

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΚΑΙ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΑ ΕΡΓΑ
ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΟΥ ΚΑΝΣΑΙ ΟΣΑΚΑ
ΙΑΠΩΝΙΑΣ**



ΕΙΣΗΓΗΤΡΙΑ-ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ:

Βγενοπούλου Ειρήνη
Δρ. Πολιτικός Μηχανικός

ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ:

Παναγιώτης Μανέτας

ΠΑΤΡΑ 2016

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	4
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	4
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ	5
1.1 ΘΕΣΗ ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΟΥ	5
1.2 ΑΝΑΓΚΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΤΟΥ ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΟΥ.....	8
1.3 Η ΠΡΟΣΒΑΣΗ ΣΤΟ ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΟ	10
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 . ΘΕΜΕΛΙΩΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	14
2.1 ΜΕΘΟΛΟΓΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ.....	14
2.2 ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΑ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ.....	23
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	24
3.1 ΚΑΘΙΖΗΣΕΙΣ ΓΕΝΙΚΑ	24
3.2 ΑΜΕΣΕΣ ΚΑΘΙΖΗΣΕΙΣ.....	27
3.3 ΠΡΩΤΟΓΕΝΗΣ ΚΑΘΙΖΗΣΗ	28
3.4 ΔΕΥΤΕΡΟΓΕΝΗΣ ΚΑΘΙΖΗΣΗ	30
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 . ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ - ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΘΙΖΗΣΕΩΝ ΚΑΤΑ ΑΚΑΙ ΚΑΙ ΤΑΝΑΚΑ.....	32
4.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	32
4.2 ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΩΝ ΚΑΘΙΖΗΣΕΩΝ.....	36
4.3 ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ.....	38
4.4 ΜΕΘΟΔΟΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗΣ	39
4.5 Η ΜΟΝΟΔΙΑΣΤΑΤΗ ΘΕΩΡΙΑ.....	40
4.6 ΑΜΕΣΗ ΚΑΘΙΖΗΣΗ	41
4.7 ΚΑΘΙΖΗΣΗ ΛΟΓΩ ΜΟΝΟΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΗΣ	42
4.8 ΑΠΛΟΠΟΙΗΜΕΝΟ ΜΟΝΤΕΛΟ.....	43
4.9 ΑΡΧΙΚΗ ΠΡΟΒΛΕΨΗ.....	45
4.10 ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΤΗΣ ΑΡΧΙΚΗΣ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ	47
4.11 ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΤΟΥ ΜΗΚΟΥΣ ΤΗΣ ΔΙΑΔΡΟΜΗΣ ΑΠΟΣΤΡΑΓΓΙΣΗΣ	48

4.12 ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΛΟΓΩ ΔΕΥΤΕΡΟΓΕΝΟΥΣ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ.....	49
4.13 ΟΛΙΚΗ ΠΡΟΒΛΕΠΟΜΕΝΗ ΚΑΘΙΖΗΣΗ	50
4.14 ΣΥΖΗΤΗΣΗ	52
4.15 ΜΕΤΡΑ ΜΕΤΡΙΑΣΜΟΥ ΤΗΣ ΖΗΜΙΑΣ	52
4.16 ΔΙΔΑΓΜΑΤΑ.....	55
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	57
ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	58

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Αντικείμενο της παρούσας Πτυχιακής Εργασίας είναι η παρουσίαση του τρόπου κατασκευής του Αεροδρομίου Kansai της Osaka, με έμφαση στον τρόπο κατασκευής των θεμελίων του Αεροδρομίου το οποίο αποτελεί ιδιαίτερη περίπτωση καθώς έχει θεμελιωθεί σε τεχνητό νησί. Αξίζει να σημειωθεί ότι από γεωτεχνικής πλευράς , η εν λόγω κατασκευή έχει αρκετά μεγάλο ενδιαφέρον και είναι περιττό να πούμε ότι το συγκεκριμένο έργο έχει συγκαταλεγεί σε ένα από τα μεγαλύτερα έργα του κόσμου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το πρώτο κεφάλαιο της εργασίας αναφέρεται εισαγωγικά στην λειτουργία και σπουδαιότητα της κατασκευής του Αεροδρομίου.

Στο δεύτερο κεφάλαιο περιγράφεται ο τρόπος κατασκευής των θεμελίων του Αεροδρομίου.

Το τρίτο κεφάλαιο περιέχει το θεωρητικό υπόβαθρο όλων όσων έχουμε αναφερθεί κατασκευαστικά

Στο τέταρτο κ τελευταίο κεφάλαιο αναφέρεται στην επέκταση που πραγματοποιήθηκε στο αεροδρόμιο μετά την αρχική κατασκευή του καθώς, τα συμπεράσματα της εργασίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ

1.1 ΘΕΣΗ ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΟΥ

Το αεροδρόμιο της Osaka είναι ένα διεθνές αεροδρόμιο που βρίσκεται σε ένα τεχνητό νησί στη μέση του κόλπου της Osaka, 38 χιλιόμετρα (24 μίλια) νοτιοδυτικά του Σιδηροδρομικού σταθμού της Osaka, που βρίσκεται μέσα σε τρεις δήμους, συμπεριλαμβανομένων Izumisano (βόρεια), Sennan (νότια) και Tajiri (κεντρικό), στο Νομό Osaka, της Ιαπωνίας.

Το αεροδρόμιο απέχει από την ακτή Χονσού και σχεδιάστηκε από τον Ιταλό αρχιτέκτονα Renzo Piano. Το αεροδρόμιο εξυπηρετεί ως ένα διεθνές κέντρο τις εταιρείες : All Nippon Airways, Japan Airlines, και Nippon Cargo Airlines. Επίσης χρησιμεύει ως ένα κομβικό σημείο για το εμπόριο του ροδάκινου, ακόμα αποτελεί το πρώτο διεθνές αερομεταφορέα χαμηλού κόστους στην Ιαπωνία.



ΕΙΚΟΝΑ 1. ΧΑΡΤΗΣ GOOGLE

Το αεροδρόμιο επικοινωνεί μέσω γέφυρας που κατασκευάστηκε για αυτόν ακριβώς τον λόγο με την περιοχή Izumisano. Λεπτομέρειες για τον τρόπο κατασκευής της γέφυρας θα αναφερθώ παρακάτω.

Συντεταγμένες : **34°26'03"N 135°13'58"E**



ΕΙΚΟΝΑ 2. ΧΑΡΤΗΣ GOOGLE

Όπως φαίνεται στην παραπάνω εικόνα το αεροδρόμιο έχει μια και μοναδική πρόσβαση για τα αυτοκινούμενα μέσα (αυτοκίνητα, μηχανάκια, τρένο). Στο αεροδρόμιο υπάρχει όμως πρόσβαση και μέσω θαλάσσης.

Στη δεκαετία του 1960, όταν η περιοχή Kansai έκανε το εμπόριο προς το Τόκιο, προτάθηκε η κατασκευή ενός νέου αεροδρόμιου κοντά στο Κόμπε και την Οσάκα. Το Διεθνές Αεροδρόμιο Οσάκα, που βρίσκεται στα πυκνοκατοικημένα προάστια της Itami και Toyonaka, περιβάλλεται από κτίρια και δεν θα μπορούσε να επεκταθεί, και πολλοί από τους γείτονές της είχαν καταθέσει προσφυγές λόγω των προβλημάτων ηχορύπανσης.

Μετά τις διαδηλώσεις γύρω από το Νέο Διεθνές Αεροδρόμιο του Τόκιο (τώρα το διεθνές αεροδρόμιο Narita), το οποίο χτίστηκε σε

απαλλοτριωθείσα γη σε μια αγροτική περιοχή της Chiba Prefecture, οι σχεδιαστές αποφάσισαν να χτίσουν το αεροδρόμιο offshore. Το νέο αεροδρόμιο ήταν μέρος μιας σειράς από νέες εξελίξεις για την αναζωογόνηση της Οσάκα, η οποία είχε χάσει την οικονομική και πολιτιστική αίγλη από το Τόκιο.

Αρχικά, ο αερολιμένας είχε προγραμματιστεί να κατασκευαστεί κοντά στο Κόμπε, αλλά η πόλη του Κόμπε απέρριψε το σχέδιο, έτσι το αεροδρόμιο μεταφέρθηκε σε πιο νότια τοποθεσία στον κόλπο της Οσάκα. Εκεί θα μπορούσε να είναι ανοιχτό 24 ώρες την ημέρα, σε αντίθεση με τον προκάτοχό του στην πόλη.



ΕΙΚΟΝΑ 3. ΠΑΝΟΡΑΜΙΚΗ ΟΨΗ ΟΣΑΚΑ

1.2 ΑΝΑΓΚΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΤΟΥ ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΟΥ

Το αεροδρόμιο Kansai διενήργησε στις 4 Σεπτεμβρίου 1994 την πρώτη πτήση, προς ανακούφιση του υπερπληθυσμού στο Διεθνές Αεροδρόμιο

Οσάκα, το οποίο είναι πιο κοντά στην πόλη της Οσάκα και χειρίζεται πλέον μόνο πτήσεις εσωτερικού.

Κατά τη διάρκεια του οικονομικού έτους 2006, ΚΙΧ είχε 116.475 κινήσεις αεροσκαφών, εκ των οποίων 73.860 ήταν διεθνής (31 χώρες, 71 πόλεις), και 42.615 ήταν εγχώριοι (19 πόλεις). Ο συνολικός αριθμός των επιβατών ήταν 16.689.658 εκ των οποίων 11.229.444 ήταν διεθνείς και οι εγχώριες ήταν 5.460.214, έκτο στην Ιαπωνία και το δεύτερο στην περιοχή Osaka. Ωστόσο, το 2009, η κυκλοφορία του αεροδρομίου έχει μειωθεί σχεδόν κατά 20% σε μόλις δύο χρόνια. Το 2010 η κυκλοφορία του αεροδρομίου είχε αυξηθεί σε πάνω από 14 εκατομμύρια, με διεθνείς επιβάτες, ήτοι περίπου 10,4 εκατομμύρια και εγχώριοι επιβάτες, ο όγκος των εμπορευματικών ήταν 802.162 τόνους συνολικά εκ των οποίων 757.414 τόνους ήταν διεθνείς (18η στον κόσμο), και 44.748 τόνους ήταν εγχώριες.

Ο δεύτερος αεροδιάδρομος διαστάσεων 4000 m × 60 m (13.123 ft × 197 ft) εγκαινιάστηκε στις 2 Αυγούστου 2007. Τον Ιούνιο του 2014 το αεροδρόμιο Kansai έχει γίνει το ασιατικό κέντρο, με 780 πτήσεις την εβδομάδα προς την Ασία και την Ωκεανία (συμπεριλαμβανομένων των εμπορευματικών 119), 59 εβδομαδιαίες πτήσεις προς την Ευρώπη και τη Μέση Ανατολή (εμπορευματικές 5), και 80 εβδομαδιαίες πτήσεις προς Βόρεια Αμερική (εμπορευματικές 42).

1.3 Η ΠΡΟΣΒΑΣΗ ΣΤΟ ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΟ

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η πρόσβαση στο αεροδρόμιο γίνεται μέσω μιας γέφυρας που κατασκευάστηκε ώστε να εξυπηρετήσει το αεροδρόμιο. Την εν λόγω γέφυρα διασχίζουν αυτοκίνητα, τρένα και λεωφορεία.



ΕΙΚΟΝΑ 4. ΣΥΝΔΕΣΗ ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΟΥ ΜΕ ΤΗΝ ΑΚΤΗ ΜΕΣΩ ΓΕΦΥΡΑΣ

Η γέφυρα είναι κατασκευασμένη από μπλοκ. Τα βάρη όπου στηρίζεται ήταν προκατασκευασμένα και τοποθετήθηκαν σε όλο το μήκος της γέφυρας. Η τοποθέτηση των βάθρων έγινε με την βοήθεια μεγάλων πλωτών γερανών, όπως φαίνεται στις παρακάτω εικόνες. Εκεί που πάτησαν τα βάρη είχε γίνει μια προεργασία στον βυθό της θάλασσας ώστε να θεμελιωθούν σωστά. Αξίζει να σημειώσουμε την δυσκολία του όλου εγχειρήματος. Δεν είναι εύκολη ούτε η μεταφορά των στοιχείων αλλά ούτε και η τοποθέτησή τους.

Μεγάλος ήταν ο ρόλος του τοπογραφικού συνεργείου, που καθοδήγησε τους χειριστές και τα μηχανήματα.

Το κατάστρωμα της γέφυρας τοποθετήθηκε με τον ίδιο ακριβώς τρόπο, δηλαδή με πλωτούς γερανούς κατά κομμάτια. Πρέπει να σημειώσουμε ότι η όλη διαδικασία χρειάζεται αρκετό χρόνο υλοποίησης.

Όλα τα μέλη της γέφυρας πήγαν στο σημείο τοποθέτησης τους με την βοήθεια ειδικά διαμορφωμένης πλωτής πλατφόρμας. Κάθε στοιχείο είχε την δική του μοναδική θέση. Σαφώς μικρές διορθώσεις είχαν προβλεφθεί. Στην εικόνα 4 φαίνεται καθαρά ότι τα βάθρα της γέφυρας αποτελείται από :

1. Στο χαμηλότερο σημείο υπάρχει ένα πέδιλο αρκετά μεγάλου πάχους
2. Στη συνέχεια είναι οι σύλτοι του βάθρου, παρατηρούμε και την επένδυση για την αποφυγή της διάβρωσης από το θαλασσινό νερό (σκούρο χρώμα)



ΕΙΚΟΝΑ 5.ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΒΑΘΡΩΝ

Το κατάστρωμα της γέφυρας, είναι κιβωτοειδής διατομής. Τοποθετήθηκε με προσοχή με την βοήθεια των πλωτών γερανών στα βάθρα.



ΕΙΚΟΝΑ 6.ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΚΑΤΑΣΤΡΩΜΑΤΟΣ



ΕΙΚΟΝΑ 7.ΟΨΗ ΓΕΦΥΡΑΣ

Κάτω από το κατάστρωμα της γέφυρας διέρχονται σιδηροδρομικές γραμμές, διπλής κυκλοφορίας, όπου διέρχονται οι συρμοί. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα τρένα είναι υπερούγχρονα, με όλες τις απαραίτητες ανέσεις.



ΕΙΚΟΝΑ 8. ΤΟ BULLET TRAIN,ΔΙΑΣΧΙΖΕΙ ΤΟ ΒΟΥΝΟ FUJI

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 . ΘΕΜΕΛΙΩΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

2.1 ΜΕΘΟΛΟΓΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

Το εγχείρημα της κατασκευής ήταν πολύ δύσκολο από την αρχή. Η μεγάλη δυσκολία του έργου ήταν η κατασκευή του τεχνητού νησιού όπου πάνω σε αυτό χτίστηκε το αεροδρόμιο.

Το αρχικό πρόβλημα ήταν η φύση του υπεδάφους στο βυθό όπου θα τοποθετούταν η κατασκευή. Σύμφωνα με μελέτες υπήρχαν διάφορες στρώσεις εδάφους με διαφορετικά μηχανικά χαρακτηριστικά. (Εικόνα 9)



ΕΙΚΟΝΑ 9. ΣΤΡΩΣΕΙΣ ΒΥΘΟΥ(ΘΕΜΕΛΙΩΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ)

Η πάνω στρώση αποτελείται από μαλακό υλικό το οποίο έπρεπε να εξυγιανθεί για να προχωρήσει η ανύψωση του εδάφους.

