



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών σπουδών
Σχεδιασμός και Κατασκευή Υπογείων Έργων



Ο ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑΣ 7 ΚΑΙ Η ΒΡΑΧΟΜΗΧΑΝΙΚΗ

***Διπλωματική Εργασία: Ζαχαράκη Βασιλική
Επιβλέπων: Π. Νομικός***

Τώρα ξέρω γιατί
οι δύτες βουτάνε στα βαθιά
γιατί τσακίζουν τη μέση τους
κάνοντας επικίνδυνα μακροβούτια.
Δεν είναι οι θησαυροί
που βρίσκονται ξεχασμένοι εκεί
δεν είναι οι αρχαίες ελληνικές τριήρεις
με τις πολύτιμες υδρίες
που τους περιμένουν.
Αυτές οι ατέλειωτες απόπειρες
να φτάσουν στον βυθό
έχουν μόνο ένα σκοπό :
Ν' αγγίζουν έστω και λίγο από τη λάσπη
εκεί που τυφλά σέρνονται
τα πιο τρελά όνειρά τους.

Οδυσσέας Ελύτης

Ευχαριστώ τον καθηγητή μου Π. Νομικό για την πολύτιμη βοήθεια που μου προσέφερε κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας μου.

Ευχαριστώ τους ανθρώπους εκείνους που με στηρίζουν και βρίσκονται πάντα δίπλα μου.

Στον Γιώργο
Στη Νατάσσα
Στη Νικολέτα
Στη Βούλα
Στη Μητέρα μου
Στον Αδερφό μου

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως σκοπό τη συνοπτική παρουσίαση του Ευρωκώδικα 7 και τη θέση του όσον αφορά στη Βραχομηχανική, παρουσιάζοντας τα στοιχεία εκείνα της βραχομάζας στα οποία θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή και για τα οποία θα πρέπει να δοθούν πιο αναλυτικές οδηγίες από το πρότυπο EN 1997.

Παρόλο που ο Ευρωκώδικας 7 ασχολείται εκτεταμένα με την ανάλυση και το σχεδιασμό του εδάφους, τα στοιχεία που παρουσιάζει για τη βραχομάζα είναι πολύ λίγα και πολλές φορές ελλιπή. Από το πρότυπο δίνονται τρόποι αντιμετώπισης των προβλημάτων που αφορούν τη βραχομάζα, χωρίς όμως να αντιμετωπίζονται αναλυτικά τα στοιχεία εκείνα που καθορίζουν την αντοχή και την παραμορφωσιμότητα του, όπως είναι η αντοχή του άρρηκτου βράχου σε ανεμπόδιστη μονοαξονική θλίψη και ο ρόλος των ασυνεχειών.

Γίνεται μια απόπειρα σύνδεσης αυτών των στοιχείων με τον EC7. Προτείνονται τρόποι αντιμετώπισης, κυρίως σε θέματα που αφορούν την ευστάθεια βραχωδών πρανών και τη θεμελίωση σε βραχώδη πετρώματα.

Abstract

This thesis aims at summarizing Eurocode 7 and the guidelines concerning Rock mechanics, showing the elements of rock mass which should be given special attention or should have had more detailed instructions at the EN 1997 standards.

Although Eurocode 7 extensively deals with the analysis and design of soil, the data presented for rock mass is very little and often incomplete. The standard provides some ways to address problems related to rock mass, but these are not detailed approaches to the elements that determine the strength and deformability of rock, such as the resistance of intact rock to unconfined uniaxial compression and the role of discontinuities.

An attempt is made to connect these elements with EC7. Some workarounds are suggested, especially in matters concerning the stability of rock slopes and foundation on rock.

Περιεχόμενα

Πρόλογος	4
Κεφάλαιο 1 – Εισαγωγή	7
1.1 Γενικά ο Ευρωκώδικας.....	7
1.2 Διεθνείς Οργανισμοί.....	10
1.2.1 Διεθνής Οργανισμός Τυποποίησης ISO.....	10
1.2.2 Ευρωπαϊκή Επιτροπή Τυποποίησης CEN.....	11
1.2.3 Εθνικοί Φορείς Τυποποίησης ΕΦΤ.....	12
1.3 Ο EC7 και οι Διεθνείς Οργανισμοί Τυποποίησης.....	13
1.3.1 Σύνδεσμοι μεταξύ των Ευρωκωδίκων.....	13
1.3.2 Χρονοδιάγραμμα δημοσιεύσεων.....	15
1.4 Η ανάπτυξη του EC7.....	16
1.5 Συνοπτική παρουσίαση των βασικών σημείων.....	18
1.6 Ορισμοί.....	20
Κεφάλαιο 2 – Γενικοί κανόνες για το Γεωτεχνικό Σχεδιασμό - Μέθοδοι Ανάλυσης.....	21
2.1 Πεδίο Εφαρμογής του EC7 – 1.....	21
2.2 Αντικείμενο του EC7.....	24
2.2.1 Παραδοχές και ορισμοί.....	25
2.3 Απαιτήσεις για το σχεδιασμό.....	27
2.3.1 Δέσμευση στις Οριακές Καταστάσεις Σχεδιασμού.....	27
2.3.2 Πολυπλοκότητα σχεδιασμού.....	28
2.3.3 Γεωτεχνικές κατηγορίες.....	30
2.4 Οριακές Καταστάσεις Σχεδιασμού.....	33
2.5 Δράσεις και Καταστάσεις Σχεδιασμού.....	37
2.5.1 Καταστάσεις Σχεδιασμού.....	37
2.5.2 Γεωτεχνικές Δράσεις.....	39
2.5.3 Διάκριση μεταξύ ευνοϊκών και δυσμενών δράσεων.....	41
2.6 Εκτιμήσεις Σχεδιασμού κατασκευής.....	44
2.6.1 Ανθεκτικότητα στο χρόνο.....	44
2.6.2 Ζητήματα σχεδιασμού που αφορούν την κατασκευή.....	45
2.6.3 Εκτέλεση.....	45
2.6.4 Γεωτεχνικές μελέτες	45
2.6.5 Έκθεση Γεωτεχνικών Ερευνών.....	47
2.7 Ανάλυση και Σχεδιασμός Γεωτεχνικών Κατασκευών.....	50
2.7.1 Σχεδιασμός μέσω Οριακών Καταστάσεων.....	50
2.7.2 Τρόποι Ανάλυσης έναντι Οριακών Καταστάσεων Αστοχίας.....	54
2.7.3 Τρόποι Ανάλυσης έναντι Οριακών Καταστάσεων Λειτουργικότητας	59
2.7.4 Σχεδιασμός με βάση Υπολογισμούς.....	62
2.7.5 Σχεδιασμός με βάση Κανονιστικές Διατάξεις.....	66
2.7.6 Σχεδιασμός με Δοκιμαστικές Φορτίσεις.....	67
2.7.7 Σχεδιασμός με βάση την παρατήρηση.....	67
2.8 Εποπτεία, Παρακολούθηση και Συντήρηση.....	68
2.8.1 Επίβλεψη.....	69
2.8.2 Παρακολούθηση.....	72
2.8.3 Συντήρηση.....	73

2.8.4 Πρακτικές Συστάσεις.....	73
2.9 Συνοπτική παρουσίαση των βασικών σημείων.....	73
Κεφάλαιο 3 – Η θέση της βραχομηχανικής στον EC7	74
3.1 Ευρωκώδικας και γεωτεχνικός σχεδιασμός.....	74
3.2 Οριακή κατάσταση στη βραχομηχανική	76
3.3 Η ασυνεχής φύση της βραχομάζας.....	82
3.4 Ο χαρακτηρισμός της βραχομάζας.....	85
3.5 Η αντοχή της βραχομάζας.....	88
3.6 Συστήματα ταξινόμησης της βραχομάζας.....	92
3.7 Παράδειγμα σχεδιασμού μιας ανεμογεννήτριας.....	93
3.8 Η αστοχία του φράγματος Aznalcollar (Ισπανία 1998).....	96
3.9 Ευστάθεια πρανών.....	97
3.10 Οι καιρικές συνθήκες.....	98
Κεφάλαιο 4 – Ευστάθεια βραχωδών πρανών και EC7.....	100
4.1 Ευστάθεια βραχωδών πρανών.....	100
4.2 Ανάλυση ευστάθειας πρανών.....	101
4.3 Πρανή και ορύγματα σε βραχομάζες.....	103
4.4 Ευστάθεια πρανών σύμφωνα με τις ΟΜΟΕ.....	104
4.5 Πρανή βραχωδών ορυγμάτων.....	105
4.5.1 Γενικά στοιχεία – Διαμόρφωση (ΟΜΟΕ).....	105
4.5.2 Έλεγχοι ευστάθειας – Συντελεστής ασφαλείας (ΟΜΟΕ).....	106
4.5.3 Αναχαίτιση καταπτώσεων (ΟΜΟΕ).....	108
4.6 Ανάλυση επίπεδης ολίσθησης.....	109
4.7 Σφηνοειδής ολίσθηση.....	111
4.8 Προτεινόμενη μέθοδος των J. Estaire & G. Olivenza για την ανάλυση προβλημάτων ευστάθειας βραχωδών πρανών συμβατής με τον EC-7.....	113
4.9 Συμπεράσματα.....	115
Κεφάλαιο 5 – Επιφανειακές Θεμελιώσεις σε βράχους.....	116
5.1 Επιφανειακή θεμελίωση στον EC7.....	116
5.2 Μέθοδοι υπολογισμού της τελικής αντοχής των επιφανειακών θεμελιώσεων σε βράχους.....	120
5.3 Μέθοδος των J. Estaire & G. Olivenza για το σχεδιασμό θεμελιώσεων σε βράχο συμβατή με τον EC7	123
5.4 Έλεγχος στην Οριακή Κατάσταση Λειτουργικότητας.....	125
5.5 Συμπεράσματα.....	126
Κεφάλαιο 6 – Συμπεράσματα και προτάσεις.....	127
Παράρτημα Α.....	129
Παράρτημα Β.....	139
Παράρτημα Ζ.....	142
Αναφορές	144

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ – ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΕΣ ΚΙ Η ΘΕΣΗ ΤΟΥ ΕC7

Οι Ευρωκώδικες

«Οι Ευρωκώδικες αποτελούν το πανευρωπαϊκό μέσο για τους μηχανικούς καθώς είναι ζωτικής σημασίας τόσο για τη σχεδίαση όσο και για την κατασκευή στους τομείς της Δημόσιας Διοίκησης και της οικοδομικής βιομηχανίας.»

1.1 Οι Ευρωκώδικες γενικά

Στο πλαίσιο εναρμόνισης των μεθόδων σχεδιασμού των τεχνικών έργων στις Χώρες-Μέλη της Ε.Ε., η Επιτροπή των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων αποφάσισε την ανάπτυξη του προγράμματος των Δομικών Ευρωκωδίκων. Με βάση σχετική συμφωνία, από το 1989 η CEN ανέλαβε την προετοιμασία και την έκδοση των Ευρωκωδίκων με σκοπό να θεσπισθούν μελλοντικά ως Ευρωπαϊκά Πρότυπα (EN).

Οι Δομικοί Ευρωκώδικες είναι μια σειρά από δέκα πρότυπα για το σχεδιασμό των τεχνικών έργων με βάση τις οριακές καταστάσεις, σε συνδυασμό με τη μεθοδολογία των επιμέρους συντελεστών ασφαλείας. Τα πρότυπα αυτά χωρίζονται σε πενήντα οκτώ μέρη και συνοδεύονται από Εθνικά Παραρτήματα που εκδίδονται από τις διάφορες ευρωπαϊκές χώρες που έχουν θεσπίσει τους Ευρωκώδικες ως τους βασικούς κανόνες για το σχεδιασμό. Καθένα από τα (10) Πρότυπα (EN), τα EN 1990 έως EN 1999, αποτελείται από περισσότερα του ενός Μέρη, πλην του EN 1990: «Αρχές Δομικού Σχεδιασμού» που αποτελείται από ένα μόνον Μέρος, και είναι τα εξής:

Ευρωκώδικας 0 - Βάσεις σχεδιασμού κατασκευών (EN 1990):

Θεσπίζει αρχές και απαιτήσεις για την ασφάλεια, την ευκολία συντήρησης και την αντοχή των κατασκευών, περιγράφει τη βάση για το σχεδιασμό και την επαλήθευσή του, και δίνει τις κατευθυντήριες γραμμές για τη δομική αξιοπιστία.

Ευρωκώδικας 1 - Δράσεις στις κατασκευές (EN 1991):

Δίνει κατευθύνσεις σχεδιασμού, τις δράσεις για το δομικό σχεδιασμό των κτιρίων και των τεχνικών έργων, συμπεριλαμβανομένων ορισμένων γεωτεχνικών θεμάτων. Χωρίζεται σε τέσσερα μέρη, με το μέρος 1 να χωρίζεται περαιτέρω σε επτά τμήματα.

Ευρωκώδικας 2 - Σχεδιασμός κατασκευών από σκυρόδεμα (EN 1992):

Καλύπτει το σχεδιασμό των κτιρίων και των τεχνικών έργων από προεντεταμένο σκυρόδεμα. Χωρίζεται σε τρία μέρη, με το μέρος 1 να υποδιαιρείται περαιτέρω σε δύο επιμέρους τμήματα.

Ευρωκώδικας 3 - Σχεδιασμός κατασκευών από χάλυβα (EN 1993):

Καλύπτει το σχεδιασμό των κτιρίων και των τεχνικών έργων από χάλυβα. Είναι χωρισμένος σε έξι μέρη, με τα μέρη 1, 3, και 4 να χωρίζονται σε δώδεκα, δύο, και τρία επιμέρους τμήματα αντίστοιχα (συνολικά είκοσι έγγραφα).

Ευρωκώδικας 4 - Σχεδιασμός σύμμεικτων κατασκευών από χάλυβα και σκυρόδεμα (EN1994): καλύπτει το σχεδιασμό σύνθετων δομών και μελών κτιρίων και δημοσίων τεχνικών έργων. Χωρίζεται σε δύο μέρη, με το μέρος 1 να διαιρείται περαιτέρω σε δύο επιμέρους τμήματα.

Ευρωκώδικας 5 - Σχεδιασμός ξύλινων κατασκευών (EN 1995):

Καλύπτει το σχεδιασμό των κτιρίων και των τεχνικών έργων σε στερεά, πριονισμένη, πλανισμένη, ή από συγκολλημένα φύλλα ξυλεία ή δομικά προϊόντα με βάση το ξύλο ή πάνελ τα οποία ενώνονται με κόλλες ή μηχανικά μέσα στερέωσης. Χωρίζεται σε δύο μέρη, με το μέρος 1 να διαιρείται περαιτέρω σε δύο επιμέρους τμήματα.

Ευρωκώδικας 6 - Σχεδιασμός κατασκευών από τοιχοποιία (EN 1996):

Καλύπτει το σχεδιασμό σύνθετων κατασκευών και μελών φορέων. Είναι χωρισμένος σε τρία μέρη, με το μέρος 1 να υποδιαιρείται σε δύο τμήματα.

Ευρωκώδικας 7 - Γεωτεχνικός σχεδιασμός (EN 1997):

Καλύπτει γεωτεχνικά θέματα του σχεδιασμού των κτιρίων και των τεχνικών έργων. Χωρίζεται σε δύο μέρη (χωρίς υπό-τμήματα) .

Ευρωκώδικας 8 - Σχεδιασμός δομών για αντοχή στο σεισμό (EN 1998):

Καλύπτει το σχεδιασμό και την κατασκευή των κτιρίων και τεχνικών έργων σε σεισμικές περιφέρειες. Είναι χωρισμένος σε έξι μέρη (χωρίς υπό-τμήματα). Ο EN 1998 παρέχει πρόσθετους κανόνες για το σχεδιασμό που συμπληρώνουν αυτές που αναφέρονται στους κώδικες για το σκυρόδεμα, το χάλυβα, και άλλα υλικά.

Ευρωκώδικας 9 - Σχεδιασμός κατασκευών από αλουμίνιο (EN 1999):

Καλύπτει το σχεδιασμό των κτιρίων, των τεχνικών και των διαρθρωτικών έργων από αλουμίνιο. Έχει δημοσιευθεί σε ένα μέρος το οποίο χωρίζεται σε πέντε επιμέρους.

Ενώ οι Ευρωκώδικες γενικώς αναφέρονται σε κατασκευές από συγκεκριμένο υλικό (π.χ, ο EN 1992 σε κατασκευές από σκυρόδεμα, ο EN 1993 σε κατασκευές από χάλυβα), οι Ευρωκώδικες EN 1990, EN 1991, EN 1997 και EN 1998 αφορούν όλους τους τύπους κατασκευών, ανεξαρτήτως υλικού κατασκευής.

Ειδικότερα, ο EC7 (EN 1997) πρέπει να χρησιμοποιείται σε όλα τα προβλήματα έργων που περιλαμβάνουν ή επηρεάζονται από το έδαφος. Αποτελεί αναπόσπαστο μέρος της σειράς EN – Ευρωκώδικες, καθώς επίσης και τον κόμβο ενός μεγάλου αριθμού ευρωπαϊκών και διεθνών προτύπων που καλύπτουν την

έρευνα, την κατασκευή, και τις γεωτεχνικές δοκιμές. Με βάση τον EC7 υπολογίζονται τόσο οι γεωτεχνικές δράσεις επί των κατασκευών, όσο και οι προκαλούμενες αντιστάσεις του εδάφους. Ο Ευρωκώδικας 7 αποτελείται από δύο μέρη:

α) EN 1997-1: Ευρωκώδικας 7 – Γεωτεχνικός Σχεδιασμός – Μέρος 1: Γενικοί Κανόνες (CEN 2004)

β) EN 1997-2: Ευρωκώδικας 7 – Γεωτεχνικός Σχεδιασμός – Μέρος 2: Γεωτεχνικές Έρευνες και Δοκιμές (CEN 2007)

Η δομή του EC7 συνδέεται ισχυρά με το κείμενο του EN 1990, Βάσεις σχεδιασμού κατασκευών, και ιδιαίτερα με το Κεφάλαιο 6 (Έλεγχος με τη μέθοδο των επιμέρους συντελεστών), προκειμένου να επιτευχθεί ένας τρόπος ελέγχου θεμάτων αλληλεπίδρασης εδάφους - κατασκευής, ο οποίος θα είναι συμβατός με όλους τους Δομικούς Ευρωκώδικες.

Τα περιεχόμενα του EC7 σκοπεύουν να ικανοποιήσουν δύο προϋποθέσεις:

α) Εναρμόνιση του τρόπου μελέτης των γεωτεχνικών έργων στην Ε.Ε. με τη σύνταξη ενός ενιαίου κώδικα σχεδιασμού, ο οποίος θα αντικαθιστήσει τους μέχρι σήμερα χρησιμοποιούμενους κώδικες ή τις μεθοδολογίες σχεδιασμού στις διάφορες χώρες μέλη της Ε.Ε. και

β) Εναρμόνιση του γεωτεχνικού με τον δομικό σχεδιασμό των τεχνικών έργων σύμφωνα με το σύστημα των Ευρωκωδίκων.

Η τελευταία αυτή προϋπόθεση επιτεύχθηκε με την θέσπιση και στη γεωτεχνική, της μεθοδολογίας των «οριακών καταστάσεων» ως βάση για τον σχεδιασμό των έργων. Είναι λοιπόν απαραίτητη η κατανόηση από τους Γεωτεχνικούς Μηχανικούς, που θα εφαρμόσουν τον EC7 στις μελέτες, οι νέες για την Γεωτεχνική Μηχανική έννοιες που εισάγονται όπως: οριακές καταστάσεις αστοχίας και λειτουργικότητας, επιμέρους συντελεστές ασφαλείας, χαρακτηριστικές τιμές και τιμές σχεδιασμού δράσεων και παραμέτρων κ.λπ.

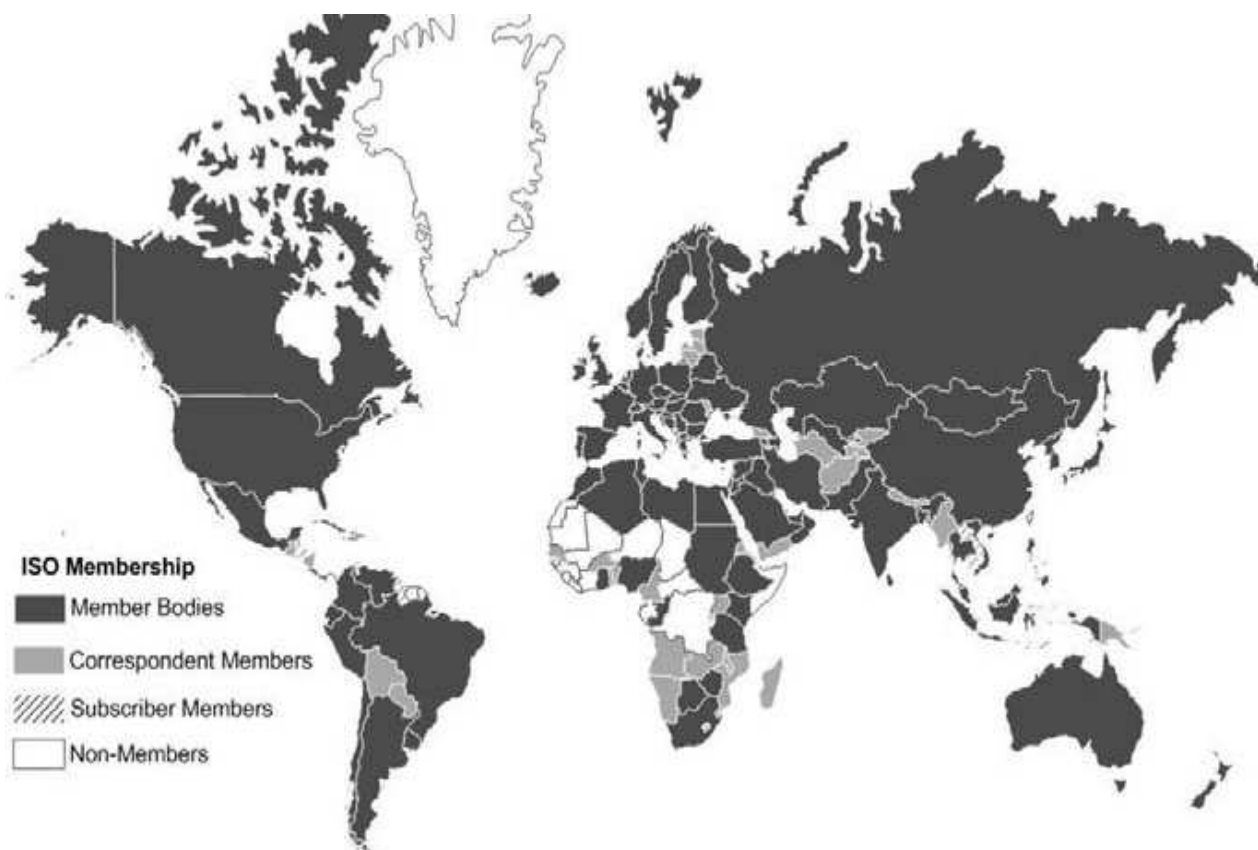
Διευκρινίζεται ότι ο EC7 δεν απαιτεί καμία τροποποίηση των έως σήμερα χρησιμοποιούμενων υπολογιστικών προσομοιωμάτων (υπολογιστικών μεθόδων), διαφοροποιείται όμως στον τρόπο εφαρμογής τους στη μελέτη των θεμελιώσεων και των λοιπών γεωτεχνικών έργων, διότι εισάγει στην Γεωτεχνική την μεθοδολογία σχεδιασμού μέσω των οριακών καταστάσεων.

Πάντως, σήμερα υφίσταται μικρή εμπειρία στις χώρες της Ε. Ε. σε πρακτικές εφαρμογές γεωτεχνικών μεθοδολογιών που βασίζονται στους επιμέρους συντελεστές ασφαλείας (αντί του έως τώρα χρησιμοποιούμενου ενιαίου συντελεστή ασφαλείας), και γι' αυτό θα απαιτηθεί κάποιο εύλογο διάστημα για την εξοικείωση και προσαρμογή των Μηχανικών στην εφαρμογή του EC7.

1.2 Διεθνείς Οργανισμοί

1.2.1 Διεθνής Οργανισμός Τυποποίησης (ISO)

Ο Διεθνής Οργανισμός Τυποποίησης, γνωστός ως ISO, ιδρύθηκε το 1947 για να «διευκολύνει το διεθνή συντονισμό και την ενοποίηση των 13 ISO βιομηχανικών πρότυπων». Είναι ένα δίκτυο εθνικών φορέων τυποποίησης στο οποίο συμμετέχουν 158 χώρες (περιλαμβάνει 103 φορείς-μέλη, 46 μέλη ανταποκριτές, και 9 μέλη συνδρομητές). Το σχήμα 1.1 απεικονίζει τη σημερινή σύνθεση του ISO.



Σχήμα 1.1. Χώρες - Μέλη του Διεθνούς Οργανισμού Τυποποίησης ISO (Decoding EC7, Bond & Harris, 2008)

Με έδρα τη Γενεύη, ο ISO έχει περίπου 200 Τεχνικές Επιτροπές (ΤΕ), οι οποίες είναι κατανεμημένες σε περίπου 500 υποεπιτροπές, 2000 ομάδες εργασίας, και 60 εξειδικευμένες ομάδες μελέτης. Μέχρι το τέλος του 2007, ο ISO είχε δημοσιεύσει πάνω 16.500 διεθνή πρότυπα και έγγραφα τύπου προτύπων, με 1.250 νέα πρότυπα να δημοσιεύονται κάθε χρόνο. Το ένα τέταρτο των προτύπων ISO είναι για την τεχνολογία των υλικών.

Ο ISO δημοσιεύει πρότυπα σχετικά με θέματα που κυμαίνονται από την οργάνωση της εταιρείας, τη διαχείριση και την ποιότητα στις τηλεπικοινωνίες, την τεχνολογία που αφορά τα κλωστοϋφαντουργικά και δερμάτινα είδη, τη γεωργία και

τα τρόφιμα, την εξόρυξη ανόργανων και οργανικών υλών και τα υλικά κατασκευής, και τέλος τη σιδηροδρομική μηχανική, τη ναυπηγική βιομηχανία, καθώς και τις θαλάσσιες κατασκευές, την οικοδόμηση και τα τεχνικά έργα. Τα πρότυπα αυτά μπορούν να αγοραστούν απευθείας από τον ISO, μέσω της ιστοσελίδας της www.iso.org.

1.2.2 Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή Τυποποίησης (CEN)

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή Τυποποίησης CEN, ιδρύθηκε το 1961 από τον Εθνικό Οργανισμό Τυποποίησης της Ευρωπαϊκής Οικονομικής Κοινότητας (ΕΟΚ) και της Ευρωπαϊκής Ζώνης Ελεύθερων Συναλλαγών (ΕΖΕΣ).

Με έδρα τις Βρυξέλλες, η CEN σήμερα περιλαμβάνει τριάντα μέλη, επτά συνεργάτες (για παράδειγμα, την Ομοσπονδία Ευρωπαϊκών Οικοδομικών Επιχειρήσεων, FIEC), και δύο συμβούλους που εκπροσωπούν την ΕΟΚ και την ΕΖΕΣ, τέσσερις θυγατρικές (κυρίως χώρες της Κεντρικής και Ανατολικής Ευρώπης), και εννέα εταίρους (χώρες εκτός Ευρώπης, όπως η Αυστραλία, η Αίγυπτος και η Ρωσία), οι οποίες έχουν δεσμευτεί να εφαρμόζουν ορισμένα ευρωπαϊκά πρότυπα, ως δικά τους εθνικά πρότυπα. Στο Σχήμα 1.2 απεικονίζονται τα τρέχοντα μέλη της CEN.

Η CEN έχει πάνω από 250 Τεχνικές Επιτροπές (ΤΕ), αριθμημένες από TC 10 (που καλύπτουν ανελκυστήρες, κυλιόμενες κλίμακες και κυλιόμενους πεζόδρομους) έως TC 353 (που καλύπτουν τις τεχνολογίες πληροφοριών και επικοινωνιών για τη μάθηση, την εκπαίδευση, και την κατάρτιση). Οι Τεχνικές Επιτροπές που δραστηριοποιούνται στην κατασκευή και τους τομείς της μηχανικής, σύμφωνα με τους Bond & Harris, 2008 περιλαμβάνουν:

TC 124 Ξύλινες κατασκευές

TC 127 Πυρασφάλεια στα κτίρια

TC 135 Κατασκευή των μεταλλικών κατασκευών και κατασκευών από αλουμίνιο

TC 151 Εξοπλισμός κατασκευών και οικοδομικών υλικών και μηχανημάτων

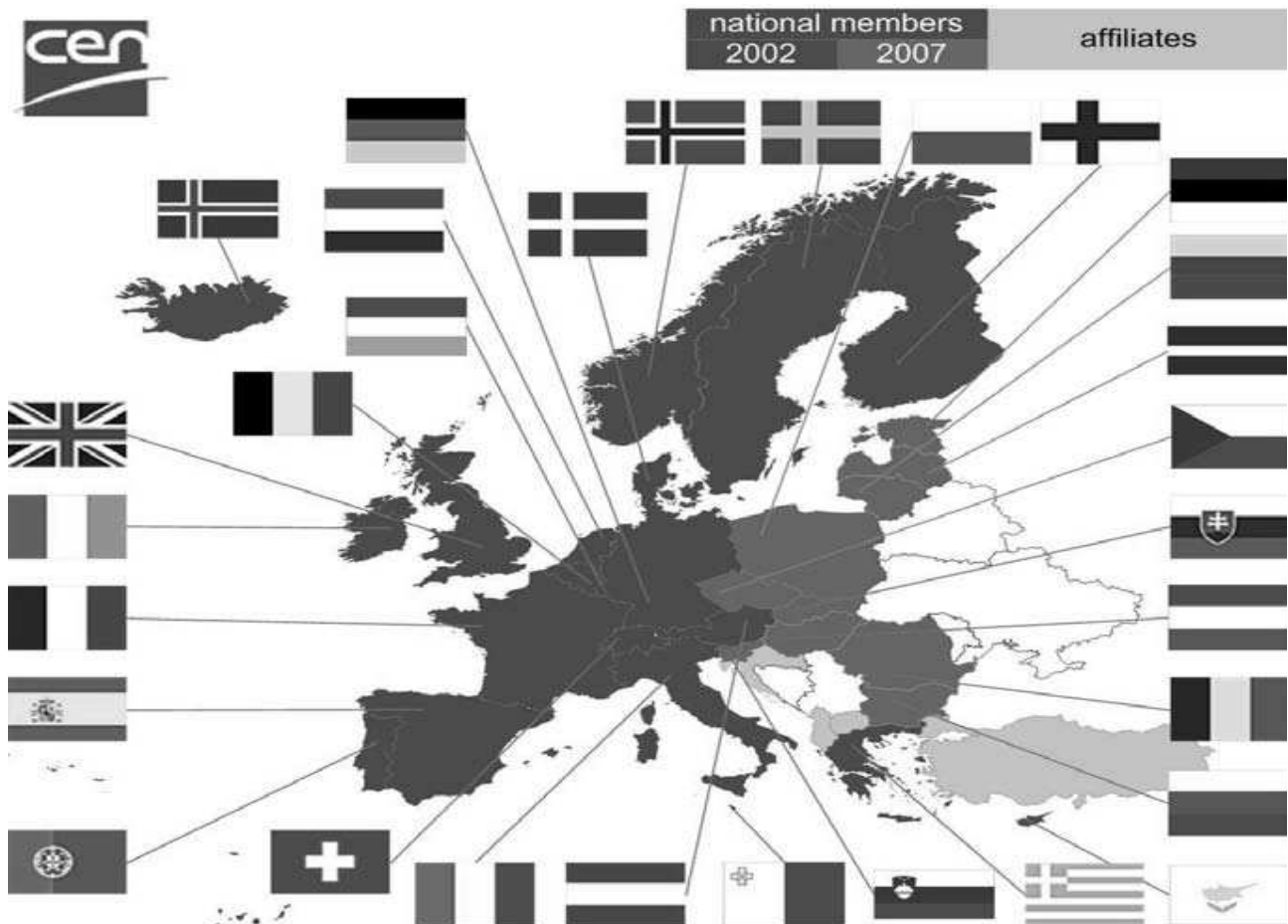
TC 189 Γεωσυνθετικά

TC 250 Διαρθρωτικοί Ευρωκώδικες

TC 288 Εκτέλεση ειδικών γεωτεχνικών έργων

TC 341 Γεωτεχνικές έρευνες και δοκιμές

Οι επιτροπές που μας ενδιαφέρουν είναι οι TC 250, TC 288, και TC 341. Μέχρι το τέλος του 2007, η CEN είχε δημοσιεύσει περίπου 13.000 ευρωπαϊκά πρότυπα. Περίπου το 16% αυτών των προτύπων ασχολούνται με την οικοδόμηση και τον τομέα της μηχανικής, κι επιπλέον το 14% αυτών με τα υλικά επικάλυψης. Οι μόνοι τομείς οι οποίοι έχουν μεγαλύτερα ποσοστά προτύπων που ασχολούνται μαζί τους, είναι αυτοί της μηχανολογίας και των μεταφορών και συσκευασίας.



Σχήμα 1.2. Οι χώρες των οποίων οι εθνικοί οργανισμοί τυποποίησης είναι μέλη της Ευρωπαϊκής Επιτροπή Τυποποίησης. (Decoding EC7, Bond & Harris, 2008)

Η CEN δεν πωλεί η ίδια τα ευρωπαϊκά πρότυπα, αλλά, αντίθετα, τα διαθέτει μέσω των εθνικών μελών της (όπως η British Standards, BSI).

1.2.3 Οι Εθνικοί Φορείς Τυποποίησης (ΕΦΤ)

Κάθε χώρα που συμμετέχει στον ISO και τη CEN αντιπροσωπεύεται από το Εθνικό Τμήμα Προτύπων (NSB – National Standards Body), και είναι συνήθως η οργάνωση εκείνη που καθορίζει τα πρότυπα στις χώρες του ΕΦΤ, διαδραματίζοντας σημαντικό ρόλο στην εφαρμογή των Ευρωκωδίκων.

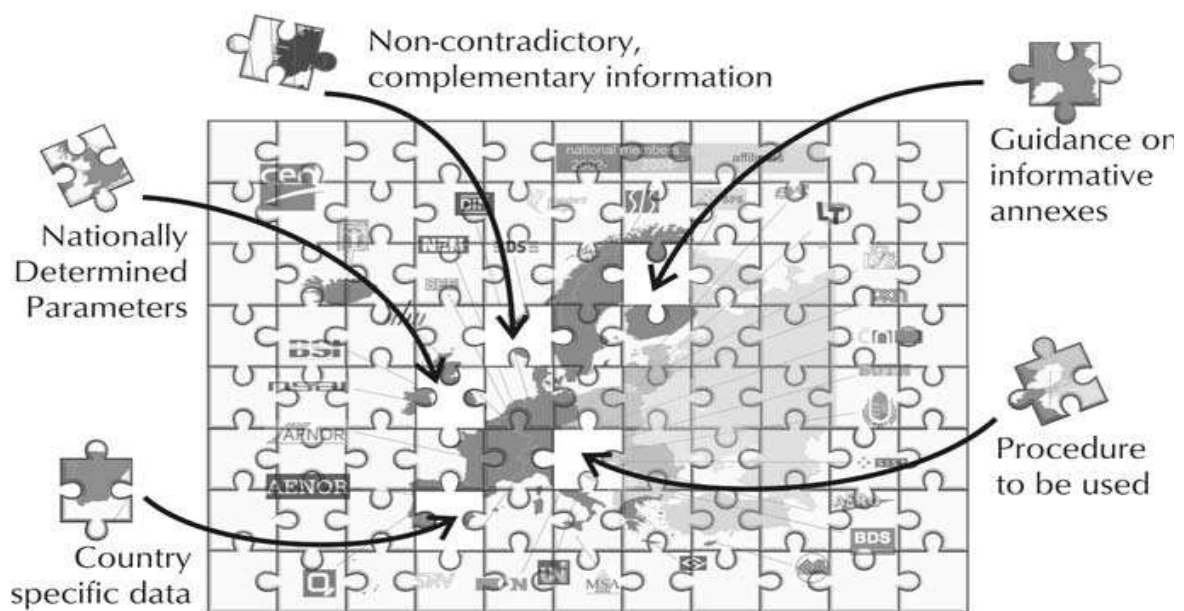
Ο Οργανισμός Τυποποίησης κάθε χώρας είναι υπεύθυνος για τη δημοσίευση των Ευρωπαϊκών προτύπων, ως εθνικά πρότυπα με την ίδια νομική υπόσταση. Οι ΕΦΤ μπορούν να μεταφράσουν τα ευρωπαϊκά πρότυπα από το επίσημο κείμενο της CEN (η οποία παράγεται στα αγγλικά, γαλλικά και γερμανικά), αλλά η μετάφραση δεν πρέπει να αποκλίνει ή να τροποποιεί μέρος του κειμένου.

Το NSB πρέπει να διατηρήσει το πρόθεμα EN στον εθνικό χαρακτηρισμό για το σχετικό Ευρωπαϊκό Πρότυπο. Για παράδειγμα, ο EN 1990 γίνεται:

BS EN 1990 στο Ηνωμένο Βασίλειο
NF EN 1990 στη Γαλλία
DIN EN 1990 στη Γερμανία

Η ονομασία EN σημαίνει ότι το τεχνικό περιεχόμενο του προτύπου είναι ακριβώς το ίδιο σε όλες τις χώρες της Ευρώπης.

Κάθε χώρα μπορεί να προσθέσει ένα Εθνικό Παράρτημα σε κάθε Ευρωκώδικα. Το Εθνικό παράρτημα παρέχει τις πληροφορίες που λείπουν από το «παζλ» του Ευρωκώδικα, όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 1.3.



Σχήμα 1.3. Οι πληροφορίες που παρέχονται από τα Εθνικά παραρτήματα. (Decoding EC7, Bond & Harris, 2008)

1.3 Ο EC7 και οι Διεθνείς Οργανισμοί

1.3.1 Σύνδεσμοι μεταξύ των Ευρωκωδίκων

Μέσα στο σύστημα των Ευρωκωδίκων υπάρχουν πολλές διασυνδέσεις. Ο EC7 συνδέεται κυρίως με τους ακόλουθους κώδικες :

- EN 1990, EC0: Περιλαμβάνει τις αρχές σχεδιασμού των δομικών έργων, καθορίζει τις διάφορες οριακές καταστάσεις που θα πρέπει να εξετασθούν, καθώς και τους κανόνες για τις δράσεις που πρέπει να ληφθούν υπόψη τόσο για την κατασκευή όσο και για το έδαφος.
- EN 1998-5, EC8: Περιλαμβάνει τον αντισεισμικό σχεδιασμό θεμελιώσεων, έργων αντιστηρίξεως, πρανών, γεωκατασκευών κ.α.

Παράλληλα με την TC250, υφίστανται και άλλες Τεχνικές Επιτροπές (TC) της CEN που ασχολούνται με τις προδιαγραφές θεμάτων που συνδέονται άμεσα με τον EC7 και είναι :

- CEN/TC 341: «Γεωτεχνικές έρευνες και δοκιμές»
- CEN/TC 288: «Εκτέλεση ειδικών γεωτεχνικών έργων»
- CEN/TC 189: «Γεωφάσματα και συναφή προϊόντα»
- CEN/TC 288: «Υλικά Οδοποιίας»
- CEN/TC WG203: «Εδαφοκατασκευές»

Ο Πίνακας 1 παρουσιάζει διαγραμματικά τους κώδικες και τα περιεχόμενα των αντικειμένων των Τεχνικών Επιτροπών TC 341 και TC 288, που συνδέονται άμεσα με τα θέματα σχεδιασμού και κατασκευών που καλύπτει ο EC7. Σημειώνεται ότι η TC 341 συνεργάζεται άμεσα με την αντίστοιχη Επιτροπή ISO/TC 182/SC1 σε θέματα Γεωτεχνικής Έρευνας και Δοκιμών, προκειμένου οι σχετικές προδιαγραφές να αποτελούν ταυτόχρονα προδιαγραφή του ISO-EN (Συμφωνία της Βιέννης).

Στα πλαίσια του περαιτέρω εναρμονισμού και της βελτίωσης των Ευρωκωδίκων, έχει δημιουργηθεί στην Ispra της Ιταλίας μία «πλατφόρμα» στο Joint Research Centre (JRC) της Ευρωπαϊκής Επιτροπής με αντικείμενο τη συλλογή στοιχείων και πληροφοριών από τις εφαρμογές των διαφόρων Δομικών Ευρωκωδίκων, με απώτερο σκοπό τον περιορισμό κατά το δυνατόν της «ποικιλίας» των τιμών των επιμέρους συντελεστών ασφαλείας μεταξύ των ευρωπαϊκών χωρών και συγκεκριμένα των λεγόμενων Nationally Determined Parameters (NDP) που έχουν επιλέξει οι χώρες-μέλη της Ε.Ε μέσω των Εθνικών Προσαρτημάτων (NAD).

Ειδικότερα για τον EC7, έχει δημιουργηθεί από το 2006 μία «Ομάδα Ελέγχου» (Maintenance Group – MG). Το έργο της ομάδας αυτής είναι εξαιρετικά σημαντικό καθότι, μέσω πληροφοριών που λαμβάνει από τους Εθνικούς Οργανισμούς Τυποποίησης και άλλες πηγές, ασχολείται με τις διορθώσεις λαθών, τις τεχνικές συμπληρώσεις σε θέματα κυρίως ασφάλειας και υγείας, τις τεχνικές και συντακτικές βελτιώσεις, τη λήψη αποφάσεων και τις διευκρινήσεις σε θέματα που απαιτούν ερμηνεία, την απάλειψη τυχόν ασυνεπειών στα κείμενα, καθώς και τη σύνταξη προτάσεων για την ανάπτυξη νέων απαραίτητων αντικειμένων. Όλα τα ανωτέρω, ακολουθώντας τις σχετικές διαδικασίες επικύρωσης και αναθεώρησης της CEN, περιλαμβάνονται σε αντίστοιχες ανακοινώσεις και σε αναθεωρημένα κείμενα.

CEN/TC 341 Γεωτεχνικές Έρευνες και Δοκιμές	CEN/TC 250 Σχεδιασμός	CEN/TC 288 Κατασκευή
<u>Πρότυπα Δοκιμών</u> <ul style="list-style-type: none"> • Αναγνώριση & Κατάταξη Εδαφών και Βράχων • Γεωτρήσεις, δειγματοληψίες και μετρήσεις Υπογείου Νερού • Δοκιμές Διείσδυσης CRT • Δυναμικές δοκιμές SPT • Δοκιμές σε γεωτεχνικές κατασκευές • Δοκιμές με επιτόπου διαστολή του εδάφους • Εργαστηριακές δοκιμές εδαφομηχανικής 	ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑΣ 0	<u>Προδιαγραφές εκτέλεσης</u> <ul style="list-style-type: none"> • Πάσσαλοι • Αγκυρώσεις • Διαφαγματικοί τοίχοι • Πασσαλοσανίδες • Ενέματα • Εκτοξευόμενα ενέματα • Μικροπάσσαλοι • Βαθιές θεμελιώσεις • Οπλισμένα επιχώματα • Βαθιές δονητικές συμπληκνώσεις • Στραγγιστήρια
	ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑΣ 1	
	ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑΣ 7 – Γεωτεχνικός Σχεδιασμός	
	ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑΣ 7 – Γεωτεχνικός Σχεδιασμός Μέρος 2: Έρευνες υπεδάφους και δοκιμές	

ISO 182/SC1
Γεωτεχνική Έρευνα

Προδιαγραφές για κατατάξεις και παρουσίαση

- Αναγνώριση και κατάταξη εδαφών
- Αναγνώριση και κατάταξη βράχων

Πίνακας 1. Ευρωπαϊκοί και Διεθνείς Γεωτεχνικοί Κανονισμοί και Προδιαγραφές (Decoding EC7, Bond & Harris, 2008)

1.3.2 Χρονοδιάγραμμα δημοσιεύσεων

Η πρώτη γενιά των Ευρωκωδίκων αναπτύχθηκε τη δεκαετία του 1980, σύμφωνα με την κατεύθυνση της Επιτροπής της Ευρωπαϊκής Κοινότητας. Η Επιτροπή έθεσε στόχο τη θέσπιση εναρμονισμένων τεχνικών κανόνων που τελικά θα αντικαθιστούν τα εθνικά πρότυπα για το σχεδιασμό των κατασκευαστικών έργων σε όλη την Ευρώπη.

Το 1989, η Επιτροπή, οι χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ) και η Ευρωπαϊκή Ζώνη Ελεύθερων Συναλλαγών (ΕΖΕΣ) μεταβίβασε την ευθύνη για τους Ευρωκώδικες στην Ευρωπαϊκή Επιτροπή Τυποποίησης, CEN.

Μεταξύ του 1991 και του 1999, κάποιες δοκιμαστικές εκδόσεις δημοσιεύθηκαν ως προ-πρότυπα (ENVs ή «EuroNorm Vornorm»). Η προβλεπόμενη

διάρκεια ισχύος για τα ENVs ήταν τρία χρόνια, διάστημα κατά το οποίο μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν προσωρινά, αλλά χωρίς την ιδιότητα του πλήρως ευρωπαϊκού πρότυπου EN. Η εμπειρία που αποκτήθηκε κατά την περίοδο αυτή χρησιμοποιήθηκε για την τροποποίηση των ENVs ώστε να μπορούν να εγκριθούν ως EN. Πολλά από τα προ-πρότυπα υπέστησαν σημαντικές αναθεωρήσεις πριν από τη δημοσίευσή τους ως πλήρεις πρότυπα.

Οι τελικές εκδόσεις των διαρθρωτικών Ευρωκωδίκων (EN), ξεκίνησε τον Ιούλιο του 1998 και δεν είχε ολοκληρωθεί μέχρι το Νοέμβριο του 2006, όταν και τα τελευταία μέρη του Ευρωκώδικα 9 επικυρώθηκαν από τη σχετική επιτροπή. Κάθε πρότυπο μεταφράστηκε σε τρεις επίσημες γλώσσες, αγγλικά, γαλλικά και γερμανικά, και στη συνέχεια ήταν στη διάθεση των Εθνικών Φορέων Τυποποίησης. Οι ημερομηνίες διαθεσιμότητας των διαφόρων Ευρωκωδίκων κυμαινόταν από τον Απρίλιο του 2002 για τον EN 1990 έως το Μάιο του 2007 για τον EN 1999.

Το τελικό βήμα για την υλοποίηση των διαρθρωτικών Ευρωκωδίκων είναι η δημοσίευση κάθε EN ως Εθνικό Πρότυπο σε κάθε χώρα που συνεργάζεται με τη CEN. Μέχρι το τέλος του 2007, περισσότερα από τα τρία τέταρτα των τμημάτων των Ευρωκωδίκων είχε εμφανιστεί σε μερικές χώρες, αλλά όχι σε όλες, και το τελευταίο τέταρτο εμφανίστηκε κατά το πρώτο εξάμηνο του 2008.

1.4 Η ανάπτυξη του EC7

Η ανάπτυξη του EC7 ξεκίνησε το 1975 (Πίνακας 2). Σύμφωνα με τους Simpson και Driscoll, 1998 το 1980 πραγματοποιήθηκε σύναψη συμφωνίας μεταξύ της Επιτροπής των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων (CEC) και της Διεθνούς Εταιρείας Εδαφομηχανικής και Θεμελιώσεων (ISSMFE), ώστε να ερευνηθούν οι υφιστάμενοι κώδικες πρακτικής των κρατών μελών και ως εκ τούτου να καταρτιστεί ένας κώδικας μοντέλο που θα μπορούσε να υιοθετηθεί από όλους, ως EC7. Ο ISSMFE συνέστησε μια εξειδικευμένη επιτροπή για αυτό το έργο το 1981, η οποία μετά από διεθνή διαβούλευση παρήγαγε ένα πρότυπο για τον EC7 το 1987. Η περαιτέρω ανάπτυξη αυτού του προτύπου πραγματοποιήθηκε το 1987-1990 υπό την αιγίδα της CEN, και κυρίως στην Τεχνική Επιτροπή TC250, για την ενδεχόμενη επίσημη δημοσίευση του ως EC7. Η CEN/TC250 συνεχίζει την επίβλεψη του EC7. Έτσι, παρατηρείται ότι οι ρίζες του αντιστοιχούν στους ευρωπαϊκούς κώδικες σχεδιασμού που σχετίζονται με θεμελιώσεις μέσα και πάνω στα εδάφη. Επιπλέον, φαίνεται ότι η ανάπτυξη του κώδικα πραγματοποιήθηκε χωρίς καμία επίσημη ανάμιξη από οργανώσεις όπως η Διεθνής Εταιρεία Βραχομηχανικής (ISRM) ή η Διεθνής Ένωση για τη Μηχανική Γεωλογία και το Περιβάλλον (IAEG). Πολλοί σχεδιαστές θεωρούν τον EC7 αδύναμο όσον αφορά το βράχο.

ΈΤΟΣ	ΓΕΓΟΝΟΣ
1957	Συνθήκη της Ρώμης
1971	Έκδοση της Οδηγίας για τις Δημόσιες Συμβάσεις 1971/305
1975	Αρχή της ανάπτυξης του EC7
1980	Σύσταση Διεθνούς Εξεταστικής όσον αφορά την κατασκευή κωδίκων που εκτελούνται
1984	Δημοσίευση των πρώτων Ευρωκωδίκων
1989	Έκδοση της Οδηγίας Δομικών Προϊόντων 1989/106
1990	Αρχή των εργασιών που είναι σχετικές με τα προτύπων (ENVs)
1992	Δημοσίευση των πρώτων ENV
1998	Μετατροπή των ENV σε EN
2003	Σύσταση Επιτροπής για την εφαρμογή και τη χρήση των Ευρωκωδίκων
2004	Έκδοση: Οδηγίας σχετικά με τις Συμβάσεις Δημοσίων Έργων, Δημοσίων Συμβάσεων Προμηθειών και Συμβάσεις Δημόσιας Υπηρεσίας
2006	Δημοσίευση ολοκληρωμένου του EN
2010	Ο EN σε εφαρμογή, τα αντικρουόμενα Εθνικά πρότυπα αποσύρονται

Πίνακας 2. Ιστορία των Ευρωκωδίκων (<http://eurocodes.jrc.ec.europa.eu>).

Το έργο της TC250 προχωρά μέσα από μια σειρά υποεπιτροπών (Πίνακας 3). Ο αριθμός των μελών της CEN/TC250 και των υποεπιτροπών της, αποτελείται από εκπροσώπους των 29 Εθνικών Μελών, μαζί με τους αντιπροσώπους από τις 5 χώρες συνεργάτες που συμμετέχουν ως παρατηρητές. Υπάρχουν εννέα εξειδικευμένες υποεπιτροπές στο πλαίσιο της CEN/TC250, καθεμία από τις οποίες είναι υπεύθυνη για έναν συγκεκριμένο Ευρωκώδικα (Πίνακας 2).

ΥΠΟΕΠΙΤΡΟΠΗ	ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑΣ – ΤΙΤΛΟΣ
SC0 EN 1990:2002	EC0 : Αρχές σχεδιασμού του φέροντος οργανισμού
SC1 EN 1991	EC1 : Δράσεις επί των φορέων
SC2 EN 1992	EC2 : Σχεδιασμός φορέων από οπλισμένο σκυρόδεμα
SC3 EN 1993	EC3 : Σχεδιασμός μεταλλικών κατασκευών
SC4 EN 1994	EC4 : Σχεδιασμός σύμμεικτων κατασκευών από χάλυβα και σκυρόδεμα
SC5 EN 1995	EC5 : Σχεδιασμός ξύλινων κατασκευών
SC6 EN 1996	EC6 : Σχεδιασμός φορέων από τοιχοποιία
SC7 EN 1997	EC7 : Γεωτεχνικός σχεδιασμός
SC8 EN 1998	EC8 : Αντισεισμικός σχεδιασμός
SC9 EN 1999	EC9 : Σχεδιασμός φορέων από αλουμίνιο και κράματα αλουμινίου

Πίνακας 3. Υποεπιτροπές της CEN/TC250 και των αντίστοιχων Ευρωκωδίκων. (Decoding EC7, Bond & Harris, 2008)

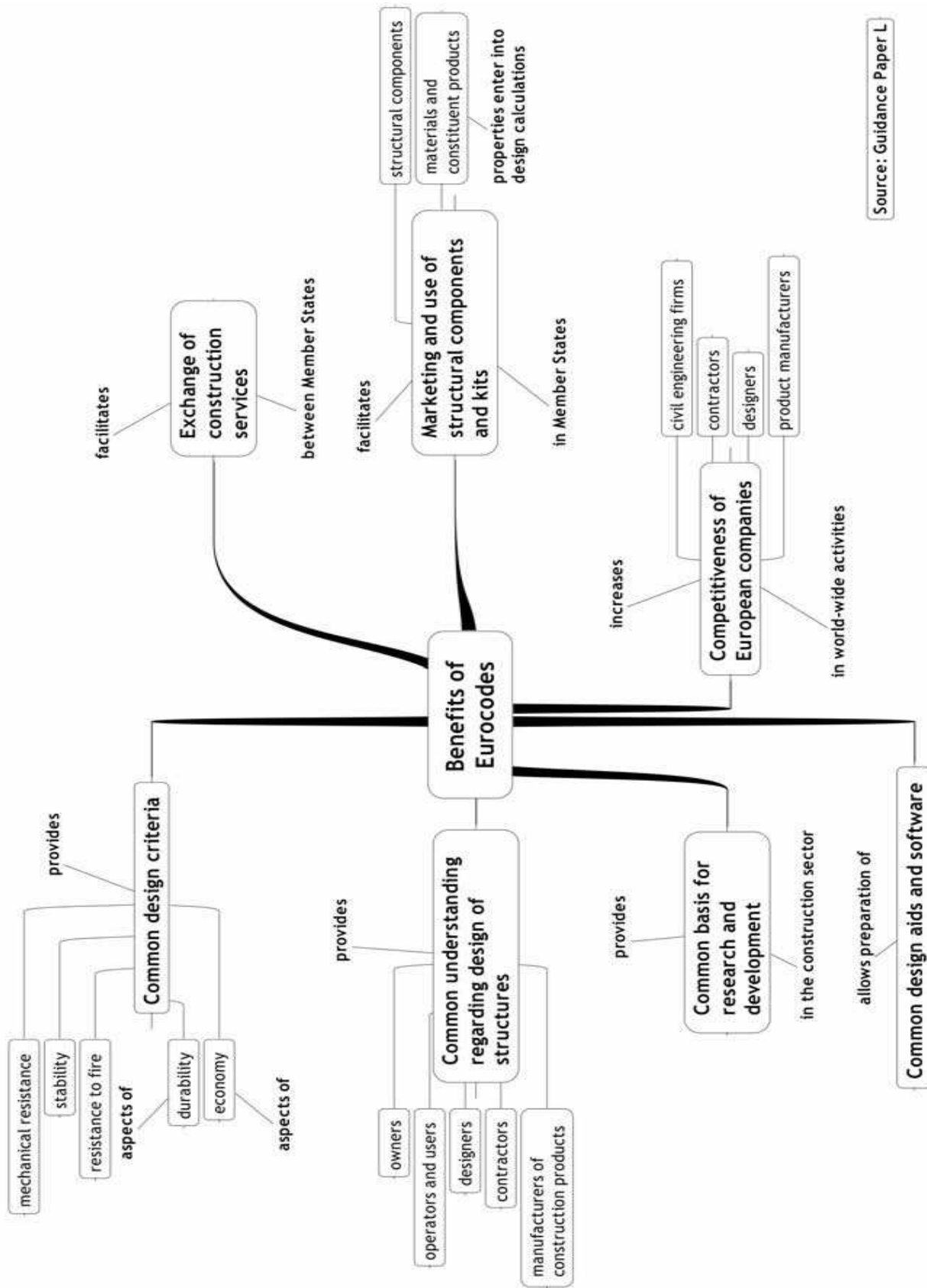
Έτσι, αν και η CEN/TC250/SC7 είναι υπεύθυνη για τον Ευρωκώδικα 7, συνεργάζεται με τις άλλες υποεπιτροπές ώστε να διασφαλιστεί η συνοχή των διαρθρωτικών Ευρωκωδίκων, η οποία αποτελεί μια κρίσιμη ευθύνη της TC250. Αυτή η δραστηριότητα είναι απαραίτητη προκειμένου να διατηρηθεί η αξιοπιστία, η ακεραιότητα και η συνάφεια των Ευρωκωδίκων, καθώς και για η εξάλειψη σφαλμάτων. Το πρωτόκολλο της CEN καθορίζει πως για μια περίοδο πέντε ετών θα διεξάγεται συνεχής μελέτη κι εξέλιξη του EC7, συμπεριλαμβανομένων των τεχνικών και συντακτικών βελτιώσεων, καθώς και η επίλυση ζητημάτων ερμηνείας. Αναμένεται ότι η νέα έκδοση του κώδικα που θα δημοσιευθεί το 2019, θα ενσωματώνει τις βελτιώσεις αυτές.

Η μελλοντική ανάπτυξη του EC7 οφείλει να επιλύσει ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα του, το οποίο είναι η εφαρμογή του στη βραχομηχανική, καθώς το πλαίσιο της βραχομηχανικής οδηγεί σε ιδιαίτερες δυσκολίες σχετικά με το κεντρικό δόγμα των κωδικών: δηλαδή, τη χρήση των οριακών καταστάσεων σχεδιασμού.

1.5 Συνοπτική παρουσίαση των βασικών σημείων

Η σημασία των διαρθρωτικών Ευρωκωδίκων για το σχεδιασμό σε όλη την Ευρώπη κατά τη διάρκεια του πρώτου μέρους του 21ου αιώνα δεν μπορεί να υπερεκτιμηθεί. Ποτέ στο παρελθόν δεν έχουν αλλάξει σχεδόν την ίδια στιγμή τα πρότυπα σχεδιασμού για όλα τα μεγάλα κατασκευαστικά υλικά (χάλυβας, σκυρόδεμα, ξύλο, τοιχοποιία, και αλουμίνιο). Επιπλέον, σε ορισμένες ειδικότητες, όπως αυτή των γεωτεχνικών μηχανικών και της μηχανικής της τοιχοποιίας, η εισαγωγή των Ευρωκωδίκων σηματοδοτεί την αρχή για τον περιορισμό του σχεδιασμού υπό τις πιο παραδοσιακές (π.χ. επιτρεπόμενη τάση) φιλοσοφίες.

Το Σχήμα 1.4 συνοψίζει τα οφέλη των Ευρωκωδίκων στον αστικό μηχανολογικό σχεδιασμό. Αυξάνεται η ανταγωνιστικότητα και οι δραστηριότητες των ευρωπαϊκών εταιρειών σε όλο τον κόσμο, καθώς ο σχεδιασμός των κατασκευών γίνεται πλέον με κοινά κριτήρια, κοινή αντίληψη και κοινή βάση. Αυτό συμβαίνει γιατί οι Ευρωκώδικες επιτρέπουν τη χρήση κοινών βοηθημάτων σχεδιασμού και λογισμικού. Επιπλέον, διευκολύνουν την ανταλλαγή των υπηρεσιών κατασκευής και εμπορίας και τη χρήση των κατασκευαστικών στοιχείων.



Source: Guidance Paper L

Σχήμα 1.4. Οφέλη των Ευρωκωδίκων (Decoding EC7, Bond & Harris, 2008)

1.6 Ορισμοί

Εθνικά Επιλεγμένες Παράμετροι

Εθνικά Επιλεγμένες Παράμετροι (ΕΕΠ) είναι παράμετροι που «άφησαν ανοικτή στον Ευρωκώδικα την εθνική επιλογή. 17 ΕΕΠ περιλαμβάνουν τους επιμέρους συντελεστές ασφαλείας, τους παράγοντες συσχέτισης, το συνδυασμό παραγόντων, και άλλα παρόμοια.

Ανά Χώρα-ειδικά δεδομένα

Τα ανά Χώρα-ειδικά στοιχεία αναφέρονται σε πληροφορίες γεωγραφικής φύσης που έχουν σημασία στη συγκεκριμένη χώρα - για παράδειγμα, διαγράμματα που δείχνουν την πίεση του άνεμου.

