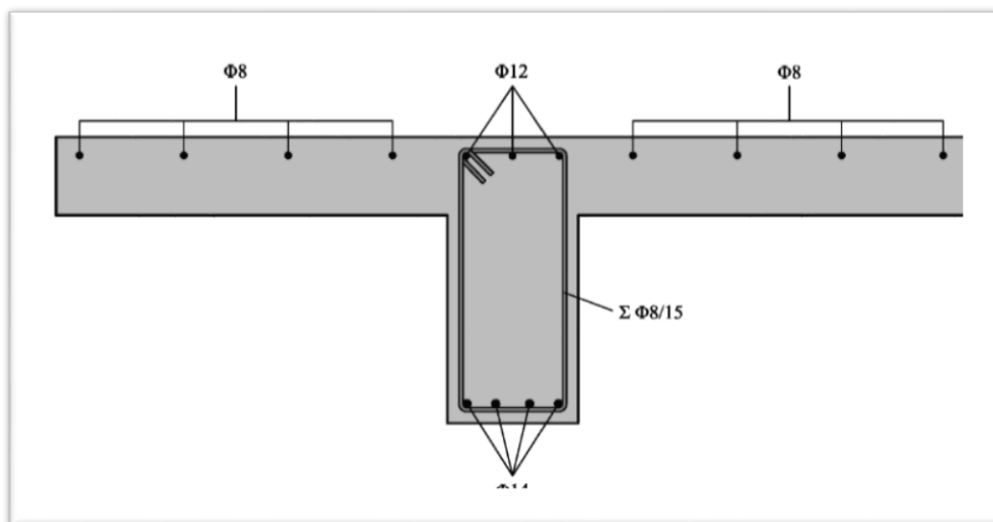




ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.

## ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

### ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΚΑΙ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΜΕΛΩΝ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟΝ ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑ 8



**Σπουδάστριες:**

**ΛΩΛΟΥ ΑΡΤΕΜΙΣ, Α.Μ.**

**ΜΑΚΟΠΟΥΛΟΥ ΣΟΦΙΑ, Α.Μ.**

**ΕΠΟΠΤΕΥΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΜΠΑΡΟΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ**

**ΠΑΤΡΑ, 2016**

## **ΠΡΟΛΟΓΟΣ**

Η παρούσα πτυχιακή εργασία εκπονήθηκε στο Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Τ.Ε. του Τ.Ε.Ι. Δυτικής Ελλάδας κατά το ακαδημαϊκό έτος 2015 -2016. Η εργασία έχει σαν βασικό της στόχο την παρουσίαση των βασικών αρχών αντισεισμικού σχεδιασμού μελών Οπλισμένου Σκυροδέματος, με έμφαση στις σχέσεις υπολογισμού της αντοχής και ικανότητας παραμόρφωσης των στοιχείων αυτών.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία έχει σαν βασικό της στόχο την παρουσίαση των κύριων αρχών αντισεισμικού σχεδιασμού μελών Οπλισμένου Σκυροδέματος. Ιδιαίτερη αναφορά γίνεται στις διαθέσιμες εξισώσεις υπολογισμού της αντοχής και της ικανότητας παραμόρφωσης των στοιχείων αυτών. Για καλύτερη παρουσίαση του θέματος το διαθέσιμο υλικό οργανώνεται σε πέντε κεφάλαια ως ακολούθως.

Το πρώτο κεφάλαιο αναφέρεται γενικά στο σύστημα των Ευρωκωδίκων και τη διαδικασία ανάπτυξής του. Επίσης παρουσιάζει συνοπτικά τους δέκα Ευρωκώδικες και τα περιεχόμενά τους.

Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι βασικές αρχές αντισεισμικού σχεδιασμού κατασκευών σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 8. Γίνεται ιδιαίτερη αναφορά στον προσδιορισμό της σεισμικής απειλής και σε ειδικές διατάξεις που αφορούν τις κατηγορίες πλαστιμότητας και τα κτιριακά έργα.

Το τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζει τους άξονες διαστασιολόγησης μελών Οπλισμένου Σκυροδέματος σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 8. Εξηγούνται έννοιες όπως ο ικανοτικός σχεδιασμός. Επιπλέον παρουσιάζονται αναλυτικά και επεξηγούνται οι σχέσεις υπολογισμού των μεγεθών αντοχής και παραμόρφωσης μελών στη διαρροή και την αστοχία τους.

Στο κεφάλαιο 4 γίνεται αναλυτική παρουσίαση της εφαρμογής των παραπάνω σχέσεων για τον υπολογισμό της σεισμικής ικανότητας ενός τυπικού υποστυλώματος και, ακολούθως, μιας τυπικής δοκού από Οπλισμένο Σκυρόδεμα. Για το υποστύλωμα θεωρούνται διαφορετικές τιμές του αξονικού φορτίου ώστε να μελετηθεί η επιρροή του στα υπολογιζόμενα μεγέθη. Οι υπολογισμοί γίνονται για κάμψη τόσο κατά τον ισχυρό, όσο και κατά τον ασθενή άξονα του μέλους. Αντίστοιχα για τη δοκό μελετάται η περίπτωση τόσο θετικής όσο και αρνητικής κάμψης.

Τέλος στο κεφάλαιο 5 συνοψίζονται τα βασικά συμπεράσματα της πτυχιακής εργασίας.

### **Υπεύθυνη Δήλωση Σπουδαστριών:**

Οι κάτωθι υπογεγραμμένες σπουδάστριες, έχουμε επίγνωση των συνεπειών του Νόμου περί λογοκλοπής και δηλώνουμε υπεύθυνα ότι είμαστε συγγραφείς αυτής της Πτυχιακής Εργασίας, αναλαμβάνοντας την ευθύνη επί ολοκλήρου του κείμενου, έχουμε δε αναφέρει στη Βιβλιογραφία μας όλες τις πηγές τις οποίες χρησιμοποιήσαμε και ελάβαμε ιδέες ή δεδομένα. Δηλώνουμε επίσης ότι, οποιοδήποτε στοιχείο ή κείμενο το οποίο έχουμε ενσωματώσει στην εργασία μας προερχόμενο από βιβλία ή άλλες εργασίες ή το διαδίκτυο, γραμμένο ακριβώς ή παραφρασμένο, το έχουμε πλήρως αναγνωρίσει ως πνευματικό έργο άλλου συγγραφέα και έχουμε αναφέρει ανελλιπώς το όνομα του και την πηγή προέλευσης.

Οι σπουδάστριες

Λώλου Άρτεμις

Μακοπούλου Σοφία

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.....	6
Το σύστημα των ευρωκωδίκων.....	6
1.1. ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΟΙ ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΕΣ.....	6
1.2. Η ΟΔΗΓΙΑ 89/106/ΕΟΚ ΚΑΙ Η ΣΧΕΣΗ ΤΗΣ ΜΕ ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΩΝ ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΩΝ.....	7
1.3. ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΩΝ ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΩΝ.....	8
1.4. ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΩΝ ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ.....	9
1.5. ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟΥ ΤΩΝ ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΩΝ.....	10
1.6. ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΤΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ.....	13
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.....	15
Αρχές αντισεισμικού σχεδιασμού κατασκευών σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 8.....	15
2.1. ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΑΠΕΙΛΗ.....	15
2.1.1. Εισαγωγικά.....	15
2.1.2. Ελαστικό φάσμα αποκρίσης.....	15
2.1.3. Οριζόντια συνιστώσα σεισμικής διέγερσης.....	16
2.1.5. Εδαφική μετατόπιση σχεδιασμού.....	18
2.1.6. Φάσμα σχεδιασμού για ανελαστική συμπεριφορά.....	19
2.1.7. Σεισμικές ζώνες.....	22
2.1.8. Κατηγορίες εδαφους.....	23
2.1.9. Μάζες.....	25
2.2. ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΙ ΔΡΑΣΕΩΝ.....	26
2.2.1. Σεισμικός συνδυασμός.....	27
2.3. ΕΙΔΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΓΙΑ ΚΤΙΡΙΑ.....	27
2.3.1. Κανονικότητα.....	27
2.3.2. Στρέψη.....	32
2.3.3. Κατάταξη κτιρίων Ω.Σ.....	34
2.3.4. Κατηγορίες πλαστιμότητας.....	36
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.....	37
3.1. ΠΡΩΤΕΥΟΝΤΑ ΚΑΙ ΔΕΥΤΕΡΕΥΟΝΤΑ ΣΕΙΣΜΙΚΑ ΜΕΛΗ.....	37
3.1.1. Διαστασιολόγηση.....	38
3.2. ΜΗ-ΔΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΙ ΠΡΟΣΑΡΤΗΜΑΤΑ.....	39
3.3. ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΔΟΚΩΝ Ω.Σ.....	40
3.3.1. Διαστασιολόγηση σε διάτμηση.....	40
3.4. ΡΟΠΗ ΚΑΙ ΚΑΜΠΥΛΟΤΗΤΑ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ Ω.Σ. ΣΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ.....	44

3.5. ΔΙΑΘΕΣΙΜΗ ΣΤΡΟΦΗ ΧΟΡΔΗΣ ΚΑΙ ΜΕΓΙΣΤΗ ΠΛΑΣΤΙΚΗ ΣΤΡΟΦΗ.....	46
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.....	48
Εφαρμογές σε τυπικά μέλη Ω.Σ. ....	48
4.1. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΩΝ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ ΤΟΥ ΕΚ8 ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΗΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΕΝΟΣ ΤΥΠΙΚΟΥ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ .....	48
4.1.1. Εφαρμογή 1 : κάμψη κατά τον ισχυρό άξονα με αξονικό φορτίο $N= 1450$ kN.....	49
4.1.2. Εφαρμογή 2 : κάμψη κατά τον ισχυρό άξονα με αξονικό φορτίο $N= 2900$ kN.....	54
4.1.3. Εφαρμογή 3 : κάμψη κατά τον ασθενή άξονα με αξονικό φορτίο $N= 1450$ kN. ....	59
4.1.4. Εφαρμογή 4 : κάμψη κατά τον ασθενή άξονα με αξονικό φορτίο $N= 2900$ kN. ....	64
4.2. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΩΝ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ ΤΟΥ ΕΚ8 ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΗΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΜΙΑΣ ΤΥΠΙΚΗ ΔΟΚΟΥ .....	70
4.2.1. Εφαρμογή 5 : θετική κάμψη δοκού.....	71
4.2.2. Εφαρμογή 6 : αρνητική κάμψη δοκού.....	77
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.....	85
Σύντομα συμπεράσματα.....	85

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

## Το σύστημα των ευρωκωδίκων

### 1.1. ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΟΙ ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΕΣ.

Οι Ευρωκώδικες είναι μια σειρά Ευρωπαϊκών Προτύπων. Εκπονήθηκαν από την CEN για την ολοκλήρωση της Οδηγίας 89/106/ΕΟΚ «Προϊόντα Δομικών Έργων».

Στόχος τους είναι «Να θεσμοθετήσουν ένα σύνολο κοινών τεχνικών κανόνων για το σχεδιασμό των κτιρίων και των έργων Πολιτικού Μηχανικού με την προοπτική να αντικαταστήσουν τους διαφορετικούς εθνικούς κανονισμούς των Κρατών Μελών» [1]

Έχουν εφαρμογή στον υπολογισμό της μηχανικής αντοχής των κατασκευαστικών έργων και των στοιχείων τους.

Οι Ευρωκώδικες απαρτίζονται από συνολικά δέκα κύρια ευρωπαϊκά πρότυπα που αφορούν όλους τους τρόπους δόμησης (από σκυρόδεμα, χάλυβα, ξύλο, τοιχοποιία, και αλουμίνιο καθώς και γεωτεχνικά έργα)

Εκτός από το πρώτο (EN 1990) τα άλλα υποδιαιρούνται σε 58 μέρη συνολικά. Στα μέρη γίνεται ανάλυση της συμπεριφοράς των δομημάτων (κτιρίων, γεφυρών, δεξαμενών, φραγμάτων, πύργων, αγωγών, καπνοδόχων), στο σεισμό ή / και στην πυρκαγιά.

Τα δέκα αυτά πρότυπα είναι τα ακόλουθα:

- EN1990 Ευρωκώδικας0: Βάσεις Σχεδιασμού (1 Μέρος)
- EN1991 Ευρωκώδικας1: Δράσεις στους φορείς (10 Μέρη)
- EN1992 Ευρωκώδικας2: Σχεδιασμός Φορέων από Σκυρόδεμα(4Μέρη)
- EN1993 Ευρωκώδικας3: Σχεδιασμός Φορέων από Χάλυβα(20 Μέρη)
- EN1994 Ευρωκώδικας4: Σχεδιασμός Σύμμικτων Φορέων από Χάλυβα και Σκυρόδεμα (3 Μέρη)
- EN1995 Ευρωκώδικας5: Σχεδιασμός Ξύλινων Φορέων (3 Μέρη)
- EN1996 Ευρωκώδικας6: Σχεδιασμός Φορέων από Τοιχοποιία (5 Μέρη)
- EN1997 Ευρωκώδικας7: Γεωτεχνικός Σχεδιασμός (3 Μέρη)
- EN1998 Ευρωκώδικας8: Αντισεισμικός Σχεδιασμός (6 Μέρη)
- EN1999 Ευρωκώδικας9: Σχεδιασμός Φορέων από Αλουμίνιο (3 Μέρη).

Οι Ευρωκώδικες προφανώς απευθύνονται στους παρακάτω χρήστες:

- Μελετητές και κατασκευαστές
- Επιτροπές σύνταξης κανονισμών και προδιαγραφών
- Δημόσιες Αρχές (λ.χ. για τον καθορισμό κριτηρίων ασφάλειας)
- Ιδιώτες (πελάτες)
- Εκπαιδευτικά ιδρύματα.

Τα κύρια οφέλη της χρήσης των Ευρωκωδίκων είναι:

- ✓ Η βελτίωση της λειτουργίας της ενιαίας αγοράς για τα Δομικά Προϊόντα και τις υπηρεσίες Μηχανικού, αίροντας τα εμπόδια που υπάρχουν από τις διαφορετικές εθνικές κανονιστικές ρυθμίσεις και
- ✓ Η ενίσχυση της ανταγωνιστικότητας του κατασκευαστικού τομέα σε ευρωπαϊκό και διεθνές επίπεδο.

Οι Ευρωκώδικες επηρεάζουν ένα μεγάλο μέρος της οικονομικής δραστηριότητας της χώρας στις κατασκευές και στα έργα, τις υπηρεσίες και την βιομηχανία, σχετίζεται με το μέγιστο θέμα της ασφάλειας και της προστασίας των πολιτών

## 1.2. Η ΟΔΗΓΙΑ 89/106/ΕΟΚ ΚΑΙ Η ΣΧΕΣΗ ΤΗΣ ΜΕ ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΩΝ ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΩΝ.

Η Οδηγία 89/106/ΕΟΚ Είναι μια από τις είκοσι Οδηγίες της λεγόμενης «Νέας Προσέγγισης» [2]. Αποσκοπεί στην άρση των τεχνικών εμποδίων στην ελεύθερη διακίνηση αγαθών, υπηρεσιών και εμπορευμάτων εντός του Ενιαίου Ευρωπαϊκού Χώρου.

Περιέχει τις «ουσιώδεις απαιτήσεις» για τα έργα και στις κατασκευές:

- ✓ Μηχανική αντοχή και ευστάθεια
- ✓ Ασφάλεια έναντι πυρκαγιάς
- ✓ Υγιεινή, υγεία και περιβάλλον
- ✓ Ασφάλεια κατά τη χρήση
- ✓ Προστασία από τον θόρυβο
- ✓ Οικονομία ενέργειας και θερμομόνωση
- ✓ Αειφόρος χρήση των φυσικών πηγών
- ✓ Υλικά και προϊόντα που ενσωματώνονται μόνιμα στα έργα και στις κατασκευές οφείλουν να ικανοποιούν τις ουσιώδεις απαιτήσεις

Συνεπώς, η εφαρμογή και χρήση των Ευρωκωδίκων ως κείμενα αναφοράς εξυπηρετεί τους ακόλουθους σκοπούς:

- ✓ ως μέσο συμμόρφωσης των Τεχνικών Έργων με τις Ουσιώδεις απαιτήσεις της Οδηγίας 89/106/ΕΟΚ για τα Προϊόντα των Δομικών Κατασκευών και κυρίως με την 1η «Μηχανική αντοχή και ευστάθεια», την 2η «Ασφάλεια έναντι Πυρκαγιάς» και την 4<sup>η</sup> «Ασφάλεια χρήσης»
- ✓ ως κείμενα βάσης για τη σύνταξη των συμβατικών τευχών εκτέλεσης έργων και υπηρεσιών συναφών του αντικειμένου Πολιτικού Μηχανικού
- ✓ ως πλαίσιο σύνταξης εναρμονισμένων τεχνικών προδιαγραφών (εναρμονισμένων Ευρωπαϊκών Προτύπων-hENs και Ευρωπαϊκών Τεχνικών Εγκρίσεων -ETAs) για τα προϊόντα των Δομικών Κατασκευών



### 1.3. ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΩΝ ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΩΝ.

Τους Ευρωκώδικες διαχειρίζεται η CEN με την Τεχνική Επιτροπή CEN/TC 250, “Structural Eurocodes”. Μέλη της CEN είναι οι Εθνικοί Οργανισμοί Τυποποίησης (π.χ. ΕΛΟΤ). Η TE 250 ιδρύθηκε το 1990 για την ανάπτυξη των σχετικών Ευρωπαϊκών Προτύπων (EN). Τα 58 μέρη εγκρίθηκαν τον 10/2006 και με την ολοκλήρωση των Ευρωκώδικων το 2007, έχει επιτευχθεί ένα σημαντικό έργο της Ευρωπαϊκής Τυποποίησης στον Τομέα των Κατασκευών. Αποτελούν τυποποιητικό έργο 5000 σελίδων περίπου.

Αν και οι Ευρωκώδικες είναι κείμενα εννιαία για όλη την Ευρωπαϊκή Ένωση, το επίπεδο ασφάλειας σε κάθε Κράτος παραμένει υπό εθνικό έλεγχο στις εθνικές ρυθμιστικές αρχές (για την Ελλάδα το ΥΠΕΧΩΔΕ).

Κάθε Κράτος έχει δικαίωμα να ορίζει τις τιμές παραμέτρων ασφάλειας, συντελεστές και άλλες πληροφορίες στα Εθνικά Προσαρτήματα. Οι τιμές αυτές διαφοροποιούνται από Κράτος σε Κράτος, προσδιορίζονται σε εθνικό επίπεδο, επηρεάζονται από γεωφυσικές ή κλιματολογικές τοπικές συνθήκες και σχετίζονται με θέματα ασφάλειας.

