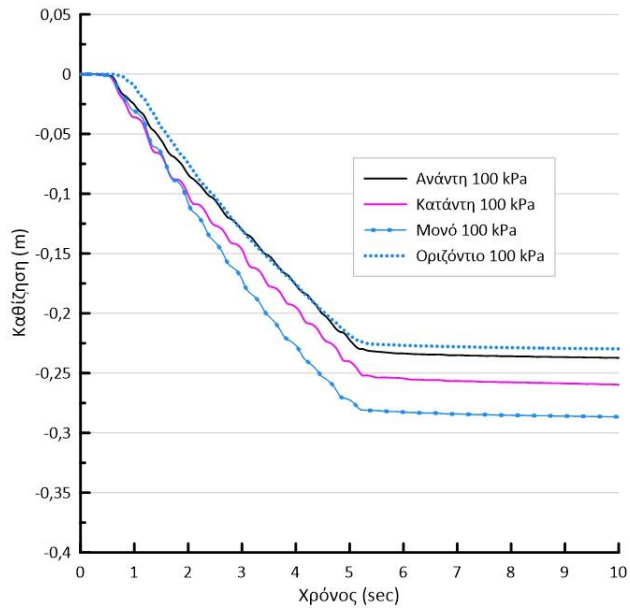
Πίνακας 4.2 Χαρακτηριστικά αναλύσεων αναφοράς για σεισμική απόκριση μονού θεμελίου επί ρευστοποιήσιμης στρώσης πάχους $H = 10$ m και κλίσης 2° που εκτελέστηκαν για τις ανάγκες του παρόντος κεφαλαίου.

B (m)	q (kPa)
5	100
5	50
5	200
20	100

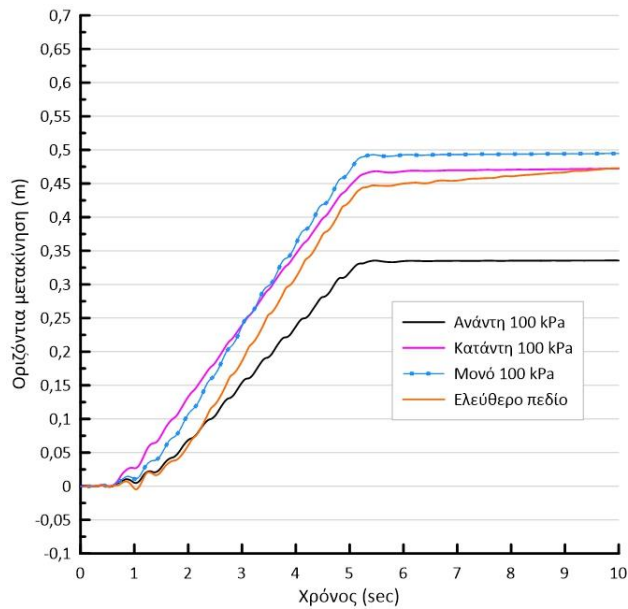
Συνεπώς, στην παράγραφο 4.2 παρουσιάζεται λεπτομερώς η τυπική απόκριση ενός ζεύγους διδύμων θεμελίων με αφορμή τις αναλύσεις για $B = 5$ m σε απόσταση $D = 5$ m υπό φορτίο $q = 100$ kPa, συγκρίνοντας την με την απόκριση του ελευθέρου πεδίου και με εκείνη του ίδιου μονού θεμελίου σε κεκλιμένη και οριζόντια στρώση. Στη συνέχεια, στην παράγραφο 4.3 θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα για τα ίδια δίδυμα θεμέλια, αλλά σε άλλες αποστάσεις $D = 2.5, 10$ και 20 m, ώστε να διερευνηθεί η επίδραση της απόστασης D , σε σύγκριση με τα αποτελέσματα για $D = 5$ m (στην παράγραφο 4.2). Μετά, στην παράγραφο 4.4 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για δίδυμα θεμέλια πλάτους $B = 5$ m σε απόσταση $D = 5$ m, αλλά με άλλα φορτία $q = 50$ και 200 kPa, ώστε να διερευνηθεί η επίδραση του φορτίου q , σε σύγκριση πάντα με τα αποτελέσματα για $q = 100$ kPa στην παράγραφο 4.2. Τέλος, στην παράγραφο 4.5 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για θεμέλια μεγάλου πλάτους ($B = 20$ m), ώστε να διερευνηθεί η επίδραση του πλάτους θεμελίου B στην αλληλεπίδραση, σε σύγκριση με τα αποτελέσματα για $B = 5$ m στην παράγραφο 4.2. Υπογραμμίζεται ότι υπάρχουν αναλύσεις των οποίων τα χαρακτηριστικά εμπεριέχονται μεν στους Πίνακες 4.1 και 4.2, αλλά τα αποτελέσματά τους δεν παρουσιάζονται αναλυτικά στο παρόν κεφάλαιο, χάριν συντομίας. Παρόλα αυτά εμπεριέχονται στο Παράρτημα Α για τον ενδιαφερόμενο αναγνώστη.

4.2 Τυπική απόκριση διδύμων θεμελίων

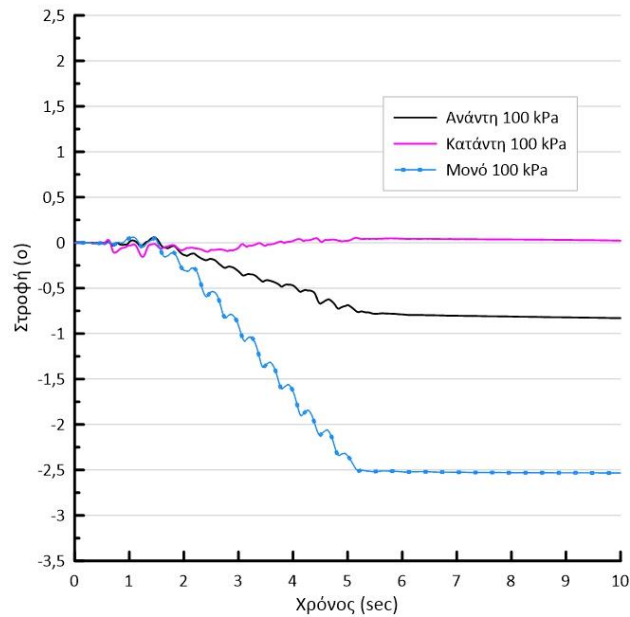
Στην παράγραφο αυτή εξετάζεται η σεισμική απόκριση διδύμων θεμελίων πλάτους $B = 5$ m σε απόσταση $D = 5$ m υπό αρμονική σεισμική διέγερση μέγιστης επιτάχυνσης 0.2 g για φορτίο $q = 100$ kPa, σε σύγκριση με τις προαναφερθείσες αναλύσεις αναφοράς. Έτσι, στα Σχήματα 4.2 έως 4.4 παρουσιάζονται οι χρονοϊστορίες (μέσης) καθίζησης, οριζόντιας μετακίνησης και στροφής των ανωτέρω διδύμων θεμελίων.



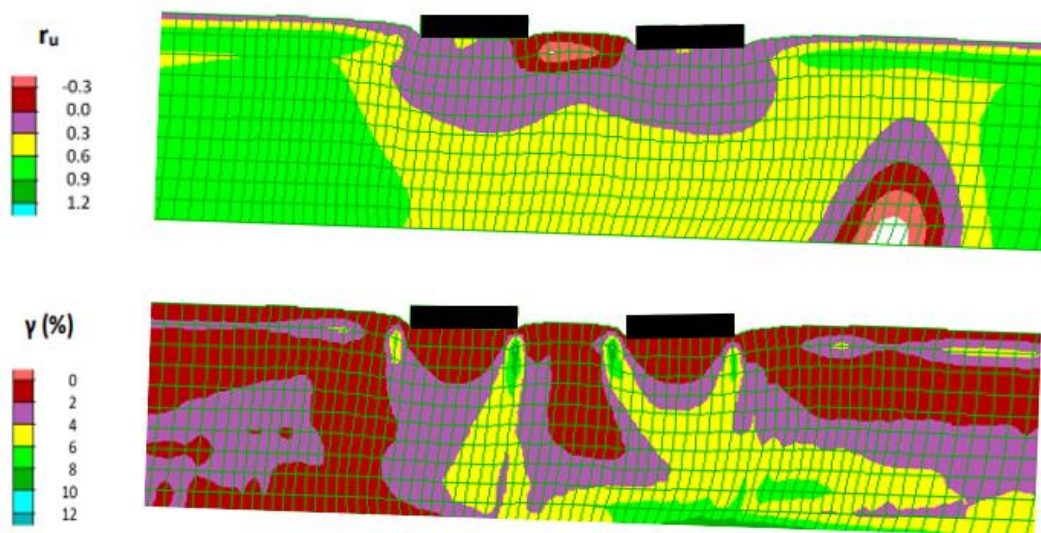
Σχήμα 4.2 Χρονοϊστορίες καθίζησης θεμελίων είτε σε οριζόντια ή σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 5 \text{ m}$, ίδια φορτία $q_{αν} = 100 \text{ kPa}$ και $q_{κατ} = 100 \text{ kPa}$, σε απόσταση $D = 5 \text{ m}$, και σύγκριση με τις καθιζήσεις του ίδιου θεμελίου αν ήταν μεμονωμένο ή οριζόντιο.



Σχήμα 4.3 Χρονοϊστορίες οριζόντιας μετακίνησης θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 5 \text{ m}$, ίδια φορτία $q_{αν} = 100 \text{ kPa}$ και $q_{κατ} = 100 \text{ kPa}$, σε απόσταση $D = 5 \text{ m}$, και σύγκριση με την οριζόντια μετακίνηση ελεύθερου πεδίου.



Σχήμα 4.4 Χρονοϊστορίες στροφής θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 5 \text{ m}$, ίδια φορτία $q_{αν} = 100 \text{ kPa}$ και $q_{κατ} = 100 \text{ kPa}$, σε απόσταση $D = 5 \text{ m}$, και σύγκριση με τις καθιζήσεις του ίδιου θεμελίου αν ήταν μεμονωμένο.

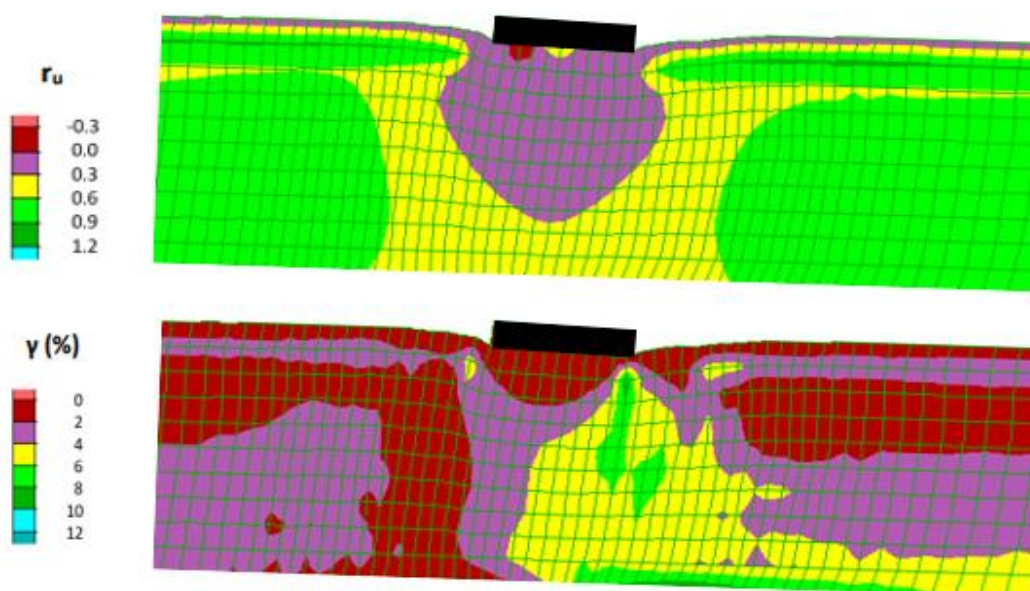


Σχήμα 4.5 Ισοκαμπύλες συντελεστή υπερπίεσης πόρων r_u και συσσωρευμένης διατμητικής παραμόρφωσης γ στο έδαφος κάτω από δίδυμα θεμέλια (πλάτους $B = 5 \text{ m}$, φορτίου έδρασης $q = 100 \text{ kPa}$) με ενδιάμεση απόσταση $D = 5 \text{ m}$, σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση.

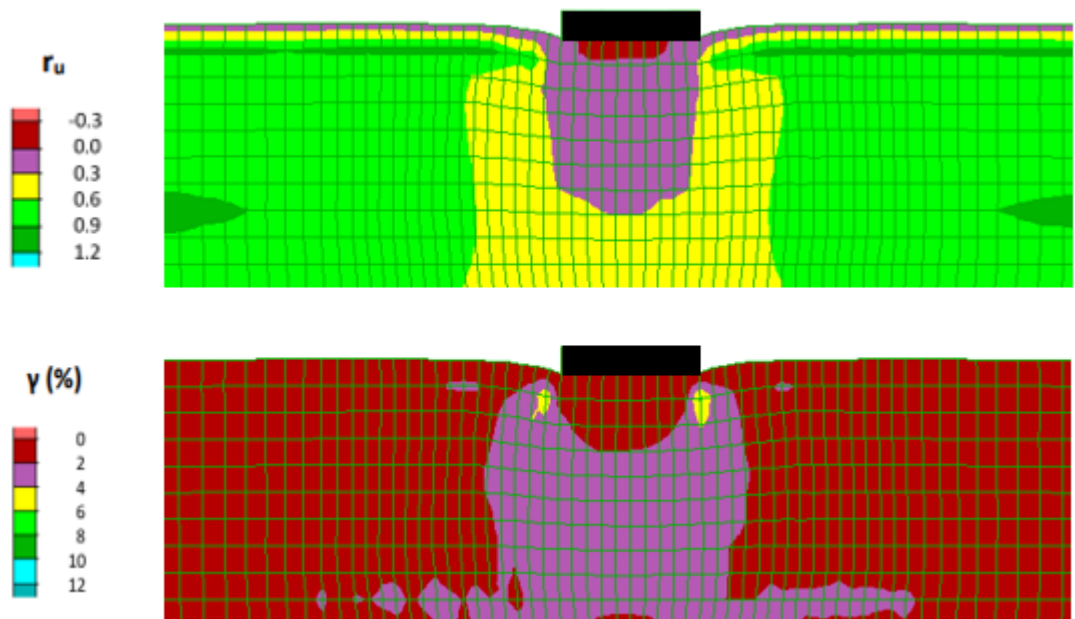
Συνοπτικά προκύπτει ότι η ήπια κλίση του εδάφους μεγαλώνει τις καθιζήσεις των στενών θεμελίων τους επιβάλλει οριζόντια μετατόπιση αλλά και στροφή. Σε απόσταση $D = 5 \text{ m}$ (που αντιστοιχεί σε $D/B = 1$), τα δίδυμα θεμέλια έχουν μικρότερες καθιζήσεις, οριζόντιες μετατοπίσεις και στροφές απ' ό,τι αν ήταν μεμονωμένα, δηλαδή η αλληλεπίδραση κατασκευής – εδάφους –

κατασκευής είναι συνολικά ευεργετική. Δηλαδή το ένα θεμέλιο «προστατεύει» το άλλο, με το ανάντη θεμέλιο να είναι πιο προστατευμένο σε όρους οριζόντιας μετατόπισης και καθίζησης, ενώ το κατόντη να προστατεύεται περισσότερο σε όρους στρώσης.

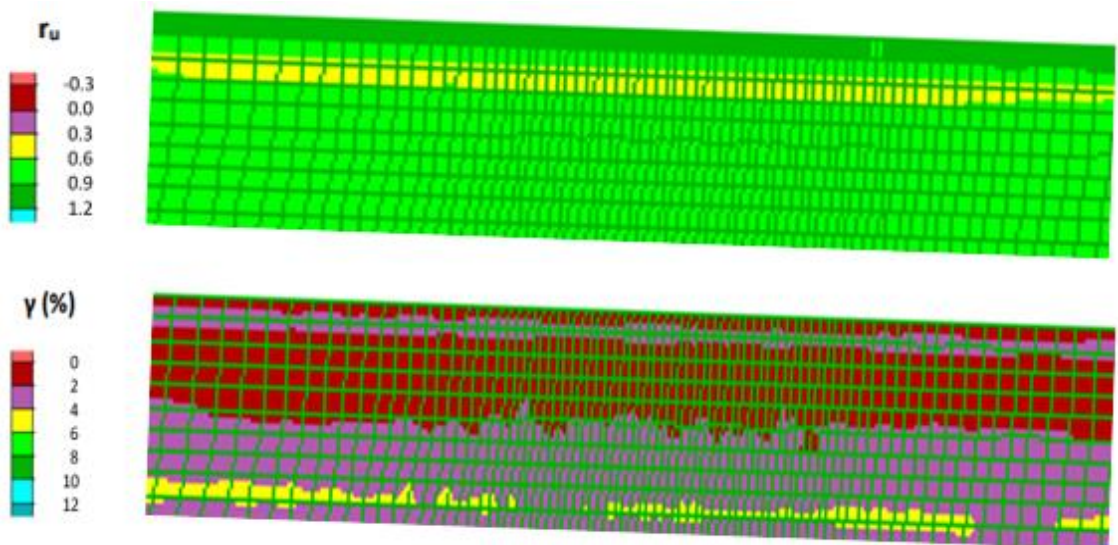
Ενδιαφέρον παρουσιάζουν και οι κατανομές της διατμητικής παραμόρφωσης γ και του λόγου υπερπίεσεων πόρων r_u στο έδαφος θεμελίωσης. Για τα δίδυμα θεμέλια οι κατανομές παρουσιάζονται στο Σχήμα 4.5, ενώ στα Σχήματα 4.6, 4.7 και 4.8 δίνονται οι αντίστοιχες κατανομές για το ίδιο μεμονωμένο θεμέλιο σε κεκλιμένη στρώση, σε οριζόντια στρώση και για την ανάλυση ελεύθερου πεδίου (αναλύσεις αναφοράς). Προκύπτει ότι η πλευρική εξάπλωση δημιουργεί μια επιφάνεια ολίσθησης στη βάση της ρευστοποιήσιμης στρώσης στην περίπτωση του μονού θεμελίου. Η κατασκευή του θεμελίου επιφέρει πρόσθετες καθιζήσεις σε σχέση με εκείνη του ελεύθερου πεδίου όπου είναι πρακτικώς μηδενικές. Η στρόφη του μονού θεμελίου είναι αρκετά κοντά με την ήπια κλίση του εδάφους.



Σχήμα 4.6 Ισοκαμπύλες συντελεστή υπερπίεσης πόρων r_u και συσσωρευμένης διατμητικής παραμόρφωσης γ στο έδαφος κάτω από μονό θεμέλιο (πλάτους $B = 5$ m, φορτίου έδρασης $q = 100$ kPa), σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση.



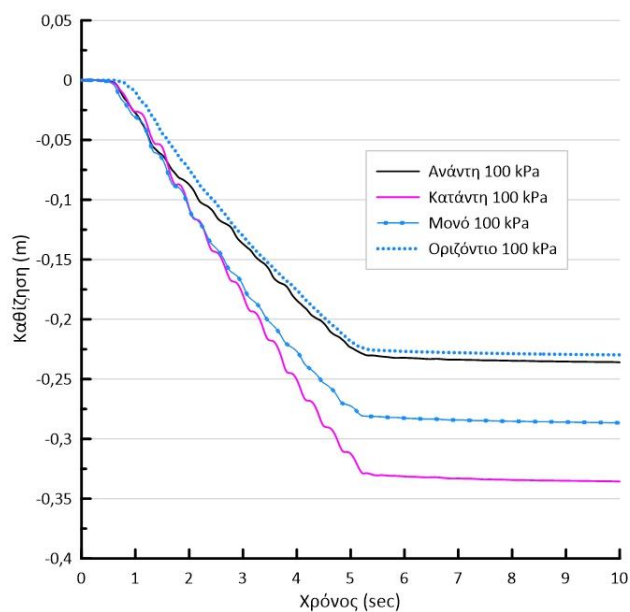
Σχήμα 4.7 Ισοκαμπύλες συντελεστή υπερπίεσης πόρων r_u και συσσωρευμένης διατμητικής παραμόρφωσης γ στο έδαφος κάτω από μονό θεμέλιο (πλάτους $B = 5 \text{ m}$, φορτίου έδρασης $q = 100 \text{ kPa}$), σε οριζόντια ρευστοποιήσιμη στρώση.



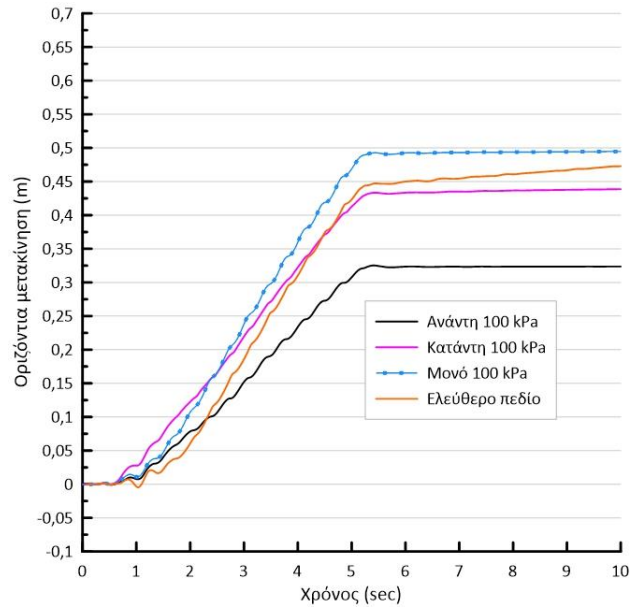
Σχήμα 4.8 Ισοκαμπύλες συντελεστή υπερπίεσης πόρων r_u και συσσωρευμένης διατμητικής παραμόρφωσης γ σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση χωρίς θεμέλιο (ανάλυση ελευθέρου πεδίου).

4.3 Επίδραση απόστασης δίδυμων θεμελίων

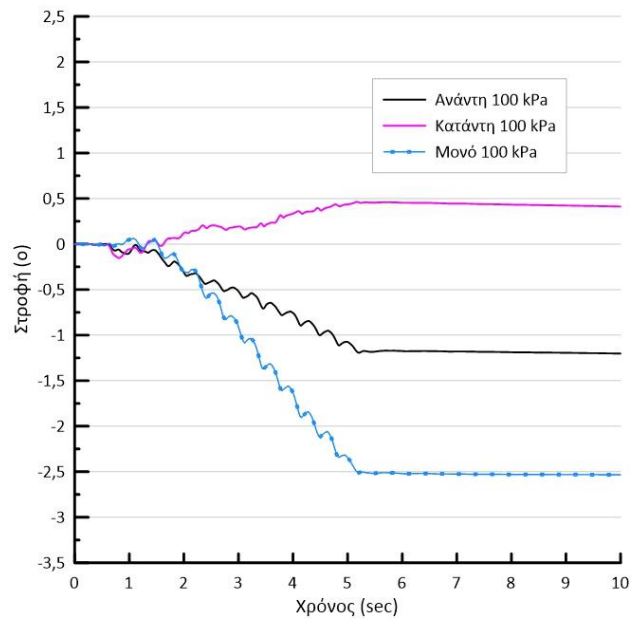
Στην παράγραφο αυτή θα διερευνηθεί η επιρροή της ενδιάμεσης απόστασης D μεταξύ των δίδυμων θεμελίων και πώς αυτή επηρεάζει τις χρονοϊστορίες καθιζήσεων, οριζοντίων μετακινήσεων και στροφών των θεμελίων και τις τελικές τιμές των μεγεθών αυτών. Οι ενδιάμεσες αποστάσεις που επιλέχθηκαν είναι $D = 2.5, 10$ και 20 m (που αντιστοιχούν σε λόγους $D/B = 0.5, 2$ και 4 αντίστοιχα) με τα θεμέλια να έχουν κοινό φορτίο έδρασης ίσο με $q = 100$ kPa. Τα αποτελέσματα που θα προκύψουν είναι άμεσα συγκρίσιμα με την αρχική περίπτωση θεμελίων με ενδιάμεση απόσταση $D = 5$ m (Παραγράφου 4.2). Αρχικώς, στα Σχήματα 4.9, 4.10 και 4.11 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των χρονοϊστοριών καθίζησης, οριζόντιας μετακίνησης και στροφής, για ενδιάμεση απόσταση $D = 2.5$ m μεταξύ των θεμελίων.



Σχήμα 4.9 Χρονοϊστορίες καθίζησης θεμελίων είτε σε οριζόντια ή σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 5$ m, ίδια φορτία $q_{av} = 100$ kPa και $q_{κατ} = 100$ kPa, σε απόσταση $D = 2.5$ m, και σύγκριση με τις καθιζήσεις του ίδιου θεμελίου αν ήταν μεμονωμένο ή οριζόντιο.



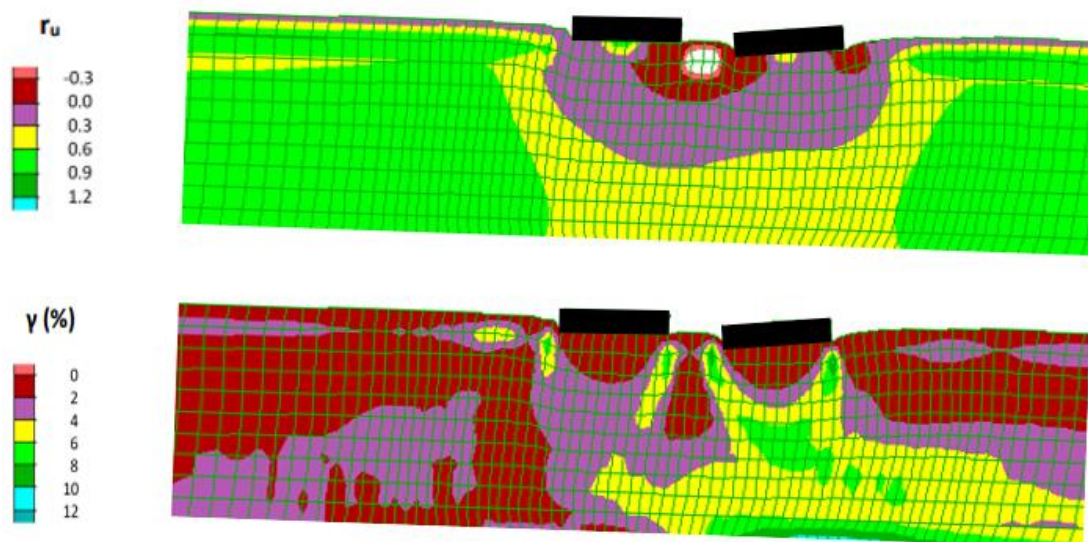
Σχήμα 4.10 Χρονοϊστορίες οριζόντιας μετακίνησης θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 5 \text{ m}$, ίδια φορτία $q_{αν} = 100 \text{ kPa}$ και $q_{κατ} = 100 \text{ kPa}$, σε απόσταση $D = 2.5 \text{ m}$, και σύγκριση με την οριζόντια μετακίνηση του ελεύθερου πεδίου.



Σχήμα 4.11 Χρονοϊστορίες στροφής θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 5 \text{ m}$, ίδια φορτία $q_{αν} = 100 \text{ kPa}$ και $q_{κατ} = 100 \text{ kPa}$, σε απόσταση $D = 2.5 \text{ m}$, και σύγκριση με τις καθιζήσεις του ίδιου θεμελίου αν ήταν μεμονωμένο.

Στο Σχήμα 4.9 φαίνεται η επίδραση που επέφερε η μείωση της ενδιάμεσης απόστασης ειδικά στο κατάντη θεμέλιο ξεπερνώντας την τελική καθίζηση του μεμονωμένου θεμελίου. Συγκρίνοντας την δε με την αρχική

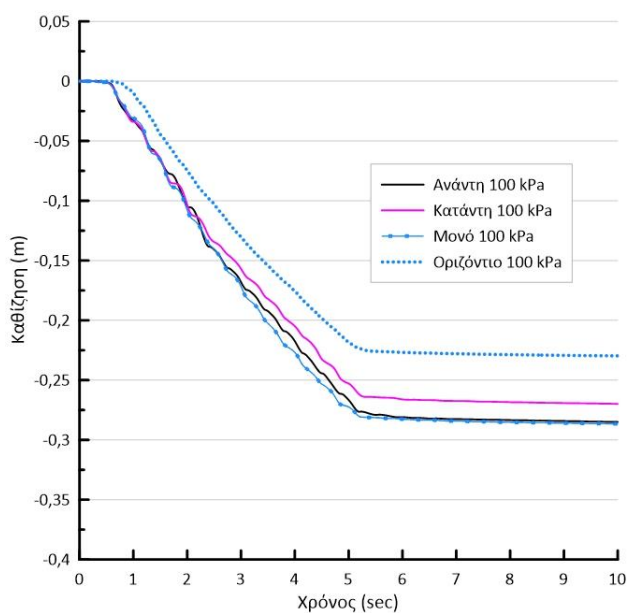
περίπτωση για ενδιάμεση απόσταση $D = 5 \text{ m}$ (Σχήμα 4.2) είναι σαφώς μεγαλύτερη, ενώ το ανάντη θεμέλιο και στις δύο περιπτώσεις έδειξε να προσεγγίζει την περίπτωση του οριζόντιου θεμελίου. Παρόμοια ήταν επίσης η συμπεριφορά του ανάντη θεμελίου στο Σχήμα 4.10 με την τελική οριζόντια μετακίνηση να έχει μειωθεί συγκριτικά με την αντίστοιχη που είχε στο Σχήμα 4.3 για τη περίπτωση με ενδιάμεση απόσταση $D = 5 \text{ m}$. Το κατάντη θεμέλιο έχει μειωμένη τελική οριζόντια μετακίνηση, δηλαδή και τα δύο θεμέλια ευνοήθηκαν με την μείωση της ενδιάμεσης απόστασης. Στο Σχήμα 4.11 παρουσιάζονται οι χρονοϊστορίες των στροφών να είναι σαφώς μικρότερες από την αντίστοιχες του μεμονωμένου (όπως και για $D = 5 \text{ m}$), αλλά μεγαλύτερες τελικές στροφές είχαν και τα δύο θεμέλια από εκείνες που φαίνονται στο Σχήμα 4.4.



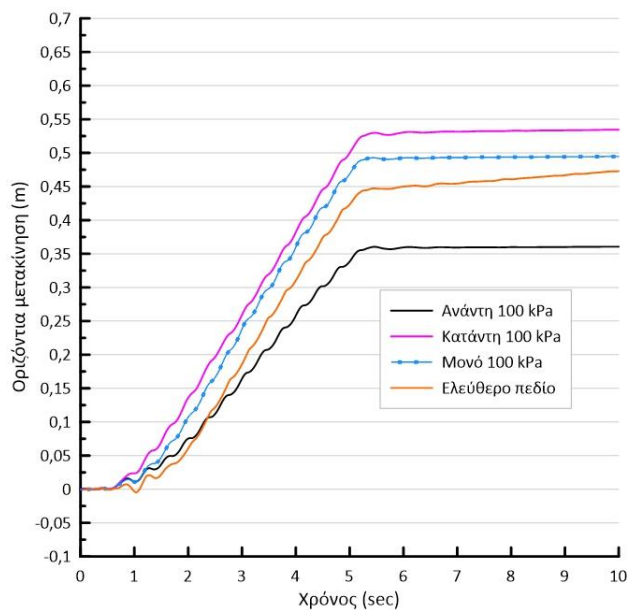
Σχήμα 4.12 Ισοκαμπύλες συντελεστή υπερπίεσης πόρων r_u και συσσωρευμένης διατμητικής παραμόρφωσης γ στο έδαφος κάτω από δίδυμα θεμέλια (πλάτους $B = 5 \text{ m}$, φορτίου έδρασης $q = 100 \text{ kPa}$) με ενδιάμεση απόσταση $D = 2.5 \text{ m}$, σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση.

Στο Σχήμα 4.12 φαίνονται οι ισοκαμπύλες του συντελεστή υπερπίεσεων πόρων u και της διατμητικής παραμόρφωσης γ στο έδαφος δίδυμων θεμελίων (πλάτους $B = 5$ m, φορτίου έδρασης $q = 100$ kPa) με ενδιάμεση απόσταση $D = 2.5$ m. Η διατμητική αστοχία του εδάφους γίνεται πιο έντονη στην περιοχή του κατάντη θεμελίου, ενώ το ανάποδο συμβαίνει κάτω από το ανάντη θεμέλιο, σε σύγκριση πάντα με την εικόνα στο Σχήμα 4.5 που αφορά δίδυμα θεμέλια με ενδιάμεση απόσταση $D = 5$ m. Ο συντελεστής υπερπίεσης πόρων u δεν έχει μεγάλες διαφορές συγκριτικά με την εικόνα στο Σχήμα 4.5.

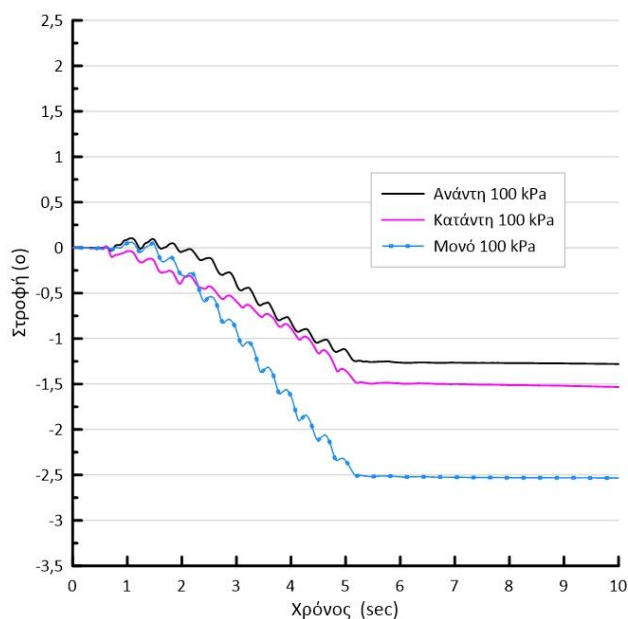
Στην συνέχεια παρουσιάζονται τα αντίστοιχα αποτελέσματα των αναλύσεων για ενδιάμεση απόσταση μεταξύ των θεμελίων ίση με $D = 10$ m (που αντιστοιχεί σε λόγο $D/B = 2$) στα Σχήματα 4.13, 4.14 και 4.15.



Σχήμα 4.13 Χρονοϊστορίες καθίζησης θεμελίων είτε σε οριζόντια ή σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 5$ m ίδια φορτία $q_{av} = 100$ kPa και $q_{κατ} = 100$ kPa, σε απόσταση $D = 10$ m, και σύγκριση με τις καθιζήσεις του ίδιου θεμελίου αν ήταν μεμονωμένο ή οριζόντιο.



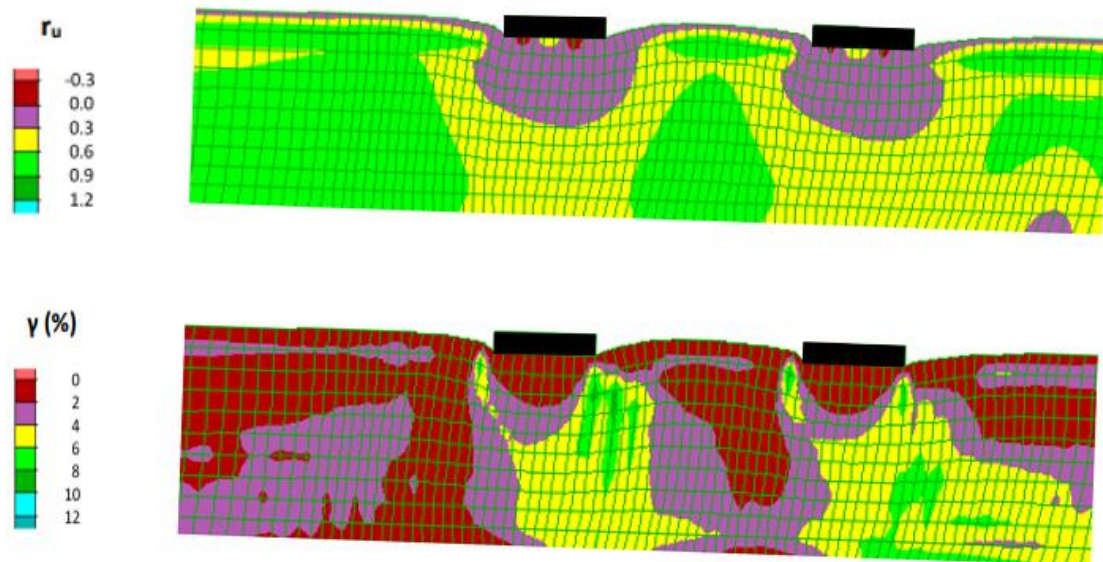
Σχήμα 4.14 Χρονοϊστορίες οριζόντιας μετακίνησης θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 5 \text{ m}$, ίδια φορτία $q_{αν} = 100 \text{ kPa}$ και $q_{κατ} = 100 \text{ kPa}$, σε απόσταση $D = 10 \text{ m}$, και σύγκριση με την οριζόντια μετακίνηση ελεύθερου πεδίου.



Σχήμα 4.15 Χρονοϊστορίες στροφής θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 5 \text{ m}$, ίδια φορτία $q_{αν} = 100 \text{ kPa}$ και $q_{κατ} = 100 \text{ kPa}$, σε απόσταση $D = 10 \text{ m}$, και σύγκριση με τις καθιζήσεις του ίδιου θεμελίου αν ήταν μεμονωμένο.

Στο Σχήμα 4.13 είναι εμφανής ότι η συμπεριφορά του ανάντη θεμελίου προσεγγίζει εκείνης του μεμονωμένου θεμελίου σε όρους καθιζήσεων, όπου μέχρι πρότινος προσέγγιζε την συμπεριφορά του οριζόντιου τόσο στην αρχική περίπτωση για ενδιάμεση απόσταση $D = 5 \text{ m}$ (Σχήμα 4.2) όσο και σε αυτήν

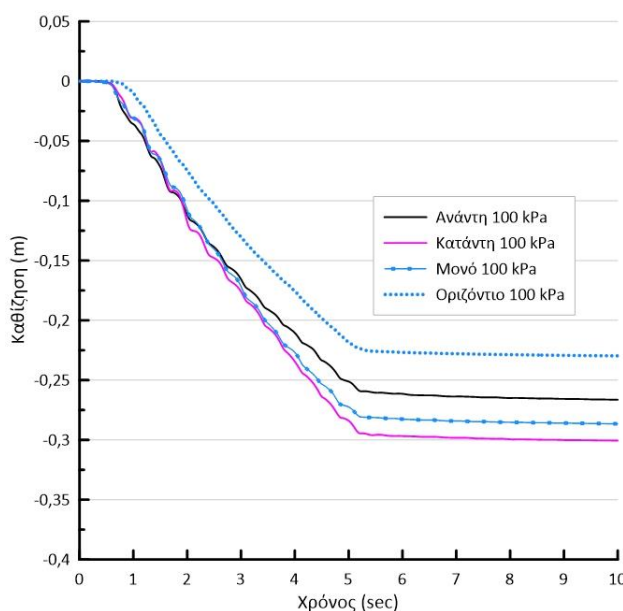
που αναλύθηκε προηγουμένως με ενδιάμεση απόσταση $D = 2.5 \text{ m}$ (Σχήμα 4.9). Στις αντίστοιχες χρονοϊστορίες οριζόντιας μετακίνησης και στροφής που φαίνονται στα Σχήματα 4.14 και 4.15, το κατάντη θεμέλιο έδειξε να επηρεάζεται αρνητικά με την αύξηση της ενδιάμεσης απόστασης D , καθώς προέκυψε να έχει μεγαλύτερη οριζόντια μετακίνηση από την αντίστοιχη του μεμονωμένου και η στροφή να είναι μεγαλύτερη πλησιάζοντας την κλίση του εδάφους. Με βάση τα αποτελέσματα των στροφών θεμελίων, είναι η πρώτη φορά που το κατάντη θεμέλιο αναπτύσσει ωρολογιακή στροφή (σαν εκείνης του εδάφους), ενώ στις προηγούμενες είτε ήταν περίπου μηδενική ($D = 5 \text{ m}$, Σχήμα 4.4) είτε έχοντας στροφή αλλά αντι-ωρολογιακή ($D = 2.5 \text{ m}$, Σχήμα 4.11).



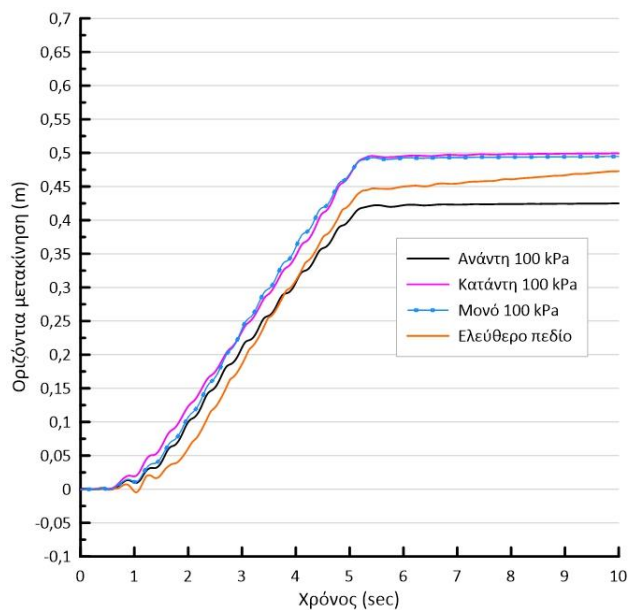
Σχήμα 4.16 Ισοκαμπύλες συντελεστή υπερπίεσης πόρων r_u και συσσωρευμένης διατμητικής παραμόρφωσης γ στο έδαφος κάτω από δίδυμα θεμέλια (πλάτους $B = 5 \text{ m}$, φορτίου έδρασης $q = 100 \text{ kPa}$) με ενδιάμεση απόσταση $D = 10 \text{ m}$, σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση.

Στο Σχήμα 4.16 φαίνονται οι ισοκαμπύλες του συντελεστή υπερπίεσεων πόρων r_u και της παραμόρφωσης γ στο έδαφος δίδυμων θεμελίων (πλάτους $B = 5$ m, φορτίου έδρασης $q = 100$ kPa) με ενδιάμεση απόσταση $D = 10$ m. Η διατμητική παραμόρφωση του εδάφους ήταν περίπου κοινή όσον αφορά την περιοχή γύρω από το κατάντη θεμέλιο σε σχέση με την περίπτωση όπου τα θεμέλια είχαν ενδιάμεση απόσταση ίση με $D = 5$ m (Σχήμα 4.5), ενώ στη ανάντη περιοχή προσεγγίζει την περίπτωση του μεμονωμένου (Σχήμα 4.6). Ο συντελεστής υπερπίεσης πόρων παρουσιάζει αρκετά κοινά στοιχεία με την περίπτωση του μεμονωμένου θεμελίου (Σχήμα 4.6). Στην πράξη, οι μηχανισμοί αστοχίας και τα προφίλ ανάπτυξης υπερπίεσεων πόρων r_u αρχίζουν να έχουν μειωμένη αλληλο-συσχέτιση για απόσταση $D = 10$ m.

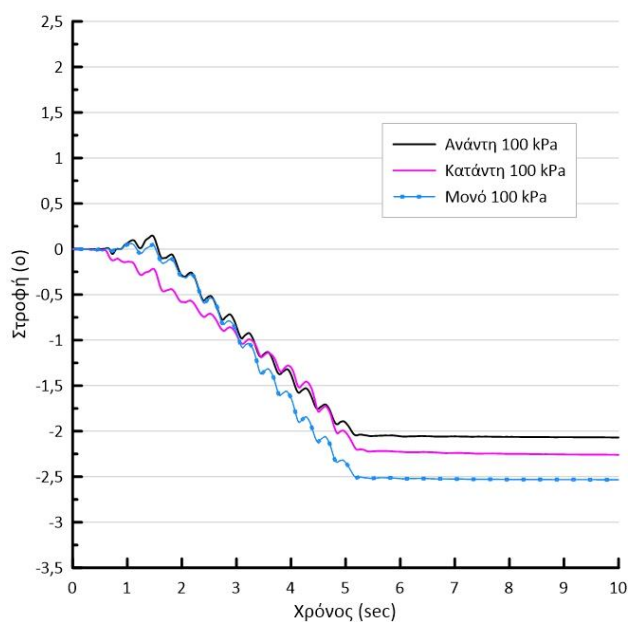
Η τελευταία περίπτωση που εξετάζεται σε αυτήν την ενότητα είναι τα δίδυμα θεμέλια να έχουν ενδιάμεση απόσταση $D = 20$ m (που αντιστοιχεί με $D/B = 4$). Στα Σχήματα 4.17, 4.18 και 4.19 παρουσιάζονται οι χρονοϊστορίες καθίζησης, οριζόντιας μετακίνησης και στροφής των δίδυμων θεμελίων, για απόσταση $D = 20$ m μεταξύ τους.



Σχήμα 4.17 Χρονοϊστορίες καθίζησης θεμελίων είτε σε οριζόντια ή σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 5$ m, ίδια φορτία $q_{av} = 100$ kPa και $q_{κατ} = 100$ kPa, σε απόσταση $D = 20$ m, και σύγκριση με τις καθιζήσεις του ίδιου θεμελίου αν ήταν μεμονωμένο ή οριζόντιο.



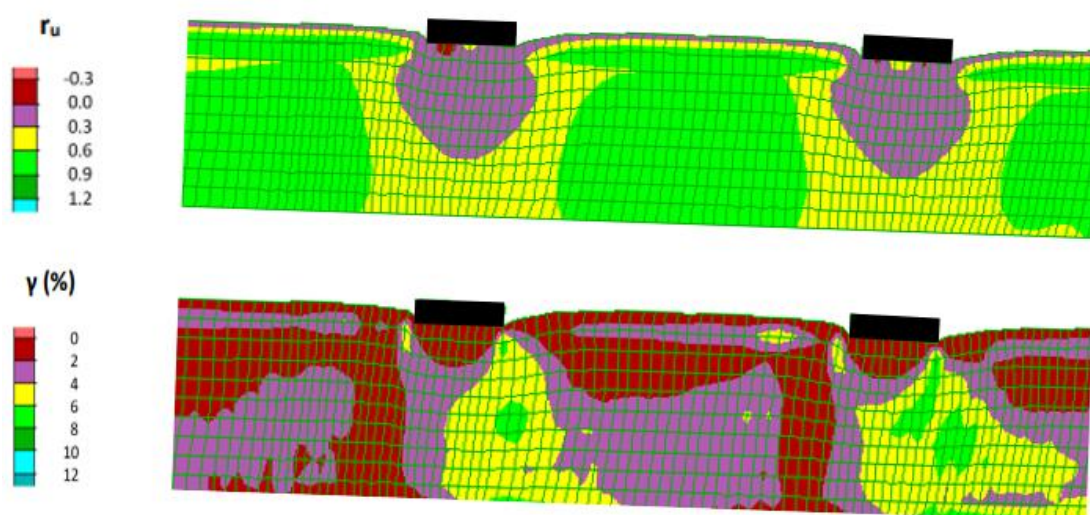
Σχήμα 4.18 Χρονοϊστορίες οριζόντιας μετακίνησης θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 5$ m, ίδια φορτία $q_{αν} = 100$ kPa και $q_{κατ} = 100$ kPa, σε απόσταση $D = 20$ m, και σύγκριση με την οριζόντια μετακίνηση του ελεύθερου πεδίου.



Σχήμα 4.19 Χρονοϊστορίες στροφής θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 5$ m, ίδια φορτία $q_{αν} = 100$ kPa και $q_{κατ} = 100$ kPa, σε απόσταση $D = 20$ m, και σύγκριση με τις καθιζήσεις του ίδιου θεμελίου αν ήταν μεμονωμένο.

Στην χρονοϊστορία της καθίζησης όπως αυτή φαίνεται στο Σχήμα 4.17 είναι εμφανές ότι η τελική καθίζηση του κατάντη θεμέλιου ξεπερνά την αντίστοιχη που είχε το ίδιο θεμέλιο ως μεμονωμένο. Παρατηρώντας τα προηγούμενα αποτελέσματα των χρονοϊστοριών καθιζήσεων (Σχήμα 4.2,

Σχήμα 4.9 και Σχήμα 4.13) είναι η πρώτη φορά όπου κάποιο θεμέλιο από την περίπτωση των δίδυμων θεμελίων έχει μεγαλύτερη τελική καθίζηση από την περίπτωση του μεμονωμένου. Δείχνει να επηρεάζεται αρνητικά λόγω της αύξησης που επήλθε στην ενδιάμεση απόσταση D . Αρνητικά επηρεάστηκε κι η χρονοϊστορία της οριζόντιας μετακίνησης (Σχήμα 4.18) όπου το κατάντη θεμέλιο είχε παρόμοια συμπεριφορά με την περίπτωση του μεμονωμένου, ενώ στο ανάντη δεν παρατηρήθηκε κάποια αξιοσημείωτη διαφορά με τη περίπτωση όπου τα δίδυμα θεμέλια απείχαν με $D = 5$ m. Αντίστοιχη αύξηση προέκυψε και στις χρονοϊστορίες της στροφής (Σχήμα 4.19) όπου τελικώς τα θεμέλια ανέπτυξαν μία κοινή ωρολογιακή στροφή και περίπου ίση με την κλίση του εδάφους.



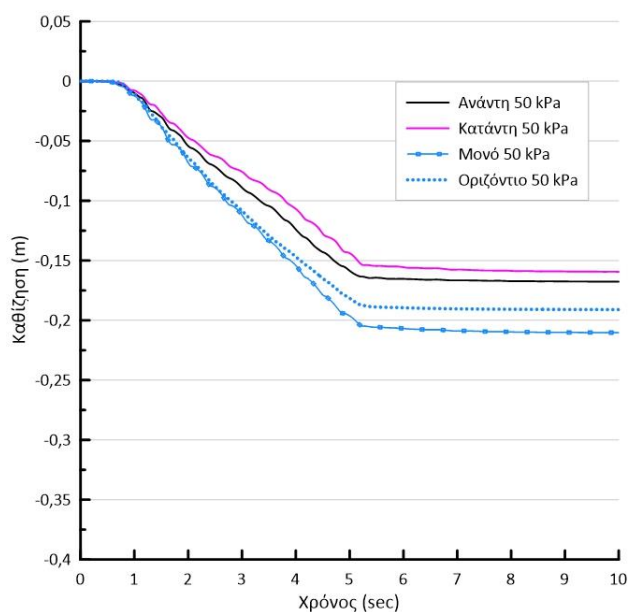
Σχήμα 4.20 Ισοκαμπύλες συντελεστή υπερπίεσης πόρων r_u και συσσωρευμένης διατμητικής παραμόρφωσης γ στο έδαφος κάτω από δίδυμα θεμέλια (πλάτους $B = 5$ m, φορτίου έδρασης $q = 100$ kPa) με ενδιάμεση απόσταση $D = 20$ m, σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση.

Στο Σχήμα 4.20 φαίνονται οι ισοκαμπύλες του συντελεστή υπερπίεσεων πόρων r_u και της παραμόρφωσης γ στο έδαφος των διδύμων θεμελίων (πλάτους $B = 5$ m, φορτίου έδρασης $q = 100$ kPa) με μεγάλη ενδιάμεση απόσταση $D = 20$ m. Είναι ξεκάθαρο ότι και τα δύο θεμέλια λειτουργούν σαν τα μεμονωμένα θεμέλια όσο αφορά τον συντελεστή υπερπίεσης πόρων r_u . Από την άλλη, η διατμητική παραμόρφωση στο έδαφος των 2 θεμελίων είναι αρκετά κοντά με εκείνη του μεμονωμένου θεμελίου

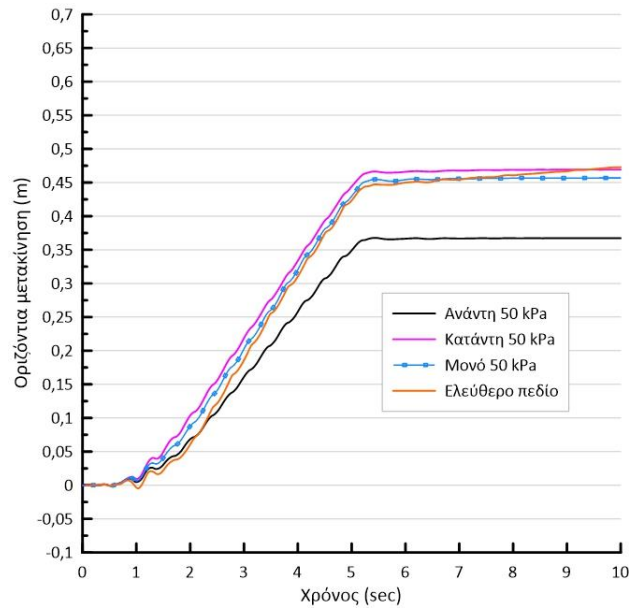
(Σχήμα 4.6), ενώ δεν παρουσιάζουν εμφανή αλληλεμπλοκή οι μηχανισμοί αστοχίας τους.

4.4 Επίδραση φορτίου δίδυμων θεμελίων

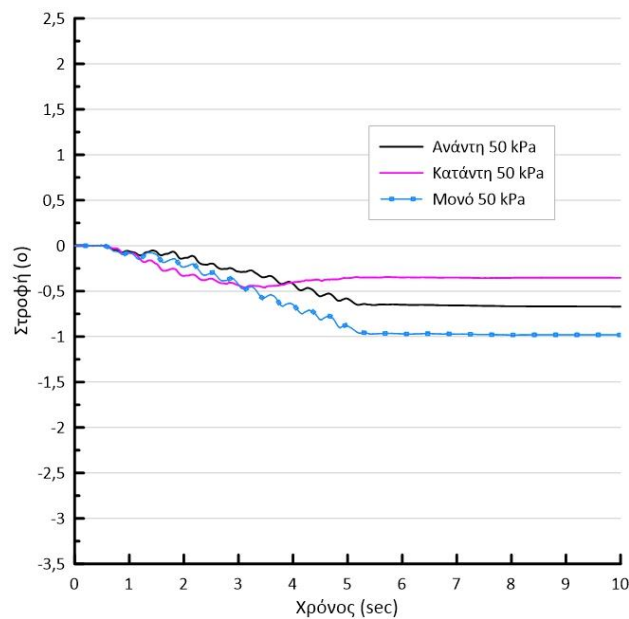
Στην παρούσα ενότητα διερευνάται η επίδραση του φορτίου q (kPa) των δίδυμων θεμελίων στο πρόβλημα της αλληλεπίδρασης δίδυμων γειτονικών κατασκευών. Οι δύο περιπτώσεις κοινής φόρτισης για τα 2 θεμέλια είναι για φορτίο έδρασης ίσο με $q = 50$ kPa και $q = 200$ kPa, ουσιαστικά το ήμισυ και το διπλάσιο από την αντίστοιχη που εξετάστηκε στην Παράγραφο 4.2. Οι δύο περιπτώσεις που αναλύονται παρακάτω αφορούν φορτίσεις δίδυμων θεμελίων με ενδιάμεση απόσταση $D = 5$ m (που αντιστοιχεί σε λόγο $D/B = 1$, όπως και στην παράγραφο 4.2), ενώ τα αποτελέσματα των αναλύσεων για περισσότερες περιπτώσεις ενδιάμεσων αποστάσεων D παρουσιάζονται στο Παράρτημα Α.



Σχήμα 4.21 Χρονοϊστορίες καθίζησης θεμελίων είτε σε οριζόντια ή σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 5$ m, ίδια φορτία $q_{av} = 50$ kPa και $q_{κατ} = 50$ kPa, σε απόσταση $D = 5$ m, και σύγκριση με τις καθιζήσεις του ίδιου θεμελίου αν ήταν μεμονωμένο ή οριζόντιο.