Οι διαδικασίες που πρέπει να χρησιμοποιούνται όταν μια επιλογή επιτρέπεται

Μερικοί Ευρωκώδικες επιτρέπουν την επιλογή διαδικασιών όπου δεν υπάρχει αντίστοιχη οδηγία από την επιτροπή σύνταξης. Ο EC6 για παράδειγμα, επιτρέπει την επιλογή μεταξύ έξι κατηγοριών του ελέγχου εκτέλεσης και ο EC7 την επιλογή μεταξύ τριών διαφορετικών Προσεγγίσεων του Σχεδιασμού για τις οριακές καταστάσεις STR και GEO.

Οδηγίες σχετικά με τα Εθνικά Παραρτήματα

Μιας χώρας το Εθνικό Παράρτημα μπορεί να προσφέρει καθοδήγηση σχετικά με κάποιες καταστάσεις που αναφέρονται στο σχετικό Ευρωκώδικα. Τα Εθνικά Παραρτήματα μπορούν να «προωθούνται» ως υποχρεωτικό καθεστώς, να παραμένουν ως αμιγώς ενημερωτικά, ή να απορρίπτονται ως ακατάλληλα για χρήση στην εν λόγω χώρα.

Αναφορά σε μη αντιφατικές, συμπληρωματικές πληροφορίες

Ένα Εθνικό Παράρτημα μπορεί να παρέχει αναφορές σε αυτό που αποκαλείται «noncontradictory, συμπληρωματικές πληροφορίες», το οποίο αποτελεί άλλο έναν οδηγό που υποστηρίζει το σχετικό Ευρωκώδικα χωρίς να έρχεται σε αντίθεση με αυτόν. Όταν εμφανίζονται αντιφάσεις, οι διατάξεις του Ευρωκώδικα υπερισχύουν.

2. ΓΕΝΙΚΟΙ ΚΑΝΟΝΕΣ ΓΙΑ ΤΟ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ

2.1 Πεδίο εφαρμογής του Ευρωκώδικα 7 - Μέρος 1

Το κείμενο του EC7 με τα Παραρτήματα του (Α – Θ) θεσπίστηκε από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή Τυποποίησης (CEN) την 23 Απριλίου 2004 και δημοσιεύθηκε την 24 Νοεμβρίου 2004.

Ο EC7 – Μέρος 1 (EN 1997-1) είναι ένα κείμενο αποτελούμενο από 118 σελίδες, το οποίο εστιάζει κυρίως στις αρχές (principles) του γεωτεχνικού σχεδιασμού των Τεχνικών έργων. Αποτελεί ουσιαστικά ένα πλαίσιο κανόνων για την εναρμόνιση των μεθόδων σχεδιασμού στις χώρες της Ε.Ε. και δεν αποτελεί ένα εγχειρίδιο σχεδιασμού. Καλύπτει την εκτέλεση και τον έλεγχο των κατασκευών, ως προς το ότι είναι σύμφωνες με 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» (EC7 – §2.1):

- Εκτίμηση των φορτίων και επιλογή των αντιπροσωπευτικών τους τιμών
- Επιλογή αντιπροσωπευτικών τιμών των εδαφικών παραμέτρων
- Επιλογή μιας αποδεκτής μεθόδου αναλύσεως του προβλήματος
- Επιλογή του αποδεκτού βαθμού ασφαλείας

Έτσι ο EC7 – Μέρος 1, θα πρέπει να παρέχει απαντήσεις για τις τέσσερις ανωτέρω απαιτήσεις, ικανοποιώντας επί πλέον και τις απαιτήσεις των EC0 και EC1, οι οποίες ισχύουν και χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με τους λοιπούς Δομικούς Ευρωκώδικες (Structural Eurocodes), άρα και με τον EC7. Επιπλέον, ο EC7 – Μέρος 1, θα πρέπει να «εξομαλύνει» τυχόν διαφορές που υφίστανται μέχρι σήμερα ως προς την φιλοσοφία σχεδιασμού, μεταξύ των ισχυόντων κανονισμών γεωτεχνικής στις διάφορες χώρες της Ε. Ε.

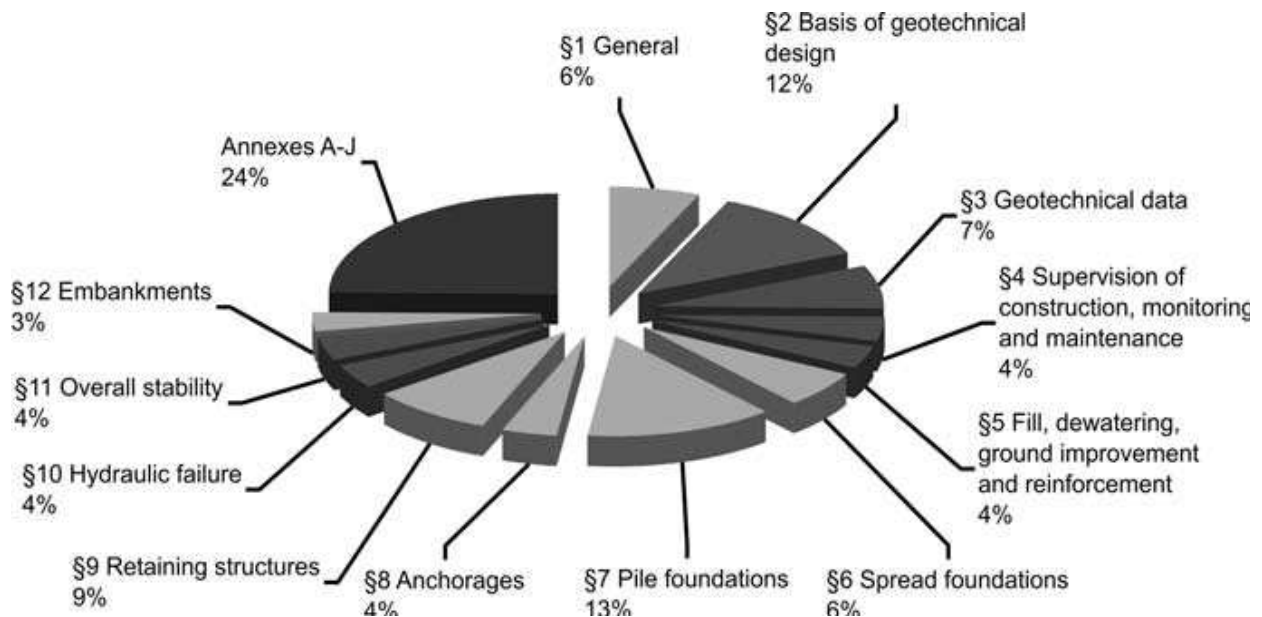
Παρόλο που ο EC7 βασίζεται στη μεθοδολογία των οριακών καταστάσεων, η οποία περιλαμβάνει υπολογισμούς με τη χρήση επί μέρους συντελεστών για τις τιμές σχεδιασμού των δράσεων και των ιδιοτήτων του εδαφικού υλικού, δεν περιλαμβάνει τα αναλυτικά προσομοιώματα που πρέπει να χρησιμοποιούνται στους υπολογισμούς (σε αντίθεση με τους λοιπούς Ευρωκώδικες). Περιλαμβάνει μόνο τις ανισότητες οι οποίες θα πρέπει να ικανοποιούνται κατά τους ελέγχους επάρκειας έναντι των οριακών καταστάσεων.

Τα μόνα αναλυτικά προσομοιώματα (calculation models) που αναφέρονται στον EC7, περιλαμβάνονται στα Παραρτήματα (π.χ. φέρουσα ικανότητα θεμελιώσεων, ωθήσεις γαιών κ.λπ.), τα οποία όμως δεν είναι υποχρεωτικής εφαρμογής. Παραμένει λοιπόν ανοικτή η δυνατότητα χρήσης και άλλων κατάλληλων μεθοδολογιών για την επίλυση ενός προβλήματος. Τελικώς ουσιαστικά ο EC7

περιλαμβάνει μια διαδικασία ελέγχων (checklist) οι οποίες πρέπει να ακολουθούνται σύμφωνα με τις αρχές του.

Έτσι η χρήση του EC7-1 βασίζεται σε ορισμένες παραδοχές και προϋποθέσεις, εκ των οποίων η κυριότερη είναι η εξής: «οι γεωτεχνικές κατασκευές σχεδιάζονται από προσωπικό που έχει την κατάλληλη εξειδίκευση (*qualified personnel*) αλλά και εμπειρία» (EC7 - §1.3.(2)). Σε κάθε περίπτωση απευθύνεται κυρίως σε Μηχανικούς, με εξειδίκευση στη Γεωτεχνική.

Ο Ευρωκώδικας 7 - Γεωτεχνικός σχεδιασμός, Μέρος 1 – Γενικοί Κανόνες, χωρίζεται σε δώδεκα τμήματα και εννέα παραρτήματα, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.1.



Σχήμα 2.1. Περιεχόμενα του Ευρωκώδικα 7 - Μέρος 1. (Decoding EC 7, Bond & Harris, 2008)

Σε αυτό το διάγραμμα, το μέγεθος του κάθε τμήματος της "πίτας" είναι ανάλογο με τον αριθμό των παραγράφων στη σχετική ενότητα. Το Μέρος 1 παρέχει ένα γενικό πλαίσιο για το γεωτεχνικό σχεδιασμό, τον ορισμό των παραμέτρων του εδάφους, τα χαρακτηριστικά και τις τιμές για το σχεδιασμό, τους γενικούς κανόνες για τη γεωτεχνική έρευνα, τους κανόνες για το σχεδιασμό των βασικών τύπων των γεωτεχνικών κατασκευών και κάποιες υποθέσεις σχετικά με τις διαδικασίες εκτέλεσης.

Τα κεφάλαια 6-9 και 11-12 του EC7, (Επιφανειακές Θεμελιώσεις, Θεμελιώσεις με Πασσάλους, Αγκυρώσεις, Έργα Αντιστήριξης, Ολική Ευστάθεια, Επιχώματα) ασχολούνται με τους κανόνες για τις γεωτεχνικές κατασκευές, παρουσιάζοντας τις πληροφορίες με έναν διαφορετικό τρόπο η καθεμιά. Η σειρά των κεφαλαίων δεν είναι ιδανική. Τα θέματα που καλύπτονται από τα κεφάλαια 10 και 11 μπορεί να εφαρμοστούν σε οποιαδήποτε κατασκευή, ανεξαρτήτως από τον τύπο της. Το κεφάλαιο 10 ασχολείται με τα προβλήματα που σχετίζονται με την ροή νερού μέσα

από εδάφη και πετρώματα (δηλαδή στοιχεία των οριακών καταστάσεων HYD και UPL). Το κεφάλαιο 11 πραγματεύεται κυρίως την ευστάθεια των πρανών, ένα θέμα σχετικό με άλλες γεωτεχνικές κατασκευές, όπως τοίχοι και πέδιλα.

Ο EC7-1 περιλαμβάνει εναλλακτικές διαδικασίες και συνιστώμενες τιμές με σημειώσεις οι οποίες υποδεικνύουν τα σημεία όπου μπορεί να απαιτούνται εθνικές επιλογές. Για τον λόγο αυτό, σε όλους τους Ευρωκώδικες, προβλέπεται η σύνταξη ενός Εθνικού Προσαρτήματος (National Annex) το οποίο περιλαμβάνει πληροφορίες μόνο για τις παραμέτρους, οι οποίες στον Ευρωκώδικα επιλέγονται ελεύθερα, αποτελούν δηλαδή τις λεγόμενες Εθνικώς Προσδιοριζόμενες Παραμέτρους, όπως (EC7 - Πρόλογος):

- τιμές, είτε ομάδες τιμών για τις οποίες στον Ευρωκώδικα δίδονται εναλλακτικές επιλογές,
- τιμές για τις οποίες στον Ευρωκώδικα δίδεται μόνο το σύμβολο,
- ειδικά δεδομένα (γεωγραφικά, κλιματολογικά) για τη συγκεκριμένη χώρα, π.χ. χάρτης χιονοπτώσεων,
- η διαδικασία η οποία θα χρησιμοποιείται όπου στον Ευρωκώδικα δίδονται εναλλακτικές διαδικασίες.

Συγκεκριμένα, το Εθνικό Προσάρτημα του EC7-1 μπορεί να περιλαμβάνει τις εθνικές επιλογές στις ακόλουθες παραγράφους:

Κεφάλαιο 2: 2.1(8)P, 2.4.6.1(4)P, 2.4.6.2(2)P, 2.4.7.1(2)P, 2.4.7.1(3), 2.4.7.2(2)P, 2.4.7.3.2(3)P, 2.4.7.3.3(2)P, 2.4.7.3.4.1(1)P, 2.4.7.4(3)P, 2.4.7.5(2)P, 2.4.8(2), 2.4.9(1)P, 2.5(1)

Κεφάλαιο 7: 7.6.2.2(8)P, 7.6.2.2(14)P, 7.6.2.3(4)P, 7.6.2.3(5)P, 7.6.2.3(8), 7.6.2.4(4)P, 7.6.3.2(2)P, 7.6.3.2(5)P, 7.6.3.3(3)P, 7.6.3.3(4)P, 7.6.3.3(6)

Κεφάλαιο 8 : 8.5.2(2)P, 8.5.2(3), 8.6(4)

Κεφάλαιο 11 : 11.5.1(1)P

και στα ακόλουθα εδάφια του Παραρτήματος Α : Α.2, Α.3.1, Α.3.2, Α.3.3.1, Α.3.3.2, Α.3.3.3, Α.3.3.4, Α.3.3.5, Α.3.3.6, Α.4, Α.5

Το Εθνικό Προσάρτημα του EC7-1 ορίζει επίσης και το κανονιστικό καθεστώς των Πληροφοριακών Παραρτημάτων Β, Γ, Δ, Ε, ΣΤ, Ζ, Η, Θ. Περιλαμβάνει αναφορές με συμπληρωματικές πληροφορίες, οι οποίες δεν τον αντιβαίνουν, αλλά βοηθούν τον χρήστη να τον εφαρμόσει σωστά .

Το κείμενο του EC7-1 περιλαμβάνει τα ακόλουθα 12 Κεφάλαια:

- Κεφάλαιο 1 : Γενικά
- Κεφάλαιο 2 : Αρχές Γεωτεχνικού Σχεδιασμού
- Κεφάλαιο 3 : Γεωτεχνικά Στοιχεία
- Κεφάλαιο 4 : Επίβλεψη Κατασκευών, Ενόργανη Παρακολούθηση & Συντήρηση
- Κεφάλαιο 5 : Επιχώσεις, Απαντλήσεις Υδάτων, Βελτιώσεις και Ενισχύσεις Εδαφών
- Κεφάλαιο 6 : Επιφανειακές Θεμελιώσεις
- Κεφάλαιο 7 : Θεμελιώσεις με Πασσάλους
- Κεφάλαιο 8 : Αγκυρώσεις
- Κεφάλαιο 9 : Έργα Αντιστηρίξεως
- Κεφάλαιο 10 : Υδραυλική Αστοχία
- Κεφάλαιο 11 : Ολική Ευστάθεια
- Κεφάλαιο 12 : Επιχώματα

Το κείμενο συνοδεύεται από 9 Παραρτήματα Α-Θ (39 σελίδες), από τα οποία το πρώτο είναι κανονιστικό ενώ τα λοιπά πληροφοριακά για μεθόδους υπολογισμού που είναι διεθνώς αποδεκτές (π.χ. Ωθήσεων γαιών, φέρουσας ικανότητας (αντοχής), καθιζήσεων κ.ά.).

2.2 Αντικείμενο του EC7

Το Κεφάλαιο 1 του EC7-1 περιλαμβάνει το Αντικείμενο, τις Τυποποιητικές (Normative) Αναφορές, τις Παραδοχές, την Διάκριση μεταξύ Αρχών και Κανόνων Εφαρμογής, τους Ορισμούς και τα Σύμβολα.

Τα κεφάλαια του EC7, όπως και των υπολοίπων, περιλαμβάνουν άρθρα τα οποία διακρίνονται σε δύο κατηγορίες : τις «Αρχές», P, (Principles) και τους «Κανόνες Εφαρμογής», A, (Application rules).

Έτσι σύμφωνα με το αντίστοιχο κείμενο του EC7, ισχύουν τα εξής:

Οι **Αρχές (P)** περιλαμβάνουν:

- γενικές αναφορές και ορισμούς για τους οποίους δεν υπάρχει εναλλακτική δυνατότητα. Συνεπώς, οι Αρχές είναι υποχρεωτικής εφαρμογής.
- απαιτήσεις και αναλυτικά προσομοιώματα για τα οποία δεν επιτρέπεται εναλλακτική θεώρηση εκτός εάν τούτο αναφέρεται ρητώς.

Οι **Κανόνες Εφαρμογής:**

- αποτελούν παραδείγματα γενικώς παραδεκτών κανόνων οι οποίοι ακολουθούν τις Αρχές του EC7 και ικανοποιούν τις απαιτήσεις τους. Επιτρέπεται η χρήση εναλλακτικών Κανόνων Εφαρμογής (πέραν αυτών του EC7) υπό την προϋπόθεση ότι είναι σύμφωνοι προς τις Αρχές του EC7 και ότι εξασφαλίζουν:
 - α) τον αυτό βαθμό ασφαλείας ως προς τη δημιουργία κάποιας οριακής κατάστασης και
 - β) τη βεβαιότητα ότι δε θα γίνει υπέρβαση τυχόν οριακής κατάστασης λειτουργικότητας.

Κάποιες βασικές προϋποθέσεις για την οριοθέτηση του αντικειμένου του EC7 είναι οι εξής:

(1) Το EN 1997 προορίζεται να χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με το EN 1990:2002, το οποίο καθορίζει τις αρχές και τις απαιτήσεις ασφάλειας και λειτουργικότητας, περιγράφει τις αρχές σχεδιασμού και επαλήθευσης και δίνει κατευθυντήριες οδηγίες για θέματα που αφορούν στην αξιοπιστία των έργων (EC7 – §1.1.1).

(2) Το EN 1997 εφαρμόζεται στα γεωτεχνικά θέματα του σχεδιασμού κτιριακών έργων και έργων πολιτικού μηχανικού. Υποδιαιρείται σε διάφορα χωριστά μέρη (EC7 - §1.1.2 & §1.1.3).

(3) Το EN 1997 αναφέρεται στις απαιτήσεις αντοχής, ευστάθειας, λειτουργικότητας και ανθεκτικότητας των έργων. Δεν περιλαμβάνει άλλες απαιτήσεις, όπως π.χ. θερμομόνωση ή ηχομόνωση (EC7 – §1.1.1(3)).

(4) Στο EN 1991 περιέχονται αριθμητικές τιμές των δράσεων επί των κτιριακών έργων και των έργων πολιτικού μηχανικού, οι οποίες πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στο σχεδιασμό των διαφόρων τύπων κατασκευών. Οι δράσεις που προέρχονται από το έδαφος, όπως οι ωθήσεις γαιών, πρέπει να υπολογίζονται σύμφωνα με τους κανόνες του EN 1997 (EC7 – §1.1.1(4)).

(5) Άλλα Ευρωπαϊκά Πρότυπα προορίζονται να χρησιμοποιούνται για θέματα εκτέλεσης έργων και κατασκευασιμότητας (workmanship). Τα Πρότυπα αυτά αναφέρονται στα σχετικά Κεφάλαια (EC7 – §1.1.1(5)).

(6) Στο EN 1997, η εκτέλεση των έργων καλύπτεται μόνον στην έκταση που είναι αναγκαία για τη συμμόρφωση με τις παραδοχές των κανόνων σχεδιασμού.

(7) Το EN 1997 δεν καλύπτει τις ειδικές απαιτήσεις του αντισεισμικού σχεδιασμού. Το EN 1998 παρέχει πρόσθετους κανόνες γεωτεχνικού αντισεισμικού σχεδιασμού, οι οποίοι συμπληρώνουν ή προσαρμόζουν τους κανόνες του παρόντος Προτύπου (EC7 – §1.1.1(7)).

2.2.1 Παραδοχές και Ορισμοί

Παραδοχές (EC7 – §1.3)

(1) Γίνεται αναφορά στο 1.3 του EN 1990:2002.

(2) Οι όροι του παρόντος προτύπου βασίζονται στις εξής παραδοχές:

—τα δεδομένα που απαιτούνται για το σχεδιασμό συλλέγονται, καταγράφονται και αξιολογούνται από κατάλληλα πιστοποιημένο προσωπικό

—τα δομικά έργα σχεδιάζονται από κατάλληλα πιστοποιημένο και έμπειρο προσωπικό

- υπάρχει επαρκής συνέχεια και επικοινωνία μεταξύ του προσωπικού που ασχολείται με τη συλλογή δεδομένων, το σχεδιασμό και την κατασκευή
- παρέχεται επαρκής επίβλεψη και ποιοτικός έλεγχος στα εργοστάσια, τις εγκαταστάσεις και επιτόπου του έργου
- η κατασκευή εκτελείται σύμφωνα με τα σχετικά πρότυπα και προδιαγραφές από προσωπικό το οποίο διαθέτει την κατάλληλη δεξιότητα και εμπειρία
- τα δομικά υλικά και προϊόντα χρησιμοποιούνται όπως προδιαγράφεται στο παρόν πρότυπο ή στις σχετικές προδιαγραφές του υλικού ή προϊόντος
- το έργο θα συντηρείται επαρκώς ώστε να εξασφαλίζεται η ασφάλεια και λειτουργικότητά του κατά τη διάρκεια της ωφέλιμης ζωής για την οποία σχεδιάστηκε
- το έργο θα χρησιμοποιείται για το σκοπό που ορίζεται στο σχεδιασμό του.

(3) Οι παραδοχές αυτές είναι ανάγκη να λαμβάνονται υπόψη τόσο από το μελετητή όσο και από τον κύριο του έργου. Για την αποφυγή ασάφειας, η τήρησή τους πρέπει να καταγράφεται π.χ. στην έκθεση γεωτεχνικού σχεδιασμού.

Ορισμοί (EC7 – 1.5)

- Οι ορισμοί που είναι κοινοί σε όλους τους Ευρωκώδικες περιλαμβάνονται στο εδάφιο 1.5 του EN 1990:2002,.
- Ορισμοί ειδικοί για τον EN 1997

Γεωτεχνική δράση

Δράση η οποία μεταφέρεται στον φορέα από το έδαφος, επίχωση, στάσιμο νερό ή υπόγειο νερό.

ΣΗΜΕΙΩΣΗ: Ορισμός από το EN 1990:2002

Συγκρίσιμη εμπειρία

Καταγεγραμμένη ή άλλη σαφώς εμπεριστατωμένη πληροφόρηση σχετική με το έδαφος που εξετάζεται στο σχεδιασμό, η οποία αναφέρεται σε ίδιους τύπους εδαφών ή βράχων με αναμενόμενη παρόμοια γεωτεχνική συμπεριφορά και σε παρόμοια έργα. Τοπική πληροφόρηση από τη θέση του έργου θεωρείται ιδιαίτερα σχετική.

Έδαφος

Έδαφος, βράχος και υφιστάμενο επίχωμα πριν από την εκτέλεση των εργασιών κατασκευής

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

ΣΗΜΕΙΩΣΗ: Ο ορισμός προκύπτει από το EN 1990:2002

Παράγωγος τιμή

Η τιμή μιας γεωτεχνικής παραμέτρου η οποία προκύπτει με θεωρητική ανάλυση, συσχέτιση ή εμπειρικές μεθόδους από τα αποτελέσματα των δοκιμών

Δυστροπία

Η αντίσταση του υλικού έναντι παραμόρφωσης

Αντίσταση

Η ικανότητα στοιχείου ή διατομής στοιχείου ενός φορέα να αναλαμβάνει δράσεις χωρίς μηχανική αστοχία, π.χ. αντίσταση εδάφους, καμπτική αντίσταση, αντίσταση σε λυγισμό, εφελκυστική αντίσταση

ΣΗΜΕΙΩΣΗ: Ο ορισμός προκύπτει από το EN 1990:2002

2.3 Απαιτήσεις για το σχεδιασμό

2.3.1 Δέσμευση στις οριακές καταστάσεις σχεδιασμού

Ίσως η πιο σημαντική απαίτηση του EC7 είναι η ακόλουθη δέσμευση στις οριακές καταστάσεις σχεδιασμού: *Για κάθε γεωτεχνική κατάσταση σχεδιασμού θα πρέπει να ελέγχεται ότι δεν γίνεται καμία σχετική υπέρβαση των ορίων που θέτουν οι υπόλοιποι κανονισμοί* [EN 1997-1 §2.1 (1) P]. Για πολλούς γεωτεχνικούς μηχανικούς σε όλη την Ευρώπη, αυτό αντιπροσωπεύει μια σημαντική αλλαγή στη φιλοσοφία του σχεδιασμού, διαφορετική από την παραδοσιακή η οποία στηρίζεται στη χρήση ενός ενιαίου συντελεστή ασφάλειας.

Έτσι, πλέον ο σχεδιασμός δεν περιλαμβάνει έναν ενιαίο, συγκεντρωμένο συντελεστή ασφάλειας. Παραδοσιακά κατά τον γεωτεχνικό σχεδιασμό, η χρήση ενιαίων συντελεστών ασφάλειας, έχει αποδειχθεί ικανοποιητική επί πολλές δεκαετίες και μεγάλη εμπειρία έχει αποκτηθεί με τέτοιες μεθόδους. Ωστόσο, η χρήση ενός και μόνου συντελεστή ασφαλείας για όλες τις αβεβαιότητες στην ανάλυση - αν και βολικό - δεν παρέχει τον κατάλληλο έλεγχο για τα διαφορετικά επίπεδα αβεβαιότητας σε διάφορα μέρη του υπολογισμού. Πρέπει να διερευνηθούν οι πιθανοί τρόποι αστοχίας και εκείνα τα τμήματα της διαδικασίας υπολογισμού όπου υπάρχει πλέον αβεβαιότητα. Αυτό θα πρέπει να οδηγήσει σε πιο ορθολογικά επίπεδα αξιοπιστίας για την όλη κατασκευή. Οι επιμέρους συντελεστές στον EC7 επιλέχθηκαν για να δώσουν παρόμοιο σχεδιασμό με εκείνον που επιτυγχάνεται με τη χρήση συγκεντρωμένων συντελεστών - εξασφαλίζοντας έτσι ότι ο πλούτος της προηγούμενης εμπειρίας δεν χάνεται με την εισαγωγή μιας ριζικά διαφορετικής μεθοδολογίας σχεδιασμού. Η οριακή κατάσταση σχεδιασμού εφαρμόζεται για πάρα πολλά χρόνια σε κατασκευές από χάλυβα, σκυρόδεμα και ξύλο. Σε περίπτωση που οι κατασκευές αυτές συναντούσαν το έδαφος, κατά το παρελθόν, υπήρχαν αναλυτικές

δυσκολίες. Οι Ευρωκώδικες παρουσιάζουν μια ενοποιημένη προσέγγιση για όλα τα δομικά υλικά που θα πρέπει να οδηγεί σε λιγότερη σύγχυση και λιγότερα σφάλματα κατά την εξέταση της αλληλεπίδρασης εδάφους-κατασκευής.

Οι οριακές καταστάσεις θα πρέπει να επαληθεύονται με υπολογισμό, κανονιστικές διατάξεις, πειραματικά μοντέλα και δοκιμές φορτίου, μια μέθοδο παρατήρησης, ή συνδυασμό αυτών των προσεγγίσεων. Δεν είναι απαραίτητος ο έλεγχος κάθε οριακής κατάστασης. Αρκεί να πραγματοποιείται ο έλεγχος εκείνης της οριακής κατάστασης που διέπει την κατασκευή και οι υπόλοιπες αρκεί να ελέγχονται από μια μέτρηση.

Οι απαιτήσεις σχεδιασμού αναφέρονται στο εδάφιο 2.1 του EC7-1. Κατά την εφαρμογή μιας διαδικασίας γεωτεχνικού σχεδιασμού, το πρώτο στάδιο είναι η εκτίμηση της πολυπλοκότητας και της επικινδυνότητας του έργου. Μια τέτοια διαδικασία θα πρέπει λοιπόν να είναι ικανή να αντιμετωπίζει, τόσο τις πολύ απλές όσο και τις ιδιαίτερες πολύπλοκες καταστάσεις σχεδιασμού. Για την εκτίμηση της πολυπλοκότητας ενός γεωτεχνικού σχεδιασμού θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι ακόλουθες παράμετροι:

1. Οι συνθήκες του υπεδάφους.
2. Οι συνθήκες των υπογείων υδάτων.
3. Η σεισμικότητα της περιοχής.
4. Οι επιδράσεις από το περιβάλλον (όπως η υδρολογία, τα επιφανειακά νερά, οι κίνδυνοι συνιζήσεων, οι εποχιακές μεταβολές της φυσικής υγρασίας κ.ά.).
5. Οι συνθήκες σε σχέση με τον περιβάλλοντα χώρο της κατασκευής (όπως οι γειτονικές κατασκευές, τα δίκτυα κοινής ωφέλειας, η κυκλοφορία κ.λπ.).
6. Η ευαισθησία και το μέγεθος της κατασκευής.

Για κάθε περίπτωση γεωτεχνικού σχεδιασμού πρέπει να επαληθεύεται ότι δεν υπερβαίνεται καμιά σχετική οριακή κατάσταση, όπως αυτή ορίζεται στο EN 1990:2002.

Οριακές καταστάσεις μπορούν να παρουσιάζονται είτε στο έδαφος, είτε στο δομικό τμήμα της κατασκευής, είτε ως συνδυασμένη αστοχία στο δομικό τμήμα της κατασκευής και στο έδαφος.

2.3.2 Πολυπλοκότητα του σχεδιασμού

Μια επιπλέον απαίτηση του EC7 είναι η υποχρεωτική εκτίμηση των κινδύνων για όλες τις καταστάσεις σχεδιασμού: *Η πολυπλοκότητα για κάθε γεωτεχνικό σχεδιασμό θα πρέπει να προσδιορίζεται από κοινού με τους συναφείς κινδύνους, και πρέπει να γίνεται διάκριση ανάμεσα στις απλές δομές και τις μικρές χωματουργικές εργασίες με αμελητέο κίνδυνο και σε άλλες γεωτεχνικές κατασκευές.* [EN 1997-1 §2.1 (8) P]. Η ιδέα εδώ είναι ότι όταν αμελητέος κίνδυνος εμπλέκεται, ο σχεδιασμός

μπορεί να γίνεται με βάση την εμπειρία του παρελθόντος και των ποιοτικών γεωτεχνικών ερευνών. Σε όλες τις άλλες περιπτώσεις, οι ποσοτικές έρευνες απαιτούνται.

Ειδικότερα, πρέπει να γίνεται διάκριση μεταξύ:

- ελαφρών και απλών δομικών κατασκευών και μικρών χωματουργικών έργων, για τα οποία είναι δυνατόν να εξασφαλίζεται, με αμελητέο κίνδυνο (risk), ότι οι ελάχιστες απαιτήσεις θα ικανοποιούνται με βάση την εμπειρία και τις ποιοτικές γεωτεχνικές έρευνες
- λοιπών γεωτεχνικών έργων.

Τέλος για τον ορθότερο και πληρέστερο καθορισμό της πολυπλοκότητας μιας κατασκευής, είναι απαραίτητο να συνυπολογίζεται η «Διάρκεια ωφέλιμης ζωής» της, η οποία νοείται ως η κατηγορία διάρκειας χρήσης του έργου σύμφωνα με τον δομικό Ευρωκώδικα EN 1990. Ο ακόλουθος Πίνακας 1.1 δίνει ενδεικτικές τιμές της διάρκειας ωφέλιμης ζωής γεωτεχνικών έργων .

Πίνακας 1.1: Ενδεικτικές τιμές της διάρκειας ωφέλιμης ζωής γεωτεχνικών έργων (EC7 – Μέρος 1 - Εθνικό προσάρτημα για την Ελλάδα)

Κατηγορία διάρκειας χρήσης του έργου	Ενδεικτική διάρκεια ωφέλιμης ζωής (σε έτη)	Παραδείγματα
0	2	Προσωρινές αγκυρώσεις πετασμάτων αντιστηρίξεων προς χρήση μόνον κατά την κατασκευή του έργου
1	10	Συνήθη προσωρινά έργα
2	25	Αντικαταστήσιμα στοιχεία δομικών κατασκευών
3	25	Αγροτικές κατασκευές και ανάλογα έργα
4	50	Συνήθη δομικά τεχνικά έργα, όπως συνήθη κτίρια, συνήθη έργα αντιστηρίξεως, συνήθη έργα οδοποιίας
5	100	Τεχνικά Έργα υψηλών απαιτήσεων, όπως γέφυρες, κτίρια συνάθροισης κοινού, αυτοκινητόδρομοι, κλπ

Με βάση τα παραπάνω δημιουργείται η ανάγκη να καθοριστούν οι κατηγορίες στις οποίες θα κατατάσσονται τα έργα ανάλογα με την πολυπλοκότητα τους, οι λεγόμενες Γεωτεχνικές Κατηγορίες.

2.3.3 Γεωτεχνικές κατηγορίες

Για να βοηθήσει τους γεωτεχνικούς μηχανικούς στην ταξινόμηση των κινδύνων, ο EC7 εισάγει 3 Γεωτεχνικές κατηγορίες, τις απαιτήσεις του σχεδιασμού τους, και τη διαδικασία που συνεπάγεται - όπως συνοψίζονται παρακάτω. Οι Γεωτεχνικές Κατηγορίες ορίζονται από μια σειρά κανόνων εφαρμογής, τις Αρχές, και ως εκ τούτου, θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν εναλλακτικές μέθοδοι αξιολόγησης των γεωτεχνικών κινδύνων.

Αναγνωρίζοντας ότι η «γεωτεχνική επικινδυνότητα» εξαρτάται τόσο από την ύπαρξη γεωτεχνικών κινδύνων όσο και από την τρωτότητα της κατασκευής αλλά και τις πιθανές οικονομικές και κοινωνικές συνέπειες σε άτομα, γειτονικές κατασκευές και περιβάλλον, σε περίπτωση αστοχίας της, ορίζονται οι εξής κατηγορίες σύμφωνα με τον EC7 - § 2.1(14)(P) έως (20)(P):

Η Γεωτεχνική Κατηγορία 1, GC1, περιλαμβάνει μόνο μικρά και σχετικά απλά έργα, για τα οποία είναι δυνατόν να εξασφαλίζεται ότι οι θεμελιώδεις απαιτήσεις θα ικανοποιούνται με βάση την εμπειρία και τις ποιοτικές γεωτεχνικές έρευνες. Είναι έργα τα οποία παρουσιάζουν αμελητέο κίνδυνο όσον αφορά στην ολική ευστάθεια ή στις εδαφικές μετακινήσεις και σε εδαφικές συνθήκες οι οποίες είναι γνωστό ότι είναι επαρκώς προβλέψιμες από συναφή τοπική εμπειρία. Στις περιπτώσεις αυτές οι διαδικασίες μπορεί να αποτελούνται από τις συνήθεις μεθόδους σχεδιασμού και κατασκευής θεμελιώσεων. Τέλος οι διαδικασίες που αναφέρονται στη Γεωτεχνική Κατηγορία 1, θα πρέπει να χρησιμοποιούνται μόνο εάν δεν υπάρχει εκσκαφή κάτω από τη στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα ή εάν η συναφής τοπική εμπειρία δείχνει ότι η προτεινόμενη εκσκαφή κάτω από τον υδροφόρο ορίζοντα θα είναι απλή.

Η Γεωτεχνική Κατηγορία 2, GC2, περιλαμβάνει συμβατικούς τύπους δομικών έργων και θεμελιώσεων χωρίς ιδιαίτερο κίνδυνο ή δύσκολες συνθήκες εδάφους ή φόρτισης. Ο σχεδιασμός των έργων της Γεωτεχνικής Κατηγορίας 2, κανονικά θα πρέπει να περιλαμβάνει ποσοτικά γεωτεχνικά στοιχεία και αναλυτικούς υπολογισμούς, ώστε να εξασφαλίζεται ότι ικανοποιούνται οι θεμελιώδεις απαιτήσεις. Οι συνήθεις μέθοδοι των επιτόπου και εργαστηριακών δοκιμών μπορούν να χρησιμοποιούνται για το σχεδιασμό και την κατασκευή έργων σε αυτή τη κατηγορία.

Παραδείγματα συμβατικών έργων ή τμημάτων έργων τα οποία κατατάσσονται στη Γεωτεχνική Κατηγορία 2 είναι οι επιφανειακές θεμελιώσεις, οι κοιτοστρώσεις, οι θεμελιώσεις με πασσάλους, οι τοίχοι και άλλα έργα αντιστήριξης ή υποστήριξης εδάφους ή νερού, οι εκσκαφές, τα μεσόβαθρα και ακρόβαθρα γεφυρών, τα επιχώματα και τα χωματουργικά έργα, τα εδαφικά αγκύρια και άλλα συστήματα αγκυρώσεων (tie-back systems), οι σήραγγες σε σκληρό, μη-ρηγματωμένο βράχο για τις οποίες δεν υφίστανται ειδικές απαιτήσεις στεγανότητας ή άλλες απαιτήσεις.

Η Γεωτεχνική Κατηγορία 3, GC3, περιλαμβάνει έργα ή τμήματα έργων τα οποία δεν εμπίπτουν στα όρια των Γεωτεχνικών Κατηγοριών 1 και 2. Κανονικά θα

πρέπει να περιλαμβάνει εναλλακτικές προβλέψεις και κανόνες από αυτούς που περιλαμβάνονται στο πρότυπο EN 1997.

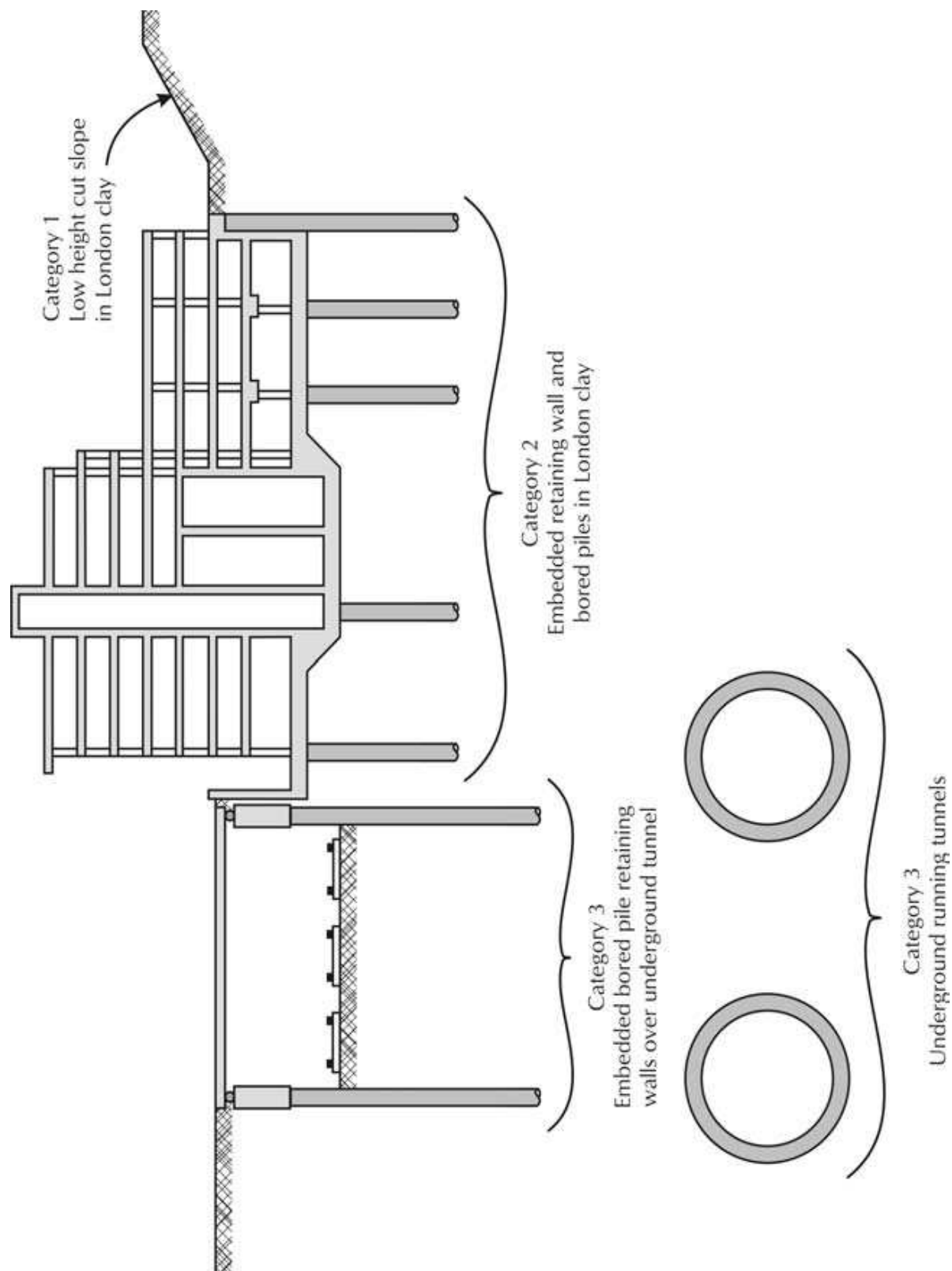
Η Γεωτεχνική Κατηγορία 3 περιλαμβάνει κατασκευές όπως πολύ μεγάλα ή ασυνήθη έργα, έργα τα οποία περιλαμβάνουν ιδιαίτερους κινδύνους, ή ασυνήθεις ή εξαιρετικά δύσκολες εδαφικές συνθήκες ή δύσκολες συνθήκες φόρτισης, έργα σε περιοχές υψηλής σεισμικής επικινδυνότητας, έργα σε περιοχές πιθανής αστάθειας ή συνεχιζόμενων εδαφικών μετακινήσεων για τα οποία απαιτείται ιδιαίτερη διερεύνηση ή λήψη ειδικών μέτρων.

Για τις απαιτήσεις σχεδιασμού για την GC3, δεν είναι σαφές τι περιλαμβάνουν οι εναλλακτικές διατάξεις και τι σημαίνουν οι κανόνες. Ο Ευρωκώδικας 7 δεν λέει «*χρήση εναλλακτικών Αρχών και Κανόνων*». Η υποκειμενική ερμηνεία αυτού, είναι ότι τα σχέδια θα πρέπει να ακολουθούν τις αρχές του EC7, αλλά οι Κανόνες εφαρμογής που προβλέπονται στο πρότυπο μπορεί να μην είναι επαρκείς για να ικανοποιήσουν αυτές τις Αρχές. Ως εκ τούτου, εναλλακτικά μπορεί να απαιτούνται πρόσθετοι κανόνες.

Δεν είναι απαραίτητο να ταξινομούνται όλα τα τμήματα ενός έργου σε μια Γεωτεχνική Κατηγορία. Πράγματι, πολλές κατασκευές περιλαμβάνουν ένα μείγμα των GC1 και GC2 (και σε ορισμένες περιπτώσεις GC3), όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 2.2.

Όπως αναφέρει ο EC7-1, ο έλεγχος (επαλήθευση) του γεωτεχνικού σχεδιασμού μπορεί να επιτευχθεί με την εφαρμογή μιας (ή ενός συνδυασμού) των ακόλουθων μεθόδων :

- Βάσει υπολογισμών. Η μέθοδος αυτή είναι η συνηθέστερη στην Γεωτεχνική, τόσο με την συμβατική μέθοδο όσο και με τον EC7.
- Βάσει κανονιστικών διατάξεων (prescriptive measures). Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται κυρίως σε απλά έργα ή και στις περιπτώσεις όπου υπάρχει εκτενής εμπειρία. Για παράδειγμα, σε έναν οικισμό όπου οι γεωτεχνικές συνθήκες είναι ομοιογενείς και υπάρχει εμπειρία από την θεμελίωση συνήθων κτιρίων μπορεί να απαιτηθεί κανονιστικά ότι (π.χ.) έως τριώροφα κτίρια μπορούν να θεμελιώνονται με πέδιλα με μέση τάση εδράσεως (υπό συνθήκες λειτουργίας) έως 200 kPa.
- Με χρήση πειραματικών προσομοιωμάτων και δοκιμαστικών φορτίσεων. Για παράδειγμα, ο σχεδιασμός θεμελιώσεων με πασσάλους συχνά γίνεται μέσω δοκιμαστικών φορτίσεων.
- Με τη μέθοδο της παρατήρησης (observational method). Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται ενίοτε σε σύνθετα έργα όπου ένας συντηρητικός σχεδιασμός (με βάση το δυσμενέστερο δυνατό σενάριο) ενέχει πολύ υψηλό κόστος ενώ μπορεί να γίνει σημαντική οικονομία εάν το έργο σχεδιασθεί για ένα λιγότερο δυσμενές σενάριο (με πρόβλεψη όμως αντιμετώπισης των οποιωνδήποτε συνεπειών εφόσον το πολύ δυσμενές σενάριο συμβεί).



Σχήμα 2.2. Παράδειγμα έργου που περιλαμβάνει διαφορετικές Γεωτεχνικές Κατηγορίες (Decoding EC 7, Bond & Harris, 2008)

Ο EC7 δίνει παραδείγματα κατασκευών και για τις 3 Γεωτεχνικές κατηγορίες, όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα. Μια Γεωτεχνική Κατηγορία επηρεάζει το επίπεδο της εποπτείας και παρακολούθησης που απαιτείται, και καταγράφεται στο κεφάλαιο 4 του EC7-1.

Οι κατασκευές που αντιστοιχούν στην κατηγορία GC1 μπορούν με ασφάλεια να σχεδιαστούν και να κατασκευαστούν εύκολα, επειδή δεν εμπλέκουν ασυνήθιστα χαρακτηριστικά ή περιστάσεις. Οι αντίστοιχες κατασκευές που εμπίπτουν στη GC2 αποτελούν το κύριο αντικείμενο εργασίας πολλών γεωτεχνικών μελετητικών γραφείων, αλλά απαιτούν προσοχή, χωρίς αυτό να σημαίνει πως έχουν ασυνήθιστο σχεδιασμό και κατασκευή. Ο σχεδιασμός των κατασκευών της GC3 απαιτεί προσεκτική σκέψη, λόγω του εξαιρετικού χαρακτήρα τους. Οι λέξεις-κλειδιά είναι «μεγάλο ή ασυνήθιστο», «μη φυσιολογικό ή εξαιρετικά δύσκολο», «εξαιρετικά σεισμογενή», «πιθανή αστάθεια», κ.λπ. Το μέγεθος και το πεδίο εφαρμογής των γεωτεχνικών ερευνών θα πρέπει να συνάδει με τη Γεωτεχνική Κατηγορία στην οποία κατατάσσεται το έργο, όπως συνοψίζεται στον παρακάτω πίνακα. *Οι συνθήκες του εδάφους μπορεί να επηρεάσουν την κατηγορία που επιλέγεται για την κατασκευή ή μέρος αυτής, και είναι απαραίτητη η εκ των προτέρων έρευνα (ίσως μέσω μιας μελέτης γραφείου ή με προκαταρκτικές εργασίες πεδίου).* [EN 1997-1 §3.2.1 (2) P και 3.2.1 (4)]

Πίνακας 2.1: Οι Γεωτεχνικές Κατηγορίες σε σχέση με την επικινδυνότητα και τις απαιτήσεις σχεδιασμού.

Γεωτεχνική Κατηγορία	Κίνδυνος	Απαιτήσεις Γεωτεχνικής Έρευνας
GC1	Αμελητέος	Συνήθως περιορίζονται (επαληθεύσεις που συχνά βασίζονται σε τοπική εμπειρία)
GC2	Μικρός	Οι διατάξεις του EN 1997-2 ισχύουν
GC3	Μεγάλος	Τουλάχιστον ο ίδιος αριθμός ερευνών που απαιτούνται και για έργα της GC2. Όταν ένα μέρος του έργου ανήκει στην GC3 μπορεί να απαιτηθούν επιπλέον έρευνες και πιο προηγμένες δοκιμές.

2.4 Οριακές καταστάσεις

Κατά το σχεδιασμό μιας γεωτεχνικής κατασκευής, ο μηχανικός πρέπει να προσδιορίσει κατά το δυνατό τις οριακές καταστάσεις αστοχίας που είναι πιθανό να επηρεάσουν την κατασκευή. Οριακές καταστάσεις είναι εκείνες που θα οδηγήσουν στην αστοχία του εδάφους ή της κατασκευής. Οριακή κατάσταση λειτουργικότητας είναι εκείνη που οδηγεί σε απαράδεκτα επίπεδα παραμόρφωσης, ενοχλητικές

δονήσεις, θόρυβο, ή ροή του νερού.

Ο EC7 αποτελεί μέρος του συστήματος των Εναρμονισμένων Δομικών Ευρωκωδίκων και συνεπώς βασίζεται στη μέθοδο ελέγχου μέσω οριακών καταστάσεων. Η μέθοδος αυτή αναπτύσσεται στον Ευρωκώδικα EN 1990: «*Αρχές Σχεδιασμού*» και εξειδικεύεται για τα γεωτεχνικά έργα στο εδάφιο 2.4.7 και 2.4.8 του EN 1997-1.

Ο όρος σχεδιασμός μέσω «**Οριακών Καταστάσεων**» (Limit State Design – LSD) συνδέεται πολλές φορές με έννοιες όπως σχεδιασμός με βάση τη μεθοδολογία των επιμέρους συντελεστών, ή ακόμη και με πιθανοτικές έννοιες. Οι ανωτέρω ορισμοί, παρ' όλο που είναι υποβοηθητικοί για την κατανόηση της μεθοδολογίας του LSD, δεν αποτελούν θεμελιώδη ορισμό του.

Ο Simpson (1997) συνιστά ως πλέον κατανοητό τον ορισμό ότι «ο σχεδιασμός μέσω οριακών καταστάσεων περιλαμβάνει μία διαδικασία σχεδιασμού κατά την οποία δίνεται ιδιαίτερη σημασία στην αποφυγή τους». Οι οριακές καταστάσεις που ελέγχονται είναι καταστάσεις οι οποίες, εφ' όσον πραγματοποιηθούν, προκαλούν κάποιο «πρόβλημα» στην κατασκευή. Το «πρόβλημα» αυτό μπορεί να είναι καταστροφικό δηλαδή να προκαλεί την αστοχία της κατασκευής (Ultimate Limit State - ULS), όπως π.χ. διαρροή κάποιου τμήματος, ή να προκαλεί μη-αποδεκτή λειτουργία του έργου (Serviceability Limit States - SLS), όπως π.χ. αυξημένες καθιζήσεις. Συνεπώς, διακρίνονται δύο τύποι οριακών καταστάσεων :

- **Οριακές καταστάσεις αστοχίας (Ultimate Limit States –ULS)**
- **Οριακές καταστάσεις λειτουργικότητας (Serviceability Limit States – SLS)**

Ο σχεδιασμός μέσω οριακών καταστάσεων (Limit State Design – LSD) σημαίνει ότι ουσιαστικά προσπαθούμε να αποφύγουμε τη δημιουργία ορισμένων δυσμενών καταστάσεων. Το γεγονός αυτό έχει ως συνέπεια στις αναλύσεις να γίνεται χρήση συντηρητικών τιμών των παραμέτρων σχεδιασμού, και όχι των πλέον πιθανών τιμών των παραμέτρων αυτών. Έτσι κατά το σχεδιασμό μέσω οριακών καταστάσεων, εξετάζεται εάν η κατασκευή ή μέρος αυτής ικανοποιεί μια σειρά απαιτήσεων (οριακών καταστάσεων), πέραν των οποίων η κατασκευή δεν ανταποκρίνεται στις προδιαγραφές.

Όλοι οι Δομικοί Ευρωκώδικες αναφέρονται στον EN 1990 ο οποίος απαιτεί ο σχεδιασμός των τεχνικών έργων να γίνεται μέσω του ελέγχου έναντι οριακών καταστάσεων των εξής δύο τύπων :

- α) **Οριακές Καταστάσεις Αστοχίας** (ultimate limit states – ULS), που καλύπτουν την υπέρβαση της αντοχής (φέρουσας ικανότητας) κάποιου στοιχείου ή του συνόλου του έργου.
- β) **Οριακές Καταστάσεις Λειτουργικότητας** (serviceability limit states - SLS) που καλύπτουν την υπέρβαση των λειτουργικών απαιτήσεων του έργου, όπως υπερβολική (δηλαδή πέραν των αποδεκτών ορίων) υποχώρηση, μετακίνηση, στροφή, παραμόρφωση ή ρηγμάτωση.

Ειδικότερα για τη Γεωτεχνική ο EC7 (§2.4.7.1) προσδιορίζει 5 οριακές καταστάσεις ανάλογα με το είδος της αστοχίας, για τις οποίες πρέπει να επαληθεύεται ότι δε συμβαίνει υπέρβαση. Αυτές είναι:

- αστοχία ή υπερβολική παραμόρφωση του εδάφους , κατά την οποία η αντοχή του εδαφικού ή βραχώδους υλικού έχει σημαντική συνεισφορά στην αντίσταση (GEO).
- εσωτερική ανεπάρκεια ή υπερβολική παραμόρφωση του φορέα ή των δομικών στοιχείων , στα οποία συμπεριλαμβάνονται π.χ. Θεμέλια, πάσσαλοι ή τοίχοι υπογείου, κατά την οποία η αντοχή των δομικών υλικών έχει σημαντική συνεισφορά στην αντίσταση (STR).
- απώλεια στατικής ισορροπίας του φορέα ή του εδάφους , θεωρούμενου ως στερεού σώματος, κατά την οποία οι αντοχές των δομικών υλικών και του εδάφους έχουν σημαντική συνεισφορά στην αντίσταση (EQU).
- απώλεια της ισορροπίας του φορέα ή του εδάφους ή υπερβολική παραμόρφωση τους που οφείλεται στην ανύψωση -uplift-, η οποία προκαλείται από υδατική πίεση – άνωση, ή άλλες κατακόρυφες δράσεις (UPL).
- υδραυλική ανύψωση -heave- λόγω υδραυλικής διήθησης, εσωτερική διάβρωση και διασωλήνωση, οι οποίες προκαλούνται από υδραυλική κλίση (HYD).

Η οριακή κατάσταση GEO είναι συνήθως κρίσιμη για τη διαστασιολόγηση των δομικών στοιχείων θεμελιώσεων ή έργων αντιστήριξης και μερικές φορές για την αντοχή των δομικών στοιχείων.

Πρέπει να χρησιμοποιούνται οι επιμέρους συντελεστές ασφαλείας για καταστάσεις με διάρκεια και για παροδικές καταστάσεις, οι οποίοι ορίζονται στο Παράρτημα Α του EN 1997-1. Οι τιμές των επιμέρους συντελεστών μπορεί να ορίζονται στο Εθνικό Προσάρτημα. Οι πίνακες του Παραρτήματος Α δίνουν τις προτεινόμενες τιμές.

Σε τυχηματικές καταστάσεις, όλες οι τιμές των επιμέρους συντελεστών ασφαλείας για τις δράσεις ή τα αποτελέσματα των δράσεων (εντατικά μεγέθη) θα πρέπει κανονικά να λαμβάνονται ίσες με 1,0. Όλες οι τιμές των επιμέρους συντελεστών ασφαλείας για τις αντιστάσεις θα πρέπει ακολούθως να επιλέγονται σύμφωνα με τις ιδιαίτερες συνθήκες της τυχηματικής κατάστασης. Οι τιμές των επιμέρους συντελεστών ασφαλείας μπορεί να ορίζονται στο Εθνικό Προσάρτημα.

Σε περιπτώσεις ασυνήθους κινδύνου ή ασυνήθιστων ή εξαιρετικά δύσκολων συνθηκών εδάφους ή φόρτισης, θα πρέπει να χρησιμοποιούνται αυστηρότερες τιμές των επιμέρους συντελεστών ασφαλείας από αυτές που συνιστώνται στο Παράρτημα Α.

Σε προσωρινές κατασκευές ή παροδικές καταστάσεις σχεδιασμού, ή όπου δικαιολογείται από τις πιθανές συνέπειες, μπορεί να χρησιμοποιούνται λιγότερο αυστηρές τιμές των επιμέρους συντελεστών ασφαλείας από αυτές που συνιστώνται στο Παράρτημα Α.

Κατά τον υπολογισμό της τιμής σχεδιασμού της αντίστασης, (R_d), ή της τιμής σχεδιασμού του αποτελέσματος των δράσεων (εντατικού μεγέθους), (E_d), μπορεί να εισάγονται **συντελεστές προσομοιώματος ($\gamma_{R;d}$) ή ($\gamma_{S;d}$)** αντιστοίχως, ώστε να εξασφαλίζεται ότι τα αποτελέσματα του υπολογιστικού προσομοιώματος σχεδιασμού είναι ακριβή ή αποκλίνουν προς την πλευρά της ασφάλειας.

Ο EC7 ακολουθεί την μέχρι σήμερα συνήθη πρακτική και τις μεθόδους υπολογισμών της Γεωτεχνικής απαιτώντας τους δύο τύπους ελέγχων των οριακών καταστάσεων, ULS και SLS, με τις εξής παρατηρήσεις:

α) Εισάγει σημαντικές τροποποιήσεις σε όρους, έννοιες και μεθόδους ελέγχου έναντι των οριακών καταστάσεων αστοχίας. Έτσι, ενώ με τις γνωστές συμβατικές μεθόδους ο έλεγχος έναντι αστοχίας γίνεται μέσω του ενιαίου συντελεστού ασφαλείας, κατά τον EC7 ο έλεγχος έναντι αστοχίας γίνεται με τη μέθοδο των επιμέρους συντελεστών (partial factors) οι οποίοι εφαρμόζονται τόσο στα μεγέθη των φορτίων (δράσεων) όσο και στις ιδιότητες των υλικών.

β) Δεν εισάγονται ουσιαστικές τροποποιήσεις στον έλεγχο έναντι οριακών καταστάσεων λειτουργικότητας, εκτός από ορισμένες αλλαγές στην ονοματολογία, λόγω τροποποίησης των όρων στους Ευρωκώδικες.

γ) Κατά τον Ευρωκώδικα EN 1990 (εδάφιο 3.2), οι οριακές καταστάσεις αστοχίας (ULS) θα πρέπει να επαληθεύονται για συνδυασμούς φορτίσεων οι οποίοι αναφέρονται στις ακόλουθες Καταστάσεις Σχεδιασμού (Design Situations):

- Μόνιμες (persistent), που αφορούν σε συνθήκες συνθήκες λειτουργίας των έργων.
- Πρόσκαιρες (transient) που αφορούν σε προσωρινές συνθήκες, όπως κατά τη διάρκεια της κατασκευής ή επισκευής των έργων.
- Τυχηματικές (accidental) που αφορούν σε ειδικές συνθήκες όπως πυρκαγιά, έκρηξη, κλπ
- Σεισμικές (seismic) που αφορούν σε συνθήκες λόγω σεισμικής επιφόρτισης.

Μια σημαντική διαφοροποίηση, η οποία συνδέεται με τον τρόπο εφαρμογής των οριακών καταστάσεων στη Γεωτεχνική, είναι το γεγονός ότι το έδαφος αποτελεί ένα φυσικό υλικό. Ως εκ τούτου ο EC7 περιλαμβάνει ειδικά άρθρα και συστάσεις, τόσο για την έκταση της διερεύνησης, όσο και την εκτίμηση των χαρακτηριστικών ιδιοτήτων ενός εδαφικού σχηματισμού.

2.5 Δράσεις και καταστάσεις σχεδιασμού

2.5.1 Καταστάσεις σχεδιασμού

Οι καταστάσεις σχεδιασμού διαδραματίζουν βασικό ρόλο στην επιλογή των δράσεων ώστε να συμπεριληφθούν στους υπολογισμούς σχεδιασμού και στην επιλογή των επιμέρους συντελεστών που ισχύουν τόσο για τις δράσεις όσο και για τις ιδιότητες των υλικών.

