ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΕΡΓΩΝ»
ΣΧΟΛΕΣ: ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ-ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
& ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Τίτλος Μεταπτυχιακής Διπλωματικής Εργασίας

«Σύγκριση Αναλυτικών Μεθόδων Εκτίμησης Ευστάθειας του Μετώπου της Σήραγγας και Διαστασιολόγηση Μέτρων Ενίσχυσής του με Τρισδιάστατες Αναλύσεις Πεπερασμένων Στοιχείων»

Μαρία Κ. Ρηγοπούλου
Διπλωματούχος Πολιτικός Μηχανικός

Επιβλέπων Αν. Καθηγητής
Μιχαήλ Καββαδάς

Αθήνα, Οκτώβριος 2012

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Δ.Π.Μ.Σ.«ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΕΡΓΩΝ»

ΣΧΟΛΕΣ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ-ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ & ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

Τίτλος

«Σύγκριση Αναλυτικών Μεθόδων Εκτίμησης Ευστάθειας του Μετώπου της Σήραγγας και Διαστασιολόγηση Μέτρων Ενίσχυσής του με Τρισδιάστατες Αναλύσεις Πεπερασμένων Στοιχείων»

Μεταπτυχιακή Φοιτήτρια

Μαρία Κ. Ρηγοπούλου
Διπλωματούχος Πολιτικός Μηχανικός

Επιβλέπων

Αναπληρωτής Καθηγητής
Σχολής Πολιτικών Μηχανικών
Μ. Καββαδάς

Αθήνα, Οκτώβριος 2012

NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS

MSC "DESIGN & CONSTRUCTION OF UNDERGROUND STRUCTURES"

SCHOOLS OF MINING AND METALLURGICAL & CIVIL ENGINEERING

Master Thesis

Title

"Comparison of Analytical Methods for Stability Assessment of the Tunnel Face and Dimensioning Support Measures with Three-dimensional Finite Element Analysis"

Msc Student

Maria K. Rigopoulou
Civil Engineer

Supervisor

Associate Professor
Schools of Civil Engineering
M.Kavvadas

Athens, October 2012

Στον Θειο Μου Τον Νικο,
Στην Θεια Μου Φωτουλα,

Στην Οικογενεια Μου
& Στους Φιλους Μου
Παλαιους Και Νεους

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή της διπλωματικής μου εργασίας **κ. Μιχαήλ Καββαδά**, αναπληρωτή καθηγητή της σχολής Πολιτικών Μηχανικών του Ε.Μ.Π., για την ανάθεση του παρόντος θέματος.

Ιδιαίτερα ευχαριστώ τον διδάκτορα **Γιώργο Προυντζόπουλο** του Γεωτεχνικού Τομέα της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών του Ε.Μ.Π., για την πολύ σημαντική βοήθεια που μου παρείχε, τόσο σε επιστημονικές γνώσεις, παρέχοντάς μου πληροφορίες από τη διδακτορική του διατριβή, όσο και σε επίπεδο οργάνωσής της εργασίας μου. Τον ευχαριστώ επίσης για την υποστήριξή του και τον προσωπικό χρόνο που αφιέρωσε σε μένα, επιλύοντας άμεσα κάθε πρόβλημα που προέκυπτε.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε με σκοπό την συσχέτιση του αριθμού των αγκυρίων fiberglass ανά τετραγωνικό μέτρο επιφάνειας της διατομής της σήραγγας, δηλαδή της πυκνότητας των αγκυρίων d, με τις γεωτεχνικές συνθήκες και το βάθος εκσκαφής με τη βοήθεια ενός νέου μεγέθους το οποίο είναι πιο εύκολα διαχειρίσιμο, την ισοδύναμη ομοιόμορφη κατανεμημένη πίεση στην επιφάνεια της διατομής, έτσι ώστε το μέτωπο της σήραγγας να είναι ευσταθές στον ίδιο βαθμό.

Η πορεία περιγραφής ξεκινά με την παράθεση θεωριών και πειραματικών μεθόδων που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της ομοιόμορφης πίεσης για την ευστάθεια του μετώπου μιας σήραγγας. Έπειτα γίνεται αναφορά σε αποτελέσματα μελετών οι οποίες εξετάζουν ποιοτικά και ποσοτικά την επιρροή των αγκυρίων fiberglass στην ευστάθεια του μετώπου της σήραγγας, μέσω αναλύσεων με πεπερασμένα στοιχεία. Ακολουθούν οι παραδοχές και η περιγραφή της προσομοίωσης του προβλήματος μέσω πεπερασμένων στοιχείων με τη χρήση του προγράμματος Abaqus. Επιπλέον παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των αναλύσεων, και προτείνεται ένας τρόπος συσχέτισης της πυκνότητας των αγκυρίων d με την ισοδύναμη ομοιόμορφη πίεση υποστήριξης του μετώπου της σήραγγας μέσω πινάκων και διαγραμμάτων και τέλος γίνεται συσχέτιση της απαιτούμενης πυκνότητας αγκυρίων υποστήριξης του μετώπου με τις γεωτεχνικές συνθήκες και το βάθος εκσκαφής, μέσω της ισοδύναμης πίεσης, με τη βοήθεια δυο αναλυτικών μεθόδων υπολογισμού της απαιτούμενης ομοιόμορφης πίεσης υποστήριξης του μετώπου, της μεθόδου Αναγνώστου & Kovari 1994 & 1996 και της μεθόδου Pieter A. Vermeer, Nico Ruse, Thomas Marcher 2002.

ABSTRACT

The perpose of this thesis is to correlate the number of fiberglass anchors per square meter cross sectional area of the tunnel face, namely the density of anchors d, with the geotechnical conditions and the depth of excavation, with the help of a new parameter that is more manageable, the equivalent uniformly distributed pressure on the face of the tunnel, so that the face of the tunnel is stable to the same extent.

The process begins with the description quote theories and experimental methods, used to calculate the uniform stability pressure of the tunnel face. After there is a reference to the results of studies, which examine qualitatively and quantitatively the influence of fiberglass anchors to the stability of the tunnel face through analysis with finite elements. Also the assumptions and description of the simulation problem by finite elements using the program Abaqus are presented. Furthermore, the results of analyses, and a proposal of a way to link the anchors density d with the equivalent uniform support tunnel face pressure through tables and diagrams are presented. Finally a correlation between the required density of anchors that supports the face with the geotechnical conditions and the depth of excavation is presented, through the equivalent pressure with the help of two analytical methods for calculating the required uniform support tunnel face pressure, the method Anagnostou & Kovari 1994 & 1996 and method of Pieter A. Vermeer, Nico Ruse, Thomas Marcher 2002.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1 Εισαγωγή –Σκοπός 1

1.1 Σκοπός 1

2 Θεωρητικές & Πειραματικές Μέθοδοι 3

2.1 Σκοπός 3

2.2 Το Τασικό Πεδίο στο Μέτωπο 3

2.3 Μέθοδοι Βελτίωσης της Ευστάθειας του Μετώπου 5

2.4 Γενικά περί των Αγκυρίων Fiberglass ως Μέσο Υποστήριξης του Μετώπου 7

2.5 Θεωρίες Υπολογισμού της Ομοιόμορφης Πίεσης Υποστήριξης του Μετώπου 8

2.5.1 Αριθμητικές Μέθοδοι 8

2.5.1.1 Pieter A. Vermeer, Nico Ruse, Thomas Marcher 2002 8

2.5.2 Πειραματικές Μέθοδοι 15

2.5.2.1 Pierre Chambon & Jean-Francois Corte, 1994 15

2.6 Θεωρίες Υπολογισμού Αγκυρίων Fiberglass 23

2.6.1 Αριθμητικές Μέθοδοι 23

2.6.1.1 D. Peila, 1994 23

2.6.1.2 Chungsik Yoo, 2001 30

2.7 Διερεύνηση της Συμπεριφοράς του Μετώπου κατά Αναγνώστου et al 40

2.7.1 Μέθοδος Υπολογισμού της Ευστάθειας του Μετώπου κατά Αναγνώστου & Kovari, 1994 & 1996 - Απόσπασμα από Διδακτορική Διατριβή Γ. Προυντζόπουλου, 2012. 40

2.7.2 Γ.Αναγνώστου & Κ. Σεραφειμίδης, 2007 45

2.8 Συμπεράσματα από τις Θεωρίες Ευστάθειας του Μετώπου 53

3 Μεθοδολογία Υπολογισμού της Ισοδύναμης Πίεσης 55

3.1 Σκοπός 55

3.2 Προγράμματα που Χρησιμοποιήθηκαν 56

3.3 Προσομοίωση του Προβλήματος 57

3.3.1 Γεωμετρία και Διαστάσεις του Προσομοιώματος 57

3.3.2 Βήματα Προσομοίωσης 58

3.3.3 Είδη Πεπερασμένων Στοιχείων που Χρησιμοποιήθηκαν 59

3.3.3.1 Εδαφικά Πεπερασμένα Στοιχεία 59

3.3.3.2 Πεπερασμένα Στοιχεία Κελύφους 59

3.3.3.3 Πεπερασμένα Στοιχεία Αγκυρίων 60

3.4 Παράμετροι που Χρησιμοποιήθηκαν στις Αναλύσεις 60

3.4.1 Γεωμετρικοί Παράμετροι 60
3.4.2 Γεωτεχνικές Παράμετροι 60
3.4.3 Παράμετροι Άμεσης Υποστήριξης 65
3.4.4 Παράμετροι Υποστήριξης του Μετώπου με Αγκύρια Fiberglass 66
3.4.5 Ομοιόμορφη Πίεση Υποστήριξης στο Μέτωπο 73
3.5 Μεθοδολογία Αντιστοίχιση της Ισοδύναμης Ομοιόμορφης Πίεσης Υποστήριξης του Μετώπου με την Πυκνότητα Αγκυρίων Fiberglass στο Μέτωπο της Σήραγγας 77
3.5.1 Ορισμός Αντιπροσωπευτικών Μεγεθών 77
3.5.1.1 Η Οριακή Πίεση Αναφοράς p_{ref} 77
3.5.1.2 Η Έκθλιψη του Μετώπου 78
3.5.1.3 Ο Συντελεστής Ευστάθειας του Μετώπου $Λ_F$ 81
3.5.1.4 Η Ισοδύναμη Πίεση p_{eq} 94
3.5.2 Συνδυασμός Παραμέτρων 96
3.5.2.1 Ο Ποσοστιαίος Λόγος της Ισοδύναμη Πίεση p_{eq} προς την Οριακή Πίεση Αναφοράς p_{ref} 96
3.5.2.2 Ο Ποσοστιαίος Λόγος της Ισοδύναμη Πίεση p_{eq} προς την Κατακόρυφη Γεωστατική Τάση $σ_v$ 96
4 Αποτελέσματα Αναλύσεων 97
4.1 Σκοπός 97
4.2 Πίνακες - Διαγράμματα της Ισοδύναμης Πίεσης σε Σχέση με τις Γεωτεχνικές Παραμέτρους c, ϕ για Συγκεκριμένες Αναλύσεις της 1ης Ομάδας 97
4.3 Πίνακες - Διαγράμματα της Ισοδύναμης Πίεσης σε Σχέση με τον Αριθμό των Αγκυρίων στον Κάνναβο για Συγκεκριμένες Αναλύσεις της 1ης Ομάδας 101
4.4 Πίνακες - Διαγράμματα σε Σχέση με την Ισοδύναμη Πίεση και την Πυκνότητα Αγκυρίων από την Επεξεργασία των Αποτελεσμάτων των Αναλύσεων της 1ης Ομάδας 102
4.4.1 Διαγράμματα Ποσοστιαίων Λόγων Ισοδύναμης Πίεσης p_{eq} με τον Κανονικοποιημένο Λόγο H/D 104
4.4.1.1 Διακριτοποίηση ως προς τον Αριθμό των Αγκυρίων n 104
4.4.1.2 Διακριτοποίηση ως προς την Γωνία Τριβής ϕ 106
4.4.2 Διαγράμματα Ποσοστιαίων Λόγων Ισοδύναμης Πίεσης p_{eq} με την Πυκνότητα των Αγκυρίων του Καννάβου 107
4.4.3 Διαγράμματα Ποσοστιαίων Λόγων Ισοδύναμης Πίεσης p_{eq} με Εκφράσεις της Εφαπτομένη της Γωνίας τριβής ϕ 108
4.4.3.1 Διακριτοποίηση ως προς τον Αριθμό Αγκυρίων στον Κάνναβο n 108
4.4.3.2 Διακριτοποίηση ως προς τον Κανονικοποιημένο Λόγο H/D 108
4.4.4 Διαγράμματα του Λόγου της Ισοδύναμης Πίεσης p_{eq} με τον Κανονικοποιημένο Λόγο H/D και με τη Γωνία Τριβής ϕ 110

4.4.4.1 Διακριτοποίηση ως προς τον Αριθμό των Αγκυρίων στον Κάνναβο n 110

4.4.5 Διάγραμμα Συσχέτισης της Ισοδύναμης Πίεσης στο Μέτωπο της Σήραγγας με τις Παραμέτρους που την Επηρεάζουν για τις Αναλύσεις της $1^{ης}$ Ομάδας 111

4.5 Πίνακες - Διαγράμματα σε Σχέση με την Ισοδύναμη Πίεση και την Πυκνότητα Αγκυρίων από την Επεξεργασία των Αποτελεσμάτων των Αναλύσεων της $2^{ης}$ Ομάδας 113

4.6 Πίνακες - Διαγράμματα σε Σχέση με την Ισοδύναμη Πίεση και την Πυκνότητα Αγκυρίων από την Επεξεργασία των Αποτελεσμάτων των Αναλύσεων της $3^{ης}$ Ομάδας 120

4.7 Πίνακες - Διαγράμματα σε Σχέση με την Ισοδύναμη Πίεση και την Πυκνότητα Αγκυρίων από την Επεξεργασία των Αποτελεσμάτων των Αναλύσεων της $4^{ης}$ Ομάδας 126

4.8 Διάγραμμα Συσχέτισης της Ισοδύναμης Πίεσης στο Μέτωπο της Σήραγγας με τις Παραμέτρους που την Επηρεάζουν για όλες τις Αναλύσεις 132

4.9 Έμμεσος Υπολογισμός της Απαιτούμενης Πυκνότητας d Αγκυρίων του Μετώπου της Σήραγγας, Μέσω του Λόγου p_{eq}/p_{ref} με τη Βοήθεια Υπαρχουσών Μεθοδολογιών Υπολογισμού της Απαιτούμενης Πίεσης Υποστήριξης 134

4.9.1 Μέθοδος Υπολογισμού της Πίεσης Υποστήριξης του Μετώπου της Σήραγγας & Αντιστοίχιση του με την Πυκνότητα των Αγκυρίων του Μετώπου d με τη Μεθοδολογία Αναγνώστου & Kovari 1994 & 1996. 135

4.9.2 Μέθοδος Υπολογισμού της Πίεσης Υποστήριξης του Μετώπου της Σήραγγας & Αντιστοίχιση του με την Πυκνότητα των Αγκυρίων του Μετώπου d με τη Μεθοδολογία A. Vermeer et al. 2002 141

4.9.3 Σύγκριση των Τιμών του Έμμεσου Υπολογισμού της Πυκνότητας των Αγκυρίων του Μετώπου d που Προέκυψαν με τη Μεθοδολογία Αναγνώστου & Kovari 1994 & 1996 με αυτές που Προέκυψαν με τη Μεθοδολογία A. Vermeer et al. 2002 147

5 Συμπεράσματα 151

5.1 Γενικά 151

5.2 Η Ισοδύναμη Πίεση 152

5.3 Έμμεση Μέθοδος Υπολογισμού της Απαιτούμενης Πυκνότητας Αγκυρίων του Μετώπου d Μέσω Ήδη Υπαρχουσών Μεθοδολογιών 156

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ..... - 1 -

Μέρος 1ο Διαγράμματα $p\text{-}u_2$ ..... - 2 -

$1^{η}$ Ομάδα Αναλύσεων ..... - 2 -

H/D=1 & ϕ=20° ..... - 2 -

H/D=1 & ϕ=25° ..... - 4 -

H/D=1 & ϕ=30° ..... - 6 -

H/D=1 & ϕ=35° ..... - 7 -

H/D=1.5 & ϕ=20° ..... - 8 -
H/D=1.5 & ϕ=25° ..... - 10 -
H/D=1.5 & ϕ=30° ..... - 12 -
H/D=1.5 & ϕ=35° ..... - 13 -
H/D=2 & ϕ=20° ..... - 15 -
H/D=2 & ϕ=25° ..... - 17 -
H/D=2 & ϕ=30° ..... - 19 -
H/D=2 & ϕ=35° ..... - 21 -
H/D=3 & ϕ=20° ..... - 23 -
H/D=3 & ϕ=25° ..... - 24 -
H/D=3 & ϕ=30° ..... - 26 -
H/D=3 & ϕ=35° ..... - 27 -
H/D=5 & ϕ=20° ..... - 28 -
H/D=5 & ϕ=25° ..... - 30 -
H/D=5 & ϕ=30° ..... - 32 -
H/D=5 & ϕ=35° ..... - 33 -
$2^{η}$ Ομάδα Αναλύσεων ..... - 35 -
H/D=1.5 & ϕ=25° ..... - 35 -
H/D=1.5 & ϕ=35° ..... - 39 -
H/D=3 & ϕ=20° ..... - 42 -
H/D=3 & ϕ=30° ..... - 45 -
$3^{η}$ Ομάδα Αναλύσεων ..... - 48 -
H/D=1.5 & ϕ=25° ..... - 48 -
H/D=1.5 & ϕ=35° ..... - 49 -
H/D=3 & ϕ=20° ..... - 50 -
H/D=3 & ϕ=30° ..... - 52 -
$4^{η}$ Ομάδα Αναλύσεων ..... - 54 -
H/D=1.5 & ϕ=25° ..... - 54 -
H/D=1.5 & ϕ=35° ..... - 56 -
H/D=3 & ϕ=20° ..... - 57 -
H/D=3 & ϕ=30° ..... - 59 -
Μέρος 2ο Διαγράμματα Συσχέτισης Ισοδύναμης Πίεσης με Διάφορες Παραμέτρους ..... - 61 -
Μέρος 3ο Συγκεντρωτικοί Πίνακες Ισοδύναμης Πίεσης με Διάφορες Παραμέτρους ..... - 67 -

1η Ομάδα Αναλύσεων ..... - 67 -
2η Ομάδα Αναλύσεων ..... - 73 -
3η Ομάδα Αναλύσεων ..... - 75 -
4η Ομάδα Αναλύσεων ..... - 77 -
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ I

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 2.1. Συμπεριφορά του Μετώπου (Lunardi 2000) 5
Σχήμα 2.2. Σχηματική Απεικόνιση Βελτίωσης Ευστάθειας Μετώπου μέσω Κύκλων Mohr. (Μ. Καββαδάς, Σημειώσεις Μεταπτυχιακού Μαθήματος ΔΠΜΣ Υπολογιστικές Μέθοδοι Ανάλυσης Υπογείων Έργων 2007) 6
Σχήμα 2.3. Σχηματική Απεικόνιση Λειτουργίας των Αγκυρίων Μετώπου (Scholsser, 1997) 7
Σχήμα 2.4. Διάγραμμα Μορφής p/u (Vermeer et al, 2002.).....9
Σχήμα 2.5. Σχηματική Απεικόνιση των Κύριων Τάσεων και των Μετακινήσεων σε Καταμήκος Τομή στο Μέτωπο της Σήραγγας (Vermeer et al, 2002.).....10
Σχήμα 2.6. Διάγραμμα N_γ / ϕ' (Vermeer et al, 2002.).....12
Σχήμα 2.7. Διάγραμμα $p_f/\gamma D$ - $q/\gamma D$ (Vermeer et al, 2002.).....13
Σχήμα 2.8. Διάγραμμα N_c / ϕ' (Vermeer et al, 2002.).....14
Σχήμα 2.9. Κυλινδρικό Προσομοίωμα Σήραγγας (Chambon & Corte, 1994.) 15
Σχήμα 2.10. Δοχείο φυγοκεντρικού Προσομοιώματος (1200mm X 800mm) (Chambon & Corte, 1994.) 17
Σχήμα 2.11. Η Εξέλιξη στο Μέτωπο της Σήραγγας των Οριζόντιων Μετατοπίσεων σε Σχέση με την Μείωση της Εσωτερικής Πίεσης για H/D=2. (Chambon & Corte, 1994.) 17
Σχήμα 2.12. Η Επιρροή της Διαμέτρου της Σήραγγας στην Τιμή της Πίεσης Αστοχίας(Chambon & Corte, 1994.) 19
Σχήμα 2.13. Διερεύνηση της Επίδρασης του Μεγέθους της Διαμέτρου στις Συνθήκες Αστοχίας. (Chambon & Corte, 1994.) 20
Σχήμα 2.14. Αστοχία Σχήματος Βολβού για C/D=2. (Chambon & Corte, 1994.).....20
Σχήμα 2.15. Αστοχία Σχήματος Βολβού για Διαφορετικές τιμές H/D. (Chambon & Corte, 1994.) 21
Σχήμα 2.16. Σύγκριση Μεταξύ Θεωρητικών και Πειραματικών Προσομοιωμάτων Αστοχίας. (Chambon & Corte, 1994.) 23
Σχήμα 2.17. Τυπική Διατομή Άμεσης Υποστήριξης (Peila,1994) 24
Σχήμα 2.18. Λεπτομέρειες Γεωμετρίας Πεπερασμένων Στοιχείων που Χρησιμοποιήθηκε στις Αναλύσεις (Peila,1994) 25
Σχήμα 2.19. Σχηματική Απεικόνιση των Σταδίων Εκσκαφής και Άμεσης Υποστήριξης τα οποία Προσομοιώθηκαν στην Ανάλυση με Πεπερασμένα Στοιχεία. (Peila,1994) 26
Σχήμα 2.20. Παραμόρφωση του Μετώπου όταν η Εκσκαφή Φτάνει στην Διατομή 1 Περίπτωση 1η (Peila,1994) 28

Σχήμα 2.21. Παραμόρφωση του Μετώπου όταν η Εκσκαφή Φτάνει στην Διατομή 1 Περίπτωση $4^{η}$ (Peila,1994) 28

Σχήμα 2.22. Κατανομή Τάσεων Μπροστά από το Μέτωπο Όταν η Εκσκαφή Βρίσκεται στη Διατομή 1 Περίπτωση $1^{η}$ $\sigma_{z(in)}$ =Κατακόρυφες Επιτόπου Τάσεις Εκφρασμένες στην 10^4 Pa (Peila,1994) 29

Σχήμα 2.23. Κατανομή Τάσεων Μπροστά από το Μέτωπο Όταν η Εκσκαφή Βρίσκεται στη Διατομή 1 Περίπτωση $4^{η}$ $\sigma_{z(in)}$ =Κατακόρυφες Επιτόπου Τάσεις Εκφρασμένες στην 10^4 Pa (Peila,1994) 29

Σχήμα 2.24. Σχηματική Απεικόνιση της Γεωμετρίας του Προσομοιώματος. (Yoo, 2001.) 31

Σχήμα 2.25. Βήματα Ανάλυσης των Πεπερασμένων Στοιχείων του Προσομοιώματος (Yoo, 2001.) 33

Σχήμα 2.26. Διανύσματα Μετατόπισης για Εδαφικό Σχηματισμό Τύπου G_1 και C/D=2.5 α) σε Ανυποστήρικτο Μέτωπο β) σε Οπλισμένο Μέτωπο (Yoo, 2001.) 33

Σχήμα 2.27. Έκταση Πλαστικής Ζώνης Γύρω από τη Σήραγγα για Εδαφικό Σχηματισμό Τύπου G_1 και C/D=2.5 α) σε Ανυποστήρικτο Μέτωπο β) σε Οπλισμένο Μέτωπο (Yoo, 2001.) 34

Σχήμα 2.28. Η Επιρροή του Οπλισμού στη Σχέση LSR-Ω_f (Yoo, 2001.) 35

Σχήμα 2.29. Η Διακύμανση της Σχέσης LSR-Ω_f σε Συνδυασμό με την Πυκνότητα του Οπλισμού Λ (Yoo, 2001.) 36

Σχήμα 2.30. Συνδυασμένη Επιρροή της Πυκνότητας του Οπλισμού Λ και της Ακαμψίας του Οπλισμού J_p στη Σχέση LSR-Ω_f. (Yoo, 2001.) 37

Σχήμα 2.31. Διακύμανση της Μέγιστης Αξονικής Μετακίνησης του Μετώπου Ω_{fm} σε Σχέση με την Πυκνότητα του Οπλισμού Λ. (Yoo, 2001.) 38

Σχήμα 2.32. Διακύμανση της τιμής Λ_{crt} σε Σχέση με το Είδος του Εδάφους και το Λόγο C/D. (Yoo, 2001.) 39

Σχήμα 2.33 Μηχανισμός Αστοχίας (Horn, 1961) 40

Σχήμα 2.34 Γεωμετρικά Χαρακτηριστικά του Μηχανισμού Αστοχίας. (Διδακτορική Διατριβή Γ. Προυντζόπουλος 2012) 41

Σχήμα 2.35 Δρώσες Δυνάμεις στη Σφήνα Ολίσθησης. (Διδακτορική Διατριβή Γ. Προυντζόπουλος 2012) 41

Σχήμα 2.36 α)Διάγραμμα Κατανομής της Κατακόρυφης Τάσης της Σφήνας β)Σχηματική Απεικόνιση της παραμέτρου b(z). (Διδακτορική Διατριβή Γ. Προυντζόπουλος 2012) 44

Σχήμα 2.37. Σχηματική Απεικόνιση Μηχανισμού Αστοχίας. (Αναγνώστου & Σεραφειμίδης, 2007.) 45

Σχήμα 2.38. Δρώσες Δυνάμεις σε Λωρίδα Απειροστού Πάχους. (Αναγνώστου & Σεραφειμίδης, 2007.) 46

Σχήμα 2.39. Χωρισμός της Σφήνας σε Στρώσεις. (Αναγνώστου & Σεραφειμίδης, 2007.) 48

Σχήμα 2.40. Αριθμητικό Παράδειγμα της Επιρροής του Σχήματος της Σφήνας και των Υπερκειμένων για Αγκύρια L=12m με Εγκατάσταση κάθε 9m. (Αναγνώστου & Σεραφειμίδης, 2007.) 51

Σχήμα 2.41. Η Συσχέτιση της Αδιάστατης Παραμέτρου της Συνοχής c_{crit} σε Σχέση με τη Γωνία Τριβής φ και τις Διαστάσεις της Σφήνας B, H. (Αναγνώστου & Σεραφειμίδης, 2007.).....51

Σχήμα 2.42. Η Συσχέτιση της Αδιάστατης Παραμέτρου n_o σε Σχέση με τη Γωνία Τριβής φ το Μήκος Επικάλυψης και τις Διαστάσεις της Σφήνας H. (Αναγνώστου & Σεραφειμίδης, 2007.) 52

Σχήμα 3.1. Γεωμετρία και Διαστάσεις του Προσομοιώματος. 58

Σχήμα 3.2. Σχηματική Απεικόνιση του Καννάβου των Διατάξεων Ενίσχυσης του Μετώπου με Αγκύρια Fiberglass. (Διδακτορική Διατριβή Γ. Προυντζόπουλος 2012).....68

Σχήμα 3.3. Υπολογισμός της Μέσης Έκθλιψης καθ' Ύψος της Κατακόρυφης Διαμέτρου της Σήραγγας. (Διδακτορική Διατριβή Γ. Προυντζόπουλος 2012.).....79

Σχήμα 3.4. Υπολογισμός της Μέσης Έκθλιψης στο Σύνολο της Επιφάνειας του Μετώπου της Σήραγγας. (Διδακτορική Διατριβή Γ. Προυντζόπουλος 2012.).....80

Σχήμα 3.5. Συντελεστής Ασφαλείας Συναρτήσει του Συντελεστή Ευστάθειας Μετώπου $Λ_F$ για Σήραγγες Βάθους H/D<5 και Διάμετρο Σήραγγας D=10m. (Διδακτορική Διατριβή Γ. Προυντζόπουλου 2012.) 83

Σχήμα 3.6. Διάγραμμα $Ω_{F,3}$- $Λ_F$ για την Αναλύσεις με Υποστήριξή Μετώπου με Αγκύρια Fiberglass για Κάνναβο Αγκυρίων με n_1=19, d_1=0.24, για Κανονικοποιημένο Λόγο H/D=1 με Διακριτοποίηση ως προς τη Γωνία Τριβής φ.....84

Σχήμα 3.7. Διάγραμμα $Ω_{F,3}$- $Λ_F$ για την Αναλύσεις με Υποστήριξή Μετώπου με Αγκύρια Fiberglass για Κάνναβο Αγκυρίων με n_1=19, d_1=0.24, για Κανονικοποιημένο Λόγο H/D=1.5 με Διακριτοποίηση ως προς τη Γωνία Τριβής φ.....84

Σχήμα 3.8. Διάγραμμα $Ω_{F,3}$- $Λ_F$ για την Αναλύσεις με Υποστήριξή Μετώπου με Αγκύρια Fiberglass για Κάνναβο Αγκυρίων με n_1=19, d_1=0.24, για Κανονικοποιημένο Λόγο H/D=2 με Διακριτοποίηση ως προς τη Γωνία Τριβής φ.....85

Σχήμα 3.9. Διάγραμμα $Ω_{F,3}$- $Λ_F$ για την Αναλύσεις με Υποστήριξή Μετώπου με Αγκύρια Fiberglass για Κάνναβο Αγκυρίων με n_1=19, d_1=0.24, για Κανονικοποιημένο Λόγο H/D=3 με Διακριτοποίηση ως προς τη Γωνία Τριβής φ.....85

Σχήμα 3.10. Διάγραμμα $Ω_{F,3}$- $Λ_F$ για την Αναλύσεις με Υποστήριξή Μετώπου με Αγκύρια Fiberglass για Κάνναβο Αγκυρίων με n_1=19, d_1=0.24, για Κανονικοποιημένο Λόγο H/D=5 με Διακριτοποίηση ως προς τη Γωνία Τριβής φ.....86

Σχήμα 3.11. Διάγραμμα $\Omega_{F,3}$- Λ_F για την Αναλύσεις με Υποστήριξή Μετώπου με Αγκύρια Fiberglass για Κάνναβο Αγκυρίων n_2=26, d_2=0.33, για Κανονικοποιημένο Λόγο H/D=1 με Διακριτοποίηση ως προς τη Γωνία Τριβής φ.....86
Σχήμα 3.12. Διάγραμμα $\Omega_{F,3}$- Λ_F για την Αναλύσεις με Υποστήριξή Μετώπου με Αγκύρια Fiberglass για Κάνναβο Αγκυρίων με n_2=26, d_2=0.33, για Κανονικοποιημένο Λόγο H/D=1.5 με Διακριτοποίηση ως προς τη Γωνία Τριβής φ.....87
Σχήμα 3.13. Διάγραμμα $\Omega_{F,3}$- Λ_F για την Αναλύσεις με Υποστήριξή Μετώπου με Αγκύρια Fiberglass για Κάνναβο Αγκυρίων με n_2=26, d_2=0.33, για Κανονικοποιημένο Λόγο H/D=2 με Διακριτοποίηση ως προς τη Γωνία Τριβής φ.....87
Σχήμα 3.14. Διάγραμμα $\Omega_{F,3}$- Λ_F για την Αναλύσεις με Υποστήριξή Μετώπου με Αγκύρια Fiberglass για Κάνναβο Αγκυρίων με n_2=26, d_2=0.33, για Κανονικοποιημένο Λόγο H/D=3 με Διακριτοποίηση ως προς τη Γωνία Τριβής φ.....88
Σχήμα 3.15. Διάγραμμα $\Omega_{F,3}$- Λ_F για την Αναλύσεις με Υποστήριξή Μετώπου με Αγκύρια Fiberglass για Κάνναβο Αγκυρίων με n_2=26, d_2=0.33για Κανονικοποιημένο Λόγο H/D=5 με Διακριτοποίηση ως προς τη Γωνία Τριβής φ.....88
Σχήμα 3.16. Διάγραμμα $\Omega_{F,3}$- Λ_F για την Αναλύσεις με Υποστήριξή Μετώπου με Αγκύρια Fiberglass για Κάνναβο Αγκυρίων με n_3=33, d_3=0.42, για Κανονικοποιημένο Λόγο H/D=1 με Διακριτοποίηση ως προς τη Γωνία Τριβής φ.....89
Σχήμα 3.17. Διάγραμμα $\Omega_{F,3}$- Λ_F για την Αναλύσεις με Υποστήριξή Μετώπου με Αγκύρια Fiberglass για Κάνναβο Αγκυρίων με n_3=33, d_3=0.42, για Κανονικοποιημένο Λόγο H/D=1.5 με Διακριτοποίηση ως προς τη Γωνία Τριβής φ.....89
Σχήμα 3.18. Διάγραμμα $\Omega_{F,3}$- Λ_F για την Αναλύσεις με Υποστήριξή Μετώπου με Αγκύρια Fiberglass για Κάνναβο Αγκυρίων με n_3=33, d_3=0.42, για Κανονικοποιημένο Λόγο H/D=2 με Διακριτοποίηση ως προς τη Γωνία Τριβής φ.....90
Σχήμα 3.19. Διάγραμμα $\Omega_{F,3}$- Λ_F για την Αναλύσεις με Υποστήριξή Μετώπου με Αγκύρια Fiberglass για Κάνναβο Αγκυρίων με n_3=33, d_3=0.42, για Κανονικοποιημένο Λόγο H/D=3 με Διακριτοποίηση ως προς τη Γωνία Τριβής φ.....90
Σχήμα 3.20. Διάγραμμα $\Omega_{F,3}$- Λ_F για την Αναλύσεις με Υποστήριξή Μετώπου με Αγκύρια Fiberglass για Κάνναβο Αγκυρίων με n_3=33, d_3=0.42, για Κανονικοποιημένο Λόγο H/D=5 με Διακριτοποίηση ως προς τη Γωνία Τριβής φ.....91
Σχήμα 3.21. Διάγραμμα $\Omega_{F,3}$- Λ_F για την Αναλύσεις με Υποστήριξή Μετώπου με Αγκύρια Fiberglass για Κάνναβο Αγκυρίων με n_4=45, d_4=0.57, για Κανονικοποιημένο Λόγο H/D=1 με Διακριτοποίηση ως προς τη Γωνία Τριβής φ.....91

Σχήμα 3.22. Διάγραμμα $\Omega_{F,3}$- Λ_F για την Αναλύσεις με Υποστήριξή Μετώπου με Αγκύρια Fiberglass για Κάνναβο Αγκυρίων με n_4=45, d_4=0.57, για Κανονικοποιημένο Λόγο H/D=1.5 με Διακριτοποίηση ως προς τη Γωνία Τριβής φ. 92

Σχήμα 3.23. Διάγραμμα $\Omega_{F,3}$- Λ_F για την Αναλύσεις με Υποστήριξή Μετώπου με Αγκύρια Fiberglass για Κάνναβο Αγκυρίων με n_4=45, d_4=0.57, για Κανονικοποιημένο Λόγο H/D=3 με Διακριτοποίηση ως προς τη Γωνία Τριβής φ. 92

Σχήμα 3.24. Διάγραμμα $\Omega_{F,3}$- Λ_F για την Αναλύσεις με Υποστήριξή Μετώπου με Αγκύρια Fiberglass για Κάνναβο Αγκυρίων με n_4=45, d_4=0.57, για Κανονικοποιημένο Λόγο H/D=3 με Διακριτοποίηση ως προς τη Γωνία Τριβής φ. 93

Σχήμα 3.25. Διάγραμμα $\Omega_{F,3}$- Λ_F για την Αναλύσεις με Υποστήριξή Μετώπου με Αγκύρια Fiberglass για Κάνναβο Αγκυρίων με n_4=45, d_4=0.57, για Κανονικοποιημένο Λόγο H/D=5 με Διακριτοποίηση ως προς τη Γωνία Τριβής φ. 93

Σχήμα 3.26. Τυπικό Διάγραμμα p-u_2. 95

Σχήμα 4.1. Διάγραμμα p_{eq}/p_{ref}-H/D με Διακριτοποίηση ως προς την Γωνία Τριβής φ και τη Συνοχή c για Τύπο Καννάβου με Αριθμό Αγκυρίων n_1=19, d_1=0.24[n/m^2]. 99

Σχήμα 4.2. Διάγραμμα p_{eq}/p_{ref} -H/D με Διακριτοποίηση ως προς την Γωνία Τριβής φ και τη Συνοχή c για Τύπο Καννάβου με Αριθμό Αγκυρίων n_2=26, d_2=0.33[n/m^2]. 99

Σχήμα 4.3. Διάγραμμα p_{eq}/p_{ref} -H/D με Διακριτοποίηση ως προς την Γωνία Τριβής φ και τη Συνοχή c για Τύπο Καννάβου με Αριθμό Αγκυρίων n_3=33, d_3=0.42[n/m^2]. 100

Σχήμα 4.4. Διάγραμμα p_{eq}/p_{ref} -H/D με Διακριτοποίηση ως προς την Γωνία Τριβής φ και τη Συνοχή c για Τύπο Καννάβου με Αριθμό Αγκυρίων n_4=45, d_4=0.57[n/m^2]. 100

Σχήμα 4.5. Διάγραμμα p_{eq}/p_{ref}-H/D με Διακριτοποίηση Συγκεκριμένης Ανάλυσης ως προς τον Αριθμό των Αγκυρίων στον Κάνναβο n_1=19, n_2=26, n_3=33, n_4=45 με Πυκνότητα Καννάβου Αγκυρίων d_1=0.24[n/m^2], d_2=0.33[n/m^2], d_3=0.42[n/m^2], d_4=0.57[n/m^2] Αντίστοιχα. 101

Σχήμα 4.6. Διάγραμμα p_{eq}/p_{ref} -H/D με Διακριτοποίηση ως προς το Διαφορετικό Αριθμό Αγκυρίων του Καννάβου n_1=19, n_2=26, n_3=33, n_4=45 με Πυκνότητα Καννάβου Αγκυρίων d_1=0.24[n/m^2], d_2=0.33[n/m^2], d_3=0.42[n/m^2], d_4=0.57[n/m^2] Αντίστοιχα. 104

Σχήμα 4.7. Διάγραμμα p_{eq}/σ_v-H/D με Διακριτοποίηση ως προς το Διαφορετικό Αριθμό Αγκυρίων του Καννάβου n_1=19, n_2=26, n_3=33, n_4=45 με Πυκνότητα Καννάβου Αγκυρίων d_1=0.24[n/m^2], d_2=0.33[n/m^2], d_3=0.42[n/m^2], d_4=0.57[n/m^2] Αντίστοιχα. 105

Σχήμα 4.8. Διάγραμμα p_{eq}/p_{ref} -H/D με Διακριτοποίηση ως προς την Γωνία Τριβής φ. 106

Σχήμα 4.9. Διάγραμμα p_{eq}/σ_v-H/D με Διακριτοποίηση ως προς την Γωνία Τριβής φ. 106

Σχήμα 4.10. Διάγραμμα p_{eq}/p_{ref} -d με Διακριτοποίηση το Ύψος των Υπερκειμένων H/D=1& 5. Διδακτορική Διατριβή Γ. Προυντζόπουλου 2012. 107

Σχήμα 4.11. Διάγραμμα p_{eq}/p_{ref} -tanφ με Διακριτοποίηση ως προς τον Κανονικοποιημένο Λόγο H/D =1, 1.5, 2, 3, 5. 108

Σχήμα 4.12. Διάγραμμα p_{eq}/p_{ref} -$\tan^2(45+\phi/2)$ με Διακριτοποίηση ως προς τον Κανονικοποιημένο Λόγο H/D =1, 1.5, 2, 3, 5. 109

Σχήμα 4.13. Διάγραμμα p_{eq}/σ_v -tanφ με Διακριτοποίηση ως προς τον Κανονικοποιημένο Λόγο H/D =1, 1.5, 2, 3, 5..... 109

Σχήμα 4.14. Διάγραμμα p_{eq}/p_{ref} –H/(Dtanφ) με Διακριτοποίηση ως προς τον Διαφορετικό Αριθμό Αγκυρίων στον Κάνναβο n_1=19, n_2=26, n_3=33, n_4=45 με Πυκνότητα Καννάβου Αγκυρίων d_1=0.24[n/m^2], d_2=0.33[n/m^2], d_3=0.42[n/m^2], d_4=0.57[n/m^2] Αντίστοιχα.... 110

Σχήμα 4.15. Διάγραμμα p_{eq}/p_{ref} –H/(D$\tan^2(45+\phi/2)$ με Διακριτοποίηση ως προς τον Διαφορετικό Αριθμό Αγκυρίων στον Κάνναβο n_1=19, n_2=26, n_3=33, n_4=45 με Πυκνότητα Καννάβου Αγκυρίων d_1=0.24[n/m^2], d_2=0.33[n/m^2], d_3=0.42[n/m^2], d_4=0.57[n/m^2] Αντίστοιχα.... 111

Σχήμα 4.16. Διάγραμμα p_{eq}/p_{ref} –$(H/D)^{0.75}$/(tan φ) με Διακριτοποίηση ως προς τον Διαφορετικό Αριθμό Αγκυρίων στον Κάνναβο n_1=19, n_2=26, n_3=33, n_4=45 με Πυκνότητα Καννάβου Αγκυρίων d_1=0.24[n/m^2], d_2=0.33[n/m^2], d_3=0.42[n/m^2], d_4=0.57[n/m^2] Αντίστοιχα. (Διδακτορική Διατριβή Γ. Προυντζόπουλου 2012.)..... 112

Σχήμα 4.17. Διάγραμμα p_{eq}/p_{ref} –$(H/D)^{0.75}$/(tan φ) Προτεινόμενη Συσχέτιση Μεταξύ του Λόγου p_{eq}/p_{ref} και των Γεωμετρικών και Γεωτεχνικών Παραμέτρων $(H/D)^{0.75}$/(tan φ). (Διδακτορική Διατριβή Γ. Προυντζόπουλου 2012.)..... 112

Σχήμα 4.18. Διάγραμμα p_{eq}/ p_{ref}– E για την 2^η Ομάδα Αναλύσεων για φ=25° & H/D=1.5 με Διακριτοποίηση ως προς το Διαφορετικό Αριθμό Αγκυρίων στον Κάνναβο n_1=19, n_3=33 με Πυκνότητα Καννάβου Αγκυρίων d_1=0.24[n/m^2], d_3=0.42[n/m^2] Αντίστοιχα.. 114

Σχήμα 4.19. Διάγραμμα p_{eq}/ p_{ref} – E για την 2^η Ομάδα Αναλύσεων για φ=35° & H/D=1.5 με Διακριτοποίηση ως προς το Διαφορετικό Αριθμό Αγκυρίων στον Κάνναβο n_1=19, n_3=33 με Πυκνότητα Καννάβου Αγκυρίων d_1=0.24[n/m^2], d_3=0.42[n/m^2] Αντίστοιχα.. 115

Σχήμα 4.20. Διάγραμμα p_{eq}/ p_{ref} – E για την 2^η Ομάδα Αναλύσεων για φ=20° & H/D=3 με Διακριτοποίηση ως προς το Διαφορετικό Αριθμό Αγκυρίων στον Κάνναβο n_2=26, n_4=45 με Πυκνότητα Καννάβου Αγκυρίων d_2=0.33[n/m^2], d_4=0.57[n/m^2] Αντίστοιχα.. 115

Σχήμα 4.21. Διάγραμμα p_{eq}/ p_{ref} – E για την 2^η Ομάδα Αναλύσεων για φ=30° & H/D=3 με Διακριτοποίηση ως προς το Διαφορετικό Αριθμό Αγκυρίων στον Κάνναβο n_2=26, n_4=45 με Πυκνότητα Καννάβου Αγκυρίων d_2=0.33[n/m^2], d_4=0.57[n/m^2] Αντίστοιχα.. 116

Σχήμα 4.22. Διάγραμμα $(p_{eq}/ p_{ref})_{Ea}/(p_{eq}/ p_{ref})_{Eb}$ – Λ_F για την 2η Ομάδα Αναλύσεων με Διακριτοποίηση ως προς το Διαφορετικό Αριθμό Αγκυρίων στον Κάνναβο n_1=19, n_2=26, n_3=33, n_4=45 με Πυκνότητα Καννάβου Αγκυρίων d_1=0.24[n/m^2], d_2=0.33[n/m^2], d_3=0.42[n/m^2], d_4=0.57[n/m^2] Αντίστοιχα και ως προς τον Κανονικοποιημένο Λόγο H/D 118

Σχήμα 4.23. Διάγραμμα $[(p_{eq})_{Ea}- (p_{eq})_{Eb}]/ p_{lim}$– Λ_F για την 2η Ομάδα Αναλύσεων με Διακριτοποίηση ως προς το Διαφορετικό Αριθμό Αγκυρίων στον Κάνναβο n_1=19, n_2=26, n_3=33, n_4=45 με Πυκνότητα Καννάβου Αγκυρίων d_1=0.24[n/m^2], d_2=0.33[n/m^2], d_3=0.42[n/m^2], d_4=0.57[n/m^2] Αντίστοιχα και ως προς τον Κανονικοποιημένο Λόγο H/D 118

Σχήμα 4.24. Διάγραμμα $(p_{eq}/ p_{ref})_{Ec}/(p_{eq}/ p_{ref})_{Eb}$ – Λ_F για την 2η Ομάδα Αναλύσεων με Διακριτοποίηση ως προς το Διαφορετικό Αριθμό Αγκυρίων στον Κάνναβο n_1=19, n_2=26, n_3=33, n_4=45 με Πυκνότητα Καννάβου Αγκυρίων d_1=0.24[n/m^2], d_2=0.33[n/m^2], d_3=0.42[n/m^2], d_4=0.57[n/m^2] Αντίστοιχα και ως προς τον Κανονικοποιημένο Λόγο H/D 119

Σχήμα 4.25. Διάγραμμα $[(p_{eq})_{Ec}- (p_{eq})_{Eb}]/ p_{ref}$– Λ_F για την 2η Ομάδα Αναλύσεων με Διακριτοποίηση ως προς το Διαφορετικό Αριθμό Αγκυρίων στον Κάνναβο n_1=19, n_2=26, n_3=33, n_4=45 με Πυκνότητα Καννάβου Αγκυρίων d_1=0.24[n/m^2], d_2=0.33[n/m^2], d_3=0.42[n/m^2], d_4=0.57[n/m^2] Αντίστοιχα και ως προς τον Κανονικοποιημένο Λόγο H/D 119

Σχήμα 4.26. Διάγραμμα p_{eq}/ p_{ref} – K_o για την 3η Ομάδα Αναλύσεων για ϕ=25° & H/D=1.5 με Διακριτοποίηση ως προς το Διαφορετικό Αριθμό Αγκυρίων στον Κάνναβο n_1=19, n_3=33 με Πυκνότητα Καννάβου Αγκυρίων d_1=0.24[n/m^2], d_3=0.42[n/m^2] Αντίστοιχα.. 121

Σχήμα 4.27. Διάγραμμα p_{eq}/ p_{ref} – K_o για την 3η Ομάδα Αναλύσεων για ϕ=35° & H/D=1.5 με Διακριτοποίηση ως προς το Διαφορετικό Αριθμό Αγκυρίων στον Κάνναβο n_1=19, n_3=33 με Πυκνότητα Καννάβου Αγκυρίων d_1=0.24[n/m^2], d_3=0.42[n/m^2] Αντίστοιχα.. 122

Σχήμα 4.28. Διάγραμμα p_{eq}/ p_{ref} – K_o για την 3η Ομάδα Αναλύσεων για ϕ=20° & H/D=3 με Διακριτοποίηση ως προς το Διαφορετικό Αριθμό Αγκυρίων στον Κάνναβο n_2=26, n_4=45 με Πυκνότητα Καννάβου Αγκυρίων d_2=0.33[n/m^2], d_4=0.57[n/m^2] Αντίστοιχα.. 122

Σχήμα 4.29. Διάγραμμα p_{eq}/ p_{ref} – K_o για την 3η Ομάδα Αναλύσεων για ϕ=30° & H/D=3 με Διακριτοποίηση ως προς το Διαφορετικό Αριθμό Αγκυρίων στον Κάνναβο n_2=26, n_4=45 με Πυκνότητα Καννάβου Αγκυρίων d_2=0.33[n/m^2], d_4=0.57[n/m^2] Αντίστοιχα.. 123

Σχήμα 4.30. Διάγραμμα $(p_{eq}/ p_{ref})_{Ko=1}/(p_{eq}/ p_{ref})_{Ko=0.5}$ – Λ_F για την 3η Ομάδα Αναλύσεων με Διακριτοποίηση ως προς το Διαφορετικό Αριθμό Αγκυρίων στον Κάνναβο n_1=19, n_2=26, n_3=33, n_4=45 με Πυκνότητα Καννάβου Αγκυρίων d_1=0.24[n/m^2],

d_2=0.33[n/m^2], d_3=0.42[n/m^2], d_4=0.57[n/m^2] Αντίστοιχα και ως προς τον Κανονικοποιημένο Λόγο H/D 124

Σχήμα 4.31. Διάγραμμα [$(p_{eq})_{Ko=1}$- $(p_{eq})_{Ko=0.5}$]/ p_{ref}– Λ_F για την 3^η Ομάδα Αναλύσεων με Διακριτοποίηση ως προς το Διαφορετικό Αριθμό Αγκυρίων στον Κάνναβο n_1=19, n_2=26, n_3=33, n_4=45 με Πυκνότητα Καννάβου Αγκυρίων d_1=0.24[n/m^2], d_2=0.33[n/m^2], d_3=0.42[n/m^2], d_4=0.57[n/m^2] Αντίστοιχα και ως προς τον Κανονικοποιημένο Λόγο H/D 125

Σχήμα 4.32. Διάγραμμα p_{eq}/ p_{ref} – E_{nails} για την 4^η Ομάδα Αναλύσεων για ϕ=25° & H/D=1.5 με Διακριτοποίηση ως προς το Διαφορετικό Αριθμό Αγκυρίων στον Κάνναβο n_1=19, n_3=33 με Πυκνότητα Καννάβου Αγκυρίων d_1=0.24[n/m^2], d_3=0.42[n/m^2] Αντίστοιχα.. 127

Σχήμα 4.33. Διάγραμμα p_{eq}/ p_{ref} – E_{nails} για την 4^η Ομάδα Αναλύσεων για ϕ=35° & H/D=1.5 με Διακριτοποίηση ως προς το Διαφορετικό Αριθμό Αγκυρίων στον Κάνναβο n_1=19, n_3=33 με Πυκνότητα Καννάβου Αγκυρίων d_1=0.24[n/m^2], d_3=0.42[n/m^2] Αντίστοιχα.. 127

Σχήμα 4.34. Διάγραμμα p_{eq}/ p_{ref} – E_{nails} για την 4^η Ομάδα Αναλύσεων για ϕ=20° & H/D=3 με Διακριτοποίηση ως προς το Διαφορετικό Αριθμό Αγκυρίων στον Κάνναβο n_2=26, n_4=45 με Πυκνότητα Καννάβου Αγκυρίων d_2=0.33[n/m^2], d_4=0.57[n/m^2] Αντίστοιχα.. 128

Σχήμα 4.35. Διάγραμμα p_{eq}/ p_{ref} – E_{nails} για την 4^η Ομάδα Αναλύσεων για ϕ=30° & H/D=3 με Διακριτοποίηση ως προς το Διαφορετικό Αριθμό Αγκυρίων στον Κάνναβο n_2=26, n_4=45 με Πυκνότητα Καννάβου Αγκυρίων d_2=0.33[n/m^2], d_4=0.57[n/m^2] Αντίστοιχα.. 128

Σχήμα 4.36. Διάγραμμα (p_{eq}/ p_{ref})E_{80}/(p_{eq}/ p_{ref}) E_{20} – Λ_F για την 4^η Ομάδα Αναλύσεων με Διακριτοποίηση ως προς το Διαφορετικό Αριθμό Αγκυρίων στον Κάνναβο n_1=19, n_2=26, n_3=33, n_4=45 με Πυκνότητα Καννάβου Αγκυρίων d_1=0.24[n/m^2], d_2=0.33[n/m^2], d_3=0.42[n/m^2], d_4=0.57[n/m^2] Αντίστοιχα και ως προς τον Κανονικοποιημένο Λόγο H/D 130

Σχήμα 4.37. Διάγραμμα [(p_{eq})E_{80}- (p_{eq}) E_{20}]/ p_{ref}– Λ_F για την 4^η Ομάδα Αναλύσεων με Διακριτοποίηση ως προς το Διαφορετικό Αριθμό Αγκυρίων στον Κάνναβο n_1=19, n_2=26, n_3=33, n_4=45 με Πυκνότητα Καννάβου Αγκυρίων d_1=0.24[n/m^2], d_2=0.33[n/m^2], d_3=0.42[n/m^2], d_4=0.57[n/m^2] Αντίστοιχα και ως προς τον Κανονικοποιημένο Λόγο H/D 130

Σχήμα 4.38. Διάγραμμα p_{eq}/p_{ref} –$(H/D)^{0.75}$/(tan ϕ) Έλεγχος Βαθμού Συσχέτισης Μεταξύ του Λόγου p_{eq}/p_{ref} και των Γεωμετρικών και Γεωτεχνικών Παραμέτρων $(H/D)^{0.75}$/(tan ϕ) για το Σύνολο των Αναλύσεων. (Διδακτορική Διατριβή Γ. Προυντζόπουλου 2012). 132

Σχήμα 4.39. Διάγραμμα p_{eq}/p_{ref} - $(H/D)^{1.05}(\tan\phi)^{-0.75}(E_{nails}/1000E)^{0.32}$ Προτεινόμενη Συσχέτιση Μεταξύ του Λόγου p_{eq}/p_{ref} και των Παραμέτρων από τις Οποίες Επηρεάζεται για το Σύνολο των Αναλύσεων. (Διδακτορική Διατριβή Γ. Προυντζόπουλου 2012.) 133

Σχήμα 4.40. Διάγραμμα d– Λ_F Καμπύλες Προσδιορισμού της Απαιτούμενης Πυκνότητας Αγκυρίων Υποστήριξης Μετώπου d [n/m^2] με τη Χρήση της Μεθόδου Αναγνώστου & Kovari 1994 & 1996 για Κανονικοποιημένο Βάθος H/D=1 με Διακριτοποίηση ως προς τη Γωνία Τριβής φ 136

Σχήμα 4.41. Διάγραμμα d– Λ_F Καμπύλες Προσδιορισμού της Απαιτούμενης Πυκνότητας Αγκυρίων Υποστήριξης Μετώπου d [n/m^2] με τη Χρήση της Μεθόδου Αναγνώστου & Kovari 1994 & 1996 για Κανονικοποιημένο Βάθος H/D=1.5 με Διακριτοποίηση ως προς τη Γωνία Τριβής φ 136

Σχήμα 4.42. Διάγραμμα d– Λ_F Καμπύλες Προσδιορισμού της Απαιτούμενης Πυκνότητας Αγκυρίων Υποστήριξης Μετώπου d [n/m^2] με τη Χρήση της Μεθόδου Αναγνώστου & Kovari 1994 & 1996 για Κανονικοποιημένο Βάθος H/D=2 με Διακριτοποίηση ως προς τη Γωνία Τριβής φ 137

Σχήμα 4.43. Διάγραμμα d– Λ_F Καμπύλες Προσδιορισμού της Απαιτούμενης Πυκνότητας Αγκυρίων Υποστήριξης Μετώπου d [n/m^2] με τη Χρήση της Μεθόδου Αναγνώστου & Kovari 1994 & 1996 για Κανονικοποιημένο Βάθος H/D=3 με Διακριτοποίηση ως προς τη Γωνία Τριβής φ 137

Σχήμα 4.44. Διάγραμμα d– Λ_F Καμπύλες Προσδιορισμού της Απαιτούμενης Πυκνότητας Αγκυρίων Υποστήριξης Μετώπου d [n/m^2] με τη Χρήση της Μεθόδου Αναγνώστου & Kovari 1994 & 1996 για Κανονικοποιημένο Βάθος H/D=5 με Διακριτοποίηση ως προς τη Γωνία Τριβής φ 138

Σχήμα 4.45. Διάγραμμα d– c/(γH) Καμπύλες Προσδιορισμού της Απαιτούμενης Πυκνότητας Αγκυρίων Υποστήριξης Μετώπου d [n/m^2] με τη Χρήση της Μεθόδου Αναγνώστου & Kovari 1994 & 1996 για Κανονικοποιημένο Βάθος H/D=1 με Διακριτοποίηση ως προς τη Γωνία Τριβής φ 138

Σχήμα 4.46. Διάγραμμα d– c/(γH) Καμπύλες Προσδιορισμού της Απαιτούμενης Πυκνότητας Αγκυρίων Υποστήριξης Μετώπου d [n/m^2] με τη Χρήση της Μεθόδου Αναγνώστου & Kovari 1994 & 1996 για Κανονικοποιημένο Βάθος H/D=1.5 με Διακριτοποίηση ως προς τη Γωνία Τριβής φ 139

Σχήμα 4.47. Διάγραμμα d– c/(γH) Καμπύλες Προσδιορισμού της Απαιτούμενης Πυκνότητας Αγκυρίων Υποστήριξης Μετώπου d [n/m^2] με τη Χρήση της Μεθόδου Αναγνώστου &

Kovari 1994 & 1996 για Κανονικοποιημένο Βάθος H/D=2 με Διακριτοποίηση ως προς τη Γωνία Τριβής φ 139
Σχήμα 4.48. Διάγραμμα d– c/(γH) Καμπύλες Προσδιορισμού της Απαιτούμενης Πυκνότητας Αγκυρίων Υποστήριξης Μετώπου d [n/m^2] με τη Χρήση της Μεθόδου Αναγνώστου & Kovari 1994 & 1996 για Κανονικοποιημένο Βάθος H/D=3 με Διακριτοποίηση ως προς τη Γωνία Τριβής φ 140
Σχήμα 4.49. Διάγραμμα d– c/(γH) Καμπύλες Προσδιορισμού της Απαιτούμενης Πυκνότητας Αγκυρίων Υποστήριξης Μετώπου d [n/m^2] με τη Χρήση της Μεθόδου Αναγνώστου & Kovari 1994 & 1996 για Κανονικοποιημένο Βάθος H/D=5 με Διακριτοποίηση ως προς τη Γωνία Τριβής φ 140
Σχήμα 4.50. Διάγραμμα d– Λ_F Καμπύλες Προσδιορισμού της Απαιτούμενης Πυκνότητας Αγκυρίων Υποστήριξης Μετώπου d [n/m^2] με τη Χρήση της Μεθόδου A. Vermeer et al. 2002 για Κανονικοποιημένο Βάθος H/D=1 με Διακριτοποίηση ως προς τη Γωνία Τριβής φ. 142
Σχήμα 4.51. Διάγραμμα d– Λ_F Καμπύλες Προσδιορισμού της Απαιτούμενης Πυκνότητας Αγκυρίων Υποστήριξης Μετώπου d [n/m^2] με τη Χρήση της Μεθόδου A. Vermeer et al. 2002 για Κανονικοποιημένο Βάθος H/D=1.5 με Διακριτοποίηση ως προς τη Γωνία Τριβής φ142
Σχήμα 4.52. Διάγραμμα d– Λ_F Καμπύλες Προσδιορισμού της Απαιτούμενης Πυκνότητας Αγκυρίων Υποστήριξης Μετώπου d [n/m^2] με τη Χρήση της Μεθόδου A. Vermeer et al. 2002 για Κανονικοποιημένο Βάθος H/D=2 με Διακριτοποίηση ως προς τη Γωνία Τριβής φ. 143
Σχήμα 4.53. Διάγραμμα d– Λ_F Καμπύλες Προσδιορισμού της Απαιτούμενης Πυκνότητας Αγκυρίων Υποστήριξης Μετώπου d [n/m^2] με τη Χρήση της Μεθόδου A. Vermeer et al. 2002 για Κανονικοποιημένο Βάθος H/D=3 με Διακριτοποίηση ως προς τη Γωνία Τριβής φ. 143
Σχήμα 4.54. Διάγραμμα d– Λ_F Καμπύλες Προσδιορισμού της Απαιτούμενης Πυκνότητας Αγκυρίων Υποστήριξης Μετώπου d [n/m^2] με τη Χρήση της Μεθόδου A. Vermeer et al. 2002 για Κανονικοποιημένο Βάθος H/D=5 με Διακριτοποίηση ως προς τη Γωνία Τριβής φ. 144
Σχήμα 4.55. Διάγραμμα d– c/(γH) Καμπύλες Προσδιορισμού της Απαιτούμενης Πυκνότητας Αγκυρίων Υποστήριξης Μετώπου d [n/m^2] με τη Χρήση της Μεθόδου A. Vermeer et al. 2002 για Κανονικοποιημένο Βάθος H/D=1 με Διακριτοποίηση ως προς τη Γωνία Τριβής φ 144
Σχήμα 4.56. Διάγραμμα d– c/(γH) Καμπύλες Προσδιορισμού της Απαιτούμενης Πυκνότητας Αγκυρίων Υποστήριξης Μετώπου d [n/m^2] με τη Χρήση της Μεθόδου A. Vermeer et al. 2002 για Κανονικοποιημένο Βάθος H/D=1.5 με Διακριτοποίηση ως προς τη Γωνία Τριβής φ 145

Σχήμα 4.57. Διάγραμμα d– c/(γH) Καμπύλες Προσδιορισμού της Απαιτούμενης Πυκνότητας Αγκυρίων Υποστήριξης Μετώπου d [n/m^2] με τη Χρήση της Μεθόδου A. Vermeer et al. 2002 για Κανονικοποιημένο Βάθος H/D=2 με Διακριτοποίηση ως προς τη Γωνία Τριβής φ 145
Σχήμα 4.58. Διάγραμμα d– c/(γH) Καμπύλες Προσδιορισμού της Απαιτούμενης Πυκνότητας Αγκυρίων Υποστήριξης Μετώπου d [n/m^2] με τη Χρήση της Μεθόδου A. Vermeer et al. 2002 για Κανονικοποιημένο Βάθος H/D=3 με Διακριτοποίηση ως προς τη Γωνία Τριβής φ 146
Σχήμα 4.59. Διάγραμμα d– c/(γH) Καμπύλες Προσδιορισμού της Απαιτούμενης Πυκνότητας Αγκυρίων Υποστήριξης Μετώπου d [n/m^2] με τη Χρήση της Μεθόδου A. Vermeer et al. 2002 για Κανονικοποιημένο Βάθος H/D=5 με Διακριτοποίηση ως προς τη Γωνία Τριβής φ 146
Σχήμα 4.60. Διάγραμμα Σύγκρισης της Απαιτούμενης Πυκνότητας Αγκυρίων Υποστήριξης Μετώπου d [n/m^2] των Μεθόδων Αναγνώστου & Kovari 1994 & 1996 και A. Vermeer et al. 2002 για Κανονικοποιημένο Βάθος H/D=1 με Διακριτοποίηση ως προς τη Γωνία Τριβής φ 147
Σχήμα 4.61. Διάγραμμα Σύγκρισης της Απαιτούμενης Πυκνότητας Αγκυρίων Υποστήριξης Μετώπου d [n/m^2] των Μεθόδων Αναγνώστου & Kovari 1994 & 1996 και A. Vermeer et al. 2002 για Κανονικοποιημένο Βάθος H/D=1.5 με Διακριτοποίηση ως προς τη Γωνία Τριβής φ 148
Σχήμα 4.62. Διάγραμμα Σύγκρισης της Απαιτούμενης Πυκνότητας Αγκυρίων Υποστήριξης Μετώπου d [n/m^2] των Μεθόδων Αναγνώστου & Kovari 1994 & 1996 και A. Vermeer et al. 2002 για Κανονικοποιημένο Βάθος H/D=2 με Διακριτοποίηση ως προς τη Γωνία Τριβής φ 148
Σχήμα 4.63. Διάγραμμα Σύγκρισης της Απαιτούμενης Πυκνότητας Αγκυρίων Υποστήριξης Μετώπου d [n/m^2] των Μεθόδων Αναγνώστου & Kovari 1994 & 1996 και A. Vermeer et al. 2002 για Κανονικοποιημένο Βάθος H/D=3 με Διακριτοποίηση ως προς τη Γωνία Τριβής φ 149
Σχήμα 4.64. Διάγραμμα Σύγκρισης της Απαιτούμενης Πυκνότητας Αγκυρίων Υποστήριξης Μετώπου d [n/m^2] των Μεθόδων Αναγνώστου & Kovari 1994 & 1996 και A. Vermeer et al. 2002 για Κανονικοποιημένο Βάθος H/D=5 με Διακριτοποίηση ως προς τη Γωνία Τριβής φ 149

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2.1.Επιρροή της Πυκνότητας στην Πίεση Αστοχίας για Σήραγγα Διαμέτρου D=5m σε Ξηρή Άμμο (Chambon & Corte, 1994.) 18
Πίνακας 2.2. Η Πίεση Αστοχίας για Διάφορα Πειράματα LCCP=N, RUB=B (Chambon & Corte, 1994.) 19
Πίνακας 2.3. Σύγκριση Μεταξύ Θεωρητικών και Πειραματικών Αποτελεσμάτων της Πίεσης Αστοχίας (Chambon & Corte, 1994.) 22
Πίνακας 2.4. Παράμετροι που Χρησιμοποιήθηκαν στις Αναλύσεις (Peila,1994)....27
Πίνακας 2.5. Γεωμετρικές Παράμετροι που Χρησιμοποιήθηκαν στις Αναλύσεις (Yoo, 2001.) 31
Πίνακας 2.6. Παράμετροι των Αγκυρίων Fiberglass που Χρησιμοποιήθηκαν στις Αναλύσεις (Yoo, 2001.) 31
Πίνακας 2.7. Γεωτεχνικές Παράμετροι που Χρησιμοποιήθηκαν στις Αναλύσεις (Yoo, 2001.) 32
Πίνακας 3.1. Γεωμετρικές Παράμετροι που Χρησιμοποιήθηκαν στις Αναλύσεις....60
Πίνακας 3.2. Γεωτεχνικοί Παράμετροι που Χρησιμοποιήθηκαν στις Αναλύσεις....61
Πίνακας 3.3. Γεωτεχνικές Παράμετροι $1^{ης}$ Ομάδας Αναλύσεων....62
Πίνακας 3.4. Γεωτεχνικές Παράμετροι $2^{ης}$ Ομάδας Αναλύσεων....64
Πίνακας 3.5. Γεωτεχνικές Παράμετροι $3^{ης}$ Ομάδας Αναλύσεων....65
Πίνακας 3.6. Παράμετροι Άμεσης Υποστήριξης που Χρησιμοποιήθηκαν στις Αναλύσεις 65
Πίνακας 3.7. Παράμετροι Υποστήριξης του Μετώπου με Αγκύρια Fiberglass που Χρησιμοποιήθηκαν στις Αναλύσεις....66
Πίνακας 3.8. Παράμετροι $4^{ης}$ Ομάδας Αναλύσεων ως προς το Μέτρο Ελαστικότητας των Αγκυρίων E_{nails} 67
Πίνακας 3.9. Πίνακας Αναλύσεων της $1^{ης}$ Ομάδας για τις Διάφορες Διατάξεις Υποστήριξης με Αγκύρια στην Επιφάνεια του Μετώπου.....69
Πίνακας 3.10. Πίνακας Αναλύσεων της $2^{ης}$ Ομάδας για τις Διάφορες Διατάξεις Υποστήριξης με Αγκύρια στην Επιφάνεια του Μετώπου.....71
Πίνακας 3.11. Πίνακας Αναλύσεων της $3^{ης}$ Ομάδας για τις Διάφορες Διατάξεις Υποστήριξης με Αγκύρια στην Επιφάνεια του Μετώπου.....72
Πίνακας 3.12. Πίνακας Αναλύσεων της $4^{ης}$ Ομάδας για τις Διάφορες Διατάξεις Υποστήριξης με Αγκύρια στην Επιφάνεια του Μετώπου.....72
Πίνακας 3.13. Πίνακας Αναλύσεων της $1^{ης}$ Ομάδας για Ομοιόμορφη Πίεση Υποστήριξης στο Μέτωπο 73

Πίνακας 3.14. Πίνακας Αναλύσεων της 2^{ης} Ομάδας για Ομοιόμορφη Πίεση Υποστήριξης στο Μέτωπο 75
Πίνακας 3.15. Πίνακας Αναλύσεων της 3^{ης} Ομάδας για Ομοιόμορφη Πίεση Υποστήριξης στο Μέτωπο 76
Πίνακας 3.16. Πίνακας Αναλύσεων της 4^{ης} Ομάδας για Ομοιόμορφη Πίεση Υποστήριξης στο Μέτωπο 76
Πίνακας 3.17. Οριακή Πίεση Αναφοράς p_{ref} για κάθε Τύπο Καννάβου 78
Πίνακας 4.1. Επιλεγμένες Αναλύσεις από την 1^{η} Ομάδα ίδιων c, φ για Όλες τις Περιπτώσεις του Κανονικοποιημένου Λόγου H/D 97
Πίνακας 4.2. Συγκεντρωτικός Πίνακας Αποτελεσμάτων της Ισοδύναμης Πίεσης για Επιλεγμένες Αναλύσεις από την 1^{η} Ομάδα Ιδίων c, φ για Όλες τις Περιπτώσεις του Κανονικοποιημένου Λόγου H/D 98
Πίνακας 4.3. Συγκεντρωτικός Πίνακας Αποτελεσμάτων της Ισοδύναμης Πίεσης για την 1^{η} Ομάδα Αναλύσεων 103
Πίνακας 4.4. Συγκεντρωτικοί Πίνακες Αποτελεσμάτων του Λόγου p_{eq}/p_{ref} της Ισοδύναμης Πίεσης για την 2^{η} Ομάδα Αναλύσεων 113
Πίνακας 4.5. Συγκεντρωτικοί Πίνακες Αποτελεσμάτων Διαφόρων Μορφών των Λόγων της Ισοδύναμης Πίεσης για την 2^{η} Ομάδα Αναλύσεων 117
Πίνακας 4.6. Συγκεντρωτικός Πίνακας Αποτελεσμάτων του Λόγου p_{eq}/p_{ref} της Ισοδύναμης Πίεσης για την 3^{η} Ομάδα Αναλύσεων 121
Πίνακας 4.7. Συγκεντρωτικοί Πίνακες Αποτελεσμάτων Διαφόρων Μορφών των Λόγων της Ισοδύναμης Πίεσης για την 3η Ομάδα 124
Πίνακας 4.8. Συγκεντρωτικός Πίνακας Αποτελεσμάτων του Λόγου p_{eq}/p_{ref} της Ισοδύναμης Πίεσης για την 4^{η} Ομάδα Αναλύσεων 126
Πίνακας 4.9. Συγκεντρωτικοί Πίνακες Αποτελεσμάτων Διαφόρων Μορφών των Λόγων της Ισοδύναμης Πίεσης για την 4^{η} Ομάδα Αναλύσεων 129
Πίνακας 5.1. Συγκεντρωτικός Ποιοτικός Πίνακας Παραμέτρων που Επηρεάζουν την Ισοδύναμη Ομοιόμορφη Πίεση Υποστήριξης του Μετώπου 153

1 Εισαγωγή –Σκοπός

1.1 Σκοπός

Η ταχεία ανάπτυξη του αστικού περιβάλλοντος είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση της ζήτησης για την κατασκευή σηράγγων οι οποίες θα χρησιμοποιηθούν είτε για τη μεταφορά και μετακίνηση των ανθρώπων των πόλεων δηλαδή μετρό, είτε για την προστασία και την κατασκευή των συστημάτων των δικτύων κοινής ωφέλειας. Τέτοιου είδους σήραγγες για λόγους εύκολης και γρήγορης επισκεψιμότητας, δυνατότητας επισκευής και οικονομίας κατασκευάζονται σε μικρά βάθη, κυρίως μέσα σε μαλακά εδάφη ή σε σχηματισμούς ασθενών βραχομαζών. Είναι προφανές λοιπόν ότι η διατήρηση της ευστάθειας του μετώπου είναι μείζον σημασίας απαίτηση, η εξασφάλιση της οποίας κατά την διάρκεια της εκσκαφής είναι ίσως η μεγαλύτερη πρόκληση του σχεδιασμού των σηράγγων. Αυτό συμβαίνει διότι η αστοχία του μετώπου είναι ένα φαινόμενο το οποίο μπορεί να εξελιχθεί με γοργούς ρυθμούς, να προκαλέσει εξασθένηση του περιβάλλοντος εδάφους, και να οδηγήσει στην κατάρρευση μικρού η μεγάλου τμήματος της σήραγγας με ταυτόχρονες καθιζήσεις στην επιφάνεια του εδάφους.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι ο υπολογισμός ενός νέου μεγέθους της ισοδύναμης ομοιόμορφης κατανεμημένης πίεσης υποστήριξης του μετώπου και η συσχέτιση του με την πυκνότητα αγκυρίων του μετώπου fiberglass. Η ισοδύναμη αυτή πίεση είναι η ομοιόμορφη πίεση υποστήριξης που θα πρέπει να ασκηθεί στο μέτωπο της σήραγγας ώστε αυτό να είναι στον ίδιο βαθμό ευσταθές με ένα μέτωπο σήραγγας που θα υποστηριζόταν από αγκύρια μετώπου fiberglass. Ως κριτήριο προσδιορισμού του βαθμού ευστάθειας του μετώπου χρησιμοποιήθηκε το μέγεθος της συνολικής μέσης έκθλιψης σε όλο το μέτωπο.

Η προσπάθεια αυτή της αντιστοίχισης έγινε αφενός, επειδή η κατανεμημένη πίεση μπορεί πιο εύκολα να προσομοιωθεί σε σχέση με την προσομοίωση αγκυρίων στο μέτωπο, και αφετέρου διότι μια τέτοια συσχέτιση μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με αναλυτικές μεθόδους (π.χ. η μέθοδος Αναγνώστου και Kovari, 1994 & 1996 ή η μέθοδος Pieter A. Vermeer et al 2002), οι οποίες υπολογίζουν την ομοιόμορφη πίεση στο μέτωπο, ως μια έμμεση μέθοδος υπολογισμού της απαιτούμενης πυκνότητας του καννάβου αγκυρίων του μετώπου σε σχέση με τις γεωτεχνικές συνθήκες και το βάθος εκσκαφής.

Σε ένα πρώτο στάδιο η προσέγγιση του παραπάνω προβλήματος έγινε με την επεξεργασία – αξιοποίηση - σύγκριση των αποτελεσμάτων σχετικών μελετών μεταξύ τους.

Σε ένα δεύτερο στάδιο εκπονήθηκαν τρισδιάστατες αναλύσεις με πεπερασμένα στοιχεία με το πρόγραμμα Abaqus 6.9-1. Το πρώτο σύνολο των αναλύσεων έγινε για υποστήριξη μετώπου με αγκύρια fiberglass, ενώ το δεύτερο σύνολο των αναλύσεων έγινε για τις αντίστοιχες αναλύσεις του πρώτου αλλά για υποστήριξη μετώπου με ομοιόμορφη πίεση, το οποίο και προσομοιώθηκε στα πλαίσια της παρούσας εργασίας.

Οι αναλύσεις έγιναν για διάφορες παραμέτρους ώστε να καλύπτεται ένα μεγάλο εύρος γεωτεχνικών και γεωμετρικών περιπτώσεων. Έτσι χρησιμοποιήθηκαν συνολικά πάνω από 1000 σε αριθμό αναλύσεις, από αυτές πάνω από 700 ήταν περιπτώσεις αναλύσεων για υποστήριξη μετώπου με ομοιόμορφη πίεση, ενώ χρησιμοποιήθηκαν τα αποτελέσματα από πάνω από 300 υπάρχουσες για υποστήριξη μετώπου με αγκύρια fiberglass. Έγινε παραμετρική ανάλυση ως προς το ύψος των υπερκειμένων, δηλαδή για διάφορες τιμές του κανονικοποιημένου λόγου H/D, ως προς το έδαφος, δηλαδή για διαφορετικές εδαφικές παραμέτρους, όπως είναι η συνοχή c, η γωνία τριβής φ, το μέτρο παραμορωσιμότητας του εδάφους E, ο συντελεστής ουδέτερων τάσεων K_o και ως προς τις ιδιότητες των αγκυρίων, δηλαδή για διαφορετική ακαμψία αγκυρίων E_{nails}. Οι παράμετροι οι οποίοι έμειναν σταθεροί ήταν η διάμετρος της σήραγγας D το ειδικό βάρος του εδάφους γ και το μήκος των αγκυρίων L. Επίσης θεωρήθηκε ότι η άμεση υποστήριξη σε όλες τις περιπτώσεις φτάνει σε απόσταση ενός μέτρου από το μέτωπο της σήραγγας, ενώ σε όλες τις αναλύσεις δεν έχει ληφθεί υπόψη η παρουσία του νερού.

2 Θεωρητικές & Πειραματικές Μέθοδοι

2.1 Σκοπός

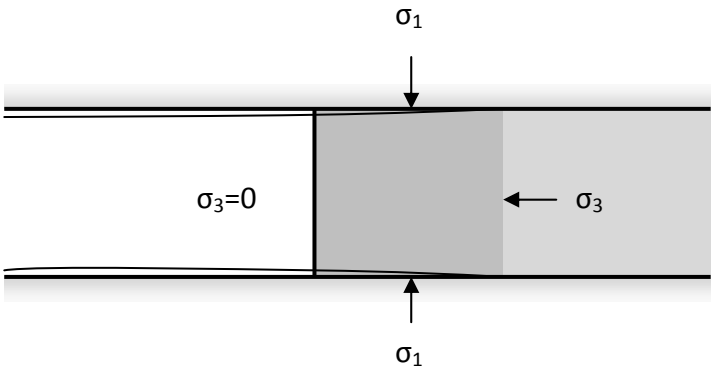
Σκοπός αυτού του κεφαλαίου είναι να περιγραφθούν οι σχετικές θεωρίες ή τμήματα αυτών που αφορούν την παρούσα διπλωματική εργασία που έχουν αναπτυχθεί για τον υπολογισμό της ομοιόμορφης πίεσης στο μέτωπο της σήραγγας, όπως επίσης και οι θεωρίες υπολογισμού ακγυρίων fiberglass, είτε μέσω αναλυτικών μεθόδων είτε μέσω πειραματικών διατάξεων και να γίνει μια προσπάθεια ομαδοποίησης τους ως προς τις παραδοχές τους, τις παραμέτρους που εξέτασαν καθώς και ως προς τα συμπεράσματα όπου κατέληξαν.

2.2 Το Τασικό Πεδίο στο Μέτωπο

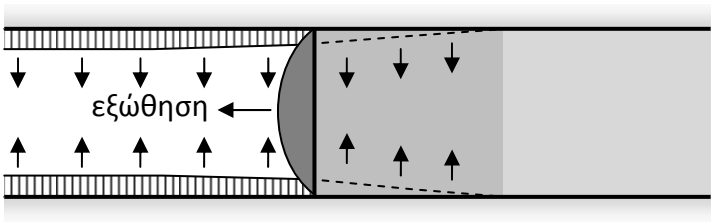
Έχει πλέον αποδειχτεί τόσο μέσω παρατηρήσεων σε πραγματικές συνθήκες όσο και μέσα από μελέτες στον τομέα των σηράγγων ότι το κρισιμότερο κομμάτι μιας σήραγγας, ειδικά κατά την διάρκεια της διάνοιξής της, είναι το μέτωπο της. Ευσταθές μέτωπο οδηγεί σε γενικότερη κατάσταση ευστάθειας στην κοιλότητα και σε επιτυχή εξέλιξη της εκσκαφής, ενώ αντίστοιχα ασταθές μέτωπο μπορεί να οδηγήσει σε ανεξέλεγκτες συγκλίσεις έως και κατάρρευση. Η πιο κρίσιμη χρονικά στιγμή από άποψη κινδύνου αστοχίας κατά την διάρκεια κατασκευής μιας σήραγγας τοποθετείται κατά την φάση της κατασκευής της αμέσως μετά την εκσκαφή και πριν την τοποθέτηση των μέτρων άμεσης υποστήριξης της διατομής και του μετώπου. Αυτό οφείλεται στον μηδενισμό των οριζοντίων τάσεων, αφού το μέτωπο παύει να αντιστηρίζεται από το κομμάτι εδάφους που απομακρύνθηκε με αποτέλεσμα την αλλαγή των συνθηκών ισορροπίας, το οποίο μπορεί να οδηγήσει σε αστάθεια ή και σε κατάρρευση, ανάλογα πάντα με τις παραμέτρους του εδάφους και τη γεωμετρία της κατασκευής.

Στο διάστημα που μεσολαβεί μεταξύ της εκσκαφής και της τοποθέτησης της υποστήριξης οι τάσεις ανακατανέμονται γύρω από το άνοιγμα. Αυτό γίνεται μέσω της διαδικασίας που είναι γνωστή ως φαινόμενο του θόλου. Με αυτόν τον τρόπο δημιουργείται γύρω από το άνοιγμα μια ζώνη αυξημένων φορτίσεων, έτσι ώστε το σύστημα να ισορροπήσει ξανά. Η ανακατανομή αυτή, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά αντοχής του εδάφους, μπορεί να λάβει χώρα είτε κοντά στην εκσκαφή, είτε μακρύτερα, είτε καθόλου. Έτσι μπορούμε να διαχωρίσουμε τρεις διαφορετικές περιπτώσεις :

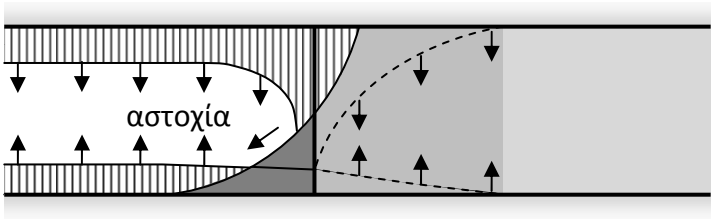
- $1^{η}$ περίπτωση: Το έδαφος ανταποκρινόμενο ελαστικά μπορεί να παραλάβει ασφαλώς τη ροή των τάσεων. Η σταδιακή μείωση της οριζόντιας τάσης σ_3 παράγει τάσεις στην ελαστική περιοχή γύρω από το μέτωπο, και η επιφάνεια που διαμορφώνεται λόγω της εκσκαφής χαρακτηρίζεται από ελάχιστες έως αμελητέες παραμορφώσεις βλ. σχήμα 2.1α.
- $2^{η}$ περίπτωση: Σε εδάφη σχετικά χαμηλών αντοχών τα οποία αντιδρούν ανελαστικά στη διοχέτευση των τάσεων γύρω από το άνοιγμα. Με αυτόν τον τρόπο το έδαφος γύρω από το άνοιγμα πλαστικοποιείται και παραμορφώνεται. Το φαινόμενο αυτό συνεχίζει να εξελίσσεται ακτινικά, με τη διοχέτευση των τάσεων να απομακρύνεται από το άνοιγμα, έως ένα σημείο τέτοιο που η τριαξονική κατάσταση φόρτισης να είναι συμβατή με τις παραμέτρους αντοχής του εδάφους. Το φαινόμενο του θόλου στην περίπτωση αυτή δημιουργείται μακριά από τους τοίχους της εκσκαφής και το έδαφος γύρω από το άνοιγμα είναι διαταραγμένο σε τέτοιο βαθμό που η συνεισφορά του στην παραλαβή των τελικών φορτίων έγκειται μόνο στην παραμένουσα αντοχή του. Έτσι η διαδικασία αυτή της πλαστικοποίησης που εκκινείται μπορεί να αντιμετωπιστεί μόνο με την προσθήκη μέτρων υποστήριξης βλ. σχήμα 2.1β
- $3^{η}$ περίπτωση: Σε περιπτώσεις εδάφους τόσο χαμηλών αντοχών που δεν είναι δυνατόν να παραληφθεί η ροή των τάσεων που ανακατανέμονται, με αποτέλεσμα η επίτευξη της λειτουργίας του θόλου να καθίσταται αδύνατη και να κινούμαστε στην περιοχή της αστοχίας, με φυσική συνέπεια την κατάρρευση του ανοίγματος βλ. σχήμα 2.1γ.



α) Ευσταθές Μέτωπο



β) Ευσταθές Μέτωπο για Κάποιο Χρονικό Διάστημα



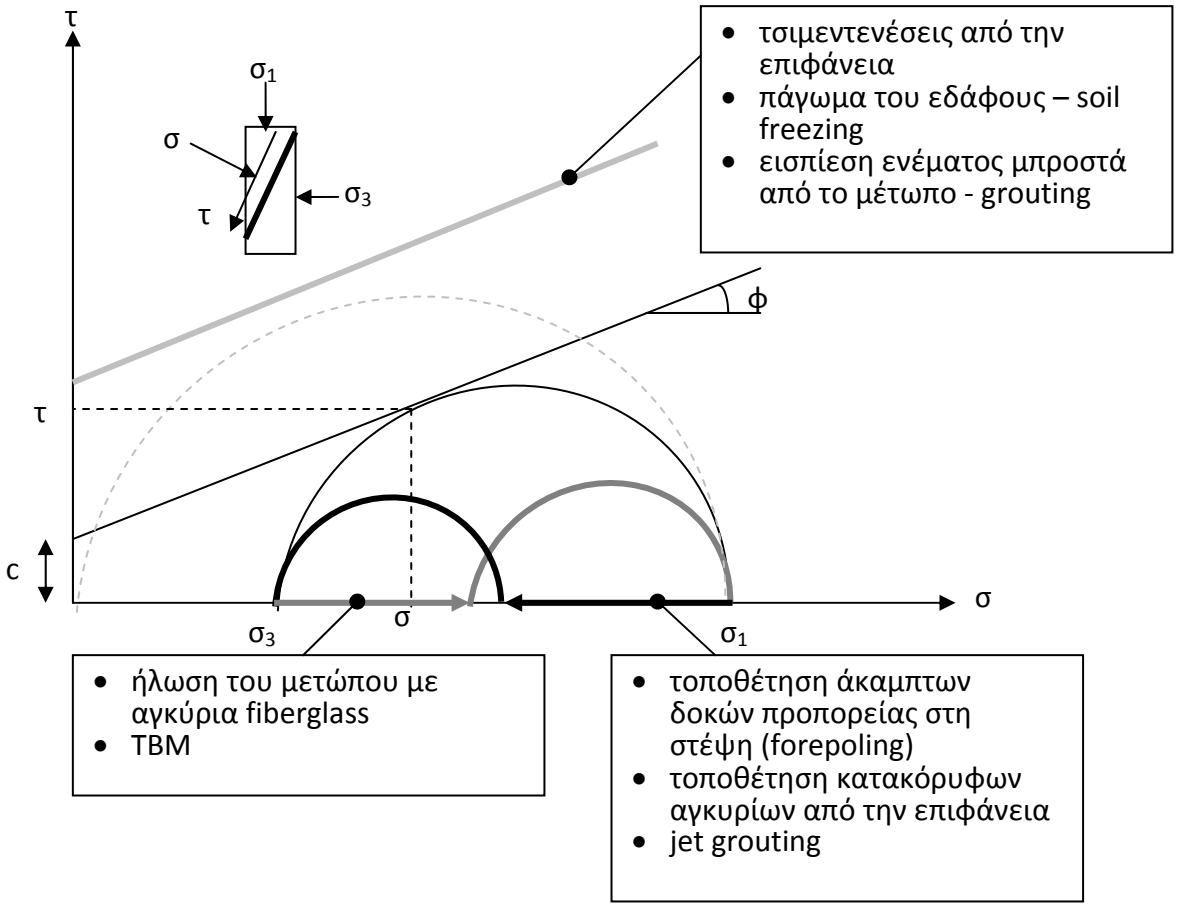
γ) Ασταθές Μέτωπο

Σχήμα 2.1. Συμπεριφορά του Μετώπου (Lunardi 2000)

2.3 Μέθοδοι Βελτίωσης της Ευστάθειας του Μετώπου

Όπως φαίνεται από το σχήμα 2.2 με την εκσκαφή του μετώπου από μια αρχική κατάσταση ισορροπίας με συγκεκριμένες τάσεις σ_1 και σ_3 το έδαφος μεταπίπτει σε μια κατάσταση όπου η τάση σ_3 μηδενίζεται και ο κύκλος του Mohr τέμνει την περιβάλλουσα αστοχίας, με αποτέλεσμα άμεση ή μετά από κάποιο χρονικό διάστημα αστάθεια του μετώπου, ανάλογα με τις αρχικές γεωτεχνικές συνθήκες. Η βελτίωση επομένως της ευστάθειας του μετώπου μπορεί να επιτευχτεί με:

- διατήρηση υψηλής τιμής της σ_3, με ήλωση του μετώπου με αγκύρια fiberglass ή με μηχανοποιημένη διάνοιξη σηράγγων - TBM
- μείωση της τιμής της σ_1, με τοποθέτηση άκαμπτων δοκών προπορείας στη στέψη (forepoling), ή με τοποθέτηση κατακόρυφων αγκυρίων από την επιφάνεια, ή με τη μέθοδο jet grouting δημιουργώντας μια ομπρέλα προστασίας πάνω και μπροστά από το μέτωπο.
- βελτίωση του εδάφους με αύξηση των τιμών των γεωτεχνικών παραμέτρων c, ϕ με τσιμεντενέσεις από την επιφάνεια, ή με πάγωμα του εδάφους, (soil freezing) ή με εισπίεση ενέματος μπροστά από το μέτωπο (grouting).
- με μείωση των διαστάσεων του μετώπου
- με έλεγχο της αστάθειας της οροφής με τοποθέτηση ράβδων προπορείας (spiling)
- με αποστράγγιση του μετώπου



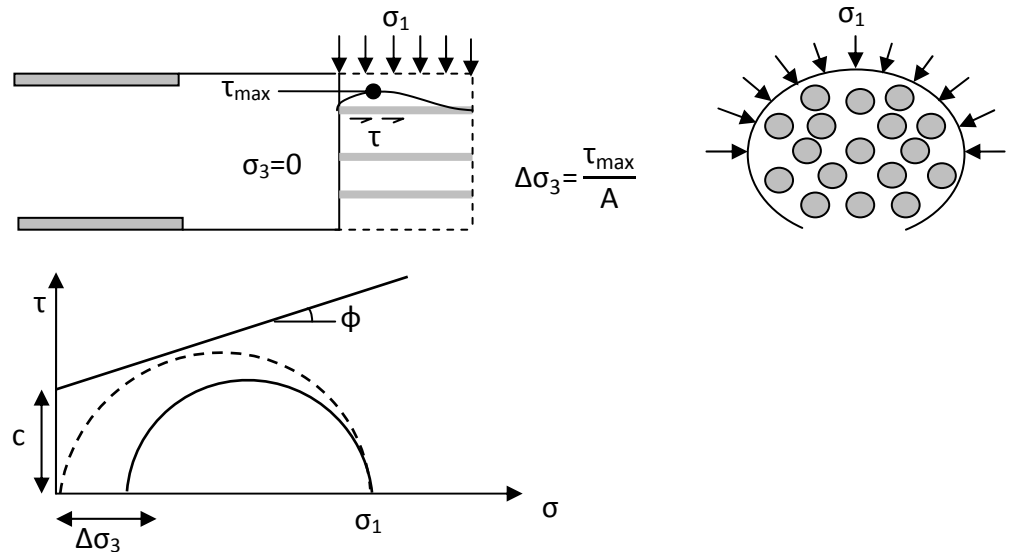
Σχήμα 2.2. Σχηματική Απεικόνιση Βελτίωσης Ευστάθειας Μετώπου μέσω Κύκλων Mohr. (Μ. Καββαδάς, Σημειώσεις Μεταπτυχιακού Μαθήματος ΔΠΜΣ Υπολογιστικές Μέθοδοι Ανάλυσης Υπογείων Έργων 2007)

2.4 Γενικά περί των Αγκυρίων Fiberglass ως Μέσο Υποστήριξης του Μετώπου

Η μεθόδους ενίσχυσης του μετώπου που εξετάζεται στην παρούσα εργασία είναι η τοποθέτηση αγκυρίων fiberglass κάθετα στο μέτωπο, με σκοπό την ενίσχυση της οριζόντιας ευστάθειας, μέσω της δραστικής απομείωσης της έκθλιψης του μετώπου.

Όπως είναι γνωστό, πριν την εκσκαφή το έδαφος βρίσκεται σε ισορροπία, αφού κάθε στοιχειώδες κομμάτι του δέχεται την κατακόρυφη γεωστατική τάση σ_1 και μια οριζόντια τάση σ_3 η οποία μπορεί να υπολογιστεί μέσω του συντελεστή ουδέτερης ώθησης γαιών K_o. Μέσω των οριζοντίων αυτών τάσεων στα στοιχειώδη κομμάτια του το έδαφος ισορροπεί. Κατά την εκσκαφή όμως της σήραγγας στην περιοχή του μετώπου απομακρύνεται ένα τμήμα του εδάφους, με αποτέλεσμα το εναπομείναν μέτωπο να πάψει να αντιστηρίζεται και λόγω της γεωστατικής τάσης που δέχεται να τείνει να αστοχήσει οριζόντια.

Τοποθετώντας τα αγκύρια η διατμητική τάση που αναπτύσσεται μεταξύ του συστήματος αγκυρίου–ενέμματος–εδάφους ουσιαστικά αντικαθιστά τη χαμένη αντιστήριξη, με αποτέλεσμα τη σαφή βελτίωση της ευστάθειας. Η μετατόπιση του κύκλου του Mohr μακριά από την περιβάλλουσα αστοχίας κατά $\Delta\sigma_3$ φανερώνει την βελτίωση της ευστάθειας που προκλήθηκε από την δημιουργία αυτής της αντιστήριξης βλ. σχήμα 2.3.



Σχήμα 2.3. Σχηματική Απεικόνιση Λειτουργίας των Αγκυρίων Μετώπου (Scholsser, 1997)

Συνήθως ως αγκύρια μετώπου επιλέγονται τα αγκύρια fiberglass, διότι το υλικό κατασκευής τους προσφέρει μεγάλη εφελκυστική αντοχή και ακαμψία, απαραίτητες ιδιότητες για την βελτίωση της ευστάθεια του μετώπου, αλλά και αμελητέα αντοχή σε κάμψη προκειμένου να μπορούν αυτά εύκολα να καταστρέφονται από τα εκσκαπτικά μηχανήματα κατά την προχώρηση της σήραγγας, έτσι ώστε να ελαχιστοποιούνται οι καθυστερήσεις κατά την εκσκαφή της. Εντούτοις υπάρχουν περιπτώσεις που για την ενίσχυση του μετώπου μπορεί να γίνεται χρήση απλών αγκυρίων από χάλυβα, αφού αυτά έχουν χαμηλότερη τιμή. Οι τυπικές διαστάσεις τους είναι 12m μήκος, διατομής Φ25 με εφελκυστική αντοχή 200-300KN.

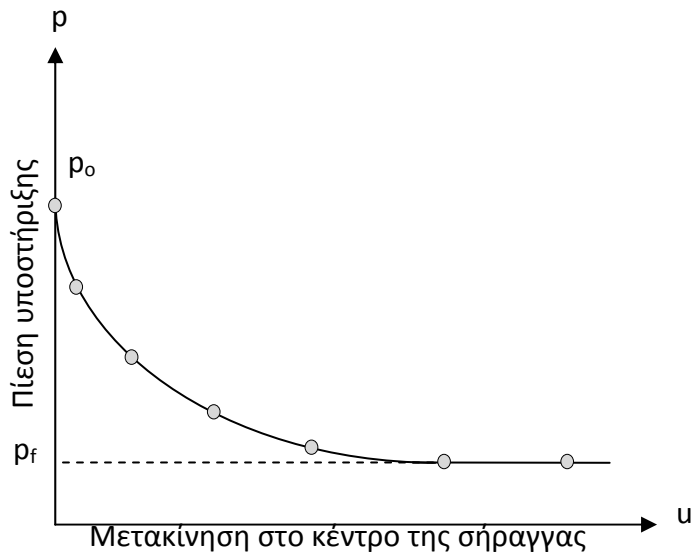
2.5 Θεωρίες Υπολογισμού της Ομοιόμορφης Πίεσης Υποστήριξης του Μετώπου

2.5.1 Αριθμητικές Μέθοδοι

2.5.1.1 Pieter A. Vermeer, Nico Ruse, Thomas Marcher 2002

Με δημοσίευσή τους το 2002 οι Pieter A. Vermeer, Nico Ruse, Thomas Marcher με το άρθρο τους με τίτλο «Η Ευστάθεια του Μετώπου της Σήραγγας σε Στραγγιζόμενες Εδαφικές Συνθήκες» - «Tunnel Heading Stability in Drained Ground» [1] συγκρίνουν τα αποτελέσματα διαφόρων μεθόδων υπολογισμού της πίεσης αστοχίας στο μέτωπο της σήραγγας μεταξύ τους, αλλά και με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από 3-D αναλύσεις με πεπερασμένα στοιχεία με το πρόγραμμα Plaxis για διάφορες γεωτεχνικές και γεωμετρικές παραμέτρους.

Για τις αναλύσεις τους χρησιμοποίησαν το ελαστικό πλήρες πλαστικό Mohr–Coulomb καταστατικό μοντέλο. Μέσω των αναλύσεων υπολογίστηκε με τη βοήθεια διαγραμμάτων της μορφής p/u του κέντρου της σήραγγας βλ. σχήμα 2.4 η πίεση αστοχίας του μετώπου p_f.



Σχήμα 2.4. Διάγραμμα Μορφής p/u (Vermeer et al, 2002.)

Η εν λόγω πίεση αστοχίας μπορεί όμως να υπολογιστεί και από τον τύπο 2.1 ο οποίος προτάθηκε πρώτα από τους Αναγνώστου & Kovari.

$p_f=-c'N_C+qN_q+\gamma DN_\gamma$ (2.1)

Όπου N_c: σταθερά της συνοχής

N_q: σταθερά προφόρτισης

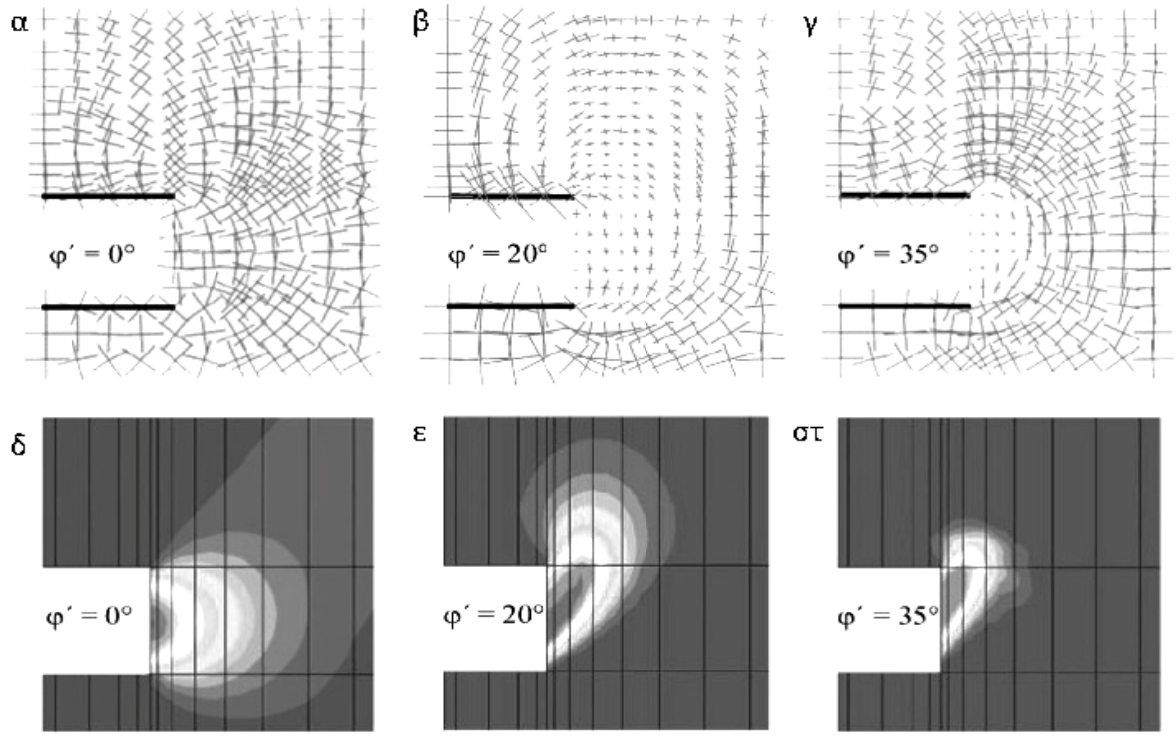
N_γ: σταθερά του ειδικού βάρους του εδάφους

Από τα διαγράμματα τύπου 2.4 και με τη χρήση του τύπου 2.1 υπολογίστηκαν οι σταθερές N_c, N_γ και έγινε μια διερεύνηση παραμέτρων από τις οποίες επηρεάζονται. Έπειτα εξετάστηκε η σχέση μεταξύ εξωτερικού φορτίου q και της τάσης αστοχίας p_f για διάφορα βάθη.

Από τις αναλύσεις της συγκεκριμένης δημοσίευσης εξετάζουμε στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας αυτές όπου η σήραγγα θεωρήθηκε ότι είναι κυκλικής διατομής διαμέτρου D.

Λόγω συμμετρίας προσομοιώθηκε η μισή διατομή, ενώ προσοχή δόθηκε στις διαστάσεις του προσομοιώματος ώστε αυτές να είναι επαρκείς για να μην επηρεάζονται τα αποτελέσματα των αναλύσεων. Τα βάθη τα οποία εξετάστηκαν κυμάνθηκαν από H/D=1÷5 ενώ θεωρήθηκε ότι η άμεση υποστήριξη φτάνει μέχρι το μέτωπο της σήραγγας.

Αρχικά εξετάστηκε η μορφή κατανομής των κύριων τάσεων κατά την αστοχία με παρουσίαση τους σε καταμήκος τομή. Με τον ίδιο τρόπο εξετάστηκε και παρουσιάστηκε η μορφή της αστοχίας του μετώπου της σήραγγας μέσω μετακινήσεων του κέντρου της διατομής της. βλ. σχήμα 2.5.



Σχήμα 2.5. Σχηματική Απεικόνιση των Κύριων Τάσεων και των Μετακινήσεων σε Καταμήκος Τομή στο Μέτωπο της Σήραγγας (Vermeer et al, 2002.)

Από το παραπάνω σχήμα φαίνεται ότι όσο μικρότερη είναι η γωνία τριβής τόσο μεγαλύτερη πίεση υποστήριξης απαιτείται για την ευστάθεια του μετώπου της σήραγγας και τόσο μεγαλύτερη έκταση έχει η αστοχία. Αναλυτικότερα στο σχήμα 2.5.α, 2.5.β, 2.5.γ, παρουσιάζεται η κατανομή των τάσεων μέσω σταυρών τάσεων που περιστρέφονται γύρω από το μέτωπο της σήραγγας. Στην πρώτη περίπτωση 2.5.α παρατηρείται ότι οι σταυροί έχουν περίπου το ίδιο μέγεθος γεγονός που δηλώνει ότι απαιτείται μεγάλη πίεση υποστήριξης για την ευστάθεια του μετώπου.

Από την άλλη πλευρά στο σχήμα 2.5.β όπου έχουμε μεγαλύτερη γωνία τριβής φαίνονται μικρότεροι σταυροί γύρω από το μέτωπο της σήραγγας και επομένως απαιτείται μικρότερη πίεση υποστήριξης για την ευστάθεια του μετώπου. Τέλος στην περίπτωση 2.5.γ όπου έχουμε ένα έδαφος με υψηλή γωνία τριβής φαίνεται καθαρά η τοξωτής μορφής μεταφορά των τάσεων παράπλευρα στο έδαφος γύρω από το μέτωπο, ενώ η απαιτούμενη πίεση υποστήριξης για την ευστάθεια του μετώπου είναι σχεδόν μηδενική.

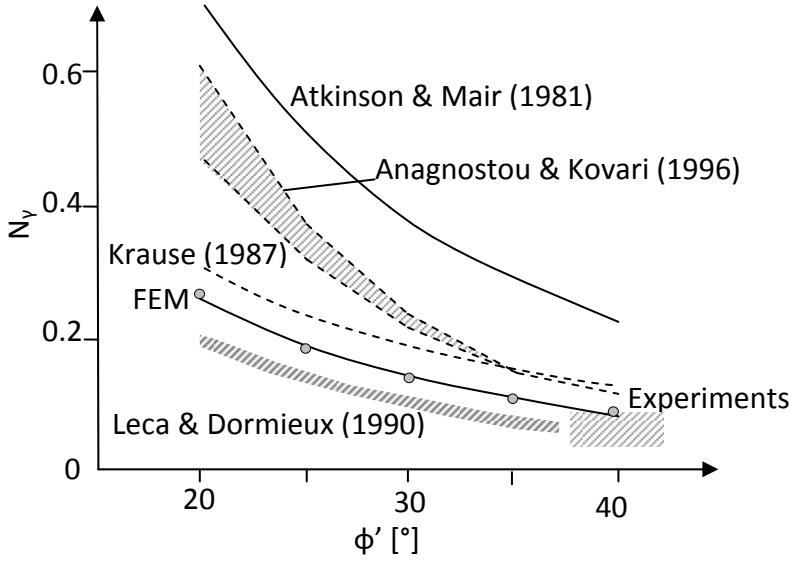
Στο σχήμα 2.5.δ, 2.5.ε, 2.5.στ απεικονίζεται η μορφή της αστοχίας μέσω χρωματικής κλιμάκωσης με αποχρώσεις του γκρι της μετατόπισης του εδάφους στην οριακή κατάσταση αστοχίας. Φαίνεται ότι στο σχήμα 2.5.δ το εδαφικό υλικό το οποίο έχει μηδενική γωνία τριβής συμπεριφέρεται σαν ρευστό και ρέει μέσα στη σήραγγα. Ακόμα παρατηρείται ότι με αύξηση της γωνίας τριβής η μορφή και η έκταση της αστοχίας αλλάζει γίνεται μικρότερη και παίρνει πιο κωνικό σχήμα βλέπε σχήμα 2.5.ε και 2.5.στ.

Στο επόμενο σύνολο αναλύσεων οι εδαφικές συνθήκες θεωρήθηκαν στραγγιζόμενες το εξωτερικό φορτίο q=0, η συνοχή c=0 και η γωνία τριβής έλαβε τιμές από φ=20°÷40°. Έτσι ο τύπος υπολογισμού της πίεσης αστοχίας απλοποιήθηκε και πήρε τη μορφή του τύπου 2.2. Από τις αναλύσεις προέκυψε ότι για γωνίες τριβής μεγαλύτερες των φ>20° και για βάθος H/D>1 η πίεση αστοχίας p_f και επομένως και η σταθερά N_γ είναι ανεξάρτητη από το βάθος εκσκαφής, επειδή έχει δημιουργηθεί η λειτουργία τοξωτής μορφής μεταφοράς τάσεων στο έδαφος γύρω από το μέτωπο της σήραγγας. Επιπλέον μέσω των αναλύσεων υπολογίστηκε η πίεση αστοχίας του μετώπου με τη βοήθεια των p-u διαγραμμάτων και έπειτα η τιμή της σταθεράς του ειδικού βάρους του εδάφους N_γ με αποτέλεσμα να προταθεί ο παρακάτω τύπος υπολογισμού της βλ. τύπο 2.3.

$$p_f=\gamma D N_\gamma \quad (2.2)$$

$$N_\gamma=\frac{1}{9\tan\phi'}-0.05 \quad (2.3)$$

Τέλος έγινε σύγκριση της σταθεράς N_γ με τις τιμές υπολογισμού που έχουν προκύψει από άλλες μεθόδους βλέπε σχήμα 2.6.



Σχήμα 2.6. Διάγραμμα N_γ / ϕ' (Vermeer et al, 2002.)

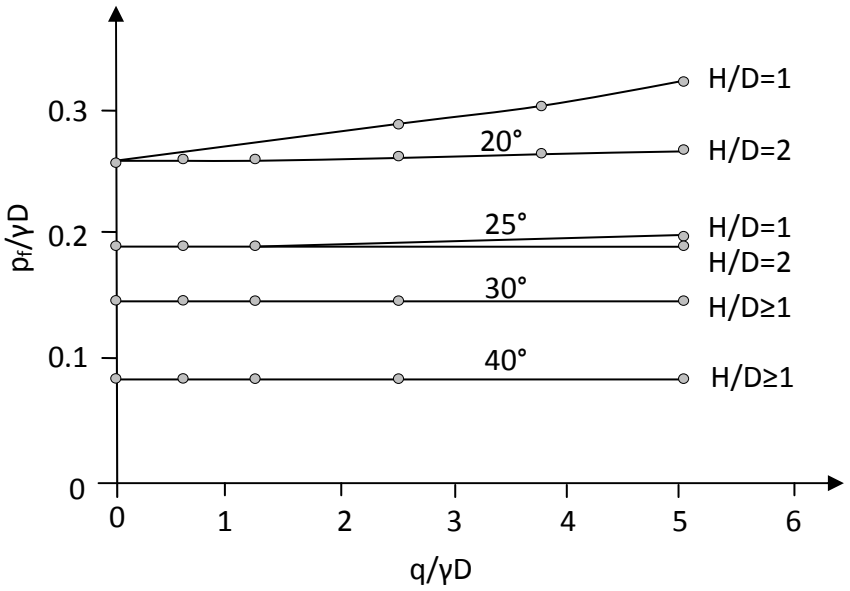
Από το σχήμα 2.6 φαίνεται ότι τα αποτελέσματα της μεθόδου των πεπερασμένων στοιχείων βρίσκονται ανάμεσα στα αποτελέσματα της θεωρητικής οριακής λύση των Leca & Dormieux και στα αποτελέσματα της μελέτης του Krause. Ο τελευταίος θεώρησε μια αστοχία στο μέτωπο της σήραγγας της οποίας η μορφή προέκυπτε από τον συνδυασμό καμπυλών παραβολικής μορφής, η οποία μπορούσε να ολισθήσει μέσα στη σήραγγα. Όμως με την μέθοδο ανάλυσης με πεπερασμένα στοιχεία δεν γίνεται καμία αρχική θεώρηση για το σχήμα της αστοχίας καθώς αυτή μπορεί να πάρει όποια μορφή θέλει βλ. σχήμα 2.5.α 2.5.β 2.5.γ. Από την άλλη πλευρά με τη μέθοδο των Αναγνώστου & Kovari η όποια χρησιμοποιεί το προσομοίωμα της σφήνας που ολισθαίνει προκύπτουν διαφορετικές καμπύλες ανάλογα με το βάθος εκσκαφής της σήραγγας, έτσι η πάνω καμπύλη είναι για H/D=5 και η κάτω για H/D=1. Οι καμπύλες αυτές βρίσκονται πιο πάνω από αυτή της μεθόδου των πεπερασμένων στοιχείων, και για γωνίες τριβής μικρότερες των ϕ<30° και H/D>5 η μέθοδος δίνει πολύ συντηρητικά αποτελέσματα.

Ακόμα παρατηρείται ότι η μέθοδος των Atkinson & Mair δίνει πολύ συντηρητικά αποτελέσματα αφού βασίζεται σε πειράματα σε δύο διαστάσεις 2D τα οποία δεν μπορούν να λάβουν υπόψη την πλήρη λειτουργία τόξου που δημιουργείται γύρω από το μέτωπο της σήραγγας στις τρεις διαστάσεις. Τέλος για πολύ μεγάλες τιμές της γωνίας τριβής ϕ>40° σχεδόν όλα τα προσομοιώματα δίνουν τιμές $N_\gamma \approx 0.1$ οι οποίες σχεδόν ταυτίζονται με τις τιμές που έχουν προκύψει από τα πειράματα σε φυγοκεντριστή των Chambon & Corte.

Με μια επόμενη σειρά αναλύσεων προσδιορίστηκε η τιμή της σταθεράς N_c η οποία ταυτίζεται σχεδόν με την τιμή που προκύπτει από τον τύπο 2.4 ο οποίος προτάθηκε πρώτα από τους Vermeer & Ruse.

$N_c=\cot\phi'$ (2.4)

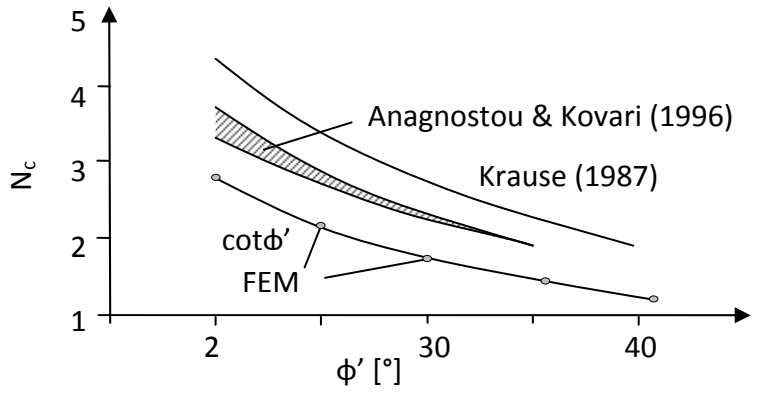
Ο παραπάνω τύπος σύμφωνα με το διάγραμμα που προέκυψε από παραμετρική ανάλυση βλ. σχήμα 2.7 ισχύει για γωνία τριβής φ>25°και H/D>1 και για 25°<φ<20° και H/D>2.



Σχήμα 2.7. Διάγραμμα $p_f/\gamma D$ - $q/\gamma D$ (Vermeer et al, 2002.)

Από το σχήμα 2.7 φαίνεται ότι η εξωτερική φόρτιση επηρεάζει την πίεση αστοχίας μόνο για τιμές της γωνίας τριβής φ<20° και για H/D<2, στις περιπτώσεις δηλαδή που δεν έχει προλάβει να ολοκληρωθεί η τοξωτή μορφής μεταφορά των τάσεων στο έδαφος μέσω του φαινομένου του θόλου.

Με βάση τα παραπάνω έγινε ένα συγκριτικό διάγραμμα με άλλες μεθόδους υπολογισμού της N_c βλ. σχήμα 2.8.



Σχήμα 2.8. Διάγραμμα N_c / φ' (Vermeer et al, 2002.)

Από το διάγραμμα φαίνεται ότι η μέθοδος του Krause καθώς και η μέθοδος των Αναγνώστου & Kovari δίνουν μεγαλύτερες τιμές στην σταθερά N_c γεγονός που οφείλεται στην μεν πρώτη μέθοδο στην αρχική θεώρηση αστοχίας της οποίας η μορφή προκύπτει από τον συνδυασμό καμπυλών παραβολικής μορφής, στη δε δεύτερη μέθοδο στην αρχική θεώρηση αστοχίας τύπου σφήνας.

Τέλος έγιναν αναλύσεις οι οποίες εξέταζαν την επιρροή του ανυποστήρικτου τμήματος d σε σχέση με την πίεση αστοχίας, εδάφους με γωνία τριβής φ>20° και συνοχή c για συντελεστή ασφαλείας ίσο με τη μονάδα, από τι οποίες προέκυψε ο τύπος 2.5, ο οποίος θα χρησιμοποιηθεί στο 4^{ο} κεφάλαιο για τον έμμεσο υπολογισμό της απαιτούμενης πυκνότητας του καννάβου αγκυρίων μέσω της ισοδύναμης πίεσης, για d=0.

$$p_f=\gamma D\left(\frac{(2+3\frac{d}{D})^{6\tan\phi'}}{18\tan\phi'}-0.05\right)-\frac{c'}{\tan\phi'} \quad (2.5)$$

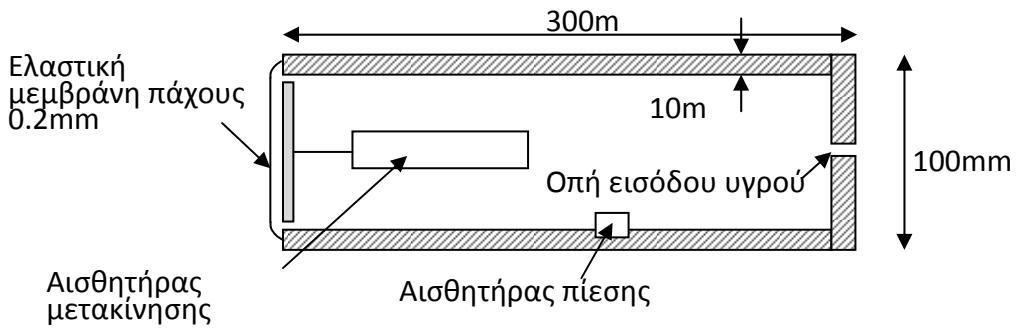
Με την δημοσίευσή αυτή οι Pieter A. Vermeer, Nico Ruse, Thomas Marcher εξέτασαν ακόμα, την επιρροή του μήκους ανυποστήρικτου τμήματος από το μέτωπο της σήραγγας μέχρι την άμεση υποστήριξη, την επιρροή του μεγέθους της διαμέτρου D, την επιρροή της γεωμετρίας της διατομής, καθώς και την επιρροή της ύπαρξης στρώσεων διαφορετικών εδαφικών παραμέτρων στο μέτωπο της σήραγγας σε σχέση με την πίεση αστοχίας και την τιμή του συντελεστή ασφαλείας ευστάθειας του μετώπου, τα οποία δεν θα παρουσιαστούν, διότι δεν διερευνήθηκαν στην παρούσα διπλωματική εργασία.

2.5.2 Πειραματικές Μέθοδοι

2.5.2.1 Pierre Chambon & Jean-Francois Corte, 1994

Με δημοσίευσή τους το 1994 με τίτλο «Οι Αβαθείς Σήραγγες σε Εδάφη Χωρίς Συνοχή: Η Ευστάθεια του Μετώπου της Σήραγγας – Shallow Tunnels in Cohesionless Soil: Stability of Tunnel Face» οι Pierre Chambon & Jean-Francois Corte [2] παρουσιάζουν τα αποτελέσματα που προέκυψαν από πειράματα σε φυγοκεντριστή σε μια προσπάθεια προσδιορισμού της πίεσης αστοχίας p_f καθώς και της μορφής αστοχίας του μετώπου της σήραγγας.

Κατασκευάστηκαν δύο τύποι προσομοιώματος το LCPC και το RUB, με την πρώτη πειραματική προσομοίωση έγινε διερεύνηση της ευστάθειας του μετώπου της σήραγγας με άμεση υποστήριξη μέχρι το μέτωπο, ενώ με τη δεύτερη πειραματική προσομοίωση εξετάστηκε η επιρροή του μήκους ανυποστήρικτου τμήματος μεταξύ του μετώπου και της ασπίδας, για τη μηχανική διάνοιξη σήραγγας, ή της άμεσης υποστήριξης, στην περίπτωση που έχουμε διάνοιξη με συμβατικό τρόπο. Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας θα εξεταστούν μόνο τα αποτελέσματα του πρώτου πειράματος, αφού η απόσταση της άμεσης υποστήριξης από το μέτωπο σε όλες τις αναλύσεις που έγιναν στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας, κρατήθηκε σταθερή και ίση με την ελάχιστη εφαρμόσιμη στην κατασκευή τιμή του 1m. Το πειραματικό προσομοίωμα LCPC βλ. σχήμα 2.9 αποτελείται από ένα άκαμπτο μεταλλικό κύλινδρο διαμέτρου 100mm ο οποίος στο τέλος του σφραγίζεται από μια ελαστική μεμβράνη πάχους 0.2m που στην εσωτερική πλευρά της είναι τοποθετημένος ένας αισθητήρας μετατόπισης. Η πίεση μέσα στον σωλήνα καθορίζεται μέσω ενός ανοίγματος που βρίσκεται στην άλλη άκρη του κυλίνδρου ενώ μετριέται με τη βοήθεια αισθητήρων πίεσης εντός του κυλίνδρου.

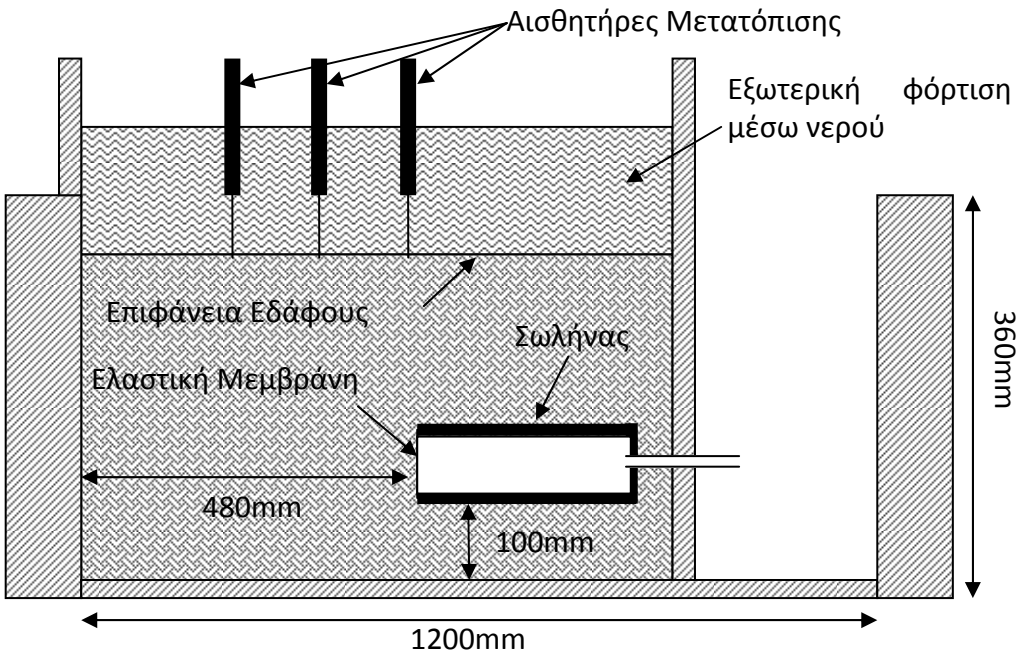


Σχήμα 2.9. Κυλινδρικό Προσομοίωμα Σήραγγας (Chambon & Corte, 1994.)

Το έδαφος θεωρήθηκε ξηρή άμμος με ειδικό βάρος που κυμαινόταν από γ=15.3÷16.1 KN/m^3 με αντίστοιχες πυκνότητες d=0.65÷0.92. Το πείραμα εκτελέστηκε με και χωρίς κατανεμημένο φορτίο στην επιφάνεια του εδάφους. Δύο τύποι υποστήριξης του μετώπου αναπαράχθηκαν. Ο $1^{ος}$ τρόπος με υδροστατική πίεση ώστε να προσομοιωθεί η μηχανική διάνοιξη τύπου slurry shield και ο $2^{ος}$ τρόπος με ομοιόμορφη πίεση ώστε να προσομοιωθεί η μηχανική διάνοιξη τύπου compressed air shield ο οποίος και θα εξεταστεί στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής. Το βάθος εκσκαφής κυμάνθηκε μεταξύ C/D=0.5÷4 ενώ το πείραμα έγινε για σήραγγες με διάμετρο D=5m, 10m, 13m.

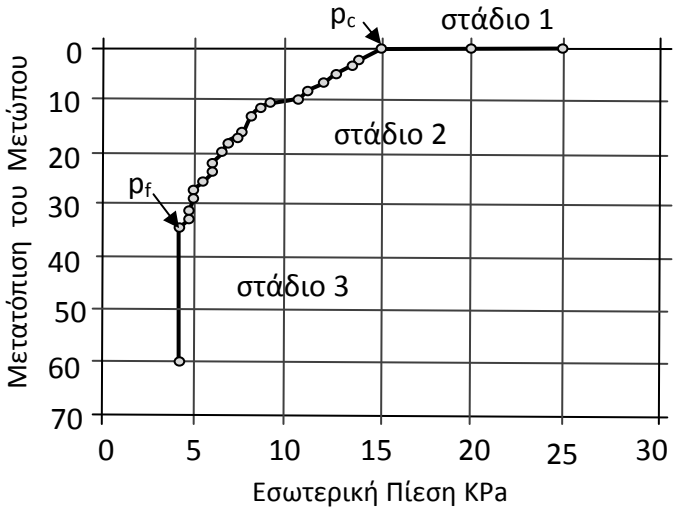
Κατά την προετοιμασία του πειράματος η άμμος κατανέμεται ομοιόμορφα μέσα στο άκαμπτο δοχείο βλ. σχήμα 2.10. Το προσομοίωμα της σήραγγας τοποθετείται πάνω στην πρώτη στρώση άμμου και η τοποθέτηση της άμμου συνεχίζεται σε χρωματιστές στρώσεις. Η πίεση μέσα στο προσομοίωμα κατά τη διάρκεια της προετοιμασίας και της επιτάχυνσης κρατιέται σταθερή και ίση με τις γεωστατικές τάσεις στο κέντρο της σήραγγας. Έπειτα η πίεση στο μέτωπο της σήραγγας ελαττώνεται μέχρι να συμβεί η αστοχία. Η αστοχία καθορίζεται από μετρήσεις της οριζόντιας μετατόπισης στο μέτωπο της σήραγγας. Επιπλέον καταγράφεται η κατανομή των πιέσεων μέχρι την αστοχία.

Η μορφή της γεωμετρίας της αστοχίας προσδιορίζεται μετά το τέλος του πειράματος με διαβροχή της άμμου και δημιουργία τομών σε διαφορετικά σημεία. Για κάθε τομή η μορφή της αστοχίας σχηματίζεται από προσεκτική τοποθέτηση σε χαρτί των θέσεων των στρώσεων της χρωματιστής άμμου.



Σχήμα 2.10. Δοχείο φυγοκεντρικού Προσομοιώματος (1200mm X 800mm) (Chambon & Corte, 1994.)

Τα αποτελέσματα του πειράματος εμφανίζονται ως διαγράμματα τύπου p/u βλ σχήμα 2.11. Από τα διαγράμματα προέκυψε ότι το φαινόμενο της αστοχίας χωρίζεται σε τρία στάδια. Στο πρώτο στάδιο όπου με μείωση της εσωτερικής πίεσης το μέτωπο παραμένει ευσταθές και καμία μετακίνηση δεν παρατηρείται. Στο δεύτερο στάδιο όπου παρατηρήθηκε ότι με μείωση της εσωτερικής πίεσης αυξάνονται οι μετακινήσεις στο μέτωπο της σήραγγας και τέλος στο τρίτο στάδιο όπου είναι το στάδιο κατά το οποίο έχουμε την αστοχία.



Σχήμα 2.11. Η Εξέλιξη στο Μέτωπο της Σήραγγας των Οριζόντιων Μετατοπίσεων σε Σχέση με την Μείωση της Εσωτερικής Πίεσης για H/D=2. (Chambon & Corte, 1994.)

Όπως φαίνεται από το διάγραμμα η πίεση κατά την οποία ξεκινάνε οι μετακινήσεις ονομάζεται χαρακτηριστική πίεση p_c, ενώ η πίεση κατά την οποία έχουμε αστοχία του μετώπου ονομάζεται πίεση αστοχίας p_f. Κατά την εκτέλεση του πειράματος παρατηρήθηκε επίσης ότι αν κατά τη διάρκεια του $2^{ου}$ σταδίου σταθεροποιηθεί ή αυξηθεί η τιμή της εσωτερικής πίεσης τότε οδηγούμαστε σε ευστάθεια του μετώπου.

Από τα αποτελέσματα που προέκυψαν, από τα πειράματα, παρατηρήθηκε ότι η παράμετρος του ειδικού βάρους έχει πολύ μικρή επιρροή στην τιμή της πίεσης αστοχίας, ακόμα παρατηρήθηκε ότι ούτε το βάθος της σήραγγας επηρεάζει σημαντικά την πίεση αστοχίας βλ. πίνακες 2.1 & 2.2. Αντίθετα πολύ μεγάλη επιρροή έχει η τιμή της διαμέτρου D βλ. σχήμα 2.12 & 2.13

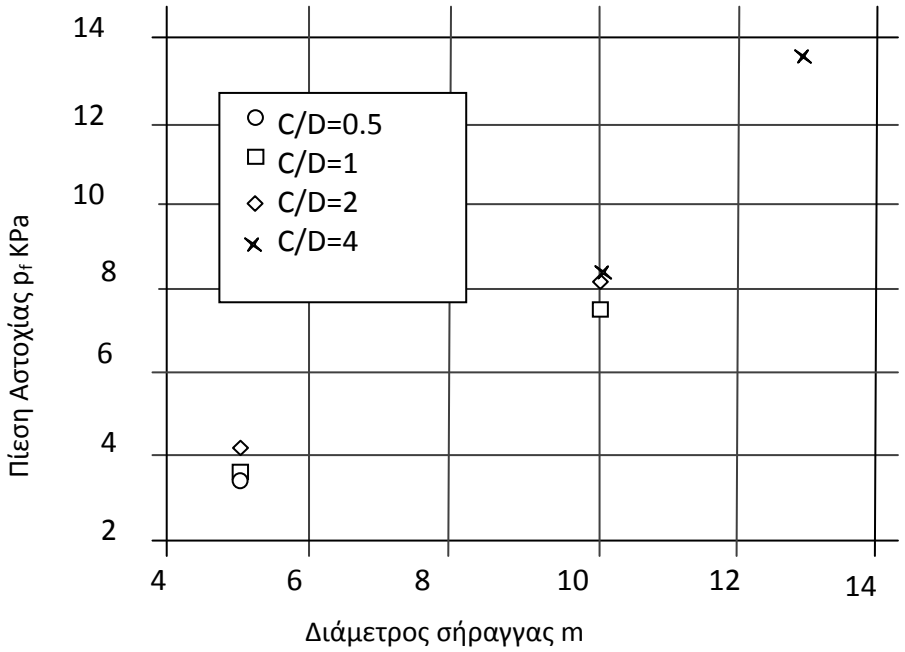
Πίνακας 2.1.Επιρροή της Πυκνότητας στην Πίεση Αστοχίας για Σήραγγα Διαμέτρου D=5m σε Ξηρή Άμμο (Chambon & Corte, 1994.)

C/D -	γ [KN/m^3]	p_f [KPa]	p_c [KPa]
0.5	16.1	3.6	6.0
0.5	15.3	4.2	6.1
1	16.1	3.5	20.1
1	15.3	5.5	20.2
2	15.3	4.2	20.1

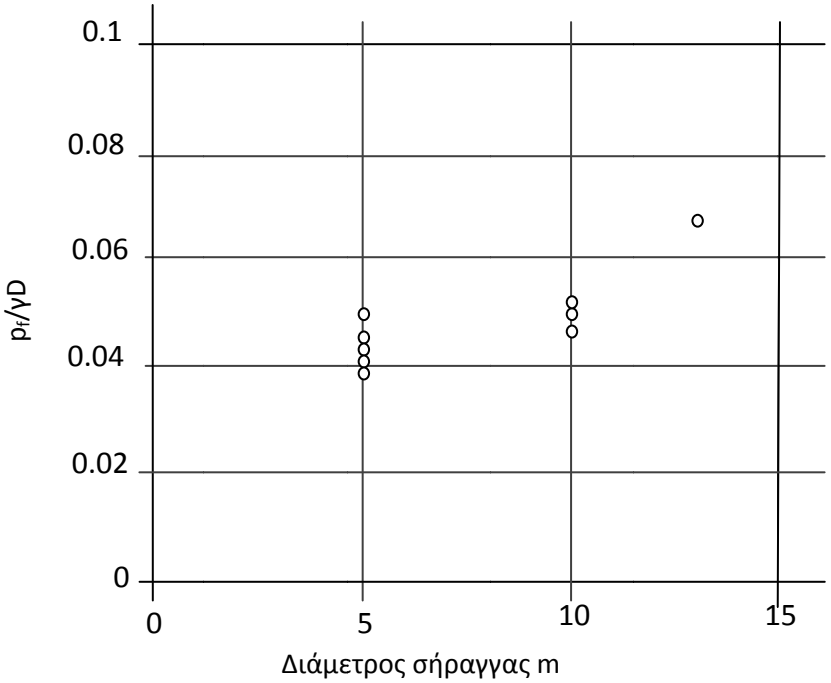
Παρατηρήθηκε ακόμα βλ. πίνακα 2.1 ότι για μικρά βάθη η τιμή της χαρακτηριστικής πίεσης βρίσκεται πολύ κοντά στην τιμή της πίεσης αστοχίας, γεγονός που σημαίνει ότι η αστοχία του μετώπου γίνεται ακαριαία, το οποίο καθιστά την εκσκαφή σηράγγων σε μικρά βάθη ακόμα πιο επικίνδυνη.

Πίνακας 2.2. Η Πίεση Αστοχίας για Διάφορα Πειράματα LCCP=N, RUB=B (Chambon & Corte, 1994.)

Τύπος Προσομοιώματος	D [m]	C/D -	p_f [KPa]	γ [KN/m^3]
N/N	5	0.5	3.6	16.1
N/N	5	0.5	3.3	16.1
N/N	5	1	3.5	16.1
N/N	5	1	3.0	16.1
N/B	5	1	3.3	16.1
N/B	10	1	7.4	16.0
N/N	5	2.0	4.0	16.1
N/B	10	2.0	8.0	16.0
N/B	10	4.0	8.2	16.0
B/B	13	4.0	13.4	16.2

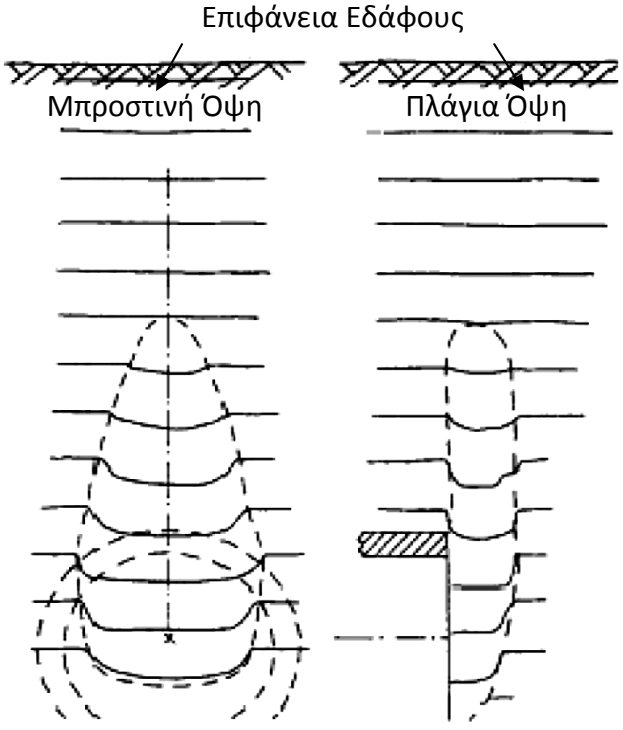


Σχήμα 2.12. Η Επιρροή της Διαμέτρου της Σήραγγας στην Τιμή της Πίεσης Αστοχίας(Chambon & Corte, 1994.)

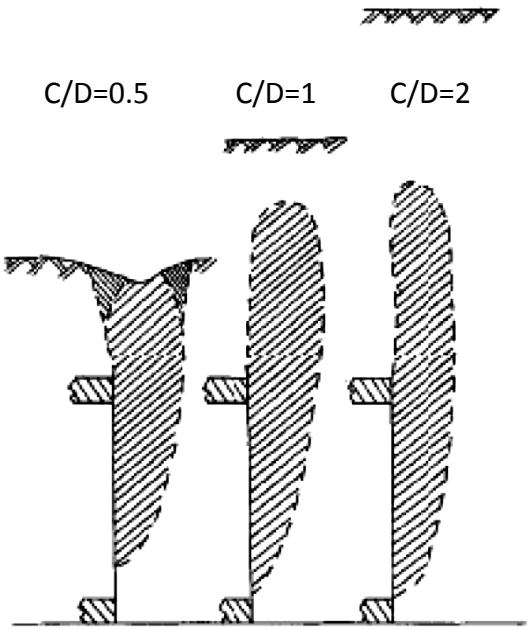


Σχήμα 2.13. Διερεύνηση της Επίδρασης του Μεγέθους της Διαμέτρου στις Συνθήκες Αστοχίας. (Chambon & Corte, 1994.)

Η μορφή της αστοχίας σε όλες τις περιπτώσεις έχει σχήμα βολβού βλ. σχήμα 2.14 & 2.15



Σχήμα 2.14. Αστοχία Σχήματος Βολβού για C/D=2. (Chambon & Corte, 1994.)



Σχήμα 2.15. Αστοχία Σχήματος Βολβού για Διαφορετικές τιμές H/D. (Chambon & Corte, 1994.)

Από το σχήμα 2.15 φαίνεται ότι μόνο στην περίπτωση C/D=0.5 η αστοχία φτάνει στην επιφάνεια του εδάφους. Σε όλες τις άλλες περιπτώσεις ο μηχανισμός της αστοχίας σχηματίζεται κάτω από αυτήν.

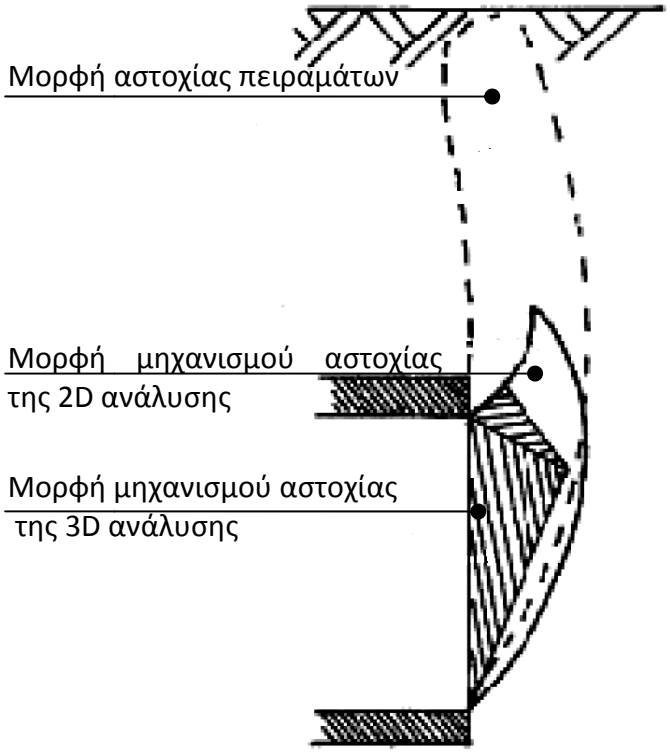
Τέλος έγινε σύγκριση της μορφής και του μεγέθους της αστοχίας που προέκυψε από τα πειράματα με δύο αναλυτικές μεθόδους υπολογισμού της αστοχίας, της μεθόδου των Chambon & Corte οι οποίοι πρότειναν ένα μηχανισμό αστοχίας σε δύο διαστάσεις, ο οποίος θα αποτελείται από τη σύνθεση δύο λογαριθμικών καμπυλών μορφής έλικας και της μεθόδου των Leca & Dormieux, οι οποίοι προτείνουν ένα τρισδιάστατο μηχανισμό αστοχίας μορφής άκαμπτων κώνων βλ. πίνακα 2.3 & σχήμα 2.16.

