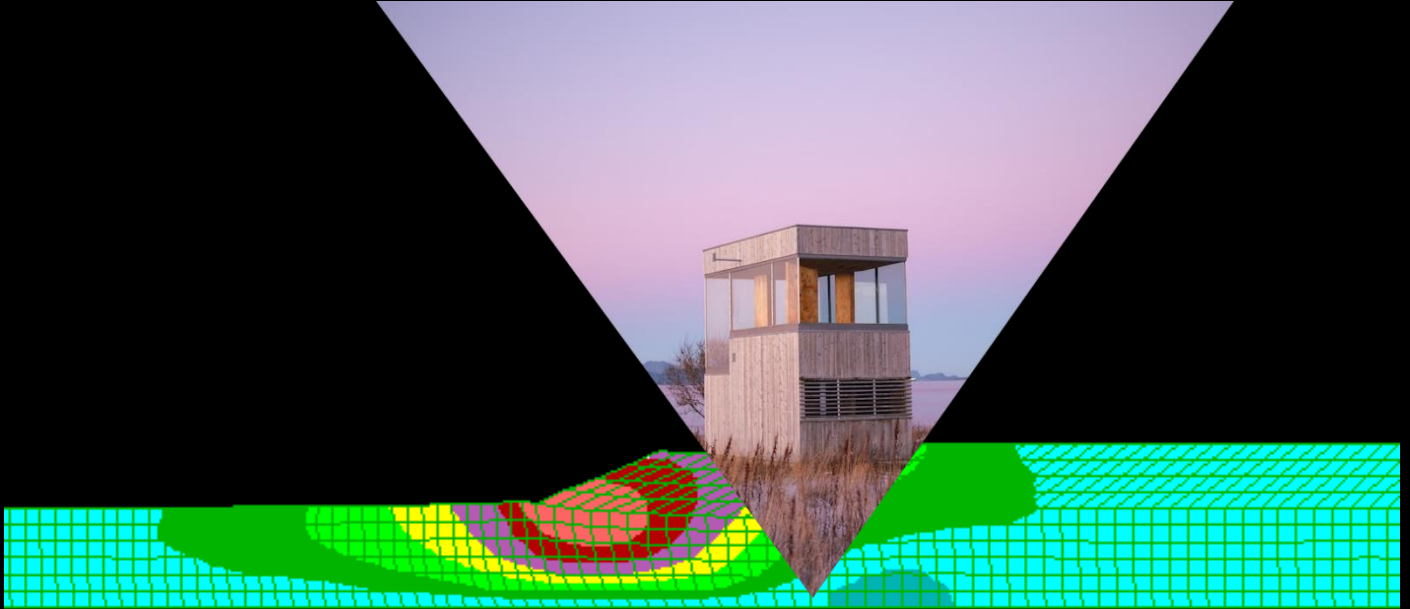




ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗΣ

NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS
SCHOOL OF CIVIL ENGINEERING
GEOTECHNICAL DEPARTMENT



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΜΕ ΠΛΕΥΡΙΚΩΣ
ΕΞΑΠΛΟΥΜΕΝΗ ΕΔΑΦΙΚΗ ΣΤΡΩΣΗ ΠΡΟΣ ΑΝΑΒΑΘΜΟ

STRUCTURAL INTERACTION WITH A LATERALLY SPREADING
SOIL LAYER TOWARDS A FREE-FACE

ΓΕΩΡΓΟΥΣΗ ΠΑΝΑΓΙΩΤΑ (NOTINA)

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ :

ΠΑΠΑΔΗΜΗΤΡΙΟΥ Γ. ΑΧΙΛΛΕΑΣ,

ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ε.Μ.Π

ΑΘΗΝΑ, ΝΟΜΕΒΡΙΟΣ 2023

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Στην παρούσα παράγραφο θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή της διπλωματικής εργασίας, κ. Παπαδημητρίου Αχιλλέα, ο οποίος ήταν δίπλα μου καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησής της παρέχοντας μου καθοδήγηση και συμβουλές έτσι ώστε το αποτέλεσμα να είναι το καλύτερο δυνατό. Δεν ήταν απλώς παρατηρητής της προόδου της εργασίας, αλλά σε όποιο πρόβλημα παρουσιαζόταν ήταν πάντοτε κοινωνός. Το σημαντικότερο σε αυτήν την εργασία είναι ότι με έκανε να νιώσω περισσότερο συνεργάτης του παρά φοιτήριά του.

Μετά από πέντε χρόνια εργασιών και διαγωνισμάτων, έχω τη δυνατότητα σε αυτό το σημείο να εκφραστώ ως Νοτίνα και όχι ως φοιτήτρια και εν δυνάμει Πολιτικός Μηχανικός. Πριν από πέντε χρόνια ακριβώς δεν θα περίμενα ποτέ ότι σήμερα θα ολοκλήρωνα με αυτήν την παράγραφο τη διπλωματική μου εργασία και θα κατείχα γνώσεις οι οποίες θα φανούν χρήσιμες στην κοινωνία γύρω μου. Έτσι λοιπόν θα ήθελα να ευχαριστήσω αρχικά τους γονείς μου, τη γιαγιά μου και τη δίδυμη αδελφή μου οι οποίοι ήταν συνοδοιπόροι μου στο ταξίδι αυτό και στις δυσκολίες τις οποίες αντιμετώπισα. Κλείνοντας τον κύκλο των κοντινών μου ανθρώπων ευχαριστώ εκείνον ο οποίος με βοήθησε στο κεφάλαιο των υπολογιστών και ήταν άξιος τόσο ως συνεργάτης μου στις ομαδικές εργασίες των γεωτεχνικών όσο και ως άνθρωπος στη ζωή μου.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

| | |
|---|-----------|
| 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ | 9 |
| 1.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ | 9 |
| 1.2 ΣΤΟΧΟΣ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ | 10 |
| 1.3 ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ | 10 |
| 2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ | 12 |
| 2.1 ΓΕΝΙΚΑ | 12 |
| 2.2 ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΜΕ ΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΣΙΜΟ ΕΔΑΦΟΣ | 12 |
| 2.3 ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΓΕΙΤΟΝΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΣΕ ΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΣΙΜΟ ΕΔΑΦΟΣ | 17 |
| 2.4 ΣΥΝΟΨΗ | 25 |
| 3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ | 26 |
| 3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ | 26 |
| 3.2 ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ FLAC | 26 |
| 3.3 ΚΑΤΑΣΤΑΤΙΚΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ NTUA_SAND | 28 |
| 3.4 ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ | 30 |
| 4. ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΜΕ ΠΛΕΥΡΙΚΩΣ ΕΞΑΠΛΟΥΜΕΝΗ ΕΔΑΦΙΚΗ ΣΤΡΩΣΗ ΠΡΟΣ ΡΗΧΟ ΑΝΑΒΑΘΜΟ | 34 |
| 4.1 ΣΥΝΟΨΗ | 34 |
| 4.2 ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΣΤΡΩΣΗΣ ΜΕ ΡΗΧΟ ΑΝΑΒΑΘΜΟ ΜΕ ΚΑΙ ΧΩΡΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ | 36 |
| 4.3 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΘΕΣΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΣΤΗΝ ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΣΤΡΩΣΗΣ ΠΛΗΣΙΟΝ ΡΗΧΟΥ ΑΝΑΒΑΘΜΟΥ | 40 |
| 4.4 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΦΟΡΤΙΟΥ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΣΤΗΝ ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΣΤΡΩΣΗΣ ΠΛΗΣΙΟΝ ΡΗΧΟΥ ΑΝΑΒΑΘΜΟΥ | 45 |
| 4.5 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΕΥΡΟΥΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΣΤΗΝ ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΣΤΡΩΣΗΣ ΠΛΗΣΙΟΝ ΡΗΧΟΥ ΑΝΑΒΑΘΜΟΥ | 49 |
| 4.7 ΑΠΟΚΡΥΣΤΑΛΛΩΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ | 58 |
| 5. ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΜΕ ΠΛΕΥΡΙΚΩΣ ΕΞΑΠΛΟΥΜΕΝΗ ΕΔΑΦΙΚΗ ΣΤΡΩΣΗ ΠΡΟΣ ΒΑΘΥ ΑΝΑΒΑΘΜΟ | 61 |
| 5.1 ΣΥΝΟΨΗ | 61 |

| | |
|--|-----------|
| 5.2 ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΣΤΡΩΣΗΣ ΜΕ ΚΑΙ ΧΩΡΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΠΛΗΣΙΟΝ ΒΑΘΥ ΑΝΑΒΑΘΜΟΥ | 62 |
| 5.3 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΘΕΣΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΣΤΗΝ ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΣΤΡΩΣΗΣ ΠΛΗΣΙΟΝ ΒΑΘΥ ΑΝΑΒΑΘΜΟΥ | 66 |
| 5.4 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΦΟΡΤΙΟΥ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΣΤΗΝ ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΣΤΡΩΣΗΣ ΠΛΗΣΙΟΝ ΒΑΘΥ ΑΝΑΒΑΘΜΟΥ | 71 |
| 5.5 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΕΥΡΟΥΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΣΤΗΝ ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΣΤΡΩΣΗΣ ΠΛΗΣΙΟΝ ΒΑΘΥ ΑΝΑΒΑΘΜΟΥ | 74 |
| 5.6 ΑΠΟΚΡΥΣΤΑΛΛΩΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ | 82 |
| 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ | 83 |
| 6.1 ΒΑΣΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ | 83 |
| 6.2 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ | 85 |
| ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ | 86 |

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η πλευρική εξάπλωση αποτελεί μία από τις πιο σοβαρές συνέπειες της σεισμικής ρευστοποίησης. Αφορά στην πλευρική μετακίνηση μίας εδαφικής στρώσης, που προκύπτει εξαιτίας ενός συνδυασμού βαρυτικών και σεισμικών δυνάμεων, οι οποίες ασκούνται στην εδαφική στρώση της οποίας η διατμητική αντίσταση έχει (σχεδόν) μηδενιστεί λόγω της ρευστοποίησης. Σε μεγάλου μεγέθους σεισμούς οι εδαφικές μετακινήσεις μπορεί να είναι σημαντικές, και ως τέτοιες μπορεί να οδηγήσουν σε αστοχία όποιες κατασκευές υπάρχουν εκεί.

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη της αλληλεπίδρασης πρανούς – κατασκευής σε καθεστώς πλευρικής εξάπλωσης οριζόντιας στρώσης προς αναβαθμό. Ο λόγος είναι ότι η διεθνής βιβλιογραφία επικεντρώνεται στο φαινόμενο, χωρίς να λαμβάνει υπόψη την ύπαρξη ή μη κατασκευής. Η διερεύνηση γίνεται αριθμητικά, μέσω 2D αναλύσεων σεισμικής εδαφικής απόκρισης με χρήση της μεθόδου των πεπερασμένων διαφορών (FLAC). Το έδαφος προσομοιώνεται με το καταστατικό προσομοίωμα NTUA-SAND, ενώ η κατασκευή θεωρείται ως ένα τραχύ άκαμπτο θεμέλιο, χωρίς μάζα, με επιφόρτιση ομοιόμορφη που αντιστοιχεί στο συνολικό βάρος της κατασκευής. Οι συγκρίσεις της εδαφικής απόκρισης αφορούν κυρίως στις οριζόντιες D_h και κατακόρυφες Z εδαφικές μετακινήσεις, χωρίς και με κατασκευή, όταν υπόκεινται στην ίδια αρμονική διέγερση. Σημαντικές παράμετροι του προβλήματος που διερευνήθηκαν είναι το βάθος H του αναβαθμού και τα χαρακτηριστικά της κατασκευής, ήτοι το εύρος B , το φορτίο q και η (ελάχιστη) απόσταση L της κατασκευής από τη στέψη του αναβαθμού.

Προκύπτει ότι το σχετικό μέγεθος των εδαφικών μετατοπίσεων D_h και Z ενός πρανούς λόγω πλευρικής εξάπλωσης καθορίζεται κυρίως από το βάθος H του αναβαθμού, και δευτερευόντως από την ύπαρξη ή μη μιας κατασκευής πίσω από τη στέψη του, η οποία επηρεάζει τις μετατοπίσεις αυτές κυρίως τοπικά. Αντίστοιχα, η κατασκευή εμφανίζει οριζόντια μετατόπιση και στροφή προς τον αναβαθμό, ενώ οι καθιζήσεις της μεγαλώνουν συγκριτικά με ό,τι θα είχε στο ίδιο ρευστοποιήσιμο έδαφος χωρίς αναβαθμό (ή πολύ μακριά από τη στέψη του). Συμπεραίνεται ότι η αλληλεπίδραση πρανούς–κατασκευής είναι πιο έντονη όσο μεγαλώνει το πλάτος B και το φορτίο q της κατασκευής, και όσο μικραίνει η (ελάχιστη) απόσταση L αυτής από τη στέψη, ενώ προκύπτει πιο έντονη για ρηχούς (π.χ., με $H = 2$ m) παρά για βαθιούς (π.χ., με $H = 4$ m) αναβαθμούς, τουλάχιστον σε ό,τι αφορά στο πρανές. Ο λόγος είναι ότι οι μετατοπίσεις ενός

βαθύ αναβαθμού είναι ήδη τόσο μεγάλες, που δεν επηρεάζονται σημαντικά από μια συνήθη κατασκευή, αντίθετα με ό,τι παρατηρείται σε έναν ρηχό αναβαθμό.

Ποιοτικά η αλληλεπίδραση ρηχού αναβαθμού – κατασκευής σε όρους οριζοντίων μετατοπίσεων D_h δεν εξαρτάται έντονα από το εύρος της κατασκευής. Συγκεκριμένα, η περιοχή ανάμεσα στη στέψη και την κατασκευή εμφανίζει αυξημένες μετατοπίσεις D_h λόγω αυτής, ενώ η περιοχή «πίσω» από την κατασκευή το ανάποδο. Για μεγάλες αποστάσεις (π.χ. $L/H = 30$) αυτή η επίδραση «μπροστά» από την κατασκευή εξαλείφεται όσο προσεγγίζεται η στέψη του πρανούς. Για κοντινές αποστάσεις (π.χ. $L/H = 2.5 - 5$), υπάρχει αυξητική επίδραση της κατασκευής στις τιμές D_h και «μπροστά» από τον πόδα του πρανούς. Ποσοτικά όμως, η διαφοροποίηση στις μετατοπίσεις D_h είναι πιο σημαντική όταν η κατασκευή είναι ευρεία. Επιπλέον, μπορεί να προκληθεί αντιστροφή των μετακινήσεων D_h «πίσω» από την κατασκευή, δηλαδή το έδαφος να αρχίσει να απομακρύνεται από τον αναβαθμό, με την τάση αυτή να μεγαλώνει όσο μεγαλώνει το φορτίο της ευρείας κατασκευής. Τέλος, σε περίπτωση βαθύ αναβαθμού, οι συγκριτικά μεγαλύτερες οριζόντιες μετατοπίσεις του πρανούς καθιστούν την επίδραση της όποιας κατασκευής λιγότερο σημαντική. Για παράδειγμα, παύει να εμφανίζεται προσαύξηση των οριζοντίων μετατοπίσεων D_h στην περιοχή ανάμεσα στη στέψη και την κατασκευή.

Ομοίως, ούτε η αλληλεπίδραση ρηχού αναβαθμού – κατασκευής σε όρους κατακόρυφων μετατοπίσεων Z εξαρτάται έντονα από το εύρος της κατασκευής. Συγκεκριμένα, η κατασκευή επηρεάζει δυσμενώς τις καθιζήσεις του εδάφους «πίσω» από τη στέψη μόνο στην περιοχή της. Μόνο αν βρίσκεται σε κοντινή απόσταση ($L/H = 2.5 - 5$), η κατασκευή επηρεάζει επιπλέον δυσμενώς και τις ανυψώσεις «μπροστά» από τον πόδα του πρανούς. Η αύξηση του φορτίου q και του εύρους B της κατασκευής επιφέρει αυξήσεις στις εν λόγω τοπικές επιπλέον καθιζήσεις και ανυψώσεις. Αξιοσημείωτο είναι επίσης ότι η ευρεία κατασκευή εμφανίζει σημαντικές τοπικές ανυψώσεις εκατέρωθεν αυτής, λόγω ενεργοποίησης του μηχανισμού φέρουσας ικανότητας που αναπτύσσεται στο έδαφος υπό αυτήν. Οι ανυψώσεις αυτές σε ευρύ θεμέλιο είναι τόσο σημαντικές που αντιστρέφουν τη διάθεση του πρανούς για μικρή καθίζηση λόγω πλευρικής εξάπλωσης «πίσω» από αυτό. Τέλος, σε περίπτωση βαθύ αναβαθμού, οι συγκριτικά μεγαλύτερες κατακόρυφες μετατοπίσεις του πρανούς καθιστούν την επίδραση της όποιας κατασκευής λιγότερο σημαντική, ακριβώς όπως συμβαίνει και για τις οριζόντιες μετατοπίσεις.

ABSTRACT

Lateral spreading constitutes one of the most severe consequences of seismic liquefaction. It comprises the lateral displacement of a soil layer that is caused by a combination of gravitational and seismic forces. These forces are applied on a soil layer, whose shear strength has (almost) nullified due to liquefaction. In large magnitude earthquakes the soil displacements can be significant and that may lead to failure of any structures that are founded on this soil layer.

The aim of this thesis is to study the interaction of a laterally spreading slope with a structure founded on top of it. The need for this study is that the pertinent international literature focuses on the lateral spreading phenomenon without taking into account the presence or absence of a structure on top of the horizontal layer displacing laterally due to its proximity to the free-face of the slope. The investigation is carried out numerically via 2D seismic ground response analyses using the finite difference method (FLAC). The soil is simulated using the NTUA-SAND constitutive model, while the structure is considered as a massless, rigid and rough foundation, with a uniform load corresponding to the total weight of the structure. Comparisons of soil response mainly concern the horizontal D_h and vertical Z soil displacements, both with and without the presence of the structure, under the same harmonic excitation. Important problem parameters that were investigated include the depth H of the free-face of the slope and the characteristics of the structure, namely its width B , its load q , and the (minimum) distance L of the structure from the crest of the free-face of the slope.

It is found that the relative magnitude of soil displacements D_h and Z is mainly affected by the depth H of the slope and secondarily by the presence or absence of a structure behind its crest. In reality, the D_h and Z are mainly affected locally, i.e., in the close vicinity of the structure. In general, the structure exhibits horizontal displacement and rotation towards the free-face of the slope, while its settlement increases in comparison to what the same structure would have if it was founded on the same liquefiable soil without any free-face (or very far from its crest). It is also concluded that the interaction between the slope and the structure is more pronounced as the width B and the load q of the structure increase, and as the (minimum) distance L of the structure from the crest of the slope decreases, especially in the case of shallow slopes (e.g., $H = 2$ m) as opposed to deeper ones (e.g., $H = 4$ m). The reason is that the displacements of a deep slope are already so large that they are not significantly affected by a typical structure, opposite to what is observed in the case of a shallow slope.

Qualitatively, the interaction between a shallow slope and a structure in terms of horizontal displacements D_h is not strongly dependent on the width of the structure. Specifically, the area between the crest and the structure exhibits increased D_h displacements due to the structure, while the area "behind" the structure shows the opposite effect. For large distances (e.g., $L/H = 30$), this increasing D_h effect in front of the structure diminishes as one gets closer to the crest of the slope. For small distances (e.g., $L/H = 2.5 - 5$), there is an additional unfavorable effect of the structure on the D_h and Z values "in front" of the toe of the slope. However, quantitatively, the difference in D_h displacements is more significant when the structure is wide. Additionally, a reversal of D_h displacements "behind" the structure can occur, meaning that the soil begins to move away from the free-face (in the opposite direction), and this trend increases as the load of the wide structure increases. Finally, in the case of a deep slope, the comparatively larger horizontal displacements of the soil layer make the effect of any structure less significant. For example, there is no increase in D_h displacements in the area between the crest and the structure in the case of a deep slope.

Similarly, the interaction between a shallow slope and a structure in terms of vertical displacements Z is not strongly dependent on the width of the structure. Specifically, the structure only adversely affects the settlements of the soil "behind" the crest of the slope. Only when it is at a small distance ($L/H = 2.5 - 5$), does the structure additionally affect the settlements "in front" of the toe of the slope. An increase in the load q and the width B of the structure leads to increases in these local additional settlements. It is also noteworthy that a wide structure exhibits significant local additional ground uplift on either side of it, due to the development of the bearing capacity mechanism in the soil beneath it. These ground uplifts on either side of a wide structure may be so significant that they may reverse the trend of the ground to settle slightly "behind" the structure, that is a side effect of lateral spreading. Finally, in the case of a deep slope, the relatively larger vertical ground displacements make the effect of any structure less significant, just as in the case of horizontal ground displacements.

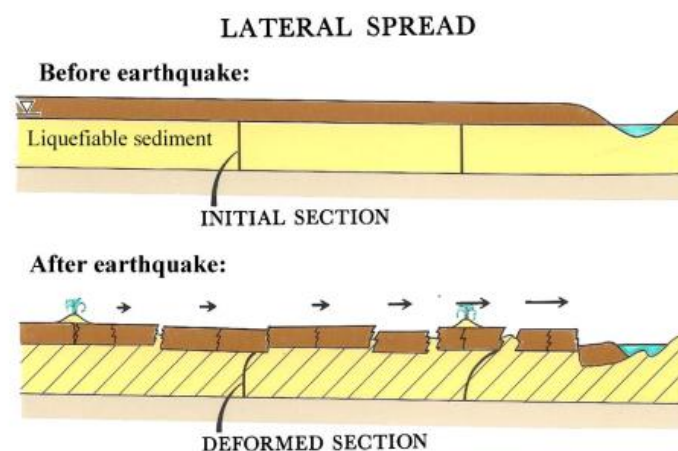
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ

Ως πλευρική εξάπλωση (eng. Lateral Spreading) ορίζεται η πλευρική μετακίνηση μίας εδαφικής στρώσης λόγω σεισμικής ρευστοποίησης. Η μετακίνηση προκύπτει εξαιτίας ενός συνδυασμού βαρυτικών και σεισμικών δυνάμεων, οι οποίες ασκούνται στην εδαφική στρώση της οποίας η διατμητική αντίσταση έχει (σχεδόν) μηδενιστεί λόγω της ρευστοποίησης. Γενικώς, η πλευρική εξάπλωση μπορεί να λάβει χώρα σε ελαφρώς επικλινή επιφάνεια εδάφους, ή ακόμη και σε οριζόντιο έδαφος αρκεί να είναι κοντά σε αναβαθμό (π.χ., πλησίον της όχθης λιμνών, ποταμών ή θαλασσών).

Η πλευρική εξάπλωση αποτελεί μία από τις πιο σοβαρές συνέπειες της σεισμικής ρευστοποίησης. Σε μικρού μεγέθους σεισμούς η πλευρική εδαφική μετακίνηση θεωρείται αμελητέα, αλλά σε μεγαλύτερου μεγέθους σεισμούς οι μετακινήσεις που προκύπτουν μπορούν να είναι σημαντικές, και μπορούν να οδηγήσουν σε αστοχία και όποιες κατασκευές υπάρχουν εκεί.



Σχήμα 1.1 : Διάγραμμα απεικόνισης του μηχανισμού της πλευρικής εξάπλωσης πλησίον αναβαθμού, όταν υπάρχει και επιφανειακή μη-ρευστοποιήσιμη στρώση (Youd et al., 2002)

1.2 ΣΤΟΧΟΣ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη της αλληλεπίδρασης πρανούς – κατασκευής σε καθεστώς πλευρικής εξάπλωσης οριζόντιας στρώσης προς αναβαθμό. Ο λόγος είναι ότι η διεθνής βιβλιογραφία επικεντρώνεται στο φαινόμενο, χωρίς να λαμβάνει υπόψη την ύπαρξη ή μη κατασκευής. Η διερεύνηση θα γίνει αριθμητικά, μέσω 2Δ αναλύσεων σεισμικής εδαφικής απόκρισης με χρήση της μεθόδου των πεπερασμένων διαφορών (FLAC). Οι συγκρίσεις της εδαφικής απόκρισης θα αφορούν κυρίως τις οριζόντιες και κατακόρυφες εδαφικές μετακινήσεις, χωρίς και με κατασκευή, όταν υπόκεινται στην ίδια σεισμική διέγερση. Στην επόμενη παράγραφο παρουσιάζεται η διάρθρωση της εργασίας.

1.3 ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η παρούσα εργασία συνίσταται από 6 Κεφάλαια συνολικά, καθένα από τα οποία θα παρουσιαστεί συντόμως παρακάτω :

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Στο Κεφάλαιο 2 παρουσιάζεται η βιβλιογραφική έρευνα από την οποία αντλήθηκαν χρήσιμες πληροφορίες σχετικά με την αλληλεπίδραση πρανούς-κατασκευής, και η οποία υπέδειξε τις ελλείψεις και τις ανάγκες για την παρούσα έρευνα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Στο Κεφάλαιο 3 παρουσιάζεται η αριθμητική μεθοδολογία που ακολουθήθηκε, με τις λεπτομέρειες για το είδος, το πλήθος και τον τρόπο εκτέλεσης των αριθμητικών αναλύσεων. Εκεί ορίζονται και οι σημαντικές παράμετροι του προβλήματος, που διερευνήθηκαν παραμετρικά.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Στο Κεφάλαιο 4 διερευνάται η αλληλεπίδραση πρανούς-κατασκευής για ρηχό αναβαθμό ($H = 2 \text{ m}$), όταν μεταβάλλονται η θέση της κατασκευής L , το φορτίο της q και το εύρος της B . Η έμφαση δίνεται στις οριζόντιες και κατακόρυφες εδαφικές μετατοπίσεις της επιφάνειας του εδάφους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Στο Κεφάλαιο 5 επαναλαμβάνονται οι ίδιες ακριβώς αναλύσεις με το Κεφάλαιο 4, με τη μόνη διαφορά ότι ο αναβαθμός θεωρείται βαθύς ($H = 4 \text{ m}$), Στόχος του είναι να αποτυπωθεί η επίδραση του ύψους του αναβαθμού στην εν λόγω αλληλεπίδραση πρανούς-κατασκευής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

Στο Κεφάλαιο 6 γίνεται ο συγκερασμός όλων των συμπερασμάτων που προέκυψαν από τις αναλύσεις του 4^{ου} και 5^{ου} Κεφαλαίου σχετικά με την αλληλεπίδραση πρανούς-κατασκευής. Επιπλέον, γίνονται προτάσεις για μελλοντική έρευνα, με βάση τα προαναφερθέντα και τους περιορισμούς των αναλύσεων που εκτελέστηκαν.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

2.1 ΓΕΝΙΚΑ

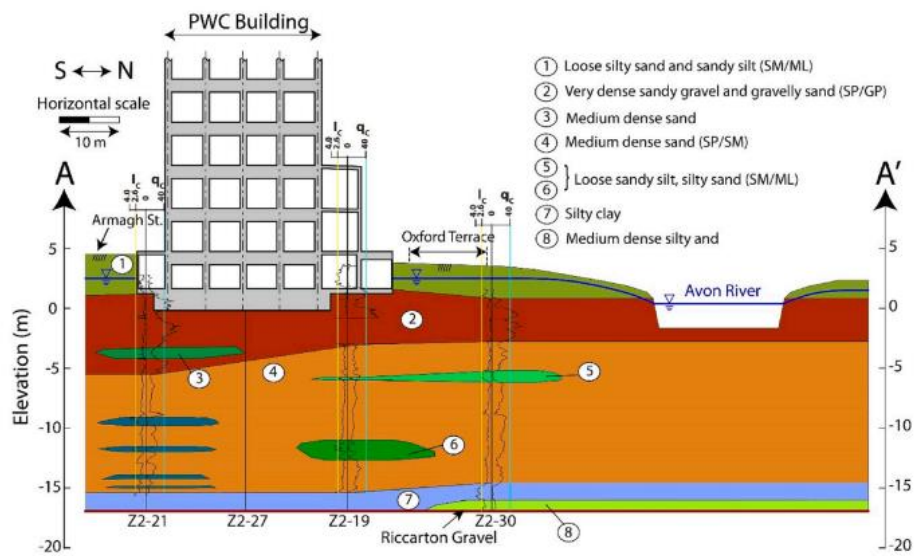
Στο Κεφάλαιο αυτή παρουσιάζονται τα ευρήματα της βιβλιογραφικής έρευνας με στόχο την βαθιά και ουσιαστική κατανόηση του φαινομένου της πλευρικής εξάπλωσης, αλλά τον εντοπισμό πεδίων του φαινομένου αυτού τα οποία χρήζουν περαιτέρω διερεύνησης.

Όπως προαναφέρθηκε στην ενότητα 1.1, η πλευρική εξάπλωση αποτελεί ίσως το πιο επιζήμιο αποτέλεσμα του φαινομένου της σεισμικής ρευστοποίησης. Λόγω της σημαντικότητας και σοβαρότητας του φαινομένου αυτού, έχουν πραγματωθεί και συνεχίζουν να πραγματώνονται έρευνες και μελέτες πάνω σε αυτό. Στην παρούσα βιβλιογραφική έρευνα δεν θα επικεντρωθούμε τόσο στη μελέτη του ίδιου του φαινομένου, όσο στη μελέτη της επίδρασής του στις κατασκευές. Επίσης, θα γίνει μελέτη περιπτώσεων που αφορούν την πλευρική εξάπλωση τόσο πλησίον αναβαθμού, όσο και με ήπια κλίση, καθώς το φαινόμενο μπορεί να παρατηρηθεί εξίσου και στις δύο μορφές τοπογραφίας εδάφους.

2.2 ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΜΕ ΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΣΙΜΟ ΕΔΑΦΟΣ

Ως παράδειγμα μελέτης της αλληλεπίδρασης κατασκευών με ρευστοποιήσιμη στρώση αναφέρεται εδώ η εργασία των Luque and Bray (2020), οι οποίοι εξέτασαν το φαινόμενο για κτήρια που είχαν επηρεαστεί από τη ρευστοποίηση που είχε συμβεί κατά τη διάρκεια της σεισμικής αλληλουχίας Canterbury στη Νέα Ζηλανδία (2010-2011). Αναλυτικότερα, οι δύο αυτές κατασκευές, οι οποίες βρίσκονταν στην περιοχή CBD, ήταν ένας ουρανοξύστης (PWC) με 21 ορόφους και το Δημαρχείο του Christchurch. Ο ουρανοξύστης κατεδαφίστηκε λόγω των

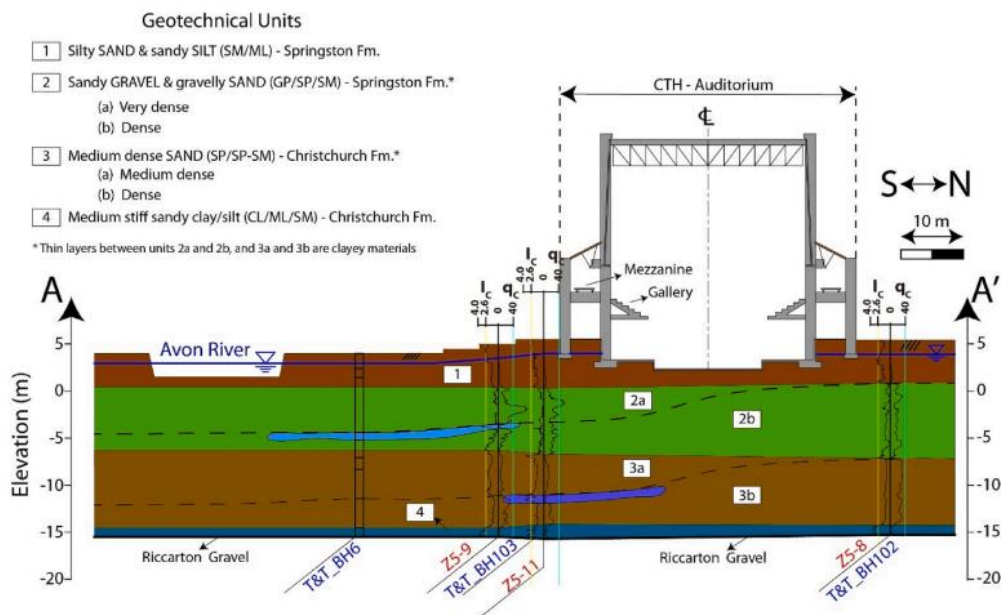
ανεπανόρθωτων ζημιών που προκλήθηκαν μετά το σεισμό και το Δημαρχείο επισκευάστηκε.



Σχήμα 2.1 : Ο ουρανοξύστης και οι εδαφικές στρώσεις και μορφολογία της περιοχής (Luque and Bray 2020).

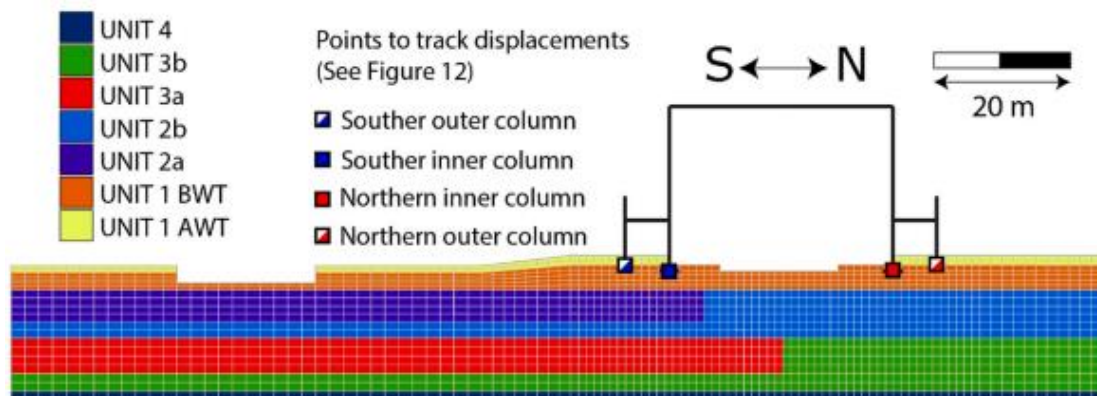
Η περιοχή CBD απέχει απόσταση λιγότερη από 50 m από τον ποταμό Avon.

Η αλληλουχία σεισμών εκτυλίχθηκε το χρονικό διάστημα 2010-2011, η παρούσα έρευνα όμως επικεντρώθηκε στους τρεις πιο επιζήμιους για την περιοχή CBC σεισμούς, ο πρώτος με $M_w = 7.1$, ο δεύτερος με $M_w = 6.2$ και ο τρίτος με $M_w = 6.0$. Και οι τρεις σεισμοί έλαβαν χώρα πολύ κοντά στην περιοχή CBD.

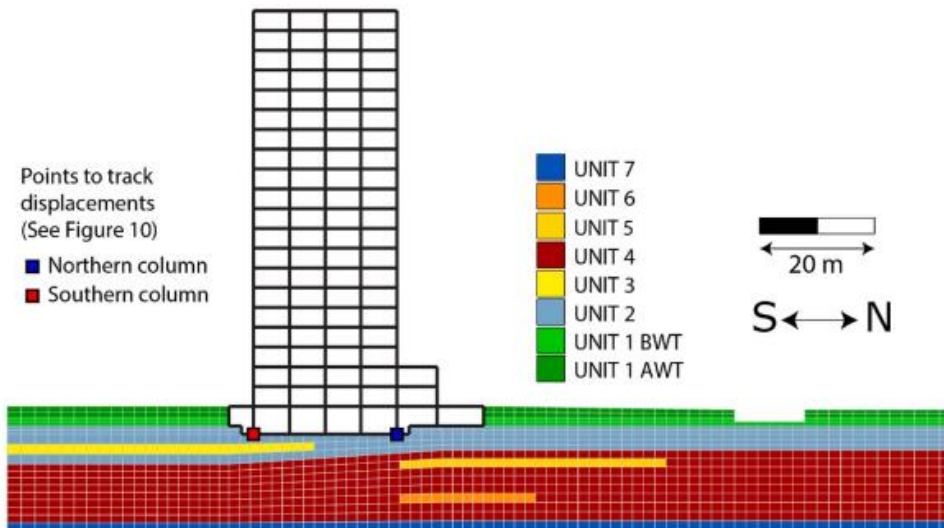


Σχήμα 2.2 : Το Δημαρχείο και οι εδαφικές στρώσεις και μορφολογία της περιοχής (Luque and Bray 2020).

Η μη γραμμική δυναμική ανάλυση για τα δύο κτήρια έγινε με τη χρήση του λογισμικού FLAC2D v7.0. Οι κάνναβοι σχηματίστηκαν με βάση τις γεωτεχνικές τομές των Σχημάτων 2.1 και 2.2, και το μέγιστο μέγεθος των στοιχείων είναι 1 m (βλ. Σχήματα 2.3, 2.4). Τα καταστατικά προσομοιώματα που χρησιμοποιήθηκαν είναι το Mohr-Coulomb και το PM4Sand. Τα σύνορα, τα οποία σχηματίστηκαν με την εντολή free-field του FLAC, βρίσκονται σε απόσταση ίση με μία έως δύο φορές το πλάτος του κτηρίου με σκοπό να μην επηρεάσουν τις αναλύσεις. Η προκαταρκτική μελέτη βασίστηκε στην παρέκταση των δεδομένων γεωτεχνικής έρευνας της περιοχής γύρω από τα κτήρια και τον ποταμό Ανοι, όπου οι πληροφορίες για τροφοδότηση των αναλύσεων ήταν ελάχιστες. Η εν λόγω μελέτη υπολόγισε πολύ μεγάλες μετακινήσεις εξαιτίας αστοχίας λόγω ρευστοποίησης ροής, οι οποίες όμως δεν παρατηρήθηκαν στην περιοχή. Επειδή λοιπόν δεν υπήρχαν επαρκή δεδομένα και έπρεπε να αποφευχθεί η αστοχία λόγω ρευστοποίησης ροής, υιοθετήθηκε στην ανάλυση ένα «ελαστικό κάλυμμα» με σιβαρότητα ίση με εκείνη της ρευστοποιήσιμης εδαφικής στρώσης.

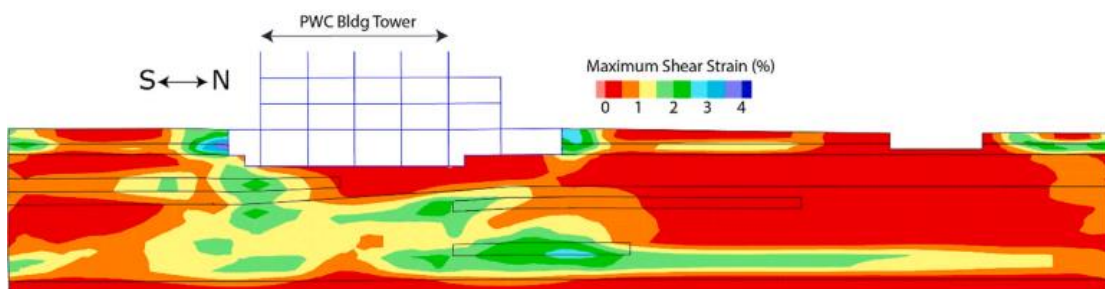


Σχήμα 2.3 : Απεικόνιση του ουρανοξύστη από PWC και του καννάβου με τις αντίστοιχες εδαφικές στρώσεις και μορφολογία με το πρόγραμμα FLAC 7.0 2D (Luque and Bray 2020).



Σχήμα 2.4 : Απεικόνιση του Δημαρχείου και του καννάβου με τις αντίστοιχες εδαφικές στρώσεις και μορφολογία με το πρόγραμμα FLAC 7.0 2D (Luque and Bray 2020).