Καταστάσεις σχεδιασμού είναι τα σύνολα των φυσικών συνθηκών που αντιπροσωπεύουν τις πραγματικές συνθήκες που συμβαίνουν κατά τη διάρκεια ενός ορισμένου χρονικού διαστήματος, για το οποίο ο σχεδιασμός θα αποδεικνύει ότι δεν υπερβαίνουν τις σχετικές οριακές καταστάσεις. [EN 1990 §1.5.2.2]

Πίνακας 2.2: Οι καταστάσεις σχεδιασμού που ορίζονται στο πρότυπο EN 1990. (Decoding EC7, Bond & Harris, 2008)

<i>Κατάσταση Σχεδιασμού</i>	<i>Πραγματικές Συνθήκες</i>	<i>Χρονικό Διάστημα</i>	<i>Πιθανότητα</i>	<i>Παράδειγμα</i>
Μόνιμη	Κανονικές	Έως το Σχεδιασμό Λειτουργικής Κατάστασης	Ορισμένη	Καθημερινή χρήση
Παροδική	Προσωρινές	Μικρότερο από το Σχεδιασμό Λειτουργικής Κατάστασης	Υψηλή	Κατασκευή ή επισκευή
Τυχηματική	Εξαιρετικές	Πολύ Σύντομο	Χαμηλή	Πυρκαγιά, έκρηξη, επιπτώσεις, τοπικές αστοχίες
Σεισμική	Εξαιρετικές	Πολύ Σύντομο	Χαμηλή	Σεισμός

Ο Ευρωκώδικας 7 απαιτεί την εξέταση τόσο βραχυπρόθεσμα όσο και μακροπρόθεσμα του σχεδιασμού, ώστε να αντικατοπτρίζει τις πολύ διαφορετικές αντιστάσεις που λαμβάνονται από στραγγισμένο και αστράγγιστο έδαφος. Εκ πρώτης όψεως, οι απαιτήσεις του προτύπου EN 1997-1 φαίνεται να τέμνουν εκείνες του EN 1990. Ωστόσο, δεν είναι δύσκολο να συνδυαστούν αυτές οι ιδέες, ώστε να επιτευχθεί κοινή λύση στα γεωτεχνικά προβλήματα.

Πίνακας 2.3: Γενικοί κανόνες για γεωτεχνικό σχεδιασμό (Decoding EC7, Bond & Harris, 2008)

<i>Καταστάσεις Σχεδιασμού</i>	<i>Πραγματικές Συνθήκες</i>	<i>Χρόνος</i>	<i>Παράδειγμα</i>
Μόνιμη	Κανονικές	Μακροπρόθεσμα	Κτίρια και γέφυρες στηρίζονται σε χονδρόκοκκα εδάφη και πλήρως στραγγιζόμενα λεπτόκοκκα εδάφη
		Βραχυπρόθεσμα	Μερικώς στραγγιζόμενα λεπτόκοκκα εδάφη
Παροδική	Προσωρινές	Μακροπρόθεσμα	Προσωρινά έργα σε χονδρόκοκκα εδάφη
		Βραχυπρόθεσμα	Προσωρινά έργα σε λεπτόκοκκα εδάφη
Τυχηματική	Εξαιρετικές	Μακροπρόθεσμα	Κτίρια και γέφυρες στηρίζονται σε χονδρόκοκκα εδάφη και σε λεπτόκοκκα εδάφη που έχουν γρήγορη αποστράγγιση
Σεισμός		Βραχυπρόθεσμα	Κτίρια και γέφυρες στηρίζονται σε λεπτόκοκκα εδάφη με αργή αποστράγγιση

Στο εδάφιο 2.2 του EN 1997-1 αναφέρονται οι καταστάσεις σχεδιασμού (Design Situations) των γεωτεχνικών έργων, δηλαδή οι συνθήκες συνδυασμού φορτίσεων (δράσεων), υλικών και γεωτεχνικών συνθηκών (π.χ. στάθμη υδροφόρου ορίζοντα, είδος γεωτεχνικών συνθηκών όπως αστράγγιστες ή στραγγιζόμενες, κλπ) που μπορεί να συμβούν και συνεπώς πρέπει να αναλυθούν κατά τον σχεδιασμό του έργου. Πρέπει να εξετάζονται τόσο οι βραχυπρόθεσμες όσο και οι μακροπρόθεσμες καταστάσεις σχεδιασμού.

Οι λεπτομερείς προδιαγραφές των καταστάσεων σχεδιασμού θα πρέπει να περιλαμβάνουν, κατά περίπτωση:

- τις δράσεις, τους συνδυασμούς αυτών και τις περιπτώσεις φόρτισης
- τη γενική καταλληλότητα του εδάφους στο οποίο εδράζεται το δομικό έργο όσον αφορά στην ολική ευστάθεια και στις εδαφικές μετακινήσεις
- τη διάταξη και κατάταξη των διαφόρων ζωνών του εδάφους, της βραχώμαζας και των στοιχείων της κατασκευής, οι οποίες περιλαμβάνονται στο υπολογιστικό προσομοίωμα
- κεκλιμένες επιφάνειες εδαφικών στρωμάτων

- μεταλλευτικές στοές, σπήλαια ή άλλα υπόγεια έργα
- Στις περιπτώσεις δομικών έργων τα οποία εδράζονται πάνω ή κοντά σε βράχο:
 - εναλλασσόμενες σκληρές και μαλακές στρώσεις
 - ρήγματα, διακλάσεις και ρωγμές
 - πιθανή αστάθεια βραχωδών όγκων
 - καρστικά έγκοιλα, όπως ρηχές οπές ή ρωγμές που περιέχουν μαλακό υλικό, στα οποία η διαδικασία διάλυσης βρίσκεται σε εξέλιξη
- Το περιβάλλον στο οποίο αναφέρεται ο σχεδιασμός, το οποίο περιλαμβάνει: επιδράσεις υποσκαφής, διάβρωσης και εκσκαφής, οι οποίες προκαλούν αλλαγές στη γεωμετρία της επιφάνειας του εδάφους
 - επιδράσεις χημικής διάβρωσης
 - επιδράσεις αποσάθρωσης
 - επιδράσεις παγετού
 - επιδράσεις μακροχρόνιας ξηρασίας
 - διακυμάνσεις της στάθμης του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα, οι οποίες περιλαμβάνουν π.χ. τις επιδράσεις απάντλησης, πιθανής πλημμύρας, αστοχίας των αποστραγγιστικών συστημάτων, εκμετάλλευσης υπόγειου υδροφορέα
 - την παρουσία αερίων που εκλύονται από το έδαφος
 - άλλες επιδράσεις του χρόνου και του περιβάλλοντος στην αντοχή και στις λοιπές ιδιότητες των υλικών, π.χ. οπές που διανοίγονται από ζώα
- σεισμούς
- εδαφικές μετακινήσεις, οι οποίες προκαλούνται από καθιζήσεις λόγω μεταλλευτικών εξορύξεων ή άλλων δραστηριοτήτων
- την ανοχή του φορέα σε παραμορφώσεις
- την επίδραση του νέου έργου σε υφιστάμενα έργα, δίκτυα κοινής ωφέλειας και στο τοπικό περιβάλλον.

2.5.2 Γεωτεχνικές δράσεις

Ο EC7-1 απαριθμεί είκοσι διαφορετικούς τύπους δράσεων που πρέπει να περιλαμβάνονται στο γεωτεχνικό σχεδιασμό. Αυτές περιλαμβάνουν προφανή πράγματα, όπως το βάρος του εδάφους, του βράχου, του νερού, τις ωθήσεις γαιών και τις πιέσεις εδάφους-νερού, την απομάκρυνση φορτίου ή την εκσκαφή του εδάφους. Περιέχονται επίσης και λιγότερο προφανή πράγματα, όπως οι κινήσεις που προκαλούνται από την καθίζηση, τη διόγκωση, και τη συρρίκνωση που προκαλείται από τις κλιματικές αλλαγές και την επίδραση της θερμοκρασίας, συμπεριλαμβανομένης της δράσης του παγετού.

Αναλυτικά, σύμφωνα με τον EC7 - §2.4.2, ο ορισμός των δράσεων πρέπει να λαμβάνεται από το EN 1990:2002. Οι τιμές των δράσεων πρέπει να λαμβάνονται από το EN 1991, όπου απαιτείται. Πρέπει να επιλέγονται οι τιμές των γεωτεχνικών δράσεων που θα χρησιμοποιηθούν, δεδομένου ότι οι τιμές αυτές είναι γνωστές πριν από την εκτέλεση του υπολογισμού. Οι τιμές αυτές μπορεί να τροποποιούνται κατά τον υπολογισμό.

Οι τιμές των γεωτεχνικών δράσεων μπορεί να τροποποιούνται κατά τη εκτέλεση των υπολογισμών. Στις περιπτώσεις αυτές μια προκαταρκτική γνωστή τιμή θα εισάγεται ως πρώτη εκτίμηση για την έναρξη των υπολογισμών.

Η αλληλεπίδραση μεταξύ της κατασκευής και του εδάφους πρέπει να λαμβάνεται υπόψη για τον προσδιορισμό των δράσεων που θα υιοθετηθούν στο σχεδιασμό.

Στο γεωτεχνικό σχεδιασμό, θα πρέπει να εξετάζεται εάν θα περιληφθούν ως δράσεις οι ακόλουθοι παράγοντες:

- βάρος εδάφους, βραχώμαζας και νερού
- τάσεις στο έδαφος
- ωθήσεις γαιών και πίεση υπόγειου νερού
- πιέσεις φρεατίου ορίζοντα και πιέσεις κυματισμού
- πιέσεις υπόγειου νερού
- δυνάμεις εκ διήθησης υπόγειου νερού
- ίδιο βάρος και επιβαλλόμενα φορτία από δομικά έργα
- επιφορτίσεις
- δυνάμεις πρόσδεσης πλοίων
- απομάκρυνση φορτίου ή εκσκαφή εδάφους
- κυκλοφοριακά φορτία
- μετακινήσεις οι οποίες προκαλούνται από μεταλλευτικές εργασίες ή άλλες δραστηριότητες εκσκαφής σηράγγων ή σπηλαίων
- διόγκωση ή συρρίκνωση οι οποίες προκαλούνται από αλλαγές βλάστησης, κλίματος ή υγρασίας
- μετακινήσεις λόγω ερπυσμού ή ολίσθησης ή καθίζησης εδαφικών μαζών
- μετακινήσεις λόγω υποβάθμισης, διασποράς, αποσύνθεσης, αυτό-συμπύκνωσης και διάλυσης
- μετακινήσεις και επιταχύνσεις οι οποίες προκαλούνται από σεισμούς, εκρήξεις, δονήσεις και δυναμικά φορτία
- επιδράσεις θερμοκρασίας και δράσεις παγετού
- φορτίσεις εκ πάγου
- επιβαλλόμενη προένταση σε αγκύρια ή αντηρίδες εδάφους
- αρνητική τριβή (downdrag).

Οι αντιστηρίξεις υπόκεινται συχνά σε ένα μεγάλο σύνολο δράσεων, συμπεριλαμβανομένων του βάρους της επίχωσης, τις προσαυξήσεις, του βάρους του νερού, τα κύματα και τις δυνάμεις του πάγου, τις δυνάμεις διήθησης, τις δυνάμεις

σύγκρουσης, και τις επιπτώσεις της θερμοκρασίας. [EN 1997-1 §9.3.1]

Ομοίως, πολλές κατασκευές υπόκεινται σε ένα μεγάλο σύνολο δράσεων, συμπεριλαμβανομένων των προηγούμενων ή τις συνεχόμενες κινήσεις από τους κραδασμούς, τις κλιματικές μεταβολές, την αφαίρεση της βλάστησης, και τη δράση των κυμάτων. [EN 1997-1 §11.3.2 (P)]

Τα επιχώματα υποκύπτουν στις συνέπειες της διάβρωσης λόγω υπερύψωσης, του πάγου, του κυματισμού, και της βροχής στα πρανή και στη στέψη τους. [EN 1997-1 §12.3 (4) P]

Σε περιπτώσεις όπου η δομική ακαμψία έχει μια σημαντική επιρροή για την κατανομή των δράσεων, για παράδειγμα στο σχεδιασμό των θεμελίων, η κατανομή πρέπει να καθορίζεται από την αλληλεπίδραση εδάφους-κατασκευής. [EN 1997-1 §6.3 (3) και 7.3 (4)]

Στερεοποίηση, διόγκωση, ερπυσμός, κατολισθήσεις, σεισμοί και όλα όσα μπορούν να επιβάλλουν σημαντικές πρόσθετες δράσεις σε πασσάλους και άλλα βαθιά θεμέλια., απαιτείται να λαμβάνονται υπόψη, και ο σχεδιασμός να πραγματοποιείται με βάση τη χειρότερη κατάσταση που μπορεί να περιλαμβάνει ανώτερες τιμές της αντοχής ή / και ακαμψίας του εδάφους. [EN 1997-1 §7.3.2.1 (2)]

Για παράδειγμα, η εκτίμηση των ανώτερων τιμών της αντοχής του εδάφους μπορεί να είναι σημαντική κατά τον προσδιορισμό της φόρτισης ενός πασσάλου λόγω τριβής που αναπτύσσεται από τη συμπίεση του εδάφους. Σύμφωνα με τους Bond & Harris, σε αυτή την περίπτωση, όσο ισχυρότερο είναι το έδαφος, τόσο μεγαλύτερο είναι το φορτίο που δρα. Ο σχεδιασμός, ως εκ τούτου, θα πρέπει να εξετάσει τις ανώτερες τιμές των αντοχών, κατά την αξιολόγηση των δράσεων σχεδιασμού και τις κατώτερες τιμές για την αντίσταση.

2.5.3 Διάκριση μεταξύ ευνοϊκών και δυσμενών δράσεων

Οι Ευρωκώδικες κάνουν μια σημαντική διάκριση μεταξύ ευνοϊκών (σταθεροποιητικών) και δυσμενών (αποσταθεροποιητικών) δράσεων, η οποία αντικατοπτρίζεται στην τιμές των μερικών συντελεστών γ_f που εφαρμόζονται σε κάθε είδος δράσης. Δυσμενείς / αποσταθεροποιητικές δράσεις έχουν συνήθως αυξημένο μερικό συντελεστή (δηλαδή $\gamma_f > 1$) και οι σταθεροποιητικές δράσεις μειώνονται (δηλαδή $\gamma_f \leq 1$) (Decoding EC7 – Bond & Harris - §3.4.3).

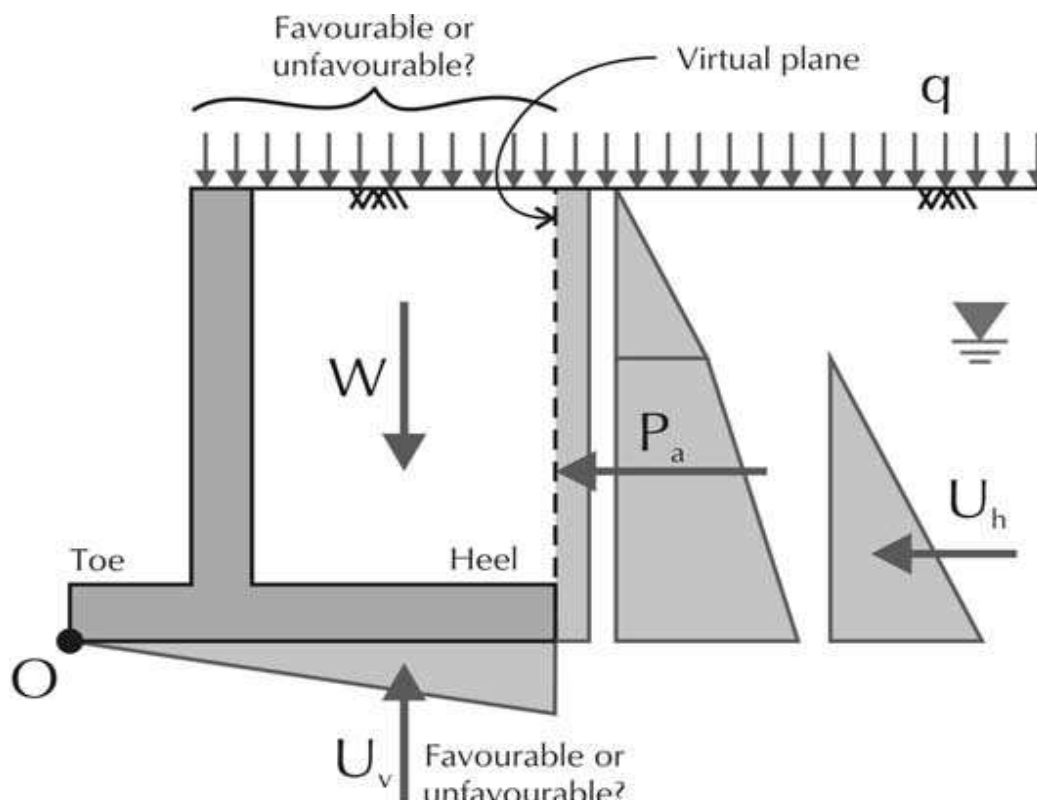
Ειδικά σύμφωνα με τον EC7, πρέπει να εξετάζεται η πιθανότητα οι μεταβλητές δράσεις να δρουν από κοινού ή χωριστά, η διάρκεια των δράσεων σε σχέση με την επίδραση του χρόνου στις ιδιότητες των εδαφικών υλικών, και ειδικά στις ιδιότητες στράγγισης και συμπιεστότητας των λεπτόκοκκων εδαφών. Είναι απαραίτητο να προσδιορίζονται οι επαναλαμβανόμενες δράσεις και οι δράσεις με μεταβλητή ένταση προκειμένου να αντιμετωπίζονται με ειδικό τρόπο σε σχέση με π.χ. τις συνεχιζόμενες μετακινήσεις, τη ρευστοποίηση εδαφών, τη μεταβολή της δυσκαμψίας και της αντοχής του εδάφους. Πρέπει να προσδιορίζονται οι δράσεις οι οποίες προκαλούν δυναμική επιπόνηση στο φορέα και το έδαφος, προκειμένου να αντιμετωπίζονται με

ειδικό τρόπο Πρέπει να προσδιορίζονται οι δράσεις στις οποίες επικρατούν δυνάμεις υπόγειου και φρεατίου ορίζοντα, προκειμένου να αντιμετωπίζονται με ειδικό τρόπο σε σχέση με τις παραμορφώσεις, τις ρωγματώσεις (fissuring), τη μεταβλητή διαπερατότητα και τη διάβρωση.

Σε ορισμένες περιπτώσεις οι δυσμενείς (ή αποσταθεροποιητικές) και οι ευνοϊκές (ή σταθεροποιητικές) μόνιμες δράσεις μπορεί να θεωρείται ότι προέρχονται από την ίδια πηγή (αίτιο). Στις περιπτώσεις αυτές μπορεί να εφαρμόζεται ο ίδιος επιμέρους συντελεστής στο άθροισμα των δράσεων ή των εντατικών μεγεθών.

Εξετάζοντας το σχεδιασμό του σχήματος T του τοίχου αντιστήριξης που φαίνεται στο Σχήμα 2.3, μπορούμε να αντιμετωπίσουμε το ίδιο βάρος του τοίχου και του εδάφους στην κορυφή της βάσης (Heel) (W) ως δυσμενείς, όταν εξετάζουμε την στατική ισορροπία του φορέα - αλλά ως ευνοϊκή για την ολίσθηση και ανατροπή καθώς αυξάνει την δεξιόστροφη ροπή επαναφοράς ως προς το «Ο». Η δύναμη q είναι δυσμενής για την ισορροπία και την ανατροπή όταν δρα στα δεξιά του εικονικού επιπέδου που φαίνεται στο Σχήμα 2.3. Αλλά όταν εκτείνεται προς τα αριστερά του εικονικού επιπέδου, έχει το ίδιο αποτέλεσμα όπως το W, ίδιο βάρος του τοίχου (Decoding EC7 – Bond & Harris, 2008 - §3.4.3).

Δυστυχώς, η διάκριση μεταξύ ευνοϊκών και δυσμενών δράσεων δεν είναι πάντα τόσο απλή όσο σε αυτή την περίπτωση. Παρατηρώντας τις κάθετες και τις οριζόντιες ώθησεις U_v και U_h λόγω της υδροστατικής πίεσης που ενεργούν στα όρια του τοίχου, διαπιστώνεται πως η οριζόντια ώθηση U_h είναι δυσμενής για την στατική ισορροπία, ενώ η κάθετη ώθηση U_v είναι ευνοϊκή, δεδομένου ότι συμβάλλει στην αντιστάθμιση του W, αλλά δυσμενής για την ολίσθηση και την ανατροπή, αφού αυξάνει την αριστερόστροφη ροπή ανατροπής ως προς το 'Ο'. Αυτό όμως δεν αποτελεί τον καταλληλότερο τρόπο αντιμετώπισης μιας δύναμης, όταν αυτή υπολογίζεται τόσο ως ευνοϊκή όσο και ως δυσμενή ταυτόχρονα - πώς μπορεί η οριζόντια συνιστώσα της πίεσης του υδροφόρου ορίζοντα να συμπεριφέρεται με διαφορετικό τρόπο από την κατακόρυφη συνιστώσα της; (Decoding EC7 – Bond & Harris - §3.4.3)



Σχήμα 2.3. Παράδειγμα ευνοϊκών και δυσμενών δράσεων (Decoding EC7, Bond & Harris, 2008)

Ο EC7 ασχολείται με το θέμα αυτό αναφέροντας τα εξής: Δυσμενείς (ή αποσταθεροποιητικές) και ευνοϊκές (ή σταθεροποιητικές) μόνιμες δράσεις μπορεί σε ορισμένες περιπτώσεις να θεωρηθούν ότι προέρχονται από μία μόνο πηγή. Έτσι, ένας ενιαίος μερικός συντελεστής μπορεί να εφαρμόζεται στο άθροισμα των δράσεων αυτών ή στο άθροισμα των αποτελεσμάτων τους. [EN 1997-1 §2.4.2].

Σύμφωνα με τα παραπάνω, επιτρέπεται οι ώθησεις U_h και U_v να αντιμετωπίζονται με τον ίδιο τρόπο – είτε ως δυσμενείς είτε ως ευνοϊκές, ανάλογα με το ποιος τρόπος δίνει την πιο δυσμενή κατάσταση σχεδιασμού.

Αυτή η προϋπόθεση έχει μια βαθιά επίδραση στην έκβαση κάποιων καταστάσεων σχεδιασμού πολύ συχνά. Απαγορεύει τη χρήση των βαρών υπό άνωση στους υπολογισμούς σχεδιασμού: αντικαθιστώντας το μεικτό βάρος W και την ώθηση του νερού U_v στο Σχήμα 2.3 με το βάρος υπό άνωση $W = W - U_v$, η επιλογή συνιστά το ίδιο βάρος και την ώθηση του νερού ως ευνοϊκές ή δυσμενείς.

2.6 Εκτιμήσεις Σχεδιασμού και Κατασκευής

2.6.1 Ανθεκτικότητα στο χρόνο

Η σημασία των περιβαλλοντικών συνθηκών πρέπει να αξιολογούνται ώστε τα υλικά να προστατεύονται κατάλληλα. [EN 1997-1 §2.3 (1) P]

Κατά το σχεδιασμό για την ανθεκτικότητα στο χρόνο των υλικών τα οποία χρησιμοποιούνται στο έδαφος, θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη τα εξής:

α) για το σκυρόδεμα:

- διαβρωτικοί παράγοντες στο υπόγειο νερό ή στο έδαφος ή στα υλικά επιχώσεων, όπως οξέα ή θειικά άλατα

β) για το χάλυβα:

- χημική προσβολή, στις περιπτώσεις όπου τα στοιχεία της θεμελίωσης βρίσκονται μέσα σε έδαφος το οποίο είναι επαρκώς διαπερατό ώστε να επιτρέπει τη διήθηση υπογείων υδάτων και οξυγόνου
- διάβρωση στην επιφάνεια των τοιχωμάτων πασσαλοσανίδων η οποία έρχεται σε επαφή με τον φρεάτιο ορίζοντα, ιδιαίτερα στη ζώνη περί τη μέση στάθμη του νερού
- διάβρωση τύπου σπηλαίωσης σε χάλυβα ενσωματωμένο σε ρηγματωμένο ή πορώδες σκυρόδεμα, ιδιαίτερα σε χαλύβδινες ράβδους όπου οι νευρώσεις δρουν ως κάθοδος και προκαλούν ηλεκτρολυτική δράση με το τοίχωμα της ράβδου το οποίο δρα ως άνοδος

γ) για το ξύλο:

- μύκητες και αερόβια βακτήρια υπό την παρουσία οξυγόνου

δ) για τις συνθετικές ίνες:

- επιδράσεις που προκαλούν γήρανση, όπως έκθεση σε υπεριώδη ακτινοβολία (UV) ή διάσπαση του όζοντος ή συνδυασμένες επιδράσεις θερμοκρασίας και έντασης καθώς και δευτερογενείς επιδράσεις λόγω χημικής αποσύνθεσης.

Στα πρότυπα των υλικών κατασκευής θα πρέπει να γίνεται αναφορά για προβλέψεις ανθεκτικότητας στο χρόνο.

2.6.2 Ζητήματα σχεδιασμού που αφορούν την κατασκευή

Πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι πιθανές διαφορές μεταξύ των εδαφικών ιδιοτήτων και των γεωτεχνικών παραμέτρων που λαμβάνονται από τα αποτελέσματα των δοκιμών και εκείνων που διέπουν τη συμπεριφορά των γεωτεχνικών κατασκευών. Οι παράμετροι που επιλέγονται για το σχεδιασμό θα πρέπει να αντανακλούν τις επιπτώσεις στην κατασκευή στις τιμές λειτουργίας τους και μπορεί να οφείλονται στους ακόλουθους παράγοντες:

- πολλές γεωτεχνικές παράμετροι δεν είναι πραγματικές σταθερές αλλά εξαρτώνται από το μέγεθος των τάσεων και το είδος της παραμόρφωσης
- στη δομή των εδαφικών και βραχωδών μαζών (π.χ. ρωγμές, στρώματα ή μεγάλα τεμάχια), η οποία μπορεί να συμπεριφέρεται διαφορετικά στις δοκιμές και στο γεωτεχνικό έργο
- στις χρονικές επιδράσεις
- στην επίδραση του διηθούμενου νερού στη μείωση της αντοχής των εδαφικών και βραχωδών υλικών
- στην επίδραση των δυναμικών δράσεων στη μείωση της αντοχής
- στη ψαθυρότητα ή πλαστιμότητα των εδαφικών και βραχωδών υλικών που υποβλήθηκαν σε δοκιμές
- στη μέθοδο κατασκευής του γεωτεχνικού έργου
- στην επιρροή της ποιότητας των εργασιών κατασκευής επιχώματος ή βελτιωμένου εδάφους
- στην επίδραση των κατασκευαστικών δραστηριοτήτων στις εδαφικές ιδιότητες.

2.6.3 Εκτέλεση

Οι ενότητες 6-9 και 11-12 του EN 1997-1 δίνουν λίγη πρακτική καθοδήγηση για την εκτέλεση, αλλά αντ' αυτού παραπέμπουν τον αναγνώστη να διαχωρίσει τα ευρωπρότυπα που παρέχουν πιο λεπτομερείς πληροφορίες. Κάποια παραδείγματα τέτοιων περιπτώσεων αναφέρονται παρακάτω.

Έτσι, για παράδειγμα η βλάβη εκ του παγετού στα θεμέλια του κτιρίου θα πρέπει να αποφεύγεται αν το έδαφος δεν είναι ευαίσθητο στον πάγο, τα θεμέλια που είναι κάτω από το βάθος του παγετού, πρέπει να προστατεύονται με την κατάλληλη μόνωση, §6 του EN ISO 13793/8, όπου αναφέρονται οι οδηγίες σχετικά με τον παγετό και τα μέτρα προστασίας. [EN 1997-1 §6.4 (2 και 3)]

2.6.4 Γεωτεχνικές μελέτες

Οι Ευρωκώδικες υιοθετούν, για όλα τα υλικά που χρησιμοποιούνται στην κοινή και ειδική οικοδόμηση, αλλά και τη μηχανική και των κατασκευών, μια κοινή φιλοσοφία σχεδιασμού που βασίζεται στη χρήση των ξεχωριστών οριακών

καταστάσεων και τη χρήση του μερικού συντελεστή, και όχι του ενιαίου συντελεστή ασφάλειας. Ένα πλεονέκτημα του EN 1997 1 είναι ότι η μεθοδολογία σχεδιασμού του είναι σε μεγάλο βαθμό ταυτόσημη με εκείνη του συνόλου των Ευρωκωδίκων, καθιστώντας την καθιέρωση του γεωτεχνικού σχεδιασμού με δομικό σχεδιασμό πιο ορθολογική.

Όπως αναφέρθηκε νωρίτερα, οι οριακές καταστάσεις θα πρέπει να επαληθεύονται με υπολογισμό, βάσει κανονιστικών διατάξεων, με πειραματικά μοντέλα και δοκιμές φορτίου, με μια μέθοδο παρατήρησης, ή συνδυασμό αυτών των προσεγγίσεων.

Στο εδάφιο 2.8 του EN 1997-1 αναφέρονται τα περί της Έκθεσης Γεωτεχνικού Σχεδιασμού η οποία πρέπει να περιλαμβάνει τις παραδοχές, τα δεδομένα, τις μεθόδους υπολογισμού και τα αποτελέσματα των ελέγχων ασφάλειας και λειτουργικότητας του έργου.

Ο βαθμός λεπτομέρειας της Έκθεσης Γεωτεχνικού Σχεδιασμού μπορεί να ποικίλει ευρέως, αναλόγως του είδους σχεδιασμού. Για απλούς σχεδιασμούς, μια σελίδα μπορεί να είναι αρκετή. Στα συνήθη έργα, η Έκθεση Γεωτεχνικού Σχεδιασμού αποτελείται από τα εξής :

- Την Έκθεση Γεωτεχνικών Ερευνών, που περιγράφεται στο εδάφιο 3.4 του EN 1997-1.
- Τα Τεύχη Υπολογισμών που περιλαμβάνουν τις παραδοχές, τα δεδομένα, τις μεθόδους υπολογισμού και τα αποτελέσματα των ελέγχων ασφάλειας και λειτουργικότητας του έργου.
- Τα σχετικά Σχέδια.

Στα τεύχη των υπολογισμών περιλαμβάνονται και τα ακόλουθα θέματα (με κατάλληλες αναφορές στην Έκθεση Γεωτεχνικών Ερευνών και σε άλλα έγγραφα που περιέχουν περισσότερες λεπτομέρειες) :

- περιγραφή της θέσης του έργου και της ευρύτερης περιοχής
- περιγραφή των εδαφικών συνθηκών
- περιγραφή της προτεινόμενης κατασκευής και των δράσεων
- τις τιμές σχεδιασμού των ιδιοτήτων των εδαφικών και βραχωδών υλικών, κατάλληλα τεκμηριωμένες
- αναφορά των κανονισμών και προτύπων που εφαρμόστηκαν
- αναφορά της καταλληλότητας της θέσης για την προτεινόμενη κατασκευή και του μεγέθους των αποδεκτών κινδύνων
- υπολογισμούς και σχέδια γεωτεχνικού σχεδιασμού
- προτάσεις σχεδιασμού της θεμελίωσης
- επισήμανση των θεμάτων τα οποία απαιτούν έλεγχο κατά τη διάρκεια της κατασκευής, συντήρηση ή ενόργανη παρακολούθηση.

2.6.5 Έκθεση Γεωτεχνικών Ερευνών

Στο Κεφάλαιο 3 του EC7-1 περιλαμβάνονται θέματα σχετικά με το είδος και την έκταση των γεωτεχνικών ερευνών και την Έκθεση Γεωτεχνικών Ερευνών.

Οι γεωτεχνικές έρευνες πρέπει να παρέχουν επαρκή στοιχεία σχετικά με το έδαφος και τις συνθήκες του υπόγειου νερού στη θέση του έργου και στη γύρω περιοχή, τα οποία είναι ικανά για τη σωστή περιγραφή των ουσιωδών εδαφικών ιδιοτήτων και για την αξιόπιστη εκτίμηση των χαρακτηριστικών τιμών των εδαφικών παραμέτρων που θα χρησιμοποιηθούν στους υπολογισμούς σχεδιασμού.

Οι απαιτήσεις για τις εργαστηριακές δοκιμές και τις δοκιμές πεδίου θα πρέπει να λαμβάνονται από το Μέρος 2 του EC7 (EN 1997-2). Η σύνθεση και η ποσότητα των γεωτεχνικών ερευνών πρέπει να προσαρμόζεται στη συγκεκριμένη φάση ερευνών και στη γεωτεχνική κατηγορία.

Τα αποτελέσματα της γεωτεχνικής έρευνας συγκεντρώνονται σε μια Έκθεση Γεωτεχνικών Ερευνών τα περιεχόμενα της οποίας περιλαμβάνονται στο εδάφιο 3.4 του EN 1997-1. Κατά το εδάφιο 3.4.1 του EN 1997-1, η Έκθεση Γεωτεχνικών Ερευνών πρέπει να αποτελεί τμήμα της Έκθεσης Γεωτεχνικού Σχεδιασμού (η οποία περιγράφεται στο εδάφιο 2.8 του EN 1997-1).

Η Έκθεση Γεωτεχνικών Ερευνών συνήθως περιλαμβάνει δύο Τεύχη :

A. Έκθεση Γεωτεχνικής Παρουσίασης των αποτελεσμάτων των ερευνών (Geotechnical Factual Report - GFR). Περιλαμβάνει την παρουσίαση όλων των διατιθέμενων γεωτεχνικών πληροφοριών, οι οποίες περιλαμβάνουν και τα σχετικά γεωλογικά χαρακτηριστικά και στοιχεία. Ειδικότερα, η Έκθεση Γεωτεχνικής Παρουσίασης πρέπει να περιλαμβάνει:

A.1 Έκθεση Πεπραγμένων όλων των εργασιών υπαίθρου και των εργαστηριακών δοκιμών. Στην έκθεση πεπραγμένων θα πρέπει να περιλαμβάνονται και οι εξής πληροφορίες, εφόσον είναι σχετικές:

- ονόματα όλων των συμβούλων και υπεργολάβων
- σκοπός και αντικείμενο της γεωτεχνικής έρευνας
- ημερομηνίες μεταξύ των οποίων εκτελέστηκαν οι εργασίες υπαίθρου και οι εργαστηριακές εργασίες
- αναγνώριση του εδάφους της ευρύτερης περιοχής του έργου, στην οποία σημειώνονται ιδιαίτερα:
- ενδείξεις υπογείων υδάτων
- συμπεριφορά γειτονικών έργων
- επιφανειακές εμφανίσεις (του υπεδάφους) σε θέσεις λατομείων και δανειοθαλάμων

περιοχές αστάθειας

- δυσκολίες κατά την εκσκαφή
- ιστορικό της περιοχής
- γεωλογία της περιοχής, η οποία περιλαμβάνει και τα τυχόν ρήγματα
- τοπογραφικά στοιχεία
- πληροφορίες από αεροφωτογραφίες
- τοπική εμπειρία στην περιοχή
- πληροφορίες για τη σεισμικότητα της περιοχής
- διαδικασίες που χρησιμοποιήθηκαν για τη δειγματοληψία, μεταφορά και αποθήκευση των δειγμάτων
- τύποι του εργοταξιακού εξοπλισμού που χρησιμοποιήθηκαν
- πινακοποίηση των ποσοτήτων των εργασιών υπαίθρου και εργαστηρίου, και παρουσίαση των παρατηρήσεων υπαίθρου οι οποίες έγιναν από το προσωπικό επίβλεψης κατά τη διάρκεια της διερεύνησης του υπεδάφους
- στοιχεία των χρονικών διακυμάνσεων του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα στις γεωτρήσεις κατά την εκτέλεση των εργασιών υπαίθρου και στα πιεζόμετρα μετά την ολοκλήρωση των εργασιών υπαίθρου
- σύνοψη των στοιχείων των γεωτρήσεων, η οποία περιλαμβάνει φωτογραφίες των πυρήνων με περιγραφές των σχηματισμών του υπεδάφους, οι οποίες βασίζονται σε περιγραφές υπαίθρου και στα αποτελέσματα των εργαστηριακών δοκιμών
- εμφάνιση ή δυνατότητα εμφάνισης ραδονίου
- στοιχεία ευαισθησίας των εδαφών σε παγετό
- ομαδοποίηση των αποτελεσμάτων των επιτόπου και εργαστηριακών δοκιμών και παρουσίαση αυτών σε παραρτήματα.

A.2 Έκθεση Τεκμηρίωσης των μεθόδων που χρησιμοποιήθηκαν για την εκτέλεση των ερευνών υπαίθρου και των εργαστηριακών δοκιμών. Η τεκμηρίωση πρέπει να βασίζεται στις εκθέσεις των δοκιμών (tests reports) οι οποίες περιγράφονται στο EN1997-2.

B. Έκθεση Γεωτεχνικής Αξιολόγησης (Geotechnical Interpretation Report – GIR). Η Έκθεση Γεωτεχνικής Αξιολόγησης συντάσσεται με βάση την Έκθεση Πεπραγμένων και περιλαμβάνει την αξιολόγηση των γεωλογικών και γεωτεχνικών πληροφοριών και αναφέρει (μεταξύ άλλων) και τα συμπεράσματα της γεωλογικής αξιολόγησης, τις παραδοχές που έγιναν κατά την ερμηνεία των αποτελεσμάτων των γεωτεχνικών δοκιμών, τον τρόπο υπολογισμού των παραγώγων μεγεθών, και την στατιστική (ή άλλη) αξιολόγηση των γεωτεχνικών πληροφοριών (πρωτογενή δεδομένα και παράγωγα μεγέθη).

Ειδικότερα, η Έκθεση Γεωτεχνικής Αξιολόγησης συνήθως περιλαμβάνει τα εξής (κατά περίπτωση) :

- Ανασκόπηση (review) των εργασιών υπαίθρου και εργαστηρίου. Πρέπει να

αναφέρονται και να σχολιάζονται οι περιπτώσεις όπου υπάρχουν περιορισμένα στοιχεία (π.χ. πλημμελή, άσχετα, ανεπαρκή ή ανακριβή). Κατά τον σχολιασμό των αποτελεσμάτων των δοκιμών πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι διαδικασίες δειγματοληψίας, μεταφοράς και αποθήκευσης των δειγμάτων. Ιδιαίτερα δυσμενή αποτελέσματα δοκιμών πρέπει να εξετάζονται προσεκτικά ώστε να προσδιορίζεται κατά πόσον είναι μη-αντιπροσωπευτικά ή αντιπροσωπεύουν πραγματικές καταστάσεις, οι οποίες πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά το σχεδιασμό

- Ανασκόπηση (review) των παραγώγων τιμών των γεωτεχνικών παραμέτρων
- Υποβολή προτάσεων για πρόσθετες εργασίες υπαίθρου και εργαστηρίου, εφόσον κρίνεται αναγκαίο, με σχόλια τα οποία τεκμηριώνουν την ανάγκη για τις πρόσθετες εργασίες. Οι προτάσεις αυτές πρέπει να συνοδεύονται από λεπτομερές πρόγραμμα για τις πρόσθετες έρευνες που πρέπει να εκτελεσθούν, με ειδική αναφορά στα θέματα που πρέπει να διερευνηθούν.
- Πινακοποίηση και γραφική παρουσίαση των αποτελεσμάτων των εργασιών υπαίθρου και εργαστηρίου σε σχέση με τις απαιτήσεις του έργου, εάν κρίνεται απαραίτητο
- Ιστογράμματα που απεικονίζουν το εύρος τιμών των πιο σχετικών στοιχείων και της κατανομής αυτών
- Προσδιορισμό του βάθους του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα και τις εποχικές του διακυμάνσεις
- Τομή / τομές του υπεδάφους, οι οποίες παρουσιάζουν τη διαφοροποίηση (εναλλαγή) των διαφόρων σχηματισμών
- Λεπτομερείς περιγραφές όλων των σχηματισμών, οι οποίες περιλαμβάνουν τις φυσικές ιδιότητες και τα χαρακτηριστικά συμπεριφοράς και αντοχής αυτών
- Σχολιασμό τυχόν περιέργης συμπεριφοράς όπως φακοειδείς ενστρώσεις και έγκοιλα
- Ομαδοποίηση και παρουσίαση του εύρους παράγωγων τιμών των γεωτεχνικών στοιχείων για κάθε στρώση.

Προσοχή : Η Έκθεση Γεωτεχνικής Αξιολόγησης δεν συνιστάται να καταλήγει σε προτάσεις για τις χαρακτηριστικές τιμές των εδαφικών παραμέτρων που υπεισέρχονται στους υπολογισμούς, επειδή οι τιμές αυτές εξαρτώνται από το είδος και τις λειτουργικές απαιτήσεις του προβλεπόμενου έργου, τα οποία συνήθως δεν είναι γνωστά στον Γεωτεχνικό Μηχανικό όταν συντάσσεται η Έκθεση Γεωτεχνικής Αξιολόγησης. Για παράδειγμα, το μέτρο ελαστικότητας (E) εξαρτάται από το μέγεθος της αναμενόμενης παραμόρφωσης. Συνεπώς, θα πρέπει να προτείνονται διαφορετικές τιμές του μέτρου E για την εκτίμηση καθιζήσεων κοιτοστρώσεων (όπου οι παραμορφώσεις είναι γενικώς πολύ μικρές), διαφορετικές για την εκτίμηση καθιζήσεων πεδίων (όπου οι παραμορφώσεις είναι συνήθως ενδιάμεσου μεγέθους), και διαφορετικές για την ανάλυση της εγκάρσιας φόρτισης πασσάλων (όπου οι

παραμορφώσεις είναι συνήθως μεγάλες). Οι χαρακτηριστικές τιμές των εδαφικών παραμέτρων που υπεισέρχονται στους υπολογισμούς πρέπει να επιλέγονται από τον Μελετητή και να περιλαμβάνονται στις παραδοχές (τεύχη υπολογισμών) της Έκθεσης Γεωτεχνικού Σχεδιασμού εφόσον πρόκειται για γεωτεχνικό έργο, ή στην αντίστοιχη Έκθεση της Στατικής Μελέτης εφόσον πρόκειται για δομοστατικό έργο.

2.7 Ανάλυση και σχεδιασμός γεωτεχνικών κατασκευών

2.7.1 Σχεδιασμός μέσω Οριακών Καταστάσεων

Ο έλεγχος έναντι οριακών καταστάσεων αστοχίας γίνεται με σύγκριση των «εντάσεων» (E) με τις αντίστοιχες «αντιστάσεις» (R) και απαίτηση όπως οι αντιστάσεις υπερβαίνουν τις εντάσεις ($R > E$). Για παράδειγμα, στον έλεγχο έναντι φέρουσας ικανότητας ενός πεδύλου (ή πασσάλου), ένταση είναι το φορτίο επί του πεδύλου (ή πασσάλου) και αντίσταση είναι η φέρουσα ικανότητα του πεδύλου (ή του πασσάλου). Κατά τον έλεγχο έναντι ολίσθησης στη βάση ενός τοίχου αντιστηρίξεως, ένταση είναι η οριζόντια δύναμη στη βάση του τοίχου (λόγω ωθήσεως γαιών, κλπ) ενώ αντίσταση είναι η οριακή τριβή στη βάση του τοίχου. Κατά τον έλεγχο επάρκειας ενός εύκαμπτου τοίχου αντιστηρίξεως, ένταση είναι η καμπτική ροπή του τοίχου και η δύναμη αγκύρωσης ενώ αντίσταση είναι η καμπτική αντοχή του τοίχου και η αντοχή της αγκύρωσης. Τέλος, κατά τον έλεγχο ευστάθειας ενός πρανού με τη μέθοδο των λωρίδων, ένταση είναι η ροπή ανατροπής ενώ αντίσταση είναι η ροπή στηρίξεως.

Σε αντίθεση με τις συμβατικές μεθόδους, κατά τους ανωτέρω ελέγχους, οι εντάσεις και αντιστάσεις συγκρίνονται χωρίς αναφορά σε συντελεστές ασφαλείας (επειδή οι συντελεστές ασφαλείας είναι «κρυμμένοι» στις λεγόμενες «τιμές σχεδιασμού» της έντασης και αντίστασης που συγκρίνονται – βλέπε και κατωτέρω). Αντιθέτως, κατά τους αντίστοιχους ελέγχους μέσω των συμβατικών μεθόδων, οι εντάσεις (E) συγκρίνονται με τις αντιστάσεις (R) και απαιτείται όπως ο λόγος της αντίστασης προς την ένταση υπερβαίνει έναν ελάχιστο συντελεστή ασφαλείας (FS), δηλαδή :

$$R / E > FS$$

Κατά τον έλεγχο έναντι οριακών καταστάσεων αστοχίας του 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 ασφάλειας). Οι τιμές σχεδιασμού των E και R υπολογίζονται μέσω των επιμέρους συντελεστών (partial factors) οι οποίοι καθορίζουν τον βαθμό ασφάλειας του έργου

έναντι αστοχίας και συνεπώς αντικαθιστούν τον ενιαίο συντελεστή ασφάλειας που εφαρμόζεται μέχρι σήμερα.

Έτσι, η μέθοδος ελέγχου κατά τον EC7 απαιτεί όπως η τιμή σχεδιασμού της έντασης (E_d) σε οποιαδήποτε θέση του έργου δεν υπερβαίνει την τιμή σχεδιασμού της αντίστοιχης αντίστασης (R_d), δηλαδή ελέγχεται ότι:

$$E_d \leq R_d \quad (1)$$

όπου ο δείκτης (d) δηλώνει τιμή σχεδιασμού (design value).

Για παράδειγμα, κατά τον έλεγχο ενός πασσάλου, «ένταση» είναι η δράση στην κεφαλή του πασσάλου και «αντίσταση» είναι η φέρουσα ικανότητα του πασσάλου. Αντιστοίχως, κατά τον έλεγχο ενός τοίχου αντιστηρίξεως βαρύτητας έναντι ολισθήσεως στη βάση του, «ένταση» αποτελεί η δύναμη που τείνει να προκαλέσει την ολίσθηση (ώθηση γαιών, κ.λπ.) ενώ «αντίσταση» είναι η διατμητική αντοχή του εδάφους στη βάση του τοίχου που ανθίσταται στην ολίσθηση. Αντιστοίχως, στην περίπτωση ελέγχου της ευστάθειας ενός πρανού, «ένταση» αποτελεί η δύναμη (ή ροπή) που τείνει να προκαλέσει την αστοχία ενώ «αντίσταση» είναι η δύναμη (ή ροπή) λόγω της διατμητικής αντοχής του εδάφους που ανθίσταται στην αστοχία.

Η εισαγωγή της χρήσης επιμέρους συντελεστών (και οι συνέπειές της), αντί του ενιαίου συντελεστή ασφάλειας, αποτελεί την ουσιαστικότερη αλλαγή του EN1997-1 στην ανάλυση των γεωτεχνικών έργων έναντι αστοχίας.

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 :

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

$$E_d = E (F_d , X_d) = E (\gamma_F F_k , X_k / \gamma_M) \quad (2\alpha)$$

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

β) 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 :

$$E_d = \gamma_E \cdot E (F_k , X_k) \quad (2\beta)$$

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

Για παράδειγμα, η τιμή σχεδιασμού της καμπτικής ροπής στη βάση ενός τοίχου αντιστηρίξεως τύπου L μπορεί να υπολογισθεί είτε μέσω της χαρακτηριστικής τιμής

της ώθησης γαιών και την επ' αυτής επιβολή του επιμέρους συντελεστή έντασης, γE (τύπος 2β), είτε μέσω της τιμής σχεδιασμού της ώθησης γαιών, η οποία θα υπολογισθεί με χρήση της τιμής σχεδιασμού της εδαφικής γωνίας τριβής και συνοχής (ϕ_d, c_d) και της τιμής σχεδιασμού τυχόν επιφανειακής επιφόρτισης, q_d (τύπος 2α).

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), με αποτέλεσμα οι σχέσεις (2α) και (2β) να δίνουν αρκετά διαφορετικές τιμές του E_d .

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:

$$R_d = R (F_d, X_d) = R (\gamma_F F_k, X_k / \gamma_M) \quad (3\alpha)$$

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

$$R_d = (1 / \gamma_R) \cdot R (F_k, X_k) \quad (3\beta)$$

Ενίοτε, η σχέση (3β) γράφεται με την εναλλακτική μορφή:

$$R_d = (1 / \gamma_R) \cdot R (\gamma_F F_k, X_k) \quad (3\gamma)$$

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) στη σχέση (3β). Οι σχέσεις (3β) και (3γ) 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 πεδύλου 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 πεδύλου (δράση).

Δεδομένου ότι η αντίσταση (π.χ. φέρουσα ικανότητα πεδύλου ή πασσάλου) είναι εντόνως μη-γραμμική συνάρτηση των εδαφικών παραμέτρων (π.χ. της γωνίας τριβής), οι σχέσεις (3α) και (3β) ή (3γ) δίνουν αρκετά διαφορετικές τιμές του R_d . Συνεπώς, 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).

Λόγω των εναλλακτικών τρόπων υπολογισμού των τιμών σχεδιασμού εντάσεων και αντιστάσεων, ο EN1997-1 (εδάφιο 2.4.7.3.4) επιτρέπει τρεις εναλλακτικούς Τρόπους Ανάλυσης (Design Approaches - DA) για τον έλεγχο οριακών καταστάσεων αστοχίας τύπου GEO και STR, δηλαδή τρεις εναλλακτικούς τρόπους υπολογισμού των τιμών σχεδιασμού E_d και R_d που υπεισέρχονται στη σχέση (1). Δεδομένου ότι οι τρεις Τρόποι Σχεδιασμού συνήθως δίνουν διαφορετικά αποτελέσματα, ο εφαρμοστέος τρόπος σε κάθε χώρα-μέλος της Ε.Ε. Αποτελεί «εθνική επιλογή» που επηρεάζει τον τρόπο ανάλυσης των έργων και περιλαμβάνεται στο αντίστοιχο Εθνικό Προσάρτημα του EN1997-1.

Σημειώνεται ότι στις υπόλοιπες καταστάσεις αστοχίας (τύπου EQU, HYD και UPL), συνήθως δεν υπεισέρχονται οι τιμές των εδαφικών παραμέτρων αντοχής και συνεπώς οι τρεις Τρόποι Ανάλυσης εκφυλίζονται σε έναν.

Οι ανωτέρω τρόποι υπολογισμού των τιμών σχεδιασμού των εντάσεων και αντιστάσεων μπορούν να συνδυασθούν, δηλαδή να χρησιμοποιηθούν οι σχέσεις (2α) και (3α) ή οι σχέσεις (2β) και (3β), με συνέπεια να προκύπτουν τέσσερις εναλλακτικοί τρόποι υπολογισμού των (E_d , R_d). Αν και οι τρόποι αυτοί είναι θεωρητικώς ισότιμοι, στην περίπτωση:

1. μη-γραμμικών αναλύσεων με αριθμητικές μεθόδους (π.χ. με πεπερασμένα στοιχεία),
2. χρήσης εμπειρικών ή πειραματικών μεθόδων υπολογισμού που δίνουν απευθείας τις αντιστάσεις (ή και τις εντάσεις),

απαιτείται η χρήση των σχέσεων (2β) και (3β), ώστε οι αναλύσεις να γίνουν με τις χαρακτηριστικές τιμές των δράσεων και των εδαφικών ιδιοτήτων και οι επιμέρους συντελεστές (γ_E , γ_R) να επιβληθούν στα τελικά αποτελέσματα των υπολογισμών (π.χ. στις καμπτικές ροπές, αντιστάσεις κ.λπ.).

Στην περίπτωση μη-γραμμικών αναλύσεων, η επιβολή των επιμέρους συντελεστών στις εδαφικές ιδιότητες (σχέσεις 2α και 3α) έχει ως αποτέλεσμα την πλασματική απομείωση των εδαφικών παραμέτρων με συνέπεια την πλασματική πρόβλεψη διαρροών του εδάφους και αναδιανομών τάσεων που μπορούν να αλλοιώσουν σημαντικά την πραγματική συμπεριφορά του έργου. Για τον λόγο αυτό στο Εθνικό Προσάρτημα επιλέγεται ο Τρόπος Ανάλυσης που επιβάλλει τους επιμέρους συντελεστές επί των χαρακτηριστικών τιμών των εντάσεων και αντιστάσεων (και όχι επί των χαρακτηριστικών τιμών των εδαφικών παραμέτρων).

Αντιστοίχως, οι τιμές σχεδιασμού των γεωτεχνικών δράσεων (G_d), δηλαδή των δράσεων που προκύπτουν από το έδαφος (όπως η ώθηση γαιών), μπορούν επίσης να υπολογισθούν με δύο εναλλακτικούς τρόπους:

1. Με επιβολή του επιμέρους συντελεστή δράσεων (γ_F) στη χαρακτηριστική τιμή της γεωτεχνικής δράσης (G_k):

$$G_d = \gamma_F \psi G_k = \gamma_F \psi G (X_k) \quad (4a)$$

2. Με επιβολή των επιμέρους συντελεστών εδαφικών ιδιοτήτων (γ_M) στις

χαρακτηριστικές τιμές των εδαφικών ιδιοτήτων (X_k) από τις οποίες εξαρτάται η γεωτεχνική δράση:

$$G_d = \psi G (X_k / \gamma M) \quad (4\beta)$$

Οι ανωτέρω τρόποι, αν και θεωρητικώς ισοδύναμοι, δίνουν πολύ διαφορετικές τιμές των τιμών σχεδιασμού επειδή οι σχέσεις υπολογισμού των γεωτεχνικών δράσεων είναι μη-γραμμικές ως προς τις γεωτεχνικές παραμέτρους. Ειδικότερα, η ώθηση γαιών σε ένα τοίχο αντιστηρίξεως είναι εντόνως μη-γραμμική συνάρτηση της γωνίας τριβής του υλικού που αντιστηρίζεται από τον τοίχο. Συνεπώς εάν ο υπολογισμός της τιμής σχεδιασμού της ώθησης γίνει μέσω της σχέσης (4β), ο λόγος (G_d / G_k) δεν είναι σταθερός και συνεπώς δεν μπορεί να είναι ίσος με τον επιμέρους συντελεστή δράσεων (γF), ο οποίος είναι σταθερός. Στο Εθνικό Προσάρτημα επιλέγεται ο Τρόπος Ανάλυσης που επιβάλλει τους επιμέρους συντελεστές επί των χαρακτηριστικών τιμών των γεωτεχνικών δράσεων (και όχι επί των χαρακτηριστικών τιμών των εδαφικών παραμέτρων), δηλαδή στην Ελλάδα επιλέγεται η εφαρμογή της σχέσης(4β).

2.7.2 Τρόποι Ανάλυσης έναντι Οριακών Καταστάσεων Αστοχίας

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 1997-1 (όπως αναφέρθηκαν ανωτέρω), 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 τρόποι αυτοί διαφοροποιούνται στη μέθοδο με την οποία διανέμονται οι επιμέρους συντελεστές μεταξύ των δράσεων, αποτελεσμάτων των δράσεων, ιδιοτήτων των υλικών και αντιστάσεων, δηλαδή στην εφαρμοστέα εξίσωση μεταξύ των (2α) – (2β) και (3α) – (3β) – (3γ) και (4α) – (4β). Δεδομένου ότι οι τρεις Τρόποι Ανάλυσης συνήθως δίνουν διαφορετικά αποτελέσματα, ο εφαρμοστέος τρόπος αποτελεί «Εθνική επιλογή» και περιλαμβάνεται στο Εθνικό Προσάρτημα του EN1997-1 κάθε χώρας-μέλους της Ε.Ε. (εδάφιο 2.4.7.3.4.1). Ο εφαρμοστέος Τρόπος Ανάλυσης για την Ελλάδα περιλαμβάνεται στο Εθνικό Προσάρτημα (βλέπε Κεφάλαιο 3 του παρόντος).

Οι επί μέρους συντελεστές για τις διάφορες οριακές καταστάσεις αστοχίας (ULS) περιλαμβάνονται σε Πίνακες, κατά περίπτωση, στο Παράρτημα Α του EN 1997-1. Ο τρόπος επιλογής των διαφόρων τιμών επιμέρους συντελεστών, καθώς και των ομάδων συνδυασμού τους, παρουσιάζονται στη συνέχεια κατά την περιγραφή

των Τρόπων Ανάλυσης (DA).

Σημειώνεται ότι, ανεξαρτήτως του Τρόπου Ανάλυσης που επιλέχθηκε, σε ορισμένα προβλήματα (όπως π.χ. σε μη γραμμικές αναλύσεις με πεπερασμένα στοιχεία) απαιτείται η χρήση των σχέσεων (2β) και (3β) και συνεπώς ο Τρόπος Ανάλυσης είναι πρακτικώς μονοσήμαντος (ουσιαστικώς είναι ο Τρόπος Ανάλυσης 2*, κατωτέρω).

Τέλος, στις καταστάσεις αστοχίας τύπου EQU, HYD και UPL, όπου δεν υπαισέρχονται συνήθως οι τιμές των εδαφικών παραμέτρων αντοχής, οι τρεις Τρόποι Ανάλυσης εκφυλίζονται ουσιαστικά σε ένα.

Τρόπος Ανάλυσης 1 (DA-1)

Σύμφωνα με τον Τρόπο Ανάλυσης 1, στον έλεγχο μέσω της σχέσης (1) :

$$E_d \leq R_d \quad (1)$$

οι τιμές σχεδιασμού των δράσεων και αντιστάσεων υπολογίζονται μέσω των σχέσεων (2α) και (3α) οπότε προκύπτει η σχέση :

$$E (\gamma_F F_k, X_k / \gamma_M) \leq R (\gamma_F F_k, X_k / \gamma_M)$$

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 EN 1997-1. Συνήθως απαιτείται η εκτέλεση και των δύο ελέγχων (συνδυασμών) επειδή δεν είναι προφανές εκ των προτέρων, ποιος από τους δύο είναι κρίσιμος, ενώ ο σχεδιασμός γίνεται με τον δυσμενέστερο εκ των δύο συνδυασμών. Εξαιρέση αποτελεί ο έλεγχος θεμελιώσεων με πασσάλους και ο έλεγχος αγκυρώσεων όπου κατά τον EN 1997-1 απαιτείται ένας μόνον έλεγχος.

Ο Συνδυασμός 1 περιλαμβάνει τις ομάδες των επιμέρους συντελεστών δράσεων (A1) και υλικών (M1), και ουσιαστικώς προσαυξάνει τις δράσεις ($\gamma_F > 1$) χωρίς ταυτόχρονη απομείωση των εδαφικών παραμέτρων ($\gamma_M = 1$), με σκοπό να καλύψει τις αβεβαιότητες των δράσεων.

Ο Συνδυασμός 2 περιλαμβάνει τις ομάδες των επιμέρους συντελεστών δράσεων (A2) και υλικών (M2), και ουσιαστικώς 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 και R2) είναι συνήθως ίσοι με τη μονάδα.

Συνεπώς, οι δύο συνδυασμοί περιλαμβάνουν τις εξής ομάδες επιμέρους συντελεστών δράσεων (A), υλικών (M) και αντιστάσεων (R) :

$$\text{Συνδυασμός 1: } A1 + M1 + R1$$

Συνδυασμός 2: A2 + M2 + R2

Ο Τρόπος Ανάλυσης 1 (DA-1) 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.

Ο Τρόπος Σχεδιασμού 1 (DA-1) ΔΕΝ αποτελεί Εθνική Επιλογή στα γεωτεχνικά έργα και συνεπώς δεν εφαρμόζεται στην Ελλάδα.

Τρόπος Ανάλυσης 2 (Παραλλαγές DA-2 και DA-2*)

Σύμφωνα με τον Τρόπο Ανάλυσης 2, στον έλεγχο μέσω της σχέσης (1) :

$$E_d \leq R_d \quad (1)$$

οι τιμές σχεδιασμού των δράσεων και αντιστάσεων υπολογίζονται είτε μέσω των σχέσεων (2α) και (3γ) (Παραλλαγή DA-2) είτε μέσω των σχέσεων (2β) και (3β) (Παραλλαγή DA-2*), με τις ομάδες επιμέρους συντελεστών δράσεων (A1), υλικών (M1) και αντιστάσεων (R2) του Παραρτήματος Α του EN1997-1.

Στον Τρόπο Ανάλυσης 2 οι συντελεστές υλικών (M1) είναι ίσοι με τη μονάδα ενώ οι συντελεστές αντιστάσεων (R2) είναι μεγαλύτεροι της μονάδας, οπότε 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.