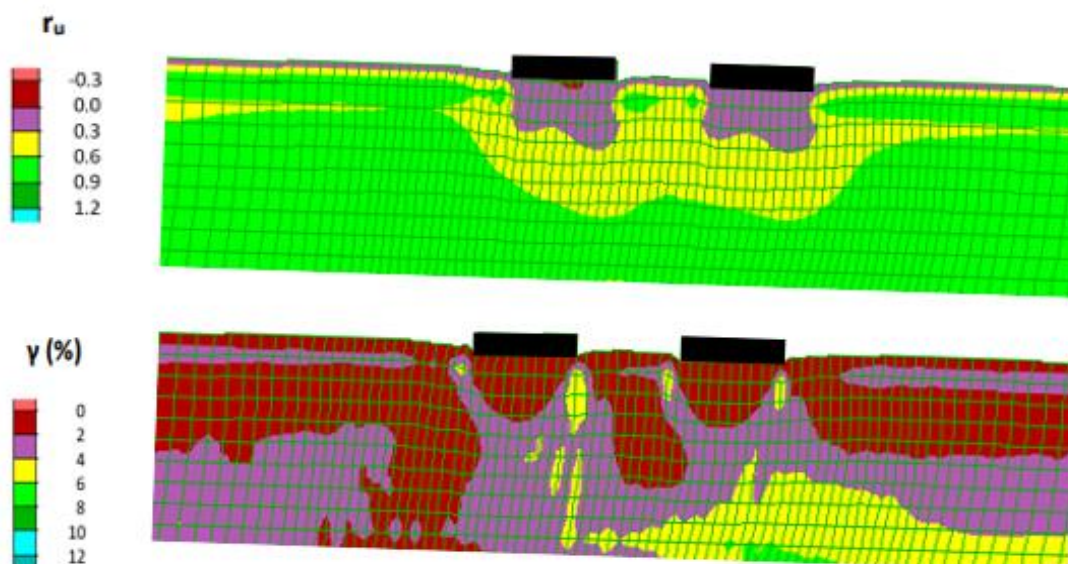


Σχήμα 4.22 Χρονοϊστορίες οριζόντιας μετακίνησης θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 5$ m, ίδια φορτία $q_{αν} = 50$ kPa και $q_{κατ} = 50$ kPa, σε απόσταση $D = 5$ m, και σύγκριση με την οριζόντια μετακίνηση του ελεύθερου πεδίου.

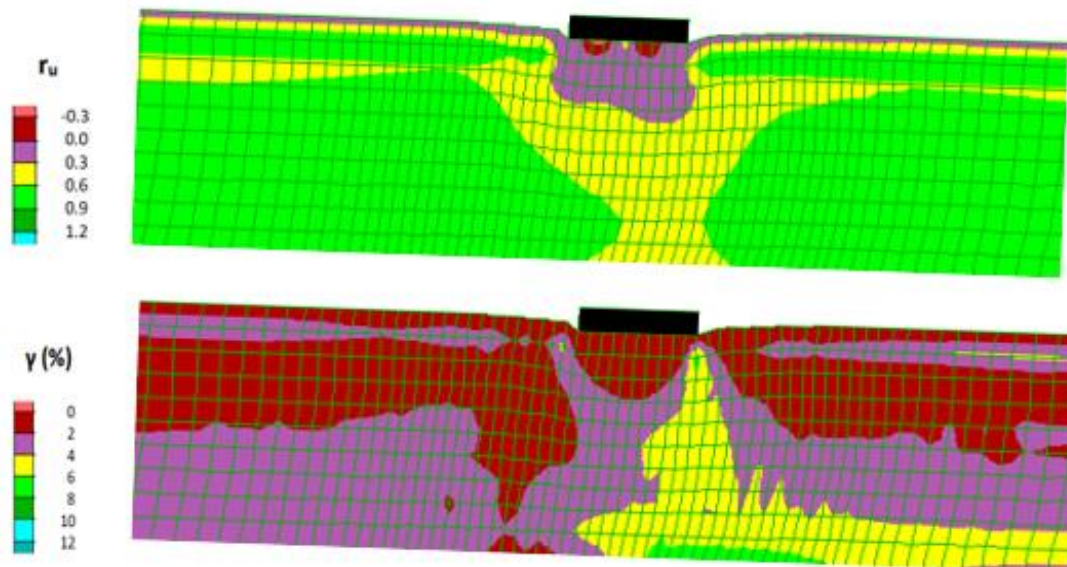


Σχήμα 4.23 Χρονοϊστορίες στροφής θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 5$ m, ίδια φορτία $q_{αν} = 50$ kPa και $q_{κατ} = 50$ kPa, σε απόσταση $D = 5$ m, και σύγκριση με τις καθιζήσεις του ίδιου θεμελίου αν ήταν μεμονωμένο.

Στο Σχήμα 4.21 φαίνεται η χρονοϊστορία της καθίζησης και είναι εμφανής ότι τα δύο θεμέλια έχουν μικρότερη τελική καθίζηση τόσο από το αντίστοιχο μεμονωμένο όσο και από το οριζόντιο. Η μείωση του φορτίου στο ήμισυ ελάττωσε τις τελικές καθιζήσεις των θεμελίων από εκείνη όπου τα δίδυμα θεμέλια είχαν κοινό φορτίο έδρασης ίσο με $q = 100 \text{ kPa}$ (Σχήμα 4.2), με το κατάντη να έχει μεγαλύτερη μείωση στην τελική καθίζηση σε σχέση με το ανάντη. Στα Σχήματα 4.22 και 4.23 φαίνονται οι χρονοϊστορίες οριζόντιας μετακίνησης και στροφής των δύο θεμελίων. Το κατάντη θεμέλιο ξεπερνά την τελική οριζόντια μετακίνηση του μεμονωμένου θεμελίου, αντίθετα με ό,τι παρατηρήθηκε στην περίπτωση με φορτίο έδρασης $q = 100 \text{ kPa}$ (Σχήμα 4.3). Ενώ συγκρίνοντας τις δύο περιπτώσεις με βάση τις χρονοϊστορίες στροφών το ανάντη θεμέλιο δείχνει να έχει μειώσει την τελική στροφή, ενώ το κατάντη ανέπτυξε στροφή φοράς ίδια με την κλίση του εδάφους από την αντίστοιχη μηδενική (Σχήμα 4.4).

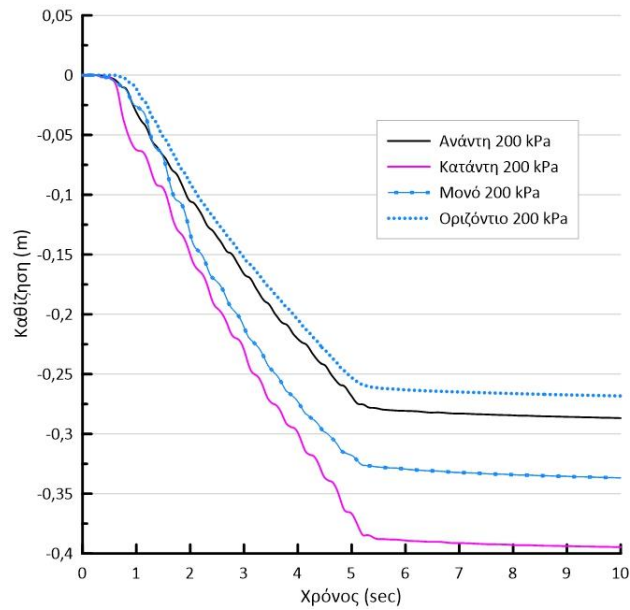


Σχήμα 4.24 Ισοκαμπύλες συντελεστή υπερπίεσης πόρων r_u και συσσωρευμένης διατμητικής παραμόρφωσης γ στο έδαφος κάτω από δίδυμα θεμέλια (πλάτους $B = 5 \text{ m}$, φορτίου έδρασης $q = 50 \text{ kPa}$) με ενδιάμεση απόσταση $D = 5 \text{ m}$, σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση.

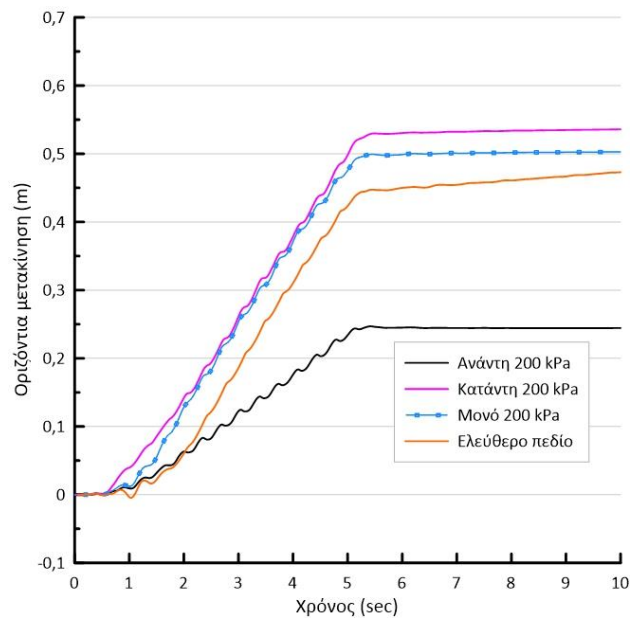


Σχήμα 4.25 Ισοκαμπύλες συντελεστή υπερπίεσης πόρων r_u και συσσωρευμένης διαμητικής παραμόρφωσης γ στο έδαφος κάτω από μονό θεμέλιο (πλάτους $B = 5$ m, φορτίου έδρασης $q = 50$ kPa), σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση.

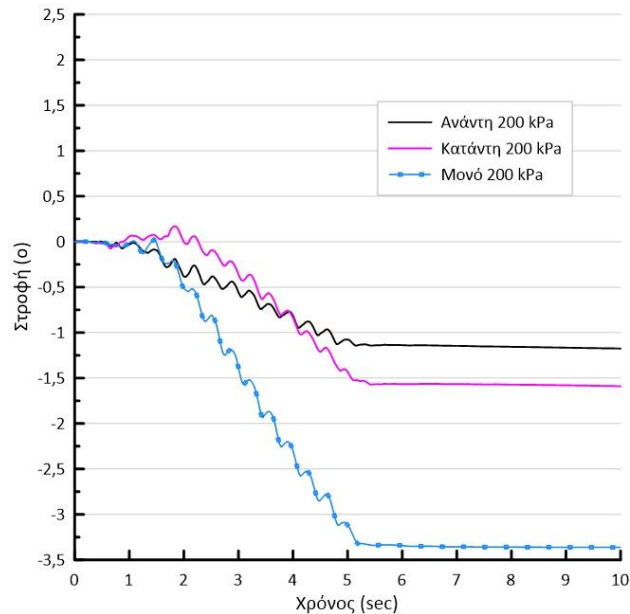
Στο Σχήμα 4.24 παρουσιάζονται οι ισοκαμπύλες συντελεστή υπερπίεσεων πόρων r_u και παραμόρφωσης γ στο έδαφος δίδυμων θεμελίων πλάτους $B = 5$ m με ενδιάμεση απόσταση $D = 5$ m (που αντιστοιχεί σε $D/B = 1$) για $q = 50$ kPa, ενώ οι αντίστοιχες εικόνες για μεμονωμένο θεμέλιο πλάτους $B = 5$ m και $q = 50$ kPa φαίνονται στο Σχήμα 4.25. Ο συντελεστής υπερπίεσης r_u πόρων στην περίπτωση των δίδυμων θεμελίων προσεγγίζει εκείνη του μεμονωμένου θεμελίου κάτι το οποίο δεν προέκυψε όταν το κοινό φορτίο έδρασης ήταν $q = 100$ kPa (Σχήμα 4.5). Επιπλέον, σε όρους παραμόρφωσης γ , φαίνεται ότι οι μηχανισμοί αστοχίας των δίδυμων θεμελίων δείχνουν λιγότερο εμπεδωμένοι σε σχέση με εκείνον για το μεμονωμένο θεμέλιο ίδιων χαρακτηριστικών.



Σχήμα 4.26 Χρονοϊστορίες καθίζησης θεμελίων είτε σε οριζόντια ή σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 5 \text{ m}$, ίδια φορτία $q_{av} = 200 \text{ kPa}$ και $q_{κατ} = 200 \text{ kPa}$, σε απόσταση $D = 5 \text{ m}$, και σύγκριση με τις καθιζήσεις του ίδιου θεμελίου αν ήταν μεμονωμένο ή οριζόντιο.

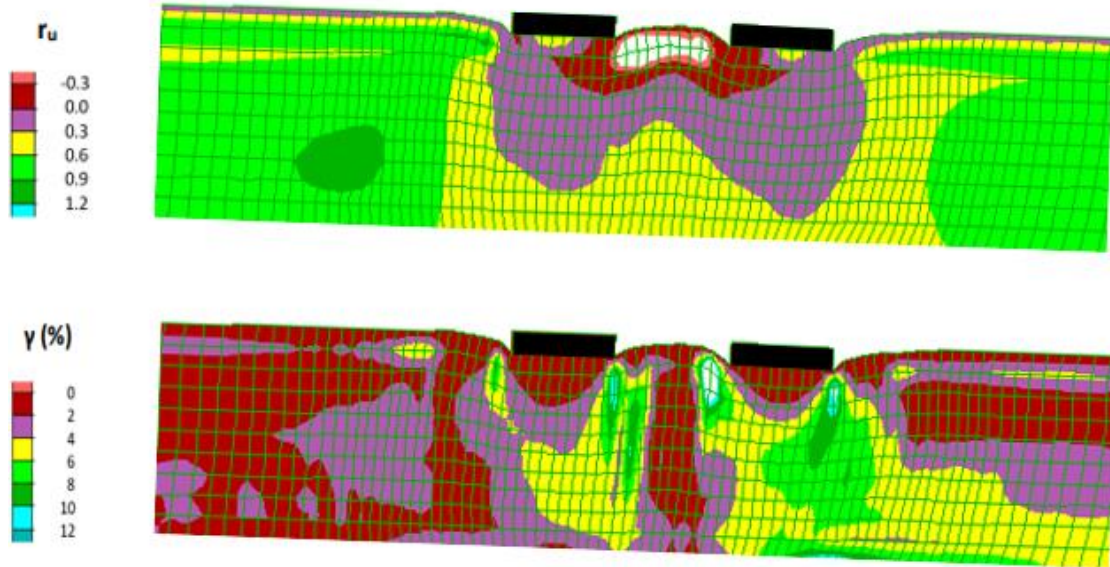


Σχήμα 4.27 Χρονοϊστορίες οριζόντιας μετακίνησης θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 5 \text{ m}$, ίδια φορτία $q_{av} = 200 \text{ kPa}$ και $q_{κατ} = 200 \text{ kPa}$, σε απόσταση $D = 5 \text{ m}$, και σύγκριση με την οριζόντια μετακίνηση του ελεύθερου πεδίου.

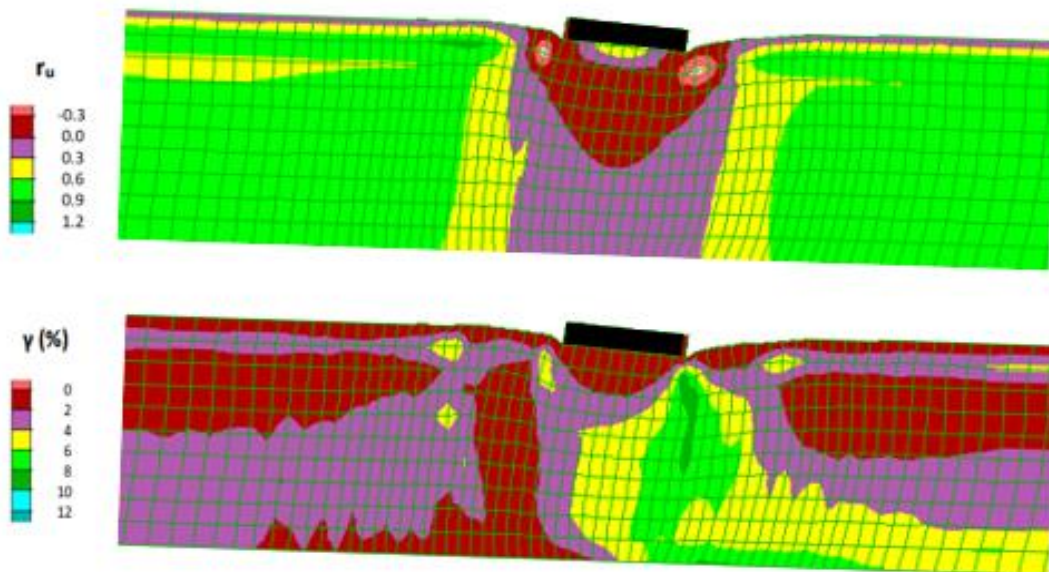


Σχήμα 4.28 Χρονοϊστορίες στροφής θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 5 \text{ m}$, ίδια φορτία $q_{αν} = 200 \text{ kPa}$ και $q_{κατ} = 200 \text{ kPa}$, σε απόσταση $D = 5 \text{ m}$, και σύγκριση με τις καθιζήσεις του ίδιου θεμελίου αν ήταν μεμονωμένο.

Τα τελευταία αποτελέσματα που σχολιάζονται στην παρούσα παράγραφο αφορούν την περίπτωση δίδυμων θεμελίων με φορτίο έδρασης ίσο $q = 200 \text{ kPa}$ και ενδιάμεση απόσταση $D = 5 \text{ m}$. Στα Σχήματα 4.26, 4.27 και 4.28 φαίνονται οι χρονοϊστορίες των καθιζήσεων, οριζόντιας μετακίνησης και στροφής, αντίστοιχα. Όπως ήταν αναμενόμενο, οι τελικές καθιζήσεις αυξήθηκαν τόσο με την αρχική περίπτωση που φαίνεται στο Σχήμα 4.2, όσο και για την αμέσως προηγούμενη όπου τα θεμέλια εδραζόντουσαν με φορτίο $q = 50 \text{ kPa}$ (Σχήμα 4.21). Το ανάντη θεμέλιο δεν επηρεάστηκε όσο το κατάντη κάτι που δείχνει ότι η αλληλεπίδραση ευνοεί το ανάντη θεμέλιο όσον αφορά στις καθιζήσεις. Ανάλογη ήταν η εικόνα και στις τελικές οριζόντιες μετακινήσεις, όπου αυξήθηκε εκείνη στο κατάντη θεμέλιο ενώ υπήρξε μείωση στο ανάντη. Τέλος, σε ό,τι αφορά στις στροφές των δίδυμων θεμελίων το κατάντη θεμέλιο έχει μεγαλύτερη τελική στροφή σε σχέση με το ανάντη, ενώ στις προηγούμενες περιπτώσεις για φορτία έδρασης ίσα με 100 kPa και 50 kPa όπως αυτές φαίνονται (Σχήματα 4.4 και 4.23) το ανάντη θεμέλιο ανέπτυξε μεγαλύτερη τελική στροφή. Σε όλες τις περιπτώσεις όμως, η στροφή του μεμονωμένου θεμελίου είναι μεγαλύτερη εκείνων των διδύμων.



Σχήμα 4.29 Ισοκαμπύλες συντελεστή υπερπίεσης πόρων r_u και συσσωρευμένης διαμητικής παραμόρφωσης γ στο έδαφος κάτω από δίδυμα θεμέλια (πλάτους $B = 5$ m, φορτίου έδρασης $q = 200$ kPa) με ενδιάμεση απόσταση $D = 5$ m, σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση.

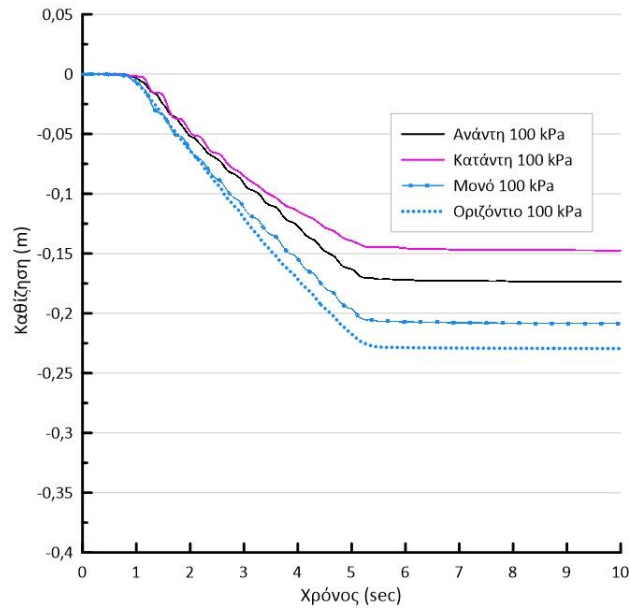


Σχήμα 4.30 Ισοκαμπύλες συντελεστή υπερπίεσης πόρων r_u και συσσωρευμένης διαμητικής παραμόρφωσης γ στο έδαφος κάτω από μονό θεμέλιο (πλάτους $B = 5$ m, φορτίου έδρασης $q = 200$ kPa), σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση.

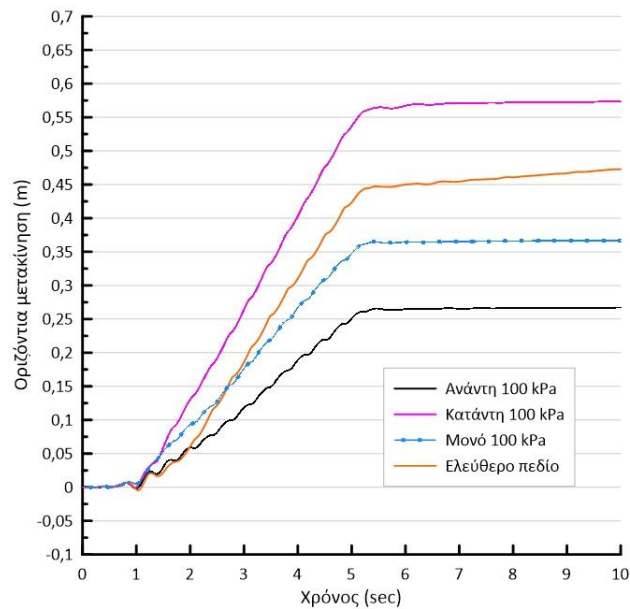
Στο Σχήμα 4.29 παρουσιάζονται οι ισοκαμπύλες συντελεστή r_u και παραμόρφωσης γ στο έδαφος δίδυμων θεμελίων πλάτους $B = 5$ m σε απόσταση $D = 5$ m (που αντιστοιχεί σε $D/B = 1$) για $q = 200$ kPa, ενώ οι αντίστοιχες για μεμονωμένο θεμέλιο πλάτος $B = 5$ m και $q = 200$ kPa εμφανίζονται στο Σχήμα 4.3. Όσα σχολιάστηκαν παραπάνω για την θετική επίδραση που επέφερε στο ανάντη θεμέλιο η αύξηση του φορτίου έδρασης φαίνονται στην διατμητική παραμόρφωση γ του εδάφους στην περιοχή μεταξύ των θεμελίων (Σχήμα 4.29), συγκρίνοντας με την περίπτωση του μεμονωμένου θεμελίου (Σχήμα 4.6). Αντίθετα, κάτω από την περιοχή του κατάντη θεμελίου η διατμητική παραμόρφωση είναι αυξημένη σε σχέση με ό,τι παρατηρείται στο μεμονωμένο θεμέλιο. Όσον αφορά στις υπερπιέσεις πόρων r_u δείχνουν να αυξάνουν στις βάσεις των θεμελίων με επακόλουθο την αύξηση των καθιζήσεων.

4.5 Επίδραση εύρους δίδυμων θεμελίων

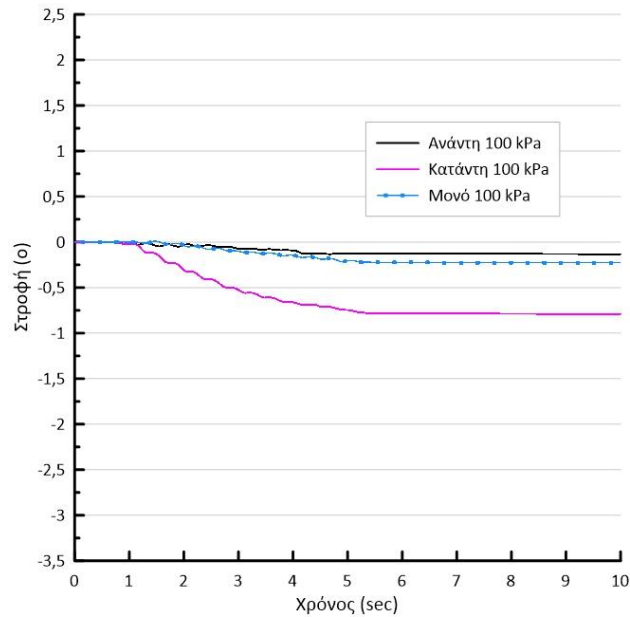
Σε όλες τις προηγούμενες παραγράφους εξετάστηκαν περιπτώσεις δίδυμων θεμελίων με τα πλάτη των θεμελίων να είναι ίσα με $B = 5$ m και οι τροποποιήσεις αφορούσαν είτε την ενδιάμεση απόσταση D είτε το φορτίο έδρασης του κάθε θεμελίου. Στη συνέχεια της παρούσας παραγράφου εξετάζεται η περίπτωση για πλάτη θεμελίωσης των δίδυμων θεμελίων ίσα με $B = 20$ m. Η πρώτη περίπτωση που σχολιάζεται είναι εκείνη όπου τα θεμέλια έχουν φορτίο έδρασης $q = 100$ kPa και ενδιάμεση απόσταση $D = 5$ m, ώστε τα αποτελέσματα να είναι άμεσα συγκρίσιμα με εκείνα της Παραγράφου 4.2, με μόνη αλλαγή το πλάτος του θεμελίου.



Σχήμα 4.31 Χρονοϊστορίες καθίζησης θεμελίων είτε σε οριζόντια ή σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 20$ m, ίδια φορτία $q_{αν} = 100$ kPa και $q_{κατ} = 100$ kPa, σε απόσταση $D = 5$ m, και σύγκριση με τις καθιζήσεις του ίδιου θεμελίου αν ήταν μεμονωμένο ή οριζόντιο.

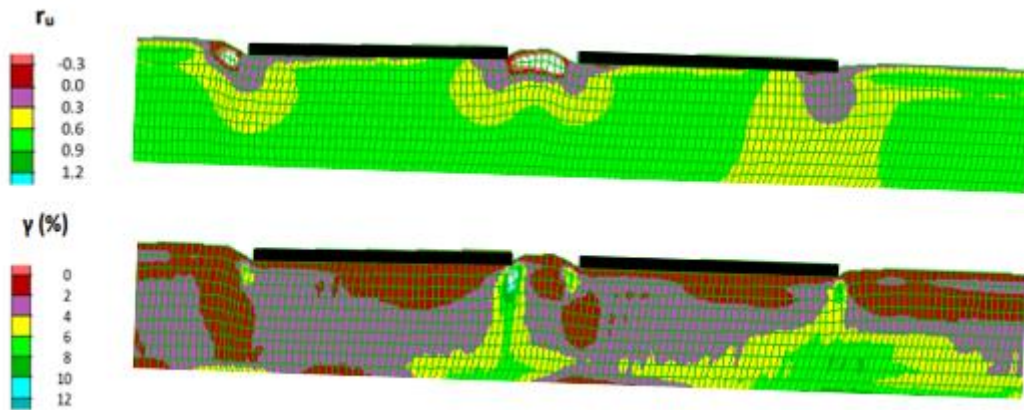


Σχήμα 4.32 Χρονοϊστορίες οριζόντιας μετακίνησης θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 20$ m, ίδια φορτία $q_{αν} = 100$ kPa και $q_{κατ} = 100$ kPa, σε απόσταση $D = 5$ m, και σύγκριση με την οριζόντια μετακίνηση ελεύθερου πεδίου.

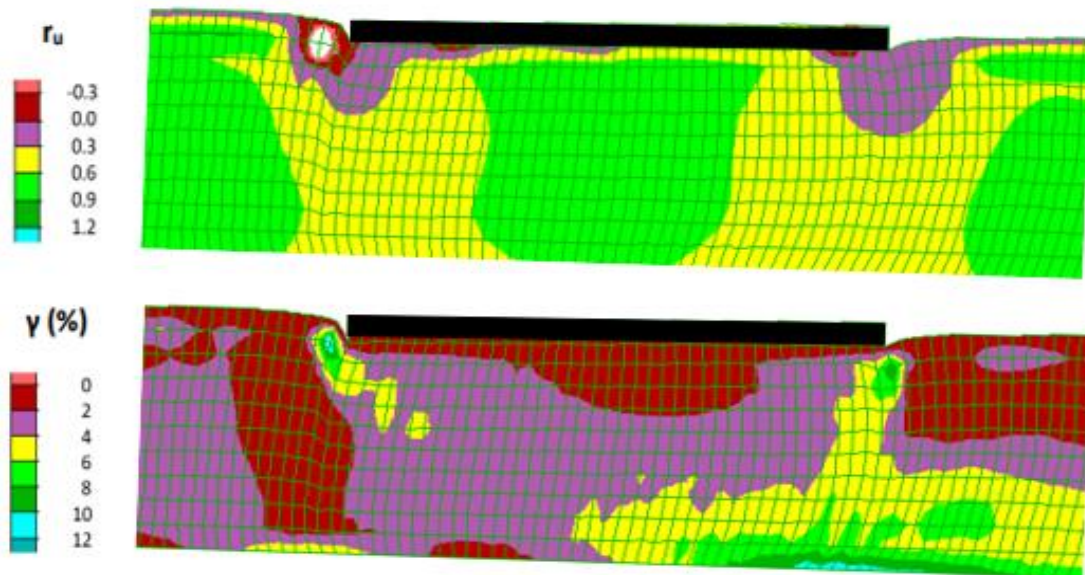


Σχήμα 4.33 Χρονοϊστορίες στροφής θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 20 \text{ m}$, ίδια φορτία $q_{αν} = 100 \text{ kPa}$ και $q_{κατ} = 100 \text{ kPa}$, σε απόσταση $D = 5 \text{ m}$, και σύγκριση με τις καθιζήσεις του ίδιου θεμελίου αν ήταν μεμονωμένο.

Στα Σχήματα 4.31 και 4.32 φαίνονται οι χρονοϊστορίες καθιζήσεων και οριζόντιων μετακινήσεων των δύο ευρέων θεμελίων. Στην προκειμένη περίπτωση φαίνεται τα θεμέλια να αλληλοεπιδρούν θετικά όσον αφορά στις καθιζήσεις καθώς και τα δύο θεμέλια έχουν τελικώς μικρότερες τελικές καθιζήσεις από το μεμονωμένο θεμέλιο. Ενώ οι οριζόντιες μετακινήσεις είναι σε πλήρη συμβατότητα με εκείνες που φαίνονται στο Σχήμα 4.3, με το ανάντη θεμέλιο να προστατεύεται από το κατάντη, αντίθετα το κατάντη δείχνει να επιβαρύνεται από την παρουσία του ανάντη καταλήγοντας να έχει μεγαλύτερη μετακίνηση από την αντίστοιχη περίπτωση του μεμονωμένου θεμελίου. Στις χρονοϊστορίες των στροφών (Σχήμα 4.33) όπως αναμενόταν λόγω της μεγαλύτερης δυσκαμψίας που έχουν τα θεμέλια πλάτους $B = 20 \text{ m}$, οι τελικές στροφές ήταν πιο μικρές συγκριτικά με εκείνες όπου τα πλάτη θεμελίωσης ήταν πλάτους $B = 5 \text{ m}$ (Σχήμα 4.4). Αντιστοίχως οι χρονοϊστορίες των στροφών ακολουθούν εκείνες της οριζόντιας μετακίνησης, με το ανάντη θεμέλιο να δείχνει ότι προστατεύεται από την ύπαρξη του κατάντη (Σχήμα 4.33).



Σχήμα 4.34 Ισοκαμπύλες συντελεστή υπερπίεσης πόρων r_u και συσσωρευμένης διατμητικής παραμόρφωσης γ στο έδαφος κάτω από δίδυμα θεμέλια (πλάτους $B = 20$ m, φορτίου έδρασης $q = 100$ kPa) με ενδιάμεση απόσταση $D = 5$ m, σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση.



Σχήμα 4.35 Ισοκαμπύλες συντελεστή υπερπίεσης πόρων r_u και συσσωρευμένης διατμητικής παραμόρφωσης γ στο έδαφος κάτω από μονό θεμέλιο (πλάτους $B = 20$ m, φορτίου έδρασης $q = 100$ kPa), σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση.

Επιπλέον στο Σχήμα 4.34 παρουσιάζονται οι ισοκαμπύλες συντελεστή r_u και παραμόρφωσης γ στο έδαφος δίδυμων θεμελίων πλάτους $B = 20$ m σε απόσταση $D = 5$ m (που αντιστοιχεί σε $D/B = 0.25$) για φορτίο έδρασης $q = 100$ kPa, ενώ οι αντίστοιχες για μεμονωμένο θεμέλιο ίσου πλάτους και φορτίου έδρασης φαίνονται στο Σχήμα 4.35. Η διατμητική παραμόρφωση του εδάφους κάτω από την βάση των δίδυμων θεμελίων μοιάζει με εκείνη του μεμονωμένου.

4.6 Σύνοψη αλληλεπίδρασης δίδυμων θεμελίων

Στο παρόν Κεφάλαιο παρουσιάστηκε η δυναμική αλληλεπίδραση δίδυμων θεμελίων πάνω σε στρώση ρευστοποιήσιμης άμμου πάχους $H = 10$ m και σχετικής πυκνότητας $D_r = 45$ %, υπό αρμονική διέγερση 10 κύκλων με μέγιστη επιτάχυνση ίση με 0.2 g. Εξετάστηκαν οι περιπτώσεις ζεύγους στενών θεμελίων πλάτους $B = 5$ m και ευρέων θεμελίων πλάτους $B = 20$ m, με την έμφαση να δίνεται στην επιρροή της ενδιάμεσης απόστασης D των δύο θεμελίων και του (κοινού) φορτίου έδρασης q . Η σύγκριση των αποτελεσμάτων έγινε ως προς τις χρονοϊστορίες καθιζήσεων, οριζόντιων μετακινήσεων και στροφών των θεμελίων, ενώ για τη μελέτη των αποτελεσμάτων αξιοποιήθηκαν οι ισοκαμπύλες του συντελεστή υπερπίεσης πόρων r_u και της διατμητικής παραμόρφωσης γ στο έδαφος στην περιοχή των θεμελίων στο τέλος της διέγερσης. Η ερμηνεία των αποτελεσμάτων όλου του Κεφαλαίου αναλύεται παρακάτω:

- Η ήπια κλίση του εδάφους επιβάλλει οριζόντια μετατόπιση και στροφή στα θεμέλια, πέραν της καθίζησης που έχουν ακόμη και για οριζόντιο έδαφος. Όταν τα θεμέλια είναι μεμονωμένα, η ήπια κλίση αυξάνει τις καθιζήσεις τους όταν είναι στενά, ενώ το αντίθετο συμβαίνει όταν είναι ευρέα. Αντίστοιχα, σε μεμονωμένα θεμέλια προκαλείται στροφή προς τα κατάντη, η οποία είναι ουσιώδης μόνο σε στενά θεμέλια. Όπως αναμένεται, το φορτίο q αυξάνει τις καθιζήσεις, τις οριζόντιες μετακινήσεις και την κατάντη στροφή των μεμονωμένων θεμελίων, ενώ αύξηση του εύρους του θεμελίου (για το ίδιο φορτίο q) οδηγεί σε μείωση των μεγεθών αυτών.

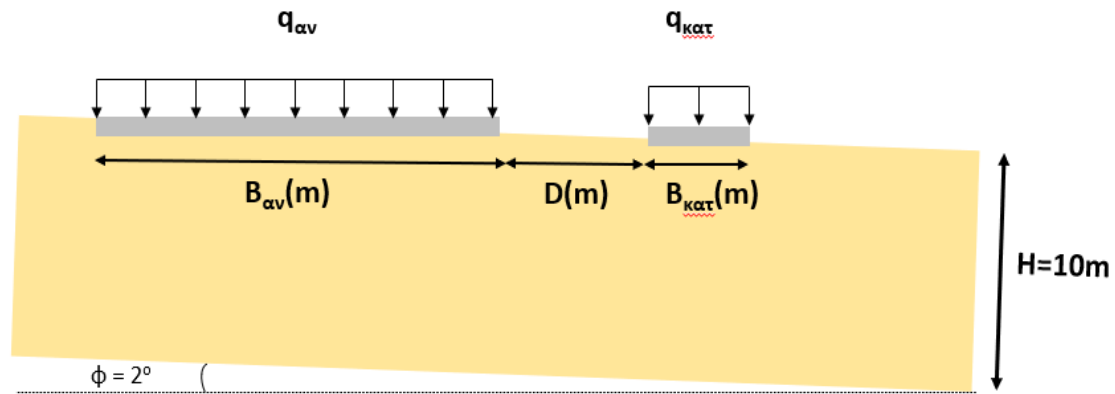
- Για δίδυμα θεμέλια σε έδαφος ήπιας κλίσης, η αλληλεπίδρασή τους οδηγεί σε διαφορετική απόκριση του ανάντη και του κατάντη θεμελίου, η οποία είναι, με τη σειρά τους, διαφορετικές σε σχέση με το αν το θεμέλιο ήταν μεμονωμένο. Προφανώς αύξηση της απόστασης D μεταξύ των θεμελίων μειώνει την αλληλεπίδρασή τους.
- Τυπικά, για στενά δίδυμα θεμέλια, η αλληλεπίδραση οδηγεί σε μείωση καθιζήσεων, οριζοντίων μετατοπίσεων και στροφών συγκριτικά με ό,τι παρατηρείται αν ήταν μεμονωμένα, μα υπάρχουν διαφοροποιήσεις ανάλογα με το φορτίο q και την απόσταση D μεταξύ των θεμελίων. Στην πράξη, το κατάντη θεμέλιο έχει μεγαλύτερη καθίζηση και οριζόντια μετατόπιση από το ανάντη, ενώ το ανάποδο ισχύει για την τελική τιμή της στροφής. Έτσι, μεγαλύτερη καθίζηση και οριζόντια μετατόπιση από το μεμονωμένο θεμέλιο μπορεί να εμφανίσει μόνο το κατάντη θεμέλιο.
- Μια απόσταση $D = 20$ m μεταξύ δύο στενών δίδυμων θεμελίων τείνει να φέρει την απόκριση του κατάντη θεμελίου κοντά σε εκείνη του μεμονωμένου, αλλά το ανάντη εξακολουθεί να εμφανίζει μικρότερες τιμές των μεγεθών ενδιαφέροντος. Συνεπώς, το «κατάντη» προστατεύει το «ανάντη» στενό θεμέλιο, ακόμη και σε αποστάσεις 20 m.
- Για ευρέα δίδυμα θεμέλια, η αλληλεπίδραση οδηγεί μόνο σε μείωση καθιζήσεων, αλλά ταυτόχρονα σε αύξηση των οριζοντίων μετατοπίσεων και στροφών του κατάντη θεμελίου συγκριτικά με ό,τι παρατηρείται αν ήταν μεμονωμένο.

5. Αλληλεπίδραση διαφορετικών θεμελίων σε ήπια κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση

5.1 Εισαγωγή

Στο προηγούμενο Κεφάλαιο μελετήθηκε η δυναμική απόκριση δίδυμων θεμελίων πλάτους $B = 5$ m και $B = 20$ m επί ρευστοποιήσιμης στρώσης άμμου πάχους $H = 10$ m υπό ίδια σεισμική διέγερση. Στόχος του παρόντος κεφαλαίου είναι η μελέτη της αναπτυσσόμενης αλληλεπίδρασης κατασκευής – εδάφους – κατασκευής υπό συνθήκες ήπιας κλίσης εδάφους, όταν οι δύο κατασκευές είναι διαφορετικές. Η διαφορετικότητα οφείλεται είτε στα πλάτη B των θεμελίων είτε στο φορτίο έδρασης q . Κατ' αντιστοιχία με την περίπτωση των δίδυμων θεμελίων η αλληλεπίδραση μελετάται κυρίως σε όρους (μέσης) καθίζησης, οριζόντιας μετακίνησης και στροφής των τραχιών και άκαμπτων θεμελίων. Ως απόκριση αναφοράς θεωρείται η απόκριση μίας ίδιας μεμονωμένης κατασκευής στην ίδια κεκλιμένη στρώση, υπό την ίδια διέγερση. Επιπλέον, αποκρίσεις αναφοράς θεωρούνται η απόκριση μίας ίδιας μεμονωμένης κατασκευής στην ίδια στρώση αν ήταν οριζόντια σε ό,τι αφορά στη (μέση) καθίζηση της κατασκευής, και η απόκριση της κεκλιμένης στρώσης χωρίς κατασκευή (ανάλυση ελευθέρου πεδίου) σε ό,τι αφορά στην οριζόντια μετακίνηση της κατασκευής. Ενδιαφέρον παρουσιάζει επίσης η κατανομή της συσσωρευμένης παραμόρφωσης γ και του λόγου υπερπίεσεων πόρων r_u στο έδαφος υπό των θεμελίων στο τέλος της διέγερσης, η οποία μελετάται μέσω διαγραμμάτων ισοκαμπυλών.

Στο παρακάτω Σχήμα 5.1 απεικονίζονται οι τυπικές διατάξεις του προβλήματος μιας ομοιόμορφης στρώσης άμμου πάχους $H = 10$ m και ήπιας κλίσης 2° επί της οποίας εδράζονται γειτονικές κατασκευές, οι οποίες διαφέρουν ως προς το πλάτος: B_{av} και $B_{κατ}$ είναι τα πλάτη της ανάντη και κατάντη κατασκευής, αντίστοιχα. Οι κατασκευές βρίσκονται σε ενδιάμεση απόσταση D , ενώ το σύστημα υποβάλλεται σε αρμονική διέγερση βάσης με μέγιστη εδαφική επιτάχυνση $a_{max} = 0.2$ g. Στο Κεφάλαιο αυτό τα γειτονικά θεμέλια έχουν είτε κοινό φορτίο έδρασης ($q_{av} = q_{κατ} = q$) είτε διαφορετικό ($q_{av} \neq q_{κατ}$).



Σχήμα 5.1 Σκαρίφημα διάταξης ζεύγους θεμελίων πλάτους B_{av} και $B_{κατ}$, φορτίων έδρασης q_{av} και $q_{κατ}$ σε ενδιάμεση απόσταση D εδραζόμενων σε ήπια κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση πάχους H υπό αρμονική διέγερση μέγιστης επιτάχυνσης $a_{max} = 0.2 g$ για τον υπολογισμό καθιζήσεων $z(m)$, οριζόντιας μετακίνησης $x(m)$ και στροφής $\theta(^{\circ})$ αυτών.

Η περίπτωση ανάλυσης που απεικονίζεται στο Σχήμα 5.1 αφορά την περίπτωση όπου το ανάντη θεμέλιο έχει πλάτος $B_{av} = 20 m$ και το κατάντη $B_{κατ} = 5 m$. Στο παρόν Κεφάλαιο εξετάσθηκε και η αντίστροφη περίπτωση με το ευρύ θεμέλιο να βρίσκεται ανάντη και το στενό στα κατάντη. Παρακάτω παρατίθενται ο συγκεντρωτικός Πίνακας 5.1, όπου παρουσιάζονται τα παραμετρικά χαρακτηριστικά κάθε ανάλυσης του παρόντος Κεφαλαίου, στις οποίες τα γειτονικά θεμέλια έχουν είτε ίδιο πλάτος ($B_{av} = B_{κατ}$) και διαφορετικό φορτίο ($q_{av} \neq q_{κατ}$), ή περιπτώσεις όπου τα θεμέλια έχουν διαφορετικό πλάτος ($B_{av} \neq B_{κατ}$). Στον Πίνακα 5.1 επισημαίνεται και η παράγραφος του Κεφαλαίου στην οποία εμφανίζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα, ενώ υπάρχει αναφορά και σε έναν μεγάλο αριθμό αναλύσεων που εκτελέστηκαν αλλά παρουσιάζονται αναλυτικά μόνο στο Παράρτημα Β. Τέλος, διευκρινίζεται ότι οι καθιζήσεις θεμελίου εμφανίζονται αρνητικές όταν υποδηλώνουν συμπίεση του εδάφους, οι οριζόντιες μετακινήσεις θετικές όταν είναι προς τα κατάντη (δεξιά, στα σχήματά μας) και οι στροφές αρνητικές όταν είναι ωρολογιακές (προς τα κατάντη).

Πίνακας 5.1 Χαρακτηριστικά αναλύσεων για σεισμική απόκριση ζεύγους θεμελίων με πλάτη $B_{αν}$, $B_{κατ}$ και ομοιόμορφα φορτία $q_{αν}$, $q_{κατ}$, επί ρευστοποιήσιμης στρώσης πάχους $H = 10$ m και κλίσης 2° που εκτελέστηκαν για τις ανάγκες του παρόντος κεφαλαίου.

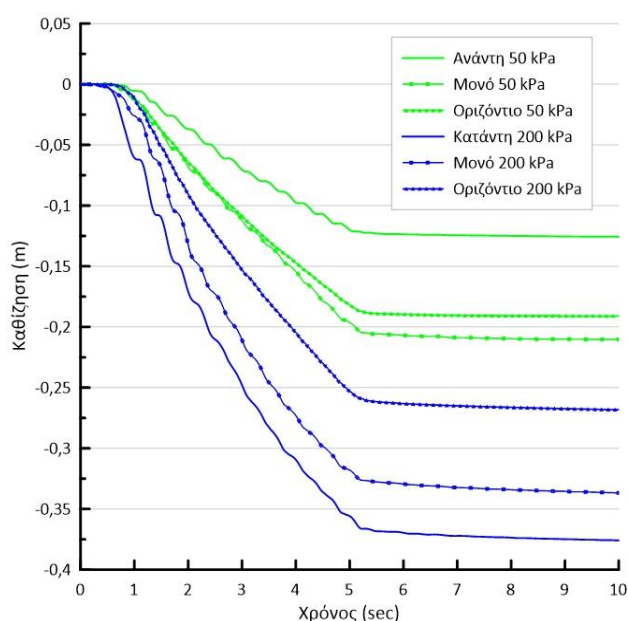
	$B_{αν}(m)$	$q_{αν}(kPa)$	$D(m)$	$q_{κατ}(kPa)$	$B_{κατ}(m)$
5.2	5	50	5	200	5
	5	200	5	50	5
	20	50	5	200	20
	20	200	5	50	20
5.3	5	100	5	100	20
	20	100	5	100	5
5.4	5	50	5	200	20
	5	200	5	50	5
	20	50	5	200	5
	20	200	5	50	5
Παράρτημα Β	5	50	2.5	100	5
	5	50	5	100	5
	5	50	10	100	5
	5	50	20	100	5
	5	100	2.5	50	5
	5	100	5	50	5
	5	100	10	50	5
	5	100	20	50	5
	5	100	5	200	5
	5	100	10	200	5
	5	100	20	200	5
	5	200	5	100	5
	5	200	10	100	5
	5	200	20	100	5
	20	50	5	200	20
	20	50	10	200	20
20	50	20	200	20	

5.2 Τυπική απόκριση θεμελίων ίδιου πλάτους με διαφορετικό φορτίο

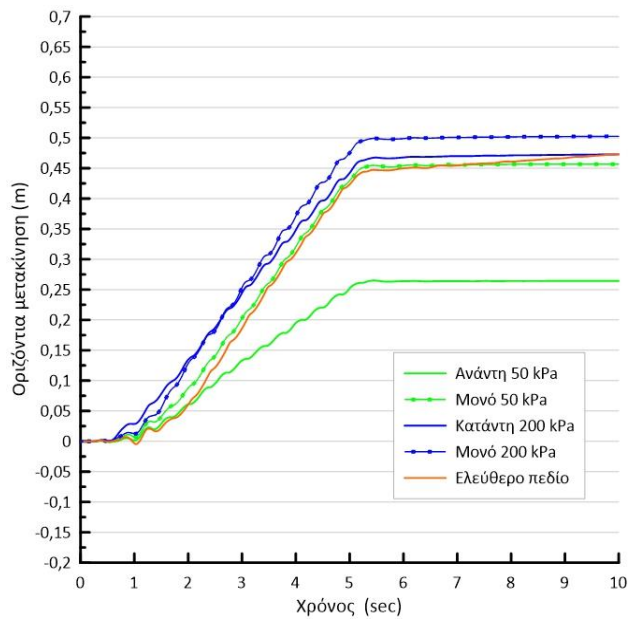
Στην ενότητα αυτή εξετάζεται η σεισμική απόκριση θεμελίων ίδιου πλάτους και διαφορετικού φορτίου έδρασης. Οι αναλύσεις που παρουσιάζονται αφορούν στενά θεμέλια (πλάτους $B = 5$ m) και ευρέα θεμέλια (πλάτους $B = 20$ m) σε απόσταση $D = 5$ m υπό αρμονική σεισμική διέγερση μέγιστης επιτάχυνσης 0.2 g με φορτία έδρασης 50 και 200 kPa.

5.2.1 Απόκριση στενών θεμελίων

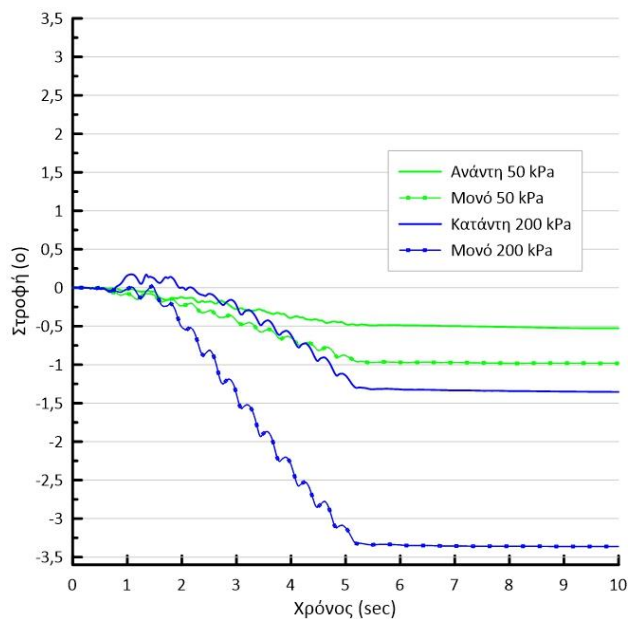
Παρακάτω θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα των αναλύσεων για στενά θεμέλια ($B = 5$ m) όταν το ανάντη θεμέλιο έχει φορτίο έδρασης ίσο 50 kPa και το κατάντη ίσο με 200 kPa. Για λόγους πληρότητας παρουσιάζεται και η αντίστροφη περίπτωση. Έτσι, στα Σχήματα 5.2 έως 5.4 παρουσιάζονται οι χρονοϊστορίες (μέσης) καθίζησης, οριζόντιας μετακίνησης και στροφής με τα θεμέλια να έχουν φορτία έδρασης $q_{αν} = 50$ kPa και $q_{κατ} = 200$ kPa.



Σχήμα 5.2 Χρονοϊστορίες καθίζησης θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποίηση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 5$ m, διαφορετικά φορτία $q_{αν} = 50$ kPa και $q_{κατ} = 200$ kPa, σε απόσταση $D = 5$ m, και σύγκριση με τις καθιζήσεις των ίδιων θεμελίων αν ήταν μεμονωμένα ή οριζόντια.



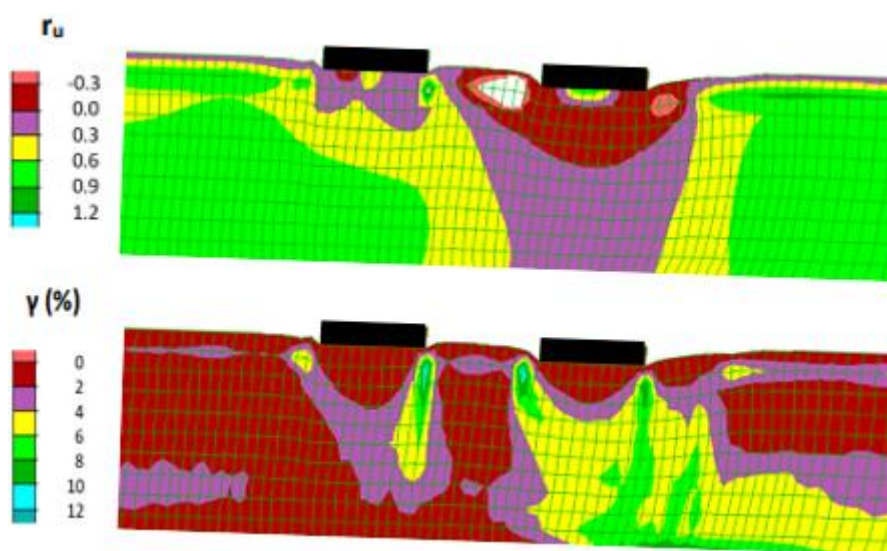
Σχήμα 5.3 Χρονοϊστορίες οριζόντιας μετακίνησης θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 5 \text{ m}$, διαφορετικά φορτία $q_{αν} = 50 \text{ kPa}$ και $q_{κατ} = 200 \text{ kPa}$, σε απόσταση $D = 5 \text{ m}$, και σύγκριση με την οριζόντια μετακίνηση του ελεύθερου πεδίου.



Σχήμα 5.4 Χρονοϊστορίες στροφής θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 5 \text{ m}$, διαφορετικά φορτία $q_{αν} = 50 \text{ kPa}$ και $q_{κατ} = 200 \text{ kPa}$, σε απόσταση $D = 5 \text{ m}$, και σύγκριση με τις στροφές των ίδιων θεμελίων αν ήταν μεμονωμένα.

Συνοπτικά προκύπτει ότι στην προκειμένη απόσταση $D = 5 \text{ m}$, το ανάντη θεμέλιο επωφελείται από την ύπαρξη μεγαλύτερου φορτίου έδρασης στο κατάντη θεμέλιο. Οι τελικές τιμές καθιζήσεων, οριζόντιας μετακίνησης και

στροφής του ανάντη θεμελίου είναι μικρότερες από τις αντίστοιχες του μεμονωμένου. Το ίδιο συμβαίνει και με το κατάντη θεμέλιο, με μόνη εξαίρεση τις καθιζήσεις οι οποίες εμφανίζονται προσαυξημένες σε σχέση με την αντίστοιχη αν το θεμέλιο αυτό ήταν μεμονωμένο. Σε κάθε περίπτωση πάντως, το βαρύ θεμέλιο έχει μεγαλύτερες (τελικές) τιμές καθιζήσεων, οριζόντιας μετακίνησης και στροφής από το ελαφρύ.

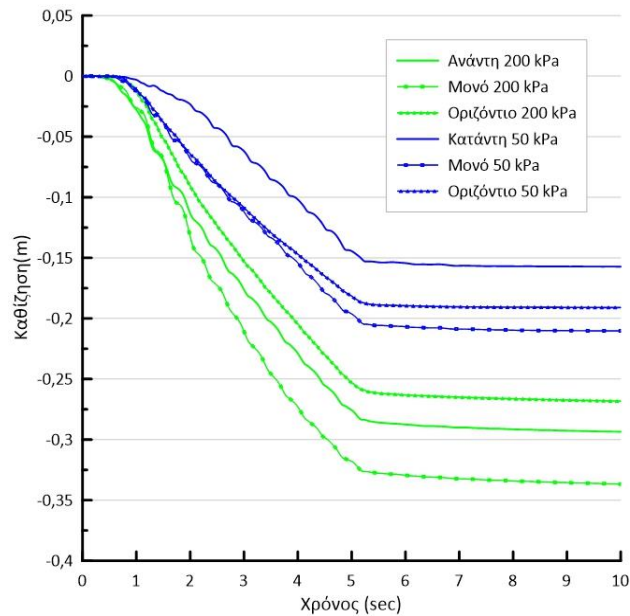


Σχήμα 5.5 Ισοκαμπύλες συντελεστή υπερπίεσης πόρων r_u και συσσωρευμένης διατμητικής παραμόρφωσης γ στο έδαφος κάτω από ζεύγος θεμελίων (πλάτους $B = 5$ m, φορτίων έδρασης $q_{αν} = 50$ kPa, $q_{κατ} = 200$ kPa) με ενδιάμεση απόσταση $D = 5$ m, σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση.

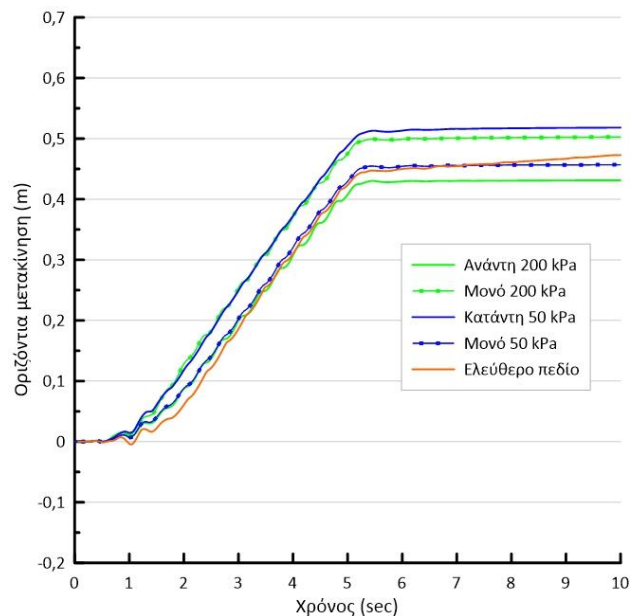
Στο Σχήμα 5.5 παρουσιάζονται οι ισοκαμπύλες της διατμητικής παραμόρφωσης γ και του λόγου υπερπίεσεων πόρων r_u στο έδαφος θεμελίωσης. Η παραμόρφωση του εδάφους γύρω από το κατάντη θεμέλιο είναι αυξημένη σε σχέση με την περίπτωση του μονού (βλ. Σχήμα 4.30), κάτι που αναμενόταν λόγω των μεγαλύτερων καθιζήσεων που αναπτύσσει το κατάντη θεμέλιο. Αντίθετα, το ανάντη θεμέλιο εμφανίζει μια εικόνα αρκετά κοντινή με την περίπτωση του μονού θεμελίου (βλ. Σχήμα 4.25). Την ίδια λογική ακολουθεί και ο συντελεστής υπερπίεσης πόρων.

