

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ
ΑΤΤΙΚΗΣ ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ



Διπλωματική Εργασία

Θέμα:

**Φέρουσα ικανότητα επιφανειακής θεμελίωσης κατά
Ευρωκώδικα 7 (EC7).**

**Κωβαίου Μαρία
Αθήνα, 2021**

Επιβλέπων Καθηγητής : Μπελόκας Γεώργιος



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Όνοματεπώνυμο φοιτητή: **ΜΑΡΙΑ ΚΩΒΑΙΟΥ**

Τίτλος Διπλωματικής Εργασίας:

ΦΕΡΟΥΣΑ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ ΚΑΤΑ ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑ 7
(EC7).

Η διπλωματική εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι
Τριμελή Εξεταστική Επιτροπή:

ΜΠΕΛΟΚΑΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

Επίκουρος Καθηγητής

Επιβλέπων

ΣΥΜΠΕΘΕΡΟΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

Καθηγητής

Μέλος

ΒΑΛΑΒΑΝΙΔΗΣ ΜΑΡΙΟΣ

Αναπληρωτής

Καθηγητής Μέλος

ΑΙΓΑΛΕΩ, ΙΟΥΛΙΟΣ 2021

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Μαρία Κωβαίου του Μιχαήλ, με αριθμό μητρώου **6445** φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του διπλώματός μου».



Η Δηλούσα

Μαρία Κωβαίου

Ευχαριστίες

Με την παράδοση της διπλωματικής μου εργασίας κλείνει το κεφάλαιο της φοίτησης στο Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών στο Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής. Η εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας ήταν η πιο ενδιαφέρουσα και ευχάριστη ενασχόληση κατά την διάρκεια των σπουδών μου. Σε αυτό το σημείο θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή Κ. Γεώργιο Μπελόκα για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε αναθέτοντάς μου το θέμα της διπλωματικής μου εργασίας καθώς και για την βοήθεια που μου παρείχε καθ' όλη την διάρκεια. Ακόμη ευχαριστώ τους γονείς μου, τους κοντινούς μου φίλους και ιδιαίτερα την αδερφή μου για την πολύτιμη υλική και συναισθηματική στήριξη που μου παρείχαν.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστώ τους συμφοιτητές μου, για όλες τις ευχάριστες και στιγμές που μοιραστήκαμε.

Περίληψη

Οι θεμελιώσεις αποτελούν την απαρχή κάθε δομικού έργου και είναι ύψιστης σημασίας, καθώς μεταβιβάζουν τα φορτία της ανωδομής στο έδαφος. Είναι κρίσιμο το έδαφος να μην φορτιστεί πέραν της αντοχής του, δηλαδή να μην υπερβεί την φέρουσα του ικανότητα. Λόγω της ιδιαιτερότητας των εδαφών και των συνθηκών στην εκάστοτε περιοχή μελέτης, δίνεται η δυνατότητα στα κράτη μέλη της Ευρώπης να καθορίσουν με ένα εθνικό προσάρτημα, τον τρόπο ανάλυσης και το υπολογιστικό προσομοίωμα υπολογισμού της φέρουσας ικανότητας, με την προϋπόθεση να μην υπερβαίνει τις οριακές καταστάσεις αστοχίας. Στην παρούσα διπλωματική εργασία βασικό στόχο αποτελεί η διερεύνηση μεθοδολογιών υπολογισμού της φέρουσας ικανότητας επιφανειακής θεμελίωσης και πως εφαρμόζονται στον Ευρωκώδικα 7 (EC7). Με την βοήθεια υπολογιστικών φύλλων Excel πραγματοποιήθηκε συγκριτική ανάλυση των τρόπων ανάλυσης, οι οποίοι παρουσιάζονται στον Ευρωκώδικα 7 (EC7), καθώς και του υπολογιστικού μοντέλου του παραρτήματος Δ του Ευρωκώδικα 7 (EC7) (ελληνική εθνική επιλογή) με την μεθοδολογία που συστήνει το BS8004 (βρετανική εθνική επιλογή) για στραγγισμένες και αστράγγιστες συνθήκες φόρτισης. Από τις αναλύσεις που διεξήχθησαν, συμπεραίνουμε ότι ο Ευρωκώδικας 7 (EC7) προτείνει ένα πιο συντηρητικό μοντέλο υπολογισμού της φέρουσας ικανότητας, δεδομένου ότι αγνοεί ορισμένες καταστάσεις σχεδιασμού σε αντίθεση με την μέθοδο που παρουσιάζεται στο BS8004, στην οποία έχουν προστεθεί νέοι παράγοντες. Ακόμη, η επιλογή του τρόπου ανάλυσης και κατά συνέπεια των επιμέρους συντελεστών ασφαλείας, επηρεάζει την επάρκεια έναντι φέρουσας ικανότητας. Συμπερασματικά, ο τρόπος DA2* σε αστράγγιστες συνθήκες φόρτισης είναι πάντοτε πιο συντηρητικός από τον τρόπο ανάλυσης DA1-2. Τα συμπεράσματα που αποκομίσαμε για τις στραγγισμένες συνθήκες διαφέρουν, διότι σε αυτήν την περίπτωση παρατηρείται, ότι ο βαθμός στον οποίο ο τρόπος ανάλυσης είναι πιο συντηρητικός εξαρτάται από τον συνδυασμό της γωνίας τριβής ϕ , της επιφόρτισης q και της συνοχής c .

Abstract

The foundation is the beginning of every construction project and is of the utmost significance, as it transfers and distributes the loads of the superstructure to the ground. It is critical that the ground is not loaded beyond its' strength, and not exceed its' load-bearing capacity. Due to the specificity of the soils and the circumstances in the respective study area, it is possible for the member states of the European Union to determine with a national appendix, the method of analysis and the computational simulation of the load-bearing capacity, provided that it does not exceed the failure thresholds. The focus of this thesis is to investigate different calculating

methodologies for the load-bearing capacity of a surface foundation and how they are applied in Eurocode 7 (EC7). Firstly, a comparative analysis of the methods of analysis presented in Eurocode 7 (EC7) is performed with the use of spreadsheets. The same comparative analysis is used as well between the calculation model of Annex D of the Eurocode 7 (EC7) (Greek national selection) and the methodology recommended by BS8004 (British national selection) for drained and undrained loading conditions. From the analyses carried out, we conclude that Eurocode 7 (EC7) proposes a more conservative model for calculating the load-bearing capacity, as it doesn't take into consideration some certain design situations. The reason for that being that new factors have been added to the method presented in BS8004 (British national selection). Furthermore, depending on the safety factors that are used in the analysis, the adequacy against the load-bearing capacity is simultaneously affected. In conclusion, the DA2 * method regarding the undrained loading conditions is always more conservative than the DA1-2 analysis method. The conclusions we have acquired for the drained conditions differ, because in this case it is observed that the extent to which the analysis method is more conservative is determined by a combination of the friction angle ϕ , the load q and the coherence c .

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες	4
Περίληψη	5
Περιεχόμενα.....	7
Κατάλογος Εικόνων.....	11
Κατάλογος Πινάκων	13
Κατάλογος διαγραμμάτων	15
Εισαγωγή.....	19
1 Εισαγωγή στις θεμελιώσεις.....	20
1.1 Στοιχεία μηχανικής συμπεριφοράς του εδάφους	20
1.2 Ρόλος και λειτουργία θεμελιώσεων	20
1.3 Μέρη και τύποι θεμελίωσης.....	21
1.3.1 Αβαθείς θεμελιώσεις.....	22
1.3.2 Βαθείς θεμελιώσεις.....	24
1.4 Στάδια μελέτης θεμελιώσεων.....	24
2 Επιφανειακές θεμελιώσεις	26
2.1 Θέματα σχεδιασμού και κατασκευής.....	26
2.1.1 Βάθος θεμελίωσης	26
2.2 Βασικοί τύποι επιφανειακών θεμελιώσεων	26
2.2.1 Μεμονωμένο πέδιλο.....	27
2.2.2 Πεδιλοδοκός.....	27
2.2.3 Κοιτόστρωση	28
3 Τρόποι υπολογισμού της φέρουσας ικανότητας.....	31
3.1 Γενικά φέρουσα ικανότητα	31
3.2 Μορφές θραύσεως.....	32
3.3 Θεωρητικές μέθοδοι υπολογισμού φέρουσας ικανότητας	35

3.3.1	Επίλυση Terzaghi (1943).....	35
3.3.2	Επίλυση κατά Skempton (1951).....	39
3.3.3	Επίλυση κατά Meyerhof (1951-1963).....	41
3.4	Γενική εξίσωση φέρουσας ικανότητας.....	45
3.4.1	Φέρουσα ικανότητα για αστράγγιστη φόρτιση.....	45
3.4.2	Φέρουσα ικανότητα για στραγγισμένη φόρτιση.....	46
3.5	Μέθοδοι υπολογισμού της φέρουσας ικανότητας με εμπειρικές μεθόδους από επί τόπου δοκιμές.....	48
3.5.1	Πρότυπη μέθοδος διείσδυσης (SPT).....	48
3.5.2	Μέθοδος στατικής πενετομέτρησης (CTP).....	51
3.6	Πίνακες επιτρεπόμενων τάσεων.....	52
3.7	Παράγοντες που επηρεάζουν την φέρουσα ικανότητα.	54
3.7.1	Μορφή και διαστάσεις θεμελίου.....	54
3.7.2	Εκκεντρότητα και κλίση της φορτίσεως.....	54
3.7.3	Επίδραση γεωτεχνικών συνθηκών του υπεδάφους.....	55
3.7.4	Διατμητική αντοχή των υπερκείμενων της στάθμης θεμελίωσης εδαφών 55	
3.7.5	Επιρροή της συμπίεστικότητας στη φέρουσα ικανότητα	55
3.7.6	Επιρροή της στάθμης των υπογείων υδάτων στην φέρουσα ικανότητα	56
4	Ευρωκώδικας 7 (EC7)	57
4.1	Ανάγκη χρήσης του Ευρωκώδικα 7 (EC-7).....	57
4.2	Στάδια θέσπισης του Ευρωκώδικα 7 – Προσαρμογή Ελλάδος στον Ευρωκώδικα 7.....	58
4.3	Κώδικες με τους οποίους συνδέεται ο Ευρωκώδικας 7	59
4.4	Βασικές αρχές Ευρωκώδικα.....	60
4.5	Χαρακτηριστικές τιμές και τιμές σχεδιασμού των δράσεων και των εδαφικών ιδιοτήτων.....	63

4.6	Οριακές καταστάσεις	65
4.7	Τρόποι ανάλυσης (Design approaches).....	70
4.7.1	Τρόπος ανάλυσης DA-1 (Design approach 1).....	71
4.7.2	Τρόπος ανάλυσης DA-2 (Design approach 2).....	72
4.7.3	Τρόπος ανάλυσης DA-3 (Design approach 3).....	73
4.7.4	Συγκεντρωτική παρουσίαση DA-1, DA-2, DA-3	74
5	Εθνικές επιλογές Ελλάδος-Ηνωμένου Βασιλείου	78
5.1	Εθνική επιλογή Ελλάδος	78
5.1.1	Τρόπος ανάλυσης.....	78
5.1.2	Υπολογιστικό μοντέλο.....	80
5.2	Εθνική επιλογή Ηνωμένου Βασιλείου	84
5.2.1	Τρόπος ανάλυσης.....	84
5.2.2	Υπολογιστικό μοντέλο.....	86
5.3	Σύγκριση μεταξύ της υπολογιστικής μεθόδου που παρουσιάζεται στο παράρτημα Δ του Ευρωκώδικα 7 με την μέθοδο που παρουσιάζεται στο BS8004.94	
5.3.1	Συγκριτικές αναλύσεις συντελεστών φέρουσας ικανότητας.....	94
5.3.2	Συγκριτικές αναλύσεις συντελεστών σχήματος	98
6	Προγραμματισμός φέρουσας ικανότητας σε λογιστικό φύλλο Excel	103
6.1	Προγραμματισμός Excel σύμφωνα με το παράρτημα Δ του Ευρωκώδικα 7 (EC7).....	103
6.2	Προγραμματισμός Excel σύμφωνα με την μεθοδολογία BS8004	111
6.3	Εκφώνηση και ζητούμενα παραδείγματος.....	113
6.3.1	Πρώτο ζητούμενο προβλήματος.....	114
6.3.2	Δεύτερο ζητούμενο προβλήματος.....	117
6.3.3	Τρίτο ζητούμενο προβλήματος.....	119
7	Σύγκριση μεταξύ των τρόπων ανάλυσης DA1-2 και DA2*	122
7.1	Πλαίσιο σύγκρισης.....	122

7.2	Αστράγγιστες συνθήκες	125
7.2.1	Απειρομήκης θεμελίωση.....	126
7.2.2	Τετραγωνική θεμελίωση	129
7.2.3	Ορθογωνική θεμελίωση	130
7.3	Στραγγισμένες συνθήκες	132
8	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	138
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ-ΠΗΓΕΣ	140
	Παράρτημα Α.....	141
	Παράρτημα Β.....	148
	Παράρτημα Γ	162
	Παράρτημα Δ.....	166

Κατάλογος Εικόνων

<i>Εικόνα 1.1:</i> Αστοχία εδάφους θεμελίωσης κεκλιμένος πύργος Πίζας (Εκπαιδευτικές σημειώσεις για το μάθημα των θεμελιώσεων Γ.Μπελόκας).....	21
<i>Εικόνα 1.2:</i> Τρόπος μεταβίβασης των φορτίων στο έδαφος μίας επιφανειακής θεμελίωσης.(Αναγνωστόπουλος 1994)	22
<i>Εικόνα 1.3:</i> Πλάγια όψη και κάτοψη μεμονωμένου πεδίλου. (Buildinghow.com)	23
<i>Εικόνα 1.4:</i> Πλάγια όψη και κάτοψη πεδιλοδοκού. (Buildinghow.com).....	23
<i>Εικόνα 1.5 :</i> Πλάκα γενικής κοιτοστρώσεως (Buildinghow.com).....	23
<i>Εικόνα 1.6:</i> Τρόπος μεταβίβασης των φορτίων στο έδαφος μίας βαθιάς θεμελίωσης.(Αναγνωστόπουλος 1994)	24
<i>Εικόνα 2.1:</i> Μεμονωμένο πέδιλο. (Αναγνωστόπουλος 1994)	30
<i>Εικόνα 2.2:</i> Πεδιλοδοκός. (Αναγνωστόπουλος 1994).....	30
<i>Εικόνα 2.3:</i> Γενική κοιτόστρωση. (Αναγνωστόπουλος 1994)	30
<i>Εικόνα 3.1:</i> Μορφές θραύσης (DAS 1999, Vesic 1973).....	32
<i>Εικόνα 3.2:</i> Γενική θραύση. (Γεωργιάδης Κ., Γεωργιάδης Μ. 2009).....	32
<i>Εικόνα 3.3:</i> Γενική θραύση. (Γεωργιάδης Κ., Γεωργιάδης Μ. 2009).....	33
<i>Εικόνα 3.4:</i> Γενική θραύση. (Γεωργιάδης Κ., Γεωργιάδης Μ. 2009).....	33
<i>Εικόνα 3.5:</i> Πρόταση του Vesic σχετικά με τις συνθήκες ανάπτυξης των διαφορετικών μηχανισμών θραύσης σε αμμώδη εδάφη (Βαλαλάς 1981)	34
<i>Εικόνα 3.6:</i> Αστοχία θεμελίωσης , γενική θραύση North Transcona, Manitoba, Canada (1913).....	34
<i>Εικόνα 3.7:</i> Αστοχία θεμελίωσης , ολική θραύση Niigata(1964).....	34
<i>Εικόνα 3.8:</i> Μηχανισμός αστοχίας κατά Terzaghi 1943 (Braja M. Das 2007)	36
<i>Εικόνα 3.9:</i> Σύγκριση των μηχανισμών αστοχίας Terzaghi και Meyerhof (Braja M. Das 2007)	41
<i>Εικόνα 3.10:</i> Συντελεστές φέρουσας ικανότητας Meyerhof (1963)	44
<i>Εικόνα 3.11:</i> Πρότυπη δοκιμή διείσδυσης STP	49

<i>Εικόνα 3.12: Διαιρετός δειγματολήπτης Terzaghi</i>	50
<i>Εικόνα 3.13: Διαγράμματα για την εκτίμηση της γωνίας τριβής ϕ σε αμμώδη εδάφη με βάση τον αριθμό των χτύπων NSTP (Peck – Hanson – Thornburn 1974)</i>	50
<i>Εικόνα 3.14: Διαγράμματα για την εκτίμηση της γωνίας τριβής ϕ σε αμμώδη εδάφη με βάση την ενεργό κατακόρυφη γεωστατική τάση (Schmertmann 1975)</i>	51
<i>Εικόνα 3.15: Σχηματική απεικόνιση μηχανικού κώνου.</i>	52
<i>Εικόνα 3.16: Συσχετίσεις σ_v', q_c, ϕ' (Robertson – Campanella 1983)</i>	52
<i>Εικόνα 4.1 :Ευρωκώδικες (Bond and Harris, 2008)</i>	57
<i>Εικόνα 4.2: Περιεχόμενα Ευρωκώδικα 7 (Bond and Harris,2008)</i>	58
<i>Εικόνα 4.3: Σχηματική απεικόνιση των διαφόρων δράσεων (Bond & Harris , 2008)</i>	61
<i>Εικόνα 4.4: Εκτίμηση μέσης τιμής</i>	65
<i>Εικόνα 4.5 :Απώλεια ολικής ευστάθειας</i>	<i>Εικόνα 4.6: Φέρουσα ικανότητα</i>
.....	66
<i>Εικόνα 4.7: Αντίσταση σε ολίσθηση</i>	<i>Εικόνα 4.8: Στατική επάρκεια</i>
<i>ανωδομής λόγω</i>	66
<i>Εικόνα 4.9: Επαλήθευση της αντοχής για οριακή κατάσταση GEO/STR στον γεωτεχνικό σχεδιασμό (Bond & Harris 2008).</i>	69
<i>Εικόνα 5.1: Εθνική επιλογή μεθόδου σχεδιασμού για τα πρανή (Bond, 2013)</i>	78
<i>Εικόνα 5.2: Γεωμετρία πεδίου παραρτήμα Δ EN 1997-1</i>	83
<i>Εικόνα 5.6 : Συντελεστές δράσεων (BS8004)</i>	85
<i>Εικόνα 5.6 : Συντελεστές εδαφικών παραμέτρων (BS8004)</i>	85
<i>Εικόνα 5.6 : Συντελεστές αντίστασης (BS8004)</i>	85
<i>Εικόνα 5.8: περιγραφή υπολογιστικού φύλου Excel για συντελεστές σχήματος $\Phi.I$</i>	98

Κατάλογος Πινάκων

<i>Πίνακας 3.1: Συντελεστές φέρουσας ικανότητας κατά Terzaghi (Terzaghi 1943).....</i>	<i>37</i>
<i>Πίνακας 3.2: Συντελεστές μορφής εξίσωσης Terzaghi</i>	<i>38</i>
<i>Πίνακας 3.3: Εμπειρική συσχετισμοί ιδιοτήτων αμμωδών εδαφών (Bowles 1982).....</i>	<i>51</i>
<i>Πίνακας 3.4: Ενδεικτικές τιμές επιτρεπόμενων τάσεων κατά τους Βρετανικούς κανονισμούς (Craig, BS 8004:1986).....</i>	<i>53</i>
<i>Πίνακας 3.5: Ενδεικτικές τιμές επιτρεπόμενων τάσεων (Bowles 1988).</i>	<i>53</i>
<i>Πίνακας 4.1: Κατάταξη δράσεων.</i>	<i>62</i>
<i>Πίνακας 4.2: Μετατροπή μέσης τιμής σε τιμή σχεδιασμού.....</i>	<i>64</i>
<i>Πίνακας 4.3: Διαχωρισμός γραμμικών μη γραμμικών αναλύσεων</i>	<i>74</i>
<i>Πίνακας 4.4: Διαχωρισμός τρόπων ανάλυσης ανάλογα με το που εφαρμόζονται οι επιμέρους συντελεστές</i>	<i>74</i>
<i>Πίνακας 4.5: Επιμέρους συντελεστές στις δράσεις ή στα αποτελέσματα των τάσεων σύμφωνα με τον ευρωκώδικα 7 Παράρτημα Α</i>	<i>74</i>
<i>Πίνακας 4.6: Επιμέρους συντελεστές εδαφικών παραμέτρων σύμφωνα με τον ευρωκώδικα 7 Παράρτημα Α</i>	<i>75</i>
<i>Πίνακας 4.7: Επιμέρους συντελεστές αντίστασης για επιφανειακές θεμελιώσεις σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 7 Παράρτημα Α</i>	<i>75</i>
<i>Πίνακας 4.9: Σύγκριση τρόπων ανάλυσης βάση της ανισότητας που πρέπει να ισχύει</i>	<i>76</i>
<i>Πίνακας 4.10: Συντελεστές ασφαλείας για τους τρόπους ανάλυσης κατά EC7</i>	<i>76</i>
<i>Πίνακας 4.11: Που ασκούνται οι συντελεστές ασφαλείας για τους τρόπους ανάλυσης κατά EC7</i>	<i>77</i>
<i>Πίνακας 5.1: Ελληνική εθνική επιλογή επιμέρους συντελεστών</i>	<i>80</i>
<i>Πίνακας 5.2: Βρετανική εθνική επιλογή επιμέρους συντελεστών.</i>	<i>86</i>
<i>Πίνακας 5.3: Σύγκριση ελληνικού βρετανικού υπολογισμού φέρουσας ικανότητας για στραγγισμένες συνθήκες.....</i>	<i>91</i>
<i>Πίνακας 5.4: Συντελεστές φέρουσας ικανότητας Παράρτημα Δ EC7-BS8004.....</i>	<i>94</i>

<i>Πίνακας 5.5: Συντελεστές τραχύτητας</i>	<i>94</i>
<i>Πίνακας 5.6: Οι συντελεστές N_c, N_q, N_γ, υπολογισμένοι βάση το Παράρτημα Δ</i>	<i>95</i>
<i>Πίνακας 5.7: Οι συντελεστές N_c, N_q, N_γ, υπολογισμένοι βάση το BS8004.....</i>	<i>95</i>
<i>Πίνακας 5.8: Σύγκριση συντελεστών σχήματος υπολογισμένοι μέσω του παραρτήματος Δ του EC7 και του BS8004.</i>	<i>98</i>
<i>Πίνακας 5.9: Σύγκριση συντελεστών βάση EC7-BS8004</i>	<i>102</i>
<i>Πίνακας 6.1 : Συγκριτικά αποτελέσματα BS8004- EC7.....</i>	<i>121</i>
<i>Πίνακας 7.1:Κατηγοριοποίηση χώρων βάση της χρήσης τους.....</i>	<i>124</i>
<i>Πίνακας 7.2: Φορτία ανά κατηγορία.</i>	<i>124</i>
<i>Πίνακας 7.3: Παρουσίαση περιοδικότητας q/cu.</i>	<i>127</i>
<i>Πίνακας 7.4: Κατάταξη αργιλικών εδαφών βάση την αστράγγιστη διατμητική αντοχή</i>	<i>127</i>
<i>Πίνακας 7.5: Υπολογισμός ισοδύναμου βάθους έδρασης σε ξηρό περιβάλλον βάση της επιφόρτισης q.....</i>	<i>133</i>
<i>Πίνακας 7.6 Υπολογισμός βάθους έδρασης σε κορεσμένο περιβάλλον βάση της επιφόρτισης q.....</i>	<i>133</i>
<i>Πίνακας 7.7: Υπολογισμός βάθους έδρασης θεμελίωσης με στάθμη υδροφόρου ορίζοντα ένα μέτρο $z_w=1m$ βάση της επιφόρτισης q.</i>	<i>134</i>

Κατάλογος διαγραμμάτων

<i>Διάγραμμα 3.1: Νομόγραμμα των συντελεστών της φέρουσας ικανότητας κατά Terzaghi (Αναγνωστόπουλος 1997)</i>	<i>37</i>
<i>Διάγραμμα 3.2: Συντελεστής φέρουσας ικανότητας κατά Skempton(www.bestengineeringprojects.com)</i>	<i>40</i>
<i>Διάγραμμα 5.1: Οι συντελεστές N_c, N_q, N_γ, υπολογισμένοι βάση το Παράρτημα Δ του EC7</i>	<i>96</i>
<i>Διάγραμμα 5.2: Οι συντελεστές N_c, N_q, N_γ, υπολογισμένοι βάση τον BS8004.....</i>	<i>96</i>
<i>Διάγραμμα 5.3: Σύγκριση N_q-φ' σύμφωνα με το Παράρτημα Δ του EC7 και του BS8004.</i>	<i>96</i>
<i>Διάγραμμα 5.4: Σύγκριση N_c-φ' σύμφωνα με το Παράρτημα Δ του EC7 και του BS8004.</i>	<i>96</i>
<i>Διάγραμμα 5.5: Σύγκριση N_γ-φ' σύμφωνα με το Παράρτημα Δ του EC7 και του BS8004</i>	<i>97</i>
<i>Διάγραμμα 5.6: Οι συντελεστές N_c, N_q, N_γ, υπολογισμένοι βάση τον BS800 και τον EC7.</i>	<i>97</i>
<i>Διάγραμμα 5.7: Οι συντελεστές s_c, s_q, s_γ, υπολογισμένοι βάση τον BS800 και τον EC7 για $B/L=1$.</i>	<i>99</i>
<i>Διάγραμμα 5.8: Οι συντελεστές s_c, s_q, s_γ, υπολογισμένοι βάση τον BS8004 και τον EC7 για $B/L=2$</i>	<i>99</i>
<i>Διάγραμμα 5.9: Οι συντελεστές s_c, s_q, s_γ, υπολογισμένοι βάση τον BS800 και τον EC7 για $B/L=5$</i>	<i>99</i>
<i>Διάγραμμα 5.10: Οι συντελεστές s_c, s_q, s_γ, υπολογισμένοι βάση τον BS800 και τον EC7 για $B/L=10$</i>	<i>100</i>
<i>Διάγραμμα 5.11: Οι συντελεστές s_c, s_q, s_γ, υπολογισμένοι βάση τον BS800 και τον EC7 για $B/L=25$</i>	<i>100</i>
<i>Διάγραμμα 5.12: Οι συντελεστές s_c, s_q, s_γ, υπολογισμένοι βάση τον BS800 και τον EC7 για $B/L=50$</i>	<i>100</i>

<i>Διάγραμμα 5.13:</i> Ο λόγος των συντελεστών σχήματος υπολογισμένοι ως προς (EC7/BS8004) για διάφορα B/L.	101
<i>Διάγραμμα 7.3:</i> ODFDA1-2/ ODFDA2* σε αστράγγιστες συνθήκες για θεμελίωση με $Df > 0$	128
<i>Διάγραμμα 7.4:</i> ODFDA1-2/ ODFDA2* σε αστράγγιστες συνθήκες για θεμελίωση με $Df > 0$	128
<i>Διάγραμμα 7.5:</i> ODFDA1-2/ ODFDA2* σε αστράγγιστες συνθήκες για τετραγωνική θεμελίωση με $Df > 0$	130
<i>Διάγραμμα 7.6:</i> ODFDA1-2/ ODFDA2* σε αστράγγιστες συνθήκες για τετραγωνική θεμελίωση με $Df > 0$	130
<i>Διάγραμμα 7.7:</i> ODFDA1-2/ ODFDA2* σε αστράγγιστες συνθήκες για ορθογωνική θεμελίωση με $Df > 0$	131
<i>Διάγραμμα 7.8:</i> ODFDA1-2/ ODFDA2* σε αστράγγιστες συνθήκες για ορθογωνική θεμελίωση με $Df > 0$	131
<i>Διάγραμμα 7.9:</i> ODFDA1-2/ ODFDA2* σε στραγγισμένες συνθήκες για απειρόμηκες θεμελίωση με $c=0$ και $\varphi=15^\circ, 20^\circ, 25^\circ, 30^\circ$	134
<i>Διάγραμμα 7.10:</i> ODFDA1-2/ ODFDA2* σε στραγγισμένες συνθήκες για απειρόμηκες θεμελίωση με $c=0$ και $\varphi=15^\circ, 20^\circ, 25^\circ, 30^\circ$	135
<i>Διάγραμμα 7.11:</i> ODFDA1-2/ ODFDA2* σε στραγγισμένες συνθήκες για απειρόμηκες θεμελίωση με $c=10$ και $\varphi=15^\circ, 20^\circ, 25^\circ, 30^\circ$	135
<i>Διάγραμμα 7.12:</i> ODFDA1-2/ ODFDA2* σε στραγγισμένες συνθήκες για απειρόμηκες θεμελίωση με $c=10$ και $\varphi=15^\circ, 20^\circ, 25^\circ, 30^\circ$	135
<i>Διάγραμμα 7.13:</i> ODFDA1-2/ ODFDA2* σε στραγγισμένες συνθήκες για απειρόμηκες θεμελίωση με $c=20$ και $\varphi=15^\circ, 20^\circ, 25^\circ, 30^\circ$	136
<i>Διάγραμμα 7.14:</i> ODFDA1-2/ ODFDA2* σε στραγγισμένες συνθήκες για απειρόμηκες θεμελίωση με $c=20$ και $\varphi=15^\circ, 20^\circ, 25^\circ, 30^\circ$	136
<i>Διάγραμμα 7.15:</i> ODFDA1-2/ ODFDA2* σε στραγγισμένες συνθήκες για απειρόμηκες θεμελίωση με $c=30$ και $\varphi=15^\circ, 20^\circ, 25^\circ, 30^\circ$	137

Διάγραμμα 7.16: ODFDA1-2/ ODFDA2 σε στραγγισμένες συνθήκες για απειρόμηκες θεμελίωση με $c=30$ και $\varphi=15^\circ, 20^\circ, 25^\circ, 30^\circ$137*

Εισαγωγή

Η φέρουσα ικανότητα του εδάφους έναντι αστοχίας (θραύσης) αποτελεί ένα πρόβλημα το οποίο έχει απασχολήσει πολλούς ερευνητές και στο οποίο έχουν δοθεί αρκετές προσεγγιστικές επιλύσεις. Η δημιουργία των Ευρωκωδίκων οδήγησε στην θέσπιση ενός κοινού πλαισίου αντιμετώπισης των διαφόρων προβλημάτων του πολιτικού μηχανικού στα κράτη μέλη της ΕΕ. Ο Ευρωκώδικας 7 (EC7) σε αντίθεση με τους υπόλοιπους Ευρωκώδικες, περιλαμβάνει μόνο τις αρχές οι οποίες μπορούν να εφαρμοστούν για όλες τις μεθόδους υπολογισμού.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετάται η μεθοδολογία BS8004 που είναι ευρέως αποδεκτή στην Βρετανία (βρετανική εθνική επιλογή), καθώς και η αναλυτική μέθοδος επίλυσης που συστήνεται στο Παράρτημα Δ του Ευρωκώδικα 7 (EC7), η οποία αποτελεί το ένα εκ των δύο αποδεκτών υπολογιστικών προσομοιωμάτων για την Ελλάδα (ελληνική εθνική επιλογή). Με την χρήση Excel πραγματοποιήθηκαν συγκριτικές αναλύσεις των δύο προαναφερόμενων μεθόδων υπολογισμού της φέρουσας ικανότητας επιφανειακών θεμελιώσεων σε στραγγισμένες και αστράγγιστες συνθήκες φόρτισης. Ακόμη, προγραμματίστηκε Excel με σκοπό την επίλυση του προβλήματος της φέρουσας ικανότητας σύμφωνα με το BS8004 εφαρμόζοντας τις αρχές του Ευρωκώδικα 7 (EC7). Η ίδια διαδικασία ακολουθήθηκε για τον προγραμματισμό Excel, το οποίο βασίστηκε στην μεθοδολογία του παραρτήματος Δ του Ευρωκώδικα 7 (EC7) με δυνατότητα επιλογής ενός εκ των τριών τρόπων ανάλυσης που παρουσιάζονται στον Ευρωκώδικα 7. Με σκοπό την αποσαφήνιση των τρόπων ανάλυσης και κατ' επέκταση των επί μέρους συντελεστών που περιλαμβάνονται στον κάθε τρόπο, πραγματοποιήθηκαν συγκριτικές αναλύσεις για στραγγισμένες και αστράγγιστες συνθήκες φόρτισης, μεταξύ των τρόπων ανάλυσης DA1-2 και DA2*, διερευνώντας παράλληλα την επιρροή της γεωμετρίας του θεμελίου.

Το ελληνικό εθνικό προσάρτημα θεωρεί ως αποδεκτή υπολογιστική μέθοδο το παράρτημα Δ του EC7 και τον γερμανικό κανονισμό DIN 4017-100. Η επίλυση κατά DIN 4017-100 παραλείπεται στις συγκριτικές αναλύσεις που ακολουθούν.

1 Εισαγωγή στις θεμελιώσεις

1.1 Στοιχεία μηχανικής συμπεριφοράς του εδάφους

Ο πολιτικός μηχανικός καθημερινά ασχολείται με θέματα που αφορούν το έδαφος. Το χρησιμοποιεί ως μέσο θεμελίωσης (έδρασης) των τεχνικών έργων, ως υλικό κατασκευής επιχωμάτων και φραγμάτων. Ακόμη επιχειρεί μέσω των κατασκευών αντιστηρίξεις να συγκρατήσει το έδαφος με σκοπό τη αποφυγή κατολισθήσεων και πλημμυρών.

Το έδαφος είναι ένα τριφασικό υλικό με έντονα μη –γραμμική συμπεριφορά, που αποτελείται από στερεά σωματίδια (στερεά φάση) και από κενά είτε πληρωμένα με αέρα είτε με νερό. Συνήθως το έδαφος θεωρείται ως ένα συνεχές υλικό και εφαρμόζονται οι αρχές της μηχανικής συνεχούς μέσου (continuum mechanics). Έτσι, είναι δυνατός ο προσδιορισμός των τάσεων, των παραμορφώσεων και των μετακινήσεων σε γεωτεχνικά έργα. Ένα εδαφικό στοιχείο σε κάποιο βάθος κάτω από την επιφάνεια του εδάφους υπόκειται σε ένταση από τα γειτονικά του στοιχεία. Σε μια τυχούσα επιφάνεια που διέρχεται από το σημείο αναπτύσσονται γενικά ορθές και διατμητικές τάσεις.

1.2 Ρόλος και λειτουργία θεμελιώσεων

Οι θεμελιώσεις χρησιμοποιούνται για την ασφαλή μεταβίβαση των φορτίων της ανωδομής στο έδαφος. Για να λειτουργεί καλά μία θεμελίωση είναι προφανές ότι πρέπει να ανταποκρίνεται καλά στο έδαφος στο οποίο εδράζεται. Το έδαφος είναι ένα υλικό με πάρα πολλές παραμέτρους. Η επιβολή εξωτερικών φορτίων στο έδαφος συνεπάγεται με την ανάπτυξη ολικών τάσεων και χρονικώς εξελισσόμενων ενεργών τάσεων άρα προκαλεί και αντίστοιχες μεταβολές της διατμητικής αντοχής του εδάφους, παραμορφώσεις των εδαφικών στοιχείων επομένως και μετατοπίσεις κυρίως κατακόρυφες. Οι μετατοπίσεις αυτές είναι οι γνωστές ως καθιζήσεις. Λόγω των εισαγόμενων διατμητικών τάσεων υπάρχει το ενδεχόμενο μηχανισμού διατμητικής αστοχίας, όταν τα επιβαλλόμενα εξωτερικά φορτία φθάσουν στην μέγιστη δυνατή τιμή τους, την λεγόμενη φέρουσα ικανότητα. Συνεπώς εδώ και αρκετές δεκαετίες κατά την ανάλυση και σχεδιασμό των θεμελιώσεων, συνήθως μας ενδιαφέρουν οι εξής οριακές καταστάσεις :

- Φέρουσα Ικανότητα (Φ.Ι.): Το έδαφος που φορτίζεται κάτω από το στοιχείο θεμελίωσης δεν πρέπει να αστοχήσει διότι μπορεί να οδηγήσει σε κατάρρευση της κατασκευής (δηλαδή να φορτιστεί πέραν της αντοχής του) .
- Καθιζήσεις : Η σχετική καθίζηση μεταξύ δύο στοιχείων θεμελίωσης (δηλαδή η διαφορική καθίζηση) πρέπει να είναι μικρότερη από κάποιο ανεκτό όριο. Σε διαφορετική περίπτωση ενδεχομένως να δημιουργήσουν δομικές αστοχίες της κατασκευής ή λειτουργικά προβλήματα.

Για τους λόγους που αναφέρθηκαν η θεμελίωση συνιστά την αρχή κάθε δομικού έργου, ενώ για την κατασκευή τους είναι απαραίτητες γνώσεις τεχνικής μηχανικής υδρομηχανικής, μεταλλικών κατασκευών, οπλισμένου σκυροδέματος και ξύλινων κατασκευών. Ακόμα ιδιαίτερο ρόλο για την κατανόηση του υποβάθρου κατέχει η εδαφομηχανική.



Εικόνα 1.1: Αστοχία εδάφους θεμελίωσης κεκλιμένος πύργος Πίζας (Εκπαιδευτικές σημειώσεις για το μάθημα των θεμελιώσεων Γ.Μπελόκας)

1.3 Μέρη και τύποι θεμελίωσης

Γενικά η θεμελίωση ενός δομικού έργου περιλαμβάνει :

- Το γεωυλικό θεμελίωσης πάνω στο οποίο τοποθετείται η βάση της κατασκευής μέσω της οποίας πραγματοποιείται η κατανομή του φορτίου του φέροντος οργανισμού (μόνιμο φορτίο) καθώς και τον φορτίων που ασκούνται στον φέροντα οργανισμό (ωφέλιμο φορτίο).
- Την θεμελίωση, στην οποία καταλήγει ο φέροντας οργανισμός της ανωδομής. Συνήθως αποτελείται από πολλά στοιχεία (θεμέλια) τα οποία συνεργάζονται μεταξύ τους ώστε να παραλαμβάνουν τα φορτία της ανωδομής και να τα μεταφέρουν στο έδαφος. Στις περισσότερες περιπτώσεις η θεμελίωση κατασκευάζεται από οπλισμένο σκυρόδεμα καθώς προσφέρει μεγάλη αντοχή και αντίσταση στην διάβρωση του οπλισμού. Ένας επιπλέον λόγος είναι το χαμηλό κόστος.

Οι μέθοδοι θεμελίωσης των κατασκευών γενικά ποικίλουν. Εξαρτώνται από το είδος υλικού θεμελίωσης (έδαφος, βράχος), από τις απαιτήσεις του έργου, από τον διαθέσιμο μηχανικό εξοπλισμό, από την ικανότητα και την πείρα του πολιτικού μηχανικού και τέλος από τις οικονομικές συνθήκες. Οι θεμελιώσεις μορφολογικά χωρίζονται σε δύο κατηγορίες ανάλογα με το βάθος που συναντάμε επαρκώς ανθεκτικές στρώσεις.

Οι κατηγορίες αυτές είναι οι εξής :

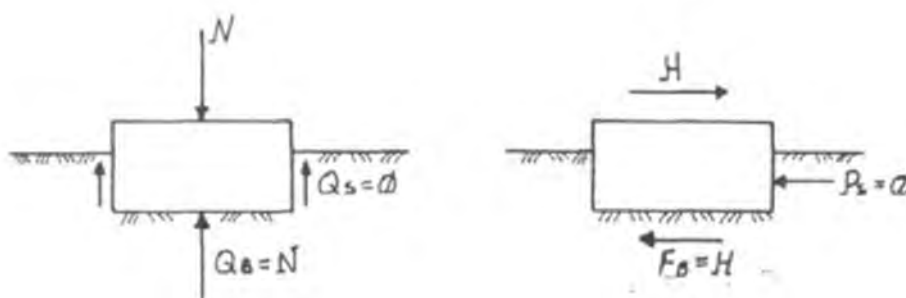
- αβαθείς θεμελιώσεις
- βαθιές θεμελιώσεις

1.3.1 Αβαθείς θεμελιώσεις

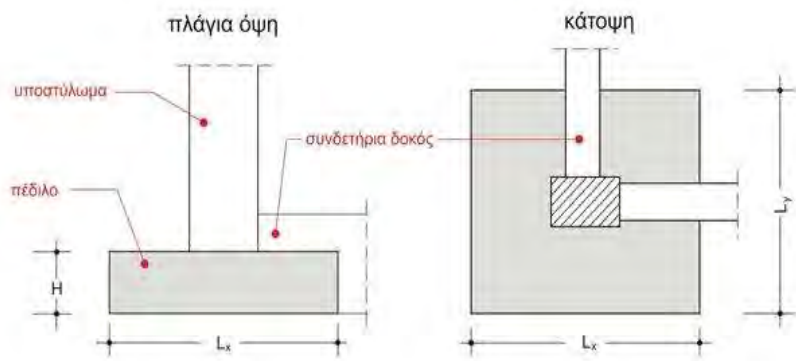
Οι επιφανειακές ή αλλιώς αβαθείς θεμελιώσεις, αποτελούν το βασικό τύπο των θεμελιώσεων που πραγματοποιούνται στην στάθμη της γενικής εκσκαφής ή κοντά σε αυτήν. Κατά Terzaghi and Peck (1948) ως επιφανειακές θεμελιώσεις θεωρούνται αυτές για τις οποίες το πλάτος B δεν είναι μικρότερο του βάθους θεμελιώσεως D , δηλαδή $D/B \leq 1$. Σε περιπτώσεις θεμελιώσεων με μεγάλο ή πολύ μικρό πλάτος το ανωτέρω ενδεικτικό κριτήριο δεν φαίνεται να βρίσκει εφαρμογή.

Οι τρεις βασικοί τύποι επιφανειακών θεμελιώσεων:

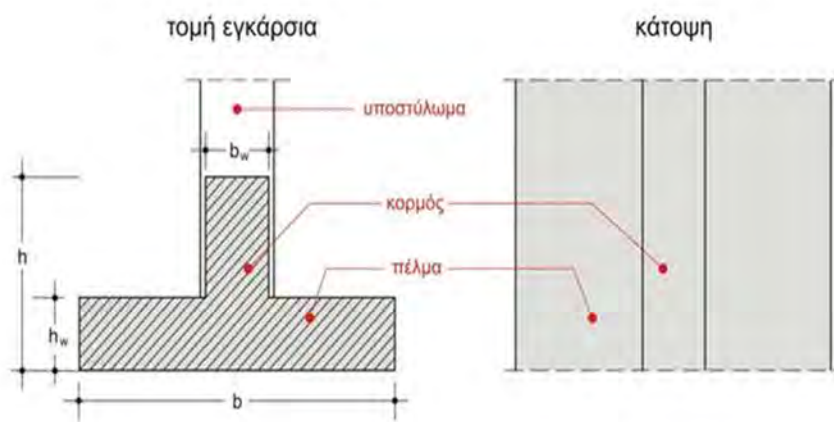
- Μεμονωμένα πέδιλα με συνδετήριες δοκούς (εικόνα 1.3). Αποτελεί τον απλούστερο και οικονομικότερο τρόπο θεμελίωσης με την λιγότερη δυσκαμψία.
- Εσχάρα πεδילוδοκών (βασίζονται κυρίως στην διανομή των φορτίων της κατασκευής σε μεγάλη επιφάνεια) (εικόνα 1.4). Ενδιαμέσως των πεδילוδοκών υπάρχουν φατνώματα. Η επιλογή θεμελιώσεως με εσχάρα πεδילוδοκών μειώνει τις διαφορικές καθιζήσεις
- Πλάκα γενικής κοιτοστρώσεως (βασίζονται κυρίως στην διανομή των φορτίων της κατασκευής σε μεγάλη επιφάνεια) (εικόνα 1.5). Είναι άκαμπτη θεμελίωση και εφαρμόζεται προκειμένου να μειωθεί η τάση έδρασης και να γίνει ομοιόμορφη διανομή των καθιζήσεων σε όλη την κάτοψη του έργου.



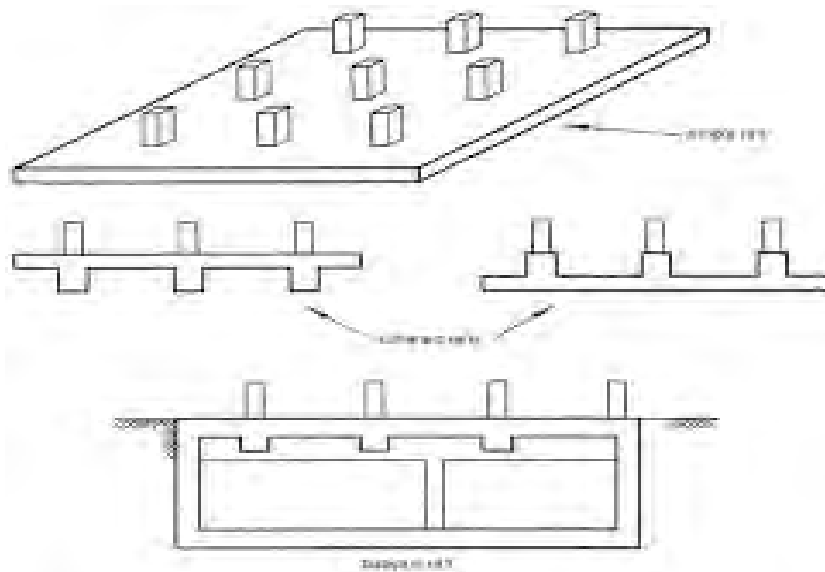
Εικόνα 1.2: Τρόπος μεταβίβασης των φορτίων στο έδαφος μίας επιφανειακής θεμελίωσης. (Αναγνωστόπουλος 1994)



Εικόνα 1.3: Πλάγια όψη και κάτοψη μεμονωμένου πεδίου. (Buildinghow.com)



Εικόνα 1.4: Πλάγια όψη και κάτοψη πεδילוδοκού. (Buildinghow.com)



Εικόνα 1.5 :Πλάκα γενικής κοιτοστρώσεως (Buildinghow.com)

1.3.2 Βαθιές θεμελιώσεις

Οι βαθιές θεμελιώσεις αποτελούν τον άλλον τύπο θεμελιώσεων που πραγματοποιείται αρκετά βαθιά σε σχέση με το κατώτερο τμήμα της ανωδομής. Στην ανωτέρω ποιοτική διάκριση επιφανειακών και βαθιών θεμελιώσεων δεν υπάρχει σαφές όριο και είναι φανερό ότι το βάθος D της επιφάνειας θεμελίωσης κάτω από την στάθμη γενικής εκσκαφής δεν μπορεί να διαχωρίσει τους δύο βασικούς τύπους θεμελίωσης. Οι πάσσαλοι αποτελούν το συνηθέστερο τρόπο βαθιάς θεμελίωσης.



Εικόνα 1.6: Τρόπος μεταβίβασης των φορτίων στο έδαφος μίας βαθιάς θεμελίωσης. (Αναγνωστόπουλος 1994)

Συμπερασματικά η χρήση επιφανειακής ή βαθιάς θεμελίωσης καθορίζεται από το βάθος στο οποίο υπάρχουν στρώσεις με την επιθυμητή φέρουσα ικανότητα. Η επιλογή του καταλληλότερου είδους θεμελίωσης είναι συνδυασμός γνώσης εμπειρίας και κατασκευαστικής διαίσθησης. Το αποτέλεσμα αυτού του συνδυασμού πρέπει να οδηγεί σε γρήγορες και οικονομικές λύσεις που όμως θα εξασφαλίζουν πάνω από όλα την σταθερότητα του έργου αλλά και τη διάρκεια ζωής του. Σημαντικό ρόλο έχει η επαρκής γνώση των γεωτεχνικών συνθηκών θεμελίωσης και του είδους της κατασκευής της ανωδομής.

1.4 Στάδια μελέτης θεμελιώσεων

Κατά την σχεδίαση της θεμελίωσης αποβλέπουμε στην κατασκευή ενός δομικού στοιχείου που να μεταφέρει τα φορτία της κατασκευής στις παρακείμενες εδαφικές στρώσεις χωρίς να δημιουργηθεί κίνδυνος αστοχίας λόγω διατμητικής θραύσης αλλά ούτε υπερβολικές καθιζήσεις του εδάφους εξαιτίας των φορτίων που του επιβάλαμε. Μία κατασκευή η οποία δεν έχει μελετηθεί για τις παραπάνω οριακές καταστάσεις και κατά συνέπεια δεν τις καλύπτει θεωρείται ως μειονεκτική. Τα αποτελέσματα μπορεί να αποβούν καταστροφικά καθώς μπορεί να υπάρξουν μεγάλες καθιζήσεις, τριχοειδή ρήγματα, διαφυγή του εδάφους κάτω από την θεμελίωση, ακόμη και κατάρρευση. Για τον λόγω αυτόν είναι απαραίτητα κάποια στοιχεία για τον σχεδιασμό μιας θεμελίωσης. Τα στάδια τα οποία πρέπει να ακολουθούνται κατά την μελέτη μιας θεμελίωσης είναι τα ακόλουθα:

- Η διερεύνηση του υπεδάφους. (γεωτεχνική έρευνα: δειγματοληπτικές γεωτρήσεις και επιτόπου και εργαστηριακές δοκιμές).
- Ο προσδιορισμός της στρωματογραφίας και η εκτίμηση των χαρακτηριστικών εδαφοτεχνικών παραμέτρων. (γεωτεχνική αξιολόγηση: εκτίμηση φυσικών χαρακτηριστικών και μηχανικών ιδιοτήτων του εδάφους).
- Ο προσδιορισμός των φορτίων (κατακόρυφα, οριζόντια, ροπές) που προέκυψαν από την ανάλυση της ανωδομής για διάφορες καταστάσεις φόρτισης. (στατική επίλυση ανωδομής).
- Η προσέγγιση της συμπεριφοράς «αντιπροσωπευτικών» εδαφικών στοιχείων. (γεωτεχνικό προσομοίωμα: γεωτεχνικές ενότητες με τις μηχανικές τους ιδιότητες).
- Ο καθορισμός του ελάχιστου βάθους θεμελίωσης, αλλά και ο προσδιορισμός του είδους της θεμελίωσης. Η επιλογή του βάθους της θεμελίωσης καθορίζεται με βάση τα χαρακτηριστικά των εδαφικών στρώσεων, την στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα, καθώς και τις διάφορες κατασκευαστικές και λειτουργικές απαιτήσεις του έργου. Όσον αφορά την επιλογή του είδους της θεμελίωσης αυτό εξαρτάται από την τάση του εδάφους στην συγκεκριμένη στρώση, τα φορτία της ανωδομής και τα διάφορα κατασκευαστικά ζητήματα. (γεωτεχνική ανάλυση: υπολογισμός θεμελίωσης).
- Και η διαστασιολόγηση του υλικού της θεμελίωσης (δομικό στοιχείο: διαστασιολόγηση από οπλισμένο σκυρόδεμα).

Σε συνήθη κτιριακά έργα, δηλαδή κτίρια κατοικιών σε περιοχές όπου έχουν κατασκευαστεί πολλά παρόμοια κτίρια η διαστασιολόγηση της θεμελίωσης, μπορεί να γίνει παρακάμπτοντας την γεωτεχνική έρευνα και τον υπολογισμό της φέρουσας ικανότητας καθώς και των καθιζήσεων. Σε αυτές τις περιπτώσεις χρησιμοποιείται μια επιτρεπόμενη τάση, η οποία έχει θεωρηθεί ασφαλής σε παρόμοια κτιριακά που χρησιμοποιείται και είναι αποδεκτή από τις τοπικές κρατικές υπηρεσίες ελέγχου. Η επιτρεπόμενη αυτή τάση είναι μια συντηρητική τιμή από την οποία τις περισσότερες φορές προκύπτει μία υπερδιαστασιολογημένη θεμελίωση. Η επιτρεπόμενη τάση βασίζεται στην προ υπάρχουσα εμπειρία στην περιοχή. Παρόλα αυτά, εάν υπάρχει κάποια ιδιομορφία στο έδαφος η οποία δεν γίνει αντιληπτή από τους μηχανικούς θα οδηγήσει σε σημαντικά προβλήματα καθοριστικά για την βιωσιμότητα του κτιρίου. Σε έργα στα οποία το έδαφος παρουσιάζει ιδιαιτερότητες η γεωτεχνική έρευνα είναι απαραίτητη. Το κόστος της γεωτεχνικής έρευνας είναι ασήμαντο μπροστά στις δαπάνες μίας «προβληματικής» θεμελίωσης. Σε έργα μεγάλης σπουδαιότητας απαιτείται επιπλέον παρακολούθηση της συμπεριφοράς του έργου μετά την κατασκευή του.

2 Επιφανειακές θεμελιώσεις

2.1 Θέματα σχεδιασμού και κατασκευής

2.1.1 Βάθος θεμελίωσης

Η επιλογή του βάθους θεμελίωσης οριοθετείται από την συνθήκη ελαχιστοποίησης των παραμορφώσεων του εδαφικού στοιχείου στην άμεση ζώνη επιρροής της γεωτεχνικής κατασκευής. Σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 7 (EC7) κατά την επιλογή του βάθους της επιφανειακής θεμελίωσης πρέπει να λαμβάνονται υπόψη τα εξής :

- Η έδραση σε στρώση με επαρκή φέρουσα ικανότητα.
- Το βάθος μέχρι το οποίο η συρρίκνωση ή η διόγκωση των αργλικών εδαφών, λόγω εποχιακών καιρικών μεταβολών ή ανάπτυξης δένδρων και θάμνων, μπορεί να προκαλέσει αισθητές μετακινήσεις.
- Το βάθος μέχρι το οποίο μπορούν να συμβούν βλάβες λόγω παγετού.
- Η στάθμη του υπογείου υδροφόρου ορίζοντα και τα προβλήματα τα οποία μπορεί να εμφανιστούν, εάν απαιτείται εκσκαφή για την θεμελίωση κάτω από την στάθμη αυτή.
- Πιθανές μετακινήσεις του εδάφους και μειώσεις της αντοχής της φέρουσας στρώσης λόγω διήθησης ή κλιματολογικών επιδράσεων ή εργασιών κατασκευής.
- Οι επιδράσεις των εκσκαφών σε γειτονικές θεμελιώσεις και κατασκευές.
- Μελλοντικές εκσκαφές για δίκτυα κοινής ωφέλειας κοντά στην θεμελίωση.
- Υψηλές ή χαμηλές θερμοκρασίες οι οποίες μεταβιβάζονται από το κτίριο στην θεμελίωση.
- Η πιθανότητα υποσκαφής.
- Οι επιρροές της διακύμανσης του ποσοστού υγρασίας, λόγω μακρών περιόδων ξηρασίας οι οποίες ακολουθούνται από περιόδους βροχοπτώσεων, στις περιοχές ασταθούς όγκου (volume –unstable) σε περιοχές με ξηρό κλίμα
- Η παρουσία ευδιάλυτων υλικών, όπως π.χ. ασβεστόλιθος, αργιλόλιθος, γύψος, ορυκτό άλας.

2.2 Βασικοί τύποι επιφανειακών θεμελιώσεων

Όπως έχει ήδη αναφερθεί οι θεμελιώσεις χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες , τις βαθιές και τις αβαθείς θεμελιώσεις. Οι επιφανειακές θεμελιώσεις πραγματοποιούνται στην στάθμη γενικής εκσκαφής ή κοντά σε αυτήν και μεταβιβάζουν τα οριζόντια και τα κατακόρυφα φορτία της αναδωμής στην βάση τους. Η συνεισφορά των πλευρών των θεμελίων είναι είτε μηδενική είτε αμελητέα σε σύγκριση με την βάση, οπότε δεν λαμβάνετε υπόψη. Αναλόγως του τύπου του φέροντος οργανισμού, των φορτίσεων της ανωδομής, των γεωτεχνικών στοιχείων του εδάφους, επιλέγετε ο βασικός τύπος θεμελίωσης, και στις περιπτώσεις προκρίσεως τύπου επιφανειακής θεμελίωσης, ο ειδικότερος τύπος θεμελίωσης που θα εφαρμοσθεί.

2.2.1 Μεμονωμένο πέδιλο

Οι πιο απλές κατασκευές είναι τα πέδιλα τα οποία θεμελιώνουν μόνο ένα υποστύλωμα. Γι' αυτό συστηματικά προτιμώνται τα πέδιλα που αποτελούν την πιο συνηθισμένη μορφή θεμελίωσης. Κύριες μορφές πέδινων που χρησιμοποιούνται είναι (Βαλαλάς, 1979):

- Κεντρικό πέδιλο. Στον τύπο αυτό των πέδινων ο άξονας του κατακόρυφου φορτιζόμενου στοιχείου (υποστύλωμα ή τοιχίο) συμπίπτει με τον άξονα του πέδινου.
- Έκκεντρο πέδιλο. Στον τύπο αυτό των πέδινων ο διαμήκης άξονας του κατακόρυφου φορτιζόμενου στοιχείου δεν συμπίπτει με τον άξονα του πέδινου και αυτό έχει ως αποτέλεσμα να εμφανίζεται μια κατασκευαστική εκκεντρότητα.

Τα πέδιλα αποτελούνται από πλάκες οπλισμένου συνήθως σκυροδέματος που μέσα τους πακτώνεται το υποστύλωμα. Η μορφή τους είναι απλή και συμμετρική, κάθε φορά που αυτό είναι δυνατό και βέβαια η πιο απλή λύση είναι το τετραγωνικό πέδιλο παρά κάποιο άλλο γεωμετρικό σήμα (παραδείγματος χάρη ορθογωνικό, κυκλικό). Το πάχος του πέδινου στην αγγλοσαξονική βιβλιογραφία εμφανίζεται συνήθως σαν σταθερό. Στην Ευρώπη προτιμάτε η λύση της πλάκας μεταβλητού πάχους και για λόγους οικονομίας αλλά και γιατί έτσι το νερό δεν μένει πάνω στην επιφάνεια του σκυροδέματος. Τα μεμονωμένα πέδιλα επιβάλλεται σύμφωνα με τον ισχύοντα αντισεισμικό κανόνα (ΕΑΚ 2000, 2003) να συνδέονται μεταξύ τους και στις δύο διευθύνσεις με δοκάρια, τα οποία ονομάζονται συνδετήριες δοκοί. Η παράληψη αυτής της συνδέσεως μπορεί να συμβεί μόνο υπό προϋποθέσεις. Οι συνδετήριες δοκοί είναι απαραίτητοι ώστε να μεταβιβάζονται σε αυτούς οι οριζόντιες φορτίσεις από την βάση της θεμελίωσης. Η συνδετήρια δοκός συνδέει το έκκεντρο πέδιλο με το εσωτερικό της θεμελίωσης και παραλαμβάνει σημαντικό μέρος της έντασης. Οι αποστάσεις των πέδινων μεταξύ τους πρέπει να είναι τέτοιες ώστε να αποφεύγονται επικαλύψεις και συγκεντρώσεις μεγάλων τάσεων στο έδαφος. Η ελεύθερη απόσταση μεταξύ δύο πέδινων πρέπει να είναι $b \geq 0.2B$ όπου B είναι τα ο μέγιστο πλάτος των γειτονικών πέδινων. Η ύπαρξη εκκεντρότητας στα θεμέλια οδηγεί στην άνιση κατανομή των τάσεων στο έδαφος και κατά συνέπεια άνισων καθιζήσεων, με αποτέλεσμα την στροφή του πέδινου, γεγονός που είναι επιβαρυντικό για τον φορέα της κατασκευής. Για το λόγο αυτό συνιστάται η επίτευξη όσο το δυνατόν μικρότερων εκκεντροτήτων, το οποίο επιτυγχάνεται με κατάλληλη διαμόρφωση των πέδινων.

2.2.2 Πεδιλοδοκός

Οι πεδιλοδοκοί αποτελούν έναν τρόπο ομαδικής θεμελίωσης υποστυλωμάτων και τοιχιών, οι άξονες των οποίων βρίσκονται σε ευθεία περίπου γραμμή και αποτελούνται από τον κορμό και τα πτερύγια. Ο τρόπος αυτός θεμελίωσης είναι πιο δυσχερής σε σχέση με τα πέδιλα τόσο από πλευράς μελέτης όσο και από πλευράς κατασκευής. Η χρήση αυτού του τύπου θεμελίωσης ενδείκνυται στις εξής περιπτώσεις (Αναγνωστόπουλος, 1994):

- Όταν εκτιμάται ότι σε περίπτωση κατασκευής μεμονωμένων πέδινων θα εμφανιστούν μεγάλες ολικές και κυρίως διαφορικές καθιζήσεις. Αυτό συμβαίνει σε περιπτώσεις που τα φορτία των υποστυλωμάτων διαφέρουν πολύ μεταξύ τους. Στην περίπτωση αυτή η χρησιμοποίηση πεδιλοδοκών λόγω της σημαντικής διαμήκουσ ακαμψίας τους εξομαλύνει σημαντικά την καταπόνηση του εδάφους και οδηγεί στη δημιουργία ενός σχετικά ομοιόμορφου πεδίου καθιζήσεων.
- Όταν αποδεικνύεται ότι σε περίπτωση θεμελίωσης με μεμονωμένα πέδιλα οι ελεύθερες αποστάσεις μεταξύ τους μειώνονται πολύ ($6 < 0.2 \cdot l$, όπου l η αξονική απόσταση μεταξύ των υποστυλωμάτων). Το γεγονός αυτό οδηγεί σε επαλληλίες των τάσεων που μεταφέρουν τα πέδιλα στο έδαφος με αποτέλεσμα την μεγάλη ένταση και συνεπώς παραμόρφωση του. Στην περίπτωση αυτή η χρησιμοποίηση πεδιλοδοκών προφυλάσσει από αυτές τις ανεπιθύμητες επαλληλίες τάσεων.
- Όταν η θεμελίωση με μεμονωμένα πέδιλα δεν είναι οικονομική.

Η πιο συνηθισμένη περίπτωση θεμελίωσης με πεδιλοδοκούς είναι οι πεδιλοδοκοί δύο υποστυλωμάτων. Οι πεδιλοδοκοί αποτελούνται από μια πλάκα σταθερού ή μεταβλητού πάχους που η μορφή της σε κάτοψη είναι συνήθως ορθογωνική, αλλά μπορεί να είναι και τραπεζοειδής, και από μια δοκό που συνδέει τα υποστυλώματα και προεκτείνεται πολλές φορές μέχρι τα όρια της πλάκας (Βαλαλάς, 1979).