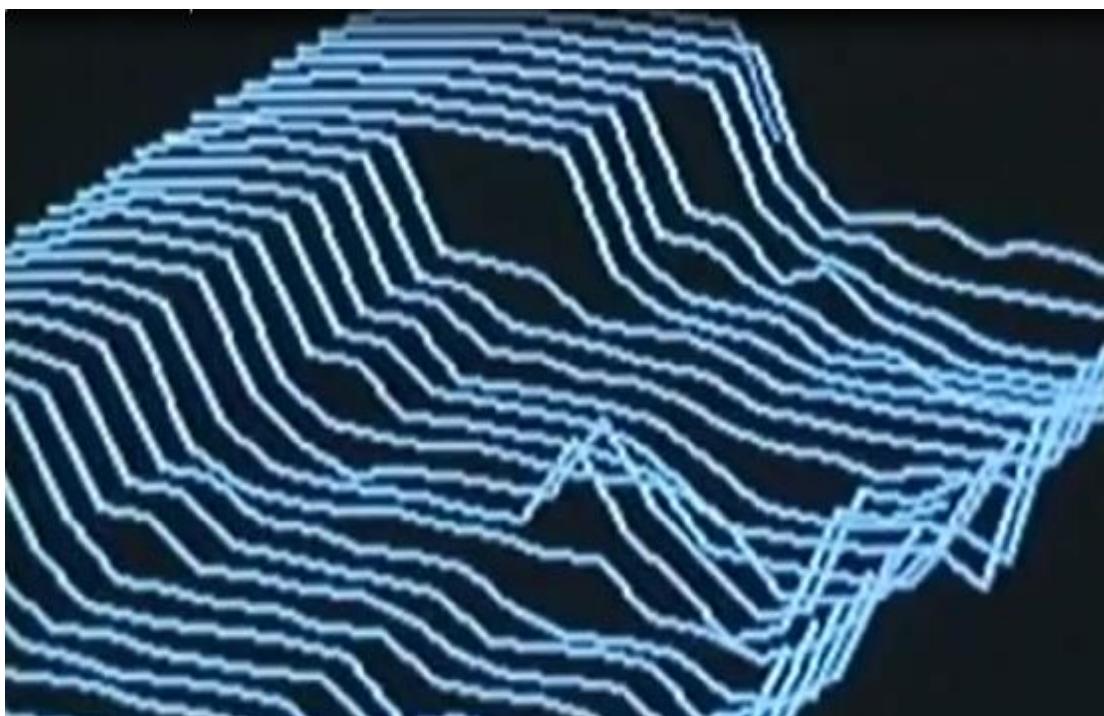
Η κατώτερη στρώση είναι βραχώδες έδαφος, η οποία εξυπηρετούσε το όλο εγχείρημα. Η κατασκευή ξεκίνησε το 1987. Το θαλάσσιο τείχος ολοκληρώθηκε το 1989, από βράχια και 48.000 τετραεδρικούς

τσιμεντόλιθους. Τρία βουνά ανασκάφηκαν για 21.000.000 m³, από χώρους υγειονομικής ταφής. Ένα εκατομμύριο εργαζόμενους και 10 εκατομμύρια ώρες εργασίας σε διάστημα τριών ετών, χρησιμοποιώντας ογδόντα πλοία, χρειάστηκαν για να ολοκληρωθεί το 30 μετρο (98 ft) στρώμα χώματος πάνω από τον πυθμένα της θάλασσας και μέσα από το θαλάσσιο τείχος.



ΕΙΚΟΝΑ 10.ΤΕΧΝΗΤΟ ΝΗΣΙ

Οι μηχανικοί της κατασκευάστριας εταιρίας έκαναν επισταμένες μελέτες και μετρήσεις στο βυθό της περιοχής με σκοπό να αποτυπώσουν το ανάγλυφο του βυθού. Ένα σκαρίφημα της επιφάνειας του βυθού φαίνεται(Εικόνα 11). Η απεικόνιση του βυθού παίζει πολύ σημαντικό ρόλο διότι έχουμε εικόνα του βάθους της κατασκευής, των πιέσεων που θα αναπτυχθούν καθώς και της ποσότητας υλικού που θα χρειαστεί. Μετά την αποτύπωση του βυθού, οριοθετήθηκε η περιοχή που θα γίνει η απόθεση του υλικού .



ΕΙΚΟΝΑ 11.ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΒΥΘΟΥ

Έπειτα αφού οριοθέτησαν την περιοχή που ανυψώθηκε, κατασκευάστηκε ένα περιμετρικό τείχος, διαχωρίζοντας τα νερά εντός του χώρου που θα ανυψωνόταν το έδαφος και του υπόλοιπου θαλάσσιου χώρου.



ΕΙΚΟΝΑ 12.ΟΡΙΟΘΕΤΗΣΗ ΤΕΧΝΗΤΟΥ ΝΗΣΙΟΥ

Ο τοίχος, αποτελούταν από προκατασκευασμένα στοιχεία από σκυρόδεμα, βλέπε εικόνα παρακάτω. Την ευστάθεια των μπλοκ βοηθούν επίσης προκατασκευασμένα στοιχεία, όπως φαίνεται παρακάτω.



ΕΙΚΟΝΑ 13.ΜΠΛΟΚ ΓΙΑ ΤΟΝ ΚΥΜΑΤΟΘΡΑΥΣΤΗ

Τα παραπάνω μπλοκ τοποθετήθηκαν με ακρίβεια με την βοήθεια πλωτών γερανών.



ΕΙΚΟΝΑ 14.ΚΥΜΑΤΟΘΡΑΥΣΤΗΣ

Ως αποτέλεσμα των ανωτέρω είναι η δημιουργία του παρακάτω κουτιού, αποτελούμενο από μπλοκ σκυροδέματος.



ΕΙΚΟΝΑ 15.ΠΕΡΙΓΡΑΦΜΑ ΤΕΧΝΗΤΟΥ ΝΗΣΙΟΥ

Μετά την κατασκευή του περιμετρικού τοίχου, ξεκίνησε η τοποθέτηση αδρανούς χονδρόκοκκου υλικού για την επιβολή μεγάλων φορτίων στον πάτο του βυθού ώστε να συμπυκνωθεί το αρχικό στρώμα του βυθού που αναφέραμε προηγουμένως.



ΕΙΚΟΝΑ 16.ΡΗΨΗ ΧΟΝΔΡΟΚΟΚΚΟΥ ΥΛΙΚΟΥ

Η τοποθέτηση του υλικού έγινε με την βοήθεια πλωτών γερανών που είχαν ενσωματωμένες δαγκάνες για να μπορούν να πάρουν το υλικό από τις πλωτές πλατφόρμες. Προχωρώντας η κατασκευή, μετά από την εισαγωγή πολλών τόνων υλικού, άρχισε η στάθμη να ανεβαίνει. Σιγά σιγά αρχίζει να διαμορφώνεται η κατασκευή. Οι ποσότητες υλικού που μεταφέρθηκαν και τοποθετήθηκαν ήταν τεράστιες. Τα συνεργεία εργάζονταν πυρετωδώς, επί εικοσιτετραώρου βάσεως.



ΕΙΚΟΝΑ 17. ΠΡΟΟΔΟΣ ΕΡΓΑΣΙΩΝ

Αναβαίνοντας η στάθμη αλλάζει και η σύσταση του υλικού που τοποθετείται καθώς και ο τρόπος συμπύκνωσης του. Οι πρώτες συμπυκνώσεις αφού το υλικό ξεπέρασε την στάθμη της θάλασσας έγιναν με τον παρακάτω τρόπο. Η εν λόγω διαδικασία είναι αρκετά χρονοβόρα, απαιτείται μεγάλη προσοχή και συνεργασία πολλών ατόμων και μηχανημάτων.



ΕΙΚΟΝΑ 18. ΣΥΜΠΙΕΣΗ ΥΛΙΚΟΥ

Το αντικείμενο που φαίνεται στην παραπάνω εικόνα, ανυψώνεται από γερανό σε αρκετά μεγάλο ύψος και έπειτα αφήνεται να πέσει με την δύναμη του βάρους του στο έδαφος. Αντιλαμβανόμαστε ότι η πίεση που ασκεί καθώς προσκρούει στην επιφάνεια είναι πολύ μεγάλη.



ΕΙΚΟΝΑ 19. ΔΟΗΤΙΚΗ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗ

Στη συνέχεια η συμπύκνωση έγινε με μεγάλους μηχανικούς δονητές. Η διάστρωση και η μεταφορά του υλικού έγινε με τα κλασσικά μηχανικά μέσα, φορτωτές, φορτηγά, προωθητές κ.α. . Ολόκληρη η επιφάνεια δουλευόταν συνεχώς .Η σωστή συμπύκνωση των εδαφικών μαζών που τοποθετούνται αποτελεί κύριο σκοπό της κατασκευής.



ΕΙΚΟΝΑ 20. ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΧΩΜΑΤΟΥΡΓΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΩΝ



ΕΙΚΟΝΑ 21. ΟΔΟΣΤΡΩΤΗΡΑΣ ΓΙΑ ΤΗ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ

Οδοστρωτήρες σάρωναν όλη την επιφάνεια του νησιού, αυξάνοντας τις μηχανικές ιδιότητες του εδάφους.



ΕΙΚΟΝΑ 22. ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΥΛΙΚΟΥ ΜΕΣΩ ΤΑΠΕΡ

Η τελική διαμόρφωση της επιφάνειας της κατασκευής στη στέψη της είναι επίσης πολύ σημαντική διότι πάνω σε αυτή την επιφάνεια θα θεμελιωνόταν η κατασκευή του αεροδρομίου.

2.2 ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΑ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ

Κατά την διάρκεια της κατασκευής χρησιμοποιήθηκαν διάφορα μηχανήματα, διαφόρου μεγέθους.

1. Πλωτοί γερανοί
2. Πλωτές πλατφόρμες
3. Φορτωτές
4. Φορτηγά οχήματα
5. Μεταφορικές ταινίες
6. Προωθητές
7. Εκσκαφείς
8. Δονητές
9. οδοστρωτήρες

Οι πλωτοί γερανοί και οι πλωτές πλατφόρμες χρησιμοποιήθηκαν για την μεταφορά των βάρων και του καταστρώματος της γέφυρας σύνδεσης του αεροδρομίου με την ακτή. Ακόμα χρησιμοποιήθηκαν για την μεταφορά και την απόθεση του υλικού ανύψωσης του βυθού. Οι μεταφορικές ταινίες μετέφεραν τις τεράστιες ποσότητες χωματισμών για την ολοκλήρωση της κατασκευής. Οι φορτωτές και τα φορτηγά οχήματα , καθώς και οι προωθητές εργάστηκαν κυρίως επί της επιφανείας της κατασκευής με σκοπό την ολοκλήρωση της. Οι οδοστρωτήρες και οι δονητές έπαιξαν το σημαντικότερο ρόλο στην κατασκευή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3.1 ΚΑΘΙΖΗΣΕΙΣ ΓΕΝΙΚΑ

Τα φορτία που δημιουργούνται από τις κατασκευές έχουν ως αποτέλεσμα τη συμπίεση του εδάφους. Η συμπίεση αυτή προκαλείται από τους ακόλουθους παράγοντες:

- α) την αποβολή αέρα ή του νερού των πόρων,
- β) την αναδιάταξη στοιχείων του εδάφους,
- γ) την παραμόρφωση ή θραύση στοιχείων του εδάφους

Η καθίζηση του εδάφους που προκαλείται από την επιβολή φορτίων μπορεί να διαιρεθεί σε τρεις κατηγορίες:

1. Άμεσες καθιζήσεις. Είναι η καθίζηση η οποία λαμβάνει χώρα αμέσως μετά την επιβολή του φορτίου. Η άμεση καθίζηση οφείλεται στην ελαστική παραμόρφωση του ξηρού εδάφους, καθώς επίσης και του υγρού και του κορεσμένου εδάφους, χωρίς μεταβολή της περιεχόμενης υγρασίας.

2. Πρωτογενής καθιζήσεις ή καθιζήσεις λόγω στερεοποίησης. Οφείλεται στην αποβολή του νερού των πόρων. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται στερεοποίηση.

3. Δευτερογενής καθιζήσεις. Παρατηρείται στα κορεσμένα συνεκτικά εδάφη, και οφείλεται στην πλαστική αναδιάταξη της υφής τους. Είναι μία πρόσθετη συμπύκνωση που λαμβάνει χώρα υπό σταθερό φορτίο, όπως στο φαινόμενο του ερπυσμού.

Ανάλογα με τις αιτίες που προκαλούν τις καθιζήσεις, διαχωρίζονται σε:

- α) ενεργές και
- β) παθητικές καθιζήσεις.

Οι ενεργές καθιζήσεις οφείλονται στα φορτία της ίδιας της κατασκευής ενώ οι παθητικές σε επιρροές που δεν έχουν σχέση με αυτήν.

Οι ενεργές καθιζήσεις μπορεί να οφείλονται:

- Στην ελαστική συμπίεση που προκαλείται από τα στατικά φορτία της κατασκευής.
- Σε παραμένουσες παραμορφώσεις που προκαλούν τα στατικά ή δυναμικά φορτία της κατασκευής. Προέρχονται κυρίως από τη συμπίεση ενός βράχου χαλαρής συναρμογής, από το κλείσιμο των ασυνεχειών ή από την έκθλιψη των υλικών πλήρωσης που περιέχονται στις ασυνέχειες και τη διείδυση τους σε παρακείμενα ανοικτά ρήγματα ή όταν η δυνατότητα έκθλιψης τους δεν υπάρχει από τη στερεοποίηση των υλικών πλήρωσης.
- Σε ερπυστικά φαινόμενα που προκαλούν τα φόρτια της κατασκευής.
- Σε ολισθητικές κινήσεις κατά μήκος παρακείμενων γεωλογικών ασυνεχειών.

Οι παθητικές καθιζήσεις μπορεί να οφείλονται:

- Σε ελαστικές παραμορφώσεις οι οποίες προκαλούνται από την εφαρμογή φορτίων στη γειτονική περιοχή. Αποφορτίσεις της γειτονικής περιοχής μπορεί να οδηγήσουν σε ανυψώσεις (διάνοιξη εκσκαφής μιας γειτονικής θεμελίωσης για παράδειγμα).