Στη συνέχεια παρουσιάζεται η αντίθετη περίπτωση, δηλαδή όταν το κατάντη (στενό) θεμέλιο έχει φορτίο έδρασης $q_{κατ} = 50$ kPa και το ανάντη $q_{αν} = 200$ kPa με ενδιάμεση απόσταση $D = 5$ m. Στα Σχήματα 5.6 έως 5.8 φαίνονται

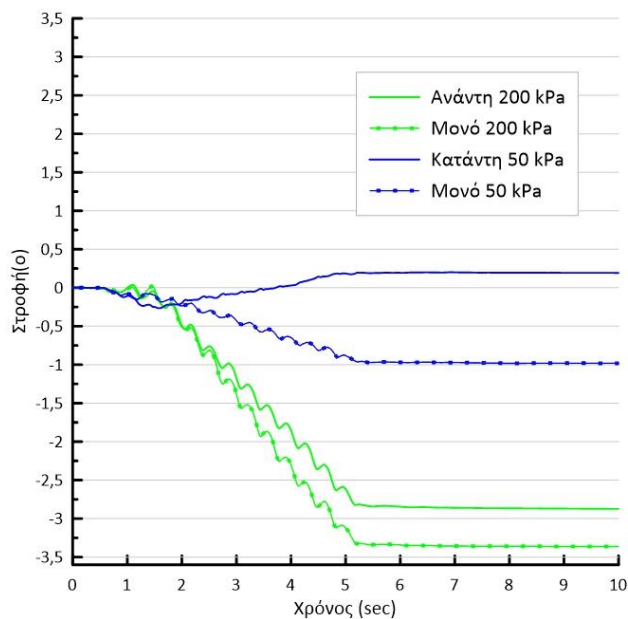
οι χρονοϊστορίες των καθιζήσεων, οριζόντιων μετακινήσεων και στροφών, αντίστοιχα.



Σχήμα 5.6 Χρονοϊστορίες καθίζησης θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 5$ m, διαφορετικά φορτία $q_{av} = 200$ kPa και $q_{κατ} = 50$ kPa, σε απόσταση $D = 5$ m, και σύγκριση με τις καθιζήσεις των ίδιων θεμελίων αν ήταν μεμονωμένα ή οριζόντια.

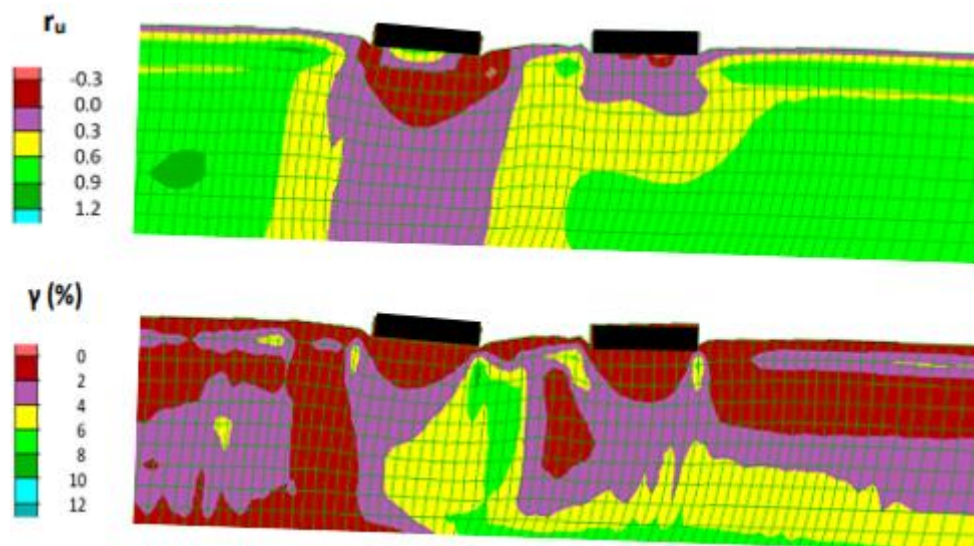


Σχήμα 5.7 Χρονοϊστορίες οριζόντιας μετακίνησης θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 5$ m, διαφορετικά φορτία $q_{av} = 200$ kPa και $q_{κατ} = 50$ kPa, σε απόσταση $D = 5$ m, και σύγκριση με την οριζόντια μετακίνηση του ελεύθερου πεδίου.



Σχήμα 5.8 Χρονοϊστορίες στροφής θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 5 \text{ m}$, διαφορετικά φορτία $q_{av} = 200 \text{ kPa}$ και $q_{κατ} = 50 \text{ kPa}$, σε απόσταση $D = 5 \text{ m}$.

Παρατηρώντας τις χρονοϊστορίες των καθιζήσεων και στροφών (Σχήματα 5.6 και 5.8) τα δύο θεμέλια αλληλοεπιδρούν ευμενώς, καθώς έχουν μικρότερες καθιζήσεις και στροφές από τις αντίστοιχες των μεμονωμένων. Όσον αφορά στην χρονοϊστορία οριζόντιας μετακίνησης το κατάντη θεμέλιο δείχνει να αυξάνει αρκετά την τελική μετακίνηση σε σχέση με το μεμονωμένο, ενώ το ανάντη δείχνει να προστατεύεται λόγω της οριζόντιας μετακίνησης που αναπτύσσει το κατάντη θεμέλιο. Σε κάθε περίπτωση πάντως, το βαρύ θεμέλιο έχει μεγαλύτερες (τελικές) τιμές καθιζήσεων και στροφής από το ελαφρύ, αλλά σε όρους οριζόντιας μετακίνησης η θέση του βαρύ θεμελίου (ανάντη ή κατάντη) δείχνει να παίζει κάποιο ρόλο.

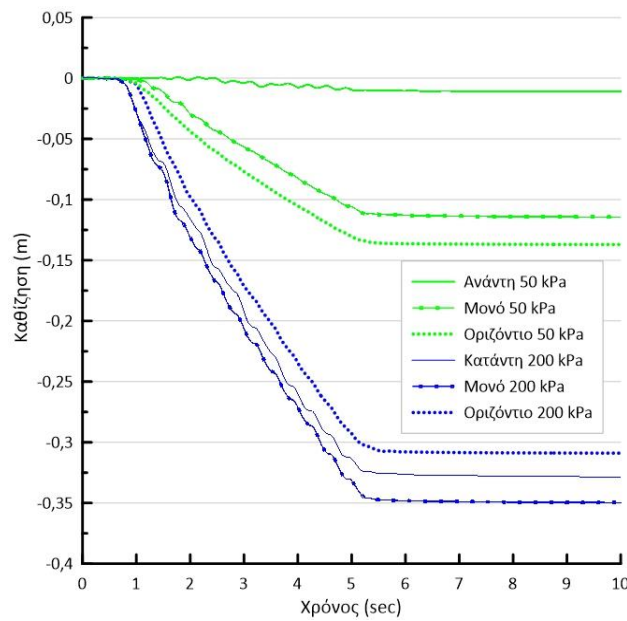


Σχήμα 5.9 Ισοκαμπύλες συντελεστή υπερπίεσης πόρων r_u και συσσωρευμένης διατμητικής παραμόρφωσης γ στο έδαφος κάτω από ζεύγος θεμελίων (πλάτους $B = 5$ m, φορτίων έδρασης $q_{αν} = 200$ kPa, $q_{κατ} = 50$ kPa) με ενδιάμεση απόσταση $D = 5$ m, σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση.

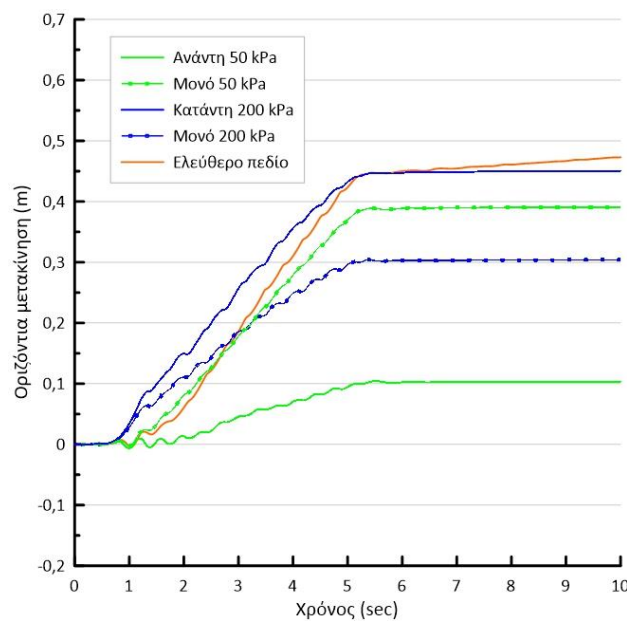
Στο Σχήμα 5.9 φαίνονται οι ισοκαμπύλες του συντελεστή υπερπίεσεων πόρων r_u και της διατμητικής παραμόρφωσης γ στο έδαφος στενών θεμελίων διαφορετικού φορτίου με ενδιάμεση απόσταση $D = 5$ m. Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα με τις περιπτώσεις των μονών θεμελίων (όπως αυτές φαίνονται στα Σχήματα 4.25 και 4.30), στην περιοχή κάτω από το ανάντη θεμέλιο δείχνει να μην επηρεάζεται από την παρουσία του κατάντη θεμελίου. Αντίστοιχα η περιοχή υπό το κατάντη θεμέλιο δείχνει να μην επηρεάζεται αρνητικά, αντιθέτως η παραμόρφωση του εδάφους είναι μικρότερη από την ανάλογη του μεμονωμένου.

5.2.2 Απόκριση ευρέων θεμελίων

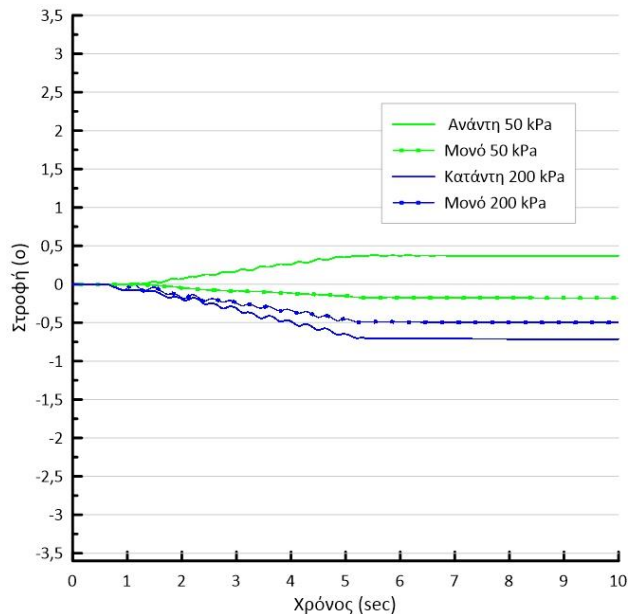
Εφόσον ολοκληρώθηκε η παρουσίαση των αποτελεσμάτων για την περίπτωση όπου τα θεμέλια έχουν πλάτος $B = 5$ m, παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των αναλύσεων για φορτία έδρασης όπως και προηγουμένως αλλά για ευρέα θεμέλια με πλάτη ίσα $B = 20$ m. Στα Σχήματα 5.10 έως 5.12 παρουσιάζονται οι χρονοϊστορίες (μέσης) καθίζησης, οριζόντιας μετακίνησης και στροφής για ευρέα θεμέλια με διαφορετικά φορτία $q_{αν} = 50$ kPa και $q_{κατ} = 200$ kPa σε απόσταση $D = 5$ m.



Σχήμα 5.10 Χρονοϊστορίες καθίζησης θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 20$ m και διαφορετικά φορτία $q_{av} = 50$ kPa και $q_{κατ} = 200$ kPa, σε απόσταση $D = 5$ m, και σύγκριση με τις καθιζήσεις των ίδιων θεμελίων αν ήταν μεμονωμένα ή οριζόντια.

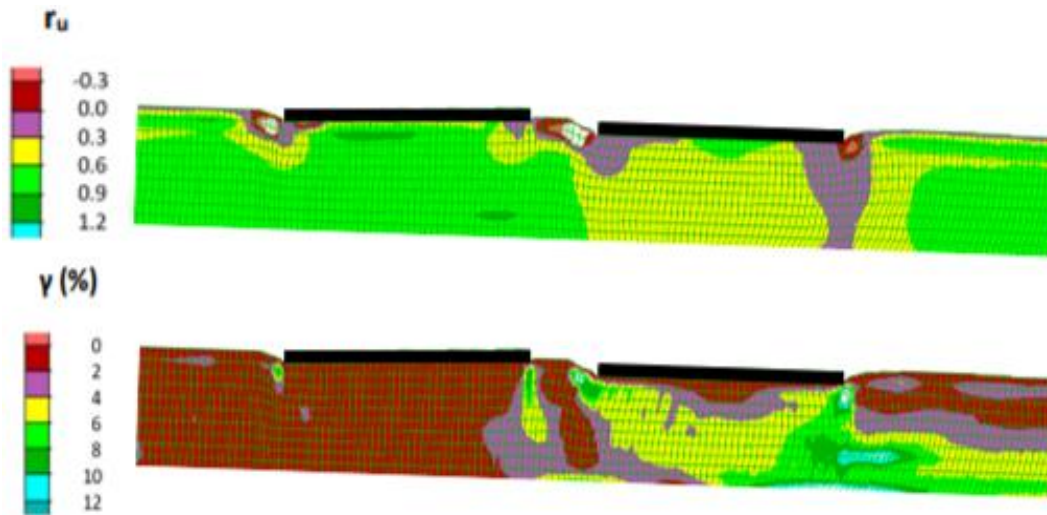


Σχήμα 5.11 Χρονοϊστορίες οριζόντιας μετακίνησης θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 20$ m, διαφορετικά φορτία $q_{av} = 50$ kPa και $q_{κατ} = 200$ kPa, σε απόσταση $D = 5$ m, και σύγκριση με την οριζόντια μετακίνηση του ελεύθερου πεδίου.



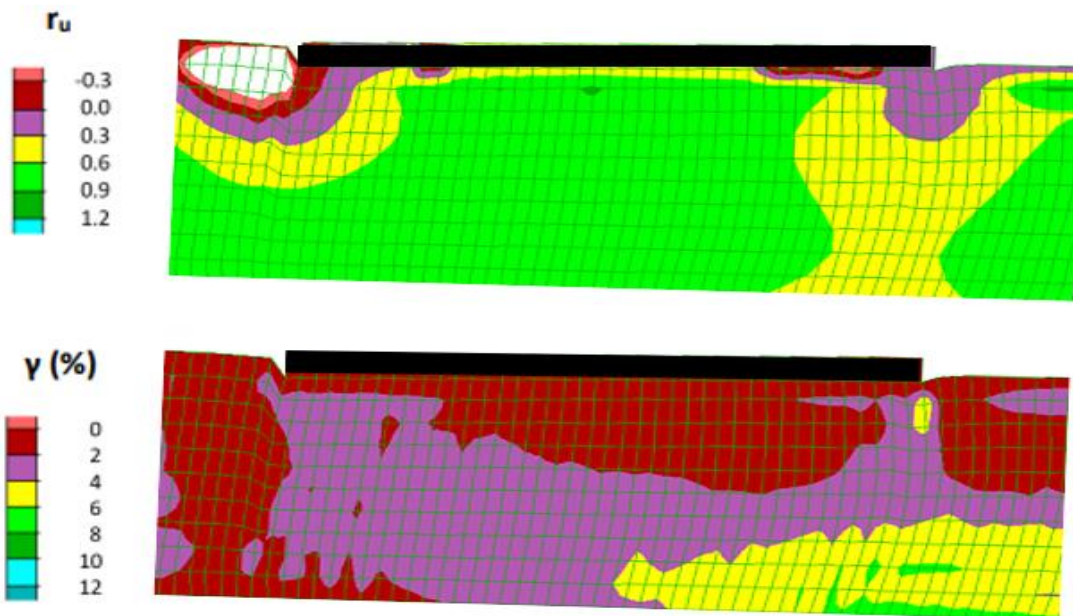
Σχήμα 5.12 Χρονοϊστορίες στροφής θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 20$ m, διαφορετικά φορτία $q_{av} = 50$ kPa και $q_{κατ} = 200$ kPa, σε απόσταση $D = 5$ m, και σύγκριση με τις καθιζήσεις των ίδιων θεμελίων αν ήταν μεμονωμένα ή οριζόντια.

Αρχίζοντας από τις χρονοϊστορίες των καθιζήσεων, όπως παρατηρείται και στην περίπτωση των στενών θεμελίων, το ανάτη θεμέλιο αλληλεπιδρά ευμενώς και οι τελικές καθιζήσεις είναι αρκετά μικρότερες από τις αντίστοιχες του οριζόντιου ή/και μονού θεμελίου με το ίδιο εύρος και φορτίο. Ακολούθως το κατάντη θεμέλιο στην προκειμένη περίπτωση έχει τελικώς μικρότερες τελικές καθιζήσεις σε σχέση με το μονό θεμέλιο. Όσον αφορά στις χρονοϊστορίες των οριζόντιων μετακινήσεων και στροφών, το κατάντη θεμέλιο παρουσιάζει αύξηση των τελικών τιμών σε σχέση με την περίπτωση του μονού θεμελίου, ενώ το ανάτη δείχνει να μην επηρεάζεται δυσμενώς. Σε κάθε περίπτωση, οι καθιζήσεις είναι σαφώς μεγαλύτερες στο βαρύ θεμέλιο, ανεξαρτήτως θέσης, ενώ και οριζόντιες μετακινήσεις των ευρέων θεμελίων είναι πάντα μικρότερες ή ίσες από εκείνη του ελευθέρου πεδίου.

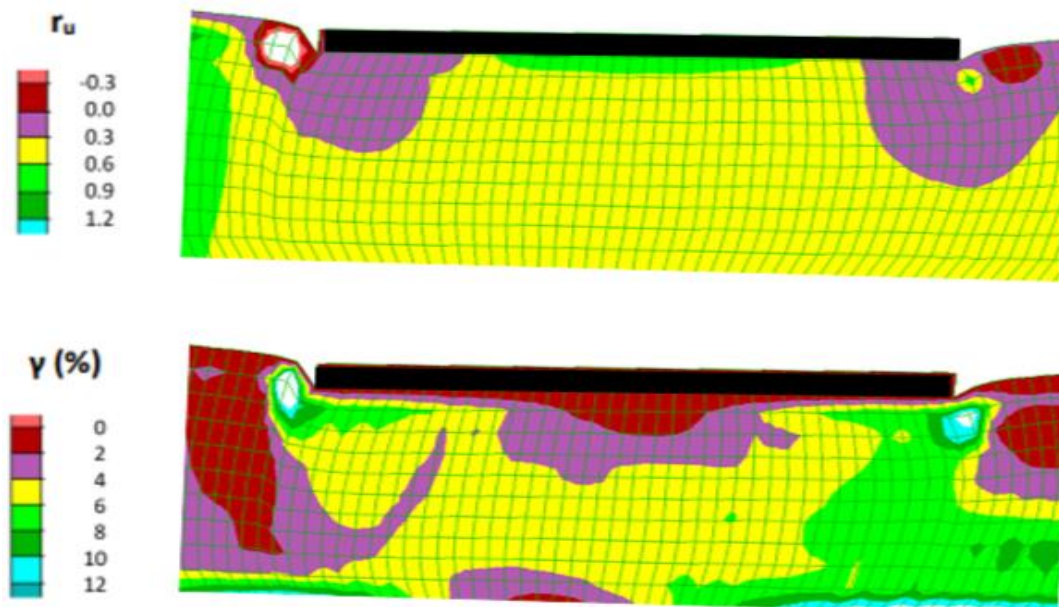


Σχήμα 5.13 Ισοκαμπύλες συντελεστή υπερπίεσης πόρων r_u και συσσωρευμένης διατμητικής παραμόρφωσης γ στο έδαφος κάτω από ζεύγος θεμελίων (πλάτους $B = 20$ m, φορτίων έδρασης $q_{αν} = 50$ kPa, $q_{κατ} = 200$ kPa) με ενδιάμεση απόσταση $D = 5$ m, σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση.

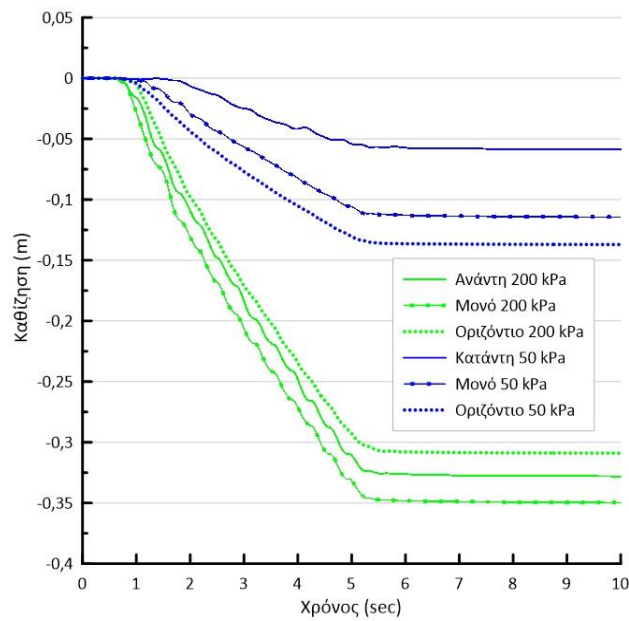
Στο Σχήμα 5.13 παρουσιάζονται οι ισοκαμπύλες της διατμητικής παραμόρφωσης γ και του λόγου υπερπίεσεων πόρων r_u στο έδαφος θεμελίωσης στο τέλος της διέγερσης για τις ως άνω περιπτώσεις. Για λόγους πληρότητας παρατίθενται εδώ και τα αποτελέσματα μονών θεμελίων πλάτους $B = 20$ m και φορτίων έδρασης $q = 50$ και 200 kPa, στα Σχήματα 5.14 και 5.15, αντίστοιχα. Η παραμόρφωση του εδάφους κάτω από το κατάντη θεμέλιο είναι αυξημένη σε σχέση με την περίπτωση του αντίστοιχου μονού θεμελίου (βλ. Σχήμα 4.30), κάτι που αναμενόταν λόγω των μεγαλύτερων καθιζήσεων που αναπτύσσει το κατάντη θεμέλιο.



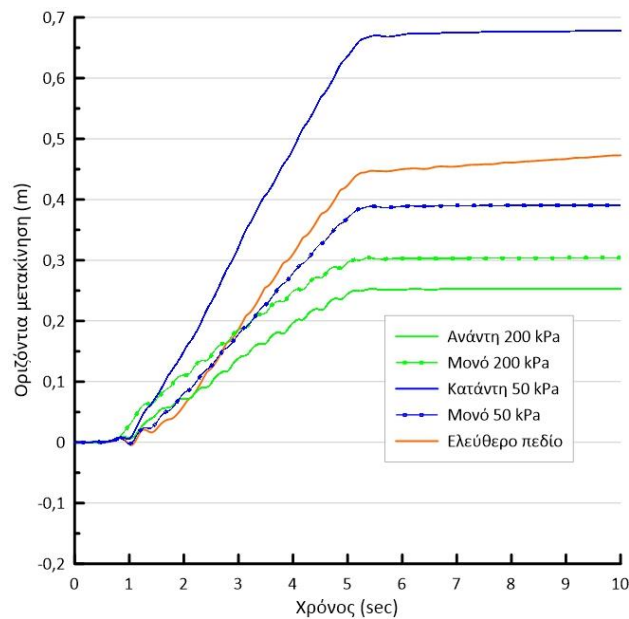
Σχήμα 5.14 Ισοκαμπύλες συντελεστή υπερπίεσης πόρων r_u και συσσωρευμένης διατμητικής παραμόρφωσης γ στο έδαφος κάτω από μονό θεμέλιο (πλάτους $B = 20$ m, φορτίου έδρασης $q = 50$ kPa), σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση.



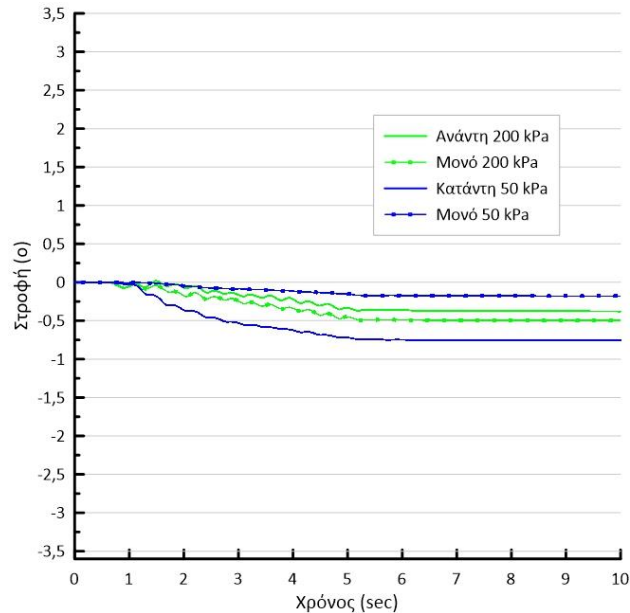
Σχήμα 5.15 Ισοκαμπύλες συντελεστή υπερπίεσης πόρων r_u και συσσωρευμένης διατμητικής παραμόρφωσης γ στο έδαφος κάτω από μονό θεμέλιο (πλάτους $B = 20$ m, φορτίου έδρασης $q = 200$ kPa), σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση.



Σχήμα 5.16 Χρονοϊστορίες καθίζησης θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 20 \text{ m}$, διαφορετικά φορτία $q_{av} = 200 \text{ kPa}$ και $q_{κατ} = 50 \text{ kPa}$, σε απόσταση $D = 5 \text{ m}$, και σύγκριση με τις καθιζήσεις των ίδιων θεμελίων αν ήταν μεμονωμένα ή οριζόντια.

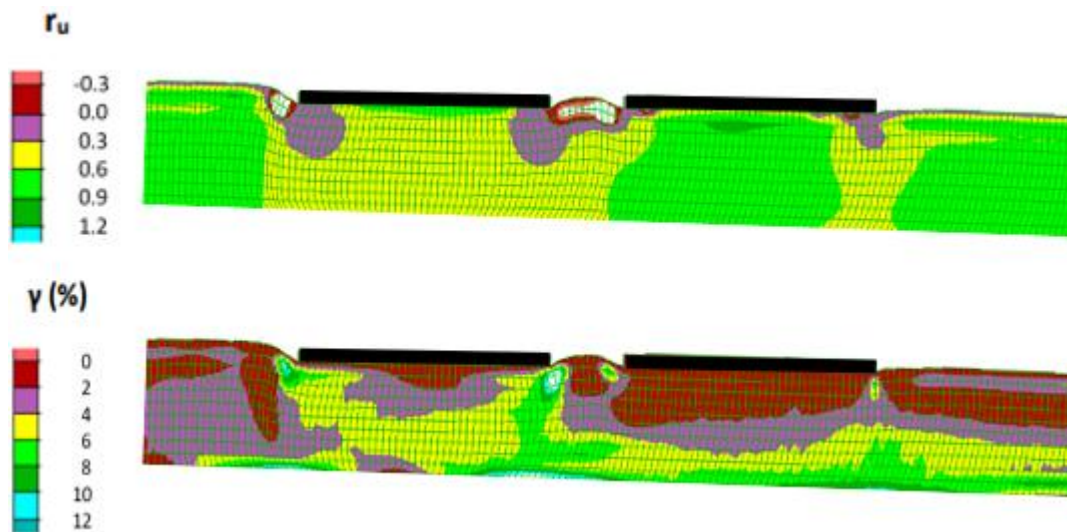


Σχήμα 5.17 Χρονοϊστορίες οριζόντιας μετακίνησης θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 20 \text{ m}$, διαφορετικά φορτία $q_{av} = 200 \text{ kPa}$ και $q_{κατ} = 50 \text{ kPa}$, σε απόσταση $D = 5 \text{ m}$, και σύγκριση με την οριζόντια μετακίνηση του ελεύθερου πεδίου.



Σχήμα 5.18 Χρονοϊστορίες στροφής θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 20 \text{ m}$, διαφορετικά φορτία $q_{αν} = 200 \text{ kPa}$ και $q_{κατ} = 50 \text{ kPa}$, σε απόσταση $D = 5 \text{ m}$, και σύγκριση με τις καθιζήσεις των ίδιων θεμελίων αν ήταν μεμονωμένα ή οριζόντια.

Με βάση τα αποτελέσματα των αναλύσεων στις χρονοϊστορίες των καθιζήσεων τα θεμέλια αλληλοεπιδρούν ευμενώς, καθώς αναπτύσσουν μικρότερες τελικές τιμές από τα μεμονωμένα. Το κατάντη θεμέλιο έχει αρκετά μεγάλη μετακίνηση όπως κι στην περίπτωση των στενών θεμελίων (Σχήμα 5.7) μόνο που τώρα έχει αρκετά μεγαλύτερη. Οι στροφές των θεμελίων λόγω του μεγάλου εύρους τους είναι γενικώς μικρές, αλλά όχι αμελητέες.



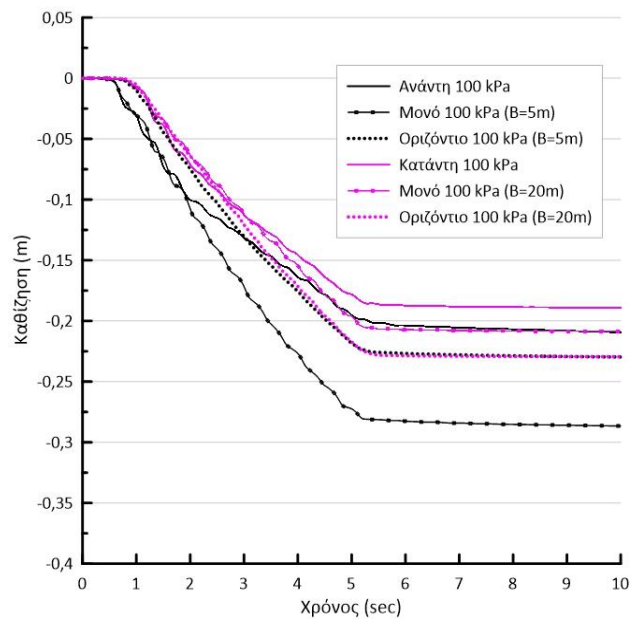
Σχήμα 5.19 Ισοκαμπύλες συντελεστή υπερπίεσης πόρων r_u και συσσωρευμένης διατμητικής παραμόρφωσης γ στο έδαφος κάτω από ζεύγος θεμελίων (πλάτους $B = 20$ m, φορτίων έδρασης $q_{αν} = 200$ kPa, $q_{κατ} = 50$ kPa) με ενδιάμεση απόσταση $D = 5$ m, σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση.

Στο Σχήμα 5.19 παρουσιάζονται οι ισοκαμπύλες της διατμητικής παραμόρφωσης γ και του λόγου υπερπίεσεων πόρων r_u στο έδαφος θεμελίωσης. Το κατάντη θεμέλιο έχει τελικώς αρκετά μικρή καθίζηση κάτι που αποτυπώνεται και στη συγκριτικά μικρή παραμόρφωση του εδάφους υπό αυτό.

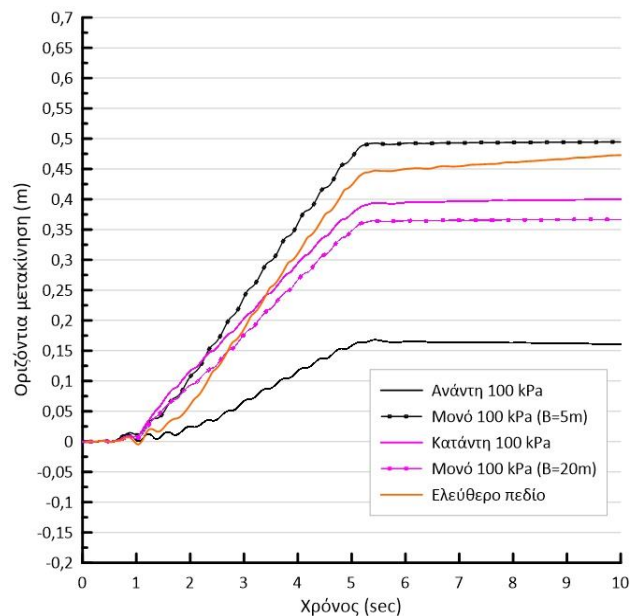
5.3 Τυπική απόκριση θεμελίων διαφορετικού πλάτους με ίδιο φορτίο

Στην παράγραφο αυτή διερευνάται η αλληλεπίδραση κατασκευής - εδάφους - κατασκευής στην περίπτωση που τα γειτονικά θεμέλια έχουν διαφορετικά πλάτη αλλά ίδιο φορτίο. Όπως και ανωτέρω, η μελέτη αφορά στις χρονοϊστορίες καθιζήσεων, οριζοντίων μετακινήσεων και στροφών των θεμελίων και τις τελικές τιμές των μεγεθών αυτών. Τα πλάτη που επιλέχθηκαν είναι $B = 5$ m και $B = 20$ m με τα θεμέλια να έχουν κοινό φορτίο έδρασης ίσο με $q = 100$ kPa και ενδιάμεση απόσταση $D = 5$ m. Αρχικώς, στα Σχήματα 5.20, 5.21 και 5.22 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των χρονοϊστοριών

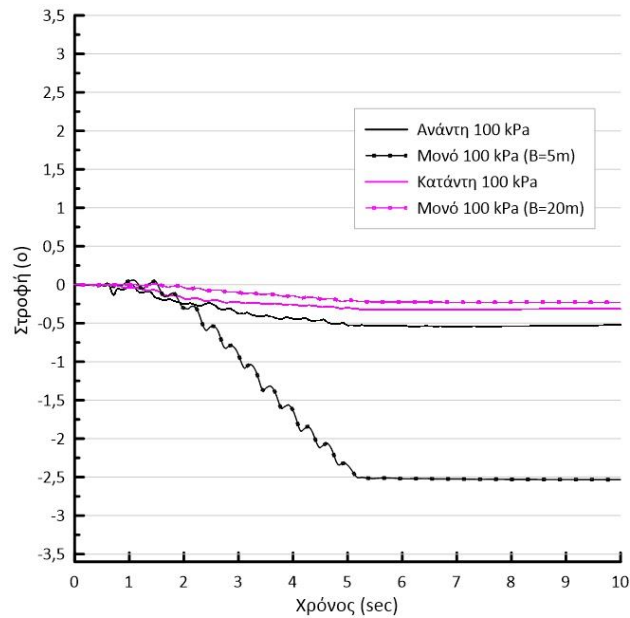
καθίζησης, οριζόντιας μετακίνησης και στροφής, με το στενό θεμέλιο να βρίσκεται στα ανάντη και το ευρύ θεμέλιο στα κατάντη.



Σχήμα 5.20 Χρονοϊστορίες καθίζησης θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν διαφορετικά πλάτη $B_{αν}$ = 5 m και $B_{κατ}$ = 20 m, ίδια φορτία $q_{αν}$ = 100 kPa και $q_{κατ}$ = 100 kPa, σε απόσταση D = 5 m, και σύγκριση με τις καθιζήσεις των ίδιων θεμελίων αν ήταν μεμονωμένα ή οριζόντια.

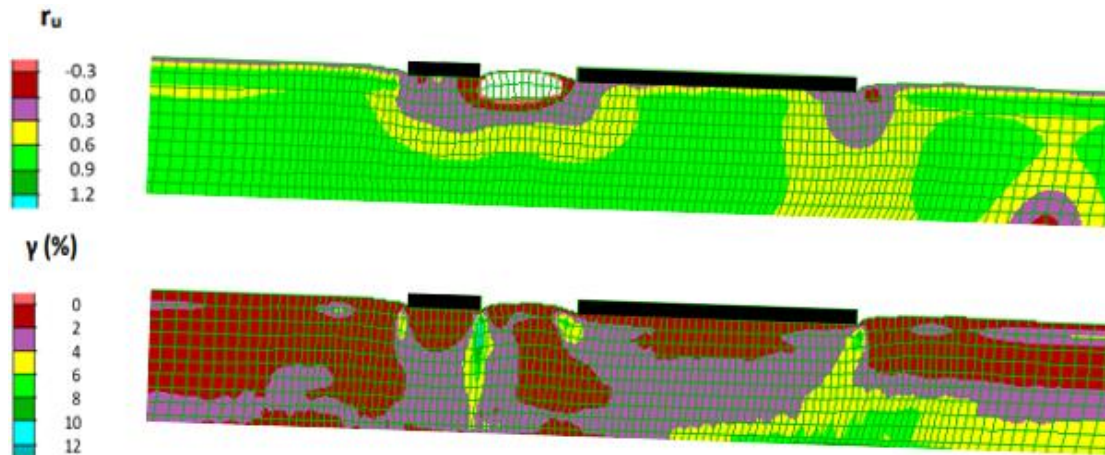


Σχήμα 5.21 Χρονοϊστορίες οριζόντιας μετακίνησης θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν διαφορετικά πλάτη $B_{αν}$ = 5 m και $B_{κατ}$ = 20 m, ίδια φορτία $q_{αν}$ = 100 kPa και $q_{κατ}$ = 100 kPa, σε απόσταση D = 5 m, και σύγκριση με την οριζόντια μετακίνηση του ελεύθερου πεδίου.



Σχήμα 5.22 Χρονοϊστορίες στροφής θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν διαφορετικά πλάτη $B_{αν} = 5 \text{ m}$ και $B_{κατ} = 20 \text{ m}$, ίδια φορτία $q_{αν} = 100 \text{ kPa}$ και $q_{κατ} = 100 \text{ kPa}$, σε απόσταση $D = 5 \text{ m}$, και σύγκριση με τις στροφές των ίδιων θεμελίων αν ήταν μεμονωμένα.

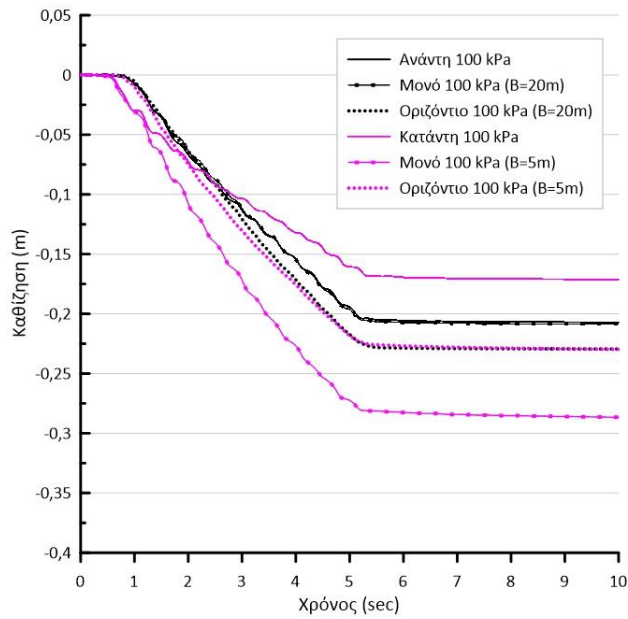
Παρατηρώντας τις τρεις χρονοϊστορίες είναι εμφανές ότι το στενό θεμέλιο προστατεύεται από την ύπαρξη του ευρύ θεμελίου στα κατάντη. Αντίστοιχα για το κατάντη θεμέλιο προκύπτει μείωση της καθίζησης και αύξηση της οριζόντιας μετακίνησης συγκριτικά με την αντίστοιχη του μεμονωμένου θεμελίου.



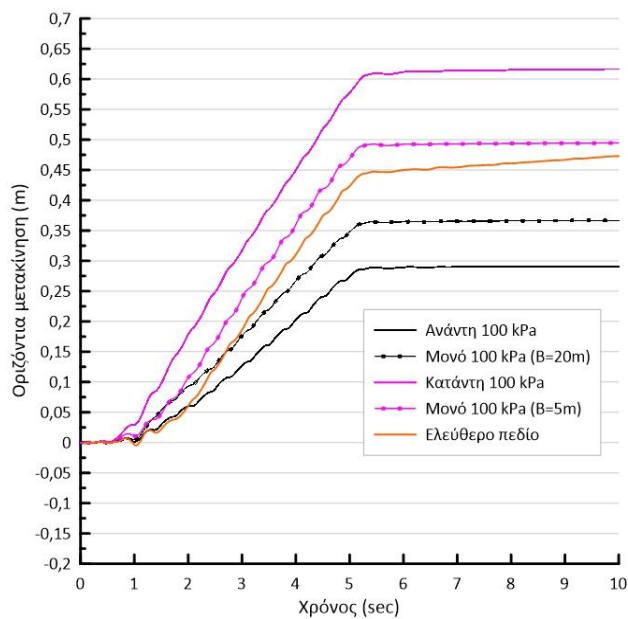
Σχήμα 5.23 Ισοκαμπύλες συντελεστή υπερπίεσης πόρων r_u και συσσωρευμένης διαμητρικής παραμόρφωσης γ στο έδαφος κάτω από ζεύγος θεμελίων (πλάτους $B_{av} = 5$ m και $B_{κατ} = 20$ m, φορτίων έδρασης $q_{av} = 100$ kPa, $q_{κατ} = 100$ kPa) με ενδιάμεση απόσταση $D = 5$ m, σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση.

Συγκεκριμένα, για $q = 100$ kPa η ελαφρώς ευμενής αλληλεπίδραση θα πρέπει να σχετίζεται με την εντονότερη ρευστοποίηση σε μεγάλα βάθη τόσο κάτω από το στενό όσο και το ευρύ θεμέλιο, προκαλώντας μικρότερες τελικές καθιζήσεις. Ακόμα, η δημιουργία συγκλίνουσας στροφής του στενού θεμελίου και η ελαφρώς αποκλίνουσα στροφή του ευρέος είναι αποτέλεσμα του ανομοιόμορφου μηχανισμού αστοχίας που δημιουργήθηκε κάτω από τις παρειές των θεμελίων.

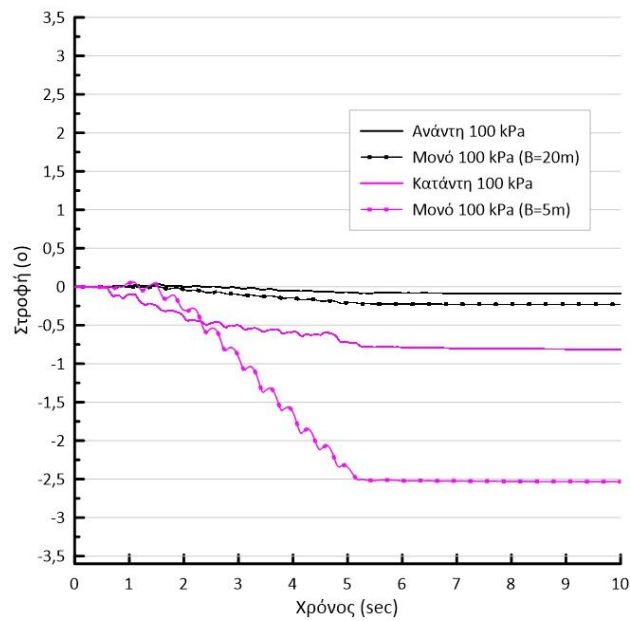
Για την ολοκλήρωση της παραγράφου παρακάτω εξετάζεται η αντίστροφη περίπτωση δηλαδή το ευρύ θεμέλιο βρίσκεται ανάντη και το στενό θεμέλιο ίδιου φορτίου στα κατάντη. Στα Σχήματα 5.24, 5.25 και 5.26 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των χρονοϊστοριών καθίζησης, οριζόντιας μετακίνησης και στροφής για την περίπτωση αυτή.



Σχήμα 5.24 Χρονοϊστορίες καθίζησης θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν διαφορετικά πλάτη $B_{av} = 20 \text{ m}$ και $B_{κατ} = 5 \text{ m}$, ίδια φορτία $q_{av} = 100 \text{ kPa}$ και $q_{κατ} = 100 \text{ kPa}$, σε απόσταση $D = 5 \text{ m}$, και σύγκριση με τις καθιζήσεις των ίδιων θεμελίων αν ήταν μεμονωμένα ή οριζόντια.

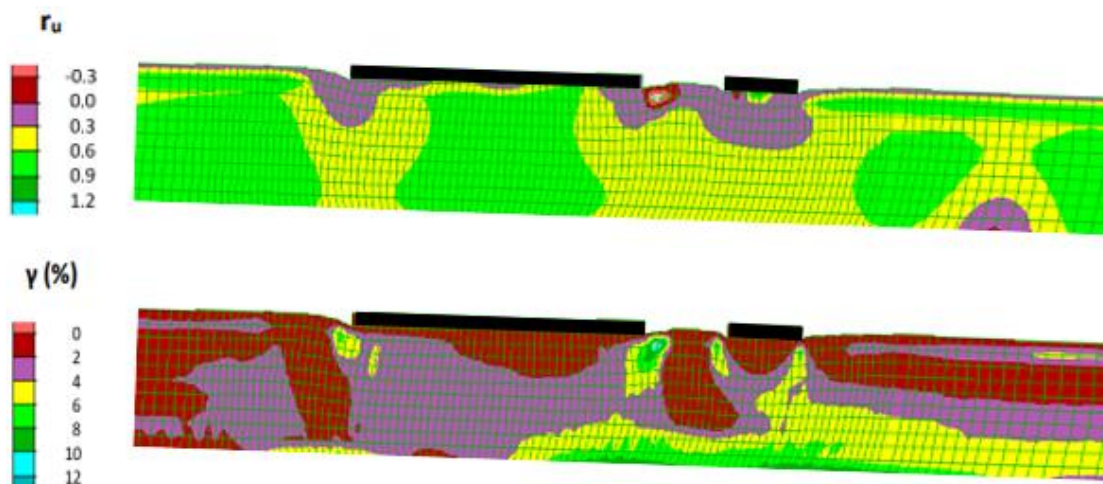


Σχήμα 5.25 Χρονοϊστορίες οριζόντιας μετακίνησης θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν διαφορετικά πλάτη $B_{av} = 20 \text{ m}$ και $B_{κατ} = 5 \text{ m}$, ίδια φορτία $q_{av} = 100 \text{ kPa}$ και $q_{κατ} = 100 \text{ kPa}$, σε απόσταση $D = 5 \text{ m}$, και σύγκριση με την οριζόντια μετακίνηση του ελεύθερου πεδίου.



Σχήμα 5.26 Χρονοϊστορίες στροφής θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν διαφορετικά πλάτη $B_{av} = 20 \text{ m}$ και $B_{κατ} = 5 \text{ m}$, ίδια φορτία $q_{av} = 100 \text{ kPa}$ και $q_{κατ} = 100 \text{ kPa}$, σε απόσταση $D = 5 \text{ m}$, και σύγκριση με τις στροφές των ίδιων θεμελίων αν ήταν μεμονωμένα.

Όσον αφορά στην χρονοϊστορία των καθιζήσεων προέκυψε ότι τα γειτονικά θεμέλια αλληλεπιδρούν ευμενώς και τελικώς αναπτύσσονται μικρότερες τελικές τιμές από εκείνες των μεμονωμένων. Κατ' αντιστοιχία ευμενής αλληλεπίδραση μεταξύ των θεμελίων φαίνεται και στις χρονοϊστορίες των στροφών. Ενώ για τις χρονοϊστορίες της οριζόντιας μετακίνησης το κατάντη θεμέλιο επηρεάστηκε δυσμενώς, το ευρύ θεμέλιο κι σε αυτήν την περίπτωση όπως και προηγουμένως δεν ξεπέρασε τις αντίστοιχες του μεμονωμένου θεμελίου.



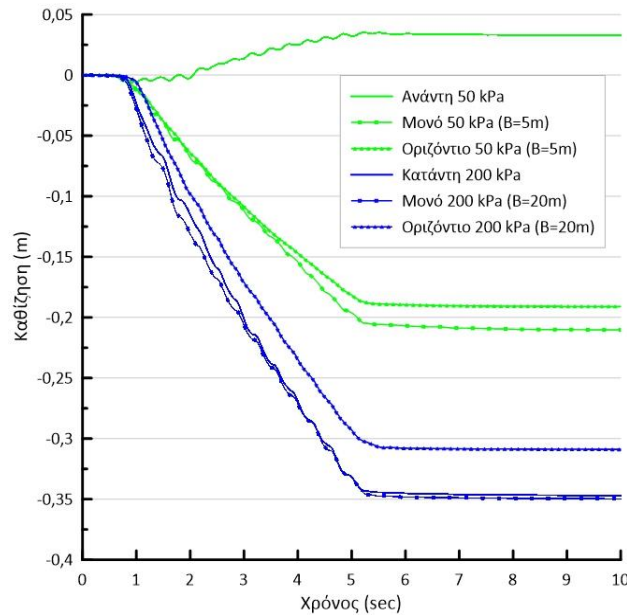
Σχήμα 5.27 Ισοκαμπύλες συντελεστή υπερπίεσης πόρων r_u και συσσωρευμένης διατμητικής παραμόρφωσης γ στο έδαφος κάτω από ζεύγος θεμελίων (πλάτους $B_{av} = 20$ m και $B_{κατ} = 5$ m, φορτίων έδρασης $q_{av} = 100$ kPa, $q_{κατ} = 100$ kPa) με ενδιάμεση απόσταση $D = 5$ m, σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση.

Χάριν πληρότητας, στο Σχήμα 5.27 παρουσιάζονται οι ισοκαμπύλες της διατμητικής παραμόρφωσης γ και του λόγου υπερπιέσεων πόρων r_u στο έδαφος θεμελίωσης για την ως άνω περίπτωση. Προκύπτει ότι η παραμόρφωση του εδάφους έχει μειωθεί στο κατάντη θεμέλιο, γεγονός που αποτυπώνεται και στη μείωση των καθιζήσεων συγκριτικά με την περίπτωση του αντίστοιχου μεμονωμένου θεμελίου (βλ. Σχήμα 4.6).

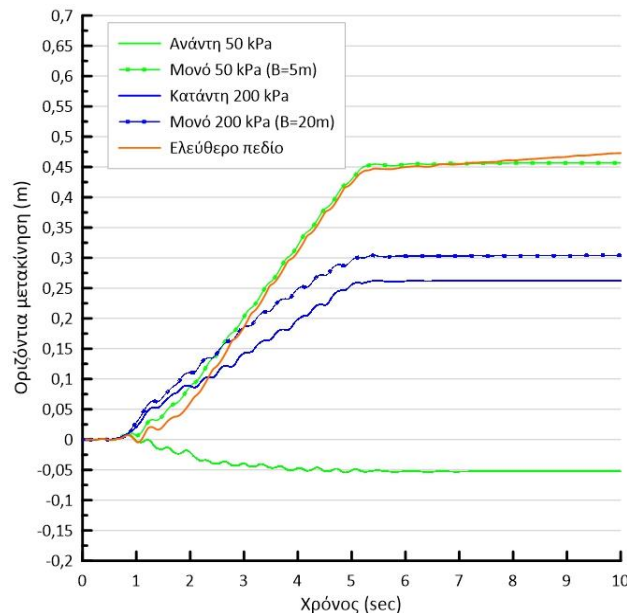
5.4 Τυπική απόκριση θεμελίων διαφορετικού πλάτους και διαφορετικού φορτίου

Στις προηγούμενες παραγράφους τα θεμέλια που εξετάστηκαν είχαν κοινά χαρακτηριστικά είτε ως προς το πλάτος B είτε ως προς το φορτίο έδρασης q . Για το λόγο αυτό στην παρούσα παράγραφο μελετώνται διαφορετικά μεταξύ τους θεμέλια τόσο ως προς τα πλάτη όσο και ως προς τα φορτία έδρασης τους. Οι παρακάτω αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν με ενδιάμεση απόσταση $D = 5$ m, όπως και στις προηγούμενες παραγράφους. Έτσι, στα Σχήματα 5.28 έως 5.30 παρουσιάζονται οι χρονοϊστορίες (μέσης) καθίζησης, οριζόντιας μετακίνησης και στροφής, με το στενό θεμέλιο ($B = 5$ m) να βρίσκεται στα ανάντη και το ευρύ θεμέλιο ($B = 20$ m) στα κατάντη, ενώ τα

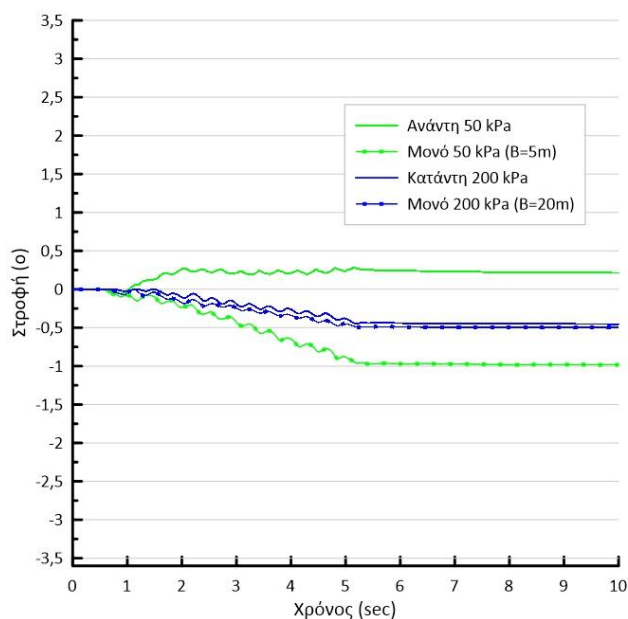
αντίστοιχα φορτία έδρασης να είναι 50 kPa και 200 kPa, αντίστοιχα. Δηλαδή το στενό/ελαφρύ θεμέλιο βρίσκεται στα ανάντη και το βαρύ/ευρύ θεμέλιο στα κατάντη.



Σχήμα 5.28 Χρονοϊστορίες καθίζησης θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν διαφορετικά πλάτη $B_{αν} = 5 \text{ m}$ και $B_{κατ} = 20 \text{ m}$, διαφορετικά φορτία $q_{αν} = 50 \text{ kPa}$ και $q_{κατ} = 200 \text{ kPa}$, σε απόσταση $D = 5 \text{ m}$, και σύγκριση με τις καθιζήσεις των ίδιων θεμελίων αν ήταν μεμονωμένα ή οριζόντια.

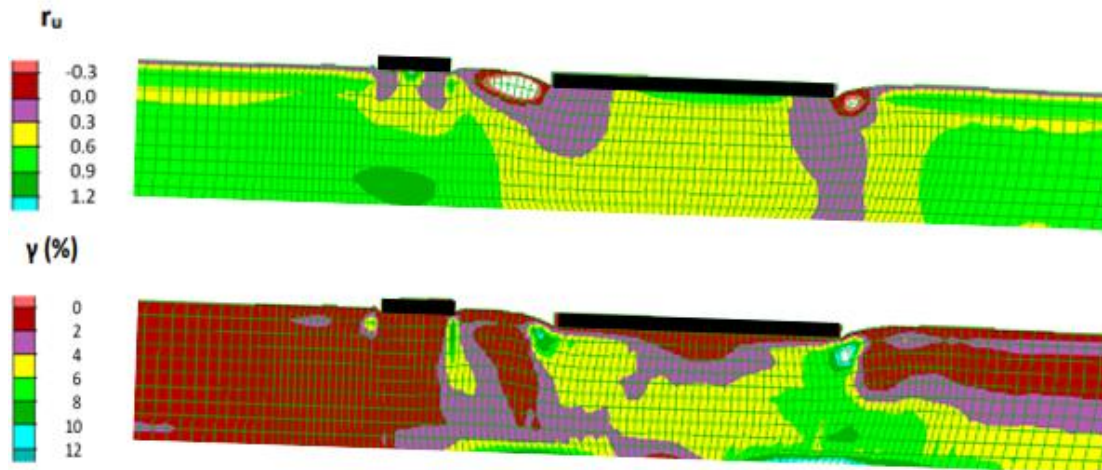


Σχήμα 5.29 Χρονοϊστορίες οριζόντιας μετακίνησης θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν διαφορετικά πλάτη $B_{αν} = 5 \text{ m}$ και $B_{κατ} = 20 \text{ m}$, διαφορετικά φορτία $q_{αν} = 50 \text{ kPa}$ και $q_{κατ} = 200 \text{ kPa}$, σε απόσταση $D = 5 \text{ m}$, και σύγκριση με την οριζόντια μετακίνηση του ελεύθερου πεδίου.



Σχήμα 5.30 Χρονοϊστορίες στροφής θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν διαφορετικά πλάτη $B_{av} = 5\text{ m}$ και $B_{κατ} = 20\text{ m}$, διαφορετικά φορτία $q_{av} = 50\text{ kPa}$ και $q_{κατ} = 200\text{ kPa}$, σε απόσταση $D = 5\text{ m}$, και σύγκριση με τις στροφές των ίδιων θεμελίων αν ήταν μεμονωμένα.