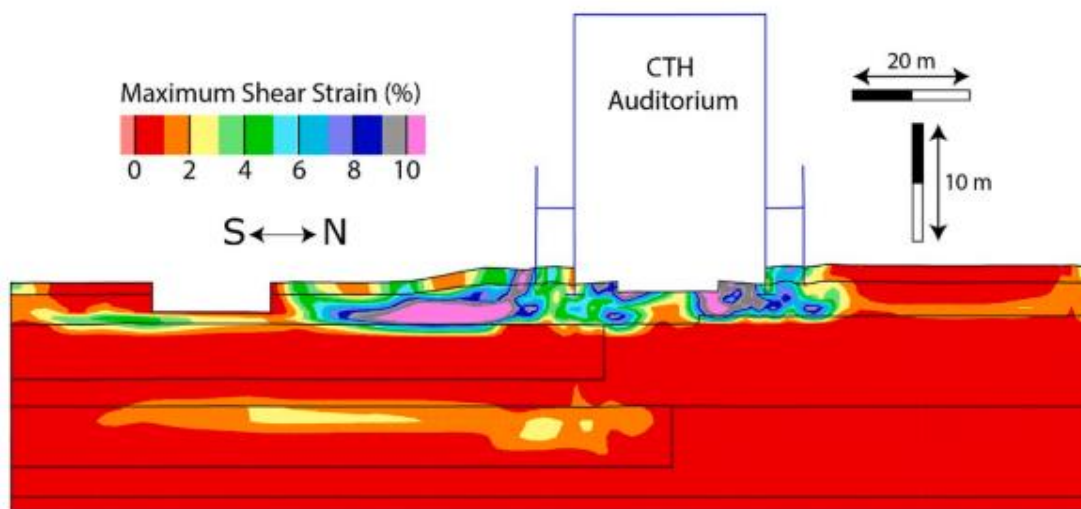
Το πόρισμα για τον ουρανοξύστη PWC είναι ότι για τον πιο ισχυρό σεισμό (Christchurch earthquake) η καθίζηση η οποία υπολογίσθηκε αριθμητικά συγκλίνει με την πραγματική καθίζηση του ουρανοξύστη, ενώ για τους μικρότερης κλίμακας σεισμούς η δυναμική ανάλυση υπερεκτιμά τις καθιζήσεις σε σχέση με τις πραγματικές. Η υπερεκτίμηση της καθίζησης αυτής ίσως οφείλεται στην υπερεκτίμηση της έντασης του σεισμού, στον συντηρητισμό των εκτιμήσεων εμφάνισης της ρευστοποίησης και στην υπερεκτίμηση της υπερπιέσεως του νερού των πόρων κατά τη διάρκεια των σεισμών. Οι ισοκαμπύλες διατμητικής παραμόρφωσης στο τέλος της δόνησης στην περιοχή του κτιρίου PWC φαίνεται στο Σχήμα 2.5.



Σχήμα 2.5 : Διάγραμμα από τη δυναμική ανάλυση στο οποίο φαίνονται οι διατμητικές παραμορφώσεις (Luque and Bray 2020).

Το συμπέρασμα για το Δημαρχείο είναι ότι η αστοχία επήλθε ως συνδυασμός της απώλειας φέρουσας ικανότητας και της σταδιακής συσσώρευσης πλαστικής παραμόρφωσης. Αναφέρεται επίσης ότι στην κτηριακή απόκριση κατά τη διάρκεια του σεισμού έπαιξε σημαντικό ρόλο και η πλευρική εξάπλωση.

Τα υπόλοιπα συμπεράσματα τα οποία αφορούν τη σύγκλιση των αποτελεσμάτων της δυναμικής ανάλυσης και της πραγματικότητας είναι ακριβώς τα ίδια με αυτά για τον ουρανοξύστη PWC.



Σχήμα 2.6 : Διάγραμμα από τη δυναμική ανάλυση στο οποίο φαίνονται οι διατμητικές παραμορφώσεις (Luque and Bray 2020).

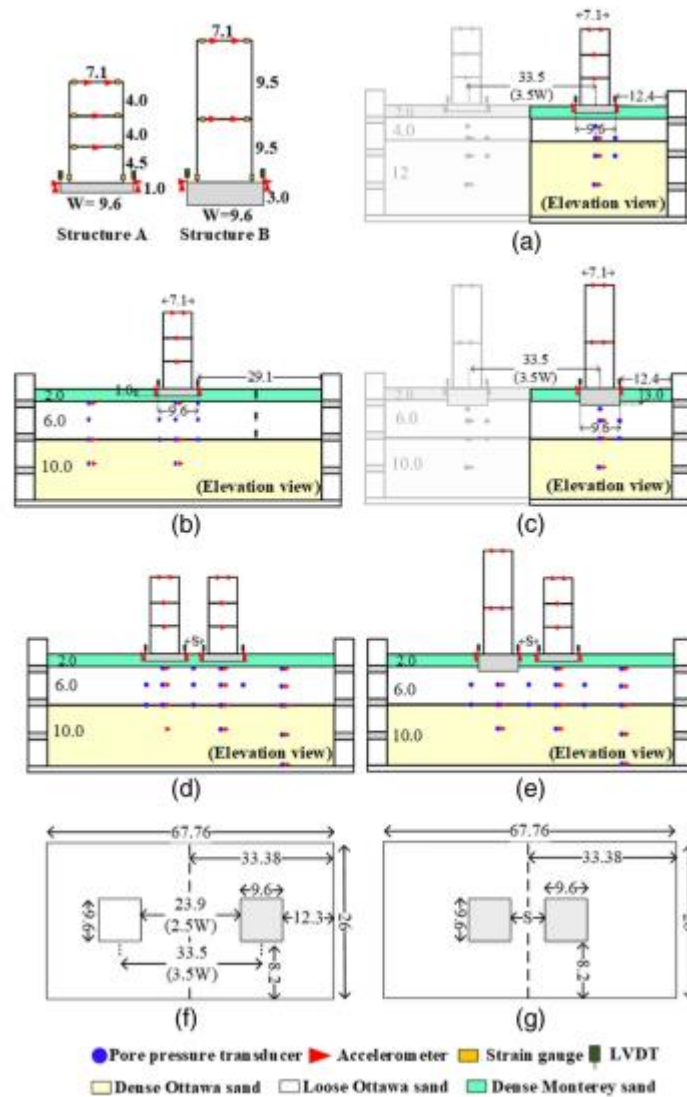
Η έρευνα σε ό,τι αφορά τα δύο κτήρια καταλήγει στο ότι είναι δύσκολο να υπάρξει συσχέτιση της υπολογισθείσας απόκρισης με έναν μόνο μηχανισμό ο οποίος προκαλεί αστοχία. Στην παρούσα έρευνα αναφέρθηκαν η αστοχία λόγω φέρουσας ικανότητας και η αστοχία λόγω συσσώρευσης πλαστικών παραμορφώσεων. Ένας συνδυασμός των δύο προαναφερθέντων τύπων αστοχίας και η κίνηση του εδάφους γύρω από τα κτήρια προς τον ποταμό Ανοι επηρέασε την σεισμική απόκριση των δύο κτηρίων. Στη συσσώρευση καθιζήσεων, ο μηχανισμός λόγω ογκομετρικών παραμορφώσεων κρίνεται ως ιδιαίτερα σημαντικός, ειδικά για το Δημαρχείο όπου οι εδαφικές στρωματογραφίες στο βορρά και το νότο παρουσιάζουν θεμελιώδεις διαφορές. Γενικώς, η εδαφική στρωματογραφία στην οποία εδραζόταν το κάθε κτήριο έπαιξε καθοριστικό ρόλο στη σεισμική απόκρισή τους. Σημαντικό ρόλο στις στρώσεις του εδάφους και εν συνεχεία στη σεισμική συμπεριφορά τους τέλεσε και η ύπαρξη ποταμού.

2.3 ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΓΕΙΤΟΝΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΣΕ ΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΣΙΜΟ ΕΔΑΦΟΣ

Από έρευνα η οποία πραγματοποιήθηκε ένα τετελεσμένο γεγονός θα αναλυθεί στη συνέχεια μία έρευνα η οποία έχει περισσότερο θεωρητικό-πειραματικό χαρακτήρα. Αναλυτικότερα, οι Hwang et al (2021) χρησιμοποίησαν μία πειραματικής και αριθμητικής φύσεως μεθοδολογία η οποία είχε στόχο την αποκρυστάλλωση της σημασίας της σεισμικής σύζευξης και αλληλεπίδρασης μεταξύ δύο γειτονικών κτηρίων σε ρευστοποιήσιμο έδαφος. Τα πειράματα αφορούσαν γειτονικά αλλά και απομακρυσμένα, διαστασιολογικά όμοια αλλά και ανόμοια κτήρια. Τα κτήρια εδράζονταν σε ρευστοποιήσιμα εδάφη με στρώσεις. Τα αποτελέσματα των πειραμάτων αυτών, παρά την αβεβαιότητα την οποία μπορεί να τα διακρίνουν, χρησιμοποιήθηκαν για να εκτιμήσουν τις δυνατότητες και τους περιορισμούς μιας σειράς μη γραμμικών, αριθμητικών αναλύσεων που αφορούν στη ρευστοποίηση. Στη συνέχεια ακολούθησε μία μελέτη με την οποία εκτιμήθηκε η επιρροή των διαστάσεων των κατασκευών και των αποστάσεων μεταξύ τους καθώς και το πάχος της ρευστοποιήσιμης στρώσης στη σεισμική απόκριση και αλληλεπίδραση γειτονικών κατασκευών.

Όπως προαναφέρθηκε, σε κάθε πείραμα άλλαζαν είτε οι διαστάσεις των κατασκευών και οι αποστάσεις μεταξύ τους είτε το πάχος της ρευστοποιήσιμης στρώσης. Τα διάφορα μοντέλα φαίνονται στο Σχήμα 2.7. Κάθε μοντέλο περιέχει μία στρώση άμμου της Ottawa F₆₅, με $D_r = 90 \%$, $D_{50} = 0.15 \text{ mm}$, $C_u = 1.56$, $e_{\min} = 0.53$ και $e_{\max} = 0.81$. Πάνω από αυτή, βρίσκεται μία στρώση από το ίδιο εδαφικό υλικό αλλά με $D_r = 40 \%$, η οποία θα είναι και η ρευστοποιήσιμη. Η ρευστοποιήσιμη στρώση καλύπτεται από μία στρώση άμμου Monterey 0/30 με $D_r = 90 \%$, $D_{50} = 0.40 \text{ mm}$, $C_u = 1.3$, $e_{\min} = 0.54$, $e_{\max} = 0.84$. Η τελευταία αυτή στρώση παίζει το ρόλο μίας υψηλής περατότητας και πυκνής κρούστας. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.7, διαστασιολογικά θα απασχολήσουν δύο κατασκευές : Η κατασκευή Α, η οποία είναι μία τριώροφη μεταλλική με θεμέλια μήκους 1 m και η κατασκευή Β, η οποία είναι εννιαόροφη μεταλλική με θεμέλια μήκους 3 m. Και οι δύο κατασκευές σχεδιάστηκαν με τέτοιο τρόπο ώστε να δέχονται μη γραμμικές και ανελαστικές παραμορφώσεις στις δοκούς και τις απολήξεις στύλων. Οι επιταχύνσεις, οι πιέσεις του νερού των πόρων και οι κατακόρυφες μετατοπίσεις μετρήθηκαν στο έδαφος κάτω από τις κατασκευές και στην κοντινή περιοχή.

Κάθε πειραματικό μοντέλο υποβλήθηκε σε τέσσερις μονοδιάστατες σεισμικές διεγέρσεις αλλά στην έρευνα παρουσιάστηκε μόνο η μία.



Σχήμα 2.7 : Διάγραμμα με τη διαμόρφωση και ενοργάνιση των πειραμάτων με φυγόκεντρο : (a) A4 (b) A6 (c) B6 (d) AA6 (f) κάτοψη για A4 and B6 και (g) κάτοψη για AA6 and BA6 (Hwang et al 2021).

Οι αριθμητικές προσομοιώσεις έγιναν με την πλατφόρμα OpenSEES. Η μη γραμμική απόκριση του εδάφους προσομοιώθηκε με το εδαφικό μοντέλο *pressuredependent multiyield surface version 2* (PDMY02), το οποίο εφαρμόστηκε στο OpenSEES από τους Elgamal et al (2002) και Yang et al (2008). Οι συνοριακές συνθήκες οι οποίες λήφθηκαν υπόψιν φαίνονται στο Σχήμα 2.8. Τα μοντέλα αναλύθηκαν αριθμητικά αλλά και πειραματικά. Τα αριθμητικά μοντέλα προσομοίωσαν την αλληλεπίδραση εδάφους-κατασκευής (eng. Soil Structure Interaction-SSI) και την αλληλεπίδραση κατασκευής-

εδάφους-κατασκευής (eng. Structure-Soil-Structure Interaction-SSSI). Αν και η πειραματική ανάλυση δεν μπορεί να αναπαραστήσει με ακρίβεια τις εδαφικές συνθήκες και έχει τη δικιά τους οριοθέτηση, μπορεί να ελέγξει την αξιοπιστία των αριθμητικών αναλύσεων.

Θα αναλυθεί η απόκριση απομακρυσμένων κτηρίων. Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 2.8 οι αριθμητικές προσομοιώσεις για τα απομακρυσμένα κτήρια αλλά και για την αλληλεπίδραση εδάφους-κατασκευής (SSI) απέδωσαν με μεγάλη ακρίβεια την καθίζηση θεμελίων, τις επιταχύνσεις και τις πιέσεις του νερού των πόρων. Επιπρόσθετα οι τιμές της φασματικής επιτάχυνσης και της μέγιστης επιτάχυνσης εδάφους (PGA) είχαν ικανοποιητική σύγκλιση με τις πραγματικές καταγραφές. Ωστόσο τα αριθμητικά μοντέλα δεν προέβλεψαν σωστά τις πιέσεις πόρων και τις επιταχύνσεις του ελεύθερου πεδίου και της κοντινής περιοχής. Αυτό πιθανότατα οφείλεται στην προβλεπόμενη αρχικώς ταχύτερη ανάπτυξη πιέσεων πόρων στη χαλαρή άμμο. Στα πειραματικά μοντέλα, με την αύξηση του πάχους της στρώσης άμμου της Ottawa, παρατηρήθηκε αύξηση της καθίζησης των θεμελίων. Αυτή η αύξηση οφείλεται στις μεγαλύτερες πιέσεις πόρων οι οποίες αναπτύχθηκαν εξαιτίας του μεγαλύτερου όγκου χαλαρής άμμου και στην επίδραση την οποία έχει το πάχος της άμμου στην καθίζηση. Η κλίση των θεμελίων στη διάρκεια της δόνησης υποεκτιμήθηκε, αλλά τουλάχιστον η παραμένουσα κλίση εκτιμήθηκε ικανοποιητικά. Οι επιταχύνσεις οροφής παρουσίαζαν υψηλή ευαισθησία στις προβλεπόμενες επιταχύνσεις στο επίπεδο θεμελίωσης κοντά στη δεσπόζουσα περίοδο ($T_p=1.2$ sec). Η επιτάχυνση της κατασκευής για την κατασκευή A₄ από τα πειραματικά αποτελέσματα συνέκλινε με αυτή από τα αριθμητικά, καθότι η λεπτότερη ρευστοποιήσιμη στρώση δεν απομειώνει τις επιταχύνσεις κοντά στην T_p . Αριθμητικά οι μεγαλύτερες επιταχύνσεις στα θεμέλια κοντά στην επιφάνεια υπολογίσθηκαν με μεγαλύτερη ακρίβεια. Αντίθετα, στο κτήριο A₆, το παχύτερο ρευστοποιήσιμο στρώμα στο οποίο εδραζόταν απομείωσε τις επιταχύνσεις τις οποίες δέχτηκε η επιφάνεια του εδάφους, τα θεμέλια και άρα η κατασκευή στο σύνολό της. Ωστόσο, με την αριθμητική προσομοίωση δεν εκτιμήθηκε σωστά ο βαθμός απομείωσης της επιτάχυνσης κάτω από το κέντρο των θεμελίων της κατασκευής A₆ μέσα στη χαλαρή άμμο, με αποτέλεσμα την αύξηση της επιτάχυνσης οροφής σε σύγκριση με αυτήν από τα πειράματα.

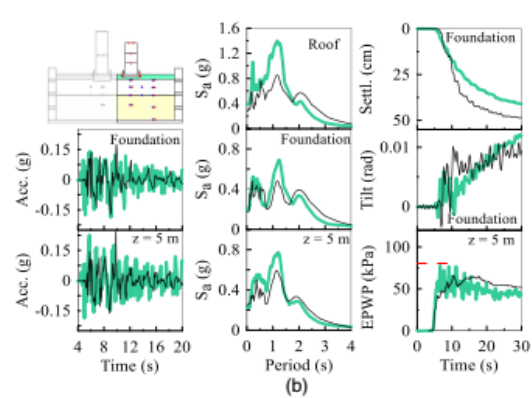
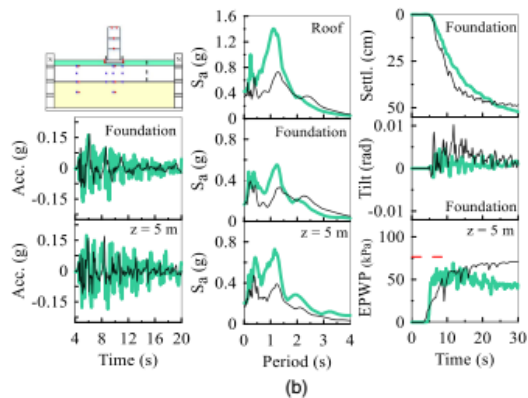
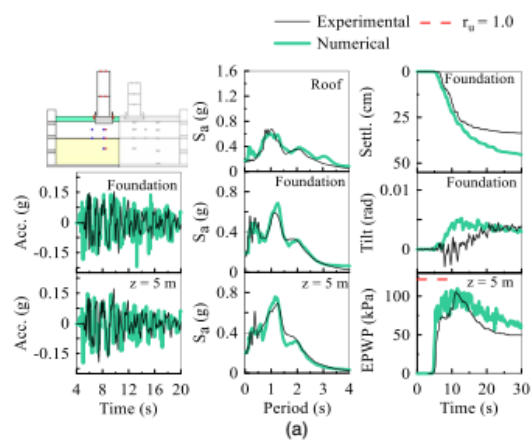
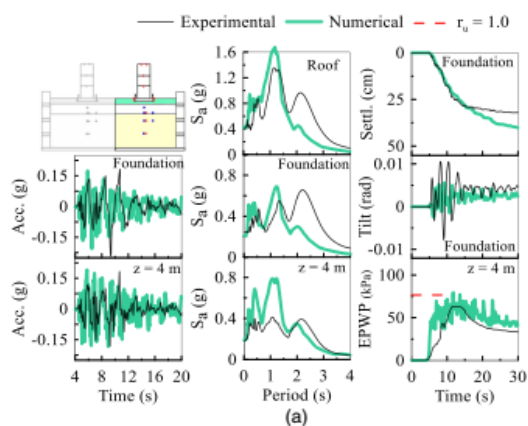
Στη συνέχεια θα αναλυθεί η απόκριση των γειτονικών κτηρίων. Στο Σχήμα 2.9 γίνεται η σύγκριση με δύο ανόμοιες διαστασιολογικά κατασκευές στο μοντέλο BA_{6-S3}, ως μια αντιπροσωπευτική περίπτωση του SSSI. Η πίεση η οποία ασκείται από τη βαρύτερη κατασκευή B στο μοντέλο (BA_{6-S3-B}) αύξησε τη διατμητική αντοχή και μείωσε το βαθμό εδαφικής χαλάρωσης (στα πλαίσια του r_u) στο υποκείμενο έδαφος σε σύγκριση με το γειτονικό A. Αυτές οι επιπτώσεις

προσδιορίστηκαν με επιτυχία από τα αριθμητικά μοντέλα, με αποτέλεσμα να γίνουν ακριβέστεροι υπολογισμοί για την ανάπτυξη υπερπιέσεων πόρων και επακόλουθη απομείωση επιταχύνσεων στο έδαφος κάτω από τα θεμέλια και εκείνων που μεταφέρονται στα θεμέλια και τη μάζα της κατασκευής Β. Το έδαφος κάτω από την κατασκευή Α (BA_{6-S3-A}), παρουσίασε λίγο μεγαλύτερες υπερπίεσεις πόρων σε σχέση με το αντίστοιχο απομονωμένο (A_6 στο Σχήμα 2.8). Αυτό οφείλεται στην εγγύτητα στο Β, η οποία αύξησε ελάχιστα την πίεση στο κέντρο και εσωτερικό της κατασκευής του Α αλλά και τη διατμητική αντοχή για να δημιουργηθούν μεγαλύτερες υπερπίεσεις πόρων κατά τη διάρκεια ισχυρών σεισμικών διεγέρσεων. Επίσης μπορεί να οφείλεται και στην κοντινή απόσταση που έχει με την κατασκευή Β. Οι εγκάρσιες επιταχύνσεις στην κατασκευή Α στο μοντέλο BA_{6-S3} εκτιμήθηκαν αριθμητικώς πιο εύστοχα σε σχέση με την απομακρυσμένη κατασκευή A_6 (είχαν υποεκτιμηθεί οι επιταχύνσεις). Πειραματικά, η βαρύτερη και ψηλότερη κατασκευή Β εκδήλωσε μικρότερη καθίζηση από την Α, καθώς οι μεγαλύτερες πιέσεις μείωσαν το βαθμό χαλάρωσής του και λόγω της μεγαλύτερης βύθισης της Β στο έδαφος, η στρώση της χαλαρής άμμου της Ottawa ήταν λεπτότερη με αποτέλεσμα μειωμένες ογκομετρικές και διατμητικές παραμορφώσεις που συμβάλλουν στην καθίζηση.

Γενικά οι γειτονικές κατασκευές στο μοντέλο BA_{6-S3} παρουσίασαν μικρότερη καθίζηση από τις αντίστοιχες απομακρυσμένες (κατασκευές A_6 , B_6). Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η αυξημένη πίεση λόγω ύπαρξης γειτονικής κατασκευής αύξησε τη διατμητική αντοχή και αντίσταση σε ρευστοποίηση στην περιοχή κάτω ακριβώς από τα δύο θεμέλια. Τα αριθμητικά μοντέλα δεν εκτίμησαν όλες τις φορές την ίδια καθίζηση θεμελίων με αυτή των πειραματικών, μάλλον λόγω του περιορισμού των αριθμητικών μοντέλων να συλλάβει ογκομετρικές τάσεις, που θα εξελιχθούν σε καθίζηση, κοντά στο σημείο ρευστοποίησης. Βέβαια, τα μεγέθη για την μόνιμη κλίση τα οποία υπολογίσθηκαν με τις αριθμητικές μεθόδους και για τις δύο κατασκευές στο μοντέλο BA_{6-S3} , είχαν μικρή απόκλιση από τα αντίστοιχα τα οποία προέκυψαν πειραματικά. Αναλυτικότερα, στο προαναφερθέν μοντέλο η πιο ελαφριά κατασκευή Α έκανε σχεδόν τη διπλάσια κλίση σε σχέση με τη βαρύτερη και πιο βαθιά θεμελιωμένη κατασκευή Β και σχεδόν την 1/6πλάσια σε σχέση με την απομακρυσμένη κατασκευή A_6 . Η αύξηση αυτή της κλίσης της Α οφείλεται στην υψηλή στατική και δυναμική διατμητική απαίτηση από τη γειτονική Β, καθώς και στην ασυμμετρία που παρουσιάστηκε από την SSSI στα πλαίσια διατμητικών τάσεων και αντοχής αλλά και υδατικής ροής. Τα αριθμητικά μοντέλα μπόρεσαν να εντοπίσουν ορθά τα προαναφερθέντα στην μόνιμη κλίση των θεμελίων κατά τη διάρκεια της αλληλεπίδρασης κατασκευής-εδάφους κατασκευής (SSSI). Η μεγαλύτερη μη γραμμικότητα σε συνδυασμό με τις παραμορφώσεις στην Β μείωσαν τις

επιταχύνσεις οροφής, πράγμα το οποίο εντόπισαν με επιτυχία τα αριθμητικά μοντέλα. Αντίθετα, η πιο ρηχή θεμελίωση της κατασκευής Α στο προαναφερθέν μοντέλο την οδήγησε να εξαλείψει τη σεισμική ενέργεια πρωτίστως μέσω του λικνισμού της θεμελίωσης και όχι μέσω μετατόπισης της κατασκευής.

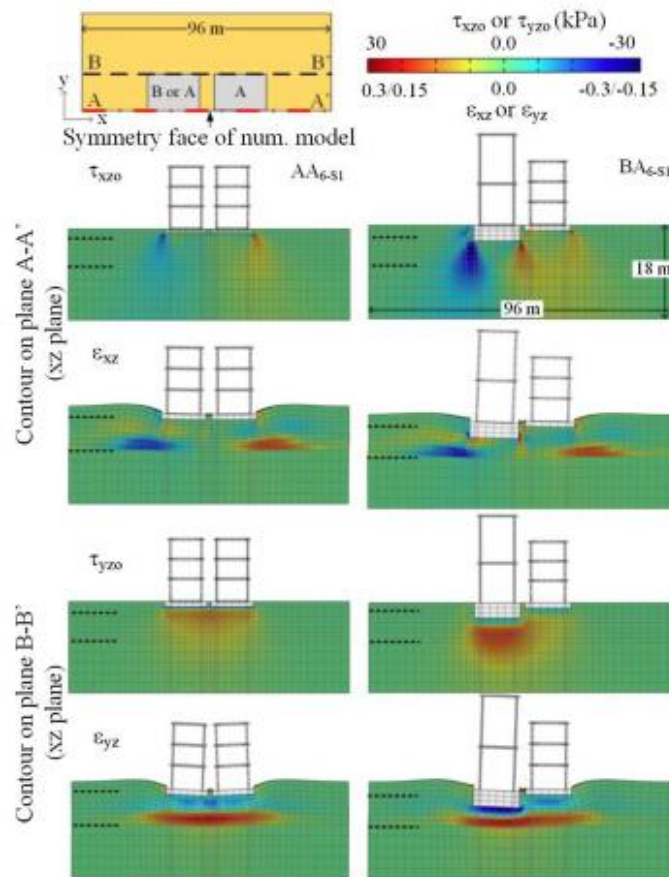
Στη συνέχεια, θα αναλυθεί η επίδραση της SSSI στη χαμηλότερη και ελαφρύτερη κατασκευή Α. Όταν μεταβάλλονταν οι στατικές και δυναμικές τάσεις αλλά και τις υδατικές ροές, η αλληλεπίδραση κατασκευής-εδάφους-κατασκευής (SSSI) μετέβαλλε την κατανομή των υπερπιέσεων πόρων κάτω από το κάθε θεμέλιο με μη συμμετρικό τρόπο. Η ανομοιομορφία αυτή επηρέασε και επηρεάστηκε από τις προσωρινές και τις μόνιμες μετακινήσεις.



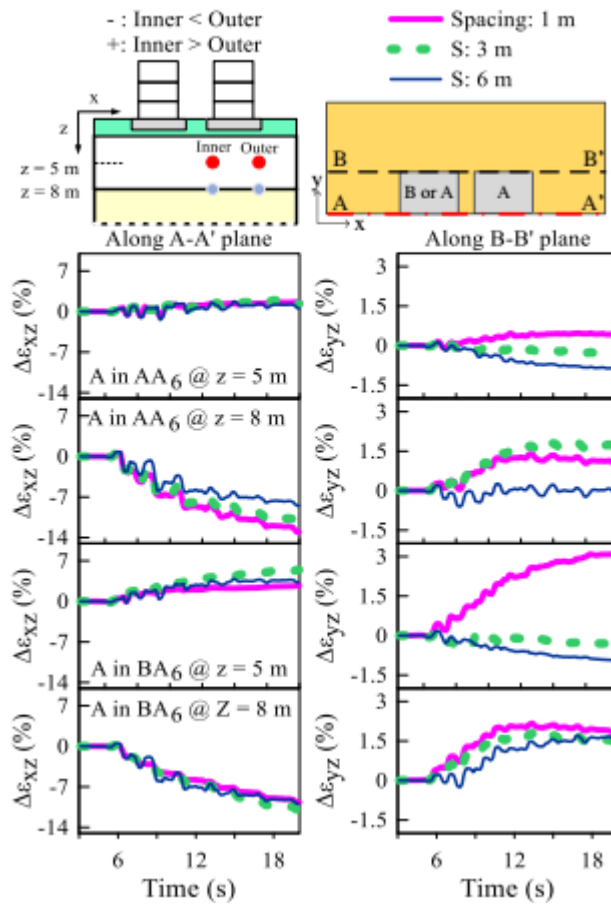
Σχήμα 2.8 : Σύγκριση πειραματικών και αριθμητικών αποτελεσμάτων φασμάτων απόκρισης επιτάχυνσης με απόσβεση 5 % σε κατασκευές και θεμέλια, χρονοϊστορίες καθίζησης και κλίσης θεμελίων, χρονοϊστορίες επιτάχυνσης και πιέσεων πόρων, φάσμα επιτάχυνσης κάτω από τις κατασκευές A₄ και A₆ στο μέσο της χαλαρής άμμου της Οττάβα κατά τη διάρκεια του σεισμού Kobe-L. (α) Μοντέλο A₄ (b) Μοντέλο A₆ (Hwang et al 2021).

Σχήμα 2.9 : Σύγκριση πειραματικών και αριθμητικών αποτελεσμάτων φασμάτων απόκρισης επιτάχυνσης με απόσβεση 5 % σε κατασκευές και θεμέλια, χρονοϊστορίες καθίζησης και κλίσης θεμελίων, χρονοϊστορίες επιτάχυνσης και πιέσεων πόρων, φάσμα επιτάχυνσης κάτω από τις κατασκευές BA_{6-S3-B} και BA_{6-S3-A} στο μέσο της χαλαρής άμμου της Οττάβα κατά τη διάρκεια του σεισμού Kobe-L. (α) Β στο Μοντέλο BA_{6-S3} (b) Α στο Μοντέλο BA_{6-S3}. (Hwang et al 2021)

Γενικώς, η SSSI σε όλα τα μοντέλα επέφερε πιέσεις του νερού των πόρων κατά κύριο λόγο θετικές (συστολικές) στην εσωτερική αιχμή κάτω από τις κατασκευές στα μοντέλα AA₆ και BA₆ (εκτός από τα A και BA₆ σε μικρότερες αποστάσεις) σε σύγκριση με την περίπτωση στην οποία τα A και B είναι απομονωμένα. Αυτό οφείλεται στο ότι η εσωτερική αιχμή δέχτηκε μεγαλύτερη πίεση και άρα να ανταποκριθεί συστολικά. Στο Σχήμα 2.10 φαίνονται τα διαγράμματα των εντός (ϵ_{xz}) και εκτός επιπέδου (ϵ_{yz}) διατμητικών τάσεων κατά μήκος των επιπέδων μέσω του κέντρου και των άκρων των θεμελίων, όπου κάθε τάση έλαβε τη μέγιστη τιμή της κάτω από παρατεταμένη εδαφική χαλάρωση για τα μοντέλα AA_{6-S1} και BA_{6-S1}. Στο Σχήμα 2.11 φαίνονται οι αντίστοιχες χρονοϊστορίες διατμητικών τάσεων που προκαλούνται από την αλληλεπίδραση κατασκευής-εδάφους-κατασκευής κάτω από τις δύο άκρες της πιο άκαμπτης και χαμηλότερου ύψους κατασκευής A στο μέσο και στο τέλος της χαλαρής άμμου της Ottawa.



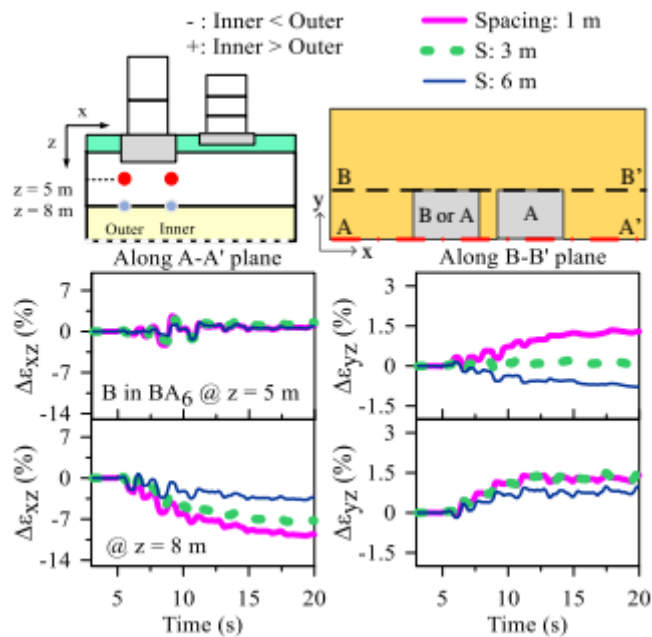
Σχήμα 2.10 : Διαγράμματα μέγιστων διατμητικών εντάσεων και αρχικών στατικών τάσεων στο xz (εντός επιπέδου) and yz (εκτός επιπέδου)-διευθύνσεις στα μοντέλα AA₆ και BA₆ με 1-m κενό μεταξύ των κατασκευών (Hwang et al 2021).



Σχήμα 2.11 : Διαγράμματα με τις αριθμητικώς υπολογισμένες χρονοϊστορίες διατμητικών τάσεων στις διευθύνσεις xy , yz του εδάφους κάτω από τις άκρες των θεμελίων της μικρότερης κατασκευής A στα μοντέλα AA_6 και BA_6 με διάστημα 1 m, 3 m και 6 m στο μέσον και στον πυθμένα της στρώσης χαλαρής άμμου της Ottawa (Hwang et al 2021).

Σε αυτό το σημείο θα αναλυθεί η επιρροή της SSSI στη ψηλότερη και βαρύτερη κατασκευή B. Αν και το αναμενόμενο θα ήταν η αδρανειακή επίδραση μίας κατασκευής σαν την A να ήταν μικρή στην κατασκευή B, η δεύτερη ήταν σημαντικά ευάλωτη στις τάσεις και τους κινηματικούς περιορισμούς που προκαλούσε η κατασκευή A και ιδιαίτερα όπου οι αποστάσεις των κατασκευών ήταν μικρότερες. Παρά το μεγαλύτερο βάρος και αδράνεια της κατασκευής B, η αλληλεπίδραση κατασκευής-εδάφους-κατασκευής ακόμη επηρέαζε την κατανομή και την ασυμμετρία των υπερπιέσεων πόρων και των τάσεων κάτω από τα γειτονικά θεμέλια. Γενικώς, η κατασκευή B υπέστη μεγαλύτερες εντός και εκτός επιπέδου μέγιστες διατμητικές τάσεις (ϵ_{xz}) που είχαν κατεύθυνση μακριά από τις εσωτερικές αιχμές του θεμελίου κοντά στο τέλος της στρώσης της χαλαρής άμμου της Ottawa ($z = 8$ m) σε σύγκριση με αυτές κάτω από την A στο μοντέλο BA_6 . Αυτό οφείλεται στη μεγαλύτερη μάζα και υψηλότερες τιμές των στατικών και δυναμικών διατμητικών τάσεων όπως φάνηκε στο Σχήμα 2.10. Στο Σχήμα 2.12 φαίνεται η διαφορά και στις εντός αλλά και τις εκτός επιπέδου

διατμητικές τάσεις ($\Delta\epsilon_{xz}$ και $\Delta\epsilon_{yz}$) κάτω από τις δύο άκρες της κατασκευής B με διαφορετικές αποστάσεις από την κατασκευή A.



Σχήμα 2.12 : Διαγράμματα με τις αριθμητικώς υπολογισμένες χρονοϊστορίες διατμητικών τάσεων στις διευθύνσεις xy , yz του εδάφους κάτω από τις άκρες των θεμελίων της ψηλότερης κατασκευής B στο μοντέλο BA_6 με διάστημα 1 m, 3 m και 6 m στο μέσον και στον πυθμένα της στρώσης χαλαρής άμμου της Ottawa (Hwang et al 2021).

Συνοψίζοντας, τα αριθμητικά και πειραματικά μοντέλα τα οποία παρουσιάστηκαν έδειξαν ότι η αλληλεπίδραση κατασκευής-εδάφους-κατασκευής (SSSI) επηρεάζει την σεισμική συμπεριφορά των γειτονικών κτηρίων σε ό,τι αφορά στην καθίζηση, στην κλίση και στην επιτάχυνση, μέσω της αλλαγής του υποκείμενου των θεμελίων πεδίου αρχικών και διατμητικών τάσεων στις τρεις διαστάσεις, της αδρανειακής απαίτησης και των κινηματικών περιορισμών. Επιπρόσθετα η SSSI δεν επηρέασε τη μόνιμη καθίζηση με επιβάρυνση μίας σημαντικής αύξησης της μόνιμης κλίσης. Η επίδραση της SSSI στα θεμέλια και την επιτάχυνση οροφής ήταν ελάχιστη όταν η γειτονική κατασκευή ήταν ελαφρύτερη, σε όποια απόσταση και αν ήταν.

2.4 ΣΥΝΟΨΗ

Στην παράγραφο 2.2 έγινε αναφορά στην ανάλυση ενός ιστορικού περιστατικού, ενώ στην παράγραφο 2.3 στην ανάλυση πειραμάτων φυγοκεντριστή. Συγκεκριμένα, στην παράγραφο 2.2 έγινε ανάλυση της αλληλεπίδρασης μεμονωμένων κατασκευών σε ρευστοποιήσιμο έδαφος, όπου υπήρχε αναβαθμός, ο οποίος έπαιξε ρόλο στη σεισμική απόκριση. Αντίθετα, στην παράγραφο 2.3, αναλύθηκε (αριθμητικά και πειραματικά) η σεισμική αλληλεπίδραση γειτονικών κατασκευών σε ρευστοποιήσιμο έδαφος χωρίς αναβαθμό (ή κλίση), για διάφορες διαστάσεις και αποστάσεις αυτών.

Δυστυχώς δεν βρέθηκε στη βιβλιογραφία μελέτη της αλληλεπίδρασης κατασκευών σε ρευστοποιήσιμο έδαφος, είτε πλησίον αναβαθμού ή με ήπια κλίση. Συνεπώς, στην παρούσα εργασία θα γίνει μια τέτοια προσπάθεια, στοχεύοντας στο ρευστοποιήσιμο έδαφος πλησίον αναβαθμού. Στόχος θα είναι να μελετηθεί πόσο επηρεάζει η κατασκευή την πλευρική εξάπλωση του εδάφους πλησίον του αναβαθμού, αλλά και το ανάποδο, δηλαδή πόσο επηρεάζει η πλευρική εξάπλωση τη σεισμική απόκριση της κατασκευής. Η μελέτη θα γίνει αριθμητικά και θα έχει παραμετρικό χαρακτήρα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ

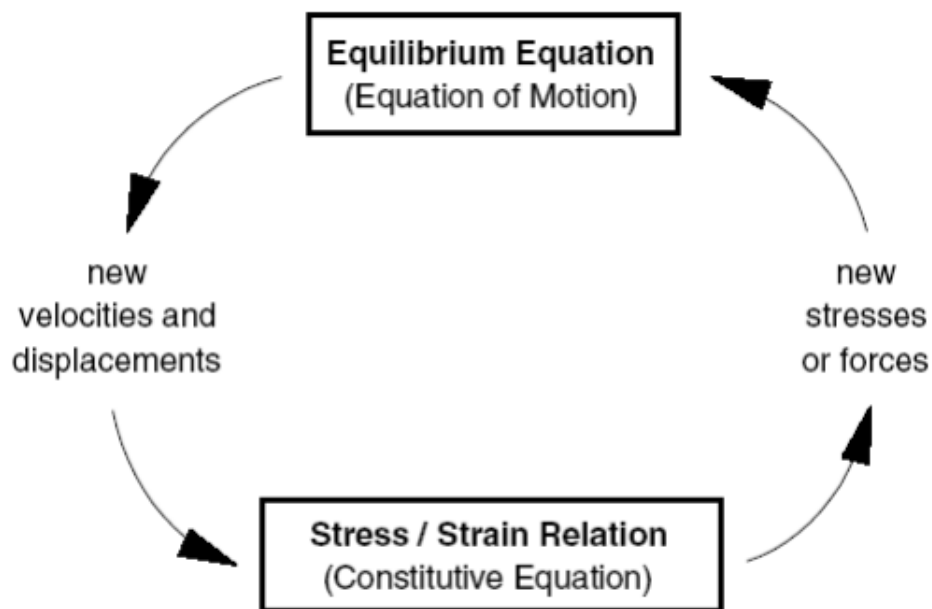
3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο παρόν κεφάλαιο θα παρουσιάσουμε την αριθμητική μεθοδολογία που θα χρησιμοποιήσουμε για την εκτέλεση των αναλύσεων της παρούσας εργασίας. Όσον αφορά στο πρηνές, θα παραθέσουμε τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του τις διάφορες αναλύσεις, τόσο περιγραφικά όσο και παραστατικά μέσω του καννάβου του καθώς επίσης και τα εδαφικά χαρακτηριστικά που το διέπουν. Για την κατασκευή, θα παραθέσουμε αντίστοιχα τα μεγέθη που χαρακτηρίζουν το θεμέλιό της, τα φορτία και τις διαστάσεις του. Θα γίνει επίσης αναφορά στις συνοριακές συνθήκες και τις σεισμικές διεγέρσεις που χρησιμοποιήθηκαν στις αριθμητικές αναλύσεις.