2.2.3 Κοιτόστρωση

Οι κοιτοστρώσεις είναι ενιαίες πλάκες θεμελίωσης, οι οποίες φέρουν κάθετα στο επίπεδο τους περισσότερα των δύο υποστυλωμάτων και κατά τις δύο διευθύνσεις. Είναι δηλαδή επιφανειακοί φορείς, οι οποίοι ισορροπούν με τα φορτία της κατασκευής από πάνω και τις αντιδράσεις του εδάφους από κάτω, ανεπτυγμένες σε όλη την έκταση τους. Διακρίνονται σε γενικές κοιτοστρώσεις, οι οποίες περιλαμβάνουν όλα τα φέροντα στοιχεία της κατασκευής και σε μερικές κοιτοστρώσεις, οι οποίες περιλαμβάνουν μερικά μόνο από τα φέροντα στοιχεία. Οι κοιτοστρώσεις συναντώνται με διάφορες μορφές (Βαλαλάς, 1979):

- Με απευθείας έδραση των υποστυλωμάτων επάνω στην πλάκα θεμελίωσης (συχνά γίνεται χρήση τοπικών ενισχυτικών).
- Με την έδραση των υποστυλωμάτων επάνω στην πλάκα θεμελίωσης, η οποία όμως έχει ενισχυθεί με δοκούς κάτω από το επίπεδο της.
- Με την έδραση των υποστυλωμάτων επάνω στην πλάκα θεμελίωσης, η οποία όμως έχει ενισχυθεί με δοκούς πάνω από το δάπεδο της πλάκας. Είναι η συχνότερη μορφή με την οποία κατασκευάζονται οι κοιτοστρώσεις στην Ελλάδα και παρουσιάζει το πλεονέκτημα της ομαλοποιημένης μεταφοράς των φορτίων στο έδαφος. Οι συνήθεις ελάχιστες διαστάσεις είναι: πάχος πλάκας 0.30 m , πλάτος και ύψος των δοκών 0.30 m και 0.80 m αντίστοιχα (Αναγνωστόπουλος, 1994).

Η γενική κοιτόστρωση είναι λύση πολύπλοκη τόσο στον υπολογισμό της όσο και στην κατασκευή της. Είναι εξάλλου λύση πολύ δαπανηρή. Πρέπει συνεπώς να

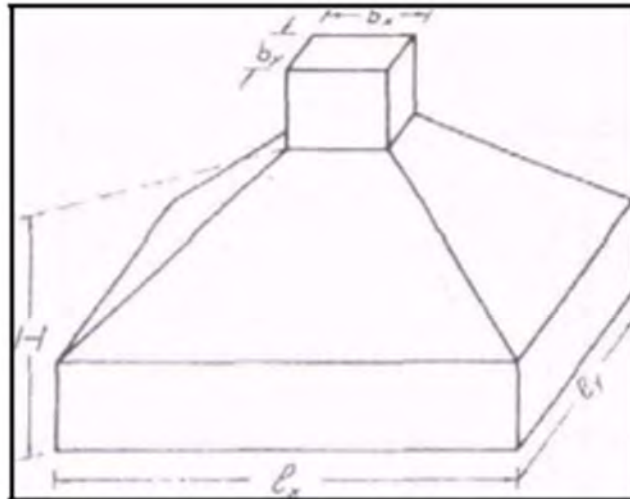
χρησιμοποιείται μόνο όταν δεν γίνεται αλλιώς. Οι περιπτώσεις εφαρμογής των κοιτοστρώσεων είναι οι εξής (Βαλαλάς, 1979):

- Όταν η επιφάνεια του πέδου A είναι τουλάχιστον ίση με το 70% της ολικής επιφάνειας S. Σε αυτή την περίπτωση η λύση της κοιτόστρωσης είναι πιο οικονομική και πρέπει να προτιμάται, χωρίς όμως αυτό να είναι υποχρεωτικό. Ένα επιπλέον ενδιαφέρον στην περίπτωση αυτή είναι ότι εξασφαλίζει ένα σημαντικό περιθώριο ασφάλειας και επιτρέπει αργότερα την προσθήκη ορόφων αφού για την αναγκαία επιφάνεια θεμελίωσης του 70% δημιουργείται επιφάνεια 100%.
- Η γενική κοιτόστρωση επιτρέπει τη μείωση των διαφορικών καθιζήσεων. Με τρόπο απλοποιημένο μπορούμε να δεχτούμε ότι η διαφορική καθίζηση μειώνεται κατά 50% όταν αντί του μεμονωμένου πέδου χρησιμοποιείται γενική κοιτόστρωση. Όταν λοιπόν επιδιώκεται ο όσο το δυνατόν μεγαλύτερος περιορισμός των διαφορικών καθιζήσεων η λύση της κοιτόστρωσης είναι ενδεδειγμένη.
- Όταν το έδαφος είναι μέτριας ποιότητας σε μεγάλο βάθος και ειδικά όταν τα επιφανειακά στρώματα είναι καλύτερα από βαθύτερα.
- Η γενική κοιτόστρωση είναι υποχρεωτική όταν η θεμελίωση εκτελείται κάτω από τον υπόγειο ορίζοντα και αναζητείται η στεγανότητα των υπογείων. Πρέπει λοιπόν να υπάρχει συνεχής θεμελίωση που να εξασφαλίζει τη στεγανότητα της κατασκευής και να ισορροπεί τις πιέσεις του ύδατος.

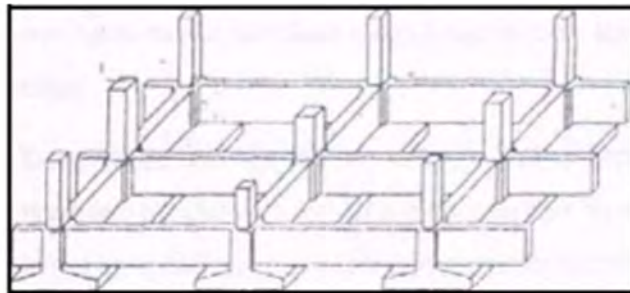
Τα πλεονεκτήματα των θεμελιώσεων με γενική κοιτόστρωση είναι τα εξής (Βαλαλάς, 1979) :

- Μεγάλη ασφάλεια από πλευράς υπέρβασης της φέρουσας ικανότητας, κυρίως σε αμμώδη εδάφη (πολύ μεγάλο πλάτος θεμελίωσης B),
- Μικρές αναμενόμενες καθιζήσεις. Αυτό επιτυγχάνεται με την κατανομή των φορτίων σε όλη της επιφάνεια του έργου και την συνακόλουθη μείωση των επιβαλλόμενων τάσεων.
- Μείωση των αναμενόμενων διαφορικών καθιζήσεων λόγω της συνεισφοράς της ακαμψίας της πλάκας θεμελίωσης, των ισχυρών δοκών και της κατασκευής.
- Αύξηση των επιτρεπόμενων καθιζήσεων. Λόγω του μεγέθους της κατασκευής της θεμελίωσης είναι δυνατόν το έργο να υποστεί καθιζήσεις αρκετά μεγαλύτερες από αυτές ενός ίδιου έργου με μεμονωμένα στοιχεία θεμελίωσης χωρίς να δημιουργηθούν προβλήματα στο φέροντα οργανισμό και τα στοιχεία πλήρωσης.
- Εύκολη αντιμετώπιση του προβλήματος του υπόγειου νερού, αφού με τη χρήση της γενικής κοιτόστρωσης είναι εύκολη η δημιουργία ενός στεγανού κιβωτίου.
- Πολύ καλή αντισεισμική συμπεριφορά.

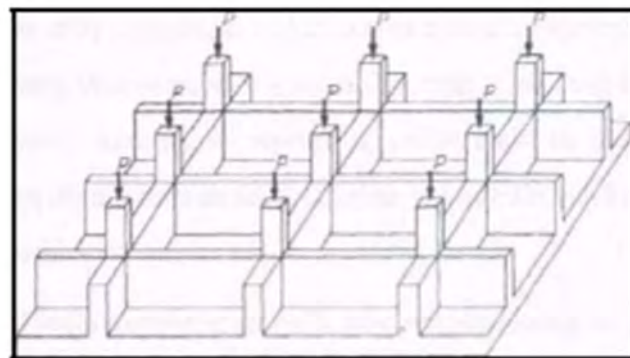
Το κύριο μειονέκτημα των κοιτοστρώσεων είναι το σχετικά υψηλό κόστος τους. Συνεπώς το πρόβλημα επιλογής είναι τεχνοοικονομικό και έτσι πρέπει να αντιμετωπίζεται.



Εικόνα 2.1: Μεμονομένο πέδιλο. (Αναγνωστόπουλος 1994)



Εικόνα 2.2: Πεδιλοδοκός. (Αναγνωστόπουλος 1994).



Εικόνα 2.3: Γενική κοιτόστρωση. (Αναγνωστόπουλος 1994)

3 Τρόποι υπολογισμού της φέρουσας ικανότητας

3.1 Γενικά φέρουσα ικανότητα

Τα προβλήματα της γεωτεχνικής μηχανικής μπορούν γενικά να καταταγούν σε δύο κύριες κατηγορίες, στα προβλήματα λόγω ελαστικής ισορροπίας και στα προβλήματα λόγω πλαστικής ισορροπίας .

Προβλήματα ελαστικής ισορροπίας :

Οι τάσεις μέσα στο έδαφος βρίσκονται σε ελαστική περιοχή και δεν δημιουργούν πλαστικές παραμορφώσεις ή θραύση.

Προβλήματα πλαστικής ισορροπίας :

Στην πλαστική ισορροπία το έδαφος συμπεριφέρεται ως ένα ιδεατό πλαστικό υλικό που μπορεί να δεχτεί μεγάλες πλαστικές παραμορφώσεις .

Η φέρουσα ικανότητα συνδέεται με τα προβλήματα που εμφανίζονται στην πλαστική ισορροπία. Έτσι στα προβλήματα της φέρουσας ικανότητας γίνεται η παραδοχή ότι το έδαφος συμπεριφέρεται ως ιδεατά πλαστικό. Στην κατάσταση της πλαστικής ισορροπίας το έδαφος κάτω από το φορτιζόμενο πέδιλο έχει πλήρως πλαστικοποιηθεί, δηλαδή δέχεται μεγάλες πλαστικές παραμορφώσεις με την επίδραση ενός απειροελάχιστου φορτίου.

Ορίζουμε φέρουσα ικανότητα (q_u ή q_{ult}) την οριακή αντοχή του εδάφους στην διατμητική θραύση .

Η συνολική αυτή φόρτιση q_u θα προέρχεται από δυο συνιστώσες:

- Το βάρος των υπερκείμενων γαιών και σκυροδέματος (μικτό ειδικό βάρος* D_f)
- Την οφειλόμενη στο προς θεμελίωση φορτίο N , $q_{\omega\phi\acute{\epsilon}\lambda\iota\mu\eta}$

$$\text{Είναι } q_u = q_{\omega\phi\acute{\epsilon}\lambda\iota\mu\eta} + \gamma_{\text{μικτό}} * D_f$$

$$\text{Συνεπώς } q_{\omega\phi\acute{\epsilon}\lambda\iota\mu\eta} = q_u - \gamma_{\text{μικτό}} * D_f \text{ (}\omega\phi\acute{\epsilon}\lambda\iota\mu\eta \text{ φέρουσα ικανότητα)}$$

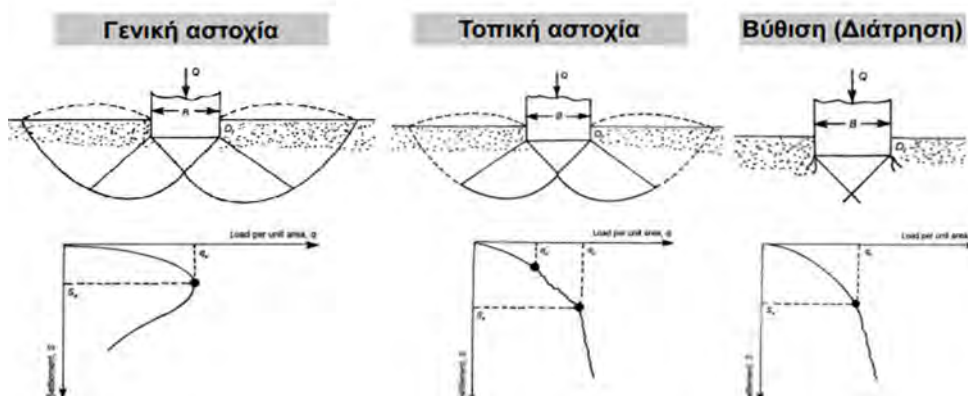
Η τιμή της $q_{\omega\phi\acute{\epsilon}\lambda\iota\mu\eta}$ παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον γιατί είναι αυτή με την οποία θα επιχειρηθεί η διαστασιολόγηση. Προφανώς ο σχεδιασμός μιας θεμελίωσης με την παραπάνω τιμή είναι επισφαλής γι' αυτόν τον λόγο εφαρμόζεται ένας συντελεστής ασφαλείας ο οποίος κυμαίνεται σε τιμές δύο ως τρία (2-3) ο οποίος εξαρτάται από το είδος του προς κατασκευή έργου. Έτσι προκύπτει η έννοια της μέγιστης επιτρεπόμενης τάσης. Επιτρεπόμενη τάση θεμελίωσης ονομάζουμε το μέγιστο κατακόρυφο φορτίο ή τη μέγιστη κατακόρυφη τάση που το θεμέλιο μπορεί να μεταφέρει με ασφάλεια στο έδαφος χωρίς δηλαδή να αστοχήσει. Σε αντίθεση με αυτήν την θεωρία του ενιαίου συντελεστή ασφαλείας ο Ευρωκώδικας 7 χρησιμοποιεί επιμέρους συντελεστές ασφαλείας (βλ. Κεφάλαιο 5).

$$q_{\text{επιτρεπόμενη}} = \frac{q_u}{FS} \quad (3.1)$$

3.2 Μορφές θραύσεως

Είναι γνωστό από την συμπεριφορά των πεδίων στην πράξη ότι η θραύση είναι διατμητική, γεγονός που συνεπάγεται ότι υπερβαίνει την διατμητική αντοχή. Οι βασικές μορφές της θραύσεως κατά Vesic (1963) είναι τρεις :

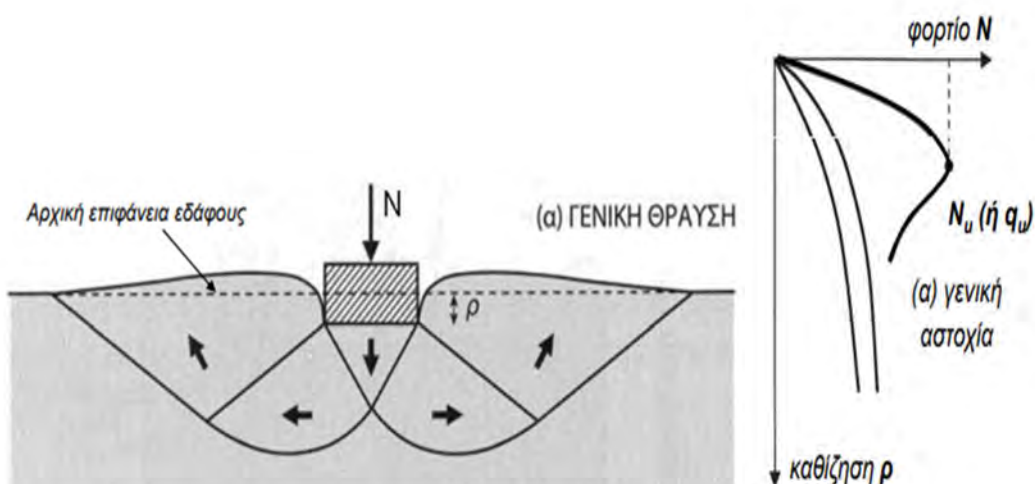
- Γενική θραύση (general shear failure)
- Τοπική θραύση (local shear failure)
- Διείσδυση (punching shear failure)



Εικόνα 3.1: Μορφές θραύσεως (DAS 1999, Vesic 1973)

Γενική θραύση (general shear failure)

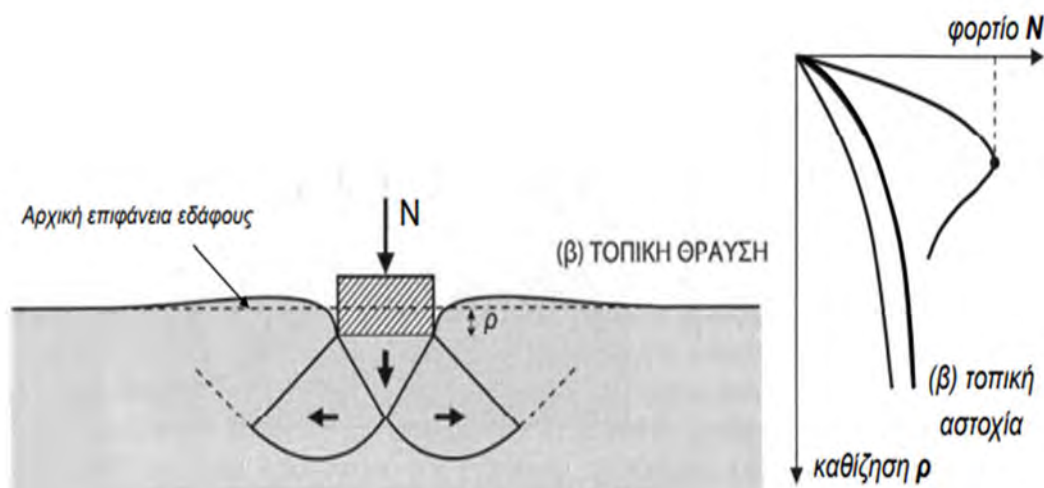
Η γενική θραύση λαμβάνει χώρα σε εδάφη χαμηλής πυκνότητας και χαμηλής συμπίεσότητας. Συνοδεύεται από ισχυρή παραμόρφωση και έντονη ανύψωση στην επιφάνεια του εδάφους ακόμη οι επιφάνειες αστοχίας εμφανίζονται καλά αναπτυγμένες, ξεκινώντας από το άκρο της θεμελίωσης και καταλήγοντας στην επιφάνεια του εδάφους. Τέλος πρόκειται για μία ψαθυρή και σχετικά καθολική θραύση θεμελίωσης.



Εικόνα 3.2: Γενική θραύση. (Γεωργιάδης Κ., Γεωργιάδης Μ. 2009)

Τοπική θραύση (local shear failure)

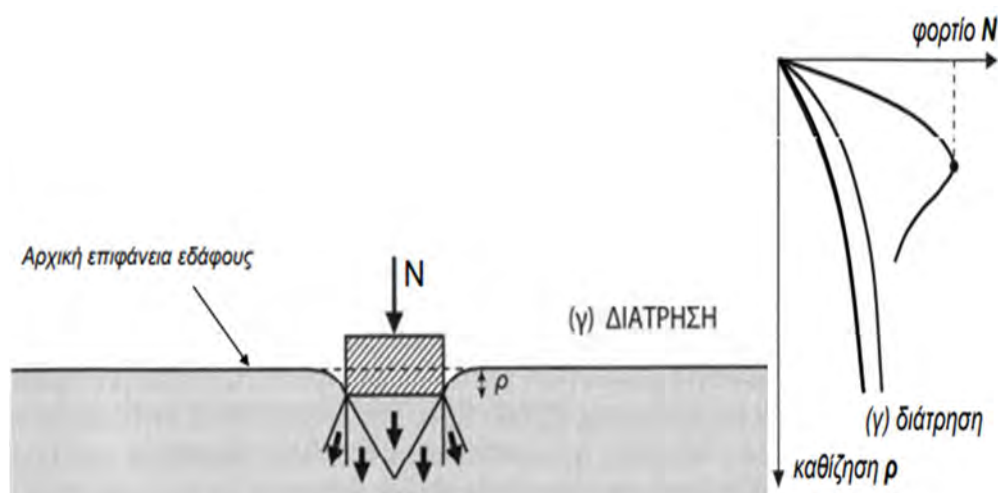
Λαμβάνει χώρα σε εδάφη με μέση πυκνότητα και μέση συμπίεστικότητα. Δεν εμφανίζει μεγάλη ανύψωση της επιφάνειας του εδάφους. Ακόμη η θραύση παραμένει τοπική δηλαδή περιορίζεται κάτω από τα θεμέλια και δεν φτάνει στην επιφάνεια του εδάφους. Τέλος, η θεμελίωση αστοχεί χωρίς να προσδιορίζεται ακριβώς το οριακό φορτίο της αστοχίας.



Εικόνα 3.3: Γενική θραύση. (Γεωργιάδης Κ., Γεωργιάδης Μ. 2009)

Διείσδυση (punching shear failure)

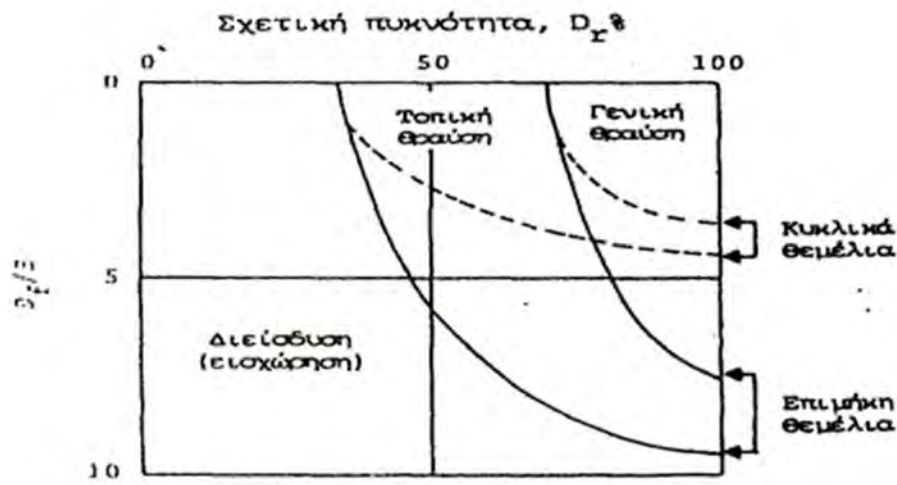
Λαμβάνει χώρα σε χαλαρά εδάφη μικρής πυκνότητας αλλά μεγάλης συμπίεστικότητας. Συνοδεύεται με την βύθιση του θεμελίου. Τέλος λόγω της μεγάλης συμπίεστικότητας του υλικού υπάρχουν καθιζήσεις αλλά και περιορισμένες αστοχίες κάτω από την θεμελίωση. Στην περίπτωση αυτή το βασικό πρόβλημα είναι οι καθιζήσεις και όχι η φέρουσα ιδιότητα του εδάφους.



Εικόνα 3.4: Γενική θραύση. (Γεωργιάδης Κ., Γεωργιάδης Μ. 2009)

Στο διάγραμμα της εικόνας 3.1 που πρότεινε ο Vesic για τα αμμώδη εδάφη (Τσότσος, 1991), η διάκριση στις τρεις κατηγορίες θραύσης γίνεται με συγκεκριμένο τρόπο. Στο

διάγραμμα αυτό εκτός από τη σχετική πυκνότητα της άμμου φαίνεται ότι σημασία έχουν επίσης το σχήμα του θεμελίου και το πηλίκιο D/B, του βάρους προς το πλάτος του θεμελίου.



Εικόνα 3.5: Πρόταση του Vesic σχετικά με τις συνθήκες ανάπτυξης των διαφορετικών μηχανισμών θραύσης σε αμμώδη εδάφη (Βαλαλάς 1981)



Εικόνα 3.6: Αστοχία θεμελίωσης, γενική θραύση North Transcona, Manitoba, Canada (1913)



Εικόνα 3.7: Αστοχία θεμελίωσης, ολική θραύση Niigata (1964)

3.3 Θεωρητικές μέθοδοι υπολογισμού φέρουσας ικανότητας

Για τον υπολογισμό της φέρουσας ικανότητας υπάρχουν αρκετοί τρόποι και χωρίζονται σε δύο κατηγορίες :

- Θεωρητικές μέθοδοι υπολογισμού της φέρουσας ικανότητας και
- Εμπειρικές μέθοδοι υπολογισμού

Οι θεωρητικές μέθοδοι υπολογίζουν την φέρουσα ικανότητα μίας επιφανειακής θεμελίωσης στηριζόμενη στα μηχανικά χαρακτηριστικά αντοχής του εδάφους όπως είναι η ενεργός συνοχή c' και η ενεργός γωνία τριβής ϕ' και στηρίζονται στην εξέταση της ισορροπίας κατά μήκος των πιθανών επιφανειών θραύσης. Προσεγγιστική επίλυση του προβλήματος της φέρουσας ικανότητας υπό κεντρική και κατακόρυφη φόρτιση διατυπώνεται από τους Terzaghi , Skempton , Meyerhof , και κατά το DIN 4017 , φύλλον 1. Ενώ προσεγγιστική επίλυση του προβλήματος της φέρουσας ικανότητας υπό έκκεντρη και υπό κλίση φόρτιση διατυπώνεται από τους Meyerhof, Brinch Hansen, και κατά το DIN 4017 φύλλον 2. Οι μέθοδοι Brinch Hansen και Meyerhof βασίζονται πάνω στην μέθοδο Terzaghi λαμβάνοντας υπόψη κάποια στοιχεία και κάνοντας τις αντίστοιχες διορθώσεις όπως παραδείγματος χάριν τις κεκλιμένες βάσεις, τις επικλινείς επιφάνειες, την εκκεντρότητα του φορτίου, τις κλίσεις των φορτίων και το βάθος θεμελίωσης.

Στις εμπειρικές μεθόδους ο υπολογισμός της φέρουσας ικανότητας πραγματοποιείται μέσω των αποτελεσμάτων των επί τόπου δοκιμών. Στις εμπειρικές μεθόδους βρίσκουν εφαρμογή οι δοκιμές πρότυπου και στατικού πενετρομέτρου SPT και CPT αντίστοιχά

3.3.1 Επίλυση Terzaghi (1943)

Όπως έχει ήδη αναφερθεί η επίλυση του Terzaghi (1943) είναι μία διαδεδομένη λύση εκτίμησης της φέρουσας ικανότητας επιφανειακού πεδίου υπό κεντρική και κατακόρυφη φόρτιση. Η θεωρία του Terzaghi για τον υπολογισμό της φέρουσας ικανότητας στηρίζεται σε μία σειρά παραδοχών «εξιδανικεύσεων» η σημασία των οποίων είναι σημαντική. Οι παραδοχές αυτές είναι οι εξής :

- Το εδαφικό υλικό θεωρείται ασυμπιέστο, και συμπεριφέρεται σαν πλαστικό υλικό, (πλαστικά στερεό σώμα).
- Η διατμητική αντοχή του εδάφους πάνω από το θεμέλιο θεωρείται αμελητέα και το υπερκείμενο έδαφος αντικαθίσταται από ομοιόμορφο φορτίο.
- Η επιρροή του ιδίου βάρους του εδάφους εντός της επιφάνειας των αστοχιών αγνοείται.
- Επίσης αγνοείται η τριβή του υπερκείμενου εδάφους και του πεδίου καθώς και η τριβή μεταξύ του εδάφους που βρίσκεται άνω στις στάθμης της θεμελίωσης και κάτω της στάθμης αυτής.
- Το μήκος της θεμελίωσης ορίζεται πολύ μεγαλύτερο από το πλάτος $L/B > 5$.

Σύμφωνα με την θεωρία του Terzaghi η φέρουσα ικανότητα θεμελίου απείρου μήκους δίνεται από τον εξής τύπο :

$$q_u = cN_c + \gamma_1 D_f N_q + \frac{1}{2} \gamma_2 B N_\gamma \quad (3.2)$$

Όπου :

B το πλάτος θεμελίωσης

D_f το βάθος θεμελίωσης

γ_1 το φαινόμενο βάρος του εδάφους πάνω από την στάθμη της θεμελίωσης

γ_2 το φαινόμενο βάρος του εδάφους κάτω από την στάθμη της θεμελίωσης

N_γ ο συντελεστής επιφανειακής αντοχής ψαθυρού υλικού

N_c ο συντελεστής αντοχής

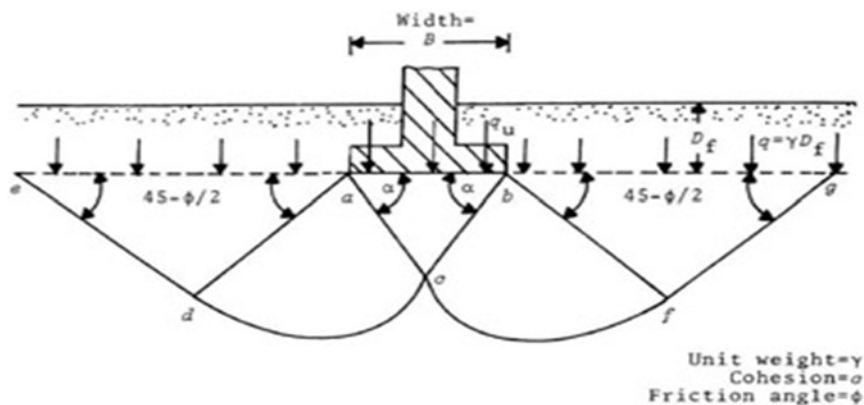
N_q ο συντελεστής βάθους θεμελίωσης

c η συνοχή του εδάφους κάτω από την στάθμη θεμελίωσης

Ο πρώτος προσθετός λαμβάνει υπόψη την συνοχή του εδάφους, ο δεύτερος το βάρος του εδάφους πάνω από την στάθμη της θεμελίωσης και ο τρίτος την τριβή του εδάφους κάτω από την στάθμη της θεμελίωσης .

Οι όροι N_c , N_γ , N_q υπολογίζονται από την γωνία τριβής του εδάφους κάτω από την στάθμη θεμελίωσης.

Ο υπολογισμός των επιφανειών ολίσθησης (χαρακτηριστικές γραμμές) οι οποίες ικανοποιούν το κριτήριο αστοχίας του Coulomb, αποτελεί αντικείμενο της θεωρίας των χαρακτηριστικών. Η εικόνα 3.5 παρουσιάζει τις σπειροειδείς χαρακτηριστικές γραμμές που προσδιορίστηκαν από τον Terzaghi κάτω από ένα ορθογωνικό πέδιλο.

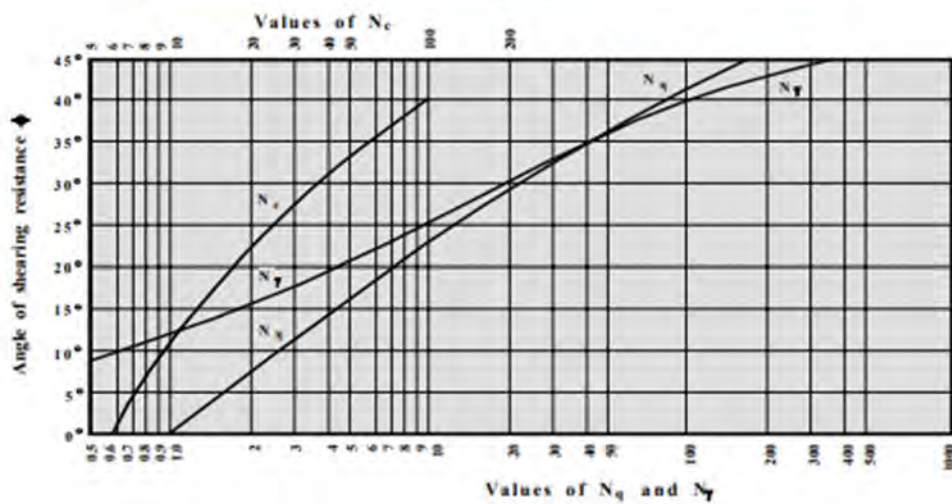


Εικόνα 3.8: Μηχανισμός αστοχίας κατά Terzaghi 1943 (Braja M. Das 2007)

Οι τιμές των συντελεστών N_c , N_q , N_γ δίνονται από τον Πίνακα 3.1, ενώ οι τιμές των s_c , s_γ δίνονται από τον Πίνακα 3.2



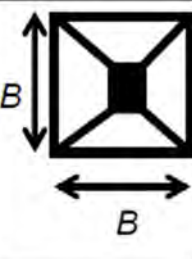
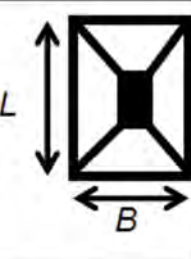
Πίνακας 3.1: Συντελεστές φέρουσας ικανότητας κατά Terzaghi (Terzaghi 1943)

Γωνία τριβής ϕ (°)	N_c	N_q	N_γ
0	5,7	1	0
5	7,3	1,6	0,5
10	9,6	2,7	1,2
15	12,9	4,4	2,5
20	17,7	7,4	5
25	25,1	12,7	9,7
30	37,2	22,5	19,7
34	52,6	36,5	36
35	57,8	41,4	42,4
40	95,7	81,3	100,4
45	172,3	173,3	297,5
48	258,3	287,9	780,1
50	347,5	415,1	1153,2



Διάγραμμα 3.1: Νομόγραμμα των συντελεστών της φέρουσας ικανότητας κατά Terzaghi (Αναγνωστόπουλος 1997)

Πίνακας 3.2: Συντελεστές μορφής εξίσωσης Terzaghi (Terzaghi 1943)

Τύπος πεδίου:	Απειρόμηκες	Κυκλικό	Τετράγωνο	Ορθογώνιο
$s_c =$	1.0	1.3	1.3	$1+0.3B/L$
$s_\gamma =$	1.0	0.6	0.8	$1-0.2B/L$
				

Συνεπώς ο Terzaghi έδωσε τους ακόλουθους ημιεμπειρικούς τύπους :

Τετραγωνικό πέδιλο πλευράς B :

$$q_u = 1.3cN_c + \gamma_1 D_f N_q + 0.4\gamma_2 B N_\gamma \quad (3.3)$$

Κυκλικό πέδιλο διαμέτρου B:

$$q_u = 1.3cN_c + \gamma_1 D_f N_q + 0.3\gamma_2 B N_\gamma \quad (3.4)$$

Ορθογωνικό πέδιλο πλευρών BL (όπου $B \leq L$) :

$$q_u = cN_c \left(1 + 0.3 \frac{B}{L}\right) + \gamma_1 D_f N_q + 0.5\gamma_2 B N_\gamma \left(1 - 0.2 \frac{B}{L}\right) \quad (3.5)$$

ΓΕΝΙΚΗ ΜΟΡΦΗ ΕΞΙΣΩΣΗΣ :

$$q_u = s_c c N_c + \gamma_1 D_f N_q + s_\gamma \gamma_2 B N_\gamma \quad (3.6)$$

Στραγγισμένες συνθήκες φόρτισης

Η ολική τάση παραλαμβάνεται εξ ολοκλήρου από τους στερεούς κόκκους.

Υπό στραγγισμένες συνθήκες, η οριακή τάση θραύσης είναι:

$$q_u = s_c c' N_c + p'_0 N_q + s_\gamma \gamma_2 B N_\gamma \quad (3.7)$$

όπου:

c' = η ενεργός συνοχή

p'_0 = η ενεργός επιφόρτιση (εξαρτάται από την στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα)

γ_2' = το ενεργό φαινόμενο βάρος κάτω από τη στάθμη θεμελίωσης (εξαρτάται από την στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα)

Περιπτώσεις για p_o' :

Για $z_w < D$ τότε :

$$p_o' = \gamma_{1,dry} z_w + (\gamma_{1,sat} - \gamma_{1,w})(D - z_w) = \gamma_{1,dry} z_w + \gamma_{1,sat}'(D - z_w) \quad (3.8)$$

Για $z_w \geq D$ τότε :

$$p_o' = \gamma_{1,dry} D \quad (3.9)$$

Περιπτώσεις για γ_2' :

$z_w < D$:

$$\gamma_2 = \gamma_{2,sat} - \gamma_{2,w} \quad (3.10)$$

$z_w \geq D + B$:

$$\gamma_2 = \gamma_{2,dry} \quad (3.11)$$

$D + B > z_w \geq D$:

$$\gamma_2 = \gamma_{2,dry} \left(\frac{z_w}{B} \right) + \gamma_2' \frac{(B - z_w)}{B} = \gamma_{2,dry} \left(\frac{z_w}{B} \right) + \frac{(\gamma_{2,sat} - \gamma_w)(B - z_w)}{B} \quad (3.12)$$

όπου $Z_w = z_w - D$ το βάθος κάτω από τη στάθμη θεμελίωσης.

Ο ανωτέρω υπολογισμός του οριακού φορτίου του θεμελίου έγινε ως προς τις ενεργές τάσεις, επειδή ως γνωστόν η αστοχία του εδάφους διέπεται από τις ενεργές τάσεις. Όμως στις περιπτώσεις κορεσμένων εδαφών που η φόρτιση είναι ταχεία και η στερεοποίηση δεν προλαβαίνει να πραγματοποιηθεί (αστράγγιστες συνθήκες) η ανάλυση της αστοχίας μπορεί ισοδύναμα να γίνει και ως προς τις ολικές τάσεις με χρήση της αστράγγιστης διατμητικής αντοχής (c_u) του εδάφους και μηδενική γωνία τριβής ($\phi_u = 0$).

3.3.2 Επίλυση κατά Skempton (1951)

Η επίλυση κατά Skempton χρησιμοποιείται στην περίπτωση καθαρά συνεκτικών εδαφών και για περίπτωση ταχείας επιβολής φορτίσεως ($\phi_u = 0$, $c_u \neq 0$)

Αστραγγισμένες συνθήκες φόρτισης

Η ολική τάση παραλαμβάνεται μερικώς από το υγρό των πόρων και μερικώς από τους στερεούς κόκκους .

Ημιεμπειρικός τύπος κατά Skempton :

$$q_u = c_u N_c + \gamma D \quad (3.13)$$

Όπου :

N_c : συντελεστής φέρουσας ικανότητας

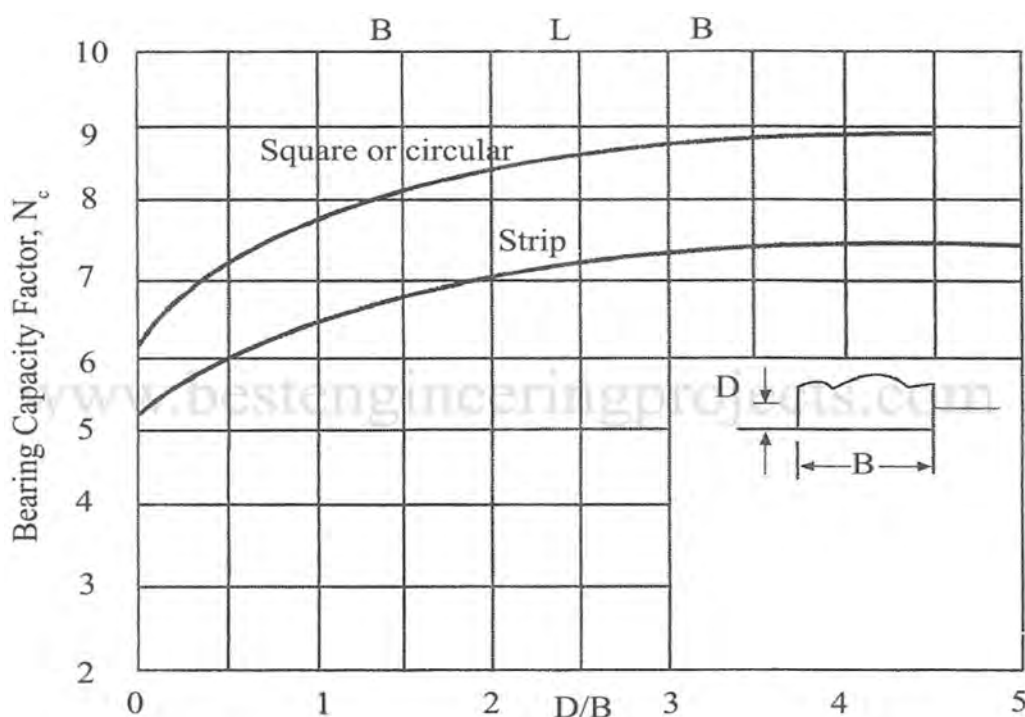
D : το βάθος της θεμελιώσεως

c_u : αστράγγιστη διατμητική αντοχή

Προσδιορισμός N_c σε συνδυασμό με τις διαστάσεις B, L, D :

$$N_c = 5 \left(1 + \frac{0.2B}{L}\right) \left(1 + \frac{0.2D}{B}\right) \quad (3.14)$$

Όπου για αβαθείς (επιφανειακές) θεμελιώσεις μέγιστο $\frac{D}{L} = 2.5$

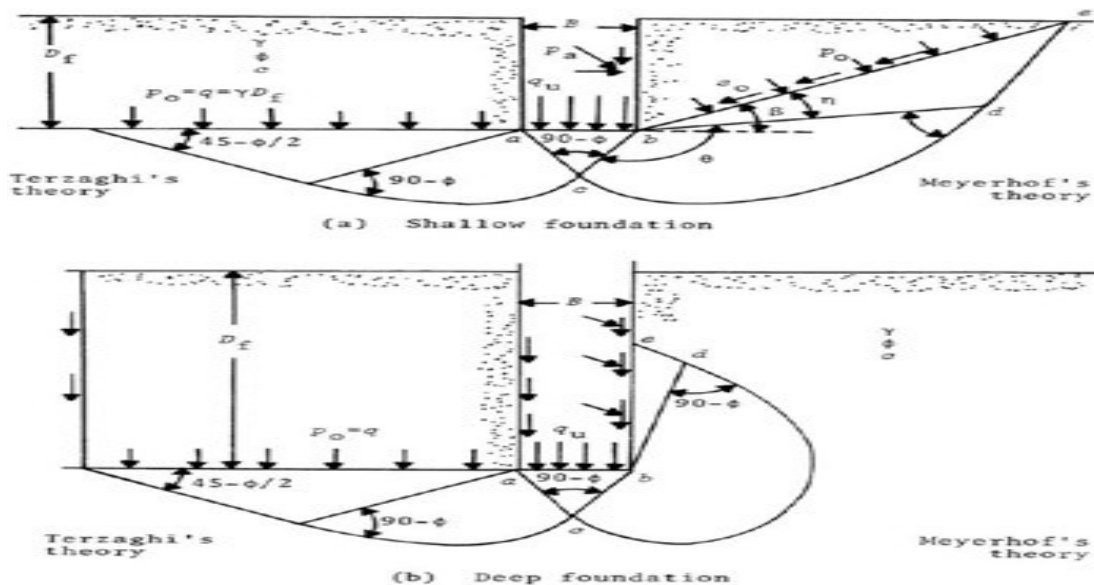


Διάγραμμα 3.2: Συντελεστής φέρουσας ικανότητας κατά Skempton(www.bestengineeringprojects.com)

3.3.3 Επίλυση κατά Meyerhof (1951-1963)

Η θεωρία του Meyerhof (1951,1963) αποτελεί μια επέκταση της θεωρίας του Terzaghi (1943) που δίνει λύση τόσο σε περιπτώσεις αβαθών θεμελιώσεων όσο και σε περιπτώσεις που χρησιμοποιείται βαθιά θεμελίωση. Η θεωρία αυτή αποδέχεται τον μηχανισμό γενικής θραύσεως. Ο μηχανισμός θραύσεως βασίζεται στις αρχές του Terzaghi αλλά διαφοροποιείται κατά τις ακόλουθες παραδοχές :

- Λαμβάνει υπόψη την διατμητική αντοχή του εδάφους πάνω από τη στάθμη της θεμελίωσης (πάχος D_f).
- Θεωρεί ότι η επιφάνεια ολισθήσεως δεν σταματά στο επίπεδο της βάσης του θεμελίου αλλά επεκτείνεται και προς τα πάνω.
- Ακόμη εξετάζει θεμέλια με λεία ή τραχεία παράπλευρη επιφάνεια , γεγονός που αποτελεί πολύ σημαντικό παράγοντα καθώς ο Meyerhof κατά τον υπολογισμό της οριακής πίεσεως λαμβάνει υπ' όψιν εκτός από την βάση και την παράπλευρη επιφάνεια.



Εικόνα 3.9: Σύγκριση των μηχανισμών αστοχίας Terzaghi και Meyerhof (Braja M. Das 2007)

Η υπολογιστική διαδικασία που ακολουθεί ο Meyerhof ακολουθεί δύο μέρη. Στην πρώτη φάση αγνοεί το βάρος του εδάφους και προσδιορίζει το οριακό φορτίο που μπορεί να προσληφθεί από την συνοχή με μηδενική επιφόρτιση ($q=0$) καθώς και το φορτίο που μπορεί να αναληφθεί από το έδαφος μόνο από την επιφόρτιση επί του εδάφους. Στην δεύτερη φάση αναγνωρίζει ότι το έδαφος έχει βάρος και προσδιορίζει το οριακό φορτίο που μπορεί να αναπτυχθεί από παθητικές πιέσεις πάνω σε χαρακτηριστικές επιφάνειες. Έτσι ο Meyerhof μετά από περίπλοκους υπολογισμούς κατέληξε και αυτός σε ένα τριώνυμο.

ΕΠΙΛΥΣΗ ΜΕΥΡΗΟΦ (1963) για λωριδωτό πέδιλο (θεμελιολωρίδα), σε βάθος (D) από την επιφάνεια, σε έδαφος με (c) και (φ), ειδικό βάρος (γ) και επιφόρτιση (q) :

$$Q_u = cN_c + q_0N_q + \gamma \frac{B}{2} N_\gamma \quad (3.15)$$

Όπου :

N_c , N_q , N_γ : συντελεστές φέρουσας ικανότητας εξαρτώμενοι από την γωνία εσωτερικής τριβής ϕ' του κάτω της επιφάνειας , εδράσεως εδάφους.

Οι συντελεστές αυτοί υπολογίζονται με βάση την ελάχιστη δυνατή τιμή τους. Οι συντελεστές αυτοί κατά Meyerhof είναι προφανώς διαφορετικοί των αντίστοιχων συντελεστών του Terzaghi και είναι οι ακόλουθοι:

$$N_q = \varepsilon \varphi^2 \left(45 + \frac{\varphi'}{2} \right) e^{\pi \varepsilon \varphi \varphi'} \quad (3.16)$$

$$N_c = (N_q - 1) \sigma \varphi \varphi' \quad (3.17)$$

$$N_\gamma = (N_q - 1) \varepsilon \varphi (1,4 \varphi') \quad (3.18)$$

Σημειώνεται ότι οι ανωτέρω συντελεστές N_q και N_c είναι οι αντίστοιχοι κατά Prandtl-Reissner.

Ο Meyerhof όπως και άλλοι ερευνητές, υπολόγισαν με ημιεμπειρικούς τύπους την φέρουσα ικανότητα του εδάφους σε περιπτώσεις πεδίων με μορφή διαφορετική της θεμελιολωρίδας. Έτσι προέκυψε ένας γενικός τύπος φέρουσας ικανότητας για αβαθή πέδιλα για περίπτωση λοξής και έκκεντρης φόρτισης:

$$q_u = S_c d_c i_c c N_c + S_q d_q i_q \gamma_1 D N_q + \frac{1}{2} S_\gamma d_\gamma i_\gamma \gamma_2 B' N_\gamma \quad (3.19)$$

Όπου :

- Φόρτιση : κεντρική ή έκκεντρη λοξή κατά την διεύθυνση της πλευράς B .Για έκκεντρη λοξή φόρτιση κατά την διεύθυνση της πλευράς L τίθεται στον τρίτο όρο L' , ενώ για διπλή εκκεντρότητα απαιτούνται δύο έλεγχοι τόσο κατά την διεύθυνση B' όσο και τη διεύθυνση L' .
- Θεμέλιο : Ορθογωνικό $B \times L$ όπου $B \leq L$
- Έδαφος : Ομοιογενές

- N_c, N_q, N_γ : Συντελεστές φέρουσας ικανότητας εξαρτώμενοι από την γωνία τριβής ϕ' του κάτω της επιφανείας, εδράσεως εδάφους.
- γ_1 : Φαινόμενο βάρος του εδάφους, άνω της επιφάνειας εδάφους.
- γ_2 : Φαινόμενο βάρος του εδάφους, κάτω της επιφάνειας εδάφους.
- ϕ' : Ενεργός γωνία εσωτερικής τριβής του εδάφους κάτω της επιφάνειας έδρασης
- c' : συνοχή του εδάφους κάτω της επιφάνειας εδράσεως.
- D : Βάθος θεμελίωσης
- B' : Μειωμένο υπολογιστικό πλάτος θεμελίωσης κατά την διεύθυνση της εκκεντρότητας e_B κατά την σχέση :

$$B' = B - 2e_B \quad \text{όπου} \quad e_B = \frac{\Sigma M_{MB}}{\Sigma V}$$

Για εκκεντρότητα κατά την διεύθυνση L ισχύει αντιστοίχως :

$$L' = L - 2e_L \quad \text{όπου} \quad e_L = \frac{\Sigma M_{ML}}{\Sigma V}$$

- α : Γωνία κλίσεως της συνισταμένης R ως προς την κατακόρυφο σε μοίρες.
- S_c, S_q, S_γ : συντελεστές μορφής που δίνονται από της σχέσης :

$$S_c = 1 + 0,2N_\phi \frac{B}{L} \quad (3.20)$$

Για ($\phi = 0^\circ$):

$$S_q = S_\gamma = 1 \quad (3.21)$$

Για $\phi' > 10^\circ$:

$$S_q = S_\gamma = 1 + 0,1N_\phi \frac{B}{L} \quad (3.22)$$

$$\text{Όπου} \quad N_\phi = \varepsilon \phi^2 \times \left(45^\circ + \frac{\phi'}{2}\right)$$

- d_c, d_q, d_γ : συντελεστές βάθους που δίνονται από τις σχέσεις :

$$d_c = 1 + 0,2 \sqrt{N_\phi} \frac{D}{B} \quad (3.23)$$

Για $\phi = 0^\circ$:

$$d_q = d_\gamma = 1 \quad (3.24)$$

Για $\phi' > 10^\circ$:

$$d_q = d_\gamma = 1 + 0,1 \sqrt{N_{\phi'}} \frac{D}{B} \quad (3.25)$$

$$\text{Όπου } N_\phi = \varepsilon \phi^2 \times \left(45^\circ + \frac{\phi'}{2}\right)$$

- Συντελεστές λοξότητας φορτίου που δίδονται από τις σχέσεις :

Για οποιαδήποτε τιμή της ϕ' :

$$i_c = i_q = \left(1 - \frac{\alpha^\circ}{90^\circ}\right) \quad (3.26)$$

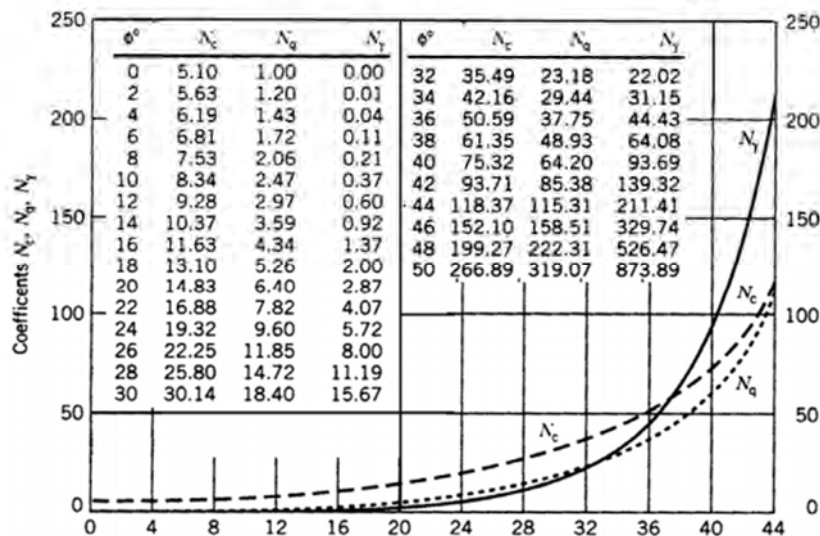
Για $\phi' > 0$ και $i_\gamma = 0$, για $\alpha > 0$ και $\phi = 0$:

$$i_\gamma = \left(1 - \frac{\alpha^\circ}{\phi'}\right)^2 \quad (3.27)$$

Σημειώνεται ότι ο Meyerhof (1963) συνιστά την χρήση της γωνίας εσωτερικής τριβής όπως αυτή προκύπτει υπό συνθήκες επίπεδης παραμορφώσεως, η οποία σχετίζεται με αυτή που προκύπτει από δοκιμές τριαξονικής θλίψεως (ϕ_t) με την σχέση :

$$\varphi_{ορθ.} = \left(1,1 - 0,1 \frac{B}{L}\right) \varphi_t$$

Κατά τον προσδιορισμό της φέρουσας ικανότητας του εδάφους.



Εικόνα 3.10: Συντελεστές φέρουσας ικανότητας Meyerhof (1963)

3.4 Γενική εξίσωση φέρουσας ικανότητας

Συνήθως οι θεμελιώσεις έχουν πεπερασμένο μήκος (L) και πλάτος (B) και δέχονται έκκεντρη και κεκλιμένη φόρτιση. Ακόμη ενδέχεται το έδαφος να είναι κεκλιμένο όπως και η επιφάνεια έδρασης της θεμελίωσης. Έτσι η γενική εξίσωση της φέρουσας ικανότητας προκειμένου να ληφθούν υπόψη οι παραπάνω παράγοντες διαμορφώνεται ως εξής:

$$q_u = c N_c s_c i_c b_c g_c d_c + p_o N_q s_q i_q b_q g_q d_q + \frac{1}{2} B \gamma N_\gamma s_\gamma i_\gamma b_\gamma g_\gamma d_\gamma \quad (3.28)$$

όπου :

s_c, s_q, s_γ συντελεστές μορφής της θεμελίωσης

i_c, i_q, i_γ συντελεστές κλίσεις του φορτίου

b_c, b_q, b_γ συντελεστές κλίσης της βάσης της θεμελίωσης

g_c, g_q, g_γ συντελεστές κλίσης της επιφάνειας του εδάφους

d_c, d_q, d_γ συντελεστές βάθους θεμελίωσης

Για τον προσδιορισμό των συντελεστών, s, i, b, g, d έχουν προταθεί αρκετές σχέσεις, οι περισσότερες έχουν προκύψει από αποτελέσματα πειραμάτων. Ορισμένες από τις πιο διαδεδομένες διεθνώς σχέσεις παρουσιάζονται στην συνέχεια.

N_c, N_q, N_γ συντελεστές φέρουσας ικανότητας

B πλάτος θεμελίωσης

p_o επιφόρτιση

γ_2 το φαινόμενο βάρος του εδάφους

c, φ μηχανικές ιδιότητες εδάφους

Οι τιμές p_o, γ_2 , εξαρτώνται από τις συνθήκες στράγγισης και από την στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα.

Οι τιμές c, φ , εξαρτώνται από τις συνθήκες στράγγισης

Σε όλα τα γεωτεχνικά προβλήματα η φόρτιση προκαλεί άμεση μεταβολή των ολικών τάσεων σε κάθε σημείο του εδάφους η μεταβολή του όγκου του εδάφους και των ενεργών τάσεων εξαρτάται από τον ρυθμό επιβολής του φορτίου και την διαπερατότητα k του εδάφους.

3.4.1 Φέρουσα ικανότητα για αστράγγιστη φόρτιση

Όταν η φόρτιση επιβάλλεται γρήγορα και η διαπερατότητα του εδάφους είναι μικρή η εισροή ή η εκροή νερού απαιτεί μεγάλη χρονική διάρκεια. Αρχικά ο όγκος του εδάφους δεν μπορεί να μεταβληθεί, αναπτύσσονται υπερπιέσεις του νερού των πόρων και κατά συνέπεια η μεταβολή των ενεργών τάσεων δεν είναι ίση προς την

μεταβολή των ολικών τάσεων. Οι συνθήκες αυτές στράγγισης ονομάζονται αστράγγιστες. Με την πάροδο του χρόνου, οι υπερπιέσεις εκτονώνονται σταδιακά μέχρι ότου επικρατήσουν πλήρως στραγγισμένες συνθήκες.

Για $\varphi = 0$ οι συντελεστές φέρουσας ικανότητας είναι $N_c = 5,14$, $N_q = 1$ και $N_\gamma = 0$. Έτσι στην περίπτωση αστράγγιστης φόρτισης η γενική εξίσωση γίνεται :

$$q_u = 5,14c_u s_c i_c b_c g_c d_c + p_o s_q i_q b_q g_q d_q \quad (3.29)$$

Στον ευρωκώδικα 7 όλοι οι συντελεστές του δεύτερου όρου λαμβάνονται ίσοι προς την μονάδα .

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως τα ειδικά βάρη που υπεισέρχονται στον υπολογισμό της ολικής επιφόρτισης p_o εξαρτώνται από την στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα (d_w).

Τρεις είναι οι τυπικές περιπτώσεις στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα

1. $d_w > D + B$
2. $D < d_w < D + B$

Στην πρώτη και στην δεύτερη περίπτωση η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα βρίσκεται κάτω από την στάθμη της θεμελίωσης και η επιφόρτιση υπολογίζεται ως εξής :

$$p_o = \gamma_1 D + q \quad (3.30)$$

3. $d_w < D$

Στην Τρίτη περίπτωση η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα βρίσκεται πάνω από την στάθμη της θεμελίωσης και η επιφόρτιση υπολογίζεται ως εξής :

$$p_o = \gamma_1 d_w + \gamma_{sat}(D - d_w) + q \quad (3.31)$$

Όπου :

- γ_1 το φαινόμενο ειδικό βάρος του εδάφους πάνω από την στάθμη θεμελίωσης
- γ_{1sat} είναι το αντίστοιχο κορεσμένο ειδικό βάρος
- q η επιφόρτιση στην επιφάνεια του εδάφους

3.4.2 Φέρουσα ικανότητα για στραγγισμένη φόρτιση

Για ένα πλήρως κορεσμένο έδαφος η μεταβολή του όγκου του είναι ίση προς τον όγκο του νερού που εκρέει ή εισρέει. Όταν ο ρυθμός φόρτισης είναι βραδύς και η διαπερατότητα του εδάφους είναι πολύ μεγάλη η εκροή και η εισροή του νερού γίνεται ανεμπόδιστα, η πίεση του νερού των πόρων δεν μεταβάλλεται και κατά συνέπεια η μεταβολή των ενεργών τάσεων είναι ίση προς την μεταβολή των ολικών

τάσεων. Στην περίπτωση στραγγισμένης φόρτισης ($c = c'$ και $\phi = \phi'$) η γενική εξίσωση γίνεται:

$$q_u = c'N_c s_c i_c b_c g_c d_c + p'_o N_q s_q i_q b_q g_q d_q + \frac{1}{2} B \gamma N_\gamma s_\gamma i_\gamma b_\gamma g_\gamma d_\gamma \quad (3.32)$$

όπου :

c' ενεργός συνοχή του εδάφους

p'_o ενεργός επιφόρτιση

Η τιμή του γ' στον τρίτο όρο της εξίσωσης εξαρτάται από την στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα.

Τρεις είναι οι τυπικές περιπτώσεις στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως

Στην πρώτη περίπτωση της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα για στραγγισμένη φόρτιση έχουμε :

$$1. \quad d_w > D + B$$

Υπολογισμός ενεργού επιφόρτισης :

$$p'_o = \gamma_1 D + q \quad (3.33)$$

Όπου γ_1 είναι το φαινόμενο ειδικό βάρος του εδάφους πάνω από την στάθμη θεμελίωσης.

Θεωρώντας ότι ο υδροφόρος ορίζοντας επηρεάζει την φέρουσα ικανότητα μόνον όταν η στάθμη του βρίσκεται σε βάθος μικρότερο του πλάτους της θεμελίωσης κάτω από την στάθμη έδρασης ($d_w < D + B$), το ειδικό βάρος του εδάφους κάτω από την θεμελίωση είναι ίσο προς το φαινόμενο ειδικό βάρος.

$$\gamma' = \gamma_2 \quad (3.34)$$

$$2. \quad D < d_w < D + B$$

Και στην δεύτερη περίπτωση ο υδροφόρος ορίζοντας βρίσκεται κάτω από την στάθμη της θεμελίωσης άρα η επιφόρτιση υπολογίζεται με τον ίδιο τρόπο με προηγουμένως :

$$p'_o = \gamma_1 D + q \quad (3.35)$$

Αντιθέτως η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα βρίσκεται σε βάθος μικρότερο του πλάτους της θεμελίωσης κάτω από την στάθμη έδρασης ($d_w < D + B$) και επομένως το ειδικό βάρος του εδάφους κάτω από την θεμελίωση είναι ίσο προς το ζυγισμένο μέσο ειδικό βάρος από τη στάθμη θεμελίωσης μέχρι το βάθος $D + B$.

$$\gamma' = \frac{\gamma_2(d_w - D) + (\gamma_{sat} - \gamma_w)(D + B - d_w)}{B} \quad (3.36)$$

Όπου γ_w είναι το ειδικό βάρος του νερού.

3. $d_w < D$

Στην τρίτη περίπτωση όπως φαίνεται η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα βρίσκεται πάνω από την στάθμη της θεμελίωσης έτσι η ενεργώς επιφόρτιση υπολογίζεται ως εξής:

$$p'_o = \gamma_1 d_w + (\gamma_{1sat} - \gamma_w)(D - d_w) + q \quad (3.37)$$

Το ειδικό βάρος του εδάφους κάτω από την στάθμη θεμελίωσης είναι ίσο προς το βυθισμένο ειδικό βάρος

$$\gamma' = \gamma'_2 = \gamma_{2sat} - \gamma_w \quad (3.38)$$

3.5 Μέθοδοι υπολογισμού της φέρουσας ικανότητας με εμπειρικές μεθόδους από επί τόπου δοκιμές

Όπως έχει ήδη αναφερθεί εκτός από τις θεωρητικές μεθόδους υπολογισμού φέρουσας ικανότητας υπάρχει και ο υπολογισμός της μέσω επί τόπου δοκιμών. Ο προσδιορισμός των παραμέτρων του εδάφους μέσω επί τόπου δοκιμών ήταν αναγκαίος καθώς η λήψη αδιατάρακτων εδαφικών δειγμάτων είναι εξαιρετικά δύσκολη κυρίως σε εδάφη μη συνεκτικά.

Πλεονεκτήματα

- Οι δοκιμές εκτελούνται στις επί τόπου συνθήκες.
- Ελάχιστη δυνατή διατάραξη δειγματοληψίας.
- Το προς εξέταση δείγμα είναι μεγαλύτερο και πιο αντιπροσωπευτικό.
- Η εφαρμογή ευρείας αποδοχής εμπειρικών συσχετίσεων δίνει παραμέτρους που οδηγούν σε απευθείας σχεδιασμό των έργων.

Μειονεκτήματα

- Δεν είναι πλήρως ελεγχόμενες οι συνθήκες της δοκιμής.
- Ο έμμεσος προσδιορισμός των παραμέτρων του υλικού.