Κατά τον Τρόπο Ανάλυσης 2, η εφαρμογή της σχέσης (1) (σε συνδυασμό με τις σχέσεις 2 και 3 ανωτέρω) δίνει :

$$\underline{\text{Παραλλαγή DA-2}} : E(\gamma_F F_k, X_k) \leq (1/\gamma_R) \cdot R(\gamma_F F_k, X_k)$$

$$\underline{\text{Παραλλαγή DA-2*}} : \gamma_E E(F_k, X_k) \leq (1/\gamma_R) \cdot R(F_k, X_k)$$

με τον ακόλουθο συνδυασμό επιμέρους συντελεστών: A1 + M1 + R2.

Σημειώνεται ότι στην περίπτωση γραμμικών αναλύσεων, η τιμή σχεδιασμού της έντασης, δηλαδή το αριστερό μέλος των ανωτέρω εξισώσεων, υπολογίζεται ορθότερα στην παραλλαγή DA-2 με την επιβολή των επιμέρους συντελεστών των δράσεων στα επιμέρους φορτία (αντί στη συνισταμένη ένταση) επειδή έτσι είναι ευχερέστερη η επιβολή διαφορετικών επιμέρους συντελεστών στις μόνιμες και πρόσκαιρες δράσεις ($\gamma_F = 1.35$ και 1.50 , αντιστοίχως) απ' ό,τι μέσω ενός ενιαίου (σταθμισμένου) συντελεστή γ_E περίπου ίσου με 1.40 . Έτσι, σε γραμμικές αναλύσεις και στην παραλλαγή DA-2*, το αριστερό μέλος υπολογίζεται από τη σχέση (2α), δηλαδή : $E_d = E(\gamma_F F_k, X_k)$ αντί της σχέσης (2β) δηλαδή : $E_d = \gamma_E \cdot E(F_k, X_k)$, οπότε :

Παραλλαγή DA-2* (σε γραμμικές αναλύσεις) :

$$E (\gamma F F_k , X_k) \leq (1/\gamma R) \cdot R (F_k , X_k)$$

Σε περιπτώσεις μη-γραμμικών αναλύσεων, η χρήση της σχέσης (2α) για τον υπολογισμό της έντασης (Ed) δίνει διαφορετικό αποτέλεσμα απ' ότι η εφαρμογή της σχέσης (2β), και προτιμητέα είναι η εφαρμογή της σχέσης (2β) οπότε :

Παραλλαγή DA-2* (σε μη-γραμμικές αναλύσεις):

$$\gamma E (F_k , X_k) \leq (1/\gamma R) \cdot R (F_k , X_k)$$

Η κύρια διαφορά μεταξύ των παραλλαγών DA-2 και DA-2* είναι ότι κατά τον υπολογισμό των αντιστάσεων, οι δράσεις υπεισέρχονται είτε με τις χαρακτηριστικές τιμές (σχέση 3β - Παραλλαγή DA-2*) είτε με τις τιμές σχεδιασμού (σχέση 3γ - Παραλλαγή DA-2). Βεβαίως, στις περιπτώσεις όπου στον υπολογισμό των αντιστάσεων δεν υπεισέρχονται οι δράσεις, οι δύο παραλλαγές εκφυλίζονται σε μία :

$$E (\gamma F F_k , X_k) \leq (1/\gamma R) \cdot R (X_k)$$

Οι δράσεις υπεισέρχονται στον υπολογισμό της αντίστασης στις εξής δύο περιπτώσεις (στις οποίες οι δύο παραλλαγές δίνουν διαφορετικά αποτελέσματα):

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).

Ο Τρόπος Ανάλυσης 2, και συγκεκριμένα η Παραλλαγή DA-2* αποτελεί την Εθνική Επιλογή για το σύνολο σχεδόν των γεωτεχνικών έργων και συγκεκριμένα κατά τον έλεγχο των εξής οριακών καταστάσεων αστοχίας υπό μόνιμες και πρόσκαιρες δράσεις:

- Γεωτεχνικές (GEO) και Δομικές (STR) οριακές καταστάσεις θεμελιώσεων, αγκυρώσεων και έργων αντιστηρίξεως γενικώς (Κεφάλαια 6, 7, 8 και 9 του EN1997-1) με εξαίρεση τους ελέγχους ολικής ευστάθειας (Κεφάλαιο 12 του EN 1997-1) που θα γίνονται με τον Τρόπο Ανάλυσης 3 (βλέπε κατωτέρω).
- Δομικές (STR) οριακές καταστάσεις αστοχίας πρηνών ή επιχωμάτων ενισχυμένων με δομικά στοιχεία (αγκυρώσεις, πασσάλους, ηλώσεις), σύμφωνα με τα Κεφάλαια 9 και 12 του EN 1997-1. Οι περιπτώσεις αυτές περιλαμβάνουν και τη διαστασιολόγηση των δομικών στοιχείων, ενώ οι αναλύσεις της ολικής ευστάθειας των ανωτέρω έργων (οριακές καταστάσεις

τύπου GEO) θα γίνονται με τον Τρόπο Ανάλυσης 3 (DA-3).

- Γεωτεχνικές (GEO) και Δομικές (STR) οριακές καταστάσεις αστοχίας με χρήση αριθμητικών μεθόδων. καθώς και για όλες τις οριακές καταστάσεις αστοχίας υπό τυχηματικές και σεισμικές δράσεις.

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 έως σήμερα 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:

$$FS = \gamma E \gamma R$$

Τρόπος Ανάλυσης 3 (DA-3)

Σύμφωνα με τον Τρόπο Ανάλυσης 3, στον έλεγχο μέσω της σχέσης (1) :

$$E_d \leq R_d \quad (1)$$

οι τιμές σχεδιασμού των δράσεων και αντιστάσεων υπολογίζονται μέσω των σχέσεων (2α) και (3α) με τις ομάδες επιμέρους συντελεστών δράσεων (A1) για δομικές δράσεις από την ανωδομή και (A2) για δράσεις από το έδαφος, υλικών (M2) και αντιστάσεων (R3) του Παραρτήματος A του EN1997-1 : (A1 ή A2) + M2 + R3, δηλαδή με εφαρμογή της σχέσης :

$$E (\gamma F F_k, X_k / \gamma M) \leq R (\gamma F F_k, X_k / \gamma M)$$

Ο Τρόπος Σχεδιασμού 3 (DA-3) αποτελεί Εθνική Επιλογή κατά τον έλεγχο της Ολικής Ευστάθειας (Overall Stability) των εξής γεωτεχνικών (GEO) οριακών καταστάσεων αστοχίας υπό μόνιμες και πρόσκαιρες δράσεις:

- Ολική ευστάθεια γεωτεχνικών έργων χωρίς δομικά στοιχεία αντιστήριξης, σύμφωνα με τα Κεφάλαια 11 και 12 του EN1997-1, όπως επιχώματα, φυσικά ή τεχνητά πρανή, φράγματα, ορύγματα και βαθιές εκσκαφές με ελεύθερα πρανή.
- Ολική ευστάθεια γεωτεχνικών έργων με δομικά στοιχεία αντιστήριξης όπως :
(α) οπλισμένα επιχώματα ή τεχνητά πρανή,

(β) φυσικά πρηνή, ορύγματα ή βαθιές εκσκαφές ενισχυμένες με ηλώσεις, αγκυρώσεις ή πασσάλους,

(γ) σύνθετα έργα (π.χ. πρηνές στο εσωτερικό του οποίου διέρχεται σήραγγα).

Στις ανωτέρω περιπτώσεις, οι σταθεροποιητικές δυνάμεις των δομικών στοιχείων αντιστήριξης (δηλαδή οι δυνάμεις ή ροπές στήριξης εκ των δομικών στοιχείων, ενίσχυσης, όπως ηλώσεων, αγκυρώσεων, πασσάλων, σταθεροποιητικών αναβαθμών ποδός, ελεύθερου νερού στον πόδα του πρηνούς, κλπ) θεωρούνται ως ευνοϊκές δράσεις (favourable actions) με επιμέρους συντελεστή δράσεων $\gamma F = 1$.

Στην πολύ συνήθη περίπτωση ανάλυσης της ολικής ευστάθειας γεωτεχνικών έργων με οριακή ανάλυση ανωτέρου ορίου (Upper Bound Limit State Analysis) όπως η μέθοδος των λωρίδων με κυκλικές ή πολυγωνικές επιφάνειες ολίσθησης, ο Τρόπος Ανάλυσης 3 (με επιμέρους συντελεστή υλικού $\gamma M = 1.25$) είναι ισοδύναμος με τον Τρόπο Ανάλυσης 2* (με επιμέρους συντελεστή αντίστασης $\gamma R = 1.25$).

Η εθνική επιλογή του Τρόπου Ανάλυσης 3 (αντί του 2*) έγινε μόνον για λόγους απλότητας, δεδομένου ότι στα υφιστάμενα προγράμματα H/Y είναι ευχερέστερη η επιβολή των επιμέρους συντελεστών υλικού (με απομείωση των εδαφικών ιδιοτήτων στα δεδομένα εισόδου) παρά η προσαύξηση των δράσεων και απομείωση των αντιστάσεων (οι οποίες συχνά δεν δίδονται). Για παράδειγμα, στα συνήθη προγράμματα ανάλυσης της ολικής ευστάθειας με τη μέθοδο των λωρίδων, δεν δίνεται χωριστά η τιμή της αντίστασης (ροπή της εδαφικής αντίστασης ως προς το κέντρο του κύκλου ολίσθησης) και της δράσης (ροπή του βάρους του εδάφους και των λοιπών δράσεων ως προς το κέντρο του κύκλου ολίσθησης) αλλά απευθείας ο συντελεστής ασφαλείας (δηλαδή ο λόγος της αντίστασης προς την δράση).

Σημειώνεται ότι η ανάλυση της ολικής ευστάθειας γεωτεχνικών έργων υπό τυχηματικές και σεισμικές δράσεις γίνεται με τον Τρόπο Ανάλυσης 2* ο οποίος, όμως, είναι ισοδύναμος με τον Τρόπο Ανάλυσης 3 επειδή οι επιμέρους συντελεστές υλικού και αντίστασης είναι ίσοι με τη μονάδα ($\gamma M = \gamma R = 1$) (βλέπε Εθνικό Προσάρτημα).

2.7.3 Τρόποι Ανάλυσης έναντι Οριακών Καταστάσεων Λειτουργικότητας (SLS)

Τα περί της οριακής κατάστασης λειτουργικότητας αναφέρονται στο εδάφιο 2.4.8 του EN 1997-1.

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.

Ο έλεγχος στην οριακή κατάσταση λειτουργικότητας διασφαλίζει ότι οι παραμορφώσεις του φορέα δεν υπερβαίνουν τις οριακές τιμές των μετακινήσεων και

παραμορφώσεων που καθορίζονται στις προδιαγραφές του έργου και εξαρτώνται από τις λειτουργικές του απαιτήσεις. Εάν οι ανωτέρω οριακές τιμές δεν έχουν προσδιορισθεί στις προδιαγραφές του έργου, τότε μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι σχετικές προτάσεις που δίνονται στο Παράρτημα Η του EN 1997-1.

Ο έλεγχος στην οριακή κατάσταση λειτουργικότητας δίνει ακριβώς τα ίδια αποτελέσματα με την συμβατική μέθοδο επειδή :

1. Η εκτίμηση των τιμών των δράσεων και των εδαφικών ιδιοτήτων γίνεται ουσιαστικά με τον ίδιο τρόπο.
2. Χρησιμοποιούνται μοναδιαίοι επιμέρους συντελεστές.
3. Ο υπολογισμός των δράσεων λειτουργίας και των αντίστοιχων παραμορφώσεων μπορεί να γίνει με το ίδιο αναλυτικό προσομοίωμα.
4. Ο έλεγχος επάρκειας γίνεται με τον ίδιο τρόπο (παραμορφώσεις το πολύ ίσες με τις αποδεκτές).

Κατά τον EN 1997-1, υπάρχουν δύο εναλλακτικές μέθοδοι ελέγχου της επάρκειας ενός γεωτεχνικού έργου σε κατάσταση λειτουργικότητας : κατά το εδάφιο 2.4.8(1) και κατά το εδάφιο 2.4.8(4).

Μέθοδος ελέγχου 1 :

Κατά το εδάφιο 2.4.8(1) του EN1997-1, ο έλεγχος στην κατάσταση λειτουργικότητας γίνεται με τη σχέση :

$$Ed < Cd$$

όπου :

Ed = η τιμή σχεδιασμού της έντασης, π.χ. η τιμή σχεδιασμού του φορτίου που ασκείται στην θεμελίωση από την ανωδομή.

Cd = η οριακή τιμή σχεδιασμού της έντασης κατά το κριτήριο λειτουργικότητας, π.χ. η τιμή σχεδιασμού του φορτίου της θεμελίωσης που προκαλεί την μέγιστη αποδεκτή παραμόρφωση, βύθιση ή καθίζηση.

Επειδή κατά το εδάφιο 2.4.8(2) του EN1997-1, στην κατάσταση λειτουργικότητας οι τιμές των επιμέρους συντελεστών είναι ίσες με τη μονάδα, η ανωτέρω σχέση μπορεί να γραφεί ως : $E_k < C_k$. Συνεπώς, κατά τον έλεγχο υπολογίζεται το χαρακτηριστικό φορτίο (C_k) που προκαλεί την μέγιστη αποδεκτή παραμόρφωση και ελέγχεται ότι το ασκούμενο χαρακτηριστικό φορτίο (E_k) δεν υπερβαίνει το C_k .

Για παράδειγμα, εάν η μέγιστη αποδεκτή καθίζηση ενός πασσάλου είναι 10mm, τότε υπολογίζεται το φορτίο (C_k) που προκαλεί καθίζηση 10mm (συνήθως από την καμπύλη φορτίου – καθίζησης του πασσάλου) και ελέγχεται ότι το χαρακτηριστικό φορτίο (E_k) του πασσάλου δεν υπερβαίνει το C_k . Για τον υπολογισμό του (χαρακτηριστικού) φορτίου C_k του πασσάλου χρησιμοποιούνται οι

χαρακτηριστικές τιμές των εδαφικών παραμέτρων και δεν γίνεται χρήση του συντελεστή υλικού (γ_m).

Μέθοδος ελέγχου 2 :

Κατά το εδάφιο 2.4.8(1) του EN1997-1, ο έλεγχος στην κατάσταση λειτουργικότητας μπορεί να γίνει και με τη μέθοδο του εδαφίου 2.4.8(4) που αναφέρει (επί λέξει) :

(4) Μπορεί να επαληθεύεται ότι ενεργοποιείται επαρκώς χαμηλό ποσοστό της εδαφικής αντοχής για να διατηρούνται οι παραμορφώσεις u_{956} μέσα στα απαιτούμενα όρια λειτουργικότητας, υπό την προϋπόθεση ότι η απλοποιητική αυτή προσέγγιση περιορίζεται σε καταστάσεις σχεδιασμού όπου:

— *δεν απαιτείται τιμή της παραμόρφωσης για τον έλεγχο της οριακής κατάστασης λειτουργικότητας*

— *υπάρχει εμπειριστατωμένη συναφής εμπειρία με παρόμοιες συνθήκες εδάφους, φορέων και μεθόδου εφαρμογής.*

Στην περίπτωση αυτή, κατά το ανωτέρω εδάφιο, ελέγχεται ότι η τιμή σχεδιασμού του φορτίου (E_d) δεν υπερβαίνει ένα χαμηλό ποσοστό (low fraction) της τιμής σχεδιασμού της αντοχής (R_d) δηλαδή :

$$E_d < \mu R_d$$

όπου (μ) ένας συντελεστής αρκετά μικρότερος της μονάδας (sufficiently small to keep deformations within the required serviceability limits).

Για παράδειγμα, στην περίπτωση θεμελίωσης με πασσάλους, η ανωτέρω σχέση δίνει (βλέπε και εδάφιο 7.6.2.3 του EN 1997-1) :

$$\gamma_F F_k < \mu R_d \quad \text{ή} : \quad \gamma_F F_k < \mu (R_{b;d} + R_{s;d})$$

$$\text{ή} : \quad \gamma_F F_k < \mu (1/\gamma_m) [R_{b;k} / \gamma_b + R_{s;k} / \gamma_s]$$

Μπορεί να χρησιμοποιηθεί και διαφορετικός συντελεστής του (μ) για την πλευρική τριβή και την αντίσταση αιχμής (μ_s και μ_b). Συχνά θεωρείται ότι στην κατάσταση λειτουργικότητας αναπτύσσεται η πλήρης πλευρική τριβή του πασσάλου (οπότε $\mu_s = 1$) και μικρό μόνον ποσοστό της αντίστασης αιχμής (π.χ. $\mu_b=0.1$) οπότε :

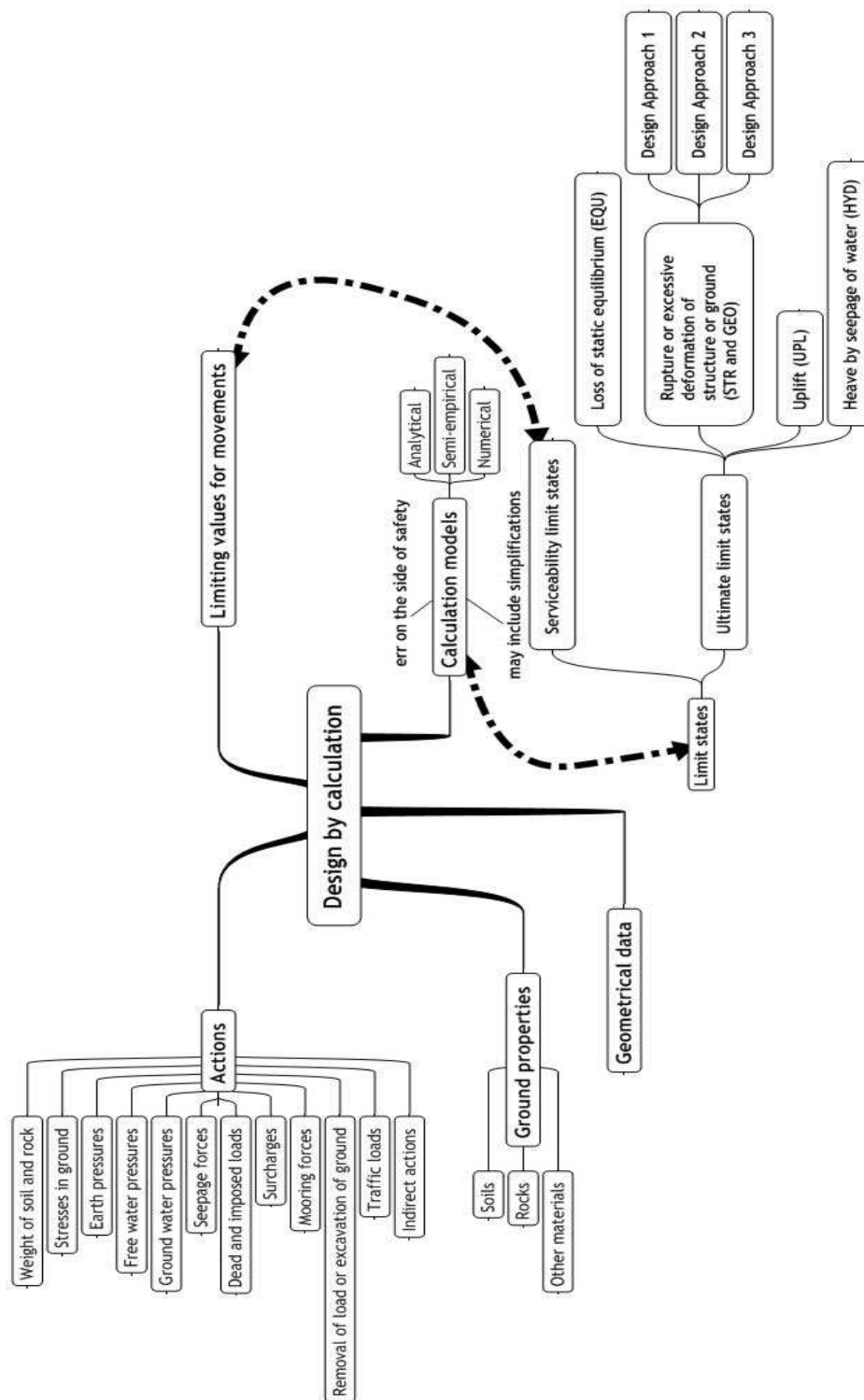
$$F_k < (1/\gamma_m) [\mu_b * R_{b;k} + \mu_s * R_{s;k}]$$

Η τελευταία σχέση προκύπτει από το εδάφιο 7.6.2.3(2)+(8) του EN1997-1, όπου κατά τον υπολογισμό της οριακής φέρουσας ικανότητας πασσάλου (ultimate compressive resistance) μέσω των χαρακτηριστικών τιμών των εδαφικών παραμέτρων (δηλαδή χωρίς την χρήση συντελεστών συσχέτισης ξ) δύναται να

χρησιμοποιηθεί συντελεστής προσομοίωσης (γ_m) ο οποίος αποτελεί αντικείμενο Εθνικής επιλογής. Στο Ελληνικό Εθνικό Προσάρτημα του EN1997-1, έγινε επιλογή $\gamma_m=1.30$. Συνεπώς, κατά τον έλεγχο σε οριακή κατάσταση λειτουργικότητας (SLS) με την ανωτέρω μέθοδο, και με εκτίμηση της χαρακτηριστικής τιμής της αντίστασης R_k (ή των αντιστάσεων $R_{su,k}$ και $R_{bu,k}$) μέσω των χαρακτηριστικών τιμών των εδαφικών παραμέτρων χωρίς τη χρήση συντελεστών συσχέτισης ξ , γίνεται χρήση του συντελεστή προσομοίωσης γ_m (model factor). Δηλαδή, απαιτείται το φορτίο του πασσάλου (F_k) να μην υπερβεί ένα μικρό ποσοστό (μ) της τιμής (R_k / γ_m).

2.7.4 Σχεδιασμός με βάση υπολογισμούς

Ο σχεδιασμός βάσει υπολογισμών περιλαμβάνει μια σειρά από στοιχεία, τα οποία συνοψίζονται στο σχήμα 2.6, (Bond & Harris - §3.6.1). Αυτά περιλαμβάνουν τρεις βασικές μεταβλητές: α) τις δράσεις (π.χ. το βάρος των εδαφών και των πετρωμάτων, τις ωθήσεις γαιών και τις πιέσεις του νερού, τα φορτία κυκλοφορίας, κ.λπ.), β) τις ιδιότητες του υλικού (π.χ. την πυκνότητα και την αντοχή του εδάφους, του βράχου, και άλλων υλικών), και γ) τα γεωμετρικά στοιχεία (π.χ. διαστάσεις θεμελίων, βάθη εκσκαφής, εκκεντρότητα της φόρτισης, κ.λπ.).



Σχήμα 2.6. Επισκόπηση του σχεδιασμού με βάση τους υπολογισμούς (Decoding EC7, Bond & Harris, 2008)

Οι βασικές μεταβλητές που τέθηκαν σε μοντέλα υπολογισμού, μπορεί να περιλαμβάνουν απλοποιήσεις, αλλά οφείλουν να «σφάλλουν προς την πλευρά της ασφάλειας». Αυτά τα μοντέλα μπορεί να είναι αναλυτικά (π.χ. θεωρία φέρουσας

ικανότητας), ήμι-εμπειρικές μέθοδοι (π.χ. η πρώτη μέθοδος του σχεδιασμού πασσάλου), ή αριθμητικές μέθοδοι (π.χ. ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων).

Τα υπολογιστικά μοντέλα χρησιμοποιούνται για να επιβεβαιώσουν ότι οι οριακές καταστάσεις δεν υπερβαίνονται. Για τις οριακές καταστάσεις λειτουργικότητας, τα μοντέλα αυτά πρέπει να αποδείξουν ότι οι προβλεπόμενες μετατοπίσεις δεν υπερβαίνουν τις οριακές τιμές της κίνησης, οι οποίες είναι συνήθως προδιαγεγραμμένες σε κάθε έργο. Για τις οριακές καταστάσεις, θα πρέπει να αποδειχθεί ότι τα αποτελέσματα των δράσεων δεν υπερβαίνουν τη διαθέσιμη αντοχή. Οι οριακές καταστάσεις που περιλαμβάνουν θραύση ή υπερβολική παραμόρφωση του φορέα ή του εδάφους (STR και GEO) και απώλεια της ισορροπίας, ανάταξη-άνωση, και υδραυλική ανεπάρκεια (EQU, UPL, και HYD). Ο προσεγγιστικός σχεδιασμός παρέχει την επιλογή στον τρόπο STR και GEO κι επαληθεύεται.

Στο εδάφιο 2.4 του EN 1997-1 αναφέρονται τα σχετικά με τον Γεωτεχνικό Σχεδιασμό βάσει Υπολογισμών. Ο σχεδιασμός μέσω υπολογισμών θα πρέπει να ακολουθεί τόσο τις βασικές απαιτήσεις του EN 1990 όσο και τους ειδικότερους κανόνες και αρχές του EN 1997-1. Ένας τέτοιος σχεδιασμός περιλαμβάνει τις ακόλουθες συνιστώσες:

— Τις δράσεις, που περιλαμβάνουν τα επιβαλλόμενα φορτία, μετακινήσεις και άλλους καταναγκασμούς (όπως θερμοκρασιακές μεταβολές, προένταση, κλπ). Οι τιμές των ανωτέρω μεγεθών συνήθως περιγράφονται μέσω των χαρακτηριστικών τους τιμών.

— Τις ιδιότητες των εδαφών, βράχων ή άλλων υλικών. Οι τιμές των ανωτέρω μεγεθών συνήθως περιγράφονται μέσω των χαρακτηριστικών τους τιμών.

— Τα γεωμετρικά στοιχεία του εδάφους, την Στάθμη του Υπογείου Ορίζοντα (Σ.Υ.Υ.) κ.ά. Οι τιμές των ανωτέρω μεγεθών συνήθως περιγράφονται μέσω των χαρακτηριστικών τους τιμών.

— Τους επιμέρους συντελεστές και άλλα στοιχεία ασφαλείας (όπως συντελεστές προσομοίωσης) που απαιτούνται για τους ελέγχους έναντι οριακών καταστάσεων αστοχίας (ultimate limit states – ULS). Οι τιμές αυτές δίνονται στον Ευρωκώδικα 7.

— Τις οριακές ή επιτρεπόμενες τιμές των παραμορφώσεων, δονήσεων κ.λπ. Που απαιτούνται για τους ελέγχους έναντι οριακών καταστάσεων λειτουργίας (serviceability limit states – SLS). Οι τιμές των μεγεθών αυτών εξαρτώνται από τις λειτουργικές απαιτήσεις της κατασκευής και συνεπώς καθορίζονται είτε από τον κατασκευαστή είτε από τον ιδιοκτήτη του έργου.

— Τυχόν άλλα πρότυπα υπολογισμού που δεν αντίκεινται στις αρχές του Ευρωκώδικα 7.

Οι ανωτέρω συνιστώσες σχετίζονται μεταξύ τους, (π.χ. ο τρόπος καθορισμού και επιλογής των δράσεων και των εδαφικών ιδιοτήτων επηρεάζει και τον απαιτούμενο συντελεστή ασφαλείας), ενώ οι αρχές για τον καθορισμό κάθε μίας από αυτές περιλαμβάνονται στον EC7.

Θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ότι η γνώση των εδαφικών συνθηκών εξαρτάται από την έκταση και την ποιότητα των γεωτεχνικών ερευνών. Η γνώση αυτή και ο ποιοτικός έλεγχος των εργασιών κατασκευής είναι συνήθως

σημαντικότεροι παράγοντες για την εκπλήρωση των θεμελιωδών απαιτήσεων από την ακρίβεια των υπολογιστικών προσομοιωμάτων και των επιμέρους συντελεστών.

Το υπολογιστικό προσομοίωμα πρέπει να περιγράφει τη θεωρούμενη συμπεριφορά του εδάφους για την οριακή κατάσταση στην οποία αναφέρεται. Εάν δεν διατίθεται αξιόπιστο υπολογιστικό προσομοίωμα για τη συγκεκριμένη οριακή κατάσταση, πρέπει να εκτελείται αναλυτικός υπολογισμός για μια άλλη οριακή κατάσταση με χρήση κατάλληλων συντελεστών, ώστε να εξασφαλίζεται ότι η πιθανότητα υπέρβασης της οριακής κατάστασης που εξετάζεται είναι επαρκώς μικρή. Εναλλακτικά πρέπει να διενεργείται σχεδιασμός με μέτρα που επιβάλλονται από κανονισμούς (prescriptive measures), πειραματικά προσομοιώματα και δοκιμαστικές φορτίσεις, ή τη μέθοδο παρατήρησης (observational method). Το υπολογιστικό προσομοίωμα μπορεί να αποτελείται από:

Αναλυτικό προσομοίωμα
Ήμι-εμπειρικό προσομοίωμα
Αριθμητικό προσομοίωμα.

Πρέπει να είναι ακριβές ή να αποκλίνει προς την πλευρά της ασφάλειας, να περιλαμβάνει απλοποιήσεις, κι εάν απαιτείται, τα αποτελέσματα του προσομοιώματος να τροποποιούνται, ώστε να εξασφαλίζεται ότι ο υπολογισμός καλύπτει τις παραπάνω απαιτήσεις. Εάν για την τροποποίηση των αποτελεσμάτων χρησιμοποιείται συντελεστής προσομοιώματος (model factor), θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη τα εξής:

- το εύρος της αβεβαιότητας στα αποτελέσματα της αναλυτικής μεθόδου
- τυχόν συστηματικά σφάλματα τα οποία είναι γνωστό ότι σχετίζονται με την αναλυτική μέθοδο.

Εάν στην ανάλυση χρησιμοποιείται κάποια εμπειρική σχέση, πρέπει να τεκμηριώνεται σαφώς ότι αυτή είναι εφαρμόσιμη στις συγκεκριμένες εδαφικές συνθήκες.

Οι οριακές καταστάσεις που περιλαμβάνουν τη δημιουργία κινηματικού μηχανισμού στο έδαφος θα πρέπει να ελέγχονται εύκολα με χρήση υπολογιστικού προσομοιώματος. Για τις οριακές καταστάσεις που ορίζονται μέσω παραμορφώσεων, οι παραμορφώσεις θα πρέπει να υπολογίζονται με τη μέθοδο που περιγράφεται στο 2.4.8 του EC7, ή να εκτιμώνται με κάποιο άλλο τρόπο.

Πολλά υπολογιστικά προσομοιώματα βασίζονται στην παραδοχή επαρκώς πλάστιμης συμπεριφοράς του συστήματος εδάφους/κατασκευής. Όμως, η έλλειψη πλαστιμότητας οδηγεί σε οριακή κατάσταση αστοχίας η οποία χαρακτηρίζεται από αιφνίδια αστοχία.

Οι αριθμητικές μέθοδοι μπορεί να είναι κατάλληλες, εάν εξετάζουν τη συμβατότητα των παραμορφώσεων ή την αλληλεπίδραση μεταξύ δομικής κατασκευής και εδάφους στην οριακή κατάσταση. Θα πρέπει να εξετάζεται η συμβατότητα των παραμορφώσεων στην οριακή κατάσταση. Μπορεί να απαιτείται

λεπτομερής αναλυτικός υπολογισμός, ο οποίος να λαμβάνει υπόψη τη σχετική δυστροπία φορέα και εδάφους, σε περιπτώσεις όπου θα μπορούσε να συμβεί συνδυασμένη αστοχία δομικών στοιχείων και εδάφους. Παραδείγματα των περιπτώσεων αυτών περιλαμβάνουν κοιτοστρώσεις, πασσάλους με εγκάρσια φόρτιση και εύκαμπτους τοίχους αντιστήριξης. Ιδιαίτερη προσοχή θα πρέπει να δίδεται στη συμβατότητα των παραμορφώσεων για ψαθυρά υλικά ή υλικά με χαρακτηριστικά απομείωσης της αντοχής σε μεγάλες παραμορφώσεις.

Σε ορισμένα προβλήματα, όπως εκσκαφές που υποστηρίζονται από εύκαμπτους τοίχους με αγκυρώσεις ή αντηρίδες, το μέγεθος και η κατανομή των ωθήσεων γαιών, των εσωτερικών δυνάμεων και των καμπτικών ροπών του φορέα εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τη δυστροπία του φορέα, τη δυστροπία και την αντοχή του εδάφους και την κατανομή των τάσεων στο έδαφος.

Σε τέτοια προβλήματα αλληλεπίδρασης εδάφους-κατασκευής, οι αναλύσεις θα πρέπει να χρησιμοποιούν σχέσεις τάσεων-παραμορφώσεων για εδαφικά και δομικά υλικά και καταστάσεις των τάσεων στο έδαφος, οι οποίες να είναι επαρκώς αντιπροσωπευτικές για την οριακή κατάσταση που εξετάζεται, ώστε να δίνουν ασφαλή αποτελέσματα.

2.7.5 Σχεδιασμός με βάση κανονιστικές διατάξεις - μέτρα

«Κανονιστικά μέτρα» είναι ένας συνδυασμός από συντηρητικούς κανόνες σχεδιασμού και αυστηρό έλεγχο της εφαρμογής τους που, εάν εγκριθούν, πρέπει να επιτυγχάνουν την μη εμφάνιση των οριακών καταστάσεων.

Οι κανόνες του σχεδιασμού, που συχνά ακολουθούν την τοπική σύμβαση, συνήθως καθορίζεται από τοπικές ή εθνικές αρχές, μέσω οικοδομικών κανονισμών, και η κυβέρνηση εκδίδει και παρέχει τα αντίστοιχα εγχειρίδια του σχεδιασμού, και άλλα τέτοια έγγραφα. Αυτοί οι κανόνες σχεδιασμού μπορεί να δοθούν σε ένα εθνικό παράρτημα της χώρας με το πρότυπο EN 1997-1.

Ο σχεδιασμός υπό αυστηρά μέτρα μπορεί να είναι πιο κατάλληλος από το σχεδιασμό με υπολογισμούς, ειδικά όταν υπάρχει «συγκρίσιμη εμπειρία», δηλαδή τεκμηριωμένη (ή άλλες σαφώς καθορισμένες πληροφορίες) σε παρόμοιο έδαφος, προϋποθέσεις που αφορούν παρόμοιες δομές - γεγονός που υποδηλώνει παρόμοια γεωτεχνικά συμπεριφορά.

Στο εδάφιο 2.5 του EN 1997-1 αναφέρεται ότι σε καταστάσεις σχεδιασμού όπου δεν διατίθενται ή δεν απαιτούνται υπολογιστικά προσομοιώματα, η υπέρβαση οριακών καταστάσεων μπορεί να αποκλεισθεί με χρήση μέτρων που επιβάλλονται από κανονιστικές διατάξεις. Τα μέτρα αυτά περιλαμβάνουν συμβατικούς και γενικά συντηρητικούς κανόνες στο σχεδιασμό και προσοχή στις προδιαγραφές και στον έλεγχο των υλικών, εργασιών κατασκευής, προστασίας και διαδικασιών συντήρησης

Ο σχεδιασμός βάσει κανονιστικών διατάξεων μπορεί να χρησιμοποιείται όπου η συναφής εμπειρία καθιστά τους υπολογισμούς σχεδιασμού πρακτικά μη απαραίτητους.

2.7.6 Σχεδιασμός με δοκιμαστικές φορτίσεις

Ο EC7 αναγνωρίζει το ρόλο της μεγάλης και μικρής κλίμακας στις δοκιμές μοντέλου, και δικαιολογεί το σχεδιασμό των γεωτεχνικών κατασκευών με υπολογισμό, κανονιστικά μέτρα, ή παρατήρηση. Ωστόσο, πέρα από την απαίτηση του χρόνου και την κλίμακα των αποτελεσμάτων πρέπει να συνυπολογίζονται και οι διαφορές μεταξύ της δοκιμής και της πραγματικής κατασκευής. Ο EN 1997-1 παρέχει πολύ λίγη καθοδήγηση για σχεδιασμό με τη δοκιμή.

Συγκεκριμένα στην §2.6 αναφέρει πως όταν χρησιμοποιούνται αποτελέσματα δοκιμαστικών φορτίσεων ή δοκιμών σε προσομοιώματα μεγάλης ή μικρής κλίμακας, για την τεκμηρίωση του σχεδιασμού, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη και να προβλέπονται τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- οι διαφορές στις εδαφικές συνθήκες μεταξύ της δοκιμής και της πραγματικής κατασκευής
- οι χρονικές επιδράσεις, ειδικά εάν η διάρκεια της δοκιμής είναι πολύ μικρότερη από τη διάρκεια φόρτισης στη πραγματική κατασκευή
- οι επιδράσεις κλίμακας, ειδικά εάν χρησιμοποιούνται μικρά προσομοιώματα. Οι επιδράσεις του μεγέθους των τάσεων πρέπει να εξετάζονται μαζί με τις επιδράσεις του μεγέθους των κόκκων.

Τέλος, δύναται να εκτελούνται δοκιμές σε δείγμα της πραγματικής κατασκευής ή σε προσομοιώματα πλήρους ή μικρότερης κλίμακας.

2.7.7 Σχεδιασμός με βάση την παρατήρηση

Ομοίως με το σχεδιασμό με δοκιμές, ο EC7 (§2.7), αναγνωρίζει το ρόλο της μεθόδου παρατήρησης στο σχεδιασμό και την κατασκευή των γεωτεχνικών κατασκευών, αλλά δεν παρέχει την απαραίτητη καθοδήγηση για το πώς να εφαρμοστεί.

Τα κυριότερα μέτρα που πρέπει να θεσπιστούν είναι: τα όρια όσον αφορά τη συμπεριφορά, την αξιολόγηση του φάσματος της πιθανής συμπεριφοράς, την εκπόνηση ενός σχεδίου παρακολούθησης, το σχεδιασμό αντιμετώπισης έκτακτων αναγκών και την εξασφάλιση πως η συμπεριφορά δεν υπερβαίνει τα αποδεκτά όρια. Αναλυτικότερες οδηγίες σχετικά με την εφαρμογή της μεθόδου παρατήρησης μπορούν να βρεθούν στη διεθνή βιβλιογραφία.

Οι οδηγίες που δίνονται από τον EC7, αναφέρουν πως όταν η γεωτεχνική συμπεριφορά είναι δύσκολο να προβλεφθεί, μπορεί να είναι κατάλληλη η εφαρμογή της «μεθόδου παρατήρησης», κατά την οποία ο σχεδιασμός επανεξετάζεται κατά τη διάρκεια της κατασκευής. Πριν από την έναρξη της κατασκευής του έργου πρέπει να ικανοποιούνται οι ακόλουθες απαιτήσεις :

- πρέπει να καθορίζονται τα αποδεκτά όρια συμπεριφοράς
- πρέπει να εκτιμάται το εύρος της πιθανής συμπεριφοράς και να αποδεικνύεται ότι η πραγματική συμπεριφορά θα ευρίσκεται εντός των αποδεκτών ορίων με

αποδεκτή πιθανότητα.

- πρέπει να καταστρώνεται σχέδιο ενόργανης παρακολούθησης, το οποίο θα υποδεικνύει κατά πόσον η πραγματική συμπεριφορά κείται εντός των αποδεκτών ορίων. Η ενόργανη παρακολούθηση πρέπει να επιβεβαιώνει το γεγονός αυτό σε επαρκώς πρώιμο στάδιο και σε επαρκώς σύντομα χρονικά διαστήματα, ώστε να είναι δυνατόν να αναλαμβάνονται επιτυχώς ενδεχόμενες διορθωτικές ενέργειες
- ο χρόνος απόκρισης των οργάνων και οι διαδικασίες ανάλυσης των αποτελεσμάτων πρέπει να είναι επαρκώς ταχείς σε σχέση με τη δυνατή εξέλιξη του συστήματος
- πρέπει να καταστρώνεται σχέδιο επανορθωτικών ενεργειών, το οποίο θα μπορεί να ενεργοποιείται εάν κατά την ενόργανη παρακολούθηση διαπιστωθεί συμπεριφορά του έργου εκτός των αποδεκτών ορίων.

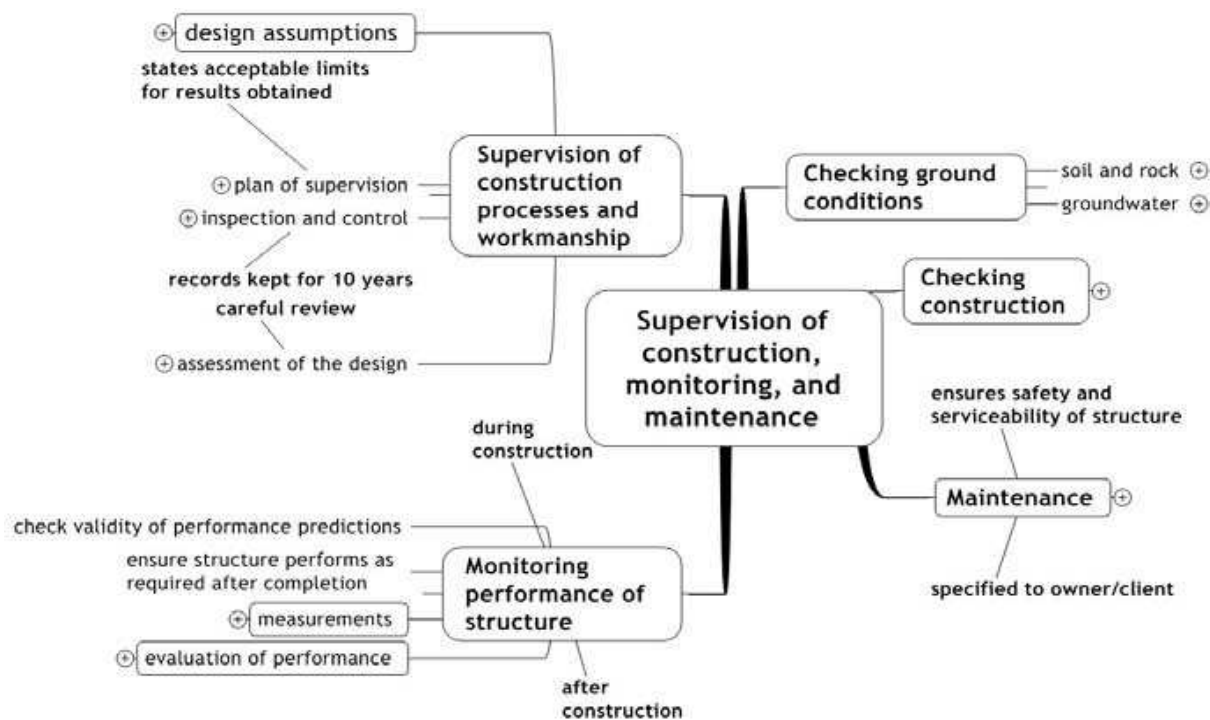
Κατά τη διάρκεια της κατασκευής, η ενόργανη παρακολούθηση πρέπει να εκτελείται όπως έχει σχεδιασθεί, καθώς αποτελεί το βασικό εργαλείο της παρατήρησης. Τα αποτελέσματα της ενόργανης παρακολούθησης πρέπει να αξιολογούνται στα κατάλληλα στάδια και οι προβλεπόμενες διορθωτικές ενέργειες πρέπει να ενεργοποιούνται εάν γίνεται υπέρβαση των ορίων συμπεριφοράς. Ο εξοπλισμός ενόργανης παρακολούθησης πρέπει να αντικαθίσταται ή να επεκτείνεται εάν δεν παρέχει αξιόπιστα στοιχεία κατάλληλου τύπου ή σε επαρκή ποσότητα.

2.8 Εποπτεία, παρακολούθηση και συντήρηση

Ο EC7 έχει συγκεκριμένες απαιτήσεις για τη διασφάλιση της ποιότητας και της ασφάλειας μιας κατασκευής. Έτσι, θα πρέπει να επιβλέπονται οι διαδικασίες κατασκευής, η απόδοσή της δομής θα πρέπει να παρακολουθείται κατά τη διάρκεια αλλά και μετά την κατασκευή, και τέλος είναι απαραίτητη η επαρκής συντήρηση της δομής. [EN 1997-1 §4.1 (1) P]

Ο EN 1997-1 ικανοποιεί αυτή την απαίτηση τονίζοντας πως αυτά θα πρέπει να αναλαμβάνονται «κατά περίπτωση». Έτσι, εάν ο τρόπος κατασκευής δεν χρειάζεται επίβλεψη, ή η δομή δεν χρειάζεται παρακολούθηση ή διατήρηση, τότε ο σχεδιασμός θα μπορούσε να αποκλείσει ρητά την ανάγκη για αυτά.

Η επίβλεψη των διαδικασιών κατασκευής και της ποιότητας των εργασιών και η παρακολούθηση της συμπεριφοράς του έργου κατά τη διάρκεια και μετά το πέρας της κατασκευής πρέπει να εκτελούνται σύμφωνα με τις προδιαγραφές της Έκθεσης Γεωτεχνικού Σχεδιασμού.



Σχήμα 2.7. Επισκόπηση της εποπτείας, παρακολούθησης και συντήρησης (Decoding EC7, Bond & Harris, 2008)

Το σχήμα 2.7 δίνει μια επισκόπηση των δραστηριοτήτων που καθορίζονται από τον EC7 ως μέρος των απαιτήσεων για την εποπτεία, την παρακολούθηση και τη συντήρηση. Μπορούν να περιλαμβάνουν την εποπτεία της διαδικασίας κατασκευής και την εργασία, την παρακολούθηση της απόδοσης της κατασκευής, ελέγχοντας τις συνθήκες του εδάφους, την κατασκευή και τη συντήρηση (Bond & Harris - §3.7).

2.8.1 Επίβλεψη

Το σχήμα 2.8, δείχνει μια λεπτομέρεια από το Σχήμα 2.7, που ασχολείται με την εποπτεία και μόνο τις απαιτήσεις ελέγχου. Περιγράφει ορισμένες δραστηριότητες που απαιτούνται για κατασκευές σε συγκεκριμένες μόνο Γεωτεχνικές Κατηγορίες - οι οποίες επισημαίνονται με τους αριθμούς στο διάγραμμα (Σε αυτό το διάγραμμα, GDR σημαίνει Έκθεση Γεωτεχνικού Σχεδιασμού), (Bond & Harris - §3.7.1).

Η εποπτεία περιλαμβάνει τον έλεγχο των σχεδιαστικών παραδοχών που ισχύουν, προσδιορίζοντας τις διαφορές μεταξύ των πραγματικών και των υποθετικών συνθηκών του εδάφους. Επίσης περιλαμβάνει τον έλεγχο του τρόπου κατασκευής κι αν αυτός είναι σύμφωνος με το σχεδιασμό. Ένα σχέδιο εποπτείας πρέπει να αναφέρει τα αποδεκτά όρια για τυχόν αποτελέσματα που προκύπτουν, υποδεικνύοντας το είδος, την ποιότητα και τη συχνότητα της εποπτείας.

Ο βαθμός και η ένταση της επιθεώρησης και της παρακολούθησης, καθώς και ο έλεγχος των συνθηκών του εδάφους και της κατασκευής, εξαρτώνται από τη Γεωτεχνική Κατηγορία (GC) στην οποία η κατασκευή έχει αντιστοιχηθεί. Αν

χρησιμοποιείται μια εναλλακτική μέθοδος για την αξιολόγηση των γεωτεχνικών κινδύνων, τότε ο βαθμός της επιθεώρησης και του ελέγχου θα πρέπει να επιλέγεται με γνώμονα τον κίνδυνο που ενέχεται. Το γεγονός ότι το πρότυπο EN 1997-1 αναφέρει την εποπτεία στις Γεωτεχνικές Κατηγορίες ως απαίτηση, καθιστά δύσκολη την αγνόηση και μη επίτευξη αυτού του σκοπού.

Τελικά η επίβλεψη των διαδικασιών κατασκευής και της ποιότητας των εργασιών θα πρέπει να περιλαμβάνει, κατά περίπτωση, τα ακόλουθα μέτρα:

- επαλήθευση της αξιοπιστίας των παραδοχών της μελέτης
- διαπίστωση των διαφορών μεταξύ των πραγματικών συνθηκών του εδάφους και των παραδοχών του σχεδιασμού
- έλεγχος ότι η κατασκευή εκτελείται σύμφωνα με το σχεδιασμό.

Παρατηρήσεις και μετρήσεις για την παρακολούθηση της συμπεριφοράς του έργου και της ευρύτερης περιοχής αυτού θα πρέπει να εκτελούνται, κατά περίπτωση:

- κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης της κατασκευής, π.χ. για να διαπιστώνεται η ανάγκη λήψης μέτρων αποκατάστασης ή μεταβολών στην κατασκευαστική ακολουθία,
- κατά τη διάρκεια και μετά το πέρας των εργασιών κατασκευής για να αξιολογείται η μακροχρόνια συμπεριφορά.

Οι εργασίες κατασκευής πρέπει να επιθεωρούνται με αυτοψίες σε συνεχή βάση και τα αποτελέσματα της επιθεώρησης πρέπει να καταγράφονται. Για τη Γεωτεχνική Κατηγορία 1, το πρόγραμμα επίβλεψης μπορεί να περιορίζεται σε οπτική επιθεώρηση, πρόχειρους ποιοτικούς ελέγχους και ποιοτική εκτίμηση της συμπεριφοράς του έργου. Για τη Γεωτεχνική Κατηγορία 2, θα πρέπει να απαιτούνται τακτικές μετρήσεις των ιδιοτήτων του εδάφους ή της συμπεριφοράς των κατασκευών. Για τη Γεωτεχνική Κατηγορία 3, θα πρέπει να απαιτούνται συμπληρωματικές μετρήσεις κατά τη διάρκεια εκάστου σημαντικού σταδίου της κατασκευής. Πρέπει να τηρούνται καταγραφές για τα εξής στοιχεία, κατά περίπτωση:

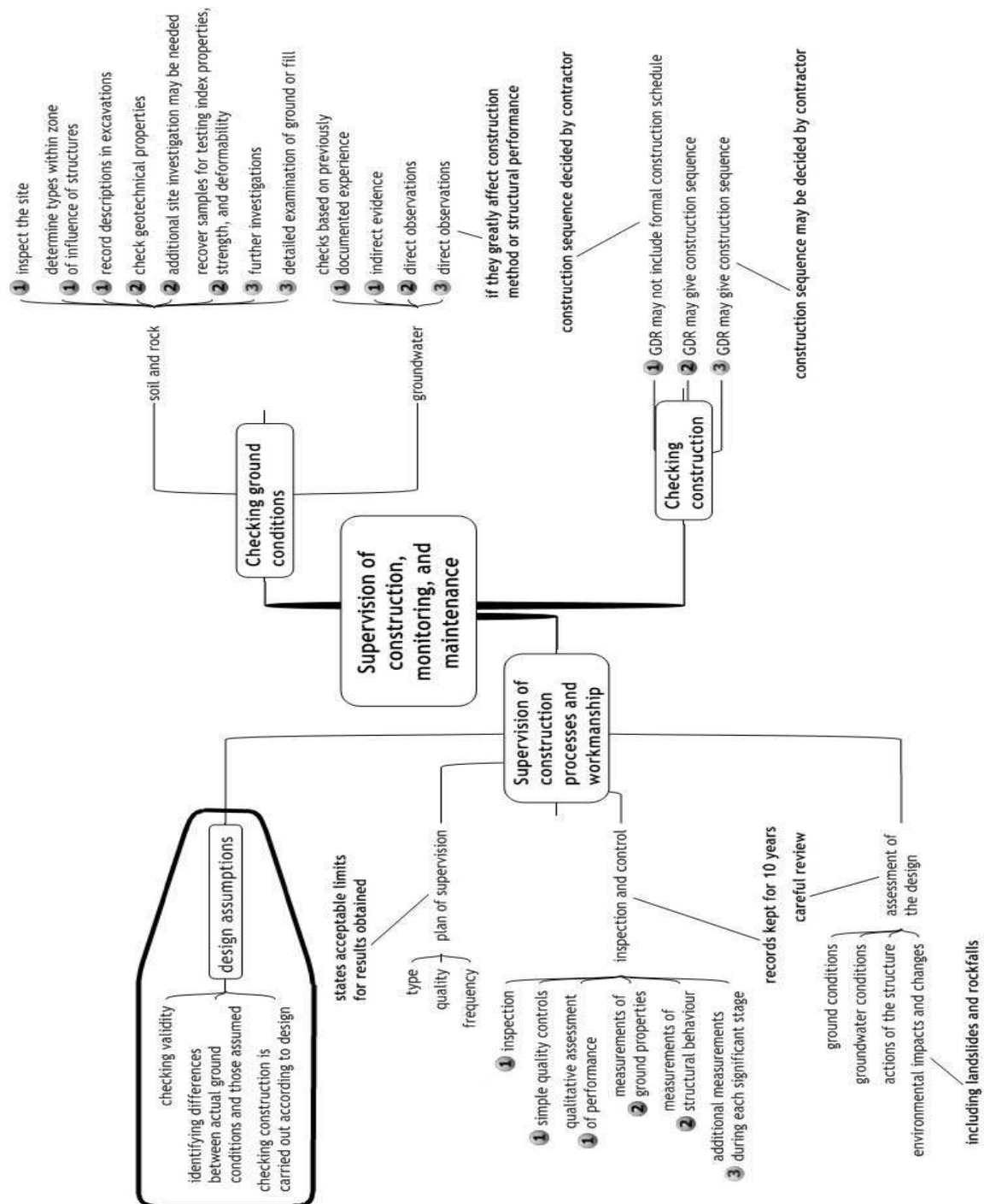
- σημαντικά χαρακτηριστικά του εδάφους και του υπόγειου νερού
- χρονισμό των εργασιών
- ποιότητα των υλικών
- αποκλίσεις από το σχεδιασμό
- κατασκευαστικά σχέδια (as-built drawings)
- αποτελέσματα των μετρήσεων και ερμηνεία τους
- παρατηρήσεις επί των περιβαλλοντικών συνθηκών
- απρόβλεπτα γεγονότα.

Οι στόχοι της ενόργανης παρακολούθησης είναι:

- ο έλεγχος της αξιοπιστίας των προβλέψεων της συμπεριφοράς οι οποίες έγιναν κατά το σχεδιασμό

- η εξασφάλιση της απαιτούμενης συμπεριφοράς του έργου μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής.

Το πρόγραμμα ενόργανης παρακολούθησης πρέπει να εκτελείται σύμφωνα με την Έκθεση Γεωτεχνικού Σχεδιασμού (βλ. και εδάφιο 2.8(3) του EN 1997-1).

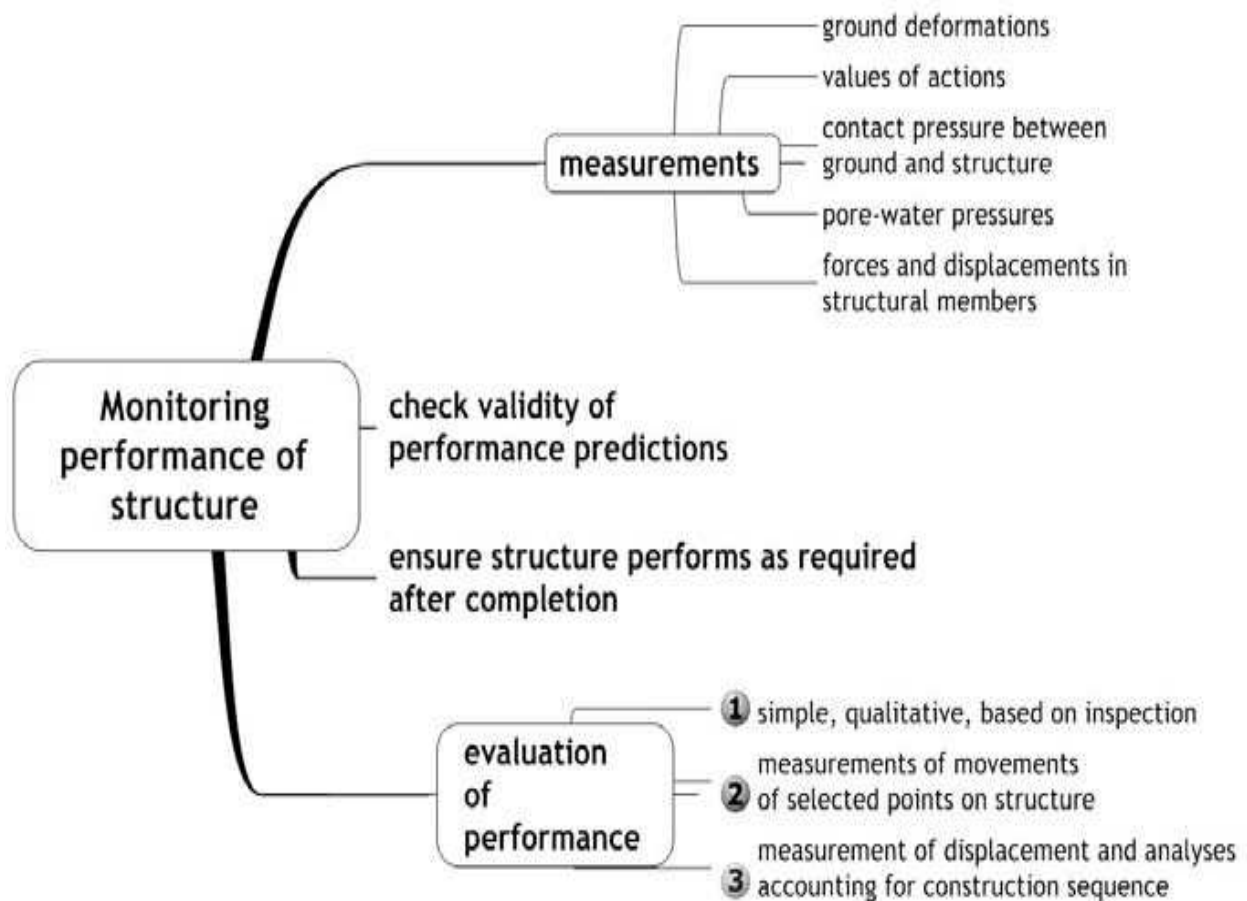


Σχήμα 2.8. Επίβλεψη της κατασκευής και τη διαδικασία κατασκευής (Decoding EC7, Bond & Harris, 2008)

2.8.2 Παρακολούθηση

Το Σχήμα 2.9 δείχνει μία άλλη λεπτομέρεια από το Σχήμα 2.7, το οποίο καλύπτει την παρακολούθηση της απόδοσης της δομής κατά τη διάρκεια αλλά και μετά την κατασκευή - φάση κατασκευής και φάση λειτουργίας.

Η παρακολούθηση περιλαμβάνει μετρήσεις των παραμορφώσεων του εδάφους, των δράσεων, των πιέσεων επαφής, και άλλα παρόμοια, καθώς και την αξιολόγηση της απόδοσης της κατασκευής. Για κατασκευές οι οποίες τοποθετούνται στη Γεωτεχνική Κατηγορία 1, η εν λόγω αξιολόγηση είναι απλή, ποιοτική και βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στην επιθεώρηση. Για τις κατασκευές της Γεωτεχνικής Κατηγορίας 2, η μετακίνηση - παραμόρφωση επιλεγμένων σημείων επί της δομής θα πρέπει να μετρώνται και να ελέγχονται. Τέλος, για τις κατασκευές της Γεωτεχνικής Κατηγορίας 3, η παρακολούθηση περιλαμβάνει επίσης ανάλυση της αλληλουχίας της κατασκευής. Εάν χρησιμοποιείται μια εναλλακτική μέθοδος για την εκτίμηση των γεωτεχνικών κινδύνων, τότε θα πρέπει να επιλέγεται ο βαθμός παρακολούθησης ανάλογα με τον κίνδυνο που ενέχεται.



Σχήμα 2.9. Παρακολούθηση της απόδοσης της δομής (Decoding EC7, Bond & Harris, 2008)

2.8.3 Συντήρηση

Η συντήρηση μιας κατασκευής εξασφαλίζει την ασφάλεια και την λειτουργικότητα της και οι απαιτήσεις για την επίτευξη της, πρέπει να ορίζονται ρητώς στον ιδιοκτήτη ή τον πελάτη. Αυτές οι απαιτήσεις περιλαμβάνουν τον προσδιορισμό των τμημάτων της κατασκευής που απαιτούν τακτική επιθεώρηση, προειδοποιώντας για τις εργασίες που δεν θα πρέπει να λάβουν χώρα χωρίς προηγούμενη αναθεώρηση του σχεδιασμού. Τέλος απαίτηση αποτελεί και η συχνότητα με την οποία πρέπει να πραγματοποιούνται οι επιθεωρήσεις.