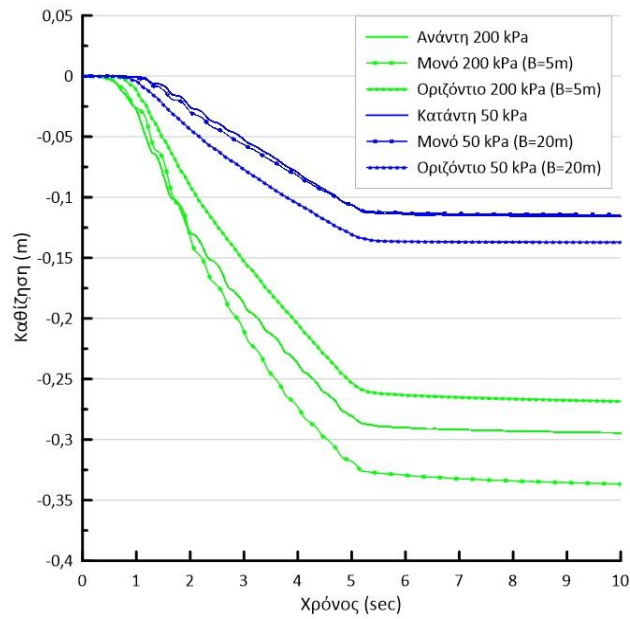
Από τη σύγκριση προκύπτει ότι το ευρύ - βαρύ θεμέλιο καθιζάνει περισσότερο από το στενό - ελαφρύ, κι ότι η αλληλεπίδραση σε όρους καθίζησης είναι ευμενής και για τα δύο θεμέλια. Η αλληλεπίδραση είναι ορατή και σε όρους στροφής, καθώς και τα δύο θεμέλια φαίνεται να αποκλίνουν το ένα από το άλλο με τη διαφορά πως οι στροφές των θεμελίων είναι μικρές. Η ευμενής αλληλεπίδραση είναι προφανής και σε όρους οριζόντιας μετατόπισης. Το ενδιαφέρον στην απόκριση αυτή είναι ότι το ελαφρύ/στενό θεμέλιο επηρεάζεται ευμενώς πάρα πολύ, με αποτέλεσμα να παρουσιάζει έως και ανύψωση (αντί για την αναμενόμενη καθίζηση), οριζόντια μετακίνηση προς τα ανάντη (αντί για την αναμενόμενη προς τα κατάντη) και στροφή αντι-ωρολογιακή (αντί για την αναμενόμενη ωρολογιακή και προς τα κατάντη).



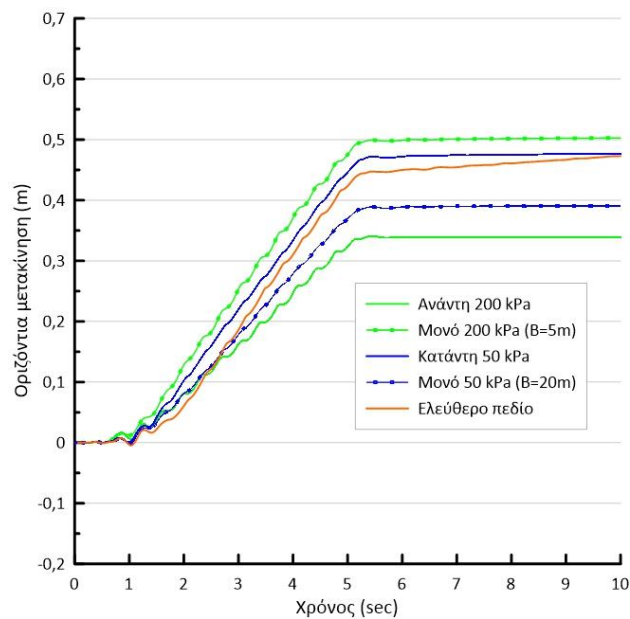
Σχήμα 5.31 Ισοκαμπύλες συντελεστή υπερπίεσης πόρων r_u και συσσωρευμένης διατμητικής παραμόρφωσης γ στο έδαφος κάτω από ζεύγος θεμελίων (πλάτους $B_{av} = 5$ m και $B_{κατ} = 20$ m, φορτίων έδρασης $q_{av} = 50$ kPa, $q_{κατ} = 200$ kPa) με ενδιάμεση απόσταση $D = 5$ m, σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση.

Στο Σχήμα 5.31 παρουσιάζονται οι ισοκαμπύλες του λόγου υπερπίεσεων πόρων r_u και της διατμητικής παραμόρφωσης γ στο έδαφος του ζεύγους στενού/ελαφρύ θεμελίου στα ανάντη και ευρύ/βαρύ θεμελίου στα κατάντη και σε ενδιάμεση απόσταση $D = 5$ m. Προκύπτει διαφορετικό προφίλ υπερπίεσεων κάτω από τα δύο θεμέλια, με το στενό/ελαφρύ να έχει μεγαλύτερες τιμές, εικόνα αντίθετη από εκείνη του αντίστοιχου μονού (Σχήμα 4.25), ενώ στο ευρύ/βαρύ η κατανομή των υπερπίεσεων πόρων δεν μοιάζει με εκείνη του μεμονωμένου (Σχήμα 5.15). Σημαντική παρατήρηση είναι πως πρακτικά δεν υπάρχει μηχανισμός αστοχίας κάτω από το στενό/ελαφρύ θεμέλιο ενώ του ευρύ/βαρύ θεμελίου είναι συμμετρικός και πανομοιότυπος με του μονού.

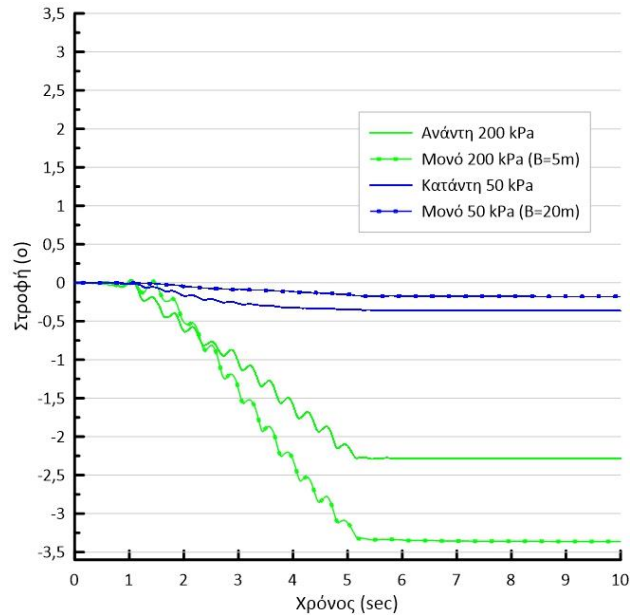
Στη συνέχεια, το στενό θεμέλιο στα ανάντη θεωρείται βαρύ, ενώ το ευρύ θεμέλιο στα κατάντη το ανάποδο. Έτσι, στα Σχήματα 5.32 έως 5.34 παρουσιάζονται οι χρονοϊστορίες (μέσης) καθίζησης, οριζόντιας μετακίνησης και στροφής, με το στενό/βαρύ θεμέλιο να βρίσκεται στα ανάντη και το ευρύ/ελαφρύ θεμέλιο να βρίσκεται στα κατάντη, δηλαδή με τα φορτία έδρασης να είναι $q_{av} = 200$ kPa και $q_{κατ} = 50$ kPa, αντίστοιχα.



Σχήμα 5.32 Χρονοϊστορίες καθίζησης θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν διαφορετικά πλάτη $B_{av} = 5 \text{ m}$ και $B_{κατ} = 20 \text{ m}$, διαφορετικά φορτία $q_{av} = 200 \text{ kPa}$ και $q_{κατ} = 50 \text{ kPa}$, σε απόσταση $D = 5 \text{ m}$, και σύγκριση με τις καθιζήσεις των ίδιων θεμελίων αν ήταν μεμονωμένα ή οριζόντια.

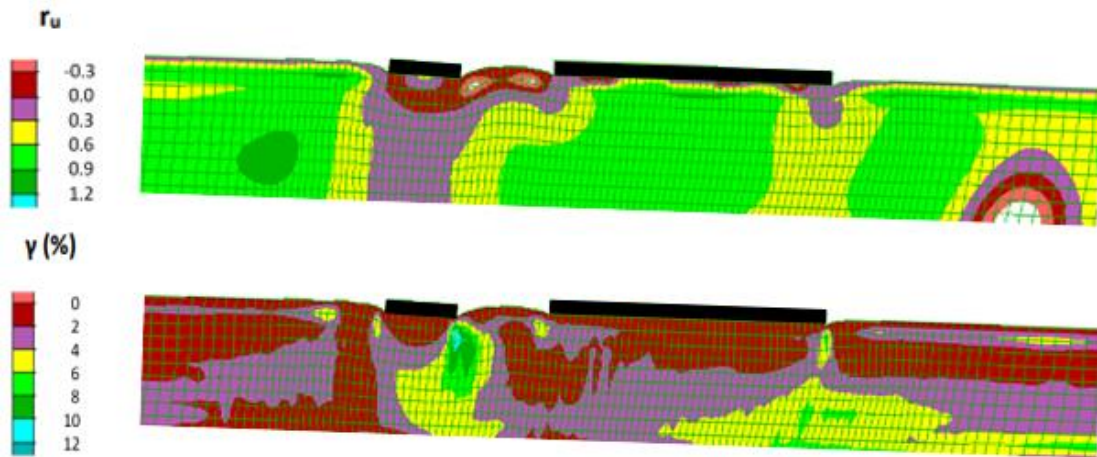


Σχήμα 5.33 Χρονοϊστορίες οριζόντιας μετακίνησης θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν διαφορετικά πλάτη $B_{av} = 5 \text{ m}$ και $B_{κατ} = 20 \text{ m}$, διαφορετικά φορτία $q_{av} = 200 \text{ kPa}$ και $q_{κατ} = 50 \text{ kPa}$, σε απόσταση $D = 5 \text{ m}$, και σύγκριση με την οριζόντια μετακίνηση του ελεύθερου πεδίου.



Σχήμα 5.34 Χρονοϊστορίες στροφής θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν διαφορετικά πλάτη $B_{αν} = 5 \text{ m}$ και $B_{κατ} = 20 \text{ m}$, διαφορετικά φορτία $q_{αν} = 200 \text{ kPa}$ και $q_{κατ} = 50 \text{ kPa}$, σε απόσταση $D = 5 \text{ m}$, και σύγκριση με τις στροφές των ίδιων θεμελίων αν ήταν μεμονωμένα.

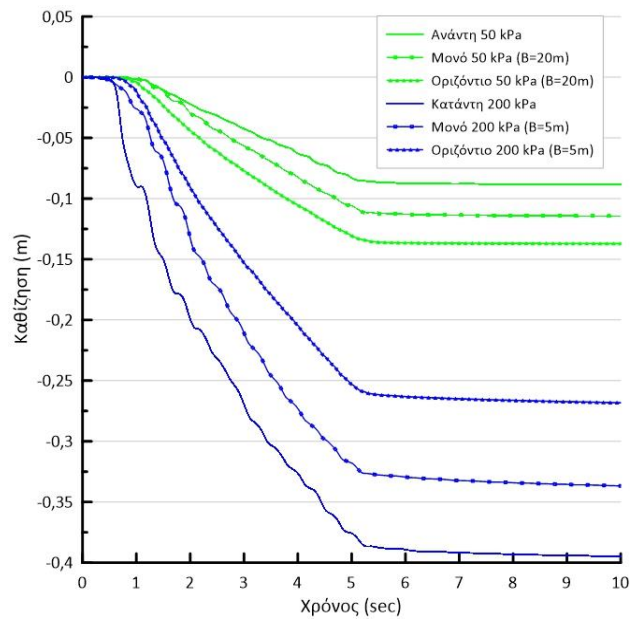
Από τη σύγκριση προκύπτει ότι το στενό/βαρύ θεμέλιο καθιζάνει περισσότερο από το ευρύ/ελαφρύ, κι ότι η αλληλεπίδραση σε όρους καθίζησης είναι ευμενής και για τα δύο. Σε όρους οριζόντιας μετακίνησης το ανάντη θεμέλιο δείχνει να προστατεύεται από την ύπαρξη του κατάντη θεμελίου, αλλά το ανάποδο να προκύπτει για το κατάντη θεμέλιο. Η αλληλεπίδραση είναι ορατή και σε όρους στροφής, καθώς και τα δύο θεμέλια φαίνεται να αποκλίνουν το ένα από το άλλο με τη διαφορά πως η στροφή του ευρύ/βαρύ θεμελίου να είναι πρακτικώς αμελητέα.



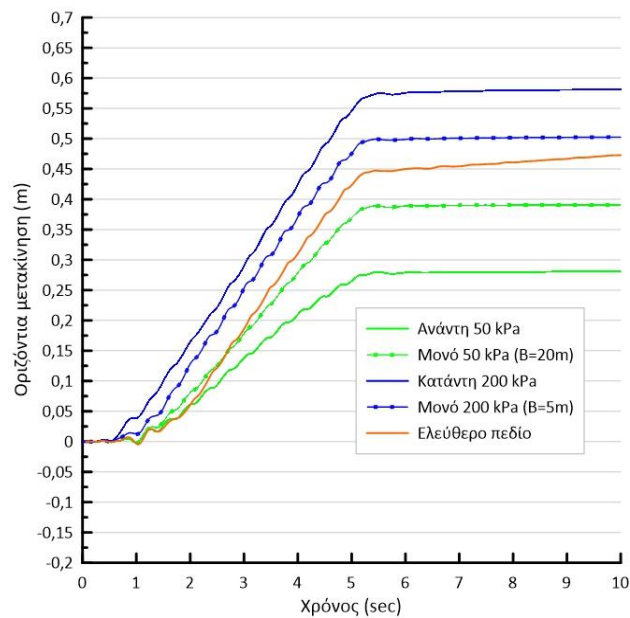
Σχήμα 5.35 Ισοκαμπύλες συντελεστή υπερπίεσης πόρων r_u και συσσωρευμένης διατμητικής παραμόρφωσης γ στο έδαφος κάτω από ζεύγος θεμελίων (πλάτους $B_{av} = 5$ m και $B_{κατ} = 20$ m, φορτίων έδρασης $q_{av} = 200$ kPa, $q_{κατ} = 50$ kPa) με ενδιάμεση απόσταση $D = 5$ m, σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση.

Σε όρους ισοκαμπυλών, στο Σχήμα 5.35 προκύπτει ελαφρώς διαφορετικό προφίλ υπερπίεσεων r_u κάτω από τα δύο θεμέλια, με το στενό/βαρύ να έχει μικρότερες τιμές r_u που εκτείνονται σε όλο το βάθος της στρώσης όπως συμβαίνει και στο αντίστοιχο μονό (Σχήμα 4.30), αλλά το πεδίο κάτω από το ευρύ/ελαφρύ φαίνεται να έχει ρευστοποιηθεί πλήρως ακριβώς όπως στην περίπτωση του μεμονωμένου (Σχήμα 5.13).

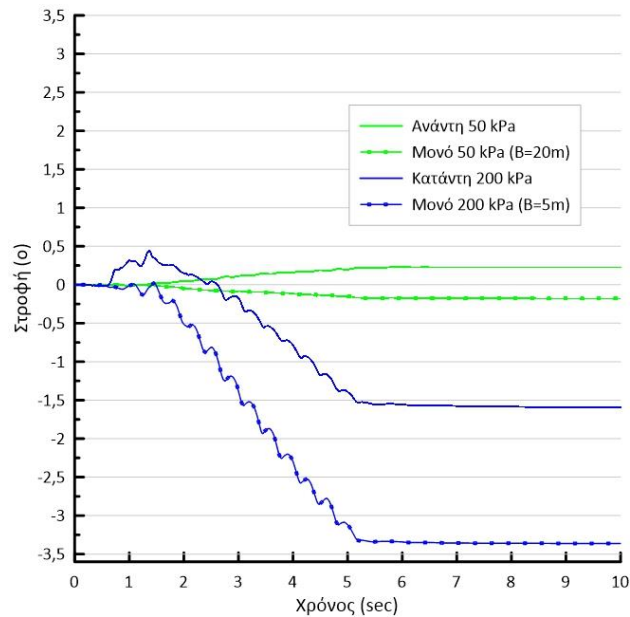
Δεδομένου ότι εξετάστηκαν οι περιπτώσεις που το ανάντη θεμέλιο είναι το στενό και το κατάντη θεμέλιο το ευρύ, παρακάτω παρουσιάζονται οι αντίστροφες περιπτώσεις. Όπως και προηγουμένως η ενδιάμεση απόσταση των θεμελίων παραμένει ίση με $D = 5$ m, ώστε να διευκολύνεται η άμεση σύγκριση. Έτσι, στα Σχήματα 5.36 έως 5.38 παρουσιάζονται οι χρονοϊστορίες (μέσης) καθίζησης, οριζόντιας μετακίνησης και στροφής των θεμελίων για την περίπτωση που το ανάντη θεμέλιο είναι ευρύ/ελαφρύ και το κατάντη είναι στενό/βαρύ.



Σχήμα 5.36 Χρονοϊστορίες καθίζησης θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν διαφορετικά πλάτη $B_{av} = 20$ m και $B_{κατ} = 5$ m, διαφορετικά φορτία $q_{av} = 50$ kPa και $q_{κατ} = 200$ kPa, σε απόσταση $D = 5$ m, και σύγκριση με τις καθιζήσεις των ίδιων θεμελίων αν ήταν μεμονωμένα ή οριζόντια.

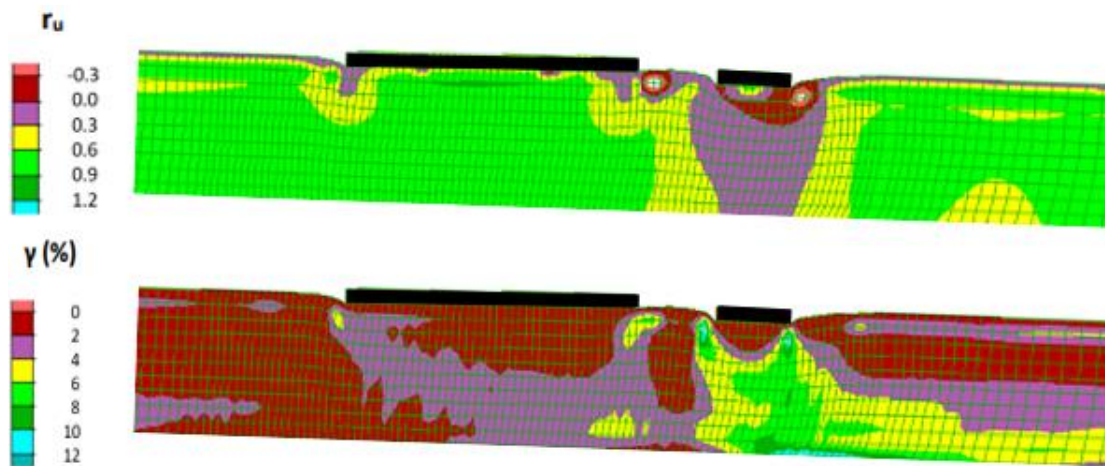


Σχήμα 5.37 Χρονοϊστορίες οριζόντιας μετακίνησης θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν διαφορετικά πλάτη $B_{av} = 20$ m και $B_{κατ} = 5$ m, διαφορετικά φορτία $q_{av} = 50$ kPa και $q_{κατ} = 200$ kPa, σε απόσταση $D = 5$ m, και σύγκριση με την οριζόντια μετακίνηση του ελεύθερου πεδίου.



Σχήμα 5.38 Χρονοϊστορίες στροφής θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν διαφορετικά πλάτη $B_{av} = 20 \text{ m}$ και $B_{κατ} = 5 \text{ m}$, διαφορετικά φορτία $q_{av} = 50 \text{ kPa}$ και $q_{κατ} = 200 \text{ kPa}$, σε απόσταση $D = 5 \text{ m}$, και σύγκριση με τις στροφές των ίδιων θεμελίων αν ήταν μεμονωμένα.

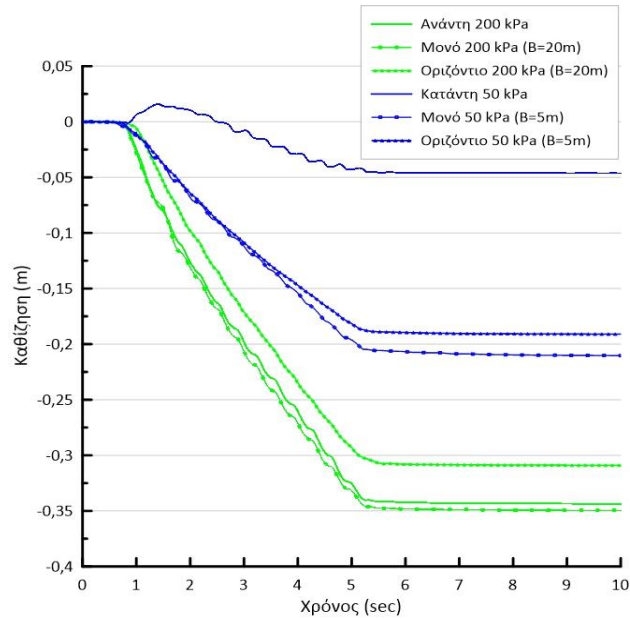
Προκύπτει αρχικώς ότι το στενό/βαρύ θεμέλιο παρουσιάζει συστηματικά μεγαλύτερες καθιζήσεις, οριζόντιες μετακινήσεις και στροφές απ' ότι το ευρύ/ελαφρύ. Από εκεί και πέρα, το ανάντη (ευρύ/ελαφρύ) θεμέλιο παρουσιάζει ευμενή αλληλεπίδραση σε όρους καθίζησης και οριζόντιας μετακίνησης και αμελητέα στροφή. Αντίθετα, το κατάντη (στενό/βαρύ) θεμέλιο παρουσιάζει δυσμενή αλληλεπίδραση σε όρους καθίζησης και οριζόντιας μετακίνησης, αλλά το αντίθετο σε όρους στροφής.



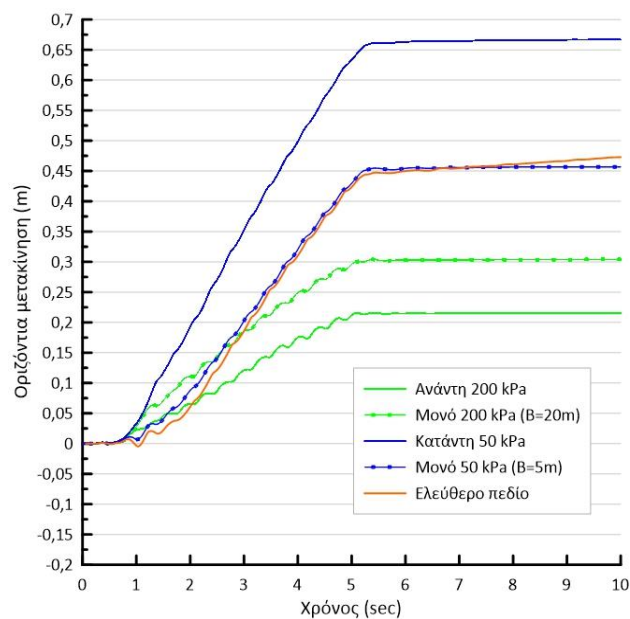
Σχήμα 5.39 Ισοκαμπύλες συντελεστή υπερπίεσης πόρων r_u και συσσωρευμένης διατμητικής παραμόρφωσης γ στο έδαφος κάτω από ζεύγος θεμελίων (πλάτους $B_{av} = 20$ m και $B_{κατ} = 5$ m, φορτίων έδρασης $q_{av} = 50$ kPa, $q_{κατ} = 200$ kPa) με ενδιάμεση απόσταση $D = 5$ m, σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση.

Στο Σχήμα 5.39 παρουσιάζονται οι ισοκαμπύλες του συντελεστή υπερπίεσης πόρων r_u , με την εικόνα να έχει αρκετές ομοιότητες με εκείνη του Σχήματος 5.35, με το στενό θεμέλιο να έχει μικρότερες τιμές r_u που εκτείνονται σε όλο το μήκος της εδαφικής στρώσης. Επισημαίνεται επίσης ότι οι διατμητικές παραμορφώσεις γ αυξήθηκαν στις παρειές του κατάντη (στενού/βαρύ) θεμελίου.

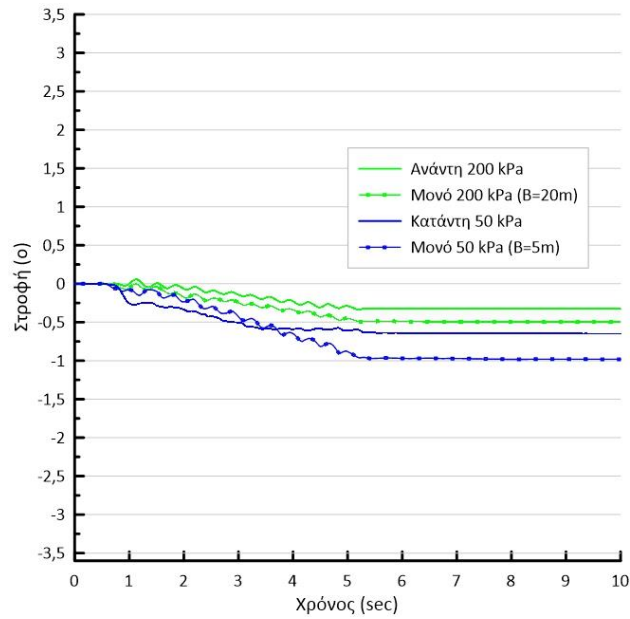
Για την ολοκλήρωση της ενότητας παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των αναλύσεων με το ανάντη ευρύ θεμέλιο να έχει φορτίο έδρασης ίσο με $q = 200$ kPa και το κατάντη στενό να έχει φορτίο ίσο με $q = 50$ kPa. Έτσι, στα Σχήματα 5.40 έως 5.42 παρουσιάζονται οι σχετικές χρονοϊστορίες (μέσης) καθίζησης, οριζόντιας μετακίνησης και στροφής.



Σχήμα 5.40 Χρονοϊστορίες καθίζησης θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν διαφορετικά πλάτη $B_{av} = 20$ m και $B_{κατ} = 5$ m, διαφορετικά φορτία $q_{av} = 200$ kPa και $q_{κατ} = 50$ kPa, σε απόσταση $D = 5$ m, και σύγκριση με τις καθιζήσεις των ίδιων θεμελίων αν ήταν μεμονωμένα ή οριζόντια.

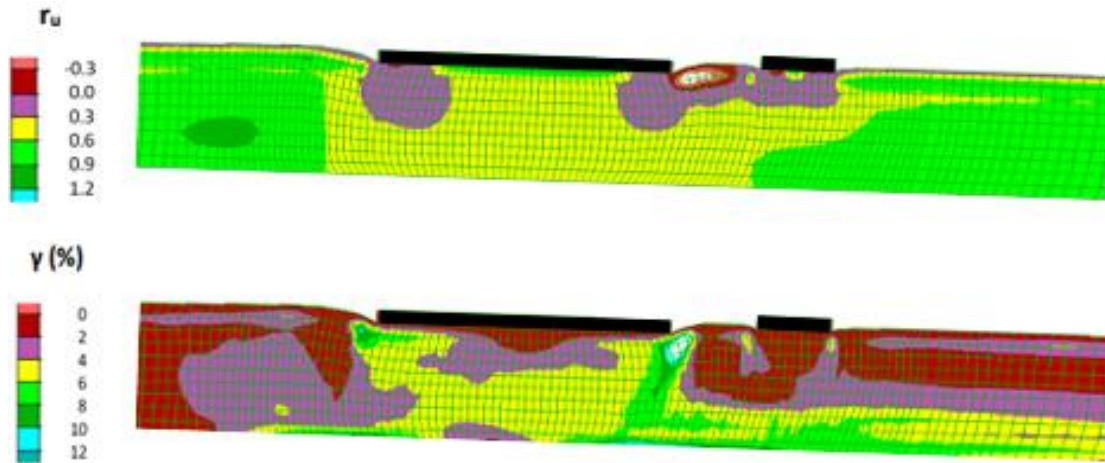


Σχήμα 5.41 Χρονοϊστορίες οριζόντιας μετακίνησης θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν διαφορετικά πλάτη $B_{av} = 20$ m και $B_{κατ} = 5$ m, διαφορετικά φορτία $q_{av} = 200$ kPa και $q_{κατ} = 50$ kPa, σε απόσταση $D = 5$ m, και σύγκριση με την οριζόντια μετακίνηση του ελεύθερου πεδίου.



Σχήμα 5.42 Χρονοϊστορίες στροφής θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν διαφορετικά πλάτη $B_{av} = 20 \text{ m}$ και $B_{κατ} = 5 \text{ m}$, διαφορετικά φορτία $q_{av} = 200 \text{ kPa}$ και $q_{κατ} = 50 \text{ kPa}$, σε απόσταση $D = 5 \text{ m}$, και σύγκριση με τις στροφές των ίδιων θεμελίων αν ήταν μεμονωμένα.

Με βάση τα αποτελέσματα των αναλύσεων το κατάντη στενό/ελαφρύ θεμέλιο αλληλεπιδρά θετικά σε όρους καθιζήσεων ενώ σε όρους οριζόντιας μετακίνησης ξεπέρασε την αντίστοιχη τιμή του μεμονωμένου. Το ανάτη ευρύ/βαρύ θεμέλιο ευνοήθηκε από την ύπαρξη του κατάντη θεμελίου αναπτύσσοντας μικρότερη τελική καθίζηση και οριζόντια μετακίνηση από το μεμονωμένο θεμέλιο. Οι στροφές που ανέπτυξαν τα θεμέλια είναι πρακτικώς αμελητέες.



Σχήμα 5.43 Ισοκαμπύλες συντελεστή υπερπίεσης πόρων r_u και συσσωρευμένης διατμητικής παραμόρφωσης γ στο έδαφος κάτω από ζεύγος θεμελίων (πλάτους $B_{av} = 20$ m και $B_{κατ} = 5$ m, φορτίων έδρασης $q_{av} = 200$ kPa, $q_{κατ} = 50$ kPa) με ενδιάμεση απόσταση $D = 5$ m, σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση.

Στο Σχήμα 5.43 παρουσιάζονται οι ισοκαμπύλες του συντελεστή υπερπίεσης πόρων r_u και δεν προκύπτει ρευστοποίηση στην άμεση γειτονία κανενός από τα δύο θεμέλια. Από την άλλη, μηχανισμός αστοχίας δείχνει να εμπεδώνεται μόνο κάτω από το ανάντη ευρύ/βαρύ θεμέλιο.

5.5 Σύνοψη

Στο παρόν Κεφάλαιο παρουσιάστηκε η δυναμική αλληλεπίδραση διαφορετικών θεμελίων πάνω σε στρώση ρευστοποιήσιμης άμμου πάχους $H = 10$ m και σχετικής πυκνότητας $D_r = 45$ %, υπό αρμονική διέγερση 10 κύκλων με μέγιστη επιτάχυνση ίση με 0.2 g. Εξετάστηκαν οι περιπτώσεις ζεύγους στενών θεμελίων πλάτους $B = 5$ m και ευρέων θεμελίων πλάτους $B = 20$ m, με την έμφαση να δίνεται στην επιρροή του φορτίου έδρασης q ($q = 50, 100, 200$ kPa) σε θεμέλια που είχαν κοινό αλλά και διαφορετικό πλάτος B . Εξετάστηκαν οι περιπτώσεις όπου τα θεμέλια είχαν κοινό φορτίο έδρασης αλλά διέφεραν στο πλάτος τους. Όλες οι παραπάνω περιπτώσεις εξετάστηκαν με ενδιάμεση απόσταση $D = 5$ m, ενώ στο Παράτημα Β υπάρχουν επιπλέον αναλύσεις που αφορούν σε άλλες ενδιάμεσες αποστάσεις D (βλ. Πίνακας 5.1). Η σύγκριση των αποτελεσμάτων πραγματοποιήθηκε ως προς τις χρονοϊστορίες (μέσων) καθιζήσεων, οριζόντιων μετακινήσεων και στροφών των θεμελίων, ενώ για τη μελέτη των αποτελεσμάτων αξιοποιήθηκαν οι ισοκαμπύλες του συντελεστή υπερπίεσης πόρων r_u και της διατμητικής παραμόρφωσης γ στο έδαφος στην περιοχή των θεμελίων στο τέλος της διέγερσης. Η ερμηνεία των αποτελεσμάτων όλου του Κεφαλαίου αναλύεται παρακάτω:

- Τα αποτελέσματα στενών και ευρέων θεμελίων στην περίπτωση όπου τα θεμέλια έχουν ίδιο πλάτος B και διαφορετικό φορτίο έδρασης q . Στην περίπτωση όπου το ανάντη έχει φορτίο $q = 200$ kPa και το κατάντη $q = 50$ kPa, ακολούθως η αύξηση του πλάτους μειώνει τις καθιζήσεις του κατάντη ενώ το αντίθετο συμβαίνει με το ανάντη θεμέλιο όπου υπάρχει αύξηση. Στην συγκεκριμένη ανάλυση οι οριζόντιες μετακινήσεις για το κατάντη θεμέλιο αυξάνονται με την αύξηση του πλάτους ενώ μειώνονται για το ανάντη που φαίνεται να προστατεύεται από την ύπαρξη του κατάντη θεμελίου.
- Όσον αφορά την αντίθετη περίπτωση όπου το ανάντη θεμέλιο έχει φορτίο έδρασης $q = 50$ kPa και το κατάντη $q = 200$ kPa. Τόσο για τα στενά όσο και για τα ευρύ θεμέλια υπάρχει μείωση των καθιζήσεων στο ανάντη θεμέλιο ενώ για το κατάντη στην περίπτωση των στενών θεμελίων η τελική τιμή της καθιζήσης δεν ξεπερνά την αντίστοιχη του

μεμονωμένου ενώ για την περίπτωση του ευρύ θεμελίου είναι μικρότερη. Για τις οριζόντιες μετακινήσεις αξιοσημείωτη διαφορά παρατηρείται στο κατάντη θεμέλιο με την περίπτωση των στενών θεμελίων να προσεγγίζει την ανάλυση του μεμονωμένου για φορτίο έδρασης $q = 200 \text{ kPa}$, ενώ το ευρύ τείνει προς την μετακίνηση του ελεύθερου πεδίου.

- Το στενό θεμέλιο στις περιπτώσεις που γειτνιάζει με ευρύ και τα θεμέλια έχουν κοινό φορτίο έδρασης προέκυψε να αλληλοεπιδρά ευμενώς ανεξαρτήτως της θέσης του.
- Στις περιπτώσεις που το στενό θεμέλιο βρίσκεται στα ανάντη αλληλεπιδρά ευμενώς με την ύπαρξη του ευρύ θεμελίου στα κατάντη και αναπτύσσει μικρότερες τελικές τιμές από το μεμονωμένο ανεξαρτήτως του φορτίου έδρασης.

Το βαρύ θεμέλιο ($q = 200 \text{ kPa}$) παρουσιάζει πάντα μεγαλύτερες καθιζήσεις από το ελαφρύ ($q = 50 \text{ kPa}$), ανεξαρτήτως εύρους θεμελίου και θέσης (ανάντη ή κατάντη) στο ζεύγος. Δεν ισχύει όμως αναγκαστικά το ίδιο και για την οριζόντια μετακίνηση ή τη στροφή, των οποίων το σχετικό μέγεθος εξαρτάται και από το εύρος του θεμελίου ή/και τη θέση του. Για παράδειγμα, οι στροφές ευρέων θεμελίων είναι συνήθως μικρές έως αμελητέες.

Η αλληλεπίδραση αποδεικνύεται ευμενής για το ανάντη θεμέλιο, το οποίο δείχνει να «προστατεύεται» από το κατάντη θεμέλιο, κι αυτό ανεξαρτήτως των χαρακτηριστικών των δύο θεμελίων. Η ευμενής αλληλεπίδραση αφορά όλα τα χαρακτηριστικά της απόκρισης.

Αντιθέτως, η αλληλεπίδραση αποδεικνύεται εν μέρει δυσμενής για το κατάντη θεμέλιο. Συγκεκριμένα, υπάρχει αύξηση της οριζόντιας μετακίνησης του σε όλες τις περιπτώσεις, με εξαίρεση όταν είναι το βαρύ σε ζεύγος στενών θεμελίων ή όταν είναι το ευρύ/βαρύ δίπλα σε στενό/ελαφρύ (στα ανάντη). Επιπλέον, υπάρχει περίπτωση να προκύψει και αύξηση της καθίζησης, αλλά μόνο όταν είναι το στενό/βαρύ δίπλα σε ευρύ/ελαφρύ (στα ανάντη).

6. Συμπεράσματα - Προτάσεις

6.1 Βασικά συμπεράσματα

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται τα συμπεράσματα από τα αποτελέσματα των αναλύσεων των Κεφαλαίων 4 και 5. Οι αριθμητικές αναλύσεις αφορούσαν στη δυναμική αλληλεπίδραση δίδυμων (στενών ή ευρέων) θεμελίων, αλλά και εκείνη για ζεύγος θεμελίων που διέφεραν ως προς το φορτίο και το εύρος τους. Η εργασία στόχευσε στην αλληλεπίδρασή τους σε ρευστοποιήσιμο έδαφος με ήπια κλίση. Από τις αριθμητικές αναλύσεις της παρούσας εργασίας, προέκυψαν τα εξής βασικά συμπεράσματα :

- Σε μεμονωμένα θεμέλια: η ήπια κλίση του ρευστοποιήσιμου εδάφους επιβάλλει οριζόντια μετατόπιση (προς τα κατάντη) και στροφή, πέραν της καθίζησης που θα είχαν ακόμη και αν το ίδιο έδαφος ήταν οριζόντιο. Διευκρινίζεται ότι η ήπια κλίση αυξάνει τις καθιζήσεις τους όταν είναι στενά, ενώ το αντίθετο συμβαίνει όταν είναι ευρέα. Επιπλέον, η προκαλούμενη στροφή είναι προς τα κατάντη, και είναι ουσιώδης μόνο σε στενά θεμέλια. Όπως αναμένεται, το φορτίο q αυξάνει τις καθιζήσεις, τις οριζόντιες μετακινήσεις και την κατάντη στροφή των μεμονωμένων θεμελίων, ενώ αύξηση του εύρους του θεμελίου (για το ίδιο φορτίο q) οδηγεί σε μείωση των μεγεθών αυτών.
- Σε ζεύγος θεμελίων σε έδαφος ήπιας κλίσης, η απόκριση του ανάντη και του κατάντη θεμελίου είναι διαφορετικές, ακόμη και αν αυτά είναι δίδυμα. Οι αποκρίσεις αυτές είναι ταυτόχρονα διαφορετικές και από την απόκριση που θα είχε το κάθε θεμέλιο αν ήταν μεμονωμένο. Πάντως, σε διαφορετικά θεμέλια, το βαρύ θεμέλιο ($q = 200$ kPa) παρουσιάζει πάντα μεγαλύτερες καθιζήσεις από το ελαφρύ ($q = 50$ kPa), ανεξαρτήτως εύρους θεμελίου και θέσης (ανάντη ή κατάντη) στο ζεύγος. Δεν ισχύει όμως αναγκαστικά το ίδιο και για την οριζόντια μετακίνηση ή τη στροφή, των οποίων το σχετικό μέγεθος εξαρτάται και από το εύρος του θεμελίου ή/και τη θέση του. Για παράδειγμα, οι στροφές ευρέων θεμελίων είναι συνήθως μικρές έως αμελητέες. Σε

κάθε περίπτωση, αύξηση της απόστασης D μεταξύ των θεμελίων μειώνει την αλληλεπίδρασή τους.

- Τυπικά, για στενά δίδυμα θεμέλια, η αλληλεπίδραση οδηγεί σε μείωση καθιζήσεων, οριζοντίων μετατοπίσεων και στροφών συγκριτικά με ό,τι παρατηρείται αν ήταν μεμονωμένα (ευμενής αλληλεπίδραση). Στην πράξη, το κατάντη θεμέλιο έχει μεγαλύτερη καθίζηση και οριζόντια μετατόπιση από το ανάντη, ενώ το ανάποδο ισχύει, συνήθως, και για την τελική τιμή της στροφής. Έτσι, μεγαλύτερη καθίζηση και οριζόντια μετατόπιση από το μεμονωμένο θεμέλιο (δυσμενή αλληλεπίδραση) μπορεί να εμφανίσει μόνο το κατάντη θεμέλιο, υπό κάποιες προϋποθέσεις (π.χ., σε πολύ μικρή απόσταση $D/B = 0.5$, ή αν είναι πολύ βαρύ $q = 200$ kPa). Τυπικά, για ευρέα δίδυμα θεμέλια, η αλληλεπίδραση οδηγεί μόνο σε μείωση καθιζήσεων, αλλά ταυτόχρονα σε αύξηση των οριζοντίων μετατοπίσεων και στροφών του κατάντη θεμελίου συγκριτικά με ό,τι παρατηρείται αν ήταν μεμονωμένο. Συνεπώς, σε δίδυμα θεμέλια, το «κατάντη» θεμέλιο πάντα προστατεύει το «ανάντη» θεμέλιο, αλλά κάποιες φορές με το κόστος αύξησης της καθιζήσης ή της οριζόντιας μετακίνησης του. Μια απόσταση $D/B = 4$ μεταξύ δίδυμων θεμελίων τείνει να φέρει την απόκριση του κατάντη θεμελίου κοντά σε εκείνη του μεμονωμένου, αλλά το ανάντη εξακολουθεί να εμφανίζει μικρότερες τιμές των χαρακτηριστικών από.
- Τυπικά, για διαφορετικά θεμέλια, η αλληλεπίδραση αποδεικνύεται ευμενής για το ανάντη θεμέλιο, το οποίο δείχνει να «προστατεύεται» από το κατάντη θεμέλιο, κι αυτό ανεξαρτήτως των χαρακτηριστικών των δύο θεμελίων. Η ευμενής αλληλεπίδραση αφορά όλα τα χαρακτηριστικά της απόκρισης. Αντιθέτως, η αλληλεπίδραση αποδεικνύεται εν μέρει δυσμενής για το κατάντη θεμέλιο. Συγκεκριμένα, υπάρχει αύξηση της οριζόντιας μετακίνησης του σε όλες τις περιπτώσεις, με εξαίρεση όταν είναι το βαρύ σε ζεύγος στενών θεμελίων ή όταν είναι το ευρύ/βαρύ δίπλα σε στενό/ελαφρύ (στα ανάντη). Επιπλέον, υπάρχει περίπτωση να προκύψει και αύξηση της καθιζήσης, αλλά μόνο όταν είναι το στενό/βαρύ δίπλα σε ευρύ/ελαφρύ (στα ανάντη).

6.2 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Η παρούσα διπλωματική εργασία διερεύνησε την αλληλεπίδραση κατασκευής-εδάφους-κατασκευής σε καθεστώς πλευρικής εξάπλωσης, και ανέδειξε τις σημαντικές και μη παραμέτρους του προβλήματος. Ταυτόχρονα όμως, η παρούσα έρευνα έχει και κάποιους περιορισμούς, που προκύπτουν από τις παραδοχές των αριθμητικών αναλύσεων που εκτελέστηκαν. Συνεπώς, γίνονται οι κάτωθι προτάσεις για μελλοντική έρευνα στο ίδιο αντικείμενο :

- i. Η παρούσα εργασία έκανε ένα σημαντικό πλήθος αναλύσεων για ομοιόμορφη ρευστοποιήσιμη στρώση. Συνεπώς, έχει δώσει επαρκή δεδομένα που επιτρέπουν μια πρώτη στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων της εργασίας, ως μια προσπάθεια ποσοτικοποίησης των επιδράσεων των σημαντικών παραμέτρων του προβλήματος, καθώς η εργασία αυτή έμεινε σε ποιοτική μελέτη αυτών.
- ii. Όλες οι αναλύσεις που εκτελέστηκαν αφορούσαν ομοιόμορφη αμμώδη στρώση $H = 10$ m και ήπια κλίση εδάφους ίση με 2° . Συνεπώς, θα ήταν χρήσιμη η διερεύνηση της αλληλεπίδρασης για τις ίδιες κατασκευές (εύρους $B = 5$ και 20 m), αλλά σε μικρότερου πάχους στρώση (π.χ. $H = 5$ m) ή διαφορετική τιμή κλίσης εδάφους (π.χ., 1° ή 4°), ή ακόμη και για στρώση με διαφορετικά χαρακτηριστικά (σχετική πυκνότητα D_r ή διαπερατότητα).
- iii. Όλες οι αναλύσεις που εκτελέστηκαν αφορούσαν αρμονική διέγερση με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά (π.χ. μέγιστη επιτάχυνση $a_{max} = 0.2g$, δεσπόζουσα περίοδο $T_{exc} = 0.35$ sec, 10 σημαντικοί κύκλοι). Θα ήταν χρήσιμη η διερεύνηση της αλληλεπίδρασης, τόσο με αρμονικές διεγέρσεις με άλλα χαρακτηριστικά (π.χ., διαφορετική T_{exc}), αλλά και διεγέρσεις από καταγραφές πραγματικών σεισμών με διαφορετικό φασματικό περιεχόμενο.

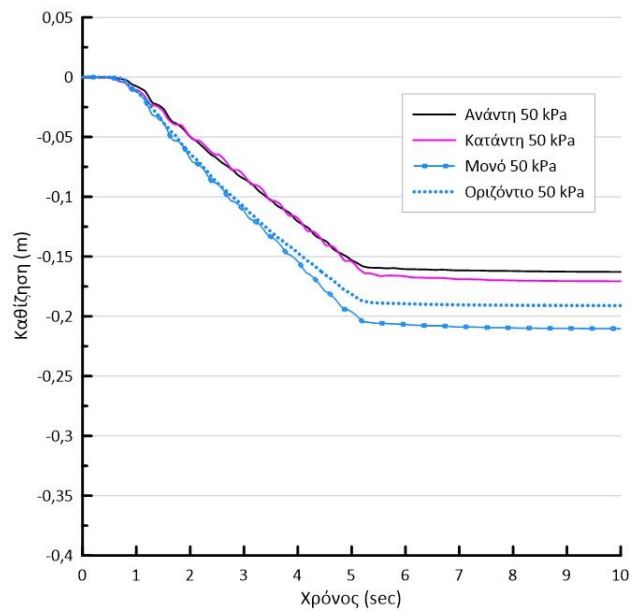
Βιβλιογραφία

1. Cetin, K. O., Isikb N., & Unutmaza B. (2003). "Seismically induced landslide at Degirmendere Nose, Izmit Bay during Kocaeli (Izmit)-Turkey earthquake". Elsevier. DOI: 10.1016/j.soildyn.2003.11.007
2. Garcia, S. R., M. P. Romo, & E. Botero (2007). "A neurofuzzy system to analyze liquefaction-induced lateral spread. Soil Dynamics and Earthquake Engineering" ScienceDirect. DOI: 10.1016/j.soildyn.2007.06.014
3. Itasca (1989). "Fast Lagrangian Analysis of Continua", Itasca Consulting Group Inc., Minneapolis, Minesota. DOI: 10.2172/5496906
4. Kirkwood P., & Dashti S. (2019). "Influence of Prefabricated Vertical Drains on the Seismic Performance of Similar Neighbouring Structures Founded on Liquefiable Deposits". Geotechnique, 69(11), 971-985. DOI: 10.1680/jgeot.17.P.077
5. Kramer S.L. (1996). "Geotechnical Earthquake Engineering", University of Washington, Prentice–Hall International Series in Civil Engineering and Engineering Mechanics.
6. Mahmood A., Maaz A., Ramez A. Al-Mansob, Paweł K., Piotr O., Beenish J. K., & Arnold C. A. (2022). "Prediction of Liquefaction-Induced Lateral Displacements Using Gaussian Process Regression". Multidisciplinary Digital Publishing Institute. DOI: 10.3390/app12041977
7. Mayoral J. M., Flores F. A., & Romo M. P. (2009). "A simplified numerical approach for lateral spreading evaluation". ResearchGate. DOI: 10.22201/igf.00167169p.2009.4.18
8. Aydan Ö., Hamada M., Bardet J.P., Ulusay R., & Kanibir A. (2004). "Liquefaction Induced Lateral Spreading in the 1999 Kocaeli Earthquake, Turkey: Case study around the hotel Sapanca". 13th World Conference on Earthquake Engineering Vancouver, B.C., Canada.
9. Valsamis A., Bouckovalas G., & Dimitriadi V. (2007). "Numerical Evaluations of Lateral Spreading Displacements in Layered Soils". Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Special Issue. 4th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering, Thessaloniki, Greece.
10. T. Leslie Youd. (1995). "Liquefaction-Induced Lateral Ground Displacement". International Conferences on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics. 3. <https://scholarsmine.mst.edu/icrageesd>
11. Weiqing L., Yong Y., Pingshan C., Xiacong L., Jiangxu D., & Chong Li (2022). "Seismic Liquefaction of Saturated Calcareous Sands: Dynamic Centrifuge Test and Numerical Simulation". Multidisciplinary Digital Publishing Institute. DOI: 10.3390/app12178701

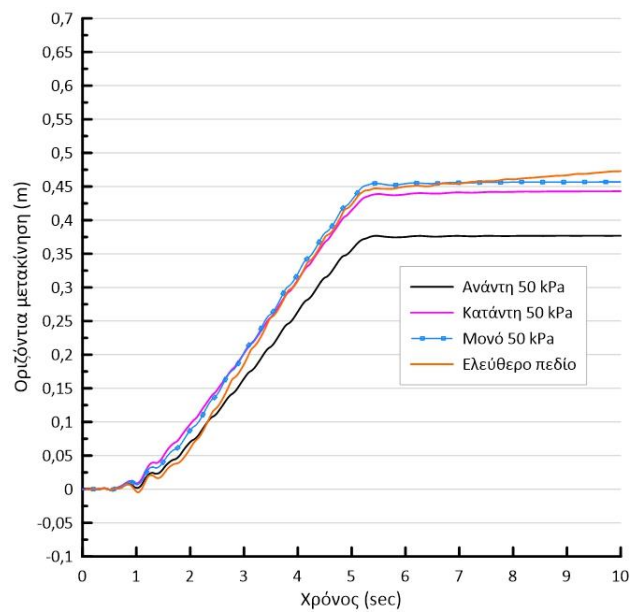
12. Youd, T., Hansen, C., & Bartlett, S. (2002). "Revised Multilinear Regression Equations for Prediction of Lateral Spread Displacement". *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*. DOI: DOI:10.1061/(ASCE)1090-0241(2002)128:12(1007)
13. Y. Jafarian¹, & E. Nasri. (2016). "Evaluation of Uncertainties in the Available Empirical Models and Probabilistic Prediction of Liquefaction Induced Lateral Spreading". *Amirkabir Journal of Civil Engineering*. Volume 48 & Issue 3, 275-290. DOI: 10.22060/ceej.2016.674
14. Zhixiong C., Yuhui C., Yanmei Z., Xingguo L., Peng X., & Pijush S. (2022). "Assessment of liquefaction-induced lateral spread using soft computing approaches". Elsevier. DOI: 10.1016/j.gr.2022.08.006
15. Γκαζέτας Γ., Γαρίνη Ε., Αναστασόπουλος Ι., & Γερόλυμος. (2017). *Αλληλεπίδραση Εδάφους – Θεμελίου – Κατασκευής* (σ. 273-312). Αθήνα: Τσώτρας.

Παράρτημα Α:

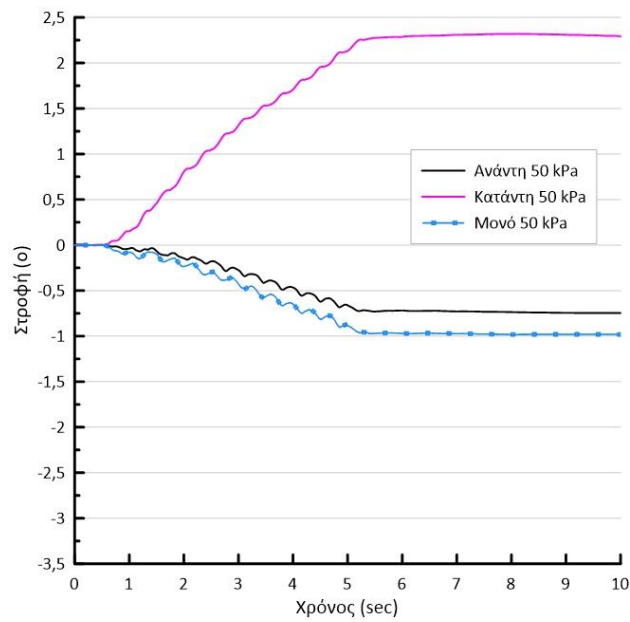
**Πρόσθετα αποτελέσματα από αναλύσεις σεισμικής
απόκρισης για δίδυμα θεμέλια**



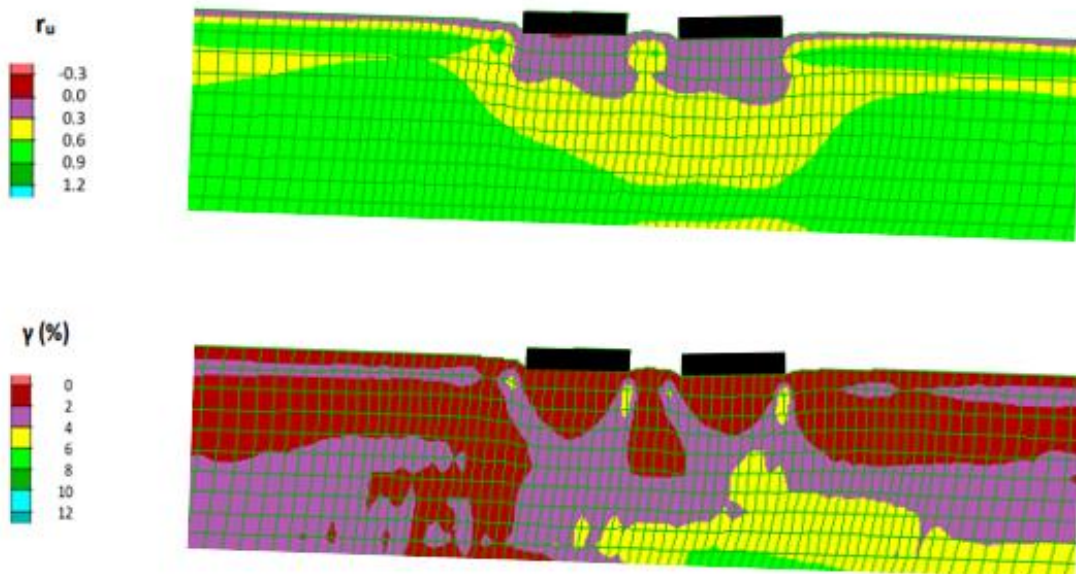
Σχήμα A.1 Χρονοϊστορίες καθίζησης θεμελίων είτε σε οριζόντια ή σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 5$ m, ίδια φορτία $q_{av} = 50$ kPa και $q_{κατ} = 50$ kPa, σε απόσταση $D = 2.5$ m, και σύγκριση με τις καθιζήσεις του ίδιου θεμελίου αν ήταν μεμονωμένο ή οριζόντιο.



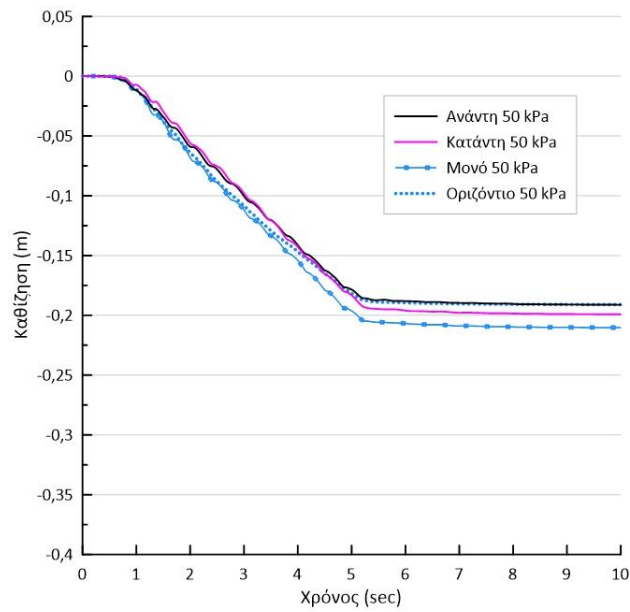
Σχήμα A.2 Χρονοϊστορίες οριζόντιας μετακίνησης θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 5$ m, ίδια φορτία $q_{av} = 50$ kPa και $q_{κατ} = 50$ kPa, σε απόσταση $D = 2.5$ m, και σύγκριση με την οριζόντια μετακίνηση του ελεύθερου πεδίου.