3.5.1 Πρότυπη μέθοδος διείδυσης (SPT)

Η πιο διαδεδομένη μέθοδος επί τόπου δοκιμών είναι η πρότυπη δοκιμή διείδυσης, η οποία εφαρμόζεται τόσο σε συνεκτικά όσο και σε μη συνεκτικά εδάφη. Σύμφωνα με τις προδιαγραφές της δοκιμής ο διαιρετέος δειγματολήπτης εισέρχεται στο έδαφος κατά 45 cm. Τα πρώτα 15 cm θεωρείται ζώνη διατάραξης, για αυτόν τον λόγο μετράμε τον αριθμό των χτύπων στα τελευταία 30 cm. Οι κρούσεις γίνονται με το αντίβαρο που ζυγίζει περίπου 63,5 kg ($\pm 0,5$ kg) και πέφτει από ύψος περίπου 76 cm πάνω στα στελέχη στα οποία είναι συνδεδεμένος ο δειγματολήπτης. Όταν ο αριθμός N

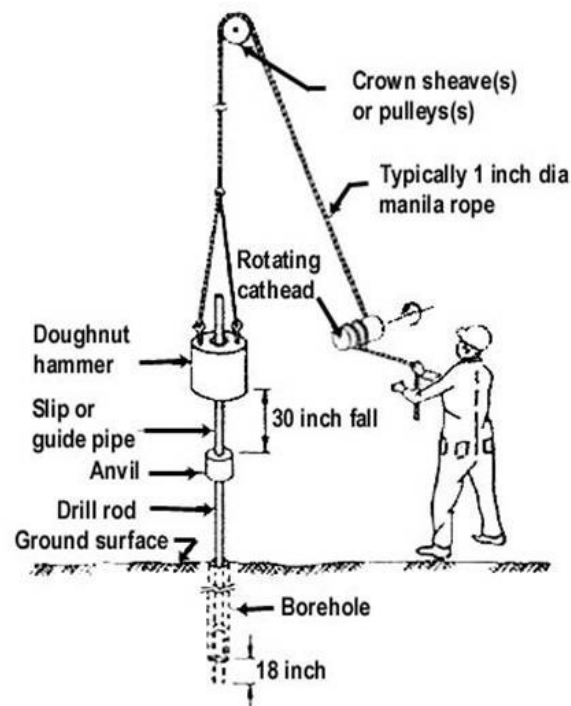
προκύπτει μεγαλύτερος του 50 , σημειώνεται ως «άρνηση» και η δοκιμή μπορεί να τερματιστεί. Διάφοροι ερευνητές όπως οι Terzaghi και Peck (1948) καθώς και οι Peck Hanson και Thornburn (1953 και 1974) και ο Meyerhoff (1956) έχουν προτείνει σχέσεις από τις οποίες είναι δυνατός ο προσδιορισμός των εδαφικών ιδιοτήτων και ο συσχετισμός του αριθμού NSTP και των μηχανικών παραμέτρων (γωνία τριβής ϕ , συνεκτικότητα c)

ΑΜΜΩΔΗ ΕΔΑΦΗ

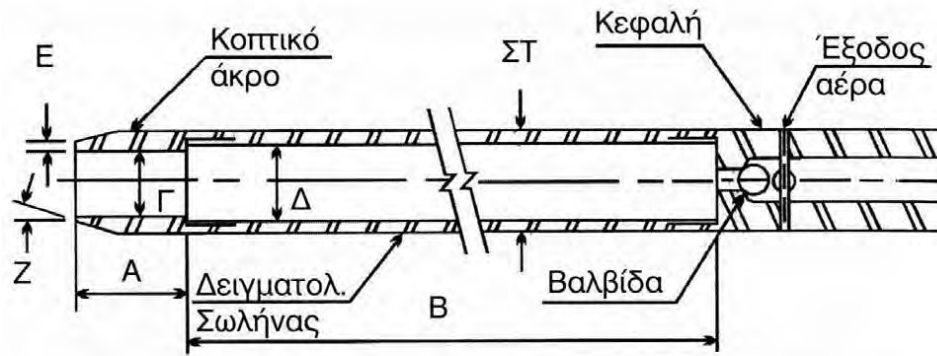
Ο Schmertmann (1975) προτείνει τη χρήση του διαγράμματος της εικόνας 3.14 για την εκτίμηση της γωνίας τριβής ϕ των αμμωδών εδαφών.

Οι Peck- Hanson- Thornburn (1974) δίνουν το διάγραμμα της εικόνας 3.13 για την εκτίμηση της γωνίας τριβής ϕ .

Ο Bowles (1982) δίνει τον Πίνακα 3.2 που συσχετίζει τις ιδιότητες των αμμωδών εδαφών με τον αριθμό NSTP.

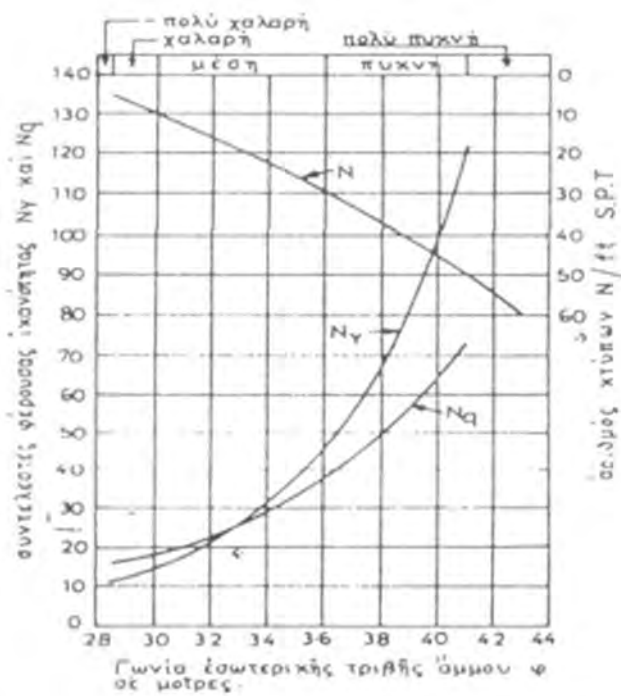


Εικόνα 3.11: Πρότυπη δοκιμή διείδυσης STP

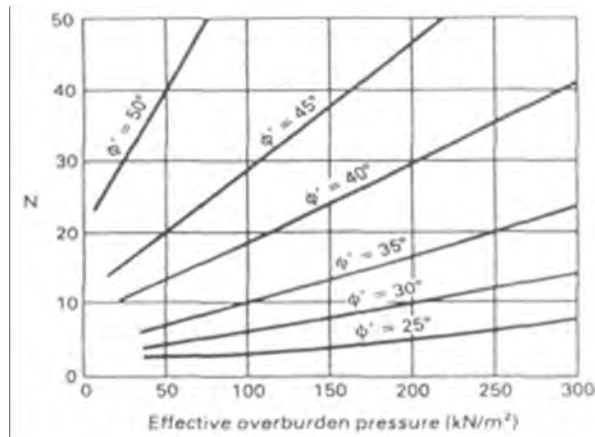


A: 76 mm Γ: 35 mm E: 16 mm Z: 16-23°
 B: 457 mm Δ: 38 mm ΣΤ: 50 mm

Εικόνα 3.12: Διαιρετός δειγματολήπτης Terzaghi



Εικόνα 3.13: Διαγράμματα για την εκτίμηση της γωνίας τριβής φ σε αμμώδη εδάφη με βάση τον αριθμό των χτύπων NSTP (Peck – Hanson – Thornburn 1974)



Εικόνα 3.14: Διαγράμματα για την εκτίμηση της γωνίας τριβής ϕ σε αμμώδη εδάφη με βάση την ενεργό κατακόρυφη γεωστατική τάση (Schmertmann 1975)

Πίνακας 3.3: Εμπειρικοί συσχετισμοί ιδιοτήτων αμμωδών εδαφών (Bowles 1982)

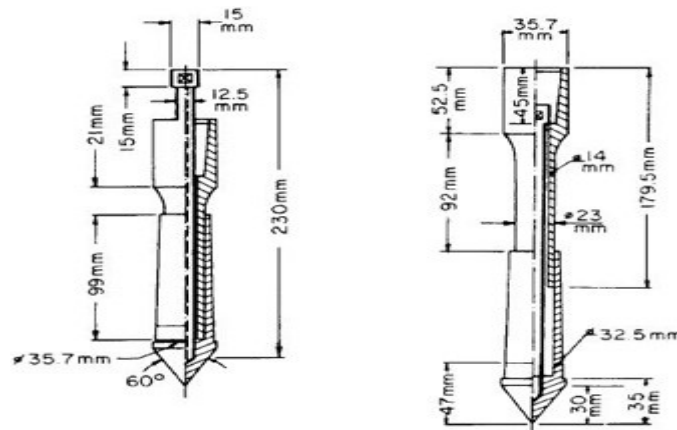
Περιγραφή υλικού	Πολύ χαλαρό	Χαλαρό	Μέσης Πυκνότητας	Πυκνό	Πολύ πυκνό
Σχετική πυκνότητα	0-15	15-35	35-65	65-85	85-100
N_{SPT}	5-10	8-15	10-40	25-70	>35
Γωνία Φ	25-30 ⁰	27-32 ⁰	30-35 ⁰	35-40 ⁰	38-45 ⁰
Φαινόμενο Βάρος (KN/m ³)	12-16	14-18	17-20	17-22	20-23

3.5.2 Μέθοδος στατικής πενετομέτρησης (CTP)

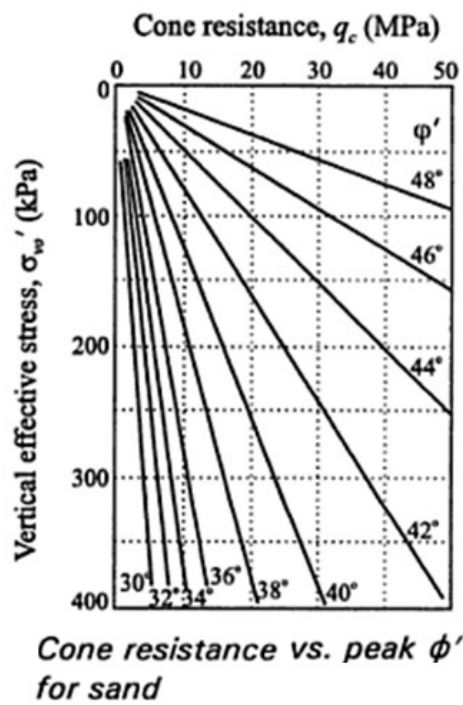
Μία άλλη μέθοδος επί τόπου δοκιμών είναι η στατική πενετρομέτρηση. Ένας μεταλλικός κώνος αιχμής 10 cm² (με γωνία 60°) μαζί με ένα κυλινδρικό στέλεχος (στέλεχος τριβής) προωθούνται στο έδαφος με σταθερή ταχύτητα $v = 20 \pm 5$ mm/s. (EN /ISO 24476 -12). Κατά την προώθηση του μετρείται η αντοχή σε διείσδυση της αιχμής του κώνου. Μετρείται επίσης η πίεση πόρων (εφόσον υπάρχει πιεσόμετρο στην περιοχή αιχμής του κώνου). Διάφοροι ερευνητές όπως οι Robertson – Campanella (1983) , Broms (1968), Meyerhoff (1976), EN 1997-2 (2007) και DIN 4094 -1 (2002) ,έχουν προτείνει σχέσεις από τις οποίες είναι δυνατός ο συσχετισμός της τιμής q_c και των μηχανικών παραμέτρων (γωνία τριβής ϕ')

Στην περίπτωση πυριτικών άμμων οι Robertson – Campanella (1983) συνιστούν τις τιμές του διαγράμματος της εικόνας 3.16

Μια σύνοψη διαφόρων αποτελεσμάτων συσχέτισης της γωνίας ϕ' με την αντίσταση αιχμής κώνου δίνεται από τον Broms (1986) στο διάγραμμα της εικόνας 3.17



Εικόνα 3.15: Σχηματική απεικόνιση μηχανικού κώνου.



Εικόνα 3.16: Συσχετίσεις σ'_{vo} , q_c , ϕ' (Robertson – Campanella 1983)

3.6 Πίνακες επιτρεπόμενων τάσεων

Στην περίπτωση που δεν υπάρχουν γεωτεχνικές πληροφορίες οι μέθοδοι που αναφέρθηκαν στις προηγούμενες παραγράφους για τον υπολογισμό της φέρουσας ικανότητας είναι ανεφάρμοστες. Στην περίπτωση αυτή το πρόβλημα αντιμετωπίζεται με τους εξής τρόπους (Αναγνωστόπουλος, 1994):

- Με τη χρήση τιμών επιτρεπόμενων τάσεων, που έχουν αποδειχτεί ασφαλείς για παρόμοια έργα στην περιοχή και τις οποίες εύκολα μπορεί κανείς να πληροφορηθεί.
- Με τη χρήση τιμών επιτρεπόμενων τάσεων από σχετικούς πίνακες, όπως είναι ο Πίνακας 3.3 και ο πίνακας 3.4

Οι πίνακες είναι ενδεικτικοί και δεν αντικαθιστούν τη γεωτεχνική έρευνα ή την προϋπάρχουσα εμπειρία. Θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν μόνο στο στάδιο της προκαταρκτικής μελέτης ή ως συμπληρωματικά της γεωτεχνικής έρευνας και της προϋπάρχουσας εμπειρίας.

Πίνακας 3.4: Ενδεικτικές τιμές επιτρεπόμενων τάσεων κατά τους Βρετανικούς κανονισμούς (Craig, BS 8004:1986)

Ενδεικτικές τιμές επιτρεπόμενων τάσεων κατά τους Βρετανικούς Κανονισμούς (Craig, BS 8004:1986)	
Τύπος εδάφους	Επιτρεπόμενη τάση(σε kPa)
Πυκνό χαλίκι ή αμμοχάλικο	≥600
Χαλίκι ή αμμοχάλικο μέσης πυκνότητας	200-600
Χαλίκι ή αμμοχάλικο χαλαρό	≤200
Πυκνή άμμος	≥300
Άμμος μέσης πυκνότητας	100-300
Χαλαρή άμμος	≤100
Πολύ σκληρή άργιλος	300-600
Στιφρή άργιλος	150-300
Μέσης συνεκτικότητας άργιλος	75-150
Μαλακές άργιλοι και ιλύες	≤75
Πολύ μαλακές άργιλοι και ιλύες	—

Πίνακας 3.5: Ενδεικτικές τιμές επιτρεπόμενων τάσεων (Bowles 1988).

Ενδεικτικές τιμές επιτρεπόμενων τάσεων (σε kPa) κατά διαφόρους Αμερικανικούς Κανονισμούς (πηγή Bowles 1988)					
Περιγραφή εδάφους	Chicago 1986	National Board 1976	Atlanta 1973	BOC 1984	Uniform Building Code 197
Άργιλος πολύ μαλακή	25				
Μαλακή	75	100	50	150	100
Μέση	125				
Λίγο σκληρή	175	100	100		100
Στιφρή	225		150	200	
Σκληρή	300				200
Άμμος πυκνή	250	150-400	300	600	
Πυκνή με ιλύ	150	150-400			
Ανόργανη πυκνή ιλύς	125	150-400			
Χαλαρή λεπτή άμμος		150-400		200	225
Χαλαρή χονδρόκοκκη άμμος		150-400		400	300
Άμμος λεπτή και πυκνή		150-400		400	300
Αμμοχάλικο		150-400		400	300
Πυκνή χονδρόκοκκη άμμος	300	150-400		400	300
Χαλαρό αμμοχάλικο	300	150-400		400	300
Πυκνό αμμοχάλικο		150-400	400	600	300
Σιμεντοποιημένη άμμος	600	1000		1000	

3.7 Παράγοντες που επηρεάζουν την φέρουσα ικανότητα.

3.7.1 Μορφή και διαστάσεις θεμελίου

Όπως ήδη έχει αναφερθεί η επίλυση της φέρουσας ικανότητας για μορφή πεδίου διάφορη της θεμελιολωρίδας είναι αρκετά δύσκολη. Από αναλύσεις με προσεγγιστικό τρόπο αποτελεσμάτων από δοκιμές φόρτισης σε θεμέλια διάφορων μορφών, δίδονται από πολλούς ερευνητές διαφορετικές τιμές των συντελεστών s_c , s_q , s_γ . Παρ' όλο που οι συντελεστές αυτοί εξαρτώνται και από την γωνία τριβής και από άλλους παράγοντες από πολλούς ερευνητές για λόγους απλοποίησης θεωρείται ότι εξαρτώνται μόνο από την γεωμετρία του πεδίου.

Εκτός από την μορφή του θεμελίου ένας άλλος παράγοντας που επηρεάζει τη φέρουσα ικανότητα σε μία επιφανειακή θεμελίωση είναι οι απόλυτες τιμές των διαστάσεων του πεδίου. Έχει αποδειχθεί μέσω αποτελεσμάτων ερευνών (De BEER 1965, Vesic 1964, Kerisel 1967), ότι η μέση διατμητική αντοχή μιας επιφανειακής θεμελίωσης που αναπτύσσεται κατά της επιφάνειας θραύσεως ελαττώνεται με την αύξηση των διαστάσεων του πεδίου. Έτσι είναι αποδεκτό ότι με την αύξηση των διαστάσεων του πεδίου αναμένεται μείωση των τιμών των συντελεστών της φέρουσας ικανότητας.

3.7.2 Εκκεντρότητα και κλίση της φορτίσεως

Όπως έχει ήδη αναφερθεί η επίλυση της εξίσωσης της φέρουσας ικανότητας διαφοροποιείται στην περίπτωση που η φόρτιση είναι έκκεντρη και κεκλιμένη, πράγμα που συμβαίνει τις περισσότερες φορές στην πραγματικότητα. Το πρόβλημα περιπλέκεται από την ύπαρξη της οριζόντιας δύναμης P του θεμελίου. Έτσι αστοχία μπορεί να συμβεί είτε λόγω ολίσθησης είτε λόγω γενικής θραύσης. Η σύνδεση της οριζόντιας συνιστώσας Q με την κατακόρυφη συνιστώσα V γίνεται ως εξής :

$$P = Q_u \epsilon \phi \varphi + A' c_A \quad (3.39)$$

Όπου c_A , ϕ : συνιστώσες συνάφειας μεταξύ εδάφους και πεδίου
 A' : ενεργός επιφάνεια του πεδίου

$$A' = B'L' \Leftrightarrow A' = (B - 2e)(L - 2e) \quad (3.40)$$

Ο υπολογισμός του οριακού φορτίου Q_u που προκαλεί την οριακή θραύση υπολογίζεται με παρεμφερή τρόπο με αυτόν που υπολογίζεται η κεντρική φόρτιση αλλά με πολυπλοκότερους υπολογισμούς όπως παρουσιάστηκε ανωτέρω με διαφορετικούς συντελεστές οι οποίοι εξαρτώνται από τον τρόπο επίλυσης που επιλέγει ο κάθε ερευνητής, με προσθήκη συντελεστών κλίσεως i_c , i_q , i_γ . Το ιδεατό πλάτος B' εξασφαλίζει ότι δεν υπάρχει κίνδυνος θραύσης λόγω της εκκεντρότητας, για να αποφευχθεί το ανασήκωμα το θεμελίου. Η επιτρεπτή εκκεντρότητα δεν ξεπερνά το $1/6$ του πλάτους του θεμελίου. Συνεπώς επιτρεπτή εκκεντρότητα : $e \leq \frac{B}{6}$

3.7.3 Επίδραση γεωτεχνικών συνθηκών του υπεδάφους

Η διατμητική αντοχή καθώς και η συμπιεστότητα και άλλοι γεωτεχνικοί παράγοντες όπως είναι η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα, η ανομοιογένεια επηρεάζουν την φέρουσα ικανότητα των επιφανειακών θεμελιώσεων. Για τον λόγο αυτό οι διάφοροι γεωτεχνικοί παράγοντες εισέρχονται μέσω ημιεμπειρικών τύπων στους υπολογισμούς των συντελεστών της φέρουσας ικανότητας.

3.7.4 Διατμητική αντοχή των υπερκείμενων της στάθμης θεμελίωσης εδαφών

Κατά τον υπολογισμό της φέρουσας ικανότητας οι διάφοροι ερευνητές μεταξύ τους αντιμετωπίζουν το θέμα έχοντας πραγματοποιηθεί διαφορετικές παραδοχές. Κατά Terzaghi και Prandl για παράδειγμα η διατμητική αντοχή των υπερκείμενων της στάθμης θεμελίωσης εδαφών αγνοείται κατά τους υπολογισμούς. Η παραδοχή αυτή δεν άφορα μόνο την απλοποίηση των οριακών συνθηκών του προβλήματος αλλά και στο γεγονός ότι οι ανώτερες εδαφικές στρώσεις είναι πολλές φορές ασθενέστερες από τις κατώτερες εδαφικές στρώσεις. Υπάρχουν και άλλοι ερευνητές όπως Meyerhof (1951), Skempton (1951), Brinch Hansen (1961), συνυπολογίζουν την συμβολή της διατμητικής αντοχής των υπερκείμενων γαιών. Κατά Vesic (1975) δεν συνιστάτε η συνεκτίμηση της διατμητικής αντοχής των υπερκείμενων της στάθμης θεμελίωσης εδαφών.

3.7.5 Επίρροή της συμπιεστότητας στη φέρουσα ικανότητα

Μία ολοκληρωμένη εκτίμηση της επιδράσεως της συμπιεστότητας στην φέρουσα ικανότητα του εδάφους σε μια επιφανειακή θεμελίωση θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει τόσο τις διαστάσεις του θεμελίου όσο και την ρεαλιστική συμπεριφορά του εδάφους. Όπως έχει ήδη αναφερθεί κατά την επίλυση της φέρουσας ικανότητας με την μέθοδο Terzaghi (1943) βασική παραδοχή αποτελεί ότι το έδαφος συμπεριφέρεται ως πλήρως πλαστικό υλικό, που είναι πρακτικά ασυμπίεστο. Ο Terzaghi και Peck ικανότητα (1948) προσέγγισαν το πρόβλημα εμπειρικά για την περίπτωση μαλακών η χαλαρών εδαφών.

Σε περίπτωση που το έδαφος θεμελίωσης είναι χαλαρό και αναμένονται φαινόμενα τοπικής θραύσης κάτω από το θεμέλιο, εάν αυτό φορτιστεί με υψηλό φορτίο, συνίσταται να γίνεται η διόρθωση:

$$c^* = \frac{2}{3}c \quad (3.41)$$

$$\varphi^* = \text{τοξε}\varphi \left\{ \frac{2}{3} \times \varepsilon\varphi\varphi \right\} \quad (3.42)$$

Για μικρές τιμές της γωνίας φ , μπορεί να ληφθεί κατά προσέγγιση ,

$$\varphi^* = \frac{2}{3}\varphi \quad (3.43)$$

και να εφαρμόζονται οι γενικές σχέσεις για ϕ' και c' για τα αμμώδη εδάφη, η περίπτωση τοπικής ή γενικής θραύσης μπορεί να ανιχνευτεί με τη χρήση του σχήματος που παρουσιάστηκε στην εικόνα 3.5. Παρόλα αυτά τέτοιες παραδοχές δεν δίνουν πάντα ασφαλείς λύσεις. Αυτό γιατί δεν λαμβάνουν υπόψιν τους τυχόν προβλήματα κλίμακος.

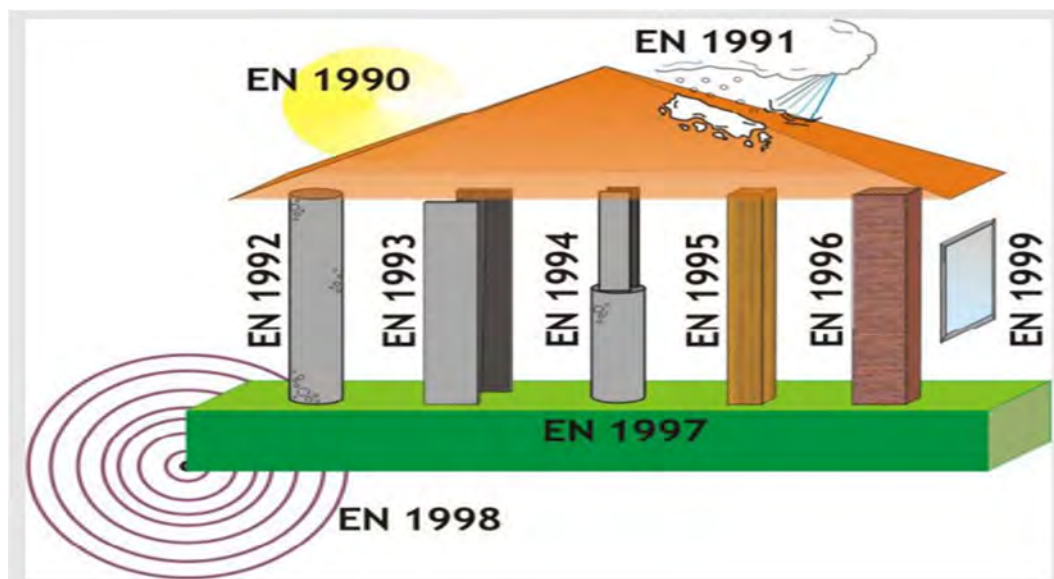
3.7.6 Επιρροή της στάθμης των υπογείων υδάτων στην φέρουσα ικανότητα

Η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα είναι ένας πάρα πολύ σπουδαίος γεωτεχνικός παράγοντας που επηρεάζει τον υπολογισμό της φέρουσας ικανότητας. Αρχικά η στάθμη των υπόγειων υδάτων επηρεάζει την ενεργό πίεση εκ των γαιών αλλά μπορεί να επηρεάσει εξίσου τις γεωμετρικές παραμέτρους αντοχής του υπεδάφους. Ο τρίτος όρος του τριώνυμου τύπου επίλυσης της φέρουσας ικανότητας είναι άμεσα συνδεδεμένο με το ενεργό φαινόμενο βάρος των γαιών κάτω από την στάθμη θεμελιώσεως.

4 Ευρωκώδικας 7 (EC7)

4.1 Ανάγκη χρήσης του Ευρωκώδικα 7 (EC-7)

Μια επιτακτική ανάγκη ήταν η δημιουργία ενός ενοποιημένου τρόπου αντιμετώπισης των προβλημάτων του πολιτικού μηχανικού. Για τον λόγο αυτόν η ευρωπαϊκή επιτροπή τυποποίησης (CEN) ανέπτυξε το σύστημα των δομικών Ευρωκωδίκων. Από το 1829 η CEN ανέλαβε την προετοιμασία και την έκδοση των Ευρωκωδίκων που στην συνέχεια θα θεσπιζόνταν σαν ευρωπαϊκά πρότυπα.



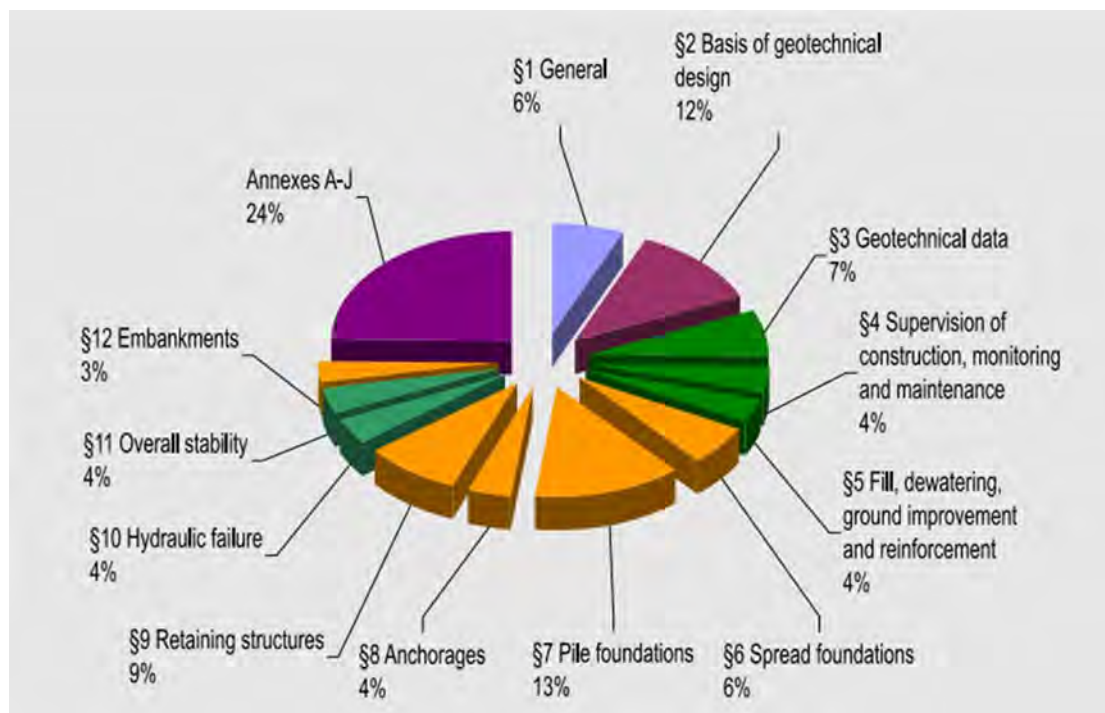
Εικόνα 4.1 :Ευρωκώδικες (Bond and Harris, 2008)

Μέχρι στιγμής έχουν θεσπιστεί 10 ευρωπαϊκά πρότυπα :

- Ευρωκώδικας 0 (EN–1990): Σχεδιασμός κατασκευών από Ω.Σ.
- Ευρωκώδικας 1 (EN–1991): Βάση μελέτης και δράσεων στις κατασκευές
- Ευρωκώδικας 2 (EN–1992): Σχεδιασμός κατασκευών από σκυρόδεμα
- Ευρωκώδικας 3 (EN–1993): Σχεδιασμός μεταλλικών κατασκευών
- Ευρωκώδικας 4 (EN–1994): Σχεδιασμός σύμμεικτων κατασκευών
- Ευρωκώδικας 5 (EN–1995): Σχεδιασμός ξύλινων κατασκευών
- Ευρωκώδικας 6 (EN–1996): Κατασκευές από τοιχοποιία
- **Ευρωκώδικας 7 (EN–1997): Γεωτεχνικός σχεδιασμός**
- Ευρωκώδικας 8 (EN–1998): Αντισεισμικός σχεδιασμός κατασκευών
- Ευρωκώδικας 9 (EN–1999): Σχεδιασμός κατασκευών από αλουμίνιο

Ο Ευρωκώδικας 7 (EN 1997-Μέρος 1 και μέρος 2) αφορά τον γεωτεχνικό σχεδιασμό και δίνει έναν ενιαίο τρόπο μελέτης των γεωτεχνικών έργων στην ευρωπαϊκή ένωση. Περιέχει τις γενικές αρχές και κανόνες εφαρμογής για διάφορα προβλήματα γεωτεχνικής μηχανικής. Ακόμη περιέχεται ο σχεδιασμός και η παρακολούθηση του έργου π.χ. των θεμελιώσεων. Παρόλα αυτά ο Ευρωκώδικας 7 (EC7) περιλαμβάνει μόνον αρχές οι οποίες μπορούν να εφαρμοστούν για όλες τις μεθόδους

υπολογισμού. Τέλος εξασφαλίζει την ασφάλεια του έργου κατά την διάρκεια της κατασκευής του αλλά και κατά την διάρκεια της λειτουργίας του. Η εισαγωγή του Ευρωκώδικα 7 (EC7) σηματοδότησε την μετάβαση από τις παραδοσιακές φιλοσοφίες σχεδιασμού στις οριακές καταστάσεις σχεδιασμού. Ο Ευρωκώδικας 7 (EC7) αποτελεί την πιο αξιόπιστη και κοινώς αποδεκτή μέθοδο σχεδιασμού.



Εικόνα 4.2: Περιεχόμενα Ευρωκώδικα 7 (Bond and Harris,2008)

4.2 Στάδια θέσπισης του Ευρωκώδικα 7 – Προσαρμογή Ελλάδος στον Ευρωκώδικα 7

Όπως ήδη προαναφέρθηκε ανατέθηκε στην CEN η δημιουργία ευρωπαϊκών πρότυπων, έτσι ανατέθηκε σε αυτήν και η δημιουργία του Ευρωκώδικα 7 (EC7) για τον σχεδιασμό των γεωτεχνικών έργων, μαζί με την δημιουργία και τον υπόλοιπων Ευρωκωδίκων το 1990. Έτσι δημιουργήθηκε η τεχνική επιτροπή 250 (CEN/TC 250) και συγκεκριμένα η υποεπιτροπή (CEN /TC 250/SC7) που ανέλαβε την δημιουργία του Ευρωκώδικα 7 (EC7).

Τον Οκτώβριο του 1994 δημοσιεύθηκε από την CEN το μέρος 1 ως δοκιμαστικό πρότυπο (προ-πρότυπο) (pre-standard). Στην συνέχεια το 1997 σηματοδοτεί ένα σημαντικό ορόσημο για την έκδοση του πρώτου μέρους του Ευρωκώδικα 7 (EC7), καθώς αναγνωρίζεται η ιδιαιτερότητα των γεωτεχνικών έργων στις διάφορες χώρες της ευρωπαϊκής ένωσης. Η ιδιαιτερότητα αυτή αφορά τους διαφορετικούς τύπους εδαφών της κάθε χώρας αλλά και της «τοπικής παράδοσης». Για τον λόγω αυτόν έγινε δεκτό ο Ευρωκώδικας 7- μέρος 1 (EC7-1) να περιλαμβάνει μόνο βασικούς κανόνες και αρχές γεωτεχνικού σχεδιασμού και να συμπληρώνεται από εθνικά προσαρτήματα όταν αυτό κρίνεται απαραίτητο. Το 2002 δημοσιεύθηκε ο προ-κανονισμός (pre-EN 1997-1). Ενώ η τελική έκδοση του μέρους 1 του Ευρωκώδικα 7 (EC7) έγινε στις 24/11/ 2004.

Η προσαρμογή της Ελλάδος στον Ευρωκώδικα 7- μέρος 1 (EC7-1) ολοκληρώθηκε τον Μάρτιο 2010. Αρχικά υπήρξε μία διετής περίοδος (2005- 2006) εθνικής βαθμονόμησης. Σε αυτήν την περίοδο πραγματοποιήθηκε η μετάφραση του κειμένου στα ελληνικά (Ιανουάριος 2006- μέσω ΟΑΣΠ), η δοκιμαστική εφαρμογή, αλλά και η συγγραφή του εθνικού προσαρτήματος (national annex). Στην συνέχεια ακολούθησε τριετής περίοδος συνύπαρξης (2007-2009) του Ευρωκώδικα 7-μέρος 1 (EC7-1) με τους εθνικούς κανονισμούς (Ε.Κ.) και τέλος η υποχρεωτική εφαρμογή του και κατάργηση των παλιών εθνικών κανονισμών από τις 31 Μαρτίου το 2010.

Όσον αφορά την συγγραφή του εθνικού προσαρτήματος (ΠΡΟΣΥ) εκδόθηκε στην εφημερίδα της κυβερνήσεως στο τεύχος δεύτερο με αριθμό φύλλου 2692 στις 31 Δεκεμβρίου του 2008 και περιλαμβάνει :

- Την επιλογή του εθνικού τρόπου ανάλυσης (design approach).
- Την επιλογή του επιθυμητού βαθμού ασφαλείας του έργου.
- Κατάλογο των συμβατών κειμένων υποστήριξης.

Όσον αφορά το δεύτερο μέρος του Ευρωκώδικα 7 (EC7) το 1999 δημοσιεύετε το προ-πρότυπο, στην συνέχεια το Νοέμβριο του 2004 ο προ-κανονισμός και στις 12 Ιουνίου το 2006 ψηφίζεται και δημοσιεύεται ο κανονισμός Ευρωκώδικας 7-μέρος 2 (EC7 – 2).

4.3 Κώδικες με τους οποίους συνδέεται ο Ευρωκώδικας 7

Ο Ευρωκώδικας 7 (EC7) προορίζεται να χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με τον :

- EN 1990: 2002 ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑΣ 0: «Αρχές σχεδιασμού του φέροντος οργανισμού » .

Το EN του 1990:2002 καθορίζει τις αρχές και απαιτήσεις ασφαλείας και λειτουργικότητας, περιγράφει τις αρχές σχεδιασμού και επαλήθευσης και δίνει κατευθυντήριες οδηγίες για θέματα που αφορούν στην αξιοπιστία των έργων .

- EN 1998 ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑΣ 8 : «Αντισεισμικός σχεδιασμός » .

Το EN του 1998 παρέχει πρόσθετους κανόνες γεωτεχνικού αντισεισμικού σχεδιασμού.

- EN 1991 ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑΣ 1 : «Δράσεις επί τον φορέων » .

Όμως εκτός από την T250/SC7 υπήρχαν και άλλες τεχνικές επιτροπές (TC) της CEN που έχουν σχέση με τον ευρωκώδικα 7, όπως :

- CEN/TC 341: « Γεωτεχνικές έρευνες και δοκιμές »
- CEN/TC 288 : « Εκτέλεση ειδικών γεωτεχνικών έργων »
- CEN/TC 189 : « Γεωφάσματα και συναφή προϊόντα »
- CEN/TC 287 : « Υλικά οδοποιίας »
- CEN/TC WG 203 : « Εδαφοκατασκευές »

4.4 Βασικές αρχές Ευρωκώδικα

Ο Ευρωκώδικας 7 (EC7) δεν αποτελεί ένα εγχειρίδιο σχεδιασμού αλλά ένα πλαίσιο κανόνων για την εναρμόνιση των έργων σχεδιασμού στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Ο Ευρωκώδικας αυτός περιλαμβάνει άρθρα τα οποία χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, τις αρχές (principles) αλλά και τους κανόνες εφαρμογής (application rules). Καλύπτει επίσης την εκτέλεση και τον έλεγχο των κατασκευών, ως προς το σκέλος ότι οι κατασκευές είναι σύμφωνες προς τις παραδοχές των κανόνων σχεδιασμού που περιέχει. Τέσσερις είναι οι κύριες απαιτήσεις που θα πρέπει να καλύπτει ένας Κώδικας Γεωτεχνικής Μηχανικής κατά το σχεδιασμό ενός «συνήθους γεωτεχνικού έργου»:

1. Εκτίμηση των φορτίων και επιλογή των αντιπροσωπευτικών τους τιμών
2. Επιλογή αντιπροσωπευτικών τιμών των εδαφικών παραμέτρων
3. Επιλογή μιας αποδεκτής μεθόδου αναλύσεως του προβλήματος
4. Επιλογή του αποδεκτού βαθμού ασφαλείας.

Παρόλο που ο Ευρωκώδικας 7 (EC7) βασίζεται στη μεθοδολογία των οριακών καταστάσεων η οποία περιλαμβάνει υπολογισμούς με τη χρήση επί μέρους συντελεστών για τις τιμές σχεδιασμού των δράσεων και των ιδιοτήτων του εδαφικού υλικού, δεν περιλαμβάνει τα αναλυτικά προσομοιώματα που πρέπει να χρησιμοποιούνται στους υπολογισμούς (σε αντίθεση με τους λοιπούς Ευρωκώδικες). Ο EC7 περιλαμβάνει μόνο τις ανισότητες οι οποίες θα πρέπει να ικανοποιούνται κατά τους ελέγχους επάρκειας έναντι των οριακών καταστάσεων. Τα μοναδικά αναλυτικά προσομοιώματα του Ευρωκώδικα 7 (EC7) παρουσιάζονται στα παραρτήματα του (π.χ. μέθοδος υπολογισμού φέρουσας ικανότητας θεμελίωσης), τα οποία λειτουργούν σαν υποδείξεις και δεν είναι υποχρεωτικά. Έτσι συμπεραίνω, ότι ο Ευρωκώδικας μας προσφέρει ένα σύστημα ελέγχων, το οποίο πρέπει να τηρείτε σύμφωνα με τις αρχές του.

Βασικοί Ορισμοί

Φορέας: οργανωμένος συνδυασμός συνδεδεμένων τμημάτων, ο οποίος περιλαμβάνει και τα επιχώματα που κατασκευάζονται κατά την εκτέλεση των εργασιών κατασκευής και σχεδιάζεται με σκοπό να αναλαμβάνει φορτία και να παρέχει επαρκή ακαμψία. (EN 1990:2002)

Δράσεις (F): Φορτία – μετακινήσεις – επιταχύνσεις που επιβάλλονται στην κατασκευή ή το έδαφος (EN 1991).

Ανάλογα με ορισμένα κριτήρια οι δράσεις μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως εξής:

Με βάση την χρονική τους διακύμανση:

- Μόνιμες δράσεις (G): ιδίον βάρος φορέα, σταθερός εξοπλισμός και οδοστρωσία έμμεσες δράσεις από συστολή ξήρανση και διαφορικές καθιζήσεις ωθήσεις γαιών και νερού, προ ένταση.
- Μεταβλητές δράσεις (Q): επιβαλλόμενα φορτία σε στέγες δοκάρια πατώματα, δράσεις ανέμου, φορτία χιονιού και έμμεσες δράσεις λόγω θερμοκρασιακών μεταβολών.

- Τυχηματικές δράσεις (A): εκρήξεις, πρόσκρουση οχήματος και εκδήλωση πυρκαγιάς.

Ανάλογα με την τοποθεσία οι σεισμικές δυνάμεις και τα φορτία των ανέμων μπορούν να θεωρούνται τυχηματικές η και μεταβλητές δράσεις. Ακόμη οι δράσεις που προκαλούνται από το νερό μπορούν να θεωρούνται αντίστοιχα ή μόνιμες ή μεταβλητές ανάλογά με τις διακυμάνσεις τους στο χρόνο.

Με βάση την προέλευση τους

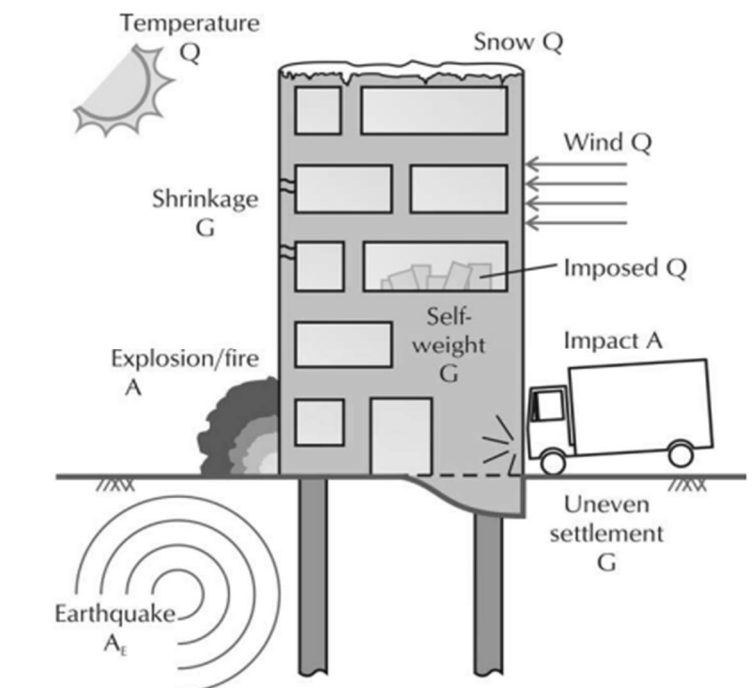
- Άμεσες
- Έμμεσες

Με βάση την χωρική τους διακύμανση :

- Σταθερές
- Ελεύθερες

Με βάση την φύση τους και την απόκριση της φέρουσας κατασκευής σε αυτές:

- Στατικές
- Δυναμικές



Εικόνα 4.3: Σχηματική απεικόνιση των διαφόρων δράσεων (Bond & Harris , 2008)

Πίνακας 4.1: Κατάταξη δράσεων.

Δράση	Κατάταξη			
	Χρονική μεταβολή	Προέλευση	Χωρική μεταβολή	Φύση
Ιδίο βάρος	Μόνιμη	Άμεση	Σταθερή με ανοχές /Ελεύθερη	Στατική
Μετακίνηση εδάφους	Μόνιμη	Έμμεση	Ελεύθερη	Στατική
Ωθήσεις γαιών	Μόνιμη/Μεταβλητή	Άμεση	Σταθερή	Στατική
Προένταση	Μόνιμη/Μεταβλητή	Άμεση	Σταθερή	Στατική
Θερμοκρασία	Μεταβλητή	Έμμεση	Ελεύθερη	Στατική
Δράσεις ανέμου	Μεταβλητή/Τυχηματική	Άμεση	Σταθερή/Ελεύθερη	Στατική/Δυναμική
Φορτία χιονιού	Μεταβλητή/Τυχηματική	Άμεση	Σταθερή/Ελεύθερη	Στατική/Δυναμική
Φορτία πάγων	Μεταβλητή	Άμεση	Ελεύθερη	Στατική/Δυναμική
Σεισμική	Μεταβλητή/Τυχηματική	Άμεση	Ελεύθερη	Δυναμική

Γεωτεχνικές Δράσεις (G): Δράσεις που προέρχονται από το έδαφος (εφαρμόζεται σε ειδικά φορτία, π.χ. ωθήσεις γαιών) (EN 1997-1).

Εδαφικές Ιδιότητες (X): Γεωτεχνικές ιδιότητες (π.χ. συνοχή: c , γωνία διατμητικής αντοχής: ϕ , μέτρο ελαστικότητας: E , ειδικό βάρος: γ).

Αντιστάσεις (R): Η ανθιστάμενη ένταση λόγω της επιβολής των δράσεων.

Αποτελέσματα Δράσεων, εντάσεις (E): Η συνισταμένη ένταση λόγω της επιβολής των δράσεων F & G (καμπτική ροπή, τέμνουσα).

Χαρακτηριστικές τιμές δράσεων (F_k), γεωτεχνικών δράσεων (G_k) και εδαφικών παραμέτρων (X_k): μια συντηρητική εκτίμηση της μέσης τιμής τους (προκύπτουν σύμφωνα με το EN 1990:2002 και τα διάφορα μέρη του EN 1991).

Αντιπροσωπευτικές τιμές των δράσεων (F_{rep}): αποκτώνται με την εφαρμογή κατάλληλων συντελεστών (συνδυασμού/συμμετοχής) στις χαρακτηριστικές τιμές (F_k),

ακολουθώντας τους κανόνες που δοθήκαν από τους EN 1990 και EN 1991. Η αντιπροσωπευτική τιμή μια γενικευμένης δράσης δίνεται από τον τύπο :

$$F_{rep} = \psi F_k$$

Όπου ψ είναι ένας συντελεστής συνδυασμού ή συντελεστής συμμετοχής (combination factor), μικρότερος ή ίσος του 1.0

Τιμές σχεδιασμού δράσεων (F_d), γεωτεχνικών δράσεων (G_d), εδαφικών

παραμέτρων (X_d), αποτελεσμάτων δράσεων (E_d): προκύπτουν με την

εφαρμογή των επιμέρους συντελεστών στις χαρακτηριστικές τιμές. (προσδιορίζονται σύμφωνα με τον EN 1990:2002).

$$F_d = \gamma_F F_{rep} \quad \text{όπου : } F_{rep} = \psi F_k$$

Επιμέρους συντελεστές δράσεων ($\gamma_F \geq 1$), εδαφικών παραμέτρων ($\gamma_M \geq 1$),

αποτελεσμάτων δράσεων (γ_E , συνήθως $\gamma_E = \gamma_F$) και αντιστάσεων ($\gamma_R > 1$)

Συντελεστής συνδυασμού δράσεων ($\psi \leq 1$)

γ_F : επιμέρους συντελεστής προσαύξησης των δράσεων,

γ_M : επιμέρους συντελεστής απομείωσης των εδαφικών παραμέτρων,

γ_E : επιμέρους συντελεστής επί της χαρακτηριστικής τιμής της έντασης.

ΣΗΜΕΙΩΣΗ 1 : Οι τιμές των επιμέρους συντελεστών μπορεί να ορίζονται στο Εθνικό Παράρτημα (ΠΡΟΣΥ)

ΣΗΜΕΙΩΣΗ 2: Οι προτεινόμενες τιμές του παραρτήματος Α υποδεικνύουν το κατάλληλο επίπεδο ασφαλείας για συνήθεις μελέτες.

4.5 Χαρακτηριστικές τιμές και τιμές σχεδιασμού των δράσεων και των εδαφικών ιδιοτήτων

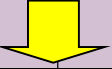
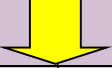
Στο εδάφιο 2.4.5 του Ευρωκώδικα 7- μέρος 1 (EC7-1) αναφέρονται τα περί χαρακτηριστικών ιδιοτήτων των δράσεων και των εδαφικών παραμέτρων. Κατά τους ελέγχους των έργων έναντι των οριακών καταστάσεων, τα μεγέθη των δράσεων (actions), F , και των εδαφικών ιδιοτήτων (material properties), X , υπεισέρχονται στους υπολογισμούς με τις λεγόμενες τιμές σχεδιασμού (design values). Οι τιμές σχεδιασμού των δράσεων (F_d) και των ιδιοτήτων των υλικών (X_d) υπολογίζονται από τις αντίστοιχες χαρακτηριστικές τιμές (characteristic values), F_k , X_k όπως έχει ήδη αναφερθεί. Οι επιμέρους συντελεστές δράσεων και εδαφικών παραμέτρων δεν αποσκοπούν να περιλάβουν τον βαθμό αβεβαιότητας (ή πιθανό σφάλμα) κατά τον προσδιορισμό των αντιστοίχων παραμέτρων, γιατί τούτο έχει ήδη ληφθεί υπ' όψη κατά τον υπολογισμό των χαρακτηριστικών τιμών. Αντίθετα, οι επιμέρους συντελεστές περιλαμβάνουν:

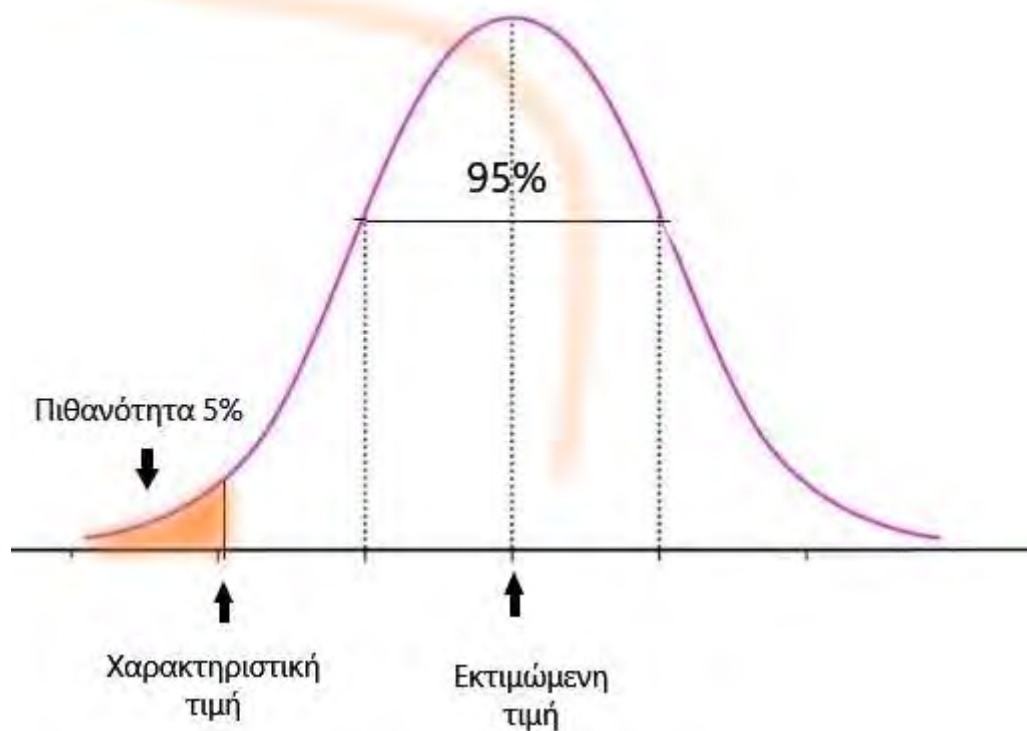
α) Ένα μέσο πιθανό σφάλμα που εισάγεται λόγω της αναλυτικής προσομοίωσης του φυσικού προβλήματος, δηλαδή το πιθανό σφάλμα της χρησιμοποιούμενης αναλυτικής μεθόδου προσομοίωσης.

β) Ένα πρόσθετο περιθώριο ασφαλείας ως προς την κατάσταση αστοχίας. Το περιθώριο αυτό ουσιαστικώς έχει επιλεγεί κατά τέτοιο τρόπο ώστε γενικά τα αποτελέσματα της μεθόδου του Ευρωκώδικα να μην αποκλίνουν σημαντικά από αντίστοιχα αποτελέσματα της παλαιότερης συμβατικής μεθοδολογίας, δηλαδή αυτής με χρήση ενός ενιαίου συντελεστή ασφαλείας, με το σκεπτικό ότι η χρήση του ενιαίου συντελεστή ασφαλείας έδινε ικανοποιητική ασφάλεια στα έργα (κρινόμενη εκ του αποτελέσματος με βάση τις παρατηρούμενες αστοχίες).

Ο Ευρωκώδικας 7-1 (Εδάφιο 2.4.5.2 §11), προσπαθώντας να ποσοτικοποιήσει τη «συντηρητικότητα» κατά τον προσδιορισμό της χαρακτηριστικής τιμής, αναφέρει ως σύσταση ότι, όπου τα διαθέσιμα στοιχεία είναι επαρκή για την εφαρμογή στατιστικών μεθόδων, «η χαρακτηριστική τιμή μιας παραμέτρου, η οποία διέπει την οριακή κατάσταση που εξετάζεται, θα πρέπει να προσδιορίζεται έτσι ώστε η εκτιμώμενη πιθανότητα εμφάνισης μιας δυσμενέστερης τιμής της παραμέτρου να μην υπερβαίνει το 5%. Κατά τα ανωτέρω, μια συντηρητική εκτίμηση της μέσης τιμής είναι η επιλογή της μέσης τιμής περιορισμένου αριθμού τιμών της γεωτεχνικής παραμέτρου, με διάστημα εμπιστοσύνης 95%. Εάν εξετάζεται τοπική αστοχία μια συντηρητική εκτίμηση της ελάχιστης τιμής είναι η τιμή με πιθανότητα σφάλματος 5%.

Πίνακας 4.2: Μετατροπή μέσης τιμής σε τιμή σχεδιασμού.

1. Μέση τιμή:	Η καλύτερη εκτίμηση από στατιστική μέθοδο ή εμπειρία
	
2. Χαρακτηριστική τιμή:	Συντηρητική εκτίμηση της μέσης τιμής από στατιστική μέθοδο ή εμπειρία
	
3. Τιμή σχεδιασμού:	Εφαρμογή των επιμέρους συντελεστών



Εικόνα 4.4: Εκτίμηση μέσης τιμής

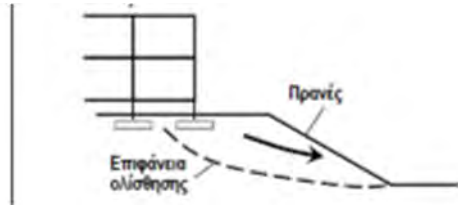
4.6 Οριακές καταστάσεις

Οριακές καταστάσεις: ο σχεδιασμός με οριακές καταστάσεις υπονοεί μία διαδικασία σχεδιασμού στην οποία στόχος είναι η αποφυγή του «λάθους» δηλαδή αποφυγή δημιουργίας δυσμενών καταστάσεων δηλαδή καταστάσεων πέραν των οποίων η κατασκευή δεν ικανοποιεί τις απαιτήσεις των προδιαγραφών. Οι οριακές καταστάσεις μπορεί να εμφανίζονται είτε στο έδαφος είτε στην κατασκευή είτε στο δομικό τμήμα της κατασκευής είτε ως συνδυασμένη αστοχία στο δομικό τμήμα της κατασκευής και στο έδαφος. Βάση του Ευρωκώδικα 7 (EC7) για τις επιφανειακές θεμελιώσεις πρέπει να εξετάζονται οι ακόλουθες οριακές καταστάσεις και να καταρτίζεται σχετικός κατάλογος :

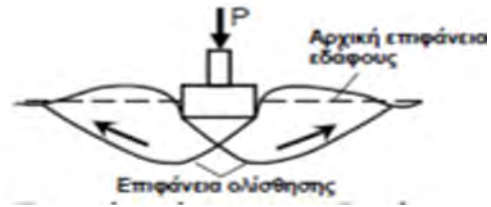
1. Απώλεια ολικής ευστάθειας
2. Αστοχία λόγω υπέρβασης της φέρουσας ικανότητας (bearing resistance failure), διάτρησης (punching failure), σύνθλιψης (squeezing)
3. Αστοχία σε ολίσθηση
4. Συνδυασμένη αστοχία εδάφους και δομικού έργου
5. Δομική αστοχία λόγω μετακίνησης του θεμελίου
6. Υπερβολικές υποχωρήσεις
7. Υπερβολική ανύψωση λόγω υδραυλικής κλίσης (heave) από διόγκωση, πακέτο και άλλες αιτίες
8. Μη αποδεκτές δονήσεις

Οι δυο οριακές καταστάσεις για τις οποίες σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 7 (EC7) απαιτείται έλεγχος είναι η :

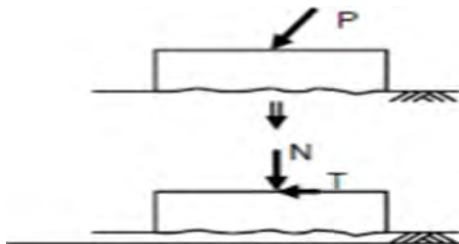
- Οριακή κατάσταση αστοχίας
- Οριακή κατάσταση λειτουργικότητας



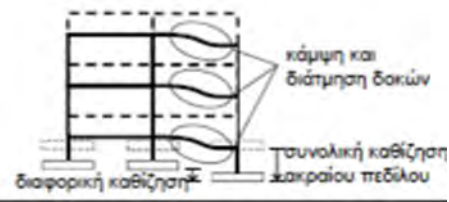
Εικόνα 4.5 : Απώλεια ολικής ευστάθειας



Εικόνα 4.6: Φέρουσα ικανότητα



Εικόνα 4.7: Αντίσταση σε ολίσθηση



Εικόνα 4.8: Στατική επάρκεια ανωδομής λόγω μετακινήσεων

• Οριακή κατάσταση αστοχίας (Ultimate limit states ή ULS)

Υπέρβαση της αντοχής του εδάφους (πρανή, Φ.Ι. θεμελιώσεων). Λαμβάνει χώρα όταν δημιουργείται μηχανισμός θραύσεως μέσα στο έδαφος, ή μηχανισμός θραύσεως ή σοβαρές ζημιές στην κατασκευή λόγω παραμορφώσεων στο έδαφος της θεμελίωσης. Κατά τον Ευρωκώδικα 7- μέρος 1, οι οριακές καταστάσεις αστοχίας είναι των εξής πέντε τύπων (χωρίς να έχουν όλες εφαρμογή υποχρεωτικώς σε όλες τις περιπτώσεις γεωτεχνικών έργων) :

EQU: Απώλεια στατικής ισορροπίας της κατασκευής ή του εδάφους ως στερεού σώματος, χωρίς σημαντική συνεισφορά της διατμητικής αντοχής του εδάφους ή των δομικών υλικών στην αντίσταση (π.χ. αστοχία τοίχου αντιστηρίξεως λόγω ανατροπής χωρίς αστοχία του εδάφους θεμελίωσης).

STR: Δομικού τύπου οριακή κατάσταση που περιλαμβάνει αστοχία δομικού στοιχείου του έργου ή υπερβολική παραμόρφωση της κατασκευής όπως π.χ. η καμπτική διατμητική αστοχία πασσάλου λόγω εγκάρσιας φόρτισης στην κεφαλή του, η καμπτική αστοχία εύκαμπτου τοίχου αντιστηρίξεως, η αστοχία αγκύρωσης λόγω θραύσεως του τένοντα, κ.λπ.

GEO: Γεωτεχνικού τύπου αστοχία ή υπερβολική παραμόρφωση του εδάφους, κατά την οποία η αντοχή του εδάφους είναι σημαντική στην εξασφάλιση της αντοχής, όπως π.χ. η υπέρβαση της φέρουσας αντοχής πεδίου ή πασσάλου, η διατμητική αστοχία πρανούς, η αστοχία τοίχου αντιστηρίξεως λόγω ολίσθησης στη βάση του, κ.λπ.

UPL: Απώλεια ισορροπίας της κατασκευής ή του εδάφους λόγω υδατικών πιέσεων ανώσεως (επίπλευση - uplift) ή άλλης κατακόρυφης δράσης, όπως π.χ. αστοχία στεγανολεκάνης λόγω άνωσης.

HYD: Υδραυλικού τύπου αστοχία (hydraulic heave), όπως εσωτερική διάβρωση και διασωλήνωση του εδάφους λόγω ροής με έντονη υδραυλική κλίση.

Η οριακή κατάσταση GEO είναι συνήθως κρίσιμη για την διαστασιολόγηση των δομικών στοιχείων θεμελιώσεων ή έργων αντιστήριξης και μερικές φορές για την αντοχή των δομικών στοιχείων. Πρέπει να χρησιμοποιούνται επιμέρους συντελεστές οι οποίες ορίζονται στο Εθνικό Προσάρτημα και οι προτεινόμενες τιμές τους δίνονται στο Παράρτημα Α. Για περιπτώσεις ασυνήθιστου κίνδυνου χρησιμοποιούνται επιμέρους συντελεστές αυστηρότεροι από αυτούς του παραρτήματος Α, ενώ για παροδικές καταστάσεις σχεδιασμού μπορεί να χρησιμοποιηθούν λιγότερο αυστηρές τιμές των επιμέρους συντελεστών από αυτές που χρησιμοποιούνται στο Παράρτημα Α. Έτσι, η μέθοδος ελέγχου κατά τον Ευρωκώδικα 7 (EC7) απαιτεί όπως η τιμή σχεδιασμού της έντασης (E_d) σε οποιαδήποτε θέση του έργου να μην υπερβαίνει την τιμή σχεδιασμού της αντίστοιχης αντίστασης (R_d), δηλαδή ελέγχεται ότι:

$$E_d < R_d \quad (4.1)$$

Όπου ο δείκτης (d) δηλώνει τιμή σχεδιασμού (design value)

Κατά τον έλεγχο έναντι οριακών καταστάσεων αστοχίας του Ευρωκώδικα 7 EC7, η σχέση που συνδέει τις συγκρινόμενες εντάσεις και αντιστάσεις δεν περιλαμβάνει συντελεστές ασφαλείας επειδή οι συντελεστές ασφαλείας έχουν ήδη ενταχθεί στον υπολογισμό των εντάσεων και αντιστάσεων. Πράγματι, οι συγκρινόμενες εντάσεις και αντιστάσεις αποτελούν «τιμές σχεδιασμού» οι οποίες έχουν υπολογισθεί με χρήση των «επιμέρους συντελεστών» (που περιλαμβάνουν τον απαιτούμενο βαθμό ασφαλείας).