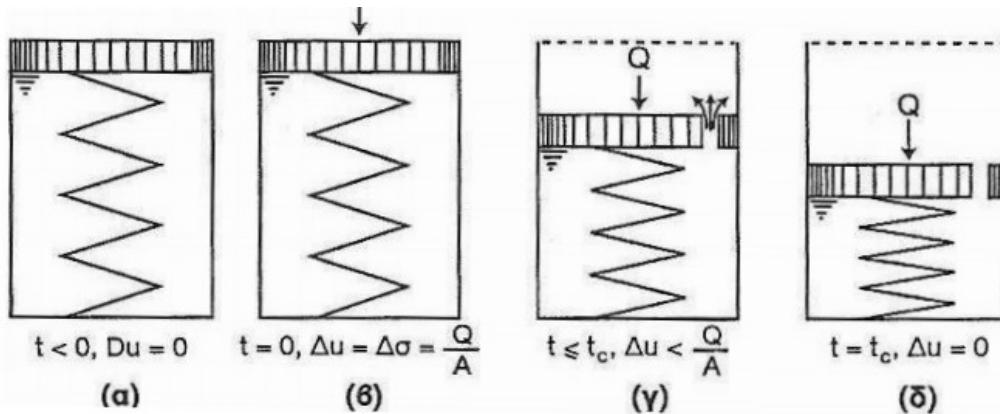
- Σε παραμένουσες παραμορφώσεις εξαιτίας μεταβολών στη γειτονική περιοχή.
- Σε ερπυστικές ιδιοκινήσεις, ιδιαίτερα όταν η κατασκευή είναι θεμελιωμένη σε πρανή.
- Ολισθητικές κινήσεις που δεν οφείλονται στην κατασκευή αλλά σε διαβρωτικά φαινόμενα του βραχώδους υπόβαθρου.
- Επιδράσεις δυναμικών φορτίων, για παράδειγμα κυκλοφοριακές δονήσεις, σεισμοί, ανατινάξεις σε κοντινά λατομεία.
- Είσοδος νερού στα υλικά πλήρωσης με αποτέλεσμα να έχουμε μείωση των παραμέτρων αντοχής των συνεχειών και ολισθητικές κινήσεις.
- Μεταβολές όγκου, όπως για παράδειγμα εξαιτίας του ανυδρίτη σε γύψο ή εξαιτίας απορρόφησης ή απομάκρυνσης νερού από αργιλικά πετρώματα ή υλικά πλήρωσης.
- διακυμάνσεις της στάθμης του φρεατίου ορίζοντα: οι αυξομειώσεις του ενεργού βάρους του βράχου που προκαλούν οι διακυμάνσεις αυτές οδηγούν σε παθητικές καθιζήσεις.
- Επιδράσεις παγετού μπορούν να προκαλέσουν παθητικές ανυψώσεις ή παθητικές καθιζήσεις.
- Επιδράσεις από παρακείμενα υπόγεια μεταλλεία.
- Διαλυτότητα του πετρώματος, για παράδειγμα καρστικά πετρώματα.

3.2 ΑΜΕΣΕΣ ΚΑΘΙΖΗΣΕΙΣ

Άμεση καθίζηση, ονομάζεται και αστράγγιστη καθίζηση, επειδή συμβαίνει χωρίς εισροή ή εκροή νερού στο έδαφος. Το ότι ο όγκος δεν μεταβάλλεται σημαίνει ότι ο λόγος του Poisson είναι $\nu = 0.50$. Οι καθιζήσεις προκαλούνται από τις διατμητικές παραμορφώσεις μέσα στο έδαφος, και αναγκάζουν την επιφάνεια του να αλλάξει σχήμα. Αυτές οι παραμορφώσεις υποτίθεται ότι είναι ελαστικές, έτσι οι καθιζήσεις θα αναιρεθούν όταν αφαιρεθεί το φορτίο. Οι άμεσες καθιζήσεις πραγματοποιούνται σχεδόν αμέσως με την εφαρμογή της φόρτισης, γι' αυτό συμβαίνουν κυρίως κατά το χρόνο της κατασκευής. Για πολλές κατασκευές, αυτές οι καθιζήσεις 'ενσωματώνονται' στα έργα, πριν από την προσθήκη ευπαθών στοιχείων, όπως η επένδυση ή οι χρωματισμοί. Όμως για τις κατασκευές που τα ευπαθή στοιχεία κατασκευάζονται στην αρχή ή κατά τη διάρκεια, όπως οι φέροντες τοίχοι, οι άμεσες καθιζήσεις μπορεί να έχουν σημαντική επίδραση. Το θεμέλιο ή η φορτιζόμενη επιφάνεια υποτίθεται ότι είναι εύκαμπτη και προκαλεί μια καθίζηση με δισκοειδές καμπύλο σχήμα με μέγιστο στο κέντρο του θεμελίου.

3.3 ΠΡΩΤΟΓΕΝΗΣ ΚΑΘΙΖΗΣΗ

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, στα αμμώδη εδάφη η αύξηση του φορτίου επιφέρει γρήγορη αποβολή του νερού των πόρων, με αποτέλεσμα η άμεση καθίζηση και η στερεοποίηση να συμβαίνουν ταυτόχρονα. Όταν όμως ένα στρώμα κορεσμένης, συμπιεστής αργίλου υφίσταται μια αύξηση του φορτίου, η μεν άμεση (ελαστική) καθίζηση συμβαίνει αμέσως, η δε στερεοποίηση συνεχίζεται για μεγάλο χρονικό διάστημα. Η καθίζηση της αργίλου, που προκαλείται από τη στερεοποίηση, είναι αρκετές φορές μεγαλύτερη από την άμεση καθίζηση.

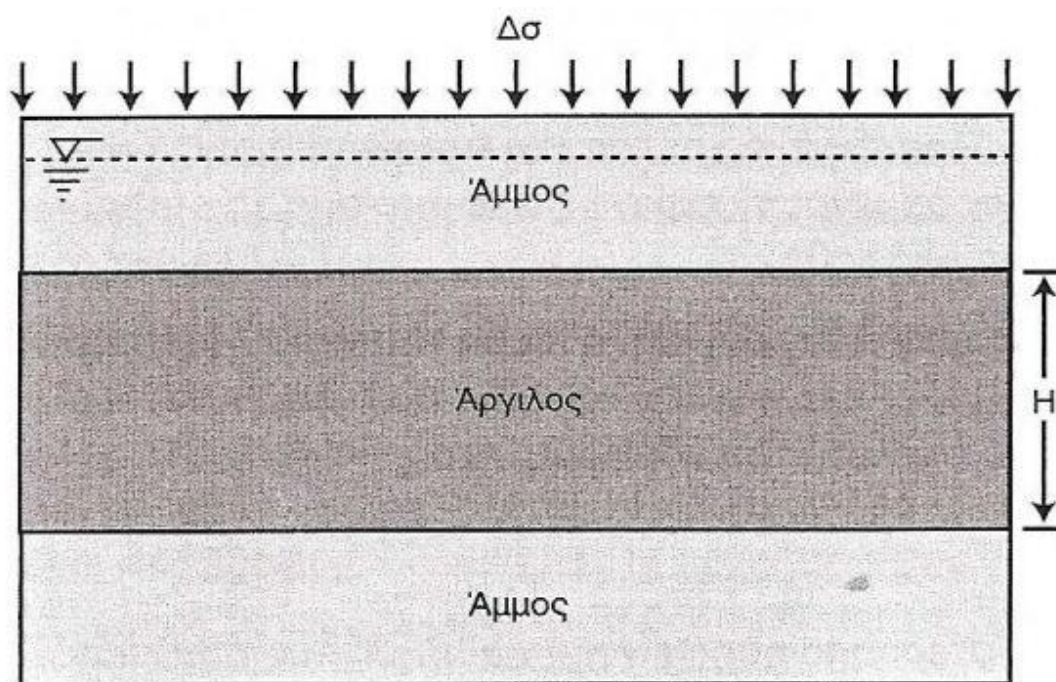


ΕΙΚΟΝΑ 23. ΜΗΧΑΝΙΚΟ ΑΝΑΛΟΓΟ

Η παραμόρφωση της κορεσμένης αργίλου λόγω στερεοποίησης μπορεί να γίνει κατανοητή θεωρώντας ένα απλό μηχανικό ανάλογο, το αποτελείται από έναν κύλινδρο με ελατήριο στο κέντρο του (εικόνα 26). Γεμίζουμε τον κύλινδρο με νερό, και στην επιφάνεια του εφαρμόζουμε, μέσω υδατοστεγούς εμβόλου, ένα φορτίο Q . Εάν η εσωτερική επιφάνεια της διατομής του κυλίνδρου είναι A , η αναπτυσσόμενη τάση είναι $\Delta\sigma = Q/A$.

Αμέσως μετά την εφαρμογή του φορτίου (ενώ η βαλβίδα διαφυγής του νερού είναι κλειστή), η τάση $\Delta\sigma$ παραλαμβάνεται εξ ολοκλήρου από το νερό, επειδή το νερό είναι ασυμπίεστο (β), είναι δηλαδή: $\Delta u = \Delta\sigma$. Όταν ανοίξουμε την βαλβίδα, αρχίζει η εκροή του νερού, μειώνεται η πίεση του, είναι δηλαδή $\Delta u < \Delta\sigma$, ενώ το υπόλοιπο του φορτίου Q

παραλαμβάνεται από το συμπιεζόμενο ελατήριο (γ). Αυτό συνεχίζεται μέχρι που θα μηδενιστεί η πίεση του νερού ($Au = 0$), οπότε το φορτίο παραλαμβάνεται εξ ολοκλήρου από το ελατήριο (δ).



ΕΙΚΟΝΑ 24. ΣΤΡΩΣΗ ΑΡΓΙΛΟΥ ΜΕΤΑΞΥ ΣΤΡΩΣΕΩΝ ΑΜΜΟΥ

Έχοντας κατά νου το παραπάνω μηχανικό ανάλογο, μπορούμε να αναλύσουμε την παραμόρφωση μιας στρώσης κορεσμένης αργίλου, πάχους H , η οποία παρεμβάλλεται μεταξύ δύο στρώσεων άμμου (εικόνα 34), και-η οποία υφίσταται ξαφνικά μια πρόσθετη ολική τάση $\Delta\sigma$. Η τάση αυτή παραλαμβάνεται από το νερό των πόρων και από το στερεό σκελετό του εδάφους, πράγμα που σημαίνει ότι η ολική τάση μοιράζεται μεταξύ της ενεργού τάσης $\Delta\sigma'$ και της πίεσης του νερού των πόρων Δu , δηλαδή:

$$\Delta\sigma = \Delta\sigma' + \Delta u$$

όπως στο μηχανικό ανάλογο, όπου το ελατήριο ενεργεί κατ' αναλογία, όπως ο στερεός σκελετός του εδάφους. Επειδή η διαπερατότητα (υδραυλική αγωγιμότητα) της αργίλου είναι πολύ χαμηλή, κατά το χρόνο επιβολής του φορτίου $t = 0$, η ολική τάση $\Delta\sigma$ παραλαμβάνεται από το νερό των πόρων, δηλαδή $\Delta\sigma - \Delta u$. Αμέσως μετά, λόγω της

αύξησης αυτής της πίεσης, το νερό αρχίζει να αποβάλλεται προς τις εκατέρωθεν στρώσεις της άμμου. Στη συνέχεια, μειώνεται βαθμιαία η πίεση του νερού, Δu , ενώ αυξάνεται ισόποσα η τάση που παραλαμβάνεται από το στερεό σκελετό, αυξάνεται δηλαδή η ενεργός τάση του εδάφους $\Delta \sigma'$, έτσι ώστε να ισχύει πάντοτε η αρχή:

$$\Delta \sigma = \Delta \sigma' + \Delta u.$$

Η διαδικασία αυτή της μεταφοράς του φορτίου από την υγρή φάση στη στερεά φάση, το φαινόμενο δηλαδή της στερεοποίησης, διαρκεί μέχρι να ολοκληρωθεί η αποβολή του νερού, μέχρι να ολοκληρωθεί δηλαδή στράγγιση της αργίλου. Θεωρητικά, η διάρκεια της στερεοποίησης είναι άπειρη, $t = \infty$. Πρακτικά, ο χρόνος της στερεοποίησης, $t = t_c$, είναι πεπερασμένος, εξαρτώμενος προφανώς από την τιμή του συντελεστή διαπερατότητας του εδάφους. Όταν ολοκληρωθεί η στράγγιση, η πίεση του νερού των πόρων μηδενίζεται, δηλ. $u = 0$, οπότε η ολική τάση $\Delta \sigma$ παραλαμβάνεται εξ ολοκλήρου από το στερεό σκελετό του εδάφους, δηλαδή:

$$\Delta \sigma = \Delta \sigma'$$

Συνέπεια της στερεοποίησης είναι η καθίζηση της αργλικής στρώσης, η οποία συμπαρασύρει την υπερκείμενη κατασκευή. Η καθίζηση αυτή είναι σχετικά ακίνδυνη, εάν είναι ομοιόμορφη. Γίνεται όμως επικίνδυνη, όταν είναι ανομοιόμορφη (διαφορική καθίζηση). Ο βαθμός του κινδύνου ή επικινδύνου εξαρτάται, προφανώς, από το μέγεθος των τιμών των καθιζήσεων.

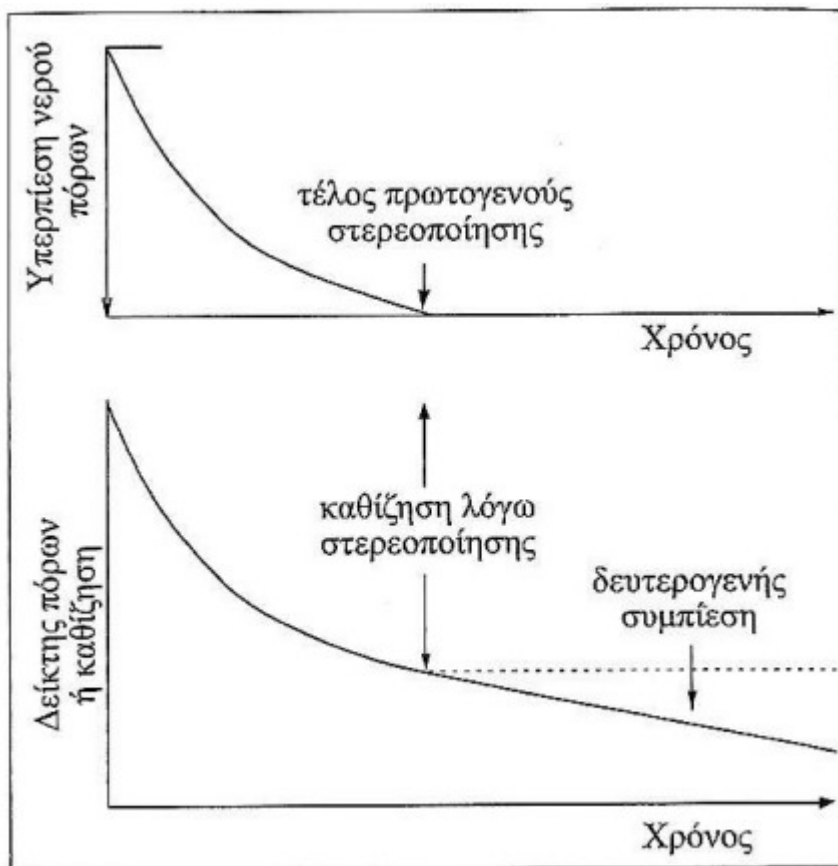
3.4 ΔΕΥΤΕΡΟΓΕΝΗΣ ΚΑΘΙΖΗΣΗ

Σε μερικούς τύπους εδαφών, έχει διαπιστωθεί ότι οι μειώσεις του όγκου άρα, και οι καθιζήσεις συνεχίζονται ακόμη και αφού ολοκληρωθεί η πρωτογενής στερεοποίηση και εκτονωθούν όλες οι πιέσεις του νερού των πόρων (εικόνα 35).