Πίνακας 2.3. Σύγκριση Μεταξύ Θεωρητικών και Πειραματικών Αποτελεσμάτων της Πίεσης Αστοχίας (Chambon & Corte, 1994.)

Πειραματικά Αποτελέσματα Μελέτη των Pierre Chambon & Jean-Francois Corte					
p_f [KPa]					
D 5m		D 10m		D 13m	
3.3		7.4		13.4	
Θεωρητικά Αποτελέσματα					
Τύπος προσομοιώματος	c [KPa]	φ [°]	D 5m	D 10m	D 13m
2D	0	38	8.9	17.9	23.3
3D	0	38	5.6	11.2	14.6
2D	0	42	7.3	14.6	19.2
3D	0	42	4.8	9.6	12.6
2D	5	38	2.5	5.0	6.6
3D	5	38	-	4.8	8.2
2D	5	42	1.8	3.5	4.6
3D	5	42	-	4.0	7.0

Όπως φαίνεται από τον παραπάνω πίνακα τα αποτελέσματα των 2D αναλύσεων υπερεκτιμούν την πίεση αστοχίας, αφού υποεκτιμούν τη δυνατότητα του εδάφους να παραλάβει τάσεις μέσω της τοξωτής λειτουργίας. Αντίθετα οι τιμές των αποτελεσμάτων των 3D αναλύσεων βρίσκονται σε ικανοποιητικό βαθμό κοντά στις τιμές που προέκυψαν από τα πειράματα.

Όσο αφορά τη μορφή τις αστοχίας τα πειραματικά αποτελέσματα διαφέρουν ως προς το ύψος της κατακόρυφης εξάπλωσης της αστοχίας το οποίο εμφανίζεται μεγαλύτερο βλ σχήμα 2.16.



Σχήμα 2.16. Σύγκριση Μεταξύ Θεωρητικών και Πειραματικών Προσομοιωμάτων Αστοχίας. (Chambon & Corte, 1994.)

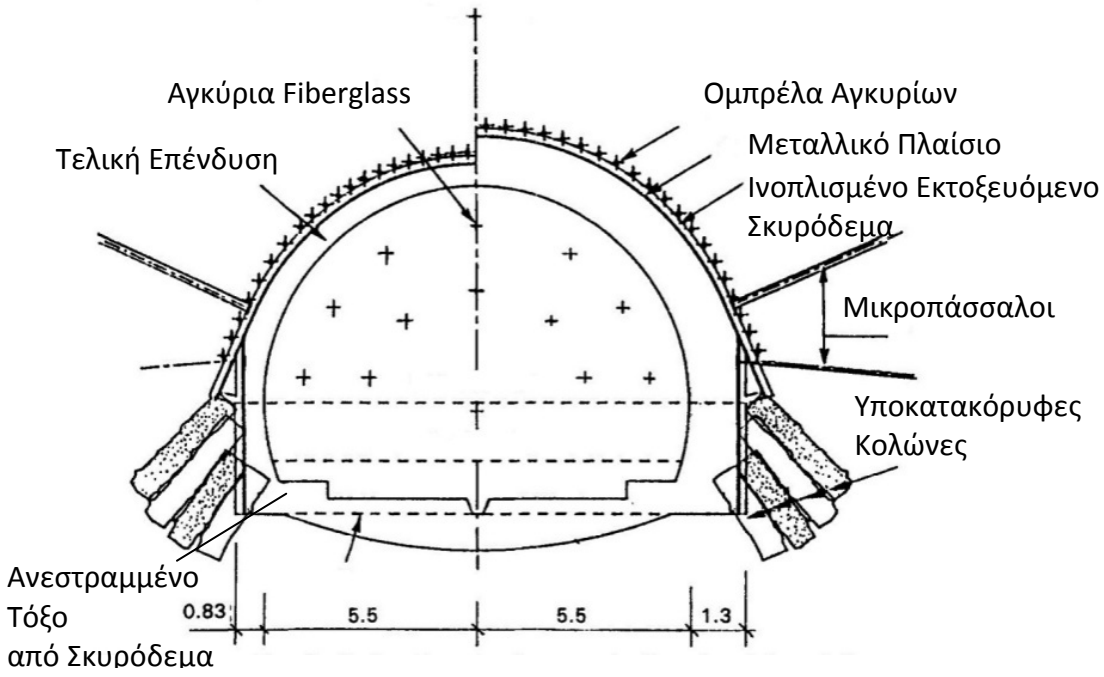
2.6 Θεωρίες Υπολογισμού Αγκυρίων Fiberglass

2.6.1 Αριθμητικές Μέθοδοι

2.6.1.1 D. Peila, 1994

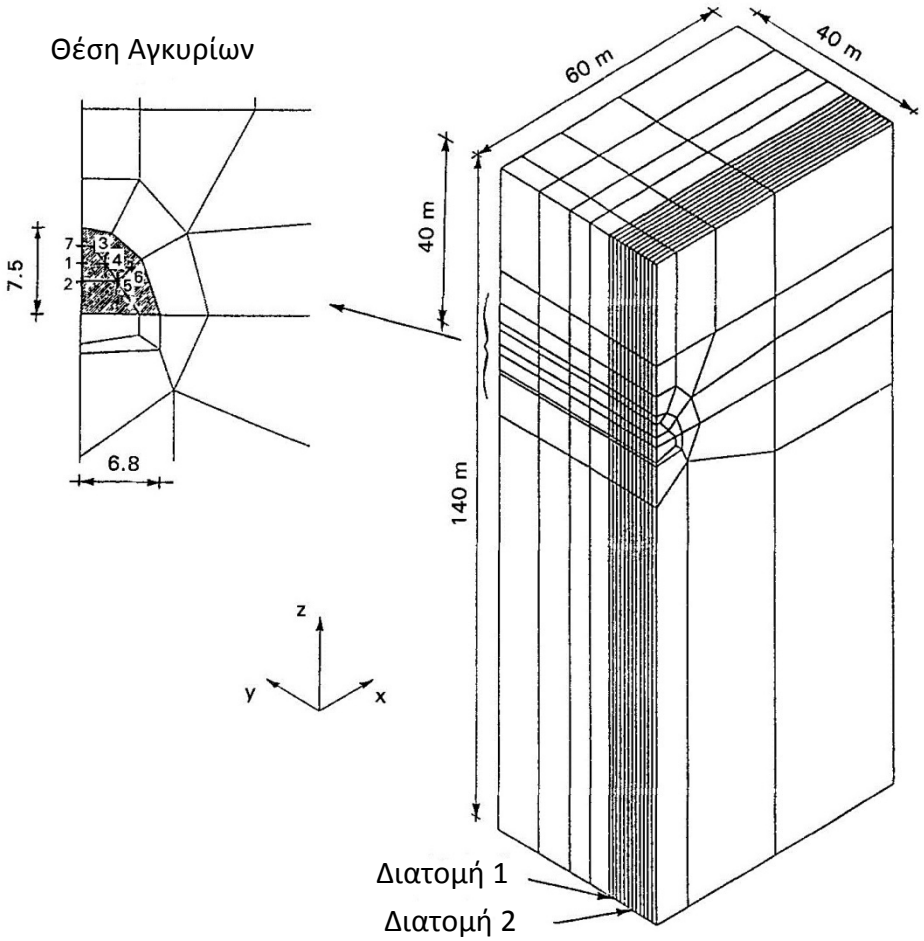
Με τη δημοσίευση του το 1994 με τίτλο «Θεωρητική Μελέτη για την Επιρροή του Οπλισμού στην Ευστάθεια του Μετώπου της Σήραγγας – A Theoretical Study of Reinforcement Influence on the Stability of a Tunnel Face» (3) ο D.Peila μέσω τρισδιάστατων αναλύσεων με πεπερασμένα στοιχεία εξετάζει την επιρροή του οπλισμού του μετώπου της σήραγγας ως προς τις μετακινήσεις του μετώπου και επομένως ως προς την ευστάθεια του και κάνει μια πρώτη προσπάθεια αντιστοίχισης της ομοιόμορφης πίεσης με τον οπλισμό. Παράλληλα εξετάζει κατά πόσο ο οπλισμός του μετώπου επηρεάζει τις ακτινικές παραμορφώσεις στη διατομή, αλλά και την φόρτιση της άμεσης υποστήριξης, τα οποία δεν εξετάζονται στην παρούσα διπλωματική εργασία.

Μέσω 3D ελαστοπλαστικών αναλύσεων προσομοιώθηκαν τα γεωτεχνικά χαρακτηριστικά και η γεωμετρία σήραγγας του ιταλικού αυτοκινητόδρομου, η οποία είχε πρόβλημα με την ευστάθεια του μετώπου και χρειάστηκε οπλισμός του, ώστε να συνεχιστεί η κατασκευή της με ασφάλεια. Ο σχηματισμός στον οποίο διανοίχτηκε η σήραγγα ήταν μοραίνες, εδαφικό υλικό από τους παγετώνες, ενώ για τις αναλύσεις επιλέχθηκε γωνία τριβής φ=28° και συνοχή c=1KPa. Τα μέτρα άμεση υποστήριξης της διατομής που κατασκευάστηκε φαίνονται στο σχήμα 2.17.



Σχήμα 2.17. Τυπική Διατομή Άμεσης Υποστήριξης (Peila,1994)

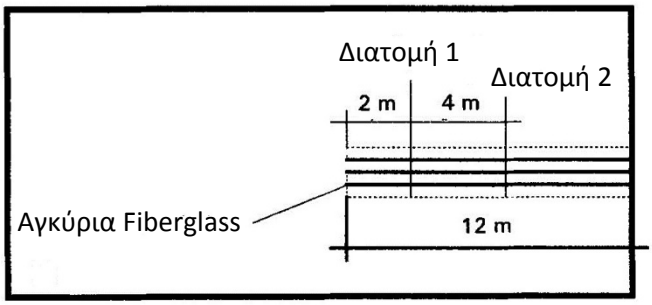
Η διατομή που προσομοιώθηκε τελικά για τις αναλύσεις φαίνεται στο σχήμα 2.18. Λόγω συμμετρίας προσομοιώθηκε η μισή διατομή, ενώ προσοχή δόθηκε στις διαστάσεις του προσομοιώματος ώστε αυτές να είναι επαρκείς για να μην επηρεάζονται τα αποτελέσματα των αναλύσεων.



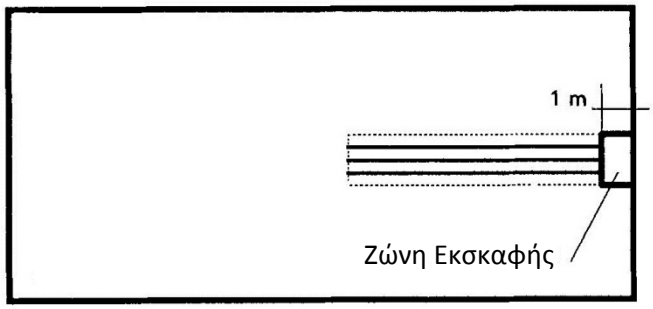
Σχήμα 2.18. Λεπτομέρειες Γεωμετρίας Πεπερασμένων Στοιχείων που Χρησιμοποιήθηκε στις Αναλύσεις (Peila,1994)

Τα βήματα τα οποία προσομοιώθηκαν και αντιστοιχούν στα βήματα εκσκαφής και άμεσης υποστήριξης της σήραγγας στην πιο σύνθετη περίπτωση φαίνονται στο σχήμα 2.19. Ήλωση του μετώπου με 12m αγκύρια, εκσκαφή με βήμα 1m, περαιτέρω εκσκαφή με βήμα 1m και τοποθέτηση άμεσης υποστήριξης σε απόσταση 1m από το μέτωπο. Τα μέτρα άμεσης υποστήριξης προσομοιώθηκαν με στοιχεία τύπου κελύφους, ενώ τα αγκύρια του μετώπου προσομοιώθηκαν με στοιχεία τύπου ράβδου.

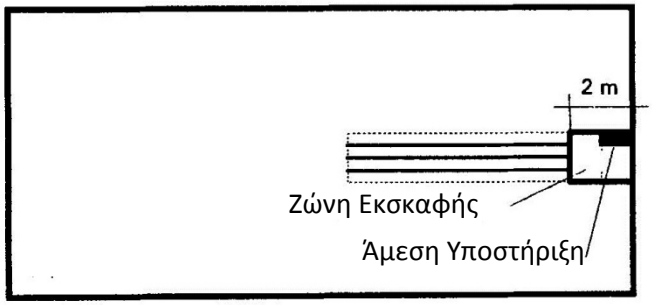
Τοποθέτηση Αγκυρίων Fiberglass 2^{η} & 4^{η} Περίπτωση



Φάση Εκσκαφής με βήμα 1m και Απενεργοποίηση 1m Μήκους Αγκυρίων



Φάση Εκσκαφής με Βήμα 1m και Τοποθέτηση Άμεσης Υποστήριξης Περίπτωση 3^{η} & 4^{η}



Σχήμα 2.19. Σχηματική Απεικόνιση των Σταδίων Εκσκαφής και Άμεσης Υποστήριξης τα οποία Προσομοιώθηκαν στην Ανάλυση με Πεπερασμένα Στοιχεία. (Peila,1994)

Όπως φαίνεται από το σχήματα 2.17, 2.18 & 2.19 δεν προσομοιώθηκε η ομπρέλα προπορείας στο θόλο της διατομής έτσι ώστε όλες οι τάσεις μπροστά από το μέτωπο να φορτίζουν μόνο τα αγκύρια οπλισμού του μετώπου. Η παραμετρική ανάλυση έγινε ως προς τα μέτρα υποστήριξης της σήραγγας και έτσι εξετάστηκαν οι παρακάτω πέντε περιπτώσεις υποστήριξης:

- περίπτωση 1η εκσκαφή χωρίς οπλισμό του μετώπου και χωρίς μέτρα άμεσης υποστήριξης
- περίπτωση 2η εκσκαφή με οπλισμό του μετώπου αλλά χωρίς μέτρα άμεσης υποστήριξης
- περίπτωση 3η εκσκαφή χωρίς οπλισμό του μετώπου αλλά με μέτρα άμεσης υποστήριξης
- περίπτωση 4η εκσκαφή με οπλισμό του μετώπου και με μέτρα άμεσης υποστήριξης
- περίπτωση 5η εκσκαφή με ομοιόμορφη πίεση υποστήριξης στο μέτωπο και με μέτρα άμεσης υποστήριξης

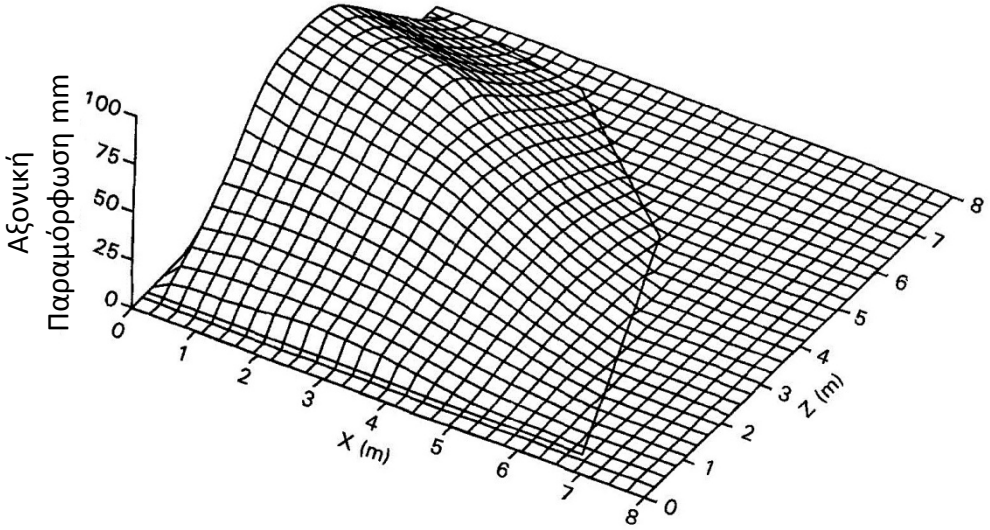
Οι παράμετροι των αναλύσεων φαίνονται στον παρακάτω πίνακα 2.4

Πίνακας 2.4. Παράμετροι που Χρησιμοποιήθηκαν στις Αναλύσεις (Peila,1994)

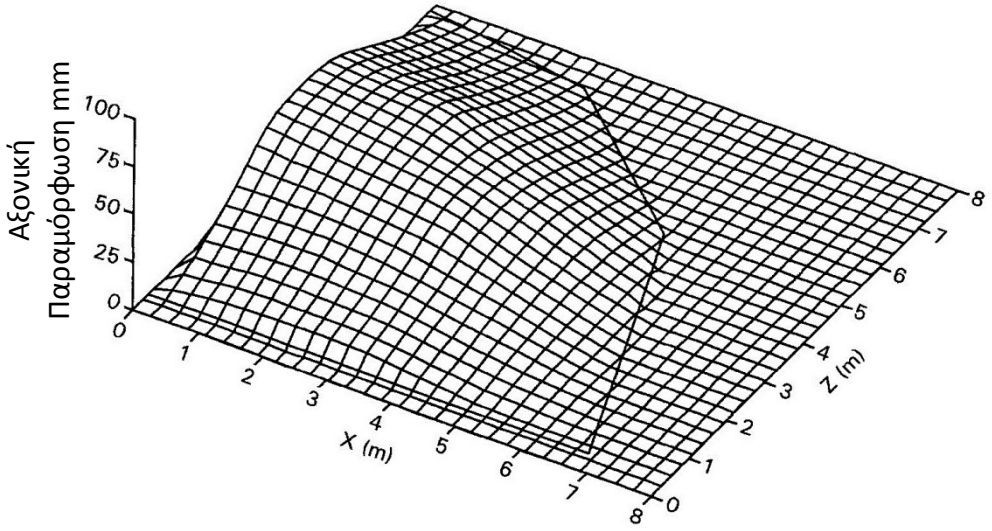
Χαρακτηριστικά		Μονάδες	Τιμή
Γεωμετρία	Υπερκείμενα Σήραγγας	[m]	140
	Εμβαδό Διατομής Εκσκαφής	[m^2]	70
	Βήμα Εκσκαφής	[m]	1
Μέτρα Άμεσης Υποστήριξης	Πάχος	[m]	0.3
	Μέτρο Ελαστικότητας	[MPa]	15000
	Συντελεστής Poisson	-	0.18
Έδαφος	Μέτρο Ελαστικότητας Young	[MPa]	100
	Συντελεστής Poisson	-	0.3
	Ειδικό βάρος Εδάφους	[KN/m^3]	25
	Γωνία τριβής	[°]	28
	Συνοχή	[MPa]	0.001
Οπλισμός Μετώπου	Αριθμός Αγκυρίων Οπλισμού Μετώπου	-	11
	Μήκος Αγκυρίων	[m]	12
	Εσωτερική Διάμετρος Αγκυρίων	[mm]	40
	Εξωτερική Διάμετρος Αγκυρίων	[mm]	60
	Εφελκυστική Αντοχή	[MPa]	450
	Διατμητική Αντοχή	[MPa]	90
	Μέτρο Ελαστικότητας	[MPa]	15000

Από τα αποτελέσματα των αναλύσεων προέκυψε ότι η μέγιστη παραμόρφωση του μετώπου στην διατομή 1 ήταν:

- στην 1η περίπτωση 71mm βλ. σχήμα 2.20
- στην 2η περίπτωση 42mm
- στην 3η περίπτωση 74mm
- στην 4η περίπτωση 43mm βλ. σχήμα 2.21



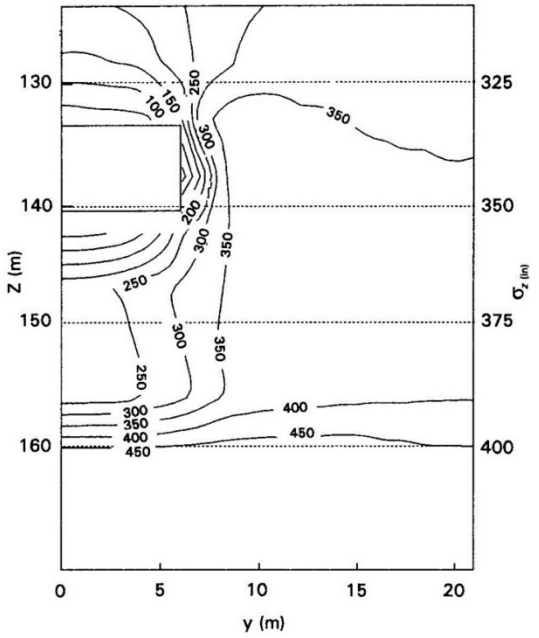
Σχήμα 2.20. Παραμόρφωση του Μετώπου όταν η Εκσκαφή Φτάνει στην Διατομή 1 Περίπτωση 1η (Peila,1994)



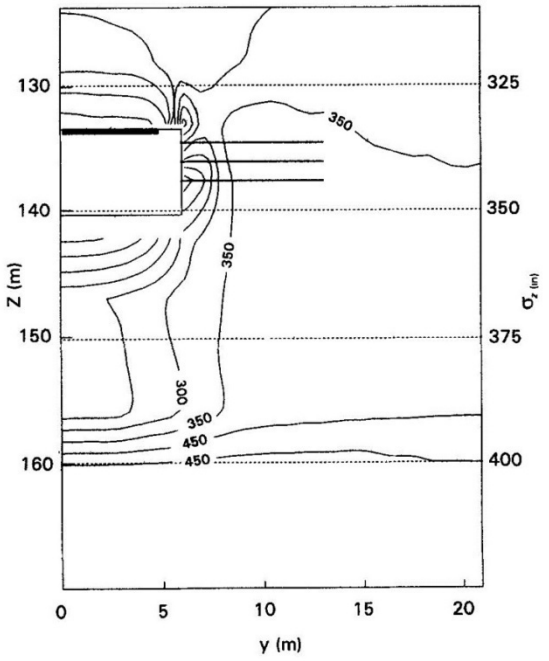
Σχήμα 2.21. Παραμόρφωση του Μετώπου όταν η Εκσκαφή Φτάνει στην Διατομή 1 Περίπτωση 4η (Peila,1994)

Όπως φαίνεται από τα παραπάνω νούμερα η όπλιση του μετώπου οδήγησε σε μείωση των παραμορφώσεων της τάξης του 40%.

Επίσης εξετάστηκε η κατανομή των κατακόρυφων τάσεων γύρω από τη σήραγγα βλ. σχήμα 2.22 & 2.23



Σχήμα 2.22. Κατανομή Τάσεων Μπροστά από το Μέτωπο Όταν η Εκσκαφή Βρίσκεται στη Διατομή 1 Περίπτωση 1η $\sigma_{z(in)}$ =Κατακόρυφες Επιτόπου Τάσεις Εκφρασμένες στην 10^4 Pa (Peila,1994)



Σχήμα 2.23. Κατανομή Τάσεων Μπροστά από το Μέτωπο Όταν η Εκσκαφή Βρίσκεται στη Διατομή 1 Περίπτωση 4η $\sigma_{z(in)}$ =Κατακόρυφες Επιτόπου Τάσεις Εκφρασμένες στην 10^4 Pa (Peila,1994)

Όπως φαίνεται από τη σύγκρισή τους οι οριζόντιες τάσεις κατά την y διεύθυνση των σχημάτων μεταβάλλονται από εφελκυστικές σε θλιπτικές γεγονός που συμβάλλει σημαντικά στην ευστάθεια του μετώπου.

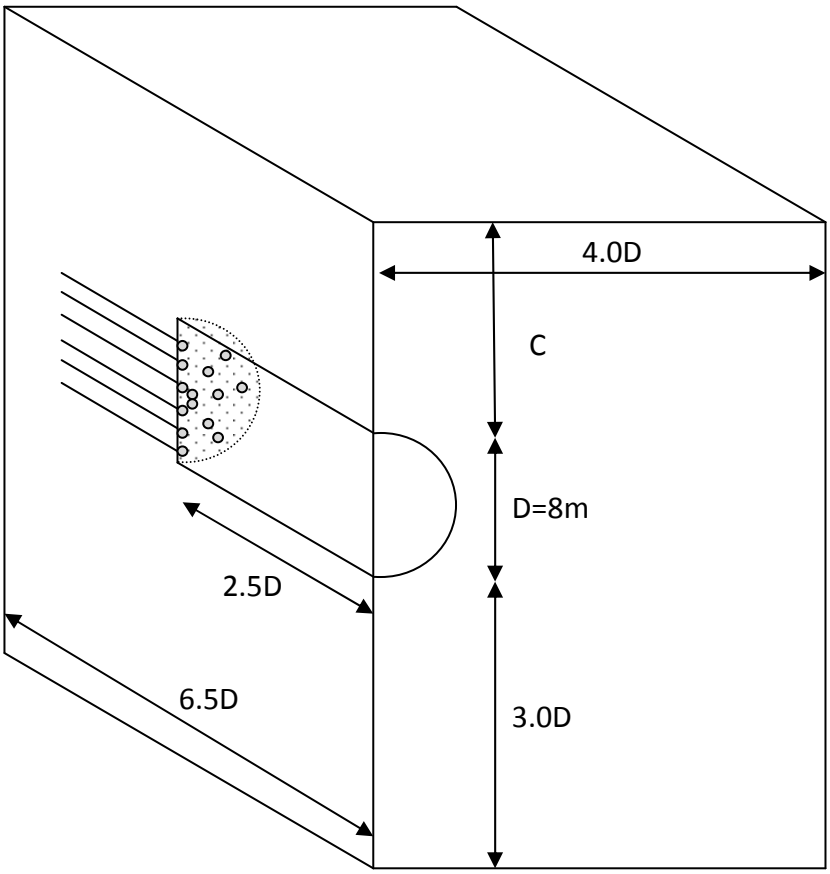
Τέλος για να εξακριβωθεί αν μια ομοιόμορφη πίεση στο μέτωπο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την προσομοίωση των αγκυρίων στο μέτωπο τα αποτελέσματα από την $5^{η}$ περίπτωση συγκρίθηκαν με αυτά της $4^{ης}$ περίπτωσης. Για το σκοπό αυτό έγινε μια παραμετρική ανάλυση, με μεταβλητή την τιμή της ομοιόμορφης πίεσης στο μέτωπο, μέχρι να βρεθεί η τιμή εκείνη που θα δώσει παρόμοια μετακίνηση μετώπου με την $4^{η}$ περίπτωση. Για αυτή την μελέτη η τιμή της ομοιόμορφης πίεσης που αντιστοιχούσε στα ίδια αποτελέσματα μετακίνησης βρέθηκε ότι ήταν 0.15MPa. Για επιβεβαίωση των αποτελεσμάτων κρατώντας σταθερά όλες τις παραμέτρους της $4^{ης}$ και $5^{ης}$ περίπτωσης έγιναν αναλύσεις με αλλαγή μόνο στην γωνία τριβής η οποία πήρε την τιμή φ=20°. Τα αποτελέσματα από αυτές τις αναλύσεις έδειξαν ότι η αντίστοιχη τιμή της ομοιόμορφης πίεσης φαίνεται να μην επηρεάζεται από την γωνία τριβής φ, αφού διατήρησε την τιμή της σε 0.15MPa.

2.6.1.2 Chungsik Yoo, 2001

Με την παρούσα δημοσίευση «Ανάλυση με Πεπερασμένα Στοιχεία Οπλισμένου Μετώπου Σήραγγας με Αγκύρια– Finite – Element Analysis of Tunnel Face Reinforced by Longitudinal Pipes» [4] το 2001 ο Chungsik Yoo κάνει μια διερεύνηση της επιρροής της πυκνότητας (αριθμού), του μήκους και της ακαμψίας των αγκυρίων στην ευστάθεια του μετώπου. Ακόμα καθορίζει χαρακτηριστικές τιμές για κάθε παράμετρο οπλισμού για τις οποίες βελτιστοποιείται η επίδραση του οπλισμού στην ευστάθεια του μετώπου της σήραγγας.

Για τις αναλύσεις προσομοιώθηκε με πεπερασμένα στοιχεία με το πρόγραμμα DIANA σήραγγα διαμέτρου 8m σε ένα ομογενή εδαφικό σχηματισμό. Η υποστήριξη της σήραγγας θεωρήθηκε ότι φτάνει μέχρι το μέτωπο εκσκαφής. Με αυτόν τον τρόπο η απελευθέρωση των τάσεων, λόγω της εκσκαφής στο μέτωπο της σήραγγας, είναι η μόνη αιτία που προκαλεί παραμόρφωση και μετακίνηση του εδαφικού σχηματισμού στο μέτωπο της σήραγγας.

Λόγω συμμετρίας προσομοιώθηκε η μισή διατομή, ενώ προσοχή δόθηκε στις διαστάσεις του προσομοιώματος ώστε αυτές να είναι επαρκείς για να μην επηρεάζονται τα αποτελέσματα των αναλύσεων βλ σχήμα 2.24. Οι παράμετροι οι οποίοι εξετάστηκαν φαίνονται στους πίνακες 2.5, 2.6 & 2.7



Σχήμα 2.24. Σχηματική Απεικόνιση της Γεωμετρίας του Προσομοιώματος. (Yoo, 2001.)

Πίνακας 2.5. Γεωμετρικές Παράμετροι που Χρησιμοποιήθηκαν στις Αναλύσεις (Yoo, 2001.)

C/D -	Διάμετρος [m]
1.5, 2.5, 5.5, 10	8

Πίνακας 2.6. Παράμετροι των Αγκυρίων Fiberglass που Χρησιμοποιήθηκαν στις Αναλύσεις (Yoo, 2001.)

Οπλισμός Αγκύρια Fiberglass			
Πυκνότητα Οπλισμού Λ [αριθμός αγκυρίων/m^2] N_p αριθμός αγκυρίων στη διατομή	Μήκος Αγκυρίων Fiberglass L_p [m]	Μέτρο Ελαστικότητας Young Ep [GPa]	Διάμετρος d [mm]
0.24_12, 0.3_18, 0.6_30, 1.08_54, 1.43_72, 1.80_90	0.1D, 0.3D, 0.5D, 1.0D, 1.5D, 2.0D	5, 10, 15, 20, 30	50

$$\Lambda=\frac{N_p}{A_t} \quad (2.6)$$

όπου A_t το εμβαδό της επιφάνειας του μετώπου της σήραγγας

$$J_p=E_pA_p \quad (2.7)$$

όπου A_p το εμβαδό της διατομής των αγκυρίων fiberglass και J_p η αξονική ακαμψία αυτών.

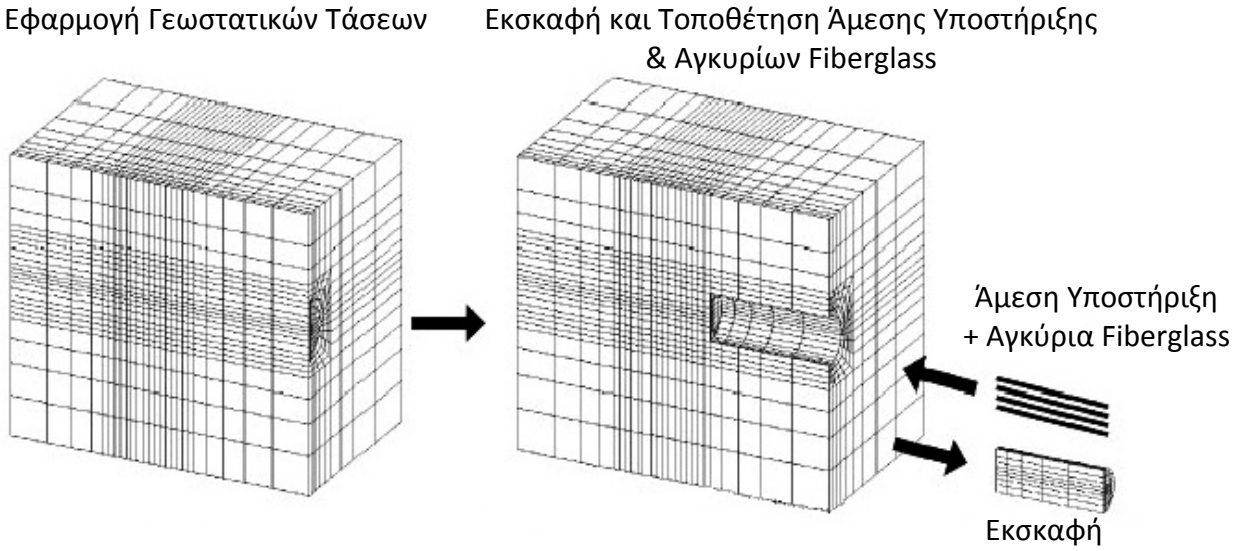
Πίνακας 2.7. Γεωτεχνικές Παράμετροι που Χρησιμοποιήθηκαν στις Αναλύσεις (Yoo, 2001.)

Εδαφικός Σχηματισμός			
Χαρακτηριστικά	G1	G2	G3
Συνοχή c ή c_u [KPa]	5	30	$20+0.2\sigma'_v$
Γωνία τριβής φ [°]	35	20	0
Γωνία Διασταλτικότητας ψ [°]	6	4	0
Μέτρο Παραμορφωσιμότητας E_s [KPa]	5000+1500Z		$300c_u$
Συντελεστής Οριζόντιων Ωθήσεων K_o	0.5	0.7	1.0
Συντελεστής Poisson ν	0.3	0.4	0.49
Ειδικό Βάρος Εδάφους γ [KN/m^3]	20		

Τα βήματα τα οποία προσομοιώθηκαν και αντιστοιχούν στα βήματα εκσκαφής και άμεσης υποστήριξης της σήραγγας φαίνονται στο σχήμα 2.25.

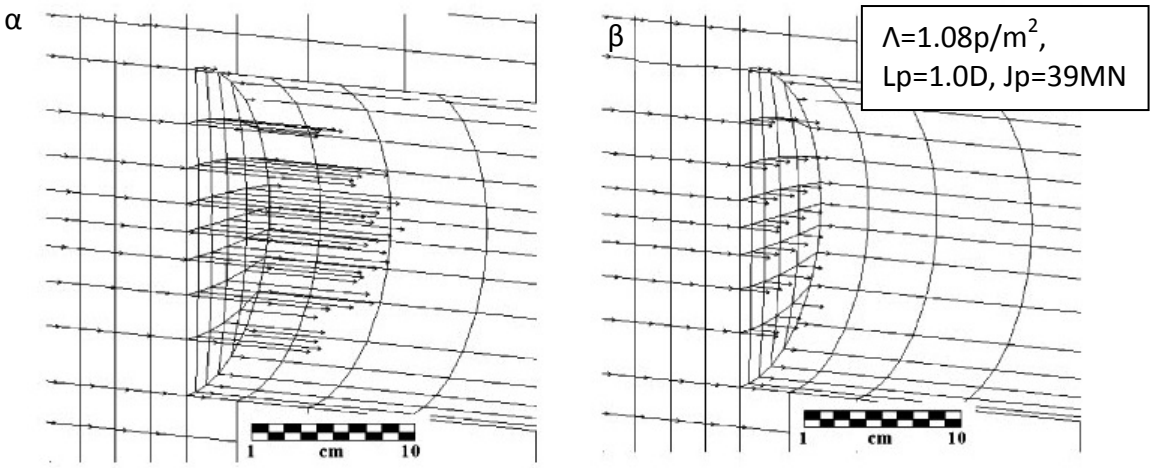
- Βήμα 1^o : Εφαρμογή των γεωστατικών τάσεων
- Βήμα 2^o : Εκσκαφή, ήλωση του μετώπου και τοποθέτηση άμεσης υποστήριξης μέχρι το μέτωπο ταυτόχρονα.

Τα μέτρα άμεσης υποστήριξης προσομοιώθηκαν με δέσμευση των κόμβων στην περιφέρεια του κυλίνδρου, ενώ τα αγκύρια του μετώπου προσομοιώθηκαν με στοιχεία τύπου ράβδου.



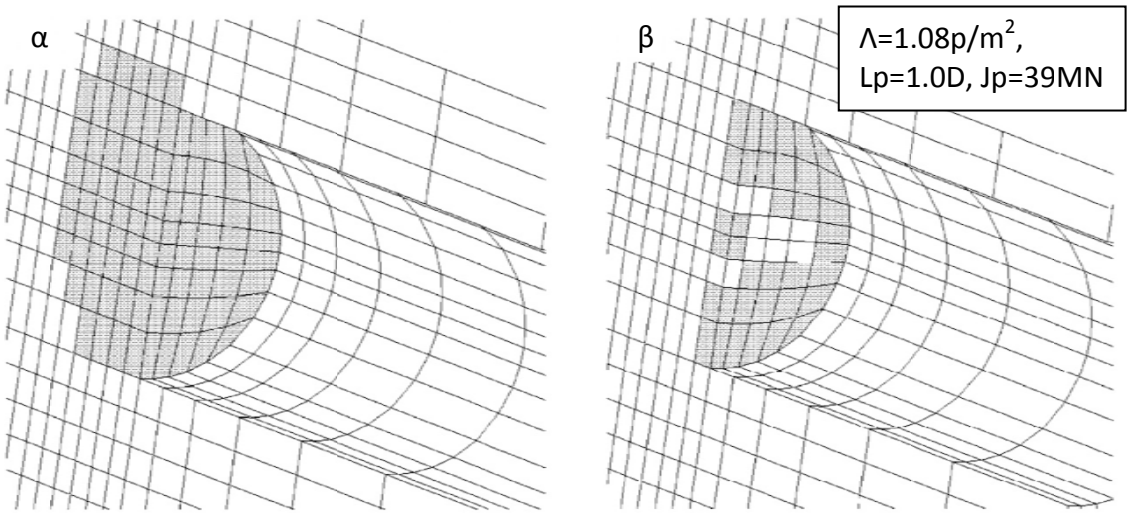
Σχήμα 2.25. Βήματα Ανάλυσης των Πεπερασμένων Στοιχείων του Προσομοιώματος (Yoo, 2001.)

Αρχικά εξετάστηκε η επίδραση του οπλισμού του μετώπου ως προς την μετατόπισή του και ως προς την έκταση της πλαστικής ζώνης μπροστά από το μέτωπο βλ. σχήμα 2.26 & 2.27



Σχήμα 2.26. Διανύσματα Μετατόπισης για Εδαφικό Σχηματισμό Τύπου G_1 και C/D=2.5 α) σε Ανυποστήρικτο Μέτωπο β) σε Οπλισμένο Μέτωπο (Yoo, 2001.)

Όπως φαίνεται από το σχήμα 2.26 οι μέγιστες μετατοπίσεις στην περίπτωση α) παρατηρούνται στο κέντρο του μετώπου, ενώ στην περίπτωση β) έχουμε μια σχεδόν ομοιόμορφη κατανομή, σαφώς με μέγιστες τιμές πολύ μικρότερες από την περίπτωση του ανυποστήρικτου μετώπου, γεγονός που οδηγεί στο συμπέρασμα ότι αφενός η όπλιση του μετώπου οδηγεί σε μείωση των μετακινήσεων και αφετέρου λειτουργεί σαν ομοιόμορφη πίεση ευστάθειας.



Σχήμα 2.27. Έκταση Πλαστικής Ζώνης Γύρω από τη Σήραγγα για Εδαφικό Σχηματισμό Τύπου G_1 και C/D=2.5 α) σε Ανυποστήρικτο Μέτωπο β) σε Οπλισμένο Μέτωπο (Yoo, 2001.)

Όπως φαίνεται από το παραπάνω σχήμα ο οπλισμός του μετώπου οδηγεί σε μείωση της έκτασης της πλαστικής ζώνης μπροστά από το μέτωπο αφού στην περίπτωση α) αυτή εκτείνεται περίπου 0.5D μπροστά από το μέτωπο ενώ στην β) περίπτωση περιορίζεται στο μέτωπο της σήραγγας.

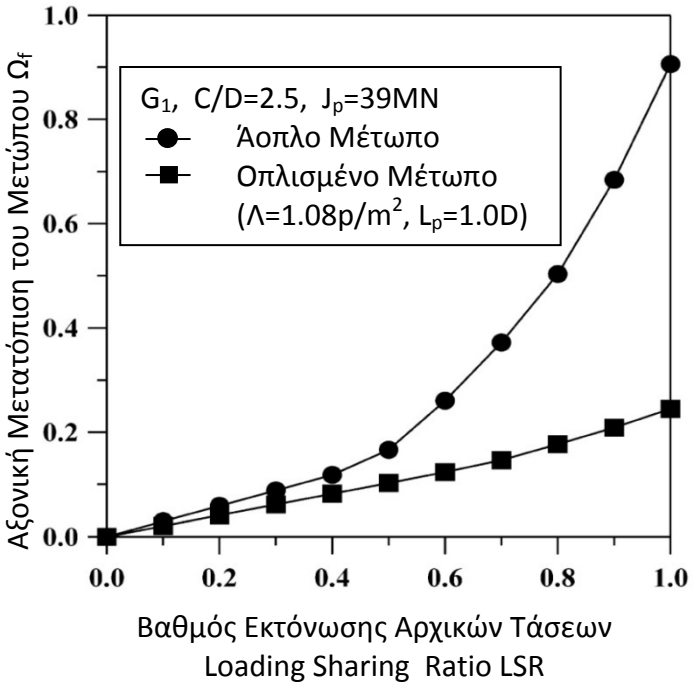
Για την καλύτερη κατανόηση του φαινομένου σχεδιάστηκε το παρακάτω διάγραμμα Ω_f-LSR σχήμα 2.28

οπού Ω_f η αδιάστατη έκφραση της αξονικής παραμόρφωσης στο κέντρο της σήραγγας δ_z

$$\Omega_f=\frac{\delta_z E_s}{DP_o} \quad (2.8)$$

οπού LSR ο βαθμός εκτόνωσης των αρχικών τάσεων ή το ποσοστό των αρχικών τάσεων το οποίο μεταφέρεται από το έδαφος πριν την τοποθέτηση της υποστήριξης, με P_o και P_i την αρχική αξονική τάση και την πίεση στο μέτωπο αντίστοιχα.

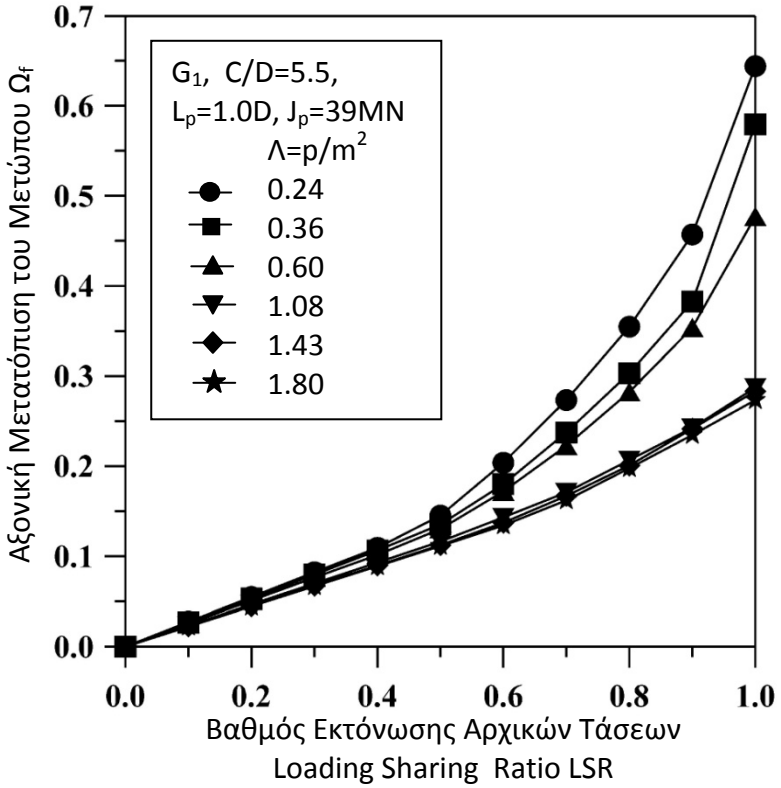
$$LSR=\frac{P_o-P_i}{P_o} \quad (2.9)$$



Σχήμα 2.28. Η Επιρροή του Οπλισμού στη Σχέση LSR-Ω_f (Yoo, 2001.)

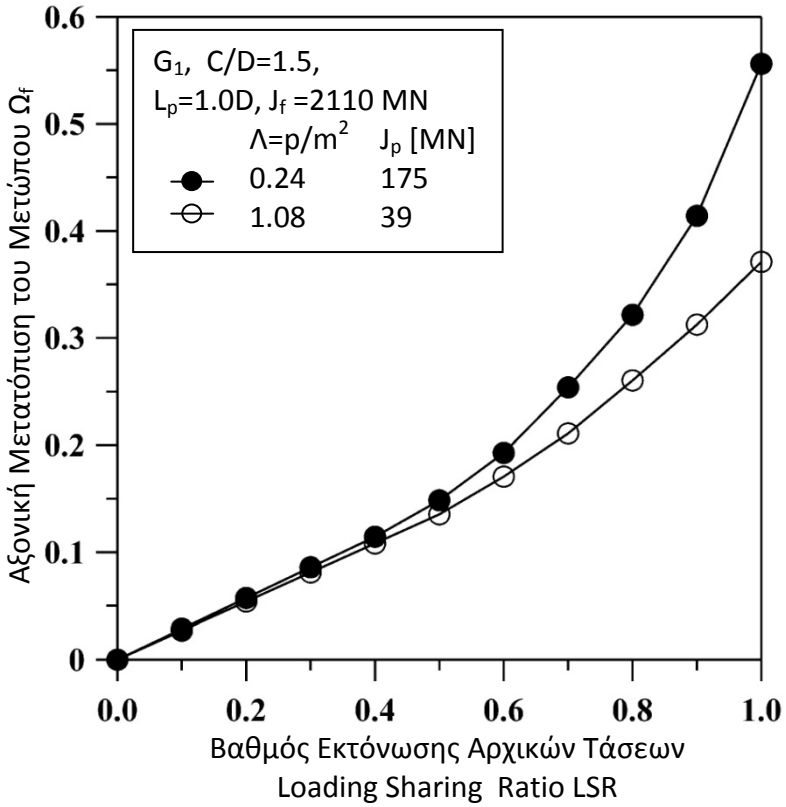
Από το παραπάνω διάγραμμα φαίνεται ότι η καμπύλη για οπλισμένο μέτωπο είναι πιο ομαλή όπως αναμενόταν αφού αντιστοιχεί μικρότερη Ω_f για δεδομένο LSR. Παρατηρείται ακόμη μείωση της τελικής Ω_{fm} κατά 70% έπειτα από την πλήρη απελευθέρωση των αρχικών τάσεων. Τέλος προκύπτει ότι έπειτα από μια τιμή LSR για την συγκεκριμένη περίπτωση LSR=0.6 στην περίπτωση του ανυποστήρικτου μετώπου η σχέση Ω_f – LSR δεν είναι πλέον γραμμική και παρατηρείται ραγδαία αύξηση της Ω_f το οποίο σημαίνει αύξηση της έκτασης της πλαστικής ζώνης μπροστά από το μέτωπο. Αντίστοιχα για το οπλισμένο μέτωπο η σχέση Ω_f – LSR είναι γραμμική για όλες τις τιμές του LSR γεγονός που σημαίνει ότι η ζώνη μπροστά από το μέτωπο παραμένει στην ελαστική περιοχή.

Ακόμα εξετάστηκε με πιο τρόπο επηρεάζει ο οπλισμός του μετώπου τις επιφανειακές καθιζήσεις, με πιο τρόπο κατανέμεται σε σχέση με τη θέση του αγκυρίου στη διατομή και την απόσταση από το μέτωπο η μέγιστη δύναμη αγκύρωσης και τι σχέση έχει με τις ενεργές τάσεις κατά Rankine και τέλος εξετάστηκε κατά πόσο και με πιο τρόπο επηρεάζεται η σχέση Ω_f – LSR από την πυκνότητα, το μήκος και την ακαμψία του οπλισμού του μετώπου. Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας θα εξεταστούν τα αποτελέσματα που αφορούν το κατά πόσο και με πιο τρόπο επηρεάζεται η σχέση Ω_f – LSR από την πυκνότητα, και την ακαμψία του οπλισμού του μετώπου βλ. σχήμα 2.29 & 2.30



Σχήμα 2.29. Η Διακύμανση της Σχέσης LSR-Ω_f σε Συνδυασμό με την Πυκνότητα του Οπλισμού Λ (Yoo, 2001.)

Από το παραπάνω διάγραμμα φαίνεται καθαρά η τάση μείωσης των αξονικών μετακινήσεων του μετώπου με αύξηση της πυκνότητας του οπλισμού. Παρατηρείται ακόμα ότι από μια τιμή και πάνω της πυκνότητας του οπλισμού δεν έχω περεταίρω μείωση των μετακινήσεων γεγονός που οδηγεί στο συμπέρασμα ότι για κάθε περίπτωση υπάρχει μια βέλτιστη τιμή πυκνότητας οπλισμού του μετώπου.

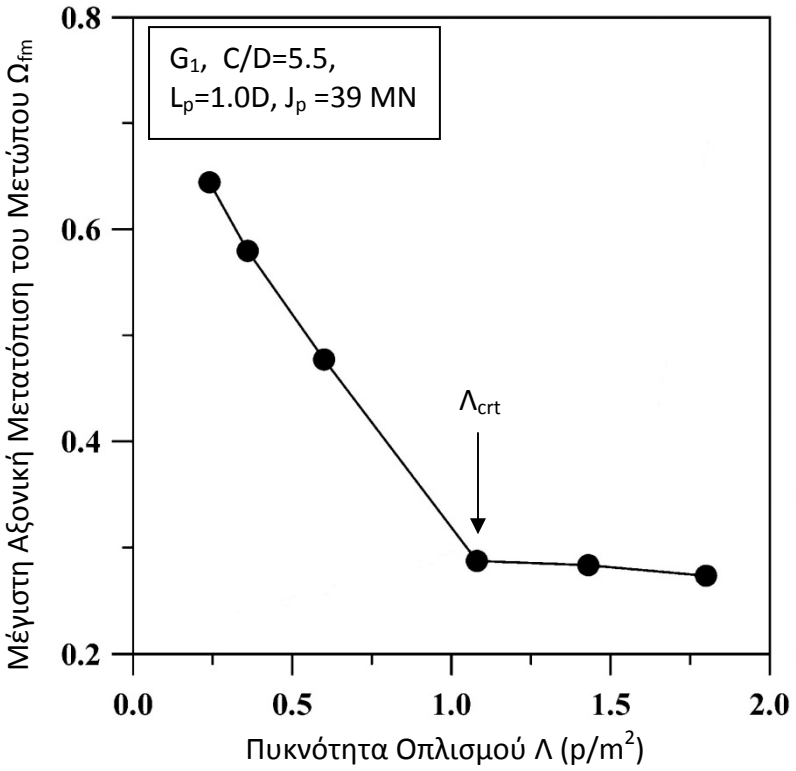


Σχήμα 2.30. Συνδυασμένη Επιρροή της Πυκνότητας του Οπλισμού Λ και της Ακαμψίας του Οπλισμού J_p στη Σχέση LSR-Ω_f. (Yoo, 2001.)

Όπως προαναφέρθηκε το διάγραμμα του σχήματος 2.30 εξετάζει τη συνδυασμένη επιρροή της πυκνότητας του οπλισμού Λ και της αξονικής ακαμψίας του οπλισμού J_p. Η ολική αξονική ακαμψία για δεδομένη σήραγγα J_t όπως φαίνεται από τον τύπο 2.10 ελέγχεται είτε από την πυκνότητα του οπλισμού είτε από την αξονική ακαμψία του οπλισμού. Παρατηρώντας το διάγραμμα προκύπτει ότι για δεδομένη τιμή J_t έχουμε διαφορετικές καμπύλες Ω_f – LSR με χαμηλότερες τιμές Ω_f για ίδιο LSR στην περίπτωση της μεγαλύτερης πυκνότητας οπλισμού. Επομένως για τον έλεγχο των αξονικών μετατοπίσεων του μετώπου της σήραγγας είναι προτιμότερο να αυξήσουμε την πυκνότητα του οπλισμού παρά να έχουμε μικρότερη πυκνότητα οπλισμού με μεγαλύτερη ακαμψία.

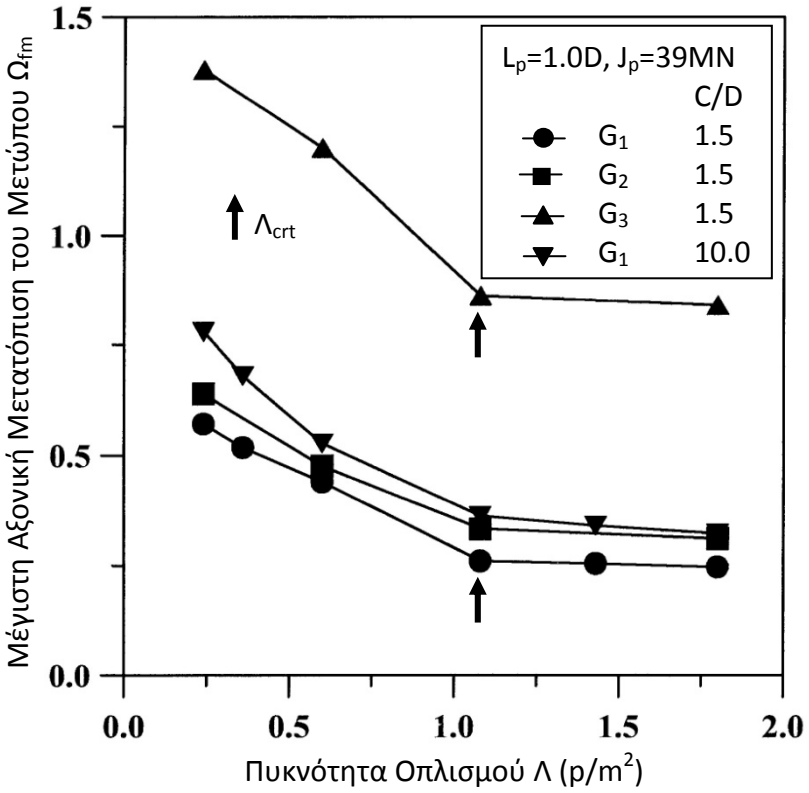
$$J_t=\Lambda J_p A_t \quad (2.10)$$

Στα πλαίσια της διερεύνησης της επιρροής της πυκνότητας του οπλισμού στην ευστάθεια του μετώπου υπολογίστηκε για κάθε περίπτωση η κρίσιμη τιμή Λ_{crt} για τιμές μεγαλύτερες της οποίας τα θετικά αποτελέσματα του οπλισμού του μετώπου είναι αμελητέα. Αυτό έγινε με τη δημιουργία διαγραμμάτων Ω_{fm} - Λ όπου Ω_{fm} η ανοιγμένη τιμή της μέγιστης αξονικής μετακίνησης του μετώπου βλ. σχήμα 2.31. Τέλος διερευνήθηκε η επιρροή του βάθους εκσκαφής και της ποιότητας του εδάφους σε σχέση με αυτή την κρίσιμη τιμή Λ_{crt} βλ. σχήμα 2.32.



Σχήμα 2.31. Διακύμανση της Μέγιστης Αξονικής Μετακίνησης του Μετώπου Ω_{fm} σε Σχέση με την Πυκνότητα του Οπλισμού Λ. (Yoo, 2001.)

Η τιμή Λ_{crt} καθορίζεται στο σημείο εκείνο που έχουμε απότομη αλλαγή στην κλίση της καμπύλης, στο σημείο εκείνο όπου με μικρή μείωση της πυκνότητας του οπλισμού έχουμε μεγάλη αύξηση της αξονικής μετακίνησης του μετώπου βλ. σχήμα 2.31



Σχήμα 2.32. Διακύμανση της τιμής Λ_{crt} σε Σχέση με το Είδος του Εδάφους και το Λόγο C/D. (Yoo, 2001.)

Από το παραπάνω διάγραμμα προκύπτει ότι η τιμή Λ_{crt} δεν εξαρτάται ούτε από το είδος του εδάφους ούτε από το βάθος εκσκαφής για δεδομένη γεωμετρία σήραγγας και οπλισμό μετώπου. Αυτό μπορεί να οφείλεται στο γεγονός ότι για πυκνότητα οπλισμού Λ_{crt} το τασικό πεδίο μπροστά από τη σήραγγα βρίσκεται στην ελαστική περιοχή.

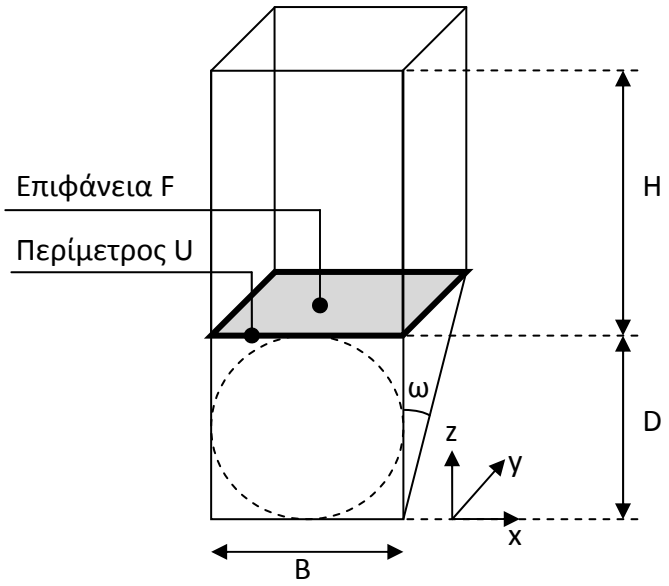
Ο Chungsik Yoo εξέτασε ακόμα την επιρροή του μήκους του αγκυρίου και υπολόγισε και γι αυτό μια κρίσιμη τιμή μετά την οποία οποιαδήποτε αύξηση του μήκους του αγκυρίου δεν αλλάζει τα αποτελέσματα της όπλισης του μετώπου, δηλαδή δεν προκαλεί μείωση των αξονικών μετακινήσεων. Ακόμα εξέτασε και την επιρροή του είδους του εδάφους και του βάθους εκσκαφής στην διαμόρφωση της τιμή αυτής. Τα αποτελέσματα αυτά δεν εξετάζονται στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

2.7 Διερεύνηση της Συμπεριφοράς του Μετώπου κατά Αναγνώστου et al

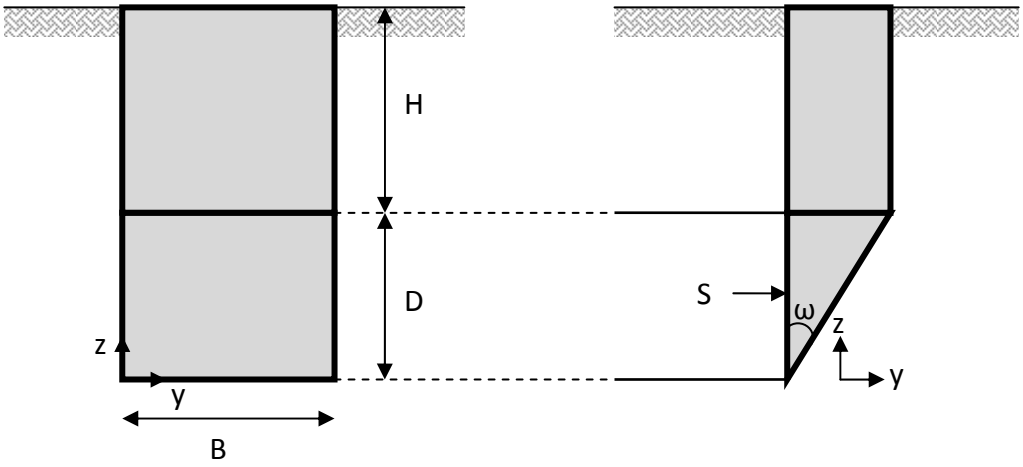
2.7.1 Μέθοδος Υπολογισμού της Ευστάθειας του Μετώπου κατά Αναγνώστου & Kovari, 1994 & 1996 - Απόσπασμα από Διδακτορική Διατριβή Γ. Προυντζόπουλου, 2012.

Η αναλυτική μέθοδος που προτάθηκε από τους Αναγνώστου και Kovari (1994 & 1996) [5]&[6], βασίζεται στη θεωρεία του σιλό (Horn 1961) και χρησιμοποιείται ευρέως για την πρόβλεψη της ευστάθειας του μετώπου και την εκτίμηση της πίεσης που πρέπει να ασκηθεί σε αυτό για να προκύψει ο επιθυμητός συντελεστής ασφαλείας.

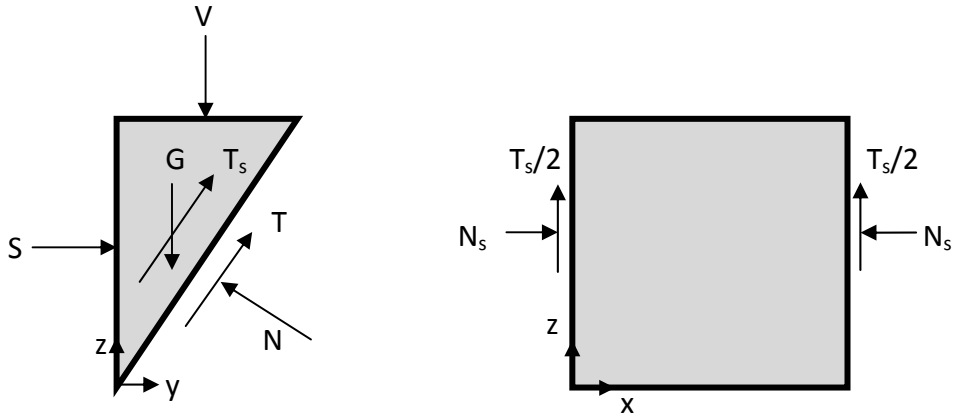
Σύμφωνα με τη μεθοδολογία ο μηχανισμός αστοχίας αποτελείται από μία σφήνα και ένα πρίσμα. Ο συντελεστής ασφαλείας ορίζεται ως το πηλίκο των δυνάμεων ευστάθειας προς τις δυνάμεις ολίσθησης κατά μήκος της επιφάνειας ολίσθησης της σφήνας.



Σχήμα 2.33 Μηχανισμός Αστοχίας (Horn, 1961)



Σχήμα 2.34 Γεωμετρικά Χαρακτηριστικά του Μηχανισμού Αστοχίας. (Διδακτορική Διατριβή Γ. Προυντζόπουλος 2012)



Σχήμα 2.35 Δρώσες Δυνάμεις στη Σφήνα Ολίσθησης. (Διδακτορική Διατριβή Γ. Προυντζόπουλος 2012)

Εξίσωση Ισορροπίας παράλληλα στη διεύθυνση της ολίσθησης

$$(V+G)\cos\omega=T+T_s+S\sin\omega \quad (2.11)$$

Εξίσωση Ισορροπίας κάθετα στη διεύθυνση της ολίσθησης

$$N=S\cos\omega+(V+G)\sin\omega \quad (2.12)$$

Κριτήριο Αστοχίας Mohr Coulomb στην επιφάνεια ολίσθησης

$$T=N\tan\phi+cB\frac{D}{\cos\omega} \quad (2.13)$$

Με απαλοιφή των N, T προκύπτει:

$$S=\frac{V+G}{\tan(\omega+\phi)}-\frac{T_s+c\frac{BD}{\cos\omega}}{\cos\omega(\tan\omega+\tan\phi)} \quad (2.14)$$

Υπολογισμός του G, όπου G το βάρος της σφήνας και δίνεται από τον τύπο

$$G=\gamma\frac{1}{2}BD^2\tan\omega \quad (2.15)$$

Υπολογισμός του V, όπου V η ορθή δύναμη στη στέψη της σφήνας και υπολογίζεται με βάση τη θεωρία σιλό

$$V=F\sigma_v \quad (2.16)$$

Οπού F η επιφάνεια στη βάση του πρίσματος βλ. σχήμα 2.33, σ_v η κατακόρυφη πίεση του σιλό στο επίπεδο της στέψης της σήραγγας βλ. τύπος 2.17 & 2.18 αντίστοιχα.

$$F=BD\tan\omega \quad (2.17)$$

$$\sigma_v=\frac{R\gamma-c}{\lambda\tan\phi}\left(1-e^{-\lambda\tan\phi\frac{H}{R}}\right) \quad (2.18)$$

$$R=\frac{F}{U} \quad (2.19)$$

Όπου H του ύψος των υπερκειμένων από τη στέψη της σήραγγας, λ ο συντελεστής πλευρικών τάσεων και U η περίμετρος της επιφάνειας F.

$$U=2(B+D\tan\omega) \quad (2.20)$$

Υπολογισμός του T_s

Οπού T_s η διατμητική δύναμη στις πλευρικές επιφάνειες, η οποία υπολογίζεται με ολοκλήρωση της διατμητικής τάσης τ. Η διατμητική και η ορθή τάση σε κάθε σημείο (y,z) των δύο πλευρικών κατακόρυφων επιφανειών ολίσθησης της σφήνας πληρούν το κριτήριο Mohr Coulomb.

$$\tau(y,z)=c+\sigma_x(y,z)\tan\phi \quad (2.21)$$

Όπου $\sigma_x(y,z)$ η ορθή τάση κάθετα στην πλευρική επιφάνεια ολίσθησης η οποία σύμφωνα με τη θεωρία σιλό θεωρείται ανάλογη της κατακόρυφης σ_z.

$$\sigma_x(y,z)=\lambda_k\sigma_z(y,z) \quad (2.22)$$

Όπου λ_k ο συντελεστής πλευρικών τάσεων εντός της σφήνας με προτεινόμενο εύρος τιμών 0.4-0.5. Η κατακόρυφη τάση $\sigma_z(y,z)$ στη σφήνα θεωρείται ότι είναι ανάλογη του βάθους με βάση το διάγραμμα του σχήματος 2.36 και δίνεται από τον τύπο 2.23.

$$\sigma_z(y,z)=(D-z)\gamma+\frac{z}{D}\sigma_{v,Keil} \quad (2.23)$$

Όπου $\sigma_{v,Keil}$ η ορθή τάση στην άνω επιφάνεια της σφήνας η οποία ισούται με σ_v που υπολογίζεται από τη σχέση 2.18. Με αντικατάσταση στον τύπο 2.21 των σχέσεων 2.18, 2.22, 2.23 προκύπτει ο τύπος υπολογισμού της διατμητικής τάσης συναρτήσει του βάθους.

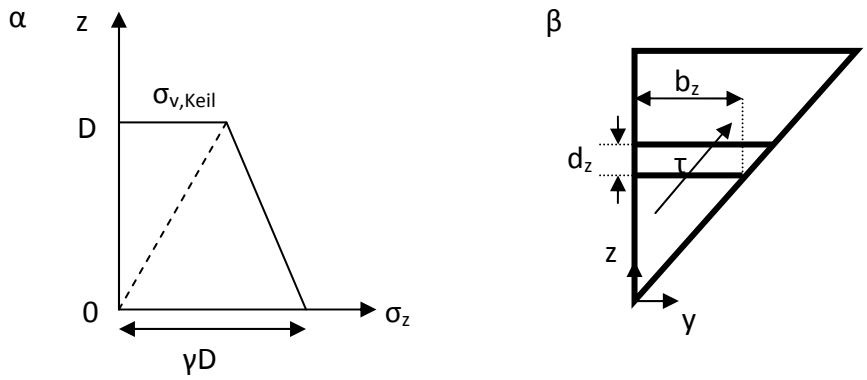
$$\tau(z)=c+\lambda_k\tan\phi\left((D-z)\gamma+\frac{z}{D}\sigma_v\right) \quad (2.24)$$

Με ολοκλήρωση της παραπάνω σχέσης ως προς το ύψος της σφήνας προκύπτει ο τύπος υπολογισμού της δύναμης T_s.

$$T_s=2\int_0^D \tau(z)b(z)dz \quad (2.25)$$

Οπου b(z) το μήκος της σφήνας κατά y μπροστά από το μέτωπο στη στάθμη z βλ. σχήμα 2.36β και υπολογίζεται από τον τύπο 2.26

$$b(z)=z\tan\omega \quad (2.26)$$



Σχήμα 2.36 α)Διάγραμμα Κατανομής της Κατακόρυφης Τάσης της Σφήνας β)Σχηματική Απεικόνιση της παραμέτρου b(z). (Διδακτορική Διατριβή Γ. Προυντζόπουλος 2012)

Με αντικατάσταση των 2.24 και 2.26 στον τύπο 2.25 και υπολογισμό του ολοκληρώματος προκύπτει ο τύπος υπολογισμού της T_s

$$T_s=D^2\tan\omega\left(c+\lambda_k\tan\phi\frac{2\sigma_v+D\gamma}{3}\right) \quad (2.27)$$

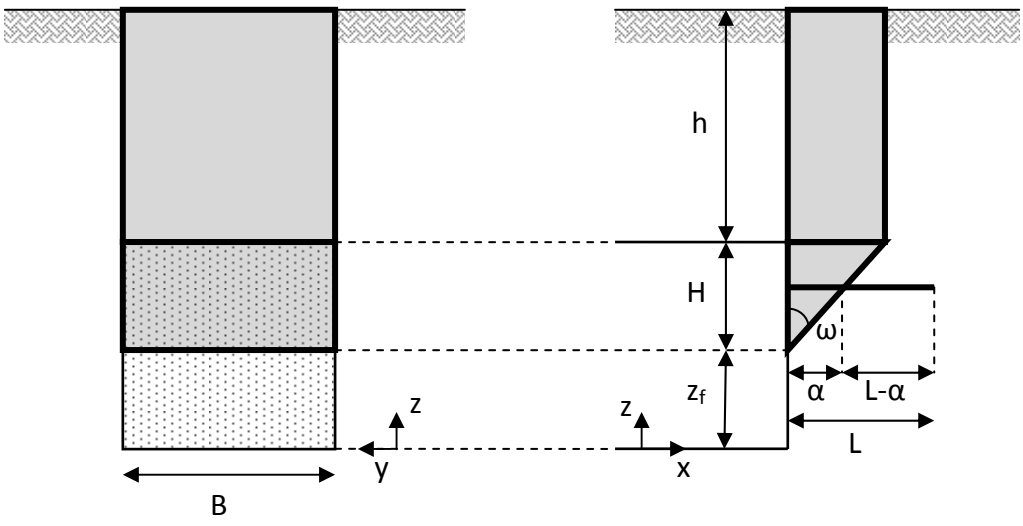
Ο συντελεστής ασφαλείας FS υπολογίστηκε ως το πηλίκο των δυνάμεων ευστάθειας προς τις δυνάμεις ολίσθησης κατά μήκος της κρίσιμης επιφάνειας ολίσθησης, με την κρίσιμη τιμή της γωνίας ω που δίνει το μικρότερο συντελεστή ασφαλείας.

$$FS=\frac{T+T_s+S\sin\omega}{(V+G)\cos\omega} \quad (2.28)$$

2.7.2 Γ.Αναγνώστου & Κ. Σεραφειμίδης, 2007

Με την παρούσα δημοσίευση «Η Διαστασιολόγηση του Οπλισμού του Μετώπου της Σήραγγας – The Dimensioning of Tunnel Face Reinforcement» [8] το 2007 παρουσιάζεται μια υπολογιστική μέθοδος βελτιστοποίησης της μεθόδου των αγκυρίων fiberglass βασισμένη στην οριακή ισορροπία η οποία μπορεί να εφαρμοστεί τόσο σε ομοιογενές όσο και σε στρωσιγενές έδαφος για διαφορετικές περιπτώσεις οπλισμού λαμβάνοντας υπόψη την απόσταση, το μήκος, την καταμήκος επικάλυψη, καθώς και τη σειρά τοποθέτησης των αγκυρίων.

Η υπολογιστική μέθοδος είναι βασισμένη στην οριακή ισορροπία ενός μηχανισμού αστοχίας που αποτελείται από μία σφήνα και το πρίσμα εδάφους πάνω από αυτήν βλ. σχήμα 2.37. Θεωρούνται συνθήκες αστοχίας εδάφους Mohr-Coulomb ενώ η γωνία ω της επιφάνειας ολίσθησης καθώς και το ύψος z_f που βρίσκεται ο πόδας της σφήνας θεωρούνται άγνωστοι, καθώς οι κρίσιμες τιμές τους είναι αυτές που δίνουν την μεγαλύτερη απαίτηση σε οπλισμό και εξαρτώνται από τη διατμητική αντοχή του εδάφους και τη στρωματογραφία και υπολογίζονται με επαναληπτική διαδικασία. βλ. παράγραφο 2.6.2.1.

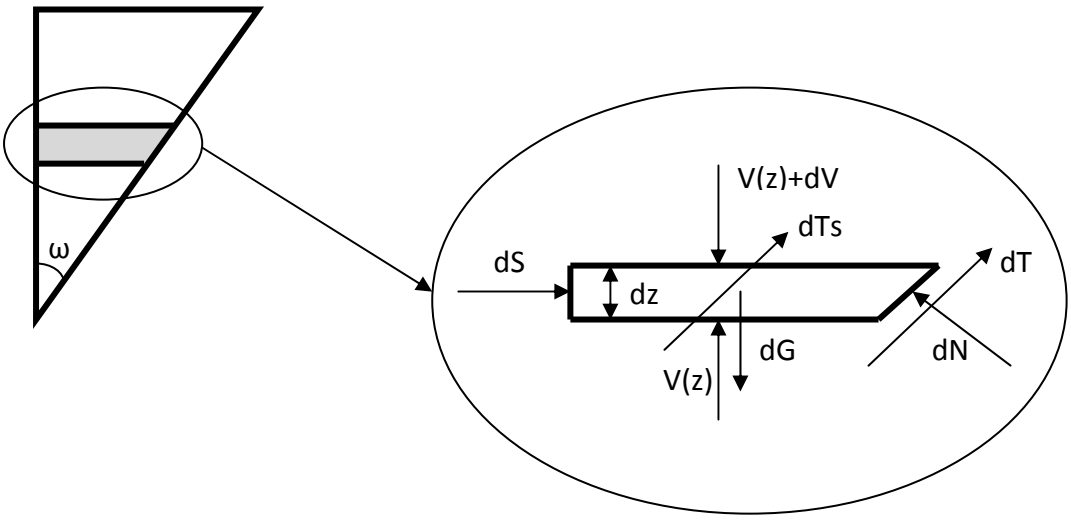


Σχήμα 2.37. Σχηματική Απεικόνιση Μηχανισμού Αστοχίας. (Αναγνώστου & Σεραφειμίδης, 2007.)

Κατά την εκσκαφή η ενίσχυση που επιτυγχάνεται από τα αγκύρια μετώπου εξαρτάται από την αντοχή συνάφειας μεταξύ του ενέματος και του εδάφους. Η δύναμη υποστήριξης του κάθε αγκυρίου εξαρτάται από την εφελκυστική του αντοχή F_z, τη διάμετρο της οπής d, τη διατμητική αντοχή τ_m του συστήματος εδάφους – ενέματος αγκυρίου, του μήκους του αγκυρίου α μέσα στο πρίσμα καθώς και από το μήκος του αγκυρίου L-α μέσα στο έδαφος εκτός του πρίσματος βλ. σχήμα 2.37, ενώ η πίεση υποστήριξης s δίνεται από τον παρακάτω τύπο 2.29:

$$s=n\,x\min[F_z,\pi d\tau_m a,\pi d\tau_m(L-a)] \quad (2.29)$$

Στη μέθοδο αυτή η σφήνα χωρίζεται σε στοιχειώδη τμήματα, βλ. σχήμα 2.38, ίδιων ιδιοτήτων τα οποία πρέπει να ισορροπούν με τη βοήθεια του οπλισμού του μετώπου και της διατμητικής αντοχής του εδάφους. Η επίλυση της μεθόδου γίνεται με τη βοήθεια διαφορικών εξισώσεων, ενώ εκτός από τις εδαφικές παραμέτρους και τη γεωμετρία της κατασκευής η μέθοδος λαμβάνει υπόψη την απόσταση, το μήκος, την καταμήκος επικάλυψη, καθώς και τη σειρά τοποθέτησης των αγκυρίων, παράμετροι οι οποίοι δεν εξετάζονται στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας.



Σχήμα 2.38. Δρώσες Δυνάμεις σε Λωρίδα Απειροστού Πάχους. (Αναγνώστου & Σεραφειμίδης, 2007.)

Όπου

dG το βάρος της λωρίδας

V(z) η δύναμη υποστήριξης από το υποκείμενο έδαφος

V(z) +dV το φορτίο από το υπερκείμενο έδαφος

dN, dT η ορθή και η διατμητική δύναμη στην κεκλιμένη επιφάνεια ολίσθησης

dT_s η διατμητική δύναμη στην κατακόρυφη επιφάνεια ολίσθησης

dS η δύναμη υποστήριξης της ενίσχυσης του μετώπου

Από την ισορροπία της λωρίδας παράλληλα και κάθετα στην επιφάνεια ολίσθησης προκύπτουν εξισώσεις βλ. τύπους 2.30, 2.31 που οδηγούν σε μια διαφορική εξίσωση της κατακόρυφης δύναμης V(z) βλ. τύπος 2.32.

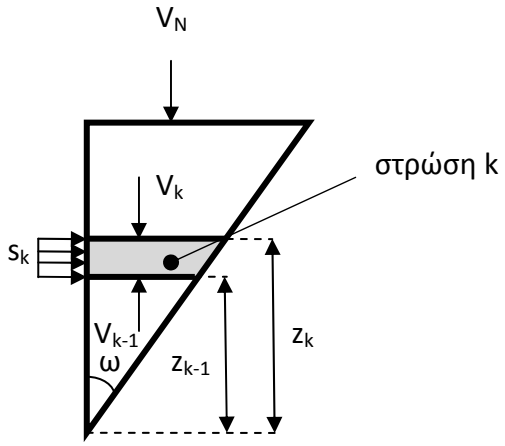
$$dT_s+dT+ S\sin\omega=(dV+dG)\cos\omega \quad (2.30)$$

$$dN=(dV+dG)\sin\omega+dS\cos\omega \quad (2.31)$$

$$\frac{dV}{dz}-A(z)V=\Gamma(z)z+\Delta(z) \quad (2.32)$$

όπου A(z), Γ(z), Δ(z), συντελεστές όπου στην περίπτωση στρωσιγενούς εδάφους εξαρτώνται από τις σταθερές διατμητικής αντοχής c(z) και φ(z) και το ειδικό βάρος γ(z) της στρώσης, καθώς και από τον συντελεστή λ ουδέτερων ωθήσεων, το πλάτος της σφήνας B, την πίεση υποστήριξης s(z) και την γωνία ω.

Για την επίλυση της διαφορικής εξίσωσης η σφήνα χωρίζεται σε λωρίδες k απειροστού πάχους. Κάθε λωρίδα θεωρείται ομογενής με συγκεκριμένες παραμέτρους c, φ και δέχεται μια ομοιόμορφα κατανεμημένη πίεση s_k. Η πίεση αυτή υπολογίζεται από την πυκνότητα της ενίσχυσης λαμβάνοντας υπόψη το μέσο μήκος των διατάξεων στο μέσο περίπου της λωρίδας. Επομένως για κάθε λωρίδα οι συντελεστές Α, Γ, Δ, έχουν συγκεκριμένη τιμή.



Σχήμα 2.39. Χωρισμός της Σφήνας σε Στρώσεις. (Αναγνώστου & Σεραφειμίδης, 2007.)

Για κάθε λωρίδα k ισχύει:

$$V_k=C_{sk}s_k+C_{Vk}V_{k-1}+C_{ck}c_k-C_{\gamma k}\gamma_k \quad (2.33)$$

$$C_{Vk}=e^{A_k(z_k-z_{k-1})} \quad (2.34)$$

$$C_{sk}=\frac{(C_{Vk}-1)B\tan(\omega+\phi_k)}{A_k} \quad (2.35)$$

$$C_{ck}=\frac{(C_{Vk}-1)BA_k+2F_k\sin\omega}{A_k^2\cos^2\omega(1-\tan\omega\tan\phi_k)} \quad (2.36)$$

$$C_{\gamma k}=\frac{F_kB\tan\omega}{A_k^2} \quad (2.37)$$

$$A_k=\frac{2\lambda\tan\phi_k}{B\cos\omega(1-\tan\omega\tan\phi_k)} \quad (2.38)$$

$$F_k=C_{Vk}(1+A_kz_{k-1})-1-A_kz_k \quad (2.39)$$

Η εξίσωση 2.33 εκφράζει το φορτίο που ασκείται στο άνω όριο της λωρίδας σαν συνάρτηση της δύναμης υποστήριξης από το υποκείμενο έδαφος V_{k-1} που ασκείται στο κάτω όριό της. Έτσι οι δυνάμεις V_k μπορούν να υπολογιστούν κάνοντας χρήση της εξίσωσης από κάτω προς τα πάνω ξεκινώντας με τιμή $V_o=0$.

Δεδομένου ότι μια αρνητική τιμή του V_k θα σήμαινε ότι η σφήνα θα έπρεπε να κρεμαστεί ώστε να παραμείνει ευσταθής, άρα θα σηματοδοτούσε ουσιαστικά την κατάρρευση του μετώπου μέχρι τη στρώση k, θεωρείται ο περιορισμός $V_k \geq 0$, για k=1,2,3,…,N.

Το μέγεθος V_N παρουσιάζει την αντοχή της σφήνας μέχρι το υπερκείμενο πρίσμα. Έτσι προκειμένου το μέτωπο να παραμένει ευσταθές θα πρέπει η αντοχή αυτή να είναι μεγαλύτερη του φορτίου Vs που επιφέρει το πρίσμα, το οποίο υπολογίζεται με βάση τη θεωρία σιλό βλ. παράγραφο 2.7.1. Στην οριακή ισορροπία λοιπόν ισχύει:

$$V_N=V_S \quad (2.40)$$

Η μέθοδος αυτή είναι ένα πολυπαραμετρικό πρόβλημα με πολλαπλές λύσεις, για συγκεκριμένη γεωμετρία σφήνας κάθε φορά δηλαδή για συγκεκριμένο ω και z_f. Στην απλοποιημένη περίπτωση όμως που μπορεί να θεωρηθεί μια ομοιόμορφη κατανομή αγκυρίων τότε προκύπτει μοναδική λύση.

Για αυτή την απλοποιημένη περίπτωση προτείνεται ο τύπος 2.41 τα αποτελέσματα του οποίου θα εξεταστούν στα πλαίσια της παρούσας εργασίας. Ο τύπος αυτός αντιστοιχεί την πυκνότητα των αγκυρίων με τις εδαφικές παραμέτρους και τη γεωμετρία της σήραγγας για ομοιογενές έδαφος και ομοιόμορφη κατανομή οπλισμού.

$$n=n_o\left(1-\frac{c}{c_{crit}}\right) \quad (2.41)$$

όπου n_o η ελάχιστη απαιτούμενη πυκνότητα οπλισμού για έδαφος με μηδενική συνοχή και όπου c_{crit} η ελάχιστη απαιτούμενη συνοχή εδάφους χωρίς υποστήριξη του μετώπου (n=0), έτσι ώστε το μέτωπο να είναι ευσταθές.

$$\bar{c}_{crit}=\frac{c_{crit}}{\gamma H} \quad (2.42)$$

$$\bar{n}_o=\frac{n_o d\tau_m}{\gamma} \quad (2.43)$$

Με αντικατάσταση των παραπάνω τύπων 2.42 και 2.43 στον τύπο 2.41 έχω:

$$n=\bar{n}_o \frac{\gamma}{d\tau_m}\left(1-\frac{c}{\gamma H \bar{c}_{crit}}\right) \quad (2.44)$$

γ το ειδικό βάρος του εδάφους [KN/m3]

d η διάμετρος του διατρήματος [m]

τ_m η διατμητική αντοχή μεταξύ εδάφους και ενέματος [KPa]

φ η γωνία τριβής του εδάφους [°]

c η συνοχή του εδάφους [m]

B το πλάτος της σήραγγας [m]

H το ύψος της σήραγγας [m]

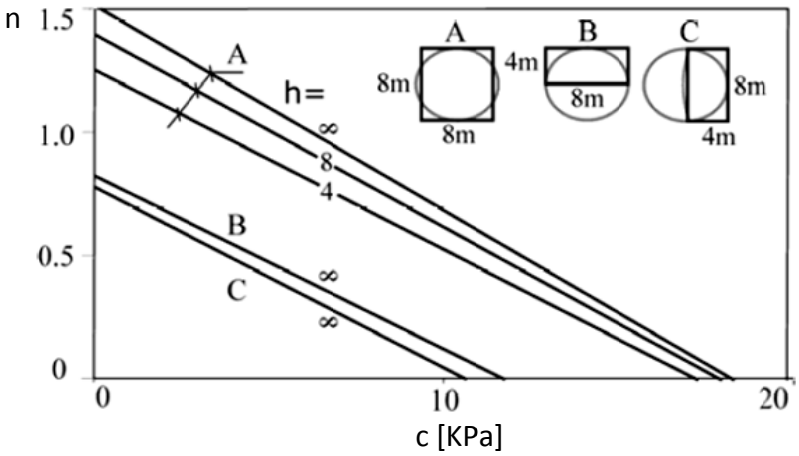
L το μήκος των αγκυρίων [m]

l το μήκος επικάλυψης των αγκυρίων [m]

h το ύψος των υπερκειμένων από τη στέψη της διατομής της σήραγγας [m]

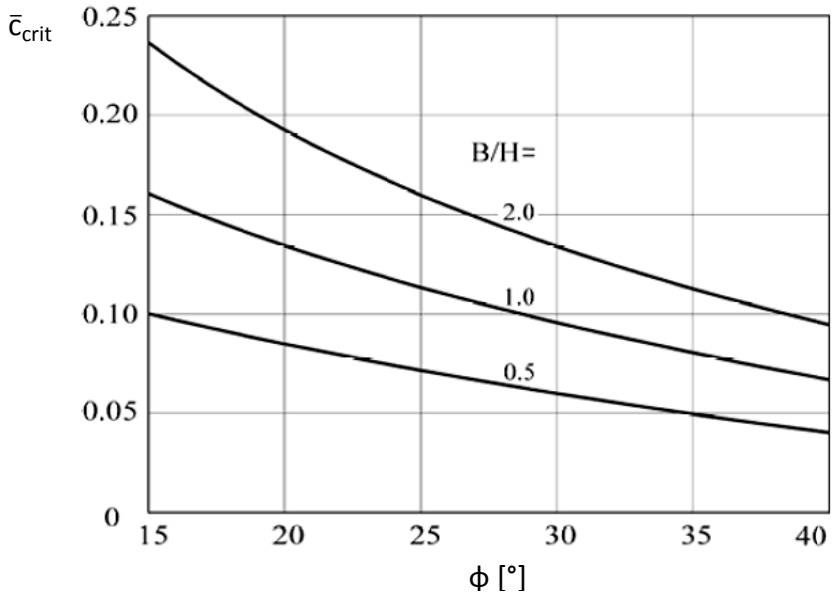
Όπως φαίνεται από τον τύπο 2.44 δεν λαμβάνεται υπόψη η εφελκυστική αντοχή του αγκυρίου, το οποίο είναι λογικό, αφού σε μαλακά εδάφη ο κρίσιμος μηχανισμός αστοχίας του αγκυρίου εξαρτάται από την διατμητική αντοχή μεταξύ του εδάφους και του ενέματος.

Με την χρήση των παραπάνω τύπων με σκοπό την διερεύνηση και τη συσχέτιση των παραμέτρων μεταξύ τους προέκυψαν τα παρακάτω διαγράμματα:



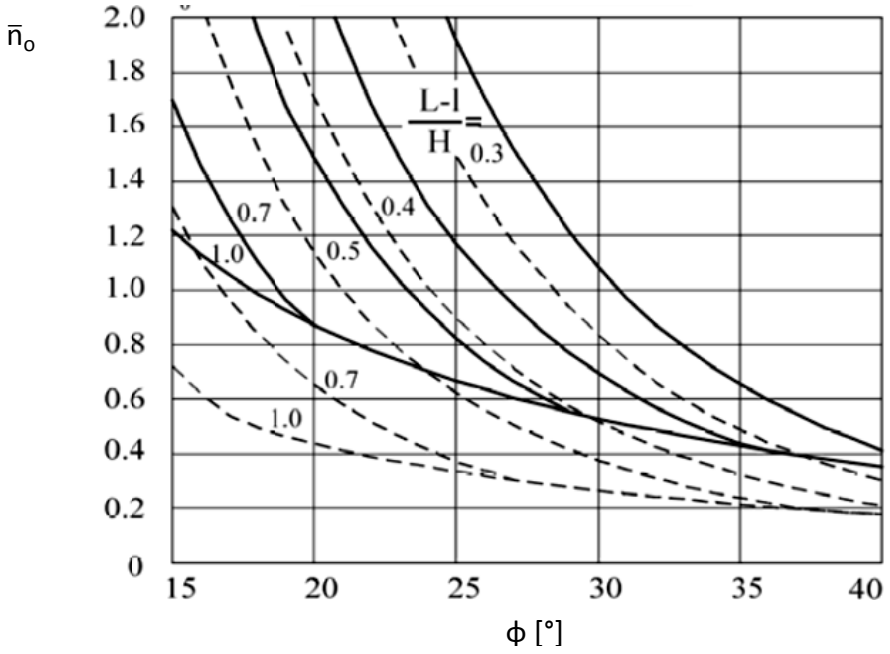
Σχήμα 2.40. Αριθμητικό Παράδειγμα της Επιρροής του Σχήματος της Σφήνας και των Υπερκειμένων για Αγκύρια L=12m με Εγκατάσταση κάθε 9m. (Αναγνώστου & Σεραφειμίδης, 2007.)

Από το παραπάνω σχήμα 2.40 το οποίο συσχετίζει τις διαστάσεις της σφήνας με τη συνοχή του εδάφους, το ύψος των υπερκειμένων και την πυκνότητα των αγκυρίων, θα σχολιαστεί μόνο η επιρροή των υπερκειμένων σε σχέση με τις άλλες δύο παραμέτρους, δηλαδή η περίπτωση Α όπου μπορεί να προσομοιωθεί με διάνοιξη σήραγγας σε κυκλική διατομή. Σε αυτή την περίπτωση φαίνεται ότι το μέγεθος των υπερκειμένων έχει μικρή επιρροή στην πυκνότητα των αγκυρίων για την ίδια συνοχή.



Σχήμα 2.41. Η Συσχέτιση της Αδιάστατης Παραμέτρου της Συνοχής $\bar{c}_{crit}$ σε Σχέση με τη Γωνία Τριβής ϕ και τις Διαστάσεις της Σφήνας B, H. (Αναγνώστου & Σεραφειμίδης, 2007.)

Από το παραπάνω σχήμα 2.41 πάλι για την περίπτωση Α που αφορά την παρούσα διπλωματική εργασία, φαίνεται ότι όσο μεγαλύτερη είναι η γωνία τριβής τόσο μικρότερη είναι η απαιτούμενη συνοχή για ευστάθεια ανυποστήρικτου μετώπου.



Σχήμα 2.42. Η Συσχέτιση της Αδιάστατης Παραμέτρου n_o σε Σχέση με τη Γωνία Τριβής ϕ το Μήκος Επικάλυψης και τις Διαστάσεις της Σφήνας Η. (Αναγνώστου & Σεραφειμίδης, 2007.)

Τέλος από το παραπάνω σχήμα 2.42 φαίνεται ότι όσο πιο μεγάλη είναι η γωνία τριβής ϕ τόσο μικρότερη πυκνότητα αγκυρίων χρειάζεται το μέτωπο για να παραμείνει ευσταθές. Επίσης φαίνεται ότι όσο πιο μικρή καταμήκος επικάλυψη αγκυρίων έχω τόσο πιο μεγάλη πυκνότητα αγκυρίων απαιτείται για ευστάθεια του μετώπου. Τέλος παρατηρείται ότι το μήκος αγκύρωσης επηρεάζεται από το ύψος της σφήνας Η αρνητικά, δηλαδή όσο πιο μεγάλο το ύψος της σφήνας τόσο πιο μεγάλη η απαίτηση σε οπλισμό του μετώπου.

2.8 Συμπεράσματα από τις Θεωρίες Ευστάθειας του Μετώπου

Οι Pieter A. Vermeer, Nico Ruse, Thomas Marcher με το άρθρο τους με τίτλο «Η Ευστάθεια του Μετώπου της Σήραγγας σε Στραγγιζόμενες Εδαφικές Συνθήκες» - «Tunnel Heading Stability in Drained Ground» [1] καταλήγουν στα εξής συμπεράσματα:

- Το ύψος των υπερκειμένων δεν επηρεάζει την τιμή της πίεση αστοχίας για εδάφη χωρίς συνοχή και για γωνία τριβής $\phi>20°$ για ύψος υπερκειμένων $H/D>1$.
- Το ύψος των υπερκειμένων δεν επηρεάζει την τιμή της πίεση αστοχίας για εδάφη με συνοχή και για γωνία τριβής $\phi>25°$ και ύψος υπερκειμένων $H/D>1$ και για γωνία τριβής $25°<\phi<20°$ με ύψος υπερκειμένων $H/D>2$.
- Με μείωση της γωνίας τριβής απαιτείται μεγαλύτερη τιμή της πίεσης υποστήριξης έτσι ώστε το μέτωπο της σήραγγας να είναι ευσταθές.

Οι Pierre Chambon & Jean-Francois Corte με δημοσίευσή τους με τίτλο «Οι Αβαθείς Σήραγγες σε Εδάφη Χωρίς Συνοχή: Η Ευστάθεια του Μετώπου της Σήραγγας – Shallow Tunnels in Cohesionless Soil: Stability of Tunnel Face» καταλήγουν στα εξής συμπεράσματα:

- Η πυκνότητα του εδάφους γ για εδάφη χωρίς συνοχή δεν επηρεάζει την τιμή της πίεσης αστοχίας.
- Το ύψος των υπερκειμένων για εδάφη χωρίς συνοχή δεν επηρεάζει την τιμή της πίεσης αστοχίας.
- Το μέγεθος της διαμέτρου είναι η παράμετρος που επηρεάζει περισσότερο την τιμή της πίεσης αστοχίας. Με αύξηση της διαμέτρου έχουμε αύξηση της τιμής της πίεσης υποστήριξης έτσι ώστε το μέτωπο της σήραγγας να είναι ευσταθές.
- Για μικρά βάθη η τιμή της χαρακτηριστικής πίεσης βρίσκεται πολύ κοντά στην τιμή της πίεσης αστοχίας, γεγονός που σημαίνει ότι η αστοχία του μετώπου γίνεται ακαριαία, το οποίο καθιστά την εκσκαφή σηράγγων σε μικρά βάθη ακόμα πιο επικίνδυνη.
- Τα αποτελέσματα από 3D αναλύσεις με ίδια χαρακτηριστικά βρίσκονται πιο κοντά στα αποτελέσματα που προέκυψαν από το πείραμα, σε σχέση με αυτά που προέκυψαν από 2D αναλύσεις, επειδή αυτές δεν μπορούν να λάβουν υπόψη το φαινόμενο της τοξοτής μεταφοράς των τάσεων στο χώρο.

Ο D.Peila με τη δημοσίευση του με τίτλο «Θεωρητική Μελέτη για την Επιρροή του Οπλισμού στην Ευστάθεια του Μετώπου της Σήραγγας – A Theoretical Study of Reinforcement Influence on the Stability of a Tunnel Face» συμπέρανε ότι:

- Η υποστήριξη με αγκύρια fiberglass οδηγεί σε μείωση των παραμορφώσεων του μετώπου κατά 40%
- Με την υποστήριξη με αγκύρια fiberglass οι τάσεις στο μέτωπο από εφελκυστικές γίνονται θλιπτικές το οποίο συμβάλει σε ένα ευσταθές μέτωπο.

Ο Chungsik Yoo με την παρούσα δημοσίευση «Ανάλυση με Πεπερασμένα Στοιχεία Οπλισμένου Μετώπου Σήραγγας με Αγκύρια– Finite – Element Analysis of Tunnel Face Reinforced by Longitudinal Pipes» καταλήγει στα παρακάτω συμπεράσματα:

- Η χρήση των αγκυρίων fiberglass οδηγεί σε μείωση της έκτασης της πλαστικής ζώνης γύρω από το μέτωπο και την περιορίζει κοντά σε αυτό.
- Η αύξηση της πυκνότητας των αγκυρίων οδηγεί σε μείωση των αξονικών μετακινήσεων του μετώπου.
- Η αύξηση της πυκνότητας των αγκυρίων πέραν από κάποια συγκεκριμένη κρίσιμη τιμή χαρακτηριστική για κάθε περίπτωση δεν οδηγεί σε περαιτέρω μείωση των αξονικών μετακινήσεων του μετώπου.
- Η αύξηση της πυκνότητας των αγκυρίων έχει καλύτερα αποτελέσματα σε σχέση με την αύξηση της ακαμψίας των αγκυρίων στον έλεγχο των αξονικών μετακινήσεων του μετώπου.
- Η κρίσιμη πυκνότητα αγκυρίων δεν εξαρτάται από το ύψος των υπερκειμένων
- Η κρίσιμη πυκνότητα αγκυρίων δεν εξαρτάται από το ειδικό βάρος του εδάφους γ.

Ο Γ.Αναγνώστου και ο Κ. Σεραφειμίδη με την παρούσα δημοσίευση «Η Διαστασιολόγηση του Οπλισμού του Μετώπου της Σήραγγας – The Dimensioning of Tunnel Face Reinforcement» συμπεραίνουν ότι:

- Η πυκνότητα αγκυρίων δεν εξαρτάται από το ύψος των υπερκειμένων
- Με αύξηση της γωνίας τριβής φ απαιτείται μικρότερη πυκνότητα αγκυρίων.
- Με αύξηση της γωνίας τριβής φ απαιτείται περίπου ίδια τιμή της παραμέτρου της συνοχής c, ελάχιστα μικρότερη, για την ευστάθεια του μετώπου.

3 Μεθοδολογία Υπολογισμού της Ισοδύναμης Πίεσης

3.1 Σκοπός

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την αντιστοίχηση της ισοδύναμης ομοιόμορφης πίεσης υποστήριξης στο μέτωπο με την πυκνότητα αγκυρίων fiberglass με κριτήριο την ίδια τιμή της μέσης έκθλιψης σε όλο το μέτωπο, παράμετρος της οποίας ο τρόπος υπολογισμού περιγράφεται στο παρόν κεφάλαιο. Παρουσιάζονται ακόμα οι γεωμετρικές, γεωτεχνικές παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν στις αναλύσεις, που έγιναν στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας, με ομοιόμορφη πίεση υποστήριξης στο μέτωπο με το πρόγραμμα Abaqus 6.9-1. Τέλος γίνεται αναλυτική περιγραφή του προσομοιώματος και των πεπερασμένων στοιχείων που χρησιμοποιήθηκαν.

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν αποτελέσματα αντίστοιχων αναλύσεων με αυτές της ομοιόμορφης πίεσης υποστήριξης, δηλαδή ίδιων παραμέτρων, οι οποίες προσομοίωναν αγκύρια fiberglass για την υποστήριξη του μετώπου, που έγιναν από συνάδελφους μηχανικούς στα πλαίσια διπλωματικών εργασιών, προπτυχιακών και μεταπτυχιακών, καθώς και στα πλαίσια της διδακτορικής διατριβής του κ. Γ. Προυντζόπουλου. Για λόγους πληρότητας στο παρόν κεφάλαιο θα αναφερθούν και οι παράμετροι των αγκυρίων fiberglass που χρησιμοποιήθηκαν στις αναλύσεις αυτές.

3.2 Προγράμματα που Χρησιμοποιήθηκαν

Το κυρίως πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε για τις τρισδιάστατες αναλύσεις πεπερασμένων στοιχείων είναι το **Abaqus 6.9**, καθώς είναι ένα γενικό πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων αξιόπιστο για απαιτητικές τρισδιάστατες αναλύσεις, το οποίο είναι ικανό να προσομοιώσει σύνθετα πολυπαραμετρικά προβλήματα, όπως είναι η διάνοιξη σηράγγων. Για τη δημιουργία όμως των προσομοιωμάτων λόγω του πιο εύκολου περιβάλλοντος εργασίας χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα **Ansys 9.0**. Οι κόμβοι και τα πεπερασμένα στοιχεία αφού πρώτα μετατρέπονταν σε μορφή συμβατή για το λογισμικό Abaqus ενσωματώνονταν στο input αρχείο του προγράμματος και έπειτα ακολουθούσε η επίλυση.

Ακόμα χρησιμοποιήθηκαν **Ειδικά Φύλλα Υπολογισμού Excel** διαφορετικά για κάθε ύψος υπερκειμένων τα οποία δημιουργήθηκαν στα πλαίσια της διδακτορικής διατριβής του Γ. Προυντζόπουλου, όπου με εισαγωγή σε αυτά του αρχείου εξόδου των μετακινήσεων από το πρόγραμμα Abaqus υπολογίζονται αυτόματα τρεις μορφές έκθλιψης του μετώπου. Η μονοδιάστατη έκθλιψη του κέντρου του μετώπου, η δισδιάστατη μέση έκθλιψη στην κατακόρυφη διάμετρο που περνάει από το κέντρο της σήραγγας, η οποία υπολογιζόταν από το εμβαδό του ορθογωνίου το οποίο είχε ίδια τιμή με το εμβαδό του προφίλ της έκθλιψης σε αυτή την κατακόρυφο και η τρισδιάστατη μέση έκθλιψη σε όλο το μέτωπο, η οποία υπολογιζόταν από τον όγκο τμήματος κώνου ο οποίος είχε την ίδια τιμή με τον όγκο της συνολικής έκθλιψης σε όλη την επιφάνεια του μετώπου. Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας χρησιμοποιήθηκε η μέση έκθλιψη σε όλο το μέτωπο βλ. παράγραφο 3.5.1.2 ως κριτήριο συσχέτισης της ισοδύναμης ομοιόμορφης πίεσης υποστήριξης με την πυκνότητα του καννάβου των αγκυρίων fiberglass.

Τέλος χρησιμοποιήθηκε το ελεύθερο λογισμικό κατασκευής γραφικών παραστάσεων **Graph 4.3**, λόγω της αδυναμίας του excel, που παρόλο που έχει τη δυνατότητα να σχεδιάσει μια πολυωνυμική γραφική παράσταση αγνώστου εξίσωσης από δεδομένο πίνακα στοιχείων, δεν έχει τη δυνατότητα εύρεσης του σημείου τομής της με οποιαδήποτε άλλη γραμμή.

3.3 Προσομοίωση του Προβλήματος

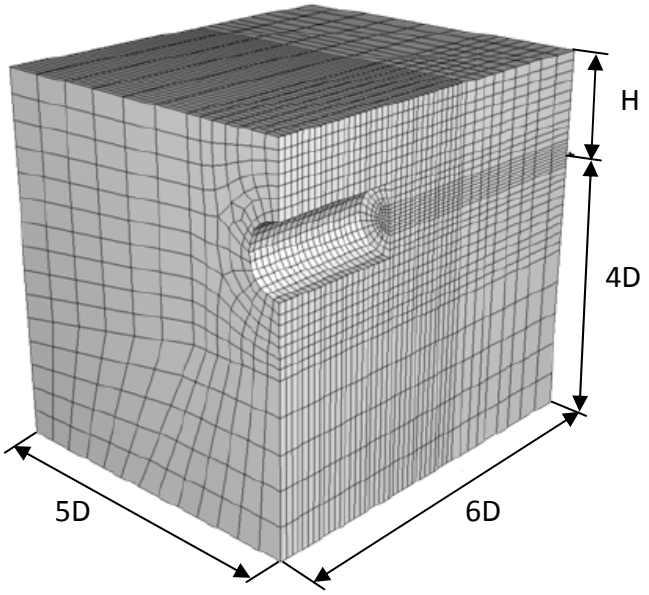
3.3.1 Γεωμετρία και Διαστάσεις του Προσομοιώματος

Η γεωμετρία και οι διαστάσεις του προσομοιώματος καθορίστηκαν με βάση τα παρακάτω κριτήρια

- Οι διαστάσεις του προσομοιώματος θα έπρεπε να είναι ελάχιστες ώστε να ελαχιστοποιείται κατά το δυνατόν ο υπολογιστικός χρόνος επίλυσης του προβλήματος.

- Οι αποστάσεις της σήραγγας από τα όρια του προσομοιώματος να είναι τέτοιες ώστε να μην υπάρχει κίνδυνος να επηρεαστούν τα αποτελέσματα των αναλύσεων από τις συνοριακές συνθήκες των ορίων του προσομοιώματος.

Προσομοιώθηκε λοιπόν, λόγω της απόλυτης συμμετρίας που θεωρήθηκε ως προς τον κατακόρυφο άξονα που διέρχεται από το κέντρο της σήραγγας, η μισή διατομή κυκλικής σήραγγας διαμέτρου D. Τα προσομοιώματα έπειτα από δοκιμές έτσι ώστε να πληρούνται τα παραπάνω κριτήρια σχεδιάστηκαν με διαστάσεις μήκους 6D, πλάτους 5D, βάθους 4D και ύψους H υπερκειμένων από το κέντρο της σήραγγας το οποίων πήρε τιμές 1.0D, 1.5D, 2.0D, 3.0D, 5.0D βλ. σχήμα 3.1



Σχήμα 3.1. Γεωμετρία και Διαστάσεις του Προσομοιώματος.

3.3.2 Βήματα Προσομοίωσης

Θεωρήθηκε ολομέτωπη εκσκαφή ίση με τη διάμετρο της σήραγγας, ενώ σε κάθε βήμα εκσκαφής μετά το 2^{ο} βήμα διανοιγόταν τμήμα μήκους 1m.

Περιγραφή βημάτων προσομοίωσης:

- Στο 1^{ο} βήμα υπολογίστηκαν οι γεωστατικές συνθήκες, το τασικό πεδίο πριν από οποιαδήποτε εκσκαφή.

- Στο 2^{ο} βήμα θεωρήθηκε εκσκαφή 2m και σε απόσταση 1m από το μέτωπο τοποθετήθηκε προσωρινή υποστήριξη εκτοξευόμενου σκυροδέματος και εφαρμόστηκε στο μέτωπο ομοιόμορφη πίεση υποστήριξης.

- Στο 3^{ο}–31^{ο} βήμα θεωρήθηκε σε κάθε βήμα εκσκαφή 1m, ταυτόχρονη προσθήκη κελύφους εκτοξευόμενου σκυροδέματος σε απόσταση 1m από το μέτωπο και εφαρμογή ομοιόμορφης πίεσης υποστήριξης στο μέτωπο.

Η ανάλυση της διαδικασίας εκσκαφής έγινε σε 31 στάδια με σκοπό αφενός η τιμή της έκθλιψης που θα χρησιμοποιηθεί στους υπολογισμούς να έχει σταθεροποιηθεί, και αφετέρου αυτή να λαμβάνεται στο βήμα 31 έτσι ώστε το μέτωπο της σήραγγας να βρίσκεται 30m από την αρχή του προσομοιώματος στο μέσο του μήκους του, στη μέγιστη δυνατή απόσταση από τα σύνορά του προσομοιώματος, έτσι ώστε να επηρεάζεται όσο το δυνατόν λιγότερο από αυτά.

Στις αναλύσεις με υποστήριξη του μετώπου με αγκύρια fiberglass τα βήματα προσομοίωσης ακολουθούν την ίδια λογική με παραπάνω με μόνη διαφορά ότι έχει προσομοιωθεί κάνναβος αγκυρίων υποστήριξης του μετώπου από την αρχή του προσομοιώματος και σε κάθε βήμα υπολογισμού από το βήμα 2 έως 31 αντί να προσομοιώνεται ομοιόμορφη κατανεμημένη πίεση υποστήριξης, μειώνεται το διαθέσιμο μήκος των αγκυρίων μπροστά από το μέτωπο κατά 1m. Το μήκος των αγκυρίων θεωρήθηκε ότι φτάνει μέχρι το πίσω όριο του προσομοιώματος ώστε να είναι πολύ μεγαλύτερο του κρίσιμου μήκους ακόμα και στο τελευταίο βήμα εκσκαφής.

3.3.3 Είδη Πεπερασμένων Στοιχείων που Χρησιμοποιήθηκαν

3.3.3.1 Εδαφικά Πεπερασμένα Στοιχεία

Για την προσομοίωση του εδάφους χρησιμοποιήθηκαν οκτακομβικά εξαπλευρικά στοιχεία τύπου C3D8R. Ο κάνναβος σχεδιάστηκε πιο πυκνός στο μέτωπο και στην περιοχή γύρω από αυτό όπου είναι και η περιοχή που μας ενδιαφέρουν τα αποτελέσματα. Έτσι στην περιοχή ενδιαφέροντος τα στοιχεία σχεδιάστηκαν με πάχος 1m, διάσταση η οποία αυξανόταν με απομάκρυνση από αυτές.

3.3.3.2 Πεπερασμένα Στοιχεία Κελύφους

Επειδή η παρούσα εργασία ασχολείται με την ευστάθεια του μετώπου ο ρόλος της υποστήριξης περιμετρικά της σήραγγας είναι δευτερεύον. Γι αυτό προσομοιώθηκε μια τυπική άμεση υποστήριξη από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, με πεπερασμένα στοιχεία κελύφους τύπου S4R5 τετρακομβικά.

3.3.3.3 Πεπερασμένα Στοιχεία Αγκυρίων

Για την προσομοίωση των αγκυρίων χρησιμοποιήθηκαν πεπερασμένα στοιχεία τύπου ράβδου T3D2, γραμμικά δηλαδή στοιχεία που παραλαμβάνουν μόνο αξονικές δυνάμεις.

3.4 Παράμετροι που Χρησιμοποιήθηκαν στις Αναλύσεις

3.4.1 Γεωμετρικοί Παράμετροι

Η σήραγγα θεωρήθηκε κυκλικής διατομής διαμέτρου D με τιμή για όλες τις αναλύσεις **D=10m**, ενώ το ύψος των υπερκειμένων Η από το κέντρο της σήραγγας κανονικοποιήθηκε ως προς τη διάμετρο της σήραγγας και πήρε τιμές **H/D=1, 1.5, 2, 3, 5**.

Πίνακας 3.1. Γεωμετρικές Παράμετροι που Χρησιμοποιήθηκαν στις Αναλύσεις

H/D -	D [m]
1, 1.5, 2, 3, 5	10

3.4.2 Γεωτεχνικές Παράμετροι

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας εξετάστηκε ένα μεγάλο εύρος γεωτεχνικών παραμέτρων, οι οποίες εκφράστηκαν στην πρώτη και κύρια ομάδα αναλύσεων με διαφορετικές τιμές στην συνοχή c και στην γωνία τριβής φ του εδάφους βλ. πίνακα 3.3, στην δεύτερη ομάδα αναλύσεων με διαφορετική τιμή στο μέτρο παραμορφωσιμότητας του εδάφους $E=500S_u$, μία $E_{min}=300S_u$ και μία $E_{max}=800S_u$ βλ. πίνακα 3.4, για τον τρόπο υπολογισμού του μέτρου παραμορφωσιμότητας βλ. τύπους 3.1, 3.2, 3.3 & 3.4 και στην τρίτη ομάδα αναλύσεων με διαφορετική τιμή του συντελεστή ουδέτερων τάσεων K_o βλ πίνακα 3.5. Σε όλες τις αναλύσεις δεν έχει ληφθεί υπόψη η παρουσία του νερού.

Η μεταβλητή του μέτρου παραμορφωσιμότητας του εδάφους σε όλες τις περιπτώσεις υπολογίστηκε με βάση την παρακάτω διαδικασία:

Με δεδομένες τις αρχικές γεωστατικές τάσεις του εδαφικού στοιχείου στο βάθος του κέντρου της σήραγγας σ_1, σ_3 υπολογίστηκε με βάση τον τύπο 3.1 η επιπλέον τάση $\Delta\sigma_1$ που απαιτείται για να αστοχήσει το στοιχείο αυτό υπό αστράγγιστες συνθήκες. Για τον υπολογισμό αυτό θεωρήθηκε ότι η τιμή του συντελεστή A του τύπου του Skempton ισούται με 1/3.

$$\Delta\sigma_1=\frac{\sigma_3 N_\phi+2c\sqrt{N_\phi}-\sigma_1}{1+A\left(N_\phi-1\right)} \quad (3.1)$$

$$N_\phi=\tan^2\left(45+\frac{\phi}{2}\right) \quad (3.2)$$

Επειτα υπολογίστηκε η αστράγγιστη διατμητική αντοχή του εδάφους S_u από τον τύπο 3.3 και τέλος το μέτρο παραμορφωσιμότητας του εδάφους από τον τύπο 3.4.

$$S_u=\frac{\sigma_1+\Delta\sigma_1-\sigma_3}{2} \quad (3.3)$$

$$E_{soil}=500S_u \quad (3.4)$$

Τα εδαφικά στοιχεία θεωρήθηκαν ελαστικά απολύτως πλαστικά, τα οποία ακολουθούν το κριτήριο αστοχίας Mohr-Coulomb. Το ειδικό βάρος του εδάφους γ καθώς και ο λόγος Poisson ν θεωρήθηκε ότι έχουν σταθερή τιμή για όλες τις αναλύσεις. Πιο συγκεκριμένα **γ=21KN/m^3** και **ν=0.3**. Οι γεωτεχνικές παράμετροι της συνοχής και της γωνίας τριβής πήραν διάφορες τιμές που φαίνονται στον πίνακα 3.2.

Πίνακας 3.2. Γεωτεχνικοί Παράμετροι που Χρησιμοποιήθηκαν στις Αναλύσεις

ϕ [°]	ψ [°]	c [KPa]	E [MPa]	K_o -	γ [KN/m^3]	ν -
20	3	5-35	35-256	0.5 ή 1.0	21	0.3
25	4					
30	5					
35	6					
ψ	3					

Τέλος ο συντελεστής ουδέτερων τάσεων K_o θεωρήθηκε σε όλες τις αναλύσεις εκτός της 3^{ης} ομάδας ίσος με **K_o=0.5**.

Πίνακας 3.3. Γεωτεχνικές Παράμετροι 1^{ης} Ομάδας Αναλύσεων

A/A		H/D -	Χαρακτηριστικά Εδάφους	
			Συνοχή c [KPa]	Γωνία Τριβής φ [^{o}]
1	1b	1	15	20
2	1.3b	1	17	20
3	1.5b	1	18	20
4	2b	1	20	20
5	3b	1	25	20
6	10_3b	1	13	25
7	11b	1	15	25
8	12b	1	20	25
9	20_2b	1	12	30
10	21b	1	15	30
11	22b	1	20	30
12	30b	1	10	35
13	31b	1	15	35
14	1.5b	1.5	18	20
15	2b	1.5	20	20
16	3b	1.5	25	20
17	10_5b	1.5	12	25
18	11b	1.5	15	25
19	12b	1.5	20	25
20	13b	1.5	25	25
21	20b	1.5	10	30
22	21b	1.5	15	30
23	22b	1.5	20	30
24	29b	1.5	5	35
25	30b	1.5	10	35
26	31b	1.5	15	35
27	1.5b	2	18	20
28	2b	2	20	20
29	3b	2	25	20
30	4b	2	30	20
31	10.5b	2	12	25
32	11b	2	15	25
33	12b	2	20	25
34	13b	2	25	25
35	19.1b=20b	2	10.1	30
36	21b	2	15	30
37	22b	2	20	30
38	23b	2	25	30

A/A		H/D -	Χαρακτηριστικά Εδάφους	
			Συνοχή c [KPa]	Γωνία Τριβής φ [^{ο}]
39	29.1b=29b	2	5.1	35
40	30b	2	10.1	35
41	31b	2	15	35
42	32b	2	20	35
43	2b	3	20	20
44	3b	3	25	20
45	4b	3	30	20
46	11b	3	15	25
47	12b	3	20	25
48	13b	3	25	25
49	20b	3	10	30
50	21b	3	15	30
51	22b	3	20	30
52	30b	3	10	35
53	31b	3	15	35
54	2b	5	20	20
55	3b	5	25	20
56	4b	5	30	20
57	5b	5	35	20
58	11b	5	15	25
59	12b	5	20	25
60	13b	5	25	25
61	21b	5	15	30
62	22b	5	20	30
63	30b	5	10	35
64	30_3b	5	13	35
65	31b	5	15	35

Πίνακας 3.4. Γεωτεχνικές Παράμετροι 2ης Ομάδας Αναλύσεων

A/A		H/D -	Χαρακτηριστικά Εδάφους		
			Συνοχή c [KPa]	Γωνία Τριβής φ [°]	E [MPa]
1	10_5a	1.5	12	25	35.0
2	11a	1.5	15	25	36.0
3	12a	1.5	20	25	37.0
4	13a	1.5	25	25	39.0
5	10_5c	1.5	12	25	93.0
6	11c	1.5	15	25	95.0
7	12c	1.5	20	25	100.0
8	13c	1.5	25	25	104.0
9	29a	1.5	5	35	46.0
10	30a	1.5	10	35	48.0
11	31a	1.5	15	35	49.0
12	29c	1.5	5	35	123.0
13	30c	1.5	10	35	127.0
14	31c	1.5	15	35	131.0
15	2a	3	20	20	55.0
16	3a	3	25	20	57.0
17	4a	3	30	20	58.0
18	2c	3	20	20	147.0
19	3c	3	25	20	151.0
20	4c	3	30	20	155.0
21	20a	3	10	30	79.0
22	21a	3	15	30	80.0
23	22a	3	20	30	82.0
24	20c	3	10	30	210.0
25	21c	3	15	30	214.0
26	22c	3	20	30	218.0

Οι αναλύσεις αυτές έγιναν μόνο για βάθη 15m και 30m και χρησιμοποιήθηκαν σε συνδυασμό με τις αντίστοιχες αναλύσεις της 1ης ομάδας, δηλαδή σε συνδυασμό με τις αναλύσεις με τις ίδιες παραμέτρους εκτός από το μέτρο παραμορφωσιμότητας του εδάφους.

Πίνακας 3.5. Γεωτεχνικές Παράμετροι 3ης Ομάδας Αναλύσεων

A/A		H/D -	K_o	Χαρακτηριστικά Εδάφους	
				Συνοχή c [KPa]	Γωνία Τριβής φ [^{o}]
1	10_5b_k1	1.5	1	12	25
2	11b_k1	1.5	1	15	25
3	12b_k1	1.5	1	20	25
4	13b_k1	1.5	1	25	25
5	30b_k1	1.5	1	10	35
6	31b_k1	1.5	1	15	35
7	2b_k1	3	1	20	20
8	3b_k1	3	1	25	20
9	4b_k1	3	1	30	20
10	20b_k1	3	1	10	30
11	21b_k1	3	1	15	30
12	22b_k1	3	1	20	30

Οι αναλύσεις αυτές έγιναν μόνο για βάθη 15m και 30m και χρησιμοποιήθηκαν σε συνδυασμό με τις αντίστοιχες αναλύσεις της 1ης ομάδας, δηλαδή τις αναλύσεις με τις ίδιες παραμέτρους εκτός από το συντελεστή ουδέτερων τάσεων K_o.

3.4.3 Παράμετροι Άμεσης Υποστήριξης

Ως άμεση υποστήριξη θεωρήθηκε ένα κέλυφος εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους **t_c=0.20m** με γραμμικώς ελαστική συμπεριφορά, με μέτρο ελαστικότητας **E_c=15GPa**, με ειδικό βάρους όσο του οπλισμένου σκυροδέματος **γ_c=25KN/m^3** και με λόγο Poisson **ν=0.2** βλ. πίνακα 3.6. Η άμεση υποστήριξη θεωρήθηκε ίδια για όλες τις αναλύσεις.

Πίνακας 3.6. Παράμετροι Άμεσης Υποστήριξης που Χρησιμοποιήθηκαν στις Αναλύσεις

t_c [m]	E_c [GPa]	γ_c [KN/m^3]	ν -
0.20	15	25	0.2

3.4.4 Παράμετροι Υποστήριξης του Μετώπου με Αγκύρια Fiberglass

Το μέτωπο της σήραγγας ενισχύθηκε με αγκύρια fiberglass. Τα αγκύρια θεωρήθηκαν ελαστοπλαστικά με διάμετρο **d=25mm** με οριακό φορτίο **F_y=196KN** και μέτρο ελαστικότητας **E_{nails}=20GPa** για όλες τις περιπτώσεις της $1^{ης}$, $2^{ης}$ & $3^{ης}$ ομάδας αναλύσεων βλ. πίνακα 3.7, ενώ έγινε παραμετρική διερεύνηση ως προς το μέτρο ελαστικότητας των αγκυρίων E_{nails} και για τις αναλύσεις του πίνακα 3.8 χρησιμοποιήθηκε τιμή του μέτρου ελαστικότητας των αγκυρίων **E_{nails}=80GPa** .

Τέλος θεωρήθηκε ότι δεν υπάρχει δυνατότητα σχετικής ολίσθησης μεταξύ αγκυρίου και περιβάλλοντος εδάφους, υπάρχει δηλαδή πλήρης συνάφεια μεταξύ του αγκυρίου και του εδάφους. Αυτή η παραδοχή έγινε διότι η αστοχία ενισχυμένου μετώπου δεν προκαλείται λόγω εξόλκευσης των αγκυρίων, αλλά λόγω διαρροής του εδάφους μεταξύ των αγκυρίων. Επιπλέον στην περίπτωση των αβαθών σηράγγων τα αγκύρια δεν τοποθετούνται ώστε να λειτουργήσουν κοντά στο όριο διαρροής τους σε εφελκυσμό διότι αυτό θα σήμαινε μεγάλες παραμορφώσεις οι οποίες συνήθως δεν είναι ανεκτές. Επομένως θεωρείται ότι η συνάφεια μεταξύ του εδάφους και του ενέματος του αγκυρίου παραλαμβάνει με ασφάλεια τις αναπτυσσόμενες στα αγκύρια δυνάμεις.

Πίνακας 3.7. Παράμετροι Υποστήριξης του Μετώπου με Αγκύρια Fiberglass που Χρησιμοποιήθηκαν στις Αναλύσεις

d [mm]	F_{max} [MPa]	E_{nails} [GPa]
25	200	20 ή 80

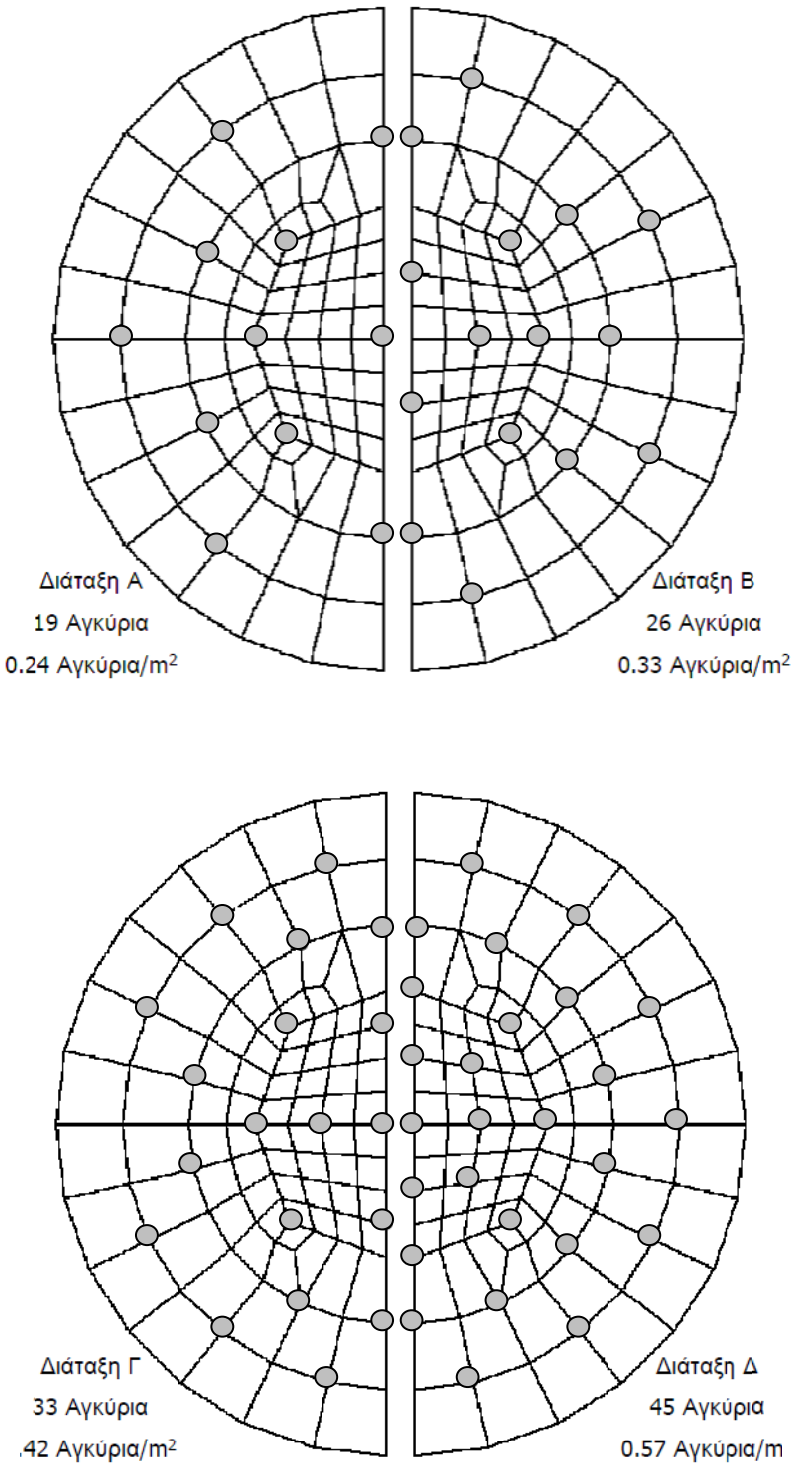
Πίνακας 3.8. Παράμετροι 4ης Ομάδας Αναλύσεων ως προς το Μέτρο Ελαστικότητας των Αγκυρίων E_{nails}

A/A		H/D -	E_{nails} Gpa
1	10_5c_n	1.5	80
2	11c_n	1.5	
3	12c_n	1.5	
4	13c_n	1.5	
5	29c_n	1.5	
6	30c_n	1.5	
7	31c_n	1.5	
8	2c_n	3	
9	3c_n	3	
10	4c_n	3	
11	20c_n	3	
12	21c_n	3	
13	22c_n	3	

Οι αναλύσεις αυτές έγιναν μόνο για βάθη 15m και 30m και χρησιμοποιήθηκαν σε συνδυασμό με τις αντίστοιχες αναλύσεις της 1ης ομάδας, δηλαδή τις αναλύσεις με τις ίδιες παραμέτρους εκτός από το μέτρο ελαστικότητας των αγκυρίων.

Εξετάστηκαν τέσσερεις διατάξεις ενίσχυσης:

- 1η διάταξη με 19 αγκύρια στην επιφάνεια του μετώπου και πυκνότητα n=0.24αγκύρια/m^2 βλ. σχήμα 3.2α
- 2η διάταξη με 26 αγκύρια στην επιφάνεια του μετώπου και πυκνότητα n=0.33αγκύρια/m^2 βλ. σχήμα 3.2β
- 3η διάταξη με 33 αγκύρια στην επιφάνεια του μετώπου και πυκνότητα n=0.42αγκύρια/m^2 βλ. σχήμα 3.2γ
- 4η διάταξη με 45 αγκύρια στην επιφάνεια του μετώπου και πυκνότητα n=0.57αγκύρια/m^2 βλ. σχήμα 3.2δ



Σχήμα 3.2. Σχηματική Απεικόνιση του Καννάβου των Διατάξεων Ενίσχυσης του Μετώπου με Αγκύρια Fiberglass. (Διδακτορική Διατριβή Γ. Προυντζόπουλος 2012)

Για να υπάρχει αντιστοίχιση με τις αναλύσεις της ομοιόμορφης πίεσης υποστήριξης για κάθε ανάλυση του πινάκα 3.3 έγιναν κατά βάση 4 αναλύσεις μία για κάθε τύπο καννάβου βλ. πίνακα 3.9, ενώ για τις αναλύσεις των πινάκων 3.4 και 3.5 για ύψος υπερκειμένων 15m έγιναν κατά κανόνα 2 αναλύσεις μία για αριθμό αγκυρίων στο μέτωπο 19 και μία για αριθμό αγκυρίων στο μέτωπο 33 και για ύψος υπερκειμένων 30m έγιναν αναλύσεις για αριθμό αγκυρίων στο μέτωπο 26 και για αριθμό αγκυρίων στο μέτωπο 45 βλ. πίνακες 3.10 και 3.11 αντίστοιχα.

Τέλος για τις αναλύσεις του πίνακα 3.8 για διαφορετικό μέτρο ελαστικότητας αγκυρίων για ύψος υπερκειμένων 15m έγιναν 2 αναλύσεις μία για αριθμό αγκυρίων στο μέτωπο 19 και μία για αριθμό αγκυρίων στο μέτωπο 33 και για ύψος υπερκειμένων 30m έγιναν πάλι 2 αναλύσεις μία για αριθμό αγκυρίων στο μέτωπο 26 και μία για αριθμό αγκυρίων στο μέτωπο 45 βλ. πίνακα 3.12

Πίνακας 3.9. Πίνακας Αναλύσεων της 1^{ης} Ομάδας για τις Διάφορες Διατάξεις Υποστήριξης με Αγκύρια στην Επιφάνεια του Μετώπου.

A/A		H/D -	Αριθμός Αγκυρίων στο Μέτωπο			
			19	26	33	45
1	1b	1	N	N	N	N
2	1.3b	1	N	N	N	O
3	1.5b	1	N	N	O	O
4	2b	1	N	N	N	N
5	3b	1	N	N	N	N
6	10_3b	1	N	O	O	O
7	11b	1	N	N	N	N
8	12b	1	N	N	N	N
9	20_2b	1	N	N	N	O
10	21b	1	N	N	N	N
11	22b	1	N	N	N	N
12	30b	1	N	N	N	N
13	31b	1	N	N	N	N
14	1.5b	1.5	N	N	N	N
15	2b	1.5	N	N	N	N
16	3b	1.5	N	N	N	N
17	10_5b	1.5	N	N	N	N
18	11b	1.5	N	N	N	N
19	12b	1.5	N	N	N	N
20	13b	1.5	N	N	N	N
21	20b	1.5	N	N	N	N
22	21b	1.5	N	N	N	N

A/A		H/D -	Αριθμός Αγκυρίων στο Μέτωπο			
			19	26	33	45
23	22b	1.5	N	N	N	N
24	29b	1.5	N	N	N	N
25	30b	1.5	N	N	N	N
26	31b	1.5	N	N	N	N
27	1.5b	2	N	N	O	N
28	2b	2	N	N	N	N
29	3b	2	N	N	N	N
30	4b	2	N	N	N	N
31	10.5b	2	N	N	N	O
32	11b	2	N	N	N	N
33	12b	2	N	N	N	N
34	13b	2	N	N	N	N
35	19.1b=20b	2	N	N	N	N
36	21b	2	N	N	N	N
37	22b	2	N	N	N	N
38	23b	2	N	N	N	N
39	29.1b=29b	2	N	N	N	N
40	30b	2	N	N	N	N
41	31b	2	N	N	N	N
42	32b	2	N	N	N	N
43	2b	3	N	N	N	N
44	3b	3	N	N	N	N
45	4b	3	N	N	N	N
46	11b	3	N	N	N	N
47	12b	3	N	N	N	N
48	13b	3	N	N	N	N
49	20b	3	N	N	N	N
50	21b	3	N	N	N	N
51	22b	3	N	N	N	N
52	30b	3	N	N	N	N
53	31b	3	N	N	N	N
54	2b	5	N	N	N	N
55	3b	5	N	N	N	N
56	4b	5	N	N	N	N
57	5b	5	N	N	N	N
58	11b	5	N	N	N	N
59	12b	5	N	N	N	O
60	13b	5	N	N	N	N
61	21b	5	N	N	N	N
62	22b	5	N	N	N	N
63	30b	5	N	N	N	O
64	30_3b	5	N	N	O	N
65	31b	5	N	N	N	O

Πίνακας 3.10. Πίνακας Αναλύσεων της 2ης Ομάδας για τις Διάφορες Διατάξεις Υποστήριξης με Αγκύρια στην Επιφάνεια του Μετώπου.

A/A		H/D -	Αριθμός Αγκυρίων στο Μέτωπο			
			19	26	33	45
1	10_5a	1.5	N	O	N	O
2	11a	1.5	N	O	N	O
3	12a	1.5	N	O	N	O
4	13a	1.5	N	O	N	O
5	10_5c	1.5	N	O	N	O
6	11c	1.5	N	O	N	O
7	12c	1.5	N	O	N	O
8	13c	1.5	N	O	N	O
9	29a	1.5	O	O	N	O
10	30a	1.5	N	O	N	O
11	31a	1.5	N	O	N	O
12	29c	1.5	N	O	N	O
13	30c	1.5	N	O	N	O
14	31c	1.5	N	O	N	O
15	2a	3	O	N	O	N
16	3a	3	O	N	O	N
17	4a	3	O	N	O	N
18	2c	3	O	N	O	N
19	3c	3	O	N	O	N
20	4c	3	O	N	O	N
21	20a	3	O	N	O	N
22	21a	3	O	N	O	N
23	22a	3	O	N	O	N
24	20c	3	O	N	O	N
25	21c	3	O	N	O	N
26	22c	3	O	N	O	N

Πίνακας 3.11. Πίνακας Αναλύσεων της 3ης Ομάδας για τις Διάφορες Διατάξεις Υποστήριξης με Αγκύρια στην Επιφάνεια του Μετώπου.

A/A		H/D -	Αριθμός Αγκυρίων στο Μέτωπο			
			19	26	33	45
1	10_5b_k1	1.5	N	O	N	O
2	11b_k1	1.5	N	O	N	O
3	12b_k1	1.5	N	O	N	O
4	13b_k1	1.5	N	O	N	O
5	30b_k1	1.5	N	O	N	O
6	31b_k1	1.5	N	O	N	O
7	2b_k1	3	O	N	O	N
8	3b_k1	3	O	N	O	N
9	4b_k1	3	O	N	O	N
10	20b_k1	3	O	N	O	N
11	21b_k1	3	O	N	O	N
12	22b_k1	3	O	N	O	N

Πίνακας 3.12. Πίνακας Αναλύσεων της 4ης Ομάδας για τις Διάφορες Διατάξεις Υποστήριξης με Αγκύρια στην Επιφάνεια του Μετώπου.

A/A		H/D -	Αριθμός Αγκυρίων στο Μέτωπο			
			19	26	33	45
1	10_5c_n	1.5	N	O	N	O
2	11c_n	1.5	N	O	N	O
3	12c_n	1.5	N	O	N	O
4	13c_n	1.5	N	O	N	O
5	29c_n	1.5	N	O	N	O
6	30c_n	1.5	N	O	N	O
7	31c_n	1.5	N	O	N	O
8	2c_n	3	O	N	O	N
9	3c_n	3	O	N	O	N
10	4c_n	3	O	N	O	N
11	20c_n	3	O	N	O	N
12	21c_n	3	O	N	O	N
13	22c_n	3	O	N	O	N

όπου Ν η συντομογραφία της λέξης «Ναι» που δηλώνει ότι έχει γίνει ανάλυση για τη συγκεκριμένη περίπτωση για το δεδομένο κάνναβο, ενώ όπου Ο η συντομογραφία της λέξης «Όχι» που δηλώνει ότι δεν έχει γίνει ανάλυση για το δεδομένο κάνναβο.

Από τους παραπάνω πίνακες φαίνεται ότι χρησιμοποιήθηκαν τα αποτελέσματα από συνολικά **348** αναλύσεις με υποστήριξη του μετώπου με αγκύρια fiberglass.

3.4.5 Ομοιόμορφη Πίεση Υποστήριξης στο Μέτωπο

Για κάθε ανάλυση των πινάκων 3.3, 3.4, 3.5, 3.8, έγιναν αναλύσεις με ομοιόμορφη πίεση υποστήριξης στο μέτωπο η οποία έπαιρνε τιμές από 5-90KPa βλ. πίνακες 3.13, 3.14, 3.15, 3.16 αντίστοιχα. Έτσι για κάθε περίπτωση έγιναν 5 τουλάχιστον αναλύσεις με τιμές πίεσης στο μέτωπο **10 KPa, 20 KPa, 30 KPa, 50 KPa,** και **70 KPa** αντίστοιχα. Υπήρχαν όμως περιπτώσεις όπου είτε η ανάλυση δεν ολοκληρωνόταν είτε χρειαζόταν ενδιάμεση τιμή της πίεσης για τη βελτίωση των διαγραμμάτων p-u βλέπε παράγραφο 3.5 όπου περιγράφεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε, οπότε σε αυτές τις περιπτώσεις γίνονταν επιπλέον αναλύσεις. Αυτό το φαινόμενο παρατηρήθηκε στις περιπτώσεις μικρών υπερκειμένων κυρίως για H/D=1 και σε κάποιες περιπτώσεις για H/D=1.5.