2.8.4 Πρακτικές συστάσεις

Αν και ο EN 1997-1 επιβάλλει συγκεκριμένες απαιτήσεις για την εποπτεία, την παρακολούθηση και τη συντήρηση, δίνει μερικές πρακτικές συστάσεις ως προς τις ενέργειες που πρέπει να γίνουν ώστε να υπάρχει ανταπόκριση στις απαιτήσεις αυτές.

Αυτό αποδεικνύεται από το μικρό αριθμό των παραγράφων για το θέμα αυτό το σύνολο του Μέρους 1 (τριάντα τρεις), οι οποίες είναι οι εξής: §5 Επιχώσεις, απαντήσεις υδάτων, βελτιώσεις κι ενισχύσεις εδαφών, (οκτώ παράγραφοι). §6Επιφανειακές θεμελιώσεις, (δύο). / §7Θεμελιώσεις με πασσάλους, (οκτώ). / §8Αγκυρώσεις, (οκτώ). / §9Αντιστηρίξεις, (καμιά). / §11Ολική ευστάθεια, (δύο). / §12Επιχώματα, (πέντε).

2.9 Συνοπτική παρουσίαση των βασικών σημείων

«Η επίτευξη συμφωνίας μεταξύ των κρατών μελών της ΕΕ σχετικά με τη χρήση κι εφαρμογή μιας ενοποιημένης γεωτεχνικής μεθοδολογίας, οδήγησε στην εισαγωγή εννοιών και ορολογίας που μπορεί να μην είναι οικεία σε πολλούς σχεδιαστές – μελετητές θεμελιώσεων και άλλων γεωτεχνικών κατασκευών».

Διαβάζοντας για πρώτη φορά, το Μέρος 1 του EC7, πολλοί μηχανικοί τον θεώρησαν δύσκολο και δυσνόητο. Μεγάλη είναι η συμβολή σε αυτό της αφθονίας των «όρων της» (δηλαδή Αγγλικά γραμμένο με τρόπο που καθίσταται δυσκολότερο για τους μη αγγλόφωνους Ευρωπαίους να κατανοήσουν). Ωστόσο, ο EC7 είναι αντάξιος μιας παρατεταμένης μελέτης. Συγκεντρώνει πολλές εξαιρετικές αρχές σε ένα ολοκληρωμένο και με ορθολογικό τρόπο στημένο κείμενο, διατηρώντας τη συνέπεια στις βασικές αρχές του σχεδιασμού, ενώ εξακολουθεί να αναγνωρίζει τις δυσκολίες και τις ιδιαιτερότητες της γεωτεχνικής μηχανικής.

3. Η ΘΕΣΗ ΤΗΣ ΒΡΑΧΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΣΤΟΝ EC7

3.1 EC7 ΚΑΙ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

Ο Ευρωκώδικας 7 είναι το εναρμονισμένο ευρωπαϊκό πρότυπο που ασχολείται με το γεωτεχνικό σχεδιασμό. Παρόλο που ο σχεδιασμός σε πετρώματα περιλαμβάνεται στον κώδικα, δεν φαίνεται να υπάρχει πλήρης πρόβλεψη για την εφαρμογή του στη βραχομηχανική, καθώς δε δίνονται παρά μόνο περιορισμένες οδηγίες που αφορούν τη βραχομάζα. Το κεφάλαιο αυτό συνοψίζει μερικά από τα σημαντικότερα ζητήματα που θεωρείται ότι είναι απαραίτητο να βελτιωθούν σε ότι αφορά την εφαρμογή του EC7 για το σχεδιασμό στη βραχομηχανική. Στηρίζεται δε στις εργασίες των L.Lamas, A.Perucho, L.R.Alejandro, A.M.Ferrero και A.I.Sofianos, περιλαμβάνοντας θέματα όπως οι επιπτώσεις της ασυνεχούς φύσης των πετρωμάτων, οι οριακές καταστάσεις και οι τρόποι αστοχίας, το κριτήριο αντοχής, οι χαρακτηριστικές τιμές και οι επιμέρους συντελεστές για τη βραχομάζα, ο χαρακτηρισμός της βραχομάζας, η χρήση συστημάτων ταξινόμησης στο σχεδιασμό, που αποτελεί κι ένα από τα πιο σημαντικά ζητήματα.

Ο EC7 είναι ένα υποχρεωτικό επίσημο έγγραφο στην Ευρώπη, για το σχεδιασμό δημόσιων δομικών έργων. Περιέχει κανόνες αναφορικά με διάφορα κατασκευαστικά υλικά. Αρχικά είχε ισχύ για υπέργειες κατασκευές όπως γέφυρες και κτίρια, και αργότερα εξελίχθηκε ώστε να περιλαμβάνει και άλλους τύπους κατασκευών, όπως αυτές που σχετίζονται με την εδαφομηχανική. Η βασική ιδέα που διέπει τον κώδικα, είναι ο διαχωρισμός της αντοχής από την παραμορφωσιμότητα της κατασκευής. Η αντοχή καθορίζεται από τις δράσεις που εφαρμόζονται στις κατασκευές, ενώ η παραμορφωσιμότητα καθορίζεται από τις ιδιότητες των υλικών που αποτελούν την κατασκευή. Και οι δύο παραμετροποιούνται κατάλληλα. Η τελευταία θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη, στο σχεδιασμό, από την πρώτη για να είναι αποδεκτή.

Ο Ευρωκώδικας 2 δηλώνει ότι οι μηχανισμοί αστοχίας είναι αυτοί που υπαγορεύουν τη σχεδιαστική προσέγγιση. Η γνώση όσον αφορά τους πιθανούς, σχετικούς με την κατασκευή, μηχανισμούς αστοχίας είναι απαίτηση για το σχεδιασμό των κατασκευών. Μόνον τότε είναι δυνατόν να σχεδιαστούν μοντέλα με κριτήρια ασφαλείας. Επιπλέον, οι παράμετροι που χρησιμοποιούνται αντιστοιχούν στους σχετικούς αυτούς μηχανισμούς αστοχίας.

Ο EC7 είναι ένα από αυτά τα πρότυπα και ασχολείται με όλες τις πτυχές του γεωτεχνικού σχεδιασμού. Ασχολείται με κατασκευές πάνω ή μέσα στο έδαφος ή το βράχο. Οι όροι από πλευράς μηχανικής δεν είναι σαφώς διακριτοί, ενώ καθίστανται ασαφή και τα όριά τους. Η αντοχή μπορεί να χαρακτηρίσει το έδαφος ως βράχο αν ξεπερνάει το 1MPa, διαφορετικά ως έδαφος. Επιπλέον, στα εδάφη τα στοιχειώδη σωματίδια είναι πολύ μικρά σε σύγκριση με την τάξη μεγέθους της κατασκευής. Αυτό δεν ισχύει στις βραχομάζες, που αποτελούνται από μεγαλύτερους στοιχειώδεις όγκους, οι οποίοι διαφοροποιούνται σε μέγεθος σε σύγκριση με την κατασκευή. Η αντοχή, το σχήμα, ο προσανατολισμός και το μέγεθος αυτών των στοιχειωδών

όγκων, υπαγορεύουν την απάντηση, στον προσδιορισμό του εδάφους ή του βράχου. Η εδαφομηχανική περιλαμβάνει τόσο κατασκευές σε εδάφη, όσο και σε βράχο, και ο σχεδιασμός τους απαιτείται να ακολουθεί το σχετικό Ευρωκώδικα. Ως εκ τούτου, ο σχεδιασμός σε βραχώμαζες, κανονικά περιλαμβάνεται στο πεδίο εφαρμογής του EC7, αλλά αυτό συχνά παραβλέπεται.

Οι Ευρωκώδικες έχουν υιοθετήσει μια ήμι-πιθανοτική προσέγγιση του ελέγχου της ασφάλειας, με βάση τους κανόνες. Αυτό συνεπάγεται πως η ασφάλεια εισάγεται στα ακόλουθα επίπεδα:

1. Την επιλογή των κατάλληλων τιμών για τις διάφορες τυχαίες παραμέτρους (δράσεις και αντιστάσεις),
2. Την εφαρμογή των επιμέρους συντελεστών σε αυτές τις παραμέτρους, και
3. Την εισαγωγή των περιθωρίων ασφαλείας στα διάφορα μοντέλα που χρησιμοποιούνται στους υπολογισμούς.

Ο Γεωτεχνικός σχεδιασμός ήταν βραδύτερος από ότι ο δομικός στην εφαρμογή πιθανοτικών προσεγγίσεων. Οι λόγοι γι' αυτό μπορεί να είναι οι εμπειρικές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται κατά κόρον στο γεωτεχνικό σχεδιασμό. Οι Γεωτεχνικές μελέτες δεν ασχολούνται με βιομηχανικά υλικά, με σχετικά γνωστές τιμές παραμέτρων, αλλά με φυσικά υλικά, με αρκετά μεγάλη ποικιλία ως προς την προέλευση τους και την κατάσταση στην οποία βρίσκονται στη φύση. Οι Γεωτεχνικές δομές δεν είναι τόσο καλά καθορισμένες γεωμετρικά, όπως η δομή ενός κτιρίου ή μιας γέφυρας, και οι δράσεις τους είναι επίσης πιο δύσκολο να προσδιοριστούν και να ποσοτικοποιηθούν.

Η δημιουργία του EC7, εισάγει τη δομική έννοια της ασφάλειας στο γεωτεχνικό σχεδιασμό, κι αποτελεί ένα σημαντικό βήμα να διαβιβαστεί αυτή η έννοια σε πολλές ευρωπαϊκές χώρες. Είναι ενδιαφέρον να σημειωθεί ότι αρκετές ευρωπαϊκές χώρες, με καθιερωμένους κώδικες για το δομικό σχεδιασμό των κτιρίων και τις γέφυρες, δεν είχαν κώδικα για το γεωτεχνικό σχεδιασμό πριν τον EC7. Αυτή η ιδιόμορφη κατάσταση, απαίτησε πολύ συζήτηση όσον αφορά την εφαρμοσιμότητα των αρχών των Ευρωκωδίκων στις γεωτεχνικές κατασκευές. Προς το παρόν, η εφαρμογή του EC7, αν κι έχει ορισμένες δυσκολίες, μπορεί να θεωρηθεί αρκετά καλή για πολλούς τύπους γεωτεχνικών προβλημάτων.

Δυστυχώς, τα προβλήματα της βραχομηχανικής δεν μπορεί να θεωρηθούν ως παράδειγμα σχετικά με την εφαρμογή του EC7. Πολλοί λόγοι μπορεί να κρύβονται πίσω από αυτό το γεγονός, αλλά οι παρακάτω θεωρείται ότι είναι οι κυριότεροι:

- Παρά το γεγονός ότι ο EC7 καλύπτει όλες τις πτυχές του γεωτεχνικού σχεδιασμού σε έδαφος και πετρώματα, τα προβλήματα που αφορούν εδάφη είναι σαφώς κυρίαρχα στον κώδικα. Αρκεί να παρατηρήσει κανείς πως στο

κείμενο του EC7, οι λέξεις βράχος, βραχομάζα, πέτρωμα, αναφέρονται μόνο σε 31 παραγράφους, ενώ η λέξη έδαφος σχεδόν σε καθε παράγραφο. Ένας από τους λόγους ασφαλώς έγκειται στο πεδίο εφαρμογής του EC7, δηλαδή το γεωτεχνικό σχεδιασμό κτιρίων και τεχνικών έργων. Ο κώδικας αναφέρει ότι "για το σχεδιασμό ειδικής κατασκευής, όπως φράγματα, κι άλλες διατάξεις - εκτός από εκείνες των Ευρωκωδίκων - θα μπορούσε να είναι απαραίτητες".

- Η βραχομηχανική είναι η βασική επιστήμη που ασχολείται με τη στατική και δυναμική συμπεριφορά του άρρηκτου πετρώματος και της βραχομάζας. Περιλαμβάνει ένα μεγάλο αριθμό θεμάτων που δεν καλύπτονται από τον EC7, και δεν έχουν καν σχέση με τα κοινά τεχνικά έργα. Συχνά, οι μηχανικοί που ασχολούνται με πετρώματα, δεν έχουν εφαρμογές σε αστικό περιβάλλον. Αυτό μπορεί να αποτελεί έναν από τους λόγους για τους οποίους οι μηχανικοί πετρωμάτων έχουν πολύ μικρό ενδιαφέρον για τον EC7.
- Ένας ακόμα λόγος είναι ότι οι εμπειρογνώμονες που συνέβαλαν στη δημιουργία και τη σύνταξη του Ευρωκώδικα, είχαν ενδεχομένως μειωμένο ενδιαφέρον για τις πτυχές της βραχομηχανικής. Έτσι τα θέματα της βραχομηχανικής στο κείμενο του EC7 εμφανίζονται ελλιπή σε σχέση με εκείνα της εδαφομηχανικής.
- Η βραχομηχανική παρουσιάζει μια κρίσιμη διαφορά, σε σχέση με την εδαφομηχανική, η οποία είναι η ασυνεχής φύση των βραχομαζών. Έτσι, ενώ ο σχεδιασμός στην εδαφομηχανική, συνήθως γίνεται με τη θεώρηση ενός συνεχούς μέσου, στη βραχομηχανική ο ρόλος των ασυνεχειών είναι συχνά κυρίαρχος στον καθορισμό της συμπεριφοράς και των ιδιοτήτων της βραχομάζας.

3.2 Η ΟΡΙΑΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΤΗ ΒΡΑΧΟΜΗΧΑΝΙΚΗ

Η βάση της φιλοσοφίας του σχεδιασμού έναντι οριακών καταστάσεων είναι ότι σε κάθε συγκεκριμένη κατάσταση σχεδιασμού, για όλες τις πιθανές οριακές καταστάσεις μιας κατασκευής, ή μέρους αυτής, θα πρέπει να αποδεικνύεται ότι η πιθανότητα υπέρβασης τους είναι αρκετά μικρή (Ott & Farrel, 1999). Υποτίθεται ότι τόσο οι δράσεις όσο και η αντίσταση μιας κατασκευής είναι τυχαίες μεταβλητές και μπορεί να περιγραφούν από στατιστικές κατανομές. Ωστόσο, υπάρχουν ενδείξεις ότι αυτό δεν είναι πάντα η σωστή υπόθεση, ιδιαίτερα όταν ασχολούμαστε με τις ιδιότητες του βράχου. Πιθανότατα να συνδέεται με τη φυσική τυχαία μεταβλητότητα και τις ανακρίβειες, πράγμα που συνεπάγεται την αδυναμία πρόβλεψης της πραγματικότητας (Bond & Harris, 2008).

Τα γεωυλικά είναι εξαιρετικά μεταβλητά στη φύση και οι πληροφορίες που λαμβάνουμε από επιτόπου έρευνες, είναι συνήθως ελλιπείς και σχεδόν πάντα ανεπαρκείς (Muralha et al., 2009). Σε πολλές περιπτώσεις, αυξάνοντας τις διαθέσιμες πληροφορίες για τη βραχομάζα, επιτυγχάνεται ορθότερη κατανόηση των διαδικασιών που καθορίζουν τη συμπεριφορά και τις ιδιότητες της, και τελικά είναι δυνατή η

ποσοτικοποίηση των χαρακτηριστικών της. Σε άλλες περιπτώσεις, οι ιδιότητες της βραχομάζας και οι αντίστοιχες πληροφορίες για που διατίθενται είτε δεν είναι αρκετές είτε είναι τυχαίες, κι έτσι η ποσοτικοποίηση των χαρακτηριστικών της επιτυγχάνεται με βάση την εμπειρία. (Bedi & Harrison, 2012).

Το θέμα αυτό που αφορά τον τρόπο προσδιορισμού των ιδιοτήτων της βραχομάζας, μπορεί να γίνει κρίσιμο, όταν εμείς ασχολούμαστε με τις ιδιότητες της, και την εφαρμογή των στατιστικών μεθόδων που συνεπάγεται τη χρήση χαρακτηριστικών τιμών και επιμέρους παραγόντων.

Οι Bedi και Harrison (2012) υπόδειξαν τη δυσκολία ενασχόλησης με τη μεταβλητότητα αυτή στο πλαίσιο του EC7 και πρότειναν την υιοθέτηση της παρακάτω ρεαλιστικής προσέγγισης στο άμεσο μέλλον:

α) πλήρης κατανόηση των πτυχών εκείνων της βραχομηχανικής που είναι πραγματικά τυχαίες.

β) για τις πτυχές που στηρίζονται σε πληροφορίες και στοιχεία, είτε να εξασφαλίζονται τα απαιτούμενα δεδομένα δια της συλλογής, είτε να πραγματοποιούνται κατάλληλες εργασίες, ώστε να ποσοτικοποιηθεί η μεταβλητότητα και ως εκ τούτου, να καθοριστούν οι κατάλληλοι επιμέρους παράγοντες.

γ) για τις πτυχές που στηρίζονται στην εμπειρία, να αποφεύγονται οι αρχές σχεδιασμού έναντι οριακής κατάστασης και να συνεχίζονται οι προσεγγίσεις και οι αναλύσεις με βάση τις δράσεις.

Οι ίδιοι συγγραφείς προτείνουν να αναπτυχθούν οι μέθοδοι, με τις οποίες η επιστημονική αβεβαιότητα μπορεί να προσεγγίζεται και έτσι να ενσωματωθεί στην τρέχουσα έκδοση του προτύπου.

Και οι δύο προσεγγίσεις πρέπει να ακολουθούνται ταυτόχρονα. Ωστόσο, η σύγχρονη ανάγκη να διατίθενται μεθοδολογίες ώστε να καταστεί δυνατή η εφαρμογή των αρχών του EC7 στη βραχομηχανική, απαιτεί την επείγουσα έγκριση των παραπάνω προτάσεων.

Ένα βασικό ζήτημα που πρέπει να αντιμετωπιστεί επείγοντως έχει να κάνει με τις τιμές των επιμέρους συντελεστών στο σχεδιασμό σε βράχο. Αυτό ισχύει γιατί η στατική επάρκεια του εδάφους εξετάζεται, όπως για τα άλλα υλικά, σε όρους αντοχής και παραμόρφωσης. Η αντοχή του εδάφους εξαρτάται από τις γεωτεχνικές του παραμέτρους.

Από το κείμενο του EC7 (EN 1997-1, §3.3.2) διαπιστώνεται πως ο χαρακτήρας και τα βασικά συστατικά των εδαφικών ή βραχωδών σχηματισμών πρέπει να αναγνωρίζονται πριν από την ερμηνεία των αποτελεσμάτων άλλων δοκιμών. Το υλικό πρέπει να εξετάζεται μακροσκοπικά, να αναγνωρίζεται και να περιγράφεται σύμφωνα με αναγνωρισμένη ονοματολογία. Πρέπει να γίνεται γεωλογική αξιολόγηση. Τα εδαφικά υλικά θα πρέπει να ταξινομούνται και οι εδαφικές στρώσεις να περιγράφονται σύμφωνα με αναγνωρισμένο σύστημα εδαφοτεχνικής ταξινόμησης και περιγραφής. Οι βραχώμαζες θα πρέπει να ταξινομούνται με βάση την ποιότητα του βραχώδους υλικού και των διακλάσεων. Η ποιότητα του βραχώδους υλικού θα

πρέπει να περιγράφεται μέσω του βαθμού αποσάθρωσης, του βαθμού αποδιοργάνωσης, του επικρατούντος μεγέθους κόκκου των ορυκτών και της σκληρότητας και ανθεκτικότητας του κύριου ορυκτού. Οι διακλάσεις θα πρέπει να χαρακτηρίζονται βάσει του τύπου τους, του εύρους, της μεταξύ τους απόστασης και της ποιότητας του υλικού πλήρωσης. Εκτός από την οπτική εξέταση, μπορεί να χρησιμοποιείται ένας αριθμός δοκιμών κατάταξης, αναγνώρισης και ποσοτικοποίησης των εδαφικών και βραχωδών υλικών (βλ. EN 1997-2), όπως:

- για εδάφη: η κοκκομετρική διαβάθμιση, το ειδικό βάρος, το πορώδες, το ποσοστό υγρασίας, το σχήμα κόκκων, η επιφανειακή τραχύτητα κόκκων, ο δείκτης πυκνότητας, τα όρια Atterberg, η διόγκωση, η περιεκτικότητα σε ανθρακικά και οργανικά.
- για βράχους: η ορυκτολογία, η πετρογραφία, το ποσοστό υγρασίας, το ειδικό βάρος, το πορώδες, την ταχύτητα μετάδοσης ηχητικού κύματος, την ταχεία απορρόφηση νερού, τη διόγκωση, το δείκτης χαλάρωσης (slake-durability index) και την μοναξονική θλιπτική αντοχή.

Σύμφωνα με τον κώδικα, η επιλογή των χαρακτηριστικών τιμών για θα πρέπει να βασίζεται στα αποτελέσματα που προέρχονται από εργαστηριακές και επιτόπου δοκιμές, συμπληρωμένα από την καθιερωμένη εμπειρία. Η χαρακτηριστική τιμή των γεωτεχνικών παραμέτρων πρέπει να επιλέγεται εκτιμώντας προσεκτικά το βαθμό που επηρεάζουν την οριακή κατάσταση. Οι χαρακτηριστικές τιμές μπορεί να είναι μικρότερες τιμές, από την πιο πιθανή τιμή, ή μεγαλύτερες. Για κάθε υπολογισμό, ο πιο δυσμενής συνδυασμός των κατώτερων και ανώτερων τιμών των ανεξάρτητων παραμέτρων πρέπει να χρησιμοποιείται. Εάν χρησιμοποιούνται στατιστικές μέθοδοι, η χαρακτηριστική τιμή θα πρέπει να προκύπτει κατά τρόπο ώστε η υπολογιζόμενη πιθανότητα υπέρβασης της υπό εξέταση οριακής κατάστασης να έχει απόκλιση μικρότερη από 5%. Είναι αμφίβολο ότι οι τιμές των επιμέρους συντελεστών που καθορίζονται για τις ιδιότητες αντοχής των εδαφών ισχύουν επίσης και για τα πετρώματα, καθώς οι βραχώμαζες είναι συνήθως ασυνεχείς, (Σχήμα 1). Οι στοιχειώδεις όγκοι τους είναι μεγαλύτεροι από ότι των σωματιδίων του εδάφους, και συνήθως πολύ μεγαλύτεροι από ότι τα τυποποιημένα δείγματα που εξετάζονται στο εργαστήριο. Έτσι, αντιπροσωπευτικός όγκος μπορεί να μην δοκιμαστεί, απαγορεύοντας τον άμεσο προσδιορισμό των παραμέτρων μηχανικής στο εργαστήριο. Συνεπώς οι παράμετροι της μηχανικής καθορίζονται έμμεσα από μεμονωμένες παραμέτρους οι οποίες προκύπτουν απο επιτόπου κι εργαστηριακές μετρήσεις. Εκτός αυτού, οι παράμετροι αντοχής που είναι πολύ συνήθεις στη βραχομηχανική, όπως είναι η αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη του άρρηκτου βράχου και τα χαρακτηριστικά των ασυνεχειών, όπως ο προσανατολισμός, οι αποστάσεις, η εμμόνη, η τραχύτητα, η αντοχή των τοιχωμάτων, το άνοιγμα, το υλικό πλήρωσης και το νερό, δεν περιλαμβάνονται στον EC7. Αυτό είναι σίγουρα ένα πολύπλοκο θέμα που θα εξακολουθεί να απαιτεί έρευνα και χρόνο.



Σχήμα 1 Συνήθεις ρωγματομένες βραχώμαζες (Critical review of Eurocode-7 regarding rock mass characterization, A.M. Ferrero, A.I. Sofianos, L.R. Alejano)

Ένα άλλο σημαντικό ζήτημα που αφορά στην εφαρμογή του EC7 στη βραχομηχανική έχει να κάνει με τις οριακές καταστάσεις που εξετάζονται κατά το σχεδιασμό και με τον τρόπο που εφαρμόζονται για τα πετρώματα. Μια πλήρης επανεξέταση του υπάρχοντος κειμένου είναι απαραίτητη, αφού αναφέρεται συχνά μόνο σε εδάφη, χωρίς προσοχή στις βραχομάζες. Η εξέταση σημαντικών γεωλογικών χαρακτηριστικών, όπως διατμημένες ζώνες, κοιλότητες ή καρστικά κενά που πληρούνται με μαλακότερο υλικό, επίπεδα διαστρωμάτωσης ή σχιστότητας, καθώς επίσης και άλλες ασυνέχειες που ομαδοποιούνται, είναι καίριας σημασίας για τον ορισμό των τρόπων εφαρμογής της ανάλυσης έναντι των οριακών καταστάσεων στη βραχομηχανική, αλλά αυτό δεν αντανακλάται επαρκώς στην τρέχουσα διατύπωση του EC7. Αυτό φαίνεται και από το γεγονός ότι στον EC7 δίνονται οδηγίες για την εκτίμηση της ποιότητας και των ιδιοτήτων του βράχου και της βραχώμαζας σε δυο μόνο παραγράφους, οι οποίες παρουσιάζονται αμέσως μετά.

Σύμφωνα με τις παράγραφους 3.3.8 και 3.3.9.2 του κειμένου του EN 1997-1 ισχύουν τα εξής:

(1) Κατά την εκτίμηση της ποιότητας και των ιδιοτήτων βράχων και βραχώμαζας πρέπει να γίνεται διάκριση μεταξύ της συμπεριφοράς του βραχώδους υλικού όπως μετράται σε αδιατάρακτα δείγματα πυρήνων και της συμπεριφοράς πολύ μεγαλύτερων βραχωδών μαζών, οι οποίες περιλαμβάνουν δομικές ασυνέχειες όπως επίπεδα στρώσης, διακλάσεις, ζώνες διάτμησης και καρστικά έγκοιλα. Θα πρέπει να δίνεται προσοχή στα ακόλουθα χαρακτηριστικά των διακλάσεων:

—αποστάσεις (spacing)

—προσανατολισμό (orientation)

—άνοιγμα (εύρος) (aperture)

—μήκος (συνέχεια) {persistence (continuity)}

—άνοιγμα (tightness)

—τραχύτητα (roughness), η οποία περιλαμβάνει και τις επιδράσεις προηγούμενων μετακινήσεων κατά μήκος των διακλάσεων

—υλικό πλήρωσης (filling).

(2) Συμπληρωματικά, κατά την εκτίμηση των ιδιοτήτων βράχων και βραχώμαζας, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη τα ακόλουθα στοιχεία, εφόσον είναι σχετικά:

—επιτόπου τάσεις

—υδατικές πιέσεις

—έντονες μεταβολές ιδιοτήτων μεταξύ διαφορετικών στρώσεων.

(3) Εκτιμήσεις ιδιοτήτων βραχωδών μαζών, όπως:

—αντοχής και δυστροπίας

—διακλάσεων, ιδιαίτερα σε ρηγματωμένες ζώνες

—διαπερατότητας νερού του συστήματος διακλάσεων

—ιδιοτήτων παραμόρφωσης αποσαθρωμένου βράχου,

—μπορεί να αποκτώνται χρησιμοποιώντας το σύστημα ταξινόμησης της βραχώμαζας που περιγράφεται στο EN 1997-2.

(4) Πρέπει να εκτιμάται η ευαισθησία των βράχων, π.χ. σε κλιματολογικές μεταβολές ή μεταβολές τάσεων. Επίσης, πρέπει να δίνεται προσοχή στις συνέπειες της χημικής αποσάθρωσης στη συμπεριφορά θεμελιώσεων σε βράχο.

(5) Κατά την εκτίμηση της ποιότητας βράχων και βραχώμαζας, θα πρέπει να δίνεται προσοχή στα εξής χαρακτηριστικά:

—μερικοί πορώδεις βράχοι υποβαθμίζονται ταχέως σε εδάφη χαμηλής αντοχής, ειδικά εάν εκτίθενται σε επιδράσεις αποσάθρωσης

—μερικοί βράχοι παρουσιάζουν υψηλούς ρυθμούς διάλυσης οι οποίοι οφείλονται στη δράση υπόγειου νερού το οποίο προκαλεί αγωγούς, έγκοιλα και καταβόθρες, οι οποίες μπορεί να εκτείνονται μέχρι την επιφάνεια του εδάφους

—όταν αποφορτίζονται και εκτίθενται στον αέρα, μερικοί βράχοι παρουσιάζουν έντονη διόγκωση λόγω απορρόφησης νερού από αργιλικά ορυκτά.

Όσον αφορά στη Μοναξονική Θλιπτική Αντοχή και Παραμορφωσιμότητα βραχωδών υλικών στον EC7 αναφέρονται τα εξής:

Κατά την εκτίμηση της μοναξονικής θλιπτικής αντοχής και της παραμορφωσιμότητας των βραχωδών υλικών, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη τα εξής χαρακτηριστικά: ο προσανατολισμός του άξονα φόρτισης σε σχέση, για παράδειγμα, με την ανισοτροπία του δείγματος, τα επίπεδα στρώσης, η σχιστότητα, η μέθοδος δειγματοληψίας, το ιστορικό και το περιβάλλον αποθήκευσης, ο αριθμός των δειγμάτων τα οποία υποβλήθηκαν σε δοκιμή, η γεωμετρία των δειγμάτων τα οποία υποβλήθηκαν σε δοκιμή, το ποσοστό υγρασίας και ο βαθμός κορεσμού κατά το χρόνο της δοκιμής, η διάρκεια της δοκιμής και ο ρυθμός φόρτισης, η μέθοδος προσδιορισμού του μέτρου ελαστικότητας (Young) και το μέγεθος ή τα μεγέθη της αξονικής τάσης

στην οποία τούτο προσδιορίστηκε.

Για τη Διατμητική Αντοχή Διακλάσεων στον EC7 γράφονται:

(1) Κατά την εκτίμηση της διατμητικής αντοχής των διακλάσεων των βραχωδών υλικών, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη τα εξής χαρακτηριστικά: ο προσανατολισμός του δείγματος σε σχέση με τη βραχώμαζα και τις θεωρούμενες δράσεις, ο προσανατολισμός της δοκιμής διάτμησης, ο αριθμός των δειγμάτων τα οποία υποβλήθηκαν σε δοκιμή, οι διαστάσεις της επιφάνειας που διατμήθηκε, οι συνθήκες πίεσης πόρων, η δυνατότητα προοδευτικής θραύσης η οποία διέπει τη συμπεριφορά της επιτόπου βραχώμαζας.

(2) Τα επίπεδα διάτμησης κανονικά συμπίπτουν με τα επίπεδα ελάχιστης αντοχής του βράχου (διακλάσεις, επίπεδα στρώσης, σχιστότητα) ή με τη διεπιφάνεια μεταξύ εδάφους και βράχου ή σκυροδέματος και βράχου. Μετρήσεις της διατμητικής αντοχής στα επίπεδα αυτά θα πρέπει κανονικά να χρησιμοποιούνται για την ανάλυση οριακής ισορροπίας της βραχώμαζας.

Τέλος ο EC7 αναφέρεται στις Παράμετρους Διαπερατότητας Βράχου σημειώνοντας ότι:

(1) Επειδή η διαπερατότητα της βραχώμαζας εξαρτάται κυρίως από το βαθμό των διακλάσεων και την ύπαρξη άλλων ασυνεχειών όπως ρηγματώσεις και ρωγμές (fractures and fissures), πρέπει να μετράται με κατάλληλες επιτόπου δοκιμές ή να εκτιμάται από τοπική εμπειρία.

(2) Η επιτόπου διαπερατότητα μπορεί να προσδιορίζεται από σύστημα δοκιμών άντλησης σε συνδυασμό με καταγραφή των παροχών, με κατάλληλη θεώρηση των χωρικών, υδρογεωλογικών συνθηκών ροής γύρω από τη δομική κατασκευή και της χαρτογράφησης των τύπων διακλάσεων και άλλων ασυνεχειών.

(3) Εργαστηριακές δοκιμές διαπερατότητας θα πρέπει να χρησιμοποιούνται μόνο για τη μελέτη της επίδρασης των ασυνεχειών, για παράδειγμα, σε σχέση με μεταβλητά ανοίγματα..

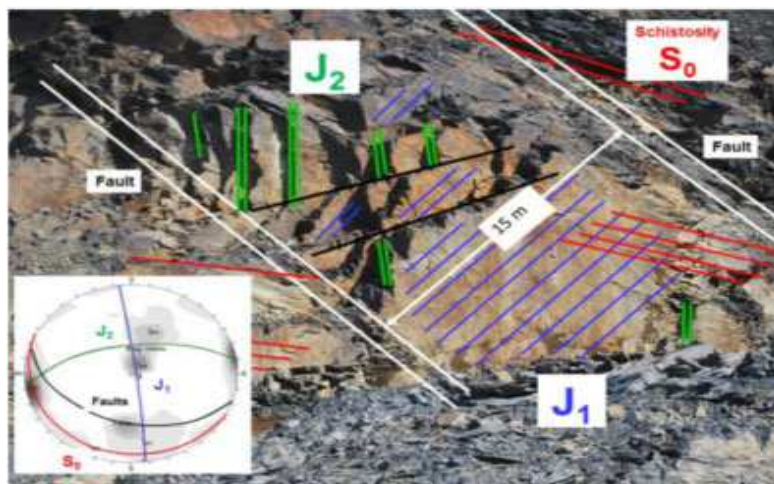
Όταν παρατηρούμε το σχεδιασμό με βάση τις οριακές καταστάσεις και την εφαρμογή του στη βραχομηχανική, είναι αρκετά ενδιαφέρον να δούμε ότι απαιτείται η διεύρυνση του φάσματος των εφαρμογών, έξω από το αυστηρό πλαίσιο του EC7 (κυρίως για τα επιφανειακά και βαθιά θεμέλια, τα πρανή, του τοίχους αντιστήριξης και τα αγκύρια), για τους κοινούς τύπους των έργων βραχομηχανικής, συμπεριλαμβανομένων των υπογείων θαλάμων, τις σήραγγες ή τα θεμέλια φράγματος. Παρά τα προβλήματα που μπορεί να προκύψουν κατά την εφαρμογή του EC7 σε μερικά από αυτά τα έργα, όπως στην επένδυση υποστήριξης σήραγγας, είναι χρήσιμο να προσπαθήσουμε να έχουμε την ίδια λογική όσον αφορά την οριακή κατάσταση που εφαρμόζεται στο σχεδιασμό ενός ευρέος φάσματος κατασκευών σε βράχο.

3.3 Η ΑΣΥΝΕΧΗΣ ΦΥΣΗ ΤΗΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ

Μέσα στη γενική φιλοσοφία των Ευρωκωδίκων βρίσκεται η παραδοχή ότι οι μηχανισμοί αστοχίας υπαγορεύουν τη μεθοδολογία σχεδιασμού. Για παράδειγμα, στο κεφάλαιο 11 του EC7, «Ολική Ευστάθεια», μπορεί κανείς να διαβάσει: "Όλες οι οριακές καταστάσεις θα πρέπει να εξετάζονται, ώστε να ικανοποιούνται οι θεμελιώδεις απαιτήσεις ευστάθειας, περιορισμένων παραμορφώσεων, ανθεκτικότητας και πειοισμού μετακινήσεων των γειτονικών έργων ή δικτύων κοινής ωφέλειας". Η γνώση σχετικά με τους πιθανούς μηχανισμούς αστοχίας είναι μια απαίτηση για το σχεδιασμό των κατασκευών. Μόνο τότε είναι δυνατόν να σχεδιαστούν τα μοντέλα και τα κριτήρια ασφαλείας. Ως εκ τούτου, αναφέρεται ότι η χαρακτηριστική παράμετρος πρέπει να αντιστοιχεί στους σχετικούς μηχανισμούς αστοχίας.

Τυπικές κατασκευές και δομικά υλικά, όπως όπως ο χάλυβας, το ξύλο ή το σκυρόδεμα είναι συνεχή μέσα. Η ανάλυσή τους ακολουθεί τους κανόνες της μηχανικής συνεχούς μέσου, και ως εκ τούτου οι απαιτήσεις αξιολογούνται με τις καθιερωμένες διαδικασίες δομικού σχεδιασμού. Η εκτίμηση των ικανοτήτων τους, δηλαδή της αντοχής και της παραμορφωσιμότητας τους, είναι ευθέως ανάλογη και σύμφωνη με τους κώδικες. Έτσι και για τα εδάφη, η διαδικασία σχεδιασμού μπορεί να είναι αντίστοιχη, δεδομένου ότι μακροσκοπικά μπορούν να θεωρηθούν συνεχή μέσα κι αυτά, επομένως οι ιδιότητες αντοχής και παραμορφωσιμότητας τους μπορούν να καθοριστούν μέσω προτύπων διαδικασιών ελέγχου.

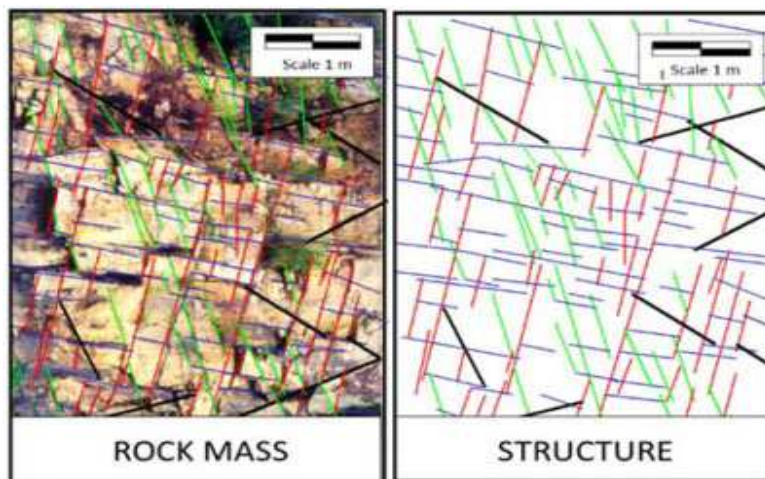
Ωστόσο, τα πετρώματα, όπως συναντώνται στη φύση δεν είναι συνεχή υλικά. Οι ασυνέχειες, οι επιφάνειες σχιστότητας και στρώσεων, οι διακλάσεις και ρήγματα γεωλογικής προέλευσης τείνουν να είναι τα κύρια χαρακτηριστικά του βράχου (Σχήμα 2). Με αυτόν τον τρόπο η αντοχή και η παραμόρφωση επηρεάζονται τόσο από τις ιδιότητες του άρρηκτου βράχου όσο και από εκείνες των ασυνεχειών, δηλαδή τη δομή της βραχομάζας.



Σχήμα 2. Τυπική βραχομάζα σε πρανές: σχιστόλιθος με διάφορα σύνολα ασυνέχειας να φαίνονται και τη στερεογραφική προβολή των δεδομένων. (Some key issues regarding application of Eurocode 7 to rock engineering design, L. Lamas, A. Perucho, L.R. Alejano)

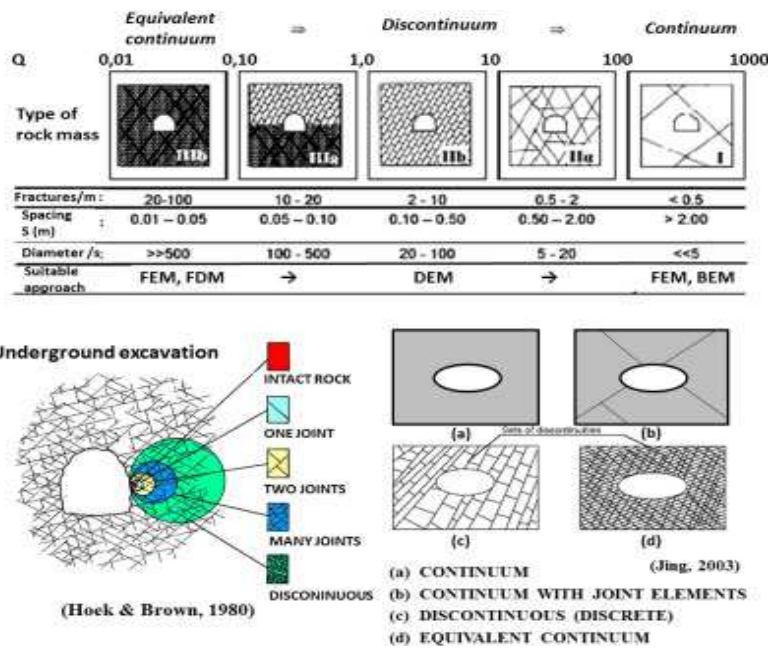
Η συμπεριφορά του βράχου εξαρτάται από το μέγεθος του στοιχειώδους όγκου και τη σχέση του με την κατασκευή (Hoek & Brown, 1980). Αυτές οι επιδράσεις μπορεί να εκτιμηθούν εξετάζοντας διάφορες φορτίσεις στις οποίες υποβάλλεται η βραχομάζα από την κατασκευή (Σχήμα 3). Τα ποσοστά του ασθενέστερου υλικού και του ισχυρότερου - άρρηκτου βράχου, καθώς και τα σχετικά δομικά χαρακτηριστικά, όπως οι ασυνέχειες, το μέγεθος των τεμαχών, η σχιστότητα κ.ά., ελέγχουν τη συμπεριφορά της βραχομάζας (Barton, 1998).

Έτσι οι ασυνέχειες πρέπει απαραίτητως να υπολογίζονται, ακόμη κι αν αυτό γίνεται σιωπηρά ή ρητά.



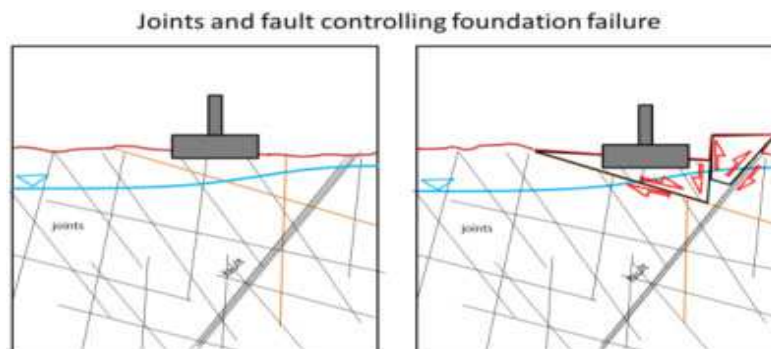
Σχήμα 3 Οι έννοιες της βραχομάζας, η φυσική εμφάνιση βράχου, και η δομή της βραχομάζας και η συνολική γεωμετρική διαμόρφωση των ασυνεχειών στη βραχομάζα. (Critical review of Eurocode-7 regarding rock mass characterization, A.M. Ferrero, A.I. Sofianos, L.R. Alejano)

Η επιλογή προσέγγισης διέπεται από τα χαρακτηριστικά των ασυνεχειών σε σχέση με την κλίμακα (Σχήμα 4) (Jing, 2003). Μοντέλα συνεχής μπορεί να χρησιμοποιηθούν σε κακής ποιότητας βραχομάζες ή όταν ο άρρηκτος βράχος είναι αυτός που καθορίζει τη συμπεριφορά της βραχομάζας. Ισοδύναμα συνεχής μοντέλα μπορεί να χρησιμοποιηθούν όταν η απόκριση του ασθενέστερου υλικού εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του συστήματος άρρηκτος βράχος - ασυνέχειες. Τέλος, ασυνεχή ή διακριτά μοντέλα θα πρέπει να χρησιμοποιούνται όταν η απόκριση τάσης-παραμόρφωσης διέπεται κυρίως από τη συμπεριφορά της ασυνέχειας.



Σχήμα 4 Σχέση μεταξύ της συμπεριφοράς του μοντέλου και κλίμακας στη βραχομηχανική. (Jing, 2003)

Η κλίμακα της ασυνέχειας σε σχέση με το μέγεθος της κατασκευής θα πρέπει επίσης να λαμβάνεται υπόψη για την προσέγγιση του μοντέλου (Σχήμα 4). Είναι, επίσης, σημαντικό να συνεκτιμάται ο ρόλος των μεμονωμένων μεγάλων ασυνεχειών, αφού αυτές είναι που ελέγχουν τελικά σε μεγάλο βαθμό την φέρουσα ικανότητα ενός έργου (Σχήμα 5).



Σχήμα 5. Τύποι αστοχίας (Some key issues regarding application of Eurocode 7 to rock engineering design, L. Lamas, A. Perucho, L.R. Alejano)

Επιπλέον, ο EC7 αναφέρεται στο χαρακτηρισμό της ασυνέχειας με πολύ ασαφή τρόπο. Κατά συνέπεια, όταν αναφέρεται στις ιδιότητες του εδάφους, δηλώνει «Ιδιότητες του εδάφους και βραχομάζας. . . Που λαμβάνονται από τα αποτελέσματα των δοκιμών, είτε άμεσα είτε μέσω συσχέτισης, θεωρίας ή εμπειρίας και από άλλα συναφή στοιχεία». Αυτό είναι πολύ ασαφές, και για την περίπτωση των πετρωμάτων, οι ιδιότητες δεν πρέπει να βασίζονται μόνο σε εργαστηριακές και επί τόπου δοκιμές, αλλά για τον λεπτομερή χαρακτηρισμό τους η επιτόπου συλλογή στοιχείων, η

θραύση και οι καιρικές συνθήκες, τα γεωλογικά χαρακτηριστικά - εάν παρατηρηθούν, κλπ, πρέπει να συμμετέχουν στην εκτίμηση της ποιότητας της βραχομάζας ή στην κατάταξη της σύμφωνα με τις διαθέσιμες τεχνικές που μπορεί να πραγματοποιηθούν, αν είναι απαραίτητο.

Στο κεφάλαιο 3 του EC7 - 1, που πραγματεύεται τα γεωτεχνικά στοιχεία, δίνονται κάποιες κατευθυντήριες γραμμές που σχετίζονται με τον χαρακτηρισμό του εδάφους και του βράχου, τονίζοντας ότι «ο βράχος πρέπει να κατατάσσεται με όρους. . . ασυνεχειών». Συνεχίζει τονίζοντας ότι «οι ασυνέχειες θα πρέπει να χαρακτηρίζονται από τον τύπο, το πλάτος, το άνοιγμα και την ποιότητα του υλικού πλήρωσης». Επιπλέον σε αυτή την ενότητα αναφέρεται ότι «Από την εξέταση πρέπει να δίδονται τα ακόλουθα χαρακτηριστικά των ασυνεχειών: η απόσταση, ο προσανατολισμός, το άνοιγμα, η εμμόνη, η τραχύτητα». Η τελευταία δεν είναι συνεπής με την προηγούμενη κατάσταση.

3.4 Ο ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ

Ο χαρακτηρισμός της βραχομάζας έχει αγνοηθεί σημαντικά στον EC7. Ο Αντιπροσωπευτικός Στοιχειώδης Όγκος (REV) της βραχομάζας είναι συνήθως πολύ μεγαλύτερος σε σύγκριση με αυτόν του εδάφους, όπου το μέγεθος ενός εργαστηριακού δοκιμίου μπορεί να είναι αντιπροσωπευτικό του πεδίου. Για να εξαχθούν πληροφορίες για τη βραχομάζα σε μία κλίμακα, ο χαρακτηρισμός της βραχομάζας πρέπει να λαμβάνει υπόψη τόσο τις εργαστηριακές πειραματικές δοκιμές, όσο και την επιτόπου έρευνα. Εφόσον η γεωμετρία των ασυνεχειών καθορίζει το σχήμα του τεμαχίου, το μέγεθος και την κινηματική του, η επιτόπου έρευνα ήταν πάντα ένα σημείο κλειδί στη βραχομηχανικής (ISRM, 1978).

Αρκετά συχνά η δομή ή το σύνολο των ασυνεχειών μιας βραχομάζας ελέγχουν τη συμπεριφορά της. Ο καταλληλότερος τρόπος για τον αντιπροσωπευτικότερο χαρακτηρισμό όσον αφορά τη συμπεριφορά της, είναι η ποσοτική περιγραφή των ασυνεχειών, χρησιμοποιώντας διάφορες μεθόδους, όπως για παράδειγμα την Προτεινόμενη Μέθοδο ISRM (ISRM, 2007). Αυτό είναι σίγουρα ένα βασικό σημείο που δεν λαμβάνεται υπόψη στον EC7, ο οποίος μόνο στο 2ο μέρος του αναφέρει ότι «οι ασυνέχειες και τα υλικά πλήρωσης που υπάρχουν στη βραχομάζα, συχνά ελέγχουν τα χαρακτηριστικά της ως σύνολο, δηλαδή την αντοχή και την παραμόρφωση. Ως εκ τούτου, αυτά τα στοιχεία – ασυνέχειες και υλικό πλήρωσης - θα πρέπει να ορίζονται όσο το δυνατόν ακριβέστερα κατά τη διάρκεια της δειγματοληψίας, εφόσον τέτοιες ιδιότητες πρέπει να καθοριστούν». Και μετά προσθέτει «ασυνέχειες, όπως σχιστότητα, καρστικά κενά, ρωγμές, διακλάσεις και ρήγματα, πρέπει να μετρούνται ποσοτικά σε σχέση με το πρότυπο, επίσης οι αποστάσεις και οι κλίσεις να προσδιορίζονται χρησιμοποιώντας σαφείς όρους».

Φαίνεται πως ο EC7 ασχολείται με τη δομή της βραχομάζας με έναν αόριστο τρόπο, ενώ θα έπρεπε να δίνει ιδιαίτερη βάση στην ποσοτικοποίησή της, ξεκινώντας από ένα σημαντικό αριθμό στοιχείων για τις ασυνέχειες, αντιπροσωπευτικό του

πεδίου και συμπεριλαμβανομένου του τύπου της ασυνέχειας, του προσανατολισμού, της εμμοής, της απόστασης, της τραχύτητας, της αντοχής, του ανοίγματος, αν πρόκειται για ανοιχτή ασυνέχεια, του είδους και του πάχους υλικού πληρώσεως, αν υπάρχει, των καιρικών συνθηκών και του επίπεδου του νερού (Ulusay & Hudson, 2007). Η ποιότητα και η ποσότητα των δεδομένων που πρόκειται να μετρηθούν πρέπει να σχετίζονται με την ποιότητα της βραχομάζας, ώστε να μειωθούν οι αβεβαιότητες κατά το σχεδιασμό που βασίζεται στην προσέγγιση της οριακής κατάστασης. (Harrison και Bedi, 2013). Η ανάγκη να βελτιωθεί ο χαρακτηρισμός της βραχομάζας μέσω της βελτίωσης της διερεύνησης των ασυνεχειών, βελτιώνεται από τη μεγάλη προσπάθεια της σχετικής έρευνας τα τελευταία 20 έτη (Ferrero et al., 2009), αλλά δεν αποτυπώνεται στον ΕΚ7.

Ο σωστός χαρακτηρισμός της δομής μιας βραχομάζας είναι απαραίτητος προκειμένου να εντοπιστεί ο σωστός μηχανισμός αστοχίας. Τα τεμάχια που σχηματίζονται μπορούν να κινούνται κατά μήκος των ασυνεχειών ανάλογα με τα γεωμετρικά και μηχανικά χαρακτηριστικά τους. Κατά συνέπεια, η εμφάνιση των ασυνεχειών πρέπει να αναλύεται με ποσοτικό τρόπο, με τη διεξαγωγή ερευνών. Οι συνήθεις εργασίες που απαιτούνται για την εκπλήρωση του στόχου αυτού αναφέρονται στις Προτεινόμενες Μεθόδους ISRM. Νέες προσεγγίσεις είναι υπό ανάπτυξη στο στάδιο της εφαρμογής πολλών νέων ανεπτυγμένων εργαλείων μέτρησης, όπως ο σαρωτής λέιζερ και η φωτογραμμετρία. Ωστόσο, η μεγάλη προσπάθεια που καταβάλλει η κοινότητα της βραχομηχανικής για τη βελτίωση του τεχνικού χαρακτηρισμού της βραχομάζας δεν έχει ενσωματωθεί στον ΕΚ7.

Επιπροσθέτως, ο κατάλογος των εργαστηριακών δοκιμών σε βράχο που προτείνονται από τον ΕΚ7, παραβλέπει μια σειρά δοκιμών, που θα μπορούσε να είναι χρήσιμες για το χαρακτηρισμό των πετρωμάτων σε ειδικές περιπτώσεις, όπως για παράδειγμα τον καθορισμό του δείκτη δυσθραυστότητας, τη σκληρότητα μέσω της αναπήδησης της σφύρας Schmidt, το δείκτη αντοχής (BPI) ή την πλήρη καμπύλη τάσεων-παραμορφώσεων για άρρηκτο βράχο και πολλά άλλα. Επιπλέον, σε ότι αφορά στις δοκιμές πεδίου, η μέτρηση και εκτίμηση του φυσικού εντατικού πεδίου, έχει αγνοηθεί εντελώς από τον ΕΚ7.

Το "επίπεδο των πληροφοριών" της βραχομάζας πρέπει επίσης να σχετίζεται με το γεωτεχνικό μοντέλο που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί: ανάλογα με το βαθμό κατακερματισμού μπορούμε να προσομοιώσουμε τη βραχομάζα ως ένα συνεχές ή ασυνεχές μέσο. Όταν η βραχομάζα πρέπει να εκπροσωπείται από ένα "ασυνεχές μοντέλο" η αντοχή και η παραμορφωσιμότητα τόσο του άρρηκτου βράχου, όσο και του κατακερματισμένου πρέπει να καθορίζονται.

Τα κριτήρια αστοχίας που χρησιμοποιούνται και οι συνακόλουθες παράμετροι που απαιτούνται είναι στενά συνδεδεμένα με το μοντέλο που χρησιμοποιείται στο στάδιο του σχεδιασμού. Οι παράμετροι που χρησιμοποιούνται στην αναπαράσταση της συμπεριφοράς του βράχου είναι διαφορετικές ανάλογα με το αν αυτός πρέπει να θεωρηθεί ως ασυνεχές μέσο ή μπορεί να εξιδανικεύονται ως ένα ισοδύναμο συνεχές.

Εάν η βραχομάζα πρέπει να μοντελοποιηθεί ως ένα ασυνεχές μέσο, η συμπεριφορά και η γεωμετρία της ασυνέχειας και η συμπεριφορά του άρρηκτου

βράχου πρέπει να προσδιορίζεται και να θεωρούνται ανεξάρτητα, ενώ για το αντίστοιχο συνεχές το ιδανικό "ομογενοποιημένο" υλικό θα πρέπει να χαρακτηρίζεται.

Η αξιολόγηση των γεωτεχνικών παραμέτρων είναι από τις πιο σημαντικές πτυχές για το σχεδιασμό έργων σε πετρώματα. Η εισαγωγή δεδομένων που αφορούν τον γεωλογικό - γεωτεχνικό χαρακτηρισμό του βράχου, γενικά, περιλαμβάνεται στην εκτίμηση (Bieniawski, 1978) της παραμόρφωσης και της αντοχής τόσο βραχυπρόθεσμα όσο και μακροπρόθεσμα, των χαρακτηριστικών διαπερατότητας και του φυσικού εντατικού πεδίου.

Δεδομένου ότι οι ασυνέχειες είναι "επίπεδα αδυναμίας" και αποτελούν συνήθως τα επίπεδα αστοχίας, η προσπάθεια πρέπει να επικεντρωθεί στο χαρακτηρισμό τους τόσο από γεωμετρική όσο και από μηχανική άποψη. Στην περίπτωση αυτή, η αστάθεια οφείλεται στην κίνηση κατά μήκος του επιπέδου και κατά συνέπεια, οι επιτόπου μετρήσεις της ασυνέχειας και ο καθορισμός του προσανατολισμού αποτελούν στοιχεία ζωτικής σημασίας. Οι εργαστηριακές δοκιμές σε άρρηκτο βράχο και σε ασυνέχεια πρέπει να πραγματοποιηθούν για να καθορίσουν την αντοχή και την παραμορφωσιμότητα.

Όταν τα συστήματα έχουν ασυνέχειες που απομονώνουν μπλοκ έχοντας αμελητέο μέγεθος σε σύγκριση με την κλίμακα του εν λόγω προβλήματος, αυτό μπορεί να θεωρηθεί ως ένα «ισοδύναμο συνεχές». Σε αυτή την περίπτωση είναι απαραίτητο να διερευνηθεί η επίδραση των ασυνεχειών σε ολόκληρο τον όγκο της βραχόμαζας. Το «ομογενοποιημένο» μέσο στη συνέχεια χαρακτηρίζεται από τις συνολικές παραμέτρους της παραμορφωσιμότητας και της αντοχής.

Η αντοχή εξαρτάται τόσο από την αντοχή του άρρηκτου βράχου όσο και από την αντοχή των ασυνεχειών που υπάρχουν σε αυτόν. Οι Hoek & Brown (1997) προτείνουν τα πετρώματα εξαιρετικής ποιότητας (π.χ. GSI κοντά στο 75) να χαρακτηρίζονται από ελαστο-ψαθυρή συμπεριφορά, με σημαντική επίδραση της διασταλτικότητας. Τα πετρώματα μέτριας ποιότητας (GSI κοντά στο 50) να χαρακτηρίζονται από ελαστο-πλαστική συμπεριφορά. Τα πετρώματα κακής ποιότητας (GSI περίπου 30) αντίθετα να χαρακτηρίζεται από μια τέλεια πλαστο-ελαστική συμπεριφορά, δηλαδή μηδενική επίδραση διασταλτικότητας.

Οι παράμετροι της παραμόρφωσιμότητας πρέπει να είναι αντιπροσωπευτικές μιας συνολικής συμπεριφοράς της βραχόμαζας, άρα για το λόγο αυτό, οι απευθείας δοκιμές, όπως δοκιμές τριαξονικής θλίψης και οι δοκιμές διάτμησης, που διεξάγονται σε μεγάλη κλίμακα, αν είναι δυνατόν να εκτελούνται σε δείγματα που να έχουν σημαντικό όγκο. Αυτές οι δοκιμές δεν είναι μόνο ασύμφορες οικονομικά, αλλά και δύσκολο να εκτελεστούν.

Για τους λόγους αυτούς, στην πράξη, καταφεύγουμε σε εμπειρικές σχέσεις, που αναπτύχθηκαν κατά τις τελευταίες δεκαετίες από διάφορους συγγραφείς, οι οποίες συσχετίζουν τις χαρακτηριστικές παραμέτρους της μηχανικής συμπεριφοράς με τους δείκτες ποιότητας της βραχομάζας.

Στην περίπτωση της αντίστοιχης προσέγγισης, ο προσδιορισμός της αντοχής και της παραμορφωσιμότητας, ως επί το πλείστον γίνεται με έμμεσο τρόπο, μέσω της

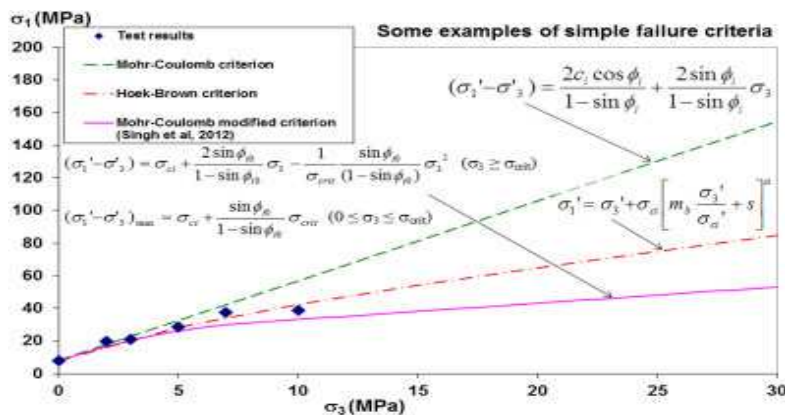
ποιότητας της βραχομάζας η οποία καθορίζεται με τις μεθόδους ταξινόμησης. Ένα παράδειγμα είναι το κριτήριο Hoek-Brown, το πιο συχνά χρησιμοποιούμενο πρότυπο για το βράχο, όπου μία εκ των απαιτούμενων παραμέτρων που σχετίζονται με την ποιότητα του, ορίζεται μέσω ενός εκ των τα διαθέσιμων συστημάτων ταξινόμησης του.