Ένα Εθνικό Προσάρτημα μπορεί να περιέχει τις Εθνικά Προσδιορισμένες Παραμέτρους που χρησιμοποιούνται για το σχεδιασμό των κτιριακών και λοιπών έργων πολιτικού μηχανικού στη συγκεκριμένη Χώρα.

Τυχούσες διορθώσεις στα κείμενα των Ευρωκώδικων ετοιμάζονται από τη Γραμματεία της αρμόδιας Υποεπιτροπής (SC) και εκδίδονται από την Κεντρική Γραμματεία (CS) της CEN, χωρίς γενικά να χρειάζεται να ακολουθηθεί η διαδικασία της δημόσιας κρίσης με τα Κράτη-Μέλη. Η υιοθέτηση των διορθώσεων σε εθνικό επίπεδο ακολουθεί άμεσα. «Τροποποιήσεις». Οι τροποποιήσεις (Amendments), προσθήκες ή απαλοιφές συγκεκριμένων τμημάτων του κειμένου ενός Ευρωκώδικα υπόκεινται στους ίδιους διαδικαστικούς κανόνες, όπως το αρχικό κείμενο.

Οι Ευρωκώδικες αρχικά συνυπήρχαν με τα Εθνικά κανονιστικά πλαίσια κάθε Κράτους - Μέλους. Μετά το τέλος της περιόδου συνύπαρξης, αυτόματα προέκυψε η υποχρέωση του Κράτους –Μέλους να τροποποιήσει την Εθνική του Νομοθεσία και να αποσυρθούν όλοι οι Εθνικοί Κανονισμοί και Πρότυπα που αντιτίθενται στους Ευρωκώδικες. Η περίοδος ταυτόχρονης εφαρμογής από τα Κράτη Μέλη ολοκληρώθηκε το Μάρτιο του 2010. Κατά τη διάρκειά της κάθε Κράτος –Μέλος όφειλε να έχει λάβει τα κατάλληλα μέτρα για την ταυτόχρονη χρήση τόσο των υφισταμένων Εθνικών Κανονισμών και Προτύπων όσο και του αντίστοιχου Ευρωκώδικα.

Οι Ευρωκώδικες ευρίσκονται σήμερα στο στάδιο οριστικής και αποκλειστικής εφαρμογής από τα Κράτη – Μέλη (προφανώς και στην Ελλάδα).

#### 1.4. ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΩΝ ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ.

Ο ΕΛΟΤ ως μέλος της Ευρωπαϊκής Επιτροπής Τυποποίησης παρακολούθησε και συμμετείχε ενεργά σε αυτό το σημαντικό Τυποποιητικό Έργο:

- Με τη Σύσταση της τεχνικής Επιτροπής ΕΛΟΤ ΤΕ 67 «ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΕΣ» που λειτούργησε από το 1990, με συμμετοχή εκπροσώπων από φορείς (ΥΠΕΧΩΔΕ, ΤΕΕ, ΕΜΠ, ΑΠΘ, ΟΑΣΠ) , η οποία επικεντρώνεται κυρίως σε θέματα ψήφισης ή μη των κειμένων που διαβιβάζονται από τη CEN
- Με τη σημαντική συνδρομή και βοήθεια, με τη δωρεάν παροχή των πνευματικών δικαιωμάτων της ελληνικής αντιπροσωπείας και τη συμμετοχή τους στις συνεδριάσεις των Ευρωπαϊκών Επιτροπών και ομάδων Έργου Τυποποίησης.
- Ο ΕΛΟΤ και η Ελλάδα έχει να επιδείξει την ανάθεση της Προεδρίας 2 Τεχνικών Ευρωπαϊκών Επιτροπών Ευρωκωδίκων σε διακεκριμένους Έλληνες επιστήμονες.

Στα πλαίσια της εναρμόνισης της χώρας μας με τις απαιτήσεις της Οδηγίας 89/106/ΕΟΚ, ο ΕΛΟΤ υλοποίησε το σημαντικό και πολυδάπανο έργο της έκδοσης των Προτύπων των Ευρωκωδίκων στην Ελληνική γλώσσα, καθώς και την έκδοση των Προτύπων των Εθνικών Προσαρτημάτων αυτών. Το έργο αυτό αναλύεται ως εξής [3]:

- Εργασίες σύνταξης των μεταφράσεων στην ελληνική, καθώς και των Εθνικών Προσαρτημάτων.
- Έναρξη μεταφράσεων το 2004, ολοκλήρωση το 2009.
- Τυποποιητική – γλωσσική επεξεργασία από τον ΕΛΟΤ (σταδιακή έναρξη άνοιξη 2007, ολοκλήρωση θέρος 2009).
- Σταδιακή τοποθέτηση από τον ΕΛΟΤ των Εθνικών Προσαρτημάτων σε σύντομη δημόσια κρίση και στη συνέχεια οριστικοποίησή τους.

Ο ΕΛΟΤ έχει εντάξει τα Πρότυπα των Ευρωκωδίκων στην Ελληνική Τυποποίηση με τη μέθοδο της υιοθέτησης του πρωτότυπου κειμένου. Η μεταβατική περίοδος αρχικά είχε προγραμματιστεί μέχρι τον 3/2010, οπότε θα αποσύρονταν τα Εθνικά Πρότυπα σύμφωνα με την διαδικασία της CEN.

Στο πλαίσιο της προετοιμασίας από τον ΕΛΟΤ για την υιοθέτηση των Ευρωκωδίκων στην Ελλάδα δημοσιεύθηκαν (ΦΕΚ 2692/31-12-2008):

- Προσωρινές Συστάσεις για το σχεδιασμό έργων γεφυροποιίας σε συνδυασμό με τους αντίστοιχους Ευρωκώδικες (ΠΡΟΣΥ) .
- Προσωρινές Συστάσεις για το σχεδιασμό έργων Πολιτικού Μηχανικού (πλην γεφυρών και κτιρίων από σκυρόδεμα) σε συνδυασμό με τους αντίστοιχους Ευρωκώδικες (ΠΡΟΣΥ– ΠΜ).

- Η Επιτροπή Ευρωκωδίκων του ΥΠΕΧΩΔΕ ολοκλήρωσε το σύνολο των μεταφράσεων των κειμένων των Ευρωκωδίκων στην Ελληνική, τα οποία διαβιβάστηκαν στον ΕΛΟΤ και εκδόθηκαν ως Ελληνικά Πρότυπα.

#### 1.5. ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟΥ ΤΩΝ ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΩΝ.

Στην παρούσα παράγραφο γίνεται μία σύντομη περιγραφή του περιεχομένου των Ευρωκωδίκων όπως αναφέρεται στο κείμενο του [4].

##### 1. EN1990 – Ευρωκώδικας 0: Βάσεις Σχεδιασμού (1 Μέρος).

Ο “EN1990 – ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑΣ 0 : ΒΑΣΕΙΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ” είναι η βάση των Ευρωκωδίκων. Το σχετικό κείμενο ορίζει τις βασικές αρχές εφαρμογής τους που χρησιμοποιούνται στο σχεδιασμό δομημάτων.

Ο “EN 1990” παρέχει τις μη-εξαρτώμενες από τα δομικά υλικά πληροφορίες που απαιτούνται για το σχεδιασμό με βάση τους Ευρωκώδικες κτιρίων και έργων Πολιτικού Μηχανικού.

Ο “EN1990” χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με τους “EN1991” ως “EN1999” για το σχεδιασμό κτιριακών έργων και άλλων δομημάτων πολιτικού μηχανικού και συμπεριλαμβάνει θέματα γεωτεχνικής μηχανικής, σχεδιασμού κατασκευών έναντι πυρκαγιάς, σχεδιασμού έναντι σεισμού και άλλων τυχηματικών δράσεων, φορτίων κατά την κατασκευή ενός έργου και το σχεδιασμό προσωρινών κατασκευών.

Το Παράρτημα A2 του “EN1990” παρουσιάζει τους κανόνες και τις μεθόδους για τον καθορισμό συνδυασμών δράσεων για ελέγχους λειτουργικότητας και οριακών καταστάσεων αστοχίας (εκτός από τους ελέγχους κόπωσης) με τις προτεινόμενες τιμές σχεδιασμού των μόνιμων, μεταβλητών και τυχηματικών δράσεων και των συντελεστών  $\psi$  που θα χρησιμοποιηθούν κατά το σχεδιασμό οδογεφυρών, πεζογεφυρών και σιδηροδρομικών γεφυρών. Το παράρτημα αυτό ισχύει επίσης και για δράσεις κατά τη διάρκεια της κατασκευής. Επίσης παρουσιάζονται οι μέθοδοι και κανόνες για ελέγχους που αφορούν ορισμένες οριακές καταστάσεις αστοχίας οι οποίες είναι ανεξάρτητες από τα υλικά.

##### 2. EN1991 - Ευρωκώδικας1: Δράσεις στους φορείς (10 Μέρη).

Ο “EN1991” - Ευρωκώδικας 1 – Δράσεις, παρουσιάζει τα χαρακτηριστικές τιμές για διάφορους τύπους φορτίων, τις πυκνότητες των υλικών τα οποία δύναται να χρησιμοποιηθούν σε έργα Πολιτικού Μηχανικού καθώς και τη μεθοδολογία υπολογισμού των δράσεων που δύναται να πλήξουν μία κατασκευή κατά τη διάρκεια της ζωής της.

##### 3. EN1992 - Ευρωκώδικας2: Σχεδιασμός Φορέων από Σκυρόδεμα (4 Μέρη).

Ο “EN1992”, γνωστός ως ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑΣ 2: Σχεδιασμός φορέων από Σκυρόδεμα ορίζει τις τεχνικές προδιαγραφές για το σχεδιασμό των κτιρίων και των έργων Πολιτικού Μηχανικού που κατασκευάζονται από άοπλο, οπλισμένο και προεντεταμένο σκυρόδεμα. Είναι συμβατός με τις αρχές και τις απαιτήσεις ασφαλείας και λειτουργικότητας των

κατασκευών, τις βάσεις του σχεδιασμού και ελέγχου τους που περιλαμβάνονται στο Πρότυπο “EN 1990: Βάσεις του σχεδιασμού των κατασκευών”.

Ο Ευρωκώδικας 2 προορίζεται για χρήση σε συνδυασμό με τα πρότυπα:

- EN1990: Βάσεις του σχεδιασμού των κατασκευών
- EN1991: Δράσεις επί των κατασκευών
- hEN’s: Δομικά προϊόντα σχετιζόμενα με τις κατασκευές από σκυρόδεμα
- ENV16370: Εκτέλεση έργων από σκυρόδεμα
- EN1997: Γεωτεχνικός σχεδιασμός
- EN1998: Αντισεισμικός σχεδιασμός των κατασκευών, όταν οι κατασκευές από σκυρόδεμα βρίσκονται σε περιοχές με σεισμική επικινδυνότητα.

#### 4. EN1993 Ευρωκώδικας 3: Σχεδιασμός Φορέων από Χάλυβα (20 Μέρη).

Ο “EN1993”, γνωστός ως “ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑΣ 3”: Σχεδιασμός κατασκευών από χάλυβα, ορίζει τις τεχνικές προδιαγραφές που εφαρμόζονται στο σχεδιασμό κτιρίων και έργων αρμοδιότητας πολιτικού μηχανικού από χάλυβα. Ασχολείται με τις αρχές και τις απαιτήσεις για ασφάλεια και λειτουργικότητα των κατασκευών, τις βασικές αρχές του σχεδιασμού και των ελέγχων επάρκειάς τους που περιλαμβάνονται στο Πρότυπο “EN1990”: Βάσεις του σχεδιασμού των κατασκευών.

Ο “EN1993” ασχολείται μόνο με απαιτήσεις για αντοχή, λειτουργικότητα, ανθεκτικότητα και πυρασφάλεια των κατασκευών από χάλυβα. Άλλες απαιτήσεις, που αφορούν π.χ. θερμικές ή ηχητικές μονώσεις δεν καλύπτονται.

#### 5. EN1994 Ευρωκώδικας 4: Σχεδιασμός Σύμμικτων Φορέων από Χάλυβα και Σκυρόδεμα (3 Μέρη).

Ο “EN1994”, γνωστός ως “ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑΣ 4”: Σχεδιασμός σύμμικτων φερουσών κατασκευών από χάλυβα και σκυρόδεμα ορίζει τις τεχνικές προδιαγραφές που εφαρμόζονται στο σχεδιασμό σύμμικτων κτιρίων και έργων αρμοδιότητας πολιτικού μηχανικού από χάλυβα και σκυρόδεμα. Ασχολείται με τις αρχές και τις απαιτήσεις για ασφάλεια και λειτουργικότητα των κατασκευών, τις βασικές αρχές του σχεδιασμού και των ελέγχων επάρκειάς τους που περιλαμβάνονται στο Πρότυπο “EN1990”: Βάσεις του σχεδιασμού των κατασκευών.

Ο “EN1994” ασχολείται μόνο με απαιτήσεις για αντοχή, λειτουργικότητα, ανθεκτικότητα και πυρασφάλεια των κατασκευών από χάλυβα. Άλλες απαιτήσεις, που αφορούν π.χ. θερμικές ή ηχητικές μονώσεις δεν καλύπτονται.

#### 6. EN1995 Ευρωκώδικας 5: Σχεδιασμός Ξύλινων Φορέων (3 Μέρη)

Ο “EN1995”, γνωστός ως “ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑΣ 5”: Σχεδιασμός ξύλινων κατασκευών περιγράφει τη μεθοδολογία, για την ανάλυση, σχεδιασμό και κατασκευή κτιρίων και άλλων δομημάτων από δομική ξυλεία.

Ο “EN1995” χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με το “EN1990”: Βάσεις του σχεδιασμού των κατασκευών και το “EN1991”: Δράσεις στα Έργα. Αφορά έργα από δομική ξυλεία, πριστής, πελεκητής ή σε μορφή στύλου, επικολητής ξυλείας ή προϊόντων

με βασικό συστατικό τη ξυλεία, (π.χ. LVL) και μοριοσανίδων κάθε μορφής. Τέλος στον “EN1995” περιλαμβάνονται και οι απαιτήσεις για την ανάλυση, σχεδιασμό και κατασκευή των μηχανικών συνδέσεων σε αυτού του τύπου τις κατασκευές.

Ο “EN1995” ασχολείται μόνο με απαιτήσεις για αντοχή, λειτουργικότητα, ανθεκτικότητα και πυρασφάλεια των κατασκευών από δομική ξυλεία. Άλλες απαιτήσεις, που αφορούν π.χ. θερμικές ή ηχητικές μονώσεις δεν καλύπτονται.

#### 7. EN1996 Ευρωκώδικας 6: Σχεδιασμός Φορέων από Τοιχοποιία (5 Μέρη).

Ο “EN1996”, γνωστός ως “ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑΣ 6”: Σχεδιασμός κατασκευών από τοιχοποιία, ορίζει τις τεχνικές προδιαγραφές για το σχεδιασμό των κτιρίων και των έργων Πολιτικού Μηχανικού που κατασκευάζονται από άοπλη και ωπλισμένη τοιχοποιία. Είναι συμβατός με τις αρχές και τις απαιτήσεις ασφαλείας και λειτουργικότητας των κατασκευών, τις βάσεις του σχεδιασμού και ελέγχου τους που περιλαμβάνονται στο Πρότυπο “EN 1990”: Βάσεις του σχεδιασμού των κατασκευών.

Ο Ευρωκώδικας 6 προορίζεται για χρήση σε συνδυασμό με τα πρότυπα:

- EN1990: Βάσεις του σχεδιασμού των κατασκευών
- EN1991: Δράσεις επί των κατασκευών

#### 8. EN1997 Ευρωκώδικας 7: Γεωτεχνικός Σχεδιασμός (3 Μέρη)

Ο “EN1997”, γνωστός ως “ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑΣ 7”: Γεωτεχνικός σχεδιασμός, ορίζει τις αρχές και απαιτήσεις για την ασφάλεια και λειτουργικότητα, περιγράφει τις αρχές σχεδιασμού νέων έργων και ελέγχου παλαιών και δίνει οδηγίες για θέματα αξιοπιστίας σε γεωτεχνικά θέματα που αφορούν το σχεδιασμό κτηρίων και άλλων δομημάτων πολιτικού μηχανικού. Το πρότυπο αυτό χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με το Πρότυπο “EN1990”: Βάσεις του σχεδιασμού δομημάτων.

Ο Ευρωκώδικας 7 προορίζεται για χρήση σε συνδυασμό με τα πρότυπα:

- EN1990: Βάσεις του σχεδιασμού δομημάτων
- EN1991: Δράσεις επί των κατασκευών

#### 9. EN1998 Ευρωκώδικας 8: Αντισεισμικός Σχεδιασμός (6 Μέρη)

Ο “EN1998”, γνωστός ως “Ευρωκώδικας 8”: Αντισεισμικός Σχεδιασμός εφαρμόζεται στη μελέτη και κατασκευή κτιρίων και άλλων έργων Πολιτικού Μηχανικού σε περιοχές με σεισμικότητα. Στόχος του Ευρωκώδικα είναι να διασφαλίσει σε περίπτωση σεισμού ότι:

- θα παρέχεται προστασία της ανθρώπινης ζωής,
- οι βλάβες στα δομήματα θα πρέπει να είναι περιορισμένες στην περίπτωση του σεισμικού γεγονότος σχεδιασμού των
- τα έργα τα οποία κρίνονται ως σημαντικά για την αστική προστασία και την αντιμετώπιση των συνεπειών από αιφνίδια γεγονότα θα παραμείνουν σε λειτουργία και μετά την εμφάνιση του σεισμικού γεγονότος.

Σημειώνεται ότι η αβεβαιότητα όσον αφορά την ένταση των σεισμικών γεγονότων και τη συχνότητα εμφάνισης των, όσο δε και οι περιορισμένοι διαθέσιμοι πόροι για την

αντιμετώπιση των αποτελεσμάτων τους στα δομήματα, καθιστούν την επίτευξη των ως ανωτέρω στόχων μερικώς πιθανή και μετρήσιμη μόνον με πιθανολογικούς όρους.

Στην παρούσα εργασία εφαρμόστηκαν οι αρχές και διατάξεις του Ευρωκώδικα 8 για τον υπολογισμό της αντοχής και ικανότητας παραμόρφωσης μελών Οπλισμένου Σκυροδέματος με βάση τα χαρακτηριστικά των διατομών τους. Οι αρχές αυτές χρησιμοποιούνται τόσο κατά το σχεδιασμό νέων δομημάτων όσο και κατά την αποτίμηση και επέμβαση ή ενίσχυση υφιστάμενων κατασκευών.