Πίνακας 3.13. Πίνακας Αναλύσεων της 1^{ης} Ομάδας για Ομοιόμορφη Πίεση Υποστήριξης στο Μέτωπο

A/A		H/D -	p [KPa]												
			5	7	10	12	14	15	17	20	25	30	50	70	90
1	1b	1	N	O	N	O	O	N	O	N	N	N	N	N	N
2	1.3b	1	N	O	N	O	O	N	N	N	O	N	N	N	N
3	1.5b	1	N	O	N	N	O	N	O	N	O	N	N	N	N
4	2b	1	N	O	N	N	O	N	O	N	O	N	N	N	N
5	3b	1	N	O	N	O	O	N	O	N	O	N	N	N	N
6	10_3b	1	N	O	N	O	O	N	N	N	O	N	N	N	O
7	11b	1	N	O	N	N	O	N	O	N	O	N	N	N	O
8	12b	1	N	O	N	O	O	N	O	N	O	N	N	N	O
9	20_2b	1	N	O	N	N	O	N	O	N	O	N	N	N	O
10	21b	1	N	O	N	O	O	N	O	N	O	N	N	N	O
11	22b	1	N	O	N	O	O	N	O	N	O	N	N	N	O
12	30b	1	O	N	N	O	O	N	O	N	O	N	N	N	N
13	31b	1	N	O	N	O	O	N	O	N	O	N	N	N	N

A/A		H/D -	p [KPa]												
			5	7	10	12	14	15	17	20	25	30	50	70	90
14	1.5b	1.5	O	O	N	O	O	N	O	N	O	N	N	N	O
15	2b	1.5	O	O	N	O	O	N	O	N	O	N	N	N	O
16	3b	1.5	O	O	N	O	O	N	O	N	O	N	N	N	O
17	10_5b	1.5	O	O	N	O	O	N	O	N	O	N	N	N	O
18	11b	1.5	O	O	N	O	O	N	O	N	O	N	N	N	O
19	12b	1.5	O	O	N	O	O	N	O	N	O	N	N	N	O
20	13b	1.5	O	O	N	O	O	N	O	N	O	N	N	N	O
21	20b	1.5	O	O	N	O	O	N	O	N	O	N	N	N	O
22	21b	1.5	O	O	N	O	O	N	O	N	O	N	N	N	O
23	22b	1.5	O	O	N	O	O	N	O	N	O	N	N	N	O
24	29b	1.5	O	O	O	O	N	N	O	N	O	N	N	N	O
25	30b	1.5	O	N	N	O	O	N	O	N	O	N	N	N	O
26	31b	1.5	O	N	N	O	O	N	O	N	O	N	N	N	O
27	1.5b	2	O	O	N	O	O	O	O	N	O	N	N	N	N
28	2b	2	O	O	N	O	O	O	O	N	O	N	N	N	N
29	3b	2	O	O	N	O	O	O	O	N	O	N	N	N	N
30	4b	2	O	O	N	O	O	O	O	N	O	N	N	N	N
31	10.5b	2	O	O	N	O	O	O	O	N	O	N	N	N	N
32	11b	2	O	O	N	O	O	O	O	N	O	N	N	N	N
33	12b	2	O	O	N	O	O	O	O	N	O	N	N	N	N
34	13b	2	O	O	N	O	O	O	O	N	O	N	N	N	N
35	19.1b=20b	2	O	O	N	O	O	O	O	N	O	N	N	N	N
36	21b	2	O	O	N	O	O	O	O	N	O	N	N	N	N
37	22b	2	O	O	N	O	O	O	O	N	O	N	N	N	N
38	23b	2	O	O	N	O	O	O	O	N	O	N	N	N	N
39	29.1b=29b	2	O	O	N	O	O	O	O	N	O	N	N	N	N
40	30b	2	O	O	N	O	O	O	O	N	O	N	N	N	N
41	31b	2	O	O	N	O	O	O	O	N	O	N	N	N	N
42	32b	2	N	O	N	O	O	O	O	N	O	N	N	N	N
43	2b	3	O	O	N	O	O	O	O	N	O	N	N	N	N
44	3b	3	O	O	N	O	O	O	O	N	O	N	N	N	N
45	4b	3	O	O	N	O	O	O	O	N	O	N	N	N	N
46	11b	3	O	O	N	O	O	O	O	N	O	N	N	N	N
47	12b	3	O	O	N	O	O	O	O	N	O	N	N	N	N
48	13b	3	O	O	N	O	O	O	O	N	O	N	N	N	N
49	20b	3	O	O	N	O	O	O	O	N	O	N	N	N	N
50	21b	3	O	O	N	O	O	O	O	N	O	N	N	N	N
51	22b	3	O	O	N	O	O	O	O	N	O	N	N	N	N
52	30b	3	O	O	N	O	O	O	O	N	O	N	N	N	N
53	31b	3	O	O	N	O	O	O	O	N	O	N	N	N	N
54	2b	5	O	O	N	O	O	O	O	N	O	N	N	N	N
55	3b	5	O	O	N	O	O	O	O	N	O	N	N	N	N

A/A		H/D -	p [KPa]												
			5	7	10	12	14	15	17	20	25	30	50	70	90
56	4b	5	O	O	N	O	O	O	O	N	O	N	N	N	N
57	5b	5	O	O	N	O	O	O	O	N	O	N	N	N	N
58	11b	5	O	O	N	O	O	O	O	N	O	N	N	N	N
59	12b	5	O	O	N	O	O	O	O	N	O	N	N	N	N
60	13b	5	O	O	N	O	O	O	O	N	O	N	N	N	N
61	21b	5	O	O	N	O	O	O	O	N	O	N	N	N	N
62	22b	5	O	O	N	O	O	O	O	N	O	N	N	N	N
63	30b	5	O	O	N	O	O	O	O	N	O	N	N	N	N
64	30_3b	5	O	O	N	O	O	O	O	N	O	N	N	N	N
65	31b	5	O	O	N	O	O	O	O	N	O	N	N	N	N

Πίνακας 3.14. Πίνακας Αναλύσεων της 2ης Ομάδας για Ομοιόμορφη Πίεση Υποστήριξης στο Μέτωπο

A/A		H/D -	p [KPa]								
			5	7	10	15	20	30	50	70	90
1	10_5a	1.5	O	O	N	N	N	N	N	N	O
2	11a	1.5	O	O	N	N	N	N	N	N	O
3	12a	1.5	O	O	N	N	N	N	N	N	O
4	13a	1.5	O	O	N	N	N	N	N	N	O
5	10_5c	1.5	O	O	N	N	N	N	N	N	O
6	11c	1.5	O	O	N	N	N	N	N	N	O
7	12c	1.5	O	O	N	N	N	N	N	N	O
8	13c	1.5	O	O	N	N	N	N	N	N	O
9	29a	1.5	O	O	N	N	N	N	N	N	O
10	30a	1.5	N	O	N	N	N	N	N	N	O
11	31a	1.5	O	O	N	N	N	N	N	N	O
12	29c	1.5	N	O	N	N	N	N	N	N	O
13	30c	1.5	O	N	N	N	N	N	N	N	O
14	31c	1.5	N	O	N	N	N	N	N	N	O
15	2a	3	O	O	N	O	N	N	N	N	N
16	3a	3	O	O	N	O	N	N	N	N	N
17	4a	3	O	O	N	O	N	N	N	N	N
18	2c	3	O	O	N	O	N	N	N	N	N
19	3c	3	O	O	N	O	N	N	N	N	N
20	4c	3	O	O	N	O	N	N	N	N	N
21	20a	3	O	O	N	O	N	N	N	N	N
22	21a	3	O	O	N	O	N	N	N	N	N
23	22a	3	O	O	N	O	N	N	N	N	N
24	20c	3	O	O	N	O	N	N	N	N	N
25	21c	3	O	O	N	O	N	N	N	N	N
26	22c	3	O	O	N	O	N	N	N	N	N

Πίνακας 3.15. Πίνακας Αναλύσεων της 3ης Ομάδας για Ομοιόμορφη Πίεση Υποστήριξης στο Μέτωπο

A/A		H/D -	P [KPa]								
			5	7	10	15	20	30	50	70	90
1	10_5b_k1	1.5	O	O	N	N	N	N	N	N	O
2	11b_k1	1.5	O	O	N	N	N	N	N	N	O
3	12b_k1	1.5	O	O	N	N	N	N	N	N	O
4	13b_k1	1.5	O	O	N	N	N	N	N	N	O
5	30b_k1	1.5	O	N	N	N	N	N	N	N	O
6	31b_k1	1.5	N	O	N	N	N	N	N	N	O
7	2b_k1	3	O	O	N	O	N	N	N	N	N
8	3b_k1	3	O	O	N	O	N	N	N	N	N
9	4b_k1	3	O	O	N	O	N	N	N	N	N
10	20b_k1	3	O	O	N	O	N	N	N	N	N
11	21b_k1	3	O	O	N	O	N	N	N	N	N
12	22b_k1	3	O	O	N	O	N	N	N	N	N

Πίνακας 3.16. Πίνακας Αναλύσεων της 4ης Ομάδας για Ομοιόμορφη Πίεση Υποστήριξης στο Μέτωπο

A/A		H/D -	p [KPa]								
			7	10	14	15	20	30	50	70	90
1	10_5c_n	1.5	O	N	O	N	N	N	N	N	O
2	11c_n	1.5	O	N	O	N	N	N	N	N	O
3	12c_n	1.5	O	N	O	N	N	N	N	N	O
4	13c_n	1.5	O	N	O	N	N	N	N	N	O
5	29c_n	1.5	O	O	N	N	N	N	N	N	O
6	30c_n	1.5	N	N	O	N	N	N	N	N	O
7	31c_n	1.5	N	N	O	N	N	N	N	N	O
8	2c_n	3	O	N	O	O	N	N	N	N	N
9	3c_n	3	O	N	O	O	N	N	N	N	N
10	4c_n	3	O	N	O	O	N	N	N	N	N
11	20c_n	3	O	N	O	O	N	N	N	N	N
12	21c_n	3	O	N	O	O	N	N	N	N	N
13	22c_n	3	O	N	O	O	N	N	N	N	N

όπου Ν η συντομογραφία της λέξης «Ναι» που δηλώνει ότι έχει γίνει ανάλυση για τη συγκεκριμένη περίπτωση για την δεδομένη πίεση, ενώ όπου Ο η συντομογραφία της λέξης «Όχι» που δηλώνει ότι δεν έχει γίνει ανάλυση για τη συγκεκριμένη περίπτωση για την δεδομένη πίεση.

Από τους παραπάνω πίνακες φαίνεται ότι εκτελέστηκαν συνολικά **734** αναλύσεις με ομοιόμορφη πίεση υποστήριξης στο μέτωπο.

3.5 Μεθοδολογία Αντιστοίχιση της Ισοδύναμης Ομοιόμορφης Πίεσης Υποστήριξης του Μετώπου με την Πυκνότητα Αγκυρίων Fiberglass στο Μέτωπο της Σήραγγας

3.5.1 Ορισμός Αντιπροσωπευτικών Μεγεθών

3.5.1.1 Η Οριακή Πίεση Αναφοράς p_{ref}

Ως οριακή πίεση αναφοράς p_{ref} θεωρήθηκε η μέγιστη δυνατή κατανεμημένη πίεσή επί του μετώπου εκσκαφής που προκύπτει αν όλα τα αγκύρια του μετώπου φτάσουν στη δύναμη διαρροής τους και ορίζεται ως το γινόμενο της πυκνότητας των αγκυρίων στο μέτωπο με τη φέρουσα ικανότητα του αγκυρίου βλ. τύπο 3.3

$$p_{ref}=dF_y \quad (3.3)$$

F_y =196KN η φέρουσα ικανότητα του αγκυρίου [KN]
d η πυκνότητα των αγκυρίων στο μέτωπο [αγκύρια/m^2]

$$d=\frac{n}{A_{tun}} \quad (3.4)$$

n ο αριθμός των αγκυρίων στο μέτωπο
A_{tun} το εμβαδό της διατομής της σήραγγας

$$A_{tun}=\pi\frac{D^2}{4} \quad (3.5)$$

$$p_{ref}=\frac{n}{\pi\frac{D^2}{4}}F_y \quad (3.6)$$

Από τους παραπάνω τύπους φαίνεται ότι υπάρχει μια οριακή πίεση αναφοράς για κάθε τύπο καννάβου αγκυρίων βλ. πίνακα 3.17

Πίνακας 3.17. Οριακή Πίεση Αναφοράς p_{ref} για κάθε Τύπο Καννάβου

Αρ. Αγκυρίων	d [αρ. αγκυρίων/m^2]	P_{ref} [KPa}
19	0.24	47.4
26	0.33	64.88
33	0.42	82.35
45	0.57	112.30

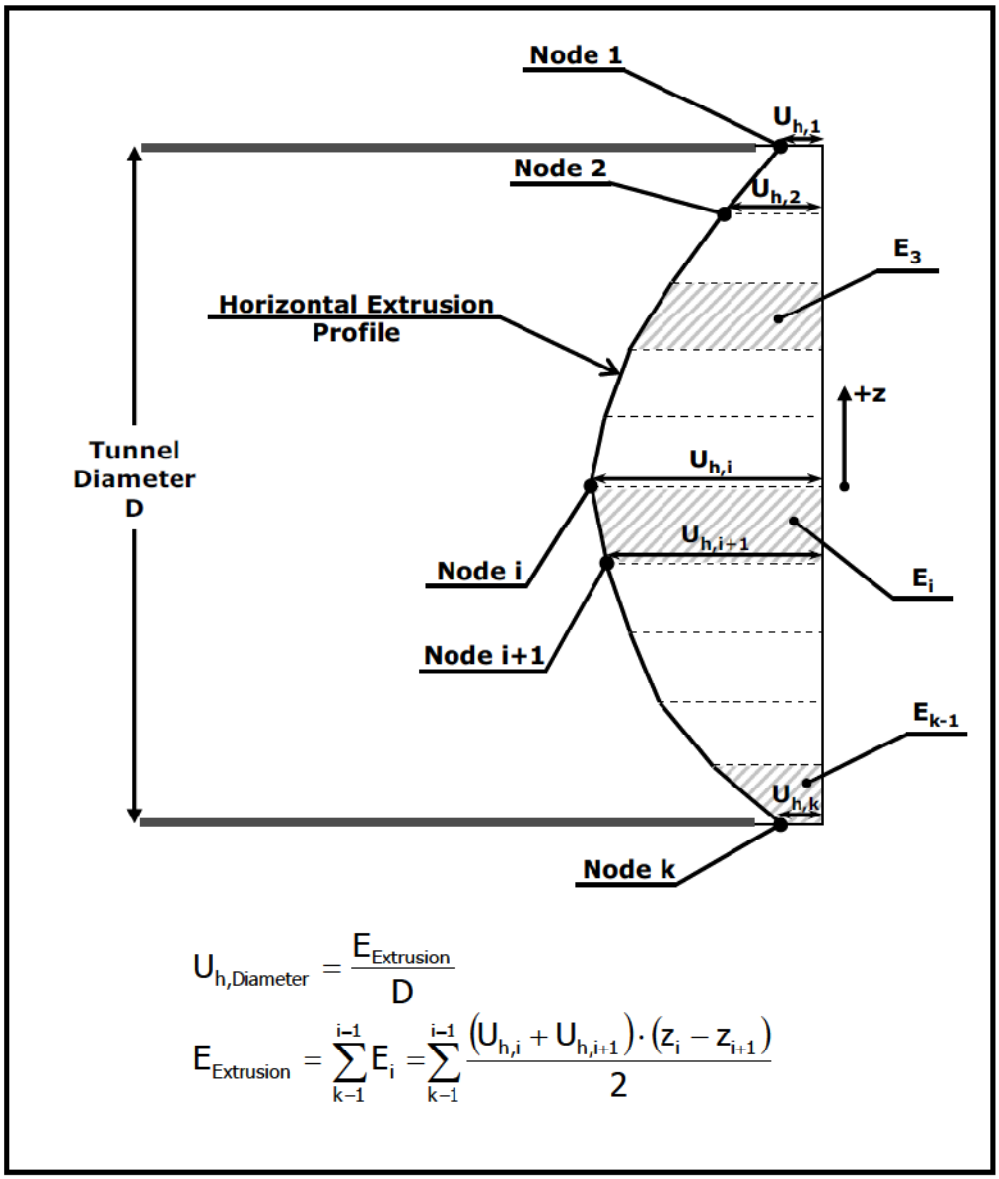
3.5.1.2 Η Έκθλιψη του Μετώπου

Η έκθλιψη είναι ένα παραμορφωσιακό μέγεθος και ορίζεται ως η οριζόντια μετακίνηση του μετώπου εκσκαφής λόγω της αποτόνωσης των οριζοντίων γεωστατικών τάσεων από την διάνοιξη της σήραγγας. Η έκθλιψη ξεκινά σε μία θέση μπροστά από το μέτωπο, σε απόσταση από αυτό ίση με την απόσταση επιρροής της εκσκαφής, αυξάνεται με την εξέλιξη της διάνοιξης και λαμβάνει τη μέγιστη τιμή της όταν το μέτωπο εκσκαφής βρεθεί σε αυτή τη θέση.

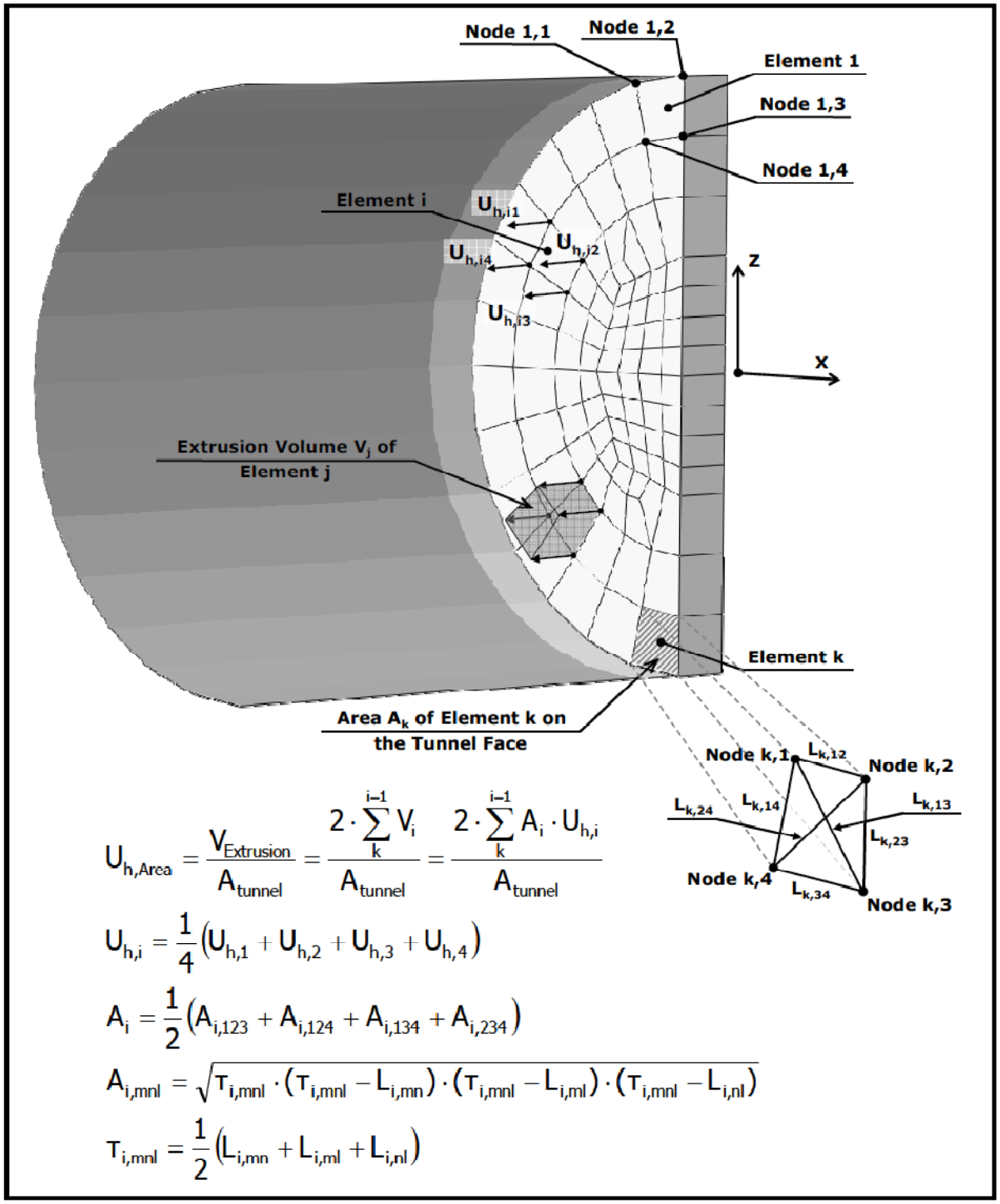
Στα πλαίσια της διερεύνησης της ευστάθειας του μετώπου εξετάστηκαν τρεις μορφές έκθλιψής του. Η μονοδιάστατη έκθλιψη του κέντρου του μετώπου, η οποία είναι η οριζόντια μετακίνηση του κόμβου που βρίσκεται στο κέντρο της σήραγγας, η δισδιάστατη μέση έκθλιψη στην κατακόρυφη διάμετρο που περνάει από το κέντρο της σήραγγας, η οποία υπολογίζεται από το εμβαδό του ορθογωνίου το οποίο είχε ίδια τιμή με το εμβαδό του προφίλ της έκθλιψης σε αυτή την κατακόρυφο και η τρισδιάστατη μέση έκθλιψη σε όλο το μέτωπο η οποία υπολογίζεται από τον όγκο τμήματος κώνου ο οποίος είχε την ίδια τιμή με τον όγκο της συνολικής έκθλιψης σε όλη την επιφάνεια του μετώπου.

Ως κριτήριο συσχέτισης της ομοιόμορφης πίεσης υποστήριξης του μετώπου με την υποστήριξη του μετώπου με αγκύρια, με σκοπό τον υπολογισμό της ισοδύναμης ομοιόμορφης πίεσης υποστήριξης, χρησιμοποιήθηκε η τρίτη περίπτωση η μέση έκθλιψη σε όλο το μέτωπο.

Οι τιμές αυτές της έκθλιψης υπολογίζονταν αυτόματα μέσω **Ειδικών Φύλλων Υπολογισμού Excel** τα οποία δημιουργήθηκαν στα πλαίσια της διδακτορικής διατριβής του Γ. Προυντζόπουλου, διαφορετικών για κάθε ύψος υπερκειμένων, με εισαγωγή σε αυτά του αρχείου εξόδου των μετακινήσεων από το πρόγραμμα Abaqus. βλ. σχήμα 3.3 & 3.4



Σχήμα 3.3. Υπολογισμός της Μέσης Έκθλιψης καθ' Ύψος της Κατακόρυφης Διαμέτρου της Σήραγγας. (Διδακτορική Διατριβή Γ. Προυντζόπουλος 2012.)



$$U_{h,Area} = \frac{V_{Extrusion}}{A_{tunnel}} = \frac{2 \cdot \sum_{k}^{i-1} V_i}{A_{tunnel}} = \frac{2 \cdot \sum_{k}^{i-1} A_i \cdot U_{h,i}}{A_{tunnel}}$$

$$U_{h,i} = \frac{1}{4}\left(U_{h,1} + U_{h,2} + U_{h,3} + U_{h,4}\right)$$

$$A_i = \frac{1}{2}\left(A_{i,123} + A_{i,124} + A_{i,134} + A_{i,234}\right)$$

$$A_{i,mnl} = \sqrt{T_{i,mnl} \cdot (T_{i,mnl} - L_{i,mn}) \cdot (T_{i,mnl} - L_{i,ml}) \cdot (T_{i,mnl} - L_{i,nl})}$$

$$T_{i,mnl} = \frac{1}{2}\left(L_{i,mn} + L_{i,ml} + L_{i,nl}\right)$$

Σχήμα 3.4. Υπολογισμός της Μέσης Έκθλιψης στο Σύνολο της Επιφάνειας του Μετώπου της Σήραγγας. (Διδακτορική Διατριβή Γ. Προυντζόπουλος 2012.)

Σε πολλά όμως διαγράμματα χρησιμοποιήθηκε η κανονικοποιημένη μορφή της τρίτης περίπτωσης της μέσης έκθλιψης σε όλο το μέτωπο ή αλλιώς $\Omega_{f,3}$ βλ. τύπο 3.7.

$$\Omega_{f,3}=\frac{u_2 E}{Dp_o} \quad (3.7)$$

$$p_o=\frac{1}{2}\gamma H(1+K_o) \quad (3.8)$$

όπου p_o ο μέσος όρος της οριζόντιας και της κατακόρυφης γεωστατικής τάσης στο κέντρο της σήραγγας.

3.5.1.3 Ο Συντελεστής Ευστάθειας του Μετώπου Λ_F

Στα πλαίσια της διδακτορικής διατριβής του Γ. Προυντζόπουλου 2012 προτάθηκε ένας νέος συντελεστής ευστάθειας ανυποστήρικτου μετώπου αβαθών σηράγγων ο Λ_F. βλ. τύπο 3.9

$$\Lambda_F=\frac{5.25c(N_\phi)^a}{\gamma H^{1-b}D^b} \quad (3.9)$$

όπου N_ϕ βλ. τύπο (3.2)

$$a=0.16\frac{H}{D}+0.59 \quad (3.10)$$

$$b=\left(\frac{H}{D}\right)^{-0.37} \quad (3.11)$$

Ο συγκεκριμένος τύπος ισχύει για H/D<5 για αβαθείς σήραγγες.

Στα πλαίσια της διδακτορικής διατριβής του Γ. Προυντζόπουλου 2012 προτάθηκε επίσης ένας τροποποιημένος συντελεστής ευστάθειας του μετώπου για ενισχυμένο μέτωπο σήραγγας από αγκύρια fiberglass ο συντελεστής $\Lambda_{F,R}$ βλ. τύπο 3.13

$$\Lambda_{F,R}=\frac{5.25c(N_{\phi})^{a_R}}{\gamma H^{1-b_R}D^{b_R}} \quad (3.13)$$

$$a_R=a+\Delta a=\left(0.16\frac{H}{D}+0.59\right)+d\left(0.63\frac{H}{D}+0.85\right) \quad (3.14)$$

$$b_R=b-\Delta b=\left(\frac{H}{D}\right)^{-0.37}-0.35d\frac{H}{D} \quad (3.15)$$

όπου d η πυκνότητα των αγκυρίων fiberglass.

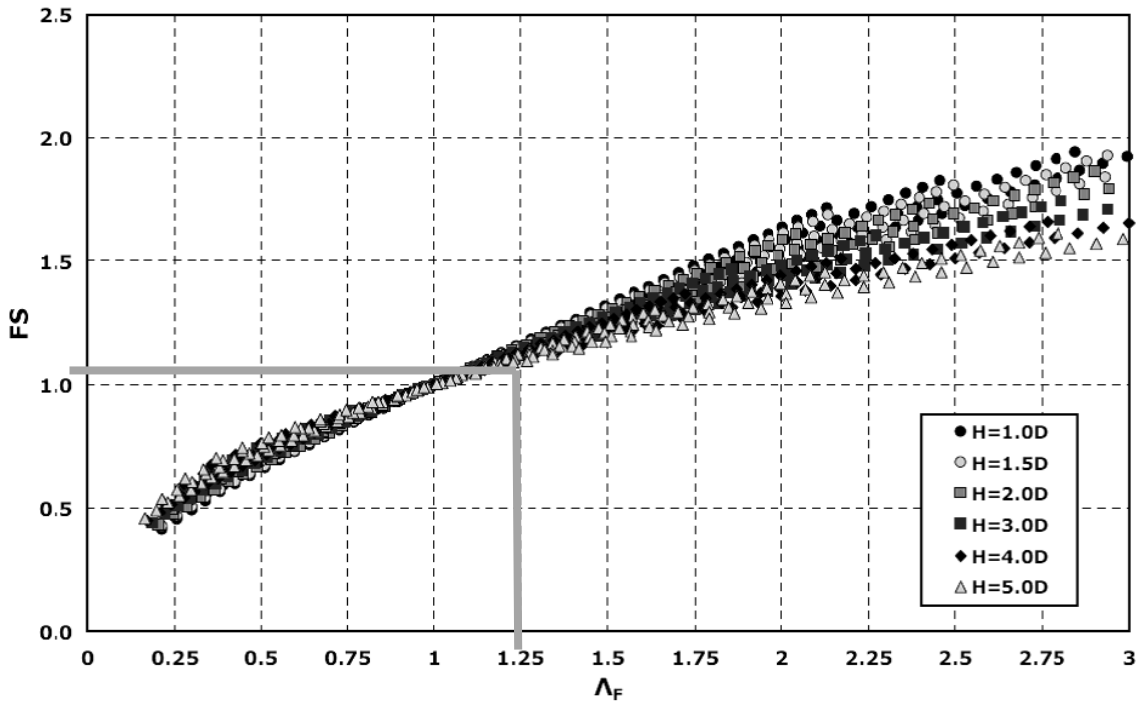
Έπειτα από διερεύνηση προτάθηκε από τον Γ. Προυντζόπουλο ένα εύρος τιμών του συντελεστή Λ_F για το οποίο για υποστήριξη μετώπου με αγκύρια βρισκόμαστε σε μια περιοχή ορθού σχεδιασμένου καννάβου.

$0.55< \Lambda_F <1.25$ (3.12)

Έτσι με τη βοήθεια του συντελεστή Λ_F από μια μεγάλη βάση δεδομένων που έχει δημιουργηθεί από αναλύσεις οι οποίες προσομοίωναν αγκύρια fiberglass για την υποστήριξη του μετώπου επιλέχθηκαν αυτές για της οποίες $0.55< \Lambda_F <1.25$.

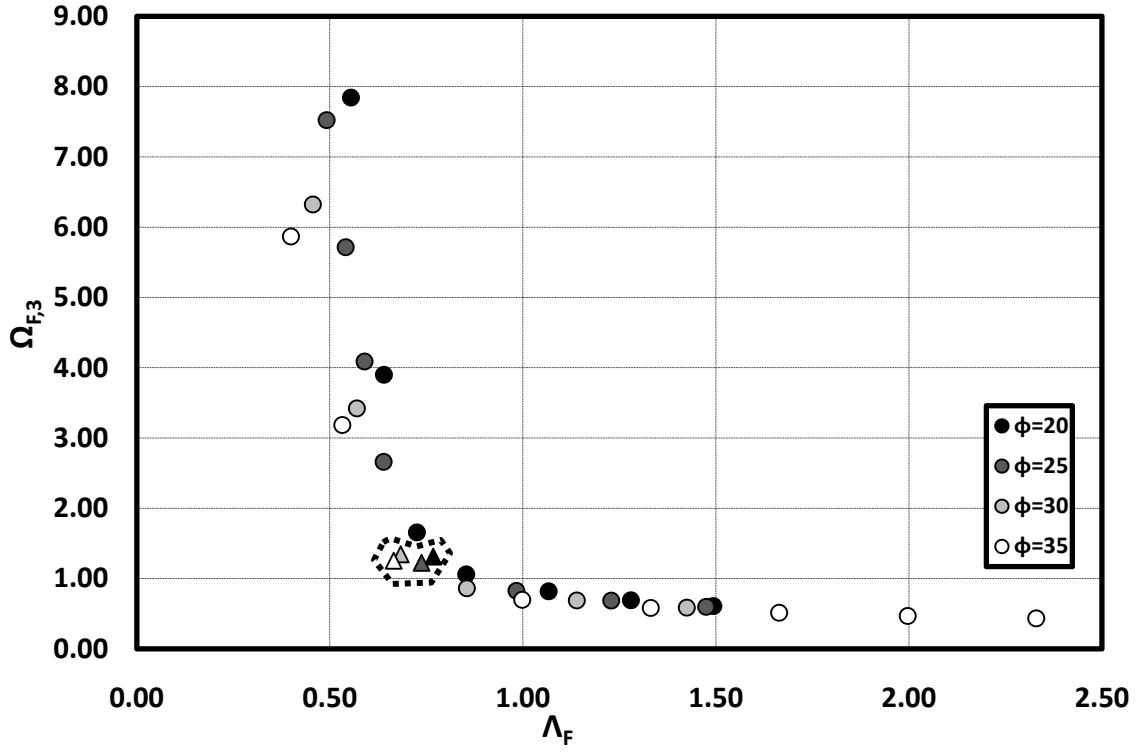
Με αυτό τον τρόπο η διερεύνηση της ισοδύναμης πίεσης έγινε για καννάβους αγκυρίων τέτοιας πυκνότητας που αντιστοιχούσαν σε ασφαλή μέτωπο δηλαδή σε $\Lambda_{F,R}>1$, το οποίο δηλώνει ότι βρισκόμαστε στην περιοχή ορθά σχεδιασμένων μέτρων υποστήριξης του μετώπου, δηλαδή είμαστε σε περιοχή σχεδιασμού με ανεκτές παραμορφώσεις μετώπου όπου όμως η υποστήριξη του είναι απαραίτητη, ενώ παράλληλα ισχύει συντελεστής ασφαλείας FS<1.15 βλ. τύπο 3.16 & σχήμα 3.5 (διδακτορική διατριβή Γ. Προυντζόπουλου 2012).

$$FS=\Lambda_F\left(\frac{\tan\left(45+\frac{\arctan\left(\frac{\tan\phi}{FS}\right)}{2}\right)}{\tan\left(45+\frac{\phi}{2}\right)}\right)^{2a} \quad (3.16)$$

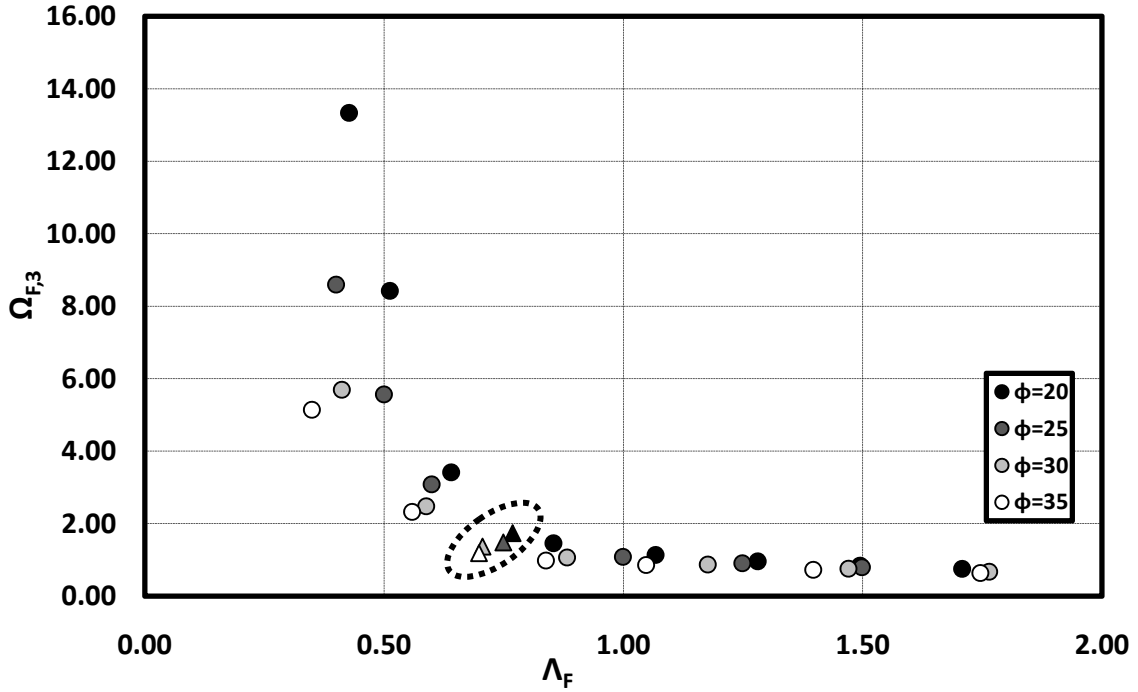


Σχήμα 3.5. Συντελεστής Ασφαλείας Συναρτήσει του Συντελεστή Ευστάθειας Μετώπου Λ_F για Σήραγγες Βάθους H/D<5 και Διάμετρο Σήραγγας D=10m. (Διδακτορική Διατριβή Γ. Προυντζόπουλου 2012.)

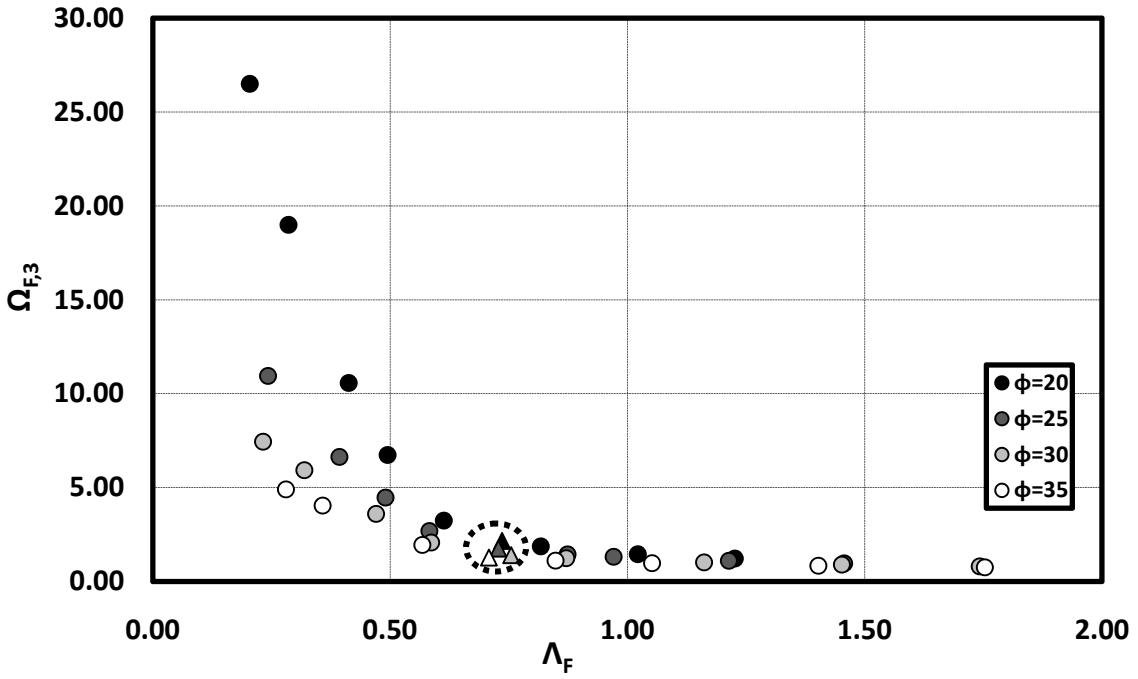
Σε ένα δεύτερο επίπεδο επιλογής από τις αναλύσεις που επιλέχθηκαν για $0.55< \Lambda_F <1.25$, με τη βοήθεια των παρακάτω διαγραμμάτων $\Omega_{F,3} - \Lambda_F$ τα οποία προέκυψαν για αναλύσεις με υποστήριξη του μετώπου της σήραγγας με αγκύρια εξαιρέθηκαν αυτές οι οποίες προέκυψαν για τιμή του Λ_F που βρισκόταν στον ανοδικό κλάδο των διαγραμμάτων και ήταν μεγαλύτερες από 0.55. Αυτό έγινε διότι τιμή στον ανοδικό κλάδο στο διάγραμμα $\Omega_{F,3} - \Lambda_F$ σημαίνει ασταθές μέτωπο. Στα παρακάτω διαγράμματα με τριγωνικό σχήμα έχουν σχεδιαστεί οι οριακές τιμές του Λ_F που επιλέχθηκαν για κάθε διάγραμμα και βρίσκονται στο σημείο αλλαγής της κλίσης της καμπύλης. Σύμφωνα με τα παραπάνω τιμές που βρίσκονται δεξιά από αυτές στο διάγραμμα ανάμεσα στο εύρος τιμών $0.55< \Lambda_F <1.25$ απορρίπτονται.



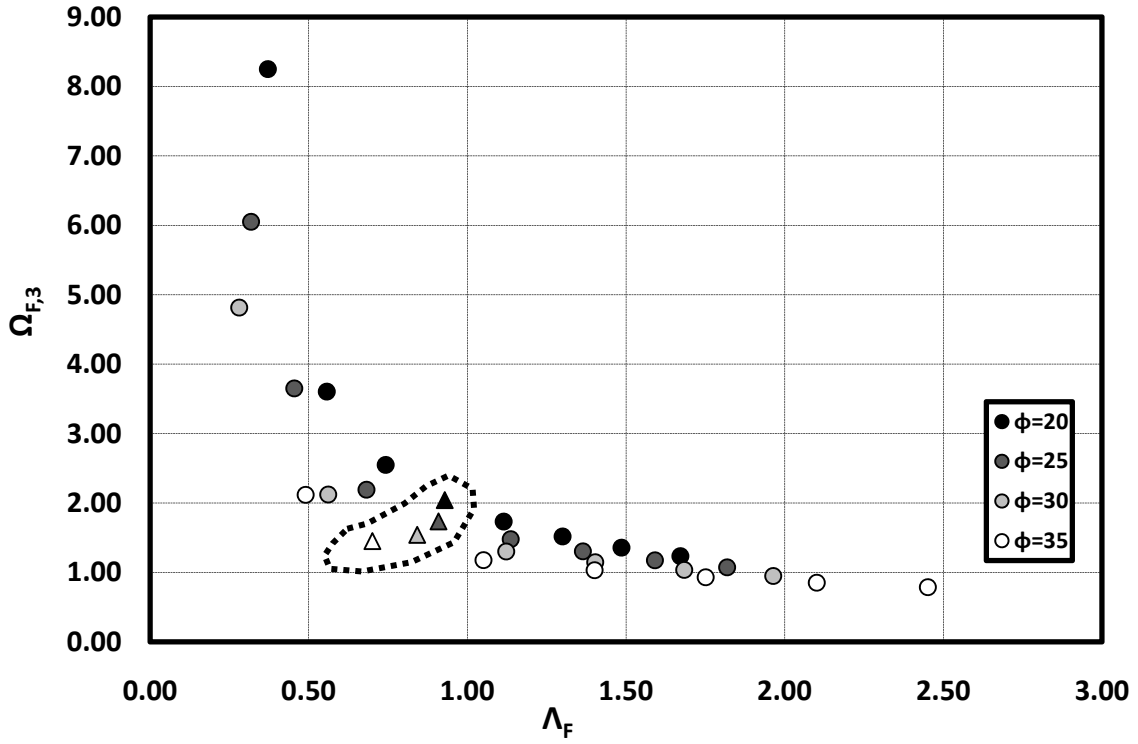
Σχήμα 3.6. Διάγραμμα $\Omega_{F,3}$- Λ_F για την Αναλύσεις με Υποστήριξή Μετώπου με Αγκύρια Fiberglass για Κάνναβο Αγκυρίων με n_1=19, d_1=0.24, για Κανονικοποιημένο Λόγο H/D=1 με Διακριτοποίηση ως προς τη Γωνία Τριβής ϕ.



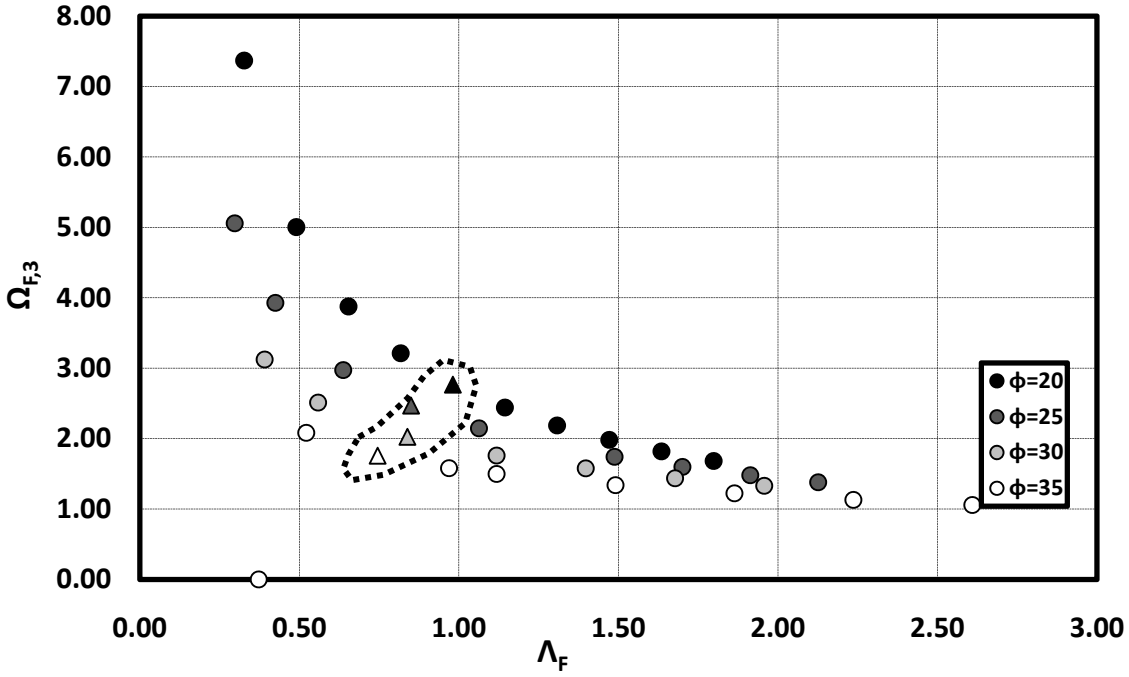
Σχήμα 3.7. Διάγραμμα $\Omega_{F,3}$- Λ_F για την Αναλύσεις με Υποστήριξή Μετώπου με Αγκύρια Fiberglass για Κάνναβο Αγκυρίων με n_1=19, d_1=0.24, για Κανονικοποιημένο Λόγο H/D=1.5 με Διακριτοποίηση ως προς τη Γωνία Τριβής ϕ.



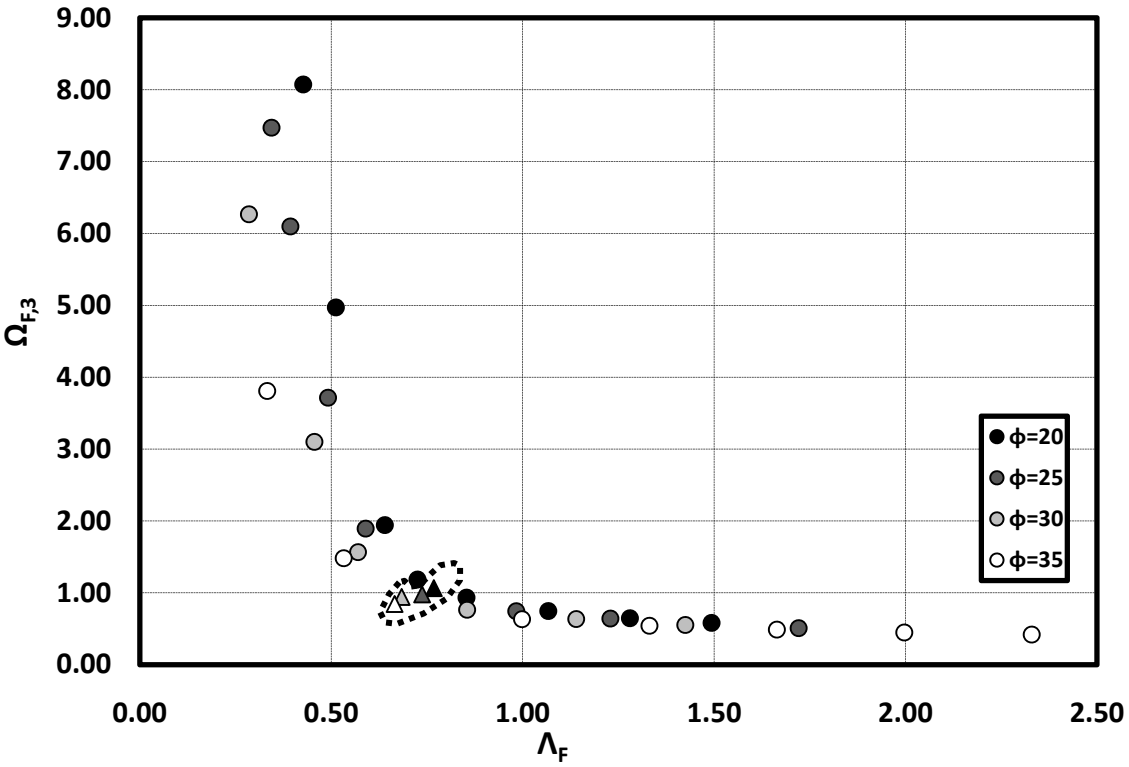
Σχήμα 3.8. Διάγραμμα $\Omega_{F,3}$- Λ_F για την Αναλύσεις με Υποστήριξή Μετώπου με Αγκύρια Fiberglass για Κάνναβο Αγκυρίων με n_1=19, d_1=0.24, για Κανονικοποιημένο Λόγο H/D=2 με Διακριτοποίηση ως προς τη Γωνία Τριβής ϕ.



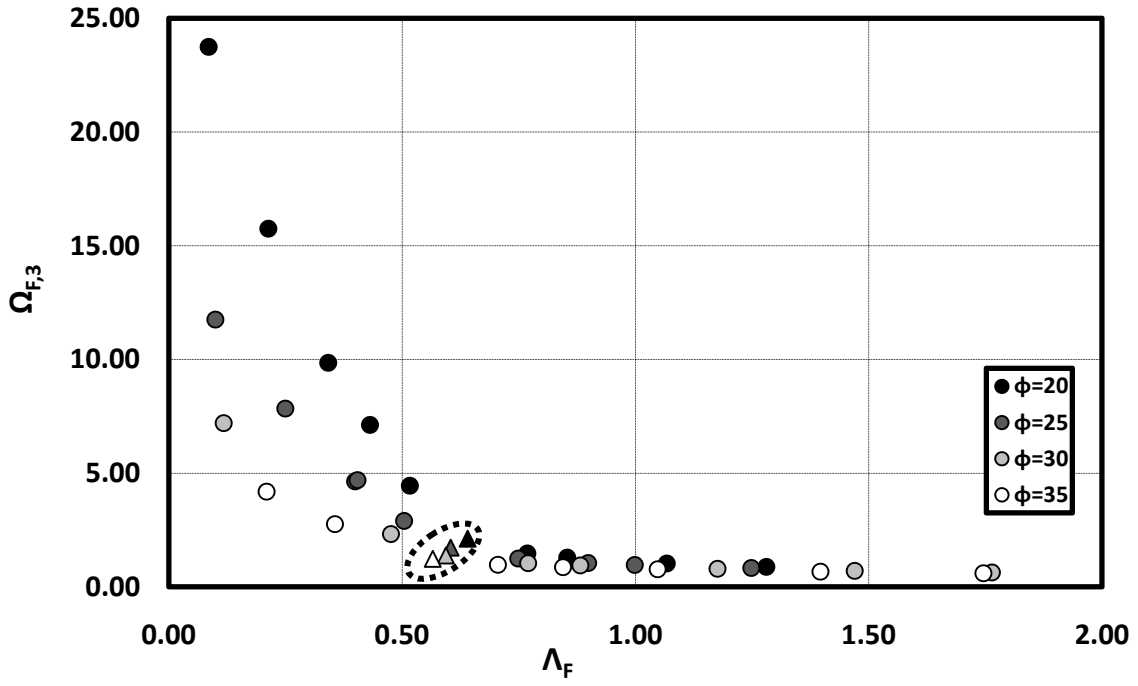
Σχήμα 3.9. Διάγραμμα $\Omega_{F,3}$- Λ_F για την Αναλύσεις με Υποστήριξή Μετώπου με Αγκύρια Fiberglass για Κάνναβο Αγκυρίων με n_1=19, d_1=0.24, για Κανονικοποιημένο Λόγο H/D=3 με Διακριτοποίηση ως προς τη Γωνία Τριβής ϕ.



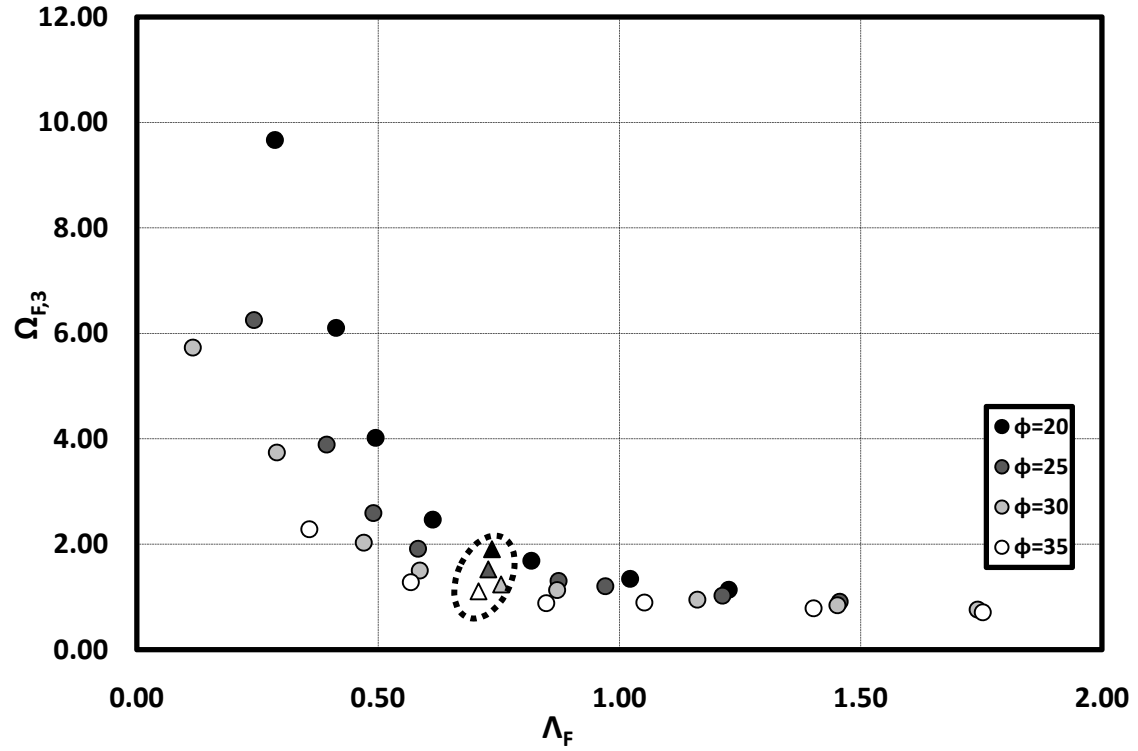
Σχήμα 3.10. Διάγραμμα $\Omega_{F,3}$- Λ_F για την Αναλύσεις με Υποστήριξή Μετώπου με Αγκύρια Fiberglass για Κάνναβο Αγκυρίων με n_1=19, d_1=0.24, για Κανονικοποιημένο Λόγο H/D=5 με Διακριτοποίηση ως προς τη Γωνία Τριβής ϕ.



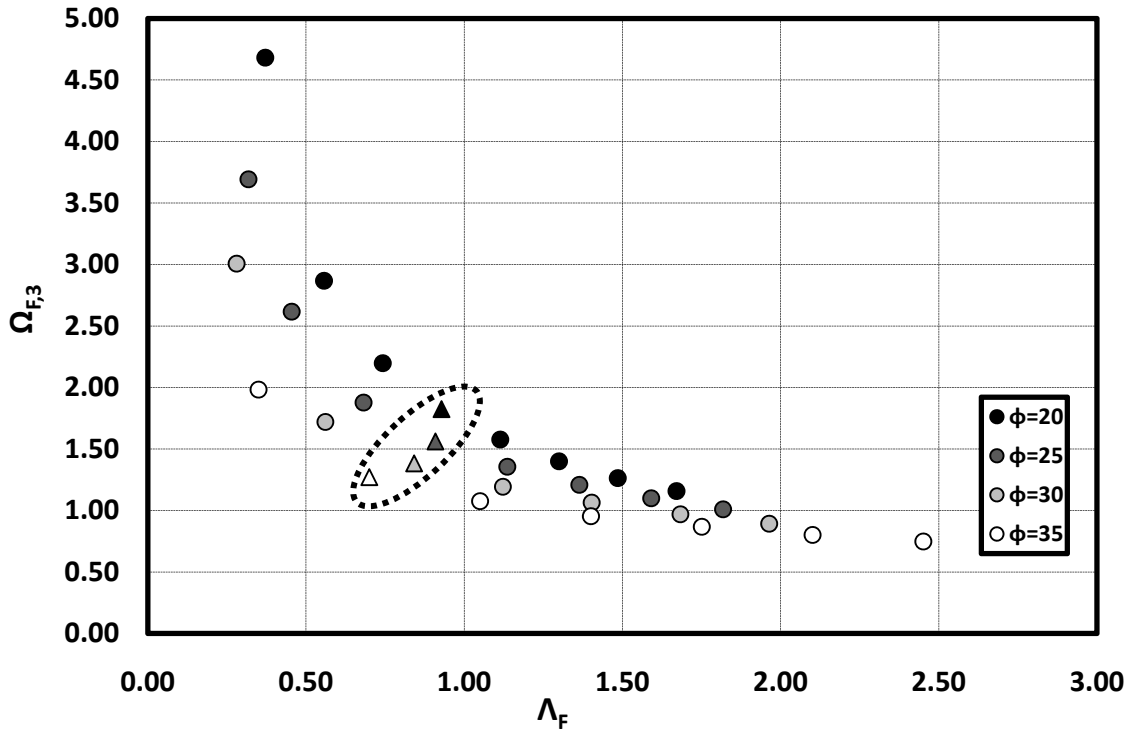
Σχήμα 3.11. Διάγραμμα $\Omega_{F,3}$- Λ_F για την Αναλύσεις με Υποστήριξή Μετώπου με Αγκύρια Fiberglass για Κάνναβο Αγκυρίων n_2=26, d_2=0.33, για Κανονικοποιημένο Λόγο H/D=1 με Διακριτοποίηση ως προς τη Γωνία Τριβής ϕ.



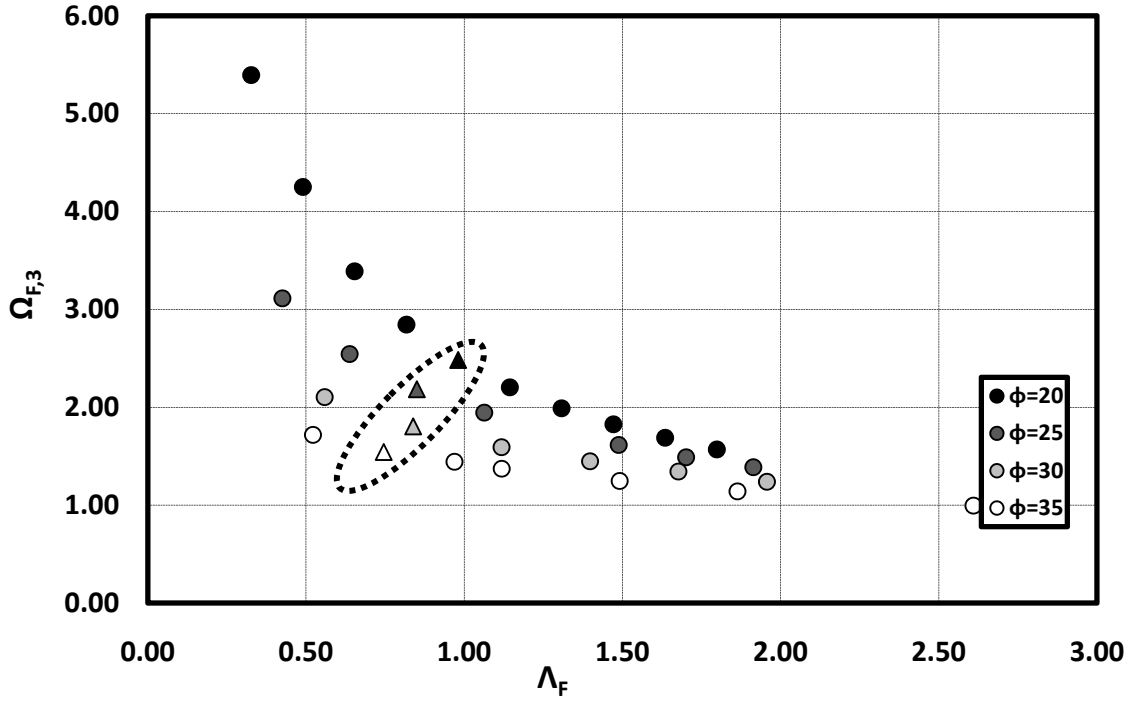
Σχήμα 3.12. Διάγραμμα $\Omega_{F,3}$- Λ_F για την Αναλύσεις με Υποστήριξή Μετώπου με Αγκύρια Fiberglass για Κάνναβο Αγκυρίων με n_2=26, d_2=0.33, για Κανονικοποιημένο Λόγο H/D=1.5 με Διακριτοποίηση ως προς τη Γωνία Τριβής ϕ.



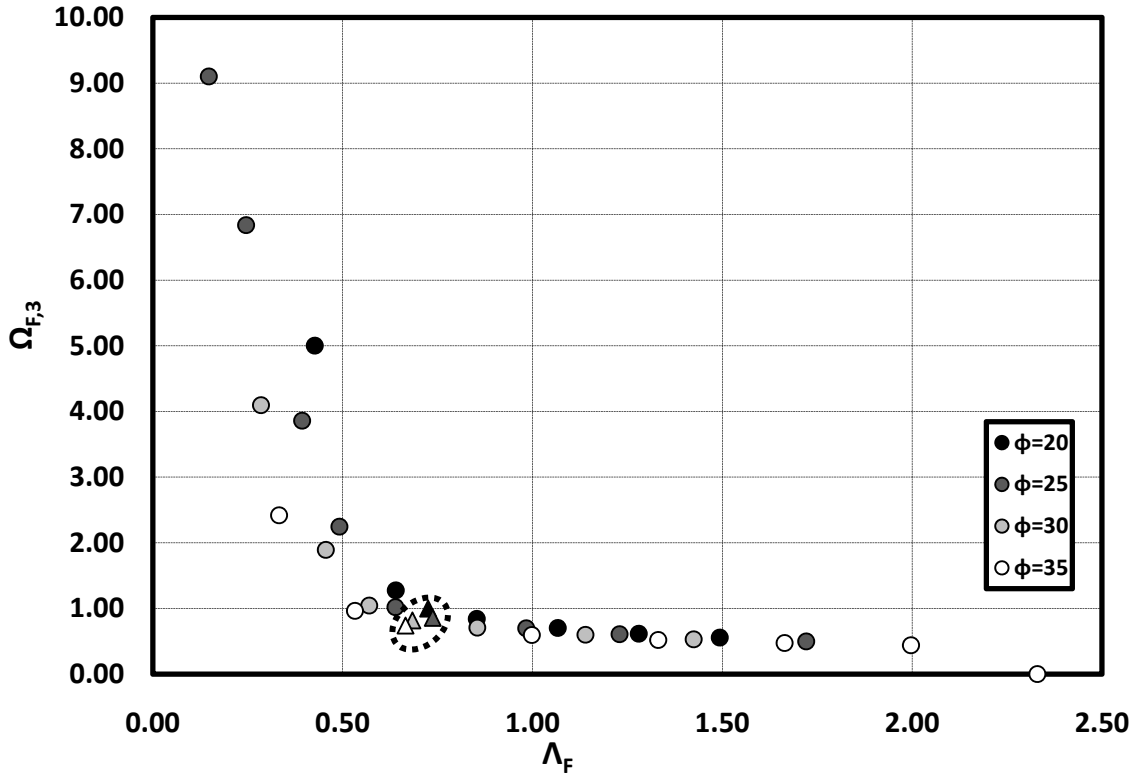
Σχήμα 3.13. Διάγραμμα $\Omega_{F,3}$- Λ_F για την Αναλύσεις με Υποστήριξή Μετώπου με Αγκύρια Fiberglass για Κάνναβο Αγκυρίων με n_2=26, d_2=0.33, για Κανονικοποιημένο Λόγο H/D=2 με Διακριτοποίηση ως προς τη Γωνία Τριβής ϕ.



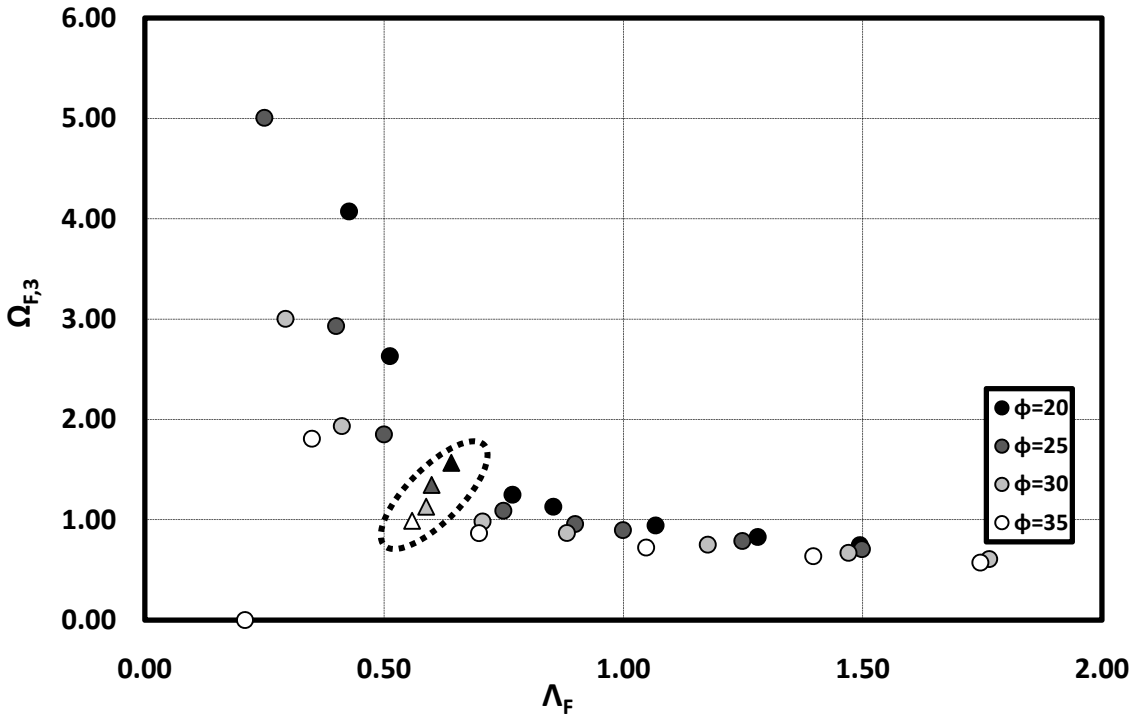
Σχήμα 3.14. Διάγραμμα $\Omega_{F,3}$- Λ_F για την Αναλύσεις με Υποστήριξή Μετώπου με Αγκύρια Fiberglass για Κάνναβο Αγκυρίων με n_2=26, d_2=0.33, για Κανονικοποιημένο Λόγο H/D=3 με Διακριτοποίηση ως προς τη Γωνία Τριβής ϕ.



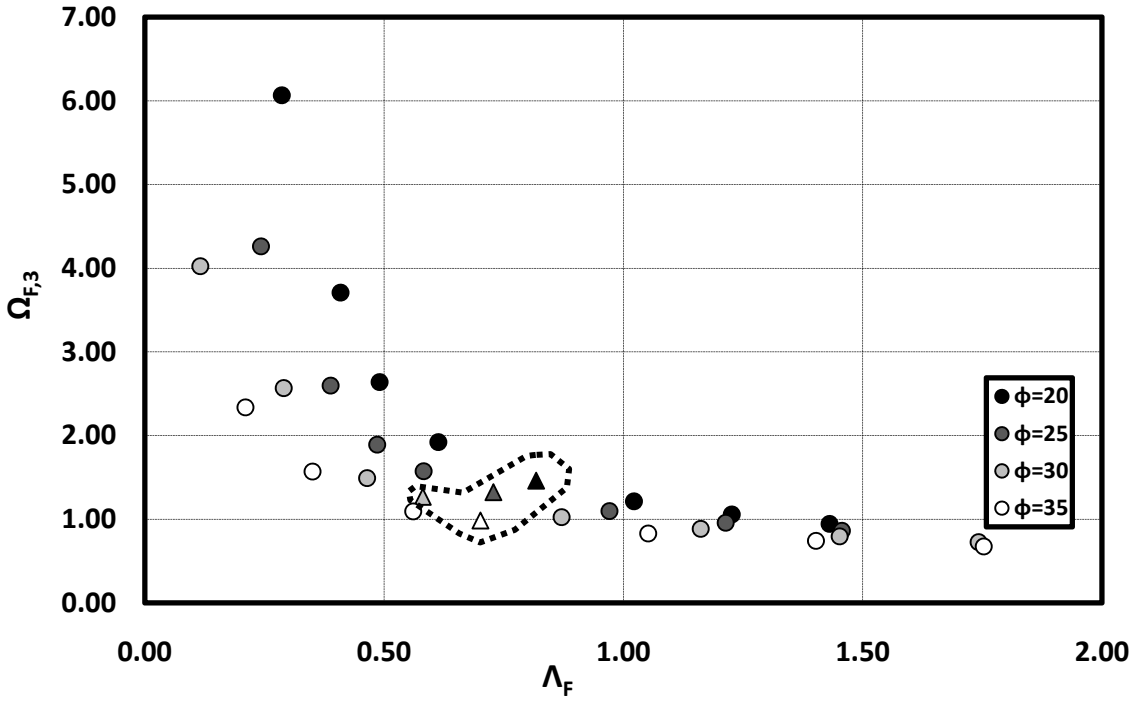
Σχήμα 3.15. Διάγραμμα $\Omega_{F,3}$- Λ_F για την Αναλύσεις με Υποστήριξή Μετώπου με Αγκύρια Fiberglass για Κάνναβο Αγκυρίων με n_2=26, d_2=0.33για Κανονικοποιημένο Λόγο H/D=5 με Διακριτοποίηση ως προς τη Γωνία Τριβής ϕ.



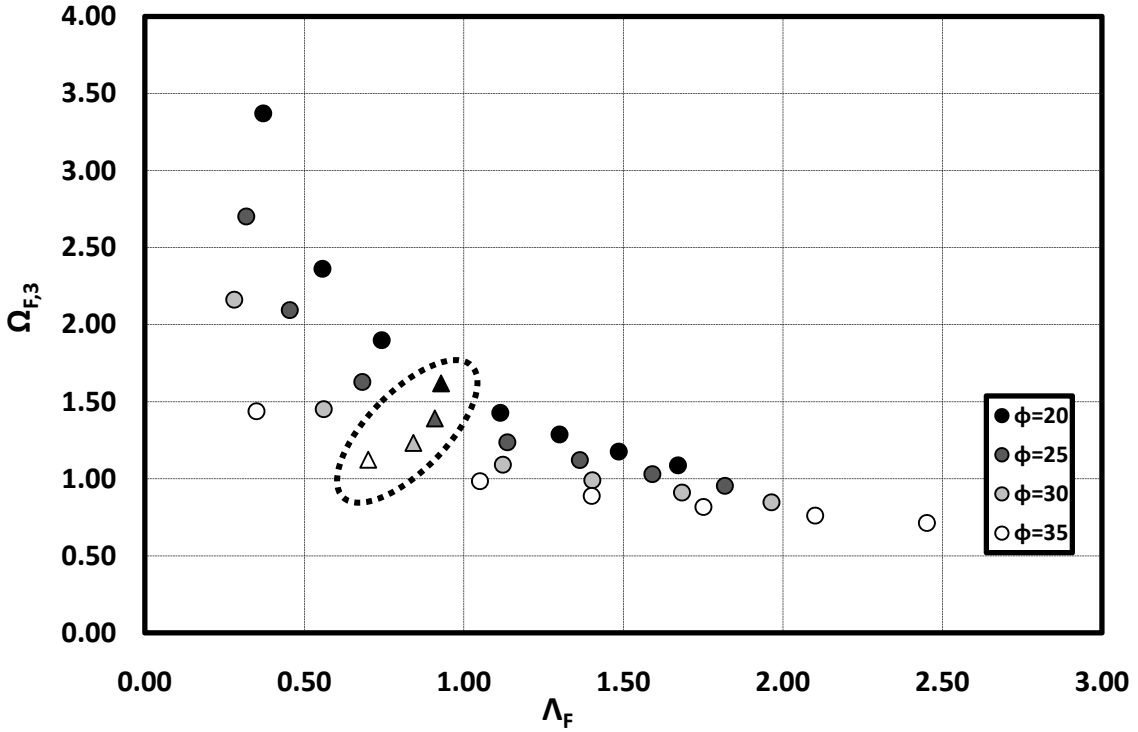
Σχήμα 3.16. Διάγραμμα $\Omega_{F,3}$- Λ_F για την Αναλύσεις με Υποστήριξή Μετώπου με Αγκύρια Fiberglass για Κάνναβο Αγκυρίων με n_3=33, d_3=0.42, για Κανονικοποιημένο Λόγο H/D=1 με Διακριτοποίηση ως προς τη Γωνία Τριβής ϕ.



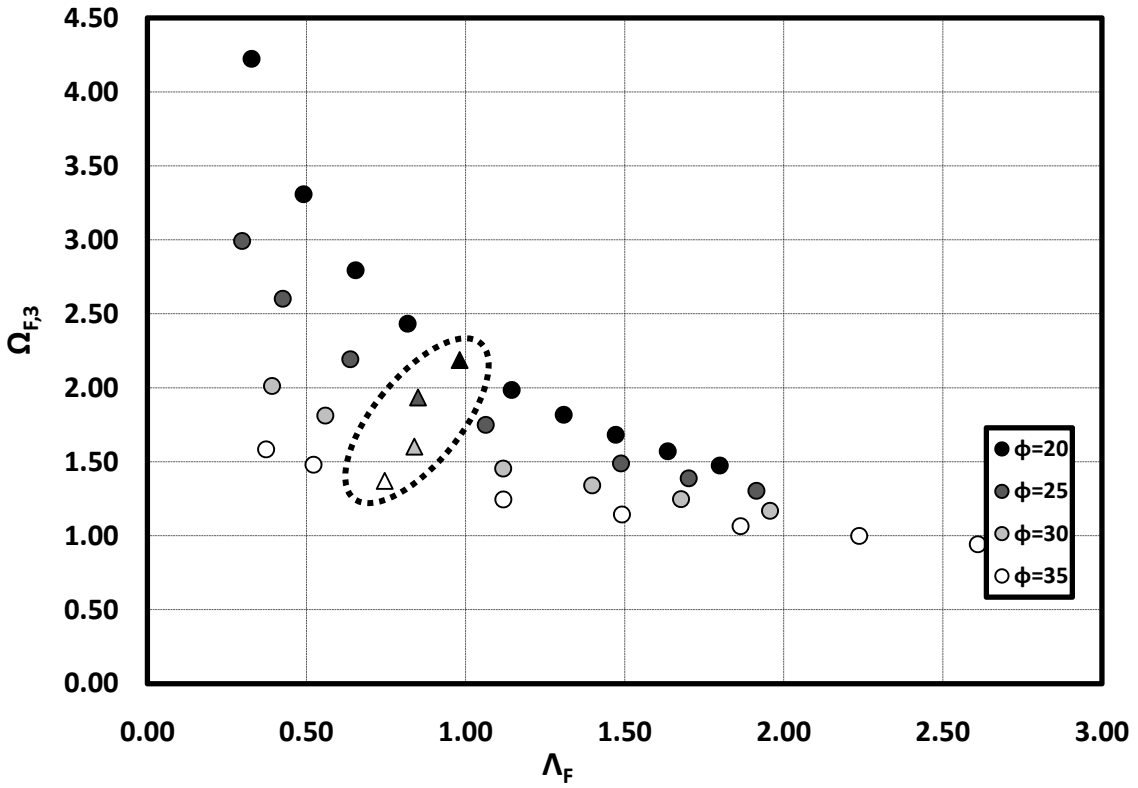
Σχήμα 3.17. Διάγραμμα $\Omega_{F,3}$- Λ_F για την Αναλύσεις με Υποστήριξή Μετώπου με Αγκύρια Fiberglass για Κάνναβο Αγκυρίων με n_3=33, d_3=0.42, για Κανονικοποιημένο Λόγο H/D=1.5 με Διακριτοποίηση ως προς τη Γωνία Τριβής ϕ.



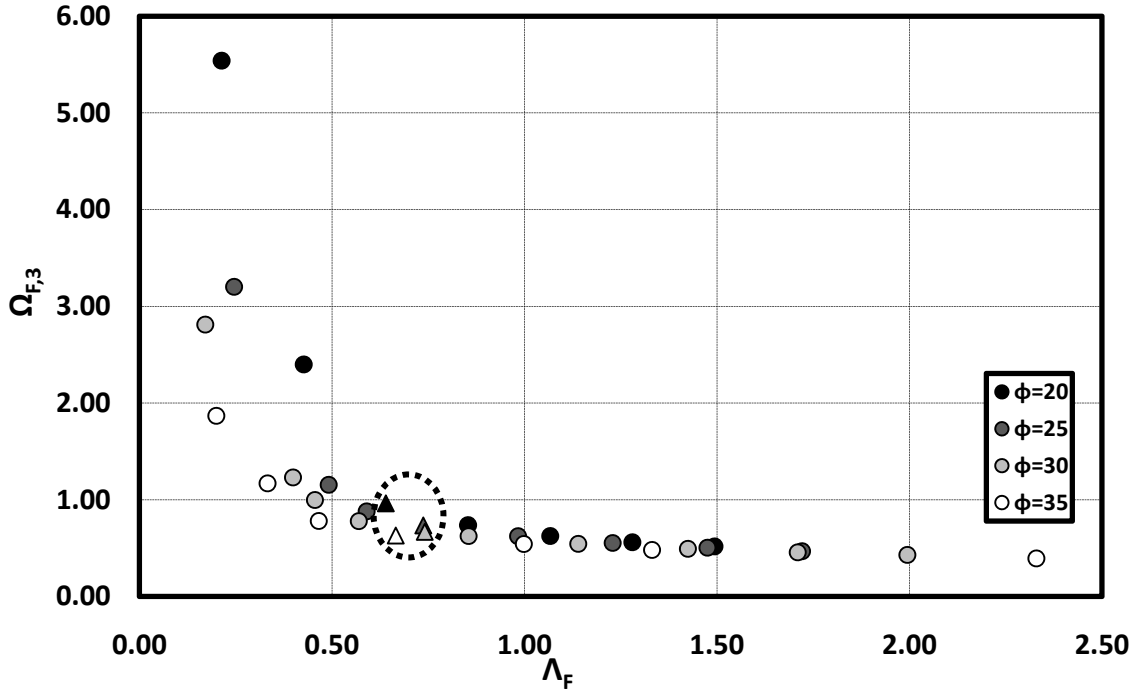
Σχήμα 3.18. Διάγραμμα $\Omega_{F,3}$- Λ_F για την Αναλύσεις με Υποστήριξή Μετώπου με Αγκύρια Fiberglass για Κάνναβο Αγκυρίων με n_3=33, d_3=0.42, για Κανονικοποιημένο Λόγο H/D=2 με Διακριτοποίηση ως προς τη Γωνία Τριβής ϕ.



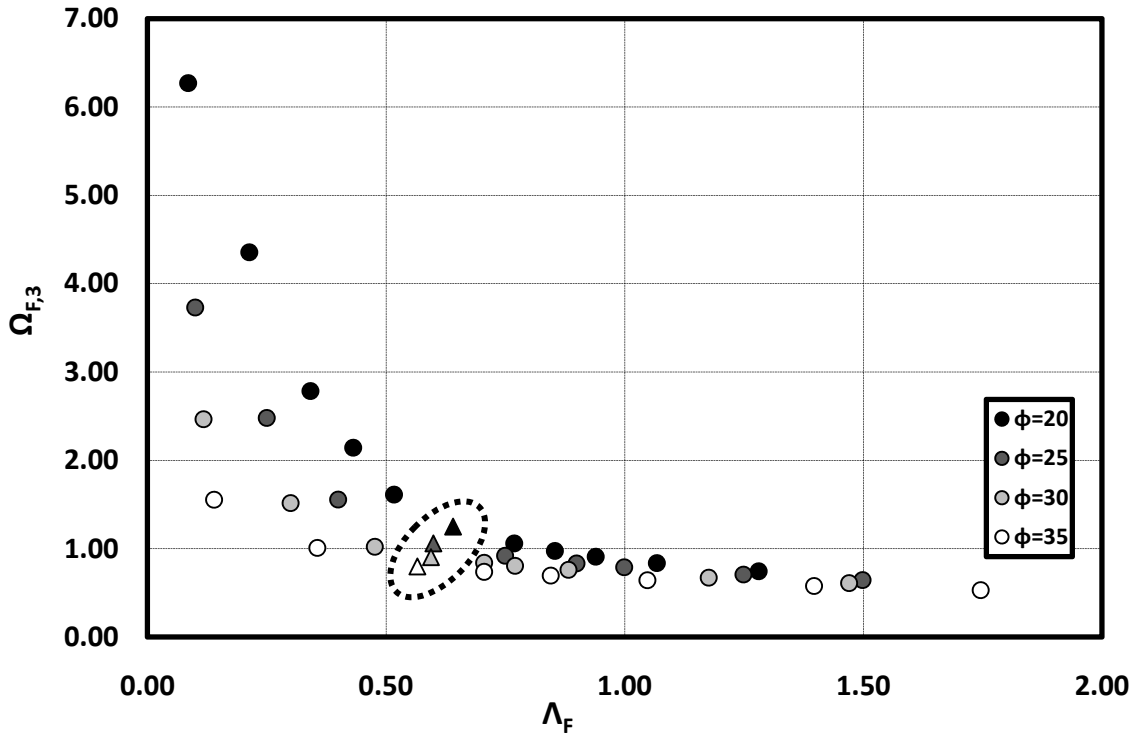
Σχήμα 3.19. Διάγραμμα $\Omega_{F,3}$- Λ_F για την Αναλύσεις με Υποστήριξή Μετώπου με Αγκύρια Fiberglass για Κάνναβο Αγκυρίων με n_3=33, d_3=0.42, για Κανονικοποιημένο Λόγο H/D=3 με Διακριτοποίηση ως προς τη Γωνία Τριβής ϕ.



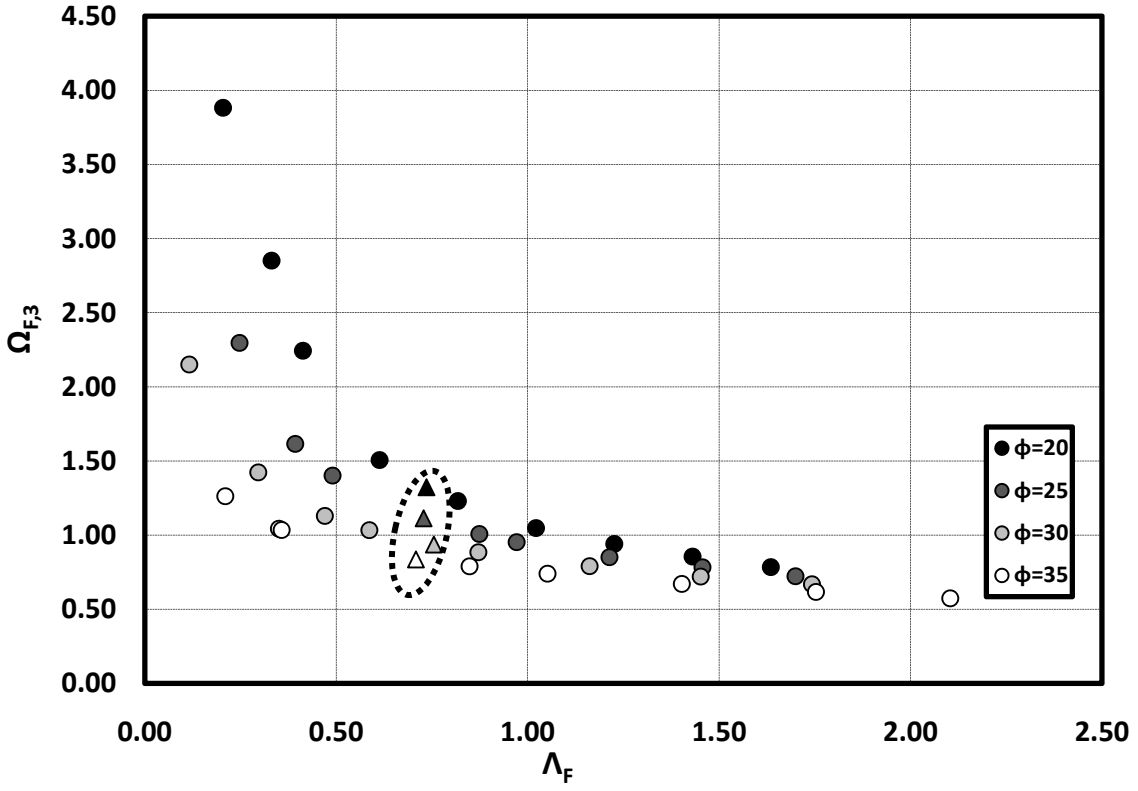
Σχήμα 3.20. Διάγραμμα $\Omega_{F,3}$- Λ_F για την Αναλύσεις με Υποστήριξή Μετώπου με Αγκύρια Fiberglass για Κάνναβο Αγκυρίων με n_3=33, d_3=0.42, για Κανονικοποιημένο Λόγο H/D=5 με Διακριτοποίηση ως προς τη Γωνία Τριβής ϕ.



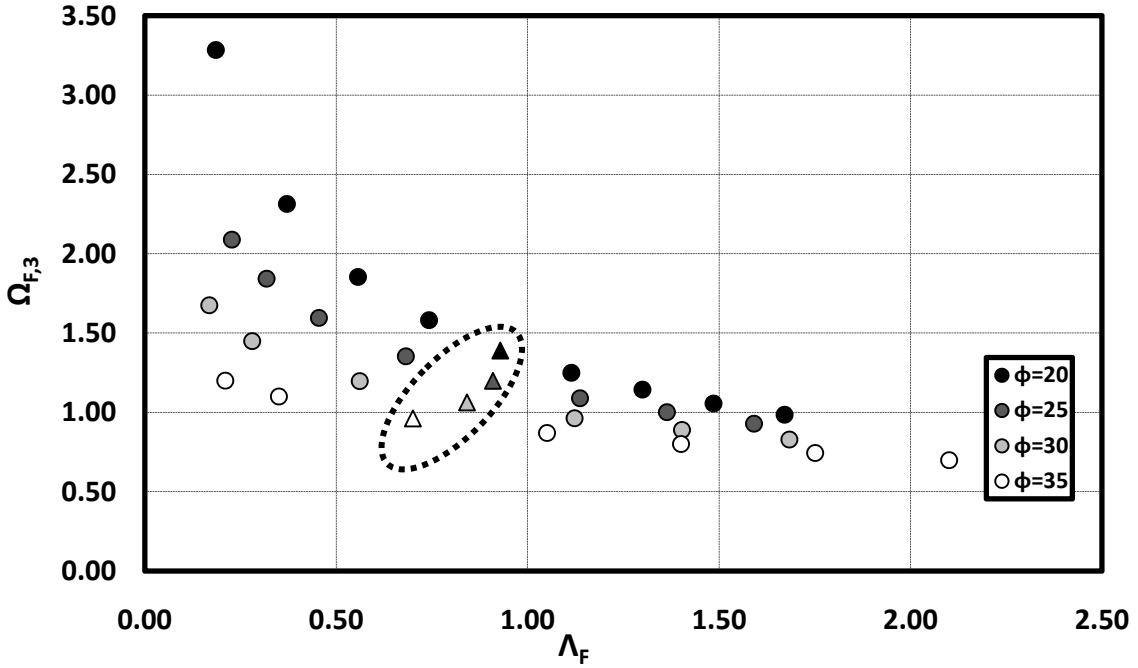
Σχήμα 3.21. Διάγραμμα $\Omega_{F,3}$- Λ_F για την Αναλύσεις με Υποστήριξή Μετώπου με Αγκύρια Fiberglass για Κάνναβο Αγκυρίων με n_4=45, d_4=0.57, για Κανονικοποιημένο Λόγο H/D=1 με Διακριτοποίηση ως προς τη Γωνία Τριβής ϕ.



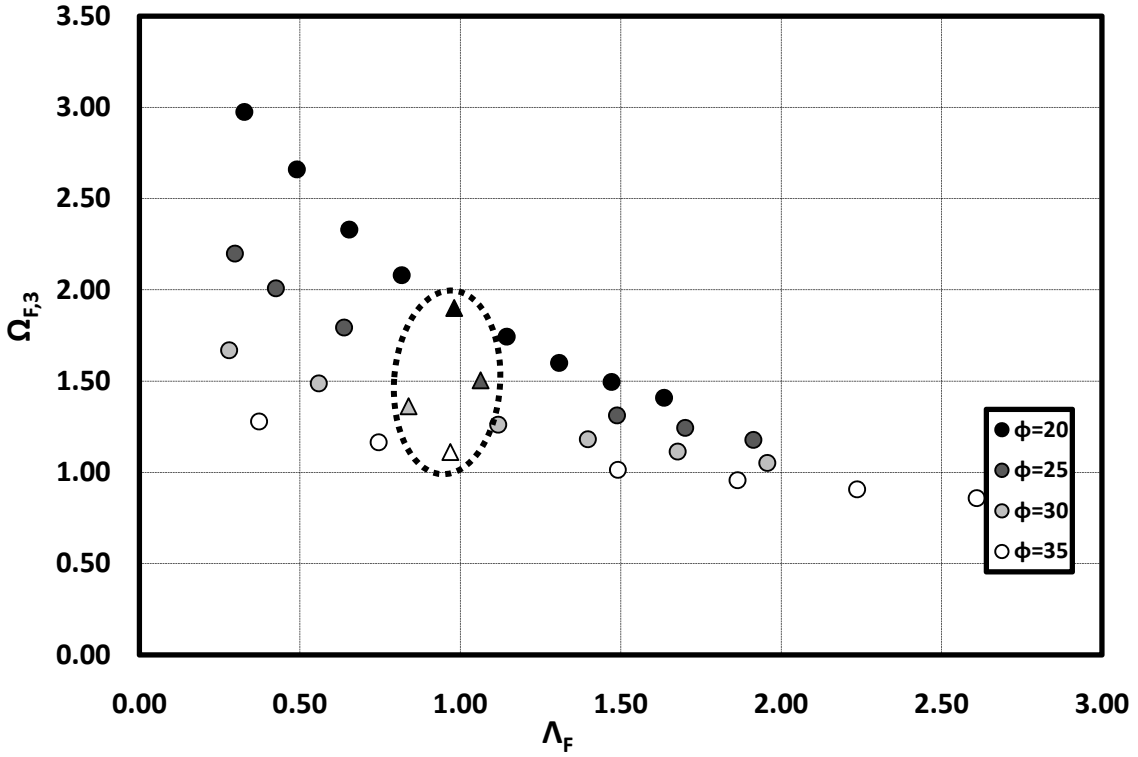
Σχήμα 3.22. Διάγραμμα $\Omega_{F,3}$- Λ_F για την Αναλύσεις με Υποστήριξή Μετώπου με Αγκύρια Fiberglass για Κάνναβο Αγκυρίων με n_4=45, d_4=0.57, για Κανονικοποιημένο Λόγο H/D=1.5 με Διακριτοποίηση ως προς τη Γωνία Τριβής ϕ.



Σχήμα 3.23. Διάγραμμα $\Omega_{F,3}$- Λ_F για την Αναλύσεις με Υποστήριξή Μετώπου με Αγκύρια Fiberglass για Κάνναβο Αγκυρίων με n_4=45, d_4=0.57, για Κανονικοποιημένο Λόγο H/D=3 με Διακριτοποίηση ως προς τη Γωνία Τριβής ϕ.



Σχήμα 3.24. Διάγραμμα $\Omega_{F,3}$- Λ_F για την Αναλύσεις με Υποστήριξή Μετώπου με Αγκύρια Fiberglass για Κάνναβο Αγκυρίων με n_4=45, d_4=0.57, για Κανονικοποιημένο Λόγο H/D=3 με Διακριτοποίηση ως προς τη Γωνία Τριβής ϕ.

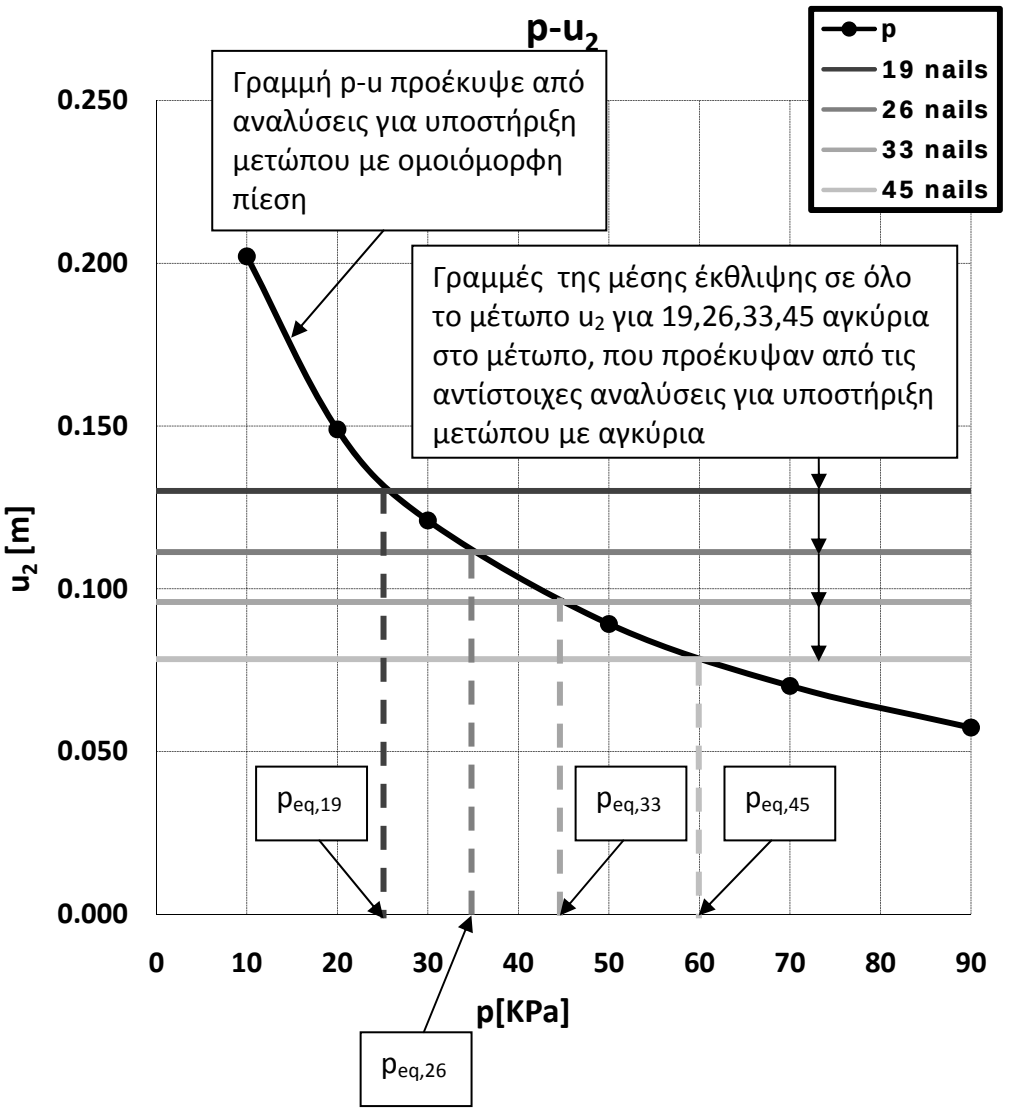


Σχήμα 3.25. Διάγραμμα $\Omega_{F,3}$- Λ_F για την Αναλύσεις με Υποστήριξή Μετώπου με Αγκύρια Fiberglass για Κάνναβο Αγκυρίων με n_4=45, d_4=0.57, για Κανονικοποιημένο Λόγο H/D=5 με Διακριτοποίηση ως προς τη Γωνία Τριβής ϕ.

3.5.1.4 Η Ισοδύναμη Πίεση p_{eq}

Για τις περιπτώσεις που προέκυψαν με την παραπάνω διαδικασία έγιναν αναλύσεις για διάφορες τιμές της ομοιόμορφης κατανεμημένης πίεσης υποστήριξης στο μέτωπο. Πρώτα από κάθε μία ανάλυση για κάθε τιμή ομοιόμορφης κατανεμημένης πίεσης υποστήριξης στο μέτωπο με τη βοήθεια ειδικών φύλλων excel που δημιουργήθηκαν για το σκοπό αυτό προέκυψε η τιμή της μέσης έκθλιψης σε όλο το μέτωπο. Έπειτα από τα ζεύγη αυτά των τιμών της ομοιόμορφης πίεσης υποστήριξης στο μέτωπο και της μέσης έκθλιψης σε όλο το μέτωπο κατασκευάστηκε ένα διάγραμμα p-u_2.

Σε επόμενο στάδιο για κάθε αντίστοιχη ανάλυση υποστήριξης μετώπου με αγκύρια υπολογίστηκε με τον ίδιο τρόπο η τιμή της μέσης έκθλιψης σε όλο το μέτωπο μία για κάθε τύπο καννάβου. Επομένως για κάθε σύνολο ανάλυσεων ίδιων γεωτεχνικών και γεωμετρικών χαρακτηριστικών με ομοιόμορφη πίεση υποστήριξης αντιστοιχήθηκαν το μέγιστο τέσσερεις αντίστοιχες τιμές μέσης έκθλιψης σε όλο το μέτωπο από τις ανάλογες αναλύσεις για υποστήριξη μετώπου με αγκύρια για τους όλους τους διαφορετικούς τύπους καννάβου. Ακολούθως για κάθε μία από αυτές τις τιμές σχεδιάστηκαν με τη βοήθεια του excel στο προαναφερθέν διάγραμμα p-u_2, οριζόντιες γραμμές παράλληλες με τον άξονα της p η οποίες εκφράζουν τις τιμές της μέσης έκθλιψης σε όλο το μέτωπο για τις αναλύσεις με υποστήριξη μετώπου με αγκύρια για τους διαφορετικούς καννάβους. Τέλος προσδιορίστηκαν τα σημεία τομής των παράλληλων γραμμών με το πρόγραμμα Graph για 19,26,33,45 αγκύρια στο μέτωπο με την καμπύλη p-u_2 και υπολογίστηκε η τετμημένη τους η λεγόμενη ισοδύναμη πίεση p_{eq} βλ. σχήμα 3.26.



Σχήμα 3.26. Τυπικό Διάγραμμα p-u_2.

Στην περίπτωση που κάποια από τις ισοδύναμες πιέσεις προέκυπτε από τομή της μέσης έκθλιψης σε όλο το μέτωπο στον ανοδικό κλάδο του διαγράμματος p-u_2, απορριπτόταν, διότι σημαίνει ότι έχει συντελεστή ευστάθειας ενισχυμένου μετώπου $\Lambda_{F,R}$<1. Με αυτό τον τρόπο βρισκόμαστε πάντα σε περιοχή ορθού σχεδιασμού του μετώπου.

3.5.2 Συνδυασμός Παραμέτρων

Στην προσπάθεια ομαδοποίησης των αποτελεσμάτων και δημιουργίας διαγραμμάτων με μικρή διασπορά, ώστε να υπάρχει όσο το δυνατόν καλύτερη αντιστοίχιση της ισοδύναμης πίεσης υποστήριξης του μετώπου με την υποστήριξη με αγκύρια, δοκιμάστηκαν διάφοροι συνδυασμοί παραμέτρων οι οποίοι παρουσιάζονται παρακάτω:

3.5.2.1 Ο Ποσοστιαίος Λόγος της Ισοδύναμη Πίεση p_{eq} προς την Οριακή Πίεση Αναφοράς p_{ref}

Ο λόγος αυτός εκφράζει τη σχέση της ισοδύναμης πίεσης με τις μέγιστες δυνατότητες του καννάβου των αγυρίων για τις συγκεκριμένες συνθήκες, δηλαδή το ποσοστό φόρτισης των αγκυρίων.

$$\frac{p_{eq}}{p_{ref}}\% \quad (3.17)$$

3.5.2.2 Ο Ποσοστιαίος Λόγος της Ισοδύναμη Πίεση p_{eq} προς την Κατακόρυφη Γεωστατική Τάση σ_v

Ο λόγος αυτός είναι μια κανονικοποίηση της ισοδύναμης πίεσης από τις κατακόρυφες τάσεις και εκφράζει το ποσοστό της απελευθερούμενης τάσης που φορτίζει τα αγκύρια.

$$\frac{p_{eq}}{\sigma_v}\% \quad (3.18)$$

4 Αποτελέσματα Αναλύσεων

4.1 Σκοπός

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται και σχολιάζονται πίνακες και διαγράμματα που προέκυψαν με σκοπό τη βέλτιστη συσχέτιση μεταξύ της ισοδύναμης ομοιόμορφης πίεσης υποστήριξης μετώπου με την πυκνότητα αγκυρίων στο μέτωπο. Ακόμα παρουσιάζονται μέσω διαγραμμάτων ο τρόπος και οι παράμετροι που επηρεάζουν την μεταξύ τους σχέση. Τέλος παρουσιάζεται μια προτινόμενη συσχέτιση της πυκνότητας των αγκυρίων υποστήριξης του μετώπου d με τις παραμέτρους από τις οποίες επηρεάζεται, μέσω της ισοδύναμης πίεσης, με τη βοήθεια αναλυτικών μεθόδων υπολογισμού της ομοιόμορφης κατανεμημένης πίεσης, όπως η μέθοδος των Αναγνώστου & Kovari 1994 & 1996 και των Pieter A. Vermeer, Nico Ruse, Thomas Marcher 2002.

4.2 Πίνακες - Διαγράμματα της Ισοδύναμης Πίεσης σε Σχέση με τις Γεωτεχνικές Παραμέτρους c, φ για Συγκεκριμένες Αναλύσεις της 1^{ης} Ομάδας

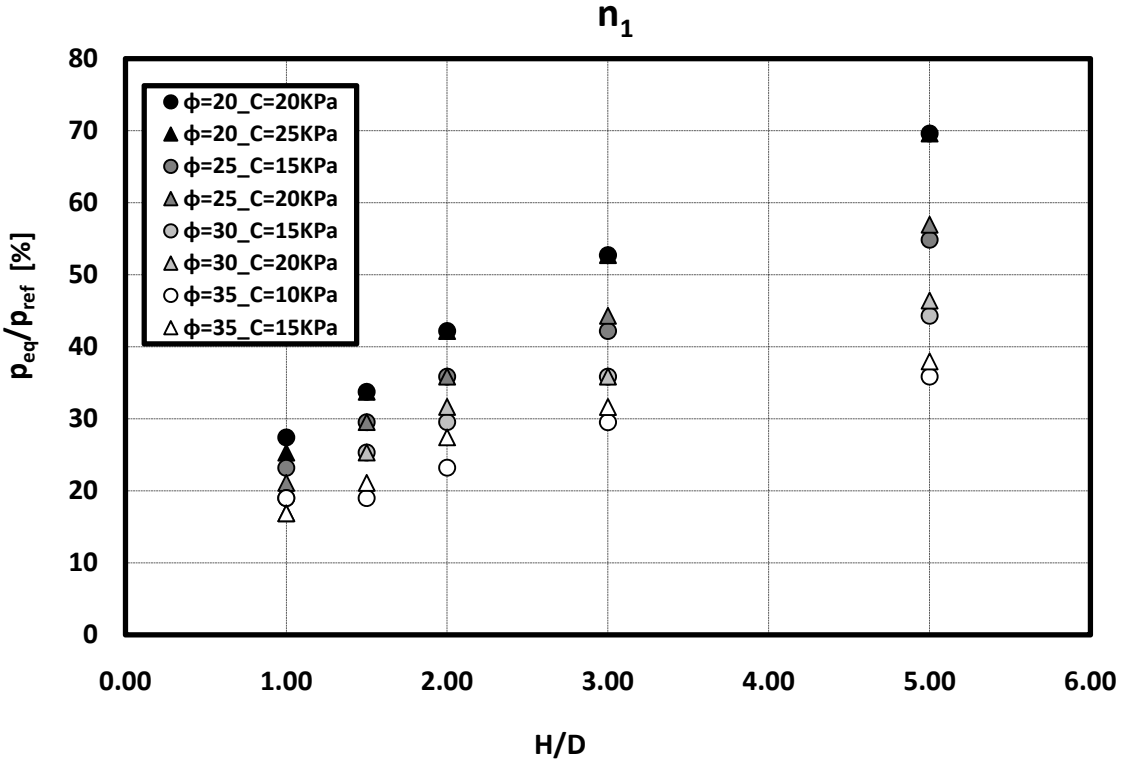
Σε αυτό το υποκεφάλαιο έγινε μια προσπάθεια προσδιορισμού των παραμέτρων που επηρεάζουν την ισοδύναμη πίεση, την πυκνότητα των αγκυρίων, και την μεταξύ τους σχέση. Ετσι για επιλεγμένες αναλύσεις ίδιων c, φ και για όλες τις περιπτώσεις του λόγου H/D, προέκυψε ο πίνακας 4.2 και τα παρακάτω διαγράμματα. Εξετάστηκαν 8 συγκεκριμένες περιπτώσεις ώστε τα αποτελέσματα να είναι συγκρίσιμα βλ. πίνακα 4.1.

Πίνακας 4.1. Επιλεγμένες Αναλύσεις από την 1^{η} Ομάδα ίδιων c, φ για Όλες τις Περιπτώσεις του Κανονικοποιημένου Λόγου H/D

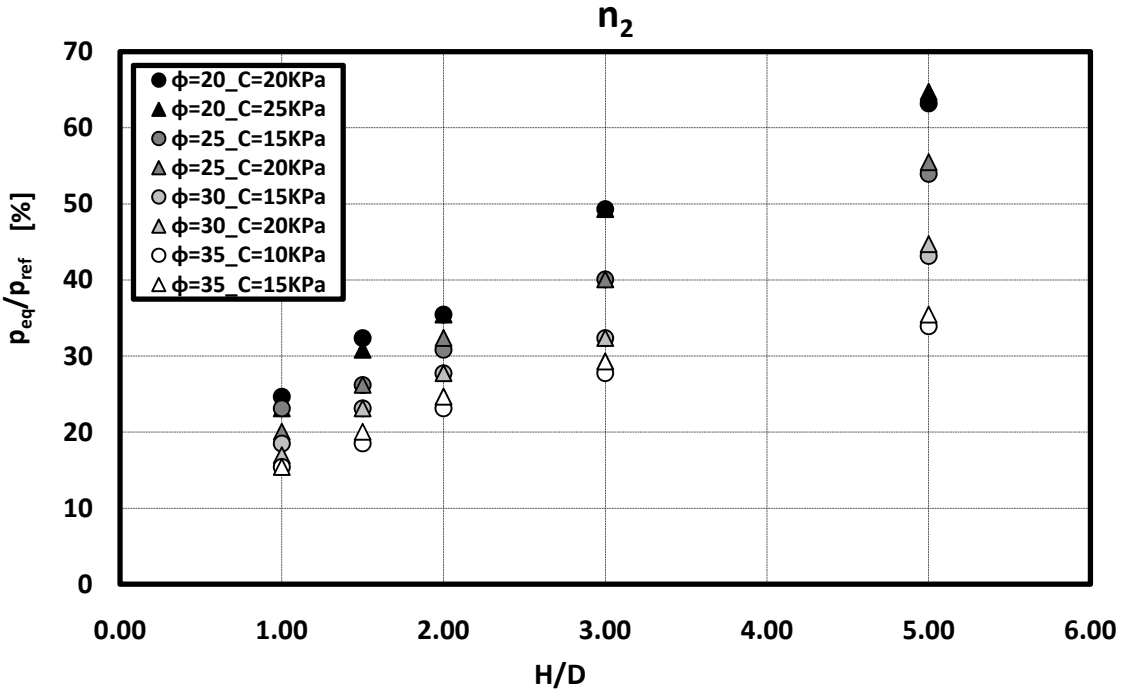
A/A	φ [^{o}]	Συνοχή c [KPa]
2b	20	20.0
3b	20	25.0
11b	25	15.0
12b	25	20.0
21b	30	15.0
22b	30	20.0
30b	35	10.0
31b	35	15.0

Πίνακας 4.2. Συγκεντρωτικός Πίνακας Αποτελεσμάτων της Ισοδύναμης Πίεσης για Επιλεγμένες Αναλύσεις από την 1η Ομάδα Ιδίων c, φ για Όλες τις Περιπτώσεις του Κανονικοποιημένου Λόγου H/D

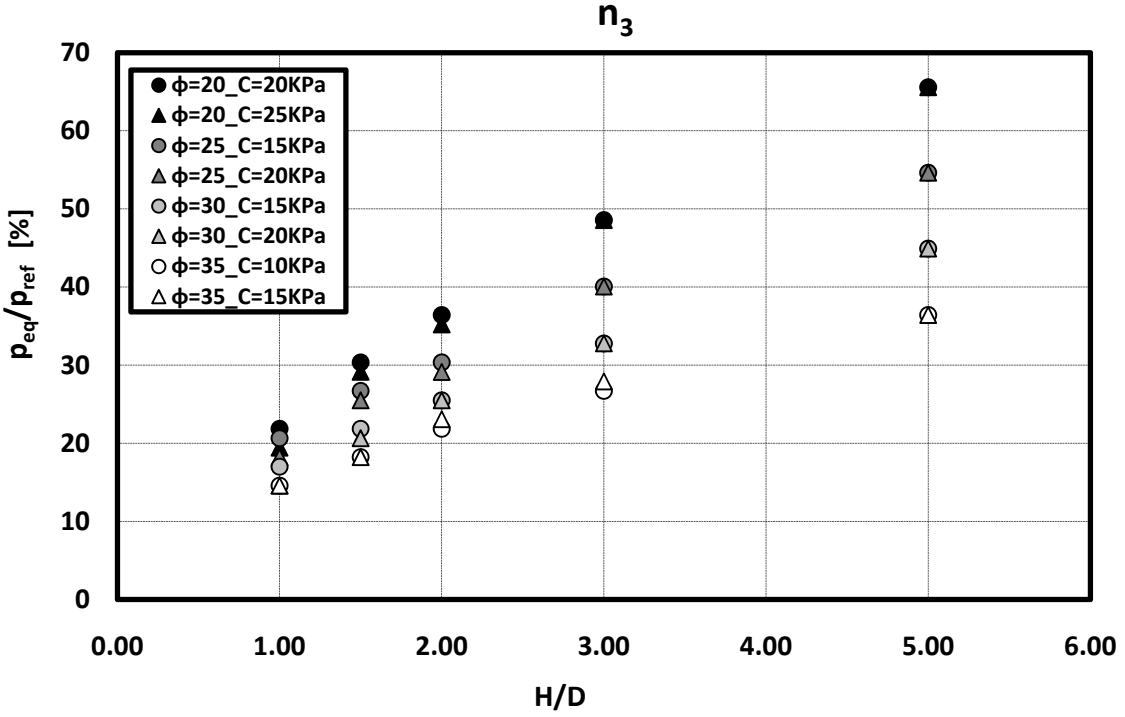
n_1	p_{eq}/p_{ref} [%]							
	c [Kpa]							
	20	25	15	20	15	20	10	15
H/D	2b	3b	11b	12b	21b	22b	30b	31b
1	27	25	23	21	19	17	19	17
1.5	34	34	30	30	25	25	19	21
2	42	42	36	36	30	32	23	27
3	53	53	42	44	36	36	30	32
5	70	70	55	57	44	46	36	38
n_2	p_{eq}/p_{ref} [%]							
	c [Kpa]							
	20	25	15	20	15	20	10	15
H/D	2b	3b	11b	12b	21b	22b	30b	31b
1	25	23	23	20	18	17	15	15
1.5	32	31	26	26	23	23	18	20
2	35	35	31	32	28	28	23	25
3	49	49	40	40	32	32	28	29
5	63	65	54	55	43	45	34	35
n_3	p_{eq}/p_{ref} [%]							
	c [Kpa]							
	20	25	15	20	15	20	10	15
H/D	2b	3b	11b	12b	21b	22b	30b	31b
1	22	19	21	18	17	15	15	15
1.5	30	29	27	26	22	21	18	18
2	36	35	30	29	26	26	22	23
3	49	49	40	40	33	33	27	28
5	66	66	55	55	45	45	36	36
n_4	p_{eq}/p_{ref} [%]							
	c [Kpa]							
	20	25	15	20	15	20	10	15
H/D	2b	3b	11b	12b	21b	22b	30b	31b
1	20	18	19	16	14	13	13	12
1.5	28	26	24	23	20	20	18	17
2	34	33	29	28	24	24	20	20
3	45	45	39	38	32	31	28	27
5	61	61	53	0	44	43	0	0



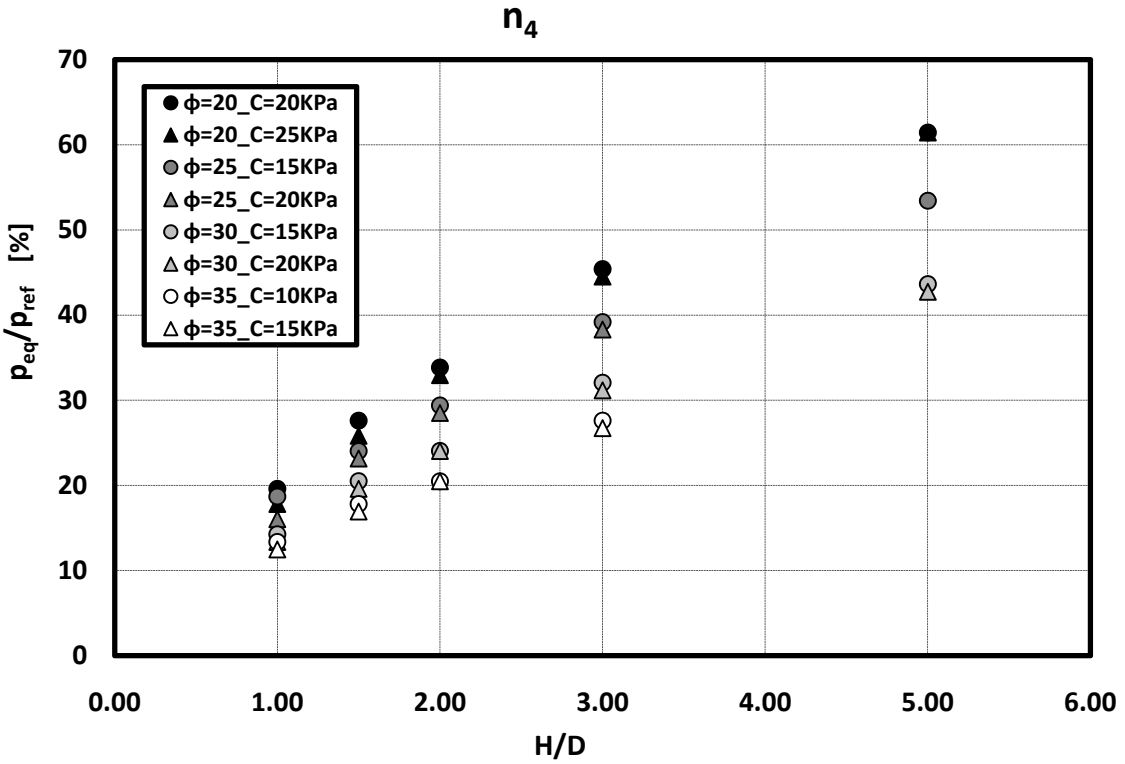
Σχήμα 4.1. Διάγραμμα p_{eq}/p_{ref}-H/D με Διακριτοποίηση ως προς την Γωνία Τριβής ϕ και τη Συνοχή c για Τύπο Καννάβου με Αριθμό Αγκυρίων n_1=19, d_1=0.24[n/m^2].



Σχήμα 4.2. Διάγραμμα p_{eq}/p_{ref} -H/D με Διακριτοποίηση ως προς την Γωνία Τριβής ϕ και τη Συνοχή c για Τύπο Καννάβου με Αριθμό Αγκυρίων n_2=26, d_2=0.33[n/m^2].



Σχήμα 4.3. Διάγραμμα p_{eq}/p_{ref} -H/D με Διακριτοποίηση ως προς την Γωνία Τριβής ϕ και τη Συνοχή c για Τύπο Καννάβου με Αριθμό Αγκυρίων n_3=33, d_3=0.42[n/m^2].

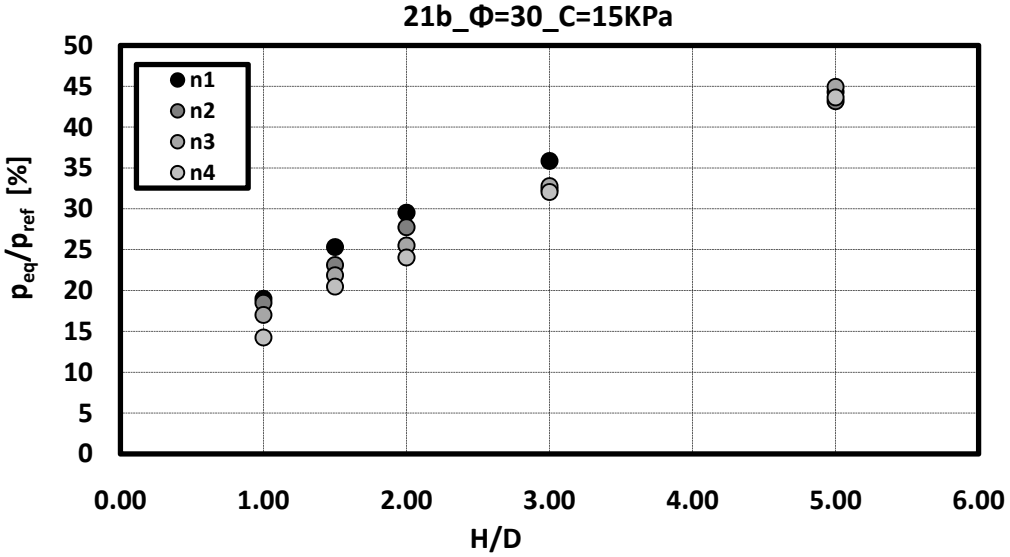


Σχήμα 4.4. Διάγραμμα p_{eq}/p_{ref} -H/D με Διακριτοποίηση ως προς την Γωνία Τριβής ϕ και τη Συνοχή c για Τύπο Καννάβου με Αριθμό Αγκυρίων n_4=45, d_4=0.57[n/m^2].

Από τα παραπάνω διαγράμματα φαίνεται για όλους τους τύπους καννάβων αγκυρίων ότι όσο πιο χαμηλή τιμή έχει η γωνία τριβής φ και όσο αυξάνεται ο λόγος H/D τόσο μεγαλύτερη είναι τιμή του λόγου της ισοδύναμης πίεσης υποστήριξης προς την οριακή πίεση αναφοράς που απαιτείται ώστε να έχουμε ευσταθές μέτωπο. Ακόμα φαίνεται ότι για μείωση της συνοχής η τιμή του λόγου της ισοδύναμης πίεσης υποστήριξης προς την οριακή πίεση αναφοράς δεν επηρεάζεται σχεδόν καθόλου, παρουσιάζει μόνο μια πολύ μικρή αύξηση σε κάποιες περιπτώσεις.

4.3 Πίνακες - Διαγράμματα της Ισοδύναμης Πίεσης σε Σχέση με τον Αριθμό των Αγκυρίων στον Κάνναβο για Συγκεκριμένες Αναλύσεις της 1ης Ομάδας

Σε αυτό το υποκεφάλαιο έγινε μια επιπλέον προσπάθεια προσδιορισμού των παραμέτρων που επηρεάζουν την ισοδύναμη πίεση, την πυκνότητα των αγκυρίων, και την μεταξύ τους σχέση. Για τις ίδιες αναλύσεις με την προηγούμενη παράγραφο κατασκευάστηκαν ένας συγκεντρωτικός πίνακας ο οποίος επισυνάπτεται στο παράρτημα λόγω του μεγέθους του, και το παρακάτω αντιπροσωπευτικό διαγράμματα με διακριτοποίηση ως προς την πυκνότητα των αγκυρίων, τα υπόλοιπα διαγράμματα επισυνάπτονται στο παράρτημα.



Σχήμα 4.5. Διάγραμμα p_{eq}/p_{ref}-H/D με Διακριτοποίηση Συγκεκριμένης Ανάλυσης ως προς τον Αριθμό των Αγκυρίων στον Κάνναβο n_1=19, n_2=26, n_3=33, n_4=45 με Πυκνότητα Καννάβου Αγκυρίων d_1=0.24[n/m^2], d_2=0.33[n/m^2], d_3=0.42[n/m^2], d_4=0.57[n/m^2] Αντίστοιχα.

Από το παραπάνω αντιπροσωπευτικό διάγραμμα φαίνεται ότι όσο πιο αραιό κάνναβο επιλέξουμε με όλες τις άλλες παραμέτρους σταθερές τόσο αυξάνει η τιμή της ισοδύναμης πίεσης υποστήριξης προς την οριακή πίεση αναφοράς, που σημαίνει ότι τα αγκύρια λειτουργούν πιο κοντά στο όριο διαρροής τους. Η αύξηση αυτή όμως είναι μικρή είναι της τάξης των 7 ποσοστιαίων μονάδων. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι όλες οι αναλύσεις έχουν γίνει για ορθός σχεδιασμένους καννάβους, δηλαδή για $0.55<\Lambda_F<1.25$ και για $\Lambda_{F,R}>1.00$.

Ακόμα παρατηρείται ότι όσο αυξάνεται το ύψος των υπερκειμένων τόσο μεγαλύτερη τιμή του λόγου της ισοδύναμης πίεσης υποστήριξης προς την οριακή πίεση αναφοράς απαιτείται ώστε το μέτωπο να είναι ευσταθές, το οποίο οφείλεται πιθανότατα στην αύξηση των κατακόρυφων τάσεων που καλούνται να παραλάβουν τα αγκύρια σε μεγαλύτερα βάθη.

4.4 Πίνακες - Διαγράμματα σε Σχέση με την Ισοδύναμη Πίεση και την Πυκνότητα Αγκυρίων από την Επεξεργασία των Αποτελεσμάτων των Αναλύσεων της 1ης Ομάδας

Τα αποτελέσματα των αναλύσεων πινακοποιήθηκαν σε διάφορες μορφές με σκοπό την ευκολότερη διαχείριση τους αλλά και την εποπτική παρουσίασή τους. Παρακάτω παρουσιάζεται ένας συγκεντρωτικός πίνακας όλων των αποτελεσμάτων που αφορούν την ισοδύναμη πίεση καθώς και διαγράμματα που συσχετίζουν την επίδραση του κανονικοποιημένου λόγου H/D, του αριθμού των αγκυρίων στο μέτωπο n, και της γωνίας τριβής του εδάφους φ, με την ισοδύναμη πίεση αντιστήριξη του μετώπου τόσο με την μορφή του λόγου p_{eq}/p_{ref}, του ποσοστού φόρτισης των αγκυρίων, όσο και με τη μορφή του λόγου p_{eq}/σ_v του ποσοστού δηλαδή της απελευθερούμενης τάσης που φορτίζει τα αγκύρια. Για το σύνολο των υπόλοιπων πινάκων ανατρέξτε στο παράρτημα

Πίνακας 4.3. Συγκεντρωτικός Πίνακας Αποτελεσμάτων της Ισοδύναμης Πίεσης για την 1η Ομάδα Αναλύσεων

A/A	H/D	ϕ	p_{eq}/p_{ref}				p_{eq}/σ_v			
		(°)	n_1=19	n_2=26	n_3=33	n_4=45	n_1=19	n_2=26	n_3=33	n_4=45
1b	1	20				19				10
1.3b	1	20			24				10	
1.5b	1	20	30	26			7	8		
2b	1	20	27	25	22	20	6	8	9	10
3b	1	20	25	23	19	18	6	7	8	10
10_3b	1	25								
11b	1	25	23	23	21	19	5	7	8	10
12b	1	25	21	20	18	16	5	6	7	9
20_2b	1	30	21	18	17		5	6	7	
21b	1	30	19	18	17	14	4	6	7	8
22b	1	30	17	17	15	13	4	5	6	7
30b	1	35	19	15	15	13	4	5	6	7
31b	1	35	17	15	15	12	4	5	6	7
1.5b	1.5	20	34	32	30	28	5	7	8	10
2b	1.5	20	34	32	30	28	5	7	8	10
3b	1.5	20	34	31	29	26	5	6	8	9
10_5b	1.5	25				23				8
11b	1.5	25	30	26	27	24	4	5	7	9
12b	1.5	25	30	26	26	23	4	5	7	8
13b	1.5	25	27	26	23	21	4	5	6	8
20b	1.5	30								
21b	1.5	30	25	23	22	20	4	5	6	7
22b	1.5	30	25	23	21	20	4	5	5	7
29b	1.5	35								
30b	1.5	35	19	18	18	18	3	4	5	6
31b	1.5	35	21	20	18	17	3	4	5	6
1.5b	2	20		34		35		5		9
2b	2	20	42	35	36	34	5	5	7	9
3b	2	20	42	35	35	33	5	5	7	9
4b	2	20	40	35	33	31	5	5	6	8
10.5b	2	25								
11b	2	25		31	30	29		5	6	8
12b	2	25	36	32	29	28	4	5	6	8
13b	2	25	34	31	29	28	4	5	6	7
19.1b	2	30			24				5	
21b	2	30	30	28	26	24	3	4	5	6
22b	2	30	32	28	26	24	4	4	5	6
23b	2	30	30	26	24	22	3	4	5	6
29.1b	2	35								
30b	2	35	23	23	22	20	3	4	4	5
31b	2	35	27	25	23	20	3	4	5	5
32b	2	35	27	23	21	20	3	4	4	5
2b	3	20								
3b	3	20	53	49	49	45	4	5	6	8
4b	3	20	51	48	47	44	4	5	6	8
11b	3	25								
12b	3	25	44	40	40	38	3	4	5	7
13b	3	25	44	40	39	37	3	4	5	7
20b	3	30								
21b	3	30	36	32	33	32	3	3	4	6
22b	3	30	36	32	33	31	3	3	4	6
30b	3	35	30	28	27	28	2	3	3	5
31b	3	35	32	29	28	27	2	3	4	5

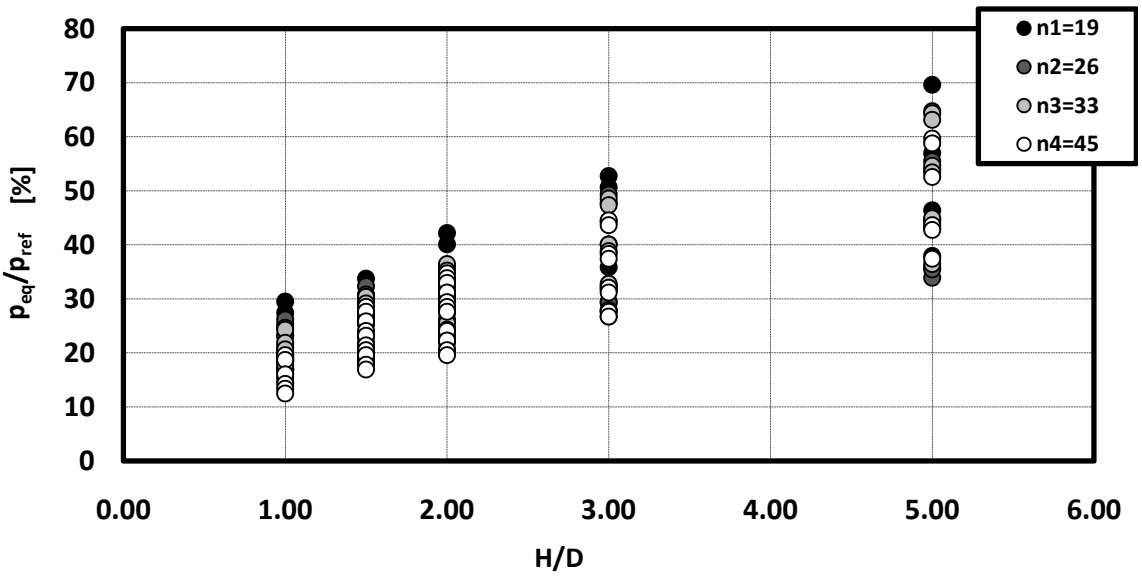
A/A	H/D	ϕ	p_{eq}/p_{ref}				p_{eq}/σ_v			
		(°)	n_1=19	n_2=26	n_3=33	n_4=45	n_1=19	n_2=26	n_3=33	n_4=45
2b	5	20								
3b	5	20								
4b	5	20	70	65	64	60	3	4	5	6
5b	5	20	70	65	63	59	3	4	5	6
11b	5	25								
12b	5	25	57	55	55		3	3	4	
13b	5	25	57	54	53	53	3	3	4	6
21b	5	30	44	43	45	44	2	3	4	5
22b	5	30	46	45	45	43	2	3	4	5
30b	5	35	36	34	36		2	2	3	
30_3b	5	35	38	34		37	2	2		4
31b	5	35	38	35	36		2	2	3	

	Τιμές που απορρίφθηκαν επειδή προέρχονταν από τον ανοδικό κλάδο του διαγράμματος p-u ή βρίσκονται στον ανοδικό κλάδο του διαγράμματος $\Omega_{F,3}$- Λ_F
	Τιμές για τις οποίες δεν υπήρχαν αντίστοιχες αναλύσεις για υποστήριξη μετώπου με αγκύρια fiberglass για τον συγκεκριμένο κάνναβο

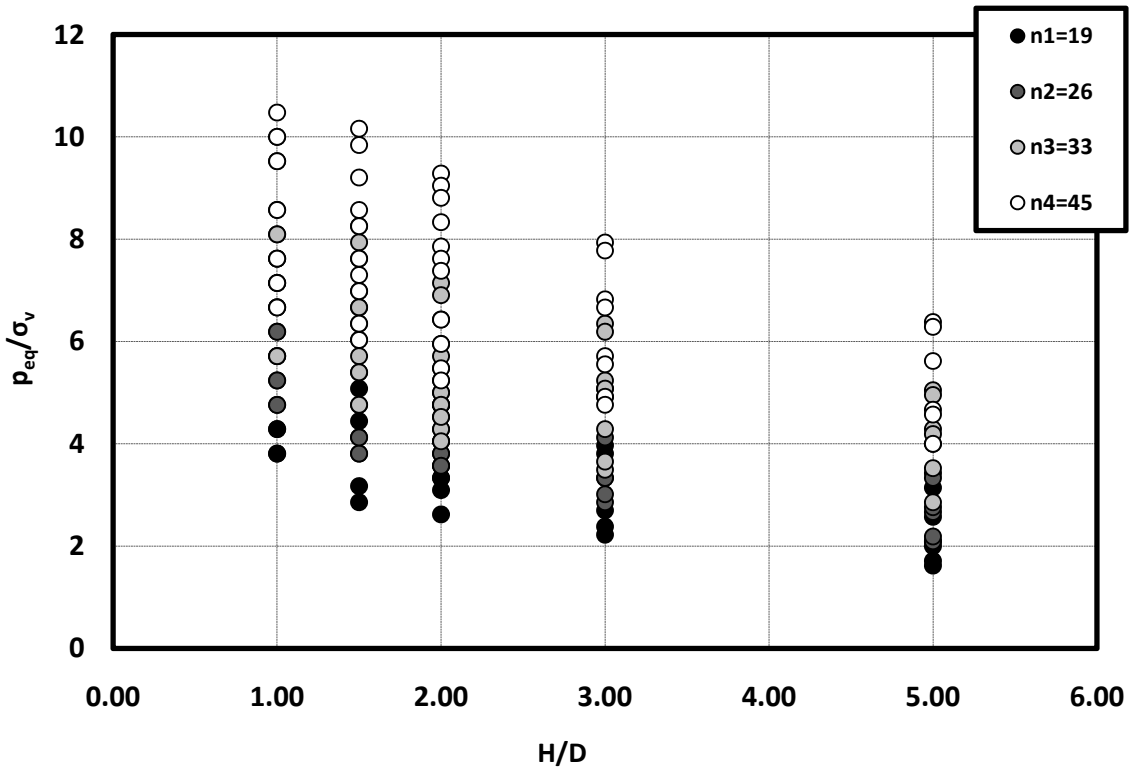
Με οδηγό τον παραπάνω πίνακα δημιουργήθηκαν διάφορα διαγράμματα συσχέτισης της ισοδύναμης πίεσης με την πυκνότητα των αγκυρίων στο μέτωπο.

4.4.1 Διαγράμματα Ποσοστιαίων Λόγων Ισοδύναμης Πίεσης p_{eq} με τον Κανονικοποιημένο Λόγο H/D

4.4.1.1 Διακριτοποίηση ως προς τον Αριθμό των Αγκυρίων n



Σχήμα 4.6. Διάγραμμα p_{eq}/p_{ref} -H/D με Διακριτοποίηση ως προς το Διαφορετικό Αριθμό Αγκυρίων του Καννάβου n_1=19, n_2=26, n_3=33, n_4=45 με Πυκνότητα Καννάβου Αγκυρίων d_1=0.24[n/m^2], d_2=0.33[n/m^2], d_3=0.42[n/m^2], d_4=0.57[n/m^2] Αντίστοιχα.

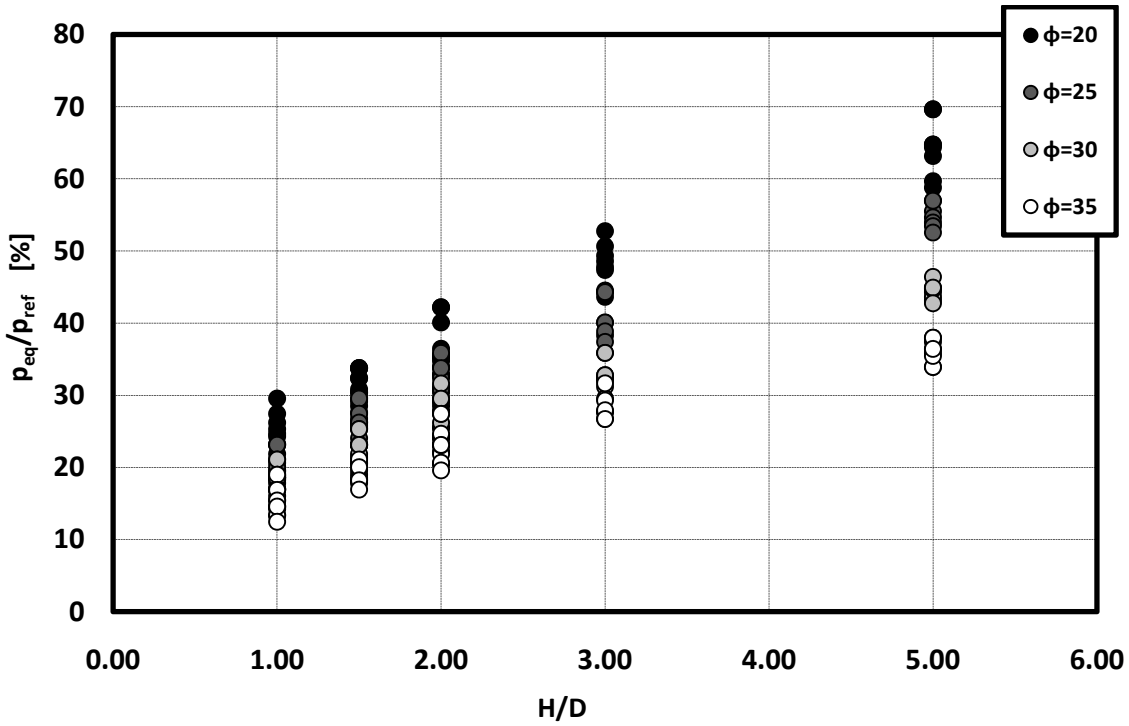


Σχήμα 4.7. Διάγραμμα p_{eq}/σ_v-H/D με Διακριτοποίηση ως προς το Διαφορετικό Αριθμό Αγκυρίων του Καννάβου n_1=19, n_2=26, n_3=33, n_4=45 με Πυκνότητα Καννάβου Αγκυρίων d_1=0.24[n/m^2], d_2=0.33[n/m^2], d_3=0.42[n/m^2], d_4=0.57[n/m^2] Αντίστοιχα.

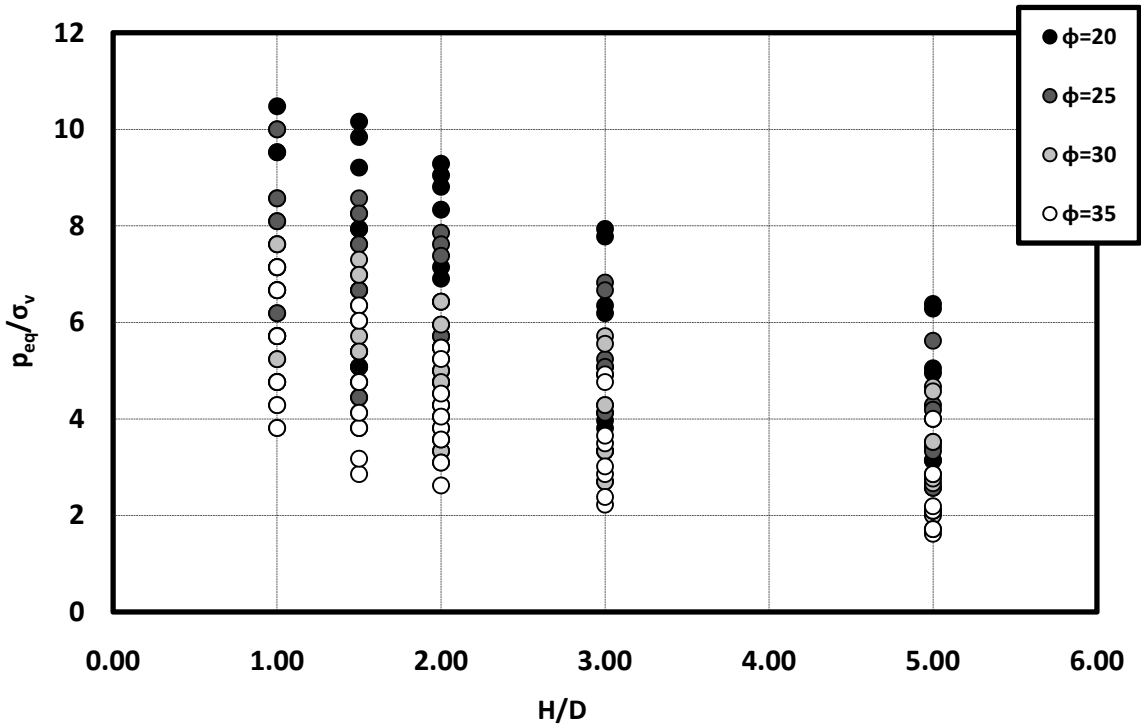
Από τα παραπάνω διαγράμματα παρατηρείται ότι όσο πιο πυκνός είναι ο κάνναβος τόσο μικρότερη είναι η τιμή του λόγου της ισοδύναμης πίεσης υποστήριξης προς την οριακή πίεση αναφοράς, αφού τα φορτία που καλείται να παραλάβει ο κάνναβος αγκυρίων μοιράζονται σε περισσότερα αγκύρια. Ακόμα παρατηρείται ότι όσο πιο πυκνός είναι ο κάνναβος τόσο μεγαλύτερο ποσοστό κατακόρυφων τάσεων αναλαμβάνει.