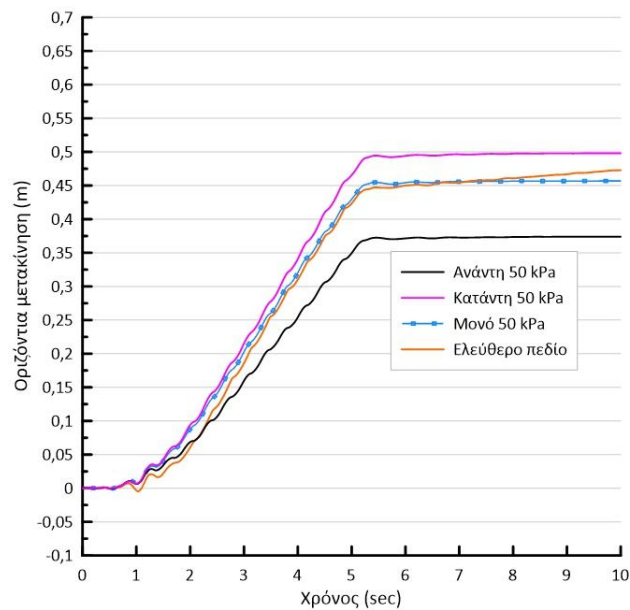
Σχήμα A.3 Χρονοϊστορίες στροφής θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 5$ m, ίδια φορτία $q_{av} = 50$ kPa και $q_{κατ} = 50$ kPa, σε απόσταση $D = 2.5$ m, και σύγκριση με τις καθιζήσεις του ίδιου θεμελίου αν ήταν μεμονωμένο.



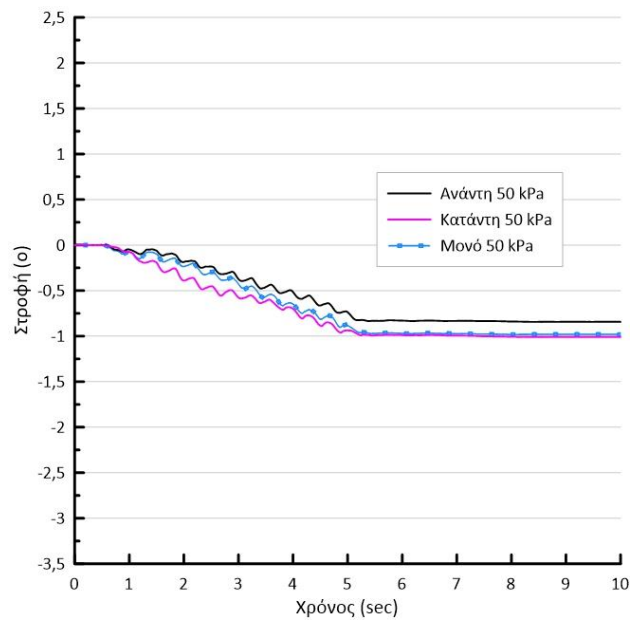
Σχήμα A.4 Ισοκαμπύλες συντελεστή υπερπίεσης πόρων r_u και συσσωρευμένης διατμητικής παραμόρφωσης γ στο έδαφος κάτω από δίδυμα θεμέλια (πλάτους $B = 5$ m, φορτίων έδρασης $q = 50$ kPa) με ενδιάμεση απόσταση $D = 2.5$ m, σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση.



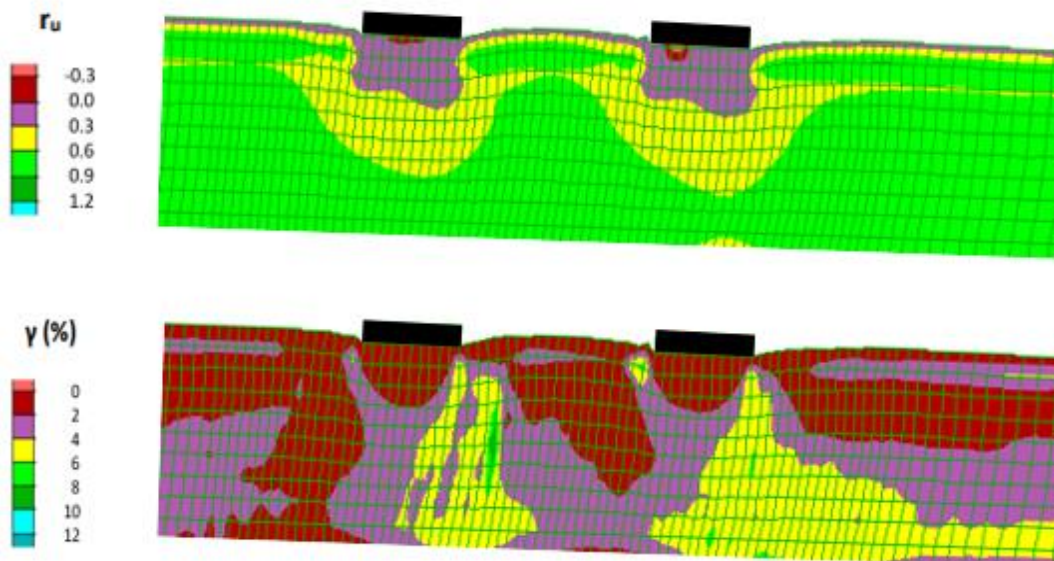
Σχήμα A.5 Χρονοϊστορίες καθίζησης θεμελίων είτε σε οριζόντια ή σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 5 \text{ m}$, ίδια φορτία $q_{av} = 50 \text{ kPa}$ και $q_{κατ} = 50 \text{ kPa}$, σε απόσταση $D = 10 \text{ m}$, και σύγκριση με τις καθιζήσεις του ίδιου θεμελίου αν ήταν μεμονωμένο ή οριζόντιο.



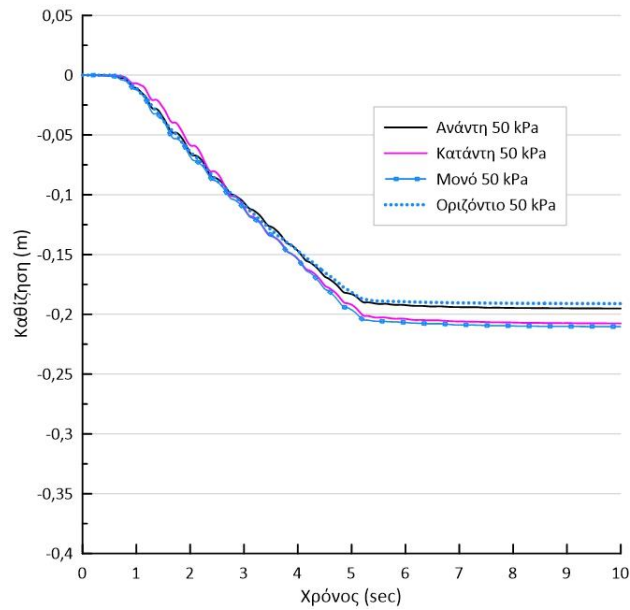
Σχήμα A.6 Χρονοϊστορίες οριζόντιας μετακίνησης θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 5 \text{ m}$, ίδια φορτία $q_{av} = 50 \text{ kPa}$ και $q_{κατ} = 50 \text{ kPa}$, σε απόσταση $D = 10 \text{ m}$, και σύγκριση με την οριζόντια μετακίνηση του ελεύθερου πεδίου.



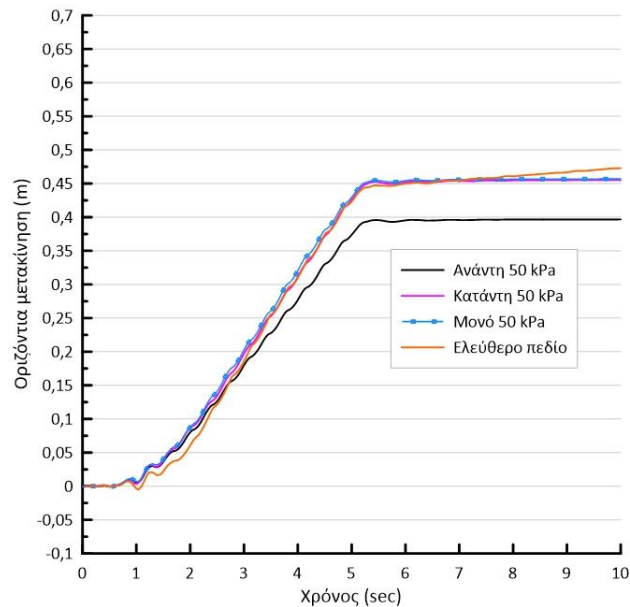
Σχήμα A.7 Χρονοϊστορίες στροφής θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 5 \text{ m}$, ίδια φορτία $q_{av} = 50 \text{ kPa}$ και $q_{κατ} = 50 \text{ kPa}$, σε απόσταση $D = 10 \text{ m}$, και σύγκριση με τις καθιζήσεις του ίδιου θεμελίου αν ήταν μεμονωμένο.



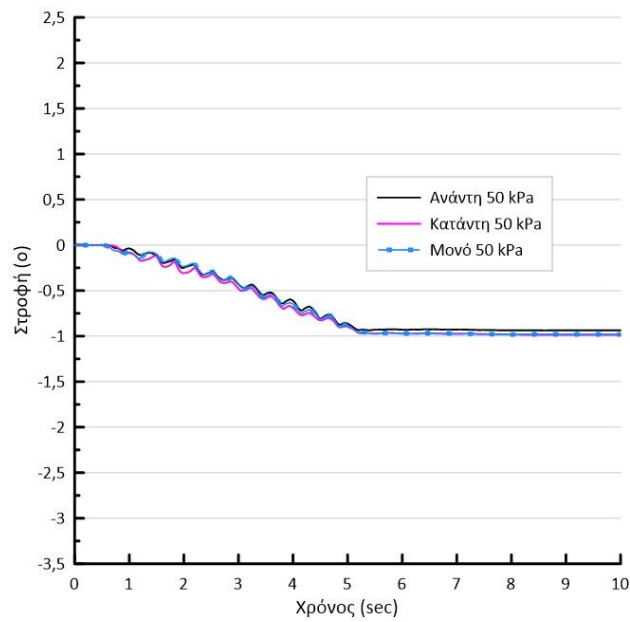
Σχήμα A.8 Ισοκαμπύλες συντελεστή υπερπίεσης πόρων r_u και συσσωρευμένης διατμητικής παραμόρφωσης γ στο έδαφος κάτω από δίδυμα θεμέλια (πλάτους $B = 5 \text{ m}$, φορτίου έδρασης $q = 50 \text{ kPa}$) με ενδιάμεση απόσταση $D = 10 \text{ m}$, σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση.



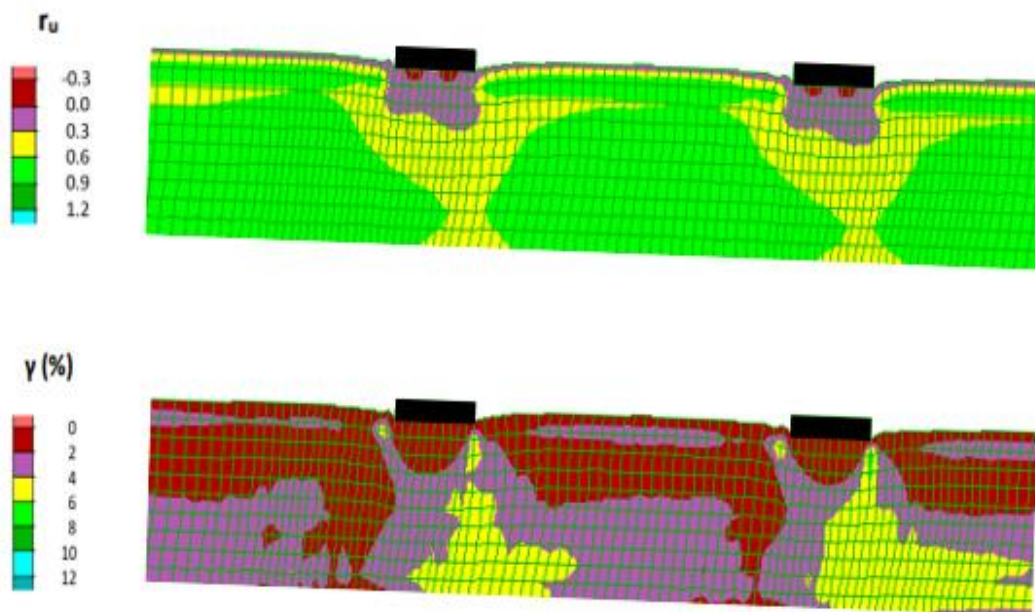
Σχήμα A.9 Χρονοϊστορίες καθίζησης θεμελίων είτε σε οριζόντια ή σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 5 \text{ m}$, ίδια φορτία $q_{av} = 50 \text{ kPa}$ και $q_{κατ} = 50 \text{ kPa}$, σε απόσταση $D = 20 \text{ m}$, και σύγκριση με τις καθιζήσεις του ίδιου θεμελίου αν ήταν μεμονωμένο ή οριζόντιο.



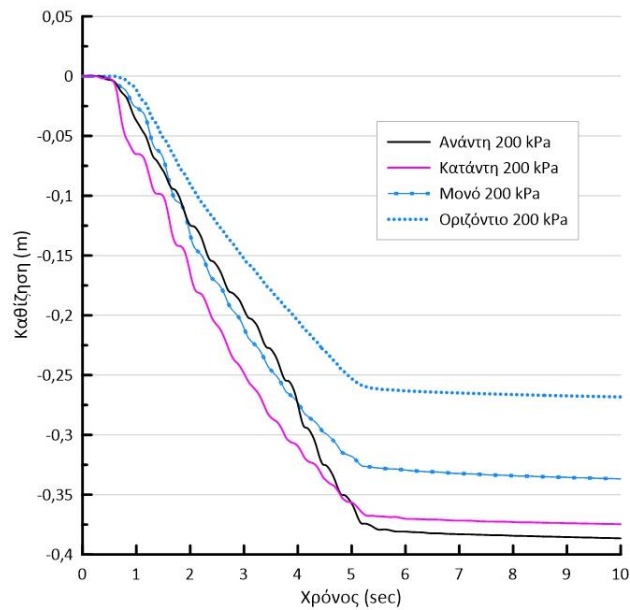
Σχήμα A.10 Χρονοϊστορίες οριζόντιας μετακίνησης θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 5 \text{ m}$, ίδια φορτία $q_{av} = 50 \text{ kPa}$ και $q_{κατ} = 50 \text{ kPa}$, σε απόσταση $D = 20 \text{ m}$, και σύγκριση με την οριζόντια μετακίνηση του ελεύθερου πεδίου.



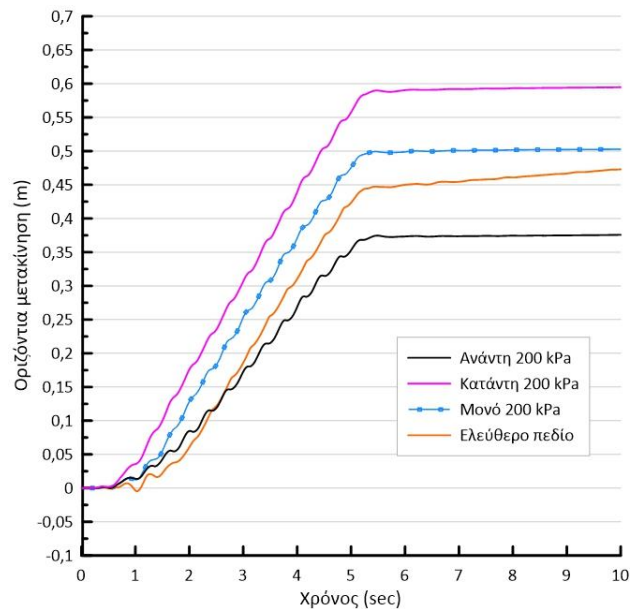
Σχήμα A.11 Χρονοϊστορίες στροφής θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 5 \text{ m}$, ίδια φορτία $q_{av} = 50 \text{ kPa}$ και $q_{κατ} = 50 \text{ kPa}$, σε απόσταση $D = 20 \text{ m}$, και σύγκριση με τις καθιζήσεις του ίδιου θεμελίου αν ήταν μεμονωμένο.



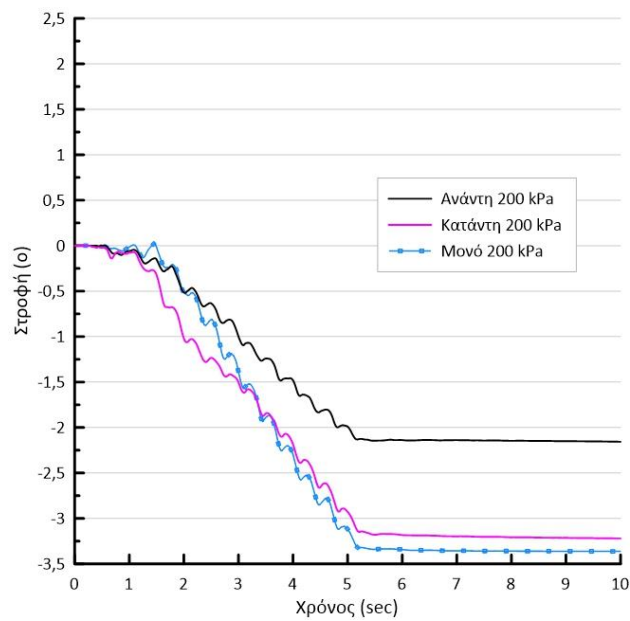
Σχήμα A.12 Ισοκαμπύλες συντελεστή υπερπίεσης πόρων r_u και συσσωρευμένης διαμητικής παραμόρφωσης γ στο έδαφος κάτω από δίδυμα θεμέλια (πλάτους $B = 5 \text{ m}$, φορτίου έδρασης $q = 50 \text{ kPa}$) με ενδιάμεση απόσταση $D = 20 \text{ m}$, σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση.



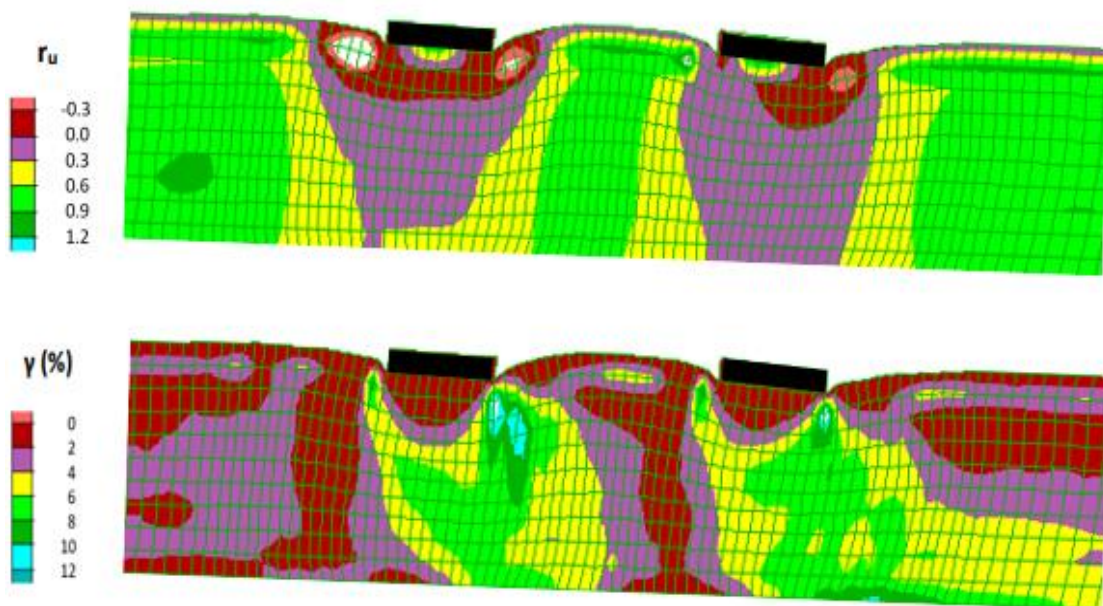
Σχήμα A.13 Χρονοϊστορίες καθίζησης θεμελίων είτε σε οριζόντια ή σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 5 \text{ m}$, ίδια φορτία $q_{αν} = 200 \text{ kPa}$ και $q_{κατ} = 200 \text{ kPa}$, σε απόσταση $D = 10 \text{ m}$, και σύγκριση με τις καθιζήσεις του ίδιου θεμελίου αν ήταν μεμονωμένο ή οριζόντιο.



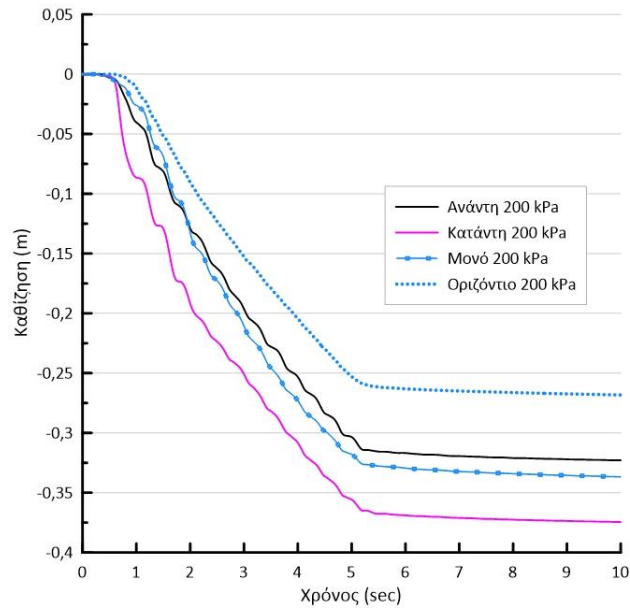
Σχήμα A.14 Χρονοϊστορίες οριζόντιας μετακίνησης θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 5 \text{ m}$, ίδια φορτία $q_{αν} = 200 \text{ kPa}$ και $q_{κατ} = 200 \text{ kPa}$, σε απόσταση $D = 10 \text{ m}$, και σύγκριση με την οριζόντια μετακίνηση του ελεύθερου πεδίου.



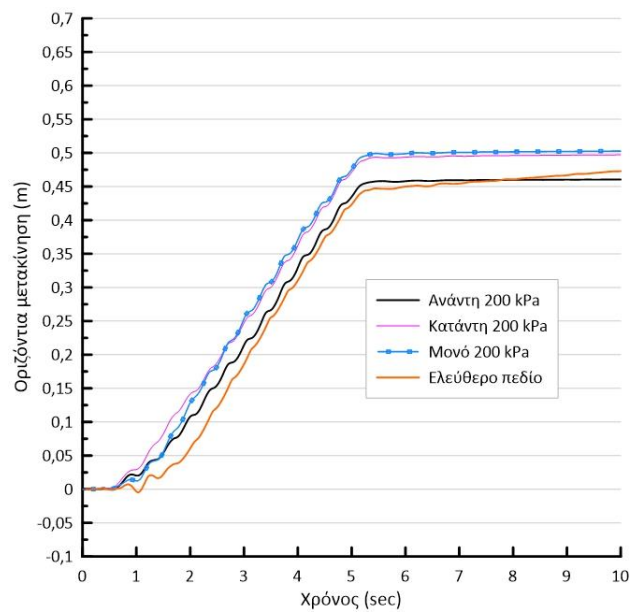
Σχήμα A.15 Χρονοϊστορίες στροφής θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 5$ m, ίδια φορτία $q_{αν} = 200$ kPa και $q_{κατ} = 200$ kPa, σε απόσταση $D = 10$ m, και σύγκριση με τις καθιζήσεις του ίδιου θεμελίου αν ήταν μεμονωμένο.



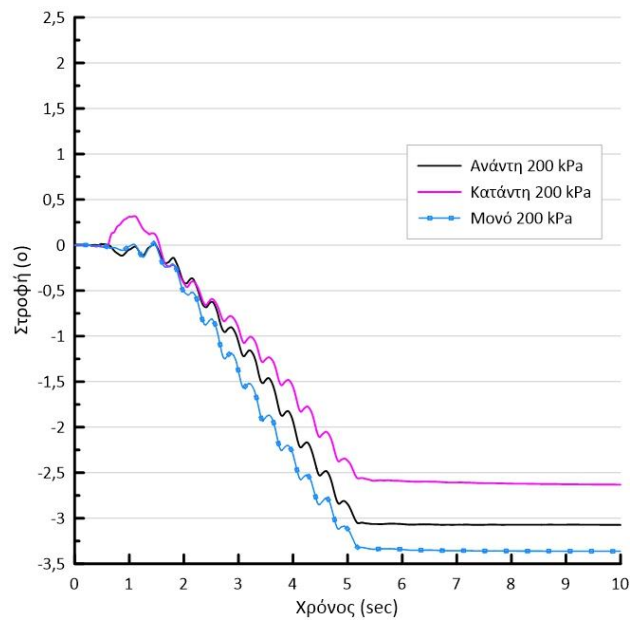
Σχήμα A.16 Ισοκαμπύλες συντελεστή υπερπίεσης πόρων r_u και συσσωρευμένης διατμητικής παραμόρφωσης γ στο έδαφος κάτω από δίδυμα θεμέλια (πλάτους $B = 5$ m, φορτίου έδρασης $q = 200$ kPa) με ενδιάμεση απόσταση $D = 10$ m, σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση.



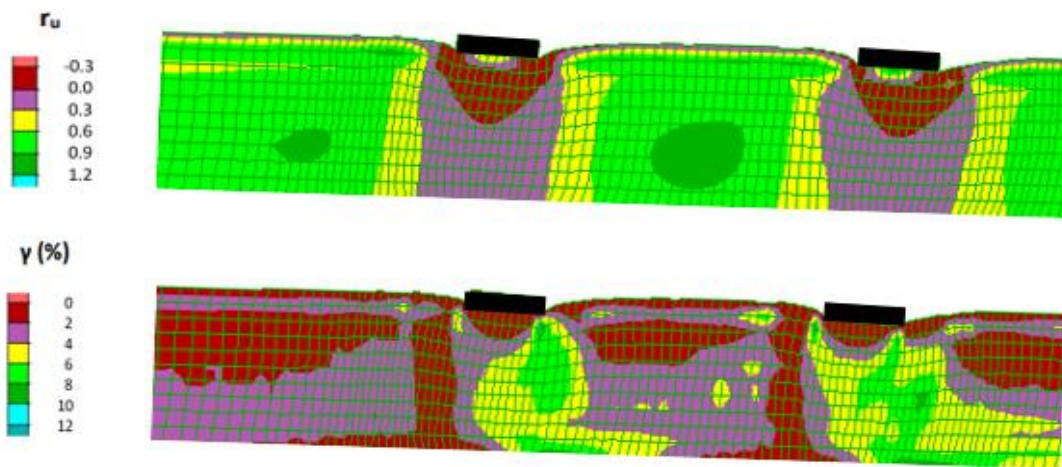
Σχήμα A.17 Χρονοϊστορίες καθίζησης θεμελίων είτε σε οριζόντια ή σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 5$ m, ίδια φορτία $q_{av} = 200$ kPa και $q_{κατ} = 200$ kPa, σε απόσταση $D = 20$ m, και σύγκριση με τις καθιζήσεις του ίδιου θεμελίου αν ήταν μεμονωμένο ή οριζόντιο.



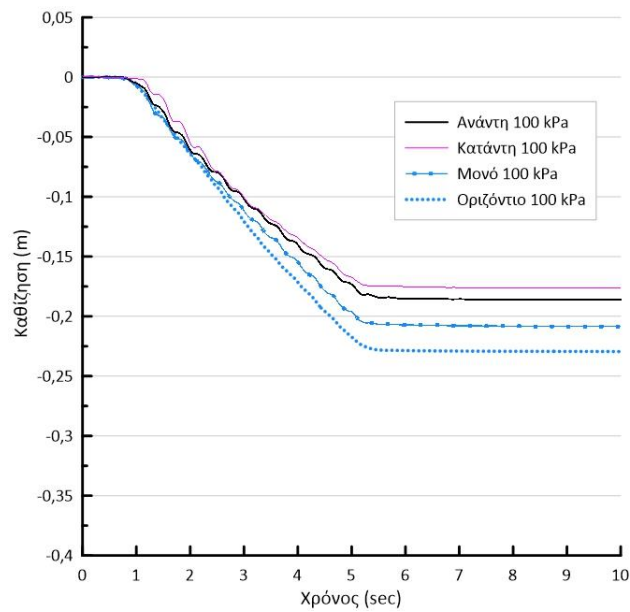
Σχήμα A.18 Χρονοϊστορίες οριζόντιας μετακίνησης θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 5$ m, ίδια φορτία $q_{av} = 200$ kPa και $q_{κατ} = 200$ kPa, σε απόσταση $D = 20$ m, και σύγκριση με την οριζόντια μετακίνηση του ελεύθερου πεδίου.



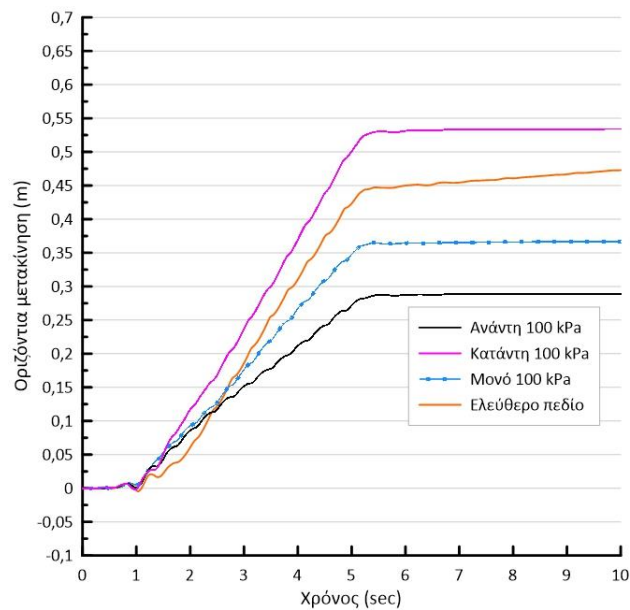
Σχήμα A.19 Χρονοϊστορίες στροφής θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 5 \text{ m}$, ίδια φορτία $q_{αν} = 200 \text{ kPa}$ και $q_{κατ} = 200 \text{ kPa}$, σε απόσταση $D = 20 \text{ m}$, και σύγκριση με τις καθιζήσεις του ίδιου θεμελίου αν ήταν μεμονωμένο.



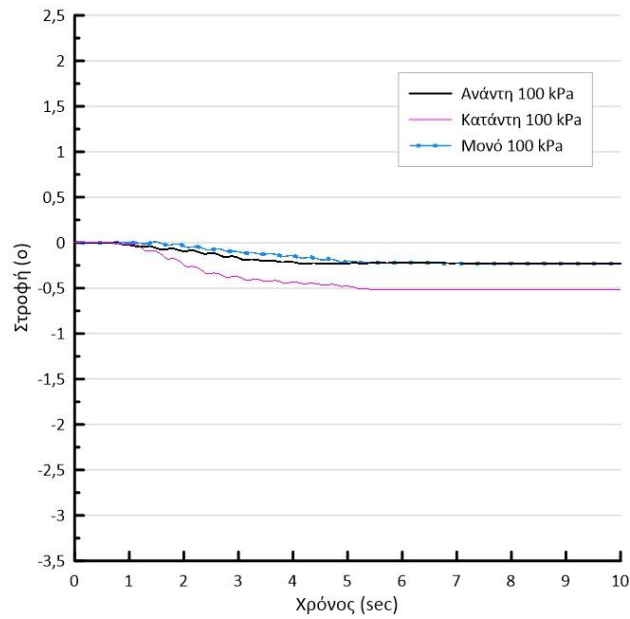
Σχήμα A.20 Ισοκαμπύλες συντελεστή υπερπίεσης πόρων r_u και συσσωρευμένης διατμητικής παραμόρφωσης γ στο έδαφος κάτω από δίδυμα θεμέλια (πλάτους $B = 5 \text{ m}$, φορτίου έδρασης $q = 200 \text{ kPa}$) με ενδιάμεση απόσταση $D = 20 \text{ m}$, σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση.



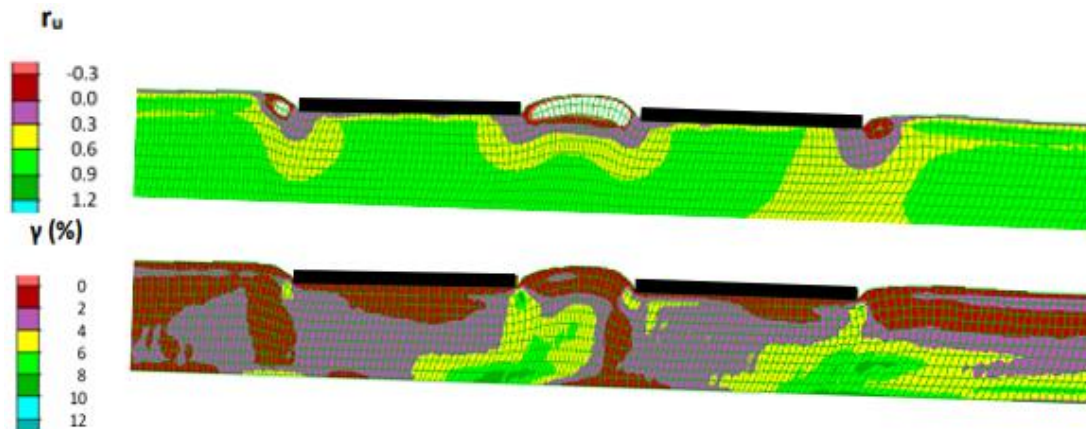
Σχήμα A.21 Χρονοϊστορίες καθίζησης θεμελίων είτε σε οριζόντια ή σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 20$ m, ίδια φορτία $q_{αν} = 100$ kPa και $q_{κατ} = 100$ kPa, σε απόσταση $D = 10$ m, και σύγκριση με τις καθιζήσεις του ίδιου θεμελίου αν ήταν μεμονωμένο ή οριζόντιο.



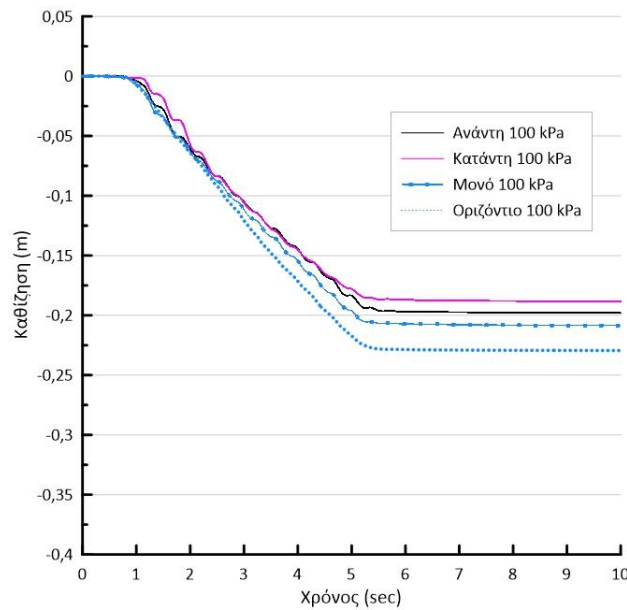
Σχήμα A.22 Χρονοϊστορίες οριζόντιας μετακίνησης θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 20$ m, ίδια φορτία $q_{αν} = 100$ kPa και $q_{κατ} = 100$ kPa, σε απόσταση $D = 10$ m, και σύγκριση με την οριζόντια μετακίνηση του ελεύθερου πεδίου.



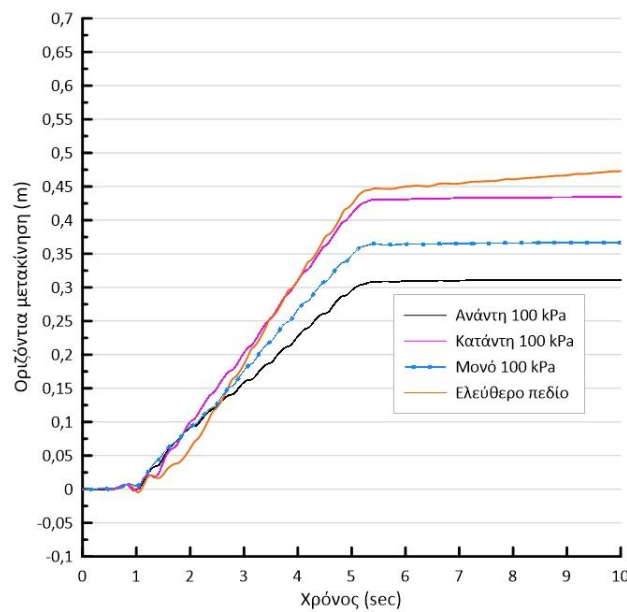
Σχήμα A.23 Χρονοϊστορίες στροφής θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 20$ m, ίδια φορτία $q_{αν} = 100$ kPa και $q_{κατ} = 100$ kPa, σε απόσταση $D = 10$ m, και σύγκριση με τις καθιζήσεις του ίδιου θεμελίου αν ήταν μεμονωμένο.



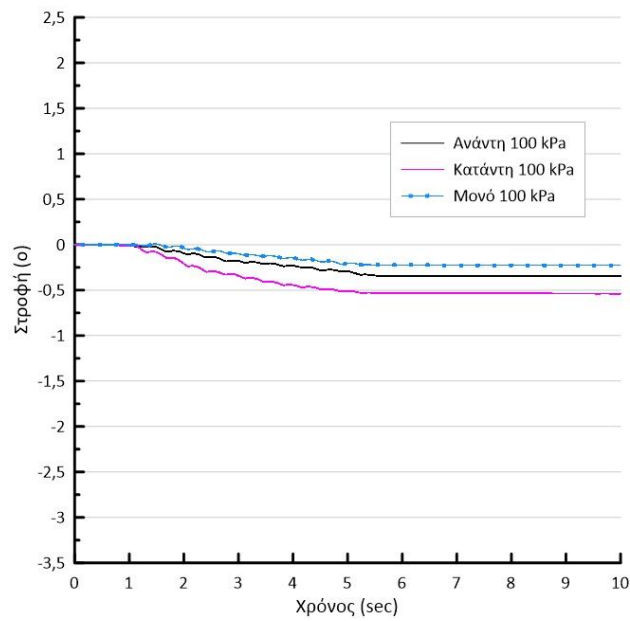
Σχήμα A.24 Ισοκαμπύλες συντελεστή υπερπίεσης πόρων r_u και συσσωρευμένης διαμηκτικής παραμόρφωσης γ στο έδαφος κάτω από δίδυμα θεμέλια (πλάτους $B = 20$ m, φορτίου έδρασης $q = 100$ kPa) με ενδιάμεση απόσταση $D = 10$ m, σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση.



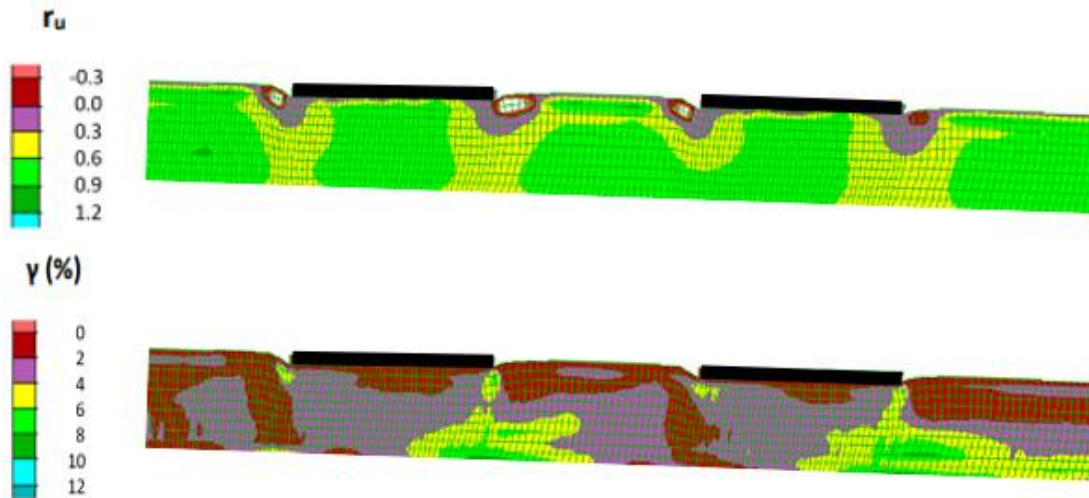
Σχήμα A.25 Χρονοϊστορίες καθίζησης θεμελίων είτε σε οριζόντια ή σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 20$ m, ίδια φορτία $q_{αν} = 100$ kPa και $q_{κατ} = 100$ kPa, σε απόσταση $D = 20$ m, και σύγκριση με τις καθιζήσεις του ίδιου θεμελίου αν ήταν μεμονωμένο ή οριζόντιο.



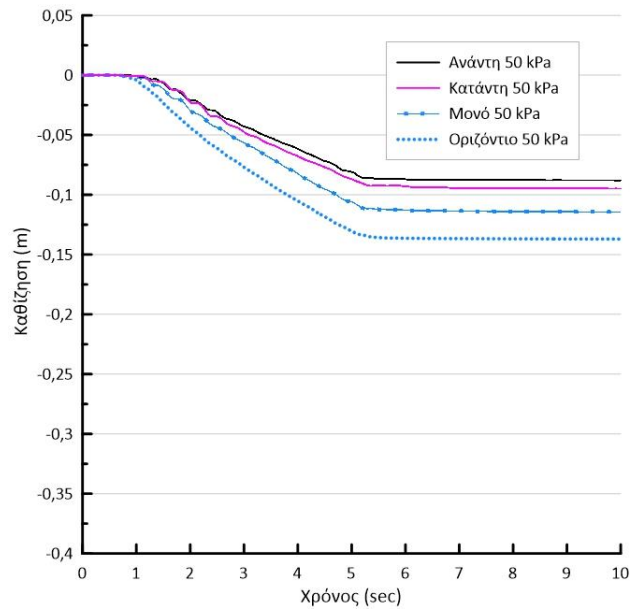
Σχήμα A.26 Χρονοϊστορίες οριζόντιας μετακίνησης θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 20$ m, ίδια φορτία $q_{αν} = 100$ kPa και $q_{κατ} = 100$ kPa, σε απόσταση $D = 20$ m, και σύγκριση με την οριζόντια μετακίνηση του ελεύθερου πεδίου.



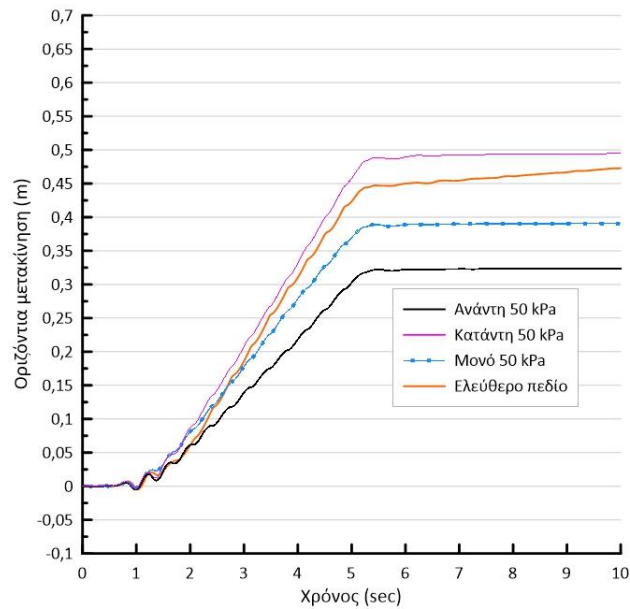
Σχήμα A.27 Χρονοϊστορίες στροφής θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 20 \text{ m}$, ίδια φορτία $q_{αν} = 100 \text{ kPa}$ και $q_{κατ} = 100 \text{ kPa}$, σε απόσταση $D = 20 \text{ m}$, και σύγκριση με τις καθιζήσεις του ίδιου θεμελίου αν ήταν μεμονωμένο.



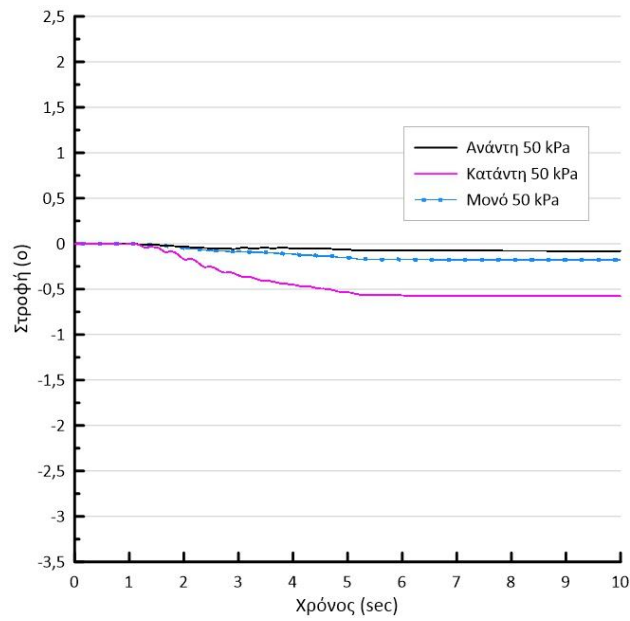
Σχήμα A.28 Ισοκαμπύλες συντελεστή υπερπίεσης πόρων r_u και συσσωρευμένης διαμητικής παραμόρφωσης γ στο έδαφος κάτω από δίδυμα θεμέλια (πλάτους $B = 20 \text{ m}$, φορτίου έδρασης $q = 100 \text{ kPa}$) με ενδιάμεση απόσταση $D = 20 \text{ m}$, σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση.



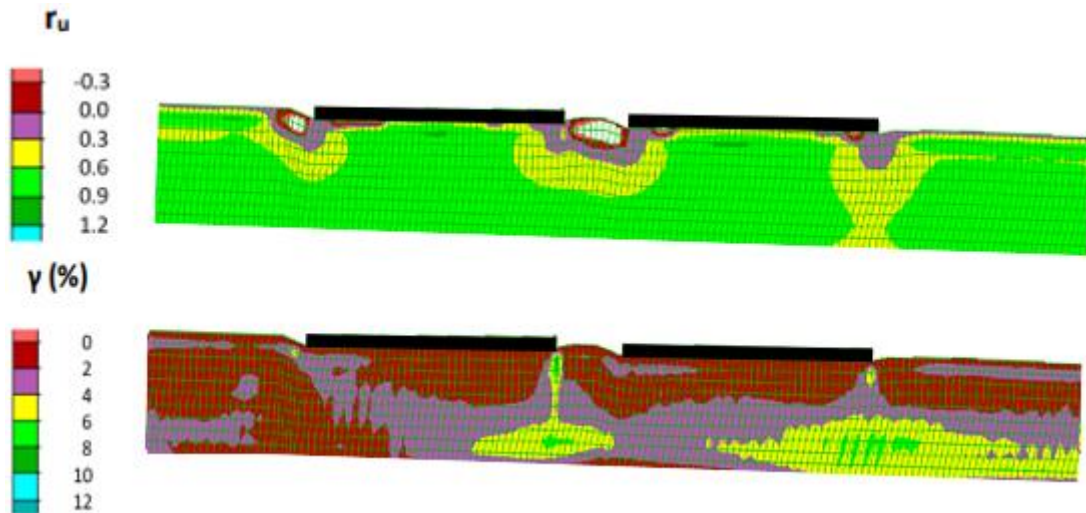
Σχήμα A.29 Χρονοϊστορίες καθίζησης θεμελίων είτε σε οριζόντια ή σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 20$ m, ίδια φορτία $q_{av} = 50$ kPa και $q_{κατ} = 50$ kPa, σε απόσταση $D = 5$ m, και σύγκριση με τις καθιζήσεις του ίδιου θεμελίου αν ήταν μεμονωμένο ή οριζόντιο.



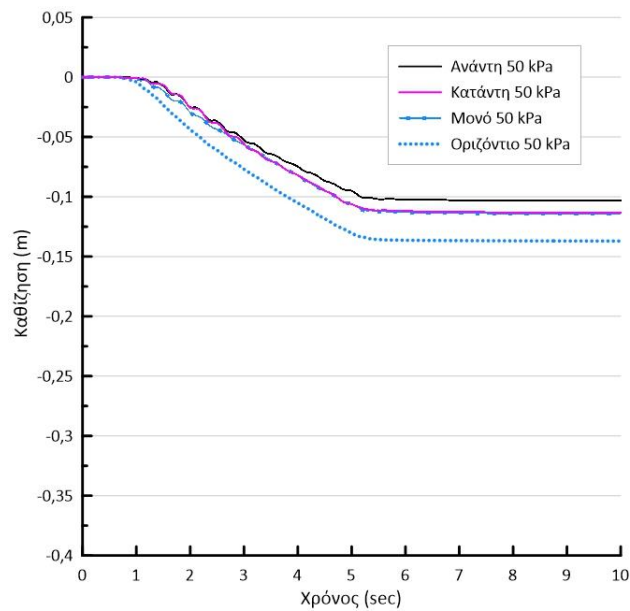
Σχήμα A.30 Χρονοϊστορίες οριζόντιας μετακίνησης θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 20$ m, ίδια φορτία $q_{av} = 50$ kPa και $q_{κατ} = 50$ kPa, σε απόσταση $D = 5$ m, και σύγκριση με την οριζόντια μετακίνηση του ελεύθερου πεδίου.



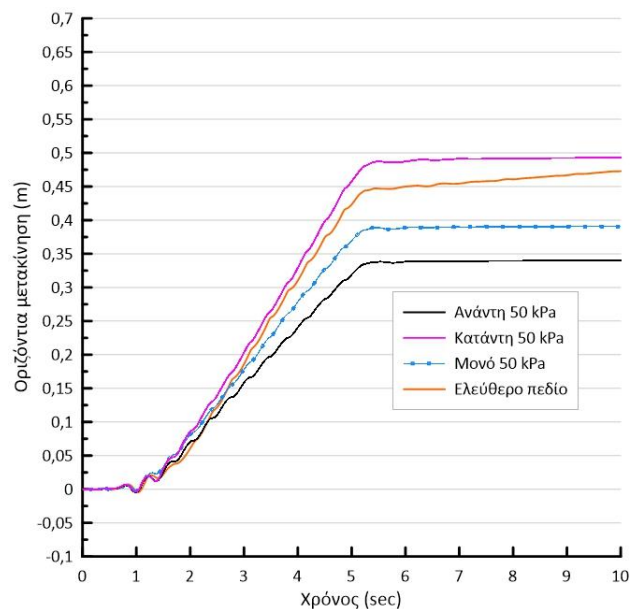
Σχήμα A.31 Χρονοϊστορίες στροφής θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 20 \text{ m}$, ίδια φορτία $q_{αν} = 50 \text{ kPa}$ και $q_{κατ} = 50 \text{ kPa}$, σε απόσταση $D = 5 \text{ m}$, και σύγκριση με τις καθιζήσεις του ίδιου θεμελίου αν ήταν μεμονωμένο.



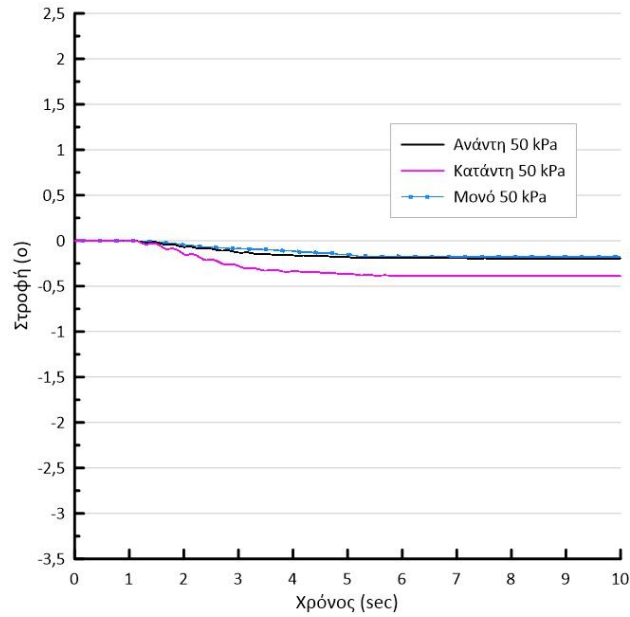
Σχήμα A.32 Ισοκαμπύλες συντελεστή υπερπίεσης πόρων r_u και συσσωρευμένης διαμητικής παραμόρφωσης γ στο έδαφος κάτω από δίδυμα θεμέλια (πλάτους $B = 20 \text{ m}$, φορτίου έδρασης $q = 50 \text{ kPa}$) με ενδιάμεση απόσταση $D = 5 \text{ m}$, σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση.



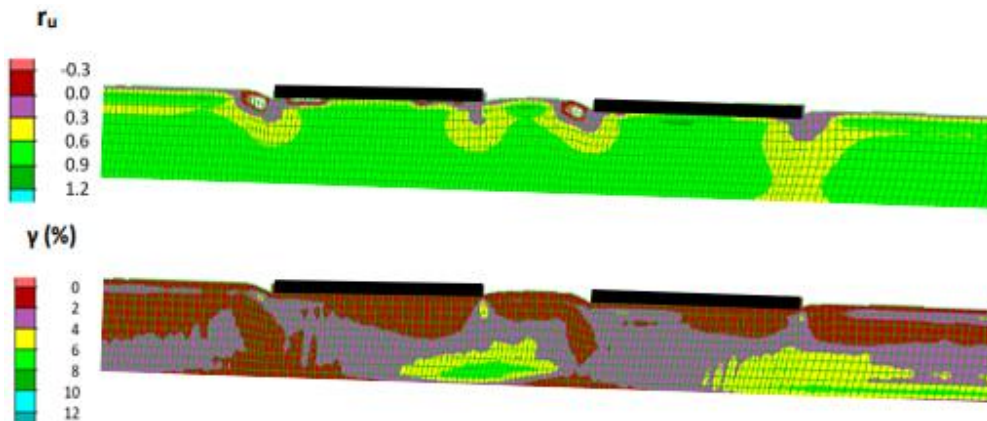
Σχήμα A.33 Χρονοϊστορίες καθίζησης θεμελίων είτε σε οριζόντια ή σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 20$ m, ίδια φορτία $q_{av} = 50$ kPa και $q_{κατ} = 50$ kPa, σε απόσταση $D = 10$ m, και σύγκριση με τις καθιζήσεις του ίδιου θεμελίου αν ήταν μεμονωμένο ή οριζόντιο.



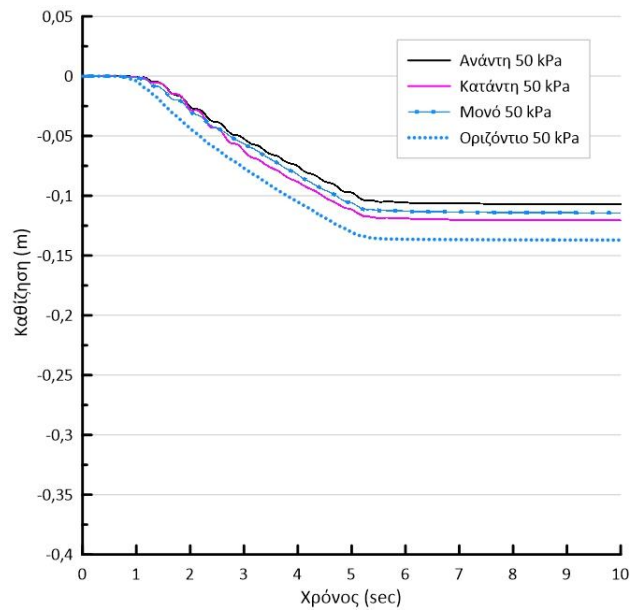
Σχήμα A.34 Χρονοϊστορίες οριζόντιας μετακίνησης θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 20$ m, ίδια φορτία $q_{av} = 50$ kPa και $q_{κατ} = 50$ kPa, σε απόσταση $D = 10$ m, και σύγκριση με την οριζόντια μετακίνηση του ελεύθερου πεδίου.



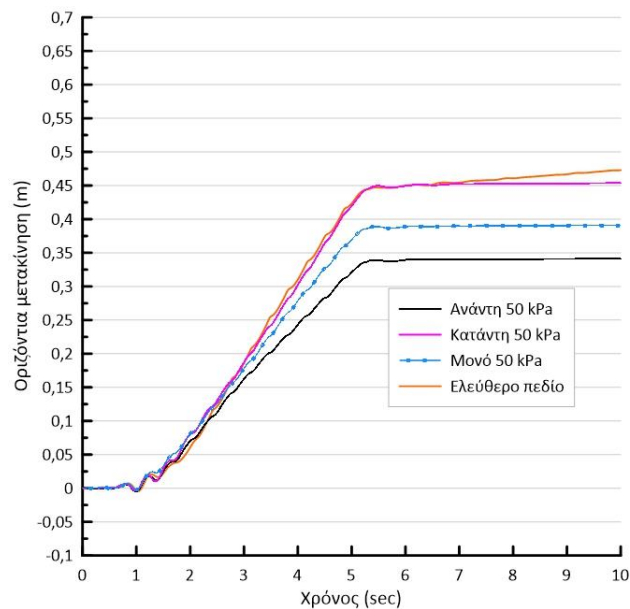
Σχήμα A.35 Χρονοϊστορίες στροφής θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 20 \text{ m}$, ίδια φορτία $q_{αν} = 50 \text{ kPa}$ και $q_{κατ} = 50 \text{ kPa}$, σε απόσταση $D = 10 \text{ m}$, και σύγκριση με τις καθιζήσεις του ίδιου θεμελίου αν ήταν μεμονωμένο.