10. EN1999 Ευρωκώδικας 9: Σχεδιασμός Φορέων από Αλουμίνιο (3 Μέρη).

Ο “EN1999”, γνωστός ως “Ευρωκώδικας 9”: Σχεδιασμός Κατασκευών από Αλουμίνιο, εφαρμόζεται στη μελέτη και κατασκευή κτιρίων και άλλων έργων Πολιτικού Μηχανικού από αλουμίνιο. Ο “EN1999” χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με τον “EN1990” όσον αφορά τις αρχές σχεδιασμού και τους “EN1991” και “EN1998” για τον υπολογισμό των φορτίων και των δράσεων σε περίπτωση σεισμού.

Ο Ευρωκώδικας 9 αποτελείται από 6 μέρη τα EN1999-1-1 ως EN1999-1-5.

## 1.6. ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΤΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ.

Αναφορικά με την περαιτέρω εξέλιξη του συστήματος των Ευρωκωδίκων, οι διαμορφούμενες προοπτικές έχουν ως ακολούθως:

- Η σύνταξη Ευρωκωδίκων και για άλλα υλικά (ανθρακονήματα, γυαλί).
- Η επέκταση των Ευρωκωδίκων:
  - ✓ στην αποτίμηση υφισταμένων κατασκευών (όχι μόνο για νέες).
  - ✓ για να καλύπτουν και τις υπόλοιπες 4 «Ουσιώδεις Απαιτήσεις» της ΟΔΠ: υγιεινή, υγεία και περιβάλλον, ασφάλεια κατά τη χρήση, αντι-θορυβική προστασία και οικονομία ενέργειας και μείωση της θερμότητας. Ειδικά η τελευταία αναμένεται να αποκτήσει σταδιακά αυξανόμενη βαρύτητα.
- Η δημιουργία ενός ολοκληρωμένου συστήματος ( σχεδιασμός- μελέτη-κατασκευή- συντήρηση-λειτουργία)
- Η καθιέρωση κατηγοριών σε σχέση λ.χ. με την αντισεισμικότητα, την κατανάλωση ενέργειας που θα καταλήγουν σε ένα είδος «Ευρωπαϊκού Διαβατηρίου» για κάθε έργο/κατασκευή.
- Προώθηση των Ευρωκωδίκων διεθνώς – χώρες Μεσογείου

## **Βιβλιογραφικές Αναφορές 1<sup>ο</sup> Κεφαλαίου**

[1],[2],[3]Ευθύμιος Γαλανός, PhD, Διευθύνων Σύμβουλος ΕΛΟΤ, «Οι Ευρωκώδικες στις κατασκευές».

[4]Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος, Εκπαιδευτικές Σημειώσεις (για την εξοικείωση των μελών του ΤΕΕ με τη χρήση των Ευρωκωδίκων).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### Αρχές αντισεισμικού σχεδιασμού κατασκευών σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 8.

#### 2.1. ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΑΠΕΙΛΗ.

##### 2.1.1. Εισαγωγικά.

Κρίσιμη, προφανώς, για τον αντισεισμικό σχεδιασμό μιας κατασκευής είναι η «αντιπροσώπευση» της σεισμικής απειλής που αναμένεται να αντιμετωπίσει με ικανοποιητική ακρίβεια. Στην πλειονότητα των περιπτώσεων, για την ανάλυση μιας κατασκευής έναντι του σεισμού σχεδιασμού εφαρμόζεται η δυναμική φασματική μέθοδος. Στον Ευρωκώδικα 8 περιγράφεται αναλυτικά το αντίστοιχο φάσμα ψευδοεπιταχύνσεων που απαιτείται να ληφθεί υπόψιν κατά την εφαρμογή της μεθόδου.

Αν και η παρούσα εργασία εστιάζει στην ανάλυση επιμέρους δομικών στοιχείων σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 8, κρίνεται σκόπιμο για λόγους πληρότητας να παρουσιασθεί και αυτό το κρίσιμο ζήτημα της διαδικασίας σχεδιασμού μιας κατασκευής. Οι πληροφορίες που παρατίθενται στην ενότητα αυτή προέρχονται από το κείμενο [1].

##### 2.1.2. Ελαστικό φάσμα αποκρίσης.

Το ελαστικό φάσμα απόκρισης εφαρμόζεται για σχεδιασμό κατασκευών, οι οποίες θέλουμε να συμπεριφέρονται ελαστικά στο σεισμό σχεδιασμού. Η γενική μορφή του ελαστικού φάσματος επιταχύνσεων δίνεται στο παρακάτω Σχήμα 2.1. Διακρίνονται οι εξής περιοχές:

- Για  $T_B \leq T \leq T_C$ : Περιοχή σταθερής φασματικής επιτάχυνσης
- Για  $T_C \leq T \leq T_D$ : Περιοχή σταθερής φασματικής ταχύτητας
- Για  $T_D \leq T \leq 4.0$ : Περιοχή σταθερής φασματικής μετακίνησης

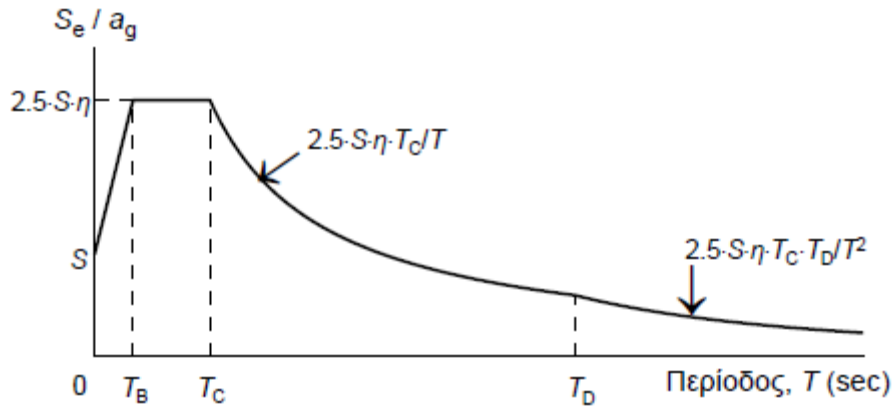
Από το ελαστικό φάσμα επιταχύνσεων μπορεί να υπολογιστεί και το αντίστοιχο φάσμα μετακινήσεων,  $S_{De}(T)$ , εφαρμόζοντας τη σχέση:

$$S_{De}(T) = S_e(T) \cdot \left( \frac{T}{2\pi} \right)^2$$

Για κατασκευές με συντελεστή σπουδαιότητας  $\gamma_I > 1$  πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η τοπική τοπογραφική ενίσχυση. Τοπογραφική ενίσχυση συμβαίνει ιδιαίτερα σε περιπτώσεις άκρων πρανών και κορυφών λόφων ύψους μεγαλύτερου των 30m. Η τοπογραφική ενίσχυση μπορεί να λαμβάνεται υπόψη μέσω του συντελεστή μεγέθυνσης  $S_T$ , με τον οποίο πολλαπλασιάζονται οι φασματικές τιμές. Ενδεικτικές τιμές για τον συντελεστή  $S_T$  δίνονται στον Πίνακα 2.1.



Για θέσεις μεταξύ της βάσης και της κορυφής, μπορεί να θεωρηθεί γραμμική μεταβολή του  $S_T$  μεταξύ της τιμής 1.00 στη βάση και της τιμής στην κορυφή. Επίσης, η τοπογραφική ενίσχυση μειώνεται σημαντικά όσο απομακρυνόμαστε από το άκρον του πρανούς.



Σχήμα 2.1 Γενική μορφή ελαστικού φάσματος απόκρισης ψευδοεπιταχύνσεων [2]

Πίνακας 2.1 Τιμές του συντελεστή τοπογραφικής ενίσχυσης  $S_T$  [3]

A/A	Περιγραφή	Μέση κλίση	$S_T$
1	Μεμονωμένοι λόφοι και πρανή	$i < 15^\circ$	1.00
		$i > 15^\circ$	$\geq 1.20$
2	“Κορυφογραμμές” με πλάτος στέψης σημαντικά μικρότερο από το πλάτος βάσης	$i < 15^\circ$	1.00
		$15^\circ < i < 30^\circ$	$\geq 1.20$
		$i > 30^\circ$	$\geq 1.40$
3	Περίπτωση 1 και παρουσία χαλαρής επιφανειακής στρώσης	$i < 15^\circ$	1.00
		$i > 15^\circ$	$\geq 1.44$
4	Περίπτωση 2 και παρουσία χαλαρής επιφανειακής στρώσης	$i < 15^\circ$	$\geq 1.00$
		$15^\circ < i < 30^\circ$	$\geq 1.44$
		$i > 30^\circ$	$\geq 1.68$

### 2.1.3. Οριζόντια συνιστώσα σεισμικής διέγερσης.

Εφαρμόζοντας το ελαστικό φάσμα απόκρισης για την οριζόντια συνιστώσα της σεισμικής φόρτισης, η ελαστική επιτάχυνση σχεδιασμού σε κάθε περιοχή υπολογίζεται από τις σχέσεις:

$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \left[ 1 + \frac{T}{T_B} \cdot (\eta \cdot 2.5 - 1) \right] \quad \text{για } 0 \leq T \leq T_B$$

$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2.5 \quad \text{για } T_B \leq T \leq T_C$$

$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2.5 \cdot \frac{T_C}{T} \quad \text{για } T_C \leq T \leq T_D$$

$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2.5 \cdot \frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \quad \text{για } T_D \leq T \leq 4 \text{ sec}$$

όπου:

$$a_g = \gamma I \times a_g R$$

$S$  = συντελεστής εδάφους (βλ. παρακάτω)

$\eta$  = συντελεστής απόσβεσης. Για  $\zeta=5\%$  τίθεται  $\eta=1$ , δηλαδή οι παραπάνω σχέσεις αντιστοιχούν σε απόσβεση  $\zeta=5\%$ . Για διαφορετικές τιμές απόσβεσης, η τιμή του  $\eta$  υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\eta = \sqrt{\frac{10}{5 + \zeta}} \geq 0.55$$

Ο ΕΚ8 προβλέπει δύο τύπους ελαστικού φάσματος σχεδιασμού, τύπου 1 και τύπου 2, στους οποίους ισχύουν διαφορετικές τιμές για τις χαρακτηριστικές περιόδους  $T_B$ ,  $T_C$  και  $T_D$  και το συντελεστή εδάφους  $S$ . Σύμφωνα με το Εθνικό Προσάρτημα, στην Ελλάδα εφαρμόζεται το φάσμα τύπου 1, με τιμές χαρακτηριστικών περιόδων και συντελεστή εδάφους  $S$  σύμφωνα με τον παρακάτω Πίνακα (Πίνακας 2.2).

**Πίνακας 2.2** Τιμές επιτάχυνσης εδάφους και χαρακτηριστικών περιόδων για την οριζόντια συνιστώσα τη σεισμικής διέγερσης [4]

$a_{vg}/a_g$	$T_B$ (sec)	$T_C$ (sec)	$T_D$ (sec)
0.90	0.05	0.15	1.00

#### 2.1.4. Κατακόρυφη συνιστώσα σεισμικής διέγερσης.

Για την ελαστική φασματική επιτάχυνση στην κατακόρυφη διεύθυνση εφαρμόζονται οι εξισώσεις:

$$S_{ve}(T) = a_{vg} \cdot \left[ 1 + \frac{T}{T_B} \cdot (\eta \cdot 3.0 - 1) \right] \quad \text{για } 0 \leq T \leq T_B$$

$$S_{ve}(T) = a_{vg} \cdot \eta \cdot 3.0 \quad \text{για } T_B \leq T \leq T_C$$

$$S_{ve}(T) = a_{vg} \cdot \eta \cdot 3.0 \cdot \frac{T_C}{T} \quad \text{για } T_C \leq T \leq T_D$$

$$S_{ve}(T) = a_{vg} \cdot \eta \cdot 3.0 \cdot \frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \quad \text{για } T_D \leq T \leq 4 \text{ sec}$$

Στον παρακάτω Πίνακα (Πίνακας 2.3) δίνονται η τιμή της κατακόρυφης επιτάχυνσης του εδάφους και οι τιμές των χαρακτηριστικών περιόδων σύμφωνα με το Εθνικό Προσάρτημα.

**Πίνακας 2.3** Τιμές επιτάχυνσης εδάφους και χαρακτηριστικών περιόδων για την κατακόρυφη συνιστώσα τη σεισμικής διέγερσης [5]

$a_{vg}/a_g$	$T_B$ (sec)	$T_C$ (sec)	$T_D$ (sec)
0.90	0.05	0.15	1.00

### 2.1.5. Εδαφική μετατόπιση σχεδιασμού.

Σε περιπτώσεις που απαιτείται η εδαφική μετατόπιση, μπορεί να υπολογίζεται από τη σχέση:

$$d_g = 0.025 \cdot a_g \cdot S \cdot T_C \cdot T_D$$

Σημειώνεται ότι αυτή η τιμή αντιστοιχεί στην οριακή τιμή του φάσματος μετακινήσεων για πολύ μεγάλες περιόδους.

Όταν ο αντισεισμικός σχεδιασμός γίνεται με βάση φορτία σχεδιασμού που αντιστοιχούν σε τιμή συντελεστή συμπεριφοράς  $q > 1$ , οι μετακινήσεις σχεδιασμού προκύπτουν από την εξίσωση:

$$d_s = q_d \times d_e$$

όπου

$q_d$  = συντελεστής συμπεριφοράς μετακινήσεων

$d_e$  = ελαστική μετακίνηση από την ανάλυση για τα σεισμικά φορτία σχεδιασμού.

Γενικώς λαμβάνεται  $q_d = q$  εκτός εάν ορίζεται διαφορετικά (το  $q_d$  είναι μεγαλύτερο από  $q$  για θεμελιώδη ιδιοπερίοδο μικρότερη από  $T_C$ ).

Η μετακίνηση  $d_s$  δεν χρειάζεται να είναι μεγαλύτερη από αυτή που αντιστοιχεί στο ελαστικό φάσμα.

### 2.1.6. Φάσμα σχεδιασμού για ανελαστική συμπεριφορά.

Σε περίπτωση που η κατασκευή σχεδιάζεται να συμπεριφέρεται ανελαστικά στο σεισμό σχεδιασμού (απορρόφηση ενέργειας μέσω πλαστικής συμπεριφοράς των φερόντων στοιχείων), δεν απαιτείται ανελαστική ανάλυση, αλλά γίνεται ελαστική ανάλυση με βάση μειωμένο φάσμα σχεδιασμού σε σύγκριση με το ελαστικό φάσμα. Η μείωση του ελαστικού φάσματος γίνεται μέσω του συντελεστή συμπεριφοράς  $q$ .

Για την οριζόντια συνιστώσα της σεισμικής φόρτισης, οι σχέσεις που δίνουν την επιτάχυνση σχεδιασμού  $S_d(T)$  σε κάθε περιοχή του φάσματος είναι:

$$\begin{aligned} S_d(T) &= a_g \cdot S \cdot \left[ \frac{2}{3} + \frac{T}{T_B} \cdot \left( \frac{2.5}{q} - \frac{2}{3} \right) \right] && \text{για } 0 \leq T \leq T_B \\ S_d(T) &= a_g \cdot S \cdot \frac{2.5}{q} && \text{για } T_B \leq T \leq T_C \\ S_d(T) &= a_g \cdot S \cdot \frac{2.5}{q} \cdot \frac{T_C}{T} \geq \beta \cdot a_g && \text{για } T_C \leq T \leq T_D \\ S_d(T) &= a_g \cdot S \cdot \frac{2.5}{q} \cdot \frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \geq \beta \cdot a_g && \text{για } T_D \leq T \leq 4 \text{ sec} \end{aligned}$$

Σύμφωνα με το Εθνικό Προσάρτημα, η τιμή  $\beta$  ορίζεται ίση με  $\beta=0.2$ .

Οι τιμές του συντελεστή συμπεριφοράς  $q$  εξαρτώνται από το υλικό κατασκευής και τον τύπο στατικής διαμόρφωσης της κατασκευής και δίνονται στα κεφάλαια που αναφέρονται στα αντίστοιχα υλικά. Για κατασκευές από Ω.Σ., οι επιτρεπόμενες τιμές  $q$  ποικίλουν σημαντικά ανάλογα με το στατικό σύστημα και την κατηγορία πλαστιμότητας που θα επιλεγεί.

Στις τιμές των συντελεστών συμπεριφοράς που δίνονται στα επιμέρους κεφάλαια για τα διάφορα υλικά εμπεριέχεται και η επιρροή του συντελεστή απόσβεσης, εάν αυτή είναι διάφορη του 5%. Γι' αυτό, στις παραπάνω σχέσεις δεν εμφανίζεται ο συντελεστής απόσβεσης  $\eta$ , όπως στις αντίστοιχες σχέσεις του ελαστικού φάσματος.

Ο συντελεστής συμπεριφοράς  $q$  μπορεί να έχει διαφορετική τιμή στις δύο οριζόντιες διευθύνσεις. Η κατηγορία όμως πλαστιμότητας (μεσαία ή υψηλή) είναι ίδια σε όλες τις διευθύνσεις.

Η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή του συντελεστή συμπεριφοράς,  $q$ , που μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην ανάλυση εξαρτάται από το στατικό σύστημα και την κατηγορία πλαστιμότητας και προκύπτει από τη σχέση:

$$q = q_0 \cdot k_w \geq 1.5$$

όπου:

$q_0$  = βασική τιμή του συντελεστή συμπεριφοράς για κανονικά σε όψη συστήματα, σύμφωνα με τον παρακάτω Πίνακα 2.4. Για συστήματα μη κανονικά σε όψη, οι τιμές του  $q_0$  μειώνονται κατά 20%.

**Πίνακας 2.4** Τιμές συντελεστή  $q_0$  για συστήματα κανονικά σε όψη [6].

Στατικός τύπος	ΚΠΜ	ΚΠΥ
Πλαισιωτά – Διυλά συστήματα – Συστήματα με συζευγμένα τοιχώματα	$3.0\alpha_u/a_1$	$4.5\alpha_u/a_1$
Συστήματα με ασύζευκτα τοιχώματα	3.0	$4.0\alpha_u/a_1$
Στρεπτικά εύκαμπτα συστήματα	2.0	3.0
Ανεστραμμένα εκκερεμή	1.5	2.0

Στον Πίνακα 2.4, οι τιμές  $\alpha_u$  και  $a_1$  ορίζονται ως εξής:

$a_1$  = ο απαιτούμενος συντελεστής επαύξησης των σεισμικών φορτίων για τη δημιουργία της 1ης πλαστικής άρθρωσης σε οποιοδήποτε στοιχείο της κατασκευής, διατηρώντας τα υπόλοιπα φορτία σταθερά.