Τέλος λόγω του μεγάλου σχετικά αριθμού τους στη διατομή στην περίπτωση του πυκνού καννάβου παρατηρείται ότι παρ όλο που τα αγκύρια αναλαμβάνουν μεγαλύτερο ποσοστό κατακόρυφων τάσεων λειτουργούν σε τάσεις αρκετά μακριά από τη διαρροή.

4.4.1.2 Διακριτοποίηση ως προς την Γωνία Τριβής ϕ



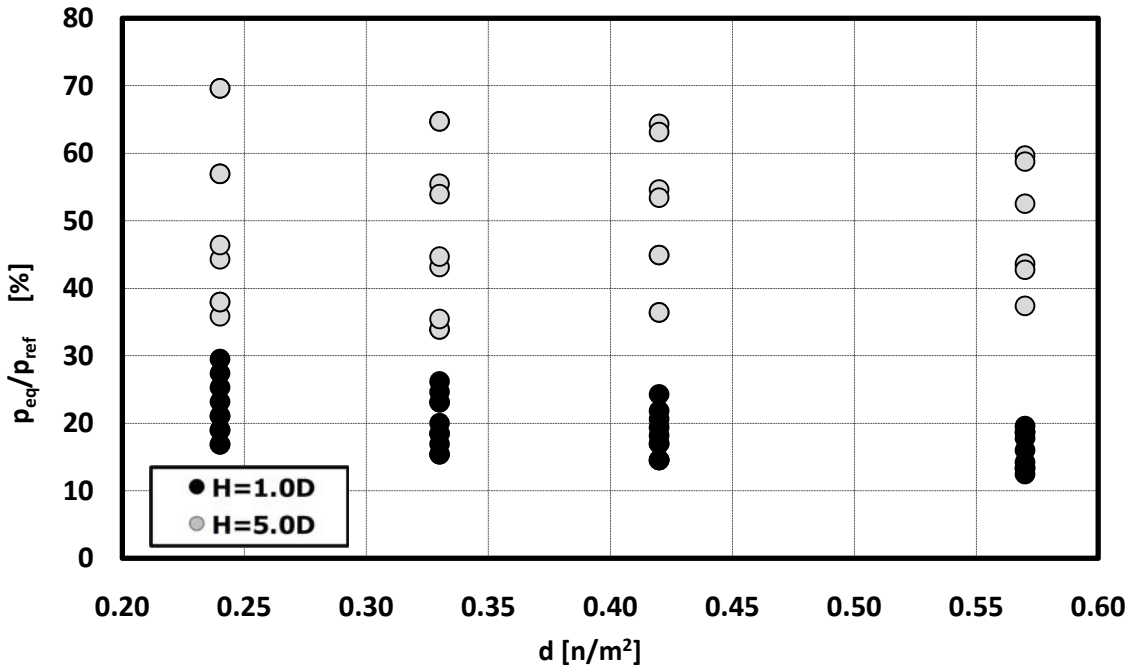
Σχήμα 4.8. Διάγραμμα p_{eq}/p_{ref} -H/D με Διακριτοποίηση ως προς την Γωνία Τριβής ϕ.



Σχήμα 4.9. Διάγραμμα p_{eq}/σ_v-H/D με Διακριτοποίηση ως προς την Γωνία Τριβής ϕ.

Από τα παραπάνω διαγράμματα παρατηρείται ότι η τιμή του λόγου της ισοδύναμης πίεσης υποστήριξης προς την οριακή πίεση αναφοράς επηρεάζεται αρκετά με αύξηση της γωνίας τριβής. Όσο πιο μεγάλη γωνία τριβής τόσο μικρότερη ισοδύναμη πίεση απαιτείται για την ευστάθεια του μετώπου και τόσο μικρότερο ποσοστό κατακόρυφων τάσεων καλούνται να αναλάβουν τα αγκύρια.

4.4.2 Διαγράμματα Ποσοστιαίων Λόγων Ισοδύναμης Πίεσης p_{eq} με την Πυκνότητα των Αγκυρίων του Καννάβου



Σχήμα 4.10. Διάγραμμα p_{eq}/p_{ref} -d με Διακριτοποίηση το Ύψος των Υπερκειμένων H/D=1& 5. Διδακτορική Διατριβή Γ. Προυντζόπουλου 2012.

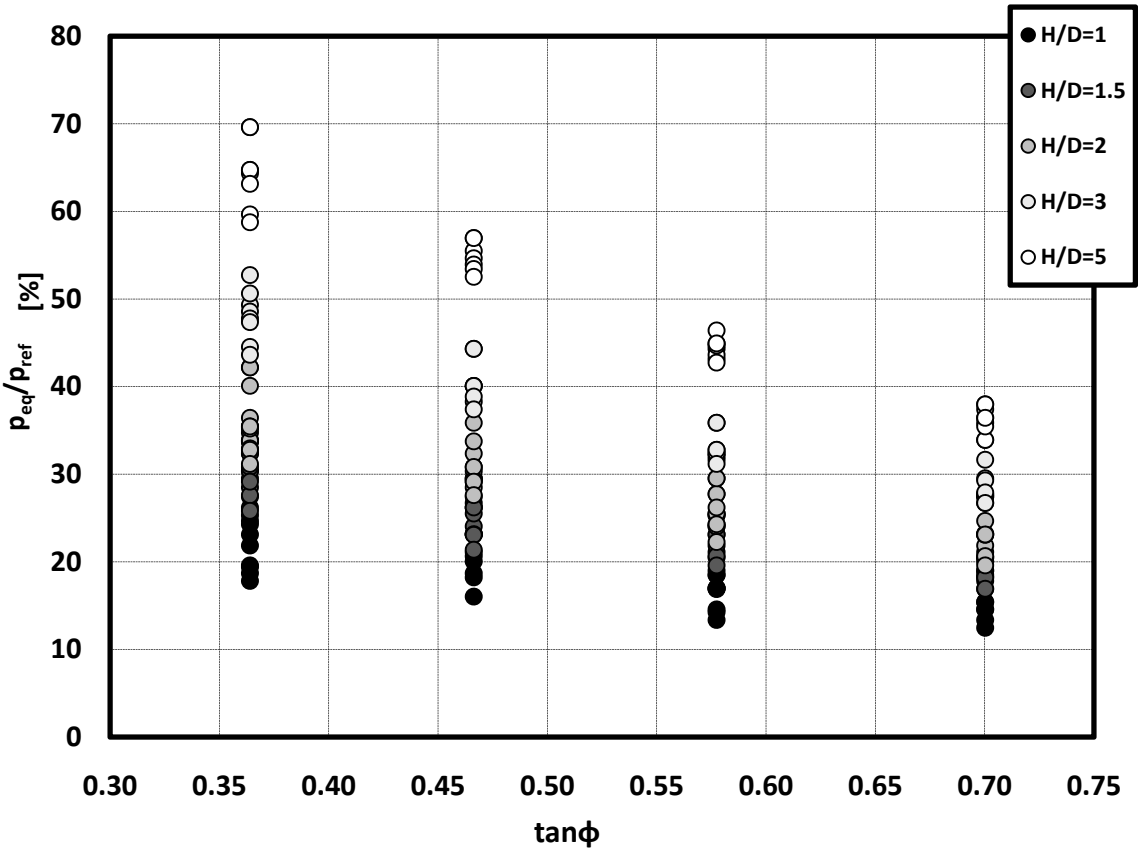
Από το παραπάνω διάγραμμα γίνεται αντιληπτό ότι με αύξηση της πυκνότητας των αγκυρίων του μετώπου μειώνεται το εύρος του λόγου p_{eq}/p_{ref}, γεγονός που σημαίνει ότι όσο πιο πυκνό κάνναβο έχουμε τόσο καλύτερη αντιστοίχιση υπάρχει μεταξύ της ισοδύναμης πίεσης του μετώπου και της υποστήριξης του μετώπου με αγκύρια, δηλαδή τόσο περισσότερο η επίδραση των αγκυρίων στο μέτωπο μπορεί να προσομοιωθεί με μια ισοδύναμη πίεση υποστήριξης.

4.4.3 Διαγράμματα Ποσοστιαίων Λόγων Ισοδύναμης Πίεσης p_{eq} με Εκφράσεις της Εφαπτομένη της Γωνίας τριβής φ

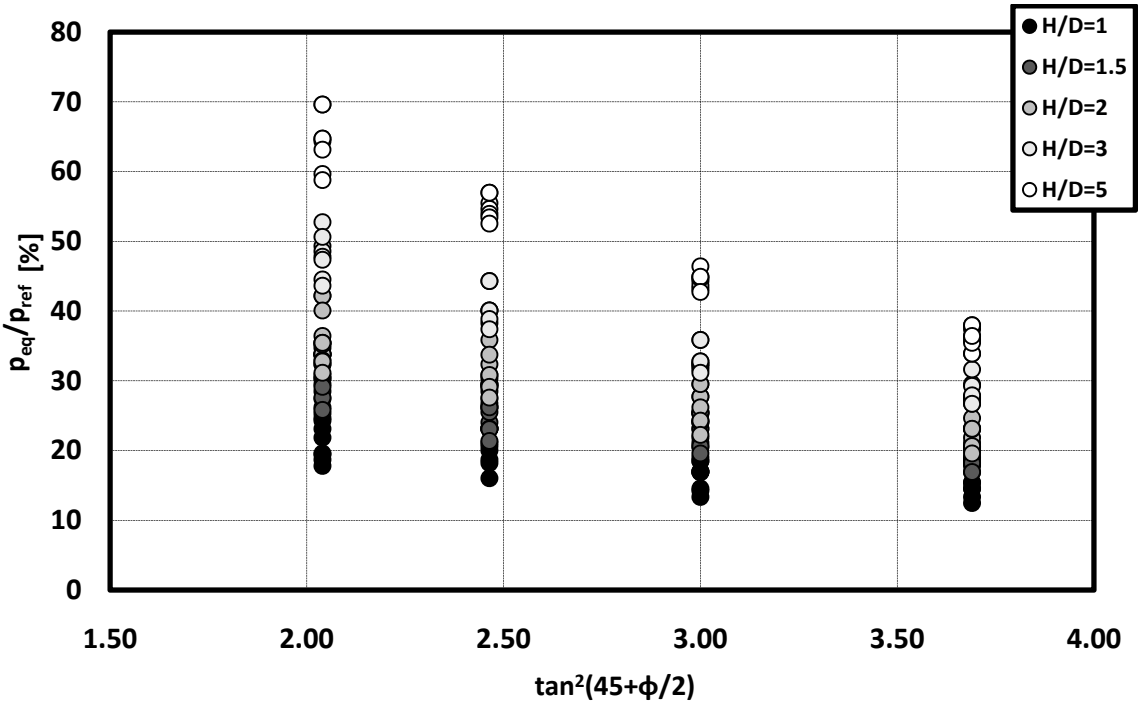
4.4.3.1 Διακριτοποίηση ως προς τον Αριθμό Αγκυρίων στον Κάνναβο n

Από τα διαγράμματα τα οποία προέκυψαν δεν προέκυπτε κάποιο εμφανές συμπέρασμα διαφορετικό από αυτά των προηγούμενων παραγράφων. Για λόγους πληρότητας παραθέτονται στο παράρτημα.

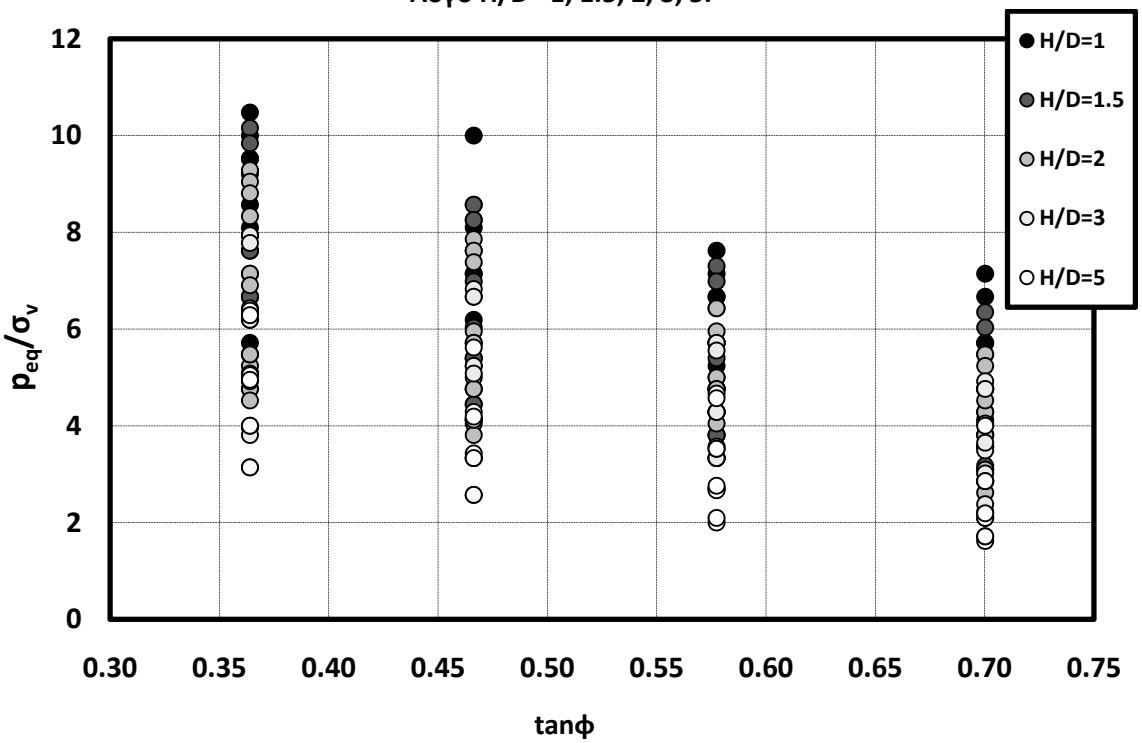
4.4.3.2 Διακριτοποίηση ως προς τον Κανονικοποιημένο Λόγο H/D



Σχήμα 4.11. Διάγραμμα p_{eq}/p_{ref} -tanφ με Διακριτοποίηση ως προς τον Κανονικοποιημένο Λόγο H/D =1, 1.5, 2, 3, 5.



Σχήμα 4.12. Διάγραμμα p_{eq}/p_{ref} -$\tan^2(45+\phi/2)$ με Διακριτοποίηση ως προς τον Κανονικοποιημένο Λόγο H/D =1, 1.5, 2, 3, 5.



Σχήμα 4.13. Διάγραμμα p_{eq}/σ_v -tanϕ με Διακριτοποίηση ως προς τον Κανονικοποιημένο Λόγο H/D =1, 1.5, 2, 3, 5.

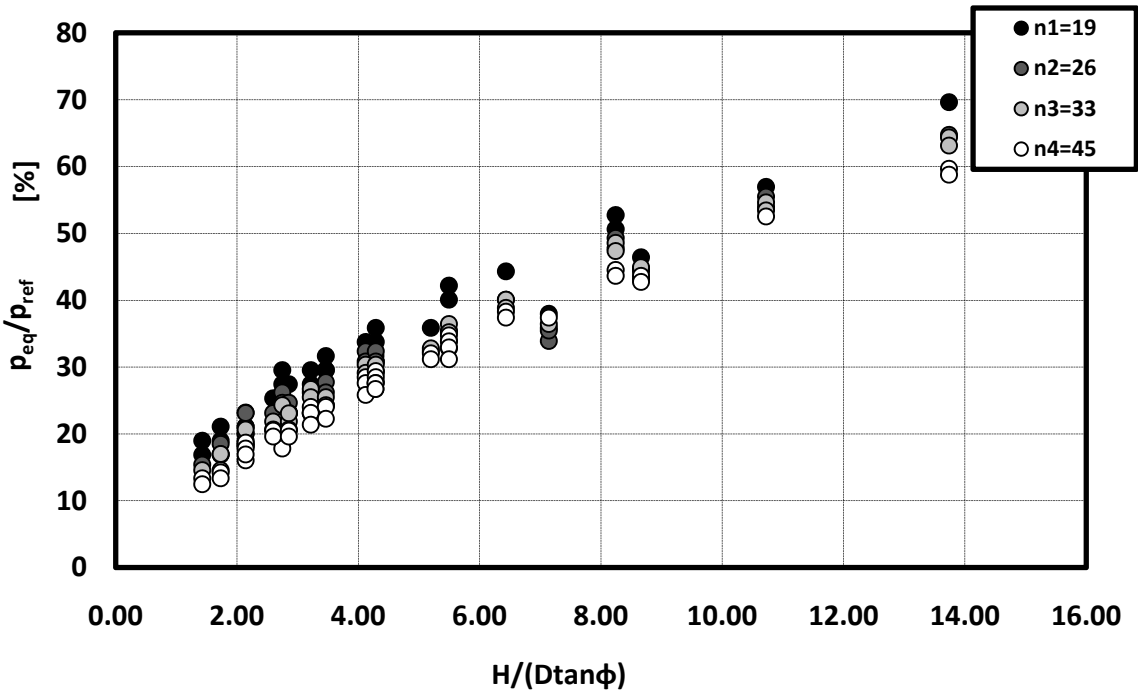
Από τα παραπάνω διαγράμματα φαίνεται ότι όσο πιο μικρή είναι η γωνία τριβής τόσο μεγαλύτερη διασπορά έχουν τα αποτελέσματα.

Φαίνεται ακόμα ότι με αύξηση του βάθους έχουμε αύξηση του λόγου p_{eq}/p_{ref} με αποτέλεσμα τόσο πιο κοντά στο όριο διαρροής των αγκυρίων να βρίσκεται η ισοδύναμη πίεση. Αυτό μπορεί να οφείλεται στο γεγονός ότι με αύξηση του βάθους έχουμε αύξηση των γεωστατικών τάσεων και επομένως της φόρτισης των αγκυρίων. Παρατηρείται ακόμα ότι όσο πιο μικρή είναι η γωνία τριβής τόσο μεγαλύτερο ποσοστό γεωστατικών τάσεων αναλαμβάνουν τα αγκύρια.

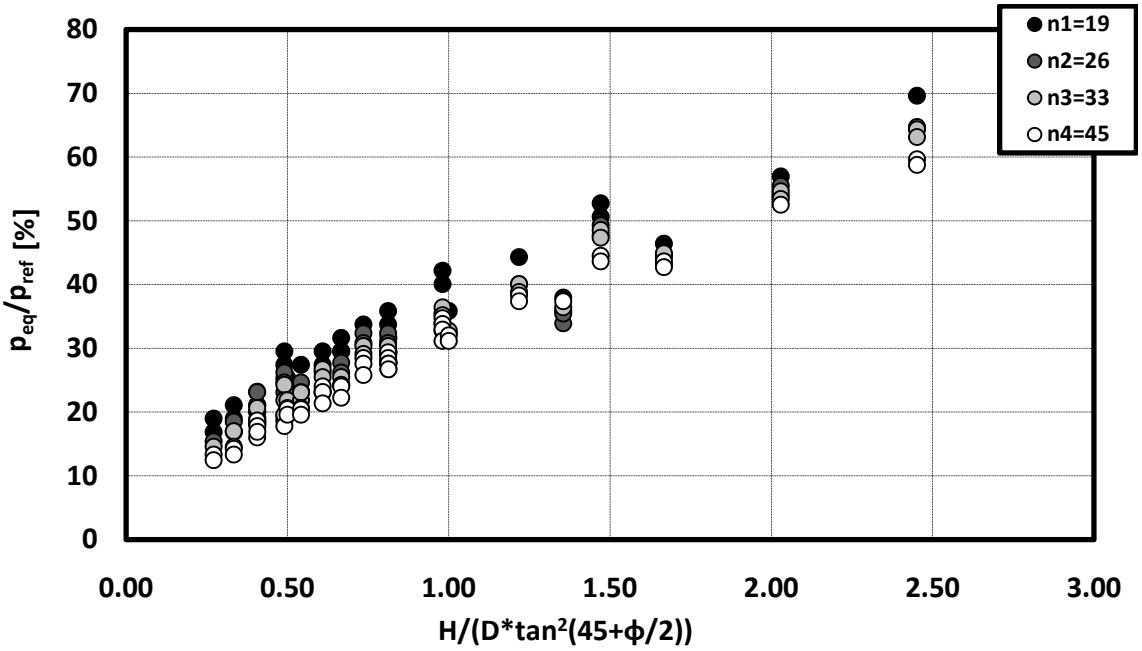
Τέλος παρατηρείται ότι με αύξηση του βάθους έχουμε μείωση του ποσοστού των κατακόρυφων γεωστατικών τάσεων που αναλαμβάνουν τα αγκύρια. Το γεγονός αυτό ίσως να οφείλεται ότι σε μεγαλύτερα βάθη έχει δημιουργηθεί το φαινόμενο του θόλου μπροστά από το μέτωπο εκσκαφής με αποτέλεσμα οι γεωστατικές τάσεις να μεταφέρονται με ασφάλεια στο έδαφος και έτσι τα αγκύρια να φορτίζονται λιγότερο από αυτές.

4.4.4 Διαγράμματα του Λόγου της Ισοδύναμης Πίεσης p_{eq} με τον Κανονικοποιημένο Λόγο H/D και με τη Γωνία Τριβής φ

4.4.4.1 Διακριτοποίηση ως προς τον Αριθμό των Αγκυρίων στον Κάνναβο n



Σχήμα 4.14. Διάγραμμα p_{eq}/p_{ref} –H/(Dtanφ) με Διακριτοποίηση ως προς τον Διαφορετικό Αριθμό Αγκυρίων στον Κάνναβο n_1=19, n_2=26, n_3=33, n_4=45 με Πυκνότητα Καννάβου Αγκυρίων d_1=0.24[n/m^2], d_2=0.33[n/m^2], d_3=0.42[n/m^2], d_4=0.57[n/m^2] Αντίστοιχα.

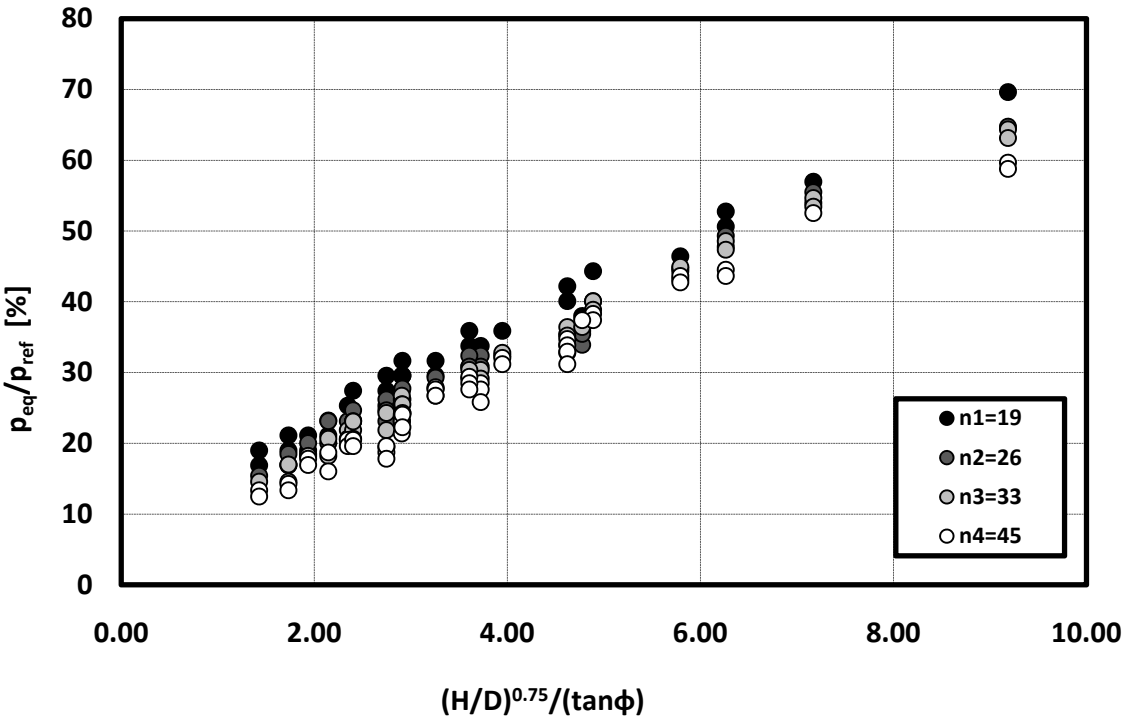


Σχήμα 4.15. Διάγραμμα p_{eq}/p_{ref} –H/(Dtan^2(45+ϕ/2) με Διακριτοποίηση ως προς τον Διαφορετικό Αριθμό Αγκυρίων στον Κάνναβο n_1=19, n_2=26, n_3=33, n_4=45 με Πυκνότητα Καννάβου Αγκυρίων d_1=0.24[n/m^2], d_2=0.33[n/m^2], d_3=0.42[n/m^2], d_4=0.57[n/m^2] Αντίστοιχα.

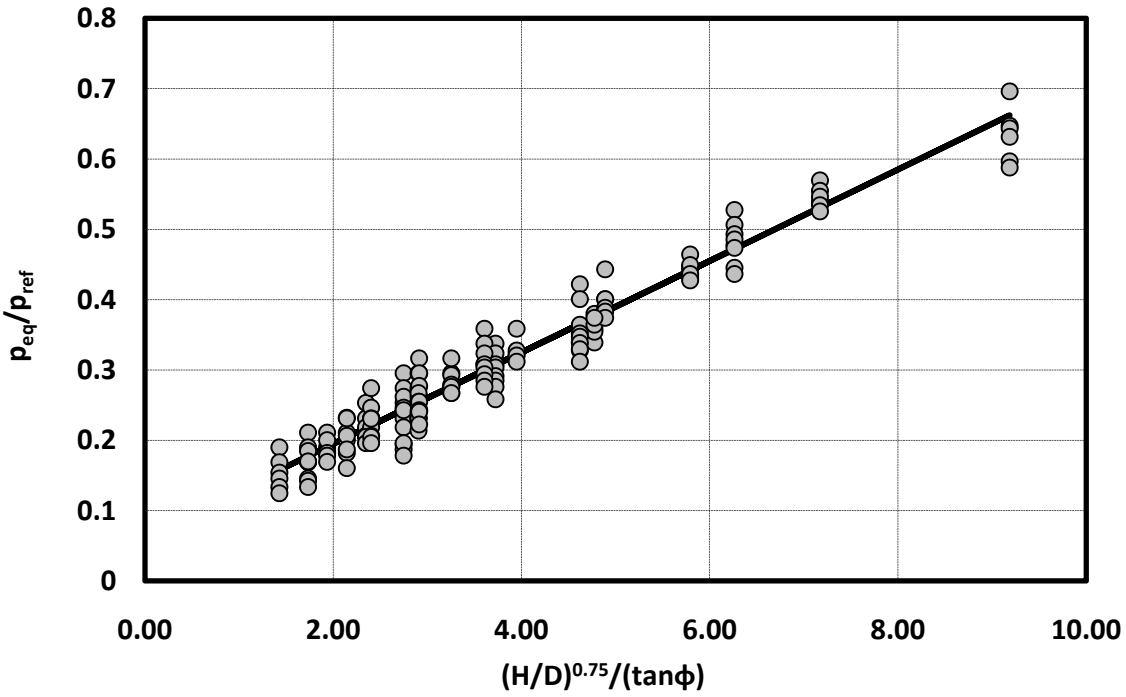
Τα παραπάνω διαγράμματα εμφανίζουν αρκετά μικρή διασπορά τιμών. Αποτελούν μια πρώτη ασφαλή έμμεση προσέγγιση της συσχέτισης της ισοδύναμης πίεσης με την πυκνότητα των αγκυρίων για διάφορα βάθη και για διάφορες γωνίες τριβής.

4.4.5 Διάγραμμα Συσχέτισης της Ισοδύναμης Πίεσης στο Μέτωπο της Σήραγγας με τις Παραμέτρους που την Επηρεάζουν για τις Αναλύσεις της 1^{ης} Ομάδας

Από τα παραπάνω διαγράμματα φαίνεται ότι οι παράμετροι που επηρεάζουν την ισοδύναμη πίεση υποστήριξης είναι ο κανονικοποιημένος λόγος H/D και η γωνία τριβής του εδάφους ϕ. Έπειτα από δοκιμές με σκοπό την συσχέτιση της ισοδύναμης πίεσης με τις παραμέτρους επιρροής της προέκυψε το παρακάτω διάγραμμα το οποίο περιγράφεται αρκετά καλά από τον τύπο 4.1.



Σχήμα 4.16. Διάγραμμα p_{eq}/p_{ref} –$(H/D)^{0.75}/(\tan\phi)$ με Διακριτοποίηση ως προς τον Διαφορετικό Αριθμό Αγκυρίων στον Κάνναβο n_1=19, n_2=26, n_3=33, n_4=45 με Πυκνότητα Καννάβου Αγκυρίων d_1=0.24[n/m^2], d_2=0.33[n/m^2], d_3=0.42[n/m^2], d_4=0.57[n/m^2] Αντίστοιχα. (Διδακτορική Διατριβή Γ. Προυντζόπουλου 2012.)



Σχήμα 4.17. Διάγραμμα p_{eq}/p_{ref} –$(H/D)^{0.75}/(\tan\phi)$ Προτεινόμενη Συσχέτιση Μεταξύ του Λόγου p_{eq}/p_{ref} και των Γεωμετρικών και Γεωτεχνικών Παραμέτρων $(H/D)^{0.75}/(\tan\phi)$. (Διδακτορική Διατριβή Γ. Προυντζόπουλου 2012.)

$$\frac{p_{eq}}{p_{ref}} = 0.065\left(\frac{H^{0.75}}{D^{0.75}\ \tan\phi} + 1\right) \quad (4.1)$$

Όπως φαίνεται από τον παραπάνω τύπο για το σύνολο των περιπτώσεων που εξετάστηκαν μέχρι στιγμής, τις αναλύσεις της 1ης ομάδας, η συσχέτιση κρίνεται αρκετά ικανοποιητική και περιγράφεται από μια γραμμική εξίσωση.

4.5 Πίνακες - Διαγράμματα σε Σχέση με την Ισοδύναμη Πίεση και την Πυκνότητα Αγκυρίων από την Επεξεργασία των Αποτελεσμάτων των Αναλύσεων της 2ης Ομάδας

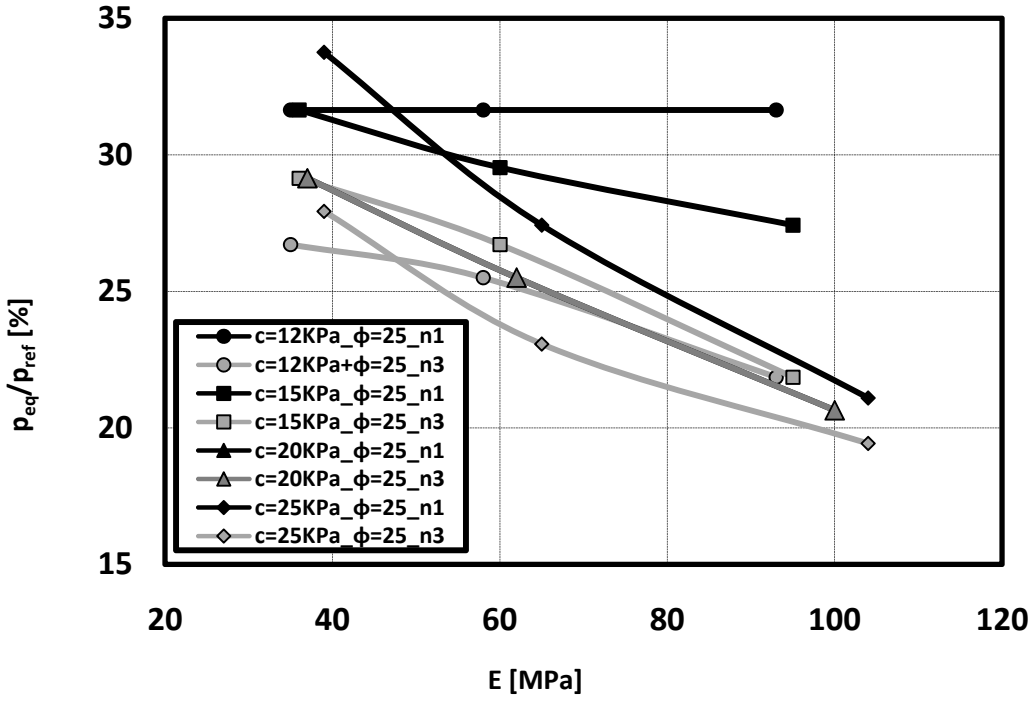
Στη δεύτερη ομάδα έγινε παραμετρική ανάλυση ως προς το μέτρο παραμορφωσιμότητας του εδάφους. Έγιναν αναλύσεις για μέτρο παραμορφωσιμότητας εδάφους $E_a=300S_u$ και $E_c=800S_u$ και έγινε σύγκριση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν με τις αντίστοιχες αναλύσεις της πρώτης ομάδας για $E_b=500S_u$. Από τα αποτελέσματα των αναλύσεων προέκυψε ο παρακάτω συγκεντρωτικός πίνακας. Για το σύνολο των υπόλοιπων πινάκων ανατρέξτε στο παράρτημα.

Πίνακας 4.4. Συγκεντρωτικοί Πίνακες Αποτελεσμάτων του Λόγου p_{eq}/p_{ref} της Ισοδύναμης Πίεσης για την 2η Ομάδα Αναλύσεων

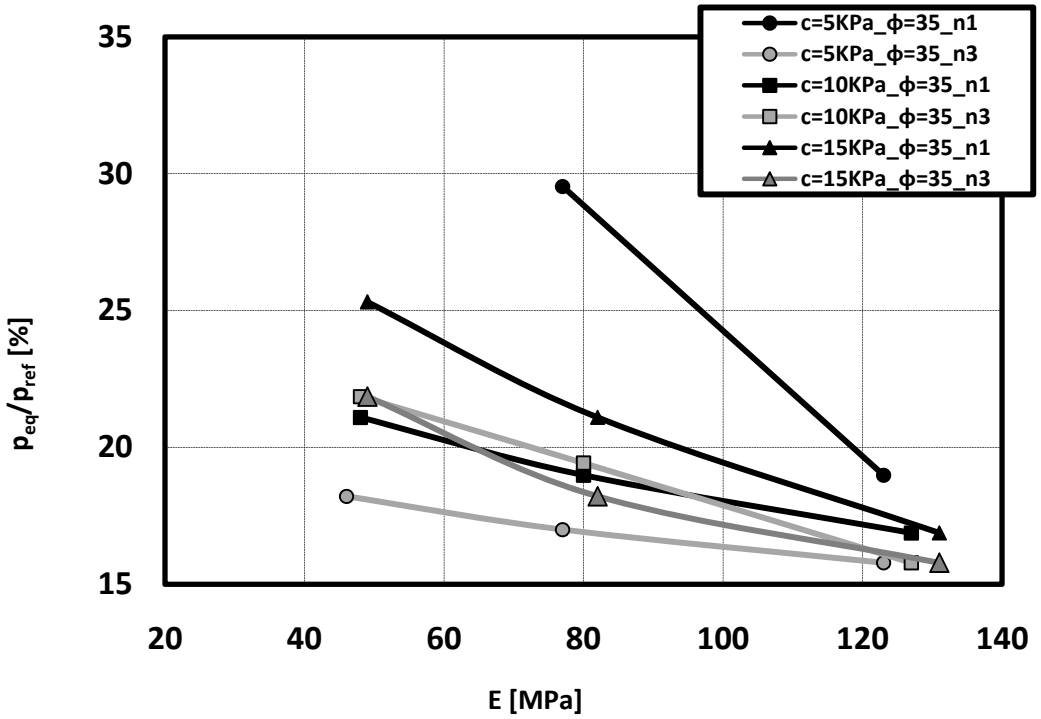
Για Μέτρο Παραμορφωσιμότητας Εδάφους Μικρότερο της 1ης Ομάδας								
A/A	H/D	ϕ	E	Λ_F	p_{eq}/p_{ref}			
-	-	[°]	[MPa]	-	n_1=19	n_2=26	n_3=33	n_4=45
10_5a	1.5	25	35.00	0.599	32	-	27	-
11a	1.5	25	36.00	0.749	32	-	29	-
12a	1.5	25	37.00	0.999	34	-	29	-
13a	1.5	25	39.00	1.249	34	-	28	-
30a	1.5	35	48.00	0.698	21	-	22	-
31a	1.5	35	49.00	1.047	25	-	22	-
2a	3	20	55.00	0.743	-	57	-	53
3a	3	20	57.00	0.928	-	59	-	53
4a	3	20	58.00	1.114	-	59	-	52
20a	3	30	79.00	0.561	-	34	-	38
21a	3	30	80.00	0.842	-	39	-	38
22a	3	30	82.00	1.122	-	40	-	38

Για Μέτρο Παραμορφωσιμότητας Εδάφους Μεγαλύτερο της 1ης Ομάδας								
A/A	H/D	ϕ	E	Λ_F	p_{eq}/p_{ref}			
-	-	[°]	[MPa]	-	n_1=19	n_2=26	n_3=33	n_4=45
10_5c	1.5	25	93.00	0.599	32	-	22	-
11c	1.5	25	95.00	0.749	27	-	22	-
12c	1.5	25	100.00	0.999	23	-	21	-
13c	1.5	25	104.00	1.248	21	-	19	-
29c	1.5	35	123.00	0.349	19	-	16	-
30c	1.5	35	127.00	0.698	17	-	16	-
31c	1.5	35	131.00	1.048	17	-	16	-
2c	3	20	147.00	0.743	-	42	-	39
3c	3	20	151.00	0.928	-	40	-	37
4c	3	20	155.00	1.114	-	39	-	36
20c	3	30	210.00	0.561	-	28	-	27
21c	3	30	214.00	0.842	-	28	-	26
22c	3	30	218.00	1.122	-	26	-	25

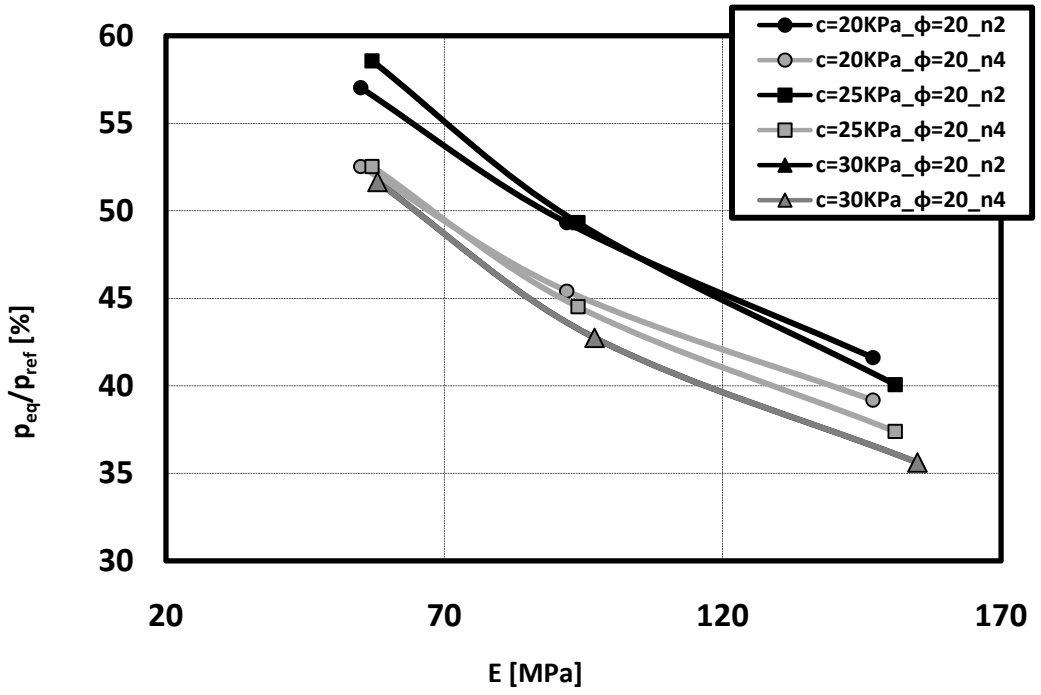
Με επεξεργασία των παραπάνω πινάκων προέκυψαν τα παρακάτω διαγράμματα όπου παρουσιάζεται η επίδραση του μέτρου παραμορφωσιμότητας του εδάφους στην ισοδύναμη πίεση υποστήριξης του μετώπου.



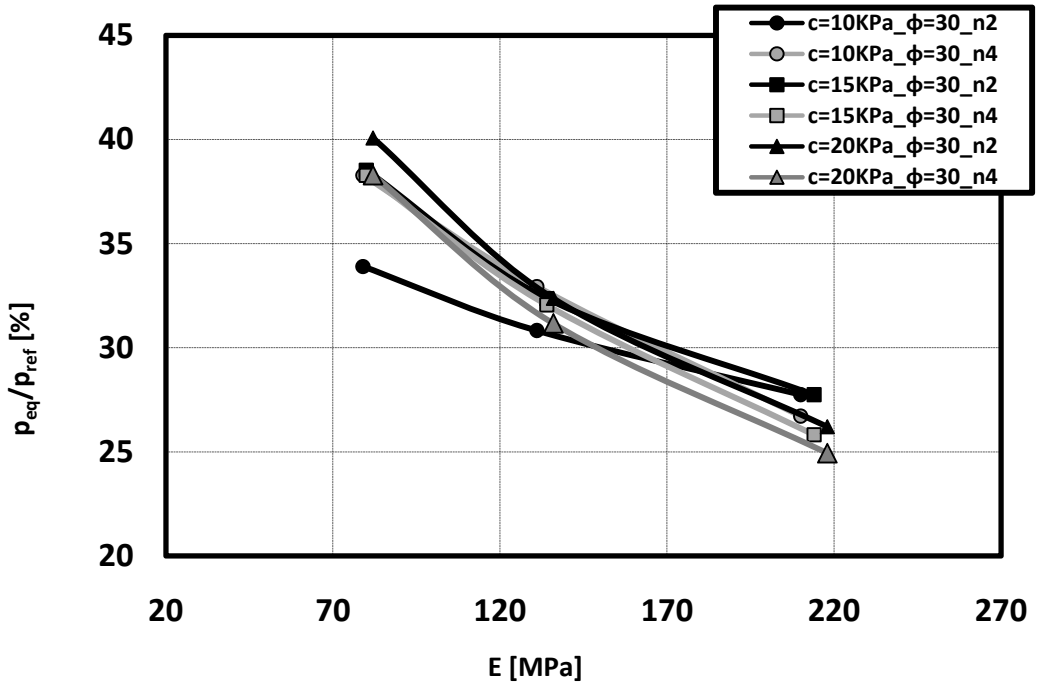
Σχήμα 4.18. Διάγραμμα p_{eq}/p_{ref}– E για την 2η Ομάδα Αναλύσεων για ϕ=25° & H/D=1.5 με Διακριτοποίηση ως προς το Διαφορετικό Αριθμό Αγκυρίων στον Κάνναβο n_1=19, n_3=33 με Πυκνότητα Καννάβου Αγκυρίων d_1=0.24[n/m^2], d_3=0.42[n/m^2] Αντίστοιχα.



Σχήμα 4.19. Διάγραμμα p_{eq}/ p_{ref} – E για την 2η Ομάδα Αναλύσεων για ϕ=35° & H/D=1.5 με Διακριτοποίηση ως προς το Διαφορετικό Αριθμό Αγκυρίων στον Κάνναβο n_1=19, n_3=33 με Πυκνότητα Καννάβου Αγκυρίων d_1=0.24[n/m^2], d_3=0.42[n/m^2] Αντίστοιχα.



Σχήμα 4.20. Διάγραμμα p_{eq}/ p_{ref} – E για την 2η Ομάδα Αναλύσεων για ϕ=20° & H/D=3 με Διακριτοποίηση ως προς το Διαφορετικό Αριθμό Αγκυρίων στον Κάνναβο n_2=26, n_4=45 με Πυκνότητα Καννάβου Αγκυρίων d_2=0.33[n/m^2], d_4=0.57[n/m^2] Αντίστοιχα.



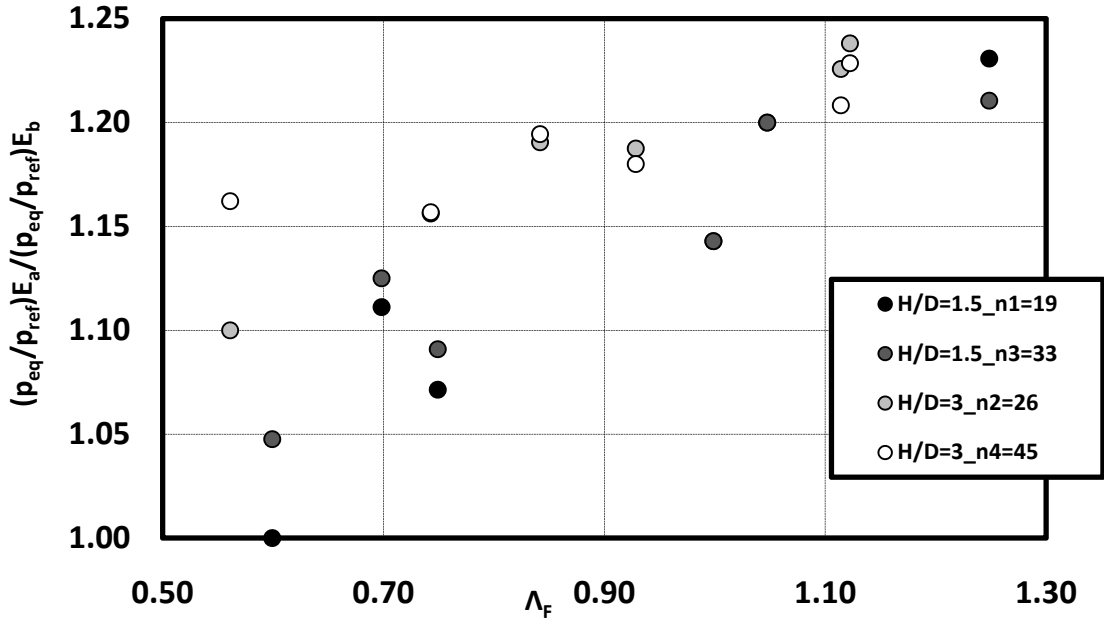
Σχήμα 4.21. Διάγραμμα p_{eq}/ p_{ref} – E για την $2^{η}$ Ομάδα Αναλύσεων για ϕ=30° & H/D=3 με Διακριτοποίηση ως προς το Διαφορετικό Αριθμό Αγκυρίων στον Κάνναβο n_2=26, n_4=45 με Πυκνότητα Καννάβου Αγκυρίων d_2=0.33[n/m^2], d_4=0.57[n/m^2] Αντίστοιχα.

Από τα παραπάνω διαγράμματα φαίνεται ότι με αύξηση του μέτρου παραμορφωσιμότητας του εδάφους, έχω μείωση της ισοδύναμης πίεσης που απαιτείται για ευσταθές μέτωπο, και αυτό διότι αύξηση του μέτρου παραμορφωσιμότητας του εδάφους σημαίνει μείωση των προκαλούμενων παραμορφώσεων του μετώπου και επομένως μικρότερη φόρτιση των αγκυρίων. Τέλος παρατηρείται ότι η επιρροή του μέτρου παραμορφωσιμότητας είναι πιο έντονη όσο αυξάνει ο λόγος H/D και όσο μειώνεται η γωνία τριβής του εδάφους ϕ.

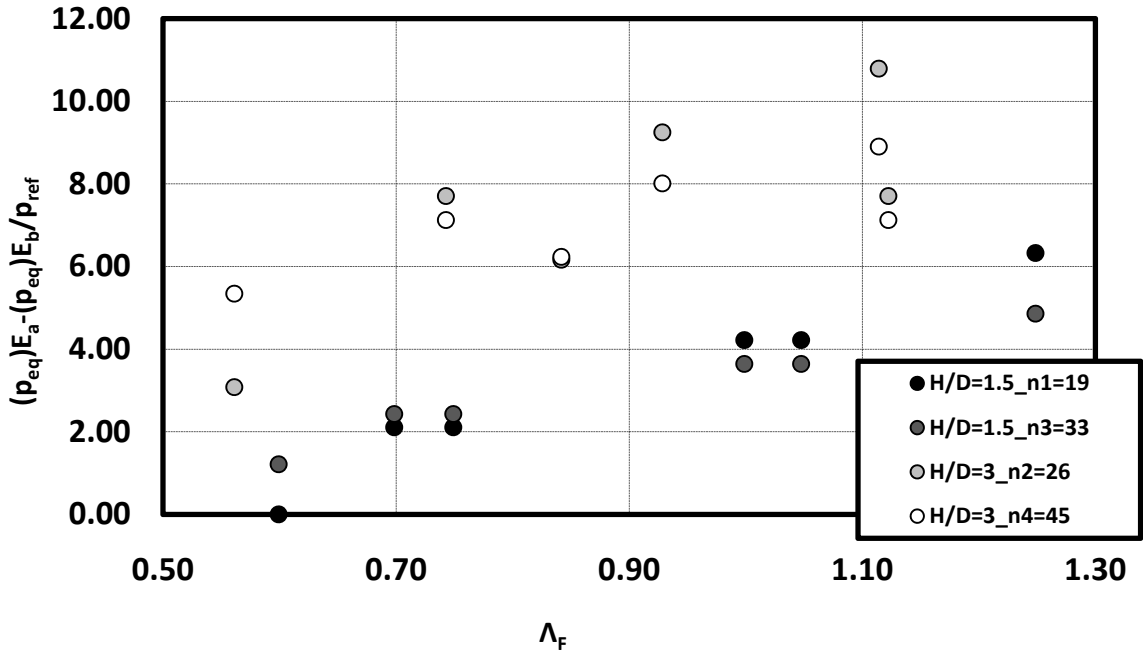
Τέλος συντάχθηκαν πίνακες και διαγράμματα που συσχετίζουν την επίδραση του μέτρου παραμορφωσιμότητας του εδάφους με την ισοδύναμη πίεση υποστήριξης του μετώπου τόσο με την μορφή του λόγου της ισοδύναμης πίεσης $(p_{eq}/p_{ref})E_i/(p_{eq}/p_{ref})E_b$, για μέτρο παραμορφωσιμότητας εδάφους i=300Su ή 800Su προς την ισοδύναμη πίεση για μέτρο παραμορφωσιμότητας εδάφους b=500Su, όσο και με τη μορφή του λόγου $(p_{eq}E_i-p_{eq}E_b)/p_{ref}$ του ποσοστού δηλαδή επί της οριακής πίεσης αναφοράς της μεταβολής της ισοδύναμης πίεσης υποστήριξης του μετώπου λόγο της αύξησης ή της μείωσης του μέτρου παραμορφωσιμότητας του εδάφους.

Πίνακας 4.5. Συγκεντρωτικοί Πίνακες Αποτελεσμάτων Διαφόρων Μορφών των Λόγων της Ισοδύναμης Πίεσης για την 2η Ομάδα Αναλύσεων

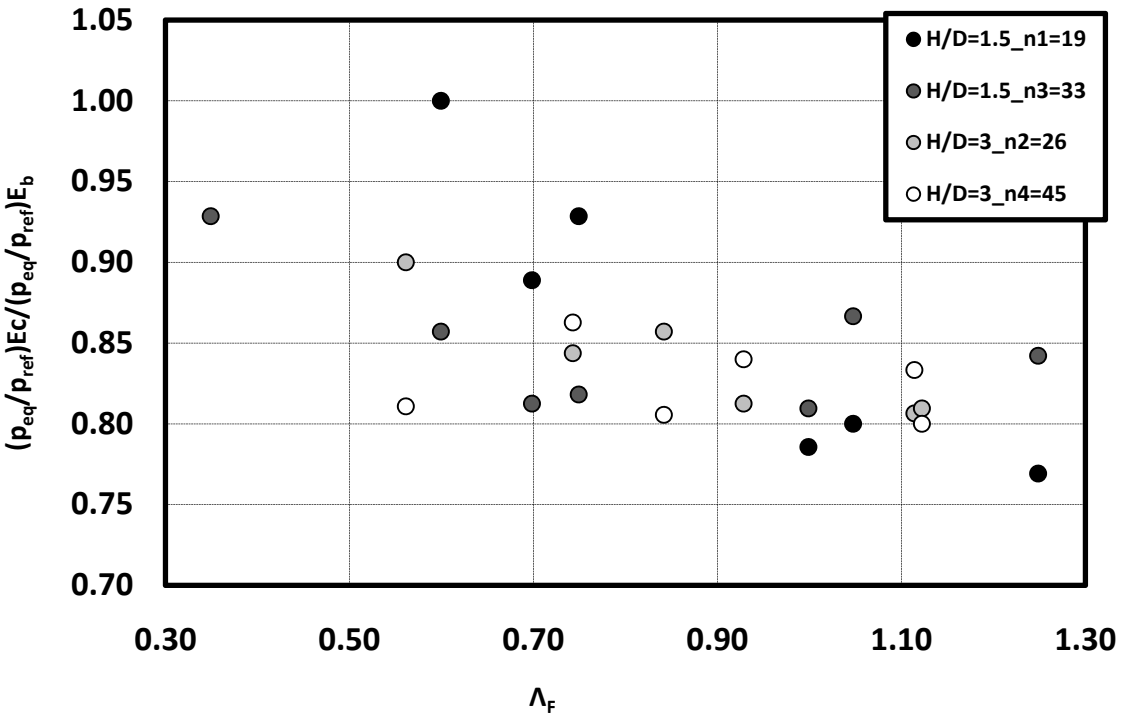
Για Μέτρο Παραμορφωσιμότητας Εδάφους Μικρότερο της 1ης Ομάδας											
A/A	H/D	E	Λ_F	$(p_{eq}/p_{ref})E_a/(p_{eq}/p_{ref})E_b$				$(p_{eq}E_a-p_{eq}E_b)/p_{ref}$			
	-	[MPa]	-	n=19	n=26	n=33	n=45	n=19	n=26	n=33	n=45
10_5a	1.5	35.00	0.599	1.00	-	1.05	-	0.00	-	1.21	-
10_5b	1.5	58.00									
11a	1.5	36.00	0.749	1.07	-	1.09	-	2.11	-	2.43	-
11b	1.5	60.00									
12a	1.5	37.00	0.999	1.14	-	1.14	-	4.22	-	3.64	-
12b	1.5	62.00									
13a	1.5	39.00	1.249	1.23	-	1.21	-	6.33	-	4.86	-
13b	1.5	65.00									
30a	1.5	48.00	0.698	1.11	-	1.13	-	2.11	-	2.43	-
30b	1.5	80.00									
31a	1.5	49.00	1.047	1.20	-	1.20	-	4.22	-	3.64	-
31b	1.5	82.00									
2a	3	55.00	0.743	-	1.16	-	1.16	-	7.71	-	7.12
2b	3	92.00									
3a	3	57.00	0.928	-	1.19	-	1.18	-	9.25	-	8.01
3b	3	94.00									
4a	3	58.00	1.114	-	1.23	-	1.21	-	10.79	-	8.90
4b	3	97.00									
20a	3	79.00	0.561	-	1.10	-	1.16	-	3.08	-	5.34
20b	3	131.00									
21a	3	80.00	0.842	-	1.19	-	1.19	-	6.17	-	6.23
21b	3	134.00									
22a	3	82.00	1.122	-	1.24	-	1.23	-	7.71	-	7.12
22b	3	136.00									
Για Μέτρο Παραμορφωσιμότητας Εδάφους Μεγαλύτερο της 1ης Ομάδας											
A/A	H/D	E	Λ_F	$(p_{eq}/p_{ref})E_c/(p_{eq}/p_{ref})E_b$				$(p_{eq}E_c-p_{eq}E_b)/p_{ref}$			
	-	[MPa]	-	n=19	n=26	n=33	n=45	n=19	n=26	n=33	n=45
10_5b	1.5	58.00	0.599	1.00	-	0.86	-	0.00	-	-3.64	-
10_5c	1.5	93.00									
11b	1.5	60.00	0.749	0.93	-	0.82	-	-2.11	-	-4.86	-
11c	1.5	95.00									
12b	1.5	62.00	0.999	0.79	-	0.81	-	-6.33	-	-4.86	-
12c	1.5	100.00									
13b	1.5	65.00	1.249	0.77	-	0.84	-	-6.33	-	-3.64	-
13c	1.5	104.00									
29b	1.5	76.99	0.349	0.64	-	0.93	-	-10.55	-	-1.21	-
29c	1.5	123.00									
30b	1.5	80.00	0.698	0.89	-	0.81	-	-2.11	-	-3.64	-
30c	1.5	127.00									
31b	1.5	82.00	1.047	0.80	-	0.87	-	-4.22	-	-2.43	-
31c	1.5	131.00									
2b	3	92.00	0.743	-	0.84	-	0.86	-	-7.71	-	-6.23
2c	3	147.00									
3b	3	94.00	0.928	-	0.81	-	0.84	-	-9.25	-	-7.12
3c	3	151.00									
4b	3	97.00	1.114	-	0.81	-	0.83	-	-9.25	-	-7.12
4c	3	155.00									
20b	3	131.00	0.561	-	0.90	-	0.81	-	-3.08	-	-6.23
20c	3	210.00									
21b	3	134.00	0.842	-	0.86	-	0.81	-	-4.62	-	-6.23
21c	3	214.00									
22b	3	136.00	1.122	-	0.81	-	0.80	-	-6.17	-	-6.23
22c	3	218.00									



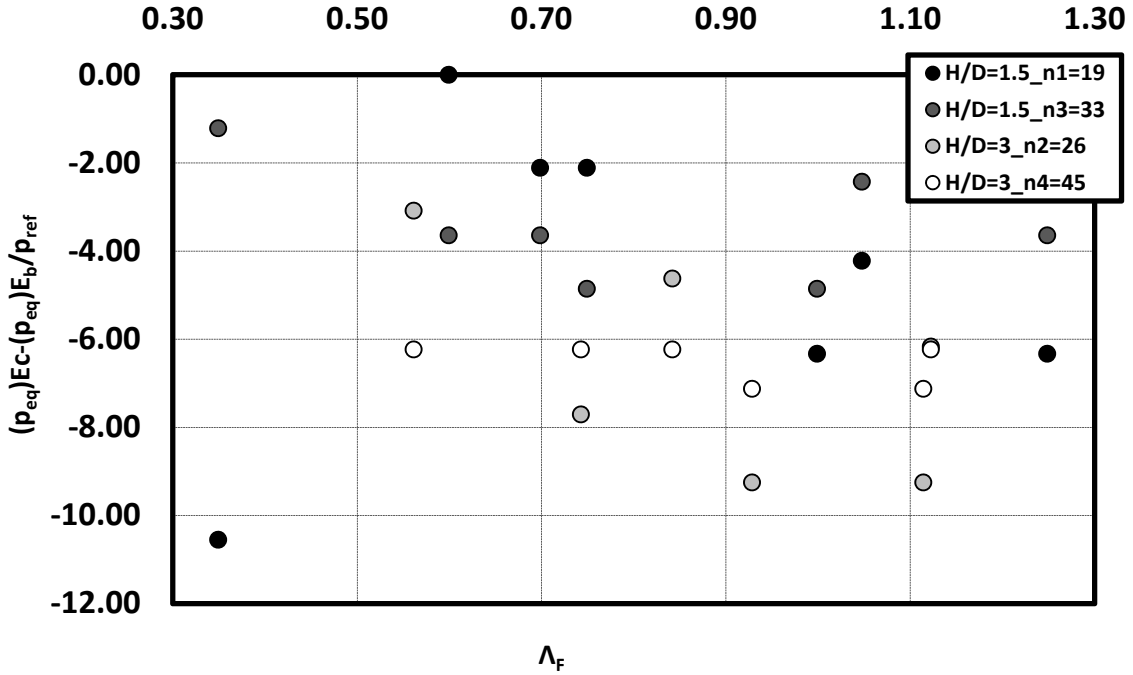
Σχήμα 4.22. Διάγραμμα $(p_{eq}/ p_{ref})_{Ea}/(p_{eq}/ p_{ref})_{Eb}$ – Λ_F για την 2η Ομάδα Αναλύσεων με Διακριτοποίηση ως προς το Διαφορετικό Αριθμό Αγκυρίων στον Κάνναβο n_1=19, n_2=26, n_3=33, n_4=45 με Πυκνότητα Καννάβου Αγκυρίων d_1=0.24[n/m^2], d_2=0.33[n/m^2], d_3=0.42[n/m^2], d_4=0.57[n/m^2] Αντίστοιχα και ως προς τον Κανονικοποιημένο Λόγο H/D



Σχήμα 4.23. Διάγραμμα $[(p_{eq})_{Ea}- (p_{eq})_{Eb}]/ p_{lim}$– Λ_F για την 2η Ομάδα Αναλύσεων με Διακριτοποίηση ως προς το Διαφορετικό Αριθμό Αγκυρίων στον Κάνναβο n_1=19, n_2=26, n_3=33, n_4=45 με Πυκνότητα Καννάβου Αγκυρίων d_1=0.24[n/m^2], d_2=0.33[n/m^2], d_3=0.42[n/m^2], d_4=0.57[n/m^2] Αντίστοιχα και ως προς τον Κανονικοποιημένο Λόγο H/D



Σχήμα 4.24. Διάγραμμα $(p_{eq}/ p_{ref})_{Ec}/(p_{eq}/ p_{ref})_{Eb}$ – Λ_F για την 2η Ομάδα Αναλύσεων με Διακριτοποίηση ως προς το Διαφορετικό Αριθμό Αγκυρίων στον Κάνναβο n_1=19, n_2=26, n_3=33, n_4=45 με Πυκνότητα Καννάβου Αγκυρίων d_1=0.24[n/m^2], d_2=0.33[n/m^2], d_3=0.42[n/m^2], d_4=0.57[n/m^2] Αντίστοιχα και ως προς τον Κανονικοποιημένο Λόγο H/D



Σχήμα 4.25. Διάγραμμα $[(p_{eq})_{Ec}- (p_{eq})_{Eb}]/ p_{ref}$– Λ_F για την 2η Ομάδα Αναλύσεων με Διακριτοποίηση ως προς το Διαφορετικό Αριθμό Αγκυρίων στον Κάνναβο n_1=19, n_2=26, n_3=33, n_4=45 με Πυκνότητα Καννάβου Αγκυρίων d_1=0.24[n/m^2], d_2=0.33[n/m^2], d_3=0.42[n/m^2], d_4=0.57[n/m^2] Αντίστοιχα και ως προς τον Κανονικοποιημένο Λόγο H/D

Από τα παραπάνω διαγράμματα φαίνεται ακόμα πιο εύκολα ότι με αύξηση του μέτρου παραμορφωσιμότητας έχω μείωση της ισοδύναμης πίεσης που απαιτείται για να έχω ευσταθές μέτωπο. Η μεταβολή της ισοδύναμης πίεσης είναι της τάξης του ±25% για H/D=3 και ±20% για H/D=1.5, ενώ ο λόγος της διαφοράς της ισοδύναμης πίεσης προς την οριακή πίεση αναφοράς δεν ξεπερνά το ±10% για H/D=3 και ±6% για H/D=1.5.

Με βάση τα παραπάνω, για το εύρος των τιμών του μέτρου παραμορφωσιμότητας που εξετάστηκε, φαίνεται ότι το μέτρο ελαστικότητας επηρεάζει την τιμή της ισοδύναμης πίεσης και θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη, επομένως ο τύπος 4.1 δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Για την περίπτωση αυτή έχει προταθεί ο τύπος 4.2 ο οποίος έχει προκύψει από το σύνολο των αναλύσεων της παρούσας εργασίας βλ. παράγραφο 4.8.

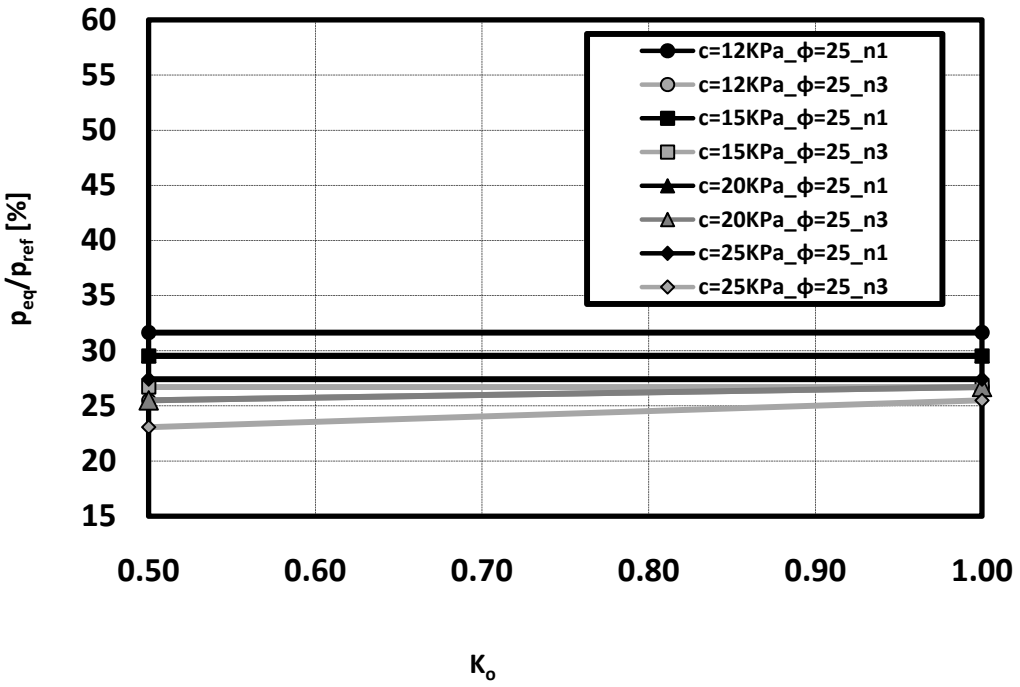
Στην περίπτωση όμως που η συσχέτιση χρησιμοποιείται για μια πρώτη εκτίμηση του καννάβου αγκυρίων υποστήριξης του μετώπου, σε συνδυασμό με κάποια μεθοδολογία εκτίμησης της απαιτούμενης πίεσης υποστήριξης, για την επίτευξη του επιθυμητού βαθμού ευστάθειας, ο τύπος 4.1 μπορεί να χρησιμοποιηθεί εφόσον το μέτρο παραμορφωσιμότητας του εδάφους βρίσκεται εύλογα κοντά στην τιμή $500S_u$ τιμή για την οποία έχουν γίνει οι αναλύσεις από τις οποίες προέκυψε η εν λόγω συσχέτιση.

4.6 Πίνακες - Διαγράμματα σε Σχέση με την Ισοδύναμη Πίεση και την Πυκνότητα Αγκυρίων από την Επεξεργασία των Αποτελεσμάτων των Αναλύσεων της 3ης Ομάδας

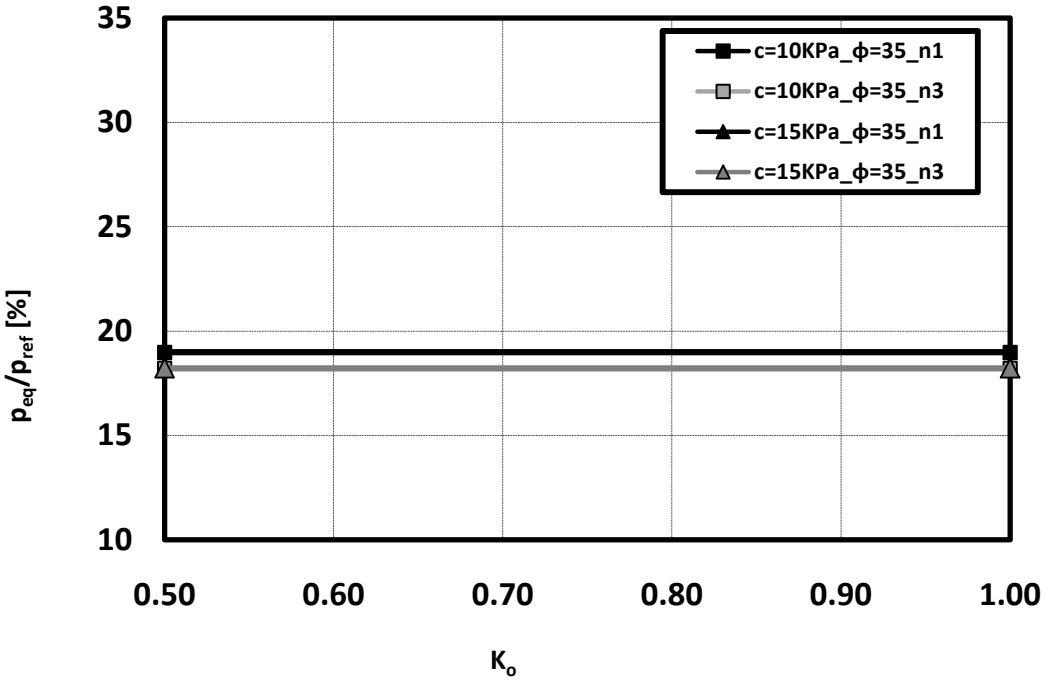
Στη τρίτη ομάδα έγινε παραμετρική ανάλυση ως προς το συντελεστή οριζόντιων τάσεων K_o του εδάφους. Έγιναν αναλύσεις για το συντελεστή οριζόντιων τάσεων K_o=1 και συγκρίθηκαν τα αποτελέσματα που προέκυψαν με τις αντίστοιχες αναλύσεις της 1ης ομάδας με το συντελεστή οριζόντιων τάσεων K_o=0.5, τιμές οι οποίες είναι σύνηθες για τις αβαθείς σήραγγες που εξετάζονται στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Από τα αποτελέσματα των αναλύσεων προέκυψε ο παρακάτω συγκεντρωτικός πίνακας. Για το σύνολο των υπόλοιπων πινάκων ανατρέξτε στο παράρτημα.

Πίνακας 4.6. Συγκεντρωτικός Πίνακας Αποτελεσμάτων του Λόγου p_{eq}/p_{ref} της Ισοδύναμης Πίεσης για την 3η Ομάδα Αναλύσεων

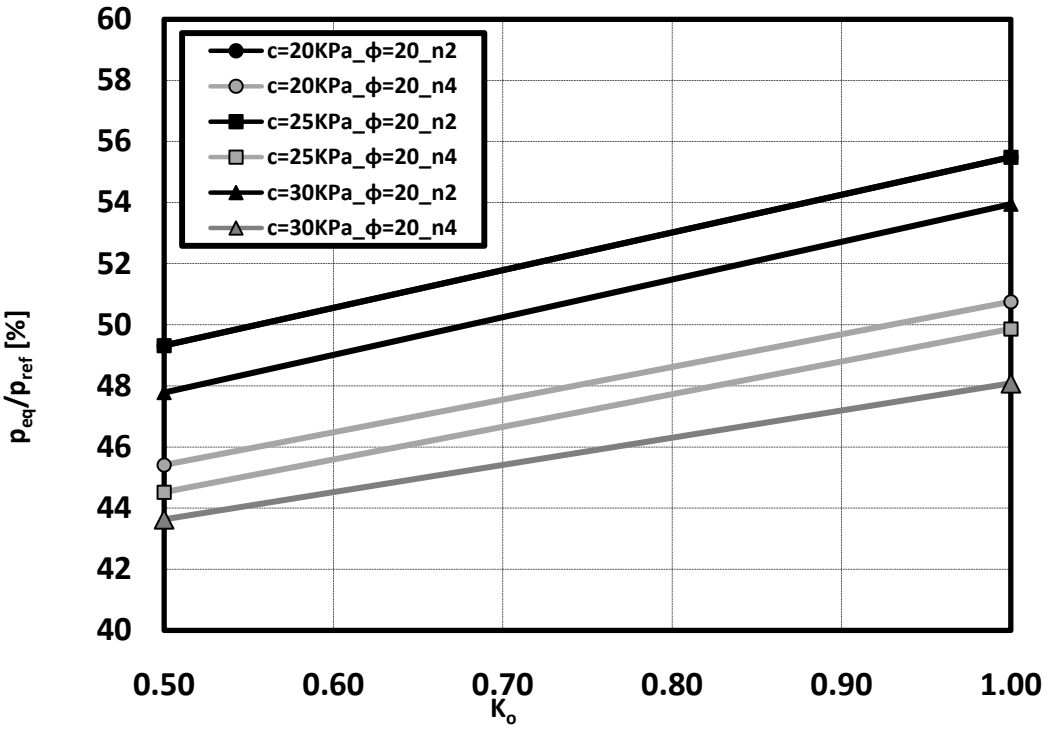
A/A	H/D	ϕ	K_o	Λ_F	p_{eq}/p_{ref}			
	-	[o]	-	-	n_1=19	n_2=26	n_3=33	n_4=45
10_5b_k1	1.5	25	1	0.599	32	-	27	-
11b_k1	1.5	25	1	0.749	30	-	27	-
12b_k1	1.5	25	1	0.999	30	-	27	-
13b_k1	1.5	25	1	1.249	27	-	26	-
30b_k1	1.5	35	1	0.698	19	-	18	-
31b_k1	1.5	35	1	1.047	19	-	18	-
2b_k1	3	20	1	0.743	-	55	-	51
3b_k1	3	20	1	0.928	-	55	-	50
4b_k1	3	20	1	1.114	-	54	-	48
20b_k1	3	30	1	0.561	-	32	-	36
21b_k1	3	30	1	0.842	-	35	-	35
22b_k1	3	30	1	1.122	-	35	-	34



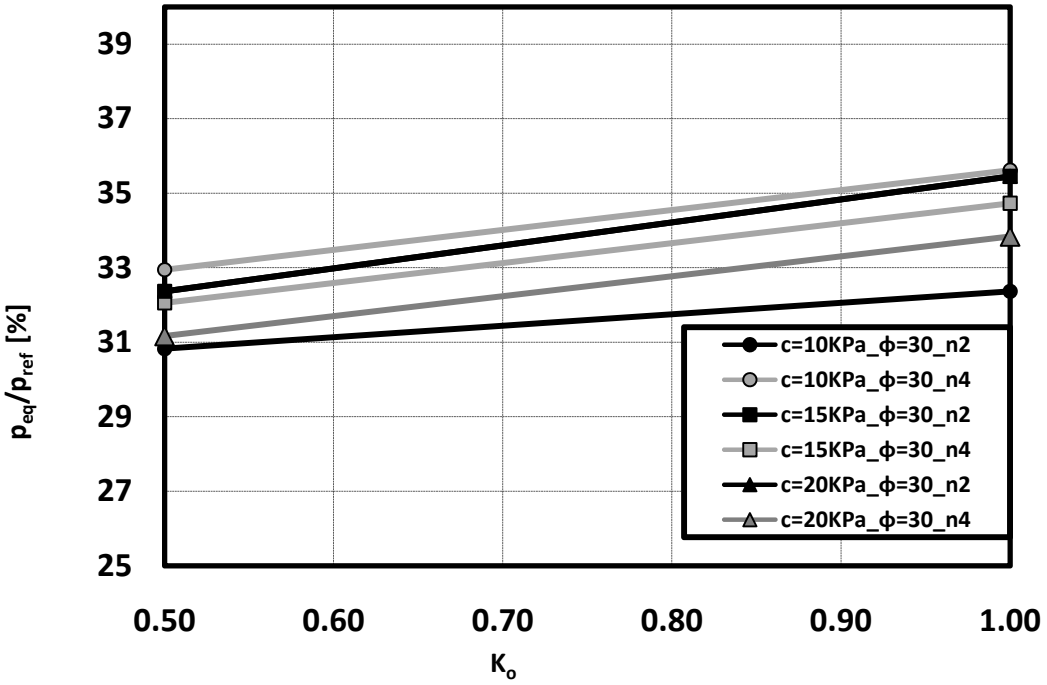
Σχήμα 4.26. Διάγραμμα p_{eq}/p_{ref} – K_o για την 3η Ομάδα Αναλύσεων για ϕ=25° & H/D=1.5 με Διακριτοποίηση ως προς το Διαφορετικό Αριθμό Αγκυρίων στον Κάνναβο n_1=19, n_3=33 με Πυκνότητα Καννάβου Αγκυρίων d_1=0.24[n/m^2], d_3=0.42[n/m^2] Αντίστοιχα.



Σχήμα 4.27. Διάγραμμα $p_{eq}/ p_{ref} – K_o$ για την 3η Ομάδα Αναλύσεων για ϕ=35° & H/D=1.5 με Διακριτοποίηση ως προς το Διαφορετικό Αριθμό Αγκυρίων στον Κάνναβο n_1=19, n_3=33 με Πυκνότητα Καννάβου Αγκυρίων d_1=0.24[n/m^2], d_3=0.42[n/m^2] Αντίστοιχα.



Σχήμα 4.28. Διάγραμμα $p_{eq}/ p_{ref} – K_o$ για την 3η Ομάδα Αναλύσεων για ϕ=20° & H/D=3 με Διακριτοποίηση ως προς το Διαφορετικό Αριθμό Αγκυρίων στον Κάνναβο n_2=26, n_4=45 με Πυκνότητα Καννάβου Αγκυρίων d_2=0.33[n/m^2], d_4=0.57[n/m^2] Αντίστοιχα.



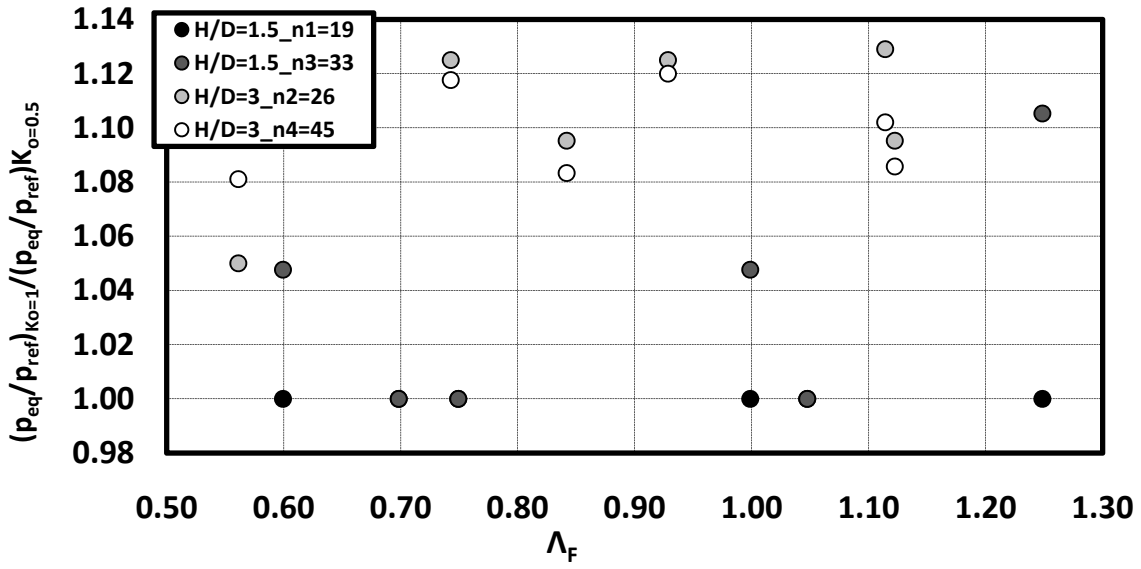
Σχήμα 4.29. Διάγραμμα $p_{eq}/ p_{ref} – K_o$ για την 3η Ομάδα Αναλύσεων για ϕ=30° & H/D=3 με Διακριτοποίηση ως προς το Διαφορετικό Αριθμό Αγκυρίων στον Κάνναβο n_2=26, n_4=45 με Πυκνότητα Καννάβου Αγκυρίων d_2=0.33[n/m^2], d_4=0.57[n/m^2] Αντίστοιχα.

Από τα παραπάνω διαγράμματα φαίνεται ότι για διπλασιασμό του συντελεστή οριζόντιων τάσεων K_o έχω μικρή αύξηση του ισοδύναμης πίεσης. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι με αύξηση του συντελεστή οριζόντιων τάσεων K_o έχω αύξηση των αρχικών οριζόντιων τάσεων τις οποίες καλούνται να παραλάβουν τα αγκύρια, με συνέπεια αύξηση της ισοδύναμης πίεσης που απαιτείται για την ευστάθεια του μετώπου. Η αύξηση αυτή είναι σχετικά μικρή και γίνεται πιο έντονη όσο αυξάνεται ο λόγος H/D και όσο μειώνεται η γωνία τριβής του εδάφους ϕ.

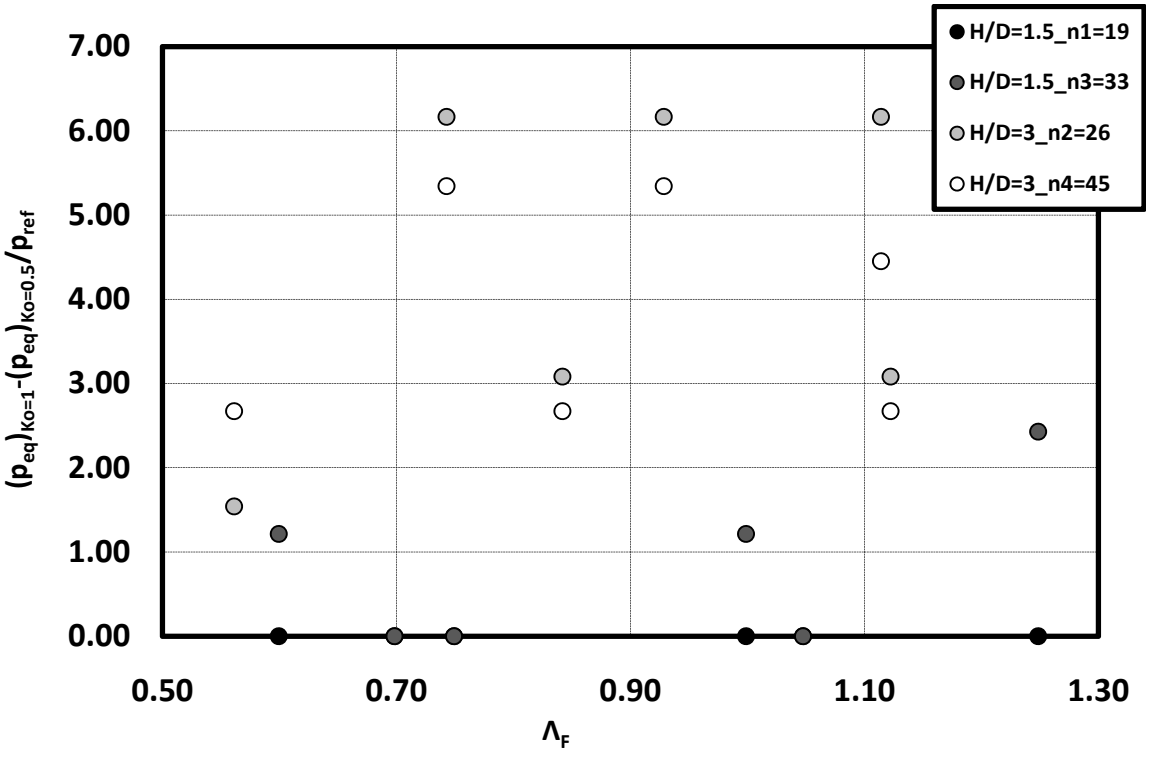
Τέλος συντάχθηκαν πίνακες και διαγράμματα που συσχετίζουν την επίδραση συντελεστή οριζόντιων τάσεων K_o του εδάφους με την ισοδύναμη πίεση υποστήριξης του μετώπου τόσο με την μορφή του λόγου της ισοδύναμης πίεσης $(p_{eq}/p_{ref})K_o=1.0/(p_{eq}/p_{ref})K_o=0.5$, για συντελεστή οριζόντιων τάσεων K_o=1.0 προς την ισοδύναμη πίεση για συντελεστή οριζόντιων τάσεων K_o=0.5, όσο και με τη μορφή του λόγου $((p_{eq})K_o=1.0-(p_{eq})K_o=0.5)/p_{ref}$ του ποσοστού δηλαδή επί της οριακής πίεσης αναφοράς της μεταβολής της ισοδύναμης πίεσης υποστήριξης του μετώπου λόγο της αύξησης του συντελεστή οριζόντιων τάσεων K_o του εδάφους.

Πίνακας 4.7. Συγκεντρωτικοί Πίνακες Αποτελεσμάτων Διαφόρων Μορφών των Λόγων της Ισοδύναμης Πίεσης για την 3η Ομάδα

A/A	H/D	K_o	Λ_F	$(p_{eq}/p_{ref})K_o=1.0/(p_{eq}/p_{ref})K_o=0.5$				$((p_{eq})K_o=1.0-(p_{eq})K_o=0.5)/p_{ref}$			
	-	-	-	n_1=19	n_2=26	n_3=33	n_4=45	n_1=19	n_2=26	n_3=33	n_4=45
10_5b	1.5	0.5	0.599	1.00	-	1.05	-	0.00	-	1.21	-
10_5b_k1	1.5	1.0									
11b	1.5	0.5	0.749	1.00	-	1.00	-	0.00	-	0.00	-
11b_k1	1.5	1.0									
12b	1.5	0.5	0.999	1.00	-	1.05	-	0.00	-	1.21	-
12b_k1	1.5	1.0									
13b	1.5	0.5	1.249	1.00	-	1.11	-	0.00	-	2.43	-
13b_k1	1.5	1.0									
30b	1.5	0.5	0.698	1.00	-	1.00	-	0.00	-	0.00	-
30b_k1	1.5	1.0									
31b	1.5	0.5	1.047	1.00	-	1.00	-	0.00	-	0.00	-
31b_k1	1.5	1.0									
2b	3	0.5	0.000	-	1.13		1.12	-	6.17		5.34
2b_k1	3	1.0									
3b	3	0.5	0.000	-	1.13		1.12	-	6.17		5.34
3b_k1	3	1.0									
4b	3	0.5	0.000	-	1.13		1.10	-	6.17		4.45
4b_k1	3	1.0									
20b	3	0.5	0.000	-	1.05		1.08	-	1.54		2.67
20b_k1	3	1.0									
21b	3	0.5	0.000	-	1.10		1.08	-	3.08		2.67
21b_k1	3	1.0									
22b	3	0.5	0.000	-	1.10		1.09	-	3.08		2.67
22b_k1	3	1.0									



Σχήμα 4.30. Διάγραμμα $(p_{eq}/p_{ref})_{Ko=1}/(p_{eq}/p_{ref})_{Ko=0.5}$ – Λ_F για την 3η Ομάδα Αναλύσεων με Διακριτοποίηση ως προς το Διαφορετικό Αριθμό Αγκυρίων στον Κάνναβο n_1=19, n_2=26, n_3=33, n_4=45 με Πυκνότητα Καννάβου Αγκυρίων d_1=0.24[n/m^2], d_2=0.33[n/m^2], d_3=0.42[n/m^2], d_4=0.57[n/m^2] Αντίστοιχα και ως προς τον Κανονικοποιημένο Λόγο H/D



Σχήμα 4.31. Διάγραμμα $[(p_{eq})_{Ko=1}- (p_{eq})_{Ko=0.5}]/ p_{ref}– \Lambda_F$ για την 3η Ομάδα Αναλύσεων με Διακριτοποίηση ως προς το Διαφορετικό Αριθμό Αγκυρίων στον Κάνναβο n_1=19, n_2=26, n_3=33, n_4=45 με Πυκνότητα Καννάβου Αγκυρίων d_1=0.24[n/m^2], d_2=0.33[n/m^2], d_3=0.42[n/m^2], d_4=0.57[n/m^2] Αντίστοιχα και ως προς τον Κανονικοποιημένο Λόγο H/D

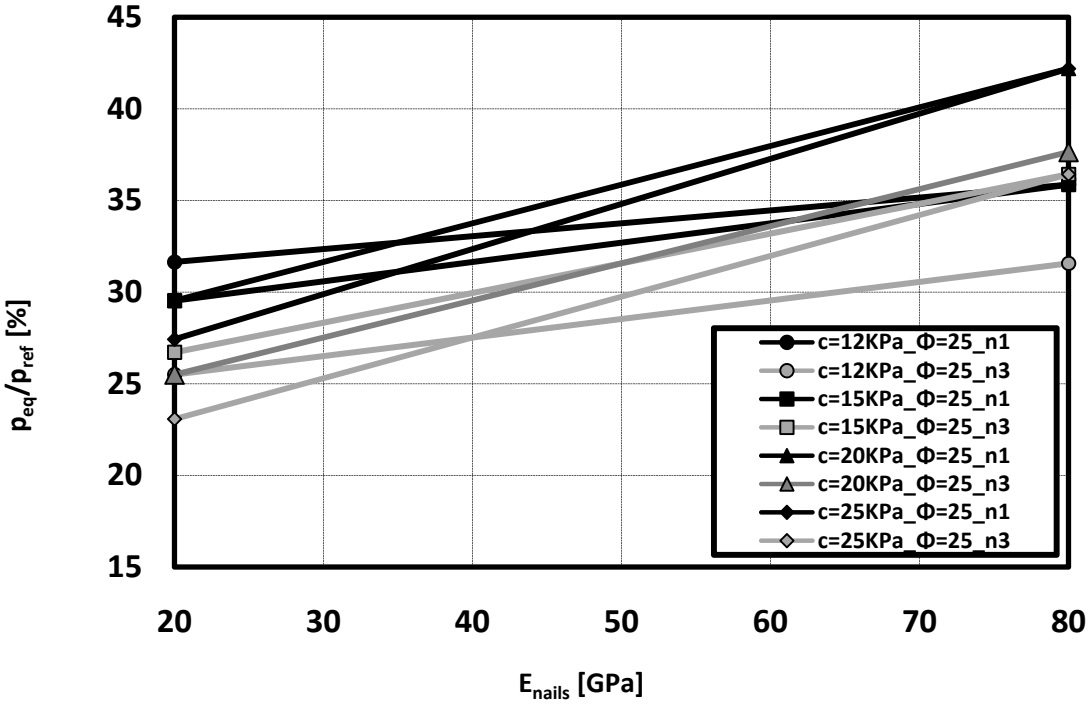
Από τα παραπάνω διαγράμματα φαίνεται ακόμα πιο εύκολα ότι η αύξηση του συντελεστή οριζόντιων τάσεων K_o οδηγεί σε μικρή αύξηση της τιμής του λόγου p_{eq}/p_{ref} , η οποία για το εύρος των περιπτώσεων που εξετάστηκαν δεν ξεπερνά το +13% για H/D=3 και +7.5% για H/D=1.5, ενώ η διαφορά της τιμής του λόγου της ισοδύναμης πίεσης κυμαίνεται στο +6% για H/D=3 και +2% για H/D=1.5. Με βάση τα παραπάνω, για το εύρος των τιμών που εξετάστηκαν, φαίνεται ότι ο συντελεστής οριζόντιων τάσεων K_o του εδάφους δεν επηρεάζει σχεδόν καθόλου την τιμή του λόγου p_{eq}/p_{ref} και μπορεί να παραληφθεί. επομένως ο τύπος 4.1 μπορεί να χρησιμοποιείται για εύρος του συντελεστή οριζοντίων τάσεων $0.5 \leq K_o \leq 1.0$.

4.7 Πίνακες - Διαγράμματα σε Σχέση με την Ισοδύναμη Πίεση και την Πυκνότητα Αγκυρίων από την Επεξεργασία των Αποτελεσμάτων των Αναλύσεων της 4ης Ομάδας

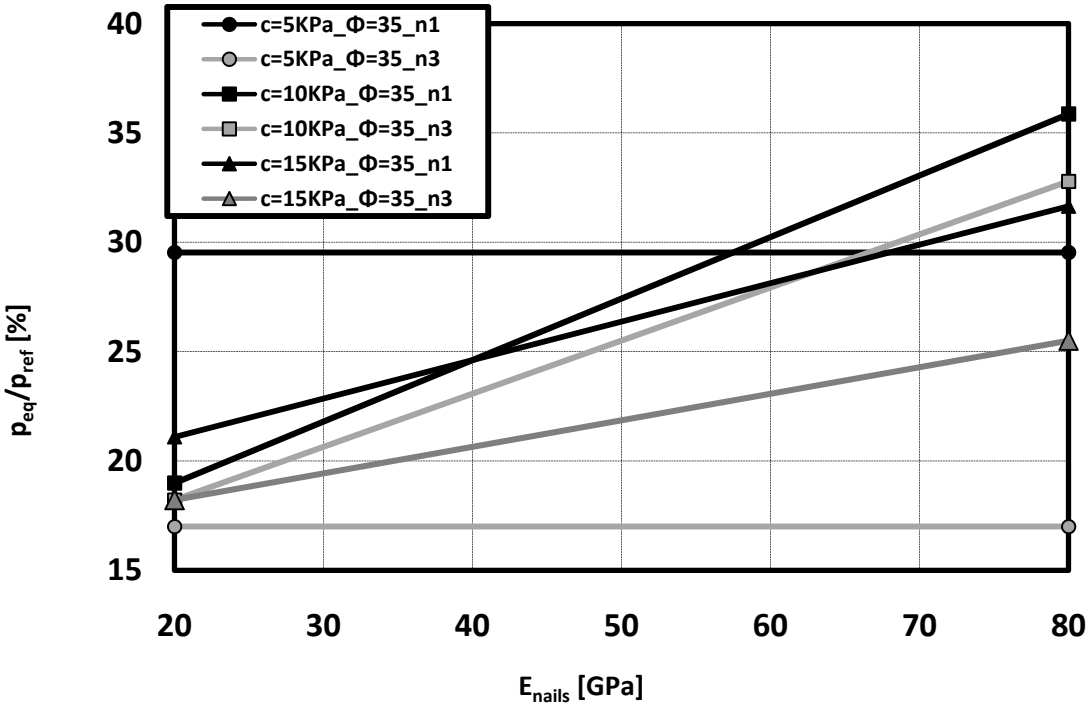
Στη τέταρτη ομάδα έγινε παραμετρική ανάλυση ως προς μέτρο ελαστικότητας των αγκυρίων. Έγιναν αναλύσεις για μέτρο ελαστικότητας αγκυρίων E_{nails}=80GPa και τα αποτελέσματα που προέκυψαν συγκρίθηκαν με τις αντίστοιχες αναλύσεις της 1ης ομάδας για E_{nails}=20GPa. Από τα αποτελέσματα των αναλύσεων προέκυψε ο παρακάτω συγκεντρωτικός πίνακας. Για το σύνολο των υπόλοιπων πινάκων ανατρέξτε στο παράρτημα.

Πίνακας 4.8. Συγκεντρωτικός Πίνακας Αποτελεσμάτων του Λόγου p_{eq}/p_{ref} της Ισοδύναμης Πίεσης για την 4η Ομάδα Αναλύσεων

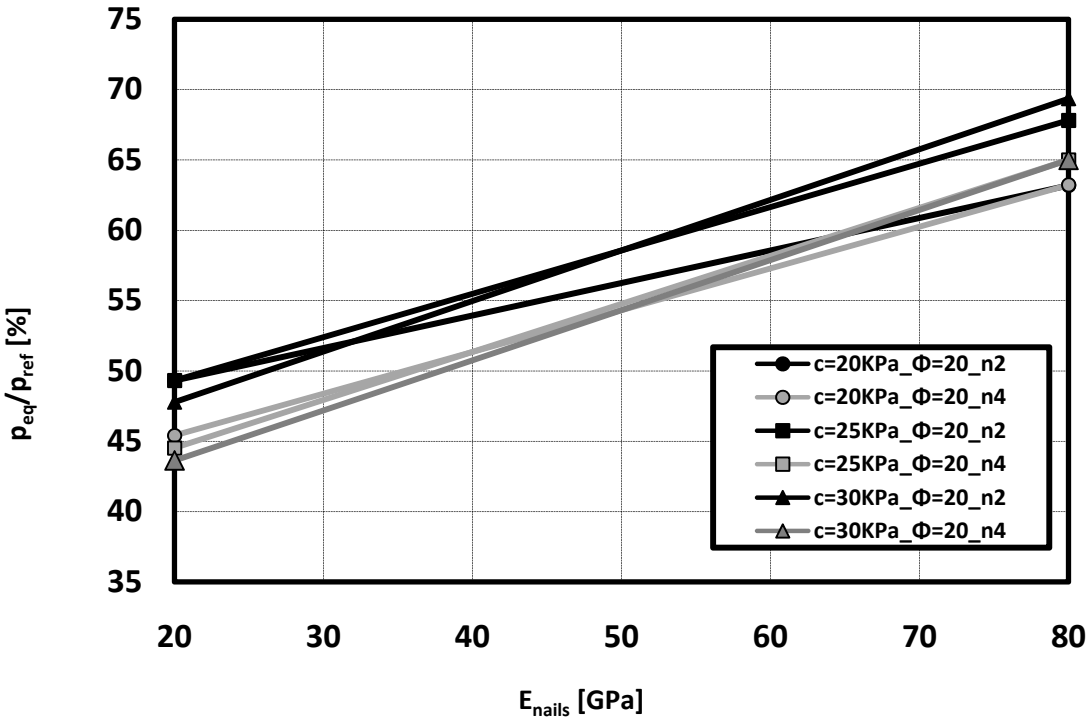
A/A	H/D	ϕ	E_{nails}	Λ_F	p_{eq}/p_{ref}			
	-	[o]	[GPa]	-	n_1=19	n_2=26	n_3=33	n_4=45
10_5c_n	1.5	25	80	0.599	36		32	
11c_n	1.5	25	80	0.749	36		36	
12c_n	1.5	25	80	0.999	42		38	
13c_n	1.5	25	80	1.249	42		36	
29c_n	1.5	35	80	0.349	30		17	
30c_n	1.5	35	80	0.698	36		33	
31c_n	1.5	35	80	1.047	32		26	
2c_n	3	20	80	0.743		63		63
3c_n	3	20	80	0.928		68		65
4c_n	3	20	80	1.114		69		65
20c_n	3	30	80	0.561		45		48
21c_n	3	30	80	0.842		51		49
22c_n	3	30	80	1.122		54		49



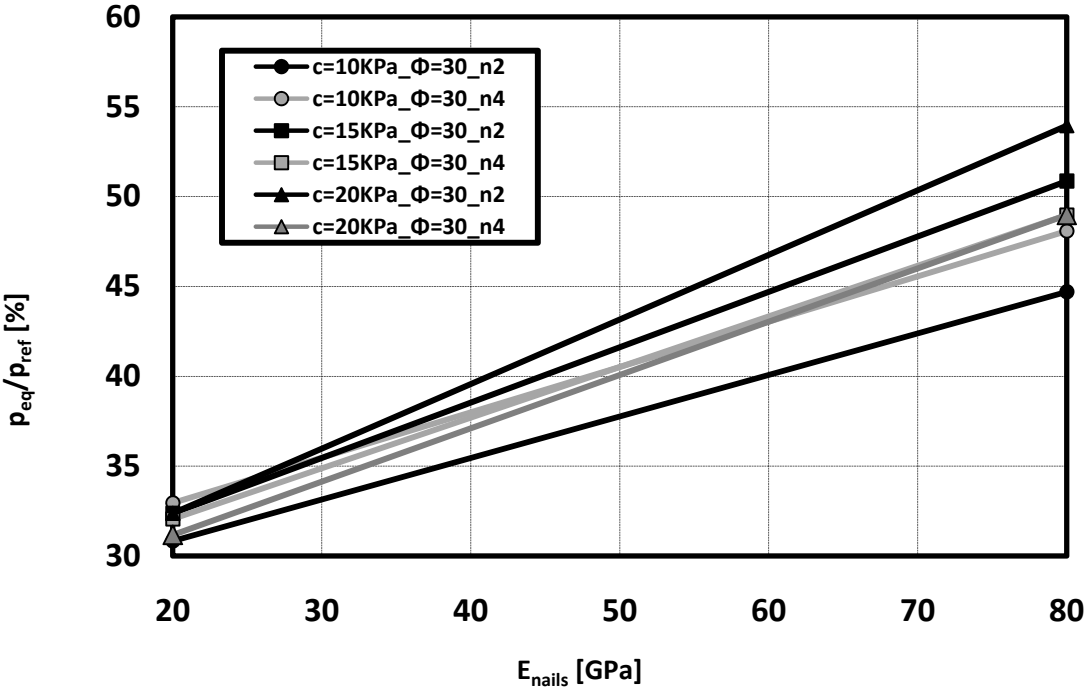
Σχήμα 4.32. Διάγραμμα $p_{eq}/ p_{ref} – E_{nails}$ για την 4η Ομάδα Αναλύσεων για φ=25° & H/D=1.5 με Διακριτοποίηση ως προς το Διαφορετικό Αριθμό Αγκυρίων στον Κάνναβο n_1=19, n_3=33 με Πυκνότητα Καννάβου Αγκυρίων d_1=0.24[n/m^2], d_3=0.42[n/m^2] Αντίστοιχα.



Σχήμα 4.33. Διάγραμμα $p_{eq}/ p_{ref} – E_{nails}$ για την 4η Ομάδα Αναλύσεων για φ=35° & H/D=1.5 με Διακριτοποίηση ως προς το Διαφορετικό Αριθμό Αγκυρίων στον Κάνναβο n_1=19, n_3=33 με Πυκνότητα Καννάβου Αγκυρίων d_1=0.24[n/m^2], d_3=0.42[n/m^2] Αντίστοιχα.



Σχήμα 4.34. Διάγραμμα p_{eq}/ p_{ref} – E_{nails} για την 4η Ομάδα Αναλύσεων για ϕ=20° & H/D=3 με Διακριτοποίηση ως προς το Διαφορετικό Αριθμό Αγκυρίων στον Κάνναβο n_2=26, n_4=45 με Πυκνότητα Καννάβου Αγκυρίων d_2=0.33[n/m^2], d_4=0.57[n/m^2] Αντίστοιχα.



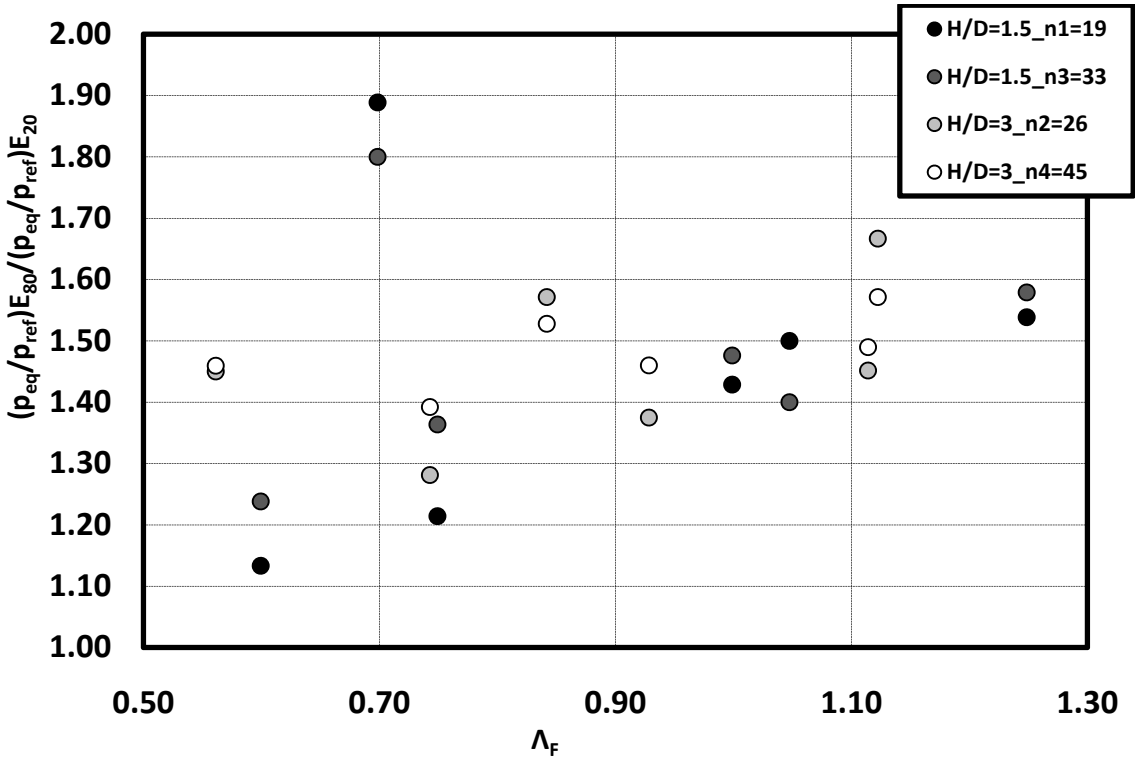
Σχήμα 4.35. Διάγραμμα p_{eq}/ p_{ref} – E_{nails} για την 4η Ομάδα Αναλύσεων για ϕ=30° & H/D=3 με Διακριτοποίηση ως προς το Διαφορετικό Αριθμό Αγκυρίων στον Κάνναβο n_2=26, n_4=45 με Πυκνότητα Καννάβου Αγκυρίων d_2=0.33[n/m^2], d_4=0.57[n/m^2] Αντίστοιχα.

Από τα παραπάνω διαγράμματα φαίνεται ότι με αύξηση του μέτρου ελαστικότητας των αγκυρίων έχω αύξηση της ισοδύναμης πίεσης που απαιτείται για ευσταθές μέτωπο. Αυτό συμβαίνει διότι αύξηση του μέτρου ελαστικότητας των αγκυρίων σημαίνει αύξηση της φόρτισής τους αφού μειώνεται η ικανότητά τους να παραμορφώνονται. Τέλος παρατηρείται ότι η αύξηση αυτή γίνεται πιο έντονη όσο αυξάνεται ο λόγος H/D και όσο μειώνεται η γωνία τριβής του εδάφους φ.

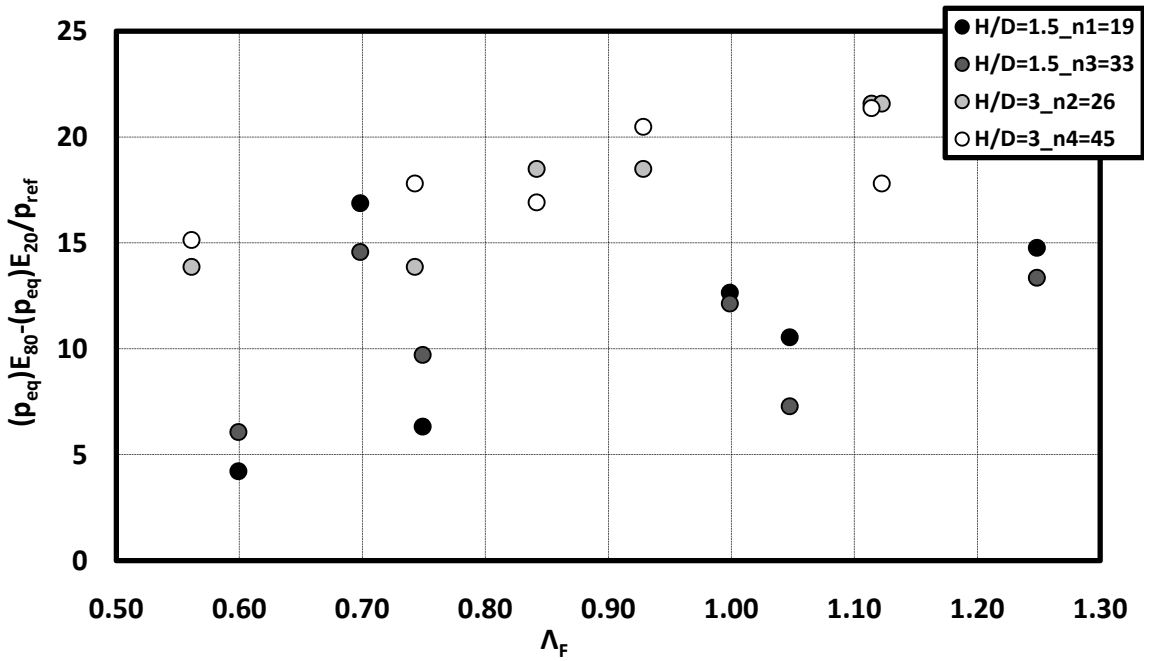
Τέλος συντάχθηκαν πίνακες και διαγράμματα που συσχετίζουν το μέτρο ελαστικότητας των αγκυρίων με την ισοδύναμη πίεση υποστήριξης του μετώπου τόσο με την μορφή του λόγου της ισοδύναμης πίεσης $(p_{eq}/p_{ref})E_{80}/(p_{eq}/p_{ref})E_{20}$, για E_{nails}=80GPa προς την ισοδύναμη πίεση για E_{nails}=20GPa, όσο και με τη μορφή του λόγου $(p_{eq}E_{80}-p_{eq}E_{20})/p_{ref}$ του ποσοστού δηλαδή επί της οριακής πίεσης αναφοράς της μεταβολής της ισοδύναμης πίεσης υποστήριξης του μετώπου λόγο της αύξησης του μέτρου ελαστικότητας των αγκυρίων.

Πίνακας 4.9. Συγκεντρωτικοί Πίνακες Αποτελεσμάτων Διαφόρων Μορφών των Λόγων της Ισοδύναμης Πίεσης για την 4η Ομάδα Αναλύσεων

A/A	H/D	E_{nails}	Λ_F	$(p_{eq}/p_{ref})E_{80}/(p_{eq}/p_{ref})E_{20}$				$(p_{eq}E_{80}-p_{eq}E_{20})/p_{ref}$			
	-	[Gpa]	-	n_1=19	n_2=26	n_3=33	n_4=45	n_1=19	n_2=26	n_3=33	n_4=45
10_5b	1.5	20	0.599	1.133		1.238		4.219		6.072	
10_5c_n	1.5	80									
11b	1.5	20	0.749	1.214		1.364		6.329		9.715	
11c_n	1.5	80									
12b	1.5	20	0.999	1.429		1.476		12.658		12.143	
12c_n	1.5	80									
13b	1.5	20	1.249	1.538		1.579		14.768		13.358	
13c_n	1.5	80									
29b	1.5	20	0.349	1.000		1.000		0.000		0.000	
29c_n	1.5	80									
30b	1.5	20	0.698	1.889		1.800		16.878		14.572	
30c_n	1.5	80									
31b	1.5	20	1.047	1.500		1.400		10.549		7.286	
31c_n	1.5	80									
2b	3	20	0.743		1.281		1.392		13.872		17.809
2c_n	3	80									
3b	3	20	0.928		1.375		1.460		18.496		20.481
3c_n	3	80									
4b	3	20	1.114		1.452		1.490		21.578		21.371
4c_n	3	80									
20b	3	20	0.561		1.450		1.459		13.872		15.138
20c_n	3	80									
21b	3	20	0.842		1.571		1.528		18.496		16.919
21c_n	3	80									
22b	3	20	1.122		1.667		1.571		21.578		17.809
22c_n	3	80									



Σχήμα 4.36. Διάγραμμα $(p_{eq}/p_{ref})E_{80}/(p_{eq}/p_{ref})E_{20} - \Lambda_F$ για την 4η Ομάδα Αναλύσεων με Διακριτοποίηση ως προς το Διαφορετικό Αριθμό Αγκυρίων στον Κάνναβο n_1=19, n_2=26, n_3=33, n_4=45 με Πυκνότητα Καννάβου Αγκυρίων d_1=0.24[n/m^2], d_2=0.33[n/m^2], d_3=0.42[n/m^2], d_4=0.57[n/m^2] Αντίστοιχα και ως προς τον Κανονικοποιημένο Λόγο H/D



Σχήμα 4.37. Διάγραμμα $[(p_{eq})E_{80} - (p_{eq})E_{20}]/p_{ref} - \Lambda_F$ για την 4η Ομάδα Αναλύσεων με Διακριτοποίηση ως προς το Διαφορετικό Αριθμό Αγκυρίων στον Κάνναβο n_1=19, n_2=26, n_3=33, n_4=45 με Πυκνότητα Καννάβου Αγκυρίων d_1=0.24[n/m^2], d_2=0.33[n/m^2], d_3=0.42[n/m^2], d_4=0.57[n/m^2] Αντίστοιχα και ως προς τον Κανονικοποιημένο Λόγο H/D

Από τα παραπάνω διαγράμματα φαίνεται ακόμα πιο εύκολα ότι με αύξηση του μέτρου ελαστικότητας των αγκυρίων έχω μεγάλη αύξηση της ισοδύναμης πίεσης που απαιτείται για να έχω ευσταθές μέτωπο. Η αύξηση της ισοδύναμης πίεσης είναι της τάξης του +60% για H/D=3 και +50% για H/D=1.5, ενώ ο λόγος της διαφοράς της ισοδύναμης πίεσης προς την οριακή πίεση αναφοράς δεν ξεπερνά το +25% για H/D=3 και +30% για H/D=1.5.

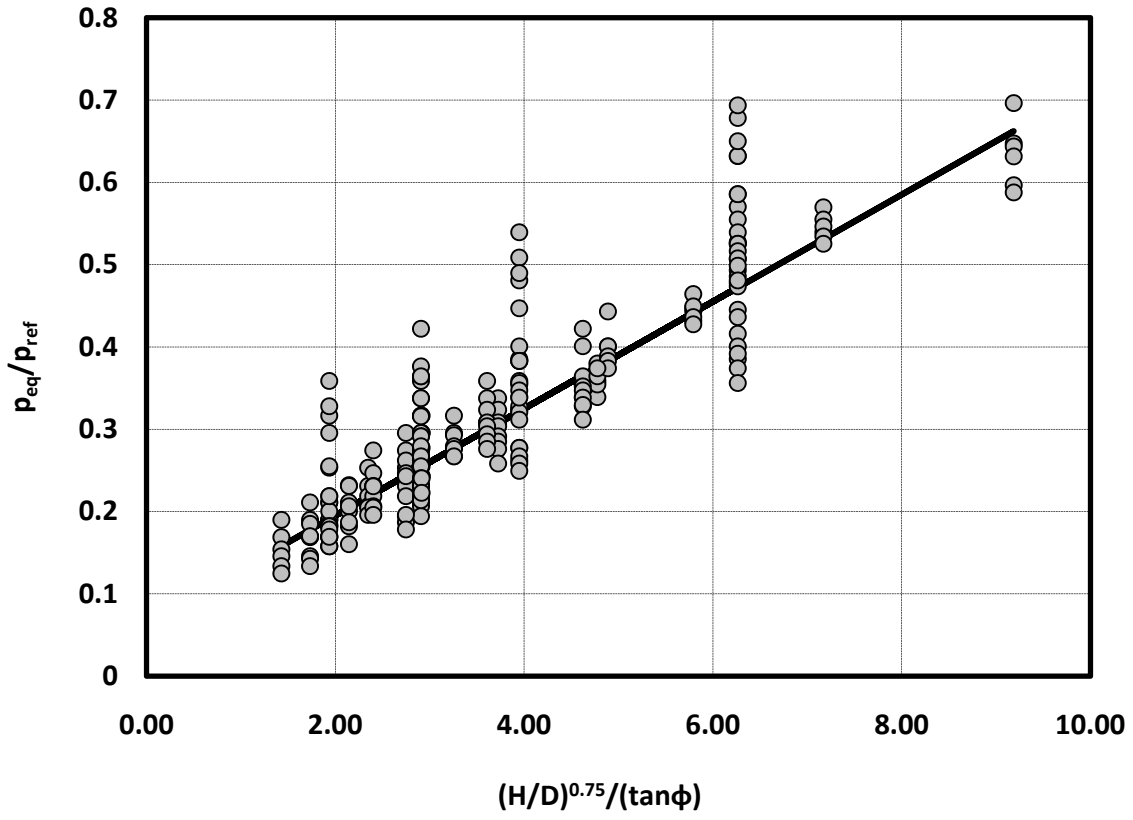
Με βάση τα παραπάνω, για το εύρος των τιμών του μέτρου ελαστικότητας που εξετάστηκε, φαίνεται ότι το μέτρο ελαστικότητας των αγκυρίων επηρεάζει την τιμή της ισοδύναμης πίεσης και θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στον προσδιορισμό της ισοδύναμης πίεσης, επομένως ο τύπος 4.1 δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Για την περίπτωση αυτή έχει προταθεί ο τύπος 4.2 ο οποίος έχει προκύψει από το σύνολο των αναλύσεων της παρούσας εργασίας βλ. παράγραφο 4.8.

Στην περίπτωση όμως που η συσχέτιση χρησιμοποιείται για μια πρώτη εκτίμηση του καννάβου αγκυρίων υποστήριξης του μετώπου, σε συνδυασμό με κάποια μεθοδολογία εκτίμησης της απαιτούμενης πίεσης υποστήριξης, για την επίτευξη του επιθυμητού βαθμού ευστάθειας, ο τύπος 4.1 μπορεί να χρησιμοποιηθεί εφόσον το μέτρο ελαστικότητας των αγκυρίων βρίσκεται εύλογα κοντά στην τιμή 20GPa, τιμή για την οποία έχουν γίνει οι αναλύσεις από τις οποίες προέκυψε η εν λόγο συσχέτιση. Η απλοποίηση αυτή οδηγεί σε πιο συντηριτικά αποτελέσματα, υπολογιζεται δηλαδή μικρότερη τιμή ισοδύναμης πίεσης από την πραγματική, αφού η τιμή του μέτρου ελαστικότητας των αγκυρίων E_{nails}=20GPa αποτελεί ένα κάτω όριο της δυστένειας των αγκυρίων.

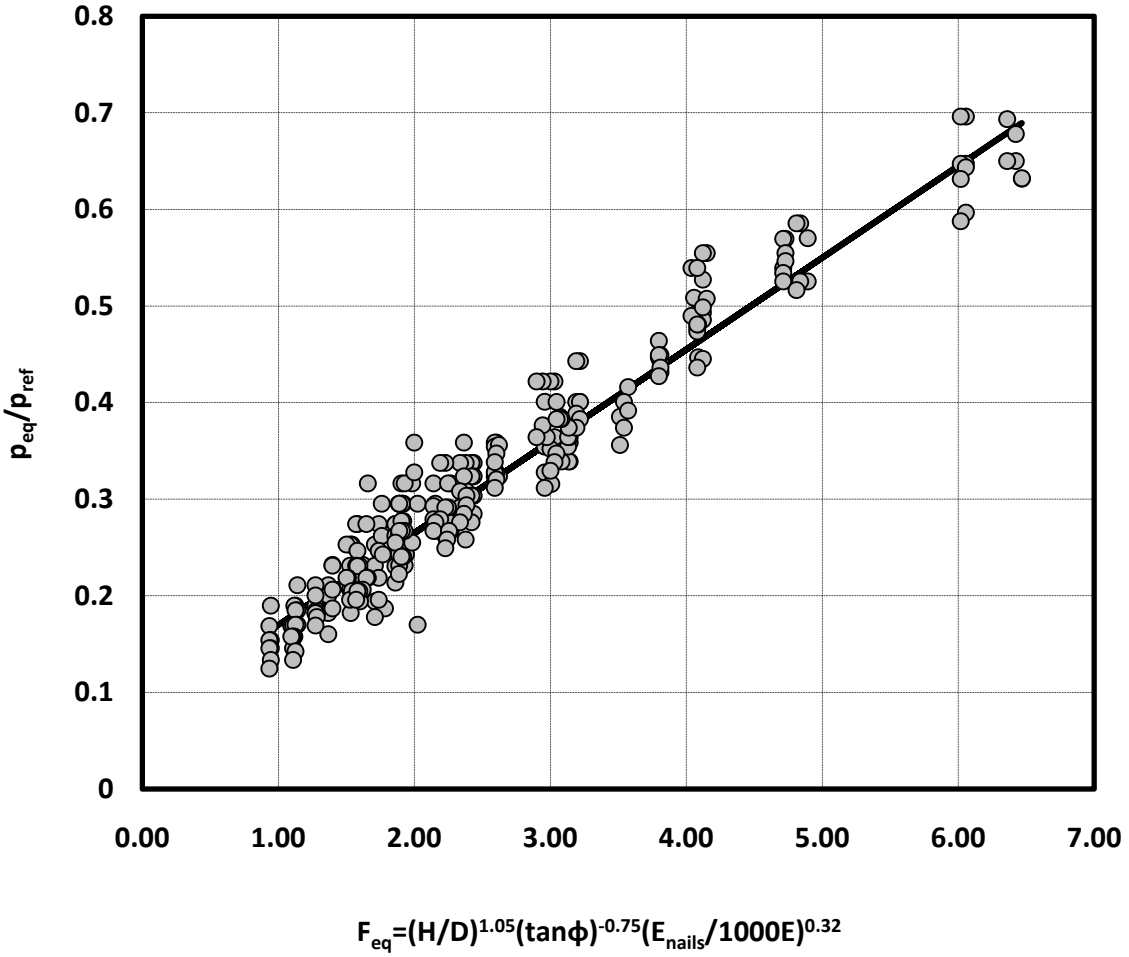
Τέλος όσο αφορά τη μεγαλύτερη φόρτιση των αγκυρίων και την αντοχή τους έναντι θραύσης, σε αβαθείς σήραγγες όπως φαίνεται από τα διαγράμματα μέχρι στιγμής, τα αγκύρια του μετώπου φορτίζονται με δυνάμεις αρκετά μικρότερες από τη φέρουσα ικανότητά τους, με αποτέλεσμα η απλοποίηση αυτή να μην ενέχει κίνδυνο υπερφόρτισης των αγκυρίων και σοβαρής μείωσης του συντελεστή ασφαλείας τους έναντι θραύσης.

4.8 Διάγραμμα Συσχέτισης της Ισοδύναμης Πίεσης στο Μέτωπο της Σήραγγας με τις Παραμέτρους που την Επηρεάζουν για όλες τις Αναλύσεις

Όπως φαίνεται από τις αναλύσεις της 2ης και της 4ης ομάδας και από το παρακάτω διάγραμμα στο σχήμα 4.38, η ισοδύναμη πίεση επηρεάζεται από το μέτρο παραμορφωσιμότητας του εδάφους E και από το μέτρο ελαστικότητας των αγκυρίων E_{nails} και έτσι ο τύπος 4.1 που προέκυψε από την 1η ομάδα αναλύσεων δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Γι αυτό το λόγο προτάθηκε στη διδακτορική διατριβή του Γ.Προυντζόπουλου ο παρακάτω τύπος 4.2 ο οποίος προέκυψε από το σύνολο των αναλύσεων όλων των ομάδων και ισχύει για όλες τις περιπτώσεις που εξετάστηκαν στην παρούσα εργασία το οποίο φαίνεται και από την πολύ καλή συσχέτιση που προκύπτει στο διάγραμμα του σχήματος 4.39.



Σχήμα 4.38. Διάγραμμα p_{eq}/p_{ref} –$(H/D)^{0.75}/(\tan\phi)$ Έλεγχος Βαθμού Συσχέτισης Μεταξύ του Λόγου p_{eq}/p_{ref} και των Γεωμετρικών και Γεωτεχνικών Παραμέτρων $(H/D)^{0.75}/(\tan\phi)$ για το Σύνολο των Αναλύσεων. (Διδακτορική Διατριβή Γ. Προυντζόπουλου 2012).



Σχήμα 4.39. Διάγραμμα p_{eq}/p_{ref} - $(H/D)^{1.05}(tan\phi)^{-0.75}(E_{nails}/1000E)^{0.32}$ Προτεινόμενη Συσχέτιση Μεταξύ του Λόγου p_{eq}/p_{ref} και των Παραμέτρων από τις Οποίες Επηρεάζεται για το Σύνολο των Αναλύσεων. (Διδακτορική Διατριβή Γ. Προυντζόπουλου 2012.)

$$\frac{p_{eq}}{p_{ref}}=0.095F_{eq}+0.075 \quad (4.2)$$

$$F_{eq}=\left(\frac{H}{D}\right)^{1.05}(tan\phi)^{-0.75}\left(\frac{E_{nails}}{1000E}\right)^{0.32} \quad (4.3)$$

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω ο τύπος 4.2 ισχύει για όλες τις περιπτώσεις που εξετάστηκαν στην παρούσα εργασία.

4.9 Έμμεσος Υπολογισμός της Απαιτούμενης Πυκνότητας d Αγκυρίων του Μετώπου της Σήραγγας, Μέσω του Λόγου p_{eq}/p_{ref} με τη Βοήθεια Υπαρχουσών Μεθοδολογιών Υπολογισμού της Απαιτούμενης Πίεσης Υποστήριξης

Σε αυτό το υποκεφάλαιο προτείνεται ένας έμμεσος τρόπος συσχέτισης της απαιτούμενης πυκνότητας αγκυρίων του μετώπου της σήραγγας d, μέσω του λόγου $p_{eq}/p_{ref,}$ με τις παραμέτρους από τις οποίες επηρεάζεται. Η πίεση υποστήριξης μπορεί να υπολογιστεί με μια ήδη υπάρχουσα μεθοδολογία. Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας η πίεση υποστήριξης υπολογίζεται με δύο υπάρχουσες μεθόδους, πρώτα με τη μέθοδο Αναγνώστου & Kovari 1994 & 1996 και έπειτα με τη μέθοδο A. Vermeer et al. 2002.

Έπειτα η απαιτούμενη αυτή πίεση που έχει προκύψει με μία από τις δύο μεθόδους εξισώνεται με την ισοδύναμη πίεση $p_{eq}=s=p_f$ και μέσω του τύπου $\frac{p_{eq}}{p_{ref}}=0.065\left(\frac{H^{0.75}}{D^{0.75}\ \tan\phi}+1\right)$ βλ. παράγραφο 4.4.5 υπολογίζεται η οριακή πίεση αναφοράς p_{ref}. Με γνωστή την οριακή πίεση αναφοράς p_{ref} και τη δύναμη διαρροής των αγκυρίων F_y υπολογίζεται από τον τύπο $p_{ref}=dF_y$ η τιμή της απαιτούμενης πυκνότητας αγκυρίων d ώστε ο συντελεστής ασφαλείας του υποστηριζόμενου μετώπου να είναι ίσος με τη μονάδα.

Επειδή γίνεται η χρήση του τύπου 4.1 η μέθοδος αυτή αντιστοίχισης, της πυκνότητας των αγκυρίων υποστήριξης του μετώπου με την αντίστοιχη ομοιόμορφη πίεση υποστήριξης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μια πρώτη εκτίμηση της ισοδύναμης πίεσης όταν:

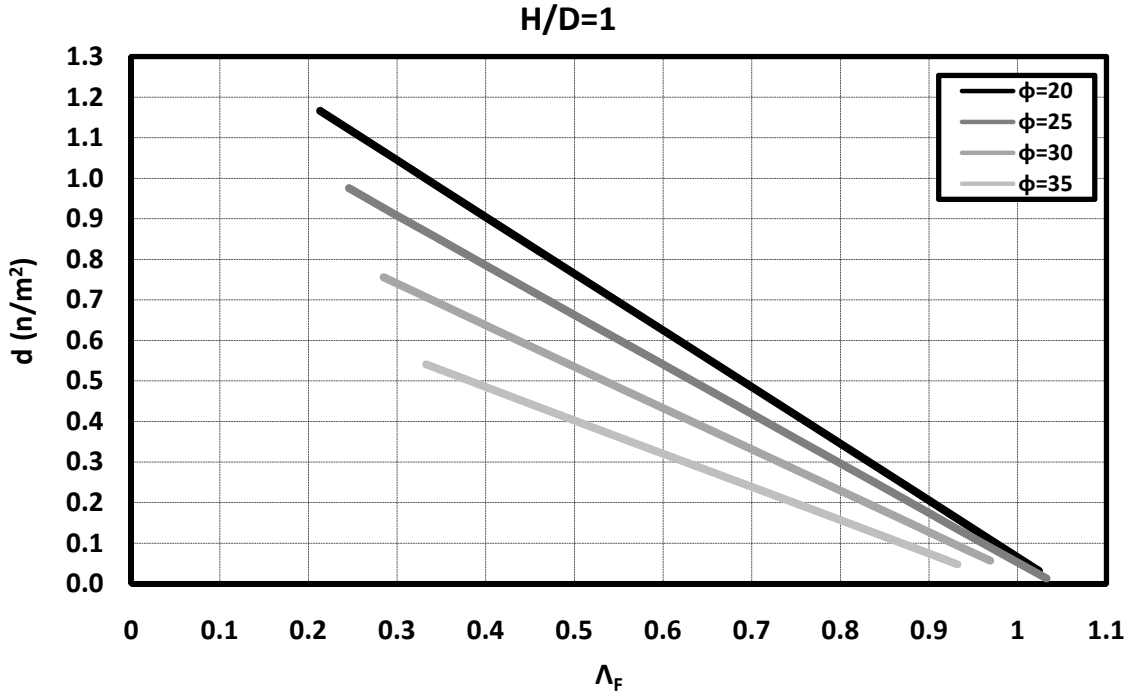
- Το μέτρο παραμορφωσιμότητας του εδάφους έχει τιμή κοντά σε αυτή που προέκυψε στην παρούσα διπλωματική εργασία με βάση τον τύπο E=500Su.
- Έχουν επιλεγεί για τις αναλύσεις αγκύρια fiberglass με μέτρο ελαστικότητας E_{nails}=20GPa. Αν το μέτρο ελαστικότητας των αγκυρίων είναι μεγαλύτερο, τότε οι πραγματική τιμή της ισοδύναμης πίεσης θα ήταν μεγαλύτερη απ αυτή που υπολογίζει ο τύπος, οι οποία όμως δεν ενέχει κίνδυνο αστοχίας των αγκυρίων λόγο υπερφόρτισης τους, αφού σε αβαθείς σήραγγες η φόρτιση των αγκυρίων είναι αρκετά μικρότερη από το όριο θραύσης τους.

4.9.1 Μέθοδος Υπολογισμού της Πίεσης Υποστήριξης του Μετώπου της Σήραγγας & Αντιστοίχιση του με την Πυκνότητα των Αγκυρίων του Μετώπου d με τη Μεθοδολογία Αναγνώστου & Kovari 1994 & 1996.

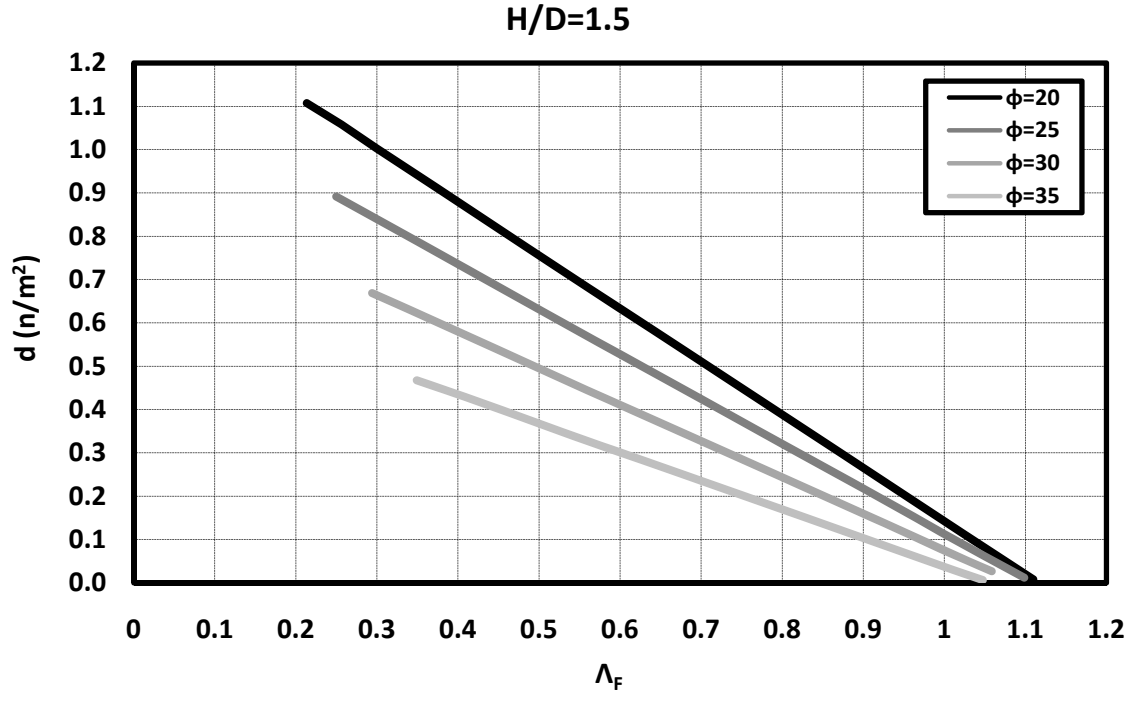
Με τη βοήθεια του προγράμματος excel στα πλαίσια της διδακτορικής διατριβής του Γ. Προυντζόπουλου, επειδή η επίλυση της μεθόδου οδηγεί στην επίλυση ενός πολυπαραμετρικού προβλήματος βλ. παράγραφο 2.7.1, κατασκευάστηκε ένα υπολογιστικό φύλλο, το οποίο με μια επαναληπτική διαδικασία μέσω μακροεντολών, υπολογίζει αυτόματα την απαιτούμενη πίεση υποστήριξης s [KPa] βλ. τύπο 2.28 $FS=\frac{T+T_s+S\sin\omega}{(V+G)\cos\omega}$, έτσι ώστε ο συντελεστής αστοχίας της μεθόδου να είναι ίσος με τη μονάδα, FS=1.00, για διάφορες τιμές των γεωτεχνικών παραμέτρων και για διαφορετικά βάθη εκσκαφής, για τις οποίες η τιμή του συντελεστή ασφαλείας για ανυποστήρικτο μέτωπο ήταν μικρότερη της μονάδας.

Με βάση την μεθοδολογία της παραγράφου 4.9 προέκυψε ένας πίνακας έμμεσου υπολογισμού της απαιτούμενης πυκνότητας αγκυρίων του μετώπου με τη βοήθεια της μεθόδου Αναγνώστου & Kovari 1994 & 1996 ο οποίος λόγω του μεγέθους του βρίσκεται στο παράρτημα.

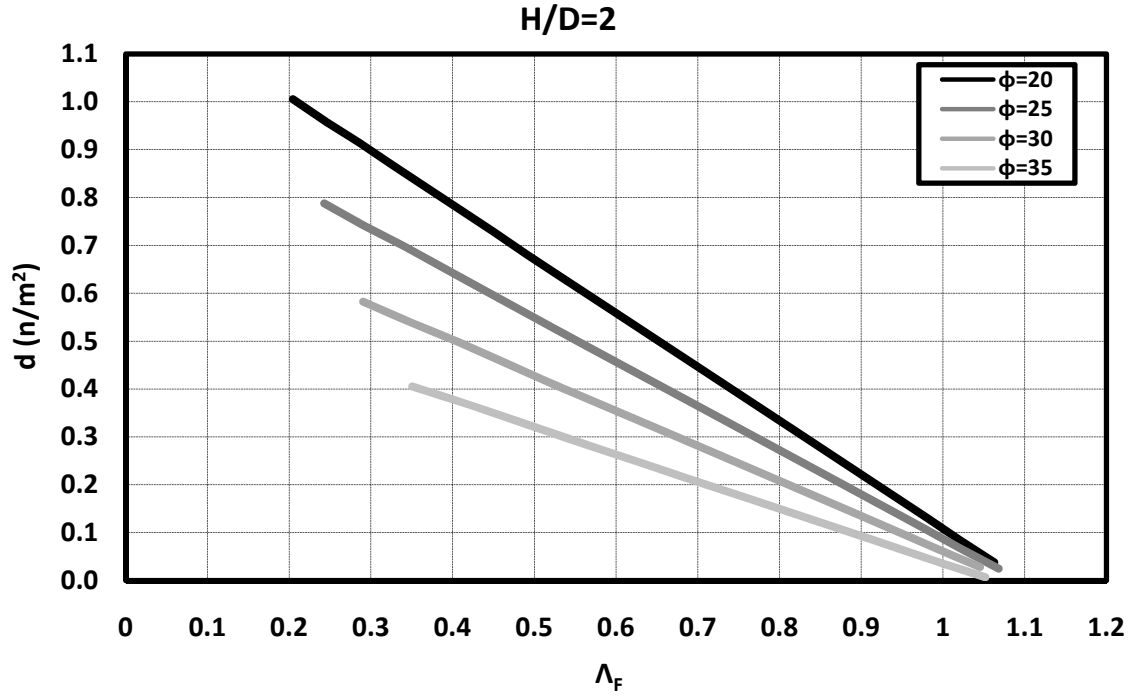
Τέλος έγινε μια προσπάθεια συσχέτισης της πυκνότητας αγκυρίων υποστήριξης του μετώπου d πρώτα με τον λόγο c/γH και έπειτα με τον συντελεστή ευστάθειας του μετώπου $Λ_F$ και προέκυψαν τα παρακάτω διαγράμματα.