3.2 ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ FLAC

Ο κώδικας FLAC 2D της ITASCA Inc. (Fast Lagrangian Analysis of Continua in two dimensions), τον οποίο χρησιμοποιήσαμε στις αναλύσεις της παρούσας εργασίας, είναι ένας κώδικας πεπερασμένων διαφορών μη-πεπλεγμένης μορφής (Explicit Finite Difference Method) ο οποίος προσομοιώνει στις δύο διαστάσεις τη συμπεριφορά ποικίλων τύπων κατασκευών και εδαφικών στοιχείων με στόχο την επίλυση πραγματικών προβλημάτων γεωτεχνικής φύσεως. Ο κώδικας δηλαδή μας δίνει τη δυνατότητα επίλυσης συνεχών μέσω δύο διαστάσεων μέσω της διακριτοποίησής τους σε πεπερασμένων διαστάσεων στοιχεία τα οποία στην ορολογία του FLAC λέγονται ζώνες (zones). Οι κόμβοι (gridpoints) είναι τα σημεία που ορίζουν το δίκτυο των ζωνών. Το σύνολο των ζωνών και των κόμβων αποτελούν τον κάνναβο (grid). Η επίλυση των εξισώσεων ισορροπίας γίνεται στους κόμβους. Στο παρόν λογισμικό οι τάσεις και οι παραμορφώσεις αφορούν τα πεπερασμένων διαστάσεων στοιχεία, ενώ η δύναμη και η επιτάχυνση κόμβους.

Στο FLAC ακολουθούνται ορισμένα βήματα υπολογισμών (timesteps). Κάθε βήμα υπολογισμού αποτελείται από έναν υπολογιστικό κύκλο ο οποίος φαίνεται στο Σχήμα 3.1. Αναλυτικότερα αρχίζουμε με τις μετατοπίσεις στους κόμβους ενός πεπερασμένου στοιχείου (zone όπως προαναφέραμε), που είναι συνήθως ή τετράπλευρα ή τρίγωνα. Οι μετακινήσεις αυτές, λοιπόν, αντιστοιχούν σε ορθές και διατμητικές παραμορφώσεις του στοιχείου. Το λογισμικό αφού χωρίσει τα (τετραπλευρικό) στοιχείο σε τέσσερα επικαλυπτόμενα τρίγωνα, υπολογίζει τις παραμορφώσεις τους και στη συνέχεια με βάση αυτές υπολογίζει τη μεταβολή των τάσεων. Στη συνέχεια, έχοντας τις νέες τάσεις, οι οποίες προκύπτουν από το άθροισμα των τάσεων του προηγούμενου βήματος και της μεταβολής των τάσεων, ελέγχουμε την εξίσωση κίνησης η οποία μας δίνει τις νέες μετατοπίσεις στους κόμβους και έτσι επαναλαμβάνεται η ίδια διαδικασία στο επόμενο βήμα.



Σχήμα 3.1 : Διάγραμμα με τον υπολογιστικό κύκλο τον οποίο ακολουθεί το λογισμικό FLAC.

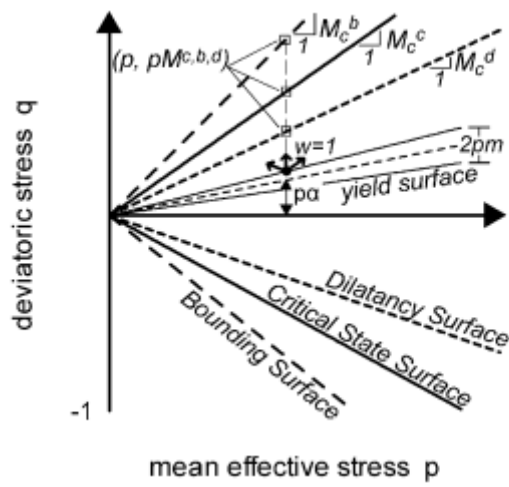
Για στατικά προβλήματα το FLAC χρησιμοποιεί τη δυναμική εξίσωση κίνησης θέτοντας υψηλή απόσβεση έτσι ώστε να μηδενίσει οποιαδήποτε πιθανότητα εμφάνισης δυναμικών φαινομένων, καθώς αναλύεται το πρόβλημα. Επειδή όμως το λογισμικό επιλύει την εξίσωση κίνησης η οποία προϋποθέτει την ύπαρξη χρόνου, για να τρέξει το στατικό πρόβλημα θέτει έναν μη πραγματικό χρόνο, ψευδο-χρόνο. Δηλαδή επιβάλλεται το φορτίο σταδιακά συναρτήσει του ψευδο-χρόνου. Αν και τα στατικά προβλήματα δεν θα μας απασχολήσουν σε αυτήν την εργασία, αναφέρθηκε ο στατικός μηχανισμός του FLAC διότι είναι

κοινός με το δυναμικό μηχανισμό ανάλυσης ο οποίος θα μας απασχολήσει με την κύρια διαφορά ότι εμείς θα έχουμε πραγματικό χρόνο.

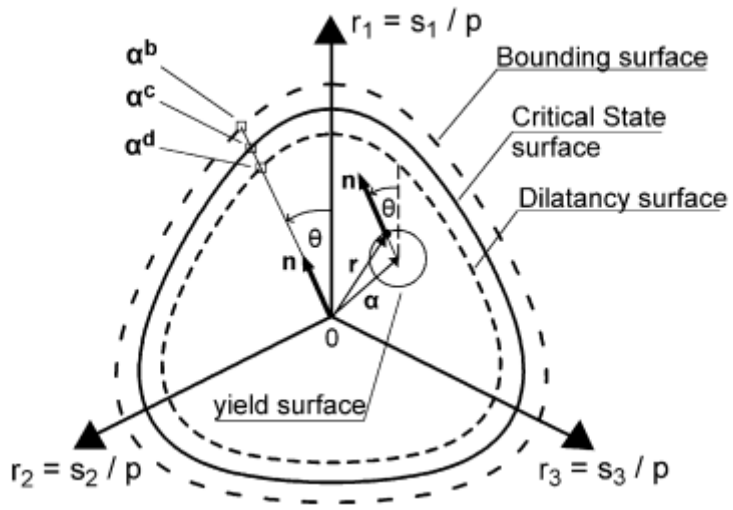
3.3 ΚΑΤΑΣΤΑΤΙΚΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ NTUA_SAND

Το καταστατικό προσομοίωμα NTUA_SAND δημιουργήθηκε από τους Paradimitriou & Bouckonalias (2002) και παγιώθηκε στην τελική του μορφή από τους Andrianoπουλος (2006) και Karamitros (2010). Δομήθηκε με βάση τη θεωρία της Κρίσιμης Κατάστασης και της Πλαστικότητας. Αφορά μη συνεκτικά (χονδρόκοκκα) εδάφη, όπως άμμοι και ιλύες, και αποσκοπεί στην ακριβή προσομοίωση της μονοτονικής και ανακυκλικής συμπεριφοράς σε διαφορετικών μεγεθών παραμορφώσεις. Γενικώς παρατηρείται ότι υπάρχει η δυνατότητα να εφαρμοστεί σε ένα μεγάλο εύρος περιπτώσεων και προβλημάτων καθώς, εκτός από διαφορετικές παραμορφώσεις που προαναφέραμε, εφαρμόζεται για ποικίλες συνθήκες στράγγισης, για εδάφη με διαφορετική σχετική πυκνότητα (D_r), δείκτη πόρων (e) και διαφόρων εντάσεων ενεργές τάσεις (σ').

Λεπτομερέστερα, το προσομοίωμα δομείται από τρεις επιφάνειες, οι οποίες χαρακτηρίζονται ως κωνοειδείς στον τασικό χώρο. Αυτές είναι η Οριακή Επιφάνεια, η Επιφάνεια Κρίσιμης Κατάστασης και η Επιφάνεια Διαστολικότητας. Πιο συγκεκριμένα, η Οριακή Επιφάνεια εκφράζει το λόγο των αποκλινουσών τάσεων στη μέγιστη («οριακή») αντοχή, και αντίστοιχα η Επιφάνεια Κρίσιμης Κατάστασης και η Επιφάνεια Διαστολικότητας εκφράζει την τιμή λόγου των αποκλινουσών τάσεων στην κρίσιμη κατάσταση και στην κατάσταση μεταβολής από συστολή σε διαστολή. Οι τρεις επιφάνειες αλληλοσυνδέονται μέσω της παραμέτρου κατάστασης ψ των Been & Jefferies (1985), εξασφαλίζοντας έτσι τη συμπερίληψη της Θεωρίας Κρίσιμης Κατάστασης στις εξισώσεις του προσομοιώματος και την υιοθέτηση ενός σταθερού συνόλου σταθερών για την προσομοίωση εδαφικών συμπεριφορών με διαφορετικές αρχικές συνθήκες. Στο Σχήμα 3.2 φαίνονται σε τριαξονική εντατική κατάσταση η σχηματική απεικόνιση των τριών προαναφερθέντων επιφανειών και στο Σχήμα 3.3 οι προβολές αυτών στο αποκλίνον επίπεδο π του χώρου του λόγου αποκλινουσών τάσεων. Σημειώνεται ότι ως p συμβολίζεται η μέση ενεργός τάση και ως q η αποκλίνουσα τάση.



Σχήμα 3.1 : Διάγραμμα με τις επιφάνειες του προσομοιώματος NTUA_SAND στο χώρο τριαξονικών τάσεων $p - q$ (Paradimitriou & Bouckouvalas, 2002).



Σχήμα 3.2 : Διάγραμμα με την προβολή των επιφανειών του προσομοιώματος NTUA_SAND στο αποκλίνον επίπεδο π του λόγου αποκλινουσών τάσεων (Paradimitriou & Bouckouvalas, 2002) .

3.4 ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ

ΕΔΑΦΙΚΗ ΣΤΡΩΣΗ

Όσον αφορά στο πρανές, στις αναλύσεις θα μας απασχολήσει ουσιαστικά μία ομοιόμορφη στρώση άμμου της Nevada η οποία έχει πάχος 10 m. Σε αυτή τη στρώση υπάρχει ένας αναβαθμός κλίσης 30°. Στην εργασία αυτή, το ύψος του αναβαθμού θα θεωρηθεί ίσο με $H = 2$ m ή $H = 4$ m, οπότε μπροστά από τον αναβαθμό η άμμος έχει πάχος 8 ή 6 m, αντίστοιχα. Το πρανές με ύψος $H = 2$ m θεωρείται ρηχός αναβαθμός, ενώ το πρανές με ύψος $H = 4$ m θεωρείται ως βαθύς αναβαθμός.

Σε αυτό το σημείο θα παρουσιάσουμε τα εδαφικά χαρακτηριστικά του πρανούς. Θα προσομοιωθεί με χρήση του NTUA_SAND, με σταθερές που αφορούν που αφορούν σε μια ομοιόμορφη λεπτή άμμου (Nevada), με βαθμονόμηση που έχει προκύψει από τους Andrianopoulos et al, (2010). Αυτή χαρακτηρίζεται από χαλαρή δομή, με σχετική πυκνότητα $D_r = 45$ % και ξηρή πυκνότητα $\rho_s = 1.554$ Mg/m³. Ο δείκτης πόρων είναι $e = 0.7178$ και το πορώδες $n = 0.418$, το οποίο οδηγεί σε πυκνότητα κορεσμένου εδάφους $\rho_{κορ} = 1.972$ Mg/m³, και ο συντελεστής διαπερατότητας $k = 6.5 \times 10^{-5}$ m/s.

Στον Πίνακα 3.1 παραθέτουμε συγκεντρωμένες τις εδαφικές παραμέτρους του πρανούς:

| Εδαφική Παράμετρος | Τιμή Παραμέτρου | Μονάδες Μετρήσεως |
|--------------------|-----------------|-------------------|
| D_r | 45 | % |
| ρ_s | 1.554 | Mg/m ³ |
| e | 0.7178 | - |
| n | 0.418 | - |

Πίνακας 3.1 : Πίνακας με τις εδαφικές παραμέτρους και τις αντίστοιχες τιμές τους .

Σε ό,τι αφορά στο έδαφος, αυτό θεωρείται κορεσμένο με τη Στάθμη του Υδροφόρου Ορίζοντα (Σ.Υ.Ο) να βρίσκεται στην επιφάνεια του εδάφους. Δεδομένου του αναβαθμού, αφού η Σ.Υ.Ο είναι κεκλιμένη στη γειτονιά του αναβαθμού, αυτό σημαίνει και υπόγεια ροή.

Θ Ε Μ Ε Λ Ι Ο Κ Α Τ Α Σ Κ Ε Υ Η Σ

Όσον αφορά στο θεμέλιο, καλύπτεται στις αναλύσεις ένα σημαντικό εύρος διαστάσεων και θέσεων αυτού ως προς τη στέψη του πρανούς, καθώς και των φερόμενων από αυτό ομοιόμορφα κατανεμημένων φορτίων. Το πλάτος θεμελίου λαμβάνει τις τιμές $B = 5 \text{ m}$ και 20 m , δηλαδή ερευνούμε την αλληλεπίδραση αναβαθμού με στενή και ευρεία κατασκευή. Όσον αναφορά στο φορτίο q στο οποίο φέρει το θεμέλιο, αυτό είναι ομοιόμορφα κατανεμημένο σε όλη την επιφάνεια του εκάστοτε θεμελίου, και παίρνει τιμές $q = 50 \text{ kPa}$, 100 kPa και 175 kPa , δηλαδή πρόκειται για κατασκευές μικρού, μεσαίου και μεγάλου βάρους. Σε όλες τις περιπτώσεις τα θεμέλια θεωρούνται απολύτως τραχειά και άκαμπτα, και προσομοιώνονται ως ελαστικά μέσα. Για το σκοπό αυτό, όταν $B = 5 \text{ m}$, το μέτρο ισότροπης συμπίεσης είναι $K = 10^6 \text{ kPa}$ και το μέτρο διάτμησης $G = 2 \cdot 10^6 \text{ kPa}$, ενώ για θεμέλια με $B = 20 \text{ m}$, υιοθετούνται δεκαπλάσιες τιμές $K = 10^7 \text{ kPa}$ και $G = 2 \cdot 10^7 \text{ kPa}$. Ανεξαρτήτως πλάτους θεμελίου, η πυκνότητα του θεμελίου $\rho = 0.2 \text{ Mg/m}^3$, ώστε να μην εμφανίζει αδρανειακή επιφόρτιση. Επιπλέον, έχουν πολύ μικρή διαπερατότητα ($k = 6.5 \times 10^{-9} \text{ m/s}$), ώστε να μην υπάρχει ροή μέσα από αυτά.

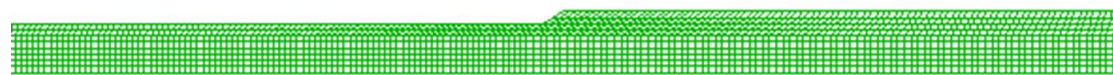
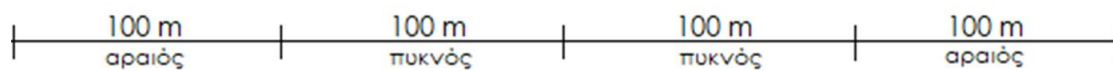
Οι παράμετροι του θεμελίου φαίνονται στον Πίνακα 3.2 :

| Εδαφική Παράμετρος | Τιμή Παραμέτρου | Μονάδες Μετρήσεως |
|------------------------|-----------------|-------------------|
| ρ_s | 0.1 | Mg/m^3 |
| n | 0.1 | - |
| $K (B = 5 \text{ m})$ | 2000000 | Pa |
| $G (B = 5 \text{ m})$ | 1000000 | Pa |
| $K (B = 20 \text{ m})$ | 20000000 | Pa |
| $G (B = 20 \text{ m})$ | 10000000 | Pa |

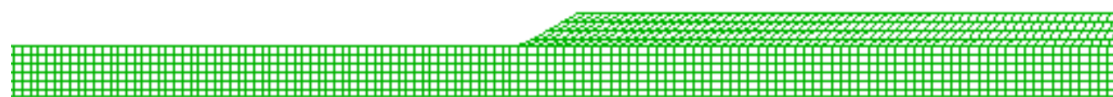
Πίνακας 3.2 : Πίνακας με τις παραμέτρους του θεμελίου και τις αντίστοιχες τιμές τους.

Όσον αφορά στον κάνναβο, οι διαστάσεις του είναι σταθερές για όλες τις αναλύσεις, το μόνο το οποίο αλλάζει είναι το ύψος του αναβαθμού. Ο κάνναβος είναι πιο πυκνός στα σημεία ενδιαφέροντος, δηλαδή στα 100 m αριστερά και δεξιά από τη στέψη, ενώ από τα 100 m έως τα 200 m εκατέρωθεν της στέψης ο κάνναβος γίνεται αραιός (θεωρούμε $x = 0$ m ακριβώς στη στέψη του αναβαθμού). Ο κάνναβος δηλαδή συνολικά έχει μήκος 400 m ($4 \cdot 100$ m) και μέγιστο ύψος, όπως προαναφέρθηκε, 10 m. Η διάταξη αυτή φαίνεται στο Σχήμα 3.3. Σε όρους στοιχείων αποτελείται από 300 στοιχεία συνολικά σε μήκος όπου στην προαναφερθείσα πυκνή περιοχή αντιστοιχούν 200 στοιχεία και στην αραιή 50 στοιχεία ($200 + 2 \cdot 50$).

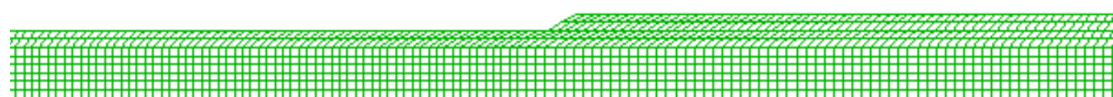
Στο Σχήμα 3.4 φαίνεται ένα μέρος του καννάβου για το πρανές με αναβαθμό ύψους $H = 2$ m, ενώ στο Σχήμα 3.5 το αντίστοιχο για $H = 4$ m. Στο Σχήμα 3.5 φαίνεται ενδεικτικά ο κάνναβος για ένα πρανές με αναβαθμό $H = 2$ m, με κατασκευή πλάτους θεμελίου $B = 5$ m σε απόσταση $L = 10$ m από τη στέψη, με την απόσταση L να μετράει έως την εγγύτερη άκρη της κατασκευής. Τέλος στο Σχήμα 3.6 παρατίθεται ο αντίστοιχος κάνναβος για την ανάλυση αναφοράς που η εδαφική στρώση δεν έχει αναβαθμό, και φορτίζεται με την κατασκευή πλάτους $B = 5$ m.



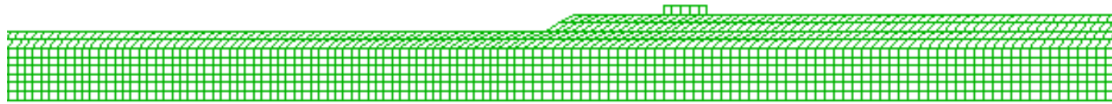
Σχήμα 3.3 : Διάγραμμα με τη διάταξη του καννάβου για πρανές με αναβαθμό $H = 2$ m χωρίς κατασκευή .



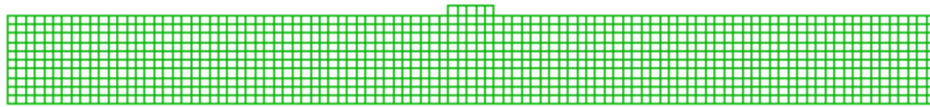
Σχήμα 3.4 : Τμήμα του καννάβου για πρανές με αναβαθμό $H = 2$ m χωρίς κατασκευή .



Σχήμα 3.5 : Τμήμα του καννάβου για πρανές με αναβαθμό $H = 4$ m χωρίς κατασκευή .



Σχήμα 3.6 : Τμήμα του καννάβου για πρανές με αναβαθμό $H=2\text{ m}$ με κατασκευή πλάτους $B=5\text{ m}$ σε απόσταση $L=10\text{ m}$ από τη στέψη



Σχήμα 3.7 : Τμήμα του καννάβου οριζόντια στρώση (χωρίς αναβαθμό) με κατασκευή πλάτους $B=5\text{ m}$

ΔΙΕΓΕΡΣΗ & ΑΠΟΣΒΕΣΗ

Σε όλες τις αναλύσεις της παρούσας διπλωματικής εργασίας, η σεισμική διέγερση που θεωρήθηκε είναι αρμονική με περίοδο $T = 0.35\text{ sec}$. Ειδικότερα, αποτελείται από 10 κύκλους σταθερού εύρους, ενώ υπάρχουν επιπλέον 2 πρώτοι κύκλοι προσαρμογής, και 2 τελευταίοι κύκλοι προσαρμογής τέλους. Η σεισμική διέγερση ασκήθηκε ως χρονοϊστορία επιτάχυνσης στη βάση του καννάβου σε όλες τις αναλύσεις, με μέγιστη επιτάχυνση ίση με $a_{\max} = 0.2\text{ g}$. Απόσβεση θεωρούμε ότι έχουμε 2 % τοπική (δηλαδή ανεξάρτητη της συχνότητας) και ό,τι προκύπτει από το προσομοίωμα NTUA_SAND για την εδαφική στρώση της άμμου Nevada.

ΣΥΝΟΨΗ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ

Στον Πίνακα 3.3 συνοψίζονται ποιες περιπτώσεις πλάτους θεμελίου B , ομοιόμορφα κατανομημένου φορτίου q θεμελίου, θέσης θεμελίου L (από στέψη αναβαθμού) και ύψους αναβαθμού H εξετάστηκαν στην παρούσα εργασία. Στο κάθε επόμενο κεφάλαιο θα παρατίθενται αντίστοιχοι πίνακες με εκτενέστερη παρουσίαση των αναλύσεων οι οποίες εμπεριέχονται σε κάθε κεφάλαιο.

| | | | | |
|-----|--------|---------|---------|------|
| B | 5 m | 20 m | | |
| H | 2 m | 4 m | | |
| q | 50 kPa | 100 kPa | 175 kPa | |
| L | 5 m | 10 m | 25 m | 60 m |

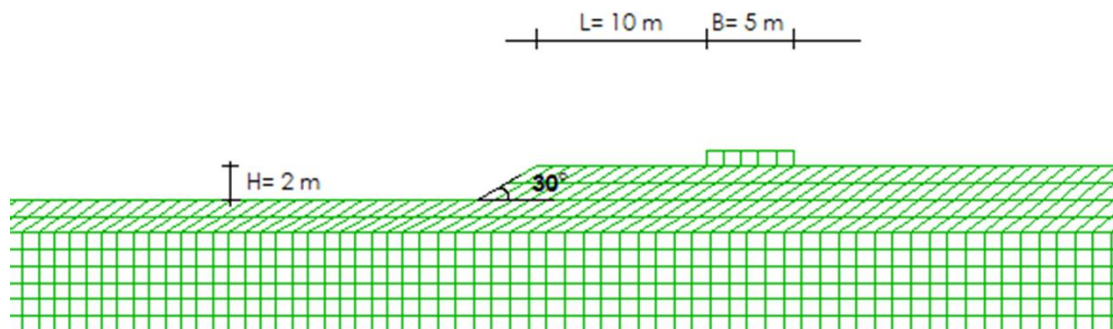
Πίνακας 3.3 : Πίνακας με τα χαρακτηριστικά του θεμελίου και της αναβαθμού που εξετάστηκαν συνολικά στις αναλύσεις της διπλωματικής εργασίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

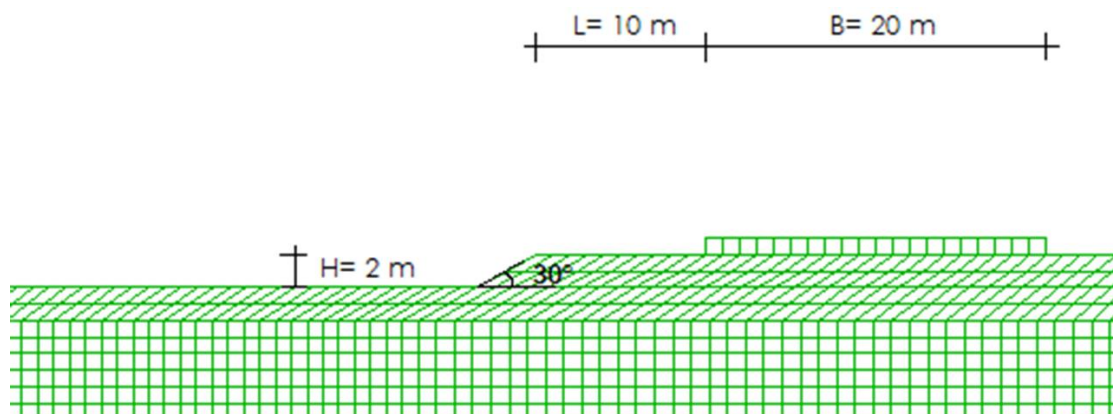
ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΜΕ ΠΛΕΥΡΙΚΩΣ ΕΞΑΠΛΟΥΜΕΝΗ ΕΔΑΦΙΚΗ ΣΤΡΩΣΗ ΠΡΟΣ ΡΗΧΟ ΑΝΑΒΑΘΜΟ

4.1 ΣΥΝΟΨΗ

Σε αυτό το κεφάλαιο, η μελέτη θα αφορά σε πλευρικώς εξαπλούμενη στρώση προς ρηχό αναβαθμό με ύψος $H = 2$ m. Οι αναλύσεις στοχεύουν την αλληλεπίδραση αναβαθμού με (άκαμπτη) κατασκευή πλάτους B και (ομοιόμορφου) φορτίου q , που βρίσκεται σε (ελάχιστη) απόσταση L από τη στέψη, όπως παρουσιάζεται στα Σχήματα 4.1 και 4.2, για τις περιπτώσεις όπου $L = 10$ m, αλλά η κατασκευή είναι στενή ($B = 5$ m) ή ευρεία ($B = 20$ m), αντίστοιχα.



Σχήμα 4.1 Τμήμα καννάβου με εδαφική στρώση με αναβαθμό κλίσης 30° και ύψους $H = 2$ m με θεμέλιο πλάτους $B = 5$ m σε (ελάχιστη) απόσταση από τη στέψη $L = 10$ m.



Σχήμα 4.2 Τμήμα καννάβου με εδαφική στρώση με αναβαθμό κλίσης 30° και ύψους $H = 2$ m με θεμέλιο πλάτους $B = 20$ m σε (ελάχιστη) απόσταση από τη στέψη $L = 10$ m.

Στην παράγραφο 4.2 παρουσιάζεται η τυπική απόκριση της πλευρικής εξαπλούμενης στρώσης με και χωρίς κατασκευή στη γειτονία του αναβαθμού, ώστε να αποσαφηνιστεί ποιοτικά η μορφή της αλληλεπίδρασης και να καταγραφούν τα φυσικά μεγέθη ενδιαφέροντος. Ως αναλύσεις αναφοράς θεωρούνται οι αναλύσεις απόκρισης του αναβαθμού χωρίς κατασκευή, και η ανάλυση του θεμελίου στην ίδια στρώση, αν δεν υπήρχε αναβαθμός που να δημιουργεί την πλευρική εξάπλωση. Στη συνέχεια, στην παράγραφο 4.3 διερευνάται η επίδραση της απόστασης L στην αλληλεπίδραση αναβαθμού-κατασκευής, για την ίδια κατασκευή (σε όρους πλάτους B και φορτίου q). Μετά, στην παράγραφο 4.4 μελετάται η επίδραση του φορτίου q στην εν λόγω αλληλεπίδραση, με την κατασκευή να έχει το ίδιο πλάτος B και να βρίσκεται στην ίδια απόσταση L. Τέλος, στην παράγραφο 4.5, η έμφαση δίνεται στην επίδραση του πλάτους B της κατασκευής, όταν αυτή φέρει το ίδιο φορτίο q και βρίσκεται στην ίδια απόσταση L.

Στον Πίνακα 4.1 συνοψίζονται τα χαρακτηριστικά των αναλύσεων σεισμικής απόκρισης εδάφους – κατασκευής που παρουσιάζονται στο παρόν κεφάλαιο, σε όρους B, L και q, καθώς τα χαρακτηριστικά του εδάφους και της σεισμικής διέγερσης παραμένουν ίδια σε όλες τις αναλύσεις (βλ. Κεφάλαιο 3).

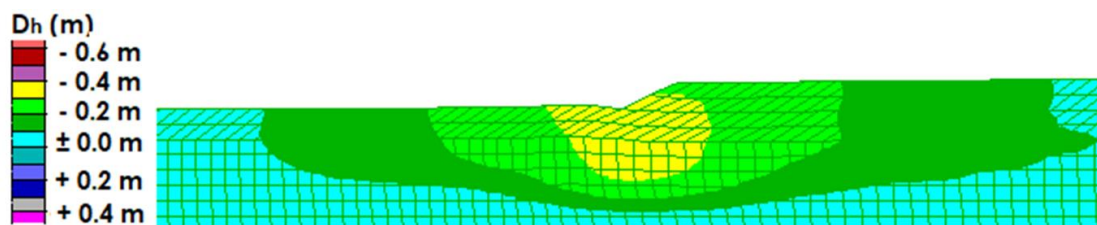
| Ύψος Αναβαθμού H= 2 m και πλάτος θεμελίου B= 5 m και 20 m | q= 100 kPa | q= 175 kPa | q= 50 kPa |
|--|------------|------------|-----------|
| L= 10 m | ✓ | ✓ | ✓ |
| L= 5 m | ✓ | - | - |
| L= 25 m | ✓ | - | - |
| L= 60 m | ✓ | - | - |

Πίνακας 4.1 : Χαρακτηριστικά των αναλύσεων σεισμικής απόκρισης εδάφους – κατασκευής σε όρους B, L και q, για εδαφική στρώση με αναβαθμό ύψους H = 2 m.

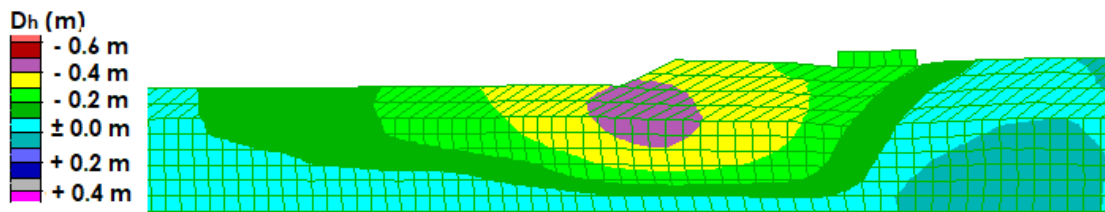
4.2 ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΣΤΡΩΣΗΣ ΜΕ ΡΗΧΟ ΑΝΑΒΑΘΜΟ ΜΕ ΚΑΙ ΧΩΡΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ

Για μια πλευρικώς εξαπλούμενη στρώση πλησίον αναβαθμού ενδιαφέρον παρουσιάζουν η οριζόντια μετακίνηση του εδάφους πρωτίστως, και δευτερευόντως (στη βιβλιογραφία) η καθίζηση ή ανύψωσή του. Για ένα (άκαμπτο) θεμέλιο σε πλευρικώς εξαπλούμενο έδαφος, ενδιαφέρον παρουσιάζει η οριζόντια μετακίνηση, η καθίζηση και η στροφή του (ως στερεό σώμα). Έτσι σε όρους αλληλεπίδρασης αναβαθμού – κατασκευής, το ενδιαφέρον εστιάζεται στο πώς η ύπαρξη του θεμελίου επηρεάζει την οριζόντια μετακίνηση και την καθίζηση ή ανύψωση του εδάφους, από τη μία, και από την άλλη, πώς η ύπαρξη αναβαθμού επηρεάζει την καθίζηση του θεμελίου, καθώς αν δεν υπήρχε ο αναβαθμός τότε το (κεντρικά φορτιζόμενο) θεμέλιο δεν θα είχε οριζόντια μετακίνηση ή στροφή. Όλο αυτό το φάσμα της αλληλεπίδρασης θα μελετηθεί εδώ λεπτομερώς, για μια περίπτωση εδαφικής στρώσης με ρηχό αναβαθμό ύψους $H = 2$ m, θεμέλιο πλάτους $B = 5$ m και φερόμενου φορτίου θεμελίου $q = 100$ kPa σε απόσταση $L = 10$ m από τη στέψη του αναβαθμού.

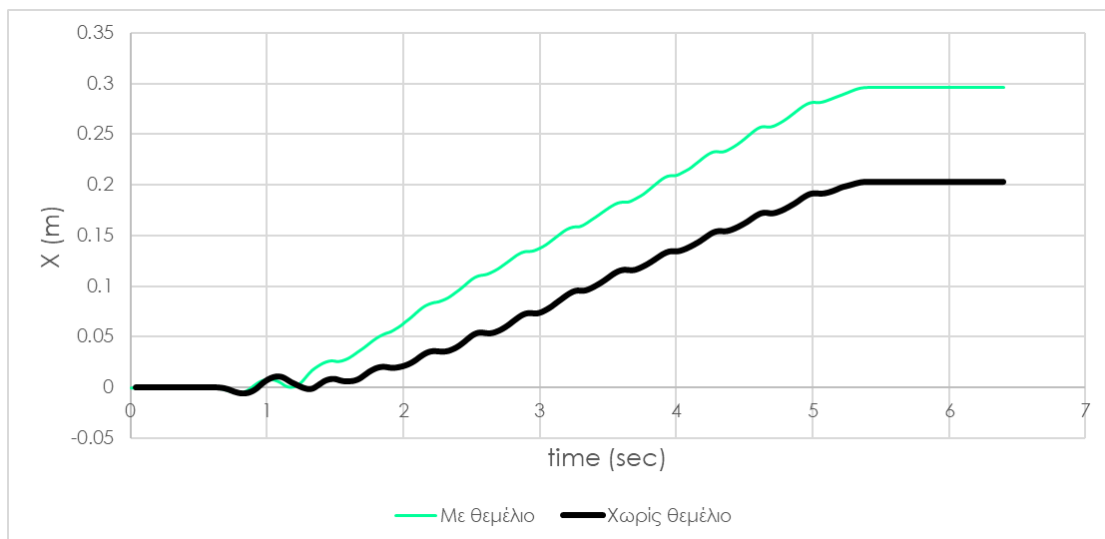
Έτσι, στα Σχήματα 4.3 και 4.4 συγκρίνονται οι ισοκαμπύλες (contours) οριζοντίων μετακινήσεων D_h του πλευρικώς εξαπλούμενου εδάφους, χωρίς και με το θεμέλιο, αντίστοιχα. Προκύπτει ότι υπάρχει μια ευρεία περιοχή, πίσω και μπροστά από τον αναβαθμό που μετακινείται προς τα αριστερά ($D_h < 0$), με τις μεγαλύτερες μετακινήσεις να είναι στην περιοχή του πόδα. Οι μετακινήσεις αυτές είναι σημαντικές μέχρι βάθος τουλάχιστον $2H$ στην περιοχή του πόδα. Η ύπαρξη του θεμελίου δείχνει να αυξάνει τις οριζόντιες μετακινήσεις στην περιοχή του αναβαθμού και «μπροστά» από το θεμέλιο, ενώ αντίθετα δείχνει να τις μειώνει έντονα «πίσω» από αυτό.



Σχήμα 4.3 : Ισοκαμπύλες οριζοντίων μετακινήσεων D_h (m) για εδαφική στρώση με αναβαθμό $H = 2$ m χωρίς την ύπαρξη θεμελίου .



Σχήμα 4.4 : Ισοκαμπύλες οριζόντιων μετακινήσεων D_h (m) για εδαφική στρώση με αναβαθμό $H = 2$ m με θεμέλιο πλάτους $B = 5$ m και φορτίου $q = 100$ kPa σε απόσταση $L = 10$ m από τη στέψη του αναβαθμού.

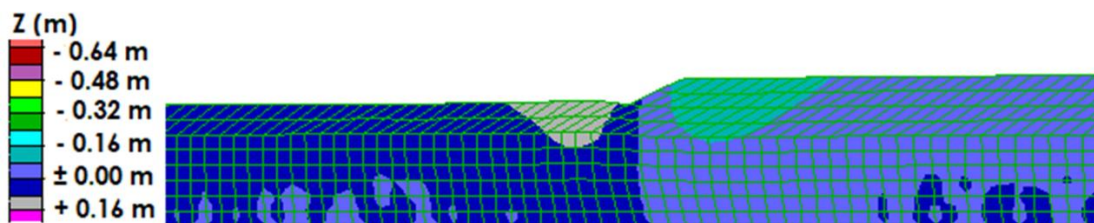


Σχήμα 4.5 Χρονοϊστορία οριζόντιας μετακίνησης D_h (m) της άκρης του θεμελίου πλάτους $B = 5$ m, φορτίου $q = 100$ kPa σε απόσταση $L = 10$ από τη στέψη αναβαθμού ύψους $H = 2$ m, και σύγκριση με εκείνη του ίδιου σημείου του εδάφους αν δεν υπήρχε το θεμέλιο .

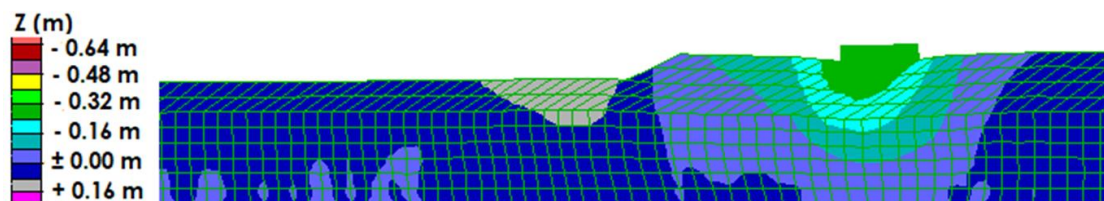
Επιπλέον στο Σχήμα 4.5 συγκρίνονται οι χρονοϊστορίες οριζόντιας μετακίνησης της άκρης του θεμελίου (σε απόσταση $L = 10$ m από τη στέψη), με την αντίστοιχη μετακίνηση της ίδιας θέσης αν δεν υπήρχε το θεμέλιο. Προκύπτει η γραμμική αύξηση της οριζόντιας μετακίνησης με το χρόνο για την αρμονική διέγερση, η οποία είναι μεγαλύτερη όταν υπάρχει το θεμέλιο σε αυτή τη θέση, σε συμφωνία και με τις ισοκαμπύλες των Σχημάτων 4.3 και 4.4. Συνεπώς η αλληλεπίδραση προκύπτει ιδιαίτερα δυσμενής για το θεμέλιο, ενώ είναι σχετικά δυσμενής και για το έδαφος «μπροστά» από το θεμέλιο με βάση την εικόνα στα Σχήματα 4.3 και 4.4.

Σε ό,τι αφορά στις καθιζήσεις/ανυψώσεις του εδάφους, στα Σχήματα 4.6 και 4.7 συγκρίνονται οι ισοκαμπύλες κατακόρυφων μετακινήσεων Z του εδάφους με ρηχό αναβαθμό, χωρίς και με το θεμέλιο. Επιπλέον, στο Σχήμα 4.8 παρουσιάζονται οι ισοκαμπύλες κατακόρυφων μετακινήσεων του εδάφους

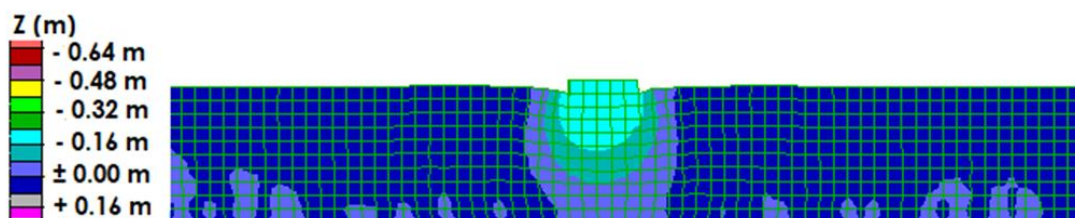
κάτω από το θεμέλιο, όταν δεν υπάρχει ο αναβαθμός, χάριν σύγκρισης. Προκύπτει ότι η περιοχή «πίσω» από τη στέψη του αναβαθμού παρουσιάζει καθίζηση ($Z < 0$), ενώ η περιοχή «μπροστά» από τον πόδα ανύψωση ($Z > 0$). Η ύπαρξη του θεμελίου αυξάνει τοπικά σημαντικά τις καθιζήσεις στην περιοχή κάτω από το θεμέλιο, με αποτέλεσμα να μεγαλώνουν και γενικότερα οι καθιζήσεις στην περιοχή μεταξύ του θεμελίου και της στέψης του αναβαθμού. Ταυτόχρονα, επηρεάζεται κάπως λιγότερο η ανύψωση μπροστά από τον πόδα, λόγω της ύπαρξης του θεμελίου. Τέλος, ενδιαφέρον παρουσιάζει ότι οι καθιζήσεις κάτω από το θεμέλιο είναι μεγαλύτερες όταν αυτό βρίσκεται πλησίον του αναβαθμού συγκριτικά με ό,τι θα είχε αν το θεμέλιο βρισκόταν σε οριζόντιο έδαφος χωρίς αναβαθμό. Τέλος, υπάρχει τοπικές μικρο-ανυψώσεις εκατέρωθεν του θεμελίου λόγω κινητοποίησης του μηχανισμού φέρουσας ικανότητας στο κοκκώδες έδαφος, είτε αυτό είναι είτε όχι πλησίον του αναβαθμού.