$\alpha_u$  = ο απαιτούμενος συντελεστής επαύξησης των σεισμικών φορτίων για τη δημιουργία αρκετών πλαστικών αρθρώσεων ώστε να προκληθεί μηχανισμός κατάρρευσης, διατηρώντας τα υπόλοιπα φορτία σταθερά.

Ο συντελεστής  $k_w$  προκύπτει σύμφωνα με την ακόλουθη σχέση:

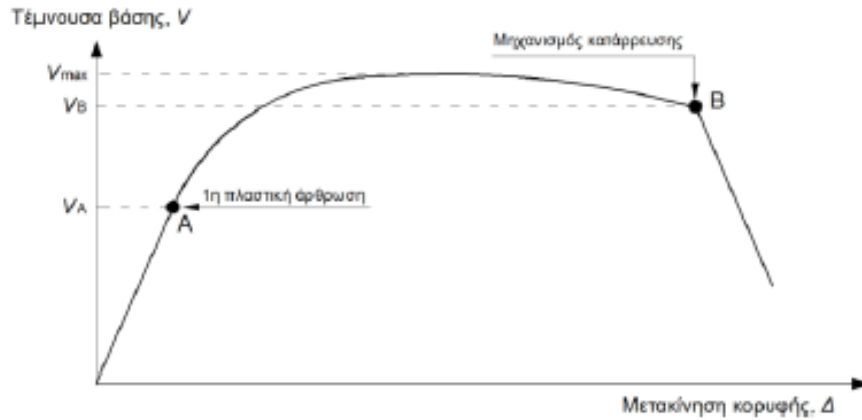
$$k_w = \begin{cases} 1 & \text{για πλαισιωτά συστήματα ή διυλά συστήματα που} \\ & \text{συμπεριφέρονται ως πλαισιωτά} \\ (1+\alpha_0)/3 \leq 1 & \text{για τοιχωματικά συστήματα ή συστήματα που συμ-} \\ & \text{αλλάόχι } < 0.5 \text{ περιφέρονται ως τοιχωματικά και για στρεπτικά} \\ & \text{εύκαμπτα συστήματα} \end{cases}$$

$\alpha_0$  = ο επικρατών λόγος διαστάσεων ύψους προς μήκος διατομής,  $\alpha_0 = h_w / \ell_w$ , στα τοιχώματα του στατικού συστήματος. Εάν ο λόγος αυτός δεν διαφέρει σημαντικά μεταξύ των τοιχωμάτων του συστήματος, τότε ο λόγος  $\alpha_0$  υπολογίζεται από τα αντίστοιχα αθροίσματα για όλα τα τοιχώματα:

$$\alpha_0 = \frac{\sum_i h_{wi}}{\sum_i \ell_{wi}}$$

Για να υπολογιστεί ο λόγος  $\alpha_u/a_1$  απαιτείται η καμπύλη ικανότητας της κατασκευής, η οποία μπορεί να προκύψει από μία στατική μη-γραμμική ανάλυση (pushover, Σχήμα 2.2). Σε περίπτωση που δεν διατίθεται τέτοια καμπύλη και δεν γίνεται ακριβέστερος υπολογισμός, ο λόγος  $\alpha_u/a_1$  μπορεί να λαμβάνεται σύμφωνα με τον παραπάνω Πίνακα 2.5.

Επιτρέπονται μεγαλύτερες τιμές από αυτές που δίνονται στον Πίνακα 2.5 εάν αποδεικνύονται με χωρική ανάλυση pushover. Δεν επιτρέπεται, όμως, τιμή μεγαλύτερη από:  $(\alpha_u/a_1)_{\max} = 1.5$  ακόμη και εάν η ανάλυση pushover δίνει μεγαλύτερη τιμή.



Σχήμα 2.2 Υπολογισμός λόγου  $\alpha_u/\alpha_1$  εάν είναι διαθέσιμη η καμπύλη ικανότητας [7].

Πίνακας 2.5 Προσεγγιστικές τιμές του λόγου  $\alpha_u/\alpha_1$  [8].

Περιγραφή	$\alpha_u/\alpha_1$	
	Κτίρια κανονικά σε κάτοψη	Κτίρια μη κανονικά σε κάτοψη <sup>1</sup>
Πλαισιωτά ή διπλά συστήματα που συμπεριφέρονται ως πλαισιωτά		
– Μονώροφα	1.10	1.05
– Πολυώροφα πλαίσια με ένα άνοιγμα	1.20	1.10
– Πολυώροφα πλαίσια με πολλά ανοίγματα ή διπλά συστήματα που συμπεριφέρονται ως πλαισιωτά	1.30	1.15
Τοιχωματικά συστήματα ή διπλά συστήματα που συμπεριφέρονται ως τοιχωματικά		
– Τοιχωματικά συστήματα με μόνο δύο ασύζευκτα τοιχώματα ανά κατεύθυνση	1.00	1.00
– Λοιπά συστήματα με ασύζευκτα τοιχώματα	1.10	1.05
– Διπλά συστήματα που συμπεριφέρονται ως τοιχωματικά ή συστήματα με συζευγμένα τοιχώματα	1.20	1.10

<sup>1</sup> Για κτίρια μη κανονικά σε κάτοψη, ο λόγος  $\alpha_u/\alpha_1$  προκύπτει ως ο μέσος όρος της τιμής 1.0 και της τιμής που αντιστοιχεί σε αντίστοιχα κτίρια, κανονικά σε κάτοψη.

Με βάση τα παραπάνω προκύπτουν οι τελικοί συντελεστές συμπεριφοράς,  $q$ , ενδεικτικά για πλαισιωτές και τοιχωματικές κατασκευές που παρουσιάζονται στους Πίνακες 2.6 και 2.7 αντιστοίχως.

**Πίνακας 2.6** Τελικοί συντελεστές συμπεριφοράς  $q$  για πλαισιωτές κατασκευές [9].

Τύπος <sup>1</sup>	ΚΠΜ				ΚΠΥ			
	Κανονικότητα				Κανονικότητα			
	οριζόντια & κατακ.	μόνο οριζόντια	μόνο κατακ.	χωρίς κανονικότητα	οριζόντια & κατακ.	μόνο οριζόντια	μόνο κατακ.	χωρίς κανονικότητα
<b>A</b>	3.30	2.64	3.15	2.52	4.95	3.96	4.20	3.36
<b>B</b>	3.60	2.88	3.30	2.64	5.40	4.32	4.95	3.96
<b>Γ</b>	3.90	3.12	3.45	2.76	5.85	4.68	5.17	4.14

<sup>1</sup> **A** = Μονώροφα κτίρια

**B** = Πολυώροφα κτίρια με πλαίσια ενός ανοίγματος

**Γ** = Πολυώροφα κτίρια με πλαίσια ή διπλά συστήματα που συμπεριφέρονται ως πλαισιωτά πολλών ανοιγμάτων

**Πίνακας 2.7** Τελικοί συντελεστές συμπεριφοράς  $q$  για τοιχωματικές κατασκευές [10].

Τύπος <sup>1</sup>	ΚΠΜ				ΚΠΥ			
	Κανονικότητα				Κανονικότητα			
	οριζόντια & κατακ.	μόνο οριζόντια	μόνο κατακ.	χωρίς κανονικότητα	οριζόντια & κατακ.	μόνο οριζόντια	μόνο κατακ.	χωρίς κανονικότητα
<b>A</b>	3.00	2.40	3.00	2.40	4.00	3.20	4.00	3.20
<b>B</b>	3.00	2.40	3.00	2.40	4.40	3.52	4.20	3.36
<b>Γ</b>	3.60	2.88	3.30	2.64	5.40	4.32	4.95	3.96

<sup>1</sup> **A** = τοιχωματικά συστήματα με μόνο δύο ασύζευκτα τοιχώματα ανά διεύθυνση

**B** = λοιπά τοιχωματικά συστήματα με ασύζευκτα τοιχώματα

**Γ** = διπλά συστήματα ισοδύναμα με τοιχωματικά και συστήματα συζευγμένων τοιχωμάτων

Για την κατακόρυφη διεύθυνση της σεισμικής διέγερσης εφαρμόζονται οι παραπάνω σχέσεις με τις εξής τροποποιήσεις:

- Χρησιμοποιείται η κατακόρυφη εδαφική επιτάχυνση  $a_{vg} = 0.90 \cdot a_g$ .
- Τίθεται  $S=1.0$
- Οι χαρακτηριστικές περίοδοι λαμβάνονται σύμφωνα με τον παραπάνω Πίνακα.
- Λαμβάνεται  $q \leq 1.5$  για όλα τα υλικά και στατικά συστήματα. Μπορεί να ληφθεί  $q > 1.5$  μόνο μετά από αιτιολόγηση με κατάλληλη ανάλυση.

### 2.1.7. Σεισμικές ζώνες.

Η σεισμική δράση σε κάθε ζώνη χαρακτηρίζεται από την επιτάχυνση του εδάφους  $agR$ , η οποία αντιστοιχεί σε έδαφος κατηγορίας Α.

Σύμφωνα με το Εθνικό Προσάρτημα, για τις ζώνες Z1, Z2 και Z3 υιοθετούνται οι ζώνες I, II και III του ΕΑΚ 2003 και οι τιμές  $a_{gR}/g$  παίρνουν τις αντίστοιχες τιμές  $\alpha = A/g$  του ΕΑΚ 2003, όπως φαίνεται στον παρακάτω Πίνακα 2.8.

**Πίνακας 2.7** Τιμές  $a_{gR}/g$  [11].

Ζώνη	$a_{gR}/g$
Z1	0.16
Z2	0.24
Z3	0.36

Η τιμή αναφοράς  $a_{gR}$  της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης για έδαφος κατηγορίας A, αντιστοιχεί σε περίοδο επαναφοράς  $T_{NCR} = 475$  έτη, όπου  $T_{NCR}$  είναι η περίοδος επανάληψης της σεισμικής δράσης που ικανοποιεί το κριτήριο της μη-κατάρρευσης (η περίοδος επανάληψης  $T_{NCR}$  καθορίζεται από την πιθανότητα μη υπέρβασης  $P_{NCR}$  σε 50 χρόνια). Για διαφορετικές περιόδους επανάληψης ορίζεται συντελεστής σπουδαιότητας  $\gamma_I$  και η επιτάχυνση σχεδιασμού για έδαφος A προκύπτει από τη σχέση:

$$a_g = \gamma_I \times a_{gR}$$

Για το συντελεστή σπουδαιότητας ορίζονται τέσσερις κατηγορίες: I, II, III και IV, ανάλογα με τον ΕΑΚ 2000. Ενδεικτικά, η κατηγοριοποίηση των κτιρίων στις τέσσερις κατηγορίες δίνεται στον παρακάτω Πίνακα 2.8 μαζί με την τιμή του συντελεστή  $\gamma_I$  σε κάθε κατηγορία, όπως ορίζεται στο Εθνικό Προσάρτημα.

### 2.1.8. Κατηγορίες εδαφους.

Στον ΕΚ8 προδιαγράφονται πέντε κατηγορίες εδάφους A, B, C, D και E ανάλογα με τη στρωματογραφία και τις παραμέτρους που περιγράφονται παρακάτω. Υπάρχουν και δύο ειδικές κατηγορίες εδαφών, οι  $S_1$  και  $S_2$ , για τις οποίες απαιτούνται ειδικές μελέτες για τον καθορισμό των σεισμικών δράσεων (Πίνακας 2.8). Ιδιαίτερα στην κατηγορία  $S_2$  πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και η πιθανότητα αστοχίας του εδάφους υπό τα σεισμικά φορτία σχεδιασμού. Για την κατηγορία  $S_1$  απαιτείται ειδική μελέτη για τον καθορισμό της τοπικής μεγέθυνσης και της αλληλεπίδρασης εδάφους-κατασκευής.

Η κατάταξη των εδαφών γίνεται με βάση την ταχύτητα διάδοσης των διατμητικών κυμάτων,  $V_{s,30}$ , εάν είναι διαθέσιμη, αλλιώς χρησιμοποιείται η τιμή NSPT (αριθμός κρούσεων για πρότυπη διείδυση 30 cm). Η ταχύτητα  $V_{s,30}$  αντιστοιχεί στη μέση ταχύτητα των διατμητικών κυμάτων στα ανώτερα 30 m εδάφους και υπολογίζεται από τη σχέση:

$$V_{s,30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{v_i}}$$



**Πίνακας 2.7** Κατηγορίες σπουδαιότητας για κτιριακές κατασκευές [12].

Κατηγορία σπουδαιότητας	$\gamma_i$	Περιγραφή
I	0.80	Κτίρια δευτερεύουσας σημασίας για τη δημόσια ασφάλεια, π.χ. γεωργικά κτίρια, κλπ.
II	1.00	Συνήθη κτίρια, που δεν ανήκουν στις άλλες κατηγορίες.
III	1.20	Κτίρια των οποίων η σεισμική ασφάλεια είναι σημαντική, λαμβάνοντας υπόψη τις συνέπειες κατάρρευσης, π.χ. σχολεία, αίθουσες συνάθροισης, πολιτιστικά ιδρύματα κλπ.
IV	1.40	Κτίρια των οποίων η ακεραιότητα κατά τη διάρκεια σεισμών είναι ζωτικής σημασίας για την προστασία των πολιτών, π.χ. νοσοκομεία, πυροσβεστικοί σταθμοί, σταθμοί παραγωγής ενέργειας, κλπ.

όπου:

$h_i$  = πάχος στρώματος (m)

$V_i$  = ταχύτητα διάδοσης διατμητικών κυμάτων στρώματος  $i$  (για  $\gamma \leq 10^{-5}$ ), δηλαδή για πρακτικά ελαστική συμπεριφορά)

$N$  = πλήθος στρωμάτων στα ανώτερα 30 m εδάφους.

Γενικά, απαιτείται έλεγχος του εδάφους για τον καθορισμό της κατηγορίας του. Σύμφωνα με το Εθνικό Προσάρτημα, η έκταση της απαιτούμενης εδαφοτεχνικής έρευνας – μελέτης εξαρτάται από την Κατηγορία Εδάφους, τη Σεισμικότητα και τη Σπουδαιότητα του κτιρίου. Ειδικότερα, στις παρακάτω περιπτώσεις δεν απαιτείται εδαφοτεχνική έρευνα αλλά επιτρέπεται η εκτίμηση της κατηγορίας και της φέρουσας ικανότητας του εδάφους με βάση υπάρχουσα εμπειρία από παρακείμενες κατασκευές, θεμελιωμένες σε όμοιους εδαφικούς σχηματισμούς (οι κατασκευές αυτές πρέπει να μην έχουν εμφανίσει αξιόλογες υποχωρήσεις και να έχουν επιδείξει καλή συμπεριφορά σε προγενέστερες σημαντικές σεισμικές δράσεις):

- σε κτίρια κατηγορίας σπουδαιότητας I επί εδάφους κατηγορίας A, B ή C
- σε κτίρια σπουδαιότητας II επί εδάφους κατηγορίας A ή B
- σε μονώροφα κτίρια σπουδαιότητας III επί εδάφους κατηγορίας A ή B.

**Πίνακας 2.8 Κατάταξη εδαφών [13].**

Κατηγορία εδάφους	Περιγραφή στρωματογραφίας	Παράμετροι		
		$v_{s,30}$	$N_{SPT}$	$c_u$ (kPa)
A	Βράχος ή άλλος βραχώδης γεωλογικός σχηματισμός που περιλαμβάνει το πολύ 5 m ασθενέστερου επιφανειακού υλικού	> 800	–	–
B	Αποθέσεις πολύ πυκνής άμμου, χαλίκων, ή πολύ σκληρής αργίλου, πάχους τουλάχιστον αρκετών δεκάδων μέτρων, που χαρακτηρίζονται από βαθμιαία βελτίωση των μηχανικών ιδιοτήτων με το βάθος	360 - 800	> 50	> 250
C	Βαθιές αποθέσεις πυκνής ή μετρίως πυκνής άμμου, χαλίκων ή σκληρής αργίλου πάχους από δεκάδες έως πολλές εκατοντάδες μέτρων	180 - 360	15 - 50	70 - 250
D	Αποθέσεις χαλαρών έως μετρίως χαλαρών μη συνεκτικών υλικών (με ή χωρίς κάποια μαλακά στρώματα συνεκτικών υλικών), ή κυρίως μαλακά έως μετρίως σκληρά συνεκτικά υλικά	< 180	< 15	< 70
E	Εδαφική τομή που αποτελείται από ένα επιφανειακό στρώμα ύψους με τιμές $v_s$ κατηγορίας C ή D και πάχος που ποικίλλει μεταξύ περίπου 5 m και 20 m, με υπόστρωμα από πιο σκληρό υλικό με $v_s > 800$ m/s			
$S_1$	Αποθέσεις που αποτελούνται ή που περιέχουν ένα στρώμα πάχους τουλάχιστον 10 m μαλακών αργίλων/ιών με υψηλό δείκτη πλαστικότητας ( $PI > 40$ ) και υψηλή περιεκτικότητα σε νερό	< 100 (ενδεικτικό)	–	10 - 20
$S_2$	Στρώματα ρευστοποιήσιμων εδαφών, ευαίσθητων αργίλων, ή οποιαδήποτε άλλη εδαφική τομή που δεν περιλαμβάνεται στους τύπους A – E ή $S_1$			

### 2.1.9. Μάζες.

Για τον υπολογισμό της σεισμικής δράσης σχεδιασμού (αδρανειακά φορτία) λαμβάνονται υπόψη οι μάζες που συνδέονται με όλα τα φορτία βαρύτητας που περιλαμβάνονται στον ακόλουθο συνδυασμό δράσεων:

$$\sum G_{k,j} + \sum \psi_{E,i} \cdot Q_{k,i}$$

όπου:

$$\psi_{E,i} = \varphi \cdot \psi_{2i}$$

$\varphi$  = μειωτικός συντελεστής με τιμές όπως στον Πίνακα 2.9

$\psi_{2i}$  = συντελεστής συνδυασμού για μεταβλητή δράση σύμφωνα με τον ΕΚ0.

**Πίνακας 2.9** Τιμές μειωτικού συντελεστή  $\varphi$  [14].

Κατηγορία κτιρίου	Όροφος	$\varphi$
A-C	Δώμα	1.0
	Όροφοι με συσχετισμένες χρήσεις	0.8
	Όροφοι με μη-συσχετισμένες χρήσεις	0.5
D-F		1.0

Ο συντελεστής συνδυασμού  $\psi_{E,i}$  για κάθε μεταβλητή δράση  $i$  είναι γενικά μικρότερος από το συντελεστή  $\psi_{2i}$  ( $\varphi \leq 1$ ) για δύο λόγους: (α) για να λάβουν υπόψη την πιθανότητα τα φορτία  $Q_{k,i}$  να μην είναι παρόντα σε ολόκληρο το φορέα κατά τη διάρκεια του σεισμού και (β) για να λάβουν υπόψη τη μειωμένη συμμετοχή των μαζών στην κίνηση του φορέα λόγω μη-στερεάς σύνδεσής τους.