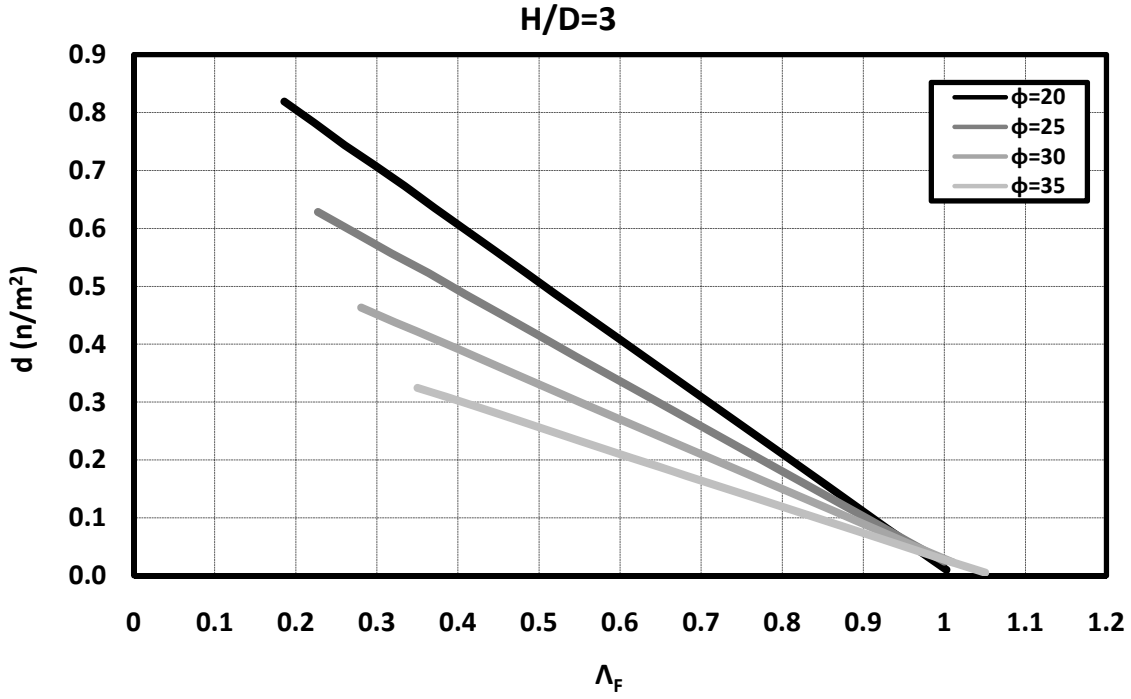
Σχήμα 4.40. Διάγραμμα d– Λ_F Καμπύλες Προσδιορισμού της Απαιτούμενης Πυκνότητας Αγκυρίων Υποστήριξης Μετώπου d [n/m^2] με τη Χρήση της Μεθόδου Αναγνώστου & Kovari 1994 & 1996 για Κανονικοποιημένο Βάθος H/D=1 με Διακριτοποίηση ως προς τη Γωνία Τριβής ϕ



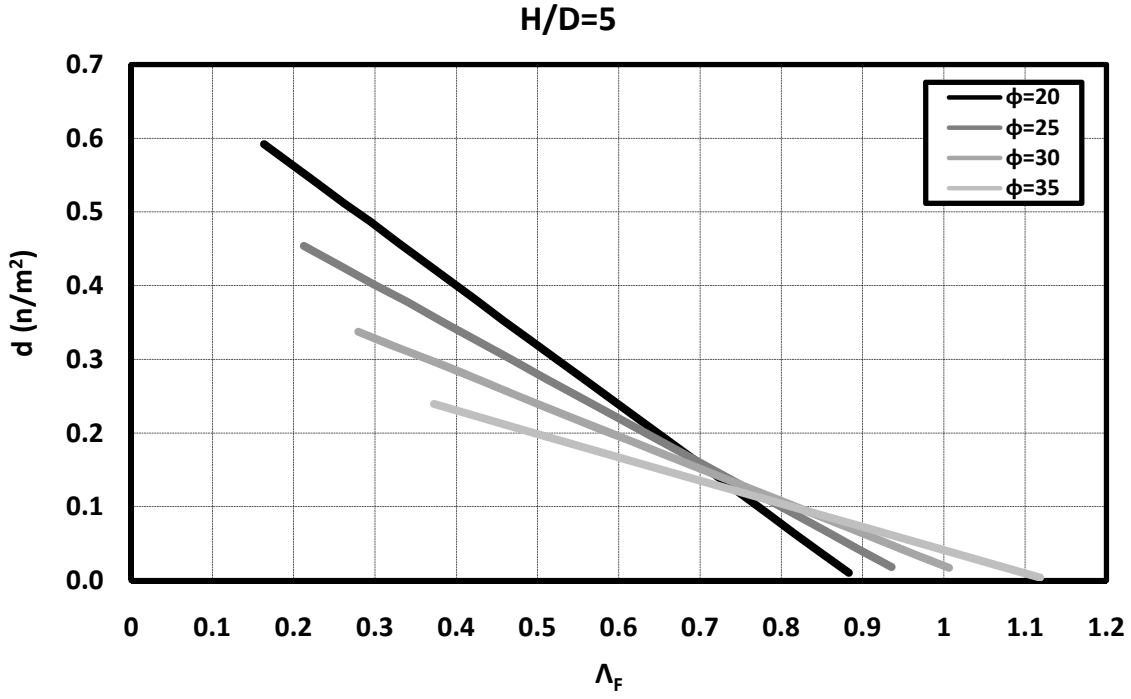
Σχήμα 4.41. Διάγραμμα d– Λ_F Καμπύλες Προσδιορισμού της Απαιτούμενης Πυκνότητας Αγκυρίων Υποστήριξης Μετώπου d [n/m^2] με τη Χρήση της Μεθόδου Αναγνώστου & Kovari 1994 & 1996 για Κανονικοποιημένο Βάθος H/D=1.5 με Διακριτοποίηση ως προς τη Γωνία Τριβής ϕ



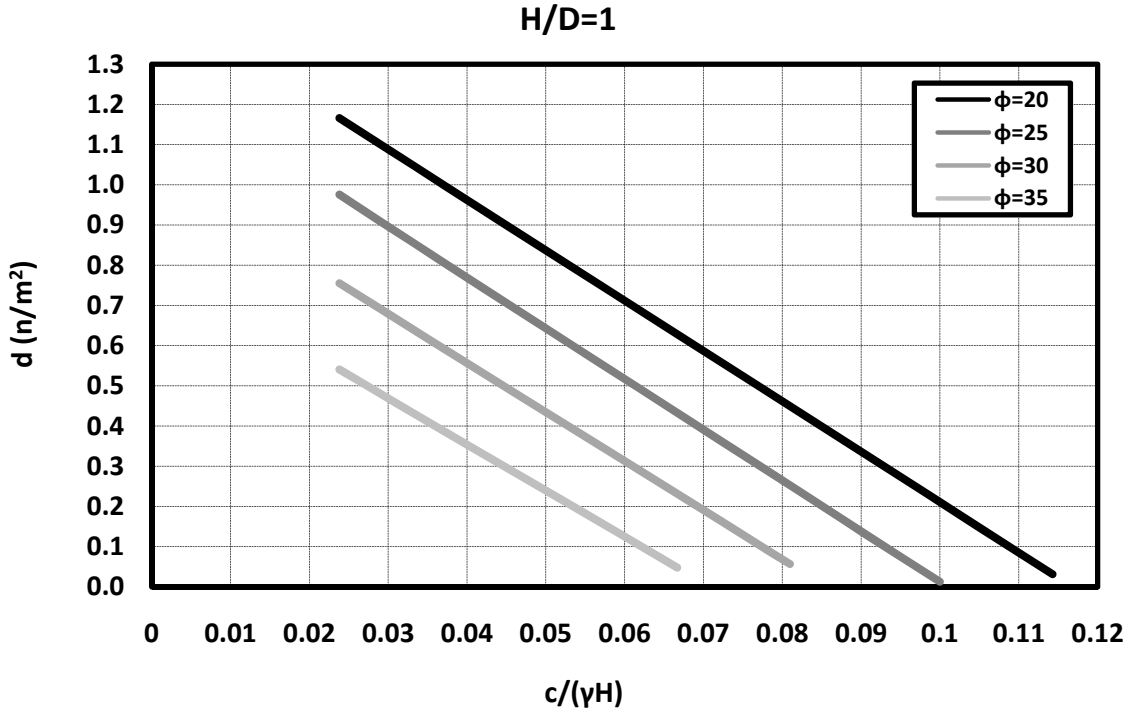
Σχήμα 4.42. Διάγραμμα d– Λ_F Καμπύλες Προσδιορισμού της Απαιτούμενης Πυκνότητας Αγκυρίων Υποστήριξης Μετώπου d [n/m^2] με τη Χρήση της Μεθόδου Αναγνώστου & Kovari 1994 & 1996 για Κανονικοποιημένο Βάθος H/D=2 με Διακριτοποίηση ως προς τη Γωνία Τριβής ϕ



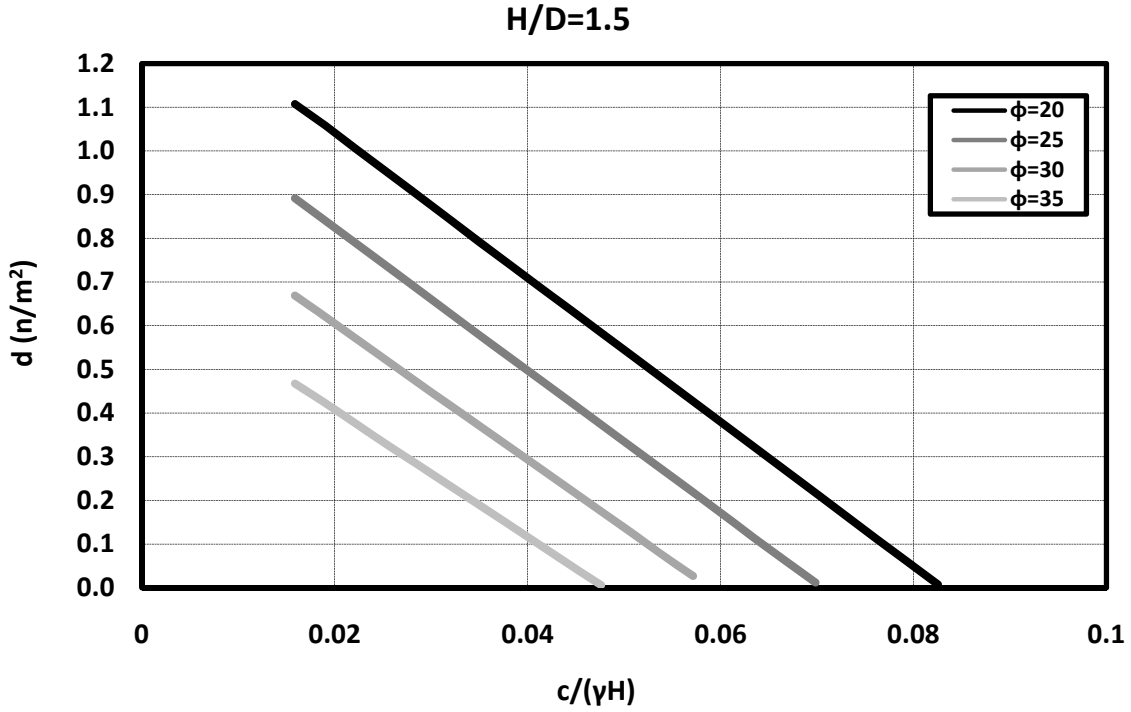
Σχήμα 4.43. Διάγραμμα d– Λ_F Καμπύλες Προσδιορισμού της Απαιτούμενης Πυκνότητας Αγκυρίων Υποστήριξης Μετώπου d [n/m^2] με τη Χρήση της Μεθόδου Αναγνώστου & Kovari 1994 & 1996 για Κανονικοποιημένο Βάθος H/D=3 με Διακριτοποίηση ως προς τη Γωνία Τριβής ϕ



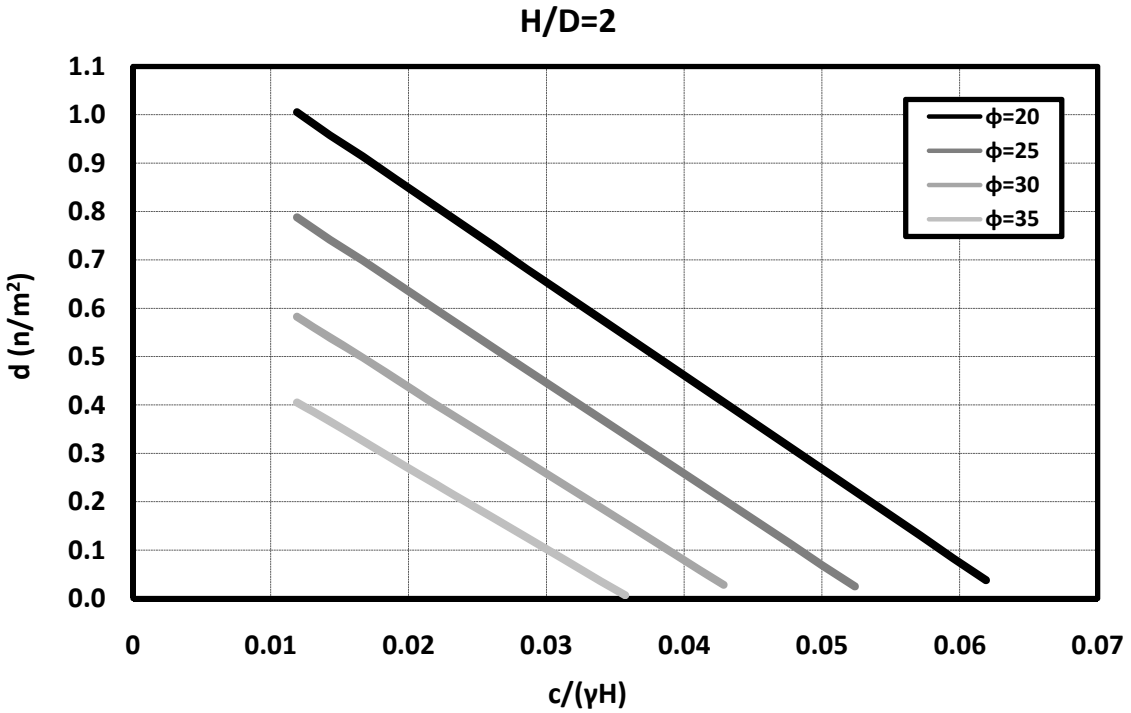
Σχήμα 4.44. Διάγραμμα d– Λ_F Καμπύλες Προσδιορισμού της Απαιτούμενης Πυκνότητας Αγκυρίων Υποστήριξης Μετώπου d [n/m^2] με τη Χρήση της Μεθόδου Αναγνώστου & Kovari 1994 & 1996 για Κανονικοποιημένο Βάθος H/D=5 με Διακριτοποίηση ως προς τη Γωνία Τριβής ϕ



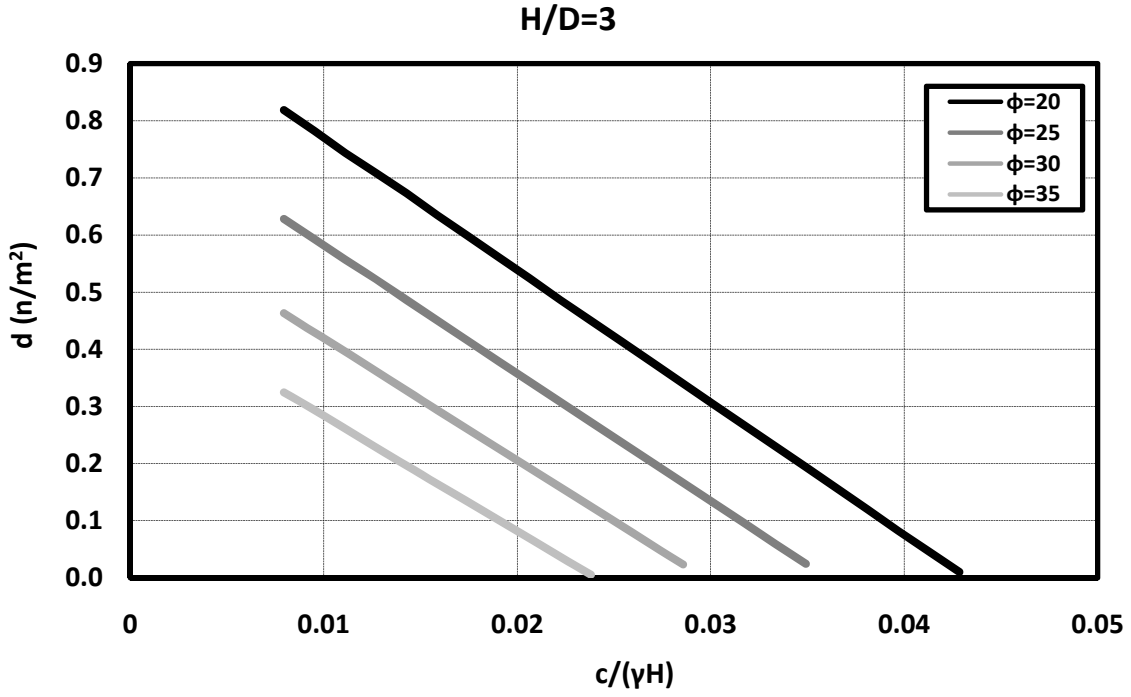
Σχήμα 4.45. Διάγραμμα d– c/(γH) Καμπύλες Προσδιορισμού της Απαιτούμενης Πυκνότητας Αγκυρίων Υποστήριξης Μετώπου d [n/m^2] με τη Χρήση της Μεθόδου Αναγνώστου & Kovari 1994 & 1996 για Κανονικοποιημένο Βάθος H/D=1 με Διακριτοποίηση ως προς τη Γωνία Τριβής ϕ



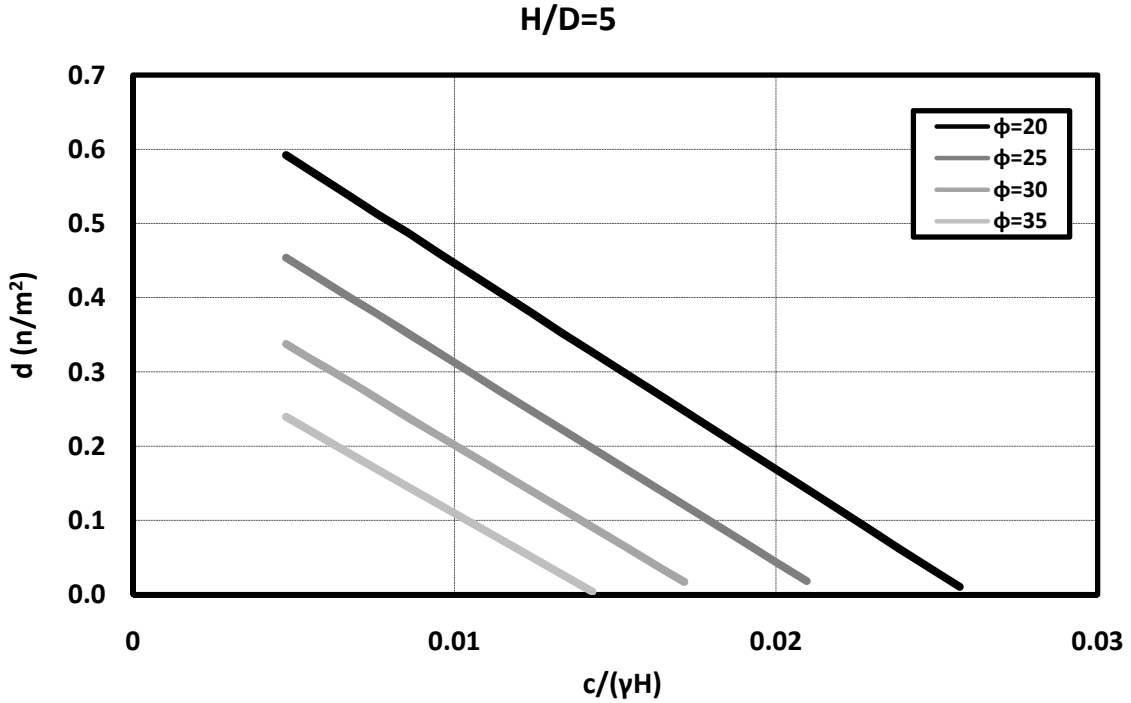
Σχήμα 4.46. Διάγραμμα d– c/(γH) Καμπύλες Προσδιορισμού της Απαιτούμενης Πυκνότητας Αγκυρίων Υποστήριξης Μετώπου d [n/m^2] με τη Χρήση της Μεθόδου Αναγνώστου & Kovari 1994 & 1996 για Κανονικοποιημένο Βάθος H/D=1.5 με Διακριτοποίηση ως προς τη Γωνία Τριβής ϕ



Σχήμα 4.47. Διάγραμμα d– c/(γH) Καμπύλες Προσδιορισμού της Απαιτούμενης Πυκνότητας Αγκυρίων Υποστήριξης Μετώπου d [n/m^2] με τη Χρήση της Μεθόδου Αναγνώστου & Kovari 1994 & 1996 για Κανονικοποιημένο Βάθος H/D=2 με Διακριτοποίηση ως προς τη Γωνία Τριβής ϕ



Σχήμα 4.48. Διάγραμμα d– c/(γH) Καμπύλες Προσδιορισμού της Απαιτούμενης Πυκνότητας Αγκυρίων Υποστήριξης Μετώπου d [n/m^2] με τη Χρήση της Μεθόδου Αναγνώστου & Kovari 1994 & 1996 για Κανονικοποιημένο Βάθος H/D=3 με Διακριτοποίηση ως προς τη Γωνία Τριβής ϕ



Σχήμα 4.49. Διάγραμμα d– c/(γH) Καμπύλες Προσδιορισμού της Απαιτούμενης Πυκνότητας Αγκυρίων Υποστήριξης Μετώπου d [n/m^2] με τη Χρήση της Μεθόδου Αναγνώστου & Kovari 1994 & 1996 για Κανονικοποιημένο Βάθος H/D=5 με Διακριτοποίηση ως προς τη Γωνία Τριβής ϕ

Από τα παραπάνω διαγράμματα φαίνεται ότι όσο αυξάνεται η γωνία τριβής και όσο αυξάνεται το βάθος διάνοιξης τόσο μειώνεται η απαιτούμενη πυκνότητα αγκυρίων υποστήριξης του μετώπου για τις ίδιες γεωτεχνικές συνθήκες.

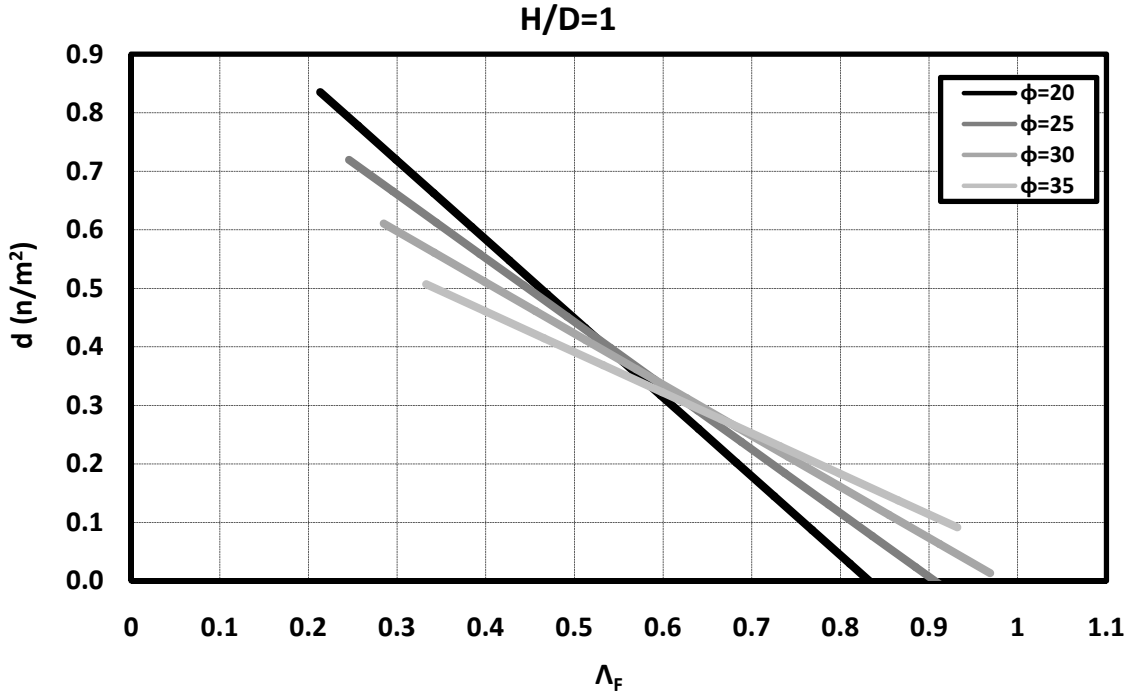
Παρατηρείται ακόμα ότι οι καμπύλες του διαγράμματος έχουν αυξανόμενη κλίση με μείωση της γωνίας τριβής. Αυτό σημαίνει ότι με μικρότερη αλλαγή των γεωτεχνικών συνθηκών, έχουμε μεγαλύτερη μεταβολή της απαιτούμενης πυκνότητας αγκυρίων υποστήριξης του μετώπου όσο μειώνεται η τιμή της γωνίας τριβής.

4.9.2 Μέθοδος Υπολογισμού της Πίεσης Υποστήριξης του Μετώπου της Σήραγγας & Αντιστοίχιση του με την Πυκνότητα των Αγκυρίων του Μετώπου d με τη Μεθοδολογία A. Vermeer et al. 2002.

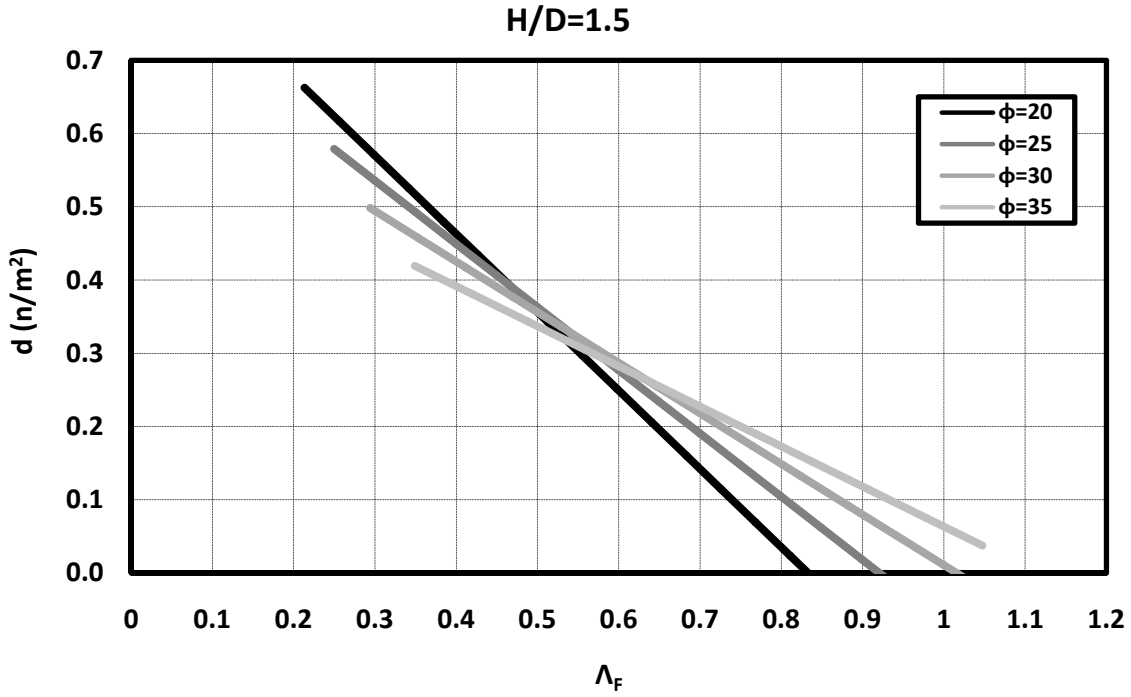
Με τη βοήθεια του προγράμματος excel κατασκευάστηκε ένα υπολογιστικό φύλλο το οποίο υπολογίζει αυτόματα την απαιτούμενη πίεση υποστήριξης $s=p_f$ [KPa] με βάση τον τύπο 2.5 $p_f=\gamma D\left(\frac{(2+3\frac{d}{D})^{6\tan\phi'}}{18\tan\phi'}-0.05\right)-\frac{c'}{\tan\phi'}$, έτσι ώστε ο συντελεστής αστοχίας της μεθόδου να είναι ίσος με τη μονάδα, FS=1.00, για διάφορες τιμές των γεωτεχνικών παραμέτρων και για διαφορετικά βάθη εκσκαφής, για τις οποίες η τιμή του συντελεστή ασφαλείας για ανυποστήρικτο μέτωπο ήταν μικρότερη της μονάδας.

Με βάση την μεθοδολογία της παραγράφου 4.9 προέκυψε ο πίνακας έμμεσου υπολογισμού της απαιτούμενης πυκνότητας αγκυρίων του μετώπου με τη βοήθεια της μεθόδου A. Vermeer et al. 2002. ο οποίος λόγω του μεγέθους του βρίσκεται στο παράρτημα.

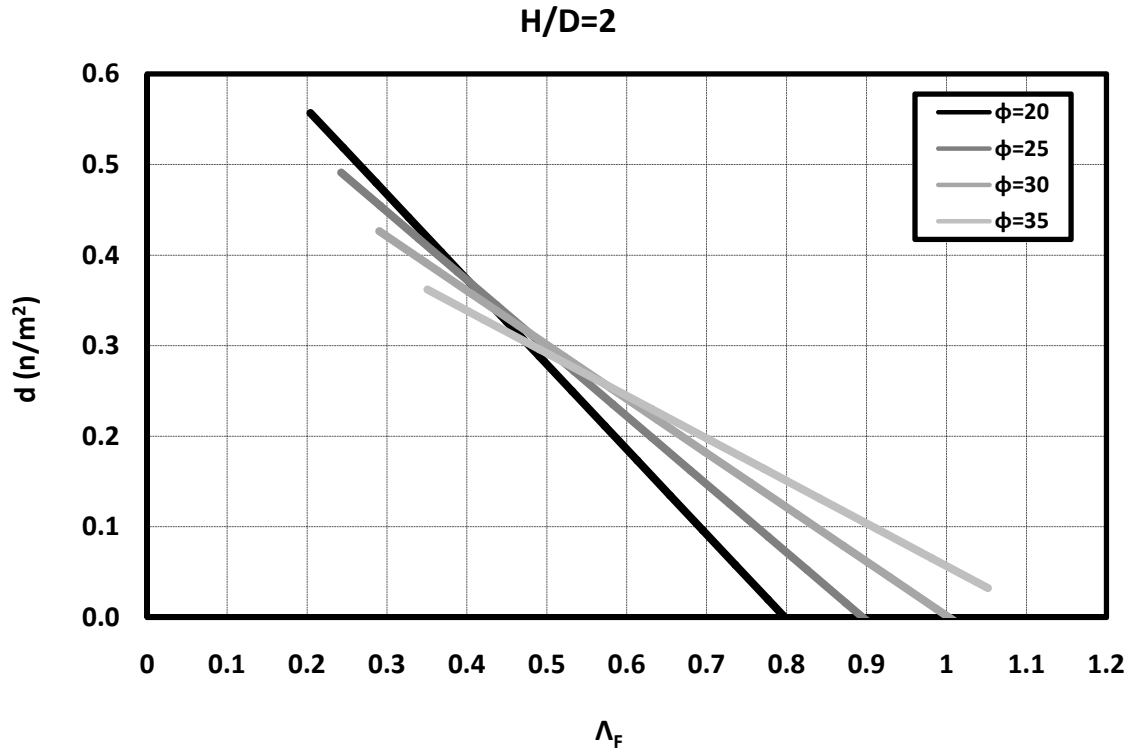
Τέλος έγινε μια προσπάθεια συσχέτισης της πυκνότητας αγκυρίων υποστήριξης του μετώπου d πρώτα με τον λόγο c/γH και έπειτα με τον συντελεστή ευστάθειας του μετώπου Λ_F και προέκυψαν τα παρακάτω διαγράμματα.



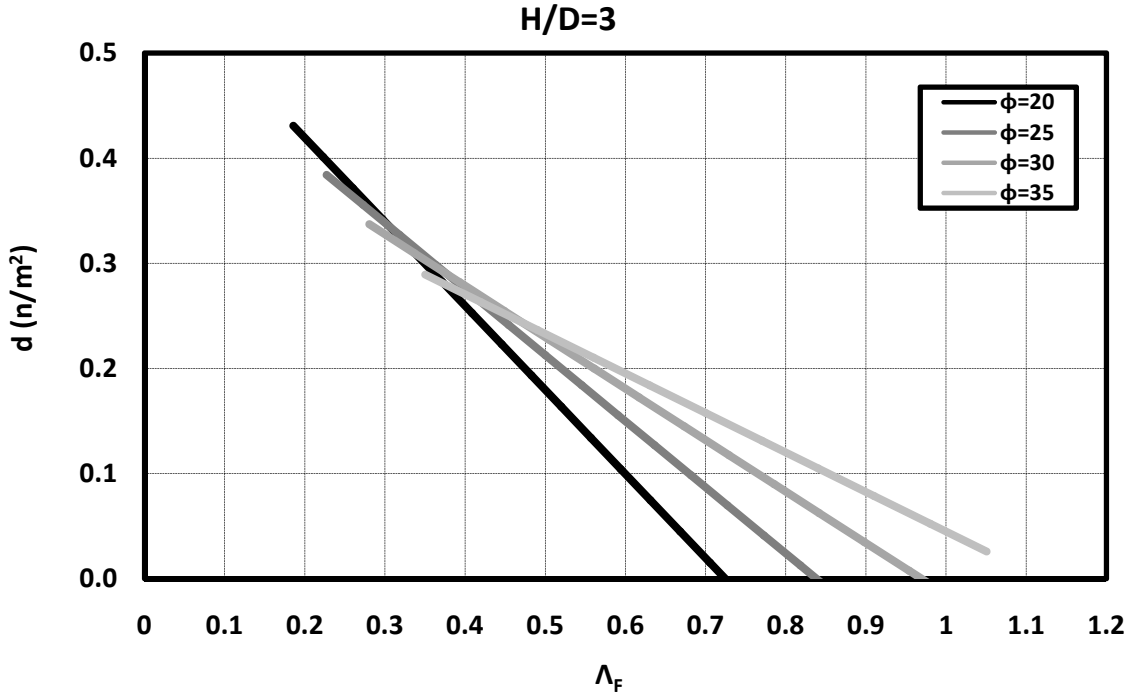
Σχήμα 4.50. Διάγραμμα d– Λ_F Καμπύλες Προσδιορισμού της Απαιτούμενης Πυκνότητας Αγκυρίων Υποστήριξης Μετώπου d [n/m^2] με τη Χρήση της Μεθόδου A. Vermeer et al. 2002 για Κανονικοποιημένο Βάθος H/D=1 με Διακριτοποίηση ως προς τη Γωνία Τριβής ϕ



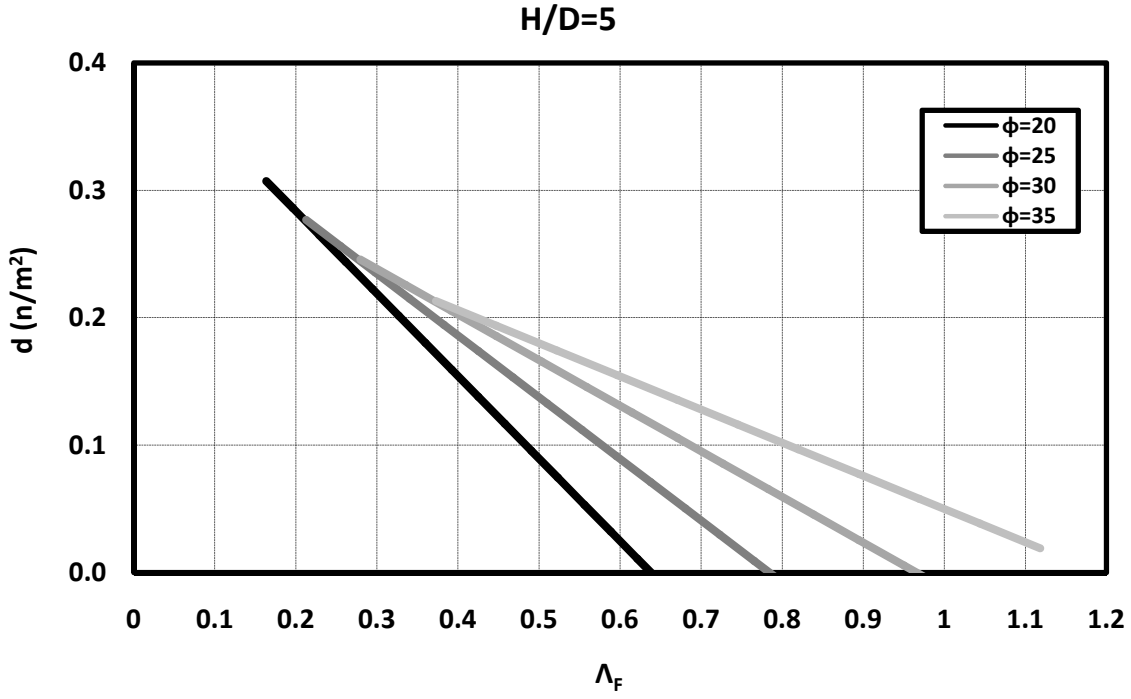
Σχήμα 4.51. Διάγραμμα d– Λ_F Καμπύλες Προσδιορισμού της Απαιτούμενης Πυκνότητας Αγκυρίων Υποστήριξης Μετώπου d [n/m^2] με τη Χρήση της Μεθόδου A. Vermeer et al. 2002 για Κανονικοποιημένο Βάθος H/D=1.5 με Διακριτοποίηση ως προς τη Γωνία Τριβής ϕ



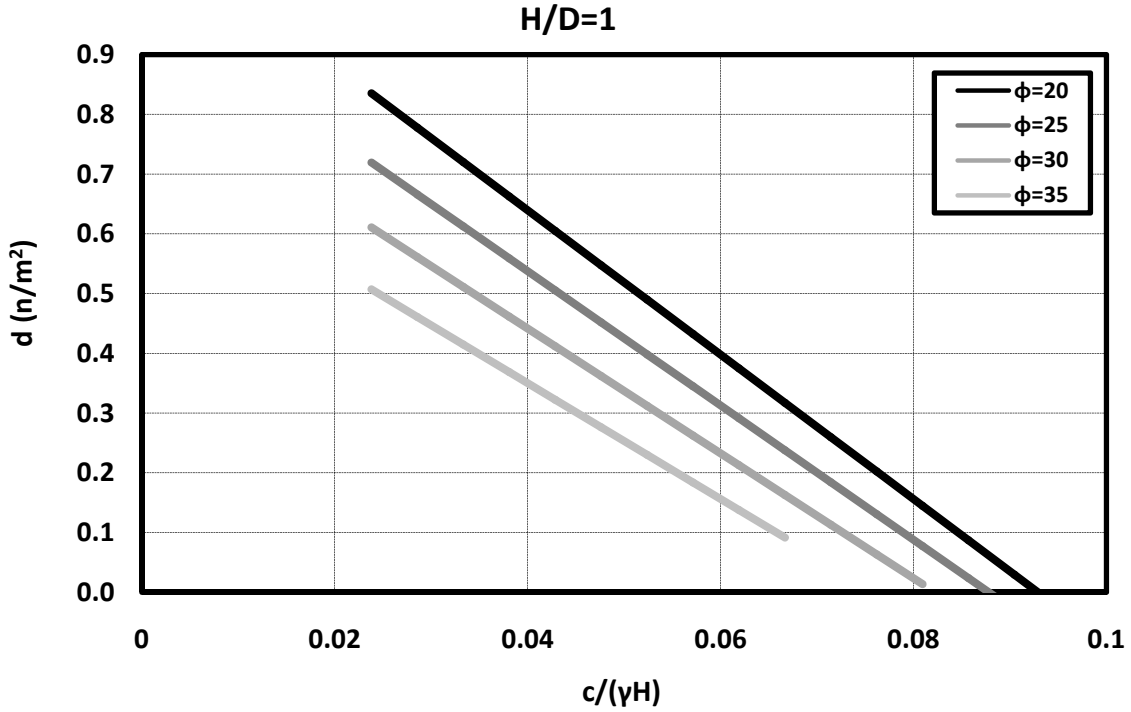
Σχήμα 4.52. Διάγραμμα d– Λ_F Καμπύλες Προσδιορισμού της Απαιτούμενης Πυκνότητας Αγκυρίων Υποστήριξης Μετώπου d [n/m^2] με τη Χρήση της Μεθόδου A. Vermeer et al. 2002 για Κανονικοποιημένο Βάθος H/D=2 με Διακριτοποίηση ως προς τη Γωνία Τριβής ϕ



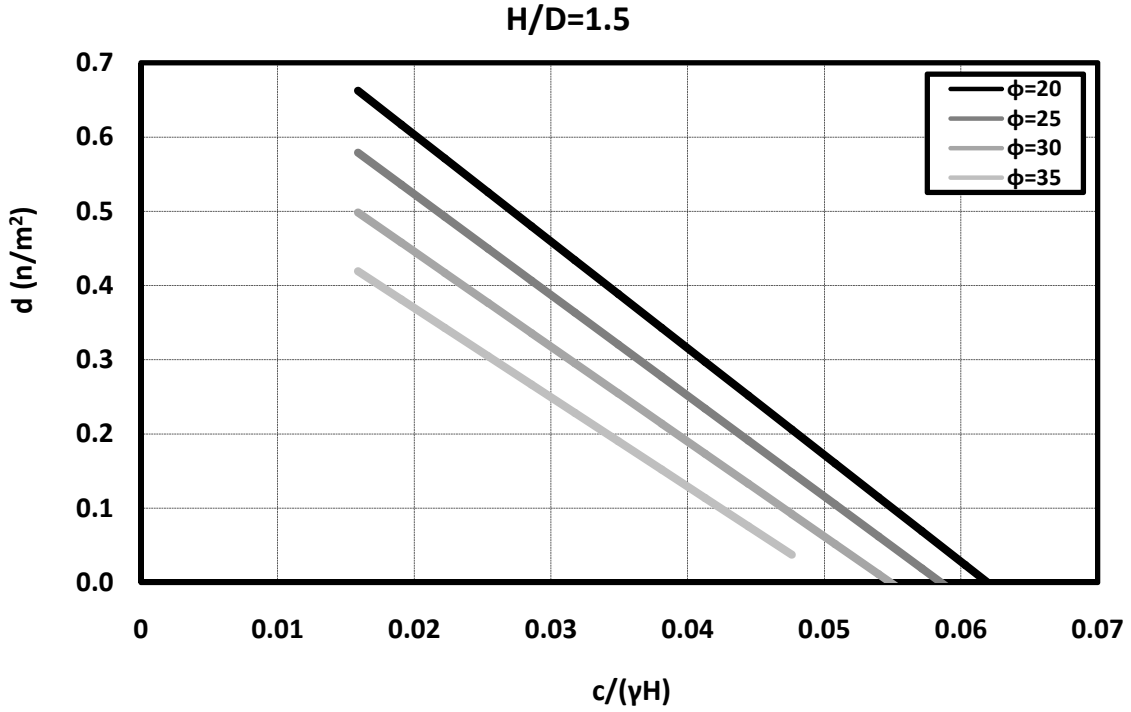
Σχήμα 4.53. Διάγραμμα d– Λ_F Καμπύλες Προσδιορισμού της Απαιτούμενης Πυκνότητας Αγκυρίων Υποστήριξης Μετώπου d [n/m^2] με τη Χρήση της Μεθόδου A. Vermeer et al. 2002 για Κανονικοποιημένο Βάθος H/D=3 με Διακριτοποίηση ως προς τη Γωνία Τριβής ϕ



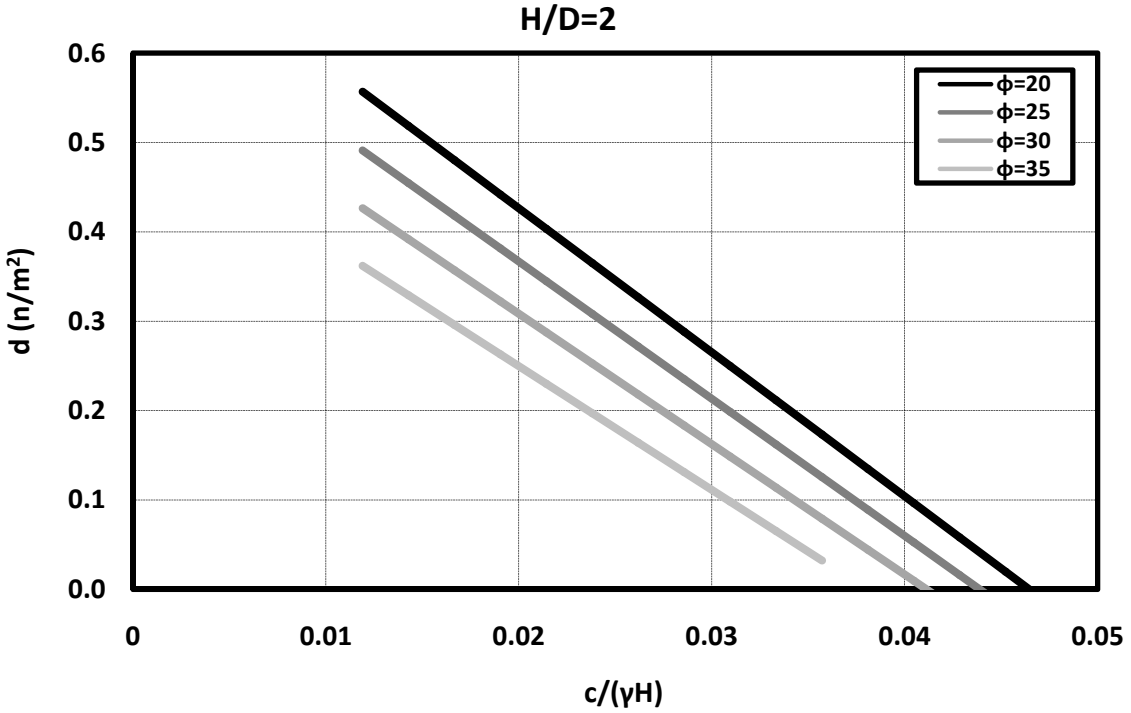
Σχήμα 4.54. Διάγραμμα d– Λ_F Καμπύλες Προσδιορισμού της Απαιτούμενης Πυκνότητας Αγκυρίων Υποστήριξης Μετώπου d [n/m^2] με τη Χρήση της Μεθόδου A. Vermeer et al. 2002 για Κανονικοποιημένο Βάθος H/D=5 με Διακριτοποίηση ως προς τη Γωνία Τριβής ϕ



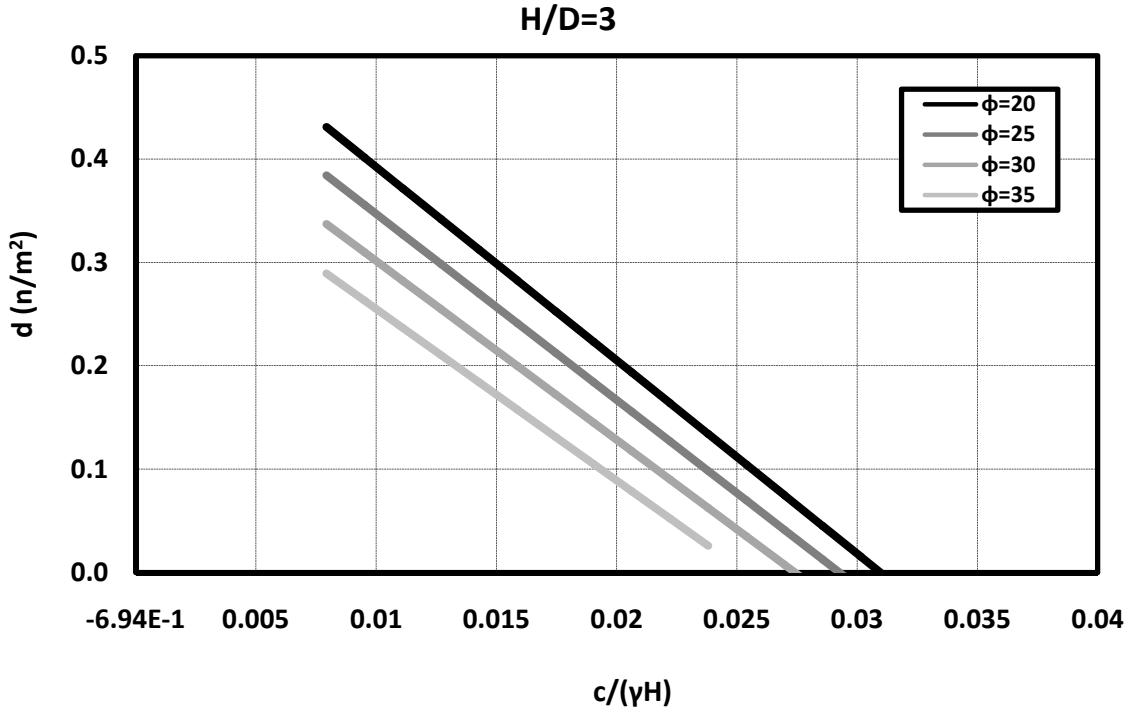
Σχήμα 4.55. Διάγραμμα d– c/(γH) Καμπύλες Προσδιορισμού της Απαιτούμενης Πυκνότητας Αγκυρίων Υποστήριξης Μετώπου d [n/m^2] με τη Χρήση της Μεθόδου A. Vermeer et al. 2002 για Κανονικοποιημένο Βάθος H/D=1 με Διακριτοποίηση ως προς τη Γωνία Τριβής ϕ



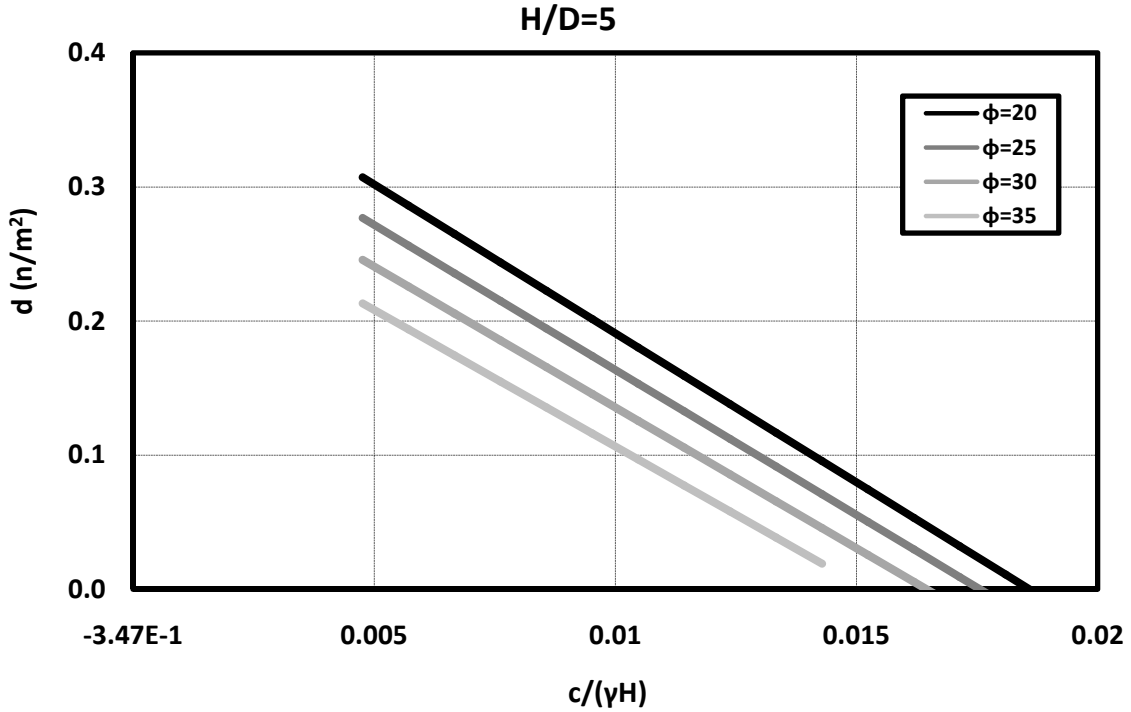
Σχήμα 4.56. Διάγραμμα d– c/(γH) Καμπύλες Προσδιορισμού της Απαιτούμενης Πυκνότητας Αγκυρίων Υποστήριξης Μετώπου d [n/m^2] με τη Χρήση της Μεθόδου A. Vermeer et al. 2002 για Κανονικοποιημένο Βάθος H/D=1.5 με Διακριτοποίηση ως προς τη Γωνία Τριβής ϕ



Σχήμα 4.57. Διάγραμμα d– c/(γH) Καμπύλες Προσδιορισμού της Απαιτούμενης Πυκνότητας Αγκυρίων Υποστήριξης Μετώπου d [n/m^2] με τη Χρήση της Μεθόδου A. Vermeer et al. 2002 για Κανονικοποιημένο Βάθος H/D=2 με Διακριτοποίηση ως προς τη Γωνία Τριβής ϕ



Σχήμα 4.58. Διάγραμμα d– c/(γH) Καμπύλες Προσδιορισμού της Απαιτούμενης Πυκνότητας Αγκυρίων Υποστήριξης Μετώπου d [n/m^2] με τη Χρήση της Μεθόδου A. Vermeer et al. 2002 για Κανονικοποιημένο Βάθος H/D=3 με Διακριτοποίηση ως προς τη Γωνία Τριβής ϕ



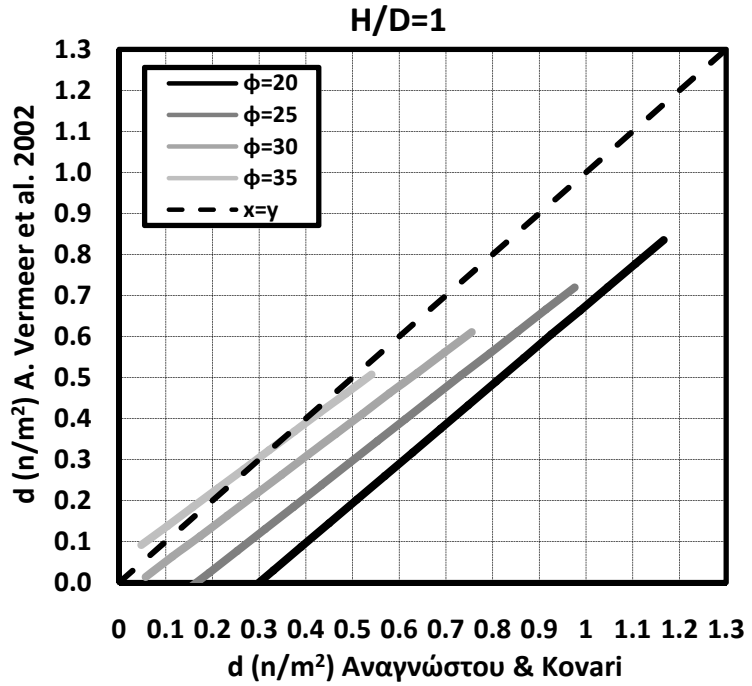
Σχήμα 4.59. Διάγραμμα d– c/(γH) Καμπύλες Προσδιορισμού της Απαιτούμενης Πυκνότητας Αγκυρίων Υποστήριξης Μετώπου d [n/m^2] με τη Χρήση της Μεθόδου A. Vermeer et al. 2002 για Κανονικοποιημένο Βάθος H/D=5 με Διακριτοποίηση ως προς τη Γωνία Τριβής ϕ

Από τα παραπάνω διαγράμματα φαίνεται ότι όσο αυξάνεται η γωνία τριβής και όσο αυξάνεται το βάθος διάνοιξης τόσο μειώνεται η απαιτούμενη πυκνότητα αγκυρίων υποστήριξης του μετώπου για τις ίδιες γεωτεχνικές συνθήκες.

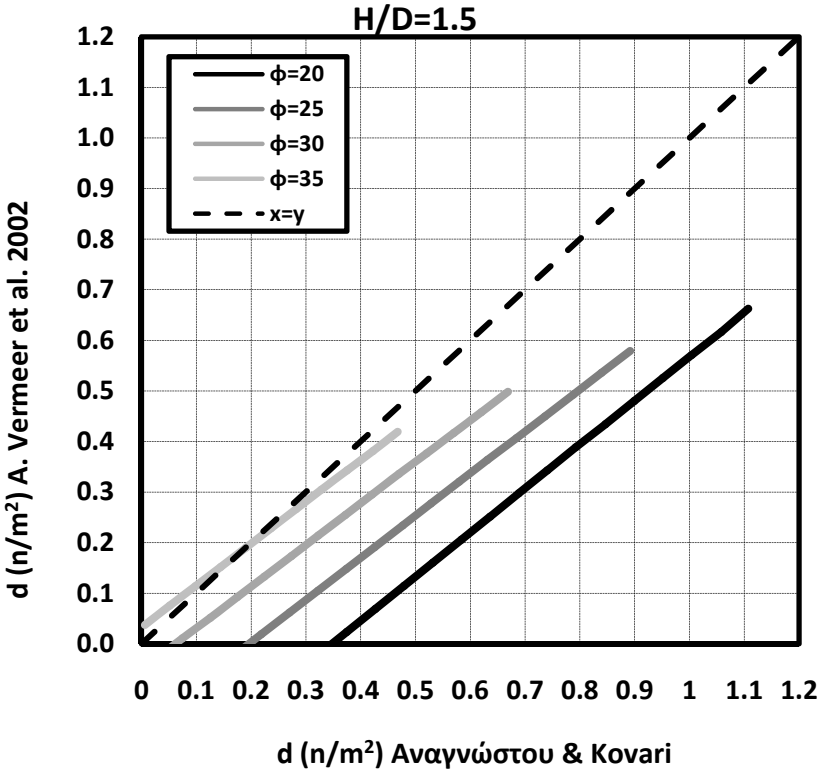
Παρατηρείται ακόμα ότι οι καμπύλες του διαγράμματος έχουν αυξανόμενη κλίση με μείωση της γωνίας τριβής. Αυτό σημαίνει ότι με μικρότερη αλλαγή των γεωτεχνικών συνθηκών, έχουμε μεγαλύτερη μεταβολή της απαιτούμενης πυκνότητας αγκυρίων υποστήριξης του μετώπου όσο μειώνεται η τιμή της γωνίας τριβής.

4.9.3 Σύγκριση των Τιμών του Έμμεσου Υπολογισμού της Πυκνότητας των Αγκυρίων του Μετώπου d που Προέκυψαν με τη Μεθοδολογία Αναγνώστου & Kovari 1994 & 1996 με αυτές που Προέκυψαν με τη Μεθοδολογία A. Vermeer et al. 2002.

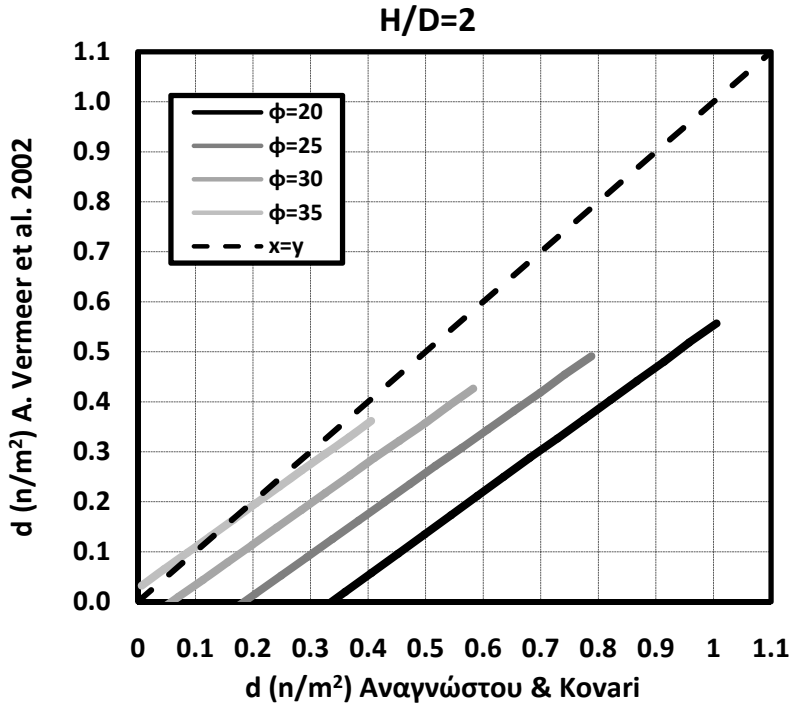
Σε αυτή την παράγραφο συγκρίνονται οι τιμές της πυκνότητας αγκυρίων υποστήριξης του μετώπου που προέκυψαν από τις δύο μεθόδους μέσω των παρακάτω διαγραμμάτων



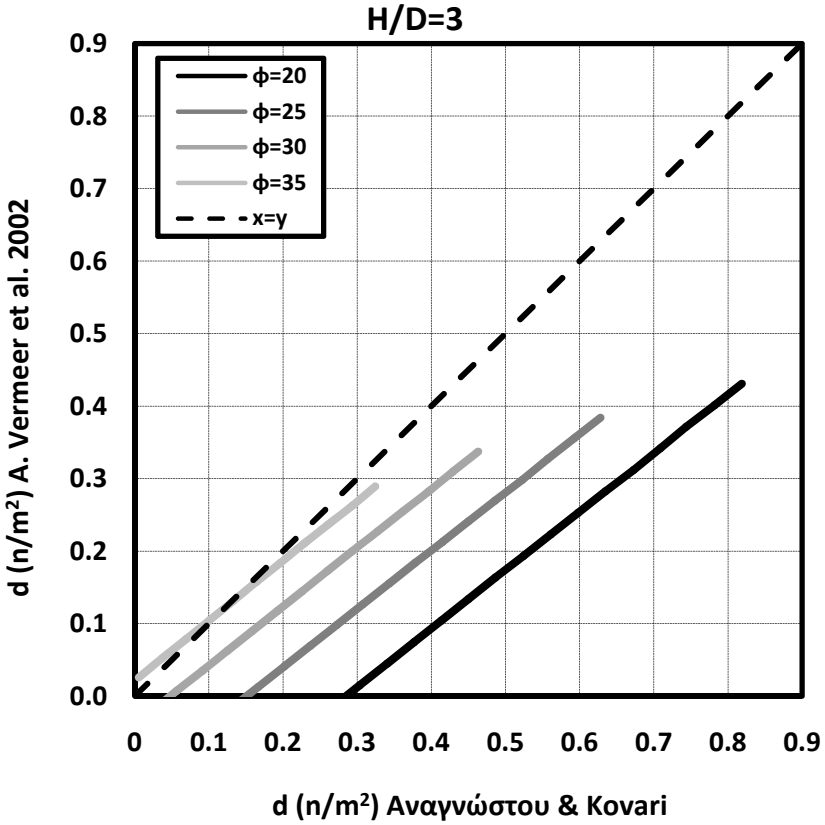
Σχήμα 4.60. Διάγραμμα Σύγκρισης της Απαιτούμενης Πυκνότητας Αγκυρίων Υποστήριξης Μετώπου d [n/m^2] των Μεθόδων Αναγνώστου & Kovari 1994 & 1996 και A. Vermeer et al. 2002 για Κανονικοποιημένο Βάθος H/D=1 με Διακριτοποίηση ως προς τη Γωνία Τριβής ϕ



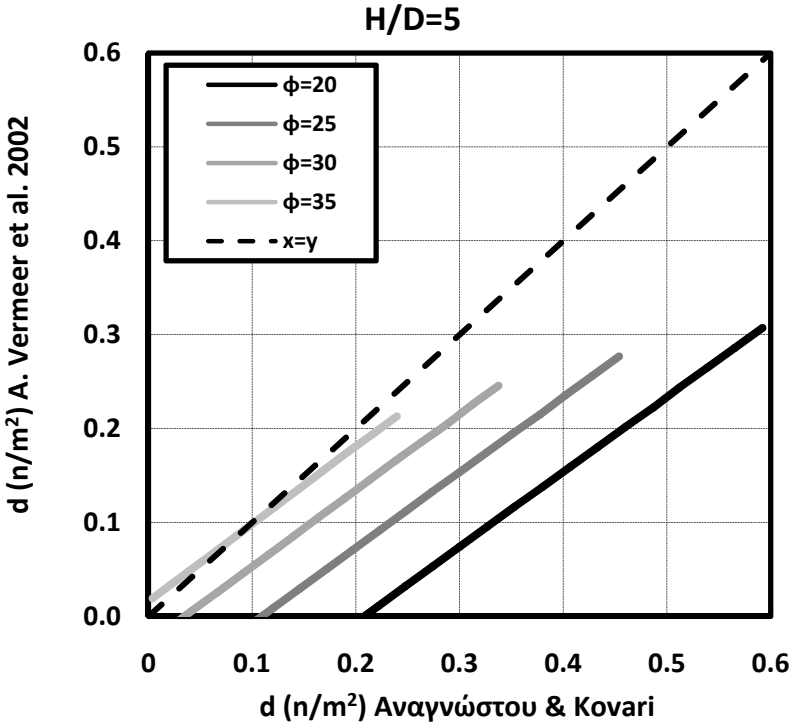
Σχήμα 4.61. Διάγραμμα Σύγκρισης της Απαιτούμενης Πυκνότητας Αγκυρίων Υποστήριξης Μετώπου d [n/m^2] των Μεθόδων Αναγνώστου & Kovari 1994 & 1996 και A. Vermeer et al. 2002 για Κανονικοποιημένο Βάθος H/D=1.5 με Διακριτοποίηση ως προς τη Γωνία Τριβής ϕ



Σχήμα 4.62. Διάγραμμα Σύγκρισης της Απαιτούμενης Πυκνότητας Αγκυρίων Υποστήριξης Μετώπου d [n/m^2] των Μεθόδων Αναγνώστου & Kovari 1994 & 1996 και A. Vermeer et al. 2002 για Κανονικοποιημένο Βάθος H/D=2 με Διακριτοποίηση ως προς τη Γωνία Τριβής ϕ



Σχήμα 4.63. Διάγραμμα Σύγκρισης της Απαιτούμενης Πυκνότητας Αγκυρίων Υποστήριξης Μετώπου d [n/m^2] των Μεθόδων Αναγνώστου & Kovari 1994 & 1996 και A. Vermeer et al. 2002 για Κανονικοποιημένο Βάθος H/D=3 με Διακριτοποίηση ως προς τη Γωνία Τριβής ϕ



Σχήμα 4.64. Διάγραμμα Σύγκρισης της Απαιτούμενης Πυκνότητας Αγκυρίων Υποστήριξης Μετώπου d [n/m^2] των Μεθόδων Αναγνώστου & Kovari 1994 & 1996 και A. Vermeer et al. 2002 για Κανονικοποιημένο Βάθος H/D=5 με Διακριτοποίηση ως προς τη Γωνία Τριβής ϕ

Από τα παραπάνω διαγράμματα φαίνεται ότι η μέθοδος A. Vermeer et al. 2002 δίνει μικρότερες τιμές απαιτούμενης πυκνότητας υποστήριξης αγκυρίων από τη μέθοδο Αναγνώστου & Kovari 1994 & 1996 για τις ίδιες γεωτεχνικές συνθήκες.

Αναλυτικότερα η μέθοδος Αναγνώστου & Kovari 1994 & 1996 σε σχέση με τη μέθοδο A. Vermeer et al. 2002 υπολογίζει για γωνία τριβής

- φ=20° περίπου 2 φορές παραπάνω πυκνότητα αγκυρίων,
- φ=25° περίπου 1.7 φορές παραπάνω πυκνότητα αγκυρίων
- φ=30° περίπου 1.5 φορά παραπάνω πυκνότητα αγκυρίων
- φ=35° περίπου ίση πυκνότητα αγκυρίων

Επομένως η μέθοδος A. Vermeer et al. 2002 υπολογίζει λιγότερα απαιτούμενα μέτρα υποστήριξης, γεγονός που σημαίνει ότι ένα ασφαλές μέτωπο με τη μέθοδο A. Vermeer et al. 2002 απαιτεί επιπλέον υποστήριξη για να μην αστοχήσει αν υπολογιστεί με τη μέθοδο Αναγνώστου & Kovari 1994 & 1996 κυρίως για μικρές γωνίες τριβής. Αυτό ίσως να οφείλεται στο γεγονός ότι η μέθοδος A. Vermeer et al. 2002 δεν λαμβάνει υπόψη της το βάθους εκσκαφής της σήραγγας και επομένως και τις αυξανόμενες με το βάθος γεωστατικές τάσεις που φορτίζουν την κατασκευή.

5 Συμπεράσματα

5.1 Γενικά

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Στην παρούσα εργασία υπολογίστηκε ένα νέο μέγεθος η ισοδύναμη ομοιόμορφη κατανεμημένη πίεση υποστήριξης του μετώπου. Η ισοδύναμη αυτή πίεση είναι μια ομοιόμορφη πίεση υποστήριξης που θα πρέπει να ασκηθεί στο μέτωπο της σήραγγας ώστε αυτό να είναι στον ίδιο βαθμό ευσταθές με ένα μέτωπο σήραγγας που θα υποστηριζόταν από αγκύρια μετώπου fiberglass. Ως κριτήριο προσδιορισμού του βαθμού ευστάθειας του μετώπου χρησιμοποιήθηκε το μέγεθος της συνολικής μέσης έκθλιψης σε όλο το μέτωπο.

Η προσπάθεια αυτή της αντιστοίχισης έγινε αφενός, επειδή η κατανεμημένη πίεση μπορεί πιο εύκολα να προσομοιωθεί σε σχέση με την προσομοίωση αγκυρίων στο μέτωπο, και αφετέρου διότι μια τέτοια συσχέτιση μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με αναλυτικές μεθόδους (π.χ. η μέθοδος Αναγνώστου και Kovari, 1994 & 1996 ή η μέθοδος Pieter A. Vermeer et al 2002), οι οποίες υπολογίζουν την ομοιόμορφη πίεση στο μέτωπο, ως μια έμμεση μέθοδος υπολογισμού της απαιτούμενης πυκνότητας του καννάβου αγκυρίων του μετώπου σε σχέση με τις γεωτεχνικές συνθήκες και το βάθος εκσκαφής.

Γι αυτό το σκοπό εκπονήθηκαν τρισδιάστατες πολυπαραμετρικές αναλύσεις με πεπερασμένα στοιχεία με το πρόγραμμα Abaqus 6.9-1. Το πρώτο σύνολο των αναλύσεων έγινε για υποστήριξη μετώπου με αγκύρια fiberglass, ενώ το δεύτερο σύνολο των αναλύσεων έγινε για τις αντίστοιχες αναλύσεις του πρώτου αλλά για υποστήριξη μετώπου με ομοιόμορφη πίεση, το οποίο και προσομοιώθηκε στα πλαίσια της παρούσας εργασίας. Οι αναλύσεις έγιναν για διάφορες παραμέτρους ώστε να καλύπτεται ένα μεγάλο εύρος γεωτεχνικών και γεωμετρικών περιπτώσεων.

Έτσι έγινε παραμετρική διερεύνηση των μεγεθών από τα οποία εξαρτάται η ισοδύναμη πίεση, δηλαδή του κανονικοποιημένου λόγου H/D, της γωνίας τριβής φ, του μέτρου παραμορφωσιμότητας του εδάφους E, του συντελεστή ουδέτερων τάσεων K_o και του μέτρου ελαστικότητας των αγκυρίων E_{nails}, και προτάθηκε μια συσχέτιση της πυκνότητας των αγκυρίων fiberglass d (αριθ. αγκυρίων/m^2) με τη βοήθεια διαφόρων λόγων του νέου μεγέθους, p_{eq}/p_{ref} και p_{eq}/ σ_v, με τις παραμέτρους αυτές, μέσω ήδη υπάρχουσων αναλυτικών μεθοδολογιών. Όπου p_{ref} είναι η οριακή πίεση αναφοράς, δηλαδή η μέγιστη δυνατή κατανεμημένη πίεσή επί του μετώπου εκσκαφής, η οποία προκύπτει αν όλα τα αγκύρια του μετώπου φτάσουν στη δύναμη διαρροής τους και όπου σ_v οι κατακόρυφες γεωστατικές τάσεις.

5.2 Η Ισοδύναμη Πίεση

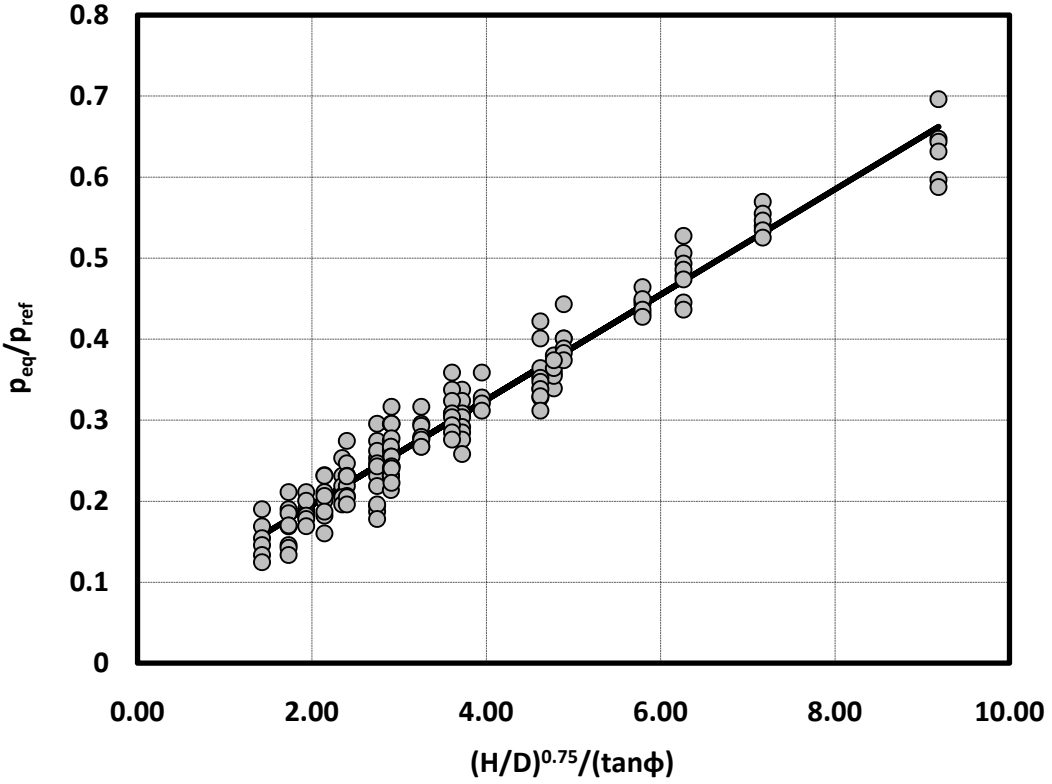
- Όσο πιο χαμηλή τιμή έχει η γωνία τριβής φ τόσο μεγαλύτερη είναι τιμή του λόγου της ισοδύναμης πίεσης υποστήριξης προς την οριακή πίεση αναφοράς που απαιτείται ώστε να έχουμε ευσταθές μέτωπο.
- Όσο πιο χαμηλή τιμή έχει η γωνία τριβής φ τόσο μεγαλύτερο ποσοστό γεωστατικών τάσεων αναλαμβάνουν τα αγκύρια.
- Όσο πιο μικρή είναι η γωνία τριβής τόσο μεγαλύτερη διασπορά έχουν τα αποτελέσματα.
- Όσο αυξάνεται ο λόγος H/D τόσο μεγαλύτερη είναι τιμή του λόγου της ισοδύναμης πίεσης υποστήριξης προς την οριακή πίεση αναφοράς που απαιτείται ώστε να έχουμε ευσταθές μέτωπο το οποίο οφείλεται πιθανότατα στην αύξηση των κατακόρυφων τάσεων που καλούνται να παραλάβουν τα αγκύρια σε μεγαλύτερα βάθη.
- Με αύξηση του βάθους έχουμε μείωση του ποσοστού των κατακόρυφων γεωστατικών τάσεων που αναλαμβάνουν τα αγκύρια. Το γεγονός αυτό ίσως να οφείλεται ότι σε μεγαλύτερα βάθη έχει δημιουργηθεί το φαινόμενο του θόλου μπροστά από το μέτωπο εκσκαφής με αποτέλεσμα οι γεωστατικές τάσεις να μεταφέρονται με ασφάλεια στο έδαφος και έτσι τα αγκύρια να φορτίζονται λιγότερο από αυτές.

- Με μείωση της συνοχής, c, η τιμή του λόγου της ισοδύναμης πίεσης υποστήριξης προς την οριακή πίεση αναφοράς δεν επηρεάζεται σχεδόν καθόλου, παρουσιάζει μόνο μια πολύ μικρή αύξηση σε κάποιες περιπτώσεις.
- Όσο πιο αραιό κάνναβο επιλέξουμε με όλες τις άλλες παραμέτρους σταθερές τόσο αυξάνει η τιμή της ισοδύναμης πίεσης υποστήριξης προς την οριακή πίεση αναφοράς, που σημαίνει ότι τα αγκύρια λειτουργούν πιο κοντά στο όριο διαρροής τους. Η αύξηση αυτή όμως είναι μικρή είναι της τάξης των 7 ποσοστιαίων μονάδων. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι όλες οι αναλύσεις έχουν γίνει για ορθός σχεδιασμένους καννάβους, δηλαδή για $0.55<\Lambda_F<1.25$ και για $_{\Lambda F,R}>1.00$.
- Με αύξηση της πυκνότητας των αγκυρίων του μετώπου μειώνεται το εύρος του λόγου p_{eq}/p_{ref}, γεγονός που σημαίνει ότι όσο πιο πυκνό κάνναβο έχουμε τόσο καλύτερη αντιστοίχιση υπάρχει μεταξύ της ισοδύναμης πίεσης του μετώπου και της υποστήριξης του μετώπου με αγκύρια, δηλαδή τόσο περισσότερο η επίδραση των αγκυρίων στο μέτωπο μπορεί να προσομοιωθεί με μια ισοδύναμη πίεση υποστήριξης.
- Συγκεντρωτικός ποιοτικός πίνακας παραμέτρων που επηρεάζουν την ισοδύναμη ομοιόμορφη πίεση υποστήριξης του μετώπου.

Πίνακας 5.1. Συγκεντρωτικός Ποιοτικός Πίνακας Παραμέτρων που Επηρεάζουν την Ισοδύναμη Ομοιόμορφη Πίεση Υποστήριξης του Μετώπου.

	↑H/D -	↑ϕ [o]	↑E [GPa]	↑K_O -	↑E_{nails} [GPa]
p_{eq}/p_{ref}	↑	↓	↓	μικρή ↑	↑
p_{eq} / σ_v	↓	↓			

- Για τις αναλύσεις της 1ης ομάδας, όπου έγινε παραμετροποίηση ως προς τη γωνία τριβής τη συνοχή και το βάθος Η, προτάθηκε η παρακάτω συσχέτιση $\frac{p_{eq}}{p_{ref}}=0.065\left(\frac{H^{0.75}}{D^{0.75}\ \tan\phi}+1\right)$ (4.1)

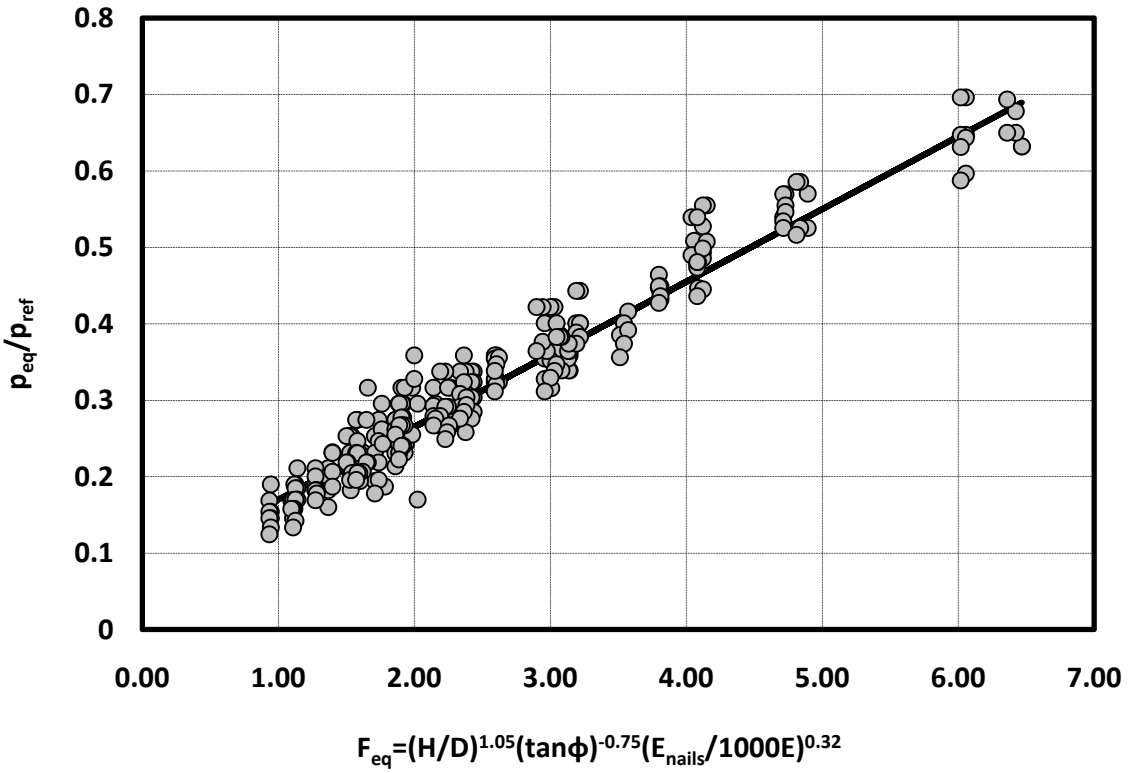


- Ο παραπάνω τύπος 4.1 ισχύει όταν:
    - Το μέτρο παραμορφωσιμότητας του εδάφους έχει τιμή κοντά σε αυτή που προέκυψε στην παρούσα διπλωματική εργασία με βάση τον τύπο E=500Su.
    - Έχουν επιλεγεί για τις αναλύσεις αγκύρια fiberglass με μέτρο ελαστικότητας E_{nails}=20GPa. Αν το μέτρο ελαστικότητας των αγκυρίων είναι μεγαλύτερο, τότε προκύπτουν τιμές της ισοδύναμης πίεσης μεγαλύτερες, οι οποίες όμως δεν ενέχουν κίνδυνο αστοχίας των αγκυρίων λόγο υπερφόρτισης τους, αφού σε αβαθείς σήραγγες η φόρτιση των αγκυρίων είναι αρκετά μικρότερη από το όριο θραύσης τους.

- Το μέτρο παραμορφωσιμότητας του εδάφους επηρεάζει την τιμή του λόγου p_{eq}/p_{ref}, αύξηση του οδηγεί σε μείωση της τιμής του λόγου p_{eq}/p_{ref}. Η μεταβολή της τιμής του λόγου p_{eq}/p_{ref} για το εύρος των περιπτώσεων που εξετάστηκαν φτάνει μέχρι το ±25%.
- Ο συντελεστής K_o του εδάφους δεν επηρεάζει σημαντικά την ισοδύναμη πίεση και μπορεί να παραλείπεται. Η αύξηση του συντελεστή οριζόντιων τάσεων K_o οδηγεί σε μικρή αύξηση της τιμής του λόγου p_{eq}/p_{ref} , η οποία για το εύρος των περιπτώσεων που εξετάστηκαν δεν ξεπερνά το +13%.
- Η αύξηση του μέτρου ελαστικότητας των αγκυρίων οδηγεί σε αύξηση της τιμής του λόγου p_{eq}/p_{ref}. Η αύξηση της τιμής του λόγου p_{eq}/p_{ref} για το εύρος των περιπτώσεων που εξετάστηκαν μπορεί να φτάσει +60%.
- Για όλες τις αναλύσεις της παρούσας εργασίας, προτάθηκε η παρακάτω συσχέτιση

$$\frac{p_{eq}}{p_{ref}} = 0.095F_{eq} + 0.075 \quad (4.2)$$

$$F_{eq} = \left(\frac{H}{D}\right)^{1.05} (\tan\phi)^{-0.75} \left(\frac{E_{nails}}{1000E}\right)^{0.32} \quad (4.3)$$



5.3 Έμμεση Μέθοδος Υπολογισμού της Απαιτούμενης Πυκνότητας Αγκυρίων του Μετώπου d Μέσω Ήδη Υπαρχουσών Μεθοδολογιών

- Με βάση τον τύπο 4.1 προτάθηκε έμμεσος τρόπος συσχέτισης της απαιτούμενης πυκνότητας αγκυρίων του μετώπου της σήραγγας d, μέσω του λόγου p_{eq}/p_{ref} ο οποίος υπολογίζεται από τον τύπο $\frac{p_{eq}}{p_{ref}}=0.065\left(\frac{H^{0.75}}{D^{0.75}\tan\phi}+1\right)$ με τις παραμέτρους από τις οποίες επηρεάζεται, με τη βοήθεια δύο μεθόδων υπολογισμού της πίεση αντιστήριξής του μετώπου, της μεθόδου Αναγνώστου & Kovari 1994 & 1996 και της μεθόδου A. Vermeer et al. 2002. Έπειτα η απαιτούμενη αυτή πίεση αντιστήριξης που έχει προκύψει με μία από τις δύο μεθόδους εξισώνεται με την ισοδύναμη πίεση $p_{eq}=s=p_f$ και υπολογίζεται η οριακή πίεση αναφοράς p_{ref}. Με γνωστή την οριακή πίεση αναφοράς p_{ref} και τη δύναμη διαρροής των αγκυρίων F_y υπολογίζεται από τον τύπο $p_{ref}=dF_y$ η τιμή της απαιτούμενης πυκνότητας αγκυρίων d ώστε ο συντελεστής ασφαλείας του υποστηριζόμενου μετώπου να είναι ίσος με τη μονάδα.
- Η μέθοδος A. Vermeer et al. 2002 δίνει μικρότερες τιμές απαιτούμενης πυκνότητας υποστήριξης αγκυρίων από τη μέθοδο Αναγνώστου & Kovari 1994 & 1996 για τις ίδιες γεωτεχνικές συνθήκες. Αναλυτικότερα για
    - φ=20° περίπου 2 φορές παραπάνω πυκνότητα αγκυρίων
    - φ=25° περίπου 1.7 φορές παραπάνω πυκνότητα αγκυρίων
    - φ=30° περίπου 1.5 φορά παραπάνω πυκνότητα αγκυρίων
    - φ=35° περίπου ίση πυκνότητα αγκυρίων

  Αυτό ίσως να οφείλεται στο γεγονός ότι η μέθοδος A. Vermeer et al. 2002 δεν λαμβάνει υπόψη της το βάθους εκσκαφής της σήραγγας και επομένως και τις αυξανόμενες με το βάθος γεωστατικές τάσεις που φορτίζουν την κατασκευή.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

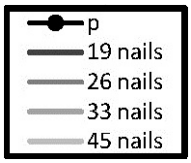
Μέρος $1^{ο}$ Διαγράμματα p-u_2

Μέρος $2^{ο}$ Διαγράμματα Συσχέτισης Ισοδύναμης Πίεσης με Διάφορες Παραμέτρους

Μέρος $3^{ο}$ Συγκεντρωτικοί Πίνακες Ισοδύναμης Πίεσης με Διάφορες Παραμέτρους

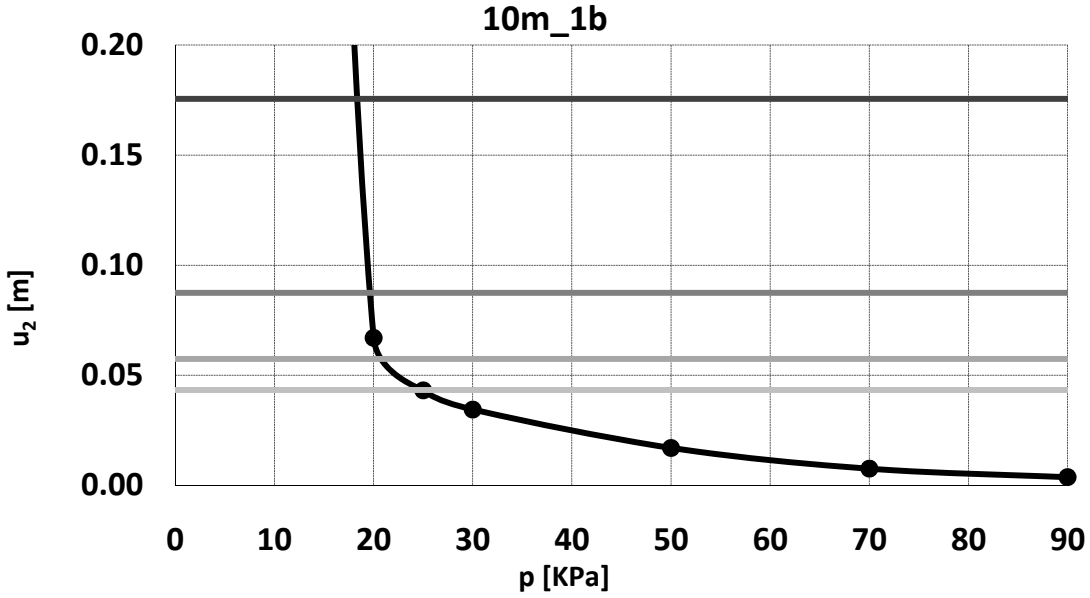
Μέρος 1ο Διαγράμματα p-u_2

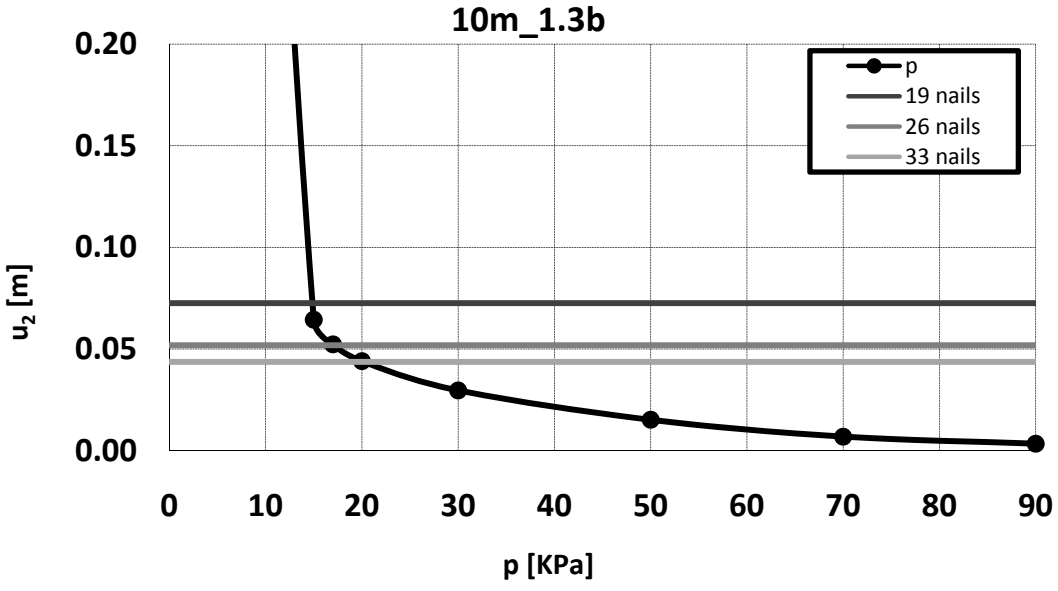
1η Ομάδα Αναλύσεων

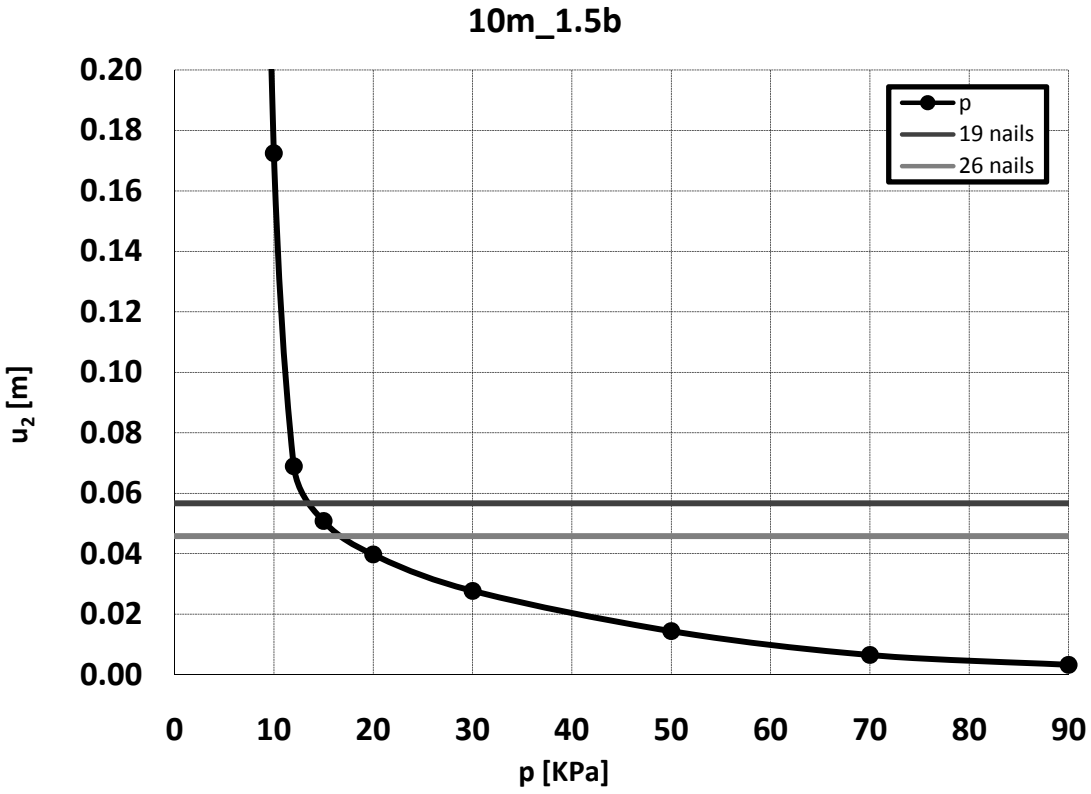


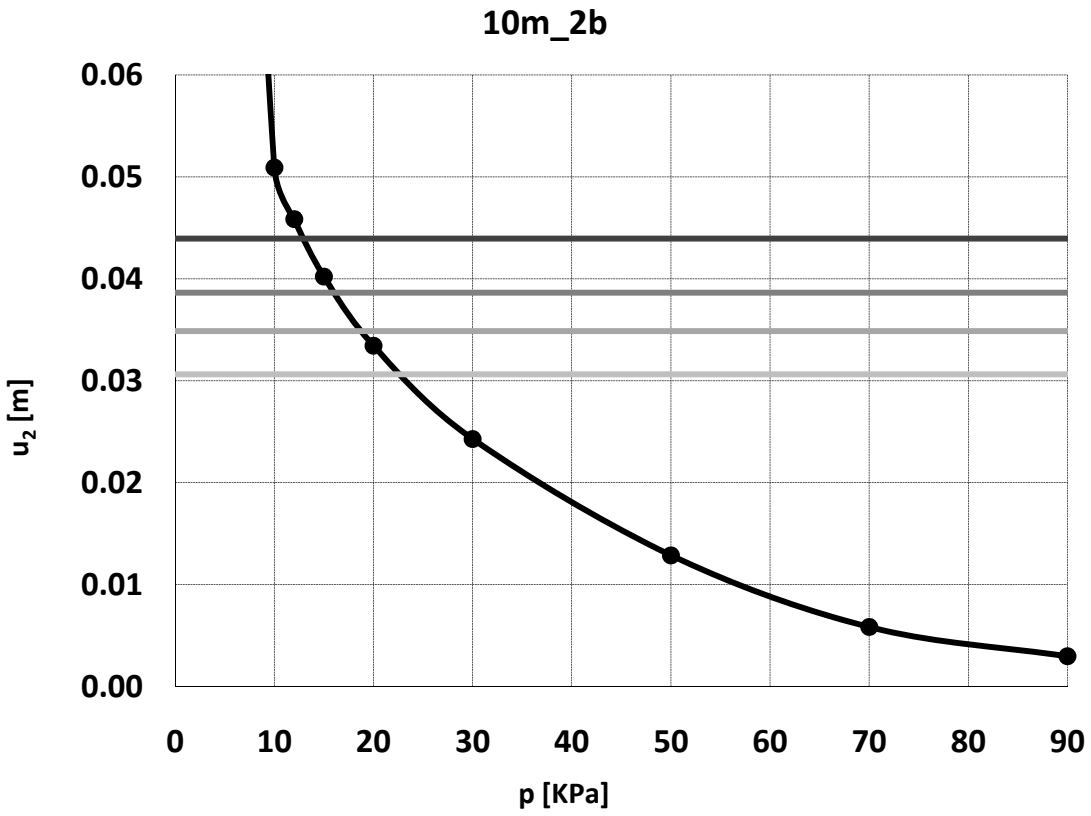
Υπόμνημα διαγραμμάτων όπου διαφοροποιείται εμφανίζεται το τροποποιημένο.

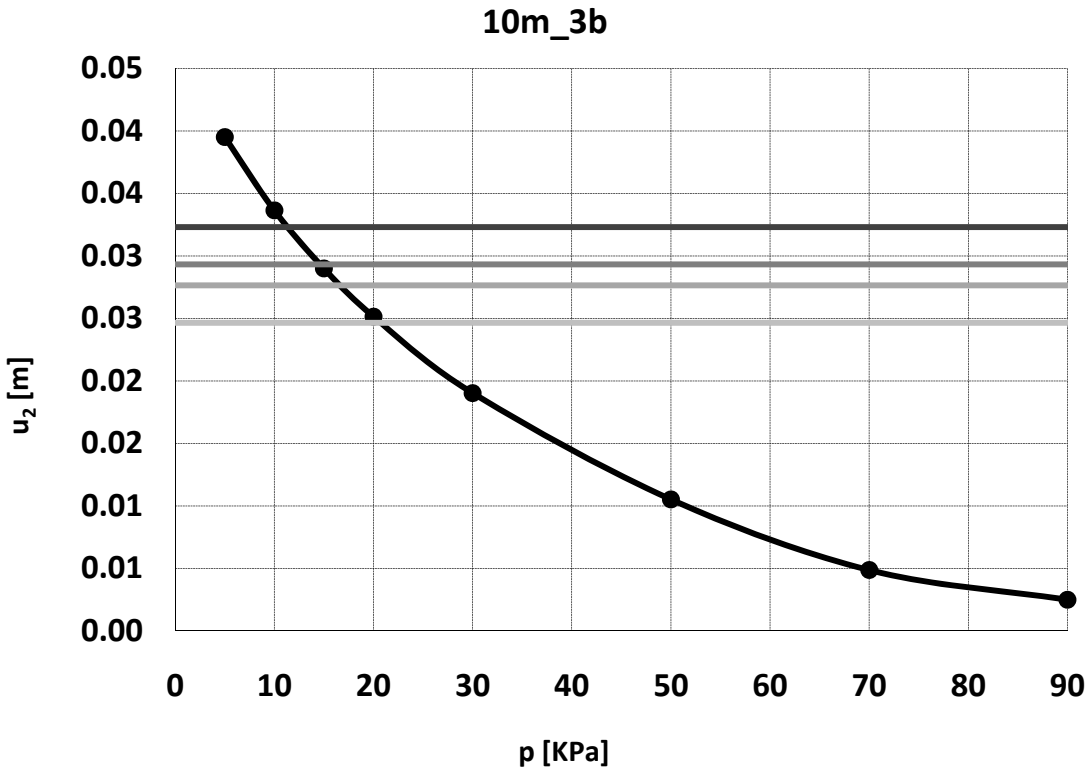
H/D=1 & ϕ=20°



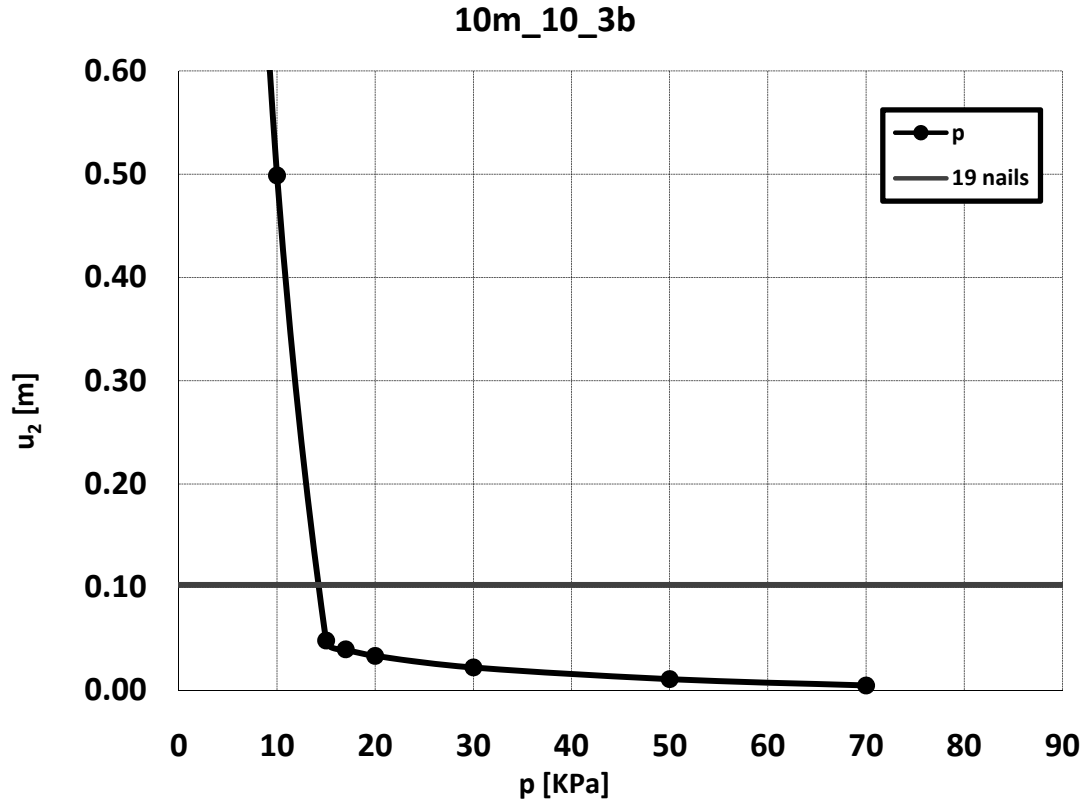


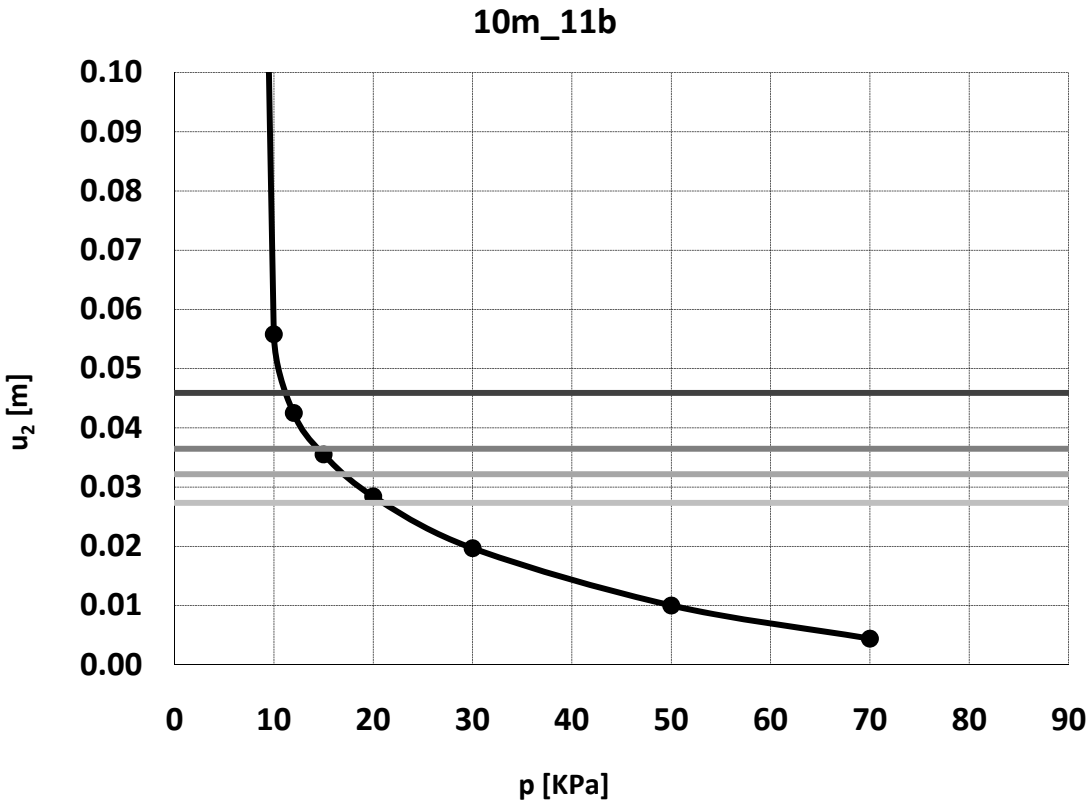

10m_1.5b
0.20
0.18
0.16
0.14
0.12
0.10
0.08
0.06
0.04
0.02
0.00
u2 [m]
p
19 nails
26 nails
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
p [KPa]

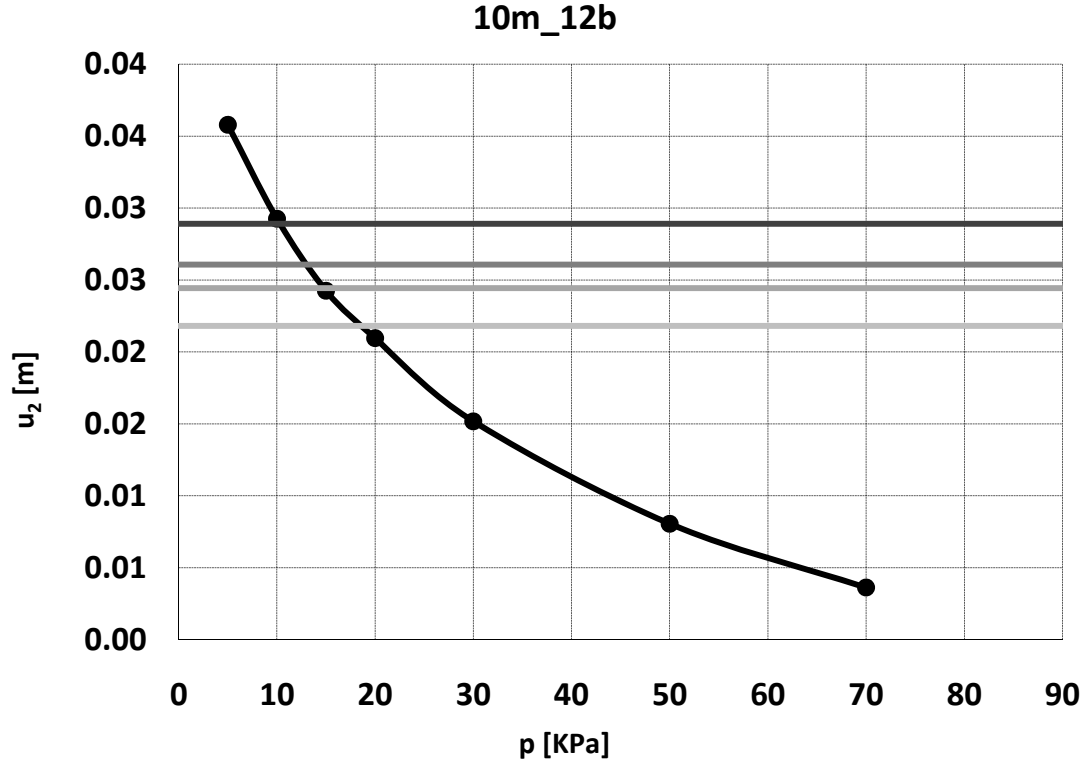

10m_2b
0.06
0.05
0.04
0.03
0.02
0.01
0.00
u2 [m]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
p [KPa]


10m_3b
0.05
0.04
0.04
0.03
0.03
0.02
0.02
0.01
0.01
0.00
u2 [m]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
p [KPa]

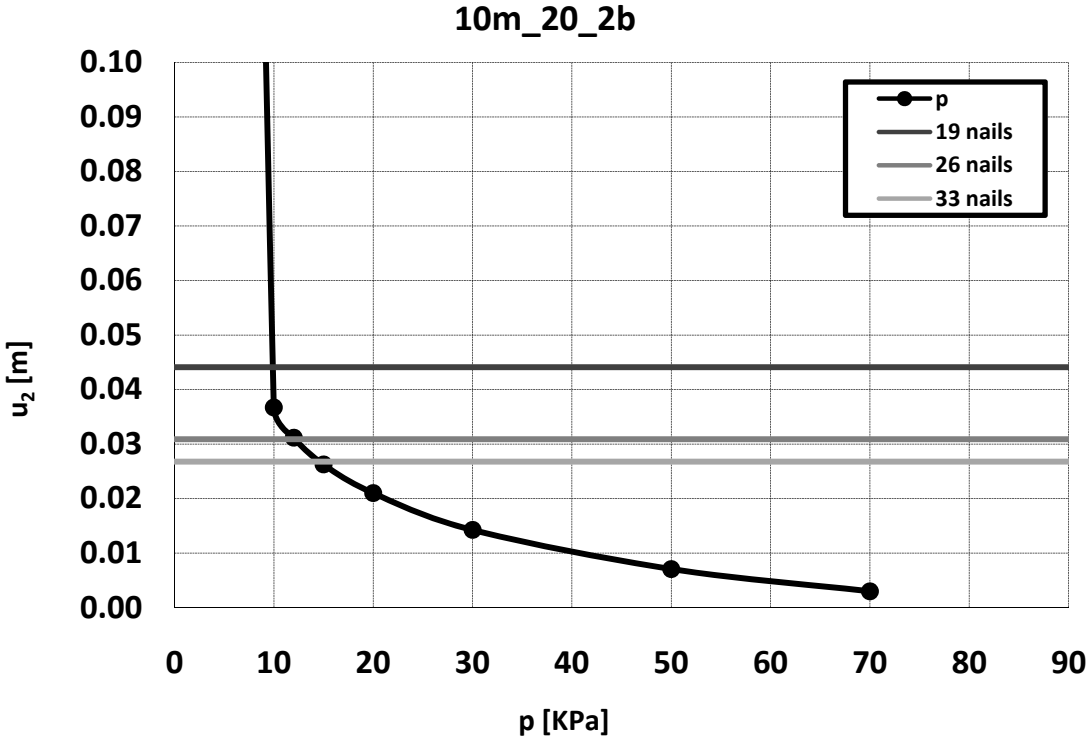
H/D=1 & ϕ=25°

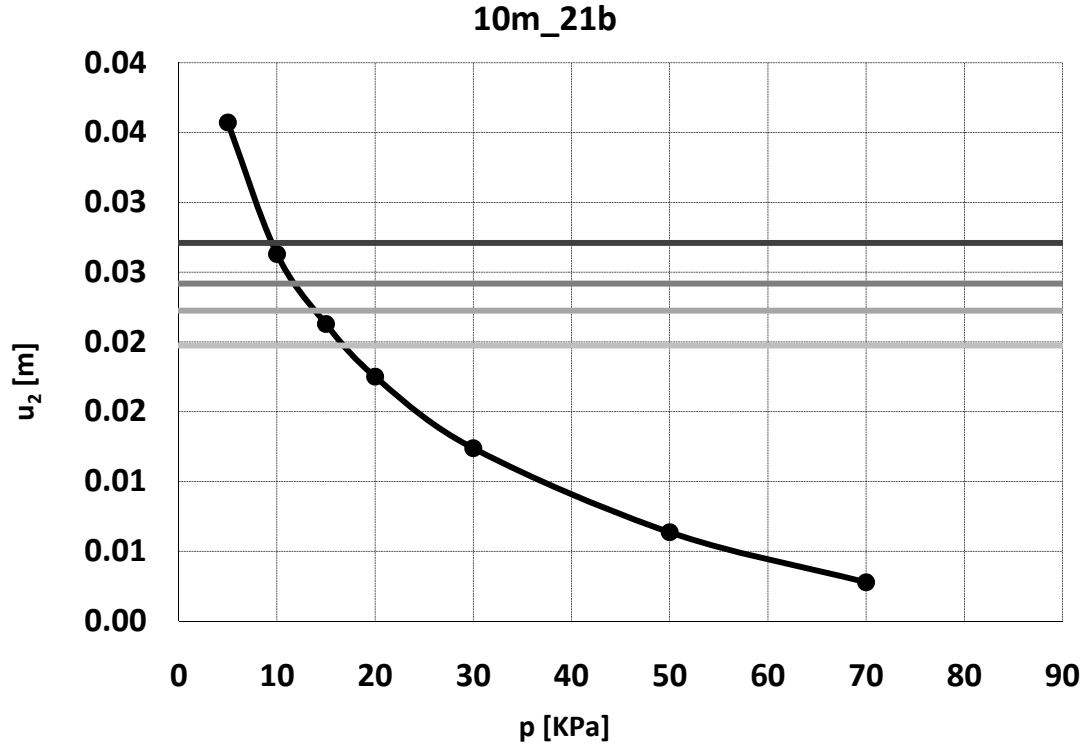

10m_10_3b
0.60
0.50
0.40
0.30
0.20
0.10
0.00
u2 [m]
p
19 nails
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
p [KPa]

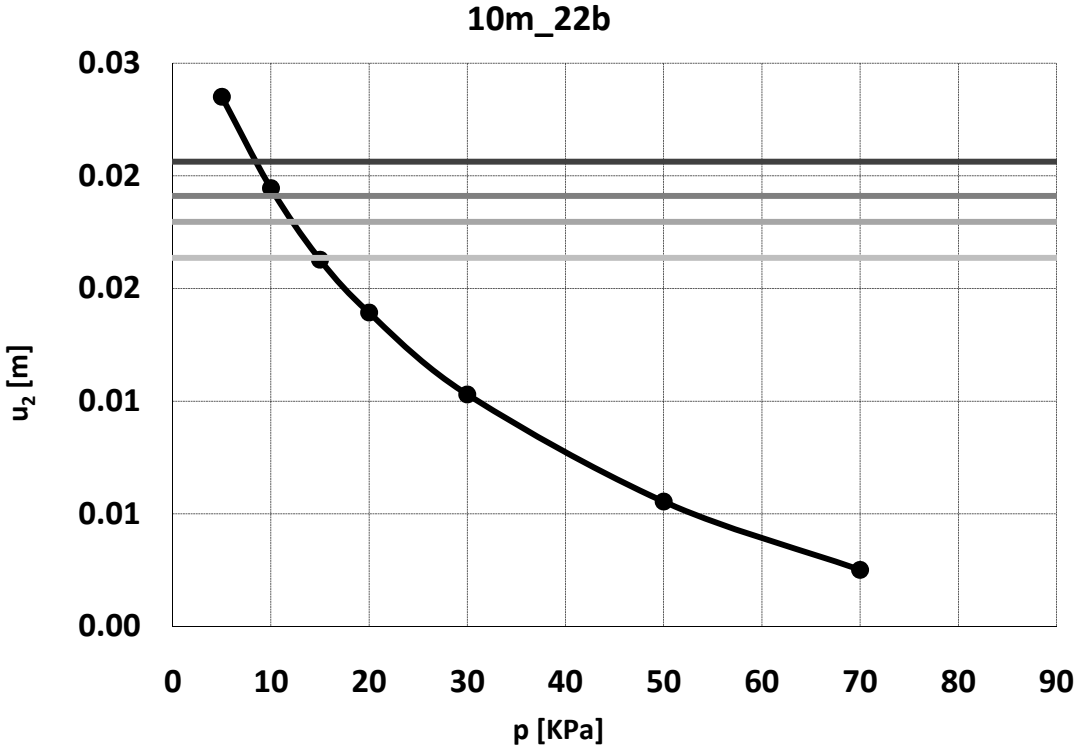

10m_11b
0.10
0.09
0.08
0.07
0.06
0.05
0.04
0.03
0.02
0.01
0.00
u2 [m]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
p [KPa]


10m_12b
0.04
0.04
0.03
0.03
0.02
0.02
0.01
0.01
0.00
u2 [m]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
p [KPa]

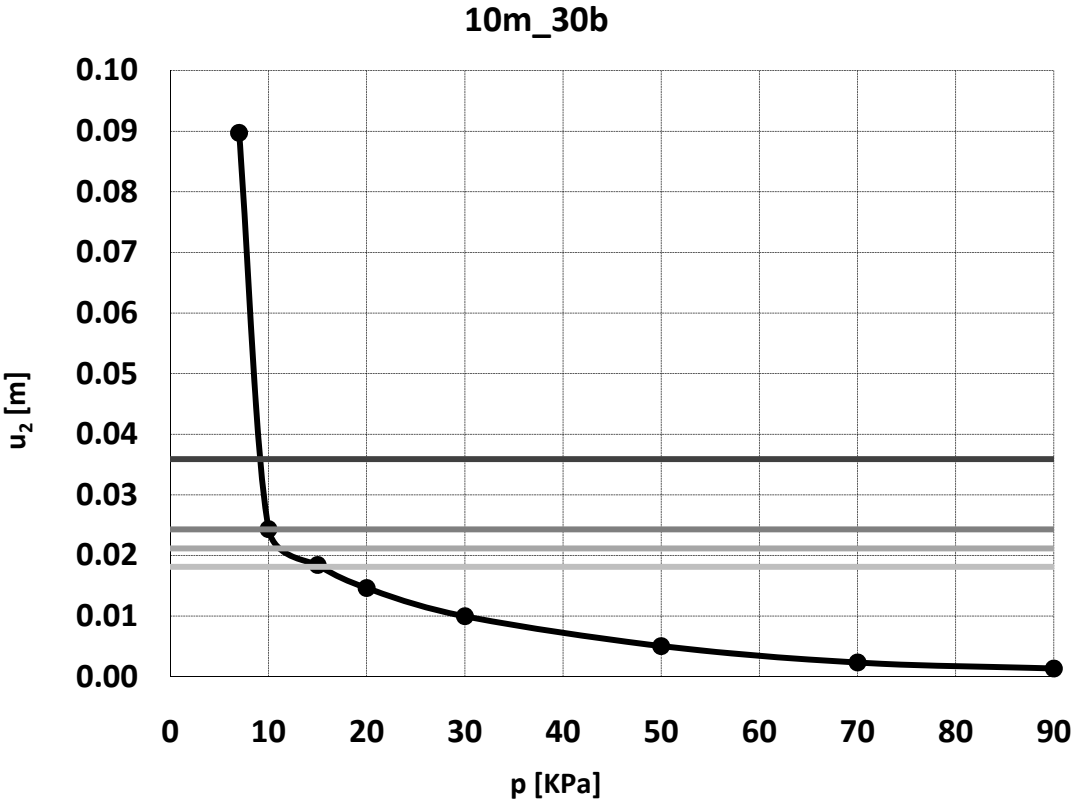
H/D=1 & ϕ=30°

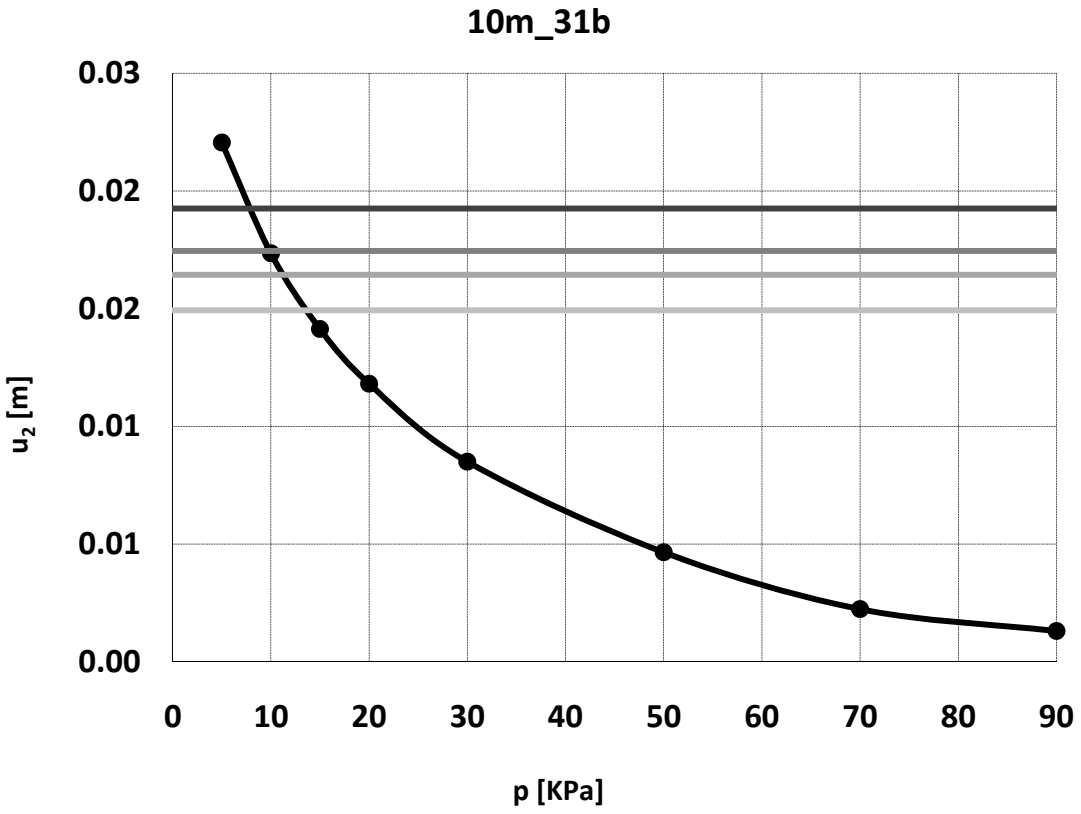

10m_20_2b
0.10
0.09
0.08
0.07
0.06
0.05
0.04
0.03
0.02
0.01
0.00
u2 [m]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
p [KPa]
p
19 nails
26 nails
33 nails


10m_21b
0.04
0.04
0.03
0.03
0.02
0.02
0.01
0.01
0.00
u2 [m]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
p [KPa]

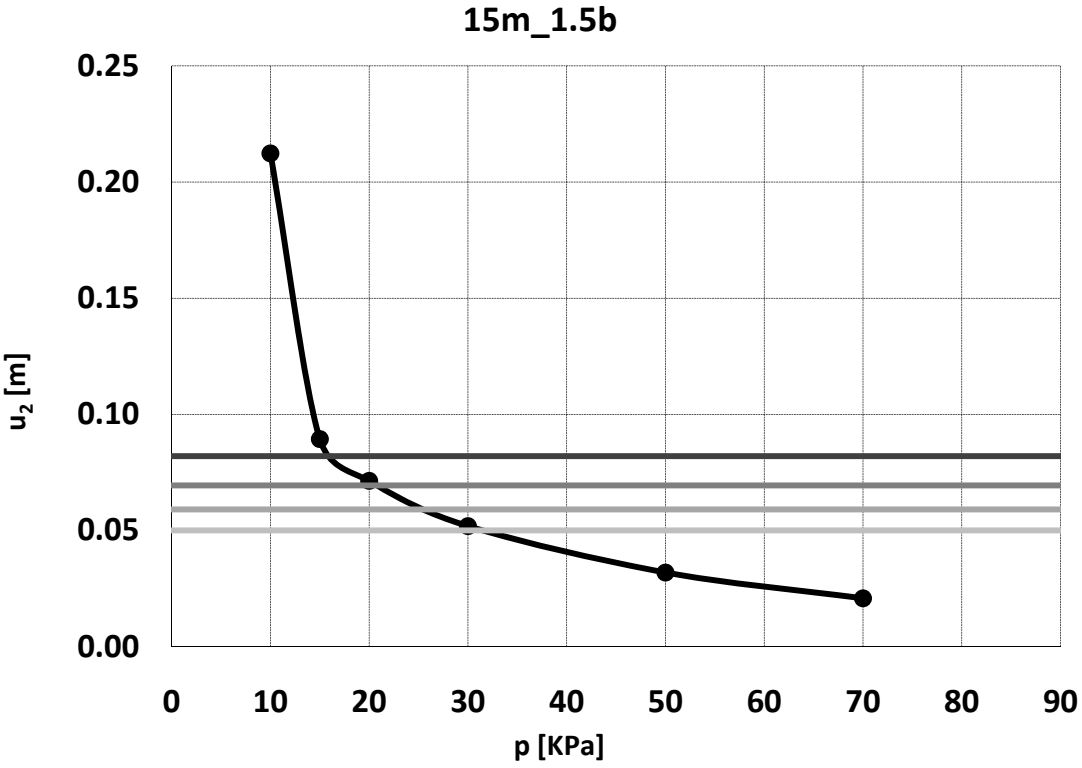

10m_22b
0.03
0.02
0.02
0.01
0.01
0.00
u_2 [m]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
p [KPa]

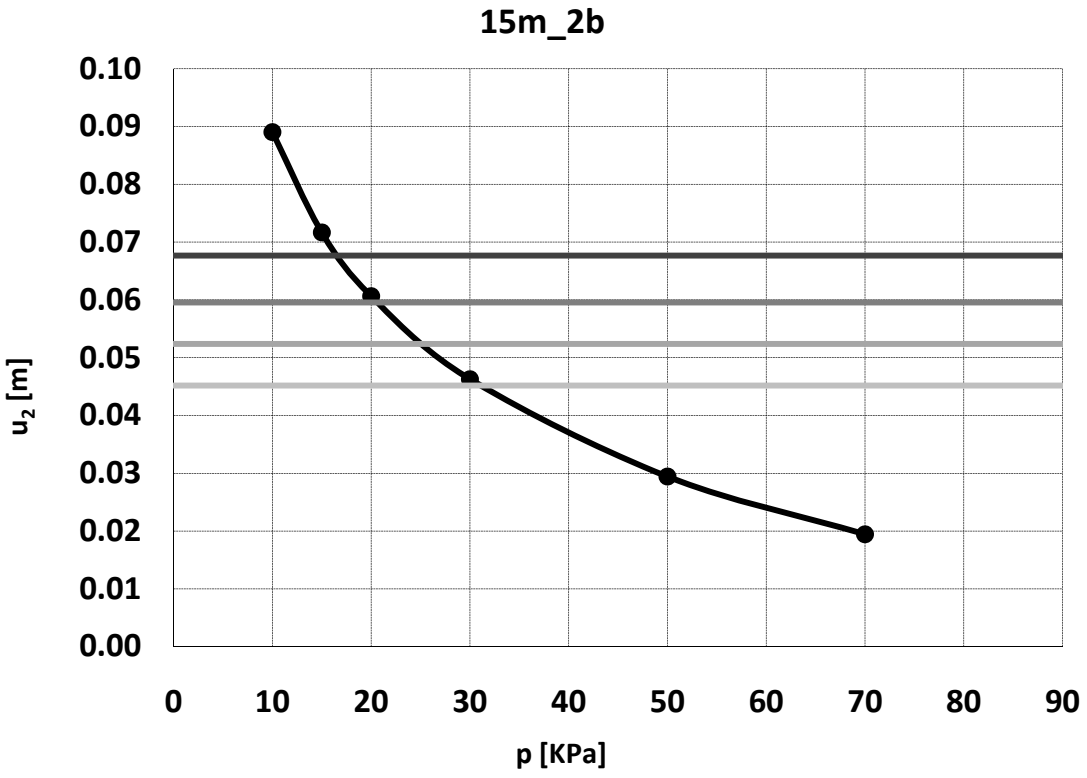
H/D=1 & ϕ=35°

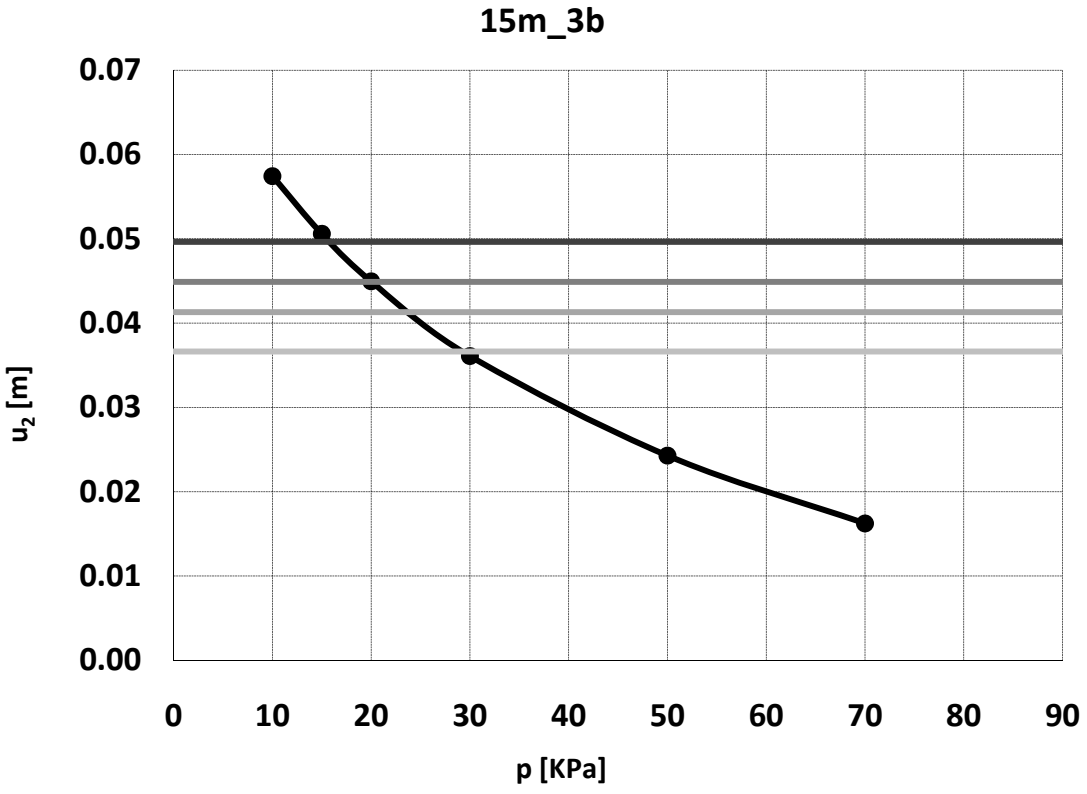

10m_30b
0.10
0.09
0.08
0.07
0.06
0.05
0.04
0.03
0.02
0.01
0.00
u_2 [m]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
p [KPa]


10m_31b
0.03
0.02
0.02
0.01
0.01
0.00
u_2 [m]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
p [KPa]

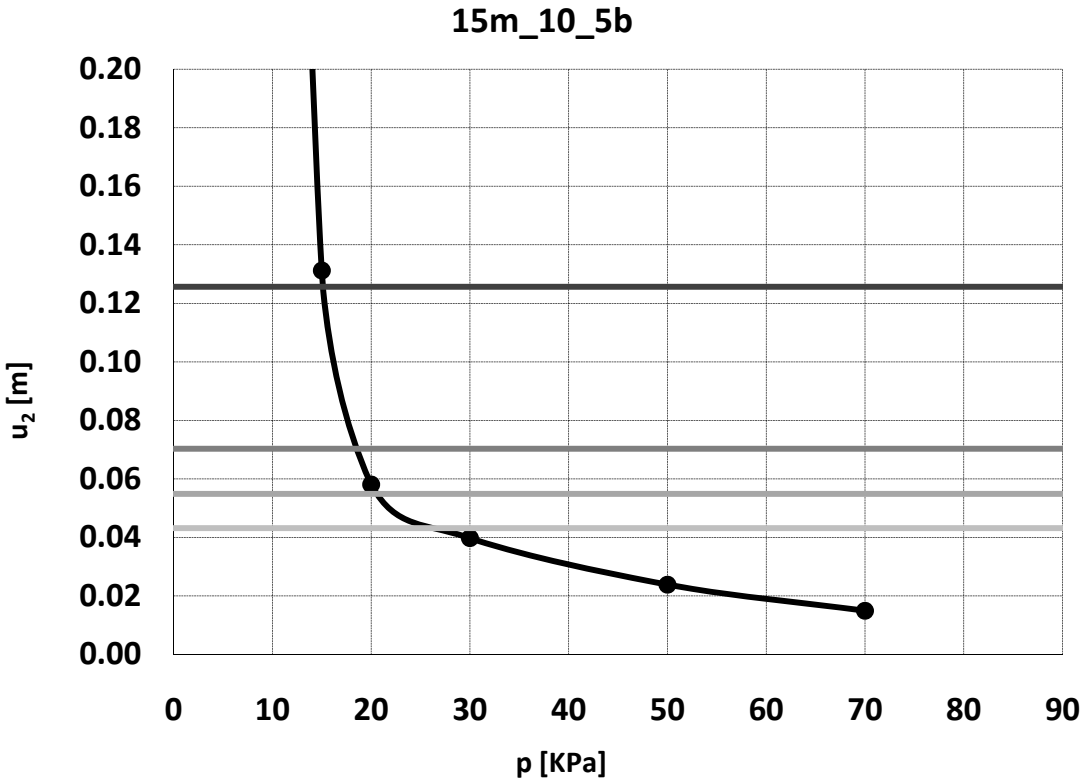
H/D=1.5 & ϕ=20°

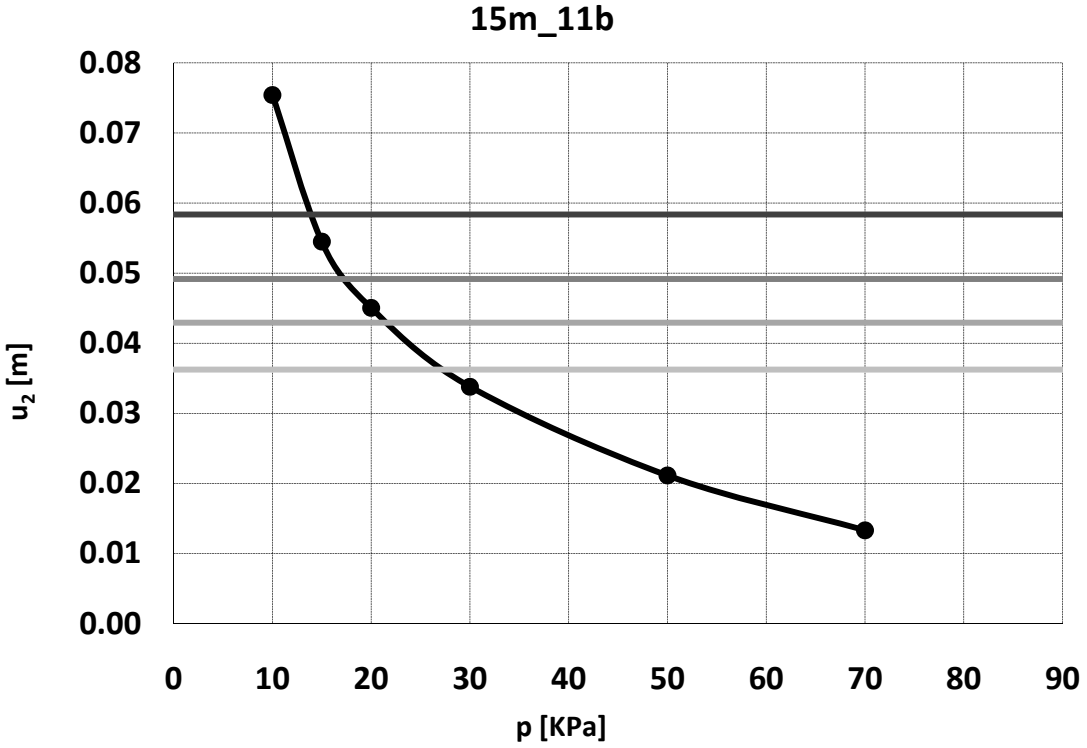

15m_1.5b
0.25
0.20
0.15
0.10
0.05
0.00
u_2 [m]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
p [KPa]

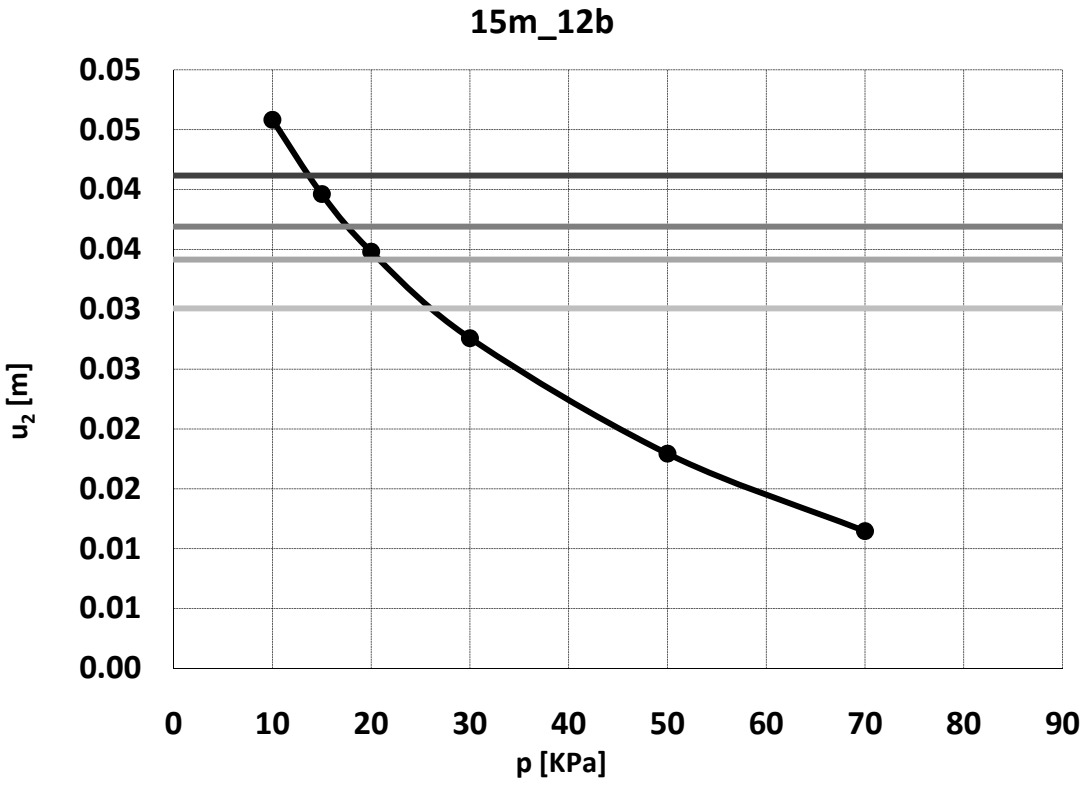

15m_2b
0.10
0.09
0.08
0.07
0.06
0.05
0.04
0.03
0.02
0.01
0.00
u2 [m]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
p [KPa]