Έτσι, φαίνεται ότι ο EC7 αναπτύχθηκε για εδάφη, και οι βράχοι αντιμετωπίζονται μόνο με ως δευτερογενή υλικά. Η καλή γνώση της δομής της βραχομάζας είναι υψίστης σημασίας, όπως προαναφέρθηκε, ώστε να καθοριστούν λογικά και ρεαλιστικά οι παράμετροι, και να εκτιμηθεί η μεταβλητότητα τους για ένα μεγάλο αριθμό αναλύσεων των οριακών καταστάσεων αστοχίας. Συνήθως η πολύπλοκη δομή παίζει σημαντικότερο ρόλο από τον άρρηκτο βράχο, στη συνολική αντοχή και συμπεριφορά της βραχομάζας. Με τον τρόπο αυτό, εάν οι ασυνέχειες του βράχου δεν μετρώνται κατάλληλα επιτόπου, δεν είναι δυνατόν να οριστούν σωστά οι σχετικές παράμετροι.

3.5 Η ΑΝΤΟΧΗ ΤΗΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ

Η μηχανική συμπεριφορά των πετρωμάτων μπορεί να είναι πολύ περίπλοκη, συνήθως πολύ περισσότερο από ότι των εδαφών. Αυτό οφείλεται σε διάφορους λόγους, όπως αναλύεται παρακάτω.

Όπως είναι γνωστό, τα περισσότερα πετρώματα παρουσιάζουν διασταλτικότητα και ψαθυρή συμπεριφορά σε χαμηλές πιέσεις, κι αυτή αλλάζει σταδιακά σε πιο όλκιμη και λιγότερο διασταλτική υπό υψηλότερες πιέσεις. Η γωνία τριβής δεν είναι σταθερή, αλλά εξαρτάται από την πίεση, δηλαδή υψηλότερη σε χαμηλές πιέσεις και χαμηλότερη σε υψηλές πιέσεις. Το αποτέλεσμα είναι η περιβάλλουσα αντοχής των πετρωμάτων να μην είναι γραμμική. Επιπλέον, η ενδιάμεση κύρια τάση φαίνεται να διαδραματίζει σημαντικό ρόλο. Ένας αριθμός διαφορετικών μη γραμμικών κριτηρίων αντοχής έχουν προταθεί κατά καιρούς, για τους άρρηκτους βράχους από κάποιους συγγραφείς, όπως αυτές παρουσιάζονται στο Σχήμα 6.

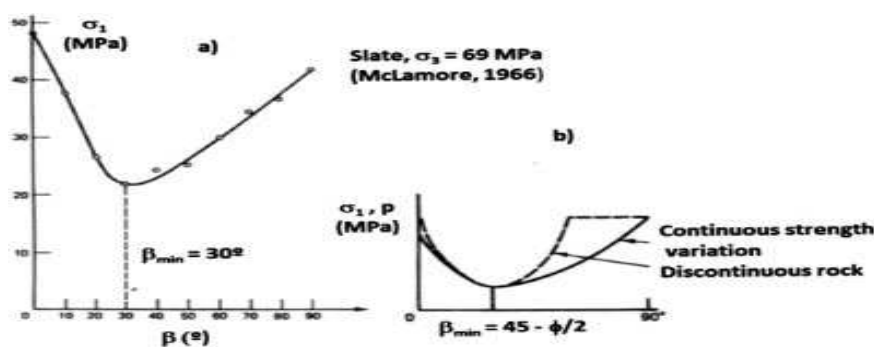


Σχήμα 6. Μερικά παραδείγματα κριτηρίων αστοχίας (Some key issues regarding application of Eurocode 7 to rock engineering design, L. Lamas, A. Perucho, L.R. Alejano)

Έτσι, μπορεί να σημειωθεί ότι μια από τις σημαντικές διαφορές μεταξύ του σχεδιασμού του εδάφους και του πετρώματος, από την πλευρά της μηχανικής, είναι ότι ενώ τα εδάφη συνήθως θεωρείται ότι ακολουθούν ένα γραμμικό κριτήριο αντοχής, όπως το κριτήριο Mohr-Coulomb, οι βράχοι ακολουθούν ένα μη γραμμικό κριτήριο, για το οποίο δεν υπάρχει μια μοναδική και καθολικά αποδεκτή έκφραση, αλλά διαφορετικές προτεινόμενες. Μερικά ερωτήματα που προκύπτουν στη συνέχεια, σε σχέση με τη φιλοσοφία του EC7 είναι τα εξής: Πώς να γίνει η επιλογή των κατάλληλων «αντιπροσωπευτικών τιμών» για τις παραμέτρους; Πώς να γίνει η επιλογή των επιμέρους συντελεστών για τις παραμέτρους;

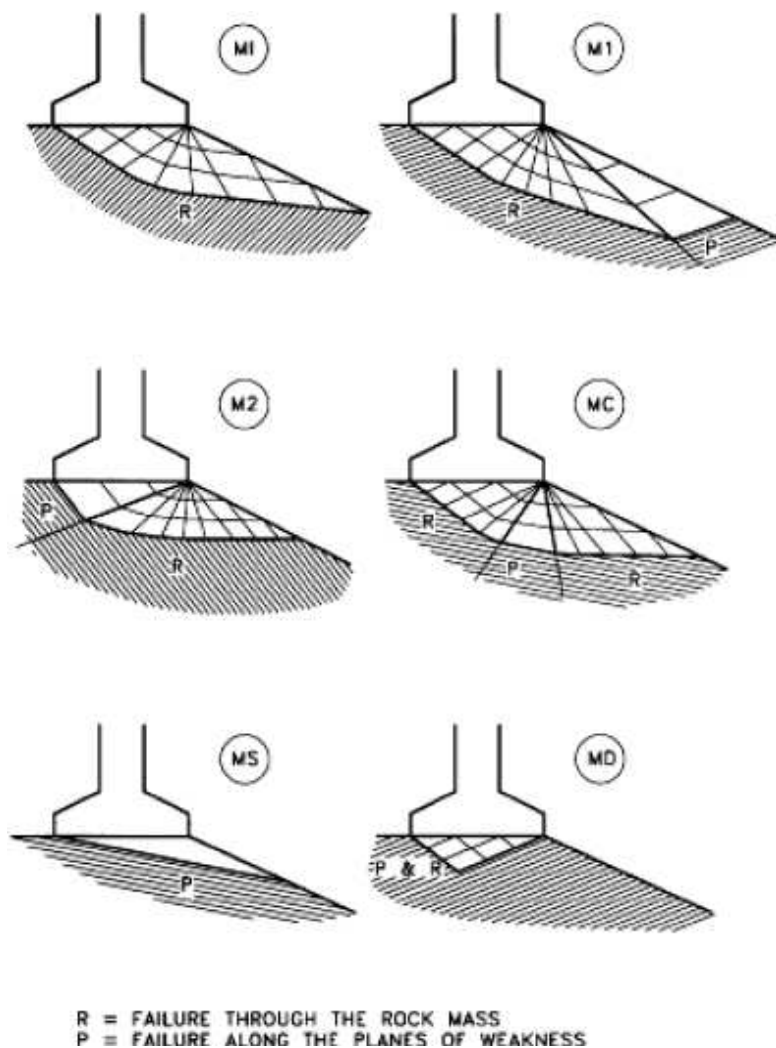
Σε αυτό το πλαίσιο, είναι σημαντικό να αναφέρουμε μια ευρέως χρησιμοποιούμενη διαδικασία για την εξαγωγή των παραμέτρων αντοχής για το σχεδιασμό, η οποία αποτελείται από τη χρήση του κριτηρίου αντοχής Hoek – Brown για την ερμηνεία των δοκιμών σε τριαξονική θλίψη σε άρρηκτο βράχο στο εργαστήριο και, μέσα από μια εμπειρική παράμετρο που λαμβάνεται με επιτόπου παρατήρηση, τον δείκτη GSI, μετατρέποντας τις παραμέτρους αντοχής του άρρηκτου βράχου σε παραμέτρους αντοχής της βραχομάζας, συχνά όχι μόνο αυτές που προκύπτουν από το κριτήριο Hoek-Brown, αλλά και του Mohr-Coulomb. Ένα σημαντικό θέμα που πρέπει να διευκρινιστεί για την εφαρμογή αυτής της διαδικασίας στο πλαίσιο του EC7, είναι το πως θα εφαρμοστεί ο μερικός συντελεστής και σε ποιες παραμέτρους. Σε αυτές του κριτηρίου Hoek-Brown για άρρηκτο βράχο μόνο; Ή σε αυτές του GSI; Ή στις αντίστοιχες για τη βραχομάζα παραμέτρους των Hoek-Brown ή Mohr-Coulomb;

Ένα άλλο σημαντικό χαρακτηριστικό των πετρωμάτων είναι η ανισότροπη συμπεριφορά τους. Ανάλογα με το είδος, τα περισσότερα πετρώματα παρουσιάζουν διαφορετικές μηχανικές συμπεριφορές, που χαρακτηρίζονται κυρίως από την αντοχή και την παραμορφωσιμότητα τους σε διάφορες διευθύνσεις. Αν αναφερθούμε μόνο στον άρρηκτο βράχο, η ανισοτροπία είναι παρούσα σε μεταμορφωμένα πετρώματα, που χαρακτηρίζονται από επίπεδα ορυκτά, αλλά και από πολλές άλλες μικρές σχισμές. Το Σχήμα 7 δείχνει ένα παράδειγμα των πειραματικών αποτελεσμάτων της αντοχής σε τριαξονική θλίψη σε σχιστόλιθο (McLamore, 1966, που λαμβάνεται από τον Serrano, 1996) και μερικούς τύπους προσαρμοσμένων μοντέλων. Το ερώτημα σχετικά με το πώς πρέπει να επιλεγούν οι αντιπροσωπευτικές τιμές για την αντοχή τίθεται και πάλι.



Σχήμα 7. Τριαξονική αντοχή σε σχιστόλιθο. α) Πειραματικά αποτελέσματα β) Τύποι προσαρμοσμένων μοντέλων (Serrano, 1996).

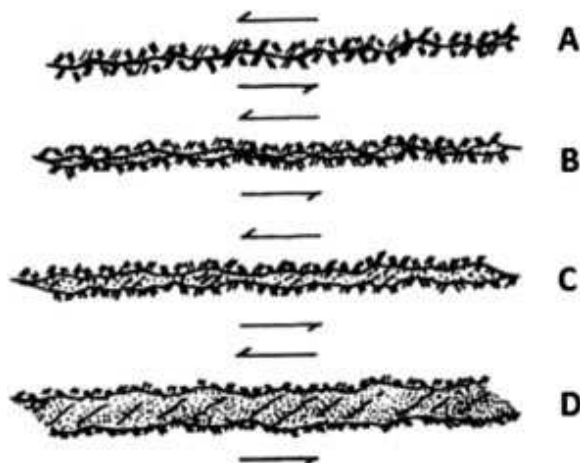
Επιπλέον, η βραχώμαζα έχει δύο κύρια συστατικά, τον άρρηκτο βράχο και τις ασυνέχειες. Το δεύτερο χαρακτηριστικό έχει την πιο σημαντική επίδραση στην αντοχή της βραχομάζας στις περισσότερες περιπτώσεις. Η αστοχία μπορεί να επέλθει με διαφορετικούς μηχανισμούς στους οποίους η επικρατούσα αιτία μπορεί να είναι παράγοντες που οφείλονται στον άρρηκτο βράχο ή στις ασυνέχειες. Ένα παράδειγμα αυτού παρουσιάζεται στο Σχήμα 8 για θεμέλια σε βράχους (Serrano & Olalla, 1998).



Σχήμα 8. Πιθανοί μηχανισμοί ανισότροπης αστοχίας ανάλογα με τον προσανατολισμό των επιφανειών αστοχίας (Serrano & Olalla, 1998).

Οι ασυνέχειες συχνά καθορίζουν τη θέση και τον προσανατολισμό των επιφανειών αστοχίας, καθώς αυτή συχνά ξεκινάει από τις ασθενέστερες περιοχές της βραχομάζας. Η ανισότροπη συμπεριφορά των βράχων αυξάνεται λόγω της παρουσίας μακρό-ρωγμών σε αυτόν.

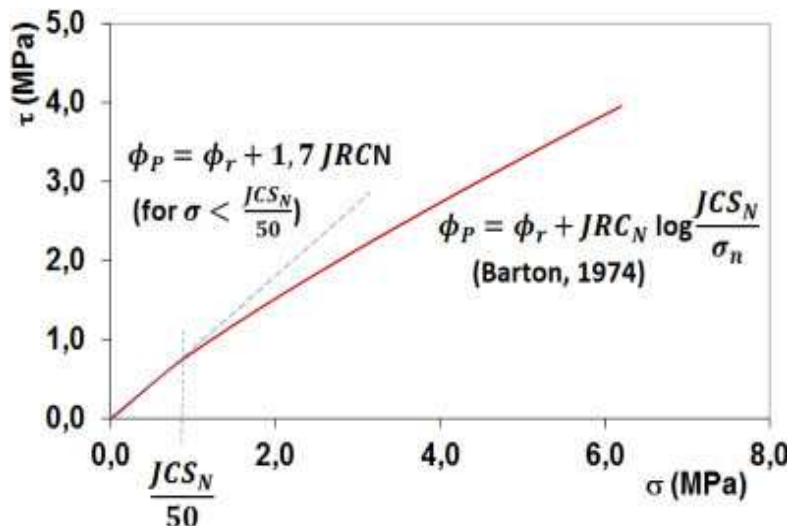
Αν αυξηθεί ακόμη περισσότερο η πολυπλοκότητα της αστοχίας στους βράχους, τα κριτήρια αστοχίας στις ασυνέχειες μπορεί να είναι επίσης μη γραμμικά, ανάλογα με τις πιέσεις και την αντοχή του άρρηκτου βράχου ή μπορεί να είναι γραμμικά κριτήρια αντοχής του υλικού πλήρωσης των ασυνεχειών. Σύμφωνα με τον Barton (1976) απλές ασυνέχειες μπορούν να ταξινομηθούν ανάλογα με το άνοιγμα και το πλάτος πλήρωσης που έχουν, σε τέσσερις κατηγορίες (Σχήμα 9).



Σχήμα 9. Τύποι ασυνεχειών (Barton, 1976).

Η μηχανική συμπεριφορά των ασυνεχειών είναι διαφορετική για κάθε τύπο ασυνέχειας: σε τύπου A αυτή εξαρτάται κυρίως από την αντοχή του άρρηκτου βράχου και το σχήμα της ασυνέχειας, ενώ στον τύπο D εξαρτάται μόνο από την αντοχή του υλικού πλήρωσης. Η συμπεριφορά στους τύπους B και C είναι πολύπλοκη που εξαρτάται από τις πιέσεις, μοιάζοντας περισσότερο με τη συμπεριφορά του τύπου D για χαμηλές πιέσεις, αλλά αλλάζει σε υψηλότερες πιέσεις σε μια συμπεριφορά περισσότερο σαν του τύπου A.

Ένα άλλο ερώτημα που προκύπτει από αυτό είναι αν μπορεί πραγματικά αυτή η σύνθετη συμπεριφορά να εισαχθεί με κάποιο τρόπο σε ένα πρότυπο. Ακόμη και αν οι ασυνέχειες είναι τύπου A, δηλαδή χωρίς κάποιο υλικό πλήρωσης να επηρεάζει τη μηχανική συμπεριφορά τους, εξακολουθούν να έχουν μη γραμμική συμπεριφορά, όπως φαίνεται στο Σχήμα 10.

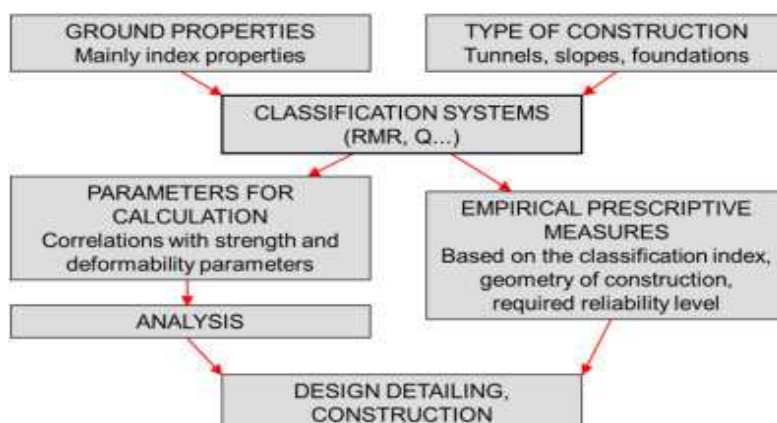


Σχήμα 10. Αντοχή ασυνεχειών (Serrano, 1996).

3.6 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ

Τα συστήματα ταξινόμησης βραχώμαζας, όπως το RMR και το Q, χρησιμοποιούνται ευρέως στη διαδικασία σχεδιασμού στη βραχομηχανική. Τα συστήματα αυτά βασίζονται στην εμπειρία από τους συγγραφείς που τα ανέπτυξαν και συνεπάγονται τον προσδιορισμό ενός αριθμού παραμέτρων που χαρακτηρίζουν την βραχώμαζα και την κατάσταση της, για συγκεκριμένο τύπο έργου, κυρίως για τις σήραγγες, αλλά και για πρανή και θεμέλια.

Το αποτέλεσμα της ταξινόμησης μπορεί να χρησιμοποιηθεί με δύο διαφορετικούς τρόπους: i) να αποκτηθούν, μέσω των εμπειρικών συσχετίσεων, η αντοχή της βραχώμαζας και οι παράμετροι παραμορφωσιμότητας που θα χρησιμοποιηθούν στους υπολογισμούς του σχεδιασμού. ii) να αποκτηθούν, στοιχεία σχεδιασμού, όπως για παράδειγμα η υποστήριξη σε μια σήραγγα. Αυτές οι διαδικασίες απεικονίζονται στο Σχήμα 11.

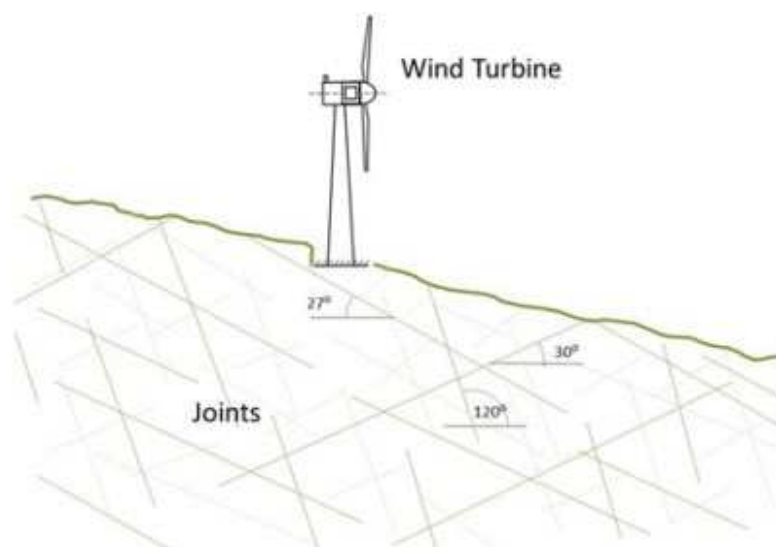


Σχήμα 11. Σχεδιασμός βραχομηχανικής με τη χρήση συστημάτων ταξινόμησης (Some key issues regarding application of Eurocode 7 to rock engineering design, L. Lamas, A. Perucho, L.R. Alejano)

Η ενσωμάτωση αυτών των διαδικασιών σχεδιασμού στο πεδίο εφαρμογής του EC7 πρέπει να διευκρινιστεί. Ο σχεδιασμός με βάση τις κανονιστικές διατάξεις επιτρέπεται στον EC7 "στο σχεδιασμό καταστάσεων όπου τα υπολογιστικά μοντέλα δεν είναι διαθέσιμα ή δεν είναι απαραίτητα". Ένα σημαντικό θέμα που πρέπει να διευκρινιστεί είναι σε ποιους τύπους γεωτεχνικών έργων, όσον αφορά την πολυπλοκότητα, αντιστοιχεί ο σχεδιασμός με κανονιστικές διατάξεις, με τη χρήση των συστημάτων ταξινόμησης. Ισχύει μόνο στη γεωτεχνική κατηγορία 1, ή και στα γεωτεχνικά έργα κατηγορίας 2;

3.7 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΜΙΑΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ

Ο ρόλος που διαδραματίζουν οι ασυνέχειες στην ευστάθεια μιας κατασκευής μερικές φορές παραβλέπεται. Ένα επεξηγηματικό παράδειγμα μιας τέτοιας περίπτωσης παρουσιάζεται παρακάτω. Ο σχεδιασμός μιας ανεμογεννήτριας σε ελαφρώς κεκλιμένο πρανές, με φυσική κλίση (19.5°), σε ρωγματωμένη βραχώμαζα. Ένα τμήμα της περιοχής όπου βρίσκεται η ανεμογεννήτρια, φαίνεται στο Σχήμα 12.



Σχήμα 12. Δομή της βραχώμαζας όπου η ανεμογεννήτρια πρόκειται να εγκατασταθεί. (Critical review of Eurocode-7 regarding rock mass characterization, A.M. Ferrero, A.I. Sofianos, L.R. Alejano)

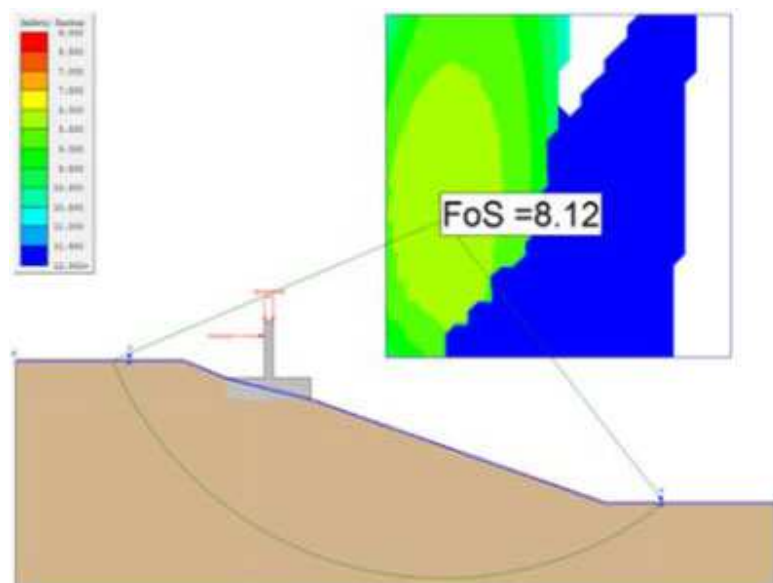
Η βραχώμαζα σχηματίζεται από μέτρια ρωγματωμένο γρανίτη, με τέσσερις οικογένειες ασυνεχειών, και μια άλλη παρά-κατακόρυφη οικογένεια. Το χειμώνα, το πρανές μπορεί να είναι πλήρως κορεσμένο.

Εργαστηριακές δοκιμές σε δείγματα του γρανίτη έδωσε τιμή UCS 58MPa και τιμή για την παράμετρο m του κριτηρίου Hoek-Brown 30, η πυκνότητα ήταν 22,3kN/m³. Ο χαρακτηρισμός υποδηλώνει μία τιμή για το GSI περίπου 45, και για το

Η τιμή ίση με 1, δεδομένου ότι στην περιοχή η επιφάνεια του πρανούς είναι μέτρια ρωγματομένη. Ξεκινώντας από αυτά τα δεδομένα και για ένα πρανές ύψους 20m, ο χαρακτηρισμός κατά Hoek-Brown (μέσω του προγράμματος Roc-Lab), δίνει τιμές για τη συνοχή 0,34 MPa και για τη γωνία τριβής 43°.

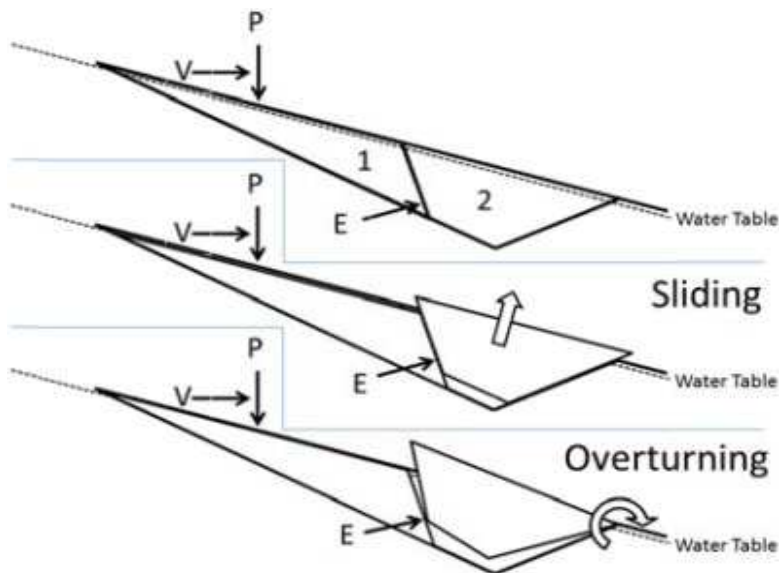
Το βάρος της ανεμογεννήτριας είναι 2247 kN και η ανεμοπίεση εκτιμάται στα 787 kN. Μια πλάκα θεμελίωσης από σκυρόδεμα με διαστάσεις 10m × 10m × 2m προτείνεται, ώστε να μπορεί να αντιμετωπίσει τις δράσεις του βάρους και της πίεσης του ανέμου.

Ένα μοντέλο για την ευστάθεια της κατασκευής στο πρανές δημιουργήθηκε λαμβάνοντας τη βραχώδη ως ένα ομοιογενές υλικό. Ο συντελεστής ασφάλειας FS έναντι της περιστροφικής ολίσθησης, που προκύπτει από το πρόγραμμα SLIDE, παίρνει μια τιμή πάνω από 8, Σχήμα 13. Έτσι, αν εφαρμοστεί ο μερικός συντελεστής όπως προτείνεται για τα εδάφη, μια επαρκώς αξιόπιστη σταθερότητα θα προκύψει.



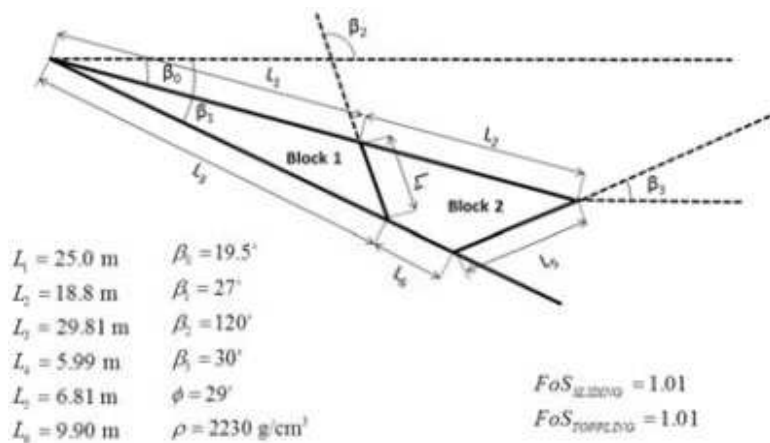
Σχήμα 13. Ανάλυση της ευστάθειας πρανούς, μέσω του προγράμματος SLIDE.

Ωστόσο, αν αναλογιστεί κανείς τις ασυνέχειες όπως φαίνεται στο Σχ. 12, χωρίς οριακές καταστάσεις, δύο πιθανοί μηχανισμοί αστοχίας προκύπτουν, οι οποίοι συνίστανται στην ώθηση ενός υπερκείμενου μπλοκ, προκαλώντας την ολίσθηση ή την ανατροπή του υποκείμενου μπλοκ, Σχήμα 14.



Σχήμα 14. Σύστημα δύο μπλοκ του μοντέλου, με εξωτερικές δυνάμεις στο άνω μέρος. Εικονογράφηση των δύο πιθανών μηχανισμών αστοχίας στο κάτω μέρος, όπως προσδιορίζονται. (Critical review of Eurocode-7 regarding rock mass characterization, A.M. Ferrero, A.I. Sofianos, L.R. Alejano)

Ο προσδιορισμός μιας τιμής για τη γωνία τριβής της τάξης των 29° για τις ασυνέχειες, για το συντελεστή ασφάλειας FS ίσο με 1,01 έναντι ολίσθησης και 1,01 έναντι ανατροπής (Σχήμα 15), γίνεται με τη βοήθεια των οριακών καταστάσεων ισορροπίας (Alejano et al., 2011). Αυτό στηρίζεται στο γεγονός ότι οι δυνάμεις μεταξύ των μπλοκ διαβιβάζονται, και εκτιμώνται για να αναλυθεί η ολίσθηση και η ανατροπή του υποκείμενου μπλοκ.



Σχήμα 15. Διάγραμμα που δείχνει τις διαστάσεις και τις γωνίες του συστήματος δύο μπλοκ: εκτιμώμενες τιμές και συντελεστές ασφάλειας FS. (Critical review of Eurocode-7 regarding rock mass characterization, A.M. Ferrero, A.I. Sofianos, L.R. Alejano)

Ο κύριος σκοπός αυτού του παραδείγματος είναι να παρουσιάσει το γεγονός ότι μια επίπονη ανάλυση του ρόλου των ασυνεχειών γίνεται προκειμένου να σχεδιαστούν κατάλληλα τα θεμέλια σε ρωγματομένο πέτρωμα

3.8 Η ΑΣΤΟΧΙΑ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ Aznalcollar (ΙΣΠΑΝΙΑ 1998)

Την νύχτα της 24ης Απριλίου 1998, ρήγμα που αναπτύχθηκε στο ανάχωμα του φράγματος του Aznalcóllar, έχει σαν αποτέλεσμα την αστοχία μέρους του, και σχεδόν 20 εκατομμύρια m³ απόβλητα που προέρχονται από εξόρυξη μεταλλευμάτων, να χυθούν στο ποτάμιο σύστημα της περιοχής, προκαλώντας μία από τις πιο μεγάλες οικολογικές καταστροφές στην Ισπανία, Σχήμα 16.

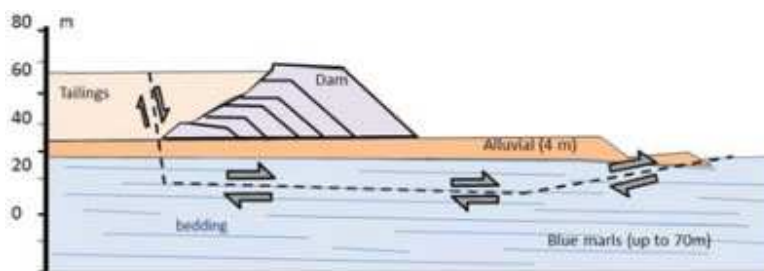


Σχήμα 16. Αστοχία του φράγματος του Aznalcóllar, κοντά στη Σεβίλλη (Ισπανία) στις 24 Απριλίου του 1998, όπου απορρίμματα ελευθερώθηκαν στον ποταμό Amargo. (<http://www.pensandoelterritorio.com>.)

Μετά από επίπονες έρευνες επιβεβαιώθηκε ότι η ρήξη οφείλονταν σε μια αστοχία της θεμελίωσης του φράγματος σε βάθος 14 μέτρων περίπου κάτω από το αρχικό επίπεδο του εδάφους. Η θεμελίωση βρισκόταν πάνω από μια ασυνέχεια. Αυτό σημαίνει πως κάτω από τα θεμέλια του φράγματος, υπήρχε μια σχεδόν επίπεδη πλάκα μήκους περίπου 60m, η οποία μπορούσε να κινηθεί οριζόντια.

Η θεμελίωση ήταν πάνω σε ανθρακικά υλικά, και μάργες. Συνήθως έχουν αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη πάνω από 1MPa και παρουσιάζουν συμπεριφορά, η οποία μπορεί να θεωρηθεί όμοια με αυτή των πετρωμάτων (Galera et al., 2009).

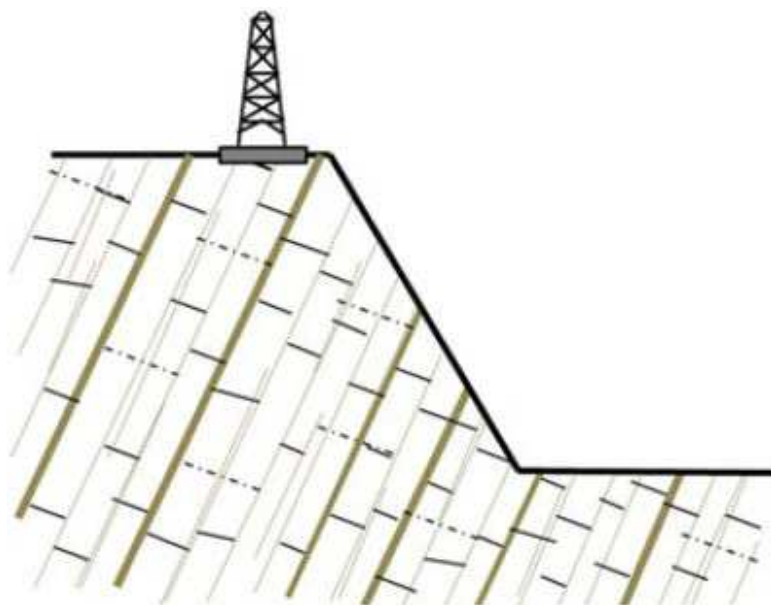
Όπως επισημάνθηκε από τους Olalla & Cuellar (2001) η εμφάνιση των ασυνεχειών (δεν αντιστοιχούσαν στους υπολογισμούς σχεδιασμού) και η αύξηση της πίεσης πόρων στο θεμέλιο από το βάρος των απορριμμάτων και του ιδίου βάρους του, ήταν τα πιο σημαντικά στοιχεία που συνετέλεσαν ώστε να καταλήξουμε τελικά στο ατύχημα. Ο μηχανισμός αστοχία φαίνεται στο Σχήμα 17. Αυτό μπορεί να θεωρηθεί ως ένα παράδειγμα, κατά το οποίο το γεγονός ότι δεν λαμβάνονται υπόψη οι ασυνέχειες ρητά στη διαδικασία σχεδιασμού μπορεί να δώσει ανεπιθύμητα αποτελέσματα.



Σχήμα 17. Εγκάρσια τομή που δείχνει τον τρόπο αστοχίας του φράγματος Aznalcóllar, όπου η γραμμή ολίσθησης ακολούθησε μερικώς τα προ-υπάρχοντα επίπεδα ασυνεχειών. (Critical review of Eurocode-7 regarding rock mass characterization, A.M. Ferrero, A.I. Sofianos, L.R. Alejano)

3.9 Ευστάθεια Πρανών

Στην περίπτωση της ευστάθειας πρανών σε πετρώματα, ο μηχανισμός αστοχίας συχνά συνδέεται με τον αριθμό, το είδος, και τα χαρακτηριστικά των ασυνεχειών που υπάρχουν στη βραχομάζα. Ορισμένοι μηχανισμοί αστοχίας όπως η αστοχία σφήνας και η ανατροπή, είναι φαινόμενα που μπορούν να αναλυθούν μόνο, εάν η δομή της βραχομάζας είναι ευλόγως γνωστή. Στο Σχήμα 18 απεικονίζεται ένα πρανές όπου ένας πύργος τηλεπικοινωνιών έχει χτιστεί. Η δομή της βραχομάζας είναι τέτοια ώστε να διευκολύνεται η αστοχία σε ανατροπή, καθώς οι ασυνέχειες έχουν μικρές αποστάσεις, είναι σχεδόν παράλληλες, και έχουν αρνητική κλίση ως προς την κλίση του πρανούς. Σε αυτό το είδος των πρανών η ανατροπή είναι αρκετά κοινό φαινόμενο. Έτσι θα πρέπει να γίνεται προσεκτική μελέτη ξεκινώντας από το στάδιο του σχεδιασμού.



Σχήμα 18. Πρανές επιρρεπείς σε ανατροπή. (Critical review of Eurocode-7 regarding rock mass characterization, A.M. Ferrero, A.I. Sofianos, L.R. Alejano)

Στο Σχήμα 19 απεικονίζεται ακόμα ένα παράδειγμα, όπου οι μηχανισμοί ανατροπής ενεργοποιούνται από την κίνηση και την περιστροφή των μπλοκ στο πρανές, στις βορειοδυτικές Ιταλικές Άλπεις (Deangeli & Ferrero, 1999). Όπως φαίνεται η δομή της βραχομάζας χαρακτηρίζεται από ένα σύνολο ασυνεχειών που οδηγούν στο σχηματισμό λεπτών πλακών. Στην περίπτωση αυτή, οι μηχανισμοί αστοχίας μπορεί να αναλυθούν με τη βοήθεια ενός ασυνεχούς μοντέλου που θα μπορούσε να εξηγήσει την αστάθεια. Δεκάδες περιπτώσεις αυτού του τύπου μπορεί να βρεθούν στη διεθνή βιβλιογραφία. Το κοινό θέμα όλων είναι ότι η καλή γνώση της δομής της βραχομάζας είναι απολύτως απαραίτητη για την κατανόηση και τον έλεγχο αυτών των φαινομένων.



Σχήμα 19. Άποψη ενός λατομείου στην περιοχή των Άλπεων που δείχνει μια τυπική μορφή δομής που ενεργοποιούν τους μηχανισμούς αστοχίας για την ανατροπή και η στερεογραφική προβολή της περιοχής των πόλων της ασυνέχειας της βραχομάζας (δεξιά πλευρά). (Critical review of Eurocode-7 regarding rock mass characterization, A.M. Ferrero, A.I. Sofianos, L.R. Alejano)

3.10 Οι Καιρικές Συνθήκες

Περιπτώσεις ρωγματωμένων πετρωμάτων, όπως ο γρανίτης, αντιμετωπίζονται συχνά κατά την κατασκευή. Αποτελεί συχνό φαινόμενο η μεταβολή της βραχομάζας σε ένα υλικό με ομοιογενή δομή, καθώς όλα τα υλικά που την συνθέτουν αποσάθρονται στον ίδιο βαθμό ή σε παρόμοιο, σε βάθος χρόνου, εξαιτίας των καιρικών συνθηκών, Σχήμα 20.

Μια ακριβής περιγραφή του βαθμού αποσάθρωσης της βραχομάζας λόγω καιρικών συνθηκών, θα μπορούσε να αποτελεί σημαντικό στοιχείο για έναν καλό και ορθό σχεδιασμό διαφορετικών κατασκευών. Στην περίπτωση αυτή, επίσης, ο EC7 δεν εξετάζει επαρκώς τον χαρακτηρισμό της διάβρωσης, αλλά μόνο κατά έναν

αόριστο ενδεικτικό τρόπο.



Σχήμα 20. Μεταβλητή φύση με όλες τις πιθανές καιρικές συνθήκες σε δρόμο με διεργημένο γρανίτη. (Critical review of Eurocode-7 regarding rock mass characterization, A.M. Ferrero, A.I. Sofianos, L.R. Alejano)

Κεφάλαιο 4 – Ευστάθεια βραχωδών πρανών και EC7

4.1 Ευστάθεια βραχωδών πρανών

Αυτή η παράγραφος ασχολείται με τον υπολογισμό της ευστάθειας βραχωδών πρανών σύμφωνα με τον EC-7 σε σχέση με τη συνήθη μέθοδο υπολογισμού και βασίζεται στην εργασία των Estaire & Olivenza . Η αστοχία των βραχωδών πρανών οφείλεται κυρίως στις ασυνέχειες που μπορεί να παρέχουν τις συνθήκες για την κίνηση των τεμαχών πετρωμάτων. Υπάρχουν 4 κύριοι τύποι αστοχίας των βραχωδών πρανών :

1. Επίπεδη ολίσθηση– Κυριαρχεί μια οικογένεια ασυνεχειών που είναι ομόρροπη $\pm 20^\circ$ με την κλίση του πρανούς.
2. Σφηνοειδής ολίσθηση – Κυριαρχούν δύο οικογένειες ασυνεχειών που τέμνονται μεταξύ τους δημιουργώντας σφήνες και ολισθαίνουν κατά μήκος της τομής των δύο επιπέδων των ασυνεχειών.
- 3.Ανατροπή – Η κλίση του πρανούς και η κλίση της οικογένειας των ασυνεχειών έχουν μεγάλη τιμή (συνήθως μεγαλύτερη από 70°) και φορές κλίσης αντίρροπες.
4. Κυκλική ολίσθηση – Η βραχώμαζα είναι κατακερματισμένη και δεν κυριαρχεί κάποια οικογένεια ασυνεχειών. Η αστοχία του πρανούς προσομοιάζει την αστοχία εδαφικού πρανούς.

Οι δύο τρόποι αστοχίας που θα αναλυθούν: επίπεδη ολίσθηση και ολίσθηση σφήνας.

Σύμφωνα με τον EC7 (§11.4), η ολική ευστάθεια της θέσης του έργου και οι μετακινήσεις του φυσικού ή τεχνητού εδάφους θα πρέπει να ελέγχονται λαμβάνοντας υπόψη τη συναφή εμπειρία, σύμφωνα με το 1.5.2.2.

Η ολική ευστάθεια και οι μετακινήσεις του εδάφους επί του οποίου εδράζονται υφιστάμενα κτίρια, νέα έργα, πρανή ή εκσκαφές θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη.

Σε περιπτώσεις, όπου η ευστάθεια του εδάφους δεν μπορεί να επαληθευθεί σαφώς πριν από το σχεδιασμό, θα πρέπει να προδιαγράφονται πρόσθετες έρευνες, ενόργανη παρακολούθηση και αναλυτικοί υπολογισμοί, σύμφωνα με τους όρους του 11.7 του EC7.

Τυπικά έργα για τα οποία θα πρέπει να διενεργείται ανάλυση ολικής ευστάθειας είναι:

- έργα αντιστήριξης εδάφους
- εκσκαφές, πρανή ή επιχώματα
- θεμελιώσεις σε κεκλιμένο έδαφος, φυσικά πρανή ή επιχώματα
- θεμελιώσεις κοντά σε εκσκαφή, έργα σε όρυγμα ή επανεπίχωση (cut or buried structures), ή ακτή.

Προβλήματα ευστάθειας ή ερπυστικές μετακινήσεις εμφανίζονται κυρίως σε συνεκτικά εδάφη με κεκλιμένη επιφάνεια. Όμως, αστάθεια μπορεί επίσης να εμφανίζεται σε μή-συνεκτικά εδάφη και σε ρωγματομένους βράχους σε πρανή όπου

η κλίση, η οποία μπορεί να καθορίζεται από διάβρωση, πλησιάζει τη γωνία διατμητικής αντίστασης. Αυξημένες μετακινήσεις παρατηρούνται συχνά σε υψηλές υδατικές πιέσεις ή κοντά στην επιφάνεια του εδάφους κατά τη διάρκεια κύκλων παγετού και απόψυξης.

Εάν η ευστάθεια μιας περιοχής δεν μπορεί να επαληθευθεί εύκολα ή οι μετακινήσεις δεν είναι αποδεκτές για την προβλεπόμενη χρήση, η περιοχή πρέπει να κρίνεται ως ακατάλληλη χωρίς τη λήψη μέτρων σταθεροποίησης.

Ο σχεδιασμός πρέπει να εξασφαλίζει ότι οι υπόγειες και υπέργειες εργασίες κατασκευής στην περιοχή του έργου μπορούν να προγραμματίζονται και εκτελούνται με τρόπο ώστε να υπάρχει επαρκώς μικρή πιθανότητα εμφάνισης κάποιας οριακής κατάστασης λειτουργικότητας.

Οι επιφάνειες πρανών οι οποίες είναι εκτεθειμένες σε πιθανή διάβρωση πρέπει να προστατεύονται εάν απαιτείται, ώστε να εξασφαλίζεται ότι διατηρείται το επίπεδο ασφάλειας.

Τα πρανή θα πρέπει να στεγανοποιούνται, να φυτεύονται ή να προστατεύονται με τεχνητά μέσα. Για πρανή με αναβαθμούς, θα πρέπει να εξετάζεται η εφαρμογή συστήματος αποστράγγισης μέσα στον αναβαθμό.

Οι διαδικασίες κατασκευής πρέπει να λαμβάνονται υπόψη καθόσον μπορεί να επηρεάσουν την ολική ευστάθεια ή το μέγεθος της μετακίνησης.

Δυναμικά ασταθή πρανή μπορεί να σταθεροποιούνται με:

- κάλυμμα από σκυρόδεμα με ή χωρίς αγκύρωση
- επένδυση από σαραζανέτια, με κλωβό από χαλύβδινο πλέγμα ή γεώφασμα
- εδαφικές ηλώσεις
- βλάστηση
- σύστημα αποστράγγισης
- συνδυασμό των ανωτέρω μέτρων.

Ο σχεδιασμός θα πρέπει να ακολουθεί τις γενικές αρχές των Κεφαλαίων 8 και 9 του EC7.

4.2 Ανάλυση ευστάθειας πρανών

Η ολική ευστάθεια πρανών, τα οποία περιλαμβάνουν και έργα υφιστάμενα, προβλεπόμενα ή έργα τα οποία έχουν επηρεασθεί, πρέπει να ελέγχεται σε οριακές καταστάσεις αστοχίας (GEO και STR) με τιμές σχεδιασμού των δράσεων, αντιστάσεων και αντοχών, οι οποίες προκύπτουν με χρήση των επιμέρους συντελεστών οι οποίοι ορίζονται στα A.3.1(1)P, A.3.2(1)P και A.3.3.6(1)P.

Οι τιμές των επιμέρους συντελεστών μπορεί να ορίζονται στο Εθνικό Προσάρτημα. Οι συνιστώμενες τιμές για μόνιμες και προσωρινές καταστάσεις δίδονται στους Πίνακες A.3, A.4 και A.14.

Στην ανάλυση της ολικής ευστάθειας εδάφους ή βράχου, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη όλες οι σχετικές μορφές αστοχίας.

Κατά την επιλογή της υπολογιστικής μεθόδου, θα πρέπει να εξετάζονται τα εξής:

- στρωματογραφία του εδάφους
- εμφάνιση και κλίση ασυνεχειών
- διήθηση και κατανομή πιέσεων πόρων
- βραχυπρόθεσμη και μακροχρόνια ευστάθεια
- ερπυστικές παραμορφώσεις λόγω διάτμησης
- τύπος αστοχίας (κυκλική ή μή-κυκλική επιφάνεια, ανατροπή, ροή)
- χρήση αριθμητικών μεθόδων.

Η εδαφική ή βραχώδης μάζα, η οποία περιορίζεται από την επιφάνεια αστοχίας θα πρέπει κανονικά να θεωρείται ως στερεό σώμα ή ως διάφορα στερεά σώματα τα οποία κινούνται συγχρόνως. Οι επιφάνειες αστοχίας ή οι διεπιφάνειες μεταξύ των στερεών σωμάτων μπορεί να έχουν ποικίλα σχήματα όπως επίπεδα, κυκλικά και πιο περίπλοκα σχήματα. Εναλλακτικά, η ευστάθεια μπορεί να ελέγχεται με οριακή ανάλυση ή με χρήση της μεθόδου των πεπερασμένων στοιχείων.

Όταν το υλικό του εδάφους ή του επιχώματος είναι σχετικά ομοιογενές και ισότροπο, κανονικά θα πρέπει να θεωρούνται κυκλικές επιφάνειες αστοχίας.

Για πρανή σε στρωσιγενή εδάφη με σημαντικές διακυμάνσεις της διατμητικής αντοχής, θα πρέπει να δίδεται ιδιαίτερη προσοχή στις στρώσεις με χαμηλή διατμητική αντοχή. Για το σκοπό αυτό μπορεί να απαιτείται ανάλυση μή-κυκλικών επιφανειών αστοχίας.

Σε συνδεδεμένα (jointed) υλικά, τα οποία περιλαμβάνουν σκληρό βράχο και στρωσιγενή ή ρωγματοωμένα εδάφη, το σχήμα της επιφάνειας αστοχίας μπορεί να εξαρτάται μερικώς ή ολικώς από τις ασυνέχειες. Στην περίπτωση αυτή θα πρέπει κανονικά να γίνεται ανάλυση τριδιάστατων σφηνών.

Υφιστάμενα πρανή τα οποία έχουν αστοχήσει αλλά μπορούν να επανενεργοποιηθούν, θα πρέπει να αναλύονται θεωρώντας κυκλικές και μή-κυκλικές επιφάνειες αστοχίας. Οι επιμέρους συντελεστές οι οποίοι κανονικά χρησιμοποιούνται για αναλύσεις ολικής ευστάθειας, επομένως, μπορεί να μην είναι κατάλληλοι.

Εάν η επιφάνεια αστοχίας δεν μπορεί να θεωρηθεί διδιάστατη, θα πρέπει να εξετάζεται η χρήση τριδιάστατων επιφανειών αστοχίας.

Μια ανάλυση πρανούς θα πρέπει να επαληθεύει την ολική ροπή και την κατακόρυφη ευστάθεια της ολισθαίνουσας μάζας. Εάν δεν ελέγχεται η ισορροπία στην οριζόντια διεύθυνση, οι δυνάμεις που ασκούνται μεταξύ των λωρίδων θα πρέπει να θεωρούνται οριζόντιες.

Σε περιπτώσεις όπου θα μπορούσε να συμβεί συνδυασμένη αστοχία των δομικών στοιχείων και του εδάφους, πρέπει να εξετάζεται η αλληλεπίδραση εδάφους-κατασκευής λαμβάνοντας υπόψη τη διαφορά στις σχετικές δυστροπίες. Τέτοιες περιπτώσεις περιλαμβάνουν επιφάνειες αστοχίας οι οποίες τέμνουν δομικά στοιχεία όπως πασσάλους και εύκαμπτους τοίχους.

Κατά την ανάλυση φυσικών πρανών, γενικά αποτελεί πλεονέκτημα να γίνεται ένας πρώτος υπολογισμός χρησιμοποιώντας χαρακτηριστικές τιμές, ώστε να αποκτάται μια ιδέα του συνολικού βαθμού ασφάλειας, πριν την έναρξη του σχεδιασμού. Θα πρέπει να εφαρμόζονται εμπειρίες με συγκρίσιμες περιπτώσεις, οι

οποίες περιλαμβάνουν και διαδικασίες ερευνών.

Δεδομένου ότι δεν είναι δυνατή η διάκριση μεταξύ ευνοϊκών και δυσμενών φορτίων βαρύτητας κατά την εκτίμηση της δυσμενέστερης επιφάνειας ολίσθησης, η οποία αβεβαιότητα στο εδικό βάρος του εδάφους θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη με εφαρμογή μέγιστων και ελάχιστων χαρακτηριστικών τιμών αυτού.

Ο σχεδιασμός πρέπει να αποδεικνύει ότι η παραμόρφωση του εδάφους υπό τις δράσεις σχεδιασμού λόγω ερπυσμού ή τοπικών υποχωρήσεων δεν θα προκαλεί μή-αποδεκτές βλάβες στις δομικές κατασκευές ή στις υποδομές οι οποίες εδράζονται πάνω ή κοντά στο συγκεκριμένο έδαφος.

4.3 Πρανή και ορύγματα σε βραχώμαζες

Η ευστάθεια πρανών και ορυγμάτων σε βραχώμαζες πρέπει να ελέγχεται έναντι αστοχίας τύπου μετάθεσης ή περιστροφής, η οποία περιλαμβάνει μεμονωμένους βραχώδεις όγκους ή μεγάλα τμήματα βραχώμαζας καθώς και έναντι καταπτώσεων βράχων. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίδεται στην πίεση η οποία προκαλείται από εγκλωβισμένο διηθούμενο νερό σε διακλάσεις και ρωγμές.

Οι αναλύσεις ευστάθειας πρέπει να βασίζονται σε αξιόπιστη γνώση του τύπου των ασυνεχειών οι οποίες διατέμνουν τη βραχώμαζα και της διατμητικής αντοχής του υγιούς βράχου και των ασυνεχειών.

Θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη το γεγονός ότι η αστοχία πρανών και ορυγμάτων σε σκληρές βραχώμαζες με σαφώς προκαθορισμένο σύστημα ασυνεχειών, γενικά περιλαμβάνει:

- ολίσθηση όγκων ή σφηνών βράχου (sliding of blocks or rock wedges)
- ανατροπή όγκων ή πλακών
- συνδυασμό ανατροπής και ολίσθησης.

Ο τύπος της αστοχίας εξαρτάται από τον προσανατολισμό της επιφάνειας του πρανού σε σχέση με τον προσανατολισμό των ασυνεχειών.

Θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ότι η αστοχία πρανών και ορυγμάτων σε πυκνά ρωγατωμένες βραχώμαζες και σε μαλακούς βράχους και σιμεντωμένα εδάφη μπορεί να αναπτύσσεται κατά μήκος κυκλικών ή σχεδόν κυκλικών επιφανειών ολίσθησης οι οποίες διέρχονται μέσω υγιούς βράχου.

Η ολίσθηση μεμονωμένων όγκων και σφηνών θα πρέπει συνήθως να αποφεύγεται με μείωση της κλίσης του πρανού με κατασκευή αναβαθμών, εγκατάσταση αγκυρίων, βλήτρων και εσωτερικής αποστράγγισης. Κατά την εκσκαφή πρανών, η ολίσθηση θα πρέπει να αποφεύγεται με επιλογή της διεύθυνσης και προσανατολισμού της επιφάνειας του πρανού με τρόπο ώστε οι μετακινήσεις των μεμονωμένων όγκων να είναι κινηματικά αδύνατες.

Για την αποφυγή αστοχιών έναντι ανατροπής, θα πρέπει κανονικά να εφαρμόζονται αγκύρια ή βλήτρα και εσωτερική αποστράγγιση.

Κατά την εξέταση της μακροχρόνιας ευστάθειας πρανών και ορυγμάτων, θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι επιβλαβείς επιδράσεις της βλάστησης και των περιβαλλοντικών ή ρυπαντικών παραγόντων στη διατηρητική αντοχή των ασυνεχειών και στην αντοχή του υγιούς βράχου.

Σε βραχώμαζες με εκτεταμένη ρηγμάτωση σε απότομα πρανή και πρανή επιρρεπή σε ανατροπή (toppling), αποφλοΐωση (spalling), προοδευτική χαλάρωση (ravelling) και κατάρρευση (slumping), θα πρέπει πάντοτε να αναλύεται η πιθανότητα καταπτώσεων βράχων.

Σε περιπτώσεις όπου δεν είναι εφικτές αξιόπιστες προβλέψεις για την αποφυγή καταπτώσεων βράχων, θα πρέπει να προβλέπονται μέτρα όπως δίκτυα, εμπόδια (barriers) ή άλλα κατάλληλα μέτρα για την παγίδευση των πιπτόντων βράχων.

Ο σχεδιασμός των μέτρων για τον περιορισμό των επιπτώσεων από τις καταπτώσεις των βραχωδών όγκων και άλλων υλικών (debris) από βραχώδη πρανή θα πρέπει να βασίζεται σε εκτεταμένη έρευνα των πιθανών τροχιών του καταπίπτοντος υλικού.

4.4 Ευσταθεια πρανών σύμφωνα με τις ΟΜΟΕ

Σύμφωνα με τις Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων (ΟΜΟΕ), γαιώδη ή γαιοημιβραχώδη πρανή υψηλότερα από 10 μέτρα πρέπει να μελετώνται με υπολογισμό ευστάθειας σύμφωνα με τις αρχές της παρ. 11.2 του DIN 4084, λαμβάνοντας υπόψη ενδεχόμενες νεότερες βελτιώσεις σύνθετων μορφών αστοχίας. Τα γαιώδη πρανή πρέπει να μελετώνται με χρήση των αρχών των ενεργών τάσεων, λαμβανομένων υπόψη των δυσμενεστέρων δυνατών συνθηκών υπογείων υδάτων κατά τη διάρκεια ζωής. Η εκτίμηση της μέγιστης (ανώτατης) στάθμης υπόγειου φρεάτιου ορίζοντα 50-ετίας θα γίνεται με γεωλογικές - υδρογεωλογικές εκτιμήσεις των στοιχείων της ευρύτερης περιοχής (εκτός εάν διατίθενται στατιστικά υδρολογικά, υδραυλικά στοιχεία).

Η μελέτη των πρανών ορυγμάτων θα πρέπει να συνδυάζεται με τη μελέτη αποστράγγισης για να επιτυγχάνεται η πιο οικονομική λύση (ενδεχομένως και με ειδική μελέτη καταβιβασμού στάθμης).

Ανεξαρτήτως των αποτελεσμάτων των ελέγχων ευστάθειας των πρανών, δεν επιτρέπεται να προτείνονται κλίσεις μεγαλύτερες του 1:1 (45°) για γαιοημιβραχώδη ορύγματα συνολικού ύψους μεγαλύτερου των 10,0 m. Σε περίπτωση εφαρμογής επί μέρους αναβαθμών, τότε το μέγιστο ύψος αναβαθμού δεν επιτρέπεται να υπερβαίνει τα 15,0 m (σε ειδικές περιπτώσεις με σημαντική κατασκευαστική δυσχέρεια) και το ελάχιστο πλάτος βαθμίδας τίθεται 4,00 m.

Περιπτώσεις ελέγχου - ευστάθειας - Συντελεστές ασφαλείας

Οι ελάχιστες απαιτούμενες περιπτώσεις ελέγχου ευστάθειας πρανών με τους αντίστοιχους ελάχιστους συντελεστές ασφαλείας συνοψίζονται στον Πίνακα 1 που ακολουθεί.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1. ΕΛΑΧΙΣΤΟΙ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟΙ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΓΑΙΩΔΩΝ ΠΡΑΝΩΝ ΟΡΥΓΜΑΤΩΝ

α/α Συνδυασμού	1	2	3	4
Σεισμός	N	N	O	O
Ανώτατη στάθμη υπόγειου ορίζοντα 50 -ετίας	N	O	N	O
Απαιτούμενος συντελεστής ασφαλείας	Δεν απαιτείται έλεγχος	1,0	1,3	1,4

όπου :

Σεισμός

- N Σεισμός σχεδιασμού σύμφωνα με τον ΕΑΚ, παραγρ. 5.4.
O Όχι σεισμός.

Ανώτατη στάθμη υπογείου ορίζοντα 50-ετίας.

- N Προβλεπόμενη ανώτατη στάθμη υπόγειου ορίζοντα 50-ετίας.
O Προβλεπόμενη ετήσια ανώτατη στάθμη υπόγειου ορίζοντα.

Για τους συνδυασμούς με αύξοντες αριθμούς 2, 3 και 4 πρέπει πάντοτε να υπολογίζονται οι γενικευμένοι συντελεστές ασφαλείας.

Σε περιπτώσεις ορυγμάτων μέσα από παλαιά κατολίσθηση μπορεί να εφαρμόζονται εναλλακτικές μέθοδοι ανεκτών παραμορφώσεων, για φόρτιση με σεισμό. Για προσωρινά πρανή (εκτεθειμένα για περίοδο κάτω του ενός έτους) απαιτείται συντελεστής ασφαλείας τουλάχιστον 1.1 χωρίς σεισμό και με υπόγειο ορίζοντα συμφώνως προς παραδοχές της γεωτεχνικής μελέτης.

4.5 Πρανή βραχωδών ορυγμάτων

4.5.1 Γενικά στοιχεία – Διαμόρφωση (ΟΜΟΕ)

Οι αρχές της ΟΜΟΕ καθορίζουν πως τα βραχώδη πρανή υψηλότερα από 10 μέτρα πρέπει να μελετώνται σύμφωνα με τις αρχές της Βραχομηχανικής, λαμβανομένων υπόψη των συνθηκών του υπόγειου νερού. Οι εκσκαφές στο βράχο πρέπει να μελετώνται ώστε να είναι ασφαλείς έναντι συνολικής θραύσης, αλλά θα

είναι επιτρεπτές επιφανειακές θραύσεις των πρανών μεταξύ των οριζόντιων βαθμίδων. Επί πλέον πρέπει να λαμβάνονται μέτρα ώστε να μη φθάνουν στο δρόμο καταπτώσεις βραχωδών συντριμμάτων από το πρανές. Η γραμμή πρανούς, για τη μελέτη της συνολικής θραύσης, θα ορίζεται από τη γραμμή που ενώνει το πίσω μέρος των οριζοντίων βαθμίδων. Η μελέτη πρανών εκσκαφών σε βράχο πρέπει να εξετάζει τις επιπτώσεις της θραύσης ιδιαίτερα σε θέσεις όπου, στη στέγη του πρανούς βρίσκονται ιδιοκτησίες ή σημαντικές κατασκευές που δεν είναι δυνατόν να μετακινηθούν.