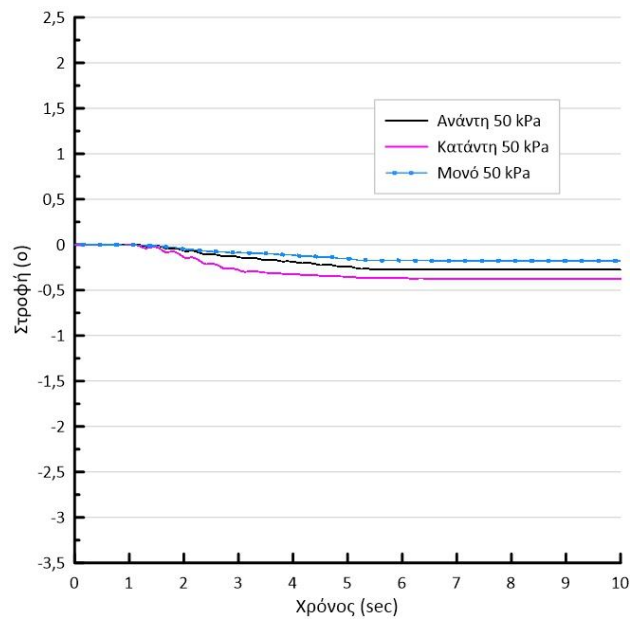
Σχήμα A.36 Ισοκαμπύλες συντελεστή υπερπίεσης πόρων r_u και συσσωρευμένης διατμητικής παραμόρφωσης γ στο έδαφος κάτω από δίδυμα θεμέλια (πλάτους $B = 20 \text{ m}$, φορτίου έδρασης $q = 50 \text{ kPa}$) με ενδιάμεση απόσταση $D = 10 \text{ m}$, σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση.



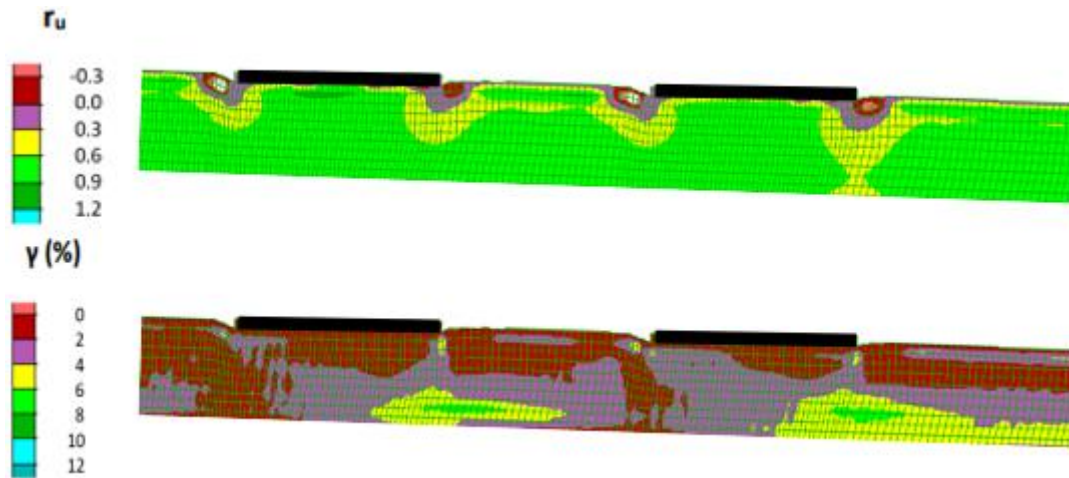
Σχήμα A.37 Χρονοϊστορίες καθίζησης θεμελίων είτε σε οριζόντια ή σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 20$ m, ίδια φορτία $q_{av} = 50$ kPa και $q_{κατ} = 50$ kPa, σε απόσταση $D = 20$ m, και σύγκριση με τις καθιζήσεις του ίδιου θεμελίου αν ήταν μεμονωμένο ή οριζόντιο.



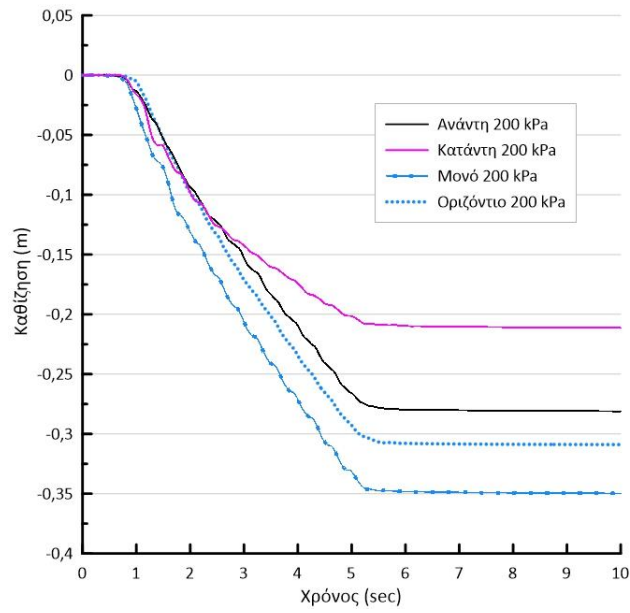
Σχήμα A.38 Χρονοϊστορίες οριζόντιας μετακίνησης θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 20$ m, ίδια φορτία $q_{av} = 50$ kPa και $q_{κατ} = 50$ kPa, σε απόσταση $D = 20$ m, και σύγκριση με την οριζόντια μετακίνηση του ελεύθερου πεδίου.



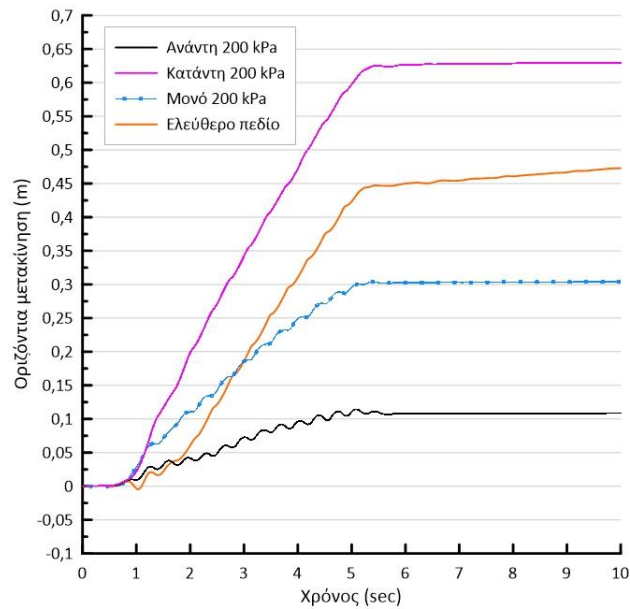
Σχήμα A.39 Χρονοϊστορίες στροφής θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 20$ m, ίδια φορτία $q_{αν} = 50$ kPa και $q_{κατ} = 50$ kPa, σε απόσταση $D = 20$ m, και σύγκριση με τις καθιζήσεις του ίδιου θεμελίου αν ήταν μεμονωμένο.



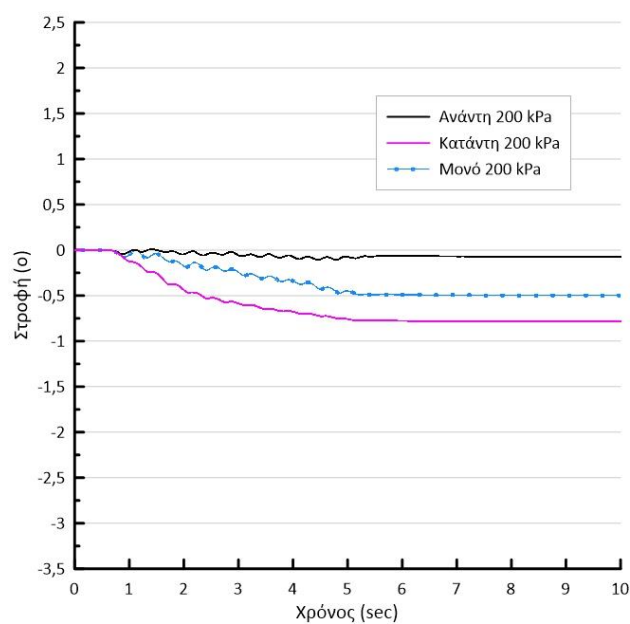
Σχήμα A.40 Ισοκαμπύλες συντελεστή υπερπίεσης πόρων r_u και συσσωρευμένης διατμητικής παραμόρφωσης γ στο έδαφος κάτω από δίδυμα θεμέλια (πλάτους $B = 20$ m, φορτίου έδρασης $q = 50$ kPa) με ενδιάμεση απόσταση $D = 20$ m, σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση.



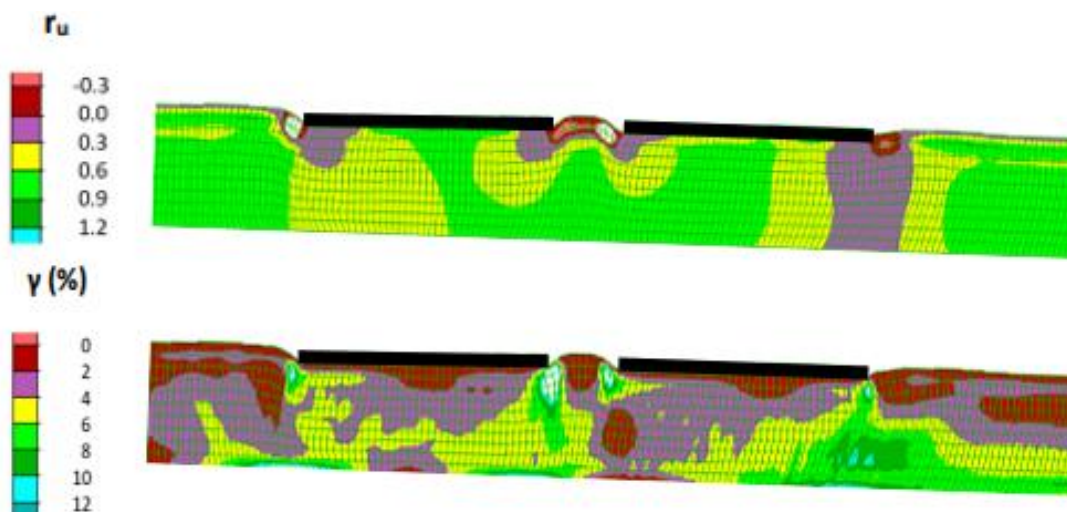
Σχήμα A.41 Χρονοϊστορίες καθίζησης θεμελίων είτε σε οριζόντια ή σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 20$ m, ίδια φορτία $q_{av} = 200$ kPa και $q_{κατ} = 200$ kPa, σε απόσταση $D = 5$ m, και σύγκριση με τις καθιζήσεις του ίδιου θεμελίου αν ήταν μεμονωμένο ή οριζόντιο.



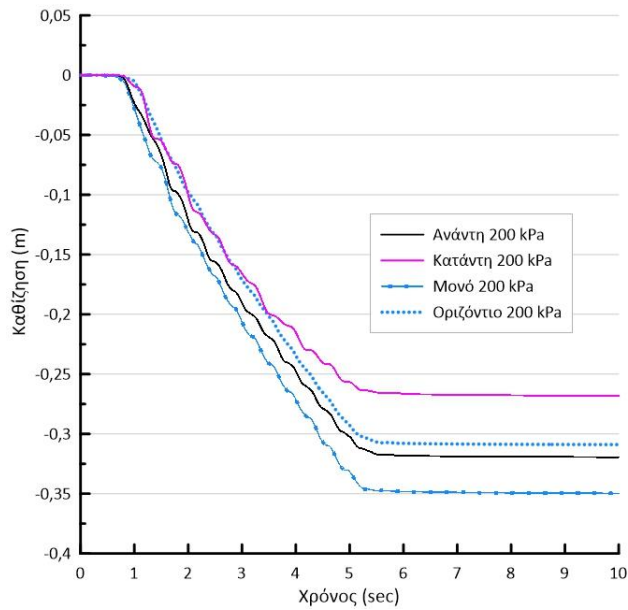
Σχήμα A.42 Χρονοϊστορίες οριζόντιας μετακίνησης θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 20$ m, ίδια φορτία $q_{av} = 200$ kPa και $q_{κατ} = 200$ kPa, σε απόσταση $D = 5$ m, και σύγκριση με την οριζόντια μετακίνηση του ελεύθερου πεδίου.



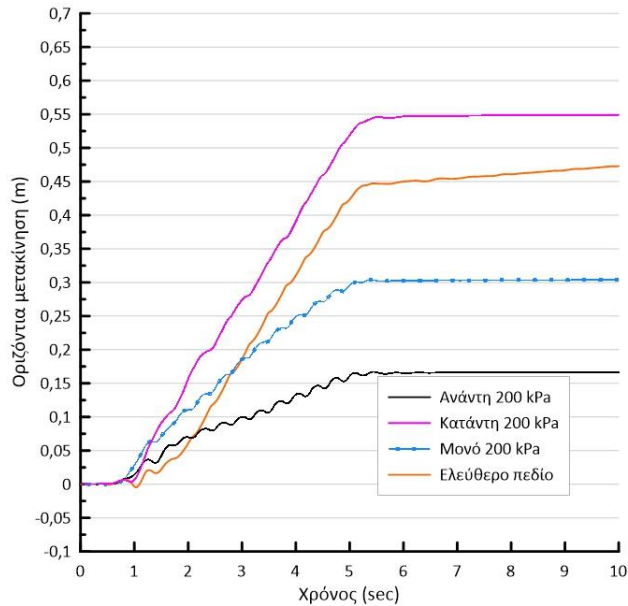
Σχήμα A.43 Χρονοϊστορίες στροφής θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 20$ m, ίδια φορτία $q_{αν} = 200$ kPa και $q_{κατ} = 200$ kPa, σε απόσταση $D = 5$ m, και σύγκριση με τις καθιζήσεις του ίδιου θεμελίου αν ήταν μεμονωμένο.



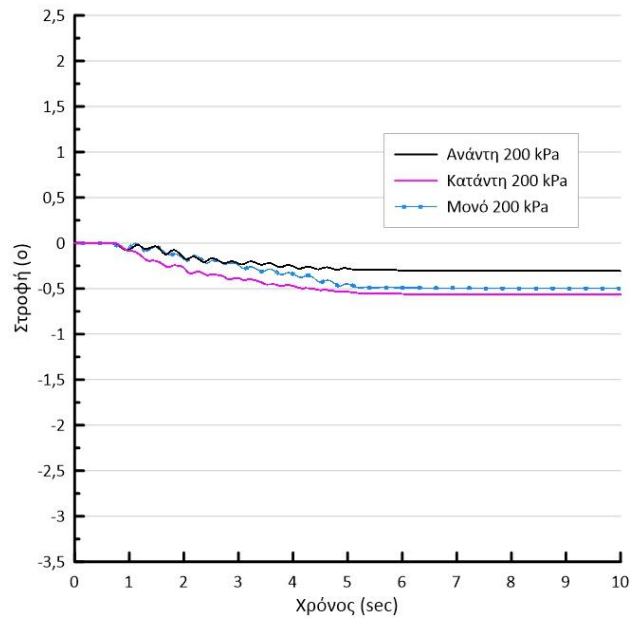
Σχήμα A.44 Ισοκαμπύλες συντελεστή υπερπίεσης πόρων r_u και συσσωρευμένης διαμητρικής παραμόρφωσης γ στο έδαφος κάτω από δίδυμα θεμέλια (πλάτους $B = 20$ m, φορτίου έδρασης $q = 200$ kPa) με ενδιάμεση απόσταση $D = 5$ m, σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση.



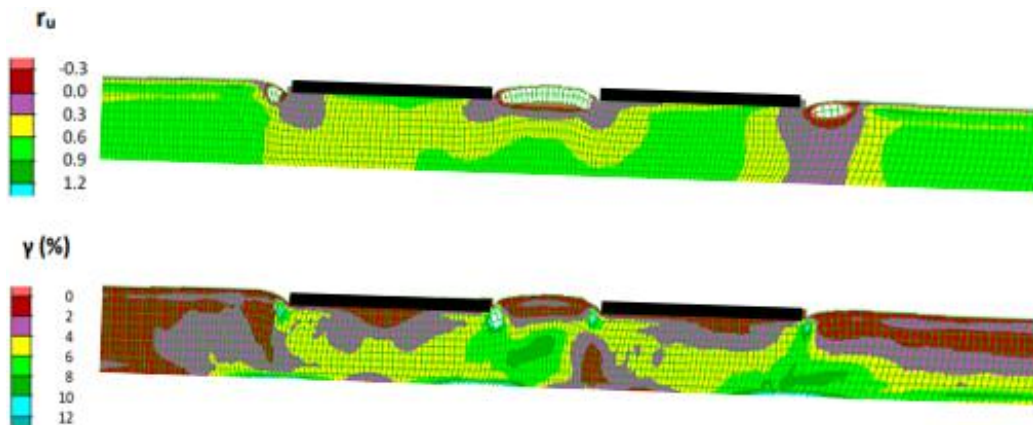
Σχήμα A.45 Χρονοϊστορίες καθίζησης θεμελίων είτε σε οριζόντια ή σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 20$ m, ίδια φορτία $q_{av} = 200$ kPa και $q_{κατ} = 200$ kPa, σε απόσταση $D = 10$ m, και σύγκριση με τις καθιζήσεις του ίδιου θεμελίου αν ήταν μεμονωμένο ή οριζόντιο.



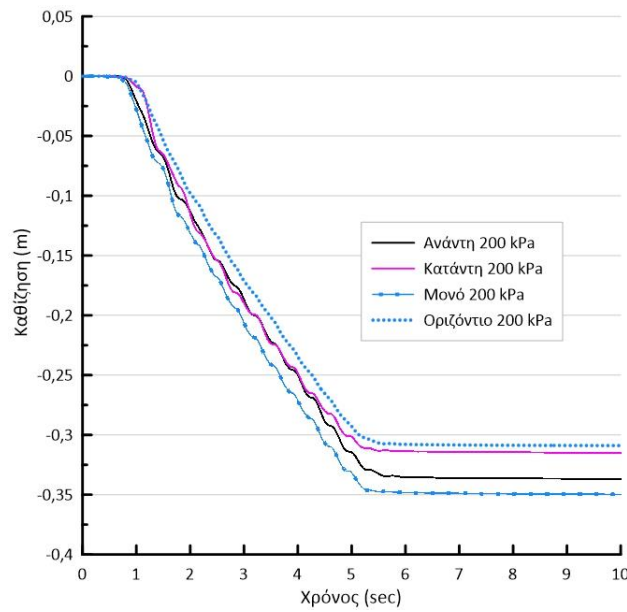
Σχήμα A.46 Χρονοϊστορίες οριζόντιας μετακίνησης θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 20$ m, ίδια φορτία $q_{av} = 200$ kPa και $q_{κατ} = 200$ kPa, σε απόσταση $D = 10$ m, και σύγκριση με την οριζόντια μετακίνηση του ελεύθερου πεδίου.



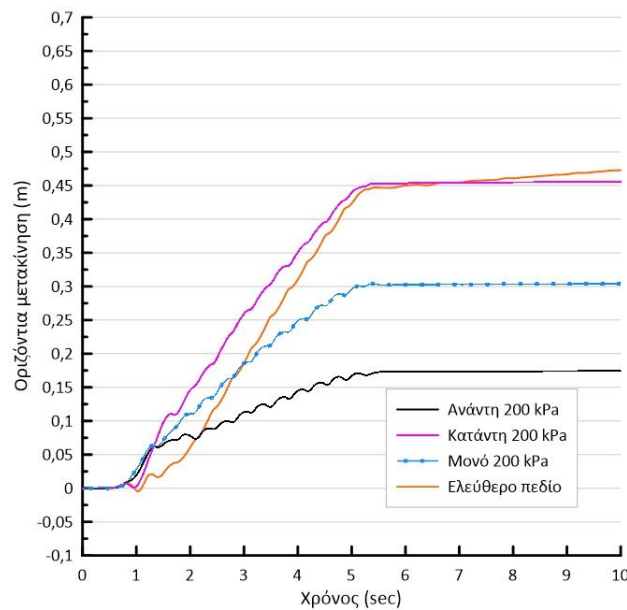
Σχήμα A.47 Χρονοϊστορίες στροφής θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 20 \text{ m}$, ίδια φορτία $q_{αν} = 200 \text{ kPa}$ και $q_{κατ} = 200 \text{ kPa}$, σε απόσταση $D = 10 \text{ m}$, και σύγκριση με τις καθιζήσεις του ίδιου θεμελίου αν ήταν μεμονωμένο.



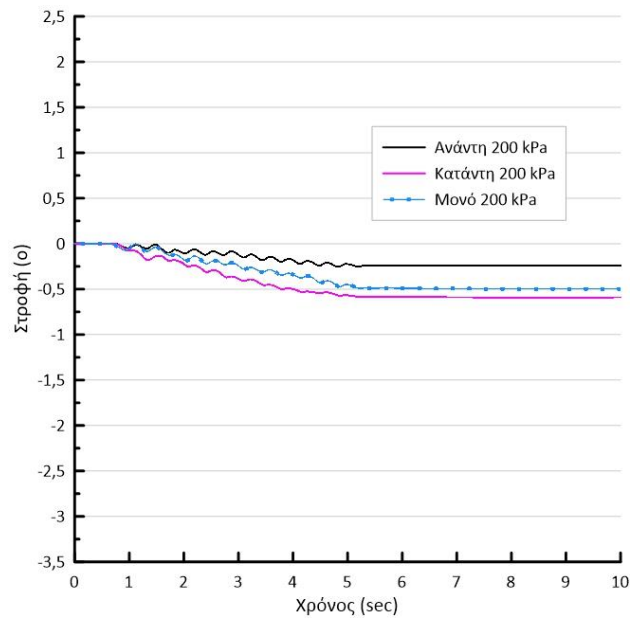
Σχήμα A.48 Ισοκαμπύλες συντελεστή υπερπίεσης πόρων r_u και συσσωρευμένης διατμητικής παραμόρφωσης γ στο έδαφος κάτω από δίδυμα θεμέλια (πλάτους $B = 20 \text{ m}$, φορτίου έδρασης $q = 200 \text{ kPa}$) με ενδιάμεση απόσταση $D = 10 \text{ m}$, σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση.



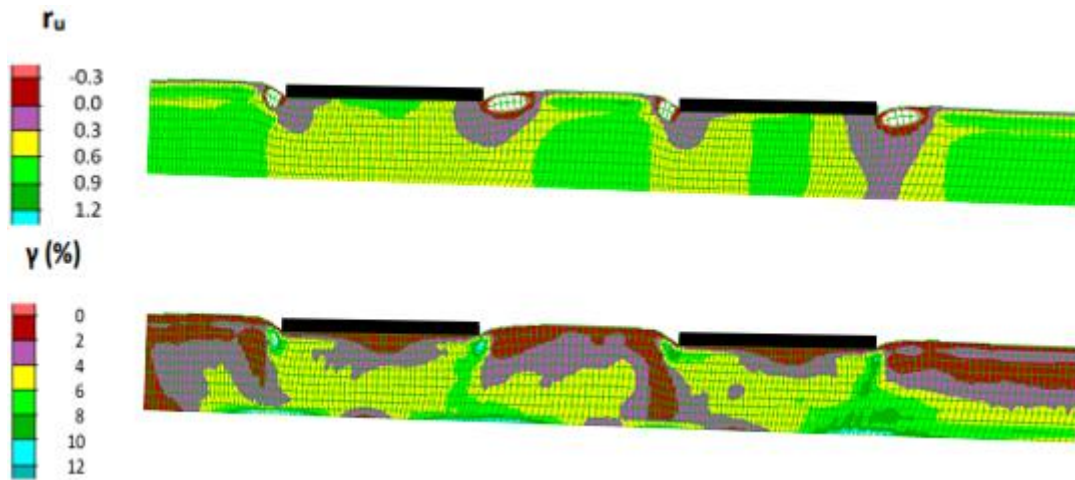
Σχήμα A.49 Χρονοϊστορίες καθίζησης θεμελίων είτε σε οριζόντια ή σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 20 \text{ m}$, ίδια φορτία $q_{av} = 200 \text{ kPa}$ και $q_{κατ} = 200 \text{ kPa}$, σε απόσταση $D = 20 \text{ m}$, και σύγκριση με τις καθιζήσεις του ίδιου θεμελίου αν ήταν μεμονωμένο ή οριζόντιο.



Σχήμα A.50 Χρονοϊστορίες οριζόντιας μετακίνησης θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 20 \text{ m}$, ίδια φορτία $q_{av} = 200 \text{ kPa}$ και $q_{κατ} = 200 \text{ kPa}$, σε απόσταση $D = 20 \text{ m}$, και σύγκριση με την οριζόντια μετακίνηση του ελεύθερου πεδίου.



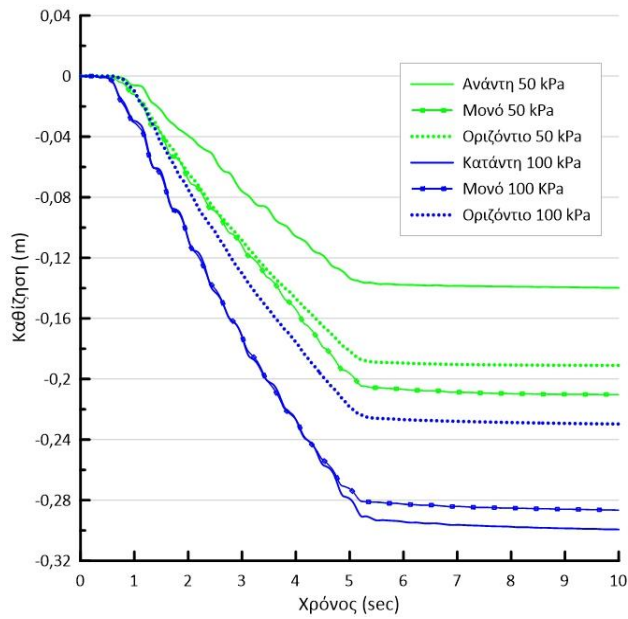
Σχήμα A.51 Χρονοϊστορίες στροφής θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 20 \text{ m}$, ίδια φορτία $q_{αν} = 200 \text{ kPa}$ και $q_{κατ} = 200 \text{ kPa}$, σε απόσταση $D = 20 \text{ m}$, και σύγκριση με τις καθιζήσεις του ίδιου θεμελίου αν ήταν μεμονωμένο.



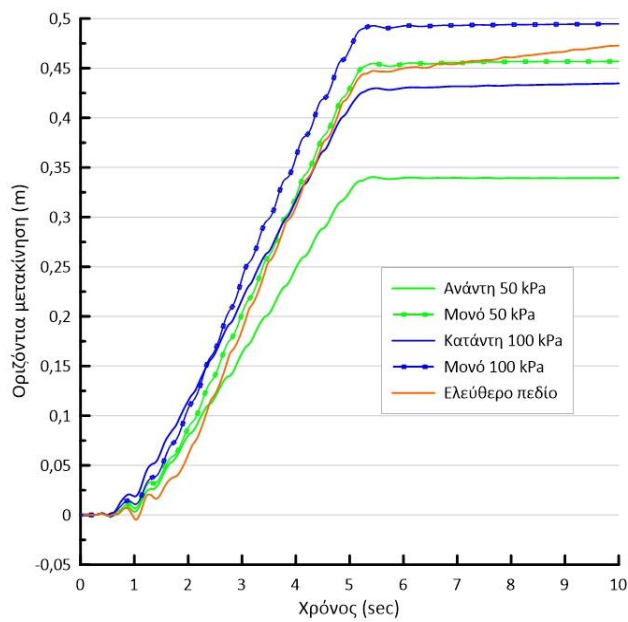
Σχήμα A.52 Ισοκαμπύλες συντελεστή υπερπίεσης πόρων r_u και συσσωρευμένης διατμητικής παραμόρφωσης γ στο έδαφος κάτω από δίδυμα θεμέλια (πλάτους $B = 20 \text{ m}$, φορτίου έδρασης $q = 200 \text{ kPa}$) με ενδιάμεση απόσταση $D = 20 \text{ m}$, σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση.

Παράρτημα Β:

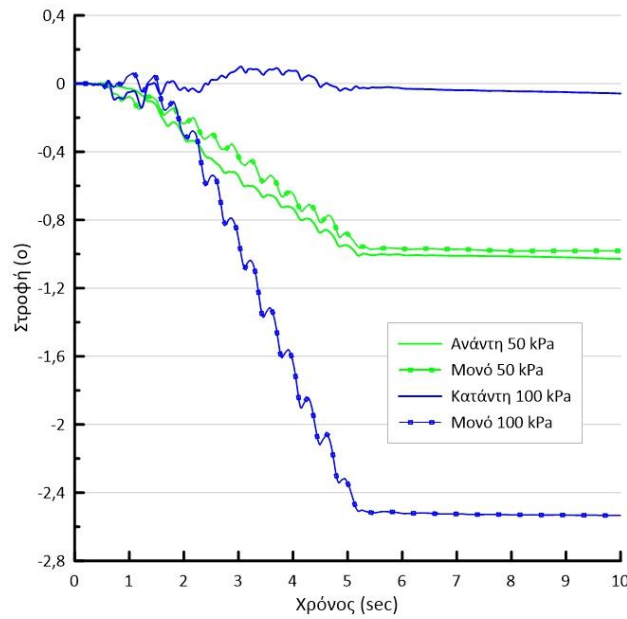
**Πρόσθετα αποτελέσματα από αναλύσεις σεισμικής
απόκρισης για διαφορετικά θεμέλια**



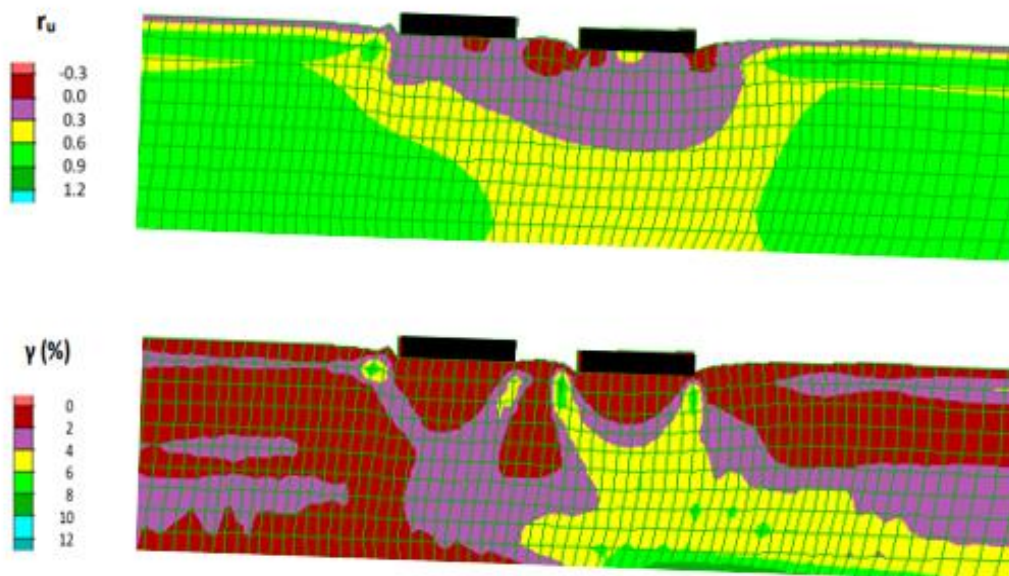
Σχήμα Β.1 Χρονοϊστορίες καθίζησης θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 5$ m, διαφορετικά φορτία $q_{av} = 50$ kPa και $q_{κατ} = 100$ kPa, σε απόσταση $D = 2.5$ m, και σύγκριση με τις καθιζήσεις των ίδιων θεμελίων αν ήταν μεμονωμένα ή οριζόντια.



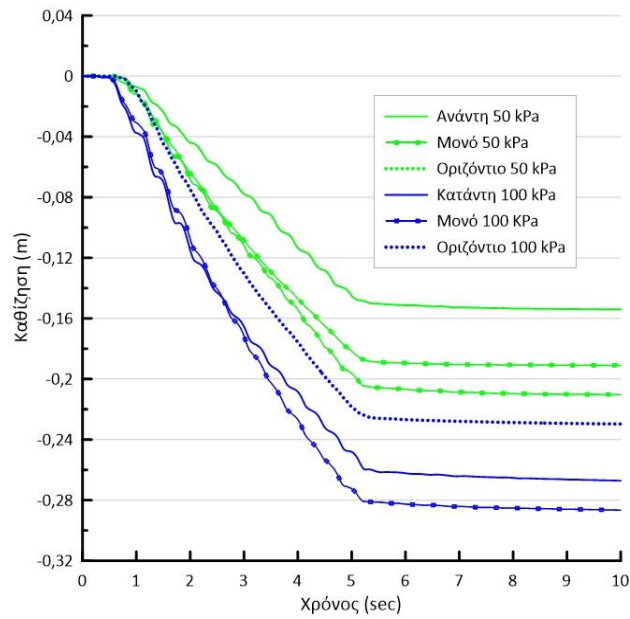
Σχήμα Β.2 Χρονοϊστορίες οριζόντιας μετακίνησης θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 5$ m, διαφορετικά φορτία $q_{av} = 50$ kPa και $q_{κατ} = 100$ kPa, σε απόσταση $D = 2.5$ m, και σύγκριση με την οριζόντια μετακίνηση του ελεύθερου πεδίου.



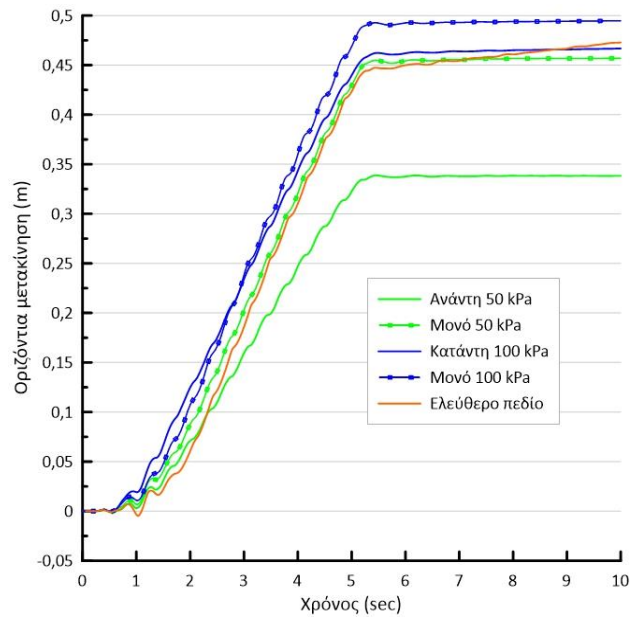
Σχήμα Β.3 Χρονοϊστορίες στροφής θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 5 \text{ m}$, διαφορετικά φορτία $q_{αν} = 50 \text{ kPa}$ και $q_{κατ} = 100 \text{ kPa}$, σε απόσταση $D = 2.5 \text{ m}$, και σύγκριση με τις καθιζήσεις των ίδιων θεμελίων αν ήταν μεμονωμένα ή οριζόντια.



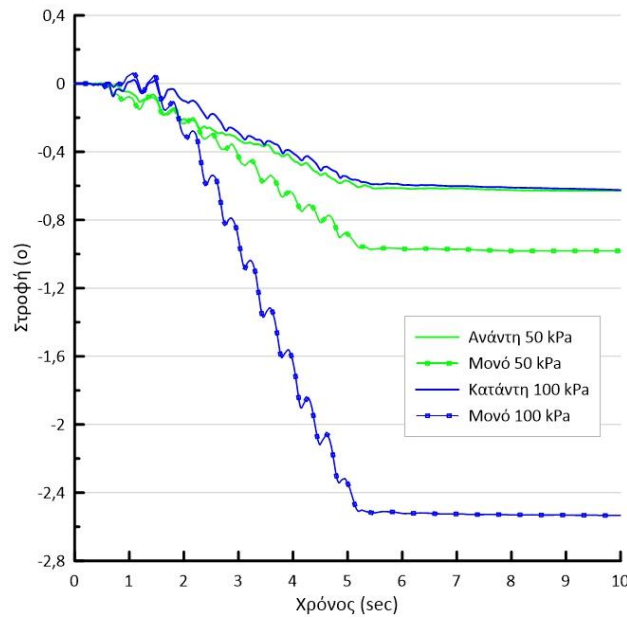
Σχήμα Β.4 Ισοκαμπύλες συντελεστή υπερπίεσης πόρων r_u και συσσωρευμένης διαμητρικής παραμόρφωσης γ στο έδαφος κάτω από ζεύγος θεμελίων (πλάτους $B = 5 \text{ m}$, φορτίων έδρασης $q_{αν} = 50 \text{ kPa}$, $q_{κατ} = 100 \text{ kPa}$) με ενδιάμεση απόσταση $D = 2.5 \text{ m}$, σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση.



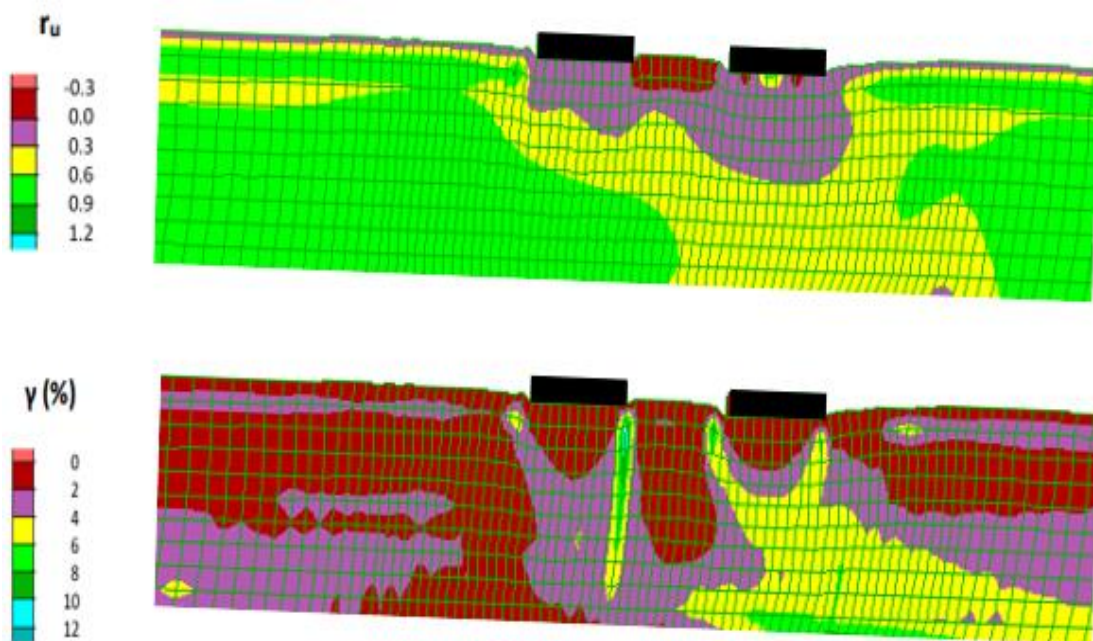
Σχήμα Β.5 Χρονοϊστορίες καθίζησης θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 5$ m, διαφορετικά φορτία $q_{αν} = 50$ kPa και $q_{κατ} = 100$ kPa, σε απόσταση $D = 5$ m, και σύγκριση με τις καθιζήσεις των ίδιων θεμελίων αν ήταν μεμονωμένα ή οριζόντια.



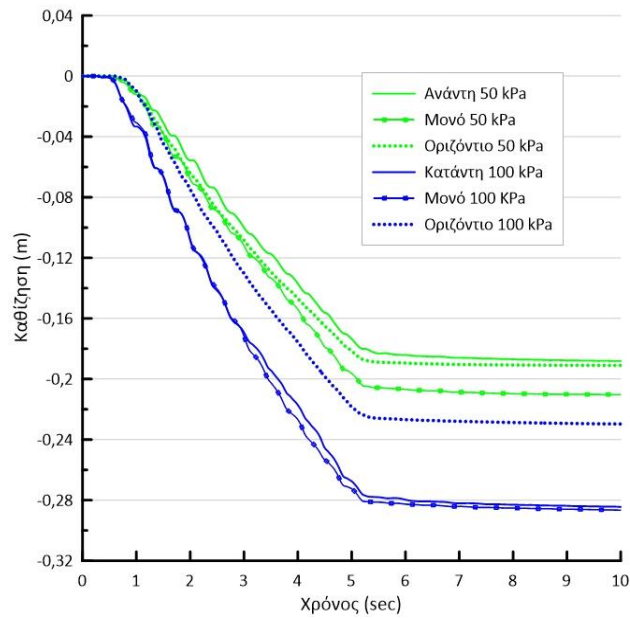
Σχήμα Β.6 Χρονοϊστορίες οριζόντιας μετακίνησης θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 5$ m, διαφορετικά φορτία $q_{αν} = 50$ kPa και $q_{κατ} = 100$ kPa, σε απόσταση $D = 5$ m, και σύγκριση με την οριζόντια μετακίνηση του ελεύθερου πεδίου.



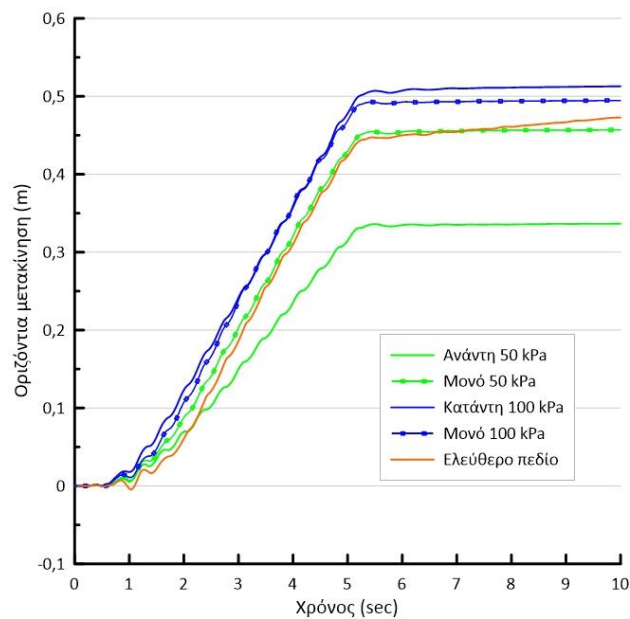
Σχήμα Β.7 Χρονοϊστορίες στροφής θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 5$ m, διαφορετικά φορτία $q_{αν} = 50$ kPa και $q_{κατ} = 100$ kPa, σε απόσταση $D = 5$ m, και σύγκριση με τις καθιζήσεις των ίδιων θεμελίων αν ήταν μεμονωμένα ή οριζόντια.



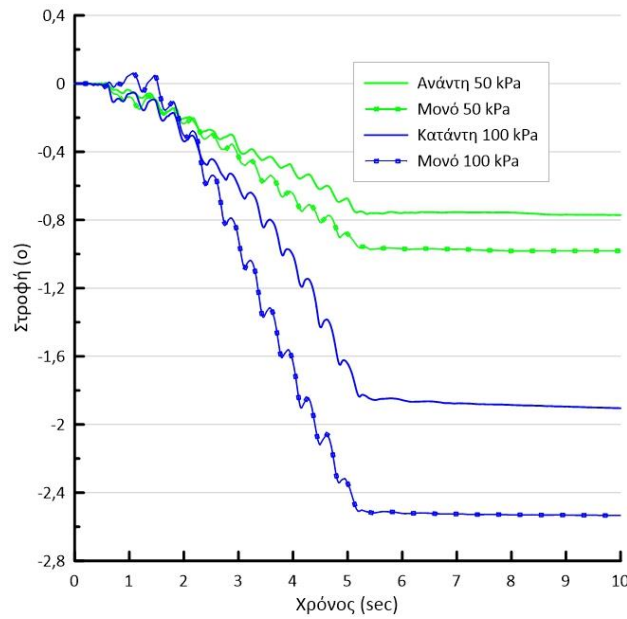
Σχήμα Β.8 Ισοκαμπύλες συντελεστή υπερπίεσης πόρων r_u και συσσωρευμένης διαμητρικής παραμόρφωσης γ στο έδαφος κάτω από ζεύγος θεμελίων (πλάτους $B = 5$ m, φορτίων έδρασης $q_{αν} = 50$ kPa, $q_{κατ} = 100$ kPa) με ενδιάμεση απόσταση $D = 5$ m, σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση.



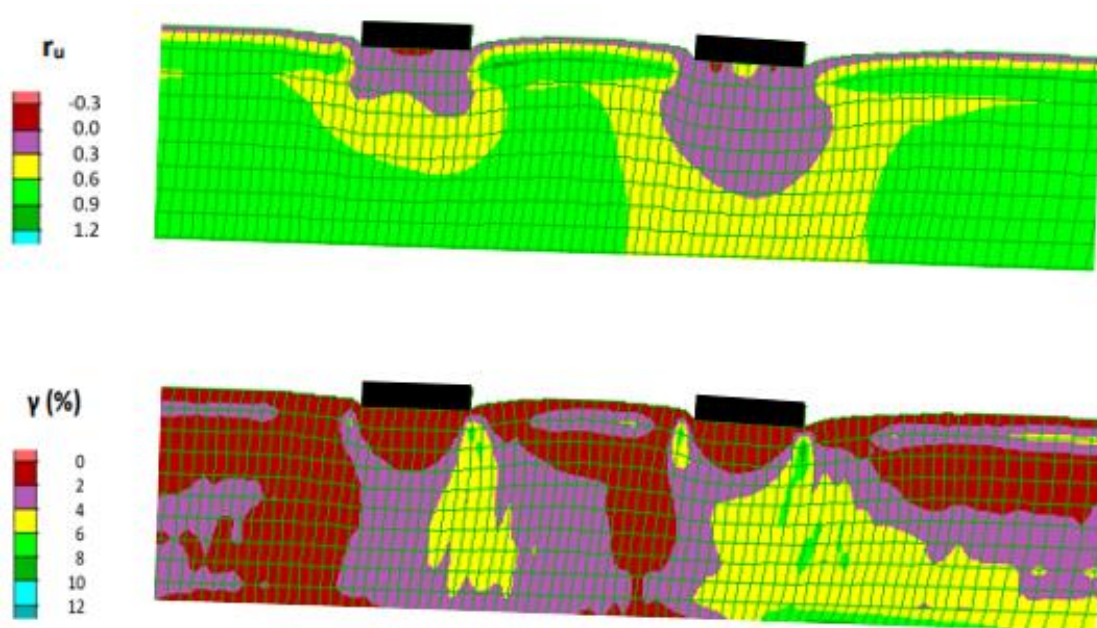
Σχήμα Β.9 Χρονοϊστορίες καθίζησης θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 5$ m, διαφορετικά φορτία $q_{αν} = 50$ kPa και $q_{κατ} = 100$ kPa, σε απόσταση $D = 10$ m, και σύγκριση με τις καθιζήσεις των ίδιων θεμελίων αν ήταν μεμονωμένα ή οριζόντια.



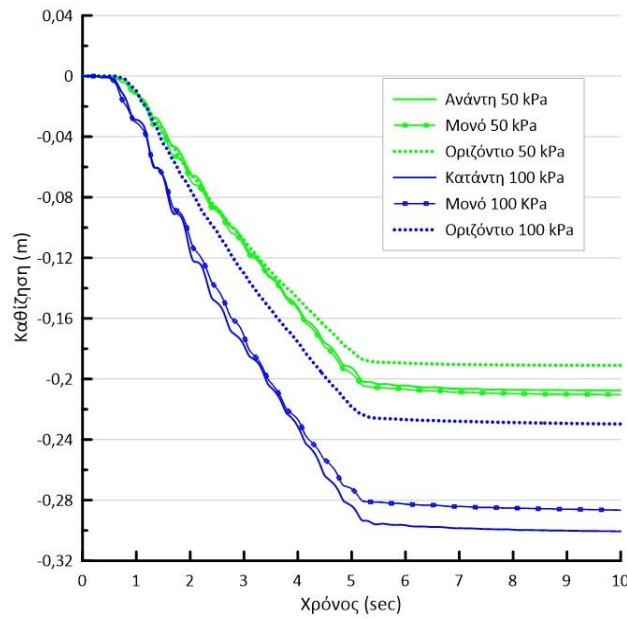
Σχήμα Β.10 Χρονοϊστορίες οριζόντιας μετακίνησης θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 5$ m, διαφορετικά φορτία $q_{αν} = 50$ kPa και $q_{κατ} = 100$ kPa, σε απόσταση $D = 10$ m, και σύγκριση με την οριζόντια μετακίνηση του ελεύθερου πεδίου.



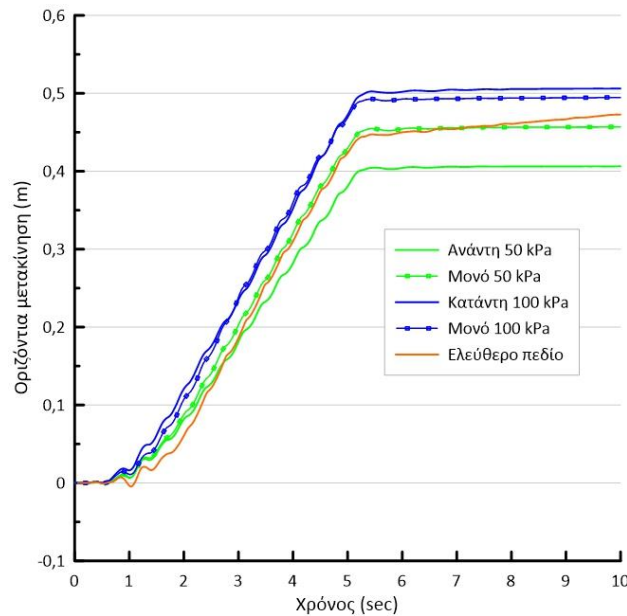
Σχήμα Β.11 Χρονοϊστορίες στροφής θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 5 \text{ m}$, διαφορετικά φορτία $q_{av} = 50 \text{ kPa}$ και $q_{κατ} = 100 \text{ kPa}$, σε απόσταση $D = 10 \text{ m}$, και σύγκριση με τις καθιζήσεις των ίδιων θεμελίων αν ήταν μεμονωμένα ή οριζόντια.



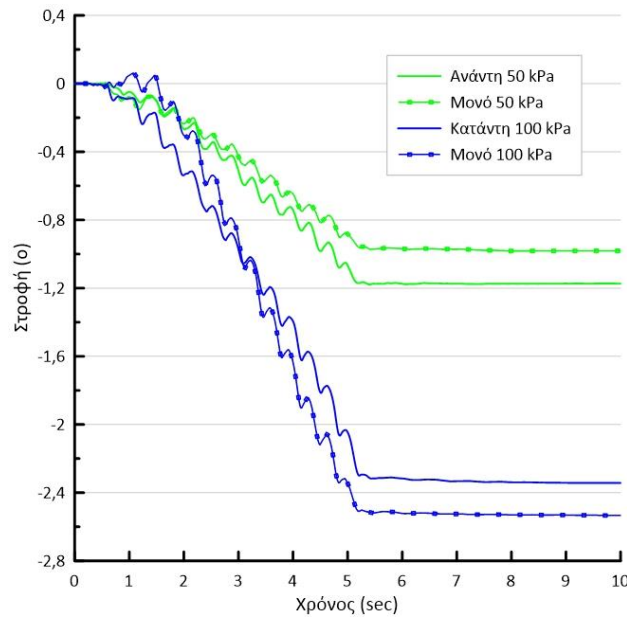
Σχήμα Β.12 Ισοκαμπύλες συντελεστή υπερπίεσης πόρων r_u και συσσωρευμένης διαμητικής παραμόρφωσης γ στο έδαφος κάτω από ζεύγος θεμελίων (πλάτους $B = 5 \text{ m}$, φορτίων έδρασης $q_{av} = 50 \text{ kPa}$, $q_{κατ} = 100 \text{ kPa}$) με ενδιάμεση απόσταση $D = 10 \text{ m}$, σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση.



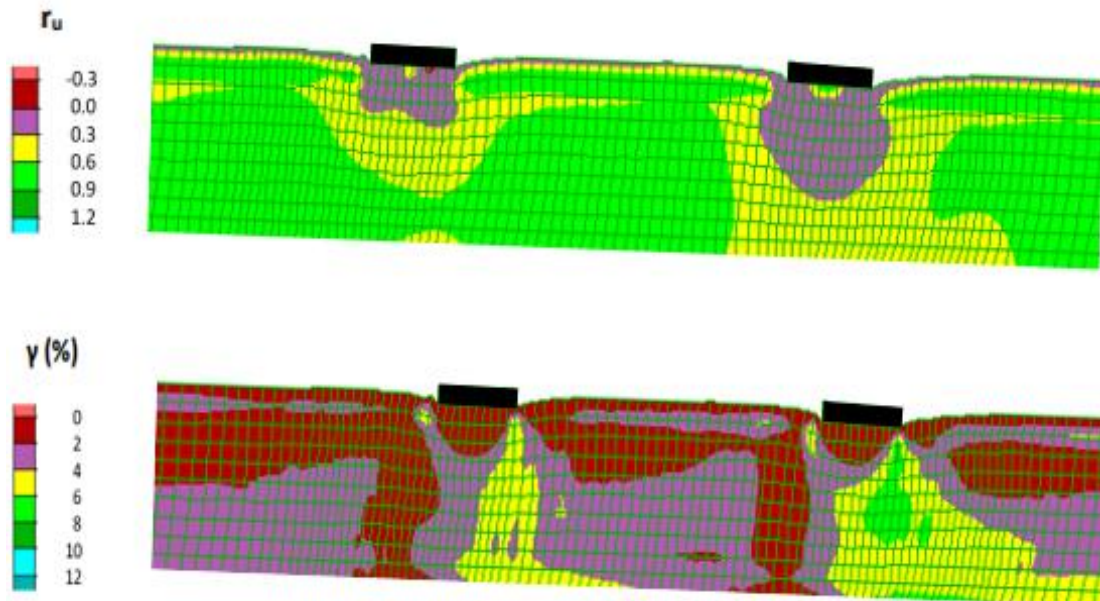
Σχήμα Β.13 Χρονοϊστορίες καθίζησης θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 5$ m, διαφορετικά φορτία $q_{αν} = 50$ kPa και $q_{κατ} = 100$ kPa, σε απόσταση $D = 20$ m, και σύγκριση με τις καθιζήσεις των ίδιων θεμελίων αν ήταν μεμονωμένα ή οριζόντια.



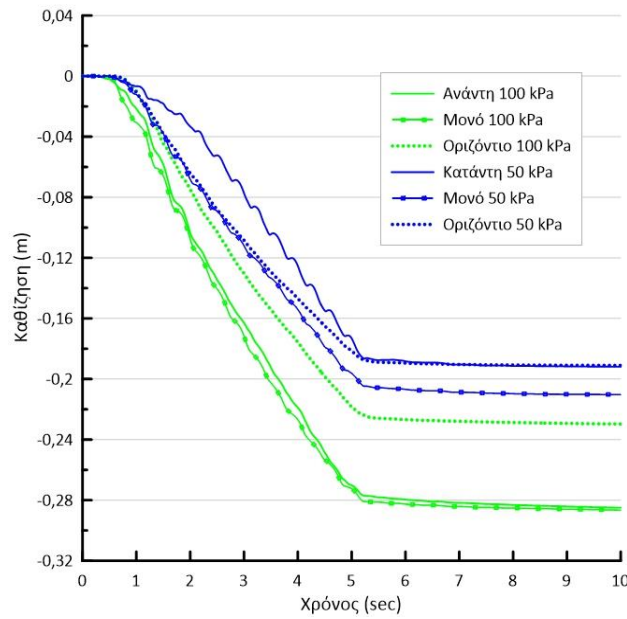
Σχήμα Β.14 Χρονοϊστορίες οριζόντιας μετακίνησης θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 5$ m, διαφορετικά φορτία $q_{αν} = 50$ kPa και $q_{κατ} = 100$ kPa, σε απόσταση $D = 20$ m, και σύγκριση με την οριζόντια μετακίνηση του ελεύθερου πεδίου.