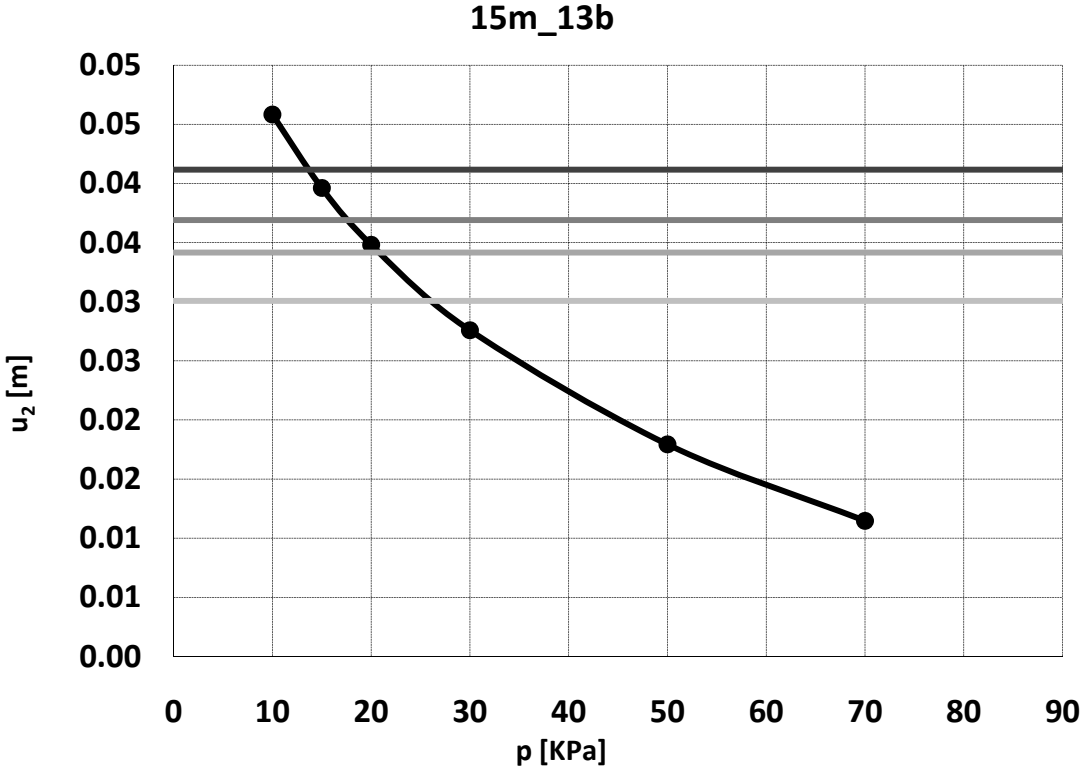

15m_3b
0.07
0.06
0.05
0.04
0.03
0.02
0.01
0.00
u2 [m]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
p [KPa]

H/D=1.5 & ϕ=25°

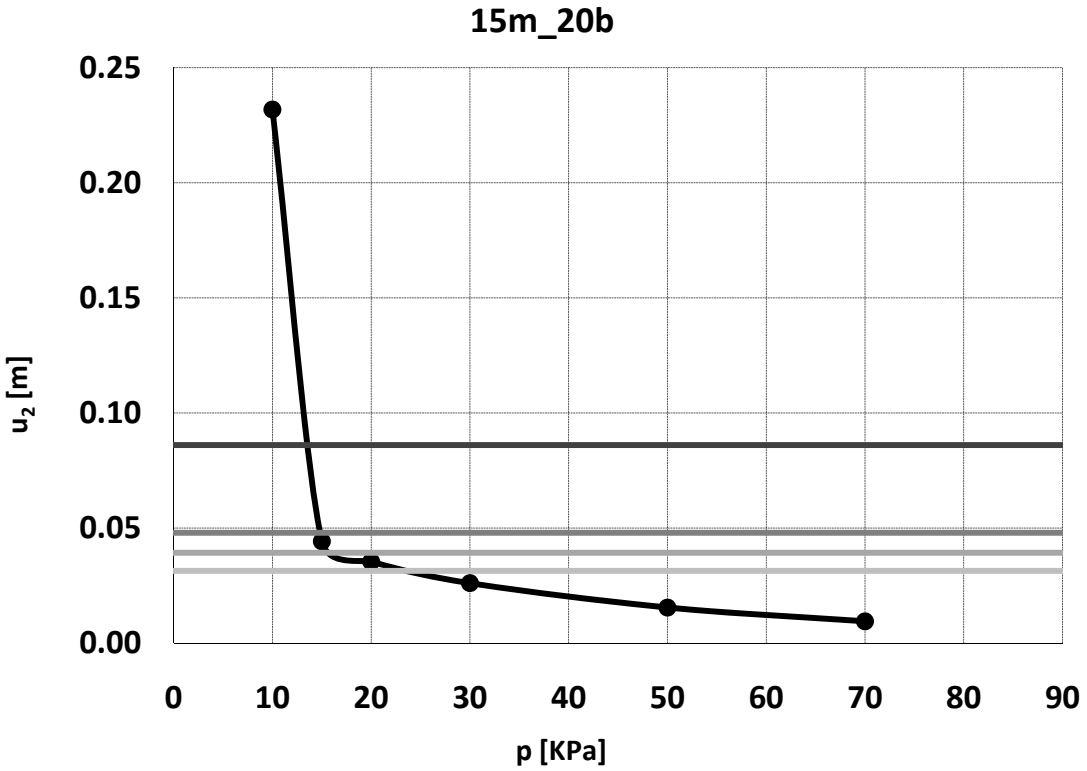

15m_10_5b
0.20
0.18
0.16
0.14
0.12
0.10
0.08
0.06
0.04
0.02
0.00
u2 [m]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
p [KPa]

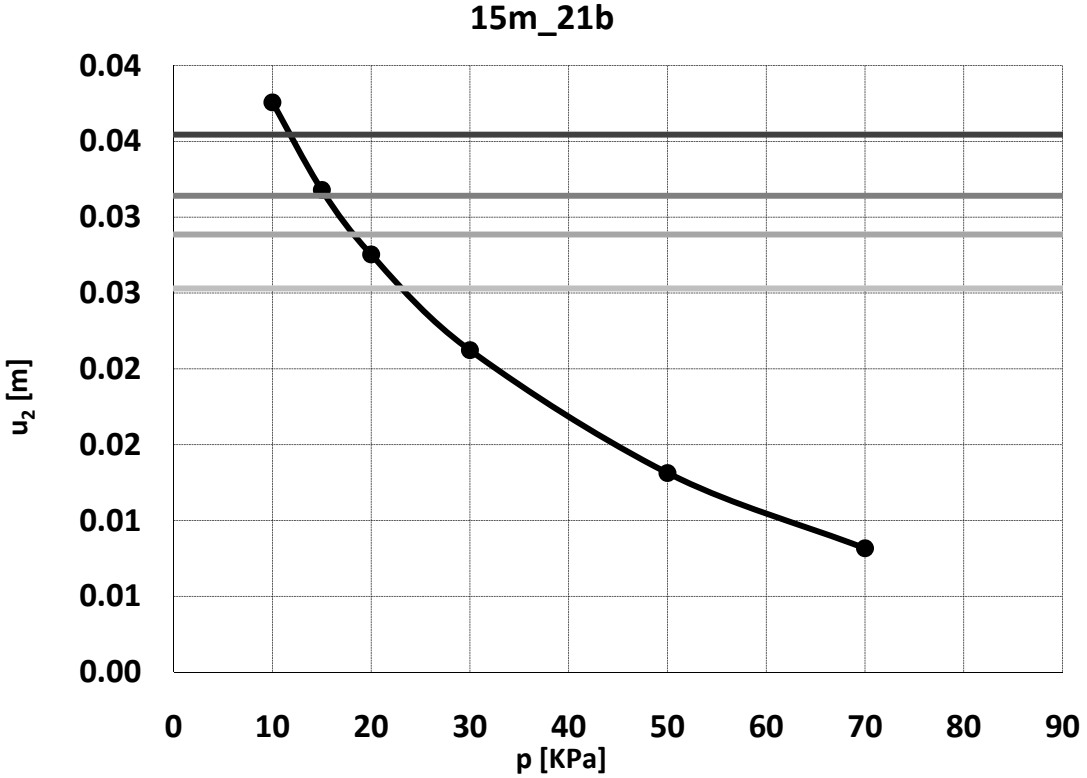

15m_11b
0.08
0.07
0.06
0.05
0.04
0.03
0.02
0.01
0.00
u2 [m]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
p [KPa]

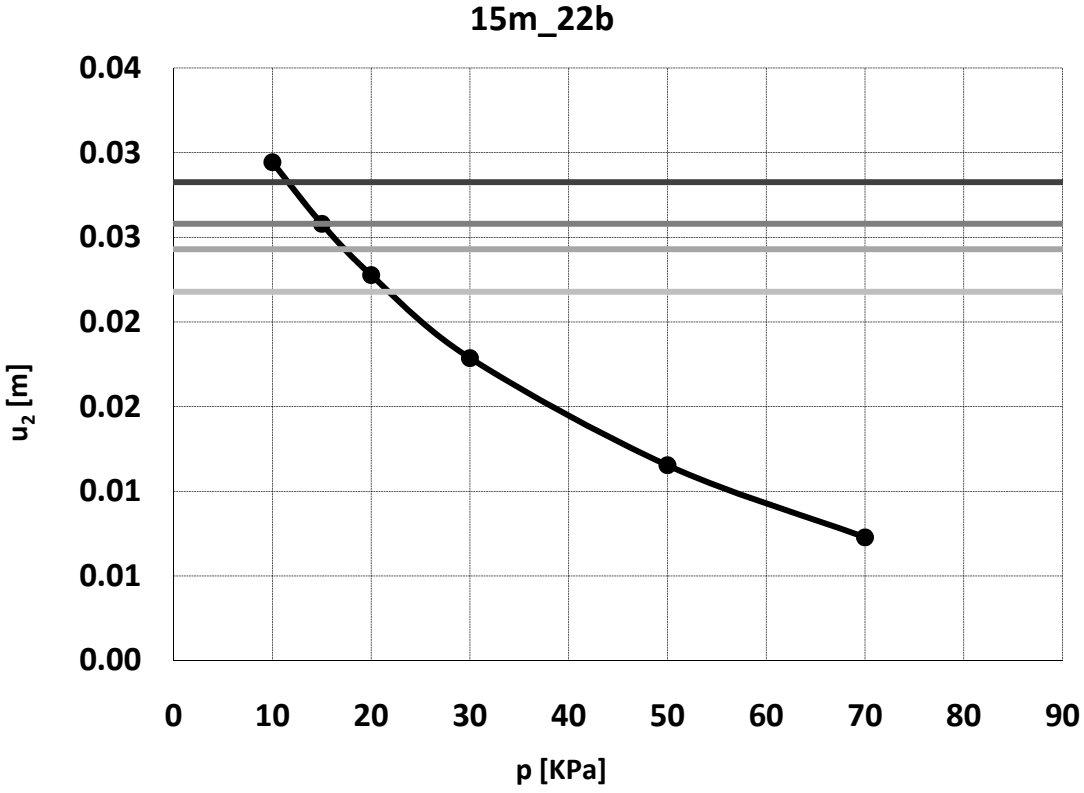

15m_12b
0.05
0.05
0.04
0.04
0.03
0.03
0.02
0.02
0.01
0.01
0.00
u2 [m]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
p [KPa]


15m_13b
0.05
0.05
0.04
0.04
0.03
0.03
0.02
0.02
0.01
0.01
0.00
u2 [m]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
p [KPa]

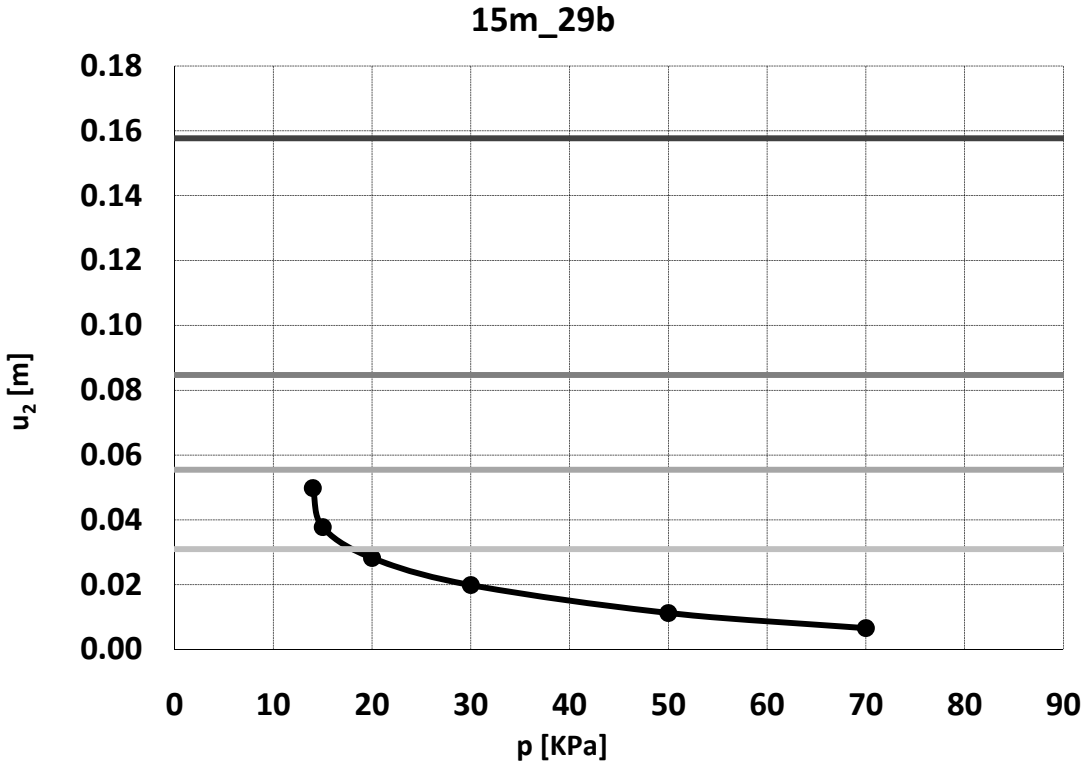
H/D=1.5 & ϕ=30°

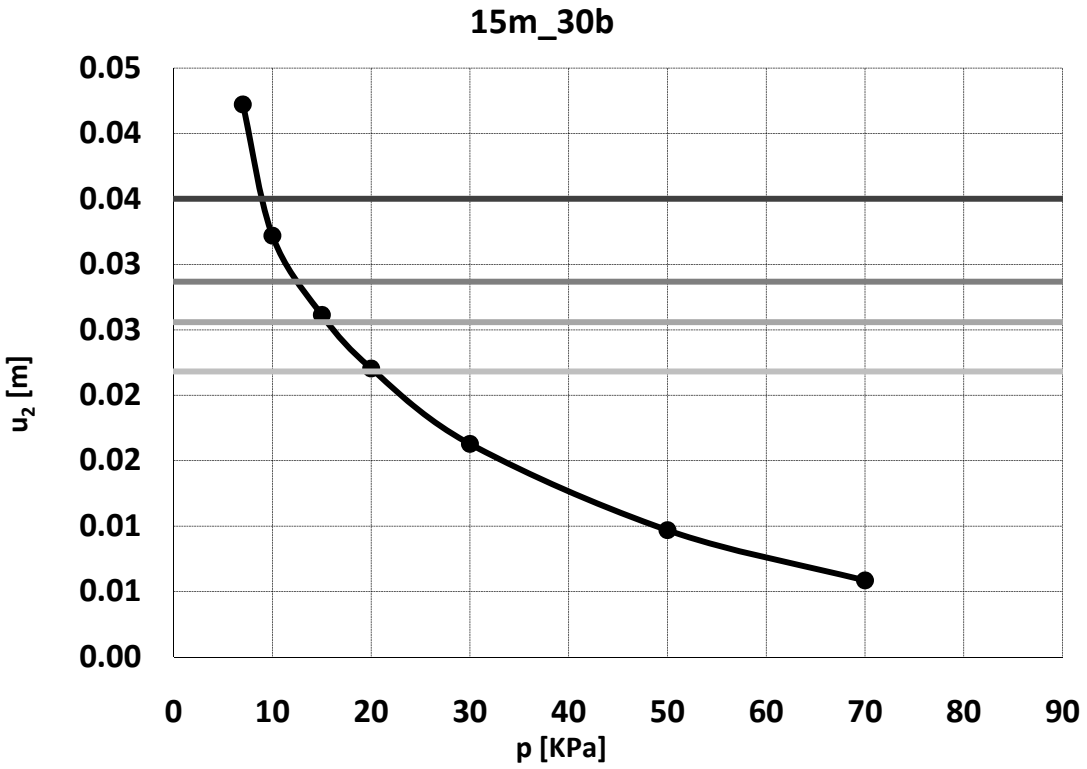

15m_20b
0.25
0.20
0.15
0.10
0.05
0.00
u2 [m]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
p [KPa]

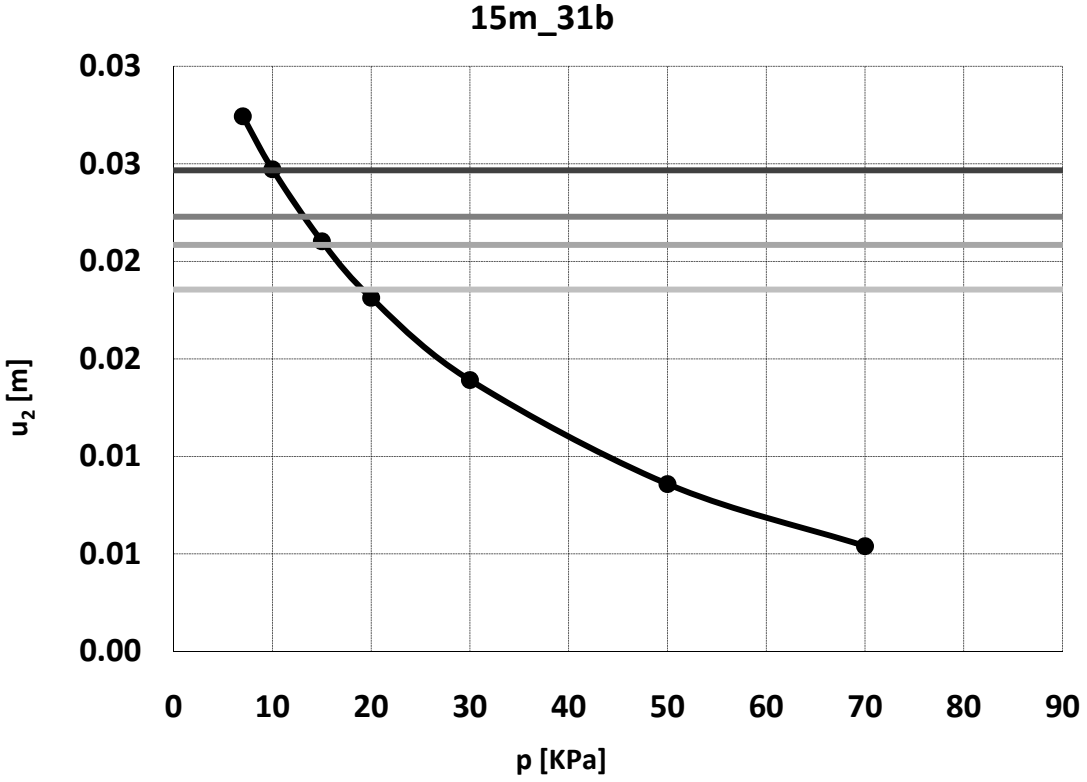

15m_21b
0.04
0.04
0.03
0.03
0.02
0.02
0.01
0.01
0.00
u2 [m]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
p [KPa]


15m_22b
0.04
0.03
0.03
0.02
0.02
0.01
0.01
0.00
u2 [m]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
p [KPa]

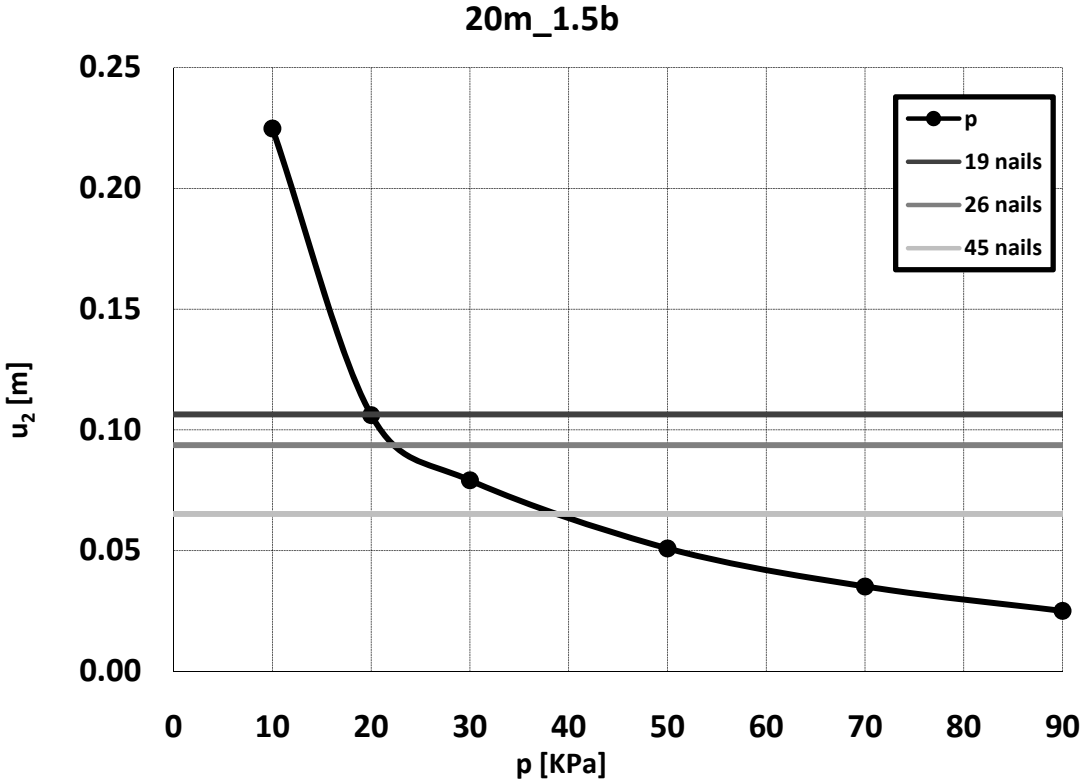
H/D=1.5 & ϕ=35°

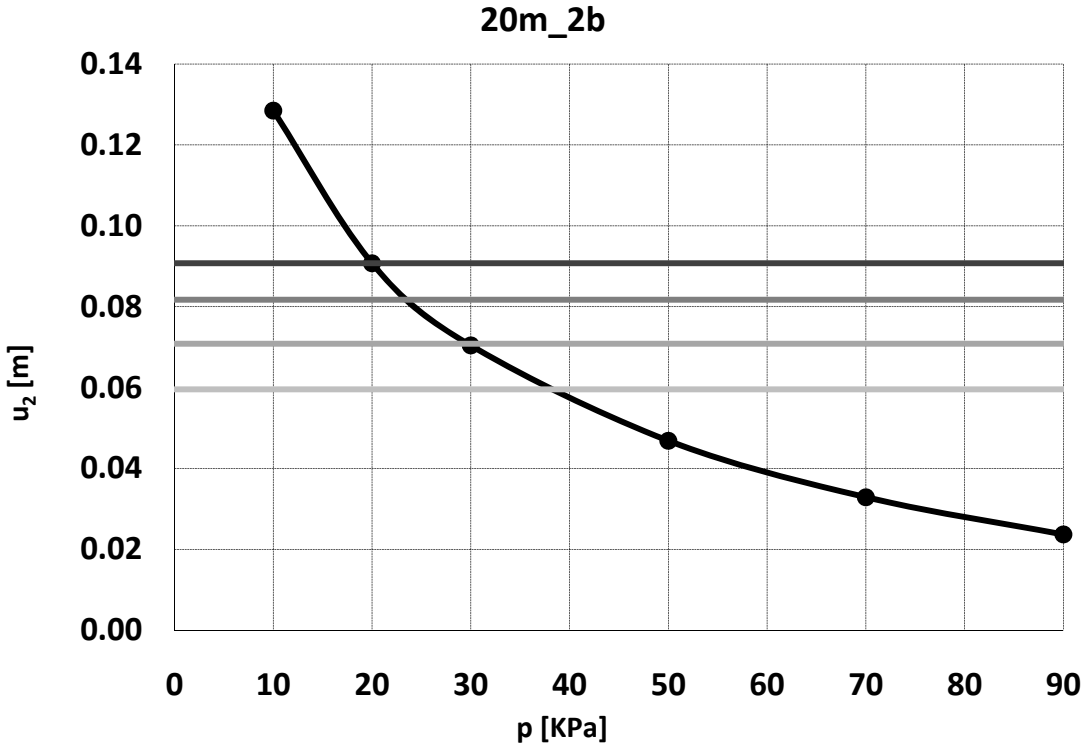

15m_29b
0.18
0.16
0.14
0.12
0.10
0.08
0.06
0.04
0.02
0.00
u2 [m]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
p [KPa]

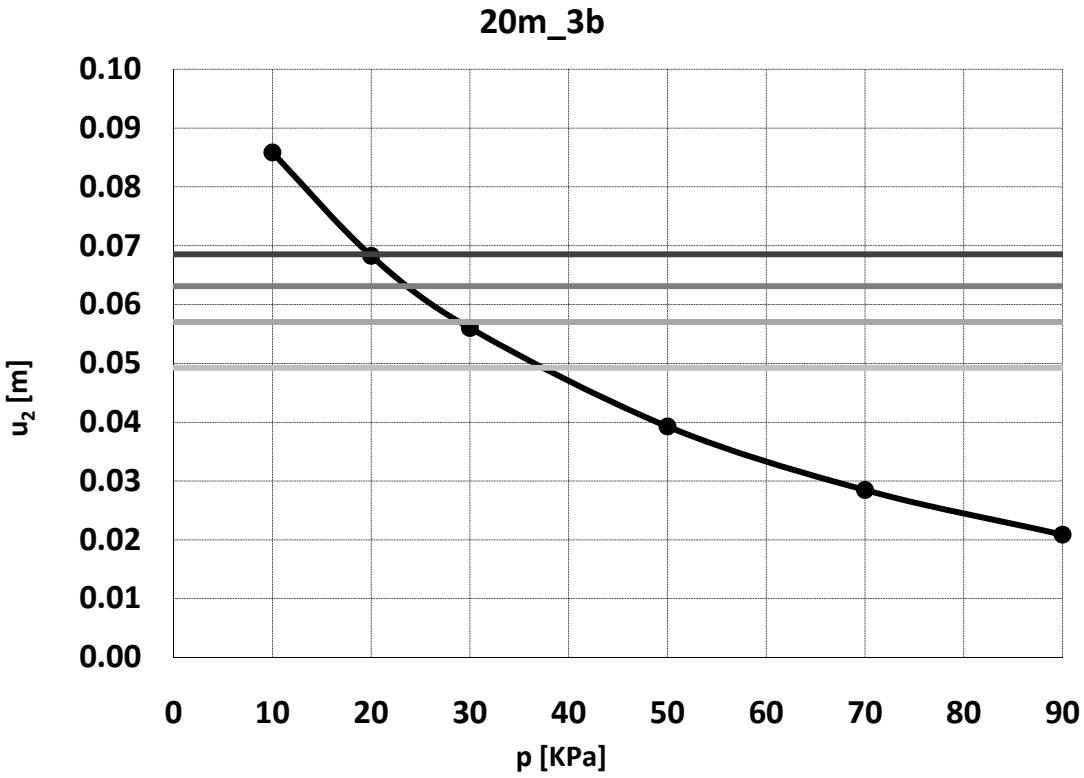

15m_30b
0.05
0.04
0.04
0.03
0.03
0.02
0.02
0.01
0.01
0.00
u2 [m]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
p [KPa]

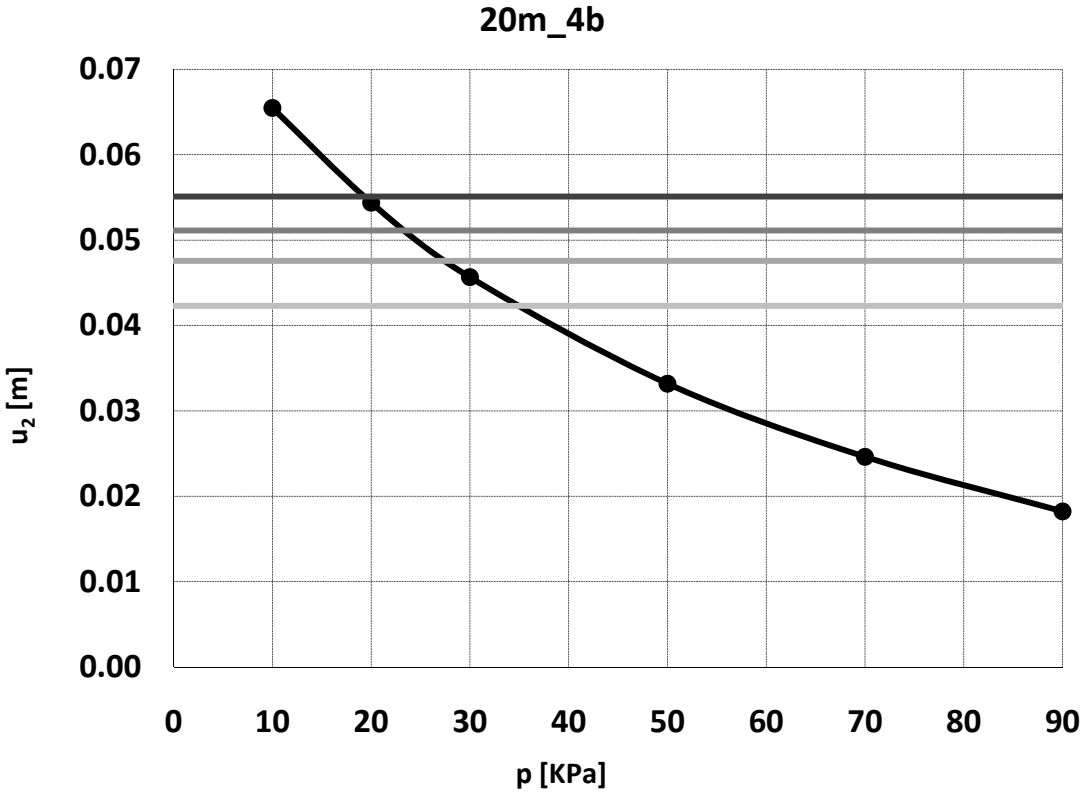

15m_31b
0.03
0.03
0.02
0.02
0.01
0.01
0.00
u2 [m]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
p [KPa]

H/D=2 & ϕ=20°

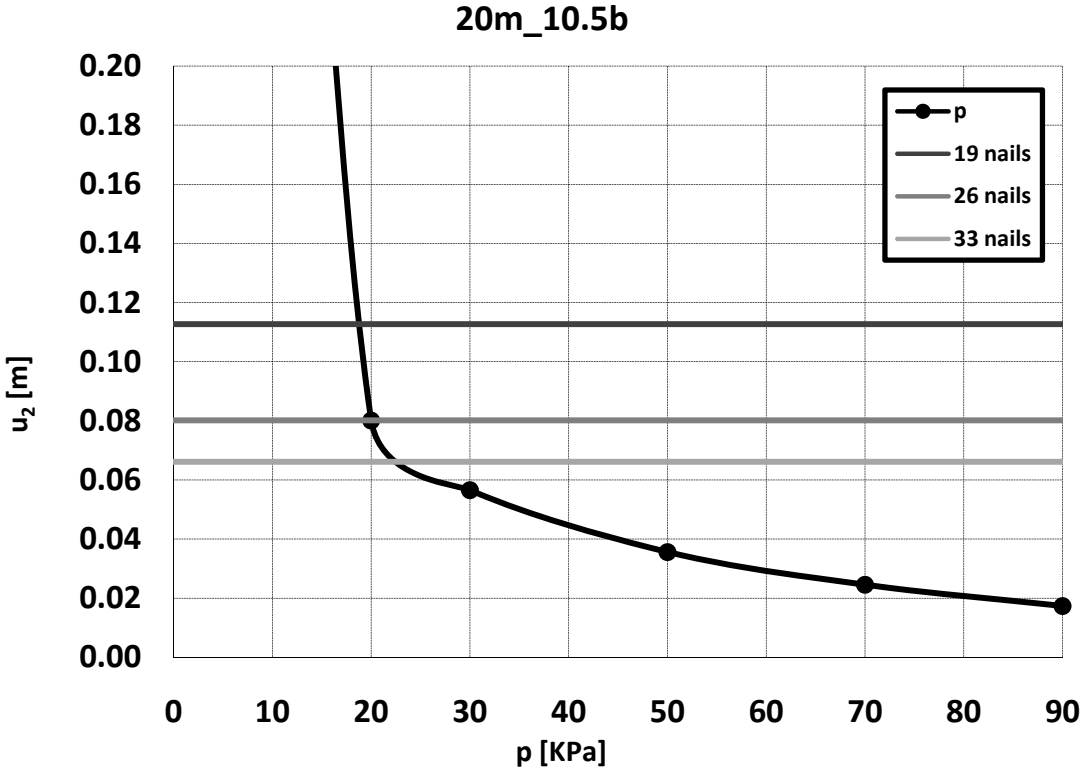

20m_1.5b
0.25
0.20
0.15
0.10
0.05
0.00
u2 [m]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
p [KPa]
p
19 nails
26 nails
45 nails

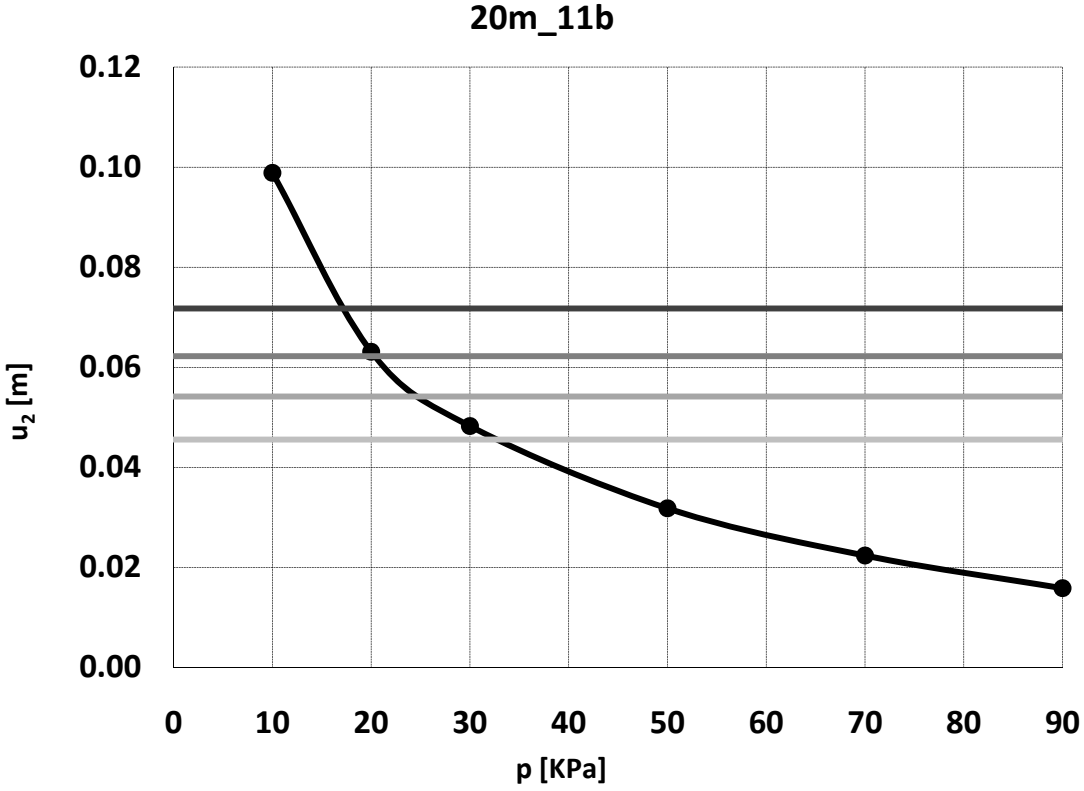

20m_2b
0.14
0.12
0.10
0.08
0.06
0.04
0.02
0.00
u2 [m]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
p [KPa]

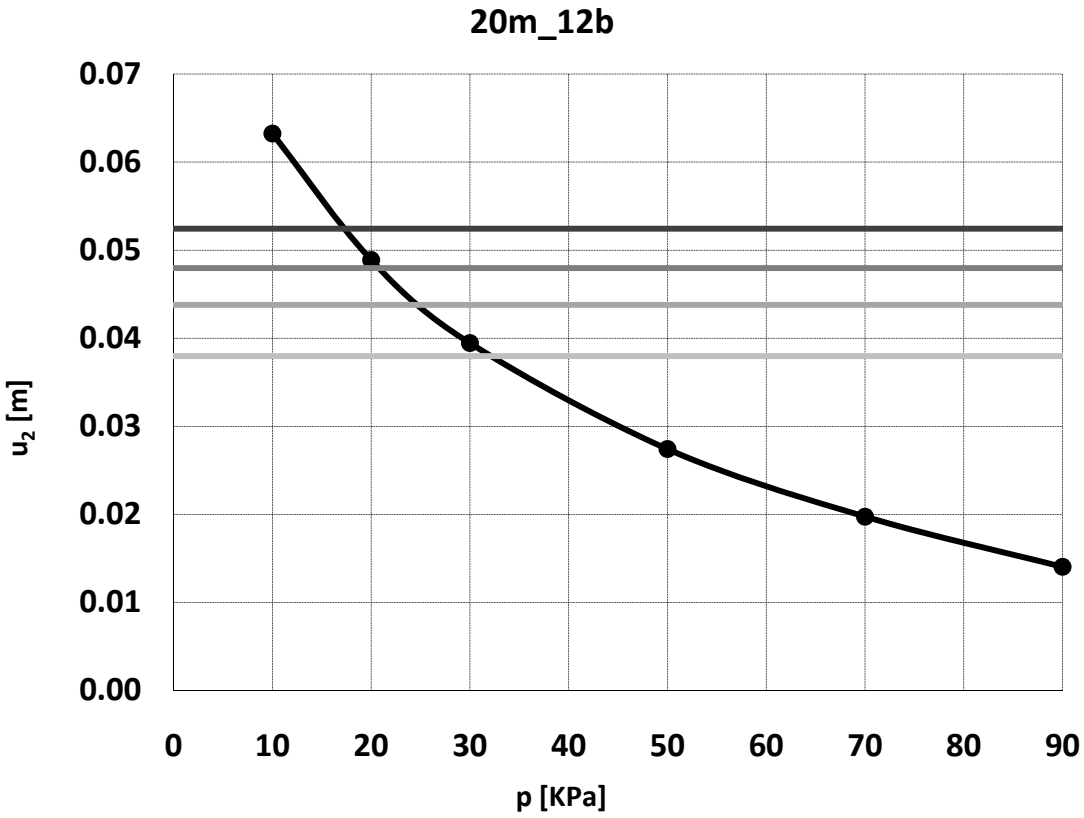

20m_3b
0.10
0.09
0.08
0.07
0.06
0.05
0.04
0.03
0.02
0.01
0.00
u2 [m]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
p [KPa]

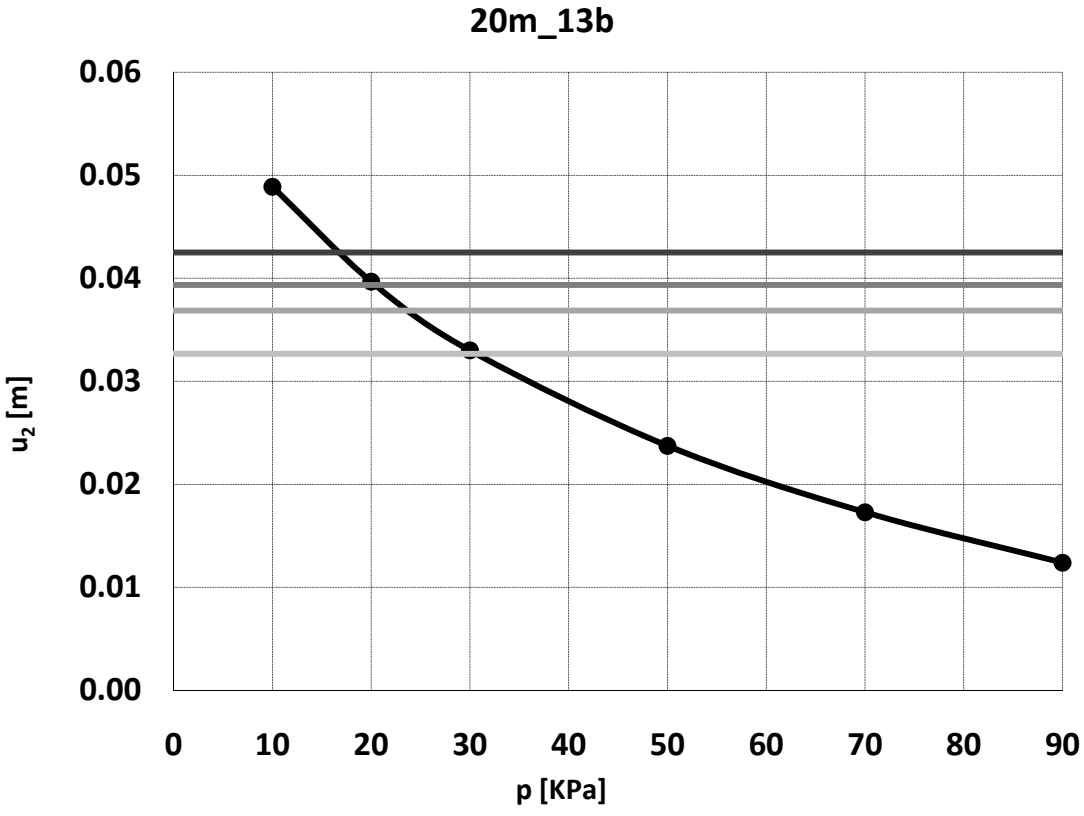

20m_4b
0.07
0.06
0.05
0.04
0.03
0.02
0.01
0.00
u2 [m]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
p [KPa]

H/D=2 & ϕ=25°

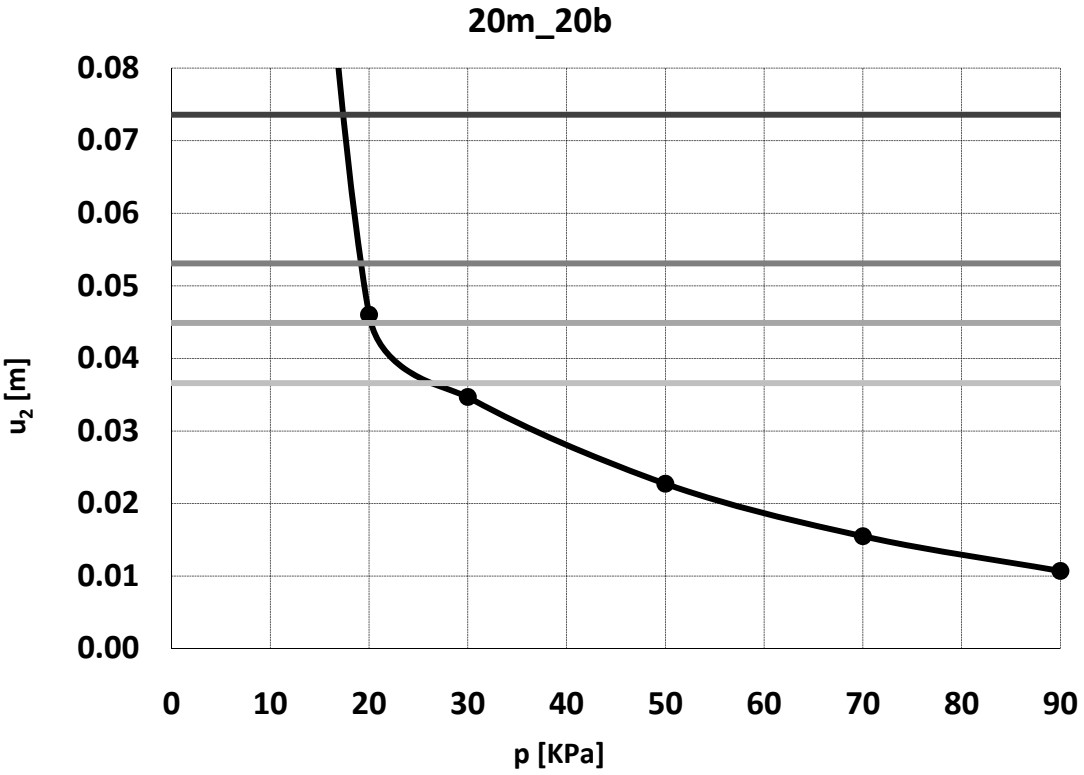

20m_10.5b
0.20
0.18
0.16
0.14
0.12
0.10
0.08
0.06
0.04
0.02
0.00
u2 [m]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
p [KPa]
p
19 nails
26 nails
33 nails

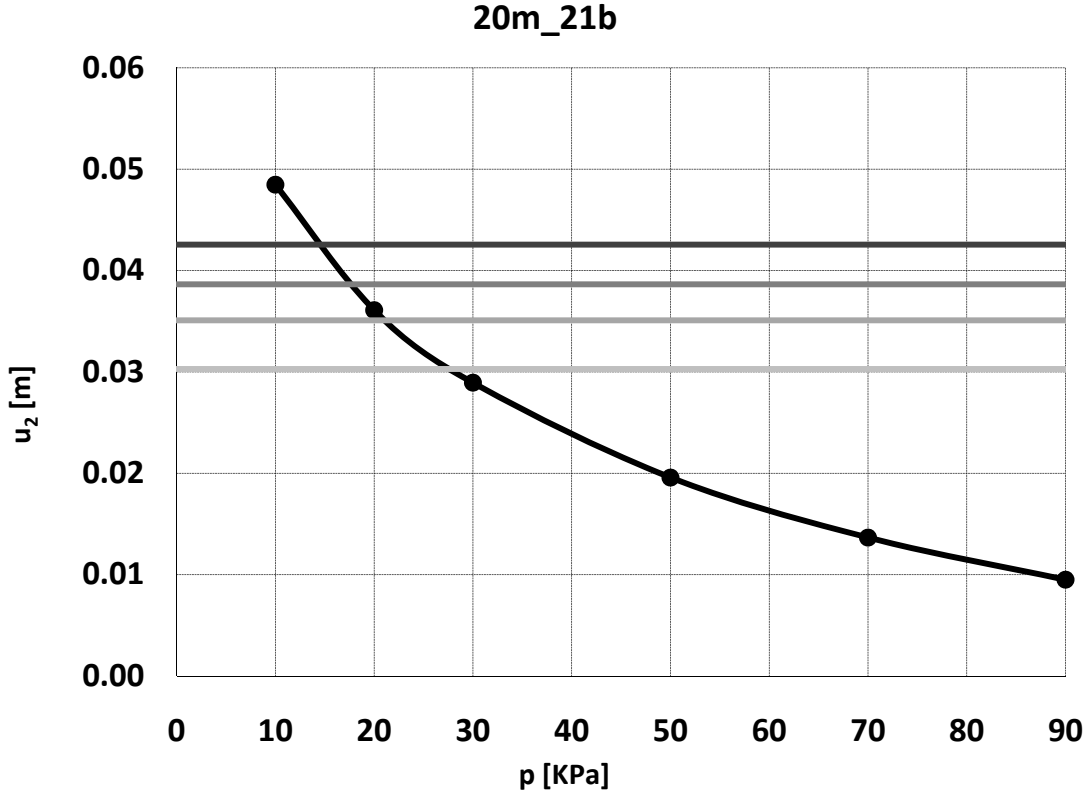

20m_11b
0.12
0.10
0.08
0.06
0.04
0.02
0.00
u2 [m]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
p [KPa]

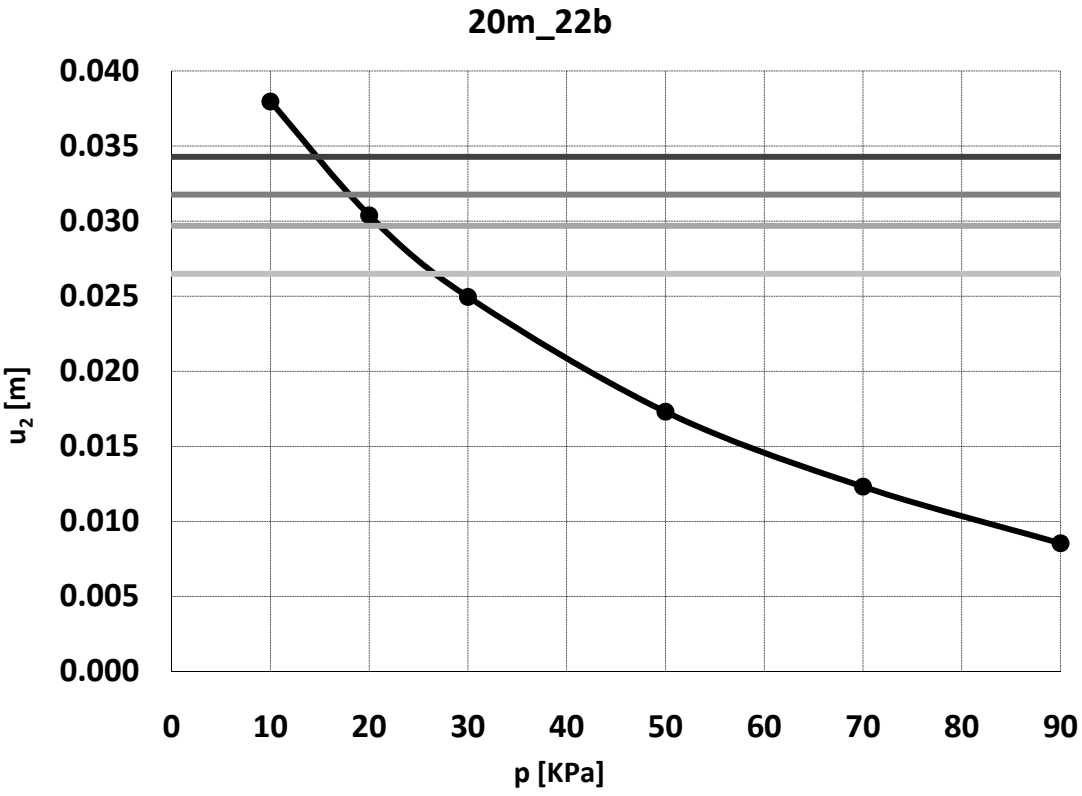

20m_12b
0.07
0.06
0.05
0.04
0.03
0.02
0.01
0.00
u2 [m]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
p [KPa]

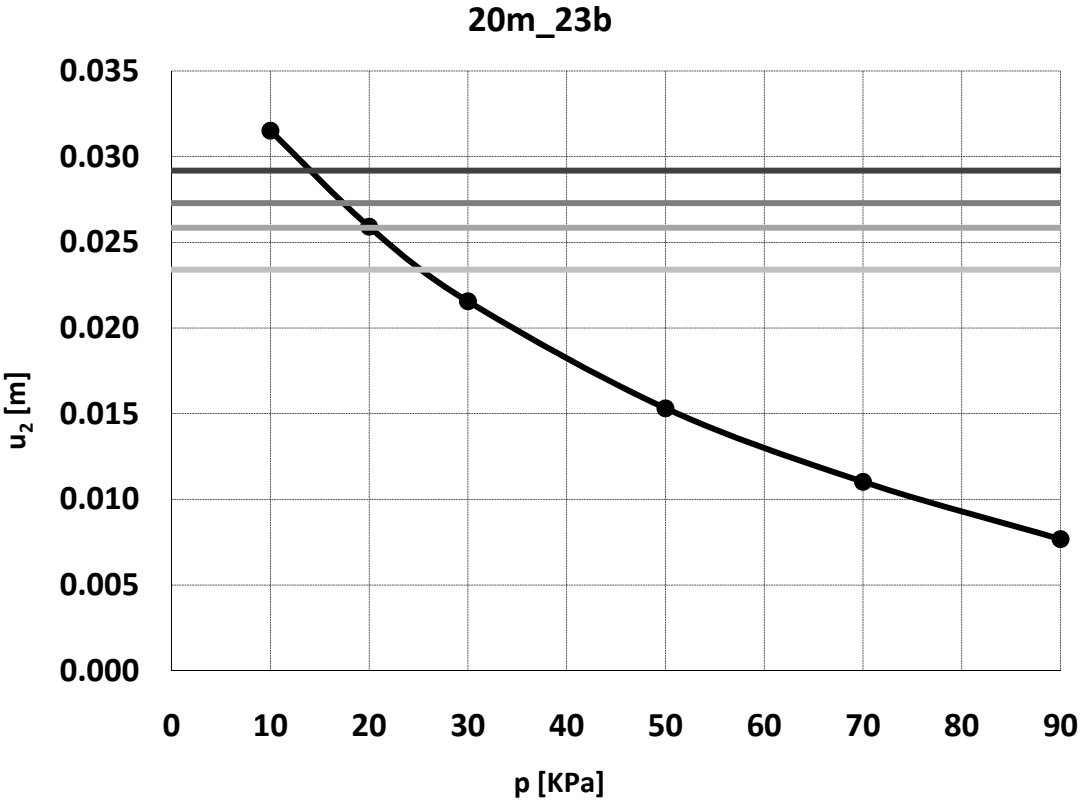

20m_13b
0.06
0.05
0.04
0.03
0.02
0.01
0.00
u2 [m]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
p [KPa]

H/D=2 & ϕ=30°

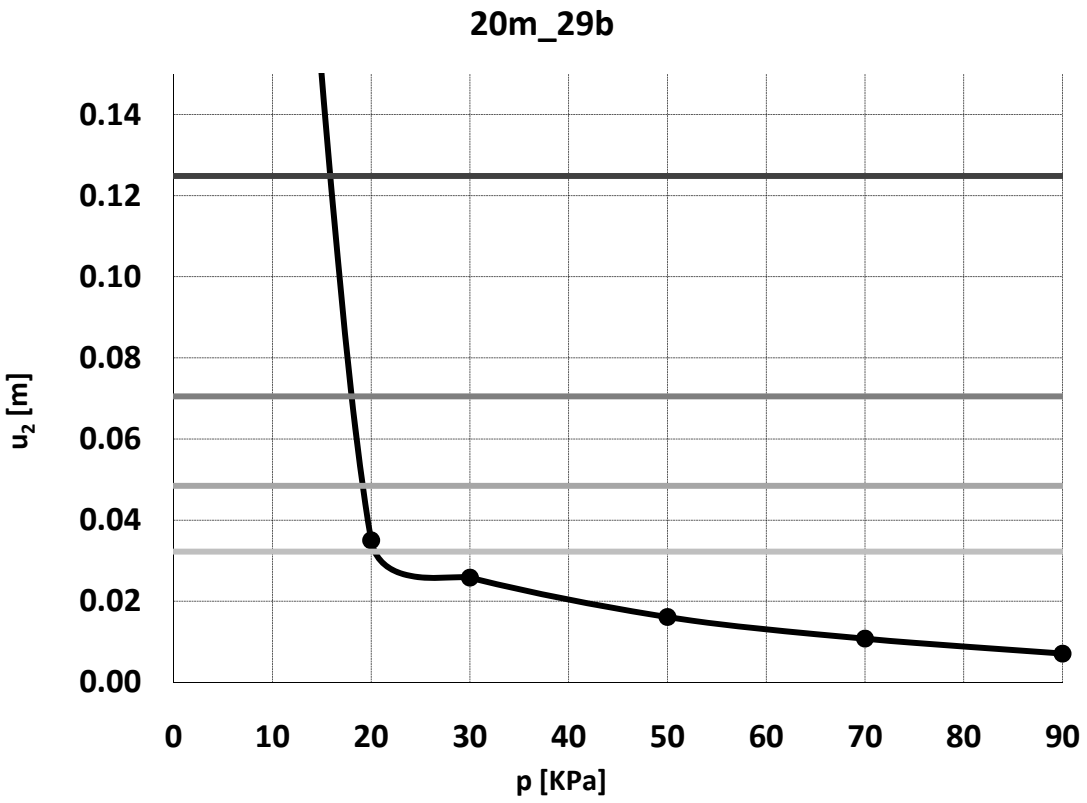

20m_20b
0.08
0.07
0.06
0.05
0.04
0.03
0.02
0.01
0.00
u2 [m]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
p [KPa]

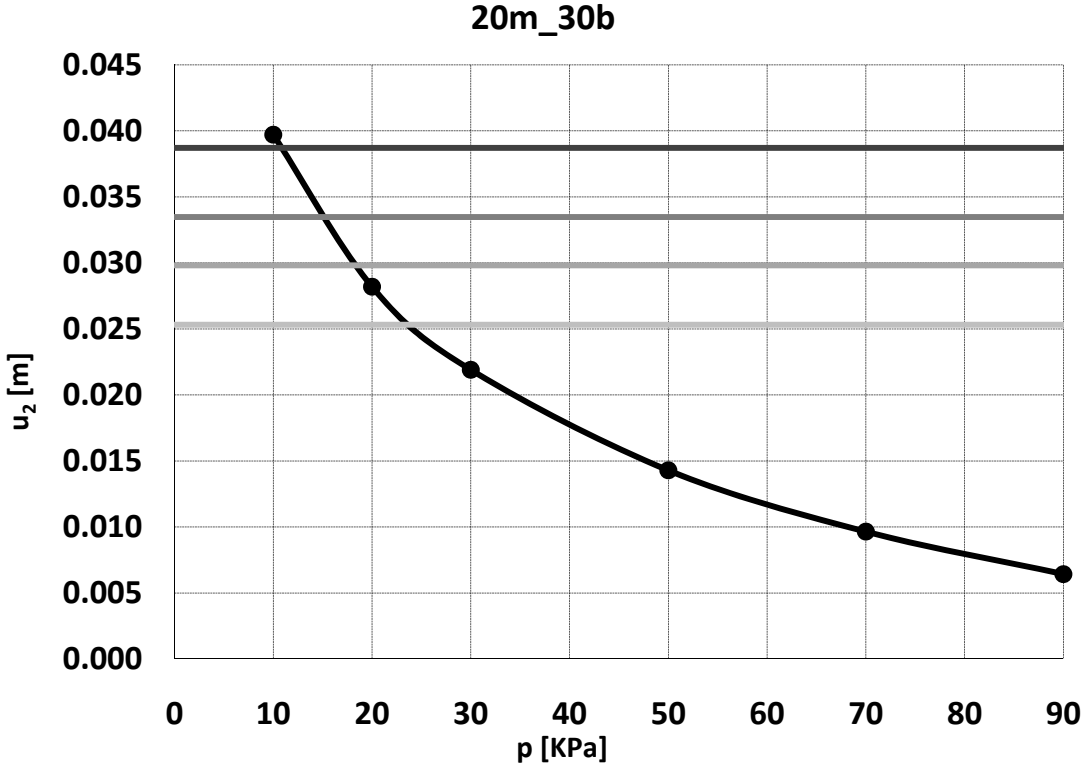

20m_21b
0.06
0.05
0.04
0.03
0.02
0.01
0.00
u2 [m]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
p [KPa]

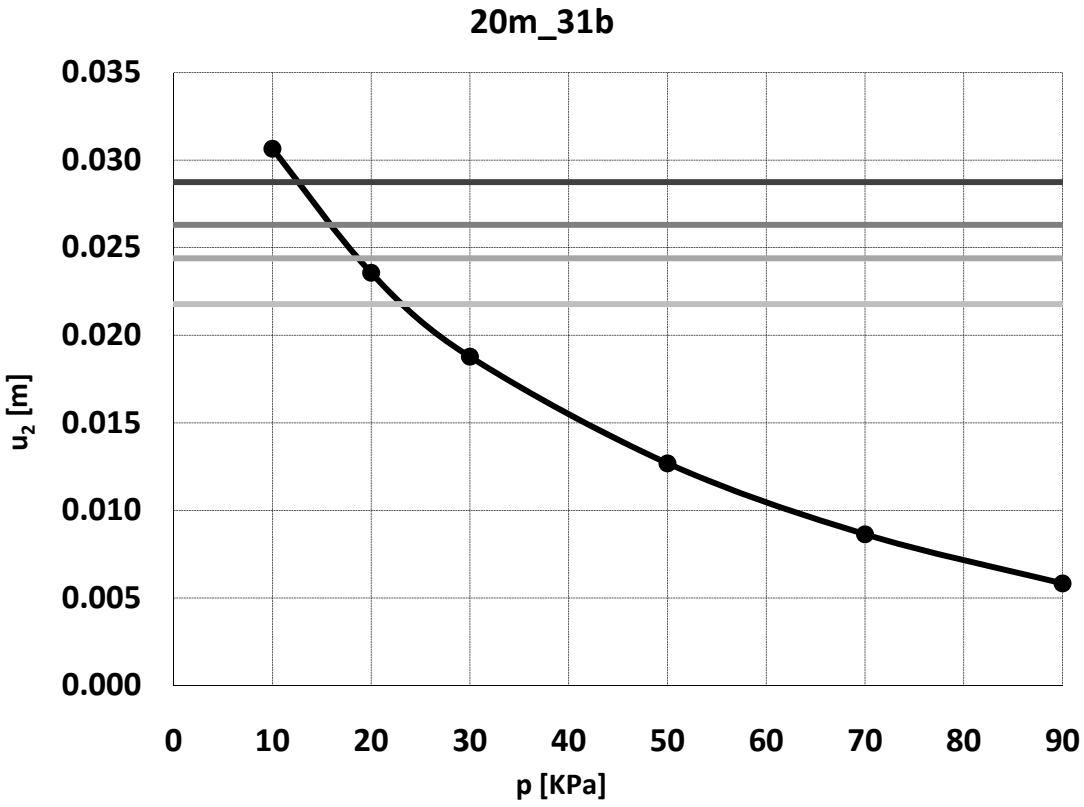

20m_22b
0.040
0.035
0.030
0.025
0.020
0.015
0.010
0.005
0.000
u2 [m]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
p [KPa]

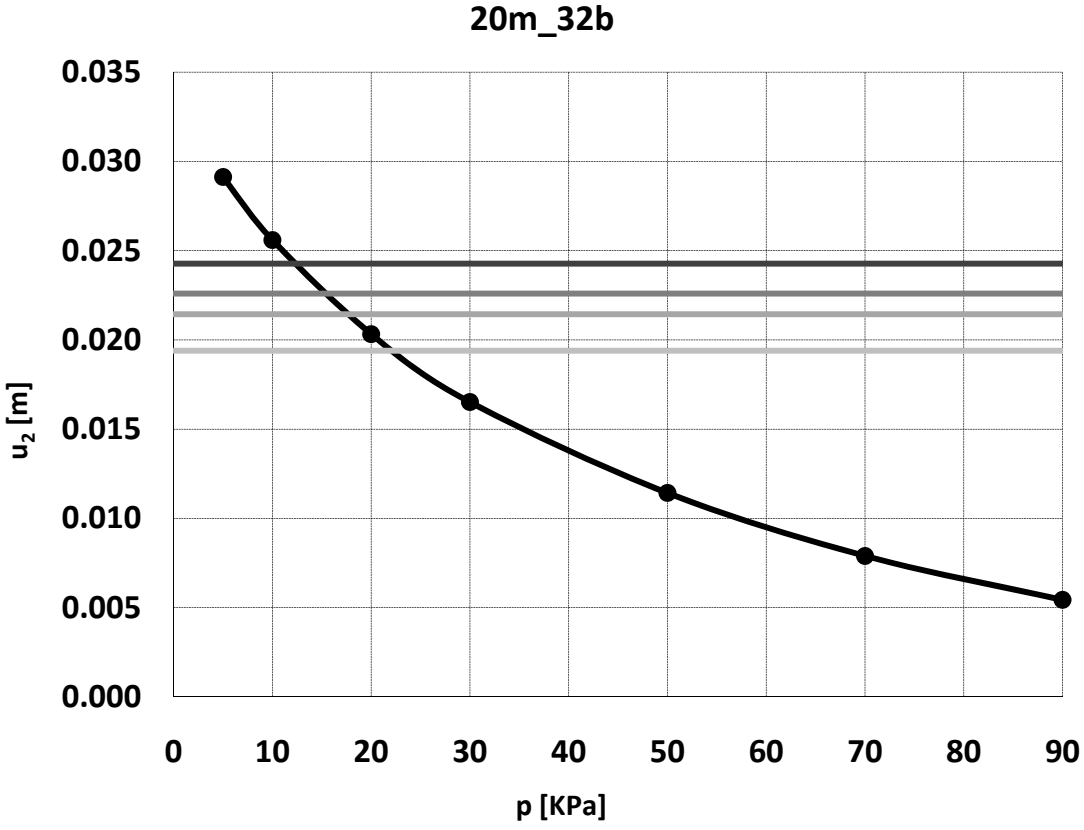

20m_23b
0.035
0.030
0.025
0.020
0.015
0.010
0.005
0.000
u2 [m]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
p [KPa]

H/D=2 & ϕ=35°

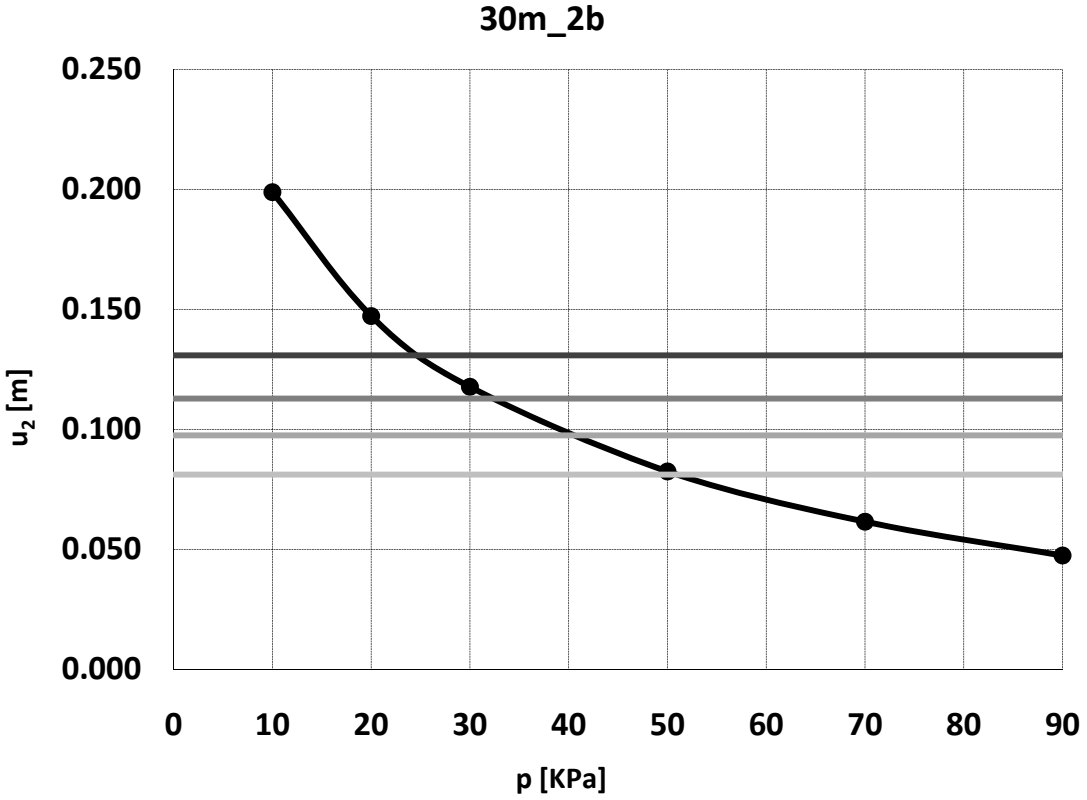

20m_29b
0.14
0.12
0.10
0.08
0.06
0.04
0.02
0.00
u2 [m]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
p [KPa]

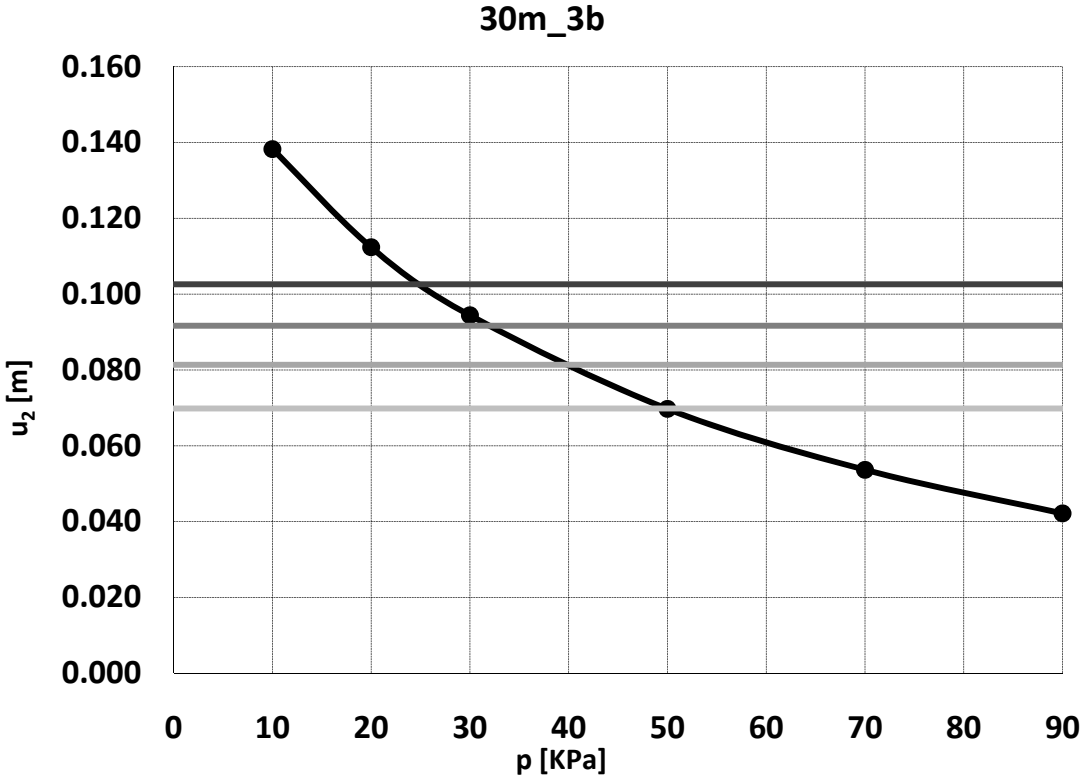

20m_30b
0.045
0.040
0.035
0.030
0.025
0.020
0.015
0.010
0.005
0.000
u2 [m]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
p [KPa]

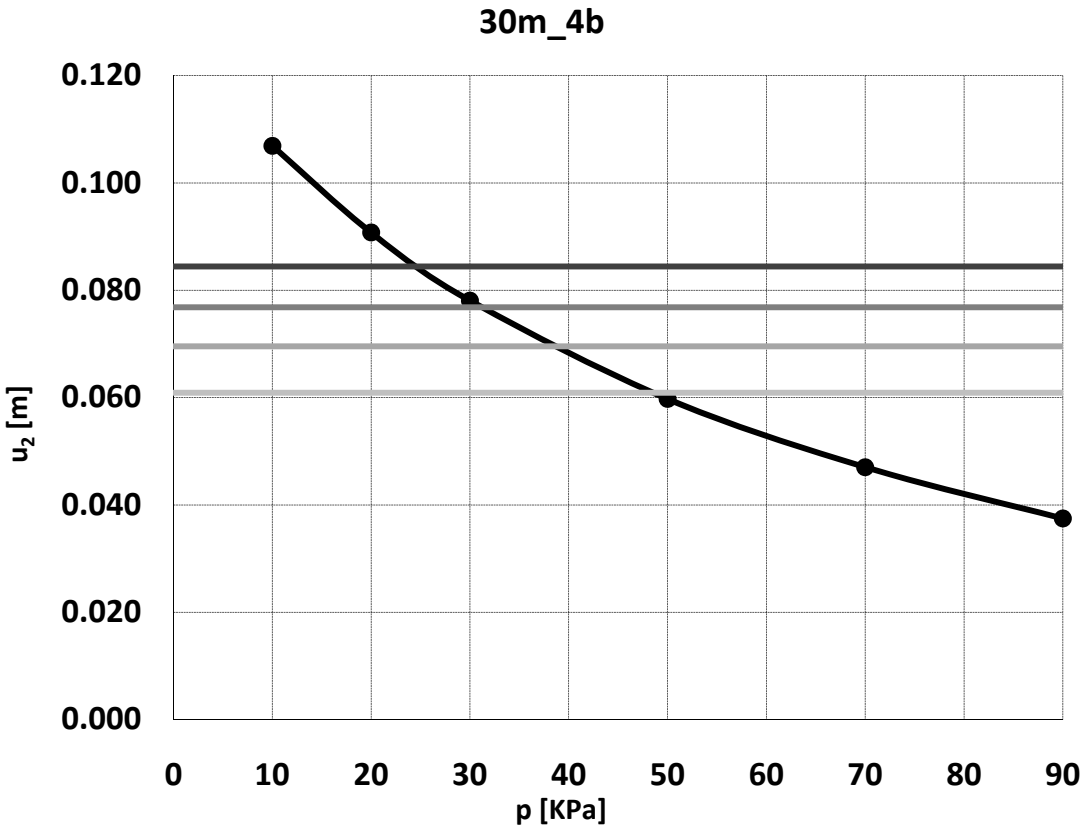

20m_31b
0.035
0.030
0.025
0.020
0.015
0.010
0.005
0.000
u2 [m]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
p [KPa]


20m_32b
0.035
0.030
0.025
0.020
0.015
0.010
0.005
0.000
u2 [m]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
p [KPa]

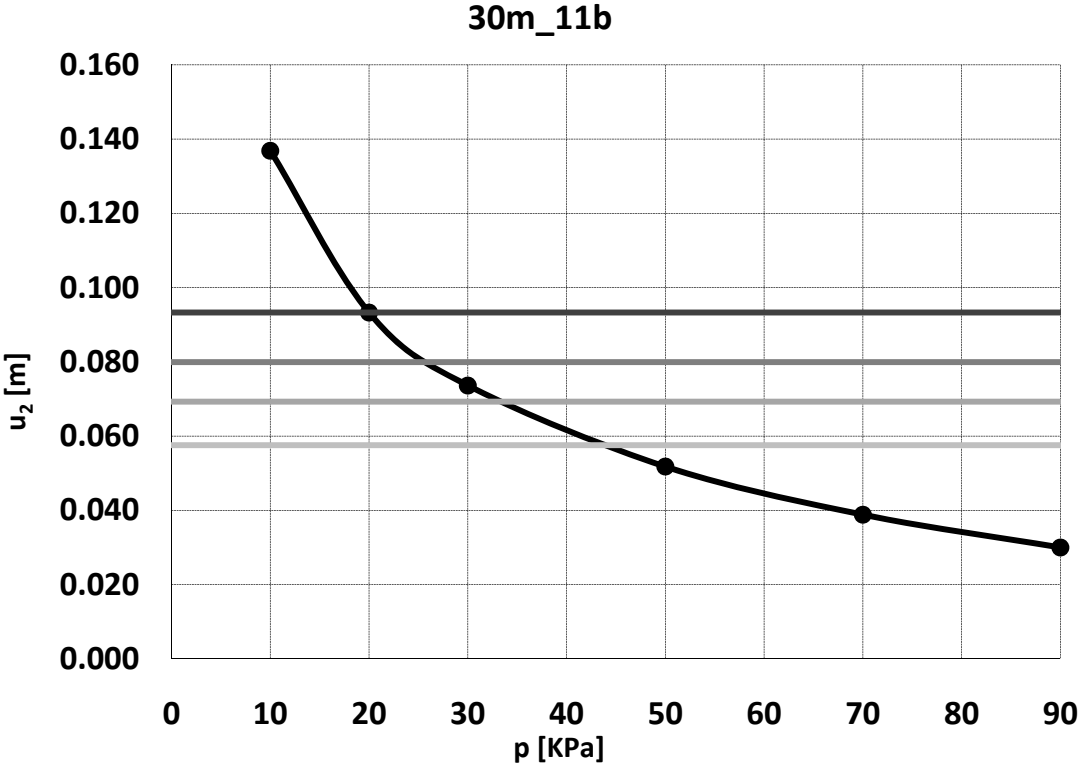
H/D=3 & ϕ=20°

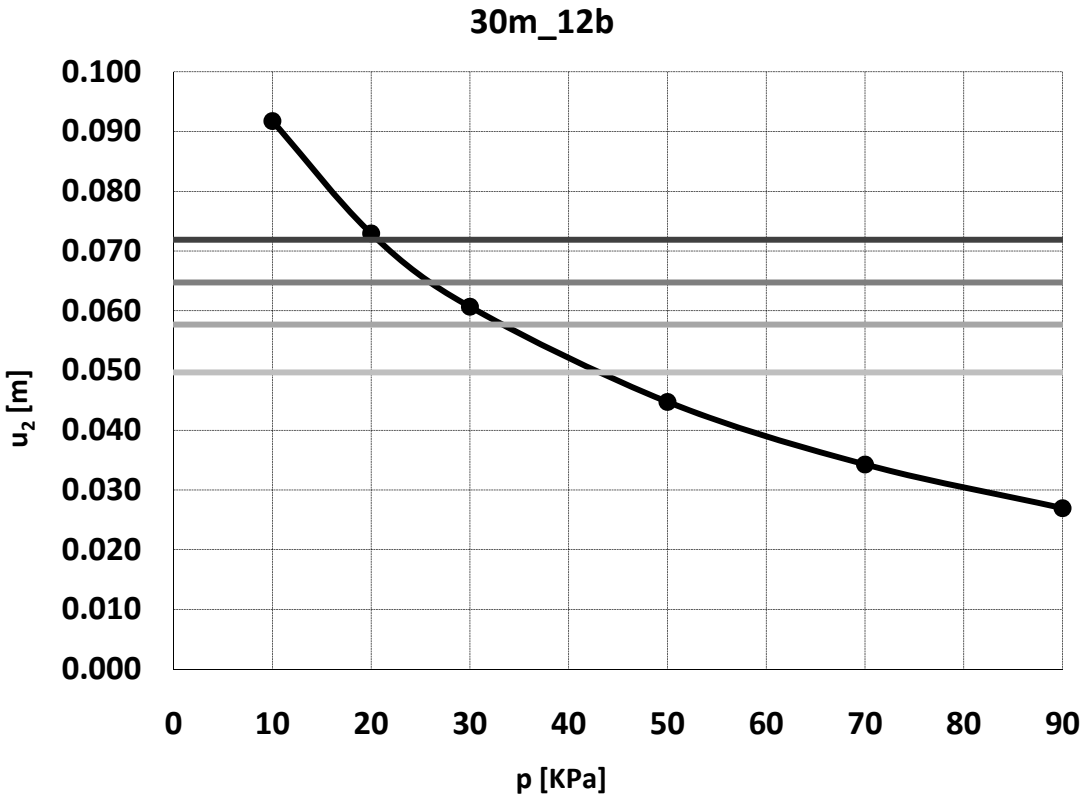

30m_2b
0.250
0.200
0.150
0.100
0.050
0.000
u2 [m]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
p [KPa]

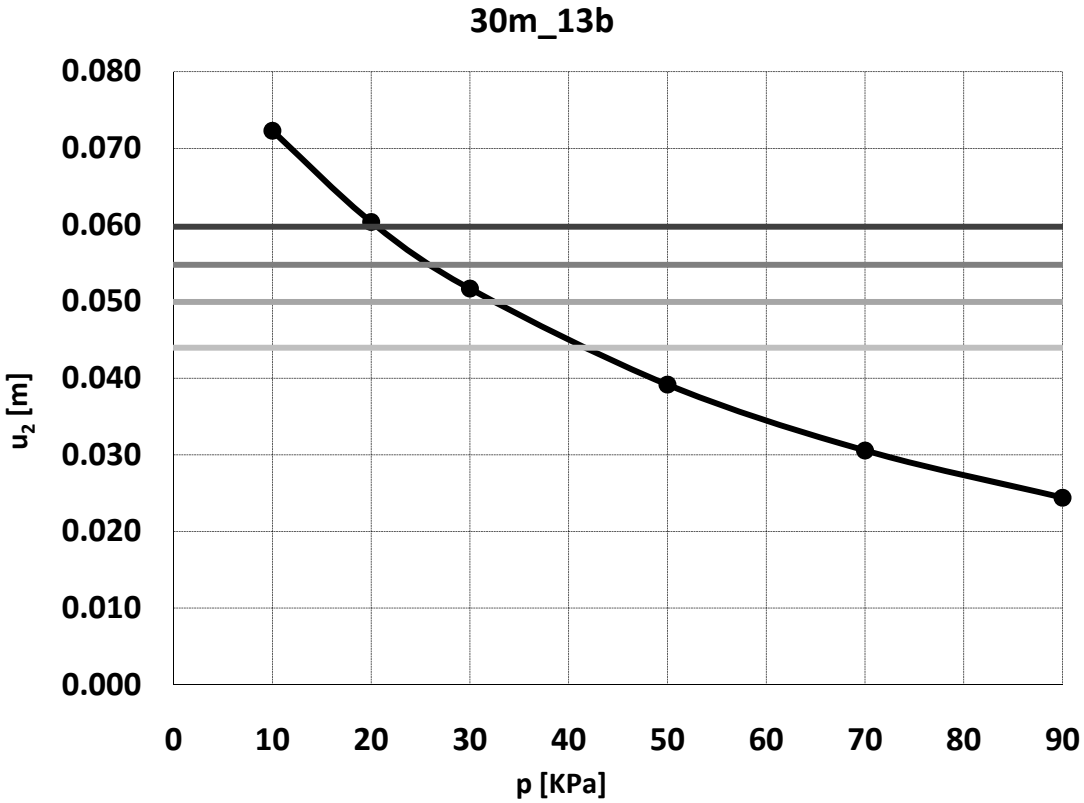

30m_3b
0.160
0.140
0.120
0.100
0.080
0.060
0.040
0.020
0.000
u2 [m]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
p [KPa]


30m_4b
0.120
0.100
0.080
0.060
0.040
0.020
0.000
u2 [m]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
p [KPa]

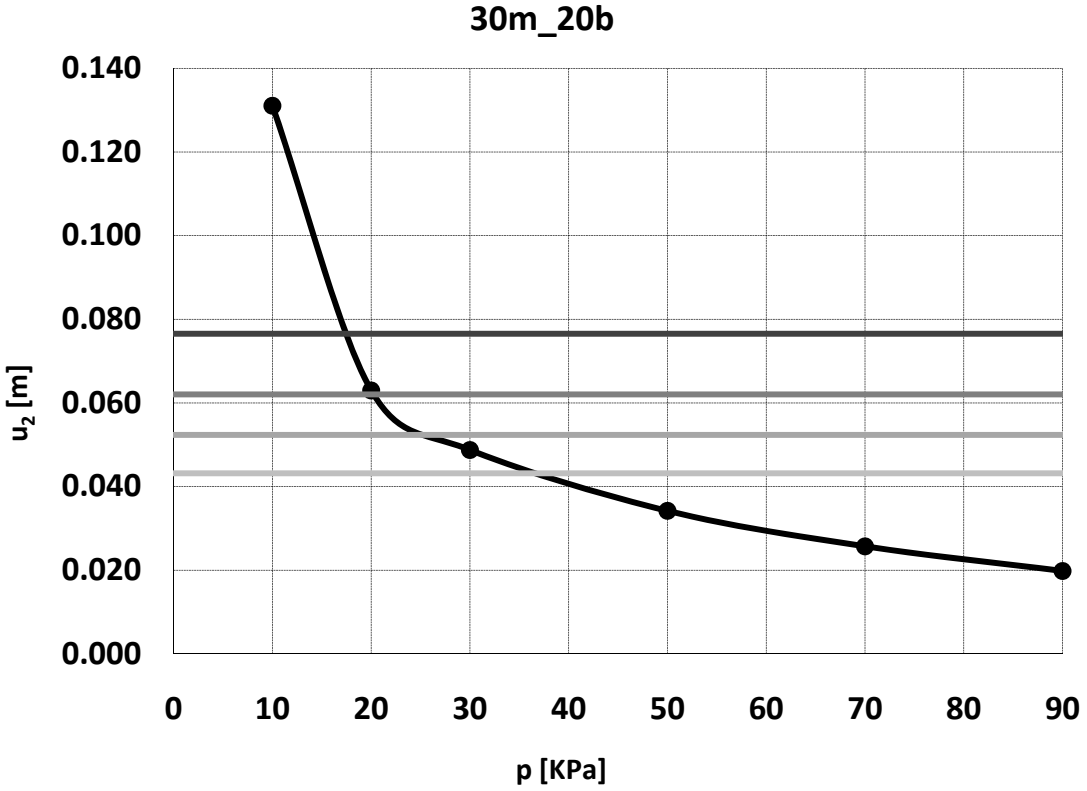
H/D=3 & ϕ=25°

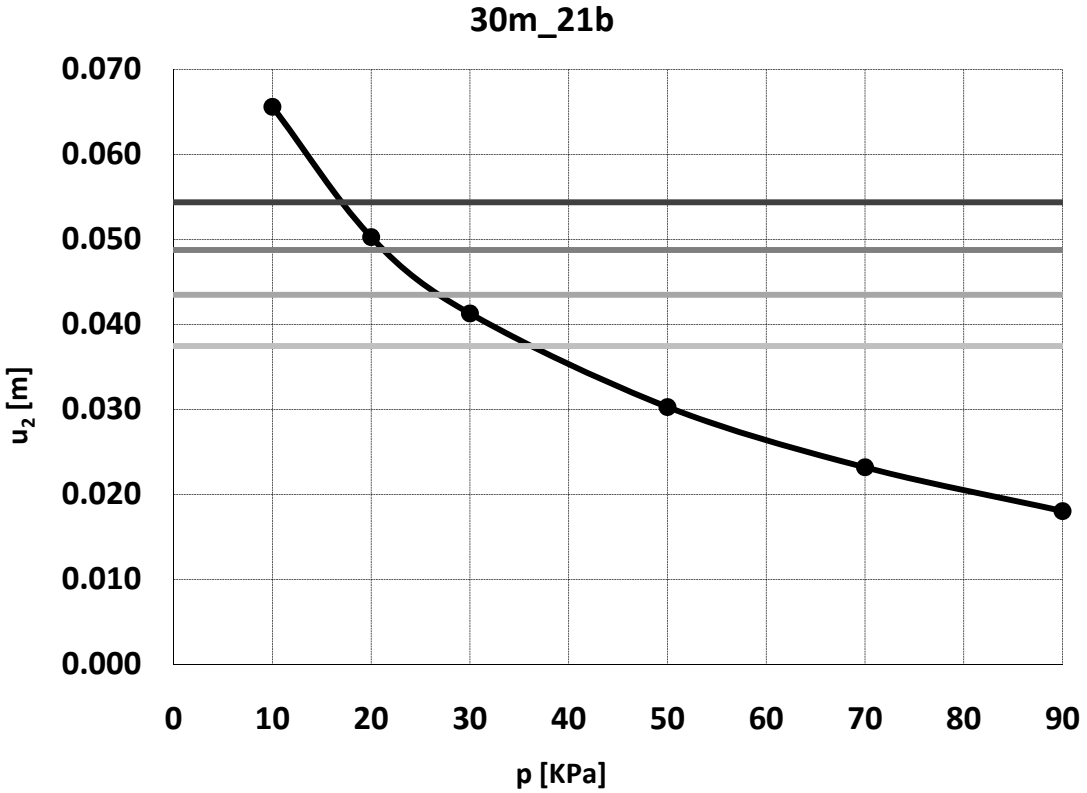

30m_11b
0.160
0.140
0.120
0.100
0.080
0.060
0.040
0.020
0.000
u2 [m]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
p [KPa]

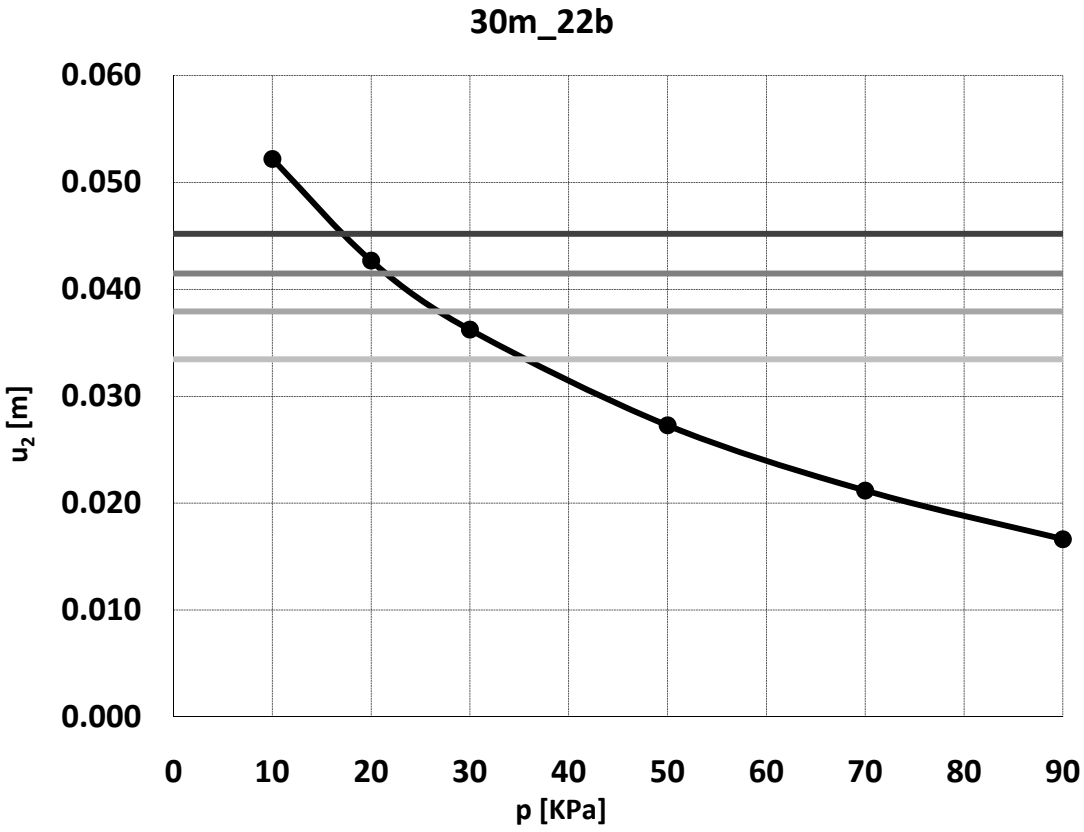

30m_12b
0.100
0.090
0.080
0.070
0.060
0.050
0.040
0.030
0.020
0.010
0.000
u2 [m]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
p [KPa]


30m_13b
0.080
0.070
0.060
0.050
0.040
0.030
0.020
0.010
0.000
u2 [m]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
p [KPa]

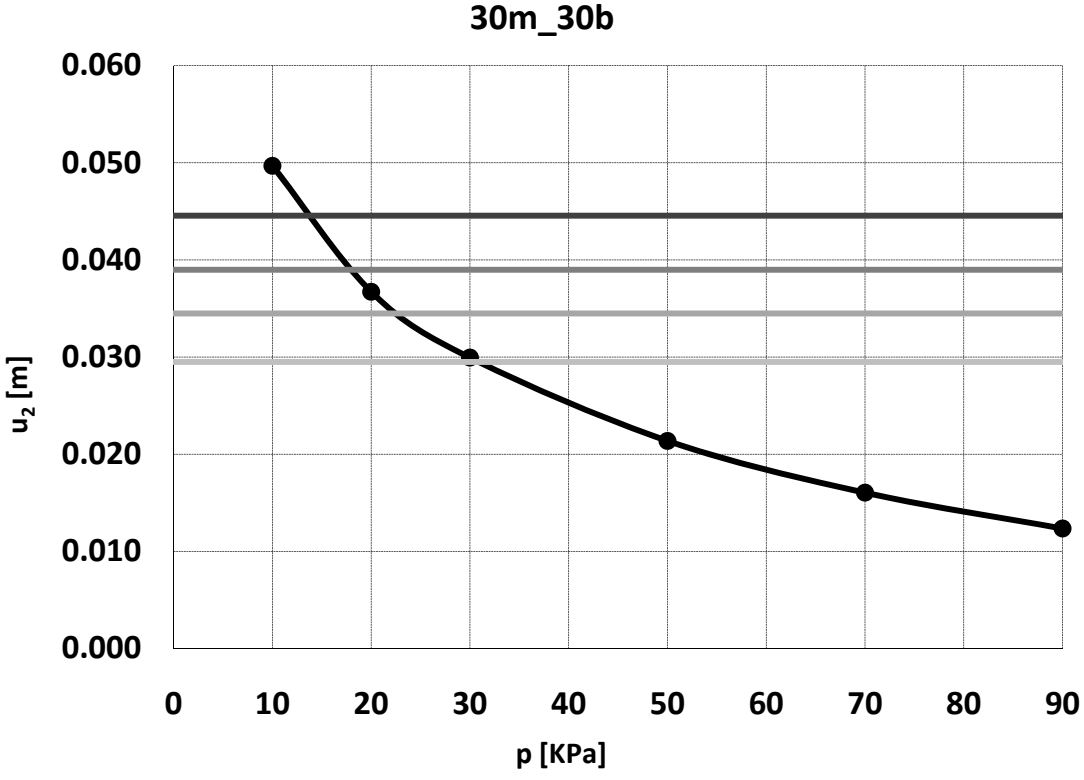
H/D=3 & ϕ=30°

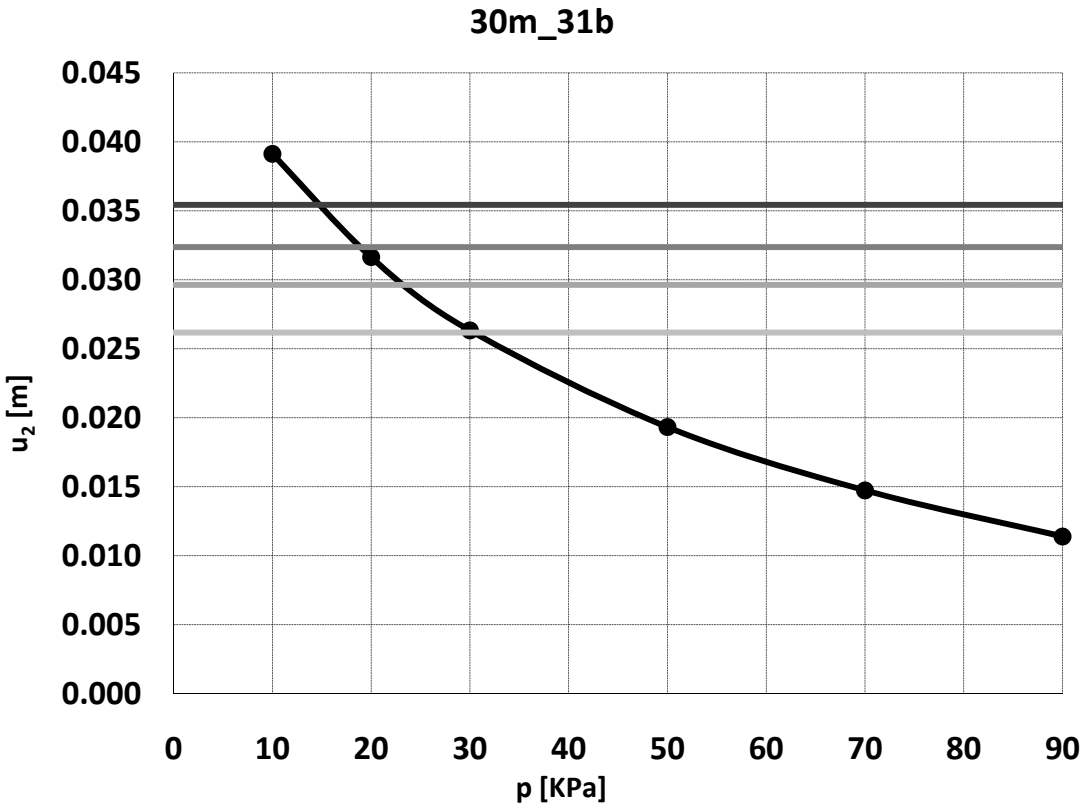

30m_20b
0.140
0.120
0.100
0.080
0.060
0.040
0.020
0.000
u2 [m]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
p [KPa]


30m_21b
0.070
0.060
0.050
0.040
0.030
0.020
0.010
0.000
u2 [m]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
p [KPa]

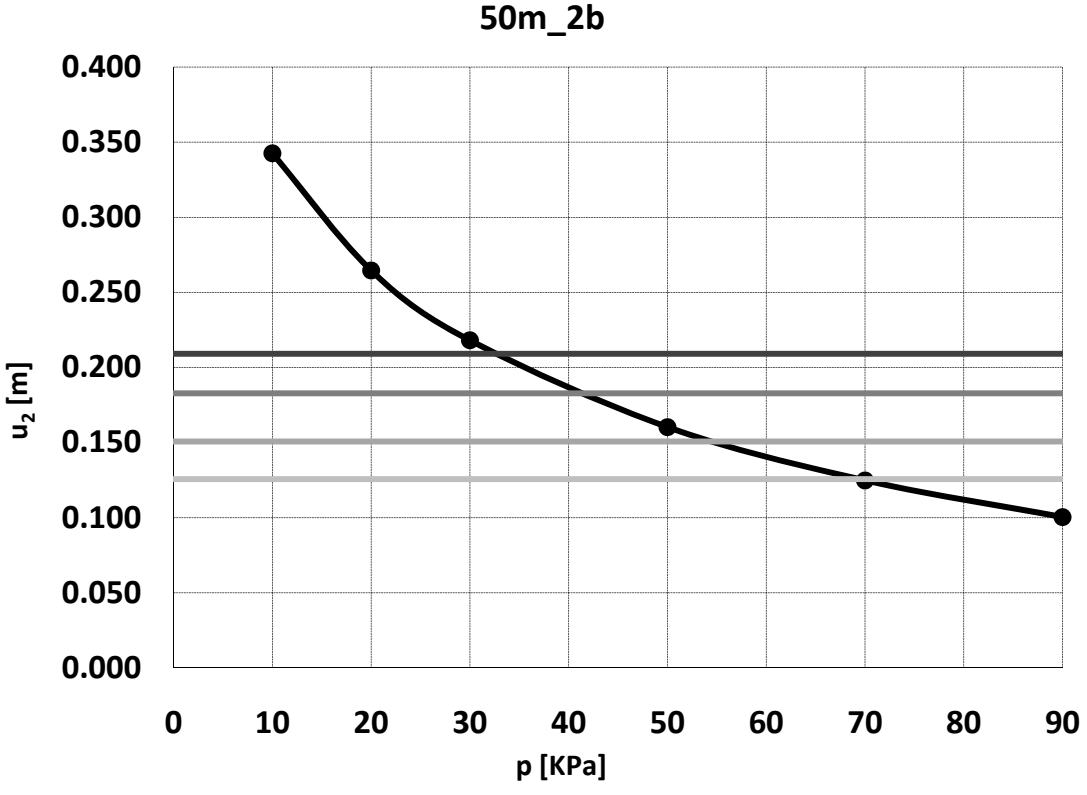

30m_22b
0.060
0.050
0.040
0.030
0.020
0.010
0.000
u2 [m]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
p [KPa]

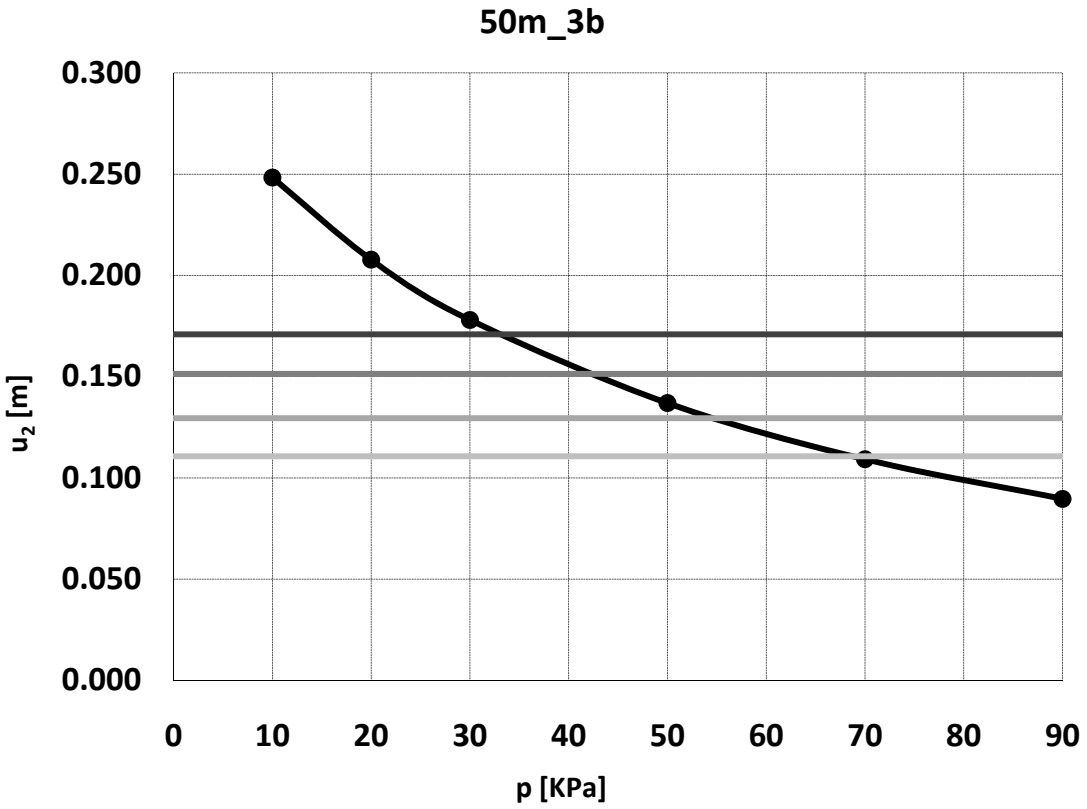
H/D=3 & ϕ=35°

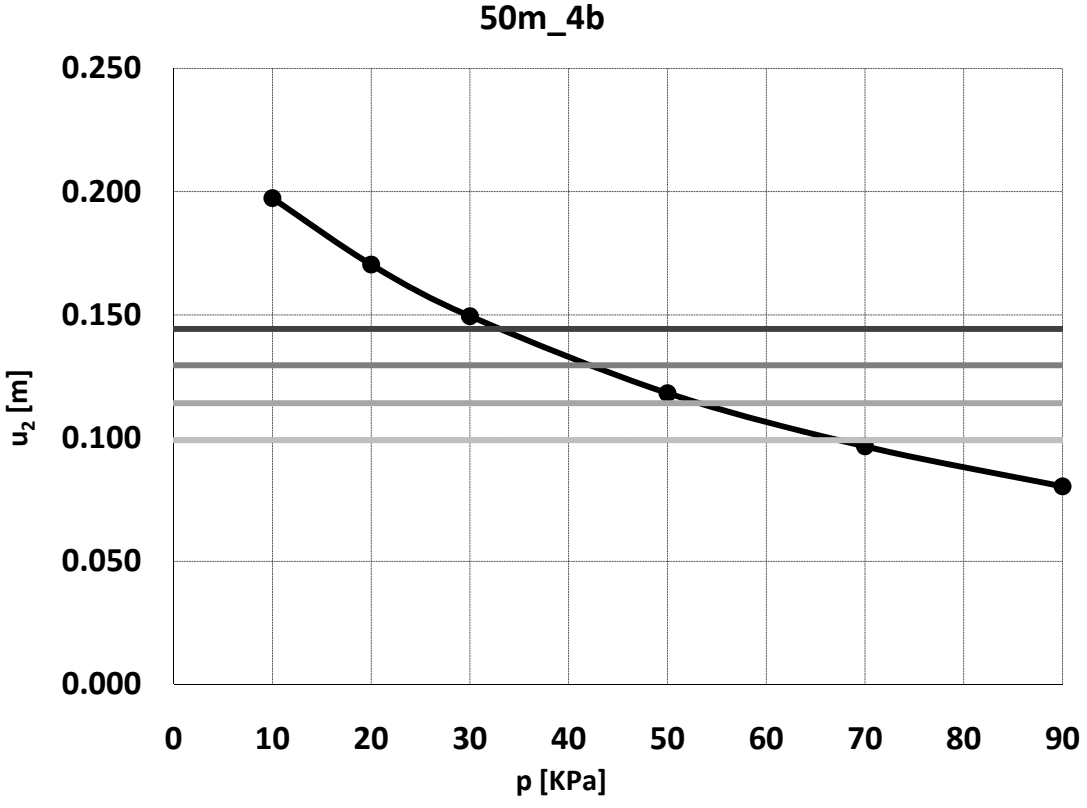

30m_30b
0.060
0.050
0.040
0.030
0.020
0.010
0.000
u2 [m]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
p [KPa]

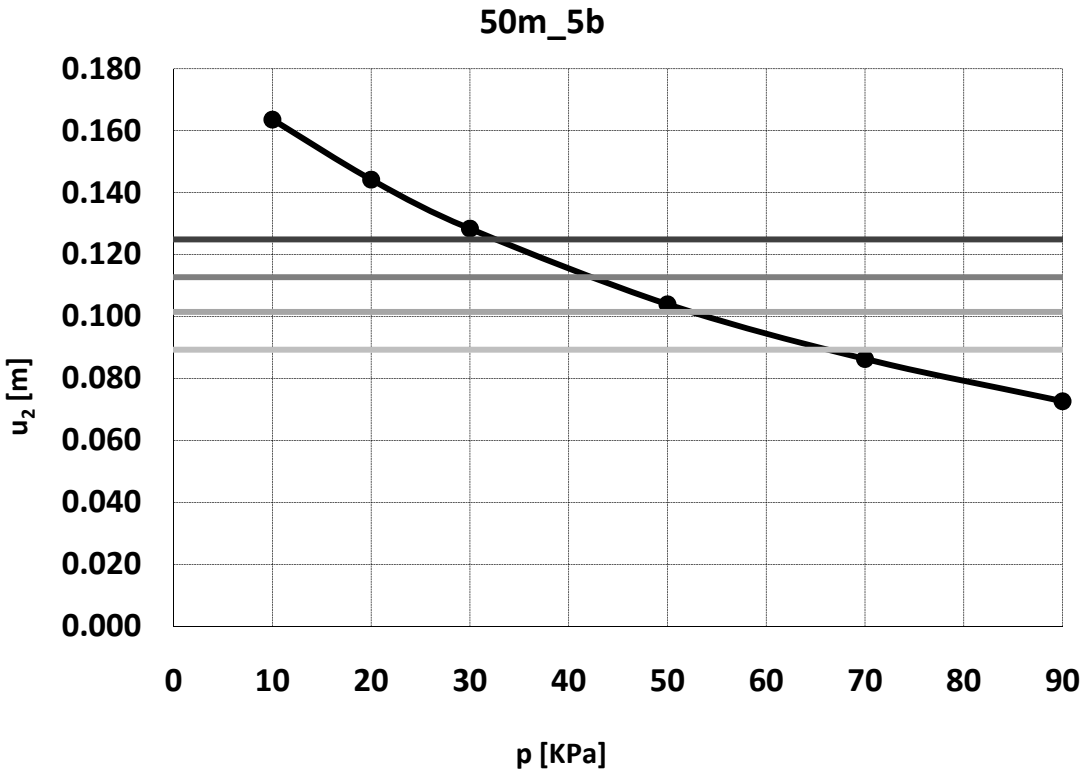

30m_31b
0.045
0.040
0.035
0.030
0.025
0.020
0.015
0.010
0.005
0.000
u2 [m]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
p [KPa]

H/D=5 & ϕ=20°

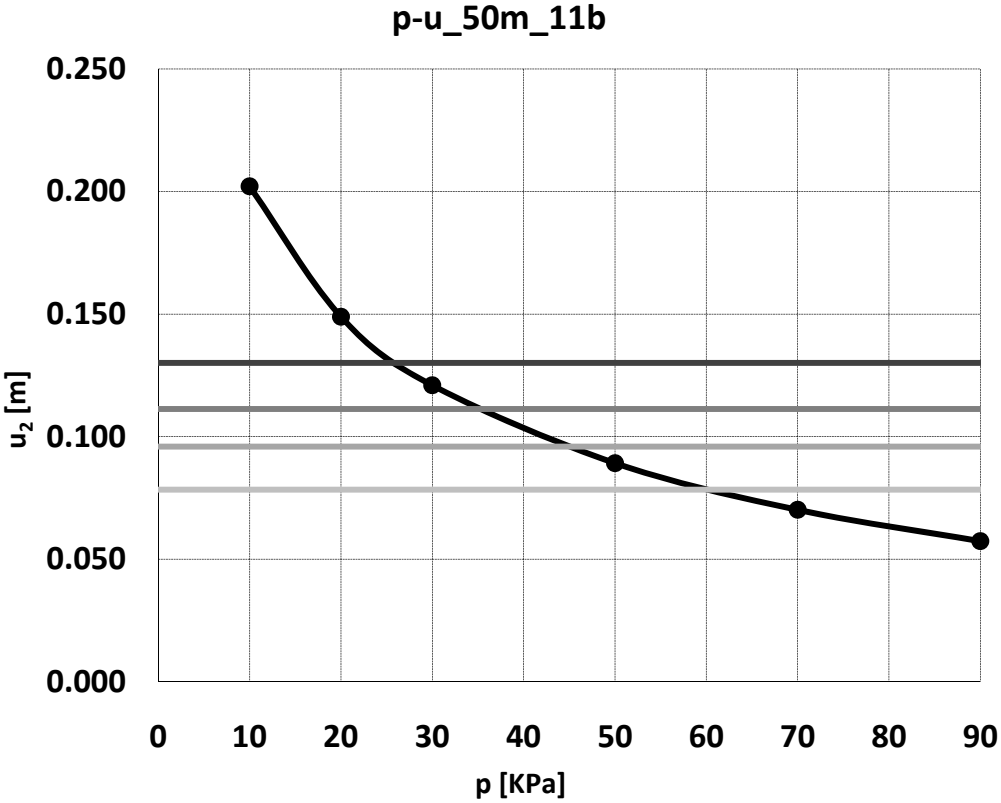

50m_2b
0.400
0.350
0.300
0.250
0.200
0.150
0.100
0.050
0.000
u2 [m]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
p [KPa]

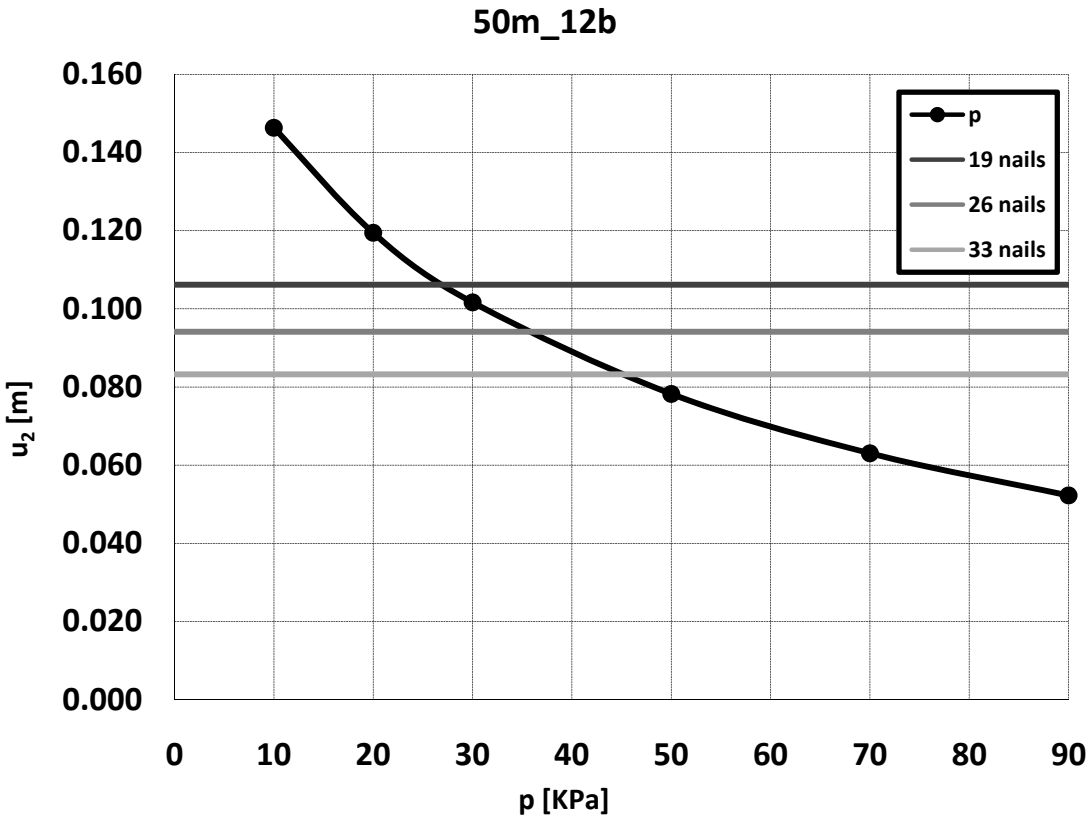

50m_3b
0.300
0.250
0.200
0.150
0.100
0.050
0.000
u2 [m]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
p [KPa]

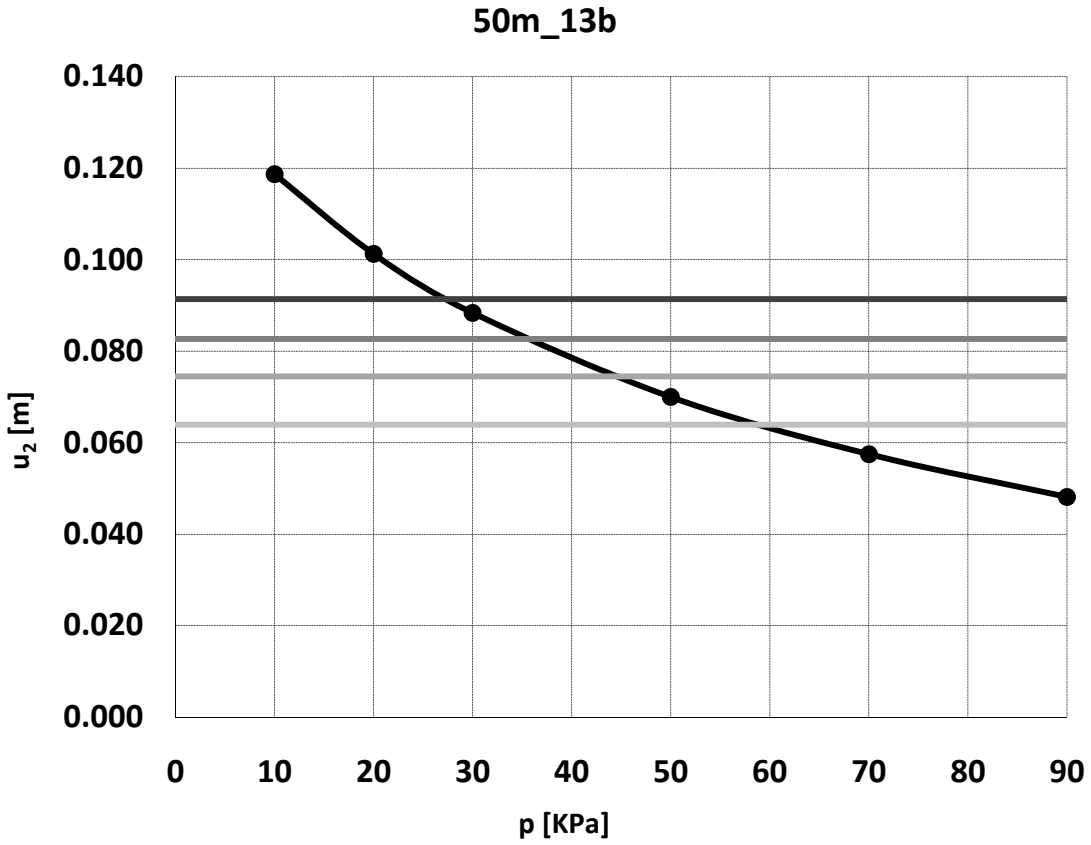

50m_4b
0.250
0.200
0.150
0.100
0.050
0.000
u2 [m]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
p [KPa]


50m_5b
0.180
0.160
0.140
0.120
0.100
0.080
0.060
0.040
0.020
0.000
u2 [m]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
p [KPa]

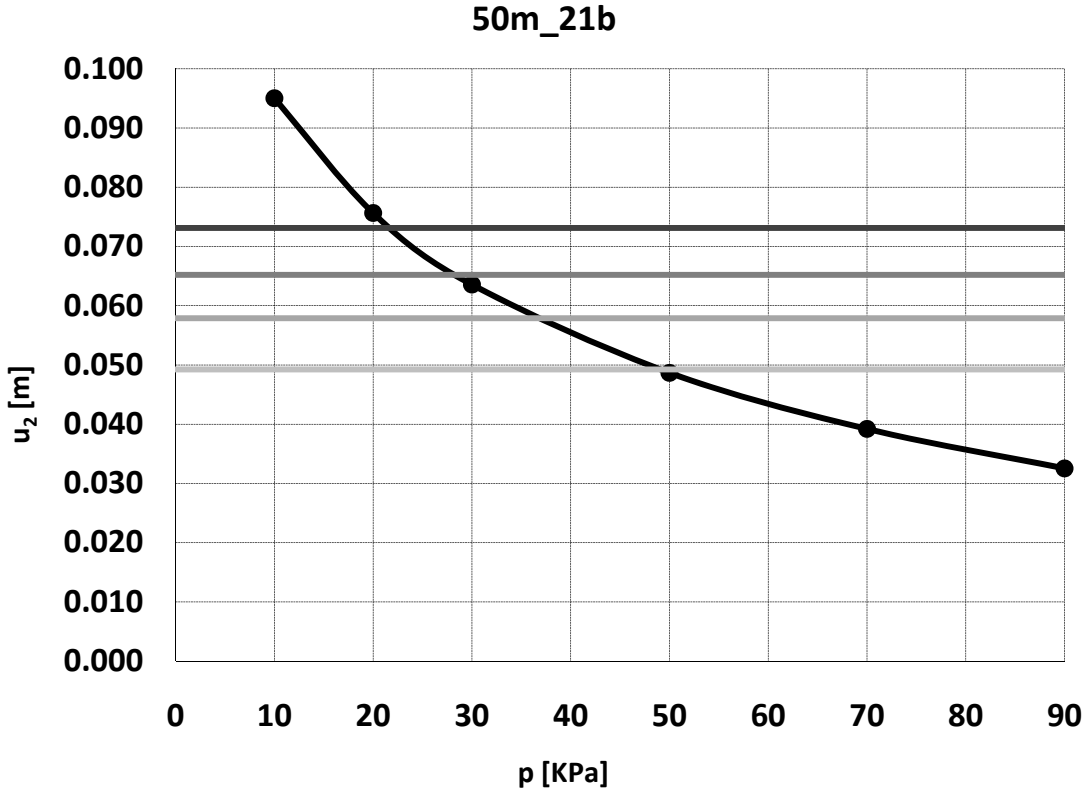
H/D=5 & ϕ=25°

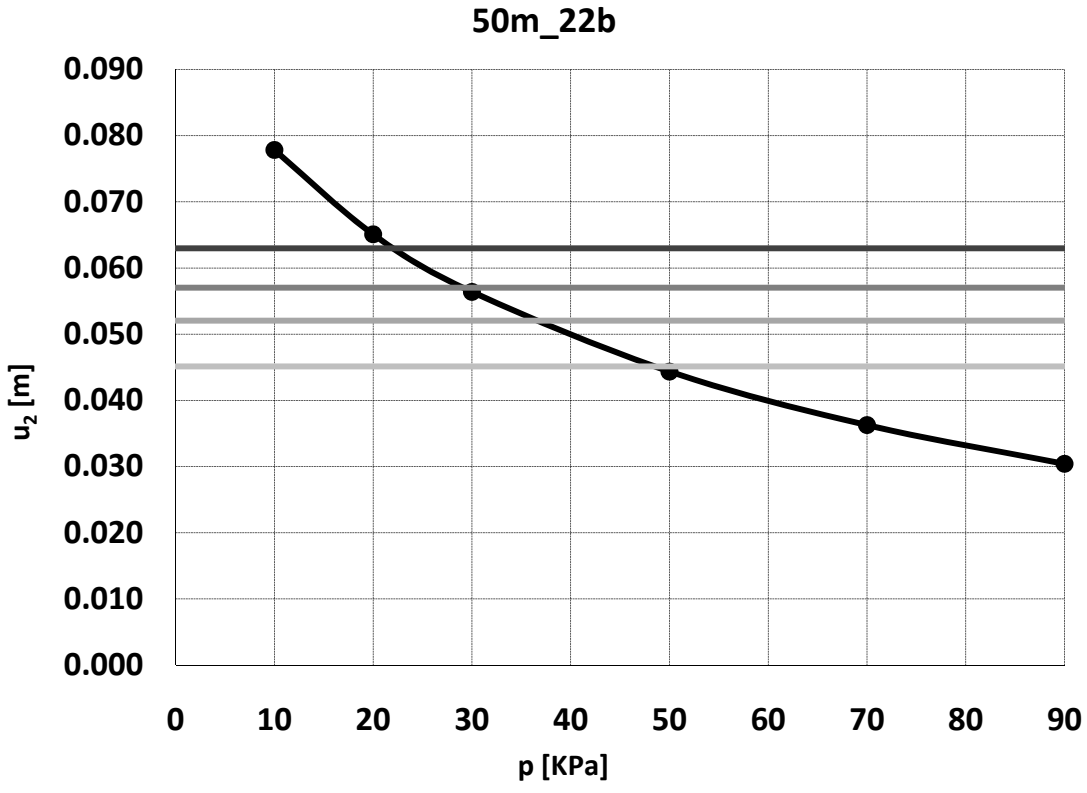

p-u_50m_11b
0.250
0.200
0.150
0.100
0.050
0.000
u2 [m]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
p [KPa]


50m_12b
0.160
0.140
0.120
0.100
0.080
0.060
0.040
0.020
0.000
u2 [m]
p
19 nails
26 nails
33 nails
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
p [KPa]

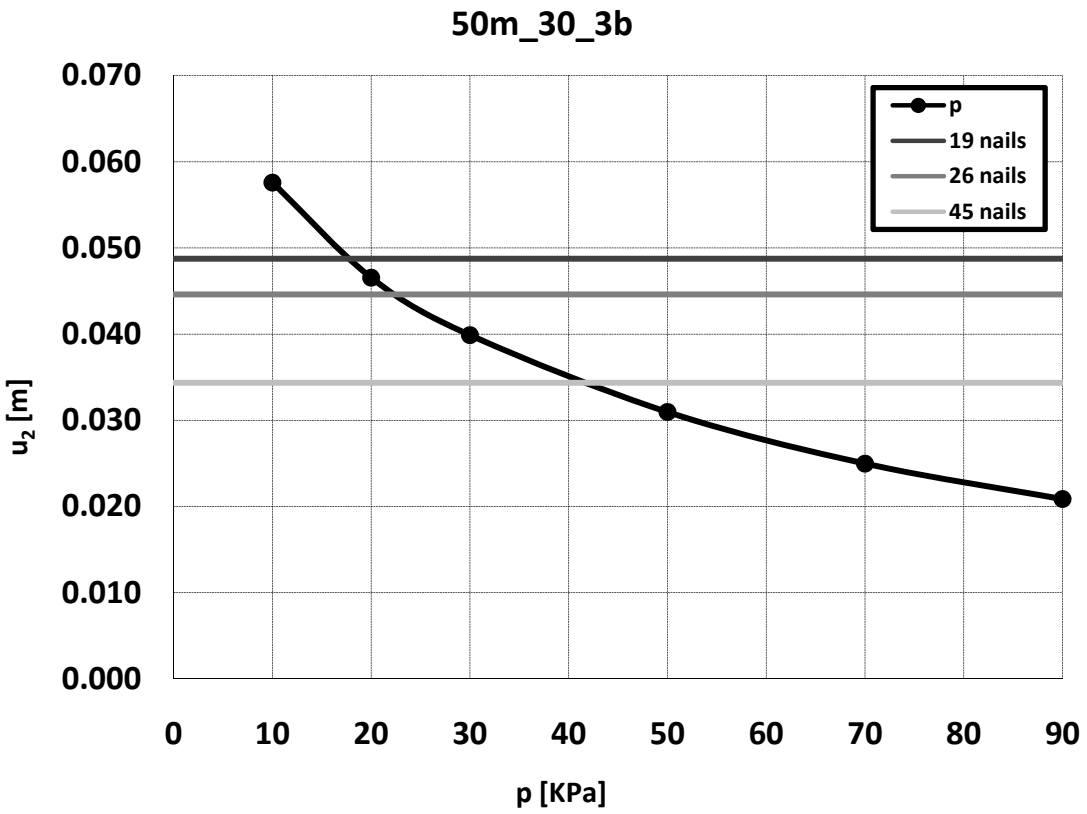

50m_13b
0.140
0.120
0.100
0.080
0.060
0.040
0.020
0.000
u2 [m]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
p [KPa]

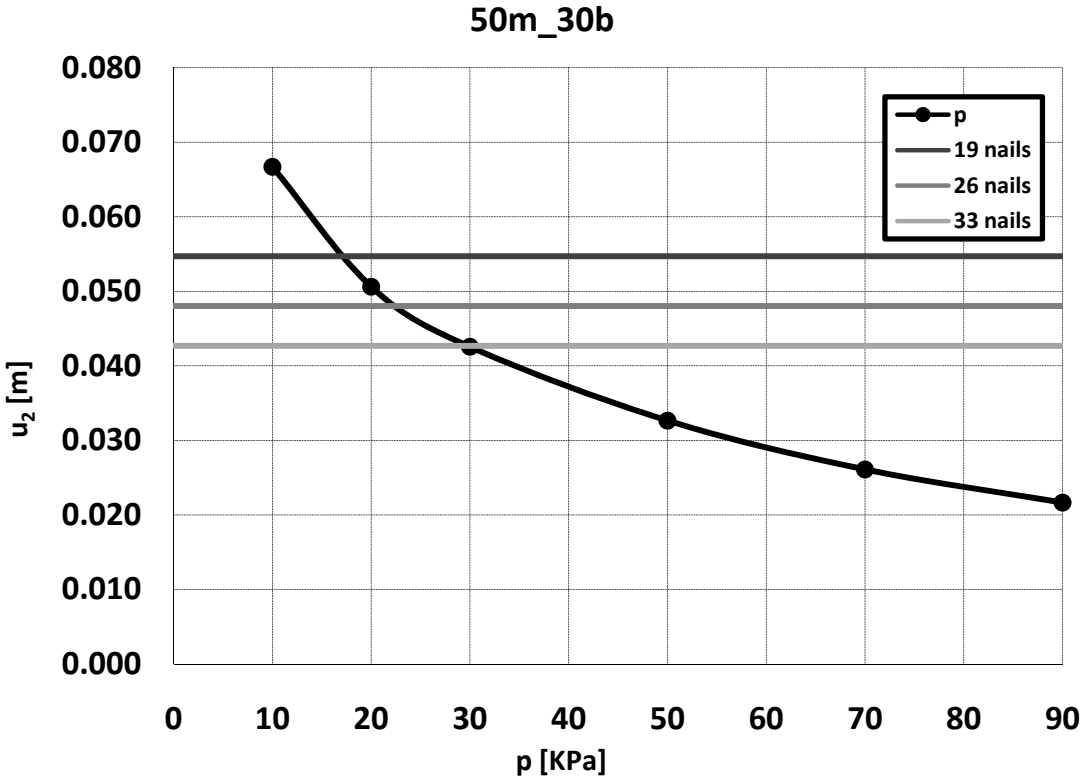
H/D=5 & ϕ=30°

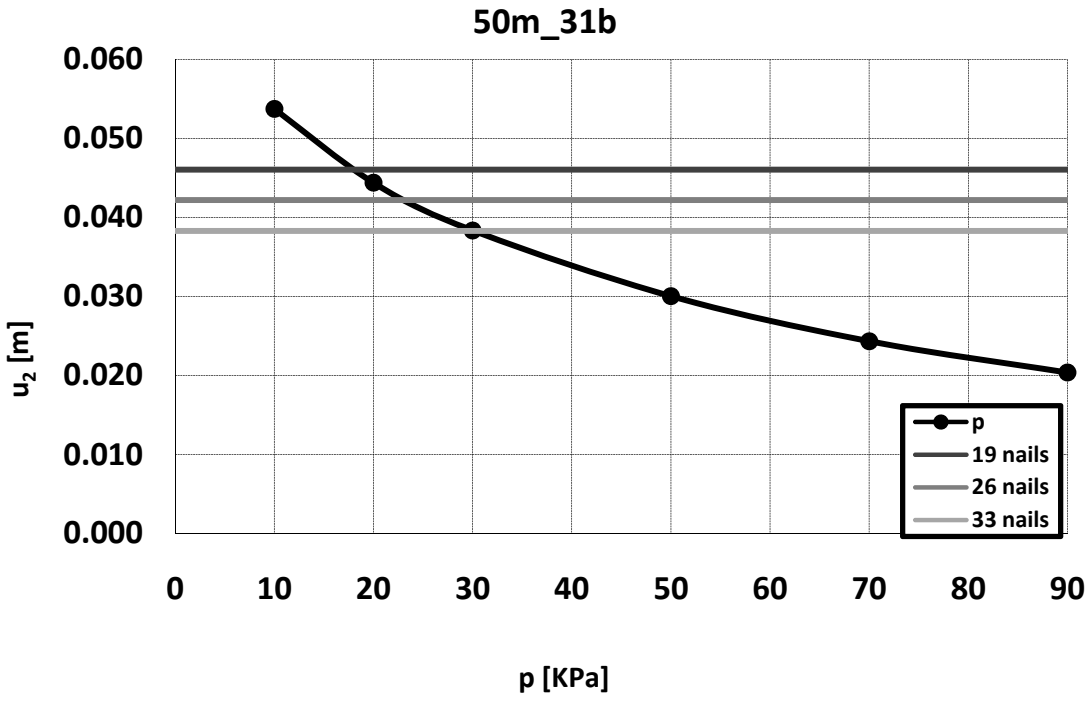

50m_21b
0.100
0.090
0.080
0.070
0.060
0.050
0.040
0.030
0.020
0.010
0.000
u2 [m]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
p [KPa]


50m_22b
0.090
0.080
0.070
0.060
0.050
0.040
0.030
0.020
0.010
0.000
u2 [m]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
p [KPa]

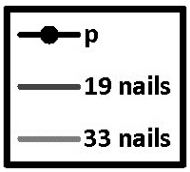
H/D=5 & ϕ=35°


50m_30_3b
0.070
0.060
0.050
0.040
0.030
0.020
0.010
0.000
u2 [m]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
p [KPa]
p
19 nails
26 nails
45 nails

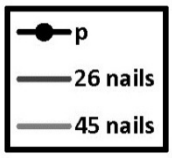

50m_30b
0.080
0.070
0.060
0.050
0.040
0.030
0.020
0.010
0.000
u2 [m]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
p [KPa]
p
19 nails
26 nails
33 nails


50m_31b
0.060
0.050
0.040
0.030
0.020
0.010
0.000
u2 [m]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
p [KPa]
p
19 nails
26 nails
33 nails