Σημειώνεται ότι ο μειωτικός συντελεστής  $\varphi$  λαμβάνεται υπόψη μόνο στον υπολογισμό των μαζών των μεταβλητών φορτίων που συμμετέχουν στη σεισμική δύναμη. Στο σεισμικό συνδυασμό, τα εντατικά μεγέθη από τα μη-σεισμικά φορτία των μεταβλητών δράσεων υπολογίζονται σύμφωνα με τον ΕΚ0 για ολόκληρο το συντελεστή  $\psi_{2i}$  χωρίς το μειωτικό συντελεστή  $\varphi$ .

## 2.2. ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΙ ΔΡΑΣΕΩΝ

Κάθε συνδυασμός δράσεων (εκτός των ελέγχων κόπωσης) πρέπει να περιλαμβάνει μία κυρίαρχη μεταβλητή δράση ή μία τυχηματική δράση. Στις παρακάτω εξισώσεις, που περιγράφουν τους συνδυασμούς δράσεων για τις διάφορες καταστάσεις αστοχίας, χρησιμοποιούνται τα εξής σύμβολα:

“+” = «προς συνδυασμό με ...»

$\Sigma$  = «το συνδυασμένο αποτέλεσμα του ....»

$G_k$  = χαρακτηριστική τιμή μόνιμης δράσης

$P$  = αντιπροσωπευτική δράση δύναμης προέκτασης

$Q_k$  = χαρακτηριστική τιμή μεμονωμένης μεταβλητής δράσης

$A_{E_d}$  = τιμή σχεδιασμού σεισμικής δράσης

$\gamma_G$  = επιμέρους συντελεστής για μόνιμη δράση

$\gamma_P$  = επιμέρους συντελεστής για δράση προέκτασης

$\gamma_G$  = επιμέρους συντελεστής για μεταβλητή δράση  
 $\psi_0$  = συντελεστής για τιμή συνδυασμού μεταβλητής δράσης  
 $\psi_1$  = συντελεστής για συχνή τιμή μεταβλητής δράσης  
 $\psi_2$  = συντελεστής για για οιονεί μόνιμη τιμή μεταβλητής δράσης  
 $\xi$  = μειωτικός συντελεστής για δυσμενείς μόνιμες δράσεις

### 2.2.1. Σεισμικός συνδυασμός

Ο σεισμικός συνδυασμός, ο οποίος εφαρμόζεται στον Ευρωκώδικα 8, προκύπτει σύμφωνα με την εξίσωση:

$$E_d = \sum G_{kj} \text{ "+" } P \text{ "+" } A_{ED} \text{ "+" } \sum \psi_{2,i} * Q_{k,i}, j \geq 1, i \geq 1$$

Οι τιμές των συντελεστών  $\psi$  δίνονται στον Πίνακα 2.10.

Η τιμή σχεδιασμού της σεισμικής δράσης AED υπολογίζεται από το συνδυασμό των αποτελεσμάτων των δράσεων στις δύο κύριες διευθύνσεις,  $E_{Edx}$  και  $E_{Edy}$ , με έναν από τους παρακάτω τρόπους:

Α' τρόπος:

$$A_{ED} = \sqrt{E_{Edx}^2 + E_{Edy}^2}$$

Β' τρόπος:

Ο δυσμενέστερος από τους συνδυασμούς:

$$A_{ED} = E_{Edx} \text{ "+" } 0,30 * E_{Edy} \text{ ή } A_{ED} = 0,30 * E_{Edx} \text{ "+" } E_{Edy}$$

## 2.3. ΕΙΔΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΓΙΑ ΚΤΙΡΙΑ

Τα κτίρια αποτελούν μια ιδιαίτερη κατηγορία δομημάτων, για την οποία ο Ευρωκώδικας 8 περιλαμβάνει ιδιαίτερες διατάξεις και προβλέψεις περί του αντισεισμικού σχεδιασμού τους. Αν και η παρούσα εργασία δεν εστιάζει στον αντισεισμικό σχεδιασμό κτιρίων, για λόγους πληρότητας στην παρούσα ενότητα παρουσιάζονται συνοπτικά οι βασικότερες διατάξεις του Κανονισμού για τον αντισεισμικό σχεδιασμό κτιρίων.[15].

### 2.3.1. Κανονικότητα.

Η κανονικότητα ενός κτιρίου παίζει σημαντικό ρόλο στον ΕΚ8, αφού επηρεάζει άμεσα την τιμή του συντελεστή συμπεριφοράς που θα ληφθεί υπόψη στον υπολογισμό των σεισμικών φορτίων σχεδιασμού. Διακρίνονται δύο τύποι κανονικότητας: η κανονικότητα σε κάτοψη και η κανονικότητα σε όψη (καθ' ύψος).

**Πίνακας 2.10** Προτεινόμενες τιμές συντελεστών  $\psi$  για κτίρια [16].

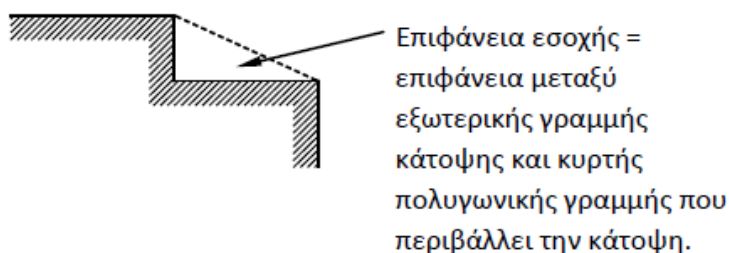
Δράση	$\Psi_0$	$\Psi_1$	$\Psi_2$
Συνήθη κτίρια κατοικιών (κατηγορία A)	0.7	0.5	0.3
Χώροι γραφείων (κατηγορία B)	0.7	0.5	0.3
Χώροι συνάθροισης (κατηγορία C)	0.7	0.7	0.6
Χώροι καταστημάτων (κατηγορία D)	0.7	0.7	0.6
Χώροι αποθήκευσης (κατηγορία E)	1.0	0.9	0.8
Χώροι κυκλοφ. οχημάτων, $W \leq 30\text{kN}$ (κατηγορία F)	0.7	0.7	0.6
Χώροι κυκλοφ. οχημάτων, $30\text{kN} \leq W \leq 160\text{kN}$ (κατηγ. G)	0.7	0.5	0.3
Στέγες (κατηγορία H)	0	0	0
Φορτία χιονιού για υψόμετρο $H > 1000\text{m}$	0.7	0.5	0.2
Φορτία χιονιού για υψόμετρο $H \leq 1000\text{m}$	0.5	0.2	0
Φορτία ανέμου	0.6	0.2	0
Θερμοκρασία (μη-πυρκαϊάς)	0.6	0.5	0

Η κανονικότητα σε κάτοψη επηρεάζει έμμεσα το συντελεστή σύμπεριφοράς (μέσω του συντελεστή  $a_0/a_1$ ). Για να χαρακτηριστεί ένα κτίριο ως κανονικό σε κάτοψη θα πρέπει να ικανοποιεί όλους τους παρακάτω όρους:

- Το κτίριο πρέπει να είναι κατά προσέγγιση συμμετρικό σε κάτοψη, σε σχέση με δύο ορθογώνιους άξονες. Η συμμετρία αφορά:
  - ✓ στην αντοχή σε οριζόντια φορτία και
  - ✓ στην κατανομή της μάζας.
- Κάθε πλάκα ορόφου θα οριοθετείται από κυρτή πολυγωνική γραμμή. Εάν υπάρχουν ανωμαλίες στην περίμετρο (εισέχουσες γωνίες ή εσοχές στην περίμετρο):
  - ✓ οι ανωμαλίες αυτές δεν πρέπει να έχουν επιπτώσεις στη δυσκαμψία της πλάκας στο επίπεδό της
  - ✓ σε κάθε ανωμαλία, η περιοχή μεταξύ του περιγράμματος της πλάκας και της κυρτής πολυγωνικής γραμμής που περιβάλλει την πλάκα δεν πρέπει να υπερβαίνει το 5% της επιφάνειας του ορόφου (Σχήμα 2.1).
- Η δυσκαμψία των πλακών των ορόφων μέσα στο επίπεδό τους πρέπει να είναι αρκετά μεγάλη, έτσι ώστε η παραμόρφωση της πλάκας να έχει μικρή επίδραση στη κατανομή των δυνάμεων μεταξύ των κατακόρυφων φερόντων στοιχείων

(διαφραγματική λειτουργία). Από την άποψη αυτή, κατόψεις με μορφή L, Π, Η, Ι, και Χ πρέπει να εξετάζονται προσεκτικά.

•



**Σχήμα 2.1** Καθορισμός επιφάνειας εσοχής ορόφου [17].

- Η δυσκαμψία των πλακών των ορόφων μέσα στο επίπεδό τους πρέπει να είναι αρκετά μεγάλη, έτσι ώστε η παραμόρφωση της πλάκας να έχει μικρή επίδραση στη κατανομή των δυνάμεων μεταξύ των κατακόρυφων φερόντων στοιχείων (διαφραγματική λειτουργία). Από την άποψη αυτή, κατόψεις με μορφή L, Π, Η, Ι, και Χ πρέπει να εξετάζονται προσεκτικά.
- Η λυγρότητα του κτιρίου σε κάτοψη δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη του 4, δηλαδή:  $\lambda \leq 4$ , όπου:

$$\lambda = L_{\max}/L_{\min}$$

$L_{\max}$  και  $L_{\min}$  είναι η μεγαλύτερη και η μικρότερη διάσταση του κτιρίου σε κάτοψη, μετρούμενη σε ορθογώνιες διευθύνσεις.

- Σε κάθε επίπεδο και για κάθε διεύθυνση της ανάλυσης  $x$  και  $y$ , η στατική εκκεντρότητα  $e_0$  και η ακτίνα δυστρεψιάς  $r$  πρέπει να ικανοποιούν τις δύο παρακάτω συνθήκες:

Διεύθυνση ανάλυσης  $y$ :

$$e_{0x} \leq 0,30 \cdot r_x$$

Διεύθυνση ανάλυσης  $x$ :

$$e_{0y} \leq 0,30 \cdot r_y$$

$$r_y \geq l_s$$

όπου:

$e_{0x}$  = η απόσταση μεταξύ του κέντρου δυσκαμψίας και του κέντρου μάζας (στατική εκκεντρότητα) που μετράται κατά την διεύθυνση  $x$ , κάθετα στην εξεταζόμενη διεύθυνση της ανάλυσης (ανάλογα ορίζεται η  $e_{0y}$ ).

$r_x$  = ακτίνα δυστρεψιάς που ορίζεται ως (ανάλογα ορίζεται η  $r_y$ ):

$$r_x = \sqrt{\frac{\text{στροφική δυσκαμψία}}{\text{μεταφορική δυσκαμψία στη διεύθυνση } y}}$$

Η στροφική δυσκαμψία ορίζεται ως προς το κέντρο της μεταφορικής δυσκαμψίας. Επειδή για πολυόροφα κτίρια δεν υπάρχει σαφής ορισμός του κέντρου δυσκαμψίας, το Εθνικό Προσάρτημα παραπέμπει στην παρ. 3.3.3 του ΕΑΚ 2000, όπου υπάρχει

αντίστοιχος ορισμός της ακτίνας δυστρεψιάς ως προς το σημείο P<sub>0</sub> κάθε ορόφου, που αντιστοιχεί στον πλασματικό ελαστικό άξονα.

$l_s$ =ακτίνα αδρανείας της μάζας της πλάκας ορόφου σε κάτοψη που ορίζεται ως:

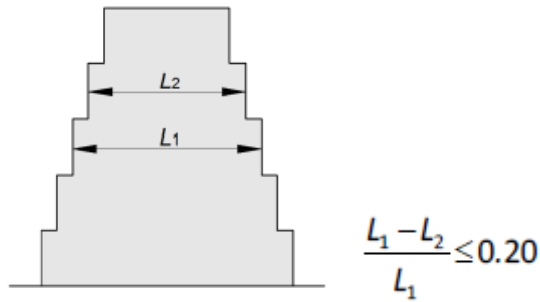
$$l_s = \sqrt{\frac{\text{πολικήροπήαδράνειας πλάκαςως προς τοκέντρο μάζας}}{\text{μάζαορόφου}}}$$

Η κανονικότητα σε όψη επηρεάζει άμεσα την αντισεισμική ανάλυση, αφού κτίρια χωρίς κατακόρυφη κανονικότητα επιβαρύνονται με 25% αύξηση των σεισμικών φορτίων (σχεδιάζονται αντισεισμικά για 20% μικρότερο συντελεστή συμπεριφοράς). Για να χαρακτηριστεί ένα κτίριο ως κανονικό σε όψη πρέπει να ικανοποιεί όλους τους παρακάτω όρους:

- Όλα τα συστήματα ανάληψης οριζοντίων φορτίων, όπως πυρήνες, φέροντα τοιχώματα ή πλαίσια, πρέπει να είναι συνεχή χωρίς διακοπή από τα θεμέλια έως την άνω επιφάνεια του κτιρίου, ή, εάν υπάρχουν ζώνες εσοχών με διαφορετικά ύψη, έως την άνω επιφάνεια της σχετικής ζώνης του κτιρίου.
- Η μεταφορική δυσκαμψία και η μάζα των επιμέρους ορόφων θα παραμένουν σταθερές ή θα μειώνονται βαθμιαία, χωρίς απότομες αλλαγές. Δυστυχώς δεν δίνεται σαφής ποσοτικός καθορισμός του όρου “βαθμιαία μείωση”, αλλά επαφίεται στην κρίση του μηχανικού. Υπενθυμίζεται ότι αντίστοιχη διάταξη υπήρχε και στον ΕΑΚ για τον καθορισμό ενός κτιρίου ως κανονικού, στην οποία η βαθμιαία μείωση της μάζας και της δυσκαμψίας δεν έπρεπε να είναι μεγαλύτερη του 50% από όροφο σε όροφο.
- Σε κτίρια με πλαισιωτό σύστημα, ο λόγος της πραγματικής αντοχής ορόφων προς την αντοχή που απαιτείται από την ανάλυση δεν πρέπει να διαφέρει δυσανάλογα μεταξύ συνεχόμενων ορόφων. Επειδή οι τοίχοι πλήρωσης συμμετέχουν στην πραγματική αντοχή των ορόφων ενώ δεν λαμβάνονται υπόψη στον υπολογισμό της αντοχής που απαιτείται από την ανάλυση, κτίρια με pilotis δεν ικανοποιούν αυτή τη συνθήκη και επομένως είναι μη-κανονικά σε όψη.
- Όταν υπάρχουν εσοχές καθ’ ύψος, πρέπει να ικανοποιούνται και οι ακόλουθες πρόσθετες συνθήκες:

✓ **Περίπτωση (α)**

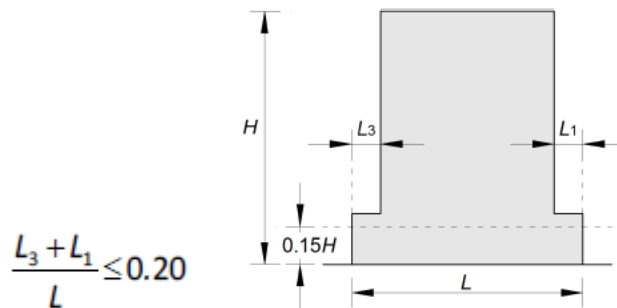
Για βαθμιδωτές εσοχές που διατηρούν την αξονική συμμετρία του φορέα, η εσοχή σε οποιονδήποτε όροφο δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη από το 20% της προηγούμενης διάστασης σε κάτοψη, στη διεύθυνση της εσοχής (Σχήμα 2.2).



**Σχήμα 2.2** Βαθμιδωτές εσοχές που δεν παραβιάζουν την αξονική συμμετρία [18].

✓ **Περίπτωση (β)**

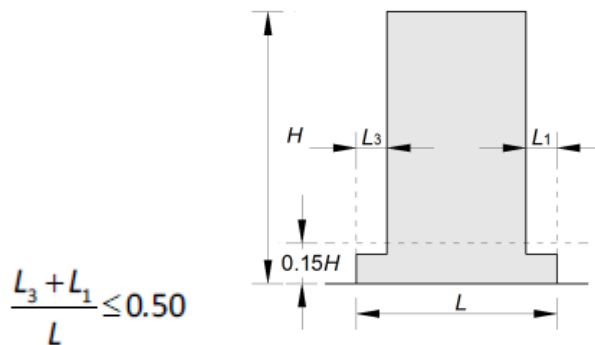
Για μεμονωμένη εσοχή σε ύψος μεγαλύτερο του 15% του συνολικού ύψους του κύριου στατικού συστήματος:



**Σχήμα 2.3** Μεμονωμένη εσοχή σε υψος μεγαλύτερο του 15% του συνολικού [19].

✓ **Περίπτωση (γ)**

Για μια μεμονωμένη εσοχή σε ύψος μικρότερο του 15% του συνολικού ύψους του κύριου στατικού συστήματος η εσοχή δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη από το 50% της προηγούμενης διάστασης σε κάτοψη (Σχήμα 2.4).



**Σχήμα 2.4** Μεμονωμένη εσοχή σε υψος μικρότερο του 15% του συνολικού [20].

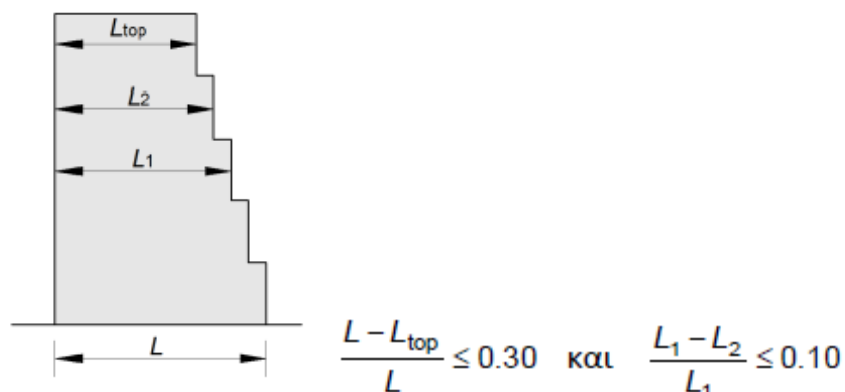
Στην ανωτέρω περίπτωση, το κάτω μέρος της κατασκευής, που περιλαμβάνεται μέσα στην κατακόρυφη προβολή της περιμέτρου των



ανώτερων ορόφων, πρέπει να μελετηθεί ώστε να αναλαμβάνει τουλάχιστον το 75% των οριζόντιων τεμνουσών δυνάμεων που θα αναπτύσσονταν στην ίδια ζώνη σε παρόμοιο κτίριο χωρίς τη διεύρυνση του κάτω μέρους. Η διάταξη αυτή επιβάλλει διπλή επίλυση του κτιρίου, με και χωρίς την επέκταση του ισογείου.