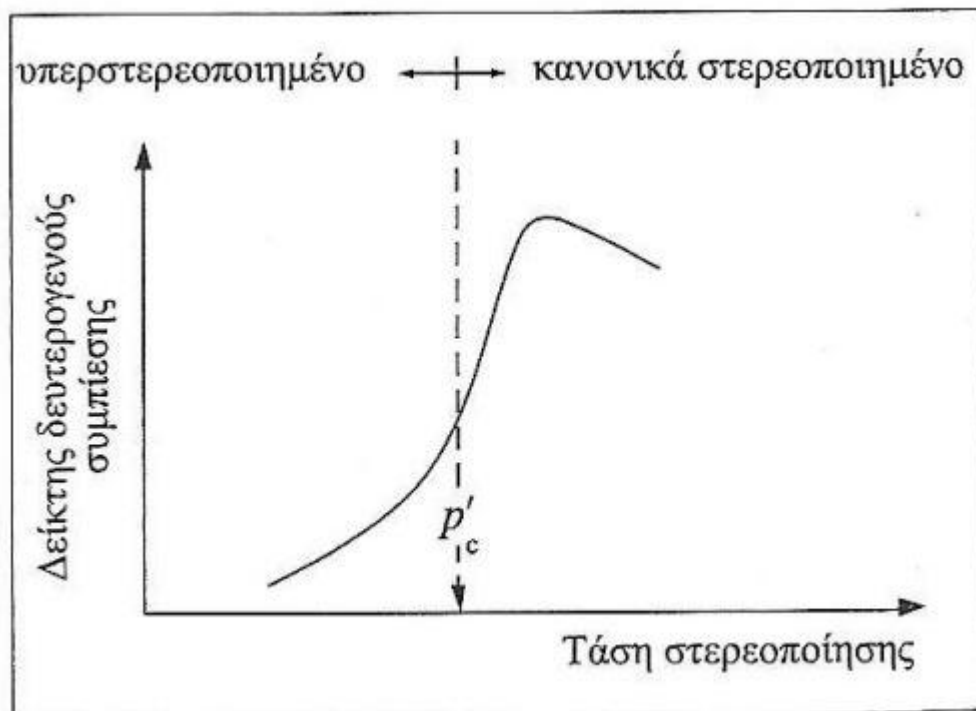
Οι καθιζήσεις από αυτές τις ογκομετρικές παραμορφώσεις αναφέρονται ως δευτερογενής συμπίεση. Ο ερπυσμός λόγω στράγγισης μπορεί να αποτελείται και από ογκομετρικές και από διατμητικές

παραμορφώσεις. Έχουν προταθεί διάφοροι μηχανισμοί και προσομοιώματα για την ερμηνεία του φαινομένου, αλλά φαίνεται πιο πιθανό ότι σχετίζεται με μια ανακατανομή της αλληλεπίδρασης (δυνάμεων) μεταξύ των κόκκων, η οποία ακολουθεί τις μεγάλες δομικές αναδιατάξεις που συμβαίνουν στη διάρκεια του σταδίου φόρτισης της κανονικής στερεοποίησης. Αυτή η υπόθεση ενισχύεται από το γεγονός ότι οι δευτερογενείς καθιζήσεις είναι ασήμαντες για πιέσεις κάτω από το επίπεδο προστερεοποίησης (όταν το έδαφος είναι υπερστερεοποιημένο και συμβαίνουν κυρίως ελαστικές παραμορφώσεις). Στα οργανικά όμως εδάφη, όπως επίσης και στα υψηλής συμπίεσότητας ανόργανα εδάφη, μπορούν να είναι μεγάλες όταν οι τάσεις υπερβούν την πίεση προστερεοποίησης και συμβούν πλαστικές παραμορφώσεις (εικόνα 35).

Ο λόγος της δευτερογενούς καθίζησης προς την πρωτογενή είναι αντιστρόφως ανάλογος προς το λόγο $\Delta q/q$.



ΕΙΚΟΝΑ 25. ΔΕΥΤΕΡΕΥΟΥΣΑ ΣΥΜΠΙΕΣΗ



ΕΙΚΟΝΑ 26. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΠΙΕΣΗΣ ΠΡΟΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΗΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 . ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ - ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΘΙΖΗΣΕΩΝ ΚΑΤΑ ΑΚΑΙ ΚΑΙ ΤΑΝΑΚΑ

4.1 ΓΕΝΙΚΑ

Το Διεθνές Αεροδρόμιο Kansai (ΚΙΑ) στον κόλπο Οσάκα της Ιαπωνίας ξεχώρισε από την Αμερικανική Εταιρεία Πολιτικών Μηχανικών ως ένα από τα «Μνημεία της Millennium» μια ονομασία που απονέμεται στα δέκα μεγαλύτερα έργα πολιτικού μηχανικού που έχουν τη μεγαλύτερη θετική επίδραση τον 20ο αιώνα. Αυτό είναι ένα ακόμη πιο αξιοσημείωτο επίτευγμα, δεδομένου ότι η πρώτη φάση του

αεροδρομίου αντιμετώπισε ορισμένα προβλήματα τα οποία, με την ευρύτερη έννοια, θα μπορούσαν να χαρακτηριστούν ως γεωτεχνική αποτυχία. Το αεροδρόμιο είναι χτισμένο πάνω σε τεχνητό νησί με περίγραμμα 1,25χλμ * 4 χλμ, σε απόσταση 5 χιλιάμετρα με μέσο βάθος νερού 18 μέτρα. Αυτή η πρώτη φάση έφερε απρόσμενες και υπερβολικές καθιζήσεις. Οι καθιζήσεις αυτές δεν είχαν σωστά προβλεφθεί είτε πριν είτε κατά τη διάρκεια της κατασκευής, με αποτέλεσμα να προκληθούν καθυστερήσεις, αυξάνοντας σημαντικά το κόστος του έργου κατά 14 δισεκατομμύρια δολάρια.

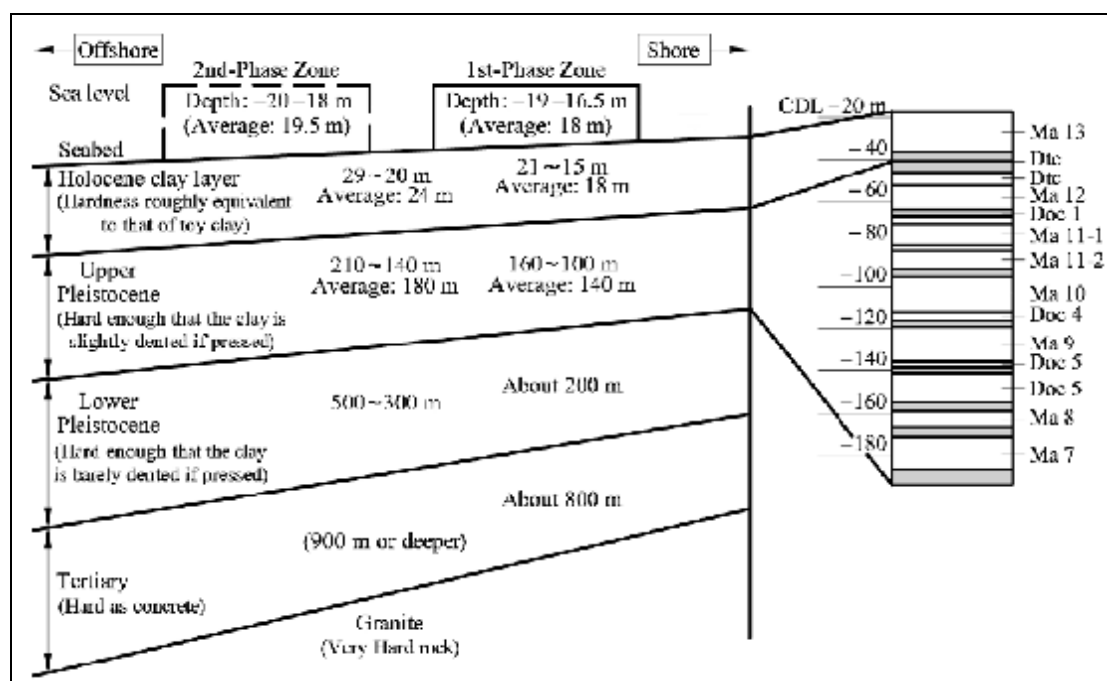
Στη συνέχεια παρουσιάζεται μια μελέτη των Akai και Tanaka που παραθέτουν τα προβλήματα των καθιζήσεων που παρουσιάστηκαν στο Διεθνές Αεροδρόμιο Kansai και παρουσιάζουν ένα αξιόπιστο απλοποιητικό μοντέλο για τον υπολογισμό των καθιζήσεων.



ΕΙΚΟΝΑ 27. ΦΑΣΕΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΤΟΥ ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΟΥ

Η κατασκευή του πρώτου νησιού, του Kansai International Airport, ξεκίνησε το Ιανουάριο του 1987 και ολοκληρώθηκε το Δεκέμβριο του 1991. Ακολούθησε κατασκευή των εγκαταστάσεων του αερολιμένα του αεροδρόμιου και άρχισε να λειτουργεί το Σεπτέμβριο του 1994. Στα

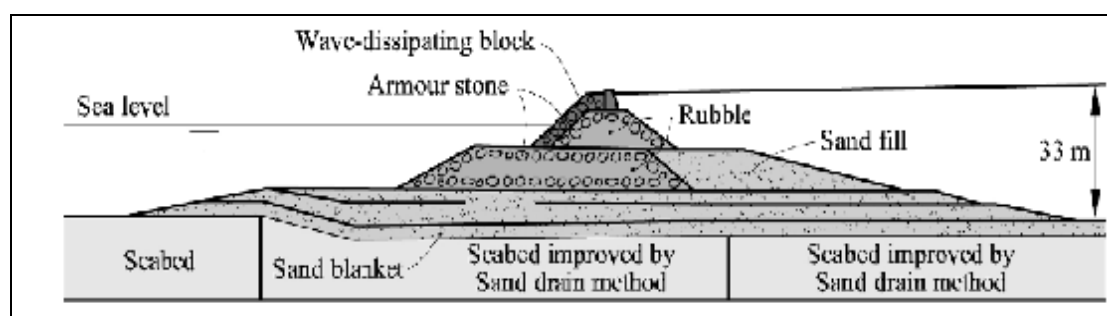
πέντε χρόνια της διάρκειας της κατασκευής του νησιού, πάνω από 180 εκατομμύρια m³ κοκκώδους υλικού χρειάστηκαν για να γεμίσει το ύψους 33 m από το βυθό της θάλασσας νησί, ο οποίος αποτελείται από 1.200 m και πλέον ιζήματα. Μόνο το ανώτερο στρώμα των 160 m, ωστόσο, θεωρείται ότι μπορεί να συμπιεστεί. Η κορυφή των 20 m είναι μαλακή προσχωματική ολοκαινική άργιλος (Ma13), έπειτα ακολουθεί η εναλλαγή άμμου με στρώματα αργίλου, πλειστοκαινικής προέλευσης (Ma 7 - 12, "Ma" σημαίνει θαλάσσιος πηλός).



ΕΙΚΟΝΑ 28. ΕΔΑΦΙΚΟ ΠΡΟΦΙΛ ΤΟΥ ΒΥΘΟΥ

Η διαδικασία κατασκευής περιελάμβανε τα ακόλουθα βήματα. Τα πρώτα 20 m από το βυθό της θάλασσας υπέστησαν μια ειδική 'θεραπεία', μες στην περίμετρο του νησιού, τοποθετώντας κατακόρυφα στραγγιστήρια άμμου, έτσι ώστε να επιταχυνθεί η συμπύκνωση κάτω από την επίκωση. Μετά κατασκευάστηκαν τα θαλάσσια τείχη. Έπειτα έλαβε χώρα η διαμόρφωση των εδαφικών μαζών, κατά την οποία το κοκκώδες υλικό, (το οποίο πάρθηκε από διάφορες εκσκαφές από την

ευρύτερη περιοχή της Οσάκα), τοποθετήθηκε μέσα στην ειδικά διαμορφωμένη περίμετρο, μέχρι να φτάσει τα 3 m πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας. Το τελικό βήμα επετεύχθη με τη βοήθεια τεσσάρων μεγάλων φορηγίδων, που αγκυροβόλησαν στο εσωτερικό των κυματοθραυστών και μετέφεραν το υλικό για το γέμισμα. Έτσι η στάθμη έφτασε τα απαιτούμενα 4 μέτρα πάνω από τη στάθμη του νερού. Αυτό το ύψος διασφαλίζει ότι το αεροδρόμιο δεν θα κατακλυσθεί από την υψηλή παλίρροια που έρχεται από τους τυφώνες που πλήττει τις ακτές της Ιαπωνίας κάθε Σεπτέμβριο.



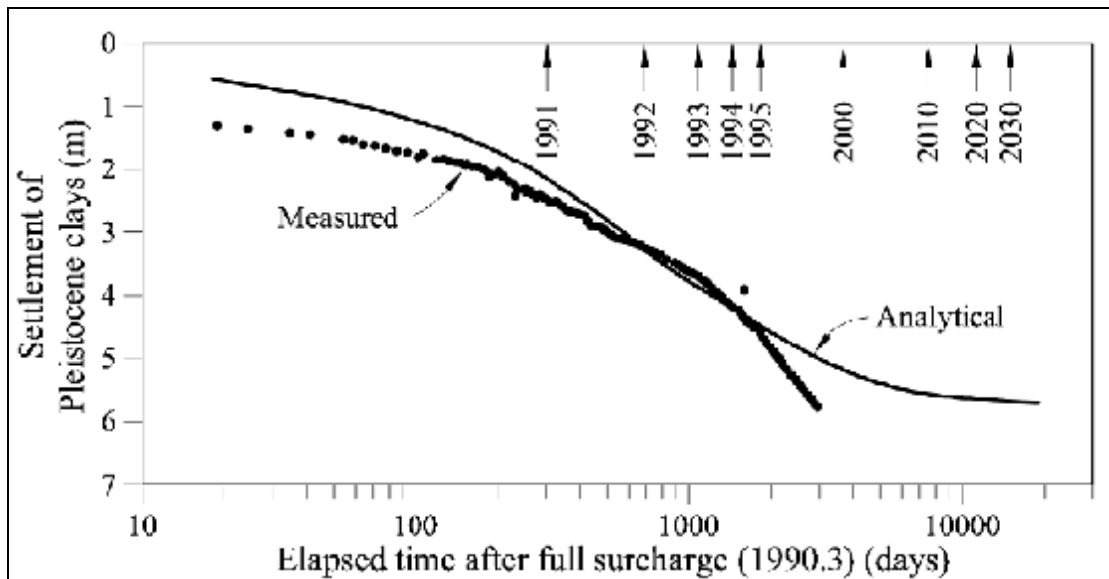
ΕΙΚΟΝΑ 29. ΔΙΑΤΟΜΗ ΤΟΥ ΚΥΜΑΤΟΘΡΑΥΣΤΗ

Δύο σημαντικές παρατηρήσεις σχετικά με τη διαδικασία κατασκευής είναι: (1) δεν υπάρχουν μέτρα για την επιτάχυνση των καθιζήσεων στην στρώση (Πλειστόκαινο) αργίλου, λόγω των σημαντικών βαθών της (αντ' αυτού, μια ειδική προσπάθεια έγινε για να προβλεφθούν οι καθιζήσεις όσο το δυνατόν με μεγαλύτερη ακρίβεια), (2) μόλις το τελικό στάδιο εκπληρώθηκε, δεν ήταν δυνατόν να προστεθεί άλλο γέμισμα στην κορυφή του νησιού χρησιμοποιώντας την ίδια μέθοδο. Το πρόβλημα ήταν ότι οι φορηγίδες δεν μπορούσαν πια να εισέλθουν στο εσωτερικό του νησιού. Συνδυάζοντας αυτούς τους δύο παράγοντες προκύπτει ότι οι διαδικασίες προγραμματισμού και σχεδιασμού δεν επέτρεπαν τον κίνδυνο επιπλέον καθίζησης λόγω στερεοποίησης των στρώσεων

πλειστοκαίνης αργίλου. Καμία διαδικασία κατασκευής δεν προέβλεψε πως θα μπορούσε να αντεπεξέλθει σε αυτές τις καθιζήσεις.