2η Ομάδα Αναλύσεων

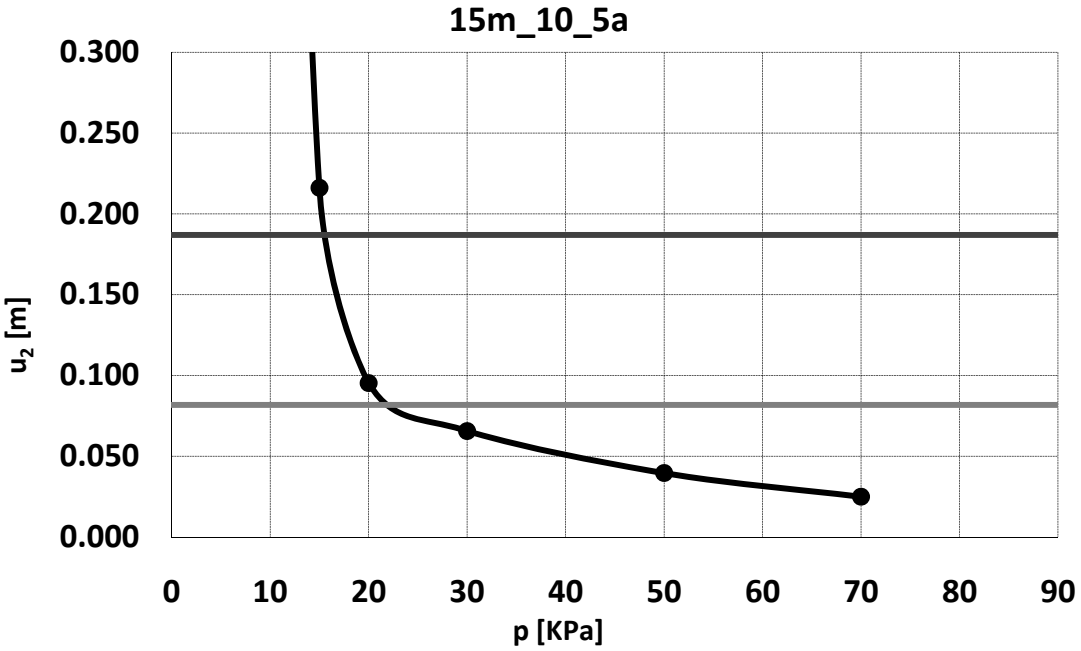


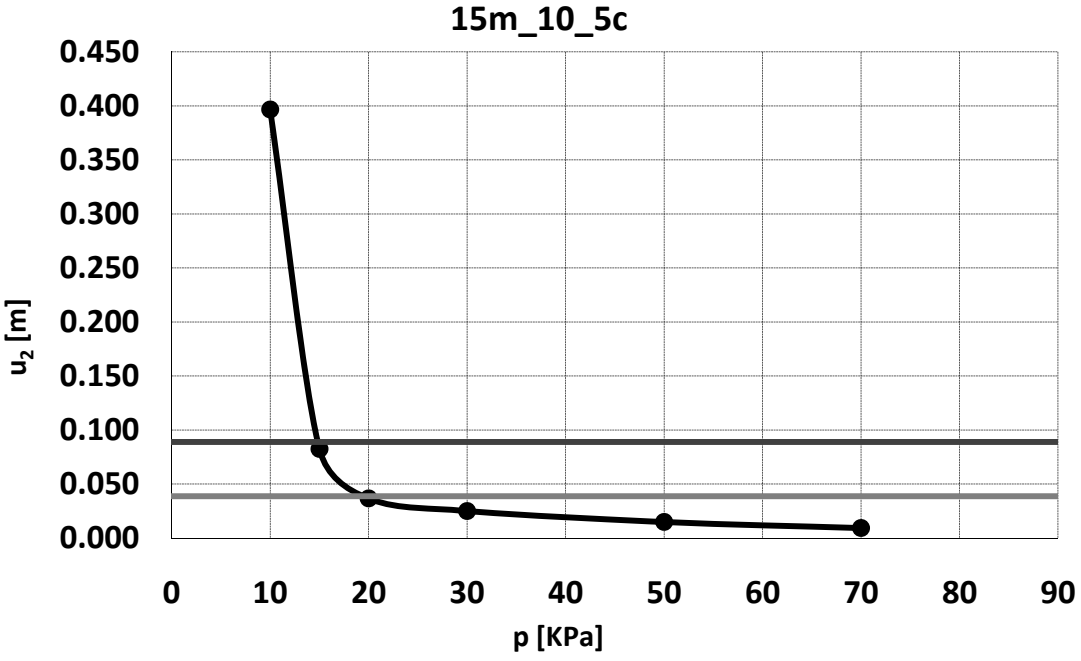
Υπόμνημα διαγραμμάτων H/D=1.5

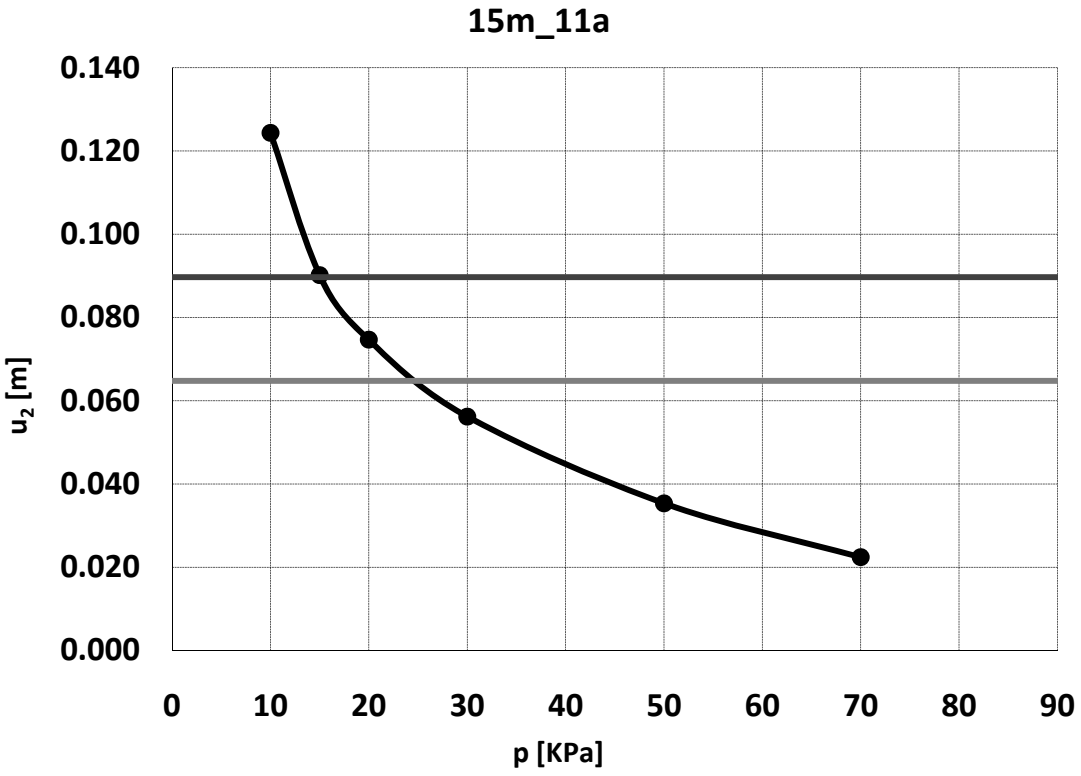


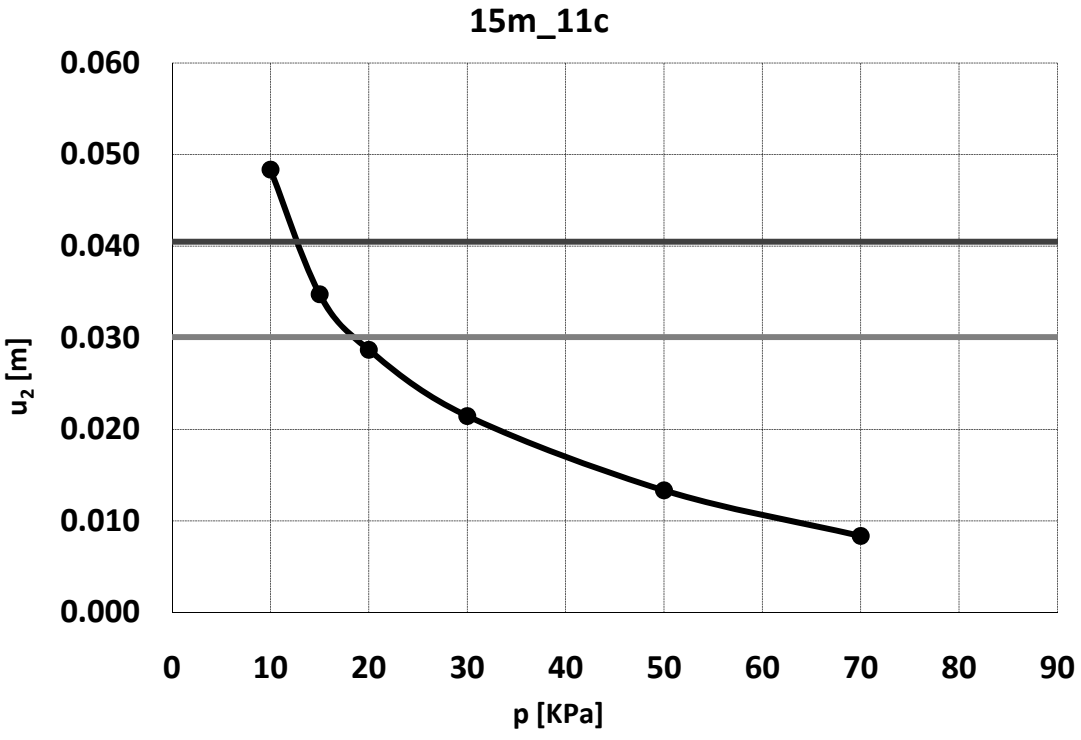
Υπόμνημα διαγραμμάτων H/D=3

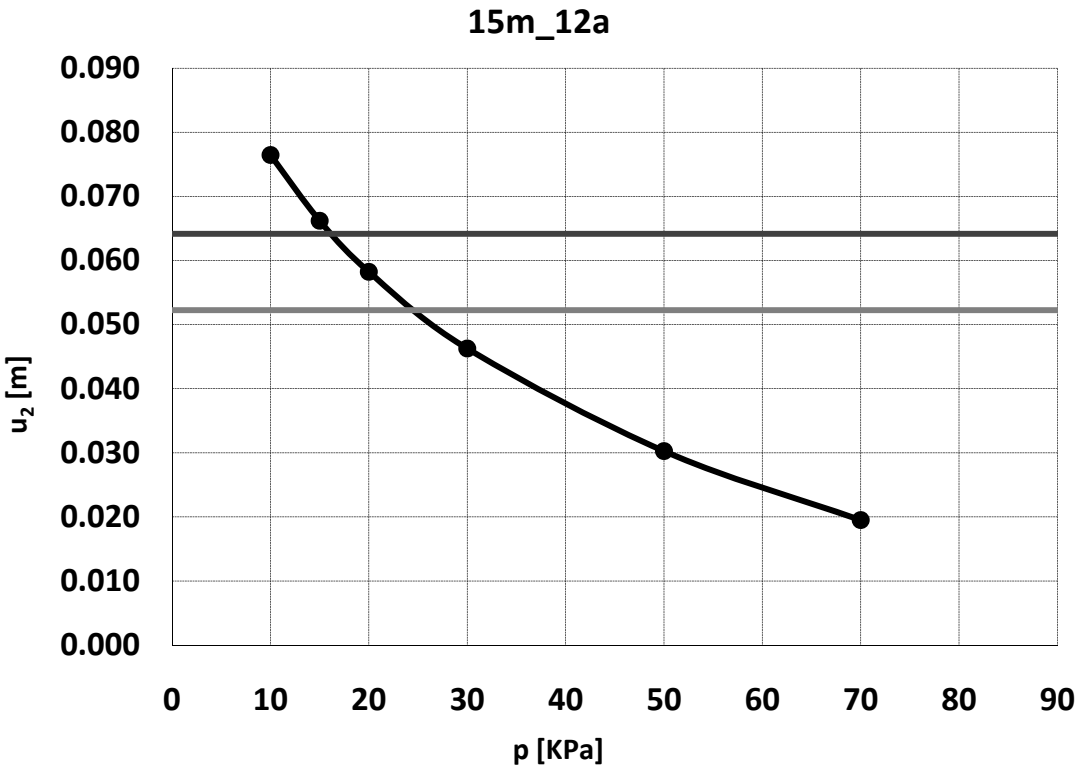
H/D=1.5 & ϕ=25°

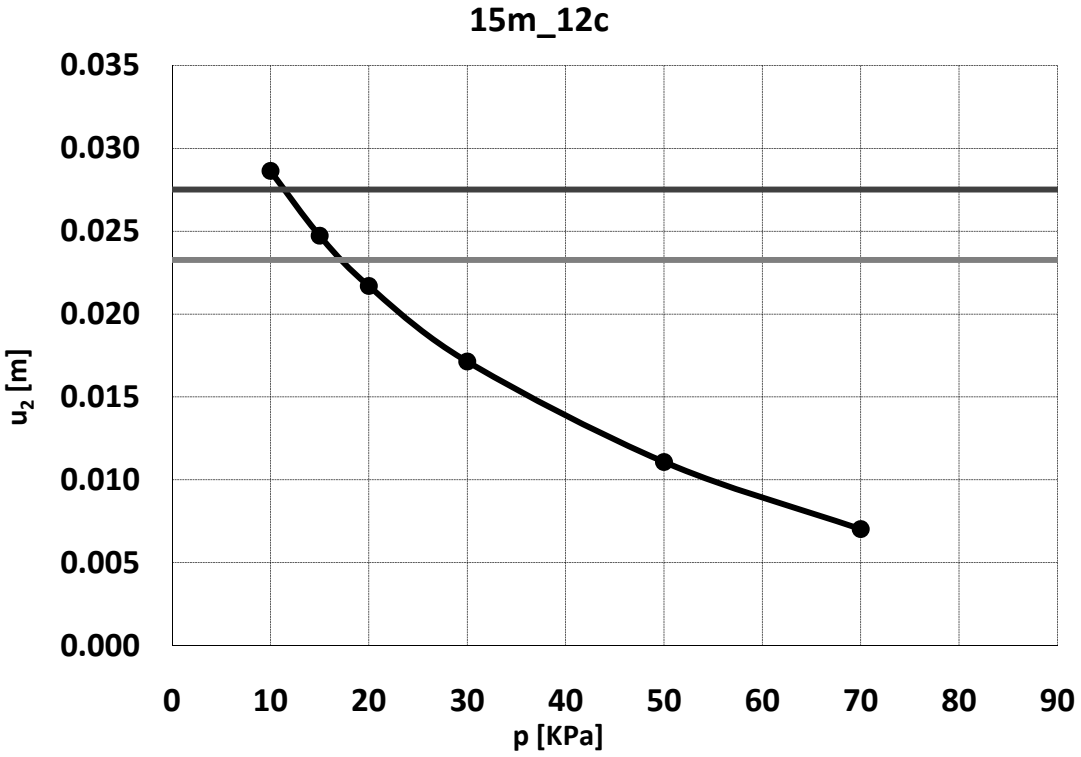


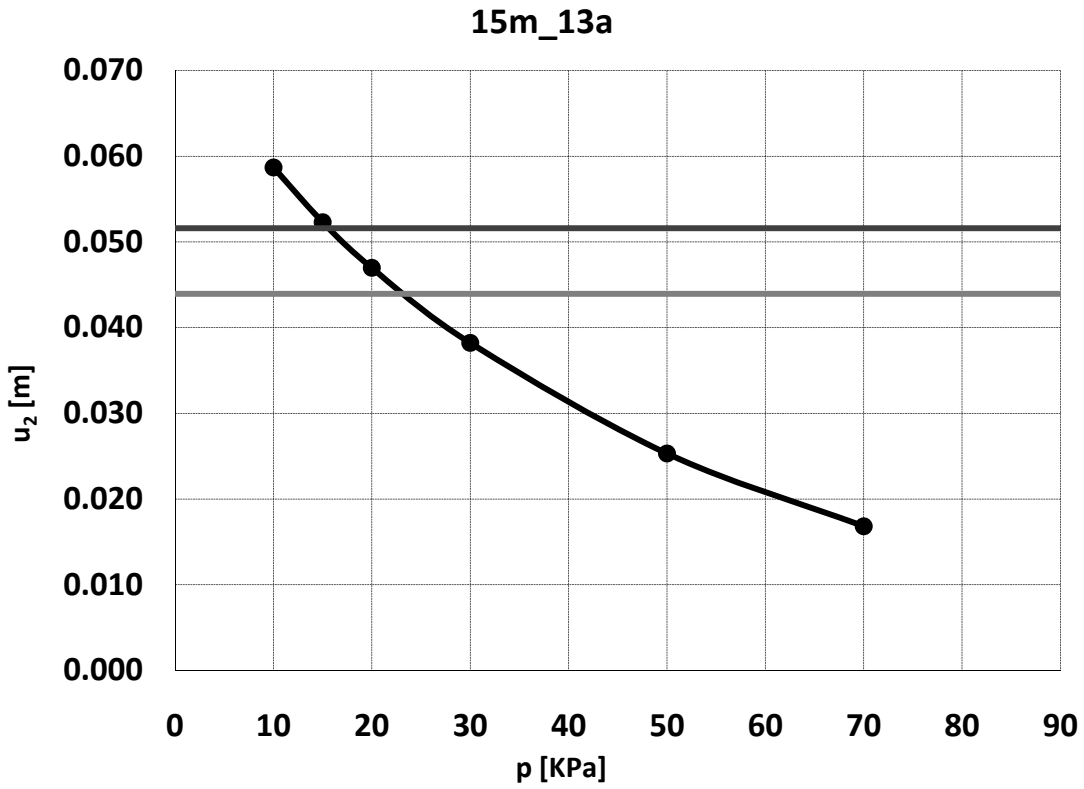


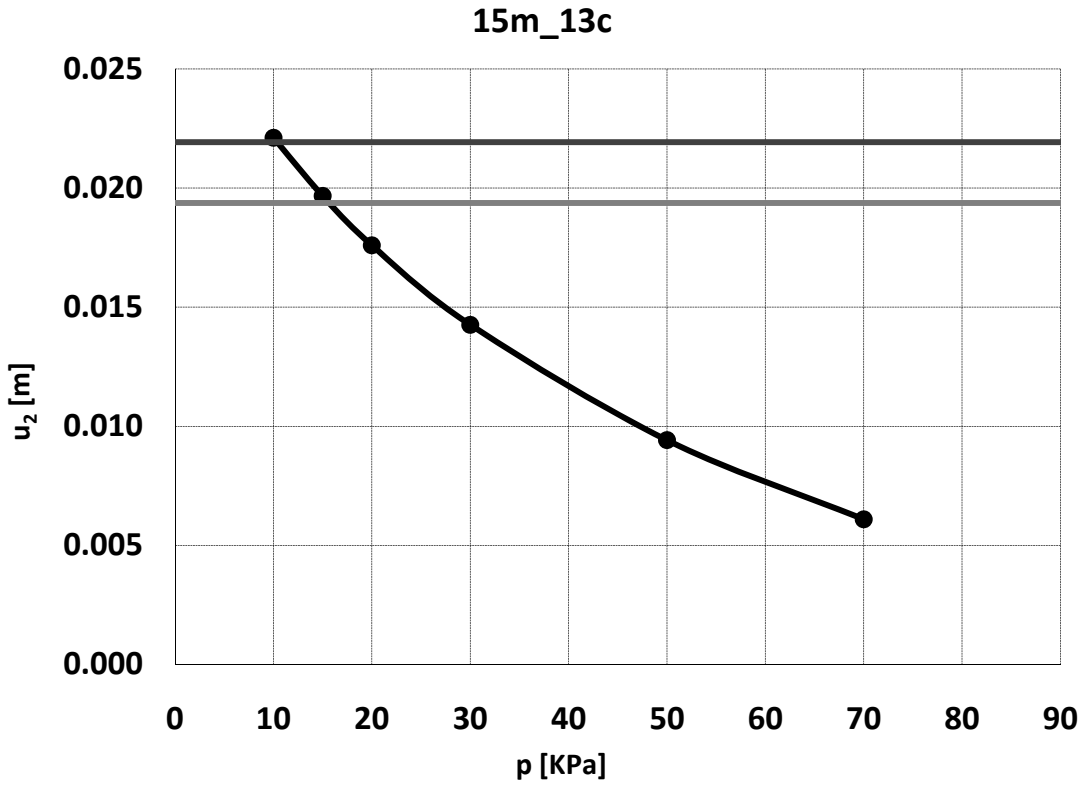

15m_11a
0.140
0.120
0.100
0.080
0.060
0.040
0.020
0.000
u2 [m]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
p [KPa]


15m_11c
0.060
0.050
0.040
0.030
0.020
0.010
0.000
u2 [m]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
p [KPa]

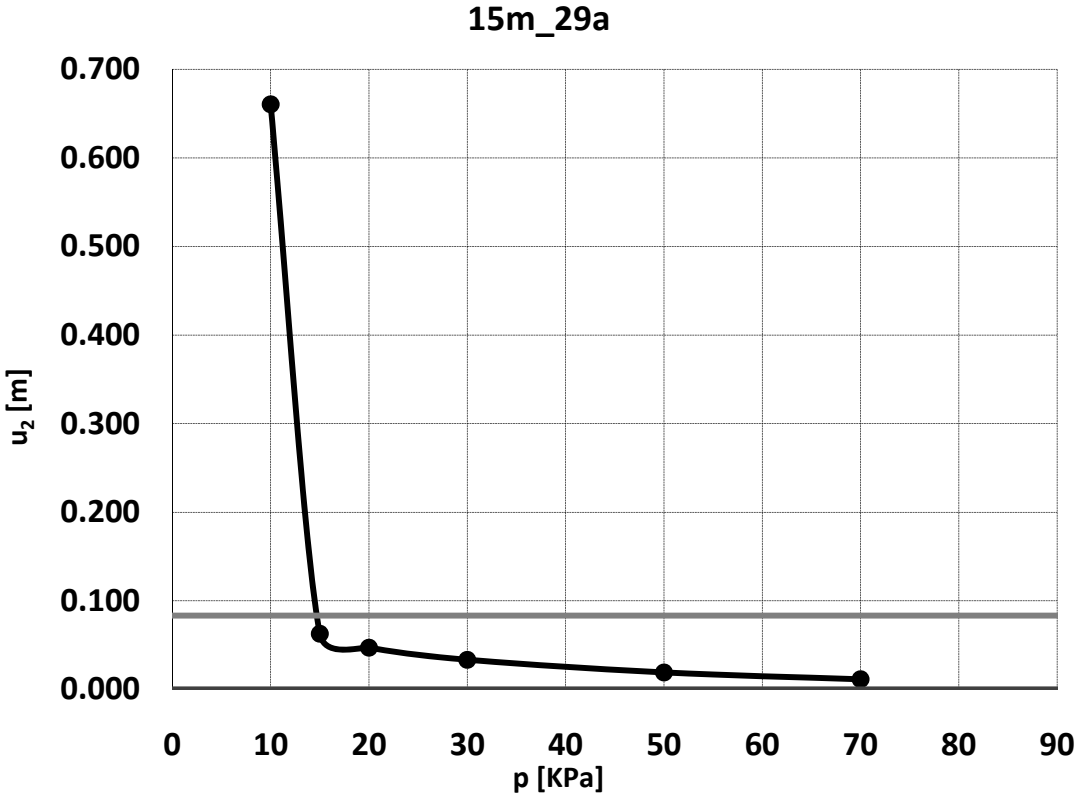

15m_12a
0.090
0.080
0.070
0.060
0.050
0.040
0.030
0.020
0.010
0.000
u2 [m]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
p [KPa]

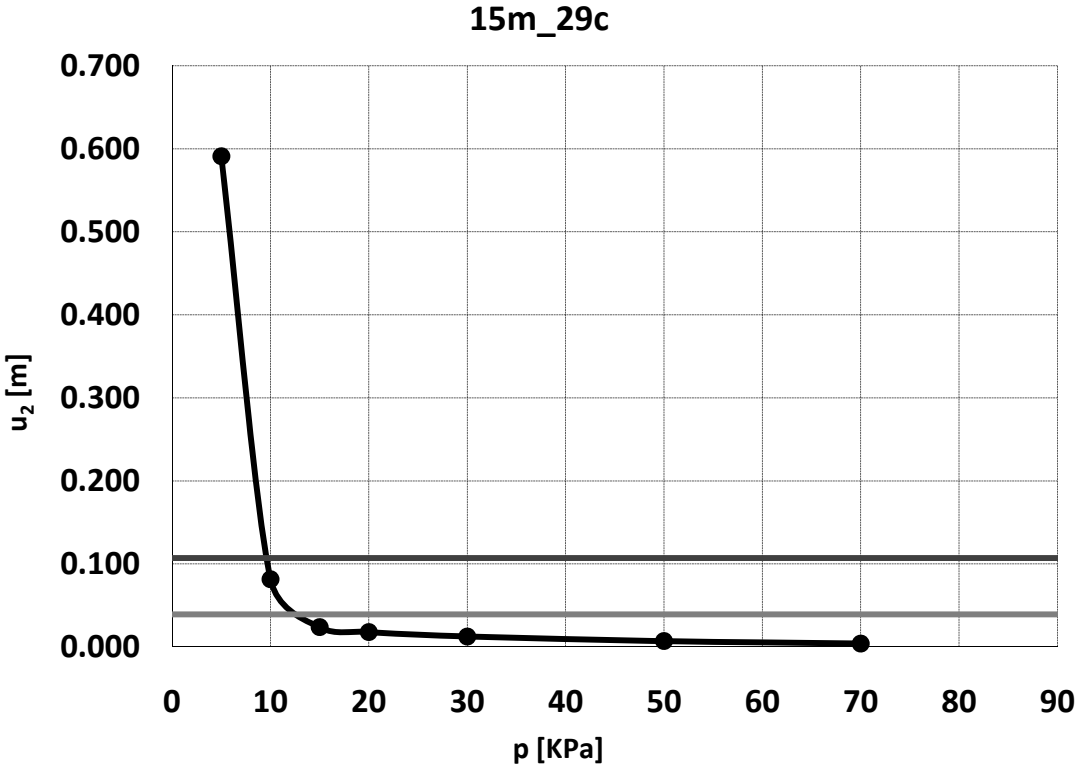

15m_12c
0.035
0.030
0.025
0.020
0.015
0.010
0.005
0.000
u2 [m]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
p [KPa]

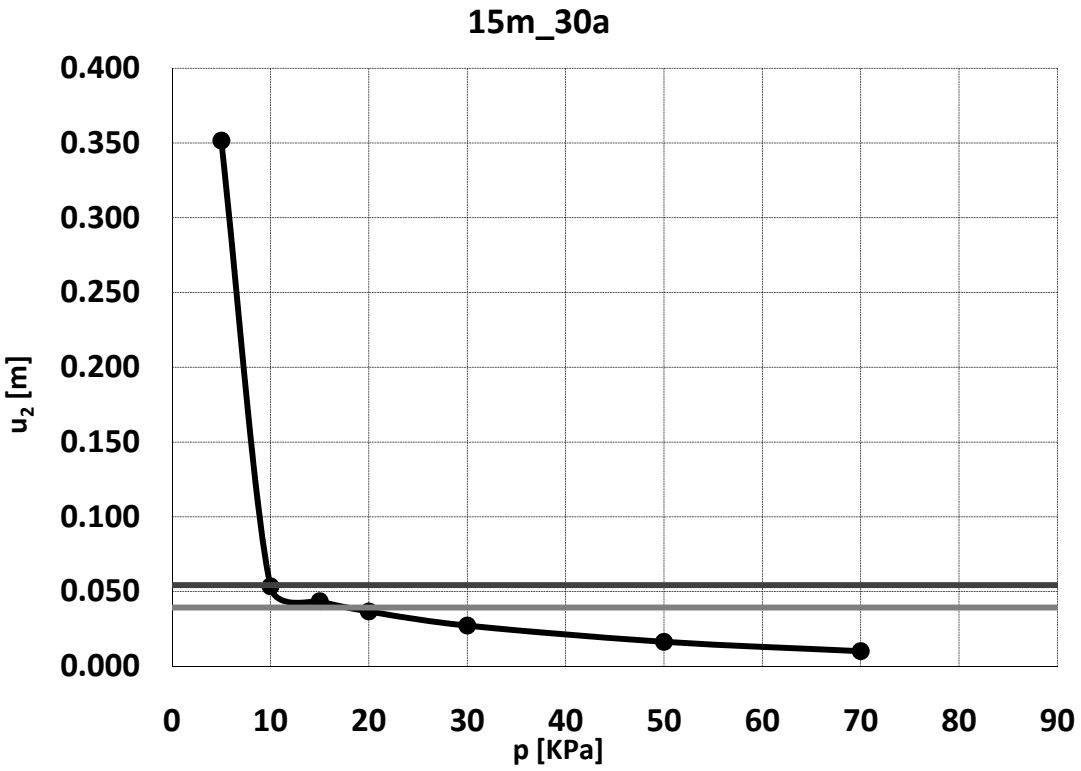

15m_13a
0.070
0.060
0.050
0.040
0.030
0.020
0.010
0.000
u2 [m]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
p [KPa]

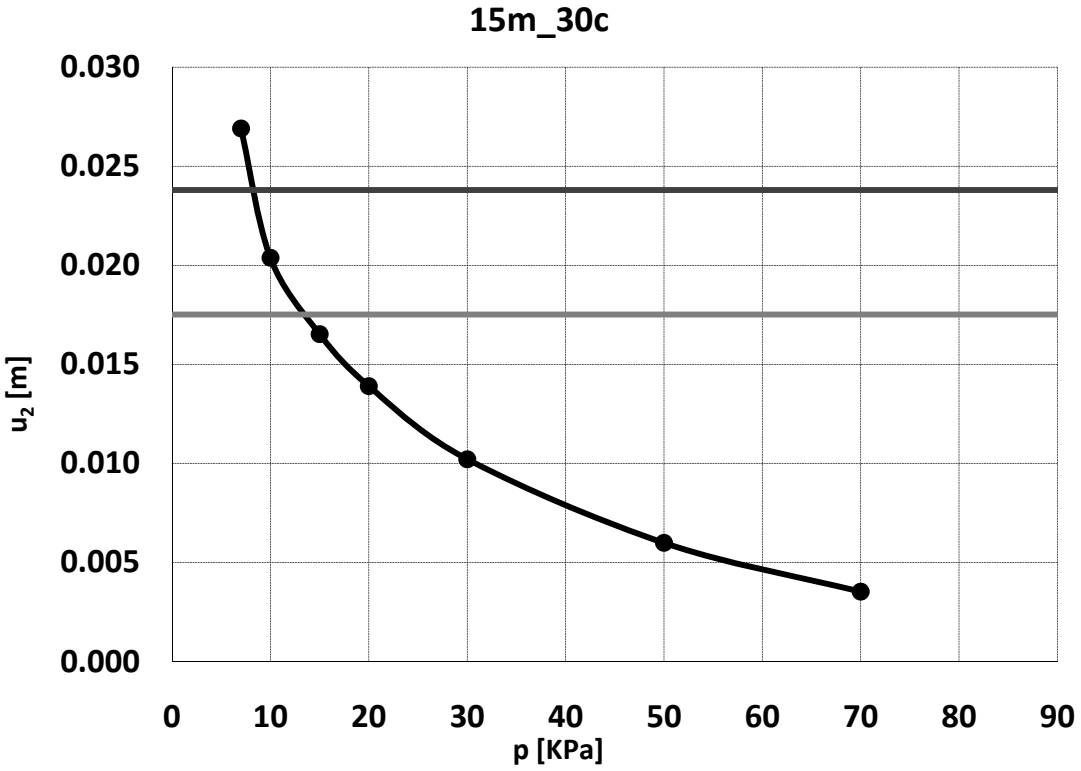

15m_13c
0.025
0.020
0.015
0.010
0.005
0.000
u2 [m]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
p [KPa]

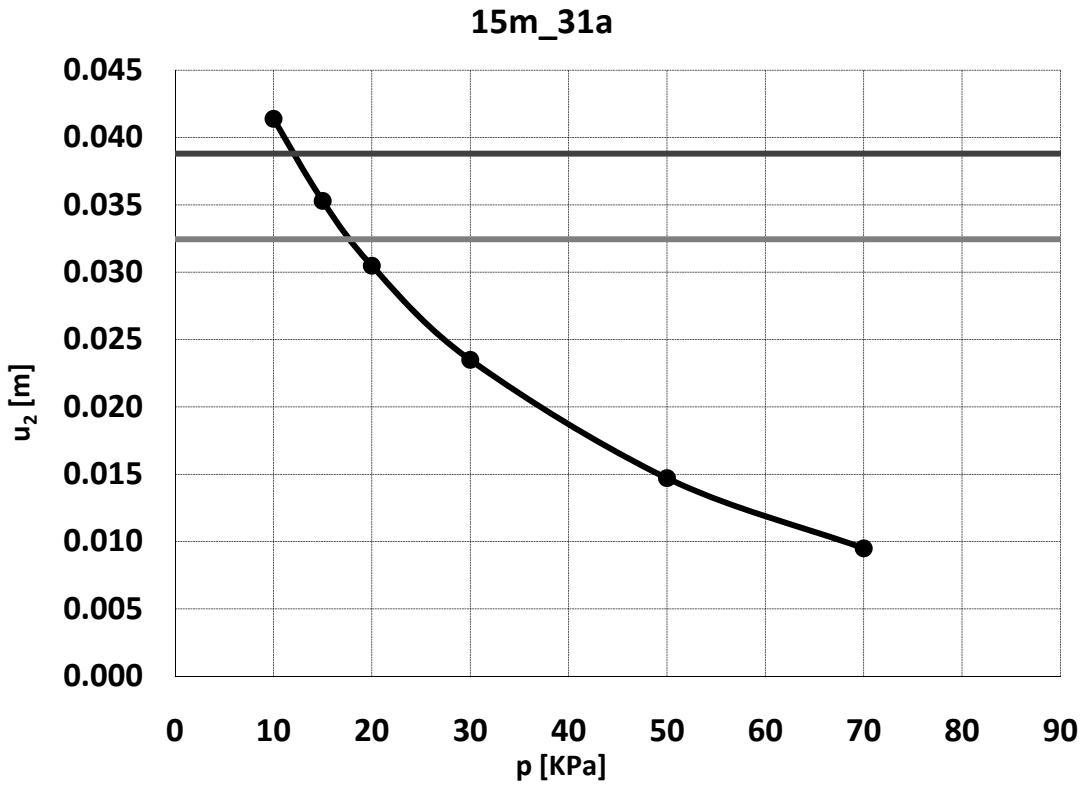
H/D=1.5 & ϕ=35°

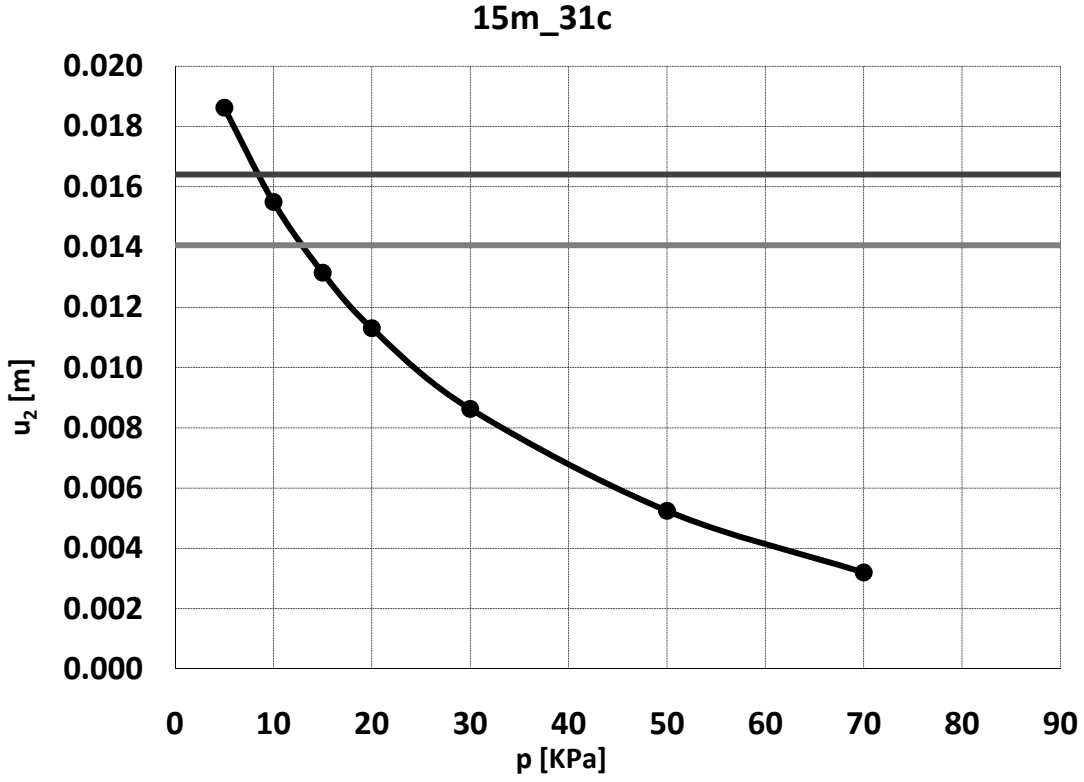

15m_29a
0.700
0.600
0.500
0.400
0.300
0.200
0.100
0.000
u2 [m]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
p [KPa]


15m_29c
0.700
0.600
0.500
0.400
0.300
0.200
0.100
0.000
u2 [m]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
p [KPa]

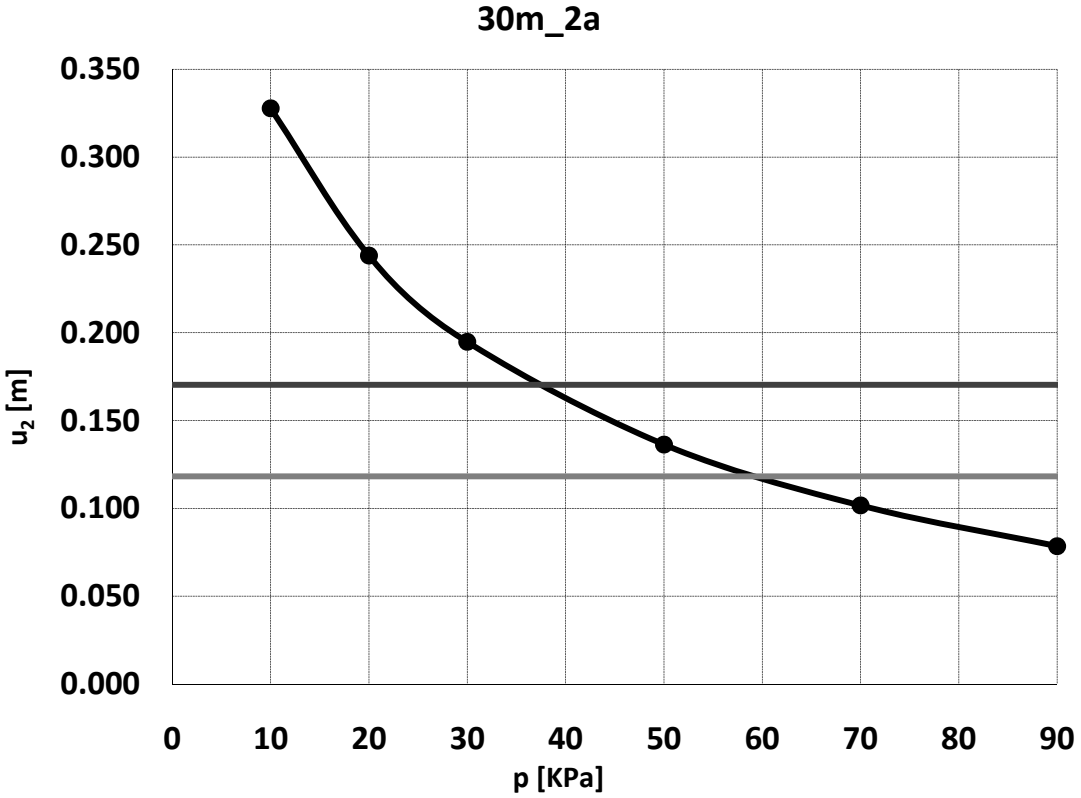

15m_30a
0.400
0.350
0.300
0.250
0.200
0.150
0.100
0.050
0.000
u2 [m]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
p [KPa]

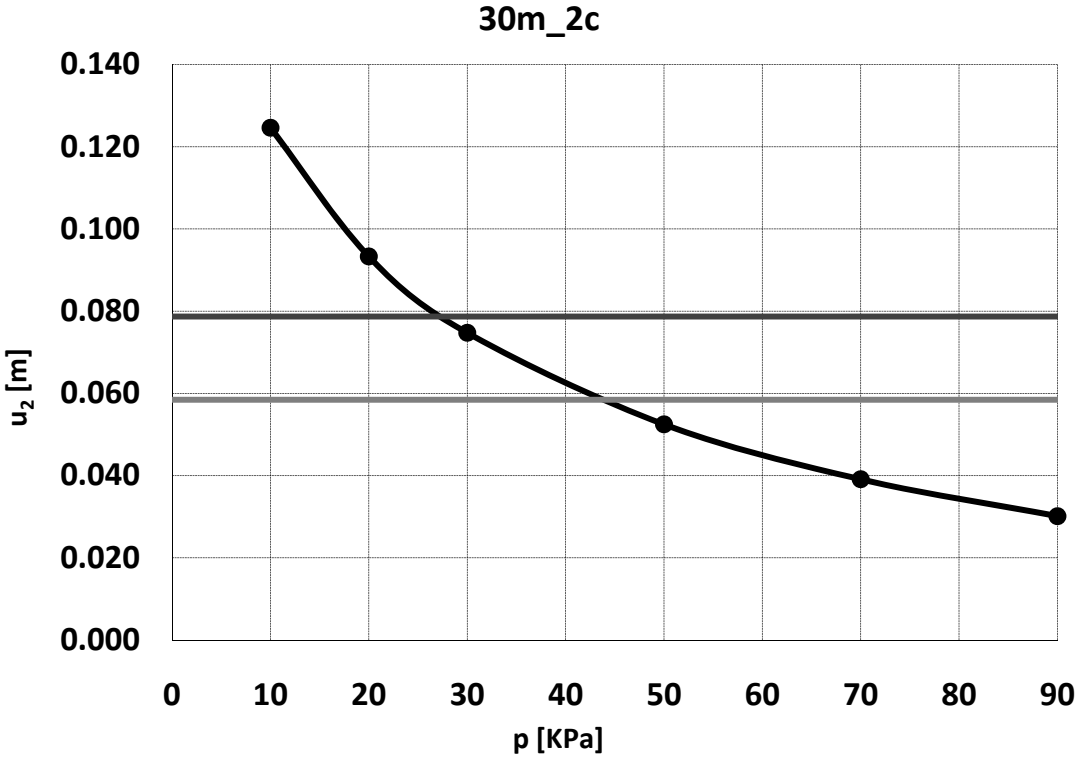

15m_30c
0.030
0.025
0.020
0.015
0.010
0.005
0.000
u2 [m]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
p [KPa]

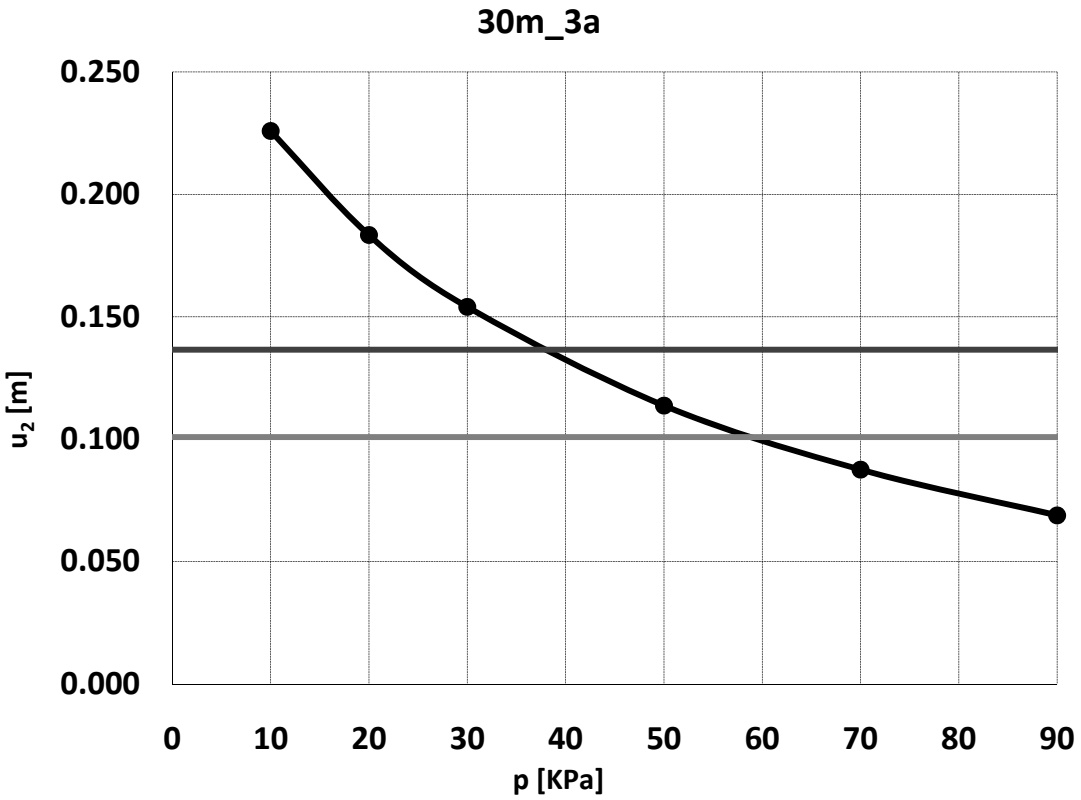

15m_31a
0.045
0.040
0.035
0.030
0.025
0.020
0.015
0.010
0.005
0.000
u2 [m]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
p [KPa]

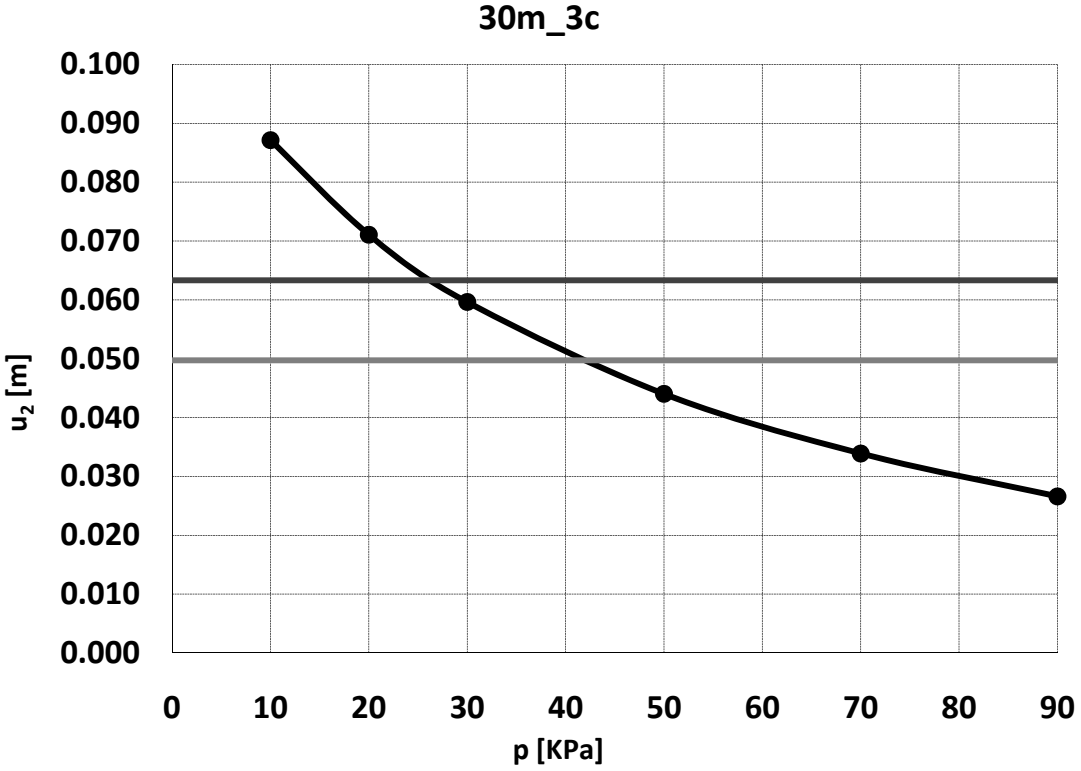

15m_31c
0.020
0.018
0.016
0.014
0.012
0.010
0.008
0.006
0.004
0.002
0.000
u2 [m]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
p [KPa]

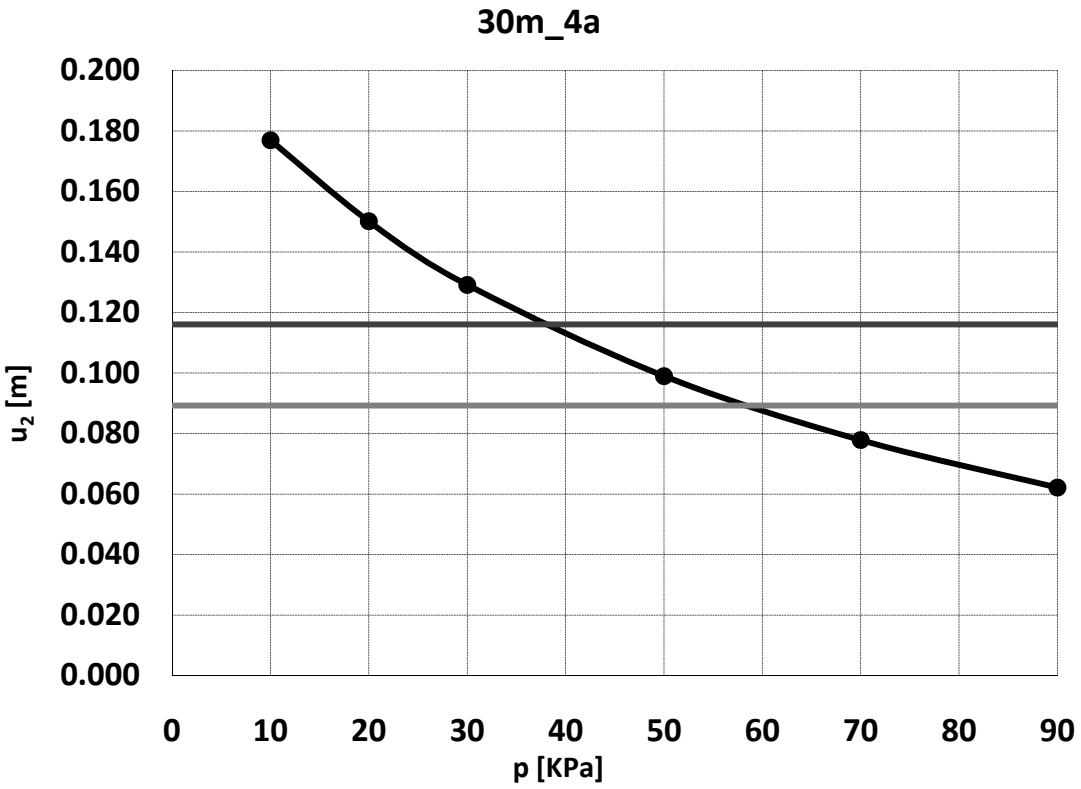
H/D=3 & ϕ=20°

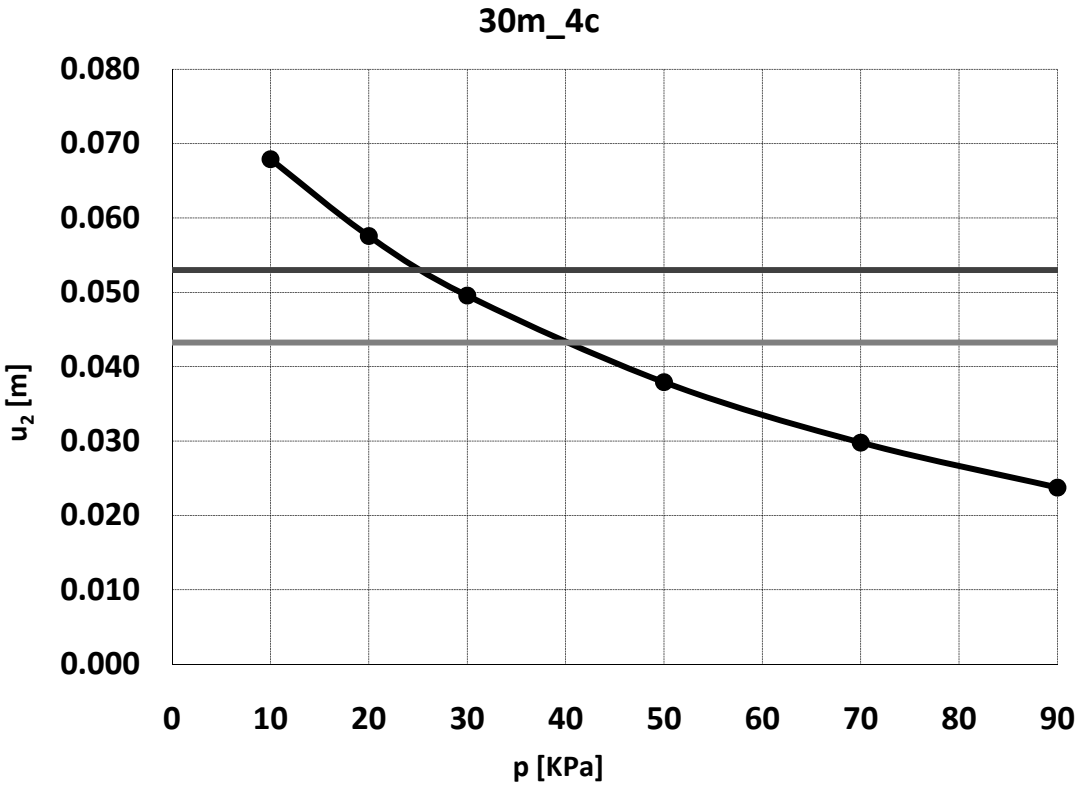

30m_2a
0.350
0.300
0.250
0.200
0.150
0.100
0.050
0.000
u2 [m]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
p [KPa]


30m_2c
0.140
0.120
0.100
0.080
0.060
0.040
0.020
0.000
u2 [m]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
p [KPa]

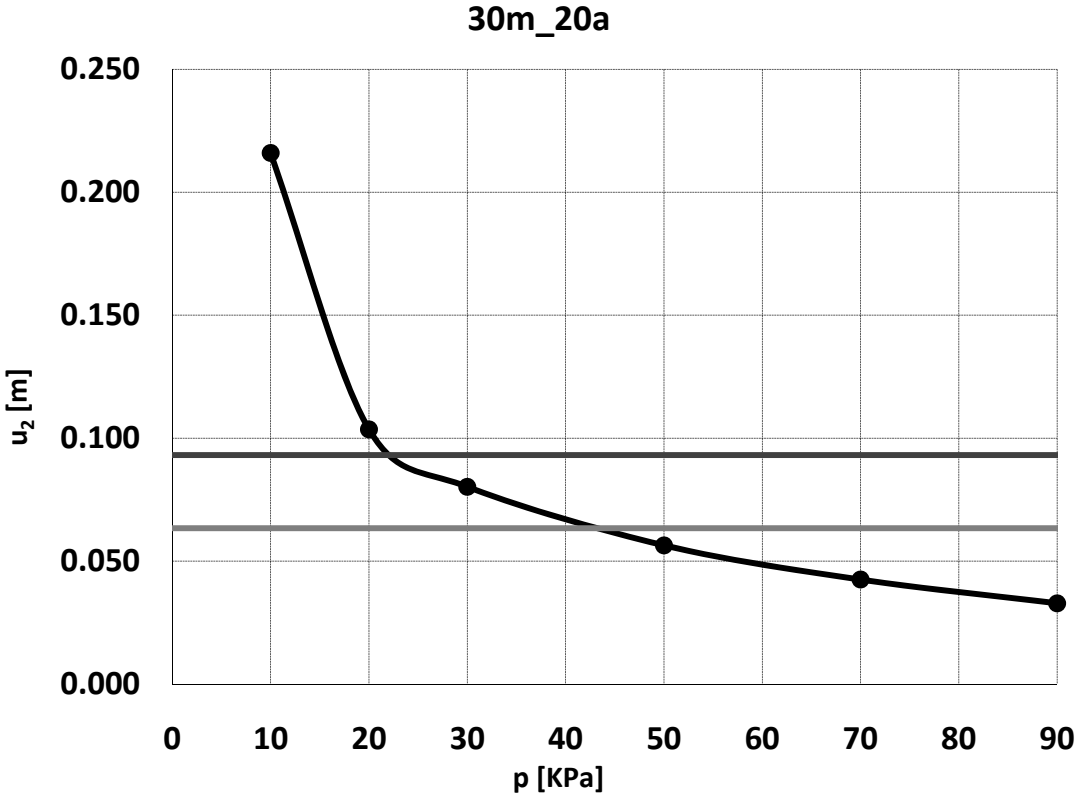

30m_3a
0.250
0.200
0.150
0.100
0.050
0.000
u2 [m]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
p [KPa]

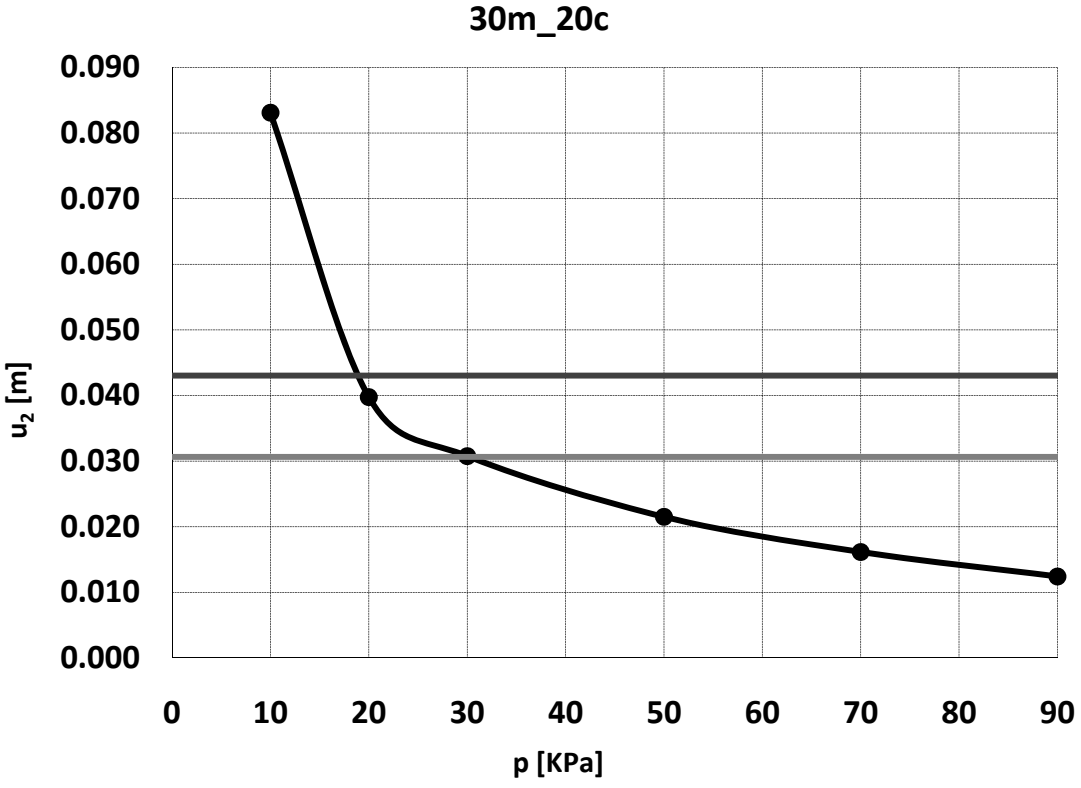

30m_3c
0.100
0.090
0.080
0.070
0.060
0.050
0.040
0.030
0.020
0.010
0.000
u2 [m]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
p [KPa]

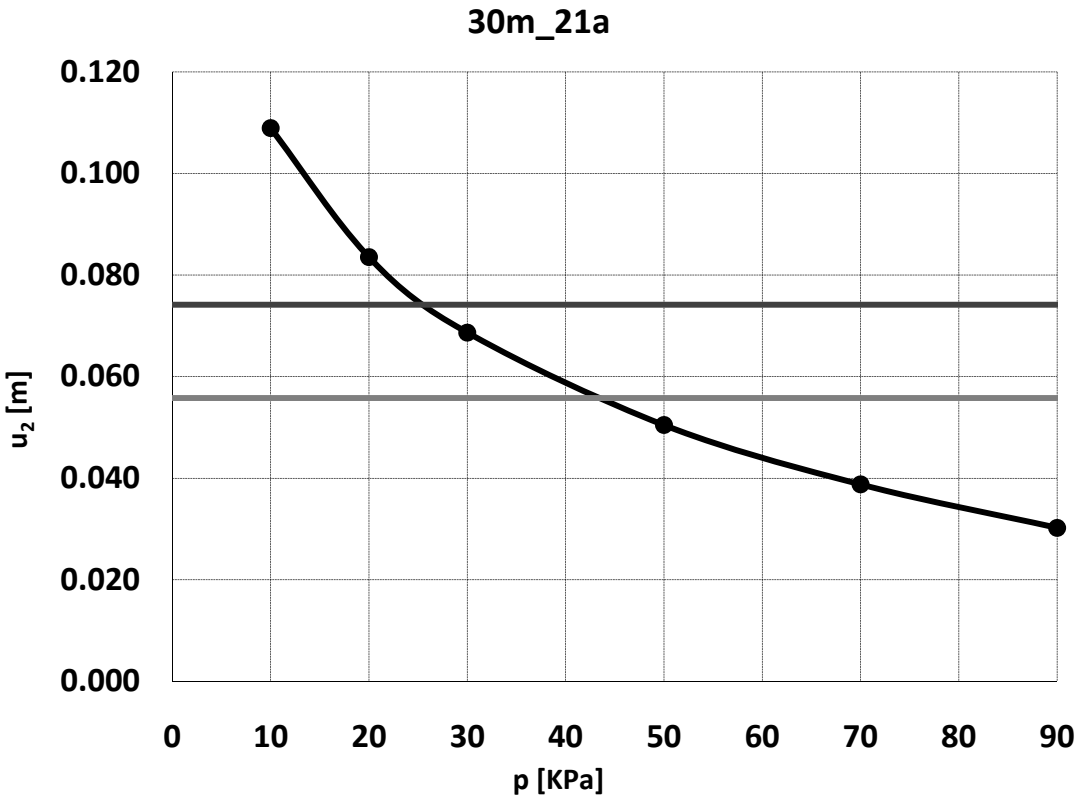

30m_4a
0.200
0.180
0.160
0.140
0.120
0.100
0.080
0.060
0.040
0.020
0.000
u2 [m]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
p [KPa]

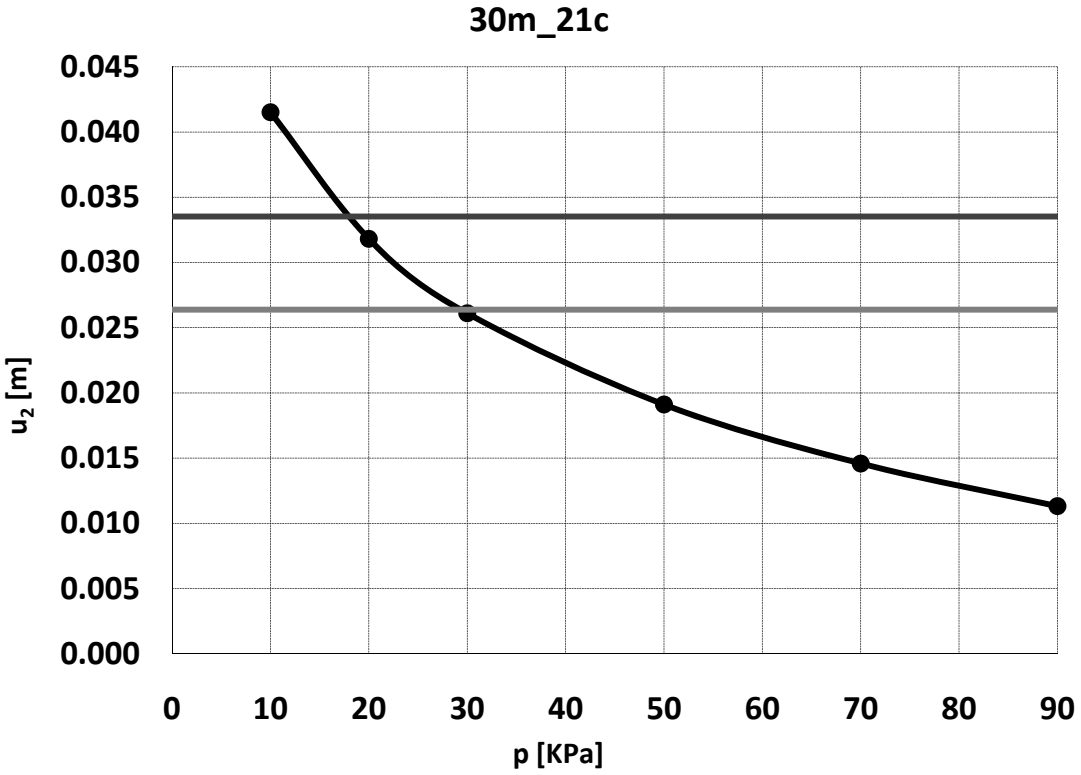

30m_4c
0.080
0.070
0.060
0.050
0.040
0.030
0.020
0.010
0.000
u2 [m]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
p [KPa]

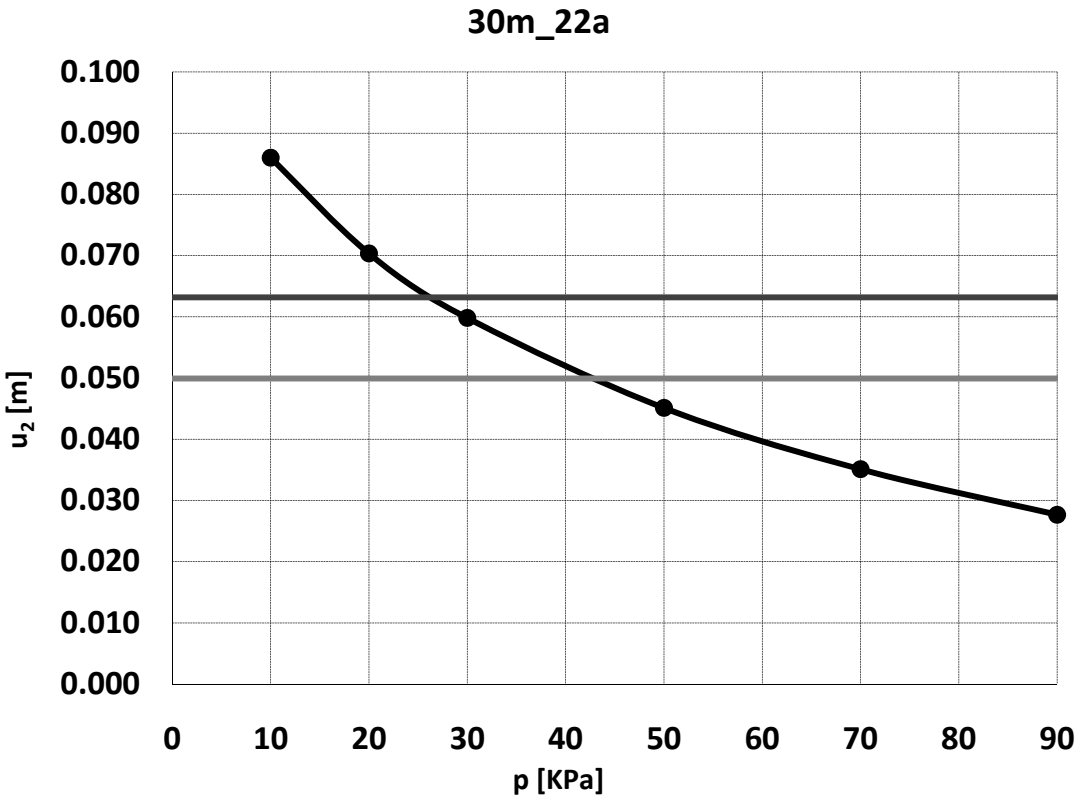
H/D=3 & ϕ=30°

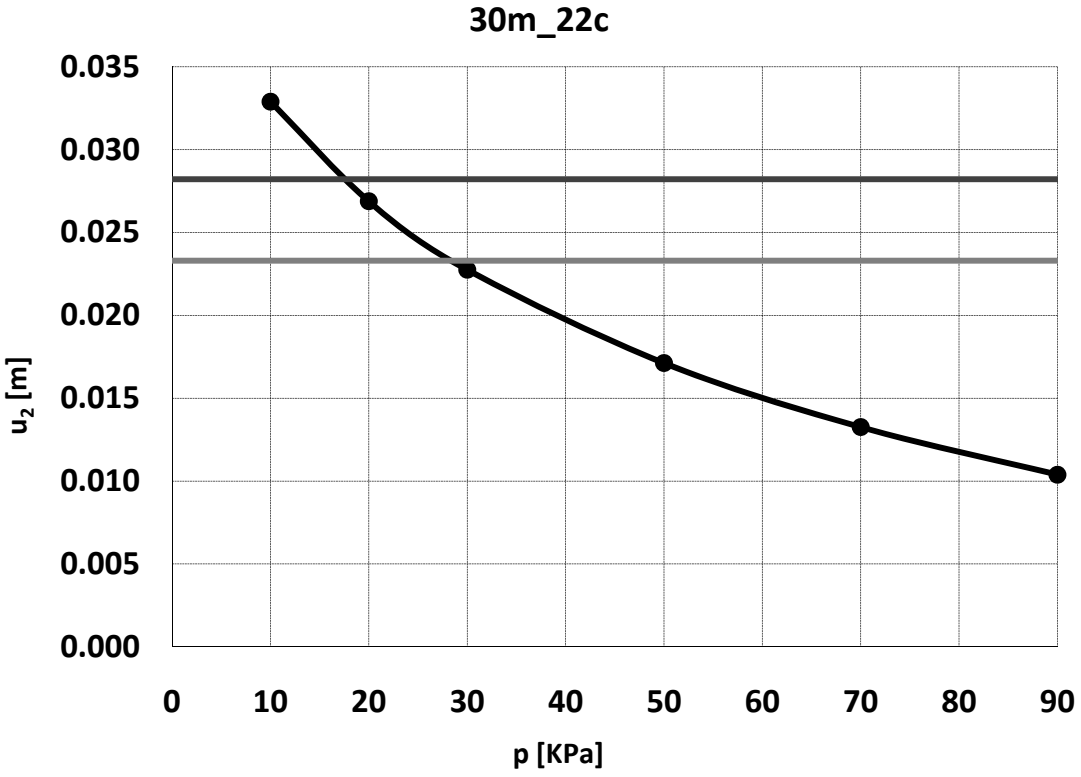

30m_20a
0.250
0.200
0.150
0.100
0.050
0.000
u2 [m]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
p [KPa]


30m_20c
0.090
0.080
0.070
0.060
0.050
0.040
0.030
0.020
0.010
0.000
u2 [m]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
p [KPa]

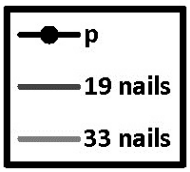

30m_21a
0.120
0.100
0.080
0.060
0.040
0.020
0.000
u2 [m]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
p [KPa]


30m_21c
0.045
0.040
0.035
0.030
0.025
0.020
0.015
0.010
0.005
0.000
u2 [m]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
p [KPa]

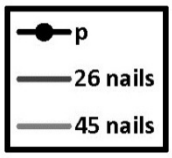

30m_22a
0.100
0.090
0.080
0.070
0.060
0.050
0.040
0.030
0.020
0.010
0.000
u2 [m]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
p [KPa]


30m_22c
0.035
0.030
0.025
0.020
0.015
0.010
0.005
0.000
u2 [m]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
p [KPa]

3η Ομάδα Αναλύσεων

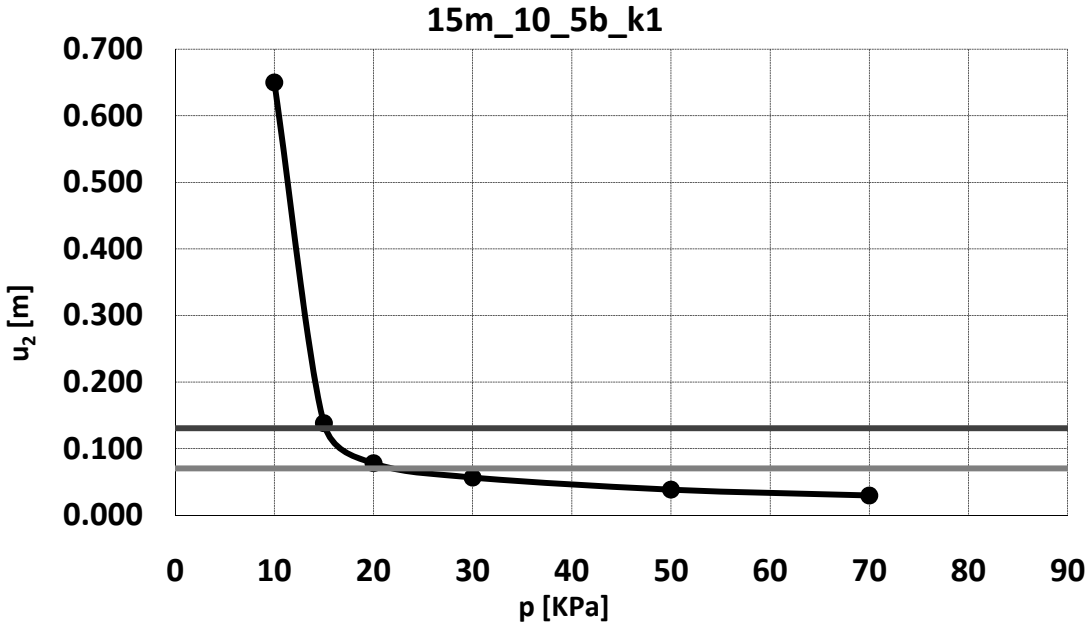


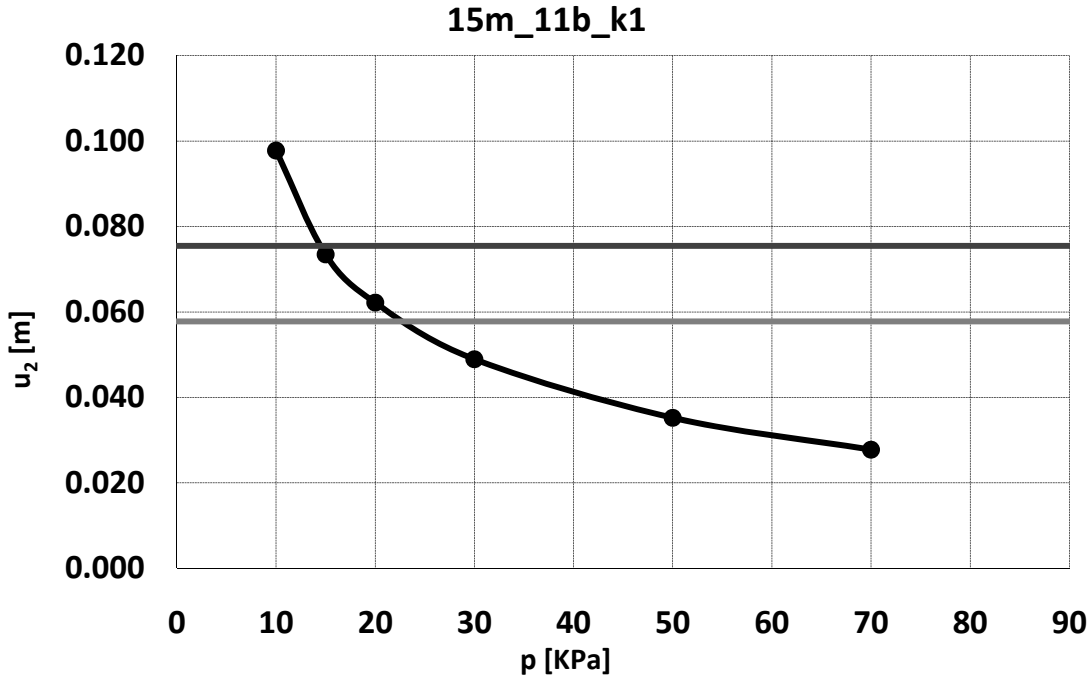
Υπόμνημα διαγραμμάτων H/D=1.5

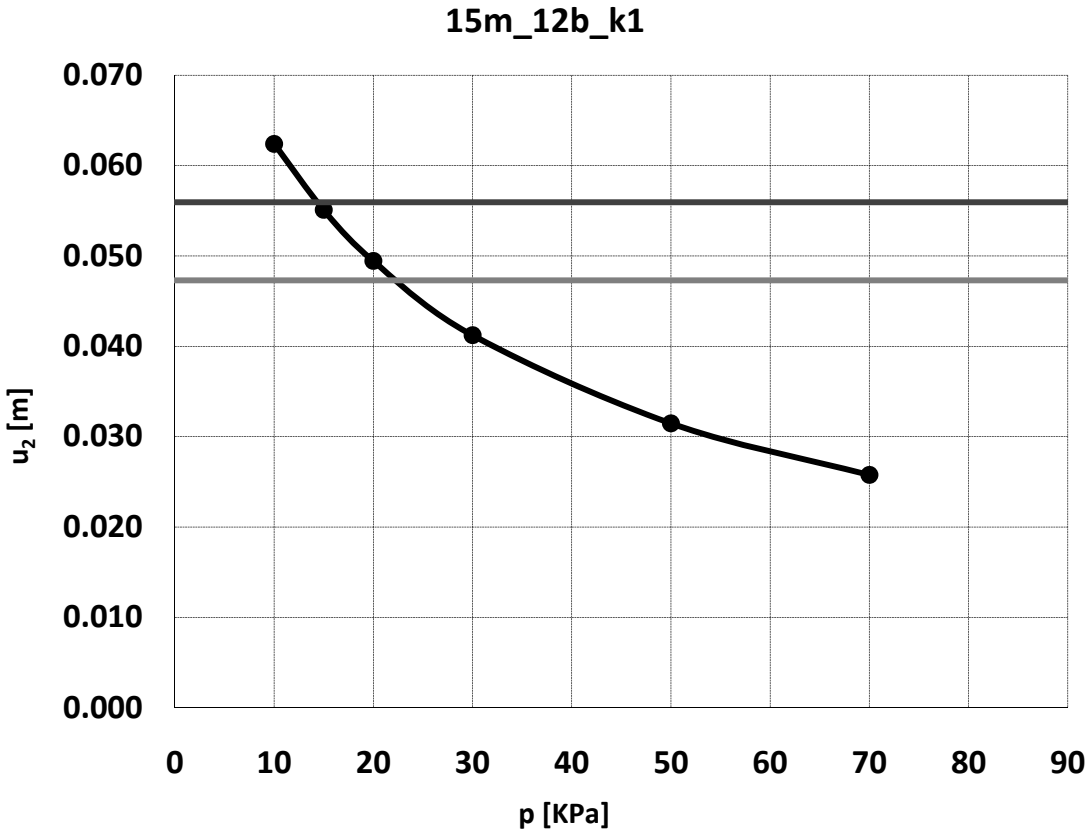


Υπόμνημα διαγραμμάτων H/D=3

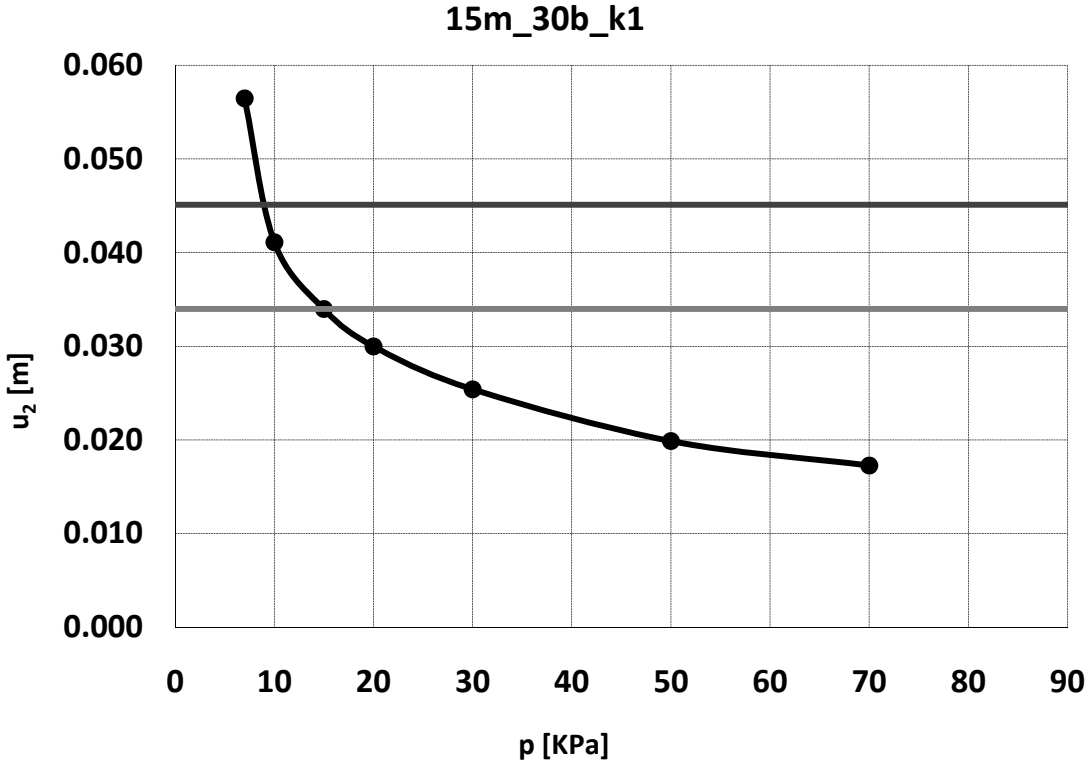
H/D=1.5 & ϕ=25°

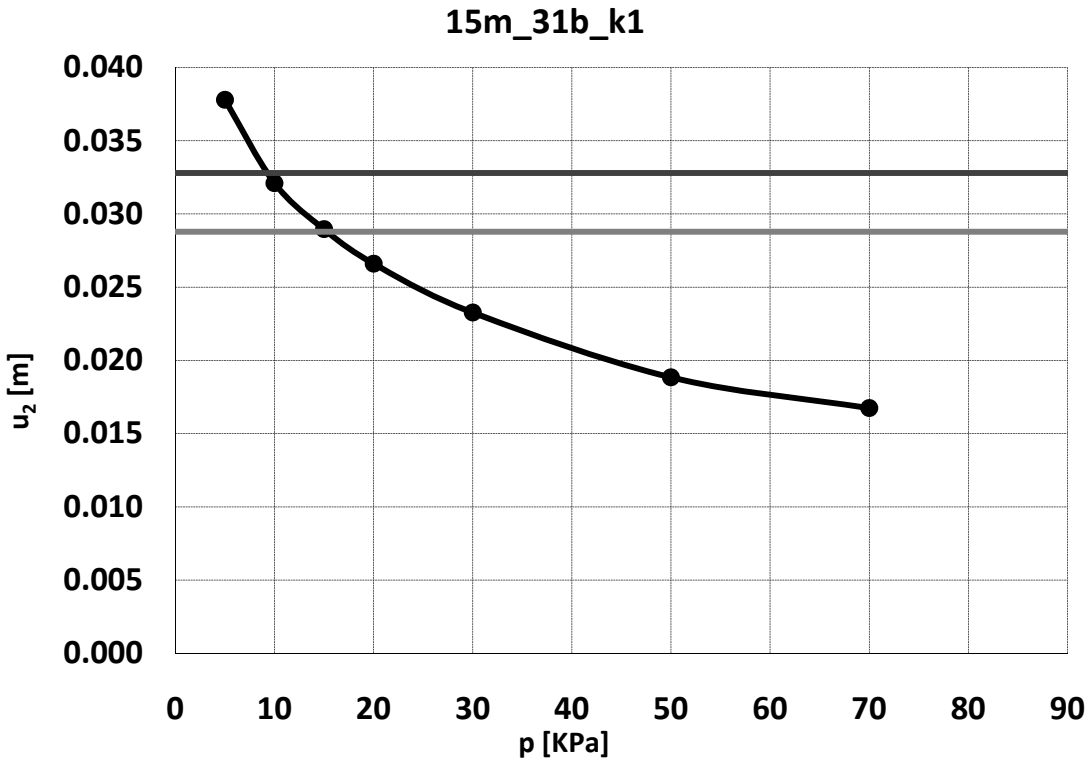




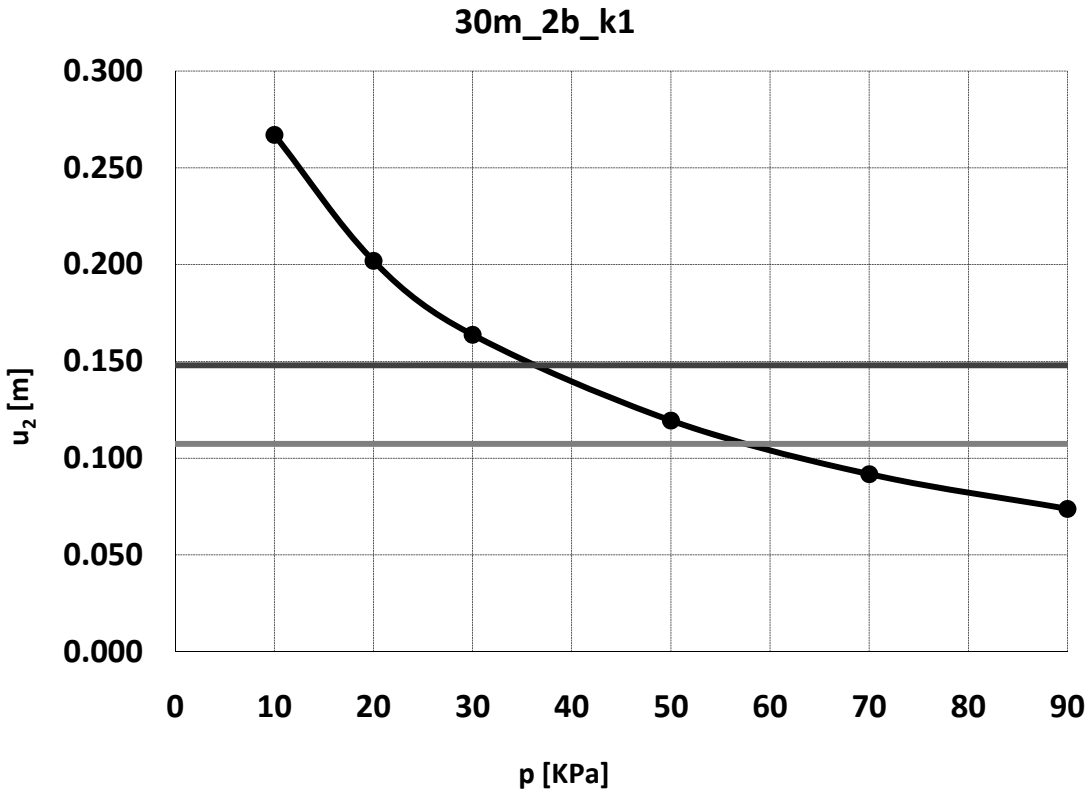

15m_12b_k1
0.070
0.060
0.050
0.040
0.030
0.020
0.010
0.000
u2 [m]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
p [KPa]

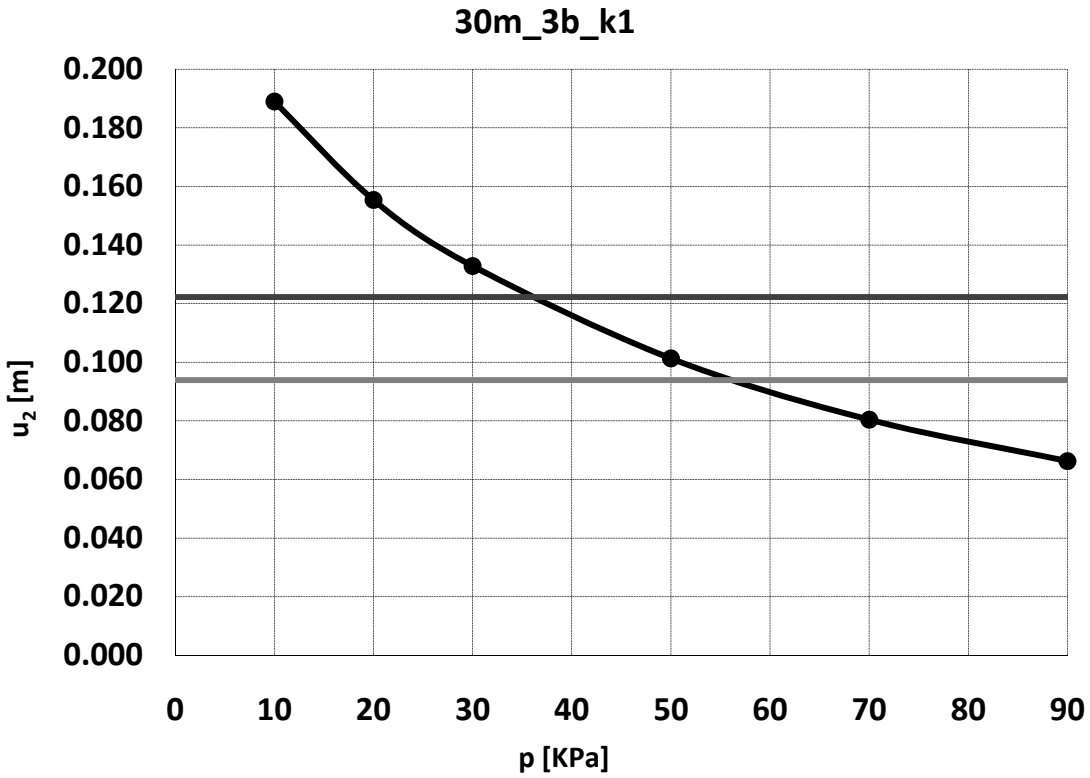
H/D=1.5 & ϕ=35°

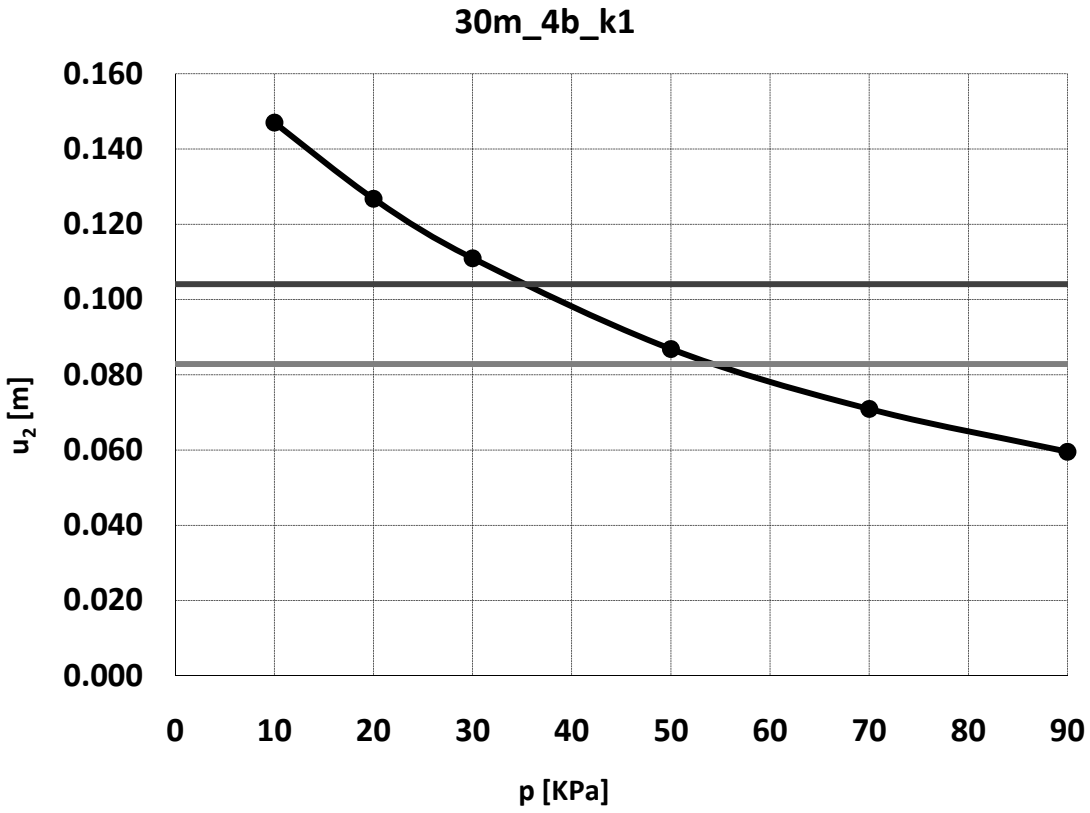

15m_30b_k1
0.060
0.050
0.040
0.030
0.020
0.010
0.000
u2 [m]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
p [KPa]


15m_31b_k1
0.040
0.035
0.030
0.025
0.020
0.015
0.010
0.005
0.000
u2 [m]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
p [KPa]

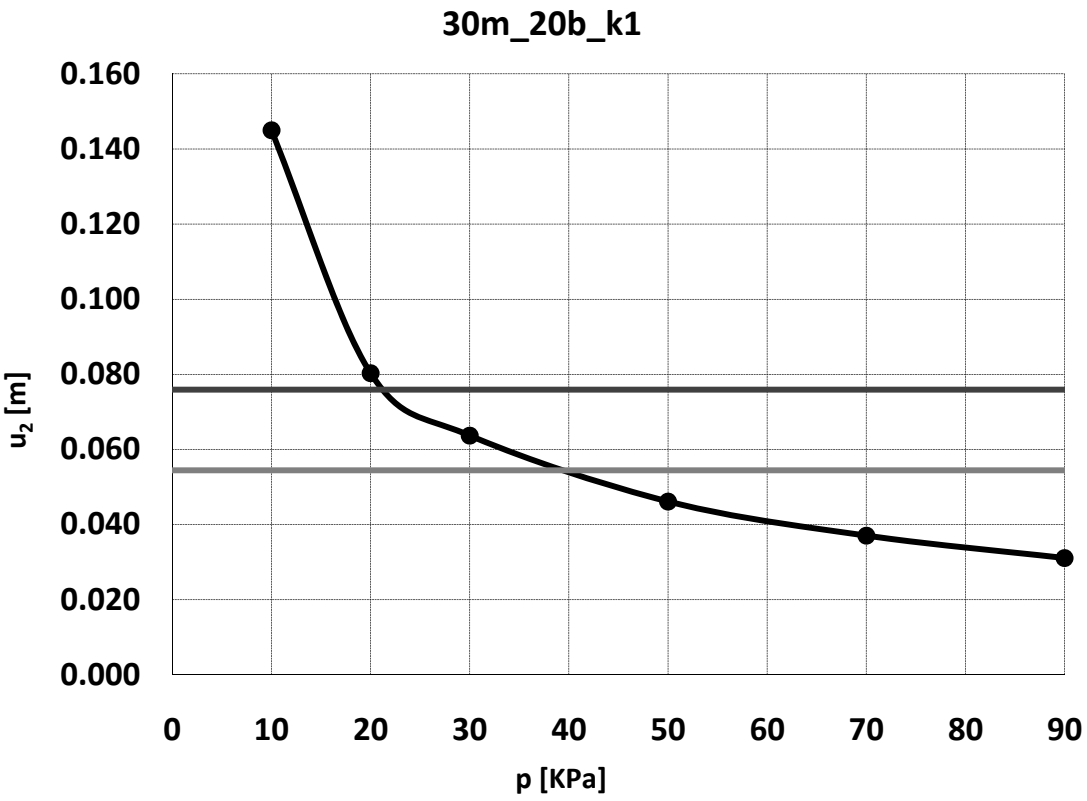
H/D=3 & ϕ=20°

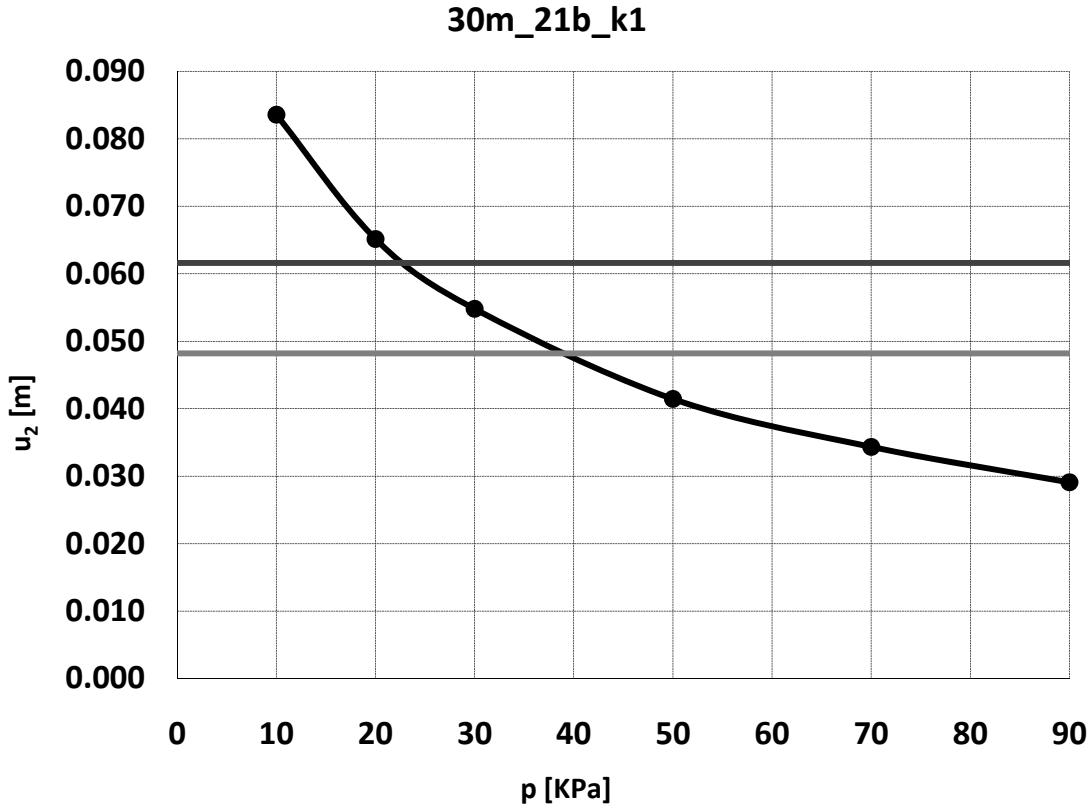

30m_2b_k1
0.300
0.250
0.200
0.150
0.100
0.050
0.000
u2 [m]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
p [KPa]

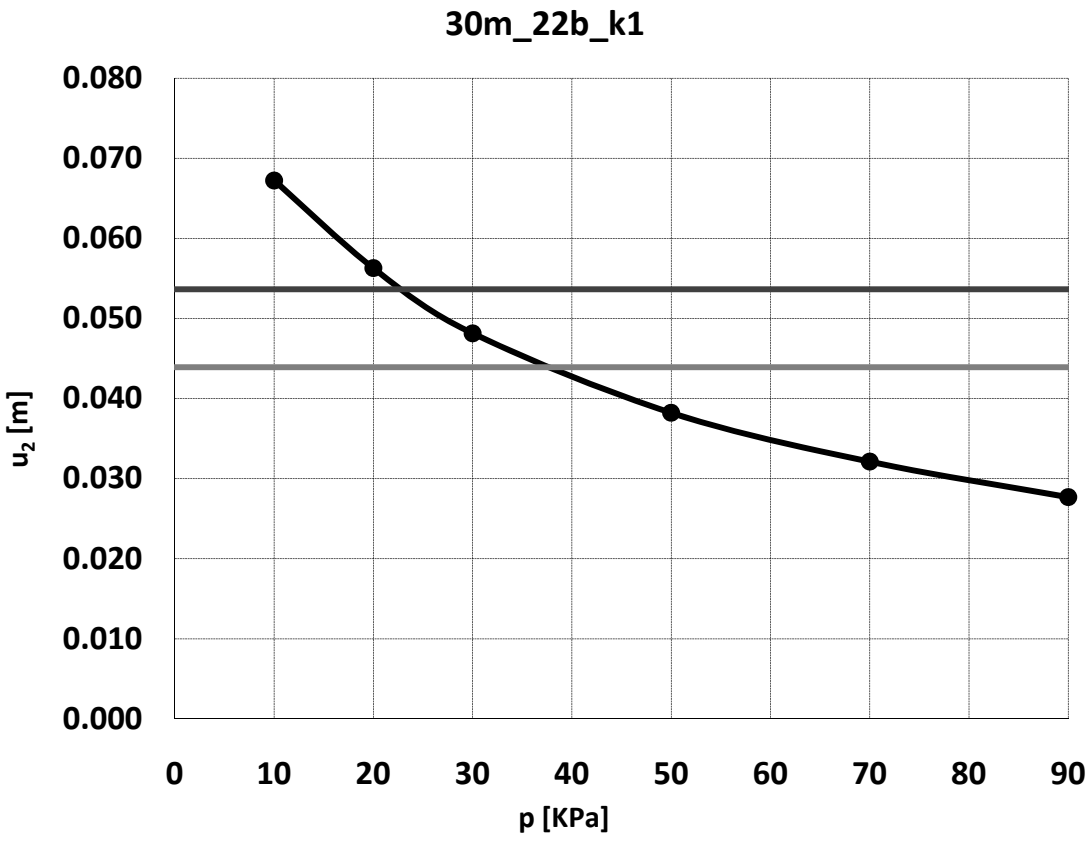

30m_3b_k1
0.200
0.180
0.160
0.140
0.120
0.100
0.080
0.060
0.040
0.020
0.000
u2 [m]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
p [KPa]


30m_4b_k1
0.160
0.140
0.120
0.100
0.080
0.060
0.040
0.020
0.000
u2 [m]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
p [KPa]

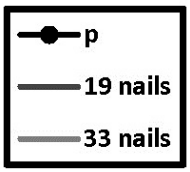
H/D=3 & ϕ=30°


30m_20b_k1
0.160
0.140
0.120
0.100
0.080
0.060
0.040
0.020
0.000
u2 [m]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
p [KPa]

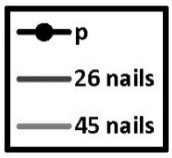

30m_21b_k1
0.090
0.080
0.070
0.060
0.050
0.040
0.030
0.020
0.010
0.000
u2 [m]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
p [KPa]


30m_22b_k1
0.080
0.070
0.060
0.050
0.040
0.030
0.020
0.010
0.000
u2 [m]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
p [KPa]

4η Ομάδα Αναλύσεων

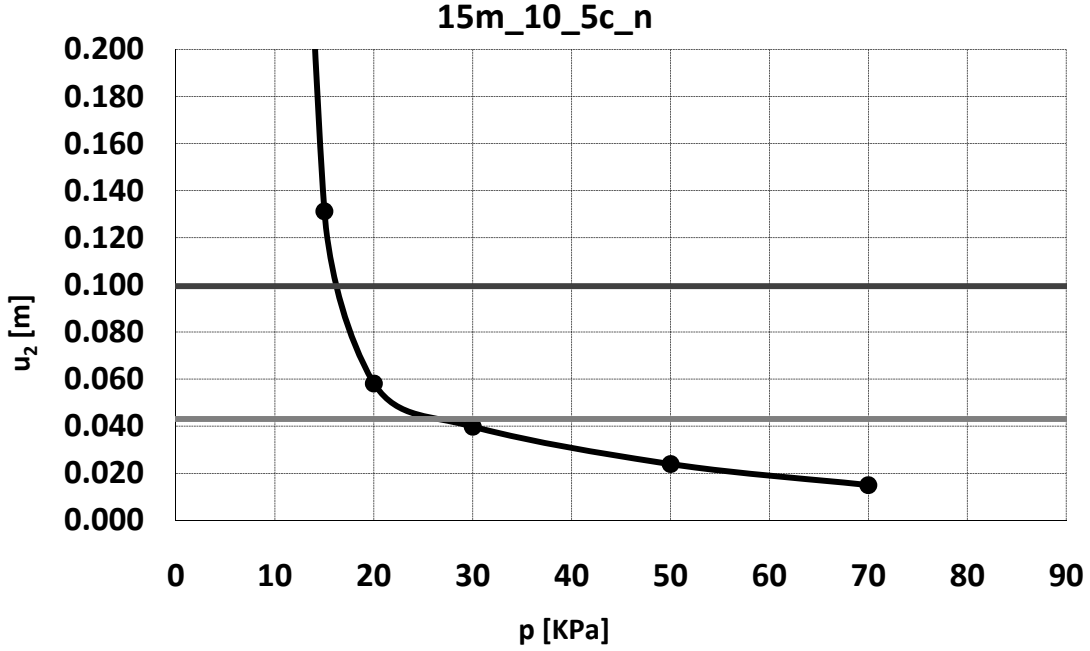


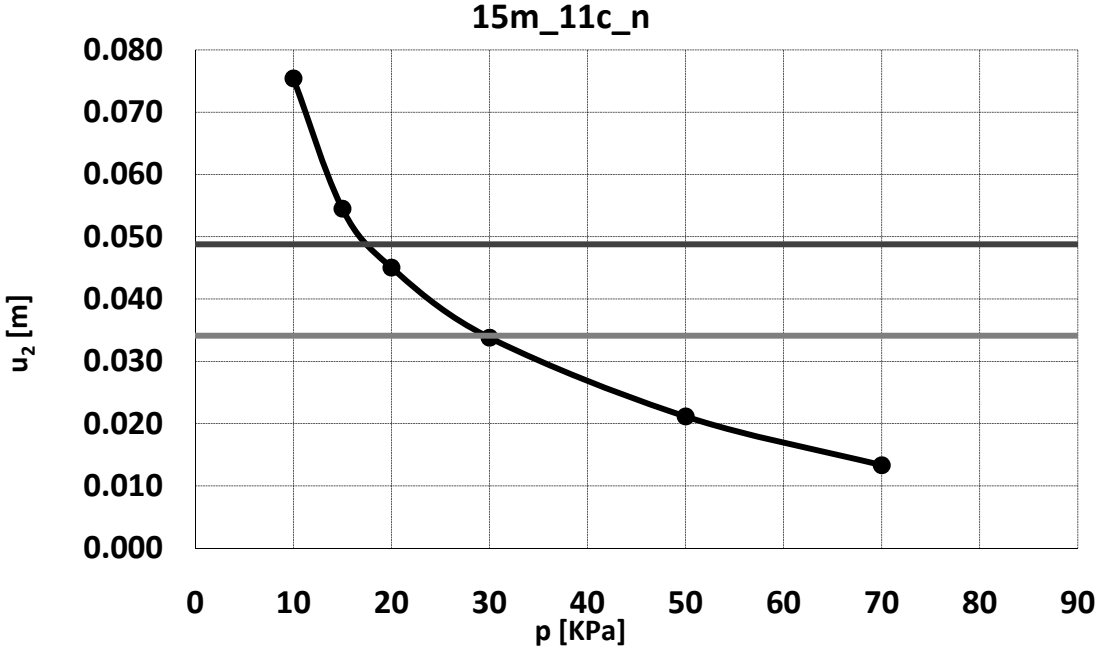
Υπόμνημα διαγραμμάτων H/D=1.5

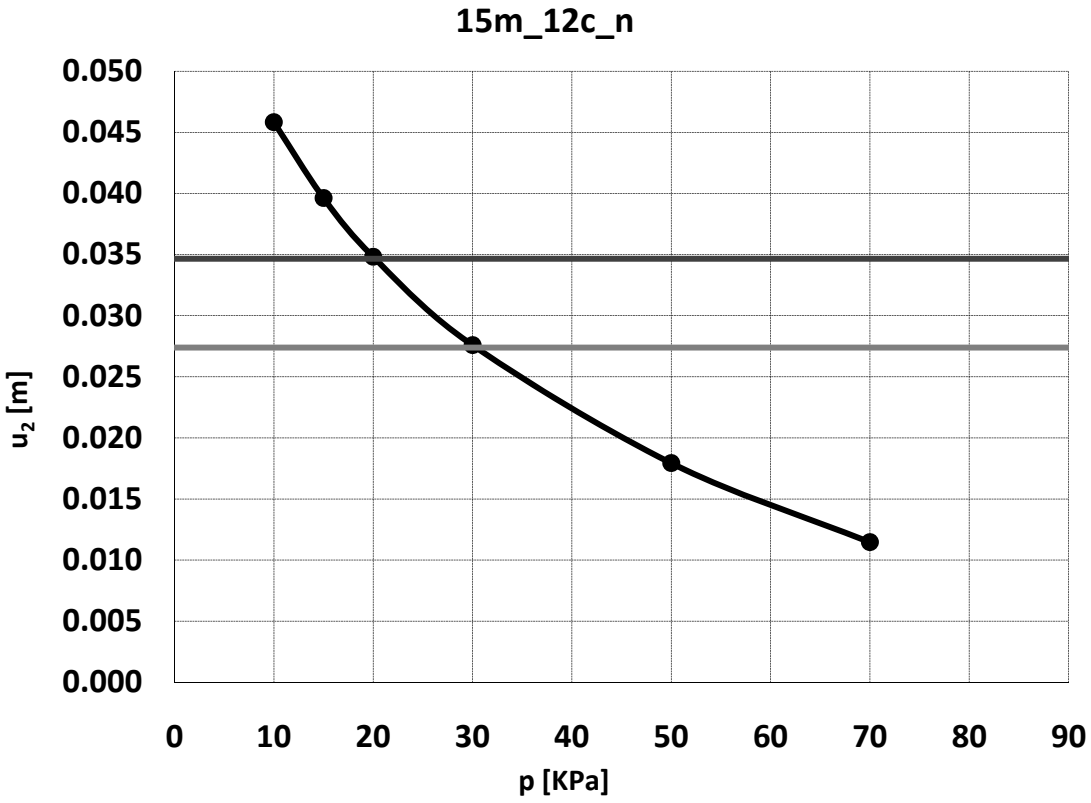


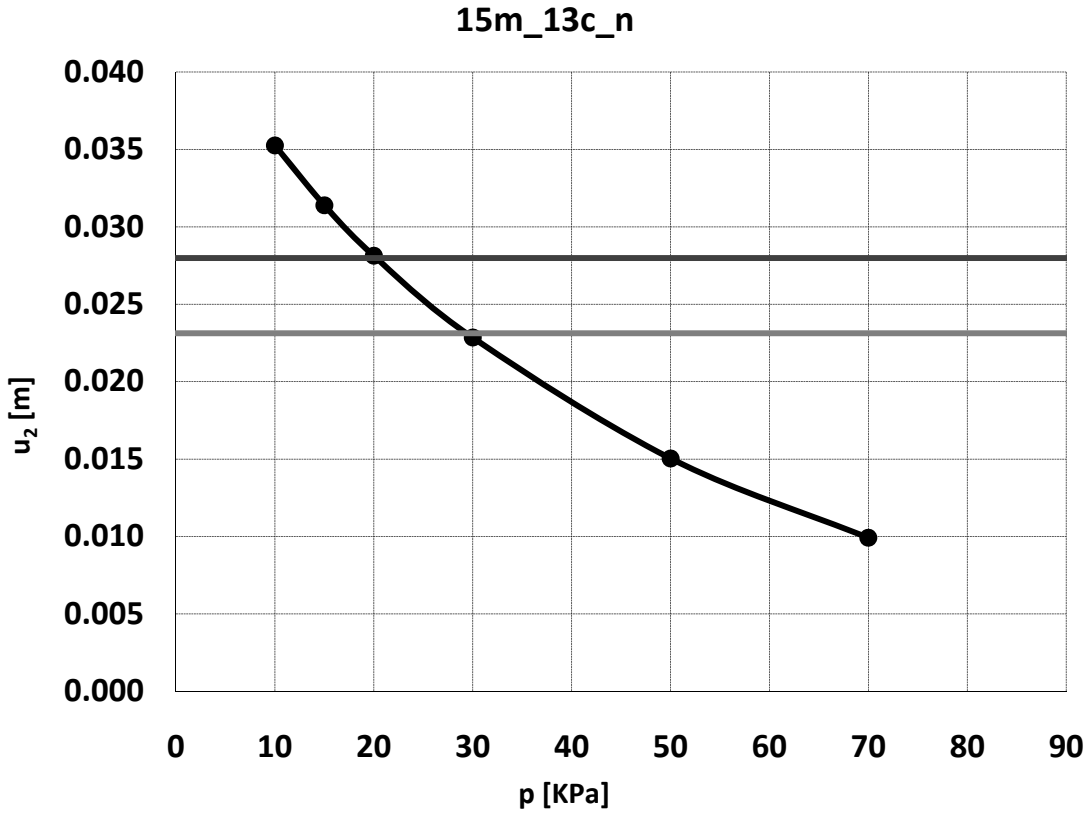
Υπόμνημα διαγραμμάτων H/D=3

H/D=1.5 & ϕ=25°

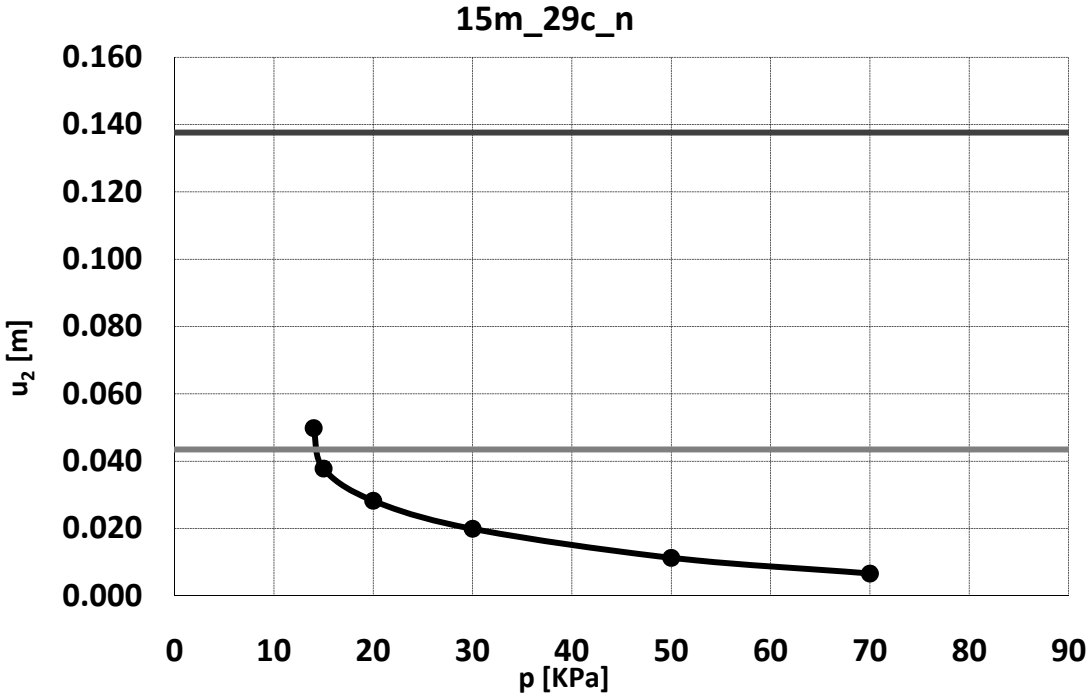


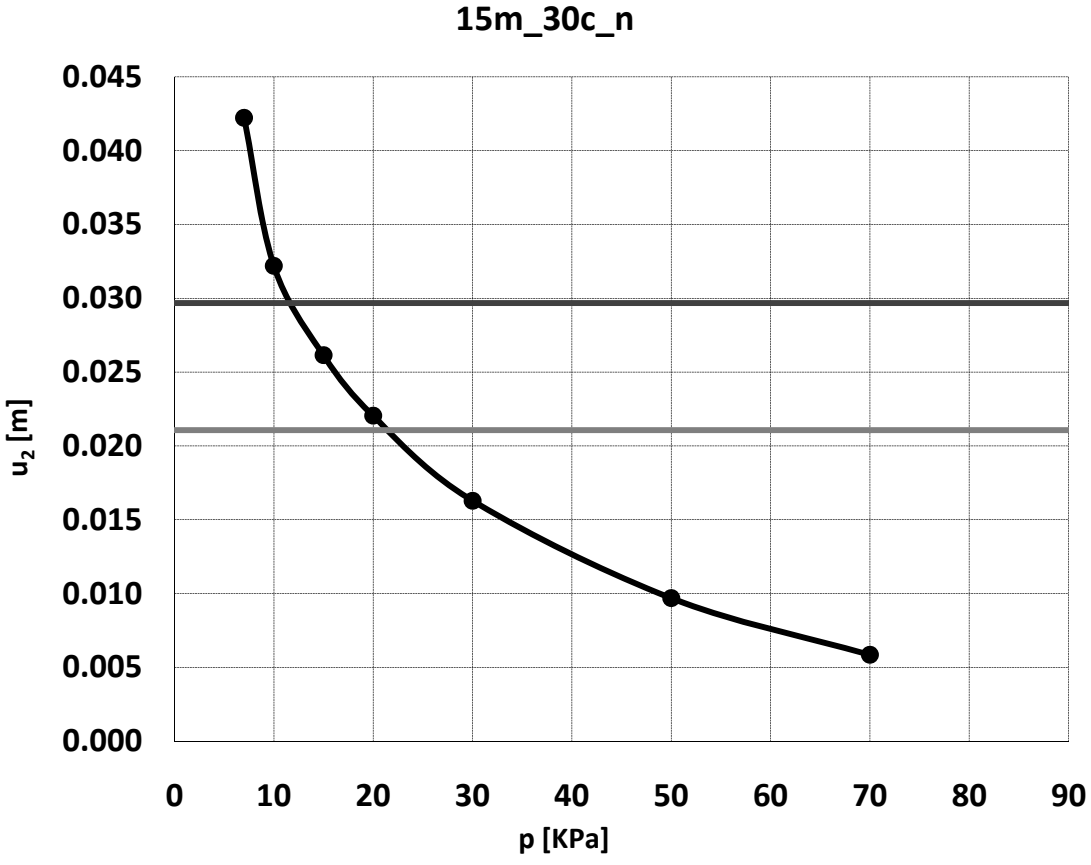


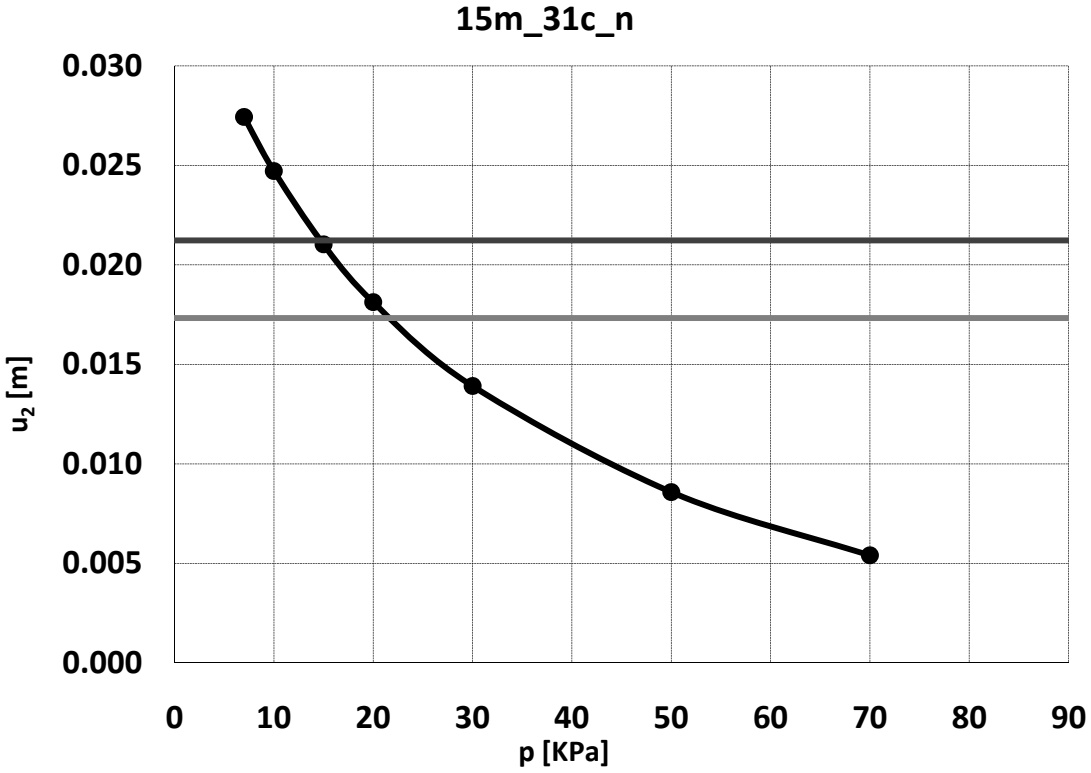

15m_12c_n
0.050
0.045
0.040
0.035
0.030
0.025
0.020
0.015
0.010
0.005
0.000
u2 [m]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
p [KPa]


15m_13c_n
0.040
0.035
0.030
0.025
0.020
0.015
0.010
0.005
0.000
u2 [m]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
p [KPa]

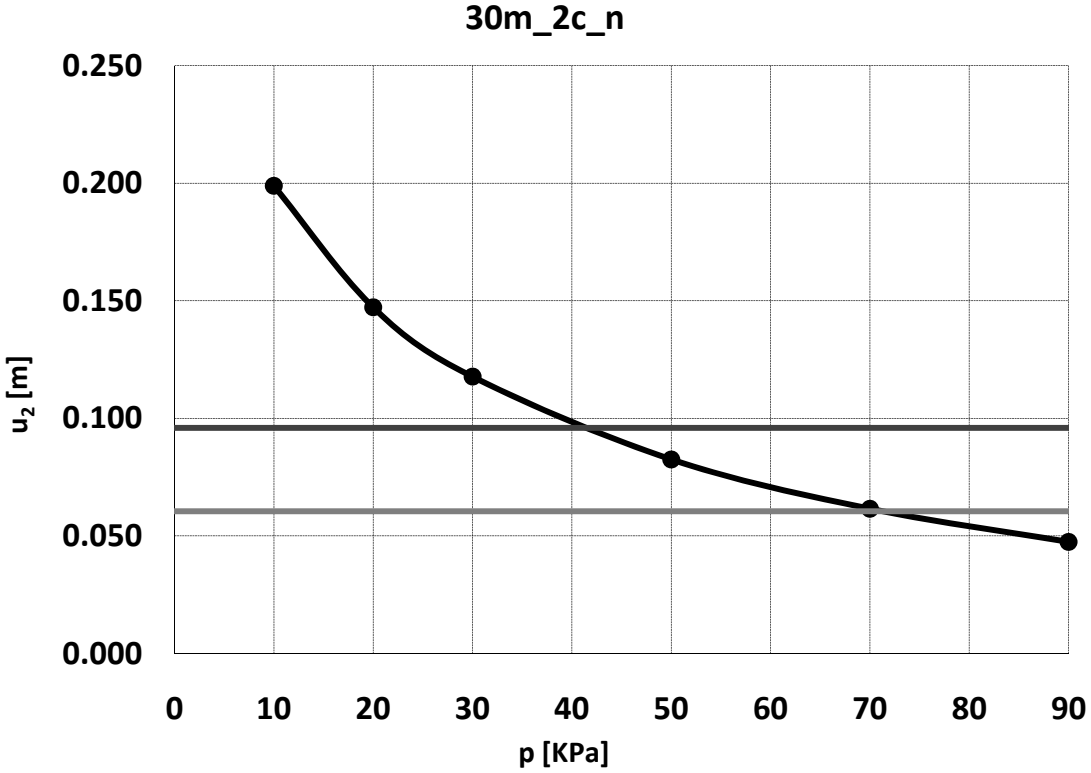
H/D=1.5 & ϕ=35°

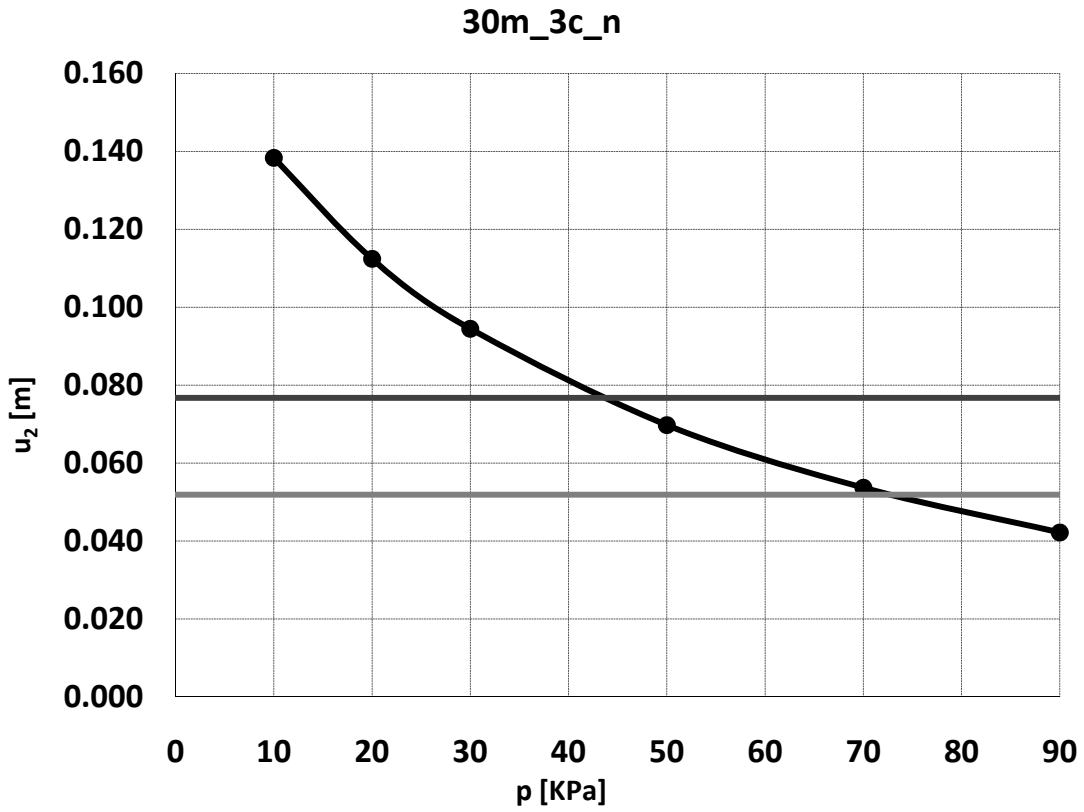

15m_29c_n
0.160
0.140
0.120
0.100
0.080
0.060
0.040
0.020
0.000
u2 [m]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
p [KPa]

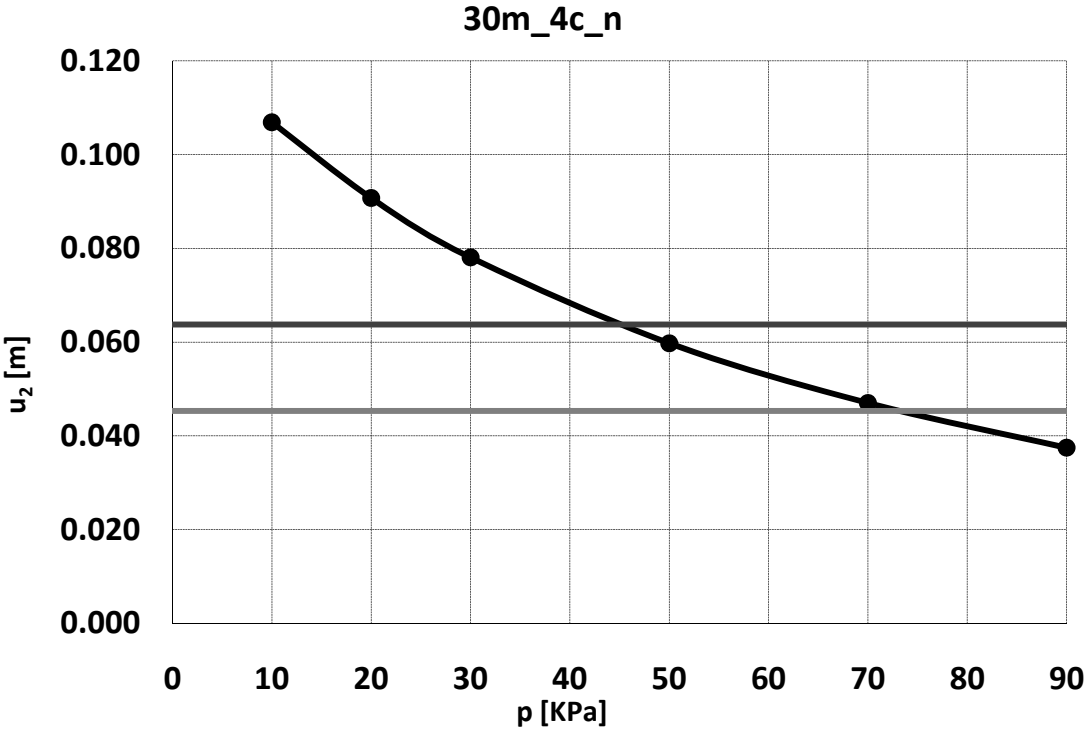

15m_30c_n
0.045
0.040
0.035
0.030
0.025
0.020
0.015
0.010
0.005
0.000
u2 [m]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
p [KPa]


15m_31c_n
0.030
0.025
0.020
0.015
0.010
0.005
0.000
u2 [m]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
p [KPa]

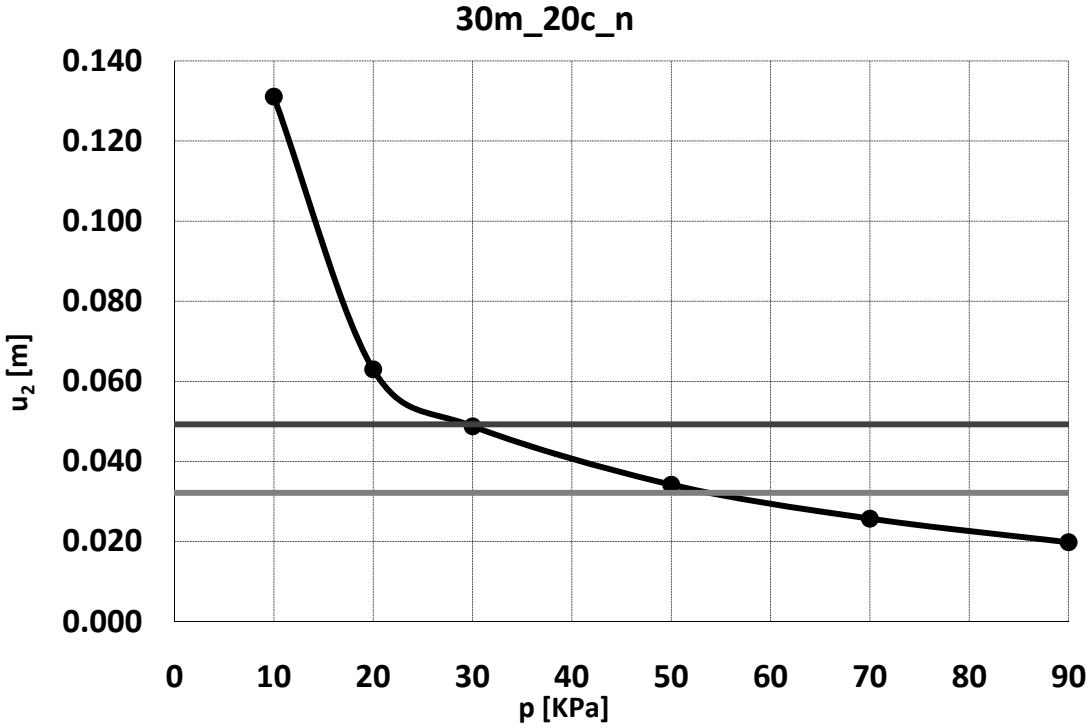
H/D=3 & ϕ=20°

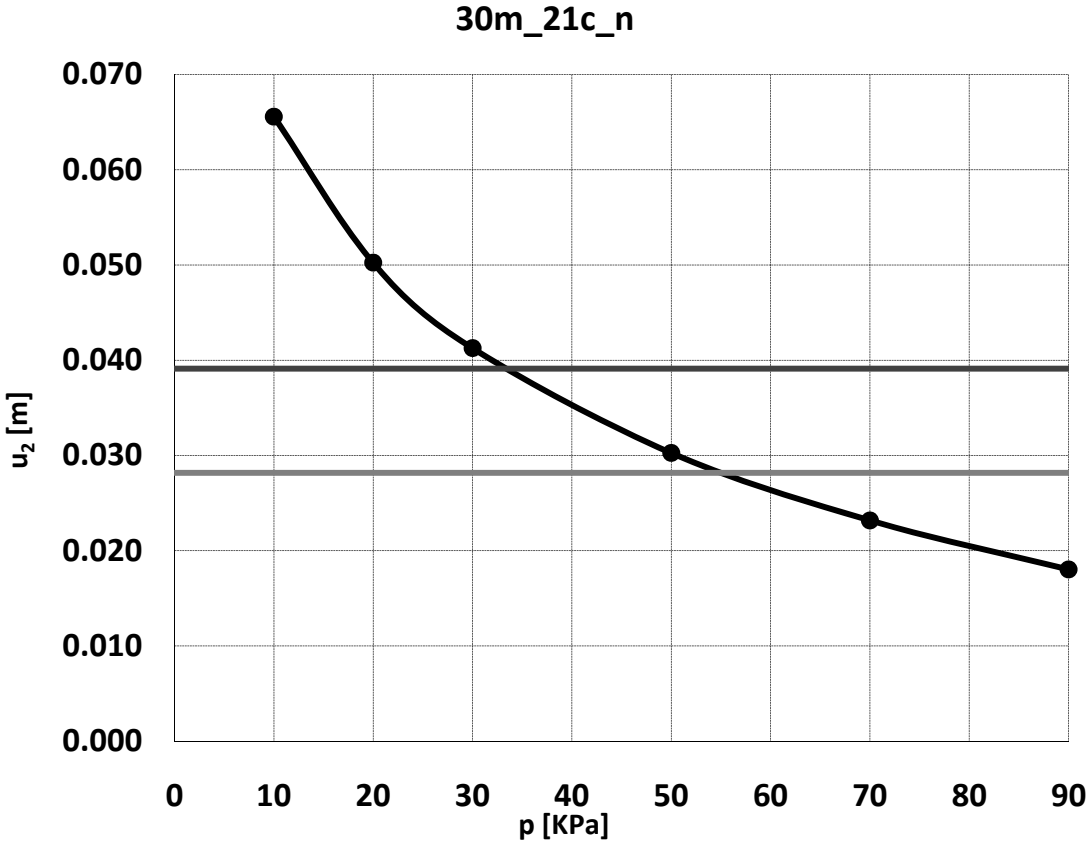

30m_2c_n
0.250
0.200
0.150
0.100
0.050
0.000
u2 [m]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
p [KPa]

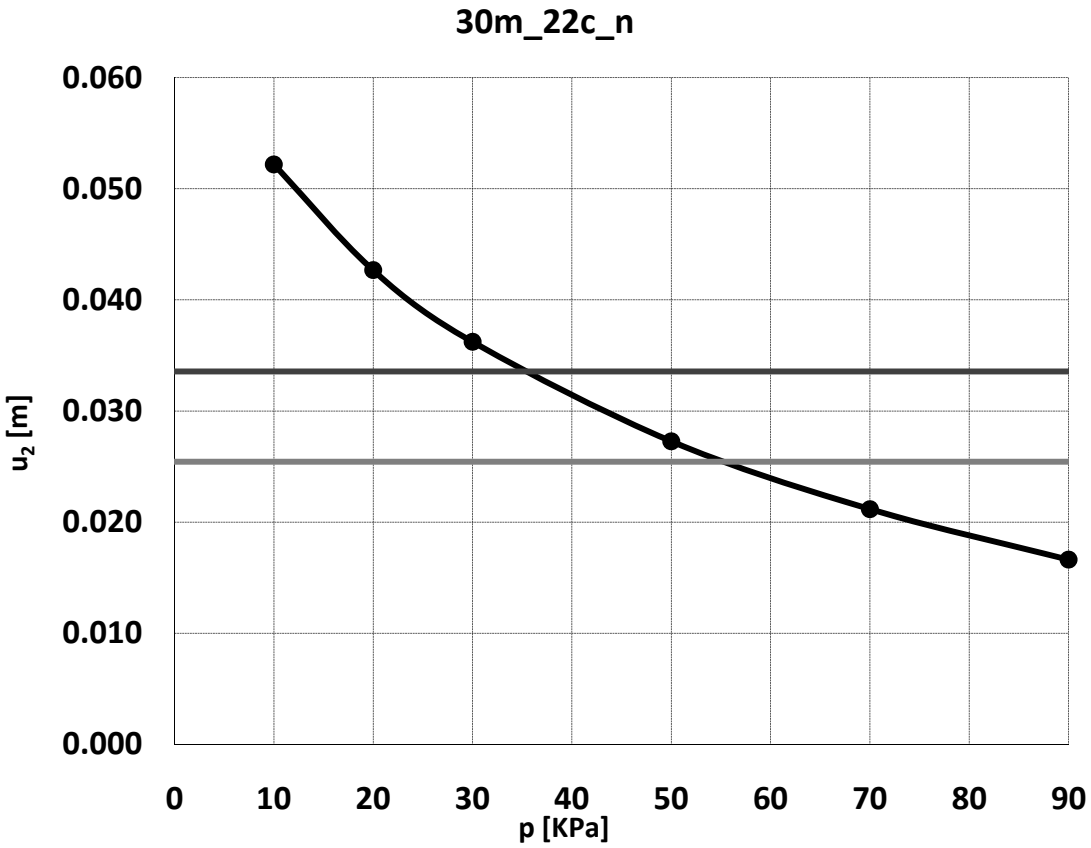

30m_3c_n
0.160
0.140
0.120
0.100
0.080
0.060
0.040
0.020
0.000
u2 [m]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
p [KPa]


30m_4c_n
0.120
0.100
0.080
0.060
0.040
0.020
0.000
u2 [m]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
p [KPa]

H/D=3 & ϕ=30°

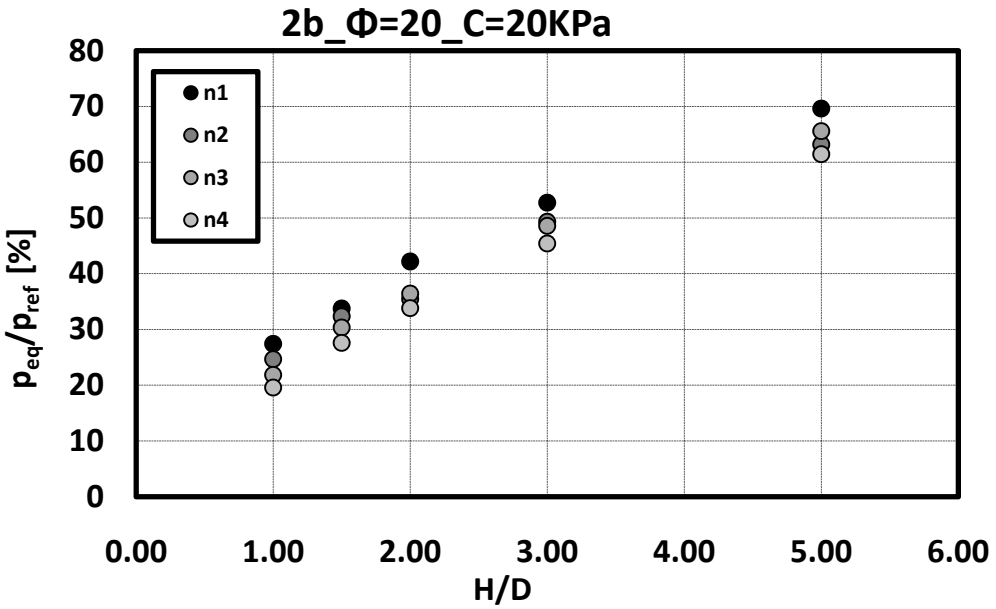

30m_20c_n
0.140
0.120
0.100
0.080
0.060
0.040
0.020
0.000
u2 [m]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
p [KPa]

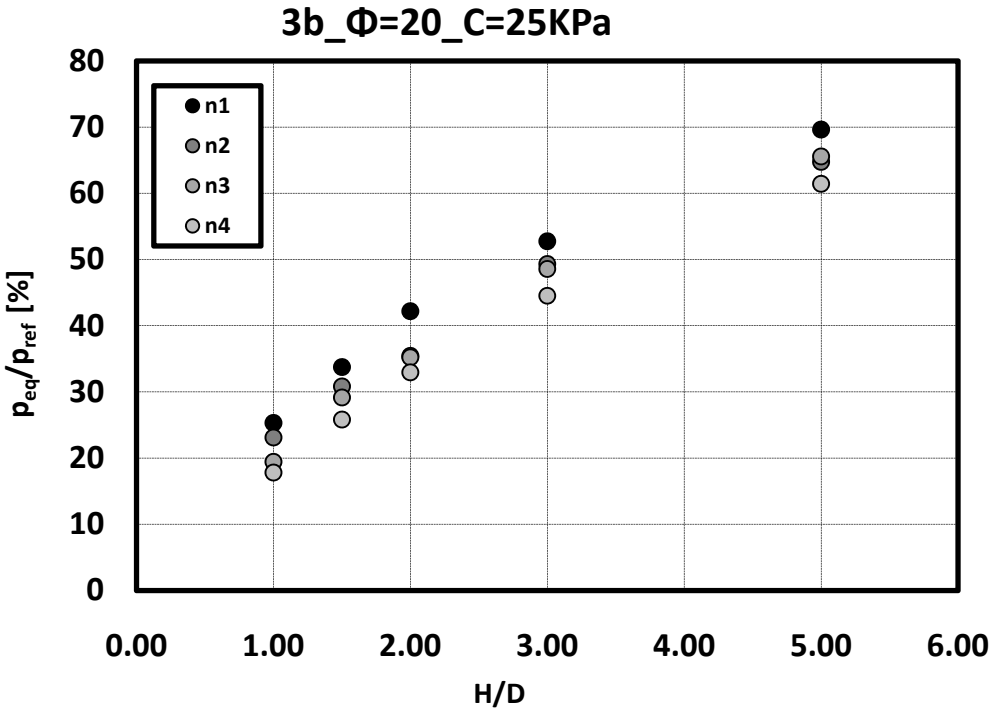

30m_21c_n
0.070
0.060
0.050
0.040
0.030
0.020
0.010
0.000
u2 [m]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
p [KPa]

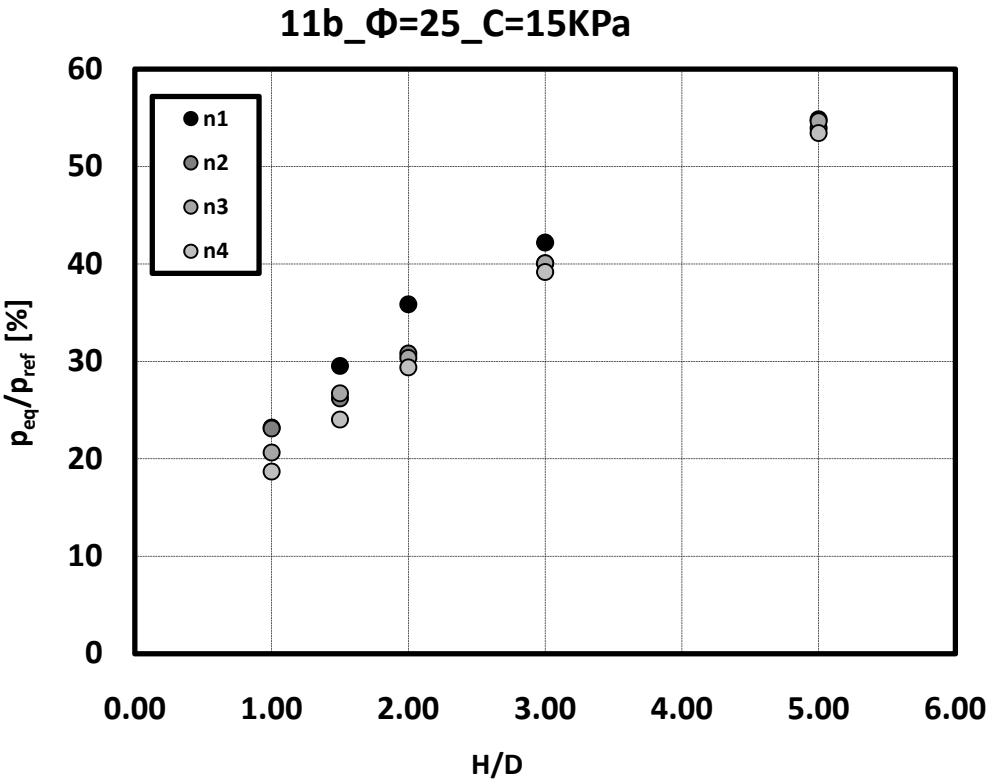

30m_22c_n
0.060
0.050
0.040
0.030
0.020
0.010
0.000
u2 [m]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
p [KPa]

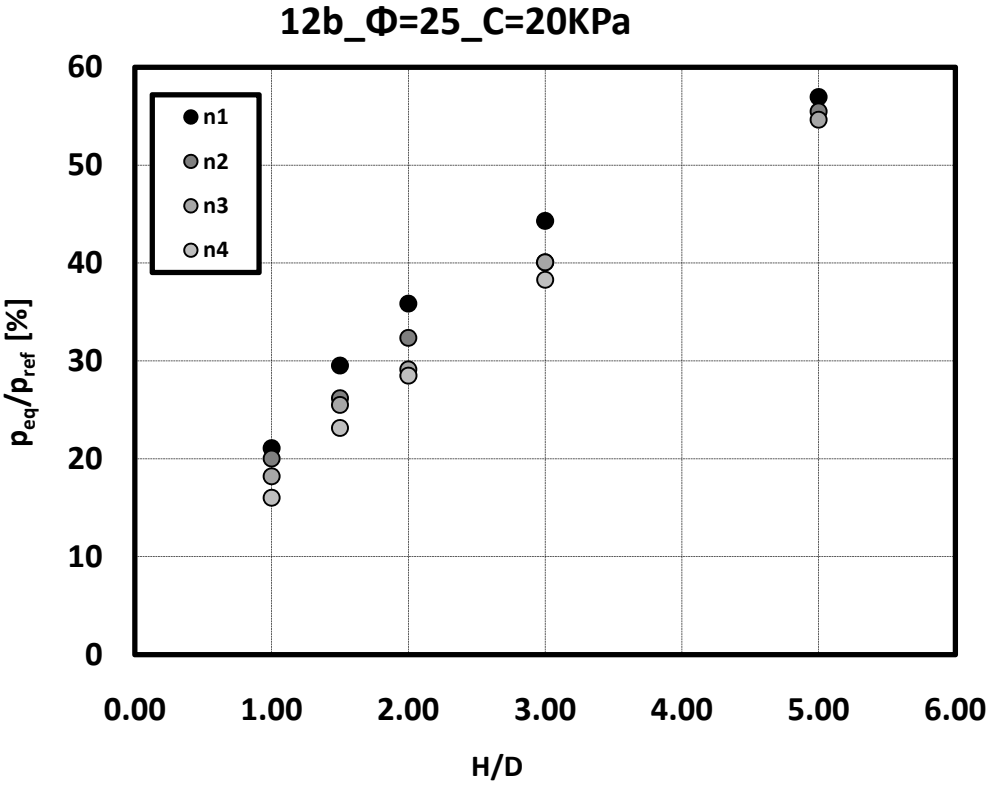
Μέρος 2ο Διαγράμματα Συσχέτισης Ισοδύναμης Πίεσης με Διάφορες Παραμέτρους

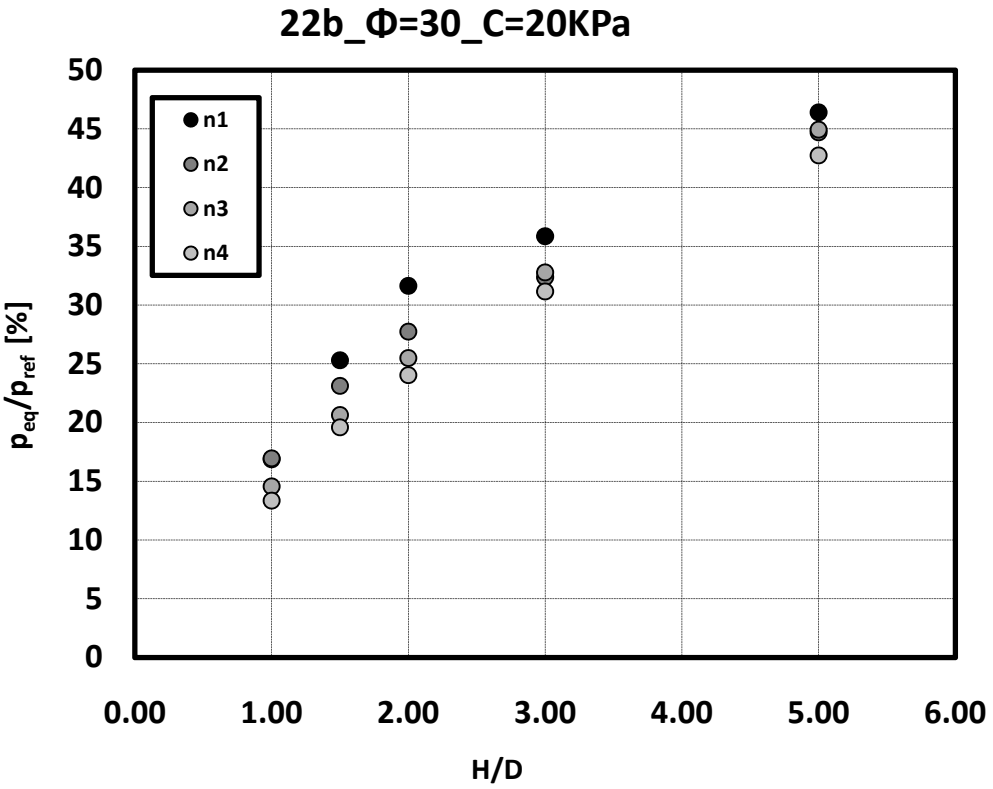
Διαγράμματα Λόγου Ισοδύναμης Πίεσης p_{eq}/p_{ref}–H/D για Συγκεκριμένες Αναλύσεις με Διακριτοποίηση ως προς το Διαφορετικό Αριθμό Αγκυρίων στον Κάνναβο n_1=19, n_2=26, n_3=33, n_4=45 με Πυκνότητα Καννάβου d_1=0.24[n/m^2], d_2=0.33[n/m^2], d_3=0.42[n/m^2], d_4=0.57[n/m^2] Αντίστοιχα.