Η χρήση των επιμέρους συντελεστών αυξάνει την πολυπλοκότητα του ελέγχου επάρκειας των γεωτεχνικών έργων, κυρίως λόγω του πολυσήμαντου υπολογισμού των τιμών σχεδιασμού των εντάσεων και αντιστάσεων. Ειδικότερα, η τιμή σχεδιασμού της έντασης (E_d) μπορεί να υπολογισθεί με τους εξής εναλλακτικούς τρόπους :

- μέσω της απευθείας χρήσης των τιμών σχεδιασμού των δράσεων (F_d) και εδαφικών παραμέτρων (X_d), δηλαδή από την σχέση :

$$E_d = E(F_d, X_d) = E\left(\gamma_F F_k, \frac{X_k}{\gamma_M}\right) \quad (4.2)$$

όπου (γ_F , γ_M) είναι οι επιμέρους συντελεστές προσαύξησης των δράσεων και απομείωσης των εδαφικών παραμέτρων, αντιστοίχως,

- με εφαρμογή του επιμέρους συντελεστή έντασης (γ_E) επί της χαρακτηριστικής

τιμής της έντασης : $E_k = E(F_k, X_k)$, δηλαδή από την σχέση :

$$E_d = \gamma_E \times E(F_k, X_k) \quad (4.3)$$

όπου (F_k, X_k) είναι οι χαρακτηριστικές τιμές των δράσεων (φορτίων) και των εδαφικών παραμέτρων (π.χ. γωνία τριβής και συνοχή) αντιστοίχως.

Η ιδιαιτερότητα των γεωτεχνικών έργων έγκειται στην εντόνως μη-γραμμική εξάρτηση της έντασης (π.χ. ροπή στη βάση τοίχου αντιστηρίξεως) από τις εδαφικές παραμέτρους (π.χ. γωνία τριβής). Κατά τον υπολογισμό της τιμής σχεδιασμού της αντίστασης (R_d), οι επιμέρους συντελεστές μπορεί να εφαρμόζονται είτε στις εδαφικές ιδιότητες (X), είτε στην χαρακτηριστική τιμή της αντίστασης του εδάφους (R_k), ως ακολούθως :

- μέσω της χρήσης των τιμών σχεδιασμού των (F, X), δηλαδή:

$$R_d = R(F_d, X_d) = R\left(\gamma_F F_k \frac{X_k}{\gamma_M}\right) \quad (4.4)$$

- μέσω της χρήσης του επί μέρους συντελεστή αντίστασης (γ_R) επί της χαρακτηριστικής τιμής της αντίστασης : $R_k = R(F_k, X_k)$ δηλαδή:

$$R_d = \left(\frac{1}{\gamma_R}\right) R(F_k, X_k) \quad (4.5)$$

Ενίοτε, γράφεται με την εναλλακτική μορφή:

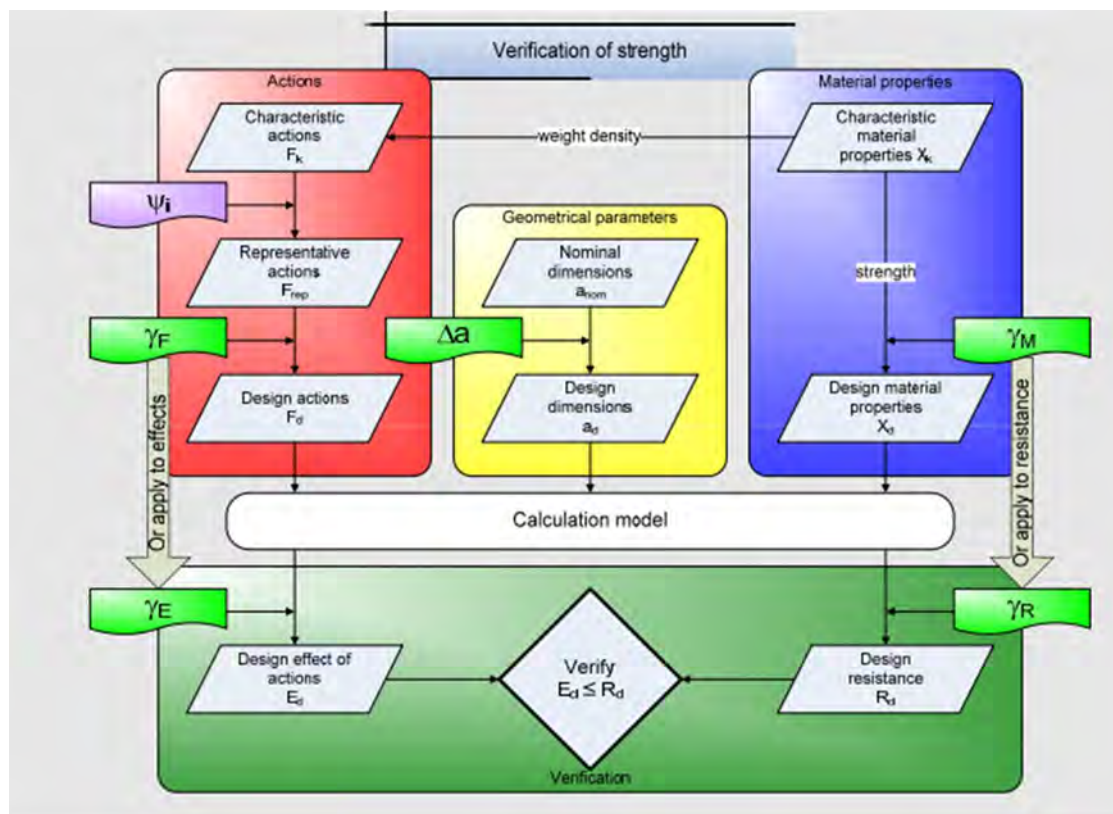
$$R_d = \left(\frac{1}{\gamma_R}\right) R(\gamma_F \times F_k, X_k) \quad (4.6)$$

Με το σκεπτικό ότι ο επιμέρους συντελεστής (γ_R) περιλαμβάνει μόνον την ασφάλεια έναντι της αβεβαιότητας των εδαφικών παραμέτρων (δηλαδή αντικαθιστά τον γ_M) και συνεπώς, απαιτείται και η χρήση του επιμέρους συντελεστή δράσεων (γ_F). Οι σχέσεις 4.5 και 4.6 διαφέρουν μόνον στην περίπτωση που η αντίσταση (R) εξαρτάται και από το μέγεθος των δράσεων (F). Τούτο συμβαίνει μόνον στις εξής δύο περιπτώσεις :

1. Έλεγχος έναντι φέρουσας ικανότητας επιφανειακών θεμελιώσεων υπό λοξή φόρτιση. Στην περίπτωση αυτή, η φέρουσα ικανότητα του πεδίου εξαρτάται από το οριζόντιο φορτίο (δράση).

2. Έλεγχος έναντι ολίσθησης επιφανειακών θεμελιώσεων. Στην περίπτωση αυτή, η οριακή τριβή στη βάση της θεμελίωσης εξαρτάται από το ορθό φορτίο του πεδίου (δράση).

Οι παραπάνω εξισώσεις δίνουν αρκετά διαφορετικές τιμές του R_d . Για τον λόγο αυτός ο τρόπος υπολογισμού των τιμών σχεδιασμού εντάσεων και αντιστάσεων (δηλαδή η σχέση υπολογισμού τους κατά τα ανωτέρω) αποτελεί αντικείμενο Εθνικής επιλογής και ορίζεται στο Εθνικό Προσάρτημα μέσω των εναλλακτικών Τρόπων Ανάλυσης (Design Approaches).



Εικόνα 4.9: επαλήθευση της αντοχής για οριακή κατάσταση GEO/STR στον γεωτεχνικό σχεδιασμό (Bond & Harris 2008).

- **Οριακή κατάσταση λειτουργικότητας (SLS)**

Υπέρβαση των λειτουργικών απαιτήσεων του έργου (υποχώρηση, μετακίνηση, στροφή, ή ρηγμάτωση πέραν των αποδεκτών ορίων). Πρέπει: $\delta < \delta_{max}$ οι παραμορφώσεις να είναι μικρότερες από τις αποδεκτές τιμές. Έτσι, η μέθοδος ελέγχου κατά τον Ευρωκώδικα 7 (EC7) απαιτεί οι παραμορφώσεις να μην υπερβαίνουν τις αποδεκτές τιμές. Για τον υπολογισμό των παραμορφώσεων μπορεί να χρησιμοποιηθεί οποιαδήποτε μέθοδος υπολογισμού (π.χ. πεπερασμένα στοιχεία, αναλυτικές λύσεις κλπ). Ο έλεγχος στην οριακή κατάσταση λειτουργικότητας γίνεται με χρήση των χαρακτηριστικών τιμών των δράσεων και των εδαφικών ιδιοτήτων,

επειδή οι τιμές των επιμέρους συντελεστών λαμβάνονται ίσες με την μονάδα. Οι χαρακτηριστικές τιμές των δράσεων συνήθως δίνονται από τους κανονισμούς ή τις προδιαγραφές του έργου. Οι χαρακτηριστικές τιμές των εδαφικών παραμέτρων παραμορφωσιμότητας προκύπτουν από γεωτεχνική έρευνα και λαμβάνονται ως συντηρητικές μέσες τιμές των αντίστοιχων μεγεθών. Γενικά, η διαστασιολόγηση των γεωτεχνικών έργων γίνεται με το δυσμενέστερο των ανωτέρω δύο κριτηρίων, που όμως δεν είναι γνωστό εκ των προτέρων, επειδή το πλέον κρίσιμο κριτήριο δεν εξαρτάται μόνο από το είδος του εδάφους αλλά και από το είδος και τις λειτουργικές απαιτήσεις της κατασκευής.

4.7 Τρόποι ανάλυσης (Design approaches)

Οι διαφορετικές απόψεις μεταξύ Δομοστατικών και Γεωτεχνικών Μηχανικών για τον τρόπο ανάλυσης των οριακών καταστάσεων STR και GEO υπό Μόνιμες και Πρόσκαιρες καταστάσεις σχεδιασμού, αλλά και οι εναλλακτικοί τρόποι υπολογισμού των τιμών σχεδιασμού εντάσεων και αντιστάσεων κατά τον EN 1991, επέβαλαν τη θέσπιση τριών εναλλακτικών Τρόπων Ανάλυσης (Design Approaches) των γεωτεχνικών έργων έναντι οριακών καταστάσεων αστοχίας τύπου GEO και STR. Στο Εδάφιο 2.4.7.3.4 του EN 1997-1 περιγράφονται οι τρεις εναλλακτικοί Τρόποι Ανάλυσης για οριακές καταστάσεις αστοχίας τύπου GEO και STR. Οι τρεις αυτοί τρόποι διαφέρουν μεταξύ τους στον τρόπο που διανέμονται οι επιμέρους συντελεστές στις δράσεις, στα αποτελέσματα των δράσεων, στις εδαφικές παραμέτρους και στις αντιστάσεις. Οι επιμέρους συντελεστές για τις διάφορες οριακές καταστάσεις αστοχίας (ULS) εμφανίζονται στο Παράρτημα Α του Ευρωκώδικα 7 (EC7). Επιλέγονται σύμφωνα με τον τρόπο ανάλυσης που έχει επιλεγεί και ομαδοποιούνται ως ακολούθως:

A → για δράσεις ή αποτελέσματα δράσεων

M → για εδαφικές παραμέτρους

R → για αντιστάσεις

Περαιτέρω διευκρινίσεις για τους τρόπους αναλύσεις δίνονται στο Παράρτημα Β του Ευρωκώδικα 7 (EC7).

Ο τρόπος ανάλυσης που θα χρησιμοποιείται μπορεί να προσδιοριστεί για την κάθε χώρα στο Εθνικό Προσάρτημα. Στην Ελλάδα σύμφωνα με την εφημερίδα της Κυβερνήσεως αριθμός φύλλου 2692 ο τρόπος ανάλυσης που θεσπίζεται για τον έλεγχο οριακών καταστάσεων αστοχίας επιφανειακών θεμελιώσεων είναι ο τρόπος DA2 και πιο συγκεκριμένα η παραλλαγή του που αποκαλείται DA2*.

4.7.1 Τρόπος ανάλυσης DA-1 (Design approach 1)

Στον τρόπο ανάλυσης DA1 ισχύει:

$$E_d < R_d$$

Όπου

$$E\{\gamma_F F_{rep}; \frac{X_k}{\gamma_M}\} < R\{\gamma_F F_{rep}; \frac{X_k}{\gamma_M}\} \quad (4.7)$$

Στον Τρόπο Ανάλυσης 1 απαιτούνται δύο χωριστοί έλεγχοι (δηλαδή εφαρμογή της ανωτέρω σχέσης δύο φορές), με διαφορετικούς Συνδυασμούς (1 και 2) τιμών των επιμέρους συντελεστών (γ_F και γ_M), που αναφέρονται στο Παράρτημα Α του EC7-1. Γενικά οι συντελεστές προτιμάται να εφαρμόζονται στις δράσεις έναντι στις δυνάμεις των δράσεων με μόνη εξαίρεση ορισμένες καταστάσεις σχεδιασμού όπου οι δυνάμεις προέρχονται από το έδαφος ή δρουν μέσω του εδάφους (ωθήσεις γαιών ή πιέσεις νερού) όπως αναφέρεται στην παράγραφο 2.4.7.3.2 του Ευρωκώδικα 7 (EC7). Συνήθως απαιτείται η εκτέλεση και των δύο ελέγχων (συνδυασμών) διότι δεν είναι εξ αρχής φανερό, ποιος από τους δύο είναι κρίσιμος, ενώ ο σχεδιασμός γίνεται με τον δυσμενέστερο εκ των δύο συνδυασμών. Εάν είναι προφανές ότι ένας από τους δύο συνδυασμούς καθορίζει τον σχεδιασμό δεν είναι απαραίτητο να γίνονται η υπολογισμοί για τον άλλο συνδυασμό.

Συνδυασμός 1: $A1 + M1 + R1$

Στον συνδυασμό 1 οι επιμέρους συντελεστές εφαρμόζονται στις δράσεις και στις παραμέτρους αντοχής του εδάφους και ουσιαστικά προσαυξάνει τις δράσεις ($\gamma_F > 1$) χωρίς ταυτόχρονη απομείωση των εδαφικών παραμέτρων ($\gamma_M = 1$), με σκοπό να καλύψει τις αβεβαιότητες των δράσεων.

Συνδυασμός 2: $A2 + M2 + R1$

Στον συνδυασμό 2 οι επιμέρους συντελεστές εφαρμόζονται στις δράσεις στις παραμέτρους αντοχής του εδάφους και ουσιαστικά απομειώνει τις εδαφικές ιδιότητες ($\gamma_M > 1$) χωρίς ταυτόχρονη προσαύξηση των δράσεων ($\gamma_F = 1$), με σκοπό να καλύψει τις αβεβαιότητες της υπολογιστικής μεθόδου.

Και στους δύο Συνδυασμούς, οι τιμές των επιμέρους συντελεστών αντιστάσεων ($R1$) είναι ίσοι με τη μονάδα.

Ο Τρόπος Ανάλυσης 1 (DA1) συχνά αναφέρεται και ως Τρόπος Ανάλυσης μέσω επιμέρους συντελεστών υλικών (Material Factor Approach - MFA) επειδή οι επιμέρους συντελεστές επιβάλλονται στα υλικά και όχι στις αντιστάσεις.

4.7.2 Τρόπος ανάλυσης DA-2 (Design approach 2)

Στον τρόπο ανάλυσης DA2 ισχύει:

$$E_d < R_d$$

Όπου:

DA2:

$$E\{\gamma_F F_{rep}; X_k < \frac{1}{\gamma_R} R\{\gamma_F F_{rep}; X_k\} \quad (4.8)$$

DA2*:

$$\gamma_E E\{F_{rep}; X_k < \frac{1}{\gamma_R} R\{F_{rep}; X_k\} \quad (4.9)$$

Συνδυασμός : A1 + M1 + R2

Στον τρόπο αυτό οι επιμέρους συντελεστές εφαρμόζονται σε δράσεις ή αποτελέσματα δράσεων και σε αντιστάσεις του εδάφους και ουσιαστικά προσαυξάνει τις δράσεις ($\gamma_F > 1$), ($\gamma_E=1$) ή τα αποτελέσματα των δράσεων ($\gamma_E > 1$), ($\gamma_F=1$) χωρίς ταυτόχρονη απομείωση των εδαφικών παραμέτρων ($\gamma_M = 1$) και συντελεστές μεγαλύτερη της μονάδας εφαρμόζονται στις αντιδράσεις ($\gamma_R > 1$). Για αυτό τον λόγο ο Τρόπος Ανάλυσης 2 συχνά αναφέρεται και ως Τρόπος Ανάλυσης μέσω επιμέρους συντελεστών αντιστάσεων (Resistance Factor Approach - RFA) επειδή οι επιμέρους συντελεστές επιβάλλονται στις αντιστάσεις και όχι στα υλικά. Σημειώνεται ότι σε γραμμικές αναλύσεις το πρώτο μέρος της ανισότητας η τιμή σχεδιασμού της έντασης υπολογίζεται καλύτερα από τον τρόπο DA2 συνεπώς :

DA2* για γραμμικές αναλύσεις:

$$E\{\gamma_F F_{rep}; X_k < \frac{1}{\gamma_R} R\{F_{rep}; X_k\} \quad (4.10)$$

Οι διαφορές μεταξύ των δυο παραλλαγών του DA2 αφορούν τον τρόπο που εισέρχονται οι δράσεις στον υπολογισμό των αντιστάσεων.

Στην παραλλαγή DA2* ο υπολογισμός γίνεται με τις χαρακτηριστικές τιμές των δράσεων σε αντίθεση με τον DA2 που ο υπολογισμός πραγματοποιείται με τις τιμές σχεδιασμού των δράσεων. Στην περίπτωση που οι δράσεις δεν εισέρχονται στον υπολογισμό των αντιστάσεων οι δύο παραλλαγές ταυτίζονται στην ακόλουθη εξίσωση:

$$E\{\gamma_F F_{rep}; X_k < \frac{1}{\gamma_R} R\{X_k\}\} \quad (4.11)$$

4.7.3 Τρόπος ανάλυσης DA-3 (Design approach 3)

Στον τρόπο ανάλυσης DA3 ισχύει:

$$E_d < R_d$$

Όπου:

DA3:

$$E\{\gamma_F F_{rep}; \frac{X_k}{\gamma_M} < R\{\gamma_F F_{rep}; \frac{X_k}{\gamma_M}\}\} \quad (4.12)$$

Συνδυασμός: (A1 * ή A2⁺) + M2 + R3

* Στις δράσεις του φορέα

+ στις γεωτεχνικές δράσεις

Στον τρόπο αυτό οι επιμέρους συντελεστές εφαρμόζονται σε δράσεις ή αποτελέσματα δράσεων από τον φορέα και σε παραμέτρους αντοχής του εδάφους και ουσιαστικά προσαυξάνει τις δράσεις ($\gamma_F > 1$), ($\gamma_\varepsilon=1$) ή τα αποτελέσματα των δράσεων ($\gamma_\varepsilon>1$), ($\gamma_F=1$) με ταυτόχρονη απομείωση των εδαφικών παραμέτρων ($\gamma_M>1$) και συντελεστές ίση της μονάδας εφαρμόζονται στις αντιδράσεις ($\gamma_R=1$). Αλλά σημειώνεται ότι μερικές φορές είναι ανάγκη $\gamma_R>1$ (για παράδειγμα, θλιβόμενοι πάσσαλοι).

Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό της τρίτης μεθόδου σχεδιασμού είναι η διάκριση των δομικών και γεωτεχνικών δράσεων – μεγαλύτεροι συντελεστές εφαρμόζονται στους πρώτους από ότι στους δεύτερους, υποδηλώνοντας μεγαλύτερη αβεβαιότητα στις τιμές τους. Μια γεωτεχνική δράση ορίζεται ως: Δράση μεταφερόμενη στην κατασκευή: - από το έδαφος, - το στάσιμο νερό ή - το υπόγειο νερό – ο Ευρωκώδικας 7 (EC7) δεν ορίζει αναλυτικά τι είναι μια δομική δράση, αλλά υπαινίσσεται ότι είναι μια δράση που δεν είναι γεωτεχνική.

4.7.4 Συγκεντρωτική παρουσίαση DA-1, DA-2, DA-3

Πίνακας 4.3: Διαχωρισμός γραμμικών μη γραμμικών αναλύσεων

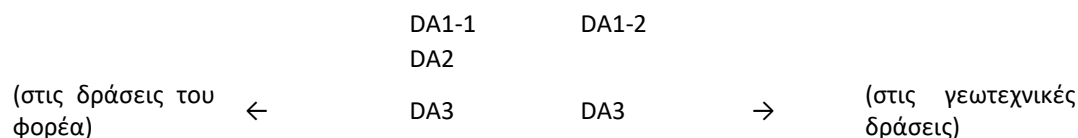
Γραμμικές αναλύσεις	$\gamma_E=0$
Μη γραμμικές αναλύσεις	$\gamma_F=0$

Πίνακας 4.4: Διαχωρισμός τρόπων ανάλυσης ανάλογα με το που εφαρμόζονται οι επιμέρους συντελεστές

Τρόπος Ανάλυσης μέσω επιμέρους συντελεστών υλικών (Material Factor Approach - MFA)	$\gamma_M > 1, \gamma_R = 1$
Τρόπος Ανάλυσης μέσω επιμέρους συντελεστών αντιστάσεων (Resistance Factor Approach - RFA)	$\gamma_M > 1$ ή $\gamma_M = 1, \gamma_R > 1$

Πίνακας 4.5: Επιμέρους συντελεστές στις δράσεις ή στα αποτελέσματα των τάσεων σύμφωνα με τον ευρωκώδικα 7 Παράρτημα A

Δράση		Σύμβολο	Ομάδα	
			A1	A2
Μόνιμη	Δυσμενής	γ_G	1,35	1
	Ευνοϊκή		1	1
Μεταβλητή	Δυσμενής	γ_Q	1,5	1,3
	Ευνοϊκή		0	0



Πίνακας 4.6: Επιμέρους συντελεστές εδαφικών παραμέτρων σύμφωνα με τον ευρωκώδικα 7 Παράρτημα Α

Εδαφική παράμετρος	Σύμβολο	Ομάδα	
		A1	A2
Γωνία διατμητικής αντίστασης	$\gamma_{\phi'}$	1,00	1,25
Ενεργός συνοχή	$\gamma_{c'}$	1,00	1,25
Αστράγγιστη διατμητική αντοχή	γ_{cu}	1,00	1,40
Ανεμπόδιση αντοχή	γ_{qu}	1,00	1,40
Ειδικό βάρος	γ_{γ}	1,00	1,00

DA1-1 DA1-2
 DA2
 DA3

Πίνακας 4.7: Επιμέρους συντελεστές αντίστασης για επιφανειακές θεμελιώσεις σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 7 Παράρτημα Α

Αντίσταση	Σύμβολο	Ομάδα		
		A1	A2	A3
Φέρουσα	$\gamma_{R,v}$	1	1,4	1
Ολίσθησης	$\gamma_{R,h}$	1	1,1	1

DA1-1 DA2 DA3
 DA1-2

Πίνακας 4.8: Σύγκριση τρόπων ανάλυσης βάση της ανισότητας που πρέπει να ισχύει

Περιπτώσεις Ανάλυσης	Συνδυασμοί	Εξίσωση
DA1-1	A1+M1+R1	$E\{\gamma_F * F_{rep}, X_k / \gamma_M\} <$ $R\{\gamma_F * F_{rep}, X_k / \gamma_M\}$
DA1-2	A1+M2+R1	
DA2	A1+M1+R2	$E\{\gamma_F * F_{rep}, X_k\} <$ $R * 1 / \gamma_R \{\gamma_F * F_{rep}, X_k\}$
DA2*		$E * \gamma_E \{F_{rep}, X_k\} <$ $R * 1 / \gamma_R \{F_{rep}, X_k\}$
DA3	(A1 ή A2)+M2+R3	$E\{\gamma_F * F_{rep}, X_k / \gamma_M\} <$ $R\{\gamma_F * F_{rep}, X_k / \gamma_M\}$

Πίνακας 4.9: Συντελεστές ασφαλείας για τους τρόπους ανάλυσης κατά EC7

Περιπτώσεις Ανάλυσης	Επιμέρους συντελεστές δράσεων		Επιμέρους συντελεστές εδαφικού υλικού				Επιμέρους συντελεστές αντίστασης	
	γ_G	γ_Q	$\gamma_{\phi'}$	$\gamma_{c'}$	γ_{cu}	γ_{qu}	$\gamma_{R,v}$	$\gamma_{R,h}$
DA1-1 (A1+M1+R1)	1.35	1.50	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
DA1-2 (A2+M2+R1)	1.0	1.3	1.25	1.25	1.4	1.4	1.0	1.0
DA2 (A1+M1+R2)	1.35	1.5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.4	1.1
DA2* (A1+M1+R2)	1.35	1.5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.4	1.1
DA3 (A1 ή A2+M2+R3)	1.35	1.5	1.25	1.25	1.4	1.4	1.0	1.0

Πίνακας 4.10: Που ασκούνται οι συντελεστές ασφαλείας για τους τρόπους ανάλυσης κατά EC7

Περιπτώσεις ανάλυσης	DA1-1	DA1-2	DA2	DA2*	DA3
Κύρια μεταβλητή στην οποία επιβάλεται ο επιμέρους συντελεστές	Στις δράσεις	Στις ιδιότητες των υλικών	Στις δράσεις ή εντάσεις και στις αντιστάσεις	Στις δράσεις ή εντάσεις και στις αντιστάσεις	Στις δράσεις των κατασκευών (ή εντάσεις) και ιδιότητες των υλικών

Αξίζει να σημειωθεί ότι η ανάλυση αυτή είναι έγκυρη για τους επιμέρους συντελεστές που δίνονται στον EN1997-1. Η κάθε χώρα μπορεί να αλλάξει αυτούς τους συντελεστές σε αυτούς του εθνικού της παραρτήματος.

5 Εθνικές επιλογές Ελλάδος-Ηνωμένου Βασιλείου

Το πρώτο μέρος του Ευρωκώδικα 7 (EC7) επιτρέπει κάθε χώρα καθορίσει στο εθνικό της παράρτημα ποια μέθοδο σχεδιασμού πρέπει να χρησιμοποιείται. Οι επιλογές των χωρών για αβαθής θεμελιώσεις παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα :



Εικόνα 5.1: Εθνική επιλογή μεθόδου σχεδιασμού για τα πρηνή (Bond, 2013)

Αυτός ο διαχωρισμός των Ευρωπαϊκών χωρών αντανακλά την προσωπική παράδοση και συμβολή κάθε χώρας στη γεωτεχνική μηχανική.

5.1 Εθνική επιλογή Ελλάδος

5.1.1 Τρόπος ανάλυσης

Η εθνική επιλογή της Ελλάδος για αβαθείς θεμελιώσεις όπως έχει ήδη αναφερθεί είναι η παραλλαγή DA2*.

Συνδυασμός : $A1 + M1 + R2$

Η εθνική επιλογή της Παραλλαγής DA-2* του Τρόπου Ανάλυσης 2 έγινε για τους εξής λόγους :

- Είναι ο απλούστερος εκ των τριών εναλλακτικών επιλογών του EN1997-1 ως προς τον όγκο των υπολογισμών, την ευχέρεια επιλογής τιμών των επιμέρους συντελεστών και το βαθμό απόκλισης των αποτελεσμάτων από τις εφαρμοζόμενες μεθόδους (μέσω του ενιαίου συντελεστή ασφαλείας FS).
- Πλεονεκτεί σαφώς σε περιπτώσεις μη-γραμμικών αριθμητικών αναλύσεων (π.χ. μέσω πεπερασμένων στοιχείων), όπου οι άλλοι τρόποι μπορεί να οδηγήσουν σε σημαντικά σφάλματα.

- Με τον Τρόπο Ανάλυσης DA-2* είναι ευχερής η συσχέτιση του γνωστού ενιαίου συντελεστή ασφαλείας $FS = R(F_k, X_k) / E(F_k, X_k)$ με τους επιμέρους συντελεστές κατά τη σχέση: $FS = \gamma_E \gamma_R$

Κατά τον έλεγχο πρέπει να ικανοποιείται η ακόλουθη σχέση :

$$E_d < R_d$$

$$\gamma_E E\{F_{rep}; X_k\} < \frac{1}{\gamma_R} R\{F_{rep}; X_k\}$$

όπου :

E_d είναι η τιμή σχεδιασμού της δράσης επί του θεμελίου και πρέπει να περιλαμβάνει το βάρος της θεμελίωσης, το βάρος τυχόν υλικού επανεπίχωσης και όλες τις πιέσεις γαιών, είτε ευμενείς είτε δυσμενείς. Οι υδατικές πιέσεις οι οποίες δεν προκαλούνται από το φορτίο της θεμελίωσης πρέπει να περιλαμβάνονται ως δράσεις.

R_d είναι η τιμή σχεδιασμού της αντίστασης (φέρουσα ικανότητα) του εδάφους και πρέπει να υπολογίζεται σύμφωνα με τα προβλεπόμενα στο εδάφιο 2.4 του EN 1997-1. Κατά τον Τρόπο Ανάλυσης DA-2* που εφαρμόζεται στην Ελλάδα, ο υπολογισμός της τιμής σχεδιασμού της οριακής αντίστασης (R_d) γίνεται μέσω της αντίστοιχης χαρακτηριστικής τιμής (R_k) με επιβολή του επιμέρους συντελεστή φέρουσας αντίστασης ($\gamma_{R,v}$) :

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_R} \quad (5.1)$$

Ο επιμέρους συντελεστής φέρουσας αντίστασης (γ_R) περιλαμβάνεται στον Πίνακα A.5 του Παραρτήματος Α του Ευρωκώδικα 7 (EC7). Για τον Τρόπο Ανάλυσης DA-2*, έχει τιμή $\gamma_{R,v} = 1.4$ (στήλη R2). Για τον υπολογισμό του R_k πρέπει να χρησιμοποιείται μια αναγνωρισμένη αναλυτική μέθοδος. Μπορεί να χρησιμοποιείται η ενδεικτική μέθοδος αναλυτικού υπολογισμού για τη φέρουσα ικανότητα η οποία παρουσιάζεται στο Παράρτημα Δ του EN 1997-1. Κατά τον υπολογισμό της τιμής σχεδιασμού της φέρουσας ικανότητας μιας θεμελίωσης σε στρωσιγενείς αποθέσεις, οι οποίες παρουσιάζουν σημαντική ποικιλία ιδιοτήτων μεταξύ των στρώσεων, οι τιμές σχεδιασμού των παραμέτρων του εδάφους πρέπει να προσδιορίζονται για κάθε στρώση. Σε περιπτώσεις όπου ένας ανθεκτικός εδαφικός σχηματισμός υπόκειται ενός ασθενούς σχηματισμού, η φέρουσα αντίσταση μπορεί να υπολογίζεται με χρήση των παραμέτρων διατμητικής αντοχής του ασθενούς σχηματισμού. Στην αντίστροφη κατάσταση, θα πρέπει να γίνεται και έλεγχος σε διάτρηση.

Σύμφωνα με το ελληνικό εθνικό προσάρτημα η επιμέρους συντελεστές των δράσεων των εδαφικών παραμέτρων και των αντιστάσεων επιλέγονται για των τρόπο ανάλυσης DA2* από το παράρτημα Α του EN-1997-1.

Συγκεντρωτικά οι συντελεστές για την ελληνική επιλογή παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα:

Πίνακας 5.1: Ελληνική εθνική επιλογή επιμέρους συντελεστών

Σύμβολο		GR	
		DA2*	
Εδαφική παράμετρος	Ομάδα	M1	
	$\gamma\phi'$ (*)	1.0	
	Γ_c	1.0	
	Γ_{cu}	1.0	
	Γ_{qu}	1.0	
Αντίσταση	Ομάδα	R1	
	Γ_{Rv}	1.4	
	Γ_{Rh}	1.1	
Δράση	Ομάδα	A1	
	Δυσμενής	γ_G	1.35
	Ευνοϊκή	γ_G	1.0
	Δυσμενής	γ_Q	1.5
	Ευνοϊκή	γ_Q	0

5.1.2 Υπολογιστικό μοντέλο

Το Ελληνικό εθνικό προσάρτημα δίνει την επιλογή να χρησιμοποιείται σαν υπολογιστική μέθοδο το πληροφοριακό παράρτημα Δ του EN-1997-1 ή εναλλακτικά, η εφαρμογή του Γερμανικού Κανονισμού DIN 4017

Σύμβολα που χρησιμοποιούνται στο Παράρτημα Δ

$A' = B' \times L'$ η ενεργός επιφάνεια σχεδιασμού της θεμελίωσης

b οι τιμές σχεδιασμού των συντελεστών για την κλίση της βάσης με δείκτες c, q και γ

B το πλάτος της θεμελίωσης

B' το ενεργό πλάτος της θεμελίωσης

D το βάθος της θεμελίωσης

e η εκκεντρότητα της προκύπτουσας δράσης, με δείκτες B και L

i οι συντελεστές κλίσης του φορτίου, με δείκτες τη συνοχή c, την επιφόρτιση q και το ειδικό βάρος γ

L το μήκος της θεμελίωσης

L' το ενεργό μήκος της θεμελίωσης

m εκθέτης στις σχέσεις για τους συντελεστές κλίσης i

N οι συντελεστές φέρουσας ικανότητας, με δείκτες c, q και γ

q πίεση υπερφόρτισης ή επιφόρτισης στη στάθμη της βάσης της θεμελίωσης

q' η ενεργός πίεση υπερφόρτισης σχεδιασμού στη στάθμη της βάσης της θεμελίωσης

s οι συντελεστές σχήματος της βάσης της θεμελίωσης με δείκτες c, q και γ

V το κατακόρυφο φορτίο

α η κλίση της βάσης της θεμελίωσης ως προς την οριζόντια

γ' το ενεργό ειδικό βάρος σχεδιασμού του εδάφους κάτω από τη στάθμη θεμελίωσης
 θ γωνία διεύθυνσης του Η

Για τον υπολογισμό της τιμής σχεδιασμού της κατακόρυφης φέρουσας ικανότητας μπορεί να χρησιμοποιούνται προσεγγιστικές σχέσεις οι οποίες προκύπτουν από τη θεωρία της πλαστικότητας και από πειραματικά αποτελέσματα. Θα πρέπει να αφήνεται κάποιο περιθώριο για τις επιδράσεις των εξής παραγόντων:

- της αντοχής του εδάφους, η οποία γενικά αντιπροσωπεύεται από τις τιμές σχεδιασμού των c_u , c' και φ'
- της εκκεντρότητας και της κλίσης των φορτίων σχεδιασμού
- του σχήματος, του βάθους και της κλίσης της θεμελίωσης
- της κλίσης της επιφάνειας του εδάφους
- των πιέσεων των υπογείων υδάτων και των υδραυλικών κλίσεων
- της μεταβλητότητας και ειδικά της διαστρωμάτωσης του εδάφους.

Συνθήκες πλήρους στράγγισης

Η φέρουσα αντίσταση μπορεί να υπολογίζεται από:

$$\frac{R}{A'} = c'N_c b_c s_c i_c + q'N_q b_q s_q i_q + 0.5\gamma' B' N_\gamma b_\gamma s_\gamma i_\gamma \quad (5.2)$$

Συντελεστής φέρουσας ικανότητας

$$N_q = e^{\pi \tan \varphi'} \tan^2 \left(45 + \frac{\varphi'}{2} \right) \quad (5.3)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \varphi' \quad (5.4)$$

$$N_\gamma = 2(N_q - 1) \tan \varphi' \quad (5.5)$$

Συντελεστής κλίσης της βάσης θεμελίωσης

$$b_c = b_q - \frac{(1 - b_q)}{N_c \tan \varphi'} \quad (5.6)$$

$$b_q = b_\gamma \quad (5.7)$$

$$b_{\gamma} = (1 - \alpha \tan \varphi')^2 \quad (5.8)$$

Συντελεστής σχήματος θεμελίωσης

$$s_q = 1 + \left(\frac{B'}{L'}\right) \sin \varphi', \text{ για ορθογωνικό σχήμα} \quad (5.9)$$

$$s_q = 1 + \sin \varphi', \text{ για τετραγωνικό ή κυκλικό σχήμα} \quad (5.10)$$

$$s_{\gamma} = 1 - 0,3 \left(\frac{B'}{L'}\right), \text{ για ορθογωνικό σχήμα} \quad (5.11)$$

$$s_{\gamma} = 0,7, \text{ για τετραγωνικό ή κυκλικό σχήμα} \quad (5.12)$$

$$s_c = \frac{(s_q N_q - 1)}{N_q - 1}, \text{ για ορθογωνικό, τετραγωνικό ή κυκλικό σχήμα} \quad (5.13)$$

Συντελεστής της κλίσης του φορτίου

$$i_c = i_q - \frac{(1 - i_q)}{N_c \tan \varphi'} \quad (5.14)$$

$$i_q = \left[1 - \frac{H}{(V + A' + c' \cot \varphi'')} \right]^m \quad (5.15)$$

$$i_q = \left[1 - \frac{H}{(V + A' + c' \cot \varphi'')} \right]^{m+1} \quad (5.16)$$

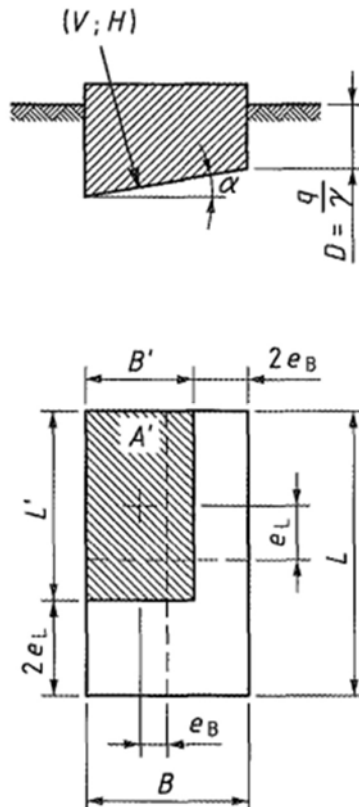
όπου:

$$m = \frac{\left[2 + \left(\frac{B'}{L'}\right) \right]}{\left[1 + \left(\frac{B'}{L'}\right) \right]} \text{ όταν το H δρα κατά την διεύθυνση του B'}$$

$$m = \frac{\left[2 + \left(\frac{L'}{B'}\right) \right]}{\left[1 + \left(\frac{L'}{B'}\right) \right]} \text{ όταν το H δρα κατά την διεύθυνση του L'}$$

Σε περιπτώσεις όπου η συνισταμένη του οριζόντιου φορτίου δρα κατά διεύθυνση η οποία σχηματίζει γωνία θ με τη διεύθυνση του L', το m μπορεί να υπολογίζεται από τη σχέση:

$$m = m_{\theta} = m_L \cos^2 \theta + m_B \sin^2 \theta \quad (5.17)$$



Εικόνα 5.2: Γεωμετρία πεδίου παράρτημα Δ EN 1997-1

Αστράγγιστες συνθήκες

Η φέρουσα αντίσταση σχεδιασμού μπορεί να υπολογίζεται από:

$$\frac{R}{A'} = (\pi + 2)c_u b_c s_c i_c + q \quad (5.18)$$

Συντελεστής κλίσης της βάσης της θεμελίωσης

$$b_c = 1 - \frac{2a}{(\pi + 2)} \quad (5.19)$$

Συντελεστής σχήματος

$$s_c = 1 + 0,2 \left(\frac{B'}{L'} \right), \text{ για ορθογωνικό σχήμα} \quad (5.20)$$

$$s_c = 1,2, \text{ για τετραγωνικό ή κυκλικό σχήμα} \quad (5.21)$$

Συντελεστής κλίσης φορτίου, η οποία προκαλείται από οριζόντιο φορτίο H

$$i_c = \frac{1}{2} \left(1 + \sqrt{1 - \frac{H}{A' c_u}} \right) \quad (5.22)$$

5.2 Εθνική επιλογή Ηνωμένου Βασιλείου

5.2.1 Τρόπος ανάλυσης

Όπως έχει ήδη αναφερθεί επιτρέπεται η εθνική επιλογή του τρόπου ανάλυσης για τις οριακές καταστάσεις STR και GEO (βλέπε EN 1997-1: 2004, 2.4.7.3.4.1 (I) P). Όπως αναφέρεται στον Πίνακα NA.1(βλέπε BS NA EN 1997-1 :2004), το Ηνωμένο Βασίλειο έχει υιοθετήσει την εφαρμογή του τρόπου ανάλυσης DA-1.

Το παράρτημα A του Ευρωκώδικα 7 (EC7) παραθέτει τους επιμέρους συντελεστές συσχέτισης για τις οριακές καταστάσεις αστοχίας και τις συνιστώμενες τιμές. Οι τιμές αυτών των συντελεστών είναι εθνικά καθορισμένες παράμετροι για το Ηνωμένο Βασίλειο. Συνεπώς οι τιμές αυτές αντικαθιστούν τις προτεινόμενες τιμές του Ευρωκώδικα 7 EC7). Κατά την εφαρμογή της προσέγγισης σχεδίασης 1, η αντίσταση σχεδιασμού τόσο για το συνδυασμό 1 όσο και για το συνδυασμό 2 μπορεί να βρεθεί χρησιμοποιώντας την εξίσωση (2.7c) του Ευρωκώδικα 7 (EC7). Οι εξισώσεις (2.7a) και (2.7b) είναι απλουστευμένες εκδόσεις της Εξίσωσης (2.7c) που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για $\gamma_R=1$ ή $\gamma_M=1$ αντίστοιχα

Στον τρόπο ανάλυσης DA1 ισχύει:

$$E_d < R_d$$

$$E\left\{\gamma_F F_{rep} \cdot \frac{X_k}{\gamma_M}\right\} < R\left\{\gamma_F F_{rep} \cdot \frac{X_k}{\gamma_M}\right\} \quad (5.23)$$

Στον Τρόπο Ανάλυσης 1 απαιτούνται δύο χωριστοί έλεγχοι (δηλαδή εφαρμογή της ανωτέρω σχέσης δύο φορές), με διαφορετικούς Συνδυασμούς (1 και 2) τιμών των επιμέρους συντελεστών (γ_F και γ_M)

Συνδυασμός 1: $A1 + M1 + R1$

Συνδυασμός 2: $A2 + M2 + R1$

Η επιλογή των τιμών των επιμέρους συντελεστών στις δράσεις καθορίζονται από το BS NA EN 1990:2002. Οι τιμές αυτές μπορεί να μην είναι κατάλληλες για το ίδιο βάρος του νερού, την πίεση του υπόγειου νερού και άλλες ενέργειες που εξαρτώνται από τη στάθμη του νερού, βλ. 2.4.7.3.2 (2).

Στον πίνακα NA.A1.2.(B) και NA.A1.2.(C) του BS NA EN 1990:2002 παρέχονται οι τιμές για τις δράσεις.

Δράση	Σύμβολο		Ομάδα	
			A1	A2
	Δυσμενής	γ_G	1.35	1.0
	Ευνοϊκή	γ_G	1.0	1.0
	Δυσμενής	γ_Q	1.5	1.3
	Ευνοϊκή	γ_Q	0	0

Εικόνα 5.3 : Συντελεστές δράσεων (BS8004)

Οι επιμέρους συντελεστές εδαφικών παραμέτρων γ_R λαμβάνονται από τον πίνακα A.NA.4 BS NA EN 1997-1 :

Εδαφική παράμετρος	Σύμβολο		Ομάδα	
			DA1-1	DA1-2
			M1	M2
	$\gamma_{\phi' (*)}$		1.0	1.25
	γ_c		1.0	1.25
	γ_{cu}		1.0	1.4
	γ_{qu}		1.0	1.4

Εικόνα 5.4 : Συντελεστές εδαφικών παραμέτρων (BS8004)

Οι επιμέρους συντελεστές αντίστασης γ_R λαμβάνονται από τον ακόλουθο πίνακα A.NA.5 BS NA EN 1997-1:

Αντίσταση	Σύμβολο		Ομάδα	
			R1	R1
	γ_{Rv}		1.0	1.0
	γ_{Rh}		1.0	1.0

Εικόνα 5.5 : Συντελεστές αντίστασης (BS8004)

Συμπερασματικά οι τιμές των συντελεστών γ_F , γ_M , γ_R που χρησιμοποιούνται στον υπολογισμό της φέρουσας ικανότητας σύμφωνα με το προσάρτημα του Ηνωμένου βασιλείου είναι ίδιοι με τις τιμές των συντελεστών που δίνονται για το DA1-1 και DA1-2 στο παράρτημα A του EN-1997-1:2004 όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 5.2: Βρετανική εθνική επιλογή επιμέρους συντελεστών.

Σύμβολο		HB – DA1		EC7-DA1		
		DA1-1	DA1-2	DA1-1	DA1-2	
Εδαφική παράμετρος	Ομάδα	M1	M2	M1	M2	
	γ_{ϕ}' (*)	1.0	1.25	1.0	1.25	
	γ_c	1.0	1.25	1.0	1.25	
	γ_{cu}	1.0	1.4	1.0	1.4	
	γ_{qu}	1.0	1.4	1.0	1.4	
Αντίσταση	Ομάδα	R1	R1	R1	R1	
	γ_{Rv}	1.0	1.0	1.0	1.0	
	γ_{Rh}	1.0	1.0	1.0	1.0	
Δράση	Ομάδα	A1	A2	A1	A2	
	Δυσμενής	γ_G	1.35	1.0	1.35	1.0
	Ευνοϊκή	γ_G	1.0	1.0	1.0	1.0
	Δυσμενής	γ_Q	1.5	1.3	1.5	1.3
	Ευνοϊκή	γ_Q	0	0	0	0
* Ο συντελεστής αυτός εφαρμόζεται στην $\tan\phi'$						

5.2.2 Υπολογιστικό μοντέλο

Για τον υπολογισμό της φέρουσας ικανότητας μπορεί να χρησιμοποιηθεί το παράρτημα Δ. Ωστόσο, η μέθοδος υπολογισμού που δίδεται στον Ευρωκώδικα 7 (EC7), στο Παράρτημα Δ παραλείπει παράγοντες βάθους και κλίσης του εδάφους που απαντώνται συνήθως στη φέρουσα αντοχή. Η παράλειψη του συντελεστή βάθους είναι λάθος από πλευράς ασφάλειας, σε αντίθεση με την παράλειψη του συντελεστή κλίσης εδάφους. Γι' αυτόν τον λόγο μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια εναλλακτική μέθοδος υπολογισμού της φέρουσας ικανότητας, συμπεριλαμβανομένου του βάθους και των κλίσεων του εδάφους ή των συντελεστών ακαμψίας, ανάλογα με την περίπτωση σύμφωνα με το BS 8004-2015.

Η μέθοδος BS 8004-2015 ακολουθεί τις συστάσεις της μεθόδου Ευρωκώδικα 7 (EC7) αρκετά προσεκτικά, ενώ πραγματοποιείται προσπάθεια να την επεκτείνει ώστε να περιλαμβάνει περισσότερες καταστάσεις σχεδιασμού. Η μέθοδος του Ευρωκώδικα 7 (EC7) είναι αρκετά συντηρητική, δεδομένου ότι δεν παρέχει οδηγίες για την ανάλυση της φέρουσας ικανότητας για περιπτώσεις που παρατηρούνται κλίσεις εδάφους και δεν περιλαμβάνει παράγοντες βάθους ή παράγοντες ακαμψίας. Ο Ευρωκώδικας 7 (EC7) δεν περιλαμβάνει αυτούς τους συντελεστές διότι δεν αντιμετωπίζονται σε κάθε περίπτωση οι παραπάνω συνθήκες σχεδιασμού. Η μέθοδος BS 8004 είναι χρήσιμη για τον σχεδιαστή σε περιπτώσεις όπου υπάρχουν αυτά τα φαινόμενα. Συνιστάται τα αποτελέσματα της μεθόδου BS 8004 να ελέγχονται έναντι ισοδύναμων αποτελεσμάτων χρησιμοποιώντας τη μέθοδο του Ευρωκώδικα 7 (EC7).

Η μέθοδος BS 8004 διασπά το πρόβλημα της φέρουσας ικανότητας σε διαφορετικές εξισώσεις για χονδρόκοκκα εδάφη όπως άμμο και χαλίκια και λεπτόκοκκα εδάφη όπως ίλες και άργιλος. Ορισμένες από τις εξισώσεις τροποποίησης είναι διαφορετικές ανάλογα με τον τύπο του εδάφους. Αυτό είναι ουσιαστικά το ίδιο με τη

μέθοδο του Ευρωκώδικα 7 (EC7) που σπάζει το πρόβλημα σε στραγγισμένες και μη στραγγισμένες συνθήκες.

Χονδρόκοκκο έδαφος (χώμα, χαλίκια)

Μια εναλλακτική μέθοδο υπολογισμού της φέρουσας ικανότητας από τον τρόπο που δίνεται στον Ευρωκώδικα 7 (EC7) είναι η ακόλουθη, η οποία υπολογίζει την φέρουσα ικανότητα επιφανειακής θεμελίωσης σε χονδρόκοκκο έδαφος χρησιμοποιώντας ενεργές τάσεις.

$$\frac{R'}{A'} = c'N_c s_c i_c d_c g_c r_c + q'N_q b_q s_q i_q d_q g_q r_q + 0,5\gamma''BN_\gamma b_\gamma s_\gamma i_\gamma d_\gamma g_\gamma r_\gamma \quad (5.24)$$

Οι συντελεστές N , s , i , d , g , r , ορίζονται σύμφωνα με την βιβλιογραφική αναφορά Roulos *et al.*

Όπου :

Συντελεστές φέρουσας ικανότητας

$$N_q = e^{\pi \tan \varphi} \tan^2 \left(45 + \frac{\varphi}{2} \right) \quad (5.25)$$

$$N_\gamma = a e^{b\varphi}, \varphi > 0 \quad (5.26)$$

$$N_\gamma = 0, \varphi = 0 \quad (5.27)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \varphi \quad (5.28)$$

Συντελεστές σχήματος θεμελίωσης

$$s_q = 1 + \left(\frac{B}{L} \right) \tan \varphi \quad (5.29)$$

$$s_\gamma = 1 - 0,4 \left(\frac{B}{L} \right) \quad (5.30)$$

$$s_c = 1 + \left(\frac{B}{L} \right) \left(\frac{N_q}{N_c} \right) \quad (5.31)$$

Συντελεστές κλίσης του φορτίου , η οποία προκαλείται από οριζόντιο φορτίο H

$$i_q = [1 - (\frac{H}{V + A'c'\cot\varphi})]^m \quad (5.32)$$

$$i_\gamma = [1 - (\frac{H}{V + A'c'\cot\varphi})]^{m+1} \quad (5.33)$$

$$i_c = i_q - (\frac{1 - i_q}{N_c \tan\varphi}), \varphi > 0 \quad (5.34)$$

$$i_c = 1 - (\frac{mH}{c'N_cA'}), \varphi = 0 \quad (5.35)$$

Συντελεστές κλίσης της βάσης θεμελίωσης

$$b_q = b_\gamma \quad (5.36)$$

$$b_\gamma = (1 - \alpha \tan\varphi)^2 \quad (5.37)$$

$$b_c = b_q - (\frac{1 - b_q}{N_c \tan\varphi}), \varphi > 0 \quad (5.38)$$

$$b_c = 1 - (\frac{2\alpha}{\pi + 2}), \varphi = 0 \quad (5.39)$$

Συντελεστές κλίσεις εδάφους

$$g_q = (1 - \tan\omega)^2, \varphi > 0 \quad (5.40)$$

$$g_q = 1, \varphi = 0 \quad (5.41)$$

$$g_q = g_\gamma \quad (5.42)$$

$$g_c = g_q - \left(\frac{1 - g_q}{N_c \tan \varphi}\right), \varphi > 0 \quad (5.43)$$

$$g_c = 1 - \left(\frac{2\omega}{\pi + 2}\right), \varphi = 0 \quad (5.44)$$

Συντελεστές βάθους

$$d_q = 1 + 2 \tan \varphi (1 - \sin \varphi)^2 \tan^{-1} \left(\frac{D}{B}\right) \quad (5.45)$$

$$d_\gamma = 1 \quad (5.46)$$

$$d_c = d_q - \left(\frac{1 - d_q}{N_c \tan \varphi}\right), \varphi > 0 \quad (5.47)$$

$$d_c = 1 + 0.33 \tan^{-1} \left(\frac{D}{B}\right), \varphi = 0 \quad (5.48)$$

Συντελεστές δυσκαμψίας

$$r_q = e \left[(-4,4 + 0,6 \frac{B}{L}) \tan \varphi + 3,07 \sin \varphi \log_{10} 2I_r \right] \quad (5.49)$$

$$r_\gamma = r_q \quad (5.50)$$

$$r_c = 0,32 + 0,12 \left(\frac{B}{L}\right) + 0,60 \log_{10} I_r, \varphi = 0 \quad (5.51)$$

$$r_c = r_q - \left(\frac{1 - r_q}{N_c \tan \varphi}\right), \varphi > 0 \quad (5.52)$$

Σύμβολα φ

φ: γωνία διατμητικής αντίστασης

a: 0,0663 για λείες θεμελιώσεις, 0,1054 για τραχείες θεμελιώσεις

b: 9,3 για λείες θεμελιώσεις, 9,6 για τραχείες θεμελιώσεις όταν το φ δίνεται σε radians και 0,162 για λείες θεμελιώσεις και 0,168 για τραχείες θεμελιώσεις όταν το φ δίνεται σε μοίρες.

B: πλάτος θεμελίου

L: μήκος θεμελίου

D: το βάθος της θεμελίωσης

A: ενεργός επιφάνεια της θεμελίωσης

H: η οριζόντια δύναμη που ασκείται στο θεμέλιο

V: η κατακόρυφη δύναμη που ασκείται στο θεμέλιο

m: $m = [2 + (B/L)] / [1 + (B/L)]$ όταν το H δρα κατά την διεύθυνση του B

και $m = [2 + (L/B)] / [1 + (L/B)]$ όταν το B δρα κατά την διεύθυνση του H

α: η κλίση της βάσης της θεμελίωσης ως προς την οριζόντια

ω: η κλίση της επιφάνειας του εδάφους κάτω από το οριζόντιο προς την κατεύθυνση μακριά από το θεμέλιο

I_r: $G/c' \sigma_v' \tan \phi$

G: το μέτρο ελαστικότητας της διάτμησης του εδάφους

c': συνοχή σε όρους ενεργούς τάσης

σ_v': η κάθετη ενεργή τάση που ασκείται στο θεμέλιο.

Οι εκφράσεις που υπολογίζουν τα N_c, N_q, την κλίση της βάσης b_c, b_q, b_v, το σχήμα της θεμελίωσης s_c και την κλίση του φορτίου i_c, i_q, i_v είναι ίδιες με αυτές του Παρατήματος Δ. Στην εθνική επιλογή του Ηνωμένου Βασιλείου δίνονται διαφορετικές εκφράσεις για τον υπολογισμό του N_v, s_q, s_c

Επίσης στον υπολογισμό της φέρουσας ικανότητας σύμφωνα με το Παράρτημα Δ αγνοούνται οι εκφράσεις για τον υπολογισμό g_c, g_q, g_v, d_c, d_q, d_v, r_c, r_q, r_v

Σε γενικές γραμμές, τα περισσότερα θεμέλια από σκυρόδεμα θα είναι τραχιά ως λείο θεμέλιο θεωρείται ένα θεμέλιο από χυτευτό σκυρόδεμα ή κάποιο άλλο υλικό.

Πίνακας 5.3: Σύγκριση ελληνικού βρετανικού υπολογισμού φέρουσας ικανότητας για στραγγισμένες συνθήκες

Συντελεστής	Σύμβολο	EC7	BS 8004
Φέρουσας ικανότητας	N_q	$e^{\pi \tan \varphi} \tan^2 \left(45 + \frac{\varphi}{2} \right)$	$e^{\pi \tan \varphi} \tan^2 \left(45 + \frac{\varphi}{2} \right)$
	N_γ	$2(N_q - 1) \tan \varphi'$	$ae^{b\varphi}$
	N_c	$(N_q - 1) \cot \varphi$	$(N_q - 1) \cot \varphi$
Σχήματος	s_q	$1 + \left(\frac{B'}{L'} \right) \sin \varphi'$	$1 + \left(\frac{B}{L} \right) \tan \varphi$
	s_γ	$1 - 0.3 \left(\frac{B'}{L'} \right)$	$1 - 0.4 \left(\frac{B}{L} \right)$
	s_c	$\frac{(s_q N_q - 1)}{(N_q - 1)}$	$1 + \left(\frac{B}{L} \right) \left(\frac{N_q}{N_c} \right)$
Κλίσης φορτίου	i_q	$\left[1 - \left(\frac{H}{V + A'c' \cot \varphi} \right) \right]^m$	$\left[1 - \left(\frac{H}{V + A'c' \cot \varphi} \right) \right]^m$
	i_γ	$\left[1 - \left(\frac{H}{V + A'c' \cot \varphi} \right) \right]^{m+1}$	$\left[1 - \left(\frac{H}{V + A'c' \cot \varphi} \right) \right]^{m+1}$
	i_c	$i_q \left(\frac{1 - i_q}{N_c \tan \varphi} \right)$	$i_q \left(\frac{1 - i_q}{N_c \tan \varphi} \right)$
Κλίσης βάσης	b_q	b_γ	b_γ
	b_γ	$(1 - \alpha \tan \varphi)^2$	$(1 - \alpha \tan \varphi)^2$
	b_c	$b_q - \left(\frac{1 - b_q}{N_c \tan \varphi} \right)$	$b_q - \left(\frac{1 - b_q}{N_c \tan \varphi} \right)$
Κλίσης εδάφους	g_q	-	$(1 - \tan \omega)^2$
	g_γ	-	g_q
	g_c	-	$g_q - \left(\frac{1 - g_q}{N_c \tan \varphi} \right)$
Βάθους	d_q	-	$1 + 2 \tan \varphi \left(1 - \sin \varphi \right)^2 \tan^{-1} \left(\frac{D}{B} \right)$
	d_γ	-	1
	d_c	-	$d_q - \left(\frac{1 - d_q}{N_c \tan \varphi} \right)$

Δυσκαμψίας	r_q	-	$e \left[\left(-4,4 + 0,6 \frac{B}{L} \right) \tan \varphi + 3,07 \sin \varphi \log_{10} 2I_r \right]$
	r_γ	-	r_q
	r_c	-	$r_c = r_q - \left(\frac{1 - r_q}{N_c \tan \varphi} \right)$
<p>Εξίσωση Φ.Ι:</p> $\frac{R'}{A'} = c' N_c s_c i_c d_c g_c r_c + q' N_q b_q s_q i_q d_q g_q r_q + 0,5 \gamma'' B N_\gamma b_\gamma s_\gamma i_\gamma d_\gamma g_\gamma r_\gamma$ <p>Όπου:</p> $m = \frac{2 + \left(\frac{B}{L} \right)}{1 + \left(\frac{B}{L} \right)}$ <p>όταν το Η δρα κατά την διεύθυνση του Β</p> <p>Και $m = \frac{2 + \left(\frac{L}{B} \right)}{1 + \left(\frac{L}{B} \right)}$ όταν το Β δρα κατά την διεύθυνση του Η</p> $I_r = \frac{G}{c'} \sigma_v \tan \varphi'$			

Λεπτόκοκκο έδαφος (ίλος άργιλος)

Η φέρουσα αντίσταση μιας επιφανειακής θεμελίωσης εδραζόμενη σε λεπτόκοκκο έδαφος μπορεί να υπολογιστεί ως η μικρότερη από την φέρουσα αντίσταση σε αστράγγιστες συνθήκες και συνθήκες πλήρους στράγγισης.

Σε αστράγγιστες συνθήκες η φέρουσα ικανότητα επιφανειακής θεμελίωσης σε λεπτόκοκκο έδαφος υπολογίζεται με την χρήση ολικών τάσεων.

Σε συνθήκες πλήρους στράγγισης η φέρουσα ικανότητα επιφανειακής θεμελίωσης σε λεπτόκοκκο έδαφος υπολογίζεται με την χρήση ενεργών παραμέτρων πίεσης όπως περιγράφηκε παραπάνω. Μια εναλλακτική λύση που προτείνεται στο BS 8004: 2015 έναντι αυτής που παρουσιάζεται στο παράρτημα Δ του Ευρωκώδικα 7 αναλύεται ακολούθως όταν δεν υπάρχει κλίση του εδάφους και κλίση φορτίου για τον υπολογισμό φέρουσας ικανότητας επιφανειακής θεμελίωσης σε λεπτόκοκκα εδάφη με την χρήση ολικών πιέσεων.

$$\frac{R'}{A'} = N_c c_u s_c d_c + q_{vb} \quad (5.53)$$

Όπου:

$$N_c = \pi + 2 \quad (5.54)$$

$$s_c = 1 + 0,21 \frac{B}{L} + 0,17 \sqrt{\frac{D}{B}} \quad (5.55)$$

$$d_c = 1 + 0.77 \sqrt{\frac{D}{B}} \quad (5.56)$$

Σύμβολα

- A' : ενεργός επιφάνεια σχεδιασμού της θεμελίωσης
 C_u : αστράγγιστη διατμητική αντοχή για λεπτόκοκκο έδαφος
 s_c : συντελεστής σχήματος
 d_c : συντελεστής βάθους
 q_{vb} : η συνολική πίεση υπερφόρτωσης στην κάτω πλευρά του θεμελίου
 B : το πλάτος της θεμελίωσης
 D : το μήκος θεμελίωσης
 L : το βάθος της θεμελίωσης

Αυτές οι εξισώσεις δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν αν η επιφάνεια του εδάφους, το εφαρμοσμένο φορτίο ή η βάση της θεμελίωσης είναι κεκλιμένα. Σε αυτές τις περιπτώσεις η παράληψη των συντελεστών κλίσης εδάφους, κλίσης φορτίου, κλίσης βάσης πιθανών να οδηγούν σε σφάλμα. Το βρετανικό πρότυπο για το σχεδιασμό θεμελίωσης BS 8004 περιλαμβάνει μια επέκταση της ανάλυσης φέρουσας ικανότητας που βρέθηκε στον Ευρωκώδικα 7 (EC7). Αυτή η μέθοδος είναι πολύ παρόμοια με τη μέθοδο του Ευρωκώδικα, αλλά περιλαμβάνει παράγοντες τροποποίησης για βάθος, κλίση κλίσης και ακαμψία.