Σε πολλές περιοχές οι τεκτονικές συνθήκες (η μορφή των ασυνεχειών του βράχου) διαφέρουν σημαντικά σε μικρές αποστάσεις και οι υπάρχουσες εκτεθειμένες επιφάνειες μπορεί να μην είναι αντιπροσωπευτικές των συνθηκών στο προτεινόμενο βραχώδες μέτωπο. Οι μελέτες ευστάθειας βραχωδών πρανών είναι δυνατόν, σε πολλές περιπτώσεις, να χρειαστούν τροποποίηση, στη φάση κατασκευής, όταν αποκαλυφθούν οι πραγματικές συνθήκες. Σε αυτές τις περιοχές, οι μελετητές πρέπει να προβλέψουν ώστε οι ανάδοχοι να πραγματοποιήσουν δοκιμαστικές εκσκαφές στην περιοχή του Έργου, στις οποίες να μπορεί να μετρηθεί η μορφή των ασυνεχειών του βράχου, ώστε να υπάρχει αποτελεσματικός έλεγχος των μελετητικών παραδοχών πριν από την τελική διαμόρφωση του ορύγματος κατά τη φάση κατασκευής.

Μεταξύ των αναβαθμών σε ύψη που γενικά θα καθορίζονται από τους ισχύοντες περιβαλλοντικούς όρους, πρέπει να εξασφαλίζονται οριζόντιες βαθμίδες πλάτους τουλάχιστον 4,0 m. Όπου χρειάζεται προσπελασιμότητα κατά μήκος των οριζόντιων βαθμίδων για λόγους παρακολούθησης και συντήρησης (π.χ. εκεί που τοποθετήθηκαν αγκύρια βράχου σε μια οριζόντια βαθμίδα), πρέπει να εξασφαλίζεται η δυνατότητα εύκολης πρόσβασης. Σε άλλες θέσεις οι οριζόντιες βαθμίδες θα χρησιμοποιούνται για την ενδεχόμενη αναχαίτιση βραχωδών καταπτώσεων και για την υποβοήθηση της ανάπτυξης φυτών για λόγους διαμόρφωσης τοπίου, ενώ το πλάτος πρέπει να είναι σύμφωνο τόσο με τις απαιτήσεις για συνολική ευστάθεια, όσο και για οριακή ευστάθεια του πρανούς μεταξύ των οριζόντιων βαθμίδων.

4.5.2 Έλεγχοι ευστάθειας - Συντελεστής Ασφαλείας (OMOE)

Η μεθοδολογία που πρέπει να ακολουθείται για τον υπολογισμό της ευστάθειας βραχωδών πρανών ορυγμάτων σε κάθε θέση (διατομή) ελέγχου σύμφωνα με τις οδηγίες της OMOE είναι η παρακάτω:

Βαθμονόμηση - κατάταξη βραχώμαζας με κάποια από τις διεθνώς ισχύουσες θεωρήσεις (RMR, GSI, σύστημα Q κλπ) και εκτίμηση των χαρακτηριστικών παραμέτρων διατμητικής αντοχής και ελαστικότητας της βραχώμαζας.

Εκτίμηση μοντέλου δυνητικών ολισθήσεων που θα προκύπτει από την αντίστοιχη γεωλογική μελέτη με βάση τα τεκτονικά διαγράμματα ασυνεχειών της υπό έλεγχο περιοχής (μέθοδος Schmidt).

Εκτίμηση της διατμητικής αντοχής των ασυνεχειών είτε από δοκιμές πεδίου

είτε από κατάλληλες εργαστηριακές δοκιμές.

Οι υπολογισμοί ευστάθειας των βραχωδών πρानών ορυγμάτων θα συντάσσονται είτε για στατική είτε για σεισμική φόρτιση και ανάλογα με τις υποδείξεις του μοντέλου δυνητικών ολισθήσεων έναντι :

- α. Σύνθετης μορφής ολίσθησης (πολυγωνική θραύσης) με την παραδοχή σχηματισμού εφελκυστικής ρωγμής πίσω από το μέτωπο του πρानού με τη χρήση των παραμέτρων διατμητικής αντοχής που προεκτιμήθηκαν (ταξινομήσεις, εργαστηριακές δοκιμές κλπ).
- β. Επίπεδης ολίσθησης πάνω σε καθορισμένη οικογένεια επιφανειών ασυνέχειας.
- γ. Σφηνοειδούς ολίσθησης (π.χ. με την μέθοδο ανάλυσης τετραεδρικής σφήνας κατά Hoek - Bray).

Η επίδραση της αύξησης υδροστατικής πίεσης των ασυνεχειών της βραχώμαζας πρέπει να ελέγχεται έως το επίπεδο της καθοριζόμενης ως «Ανώτατη Πίεση 50-ετίας» με υδρογεωλογικά κριτήρια, ή έως το επίπεδο θεωρητικής κατάστασης κορεσμού των ασυνεχειών (περίπτωση σφηνοειδούς ολίσθησης).

Ο Αντισεισμικός έλεγχος θα γίνεται με την «ψευδοστατική» μέθοδο με την επιβολή της αντίστοιχης οριζόντιας σεισμικής δύναμης στην εξωτερική επιφάνεια του πρानού, ανάλογα με τον συντελεστή σεισμικότητας a_H της περιοχής ελέγχου.

Οι υπολογισμοί ευστάθειας των πρानών σε βραχώδη ορύγματα θα γίνονται για 2 περιπτώσεις, έναντι αστοχίας του συνολικού πρανού (βλ. συντελεστή ασφαλείας Πίνακα 2) και έναντι αστοχίας μεμονωμένου αναβαθμού μεταξύ 2 οριζόντιων βαθμίδων (βλ. συντελεστή ασφαλείας Πίνακα 3).

(Α) Περίπτωση

ΠΙΝΑΚΑΣ 2. ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΒΡΑΧΩΔΩΝ ΠΡΑΝΩΝ - ΘΡΑΥΣΗ ΣΥΝΟΛΙΚΟΥ ΠΡΑΝΟΥΣ

α/α Συνδυασμού	1	2	3	4
Σεισμός	N	N	O	O
Ανώτατη πίεση πόρων ασυνεχειών 50-ετίας	N	O	N	O
Απαιτούμενος συντελεστής ασφαλείας	-	1,0	1,2	1,3

όπου :

Σεισμός

N Σεισμός σχεδιασμού σύμφωνα με τον ΕΑΚ, παραγρ. 5.4.

O Οχι σεισμός.

Ανώτατη στάθμη υπογείου ορίζοντα 50-ετίας.

N Προβλεπόμενη ανώτατη πίεση πόρων ασυνεχειών 50-ετίας (κορεσμός ασυνεχειών)

O Προβλεπόμενη ετήσια ανώτατη πίεση πόρων ασυνεχειών.

Σε περιπτώσεις ορυγμάτων μέσα από παλαιά κατολίσθηση μπορεί να εφαρμόζονται εναλλακτικές μέθοδοι ανεκτών παραμορφώσεων, για φόρτιση με σεισμό. Για προσωρινά πρανή (εκτεθειμένα για περίοδο κάτω του ενός έτους) απαιτείται συντελεστής ασφαλείας τουλάχιστον 1.1 χωρίς σεισμό και με υπόγειο ορίζοντα συμφώνως προς παραδοχές της γεωτεχνικής μελέτης.

(B) Περίπτωση

ΠΙΝΑΚΑΣ 3. ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΒΡΑΧΩΔΩΝ ΠΡΑΝΩΝ - ΠΡΑΝΗ ΜΕΤΑΞΥ ΟΡΙΖΟΝΤΙΩΝ ΒΑΘΜΙΔΩΝ

a/a Συνδυασμού	1	2	3	4
Σεισμός	N	N	O	O
Ετήσια ανώτατη πίεση πόρων ασυνεχειών	N	O	N	O
Απαιτούμενος συντελεστής ασφαλείας	-	-	1,1	1,2

Για προσωρινά βραχώδη πρανή μεταξύ βαθμίδων απαιτείται συντελεστής ασφαλείας 1.05 χωρίς σεισμό και με υπόγεια ορίζοντα σύμφωνα με παραδοχές γεωτεχνικής μελέτης. όπου :

Σεισμός

- N Σεισμός σχεδιασμού σύμφωνα με τον ΕΑΚ, παραγρ. 5.4.
- O Οχι σεισμός.

Ετήσια ανώτατη στάθμη υπογείου ορίζοντα

- N Προβλεπόμενη ετήσια ανώτατη πίεση πόρων ασυνεχειών
- O Χωρίς πίεση πόρων

4.5.3 Αναχαίτιση καταπτώσεων (ΟΜΟΕ)

Στα βραχώδη ορύγματα ύψους $H > 5,0$ m με κλίση πρανών (ύψος/ βάση) $\nu:\beta \geq 1:1$ και ανάλογα με την κατάσταση της βραχομάζας (προσανατολισμός ασυνεχειών, αποσάθρωση-διάβρωση κτλ.) θα προβλέπεται βραχοπαγίδα υπό διάφορες μορφές (ζώνη άρσης καταπτώσεων, τάφος αναχαίτισης, ζώνη και τοίχος/φράχτης κλπ.) στην οποία θα παγιδεύονται τα προϊόντα κατάπτωσης μεμονωμένων λίθων από την επιφάνεια του πρανούς και τυχόν από την επιφάνεια του φυσικού εδάφους ανάντη της οφρύος του πρανούς.

Σε περιπτώσεις που δεν εκτελούνται ειδικές αναλύσεις «κατάπτωσης βραχωδών τεμάχων» ο τύπος και οι διαστάσεις της βραχοπαγίδας μπορούν να ορίζονται με βάση εμπειρικές μεθόδους όπως το νομογράφημα του Whiteside (1986). Επισημαίνεται ότι εφόσον προηγούνται ειδικοί έλεγχοι «κατάπτωσης βραχωδών

τεμαχών» (π.χ. με την χρήση λογισμικού προγράμματος τύπου Rockfall ή άλλου ισοδύναμου), ο τύπος και οι διαστάσεις των μέτρων προστασίας θα προκύπτουν από την παραπάνω ανάλυση.

Σε ορισμένες περιπτώσεις όπου δεν είναι εφικτή η κατασκευή βραχοπαγίδας με τις απαιτούμενες διαστάσεις είναι δυνατή και η υιοθέτηση πρόσθετων μέτρων προστασίας όπως π.χ. ηλώσεις, δίχτυα προστασίας, φράχτης στο φρύδι του πρανούς. Σε περίπτωση που τα ανωτέρω έρχονται σε αντίθεση με τα προβλεπόμενα στις εκάστοτε ισχύουσες προδιαγραφές κατασκευής έργων και μελετών καθώς και στις ΟΜΟΕ υπερισχύουν τα προβλεπόμενα στις προδιαγραφές και στις ΟΜΟΕ.

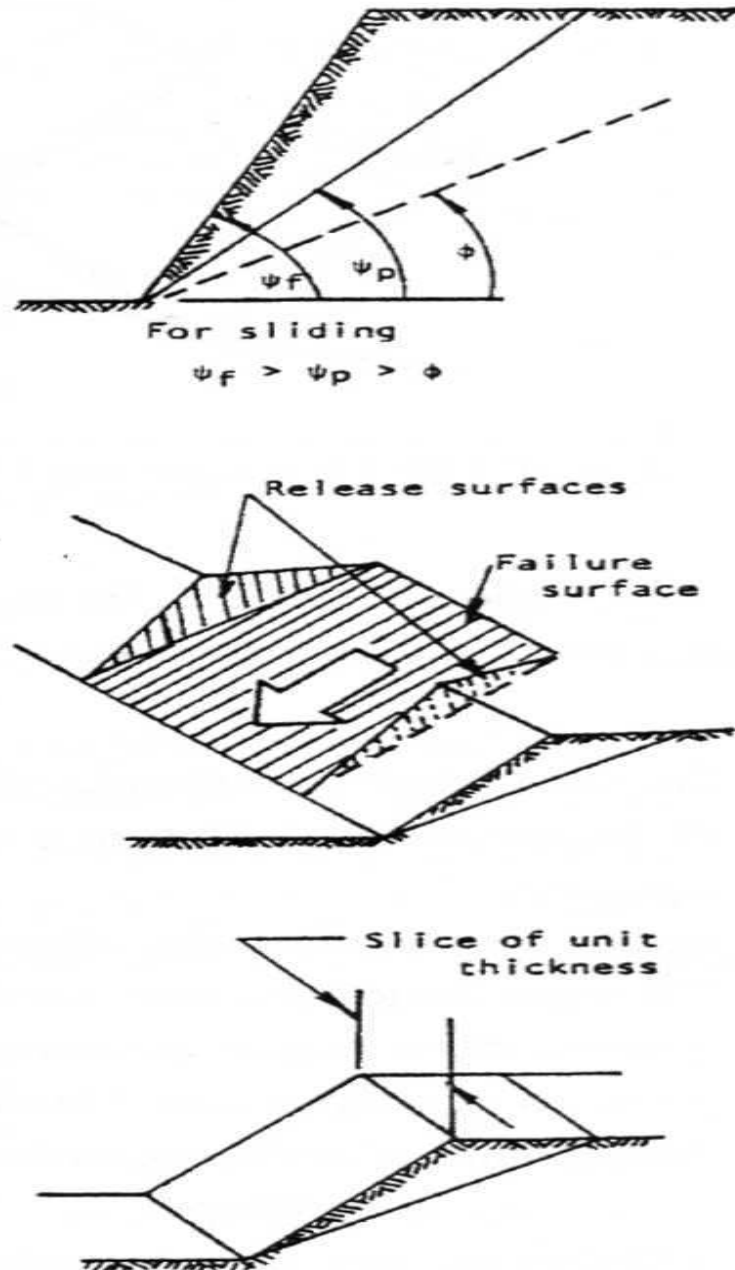
4.6 Ανάλυση επίπεδης ολίσθησης

Η ολίσθηση κατά επίπεδο (planar failure) είναι μία σχετικά σπάνια περίπτωση σε βραχώδη πρηνή, και αυτό επειδή σπάνια όλες οι γεωμετρικές συνθήκες που απαιτούνται για τη δημιουργία μιας τέτοιας αστοχίας μπορούν να υπάρχουν σ' ένα πρανός.

Για να συμβεί ολίσθηση κατά επίπεδο, οι παρακάτω γεωμετρικές συνθήκες πρέπει να ικανοποιούνται, Σχήμα 1:

1. Η διεύθυνση του επιπέδου ολίσθησης πρέπει να είναι σχεδόν παράλληλη ($\pm 20^\circ$) με τη διεύθυνση του πρανούς.
2. Το επίπεδο ολίσθησης πρέπει να "ανατέλλει" στο μέτωπο του πρανούς, δηλ. $\psi_f > \psi_p$.
3. Η γωνία κλίσης του επιπέδου πρέπει να είναι μεγαλύτερη από τη γωνία εσωτερικής τριβής του πετρώματος, $\psi_p > \phi$.
4. Η παρουσία πλευρικών επιφανειών απελευθερώσεως που προβάλλουν ασήμαντη αντίσταση στην ολίσθηση και να καθορίζουν τα πλευρικά όρια της ολίσθησης.

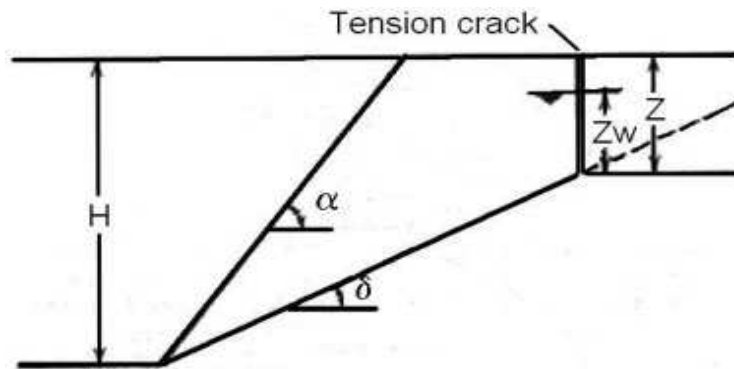
Στην ανάλυση προβλημάτων διδιάστατων πρανών είναι σύνηθες να θεωρούμε τέμαχος απειροελάχιστου πάχους με γωνίες κάθετες ως προς την επιφάνεια του πρανούς



Σχήμα 1. Γενικές συνθήκες για ολίσθηση κατά επίπεδη. (Spread foundations and slope stability calculations on rocks according to Eurocode EC-7 J. Estaire & G. Olivenza)

Σε πετρώματα που παρουσιάζουν στρωσιγένεια και βρίσκονται σε πρανή η κλίση της στρώσης τους, παράλληλα προς την κλίση του πρανούς, είναι η μέγιστη κλίση με την οποία το πρανές μπορεί να σταθεί. Οποιαδήποτε διάβρωση στη βάση του πρανούς, ή αφαίρεση υλικών από τη βάση του για κατασκευή κάποιου τεχνικού έργου, ή ακόμη μείωση της γωνίας εσωτερικής τριβής μεταξύ των τεμαχών της στρώσης θα οδηγήσει σε χαμηλότερη τιμή του συντελεστή ασφαλείας και συνεπώς σε αστοχία του πρανούς.

Η γεωμετρία μιας γενικής περίπτωσης εξετάζεται στην ανάλυση των επιφανειών του επιπέδου αποτυχίας που παρουσιάζονται στο ακόλουθο Σχήμα 2.



Σχήμα 2. Γεωμετρία για τη γενική ανάλυση του επιπέδου αστοχίας (Hoek και Bray, 1981).

Αν η ολισθαίνουσα μάζα της επιφάνειας συμπεριφέρεται σαν ένα στερεό σώμα, ο συντελεστής ασφαλείας μπορεί να εκφράζεται με την ακόλουθη εξίσωση:

$$F = \frac{c \cdot A + (W \cdot \cos \delta - U - V \cdot \sin \delta) \tan \phi}{W \cdot \sin \delta + V \cdot \cos \delta} \quad (9)$$

όπου c και ϕ είναι η συνοχή και η γωνία τριβής στην επιφάνεια ολίσθησης, δ είναι η κλίση της επιφάνειας ολίσθησης, Το A είναι το μήκος (περιοχή ανά μονάδα πλάτους) της επιφάνειας ολίσθησης, το U είναι η συνισταμένη της πίεσεως του νερού κατά μήκος της επιφάνειας ολίσθησης και το V είναι η συνισταμένη της πίεσης του νερού κατά μήκος της εφελκυστικής ρωγμής.

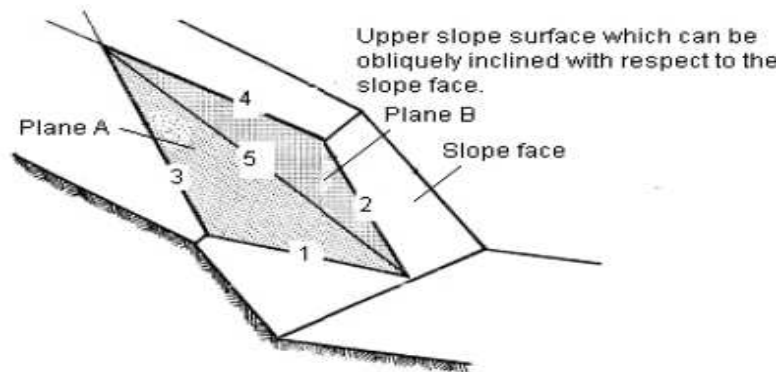
4.7 Σφηνοειδής ολίσθηση

Σ' αυτή την ανάλυση έχουν γίνει οι παρακάτω παραδοχές:

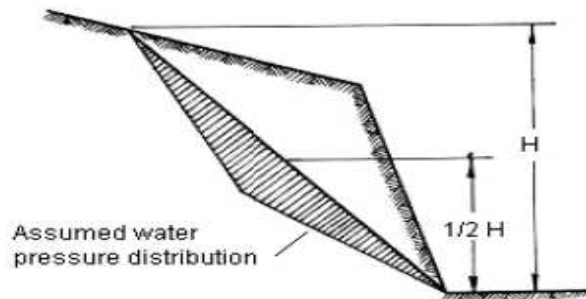
- Όπως και στην περίπτωση της επίπεδης ολίσθησης, η συνθήκη ολίσθησης είναι $\psi_i > \psi > \phi$, όπου ψ_i είναι η γωνία κλίσης του πρηνούς και ψ η γωνία κλίσης της ευθείας τομής των δύο επιπέδων ως προς την οριζόντια. Η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ αυτών ορίζεται ως γωνία ξ . Η γωνία που σχηματίζεται από τη διχοτόμο της γωνίας ξ και το οριζόντιο επίπεδο που περνάει από τον πόδα της σφήνας είναι η γωνία β .
- Αν θεωρήσουμε A και B τα επίπεδα δύο μεγάλων επιφανειών ασυνέχειας, ως B καλείται αυτό με τη μεγαλύτερη γωνία κλίσης.
- Η αστοχία σφήνας συμβαίνει μόνο με ολίσθηση και ελέγχεται μόνο από τη τριβή.
- Η γωνία εσωτερικής τριβής ϕ είναι ίδια και για τα δύο επίπεδα.

Το Σχήμα 3 δείχνει την γεωμετρία της σφήνας η οποία θα εξεταστεί στην ανάλυση που ακολουθεί. Υποτίθεται ότι η ολίσθηση της σφήνας λαμβάνει χώρα

πάντοτε κατά μήκος της τομής των επιπέδων A και B



a) Pictorial view of wedge showing the numbering of intersection lines and planes



b) View normal to the line of intersection 5 showing the total wedge height and the water pressure distribution

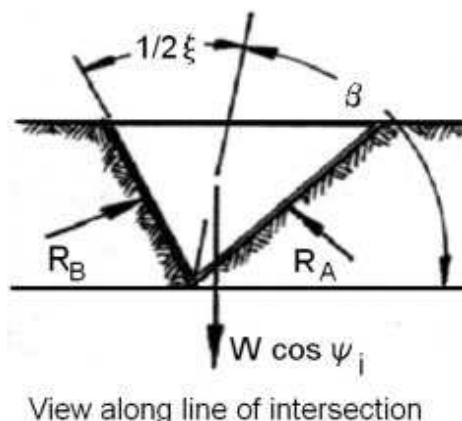
Σχήμα 3. Γεωμετρία σφήνας που χρησιμοποιείται για την ανάλυση ευστάθειας συμπεριλαμβανομένης της επίδρασης της συνοχής και της πίεσης του νερού επί των επιφανειών που αστοχούν (Hoek και Bray, 1981).

Ο συντελεστής ασφάλειας για τη σφήνα που ορίζεται από αυτά επίπεδα A και B, υποθέτοντας ότι η ολίσθηση εμποδίζεται από την τριβή και μόνο και ότι η γωνία τριβής ϕ είναι η ίδια και για τις δύο επιφάνειες, δίνεται από τη σχέση:

$$F = \frac{(R_A + R_B) \tan \phi}{W \cdot \sin \psi_l} \quad (10)$$

όπου R_A και R_B είναι οι ορθές δυνάμεις αντίδρασης που παρέχονται από επίπεδα A και B, όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 4 και το ψ είναι η γωνία που ορίζεται από τη διχοτόμο της γωνίας που σχηματίζεται από τις επιφάνειες που καθορίζουν τη σφήνα και του οριζόντιου επιπέδου.

Εξισώσεις για ολίσθηση σφηνών που εμποδίζονται τόσο από την τριβή όσο και από τη συνοχή δεν περιλαμβάνονται, διότι είναι αρκετά πιο περίπλοκο φαινόμενο.



Σχήμα 4. Οι αντιδράσεις που παρέχονται από τα επίπεδα A και B (Hoek και Bray, 1981).

4.8 Προτεινόμενη μέθοδος των J. Estaire & G. Olivenza για την ανάλυση προβλημάτων ευστάθειας βραχωδών πρανών συμβατής με τον EC-7

Για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος, οι προσεγγίσεις σχεδιασμού DA-1 και DA-3 είναι ισοδύναμες και η DA-2 δεν έχει επιλεγεί από καμιά ευρωπαϊκή χώρα και ο μόνος συνδυασμός DA που χρησιμοποιείται στην προκειμένη περίπτωση (Estaire, J. et al, 2013), είναι ο DA-3.

Στην προσέγγιση αυτή, ο μερικός συντελεστής της αντίστασης (γR) παίρνει την τιμή 1. Για το πρόβλημα αυτό και σύμφωνα με με την παράγραφο 2.4.7.3.4.4 - Σημείωση 2 του EC7, «οι δράσεις στο έδαφος, αντιμετωπίζονται ως γεωτεχνικές δράσεις» και θα πρέπει να τροποποιούνται από τους μερικούς συντελεστές δράσεων που φαίνονται στον Πίνακα 4.

Οι τιμές αυτές σημαίνουν ότι οι μόνιμες δράσεις, τόσο οι ευνοϊκές όσο και οι δυσμενείς, εξαιτίας του βάρους του βράχου ή του νερού επηρεάζονται από μερικό συντελεστή ίσο με 1.

Ο προσδιορισμός των τιμών των μερικών συντελεστών για το υλικό μπορεί να γίνει λαμβάνοντας υπόψη τις ακόλουθες εκφράσεις, που βασίζεται και πάλι στην έκφραση (1) [Ed < Rd].

Όπως φαίνεται στον Πίνακα 5, η τιμή των μερικών συντελεστών για τα υλικά θα πρέπει να λαμβάνεται ως η τιμή του συντελεστή ασφαλείας που χρησιμοποιείται στις μέρες μας, αν ένα παρόμοιο επίπεδο ασφαλείας θέλουμε να επιτευχθεί. Η μόνη μικρή διαφορά είναι η τιμή 1,3 για τα εξωτερικά φορτία, η οποία συνήθως δεν χρησιμοποιείται.

Η τιμή του μερικού συντελεστή για τις γεωτεχνικούς παραμέτρους πρέπει να

περιλαμβάνονται στο Εθνικό Παράρτημα της κάθε χώρας. Για παράδειγμα, οι προτεινόμενες τιμές στο Εθνικό Ισπανικό παράρτημα για τη γενική περίπτωση είναι ίσες με 1.4 για μόνιμες καταστάσεις, 1.25 για παροδικές καταστάσεις και 1.10 σε τυχαίες, για κάθε γεωτεχνική παράμετρο (της συνοχής και της γωνίας τριβής) εκτός από την πυκνότητα κατά την οποία ο μερικός συντελεστής είναι ίσος με 1.0 σε όλες τις καταστάσεις που αναφέρθηκαν.

Πίνακας 4. Τιμές μερικών συντελεστών σχετικά με την επιρροή των δράσεων (γ_E) όπως προτείνονται στον EC-7 για προβλήματα ευστάθειας.

Τύπος δράσεων ή αποτέλεσμα των δράσεων		Τιμή
Μόνιμες	Δυσμενείς	1
	Ευνοϊκές	1
Προσωρινές	Δυσμενείς	1,3
	Ευνοϊκές	0

Πίνακας 5. Μέθοδος για τον προσδιορισμό της τιμής του μερικού συντελεστή για τα υλικά (γ_M) στην περίπτωση της επίπεδης ολίσθησης. (J. Estaire & G. Olivenza)

Usual method	Proposal EC-7 method
$F = \frac{c \cdot A + (W \cdot \cos \delta - U - V \cdot \sin \delta) \tan \phi}{W \cdot \sin \delta + V \cdot \cos \delta}$	$E_d = R_d ; 1 = \frac{R_d}{E_d}$
$1 = \frac{(c \cdot A + (W \cdot \cos \delta - U - V \cdot \sin \delta) \tan \phi) / F}{W \cdot \sin \delta + V \cdot \cos \delta}$	$E_d = (W \cdot \sin \delta + V \cdot \cos \delta) \cdot \gamma_E$
	$R_d = \frac{c}{\gamma_M} A + (W \cdot \cos \delta - U - V \cdot \sin \delta) \tan \frac{\phi}{\gamma_M}$
	$1 = \frac{\frac{c}{\gamma_M} A + (W \cdot \cos \delta - U - V \cdot \sin \delta) \tan \frac{\phi}{\gamma_M}}{(W \cdot \sin \delta + V \cdot \cos \delta) \gamma_E}$
$\gamma_E = 1$ for favourable actions and for unfavourable permanent actions $\gamma_E = 1,3$ for unfavourable transient actions	
$F = \gamma_M$	

Πίνακας 6. Μέθοδος για τον προσδιορισμό της αξίας του μερικού συντελεστή για τα υλικά (γ_m) στην περίπτωση σφηνοειδούς ολίσθησης. (J. Estaire & G. Olivenza)

Usual method	Proposal EC-7 method
$F = \frac{(R_A + R_B) \cdot \tan \phi}{W \cdot \sin \psi_i}$	$E_d = R_d; 1 = \frac{R_d}{E_d}$
	$E_d = W \cdot \sin \psi_i \cdot \gamma_E$
	$R_d = (R_A + R_B) \cdot \tan \frac{\phi}{\gamma_M}$
$1 = \frac{((R_A + R_B) \cdot \tan \phi) / F}{W \cdot \sin \psi_i}$	$1 = \frac{(R_A + R_B) \cdot \tan \frac{\phi}{\gamma_M}}{W \cdot \sin \psi_i \cdot \gamma_E}$
$\gamma_E=1$ for favourable actions and for unfavourable permanent actions	
$\gamma_E=1,3$ for unfavourable transient actions	
$F = \gamma_M$	

4.9 Συμπεράσματα

Στην ευστάθεια των πρανών, χρησιμοποιώντας την προσέγγιση του σχεδιασμού 3, οι περισσότερες ευρωπαϊκές χώρες θέτουν, την τιμή του μερικού συντελεστή για τα υλικά (γ_m) ίση με την τιμή του παγκόσμιου παράγοντα ασφαλείας που εξετάζονται από τις συνήθεις μεθόδους.

Οι τιμές των επιμέρους παραγόντων, που λαμβάνονται ανάλογα με τη μέθοδο που προτείνεται, θα πρέπει να καθορίζονται στο Εθνικό Παράρτημα της κάθε χώρας, ειδικά για τις περιπτώσεις που αφορούν τη βραχομάζα.

5 Επιφανειακές Θεμελιώσεις σε βραχώδη πετρώματα και EC7

5.1 Επιφανειακή θεμελίωση στον EC-7

Η παράγραφος στηρίζεται στην εργασία των J. Estaire & G. Olivenza και στις Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων (ΟΜΟΕ), καθώς και στο κείμενο του EC7.

Σύμφωνα με τον EC-7, ο υπολογισμός των ενδεχόμενων οριακών καταστάσεων περιλαμβάνει βασικά την επαλήθευση της ακόλουθης έκφραση:

$$E_d < R_d \quad (1)$$

όπου ο E_d είναι η τιμή σχεδιασμού της επιρροής των δράσεων και R_d είναι η τιμή σχεδιασμού της αντίστασης του βράχου η οποία εξαρτάται από την εκάστοτε θεωρούμενη οριακή κατάσταση.

Η τιμή σχεδιασμού της επιρροής των δράσεων (E_d) υπολογίζεται από τις χαρακτηριστικές τιμές των επιπτώσεων των δράσεων, επηρεάζονται από το μερικό συντελεστή επίδρασης των δράσεων (γ_E) των οποίων οι τιμές, προτείνει ο EC7, και παρουσιάζονται στον ακόλουθο Πίνακα 1.

Πίνακας 1. Τιμές του μερικού συντελεστή σχετικά με την επίδραση των δράσεων (γ_E) όπως προτείνεται στον EC7.

Τύπος δράσεων ή επιρροές των δράσεων		Τιμή
Μόνιμες	Δυσμενείς	1,35
	Ευνοϊκές	1
Παροδικές	Δυσμενείς	1,5
	Ευνοϊκές	0

Λαμβάνοντας υπόψη αυτές τις τιμές και το γεγονός ότι σε μια κανονική δομή οι μόνιμες δράσεις είναι συνήθως περίπου τα 2/3 του συνόλου, μια μέση τιμή της γ_E θα μπορούσε να είναι γύρω στο 1,40. Αυτή η τιμή θα χρησιμοποιηθεί αργότερα.

Η τιμή σχεδιασμού της αντίστασης του βράχου (R_d) υπολογίζεται από την χαρακτηριστική τιμή της αντίστασης του κι επηρεάζεται από τον μερικό συντελεστή αντίστασης (γ_R).

Οι τιμές σχεδιασμού των ιδιοτήτων του βράχου που εμπλέκονται στον υπολογισμό της οριακής κατάσταση που λαμβάνονται από τις χαρακτηριστικές τιμές τους επηρεάζονται από το μερικό συντελεστή για τις παραμέτρους του εδάφους (γ_m). Είναι σημαντικό να θυμόμαστε ότι ο EC7 επισημαίνει ότι «η χαρακτηριστική τιμή μιας γεωτεχνικής παραμέτρου θα πρέπει να επιλέγεται ως μια προσεκτική εκτίμηση της τιμής που επηρεάζει την εμφάνιση της οριακής κατάστασης» [§2.4.5.2.(2)].

Η παράγραφος 6.7 του EC7 έχει ως βασικό αντικείμενο κάποιες συστάσεις για τις επιφανειακές θεμελιώσεις σε βράχους. Αυτή η ενότητα επισημαίνει ότι οι υπολογισμοί πρέπει να εξετάζουν ορισμένες πτυχές, όπως την αντοχή και την παραμόρφωση της βραχομάζας, την επιτρεπόμενη υποχώρηση του εδραζόμενου φορέα, την παρουσία ασθενέστερων στρωμάτων (όπως είναι τα χαρακτηριστικά διάλυσης ή ζώνες ρηγμάτωσης κάτω από τη θεμελίωση), την παρουσία διαστρωμάτωσης και άλλων ασυνεχειών και τα χαρακτηριστικά τους, τις καιρικές συνθήκες, την αποσύνθεση, την αποσάθρωση και το βαθμό θραύσης του πετρώματος και την αλλοίωση της φυσικής κατάστασης του βράχου που προκαλείται από κατασκευαστικές δραστηριότητες κοντά στη θεμελίωση (EC7 § 6.7.(1)).

Επιπλέον, ο EC-7 ορίζει ότι «οι επιφανειακές θεμελιώσεις σε βράχο μπορούν γενικά να σχεδιάζονται με τη μέθοδο της κατά παραδοχή φέρουσας ικανότητας.» (§ 6.7. (2)) και συνιστά τη μέθοδο που περιλαμβάνεται στο Παράρτημα Z «Ενδεικτική μέθοδος για τον προσδιορισμό της θεωρούμενης φέρουσας ικανότητας για επιφανειακές θεμελιώσεις σε βράχο». Το παράρτημα αυτό περιέχει τέσσερα διαγράμματα για διαφορετικούς τύπους βράχου, τα αποτελέσματα των οποίων εξαρτώνται από την αντοχή σε μονοαξονική θλίψη (q_u στο γράφημα) και την απόσταση των ασυνεχειών (DS).

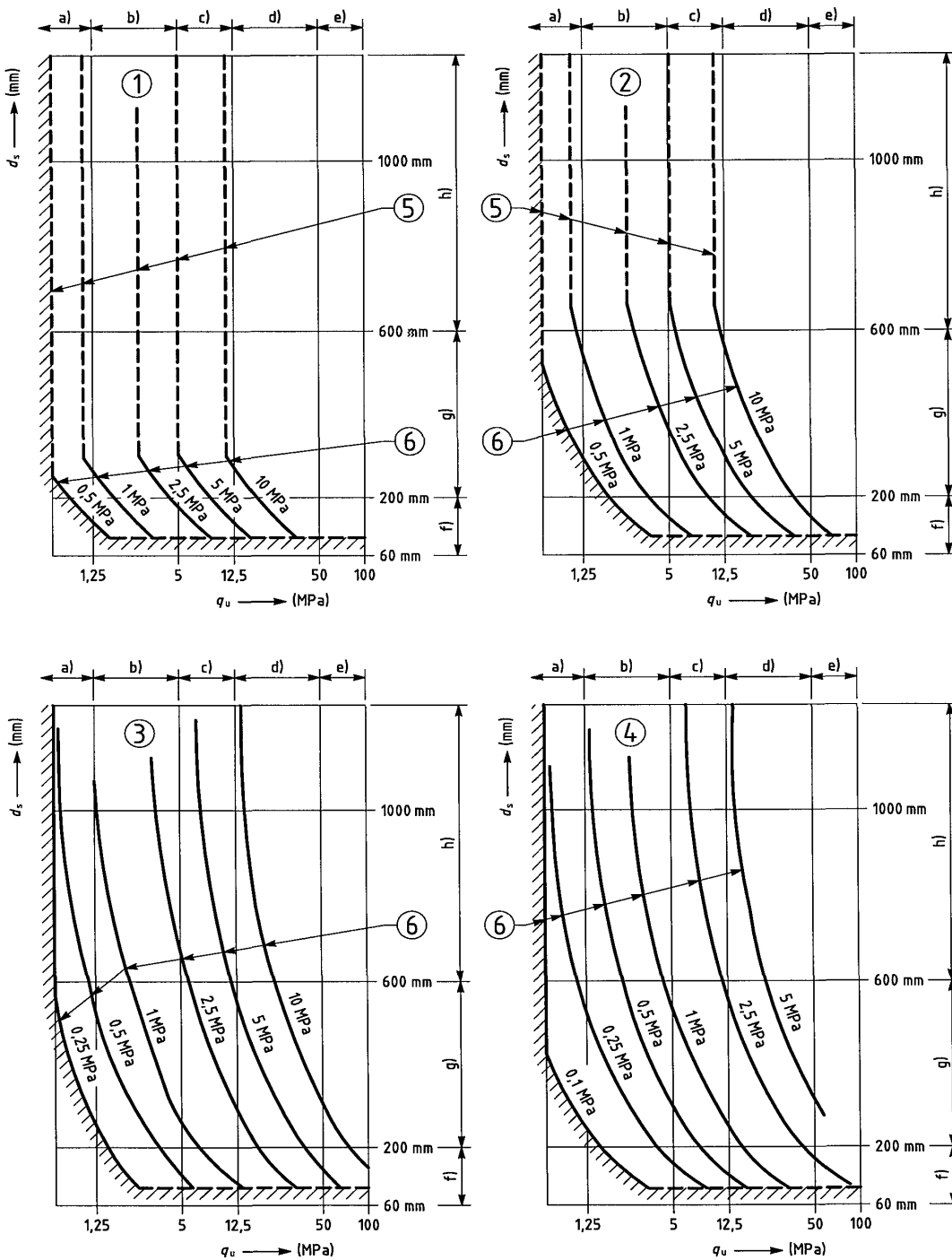
Θα πρέπει να σημειωθεί ότι αυτός ο τρόπος υπολογισμού αντιφάσκει μερικώς με τη φιλοσοφία υπολογισμού βάσει της εφαρμογής των μερικών συντελεστών του EC7 (για τις δράσεις, τις αντιστάσεις και τις ιδιότητες του εδάφους), αντί της χρήσης ενός ολικού συντελεστή ασφάλειας που είναι συμβατός με την έννοια της φέρουσας ικανότητας.

Σύμφωνα με το Παράρτημα Z του EC7, για ασθενείς και κερματισμένους βράχους με κλειστές διακλάσεις, στους οποίους περιλαμβάνονται και μαργαϊκοί σχηματισμοί με πορώδες μικρότερο από 35%, η τεκμαρτή φέρουσα αντίσταση μπορεί να προσδιορίζεται από το Σχήμα Z.1. Αυτό βασίζεται στην ομαδοποίηση που δίδεται στον Πίνακα Z.1 με την παραδοχή ότι ο φορέας μπορεί να παραλαμβάνει υποχωρήσεις ίσες με το 0,5 % του πλάτους της θεμελίωσης. Τιμές της τεκμαρτής φέρουσας αντίστασης για διαφορετικές υποχωρήσεις μπορεί να προσδιορίζονται με ευθεία αναλογία. Για ασθενείς και κερματισμένους βράχους με ανοικτές ή πληρωμένες διακλάσεις, θα πρέπει να χρησιμοποιούνται μειωμένες τιμές της τεκμαρτής φέρουσας πίεσης.

Πίνακας Z.1 — Ομαδοποίηση ασθενών και κερματισμένων βράχων (Παράρτημα Z, EC7)

Ομάδα	Τύπος βράχου
1	Καθαροί ασβεστόλιθοι και δολομίτες Ανθρακικοί ψαμμίτες μικρού πορώδους
2	Πυριγενή πετρώματα Οολιθικοί και μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι Καλά συγκολλημένοι ψαμμίτες Ημι-μεταμορφωμένοι ανθρακικοί πηλίτες Μεταμορφωμένοι βράχοι (συμπεριλαμβάνονται φυλλίτες και σχιστόλιθοι με οριζόντια σχιστότητα)
3	Έντονα μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι Ασθενώς συγκολλημένοι ψαμμίτες Φυλλίτες και σχιστόλιθοι με παρακατακόρυφη σχιστότητα
4	Μή-τσιμεντωμένοι πηλίτες και αργιλικόι σχιστόλιθοι

Σχήμα Z.1 — Τεκμαρή φέρουσα αντίσταση για τετραγωνικές θεμελιώσεις σε βράχο (για υποχωρήσεις που δεν υπερβαίνουν το 0.5% του πλάτους θεμελίωσης). (Παράρτημα Z, EC7)



Τετμημένη: q_u
απόσταση ασυνεχιών

(MPa): μοναξοική θλιπτική αντοχή

Τεταγμένη: d_s (mm)

απόσταση ασυνεχιών

- 1: Βράχοι ομάδας 1, 2: Βράχοι ομάδας 2, 3: Βράχοι ομάδας 3, 4: Βράχοι ομάδας 4,
 5 Επιτρεπόμενη φέρουσα πίεση η οποία δεν υπερβαίνει τη μοναξοική θλιπτική αντοχή του βράχου εάν οι διακλάσεις είναι κλειστές ή το 50% της τιμής αυτής εάν οι διακλάσεις είναι ανοικτές
 6 Επιτρεπόμενες φέρουσες πιέσεις: a) πολύ ασθενής βράχος, b) ασθενής βράχος c) μέτρια ασθενής βράχος d) μέτρια ισχυρός βράχος, e) ισχυρός βράχος

Αποστάσεις: f) πυκνές ασυνέχειες g) ασυνέχειες μέσης πυκνότητας h) αραιές ασυνέχειες

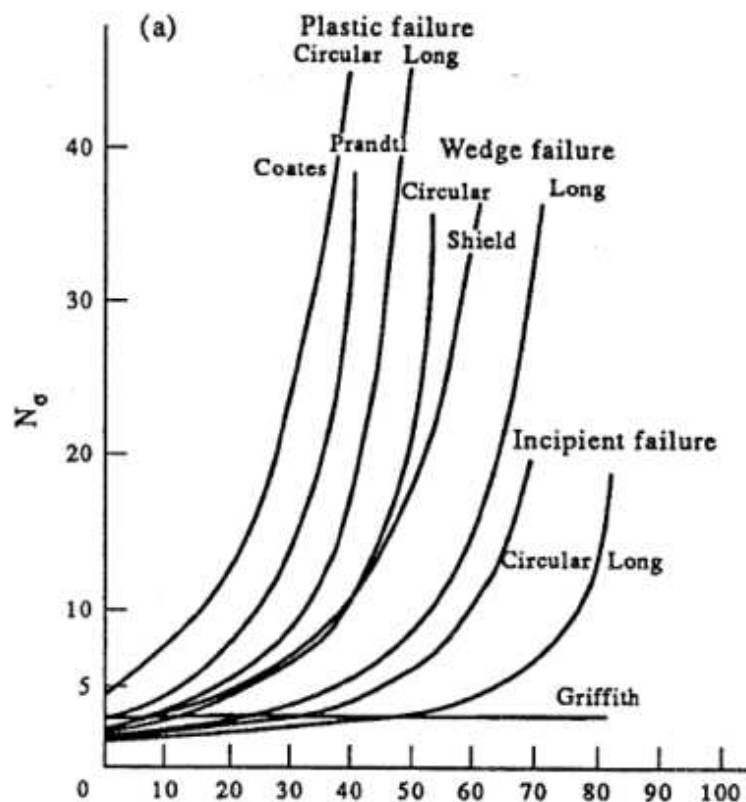
Για τους τύπους βράχου οι οποίοι αντιστοιχούν σε κάθε μια από τις τέσσερις ομάδες, βλέπε Πίνακα Z.1. Η τεκμαρή φέρουσα ικανότητα στις διαγραμματισμένες περιοχές θα εκτιμάται μετά από επιθεώρηση είτε εκτέλεση δοκιμών στο βράχο (από BS 8004)

5.2 Μέθοδοι υπολογισμού της τελικής αντοχής των επιφανειακών θεμελιώσεων σε βράχους

Οι συνήθεις μέθοδοι για τον υπολογισμό της αντοχής των επιφανειακών θεμελιώσεων σε βράχο (q_{ult}) εξαρτάται ως επί το πλείστον άμεσα από την μονοαξονική θλιπτική αντοχή (σ_c) του άρρηκτου βράχου και έμμεσα από τα χαρακτηριστικά της βραχώδους μάζας, μέσω της παραμέτρου N_σ , όπως μπορεί να φανεί στην ακόλουθη έκφραση:

$$q_{ult} = N_\sigma \cdot \sigma_c \quad (2)$$

Υπάρχουν πολλοί συγγραφείς στη διεθνή βιβλιογραφία που έχουν δώσει τιμές για την παράμετρο N_σ . Οι Couetdic & Barron (1975) συνοψίζουν τα διάφορα κριτήρια αστοχίας που χρησιμοποιούνται από διάφορους άλλους συγγραφείς. Το Σχήμα 2 δείχνει την μεταβολή της N_σ με τη γωνία τριβής, που χρησιμοποιείται ως βασική παράμετρος σε όλες σχεδόν τις θεωρίες.



Σχήμα 2. Μεταβολή της N_σ με την γωνία τριβής (Απόσπασμα από Couetdic & Barron, 1975).

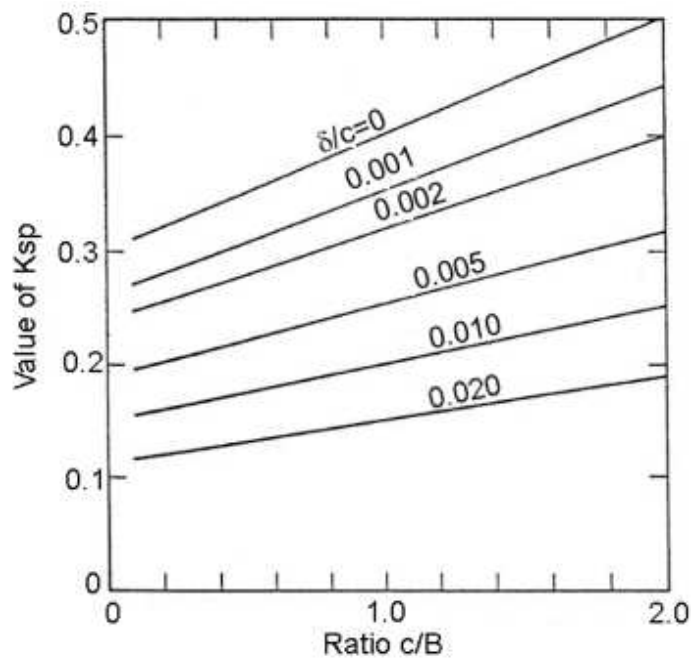
Μπορεί να φανεί ότι για τις τιμές της γωνίας τριβής στο εύρος μεταξύ 30° και 40° , η N_σ λαμβάνει τιμές μεταξύ 3 και 15.

Μόλις υπολογιστεί η απόλυτη τιμή της αντοχής (q_{ult}), το επόμενο βήμα είναι να καθοριστεί το επιτρεπόμενο όριο της αντοχής (q_a) διαιρώντας την απόλυτη τιμή της αντοχής με έναν ολικό συντελεστή ασφαλείας (F).

Ίδιο τρόπο έκφρασης με αυτόν, χρησιμοποιούν κι άλλοι κώδικες, όπως, για παράδειγμα, το Καναδικό Εγχειρίδιο Μηχανικής (2007). Σε αυτήν την περίπτωση, η παράμετρος N_σ έχει αντικατασταθεί από έναν εμπειρικό παράγοντα K_{sp} , ο οποίος εξαρτάται από το πλάτος θεμελίωσης (B) και την απόσταση (c) και το άνοιγμα (δ) των ασυνεχειών.

$$q_a = N_\sigma \cdot \sigma_c = K_{sp} \cdot \sigma_c = \frac{3 + c/B}{10 \sqrt{1 + 300 \delta/c}} \cdot \sigma_c \quad (3)$$

Δεδομένου ότι η έκφραση αυτή έχει ισχύ μόνο για $0.05 < c/B < 2.0$ και $0 < \delta/c < 0.02$, ο συντελεστής K_{sp} μπορεί να πάρει τιμές από 0.1 έως 0.5, όπως μπορεί να φανεί στο Σχήμα 3. Ο συντελεστής K_{sp} περιλαμβάνει έναν καθολικό συντελεστή ασφαλείας ίσο με 3.



$$K_{sp} = \frac{3 + c/B}{10 \cdot \sqrt{1 + 300 \cdot \delta/c}}$$

c =spacing of discontinuities	Valid for:
δ =aperture of discontinuities	$0.05 < c/B < 2.0$
B =footing width	$0 < \delta/c < 0.02$

Σχήμα 3. Οι τιμές του παράγοντα K_{sp} . (Καναδικό Εγχειρίδιο Μηχανικής, 2007)

Μια άλλη έκφραση που εξαρτάται άμεσα από τη σ_c είναι εκείνη που παρέχεται από τον DC Wyllie (1992), αν και σε αυτήν την περίπτωση η παράμετρος N_σ βασίζεται στο κριτήριο αστοχίας Hoek-Brown, μέσω των παραμέτρων m και s . Επίσης, εξαρτάται από ένα συντελεστή διόρθωσης C_{f1} που λαμβάνει υπόψιν το σχήμα θεμελίωσης. Αυτός ο παράγοντας C_{f1} παίρνει τιμές από 1 έως 1,25.

$$q_{ult} = N_\sigma \cdot \sigma_c = C_{f1} \cdot (s^{0,5} + (ms^{0,5} + s)^{0,5}) \cdot \sigma_c \quad (4)$$

Η επιτρεπόμενη αντοχή (q_a) είναι το αποτέλεσμα της τελικής φέρουσας ικανότητας (q_{ult}) από ένα καθολικό συντελεστή ασφάλειας που θα έχει εύρος από 2 έως ϵ , για τις περισσότερες συνθήκες φόρτισης.

Αυτή η ίδια έκφραση χρησιμοποιείται επίσης από το εγχειρίδιο του AASHTO (2007) που περιέχει έναν πίνακα με τιμές για το m και το s ανάλογα με τον τύπο και την ποιότητα του βράχου. Λαμβάνοντας υπόψη αυτές τις τιμές, η παράμετρος N_σ κυμαίνεται από 0.002 έως 7.

Υπάρχει και μια άλλη ομάδα εκφράσεων στις οποίες η σ_c εμφανίζεται με εκθέτη διαφορετικό του 1, συνήθως ίσο με 0,5, όπως στους Ισπανικούς Κώδικες Οδικών Έργων (Guía de Cimentaciones de Obras de Carretera) ή λιμενικών έργων (ROM 0.5-05). Σε αυτούς τους κωδικούς, η τελική φέρουσα ικανότητα εξαρτάται από την τετραγωνική ρίζα της θλιπτικής αντοχής και από ορισμένους παράγοντες λαμβάνουν υπόψη το είδος των πετρωμάτων, την παρουσία των ασυνεχειών, το βαθμό διάβρωσης του βράχου και την κλίση του φορτίου (Perucho & Estaire, 2014). Για παράδειγμα, η έκφραση που χρησιμοποιείται στην ROM 0.5-05 είναι η εξής:

$$q_{ult} = 3 \cdot p_r \cdot \sqrt{\frac{\sigma_c}{p_r}} \cdot f_D \cdot f_A \cdot f_\delta \quad (5)$$

όπου P_r είναι μια πίεση αναφοράς, συνήθως ισοδυναμεί με 1 MPa.

Ο παράγοντας f_D λαμβάνει υπόψη την παρουσία των ασυνεχειών. Θα είναι η ελάχιστη τιμή των δύο ακόλουθων εκφράσεων, όπου το s είναι η απόσταση μεταξύ των ασυνεχειών, B είναι το πλάτος αναφοράς ίσο με 1m και B^* είναι το αντίστοιχο πλάτος θεμελίωσης:

$$f_D = 2 \cdot \sqrt{\frac{s}{B^*}} \leq 1; f_D = 0,2 \cdot \sqrt{\frac{B_0 \cdot RQD_{(\%)}}{B^*}} < 1 \quad (6)$$

Ο συντελεστής f_A είναι ένας μειωτικός συντελεστής λόγω του βαθμού αποσάθρωσης, του οποίου οι τιμές είναι 1.0, 0.7 ή 0.5 για τους βαθμούς αποσάθρωσης I, II ή III, αντίστοιχα, και f_δ είναι ο παράγοντας που λαμβάνει υπόψιν

την κλίση του φορτίου, σύμφωνα με την έκφραση:

$$f_{\delta} = (1,1 - tg\delta)^3 < 1 \quad (7)$$

Ο υπολογισμός της επιτρεπόμενης αντοχής γίνεται διαιρώντας την οριακή φέουσα ικανότητα με τον αντίστοιχο συντελεστή ασφαλείας, του οποίου η συνιστώμενη τιμή σε αυτό το πρότυπο για την χαρακτηριστική κατάσταση είναι 2.3.

5.3 Μέθοδος των J. Estaire & G. Olivenza για το σχεδιασμό θεμελιώσεων σε βράχο συμβατή με τον EC7

Η επαλήθευση των οριακών καταστάσεων της αντοχής μιας επιφανειακής θεμελίωσης πρέπει να γίνεται με βάση την έκφραση (1) [$E_d < R_d$]. Όπως αναφέρεται παραπάνω, η τιμή σχεδιασμού της επιρροής των δράσεων (E_d) και η τιμή σχεδιασμού της αντίστασης του βράχου (R_d), υπολογίζονται από τις αντίστοιχες χαρακτηριστικές τιμές τους κι επηρεάζονται από μερικούς συντελεστές, όπως φαίνεται στο ακόλουθες εκφράσεις (8).

$$E_d < R_d \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} E_d = E_{ck} \cdot \gamma_E \\ R_d = R_{ck, (X_k/\gamma_M)} / \gamma_R ; R_d = q_{ult, (X_k/\gamma_M)} / \gamma_R \end{array} \right. \quad (8)$$

Ένα από τα κύρια σημεία αυτής της μεθόδου είναι ότι η χαρακτηριστική τιμή της αντίστασης του βράχου (R_{ck}) μπορεί να θεωρηθεί ως η τιμή της τελικής αντίστασης (q_{ult}), που μπορεί να προέρχεται από οποιαδήποτε από τις εκφράσεις που αναφέρονται στην προηγούμενη ενότητα. Για να αποκτηθεί αυτή η τελική φέουσα ικανότητα, η τιμή σχεδιασμού των παραμέτρων (X_d), πρέπει να χρησιμοποιούνται, και να λαμβάνονται διαιρώντας τη χαρακτηριστική τιμή (X_k) με το μερικό συντελεστή (γ_m).

Μόλις δημιουργηθούν οι κύριες εκφράσεις, το επόμενο βήμα είναι να καθοριστούν τιμές για τους διάφορους επιμέρους συντελεστές (γ_E , γ_R , γ_m). Για να γίνει αυτό, θα πρέπει να σημειωθεί ότι ο EC7 επιτρέπει την πραγματοποίηση των υπολογισμών βασικά σύμφωνα με δύο προσεγγίσεις σχεδιασμού (DA): τον DA-2 ο οποίος είναι ο Τρόπος Ανάλυσης μέσω επιμέρους συντελεστών αντιστάσεων (Resistance Factor Approach - RFA) και τους DA-1 και DA-3, οι οποίοι είναι Τρόποι Ανάλυσης μέσω επιμέρους συντελεστών υλικών (Material Factor Approaches - MFA). Για τις δύο προσεγγίσεις, ο μερικός συντελεστής της επιρροής των δράσεων (γ_E) πρέπει να λαμβάνεται από τον Πίνακα 1.

α) Μέθοδος Υπολογισμού του Συντελεστή Αντοχής γ_R , DA-2

Στην προσέγγιση αυτή, ο μερικός συντελεστής για το υλικό (γ_m) είναι ίσος με

1, έτσι ώστε οι τιμές των παραμέτρων που θα χρησιμοποιηθούν στις εκφράσεις για τον καθορισμό της οριακής κατάστασης να είναι χαρακτηριστικές.

Από την άλλη πλευρά, ο καθορισμός της τιμής του μερικού συντελεστή αντίστασης (γ_R) μπορεί να γίνει χρησιμοποιώντας τις ακόλουθες εκφράσεις, όπως δείχνει ο Frank, R. (2007), ο οποίος συγκρίνει τη συνήθη μέθοδο με την αντίστοιχη προτεινόμενη του EC7 για παρόμοιες διαστάσεις θεμελίωσης.

Για παράδειγμα, εάν η μέθοδος που χρησιμοποιείται αντιστοιχεί στον Καναδικό Κώδικα, η συνιστώμενη τιμή για το F είναι 3, μια μέση τιμή για το γ_E είναι 1.4, κι ο μερικός συντελεστής γ_R πρέπει να λαμβάνει μια τιμή ίση με 2.15.

Αυτή η τιμή του μερικού συντελεστή αντίστασης (γ_R) θα πρέπει να βρίσκεται στα Εθνικά Παραρτήματα των διαφόρων χωρών. Ωστόσο, πρέπει να σημειωθεί ότι οι τιμές που εμφανίζονται σήμερα σε αυτά τα Εθνικά Παραρτήματα αναφέρονται συνήθως σε επιφανειακές θεμελιώσεις σε εδάφη, άρα χρειάζεται είτε να αλλάξουν είτε να συμπληρωθούν ώστε να περιέχουν και τα απαραίτητα στοιχεία που αφορούν τις αντίστοιχες περιπτώσεις σε βραχώδη εδάφη.

β) Μέθοδοι Υπολογισμού του Παράγοντα γ_m , DA-3 και DA-1

Στις προσέγγιες αυτές, ο μερικός παράγοντας αντίστασης (γ_R) λαμβάνει τιμή ίση με 1 έτσι ώστε η τιμή σχεδιασμού της αντοχής του εδάφους να είναι η χαρακτηριστική.

Ωστόσο, οι τιμές των παραμέτρων που πρέπει να χρησιμοποιούνται στις εκφράσεις για να προσδιοριστεί η αντοχή του εδάφους πρέπει να επηρεάζονται από έναν αντίστοιχο επιμέρους συντελεστή ασφαλείας για το υλικό. Σε αυτή την περίπτωση, οι παράμετροι που εμφανίζονται σε αυτές τις εκφράσεις είναι η αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη (σ_c) και κάποιοι άλλοι που περιγράφουν το είδος των πετρωμάτων και την κατάσταση της βραχομάζας (όπως για παράδειγμα: m , s , RMR ή η απόσταση και το υλικό πλήρωσης των ασυνεχειών).

Χρησιμοποιώντας τον ίδιο τρόπο σκέψης, όπως και πριν, ο καθορισμός των τιμών των επιμέρους παραγόντων λόγω υλικού μπορεί να γίνει λαμβάνοντας υπόψη τον Πίνακα 3, σύμφωνα με τον οποίο, η απλούστερη μορφή λαμβάνεται όταν ο μερικός συντελεστής για το υλικό N_s είναι ίσος με 1, καθώς αυτός περιγράφει την κατάσταση της βραχομάζας, κι έτσι η μείωση του είναι αρκετά δύσκολο να ποσοτικοποιηθεί. Για το σ_c , ο μερικός συντελεστής πρέπει να είναι ίσος με F / γ_E . Πάλι, για παράδειγμα, εάν η μέθοδος αντιστοιχεί στον Καναδικό Κώδικα, τότε το γ_m (σ_c) θα πρέπει να λαμβάνει μια τιμή ίση με 2.15.

Σε αυτό το σημείο, υπάρχουν δύο πτυχές που πρέπει να διευκρινιστούν. Η πρώτη είναι ότι ο EC7, στο Παράρτημα A, προτείνει μια τιμή για το μερικό συντελεστή για την αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη (σ_c) ίση με 1.4, η οποία μπορεί να τροποποιηθεί στα Εθνικά Παραρτήματα. Όπως φαίνεται, αυτή η τιμή (1.4) είναι αρκετά μικρότερη από το αυτή που υπολογίστηκε προηγουμένως (2.15). Για να λυθεί αυτό το κενό, πρέπει να ειπωθεί ότι η τιμή που προτείνει ο EC-7 ισχύει μόνο για εδάφη, έτσι τα Εθνικά Παραρτήματα πρέπει να καθορίσουν τις αντίστοιχες τιμές για

τα βραχώδη υλικά.