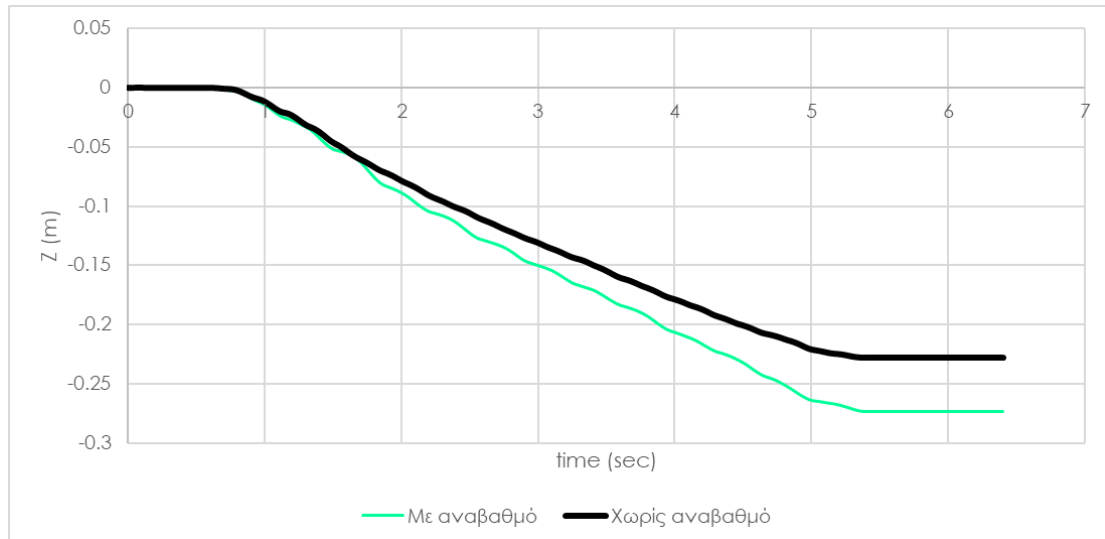
Σχήμα 4.6 : Ισοκαμπύλες κατακόρυφων μετακινήσεων Z (m) στο τέλος της διέγερσης για εδαφική στρώση με αναβαθμό $H = 2$ m χωρίς την ύπαρξη θεμελίου.



Σχήμα 4.7 : Ισοκαμπύλες κατακόρυφων μετακινήσεων Z (m) στο τέλος της διέγερσης για εδαφική στρώση με αναβαθμό $H = 2$ m με την ύπαρξη θεμελίου πλάτους $B = 5$ m και φορτίου $q = 100$ kPa σε απόσταση $L = 10$ m.



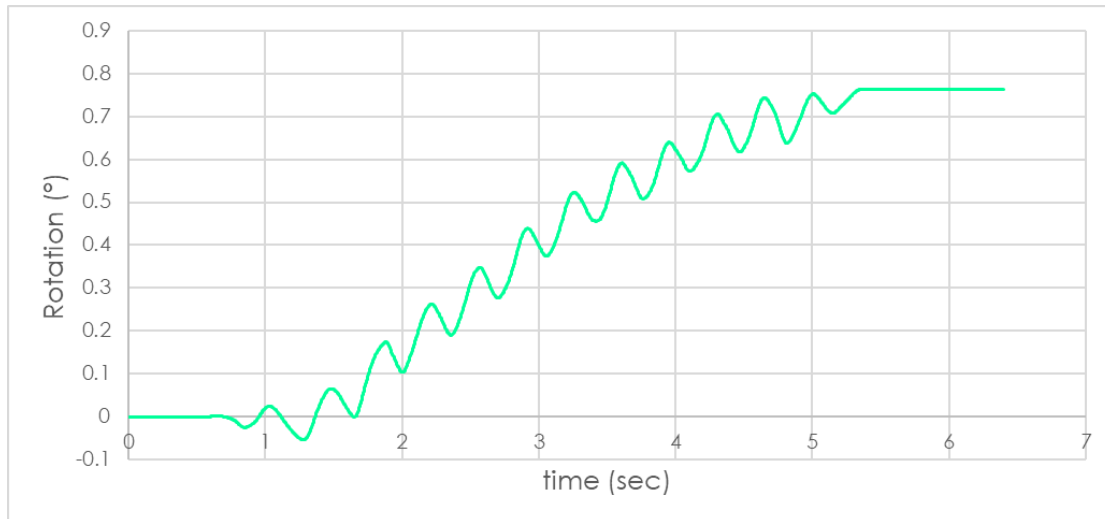
Σχήμα 4.8 : Ισοκαμπύλες κατακόρυφων μετακινήσεων Z (m) για εδαφική στρώση χωρίς αναβαθμό $H = 2$ m με την ύπαρξη θεμελίου πλάτους $B = 5$ m και φορτίου $q = 100$ kPa .



Σχήμα 4.9 : Χρονοϊστορία καθίζησης Z (m) του κέντρου θεμελίου πλάτους $B = 5$ m, φορτίου $q = 100$ kPa σε απόσταση $L = 10$ m από τη στέψη αναβαθμού ύψους $H = 2$ m, και σύγκριση με εκείνη της ίδιας θέσης στην επιφάνεια του εδάφους αν δεν υπήρχε αναβαθμός.

Επιπλέον, στο Σχήμα 4.9 συγκρίνονται οι χρονοϊστορίες καθίζησης του κέντρου του θεμελίου όταν είναι πλησίον του αναβαθμού, με την αντίστοιχη καθίζηση του θεμελίου αν το οριζόντιο έδαφος δεν έχει αναβαθμό. Προκύπτει γραμμική αύξηση της καθίζησης με το χρόνο για την αρμονική διέγερση και στις 2 περιπτώσεις, η οποία είναι μεγαλύτερη όταν υπάρχει αναβαθμός στη γειτονιά του θεμελίου, σε συμφωνία και με τις ισοκαμπύλες των Σχημάτων 4.7 και 4.8. Συνεπώς η αλληλεπίδραση προκύπτει δυσμενής για το θεμέλιο, σε ό,τι αφορά στις καθιζήσεις του.

Χάριν πληρότητας, παρουσιάζεται εδώ και η χρονοϊστορία στροφής του θεμελίου για κατασκευή πλάτους $B = 5$ m, με φορτίο $q = 100$ kPa η οποία βρίσκεται σε απόσταση $L = 10$ m από τη στέψη του πρανούς.



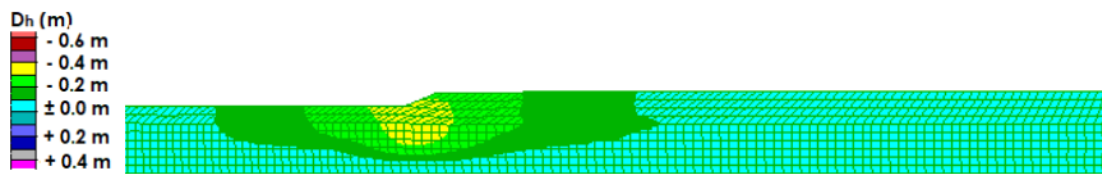
Σχήμα 4.10 : Χρονοϊστορία στροφής του θεμελίου πλάτους $B = 5 \text{ m}$, φορτίου $q = 100 \text{ kPa}$ σε απόσταση $L = 10 \text{ m}$ από τη στέψη αναβαθμού ύψους $H = 2 \text{ m}$.

Από το Σχήμα 4.10, παρατηρείται ότι προκύπτει γραμμική (κατά μέση τιμή) συσσώρευση στροφής για την αρμονική διέγερση. Η στροφή αυτή είναι αντιωρολογιακή, καθώς το θεμέλιο ακολουθεί τη γενική παραμόρφωση της επιφάνειας του εδάφους (ανάλυση χωρίς θεμέλιο, Σχήμα 4.6) που χαρακτηρίζεται από αύξηση των καθιζήσεων όσο προσεγγίζεται η στέψη του αναβαθμού. Συνεπώς, η αλληλεπίδραση προκύπτει δυσμενής για το θεμέλιο, και σε ό,τι αφορά τη στροφή του, η οποία θα ήταν μηδενική αν δεν εδραζόταν σε πλευρικώς εξαπλούμενη στρώση.

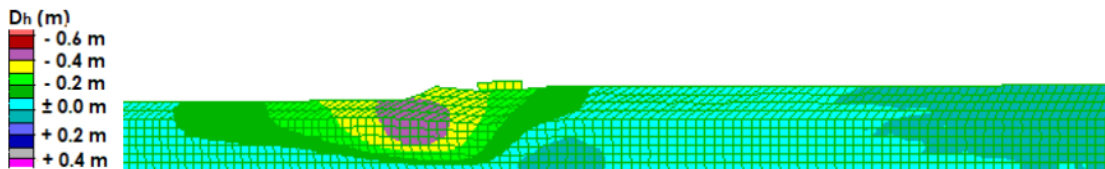
4.3 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΘΕΣΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΣΤΗΝ ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΣΤΡΩΣΗΣ ΠΛΗΣΙΟΝ ΡΗΧΟΥ ΑΝΑΒΑΘΜΟΥ

Ενδιαφέρον παρουσιάζει η διερεύνηση της επίδρασης της θέσης του θεμελίου (πλάτους $B = 5 \text{ m}$ και φορτίου $q = 100 \text{ kPa}$, όπως στην παρ. 4.2) στις οριζόντιες D_h και κατακόρυφες Z μετακινήσεις του πρανούς. Όσον αναφορά στη στροφή του θεμελίου, παρά το γεγονός ότι το έδαφος είναι αρχικώς οριζόντιο και το θεμέλιο κεντρικά φορτιζόμενο, το άκαμπτο θεμέλιο στρίβει ως στερεό σώμα, και η στροφή εξαρτάται από το πλάτος B , το φορτίο q και την απόσταση L , αλλά το θέμα αυτό δεν θα διερευνηθεί περαιτέρω, καθώς ο στόχος της εργασίας είναι η αλληλεπίδραση πρανούς - κατασκευής και όχι οι λεπτομέρειες της απόκρισης της κατασκευής. Έτσι λοιπόν, η θέση ποσοτικοποιείται από την απόσταση L της

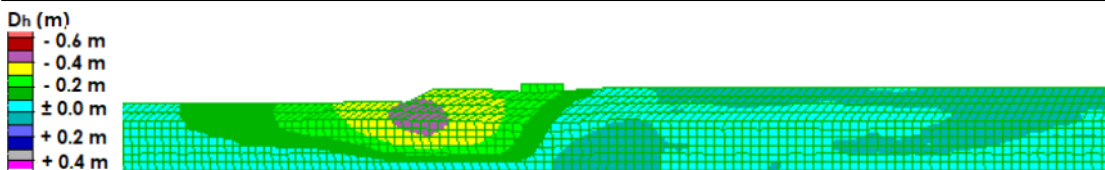
άκρης του θεμελίου από τη στέψη (βλ. Σχήματα 4.1 και 4.2). Έτσι, στα Σχήματα 4.11, 4.12, 4.13, 4.14 και φαίνονται οι ισοκαμπύλες των οριζόντιων μετακινήσεων D_h για πρανές χωρίς κατασκευή και για κατασκευή (με τα ως άνω χαρακτηριστικά) σε απόσταση $L = 5\text{ m}, 10\text{ m}, 25\text{ m}$ και 60 m , αντίστοιχα. Επισημαίνεται ότι τα Σχήματα 4.11 και 4.13 επαναλαμβάνονται με μικρότερη εστίαση από εκείνη των Σχημάτων 4.3 και 4.4 με στόχο την ευκολότερη σύγκριση με τις ισοκαμπύλες που αφορούν τις άλλες τιμές της απόστασης L .



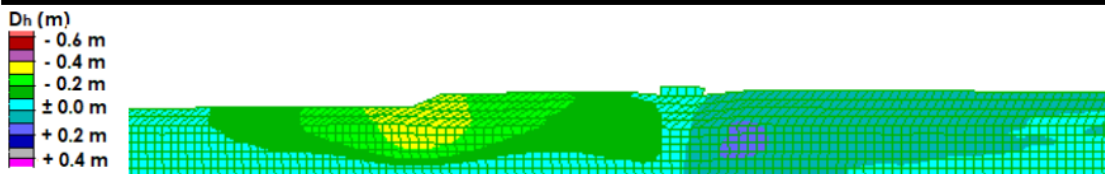
Σχήμα 4.11 : Ισοκαμπύλες οριζόντιων μετακινήσεων D_h (m) για εδαφική στρώση με αναβαθμό $H=2\text{ m}$ χωρίς την ύπαρξη θεμελίου .



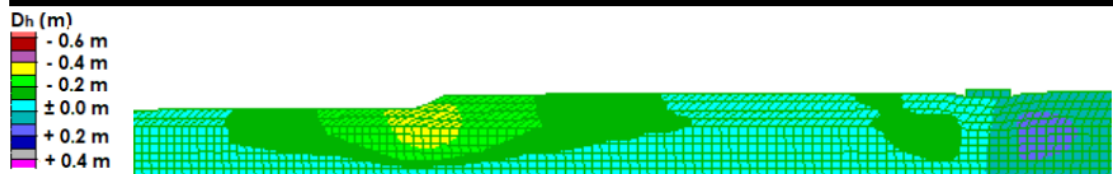
Σχήμα 4.12 : Ισοκαμπύλες οριζόντιων μετακινήσεων D_h (m) για εδαφική στρώση με αναβαθμό $H=2\text{ m}$, με θεμέλιο πλάτους $B=5\text{ m}$ και φορτίου $q=100\text{ kPa}$ σε απόσταση $L=5\text{ m}$ από τη στέψη.



Σχήμα 4.13 : Ισοκαμπύλες οριζόντιων μετακινήσεων D_h (m) για εδαφική στρώση με αναβαθμό $H=2\text{ m}$, με θεμέλιο πλάτους $B=5\text{ m}$ και φορτίου $q=100\text{ kPa}$ σε απόσταση $L=10\text{ m}$ από τη στέψη.



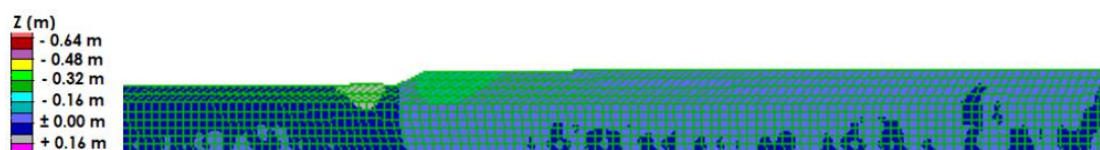
Σχήμα 4.14 : Ισοκαμπύλες οριζόντιων μετακινήσεων D_h (m) για εδαφική στρώση με αναβαθμό $H=2\text{ m}$, με θεμέλιο πλάτους $B=5\text{ m}$ και φορτίου $q=100\text{ kPa}$ σε απόσταση $L=25\text{ m}$ από τη στέψη.



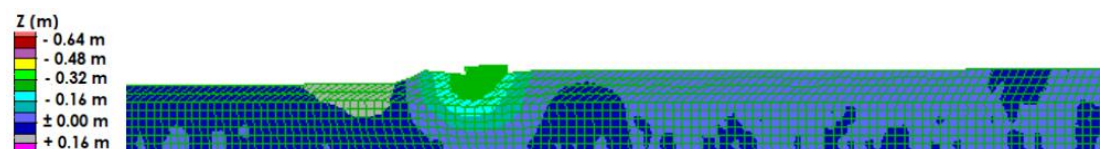
Σχήμα 4.15 : Ισοκαμπύλες οριζόντιων μετακινήσεων D_h (m) για εδαφική στρώση με αναβαθμό $H=2\text{ m}$, με θεμέλιο πλάτους $B=5\text{ m}$ και φορτίου $q=100\text{ kPa}$ σε απόσταση $L=60\text{ m}$ από τη στέψη.

Προκύπτει ότι η θέση της κατασκευής παίζει καταλυτικό ρόλο στο μέγεθος των οριζόντιων μετατοπίσεων. Ειδικότερα, από τις ισοκαμπύλες οριζόντιων μετακινήσεων, όσο πιο κοντά βρίσκεται η κατασκευή στη στέψη του αναβαθμού, τόσο εντονότερη είναι η πλευρική εξάπλωση και τόσο λιγότερο η κατασκευή συγκρατεί τη μετακίνηση του εδάφους πίσω της. Από την άλλη, για $L = 25$ m προκύπτει ότι οι οριζόντιες μετακινήσεις πλησίον του αναβαθμού αρχίζουν ομοιάζουν με εκείνες του πρανούς χωρίς κατασκευή, με αυτό να γίνεται πιο έντονο για $L = 60$ m. Δηλαδή, για $L \geq 25$ m, η ύπαρξη κατασκευής (πλάτους $B = 5$ m και φορτίου $q = 100$ kPa) αρχίζει να μην επηρεάζει τη συμπεριφορά του αναβαθμού όταν υπόκειται σε πλευρική εξάπλωση.

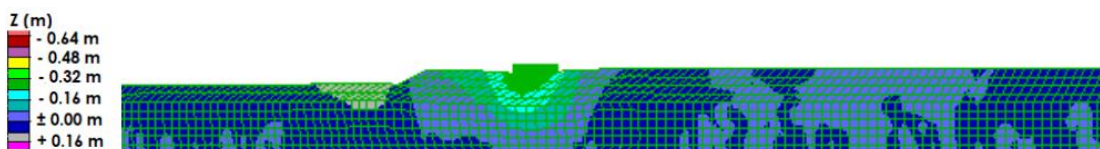
Στα Σχήματα 4.16, 4.17, 4.18, 4.19, 4.20 και 4.21 παρατίθενται οι ισοκαμπύλες κατακόρυφων μετακινήσεων Z για τις αντίστοιχες διαφορετικές αποστάσεις L της κατασκευής. Όπως και για τις οριζόντιες μετατοπίσεις, έτσι και για τις κατακόρυφες μετακινήσεις Z τα Σχήματα 4.16, 4.17 και 4.21 είναι η επανάληψη των Σχημάτων 4.6, 4.7 και 4.8 απλώς σε εστίαση τέτοια ώστε να γίνει ευκολότερη η ποσοτική σύγκριση των ισοκαμπυλών για διαφορετικές αποστάσεις της κατασκευής από τη στέψη.



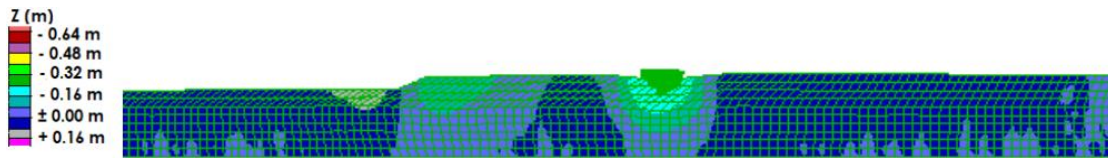
Σχήμα 4.16 : Ισοκαμπύλες κατακόρυφων μετακινήσεων Z (m) στο τέλος της διέγερσης για εδαφική στρώση με αναβαθμό $H = 2$ m χωρίς την ύπαρξη θεμελίου



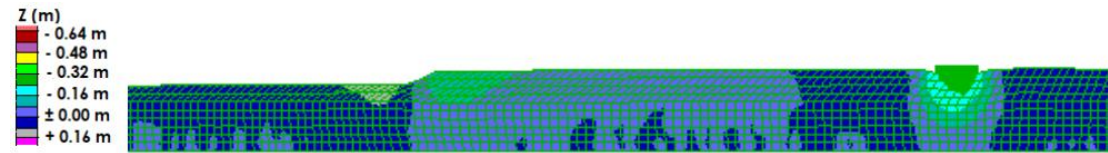
Σχήμα 4.17 : Ισοκαμπύλες κατακόρυφων μετακινήσεων Z (m) στο τέλος της διέγερσης για εδαφική στρώση με αναβαθμό $H = 2$ m με θεμέλιο πλάτους $B = 5$ m και φορτίου $q = 100$ kPa σε απόσταση $L = 5$ m.



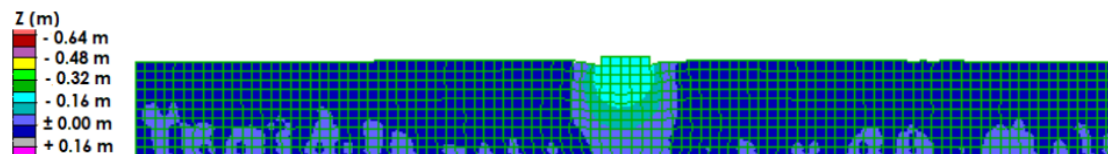
Σχήμα 4.18 : Ισοκαμπύλες κατακόρυφων μετακινήσεων Z (m) στο τέλος της διέγερσης για εδαφική στρώση με αναβαθμό $H = 2$ m με θεμέλιο πλάτους $B = 5$ m και φορτίου $q = 100$ kPa σε απόσταση $L = 10$ m.



Σχήμα 4.19 : Ισοκαμπύλες κατακόρυφων μετακινήσεων Z (m) στο τέλος της διέγερσης για εδαφική στρώση με αναβαθμό $H = 2$ m με θεμέλιο πλάτους $B = 5$ m και φορτίου $q = 100$ kPa σε απόσταση $L = 25$ m.



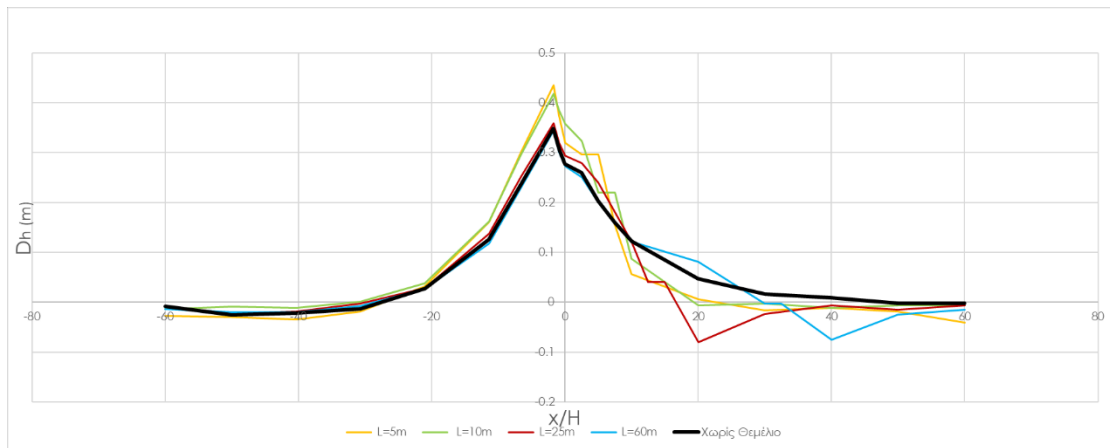
Σχήμα 4.20 : Ισοκαμπύλες κατακόρυφων μετακινήσεων Z (m) στο τέλος της διέγερσης για εδαφική στρώση με αναβαθμό $H = 2$ m με θεμέλιο πλάτους $B = 5$ m και φορτίου $q = 100$ kPa σε απόσταση $L = 60$ m.



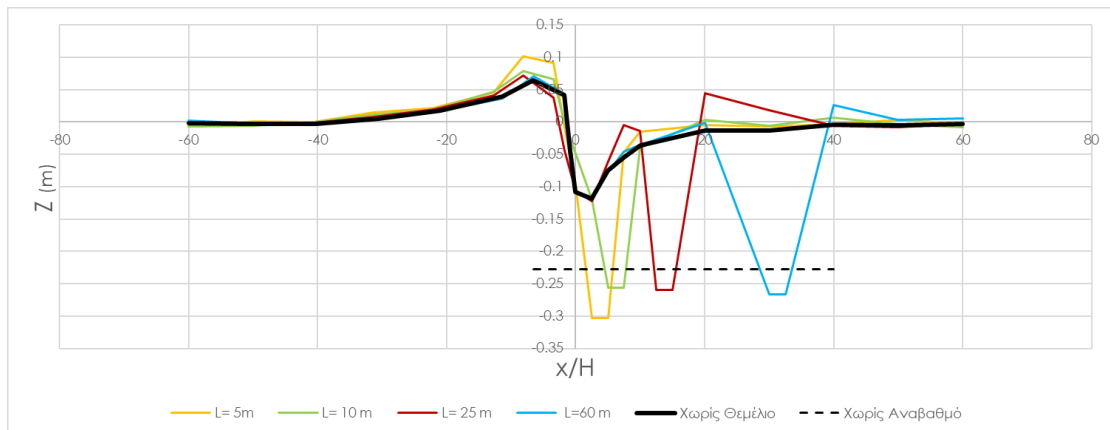
Σχήμα 4.21 : Ισοκαμπύλες κατακόρυφων μετακινήσεων Z (m) για εδαφική στρώση (χωρίς αναβαθμό) με θεμέλιο πλάτους $B = 5$ m και φορτίου $q = 100$ kPa.

Παρατηρείται ότι οι καθιζήσεις εκδηλώνονται τοπικά στο θεμέλιο κυρίως λόγω του φορτίου του, και δευτερευόντως λόγω της εγγύτητας του με το πρσανές. Παρόλα αυτά, σε όλες τις περιπτώσεις, οι καθιζήσεις πλησίον του θεμελίου είναι μεγαλύτερες όταν είναι κοντά στον αναβαθμό, και ιδίως για την πολύ κοντινή απόσταση $L = 5$ m. Από την άλλη, οι καθιζήσεις και ανυψώσεις πλησίον του αναβαθμού, δεν φαίνονται να επηρεάζονται σημαντικά από την ύπαρξη του θεμελίου, παρά μόνο αν αυτό βρίσκεται σε κοντινή απόσταση ($L = 5$ ή 10 m). Γενικώς, «πίσω» από τη στέψη υπάρχουν δύο περιοχές καθιζήσεων (πλησίον της στέψης και πλησίον του θεμελίου), οι οποίες αλληλοεπιδρούν και εμπεδώνονται όταν η απόσταση L γίνει μικρότερη ή ίση με 10 m.

Συγκεντρωτικά, στα Σχήματα 4.22 και 4.23 παρατίθενται τα διαγράμματα των οριζόντων D_h και κατακόρυφων Z μετατοπίσεων της επιφάνειας του εδάφους, συναρτήσεως του λόγου της απόστασης X από τη στέψη προς το ύψος αναβαθμού H για τις διάφορες τιμές της απόστασης L . Με μαύρη καμπύλη εμφανίζεται η απόκριση του πρσανούς χωρίς θεμέλιο, χάριν σύγκρισης, ενώ στο Σχήμα 4.23 με διακεκομμένη μαύρη γραμμή εμφανίζεται η καθίζηση του θεμελίου αν αυτό δεν ήταν σε έδαφος πλησίον αναβαθμού



Σχήμα 4.22 : Οριζόντιες μετακινήσεις D_h (m) της επιφάνειας του εδάφους συναρτήσει του λόγου απόστασης από στέψη x (m) προς ύψος αναβαθμού H (m) για εδαφική στρώση με αναβαθμό $H=2$ m, χωρίς και με την ύπαρξη θεμελίου πλάτους $B=5$ m, φορτίου $q=100$ kPa σε αποστάσεις κατασκευής από στέψη $L=5$ m, 10 m, 25 m και 60 m



Σχήμα 4.23 : Κατακόρυφες μετακινήσεις Z (m) της επιφάνειας του εδάφους συναρτήσει του λόγου απόστασης από στέψη x (m) προς ύψος αναβαθμού H (m) για εδαφική στρώση χωρίς και με αναβαθμό $H=2$ m, χωρίς και με την ύπαρξη θεμελίου πλάτους $B=5$ m, φορτίου $q=100$ kPa σε αποστάσεις κατασκευής από στέψη $L=5$ m, 10 m, 25 m και 60 m

Συμπληρωματικά σε όσα προέκυψαν από τη μελέτη των ισοκαμπυλών των D_h και Z ανωτέρω, από τα Σχήματα 4.22 και 4.23 προκύπτουν τα κάτωθι συμπεράσματα για την αλληλεπίδραση πρανούς – θεμελίου και την επίδραση της θέσης του θεμελίου:

α) Συγκριτικά με την απόκριση του πρανούς χωρίς θεμέλιο, η περιοχή ανάμεσα στη στέψη και το θεμέλιο εμφανίζει αυξημένες μετατοπίσεις D_h , ενώ η περιοχή «πίσω» από το θεμέλιο το ανάποδο. Για μεγάλες αποστάσεις (π.χ. $L=60$ m) αυτή η επίδραση «μπροστά» από το θεμέλιο εξαλείφεται όσο προσεγγίζεται η στέψη του πρανούς. Για κοντινές αποστάσεις (π.χ. $L=5-10$ m), υπάρχει αυξητική επίδραση του θεμελίου στις τιμές D_h και «μπροστά» από τον πόδα του πρανούς. Σε κάθε περίπτωση, η μέγιστη D_h εμφανίζεται στον πόδα του πρανούς,

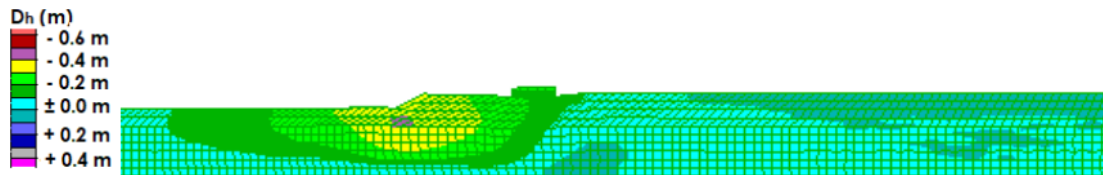
β) Το θεμέλιο επηρεάζει δυσμενώς τις καθιζήσεις του εδάφους «πίσω» από τη στέψη μόνο στην περιοχή του, και μόνο αν βρίσκεται σε πολύ κοντινή απόσταση ($L = 5\text{m}$) επηρεάζει δυσμενώς και τις ανυψώσεις «μπροστά» από τον πόδα του πρανούς. Σε κάθε περίπτωση, ένα θεμέλιο πλησίον αναβαθμού εμφανίζει μεγαλύτερες καθιζήσεις σε σχέση με το αν ήταν σε μια περιοχή χωρίς αναβαθμό. Ενδιαφέρον παρουσιάζει ότι εκατέρωθεν του θεμελίου προκύπτουν και τοπικές ανυψώσεις λόγω του μηχανισμού φέρουσας ικανότητας που αναπτύσσεται στο έδαφος υπό αυτό, και αυτό ισχύει ανεξαρτήτως απόστασης L . Σε κάθε περίπτωση, η μέγιστη καθίζηση εμφανίζεται στη θέση του θεμελίου, ενώ η μέγιστη ανύψωση λίγο πιο «μπροστά» από τον πόδα του πρανούς.

γ) Το θεμέλιο αποκτά οριζόντια μετατόπιση και στροφή, όταν είναι πλησίον του αναβαθμού, ενώ οι καθιζήσεις του αυξάνουν συγκριτικά με ό,τι προκύπτει για το ίδιο θεμέλιο σε οριζόντιο έδαφος. Όσο μικραίνει η απόσταση L , το θεμέλιο υπόκειται σε οριζόντια μετατόπιση μεγαλύτερη από εκείνη που θα είχε το έδαφος στην ίδια θέση αν δεν υπήρχε το θεμέλιο. Επιπλέον, μεγαλώνει η καθίζηση (και λογικά και η στροφή, αν και δεν διερευνήθηκε πλήρως).

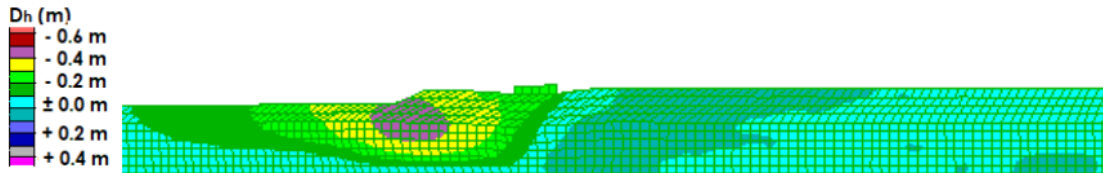
4.4 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΦΟΡΤΙΟΥ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΣΤΗΝ ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΣΤΡΩΣΗΣ ΠΛΗΣΙΟΝ ΡΗΧΟΥ ΑΝΑΒΑΘΜΟΥ

Στις προηγούμενες παραγράφους παρουσιάζεται η επίδραση της θέσης μιας κατασκευής (πλάτους $B = 5\text{m}$ και φορτίου $q = 100\text{kPa}$) στις οριζόντιες D_h και κατακόρυφες Z μετατοπίσεις του πρανούς υπό πλευρική εξάπλωση. Σε αυτή την παράγραφο, θα διερευνηθεί η επίδραση του φορτίου q της κατασκευής αυτής. Συγκεκριμένα, εδώ θα διερευνηθεί το πώς αλλάζει η απόκριση αν η κατασκευή αυτή (πλάτους $B = 5\text{m}$) είναι ελαφρύτερη ($q = 50\text{ kPa}$) ή βαρύτερη ($q = 175\text{ kPa}$), αλλά πάντα στην ίδια απόσταση $L = 10\text{ m}$ από τη στέψη του πρανούς.

Αρχίζοντας από τις οριζόντιες μετακινήσεις D_h , στα Σχήματα 4.24 και 4.25 φαίνονται οι ισοκαμπύλες αυτών για φορτία θεμελίου $q = 50\text{ kPa}$ και 175 kPa , αντίστοιχα. Υπενθυμίζεται ότι στο Σχήμα 4.13 έχει παρουσιαστεί ήδη, στην ίδια κλίμακα, η αντίστοιχη εικόνα ισοκαμπυλών μετατοπίσεων D_h για το ίδιο θεμέλιο, στην ίδια θέση, αλλά με φορτίο (αναφοράς) $q = 100\text{ kPa}$.



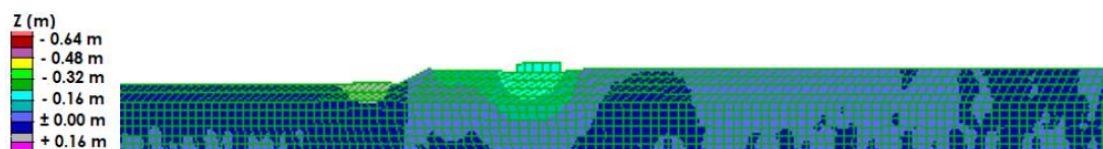
Σχήμα 4.24 : Ισοκαμπύλες οριζόντιων μετακινήσεων D_h (m) για αναβαθμό $H=2$ m, με θεμέλιο πλάτους $B=5$ m και φορτίου $q=50$ kPa σε απόσταση $L=10$ m από τη στέψη του αναβαθμού



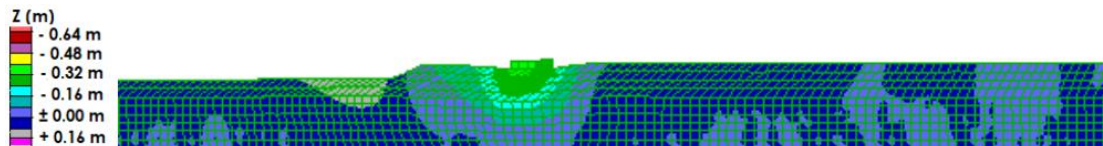
Σχήμα 4.25 : Ισοκαμπύλες οριζόντιων μετακινήσεων D_h (m) για αναβαθμό $H=2$ m, με θεμέλιο πλάτους $B=5$ m και φορτίου $q=175$ kPa σε απόσταση $L=10$ m από τη στέψη του αναβαθμού

Από τα Σχήματα 4.24, 4.13 και 4.25 προκύπτει ότι με την αύξηση του φορτίου θεμελίου q αυξάνονται οι οριζόντιες μετακινήσεις D_h στην περιοχή ανάμεσα στη στέψη και το θεμέλιο. Η αύξηση αυτή επεκτείνεται σε βάθος, αλλά και στην περιοχή του πόδα και «μπροστά» από αυτόν. Αντιθέτως, «πίσω» από το θεμέλιο δεν υπάρχουν σημαντικές οριζόντιες μετακινήσεις ή μεταβολή αυτών λόγω του φορτίου του θεμελίου.

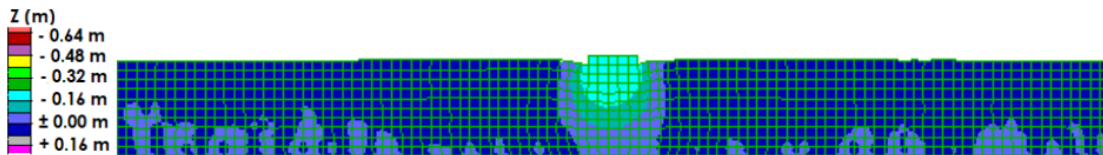
Συνεχίζοντας με τις κατακόρυφες μετακινήσεις Z , παρουσιάζονται οι ισοκαμπύλες τους στα Σχήματα 4.26 και 4.27 για τις περιπτώσεις όπου το φορτίο θεμελίου $q = 50$ kPa και 175 kPa, ενώ υπενθυμίζεται ότι στο Σχήμα 4.18 έχει ήδη παρουσιαστεί η αντίστοιχη εικόνα, στην ίδια κλίμακα, για φορτίο $q = 100$ kPa. Επιπλέον, στα Σχήματα 4.28 και 4.29 δίνονται οι ισοκαμπύλες κατακόρυφων μετακινήσεων Z για θεμέλια σε οριζόντιο έδαφος με φορτίο $q = 50$ kPa και 175 kPa, ενώ η αντίστοιχη εικόνα για φορτίο $q = 100$ kPa έχει παρουσιαστεί, στην ίδια κλίμακα, στο Σχήμα 4.21.



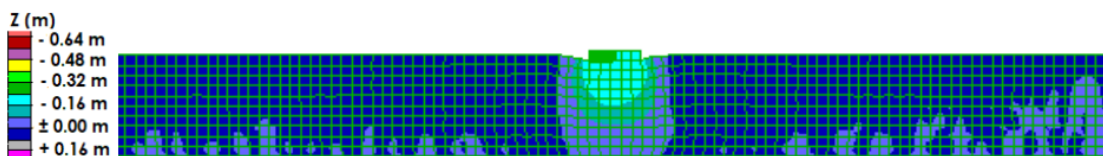
Σχήμα 4.26 : Ισοκαμπύλες κατακόρυφων μετακινήσεων Z (m) στο τέλος της διέγερσης για εδαφική στρώση με αναβαθμό $H=2$ m με θεμέλιο πλάτους $B=5$ m και φορτίου $q=50$ kPa σε απόσταση $L=10$ m.



Σχήμα 4.27 : Ισοκαμπύλες κατακόρυφων μετακινήσεων Z (m) στο τέλος της διέγερσης για εδαφική στρώση με αναβαθμό $H = 2$ m με θεμέλιο πλάτους $B = 5$ m και φορτίου $q = 175$ kPa σε απόσταση $L = 10$ m.