Συντελεστής	Σύμβολο	EC7	BS 8004
Φέρουσας ικανότητας	N_c	$\pi + 2$	$\pi + 2$
Κλίσης βάσης	b_c	$1 - \frac{2a}{(\pi + 2)}$	-
Σχήματος	s_c	$1 + 0,2 \left(\frac{B'}{L'} \right)$	$1 + 0.21 \frac{B}{L} + 0.17 \sqrt{\frac{D}{B}}$
Κλίσης του φορτίου	i_c	$\frac{1}{2} \left(1 + \sqrt{1 - \frac{H}{A'c_u}} \right)$	-
Βάθους	d_c		$1 + 0.77 \sqrt{\frac{D}{B}}$

5.3 Σύγκριση μεταξύ της υπολογιστικής μεθόδου που παρουσιάζεται στο παράρτημα Δ του Ευρωκώδικα 7 με την μέθοδο που παρουσιάζεται στο BS8004.

5.3.1 Συγκριτικές αναλύσεις συντελεστών φέρουσας ικανότητας

Η σύγκριση μεταξύ του παραρτήματος Δ του Ευρωκώδικα 7 (EC7) και του BS8004 αφορά μόνο το υπολογιστικό προσομοίωμα και όχι τους επί μέρους συντελεστές ασφαλείας σε αντίθεση με την σύγκριση μεταξύ των DAS. Οι συντελεστές φέρουσας ικανότητας N_q , N_c υπολογίζονται με τον ίδιο τύπο και στις δυο περιπτώσεις, άρα είναι ίδιοι, όπως φαίνεται στα διαγράμματα 5.3, 5.4. Σε αντίθεση, η τιμή του συντελεστή N_γ διαφοροποιείται κατά τον υπολογισμό της μέσω της σχέσης που δίνεται από το Παράρτημα Δ του Ευρωκώδικα 7 (EC7) σε σύγκριση με τον τρόπο υπολογισμού της με το BS8004. Κατά τον Ευρωκώδικα 7 (EC7) το N_γ εξαρτάται από την γωνία ϕ' και από τον συντελεστή N_q ενώ κατά τον υπολογισμό του μέσω του BS8004 το N_γ εξαρτάται από την γωνία ϕ' και από την τραχύτητα του θεμελίου (βλέπε διάγραμμα 5.5).

Πίνακας 5.4: Συντελεστές φέρουσας ικανότητας Παράρτημα Δ EC7-BS8004

Συντελεστής	Σύμβολο	Παράρτημα Δ EC7	BS 8004
Φέρουσας ικανότητας	N_q	$e^{\pi \tan \phi} \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right)$	$e^{\pi \tan \phi} \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right)$
	N_γ	$2(N_q - 1) \tan \phi'$	$a e^{b \phi}$
	N_c	$(N_q - 1) \cot \phi$	$(N_q - 1) \cot \phi$

Οι τιμές a , b δίνονται από τον ακόλουθο πίνακα :

Πίνακας 5.5: Συντελεστές τραχύτητας

Συντελεστής	Λείες θεμελιώσεις	Τραχειές θεμελιώσεις
A	0,0663	0,1054
B	0,162	0,168

Στην συνέχεια δημιουργήθηκε ένα Excel με σκοπό την συγκριτική ανάλυση των συντελεστών της φέρουσας ικανότητας υπολογισμένους σύμφωνα το παράρτημα Δ του Ευρωκώδικα 7 (EC7) και με την μεθοδολογία που παρουσιάζεται στο BS8004. Στο παράρτημα Α παρουσιάζονται αναλυτικά οι παραδοχές και τα αποτελέσματα του

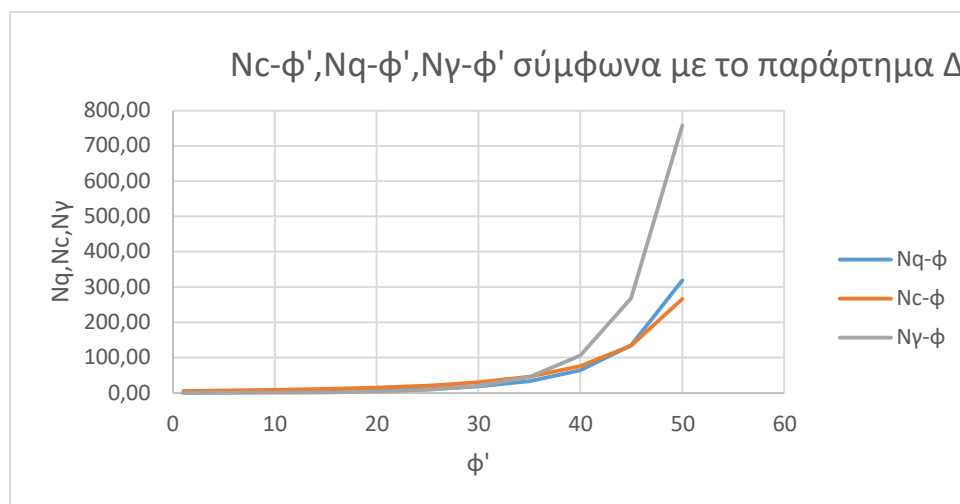
Εχει για τους συντελεστές φέρουσας ικανότητας και του συντελεστές σχήματος. Ακολουθούν τα διαγράμματα που προέκυψαν κατά την σύγκριση των δύο απολογιστικών μοντέλων που έχουν παρουσιαστεί .

Πίνακας 5.6: Οι συντελεστές N_c , N_q , N_γ , υπολογισμένοι βάση το Παράρτημα Δ

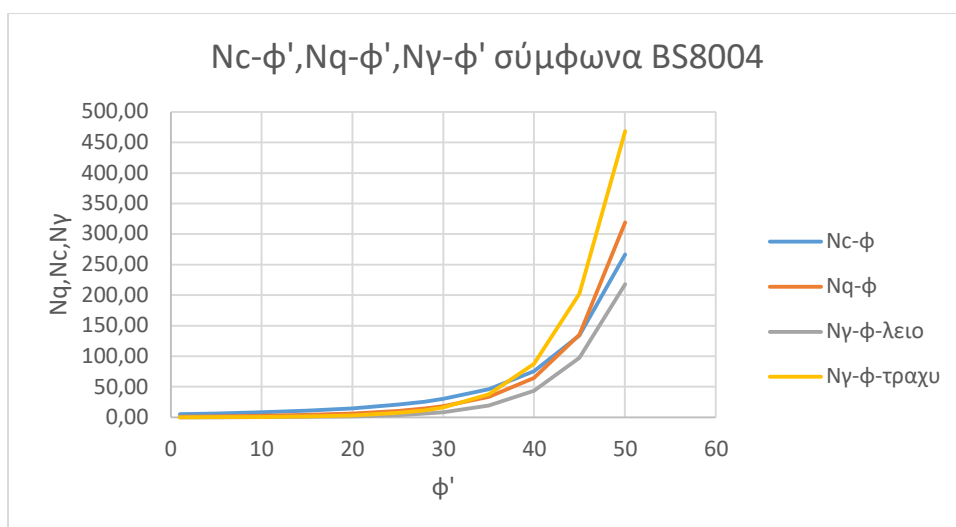
ϕ	N_q	N_c	N_γ
1	1,09	5,38	0,00
5	1,57	6,49	0,10
10	2,47	8,34	0,52
15	3,94	10,98	1,58
20	6,40	14,83	3,93
25	10,66	20,72	9,01
28	14,72	25,80	14,59
30	18,40	30,14	20,09
35	33,30	46,12	45,23
40	64,20	75,31	106,05
45	134,87	133,87	267,75
50	319,06	266,88	758,09

Πίνακας 5.7: Οι συντελεστές N_c , N_q , N_γ , υπολογισμένοι βάση το BS8004

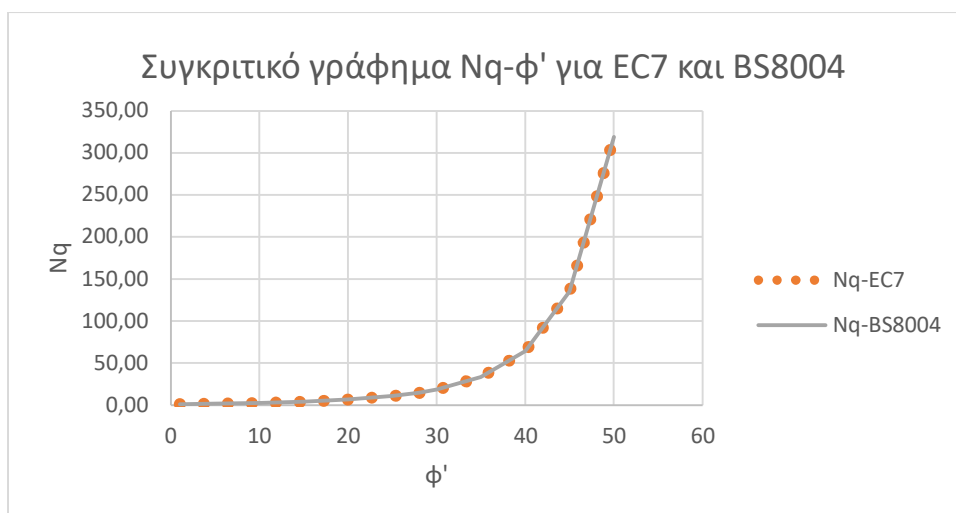
ϕ	N_q	N_c	N_γ (Λείο)	N_γ (Τραχύ)
1	1,09	5,38	0,08	0,12
5	1,57	6,49	0,15	0,24
10	2,47	8,34	0,34	0,57
15	3,94	10,98	0,75	1,31
20	6,40	14,83	1,69	3,03
25	10,66	20,72	3,81	7,03
28	14,72	25,80	6,19	11,63
30	18,40	30,14	8,55	16,28
35	33,30	46,12	19,23	37,71
40	64,20	75,31	43,23	87,36
45	134,87	133,87	97,17	202,35
50	319,06	266,88	218,42	468,72



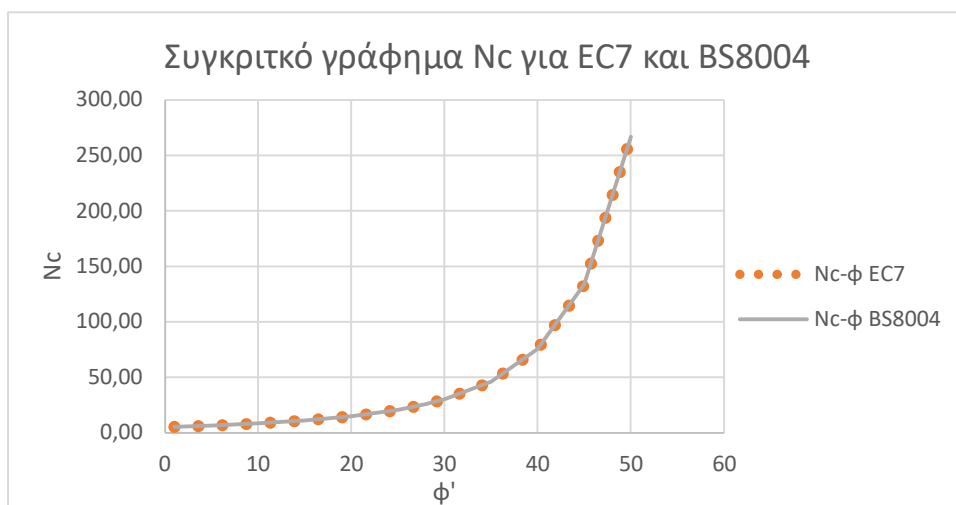
Διάγραμμα 5.1: Οι συντελεστές N_c , N_q , N_γ , υπολογισμένοι βάσει το Παράρτημα Δ του EC7



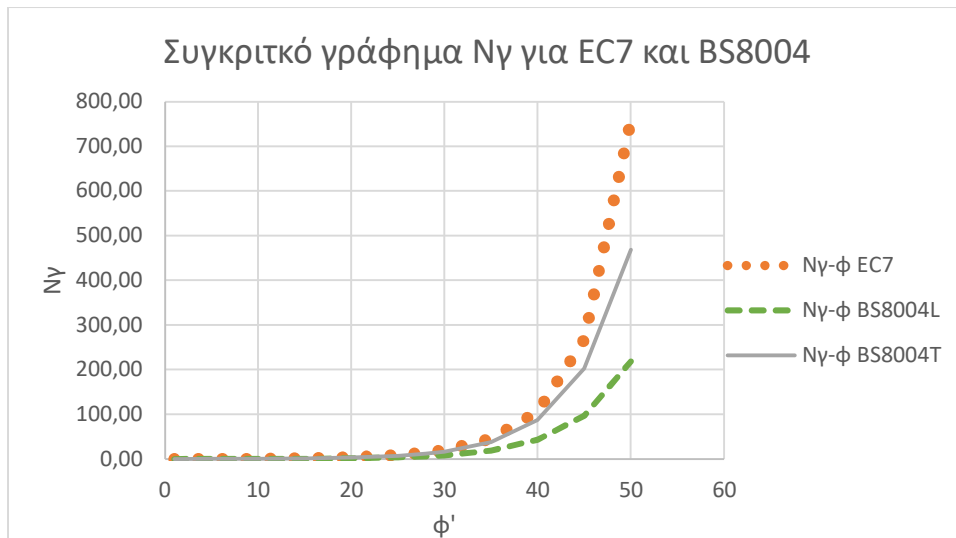
Διάγραμμα 5.2: Οι συντελεστές N_c , N_q , N_γ , υπολογισμένοι βάσει τον BS8004.



Διάγραμμα 5.3: Σύγκριση $N_q-\phi'$ σύμφωνα με το Παράρτημα Δ του EC7 και του BS8004.

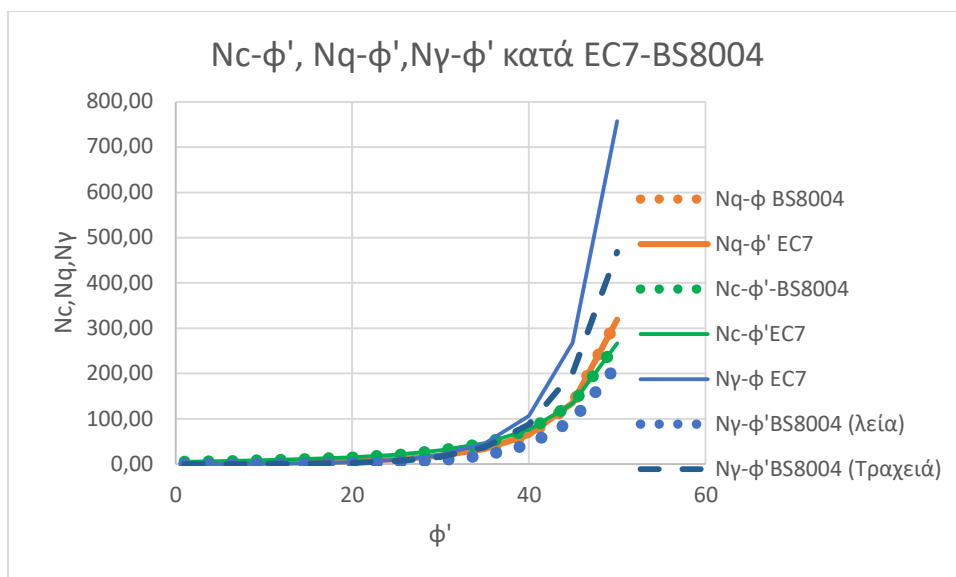


Διάγραμμα 5.4: Σύγκριση $N_c-\phi'$ σύμφωνα με το Παράρτημα Δ του EC7 και του BS8004.



Διάγραμμα 5.5: Σύγκριση $N_{\gamma}-\phi'$ σύμφωνα με το Παράρτημα Δ του EC7 και του BS8004

Όπως φαίνεται και στο διάγραμμα 5.3 οι τιμές του συντελεστή N_{γ} για διάφορες τιμές του ϕ' είναι ίδιες είτε υπολογίζονται σύμφωνα με το παράρτημα Δ του Ευρωκώδικα 7 (EC7) είτε με την μεθοδολογία που παρουσιάζεται στο BS8004. Το ίδιο συμπέρασμα προκύπτει και για τις τιμές του συντελεστή N_c όπως φαίνεται στο διάγραμμα 5.4. Αντιθέτως στο διάγραμμα 5.5 είναι εμφανές πως ο συντελεστής N_{γ} παίρνει διαφορετικές τιμές ανάλογα με την μέθοδο που υπολογίζεται. Κατά τον BS8004 ο υπολογισμός του N_{γ} εξαρτάται από την τραχύτητα της θεμελίωσης. Είτε για λείες θεμελιώσεις είτε για τραχείες ο συντελεστής N_{γ} υπολογισμένος βάση της μεθόδου BS8004 είναι για όλα τις τιμές του ϕ' μικρότερος από ότι όταν υπολογίζεται σύμφωνα με το παράρτημα Δ του Ευρωκώδικα (EC7).



Διάγραμμα 5.6: Οι συντελεστές N_c , N_q , N_{γ} , υπολογισμένοι βάση τον BS800 και τον EC7.

5.3.2 Συγκριτικές αναλύσεις συντελεστών σχήματος

Για τον υπολογισμό των συντελεστών σχήματος σύμφωνα με την υπολογιστική μέθοδο που ακολουθείται στο Παράρτημα Δ του Ευρωκώδικα 7 (EC7) και στο BS8004 προγραμματίστηκε ένα φύλο Excel στο οποίο θεωρήθηκε πως δεν υπάρχει εκκεντρότητα για διάφορα B/L.

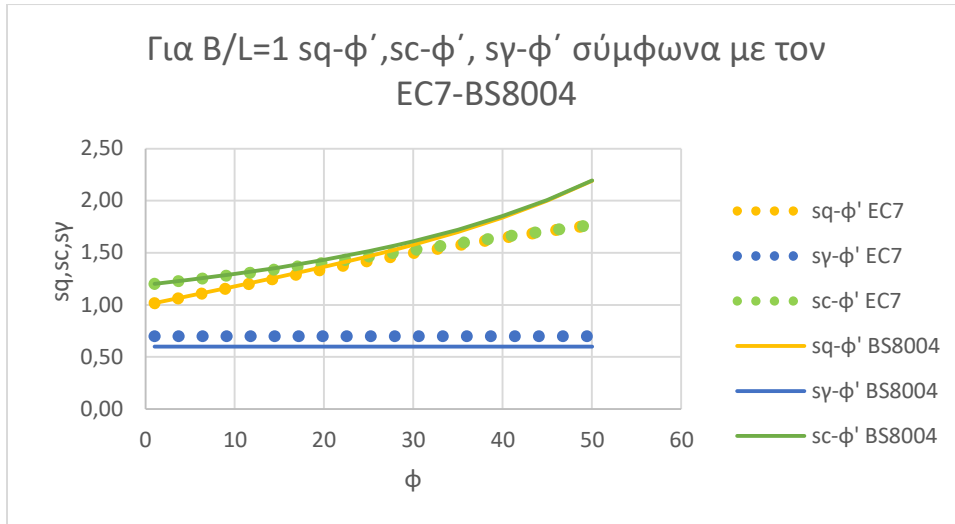
Πίνακας 5.8: Σύγκριση συντελεστών σχήματος υπολογισμένοι μέσω του παραρτήματος Δ του EC7 και του BS8004.

Σχήματος	s_q	$1 + \left(\frac{B'}{L'}\right) \sin\varphi'$	$1 + \left(\frac{B}{L}\right) \tan\varphi$
	s_γ	$1 - 0.3 \left(\frac{B'}{L'}\right)$	$1 - 0.4 \left(\frac{B}{L}\right)$
	s_c	$\frac{(s_q N_q - 1)}{(N_q - 1)}$	$1 + \left(\frac{B}{L}\right) \left(\frac{N_q}{N_c}\right)$

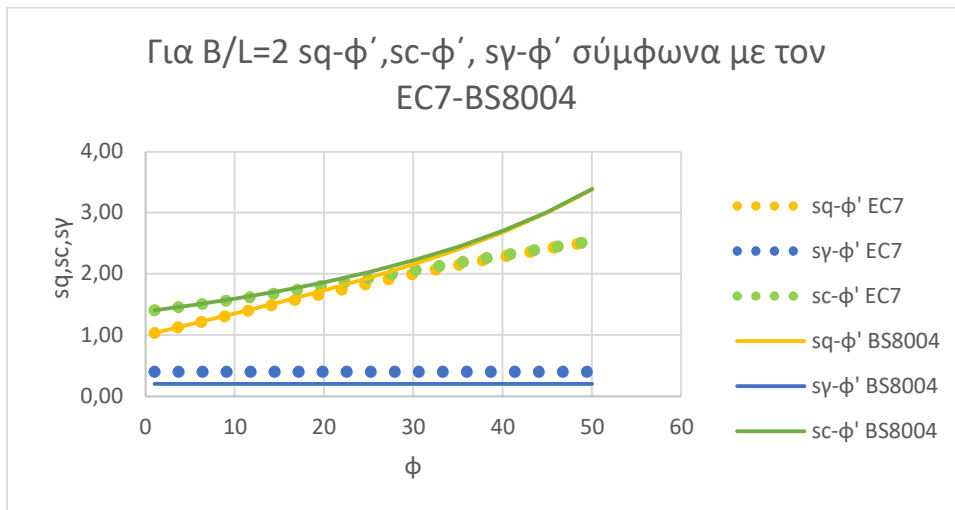
Στο δεξί τμήμα του υπολογιστικού φύλου του Excel συμπληρώνοντας στη πρώτη σειρά την τιμή του λόγου B/L και στην πρώτη στήλη του πίνακα τις γωνιές φ που μελετάμε υπολογίζονται αυτόματα οι συντελεστές φέρουσας ικανότητας και σχήματος βάση του παραρτήματος Δ του Ευρωκώδικα 7 (EC7) και αντίστοιχα συμπληρώνοντας τα ίδια νούμερα στην αριστερή πλευρά της σελίδα υπολογίζονται αυτόματα οι συντελεστές βάση της μεθοδολογίας του BS8004. Το Excel δίνει αποτελέσματα για οποιεσδήποτε τιμές B/L. Στην παρούσα διπλωματική εργασία οι τιμές του κλάσματος που διερευνώνται είναι οι εξής : B/L=1, B/L=2, B/L=5, B/L=10, B/L=25, B/L=50. Ακολουθούν συγκριτικά διαγράμματα των συντελεστών σχήματος.

EC7							BS8004							
$s_q = 1 + \left(\frac{B'}{L'}\right) \sin\varphi'$							$s_q = 1 + \left(\frac{B}{L}\right) \tan\varphi$							
$s_\gamma = 1 - 0.3 \left(\frac{B'}{L'}\right)$							$s_\gamma = 1 - 0.4 \left(\frac{B}{L}\right)$							
$s_c = \frac{(s_q N_q - 1)}{N_q - 1}$							$s_c = 1 + \left(\frac{B}{L}\right) \left(\frac{N_q}{N_c}\right)$							
B/L= 1							B/L= 1							
φ	Nq	Nc	Nγ	sq	sγ	sc	φ	Nq	Nc	Nγ	Nγ	sq	sγ	sc
1	1,09	5,38	0,00	1,02	0,70	1,20	1	1,09	5,38	0,08	0,12	1,02	0,60	1,20
5	1,57	6,49	0,10	1,09	0,70	1,24	5	1,57	6,49	0,15	0,24	1,09	0,60	1,24
10	2,47	8,34	0,52	1,17	0,70	1,29	10	2,47	8,34	0,34	0,57	1,18	0,60	1,30
15	3,94	10,98	1,58	1,26	0,70	1,35	15	3,94	10,98	0,75	1,31	1,27	0,60	1,36
20	6,40	14,83	3,93	1,34	0,70	1,41	20	6,40	14,83	1,69	3,03	1,36	0,60	1,43
25	10,66	20,72	9,01	1,42	0,70	1,47	25	10,66	20,72	3,81	7,03	1,47	0,60	1,51
28	14,72	25,80	14,59	1,47	0,70	1,50	28	14,72	25,80	6,19	11,63	1,53	0,60	1,57
30	18,40	30,14	20,09	1,50	0,70	1,53	30	18,40	30,14	8,55	16,28	1,58	0,60	1,61
35	33,30	46,12	45,23	1,57	0,70	1,59	35	33,30	46,12	19,23	37,71	1,70	0,60	1,72
40	64,20	75,31	106,05	1,64	0,70	1,65	40	64,20	75,31	43,23	87,36	1,84	0,60	1,85
45	134,87	133,87	267,75	1,71	0,70	1,71	45	134,87	133,87	97,17	202,35	2,00	0,60	2,01
50	319,06	266,88	758,09	1,77	0,70	1,77	50	319,06	266,88	218,42	468,72	2,19	0,60	2,20

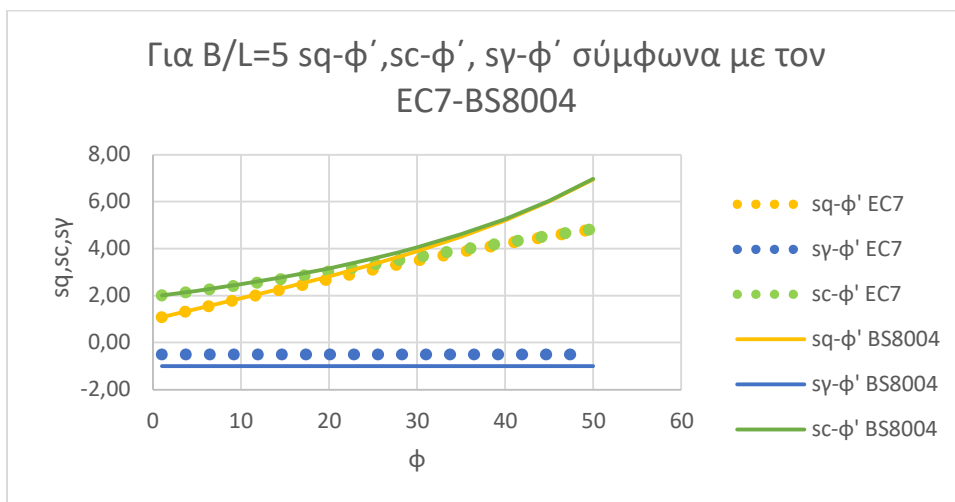
Εικόνα 5.6: περιγραφή υπολογιστικού φύλου Excel για συντελεστές σχήματος Φ.1



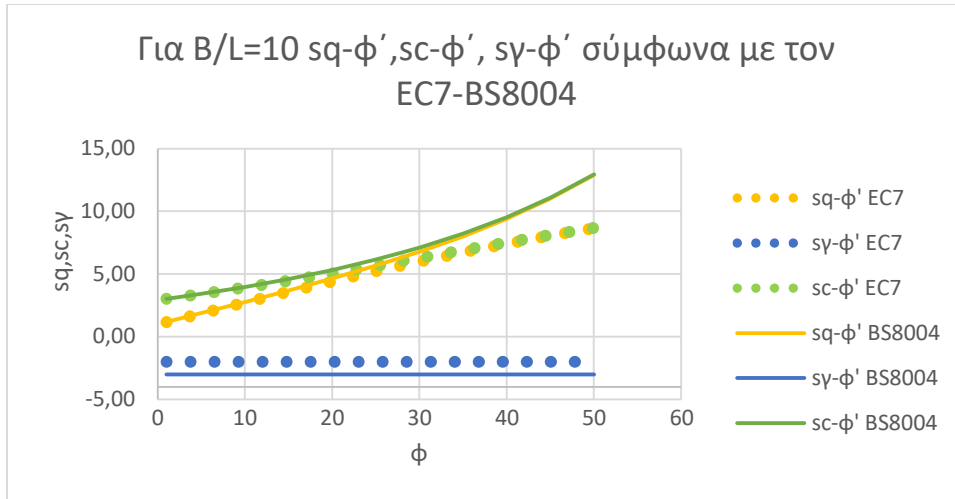
Διάγραμμα 5.7: Οι συντελεστές s_c , s_q , s_γ , υπολογισμένοι βάση τον BS800 και τον EC7 για $B/L=1$.



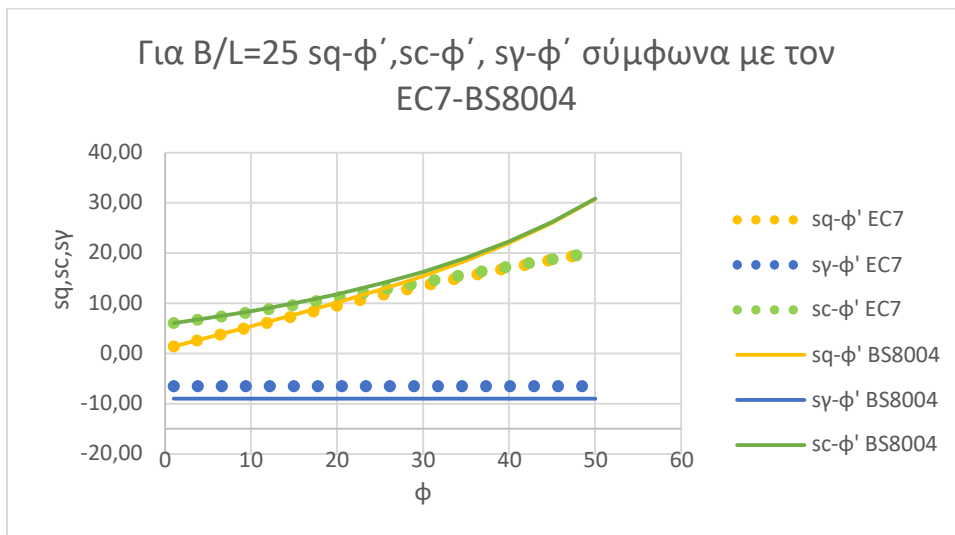
Διάγραμμα 5.8: Οι συντελεστές s_c , s_q , s_γ , υπολογισμένοι βάση τον BS8004 και τον EC7 για $B/L=2$.



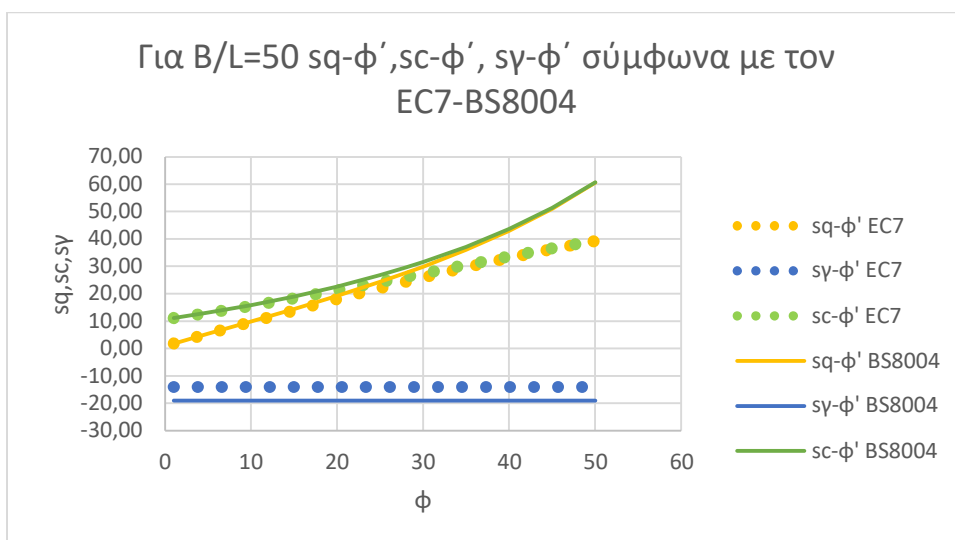
Διάγραμμα 5.9: Οι συντελεστές s_c , s_q , s_γ , υπολογισμένοι βάση τον BS800 και τον EC7 για $B/L=5$.



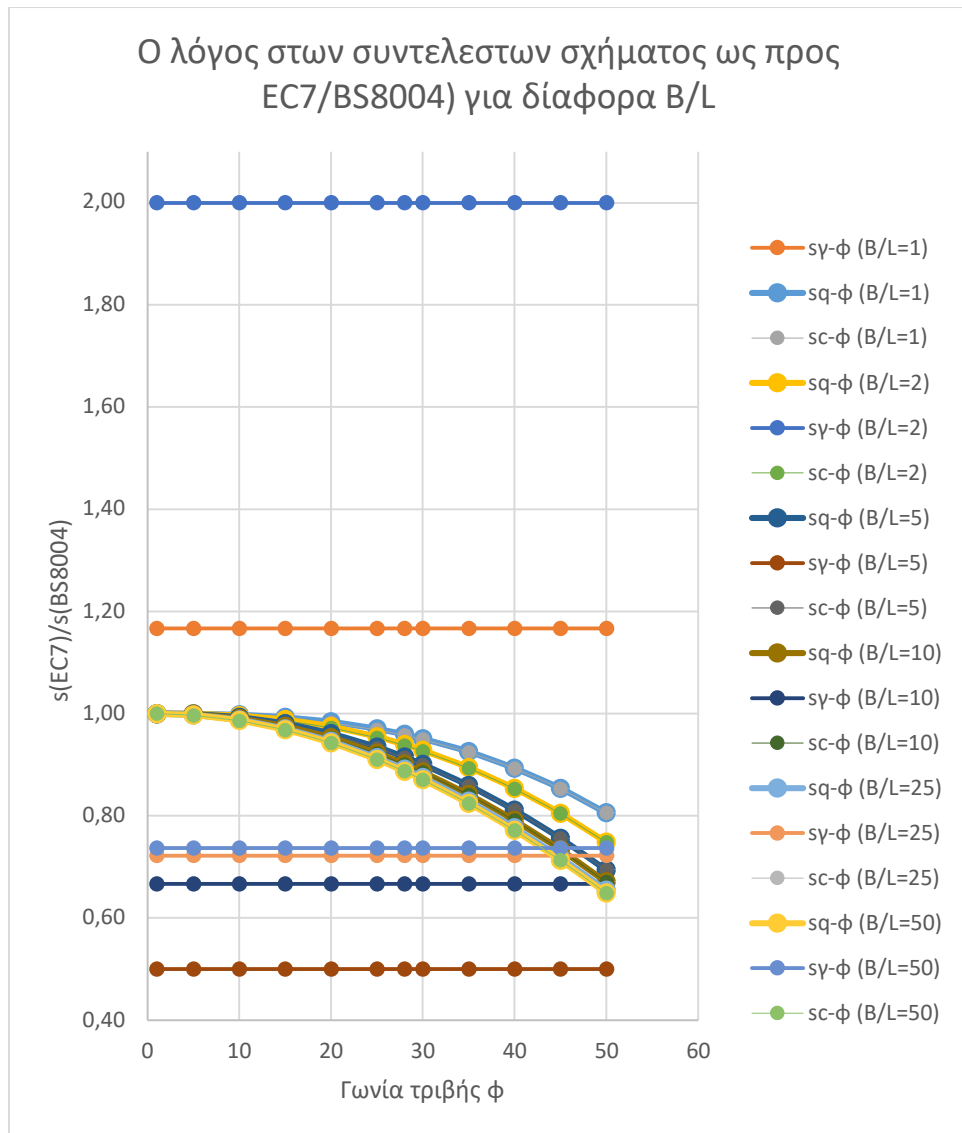
Διάγραμμα 5.10: Οι συντελεστές s_c , s_q , s_γ , υπολογισμένοι βάση τον BS800 και τον EC7 για $B/L=10$



Διάγραμμα 5.11: Οι συντελεστές s_c , s_q , s_γ , υπολογισμένοι βάση τον BS800 και τον EC7 για $B/L=25$



Διάγραμμα 5.12: Οι συντελεστές s_c , s_q , s_γ , υπολογισμένοι βάση τον BS800 και τον EC7 για $B/L=50$



Διάγραμμα 5.13: Ο λόγος των συντελεστών σχήματος υπολογισμένοι ως προς (EC7/BS8004) για διάφορα B/L.

Από τις παραπάνω συγκριτικές αναλύσεις συμπεραίνεται για τους συντελεστές σχήματος τα εξής:

sq: Ο συντελεστής sq για μικρές γωνίες ϕ είναι περίπου ίδιος είτε υπολογίζεται με την μέθοδο του Ευρωκώδικα 7 (EC7) είτε με την μέθοδο του BS8004. Όσο οι τιμές τις γωνίας ϕ αυξάνονται τόσο οι τιμές του sq υπολογισμένου βάση EC7 και BS8004 αρχίζουν να αποκλίνουν. Όταν γίνεται χρήση της μεθοδολογίας του Παραρτήματος Δ του Ευρωκώδικα 7 (EC7) όπως φαίνεται και στα ακόλουθα διαγράμματα οι τιμές του sq για μεγάλες γωνίες ϕ είναι αρκετά μικρότερες από τι οι αντίστοιχες τιμές υπολογισμένες με BS8004. Επίσης όσο αυξάνεται το πηλίκο το κλάσματός B/L τόσο αυξάνεται και η τιμή του συντελεστή sq.

sc: Ο συντελεστής sc ακολουθεί την ίδια συμπεριφορά με τον συντελεστή sq. Συμπεραίνουμε έτσι ότι ο συντελεστής sc για μικρές γωνίες ϕ είναι περίπου ίδιος είτε υπολογίζεται με την μέθοδο του Ευρωκώδικα 7 (EC7) είτε με την μέθοδο του BS8004. Όσο οι τιμές τις γωνίας ϕ αυξάνονται οι τιμές του sc υπολογισμένου βάση του

Ευρωκώδικα 7 (EC7) και BS8004 αρχίζουν να αποκλίνουν. Για μεγάλες γωνίες ϕ οι τιμές του s_q είναι αρκετά μικρότερες από τις αντίστοιχες τιμές υπολογισμένες με BS8004. Επίσης όσο αυξάνεται το πηλίκο το κλάσματός B/L τόσο αυξάνεται και η τιμή του συντελεστή s_c .

Όπως φαίνεται στο διάγραμμα 5.13 η αναλογία $s_{c(EC7)}/s_{c(BS8004)}$ ταυτίζεται με την αναλογία $s_{c(EC7)}/s_{c(BS8004)}$ για διαφορές γωνίες ϕ .

s_γ : ο συντελεστής s_γ και στις δύο μεθόδους εξαρτάται μόνο από το κλάσμα B/L άρα δεν επηρεάζεται από την γωνία ϕ και έτσι αντιστοιχεί σε μία ευθεία γραμμή. Το παράρτημα Δ του Ευρωκώδικα 7 (EC7) για όλα τα B/L δίνει μεγαλύτερες τιμές του συντελεστή s_γ από τις αντίστοιχες τιμές του BS8004 όπως φαίνεται στα παραπάνω διαγράμματα.

Γενικά όσο αυξάνεται το πηλίκο του B/L οι τιμές s_q s_c αυξάνονται ενώ οι τιμές s_γ μειώνονται και με τους δύο τρόπους υπολογισμού.

Πίνακας 5.9: Σύγκριση συντελεστών βάση EC7-BS8004

Παράρτημα Δ EC7		BS8004
N_c	=	N_c
N_q	=	N_q
N_γ	>	N_γ
s_q	<	s_q
s_c	<	s_c
s_γ	>	s_γ

6 Προγραμματισμός φέρουσας ικανότητας σε λογιστικό φύλλο Excel

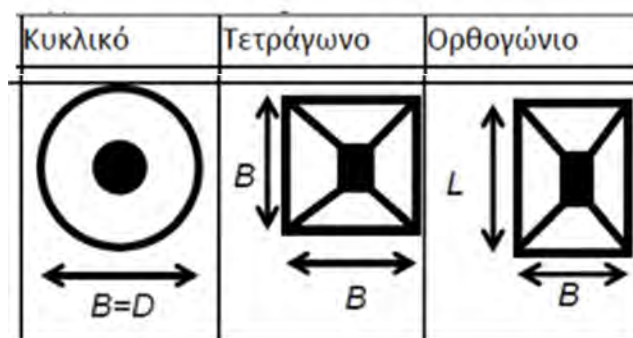
Έχοντας παρουσιαστεί θεωρητικά στο Κεφάλαιο 5 η μεθοδολογία του Παραρτήματος Δ του Ευρωκώδικα 7 (EC7) και ο τρόπος υπολογισμού της φέρουσας ικανότητας αβαθούς θεμελίωσης βάση του BS8004 κρίθηκε απαραίτητος ο προγραμματισμός τους στο πρόγραμμα Microsoft Excel 2007. Αναλυτικά όλοι οι υπολογισμοί, οι μέθοδοι και οι παραδοχές βρίσκονται στο παράρτημα Β στο τέλος της εργασίας.

6.1 Προγραμματισμός Excel σύμφωνα με το παράρτημα Δ του Ευρωκώδικα 7 (EC7).

Για τις ανάγκες της διπλωματικής εργασίας προγραμματίστηκε ένα φύλλο Excel με σκοπό τον υπολογισμό της φέρουσας ικανότητας επιφανειακής θεμελίωσης βάση του παραρτήματος Δ του Ευρωκώδικα 7 (EC7).

Κατά τον σχεδιασμό του προγράμματος λήφθηκαν υπόψη οι διαφορετικοί τύποι διατομής με σκοπό να είναι δυνατή η επίλυση για ορθογωνικό, τετραγωνικό και κυκλικό θεμέλιο. Επίσης δίνεται η δυνατότητα να παρουσιάζονται ταυτόχρονα τρία παραδείγματα και να έχουμε συγκριτικά αποτελέσματα στο ίδιο πρόβλημα όταν επιλέγεται διαφορετική γεωμετρία πεδίου ή διαφορετικός τρόπος ανάλυσης (πχ. DA1-1, DA1-2, DA2* ή DA3).

Τύπος διατομής	1: Ορθογωνική 2: Τετραγωνική 3: Κυκλική
----------------	---



Στα δεδομένα για την εκάστοτε περίπτωση συμπληρώνονται τα **γεωμετρικά στοιχεία** του προβλήματος:

- Επιλέγεται ο κατάλληλος τύπος διατομής 1,2 ή 3: τετραγωνική, ορθογωνική και κυκλική αντίστοιχα.
- Επιλέγεται η γεωμετρία της κάτοψης: το πλάτος (B), το μήκος (L) ή η διάμετρος D αν πρόκειται για κυκλικό θεμέλιο.

- Επιλέγεται το βάθος έδρασης (D_f) του θεμελίου και της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα (z_w).
- Επιλέγεται η κλίση της βάσης της θεμελίωσης ως προς την οριζόντια (α).

ΔΕΔΟΜΕΝΑ	παράδειγμα 1	παράδειγμα 2	παράδειγμα 3	
ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ				
Τύπος διατομής				M.M
B ή D				m
L				m
DF				m
z_w				m
a				m

Τα επόμενα δεδομένα που πρέπει να συμπληρωθούν σχετίζονται με τις **ιδιότητες των εδαφών**:

- Εδαφική στρώση 1 (πάνω από την στάθμη της θεμελίωσης):
το ξηρό ειδικό βάρος (γ_{dry}) και το κορεσμένο ειδικό βάρος (γ_{sat})
 - Εδαφική στρώση 2 (κάτω από την στάθμη θεμελίωσης):
το ξηρό (γ_{dry}) ειδικό βάρος και το κορεσμένο ειδικό βάρος (γ_{sat}) η ενεργός γωνία τριβής (ϕ) και η ενεργός συνοχή του εδάφους (c).
- Το ειδικό βάρος επιλέγεται σε κάθε περίπτωση ανάλογα με την στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα (z_w).

ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΕΔΑΦΩΝ				
Στρώση 1				
γ_{dry}				KN/m ³
γ_{sat}				KN/m ³
Στρώση 2				
γ_{dry}				KN/m ³
γ_{sat}				KN/m ³
ϕ'				°
c'				Kpa

Τελευταία δεδομένα που χρειάζεται να συμπληρωθούν στο πεδίο είναι οι **χαρακτηριστικές τιμές των δράσεων στην στάθμη έδρασης του πεδίου**:

- Η κατακόρυφη μόνιμη δράση (G_k),
- η κατακόρυφη πρόσκαιρη δράση (Q_k),
- η οριζόντια μόνιμη δράση κατά πλάτος ($H_{BG,k}$),
- η οριζόντια πρόσκαιρη δράση κατά πλάτος ($H_{BQ,k}$),
- η οριζόντια μόνιμη δράση κατά μήκος ($H_{LG,k}$),
- η οριζόντια πρόσκαιρη δράση κατά μήκος ($H_{LQ,k}$),
- η ροπή λόγω μόνιμων δράσεων κατά πλάτος ($M_{BG,k}$),
- η ροπή λόγω μόνιμων δράσεων κατά μήκος ($M_{LG,k}$),
- η ροπή λόγω πρόσκαιρων δράσεων κατά πλάτος ($M_{BQ,k}$),
- η ροπή λόγω πρόσκαιρων δράσεων κατά μήκος ($M_{LQ,k}$).

- Το τελευταίο στοιχείο που δηλώνεται είναι η ύπαρξη ή μη επιφόρτισης στην επιφάνεια του εδάφους.

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ ΔΡΑΣΕΩΝ ΣΤΗΝ ΣΤΑΘΜΗ ΕΔΡΑΣΗΣ ΤΟΥ ΠΕΔΙΛΟΥ (ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟ ΚΕΝΤΡΟ ΤΟΥ)				
Κατακόρυφες δράσεις				
v(Gk)				KN
v(Qk)				KN
Οριζόντιες δράσεις				
H(BGK)				KN
H(BQK)				KN
H(LGK)				KN
H(LQK)				KN
Ροπές				
M(BG,K)				KN/m
M(BQ,K)				KN/m
M(LG,K)				KN/m
M(LQ,K)				KN/m
Επιφόρτιση				
q				KN

Στην συνέχεια **δίνεται η δυνατότητα επιλογής ενός από τους τρεις τρόπους ανάλυσης** που παρουσιάζονται στον Ευρωκώδικα 7: α) DA1 για τους συνδυασμούς DA1-1 και DA1-2, β) DA2 συγκεκριμένα για την παραλλαγή DA2* (Ελληνική επιλογή) και γ) DA3.

Με την επιλογή ενός από τους παραπάνω τρόπους ανάλυσης από την αναπτυσσόμενη λίστα στο αντίστοιχο κελί συμπληρώνονται αυτόματα οι επιμέρους συντελεστές για τον εκάστοτε επιλογή τρόπου ανάλυσης.

Οι επιμέρους συντελεστές παρουσιάζονται αναλυτικά στο κεφάλαιο 4 και συγκεκριμένα στους πίνακες:

- Πίνακας 4.5 : Επιμέρους συντελεστές στις δράσεις ή στα αποτελέσματα των τάσεων σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 7(EC7) Παράρτημα Α.
- Πίνακας 4.6 : Επιμέρους συντελεστές εδαφικών παραμέτρων σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 7 (EC7) Παράρτημα Α.
- Πίνακας 4.7 : Επιμέρους συντελεστές αντίστασης για επιφανειακές θεμελιώσεις σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 7 (EC7) Παράρτημα Α.

Αποτελέσματα	παράδειγμα 1	παράδειγμα 2	παράδειγμα 3
Τρόπος ανάλυσης			
γG			
γQ			
γC'			
γφ'			
W			
γR,v			

Το επόμενο βήμα είναι ο υπολογισμός των τιμών σχεδιασμού των ιδιοτήτων του εδάφους μέσω της χρήσης των επιμέρους συντελεστών στις χαρακτηριστικές ιδιότητες τους εδάφους η οποίες είναι συμπληρωμένες στα δεδομένα του προβλήματος.

Στα κενά κελία πραγματοποιούνται οι εξής υπολογισμοί.

$$c_{d'} = \frac{c}{\gamma_{c'}}$$

$$\tan\varphi_d = \tan\frac{\varphi}{\gamma_{\varphi'}}$$

$$\varphi_{d'} = \arctan(\tan\varphi_d)$$

ΤΙΜΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΕΔΑΦΟΥΣ				
cd'				Kpa
(tanφ)d				
φd				°

Αντίστοιχη διαδικασία πραγματοποιείται στο επόμενο βήμα υπολογισμού των τιμών σχεδιασμού των δράσεων.

$$E_d = \gamma_G G_K + \gamma_Q Q_K$$

$$H_{Bd} = \gamma_G H_{BGK} + \gamma_Q H_{BQK}$$

$$H_{Ld} = \gamma_G H_{LGK} + \gamma_Q H_{LQK}$$

$$M_{Bd} = \gamma_G M_{BG,K} + \gamma_Q M_{BQ,K}$$

$$M_{Ld} = \gamma_G M_{LG,K} + \gamma_Q M_{LQ,K}$$

ΤΙΜΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΔΡΑΣΕΩΝ				
E _d =V _d				KN
H(B _d)				KN
H(L _d)				KN
M(B _d)				KN/m
M(L _d)				KN/m
q _d				KN/m

Στην συνέχεια υπολογίζεται η λοξότητα της φόρτισης ως προς την κατακόρυφο κατά πλάτος θ_{BK} και κατά μήκος θ_{LK}.

$$\tan\theta_{(BK)} = \frac{H_{BK}}{V_K}$$

$$\tan\theta_{(LK)} = \frac{H_{LK}}{V_K}$$

$$\theta_{(BK)} = \arctan(\tan\theta_{(BK)})$$

$$\theta_{(LK)} = \arctan (\tan\theta_{(LK)})$$

Λοξότητα φόρτισης			
$\tan\theta(Bk)$			
$\tan\theta(Lk)$			
$\theta(Bk)$			e
$\theta(Lk)$			e

Τελευταία υπολογίζονται **οι χαρακτηριστικές τιμές των** δράσεων: α) κατακόρυφη δράση επί του πεδίου (V_k), η β) οριζόντια δράση επί του πεδίου (H_k), γ) η ροπή κατά πλάτος (M_{Bk}), δ) η ροπή κατά μήκος (M_{Lk}).

$$\begin{aligned} V_K &= G_K + Q_K \\ H_{BK} &= H_{BGK} + H_{BQK} \\ H_{LK} &= H_{LGK} + H_{LQK} \\ M_{BK} &= M_{BG,K} + M_{BQ,K} \\ M_{LK} &= M_{LG,K} + M_{LQ,K} \end{aligned}$$

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ			
ΦΟΡΤΙΣΗ			
V_k			KN
H_{Bk}			KN
H_{Lk}			KN
M_{Bk}			KN/m
M_{Lk}			KN/m

Η επόμενη ομάδα υπολογισμών αφορά την εκκεντρότητα φόρτισης. Εάν στα δεδομένα έχει επιλεγθεί ένα θεμέλιο με διατομή:

- 1: ορθογωνική

Υπολογισμός εκκεντρότητας της φόρτισης κατά πλάτος (e_B), υπολογισμός εκκεντρότητας φόρτισης κατά μήκος (e_L), ανάλογα με τον τρόπο ανάλυσης επιλέγονται είτε χαρακτηριστικές τιμές είτε τιμές σχεδιασμού αντίστοιχα

$$\begin{aligned} e_B &= \frac{M_B}{V} \\ e_L &= \frac{M_L}{V} \end{aligned}$$

Υπολογισμός απομειωμένης (ενεργού) διατομής του πεδίου

$$\begin{aligned} B' &= B - 2e_B \\ L' &= L - 2e_L \\ A' &= L'B' \end{aligned}$$

- 2: τετραγωνική

Υπολογισμός εκκεντρότητας της φόρτισης κατά πλάτος (e_B ή e_x), υπολογισμός εκκεντρότητας φόρτισης κατά μήκος (e_L ή e_y), ανάλογα με τον τρόπο ανάλυσης επιλέγονται είτε χαρακτηριστικές τιμές είτε τιμές σχεδιασμού αντίστοιχα

$$e_B = \frac{M_B}{V}$$

$$e_L = \frac{M_L}{V}$$

Υπολογισμός απομειωμένης (ενεργού) διατομής του πεδίου (B' ή B_x' και L' ή B_y')

$$B_x' = B_y' = B_{(x,y)} - 2e_{(x,y)}$$

$$A' = B_x' B_y'$$

- 3: κυκλική

Υπολογισμός εκκεντρότητας της φόρτισης κατά πλάτος (e_B), ανάλογα με τον τρόπο ανάλυσης επιλέγονται είτε χαρακτηριστικές τιμές είτε τιμές σχεδιασμού αντίστοιχα

$$e_B = \frac{M_B}{V}$$

Ο υπολογισμός των μειωμένων διαστάσεων B' και L' ισοδύναμου ορθογωνικού πεδίου κατά American Petroleum institute (API 1987).

$$L' = \sqrt{A' \sqrt{\frac{R + e_B}{R - e_B}}}$$

$$B' = \frac{A'}{L'}$$

$$A' = \pi R^2 - 2 \left[e^2 \sqrt{R^2 - e_B^2} + R^2 \arcsin\left(\frac{e_B}{R}\right) \right]$$

ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ				
eb				m
el				m
A				m
B'				m
L'				m
A'				m ²

Έπειτα σύμφωνα με το παράρτημα Δ του Ευρωκώδικα 7 υπολογίζονται όλοι οι **αδιάστατοι συντελεστές** οι οποίοι παρουσιάζονται αναλυτικά στο κεφάλαιο 4.9.

- Συντελεστές φέρουσας ικανότητας N_q , N_c , N_γ ,

- Συντελεστές κλίσης της βάσης της θεμελίωσης b_q, b_c, b_γ ,
- Συντελεστές του σχήματος της θεμελίωσης s_q, s_c, s_γ ,
- Συντελεστές της κλίσης του φορτίου η οποία προκαλείται από οριζόντιο φορτίο H .

ΑΔΙΑΣΤΑΤΟΙ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ				
<u>1.ΦΕΡΟΥΣΑΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ</u>				
Στρώση 1				M.M
N_q				
N_c				
N_γ				
<u>2.ΚΛΙΣΗ ΤΗΣ ΒΑΣΗΣ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ</u>				
b_c				
b_q				
b_γ				
<u>3.ΣΧΗΜΑ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ</u>				
s_q				
s_c				
s_γ				
<u>4.ΑΠΟΚΛΙΣΗ ΦΟΡΤΙΟΥ</u>				
(εξετάζουμε την περίπτωση του ΗΒ μόνο)				
m				
$\tan\theta_B$				
i_c				
i_q				
i_γ				

$$q_u = cN_c b_c s_c i_c + q' N_q b_q s_q i_q + 0,5\gamma' B' N_\gamma b_\gamma s_\gamma i_\gamma$$

Για τον υπολογισμό της επιφόρτισης στη στάθμη θεμελίωσης q' και του ενεργού ειδικού βάρους γ' διακρίνονται οι ακόλουθες περιπτώσεις στάθμης υδροφόρου ορίζοντα.

4. $d_w \geq D + B$
5. $D \leq d_w < D + B$
6. $d_w < D$

Στην πρώτη και στην δεύτερη περίπτωση η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα βρίσκεται κάτω από την στάθμη της θεμελίωσης και η επιφόρτιση υπολογίζεται ως εξής :

$$q' = \gamma_1 D_f + q$$

Στην τρίτη περίπτωση η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα βρίσκεται πάνω από την στάθμη της θεμελίωσης και η επιφόρτιση υπολογίζεται ως εξής

$$q' = \gamma_{1d} z_w + \gamma_{2sat} - \gamma_w(D_f - z_w) + q$$

Στην πρώτη περίπτωση το ειδικό βάρος του εδάφους κάτω από την θεμελίωση είναι ίσο προς το φαινόμενο ειδικό βάρος.

$$\gamma' = \gamma_{2dry}$$

Στην δεύτερη περίπτωση η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα βρίσκεται σε βάθος μικρότερο του πλάτους της θεμελίωσης κάτω από την στάθμη έδρασης ($d_w < D + B$) και επομένως το ειδικό βάρος του εδάφους κάτω από την θεμελίωση είναι ίσο προς το ζυγισμένο μέσο ειδικό βάρος από τη στάθμη θεμελίωσης μέχρι το βάθος $D + B$.

$$\gamma' = \gamma_{2dry} \left(\frac{z_w - D_f}{B} \right) + (\gamma_{2sat} - \gamma_w) \left(B - \left(\frac{z_w - D_f}{B} \right) \right)$$

Στην τρίτη περίπτωση το ειδικό βάρος του εδάφους κάτω από την στάθμη θεμελίωσης είναι ίσο προς το βυθισμένο ειδικό βάρος.

$$\gamma' = \gamma_{2sat} - \gamma_w$$

Για τον υπολογισμό των συντελεστών i_q , i_c , i_γ χρειαζόμαστε την οριζόντια (V) και κατακόρυφη (H) συνιστώσα της χαρακτηριστικής τιμής της οριακής αντίστασης του πεδίου. Συνεπώς η εξίσωση Φι είναι πεπλεγμένη, οπότε η επίλυσή της μπορεί να γίνει μόνο αριθμητικά.

$$\begin{aligned} V &= q_u B' L' \\ H &= V \tan \theta_B \end{aligned}$$

Συνεπώς οι συντελεστές απόκλισης φορτίου δεν είναι δυνατόν να υπολογιστούν ευθέως αφού εξαρτώνται από το μη γνωστό q_u .

Εάν οι συντελεστές αυτοί ήταν συνάρτηση μόνο του H_k/V_k , δηλαδή της εκκεντρότητας τότε θα τους εφαρμόζαμε άμεσα. Ωστόσο, δεν είναι διότι υπάρχει ο παράγοντας $A'c'cot\varphi'$, οπότε πρέπει να ακολουθηθεί μια επαναληπτική διαδικασία στην οποία διατηρούμε σταθερή την εκκεντρότητα και αυξάνουμε τα $V=p_u B' L'$ και $H=V \tan(\theta_B)$ μέχρι η εξίσωση να συγκλίνει και να δώσει ένα q_u .

$$q_u = c N_c b_c s_c i_c + q' N_q b_q s_q i_q + 0,5 \gamma' B' N_\gamma b_\gamma s_\gamma i_\gamma$$

$$A = c N_c b_c s_c$$

$$B = q' N_q b_q s_q$$

$$C = \gamma' B' N_\gamma b_\gamma s_\gamma$$

$$i_q = \left[1 - \frac{q_u B' L' \tan(\theta_B)}{q_u B' L' + A' c' \cot \varphi'} \right]^m \geq 0$$

$$i_\gamma = \left[1 - \frac{q_u B' L' \tan(\theta_B)}{q_u B' L' + A' c' \cot \varphi'} \right]^{m+1} \geq 0$$

$$i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_c \tan \varphi} \geq 0$$

Για το λόγο αυτό επιλέχθηκε η δυνατότητα αναζήτησης στόχου (goal seek), η οποία προγραμματίστηκε ως μακροεντολή για κάθε μία στήλη υπολογισμού ξεχωριστά

$$A i_c + B i_q + C i_\gamma - q_u = 0$$

Παράμετροι που επηρεάζονται από την φέρουσα ικανότητα			
q'			kN/m ²
γ'			kN/m ³
ΦΕΡΟΥΣΑ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ			
R _u			kPa
V			kN
H			kN
R _d			kN
A			kPa
B			kPa
C			kPa
cotφ=			
	ΦΙ	ΦΙ	ΦΙ

Τέλος πραγματοποιείται έλεγχος επάρκειας Φ.Ι.

ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΛΟΓΟ ΦΕΡΟΥΣΑΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ			
V _d ≤ R _d			

6.2 Προγραμματισμός Excel σύμφωνα με την μεθοδολογία BS8004

Για τον προγραμματισμό του Excel για τον υπολογισμό της φέρουσας ικανότητας βάση του του BS8004 ακολουθήθηκαν τα ίδια βήματα που παρουσιάστηκαν στο Κεφάλαιο 6.1

Πρώτο βήμα είναι η συμπλήρωση της γεωμετρίας του πεδίου, όπου σε αυτήν την περίπτωση αναγκαία είναι η γνώση της κλίση της επιφάνειας του εδάφους κάτω από το οριζόντιο προς την κατεύθυνση μακριά από το θεμέλιο (w).

ΔΕΔΟΜΕΝΑ	παράδειγμα 1	παράδειγμα 2	παράδειγμα 3	
ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ				
Τύπος διατομής				M.M
B ή D				m
L ή D				m
DF				m
zW				m
a				°
w				°

Στην συνέχεια συμπληρώνονται ομοίως με το Κεφάλαιο 6.1 οι **εδαφικές ιδιότητες**. Προσθήκη στο πεδίο αυτό αποτελούν οι μηχανικές παράμετροι οι οποίες πρέπει να συμπληρωθούν.

ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΕΔΑΦΟΥΣ				
E				Kpa
v				
G				Kpa

Τελευταία δεδομένα που χρειάζεται να συμπληρωθούν στο πεδίο είναι οι χαρακτηριστικές τιμές των δράσεων στην στάθμη έδρασης του πεδίου.

Η μεθοδολογία του BS8004 επιλέγεται να λυθεί με τον τρόπο ανάλυσης DA1. Στην συνέχεια δίνεται η δυνατότητα επιλογής ενός από τους δύο συνδυασμούς DA1-1 και DA1-2 που είναι απαραίτητο να ελέγχονται για τον τρόπο ανάλυσης DA1 σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 7 (EC7).

Με την επιλογή ενός από τους δύο παραπάνω συνδυασμούς από την αναπτυσσόμενη λίστα στο αντίστοιχο κελί συμπληρώνονται αυτόματα οι επιμέρους συντελεστές για τον εκάστοτε συνδυασμό.

Τα βήματα που ακολουθούν είναι ο υπολογισμός των τιμών σχεδιασμού των ιδιοτήτων του εδάφους, ο υπολογισμός των τιμών σχεδιασμού των δράσεων, ο υπολογισμός της λοξότητας της φόρτισης ως προς την κατακόρυφο κατά πλάτος θ_{BK} και κατά μήκος θ_{LK} , ο υπολογισμός των χαρακτηριστικών τιμών των δράσεων καθώς και ο υπολογισμός της εκκεντρότητας φόρτισης σύμφωνα με όσα έχουν αναλυθεί στο Κεφάλαιο 6.1.

Έπειτα σύμφωνα με το BS8004 υπολογίζονται όλοι οι **αδιάστατοι συντελεστές** οι οποίοι παρουσιάζονται αναλυτικά στο κεφάλαιο 5.2. Στον υπολογισμό των συντελεστών της φέρουσας ικανότητας υπεισέρχεται η τραχύτητα του θεμελίου. Συνεπώς πρέπει να έχει προηγουμένως να συμπληρωθεί στο κελί είδος θεμελίωσης η τραχύτητα του θεμελίου από την αναπτυσσόμενη λίστα. Συνήθως τα θεμέλια από σκυρόδεμα είναι τραχιά.

Τραχύτητα				
Είδος θεμελίωσης				
a				
b				

Ακόμη στην μεθοδολογία του BS8004 συμπεριλαμβάνονται στον υπολογισμό της φέρουσας ικανότητας οι συντελεστές του βάθους, της κλίσεως του εδάφους και της ακαμψίας.

<u>5.ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΚΛΙΣΗΣ ΕΔΑΦΟΥΣ</u>				
gq				
gv				
gc				
<u>6.ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΒΑΘΟΥΣ</u>				
dg				
dv				
dc				
<u>7.ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΔΥΣΚΑΜΨΙΑΣ</u>				
lr				
rq				
rv				
rc				

Έπειτα ακολουθείται η ίδια επαναληπτική διαδικασία που χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό της φέρουσας ικανότητας για αβαθή θεμελίωση με το Κεφάλαιο 6.