4.2 ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΩΝ ΚΑΘΙΖΗΣΕΩΝ

Χάρη στην κατακόρυφη στράγγιση, η πάνω στρώση των 20 m αργίλου, έφθασε σχεδόν 90% της τελικής καθίζησης των 6 m, κατά τη διάρκεια της κατασκευής (Handy, 2002). Αυτές οι καθιζήσεις είχαν προβλεφθεί κατά τον σχεδιασμό, ότι θα αντισταθμιστούν από ένα πρόσθετο 6 m παχύ στρώμα κοκκώδους υλικού, έτσι ώστε να υπάρχει ένα επιπλέον ύψος από τους κυματοθραύστες. Αυτό που προφανώς δεν συνυπολογίστηκε πλήρως, ήταν οι υπερβολικές καθιζήσεις των αργίλων και η αργή συσσώρευση τους στο χρόνο. Μέχρι το 1999, η άμεση καθίζηση ήταν περίπου 1 m, ακολουθήθηκε από επιπλέον 5 m καθίζησης και συνεχίζει να αυξάνεται, με ρυθμό περίπου 15 εκατοστά ετησίως. Η προσθήκη επιπλέον στρωμάτων πλήρωσης κατά τη διάρκεια της κατασκευής, αντιμετώπιζε μόνο την άμεση καθίζηση και ένα μικρό μέρος της στερεοποίησης των ιζημάτων του Πλειστοκαίνου.



ΕΙΚΟΝΑ 30. ΚΑΘΙΖΗΣΕΙΣ ΤΟΥ ΝΗΣΙΟΥ

Το αρχικό σχέδιο δεν είχε προβλέψει αυτές τις εξελίξεις. Από τη στιγμή που ήταν σαφές ότι οι πλειστοκαινικοί άργιλοι ήταν η πηγή αυτών των υπερβολικών καθιζήσεων, έγιναν προσπάθειες για να αξιολογηθεί εκ νέου [όπως φαίνεται στην παραπάνω εικόνα (Endo et al., 1991)]. Αυτές οι προσπάθειες βασίστηκαν σε μετρήσεις πεδίου κατά την έναρξη της κατασκευής και απέτυχαν να παρέχουν μια λογική και ακριβή πρόβλεψη. Συνεχώς χρειάζονταν διόρθωση, αλλά κάθε φορά που γινόταν μια πρόβλεψη, το νησί τους παρείχε μια νέα "έκπληξη". Πρώτα, ήταν μια σημαντική άμεση καθίζηση. Στη συνέχεια, ήταν μια πολύ χαμηλότερη από το αναμενόμενο ποσοστό της καθίζησης, κατά την έναρξη της στερεοποίησης. Τέλος, οι καθιζήσεις αυτές δεν φαίνεται να επιβραδύνονταν τόσο όσο αναμενόταν προς το τέλος της στερεοποίησης.

4.3 ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ

Πολλοί διαφορετικοί παράγοντες επηρέασαν την πρόβλεψη καθιζήσεων στο Διεθνές Αεροδρόμιο. Αυτό το κομμάτι θα επικεντρωθεί σε τρία από αυτά: την άμεση καθίζηση, το βραδύτερο ρυθμό καθίζησης στην αρχή, και το γρηγορότερο ρυθμό προς το τέλος της στερεοποίησης των άνω αργιλικών στρώσεων. Οι Άμεσες καθιζήσεις που προκλήθηκαν από την τρισδιάστατικότητα του πραγματικού προβλήματος, σε σύγκριση με τη μονοδιάστατη θεωρία στερεοποίησης, ιδίως από μη-αμελητέες πλευρικές παραμορφώσεις. Επηρεάζονται επίσης από τη συμπιεστότητα των στρωμάτων άμμου όπου η εκτόνωση των πιέσεων ύδατος των πόρων γίνεται πολύ γρήγορα. Ο ρυθμός της στερεοποίησης καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό από το μήκος της διαδρομής αποστράγγισης. Συμβατικά, ένα στρώμα άμμου μεταξύ δύο στρωμάτων αργίλου λογίζεται ως στραγγιστήρι. Στην περίπτωση των στρωμάτων Πλειστόκαινου, ωστόσο, κάποια από τα στρώματα άμμου αποδείχθηκε ότι λειτουργούσαν ως θύλακες, εντελώς έγκλειστοι μέσα σε στρώματα αργίλου, η οποία επέτρεπε μια πολύ αργή εκτόνωση των πιέσεων του νερού των πόρων στα στρώματα άμμου, 10 χρόνια μετά την εγγειοβελτίωση του εδάφους. Τέλος, η διαδικασία στερεοποίησης δεν είναι η μόνη που ελέγχει τον ρυθμό της καθίζησης στην άργιλο. Ακόμα και όταν η υπερπίεση των πόρων του νερού έχει εντελώς εκτονωθεί, η καθίζηση συνεχίζεται, η οποία ονομάζεται ερπυσμός ή δευτερεύουσα στερεοποίηση. Προς το τέλος της πρωτεύουσας καθίζησης, με τη συνεισφορά της δευτερεύουσας συμπίεσης γίνεται πιο έντονη και μπορεί να προκαλέσει σημαντική αύξηση των καθιζήσεων πολύ καιρό μετά την πρωταρχική στερεοποίηση .

Όλοι αυτοί οι παράγοντες είναι μάλλον δύσκολο να ποσοτικοποιηθούν με ακρίβεια εκ των προτέρων. Αυτό αποτελούσε μεγάλο πρόβλημα για τους μελετητές.

4.4 ΜΕΘΟΔΟΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗΣ

Το μεγάλο πρόβλημα των εγγειοβελτιωτικών έργων αυτής της κλίμακας είναι ότι είναι σχεδόν αδύνατον να υπάρχει μια ακριβής πρόβλεψη των ποσοστών των καθιζήσεων, που να βασίζεται αποκλειστικά στα αποτελέσματα της έρευνας του πεδίου και των δοκιμών στερεοποίησης στο εργαστήριο. Υπάρχουν δύο βασικοί λόγοι για την εν λόγω καθίζηση: (1) μεγάλη ποικιλότητα των εδαφικών ιδιοτήτων και μεταβλητότητα στη γεωμετρία των αποστραγγίσεων του εδάφους και (2) οι εργαστηριακές δοκιμές συχνά παρέχουν τιμές των συντελεστών στερεοποίησης C_v και δευτερεύουσας C_α συμπίεσης έως δυο τάξεις μεγέθους διαφορετικές από τις τιμές πεδίου. Ως εκ τούτου, οι εκτιμήσεις αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο ως αρχικές συνθήκες για τη μελέτη. Σε μια τέτοια περίπτωση, ο σχεδιασμός θα πρέπει να είναι ευέλικτος για να δεχτεί τις αλλαγές, όπως προχωρά κατασκευή. Οι αλλαγές αυτές βασίζονται στη συνεχή παρακολούθηση των σημαντικών παραμέτρων του πεδίου και στην αντίστροφη ανάλυση των μετρήσεων πεδίου. Αυτός ο αντίστροφος υπολογισμός επιτρέπει στις παραμέτρους του μοντέλου να ενημερώνονται χρησιμοποιώντας δεδομένα από το πραγματικό πεδίο και στη συνέχεια να χρησιμοποιούνται για τα επόμενα στάδια της ανάλυσης και του σχεδιασμού. Σε όρους Γεωτεχνικής Μηχανικής, αυτή η προσέγγιση ονομάζεται «η μέθοδος της παρατήρησης».

των στρωμάτων κορεσμένης αργίλου, είναι ένα χρονικά εξαρτώμενο φαινόμενο, το οποίο διέπεται από την ακόλουθη διαδικασία.

- πρωτεύουσα στερεοποίηση - μείωση του όγκου των πόρων λόγω της ροής του νερού, που προκλήθηκε από την εκτόνωση της υπερπίεσης
- δευτερεύουσα συμπίεση- μείωση του όγκου των πόρων, λόγω ερπυσμού.

Η ολική καθίζηση αυτών των στρωμάτων, σε ένα μονοδιάστατο πρόβλημα, αποτελείται επομένως από τρεις διακριτές συνιστώσες.

$$\rho_T(t) = \rho_i + \rho_c(t) + \rho_s(t)$$

όπου, ρ_i άμεση καθίζηση (άμμου)

$\rho_c(t)$ καθίζηση λόγω στερεοποίησης(αργίλου)

$\rho_s(t)$ καθίζηση λόγω ερπυσμού (αργίλου)

4.6 ΑΜΕΣΗ ΚΑΘΙΖΗΣΗ

Η άμεση καθίζηση σε κορεσμένα στρώματα αργίλου, σε μονοδιάστατο πρόβλημα, θα έπρεπε να είναι 0 (μηδέν), λόγω των μικρών πόρων του νερού και της ασυμπίεστότητας αυτών. Στην πραγματικότητα όμως, υπάρχουν πάντα κάποιες άμεσες καθιζήσεις που προκαλούνται από την τρισδιάστατικότητα του πραγματικού προβλήματος, το οποίο περιλαμβάνει υπολογίσιμες πλευρικές παραμορφώσεις.

Λόγω αυτών κάποιες κατακόρυφες καθιζήσεις συμβαίνουν, χωρίς οποιαδήποτε μεταβολή στο συνολικό όγκο, όπως απαιτείται από τη συνθήκη «ασυμπίεστότητας». Σε συστήματα με αργιλικά στρώματα κ στρώματα άμμου, κάποιες άμεσες καθιζήσεις συμβαίνουν, λόγω της συμπίεστότητας των στρωμάτων της άμμου, όπου οι πόροι είναι αρκετά μεγάλοι ώστε να επιτρέψουν μια σχεδόν άμεση εκτόνωση των πιέσεων του νερού των πόρων. Αυτές οι άμεσες καθιζήσεις λόγω της αύξησης του $\Delta\sigma$ σε ένα υπόστρωμα λεπτής άμμου κ με πάχος H , μπορούν να υπολογισθούν.

$$\rho_I = H \frac{\Delta\sigma}{M_E^{\text{sand}}} = H \frac{(1+\nu)(1-2\nu)}{E(1-\nu)} \Delta\sigma,$$

όπου M_E^{sand} μονοδιάστατο μέτρο συμπίεσης της άμμου

E συντελεστής Young της άμμου

ν λόγος Poisson της άμμου

Άμεσες καθιζήσεις λαμβάνουν χώρα κατά τη διάρκεια της κατασκευής. Επομένως, παρόλη την σπουδαιότητα τους στο τμήμα της διαμόρφωσης του εδάφους, δεν επηρεάζουν την υπόλοιπη κατασκευή.

4.7 ΚΑΘΙΖΗΣΗ ΛΟΓΩ ΜΟΝΟΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΗΣ

Μέχρι το τέλος της στερεοποίησης, η συνολική αύξηση του $\Delta\sigma$, σε ένα λεπτό υπόστρωμα, πάχους H , θα παράξει μία ίση ενεργή πίεση $\Delta\sigma' = \Delta\sigma$. Για φυσιολογικά στερεοποιημένες αργίλους, αυτό θα οδηγήσει σε μία τελική καθίζηση.

$$\rho_{\text{inf}} = \frac{H}{M_E^{\text{clay}}} \Delta\sigma \quad \text{or} \quad \rho_{\text{inf}} = \frac{H}{1+e_0} C_c \log \frac{\sigma'_0 + \Delta\sigma}{\sigma'_0},$$

όπου σ'_0 ενεργή κατακόρυφη τάση

e_0 επιτόπου λόγος των κενών πριν την κατασκευή

M_E^{sand} μονοδιάστατο μέτρο συμπίεσης της αργίλου

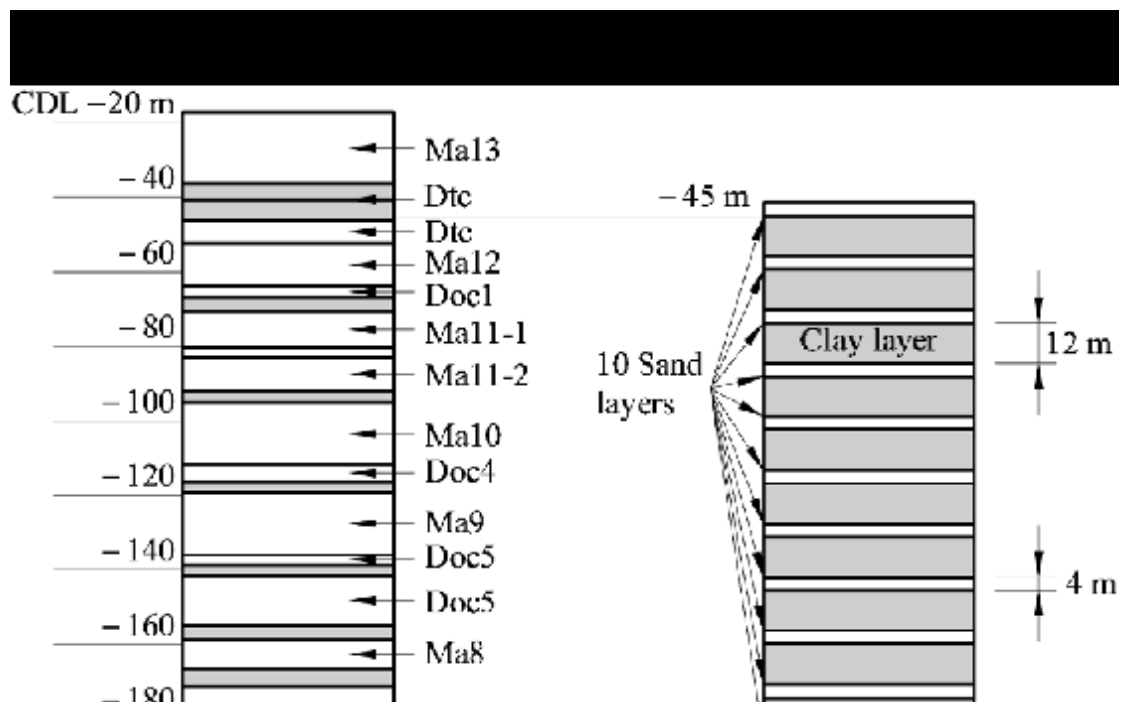
Η συνολική αύξηση της πίεσης $\Delta\sigma$, στην αρχή λαμβάνεται εξ ολοκλήρου από το νερό των πόρων. Αυτό προκαλεί έναν θύλακα πίεσης ανάμεσα στο στρώμα αργίλου και στα όρια των στραγγιστηριών. Και έτσι παράγονται πόροι νερού, οι οποίοι ρέουν ανάμεσα στα όρια. Κατά τη διάρκεια της υπέρβασης της πίεσης των πόρων $\Delta(u)t$ εξασθενεί όλο και περισσότερο φορτίο μεταφέρεται στο πλαίσιο του εδάφους μέσω των ενεργών πιέσεων $\Delta\sigma'(t)$, προκαλώντας συμπίεση και καθίζηση $\rho_c(t)$

Η αναλυτική λύση σε αυτό το πρόβλημα , δόθηκε από τον Terzaghi

$$U_m(T_v) = \frac{\rho_c}{\rho_{inf}} = 1 - \sum_{m=0}^{\infty} \frac{2}{M^2} \exp(-M^2 T_v),$$

4.8 ΑΠΛΟΠΟΙΗΜΕΝΟ ΜΟΝΤΕΛΟ

Το ανώτερο στρώμα αργίλου του σχήματος, στερεοποιείται πολύ γρήγορα λόγω των κάθετων στραγγιστήριων και η καθίζηση υπολογίζεται ότι θα είναι άμεση. Οι εννέα άνω στρώσεις πλειστοκαινού, περιορίζονται ανάμεσα σε δέκα στρώσεις άμμου και υποτίθεται ότι έχουν το ίδιο πάχος , για απλοποιητικούς λόγους.