Η δεύτερη πτυχή είναι ότι η έκφραση αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη διαστασιολόγηση θεμελίωσης μόνο αν ο εκθέτης της σε είναι ίσος με 1. Αν ο εκθέτης είναι 0,5, ως συνήθως, το μέγιστο φορτίο που ενεργεί πρόκειται να είναι περίπου 50% υψηλότερο με τη διαστασιολόγηση σύμφωνα τον EC7 από ότι στις συνήθεις μεθόδους. Ένας τρόπος να λυθεί αυτό το πρόβλημα θα μπορούσε να αφορά την τιμή του μερικού συντελεστή για το υλικό. Με μια ειδική έκφραση θα μπορούσε να υπολογιστεί η φέρουσα ικανότητα, κάτι που πρέπει να γίνει στα Εθνικά Παραρτήματα.

5.4 Έλεγχος στη Οριακή Κατάσταση Λειτουργικότητας

Ο έλεγχος στην οριακή κατάσταση λειτουργικότητας είναι ένα άλλο απαραίτητο βήμα στο σχεδιασμό των θεμελίων σύμφωνα τον EC7. Αυτό είναι ένα πολύπλοκο έργο, δεδομένου ότι ο EC7 δεν δίνει καμία ένδειξη για το πώς να αντιμετωπιστεί ο υπολογισμός. Ωστόσο, σε επιφανειακές θεμελιώσεις πάνω σε βράχους, οι οριακές καταστάσεις λειτουργικότητας δεν είναι συνήθως σημαντικό ζήτημα καθώς η βραχομάζα συνήθως θεωρείται δύσκαμπτη και οι καθιζήσεις της αμελητέες.

Πίνακας 2. Μέθοδος για τον προσδιορισμό της τιμής του μερικού συντελεστή για τις αντιστάσεις (γ_R). (Spread foundations and slope stability calculations on rocks according to Eurocode EC-7, J. Estaire & G. Olivenza)

Usual method	Proposal EC-7 method
$q_a = \frac{N_\sigma \cdot \sigma_c}{F}$	$E_d = R_d$
$q_{act} = q_a$	$q_{act} \cdot \gamma_E = \frac{N_\sigma \cdot \sigma_c}{\gamma_R}$
$q_{act} = \frac{N_\sigma \cdot \sigma_c}{F}$	$q_{act} = \frac{N_\sigma \cdot \sigma_c}{\gamma_E \cdot \gamma_R}$
$F = \gamma_E \cdot \gamma_R$	
$\gamma_R = F / \gamma_E$	

όπου q_a είναι η επιτρεπόμενη φέρουσα ικανότητα, Q_{act} είναι το πραγματικό φορτίο που δρα στη θεμελίωση και F είναι ο παγκόσμιος συντελεστής ασφαλείας.

Πίνακας 3. Μέθοδος για τον προσδιορισμό της τιμής του μερικού συντελεστή για τα υλικά (γ_m). (*Spread foundations and slope stability calculations on rocks according to Eurocode EC-7 J. Estaire & G. Olivenza*)

Usual method	Proposal EC-7 method
$q_a = \frac{N_\sigma \cdot \sigma_c}{F}$	$E_d = R_d$
$q_{act} = q_a$	$q_{act} \cdot \gamma_E = \frac{N_\sigma \cdot \sigma_c}{\gamma_{M,N\sigma} \cdot \gamma_{M,\sigma}}$
$q_{act} = \frac{N_\sigma \cdot \sigma_c}{F}$	$q_{act} = \frac{N_\sigma \cdot \sigma_c}{\gamma_E \cdot \gamma_{M(N_\sigma)} \cdot \gamma_{M(\sigma_c)}}$
$F = \gamma_E \cdot \gamma_{M(N_\sigma)} \cdot \gamma_{M(\sigma_c)}$	
$\gamma_{M(N_\sigma)} \cdot \gamma_{M(\sigma_c)} = F / \gamma_E$	

5.5 Συμπεράσματα

Οι μέθοδοι που προτείνονται για το σχεδιασμό επιφανειακών θεμελιώσεων στις βραχομάζες και της ανάλυσης της ευστάθειας των βραχωδών πρανών σύμφωνα με τον EC-7, προέρχονται από τις συνήθεις μεθόδους που χρησιμοποιούνται στις μέρες μας, δεδομένου ότι:

Σε επιφανειακά θεμέλια, ο μερικός συντελεστής αντίστασης (γ_R) και ο μερικός συντελεστής υλικού (γ_m) είναι άμεσα συναφή με τον καθολικό συντελεστή ασφαλείας των συνήθων μεθόδων. Οι τιμές αυτών των επιμέρους συντελεστών εξαρτώνται από την τιμή του προτύπου που θεωρούνται από τις συνήθεις μεθόδους.

Κεφάλαιο 6 – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Συμπεράσματα

Η εφαρμογή του EC7 αντιμετωπίζει δυσκολίες στην εφαρμογή του στη βραχομηχανική, που οφείλονται στην ιδιαίτερη φύση του υλικού, και στους τύπους έργων που ασχολείται ο EC7, σε σύγκριση με άλλους Ευρωκώδικες. Μερικές από αυτές τις δυσκολίες που αναφέρονται στη διεθνή βιβλιογραφία είναι:

- Η υπόθεση του απρόβλεπτου χαρακτήρα της βραχομάζας μπορεί να μην είναι πάντα έγκυρη.

- Τα μη-γραμμικά κριτήρια αντοχής χρησιμοποιούνται συνήθως για τους βράχους και τις ασυνέχειες. Τα στοιχεία για τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών τιμών των παραμέτρων δεν είναι πάντα διαθέσιμα.

- Οι μερικοί συντελεστές είτε δεν υπάρχουν είτε δεν έχουν βαθμονομηθεί για τις βραχώμαζες και τις ασυνέχειες.

- Οι οριακές καταστάσεις και οι τρόποι αστοχίας που ισχύουν για ρωγματωμένα πετρώματα χρειάζονται μεγαλύτερη προσοχή στον EC7.

- Η ανισοτροπία της βραχώμαζας και των ασυνεχειών πρέπει να εισαχθούν στον EC7.

- Ο χαρακτηρισμός της βραχομάζας χρειάζεται βελτίωση στον EC7 όσον αφορά τις ασυνέχειες, καθώς και τα στοιχεία του εργαστήριου και οι δοκιμές πεδίου.

- Η ένταξη των ευρέως χρησιμοποιούμενων προτύπων ταξινόμησης της βραχομάζας για το σχεδιασμό, στο πεδίο εφαρμογής του EC7 πρέπει να αποσαφηνιστεί.

Η εξέταση αυτών και άλλων δυσκολιών στην αναθεώρηση του EC7 δεν είναι ένας εύκολος στόχος και απαιτεί σημαντική έρευνα και χρόνο. Ωστόσο, είναι απολύτως απαραίτητη, έτσι ώστε οι μηχανικοί που ασχολούνται με τη βραχομηχανική να έχουν σαφέστερους κανόνες να ακολουθήσουν και, κατά συνέπεια, μπορεί να προσκολληθούν στην εφαρμογή του EC7.

Προτάσεις

Ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα του EC-7, όταν ασχολείται με το σχεδιασμό σε βράχο, έχει να κάνει με την σωστή μοντελοποίηση του μηχανισμού αστοχίας, εφόσον έχει αναγνωριστεί σωστά η πραγματική μηχανική γεωλογική δομή. Τι είδος κατευθυντήριες γραμμές θα μπορούσαμε να ζητήσουμε από EC7 να μας παρέχει; Κάποιες θα μπορούσε να είναι οι εξής:

- Να αποτελεί τον οδηγό για τη συλλογή κατάλληλων γεωλογικών δεδομένων (χαρακτηρισμός πεδίου) και να προτείνει την εκτέλεση κατάλληλων δοκιμών, ανάλογα με το είδος των εδαφικών συνθηκών.
- Να αναφέρεται στην ανάλυση του ευρύτερου φάσματος των μηχανισμών αστάθειας, και να μελετά τη βασική προσέγγιση.
- Να παρέχει καθοδήγηση για την επιλογή των κατάλληλων καταστατικών νόμων, των κριτηρίων αστοχίας και τις μεθόδους, για την αξιολόγηση των κατάλληλων παραμέτρων σχεδιασμού (των ασυνεχειών, του άρρηκτου βράχου και της βραχώμαζας).
- Να προτείνει περιοριστικούς παράγοντες για την ασφάλεια ή τις αποδεκτές μετατοπίσεις, και τον τρόπο για να αξιολογηθούν, μαζί με οδηγίες για την παρακολούθηση και τη λήψη μέτρων.

Στα παραδείγματα που συζητήθηκαν, αν ένα τέτοιο διάγραμμα ροής είχε ακολουθηθεί, είναι πιθανό να είχαν εντοπίσει οι μηχανισμοί αστοχίας και τελικά να είχε επιτευχθεί ο κατάλληλος σχεδιασμός για κάθε περίπτωση. Η παρούσα έκδοση του ΕΚ-7 δεν περιλαμβάνει σαφής λεπτομέρειες για την αξιοποίηση των δεδομένων που αφορούν τις ασυνέχειες. Επιπλέον, δεν δίνει βάση στην ταυτοποίηση του μηχανισμού αστοχίας.

Παράρτημα Α

(τυποποιητικό)

Επιμέρους συντελεστές και συντελεστές συσχέτισης για οριακές καταστάσεις αστοχίας και συνιστώμενες τιμές

A.1 Επιμέρους συντελεστές και συντελεστές συσχέτισης

(1)P Οι επιμέρους συντελεστές γ για οριακές καταστάσεις αστοχίας σε μόνιμες και παροδικές καταστάσεις σχεδιασμού και οι συντελεστές συσχέτισης ξ για θεμελιώσεις με πασσάλους σε όλες τις καταστάσεις σχεδιασμού περιλαμβάνονται στο παρόν παράρτημα.

A.2 Επιμέρους συντελεστές για επαλήθευση της οριακής κατάστασης ισορροπίας (EQU)

(1)P Για την επαλήθευση της οριακής κατάστασης ισορροπίας (EQU) πρέπει να εφαρμόζονται οι ακόλουθοι επιμέρους συντελεστές γ_F :

- $\gamma_{G;dst}$ σε αποσταθεροποιητικές δυσμενείς μόνιμες δράσεις
- $\gamma_{G;stb}$ σε σταθεροποιητικές ευνοϊκές μόνιμες δράσεις
- $\gamma_{Q;dst}$ σε αποσταθεροποιητικές δυσμενείς μεταβλητές δράσεις
- $\gamma_{Q;stb}$ σε σταθεροποιητικές ευνοϊκές μεταβλητές δράσεις.

ΣΗΜΕΙΩΣΗ Οι τιμές των συντελεστών $\gamma_{G;dst}$, $\gamma_{G;stb}$, $\gamma_{Q;dst}$ και $\gamma_{Q;stb}$ οι οποίες θα ορίζονται για χρήση σε κάθε χώρα μπορεί να περιλαμβάνονται στο αντίστοιχο Εθνικό Προσάρτημα του EN 1990:2002. Οι συνιστώμενες τιμές για κτίρια στον EN 1990:2002 δίδονται στον Πίνακα Α.1.

Πίνακας Α.1 Επιμέρους συντελεστές σε δράσεις (γ_F)

Δράση	Σύμβολο	Τιμή
Μόνιμη		
Δυσμενής ^α	$\gamma_{G;dst}$	1,1
Ευνοϊκή ^β	$\gamma_{G;stb}$	0,9
Μεταβλητή		
Δυσμενής ^α	$\gamma_{Q;dst}$	1,5
Ευνοϊκή ^β	$\gamma_{Q;stb}$	0
^α Αποσταθεροποιητική		
^β Σταθεροποιητική		

(2)P Για την επαλήθευση της οριακής κατάστασης ισορροπίας (EQU) στις περιπτώσεις που υπεισέρχονται και μικρές διατμητικές αντιστάσεις, πρέπει να εφαρμόζονται οι ακόλουθοι επιμέρους συντελεστές γ_M στις εδαφικές παραμέτρους:

- γ_ϕ στην εφαπτομένη της γωνίας διατμητικής αντίστασης
- γ_c στην ενεργό συνοχή
- γ_{cu} στην αστράγγιστη διατμητική αντοχή
- γ_{qu} στην ανεμπόδιση αντοχή

- γ_γ στο ειδικό βάρος.

ΣΗΜΕΙΩΣΗ Οι τιμές των συντελεστών γ_{ϕ} , γ_c , γ_{cu} , γ_{qu} , και γ_i που θα ορίζονται για χρήση σε κάθε χώρα μπορεί να περιλαμβάνονται στο αντίστοιχο Εθνικό Προσάρτημα του παρόντος κώδικα. Οι συνιστώμενες τιμές δίδονται στον Πίνακα Α.2.

Πίνακας Α.2 – Επιμέρους συντελεστές εδαφικών παραμέτρων (γ_M)

Εδαφική παράμετρος	Σύμβολο	Τιμή
Γωνία διατμητικής αντίστασης ^α	γ_{ϕ}	1,25
Ενεργός συνοχή	γ_c	1,25
Αστράγγιστη διατμητική αντοχή	γ_{cu}	1,4
Ανεμπόδιστη αντοχή	γ_{qu}	1,4
Ειδικό βάρος	γ_i	1,0
^α Ο συντελεστής αυτός εφαρμόζεται στην $\tan \phi$		

Α.3 Επιμέρους συντελεστές για επαλήθευση δομικών (STR) και γεωτεχνικών (GEO) οριακών καταστάσεων

Α.3.1 Επιμέρους συντελεστές στις δράσεις (γ_F) ή στα αποτελέσματα των δράσεων (γ_E)

(1)P Για την επαλήθευση δομικών (STR) και γεωτεχνικών (GEO) οριακών καταστάσεων πρέπει να εφαρμόζεται η ομάδα A1 ή η ομάδα A2 των ακολούθων επιμέρους συντελεστών στις δράσεις (γ_F) ή στα αποτελέσματα των δράσεων (γ_E):

— γ_G σε μόνιμες δυσμενείς ή ευνοϊκές δράσεις

— γ_Q σε μεταβλητές δυσμενείς ή ευνοϊκές δράσεις.

ΣΗΜΕΙΩΣΗ Οι τιμές των συντελεστών γ_G και γ_Q που θα ορίζονται για χρήση σε κάθε χώρα μπορεί να περιλαμβάνονται στο αντίστοιχο Εθνικό Προσάρτημα του EN 1990:2002. Οι συνιστώμενες τιμές για κτίρια στον EN 1990:2002 για τις δύο ομάδες A1 και A2 δίδονται στον Πίνακα Α.3.

Πίνακας Α.3 – Επιμέρους συντελεστές στις δράσεις (γ_E) ή στα αποτελέσματα των δράσεων (γ_E)

Δράση		Σύμ-βολο	Ομάδα	
			A1	A2
Μόνιμη	Δυσμενής	γ_G	1,35	1,0
	Ευνοϊκή		1,0	1,0
Μεταβλητή ή	Δυσμενής	γ_Q	1,5	1,3
	Ευνοϊκή		0	0

Α.3.2 Επιμέρους συντελεστές εδαφικών παραμέτρων (γ_M)

(1)P Για την επαλήθευση δομικών (STR) και γεωτεχνικών (GEO) οριακών καταστάσεων πρέπει να εφαρμόζεται η ομάδα M1 ή η ομάδα M2 των ακόλουθων οριακών καταστάσεων στις εδαφικές παραμέτρους (γ_M):

- $\gamma_{\phi'}$ στην εφαπτομένη της γωνίας διατμητικής αντίστασης
- $\gamma_{c'}$ στην ενεργό συνοχή
- γ_{c_u} στην αστράγγιστη διατμητική αντοχή
- γ_{q_u} στην ανεμπόδιστη αντοχή
- γ_{γ} στο ειδικό βάρος.

ΣΗΜΕΙΩΣΗ Οι τιμές των συντελεστών $\gamma_{\phi'}$, $\gamma_{c'}$, γ_{c_u} , γ_{q_u} και γ_{γ} οι οποίες θα ορίζονται για χρήση σε κάθε χώρα μπορεί να περιλαμβάνονται στο αντίστοιχο Εθνικό Προσάρτημα του παρόντος κώδικα. Οι συνιστώμενες τιμές για τις δύο ομάδες M1 και M2 δίδονται στον Πίνακα Α.4.

Πίνακας Α.4 – Επιμέρους συντελεστές εδαφικών παραμέτρων (γ_M)

Εδαφική παράμετρος	Σύμβολο	Ομάδα	
		M1	M2
Γωνία διατμητικής αντίστασης ^α	$\gamma_{\phi'}$	1,0	1,25
Ενεργός συνοχή	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Αστράγγιστη διατμητική αντοχή	γ_{c_u}	1,0	1,4
Ανεμπόδιστη αντοχή	γ_{q_u}	1,0	1,4
Ειδικό βάρος	γ_{γ}	1,0	1,0
^α Ο συντελεστής αυτός εφαρμόζεται στην $\tan \phi'$			

A.3.3 Επιμέρους συντελεστές αντίστασης (γ_R)

A.3.3.1 Επιμέρους συντελεστές αντίστασης για επιφανειακές θεμελιώσεις

(1)P Για επιφανειακές θεμελιώσεις και επαληθεύσεις των δομικών (STR) και γεωτεχνικών (GEO) οριακών καταστάσεων, πρέπει να εφαρμόζεται η ομάδα $R1$, $R2$ ή $R3$ των ακόλουθων επιμέρους συντελεστών (γ_R):

- $\gamma_{R,v}$ στη φέρουσα αντίσταση
- $\gamma_{R,h}$ στην αντίσταση ολίσθησης.

ΣΗΜΕΙΩΣΗ Οι τιμές των συντελεστών $\gamma_{R,v}$, και $\gamma_{R,h}$ οι οποίες θα ορίζονται για χρήση σε κάθε χώρα μπορεί να περιλαμβάνονται στο αντίστοιχο Εθνικό Προσάρτημα του παρόντος κώδικα. Οι συνιστώμενες τιμές για τις τρεις ομάδες $R1$, $R2$ και $R3$ δίδονται στον Πίνακα Α.5.

Πίνακας Α.5 - Επιμέρους συντελεστές αντίστασης (γ_R) για επιφανειακές θεμελιώσεις

Αντίσταση	Σύμβολο	Ομάδα		
		$R1$	$R2$	$R3$
Φέρουσα	$\gamma_{R,v}$	1,0	1,4	1,0
Ολίσθησης	$\gamma_{R,h}$	1,0	1,1	1,0

A.3.3.2 Επιμέρους συντελεστές αντίστασης για θεμελιώσεις με πασσάλους

(1)P Για θεμελιώσεις με πασσάλους και επαληθεύσεις δομικών (STR) και γεωτεχνικών (GEO) οριακών καταστάσεων, πρέπει να εφαρμόζεται η ομάδα $R1$, $R2$, $R3$ ή $R4$ των ακόλουθων επιμέρους συντελεστών (γ_R):

- γ_b στην αντίσταση της βάσης
- γ_s στην αντίσταση της παράπλευρης επιφάνειας για θλιβόμενους πασσάλους
- γ_t στην ολική/συνδυασμένη αντίσταση για θλιβόμενους πασσάλους
- $\gamma_{s,t}$ στην αντίσταση της παράπλευρης επιφάνειας για εφελκυσόμενους πασσάλους.

ΣΗΜΕΙΩΣΗ Οι τιμές των συντελεστών γ_b , γ_s , γ_t και $\gamma_{s,t}$ οι οποίες θα ορίζονται για χρήση σε κάθε χώρα μπορεί να περιλαμβάνονται στο αντίστοιχο Εθνικό Προσάρτημα του παρόντος κώδικα. Οι συνιστώμενες τιμές για τις τέσσερις ομάδες $R1$, $R2$, $R3$ και $R4$ δίδονται στον Πίνακα Α.6 για εμπηγνυόμενους πασσάλους, στον Πίνακα Α.7 για πασσάλους δι' εκσκαφής και στον Πίνακα Α.8 για πασσάλους ελικοειδούς διάτρησης (continuous flight auger CFA).

Πίνακας Α.6- Επιμέρους συντελεστές αντίστασης (γ_R) για εμπηγνόμενους πασσάλους

Αντίσταση	Σύμβολο	Ομάδα			
		<i>R1</i>	<i>R2</i>	<i>R3</i>	<i>R4</i>
Βάση	γ_b	1,0	1,1	1,0	1,3
Παράπλευρη επιφάνεια (θλίψη)	γ_s	1,0	1,1	1,0	1,3
Ολική/συνδυασμένη (θλίψη)	γ	1,0	1,1	1,0	1,3
Παράπλευρη επιφάνεια σε εφελκυσμό	$\gamma_{s,t}$	1,25	1,15	1,1	1,6

Πίνακας Α.7 – Επιμέρους συντελεστές αντίστασης (γ_R) για πασσάλους δι' εκσκαφής

Αντίσταση	Σύμβολο	Ομάδα			
		<i>R1</i>	<i>R2</i>	<i>R3</i>	<i>R4</i>
Βάση	γ_b	1,25	1,1	1,0	1,6
Παράπλευρη επιφάνεια (θλίψη)	γ_s	1,0	1,1	1,0	1,3
Ολική/συνδυασμένη (θλίψη)	γ	1,15	1,1	1,0	1,5
Παράπλευρη επιφάνεια σε εφελκυσμό	$\gamma_{s,t}$	1,25	1,15	1,1	1,6

Πίνακας Α.8 - Επιμέρους συντελεστές αντίστασης (γ_R) για πασσάλους ελικοειδούς διάτρησης (CFA)

Αντίσταση	Σύμβολο	Ομάδα			
		<i>R1</i>	<i>R2</i>	<i>R3</i>	<i>R4</i>
Βάση	γ_b	1,1	1,1	1,0	1,45
Παράπλευρη επιφάνεια (θλίψη)	γ_s	1,0	1,1	1,0	1,3
Ολική/συνδυασμένη (θλίψη)	γ	1,1	1,1	1,0	1,4

Παράπλευρη εφελκυσμό	επιφάνεια σε	γ_{st}	1,25	1,15	1,1	1,6
-------------------------	-----------------	---------------	------	------	-----	-----

A.3.3.3 Συντελεστές συσχέτισης για θεμελιώσεις με πασσάλους

(1) Ρ Για επαληθεύσεις δομικών (STR) και γεωτεχνικών (GEO) οριακών καταστάσεων, οι ακόλουθοι συντελεστές συσχέτισης ξ πρέπει να εφαρμόζονται για τον προσδιορισμό της χαρακτηριστικής αντίστασης πασσάλων με αξονική φόρτιση:

- ξ_1 στις μέσες τιμές των μετρούμενων αντιστάσεων σε στατικές δοκιμαστικές φορτίσεις
- ξ_2 στην ελάχιστη τιμή από τις μετρούμενες αντιστάσεις σε στατικές δοκιμαστικές φορτίσεις
- ξ_3 στις μέσες τιμές των υπολογιζόμενων αντιστάσεων από αποτελέσματα εδαφικών δοκιμών
- ξ_4 στην ελάχιστη τιμή των υπολογιζόμενων αντιστάσεων από αποτελέσματα εδαφικών δοκιμών
- ξ_5 στις μέσες τιμές των μετρούμενων αντιστάσεων σε δυναμικές δοκιμαστικές φορτίσεις
- ξ_6 στην ελάχιστη τιμή από τις μετρούμενες αντιστάσεις σε δυναμικές δοκιμαστικές φορτίσεις.

ΣΗΜΕΙΩΣΗ Οι τιμές των συντελεστών ξ_1 , ξ_2 , ξ_3 , ξ_4 , ξ_5 και ξ_6 οι οποίες θα ορίζονται για χρήση σε κάθε χώρα μπορεί να περιλαμβάνονται στο αντίστοιχο Εθνικό Προσάρτημα του παρόντος κώδικα. Οι συνιστώμενες τιμές δίδονται στους Πίνακες A.9, A.10 και A.11.

Πίνακας A.9 – Συντελεστές συσχέτισης ξ για τον προσδιορισμό χαρακτηριστικών τιμών από στατικές δοκιμαστικές φορτίσεις πασσάλων (n – αριθμός πασσάλων που υποβλήθηκαν σε δοκιμή)

ξ για $n =$	1	2	3	4	≥ 5
ξ_1	1,40	1,30	1,20	1,10	1,00
ξ_2	1,40	1,20	1,05	1,00	1,00

Πίνακας A.10 - Συντελεστές συσχέτισης ξ για τον προσδιορισμό χαρακτηριστικών τιμών από αποτελέσματα εδαφικών δοκιμών (n – αριθμός των εδαφικών προφίλ στα οποία υπολογίσθηκε αντίσταση)

ξ για $n =$	1	2	3	4	5	7	10
ξ_3	1,40	1,35	1,33	1,31	1,29	1,27	1,25
ξ_4	1,40	1,27	1,23	1,20	1,15	1,12	1,08

Πίνακας Α.11 - Συντελεστές συσχέτισης ξ για τον προσδιορισμό χαρακτηριστικών τιμών από δυναμικές δοκιμαστικές φορτίσεις ^{α, β, γ, δ, ε} (n - αριθμός πασσάλων που υποβλήθηκαν σε δοκιμή)

ξ για $n =$	≥ 2	≥ 5	≥ 10	≥ 15	≥ 20
ξ_5	1,60	1,50	1,45	1,42	1,40
ξ_6	1,50	1,35	1,30	1,25	1,25
<p>^α Οι τιμές ξ του πίνακα ισχύουν για δυναμικές δοκιμαστικές φορτίσεις.</p> <p>^β Οι τιμές ξ μπορεί να πολλαπλασιάζονται με συντελεστή προσομοιώματος ίσο με 0,85 όταν χρησιμοποιούνται δυναμικές δοκιμαστικές φορτίσεις με επεξεργασία προσαρμογής σήματος.</p> <p>^γ Οι τιμές ξ θα πρέπει να πολλαπλασιάζονται με συντελεστή προσομοιώματος ίσο με 1,10 όταν χρησιμοποιείται κάποια σχέση έμμηξης πασσάλου με μέτρηση της ημι-ελαστικής μετατόπισης της κεφαλής του πασσάλου κατά την κρούση.</p> <p>^δ Οι τιμές ξ πρέπει να πολλαπλασιάζονται με συντελεστή προσομοιώματος ίσο με 1,210 όταν χρησιμοποιείται κάποια σχέση έμμηξης πασσάλου χωρίς μέτρηση της ημι-ελαστικής μετατόπισης της κεφαλής του πασσάλου κατά την κρούση.</p> <p>^ε Εάν στη θεμελίωση υπάρχουν διαφορετικοί πάσσαλοι, οι ομάδες ομοίων πασσάλων θα πρέπει να εξετάζονται χωριστά κατά την επιλογή του αριθμού n των δοκιμαστικών πασσάλων.</p>					

A.3.3.4 Επιμέρους συντελεστές αντίστασης για προεντεταμένες αγκυρώσεις

(1)P Για προεντεταμένες αγκυρώσεις και επαληθεύσεις δομικών (STR) και γεωτεχνικών (GEO) οριακών καταστάσεων, πρέπει να εφαρμόζονται οι ομάδες $R1$, $R2$, $R3$ ή $R4$ των ακόλουθων επιμέρους συντελεστών στην αντίσταση (γ_R) :

— $\gamma_{a,t}$ σε προσωρινές αγκυρώσεις

— $\gamma_{a,p}$ σε μόνιμες αγκυρώσεις.

ΣΗΜΕΙΩΣΗ Οι τιμές των συντελεστών $\gamma_{a,t}$ και $\gamma_{a,p}$ οι οποίες θα ορίζονται για χρήση σε κάθε χώρα μπορεί να περιλαμβάνονται στο αντίστοιχο Εθνικό Προσάρτημα του παρόντος κώδικα. Οι συνιστώμενες τιμές για τις τέσσερις ομάδες $R1$, $R2$, $R3$ και $R4$ δίδονται στον Πίνακα Α.12.

Πίνακας Α.12 - Επιμέρους συντελεστές αντίστασης (γ_R) για προεντεταμένες αγκυρώσεις

Αντίσταση	Σ ύ μ- β ο- λο	Ομάδα			
		$R1$	$R2$	$R3$	$R4$
Προσωρινή	$\gamma_{a,t}$	1,1	1,1	1,0	1,1
Μόνιμη	$\gamma_{a,p}$	1,1	1,1	1,0	1,1

A.3.3.5 Επιμέρους συντελεστές αντίστασης (γ_R) για έργα αντιστήριξης

(1)P Για έργα αντιστήριξης και επαληθεύσεις δομικών (STR) και γεωτεχνικών (GEO) οριακών καταστάσεων, πρέπει να εφαρμόζονται οι ομάδες $R1$, $R2$ ή $R3$ των ακόλουθων επιμέρους συντελεστών στην αντίσταση (γ_R):

— $\gamma_{R,v}$ στη φέρουσα ικανότητα

— $\gamma_{R,h}$ στην αντίσταση ολίσθησης

— $\gamma_{R:e}$ στην αντίσταση γαιών.
 ΣΗΜΕΙΩΣΗ Οι τιμές των συντελεστών $\gamma_{R:v}$, $\gamma_{R:h}$ και $\gamma_{R:e}$ οι οποίες θα ορίζονται για χρήση σε κάθε χώρα μπορεί να περιλαμβάνονται στο αντίστοιχο Εθνικό Προσάρτημα του παρόντος κώδικα. Οι συνιστώμενες τιμές για τις τρεις ομάδες $R1$, $R2$ και $R3$ δίδονται στον Πίνακα Α.13.

Πίνακας Α.13 - Επιμέρους συντελεστές αντίστασης (γ_R) για έργα αντιστήριξης

Αντίσταση	Σύμ-βολο	Ομάδα		
		$R1$	$R2$	$R3$
Φέρουσα ικανότητα	$\gamma_{R:v}$	1,0	1,4	1,0
Αντίσταση ολίσθησης	$\gamma_{R:h}$	1,0	1,1	1,0
Αντίσταση γαιών	$\gamma_{R:e}$	1,0	1,4	1,0

Α.3.3.6 Επιμέρους συντελεστές αντίστασης (γ_R) για πρανή και ολική ευστάθεια

(1)P Για πρανή και ολική ευστάθεια και επαληθεύσεις δομικών (STR) και γεωτεχνικών (GEO) οριακών καταστάσεων, πρέπει να εφαρμόζεται ένας επιμέρους συντελεστής στην αντίσταση ($\gamma_{R:e}$).

ΣΗΜΕΙΩΣΗ Η τιμή του συντελεστή $\gamma_{R:e}$ η οποία θα ορίζονται για χρήση σε κάθε χώρα μπορεί να περιλαμβάνεται στο αντίστοιχο Εθνικό Προσάρτημα του παρόντος κώδικα. Η συνιστώμενη τιμή για τις τρεις ομάδες $R1$, $R2$ και $R3$ δίδεται στον Πίνακα Α.14.

Πίνακας Α.14 - Επιμέρους συντελεστές αντίστασης (γ_R) για πρανή και ολική ευστάθεια

Αντίσταση	Σύμ-βολο	Ομάδα		
		$R1$	$R2$	$R3$
Αντίσταση γαιών	$\gamma_{R:e}$	1,0	1,1	1,0

A.4 Επιμέρους συντελεστές για επαληθεύσεις οριακής κατάστασης σε ανύψωση λόγω άνωσης (UPL)

(1)P Για την επαλήθευση οριακή κατάσταση σε ανύψωση λόγω άνωσης (UPL) πρέπει να εφαρμόζονται οι ακόλουθοι επιμέρους συντελεστές (γ_F): στις δράσεις

- $\gamma_{G;dst}$ σε αποσταθεροποιητικές δυσμενείς μόνιμες δράσεις
- $\gamma_{G;stb}$ σε σταθεροποιητικές ευνοϊκές μόνιμες δράσεις
- $\gamma_{Q;dst}$ σε αποσταθεροποιητικές δυσμενείς μεταβλητές δράσεις.

ΣΗΜΕΙΩΣΗ Οι τιμές των συντελεστών $\gamma_{G;dst}$, $\gamma_{G;stb}$ και $\gamma_{Q;dst}$ που θα ορίζονται για χρήση σε κάθε χώρα μπορεί να περιλαμβάνονται στο αντίστοιχο Εθνικό Προσάρτημα του παρόντος κώδικα. Οι συνιστώμενες τιμές δίδονται στον Πίνακα A.15.

Πίνακας A.15 – Επιμέρους συντελεστές σε δράσεις (γ)

Δράση	Σύμβολο	Τιμή
	ο	
Μόνιμη		
Δυσμενής ^α	$\gamma_{G;dst}$	1,0
Ευνοϊκή ^β	$\gamma_{G;stb}$	0,9
Μεταβλητή		
Δυσμενής ^α	$\gamma_{Q;dst}$	1,5
^α Αποσταθεροποιητική ^β Σταθεροποιητική		

(2)P Για την επαλήθευση οριακής κατάσταση σε ανύψωση λόγω άνωσης (UPL) οι ακόλουθοι επιμέρους συντελεστές πρέπει να εφαρμόζονται όταν περιλαμβάνονται αντιστάσεις:

- γ_ϕ στην εφαπτομένη της γωνίας διατμητικής αντίστασης
- γ_c στην ενεργό συνοχή
- γ_{cu} στην αστράγγιστη διατμητική αντοχή
- $\gamma_{s,t}$ στην εφελκυστική αντίσταση πασσάλου
- γ_a στην αντίσταση αγκύρωσης.

ΣΗΜΕΙΩΣΗ Οι τιμές των συντελεστών γ_ϕ , γ_c , γ_{cu} , $\gamma_{s,t}$ και γ_a που θα ορίζονται για χρήση σε κάθε χώρα μπορεί να περιλαμβάνονται στο αντίστοιχο Εθνικό Προσάρτημα του παρόντος κώδικα. Οι συνιστώμενες τιμές δίδονται στον Πίνακα A.16.

Πίνακας Α.16 – Επιμέρους συντελεστές για εδαφικές παραμέτρους και αντιστάσεις

Εδαφικές παράμετροι	Σύμβολο	Τιμή
Γωνία διατμητικής αντίστασης ^α	γ_{ϕ}	1,25
Ενεργός συνοχή	γ_c	1,25
Αστράγγιστη διατμητική αντοχή	γ_{cu}	1,40
Εφελκυστική αντίσταση πσυσάλου	$\gamma_{s,t}$	1,40
Αντίσταση αγκύρωσης	γ_a	1,40
^α Ο συντελεστής αυτός εφαρμόζεται στην $\tan \phi'$		

A.5 Επιμέρους συντελεστές για επαληθεύσεις οριακής κατάστασης σε υδραυλική ανύψωση (HYD)

(1)P Για την επαλήθευση οριακής κατάστασης σε υδραυλική ανύψωση (HYD) πρέπει να εφαρμόζονται οι ακόλουθοι επιμέρους συντελεστές (γ_F):

— $\gamma_{G;dst}$ σε αποσταθεροποιητικές δυσμενείς μόνιμες δράσεις

— $\gamma_{G;stb}$ σε σταθεροποιητικές ευνοϊκές μόνιμες δράσεις

— $\gamma_{Q;dst}$ σε αποσταθεροποιητικές δυσμενείς μεταβλητές δράσεις.

ΣΗΜΕΙΩΣΗ Οι τιμές των συντελεστών $\gamma_{G;dst}$, $\gamma_{G;stb}$ και $\gamma_{Q;dst}$ οι οποίες θα ορίζονται για χρήση σε κάθε χώρα μπορεί να περιλαμβάνονται στο αντίστοιχο Εθνικό Προσάρτημα του EN 1990:2002. Οι συνιστώμενες τιμές δίδονται στον Πίνακα Α.17.

Πίνακας Α.17 – Επιμέρους συντελεστές σε δράσεις (γ_F)

Δράση	Σύμβολο	Τιμή
Μόνιμη		
Δυσμενής ^α	$\gamma_{G;dst}$	1,35
Ευνοϊκή ^β	$\gamma_{G;stb}$	0,90
Μεταβλητή		
Δυσμενής ^α	$\gamma_{Q;dst}$	1,50
^α Αποσταθεροποιητική		
^β Σταθεροποιητική		

Παράρτημα Β
(πληροφοριακό)
Βασικά στοιχεία για τους επιμέρους συντελεστές
στους Τρόπους Σχεδιασμού 1, 2 και 3

B.1 Γενικά

(1) Στο εδάφιο 2.4.7.3.4 περιγράφονται τρεις Τρόποι Σχεδιασμού (Design Approaches) για τους τύπους οριακών καταστάσεων STR και GEO σε μόνιμες και προσωρινές καταστάσεις. Οι τρόποι αυτοί διαφοροποιούνται στην μέθοδο με την οποία διανέμονται οι επιμέρους συντελεστές μεταξύ των δράσεων, των αποτελεσμάτων των δράσεων, ιδιοτήτων υλικών και αντιστάσεων. Εν μέρει, αυτό οφείλεται στη διαφορετική αντιμετώπιση της μεθόδου με την οποία λαμβάνονται υπόψη οι αβεβαιότητες στην προσομοίωση των αποτελεσμάτων των δράσεων και των αντιστάσεων.

(2) Στον Τρόπο Σχεδιασμού 1, για όλους τους σχεδιασμούς, κατ' αρχάς απαιτούνται έλεγχοι για δυο ομάδες συντελεστών οι οποίοι εφαρμόζονται σε δυο διαφορετικούς υπολογισμούς. Όπου είναι εμφανές ότι η μια από τις δύο ομάδες συντελεστών καθορίζει το σχεδιασμό, δεν θα είναι αναγκαίο να εκτελούνται υπολογισμοί για την άλλη ομάδα. Γενικά, οι συντελεστές εφαρμόζονται κατά προτίμηση στις δράσεις αντί στα αποτελέσματα των δράσεων, με μια εξαίρεση η οποία σημειώνεται στο 2.4.7.3.2(2). Σε πολλές περιπτώσεις, οι συντελεστές εφαρμόζονται στις εδαφικές παραμέτρους, αλλά για το σχεδιασμό πασσάλων και αγκυρίων εφαρμόζονται στις αντιστάσεις.

(3) Στους Τρόπους Σχεδιασμού 2 και 3, απαιτείται ένας υπολογισμός για κάθε τμήμα του σχεδιασμού. Η μέθοδος με την οποία εφαρμόζονται οι συντελεστές ποικίλει, σύμφωνα με τον υπολογισμό που εξετάζεται.

(4) Στον Τρόπο Σχεδιασμού 2, εφαρμόζονται συντελεστές είτε στις δράσεις είτε στα αποτελέσματα των δράσεων και στις αντιστάσεις.

(5) Στον Τρόπο Σχεδιασμού 3, εφαρμόζονται συντελεστές στις δράσεις ή στα αποτελέσματα των δράσεων από τον φορέα και στις παραμέτρους αντοχής του εδάφους (υλικού).

B.2 Συντελεστές στις δράσεις και στα αποτελέσματα των δράσεων

(1) Ο EN 1990:2002 ορίζει ότι ο γ_f είναι ένας επιμέρους συντελεστής για μια δράση και λαμβάνει υπόψη την πιθανότητα δυσμενών αποκλίσεων της τιμής της δράσης από τη χαρακτηριστική της τιμή. Ομοίως ο $\gamma_{S;d}$ είναι ένας επιμέρους συντελεστής ο οποίος λαμβάνει υπόψη τις αβεβαιότητες στην προσομοίωση των δράσεων και των αποτελεσμάτων των δράσεων.

(2) Ο EN 1990:2002 επιτρέπει να συνδυάζονται οι $\gamma_{S;d}$ και γ_f σε ένα συντελεστή ο οποίος πολλαπλασιάζει τη χαρακτηριστική τιμή της δράσης (F_k):

$$\gamma_F = \gamma_{S;d} \cdot \gamma_f \quad (\text{B.1})$$

(3) Οι διάφοροι τρόποι σχεδιασμού που περιλαμβάνονται στον EN 1997-1 απαιτούν οι συντελεστές να εφαρμόζονται είτε στις δράσεις είτε στα αποτελέσματα των δράσεων. Επειδή η χρήση συντελεστών προσομοιώματος $\gamma_{S;d}$ για δράσεις από το έδαφος θα ισχύει σε εξαιρετικές περιπτώσεις και επομένως ο προσδιορισμός τους μετατίθεται στο εθνικό επίπεδο, ο γ_F χρησιμοποιείται γενικά για τις δράσεις χάριν απλότητας και ο γ_E για τα αποτελέσματα των δράσεων στο γεωτεχνικό σχεδιασμό (βλ. Παράρτημα Α, Πίνακες Α.1 και Α.3).

Με τον τρόπο αυτό οι εθνικοί οργανισμοί θα μπορούν να επιλέγουν εναλλακτικές τιμές για το συνδυασμό $\gamma_{S;d} \times \gamma_f$

(4) Η εξίσωση (2.6) περιλαμβάνει το λόγο X_k / γ_M στον υπολογισμό των δράσεων επειδή οι ιδιότητες του εδαφικού υλικού μπορεί να επηρεάζουν τις τιμές των γεωτεχνικών δράσεων σε ορισμένες περιπτώσεις.

(5) Στον Τρόπο Σχεδιασμού 1, απαιτούνται έλεγχοι για δυο συνδυασμούς ομάδων συντελεστών, οι οποίοι εφαρμόζονται σε δυο ανεξάρτητους υπολογισμούς.

Στο Συνδυασμό 1, συντελεστές διάφοροι της μονάδας εφαρμόζονται γενικά στις δράσεις, και συντελεστές ίσοι με τη μονάδα στα αποτελέσματα των δράσεων. Έτσι, οι συντελεστές $\gamma_F \neq 1$ και γ_E

= 1 εφαρμόζονται στην εξίσωση (2.6).

Στο 2.4.7.3.2(2) σημειώνεται μια εξαίρεση : σε περιπτώσεις όπου θα ήταν φυσικά παράλογο να εφαρμόζεται $\gamma_F \neq 1$ (παράδειγμα: δεξαμενή με σταθερή στάθμη), τότε χρησιμοποιούνται $\gamma_F = 1$ και $\gamma_E \neq 1$.

Στο Συνδυασμό 2, $\gamma_E = 1$ χρησιμοποιείται πάντοτε, με $\gamma_F \neq 1$ μόνο για μεταβλητές δράσεις.

Έτσι, με εξαίρεση την περίπτωση που σημειώνεται στο 2.4.7.3.2(2), για τον Τρόπο Σχεδιασμού 1 η εξίσωση (2.6) μετατρέπεται:

$$E_d = E\left\{\gamma_F F_{rep}; X_k / \gamma_M; a_d\right\} \quad (B.2).$$

(6) Στον Τρόπο Σχεδιασμού 2, απαιτείται ένας υπολογισμός για κάθε τμήμα του σχεδιασμού, και ο τρόπος με τον οποίο εφαρμόζονται οι συντελεστές στις δράσεις ή στα αποτελέσματα των δράσεων μεταβάλλεται σύμφωνα με τον υπολογισμό που εξετάζεται και προσδιορίζεται σε εθνικό επίπεδο.

Εφαρμόζονται $\gamma_E \neq 1$ και $\gamma_F = 1$, ή $\gamma_F \neq 1$ και $\gamma_E = 1$. Επειδή χρησιμοποιείται $\gamma_M = 1$, η εξίσωση (2.6) μετατρέπεται:

$$E_d = \gamma_E \cdot E\left\{F_{rep}; X_k; a_d\right\}, \quad \text{ή,} \quad (B.3.1)$$

$$E_d = E\left\{\gamma_F F_{rep}; X_k; a_d\right\} \quad (B.3.2)$$

(7) Στον Τρόπο Σχεδιασμού 3, απαιτείται μόνο ένας υπολογισμός. Όμως, σε αυτόν τον Τρόπο Σχεδιασμού γίνεται διαφοροποίηση μεταξύ δράσεων από τον φορέα F_{rep} και δράσεων από ή διαμέσου του εδάφους οι οποίες υπολογίζονται από τις X_k . Εφαρμόζονται $\gamma_E \neq 1$ και $\gamma_F = 1$ ή $\gamma_E = 1$ και $\gamma_F \neq 1$. Έτσι η εξίσωση (2.6) παραμένει:

$$E_d = E\left\{\gamma_F F_{rep}; X_k / \gamma_M; a_d\right\}, \text{ or,} \quad (B.4.1)$$

$$E_d = \gamma_E E\left\{F_{rep}; X_k / \gamma_M; a_d\right\} \quad (B.4.2)$$

B.3 Συντελεστές σε αντοχές και αντιστάσεις υλικού

(1) Η εξίσωση (6.6) του EN 1990:2002 και η εξίσωση (2.7) του EN 1997-1 είναι ισοδύναμες:

$$R_d = \frac{1}{\gamma_{R;d}} R\{X_{i;d}; a_d\} = \frac{1}{\gamma_{R;d}} R\left\{\eta_i \frac{X_{i;k}}{\gamma_{m;i}}; a_d\right\} \quad (\text{EN 1990:2002, εξίσωση 6.6}) \quad (B.5.1)$$

$$R_d = \frac{1}{\gamma_R} \left\{ \gamma_F F_{rep}; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right\}, \quad (\text{EN 1997-1, εξίσωση 2.7}) \quad (B.5.2)$$

(2) Σημειώνεται ότι η εξίσωση (2.7) του EN 1997-1 περιλαμβάνει τον όρο $\gamma_F F_{rep}$ στον υπολογισμό των αντιστάσεων σχεδιασμού επειδή τα μεγέθη των δράσεων μπορεί να επηρεάζουν τις τιμές των γεωτεχνικών αντιστάσεων σε ορισμένες περιπτώσεις, π.χ. φέρουσα ικανότητα αβαθούς θεμελίωσης.

(3) Η τιμή του συντελεστή μετατροπής η λαμβάνεται ως 1,0 στο EN 1997-1 επειδή οι χαρακτηριστικές αντοχές του υλικού καθορίζονται ώστε να είναι σχετικές με την επιτόπου κατάσταση, επομένως να συμπεριλαμβάνουν το η στη χαρακτηριστική τιμή.

(4) Οι διάφοροι τρόποι στο παρόν πρότυπο απαιτούν οι συντελεστές να εφαρμόζονται στις αντοχές (X) ή στις αντιστάσεις (R) του υλικού. Οι συντελεστές αυτοί συνδυάζουν τους ρόλους των συντελεστών του υλικού γ_m και των συντελεστών αντίστασης του προσομοιώματος ($\gamma_{R;d}$) με διάφορους τρόπους. Χάριν απλότητας, οι συντελεστές οι οποίοι εφαρμόζονται στις αντοχές του υλικού (X) σημειώνονται ως (γ_M), και οι συντελεστές οι οποίοι εφαρμόζονται στις αντιστάσεις (R) σημειώνονται ως γ_R .

(5) Στον Τρόπο Σχεδιασμού 1, απαιτούνται έλεγχοι για συνδυασμούς ομάδων συντελεστών για δυο ανεξάρτητους υπολογισμούς.

Στο Συνδυασμό 1, συντελεστές ίσοι με 1 εφαρμόζονται στην αντοχή και στις αντιστάσεις του

υλικού. Έτσι, $\gamma_M = \gamma_R = 1$ στην εξίσωση (2.7).

Στο Συνδυασμό 2, με εξαίρεση τους πασσάλους και τις αγκυρώσεις, $\gamma_M > 1$, $\gamma_R = 1$.

Έτσι, στις περισσότερες περιπτώσεις στον Τρόπο Σχεδιασμού 1 χρησιμοποιείται η εξίσωση (2.7α):

$$R_d = R \left\{ \gamma_F F_{rep}; X_k / \gamma_M; a_d \right\} \quad (B.6.1.1)$$

Αλλά, στο Συνδυασμό 2 για πασσάλους και αγκύρια $\gamma_M = 1$ και $\gamma_R > 1$ χρησιμοποιούνται στην εξίσωση (2.7β), έτσι:

$$R_d = \frac{1}{\gamma_R} R \left\{ \gamma_F F_{rep}; X_k; a_d \right\} \quad (B.6.1.2)$$

(6) Στον Τρόπο Σχεδιασμού 2, συντελεστές ίσοι με 1 εφαρμόζονται γενικά στις αντοχές του υλικού, και συντελεστές μεγαλύτεροι από 1 εφαρμόζονται στις αντιστάσεις. Έτσι $\gamma_M = 1$; $\gamma_R > 1$ χρησιμοποιούνται στην εξίσωση (2.7b):

$$R_d = \frac{1}{\gamma_R} R \left\{ \gamma_F F_{rep}; X_k; a_d \right\} \quad (B.6.2.1)$$

Όταν χρησιμοποιείται επίσης $\gamma_F = 1$, η εξίσωση (2.7β) χρησιμοποιείται με τη μορφή:

$$R_d = \frac{1}{\gamma_R} R \left\{ F_{rep}; X_k; a_d \right\} \quad (B.6.2.2)$$

(7) Στον Τρόπο Σχεδιασμού 3, εφαρμόζονται γενικά $\gamma_M > 1$ και $\gamma_R = 1$. Η εξίσωση (2.7α) χρησιμοποιείται έτσι:

$$R_d = R \left\{ \gamma_F F_{rep}; X_k / \gamma_M; a_d \right\} \quad (B.6.3.1)$$

Αλλά, σημειώνεται ότι μερικές φορές είναι ανάγκη να τίθεται $\gamma_R > 1$ (για παράδειγμα, θλιβόμενοι πάσσαλοι), επομένως η εξίσωση (2.7α) χρησιμοποιείται έτσι:

$$R_d = R \left\{ \gamma_F F_{rep}; X_k / \gamma_M; a_d \right\} / \gamma_R \quad (B.6.3.2)$$

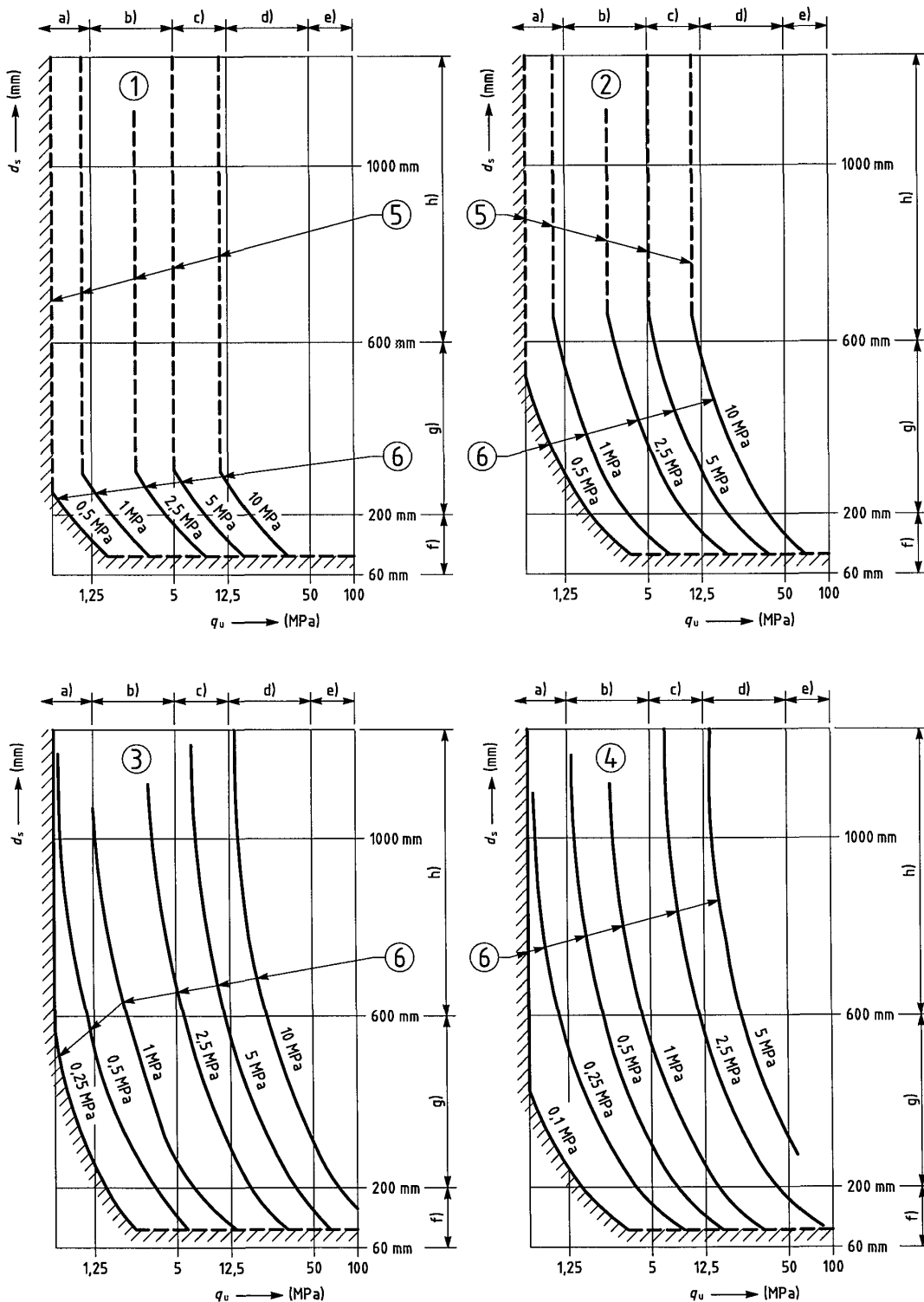
Παράρτημα Z (πληροφοριακό)

Ενδεικτική μέθοδος για τον προσδιορισμό της θεωρούμενης φέρουσας αντίστασης για επιφανειακές θεμελιώσεις σε βράχο

(1) Για ασθενείς και κερματισμένους βράχους με κλειστές διακλάσεις, στους οποίους περιλαμβάνονται και μαργαϊκοί σχηματισμοί με πορώδες μικρότερο από 35%, η τεκμαρτή φέρουσα αντίσταση μπορεί να προσδιορίζεται από το σχήμα Z.1. Αυτό βασίζεται στην ομαδοποίηση που δίδεται στον Πίνακα Z.1 με την παραδοχή ότι ο φορέας μπορεί να παραλαμβάνει υποχωρήσεις ίσες με το 0,5 % του πλάτους της θεμελίωσης. Τιμές της τεκμαρτής φέρουσας αντίστασης για διαφορετικές υποχωρήσεις μπορεί να προσδιορίζονται με ευθεία αναλογία. Για ασθενείς και κερματισμένους βράχους με ανοικτές ή πληρωμένες διακλάσεις, θα πρέπει να χρησιμοποιούνται μειωμένες τιμές της τεκμαρτής φέρουσας πίεσης.

Πίνακας Z.1 — Ομαδοποίηση ασθενών και κερματισμένων βράχων

Ομάδα	Τύπος βράχου
1	Καθαροί ασβεστόλιθοι και δολομίτες Ανθρακικοί ψαμμίτες μικρού πορώδους
2	Πυριγενή πετρώματα Οολιθικοί και μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι Καλά συγκολλημένοι ψαμμίτες Ημι-μεταμορφωμένοι ανθρακικοί πηλίτες Μεταμορφωμένοι βράχοι (συμπεριλαμβάνονται φυλλίτες και σχιστόλιθοι με οριζόντια σχιστότητα)
3	Έντονα μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι Ασθενώς συγκολλημένοι ψαμμίτες Φυλλίτες και σχιστόλιθοι με παρακατακόρυφη σχιστότητα
4	Μή-τσιμεντωμένοι πηλίτες και αργιλικό σχιστόλιθοι



Τετμημένη: q_u (MPa): μοναξονική θλιπτική αντοχή Τεταγμένη: d_s (mm) απόσταση ασυνεχειών

1: Βράχοι ομάδας 1, 2: Βράχοι ομάδας 2, 3: Βράχοι ομάδας 3, 4: Βράχοι ομάδας 4,

5 Επιτρεπόμενη φέρουσα πίεση η οποία δεν υπερβαίνει τη μοναξονική θλιπτική αντοχή του βράχου εάν οι διακλάσεις είναι κλειστές ή το 50% της τιμής αυτής εάν οι διακλάσεις είναι ανοικτές

6 Επιτρεπόμενες φέρουσες πιέσεις: α) πολύ ασθενής βράχος, β) ασθενής βράχος γ) μέτρια ασθενής βράχος δ) μέτρια ισχυρός βράχος, ε) ισχυρός βράχος

Αποστάσεις: f) πυκνές ασυνέχειες γ) ασυνέχειες μέσης πυκνότητας h) αραιές ασυνέχειες

Για τους τύπους βράχου οι οποίοι αντιστοιχούν σε κάθε μια από τις τέσσερις ομάδες, βλέπε Πίνακα Ζ.1. Η τεκμαρτή φέρουσα ικανότητα στις διαγραμμισμένες περιοχές θα εκτιμάται μετά από επιθεώρηση είτε εκτέλεση δοκιμών στο βράχο (από BS 8004)

Σχήμα Ζ.1 — Τεκμαρτή φέρουσα αντίσταση για τετραγωνικές θεμελιώσεις σε βράχο (για υποχωρήσεις που δεν υπερβαίνουν το 0.5% του πλάτους θεμελίωσης).

Αναφορές

Decoding EC7, Bond & Harris, 2008

Avellan, K.C., 2014. Ultimate and Serviceability State Design Using the Same Partial Chichester, UK:Wiley. Bedi A., Orr T.L.L., 2014. On the applicability of the Eurocode7 partial factor method for rock mechanics. *Proc. ISRM Int. Symp. Eurock 2014*.

CEN (European Committee for Standardisation). 2002. Eurocode – Basis of structural design. EN-1990. Brussels, Belgium: CEN.

CEN (European Committee for Standardisation). 2004. Geotechnical Design: Part 1, General Rules. EN-1997-1. Brussels, Belgium: CEN.

Estaire J., Olivenza G., 2014. Spread foundations and slope stability calculations on rocks according to Eurocode

EC-7. *Proc. ISRM Int. Symp. Eurock 2014*.

Ferrero A.M., Sofianos A., Alejano L.R., 2014. Critical review of Eurocode-7 regarding rock mass characterization.

Proc. ISRM Int. Symp. Eurock 2014.

Harrison J.P., Stille H., Olsson R., 2014. EC7 and the application of analytical and empirical models to rock engineering. *Proc. ISRM Int. Symp. Eurock 2014*.

Lamas L., Perucho A., Alejano L., 2014. Some key issues regarding application of Eurocode 7 to rock engineering design. *Proc. ISRM Int. Symp. Eurock 2014*.

Migliazza M.R., Ferrero A.M., Segalini A., Umili G., 2014.

Critical review of Eurocode-7 regarding monitoring rock masses by field instrumentation: devices and data analysis. *Proc. ISRM Int. Symp. Eurock 2014*.

Muralha J., Lamas L., 2014. Assessment of characteristic failure envelopes for intact rock using results from triaxial tests. *Proc. ISRM Int. Symp. Eurock 2014*.

Nomikos P.P., Sofianos A.I., 2014. Reliability against translational slip of rock slopes designed according to Eurocode 7. *Proc. ISRM Int. Symp. Eurock 2014*.

Perucho A., Estaire J., 2014. The approach to rock engineering in Spanish normative documents. *Proc. ISRM Int. Symp. Eurock 2014*.

Olsson R., Palmström A., 2014. Critical review of EC7 concerning prescriptive measures for rock mechanics design. *Proc. ISRM Int. Symp. Eurock 2014*.

Orr T.L.L., 2012. How Eurocode 7 has affected geotechnical design: a review. *Proc. Inst. Civil Eng. Geotech. Engg.*

Schubert W., 2013. Are classification systems outdated?. *Proc. ISRM Int. Symp. Eurock 2013*.

Simpson B., Driscoll R., 1998. *Eurocode 7: A commentary*.

Watford, UK: Building Research Establishment. Spross J., Johansson F., Stille H.,

Larsson S., 2014. Towards an improved observational method. *Proc. ISRM Int. Symp. Eurock 2014*.

Stille H., Virely D., 2014. How to refine the Observational

Method as described in EC7 in applied rock mechanics. *Proc. ISRM Int. Symp. Eurock 2014*.