6.3 Εκφώνηση και ζητούμενα παραδείγματος

Στο παρόν υποκεφάλαιο πραγματοποιείται επίλυση του παρακάτω αριθμητικού προβλήματος της φέρουσας ικανότητας, αξιοποιώντας τα υπολογιστικά φύλλα Excel που αναλύθηκαν προηγουμένως.

Δεδομένα προβλήματος

Ορθογωνικό πέδιλο με τα εξής χαρακτηριστικά :

Πλάτος $B=3\text{m}$

Μήκος $L=4\text{m}$,

Βάθος έδρασης $D_f=2\text{m}$.

Χαρακτηριστικές τιμές άμμου:

Ειδικό βάρος εδάφους πάνω από την στάθμη έδρασης : $\gamma_{1dry}=18\text{KN/m}^3$,
 $\gamma_{1sat}=20\text{KN/m}^3$

Ειδικό βάρος εδάφους πάνω από την στάθμη έδρασης : $\gamma_{2dry}=18\text{KN/m}^3$,
 $\gamma_{2sat}=20\text{KN/m}^3$

Ενεργός γωνία τριβής του εδάφους $\phi'=28^\circ$

Ενεργός συνοχή του εδάφους $c'=10\text{kPa}$

Χαρακτηριστικές τιμές των δράσεων στην στάθμη έδρασης του πεδίου (ως προς το κέντρο του):

Κατακόρυφη μόνιμη δράση $G_k = 1800\text{kN}$

Κατακόρυφη πρόσκαιρη δράση $Q_k = 350\text{kN}$

Οριζόντια μόνιμη δράση κατά πλάτος $H_{BGK} = 360\text{kN}$

Οριζόντια πρόσκαιρη δράση κατά πλάτος $H_{BQK} = 70\text{kN}$

Οριζόντια μόνιμη δράση κατά μήκος $H_{LGK} = 0\text{kN}$

Οριζόντια πρόσκαιρη δράση κατά μήκος $H_{LQK} = 0\text{kN}$

Ροπή λόγω μόνιμων δράσεων κατά πλάτος $M_{BG,K} = 1080\text{kN/m}$

Ροπή λόγω μόνιμων δράσεων κατά μήκος $M_{LG,K} = 0\text{kN/m}$

Ροπή λόγω πρόσκαιρων δράσεων κατά πλάτος $M_{BQ,K} = 210\text{kN/m}$

Ροπή λόγω πρόσκαιρων δράσεων κατά μήκος $M_{LQ,K} = 0\text{kN/m}$

Επιφόρτιση στην επιφάνεια του εδάφους $q_k = 0\text{ kN}$

Να γίνει έλεγχος επάρκειας φέρουσας ικανότητας επιλέγοντας τον τρόπο ανάλυσης DA2* για :

- $z_w = 0\text{m}$
- $z_w = 2\text{m}$
- $z_w = 10\text{m}$

Να γίνει έλεγχος επάρκειας φέρουσας ικανότητας για $z_w = 10\text{m}$ επιλέγοντας τον τρόπο ανάλυσης :

- DA1-1
- DA1-2
- DA2*

Να γίνει έλεγχος επάρκειας φέρουσας ικανότητας για $z_w = 10\text{m}$ επιλέγοντας τον τρόπο ανάλυσης DA1 και χρήση της υπολογιστικής μεθόδου που προτείνεται στο :

- Παράρτημα Δ του Ευρωκώδικα 7 (EC7)
- BS8004

6.3.1 Πρώτο ζητούμενο προβλήματος

Στο πρώτο ζητούμενο του προβλήματος διερευνάτε η επιρροή της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα στον υπολογισμό της φέρουσας ικανότητας βάση του παραρτήματος Δ του Ευρωκώδικα 7 (EC7) με χρήση του τρόπου ανάλυσης DA2* για στραγγισμένες συνθήκες φόρτισης (ελληνική εθνική επιλογή).

Συμπληρώνονται ο τύπος διατομής και τα δεδομένα. Στο παράδειγμα1 επιλύεται το πρόβλημα για στάθμη υδροφόρου ορίζοντα $z_w = 10\text{m}$, στο παράδειγμα 2 για στάθμη υδροφόρου ορίζοντα $z_w = 2\text{m}$ και στο παράδειγμα 3 για στάθμη υδροφόρου ορίζοντα $z_w = 1\text{m}$. Έτσι ώστε στο τέλος να έχουμε τα αποτελέσματα του παραπάνω

παραδείγματος για διαφορετικές στάθμες υδροφόρου ορίζοντα δίπλα δίπλα ώστε να διευκολύνεται η σύγκριση.

Τύπος διατομής	1: Ορθογωνική 2: Τετραγωνική 3: Κυκλική			
ΔΕΔΟΜΕΝΑ	παράδειγμα 1	παράδειγμα 2	παράδειγμα 3	
ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ				
Τύπος διατομής	1	1	1	M.M
B ή D	3	3	3	m
L ή D	4	4	4	m
DF	2	2	2	m
zW	10	2	1	m
a	0	0	0	m

Το παραπάνω παράδειγμα επιλύεται με τον τρόπο ανάλυσης DA2* (εθνική επιλογή Ελλάδος) όπου και επιλέγεται στο excel στο κατάλληλο πεδίο και συμπληρώνονται αυτόματα οι επιμέρους συντελεστές για το DA2*.

Αποτελέσματα	παράδειγμα 1	παράδειγμα 2	παράδειγμα 3	
Τρόπος ανάλυσης	DA2*	DA2*	DA2*	
γG	1,35	1,35	1,35	0
γQ	1,5	1,5	1,5	0
γc'	1	1	1	
γφ'	1	1	1	
γγ	1	1	1	
γR,v	1,4	1,4	1,4	

Σύμφωνα με τον μηχανισμό του excel που περιγράφηκε παραπάνω με την εισαγωγή των δεδομένων στα αντίστοιχα κελία προκύπτουν αυτόματα τα εξής αποτελέσματα .

Παράμετροι που επηρεάζονται από την φέρουσα ικανότητα				
q'	36	36	28	kN/m ²
γ'	18	10	10	
ΦΕΡΟΥΣΑ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ				
Ρu	771	721	623	kPa
V	5550,33	5189,37	4485,38	kN
H	1110,07	1037,87	897,08	kN
Rd	3964,52	3706,69	3203,84	kN
A	316,52	316,52	316,52	kPa
B	641,87	641,87	499,23	kPa
C	204,45	113,58	113,58	kPa
cotφ=	1,8807	1,8807	1,8807	
	0	0	0	
	ΦΙ	ΦΙ	ΦΙ	

Αποτελέσματα :

Στις ενεργές τάσεις η ολική τάση παραλαμβάνεται πλήρως από τους στερεούς κόκκους.

$$\sigma_v' = \sigma_v - u$$

Συνεπώς όταν η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα είναι μικρότερη από την στάθμη θεμελίωσης όπως για παράδειγμα στο παράδειγμα 3 το q' όπως και το γ' είναι μειωμένο αφού το γ' είναι ίσο με το κορεσμένο ειδικό βάρος της άμμου αφαιρώντας το ειδικό βάρος νερού και η επιφόρτιση άνω της στάθμης της θεμελίωσης υπολογίζεται με την συνεισφορά του ξηρού ειδικού βάρους της άμμου και του κορεσμένου ειδικού βάρους της αψού πρώτα αφαιρεθεί το ειδικό βάρος νερού.

$$\gamma_{sat} > \gamma_{dry} > \gamma'$$

$$\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w$$

Περιμένουμε λοιπόν για zw=1 η φέρουσα ικανότητα να παίρνει μικρότερη τιμή από ότι στις άλλες δύο περιπτώσεις στάθμης υδροφόρου ορίζοντα όπως και γίνεται αφού ru=623kPa.

Στο Παράδειγμα 2 το ενεργό ειδικό βάρος επηρεάζεται από την στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα που βρίσκεται σε μεγαλύτερο ή ίσο βάθος με την στάθμη έδρασης του θεμελίου αλλά σε μικρότερο βάθος από το αντίστοιχο D+B καθώς για τον υπολογισμό του ενεργού ειδικού βάρους της άμμου κάτω από την στάθμη της θεμελίωσης συνεισφέρουν και το ξηρό ειδικό βάρος της άμμου και το κορεσμένο ειδικό βάρος αφού πρώτα αφαιρεθεί το ειδικό βάρος νερού. Για τον υπολογισμό της επιφόρτισης άνω της στάθμης της θεμελίωσης χρησιμοποιείτε μόνο το ειδικό ξηρό βάρος της άμμου.

$$\gamma_{sat} > \gamma_{dry} > \gamma'$$

$$\gamma' = \gamma_{2dry} \left(\frac{z_w - D_f}{B} \right) + (\gamma_{2sat} - \gamma_w) \left(B - \left(\frac{z_w - D_f}{B} \right) \right)$$

Όταν $D_f = z_w$ τότε:

$$\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w$$

Συνεπώς η τιμή της φέρουσας ικανότητας αναμένεται μεγαλύτερη από αυτή του παραδείγματος 3 όπως επιβεβαιώνεται και από τον υπολογισμό της, αφού $p_u = 721 \text{ kPa}$.

Στο παράδειγμα 1 η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα είναι πολύ μακριά σε σχέση με την στάθμη θεμελίωσης οπότε και η επιφόρτιση και το ενεργό ειδικό βάρος υπολογίζονται με το ξηρό ειδικό βάρος της άμμου.

$$\gamma' = \gamma_{dry}$$

Συνεπώς η τιμή της φέρουσας ικανότητας αναμένεται μεγαλύτερη από αυτή του παραδείγματος 2 όπως επιβεβαιώνεται και από τον υπολογισμό της, αφού $p_u = 771 \text{ kPa}$.

$$\gamma_{\pi 1}' > \gamma_{\pi 2}' \geq \gamma_{\pi 3}'$$

$$q_{\pi 1}' = q_{\pi 2}' > q_{\pi 3}'$$

$$p_{u_{\pi 1}} > p_{u_{\pi 2}} > p_{u_{\pi 3}}$$

Και στα στις τρεις περιπτώσεις υπάρχει επάρκεια στον έλεγχο για αστοχία λόγω υπέρβασης της φέρουσας ικανότητας

ΕΛΕΓΧΟΙ:			
ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΛΟΓΟ ΦΕΡΟΥΣΑΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ			
$V_d \leq R_d$	TRUE	TRUE	TRUE

Η παρουσία υδροφόρου ορίζοντα πάνω από την στάθμη θεμελίωσης επηρεάζει την φέρουσα ικανότητα και συγκεκριμένα την μειώνει.

6.3.2 Δεύτερο ζητούμενο προβλήματος

Στο δεύτερο ζητούμενο του προβλήματος διερευνήθηκε η επιρροή του τρόπου ανάλυσης που επιλέγετε, στον υπολογισμό της φέρουσας ικανότητας βάση του παραρτήματος Δ του Ευρωκώδικα 7 σε συνθήκες πλήρους στράγγισης.

Συμπληρώνονται ο τύπος διατομής και τα δεδομένα του προβλήματος. Η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα στο δεύτερο ερώτημα είναι και στις τρεις περιπτώσεις στα 10m.

Τύπος διατομής	1: Ορθογωνική 2: Τετραγωνική 3: Κυκλική			
ΔΕΔΟΜΕΝΑ	παράδειγμα 1	παράδειγμα 2	παράδειγμα 3	
ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ				
Τύπος διατομής	1	1	1	M.M
B ή D	3	3	3	m
L ή D	4	4	4	m
DF	2	2	2	m
zW	10	10	10	m
a	0	0	0	m

Στο παράδειγμα1 επιλύεται το πρόβλημα χρησιμοποιώντας τον τρόπο ανάλυσης DA1 και συγκεκριμένα τον συνδυασμό DA1-1, στο παράδειγμα 2 πραγματοποιείται ο δεύτερος συνδυασμός DA1-2 του τρόπου ανάλυσης DA1 και στο παράδειγμα 3 επιλέγεται ο τρόπος ανάλυσης DA2*(ελληνική εθνική επιλογή). Έτσι ώστε στο τέλος να προβάλλονται ταυτόχρονα τα αποτελέσματα του παραπάνω προβλήματος χρησιμοποιώντας διαφορετικό τρόπο ανάλυσης την κάθε φορά. Επιλέγοντας στο αντίστοιχο κελί τον εκάστοτε τρόπο ανάλυσης μέσω της αναπτυσσόμενης λίστας συμπληρώνονται αυτοματοποιημένα οι επιμέρους συντελεστές.

Αποτελέσματα	παράδειγμα 1	παράδειγμα 2	παράδειγμα 3	
Τρόπος ανάλυσης	DA1-1	DA1-2	DA2*	
γG	1,35	1	1,35	0
γQ	1,5	1,3	1,5	0
γc'	1	1,25	1	
γφ'	1	1,25	1	
γγ	1	1	1	
γR:ν	1	1	1,4	

Με την ολοκλήρωση της εισαγωγής των δεδομένων στα αντίστοιχα κελία προκύπτουν αυτόματα τα εξής αποτελέσματα

ΦΕΡΟΥΣΑ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ				
P_u	771	396	771	kPa
V	5550,33	2851,42	5550,33	kN
H	1110,07	570,28	1110,07	kN
R_d	5550,33	2851,42	3964,52	kN
A	316,52	165,81	316,52	kPa
B	641,87	343,53	641,87	kPa
C	204,45	82,54	204,45	kPa
cotφ=	1,8807	2,4262	1,8807	
	0	0	0	
	ΦΙ	ΦΙ	ΦΙ	

Ο τρόπος ανάλυσης DA1 απαιτεί ελέγχους με δύο συνδυασμούς φορτίσεων DA1-1 και DA1-2. Ο σχεδιασμός γίνεται με τον δυσμενέστερο εκ των δύο συνδυασμών που στην συγκεκριμένη περίπτωση είναι ο συνδυασμός DA1-2.

Και στα στις τρεις περιπτώσεις υπάρχει επάρκεια στον έλεγχο για αστοχία λόγω υπέρβασης της φέρουσας ικανότητας.

ΕΛΕΓΧΟΙ:				
ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΛΟΓΟ ΦΕΡΟΥΣΑΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ				
V_d ≤ R_d	TRUE	TRUE	TRUE	
V_d	2955	2255	2955	kN
R_d	5550,33	2851,42	3964,52	kN

6.3.3 Τρίτο ζητούμενο προβλήματος

Στο τρίτο ζητούμενο του προβλήματος διερευνάτε η επιρροή της μεθοδολογίας που επιλέγετε, στον υπολογισμό της φέρουσας ικανότητας με τρόπο ανάλυσης DA1 σε συνθήκες πλήρους στράγγισης

Στο ερώτημα τρία συγκρίνονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν στο ερώτημα δυο για τους συνδυασμούς DA1-1, DA1-2 τα οποία προέρχονται από την αξιοποίηση του Παραρτήματος Δ του Ευρωκώδικα 7 (EC7), με τα αποτελέσματα που προκύπτουν όταν τον πρόβλημα της φέρουσας ικανότητας λυθεί βάση του BS804 χρησιμοποιώντας τις ίδιες ομάδες επί μέρους συντελεστών. Συμπληρώνονται ο τύπος διατομής και τα δεδομένα του προβλήματος. Η στάθμη του υδροφόρου

ορίζοντα είναι και στις δύο περιπτώσεις στα 10m. Το θεμέλιο είναι από σκυρόδεμα και είναι τραχύ. Οι μηχανικές ιδιότητες του εδάφους είναι η εξής :

Νόμος poisson : $\nu=0,4$

Μέτρο ελαστικότητας : 50MPa

ΔΕΔΟΜΕΝΑ	παράδειγμα 1	παράδειγμα 2
ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ		
Τύπος διατομής	1	1
B ή D	3	3
L ή D	4	4
DF	2	2
zW	10	10
a	0	0
w	0	0

ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΕΔΑΦΟΥΣ		
E	50000	50000
ν	0,4	0,4
G	17857,14286	17857,14286

Αποτελέσματα	παράδειγμα 1	παράδειγμα 2
Τρόπος ανάλυσης	DA1-1	DA1-2
γ_G	1,35	1
γ_Q	1,5	1,3
γ_c'	1	1,25
γ_{ϕ}'	1	1,25
γ_w	1	1
$\gamma_{R;\nu}$	1	1

Σύμφωνα με τον μηχανισμό του excel που περιγράφηκε παραπάνω με την εισαγωγή των δεδομένων στα αντίστοιχα κελία προκύπτουν αυτόματα τα εξής αποτελέσματα:

ΦΕΡΟΥΣΑ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ		
R_u	2499,07	1451,06
v	17993,27	10447,65
H	3598,65	2089,53
Rd	17993,26812	10447,64938
A	1171,853475	717,0206579
B	2231,935396	1314,345729
C	333,1213703	146,5364126
$\cot\phi=$	1,880726465	2,426181858
	0	0
	Φ_1	Φ_1

Και στα στις δύο περιπτώσεις υπάρχει επάρκεια στον έλεγχο για αστοχία λόγω υπέρβασης της φέρουσας ικανότητας

ΕΛΕΓΧΟΙ:		
ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΛΟΓΟ ΦΕΡΟΥΣΑΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ		
Vd ≤ Rd	TRUE	TRUE
Vd	2955	2255
Rd	17993	10448

Πίνακας 6.1 : Συγκριτικά αποτελέσματα BS8004- EC7.

DA1-1		DA1-2	
EC7	BS8004	EC7	BS8004
771(Kpa)	2499(Kpa)	396(Kpa)	1451(Kpa)

Στον πίνακα 6.1 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που λάβαμε επιλύοντας το παραπάνω πρόβλημα της φέρουσας ικανότητας επιφανειακής θεμελίωσης σε συνθήκες πλήρους στράγγισης με δύο διαφορετικές μεθόδους υπολογισμού. Τα αποτελέσματα επιβεβαίωσαν το ήδη υπάρχον συμπέρασμα ότι ο Ευρωκώδικας 7 (EC7) αποτελεί μια πιο συντηρητική επιλογή σε σχέση με το BS8004. Το BS8004 περιλαμβάνει επιπλέον συντελεστές η οποίοι περιλαμβάνουν περισσότερες καταστάσεις σχεδιασμού. Και στις δύο μεθοδολογίες για το συγκεκριμένο πρόβλημα ο τρόπος ανάλυσης DA1-2 εμφανίζεται ως πιο συντηρητικός.

7 Σύγκριση μεταξύ των τρόπων ανάλυσης DA1-2 και DA2*

7.1 Πλαίσιο σύγκρισης

Ας θεωρήσουμε πως εφαρμόζουμε το ίδιο υπολογιστικό μοντέλο (Παράρτημα Δ του Ευρωκώδικα 7 (EC7)) σε όλες τις μεθόδους ανάλυσης για τον υπολογισμό της αντίστασης:

<i>DA1 – 1 (UK):</i>	$(A1 + M1 + R1), \gamma_{R1} = 1, \gamma_{M1} = 1$ $R_d = R_k$ $F_d = 1.35F_{G;k} + 1.5F_{Q;k}$
<i>DA1 – 2 (UK):</i>	$(A2 + M2 + R1), \gamma_{R1} = 1, \gamma_{M2\text{drained}} = 1.25, \gamma_{M2\text{undrained}} = 1.4$ $R_d = R(X_k/1.25) \text{ ή } R_d = R(X_k/1.4)$ $F_d = 1.0F_{G;k} + 1.3F_{Q;k}$
<i>DA2* (GR):</i>	$(A1 + M1 + R2), \gamma_{R2} = 1.4, \gamma_{M1} = 1$ $R_d = R_k/1.4$ $F_d = 1.35F_{G;k} + 1.5F_{Q;k}$
<i>DA3:</i>	$(A1 \text{ ή } A2+M2+R3), \gamma_{R3} = 1, \gamma_{M2\text{drained}} = 1.25, \gamma_{M2\text{undrained}} = 1.4$ A1 στις δομικές δράσεις και A2 στις γεωτεχνικές δράσεις $R_d = R(X_k/1.25) \text{ ή } R_d = R(X_k/1.4)$ $F_d = 1.35F_{G;k} + 1.5F_{Q;k}$

Το DA1 – 1 αποτελεί τον κρίσιμο συνδυασμό για τον έλεγχο του πεδίου ως δομικό στοιχείο (ανάλυση STRU), δηλαδή τη διαστασιολόγηση της διατομής του και του σπλισμού του.

Το DA1 – 2 αποτελεί τον κρίσιμο συνδυασμό για τον έλεγχο του πεδίου σε φέρουσα ικανότητα (ανάλυση GEO), δηλαδή τη διαστασιολόγηση της κάτοψης του πεδίου.

Τα υπόλοιπα DAs περιλαμβάνουν έναν συνδυασμό και για τους δύο ελέγχους. Έτσι, για την περίπτωση των θεμελιώσεων και επειδή δεν υπάρχουν γεωτεχνικές δράσεις στο πρόβλημα που εξετάζουμε, πρακτικά DA1 – 2 και DA3 ταυτίζονται.

Σύγκριση DA1-2 με DA2*:

$$\left(\frac{R_{C;d}}{F_d}\right)_{DA1-2} \bigg/ \left(\frac{R_{C;d}}{F_d}\right)_{DA2*} = \frac{(R_C; d)_{DA1-2} \left[1.35 + 1.50 \left(\frac{F_{Q;K}}{F_{F;K}}\right)\right]}{(R_C; d)_{DA2*} \left[1.0 + 1.3 \left(\frac{F_{Q;K}}{F_{F;K}}\right)\right]} =$$

$$= \frac{(q_{c;d})_{DA1-2} A \left[1.35 + 1.50 \left(\frac{F_{Q;K}}{F_{G;K}} \right) \right]}{(q_{c;d})_{DA2^*} A \left[1.0 + 1.3 \left(\frac{F_{Q;K}}{F_{G;K}} \right) \right]}$$

Όπου A το εμβαδόν και $(q_{c;d})_{DA1-2}$, $(q_{c;d})_{DA2}$ είναι η εφαρμογή του ίδιου υπολογιστικού προσομοιώματος για DA1-2 και DA2* αντίστοιχα.

Ο Frank et All (2004) καθόρισε την αναλογία της αντίστασης σχεδιασμού προς τις αντίστοιχες δράσεις σχεδιασμού ως εξής:

$$ODF = \frac{R_d}{F_d} \geq 1$$

Ο λόγος R_d/F_d θα αναφέρεται στην συνέχεια του κεφαλαίου ως ODF.

Στην οριακή κατάσταση GEO ελέγχεται:

Fd < Rd

Η τιμή του F_d εξαρτάται από το ποσοστό των μόνιμων και κινητών φορτίων. Τα ίδια βάρη των δομικών στοιχείων, τα βάρη των τοίχων των επιστρώσεων και των επικαλύψεων αποτελούν τα μόνιμα φορτία. Έτσι για μια πλάκα σκυροδέματος ενός τετραγωνικού μέτρου και πάχους 0,15 m έχουμε μόνιμα βάρη: $(1*1*0.15*25)/(1*1)=3.75 \text{ KN/m}^3$ και επικάλυψη $=1\text{kN}$ άρα $F_{G;k}=4,75 \text{ kN}$. Άρα μιας συνηθισμένης πλάκας η ίδια μάζα ενός τετραγωνικού είναι $\approx 5 \text{ kN}$

Εξ ορισμού κινητά φορτία είναι τα επιβαλλόμενα φορτία δηλαδή εκείνα που προκύπτουν από την χρήση (φυσιολογική η και πιο σπάνια όπως για παράδειγμα οι συνάθροιση πολλών ατόμων ή η στοίβαξη επίπλων). Στα κτίρια θα πρέπει να γίνεται κατηγοριοποίηση των δαπέδων και της στέγης ανάλογα την χρήση τους σύμφωνα με τον πίνακα 7.1.

Πίνακας 71: Κατηγοριοποίηση χώρων βάση της χρήσης τους.

Κατηγορία	Συγκεκριμένη Χρήση	Παράδειγμα
A	Χώροι διαμονής	Δωματία σε κτήρια κατοικιών και σπίτια. Θάλαμοι και πτέρυγες σε νοσοκομεία. Υπνοδωμάτια σε ξενοδοχεία και ξενώνες, κουζίνες και τουαλέτες.
B	Χώροι γραφείων	
C	Χώροι στους οποίους οι άνθρωποι μπορεί να συναθροισθούν (με εξαίρεση τους χώρους που κατατάσσονται στις κατηγορίες Α, Β, και D ¹⁾)	C1: Χώροι με τραπέζια κλπ. Π.χ. σχολικοί χώροι, νηπιαγωγεία, καφενεία, εστιατόρια, αίθουσες φαγητού, αναγνώστια, χώροι υποδοχής. C2: Χώροι με σταθερά καθίσματα, Π.χ. χώροι σε εκκλησίες, θέατρα ή κινηματογράφους, αίθουσες συνεδριάσεων, αίθουσες ομιλίας, αίθουσες συγκεντρώσεων, χώροι αναμονής, χώροι αναμονής σε σιδηροδρομικούς σταθμούς. C3: Χώροι χωρίς εμπόδια στη διακίνηση του κοινού, π.χ. χώροι σε μουσεία, εκθεσιακοί χώροι, κλπ. και χώροι πρόσβασης σε δημόσια και διοικητικά κτήρια, ξενοδοχεία και νοσοκομεία. Προαυλία σιδηροδρομικών σταθμών. C4: Χώροι για πιθανές σωματικές δραστηριότητες, π.χ. αίθουσες χορού, αίθουσες γυμναστικής και θεατρικές σκηνές C5: Χώροι προσβάσιμοι από μεγάλα πλήθη, π.χ. για δημόσιες εκδηλώσεις όπως αίθουσες συναυλιών, κλειστά γήπεδα, εξέδρες γηπέδων, εξέδρες και χώροι πρόσβασης, πλατφόρμες σιδηροδρόμων.
D	Χώροι με εμπορικά καταστήματα	D1: Χώροι σε καταστήματα λιανικής πώλησης, γενικά D2: Χώροι σε πολυκαταστήματα
¹⁾ Επιστάται η προσοχή στο 6.3.1.1(2), και συγκεκριμένα για το C4 και C5. Βλέπε EN 1990 στην περίπτωση που πρέπει να εξετασθούν οι δυναμικές επιδράσεις. Για την Κατηγορία E, βλέπε πίνακα 6.3		
ΣΗΜΕΙΩΣΗ 1 Βλέπε 6.3.2 για αποθήκευση ή βιομηχανικές δραστηριότητες.		

Οι δε αντίστοιχες τιμές δράσεων q_k (ομοιόμορφα κατανεμημένο φορτίο) και Q_k συγκεντρωμένο φορτίο συγκεντρώνονται στον πίνακα 7.2.

Πίνακας 7.2: Φορτία ανά κατηγορία.

Κατηγορίες φορτιζόμενων επιφανειών	q_k [kN/m ²]	Q_k [kN]
Κατηγορία Α και Κατηγορία Β		
- Δάπεδα	2,0	2,0
- Σκάλες	3,5	2,0
- Μπαλκόνια	5,0	3,0
Κατηγορία C		
- C1	3,0	3,0
- C2	5,0	4,0
- C3	5,0	4,0
- C4	5,0	4,0
- C5	7,5	4,5
Κατηγορία D		
- D1	5,0	4,0
- D2	5,0	4,0

Το συγκεντρωμένο φορτίο Q_k θεωρούμε πως λειτουργεί μόνο του και προορίζεται για τοπικούς ελέγχους. Συνεπώς για ένα απλό κτιριακό έργο βάση τον πίνακα 7.2. Το μεταβλητό φορτίο είναι 2,00 KN. Σε μια συνηθής πλάκα δηλαδή $F_{Q,k}/F_{G,k}=2/5=0,4$. Τα

πράγματα γίνονται πιο έντονα όταν μιλάμε για το σύνολο της κατασκευής, πλάκα, δοκάρια, υποστυλώματα. Τότε τα μόνιμα φορτία αυξάνονται και τα κινητά παραμένουν σταθερά δηλαδή 2kN σε αντίθεση με τα μόνιμα που μπορούν να ξεπεράσουν και τα 10kN. Τότε $F_{Q;k}/F_{G;k}=0,2$. Συμπερασματικά τις περισσότερες φορές τα μόνιμα φορτία είναι μεγαλύτερα από τα κινητά άρα λογικές τιμές του $F_{Q;k}/F_{G;k}$ αναμένονται από 0,2-1. Στους παρακάτω ελέγχους δίνεται περισσότερη έμφαση για $F_{Q;k}/F_{G;k} [0,2-1]$.

7.2 Αστράγγιστες συνθήκες

Σε αστράγγιστες συνθήκες υπό κεντρική φόρτιση είναι δυνατή η ευθεία σύγκριση διότι $\phi=0$ και το R_d είναι συνάρτηση μόνο του c_u :

DA1-2 & DA3:

$$\frac{R}{A} = (\pi + 2)c_u b_c s_c i_c + q$$

$$\frac{R}{A} = p_u = (\pi + 2) \frac{c_u}{\gamma_{M2}} b_c s_c i_c + q$$

DA2*:

$$\frac{R}{A} = (\pi + 2)c_u b_c s_c i_c + q$$

$$\frac{R}{A} = p_u = \frac{[(\pi + 2)c_u b_c s_c i_c + q]}{\gamma_R}$$

Ο τρόπος ανάλυσης DA2 είναι πιο συντηρητικός, διότι ο συντελεστής ασφαλείας εφαρμόζεται και στην επιφόρτιση. Άρα στον τρόπο ανάλυσης DA1-2 ο συντελεστής ασφαλείας εφαρμόζεται στην καθαρή οριακή τάση $q_{ultnet,k} = q_{uk} - q_{vb} = N_c c_{uk} s_c d_c$, οπότε $q_{ultd} = R_d / A = N_c (c_{uk}/\gamma_{M2}) s_c d_c + q_{vb} = N_c c_{ud} s_c d_c + q_{vb}$ αφού $c_{ud} = (c_{uk}/\gamma_{M2})$. Στη DA2 εφαρμόζεται συντελεστής και στο q_{vb} , δηλαδή είναι q_{vb}/γ_R .

Συνεπώς είναι:

$$\left(\frac{R_{cd}}{F_d} \right)_{DA1-2} / \left(\frac{R_{cd}}{F_d} \right)_{DA*} = \frac{R_{cdDA1-2} \times F_{dDA2*}}{R_{cdDA2*} \times F_{dDA1-2}} =$$

$$\frac{[(\pi + 2) \left(\frac{c_u}{\gamma_{M2}} \right) b_c s_c i_c + q] * [1.35 + 1.50 \left(\frac{F_{Q;k}}{F_{G;k}} \right)]}{\left[\frac{((\pi + 2)c_u b_c s_c i_c + q)}{\gamma_R} \right] * [1.00 + 1.30 \left(\frac{F_{Q;k}}{F_{G;k}} \right)]} =$$

$$\frac{\gamma_R}{\gamma_{M2}} \frac{[(\pi + 2)(c_u)b_c s_c i_c + q\gamma_{M2}] * [1.35 + 1.50 \left(\frac{F_{Q;k}}{F_{G;k}}\right)]}{[(\pi + 2)c_u b_c s_c i_c + q] * [1.00 + 1.30 \left(\frac{F_{Q;k}}{F_{G;k}}\right)]} =$$

$$\frac{1.4}{1.4} \frac{[(\pi + 2)(c_u)b_c s_c i_c + 1.4q] * [1.35 + 1.50 \left(\frac{F_{Q;k}}{F_{G;k}}\right)]}{[(\pi + 2)c_u b_c s_c i_c + q] * [1.00 + 1.30 \left(\frac{F_{Q;k}}{F_{G;k}}\right)]} =$$

$$\frac{[(\pi + 2)(c_u)b_c s_c i_c + 1.4q] * [1.35 + 1.50 \left(\frac{F_{Q;k}}{F_{G;k}}\right)]}{[(\pi + 2)c_u b_c s_c i_c + q] * [1.00 + 1.30 \left(\frac{F_{Q;k}}{F_{G;k}}\right)]}$$

Ο λόγος αυτός μας δίνει τη διαφορά μεταξύ DA1-2 και DA2 ή ισοδύναμα το γ_m (model factor) που πρέπει να εφαρμοστεί στην DA1-2, ώστε να δώσει τα ίδια αποτελέσματα με την DA2.

7.2.1 Απειρομήκης θεμελίωση

Κεντρική κατακόρυφη φόρτιση λωριδοτού πεδίου

Συντελεστές λοξότητας βάσης πεδίου : $\alpha=0 \rightarrow b=1$

Συντελεστές σχήματος πεδίου : $L:\infty \rightarrow s=1$

Συντελεστές απόκλισης από την κατακόρυφο: $\theta=0 \rightarrow i=1$

$$\left(\frac{R_{cd}}{F_d}\right)_{DA1-2} / \left(\frac{R_{cd}}{F_d}\right)_{DA2*} = \frac{[(\pi + 2)c_u + 1.4q] * [1.35 + 1.50 \left(\frac{F_{Q;k}}{F_{G;k}}\right)]}{[(\pi + 2)c_u + q] * [1.00 + 1.30 \left(\frac{F_{Q;k}}{F_{G;k}}\right)]}$$

Κατά τον προγραμματισμό του Excel παρατηρήθηκε πως υπάρχει περιοδικότητα στο αποτέλεσμα του λόγου q/c_u όπως φαίνεται στον πίνακα 7.3. για διάφορα βάθη έδρασης. Συνεπώς μπορεί να γίνει κανονικοποίηση ως προς q/c_u . Το q/c_u λαμβάνει εμμέσως το βάθος στάθμης θεμελίωσης. Όπως φαίνεται στον πίνακα 7.3 για ειδικό βάρος $\gamma=20\text{kN/m}^3$ ο λόγος $q/c_u=4$ μπορεί να σημαίνει εξίσου βάθος έδρασης θεμελίου $d_f=2\text{m}$ και αστράγγιστη διατμητική αντοχή $c_u=10\text{Kra}$ είτε βάθος έδρασης $d_f=4\text{m}$ και αστράγγιστη διατμητική αντοχή $c_u=20\text{Kra}$. Οι συγκριτικές αναλύσεις που ακολουθούν είναι για $q/c_u=0, 0.25, 0.5, 1, 2, 4, 6, 8, 10$ και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται αναλυτικά στο παράρτημα Γ.

$$\left(\frac{R_{cd}}{F_d}\right)_{DA1-2} / \left(\frac{R_{cd}}{F_d}\right)_{DA2*} = \frac{[(\pi + 2) + 1.4q/c_u] * [1.35 + 1.50(F_{Q;k}/F_{G;k})]}{[(\pi + 2) + q/c_u] * [1.00 + 1.30(F_{Q;k}/F_{G;k})]}$$

Πίνακας 7.3: Παρουσίαση περιοδικότητας q/cu.

Cu=	10	20	40	70	100	10	20	40	70	100
D=	2	2	2	2	2	4	4	4	4	4
γ (kN/m³)=	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
q(kPa) =	40	40	40	40	40	80	80	80	80	80
q/Cu=	4	2					4	2		

Πίνακας 7.4: Κατάταξη αργιλικών εδαφών βάση την αστράγγιστη διατμητική αντοχή

Εδαφική συνοχή αργίλου	Αστράγγιστη διατμητική αντοχή cu (kPa)
Πολύ μαλακή	cu<12
Μαλακή	12≤cu<25
Μέτρια	25≤cu<50
Στιρφή	50≤cu<100
Πολύ στιρφή	100≤cu<200
Σκληρή	cu≥200

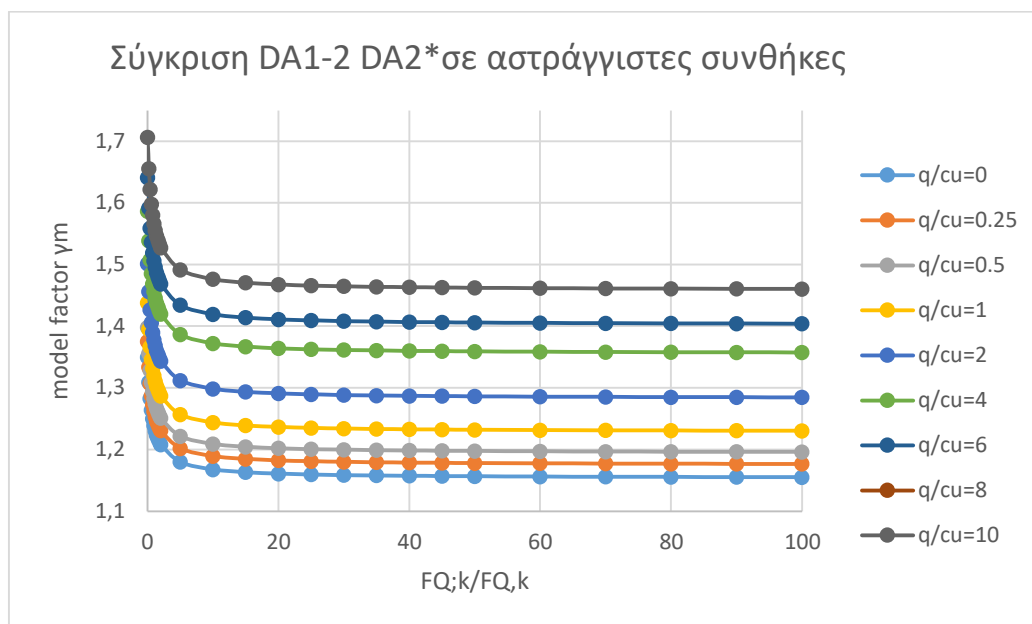
Η επιφόρτιση q εξαρτάται από το βάθος έδρασης D και από το ειδικό βάρος γ.

- Για D=2m q=40Kn/m³

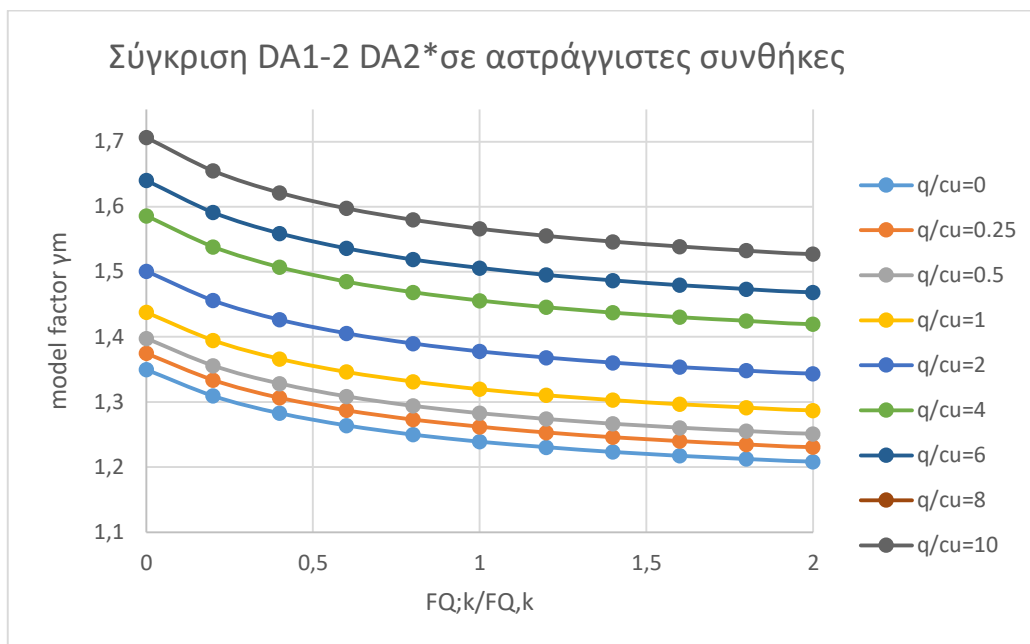
Εδαφική συνοχή αργίλου	Λόγος q/cu
Πολύ μαλακή	q/cu>3,34
Μαλακή	3,34≥q/cu>1,6
Μέτρια	1,6≥q/cu>0,8
Στιρφή	0,8≥q/cu>0,4
Πολύ στιρφή	0,4≥q/cu>0,2
Σκληρή	q/cu≤0,2

- Για D=4m q=80Kn/m³

Εδαφική συνοχή αργίλου	Λόγος q/cu
Πολύ μαλακή	$q/cu > 6,67$
Μαλακή	$6,67 \geq q/cu > 3,2$
Μέτρια	$3,2 \geq q/cu > 1,6$
Στιρφή	$1,6 \geq q/cu > 0,8$
Πολύ στιρφή	$0,8 \geq q/cu > 0,4$
Σκληρή	$q/cu \leq 0,4$



Διάγραμμα 7.1: $ODFDA1-2/ODFDA2^*$ σε αστράγγιστες συνθήκες για θεμελίωση με $Df > 0$.



Διάγραμμα 7.2: $ODFDA1-2/ODFDA2^*$ σε αστράγγιστες συνθήκες για θεμελίωση με $Df > 0$.

Όπως φαίνεται στα παραπάνω διαγράμματα σε αστραγγιστες συνθήκες σε οποιαδήποτε βάθος έδρασης για απειρόμηκες θεμέλιο πάντα το πιο συντηρητικό προσομοίωμα είναι το DA2*.

7.2.2 Τετραγωνική θεμελίωση

Κεντρική κατακόρυφη φόρτιση τετραγωνικού πεδίου

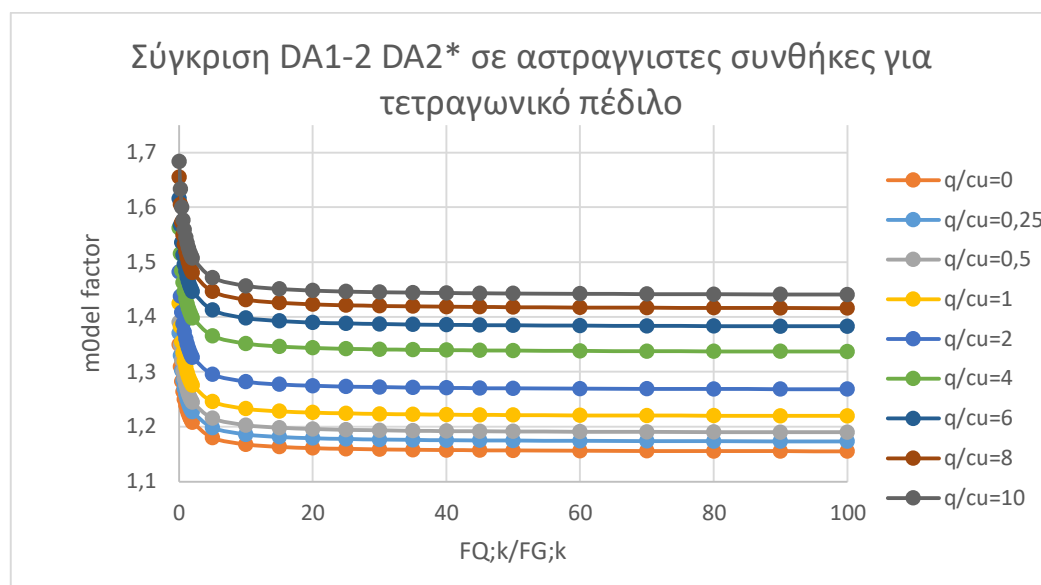
Συντελεστές λοξότητας βάσης πεδίου : $\alpha=0 \rightarrow b=1$

Συντελεστές σχήματος πεδίου : $B/L=1 \rightarrow s=1,2$

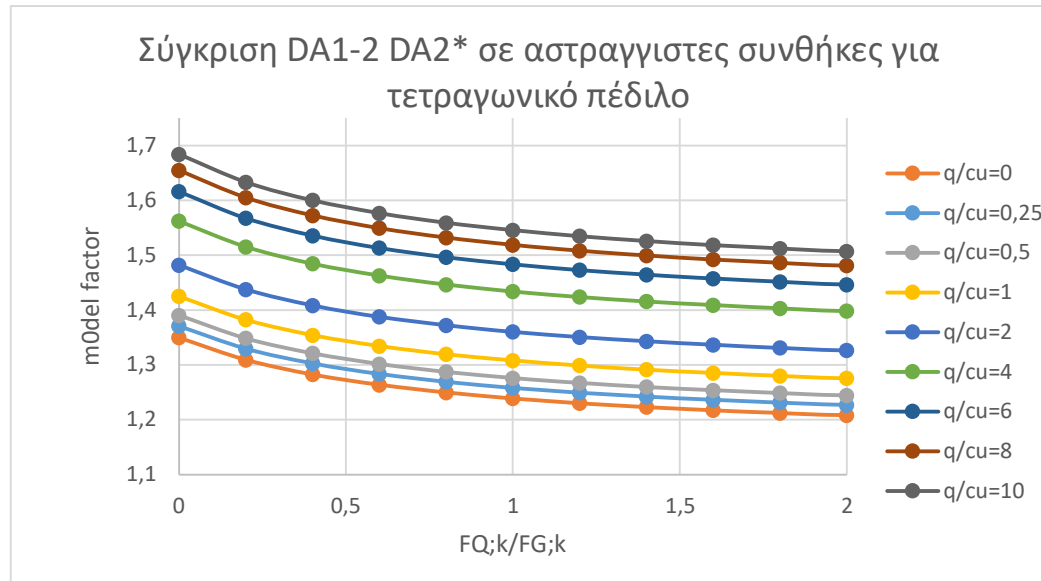
Συντελεστές απόκλισης από την κατακόρυφο: $\theta=0 \rightarrow i=1$

$$\begin{aligned} \left(\frac{R_{cd}}{F_d}\right)_{DA1-} / \left(\frac{R_{cd}}{F_d}\right)_{DA2*} &= \frac{[(\pi + 2)c_u s_c + 1.4q] * \left[1.35 + 1.50 \left(\frac{F_{Q;k}}{F_{G;k}}\right)\right]}{[(\pi + 2)c_u s_c + q] * \left[1.00 + 1.30 \left(\frac{F_{Q;k}}{F_{G;k}}\right)\right]} = \\ &= \frac{[(\pi + 2)s_c + 1.4q/c_u] * \left[1.35 + 1.50 \left(\frac{F_{Q;k}}{F_{G;k}}\right)\right]}{[(\pi + 2)s_c + q/c_u] * \left[1.00 + 1.30 \left(\frac{F_{Q;k}}{F_{G;k}}\right)\right]} = \\ &= \frac{[(\pi + 2)1.2 + 1.4q/c_u] * \left[1.35 + 1.50 \left(\frac{F_{Q;k}}{F_{G;k}}\right)\right]}{[(\pi + 2)1.2 + q/c_u] * \left[1.00 + 1.30 \left(\frac{F_{Q;k}}{F_{G;k}}\right)\right]} \end{aligned}$$

Και σε αυτήν την περίπτωση κατά τον προγραμματισμό του Excel για τετραγωνική θεμελίωση παρατηρήθηκε επανάληψη όμοια με την περίπτωση του απειρόμηκους θεμελίου οπότε μπορεί να γίνει κανονικοποίηση ως προς q/c_u .



Διάγραμμα 7.3: ODFDA1-2/ ODFDA2* σε αστραγγιστες συνθήκες για τετραγωνική θεμελίωση με $D_f > 0$.



Διάγραμμα 7.4: ODFDA1-2/ ODFDA2* σε αστραγγιστες συνθήκες για τετραγωνική θεμελίωση με $D_f > 0$.

Όπως φαίνεται στα διαγράμματα 7.5 και 7.6 ο τρόπος DA2* είναι και στην περίπτωση του τετραγωνικού πεδίου ο συντηρητικότερος.

7.2.3 Ορθογωνική θεμελίωση

Κεντρική κατακόρυφη φόρτιση ορθογωνικού πεδίου

Συντελεστές λοξότητας βάσης πεδίου : $\alpha=0 \rightarrow b=1$

Συντελεστές σχήματος πεδίου : $B/L=2 \rightarrow s=1+0,2*B/L=1,4$

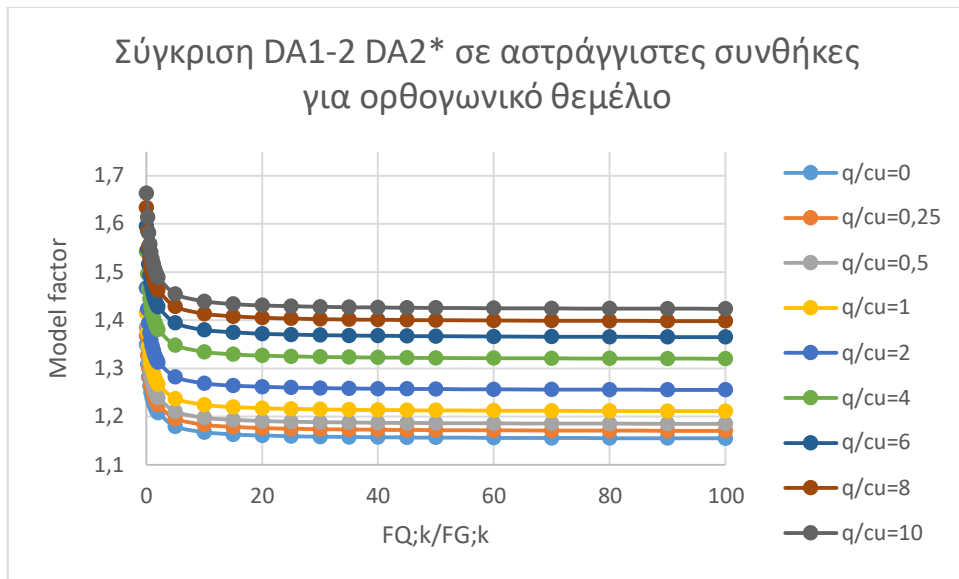
Συντελεστές απόκλισης από την κατακόρυφο: $\theta=0 \rightarrow i=1$

$$\left(\frac{R_{cd}}{F_d}\right)_{DA1-2} / \left(\frac{R_{cd}}{F_d}\right)_{DA2*} = \frac{[(\pi + 2)c_u s_c + 1.4q] * [1.35 + 1.50 \left(\frac{F_{Q;k}}{F_{G;k}}\right)]}{[(\pi + 2)c_u s_c + q] * [1.00 + 1.30 \left(\frac{F_{Q;k}}{F_{G;k}}\right)]} =$$

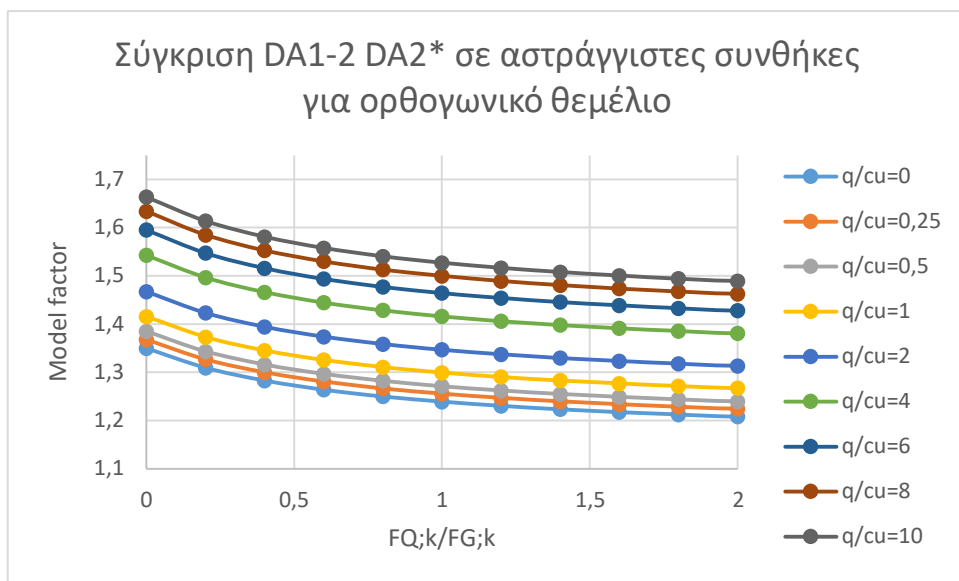
$$\frac{[(\pi + 2)s_c + 1.4q/c_u] * [1.35 + 1.50 \left(\frac{F_{Q;k}}{F_{G;k}}\right)]}{[(\pi + 2)s_c + q/c_u] * [1.00 + 1.30 \left(\frac{F_{Q;k}}{F_{G;k}}\right)]}$$

$$\frac{[(\pi + 2)1.4 + 1.4q/c_u] * [1.35 + 1.50 \left(\frac{F_{Q;k}}{F_{G;k}}\right)]}{[(\pi + 2)1.4 + q/c_u] * [1.00 + 1.30 \left(\frac{F_{Q;k}}{F_{G;k}}\right)]}$$

Και σε αυτήν την περίπτωση μπορεί να γίνει κανονικοποίηση ως προς q/c_u .



Διάγραμμα 7.5: ODFDA1-2/ ODFDA2* σε αστράγγιστες συνθήκες για ορθογωνική θεμελίωση με $D_f > 0$.



Διάγραμμα 7.6: ODFDA1-2/ ODFDA2* σε αστράγγιστες συνθήκες για ορθογωνική θεμελίωση με $D_f > 0$.

Οι διαφορές μεταξύ των διαφόρων σχημάτων της θεμελίωσης (απειρόμηκες , τετραγωνική, ορθογωνική) σε αστράγγιστες συνθήκες είναι αρκετά μικρές της τάξης του 1-2%.

Οι μεγαλύτερες διαφορές παρατηρούνται σε μια συγκεκριμένη διατομή όταν ο λόγος q/c_u αυξάνεται.

Όταν η συνοχή κυριαρχεί (π.χ. αστράγγιστες) τότε η DA2* είναι πιο συντηρητική. Όταν υπάρχει τριβή, τότε η εικόνα μπορεί να αντιστραφεί.

7.3 Στραγγισμένες συνθήκες

Κεντρική κατακόρυφη φόρτιση λωριδοτού πεδίου σε ένα υλικό μόνο με τριβή

$$q = c'N_c b_c s_c i_c + q'N_q b_q s_q i_q + 0.5\gamma' B' N_\gamma b_\gamma s_\gamma i_\gamma$$

Συντελεστές λοξότητας βάσης πεδίου : $\alpha=0 \rightarrow b=1$

Συντελεστές σχήματος πεδίου : $L : \infty \rightarrow s=1$

Συντελεστές απόκλισης από την κατακόρυφο: $\theta=0 \rightarrow i=1$

$$q = q' N_q b_q s_q i_q + 0.5\gamma' B' N_\gamma b_\gamma s_\gamma i_\gamma$$

$$\left(\frac{R_{cd}}{F_d}\right)_{DA1-2} \left/ \left(\frac{R_{cd}}{F_d}\right)_{DA2*} \right. = \frac{R_{cdDA1-} \times F_{dDA2*}}{R_{cdDA2*} \times F_{dDA1-2}}$$

$$\gamma_R \left(C_d \frac{\left(e^{\pi \tan \varphi} \tan^2 \left(45 + \frac{\varphi d}{2} \right) - 1 \right)}{\tan \varphi_d} + q' \left(e^{\pi \tan \varphi} \tan^2 \left(45 + \frac{\varphi d}{2} \right) \right) b_q s_q i_q + 0.5\gamma' B' \left(2 \left(e^{\pi \tan \varphi} \tan^2 \left(45 + \frac{\varphi d}{2} \right) - 1 \right) \tan \varphi_d \right) b_\gamma s_\gamma i_\gamma \right) \times \left(1.35 + 1.50 \left(\frac{F_{Q;k}}{F_{G;k}} \right) \right)$$

$$= \frac{\left(C_d \frac{\left(e^{\pi \tan \varphi} \tan^2 \left(45 + \frac{\varphi d}{2} \right) - 1 \right)}{\tan \varphi} + q' \left(e^{\pi \tan \varphi} \tan^2 \left(45 + \frac{\varphi d}{2} \right) \right) b_q s_q i_q + 0.5\gamma' B' \left(2 \left(e^{\pi \tan \varphi} \tan^2 \left(45 + \frac{\varphi d}{2} \right) - 1 \right) \tan \varphi \right) b_\gamma s_\gamma i_\gamma \right) \times \left(1.00 + 1.30 \left(\frac{F_{Q;k}}{F_{G;k}} \right) \right)}{\left(C_d \frac{\left(e^{\pi \tan \varphi} \tan^2 \left(45 + \frac{\varphi d}{2} \right) - 1 \right)}{\tan \varphi_d} + q' \left(e^{\pi \tan \varphi} \tan^2 \left(45 + \frac{\varphi d}{2} \right) \right) + 0.5\gamma' B' \left(2 \left(e^{\pi \tan \varphi} \tan^2 \left(45 + \frac{\varphi d}{2} \right) - 1 \right) \tan \varphi_d \right) \right) \times \left(1.35 + 1.50 \left(\frac{F_{Q;k}}{F_{G;k}} \right) \right)}$$

$$1.4 \left(C_d \frac{\left(e^{\pi \tan \varphi} \tan^2 \left(45 + \frac{\varphi d}{2} \right) - 1 \right)}{\tan \varphi_d} + q' \left(e^{\pi \tan \varphi} \tan^2 \left(45 + \frac{\varphi d}{2} \right) \right) + 0.5\gamma' B' \left(2 \left(e^{\pi \tan \varphi} \tan^2 \left(45 + \frac{\varphi d}{2} \right) - 1 \right) \tan \varphi_d \right) \right) \times \left(1.35 + 1.50 \left(\frac{F_{Q;k}}{F_{G;k}} \right) \right)$$

$$\frac{\left(C_d \frac{\left(e^{\pi \tan \varphi} \tan^2 \left(45 + \frac{\varphi d}{2} \right) - 1 \right)}{\tan \varphi} + q' \left(e^{\pi \tan \varphi} \tan^2 \left(45 + \frac{\varphi d}{2} \right) \right) + 0.5\gamma' B' \left(2 \left(e^{\pi \tan \varphi} \tan^2 \left(45 + \frac{\varphi d}{2} \right) - 1 \right) \tan \varphi \right) \right) \times \left(1.00 + 1.30 \left(\frac{F_{Q;k}}{F_{G;k}} \right) \right)}{\left(C_d \frac{\left(e^{\pi \tan \varphi} \tan^2 \left(45 + \frac{\varphi d}{2} \right) - 1 \right)}{\tan \varphi_d} + q' \left(e^{\pi \tan \varphi} \tan^2 \left(45 + \frac{\varphi d}{2} \right) \right) + 0.5\gamma' B' \left(2 \left(e^{\pi \tan \varphi} \tan^2 \left(45 + \frac{\varphi d}{2} \right) - 1 \right) \tan \varphi_d \right) \right) \times \left(1.35 + 1.50 \left(\frac{F_{Q;k}}{F_{G;k}} \right) \right)}$$

Με σκοπό την απλοποίηση της παραπάνω σχέσης θέτουμε N_{cd} , N_{qd} , $N_{\gamma d}$, τους συντελεστές φέρουσας ικανότητας που στον υπολογισμό τους υπεισέρχεται στον όρο $\tan \varphi$ ο συντελεστής $\gamma_{m2}=1,25$.

$$\frac{\left(e^{\pi \tan \varphi} \tan^2 \left(45 + \frac{\varphi d}{2} \right) - 1 \right)}{\tan \varphi_d} = N_{cd}$$

$$\frac{\left(e^{\pi \tan \varphi} \tan^2 \left(45 + \frac{\varphi d}{2} \right) - 1 \right)}{\tan \varphi} = N_c$$

$$e^{\pi \tan \varphi} \tan^2 \left(45 + \frac{\varphi d}{2} \right) = N_{qd}$$

$$e^{\pi \tan \varphi} \tan^2 \left(45 + \frac{\varphi d}{2} \right) = N_q$$

$$2 \left(e^{\pi \tan \varphi} \tan^2 \left(45 + \frac{\varphi}{2} \right) - 1 \right) \tan \varphi_d = N_{\gamma d}$$

$$2 \left(e^{\pi \tan \varphi} \tan^2 \left(45 + \frac{\varphi}{2} \right) - 1 \right) \tan \varphi = N_{\gamma}$$

$$\frac{1,4 \left((c_d N_{cd} + q N_{qd} + 0,5 \gamma B N_{\gamma d}) \left(1,35 + 1,5 \left(\frac{F_{Q;k}}{F_{G;k}} \right) \right) \right)}{(c N_c + q N_{qd} + 0,5 \gamma B N_{\gamma}) \left(1,35 + 1,5 \left(\frac{F_{Q;k}}{F_{G;k}} \right) \right)}$$

Όπου: $\varphi_d = \text{atan} \left(\tan \left(\frac{\varphi}{1,25} \right) \right)$

$C_d = c * 1,25$

Στην συνέχεια προκειμένου να απλοποιηθούν οι υπολογισμοί να χρησιμοποιηθεί μηχανισμός αστοχίας Terzaghi με μέθοδο επίλυσης κατά Meyerhof. Αυτό στην πράξη σημαίνει πως αγνοείται εντελώς η διατμητική αντοχή του εδάφους πάνω από την στάθμη θεμελίωσης και η μόνη συμβολή του είναι με την επιφόρτιση q .

Η Σύγκριση πραγματοποιείται σε απειρόμηκες θεμελίωση και για γωνίες τριβής $\phi=15^\circ, 20^\circ, 25^\circ, 30^\circ$ για συνοχή $c=0, 10, 20, 30$ για διάφορες επιφορτίσεις q . Για παράδειγμα στον πίνακα 7.5 παρουσιάζεται το βάθος έδρασης του θεμελίου για ξηρό έδαφος με ειδικό ξηρό βάρος $\gamma_{dry}=20 \text{ kN/m}^3$ σε διάφορες περιπτώσεις επιφόρτισης. Στον πίνακα 7.6 παρουσιάζεται το βάθος έδρασης του θεμελίου όταν η στάθμη υδροφόρου ορίζοντα βρίσκεται στην επιφάνεια του εδάφους με ειδικό ξηρό βάρος για $\gamma_{dry}=20 \text{ kN/m}^3$, με κορεσμένο ειδικό βάρος $\gamma_{sat}=20 \text{ kN/m}^3$ σε διάφορες περιπτώσεις επιφόρτισης. Στον πίνακα 7.7 παρουσιάζεται το ισοδύναμο βάθος έδρασης του θεμελίου όταν η στάθμη υδροφόρου ορίζοντα βρίσκεται ένα μέτρο κάτω από την επιφάνεια του εδάφους με ειδικό ξηρό βάρος για $\gamma_{dry}=20 \text{ kN/m}^3$, με κορεσμένο ειδικό βάρος $\gamma_{sat}=20 \text{ kN/m}^3$ σε διάφορες περιπτώσεις επιφόρτισης. Από τους παρακάτω πίνακες εξάγεται το συμπέρασμα ότι μία συγκεκριμένη επιφόρτιση μπορεί να περιγράψει διαφορετικά βάθη έδρασης ανάλογα με την στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα.

Πίνακας 7.5: Υπολογισμός ισοδύναμου βάθους έδρασης σε ξηρό περιβάλλον βάση της επιφόρτισης q .