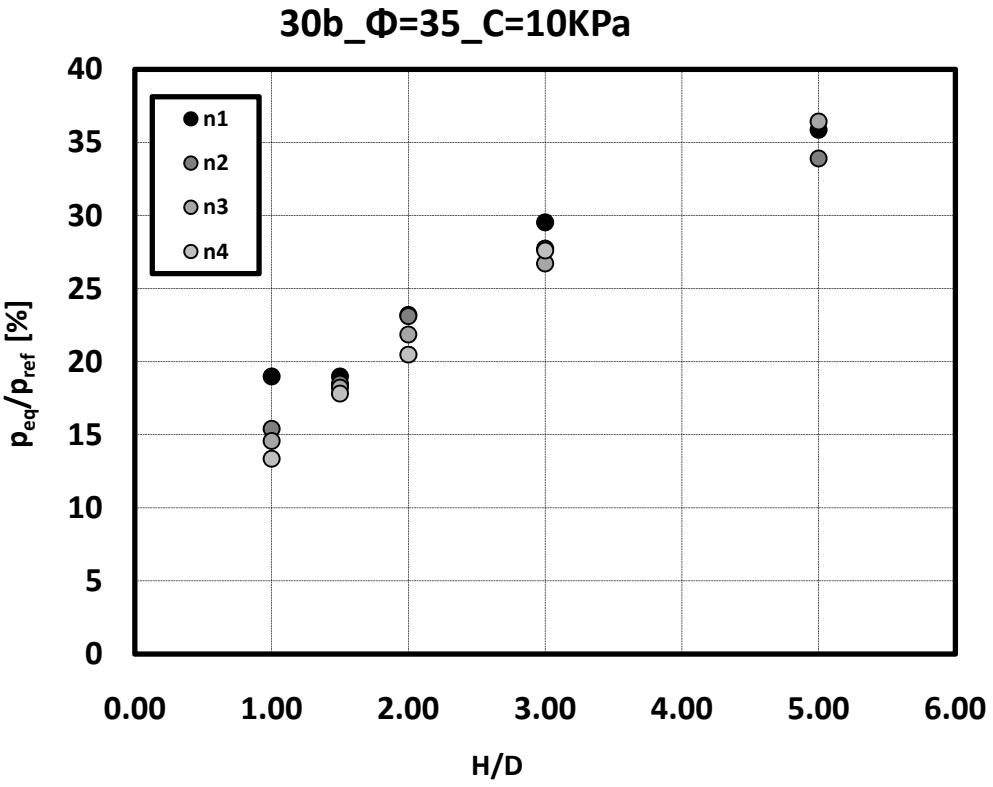


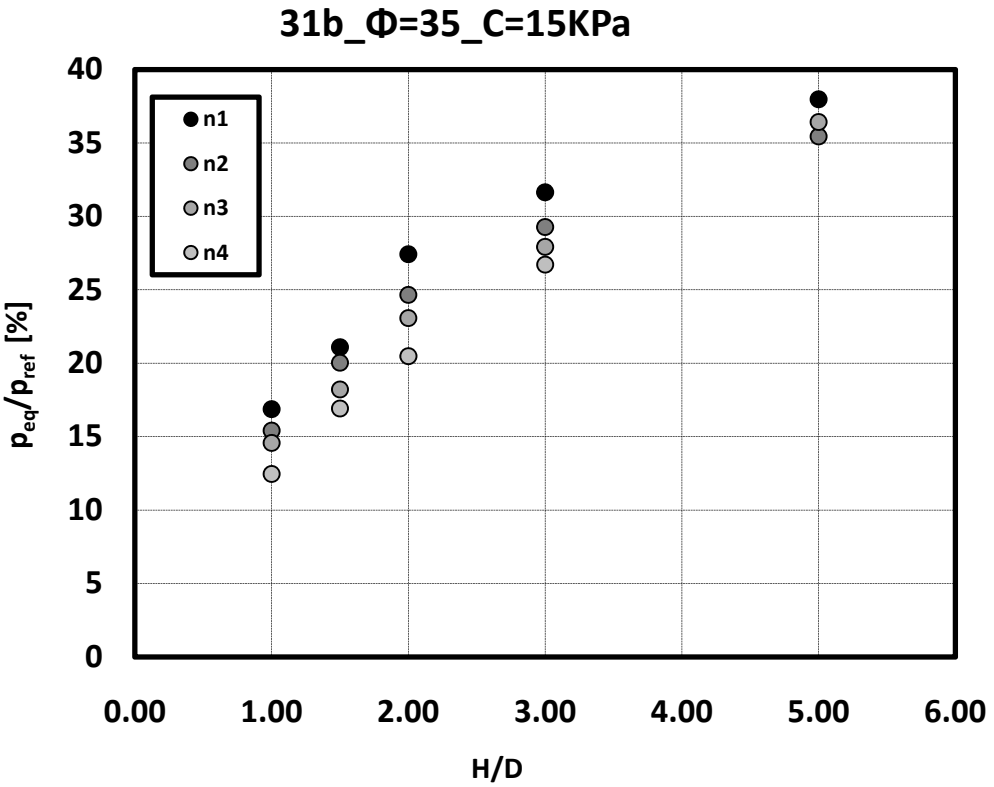



11b_Φ=25_C=15KPa
n1
n2
n3
n4
60
50
40
30
20
10
0
0.00
1.00
2.00
3.00
4.00
5.00
6.00
H/D
peq/pref [%]

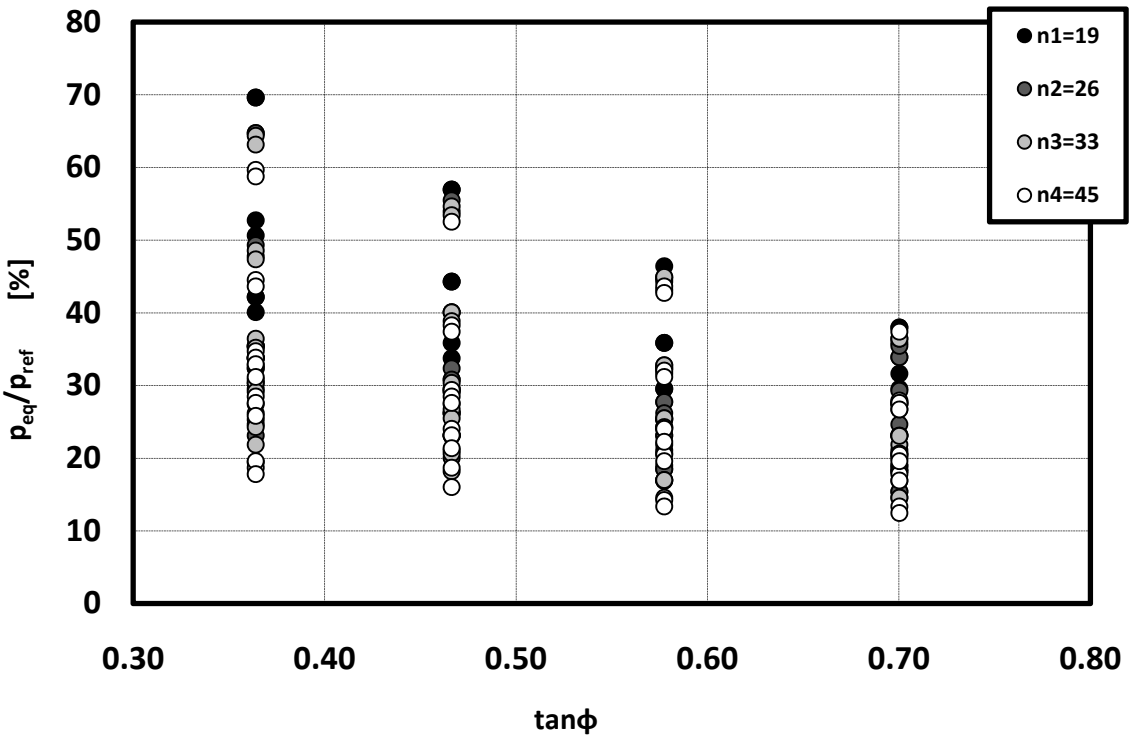

12b_Φ=25_C=20KPa
n1
n2
n3
n4
60
50
40
30
20
10
0
0.00
1.00
2.00
3.00
4.00
5.00
6.00
H/D
peq/pref [%]

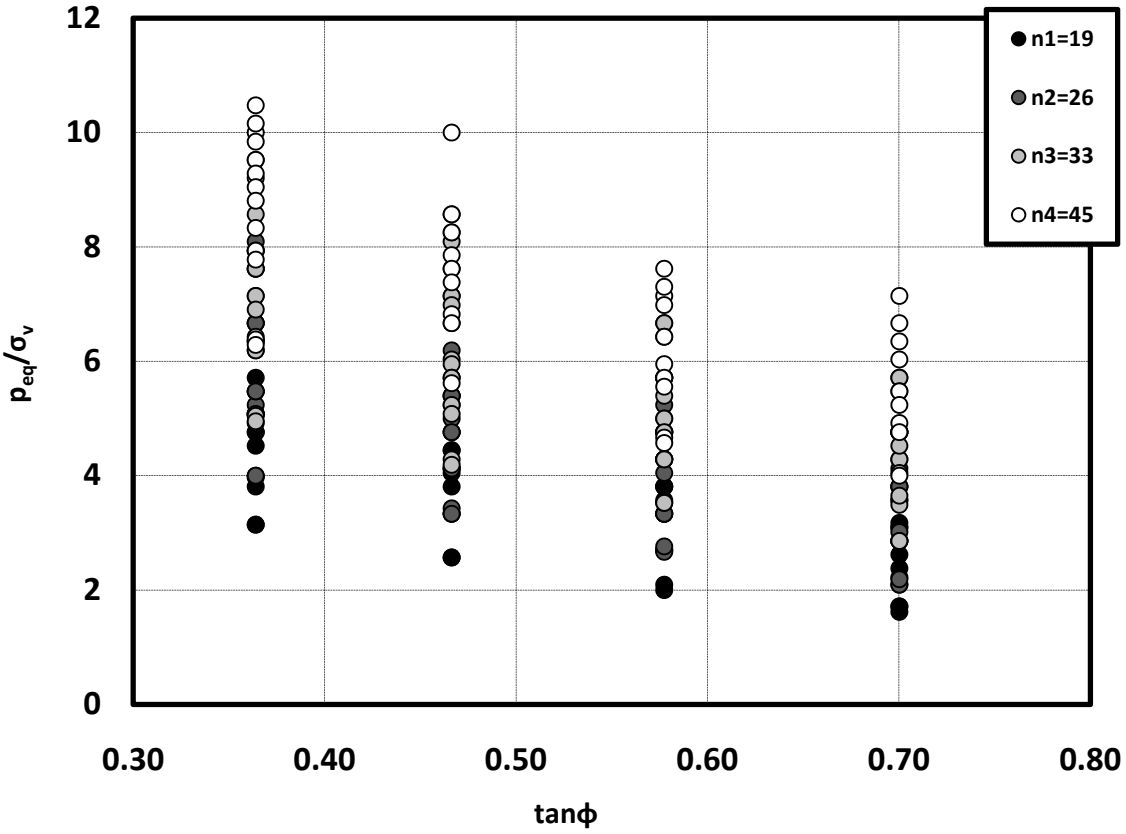

22b_Φ=30_C=20KPa
50
45
40
35
30
25
20
15
10
5
0
n1
n2
n3
n4
peq/pref [%]
0.00
1.00
2.00
3.00
4.00
5.00
6.00
H/D


30b_Φ=35_C=10KPa
40
35
30
25
20
15
10
5
0
n1
n2
n3
n4
peq/pref [%]
0.00
1.00
2.00
3.00
4.00
5.00
6.00
H/D

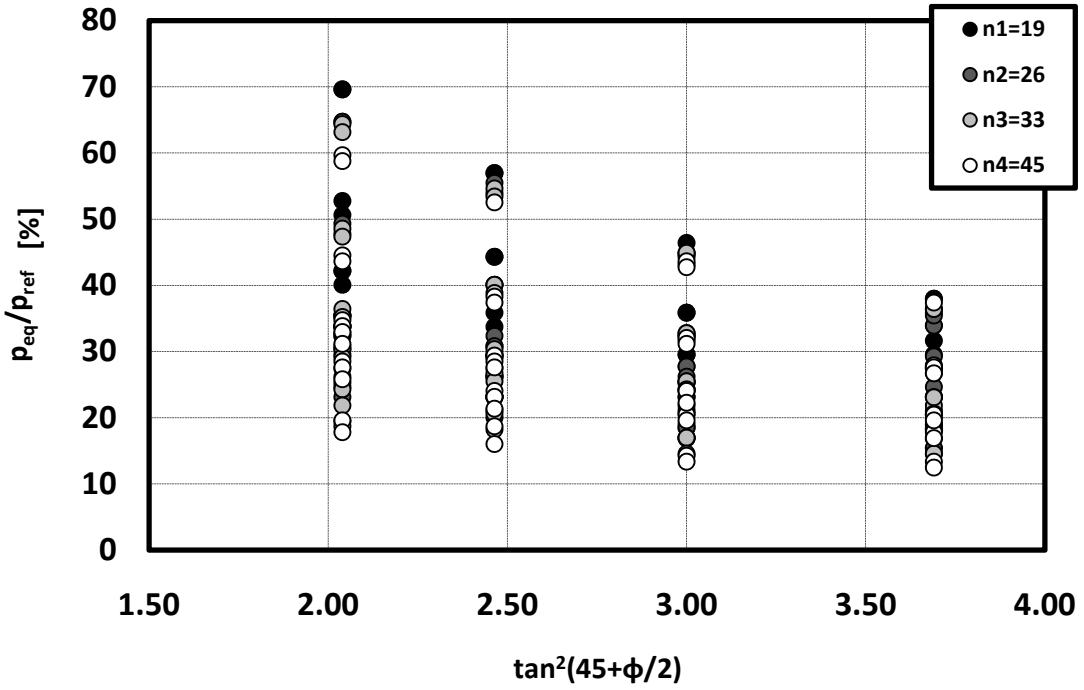


Διαγράμματα Λόγων Ισοδύναμης Πίεσης -tanφ με Διακριτοποίηση ως προς το Διαφορετικό Αριθμό Αγκυρίων στον Κάνναβο n_1=19, n_2=26, n_3=33, n_4=45 με Πυκνότητα Καννάβου d_1=0.24[n/m^2], d_2=0.33[n/m^2], d_3=0.42[n/m^2], d_4=0.57[n/m^2] Αντίστοιχα.





Διάγραμμα Λόγου Ισοδύναμης Πίεσης p_{eq}/p_{ref}- $\tan^2(45+\phi/2)$ με Διακριτοποίηση ως προς το Διαφορετικό Αριθμό Αγκυρίων στον Κάνναβο n_1=19, n_2=26, n_3=33, n_4=45 με Πυκνότητα Καννάβου d_1=0.24[n/m^2], d_2=0.33[n/m^2], d_3=0.42[n/m^2], d_4=0.57[n/m^2] Αντίστοιχα.



Μέρος 3ο Συγκεντρωτικοί Πίνακες Ισοδύναμης Πίεσης με Διάφορες Παραμέτρους

1η Ομάδα Αναλύσεων

Συγκεντρωτικός Πίνακας Υπολογισμού του Συντελεστή Ευστάθειας Λ_F

	Α/Α	ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ			ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΔΑΦΟΥΣ						ΒΟΗΘΗΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ	a	b	Λ_F
		D (m)	Βάθος H(m)	H/D	Ko	Συνοχή c(kPa)	Γωνία Τριβής ϕ (^{o})	γ (kN/m^3)	C_u (kPa)	E (MPa)	N_ϕ	0.16(H/D)+0.59	$(H/D)^{-0.37}$	$5.25cN_\phi^a/\gamma H^{(1-b)}D^b$
H/D=1	1b	10	10	1	0.5	15	20	21	69.95	35.0	2.04	0.750	1.000	0.640
	1.3b	10	10	1	0.5	17	20	21	72.07	36.0	2.04	0.750	1.000	0.725
	1.5b	10	10	1	0.5	18	20	21	73.14	36.5	2.04	0.750	1.000	0.768
	2b	10	10	1	0.5	20	20	21	75.26	38.0	2.04	0.750	1.000	0.853
	3b	10	10	1	0.5	25	20	21	80.56	40.0	2.04	0.750	1.000	1.067
	10_3b	10	10	1	0.5	13	25	21	82.58	41.0	2.46	0.750	1.000	0.639
	11b	10	10	1	0.5	15	25	21	84.69	42.0	2.46	0.750	1.000	0.737
	12b	10	10	1	0.5	20	25	21	89.97	45.0	2.46	0.750	1.000	0.983
	20_2b	10	10	1	0.5	12	30	21	96.47	48.0	3.00	0.750	1.000	0.684
	21b	10	10	1	0.5	15	30	21	99.59	50.0	3.00	0.750	1.000	0.855
	22b	10	10	1	0.5	20	30	21	104.78	52.5	3.00	0.750	1.000	1.140
	30b	10	10	1	0.5	10	35	21	109.41	55.0	3.69	0.750	1.000	0.666
	31b	10	10	1	0.5	15	35	21	114.47	57.0	3.69	0.750	1.000	0.998
H/D=1.5	1.5b	10	15	1.5	0.5	18	20	21	100.16	50.0	2.04	0.830	0.861	0.768
	2b	10	15	1.5	0.5	20	20	21	102.28	51.0	2.04	0.830	0.861	0.854
	3b	10	15	1.5	0.5	25	20	21	107.58	54.0	2.04	0.830	0.861	1.067
	10_5b	10	15	1.5	0.5	12	25	21	115.96	58.0	2.46	0.830	0.861	0.599
	11b	10	15	1.5	0.5	15	25	21	119.13	60.0	2.46	0.830	0.861	0.749
	12b	10	15	1.5	0.5	20	25	21	124.40	62.0	2.46	0.830	0.861	0.999
	13b	10	15	1.5	0.5	25	25	21	129.68	65.0	2.46	0.830	0.861	1.249
	20b	10	15	1.5	0.5	10	30	21	136.39	68.0	3.00	0.830	0.861	0.588
	21b	10	15	1.5	0.5	15	30	21	141.59	71.0	3.00	0.830	0.861	0.882
	22b	10	15	1.5	0.5	20	30	21	146.78	73.0	3.00	0.830	0.861	1.176
	29b	10	15	1.5	0.5	5	35	21	153.99	77.0	3.69	0.830	0.861	0.349
	30b	10	15	1.5	0.5	10	35	21	159.05	80.0	3.69	0.830	0.861	0.698
	31b	10	15	1.5	0.5	15	35	21	164.12	82.0	3.69	0.830	0.861	1.047
H/D=2	1.5b	10	20	2	0.5	18	20	21	127.18	64.0	2.04	0.910	0.774	0.736
	2b	10	20	2	0.5	20	20	21	129.30	65.0	2.04	0.910	0.774	0.818
	3b	10	20	2	0.5	25	20	21	134.60	67.0	2.04	0.910	0.774	1.022
	4b	10	20	2	0.5	30	20	21	139.91	70.0	2.04	0.910	0.774	1.226
	10.5b	10	20	2	0.5	12	25	21	150.40	75.2	2.46	0.910	0.774	0.583
	11b	10	20	2	0.5	15	25	21	153.56	77.0	2.46	0.910	0.774	0.728
	12b	10	20	2	0.5	20	25	21	158.83	79.0	2.46	0.910	0.774	0.971
	13b	10	20	2	0.5	25	25	21	164.11	82.0	2.46	0.910	0.774	1.214
	19.1b=20b	10	20	2	0.5	10.1	30	21	178.50	89.0	3.00	0.910	0.774	0.587
	21b	10	20	2	0.5	15	30	21	183.59	92.0	3.00	0.910	0.774	0.871
	22b	10	20	2	0.5	20	30	21	188.78	94.0	3.00	0.910	0.774	1.162
	23b	10	20	2	0.5	25	30	21	193.98	97.0	3.00	0.910	0.774	1.452
	29.1b=29b	10	20	2	0.5	5.1	35	21	203.73	102.0	3.69	0.910	0.774	0.358
	30b	10	20	2	0.5	10.1	35	21	208.79	104.0	3.69	0.910	0.774	0.708
	31b	10	20	2	0.5	15	35	21	213.76	107.0	3.69	0.910	0.774	1.052
	32b	10	20	2	0.5	20	35	21	218.82	109.0	3.69	0.910	0.774	1.402

	Α/Α	ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ			ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΔΑΦΟΥΣ						ΒΟΗΘΗΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ	a	b	Λ_F
		D (m)	Βάθος H(m)	H/D	Ko	Συνοχή c(kPa)	Γωνία Τριβής ϕ (^{o})	γ (kN/m^3)	C_u (kPa)	E (MPa)	N_ϕ	0.16(H/D)+0.59	$(H/D)^{-0.37}$	$5.25cN_\phi^a/\gamma H^{(1-b)}D^b$
H/D=3	2b	10	30	3	0.5	20	20	21	183.34	92.0	2.04	1.070	0.666	0.743
	3b	10	30	3	0.5	25	20	21	188.65	94.0	2.04	1.070	0.666	0.928
	4b	10	30	3	0.5	30	20	21	193.95	97.0	2.04	1.070	0.666	1.114
	11b	10	30	3	0.5	15	25	21	222.43	111.0	2.46	1.070	0.666	0.682
	12b	10	30	3	0.5	20	25	21	227.70	114.0	2.46	1.070	0.666	0.909
	13b	10	30	3	0.5	25	25	21	232.98	117.0	2.46	1.070	0.666	1.136
	20b	10	30	3	0.5	10	30	21	262.39	131.0	3.00	1.070	0.666	0.561
	21b	10	30	3	0.5	15	30	21	267.59	134.0	3.00	1.070	0.666	0.842
	22b	10	30	3	0.5	20	30	21	272.78	136.0	3.00	1.070	0.666	1.122
	30b	10	30	3	0.5	10	35	21	307.98	154.0	3.69	1.070	0.666	0.700
	31b	10	30	3	0.5	15	35	21	313.04	157.0	3.69	1.070	0.666	1.051
H/D=5	2b	10	50	5	0.5	20	20	21	291.43	146.0	2.04	1.390	0.551	0.654
	3b	10	50	5	0.5	25	20	21	296.74	148.0	2.04	1.390	0.551	0.818
	4b	10	50	5	0.5	30	20	21	302.04	151.0	2.04	1.390	0.551	0.981
	5b	10	50	5	0.5	35	20	21	307.34	154.0	2.04	1.390	0.551	1.145
	11b	10	50	5	0.5	15	25	21	360.16	180.0	2.46	1.390	0.551	0.638
	12b	10	50	5	0.5	20	25	21	365.44	183.0	2.46	1.390	0.551	0.851
	13b	10	50	5	0.5	25	25	21	370.71	185.0	2.46	1.390	0.551	1.063
	21b	10	50	5	0.5	15	30	21	435.59	218.0	3.00	1.390	0.551	0.839
	22b	10	50	5	0.5	20	30	21	440.78	220.0	3.00	1.390	0.551	1.118
	30b	10	50	5	0.5	10	35	21	506.54	253.0	3.69	1.390	0.551	0.746
	30_3b	10	50	5	0.5	13	35	21	509.58	255.0	3.69	1.390	0.551	0.969
	31b	10	50	5	0.5	15	35	21	511.61	256.0	3.69	1.390	0.551	1.118

Συγκεντρωτικός Πίνακας Συσχέτισης του Συντελεστή Ευστάθειας Λ_F με την Κανονικοποιημένη Μορφή της Μέσης Έκθλιψης σε Όλο το Μέτωπο $\Omega_{f,3}$

	Α/Α	ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΔΑΦΟΥΣ				a	b	Λ_F	ΕΚΘΛΙΨΗ ΜΕΤΩΠΟΥ ΜΕ ΑΓΚΥΡΙΑ												
										19 NAILS			26 NAILS			33 NAILS			45 NAILS		
										U_2 (m)	U_2/D	$\Omega_{f,3}$	U_2 (m)	U_2/D	$\Omega_{f,3}$	U_2 (m)	U_2/D	$\Omega_{f,3}$	U_2 (m)	U_2/D	$\Omega_{f,3}$
		H/D	Ko	Συνοχή c(kPa)	Γωνία Τριβής φ (°)	E(MPa)			$5.25cN_\phi^a/\gamma H^{(1-b)}D^b$			U_2E/DP_0			U_2E/DP_0			U_2E/DP_0			U_2E/DP_0
H/D=1	1b	1	0.5	15	20	35.0	0.750	1.000	0.640	0.176	0.018	3.901	0.087	0.009	1.943	0.057	0.00574	1.276	0.043	0.00433	0.962
	1.3b	1	0.5	17	20	36.0	0.750	1.000	0.725	0.073	0.007	1.658	0.052	0.005	1.185	0.044	0.00436	0.997		0.00000	0.000
	1.5b	1	0.5	18	20	36.5	0.750	1.000	0.768	0.057	0.006	1.313	0.046	0.005	1.062		0.00000	0.000		0.00000	0.000
	2b	1	0.5	20	20	38.0	0.750	1.000	0.853	0.044	0.004	1.060	0.039	0.004	0.932	0.035	0.00349	0.841	0.031	0.00306	0.739
	3b	1	0.5	25	20	40.0	0.750	1.000	1.067	0.032	0.003	0.820	0.029	0.003	0.745	0.028	0.00277	0.702	0.025	0.00247	0.626
	10_3b	1	0.5	13	25	41.0	0.750	1.000	0.639	0.102	0.010	2.661		0.000	0.000		0.00000	0.000		0.00000	0.000
	11b	1	0.5	15	25	42.0	0.750	1.000	0.737	0.046	0.005	1.224	0.036	0.004	0.972	0.032	0.00322	0.857	0.027	0.00273	0.729
	12b	1	0.5	20	25	45.0	0.750	1.000	0.983	0.029	0.003	0.826	0.026	0.003	0.745	0.024	0.00244	0.698	0.022	0.00218	0.623
	20_2b	1	0.5	12	30	48.0	0.750	1.000	0.684	0.044	0.004	1.344	0.031	0.003	0.942	0.027	0.00268	0.817		0.00000	0.000
	21b	1	0.5	15	30	50.0	0.750	1.000	0.855	0.027	0.003	0.860	0.024	0.002	0.767	0.022	0.00222	0.706	0.020	0.00197	0.627
	22b	1	0.5	20	30	52.5	0.750	1.000	1.140	0.021	0.002	0.688	0.019	0.002	0.637	0.018	0.00180	0.599	0.016	0.00164	0.545
	30b	1	0.5	10	35	55.0	0.750	1.000	0.666	0.036	0.004	1.254	0.024	0.002	0.849	0.021	0.00212	0.739	0.018	0.00181	0.633
	31b	1	0.5	15	35	57.0	0.750	1.000	0.998	0.019	0.002	0.697	0.017	0.002	0.632	0.016	0.00164	0.595	0.015	0.00149	0.540
H/D=1.5	1.5b	1.5	0.5	18	20	50.0	0.830	0.861	0.768	0.082	0.008	1.736	0.069	0.007	1.469	0.059	0.00591	1.250	0.050	0.00501	1.060
	2b	1.5	0.5	20	20	51.0	0.830	0.861	0.854	0.068	0.007	1.461	0.060	0.006	1.286	0.052	0.00524	1.131	0.045	0.00452	0.975
	3b	1.5	0.5	25	20	54.0	0.830	0.861	1.067	0.050	0.005	1.135	0.045	0.004	1.026	0.041	0.00413	0.944	0.037	0.00366	0.837
	10_5b	1.5	0.5	12	25	58.0	0.830	0.861	0.599	0.126	0.013	3.085	0.120	0.012	2.950	0.055	0.00549	1.347	0.043	0.00432	1.061
	11b	1.5	0.5	15	25	60.0	0.830	0.861	0.749	0.058	0.006	1.482	0.049	0.005	1.249	0.043	0.00429	1.090	0.036	0.00362	0.920
	12b	1.5	0.5	20	25	62.0	0.830	0.861	0.999	0.041	0.004	1.080	0.037	0.004	0.969	0.034	0.00342	0.896	0.030	0.00301	0.789
	13b	1.5	0.5	25	25	65.0	0.830	0.861	1.249	0.033	0.003	0.906	0.030	0.003	0.832	0.029	0.00286	0.788	0.026	0.00257	0.707
	20b	1.5	0.5	10	30	68.0	0.830	0.861	0.588	0.086	0.009	2.478	0.035	0.004	1.012	0.039	0.00393	1.130	0.027	0.00272	0.783
	21b	1.5	0.5	15	30	71.0	0.830	0.861	0.882	0.035	0.004	1.065	0.031	0.003	0.944	0.029	0.00289	0.867	0.025	0.00253	0.760
	22b	1.5	0.5	20	30	73.0	0.830	0.861	1.176	0.028	0.003	0.873	0.026	0.003	0.797	0.024	0.00243	0.751	0.022	0.00218	0.673
	29b	1.5	0.5	5	35	77.0	0.830	0.861	0.349	0.158	0.016	5.140	0.085	0.008	2.760	0.055	0.00555	1.808	0.031	0.00310	1.010
	30b	1.5	0.5	10	35	80.0	0.830	0.861	0.698	0.035	0.004	1.186	0.029	0.003	0.971	0.026	0.00256	0.866	0.022	0.00218	0.739
	31b	1.5	0.5	15	35	82.0	0.830	0.861	1.047	0.025	0.002	0.856	0.022	0.002	0.773	0.021	0.00208	0.723	0.019	0.00186	0.644
H/D=2	1.5b	2	0.5	18	20	64.0	0.910	0.774	0.736	0.106	0.011	2.161	0.094	0.009	1.903		0.00000	0.000	0.065	0.00651	1.323
	2b	2	0.5	20	20	65.0	0.910	0.774	0.818	0.091	0.009	1.872	0.082	0.008	1.686	0.071	0.00708	1.462	0.060	0.00596	1.229
	3b	2	0.5	25	20	67.0	0.910	0.774	1.022	0.069	0.007	1.458	0.063	0.006	1.343	0.057	0.00570	1.213	0.049	0.00492	1.047
	4b	2	0.5	30	20	70.0	0.910	0.774	1.226	0.055	0.006	1.224	0.051	0.005	1.136	0.048	0.00476	1.057	0.042	0.00423	0.940
	10.5b	2	0.5	12	25	75.2	0.910	0.774	0.583	0.113	0.011	2.691	0.080	0.008	1.914	0.066	0.00662	1.580		0.00000	0.000
	11b	2	0.5	15	25	77.0	0.910	0.774	0.728	0.072	0.007	1.754	0.062	0.006	1.522	0.054	0.00542	1.324	0.046	0.00456	1.114
	12b	2	0.5	20	25	79.0	0.910	0.774	0.971	0.052	0.005	1.315	0.048	0.005	1.203	0.044	0.00438	1.098	0.038	0.00380	0.953
	13b	2	0.5	25	25	82.0	0.910	0.774	1.214	0.043	0.004	1.106	0.039	0.004	1.024	0.037	0.00369	0.960	0.033	0.00327	0.850
	19.1b=20b	2	0.5	10.1	30	89.0	0.910	0.774	0.587	0.074	0.007	2.079	0.053	0.005	1.500	0.045	0.00449	1.268	0.037	0.00366	1.034
	21b	2	0.5	15	30	92.0	0.910	0.774	0.871	0.043	0.004	1.243	0.039	0.004	1.129	0.035	0.00351	1.025	0.030	0.00303	0.885
	22b	2	0.5	20	30	94.0	0.910	0.774	1.162	0.034	0.003	1.023	0.032	0.003	0.948	0.030	0.00297	0.886	0.026	0.00265	0.790

	A/A	ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΔΑΦΟΥΣ				a	b	Λ_F	ΕΚΘΛΙΨΗ ΜΕΤΩΠΟΥ ΜΕ ΑΓΚΥΡΙΑ											
										19 NAILS			26 NAILS			33 NAILS			45 NAILS		
										U_2 (m)	U_2/D	$\Omega_{f,3}$	U_2 (m)	U_2/D	$\Omega_{f,3}$	U_2 (m)	U_2/D	$\Omega_{f,3}$	U_2 (m)	U_2/D	$\Omega_{f,3}$
		H/D	Ko	Συνοχή c(kPa)	Γωνία Τριβής ϕ (^{o})	E(MPa)			$5.25cN_\phi^a/\gamma H^{(1-b)}D^b$			U_2E/DP_0			U_2E/DP_0			U_2E/DP_0			U_2E/DP_0
H/D=2	23b	2	0.5	25	30	97.0	0.910	0.774	1.452	0.029	0.003	0.899	0.027	0.003	0.840	0.026	0.00258	0.796	0.023	0.00234	0.721
	29.1b=29b	2	0.5	5.1	35	102.0	0.910	0.774	0.358	0.125	0.012	4.044	0.071	0.007	2.283	0.048	0.00485	1.569	0.032	0.00322	1.043
	30b	2	0.5	10.1	35	104.0	0.910	0.774	0.708	0.039	0.004	1.278	0.033	0.003	1.105	0.030	0.00298	0.984	0.025	0.00253	0.836
	31b	2	0.5	15	35	107.0	0.910	0.774	1.052	0.029	0.003	0.976	0.026	0.003	0.893	0.024	0.00244	0.829	0.022	0.00218	0.740
	32b	2	0.5	20	35	109.0	0.910	0.774	1.402	0.024	0.002	0.840	0.023	0.002	0.782	0.021	0.00214	0.742	0.019	0.00194	0.671
H/D=3	2b	3	0.5	20	20	92.0	1.070	0.666	0.743	0.131	0.013	2.548	0.113	0.011	2.198	0.098	0.00976	1.900	0.081	0.00812	1.581
	3b	3	0.5	25	20	94.0	1.070	0.666	0.928	0.103	0.010	2.041	0.092	0.009	1.824	0.081	0.00814	1.620	0.070	0.00699	1.390
	4b	3	0.5	30	20	97.0	1.070	0.666	1.114	0.084	0.008	1.733	0.077	0.008	1.577	0.070	0.00695	1.428	0.061	0.00609	1.250
	11b	3	0.5	15	25	111.0	1.070	0.666	0.682	0.093	0.009	2.192	0.080	0.008	1.878	0.069	0.00693	1.628	0.058	0.00576	1.353
	12b	3	0.5	20	25	114.0	1.070	0.666	0.909	0.072	0.007	1.734	0.065	0.006	1.562	0.058	0.00577	1.392	0.050	0.00497	1.199
	13b	3	0.5	25	25	117.0	1.070	0.666	1.136	0.060	0.006	1.480	0.055	0.005	1.357	0.050	0.00500	1.237	0.044	0.00440	1.089
	20b	3	0.5	10	30	131.0	1.070	0.666	0.561	0.077	0.008	2.123	0.062	0.006	1.720	0.052	0.00524	1.452	0.043	0.00432	1.197
	21b	3	0.5	15	30	134.0	1.070	0.666	0.842	0.054	0.005	1.542	0.049	0.005	1.382	0.043	0.00435	1.233	0.037	0.00375	1.062
	22b	3	0.5	20	30	136.0	1.070	0.666	1.122	0.045	0.005	1.301	0.041	0.004	1.194	0.038	0.00379	1.092	0.033	0.00335	0.963
	30b	3	0.5	10	35	154.0	1.070	0.666	0.700	0.045	0.004	1.452	0.039	0.004	1.271	0.034	0.00345	1.124	0.029	0.00295	0.961
	31b	3	0.5	15	35	157.0	1.070	0.666	1.051	0.035	0.004	1.177	0.032	0.003	1.076	0.030	0.00296	0.985	0.026	0.00262	0.870
H/D=5	2b	5	0.5	20	20	146.0	1.390	0.551	0.654	0.209	0.021	3.877	0.183	0.018	3.389	0.151	0.01507	2.795	0.126	0.01257	2.331
	3b	5	0.5	25	20	148.0	1.390	0.551	0.818	0.171	0.017	3.212	0.151	0.015	2.845	0.129	0.01295	2.433	0.111	0.01107	2.081
	4b	5	0.5	30	20	151.0	1.390	0.551	0.981	0.144	0.014	2.767	0.130	0.013	2.484	0.114	0.01141	2.188	0.099	0.00991	1.901
	5b	5	0.5	35	20	154.0	1.390	0.551	1.145	0.125	0.012	2.443	0.113	0.011	2.204	0.102	0.01015	1.985	0.089	0.00893	1.747
	11b	5	0.5	15	25	180.0	1.390	0.551	0.638	0.130	0.013	2.973	0.111	0.011	2.544	0.096	0.00960	2.193	0.078	0.00784	1.792
	12b	5	0.5	20	25	183.0	1.390	0.551	0.851	0.106	0.011	2.468	0.094	0.009	2.187	0.083	0.00833	1.935		0.00000	0.000
	13b	5	0.5	25	25	185.0	1.390	0.551	1.063	0.091	0.009	2.146	0.083	0.008	1.942	0.074	0.00745	1.749	0.064	0.00639	1.501
	21b	5	0.5	15	30	218.0	1.390	0.551	0.839	0.073	0.007	2.025	0.065	0.007	1.805	0.058	0.00579	1.602	0.049	0.00492	1.363
	22b	5	0.5	20	30	220.0	1.390	0.551	1.118	0.063	0.006	1.759	0.057	0.006	1.593	0.052	0.00520	1.454	0.045	0.00451	1.261
	30b	5	0.5	10	35	253.0	1.390	0.551	0.746	0.055	0.005	1.758	0.048	0.005	1.543	0.043	0.00427	1.371		0.00000	0.000
	30_3b	5	0.5	13	35	255.0	1.390	0.551	0.969	0.049	0.005	1.579	0.045	0.004	1.445		0.00000	0.000	0.034	0.00344	1.112
	31b	5	0.5	15	35	256.0	1.390	0.551	1.118	0.046	0.005	1.497	0.042	0.004	1.372	0.038	0.00383	1.246		0.00000	0.000

Συγκεντρωτικός Πίνακας Συσχέτισης του Λόγου p_{eq}/p_{ref} με τη Γωνία Τριβής του Εδάφους ϕ και τον Κανονικοποιημένο Λόγο του Βάθους H/D

A/A	H/D	Συνοχή c	ϕ	tanϕ	H/D*tanΦ	$\tan^2(45+\phi/2)$	H/(D*$\tan^2(45+\phi/2)$)	Λ_F	p_{eq}/p_{ref}				p_{eq}/σ_v			
		(kPa)	(°)	(°)		(°)	(°)	$5.25cN_\phi^a/\gamma H^{(1-b)}D^b$	n=19	n=26	n=33	n=45	n=19	n=26	n=33	n=45
1b	1	15.0	20	0.363970234	2.747	2.040	0.490	0.640				19				10
1.3b	1	17.0	20	0.363970234	2.747	2.040	0.490	0.725			24				10	
1.5b	1	18.0	20	0.363970234	2.747	2.040	0.490	0.768	30	26			7	8		
2b	1	20.0	20	0.363970234	2.747	2.040	0.490	0.853	27	25	22	20	6	8	9	10
3b	1	25.0	20	0.363970234	2.747	2.040	0.490	1.067	25	23	19	18	6	7	8	10
10_3b	1	13.0	25	0.466307658	2.145	2.464	0.406	0.639								
11b	1	15.0	25	0.466307658	2.145	2.464	0.406	0.737	23	23	21	19	5	7	8	10
12b	1	20.0	25	0.466307658	2.145	2.464	0.406	0.983	21	20	18	16	5	6	7	9
20_2b	1	12.0	30	0.577350269	1.732	3.000	0.333	0.684	21	18	17		5	6	7	
21b	1	15.0	30	0.577350269	1.732	3.000	0.333	0.855	19	18	17	14	4	6	7	8
22b	1	20.0	30	0.577350269	1.732	3.000	0.333	1.140	17	17	15	13	4	5	6	7
30b	1	10.0	35	0.700207538	1.428	3.690	0.271	0.666	19	15	15	13	4	5	6	7
31b	1	15.0	35	0.700207538	1.428	3.690	0.271	0.998	17	15	15	12	4	5	6	7
1.5b	1.5	18.0	20	0.363970234	4.121	2.040	0.735	0.768	34	32	30	28	5	7	8	10
2b	1.5	20.0	20	0.363970234	4.121	2.040	0.735	0.854	34	32	30	28	5	7	8	10
3b	1.5	25.0	20	0.363970234	4.121	2.040	0.735	1.067	34	31	29	26	5	6	8	9
10_5b	1.5	12.0	25	0.466307658	3.217	2.464	0.609	0.599				23				8
11b	1.5	15.0	25	0.466307658	3.217	2.464	0.609	0.749	30	26	27	24	4	5	7	9
12b	1.5	20.0	25	0.466307658	3.217	2.464	0.609	0.999	30	26	26	23	4	5	7	8
13b	1.5	25.0	25	0.466307658	3.217	2.464	0.609	1.249	27	26	23	21	4	5	6	8
20b	1.5	10.0	30	0.577350269	2.598	3.000	0.500	0.588								
21b	1.5	15.0	30	0.577350269	2.598	3.000	0.500	0.882	25	23	22	20	4	5	6	7
22b	1.5	20.0	30	0.577350269	2.598	3.000	0.500	1.176	25	23	21	20	4	5	5	7
29b	1.5	5.0	35	0.700207538	2.142	3.690	0.406	0.349								
30b	1.5	10.0	35	0.700207538	2.142	3.690	0.406	0.698	19	18	18	18	3	4	5	6
31b	1.5	15.0	35	0.700207538	2.142	3.690	0.406	1.047	21	20	18	17	3	4	5	6
1.5b	2	18.0	20	0.363970234	5.495	2.040	0.981	0.736		34		35		5		9
2b	2	20.0	20	0.363970234	5.495	2.040	0.981	0.818	42	35	36	34	5	5	7	9
3b	2	25.0	20	0.363970234	5.495	2.040	0.981	1.022	42	35	35	33	5	5	7	9
4b	2	30.0	20	0.363970234	5.495	2.040	0.981	1.226	40	35	33	31	5	5	6	8
10.5b	2	12.0	25	0.466307658	4.289	2.464	0.812	0.583								
11b	2	15.0	25	0.466307658	4.289	2.464	0.812	0.728		31	30	29		5	6	8
12b	2	20.0	25	0.466307658	4.289	2.464	0.812	0.971	36	32	29	28	4	5	6	8
13b	2	25.0	25	0.466307658	4.289	2.464	0.812	1.214	34	31	29	28	4	5	6	7
19.1b	2	10.1	30	0.577350269	3.464	3.000	0.667	0.587			24				5	
21b	2	15.0	30	0.577350269	3.464	3.000	0.667	0.871	30	28	26	24	3	4	5	6
22b	2	20.0	30	0.577350269	3.464	3.000	0.667	1.162	32	28	26	24	4	4	5	6
23b	2	25.0	30	0.577350269	3.464	3.000	0.667	1.452	30	26	24	22	3	4	5	6
29.1b	2	5.1	35	0.700207538	2.856	3.690	0.542	0.358								
30b	2	10.1	35	0.700207538	2.856	3.690	0.542	0.708	23	23	22	20	3	4	4	5
31b	2	15.0	35	0.700207538	2.856	3.690	0.542	1.052	27	25	23	20	3	4	5	5
32b	2	20.0	35	0.700207538	2.856	3.690	0.542	1.402	27	23	21	20	3	4	4	5
2b	3	20.0	20	0.363970234	8.242	2.040	1.471	0.743								
3b	3	25.0	20	0.363970234	8.242	2.040	1.471	0.928	53	49	49	45	4	5	6	8
4b	3	30.0	20	0.363970234	8.242	2.040	1.471	1.114	51	48	47	44	4	5	6	8
11b	3	15.0	25	0.466307658	6.434	2.464	1.218	0.682								
12b	3	20.0	25	0.466307658	6.434	2.464	1.218	0.909	44	40	40	38	3	4	5	7

A/A	H/D	Συνοχή c	ϕ	tanϕ	H/D*tanΦ	$\tan^2(45+\phi/2)$	$H/(D*\tan^2(45+\phi/2))$	Λ_F	p_{eq}/p_{ref}				p_{eq}/σ_v			
		(kPa)	(°)	(°)		(°)	(°)	$5.25cN_\phi^a/\gamma H^{(1-b)}D^b$	n=19	n=26	n=33	n=45	n=19	n=26	n=33	n=45
13b	3	25.0	25	0.466307658	6.434	2.464	1.218	1.136	44	40	39	37	3	4	5	7
20b	3	10.0	30	0.577350269	5.196	3.000	1.000	0.561								
21b	3	15.0	30	0.577350269	5.196	3.000	1.000	0.842	36	32	33	32	3	3	4	6
22b	3	20.0	30	0.577350269	5.196	3.000	1.000	1.122	36	32	33	31	3	3	4	6
30b	3	10.0	35	0.700207538	4.284	3.690	0.813	0.700	30	28	27	28	2	3	3	5
31b	3	15.0	35	0.700207538	4.284	3.690	0.813	1.051	32	29	28	27	2	3	4	5
2b	5	20.0	20	0.363970234	13.737	2.040	2.451	0.654								
3b	5	25.0	20	0.363970234	13.737	2.040	2.451	0.818								
4b	5	30.0	20	0.363970234	13.737	2.040	2.451	0.981	70	65	64	60	3	4	5	6
5b	5	35.0	20	0.363970234	13.737	2.040	2.451	1.145	70	65	63	59	3	4	5	6
11b	5	15.0	25	0.466307658	10.723	2.464	2.029	0.638								
12b	5	20.0	25	0.466307658	10.723	2.464	2.029	0.851	57	55	55		3	3	4	
13b	5	25.0	25	0.466307658	10.723	2.464	2.029	1.063	57	54	53	53	3	3	4	6
21b	5	15.0	30	0.577350269	8.660	3.000	1.667	0.839	44	43	45	44	2	3	4	5
22b	5	20.0	30	0.577350269	8.660	3.000	1.667	1.118	46	45	45	43	2	3	4	5
30b	5	10.0	35	0.700207538	7.141	3.690	1.355	0.746	36	34	36		2	2	3	
30_3b	5	13.0	35	0.700207538	7.141	3.690	1.355	0.969	38	34		37	2	2		4
31b	5	15.0	35	0.700207538	7.141	3.690	1.355	1.118	38	35	36		2	2	3	

C [KPa]	Σύνολο αναλύσεων οι οποίες για όλα τα ύψη υπερκειμένων H/D εμφάνιζαν ίδια συνοχή c, ίδια γωνία τριβής ϕ, για τις οποίες έγιναν επιπλέον διαγράμματα
	Τιμές που απορρίφθηκαν επειδή προέρχονταν από τον ανοδικό κλάδο του διαγράμματος p-u ή βρίσκονται στον ανοδικό κλάδο του διαγράμματος $\Omega_{F,3}$- Λ_F
	Τιμές για τις οποίες δεν υπήρχαν αντίστοιχες αναλύσεις για υποστήριξη μετώπου με αγκύρια fiberglass για τον συγκεκριμένο κάνναβο

2η Ομάδα Αναλύσεων

Συγκεντρωτικός Πίνακας Υπολογισμού του Συντελεστή Ευστάθειας Λ_F

	A/A	ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ			ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΔΑΦΟΥΣ						ΒΟΗΘΗΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ	a	b	Λ_F
		D (m)	Βάθος H(m)	H/D	Ko	Συνοχή c(kPa)	Γωνία Τριβής ϕ (^{o})	γ (kN/m^3)	C_u (kPa)	E (MPa)	N_ϕ	0.16(H/D)+0.59	$(H/D)^{-0.37}$	$5.25cN_\phi^a/\gamma H^{(1-b)}D^b$
H/D=1.5	10_5a	10	15	1.5	0.5	12	25	21	115.96	35.0	2.46	0.830	0.861	0.599
	11a	10	15	1.5	0.5	15	25	21	119.13	36.0	2.46	0.830	0.861	0.749
	12a	10	15	1.5	0.5	20	25	21	124.40	37.0	2.46	0.830	0.861	0.999
	13a	10	15	1.5	0.5	25	25	21	129.68	39.0	2.46	0.830	0.861	1.249
	10_5b	10	15	1.5	0.5	12	25	21	115.96	58.0	2.46	0.830	0.861	0.599
	11b	10	15	1.5	0.5	15	25	21	119.13	60.0	2.46	0.830	0.861	0.749
	12b	10	15	1.5	0.5	20	25	21	124.40	62.0	2.46	0.830	0.861	0.999
	13b	10	15	1.5	0.5	25	25	21	129.68	65.0	2.46	0.830	0.861	1.249
	10_5c	10	15	1.5	0.5	12	25	21	115.96	93.0	2.46	0.830	0.861	0.599
	11c	10	15	1.5	0.5	15	25	21	119.13	95.0	2.46	0.830	0.861	0.749
	12c	10	15	1.5	0.5	20	25	21	124.40	100.0	2.46	0.830	0.861	0.999
	13c	10	15	1.5	0.5	25	25	21	129.68	104.0	2.46	0.830	0.861	1.249
	29a	10	15	1.5	0.5	5	35	21	153.99	46.0	3.69	0.830	0.861	0.349
	30a	10	15	1.5	0.5	10	35	21	159.05	48.0	3.69	0.830	0.861	0.698
	31a	10	15	1.5	0.5	15	35	21	164.12	49.0	3.69	0.830	0.861	1.047
	29b	10	15	1.5	0.5	5	35	21	153.99	77.0	3.69	0.830	0.861	0.349
	30b	10	15	1.5	0.5	10	35	21	159.05	80.0	3.69	0.830	0.861	0.698
	31b	10	15	1.5	0.5	15	35	21	164.12	82.0	3.69	0.830	0.861	1.047
	29c	10	15	1.5	0.5	5	35	21	153.99	123.0	3.69	0.830	0.861	0.349
	30c	10	15	1.5	0.5	10	35	21	159.05	127.0	3.69	0.830	0.861	0.698
	31c	10	15	1.5	0.5	15	35	21	164.12	131.0	3.69	0.830	0.861	1.047
H/D=3	2a	10	30	3	0.5	20	20	21	183.34	55.0	2.04	1.070	0.666	0.743
	3a	10	30	3	0.5	25	20	21	188.65	57.0	2.04	1.070	0.666	0.928
	4a	10	30	3	0.5	30	20	21	193.95	58.0	2.04	1.070	0.666	1.114
	2b	10	30	3	0.5	20	20	21	183.34	92.0	2.04	1.070	0.666	0.743
	3b	10	30	3	0.5	25	20	21	188.65	94.0	2.04	1.070	0.666	0.928
	4b	10	30	3	0.5	30	20	21	193.95	97.0	2.04	1.070	0.666	1.114
	2c	10	30	3	0.5	20	20	21	183.34	147.0	2.04	1.070	0.666	0.743
	3c	10	30	3	0.5	25	20	21	188.65	151.0	2.04	1.070	0.666	0.928
	4c	10	30	3	0.5	30	20	21	193.95	155.0	2.04	1.070	0.666	1.114
	20a	10	30	3	0.5	10	30	21	262.39	79.0	3.00	1.070	0.666	0.561
	21a	10	30	3	0.5	15	30	21	267.59	80.0	3.00	1.070	0.666	0.842
	22a	10	30	3	0.5	20	30	21	272.78	82.0	3.00	1.070	0.666	1.122
	20b	10	30	3	0.5	10	30	21	262.39	131.0	3.00	1.070	0.666	0.561
	21b	10	30	3	0.5	15	30	21	267.59	134.0	3.00	1.070	0.666	0.842
	22b	10	30	3	0.5	20	30	21	272.78	136.0	3.00	1.070	0.666	1.122
	20c	10	30	3	0.5	10	30	21	262.39	210.0	3.00	1.070	0.666	0.561
	21c	10	30	3	0.5	15	30	21	267.59	214.0	3.00	1.070	0.666	0.842
	22c	10	30	3	0.5	20	30	21	272.78	218.0	3.00	1.070	0.666	1.122

Συγκεντρωτικός Πίνακας Συσχέτισης του Συντελεστή Ευστάθειας Λ_F με την Κανονικοποιημένη Μορφή της Μέσης Έκθλιψης σε Όλο το Μέτωπο $\Omega_{f,3}$

	Α/Α	ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΔΑΦΟΥΣ			a	b	Λ_F	ΕΚΘΛΙΨΗ ΜΕΤΩΠΟΥ											
									19 NAILS			26 NAILS			33 NAILS			45 NAILS		
									U_2 (m)	U_2/D	$\Omega_{f,3}$	U_2 (m)	U_2/D	Ω_f	U_2 (m)	U_2/D	$\Omega_{f,3}$	U_2 (m)	U_2/D	Ω_f
		H/D	Συνοχή c(kPa)	Γωνία Τριβής φ (^{o})	E(MPa)	0.16(H/D)+0.59	$(H/D)^{-0.37}$	$5.25cN_\phi{}^a/\gamma H^{(1-b)}D^b$			U_2E/DP_0			U_2E/DP_0			U_2E/DP_0			U_2E/DP_0
H/D=1.5	10_5a	1.5	12	25	35.0	0.830	0.861	0.599	0.187	0.019	2.770				0.082	0.008	1.211			
	11a	1.5	15	25	36.0	0.830	0.861	0.749	0.090	0.009	1.367				0.065	0.006	0.987			
	12a	1.5	20	25	37.0	0.830	0.861	0.999	0.064	0.006	1.005				0.052	0.005	0.818			
	13a	1.5	25	25	39.0	0.830	0.861	1.249	0.052	0.005	0.852				0.044	0.004	0.725			
	10_5b	1.5	12	25	58.0	0.830	0.861	0.599	0.126	0.013	3.085				0.055	0.005	1.347			
	11b	1.5	15	25	60.0	0.830	0.861	0.749	0.058	0.006	1.482				0.043	0.004	1.090			
	12b	1.5	20	25	62.0	0.830	0.861	0.999	0.041	0.004	1.080				0.034	0.003	0.896			
	13b	1.5	25	25	65.0	0.830	0.861	1.249	0.033	0.003	0.906				0.029	0.003	0.788			
	10_5c	1.5	12	25	93.0	0.830	0.861	0.599	0.089	0.009	3.503				0.039	0.004	1.523			
	11c	1.5	15	25	95.0	0.830	0.861	0.749	0.041	0.004	1.629				0.030	0.003	1.210			
	12c	1.5	20	25	100.0	0.830	0.861	0.999	0.028	0.003	1.165				0.023	0.002	0.984			
	13c	1.5	25	25	104.0	0.830	0.861	1.249	0.022	0.002	0.965				0.019	0.002	0.853			
	29a	1.5	5	35	46.0	0.830	0.861	0.349							0.083	0.008	1.623			
	30a	1.5	10	35	48.0	0.830	0.861	0.698	0.054	0.005	1.104				0.039	0.004	0.800			
	31a	1.5	15	35	49.0	0.830	0.861	1.047	0.039	0.004	0.805				0.032	0.003	0.673			
	29b	1.5	5	35	77.0	0.830	0.861	0.349	0.158	0.016	5.140				0.055	0.006	1.808			
	30b	1.5	10	35	80.0	0.830	0.861	0.698	0.035	0.004	1.186				0.026	0.003	0.866			
	31b	1.5	15	35	82.0	0.830	0.861	1.047	0.025	0.002	0.856				0.021	0.002	0.723			
	29c	1.5	5	35	123.0	0.830	0.861	0.349	0.107	0.011	5.572				0.039	0.004	2.038			
	30c	1.5	10	35	127.0	0.830	0.861	0.698	0.024	0.002	1.279				0.018	0.002	0.942			
	31c	1.5	15	35	131.0	0.830	0.861	1.047	0.016	0.002	0.910				0.014	0.001	0.780			
H/D=3	2a	3	20	20	55.0	1.070	0.666	0.743				0.170	0.017	1.983				0.118	0.012	1.377
	3a	3	25	20	57.0	1.070	0.666	0.928				0.137	0.014	1.647				0.101	0.010	1.217
	4a	3	30	20	58.0	1.070	0.666	1.114				0.116	0.012	1.425				0.089	0.009	1.096
	2b	3	20	20	92.0	1.070	0.666	0.743				0.113	0.011	2.198				0.081	0.008	1.581
	3b	3	25	20	94.0	1.070	0.666	0.928				0.092	0.009	1.824				0.070	0.007	1.390
	4b	3	30	20	97.0	1.070	0.666	1.114				0.077	0.008	1.577				0.061	0.006	1.250
	2c	3	20	20	147.0	1.070	0.666	0.743				0.079	0.008	2.448				0.058	0.006	1.819
	3c	3	25	20	151.0	1.070	0.666	0.928				0.063	0.006	2.024				0.050	0.005	1.590
	4c	3	30	20	155.0	1.070	0.666	1.114				0.053	0.005	1.738				0.043	0.004	1.418
	20a	3	10	30	79.0	1.070	0.666	0.561				0.093	0.009	1.557				0.063	0.006	1.060
	21a	3	15	30	80.0	1.070	0.666	0.842				0.074	0.007	1.256				0.056	0.006	0.945
	22a	3	20	30	82.0	1.070	0.666	1.122				0.063	0.006	1.096				0.050	0.005	0.866
	20b	3	10	30	131.0	1.070	0.666	0.561				0.062	0.006	1.720				0.043	0.004	1.197
	21b	3	15	30	134.0	1.070	0.666	0.842				0.049	0.005	1.382				0.037	0.004	1.062
	22b	3	20	30	136.0	1.070	0.666	1.122				0.041	0.004	1.194				0.033	0.003	0.963
	20c	3	10	30	210.0	1.070	0.666	0.561				0.043	0.004	1.913				0.031	0.003	1.362
	21c	3	15	30	214.0	1.070	0.666	0.842				0.034	0.003	1.518				0.026	0.003	1.195
	22c	3	20	30	218.0	1.070	0.666	1.122				0.028	0.003	1.302				0.023	0.002	1.075

3η Ομάδα Αναλύσεων

Συγκεντρωτικός Πίνακας Υπολογισμού του Συντελεστή Ευστάθειας Λ_F

	Α/Α	ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ			Ko	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΔΑΦΟΥΣ					ΒΟΗΘΗΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ	a	b	Λ_F
		D (m)	Βάθος H(m)	H/D		Συνοχή c(kPa)	Γωνία Τριβής ϕ (^{o})	γ (kN/m^3)	C_u (kPa)	E (MPa)	N_ϕ	0.16(H/D)+0.59	$(H/D)^{-0.37}$	$5.25cN_\phi^a/\gamma H^{(1-b)}D^b$
H/D=1.5	10_5b	10	15	1.5	0.5	12	25	21	115.96	58.0	2.46	0.830	0.861	0.599
	11b	10	15	1.5	0.5	15	25	21	119.13	60.0	2.46	0.830	0.861	0.749
	12b	10	15	1.5	0.5	20	25	21	124.40	62.0	2.46	0.830	0.861	0.999
	13b	10	15	1.5	0.5	25	25	21	129.68	65.0	2.46	0.830	0.861	1.249
	10_5b_k1	10	15	1.5	1	12	25	21	115.96	58.0	2.46	0.830	0.861	0.599
	11b_k1	10	15	1.5	1	15	25	21	119.13	60.0	2.46	0.830	0.861	0.749
	12b_k1	10	15	1.5	1	20	25	21	124.40	62.0	2.46	0.830	0.861	0.999
	13b_k1	10	15	1.5	1	25	25	21	129.68	65.0	2.46	0.830	0.861	1.249
	29b	10	15	1.5	0.5	5	35	21	153.99	77.0	3.69	0.830	0.861	0.349
	30b	10	15	1.5	0.5	10	35	21	159.05	80.0	3.69	0.830	0.861	0.698
	31b	10	15	1.5	0.5	15	35	21	164.12	82.0	3.69	0.830	0.861	1.047
	30b_k1	10	15	1.5	1	10	35	21	159.05	80.0	3.69	0.830	0.861	0.698
	31b_k1	10	15	1.5	1	15	35	21	164.12	82.0	3.69	0.830	0.861	1.047
H/D=3	2b	10	30	3	0.5	20	20	21	183.34	92.0	2.04	1.070	0.666	0.743
	3b	10	30	3	0.5	25	20	21	188.65	94.0	2.04	1.070	0.666	0.928
	4b	10	30	3	0.5	30	20	21	193.95	97.0	2.04	1.070	0.666	1.114
	2b_k1	10	30	3	1	20	20	21	183.34	92.0	2.04	1.070	0.666	0.743
	3b_k1	10	30	3	1	25	20	21	188.65	94.0	2.04	1.070	0.666	0.928
	4b_k1	10	30	3	1	30	20	21	193.95	97.0	2.04	1.070	0.666	1.114
	20b	10	30	3	0.5	10	30	21	262.39	131.0	3.00	1.070	0.666	0.561
	21b	10	30	3	0.5	15	30	21	267.59	134.0	3.00	1.070	0.666	0.842
	22b	10	30	3	0.5	20	30	21	272.78	136.0	3.00	1.070	0.666	1.122
	20b_k1	10	30	3	1	10	30	21	262.39	131.0	3.00	1.070	0.666	0.561
	21b_k1	10	30	3	1	15	30	21	267.59	134.0	3.00	1.070	0.666	0.842
	22b_k1	10	30	3	1	20	30	21	272.78	136.0	3.00	1.070	0.666	1.122

Συγκεντρωτικός Πίνακας Συσχέτισης του Συντελεστή Ευστάθειας Λ_F με την Κανονικοποιημένη Μορφή της Μέσης Έκθλιψης σε Όλο το Μέτωπο $\Omega_{f,3}$

	Α/Α	ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΔΑΦΟΥΣ			a	b	Λ_F	ΕΚΘΛΙΨΗ ΜΕΤΩΠΟΥ ΜΕ ΑΓΚΥΡΙΑ											
									19 NAILS			26 NAILS			33 NAILS			45 NAILS		
		H/D	Ko	Συνοχή c(kPa)	Γωνία Τριβής ϕ (^{o})	0.16(H/D)+0.59	$(H/D)^{-0.37}$	$5.25cN_\phi{}^a/\gamma H^{(1-b)}D^b$	U_2 (m)	U_2/D	$\Omega_{f,3}$ U_2E/DP_0	U_2 (m)	U_2/D	Ω_f U_2E/DP_0	U_2 (m)	U_2/D	Ω_f U_2E/DP_0	U_2 (m)	U_2/D	Ω_f U_2E/DP_0
H/D=1.5	10_5b	1.5	0.5	12	25	0.830	0.861	0.599	0.126	0.013	3.085				0.055	0.005	1.347			
	11b	1.5	0.5	15	25	0.830	0.861	0.749	0.058	0.006	1.482				0.043	0.004	1.090			
	12b	1.5	0.5	20	25	0.830	0.861	0.999	0.041	0.004	1.080				0.034	0.003	0.896			
	13b	1.5	0.5	25	25	0.830	0.861	1.249	0.033	0.003	0.906				0.029	0.003	0.788			
	10_5b_k1	1.5	1	12	25	0.830	0.861	0.599	0.131	0.013	2.406				0.070	0.007	1.294			
	11b_k1	1.5	1	15	25	0.830	0.861	0.749	0.075	0.008	1.437				0.058	0.006	1.100			
	12b_k1	1.5	1	20	25	0.830	0.861	0.999	0.056	0.006	1.101				0.047	0.005	0.931			
	13b_k1	1.5	1	25	25	0.830	0.861	1.249	0.046	0.005	0.948				0.041	0.004	0.836			
	29b	1.5	0.5	5	35	0.830	0.861	0.349	0.158	0.016	5.140				0.055	0.006	1.808			
	30b	1.5	0.5	10	35	0.830	0.861	0.698	0.035	0.004	1.186				0.026	0.003	0.866			
	31b	1.5	0.5	15	35	0.830	0.861	1.047	0.025	0.002	0.856				0.021	0.002	0.723			
	30b_k1	1.5	1	10	35	0.830	0.861	0.698	0.045	0.005	1.145				0.034	0.003	0.863			
	31b_k1	1.5	1	15	35	0.830	0.861	1.047	0.033	0.003	0.854				0.029	0.003	0.749			
H/D=3	2b	3	0.5	20	20	1.070	0.666	0.743				0.113	0.011	2.198				0.081	0.008	1.581
	3b	3	0.5	25	20	1.070	0.666	0.928				0.092	0.009	1.824				0.070	0.007	1.390
	4b	3	0.5	30	20	1.070	0.666	1.114				0.077	0.008	1.577				0.061	0.006	1.250
	2b_k1	3	1	20	20	1.070	0.666	0.743				0.148	0.015	2.160				0.107	0.011	1.568
	3b_k1	3	1	25	20	1.070	0.666	0.928				0.122	0.012	1.824				0.094	0.009	1.401
	4b_k1	3	1	30	20	1.070	0.666	1.114				0.104	0.010	1.602				0.083	0.008	1.276
	20b	3	0.5	10	30	1.070	0.666	0.561				0.062	0.006	1.720				0.043	0.004	1.197
	21b	3	0.5	15	30	1.070	0.666	0.842				0.049	0.005	1.382				0.037	0.004	1.062
	22b	3	0.5	20	30	1.070	0.666	1.122				0.041	0.004	1.194				0.033	0.003	0.963
	20b_k1	3	1	10	30	1.070	0.666	0.561				0.076	0.008	1.578				0.054	0.005	1.132
	21b_k1	3	1	15	30	1.070	0.666	0.842				0.062	0.006	1.310				0.048	0.005	1.025
	22b_k1	3	1	20	30	1.070	0.666	1.122				0.054	0.005	1.158				0.044	0.004	0.948

4η Ομάδα Αναλύσεων

Συγκεντρωτικός Πίνακας Υπολογισμού του Συντελεστή Ευστάθειας Λ_F

	A/A	ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ			Enails	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΔΑΦΟΥΣ							a	b	Λ_F
		D (m)	Βάθος H(m)	H/D	[Gpa]	Ko	Συνοχή c(kPa)	Γωνία Τριβής ϕ (^{o})	γ (kN/m^3)	C_u (kPa)	E (MPa)	N_ϕ	0.16(H/D)+0.59	$(H/D)^{-0.37}$	$5.25cN_\phi^a/\gamma H^{(1-b)}D^b$
H/D=1.5	10_5b	10	15	1.5	20	0.5	12	25	21	115.96	58.0	2.46	0.830	0.861	0.599
	10_5c_n	10	15	1.5	80	0.5	12	25	21	115.96	58.0	2.46	0.830	0.861	0.599
	11b	10	15	1.5	20	0.5	15	25	21	119.13	60.0	2.46	0.830	0.861	0.749
	11c_n	10	15	1.5	80	0.5	15	25	21	119.13	60.0	2.46	0.830	0.861	0.749
	12b	10	15	1.5	20	0.5	20	25	21	124.40	62.0	2.46	0.830	0.861	0.999
	12c_n	10	15	1.5	80	0.5	20	25	21	124.40	62.0	2.46	0.830	0.861	0.999
	13b	10	15	1.5	20	0.5	25	25	21	129.68	65.0	2.46	0.830	0.861	1.249
	13c_n	10	15	1.5	80	0.5	25	25	21	129.68	65.0	2.46	0.830	0.861	1.249
	29b	10	15	1.5	20	0.5	5	35	21	153.99	77.0	3.69	0.830	0.861	0.349
	29c_n	10	15	1.5	80	0.5	5	35	21	153.99	77.0	3.69	0.830	0.861	0.349
	30b	10	15	1.5	20	0.5	10	35	21	159.05	80.0	3.69	0.830	0.861	0.698
	30c_n	10	15	1.5	80	0.5	10	35	21	159.05	80.0	3.69	0.830	0.861	0.698
	31b	10	15	1.5	20	0.5	15	35	21	164.12	82.0	3.69	0.830	0.861	1.047
	31c_n	10	15	1.5	80	0.5	15	35	21	164.12	82.0	3.69	0.830	0.861	1.047
H/D=3	2b	10	30	3	20	0.5	20	20	21	183.34	92.0	2.04	1.070	0.666	0.743
	2c_n	10	30	3	80	0.5	20	20	21	183.34	92.0	2.04	1.070	0.666	0.743
	3b	10	30	3	20	0.5	25	20	21	188.65	94.0	2.04	1.070	0.666	0.928
	3c_n	10	30	3	80	0.5	25	20	21	188.65	94.0	2.04	1.070	0.666	0.928
	4b	10	30	3	20	0.5	30	20	21	193.95	97.0	2.04	1.070	0.666	1.114
	4c_n	10	30	3	80	0.5	30	20	21	193.95	97.0	2.04	1.070	0.666	1.114
	20b	10	30	3	20	0.5	10	30	21	262.39	131.0	3.00	1.070	0.666	0.561
	20c_n	10	30	3	80	0.5	10	30	21	262.39	131.0	3.00	1.070	0.666	0.561
	21b	10	30	3	20	0.5	15	30	21	267.59	134.0	3.00	1.070	0.666	0.842
	21c_n	10	30	3	80	0.5	15	30	21	267.59	134.0	3.00	1.070	0.666	0.842
	22b	10	30	3	20	0.5	20	30	21	272.78	136.0	3.00	1.070	0.666	1.122
	22c_n	10	30	3	80	0.5	20	30	21	272.78	136.0	3.00	1.070	0.666	1.122

Συγκεντρωτικός Πίνακας Συσχέτισης του Συντελεστή Ευστάθειας Λ_F με την Κανονικοποιημένη Μορφή της Μέσης Έκθλιψης σε Όλο το Μέτωπο $\Omega_{f,3}$

	A/A	Enails [Gpa]	ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΔΑΦΟΥΣ		a	b	Λ_F	ΕΚΘΛΙΨΗ ΜΕΤΩΠΟΥ ΜΕ ΑΓΚΥΡΙΑ											
									19 NAILS			26 NAILS			33 NAILS			45 NAILS		
									U_2 (m)	U_2/D	$\Omega_{f,3}$ U_2E/DP_0	U_2 (m)	U_2/D	Ω_f U_2E/DP_0	U_2 (m)	U_2/D	Ω_f U_2E/DP_0	U_2 (m)	U_2/D	Ω_f U_2E/DP_0
			H/D	Συνοχή c(kPa)	Γωνία Τριβής φ (^{o})	0.16(H/D)+0.59	$(H/D)^{-0.37}$	$5.25cN_\phi{}^a/\gamma H^{(1-b)}D^b$													
H/D=1.5	10_5b	20	1.5	12	25	0.830	0.861	0.599	0.126	0.013	3.085				0.055	0.005	1.347			
	10_5c_n	80	1.5	12	25	0.830	0.861	0.599	0.099	0.010	2.441				0.043	0.004	1.056			
	11b	20	1.5	15	25	0.830	0.861	0.749	0.058	0.006	1.482				0.043	0.004	1.090			
	11c_n	80	1.5	15	25	0.830	0.861	0.749	0.049	0.005	1.239				0.034	0.003	0.866			
	12b	20	1.5	20	25	0.830	0.861	0.999	0.041	0.004	1.080				0.034	0.003	0.896			
	12c_n	80	1.5	20	25	0.830	0.861	0.999	0.035	0.003	0.909				0.027	0.003	0.719			
	13b	20	1.5	25	25	0.830	0.861	1.249	0.033	0.003	0.906				0.029	0.003	0.788			
	13c_n	80	1.5	25	25	0.830	0.861	1.249	0.028	0.003	0.770				0.023	0.002	0.636			
	29b	20	1.5	5	35	0.830	0.861	0.349	0.158	0.016	5.140				0.055	0.006	1.808			
	29c_n	80	1.5	5	35	0.830	0.861	0.349	0.138	0.014	4.485				0.043	0.004	1.417			
	30b	20	1.5	10	35	0.830	0.861	0.698	0.035	0.004	1.186				0.026	0.003	0.866			
	30c_n	80	1.5	10	35	0.830	0.861	0.698	0.030	0.003	1.005				0.021	0.002	0.714			
	31b	20	1.5	15	35	0.830	0.861	1.047	0.025	0.002	0.856				0.021	0.002	0.723			
	31c_n	80	1.5	15	35	0.830	0.861	1.047	0.021	0.002	0.737				0.017	0.002	0.601			
H/D=3	2b	20	3	20	20	1.070	0.666	0.743				0.113	0.011	2.198				0.081	0.008	1.581
	2c_n	80	3	20	20	1.070	0.666	0.743				0.096	0.010	1.868				0.061	0.006	1.178
	3b	20	3	25	20	1.070	0.666	0.928				0.092	0.009	1.824				0.070	0.007	1.390
	3c_n	80	3	25	20	1.070	0.666	0.928				0.077	0.008	1.526				0.052	0.005	1.032
	4b	20	3	30	20	1.070	0.666	1.114				0.077	0.008	1.577				0.061	0.006	1.250
	4c_n	80	3	30	20	1.070	0.666	1.114				0.064	0.006	1.309				0.045	0.005	0.930
	20b	20	3	10	30	1.070	0.666	0.561				0.062	0.006	1.720				0.043	0.004	1.197
	20c_n	80	3	10	30	1.070	0.666	0.561				0.049	0.005	1.365				0.032	0.003	0.892
	21b	20	3	15	30	1.070	0.666	0.842				0.049	0.005	1.382				0.037	0.004	1.062
	21c_n	80	3	15	30	1.070	0.666	0.842				0.039	0.004	1.109				0.028	0.003	0.799
	22b	20	3	20	30	1.070	0.666	1.122				0.041	0.004	1.194				0.033	0.003	0.963
	22c_n	80	3	20	30	1.070	0.666	1.122				0.034	0.003	0.966				0.025	0.003	0.732

Συγκεντρωτικός Πίνακας Συσχέτισης της Απαιτούμενης Πυκνότητας Αγκυρίων d με τις Γεωτεχνικές Συνθήκες και το Βάθος Εκσκαφής μέσω της Μεθόδου Αναγνώστου & Kovari 1994 & 1996

H/D -	c [Kpa]	ϕ [°]	γ [KN/m^3]	s [Kpa]	FS -	p_{eq}/p_{ref} -	p_{ref} [Kpa]	d [n/m^2]
1.00	5.00	20.00	21.00	55.67	1.00	0.24	228.56	1.17
1.00	6.00	20.00	21.00	52.82	1.00	0.24	216.86	1.11
1.00	7.00	20.00	21.00	49.97	1.00	0.24	205.16	1.05
1.00	8.00	20.00	21.00	47.12	1.00	0.24	193.46	0.99
1.00	9.00	20.00	21.00	44.20	1.00	0.24	181.44	0.93
1.00	10.00	20.00	21.00	41.37	1.00	0.24	169.85	0.87
1.00	11.00	20.00	21.00	38.54	1.00	0.24	158.21	0.81
1.00	12.00	20.00	21.00	35.70	1.00	0.24	146.56	0.75
1.00	13.00	20.00	21.00	32.86	1.00	0.24	134.90	0.69
1.00	14.00	20.00	21.00	30.02	1.00	0.24	123.23	0.63
1.00	15.00	20.00	21.00	27.17	1.00	0.24	111.56	0.57
1.00	16.00	20.00	21.00	24.33	1.00	0.24	99.87	0.51
1.00	17.00	20.00	21.00	21.48	1.00	0.24	88.18	0.45
1.00	18.00	20.00	21.00	18.63	1.00	0.24	76.49	0.39
1.00	19.00	20.00	21.00	15.78	1.00	0.24	64.80	0.33
1.00	20.00	20.00	21.00	12.94	1.00	0.24	53.11	0.27
1.00	21.00	20.00	21.00	10.09	1.00	0.24	41.42	0.21
1.00	22.00	20.00	21.00	7.20	1.00	0.24	29.56	0.15
1.00	23.00	20.00	21.00	4.35	1.00	0.24	17.86	0.09
1.00	24.00	20.00	21.00	1.51	1.00	0.24	6.20	0.03
1.00	5.00	25.00	21.00	39.08	1.00	0.20	191.22	0.98
1.00	6.00	25.00	21.00	36.62	1.00	0.20	179.18	0.91
1.00	7.00	25.00	21.00	34.21	1.00	0.20	167.39	0.85
1.00	8.00	25.00	21.00	31.81	1.00	0.20	155.61	0.79
1.00	9.00	25.00	21.00	29.33	1.00	0.20	143.50	0.73
1.00	10.00	25.00	21.00	26.95	1.00	0.20	131.85	0.67
1.00	11.00	25.00	21.00	24.55	1.00	0.20	120.13	0.61
1.00	12.00	25.00	21.00	22.16	1.00	0.20	108.41	0.55
1.00	13.00	25.00	21.00	19.76	1.00	0.20	96.67	0.49
1.00	14.00	25.00	21.00	17.35	1.00	0.20	84.90	0.43
1.00	15.00	25.00	21.00	14.95	1.00	0.20	73.15	0.37
1.00	16.00	25.00	21.00	12.55	1.00	0.20	61.38	0.31
1.00	17.00	25.00	21.00	10.14	1.00	0.20	49.61	0.25
1.00	18.00	25.00	21.00	7.73	1.00	0.20	37.84	0.19
1.00	19.00	25.00	21.00	5.28	1.00	0.20	25.82	0.13
1.00	20.00	25.00	21.00	2.90	1.00	0.20	14.17	0.07
1.00	21.00	25.00	21.00	0.52	1.00	0.20	2.53	0.01
1.00	5.00	30.00	21.00	26.29	1.00	0.18	148.05	0.76
1.00	6.00	30.00	21.00	24.26	1.00	0.18	136.62	0.70
1.00	7.00	30.00	21.00	22.23	1.00	0.18	125.21	0.64
1.00	8.00	30.00	21.00	20.16	1.00	0.18	113.50	0.58
1.00	9.00	30.00	21.00	18.16	1.00	0.18	102.24	0.52
1.00	10.00	30.00	21.00	16.14	1.00	0.18	90.90	0.46
1.00	11.00	30.00	21.00	14.11	1.00	0.18	79.44	0.41
1.00	12.00	30.00	21.00	12.11	1.00	0.18	68.17	0.35
1.00	13.00	30.00	21.00	10.09	1.00	0.18	56.81	0.29
1.00	14.00	30.00	21.00	8.07	1.00	0.18	45.42	0.23
1.00	15.00	30.00	21.00	6.04	1.00	0.18	34.04	0.17
1.00	16.00	30.00	21.00	3.97	1.00	0.18	22.36	0.11
1.00	17.00	30.00	21.00	1.98	1.00	0.18	11.15	0.06
1.00	5.00	35.00	21.00	16.73	1.00	0.16	105.98	0.54
1.00	6.00	35.00	21.00	15.03	1.00	0.16	95.24	0.49
1.00	7.00	35.00	21.00	13.30	1.00	0.16	84.25	0.43
1.00	8.00	35.00	21.00	11.62	1.00	0.16	73.65	0.38

H/D -	c [Kpa]	ϕ [°]	γ [KN/m^3]	s [Kpa]	FS -	p_{eq}/p_{ref} -	p_{ref} [Kpa]	d [n/m^2]
1.00	9.00	35.00	21.00	9.94	1.00	0.16	62.99	0.32
1.00	10.00	35.00	21.00	8.26	1.00	0.16	52.31	0.27
1.00	11.00	35.00	21.00	6.57	1.00	0.16	41.60	0.21
1.00	12.00	35.00	21.00	4.88	1.00	0.16	30.90	0.16
1.00	13.00	35.00	21.00	3.19	1.00	0.16	20.19	0.10
1.00	14.00	35.00	21.00	1.48	1.00	0.16	9.36	0.05
1.50	5.00	20.00	21.00	66.65	1.00	0.31	217.05	1.11
1.50	6.00	20.00	21.00	63.68	1.00	0.31	207.39	1.06
1.50	7.00	20.00	21.00	60.43	1.00	0.31	196.80	1.00
1.50	8.00	20.00	21.00	57.27	1.00	0.31	186.52	0.95
1.50	9.00	20.00	21.00	54.12	1.00	0.31	176.24	0.90
1.50	10.00	20.00	21.00	50.96	1.00	0.31	165.95	0.85
1.50	11.00	20.00	21.00	47.70	1.00	0.31	155.33	0.79
1.50	12.00	20.00	21.00	44.57	1.00	0.31	145.17	0.74
1.50	13.00	20.00	21.00	41.44	1.00	0.31	134.95	0.69
1.50	14.00	20.00	21.00	38.29	1.00	0.31	124.71	0.64
1.50	15.00	20.00	21.00	35.15	1.00	0.31	114.48	0.58
1.50	16.00	20.00	21.00	32.00	1.00	0.31	104.23	0.53
1.50	17.00	20.00	21.00	28.85	1.00	0.31	93.96	0.48
1.50	18.00	20.00	21.00	25.70	1.00	0.31	83.70	0.43
1.50	19.00	20.00	21.00	22.55	1.00	0.31	73.43	0.37
1.50	20.00	20.00	21.00	19.39	1.00	0.31	63.16	0.32
1.50	21.00	20.00	21.00	16.24	1.00	0.31	52.88	0.27
1.50	22.00	20.00	21.00	13.09	1.00	0.31	42.61	0.22
1.50	23.00	20.00	21.00	9.93	1.00	0.31	32.34	0.16
1.50	24.00	20.00	21.00	6.73	1.00	0.31	21.91	0.11
1.50	25.00	20.00	21.00	3.59	1.00	0.31	11.70	0.06
1.50	26.00	20.00	21.00	0.47	1.00	0.31	1.52	0.01
1.50	5.00	25.00	21.00	44.38	1.00	0.25	174.76	0.89
1.50	6.00	25.00	21.00	41.80	1.00	0.25	164.61	0.84
1.50	7.00	25.00	21.00	39.22	1.00	0.25	154.45	0.79
1.50	8.00	25.00	21.00	36.64	1.00	0.25	144.30	0.74
1.50	9.00	25.00	21.00	34.07	1.00	0.25	134.15	0.68
1.50	10.00	25.00	21.00	31.41	1.00	0.25	123.69	0.63
1.50	11.00	25.00	21.00	28.85	1.00	0.25	113.63	0.58
1.50	12.00	25.00	21.00	26.30	1.00	0.25	103.55	0.53
1.50	13.00	25.00	21.00	23.73	1.00	0.25	93.47	0.48
1.50	14.00	25.00	21.00	21.17	1.00	0.25	83.37	0.43
1.50	15.00	25.00	21.00	18.60	1.00	0.25	73.27	0.37
1.50	16.00	25.00	21.00	16.03	1.00	0.25	63.14	0.32
1.50	17.00	25.00	21.00	13.46	1.00	0.25	53.01	0.27
1.50	18.00	25.00	21.00	10.89	1.00	0.25	42.88	0.22
1.50	19.00	25.00	21.00	8.32	1.00	0.25	32.75	0.17
1.50	20.00	25.00	21.00	5.67	1.00	0.25	22.34	0.11
1.50	21.00	25.00	21.00	3.11	1.00	0.25	12.25	0.06
1.50	22.00	25.00	21.00	0.60	1.00	0.25	2.36	0.01
1.50	5.00	30.00	21.00	28.53	1.00	0.22	131.11	0.67
1.50	6.00	30.00	21.00	26.45	1.00	0.22	121.54	0.62
1.50	7.00	30.00	21.00	24.31	1.00	0.22	111.72	0.57
1.50	8.00	30.00	21.00	22.20	1.00	0.22	102.03	0.52
1.50	9.00	30.00	21.00	20.04	1.00	0.22	92.09	0.47
1.50	10.00	30.00	21.00	17.95	1.00	0.22	82.49	0.42
1.50	11.00	30.00	21.00	15.86	1.00	0.22	72.91	0.37
1.50	12.00	30.00	21.00	13.76	1.00	0.22	63.25	0.32

H/D -	c [Kpa]	ϕ [°]	γ [KN/m^3]	s [Kpa]	FS -	p_{eq}/p_{ref} -	p_{ref} [Kpa]	d [n/m^2]
1.50	13.00	30.00	21.00	11.67	1.00	0.22	53.61	0.27
1.50	14.00	30.00	21.00	9.56	1.00	0.22	43.95	0.22
1.50	15.00	30.00	21.00	7.46	1.00	0.22	34.29	0.17
1.50	16.00	30.00	21.00	5.36	1.00	0.22	24.63	0.13
1.50	17.00	30.00	21.00	3.20	1.00	0.22	14.68	0.07
1.50	18.00	30.00	21.00	1.15	1.00	0.22	5.28	0.03
1.50	5.00	35.00	21.00	17.49	1.00	0.19	91.64	0.47
1.50	6.00	35.00	21.00	15.81	1.00	0.19	82.84	0.42
1.50	7.00	35.00	21.00	14.03	1.00	0.19	73.54	0.38
1.50	8.00	35.00	21.00	12.27	1.00	0.19	64.32	0.33
1.50	9.00	35.00	21.00	10.57	1.00	0.19	55.37	0.28
1.50	10.00	35.00	21.00	8.84	1.00	0.19	46.35	0.24
1.50	11.00	35.00	21.00	7.13	1.00	0.19	37.34	0.19
1.50	12.00	35.00	21.00	5.40	1.00	0.19	28.32	0.14
1.50	13.00	35.00	21.00	3.68	1.00	0.19	19.29	0.10
1.50	14.00	35.00	21.00	1.92	1.00	0.19	10.08	0.05
1.50	15.00	35.00	21.00	0.24	1.00	0.19	1.24	0.01
2.00	5.00	20.00	21.00	72.00	1.00	0.37	197.08	1.01
2.00	6.00	20.00	21.00	68.59	1.00	0.37	187.75	0.96
2.00	7.00	20.00	21.00	65.46	1.00	0.37	179.17	0.91
2.00	8.00	20.00	21.00	62.10	1.00	0.37	169.97	0.87
2.00	9.00	20.00	21.00	58.80	1.00	0.37	160.93	0.82
2.00	10.00	20.00	21.00	55.49	1.00	0.37	151.90	0.77
2.00	11.00	20.00	21.00	52.19	1.00	0.37	142.86	0.73
2.00	12.00	20.00	21.00	48.78	1.00	0.37	133.51	0.68
2.00	13.00	20.00	21.00	45.50	1.00	0.37	124.55	0.64
2.00	14.00	20.00	21.00	42.23	1.00	0.37	115.58	0.59
2.00	15.00	20.00	21.00	38.95	1.00	0.37	106.61	0.54
2.00	16.00	20.00	21.00	35.67	1.00	0.37	97.62	0.50
2.00	17.00	20.00	21.00	32.38	1.00	0.37	88.63	0.45
2.00	18.00	20.00	21.00	29.09	1.00	0.37	79.61	0.41
2.00	19.00	20.00	21.00	25.80	1.00	0.37	70.61	0.36
2.00	20.00	20.00	21.00	22.50	1.00	0.37	61.59	0.31
2.00	21.00	20.00	21.00	19.21	1.00	0.37	52.57	0.27
2.00	22.00	20.00	21.00	15.91	1.00	0.37	43.56	0.22
2.00	23.00	20.00	21.00	12.62	1.00	0.37	34.54	0.18
2.00	24.00	20.00	21.00	9.32	1.00	0.37	25.52	0.13
2.00	25.00	20.00	21.00	5.94	1.00	0.37	16.25	0.08
2.00	26.00	20.00	21.00	2.71	1.00	0.37	7.42	0.04
2.00	5.00	25.00	21.00	46.24	1.00	0.30	154.42	0.79
2.00	6.00	25.00	21.00	43.52	1.00	0.30	145.34	0.74
2.00	7.00	25.00	21.00	41.01	1.00	0.30	136.97	0.70
2.00	8.00	25.00	21.00	38.32	1.00	0.30	127.99	0.65
2.00	9.00	25.00	21.00	35.69	1.00	0.30	119.18	0.61
2.00	10.00	25.00	21.00	33.05	1.00	0.30	110.38	0.56
2.00	11.00	25.00	21.00	30.33	1.00	0.30	101.29	0.52
2.00	12.00	25.00	21.00	27.73	1.00	0.30	92.61	0.47
2.00	13.00	25.00	21.00	25.11	1.00	0.30	83.87	0.43
2.00	14.00	25.00	21.00	22.49	1.00	0.30	75.12	0.38
2.00	15.00	25.00	21.00	19.86	1.00	0.30	66.34	0.34
2.00	16.00	25.00	21.00	17.24	1.00	0.30	57.58	0.29
2.00	17.00	25.00	21.00	14.61	1.00	0.30	48.80	0.25
2.00	18.00	25.00	21.00	11.98	1.00	0.30	40.01	0.20
2.00	19.00	25.00	21.00	9.35	1.00	0.30	31.23	0.16

H/D -	c [Kpa]	ϕ [°]	γ [KN/m^3]	s [Kpa]	FS -	p_{eq}/p_{ref} -	p_{ref} [Kpa]	d [n/m^2]
2.00	20.00	25.00	21.00	6.72	1.00	0.30	22.45	0.11
2.00	21.00	25.00	21.00	4.03	1.00	0.30	13.46	0.07
2.00	22.00	25.00	21.00	1.46	1.00	0.30	4.87	0.02
2.00	5.00	30.00	21.00	29.05	1.00	0.25	114.20	0.58
2.00	6.00	30.00	21.00	26.89	1.00	0.25	105.73	0.54
2.00	7.00	30.00	21.00	24.85	1.00	0.25	97.72	0.50
2.00	8.00	30.00	21.00	22.66	1.00	0.25	89.08	0.45
2.00	9.00	30.00	21.00	20.46	1.00	0.25	80.45	0.41
2.00	10.00	30.00	21.00	18.37	1.00	0.25	72.21	0.37
2.00	11.00	30.00	21.00	16.25	1.00	0.25	63.91	0.33
2.00	12.00	30.00	21.00	14.14	1.00	0.25	55.60	0.28
2.00	13.00	30.00	21.00	12.02	1.00	0.25	47.26	0.24
2.00	14.00	30.00	21.00	9.90	1.00	0.25	38.92	0.20
2.00	15.00	30.00	21.00	7.78	1.00	0.25	30.58	0.16
2.00	16.00	30.00	21.00	5.66	1.00	0.25	22.25	0.11
2.00	17.00	30.00	21.00	3.50	1.00	0.25	13.74	0.07
2.00	18.00	30.00	21.00	1.40	1.00	0.25	5.52	0.03
2.00	5.00	35.00	21.00	17.56	1.00	0.22	79.41	0.41
2.00	6.00	35.00	21.00	15.90	1.00	0.22	71.89	0.37
2.00	7.00	35.00	21.00	14.12	1.00	0.22	63.87	0.33
2.00	8.00	35.00	21.00	12.36	1.00	0.22	55.88	0.29
2.00	9.00	35.00	21.00	10.65	1.00	0.22	48.14	0.25
2.00	10.00	35.00	21.00	8.89	1.00	0.22	40.21	0.21
2.00	11.00	35.00	21.00	7.20	1.00	0.22	32.54	0.17
2.00	12.00	35.00	21.00	5.47	1.00	0.22	24.73	0.13
2.00	13.00	35.00	21.00	3.74	1.00	0.22	16.92	0.09
2.00	14.00	35.00	21.00	1.97	1.00	0.22	8.92	0.05
2.00	15.00	35.00	21.00	0.29	1.00	0.22	1.31	0.01
3.00	5.00	20.00	21.00	75.76	1.00	0.47	160.48	0.82
3.00	6.00	20.00	21.00	72.35	1.00	0.47	153.26	0.78
3.00	7.00	20.00	21.00	68.80	1.00	0.47	145.73	0.74
3.00	8.00	20.00	21.00	65.58	1.00	0.47	138.91	0.71
3.00	9.00	20.00	21.00	62.27	1.00	0.47	131.91	0.67
3.00	10.00	20.00	21.00	58.73	1.00	0.47	124.40	0.63
3.00	11.00	20.00	21.00	55.32	1.00	0.47	117.19	0.60
3.00	12.00	20.00	21.00	51.92	1.00	0.47	109.98	0.56
3.00	13.00	20.00	21.00	48.52	1.00	0.47	102.77	0.52
3.00	14.00	20.00	21.00	45.02	1.00	0.47	95.37	0.49
3.00	15.00	20.00	21.00	41.65	1.00	0.47	88.22	0.45
3.00	16.00	20.00	21.00	38.27	1.00	0.47	81.06	0.41
3.00	17.00	20.00	21.00	34.88	1.00	0.47	73.88	0.38
3.00	18.00	20.00	21.00	31.49	1.00	0.47	66.71	0.34
3.00	19.00	20.00	21.00	28.10	1.00	0.47	59.52	0.30
3.00	20.00	20.00	21.00	24.71	1.00	0.47	52.33	0.27
3.00	21.00	20.00	21.00	21.32	1.00	0.47	45.15	0.23
3.00	22.00	20.00	21.00	17.92	1.00	0.47	37.96	0.19
3.00	23.00	20.00	21.00	14.52	1.00	0.47	30.77	0.16
3.00	24.00	20.00	21.00	11.13	1.00	0.47	23.58	0.12
3.00	25.00	20.00	21.00	7.64	1.00	0.47	16.18	0.08
3.00	26.00	20.00	21.00	4.29	1.00	0.47	9.09	0.05
3.00	27.00	20.00	21.00	0.95	1.00	0.47	2.01	0.01
3.00	5.00	25.00	21.00	47.12	1.00	0.38	123.11	0.63
3.00	6.00	25.00	21.00	44.45	1.00	0.38	116.13	0.59
3.00	7.00	25.00	21.00	41.76	1.00	0.38	109.10	0.56
3.00	8.00	25.00	21.00	39.21	1.00	0.38	102.45	0.52
3.00	9.00	25.00	21.00	36.45	1.00	0.38	95.22	0.49

H/D -	c [Kpa]	ϕ [°]	γ [KN/m^3]	s [Kpa]	FS -	p_{eq}/p_{ref} -	p_{ref} [Kpa]	d [n/m^2]
3.00	10.00	25.00	21.00	33.78	1.00	0.38	88.26	0.45
3.00	11.00	25.00	21.00	31.11	1.00	0.38	81.29	0.41
3.00	12.00	25.00	21.00	28.39	1.00	0.38	74.17	0.38
3.00	13.00	25.00	21.00	25.75	1.00	0.38	67.27	0.34
3.00	14.00	25.00	21.00	23.10	1.00	0.38	60.36	0.31
3.00	15.00	25.00	21.00	20.45	1.00	0.38	53.42	0.27
3.00	16.00	25.00	21.00	17.79	1.00	0.38	46.49	0.24
3.00	17.00	25.00	21.00	15.14	1.00	0.38	39.55	0.20
3.00	18.00	25.00	21.00	12.48	1.00	0.38	32.61	0.17
3.00	19.00	25.00	21.00	9.83	1.00	0.38	25.67	0.13
3.00	20.00	25.00	21.00	7.17	1.00	0.38	18.73	0.10
3.00	21.00	25.00	21.00	4.47	1.00	0.38	11.67	0.06
3.00	22.00	25.00	21.00	1.84	1.00	0.38	4.81	0.02
3.00	5.00	30.00	21.00	29.19	1.00	0.32	90.76	0.46
3.00	6.00	30.00	21.00	27.04	1.00	0.32	84.08	0.43
3.00	7.00	30.00	21.00	24.98	1.00	0.32	77.65	0.40
3.00	8.00	30.00	21.00	22.78	1.00	0.32	70.84	0.36
3.00	9.00	30.00	21.00	20.65	1.00	0.32	64.20	0.33
3.00	10.00	30.00	21.00	18.48	1.00	0.32	57.44	0.29
3.00	11.00	30.00	21.00	16.36	1.00	0.32	50.86	0.26
3.00	12.00	30.00	21.00	14.24	1.00	0.32	44.28	0.23
3.00	13.00	30.00	21.00	12.12	1.00	0.32	37.67	0.19
3.00	14.00	30.00	21.00	9.99	1.00	0.32	31.06	0.16
3.00	15.00	30.00	21.00	7.86	1.00	0.32	24.45	0.12
3.00	16.00	30.00	21.00	5.74	1.00	0.32	17.84	0.09
3.00	17.00	30.00	21.00	3.57	1.00	0.32	11.10	0.06
3.00	18.00	30.00	21.00	1.47	1.00	0.32	4.58	0.02
3.00	5.00	35.00	21.00	17.59	1.00	0.28	63.58	0.32
3.00	6.00	35.00	21.00	15.92	1.00	0.28	57.56	0.29
3.00	7.00	35.00	21.00	14.14	1.00	0.28	51.11	0.26
3.00	8.00	35.00	21.00	12.37	1.00	0.28	44.71	0.23
3.00	9.00	35.00	21.00	10.65	1.00	0.28	38.52	0.20
3.00	10.00	35.00	21.00	8.89	1.00	0.28	32.15	0.16
3.00	11.00	35.00	21.00	7.21	1.00	0.28	26.05	0.13
3.00	12.00	35.00	21.00	5.48	1.00	0.28	19.80	0.10
3.00	13.00	35.00	21.00	3.75	1.00	0.28	13.56	0.07
3.00	14.00	35.00	21.00	1.99	1.00	0.28	7.18	0.04
3.00	15.00	35.00	21.00	0.30	1.00	0.28	1.07	0.01
5.00	5.00	20.00	21.00	76.83	1.00	0.66	116.04	0.59
5.00	6.00	20.00	21.00	73.40	1.00	0.66	110.85	0.57
5.00	7.00	20.00	21.00	69.96	1.00	0.66	105.65	0.54
5.00	8.00	20.00	21.00	66.46	1.00	0.66	100.38	0.51
5.00	9.00	20.00	21.00	63.20	1.00	0.66	95.45	0.49
5.00	10.00	20.00	21.00	59.64	1.00	0.66	90.07	0.46
5.00	11.00	20.00	21.00	56.20	1.00	0.66	84.88	0.43
5.00	12.00	20.00	21.00	52.77	1.00	0.66	79.70	0.41
5.00	13.00	20.00	21.00	49.34	1.00	0.66	74.51	0.38
5.00	14.00	20.00	21.00	45.78	1.00	0.66	69.14	0.35
5.00	15.00	20.00	21.00	42.38	1.00	0.66	64.01	0.33
5.00	16.00	20.00	21.00	38.98	1.00	0.66	58.87	0.30
5.00	17.00	20.00	21.00	35.57	1.00	0.66	53.72	0.27
5.00	18.00	20.00	21.00	32.15	1.00	0.66	48.55	0.25
5.00	19.00	20.00	21.00	28.74	1.00	0.66	43.40	0.22
5.00	20.00	20.00	21.00	25.31	1.00	0.66	38.23	0.20
5.00	21.00	20.00	21.00	21.89	1.00	0.66	33.06	0.17
5.00	22.00	20.00	21.00	18.47	1.00	0.66	27.89	0.14

H/D -	c [Kpa]	ϕ [°]	γ [KN/m^3]	s [Kpa]	FS -	p_{eq}/p_{ref} -	p_{ref} [Kpa]	d [n/m^2]
5.00	23.00	20.00	21.00	15.05	1.00	0.66	22.73	0.12
5.00	24.00	20.00	21.00	11.63	1.00	0.66	17.56	0.09
5.00	25.00	20.00	21.00	8.10	1.00	0.66	12.23	0.06
5.00	26.00	20.00	21.00	4.71	1.00	0.66	7.11	0.04
5.00	27.00	20.00	21.00	1.36	1.00	0.66	2.05	0.01
5.00	5.00	25.00	21.00	47.24	1.00	0.53	88.94	0.45
5.00	6.00	25.00	21.00	44.56	1.00	0.53	83.91	0.43
5.00	7.00	25.00	21.00	41.86	1.00	0.53	78.83	0.40
5.00	8.00	25.00	21.00	39.31	1.00	0.53	74.03	0.38
5.00	9.00	25.00	21.00	36.55	1.00	0.53	68.81	0.35
5.00	10.00	25.00	21.00	33.88	1.00	0.53	63.78	0.33
5.00	11.00	25.00	21.00	31.21	1.00	0.53	58.76	0.30
5.00	12.00	25.00	21.00	28.48	1.00	0.53	53.62	0.27
5.00	13.00	25.00	21.00	25.83	1.00	0.53	48.64	0.25
5.00	14.00	25.00	21.00	23.18	1.00	0.53	43.65	0.22
5.00	15.00	25.00	21.00	20.52	1.00	0.53	38.64	0.20
5.00	16.00	25.00	21.00	17.86	1.00	0.53	33.63	0.17
5.00	17.00	25.00	21.00	15.21	1.00	0.53	28.63	0.15
5.00	18.00	25.00	21.00	12.55	1.00	0.53	23.62	0.12
5.00	19.00	25.00	21.00	9.88	1.00	0.53	18.61	0.09
5.00	20.00	25.00	21.00	7.22	1.00	0.53	13.60	0.07
5.00	21.00	25.00	21.00	4.52	1.00	0.53	8.52	0.04
5.00	22.00	25.00	21.00	1.89	1.00	0.53	3.56	0.02
5.00	5.00	30.00	21.00	29.20	1.00	0.44	66.15	0.34
5.00	6.00	30.00	21.00	27.05	1.00	0.44	61.27	0.31
5.00	7.00	30.00	21.00	25.00	1.00	0.44	56.63	0.29
5.00	8.00	30.00	21.00	22.79	1.00	0.44	51.63	0.26
5.00	9.00	30.00	21.00	20.59	1.00	0.44	46.65	0.24
5.00	10.00	30.00	21.00	18.48	1.00	0.44	41.86	0.21
5.00	11.00	30.00	21.00	16.36	1.00	0.44	37.07	0.19
5.00	12.00	30.00	21.00	14.21	1.00	0.44	32.19	0.16
5.00	13.00	30.00	21.00	12.12	1.00	0.44	27.45	0.14
5.00	14.00	30.00	21.00	10.00	1.00	0.44	22.64	0.12
5.00	15.00	30.00	21.00	7.87	1.00	0.44	17.83	0.09
5.00	16.00	30.00	21.00	5.74	1.00	0.44	13.01	0.07
5.00	17.00	30.00	21.00	3.57	1.00	0.44	8.09	0.04
5.00	18.00	30.00	21.00	1.48	1.00	0.44	3.36	0.02
5.00	5.00	35.00	21.00	17.63	1.00	0.38	46.95	0.24
5.00	6.00	35.00	21.00	15.87	1.00	0.38	42.28	0.22
5.00	7.00	35.00	21.00	14.09	1.00	0.38	37.54	0.19
5.00	8.00	35.00	21.00	12.37	1.00	0.38	32.96	0.17
5.00	9.00	35.00	21.00	10.66	1.00	0.38	28.40	0.14
5.00	10.00	35.00	21.00	8.93	1.00	0.38	23.80	0.12
5.00	11.00	35.00	21.00	7.21	1.00	0.38	19.20	0.10
5.00	12.00	35.00	21.00	5.48	1.00	0.38	14.60	0.07
5.00	13.00	35.00	21.00	3.75	1.00	0.38	9.99	0.05
5.00	14.00	35.00	21.00	2.01	1.00	0.38	5.35	0.03
5.00	15.00	35.00	21.00	0.30	1.00	0.38	0.79	0.00

Συγκεντρωτικός Πίνακας Συσχέτισης της Απαιτούμενης Πυκνότητας Αγκυρίων d με τις Γεωτεχνικές Συνθήκες και το Βάθος Εκσκαφής μέσω της Μεθόδου A. Vermeer et al. 2002

H [m]	D [m]	c [Kpa]	ϕ [°]	γ [KN/m^3]	$p_f=p_{eq}$ [Kpa]	p_{eq}/p_{ref} -	p_{ref} [Kpa]	d [n/m^2]
10.00	10.00	5.00	20.00	21.00	39.87	0.24	163.68	0.84
10.00	10.00	6.00	20.00	21.00	37.12	0.24	152.40	0.78
10.00	10.00	7.00	20.00	21.00	34.38	0.24	141.12	0.72
10.00	10.00	8.00	20.00	21.00	31.63	0.24	129.84	0.66
10.00	10.00	9.00	20.00	21.00	28.88	0.24	118.56	0.60
10.00	10.00	10.00	20.00	21.00	26.13	0.24	107.28	0.55
10.00	10.00	11.00	20.00	21.00	23.39	0.24	96.01	0.49
10.00	10.00	12.00	20.00	21.00	20.64	0.24	84.73	0.43
10.00	10.00	13.00	20.00	21.00	17.89	0.24	73.45	0.37
10.00	10.00	14.00	20.00	21.00	15.14	0.24	62.17	0.32
10.00	10.00	15.00	20.00	21.00	12.40	0.24	50.89	0.26
10.00	10.00	16.00	20.00	21.00	9.65	0.24	39.61	0.20
10.00	10.00	17.00	20.00	21.00	6.90	0.24	28.33	0.14
10.00	10.00	18.00	20.00	21.00	4.15	0.24	17.05	0.09
10.00	10.00	19.00	20.00	21.00	1.41	0.24	5.77	0.03
10.00	10.00	5.00	25.00	21.00	28.82	0.20	140.98	0.72
10.00	10.00	6.00	25.00	21.00	26.67	0.20	130.49	0.67
10.00	10.00	7.00	25.00	21.00	24.53	0.20	120.00	0.61
10.00	10.00	8.00	25.00	21.00	22.38	0.20	109.51	0.56
10.00	10.00	9.00	25.00	21.00	20.24	0.20	99.01	0.51
10.00	10.00	10.00	25.00	21.00	18.09	0.20	88.52	0.45
10.00	10.00	11.00	25.00	21.00	15.95	0.20	78.03	0.40
10.00	10.00	12.00	25.00	21.00	13.80	0.20	67.54	0.34
10.00	10.00	13.00	25.00	21.00	11.66	0.20	57.05	0.29
10.00	10.00	14.00	25.00	21.00	9.52	0.20	46.55	0.24
10.00	10.00	15.00	25.00	21.00	7.37	0.20	36.06	0.18
10.00	10.00	16.00	25.00	21.00	5.23	0.20	25.57	0.13
10.00	10.00	17.00	25.00	21.00	3.08	0.20	15.08	0.08
10.00	10.00	18.00	25.00	21.00	0.94	0.20	4.59	0.02
10.00	10.00	5.00	30.00	21.00	21.25	0.18	119.69	0.61
10.00	10.00	6.00	30.00	21.00	19.52	0.18	109.93	0.56
10.00	10.00	7.00	30.00	21.00	17.79	0.18	100.18	0.51
10.00	10.00	8.00	30.00	21.00	16.06	0.18	90.43	0.46
10.00	10.00	9.00	30.00	21.00	14.33	0.18	80.67	0.41
10.00	10.00	10.00	30.00	21.00	12.59	0.18	70.92	0.36
10.00	10.00	11.00	30.00	21.00	10.86	0.18	61.17	0.31
10.00	10.00	12.00	30.00	21.00	9.13	0.18	51.41	0.26
10.00	10.00	13.00	30.00	21.00	7.40	0.18	41.66	0.21
10.00	10.00	14.00	30.00	21.00	5.67	0.18	31.91	0.16
10.00	10.00	15.00	30.00	21.00	3.93	0.18	22.15	0.11
10.00	10.00	16.00	30.00	21.00	2.20	0.18	12.40	0.06
10.00	10.00	17.00	30.00	21.00	0.47	0.18	2.64	0.01
10.00	10.00	5.00	35.00	21.00	15.68	0.16	99.36	0.51
10.00	10.00	6.00	35.00	21.00	14.25	0.16	90.32	0.46
10.00	10.00	7.00	35.00	21.00	12.83	0.16	81.27	0.41
10.00	10.00	8.00	35.00	21.00	11.40	0.16	72.22	0.37

H [m]	D [m]	c [Kpa]	ϕ [°]	γ [KN/m^3]	$p_f=p_{eq}$ [Kpa]	p_{eq}/p_{ref} -	p_{ref} [Kpa]	d [n/m^2]
10.00	10.00	9.00	35.00	21.00	9.97	0.16	63.17	0.32
10.00	10.00	10.00	35.00	21.00	8.54	0.16	54.12	0.28
10.00	10.00	11.00	35.00	21.00	7.11	0.16	45.07	0.23
10.00	10.00	12.00	35.00	21.00	5.69	0.16	36.02	0.18
10.00	10.00	13.00	35.00	21.00	4.26	0.16	26.98	0.14
10.00	10.00	14.00	35.00	21.00	2.83	0.16	17.93	0.09
15.00	10.00	5.00	20.00	21.00	39.87	0.31	129.85	0.66
15.00	10.00	6.00	20.00	21.00	37.12	0.31	120.90	0.62
15.00	10.00	7.00	20.00	21.00	34.38	0.31	111.95	0.57
15.00	10.00	8.00	20.00	21.00	31.63	0.31	103.00	0.53
15.00	10.00	9.00	20.00	21.00	28.88	0.31	94.06	0.48
15.00	10.00	10.00	20.00	21.00	26.13	0.31	85.11	0.43
15.00	10.00	11.00	20.00	21.00	23.39	0.31	76.16	0.39
15.00	10.00	12.00	20.00	21.00	20.64	0.31	67.21	0.34
15.00	10.00	13.00	20.00	21.00	17.89	0.31	58.26	0.30
15.00	10.00	14.00	20.00	21.00	15.14	0.31	49.32	0.25
15.00	10.00	15.00	20.00	21.00	12.40	0.31	40.37	0.21
15.00	10.00	16.00	20.00	21.00	9.65	0.31	31.42	0.16
15.00	10.00	17.00	20.00	21.00	6.90	0.31	22.47	0.11
15.00	10.00	18.00	20.00	21.00	4.15	0.31	13.53	0.07
15.00	10.00	19.00	20.00	21.00	1.41	0.31	4.58	0.02
15.00	10.00	5.00	25.00	21.00	28.82	0.25	113.48	0.58
15.00	10.00	6.00	25.00	21.00	26.67	0.25	105.03	0.54
15.00	10.00	7.00	25.00	21.00	24.53	0.25	96.59	0.49
15.00	10.00	8.00	25.00	21.00	22.38	0.25	88.14	0.45
15.00	10.00	9.00	25.00	21.00	20.24	0.25	79.70	0.41
15.00	10.00	10.00	25.00	21.00	18.09	0.25	71.25	0.36
15.00	10.00	11.00	25.00	21.00	15.95	0.25	62.81	0.32
15.00	10.00	12.00	25.00	21.00	13.80	0.25	54.36	0.28
15.00	10.00	13.00	25.00	21.00	11.66	0.25	45.92	0.23
15.00	10.00	14.00	25.00	21.00	9.52	0.25	37.47	0.19
15.00	10.00	15.00	25.00	21.00	7.37	0.25	29.03	0.15
15.00	10.00	16.00	25.00	21.00	5.23	0.25	20.58	0.11
15.00	10.00	17.00	25.00	21.00	3.08	0.25	12.14	0.06
15.00	10.00	18.00	25.00	21.00	0.94	0.25	3.69	0.02
15.00	10.00	5.00	30.00	21.00	21.25	0.22	97.68	0.50
15.00	10.00	6.00	30.00	21.00	19.52	0.22	89.72	0.46
15.00	10.00	7.00	30.00	21.00	17.79	0.22	81.76	0.42
15.00	10.00	8.00	30.00	21.00	16.06	0.22	73.80	0.38
15.00	10.00	9.00	30.00	21.00	14.33	0.22	65.84	0.34
15.00	10.00	10.00	30.00	21.00	12.59	0.22	57.88	0.30
15.00	10.00	11.00	30.00	21.00	10.86	0.22	49.92	0.25
15.00	10.00	12.00	30.00	21.00	9.13	0.22	41.96	0.21
15.00	10.00	13.00	30.00	21.00	7.40	0.22	34.00	0.17
15.00	10.00	14.00	30.00	21.00	5.67	0.22	26.04	0.13
15.00	10.00	15.00	30.00	21.00	3.93	0.22	18.08	0.09

H [m]	D [m]	c [Kpa]	ϕ [°]	γ [KN/m^3]	$p_f=p_{eq}$ [Kpa]	p_{eq}/p_{ref} -	p_{ref} [Kpa]	d [n/m^2]
15.00	10.00	16.00	30.00	21.00	2.20	0.22	10.12	0.05
15.00	10.00	17.00	30.00	21.00	0.47	0.22	2.16	0.01
15.00	10.00	5.00	35.00	21.00	15.68	0.19	82.19	0.42
15.00	10.00	6.00	35.00	21.00	14.25	0.19	74.70	0.38
15.00	10.00	7.00	35.00	21.00	12.83	0.19	67.22	0.34
15.00	10.00	8.00	35.00	21.00	11.40	0.19	59.73	0.30
15.00	10.00	9.00	35.00	21.00	9.97	0.19	52.25	0.27
15.00	10.00	10.00	35.00	21.00	8.54	0.19	44.76	0.23
15.00	10.00	11.00	35.00	21.00	7.11	0.19	37.28	0.19
15.00	10.00	12.00	35.00	21.00	5.69	0.19	29.80	0.15
15.00	10.00	13.00	35.00	21.00	4.26	0.19	22.31	0.11
15.00	10.00	14.00	35.00	21.00	2.83	0.19	14.83	0.08
15.00	10.00	15.00	35.00	21.00	1.40	0.19	7.34	0.04
20.00	10.00	5.00	20.00	21.00	39.87	0.37	109.13	0.56
20.00	10.00	6.00	20.00	21.00	37.12	0.37	101.61	0.52
20.00	10.00	7.00	20.00	21.00	34.38	0.37	94.09	0.48
20.00	10.00	8.00	20.00	21.00	31.63	0.37	86.57	0.44
20.00	10.00	9.00	20.00	21.00	28.88	0.37	79.05	0.40
20.00	10.00	10.00	20.00	21.00	26.13	0.37	71.53	0.36
20.00	10.00	11.00	20.00	21.00	23.39	0.37	64.01	0.33
20.00	10.00	12.00	20.00	21.00	20.64	0.37	56.49	0.29
20.00	10.00	13.00	20.00	21.00	17.89	0.37	48.97	0.25
20.00	10.00	14.00	20.00	21.00	15.14	0.37	41.45	0.21
20.00	10.00	15.00	20.00	21.00	12.40	0.37	33.93	0.17
20.00	10.00	16.00	20.00	21.00	9.65	0.37	26.41	0.13
20.00	10.00	17.00	20.00	21.00	6.90	0.37	18.89	0.10
20.00	10.00	18.00	20.00	21.00	4.15	0.37	11.37	0.06
20.00	10.00	19.00	20.00	21.00	1.41	0.37	3.85	0.02
20.00	10.00	5.00	25.00	21.00	28.82	0.30	96.24	0.49
20.00	10.00	6.00	25.00	21.00	26.67	0.30	89.07	0.45
20.00	10.00	7.00	25.00	21.00	24.53	0.30	81.91	0.42
20.00	10.00	8.00	25.00	21.00	22.38	0.30	74.75	0.38
20.00	10.00	9.00	25.00	21.00	20.24	0.30	67.59	0.34
20.00	10.00	10.00	25.00	21.00	18.09	0.30	60.43	0.31
20.00	10.00	11.00	25.00	21.00	15.95	0.30	53.26	0.27
20.00	10.00	12.00	25.00	21.00	13.80	0.30	46.10	0.24
20.00	10.00	13.00	25.00	21.00	11.66	0.30	38.94	0.20
20.00	10.00	14.00	25.00	21.00	9.52	0.30	31.78	0.16
20.00	10.00	15.00	25.00	21.00	7.37	0.30	24.62	0.13
20.00	10.00	16.00	25.00	21.00	5.23	0.30	17.45	0.09
20.00	10.00	17.00	25.00	21.00	3.08	0.30	10.29	0.05
20.00	10.00	18.00	25.00	21.00	0.94	0.30	3.13	0.02
20.00	10.00	5.00	30.00	21.00	21.25	0.25	83.57	0.43
20.00	10.00	6.00	30.00	21.00	19.52	0.25	76.76	0.39
20.00	10.00	7.00	30.00	21.00	17.79	0.25	69.95	0.36
20.00	10.00	8.00	30.00	21.00	16.06	0.25	63.14	0.32

H [m]	D [m]	c [Kpa]	ϕ [°]	γ [KN/m^3]	$p_f=p_{eq}$ [Kpa]	p_{eq}/p_{ref} -	p_{ref} [Kpa]	d [n/m^2]
20.00	10.00	9.00	30.00	21.00	14.33	0.25	56.33	0.29
20.00	10.00	10.00	30.00	21.00	12.59	0.25	49.52	0.25
20.00	10.00	11.00	30.00	21.00	10.86	0.25	42.71	0.22
20.00	10.00	12.00	30.00	21.00	9.13	0.25	35.90	0.18
20.00	10.00	13.00	30.00	21.00	7.40	0.25	29.09	0.15
20.00	10.00	14.00	30.00	21.00	5.67	0.25	22.28	0.11
20.00	10.00	15.00	30.00	21.00	3.93	0.25	15.47	0.08
20.00	10.00	16.00	30.00	21.00	2.20	0.25	8.66	0.04
20.00	10.00	17.00	30.00	21.00	0.47	0.25	1.85	0.01
20.00	10.00	5.00	35.00	21.00	15.68	0.22	70.92	0.36
20.00	10.00	6.00	35.00	21.00	14.25	0.22	64.47	0.33
20.00	10.00	7.00	35.00	21.00	12.83	0.22	58.01	0.30
20.00	10.00	8.00	35.00	21.00	11.40	0.22	51.55	0.26
20.00	10.00	9.00	35.00	21.00	9.97	0.22	45.09	0.23
20.00	10.00	10.00	35.00	21.00	8.54	0.22	38.63	0.20
20.00	10.00	11.00	35.00	21.00	7.11	0.22	32.17	0.16
20.00	10.00	12.00	35.00	21.00	5.69	0.22	25.71	0.13
20.00	10.00	13.00	35.00	21.00	4.26	0.22	19.25	0.10
20.00	10.00	14.00	35.00	21.00	2.83	0.22	12.80	0.07
20.00	10.00	15.00	35.00	21.00	1.40	0.22	6.34	0.03
30.00	10.00	5.00	20.00	21.00	39.87	0.47	84.46	0.43
30.00	10.00	6.00	20.00	21.00	37.12	0.47	78.64	0.40
30.00	10.00	7.00	20.00	21.00	34.38	0.47	72.82	0.37
30.00	10.00	8.00	20.00	21.00	31.63	0.47	67.00	0.34
30.00	10.00	9.00	20.00	21.00	28.88	0.47	61.18	0.31
30.00	10.00	10.00	20.00	21.00	26.13	0.47	55.36	0.28
30.00	10.00	11.00	20.00	21.00	23.39	0.47	49.54	0.25
30.00	10.00	12.00	20.00	21.00	20.64	0.47	43.72	0.22
30.00	10.00	13.00	20.00	21.00	17.89	0.47	37.90	0.19
30.00	10.00	14.00	20.00	21.00	15.14	0.47	32.08	0.16
30.00	10.00	15.00	20.00	21.00	12.40	0.47	26.26	0.13
30.00	10.00	16.00	20.00	21.00	9.65	0.47	20.44	0.10
30.00	10.00	17.00	20.00	21.00	6.90	0.47	14.62	0.07
30.00	10.00	18.00	20.00	21.00	4.15	0.47	8.80	0.04
30.00	10.00	19.00	20.00	21.00	1.41	0.47	2.98	0.02
30.00	10.00	5.00	25.00	21.00	28.82	0.38	75.29	0.38
30.00	10.00	6.00	25.00	21.00	26.67	0.38	69.68	0.36
30.00	10.00	7.00	25.00	21.00	24.53	0.38	64.08	0.33
30.00	10.00	8.00	25.00	21.00	22.38	0.38	58.48	0.30
30.00	10.00	9.00	25.00	21.00	20.24	0.38	52.88	0.27
30.00	10.00	10.00	25.00	21.00	18.09	0.38	47.27	0.24
30.00	10.00	11.00	25.00	21.00	15.95	0.38	41.67	0.21
30.00	10.00	12.00	25.00	21.00	13.80	0.38	36.07	0.18
30.00	10.00	13.00	25.00	21.00	11.66	0.38	30.46	0.16
30.00	10.00	14.00	25.00	21.00	9.52	0.38	24.86	0.13
30.00	10.00	15.00	25.00	21.00	7.37	0.38	19.26	0.10
30.00	10.00	16.00	25.00	21.00	5.23	0.38	13.65	0.07
30.00	10.00	17.00	25.00	21.00	3.08	0.38	8.05	0.04

H [m]	D [m]	c [Kpa]	ϕ [°]	γ [KN/m^3]	$p_f=p_{eq}$ [Kpa]	p_{eq}/p_{ref} -	p_{ref} [Kpa]	d [n/m^2]
30.00	10.00	18.00	25.00	21.00	0.94	0.38	2.45	0.01
30.00	10.00	5.00	30.00	21.00	21.25	0.32	66.08	0.34
30.00	10.00	6.00	30.00	21.00	19.52	0.32	60.70	0.31
30.00	10.00	7.00	30.00	21.00	17.79	0.32	55.31	0.28
30.00	10.00	8.00	30.00	21.00	16.06	0.32	49.93	0.25
30.00	10.00	9.00	30.00	21.00	14.33	0.32	44.54	0.23
30.00	10.00	10.00	30.00	21.00	12.59	0.32	39.16	0.20
30.00	10.00	11.00	30.00	21.00	10.86	0.32	33.77	0.17
30.00	10.00	12.00	30.00	21.00	9.13	0.32	28.39	0.14
30.00	10.00	13.00	30.00	21.00	7.40	0.32	23.00	0.12
30.00	10.00	14.00	30.00	21.00	5.67	0.32	17.62	0.09
30.00	10.00	15.00	30.00	21.00	3.93	0.32	12.23	0.06
30.00	10.00	16.00	30.00	21.00	2.20	0.32	6.85	0.03
30.00	10.00	17.00	30.00	21.00	0.47	0.32	1.46	0.01
30.00	10.00	5.00	35.00	21.00	15.68	0.28	56.70	0.29
30.00	10.00	6.00	35.00	21.00	14.25	0.28	51.53	0.26
30.00	10.00	7.00	35.00	21.00	12.83	0.28	46.37	0.24
30.00	10.00	8.00	35.00	21.00	11.40	0.28	41.21	0.21
30.00	10.00	9.00	35.00	21.00	9.97	0.28	36.04	0.18
30.00	10.00	10.00	35.00	21.00	8.54	0.28	30.88	0.16
30.00	10.00	11.00	35.00	21.00	7.11	0.28	25.72	0.13
30.00	10.00	12.00	35.00	21.00	5.69	0.28	20.56	0.10
30.00	10.00	13.00	35.00	21.00	4.26	0.28	15.39	0.08
30.00	10.00	14.00	35.00	21.00	2.83	0.28	10.23	0.05
30.00	10.00	15.00	35.00	21.00	1.40	0.28	5.07	0.03
50.00	10.00	5.00	20.00	21.00	39.87	0.66	60.21	0.31
50.00	10.00	6.00	20.00	21.00	37.12	0.66	56.07	0.29
50.00	10.00	7.00	20.00	21.00	34.38	0.66	51.92	0.26
50.00	10.00	8.00	20.00	21.00	31.63	0.66	47.77	0.24
50.00	10.00	9.00	20.00	21.00	28.88	0.66	43.62	0.22
50.00	10.00	10.00	20.00	21.00	26.13	0.66	39.47	0.20
50.00	10.00	11.00	20.00	21.00	23.39	0.66	35.32	0.18
50.00	10.00	12.00	20.00	21.00	20.64	0.66	31.17	0.16
50.00	10.00	13.00	20.00	21.00	17.89	0.66	27.02	0.14
50.00	10.00	14.00	20.00	21.00	15.14	0.66	22.87	0.12
50.00	10.00	15.00	20.00	21.00	12.40	0.66	18.72	0.10
50.00	10.00	16.00	20.00	21.00	9.65	0.66	14.57	0.07
50.00	10.00	17.00	20.00	21.00	6.90	0.66	10.42	0.05
50.00	10.00	18.00	20.00	21.00	4.15	0.66	6.27	0.03
50.00	10.00	19.00	20.00	21.00	1.41	0.66	2.12	0.01
50.00	10.00	5.00	25.00	21.00	28.82	0.53	54.26	0.28
50.00	10.00	6.00	25.00	21.00	26.67	0.53	50.22	0.26
50.00	10.00	7.00	25.00	21.00	24.53	0.53	46.18	0.24
50.00	10.00	8.00	25.00	21.00	22.38	0.53	42.14	0.22
50.00	10.00	9.00	25.00	21.00	20.24	0.53	38.11	0.19
50.00	10.00	10.00	25.00	21.00	18.09	0.53	34.07	0.17
50.00	10.00	11.00	25.00	21.00	15.95	0.53	30.03	0.15
50.00	10.00	12.00	25.00	21.00	13.80	0.53	25.99	0.13

H [m]	D [m]	c [Kpa]	ϕ [°]	γ [KN/m^3]	$p_f=p_{eq}$ [Kpa]	p_{eq}/p_{ref} -	p_{ref} [Kpa]	d [n/m^2]
50.00	10.00	13.00	25.00	21.00	11.66	0.53	21.95	0.11
50.00	10.00	14.00	25.00	21.00	9.52	0.53	17.92	0.09
50.00	10.00	15.00	25.00	21.00	7.37	0.53	13.88	0.07
50.00	10.00	16.00	25.00	21.00	5.23	0.53	9.84	0.05
50.00	10.00	17.00	25.00	21.00	3.08	0.53	5.80	0.03
50.00	10.00	18.00	25.00	21.00	0.94	0.53	1.76	0.01
50.00	10.00	5.00	30.00	21.00	21.25	0.44	48.15	0.25
50.00	10.00	6.00	30.00	21.00	19.52	0.44	44.22	0.23
50.00	10.00	7.00	30.00	21.00	17.79	0.44	40.30	0.21
50.00	10.00	8.00	30.00	21.00	16.06	0.44	36.38	0.19
50.00	10.00	9.00	30.00	21.00	14.33	0.44	32.45	0.17
50.00	10.00	10.00	30.00	21.00	12.59	0.44	28.53	0.15
50.00	10.00	11.00	30.00	21.00	10.86	0.44	24.61	0.13
50.00	10.00	12.00	30.00	21.00	9.13	0.44	20.68	0.11
50.00	10.00	13.00	30.00	21.00	7.40	0.44	16.76	0.09
50.00	10.00	14.00	30.00	21.00	5.67	0.44	12.83	0.07
50.00	10.00	15.00	30.00	21.00	3.93	0.44	8.91	0.05
50.00	10.00	16.00	30.00	21.00	2.20	0.44	4.99	0.03
50.00	10.00	17.00	30.00	21.00	0.47	0.44	1.06	0.01
50.00	10.00	5.00	35.00	21.00	15.68	0.38	41.78	0.21
50.00	10.00	6.00	35.00	21.00	14.25	0.38	37.97	0.19
50.00	10.00	7.00	35.00	21.00	12.83	0.38	34.17	0.17
50.00	10.00	8.00	35.00	21.00	11.40	0.38	30.36	0.15
50.00	10.00	9.00	35.00	21.00	9.97	0.38	26.56	0.14
50.00	10.00	10.00	35.00	21.00	8.54	0.38	22.75	0.12
50.00	10.00	11.00	35.00	21.00	7.11	0.38	18.95	0.10
50.00	10.00	12.00	35.00	21.00	5.69	0.38	15.15	0.08
50.00	10.00	13.00	35.00	21.00	4.26	0.38	11.34	0.06
50.00	10.00	14.00	35.00	21.00	2.83	0.38	7.54	0.04
50.00	10.00	15.00	35.00	21.00	1.40	0.38	3.73	0.02

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1] Pieter A. Vermeer - Nico Ruse - Thomas Marcher. *Tunnel Heading Stability in Drained Ground.* 2002

[2] Pierre Chambon and Jean - Francois Corte. *Shallow Tunnels in Cohesionless Soil - Stability of Tunnel Face.* 1994.

[3] D. Peila. *A theoretical study of reinforcement influence on the stability of tunnel face.* 1994.

[4] Chungsik Yoo. *Finite-element analysis of tunnel face reinforced by longitudinal pipes.* 2002.

[5] G.Anagnostou – K.Kovari. *The Face Stability of Slurry-shield-driven Tunnels*. 1994.

[6] G.Anagnostou – K.Kovari. *Face Stability Conditions with Earth-Pressure-Balanced Shields.* 1996.

[7] K.Kovari. *Erroneous Concepts behind NATM.* 1993.

[8] Anagnostou – Serafimidis. *The dimensioning of Tunnel Face Reinforcement.* 2007.

[9] D. Kolymbas - Ansgar Kirsch. *On the face stability of shallow tunnels in sand*

[10] Serafimidis - Ramoni – Anagnostou. *Analysing the stability of reinforced tunnel faces.* 2007.

[11] H. Mashimo - M. Suzuki. *Stability conditions of tunnel face in sandy ground.* 1998.

[12] Anagnostou – Kovari. *The Face Stability of Slurry-shield-driven Tunnels*

[13] Prountzopoulos – Kavvadas. *The Effect of Face Bolting on the Stability of Tunnels. A Parametric Study using Finite Elements.* 2010.

[14] Wolfgang Fellin, Julian King, Ansgar Kirsch, Michael Oberguggenberger. *Uncertainty modelling and sensitivity analysis of tunnel face stability.* 2010.

[15] Lunardi P., *The Design and construction of tunnelsusing the approach based on the analysis of controlled deformation in rocks and soils.* 2002.

[16] Προυντζόπουλος Γ., *Διερεύνηση της Ευστάθειας του Μετώπου Εκσκαφής Αβαθών Σηράγγων.* Διδακτορική Διατριβή. 2012

[17] Καββαδάς, Μ., *Σημειώσεις σχεδιασμού υπογείων έργων*. Εκδόσεις ΕΜΠ. 2005.

[18] Παπαδόπουλος Β., *Σημειώσεις Σχεδιασμός και Κατασκευή Υπογείων Έργων*. Εκδόσεις ΕΜΠ. 2007.

[19] Καββαδάς, Μ., *Υπολογιστικές μέθοδοι ανάλυσης υπογείων έργων*. 2011.

[20] Γκαζέτας Γ., *Εδαφομηχανική*. Εκδόσεις ΕΜΠ. 2005.

[21] Καββαδάς Μ., *Στοιχεία Εδαφομηχανικής*. Εκδόσεις ΕΜΠ 2005.

[22] Κωνστάντζος Ιάσων., *Σύγκριση ευστάθειας μετώπου σήραγγας ανυποστήρικτου και ενισχυμένου μετώπου με αγκύρια μέσω τρισδιάστατων αριθμητικών αναλύσεων.* 2010. Διπλωματική εργασία.