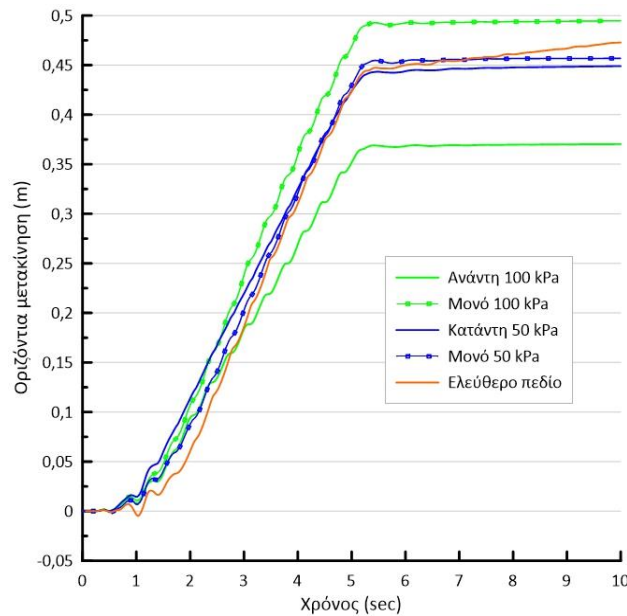
Σχήμα Β.15 Χρονοϊστορίες στροφής θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 5$ m, διαφορετικά φορτία $q_{av} = 50$ kPa και $q_{κατ} = 100$ kPa, σε απόσταση $D = 20$ m, και σύγκριση με τις καθιζήσεις των ίδιων θεμελίων αν ήταν μεμονωμένα ή οριζόντια.



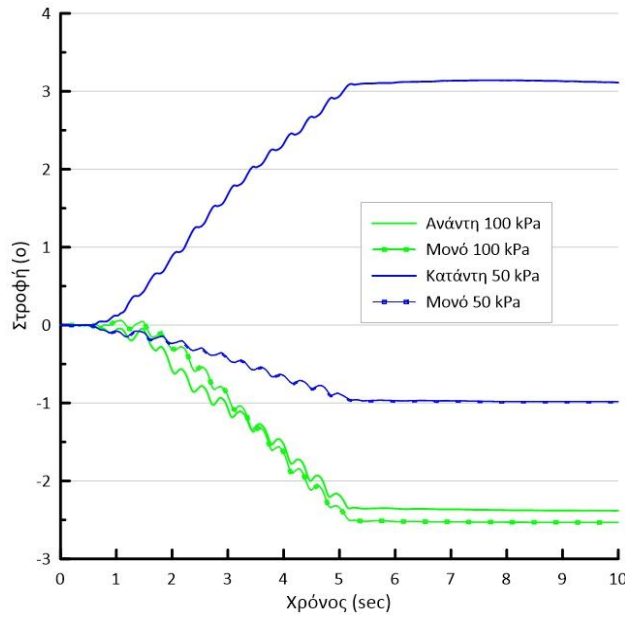
Σχήμα Β.16 Ισοκαμπύλες συντελεστή υπερπίεσης πόρων r_u και συσσωρευμένης διαμητικής παραμόρφωσης γ στο έδαφος κάτω από ζεύγος θεμελίων (πλάτους $B = 5$ m, φορτίων έδρασης $q_{av} = 50$ kPa, $q_{κατ} = 100$ kPa) με ενδιάμεση απόσταση $D = 20$ m, σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση.



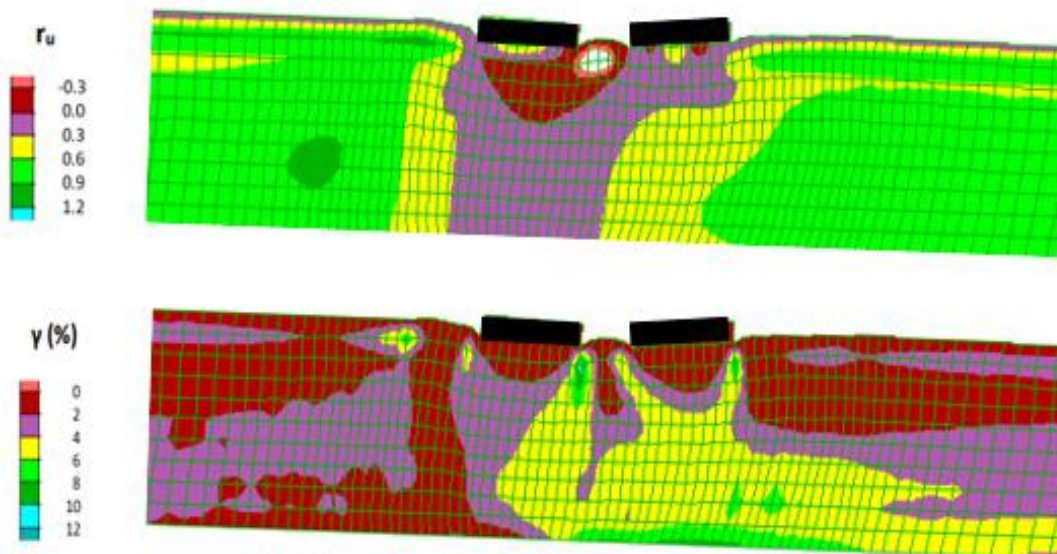
Σχήμα Β.17 Χρονοϊστορίες καθίζησης θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 5$ m, διαφορετικά φορτία $q_{αν} = 100$ kPa και $q_{κατ} = 50$ kPa, σε απόσταση $D = 2.5$ m, και σύγκριση με τις καθιζήσεις των ίδιων θεμελίων αν ήταν μεμονωμένα ή οριζόντια.



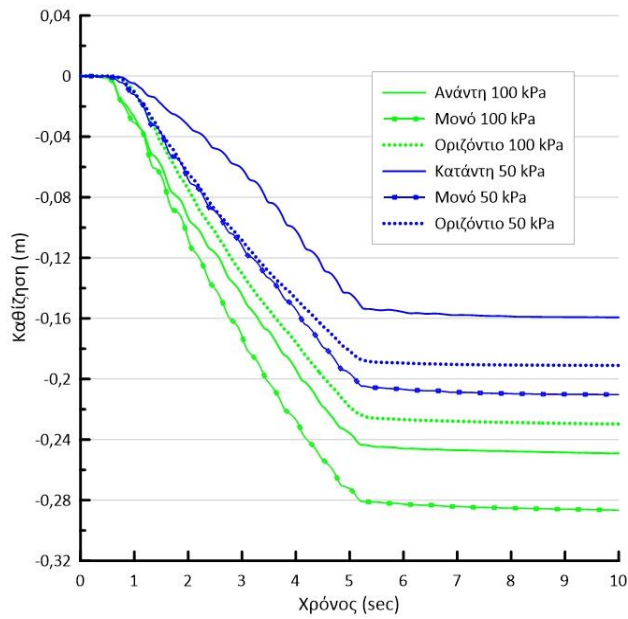
Σχήμα Β.18 Χρονοϊστορίες οριζόντιας μετακίνησης θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 5$ m, διαφορετικά φορτία $q_{αν} = 100$ kPa και $q_{κατ} = 50$ kPa, σε απόσταση $D = 2.5$ m, και σύγκριση με την οριζόντια μετακίνηση του ελεύθερου πεδίου.



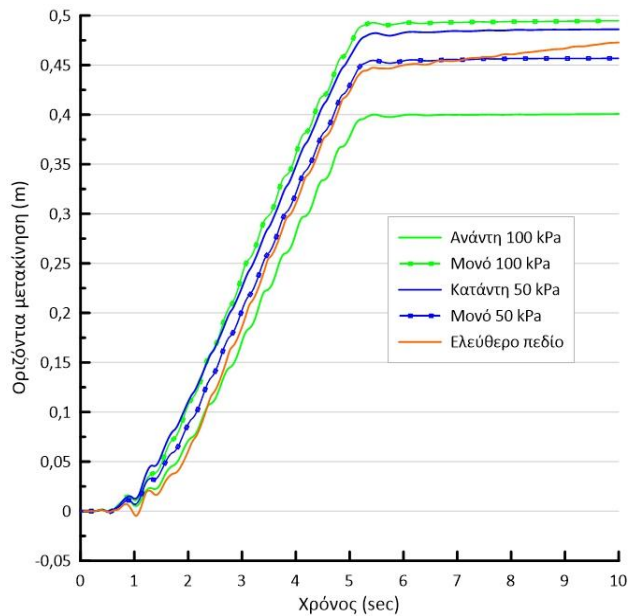
Σχήμα Β.19 Χρονοϊστορίες στροφής θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 5$ m, διαφορετικά φορτία $q_{αν} = 100$ kPa και $q_{κατ} = 50$ kPa, σε απόσταση $D = 2.5$ m, και σύγκριση με τις καθιζήσεις των ίδιων θεμελίων αν ήταν μεμονωμένα ή οριζόντια.



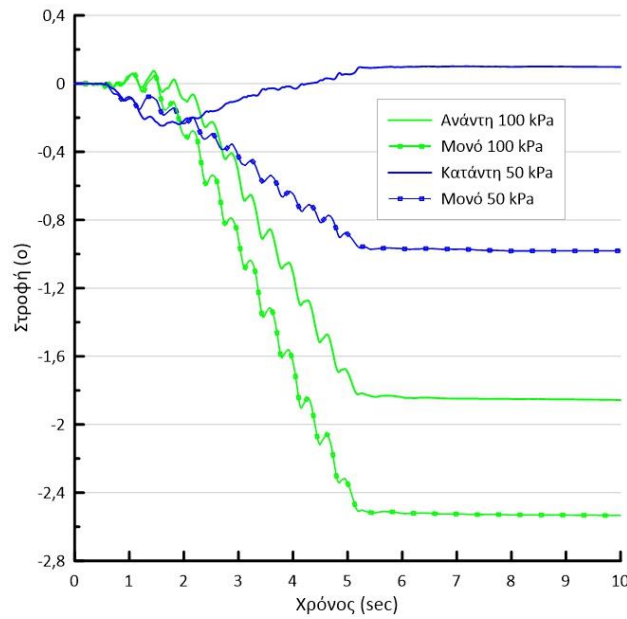
Σχήμα Β.20 Ισοκαμπύλες συντελεστή υπερπίεσης πόρων r_u και συσσωρευμένης διατμητικής παραμόρφωσης γ στο έδαφος κάτω από ζεύγος θεμελίων (πλάτους $B = 5$ m, φορτίων έδρασης $q_{αν} = 100$ kPa, $q_{κατ} = 50$ kPa) με ενδιάμεση απόσταση $D = 2.5$ m, σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση.



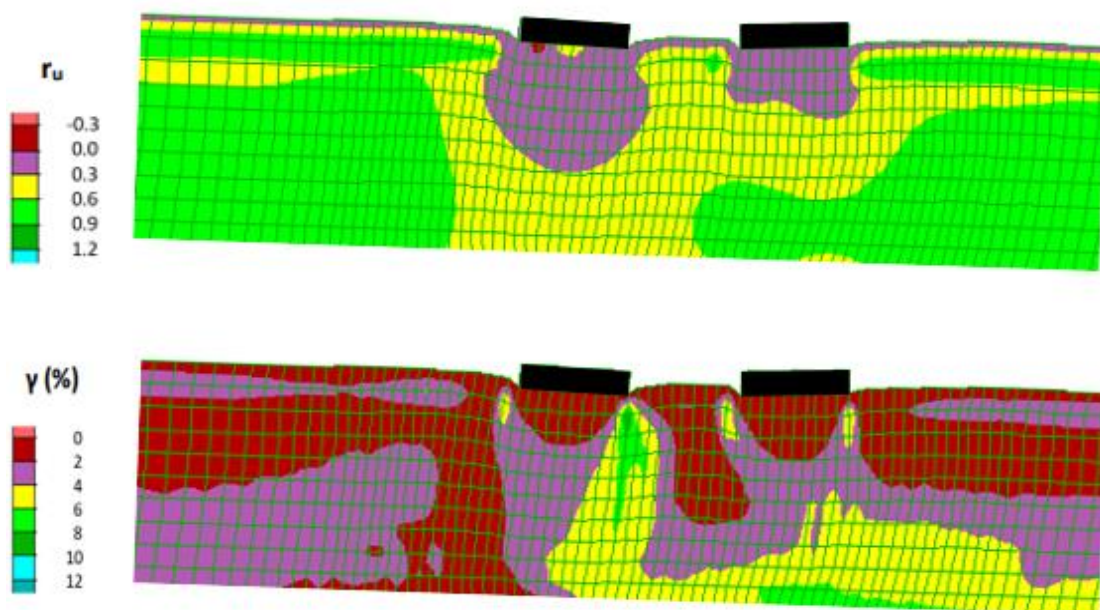
Σχήμα Β.21 Χρονοϊστορίες καθίζησης θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 5$ m, διαφορετικά φορτία $q_{av} = 100$ kPa και $q_{κατ} = 50$ kPa, σε απόσταση $D = 5$ m, και σύγκριση με τις καθιζήσεις των ίδιων θεμελίων αν ήταν μεμονωμένα ή οριζόντια.



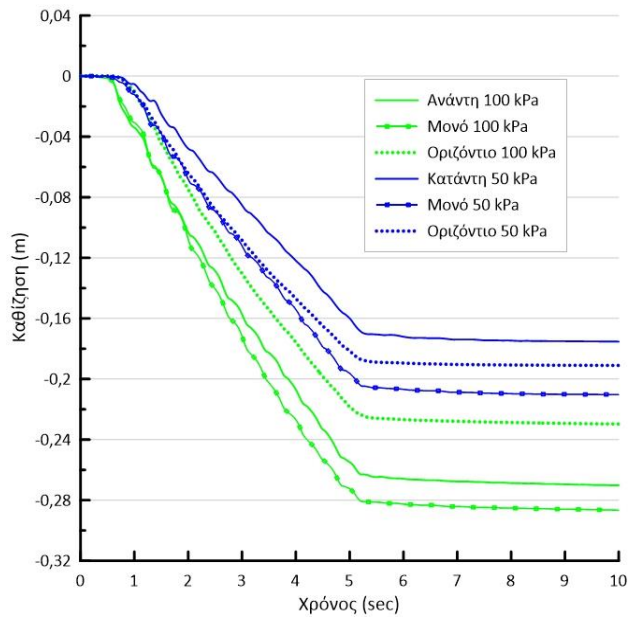
Σχήμα Β.22 Χρονοϊστορίες οριζόντιας μετακίνησης θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 5$ m, διαφορετικά φορτία $q_{av} = 100$ kPa και $q_{κατ} = 50$ kPa, σε απόσταση $D = 5$ m, και σύγκριση με την οριζόντια μετακίνηση του ελεύθερου πεδίου.



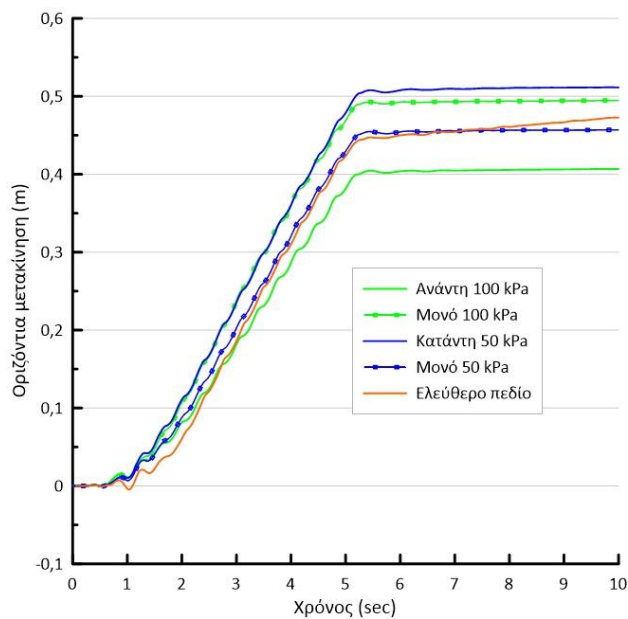
Σχήμα Β.23 Χρονοϊστορίες στροφής θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 5$ m, διαφορετικά φορτία $q_{αν} = 100$ kPa και $q_{κατ} = 50$ kPa, σε απόσταση $D = 5$ m, και σύγκριση με τις καθιζήσεις των ίδιων θεμελίων αν ήταν μεμονωμένα ή οριζόντια.



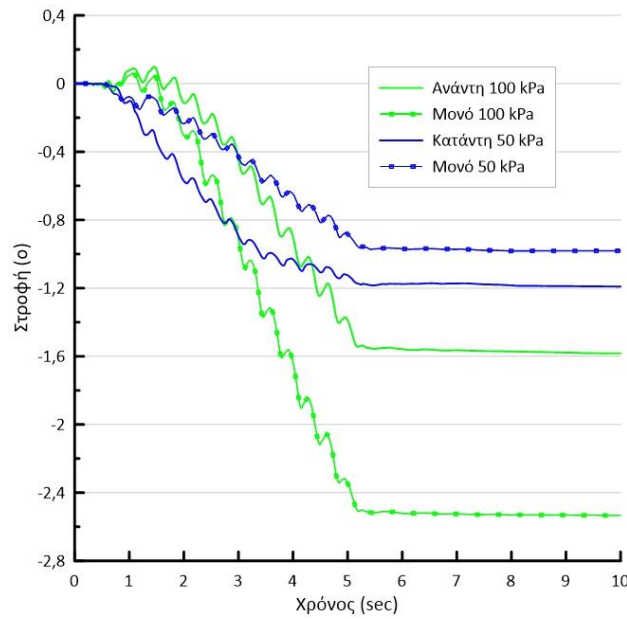
Σχήμα Β.24 Ισοκαμπύλες συντελεστή υπερπίεσης πόρων r_u και συσσωρευμένης διαμητρικής παραμόρφωσης γ στο έδαφος κάτω από ζεύγος θεμελίων (πλάτους $B = 5$ m, φορτίων έδρασης $q_{αν} = 100$ kPa, $q_{κατ} = 50$ kPa) με ενδιάμεση απόσταση $D = 5$ m, σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση.



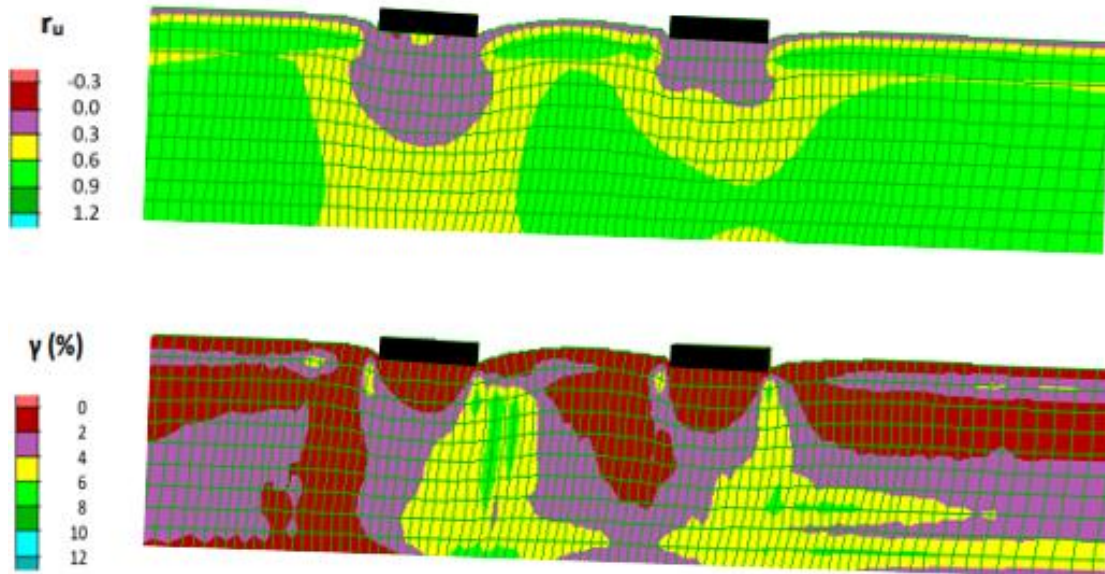
Σχήμα Β.25 Χρονοϊστορίες καθίζησης θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 5$ m, διαφορετικά φορτία $q_{av} = 100$ kPa και $q_{κατ} = 50$ kPa, σε απόσταση $D = 10$ m, και σύγκριση με τις καθιζήσεις των ίδιων θεμελίων αν ήταν μεμονωμένα ή οριζόντια.



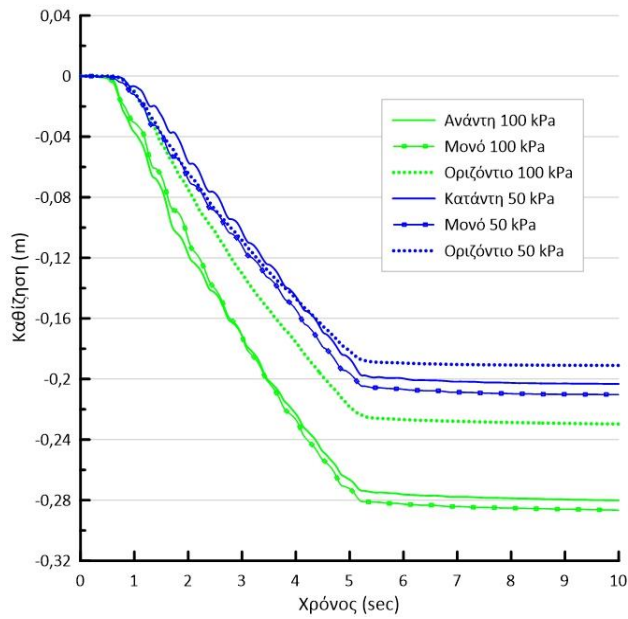
Σχήμα Β.26 Χρονοϊστορίες οριζόντιας μετακίνησης θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 5$ m, διαφορετικά φορτία $q_{av} = 100$ kPa και $q_{κατ} = 50$ kPa, σε απόσταση $D = 10$ m, και σύγκριση με την οριζόντια μετακίνηση του ελεύθερου πεδίου.



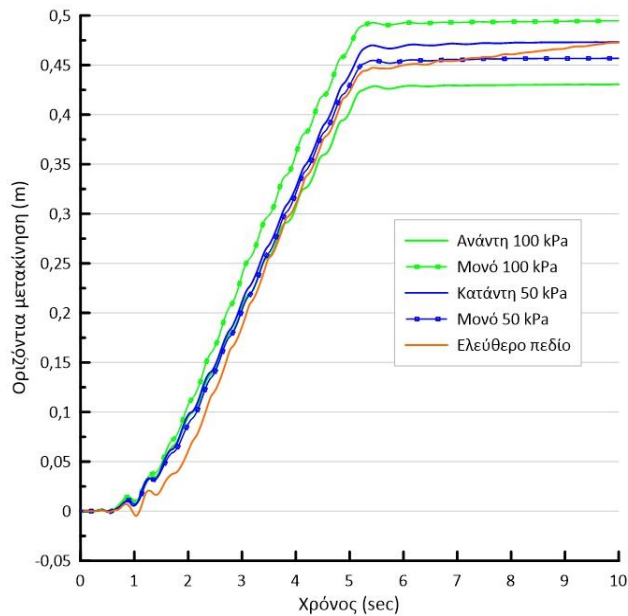
Σχήμα Β.27 Χρονοϊστορίες στροφής θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 5$ m, διαφορετικά φορτία $q_{av} = 100$ kPa και $q_{κατ} = 50$ kPa, σε απόσταση $D = 10$ m, και σύγκριση με τις καθιζήσεις των ίδιων θεμελίων αν ήταν μεμονωμένα ή οριζόντια.



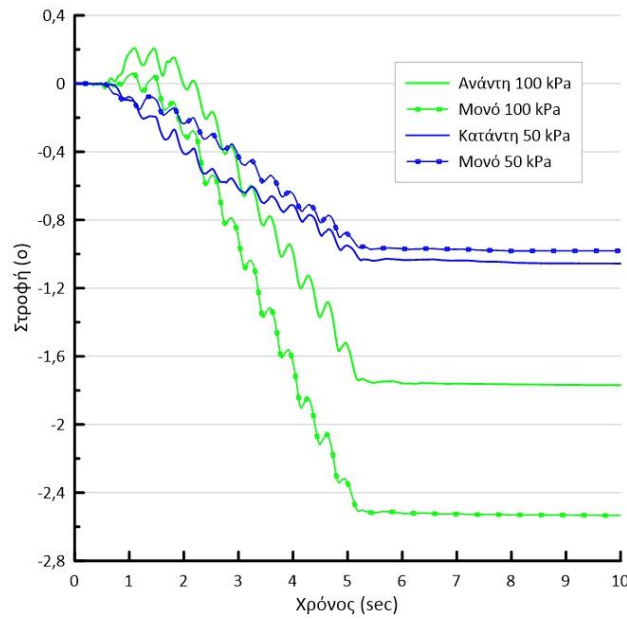
Σχήμα Β.28 Ισοκαμπύλες συντελεστή υπερπίεσης πόρων r_u και συσσωρευμένης διαμητρικής παραμόρφωσης γ στο έδαφος κάτω από ζεύγος θεμελίων (πλάτους $B = 5$ m, φορτίων έδρασης $q_{av} = 100$ kPa, $q_{κατ} = 50$ kPa) με ενδιάμεση απόσταση $D = 10$ m, σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση.



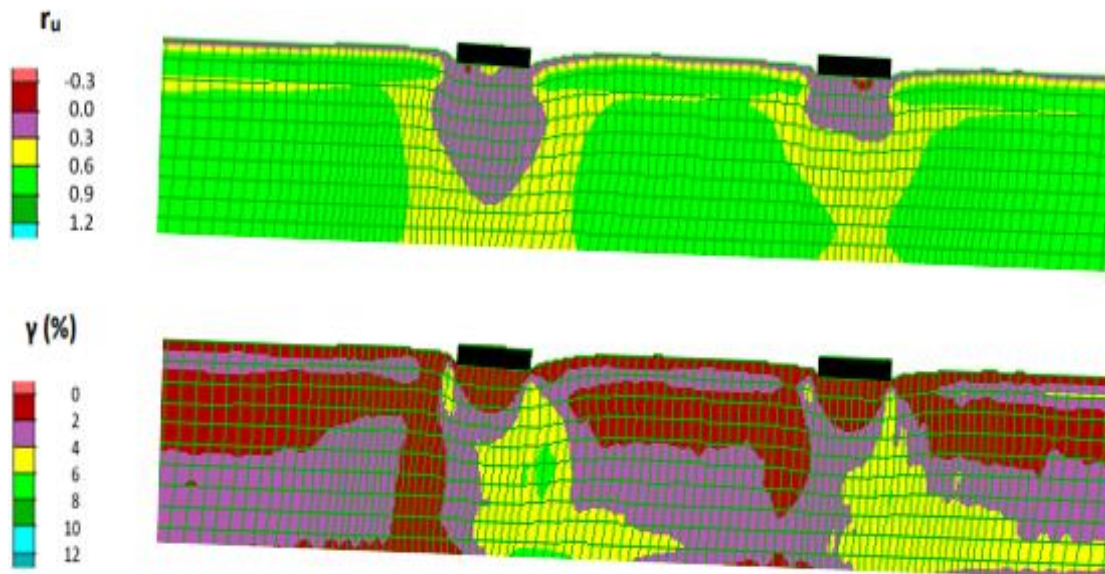
Σχήμα Β.29 Χρονοϊστορίες καθίζησης θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 5 \text{ m}$, διαφορετικά φορτία $q_{av} = 100 \text{ kPa}$ και $q_{κατ} = 50 \text{ kPa}$, σε απόσταση $D = 20 \text{ m}$, και σύγκριση με τις καθιζήσεις των ίδιων θεμελίων αν ήταν μεμονωμένα ή οριζόντια.



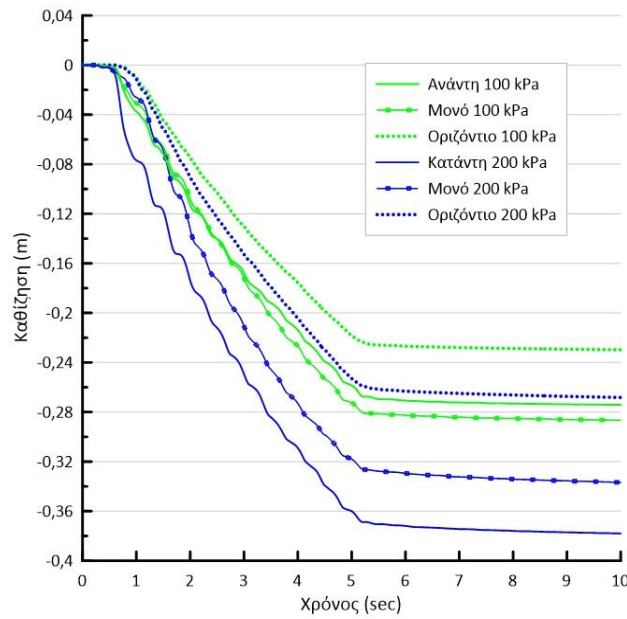
Σχήμα Β.30 Χρονοϊστορίες οριζόντιας μετακίνησης θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 5 \text{ m}$, διαφορετικά φορτία $q_{av} = 100 \text{ kPa}$ και $q_{κατ} = 50 \text{ kPa}$, σε απόσταση $D = 20 \text{ m}$, και σύγκριση με την οριζόντια μετακίνηση του ελεύθερου πεδίου.



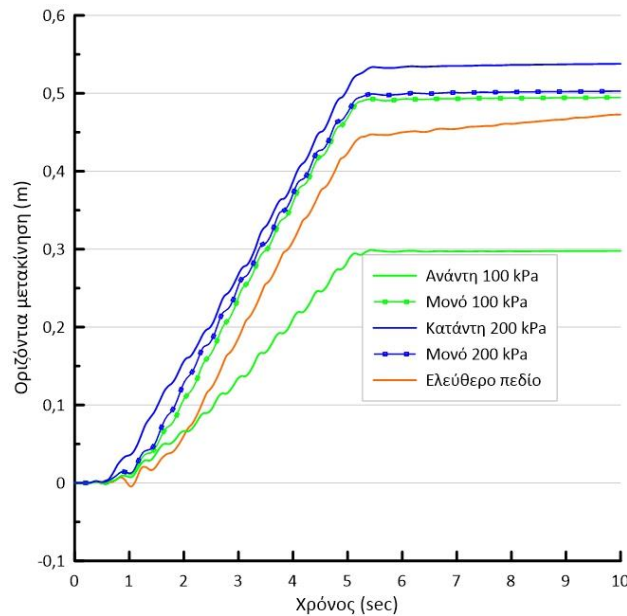
Σχήμα Β.31 Χρονοϊστορίες στροφής θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 5$ m, διαφορετικά φορτία $q_{av} = 100$ kPa και $q_{κατ} = 50$ kPa, σε απόσταση $D = 20$ m, και σύγκριση με τις καθιζήσεις των ίδιων θεμελίων αν ήταν μεμονωμένα ή οριζόντια.



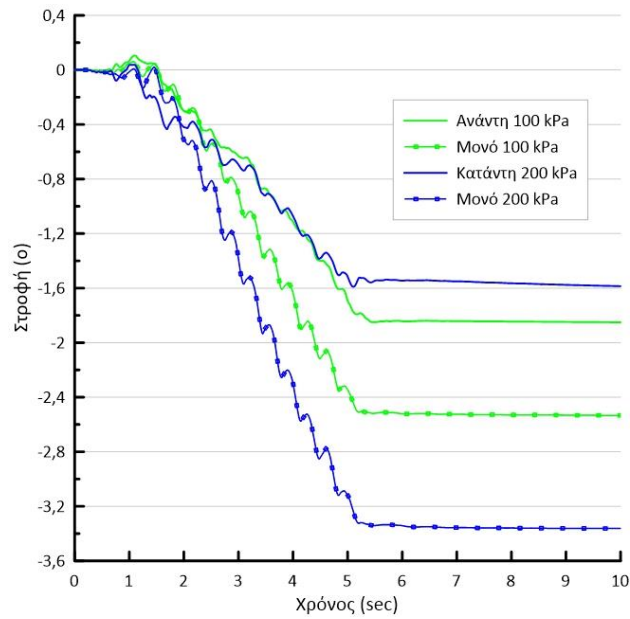
Σχήμα Β.32 Ισοκαμπύλες συντελεστή υπερπίεσης πόρων r_u και συσσωρευμένης διατμητικής παραμόρφωσης γ στο έδαφος κάτω από ζεύγος θεμελίων (πλάτους $B = 5$ m, φορτίων έδρασης $q_{av} = 100$ kPa, $q_{κατ} = 50$ kPa) με ενδιάμεση απόσταση $D = 2$ m, σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση.



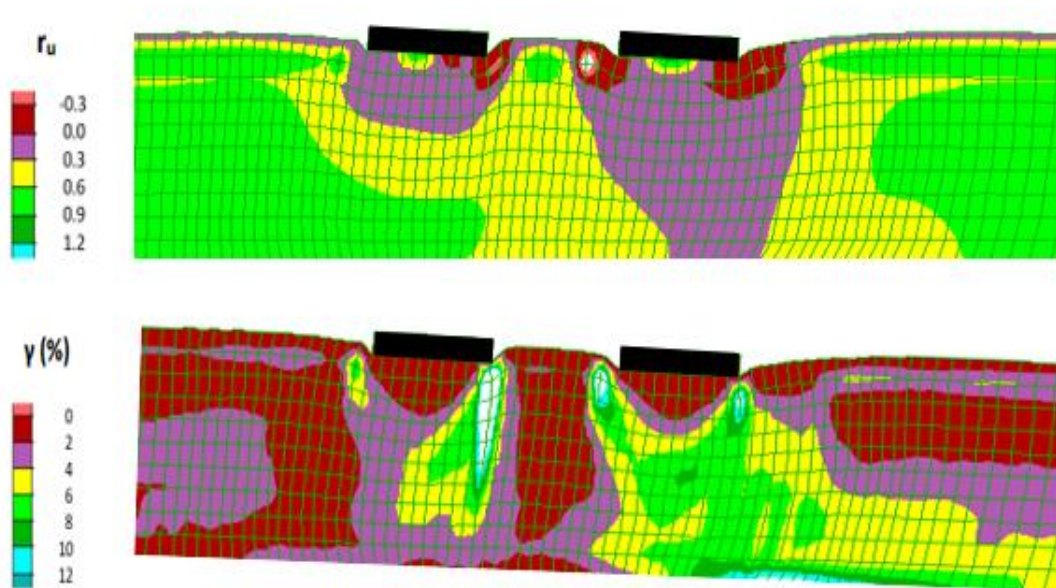
Σχήμα Β.33 Χρονοϊστορίες καθίζησης θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 5$ m, διαφορετικά φορτία $q_{αν} = 100$ kPa και $q_{κατ} = 200$ kPa, σε απόσταση $D = 5$ m, και σύγκριση με τις καθιζήσεις των ίδιων θεμελίων αν ήταν μεμονωμένα ή οριζόντια.



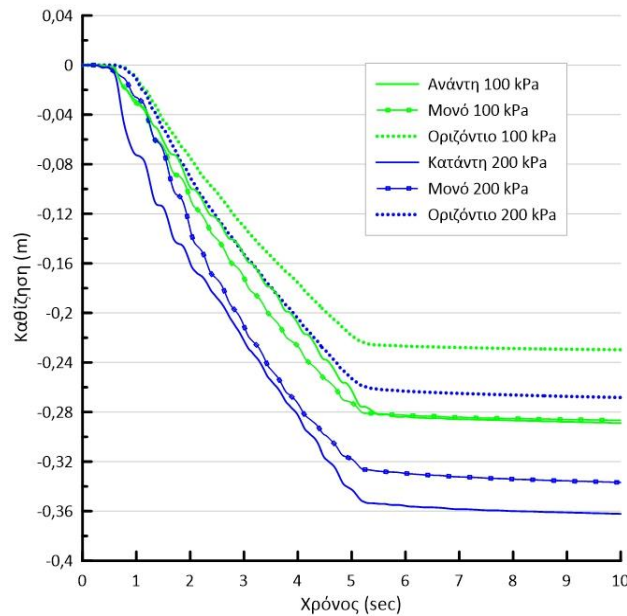
Σχήμα Β.34 Χρονοϊστορίες οριζόντιας μετακίνησης θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 5$ m, διαφορετικά φορτία $q_{αν} = 100$ kPa και $q_{κατ} = 200$ kPa, σε απόσταση $D = 5$ m, και σύγκριση με την οριζόντια μετακίνηση του ελεύθερου πεδίου.



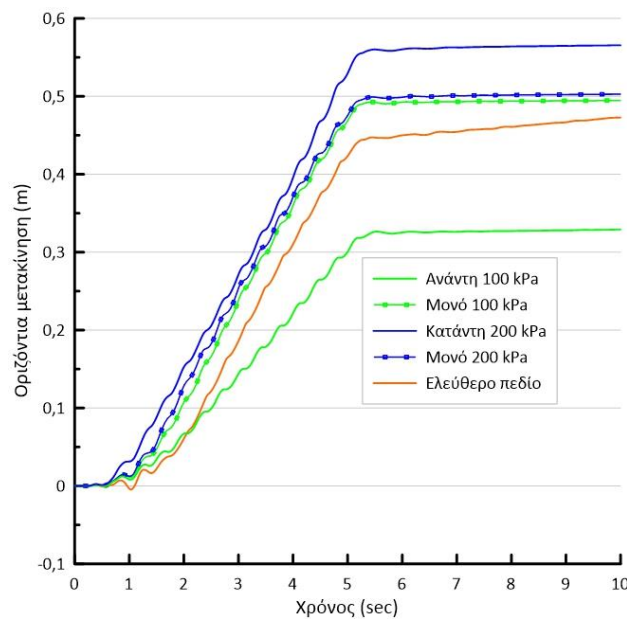
Σχήμα Β.35 Χρονοϊστορίες στροφής θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 5$ m, διαφορετικά φορτία $q_{αν} = 100$ kPa και $q_{κατ} = 200$ kPa, σε απόσταση $D = 5$ m, και σύγκριση με τις καθιζήσεις των ίδιων θεμελίων αν ήταν μεμονωμένα ή οριζόντια.



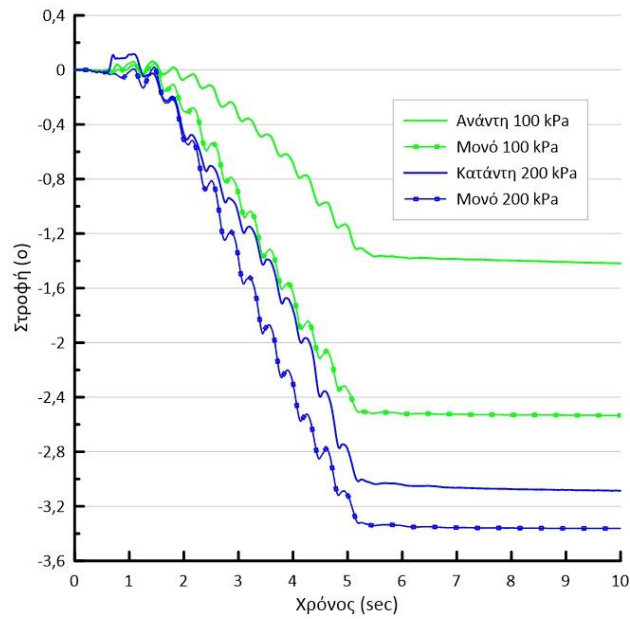
Σχήμα Β.36 Ισοκαμπύλες συντελεστή υπερπίεσης πόρων r_u και συσσωρευμένης διαμητικής παραμόρφωσης γ στο έδαφος κάτω από ζεύγος θεμελίων (πλάτους $B = 5$ m, φορτίων έδρασης $q_{αν} = 100$ kPa, $q_{κατ} = 200$ kPa) με ενδιάμεση απόσταση $D = 5$ m, σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση.



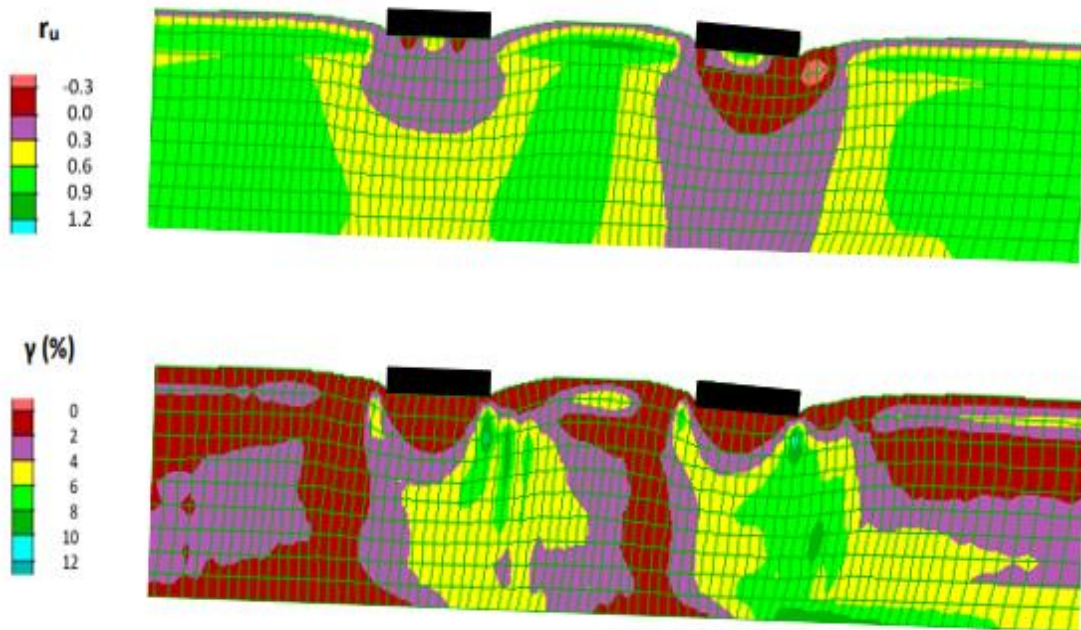
Σχήμα Β.37 Χρονοϊστορίες καθίζησης θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 5 \text{ m}$, διαφορετικά φορτία $q_{αν} = 100 \text{ kPa}$ και $q_{κατ} = 200 \text{ kPa}$, σε απόσταση $D = 10 \text{ m}$, και σύγκριση με τις καθιζήσεις των ίδιων θεμελίων αν ήταν μεμονωμένα ή οριζόντια.



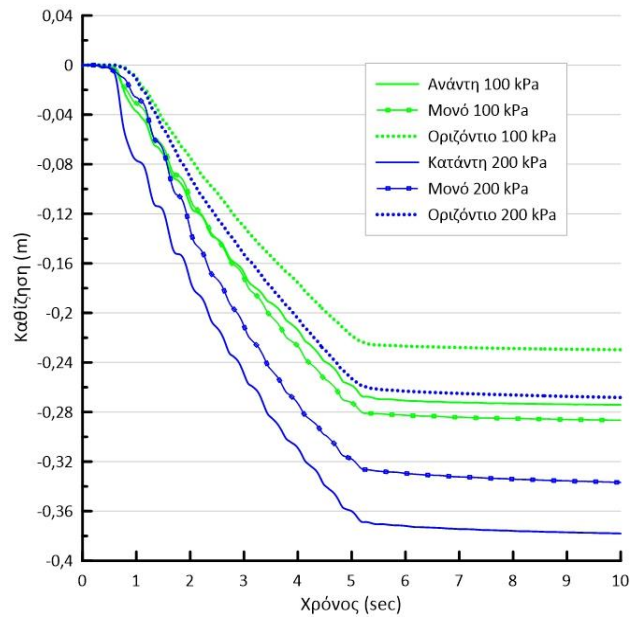
Σχήμα Β.38 Χρονοϊστορίες οριζόντιας μετακίνησης θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 5 \text{ m}$, διαφορετικά φορτία $q_{αν} = 100 \text{ kPa}$ και $q_{κατ} = 200 \text{ kPa}$, σε απόσταση $D = 10 \text{ m}$, και σύγκριση με την οριζόντια μετακίνηση του ελεύθερου πεδίου.



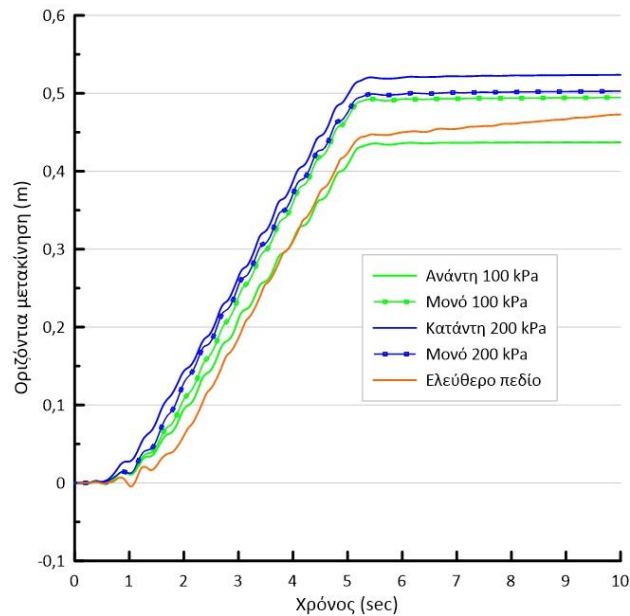
Σχήμα Β.39 Χρονοϊστορίες στροφής θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 5 \text{ m}$, διαφορετικά φορτία $q_{av} = 100 \text{ kPa}$ και $q_{κατ} = 200 \text{ kPa}$, σε απόσταση $D = 10 \text{ m}$, και σύγκριση με τις καθιζήσεις των ίδιων θεμελίων αν ήταν μεμονωμένα ή οριζόντια.



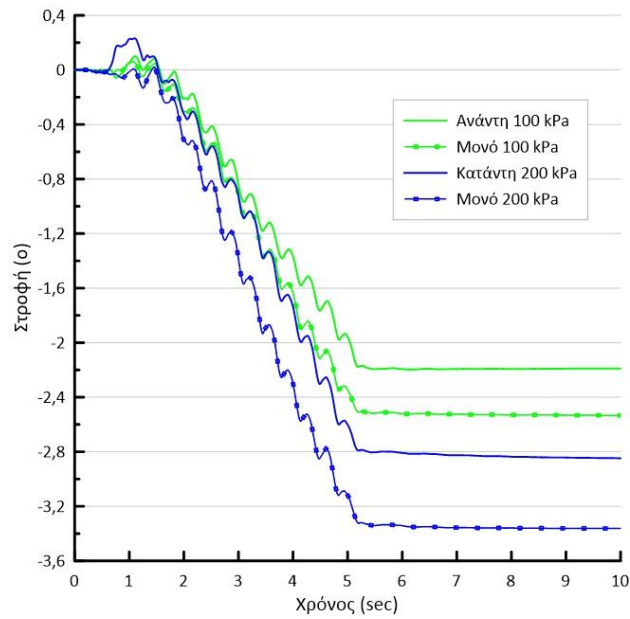
Σχήμα Β.40 Ισοκαμπύλες συντελεστή υπερπίεσης πόρων r_u και συσσωρευμένης διατμητικής παραμόρφωσης γ στο έδαφος κάτω από ζεύγος θεμελίων (πλάτους $B = 5 \text{ m}$, φορτίων έδρασης $q_{av} = 100 \text{ kPa}$, $q_{κατ} = 200 \text{ kPa}$) με ενδιάμεση απόσταση $D = 10 \text{ m}$, σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση.



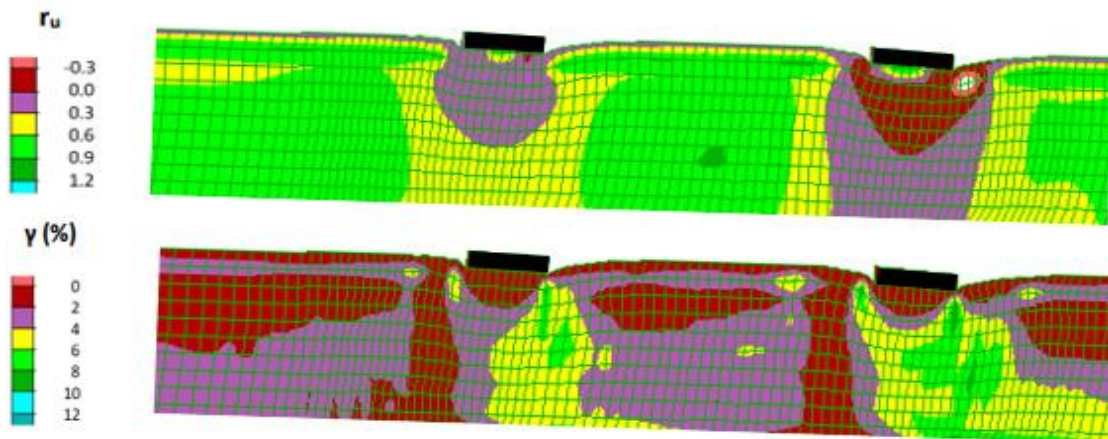
Σχήμα Β.41 Χρονοϊστορίες καθίζησης θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 5 \text{ m}$, διαφορετικά φορτία $q_{αν} = 100 \text{ kPa}$ και $q_{κατ} = 200 \text{ kPa}$, σε απόσταση $D = 20 \text{ m}$, και σύγκριση με τις καθιζήσεις των ίδιων θεμελίων αν ήταν μεμονωμένα ή οριζόντια.



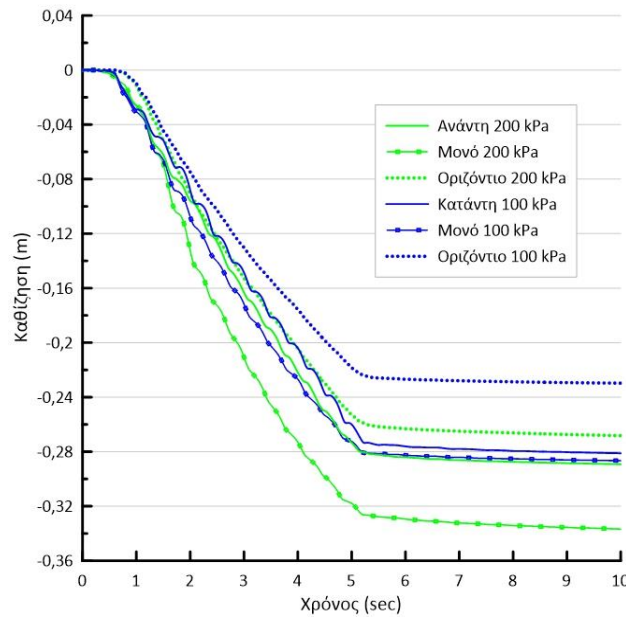
Σχήμα Β.42 Χρονοϊστορίες οριζόντιας μετακίνησης θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 5 \text{ m}$, διαφορετικά φορτία $q_{αν} = 100 \text{ kPa}$ και $q_{κατ} = 200 \text{ kPa}$, σε απόσταση $D = 20 \text{ m}$, και σύγκριση με την οριζόντια μετακίνηση του ελεύθερου πεδίου.



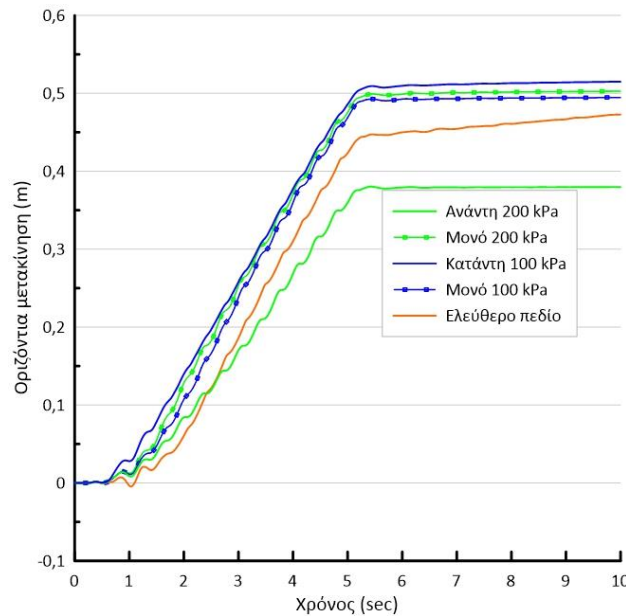
Σχήμα Β.43 Χρονοϊστορίες στροφής θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 5$ m διαφορετικά φορτία $q_{αν} = 100$ kPa και $q_{κατ} = 200$ kPa, σε απόσταση $D = 20$ m, και σύγκριση με τις καθιζήσεις των ίδιων θεμελίων αν ήταν μεμονωμένα ή οριζόντια.



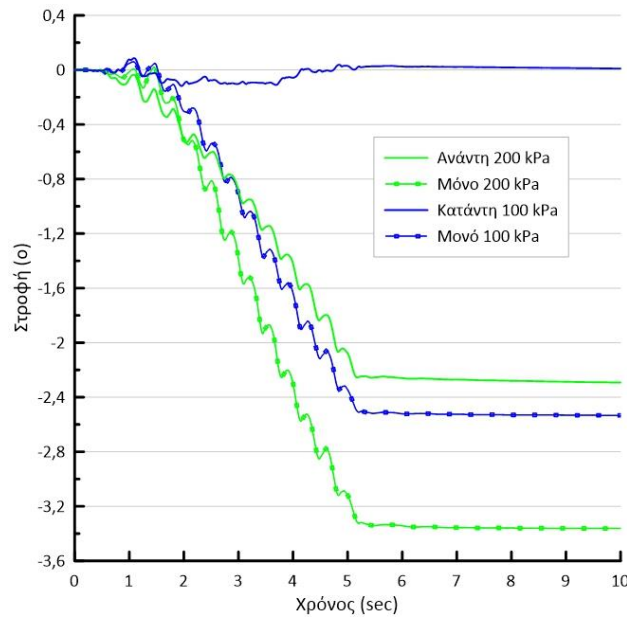
Σχήμα Β.44 Ισοκαμπύλες συντελεστή υπερπίεσης πόρων r_u και συσσωρευμένης διαμητικής παραμόρφωσης γ στο έδαφος κάτω από ζεύγος θεμελίων (πλάτους $B = 5$ m, φορτίων έδρασης $q_{αν} = 100$ kPa, $q_{κατ} = 200$ kPa) με ενδιάμεση απόσταση $D = 20$ m, σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση.



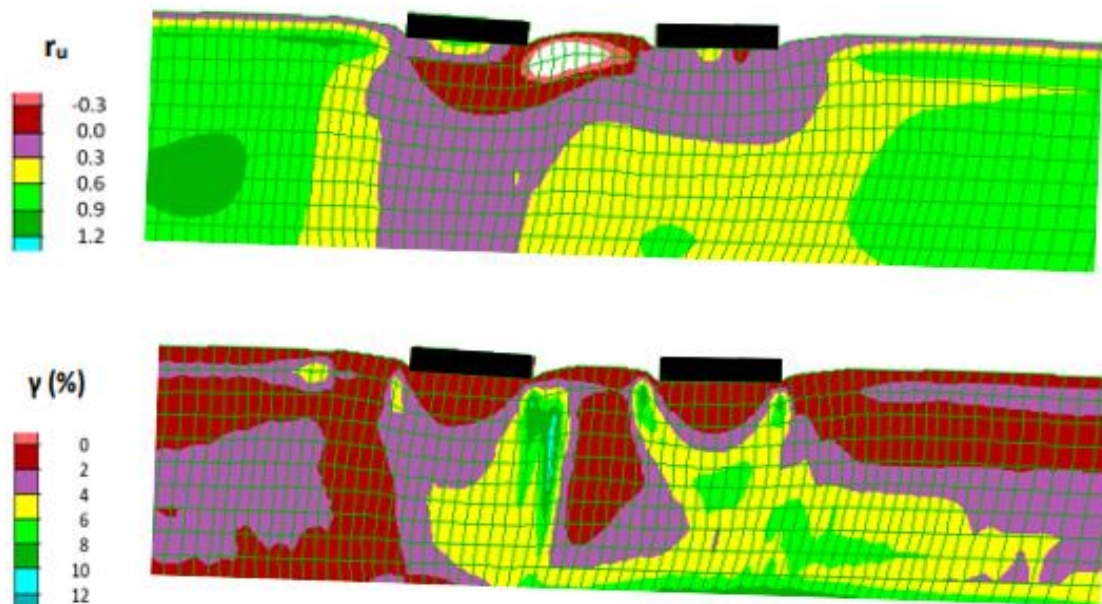
Σχήμα Β.45 Χρονοϊστορίες καθίζησης θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 5 \text{ m}$, διαφορετικά φορτία $q_{av} = 200 \text{ kPa}$ και $q_{κατ} = 100 \text{ kPa}$, σε απόσταση $D = 5 \text{ m}$, και σύγκριση με τις καθιζήσεις των ίδιων θεμελίων αν ήταν μεμονωμένα ή οριζόντια.



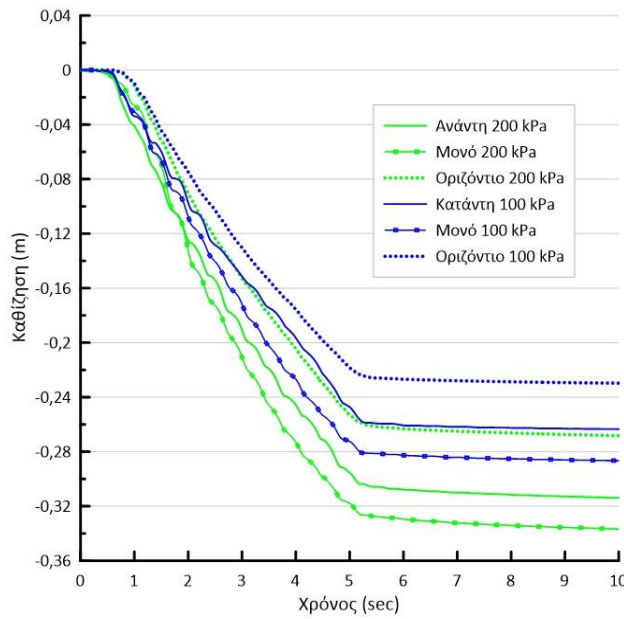
Σχήμα Β.46 Χρονοϊστορίες οριζόντιας μετακίνησης θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 5 \text{ m}$, διαφορετικά φορτία $q_{av} = 200 \text{ kPa}$ και $q_{κατ} = 100 \text{ kPa}$, σε απόσταση $D = 5 \text{ m}$, και σύγκριση με την οριζόντια μετακίνηση του ελεύθερου πεδίου.