γ	20	20	20	20	20	20	20
q	10	20	30	40	50	60	70
df	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5

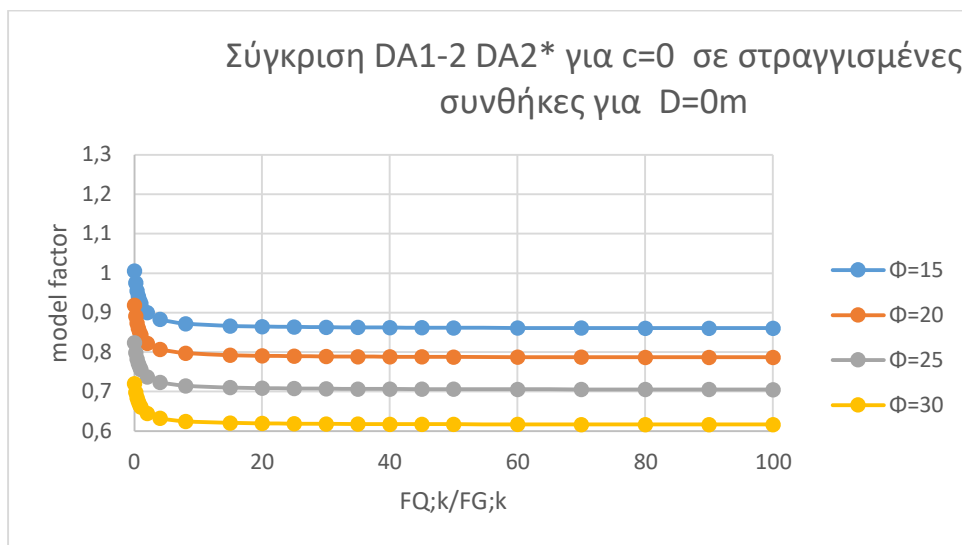
Πίνακας 7.6 Υπολογισμός βάθους έδρασης σε κορεσμένο περιβάλλον βάση της επιφόρτισης q .

Γ	20	20	20	20	20	20	20
Q	10	20	30	40	50	60	70
Z_w	0	0	0	0	0	0	0
Γ_w	10	10	10	10	10	10	10
D_f	1	2	3	4	5	6	7

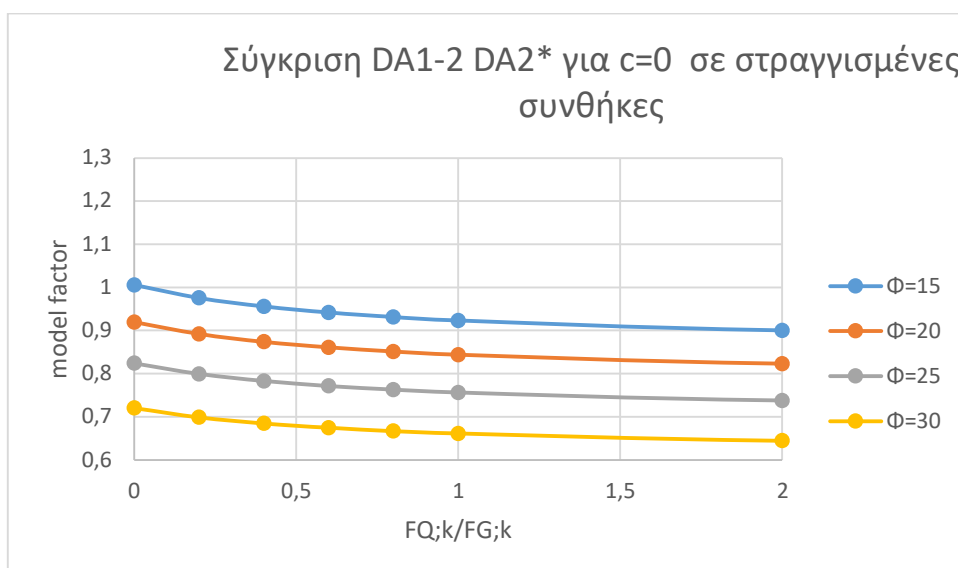
Πίνακας 7.7: Υπολογισμός βάθους έδρασης θεμελίωσης με στάθμη υδροφόρου οριζοντα ένα μέτρο $z_w=1m$ βάση της επιφόρτισης q .

Γ	20	20	20	20	20	20	20
Q	10	20	30	40	50	60	70
Zw	1	1	1	1	1	1	1
Γw	10	10	10	10	10	10	10
Df	_	_	0	1	2	3	4

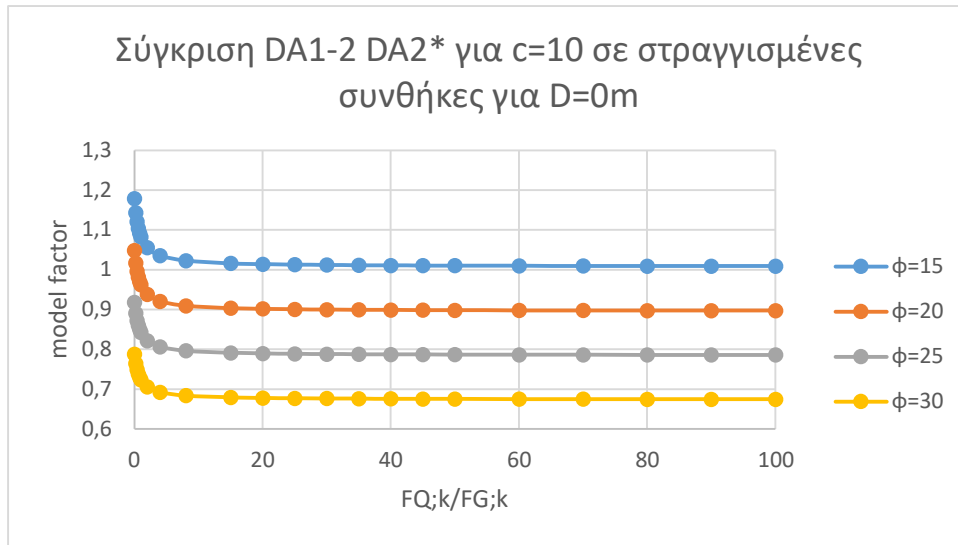
Ακολουθούν συγκριτικά διαγράμματα για την περίπτωση επιφόρτισης $q=0$ kPa. Αντίστοιχα διαγράμματα για επιφόρτιση $q=10,20,30,50,70$ παρουσιάζονται στο παράρτημα Δ.



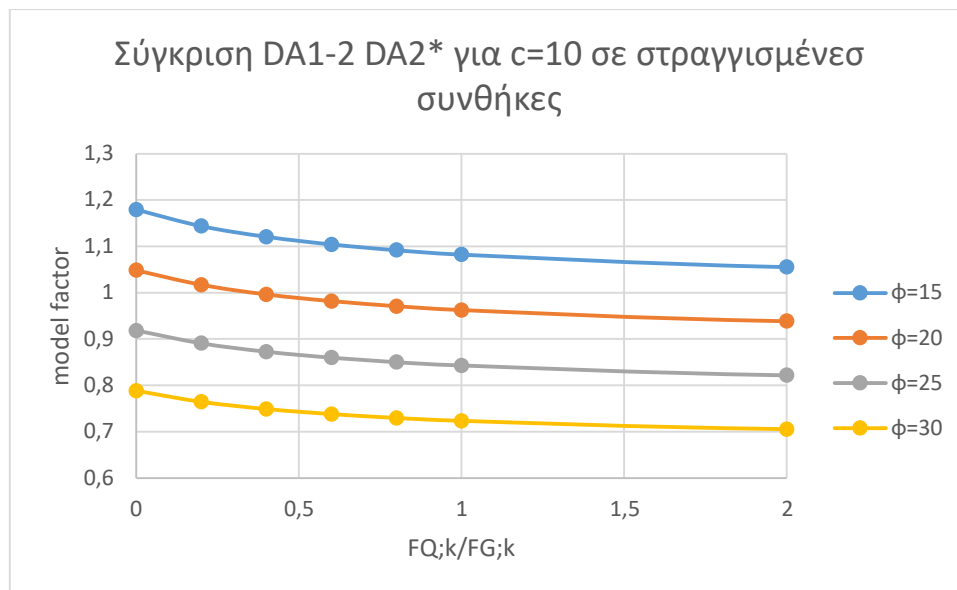
Διάγραμμα 7.7: $ODFDA1-2/ODFDA2^*$ σε στραγγισμένες συνθήκες για απειρόμηκες θεμελίωση με $c=0$ και $\varphi=15^\circ, 20^\circ, 25^\circ, 30^\circ$.



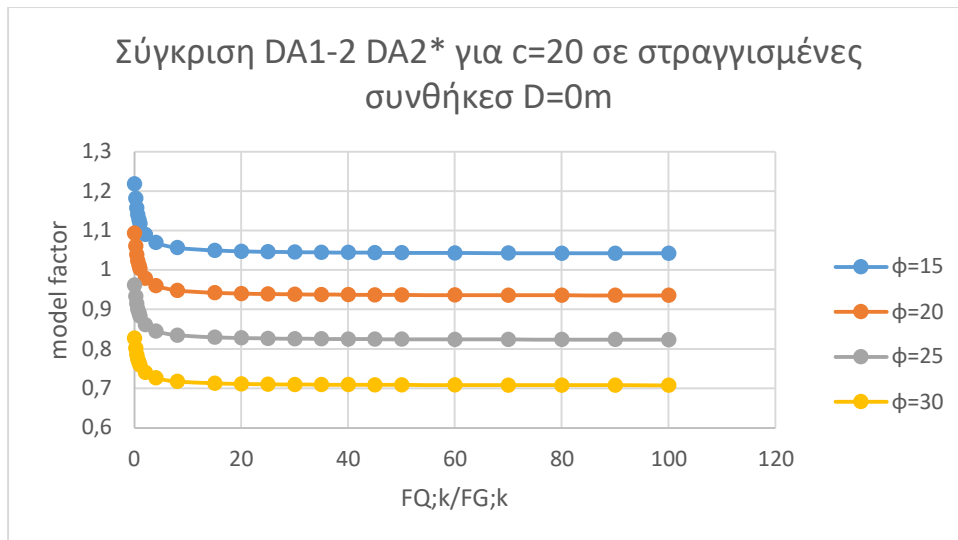
Διάγραμμα 7.8: $ODFDA1-2/ODFDA2^*$ σε στραγγισμένες συνθήκες για απειρόμηκες θεμελίωση με $c=0$ και $\varphi=15^\circ, 20^\circ, 25^\circ, 30^\circ$.



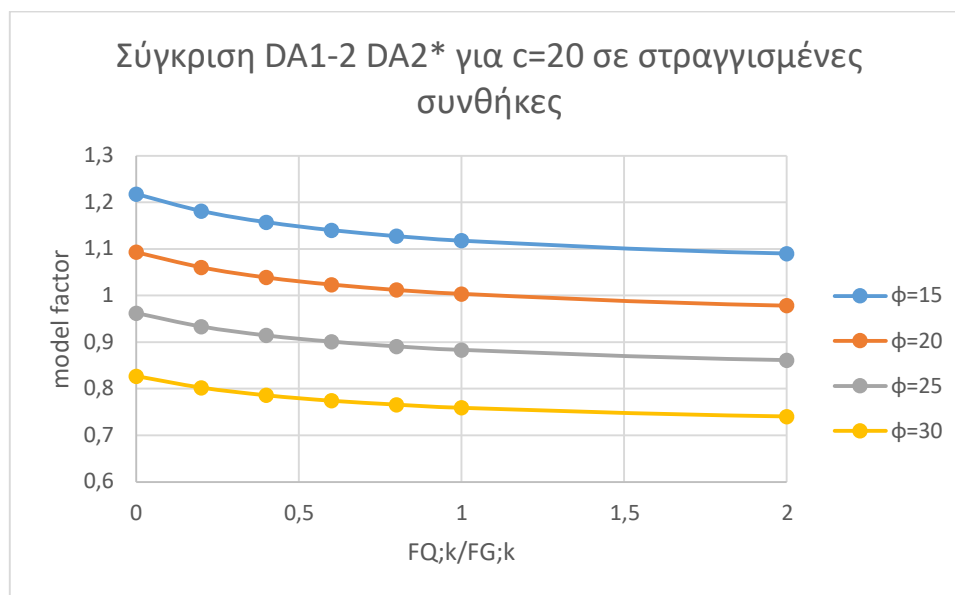
Διάγραμμα 7.9: $ODFDA1-2/ODFDA2^*$ σε στραγγισμένες συνθήκες για απειρόμηκες θεμελίωση με $c=10$ και $\varphi=15^\circ, 20^\circ, 25^\circ, 30^\circ$.



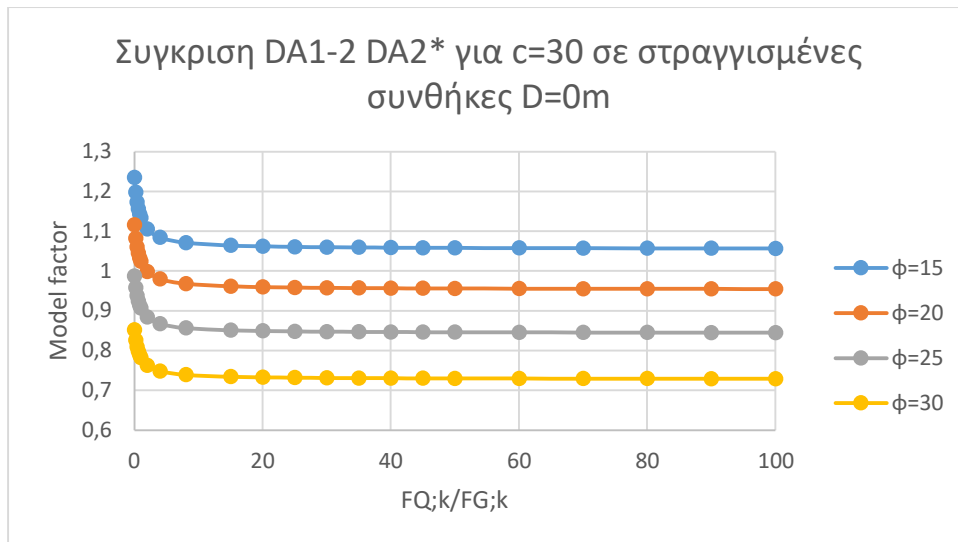
Διάγραμμα 7.10: $ODFDA1-2/ODFDA2^*$ σε στραγγισμένες συνθήκες για απειρόμηκες θεμελίωση με $c=10$ και $\varphi=15^\circ, 20^\circ, 25^\circ, 30^\circ$.



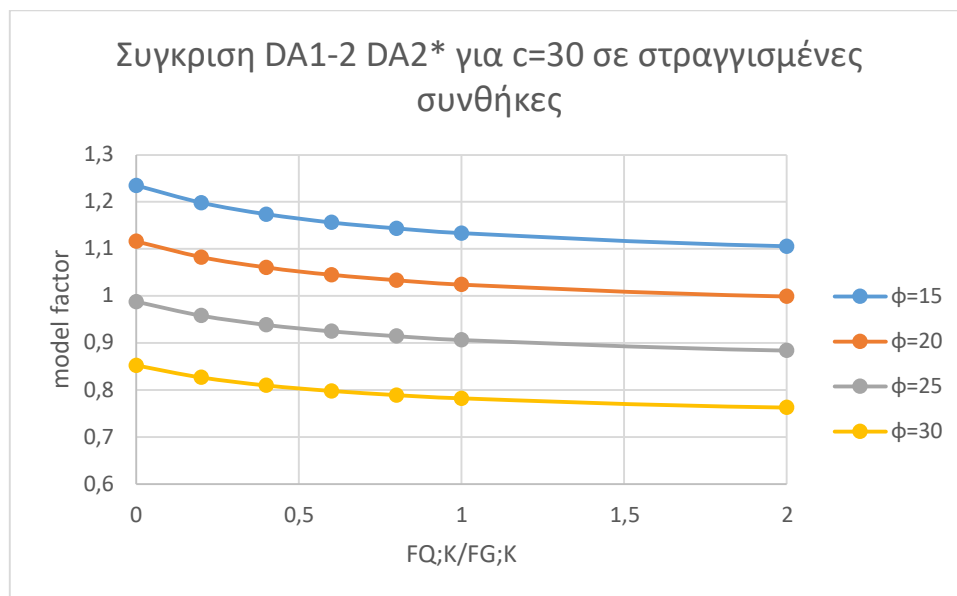
Διάγραμμα 7.11: $ODFDA1-2/ODFDA2^*$ σε στραγγισμένες συνθήκες για απειρόμηκες θεμελίωση με $c=20$ και $\phi=15^\circ, 20^\circ, 25^\circ, 30^\circ$.



Διάγραμμα 7.12: $ODFDA1-2/ODFDA2^*$ σε στραγγισμένες συνθήκες για απειρόμηκες θεμελίωση με $c=20$ και $\phi=15^\circ, 20^\circ, 25^\circ, 30^\circ$.



Διάγραμμα 7.13: $ODFDA1-2/ODFDA2^*$ σε στραγγισμένες συνθήκες για απειρόμηκες θεμελίωση με $c=30$ και $\phi=15^\circ, 20^\circ, 25^\circ, 30^\circ$.



Διάγραμμα 7.14: $ODFDA1-2/ODFDA2^*$ σε στραγγισμένες συνθήκες για απειρόμηκες θεμελίωση με $c=30$ και $\phi=15^\circ, 20^\circ, 25^\circ, 30^\circ$.

Στις στραγγισμένες συνθήκες δεν είναι καθολικό ότι ο ένας τρόπος είναι πιο συντηρητικός από τον άλλον όπως φαίνεται και στα διαγράμματα. Για ένα συγκεκριμένο c όσο αυξάνεται η γωνία τριβής τότε συνήθως ο τρόπος DA1-2 είναι πιο συντηρητικός. Αντιθέτως όσο μειώνεται η γωνία τριβής ο τρόπος DA2* είναι ο πιο συντηρητικός. Το συμπέρασμα είναι πως το πιο DA είναι πιο συντηρητικό εξαρτάται από τον συνδυασμό c , q , ϕ .

8 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Ο Ευρωκώδικας 7 (EC7) δίνει την δυνατότητα της επιλογής του τρόπου ανάλυσης και της επιλογής της αναλυτικής μεθόδου υπολογισμού της φέρουσας ικανότητας στην κάθε χώρα της Ευρωπαϊκής Ένωσης, επιτρέποντας έτσι τον καθορισμό τους με βάση το εκάστοτε εθνικό προσάρτημα. Με τις συγκριτικές αναλύσεις που ακολουθήθηκαν συνάγεται ότι το υπολογιστικό μοντέλο που συστήνει ο Ευρωκώδικας 7 (EC7) στο παράρτημα Δ είναι πιο συντηρητικό από την μεθοδολογία που προτείνει το BS8004, καθώς παραλείπει ορισμένους παράγοντες. Ακόμη, τα αποτελέσματα που προέκυψαν για ένα συγκεκριμένο αριθμητικό πρόβλημα που επιλύθηκε και με τις δύο μεθοδολογίες στο Excel με την χρήση των επί μέρους συντελεστών του τρόπου ανάλυσης DA1, επιβεβαιώνουν τις παραπάνω συγκριτικές αναλύσεις. Για το συγκεκριμένο πρόβλημα, η μεθοδολογία BS8004 έδωσε σχεδόν τριπλάσια φέρουσα ικανότητα από την αντίστοιχη που υπολογίστηκε με την χρήση της μεθόδου που προτείνεται στο Παράρτημα Δ του Ευρωκώδικα 7 (EC7).

Ο τρόπος ανάλυσης που επιλέγεται από κάθε χώρα στο εθνικό προσάρτημα και επομένως η ομάδα των επιμέρους συντελεστών που θα εφαρμοστεί στις δράσεις, στις εδαφικές παραμέτρους και στις αντιστάσεις κατέχει καθοριστικό ρόλο στον υπολογισμό της φέρουσας ικανότητας και κατά συνέπεια στον έλεγχο λόγω αστοχίας έναντι υπέρβασης της φέρουσας ικανότητας του εδάφους. Στις συγκριτικές αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν σε αυτήν την εργασία αποδείχθηκε ότι σε αστράγγιστες συνθήκες φόρτισης η τιμή της φέρουσας ικανότητας του εδάφους υπολογισμένη με τον τρόπο DA2* λαμβάνει τιμές μικρότερες από ότι στην περίπτωση που η φέρουσα ικανότητα υπολογίζεται με τον τρόπο ανάλυσης DA1-2. Συνεπώς, ο τρόπος ανάλυσης DA2* όταν η συνοχή (c) κυριαρχεί, μπορεί να θεωρηθεί πιο συντηρητικός τρόπος συγκρινόμενος με τον τρόπο ανάλυσης DA1-2. Η επιρροή της γεωμετρίας του θεμελίου στην σύγκριση των δύο τρόπων ανάλυσης DA1-2 και DA2* στις αστράγγιστες συνθήκες φόρτισης είναι πολύ μικρή, της τάξης του 1-2%, συνεπώς ο τρόπος ανάλυσης DA2* καθίσταται ως πιο συντηρητικός τρόπος ανάπτυξης, ανεξάρτητα από το αν θα επιλεγεί τετραγωνική ή ορθογωνική διατομής θεμελίου.

Αντίστοιχο συμπέρασμα δεν μπορούμε να εξάγουμε για στραγγισμένες συνθήκες φόρτισης. Οι συγκριτικές αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν μεταξύ των δύο τρόπων ανάλυσης έδειξαν ότι τα αποτελέσματα δεν είναι καθολικά ως προς το ποιος τρόπος ανάλυσης είναι πιο συντηρητικός και έχουν άμεση εξάρτηση με τον συνδυασμό της γωνία τριβής (ϕ), της επιφόρτισης (q) και της συνοχής (c).

Προτάσεις περαιτέρω έρευνας:

Η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από την ανάλυση που εκπονήθηκε στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, οδηγεί στην

εισήγηση νέων προτάσεων για διερεύνηση της φέρουσας ικανότητας. Στην συνέχεια παρατίθενται ορισμένες προτάσεις για περαιτέρω έρευνα :

1. Πιθανοτική ανάλυση επιφανειακών θεμελιώσεων.

Θα ήταν ωφέλιμη η διερεύνηση της πιθανότητας αστοχίας της κατασκευής υπό το πρίσμα της γεωτεχνικής αβεβαιότητας. Η γεωτεχνική αβεβαιότητα δεν λαμβάνεται απευθείας αλλά εμμέσως μέσω των επιμέρους συντελεστών και της ικανοποίησης της ανισότητας $E_d \leq R_d$.

2. Συγκριτικές αναλύσεις με τα υπολογιστικά μοντέλα που έχουν επιλεγθεί από άλλες χώρες μέλη της Ε.Ε.

Η διερεύνηση μεθοδολογιών που παρουσιάζονται στα εθνικά προσάρτηματα άλλων χωρών είναι άξια προσοχής. Σκοπός αυτής της διερεύνησης είναι η συγκριτική ανάλυση, η αναγνώριση της συντηρητικότερης μεθόδου, καθώς και της πιο ασφαλούς.

3. Συγκριτικές αναλύσεις μεταξύ των δυο υπολογιστικών προσομιωμάτων που παρέχονται ως επιτρεπτή μέθοδο υπολογισμού της φέρουσας ικανότητας στο εθνικό προσάρτημα της Ελλάδος.

Θα ήταν ωφέλιμο να γίνει η σύγκριση μεταξύ των δύο μεθόδων που συστήνονται για τον υπολογισμό της φέρουσας ικανότητας στην Ελλάδα με σκοπό την ανάδειξη της ασφαλέστερης εκ των δύο.

4. Αλληλεπίδραση θεμελιώσεων στη φέρουσα ικανότητα.

Η διπλωματική εργασία έχει ως αντικείμενο τη φέρουσα ικανότητα σε μεμονωμένα θεμέλια. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζεται στην περίπτωση δύο θεμελιώσεων που εδράζονται η μία κοντά στην άλλη στο ίδιο εδαφικό υλικό. Η φέρουσα ικανότητα μπορεί να αλλάξει λόγω της επίδρασης παρεμβολής της επιφάνειας αστοχίας στο έδαφος. Αυτή η αλλαγή μπορεί να είναι σημαντική σε ορισμένα προβλήματα σχεδιασμού θεμελίωσης, όπως σταθμούς μέσων μαζικής μεταφοράς και κτίρια ανάπαυσης σε μεγάλους αυτοκινητόδρομους.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ-ΠΗΓΕΣ

- JOSEPH E. BOWELS. (1997). *Foundation Analysis and Design*. Fifth Edition.
- Γ.ΜΠΕΛΟΚΑΣ. (2014). *Θεμελιώσεις*. Εκπαιδευτικές σημειώσεις, ΠΑΔΑ.
- Α.Γ.ΑΝΑΓΝΩΣΤΟΠΟΥΛΟΣ. Β.Π.ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΣ. (2016). *Σχεδιασμός των Θεμελιώσεων*. Εκδόσεις Συμεών.
- Α.Γ.ΑΝΑΓΝΩΣΤΟΠΟΥΛΟΣ. Β.Π.ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΣ. (2002). *Επιφανειακές Θεμελιώσεις*. Εκδόσεις Συμεών.
- Μ.ΚΑΒΒΑΔΑΣ. (2009). *Στοιχεία Εδαφομηχανικής*. Εκδόσεις Συμεών.
- BS EN 1997-1. (2004). *Eurocode 7: Geotechnical design –Part1: General rules*. CEN.
- BS EN 1997-2. (2004). *Eurocode 7: Geotechnical design –Part2: Ground investigation and testing*. CEN.
- BS8004. (2015). *Code of Practice for Foundations*. BSI.
- NA to BS EN 1997-1: 2004. (2007). *UK National Annex to Eurocode 7: Geotechnical design-Part1: General Rules*. BSI.
- ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΕΘΝΙΚΟ ΠΡΟΣΑΡΤΗΜΑ ΓΙΑ ΤΟΝ EN 1997-1. (2008). Εφημερίδα της Κυβερνήσεως, Αρ. Φύλλου 2692.
- BS EN 1991. (2002). *Eurocode 1: Actions on structures*. CEN.
- MEYERHOF G.G. (1951). *The ultimate bearing capacity of foundations*. Geotechnique 2.
- MEYERHOF.G.G. (1963). *Some recent research on the bearing capacity of foundations*. Canadian Geotechnical Journal. Vol. 1. No1. Sept.63.
- TERZAGHI.K. (1943). *Theoretical Soil Mechanics*. J.Wiley & Sons New York.
- TERZAGHI.K AND PECK.R.B. (1948). *Soil Mechanics in Engineering Practice*. New York (J.Wiley). Second Edition 1966.
- SKEMPTON.A.W. (1951). *The bearing capacity of clays*. Proceedings. Bulding Reasearch Congress. London.
- A.BOND – A.HARRIS. (2008). *Decoding Eurocode 7*. London.
- A. BOND. (2013). *Geotechnical Design with Worked Examples*. Geocentix. Ltd. Dublin.
- Μ.ΚΑΒΒΑΔΑΣ. (2009). *Εφαρμογές του Ευρωκώδικα 7 σε θέματα σχεδιασμού Γεωτεχνικών Έργων*. Αθήνα.
- Α.ΑΝΑΓΝΩΣΤΟΠΟΥΛΟΣ-Μ.ΚΑΒΒΑΔΑΣ-Β. ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΣ. (2009). *Σημειώσεις για τον Ευρωκώδικα 7 (EN 1997)*. Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος.
- Α.ΑΝΑΓΝΩΣΤΟΠΟΥΛΟΣ-Π.ΑΝΔΡΕΟΥ-Γ.ΑΝΑΓΝΩΣΤΟΠΟΥΛΟΣ. (2014). *Εδαφικές Ιδιότητες από Επί Τόπου Δοκιμές*. Εκδόσεις Συμεών.

Παράρτημα Α

Υπολογισμός συντελεστών φέρουσας ικανότητας και σχήματος, για διάφορες τιμές της γωνίας ϕ' και του λόγου B/L μέσω της μεθόδου που παρουσιάζεται στο Παράρτημα Δ του Ευρωκώδικα 7 (EC7).

EC7						
$s_q = 1 + \left(\frac{B'}{L'}\right) \sin \phi'$						
$s_\gamma = 1 - 0,3 \left(\frac{B'}{L'}\right)$						
$s_c = \frac{(s_q N_q - 1)}{N_q - 1}$						
B/L 1						
ϕ	Nq	Nc	N γ	s $_q$	s $_\gamma$	s $_c$
1	1,09	5,38	0,00	1,02	0,70	1,20
5	1,57	6,49	0,10	1,09	0,70	1,24
10	2,47	8,34	0,52	1,17	0,70	1,29
15	3,94	10,98	1,58	1,26	0,70	1,35
20	6,40	14,83	3,93	1,34	0,70	1,41
25	10,66	20,72	9,01	1,42	0,70	1,47
28	14,72	25,80	14,59	1,47	0,70	1,50
30	18,40	30,14	20,09	1,50	0,70	1,53
35	33,30	46,12	45,23	1,57	0,70	1,59
40	64,20	75,31	106,05	1,64	0,70	1,65
45	134,87	133,87	267,75	1,71	0,70	1,71
50	319,06	266,88	758,09	1,77	0,70	1,77
B/L 2						
ϕ	Nq	Nc	N γ	s $_q$	s $_\gamma$	s $_c$
1	1,09	5,38	0,00	1,03	0,40	1,41
5	1,57	6,49	0,10	1,17	0,40	1,48
10	2,47	8,34	0,52	1,35	0,40	1,58
15	3,94	10,98	1,58	1,52	0,40	1,69
20	6,40	14,83	3,93	1,68	0,40	1,81
25	10,66	20,72	9,01	1,85	0,40	1,93
28	14,72	25,80	14,59	1,94	0,40	2,01
30	18,40	30,14	20,09	2,00	0,40	2,06
35	33,30	46,12	45,23	2,15	0,40	2,18
40	64,20	75,31	106,05	2,29	0,40	2,31
45	134,87	133,87	267,75	2,41	0,40	2,42
50	319,06	266,88	758,09	2,53	0,40	2,54

B/L 5						
φ	Nq	Nc	Ny	sq	sy	sc
1	1,09	5,38	0,00	1,09	-0,50	2,02
5	1,57	6,49	0,10	1,44	-0,50	2,20
10	2,47	8,34	0,52	1,87	-0,50	2,46
15	3,94	10,98	1,58	2,29	-0,50	2,73
20	6,40	14,83	3,93	2,71	-0,50	3,03
25	10,66	20,72	9,01	3,11	-0,50	3,33
28	14,72	25,80	14,59	3,35	-0,50	3,52
30	18,40	30,14	20,09	3,50	-0,50	3,64
35	33,30	46,12	45,23	3,87	-0,50	3,96
40	64,20	75,31	106,05	4,21	-0,50	4,26
45	134,87	133,87	267,75	4,54	-0,50	4,56
50	319,06	266,88	758,09	4,83	-0,50	4,84
B/L 10						
φ	Nq	Nc	Ny	sq	sy	sc
1	1,09	5,38	0,00	1,17	-2,00	3,03
5	1,57	6,49	0,10	1,87	-2,00	3,41
10	2,47	8,34	0,52	2,74	-2,00	3,92
15	3,94	10,98	1,58	3,59	-2,00	4,47
20	6,40	14,83	3,93	4,42	-2,00	5,05
25	10,66	20,72	9,01	5,23	-2,00	5,66
28	14,72	25,80	14,59	5,69	-2,00	6,04
30	18,40	30,14	20,09	6,00	-2,00	6,29
35	33,30	46,12	45,23	6,74	-2,00	6,91
40	64,20	75,31	106,05	7,43	-2,00	7,53
45	134,87	133,87	267,75	8,07	-2,00	8,12
50	319,06	266,88	758,09	8,66	-2,00	8,68
B/L 25						
φ	Nq	Nc	Ny	sq	sy	sc
1	1,09	5,38	0,00	1,44	-6,50	6,08
5	1,57	6,49	0,10	3,18	-6,50	7,02
10	2,47	8,34	0,52	5,34	-6,50	8,29
15	3,94	10,98	1,58	7,47	-6,50	9,67
20	6,40	14,83	3,93	9,55	-6,50	11,13
25	10,66	20,72	9,01	11,57	-6,50	12,66
28	14,72	25,80	14,59	12,74	-6,50	13,59
30	18,40	30,14	20,09	13,50	-6,50	14,22
35	33,30	46,12	45,23	15,34	-6,50	15,78
40	64,20	75,31	106,05	17,07	-6,50	17,32
45	134,87	133,87	267,75	18,68	-6,50	18,81
50	319,06	266,88	758,09	20,15	-6,50	20,21

ϕ	Nq	Nc	N γ	sq	s γ	sc
1	1,09	5,38	0,00	1,87	-14,00	11,17
5	1,57	6,49	0,10	5,36	-14,00	13,03
10	2,47	8,34	0,52	9,68	-14,00	15,58
15	3,94	10,98	1,58	13,94	-14,00	18,34
20	6,40	14,83	3,93	18,10	-14,00	21,27
25	10,66	20,72	9,01	22,13	-14,00	24,32
28	14,72	25,80	14,59	24,47	-14,00	26,18
30	18,40	30,14	20,09	26,00	-14,00	27,44
35	33,30	46,12	45,23	29,68	-14,00	30,57
40	64,20	75,31	106,05	33,14	-14,00	33,65
45	134,87	133,87	267,75	36,36	-14,00	36,62
50	319,06	266,88	758,09	39,30	-14,00	39,42

Υπολογισμός συντελεστών φέρουσας ικανότητας και σχήματος, για διάφορες τιμές της γωνίας ϕ' και του λόγου B/L μέσω της μεθόδου BS8004.

BS8004							
$s_q = 1 + \left(\frac{B}{L}\right)\tan\phi$ $s_\gamma = 1 - 0,4\left(\frac{B}{L}\right)$ $s_c = 1 + \left(\frac{B}{L}\right)\left(\frac{N_q}{N_c}\right)$							
B/L						1	
ϕ	N_q	N_c	N_γ	N_γ	s_q	s_γ	s_c
1	1,09	5,38	0,08	0,12	1,02	0,60	1,20
5	1,57	6,49	0,15	0,24	1,09	0,60	1,24
10	2,47	8,34	0,34	0,57	1,18	0,60	1,30
15	3,94	10,98	0,75	1,31	1,27	0,60	1,36
20	6,40	14,83	1,69	3,03	1,36	0,60	1,43
25	10,66	20,72	3,81	7,03	1,47	0,60	1,51
28	14,72	25,80	6,19	11,63	1,53	0,60	1,57
30	18,40	30,14	8,55	16,28	1,58	0,60	1,61
35	33,30	46,12	19,23	37,71	1,70	0,60	1,72
40	64,20	75,31	43,23	87,36	1,84	0,60	1,85
45	134,87	133,87	97,17	202,35	2,00	0,60	2,01
50	319,06	266,88	218,42	468,72	2,19	0,60	2,20
B/L						2	
ϕ	N_q	N_c	N_γ	N_γ	s_q	s_γ	s_c
1	1,09	5,38	0,08	0,12	1,03	0,20	1,41
5	1,57	6,49	0,15	0,24	1,17	0,20	1,48
10	2,47	8,34	0,34	0,57	1,35	0,20	1,59
15	3,94	10,98	0,75	1,31	1,54	0,20	1,72
20	6,40	14,83	1,69	3,03	1,73	0,20	1,86
25	10,66	20,72	3,81	7,03	1,93	0,20	2,03
28	14,72	25,80	6,19	11,63	2,06	0,20	2,14
30	18,40	30,14	8,55	16,28	2,15	0,20	2,22
35	33,30	46,12	19,23	37,71	2,40	0,20	2,44
40	64,20	75,31	43,23	87,36	2,68	0,20	2,70
45	134,87	133,87	97,17	202,35	3,00	0,20	3,01
50	319,06	266,88	218,42	468,72	3,38	0,20	3,39

						B/L	5	
φ	Nq	Nc	N γ	N γ	sq	s γ	sc	
1	1,09	5,38	0,08	0,12	1,09	-1,00	2,02	
5	1,57	6,49	0,15	0,24	1,44	-1,00	2,21	
10	2,47	8,34	0,34	0,57	1,88	-1,00	2,48	
15	3,94	10,98	0,75	1,31	2,34	-1,00	2,80	
20	6,40	14,83	1,69	3,03	2,82	-1,00	3,16	
25	10,66	20,72	3,81	7,03	3,33	-1,00	3,57	
28	14,72	25,80	6,19	11,63	3,66	-1,00	3,85	
30	18,40	30,14	8,55	16,28	3,89	-1,00	4,05	
35	33,30	46,12	19,23	37,71	4,50	-1,00	4,61	
40	64,20	75,31	43,23	87,36	5,20	-1,00	5,26	
45	134,87	133,87	97,17	202,35	6,00	-1,00	6,04	
50	319,06	266,88	218,42	468,72	6,96	-1,00	6,98	
						B/L	10	
φ	Nq	Nc	N γ	N γ	sq	s γ	sc	
1	1,09	5,38	0,08	0,12	1,17	-3,00	3,03	
5	1,57	6,49	0,15	0,24	1,87	-3,00	3,42	
10	2,47	8,34	0,34	0,57	2,76	-3,00	3,96	
15	3,94	10,98	0,75	1,31	3,68	-3,00	4,59	
20	6,40	14,83	1,69	3,03	4,64	-3,00	5,31	
25	10,66	20,72	3,81	7,03	5,66	-3,00	6,15	
28	14,72	25,80	6,19	11,63	6,32	-3,00	6,70	
30	18,40	30,14	8,55	16,28	6,77	-3,00	7,11	
35	33,30	46,12	19,23	37,71	8,00	-3,00	8,22	
40	64,20	75,31	43,23	87,36	9,39	-3,00	9,52	
45	134,87	133,87	97,17	202,35	11,00	-3,00	11,07	
50	319,06	266,88	218,42	468,72	12,92	-3,00	12,96	
						B/L	25	
φ	Nq	Nc	N γ	N γ	sq	s γ	sc	
1	1,09	5,38	0,08	0,12	1,44	-9,00	6,08	
5	1,57	6,49	0,15	0,24	3,19	-9,00	7,04	
10	2,47	8,34	0,34	0,57	5,41	-9,00	8,40	
15	3,94	10,98	0,75	1,31	7,70	-9,00	9,98	
20	6,40	14,83	1,69	3,03	10,10	-9,00	11,78	
25	10,66	20,72	3,81	7,03	12,66	-9,00	13,86	
28	14,72	25,80	6,19	11,63	14,29	-9,00	15,26	
30	18,40	30,14	8,55	16,28	15,43	-9,00	16,26	
35	33,30	46,12	19,23	37,71	18,51	-9,00	19,05	
40	64,20	75,31	43,23	87,36	21,98	-9,00	22,31	
45	134,87	133,87	97,17	202,35	26,00	-9,00	26,19	
50	319,06	266,88	218,42	468,72	30,79	-9,00	30,89	

B/L 50

φ	Nq	Nc	N _y	N _y	sq	s _y	sc
1	1,09	5,38	0,08	0,12	1,87	-19,00	11,17
5	1,57	6,49	0,15	0,24	5,37	-19,00	13,08
10	2,47	8,34	0,34	0,57	9,82	-19,00	15,81
15	3,94	10,98	0,75	1,31	14,40	-19,00	18,95
20	6,40	14,83	1,69	3,03	19,20	-19,00	22,57
25	10,66	20,72	3,81	7,03	24,32	-19,00	26,73
28	14,72	25,80	6,19	11,63	27,59	-19,00	29,52
30	18,40	30,14	8,55	16,28	29,87	-19,00	31,53
35	33,30	46,12	19,23	37,71	36,01	-19,00	37,09
40	64,20	75,31	43,23	87,36	42,95	-19,00	43,62
45	134,87	133,87	97,17	202,35	51,00	-19,00	51,37
50	319,06	266,88	218,42	468,72	60,59	-19,00	60,78

Συγκριτικές αναλύσεις των συντελεστών σχήματος υπολογισμένων μέσω της μεθοδολογίας που παρουσιάζεται στο Παράρτημα Δ του Ευρωκώδικα 7 (EC7) και μέσω του BS8004.

EC7/BS8004			B/L=1
sq	sγ	sc	φ
1,00	1,17	1,00	1
1,00	1,17	1,00	5
1,00	1,17	1,00	10
0,99	1,17	0,99	15
0,98	1,17	0,98	20
0,97	1,17	0,97	25
0,96	1,17	0,96	28
0,95	1,17	0,95	30
0,93	1,17	0,92	35
0,89	1,17	0,89	40
0,85	1,17	0,85	45
0,81	1,17	0,81	50

EC7/BS8004			B/L=2
sq	sγ	sc	φ
1,00	2,00	1,00	1
1,00	2,00	1,00	5
1,00	2,00	0,99	10
0,99	2,00	0,99	15
0,97	2,00	0,97	20
0,95	2,00	0,95	25
0,94	2,00	0,94	28
0,93	2,00	0,93	30
0,89	2,00	0,89	35
0,85	2,00	0,85	40
0,80	2,00	0,80	45
0,75	2,00	0,75	50

EC7/BS8004			B/L=5
sq	sγ	sc	φ
1,00	0,50	1,00	1
1,00	0,50	1,00	5
0,99	0,50	0,99	10
0,98	0,50	0,98	15
0,96	0,50	0,96	20
0,93	0,50	0,93	25
0,91	0,50	0,91	28
0,90	0,50	0,90	30
0,86	0,50	0,86	35
0,81	0,50	0,81	40
0,76	0,50	0,76	45
0,69	0,50	0,69	50

EC7/BS8004			B/L=10
sq	sγ	sc	φ
1,00	0,67	1,00	1
1,00	0,67	1,00	5
0,99	0,67	0,99	10
0,98	0,67	0,97	15
0,95	0,67	0,95	20
0,92	0,67	0,92	25
0,90	0,67	0,90	28
0,89	0,67	0,88	30
0,84	0,67	0,84	35
0,79	0,67	0,79	40
0,73	0,67	0,73	45
0,67	0,67	0,67	50

EC7/BS8004			B/L=25
sq	sγ	sc	φ
1,00	0,72	1,00	1
1,00	0,72	1,00	5
0,99	0,72	0,99	10
0,97	0,72	0,97	15
0,95	0,72	0,94	20
0,91	0,72	0,91	25
0,89	0,72	0,89	28
0,87	0,72	0,87	30
0,83	0,72	0,83	35
0,78	0,72	0,78	40
0,72	0,72	0,72	45
0,65	0,72	0,65	50

EC7/BS8004			B/L=50
sq	sγ	sc	φ
1,00	0,74	1,00	1
1,00	0,74	1,00	5
0,99	0,74	0,99	10
0,97	0,74	0,97	15
0,94	0,74	0,94	20
0,91	0,74	0,91	25
0,89	0,74	0,89	28
0,87	0,74	0,87	30
0,82	0,74	0,82	35
0,77	0,74	0,77	40
0,71	0,74	0,71	45
0,65	0,74	0,65	50

Παράρτημα Β

Στο Παράρτημα Β παρουσιάζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα του υπολογιστικού προβλήματος που μελετήθηκε στο Κεφάλαιο 6 της παρούσας διπλωματικής εργασίας, όπως αυτά υπολογίστηκαν μέσω του φύλλου που προγραμματίστηκε στο Excel.

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΦΕΡΟΥΣΑΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ ΒΑΣΗ ΤΟΥ ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΟΣ Δ ΤΟΥ ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑ 7				
A. ΣΤΡΑΓΓΙΣΜΕΝΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ				
ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΤΩΝ ΔΡΑΣΕΩΝ ΣΤΗΝ ΒΑΣΗ ΤΟΥ ΠΕΔΙΛΟΥ				
Οι επιμέρους συντελεστές λαμβάνονται από τους πίνακες Α.3 και Α.5 του παρατήματος Α				
Τύπος διατομής	1: Ορθογωνική 2: Τετραγωνική 3: Κυκλική			

Συμπληρώνονται τα δεδομένα του υπολογιστικού προβλήματος για ορθογωνικό θεμέλιο.

Πρώτο ερώτημα: Διερεύνηση της επιρροής της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα στην φέρουσα ικανότητα αβαθούς θεμελίωσης.

ΔΕΔΟΜΕΝΑ	παράδειγμα 1	παράδειγμα 2	παράδειγμα 3	
ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ				
Τύπος διατομής	1	1	1	M.M
B ή D	3	3	3	m
L ή D	4	4	4	m
DF	1	1	2	m
zW	10	2	1	m
a	0	0	0	°
ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΕΔΑΦΩΝ				
Στρώση 1				
γdry	18	18	18	KN/m ³
γsat	20	20	20	KN/m ³
Στρώση 2				
γdry	18	18	18	KN/m ³
γsat	20	20	20	KN/m ³
φ'	28	28	28	°
c'	10	10	10	Kpa

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ ΔΡΑΣΕΩΝ ΣΤΗΝ ΣΤΑΘΜΗ ΕΔΡΑΣΗΣ ΤΟΥ ΠΕΔΙΛΟΥ (ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟ ΚΕΝΤΡΟ ΤΟΥ)				
Κατακόρυφες δράσεις				
v(Gk)	1800	1800	1800	KN
v(Qk)	350	350	350	KN
Οριζόντιες δράσεις				
H(BGK)	360	360	360	KN
H(BQK)	70	70	70	KN
H(LGK)	0	0	0	KN
H(LQK)	0	0	0	KN
Ροπές				
M(BG,K)	1080	1080	1080	KN/m
M(BQ,K)	210	210	210	KN/m
M(LG,K)	0	0	0	KN/m
M(LQ,K)	0	0	0	KN/m
Επιφόρτιση				
q	0	0	0	KN

Οι επιμέρους συντελεστές λαμβάνονται από τους πίνακες A.3, A.4 και A.5 του Παρατήματος Α του Ευρωκώδικα 7 (EC7) και παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στον ακόλουθο πίνακα. Ανάλογα με τον τρόπο ανάλυσης που επιλέγεται στο αντίστοιχο κελί συμπληρώνονται αυτόματα οι επιμέρους συντελεστές .

Τρόποι ανάλυσης:			A		M				R
			γG	γQ	γc'	γφ'	γγ	γcu	γR;ν
	DA1-1	$A1 + M1 + R1$	1,35	1,5	1	1	1	1	1
	DA1-2	$A2 + M2 + R1$	1	1,3	1,25	1,25	1	1,4	1
	DA3	$A1 + M2 + R3$	1,35	1,5	1,25	1,25	1	1,4	1
		$A2 + M2 + R3$	1	1,3	1,25	1,25	1	1,4	1
	DA2*	$A1 + M1 + R2$	1,35	1,5	1	1	1	1	1,4

Το πρώτο ερώτημα λύνεται με βάση την εθνική επιλογή της Ελλάδος αξιοποιώντας τον τρόπο ανάλυσης DA2*.

Αποτελέσματα	παράδειγμα 1	παράδειγμα 2	παράδειγμα 3	
Τρόπος ανάλυσης	DA2*	DA2*	DA2*	
γ_G	1,35	1,35	1,35	0
γ_Q	1,5	1,5	1,5	0
γ_c'	1	1	1	
γ_{φ}'	1	1	1	
γ_Y	1	1	1	
$\gamma_{R;\nu}$	1,4	1,4	1,4	

Με την χρήση των επιμέρους συντελεστών υπολογίζονται οι τιμές σχεδιασμού των ιδιοτήτων του εδάφους και των δράσεων.

ΤΙΜΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΕΔΑΦΟΥΣ				
cd'	10	10	10	Kpa
$(\tan\phi)d$	0,531709432	0,531709432	0,531709432	
ϕd	28	28	28	°
ΤΙΜΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΔΡΑΣΕΩΝ				
$E_d=V_d$	2955	2955	2955	KN
$H(B_d)$	591	591	591	KN
$H(L_d)$	0	0	0	KN
$M(B_d)$	1773	1773	1773	KN/m
$M(L_d)$	0	0	0	KN/m
qd	0	0	0	KN/m
Λοξότητα φόρτισης				
$\tan\theta(B_k)$	0,200	0,200	0,200	
$\tan\theta(L_k)$	0,000	0,000	0,000	
$\theta(B_k)$	11,31	11,31	11,31	°
$\theta(L_k)$	0,00	0,00	0,00	°
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ				
V_k	2150	2150	2150	KN
H_{Bk}	430	430	430	KN
H_{Lk}	0	0	0	KN
M_{Bk}	1290	1290	1290	KN/m
M_{Lk}	0	0	0	KN/m

Υπολογισμός απομειωμένης (ενεργού διατομής του πεδίου).

ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ				
eb	0,600	0,600	0,600	
el	0,000	0,000	0,000	
A	12,000	12,000	12,000	m
B'	1,800	1,800	1,800	m
L'	4,000	4,000	4,000	m
A'	7,200	7,200	7,200	m ²

ΑΔΙΑΣΤΑΤΟΙ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ				
1.ΦΕΡΟΥΣΑΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ				
Στρώση 1				M.M
Nq	14,720	14,720	14,720	
Nc	25,803	25,803	25,803	
Nγ	14,590	14,590	14,590	
2.ΚΛΙΣΗ ΤΗΣ ΒΑΣΗΣ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ				
bc	1,00	1,00	1,00	
bq	1,00	1,00	1,00	
bγ	1,00	1,00	1,00	
3.ΣΧΗΜΑ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ				
sq	1,2113	1,2113	1,2113	
sc	1,2267	1,2267	1,2267	
sγ	0,8650	0,8650	0,8650	
4.ΑΠΟΚΛΙΣΗ ΦΟΡΤΙΟΥ				
ουμε την περιπτωση του HB μόνο)				
m	1,6897	1,6897	1,6897	
$\tan\theta_B$	0,200	0,200	0,200	
ic	0,6704	0,6709	0,6721	
iq	0,6928	0,6933	0,6944	
iγ	0,5575	0,5581	0,5596	

Περιπτώσεις στάθμης υδροφόρου ορίζοντα :

1.	$d_w > D+B$			
	$p'_o = \gamma_1 \times D + q$			
	$\gamma' = \gamma_2$			
2.	$D < d_w < D+B$			
	$p'_o = \gamma_1 \times D + q$			
	$\gamma' = \frac{\gamma_2 \times (d_w - D) + (\gamma_{sat} - \gamma_w) \times (D + B - d_w)}{B}$			
3.	$d_w < D$			
	$p'_o = \gamma_1 \times d_w + (\gamma_{sat} - \gamma_w) \times (D - d_w) + q$			
	$\gamma' = \gamma'_2 = \gamma_{2 sat} - \gamma_w$			

Παράμετροι που επηρεάζονται από την φέρουσα ικανότητα				
q'	36	36	28	kN
γ'	18	10	10	kN/m ³

ΦΕΡΟΥΣΑ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ				
Pu	771	721	623	kPa
V	5550,33	5189,37	4485,38	kN
H	1110,07	1037,87	897,08	kN
Rd	3964,52	3706,69	3203,84	kN
A	316,52	316,52	316,52	kPa
B	641,87	641,87	499,23	kPa
C	204,45	113,58	113,58	kPa
cotφ=	1,8807	1,8807	1,8807	
	0	0	0	
	ΦΙ	ΦΙ	ΦΙ	

ΕΛΕΓΧΟΙ:				
ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΛΟΓΟ ΦΕΡΟΥΣΑΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ				
Vd ≤ Rd	TRUE	TRUE	TRUE	
Vd	2955	2955	2955	kN
Rd	3964,52	3706,69	3203,84	kN

Δεύτερο ερώτημα: Διερεύνηση της επιρροής του τρόπου ανάλυσης στην φέρουσα ικανότητα αβαθούς θεμελίωσης.

ΔΕΔΟΜΕΝΑ	παράδειγμα 1	παράδειγμα 2	παράδειγμα 3	
ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ				
Τύπος διατομής	1	1	1	M.M
B ή D	3	3	3	m
L ή D	4	4	4	m
DF	2	2	2	m
zW	10	10	10	m
a	0	0	0	°

ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΕΔΑΦΩΝ				
Στρώση 1				
γdry	18	18	18	KN/m ³
γsat	20	20	20	KN/m ³
Στρώση 2				
γdry	18	18	18	KN/m ³
γsat	20	20	20	KN/m ³
φ'	28	28	28	°
c'	10	10	10	Kpa
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ ΔΡΑΣΕΩΝ ΣΤΗΝ ΣΤΑΘΜΗ ΕΔΡΑΣΗΣ ΤΟΥ ΠΕΔΙΛΟΥ (ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟ ΚΕΝΤΡΟ ΤΟΥ)				
Κατακόρυφες δράσεις				
v(Gk)	1800	1800	1800	KN
v(Qk)	350	350	350	KN
Οριζόντιες δράσεις				
H(BGK)	360	360	360	KN
H(BQK)	70	70	70	KN
H(LGK)	0	0	0	KN
H(LQK)	0	0	0	KN
Ροπές				
M(BG,K)	1080	1080	1080	KN/m
M(BQ,K)	210	210	210	KN/m
M(LG,K)	0	0	0	KN/m
M(LQ,K)	0	0	0	KN/m
Επιφόρτιση				
q	0	0	0	KN

Τρόποι ανάλυσης:			A		M			R
			γG	γQ	γc'	γφ'	γγ	γcu
DA1-1	A1 + M1 + R1	1,35	1,5	1	1	1	1	1
DA1-2	A2 + M2 + R1	1	1,3	1,25	1,25	1	1,4	1
DA3	A1 + M2 + R3	1,35	1,5	1,25	1,25	1	1,4	1
	A2 + M2 + R3	1	1,3	1,25	1,25	1	1,4	1
DA2*	A1 + M1 + R2	1,35	1,5	1	1	1	1	1,4

Αποτελέσματα	παράδειγμα 1	παράδειγμα 2	παράδειγμα 3	
Τρόπος ανάλυσης	DA1-1	DA1-2	DA2*	
γ_G	1,35	1	1,35	0
γ_Q	1,5	1,3	1,5	0
$\gamma_{c'}$	1	1,25	1	
$\gamma_{\phi'}$	1	1,25	1	
γ_Y	1	1	1	
$\gamma_{R;\nu}$	1	1	1,4	

ΤΙΜΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΕΔΑΦΟΥΣ				
cd'	10	8	10	Kpa
$(\tan\phi)d$	0,531709432	0,412170257	0,531709432	
ϕd	28	22,4	28	°
ΤΙΜΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΔΡΑΣΕΩΝ				
$E_d=V_d$	2955	2255	2955	KN
$H(B_d)$	591	451	591	KN
$H(L_d)$	0	0	0	KN
$M(B_d)$	1773	1353	1773	KN/m
$M(L_d)$	0	0	0	KN/m
qd	0	0	0	KN/m
Λοξότητα φόρτισης				
$\tan\theta(B_k)$	0,200	0,200	0,200	
$\tan\theta(L_k)$	0,000	0,000	0,000	
$\theta(B_k)$	11,31	11,31	11,31	°
$\theta(L_k)$	0,00	0,00	0,00	°
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ				
V_k	2150	2150	2150	KN
H_{Bk}	430	430	430	KN
H_{Lk}	0	0	0	KN
M_{Bk}	1290	1290	1290	KN/m
M_{Lk}	0	0	0	KN/m

ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ				
e_b	0,600	0,600	0,600	
e_l	0,000	0,000	0,000	
A	12,000	12,000	12,000	m
B'	1,800	1,800	1,800	m
L'	4,000	4,000	4,000	m
A'	7,200	7,200	7,200	m ²

ΑΔΙΑΣΤΑΤΟΙ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ				
1.ΦΕΡΟΥΣΑΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ				
Στρώση 1				M.M
Nq	14,720	8,146	14,720	
Nc	25,803	17,337	25,803	
Nγ	14,590	5,891	14,590	
2.ΚΛΙΣΗ ΤΗΣ ΒΑΣΗΣ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ				
bc	1,00	1,00	1,00	
bq	1,00	1,00	1,00	
bγ	1,00	1,00	1,00	
3.ΣΧΗΜΑ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ				
sq	1,2113	1,1715	1,2113	
sc	1,2267	1,1955	1,2267	
sγ	0,8650	0,8650	0,8650	
4.ΑΠΟΚΛΙΣΗ ΦΟΡΤΙΟΥ				
δυμε την περίπτωση του HB μόνο)				
m	1,6897	1,6897	1,6897	
$\tan\theta_B$	0,200	0,200	0,200	
ic	0,6704	0,6574	0,6704	
iq	0,6928	0,6995	0,6928	
iγ	0,5575	0,5661	0,5575	

Παράμετροι που επηρεάζονται από την φέρουσα ικανότητα				
q'	36	36	36	kN
γ'	18	18	18	kN/m ³

ΦΕΡΟΥΣΑ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ				
Pu	771	396	771	kPa
V	5550,33	2851,42	5550,33	kN
H	1110,07	570,28	1110,07	kN
Rd	5550,33	2851,42	3964,52	kN
A	316,52	165,81	316,52	kPa
B	641,87	343,53	641,87	kPa
C	204,45	82,54	204,45	kPa
cotφ=	1,8807	2,4262	1,8807	
	0	0	0	



ΕΛΕΓΧΟΙ:				

Έλεγχος Αξτοχίας Λογό Φέρουσας Ικανότητας				
Vd ≤ Rd	TRUE	TRUE	TRUE	
Vd	2955	2255	2955	kN
Rd	5550,33	2851,42	3964,52	kN

Τρίτο ερώτημα: Διερεύνηση της επιρροής της μεθόδου υπολογισμού της φέρουσας ικανότητα αβαθούς θεμελίωσης με τρόπο ανάλυσης DA1.

ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΕΘΝΙΚΗ ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΟΥ ΗΝΩΜΕΝΟΥ ΒΑΣΙΛΕΙΟΥ (ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ BS8004)				
A. ΣΤΡΑΓΓΙΣΜΕΝΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ				
ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΤΩΝ ΔΡΑΣΕΩΝ ΣΤΗΝ ΒΑΣΗ ΤΟΥ ΠΕΔΙΛΟΥ				
Οι επιμέρους συντελεστές λαμβάνονται από τους πίνακες A.3, A.4 και A.5 του παρατήματος A του EN 1997-1				
Τύπος διατομής	1: Ορθογωνική 2: Τετραγωνική 3: Κυκλική			

ΔΕΔΟΜΕΝΑ	παράδειγμα 1	παράδειγμα 2	παράδειγμα 3	
ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ				
Τύπος διατομής	1	1	1	M.M
B ή D	3	3	3	m
L ή D	4	4	4	m
DF	2	2	2	m
zW	10	10	10	m
a	0	0	0	°
w	0	0	0	°

ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΕΔΑΦΩΝ				
Στρώση 1				
γdry	18	18	18	KN/m ³
γsat	20	20	20	KN/m ³
Στρώση 2				
γdry	18	18	18	KN/m ³
γsat	20	20	20	KN/m ³
φ'	28	28	28	°
c'	10	10	10	Kpa
ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΕΔΑΦΟΥΣ				
E	50000	50000	50000	Kpa
ν	0,4	0,4	0,3	
G	17857,14286	17857,14286	19230,76923	Kpa

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ ΔΡΑΣΕΩΝ ΣΤΗΝ ΣΤΑΘΜΗ ΕΔΡΑΣΗΣ ΤΟΥ ΠΕΔΙΛΟΥ (ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟ ΚΕΝΤΡΟ ΤΟΥ)				
Κατακόρυφες δράσεις				
$v(G_k)$	1800	1800	1800	KN
$v(Q_k)$	350	350	350	KN
Οριζόντιες δράσεις				
$H(BG_k)$	360	360	360	KN
$H(BQ_k)$	70	70	70	KN
$H(LG_k)$	0	0	0	KN
$H(LQ_k)$	0	0	0	KN
Ροπές				
$M(BG,K)$	1080	1080	1080	KN/m
$M(BQ,K)$	210	210	210	KN/m
$M(LG,K)$	0	0	0	KN/m
$M(LQ,K)$	0	0	0	KN/m
Επιφόρτιση				
q	0	0	0	KN

Στην μεθοδολογία BS8004 οι επιμέρους συντελεστές λαμβάνονται από τους πίνακες A.3, A.4 και A.5 του Παρατήματος A του Ευρωκώδικα 7 (EC7) και παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στον ακόλουθο πίνακα. Ανάλογα με τον τρόπο ανάλυσης που επιλέγεται στο αντίστοιχο κελί συμπληρώνονται αυτόματα οι επιμέρους συντελεστές .

Τρόποι ανάλυσης:			A		M				R
			γ_G	γ_Q	$\gamma_{c'}$	$\gamma_{\phi'}$	γ_Y	γ_{cu}	$\gamma_{R;v}$
	DA1-1	$A1 + M1 + R1$	1,35	1,5	1	1	1	1	1
	DA1-2	$A2 + M2 + R1$	1	1,3	1,25	1,25	1	1,4	1

Αποτελέσματα	παράδειγμα 1	παράδειγμα 2	παράδειγμα 3	
Τρόπος ανάλυσης	DA1-1	DA1-2	DA1-2	
γ_G	1,35	1	1	
γ_Q	1,5	1,3	1,3	
$\gamma_{c'}$	1	1,25	1,25	
$\gamma_{\phi'}$	1	1,25	1,25	
γ_Y	1	1	1	
$\gamma_{R;v}$	1	1	1	

ΤΙΜΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΕΔΑΦΟΥΣ				
cd'	10	8	8	
(tanφ)d	0,531709432	0,412170257	0,412170257	
φd	28	22,4	22,4	
ΤΙΜΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΔΡΑΣΕΩΝ				
Ed=Vd	2955	2255	2255	KN
H(Bd)	591	451	451	KN
H(Ld)	0	0	0	KN
M(Bd)	1773	1353	1353	KN/m
M(Ld)	0	0	0	KN/m
qd	0	0	0	KN/m
Λοξότητα φόρτισης				
tanθ(Bk)	0,200	0,200	0,200	
tanθ(Lk)	0,000	0,000	0,000	
θβκ	0,00	0,00	0,00	°
θικ	0,00	0,00	0,00	°
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ				
Vk	2150	2150	2150	KN
Hk	430	430	430	KN
Mb	1290	1290	1290	KN/m
MI	0	0	0	KN/m
ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ				
eb	0,600	0,600	0,600	D
el	0,000	0,000	0,000	
A	12,000	12,000	12,000	m
B'	1,800	1,800	1,800	m
L'	4,000	4,000	4,000	m
A'	7,200	7,200	7,200	m ²

Στην μεθοδολογία που παρουσιάζεται στο BS8004 η τραχύτητα του θεμελίου διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στον υπολογισμό των συντελεστών της φέρουσας ικανότητας και συγκεκριμένα στο N_{γ} όπου η τραχύτητα υπεισέρχεται στον υπολογισμό του.