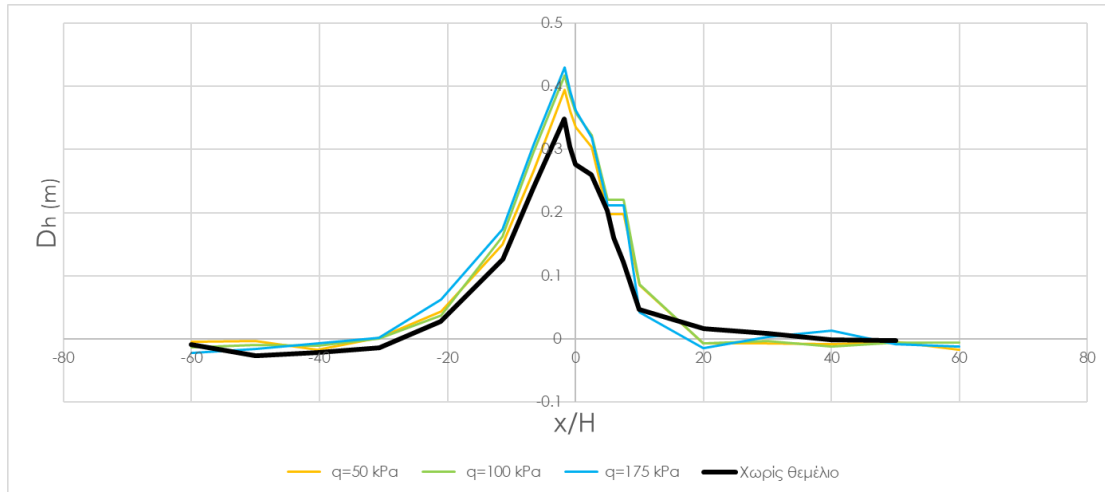
Σχήμα 4.28 : Ισοκαμπύλες κατακόρυφων μετακινήσεων Z (m) στο τέλος της διέγερσης για εδαφική στρώση χωρίς αναβαθμό με θεμέλιο πλάτους $B = 5$ m και φορτίου $q = 50$ kPa



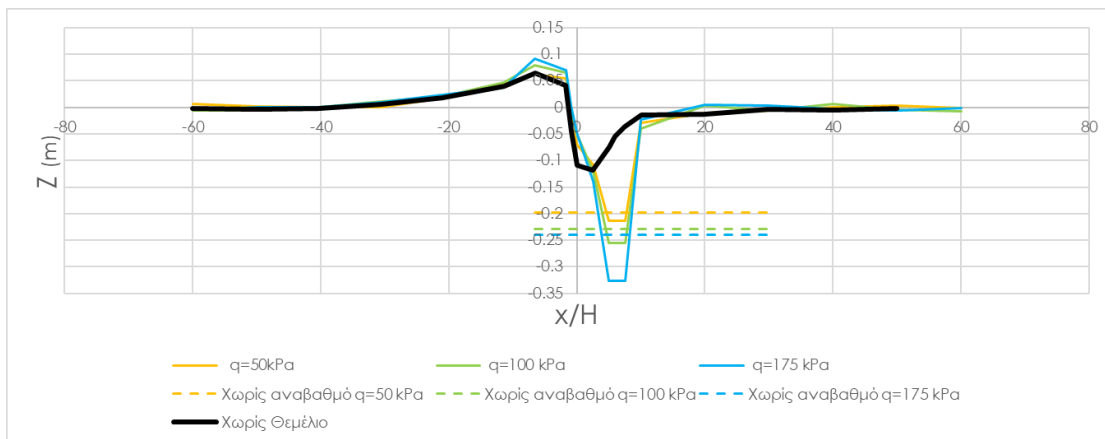
Σχήμα 4.29 : Ισοκαμπύλες κατακόρυφων μετακινήσεων Z (m) στο τέλος της διέγερσης για εδαφική στρώση χωρίς αναβαθμό με θεμέλιο πλάτους $B = 5$ m και φορτίου $q = 175$ kPa

Παρατηρώντας τις ισοκαμπύλες κατακόρυφων μετακινήσεων Z σε εδαφική στρώση με αναβαθμό, συμπεραίνεται ότι με την αύξηση του φορτίου θεμελίου q προκύπτει αύξηση στις καθιζήσεις κάτω από το θεμέλιο, αλλά όχι τόσο στην περιοχή γύρω από αυτό. Κάποια αυξητική τάση προκύπτει και στην εδαφική διόγκωση «μπροστά» από τον πόδα του αναβαθμού, αλλά αυτό θα πρέπει να οφείλεται και στο ότι το θεμέλιο βρίσκεται σε σχετικά κοντινή απόσταση ($L = 10$ m) από τη στέψη. Συγκρίνοντας και τις ισοκαμπύλες κατακόρυφων μετακινήσεων Z χωρίς αναβαθμό, προκύπτει αύξηση των καθιζήσεων στην περιοχή του θεμελίου, όταν αυτό βρίσκεται πλησίον αναβαθμού. Δηλαδή ποιοτικά τα αποτελέσματα για διαφορετικές τιμές του φορτίου q είναι ίδια, αν το θεμέλιο μένει στην ίδια θέση.

Συγκεντρωτικά, στα Σχήματα 4.30 και 4.31 παρατίθενται τα διαγράμματα των οριζόντων D_h και κατακόρυφων μετατοπίσεων Z συναρτήσει του λόγου απόστασης X από τη στέψη προς το ύψος αναβαθμού H για τις διάφορες τιμές του φορτίου της κατασκευής q .



Σχήμα 4.30 : Οριζόντιες μετακινήσεις D_h (m) συναρτήσει του λόγου απόσταση από στέψη x (m) προς ύψος αναβαθμού H (m) για εδαφική στρώση με αναβαθμό $H = 2$ m, χωρίς και με την ύπαρξη θεμελίου πλάτους $B = 5$ m, φορτίων $q = 50$ kPa, 100 kPa, 175 kPa και απόστασης κατασκευής από στέψη $L = 10$ m



Σχήμα 4.31 : Κατακόρυφες μετακινήσεις Z (m) της επιφάνειας του εδάφους συναρτήσει του λόγου απόστασης από στέψη x (m) προς ύψος αναβαθμού H (m) για εδαφική στρώση χωρίς και με αναβαθμό $H = 2$ m, χωρίς και με την ύπαρξη θεμελίου πλάτους $B = 5$ m, φορτίων $q = 50$ kPa, 100 kPa, 175 kPa και απόστασης κατασκευής από στέψη $L = 10$ m

Συμπληρωματικά σε όσα προέκυψαν από τη μελέτη των ισοκαμπυλών των D_h και Z ανωτέρω, από τα Σχήματα 4.30 και 4.31 προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα σε σχέση με την επίδραση του φορτίου q του θεμελίου στην αλληλεπίδραση πρανούς - θεμελίου:

α) Ανεξαρτήτως φορτίου θεμελίου q , για τη συγκεκριμένο εύρος και θέση θεμελίου, οι μετατοπίσεις D_h αυξάνουν «μπροστά» από το θεμέλιο, στον πόδα του αναβαθμού και «μπροστά» από αυτόν, και μειώνονται ελαφρώς πίσω από το θεμέλιο. Η αύξηση του φορτίου q επιφέρει αυξήσεις στις εν λόγω αυξήσεις και μειώσεις των μετατοπίσεων D_h στις θέσεις αυτές.

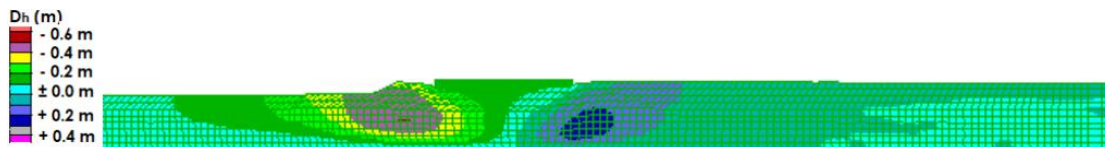
β) Ανεξαρτήτως φορτίου θεμελίου q , για το συγκεκριμένο εύρος και θέση θεμελίου, οι καθιζήσεις ($Z < 0$) αυξάνουν σημαντικά στην περιοχή του θεμελίου, και ταυτόχρονα εμφανίζονται και μεγαλύτερες ανυψώσεις ($Z > 0$) «μπροστά» από τον πόδα. Η αύξηση του φορτίου q επιφέρει αυξήσεις στις εν λόγω τοπικές επιπλέον καθιζήσεις και ανυψώσεις.

γ) Λόγω του αναβαθμού, για το συγκεκριμένο εύρος και θέση θεμελίου, μια αύξηση του φορτίου q έχει ανεπαίσθητη επίδραση στην οριζόντια μετατόπιση που υπόκειται, μα σαφώς αυξητική επίδραση στις καθιζήσεις του, τόσο σε απόλυτα νούμερα όσο και συγκριτικά με ό,τι προκύπτει για το ίδιο θεμέλιο σε οριζόντιο έδαφος.

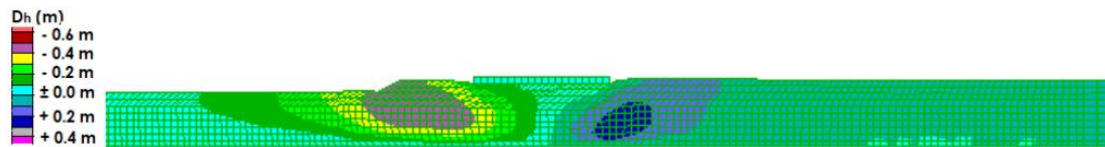
4.5 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΕΥΡΟΥΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΣΤΗΝ ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΣΤΡΩΣΗΣ ΠΛΗΣΙΟΝ ΡΗΧΟΥ ΑΝΑΒΑΘΜΟΥ

Στις προηγούμενες παραγράφους εξετάστηκε πώς επιδρούν η απόσταση L της κατασκευής από τη στέψη του αναβαθμού και το φορτίο της q στις οριζόντιες και κατακόρυφες μετακινήσεις του πρανούς. Σε αυτήν την παράγραφο θα εξεταστεί πώς επηρεάζουν οι διαστάσεις του θεμελίου την αλληλεπίδραση πρανούς-κατασκευής, διευρύνοντας την κατασκευή. Συνεπώς, σε σύγκριση με μια στενή κατασκευή πλάτους 5 m (π.χ. βόθρο γέφυρας) που ήταν το δεδομένο στις προηγούμενες παραγράφους, εδώ η κατασκευή θα είναι ευρεία ($B = 20$ m) και θα μπορούσε να αντιστοιχεί σε ολόκληρο κτήριο.

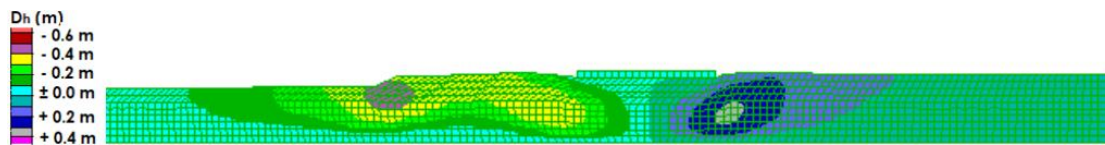
Πιο συγκεκριμένα, εδώ θα επαναληφθούν οι αναλύσεις των προηγούμενων παραγράφων, με μόνη διαφορά το εύρος του θεμελίου. Έτσι, αρχικώς θα διερευνηθεί η επίδραση της απόστασης L της κατασκευής από τη στέψη του αναβαθμού, για κατασκευή εύρους $B = 20$ m και φορτίου $q = 100$ kPa, όπως είχε γίνει το ίδιο στην παρ. 4.3 για κατασκευή εύρους $B = 5$ m. Συνεπώς, στα Σχήματα 4.32, 4.33, 4.34 και 4.35 φαίνονται οι ισοκαμπύλες των οριζόντιων μετακινήσεων D_h για αποστάσεις κατασκευής $L = 5$ m, 10 m, 25 m και 60 m αντίστοιχα. Υπενθυμίζεται ότι η εικόνα για τις οριζόντιες μετακινήσεις του πρανούς με ρηχό αναβαθμό και χωρίς κατασκευή δίνεται στο Σχήμα 4.11.



Σχήμα 4.32 : Ισοκαμπύλες οριζόντιων μετακινήσεων D_h για αναβαθμό $H=2$ m, με θεμέλιο πλάτους $B=20$ m και φορτίου $q=100$ kPa σε απόσταση $L=5$ m από τη στέψη του αναβαθμού.



Σχήμα 4.33 : Ισοκαμπύλες οριζόντιων μετακινήσεων D_h για αναβαθμό $H=2$ m, με θεμέλιο πλάτους $B=20$ m και φορτίου $q=100$ kPa σε απόσταση $L=10$ m από τη στέψη του αναβαθμού.



Σχήμα 4.34 : Ισοκαμπύλες οριζόντιων μετακινήσεων D_h για αναβαθμό $H=2$ m, με θεμέλιο πλάτους $B=20$ m και φορτίου $q=100$ kPa σε απόσταση $L=25$ m από τη στέψη του αναβαθμού.



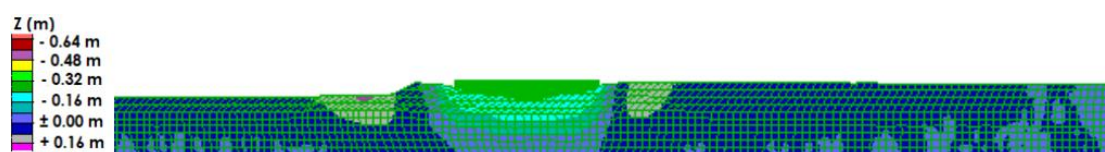
Σχήμα 4.35 : Ισοκαμπύλες οριζόντιων μετακινήσεων D_h για αναβαθμό $H=2$ m, με θεμέλιο πλάτους $B=20$ m και φορτίου $q=100$ kPa σε απόσταση $L=60$ m από τη στέψη του αναβαθμού.

Από τα Σχήματα αυτά διαπιστώνεται ποιοτικά η ίδια αλληλεπίδραση πρανούς-κατασκευής με εκείνη όταν η κατασκευή ήταν στενή. Δηλαδή, το έδαφος «μπροστά» από την κατασκευή, στην περιοχή του αναβαθμού, αλλά και μπροστά από τον πόδα του εμφανίζει αυξημένη οριζόντια μετατόπιση, σε σχέση με ό,τι παρατηρείται στο πρανές όταν δεν υπάρχει κατασκευή. Αντίστοιχα, το έδαφος «πίσω» από την κατασκευή εμφανίζει σαφώς μειωμένες μετατοπίσεις συγκριτικά με ό,τι παρατηρείται στο πρανές όταν δεν υπάρχει κατασκευή. Και επιπλέον, όσο απομακρύνεται η κατασκευή από τη στέψη του πρανούς, τόσο περιορίζεται η επίδραση στις οριζόντιες μετατοπίσεις στην περιοχή του αναβαθμού.

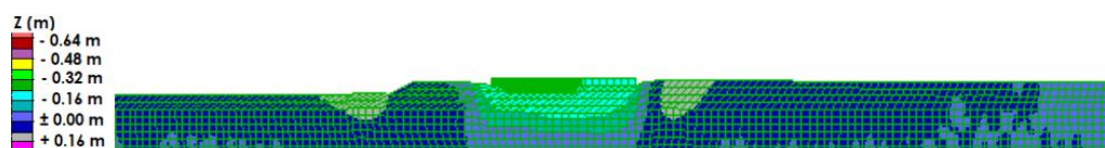
Υπάρχουν όμως ποσοτικές διαφορές λόγω του διαφορετικού εύρους της κατασκευής. Δηλαδή, για την ευρεία κατασκευή προκύπτει πιο έντονη αύξηση των οριζοντίων μετατοπίσεων «μπροστά» από αυτή σε σχέση με ό,τι παρατηρείται για τη στενή. Επίσης, η οριζόντια μετατόπιση του ευρέος θεμελίου είναι πάντα μικρότερη από τη μετατόπιση που θα είχε το ίδιο σημείο αν δεν υπήρχε αυτή η κατασκευή, κάτι που ισχύει μόνο στις απομακρυσμένες στενές κατασκευές. Και πιο σημαντικά, η ευρεία κατασκευή δεν περιορίζει μόνο τις οριζόντιες μετατοπίσεις προς τον αναβαθμό στην περιοχή «πίσω» από αυτή,

αλλά μπορεί και να τις αλλάξει διεύθυνση ($Dh > 0$), και αυτό ισχύει ακόμη κι όταν η ευρεία κατασκευή είναι πολύ κοντά στη στέψη. Δηλαδή, η παραμόρφωση του εδάφους που προκαλεί η ευρεία κατασκευή δείχνει πιο σημαντική από την παραμόρφωση που προκαλεί το πρανός, σε αντίθεση με ό,τι συμβαίνει για τη στενή κατασκευή.

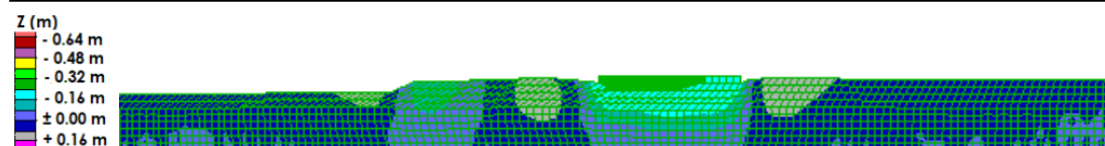
Σε αυτό το σημείο θα παρουσιαστούν οι ισοκαμπύλες για τις κατακόρυφες μετακινήσεις Z για τις ίδιες περιπτώσεις αλληλεπίδρασης ευρείας κατασκευής - πρανούς. Συγκεκριμένα, στα Σχήματα 4.36, 4.37, 4.38 και 4.39 φαίνονται οι κατακόρυφες μετακινήσεις Z για ευρεία κατασκευή σε απόσταση $L = 5\text{ m}$, 10 m , 25 m και 60 m από τη στέψη του πρανούς και στο Σχήμα 4.40 οι κατακόρυφες μετακινήσεις Z για εδαφική στρώση με ευρεία κατασκευή χωρίς αναβαθμό..



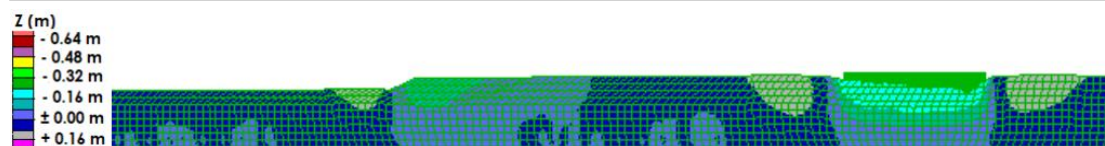
Σχήμα 4.36 : Ισοκαμπύλες κατακόρυφων μετακινήσεων Z (m) στο τέλος της διέγερσης για εδαφική στρώση με αναβαθμό $H = 2\text{ m}$ με θεμέλιο πλάτους $B = 20\text{ m}$ και φορτίου $q = 100\text{ kPa}$ σε απόσταση $L = 5\text{ m}$.



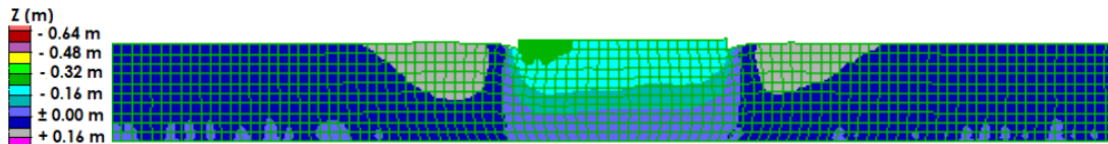
Σχήμα 4.37 : Ισοκαμπύλες κατακόρυφων μετακινήσεων Z (m) στο τέλος της διέγερσης για εδαφική στρώση με αναβαθμό $H = 2\text{ m}$ με θεμέλιο πλάτους $B = 20\text{ m}$ και φορτίου $q = 100\text{ kPa}$ σε απόσταση $L = 10\text{ m}$.



Σχήμα 4.38 : Ισοκαμπύλες κατακόρυφων μετακινήσεων Z (m) στο τέλος της διέγερσης για εδαφική στρώση με αναβαθμό $H = 2\text{ m}$ με θεμέλιο πλάτους $B = 20\text{ m}$ και φορτίου $q = 100\text{ kPa}$ σε απόσταση $L = 25\text{ m}$.



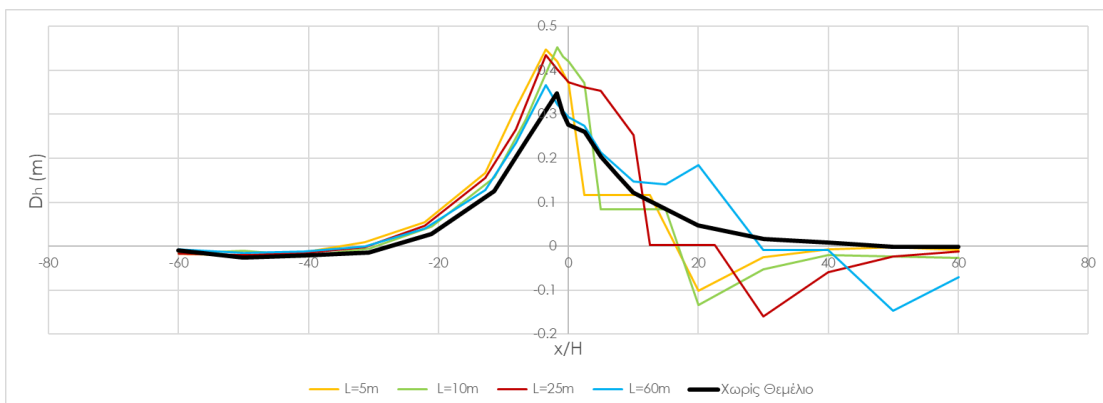
Σχήμα 4.39 : Ισοκαμπύλες κατακόρυφων μετακινήσεων Z (m) στο τέλος της διέγερσης για εδαφική στρώση με αναβαθμό $H = 2\text{ m}$ με θεμέλιο πλάτους $B = 20\text{ m}$ και φορτίου $q = 100\text{ kPa}$ σε απόσταση $L = 60\text{ m}$.



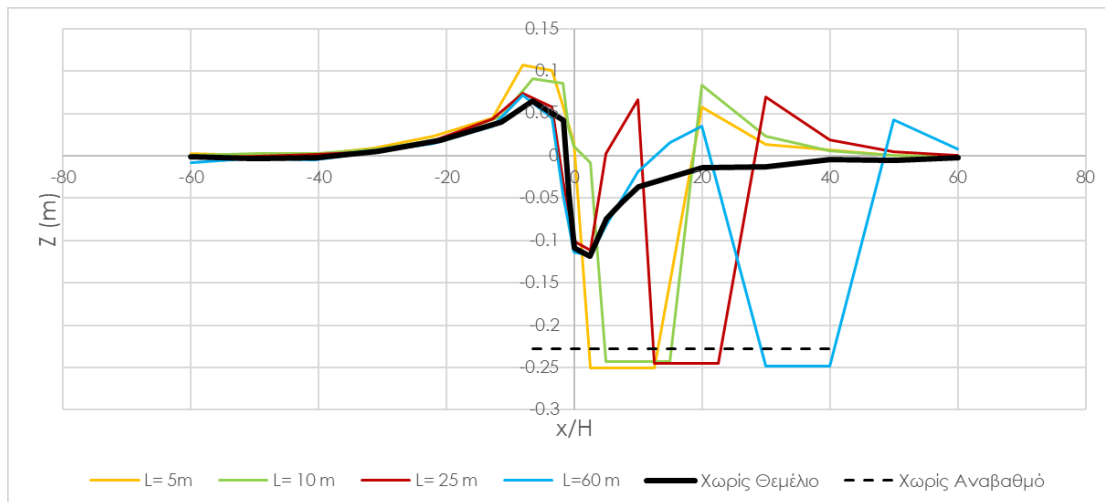
Σχήμα 4.40 : Ισοκαμπύλες κατακόρυφων μετακινήσεων Z (m) για εδαφική στρώση χωρίς αναβαθμό με θεμέλιο πλάτους $B= 20$ m και φορτίου $q= 100$ kPa .

Συμπεραίνεται ότι η αλληλεπίδραση πρσανούς και ευρείας κατασκευής σε όρους κατακόρυφων μετατοπίσεων Z είναι παρόμοια με εκείνη όταν η κατασκευή είναι στενή, ακριβώς όπως προέκυψε και για τις οριζόντιες μετατοπίσεις D_h . Για παράδειγμα προκύπτει αύξηση καθιζήσεων του ευρέως θεμελίου πλησίον του αναβαθμού σε σχέση με ό,τι προκύπτει όταν το ίδιο θεμέλιο βρίσκεται σε οριζόντια στρώση χωρίς αναβαθμό. Από την άλλη, υπάρχει μια σημαντική διαφορά. Για τα ευρέα θεμέλια προκαλείται σημαντική διόγκωση του εδάφους εκατέρωθεν αυτών, η οποία επηρεάζει και το προφίλ καθιζήσεων του πρσανούς. Για παράδειγμα, «πίσω» από τα ευρέα θεμέλια προκύπτει ανύψωση, σε αντίθεση με τη μικρή καθίζηση που προκύπτει στις ίδιες θέσεις του πρσανούς όταν δεν υπάρχει θεμέλιο. Μάλιστα, όσο μικραίνει η απόσταση L της ευρείας κατασκευής από τη στέψη του αναβαθμού αρχίζει και αυξάνει η ανύψωση «μπροστά» από τον πόδα (π.χ., για $L = 5 - 10$ m). Πάντως δεν προκύπτει σημαντική επίδραση της απόστασης L στην αύξηση της καθιζήσεως της ευρείας κατασκευής σε σχέση με την τιμή της για οριζόντιο έδαφος.

Συμπληρωματικά σε όσα προέκυψαν από τη μελέτη των ισοκαμπυλών των D_h και Z ανωτέρω, από τα Σχήματα 4.41 και 4.42 προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα σε σχέση με την αλληλεπίδραση ευρέος θεμελίου – πρσανούς σε καθεστώς πλευρικής εξάπλωσης, πάντα και σε σύγκριση με το στενό θεμέλιο (βλ. Σχήματα 4.22 και 4.23):



Σχήμα 4.41 : Οριζόντιες μετακινήσεις D_h (m) συναρτήσει του λόγου απόστασης από στέψη x (m) προς ύψος αναβαθμού H (m) για εδαφική στρώση με αναβαθμό $H= 2$ m, χωρίς και με την ύπαρξη θεμελίου πλάτους $B= 20$ m, φορτίου $q= 100$ kPa και αποστάσεων κατασκευής από στέψη $L = 5$ m, 10 m, 25 m και 60 m .



Σχήμα 4.42 : Κατακόρυφες μετατοπίσεις Z (m) συναρτήσει του λόγου απόστασης από στέψη x (m) προς ύψος αναβαθμού H (m) για εδαφική στρώση χωρίς και με αναβαθμό $H=2$ m, χωρίς και με την ύπαρξη θεμελίου πλάτους $B=20$ m, φορτίου $q=100$ kPa και αποστάσεων κατασκευής από στέψη $L=5$ m, 10 m, 25 m και 60 m .

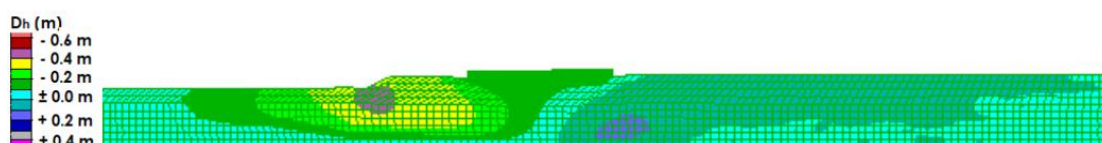
α) Ποιοτικά η αλληλεπίδραση πρανούς - ευρέος θεμελίου σε όρους οριζοντίων μετατοπίσεων D_h είναι ίδια με εκείνη του στενού θεμελίου. Δηλαδή, συγκριτικά με την απόκριση του πρανούς χωρίς θεμέλιο, η περιοχή ανάμεσα στη στέψη και το θεμέλιο εμφανίζει αυξημένες μετατοπίσεις D_h , ενώ η περιοχή «πίσω» από το θεμέλιο το ανάποδο. Για μεγάλες αποστάσεις (π.χ. $L=60$ m) αυτή η επίδραση «μπροστά» από το θεμέλιο εξαλείφεται όσο προσεγγίζεται η στέψη του πρανούς. Για κοντινές αποστάσεις (π.χ. $L=5-10$ m), υπάρχει αυξητική επίδραση του θεμελίου στις τιμές D_h και «μπροστά» από τον πόδα του πρανούς. Σε κάθε περίπτωση, η μέγιστη D_h εμφανίζεται στην περιοχή του πόδα του πρανούς. Ποσοτικά όμως, η διαφοροποίηση στις μετατοπίσεις D_h σε σχέση με την απόκριση του πρανούς χωρίς θεμέλιο είναι πιο σημαντική όταν το θεμέλιο είναι ευρύ, δηλαδή η αλληλεπίδραση εμφανίζεται εντονότερη.

β) Ποιοτικά η αλληλεπίδραση πρανούς - ευρέος θεμελίου σε όρους κατακόρυφων μετατοπίσεων Z είναι ίδια με εκείνη του στενού θεμελίου. Δηλαδή, το ευρύ θεμέλιο επηρεάζει δυσμενώς τις καθιζήσεις του εδάφους «πίσω» από τη στέψη μόνο στην περιοχή του, και μόνο αν βρίσκεται σε κοντινή απόσταση ($L=5-10$ m) επηρεάζει επιπλέον δυσμενώς και τις ανυψώσεις «μπροστά» από τον πόδα του πρανούς. Σε κάθε περίπτωση, ένα ευρύ θεμέλιο πλησίον αναβαθμού εμφανίζει μεγαλύτερες καθιζήσεις σε σχέση με το αν ήταν σε μια περιοχή χωρίς αναβαθμό. Επίσης, η μέγιστη καθίζηση εμφανίζεται στη θέση του θεμελίου, ενώ η μέγιστη ανύψωση λίγο πιο «μπροστά» από τον πόδα του πρανούς. Ενδιαφέρον παρουσιάζει ότι εκατέρωθεν του ευρύ θεμελίου προκύπτουν και σημαντικές τοπικές ανυψώσεις λόγω του μηχανισμού φέρουσας ικανότητας

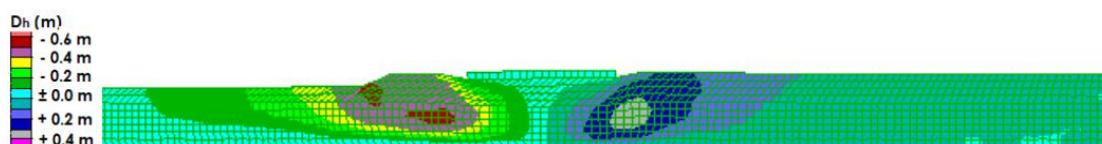
που αναπτύσσεται στο έδαφος υπό αυτό, και αυτό ισχύει ανεξαρτήτως απόστασης L . Σε ευρύ θεμέλιο μάλιστα οι ανυψώσεις αυτές είναι τόσο σημαντικές που αντιστρέφουν τη διάθεση του πρανούς για μικρή καθίζηση λόγω πλευρικής εξάπλωσης. Αυτή η τελευταία είναι μάλλον η πιο σημαντική ποσοτική διαφορά σε σχέση με ό,τι παρατηρήθηκε για το στενό θεμέλιο πλησίον του αναβαθμού.

γ) Το ευρύ θεμέλιο αποκτά οριζόντια μετατόπιση και σχεδόν αμελητέα στροφή, όταν είναι πλησίον του αναβαθμού, ενώ οι καθιζήσεις του αυξάνουν συγκριτικά με ό,τι προκύπτει για το ίδιο θεμέλιο σε οριζόντιο έδαφος. Το ίδιο ακριβώς προκύπτει και για το στενό θεμέλιο, με μόνη εξαίρεση τη στροφή που είναι μεγαλύτερη. Σε όλες τις αποστάσεις το ευρύ θεμέλιο έχει οριζόντια μετατόπιση μικρότερη από εκείνη που θα είχε το έδαφος στην ίδια θέση αν δεν υπήρχε το θεμέλιο, αλλά αυτό δεν ισχύει μόνο όταν το στενό θεμέλιο είναι σε μικρή απόσταση L από τον αναβαθμό. Επιπλέον, όσο μικραίνει η απόσταση L μεγαλώνει ελαφρά μόνο η καθίζηση του ευρύ θεμελίου, σε αντίθεση με το στενό όπου η αύξηση αυτή είναι μεγαλύτερη.

Στη συνέχεια, η διερεύνηση επικεντρώνεται στην επίδραση του φορτίου q του ευρύ θεμελίου, δηλαδή παρουσιάζονται αποτελέσματα για ευρύ θεμέλιο σε απόσταση $L = 10\text{m}$, με φορτίο $q = 50$ και 175 kPa . Συγκεκριμένα, ξεκινώντας από τις οριζόντιες μετακινήσεις D_h του πρανούς, στα Σχήματα 4.43 και 4.44 φαίνονται οι ισοκαμπύλες τους για φορτίο ευρύ θεμελίου $q = 50$ και 175 kPa , αντίστοιχα. Υπενθυμίζεται ότι στο Σχήμα 4.32 παρουσιάστηκαν οι αντίστοιχες ισοκαμπύλες για φορτίο $q = 100\text{ kPa}$.



Σχήμα 4.43 : Ισοκαμπύλες οριζόντιων μετακινήσεων D_h για αναβαθμό $H = 2\text{ m}$, με θεμέλιο πλάτους $B = 20\text{ m}$ και φορτίου $q = 50\text{ kPa}$ σε απόσταση $L = 10\text{ m}$ από τη στέψη του αναβαθμού.

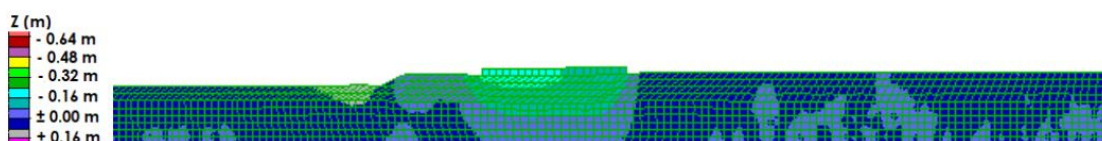


Σχήμα 4.44 : Ισοκαμπύλες οριζόντιων μετακινήσεων D_h για αναβαθμό $H = 2\text{ m}$, με θεμέλιο πλάτους $B = 20\text{ m}$ και φορτίου $q = 175\text{ kPa}$ σε απόσταση $L = 10\text{ m}$ από τη στέψη του αναβαθμού.

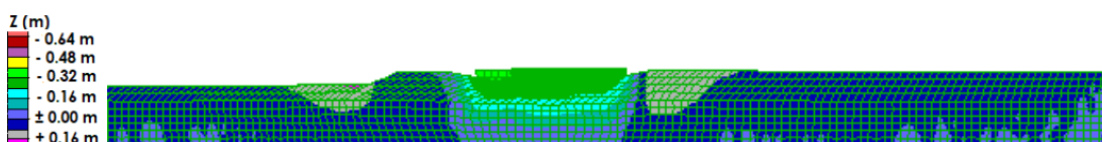
Ποιοτικά, η επίδραση του φορτίου q σε ευρύ θεμέλιο είναι ίδια με την επίδρασή του σε στενό. Δηλαδή, προκύπτει ίδια επίδραση στις οριζόντιες μετατοπίσεις D_h απλά με μεγαλύτερη ένταση, όσο αυξάνει το φορτίο q . Για παράδειγμα, η αύξηση των μετατοπίσεων D_h «μπροστά» από το ευρύ θεμέλιο και στην περιοχή

του αναβαθμού σε σχέση με ό,τι προκύπτει για το πρηνές χωρίς θεμέλιο είναι πιο έντονη, όσο αυξάνει το φορτίο q . Και αντίστοιχα, είναι πιο έντονη η απομείωση των μετατοπίσεων D_h αλλά και η αντιστροφή της κατεύθυνσης τους «πίσω» από το ευρύ θεμέλιο, όσο αυξάνει το φορτίο του. Αυτή η αντιστροφή κατεύθυνσης της οριζόντιας μετατόπισης του εδάφους είναι η μόνη ποιοτική διαφορά που εμφανίζει το ευρύ θεμέλιο, σε σχέση με το στενό που αδυνατεί να αντιστρέψει την κατεύθυνση μετατόπισης του πρηνούς. Ως αποτέλεσμα αυτής της αντιστροφής, το ίδιο το ευρύ θεμέλιο έχει σχεδόν μηδενική οριζόντια μετατόπιση για πολύ μεγάλο φορτίο ($q = 175 \text{ kPa}$).

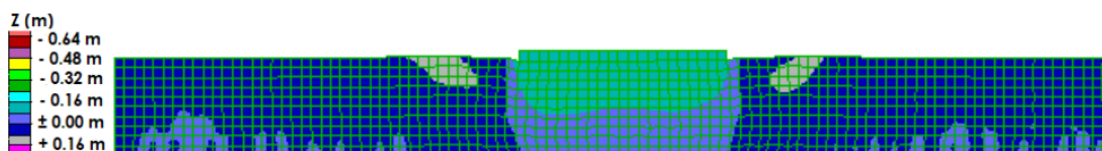
Στη συνέχεια, η έμφαση δίνεται στη σύγκριση των ισοκαμπυλών κατακόρυφων μετακινήσεων Z για τις ίδιες περιπτώσεις αλληλεπίδρασης πρηνούς – ευρέος θεμελίου. Στα Σχήματα 4.45 και 4.46 παρουσιάζονται οι προαναφερθείσες για φορτία $q = 50 \text{ kPa}$ και 175 kPa για εδαφική στρώση με ρηχό αναβαθμό, ενώ στα Σχήματα 4.47 και 4.48 για τα αντίστοιχα φορτία όταν το έδαφος δεν έχει αναβαθμό. Υπενθυμίζεται ότι στα Σχήματα 4.37 και 4.40 φαίνονται οι ισοκαμπύλες κατακόρυφων μετακινήσεων για φορτίο ευρέος θεμελίου $q = 100 \text{ kPa}$ και εδαφική στρώση με και χωρίς αναβαθμό αντίστοιχα.



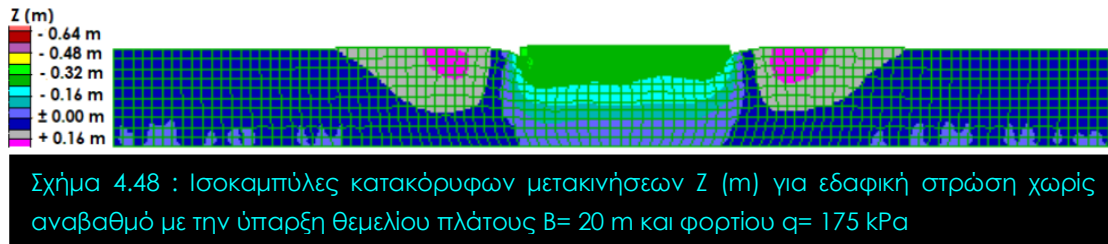
Σχήμα 4.45 : Ισοκαμπύλες κατακόρυφων μετακινήσεων Z (m) στο τέλος της διέγερσης για εδαφική στρώση με αναβαθμό $H = 2 \text{ m}$ με θεμέλιο πλάτους $B = 20 \text{ m}$ και φορτίου $q = 50 \text{ kPa}$ σε απόσταση $L = 10 \text{ m}$.



Σχήμα 4.46 : Ισοκαμπύλες κατακόρυφων μετακινήσεων Z (m) στο τέλος της διέγερσης για εδαφική στρώση με αναβαθμό $H = 2 \text{ m}$ με θεμέλιο πλάτους $B = 20 \text{ m}$ και φορτίου $q = 175 \text{ kPa}$ σε απόσταση $L = 10 \text{ m}$.