ΕΙΚΟΝΑ 32. ΠΡΟΦΙΛ ΠΛΕΙΣΤΟΚΑΙΝΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, μόλις διαπιστώθηκε ότι η άργιλος πλειστοκαίνου είναι ο λόγος για τις υπερβολικές καθιζήσεις, έγιναν προσπάθειες να προβλεφθεί η μελλοντική εξέλιξη της καθίζησης. Μία από αυτές τις προβλέψεις, παρείχε μία αναλυτική λύση. Ένα απλοποιημένο μοντέλο των Akai και Tanaka θα αναπαράγει αυτή την πρόταση εφόσον γίνουν οι παρακάτω παραδοχές, σε σχέση με τη γεωμετρία και τις ιδιότητες των υλικών.

-το ύψος του 4.0km X1.25km νησιού , πάνω από το βυθό της θάλασσας είναι $h=33m$, εκ των οποίων $hw = 29 m$ είναι κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας

-τα ειδικά βάρη των εδαφών της μονάδας είναι $\gamma_{island}=21 \text{ kN/m}^3$ και $\gamma_{seabed}=18 \text{ kN/m}^3$

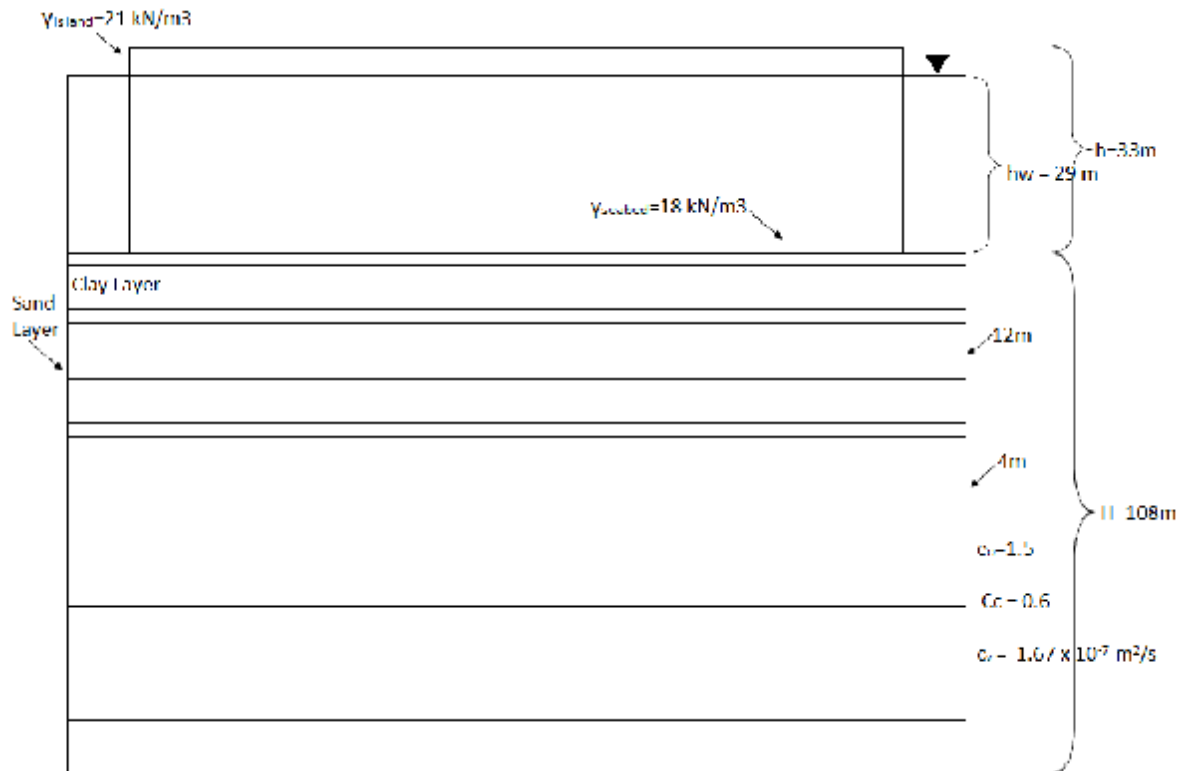
- Ο λόγος υπερστερεοποίησης OCR των κοιτασμάτων της πλειστοκαίνου , αυξάνεται γραμμικά με το βάθος

-η πλειστοκαινική άργιλος θεωρείται ότι είναι κανονικά στερεοποιημένη , με παραμέτρους $e_0=1.5$, $C_c = 0.6$, $c_v = 1.67 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$

-η πάνω άργιλος συνολικού πάχους $H=108 m$, αποτελείται από εννέα υποστρώματα , πάχους $12m$ στα οποία παρεμβάλλονται οχτώ στραγγιστήρια πάχους $4 m$. Έτσι το μέσο μήκος της κάθετης διαδρομής αποστράγγισης είναι $d=6.0m$

-υπάρχουν επίσης στρώματα άμμου στα χαμηλότερα και υψηλότερα όρια του στρώματος πλειστοκαινικής αργίλου , πάχους $108 m$

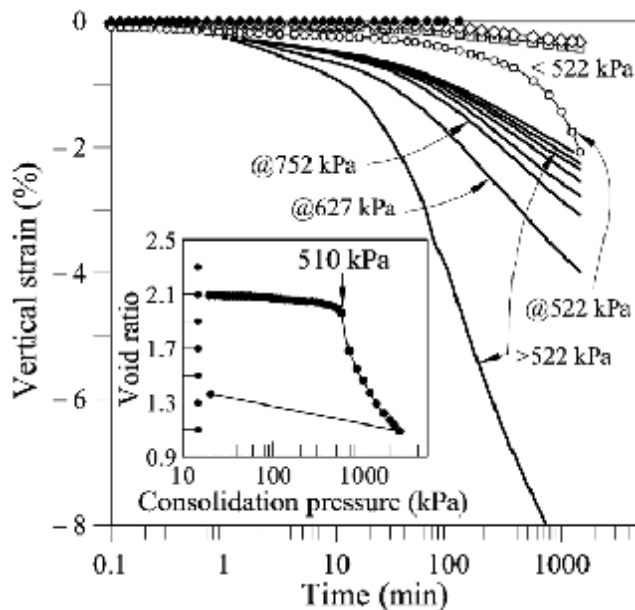
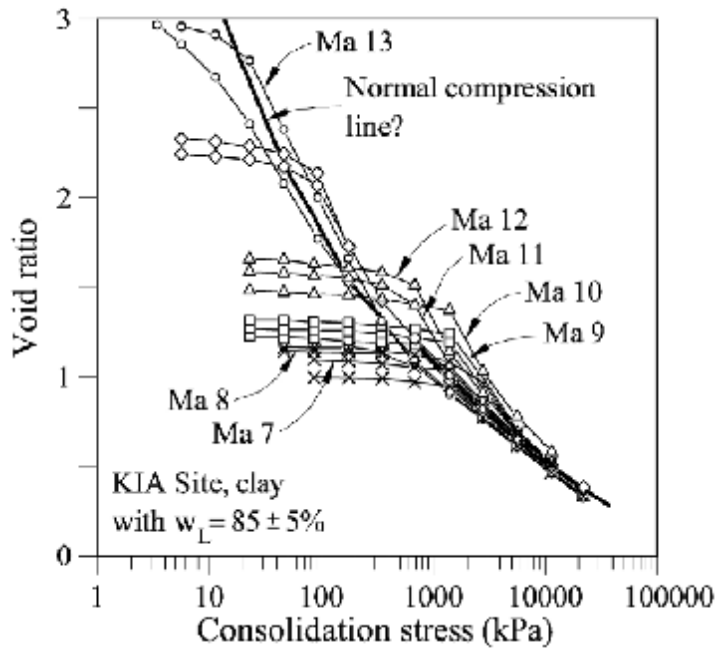
- δεν παρατηρείται αρχική καθίζηση, ούτε καθίζηση κατά τη διάρκεια της δευτερογενής συμπίεσης



4.9 ΑΡΧΙΚΗ ΠΡΟΒΛΕΨΗ

Σε αυτό το τμήμα, χρησιμοποιώντας το απλοποιημένο μοντέλο, αναπαράγεται από τους Ακai και Ταπακα η αρχική πρόβλεψη του E_{p0} . Η άμεση καθίζηση είναι περίπου 6 m και η αύξηση της σε σχέση με το χρόνο είναι ασήμαντη. Η τελική καθίζηση λόγω στερεοποίησης των στρωμάτων της πλειστοκαινικής αργίλου, μπορεί να υπολογισθεί από την τύπο του ρ_{inf} για κάθε ένα από τα εννέα στρώματα αργίλου και προσθέτουμε τις καθιζήσεις

$$\begin{aligned} \rho_{inf} &= \sum_{i=1}^{i=9} \Delta \rho_{inf}^i = \sum_{i=1}^{i=9} \Delta H \frac{C_c}{1+e_0} \log \left(\frac{\sigma'_{0i} + \Delta \sigma}{\sigma'_{0i}} \right) = \\ &= \sum_{i=1}^{i=9} 12 \frac{0.6}{1+1.5} \log \left(\frac{8D_i + 403}{8D_i} \right) = 5.6 \text{ m}, \end{aligned}$$



ΕΙΚΟΝΑ 33. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΔΟΚΙΜΗΣ ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΗΣ

Αυτή η τελική καθίζηση, των 5,6 μέτρων της πλειστοκαινικής αργίλου, είχε επίσης προβλεφθεί από τον Endo. Το πρόβλημα της πρόβλεψης αυτής όμως είναι διαφορετικής φύσης. Το πρόβλημα είναι η χρονική εξέλιξη της καθίζησης και τι θα συμβεί όταν η στερεοποίηση σταματήσει. Πράγματι, σύμφωνα με τον Endo το 50% της καθίζησης της πλειστοκαινικής αργίλου, σε όλα τα στρώματα αργίλου, θα πρέπει

να έχει συμβεί μετά από 490 μέρες και το 90% αυτής , σε 2,120 μέρες το οποίο μπορεί να παραστεί ως εξής

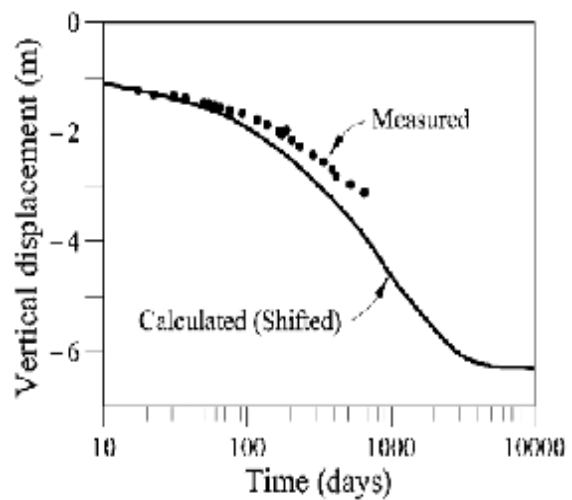
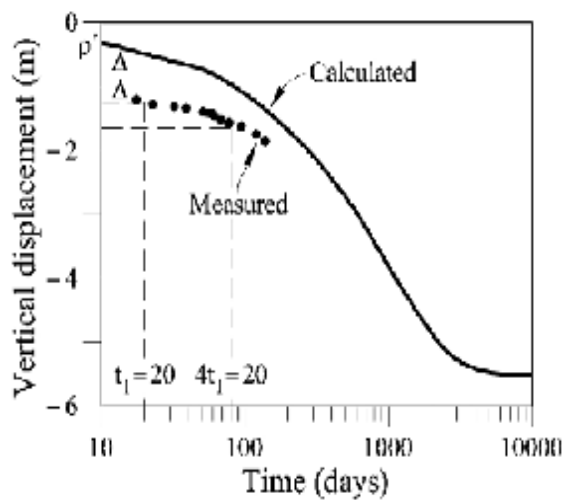
$$t_{50} = \frac{T_{v(50)} d^2}{c_v} = \frac{0.196 \times (6.0)^2}{1.67 \times 10^{-7}} \left(\frac{1}{24 \times 3600} \right) = 490 \text{ days,}$$

$$t_{90} = \frac{T_{v(90)} d^2}{c_v} = \frac{0.848 \times (6.0)^2}{1.67 \times 10^{-7}} \left(\frac{1}{24 \times 3600} \right) = 2,120 \text{ days.}$$

Στην πραγματικότητα όμως η στερεοποίηση συνεχίζεται περαιτέρω . Το 1990 σχεδόν 3,200 μέρες από το τέλος της κατασκευής , η καθίζηση είχε υπερβεί τα 6 m (και συνολικά τα 12 m) και συνέχισε να αυξάνεται , με ρυθμό τα 15 cm περίπου το χρόνο.

4.10 ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΤΗΣ ΑΡΧΙΚΗΣ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ

Ξεκινώντας από τα αρχικά στάδια της στερεοποίησης, έγινε ξεκάθαρο ότι η καθίζηση της πλειστοκαίνου, ήταν μεγαλύτερη από το αναμενόμενο. Ένας πιθανός λόγος γι' αυτό ήταν ο υψηλός ρυθμός στερεοποίησης, αλλά η συμπεριφορά όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα είναι αντίθετη και ο βαθμός καθίζησης είναι μικρότερος του προβλεπόμενου



ΕΙΚΟΝΑ 34. ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΤΗΣ ΑΡΧΙΚΗΣ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ

α) συμπέρασμα παραμέτρων

β) διορθωμένη πρόβλεψη

Επομένως ο πιο πιθανός λόγος για την μεγαλύτερη καθίζηση, είναι μια αρχική καθίζηση. Άρα

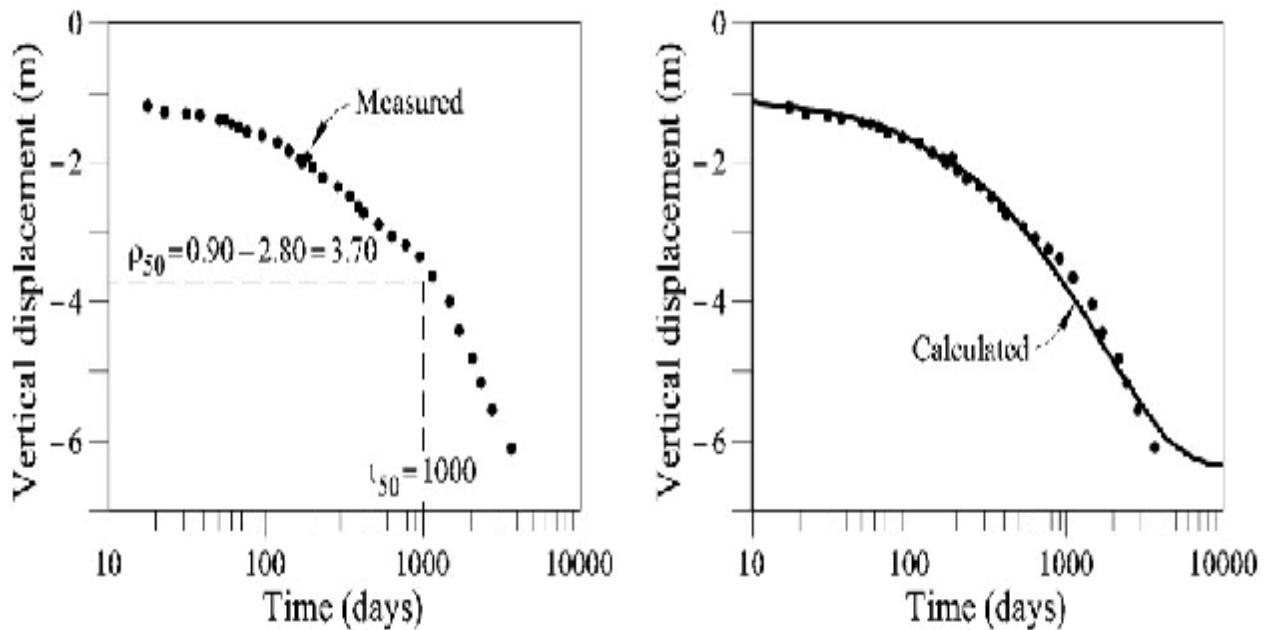
$$t_1=20 \text{ μέρες}, \rho_{t_1}=1.25\text{m}$$

$$t_2=4t_1=80 \text{ μέρες}, \rho_{t_2}=1.60\text{m}$$

$$\text{επομένως } \rho_i=2\rho(t_1)-\rho(4t_1)=2*1.25-1.60=0.90\text{m}$$

4.11 ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΤΟΥ ΜΗΚΟΥΣ ΤΗΣ ΔΙΑΔΡΟΜΗΣ ΑΠΟΣΤΡΑΓΓΙΣΗΣ