✓ **Περίπτωση (δ)**

Εάν οι εσοχές δεν διατηρούν τη συμμετρία του φορέα, το άθροισμα των εσοχών όλων των ορόφων σε κάθε όψη δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερο από το 30% της διάστασης της κάτοψης στο ισόγειο επάνω από την θεμελίωση ή επάνω από την άνω επιφάνεια άκαμπτου υπογείου, και κάθε επιμέρους εσοχή δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη από το 10% της προηγούμενης διάστασης κάτοψης



**Σχήμα 2.5** Εσοχές που παραβιάζουν την κατακόρυφη συμμετρία [21].

**2.3.2. Στρέψη.**

Ο Ευρωκώδικας 8 κατατάσσει τα στρεπτικά εύκαμπτα κτίρια από Ω.Σ. σε ξεχωριστή κατηγορία στατικού συστήματος. Στρεπτικά εύκαμπτα κτίρια πρέπει να υπολογίζονται για σημαντικά μεγαλύτερα σεισμικά φορτία από αντίστοιχα πλαισιωτά ή τοιχωματικά συστήματα, αφού οι επιτρεπόμενοι συντελεστές συμπεριφοράς είναι σημαντικά μικρότεροι.

Πλαισιωτά συστήματα, συστήματα τοιχωμάτων και διπλά συστήματα χαρακτηρίζονται ως στρεπτικά εύκαμπτα εάν δεν διαθέτουν την ελάχιστη στρεπτική δυσκαμψία. Επομένως, για να είναι ένα σύστημα στρεπτικά εύκαμπτο αρκεί να ικανοποιείται μία από τις παρακάτω ανισώσεις σε κάποιο όροφο.

$$r_x \leq \ell_s$$

ή

$$r_y \leq \ell_s$$

όπου:

$x, y$  = διευθύνσεις ελέγχου

$r_x, r_y$  = ακτίνες δυστρεψίας του υπόψη ορόφου στις διευθύνσεις  $x$  και  $y$  αντίστοιχα, που ορίζονται ως εξής:

$$r_x = \sqrt{\frac{K_\theta}{K_y}} \quad r_y = \sqrt{\frac{K_\theta}{K_x}}$$

όπου:

$K_\theta$  = στρεπτική δυσκαμψία ως προς το κέντρο δυσκαμψίας

$K_x, K_y$  = μεταφορικές δυσκαμψίες στις διευθύνσεις  $x$  και  $y$  αντιστοίχως.

$l_s$  = η ακτίνα αδράνειας που ορίζεται ως

$$l_s = \sqrt{\frac{I_{KM}}{m}}$$

όπου:

$I_{KM}$  = πολική ροπή αδράνειας μάζας του ορόφου ως προς το Κ.Μ.

$m$  = η μάζα του ορόφου.

Για τον υπολογισμό των ακτίνων δυστρεψίας ενός ορόφου απαιτείται ο υπολογισμός του κέντρου δυσκαμψίας του ορόφου. Σε μονώροφες κατασκευές, το κέντρο δυσκαμψίας ορίζεται ως το κέντρο της μεταφορικής δυσκαμψίας όλων των βασικών σεισμικών μελών. Για πολυώροφα κτίρια όμως, ο τρόπος υπολογισμού αυτού του σημείου δεν είναι απλός και μπορεί να γίνει μόνο σε ορισμένες περιπτώσεις, εξαρτάται δε από την κατανομή των σεισμικών φορτίων καθ' ύψος. Για το λόγο αυτό το Εθνικό Προσάρτημα παραπέμπει στην παρ. 3.3.3 του ΕΑΚ 2000, όπου υπάρχει αντίστοιχος ορισμός των ακτίνων δυστρεψίας ως προς το σημείο  $P_0$  κάθε ορόφου, που αντιστοιχεί στον ελαστικό άξονα. Χρησιμοποιώντας τις σχέσεις που δίνονται στην παρ. 3.3.3 του ΕΑΚ 2000, οι ακτίνες δυστρεψίας μπορούν να υπολογιστούν ως εξής:

$$r_x = \sqrt{\frac{c \cdot u_y}{\vartheta_z}}$$

και

$$r_y = \sqrt{\frac{c \cdot u_x}{\vartheta_z}}$$

όπου:

$u_x, u_y$  = μετακινήσεις κατά  $x$  και  $y$  του σημείου  $P_0$  του ορόφου που γίνεται ο έλεγχος για φόρτιση του κτιρίου με φορτία  $F_i$ , όπως ορίζονται στην απλοποιημένη φασματική μέθοδο, που ενεργούν στη διεύθυνση  $x$  ή  $y$  αντίστοιχα.

$\vartheta_z$  = γωνία στροφής του ορόφου που γίνεται ο έλεγχος για φόρτιση του κτιρίου με στρεπτικές ροπές  $c \cdot F_i$ .

$c$  = αυθαίρετος μοχλοβραχίονας των σεισμικών δυνάμεων (π.χ.  $c=1$ ).

Σύμφωνα με τις παραπάνω σχέσεις, για να μην είναι ένα κτίριο στρεπτικά εύκαμπτο πρέπει να ισχύει:

$$\frac{r_x}{\ell_s} \geq 1 \quad \text{και} \quad \frac{r_y}{\ell_s} \geq 1$$

Εάν, αντί για τις ακτίνες δυστρεψίας ως προς το κέντρο δυσκαμψίας του ορόφου είχαμε χρησιμοποιήσει τις αντίστοιχες ακτίνες ως προς το κέντρο μάζας,  $r_{mx}$  και  $r_{my}$ , όπως συμβαίνει στον ΕΑΚ 2000, θα προέκυπτε ότι πρέπει να ισχύει:

$$\frac{\sqrt{K_{\theta KM}/I_{KM}}}{\sqrt{K_y/m}} \geq 1 \quad \text{και} \quad \frac{\sqrt{K_{\theta KM}/I_{KM}}}{\sqrt{K_x/m}} \geq 1$$

Για μονώροφες κατασκευές, η στρεπτική και οι μεταφορικές ιδιοσυχνότητες στις διευθύνσεις x και y μπορούν να γραφτούν ως:

$$\omega_{\theta} = \sqrt{\frac{K_{\theta KM}}{I_{KM}}}, \quad \omega_x = \sqrt{\frac{K_x}{m}}, \quad \omega_y = \sqrt{\frac{K_y}{m}}$$

Επομένως, για να μην είναι ένα μονώροφο κτίριο στρεπτικά εύκαμπτο, πρέπει:

$$\begin{aligned} \omega_{\theta} &\geq \omega_x \quad \text{και} \quad \omega_{\theta} \geq \omega_y \\ &\text{ή αντίστοιχα,} \\ T_x &\geq T_{\theta} \quad \text{και} \quad T_y \geq T_{\theta} \end{aligned}$$

Επεκτείνοντας αυτές τις σχέσεις σε πολυώροφα κτίρια, ο έλεγχος της στρεπτικής ευκαμψίας θα μπορούσε προσεγγιστικά (πρώτη εκτίμηση) να γίνει με βάση τον παρακάτω έλεγχο:

Ένα κτίριο δεν είναι στρεπτικά εύκαμπτο, εάν οι θεμελιώδεις ιδιοπερίοδοι,  $T_x$  και  $T_y$ , στις δύο κύριες διευθύνσεις είναι μεγαλύτερες από τη στροφική ιδιοπερίοδο,  $T_{\theta}$ . Ο ορισμός αυτός εμπεριέχει το σφάλμα της χρήσης των  $r_{mx}$  και  $r_{my}$  αντί των  $r_x$  και  $r_y$  που ορίζει ο ΕΚ8 και το σφάλμα της επέκτασης εφαρμογής των εξισώσεων που δίνουν τις ιδιοπερίόδους του μονωρόφου σε πολυώροφα κτίρια. Σημειώνεται επίσης ότι η διάκριση των ιδιομορφών σε στροφικές και μεταφορικές δεν είναι πάντοτε προφανής. Γι' αυτό, η μεθοδολογία αυτή μπορεί να οδηγήσει σε σφάλμα και δεν συνιστάται να χρησιμοποιείται για τον καθορισμό ενός κτιρίου ως στρεπτικά εύκαμπτου ή όχι. Μπορεί όμως να χρησιμοποιείται ως μία πρώτη ένδειξη της στρεπτικής ευαισθησίας ενός κτιρίου.

### 2.3.3. Κατάταξη κτιρίων Ω.Σ.

Τα κτίρια από Ω.Σ. κατατάσσονται σε μία από τις κατηγορίες του παρακάτω Πίνακα 2.11 με βάση το στατικό τους σύστημα. Στον ορισμό κάθε κατηγορίας, ο όρος «διατμητική αντοχή» μπορεί να αντικατασταθεί από τον όρο «διατμητική σεισμική δύναμη». Δηλαδή, ο προσδιορισμός της κατηγορίας ενός κτιρίου επιτρέπεται να υπολογίζεται με βάση την

κατανομή των σεισμικών δυνάμεων στα κατακόρυφα στοιχεία του κατώτερου ορόφου (βάση) αντί της αντίστοιχης διατμητικής τους αντοχής.

Η κατάταξη ενός κτιρίου μπορεί να είναι διαφορετική στις δύο οριζόντιες διευθύνσεις, εκτός από τις περιπτώσεις στρεπτικά εύκαμπτων κτιρίων και συστημάτων ανεστραμμένου εκκρεμούς όπου η κατάταξη είναι ενιαία για όλες τις διευθύνσεις.

**Πίνακας 2.11** Κατάταξη κτιρίων Ω.Σ. [22]

Χαρακτηρισμός	Επεξήγηση
Τοιχωματικό σύστημα	Στατικό σύστημα με συζευγμένα ή ασύζευκτα τοιχώματα, των οποίων η συνολική διατμητική αντοχή στη βάση είναι $\geq 65\%$ της συνολικής διατμητικής αντοχής του κτιρίου στη βάση.
Πλαισιωτό σύστημα	Στατικό σύστημα με χωρικά πλαίσια, των οποίων η συνολική διατμητική αντοχή στη βάση είναι $\geq 65\%$ της συνολικής διατμητικής αντοχής του κτιρίου στη βάση.
Διπλό σύστημα (γενικά)	Τα κατακόρυφα φορτία παραλαμβάνονται κυρίως από τα πλαίσια και τα οριζόντια εν μέρει από πλαίσια και εν μέρει από τοιχώματα.
Διπλό σύστημα που συμπεριφέρεται ως πλαισιωτό	Διπλό στατικό σύστημα, στο οποίο τα πλαίσια έχουν συνολική διατμητική αντοχή στη βάση $\geq 50\%$ της συνολικής διατμητικής αντοχής του κτιρίου στη βάση.
Διπλό σύστημα που συμπεριφέρεται ως τοιχωματικό	Διπλό στατικό σύστημα, στο οποίο τα τοιχώματα έχουν συνολική διατμητική αντοχή στη βάση $\geq 50\%$ της συνολικής διατμητικής αντοχής του κτιρίου στη βάση.
Σύστημα με μεγάλα ελαφρά οπλισμένα τοιχώματα	Τοιχωματικό σύστημα με τις παρακάτω πρόσθετες προϋποθέσεις: i. Τουλάχιστον δύο μεγάλα ελαφρά οπλισμένα τοιχώματα στην υπόψη διεύθυνση, τα οποία παραλαμβάνουν τουλάχιστον το 20% των φορτίων βαρύτητας του σεισμικού συνδυασμού. ii. Θεμελιώδης ιδιοπερίοδος στην υπόψη διεύθυνση $\leq 0.5$ sec (με θεώρηση πάκτωσης στη βάση).
Στρεπτικά εύκαμπτο σύστημα	Διπλό ή τοιχωματικό σύστημα χωρίς την ελάχιστη στρεπτική δυσκαμψία έστω και σε μία οριζόντια διεύθυνση, δηλ. δεν ικανοποιείται η σχέση: $r_x \geq \ell_s$ ή $r_y \geq \ell_s$ .
Σύστημα ανεστραμμένου εκκρεμούς	Σύστημα στο οποίο μάζα μεγαλύτερη από το 50% της συνολικής είναι συγκεντρωμένη στο ανώτερο 1/3 του ύψους. Δεν υπάγονται σε αυτή την κατηγορία μονώροφα με $v_d \leq 0.3$ σε όλα τα υποστυλώματα.

### 2.3.4. Κατηγορίες πλαστιμότητας

Τα κτίρια από Ω.Σ. κατατάσσονται σε δύο κατηγορίες πλαστιμότητας:

- ΚΠΜ (Κατηγορία Πλαστιμότητας Μεσαία) και
- ΚΠΥ (Κατηγορία Πλαστιμότητας Υψηλή)

ανάλογα με την ικανότητα απόδοσης ενέργειας μέσω υστερητικής συμπεριφοράς που διαθέτουν. Σημειώνεται ότι στην Ελλάδα δεν επιτρέπεται η κατασκευή κτιρίων κατηγορίας πλαστιμότητας Χ (χαμηλή πλαστιμότητα), τα οποία δεν διαθέτουν ικανότητα πλάστιμης συμπεριφοράς και διαστασιολογούνται μόνον σύμφωνα με τις διατάξεις του ΕΚ2.

Για την εξασφάλιση του κατάλληλου επιπέδου πλαστιμότητας στις κατηγορίες πλαστιμότητας Μ και Υ, εφαρμόζονται ειδικοί έλεγχοι και διατάξεις για κάθε κατηγορία. Η αυξημένη πλαστιμότητα που διαθέτουν τα κτίρια που σχεδιάζονται για ΚΠΥ, έναντι αυτών που σχεδιάζονται για ΚΠΜ, εξασφαλίζεται από το γεγονός ότι, σε αυτή την περίπτωση, εφαρμόζονται περισσότεροι και αυστηρότεροι έλεγχοι και διατάξεις. Γι' αυτό, κατασκευές κατηγορίας πλαστιμότητας Υ διαθέτουν μεγαλύτερα περιθώρια ασφάλειας έναντι τοπικών ή γενικών αστοχιών σε περίπτωση σεισμικών διεγέρσεων μεγαλύτερων από το σεισμό σχεδιασμού. Αντίθετα, κατασκευές κατηγορίας πλαστιμότητας Μ εξασφαλίζουν καλή σεισμική συμπεριφορά μόνο για σεισμούς ανάλογης ισχύος του σεισμού σχεδιασμού, αλλά έχουν το πλεονέκτημα ευκολότερης κατασκευής, λόγω των μειωμένων ειδικών διατάξεων που εφαρμόζονται. Σημειώνεται ότι σύμφωνα με το Εθνικό Προσάρτημα, δεν επιτρέπεται η εφαρμογή ΚΠΜ σε κτίρια σπουδαιότητας III ή IV που κατασκευάζονται σε ζώνες Ζ2 ή Ζ3.

Λόγω της διαφορετικής ικανότητας πλάστιμης συμπεριφοράς των δύο κατηγοριών, χρησιμοποιούνται διαφορετικές τιμές του συντελεστή συμπεριφοράς  $q$  για κάθε κατηγορία (στην ΚΠΜ χρησιμοποιούνται μικρότερες τιμές  $q$  απ' ό,τι στην ΚΠΥ).

Συστήματα με μεγάλα ελαφρά οπλισμένα τοιχώματα δεν επιτρέπεται να σχεδιάζονται για κατηγορία υψηλής πλαστιμότητας (ΚΠΥ), αλλά μόνο για μεσαία πλαστιμότητα (ΚΠΜ).

### Βιβλιογραφικές Αναφορές 2<sup>ου</sup> Κεφαλαίου

- [1] έως [22] Γιάννης Ν. Ψυχάρης, Αναπλ. Καθηγητής Ε.Μ.Π. «ΕΝ 1998: Ευρωκώδικας 8, Αντισεισμικός σχεδιασμός των κατασκευών».

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### Διαστασιολόγηση μελών Ω.Σ. υπο σεισμική δράση σύμφωνα με τον ΕΚ8

#### 3.1. ΠΡΩΤΕΥΟΝΤΑ ΚΑΙ ΔΕΥΤΕΡΕΥΟΝΤΑ ΣΕΙΣΜΙΚΑ ΜΕΛΗ.

Σύμφωνα με τον ΕΚ8, ένας αριθμός φερόντων στοιχείων (δοκοί και/ή υποστυλώματα) μπορούν να ορισθούν ως δευτερεύοντα σεισμικά μέλη. Τα δευτερεύοντα σεισμικά μέλη παραλαμβάνουν κατακόρυφα φορτία, αλλά δεν συμμετέχουν στην παραλαβή των σεισμικών φορτίων, γι' αυτό η δυσκαμψία τους δεν λαμβάνεται υπόψη στις σεισμικές επιλύσεις. Τα υπόλοιπα μέλη, που παραλαμβάνουν σεισμικά φορτία, ονομάζονται πρωτεύοντα.

Τα δευτερεύοντα μέλη δεν πρέπει να συγχέονται με τα μή-φέροντα στοιχεία (π.χ. τοίχοι πλήρωσης σε κτίρια), τα οποία δεν παραλαμβάνουν ούτε σεισμικά ούτε κατακόρυφα φορτία και δεν διαστασιολογούνται με τις διατάξεις των δευτερεύοντων μελών.

Η απόφαση για το ποιά μέλη του στατικού συστήματος θα είναι πρωτεύοντα και ποιά δευτερεύοντα επαφίεται στο μελετητή. Γενικώς, τα δευτερεύοντα σεισμικά μέλη πρέπει να αποφεύγονται, αφού: (α) δεν διαστασιολογούνται και δεν κατασκευάζονται έτσι ώστε να διαθέτουν πλάστιμη συμπεριφορά και επομένως είναι πιθανόν να πάθουν σημαντικές ζημιές σε ένα ισχυρό σεισμό και (β) δεν γίνεται πλήρης εκμετάλλευση όλων των στοιχείων της κατασκευής, αφού τα δευτερεύοντα μέλη δεν συμμετέχουν, υπολογιστικά, στην παραλαβή των σεισμικών φορτίων.