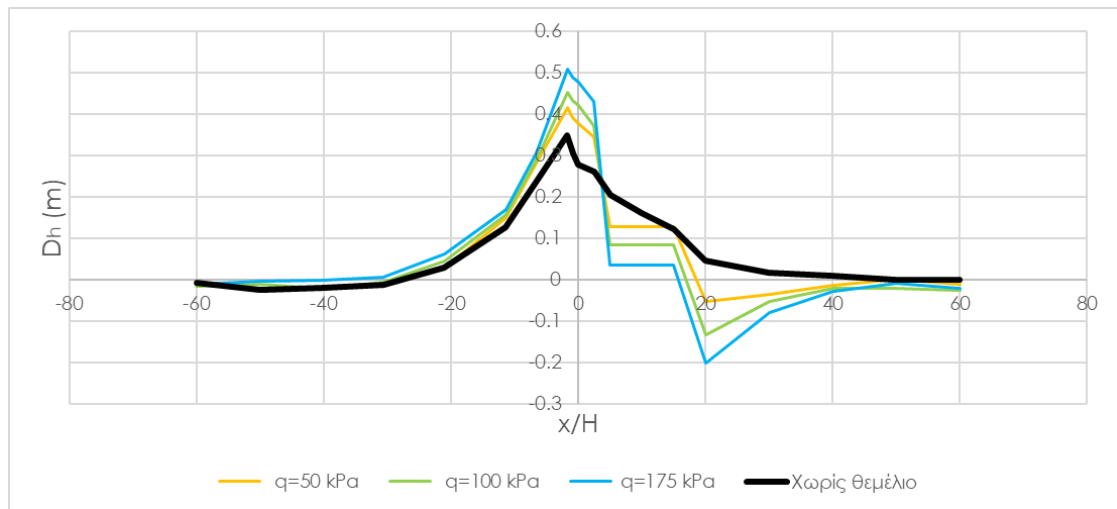


Σχήμα 4.47 : Ισοκαμπύλες κατακόρυφων μετακινήσεων Z (m) για εδαφική στρώση χωρίς αναβαθμό με την ύπαρξη θεμελίου πλάτους $B = 20 \text{ m}$ και φορτίου $q = 50 \text{ kPa}$

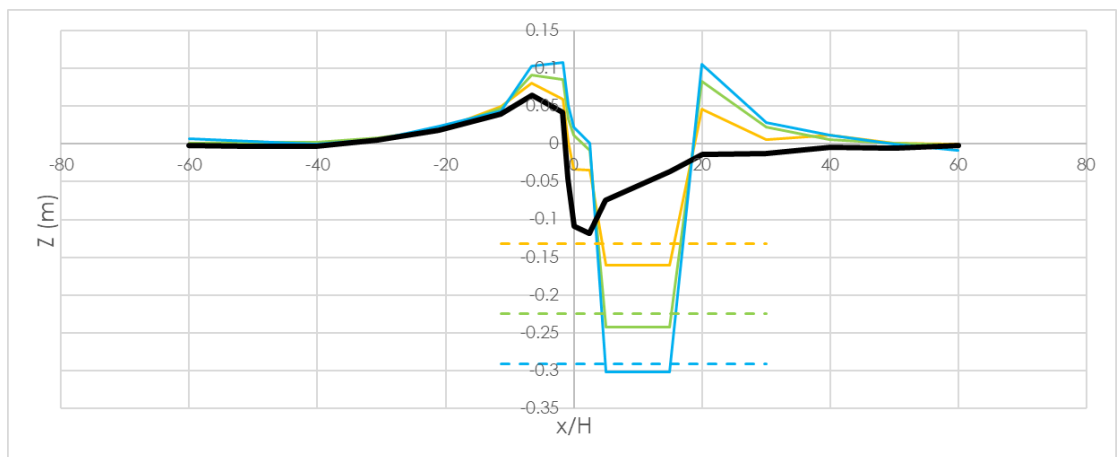


Αρχικά αναφέρεται ότι από τα Σχήματα 4.45, 4.37 και 4.46 παρατηρείται ότι με την αύξηση του φορτίου q το ευρύ θεμέλιο παρουσιάζει μεγαλύτερες κατακόρυφες μετακινήσεις κυρίως κάτω από αυτό, ενώ ταυτόχρονα αυξάνεται και η διόγκωση του εδάφους εκατέρωθεν αυτού. Η διόγκωση αυτή είναι τόσο σημαντική που αντιστρέφει την τάση για μικρή καθίζηση «πίσω» από το ευρύ θεμέλιο, αλλά καταφέρνει να αντιστρέψει και την τάση για μεγάλες καθιζήσεις πλησίον της στέψης, τουλάχιστον όταν το φορτίο $q = 175$ kPa. Συγκρίνοντας την εικόνα αυτή, με την αντίστοιχη για στενό θεμέλιο (Σχήματα 4.26, 4.18 και 4.27) θα προκύψει ότι η αλληλεπίδραση ευρέος θεμελίου – πρανούς είναι πολύ πιο έντονη από εκείνη με το στενό θεμέλιο, στην ίδια πάντα απόσταση L και για το ίδιο κάθε φορά φορτίο q . Για παράδειγμα, για στενό θεμέλιο δεν εντοπίζεται αυτή η έντονη τάση για διόγκωση, ακόμη και για $q = 175$ kPa, οπότε δεν παρατηρούνται οι αντιστροφές στην απόκριση του πρανούς (π.χ., διόγκωση εκεί που παρατηρείται καθίζηση, όταν δεν υπάρχει θεμέλιο). Από την άλλη, η καθίζηση των ευρέων θεμελίων είναι ήδη αρκετά μεγάλη και σε επίπεδο έδαφος, οπότε η εγγύτητα με το πρανές προσαυξάνει πάλι τις καθιζήσεις τους, αλλά συγκριτικά λιγότερο απ' ό,τι για το στενό θεμέλιο.

Για πληρέστερη μελέτη της επίδρασης του φορτίου q του ευρέος θεμελίου στις μετατοπίσεις του πρανούς, στα Σχήματα 4.49 και 4.50 παρατίθενται τα διαγράμματα των οριζόντων D_h και κατακόρυφων μετατοπίσεων Z στην επιφάνεια του πρανούς και μόνο, ως συνάρτηση του λόγου της απόστασης από τη στέψη x προς το ύψος αναβαθμού H για τις προαναφερθείσες περιπτώσεις. Συνοψίζοντας, από τα σχήματα αυτά προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα, συμπληρωματικά σε όσα προέκυψαν από τη μελέτη των ισοκαμπυλών των D_h και Z ανωτέρω:



Σχήμα 4.49 : Οριζόντιες μετακινήσεις D_h (m) συναρτήσει του λόγου απόστασης από στέψη x (m) προς ύψος αναβαθμού H (m) για εδαφική στρώση με αναβαθμό $H = 2$ m, χωρίς και με την ύπαρξη θεμελίου πλάτους $B = 20$ m σε απόσταση $L = 10$ m από τη στέψη, με φορτίο $q = 50, 100$ και 175 kPa .



Σχήμα 4.50 : Κατακόρυφες μετακινήσεις Z (m) συναρτήσει του λόγου απόστασης από στέψη x (m) προς ύψος αναβαθμού H (m) για εδαφική στρώση με αναβαθμό $H = 2$ m, χωρίς και με την ύπαρξη θεμελίου πλάτους $B = 20$ m, σε απόσταση $L = 10$ m από τη στέψη, με φορτίο $q = 50, 100$ και 175 kPa .

α) Ανεξαρτήτως φορτίου θεμελίου q , για τη συγκεκριμένη θέση ευρέος θεμελίου, οι μετατοπίσεις D_h αυξάνουν σημαντικά «μπροστά» από το θεμέλιο, στον πόδα του αναβαθμού και «μπροστά» από αυτόν, ενώ «πίσω» από το θεμέλιο αντιστρέφονται (δηλαδή απομακρύνεται το έδαφος από τον αναβαθμό). Η αύξηση του φορτίου q επιφέρει αυξήσεις στις εν λόγω αυξήσεις των μετατοπίσεων D_h προς την αρνητική και θετική κατεύθυνση, αντίστοιχα. Συγκριτικά, για το στενό θεμέλιο στην ίδια θέση, οι προαναφερθείσες αυξήσεις των μετατοπίσεων D_h προς την αρνητική κατεύθυνση λόγω φορτίου q είναι

μικρότερες, ενώ δεν εμφανίζονται πρακτικώς αντίστροφες μετατοπίσεις «πίσω» από το θεμέλιο.

β) Ανεξαρτήτως φορτίου θεμελίου q , για το συγκεκριμένη θέση ευρέος θεμελίου, οι καθιζήσεις ($Z < 0$) αυξάνουν σημαντικά στην περιοχή του θεμελίου, και ταυτόχρονα εμφανίζονται και μεγαλύτερες ανυψώσεις ($Z > 0$) «μπροστά» από τον πόδα. Η αύξηση του φορτίου q επιφέρει αυξήσεις στις εν λόγω τοπικές επιπλέον καθιζήσεις και ανυψώσεις, ενώ «πίσω» από το θεμέλιο οι ανυψώσεις είναι τόσο μεγάλες που δεν εμφανίζεται καν η τάση για μικρή καθίζηση που έχει το πρανές άνευ θεμελίου. Συγκριτικά, για το στενό θεμέλιο στην ίδια θέση, οι προαναφερθείσες αυξήσεις των καθιζήσεων και ανυψώσεων λόγω φορτίου q είναι σαφώς μικρότερες, ενώ δεν εξαφανίζεται η διάθεση για καθιζήσεις «πίσω» από το θεμέλιο.

γ) Λόγω του αναβαθμού, για τη συγκεκριμένη θέση θεμελίου, μια αύξηση του φορτίου q του ευρέος θεμελίου προκαλεί σημαντική μείωση στην οριζόντια μετατόπιση που υπόκειται, μα σαφώς αυξητική επίδραση στις καθιζήσεις του, που είναι ούτως ή άλλως σαφώς μεγαλύτερες απ' ότι για το στενό θεμέλιο.

4.7 ΑΠΟΚΡΥΣΤΑΛΛΩΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Σε αυτήν την παράγραφο θα γίνει μία σύνοψη των πορισμάτων που προέκυψαν από τις αναλύσεις των προηγούμενων παραγράφων του Κεφαλαίου, με στόχο την αποκρυστάλλωση της αλληλεπίδρασης ρηχού αναβαθμού - κατασκευής. Τα συμπεράσματα αυτά είναι τα κάτωθι:

(α) Μια οριζόντια στρώση υπό πλευρική εξάπλωση λόγω αναβαθμού χωρίς επιφόρτιση λόγω ύπαρξης θεμελίου υπόκειται σε οριζόντιες D_h και κατακόρυφες μετατοπίσεις Z , οι οποίες φθίνουν με την απόσταση από τον αναβαθμό. «Πίσω» από τη στέψη, οι μετατοπίσεις D_h είναι προς τον αναβαθμό, αλλά «μπροστά» από τον πόδα οι μετατοπίσεις D_h είναι προς την αντίθετη κατεύθυνση. Ταυτόχρονα, προκαλούνται καθιζήσεις Z «πίσω» από τη στέψη και ανυψώσεις «μπροστά» από τον πόδα.

(β) Το ως άνω γενικό προφίλ εδαφικών μετατοπίσεων του πρανούς επηρεάζεται έντονα από την ύπαρξη θεμελίου πλάτους B , φορτίου q σε (ελάχιστη) απόσταση L «πίσω» από τη στέψη. Αντίστοιχα, το θεμέλιο εμφανίζει οριζόντια μετατόπιση και στροφή προς τον αναβαθμό, ενώ οι καθιζήσεις του μεγαλώνουν συγκριτικά

με ό,τι θα είχε σε έδαφος χωρίς αναβαθμό. Γενικώς, η αλληλεπίδραση πρανούς - θεμελίου είναι πιο έντονη όσο μεγαλώνει το πλάτος B και το φορτίο q του θεμελίου και όσο μικραίνει η απόσταση L αυτού από τη στέψη. Πάντως, για ευρύ θεμέλιο, οι οριζόντιες μετατοπίσεις και οι στροφές είναι σαφώς μικρότερες από εκείνες του στενού θεμελίου με το ίδιο φορτίο q στην ίδια θέση, ενώ το αντίθετο συμβαίνει στις καθιζήσεις τους. Αντιθέτως, η αύξηση του φορτίου q οδηγεί σε μείωση των οριζοντίων μετατοπίσεων και στροφών, ενώ το αντίθετο συμβαίνει στις καθιζήσεις του.

(γ) Ποιοτικά η αλληλεπίδραση ρηχού πρανούς - θεμελίου σε όρους οριζοντίων μετατοπίσεων D_h δεν εξαρτάται έντονα από το εύρος του θεμελίου. Συγκεκριμένα, συγκριτικά με την απόκριση του πρανούς χωρίς θεμέλιο, η περιοχή ανάμεσα στη στέψη και το θεμέλιο εμφανίζει αυξημένες μετατοπίσεις D_h , ενώ η περιοχή «πίσω» από το θεμέλιο το ανάποδο. Για μεγάλες αποστάσεις (π.χ. $L = 60\text{m}$) αυτή η επίδραση «μπροστά» από το θεμέλιο εξαλείφεται όσο προσεγγίζεται η στέψη του πρανούς. Για κοντινές αποστάσεις (π.χ. $L = 5 - 10\text{m}$), υπάρχει αυξητική επίδραση του θεμελίου στις τιμές D_h και «μπροστά» από τον πόδα του πρανούς. Σε κάθε περίπτωση, η μέγιστη D_h εμφανίζεται στην περιοχή του πόδα του πρανούς. Ποσοτικά όμως, η διαφοροποίηση στις μετατοπίσεις D_h σε σχέση με την απόκριση του πρανούς χωρίς θεμέλιο είναι πιο σημαντική όταν το θεμέλιο είναι ευρύ, δηλαδή η αλληλεπίδραση εμφανίζεται εντονότερη. Και υπάρχει και μια ποιοτική διαφορά λόγω εύρους θεμελίου, όταν τουλάχιστον βρίσκεται σε μικρή απόσταση από τη στέψη. Μπορεί να προκληθεί αντιστροφή των μετακινήσεων D_h «πίσω» από το θεμέλιο, δηλαδή το έδαφος να αρχίσει να απομακρύνεται από τον αναβαθμό, με την τάση αυτή να μεγαλώνει όσο μεγαλώνει το φορτίο του ευρέος θεμελίου.

(δ) Ποιοτικά η αλληλεπίδραση ρηχού πρανούς - θεμελίου σε όρους κατακόρυφων μετατοπίσεων Z δεν εξαρτάται έντονα από το εύρος του θεμελίου. Συγκεκριμένα, το θεμέλιο επηρεάζει δυσμενώς τις καθιζήσεις του εδάφους «πίσω» από τη στέψη μόνο στην περιοχή του, και μόνο αν βρίσκεται σε κοντινή απόσταση ($L = 5 - 10\text{m}$) επηρεάζει επιπλέον δυσμενώς και τις ανυψώσεις «μπροστά» από τον πόδα του πρανούς. Η αύξηση του φορτίου q και του εύρους B επιφέρει αυξήσεις στις εν λόγω επιπλέον καθιζήσεις και ανυψώσεις. Σε κάθε περίπτωση όμως, η μέγιστη καθίζηση εμφανίζεται στη θέση του θεμελίου, ενώ η μέγιστη ανύψωση λίγο πιο «μπροστά» από τον πόδα του πρανούς. Όμως, υπάρχει και μια ποιοτική διαφοροποίηση λόγω εύρους θεμελίου. Συγκεκριμένα, το ευρύ θεμέλιο εμφανίζει σημαντικές τοπικές ανυψώσεις εκατέρωθεν αυτού λόγω ενεργοποίησης του μηχανισμού φέρουσας ικανότητας που αναπτύσσεται στο έδαφος υπό αυτό. Οι ανυψώσεις αυτές σε ευρύ θεμέλιο είναι τόσο

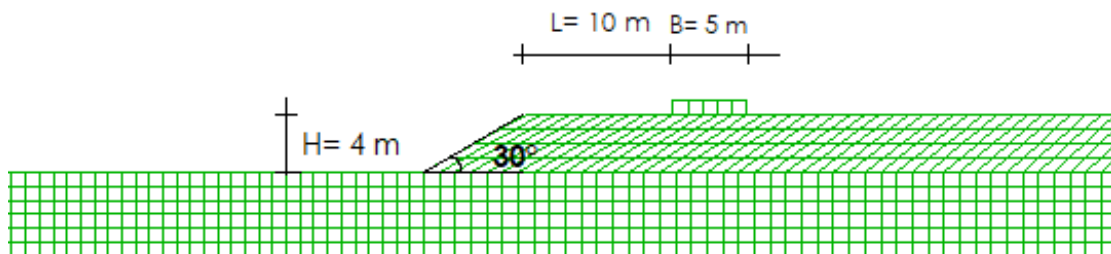
σημαντικές που αντιστρέφουν τη διάθεση του πρηνούς για μικρή καθίζηση λόγω πλευρικής εξάπλωσης «πίσω» από αυτό.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

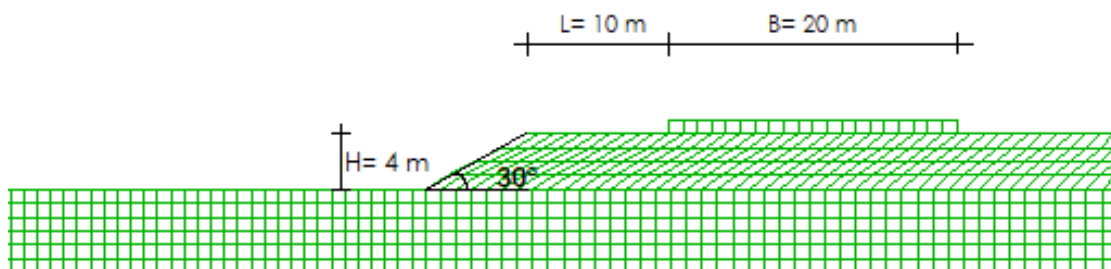
ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΜΕ ΠΛΕΥΡΙΚΩΣ ΕΞΑΠΛΟΥΜΕΝΗ ΕΔΑΦΙΚΗ ΣΤΡΩΣΗ ΠΡΟΣ ΒΑΘΥ ΑΝΑΒΑΘΜΟ

5.1 ΣΥΝΟΨΗ

Στις προηγούμενες παραγράφους εξετάστηκε η περίπτωση στην οποία ο αναβαθμός θεωρούνταν ρηχός με ύψος $H = 2$ m. Σε αυτό το κεφάλαιο, όλη η μελέτη θα αφορά σε πλευρικώς εξαπλούμενη στρώση προς βαθύ αναβαθμό με ύψος $H = 4$ m. Οι αναλύσεις θα αφορούν στην αλληλεπίδραση αναβαθμού με κατασκευή πλάτους B και (ομοιόμορφου) φορτίου q , που βρίσκεται σε απόσταση L από τη στέψη του βαθύ αναβαθμού, όπως παρουσιάζεται στα Σχήματα 5.1 και 5.2, για τις περιπτώσεις όπου $L = 10$ m, αλλά η κατασκευή είναι στενή ($B = 5$ m) ή ευρεία ($B = 20$ m), αντίστοιχα.



Σχήμα 5.1 Τμήμα καννάβου με εδαφική στρώση με αναβαθμό ύψους $H = 4$ m και κλίσης 30° θεμέλιο πλάτους $B = 5$ m σε απόσταση από τη στέψη $L = 10$ m.



Σχήμα 5.2 Τμήμα καννάβου με εδαφική στρώση με αναβαθμό ύψους $H = 4$ m και κλίσης 30° με θεμέλιο πλάτους $B = 20$ m σε απόσταση από τη στέψη $L = 10$ m.

Στην παράγραφο 5.2 παρατίθεται η τυπική απόκριση της πλευρικώς εξαπλούμενης στρώσης με και χωρίς κατασκευή στη γειτονία του αναβαθμού, ώστε να αποσαφηνιστεί ποιοτικά η μορφή της αλληλεπίδρασης και να καταγραφούν τα φυσικά μεγέθη ενδιαφέροντος. Υπάρχουν πάντα και οι αναλύσεις αναφοράς, όπως είδαμε και στο Κεφάλαιο 4.

Στον Πίνακα 5.1 συνοψίζονται τα χαρακτηριστικά των αναλύσεων σεισμικής απόκρισης εδάφους – κατασκευής που παρουσιάζονται στο παρόν κεφάλαιο, σε όρους B, L και q, καθώς τα χαρακτηριστικά του εδάφους και της σεισμικής διέγερσης παραμένουν ίδια σε όλες τις αναλύσεις (βλ. Κεφάλαιο 3).

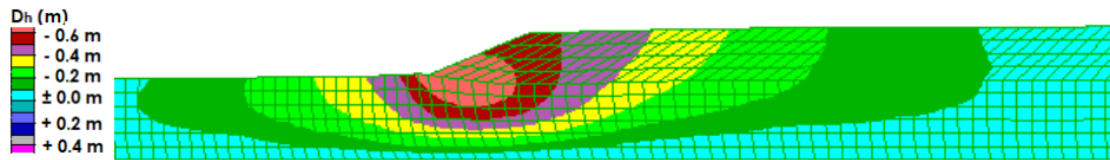
| Ύψος Αναβαθμού H= 4 m και πλάτη θεμελίου B= 5 m και 20 m | q= 100 kPa | q= 175 kPa | q= 50 kPa |
|--|------------|------------|-----------|
| L= 10 m | ✓ | ✓ | ✓ |
| L= 5 m | ✓ | - | - |
| L= 25 m | ✓ | - | - |
| L= 60 m | ✓ | - | - |

Πίνακας 5.1 : Χαρακτηριστικά των αναλύσεων σεισμικής απόκρισης εδάφους – κατασκευής σε όρους B, L και q.

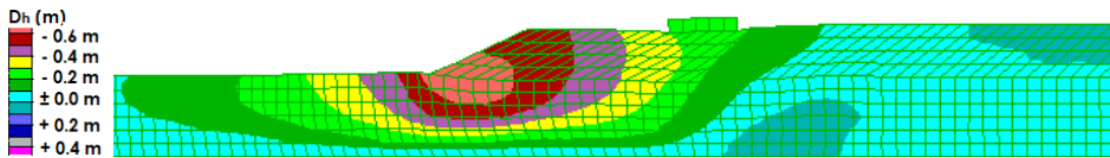
5.2 ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΣΤΡΩΣΗΣ ΜΕ ΚΑΙ ΧΩΡΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΠΛΗΣΙΟΝ ΒΑΘΥ ΑΝΑΒΑΘΜΟΥ

Στο προηγούμενο κεφάλαιο εξετάσαμε την περίπτωση ρηχού αναβαθμού ύψους H = 2 m. Στο παρόν κεφάλαιο θα εξετάσουμε την δυσμενέστερη ως προς τη γεωμετρία του αναβαθμού περίπτωση, δηλαδή αυτή του βαθύ αναβαθμού ύψους H = 4 m. Μας ενδιαφέρουν, και πάλι, η οριζόντια μετακίνηση του εδάφους, αλλά και η πιθανή καθίζηση ή ανύψωσή του. Στις παραγράφους οι οποίες ακολουθούν θα παρατηρήσουμε την αλληλεπίδραση εδάφους-κατασκευής για την περίπτωση του βαθύ αναβαθμού, με απώτερο στόχο τη σύγκριση με εκείνη που αφορά στον ρηχό αναβαθμό και παρουσιάστηκε στο προηγούμενο Κεφάλαιο.

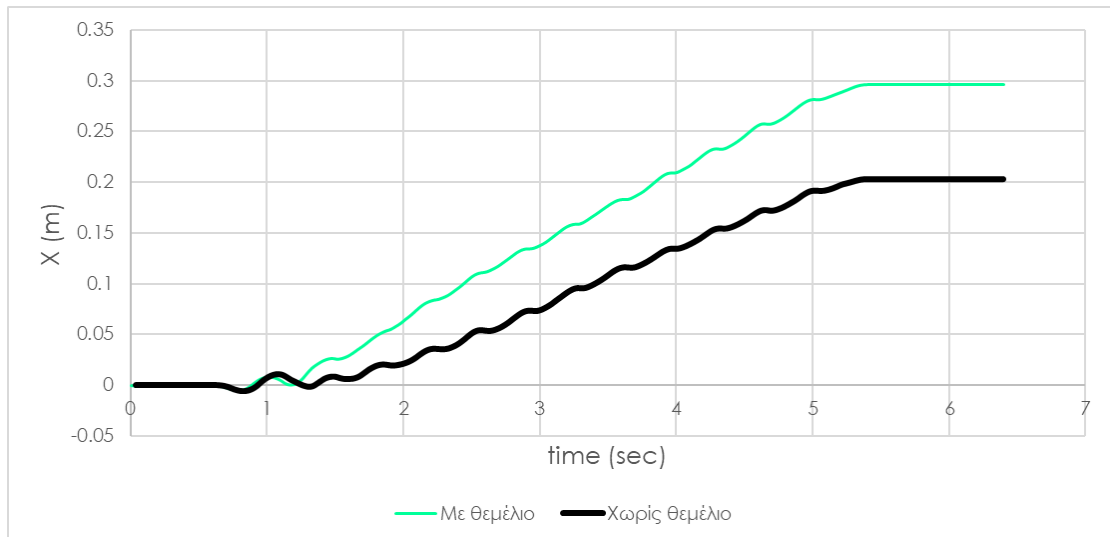
Επομένως στα Σχήματα 5.3 και 5.4 παρατίθενται οι ισοκαμπύλες οριζοντίων μετακινήσεων D_h του πλευρικώς εξαπλούμενου εδάφους, χωρίς και με το θεμέλιο (πλάτους $B = 5$ m σε απόσταση $L = 10$ m από τη στέψη), αντίστοιχα. Επίσης στο Σχήμα 5.5 συγκρίνονται οι χρονοϊστορίες οριζόντιας μετακίνησης της άκρης του θεμελίου (σε απόσταση $L = 10$ m από τη στέψη), με την αντίστοιχη μετακίνηση της ίδιας θέσης αν δεν υπήρχε το θεμέλιο.



Σχήμα 5.3 : Ισοκαμπύλες οριζόντιων μετακινήσεων D_h για εδαφική στρώση με αναβαθμό $H=4$ m χωρίς την ύπαρξη θεμελίου .



Σχήμα 5.4 : Ισοκαμπύλες οριζόντιων μετακινήσεων D_h για εδαφική στρώση με αναβαθμό $H=4$ m με θεμέλιο πλάτους $B=5$ m και φορτίου $q=100$ kPa σε απόσταση $L=10$ m από τη στέψη του αναβαθμού.

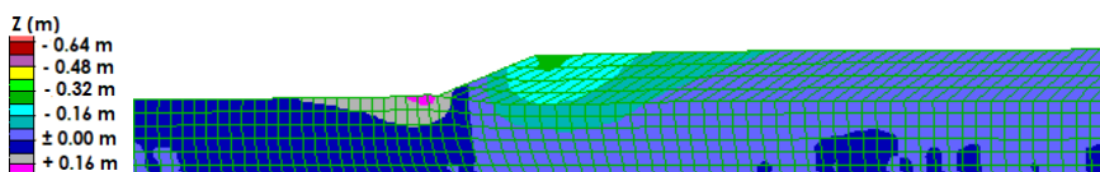


Σχήμα 5.5 Χρονοϊστορία οριζόντιας μετακίνησης X (m) της άκρης του θεμελίου πλάτους $B = 5$ m, φορτίου $q=100$ kPa σε απόσταση $L = 10$ από τη στέψη αναβαθμού ύψους $H=4$ m, και σύγκριση με εκείνη της ίδιας θέσης στην επιφάνεια του .

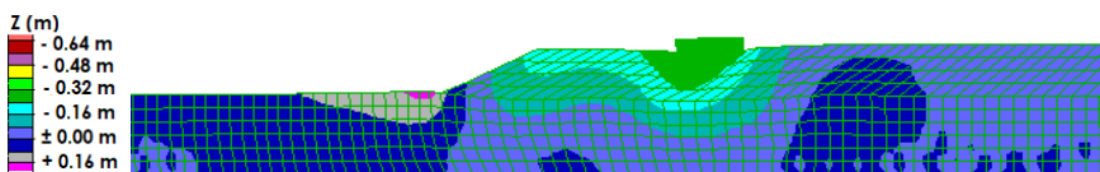
Παρατηρείται αρχικά ότι είτε υπάρχει είτε όχι κατασκευή, οι οριζόντιες μετακινήσεις στην περιοχή του αναβαθμού είναι έντονες. Υπάρχει αύξηση

οριζόντιων μετακινήσεων σε σχέση με αυτές για ρηχό αναβαθμό όπως φαίνεται στα Σχήματα 5.3 και 5.4 (εν συγκρίσει με τα αντίστοιχα Σχήματα 4.3, 4.4). Η παρουσία κατασκευής δεν επηρεάζει τόσο τις οριζόντιες μετακινήσεις μπροστά από αυτή αλλά εκείνες πίσω της καθώς όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.4 τις αναχαιτίζει. Με άλλα λόγια, ένας βαθύς αναβαθμός δημιουργεί στη στενή γειτονιά του μεγάλες οριζόντιες μετατοπίσεις, που είναι τόσο έντονες από μόνες τους ώστε να μην επηρεάζονται από την ύπαρξη ή μη επιφόρτισης λόγω κατασκευής. Από τις χρονοϊστορίες του Σχήματος 5.5 επιβεβαιώνονται τα συμπεράσματα από τις προαναφερθείσες ισοκαμπύλες, δηλαδή η γραμμική αύξηση της οριζόντιας μετακίνησης με το χρόνο για την αρμονική διέγερση, η οποία είναι μεγαλύτερη όταν υπάρχει το θεμέλιο σε αυτή τη θέση.

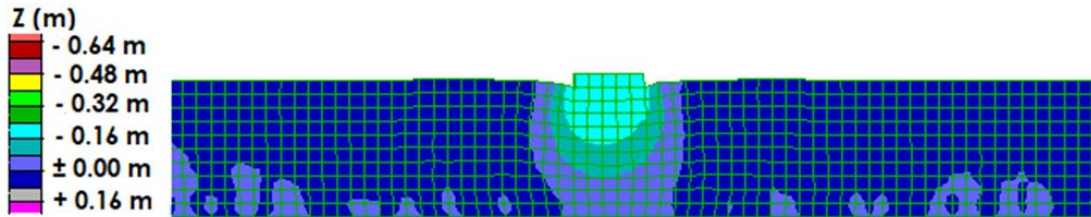
Στα Σχήματα 5.6, 5.7 παρουσιάζονται οι κατακόρυφες μετακινήσεις για πρηνές χωρίς και με κατασκευή αντίστοιχα και στο Σχήμα 5.8 φαίνονται οι κατακόρυφες μετακινήσεις ίδιας εδαφικής στρώσης χωρίς αναβαθμό, αλλά με την ύπαρξη κατασκευής ίδιου εύρους και φορτίου. Επιπλέον, στο Σχήμα 5.9 συγκρίνονται οι χρονοϊστορίες καθίζησης του κέντρου του θεμελίου όταν είναι πλησίον του αναβαθμού, με την αντίστοιχη καθίζηση αν το οριζόντιο έδαφος δεν έχει αναβαθμό.



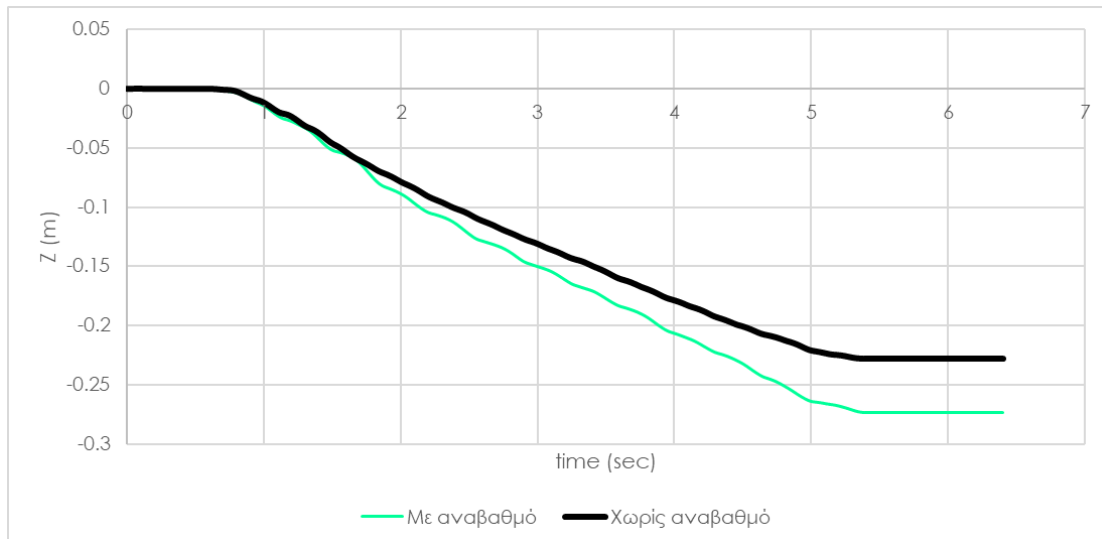
Σχήμα 5.6 : Ισοκαμπύλες κατακόρυφων μετακινήσεων Z (m) στο τέλος της διέγερσης για εδαφική στρώση με αναβαθμό H = 4 m χωρίς την ύπαρξη θεμελίου.



Σχήμα 5.7 : Ισοκαμπύλες κατακόρυφων μετακινήσεων Z (m) στο τέλος της διέγερσης για εδαφική στρώση με αναβαθμό H = 4 m με την ύπαρξη θεμελίου πλάτους B = 5 m και φορτίου q = 100 kPa σε απόσταση L = 10 m.



Σχήμα 5.8 : Ισοκαμπύλες κατακόρυφων μετακινήσεων Z (m) για εδαφική στρώση χωρίς αναβαθμό $H=4$ m με την ύπαρξη θεμελίου πλάτους $B=5$ m και φορτίου $q=100$ kPa .



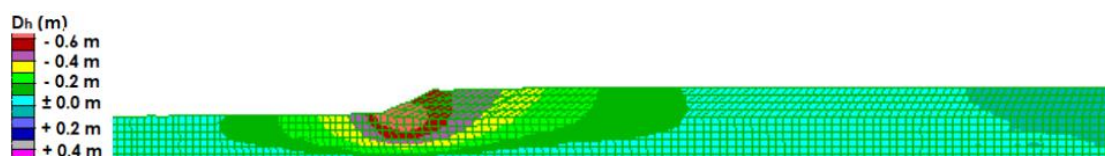
Σχήμα 5.9 : Χρονοϊστορία καθίζησης Z (m) του κέντρου θεμελίου πλάτους $B=5$ m, φορτίου $q=100$ kPa σε απόσταση $L=10$ m από τη στέψη αναβαθμού ύψους $H=4$ m, και σύγκριση με εκείνη της ίδιας θέσης στην επιφάνεια του εδάφους αν δεν υπήρχε θεμέλιο.

Και εδώ προκύπτει ότι είτε υπάρχει είτε όχι κατασκευή, πίσω από τον αναβαθμό παρατηρείται καθίζηση, ενώ μπροστά από αυτόν διόγκωση. Μάλιστα, η διόγκωση μπροστά από αυτόν δεν φαίνεται να επηρεάζεται καθόλου από την ύπαρξη της κατασκευής. Από την άλλη, η πιο έντονη καθίζηση στην περίπτωση χωρίς κατασκευή παρατηρείται στη στέψη του πρανούς, ενώ όταν υπάρχει κατασκευή, προφανώς, οι πιο μεγάλες καθιζήσεις σημειώνονται κάτω από αυτήν. Από τα Σχήματα 5.6 και 5.7 διαπιστώθηκε πώς επηρεάζει η κατασκευή τις κατακόρυφες μετακινήσεις του πρανούς. Από το Σχήμα 5.8 λοιπόν θα παρουσιαστεί πώς επηρεάζει ο αναβαθμός τις καθιζήσεις της κατασκευής. Παρατηρείται αύξηση των καθιζήσεων της κατασκευής, αν βρίσκεται πλησίον αναβαθμού. Επομένως ο αναβαθμός δρα δυσμενώς στις κατακόρυφες μετακινήσεις τις οποίες μπορεί να εμφανίσει η κατασκευή υπό σεισμική διέγερση. Τα ίδια συμπεράσματα επιβεβαιώνουν και οι χρονοϊστορίες του Σχήματος 5.9.

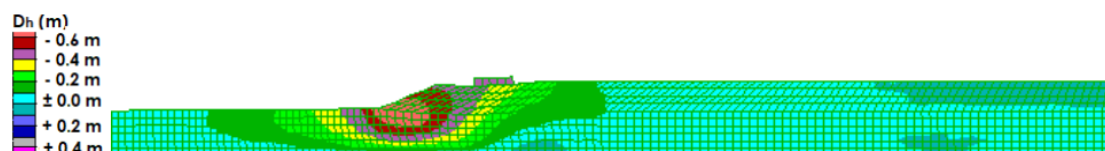
5.3 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΘΕΣΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΣΤΗΝ ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΣΤΡΩΣΗΣ ΠΛΗΣΙΟΝ ΒΑΘΥ ΑΝΑΒΑΘΜΟΥ

Σε αυτήν την παράγραφο παρουσιάζονται οι αναλύσεις οι οποίες αφορούν σε μεταβλητή θέση της κατασκευής ως προς τον βαθύ πια αναβαθμό. Στόχος είναι να αποτυπωθεί η αλληλεπίδραση πρανούς-κατασκευής για διαφορετικές θέσεις κατασκευής, με στόχο να εντοπιστεί ποια είναι η δυσμενέστερη θέση για την πλευρική εξάπλωση του αναβαθμού ή από ποια θέση και μετά η κατασκευή δεν επηρεάζει τις οριζόντιες μετακινήσεις στον αναβαθμό.

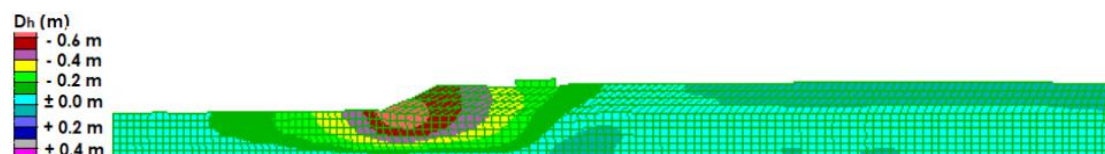
Θα ξεκινήσουμε από τις ισοκαμπύλες των οριζόντιων μετακινήσεων. Έτσι, στα Σχήματα 5.10, 5.11, 5.12, 5.13 και 5.14 φαίνονται οι οριζόντιες μετατοπίσεις για πρανές χωρίς κατασκευή, για πρανές με κατασκευή σε αποστάσεις 5 m, 10 m, 25 m και 50 m αντίστοιχα. Επισημαίνεται ότι τα Σχήματα 5.10 και 5.12 αποτελούν την επανάληψη των Σχημάτων 5.3 και 5.4 και ο λόγος της επανάληψης σε άλλη κλίμακα είναι η ευκρινέστερη άμεση σύγκριση των ισοκαμπυλών.



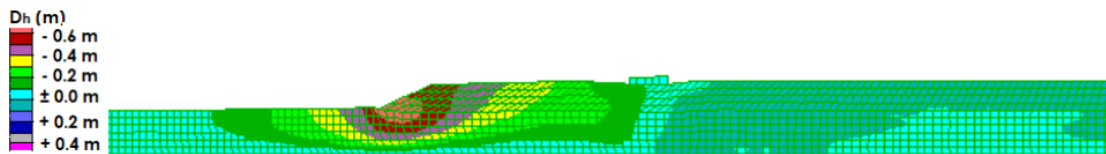
Σχήμα 5.10 : Ισοκαμπύλες οριζόντιων μετακινήσεων D_h για εδαφική στρώση με αναβαθμό $H=4$ m χωρίς την ύπαρξη θεμελίου .



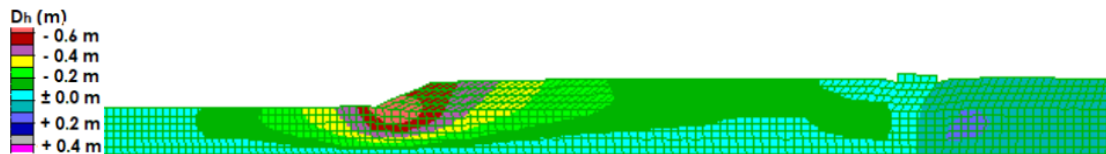
Σχήμα 5.11 : Ισοκαμπύλες οριζόντιων μετακινήσεων D_h για αναβαθμό $H=4$ m, με θεμέλιο πλάτους $B=5$ m και φορτίου $q=100$ kPa σε απόσταση $L=5$ m από τη στέψη του αναβαθμού.



Σχήμα 5.12 : Ισοκαμπύλες οριζόντιων μετακινήσεων D_h για αναβαθμό $H=4$ m, με θεμέλιο πλάτους $B=5$ m και φορτίου $q=100$ kPa σε απόσταση $L=10$ m από τη στέψη του αναβαθμού.



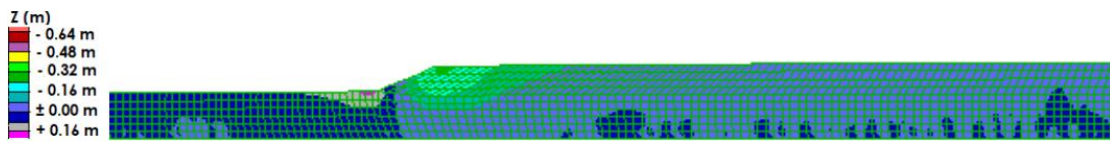
Σχήμα 5.13 : Ισοκαμπύλες οριζόντιων μετακινήσεων D_h για αναβαθμό $H=4$ m, με θεμέλιο πλάτους $B=5$ m και φορτίου $q=100$ kPa σε απόσταση $L=25$ m από τη στέψη του αναβαθμού.



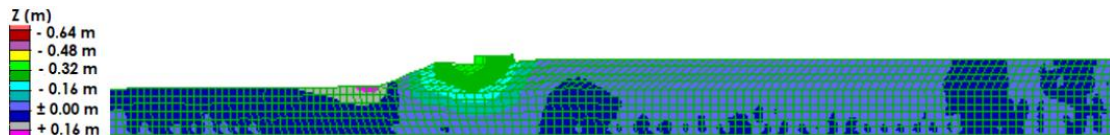
Σχήμα 5.14 : Ισοκαμπύλες οριζόντιων μετακινήσεων D_h για αναβαθμό $H=4$ m, με θεμέλιο πλάτους $B=5$ m και φορτίου $q=100$ kPa σε απόσταση $L=25$ m από τη στέψη του αναβαθμού.