Ο βαθμός στερεοποίησης διέπεται από το συντελεστή στερεοποίησης C_v και από το μέσο μήκος της διαδρομής αποστράγγισης d . Επειδή η αποστράγγιση της πίεσης του νερού των πόρων σε κάποια στρώματα άμμου ήταν πολύ αργή, είναι πιο πιθανό, ότι το μέσο μήκος της διαδρομής της αποστράγγισης, να ήταν μεγαλύτερο από αυτό που είχε υπολογισθεί. Υποθέτουμε ότι η τελική καθίζηση, λόγω στερεοποίησης της πλειστοκαινικής αργίλου $\rho_{inf}=5,6\text{m}$, ήταν σωστή, όπως υπολογίσθηκε στην παραπάνω εξίσωση. Έπειτα ο μετρημένος χρόνος t_{50} (που αντιστοιχεί στο 50% της καθίζησης λόγω στερεοποίησης), ήταν 1000 μέρες και όχι 490 μέρες όπως είχε προβλέψει ο Endo.



ΕΙΚΟΝΑ 35. ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΤΟΥ ΜΗΚΟΥΣ ΔΙΑΔΡΟΜΗΣ ΤΗΣ ΣΤΡΑΓΓΙΣΗΣ

Το μέσο μήκος d και ο αντίστοιχος αριθμός των στρωμάτων n , υπολογίζεται ως εξής

$$d = \sqrt{\frac{t_{50} \cdot c_v}{T_{v(50)}}} = \sqrt{\frac{1,000 \times 24 \times 3,600 \times 1.67 \times 10^{-7}}{0.196}} = 8.57 \text{ m} > 6 \text{ m},$$

και

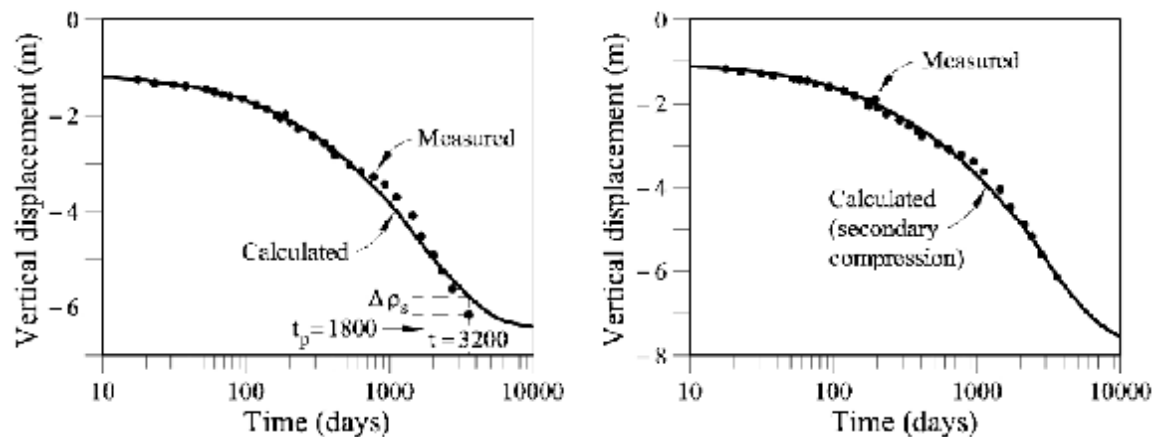
$$n = \frac{H}{2d} = \frac{108}{2 \times 8.57} = 6.3 < 9.$$

4.12 ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΛΟΓΩ ΔΕΥΤΕΡΟΓΕΝΟΥΣ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ

Ο πιο πιθανός λόγος για την συνεχιζόμενη υπερβολική καθίζηση, σε αυτά τα τελευταία στάδια της στερεοποίησης, είναι η δευτερογενής συμπίεση. Συγκεκριμένα ο Ακαί και ο Ταπακά, παρατήρησαν μια ταχεία καθίζηση, μετά τη στερεοποίηση, όταν η ενεργή τάση ελάχιστα υπερέβαινε την τάση προστεροποίησης και το συσχέτισαν αυτό με το φαινόμενο της αποδόμησης των «ηλικιωμένων» αργίλων. Με σκοπό να εξαγάγουμε την παράμετρο C_a χρειαζόμαστε περισσότερα δεδομένα. Παρ' όλα αυτά σε περίπτωση που η τελευταία πρόβλεψη της καμπύλης στερεοποίησης, είναι έγκυρη, τότε μπορεί να εφαρμοστεί μία εναλλακτική διαδικασία. Σύμφωνα μ' αυτήν, το t_p πάρθηκε ως η

χρονική στιγμή που οι μετρήσεις άρχισαν να αποκλίνουν από την θεωρητική γραμμή στερεοποίησης, στην περίπτωση μας $t_p=1800$ days. Η παράμετρος C_α λαμβάνεται από τη διαφορά μεταξύ των θεωρητικών και των μετρημένων καθιζήσεων, σε χρόνο $t>t_p$ ($t=3200$ days, $\Delta\rho_s=0,37$ m)

$$C_\alpha = \frac{\Delta\rho_s(1+e_0)}{H \log(t/t_p)} = \frac{0.37 \times (1+1.5)}{108 \times \log(3,200/1,800)} = 0.034, \quad \frac{C_\alpha}{C_c} = \frac{0.034}{0.6} = 0.057.$$



ΕΙΚΟΝΑ 36. ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΤΗΣ ΔΕΥΤΕΡΕΥΟΥΣΑΣ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ

4.13 ΟΛΙΚΗ ΠΡΟΒΛΕΠΟΜΕΝΗ ΚΑΘΙΖΗΣΗ

Υποθέτοντας για το αεροδρόμιο διάρκεια ζωής 50 χρόνια, προκύπτει καθίζηση λόγω ερπυσμού:

$$\rho_s = \frac{C_\alpha}{1+e_0} H \log\left(\frac{t}{t_p}\right) = \frac{0.034}{1+1.5} \times 108 \times \log\left(\frac{50 \times 365}{1,800}\right) = 1.5 \text{ m.}$$

Η ολική προβλεπόμενη μετατόπιση (μετά από 50 χρόνια) για το στρώμα της πλειστοκαίνου είναι .

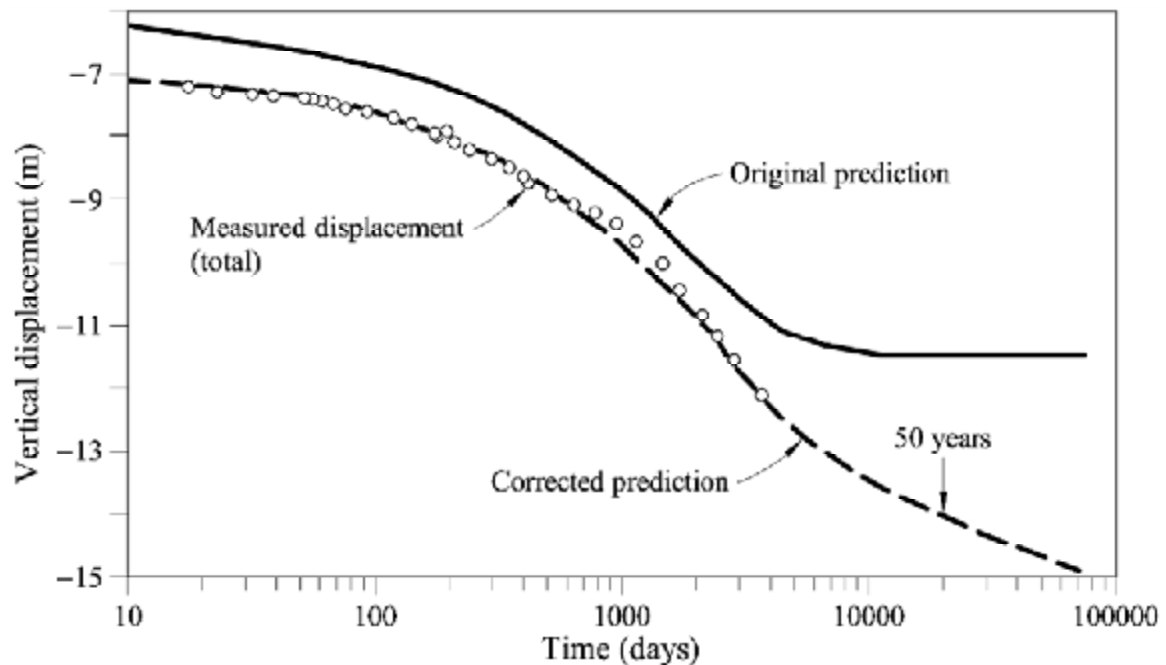
$$\rho_T^{Pl} = \rho_I + \rho_{inf} + \rho_S = 0.9 + 5.6 + 1.5 = 8.0 \text{ m.}$$

Προσθέτοντας την καθίζηση των στρωμάτων της ολοκαινικής αργίλου ,

$$\rho_T = 8.0 + 6.0 = 14.0 \text{ m.}$$

παίρνουμε .

Η τελευταία πρόβλεψη για την καθίζηση των επόμενων 50 χρόνων είναι 14,3 m. Εάν το νησί φτιαχνόταν χρησιμοποιώντας την αρχική πρόβλεψη για 11,6m καθίζηση, τότε το προβλεπόμενο ανάχωμα των 4m, πάνω από την στάθμη της θάλασσας, με τα χρόνια θα μειωνόταν στα 1,6m μόνο. Αυτό θα είχε ως συνέπεια να μην αντέχει το νησί τις υψηλές παλίρροιες τις οποίες προκαλούν οι τυφώνες.



ΕΙΚΟΝΑ 37. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΗΣ ΑΡΧΙΚΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΝΕΩΜΕΝΗΣ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ ΤΗΣ ΟΛΙΚΗΣ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ

4.14 ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Το απλοποιημένο γεωτεχνικό μοντέλο της καθίζησης του Kansai International Airport είναι μονοδιάστατο, επομένως δεν μπορεί να ληφθεί υπόψη η χωρική μεταβλητότητα της γεωμετρίας, της φόρτισης και των εδαφικών ιδιοτήτων, καθώς και τις τρισδιάστατες επιρροές της τάσης και της παραμόρφωσης. Είναι επίσης εστιασμένη μόνο στα φαινόμενα της αρχικής καθίζησης, της στράγγισης και του ερπυσμού. Το μοντέλο αυτό, καταφέρνει να συμφωνήσει τέλεια με τις μετρημένες καθιζήσεις. Επιπλέον η πρόβλεψη γι' αυτό το μοντέλο για τις μελλοντικές καθιζήσεις είναι πιο σίγουρη, από άλλες προβλέψεις πιο αναπτυγμένων μοντέλων. Και αυτό έγινε δυνατό επειδή οι παράμετροί του, υπολογίσθηκαν, χρησιμοποιώντας δεδομένα από το πεδίο.

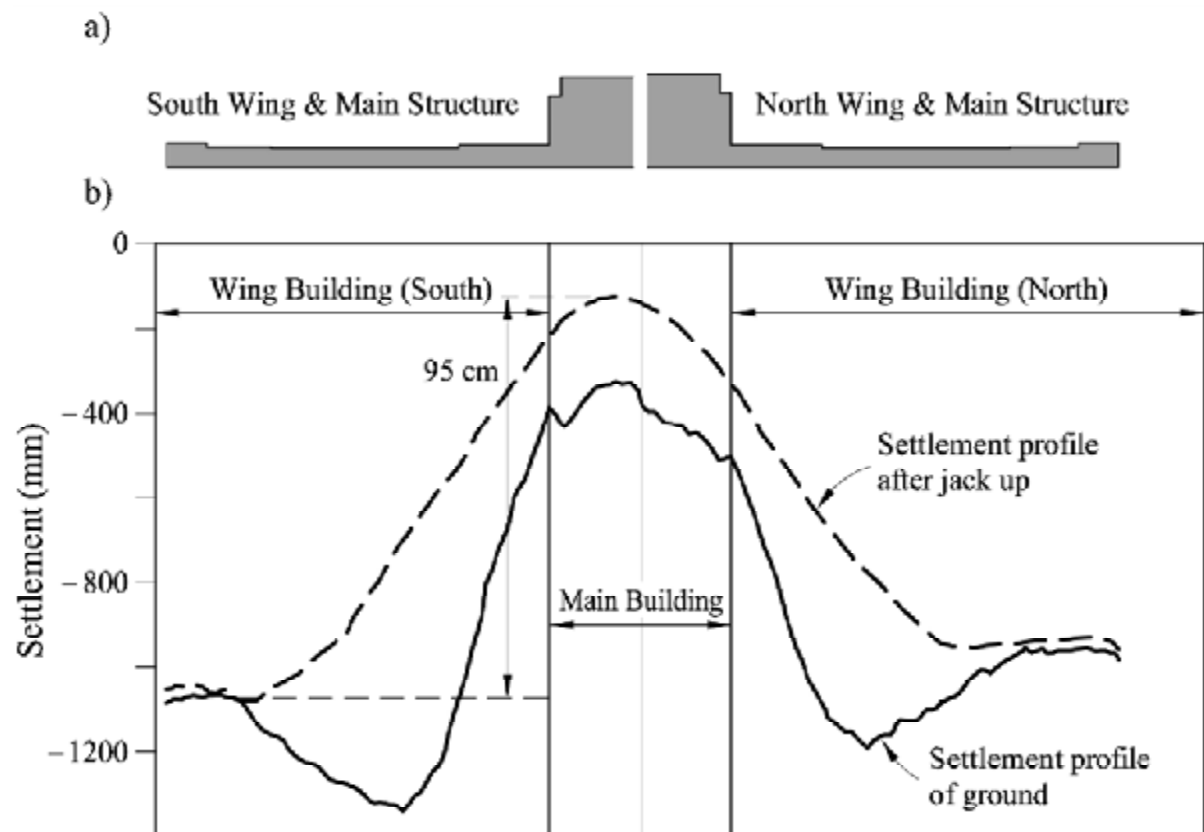
4.15 ΜΕΤΡΑ ΜΕΤΡΙΑΣΜΟΥ ΤΗΣ ΖΗΜΙΑΣ

Η άμβλυνση, λόγω της ολικής υπερβολικής καθίζησης στην ανάκτηση εδάφους, από μόνο του είναι ένα δύσκολο ζήτημα. Η πρόθεση να συμπληρωθεί με υλικό, το νησί, ώστε να υπάρξει μια αντιστάθμιση αυτών των καθιζήσεων, όταν αυτό θα είναι έτοιμο, δεν είναι εφικτό από τεχνολογικής άποψης (οι φορτηγίδες δεν μπορούν να φτάσουν το εσωτερικό του νησιού) ή από επιχειρησιακής άποψης (είναι αδιανόητο να διακοπεί η λειτουργία ενός αεροδρομίου). Επιπλέον αυτό το συμπλήρωμα με υλικό, λόγω βάρους θα προκαλούσε από μόνο του επιπλέον καθιζήσεις. Επομένως τα αρνητικά αποτελέσματα των καθιζήσεων, στο να αντέχει το νησί τις παλίρροιες, θα πρέπει να μετριάζονται εκτείνοντας το ύψος των κυματοθραυστών. Οι κύριες πηγές ανησυχίας, ωστόσο, είναι οι διαφορικές καθιζήσεις, που επηρεάζουν τις κατασκευές. Το κτίριο του τερματικού σταθμού των επιβατών, είναι μια κατασκευή με το εμβαδόν του δαπέδου να είναι 0,3 km². Αποτελείται από ένα τετραώροφο κύριο κτήριο (320x150m) και από δυο τριώροφα μακρόστενα κτήρια 'πτέρυγες' (670x40m). Αυτά τα κτήρια υποστηρίζονται από 874 υποστυλώματα, συνολικού μήκους

1,660m. Το κύριο πρόβλημα με το κύριο κτήριο είναι ότι, λόγω του δαπέδου, το βάρος του αντιπροσωπεύει μόνο το μισό από το βάρος του εδάφους που εκτοπίζεται. Επομένως για διασφαλιστεί ότι το νησί και οι κατασκευές, βυθίζονται με τον ίδιο ρυθμό, το υπόγειο του τερματικού σταθμού, επενδύθηκε με $\frac{1}{4}$ τόνο σιδηρομεταλλεύματος. Αυτό το μέτρο όμως είχε περιορισμένη επιτυχία.