Είδος θεμελίωσης:	a	b
Λεία θεμελίωση	0,0663	0,162
Τραχιά θεμελίωση	0,1054	0,168

Τα θεμέλια από σκυρόδεμα είναι συνήθως τραχιά. (στο τρίτο παράδειγμα επιλύεται το θεμέλιο με τρόπο ανάλυσης DA1-2 για λείο θεμέλιο ώστε να κατανοηθεί η συνεισφορά της τραχύτητας στον υπολογισμό της φέρουσας ικανότητας.

ΑΔΙΑΣΤΑΤΟΙ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ			
Τραχύτητα			
Είδος θεμελίωσης	Τραχιά θεμελίωση	Τραχιά θεμελίωση	Λεία θεμελίωση
a	0,1054	0,1054	0,0663
b	0,168	0,168	0,162

1.ΦΕΡΟΥΣΑΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ			
Nq	14,72	8,15	8,15
Nc	25,80	17,34	17,34
Nγ	11,63	4,54	2,50
2.ΚΛΙΣΗ ΤΗΣ ΒΑΣΗΣ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ			
bc	1,00	1,00	1,00
bq	1,00	1,00	1,00
bγ	1,00	1,00	1,00
3.ΣΧΗΜΑ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ			
sq	1,3988	1,3091	1,3091
sc	1,4278	1,3524	1,3524
sγ	0,7000	0,7000	0,7000
4.ΑΠΟΚΛΙΣΗ ΦΟΡΤΙΟΥ			
ουμε την περίπτωση του HB μόνο)			
m	1,689655172	1,689655172	1,689655172
$\tan\theta_B$	0,200	0,200	0,200
ic	0,665320595	0,646298538	0,646409116
iq	0,688057152	0,689720252	0,689817255
iγ	0,551473611	0,553596991	0,553720934
5.ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΚΛΙΣΗΣ ΕΔΑΦΟΥΣ			
gq	1	1	1
gγ	1	1	1
gc	1	1	1
6.ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΒΑΘΟΥΣ			
dg	1,192606525	1,203206916	1,203206916
dγ	1	1	1
dc	1,206645023	1,231644455	1,231644455
7.ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΔΥΣΚΑΜΨΙΑΣ			
lr	612,7728026	718,9407332	718,9407332
rq	2,524803514	2,845475794	2,845475794
rγ	2,524803514	2,845475794	2,845475794
rc	2,635941762	3,103738612	3,103738612

Παράμετροι που επηρεάζονται από την φέρουσα ικανότητα			
ρo´	36	36	36
γ´	18	18	18

ΦΕΡΟΥΣΑ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ				
P_u	2499	1451	1415	kPa
v	17993,27	10447,65	10186,33	kN
H	3598,65	2089,53	2037,27	kN
R_d	17993,26812	10447,64938	10186,33066	kN
A	1171,853475	717,0206579	717,0206579	kPa
B	2231,935396	1314,345729	1314,345729	kPa
C	333,1213703	146,5364126	80,58408784	kPa
cotφ=	1,880726465	2,426181858	2,426181858	
	0	0	0	
	ΦΙ	ΦΙ	ΦΙ	

ΕΛΕΓΧΟΙ:

ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΛΟΓΟ ΦΕΡΟΥΣΑΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ

V_d ≤ R_d	TRUE	TRUE	TRUE	
V_d	2955	2255	2255	kN
R_d	17993	10448	10186	kN

Παράρτημα Γ

ΑΣΤΡΑΓΓΙΣΤΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ

1° Σενάριο:

Κεντρική κατακόρυφη φόρτιση λωριδοτού πεδίου
 Συντελεστές λοξότητας βάσης πεδίου : $\alpha=0 \rightarrow b=1$
 Συντελεστές σχήματος πεδίου : $L:\infty \rightarrow s=1$
 Συντελεστές απόκλισης από την κατακόρυφο: $\theta=0 \rightarrow i=1$

Εξίσωση:

$$\left(\frac{R_{cd}}{F_d}\right)_{DA1-2} / \left(\frac{R_{cd}}{F_d}\right)_{DA2*} = \frac{[(\pi + 2)c_u + 1.4q] * \left[1.35 + 1.50 \left(\frac{F_{Q;k}}{F_{G;k}}\right)\right]}{[(\pi + 2)c_u + q] * \left[1.00 + 1.30 \left(\frac{F_{Q;k}}{F_{G;k}}\right)\right]}$$

Cu=	10	20	40	70	100	10	20	40	70	100
D=	2	2	2	2	2	4	4	4	4	4
γ (kN/m ³)=	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
q (kPa) =	40	40	40	40	40	80	80	80	80	80
q/Cu=	4	2					4	2		
FQ _k /FG _k	Ratio	Ratio	Ratio	Ratio	Ratio	Ratio	Ratio	Ratio	Ratio	Ratio
0	1,586324	1,501261	1,437948	1,404027	1,388989	1,678767	1,586324	1,501261	1,448226	1,422727
0,2	1,538762	1,456249	1,394835	1,361931	1,347344	1,628434	1,538762	1,456249	1,404805	1,380071
0,4	1,507471	1,426636	1,366471	1,334236	1,319946	1,59532	1,507471	1,426636	1,376239	1,352007
0,6	1,485322	1,405675	1,346393	1,314632	1,300552	1,571879	1,485322	1,405675	1,356017	1,332142
0,8	1,468818	1,390056	1,331433	1,300025	1,286101	1,554414	1,468818	1,390056	1,34095	1,31734
1	1,456046	1,377969	1,319856	1,28872	1,274918	1,540897	1,456046	1,377969	1,32929	1,305885
1,2	1,445868	1,368336	1,31063	1,279712	1,266006	1,530126	1,445868	1,368336	1,319998	1,296757
1,4	1,437567	1,36048	1,303105	1,272365	1,258737	1,521341	1,437567	1,36048	1,31242	1,289312
1,6	1,430667	1,353951	1,296851	1,266258	1,252696	1,51404	1,430667	1,353951	1,306121	1,283123
1,8	1,424842	1,348438	1,29157	1,261102	1,247595	1,507875	1,424842	1,348438	1,300802	1,277899
2	1,419858	1,343721	1,287052	1,256691	1,243231	1,5026	1,419858	1,343721	1,296252	1,273429
5	1,386565	1,312213	1,256873	1,227224	1,214079	1,467367	1,386565	1,312213	1,265857	1,243569
10	1,372296	1,298709	1,243939	1,214595	1,201586	1,452267	1,372296	1,298709	1,252831	1,230772
15	1,367076	1,293769	1,239207	1,209974	1,197015	1,446742	1,367076	1,293769	1,248065	1,22609
20	1,364369	1,291208	1,236754	1,207579	1,194645	1,443878	1,364369	1,291208	1,245594	1,223663
25	1,362713	1,28964	1,235252	1,206113	1,193195	1,442125	1,362713	1,28964	1,244082	1,222177
30	1,361595	1,288582	1,234239	1,205123	1,192216	1,440942	1,361595	1,288582	1,243061	1,221174
35	1,360789	1,28782	1,233508	1,20441	1,19151	1,440089	1,360789	1,28782	1,242326	1,220452
40	1,360181	1,287244	1,232957	1,203872	1,190978	1,439446	1,360181	1,287244	1,241771	1,219907
45	1,359706	1,286795	1,232527	1,203452	1,190562	1,438943	1,359706	1,286795	1,241337	1,219481
50	1,359325	1,286434	1,232181	1,203114	1,190228	1,43854	1,359325	1,286434	1,240989	1,219138
60	1,35875	1,28589	1,23166	1,202605	1,189725	1,437931	1,35875	1,28589	1,240464	1,218623
70	1,358338	1,2855	1,231286	1,202241	1,189364	1,437495	1,358338	1,2855	1,240088	1,218253
80	1,358028	1,285206	1,231005	1,201966	1,189092	1,437167	1,358028	1,285206	1,239804	1,217975
90	1,357786	1,284977	1,230786	1,201752	1,188881	1,436911	1,357786	1,284977	1,239584	1,217758
100	1,357592	1,284794	1,23061	1,20158	1,188711	1,436706	1,357592	1,284794	1,239407	1,217584

Κανονικοποίηση ως q/cu									
Cu=									
D=									
γ (kN/m3)=	20	20	20	20	20	20	20	20	20
q (kPa) =									
q/Cu=	0	0,25	0,5	1	2	4	6	8	10
FQ,k/FG,k	Ratio	Ratio	Ratio	Ratio	Ratio	Ratio	Ratio	Ratio	Ratio
0	1,35	1,375046	1,397872	1,437948	1,501261	1,586324	1,640844	1,678767	1,706671
0,2	1,309524	1,333819	1,355961	1,394835	1,456249	1,538762	1,591647	1,628434	1,655501
0,4	1,282895	1,306696	1,328387	1,366471	1,426636	1,507471	1,559281	1,59532	1,621837
0,6	1,264045	1,287497	1,308869	1,346393	1,405675	1,485322	1,536371	1,571879	1,598007
0,8	1,25	1,273191	1,294326	1,331433	1,390056	1,468818	1,5193	1,554414	1,580251
1	1,23913	1,26212	1,283071	1,319856	1,377969	1,456046	1,506089	1,540897	1,56651
1,2	1,230469	1,253297	1,274102	1,31063	1,368336	1,445868	1,495561	1,530126	1,55556
1,4	1,223404	1,246102	1,266787	1,303105	1,36048	1,437567	1,486974	1,521341	1,546629
1,6	1,217532	1,240121	1,260707	1,296851	1,353951	1,430667	1,479837	1,51404	1,539206
1,8	1,212575	1,235072	1,255574	1,29157	1,348438	1,424842	1,473812	1,507875	1,532938
2	1,208333	1,230751	1,251182	1,287052	1,343721	1,419858	1,468656	1,5026	1,527576
5	1,18	1,201892	1,221844	1,256873	1,312213	1,386565	1,434219	1,467367	1,491757
10	1,167857	1,189524	1,209271	1,243939	1,298709	1,372296	1,41946	1,452267	1,476406
15	1,163415	1,184999	1,20467	1,239207	1,293769	1,367076	1,414061	1,446742	1,47079
20	1,161111	1,182653	1,202285	1,236754	1,291208	1,364369	1,411261	1,443878	1,467878
25	1,159701	1,181217	1,200826	1,235252	1,28964	1,362713	1,409547	1,442125	1,466096
30	1,15875	1,180248	1,19984	1,234239	1,288582	1,361595	1,408391	1,440942	1,464893
35	1,158065	1,17955	1,199131	1,233508	1,28782	1,360789	1,407558	1,440089	1,464026
40	1,157547	1,179023	1,198595	1,232957	1,287244	1,360181	1,406929	1,439446	1,463372
45	1,157143	1,178611	1,198176	1,232527	1,286795	1,359706	1,406438	1,438943	1,462861
50	1,156818	1,17828	1,19784	1,232181	1,286434	1,359325	1,406043	1,43854	1,46245
60	1,156329	1,177782	1,197334	1,23166	1,28589	1,35875	1,405448	1,437931	1,461832
70	1,155978	1,177425	1,19697	1,231286	1,2855	1,358338	1,405022	1,437495	1,461389
80	1,155714	1,177156	1,196697	1,231005	1,285206	1,358028	1,404701	1,437167	1,461055
90	1,155508	1,176946	1,196484	1,230786	1,284977	1,357786	1,404451	1,436911	1,460795
100	1,155344	1,176778	1,196313	1,23061	1,284794	1,357592	1,404251	1,436706	1,460586

2° Σενάριο:

Κεντρική κατακόρυφη φόρτιση λωριδοτού πεδίου

Συντελεστές λοξότητας βάσης πεδίου : $\alpha=0 \rightarrow b=1$

Συντελεστές σχήματος πεδίου : $B/L=1 \rightarrow s=1,2$

Συντελεστές απόκλισης από την κατακόρυφο: $\theta=0 \rightarrow i=1$

Εξίσωση:

$$\frac{[(\pi + 2)s_c + 1.4q/c_u] * [1.35 + 1.50(F_{Q;k}/F_{G;k})]}{[(\pi + 2)s_c + q/c_u] * [1.00 + 1.30(F_{Q;k}/F_{G;k})]}$$

Κανονικοποίηση ως q/cu									
Cu=									
D=									
γ (kN/m3)=	20	20	20	20	20	20	20	20	20
q (kPa) =									
sc	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
q/Cu=	0	0,25	0,5	1	2	4	6	8	10
FQ,k/FG,k	Ratio	Ratio	Ratio	Ratio	Ratio	Ratio	Ratio	Ratio	Ratio
0	1,35	1,371035	1,390492	1,425335	1,482223	1,562431	1,616272	1,654912	1,683993
0,2	1,309524	1,329928	1,348802	1,3826	1,437783	1,515586	1,567813	1,605294	1,633503
0,4	1,282895	1,302884	1,321374	1,354485	1,408546	1,484766	1,535931	1,572651	1,600286
0,6	1,264045	1,283374	1,301959	1,334583	1,38785	1,462951	1,513363	1,549544	1,576773
0,8	1,25	1,269476	1,287493	1,319754	1,372429	1,446696	1,496548	1,532326	1,559253
1	1,23913	1,258438	1,276297	1,308278	1,360495	1,434116	1,483535	1,519002	1,545694
1,2	1,230469	1,249641	1,267375	1,299133	1,350985	1,424091	1,473165	1,508384	1,53489
1,4	1,223404	1,242466	1,260099	1,291675	1,343228	1,415915	1,464707	1,499724	1,526077
1,6	1,217532	1,236503	1,254051	1,285475	1,336781	1,409119	1,457677	1,492526	1,518753
1,8	1,212575	1,231468	1,248945	1,280241	1,331338	1,403381	1,451741	1,486448	1,512569
2	1,208333	1,227161	1,244576	1,275763	1,326681	1,398472	1,446663	1,481249	1,507278
5	1,18	1,198386	1,215393	1,245848	1,295573	1,365681	1,412742	1,446516	1,471935
10	1,167857	1,186054	1,202886	1,233028	1,282241	1,351627	1,398204	1,431631	1,456788
15	1,163415	1,181542	1,19831	1,228337	1,277363	1,346485	1,392885	1,426185	1,451246
20	1,161111	1,179203	1,195937	1,225905	1,274834	1,343819	1,390127	1,423361	1,448373
25	1,159701	1,177771	1,194486	1,224417	1,273286	1,342188	1,388439	1,421633	1,446614
30	1,15875	1,176805	1,193506	1,223412	1,272242	1,341087	1,3873	1,420467	1,445427
35	1,158065	1,176109	1,1928	1,222689	1,271489	1,340293	1,38648	1,419626	1,444572
40	1,157547	1,175583	1,192267	1,222142	1,270921	1,339695	1,38586	1,418992	1,443927
45	1,157143	1,175173	1,19185	1,221716	1,270477	1,339227	1,385376	1,418496	1,443423
50	1,156818	1,174843	1,191516	1,221373	1,270121	1,338851	1,384987	1,418098	1,443018
60	1,156329	1,174346	1,191012	1,220856	1,269584	1,338285	1,384402	1,417499	1,442408
70	1,155978	1,17399	1,190651	1,220486	1,269198	1,337879	1,383982	1,417069	1,44197
80	1,155714	1,173722	1,190379	1,220207	1,268909	1,337573	1,383666	1,416745	1,441641
90	1,155508	1,173513	1,190167	1,21999	1,268683	1,337335	1,383419	1,416493	1,441384
100	1,155344	1,173345	1,189997	1,219816	1,268502	1,337144	1,383222	1,416291	1,441178

3^ο Σενάριο:

Κεντρική κατακόρυφη φόρτιση λωριδοτού πεδίου

Συντελεστές λοξότητας βάσης πεδίου : $\alpha=0 \rightarrow b=1$

Συντελεστές σχήματος πεδίου : $B/L=2 \rightarrow s=1,4$

Συντελεστές απόκλισης από την κατακόρυφο: $\theta=0 \rightarrow i=1$

Εξίσωση:

$$\frac{[(\pi + 2)s_c + 1.4q/c_u] * [1.35 + 1.50(F_{Q;k}/F_{G;k})]}{[(\pi + 2)s_c + q/c_u] * [1.00 + 1.30(F_{Q;k}/F_{G;k})]}$$

Κανονικοποίηση ως q/cu									
B/L=	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Cu=									
D=									
γ (kN/m3)=	20	20	20	20	20	20	20	20	20
q (kPa) =									
sc	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
q/Cu=	0	0,25	0,5	1	2	4	6	8	10
FQ,k/FG,k	Ratio	Ratio	Ratio	Ratio	Ratio	Ratio	Ratio	Ratio	Ratio
0	1,35	1,368131	1,385083	1,415886	1,467442	1,542926	1,595529	1,634285	1,664027
0,2	1,309524	1,327111	1,343555	1,373434	1,423445	1,496665	1,547691	1,585286	1,614135
0,4	1,282895	1,300124	1,316234	1,345506	1,394499	1,466231	1,516219	1,553049	1,581312
0,6	1,264045	1,281021	1,296894	1,325736	1,37401	1,444687	1,493941	1,53023	1,558077
0,8	1,25	1,266788	1,282484	1,311005	1,358743	1,428635	1,477342	1,513227	1,540765
1	1,23913	1,255772	1,271332	1,299605	1,346928	1,416212	1,464495	1,500069	1,527367
1,2	1,230469	1,246994	1,262446	1,290521	1,337513	1,406313	1,454258	1,489583	1,516691
1,4	1,223404	1,239835	1,255198	1,283112	1,329834	1,398239	1,445909	1,481031	1,507983
1,6	1,217532	1,233884	1,249173	1,276953	1,323451	1,391528	1,438969	1,473923	1,500745
1,8	1,212575	1,22886	1,244087	1,271754	1,318062	1,385862	1,43311	1,467921	1,494635
2	1,208333	1,224561	1,239735	1,267305	1,313452	1,381014	1,428097	1,462786	1,489406
5	1,18	1,195847	1,210665	1,237589	1,282653	1,348632	1,39461	1,428486	1,454482
10	1,167857	1,183541	1,198207	1,224854	1,269454	1,334753	1,380259	1,413787	1,439515
15	1,163415	1,179039	1,193649	1,220194	1,264625	1,329676	1,375009	1,408409	1,434039
20	1,161111	1,176705	1,191286	1,217778	1,262121	1,327043	1,372286	1,40562	1,4312
25	1,159701	1,175276	1,189839	1,2163	1,260589	1,325432	1,37062	1,403913	1,429462
30	1,15875	1,174312	1,188863	1,215302	1,259555	1,324345	1,369496	1,402762	1,428289
35	1,158065	1,173617	1,18816	1,214583	1,25881	1,323561	1,368686	1,401932	1,427444
40	1,157547	1,173093	1,187629	1,21404	1,258247	1,32297	1,368074	1,401305	1,426807
45	1,157143	1,172683	1,187214	1,213616	1,257808	1,322508	1,367596	1,400816	1,426308
50	1,156818	1,172354	1,186881	1,213276	1,257455	1,322137	1,367213	1,400423	1,425908
60	1,156329	1,171859	1,186379	1,212763	1,256923	1,321578	1,366634	1,399831	1,425305
70	1,155978	1,171503	1,186019	1,212395	1,256542	1,321177	1,36622	1,399406	1,424873
80	1,155714	1,171236	1,185748	1,212118	1,256255	1,320875	1,365908	1,399087	1,424548
90	1,155508	1,171027	1,185537	1,211902	1,256031	1,32064	1,365665	1,398837	1,424294
100	1,155344	1,17086	1,185368	1,211729	1,255852	1,320452	1,36547	1,398638	1,424091

Παράρτημα Δ

ΣΤΡΑΓΙΣΜΕΝΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ

$$\left(\frac{F_{d,d}}{F_{d,c}}\right)_{DA3,2} / \left(\frac{F_{d,d}}{F_{d,c}}\right)_{DA2,2} = \frac{R_{c,d,DA3,2} \times F_{d,DA3,2}}{R_{c,d,DA2,2} \times F_{d,DA2,2}}$$

$$\gamma_{N,c} \left(C_{\alpha} \frac{\left(e^{\mu \tan \phi} \tan^2 \left(45 + \frac{\phi \alpha}{2} \right) - 1 \right)}{\tan \phi} + q' \left(e^{\mu \tan \phi} \tan^2 \left(45 + \frac{\phi \alpha}{2} \right) \right) \delta_{\psi, \sigma, i, \psi} + 0.5 \gamma' B' \left(2 \left(e^{\mu \tan \phi} \tan^2 \left(45 + \frac{\phi \alpha}{2} \right) - 1 \right) \tan \phi \right) \delta_{\psi, \sigma, i, \psi} \right) \times \left(1.35 + 1.50 \left(\frac{F_{O,k}}{F_{C,k}} \right) \right)$$

$$= \frac{\left(\frac{F_{d,d}}{F_{d,c}} \right)_{DA3,2} / \left(\frac{F_{d,d}}{F_{d,c}} \right)_{DA2,2}}{\left(C_{\alpha} \frac{\left(e^{\mu \tan \phi} \tan^2 \left(45 + \frac{\phi \alpha}{2} \right) - 1 \right)}{\tan \phi} + q' \left(e^{\mu \tan \phi} \tan^2 \left(45 + \frac{\phi \alpha}{2} \right) \right) \delta_{\psi, \sigma, i, \psi} + 0.5 \gamma' B' \left(2 \left(e^{\mu \tan \phi} \tan^2 \left(45 + \frac{\phi \alpha}{2} \right) - 1 \right) \tan \phi \right) \delta_{\psi, \sigma, i, \psi} \right) \times \left(1.00 + 1.30 \left(\frac{F_{O,k}}{F_{C,k}} \right) \right)}$$

1° Σενάριο α=0κN

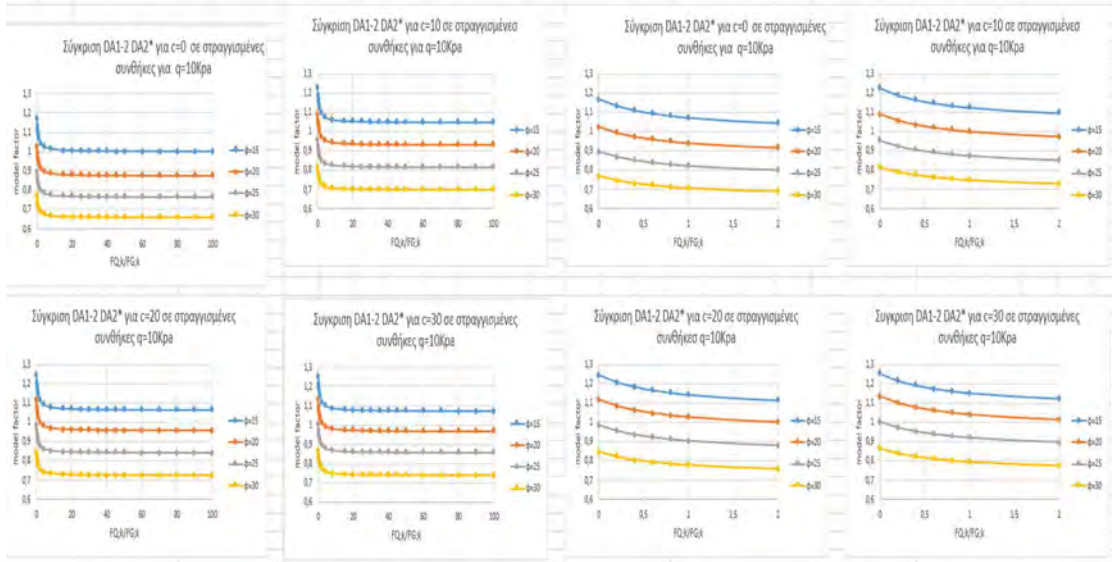
B	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
γ	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
c	0	0	0	0	10	10	10	10	20	20	20	30	30	30	30	30
φ	15	20	25	30	15	20	25	30	15	20	25	30	15	20	25	30
cd	0	0	0	0	8	8	8	8	16	16	16	16	24	24	24	24
tanφ	0,21	0,29	0,36	0,45	0,21	0,29	0,36	0,45	0,21	0,29	0,36	0,45	0,21	0,29	0,36	0,45
φd	12	16	20	24	12	16	20	24	12	16	20	24	12	16	20	24
q	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
γ'	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Nc	10,98	14,83	20,72	30,14	10,98	14,83	20,72	30,14	10,98	14,83	20,72	30,14	10,98	14,83	20,72	30,14
Ncd	9,28	11,63	14,83	19,32	9,28	11,63	14,83	19,32	9,28	11,63	14,83	19,32	9,28	11,63	14,83	19,32
Nq	3,94	6,40	10,66	18,40	3,94	6,40	10,66	18,40	3,94	6,40	10,66	18,40	3,94	6,40	10,66	18,40
Nqd	2,97	4,34	6,40	9,60	2,97	4,34	6,40	9,60	2,97	4,34	6,40	9,60	2,97	4,34	6,40	9,60
Nyd	0,84	1,91	3,93	7,66	0,84	1,91	3,93	7,66	0,84	1,91	3,93	7,66	0,84	1,91	3,93	7,66
Ny	1,58	3,93	9,01	20,09	1,58	3,93	9,01	20,09	1,58	3,93	9,01	20,09	1,58	3,93	9,01	20,09

c	0				10				20				30			
	15	20	25	30	15	20	25	30	15	20	25	30	15	20	25	30
φ=	ratio	ratio	ratio	ratio	ratio	ratio	ratio	ratio	ratio	ratio	ratio	ratio	ratio	ratio	ratio	ratio
F _d /F _c	ratio	ratio	ratio	ratio	ratio	ratio	ratio	ratio	ratio	ratio	ratio	ratio	ratio	ratio	ratio	ratio
0	1,006017	0,919723	0,824379	0,720606	1,179373	1,048733	0,918601	0,788458	1,21805	1,093417	0,962431	0,82723	1,2350864	1,116089	0,987766	0,852318
0,2	0,975855	0,892148	0,799662	0,699001	1,144012	1,01729	0,891059	0,764818	1,18153	1,060634	0,933575	0,802428	1,1980556	1,082626	0,95815	0,826763
0,4	0,956011	0,874006	0,783401	0,684787	1,120749	0,996603	0,87294	0,749265	1,157504	1,039066	0,914591	0,78611	1,1736932	1,06061	0,938666	0,800951
0,6	0,941964	0,861164	0,77189	0,674725	1,104282	0,98196	0,860113	0,738256	1,140497	1,023799	0,901153	0,77456	1,1564479	1,045027	0,924874	0,79805
0,8	0,931498	0,851596	0,763313	0,667228	1,092012	0,971049	0,850557	0,730053	1,127824	1,012424	0,89114	0,765954	1,1435985	1,033415	0,914598	0,789183
1	0,923398	0,84419	0,756676	0,661426	1,082516	0,962605	0,84316	0,723705	1,118017	1,00362	0,883391	0,759293	1,1336542	1,024429	0,906645	0,782321
2	0,900448	0,823209	0,73787	0,644987	1,055611	0,938681	0,822205	0,705718	1,09023	0,978676	0,861435	0,740422	1,1054786	0,998968	0,884111	0,762877
4	0,88342	0,807642	0,723917	0,632791	1,03565	0,920931	0,806657	0,692373	1,069614	0,960169	0,845146	0,726421	1,0845741	0,980078	0,867393	0,748451
8	0,872666	0,797811	0,715104	0,625087	1,023043	0,90972	0,796837	0,683945	1,056593	0,948481	0,834857	0,717578	1,0713712	0,968147	0,856834	0,73934
15	0,866974	0,792607	0,71044	0,62101	1,01637	0,903786	0,79164	0,679484	1,049702	0,942295	0,829412	0,712897	1,0643834	0,961832	0,851245	0,734518
20	0,865258	0,791038	0,709033	0,619781	1,014358	0,901997	0,790073	0,678139	1,047624	0,940429	0,82777	0,711486	1,062276	0,959928	0,84956	0,733063
25	0,864207	0,790077	0,708173	0,619028	1,013126	0,900902	0,789113	0,677315	1,046352	0,939287	0,826765	0,710622	1,0609863	0,958763	0,848528	0,732174
30	0,863498	0,789429	0,707592	0,618521	1,012295	0,900163	0,788466	0,67676	1,045493	0,938517	0,826087	0,710039	1,0601158	0,957976	0,847832	0,731573
35	0,862987	0,788962	0,707173	0,618155	1,011696	0,89963	0,788	0,676359	1,044875	0,937961	0,825598	0,709619	1,0594887	0,957409	0,847331	0,73114
40	0,862602	0,78861	0,706857	0,617878	1,011244	0,899228	0,787647	0,676057	1,044408	0,937542	0,825229	0,709302	1,0590154	0,956982	0,846952	0,730813
45	0,862301	0,788334	0,70661	0,617663	1,010891	0,898914	0,787372	0,675821	1,044043	0,937215	0,824941	0,709054	1,0586455	0,956647	0,846656	0,730558
50	0,862059	0,788113	0,706412	0,617489	1,010607	0,898662	0,787151	0,675631	1,04375	0,936952	0,824709	0,708855	1,0583484	0,956379	0,846419	0,730353
60	0,861694	0,78778	0,706113	0,617228	1,01018	0,898282	0,786819	0,675346	1,043309	0,936556	0,824361	0,708556	1,057901	0,955975	0,846061	0,730044
70	0,861433	0,787541	0,705899	0,617041	1,009873	0,89801	0,78658	0,675141	1,042992	0,936272	0,824111	0,708341	1,05758	0,955685	0,845804	0,729823
80	0,861236	0,787361	0,705738	0,6169	1,009643	0,897804	0,7864	0,674987	1,042754	0,936058	0,823922	0,708179	1,0573385	0,955466	0,845611	0,729656
90	0,861083	0,787221	0,705612	0,61679	1,009463	0,897645	0,78626	0,674866	1,042569	0,935891	0,823776	0,708053	1,0571502	0,955296	0,84546	0,729526
100	0,86096	0,787108	0,705511	0,616702	1,009319	0,897516	0,786148	0,67477	1,04242	0,935758	0,823658	0,707952	1,0569993	0,95516	0,84534	0,729422

2° Σενάριο $q=10kPa$

B	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
γ	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
c	0	0	0	0	10	10	10	10	10	20	20	20	20	30	30	30
ϕ	15	20	25	30	15	20	25	30	15	20	25	30	15	20	25	30
cd	0	0	0	0	8	8	8	8	16	16	16	16	16	24	24	24
$\tan\phi$	0,21	0,29	0,36	0,45	0,21	0,29	0,36	0,45	0,21	0,29	0,36	0,45	0,21	0,29	0,36	0,45
ϕ_d	12	16	20	24	12	16	20	24	12	16	20	24	12	16	20	24
q	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
γ'	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Nc	10,98	14,83	20,72	30,14	10,98	14,83	20,72	30,14	10,98	14,83	20,72	30,14	10,98	14,83	20,72	30,14
Ncd	9,28	11,63	19,32	24	9,28	11,63	19,32	24	9,28	11,63	19,32	24	9,28	11,63	19,32	24
Nq	3,94	6,40	10,66	18,40	3,94	6,40	10,66	18,40	3,94	6,40	10,66	18,40	3,94	6,40	10,66	18,40
Nqd	2,97	4,34	6,40	9,60	2,97	4,34	6,40	9,60	2,97	4,34	6,40	9,60	2,97	4,34	6,40	9,60
Nyd	0,84	1,91	3,93	7,66	0,84	1,91	3,93	7,66	0,84	1,91	3,93	7,66	0,84	1,91	3,93	7,66
Ny	1,58	3,93	9,01	20,09	1,58	3,93	9,01	20,09	1,58	3,93	9,01	20,09	1,58	3,93	9,01	20,09

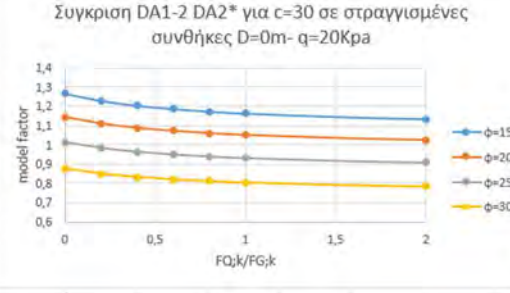
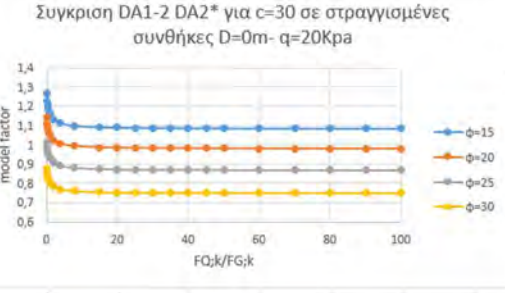
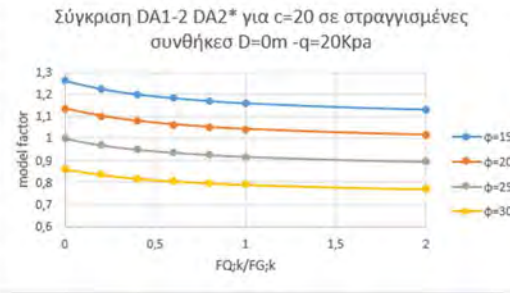
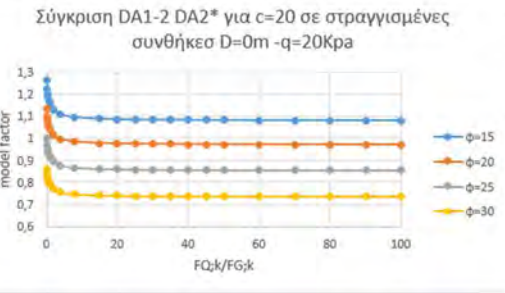
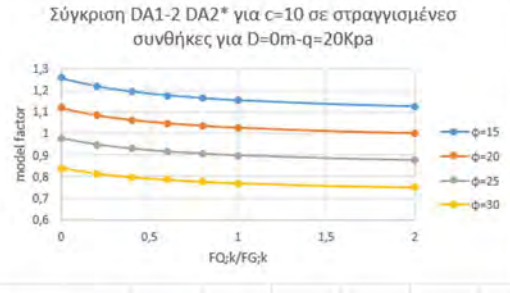
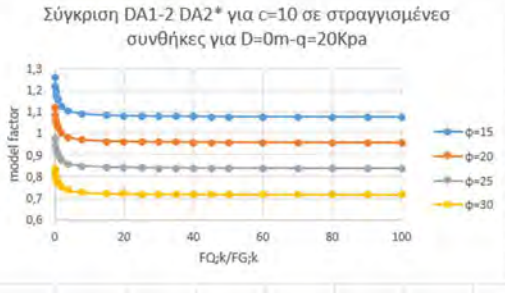
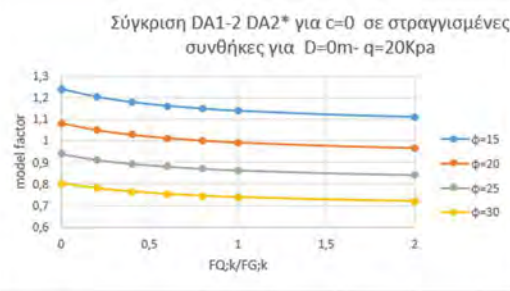
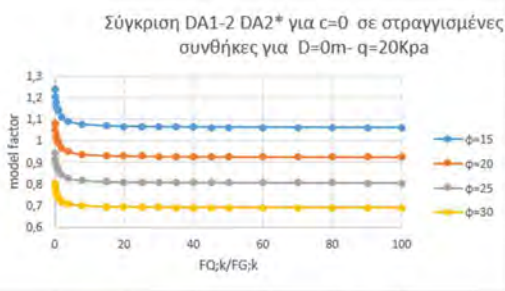
c	0				10				20				30			
	15	20	25	30	15	20	25	30	15	20	25	30	15	20	25	30
F_d/F_c	ratio	ratio	ratio	ratio	ratio	ratio	ratio	ratio	ratio	ratio	ratio	ratio	ratio	ratio	ratio	ratio
0	1,167554	1,024043	0,895144	0,770118	1,225166	1,088838	0,952721	0,816709	1,243499	1,116513	0,983229	0,845642	1,25251	1,131864	1,002124	0,865356
0,2	1,132548	0,99334	0,868306	0,747028	1,188433	1,056192	0,924156	0,792222	1,206216	1,083037	0,953749	0,820287	1,214957	1,097928	0,972078	0,839411
0,4	1,109517	0,973141	0,850649	0,731837	1,164266	1,034714	0,905363	0,776112	1,181688	1,061014	0,934355	0,803607	1,190251	1,075602	0,952311	0,822342
0,6	1,093215	0,958842	0,83815	0,721084	1,147159	1,019511	0,892061	0,764708	1,164325	1,045424	0,920626	0,791799	1,172762	1,059798	0,938318	0,810259
0,8	1,081068	0,948188	0,828837	0,713072	1,134413	1,008183	0,882149	0,756212	1,151388	1,033809	0,910397	0,783002	1,159731	1,048022	0,927893	0,801256
1	1,071668	0,939943	0,82163	0,706872	1,124549	0,999416	0,874478	0,749636	1,141376	1,024819	0,902481	0,776193	1,149647	1,038909	0,919824	0,794289
2	1,045033	0,916582	0,801209	0,689303	1,096599	0,974577	0,852744	0,731005	1,113008	0,999348	0,880051	0,756902	1,121074	1,013088	0,896963	0,774547
4	1,025271	0,89925	0,786059	0,676269	1,075863	0,956148	0,836619	0,717181	1,091961	0,980451	0,863409	0,742589	1,099874	0,993931	0,880001	0,759901
8	1,01279	0,888303	0,77649	0,668036	1,062766	0,944508	0,826434	0,708451	1,078669	0,968515	0,852898	0,733549	1,086485	0,981832	0,869289	0,75065
15	1,006184	0,882509	0,771425	0,663679	1,055834	0,938348	0,821044	0,70383	1,071633	0,962198	0,847336	0,728764	1,079399	0,975428	0,863619	0,745754
20	1,004192	0,880762	0,769898	0,662365	1,053744	0,93649	0,819418	0,702437	1,069511	0,960293	0,845658	0,727322	1,077262	0,973496	0,861909	0,744278
25	1,002973	0,879692	0,768963	0,661561	1,052465	0,935353	0,818424	0,701584	1,068213	0,959127	0,844631	0,726439	1,075954	0,972315	0,860863	0,743374
30	1,00215	0,878971	0,768332	0,661018	1,051601	0,934586	0,817752	0,701008	1,067337	0,95834	0,843938	0,725843	1,075071	0,971517	0,860156	0,742764
35	1,001557	0,878451	0,767878	0,660627	1,050979	0,934033	0,817268	0,700594	1,066705	0,957774	0,843439	0,725413	1,074435	0,970942	0,859648	0,742325
40	1,00111	0,878058	0,767535	0,660332	1,050509	0,933616	0,816903	0,700281	1,066229	0,957346	0,843062	0,725089	1,073955	0,970508	0,859263	0,741993
45	1,00076	0,877751	0,767267	0,660101	1,050143	0,933219	0,816618	0,700036	1,065856	0,957011	0,842768	0,724836	1,07358	0,970169	0,858963	0,741734
50	1,000479	0,877505	0,767051	0,659916	1,049848	0,933028	0,816389	0,69984	1,065557	0,956743	0,842531	0,724632	1,073279	0,969897	0,858722	0,741526
60	1,000056	0,877134	0,766727	0,659637	1,049404	0,932633	0,816044	0,699544	1,065107	0,956338	0,842175	0,724326	1,072825	0,969487	0,858359	0,741213
70	0,999753	0,876868	0,766494	0,659437	1,049086	0,93235	0,815796	0,699331	1,064783	0,956048	0,841919	0,724106	1,072499	0,969193	0,858099	0,740988
80	0,999525	0,876668	0,766319	0,659286	1,048846	0,932137	0,81561	0,699172	1,06454	0,95583	0,841727	0,723941	1,072255	0,968972	0,857903	0,740818
90	0,999347	0,876512	0,766183	0,659169	1,048659	0,931971	0,815465	0,699047	1,064351	0,95566	0,841577	0,723812	1,072064	0,968799	0,85775	0,740686
100	0,999204	0,876387	0,766073	0,659075	1,04851	0,931838	0,815348	0,698947	1,064199	0,955523	0,841457	0,723709	1,071911	0,968661	0,857628	0,740581



3° Σενάριο q=20kN

B	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Df	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
γ	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
c	0	0	0	0	10	10	10	10	10	20	20	20	20	20	30	30	30	30
φ	15	20	25	30	15	20	25	30	15	20	25	30	15	20	25	30	30	30
cd	0	0	0	0	8	8	8	8	16	16	16	16	16	24	24	24	24	24
tanφ	0,21	0,29	0,36	0,45	0,21	0,29	0,36	0,45	0,21	0,29	0,36	0,45	0,21	0,29	0,36	0,45	0,36	0,45
φd	12	16	20	24	12	16	20	24	12	16	20	24	12	16	20	24	20	24
q	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
γ'	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Nc	10,98	14,83	20,72	30,14	10,98	14,83	20,72	30,14	10,98	14,83	20,72	30,14	10,98	14,83	20,72	30,14	30,14	30,14
Ncd	9,28	11,63	14,83	19,32	9,28	11,63	14,83	19,32	9,28	11,63	14,83	19,32	9,28	11,63	14,83	19,32	19,32	19,32
Nq	3,94	6,40	10,66	18,40	3,94	6,40	10,66	18,40	3,94	6,40	10,66	18,40	3,94	6,40	10,66	18,40	18,40	18,40
Nqd	2,97	4,34	6,40	9,60	2,97	4,34	6,40	9,60	2,97	4,34	6,40	9,60	2,97	4,34	6,40	9,60	9,60	9,60
Nyd	0,84	1,91	3,93	7,66	0,84	1,91	3,93	7,66	0,84	1,91	3,93	7,66	0,84	1,91	3,93	7,66	7,66	7,66
Ny	1,58	3,93	9,01	20,09	1,58	3,93	9,01	20,09	1,58	3,93	9,01	20,09	1,58	3,93	9,01	20,09	20,09	20,09

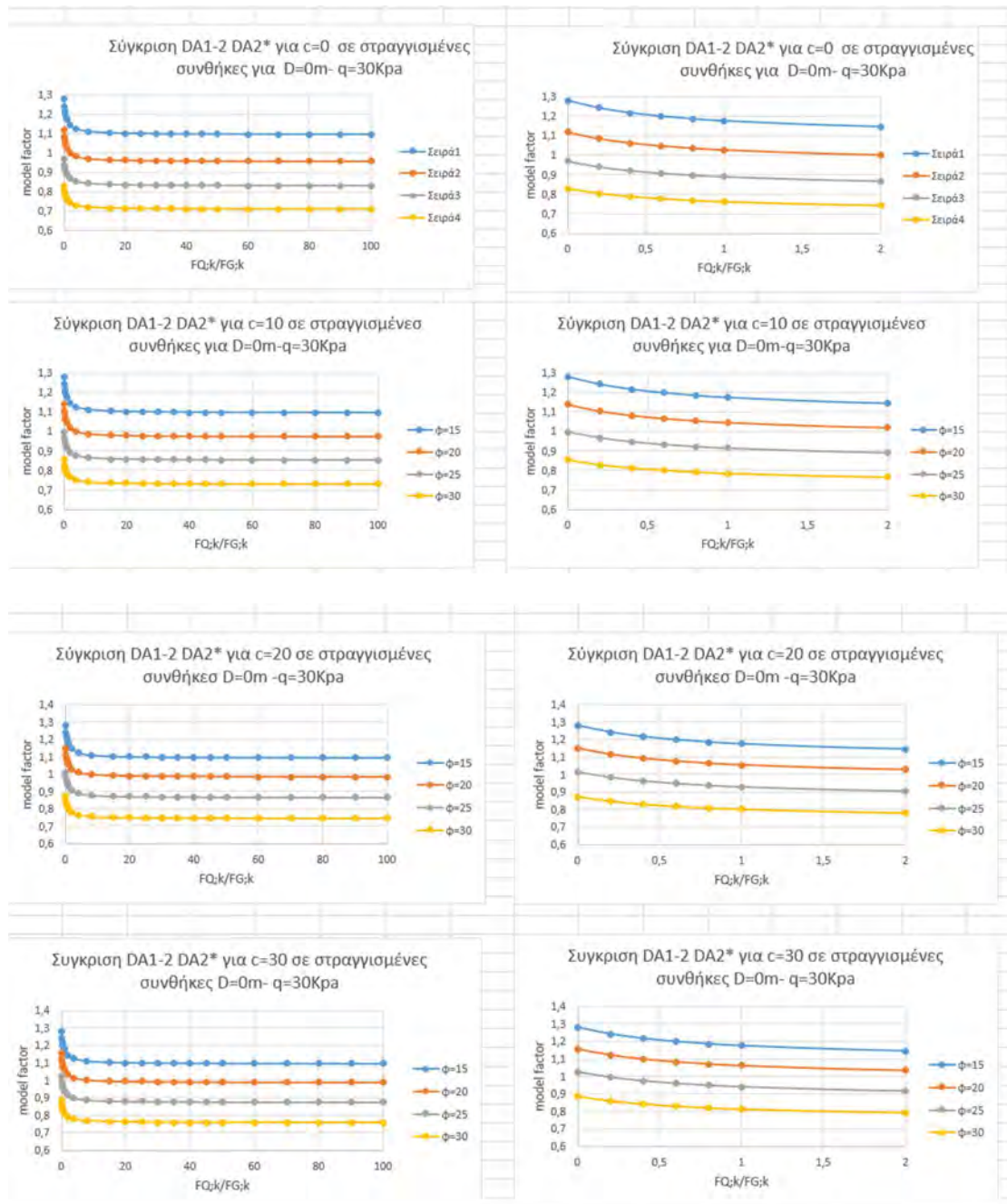
C	0				10				20				30			
	15	20	25	30	15	20	25	30	15	20	25	30	15	20	25	30
φ=	15	20	25	30	15	20	25	30	15	20	25	30	15	20	25	30
F _q /F _g	ratio	ratio	ratio	ratio	ratio	ratio	ratio	ratio	ratio	ratio	ratio	ratio	ratio	ratio	ratio	ratio
0	1,23934	1,081549	0,939606	0,804079	1,256615	1,117103	0,977524	0,837902	1,263397	1,134529	0,999538	0,860235	1,267019	1,144875	1,013921	0,876084
0,2	1,202182	1,049122	0,911434	0,779971	1,218939	1,08361	0,948215	0,81278	1,225517	1,100513	0,96957	0,834443	1,229031	1,110549	0,983521	0,849817
0,4	1,177735	1,027788	0,8929	0,76411	1,194152	1,061575	0,928933	0,796252	1,200596	1,078134	0,949854	0,817475	1,204038	1,087966	0,963521	0,832536
0,6	1,160431	1,012686	0,879781	0,752883	1,176606	1,045977	0,915284	0,784552	1,182956	1,062293	0,935897	0,805464	1,186347	1,07198	0,949364	0,820303
0,8	1,147537	1,001434	0,870005	0,744518	1,163533	1,034355	0,905114	0,775835	1,169812	1,05049	0,925498	0,796514	1,173165	1,060069	0,938815	0,811189
1	1,137558	0,992726	0,86244	0,738044	1,153415	1,02536	0,897244	0,769089	1,15964	1,041355	0,917451	0,789588	1,162964	1,050851	0,930652	0,804135
2	1,109286	0,968053	0,841005	0,719701	1,124748	0,999876	0,874944	0,749974	1,130818	1,015474	0,894649	0,769964	1,13406	1,024734	0,907522	0,784149
4	1,088309	0,949747	0,825102	0,706091	1,103479	0,980969	0,858399	0,735792	1,109435	0,996271	0,877731	0,755404	1,112615	1,005356	0,89036	0,769321
8	1,075061	0,938186	0,815058	0,697496	1,090046	0,969027	0,847949	0,726835	1,095929	0,984143	0,867046	0,746208	1,099071	0,993118	0,879522	0,759956
15	1,068049	0,932067	0,809742	0,692946	1,082937	0,962707	0,842419	0,722094	1,088781	0,977724	0,861391	0,741341	1,091902	0,98664	0,873785	0,754999
20	1,065934	0,930221	0,808138	0,691574	1,080793	0,960801	0,840751	0,720665	1,086625	0,975788	0,859685	0,739873	1,08974	0,984687	0,872055	0,753504
25	1,06464	0,929092	0,807157	0,690735	1,07948	0,959634	0,83973	0,71979	1,085306	0,974604	0,858642	0,738975	1,088417	0,983491	0,870997	0,752589
30	1,063767	0,92833	0,806495	0,690168	1,078595	0,958847	0,839041	0,719199	1,084416	0,973804	0,857937	0,738369	1,087524	0,982684	0,870282	0,751972
35	1,063137	0,927781	0,806018	0,68976	1,077957	0,95828	0,838545	0,718774	1,083774	0,973228	0,85743	0,737932	1,086881	0,982103	0,869767	0,751527
40	1,062662	0,927366	0,805658	0,689452	1,077475	0,957852	0,83817	0,718453	1,08329	0,972793	0,857047	0,737602	1,086396	0,981664	0,869379	0,751191
45	1,062291	0,927042	0,805376	0,689211	1,077099	0,957517	0,837877	0,718202	1,082912	0,972454	0,856747	0,737344	1,086016	0,981321	0,869075	0,750929
50	1,061993	0,926782	0,805151	0,689017	1,076797	0,957248	0,837642	0,718	1,082608	0,972181	0,856507	0,737138	1,085711	0,981046	0,868831	0,750718
60	1,061544	0,92639	0,80481	0,688726	1,076341	0,956844	0,837288	0,717679	1,08215	0,97177	0,856145	0,736826	1,085252	0,980631	0,868464	0,750401
70	1,061222	0,926109	0,804566	0,688517	1,076015	0,956553	0,837034	0,717477	1,081822	0,971475	0,855885	0,736602	1,084923	0,980334	0,8682	0,750173
80	1,06098	0,925898	0,804382	0,68836	1,075769	0,956335	0,836843	0,717315	1,081575	0,971253	0,855689	0,736434	1,084675	0,98011	0,868002	0,750002
90	1,060791	0,925733	0,804239	0,688237	1,075578	0,956165	0,836694	0,717187	1,081382	0,97108	0,855537	0,736303	1,084482	0,979935	0,867847	0,749868
100	1,060639	0,925601	0,804124	0,688139	1,075424	0,956028	0,836574	0,717085	1,081228	0,970941	0,855415	0,736198	1,084327	0,979796	0,867723	0,749761



4° Σενάριο q=30kN

B	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Df	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
γ	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
c	0	0	0	0	10	10	10	10	10	20	20	20	20	30	30	30	30
φ	15	20	25	30	15	20	25	30	15	20	25	30	15	20	25	30	30
cd	0	0	0	0	8	8	8	8	16	16	16	16	24	24	24	24	24
tanφ	0,21	0,29	0,36	0,45	0,21	0,29	0,36	0,45	0,21	0,29	0,36	0,45	0,21	0,29	0,36	0,45	0,45
φd	12	16	20	24	12	16	20	24	12	16	20	24	12	16	20	24	24
q	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
γ'	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Nc	10,98	14,83	20,72	30,14	10,98	14,83	20,72	30,14	10,98	14,83	20,72	30,14	10,98	14,83	20,72	30,14	30,14
Ncd	9,28	11,63	14,83	19,32	9,28	11,63	14,83	19,32	9,28	11,63	14,83	19,32	9,28	11,63	14,83	19,32	19,32
Nq	3,94	6,40	10,66	18,40	3,94	6,40	10,66	18,40	3,94	6,40	10,66	18,40	3,94	6,40	10,66	18,40	18,40
Nqd	2,97	4,34	6,40	9,60	2,97	4,34	6,40	9,60	2,97	4,34	6,40	9,60	2,97	4,34	6,40	9,60	9,60
Nyd	0,84	1,91	3,93	7,66	0,84	1,91	3,93	7,66	0,84	1,91	3,93	7,66	0,84	1,91	3,93	7,66	7,66
Ny	1,58	3,93	9,01	20,09	1,58	3,93	9,01	20,09	1,58	3,93	9,01	20,09	1,58	3,93	9,01	20,09	20,09

C	0				10				20				30			
φ=	15	20	25	30	15	20	25	30	15	20	25	30	15	20	25	30
F _d /F _e	ratio	ratio	ratio	ratio	ratio	ratio	ratio	ratio	ratio	ratio	ratio	ratio	ratio	ratio	ratio	ratio
0	1,279913	1,117978	0,970131	0,828822	1,279547	1,138098	0,996367	0,854388	1,279382	1,148975	1,012671	0,872086	1,279288	1,155789	1,023785	0,885064
0,2	1,241538	1,084458	0,941044	0,803972	1,241183	1,103975	0,966493	0,828772	1,241023	1,114526	0,982309	0,845939	1,240932	1,121136	0,99309	0,858528
0,4	1,216291	1,062406	0,921908	0,787623	1,215944	1,081525	0,946684	0,811919	1,215787	1,091862	0,962333	0,828737	1,215697	1,098338	0,972895	0,841069
0,6	1,19842	1,046796	0,908362	0,77605	1,198078	1,065634	0,932928	0,799989	1,197923	1,075819	0,948194	0,81656	1,197835	1,0822	0,9586	0,828712
0,8	1,185104	1,035165	0,898269	0,767427	1,184766	1,053794	0,922562	0,7911	1,184613	1,063866	0,937658	0,807487	1,184526	1,070175	0,947949	0,819504
1	1,174799	1,026163	0,890458	0,760754	1,174464	1,044631	0,91454	0,784221	1,174312	1,054615	0,929505	0,800466	1,174225	1,060869	0,939706	0,812377
2	1,145601	1,000659	0,868327	0,741846	1,145274	1,018668	0,89181	0,76473	1,145126	1,028404	0,906403	0,780571	1,145041	1,034503	0,916351	0,792187
4	1,123938	0,981737	0,851907	0,727818	1,123617	0,999405	0,874946	0,750269	1,123471	1,008957	0,889263	0,765811	1,123389	1,01494	0,899023	0,777207
8	1,110256	0,969786	0,841537	0,718958	1,109939	0,987239	0,864295	0,741136	1,109795	0,996674	0,878438	0,756488	1,109713	1,002585	0,888079	0,767745
15	1,103014	0,963461	0,836048	0,714269	1,102699	0,980799	0,858658	0,736302	1,102557	0,990174	0,872708	0,751554	1,102475	0,996046	0,882286	0,762738
20	1,10083	0,961553	0,834392	0,712855	1,100516	0,978858	0,856957	0,734844	1,100374	0,988213	0,87098	0,750066	1,100293	0,994074	0,88054	0,761228
25	1,099494	0,960386	0,83338	0,711989	1,09918	0,977669	0,855917	0,733952	1,099038	0,987013	0,869923	0,749156	1,098957	0,992867	0,879471	0,760304
30	1,098592	0,959598	0,832696	0,711405	1,098278	0,976867	0,855215	0,73335	1,098136	0,986204	0,869209	0,748541	1,098055	0,992052	0,878749	0,75968
35	1,097942	0,95903	0,832203	0,710984	1,097628	0,976289	0,854709	0,732916	1,097486	0,98562	0,868695	0,748098	1,097406	0,991466	0,878229	0,75923
40	1,097451	0,958602	0,831831	0,710667	1,097138	0,975853	0,854327	0,732589	1,096996	0,98518	0,868307	0,747764	1,096915	0,991023	0,877837	0,758891
45	1,097068	0,958267	0,831541	0,710419	1,096755	0,975512	0,854029	0,732333	1,096613	0,984836	0,868004	0,747503	1,096532	0,990676	0,87753	0,758626
50	1,09676	0,957998	0,831308	0,710219	1,096447	0,975238	0,853789	0,732127	1,096305	0,984559	0,86776	0,747293	1,096255	0,990398	0,877284	0,758413
60	1,096296	0,957593	0,830956	0,709919	1,095983	0,974826	0,853428	0,731818	1,095842	0,984143	0,867393	0,746977	1,095761	0,98998	0,876913	0,758093
70	1,095964	0,957302	0,830704	0,709704	1,095651	0,97453	0,853169	0,731596	1,095509	0,983845	0,86713	0,74675	1,095429	0,989679	0,876647	0,757863
80	1,095714	0,957084	0,830514	0,709541	1,095401	0,974308	0,852974	0,731429	1,095259	0,98362	0,866932	0,74658	1,095178	0,989453	0,876447	0,75769
90	1,095518	0,956913	0,830366	0,709415	1,095206	0,974134	0,852822	0,731299	1,095064	0,983445	0,866778	0,746447	1,094983	0,989277	0,876291	0,757555
100	1,095362	0,956777	0,830248	0,709314	1,095049	0,973995	0,852701	0,731194	1,094908	0,983304	0,866654	0,74634	1,094827	0,989136	0,876166	0,757447



5° Σενάριο q=50kN

B	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Df	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
γ	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
c	0	0	0	0	10	10	10	10	10	20	20	20	20	30	30	30	30
φ	15	20	25	30	15	20	25	30	15	20	25	30	15	20	25	30	30
cd	0	0	0	0	8	8	8	8	16	16	16	16	24	24	24	24	24
tanφ	0.21	0.29	0.36	0.45	0.21	0.29	0.36	0.45	0.21	0.29	0.36	0.45	0.21	0.29	0.36	0.45	0.45
φd	12	16	20	24	12	16	20	24	12	16	20	24	12	16	20	24	24
q	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
γ'	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Nc	10,98	14,83	20,72	30,14	10,98	14,83	20,72	30,14	10,98	14,83	20,72	30,14	10,98	14,83	20,72	30,14	30,14
Ncd	9,28	11,63	14,83	19,32	9,28	11,63	14,83	19,32	9,28	11,63	14,83	19,32	9,28	11,63	14,83	19,32	19,32
Nq	3,94	6,40	10,66	18,40	3,94	6,40	10,66	18,40	3,94	6,40	10,66	18,40	3,94	6,40	10,66	18,40	18,40
Nqd	2,97	4,34	6,40	9,60	2,97	4,34	6,40	9,60	2,97	4,34	6,40	9,60	2,97	4,34	6,40	9,60	9,60
Nyd	0,84	1,91	3,93	7,66	0,84	1,91	3,93	7,66	0,84	1,91	3,93	7,66	0,84	1,91	3,93	7,66	7,66
Ny	1,58	3,93	9,01	20,09	1,58	3,93	9,01	20,09	1,58	3,93	9,01	20,09	1,58	3,93	9,01	20,09	20,09

C	0				10				20				30			
	15	20	25	30	15	20	25	30	15	20	25	30	15	20	25	30
φ=	15	20	25	30	15	20	25	30	15	20	25	30	15	20	25	30
F ₀ /F ₆	ratio	ratio	ratio	ratio	ratio	ratio	ratio	ratio	ratio	ratio	ratio	ratio	ratio	ratio	ratio	ratio
0	1,324172	1,161524	1,009327	0,862459	1,31075	1,1672	1,023102	0,878374	1,303471	1,1707	1,032513	0,890165	1,298903	1,173073	1,039349	0,899252
0,2	1,28447	1,126698	0,979065	0,8366	1,27145	1,132204	0,992427	0,852038	1,26439	1,135599	1,001555	0,863476	1,259959	1,137902	1,008187	0,872229
0,4	1,258351	1,103787	0,959156	0,819588	1,245595	1,109181	0,972246	0,834712	1,238678	1,112507	0,981189	0,845917	1,234338	1,114763	0,987686	0,854552
0,6	1,239861	1,087569	0,945063	0,807546	1,227294	1,092884	0,957961	0,822447	1,220478	1,096161	0,966772	0,833488	1,216201	1,098383	0,973174	0,841996
0,8	1,226085	1,075485	0,934562	0,798573	1,213657	1,08074	0,947317	0,813309	1,206917	1,083981	0,95603	0,824227	1,202688	1,086179	0,96236	0,83264
1	1,215424	1,066133	0,926435	0,791629	1,203104	1,071343	0,939079	0,806237	1,196422	1,074555	0,947717	0,81706	1,19223	1,076734	0,953992	0,8254
2	1,185216	1,039635	0,90341	0,771954	1,173202	1,044716	0,915739	0,786199	1,166687	1,047848	0,924163	0,796753	1,162598	1,049973	0,930282	0,804886
4	1,162803	1,019976	0,886327	0,757356	1,151017	1,02496	0,898423	0,771332	1,144625	1,028034	0,906687	0,781686	1,140614	1,030118	0,91269	0,789665
8	1,148648	1,007559	0,875537	0,748137	1,137005	1,012483	0,887486	0,761942	1,130691	1,015519	0,895649	0,77217	1,126729	1,017578	0,90158	0,780053
15	1,141156	1,000988	0,869827	0,743257	1,129589	1,005879	0,881698	0,756972	1,123316	1,008896	0,889808	0,767134	1,11938	1,010941	0,895699	0,774965
20	1,138897	0,999006	0,868104	0,741786	1,127353	1,003888	0,879952	0,755474	1,121092	1,006898	0,888046	0,765615	1,117163	1,00894	0,893926	0,77343
25	1,137514	0,997793	0,86705	0,740885	1,125984	1,002669	0,878884	0,754556	1,119731	1,005676	0,886968	0,764686	1,115807	1,007715	0,892841	0,772491
30	1,136581	0,996974	0,866339	0,740277	1,12506	1,001846	0,878163	0,753937	1,118812	1,00485	0,88624	0,764058	1,114892	1,006888	0,892108	0,771858
35	1,135909	0,996385	0,865826	0,739839	1,124395	1,001254	0,877643	0,753491	1,118151	1,004256	0,885716	0,763606	1,114232	1,006292	0,89158	0,771401
40	1,135401	0,99594	0,86544	0,739509	1,123892	1,000806	0,877251	0,753155	1,117651	1,003807	0,88532	0,763265	1,113734	1,005843	0,891182	0,771056
45	1,135005	0,995592	0,865137	0,739251	1,1235	1,000457	0,876945	0,752892	1,117261	1,003457	0,885011	0,762999	1,113345	1,005492	0,890871	0,770787
50	1,134686	0,995312	0,864895	0,739043	1,123184	1,000176	0,876699	0,752668	1,116947	1,003175	0,884762	0,762784	1,113033	1,005209	0,890621	0,770571
60	1,134206	0,994892	0,864529	0,738731	1,12271	0,999753	0,876328	0,752362	1,116475	1,002751	0,884388	0,762462	1,112562	1,004784	0,890244	0,770245
70	1,133862	0,99459	0,864267	0,738507	1,122369	0,99945	0,876062	0,752134	1,116136	1,002447	0,88412	0,762231	1,112225	1,00448	0,889974	0,770011
80	1,133603	0,994363	0,864069	0,738338	1,122113	0,999222	0,875862	0,751962	1,115881	1,002218	0,883918	0,762057	1,111971	1,00425	0,889771	0,769836
90	1,133401	0,994185	0,863915	0,738206	1,121913	0,999044	0,875706	0,751828	1,115683	1,002039	0,883761	0,761921	1,111773	1,004071	0,889613	0,769698
100	1,13324	0,994044	0,863792	0,738101	1,121753	0,998901	0,875581	0,751721	1,115523	1,001896	0,883635	0,761812	1,111614	1,003928	0,889486	0,769589