Παρατηρείται ότι η δυσμενέστερη περίπτωση όσον αφορά στις οριζόντιες μετακινήσεις του πρανούς είναι για την κατασκευή να βρίσκεται στην πλησιέστερη στον αναβαθμό απόσταση, δηλαδή για $L = 5$ m. Μάλιστα σε αντίθεση με ό,τι συμβαίνει σε μεγαλύτερες αποστάσεις L , αν η κατασκευή βρίσκεται σε απόσταση μόλις 5 m δεν μπορεί να ανακόψει την πλευρική εξάπλωση του εδάφους πίσω από αυτήν. Το ίδιο, σε πολύ μικρότερη κλίμακα, το είδαμε και στο Σχήμα 4.12, για ρηχό πρανές (με ύψος $H = 2$ m). Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, και χωρίς την ύπαρξη κατασκευής, οι οριζόντιες μετακινήσεις στην περίπτωση βαθύ αναβαθμού είναι μεγάλες. Με την απομάκρυνση της κατασκευής από τη στέψη (δηλαδή για μεγάλες τιμές L) περιορίζονται οι μετακινήσεις πίσω από την κατασκευή και εκείνες στην περιοχή του αναβαθμού παίρνουν τιμές αντίστοιχες με εκείνες χωρίς κατασκευή. Πρακτικώς, για απόσταση $L = 25$ m και μεγαλύτερη η ύπαρξη κατασκευής παύει να είναι αισθητή στις οριζόντιες μετατοπίσεις της περιοχής του αναβαθμού.

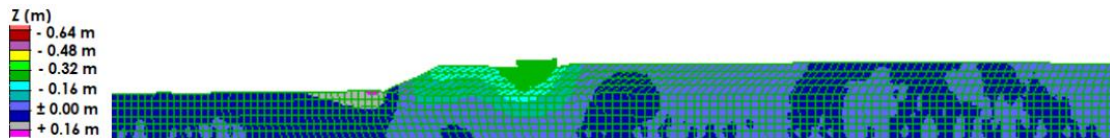
Στη συνέχεια θα εξεταστούν οι κατακόρυφες μετακινήσεις του πρανούς. Στα Σχήματα 5.15, 5.16, 5.17, 5.18 και 5.19 παρουσιάζονται οι ισοκαμπύλες κατακόρυφων μετατοπίσεων για πρανές χωρίς κατασκευή και για πρανές με κατασκευή σε αποστάσεις $L = 5$ m, 10 m, 25 m και 60 m, αντίστοιχα. Επίσης στο Σχήμα 5.20 φαίνονται οι αντίστοιχες ισοκαμπύλες την περίπτωση που το ίδιο θεμέλιο βρίσκεται σε εδαφική στρώση χωρίς αναβαθμό. Επισημαίνεται ότι το Σχήμα 5.20 είναι το ίδιο με τα Σχήματα 5.8, 4.8 και 4.21 και ο λόγος που επαναλαμβάνεται εδώ (σε άλλη κλίμακα) είναι για ευκρινέστερη σύγκριση των ισοκαμπυλών. Για τον ίδιο λόγο γίνεται και η επανάληψη των Σχημάτων 5.6 και 5.7 στα Σχήματα 5.15 και 5.16, αντίστοιχα.



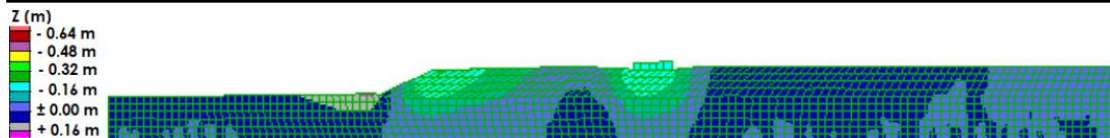
Σχήμα 5.15 : Ισοκαμπύλες κατακόρυφων μετακινήσεων Z (m) στο τέλος της διέγερσης για εδαφική στρώση με αναβαθμό $H = 4$ m χωρίς την ύπαρξη θεμελίου.



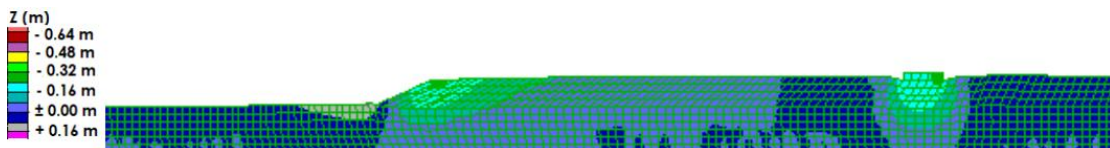
Σχήμα 5.16 : Ισοκαμπύλες κατακόρυφων μετακινήσεων Z (m) στο τέλος της διέγερσης για εδαφική στρώση με αναβαθμό $H = 4$ m με την ύπαρξη θεμελίου πλάτους $B = 5$ m και φορτίου $q = 100$ kPa σε απόσταση $L = 5$ m.



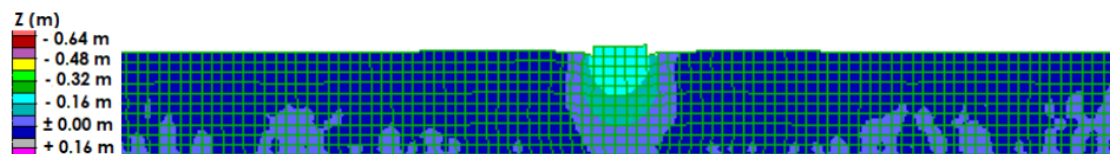
Σχήμα 5.17 : Ισοκαμπύλες κατακόρυφων μετακινήσεων Z (m) στο τέλος της διέγερσης για εδαφική στρώση με αναβαθμό $H = 4$ m με την ύπαρξη θεμελίου πλάτους $B = 5$ m και φορτίου $q = 100$ kPa σε απόσταση $L = 10$ m.



Σχήμα 5.18 : Ισοκαμπύλες κατακόρυφων μετακινήσεων Z (m) στο τέλος της διέγερσης για εδαφική στρώση με αναβαθμό $H = 4$ m με την ύπαρξη θεμελίου πλάτους $B = 5$ m και φορτίου $q = 100$ kPa σε απόσταση $L = 25$ m.



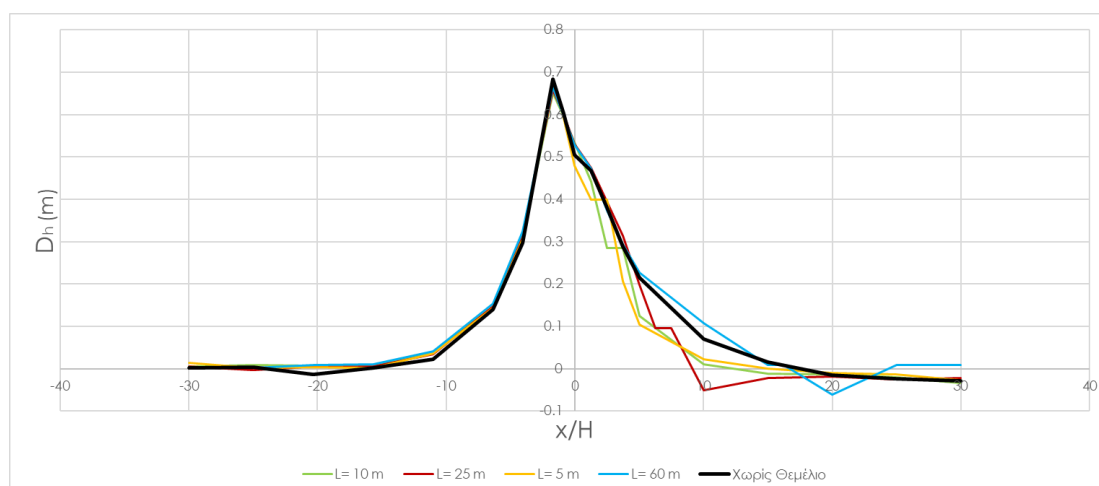
Σχήμα 5.19 : Ισοκαμπύλες κατακόρυφων μετακινήσεων Z (m) στο τέλος της διέγερσης για εδαφική στρώση με αναβαθμό $H = 4$ m με την ύπαρξη θεμελίου πλάτους $B = 5$ m και φορτίου $q = 100$ kPa σε απόσταση $L = 60$ m.



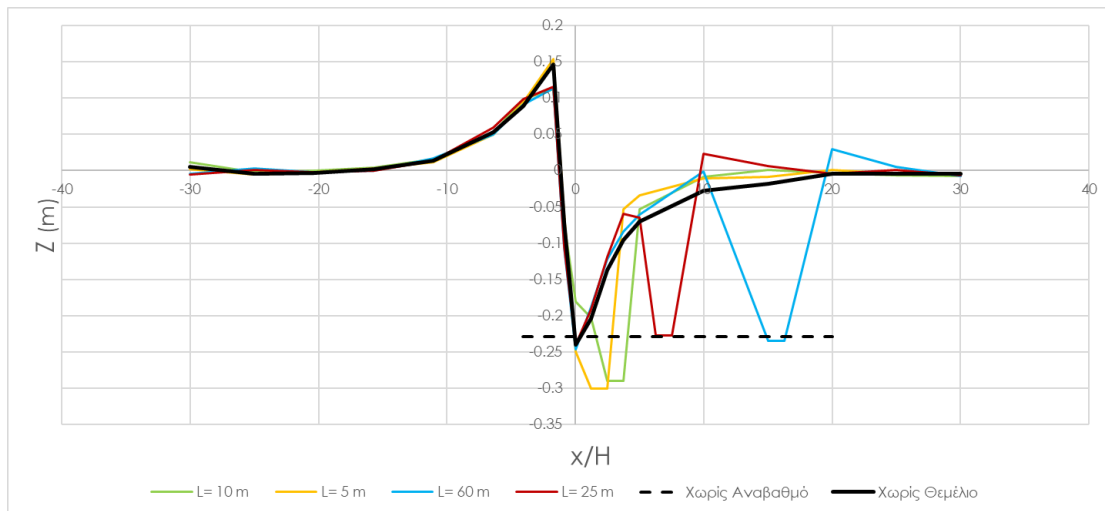
Σχήμα 5.20 : Ισοκαμπύλες κατακόρυφων μετακινήσεων Z (m) για εδαφική στρώση χωρίς αναβαθμό με την ύπαρξη θεμελίου πλάτους $B = 5$ m και φορτίου $q = 100$ kPa.

Παρατηρείται ότι η δυσμενέστερη περίπτωση και εδώ είναι για την ελάχιστη απόσταση της κατασκευής από τη στέψη, δηλαδή για $L = 5 \text{ m}$. Στις πλησιέστερες στη στέψη αποστάσεις, δηλαδή για $L = 5 \text{ m}$ και 10 m , οι μεγαλύτερες καθιζήσεις εμφανίζονται κάτω και λίγο μπροστά από την κατασκευή. Για αποστάσεις L μεγαλύτερες ή ίσες των 25 m , η ύπαρξη της κατασκευής δεν επηρεάζει τις κατακόρυφες μετατοπίσεις του αναβαθμού. Από το Σχήμα 5.20 φαίνεται πώς επηρεάζει η ύπαρξη αναβαθμού την κατασκευή σε όρους καθιζήσεων, και προκύπτει ότι ο αναβαθμός επιδεινώνει τις καθιζήσεις κάτω από την κατασκευή.

Στα Σχήματα 5.21 και 5.22 παρατίθενται τα διαγράμματα των οριζόντων D_h και κατακόρυφων Z μετατοπίσεων της επιφάνειας του εδάφους, συναρτήσει του λόγου της απόστασης X από τη στέψη προς το ύψος αναβαθμού H για τις διάφορες τιμές της απόστασης L . Με μαύρη καμπύλη εμφανίζεται η απόκριση του πρανούς χωρίς θεμέλιο, χάριν σύγκρισης, ενώ στο Σχήμα 5.22 με διακεκομμένη μαύρη γραμμή εμφανίζεται η καθίζηση του θεμελίου αν αυτό δεν ήταν σε έδαφος πλησίον αναβαθμού.



Σχήμα 5.21 : Οριζόντιες μετακινήσεις D_h (m) συναρτήσει του λόγου απόστασης από στέψη x (m) προς ύψος αναβαθμού H (m) για εδαφική στρώση με αναβαθμό $H=4 \text{ m}$, χωρίς και με την ύπαρξη θεμελίου πλάτους $B=5 \text{ m}$, φορτίου $q=100 \text{ kPa}$ και αποστάσεων κατασκευής από στέψη $L=5 \text{ m}$, 10 m , 25 m και 60 m .



Σχήμα 5.22 : Κατακόρυφες μετατοπίσεις Z (m) συναρτήσει του λόγου απόστασης από στέψη x (m) προς ύψος αναβαθμού H (m) για εδαφική στρώση χωρίς και με αναβαθμό $H= 4$ m, χωρίς και με την ύπαρξη θεμελίου πλάτους $B= 5$ m, φορτίου $q= 100$ kPa και αποστάσεων κατασκευής από στέψη $L = 5$ m, 10 m, 25 m και 60 m.

Συμπληρωματικά σε όσα προέκυψαν από τη μελέτη των ισοκαμπυλών των D_h και Z ανωτέρω, από τα Σχήματα 5.21 και 5.22 προκύπτουν τα παρακάτω συμπεράσματα για την αλληλεπίδραση βαθύ αναβαθμού – θεμελίου και την επίδραση της θέσης του θεμελίου:

α) Συγκριτικά με την απόκριση του ρηχού αναβαθμού, ο βαθύς αναβαθμός οδηγεί σε σημαντικά μεγαλύτερες οριζόντιες μετατοπίσεις. Από τη σύγκριση των Σχημάτων 4.22 και 5.21 προκύπτει αύξηση των οριζοντίων μετακινήσεων της επιφάνειας του εδάφους, ανεξαρτήτως αν υπάρχει ή όχι κατασκευή. Επιπλέον, πίσω από την κατασκευή, πάντα υπάρχει μια απομείωση των οριζοντίων μετατοπίσεων και για τα δύο βάθη του αναβαθμού. Υπάρχει όμως και μια σημαντική διαφορά. Στον βαθύ αναβαθμό, το (μεγάλο) μέγεθος των οριζοντίων μετατοπίσεων πλησίον του αναβαθμού και μπροστά από αυτόν δεν επηρεάζεται από την ύπαρξη ή μη της κατασκευής, ενώ αντιθέτως προσ αυξάνεται στην περίπτωση του ρηχού αναβαθμού. Φυσικά, με την αύξηση της απόστασης L της κατασκευής, αυτή η σχετική προσ αύξηση των οριζοντίων μετατοπίσεων εξαλείφεται όπως και στην περίπτωση του ρηχού αναβαθμού.

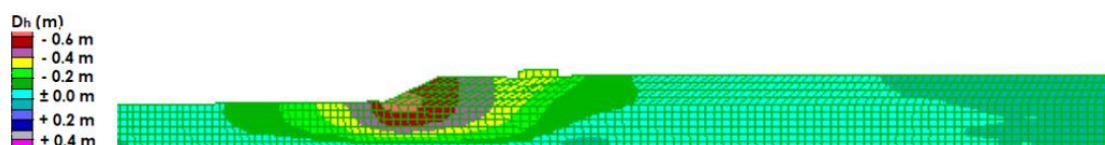
β) Αντίστοιχα σε σύγκριση των Σχημάτων 5.22 και 4.23, ο βαθύς αναβαθμός αποτελεί και για τις κατακόρυφες μετακινήσεις παράγοντα αύξησης, τόσο των καθιζήσεων πίσω από τη στέψη, όσο και των ανυψώσεων μπροστά από τον πόδα. Επιπλέον, στην περιοχή της κατασκευής, πάντα υπάρχει μια αύξηση των καθιζήσεων με δημιουργία μικρών τοπικών ανυψώσεων εκατέρωθεν αυτής, και αυτό προκύπτει και για τα δύο βάθη του αναβαθμού. Υπάρχει όμως και μια

σημαντική διαφορά. Στον βαθύ αναβαθμό, το (μεγαλύτερο) μέγεθος των καθιζήσεων/ανυψώσεων πλησίον του αναβαθμού δεν επηρεάζεται από την ύπαρξη ή μη της κατασκευής, ενώ αντιθέτως προσαυξάνεται στην περίπτωση του ρηχού αναβαθμού. Φυσικά, με την αύξηση της απόστασης L της κατασκευής, αυτή η σχετική προσαύξηση, κατ' απόλυτη τιμή, των κατακόρυφων μετατοπίσεων εξαλείφεται, όπως και στην περίπτωση του ρηχού αναβαθμού. Τέλος προκύπτει ότι για αποστάσεις L μεγαλύτερες ή ίσες των 25 m από τον βαθύ αναβαθμό δεν προκύπτει δυσμενής επίδραση στις καθιζήσεις του θεμελίου, ένα συμπέρασμα που θέλει περαιτέρω διερεύνησης καθώς δεν προκύπτει και για τον ρηχό αναβαθμό.

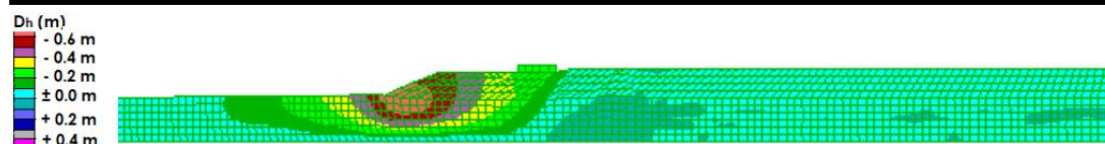
5.4 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΦΟΡΤΙΟΥ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΣΤΗΝ ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΣΤΡΩΣΗΣ ΠΛΗΣΙΟΝ ΒΑΘΥ ΑΝΑΒΑΘΜΟΥ

Σε αυτήν την παράγραφο θα διερευνηθεί πώς επιδρά το διαφορετικό φορτίο κατασκευής στην αλληλεπίδρασή της με το έδαφος. Όπως και στο Κεφάλαιο 4 με το ρηχό αναβαθμό, έτσι και σε αυτό με το βαθύ θα εξετασθούν οι ίδιες περιπτώσεις (ομοιόμορφων) φορτίων, δηλαδή για 50 kPa, 100 kPa και 175 kPa.

Αρχικά για τις οριζόντιες μετακινήσεις, στα Σχήματα 5.23 και 5.24 φαίνονται οι ισοκαμπύλες οριζόντιων μετακινήσεων για τα φορτία 50 kPa και 175 kPa αντίστοιχα. Στο Σχήμα 5.12 φαίνονται οι αντίστοιχες ισοκαμπύλες για φορτίο $q=100$ kPa, στην ίδια κλίμακα.



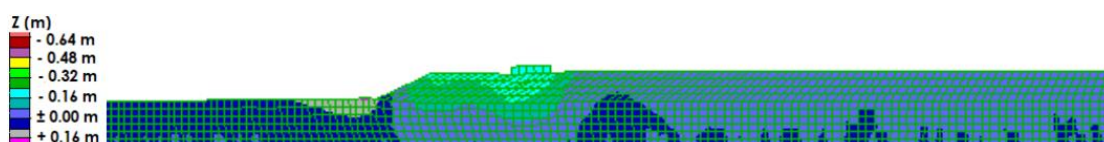
Σχήμα 5.23 : Ισοκαμπύλες οριζόντιων μετακινήσεων D_h για αναβαθμό $H=4$ m, με θεμέλιο πλάτους $B=5$ m και φορτίου $q=50$ kPa σε απόσταση $L=10$ m από τη στέψη του αναβαθμού.



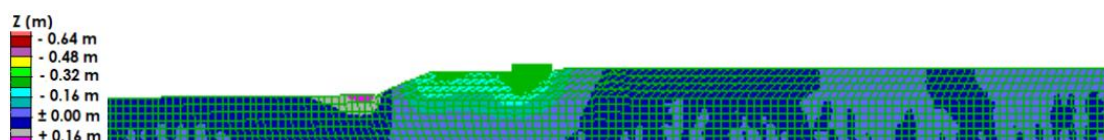
Σχήμα 5.24 : Ισοκαμπύλες οριζόντιων μετακινήσεων D_h για αναβαθμό $H=4$ m, με θεμέλιο πλάτους $B=5$ m και φορτίου $q=175$ kPa σε απόσταση $L=10$ m από τη στέψη του αναβαθμού.

Παρατηρείται ότι όσο πιο μεγάλο είναι το φορτίο της κατασκευής, τόσο μεγαλύτερες είναι οι οριζόντιες μετατοπίσεις της ίδιας της κατασκευής αλλά και της στενής γειτονιάς του αναβαθμού. Επίσης αξίζει να σημειωθεί ότι με την αύξηση του φορτίου, η κατασκευή περιορίζει την πλευρική εξάπλωση του εδάφους πίσω της. Η βαρύτερη δηλαδή κατασκευή δρα σταθεροποιητικά για το έδαφος πίσω από εκείνη, τουλάχιστον σε ό,τι αφορά στην οριζόντια μετακίνηση. Φυσικά, λόγω του μεγαλύτερου βάθους αναβαθμού, οι οριζόντιες μετατοπίσεις είναι γενικώς μεγαλύτερες συγκριτικά με ό,τι παρατηρήθηκε στον ρηχό αναβαθμό.

Για τις κατακόρυφες μετακινήσεις, στα Σχήματα 5.25 και 5.26 φαίνονται οι ισοκαμπύλες κατακόρυφων μετατοπίσεων για τα προαναφερθέντα φορτία κατασκευής 50 kPa και 175 kPa, αντίστοιχα. Στο Σχήμα 5.17 φαίνονται οι αντίστοιχες ισοκαμπύλες για φορτίο $q = 100$ kPa, στην ίδια κλίμακα.



Σχήμα 5.25 : Ισοκαμπύλες κατακόρυφων μετακινήσεων Z (m) στο τέλος της διέγερσης για εδαφική στρώση με αναβαθμό $H = 4$ m με την ύπαρξη θεμελίου πλάτους $B = 5$ m και φορτίου $q = 50$ kPa σε απόσταση $L = 10$ m.

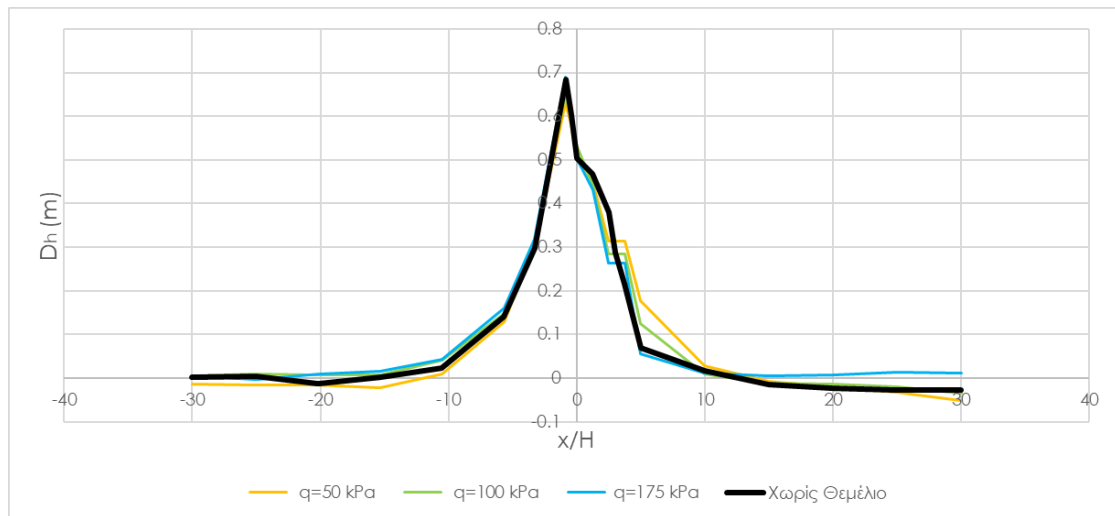


Σχήμα 5.26 : Ισοκαμπύλες κατακόρυφων μετακινήσεων Z (m) στο τέλος της διέγερσης για εδαφική στρώση με αναβαθμό $H = 4$ m με την ύπαρξη θεμελίου πλάτους $B = 5$ m και φορτίου $q = 175$ kPa σε απόσταση $L = 10$ m.

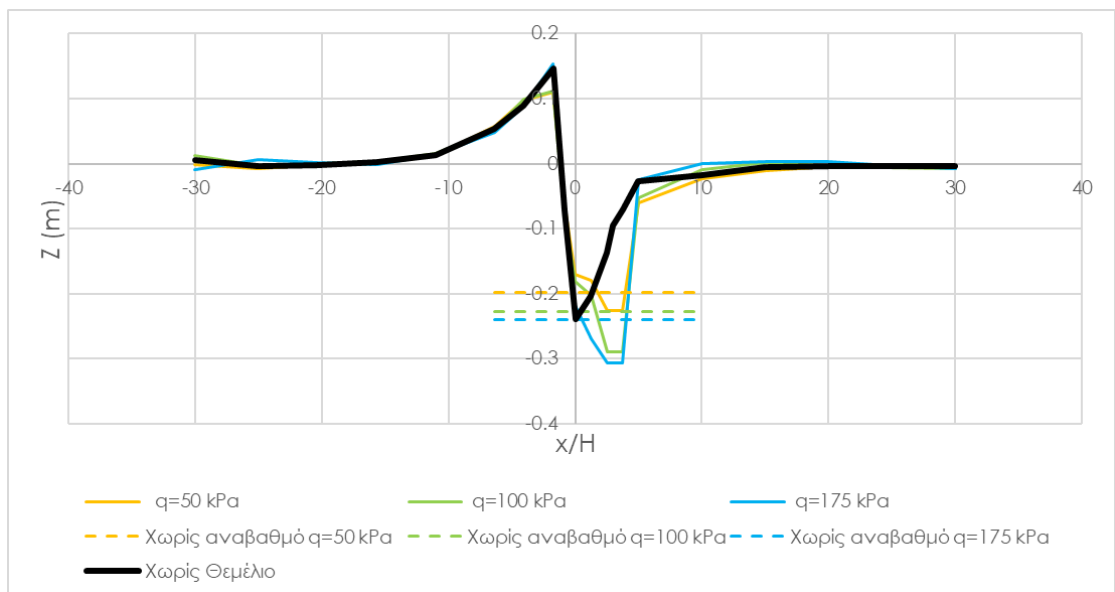
Όπως ήταν αναμενόμενο, παρατηρείται ότι με την αύξηση του φορτίου κατασκευής q , αυξάνεται η καθίζηση κάτω και μπροστά από την κατασκευή και η διόγκωση στον πόδα του αναβαθμού. Για την αποφυγή επαναλήψεων, για τις ισοκαμπύλες κατακόρυφων μετατοπίσεων σε κατασκευές διαφορετικών φορτίων σε στρώσεις χωρίς αναβαθμό, ο αναγνώστης παραπέμπεται στην παράγραφο 4.4.

Εδώ, η έμφαση δίνεται στο τι συμβαίνει στην επιφάνεια του εδάφους. Έτσι, στα Σχήματα 5.27 και 5.28 παρατίθενται τα διαγράμματα των οριζόντων και κατακόρυφων μετατοπίσεων της επιφάνειας του εδάφους συναρτήσει του λόγου της απόστασης X από τη στέψη προς το ύψος αναβαθμού H για τις

διάφορες τιμές φορτίου q της κατασκευής, όταν αυτή βρίσκεται σε απόσταση $L = 10\text{ m}$ από τη στέψη του πρανούς.



Σχήμα 5.27 : Οριζόντιες μετακινήσεις D_h (m) συναρτήσει του λόγου απόσταση από στέψη x (m) προς ύψος αναβαθμού H (m) για εδαφική στρώση με αναβαθμό $H = 4\text{ m}$, χωρίς και με την ύπαρξη θεμελίου πλάτους $B = 5\text{ m}$, φορτίων $q = 50\text{ kPa}$, 100 kPa , 175 kPa και απόστασης κατασκευής από στέψη $L = 10\text{ m}$



Σχήμα 5.28 : Κατακόρυφες μετακινήσεις Z (m) της επιφάνειας του εδάφους συναρτήσει του λόγου απόστασης από στέψη x (m) προς ύψος αναβαθμού H (m) για εδαφική στρώση χωρίς και με αναβαθμό $H = 4\text{ m}$, χωρίς και με την ύπαρξη θεμελίου πλάτους $B = 5\text{ m}$, φορτίων $q = 50\text{ kPa}$, 100 kPa , 175 kPa και απόστασης κατασκευής από στέψη $L = 10\text{ m}$

Εκτός των πορισμάτων τα οποία εξήχθησαν από την εικόνα των ισοκαμπυλών των οριζόντιων D_h και κατακόρυφων Z μετατοπίσεων, από τα Σχήματα 5.27 και 5.28 προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα σε σχέση με την επίδραση του φορτίου q του θεμελίου στην αλληλεπίδραση πρανούς - θεμελίου:

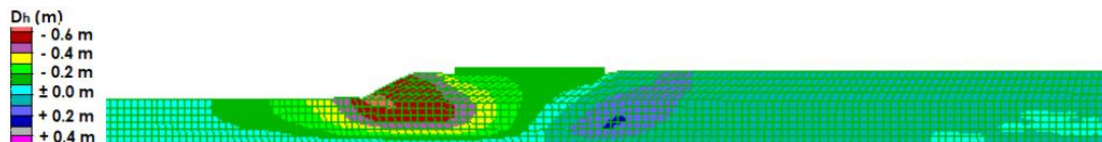
α) Ανεξάρτητα από την κλίμακα του φορτίου q , για τη σταθερή θέση των 10 m από τη στέψη του πρανούς οι μετατοπίσεις D_h δεν παρουσιάζουν επίδραση στις μετατοπίσεις του πρανούς μπροστά από την κατασκευή. Συγκρίνοντας με το Σχήμα 4.30 για ρηχό αναβαθμό, διαπιστώνεται ότι βαθύτερος αναβαθμός οδηγεί σε σημαντικά μεγαλύτερες οριζόντιες μετακινήσεις D_h με και χωρίς την ύπαρξη κατασκευής. Επιπλέον, ενώ στον ρηχό αναβαθμό προκύπτει μια αυξητική επίδραση της αύξησης του φορτίου κατασκευής, δεν συμβαίνει το ίδιο για τον βαθύ αναβαθμό, που διατηρεί τις (μεγάλες) οριζόντιες μετατοπίσεις του ανεξαρτήτως του φορτίου της κατασκευής (σε απόσταση $L = 10$ m, τουλάχιστον).

β) Και στις κατακόρυφες μετακινήσεις, για το συγκεκριμένο εύρος και θέση θεμελίου και ασχέτως του φορτίου q , οι καθιζήσεις ($Z < 0$) αυξάνουν σημαντικά μόνο στην περιοχή του θεμελίου, αλλά χωρίς να προκύπτει ευρύτερη επίδραση στο προφίλ των κατακόρυφων μετατοπίσεων του πρανούς. Συγκεκριμένα, με την αύξηση του φορτίου q αυξάνονται οι εν λόγω τοπικές επιπλέον καθιζήσεις. Συγκρίνοντας με τις αντίστοιχες καμπύλες για ρηχό αναβαθμό του Σχήματος 4.31, παρατηρείται έντονη αύξηση των καθιζήσεων και ανυψώσεων του πρανούς χωρίς θεμέλιο λόγω του μεγαλύτερου βάθους του αναβαθμού. Αλλά η αλληλεπίδραση είναι σαφώς ηπιότερη για τον βαθύ αναβαθμό, καθώς έχει ήδη μεγάλες καθιζήσεις/ανυψώσεις που δεν επηρεάζονται ιδιαίτερα από το φορτίο της κατασκευής.

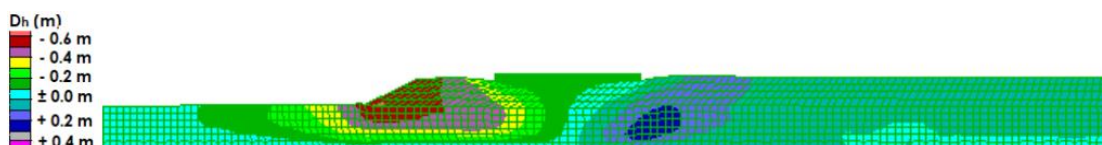
5.5 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΕΥΡΟΥΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΣΤΗΝ ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΣΤΡΩΣΗΣ ΠΛΗΣΙΟΝ ΒΑΘΥ ΑΝΑΒΑΘΜΟΥ

Στις προηγούμενες παραγράφους μελετήθηκε πώς επηρέαζαν οι διαφορετικές αποστάσεις της κατασκευής από τη στέψη και τα διαφορετικά φορτία κατασκευής την αλληλεπίδραση εδάφους-κατασκευής στην περίπτωση βαθύ αναβαθμού. Όπως στην αντίστοιχη παράγραφο 4.5 για ρηχό αναβαθμό έτσι και σε αυτή για βαθύ, θα επαναληφθούν οι αναλύσεις των παραγράφων 5.3 και 5.4 για πλάτος κατασκευής ευρύτερο, δηλαδή για $B = 20$ m. Έτσι θα σχηματιστεί εικόνα για το πώς επηρεάζει το διαφορετικό πλάτος κατασκευής την αλληλεπίδρασή της με το πρανές υπό πλευρική εξάπλωση.

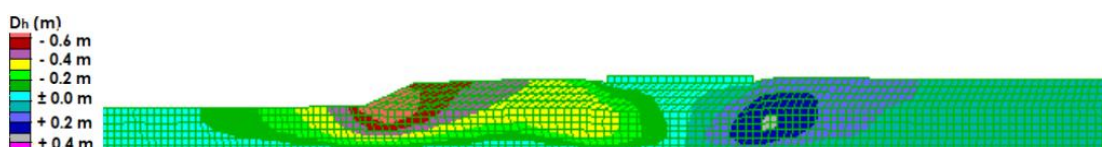
Αρχικά, θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα για διαφορετικές θέσεις ευρείας κατασκευής, ξεκινώντας από τις οριζόντιες μετακινήσεις. Στα Σχήματα 5.29, 5.30, 5.31 και 5.32 φαίνονται οι ισοκαμπύλες οριζόντιων μετατοπίσεων για πρσανές με ευρεία κατασκευή σε αποστάσεις $L = 5\text{ m}$, 10 m , 25 m και 60 m , αντίστοιχα.



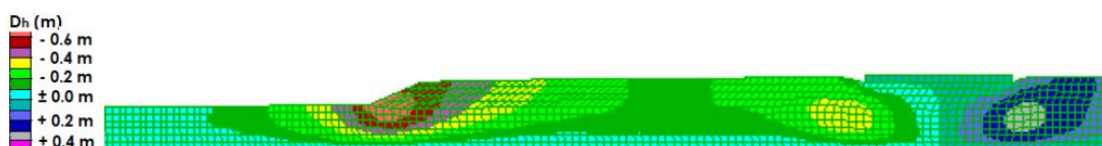
Σχήμα 5.29 : Ισοκαμπύλες οριζόντιων μετακινήσεων D_h για αναβαθμό $H = 4\text{ m}$, με θεμέλιο πλάτους $B = 20\text{ m}$ και φορτίου $q = 100\text{ kPa}$ σε απόσταση $L = 5\text{ m}$ από τη στέψη του αναβαθμού.



Σχήμα 5.30 : Ισοκαμπύλες οριζόντιων μετακινήσεων D_h για αναβαθμό $H = 4\text{ m}$, με θεμέλιο πλάτους $B = 20\text{ m}$ και φορτίου $q = 100\text{ kPa}$ σε απόσταση $L = 10\text{ m}$ από τη στέψη του αναβαθμού.



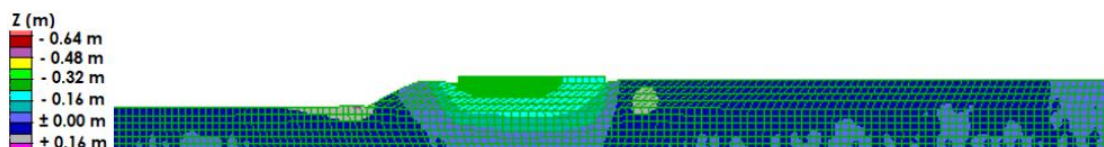
Σχήμα 5.31 : Ισοκαμπύλες οριζόντιων μετακινήσεων D_h για αναβαθμό $H = 4\text{ m}$, με θεμέλιο πλάτους $B = 20\text{ m}$ και φορτίου $q = 100\text{ kPa}$ σε απόσταση $L = 25\text{ m}$ από τη στέψη του αναβαθμού.



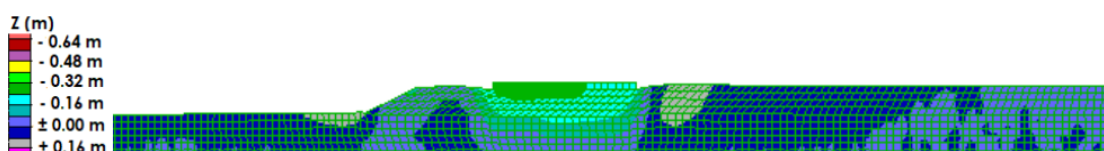
Σχήμα 5.32 : Ισοκαμπύλες οριζόντιων μετακινήσεων D_h για αναβαθμό $H = 4\text{ m}$, με θεμέλιο πλάτους $B = 20\text{ m}$ και φορτίου $q = 100\text{ kPa}$ σε απόσταση $L = 60\text{ m}$ από τη στέψη του αναβαθμού.

Παρατηρήθηκε ότι γενικώς, ανεξαρτήτως απόστασης L , οι οριζόντιες μετατοπίσεις είναι μεγαλύτερες συγκριτικά με αυτές του ρηχού αναβαθμού. Γενικώς, η επίδραση ύπαρξης ευρείας κατασκευής δείχνει να είναι πιο σημαντική πίσω από την κατασκευή, παρά μπροστά από αυτήν και στον πόδα. Δηλαδή, ανεξαρτήτως θέσης της ευρείας κατασκευής, πίσω της οι οριζόντιες μετατοπίσεις είναι σαφώς μικρότερες και έως και αντίθετης κατεύθυνσης. Μπροστά από την κατασκευή, οι οριζόντιες μετατοπίσεις μειώνονται ελαφρώς, αλλά κυρίως μπροστά από τον πόδα του βαθύ αναβαθμού, οι (μεγάλες) οριζόντιες μετατοπίσεις δε δείχνουν να επηρεάζονται. Έχοντας κατά νου και την εικόνα από τα Σχήματα 5.11 έως 5.14, προκύπτει ότι ευρύτερα θεμέλια ίδιου φορτίου προκαλούν εντονότερες οριζόντιες μετακινήσεις στην περιοχή του αναβαθμού συγκριτικά με στενά θεμέλια ίδιου φορτίου στην ίδια απόσταση L .

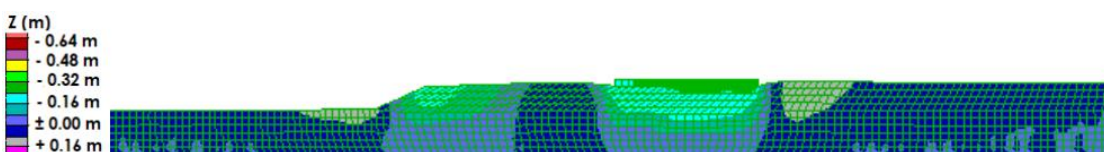
Σε αυτό το σημείο θα παρατεθούν τα αντίστοιχα αποτελέσματα για τις κατακόρυφες μετατοπίσεις της στρώσης. Στα Σχήματα 5.33, 5.34, 5.35 και 5.36 παραθέτουμε τις ισοκαμπύλες κατακόρυφων μετακινήσεων για αποστάσεις ευρέως θεμελίου ίσες με 5 m, 10 m, 25 m και 60 m, αντίστοιχα. Οι εικόνες αυτές συγκρίνονται με εκείνη στο Σχήμα 4.40, που αφορά σε ευρύ θεμέλιο με το ίδιο φορτίο σε εδαφική στρώση χωρίς αναβαθμό.



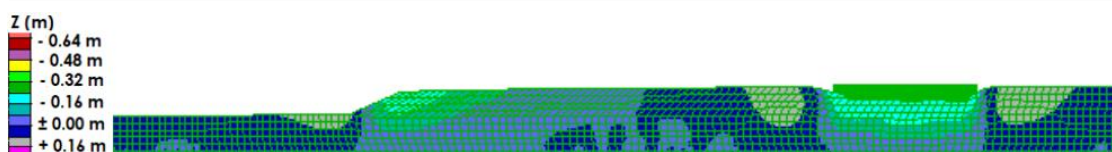
Σχήμα 5.33 : Ισοκαμπύλες κατακόρυφων μετακινήσεων Z (m) στο τέλος της διέγερσης για εδαφική στρώση με αναβαθμό $H = 4$ m με την ύπαρξη θεμελίου πλάτους $B = 20$ m και φορτίου $q = 100$ kPa σε απόσταση $L = 5$ m.