Για τα δευτερεύοντα σεισμικά μέλη πρέπει να ικανοποιούνται οι παρακάτω δύο απαιτήσεις:

1. Η συνολική συμμετοχή των δευτερεύοντων μελών στην οριζόντια δυσκαμψία δεν μπορεί να υπερβαίνει το 15% της αντίστοιχης συμμετοχής των πρωτευόντων μελών. Η απαίτηση αυτή πρέπει να ικανοποιείται σε κάθε διεύθυνση της σεισμικής φόρτισης.
2. Δεν επιτρέπεται η αλλαγή της κανονικότητας της κατασκευής, και ο ορισμός της από μη κανονική σε κανονική, με τον καθορισμό κάποιων μελών του φέροντα οργανισμού ως δευτερεύοντων. Για παράδειγμα, εάν ένα κτίριο είναι μη-κανονικό επειδή δεν ικανοποιεί τα κριτήρια της εκκεντρότητας, αλλά απαλείφοντας τη δυσκαμψία ορισμένων μελών, ορίζοντάς τα ως δευτερεύοντα, γίνεται κανονικό, στην αντισεισμική μελέτη πρέπει να εξακολουθήσει να θεωρείται ως μη-κανονικό.

Θεωρείται αυτονόητο, ότι εάν συμβαίνει το αντίθετο, δηλαδή εάν ο ορισμός κάποιων μελών ως δευτερεύοντων μετατρέπει ένα κανονικό κτίριο σε μη-κανονικό, τότε αυτό θα πρέπει να υπολογιστεί ως μη-κανονικό.

### 3.1.1. Διαστασιολόγηση

Στα δευτερεύοντα μέλη δεν εφαρμόζονται οι απαιτούμενοι για τα πρωτεύοντα έλεγχοι (ανάλογα με το υλικό κατασκευής).

Τα δευτερεύοντα στοιχεία πρέπει να έχουν ικανοποιητική αντοχή (τα ίδια και οι συνδέσεις τους), ώστε να μπορούν να παραλάβουν τα κατακόρυφα φορτία όταν η κατασκευή μετακινείται σύμφωνα με το δυσμενέστερο σεισμικό συνδυασμό. Σε αυτούς τους ελέγχους πρέπει να λαμβάνονται υπόψη και φαινόμενα δεύτερης τάξης (P-Δ effects).

Γίνονται δύο επίλυσεις:

#### Επίλυση Α:

- Μόρφωση του μητρώου δυσκαμψίας μόνο για τα πρωτεύοντα μέλη, θεωρώντας ρηγματωμένες διατομές, αμελώντας τη συμμετοχή των δευτερευόντων μελών.
- Επίλυση για τα φορτία σύμφωνα με το σεισμικό συνδυασμό.
- Προκύπτουν: Μετακινήσεις  $d_A$  και αντίστοιχο drift ορόφου  $d_{rA}$
- Εντατικά μεγέθη  $F_A$

#### Επίλυση Β:

- Μόρφωση του πλήρους μητρώου δυσκαμψίας (πρωτεύοντα και δευτερεύοντα μέλη) θεωρώντας ρηγματωμένες διατομές σε όλα τα μέλη.
- Επίλυση για τα φορτία σύμφωνα με το σεισμικό συνδυασμό.
- Προκύπτουν: Μετακινήσεις  $d_B$  και αντίστοιχο drift ορόφου  $d_{rB}$
- Εντατικά μεγέθη  $F_B$

Τα πρωτεύοντα μέλη διαστασιολογούνται σύμφωνα με τους ΕΚ2 και ΕΚ8 για τα εντατικά μεγέθη  $F_A$  (επίλυση Α).

Τα δευτερεύοντα μέλη διαστασιολογούνται σύμφωνα με τον ΕΚ2 για εντατικά μεγέθη:  $F_{Bx}(q \cdot d_{rA})/d_{rB}$ . Δηλαδή, τα δευτερεύοντα μέλη διαστασιολογούνται προσαυξάνοντας τα εντατικά μεγέθη της επίλυσης Β ώστε να αντιστοιχούν στη σχετική μετατόπιση του ορόφου της επίλυσης Α.

Εάν απαιτείται (ανάλογα με την τιμή  $\theta$ ) λαμβάνονται υπόψη και φαινόμενα δεύτερης τάξης, ως εξής:

εάν  $\theta \leq 0.1$ : δεν απαιτούνται

εάν  $0.1 < \theta \leq 0.2$ : πολλαπλασιασμός των εντατικών μεγεθών με το συντελεστή  $1/(1-\theta)$

εάν  $0.2 < \theta$ : ακριβής ανάλυση για φαινόμενα P-Δ.

Σημειώνεται ότι η παραπάνω διαδικασία υπολογισμού των εντατικών μεγεθών, με τα οποία γίνεται η διαστασιολόγηση των δευτερευόντων στοιχείων, οδηγεί σε πολύ μεγάλες δυνάμεις και ροπές, μεγαλύτερες από αυτές που θα προέκυπταν από την επίλυση του πλήρους συστήματος (πρωτεύοντα και δευτερεύοντα στοιχεία) για  $q=1$ . Αυτό συμβαίνει γιατί οι επιβαλλόμενες μετακινήσεις είναι μεγαλύτερες από αυτές που αντιστοιχούν σε

$q=1$ , επειδή έχουν υπολογιστεί για μηδενική δυσκαμψία των δευτερευόντων στοιχείων, δηλαδή για περισσότερο εύκαμπτη κατασκευή.

Με αυτό τον τρόπο, τα δευτερεύοντα σεισμικά μέλη «τιμωρούνται» και είναι πολύ πιθανόν να είναι αδύνατη η διαστασιολόγησή τους σε πολλές περιπτώσεις, παρότι δεν εφαρμόζονται όλοι οι απαιτούμενοι οι έλεγχοι του ΕΚ8. Γι' αυτό, δευτερεύοντα σεισμικά μέλη συνιστάται να χρησιμοποιούνται όταν:

- Η δυσκαμψία της κατασκευής είναι μεγάλη και επομένως και οι μετακινήσεις που θα κληθούν να παραλάβουν τα δευτερεύοντα σεισμικά μέλη είναι μικρές.
- Η δυσκαμψία των δευτερευόντων μελών είναι μικρή και επομένως μπορούν να παραλάβουν μεγάλες παραμορφώσεις χωρίς την ανάπτυξη μεγάλων εντατικών μεγεθών.

Οι δοκοί που έχουν χαρακτηριστεί ως δευτερεύουσες συμμετέχουν κανονικά στον ικανοτικό έλεγχο των κόμβων, στους οποίους συντρέχουν.

### 3.2. ΜΗ-ΔΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΙ ΠΡΟΣΑΡΤΗΜΑΤΑ.

Στον ΕΚ8, μη-δομικά στοιχεία (αρχιτεκτονικά, ηλεκτομηχανολογικά κλπ) θεωρούνται αυτά που δεν συμμετέχουν στην παραλαβή των σεισμικών φορτίων, λόγω μικρής αντοχής ή ελλιπούς σύνδεσής τους με τον φέροντα οργανισμό του κτιρίου. Στα μη-δομικά στοιχεία ανήκουν π.χ. τα προσαρτήματα κτιρίων (κεραίες, μηχανολογικός εξοπλισμός, παραπέτα, χωρίσματα, αετώματα κλπ) και οι τοιχοπληρώσεις.

Τα μη-δομικά στοιχεία πρέπει να υπολογίζονται ώστε να αντέχουν στο σεισμικό συνδυασμό. Σε περιπτώσεις προσαρτημάτων μεγάλης αξίας ή εξαιρετικά επικίνδυνων απαιτείται επίλυση με ρεαλιστικό μοντέλο υπολογισμού. Στις υπόλοιπες περιπτώσεις υπολογίζονται για οριζόντιο φορτίο:

$$F_a = (S_a W_a \gamma_a) / q_a$$

όπου:

$F_a$  = οριζόντια δύναμη στο Κ.Β. του στοιχείου

$W_a$  = βάρος του στοιχείου

$\gamma_a$  = συντελεστής σπουδαιότητας του στοιχείου. Γενικώς,  $\gamma_a=1.0$ , εκτός από αγκυρώσεις συστημάτων ασφαλείας και δοχεία ή δεξαμενές που περιέχουν τοξικά ή εκρηκτικά, για τα οποία απαιτείται  $\gamma_a \geq 1.5$ .

$q_a$  = συντελεστής συμπεριφοράς προσαρτήματος σύμφωνα με τον παρακάτω Πίνακα 3.1.

$S_a$  = σεισμικός συντελεστής, σύμφωνα με τη σχέση:

$$S_a = a \cdot S \cdot \{3 \cdot (1+z/H) / [1+(1-T_a/T_1)^2] - 0.5\} \geq a \cdot S$$

$a$  = ανηγμένη εδαφική επιτάχυνση ( $a_g/g$ ) για έδαφος Α

$S$  = συντελεστής εδάφους

$T_a$  = θεμελιώδης ιδιοπερίοδος προσαρτήματος

$T_1$  = θεμελιώδης ιδιοπερίοδος κτιρίου στην αντίστοιχη διεύθυνση



$z$  = ύψος έδρασης προσαρτήματος μετρούμενο από τη στάθμη εφαρμογής της σεισμικής δόνησης (θεμελίωση ή οροφή άκαμπτου υπογείου)

$H$  = ύψος κτιρίου μετρούμενο από την ίδια στάθμη.

**Πίνακας 3.1** Ενδεικτικές τιμές του συντελεστή  $q_a$  για προσαρτήματα [1].

Τύπος προσαρτήματος	$q_a$
Στηθαία σε μορφή προβόλου η διακοσμητικά στοιχεία	1.00
Σήματα και πίνακες διαφημίσεων	
Καπνοδόχοι, ιστοί και δεξαμενές σε πόδια που δρουν ως ελεύθεροι πρόβολοι σε ύψος περισσότερο από το ήμισυ του συνολικού ύψους τους	
Εξωτερικοί και εσωτερικοί τοίχοι	2.00
Διαχωριστικοί τοίχοι και τοίχοι όψευς	
Καπνοδόχοι, ιστοί και δεξαμενές σε πόδια που δρουν ως ελεύθεροι πρόβολοι σε ύψος λιγότερο από το ήμισυ του συνολικού ύψους τους, ή που διαθέτουν αντιστηρίξεις ή καλωδιωτές προσδέσεις (επιτόνους) προς τον φορέα στο κέντρο μάζας τους ή πάνω από αυτό	
Στοιχεία αγκύρωσης μονίμων ερμαρίων και βιβλιοθηκών που εδράζονται στο δάπεδο	
Στοιχεία αγκύρωσης ψευδοροφών και φωτιστικών	

### 3.3. ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΔΟΚΩΝ Ω.Σ.

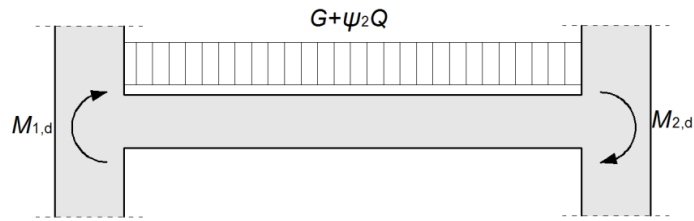
#### 3.3.1. Διαστασιολόγηση σε διάτμηση.

Η διαστασιολόγηση σε διάτμηση γίνεται σύμφωνα με τον ικανοτικό σχεδιασμό. Η τέμνουσα σχεδιασμού (ικανοτική τέμνουσα),  $V_{Ed}$ , υπολογίζεται από την ισορροπία των μέγιστων ροπών που μπορούν να αναπτυχθούν στα άκρα της δοκού,  $M_{1,d}$  και  $M_{2,d}$ , και των φορτίων που αντιστοιχούν στο σεισμικό συνδυασμό (Σχήμα 3.1). Ο υπολογισμός γίνεται και για τις δύο διευθύνσεις του σεισμού. Οι ροπές  $M_{1,d}$  και  $M_{2,d}$  υπολογίζονται ως εξής:

- Για άμεση στήριξη στο άκρον  $i$ :

$$M_{i,d} = \gamma_{Rd} \cdot M_{Rbj} \cdot \frac{\sum M_{Rc}}{\sum M_{Rb}} \quad \text{εάν } \sum M_{Rb} > \sum M_{Rc}$$

$$M_{i,d} = \gamma_{Rd} \cdot M_{Rbj} \quad \text{εάν } \sum M_{Rb} < \sum M_{Rc}$$



**Σχήμα 3.1** Ικανοτικές ροπές δοκού [2].

- Για έμμεση στήριξη στο άκρον  $i$  (στήριξη επί δοκού):

$$M_{i,d} = M_{Ed,i}$$

Στις παραπάνω σχέσεις:

$\gamma_{Rd}$  = συντελεστής υπεραντοχής με τιμή 1.0 για ΚΠΜ και 1.2 για ΚΠΥ.

$M_{Rb,i}$  = ροπή αντοχής στο άκρον  $i$  της δοκού για τη θεωρούμενη διεύθυνση σεισμικής δράσης.

$M_{Ed,i}$  = δρώσα ροπή στο άκρον  $i$  της δοκού από το σεισμικό συνδυασμό

$\Sigma M_{Rc}$  = άθροισμα ροπών αντοχής των υποστυλωμάτων που συντρέχουν στον κόμβο για την υπόψη διεύθυνση σεισμικής δράσης και για αξονικές δυνάμεις σύμφωνα με το σεισμικό συνδυασμό

$\Sigma M_{Rb}$  = άθροισμα των ροπών αντοχής των δοκών που συντρέχουν στον κόμβο για την υπόψιν διεύθυνση.

Σημειώνεται ότι ο οπλισμός της πλάκας που είναι παράλληλος με τις δοκούς που συντρέχουν στον κόμβο και βρίσκεται μέσα στο συνεργαζόμενο πλάτος  $b_{eff}$ , πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στον υπολογισμό των ροπών αντοχής των δοκών, εφόσον επεκτείνεται πέραν των παρειών του υποστυλώματος σε μήκος μεγαλύτερο του μήκους αγκύρωσης.

Ειδικά σε κτίρια με πλαισιωτό ή διπλό σύστημα ισοδύναμο προς πλαισιωτό, για την αποφυγή σχηματισμού μαλακού ορόφου, η διαστασιολόγηση των υποστυλωμάτων γίνεται με βάση τον ικανοτικό σχεδιασμό των κόμβων μεταξύ πρωτευόντων ή δευτερευουσών σεισμικών δοκών και πρωτευόντων υποστυλωμάτων. Για τον ικανοτικό σχεδιασμό κόμβων πρέπει να ικανοποιείται η συνθήκη:

$$\Sigma M_{Rc} \geq 1.3 \cdot \Sigma M_{Rb}$$

$\Sigma M_{Rc}$  = άθροισμα ροπών αντοχής των υποστυλωμάτων που συντρέχουν στον κόμβο για την υπόψη διεύθυνση σεισμικής δράσης. Χρησιμοποιείται η ελάχιστη τιμή της ροπής αντοχής που προκύπτει για κάθε υποστύλωμα, με βάση τα αξονικά φορτία του σεισμικού συνδυασμού.

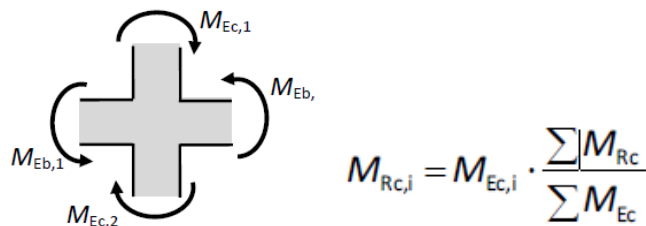
$\Sigma M_{Rb}$  = άθροισμα των ροπών αντοχής των δοκών που συντρέχουν στον κόμβο για την υπόψιν διεύθυνση.

Η παραπάνω σχέση δεν απαιτείται να ισχύει στον ανώτερο όροφο πολυορόφων κτιρίων. Σε δώροφα κτίρια, η παραπάνω σχέση, εκτός από τον ανώτερο όροφο, δεν χρειάζεται να ικανοποιείται ούτε στον κατώτερο όροφο μόνον εάν η ανηγμένη αξονική για

όλα τα υποστυλώματα είναι μικρότερα από 0.3 ( $vd < 0.3$ ). Σε επίπεδα πλαίσια με τουλάχιστον τέσσερα υποστυλώματα της ίδιας περιόδου διατομής, η προηγούμενη σχέση δε χρειάζεται να ικανοποιείται σε όλα τα υποστυλώματα, αλλά αρκεί να ικανοποιείται σε τρία για κάθε τέσσερα υποστυλώματα.

Στον ΕΚ8 δεν διευκρινίζεται πώς μοιράζονται οι ροπές στα δύο υποστυλώματα που συντρέχουν στον κόμβο, αλλά μόνον ότι πρέπει να ισχύει η σχέση που αφορά τη συνολική ροπή αντοχής. Επομένως, ο μελετητής μπορεί ελεύθερα να κατανείμει τις αντοχές των δύο υποστυλωμάτων κατά την κρίση του.

Μία προφανής κατανομή θα ήταν να μοιραστούν οι αντοχές ανάλογα με τις σεισμικές ροπές,  $M_E$ , που προέκυψαν από τη δυναμική ανάλυση, δηλαδή (Σχήμα 3.2).



**Σχήμα 3.2** Κατανομή ροπών αντοχής στον κόμβο σύμφωνα με τις δρώσες ροπές του σεισμικού συνδυασμού [3].

Από την ισορροπία του κόμβου ισχύει:

$$\sum M_{Ec} = \sum M_{Eb}$$

Οπότε εφαρμόζοντας την προηγούμενη σχέση προκύπτει:

$$M_{Rc,i} \geq M_{Ec,i} \cdot \left( 1.3 \frac{\sum M_{Rb}}{\sum M_{Eb}} \right)$$

Η σχέση αυτή είναι ίδια με τη σχέση (4.5) του ΕΑΚ, όπου ο όρος στην παρένθεση συμβολίζεται με  $acd$  (συντελεστής ικανοτικής μεγέθυνσης κόμβου).

Σε πρωτεύοντα σεισμικά υποστυλώματα, η τέμνουσα σχεδιασμού (ικανοτική τέμνουσα),  $V_{Ed}$ , υπολογίζεται από την ισορροπία των ροπών στα άκρα του υποστυλώματος,  $M_{1,d}$  και  $M_{2,d}$ , που αντιστοιχούν στο σχηματισμό πλαστικών αρθρώσεων για θετική και αρνητική σεισμική φόρτιση Σχήμα 3.3. Ο σχηματισμός των πλαστικών αρθρώσεων θεωρείται ότι συμβαίνει: (α) στις δοκούς που συντρέχουν στους κόμβους στα άκρα του υποστυλώματος (συνήθης περίπτωση, αφού γίνεται ικανοτικός σχεδιασμός κόμβων), ή (β) στα άκρα του υποστυλώματος, εάν σχηματίζονται πρώτα εκεί.