Για να αντισταθμιστεί η συνεχόμενη διαφορική καθίζηση κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του κτηρίου, οι στήλες υποστήριξης έχουν εφοδιαστεί με ένα σύστημα γρύλων, που επιτρέπει προσαρμογές στο ύψος. Αυτές οι προσαρμογές έχουν εφαρμόζονται 2 ή 3 φορές το χρόνο, με τους γρύλους και με την εισαγωγή λεπτών πλακών, για να διατηρηθούν οι καθιζήσεις μέσα στα όρια του σχεδίου. ($\theta=1/400$ για τοπική γωνία παραμόρφωσης της δομής της οροφής του κύριου πλαισίου και $\theta=1/600$ για τη δομή της οροφής των 'πτερύγων').

Όπως φαίνεται παρά το γεγονός ότι από τον Οκτώβριο του 2003 , η μέγιστη διόρθωση του ύψους, είχε φτάσει για μερικές κολώνες, σχεδόν τα 60cm, τα κριτήρια της διαφορικής καθίζησης, δεν είχαν ακόμα ικανοποιηθεί. Η μέγιστη διαφορική καθίζηση μεταξύ του κέντρου του κύριου κτηρίου και των χαμηλότερων στύλων του νότιου κτηρίου , ήταν 95cm, όπου έχει ως αποτέλεσμα τη μέγιστη κλίση της διακεκομμένης γραμμής του $\theta=1/450$, η οποία υπερβαίνει κατά πολύ το όριο του $\theta=1/600$, για την τοπική γωνία παραμόρφωσης των 'πτερύγων.



ΕΙΚΟΝΑ 38. ΤΟ ΚΤΗΡΙΟ ΤΟΥ ΤΕΡΜΑΤΙΚΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ Α)ΠΕΡΙΓΡΑΜΜΑ Β)ΠΡΟΦΙΛ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ

4.16 ΔΙΔΑΓΜΑΤΑ

- Υψηλό επίπεδο απροσδιόριστου

Το κύριο πρόβλημα με τα μεγάλα μεγέθους έργα που αφορούν την αναδιαμόρφωση εδάφους, ότι, είναι σχεδόν απίθανο να έχει κανείς μία ακριβή πρόβλεψη του ρυθμού των καθιζήσεων, βασιζόμενη αποκλειστικά και μόνο στα αποτελέσματα της έρευνας του χώρου και στις εργαστηριακές δοκιμές. Οι κύριοι λόγοι είναι, η μεγάλη χωρική μεταβλητότητα των ιδιοτήτων του εδάφους και το γεγονός ότι οι εργαστηριακές δοκιμές, συχνά προκύπτουν οι συντελεστές της στερεοποίησης και της δευτερεύουσας συμπίεσης, με διαφορά δύο τάξεις μεγέθους. Επομένως τέτοιες εκτιμήσεις μπορούν μόνο να χρησιμοποιηθούν σαν αρχικές συνθήκες του μελέτης.

-Άμεσες καθιζήσεις

Οι άμεσες καθιζήσεις σε στρώματα κορεσμένης αργίλου, σε ένα μονοδιάστατο πρόβλημα, θα έπρεπε να είναι μηδέν. Στην πραγματικότητα όμως, υπάρχουν πάντα κάποιες άμεσες καθιζήσεις, οι οποίες προκλήθηκαν από τη τρισδιαστατικότητα του πραγματικού προβλήματος, το οποίο περιλαμβάνει πλευρικά και κάθετα στραγγιστήρια .

-Περιορισμένη στράγγιση

Ο ρυθμός της στερεοποίησης καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό από το μήκος της διαδρομής της στράγγισης . Συμβατικά, ένα στρώμα άμμου ανάμεσα σε δύο στρώματα αργίλου, θεωρείται ότι θα στραγγίσει. Είναι σημαντικό να παρατηρείται η απαγωγή της πίεσης των πόρων του νερού, στα στρώματα της άμμου κατά τη κατασκευή, ώστε να καθοριστεί η αποστραγγιστική ικανότητα.

-Δευτερογενής συμπίεση

Η εξέλιξη της στερεοποίησης , δεν είναι ο μοναδικός παράγοντας που καθορίζει το ρυθμό της καθίζησης της αργίλου . Ακόμα και όταν η υπερπίεση του νερού των πόρων έχει ολοκληρωτικά εκτονωθεί, διάφορα φυσικά φαινόμενα προκάλεσαν μία συνεχιζόμενη καθίζηση. Ενώ αυτή η δευτερεύουσα καθίζηση είναι παρούσα από την αρχή της στερεοποίησης, προς το τέλος της αρχικής στερεοποίησης, η συνεισφορά της γίνεται πιο ξεκάθαρη. Η δευτερεύουσα συμπίεση ίσως προκαλέσει μία σημαντική αύξηση στις καθιζήσεις, αμέσως μόλις η αρχική στερεοποίηση έχει λάβει τέλος.

-Η μέθοδος παρατήρησης

Λόγω του υψηλού βαθμού απροσδιοριστίας σε τέτοια έργα, η μέθοδος παρατήρησης, θα πρέπει να υιοθετηθεί, στο σχέδιο και στην κατασκευή. Σ' αυτήν την μέθοδο, το σχέδιο είναι ευέλικτο σε αλλαγές, όσο η κατασκευή του έργου προχωράει. Οι αλλαγές αυτές θα πρέπει να βασίζονται σε μια συνεχή παρακολούθηση των πιο σημαντικών παραμέτρων του πεδίου και σε μια ενδελεχή ανάλυση των μετρήσεων του πεδίου. Αυτό επιτρέπει στις παραμέτρους του μοντέλου να ενημερώνονται , χρησιμοποιώντας τα πραγματικά δεδομένα του πεδίου και τότε να χρησιμοποιούνται για τα επόμενα στάδια του έργου.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. http://en.wikipedia.org/wiki/Kansai_International_Airport
2. <https://www.youtube.com/watch?v=fA0szFSEROI>
3. http://www.geodomisi.com/en/files/Publications/Lectures/Sachpazis_4%200Compaction%20Greek%20powerpoint%20presentation.pdf
4. <http://geolab.mechan.ntua.gr/teaching/lectnotes/soilmech/Geotechnical-A1-1-Spring-05.pdf>
5. <http://eureka.lib.teithe.gr:8080/bitstream/handle/10184/4965/Tsoraklidou,%20Sentelidou.pdf?sequence=1>
6. <http://www.ggde.gr/dmdocuments/11-03-01-00.pdf>
7. <http://documents.scribd.com.s3.amazonaws.com/docs/3hzbkbufeopu51c.pdf>
8. <http://195.251.240.254:8080/bitstream/handle/10184/6596/Saridis%2cNikolaos.pdf?sequence=1>
9. <http://sate.gr/html/pdf/11-03-01-00.pdf>
10. <http://eureka.lib.teithe.gr:8080/bitstream/handle/10184/1305/Damou%2c%20Koulou%20%5bMain%5d.pdf?sequence=4>
(http://www.springer.com/cda/content/document/cda_downloaddocument/9789048135301-c2.pdf?SGWID=0-0-45-1118152-p173923430)
11. https://www.google.gr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=4&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjQ0rqtjvjLAhVBqw4KHxmuAyUQFgg0MAM&url=http%3A%2F%2Fsokocalo.engr.ucdavis.edu%2F~jeremic%2FEC1284%2FTermProjects%2F2002%2FJPhalen.doc&usg=AFQjCNHC0BxcmPfQ--nIBNhPKMkhQGf92g&sig2=SKH-1GcNgN4qJM3j_XH0MQ&bvm=bv.118443451,d.bGg

ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

ΕΙΚΟΝΑ 1. ΧΑΡΤΗΣ GOOGLE	6
ΕΙΚΟΝΑ 2. ΧΑΡΤΗΣ GOOGLE	7
ΕΙΚΟΝΑ 3. ΠΑΝΟΡΑΜΙΚΗ ΟΨΗ ΟΣΑΚΑ	8
ΕΙΚΟΝΑ 4.ΣΥΝΔΕΣΗ ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΟΥ ΜΕ ΤΗΝ ΑΚΤΗ ΜΕΣΩ ΓΕΦΥΡΑΣ	10
ΕΙΚΟΝΑ 5.ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΒΑΘΡΩΝ	11
ΕΙΚΟΝΑ 6.ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΚΑΤΑΣΤΡΩΜΑΤΟΣ	12
ΕΙΚΟΝΑ 7.ΟΨΗ ΓΕΦΥΡΑΣ	12
ΕΙΚΟΝΑ 8. ΤΟ BULLET TRAIN,ΔΙΑΣΧΙΖΕΙ ΤΟ ΒΟΥΝΟ FUJI	13
ΕΙΚΟΝΑ 9.ΣΤΡΩΣΕΙΣ ΒΥΘΟΥ(ΘΕΜΕΛΙΩΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ)	14
ΕΙΚΟΝΑ 10.ΤΕΧΝΗΤΟ ΝΗΣΙ	15
ΕΙΚΟΝΑ 11.ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΒΥΘΟΥ	16
ΕΙΚΟΝΑ 12.ΟΡΙΟΘΕΤΗΣΗ ΤΕΧΝΗΤΟΥ ΝΗΣΙΟΥ	16
ΕΙΚΟΝΑ 13.ΜΠΛΟΚ ΓΙΑ ΤΟΝ ΚΥΜΑΤΟΘΡΑΥΣΤΗ	17
ΕΙΚΟΝΑ 14.ΚΥΜΑΤΟΘΡΑΥΣΤΗΣ	17
ΕΙΚΟΝΑ 15.ΠΕΡΙΓΡΑΜΜΑ ΤΕΧΝΗΤΟΥ ΝΗΣΙΟΥ	18
ΕΙΚΟΝΑ 16.ΡΗΨΗ ΧΟΝΔΡΟΚΟΚΚΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	18
ΕΙΚΟΝΑ 17.ΠΡΟΟΔΟΣ ΕΡΓΑΣΙΩΝ	19
ΕΙΚΟΝΑ 18.ΣΥΜΠΙΕΣΗ ΥΛΙΚΟΥ	20
ΕΙΚΟΝΑ 19. ΔΟΝΗΤΙΚΗ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗ	20
ΕΙΚΟΝΑ 20. ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΧΩΜΑΤΟΥΡΓΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΩΝ.....	21
ΕΙΚΟΝΑ 21.ΟΔΟΣΤΡΩΤΗΡΑΣ ΓΙΑ ΤΗ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ.....	21
ΕΙΚΟΝΑ 22. ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΥΛΙΚΟΥ ΜΕΣΩ ΤΑΠΕΡ	22
ΕΙΚΟΝΑ 35. ΜΗΧΑΝΙΚΟ ΑΝΑΛΟΓΟ	28
ΕΙΚΟΝΑ 36. ΣΤΡΩΣΗ ΑΡΓΙΛΟΥ ΜΕΤΑΞΥ ΣΤΡΩΣΕΩΝ ΑΜΜΟΥ	29
ΕΙΚΟΝΑ 37. ΔΕΥΤΕΡΕΥΟΥΣΑ ΣΥΜΠΙΕΣΗ	31
ΕΙΚΟΝΑ 38. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΠΙΕΣΗΣ ΠΡΟΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΗΣ	32
ΕΙΚΟΝΑ 23. ΦΑΣΕΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΤΟΥ ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΟΥ	33
ΕΙΚΟΝΑ 24.ΕΔΑΦΙΚΟ ΠΡΟΦΙΛ ΤΟΥ ΒΥΘΟΥ	34
ΕΙΚΟΝΑ 25. ΔΙΑΤΟΜΗ ΤΟΥ ΚΥΜΑΤΟΘΡΑΥΣΤΗ	35
ΕΙΚΟΝΑ 26. ΚΑΘΙΖΗΣΕΙΣ ΤΟΥ ΝΗΣΙΟΥ	37
ΕΙΚΟΝΑ 27. ΒΥΘΟΣ ΑΠΟ ΤΟ ΕΠΙΠΕΔΟ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ	40
ΕΙΚΟΝΑ 28. ΠΡΟΦΙΛ ΠΛΕΙΣΤΟΚΑΙΝΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ	43
ΕΙΚΟΝΑ 29. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΔΟΚΙΜΗΣ ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΗΣ.....	46
ΕΙΚΟΝΑ 30. ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΤΗΣ ΑΡΧΙΚΗΣ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ	48
ΕΙΚΟΝΑ 31.ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΤΟΥ ΜΗΚΟΥΣ ΔΙΑΔΡΟΜΗΣ ΤΗΣ ΣΤΡΑΓΓΙΣΗΣ	49
ΕΙΚΟΝΑ 32.ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΤΗΣ ΔΕΥΤΕΡΕΥΟΥΣΑΣ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ.....	50

ΕΙΚΟΝΑ 33. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΗΣ ΑΡΧΙΚΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΝΕΩΜΕΝΗΣ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ ΤΗΣ ΟΛΙΚΗΣ ΚΑΘΙΣΗΣΗΣ.....	51
ΕΙΚΟΝΑ 34. ΤΟ ΚΤΗΡΙΟ ΤΟΥ ΤΕΡΜΑΤΙΚΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ Α)ΠΕΡΙΓΡΑΜΜΑ Β)ΠΡΟΦΙΛ ΚΑΘΙΣΗΣΗΣ.....	54