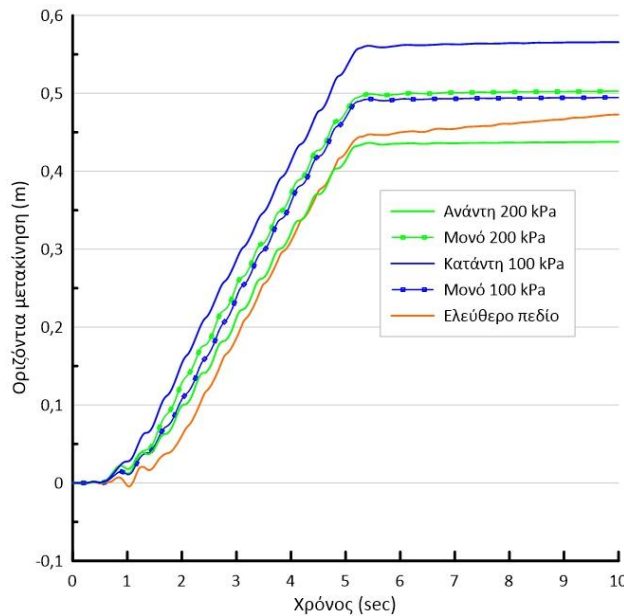
Σχήμα Β.47 Χρονοϊστορίες στροφής θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 5$ m διαφορετικά φορτία $q_{αν} = 200$ kPa και $q_{κατ} = 100$ kPa, σε απόσταση $D = 5$ m, και σύγκριση με τις καθιζήσεις των ίδιων θεμελίων αν ήταν μεμονωμένα ή οριζόντια.



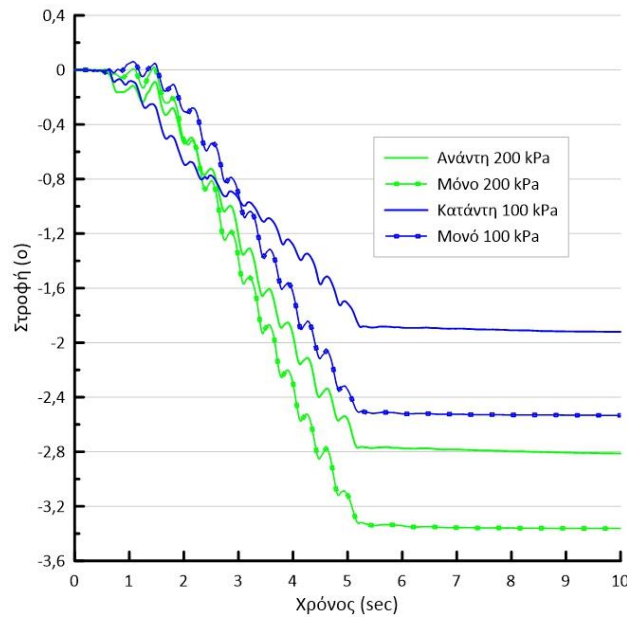
Σχήμα Β.48 Ισοκαμπύλες συντελεστή υπερπίεσης πόρων r_u και συσσωρευμένης διατμητικής παραμόρφωσης γ στο έδαφος κάτω από ζεύγος θεμελίων (πλάτους $B = 5$ m, φορτίων έδρασης $q_{αν} = 200$ kPa, $q_{κατ} = 100$ kPa) με ενδιάμεση απόσταση $D = 5$ m, σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση.



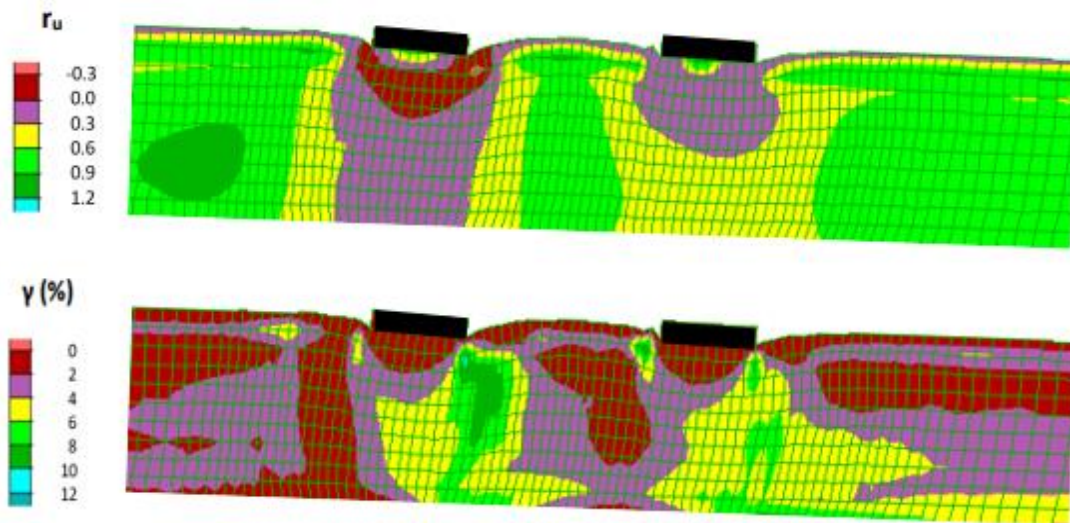
Σχήμα Β.49 Χρονοϊστορίες καθίζησης θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 5 \text{ m}$, διαφορετικά φορτία $q_{av} = 200 \text{ kPa}$ και $q_{κατ} = 100 \text{ kPa}$, σε απόσταση $D = 10 \text{ m}$, και σύγκριση με τις καθιζήσεις των ίδιων θεμελίων αν ήταν μεμονωμένα ή οριζόντια.



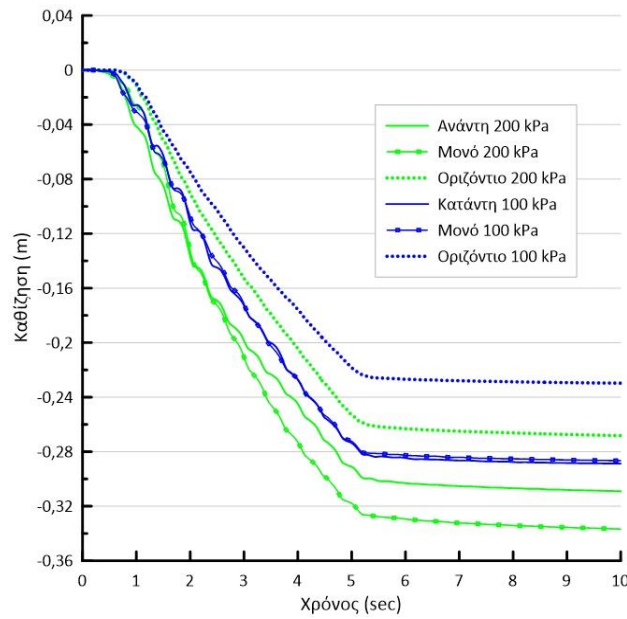
Σχήμα Β.50 Χρονοϊστορίες οριζόντιας μετακίνησης θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 5 \text{ m}$, διαφορετικά φορτία $q_{av} = 200 \text{ kPa}$ και $q_{κατ} = 100 \text{ kPa}$, σε απόσταση $D = 10 \text{ m}$, και σύγκριση με την οριζόντια μετακίνηση του ελεύθερου πεδίου.



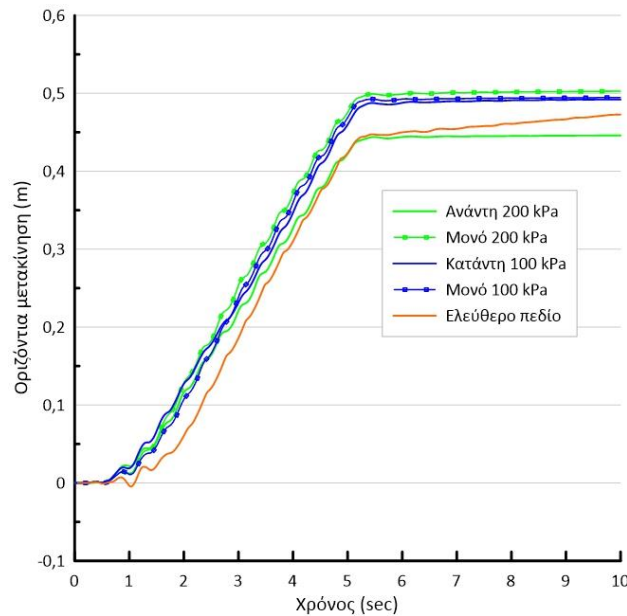
Σχήμα Β.51 Χρονοϊστορίες στροφής θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 5 \text{ m}$, διαφορετικά φορτία $q_{αν} = 200 \text{ kPa}$ και $q_{κατ} = 100 \text{ kPa}$, σε απόσταση $D = 10 \text{ m}$, και σύγκριση με τις καθιζήσεις των ίδιων θεμελίων αν ήταν μεμονωμένα ή οριζόντια.



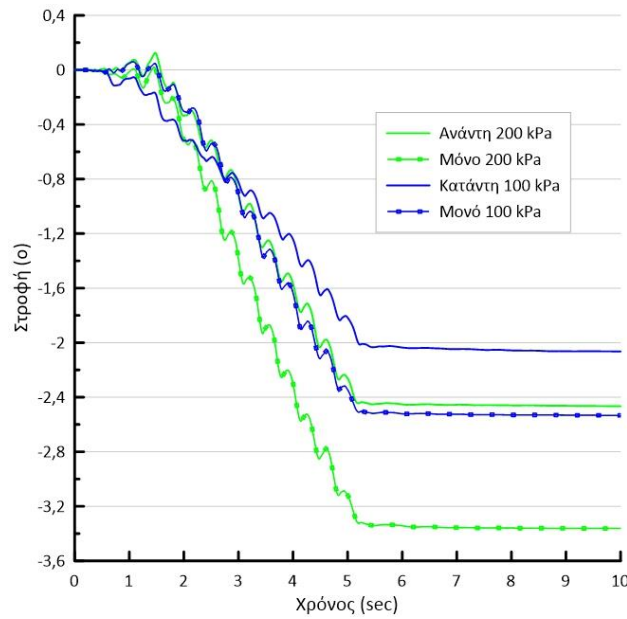
Σχήμα Β.52 Ισοκαμπύλες συντελεστή υπερπίεσης πόρων r_u και συσσωρευμένης διαμητρικής παραμόρφωσης γ στο έδαφος κάτω από ζεύγος θεμελίων (πλάτους $B = 5 \text{ m}$, φορτίων έδρασης $q_{αν} = 200 \text{ kPa}$, $q_{κατ} = 100 \text{ kPa}$) με ενδιάμεση απόσταση $D = 10 \text{ m}$, σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση.



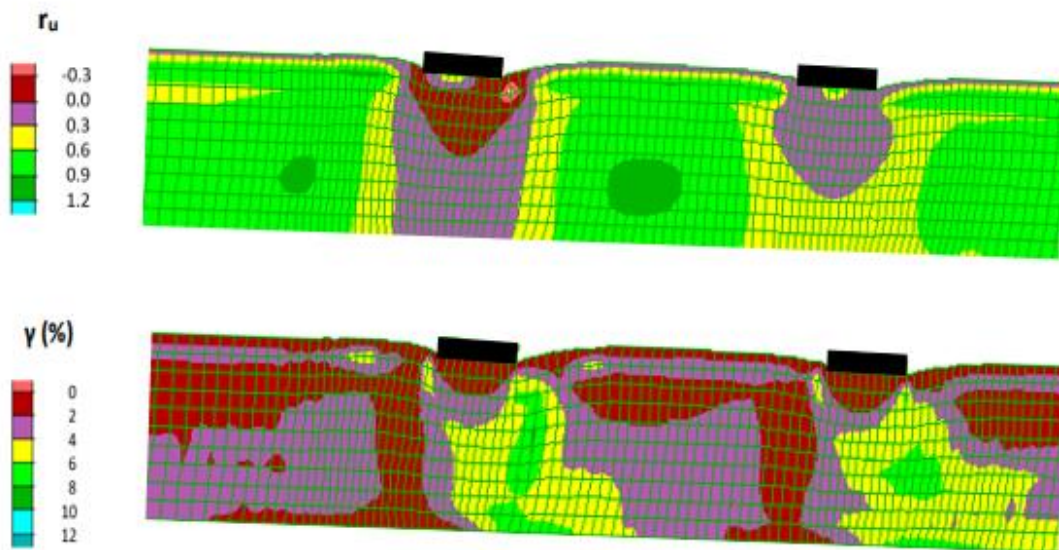
Σχήμα Β.53 Χρονοϊστορίες καθίζησης θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 5 \text{ m}$, διαφορετικά φορτία $q_{av} = 200 \text{ kPa}$ και $q_{κατ} = 100 \text{ kPa}$, σε απόσταση $D = 20 \text{ m}$, και σύγκριση με τις καθιζήσεις των ίδιων θεμελίων αν ήταν μεμονωμένα ή οριζόντια.



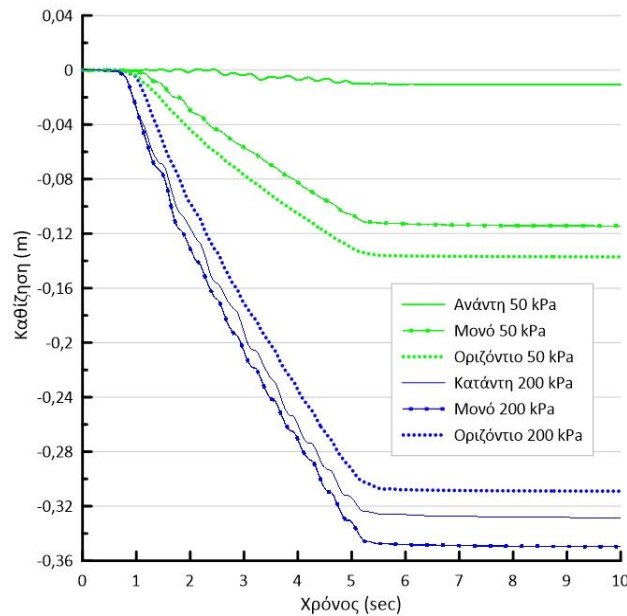
Σχήμα Β.54 Χρονοϊστορίες οριζόντιας μετακίνησης θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 5 \text{ m}$, διαφορετικά φορτία $q_{av} = 200 \text{ kPa}$ και $q_{κατ} = 100 \text{ kPa}$, σε απόσταση $D = 20 \text{ m}$, και σύγκριση με την οριζόντια μετακίνηση του ελεύθερου πεδίου.



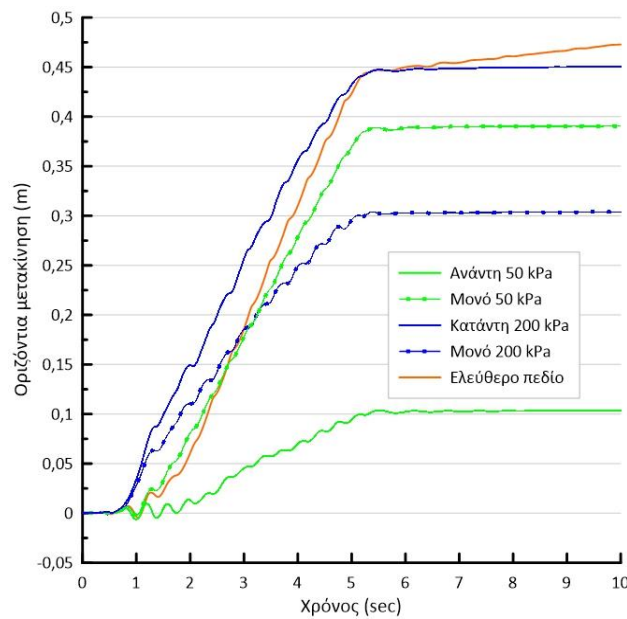
Σχήμα Β.55 Χρονοϊστορίες στροφής θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 5 \text{ m}$, διαφορετικά φορτία $q_{αν} = 200 \text{ kPa}$ και $q_{κατ} = 100 \text{ kPa}$, σε απόσταση $D = 20 \text{ m}$, και σύγκριση με τις καθιζήσεις των ίδιων θεμελίων αν ήταν μεμονωμένα ή οριζόντια.



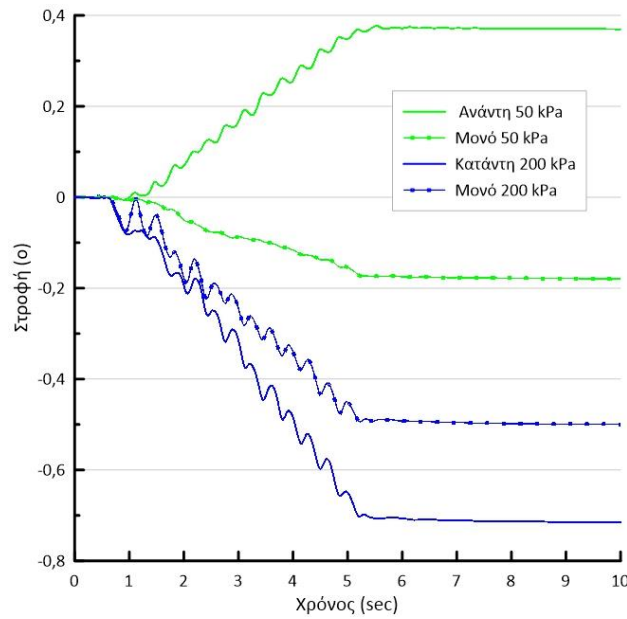
Σχήμα Β.56 Ισοκαμπύλες συντελεστή υπερπίεσης πόρων r_u και συσσωρευμένης διαμητικής παραμόρφωσης γ στο έδαφος κάτω από ζεύγος θεμελίων (πλάτους $B = 5 \text{ m}$, φορτίων έδρασης $q_{αν} = 200 \text{ kPa}$, $q_{κατ} = 100 \text{ kPa}$) με ενδιάμεση απόσταση $D = 20 \text{ m}$, σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση.



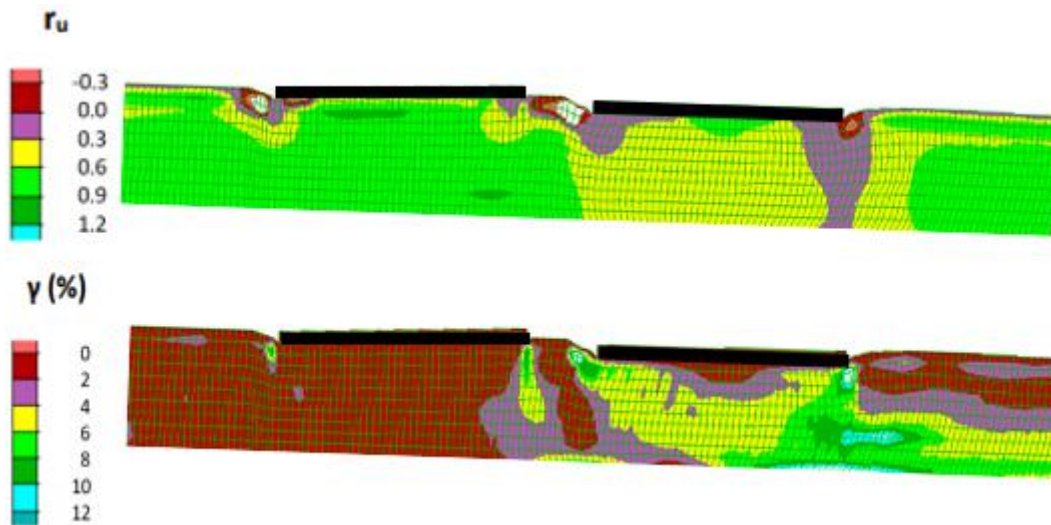
Σχήμα Β.57 Χρονοϊστορίες καθίζησης θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 20 \text{ m}$, διαφορετικά φορτία $q_{av} = 50 \text{ kPa}$ και $q_{κατ} = 200 \text{ kPa}$, σε απόσταση $D = 5 \text{ m}$, και σύγκριση με τις καθιζήσεις των ίδιων θεμελίων αν ήταν μεμονωμένα ή οριζόντια.



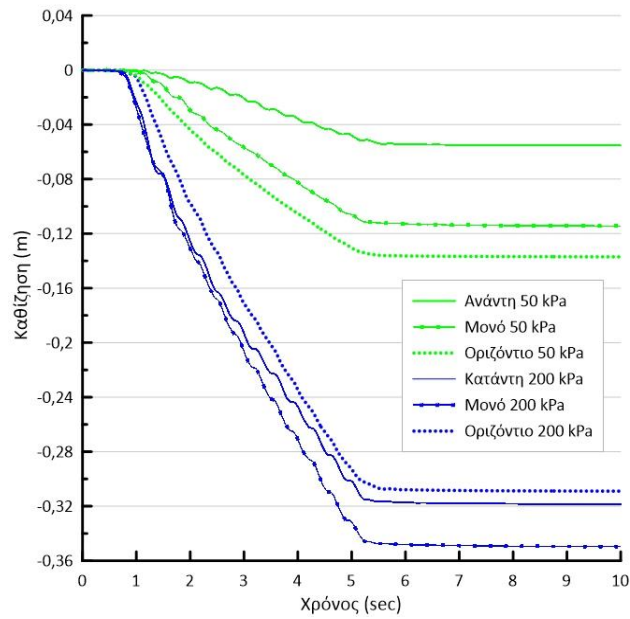
Σχήμα Β.58 Χρονοϊστορίες οριζόντιας μετακίνησης θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 20 \text{ m}$, διαφορετικά φορτία $q_{av} = 50 \text{ kPa}$ και $q_{κατ} = 200 \text{ kPa}$, σε απόσταση $D = 5 \text{ m}$, και σύγκριση με την οριζόντια μετακίνηση του ελεύθερου πεδίου.



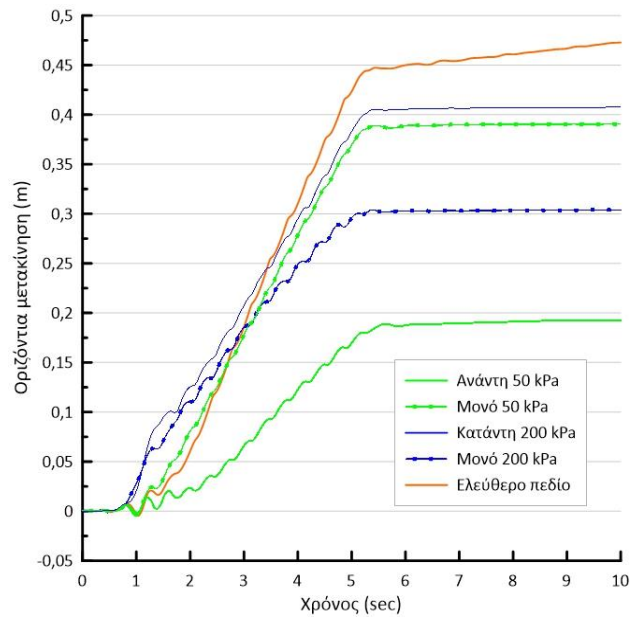
Σχήμα Β.59 Χρονοϊστορίες στροφής θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 20$ m, διαφορετικά φορτία $q_{av} = 50$ kPa και $q_{κατ} = 200$ kPa, σε απόσταση $D = 5$ m, και σύγκριση με τις καθιζήσεις των ίδιων θεμελίων αν ήταν μεμονωμένα ή οριζόντια.



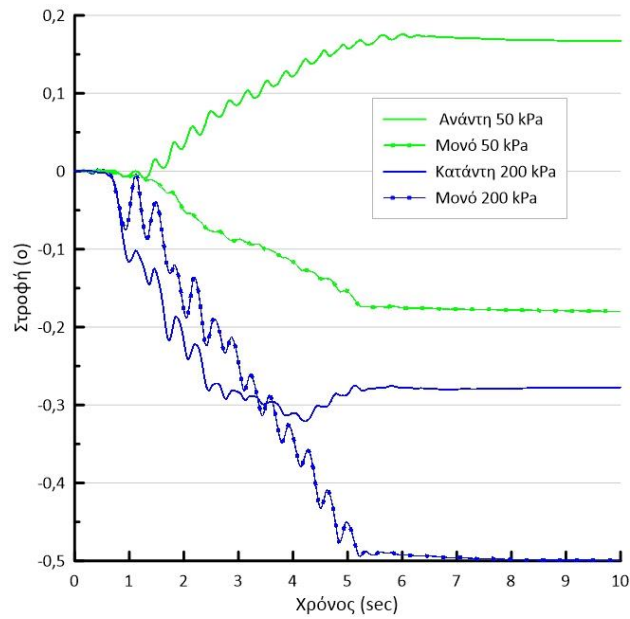
Σχήμα Β.60 Ισοκαμπύλες συντελεστή υπερπίεσης πόρων r_u και συσσωρευμένης διατμητικής παραμόρφωσης γ στο έδαφος κάτω από ζεύγος θεμελίων (πλάτους $B = 20$ m, φορτίων έδρασης $q_{av} = 50$ kPa, $q_{κατ} = 200$ kPa) με ενδιάμεση απόσταση $D = 5$ m, σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση.



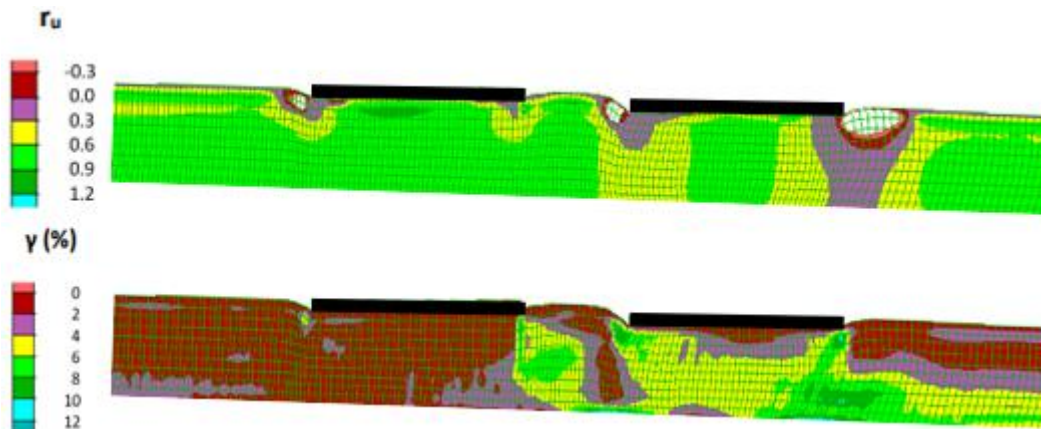
Σχήμα Β.61 Χρονοϊστορίες καθίζησης θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 20 \text{ m}$, διαφορετικά φορτία $q_{αν} = 50 \text{ kPa}$ και $q_{κατ} = 200 \text{ kPa}$, σε απόσταση $D = 10 \text{ m}$, και σύγκριση με τις καθιζήσεις των ίδιων θεμελίων αν ήταν μεμονωμένα ή οριζόντια.



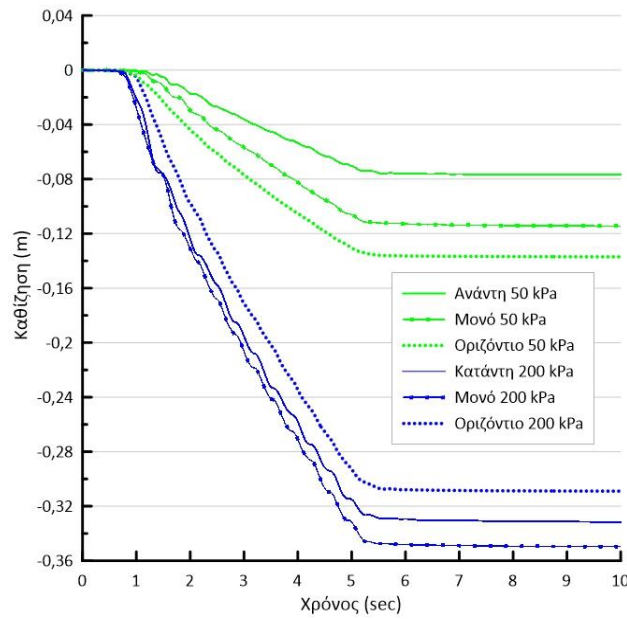
Σχήμα Β.62 Χρονοϊστορίες οριζόντιας μετακίνησης θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 20 \text{ m}$, διαφορετικά φορτία $q_{αν} = 50 \text{ kPa}$ και $q_{κατ} = 200 \text{ kPa}$, σε απόσταση $D = 10 \text{ m}$, και σύγκριση με την οριζόντια μετακίνηση του ελεύθερου πεδίου.



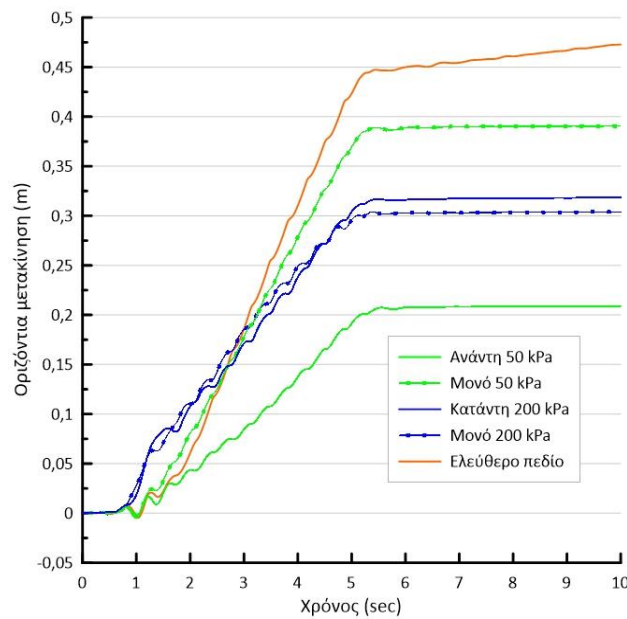
Σχήμα Β.63 Χρονοϊστορίες στροφής θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 20$ m, διαφορετικά φορτία $q_{αν} = 50$ kPa και $q_{κατ} = 200$ kPa, σε απόσταση $D = 10$ m, και σύγκριση με τις καθιζήσεις των ίδιων θεμελίων αν ήταν μεμονωμένα ή οριζόντια.



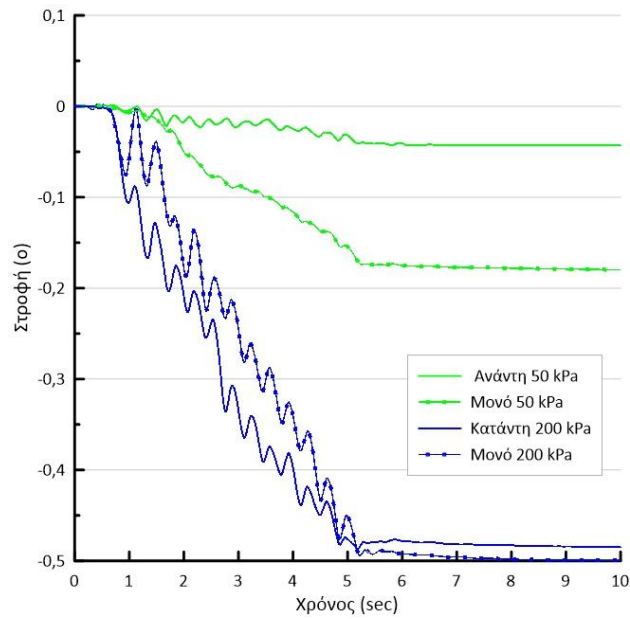
Σχήμα Β.64 Ισοκαμπύλες συντελεστή υπερπίεσης πόρων r_u και συσσωρευμένης διατμητικής παραμόρφωσης γ στο έδαφος κάτω από ζεύγος θεμελίων (πλάτους $B = 20$ m, φορτίων έδρασης $q_{αν} = 50$ kPa, $q_{κατ} = 200$ kPa) με ενδιάμεση απόσταση $D = 10$ m, σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση.



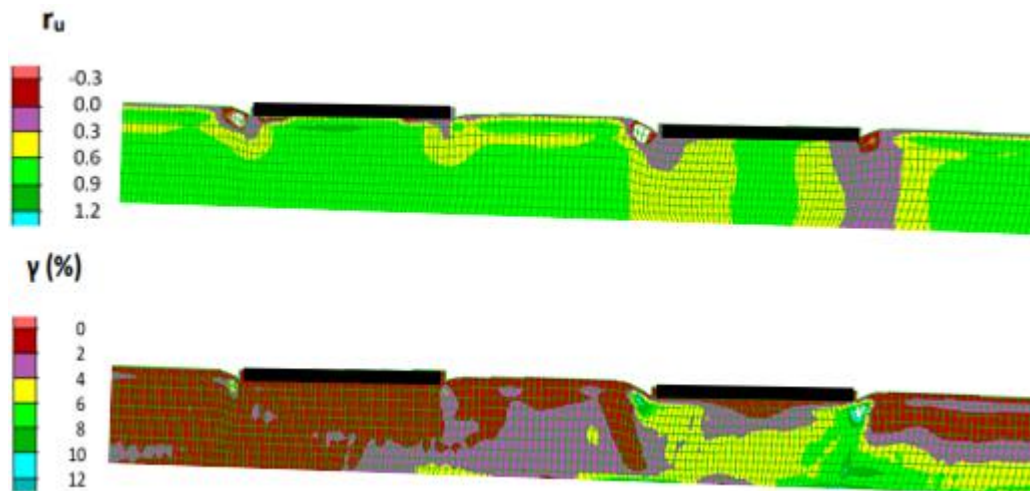
Σχήμα Β.65 Χρονοϊστορίες καθίζησης θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 20 \text{ m}$, διαφορετικά φορτία $q_{av} = 50 \text{ kPa}$ και $q_{κατ} = 200 \text{ kPa}$, σε απόσταση $D = 20 \text{ m}$, και σύγκριση με τις καθιζήσεις των ίδιων θεμελίων αν ήταν μεμονωμένα ή οριζόντια.



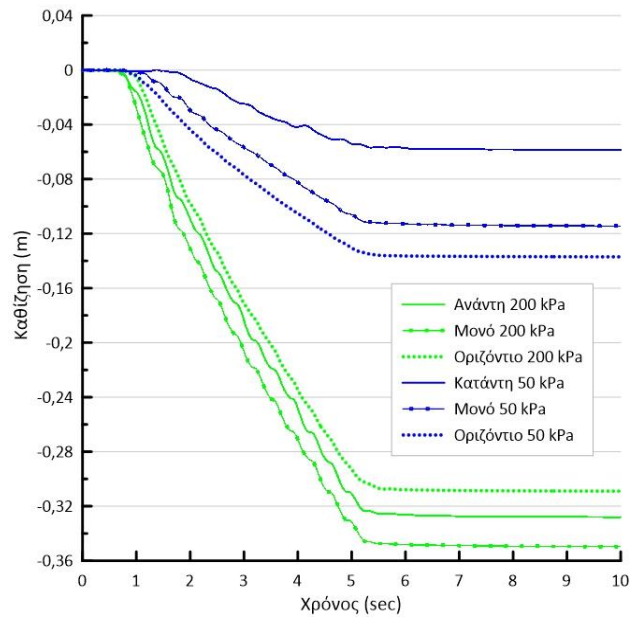
Σχήμα Β.66 Χρονοϊστορίες οριζόντιας μετακίνησης θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 20 \text{ m}$, διαφορετικά φορτία $q_{av} = 50 \text{ kPa}$ και $q_{κατ} = 200 \text{ kPa}$, σε απόσταση $D = 20 \text{ m}$, και σύγκριση με την οριζόντια μετακίνηση του ελεύθερου πεδίου.



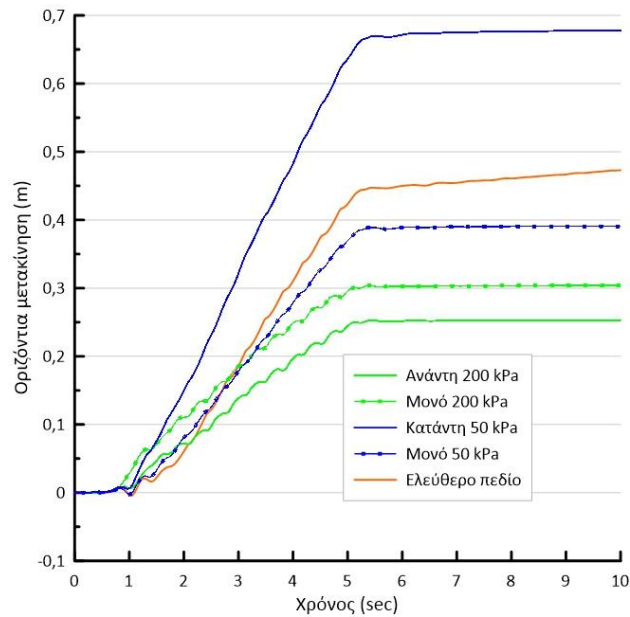
Σχήμα Β.67 Χρονοϊστορίες στροφής θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 20$ m, διαφορετικά φορτία $q_{αν} = 50$ kPa και $q_{κατ} = 200$ kPa, σε απόσταση $D = 20$ m, και σύγκριση με τις καθιζήσεις των ίδιων θεμελίων αν ήταν μεμονωμένα ή οριζόντια.



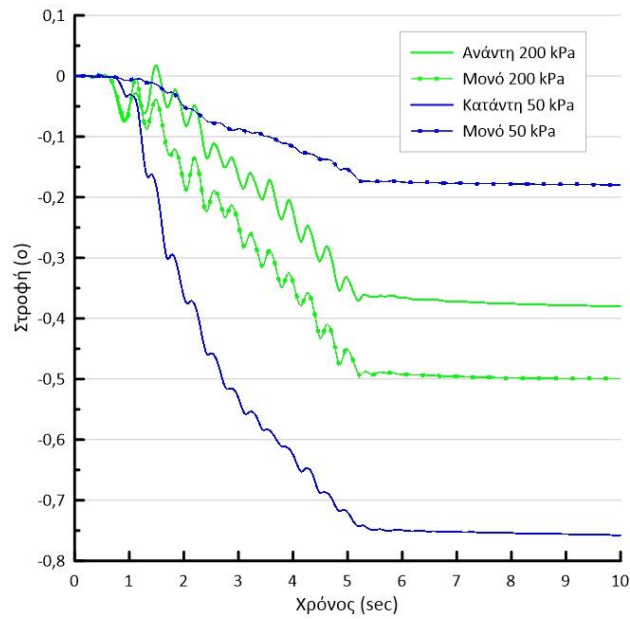
Σχήμα Β.68 Ισοκαμπύλες συντελεστή υπερπίεσης πόρων r_u και συσσωρευμένης διατμητικής παραμόρφωσης γ στο έδαφος κάτω από ζεύγος θεμελίων (πλάτους $B = 20$ m, φορτίων έδρασης $q_{αν} = 50$ kPa, $q_{κατ} = 200$ kPa) με ενδιάμεση απόσταση $D = 20$ m, σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση.



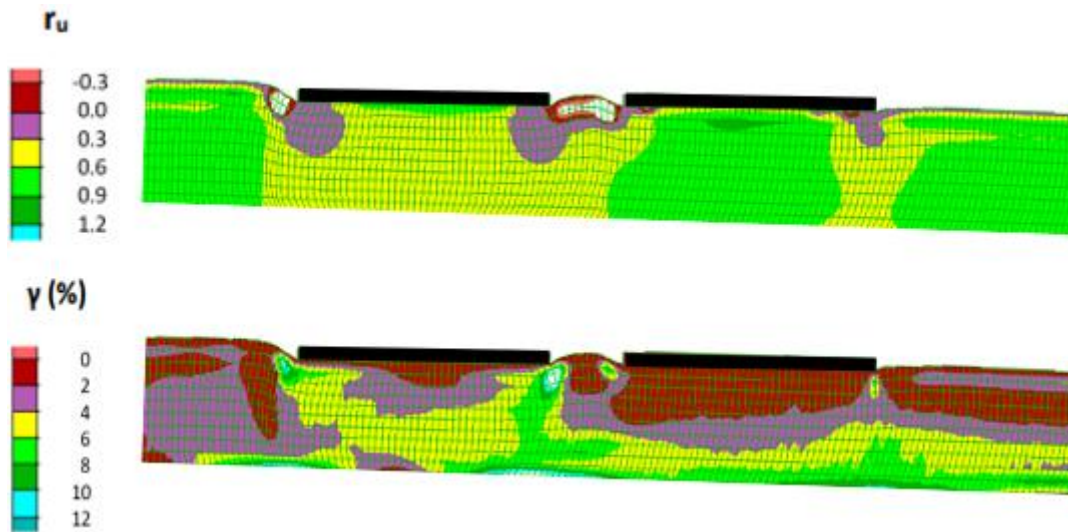
Σχήμα Β.69 Χρονοϊστορίες καθίζησης θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 20$ m, διαφορετικά φορτία $q_{av} = 200$ kPa και $q_{κατ} = 50$ kPa, σε απόσταση $D = 5$ m, και σύγκριση με τις καθιζήσεις των ίδιων θεμελίων αν ήταν μεμονωμένα ή οριζόντια.



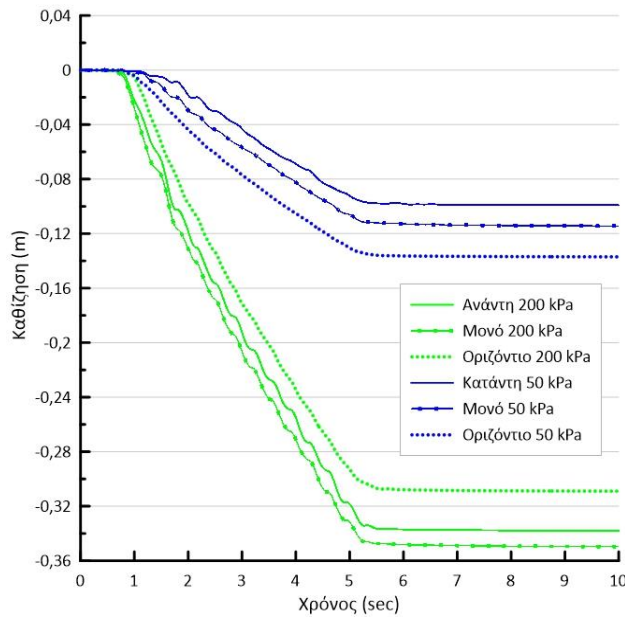
Σχήμα Β.70 Χρονοϊστορίες οριζόντιας μετακίνησης θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 20$ m, διαφορετικά φορτία $q_{av} = 200$ kPa και $q_{κατ} = 50$ kPa, σε απόσταση $D = 5$ m, και σύγκριση με την οριζόντια μετακίνηση του ελεύθερου πεδίου.



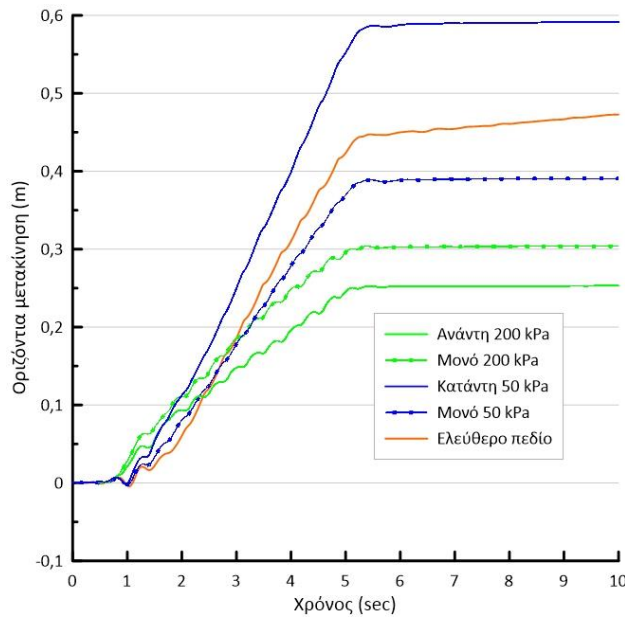
Σχήμα Β.71 Χρονοϊστορίες στροφής θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 20$ m, διαφορετικά φορτία $q_{αν} = 200$ kPa και $q_{κατ} = 50$ kPa, σε απόσταση $D = 5$ m, και σύγκριση με τις καθιζήσεις των ίδιων θεμελίων αν ήταν μεμονωμένα ή οριζόντια.



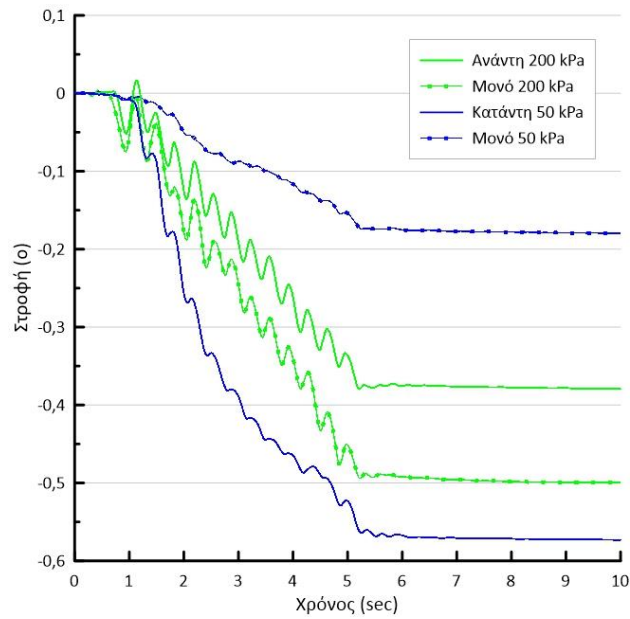
Σχήμα Β.72 Ισοκαμπύλες συντελεστή υπερπίεσης πόρων r_u και συσσωρευμένης διατμητικής παραμόρφωσης γ στο έδαφος κάτω από ζεύγος θεμελίων (πλάτους $B = 20$ m, φορτίων έδρασης $q_{αν} = 200$ kPa, $q_{κατ} = 50$ kPa) με ενδιάμεση απόσταση $D = 5$ m, σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση.



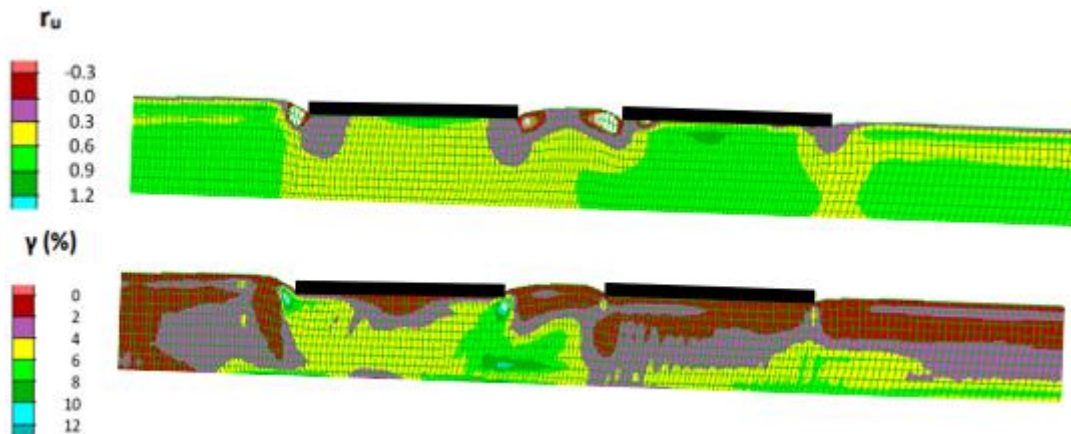
Σχήμα Β.73 Χρονοϊστορίες καθίζησης θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 20$ m, διαφορετικά φορτία $q_{αν} = 200$ kPa και $q_{κατ} = 50$ kPa, σε απόσταση $D = 10$ m, και σύγκριση με τις καθιζήσεις των ίδιων θεμελίων αν ήταν μεμονωμένα ή οριζόντια.



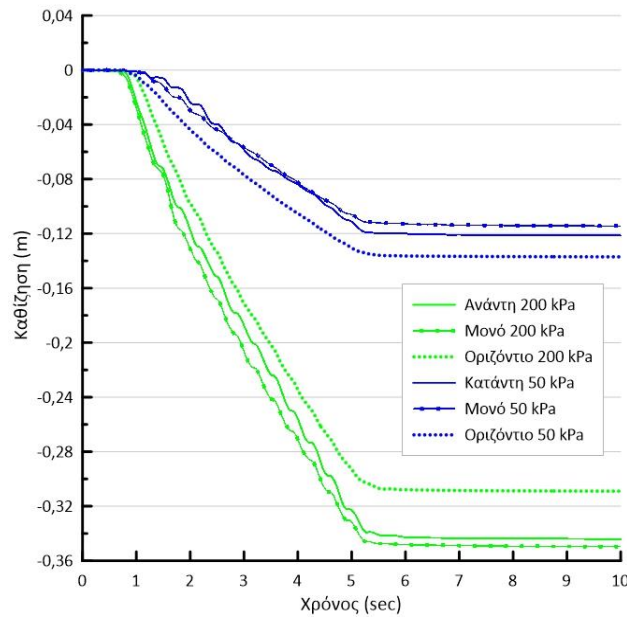
Σχήμα Β.74 Χρονοϊστορίες οριζόντιας μετακίνησης θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 20$ m, διαφορετικά φορτία $q_{αν} = 200$ kPa και $q_{κατ} = 50$ kPa, σε απόσταση $D = 10$ m, και σύγκριση με την οριζόντια μετακίνηση του ελεύθερου πεδίου.



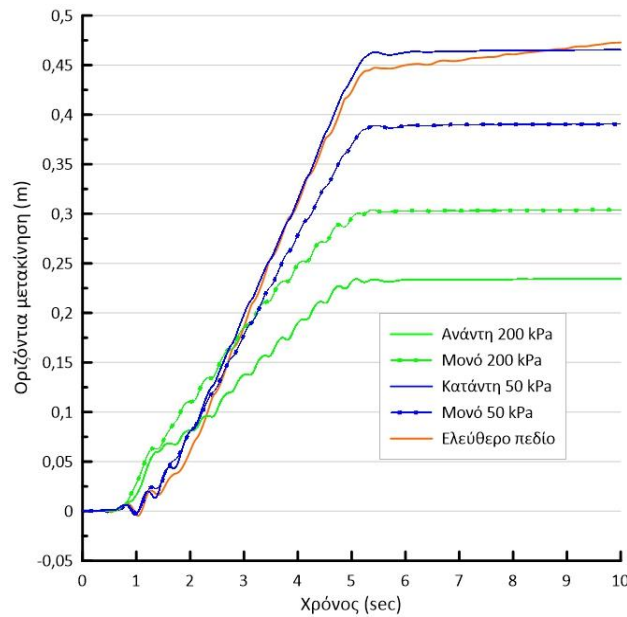
Σχήμα Β.75 Χρονοϊστορίες στροφής θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 20 \text{ m}$, διαφορετικά φορτία $q_{αν} = 200 \text{ kPa}$ και $q_{κατ} = 50 \text{ kPa}$, σε απόσταση $D = 10 \text{ m}$, και σύγκριση με τις καθιζήσεις των ίδιων θεμελίων αν ήταν μεμονωμένα ή οριζόντια.



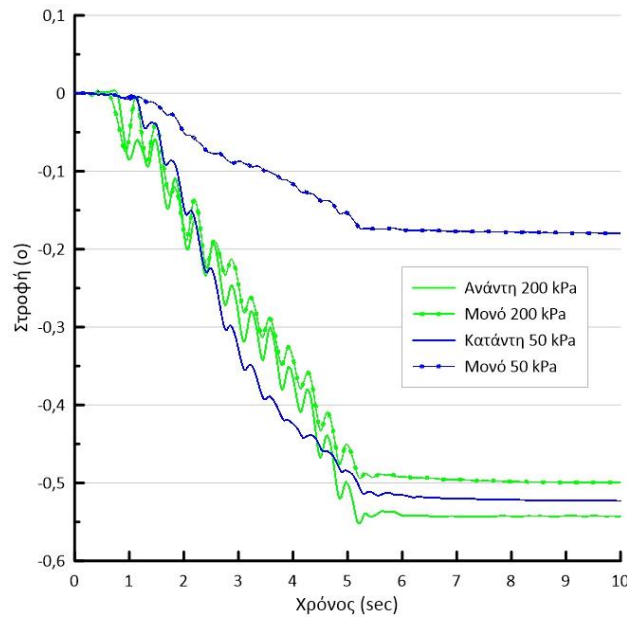
Σχήμα Β.76 Ισοκαμπύλες συντελεστή υπερπίεσης πόρων r_u και συσσωρευμένης διατμητικής παραμόρφωσης γ στο έδαφος κάτω από ζεύγος θεμελίων (πλάτους $B = 20 \text{ m}$, φορτίων έδρασης $q_{αν} = 200 \text{ kPa}$, $q_{κατ} = 50 \text{ kPa}$) με ενδιάμεση απόσταση $D = 10 \text{ m}$, σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση.



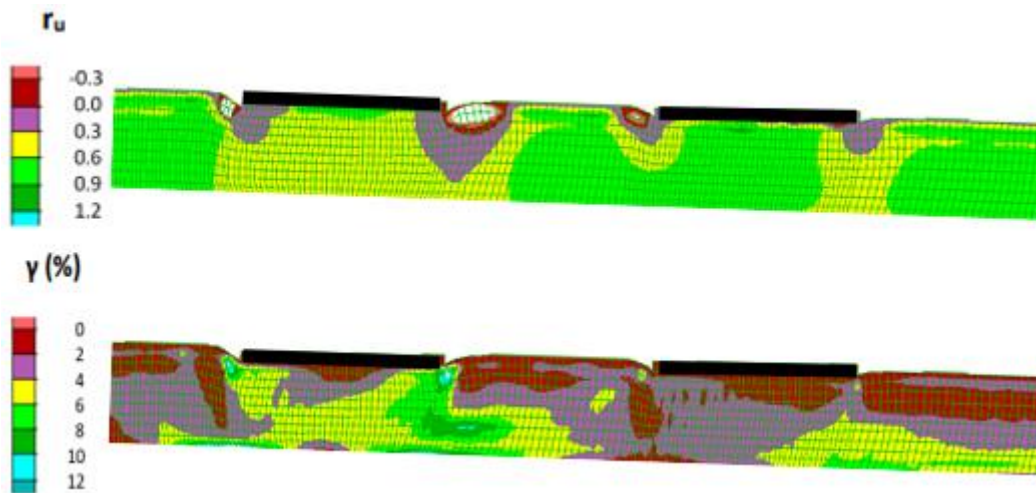
Σχήμα Β.77 Χρονοϊστορίες καθίζησης θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 20$ m, διαφορετικά φορτία $q_{av} = 200$ kPa και $q_{κατ} = 50$ kPa, σε απόσταση $D = 20$ m, και σύγκριση με τις καθιζήσεις των ίδιων θεμελίων αν ήταν μεμονωμένα ή οριζόντια.



Σχήμα Β.78 Χρονοϊστορίες οριζόντιας μετακίνησης θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 20$ m, διαφορετικά φορτία $q_{av} = 200$ kPa και $q_{κατ} = 50$ kPa, σε απόσταση $D = 20$ m, και σύγκριση με την οριζόντια μετακίνηση του ελεύθερου πεδίου.



Σχήμα Β.79 Χρονοϊστορίες στροφής θεμελίων σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση, με τα θεμέλια να έχουν ίδιο πλάτος $B = 20$ m, διαφορετικά φορτία $q_{αν} = 200$ kPa και $q_{κατ} = 50$ kPa, σε απόσταση $D = 20$ m, και σύγκριση με τις καθιζήσεις των ίδιων θεμελίων αν ήταν μεμονωμένα ή οριζόντια.



Σχήμα Β.80 Ισοκαμπύλες συντελεστή υπερπίεσης πόρων r_u και συσσωρευμένης διατμητικής παραμόρφωσης γ στο έδαφος κάτω από ζεύγος θεμελίων (πλάτους $B = 20$ m, φορτίων έδρασης $q_{αν} = 200$ kPa, $q_{κατ} = 50$ kPa) με ενδιάμεση απόσταση $D = 20$ m, σε κεκλιμένη ρευστοποιήσιμη στρώση.