Σχήμα 5.34 : Ισοκαμπύλες κατακόρυφων μετακινήσεων Z (m) στο τέλος της διέγερσης για εδαφική στρώση με αναβαθμό $H = 4$ m με την ύπαρξη θεμελίου πλάτους $B = 20$ m και φορτίου $q = 100$ kPa σε απόσταση $L = 10$ m.



Σχήμα 5.35 : Ισοκαμπύλες κατακόρυφων μετακινήσεων Z (m) στο τέλος της διέγερσης για εδαφική στρώση με αναβαθμό $H = 4$ m με την ύπαρξη θεμελίου πλάτους $B = 20$ m και φορτίου $q = 100$ kPa σε απόσταση $L = 25$ m.

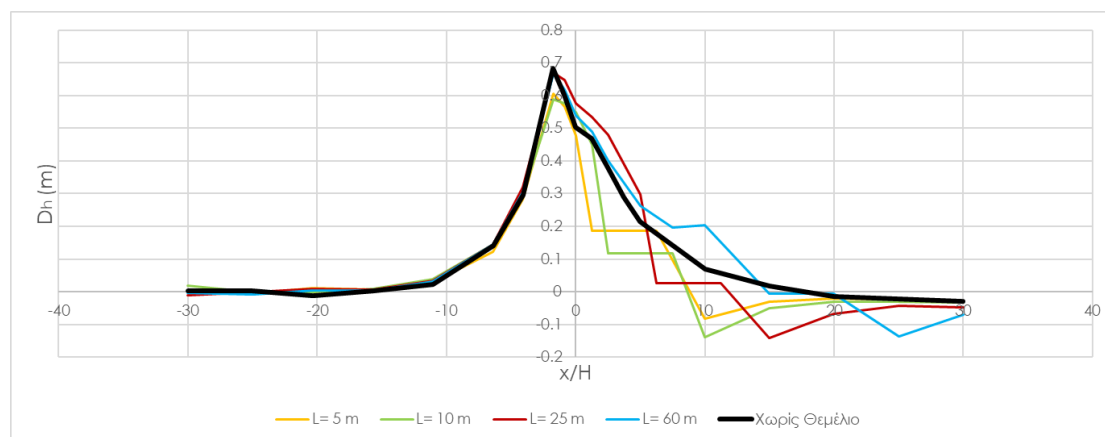


Σχήμα 5.36 : Ισοκαμπύλες κατακόρυφων μετακινήσεων Z (m) στο τέλος της διέγερσης για εδαφική στρώση με αναβαθμό $H = 4$ m με την ύπαρξη θεμελίου πλάτους $B = 20$ m και φορτίου $q = 100$ kPa σε απόσταση $L = 60$ m.

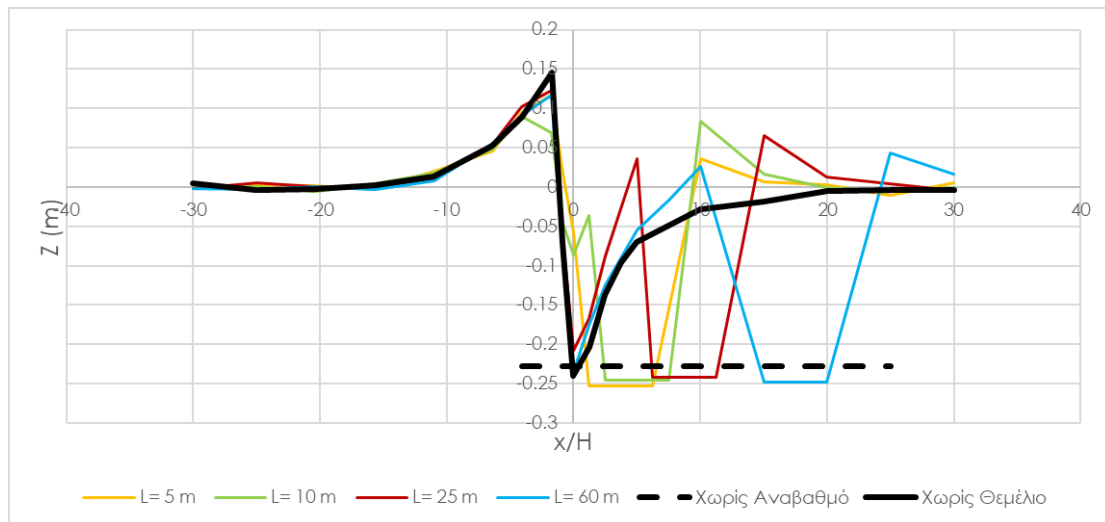
Παρατηρείται ότι και στις κατακόρυφες μετακινήσεις η δυσμενέστερη περίπτωση για την ευρεία κατασκευή είναι αυτή για απόσταση $L = 5$ m από τη στέψη, καθώς οι καθιζήσεις κάτω από αυτήν είναι πιο έντονες σε σχέση με τις αντίστοιχες για μεγαλύτερες αποστάσεις L . Αντιθέτως για τον αναβαθμό παρουσιάζεται ένα φαινόμενο το οποίο δεν έχει παρατηρηθεί σε προηγούμενη παράγραφο. Παρατηρείται δηλαδή ότι όταν η ευρεία κατασκευή είναι πλησίον του

αναβαθμού, οι καθιζήσεις από τη στέψη έως το μέσο ύψος του αναβαθμού είναι ελάχιστες αν όχι μηδενικές. Δηλαδή η ύπαρξη της ευρείας κατασκευής λειτουργεί θετικά για τις καθιζήσεις στην περιοχή του αναβαθμού. Επίσης φαίνεται ότι μέχρι τα 25 m δημιουργείται ανύψωση του εδάφους πίσω από την κατασκευή και ότι όσο η δεύτερη απομακρύνεται από τον αναβαθμό, τόσο η πρώτη αυξάνεται. Στα 60 m προκύπτει και ανύψωση μπροστά της, δηλαδή η κατασκευή «βυθίζεται» κατακόρυφα με διόγκωση του εδάφους εκατέρωθεν της χωρίς να επηρεάζεται από την ύπαρξη αναβαθμού. Σε συνδυασμό με την εικόνα των κατακόρυφων μετακινήσεων στα 25 m και ιδιαίτερα στα 60 m βγαίνει το συμπέρασμα ότι από τα 25 m και μετά το πρηνές δεν επηρεάζεται από την ύπαρξη κατασκευής. Από τα Σχήματα 5.16, 5.17, 5.18 και 5.19 εξάγεται το συμπέρασμα ότι όταν το πλάτος κατασκευής είναι μεγαλύτερο, οι κατακόρυφες μετακινήσεις είναι μεγαλύτερες σε σχέση με τις αντίστοιχες για μικρότερο πλάτος. Από τα Σχήματα 4.36, 4.37, 4.38 και 4.39 καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι όταν ο αναβαθμός είναι βαθύς, οι κατακόρυφες μετακινήσεις είναι μεγαλύτερες σε σχέση με αυτές για ρηχό.

Συμπληρωματικά σε όσα προέκυψαν από τη μελέτη των ισοκαμπυλών των D_h και Z ανωτέρω, από τα Σχήματα 5.37 και 5.38 προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα σε σχέση με την αλληλεπίδραση ευρέος θεμελίου – πρηνούς σε καθεστώς πλευρικής εξάπλωσης, πάντα και σε σύγκριση με το στενό θεμέλιο (βλ. Σχήματα 5.21 και 5.22):



Σχήμα 5.37 : Οριζόντιες μετακινήσεις D_h (m) συναρτήσει του λόγου απόστασης από στέψη x (m) προς ύψος αναβαθμού H (m) για εδαφική στρώση με αναβαθμό $H = 4$ m, χωρίς και με την ύπαρξη θεμελίου πλάτους $B = 20$ m, φορτίου $q = 100$ kPa και αποστάσεων κατασκευής από στέψη $L = 5$ m, 10 m, 25 m και 60 m .



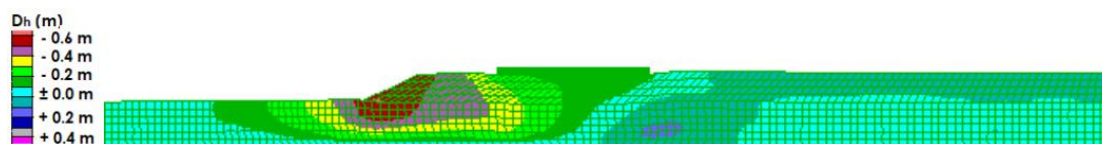
Σχήμα 5.38 : Κατακόρυφες μετατοπίσεις Z (m) συναρτήσει του λόγου απόστασης από στέψη x (m) προς ύψος αναβαθμού H (m) για εδαφική στρώση χωρίς και με αναβαθμό $H=2$ m, χωρίς και με την ύπαρξη θεμελίου πλάτους $B=20$ m, φορτίου $q=100$ kPa και αποστάσεων κατασκευής από στέψη $L=5$ m, 10 m, 25 m και 60 m.

α) Όπως στο ρηχό αναβαθμό, η αλληλεπίδραση πρανούς - ευρέος θεμελίου σε όρους οριζοντίων μετατοπίσεων D_h είναι ίδια με εκείνη για στενό θεμέλιο. Συγκριτικά με την απόκριση του πρανούς χωρίς θεμέλιο, η περιοχή ανάμεσα στη στέψη και το θεμέλιο εμφανίζει αμελητέα αυξημένες μετατοπίσεις D_h , ενώ η περιοχή «πίσω» από το θεμέλιο εμφανίζει σαφώς μειωμένες μετατοπίσεις, και για ευρέα θεμέλια έως και αντιστροφή αυτών. Για μεγάλες αποστάσεις (π.χ. $L=60$ m) αυτή η επίδραση «μπροστά» από το θεμέλιο εξαλείφεται πλησιάζοντας στη στέψη, ενώ μπροστά από τον πόδα του αναβαθμού η επίδραση ύπαρξης ευρέος θεμελίου είναι ασήμαντη.

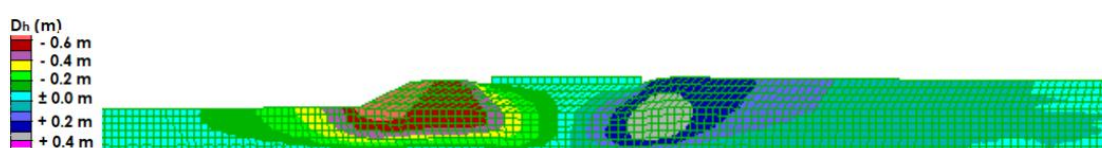
β) Όπως και στην περίπτωση του ρηχού αναβαθμού, ποιοτικά η αλληλεπίδραση πρανούς - ευρέος θεμελίου σε όρους κατακόρυφων μετατοπίσεων Z είναι ίδια με εκείνη για στενό θεμέλιο. Γενικώς, ένα ευρύ θεμέλιο πλησίον αναβαθμού εμφανίζει μεγαλύτερες καθιζήσεις σε σχέση με το αν ήταν σε μια περιοχή χωρίς αναβαθμό. Επίσης εκατέρωθεν του ευρύ θεμελίου προκύπτουν σημαντικές τοπικές ανυψώσεις λόγω του μηχανισμού φέρουσας ικανότητας που αναπτύσσεται στο έδαφος υπό αυτό και αυτό συμβαίνει ανεξαρτήτως απόστασης L . Σε ευρύ θεμέλιο οι ανυψώσεις αυτές είναι τόσο σημαντικές που αντιστρέφουν τη διάθεση του πρανούς για μικρή καθίζηση λόγω πλευρικής εξάπλωσης.

Σε αυτό το σημείο, τα αποτελέσματα θα εστιάσουν στο πώς αλληλεπιδρούν πρανές και ευρεία κατασκευή σε συγκεκριμένη απόσταση $L=10$ m από τη στέψη, για διαφορετικά φορτία q αυτής. Αρχικά, θα παρουσιαστούν οι ισοκαμπύλες για

τις οριζόντιες μετακινήσεις D_h . Συγκεκριμένα, στα Σχήματα 5.39 και 5.40 φαίνονται οι ισοκαμπύλες για τις οριζόντιες μετακινήσεις D_h για φορτία ευρείας κατασκευής $q = 50 \text{ kPa}$ και $q = 175 \text{ kPa}$. Υπενθυμίζεται ότι η αντίστοιχη εικόνα για το φορτίο $q = 100 \text{ kPa}$ έχει παρουσιαστεί στο Σχήμα 5.33.



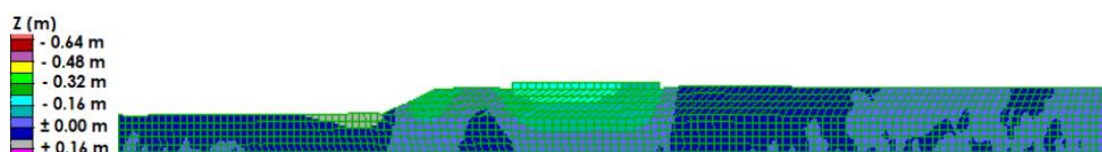
Σχήμα 5.39 : Ισοκαμπύλες οριζόντιων μετακινήσεων D_h για αναβαθμό $H = 4 \text{ m}$, με θεμέλιο πλάτους $B = 20 \text{ m}$ και φορτίου $q = 50 \text{ kPa}$ σε απόσταση $L = 10 \text{ m}$ από τη στέψη του αναβαθμού.



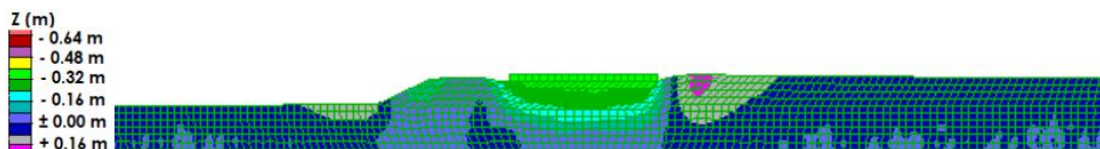
Σχήμα 5.40 : Ισοκαμπύλες οριζόντιων μετακινήσεων D_h για αναβαθμό $H = 4 \text{ m}$, με θεμέλιο πλάτους $B = 20 \text{ m}$ και φορτίου $q = 175 \text{ kPa}$ σε απόσταση $L = 10 \text{ m}$ από τη στέψη του αναβαθμού.

Διαπιστώνεται ότι η επίδραση του φορτίου q σε ευρύ θεμέλιο είναι ποιοτικά ίδια με την επίδρασή του σε στενό. Η διαφορά του ευρύ από το στενό θεμέλιο, είναι ότι στο πρώτο, με την αύξηση του φορτίου q , αυξάνονται περισσότερο οι μετακινήσεις εκατέρωθεν του θεμελίου. Όσον αφορά στην επίδραση του διαφορετικού βάθους αναβαθμού, προκύπτει το συμπέρασμα ότι ποιοτικά η αλληλεπίδραση πρσανούς-κατασκευής για διαφορετικά φορτία κατασκευής για βαθύ αναβαθμό είναι ποιοτικά παρόμοια με αυτήν για ρηχό, με τη διαφορά ότι στο βαθύ αναβαθμό οι οριζόντιες μετακινήσεις είναι γενικώς μεγαλύτερες.

Αντίστοιχα θα παρατεθούν οι ισοκαμπύλες κατακόρυφων μετακινήσεων Z (m) μέσω των Σχημάτων 5.41, 5.42 για ευρεία κατασκευή (σε απόσταση $L = 10 \text{ m}$) με φορτία $q = 50 \text{ kPa}$ και $q = 175 \text{ kPa}$, αντίστοιχα. Στο Σχήμα 5.37 έχει παρουσιαστεί η αντίστοιχη εικόνα για φορτίο $q = 100 \text{ kPa}$. Υπενθυμίζεται επίσης ότι στα Σχήματα 4.47, 4.40 και 4.48 φαίνονται οι αντίστοιχες ισοκαμπύλες κατακόρυφων μετατοπίσεων για εδαφική στρώση χωρίς αναβαθμό υπό τη φόρτιση ευρέων θεμελίων με φορτία $q = 50, 100$ και 175 kPa , αντίστοιχα.



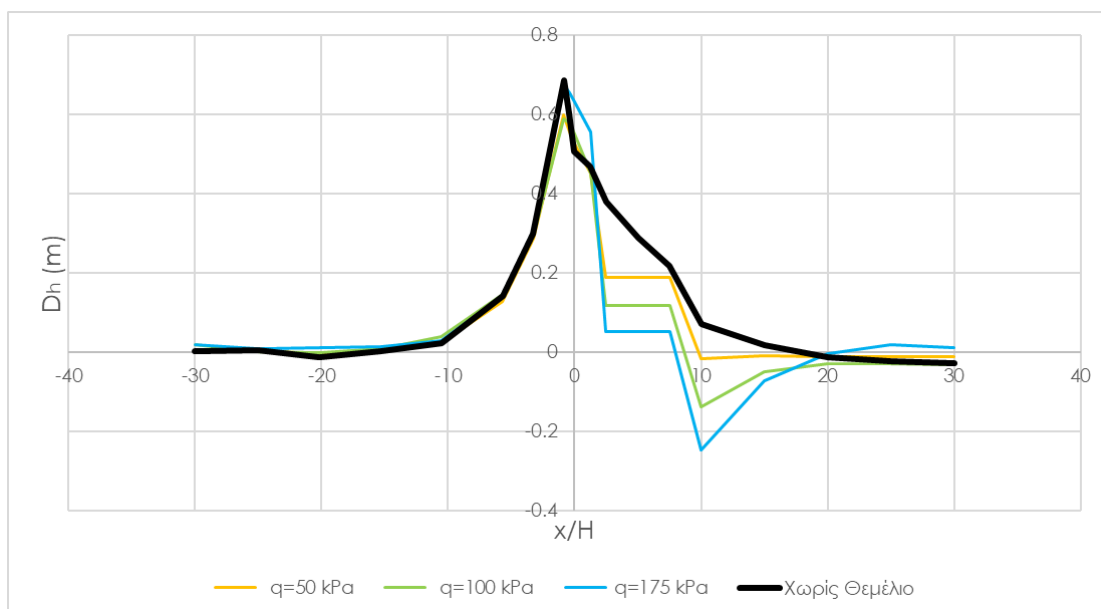
Σχήμα 5.41 : Ισοκαμπύλες κατακόρυφων μετακινήσεων Z (m) στο τέλος της διέγερσης για εδαφική στρώση με αναβαθμό $H = 4 \text{ m}$ με θεμέλιο πλάτους $B = 20 \text{ m}$ και φορτίου $q = 50 \text{ kPa}$ σε απόσταση $L = 10 \text{ m}$.



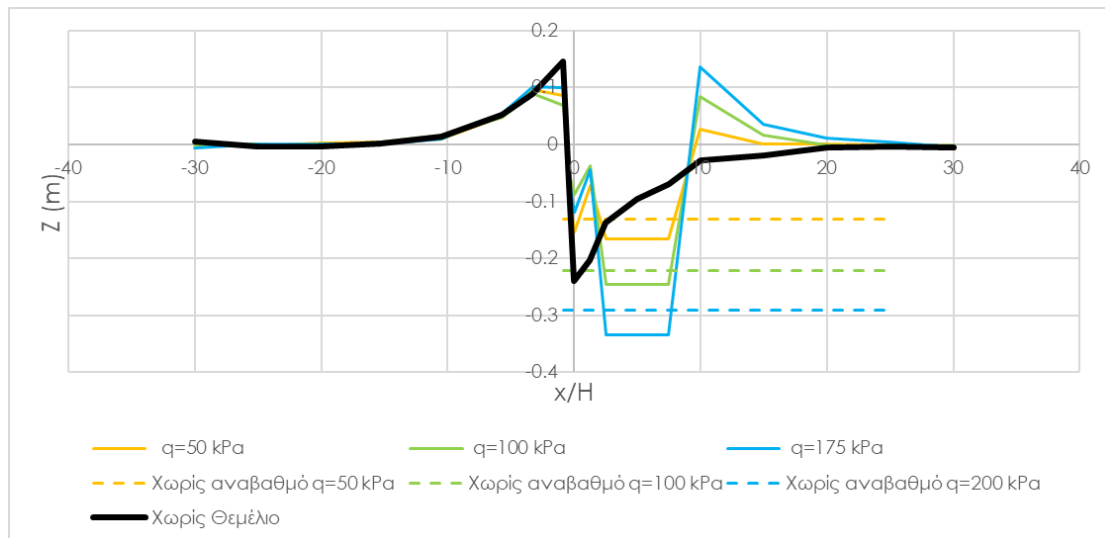
Σχήμα 5.42 : Ισοκαμπύλες κατακόρυφων μετακινήσεων Z (m) στο τέλος της διέγερσης για εδαφική στρώση με αναβαθμό $H = 4$ m με θεμέλιο πλάτους $B = 20$ m και φορτίου $q = 175$ kPa σε απόσταση $L = 10$ m.

Παρατηρείται ότι ποιοτικά η επίδραση του φορτίου q στις κατακόρυφες μετακινήσεις για ευρύ θεμέλιο είναι παρόμοια με εκείνη για στενό. Δηλαδή με την αύξηση του φορτίου εμφανίζονται πιο έντονες καθιζήσεις αυστηρά στην περιοχή του θεμελίου και πιο έντονες ανυψώσεις στην περιοχή εκατέρωθεν αυτού. Όσον αφορά στο ύψος του αναβαθμού, ο βαθύς αναβαθμός αυξάνει τις κατακόρυφες μετακινήσεις (καθιζήσεις και ανυψώσεις).

Για να σχηματιστεί η πλήρης εικόνα για την επίδραση του φορτίου q ευρέος θεμελίου στην αλληλεπίδραση πρανούς-κατασκευής για βαθύ αναβαθμό θα παρατεθούν τα Σχήματα 5.43 και 5.44 στα οποία φαίνονται τα διαγράμματα των οριζόντιων D_h και κατακόρυφων μετατοπίσεων Z στην επιφάνεια του πρανούς και μόνο, ως συνάρτηση του λόγου της απόστασης από τη στέψη x προς το ύψος αναβαθμού H για τις προαναφερθείσες περιπτώσεις. Συνοψίζοντας, από τα σχήματα αυτά προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα, συμπληρωματικά σε όσα προέκυψαν από τη μελέτη των ισοκαμπυλών των D_h και Z ανωτέρω:



Σχήμα 5.43 : Οριζόντιες μετακινήσεις D_h (m) συναρτήσει του λόγου απόστασης από στέψη x (m) προς ύψος αναβαθμού H (m) για εδαφική στρώση με αναβαθμό $H = 4$ m, χωρίς και με την ύπαρξη θεμελίου πλάτους $B = 20$ m σε απόσταση $L = 10$ m από τη στέψη, με φορτίο $q = 50, 100$ και 175 kPa .



Σχήμα 5.44 : Κατακόρυφες μετακινήσεις Z (m) συναρτήσει του λόγου απόσταση από στέψη x (m) προς ύψος αναβαθμού H (m) για εδαφική στρώση με αναβαθμό $H=4$ m, χωρίς και με την ύπαρξη θεμελίου πλάτους $B=20$ m, σε απόσταση $L=10$ m από τη στέψη, με φορτίο $q=50$, 100 και 175 kPa.

α) Ανεξάρτητα από το φορτίο θεμελίου q , για τη σταθερή θέση ($L=10$ m) ευρέος θεμελίου, οι μετατοπίσεις D_h μειώνονται ελαφρώς «μπροστά» από το θεμέλιο και στον πόδα του αναβαθμού, ενώ μένουν απaráλλαχτες «μπροστά» από αυτόν. Επίσης, «πίσω» από το ευρύ θεμέλιο το έδαφος κινείται αντίθετα από τη φορά της πλευρικής εξάπλωσης. Με την αύξηση του φορτίου q κλιμακώνονται οι προαναφερθείσες αυξήσεις ή μειώσεις των μετακινήσεων D_h . Όσον αφορά στο στενό θεμέλιο στην ίδια θέση, οι προαναφερθείσες αυξήσεις ή μειώσεις των μετατοπίσεων D_h είναι μικρότερες, ενώ δεν παρατηρούνται αντίστροφες μετατοπίσεις «πίσω» από το θεμέλιο. Σε κάθε περίπτωση, στον βαθύ αναβαθμό, οι οριζόντιες μετατοπίσεις είναι σαφώς μεγαλύτερες απ' ό,τι για τον ρηχό, με αποτέλεσμα η επίδραση της ύπαρξης και των χαρακτηριστικών του θεμελίου να είναι συγκριτικά μικρότερη.

β) Ανεξάρτητα από το φορτίο θεμελίου q , για τη σταθερή θέση ($L=10$ m) ευρέος θεμελίου, οι καθιζήσεις ($Z<0$) εμφανίζουν μεγάλη αύξηση στην περιοχή του θεμελίου, και ταυτόχρονα εμφανίζεται απομείωση της καθίζησης στην περιοχή ανάμεσα στο θεμέλιο και τον αναβαθμό. Αντίστοιχα, «πίσω» από το θεμέλιο εμφανίζονται ανυψώσεις (λόγω ενεργοποίησης του μηχανισμού φέρουσας ικανότητας) ώστε να μη διαπιστώνεται η τάση για καθίζηση την οποία έχει ο αναβαθμός εν απουσία θεμελίου. Επιπλέον, με την αύξηση του φορτίου q αυξάνονται οι προαναφερθείσες τοπικές μειώσεις καθίζησης και ανυψώσεις. Όσον αφορά στο στενό θεμέλιο στην ίδια θέση, οι προαναφερθείσες αυξήσεις

των καθιζήσεων και ανυψώσεων λόγω φορτίου q είναι εμφανώς μειωμένες, ενώ διατηρείται η τάση για καθιζήσεις «πίσω» από το θεμέλιο.

5.6 ΑΠΟΚΡΥΣΤΑΛΛΩΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Στην παρούσα παράγραφο θα πραγματοποιηθεί μία σύνοψη των αποτελεσμάτων τα οποία εκπονήθηκαν από τις παραγράφους του Κεφαλαίου, με απώτερο σκοπό την αποκρυστάλλωση της αλληλεπίδρασης βαθύ αναβαθμού - κατασκευής. Τα αντίστοιχα συμπεράσματα για την αλληλεπίδραση ρηχού αναβαθμού – κατασκευής θεωρούνται δεδομένα, και γίνεται συγκριτική αξιολόγηση αυτών. Τα εν λόγω συμπεράσματα είναι τα ακόλουθα:

(α) Ποιοτικά, το προφίλ οριζοντίων και κατακόρυφων μετατοπίσεων του εδάφους υπό πλευρική εξάπλωση προς αναβαθμό είναι το ίδιο, ανεξαρτήτως του βάθους του αναβαθμού. Όμως, ποσοτικά, ο βαθύς αναβαθμός (χωρίς κατασκευή) οδηγεί σε μεγαλύτερες οριζόντιες και κατακόρυφες μετατοπίσεις συγκριτικά με τον ρηχό αναβαθμό (πάλι χωρίς κατασκευή).

(β) Γενικά, το προφίλ εδαφικών μετατοπίσεων ενός πρानούς, ανεξαρτήτως βάθους, προς έναν αναβαθμό επηρεάζεται σημαντικά από την ύπαρξη θεμελίου πλάτους B , φορτίου q σε (ελάχιστη) απόσταση L «πίσω» από τη στέψη. Σε κάθε περίπτωση, πάντως, η αλληλεπίδραση πρानούς – θεμελίου είναι πιο έντονη όσο μεγαλώνει το πλάτος B και το φορτίο q του θεμελίου και όσο μικραίνει η απόσταση L αυτού από τη στέψη. Όμως, οι συγκριτικά μεγαλύτερες μετατοπίσεις του πρानούς προς βαθύ αναβαθμό, καθιστούν την επίδραση του εκάστοτε θεμελίου λιγότερο έντονη, απ' ό,τι παρατηρείται για το ίδιο θεμέλιο πλησίον ενός ρηχού αναβαθμού. Για παράδειγμα, ένα θεμέλιο ανεξαρτήτως εύρους προκαλεί σαφή προσαύξηση των οριζοντίων και κατακόρυφων μετατοπίσεων της περιοχής ανάμεσα στο θεμέλιο και τη στέψη ρηχού αναβαθμού, αλλά επηρεάζει συγκριτικά πολύ λιγότερο τα μεγέθη αυτά στην περίπτωση που ο αναβαθμός είναι βαθύς και εμφανίζει από μόνος του μεγάλες μετατοπίσεις.

(γ) Αντίστοιχα, ένα θεμέλιο εμφανίζει οριζόντια μετατόπιση και στροφή προς τον αναβαθμό υπό πλευρική εξάπλωση, ενώ οι οριζόντιες μετατοπίσεις (καθιζήσεις) του μεγαλώνουν συγκριτικά με ό,τι θα είχε σε έδαφος χωρίς αναβαθμό. Η επίδραση του ακριβούς βάθους του αναβαθμού στα προσαυξημένα μεγέθη μετατόπισης και στροφής του θεμελίου είναι πρακτικώς ασήμαντη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

6.1 ΒΑΣΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σε αυτό το Κεφάλαιο θα γίνει μία καθολική σύνοψη των πορισμάτων τα οποία προέκυψαν από τις αριθμητικές αναλύσεις της παρούσας διπλωματικής εργασίας με στόχο τη μελέτη της αλληλεπίδρασης πρανούς-κατασκευής υπό καθεστώς πλευρικής εξάπλωσης. Έτσι λοιπόν, τα βασικά συμπεράσματα παρουσιάζονται παρακάτω :

ΠΡΑΝΕΣ ΧΩΡΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΥΠΟ ΠΛΕΥΡΙΚΗ ΕΞΑΠΛΩΣΗ

Μια οριζόντια ρευστοποιήσιμη στρώση υπό πλευρική εξάπλωση λόγω αναβαθμού υπόκειται σε οριζόντιες D_h και κατακόρυφες μετατοπίσεις Z , οι οποίες φθίνουν με την απόσταση από τον αναβαθμό. «Πίσω» από τη στέψη, οι μετατοπίσεις D_h είναι προς τον αναβαθμό, αλλά «μπροστά» από τον πόδα οι μετατοπίσεις D_h είναι προς την αντίθετη κατεύθυνση. Ταυτόχρονα, προκαλούνται καθιζήσεις Z «πίσω» από τη στέψη και ανυψώσεις «μπροστά» από τον πόδα. Σε κάθε περίπτωση, η μέγιστη D_h εμφανίζεται στον πόδα, η μέγιστη καθίζηση στη στέψη, ενώ η μέγιστη ανύψωση λίγο πιο «μπροστά» από τον πόδα. Ποσοτικά προκύπτει σημαντική αύξηση των D_h και Z με την αύξηση του βάθους του αναβαθμού.

ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΣΕ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΣΙΜΗ ΣΤΡΩΣΗ

Μια κατασκευή θεμελιωμένη με άκαμπτο και τραχύ θεμέλιο (εύρους B) στην επιφάνεια μιας οριζόντιας ρευστοποιήσιμης στρώσης (μακριά από αναβαθμό), όταν φορτίζεται ομοιόμορφα με φορτίο q , υπόκειται σε συσσώρευση καθιζήσεων, χωρίς οριζόντια μετακίνηση ή στροφή.

ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΠΡΑΝΟΥΣ-ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

Γενικώς, το σχετικό μέγεθος των εδαφικών μετατοπίσεων D_h και Z ενός πρανούς καθορίζεται κυρίως από το βάθος H του αναβαθμού, και δευτερευόντως από την ύπαρξη ή μη μιας κατασκευής πίσω από τη στέψη του, η οποία επηρεάζει τις μετατοπίσεις αυτές κυρίως τοπικά. Αντίστοιχα, η κατασκευή εμφανίζει οριζόντια μετατόπιση και στροφή προς τον αναβαθμό, ενώ οι καθιζήσεις της μεγαλώνουν συγκριτικά με ό,τι θα είχε στο ίδιο ρευστοποιήσιμο έδαφος χωρίς αναβαθμό. Σημαντικά χαρακτηριστικά της κατασκευής στην εργασία αυτή είναι το πλάτος B , το φορτίο q και η (ελάχιστη) απόσταση L που βρίσκεται αυτή «πίσω» από τη στέψη. Γενικώς, η αλληλεπίδραση πρανούς-κατασκευής είναι πιο έντονη όσο μεγαλώνει το πλάτος B και το φορτίο q της κατασκευής, και όσο μικραίνει η (ελάχιστη) απόσταση L αυτής από τη στέψη, ενώ προκύπτει πιο έντονη για ρηχούς παρά για βαθιούς αναβαθμούς, τουλάχιστον σε ό,τι αφορά στο πρανές. Ο λόγος είναι ότι οι μετατοπίσεις ενός βαθύ αναβαθμού είναι ήδη τόσο μεγάλες, που δεν επηρεάζονται σημαντικά από μια συνήθη κατασκευή, αντίθετα με ό,τι παρατηρείται σε έναν ρηχό αναβαθμό.

ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΕ ΟΡΙΖΟΝΤΙΕΣ ΕΔΑΦΙΚΕΣ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΕΙΣ

Ποιοτικά η αλληλεπίδραση ρηχού αναβαθμού – κατασκευής σε όρους οριζοντίων μετατοπίσεων D_h δεν εξαρτάται έντονα από το εύρος της κατασκευής. Συγκεκριμένα, συγκριτικά με την απόκριση του πρανούς χωρίς κατασκευή, η περιοχή ανάμεσα στη στέψη και την κατασκευή εμφανίζει αυξημένες μετατοπίσεις D_h , ενώ η περιοχή «πίσω» από το θεμέλιο το ανάποδο. Για μεγάλες αποστάσεις (π.χ. $L/H = 30$) αυτή η επίδραση «μπροστά» από την κατασκευή εξαλείφεται όσο προσεγγίζεται η στέψη του πρανούς. Για κοντινές αποστάσεις (π.χ. $L/H = 2.5 - 5$), υπάρχει αυξητική επίδραση της κατασκευής στις τιμές D_h και «μπροστά» από τον πόδα του πρανούς. Ποσοτικά όμως, η διαφοροποίηση στις μετατοπίσεις D_h σε σχέση με την απόκριση του πρανούς χωρίς κατασκευή είναι πιο σημαντική όταν η κατασκευή είναι ευρεία. Και υπάρχει και μια ποιοτική διαφορά λόγω εύρους κατασκευής. Μπορεί να προκληθεί αντιστροφή των μετακινήσεων D_h «πίσω» από την κατασκευή, δηλαδή το έδαφος να αρχίσει να απομακρύνεται από τον αναβαθμό, με την τάση αυτή να μεγαλώνει όσο μεγαλώνει το φορτίο της ευρείας κατασκευής. Τέλος, σε περίπτωση βαθύ αναβαθμού, οι συγκριτικά μεγαλύτερες οριζόντιες μετατοπίσεις του πρανούς καθιστούν την επίδραση της όποιας κατασκευής λιγότερο έντονη. Για παράδειγμα, παύει να εμφανίζεται περαιτέρω προσαύξηση των οριζοντίων μετατοπίσεων D_h στην περιοχή ανάμεσα στη στέψη και την κατασκευή, ενώ

εξακολουθεί να εμφανίζεται η απομείωσή τους στην περιοχή «πίσω» από την κατασκευή, ειδικά αν είναι ευρεία.

ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΕ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΕΣ ΕΔΑΦΙΚΕΣ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΕΙΣ

Ποιοτικά η αλληλεπίδραση ρηχού αναβαθμού – κατασκευής σε όρους κατακόρυφων μετατοπίσεων Z δεν εξαρτάται έντονα από το εύρος της κατασκευής. Συγκεκριμένα, η κατασκευή επηρεάζει δυσμενώς τις καθιζήσεις του εδάφους «πίσω» από τη στέψη μόνο στην περιοχή της. Μόνο αν βρίσκεται σε κοντινή απόσταση ($L/H = 2.5 - 5$), η κατασκευή επηρεάζει επιπλέον δυσμενώς και τις ανυψώσεις «μπροστά» από τον πόδα του πρανούς. Η αύξηση του φορτίου q και του εύρους B της κατασκευής επιφέρει αυξήσεις στις εν λόγω επιπλέον καθιζήσεις και ανυψώσεις. Όμως, υπάρχει και μια ποιοτική διαφοροποίηση λόγω εύρους κατασκευής. Συγκεκριμένα, το ευρύ θεμέλιο εμφανίζει σημαντικές τοπικές ανυψώσεις εκατέρωθεν αυτού λόγω ενεργοποίησης του μηχανισμού φέρουσας ικανότητας που αναπτύσσεται στο έδαφος υπό αυτό. Οι ανυψώσεις αυτές σε ευρύ θεμέλιο είναι τόσο σημαντικές που αντιστρέφουν τη διάθεση του πρανούς για μικρή καθίζηση λόγω πλευρικής εξάπλωσης «πίσω» από αυτό. Τέλος, σε περίπτωση βαθύ αναβαθμού, οι συγκριτικά μεγαλύτερες κατακόρυφες μετατοπίσεις του πρανούς καθιστούν την επίδραση της όποιας κατασκευής λιγότερο έντονη, ακριβώς όπως συμβαίνει και για τις οριζόντιες μετατοπίσεις.

6.2 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

Στην παρούσα παράγραφο παρουσιάζονται ορισμένες προτάσεις για μελλοντική έρευνα που θα συνεισφέρει στην ακόμη βαθύτερη κατανόηση της αλληλεπίδρασης πρανούς-κατασκευής υπό πλευρική εξάπλωση. Επιπλέον, θα προσφέρει και στην επικύρωση (ή μη) των πορισμάτων της παρούσας εργασίας. Αυτές είναι οι κάτωθι.

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΔΙΕΓΕΡΣΗΣ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία το πρανές με ή χωρίς την κατασκευή υποβλήθηκε σε μία αρμονική (σεισμική) διέγερση με περίοδο $T = 0.35 \text{ sec}$ και 10 σημαντικούς κύκλους. Συνεπώς, θα μπορούσε να χαρακτηριστεί μια σχετικώς ισχυρή δόνηση, τουλάχιστον για τον Ελλαδικό χώρο. Χρειάζεται να γίνει

πληρέστερη διερεύνηση για διεγέρσεις από πραγματικές καταγραφές, με διαφορετικό συχνοτικό περιεχόμενο και ένταση, ώστε να αποσαφηνιστεί η επίδραση της διέγερσης στην αλληλεπίδραση πρτανούς-κατασκευής.

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΣΤΡΩΣΗΣ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία το πρανές με ή χωρίς την κατασκευή αποτελούνταν από μια ομοιόμορφη εδαφική στρώση πάχους 10 m, που αποτελούνταν από άμμο (Nevada) με σχετική πυκνότητα $D_r = 45\%$. Θα ήταν χρήσιμη η διερεύνηση της αλληλεπίδρασης αν η εδαφική στρώση δεν ήταν ομοιόμορφη, π.χ., αν είχε επιφανειακά μια μη-ρευστοποιήσιμη (αργιλική) κρούστα που θα μείωνε τις μετατοπίσεις λόγω πλευρικής εξάπλωσης. Αντίστοιχα, θα είχε ενδιαφέρον να διερευνηθεί η επίδραση της σχετικής πυκνότητας, ή της διαπερατότητας του αμμώδους εδάφους στο όλο φαινόμενο.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Bray Jonathan D., Boulanger, Ross W., Cubrinovski, Misko, Tokimatsu, Kohji, Kramer, Steven L., O'Rourke, Thomas, Rathje, Ellen, Green, Russell A., Robertson, Peter K., Beyzae, Christine Z. (2017): "Liquefaction-Induced Ground Movement Effects", U.S.–New Zealand–Japan International Workshop, University of Berkley, California, PEER Report No. 2017/02, (Appendix A, page 133 of 150)
- Hwang Yu-Wei, Ramirez Jenny, Dashti Shideh, Kirkwood Peter, Liel Abbie, Camata Guido, Petracca Massimo (2021) : "Seismic Interaction of Adjacent Structures on Liquefiable Soils: Insight from Centrifuge and Numerical Modeling", Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE 147(8).
- Itasca (2011): "Fast Lagrangian Analysis of Continua", Itasca Consulting Group Inc., Minneapolis, Minesota.
- Luque Roberto, Bray D. Jonathan (2020): "Dynamic soil-structure interaction analyses of two important structures affected by liquefaction during the Canterbury earthquake sequence", Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Volume 133.
- Papadimitriou A.G., Bouckovalas G.D. (2002): "Plasticity model for sand under small and large cyclic strains: a multiaxial formulation", Soil Dynamics and Earthquake Engineering Vol. 22, No. 3, pp 191-204
- Youd T. Leslie (2018): "Application of MLR Procedure for Prediction of Liquefaction-Induced Lateral Spread Displacement", Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE 144 (6).