Οι ροπές  $M_{1,d}$  και  $M_{2,d}$  υπολογίζονται ως εξής:

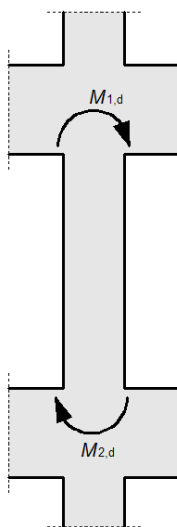
$$\text{εάν } \sum M_{Rb} < \sum M_{Rc} : M_{i,d} = \gamma_{Rd} \cdot M_{Rc,i} \cdot \frac{\sum M_{Rb}}{\sum M_{Rc}}$$

$$\text{εάν } \sum M_{Rb} > \sum M_{Rc} : M_{i,d} = \gamma_{Rd} \cdot M_{Rc,i}$$

όπου:

$\gamma_{Rd}$  = συντελεστής υπεραντοχής με τιμή 1.0 για ΚΠΜ και 1.2 για ΚΠΥ.

$M_{Rc,i}$  = ροπή αντοχής στο άκρον  $i$  του υποστυλώματος για τη θεωρούμενη διεύθυνση σεισμικής δράσης και για την αξονική δύναμη του σεισμικού συνδυασμού.



**Σχήμα 3.3** Ροπές υποστυλώματος για τον υπολογισμό της ικανοτικής τέμνουσας σχεδιασμού [4].

$\sum M_{Rc}$  = άθροισμα ροπών αντοχής των υποστυλωμάτων που συντρέχουν στον κόμβο για την υπόψη διεύθυνση σεισμικής δράσης και για αξονικές δυνάμεις σύμφωνα με το σεισμικό συνδυασμό

$\sum M_{Rb}$  = άθροισμα των ροπών αντοχής των δοκών που συντρέχουν στον κόμβο για την υπόψη διεύθυνση σεισμικής δράσης.

Επομένως η ικανοτική τέμνουσα σχεδιασμού είναι:

$$V_{Ed} = \frac{M_{1,d} + M_{2,d}}{l_{cl}}$$

όπου  $l_{cl}$  το καθαρό μήκος του υποστυλώματος.

### 3.4. ΡΟΠΗ ΚΑΙ ΚΑΜΠΥΛΟΤΗΤΑ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ Ω.Σ. ΣΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ

Για στοιχεία Ω/Σ, όπου οι καμπτικές παραμορφώσεις συνυπάρχουν με τις διατμητικές, ως ένταση F επιλέγεται η ροπή M και ως παραμόρφωση η γωνία στροφής χορδής θ, η οποία υπολογίζεται μέσω κατάλληλων σχέσεων που λαμβάνουν υπόψη την επίδραση, τόσο της διάτμησης, όσο και της εξόλκευσης των ράβδων οπλισμού, στην τιμή της παραμόρφωσης. Οι σχέσεις αυτές έχουν συμπεριληφθεί στον Ευρωκώδικα 8 και παρουσιάζονται στην παρούσα παράγραφο στην πιο απλή μορφή τους από τον Ελληνικό ΚΑΝονισμό ΕΠΕμβάσεων.

Οπότε το ζητούμενο είναι ο προσδιορισμός της ροπής  $M_y$  στη διαρροή και της αντίστοιχης γωνίας στροφής χορδής  $\theta_y$ , καθώς και της οριακής τιμής της γωνίας στροφής χορδής  $\theta_u$ . Σημειώνεται ότι συχνά λαμβάνεται υπόψιν μηδενική κράτυνση, οπότε ισχύει  $M_u = M_y$  (ροπή αντοχής).

Για τον υπολογισμό των ζητούμενων  $M_y$ ,  $\theta_y$  χρησιμοποιούνται οι ακόλουθες σχέσεις:

$$\theta_y = (1/r)_y \frac{L_s + a_v z}{3} + 0.00135 \left( 1 + 1.5 \frac{h}{L_s} \right) + \frac{\varepsilon_y}{d - d_1} \frac{d_b f_y}{6 \sqrt{f_c}}$$

$$\theta_y = (1/r)_y \frac{L_s + a_v z}{3} + 0.0013 \left( 1 + 1.5 \frac{h}{L_s} \right) + \frac{(1/r)_y d_b f_y}{8 \sqrt{f_c}} \quad (\text{εναλλακτικά})$$

όπου:

$L_s$  το μήκος διάτμησης, ισούται με  $M/Vh$ , και αρχικά λαμβάνεται συνήθως  $L/2$ .

$a_v$  ισούται με 1 εάν η τέμνουσα,  $V_{R1}$ , που προκαλεί λοξή ρηγμάτωση του στοιχείου, υπολείπεται της τιμής της τέμνουσας κατά την καμπτική διαρροή  $V_{Mu} = M_y/L_s$ , και με 0 αν είναι μεγαλύτερη.

$d_b$  η διάμετρος των ράβδων οπλισμού (κύριες)

$d, d_1$  οι αποστάσεις εφελκόμενου και θλιβόμενου οπλισμού από την ακραία θλιβόμενη ίνα αντίστοιχα

$f_y, f_c$  αντοχή χάλυβα και σκυροδέματος αντίστοιχα (μέσες τιμές σε MPa).

Η καμπυλότητα στη διαρροή  $(1/r)_y$  υπολογίζεται ως εξής:

Αν η διαρροή διατομής οφείλεται σε διαρροή του εφελκόμενου οπλισμού, τότε:

$$(1/r)_y = \frac{f_y}{E_s (1 - \xi_y) d}$$

Αν η διαρροή διατομής οφείλεται σε μή-γραμμικότητα των παραμορφώσεων του θλιβόμενου σκυροδέματος, τότε:

$$(1/r)_y = \frac{\varepsilon_c}{\xi_y d} \approx \frac{1.8f_c}{E_c \xi_y d}$$

όπου το ύψος της θλιβόμενης ζώνης στη διαρροή,  $\xi_y$ , ανηγμένο στο στατικό ύψος  $d$ , είναι:

$$\xi_y = (a^2 A^2 + 2aB)^{1/2} - aA$$

όπου για ορθογωνική διατομή με πλάτος  $b$  και στατικό ύψος  $d$ :

$$A = \rho_1 + \rho_2 + \rho_v + \frac{N}{bdf_y}, \quad B = \rho_1 + \rho_2 \delta_1 + 0.5\rho_v(1 + \delta_1) + \frac{N}{bdf_y}$$

όπου  $\alpha = E_s/E_c$  και τα  $A, B$  προκύπτουν από τις ακόλουθες σχέσεις:

Για την περίπτωση της διαρροής λόγω χάλυβα:

$$A = \rho + \rho' + \rho_v + \frac{N}{bdf_y},$$

$$B = \rho + \rho' \delta' + 0.5\rho_v(1 + \delta') + \frac{N}{bdf_y}$$

Για την περίπτωση της διαρροής λόγω των παραμορφώσεων σκυροδέματος:

$$A = \rho_1 + \rho_2 + \rho_v - \frac{N}{\varepsilon_c E_c b d} \approx \rho_1 + \rho_2 + \rho_v - \frac{N}{1.8\alpha bdf_c}, \quad B = \rho_1 + \rho_2 \delta_1 + 0.5\rho_v(1 + \delta_1)$$

Στις παραπάνω εξισώσεις  $\rho, \rho'$  και  $\rho_v$  είναι τα ποσοστά του εφελκόμενου, του θλιβόμενου και του μεταξύ τους κατανεμημένου οπλισμού (ανηγμένα στο  $bd$ ),  $\delta' = d'/d$ , όπου  $d'$  η απόσταση από το κέντρο του θλιβόμενου οπλισμού μέχρι την ακραία θλιβόμενη ίνα σκυροδέματος,  $b$  το πλάτος της θλιβόμενης ζώνης και  $N$  το αξονικό φορτίο (θετικό σε θλίψη). Τελικά ως τιμή της καμπυλότητας στη διαρροή λαμβάνεται η μικρότερη αυτών που προκύπτουν από τις δύο εξισώσεις.

Η ροπή διαρροής  $M_y$  υπολογίζεται, με δεδομένη την τιμή της καμπυλότητας, από τη σχέση που ακολουθεί:

$$\frac{M_y}{bd^3} = \phi_y \left\{ E_c \frac{\xi_y^2}{2} \left( 0.5(1 + \delta_1) - \frac{\xi_y}{3} \right) + \frac{E_s}{2} \left[ (1 - \xi_y)\rho_1 + (\xi_y - \delta_1)\rho_2 + \frac{\rho_v}{6}(1 - \delta_1) \right] (1 - \delta_1) \right\}$$

Επιπλέον για τα μέλη λαμβάνεται υπόψη η ενεργός δυσκαμψία, η οποία υπολογίζεται ως εξής:

$$K = M_y L_s / 3\theta_y$$

όπου  $M_y$  και  $\theta_y$  η τιμή της ροπής και της γωνίας στροφής χορδής, αντίστοιχα, στη διαρροή της ακραίας διατομής του στοιχείου. Η ενεργός δυσκαμψία  $K$  του συνολικού μήκους του στοιχείου μπορεί να λαμβάνεται ίση με τον μέσο όρο των τιμών που υπολογίζονται από την παραπάνω εξίσωση στις δύο ακραίες διατομές το στοιχείου.

### 3.5. ΔΙΑΘΕΣΙΜΗ ΣΤΡΟΦΗ ΧΟΡΔΗΣ ΚΑΙ ΜΕΓΙΣΤΗ ΠΛΑΣΤΙΚΗ ΣΤΡΟΦΗ

Για τη μέση τιμή της γωνίας στροφής χορδής κατά την αστοχία δοκών ή υποστρωμάτων που έχουν διαστασιολογηθεί και κατασκευασθεί με τις μετά το 1985 αντιλήψεις για αντισεισμικότητα χρησιμοποιείται η ακόλουθη σχέση:

$$\theta_{um} = 0.016 \cdot (0.3^v) \cdot \left[ \frac{\max(0.01, \omega')}{\max(0.01, \omega)} f_c \right]^{0.225} (\alpha_s)^{0.35} 25^{\left( \alpha_{ps} \frac{f_{yw}}{f_c} \right)} (1.25^{100\rho_d})$$

όπου:

- $\alpha_s = M/Vh = L_s/h$ , ο λόγος διάτμησης
- $\omega, \omega'$  μηχανικό ποσοστό εφελκόμενου και θλιβόμενου οπλισμού (ο ενδιάμεσος διαμήκης οπλισμός μεταξύ εφελκόμενου και θλιβόμενου πέλματος θεωρείται ως εφελκόμενος).
- $v = N/bhf_c$ , ( $b$ = πλάτος θλιβόμενης ζώνης).
- $\rho_s = A_{sx}/b_w s_h$  το γεωμετρικό ποσοστό του εγκάρσιου οπλισμού παράλληλα στη διεύθυνση της φόρτισης.
- $\rho_d$  γεωμετρικό ποσοστό τυχόν δισδιαγώνιου οπλισμού.
- $\alpha = \left(1 - \frac{s_h}{2b_c}\right) \left(1 - \frac{s_h}{2h_c}\right) \left(1 - \frac{\sum b_i^2}{6b_c h_c}\right)$ , ο συντελεστής αποδοτικότητας της περίσφιξης, όπου  $s_h$  η απόσταση συνδετήρων,  $b_c$  και  $h_c$  οι διαστάσεις του πυρήνα και  $b_i$  οι αποστάσεις μεταξύ διαμήκων ράβδων που συγκρατούνται από συνδετήρα ή άγκιστρο σιγμοειδούς εγκάρσιου οπλισμού, κατά την περίμετρο της διατομής.

Η μέση τιμή του πλαστικού τμήματος της μέσης γωνίας στροφής χορδής κατά την αστοχία του στοιχείου υπολογίζεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$\theta_{um}^{pl} = \theta_u - \theta_y = 0.0145 \cdot (0.25^v) \cdot \left[ \frac{\max(0.01, \omega')}{\max(0.01, \omega)} \right]^{0.3} (f_c)^{0.2} (\alpha_s)^{0.35} 25^{\left( \alpha_{ps} \frac{f_{yw}}{f_c} \right)} (1.275^{100\rho_d})$$

Με βάση τις σχέσεις αυτές είναι δυνατόν να προσομοιωθεί πλήρως η συμπεριφορά των δομικών μελών της κατασκευής κατά την ελαστική και την ανελαστική φάση της απόκρισής τους. Σημειώνεται ότι είναι σκόπιμο τα ανωτέρω μεγέθη να προσδιορισθούν και για τις δύο φορές της έντασης σε κάθε κρίσιμη περιοχή δεδομένου ότι η σεισμική δράση είναι ανακυκλιζόμενη.

### **Βιβλιογραφικές Αναφορές 3<sup>ου</sup> Κεφαλαίου**

[1] ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ (ΚΑΝ.ΕΠΕ. 2012)

[2] εως[4] Γιάννης Ν. Ψυχάρης, Αναπλ. Καθηγητής Ε.Μ.Π. «ΕΝ 1998: Ευρωκώδικας 8, Αντισεισμικός σχεδιασμός των κατασκευών».



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

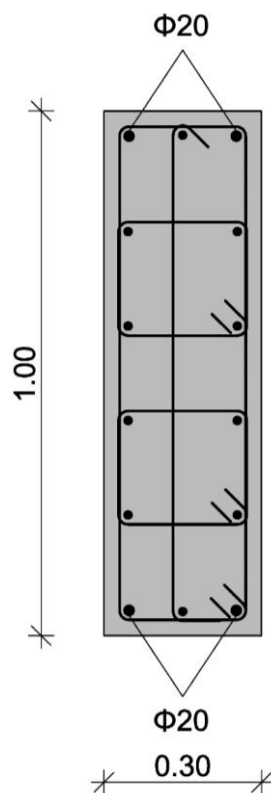
### Εφαρμογές σε τυπικά μέλη Ω.Σ.

#### 4.1. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΩΝ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ ΤΟΥ ΕΚ8 ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΗΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΕΝΟΣ ΤΥΠΙΚΟΥ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ

Οι εξισώσεις που παρουσιάστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο της εργασίας εφαρμόζονται αρχικά για τον υπολογισμό της αντοχής και ικανότητας παραμόρφωσης ενός τυπικού υποστυλώματος ορθογωνικής διατομής (Σχήμα 4.1).

Οι ράβδοι διαμήκους οπλισμού είναι  $\Phi 16$  και  $\Phi 20$ , οι συνδετήρες είναι  $\Phi 8/10$  και η επικάλυψη οπλισμού είναι  $d_1 = 3$  cm. Το μήκος του υποστυλώματος θεωρείται  $L = 3,00$  m, οπότε μήκος διάτμησης λαμβάνεται  $L_s = 1,50$  m.

Για τις Ποιότητες των υλικών ελήφθη χάλυβας B500c με  $f_y = 575$  MPa ( $500 \times 1.15$ ), σκυρόδεμα C16 με  $f_{cm} = 24$  MPa. Επίσης, μέτρο ελαστικότητας για το χάλυβα  $E_s = 200$  GPa. Εξετάζονται και οι δύο διευθύνσεις κάμψης, πρώτα κατά τον ισχυρό άξονα του στοιχείου και ζητούνται: η καμπυλότητα διαρροής  $(1/r)_y$ , η στροφή χορδής στη διαρροή  $\theta_y$ , η ροπή διαρροής  $M_y$  και οι στροφές χορδής στην αστοχία  $\theta_u$ . Η επίλυση έγινε για δύο τιμές αξονικού φορτίου (θλιπτικού) ήτοι  $N = 1450$  kN και  $N = 2900$  kN.



Σχήμα 4.1 Η διατομή του τυπικού υποστυλώματος που εξετάζεται.

#### 4.1.1. Εφαρμογή 1 : κάμψη κατά τον ισχυρό άξονα με αξονικό φορτίο N= 1450 kN.

Μέτρο ελαστικότητας σκυροδέματος  $E_c$ :

$$E_c = 11000 * f_c^{0.3} = 11000 * 24^{0.3} \Rightarrow E_c = 28540 \text{ MPa}$$

$$d = h - d_1 = 1,00 - 0,03 \Rightarrow d = 0,97 \text{ m} \quad \text{και} \quad \delta = d_1/d = 0,03/0,97 \Rightarrow \delta = 0,031$$

$$\text{Κάτω πέλμα (εφελκυσόμενος)} \quad 2\Phi 20 + 1\Phi 16 = 628 + 201 \Rightarrow A_s = 829 \text{ mm}^2$$

$$\text{Άρα } \rho = A_s / (b * d) = 829 / (300 * 970) \Rightarrow \rho = 0,002849$$

$$\text{Άνω πέλμα (θλιβόμενος)} \quad 2\Phi 20 + 1\Phi 16 = 628 + 201 \Rightarrow A_s' = 829 \text{ mm}^2$$

$$\text{Άρα } \rho' = A_s' / (b * d) = 829 / (300 * 970) \Rightarrow \rho' = 0,002849$$

$$\text{Ενδιάμεσος οπλισμός} \quad 8\Phi 16 = 1608 \Rightarrow A_{sv} = 1608 \text{ mm}^2$$

$$\text{Άρα } \rho_v = A_{sv} / (b * d) = 1608 / (300 * 970) \Rightarrow \rho_v = 0,005526$$

$$\alpha = E_s / E_c = 200000 / 28540 \Rightarrow \alpha = 7,008$$

Για την περίπτωση της διαρροής λόγω χάλυβα:

$$A = \rho + \rho' + \rho_v + (N/b * d * f_y) = 0,002849 + 0,002849 + 0,005526 + (1.450 * 103 / 0,30 * 0,97 * 575 * 106)$$

$$\Rightarrow A = 0,01989$$

$$B = \rho + \rho' * \delta + 0,5 \rho_v * (1 + \delta) + (N/b * d * f_y) = 0,002849 + 0,002849 * 0,031 + 0,5 * 0,005526 * (1 + 0,031) + (1450 * 103 / 0,30 * 0,97 * 575 * 106) \Rightarrow$$

$$B = 0,01445$$

$$\xi_y = (\alpha^2 * A^2 + 2 * \alpha * B)^{1/2} - \alpha A = (7,008^2 * 0,01989^2 + 2 * 7,008 * 0,01445)^{1/2} - 7,008 * 0,01989$$

$$\Rightarrow \xi_y = 0,33175$$

$$x = \xi_y * d = 0,33175 * 0,97 \Rightarrow x = 0,32 < 1,00$$

$$(l/r)_y = f_y / E_s * (1 - \xi_y) * d = 575 / 200000 * (1 - 0,33175) * 0,97 \Rightarrow (l/r)_y = 0,00444$$

Τα αποτελέσματα των υπολογισμών με χρήση υπολογιστικού φύλλου Excel παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.1.

**Πίνακας 4.1** Υπολογισμοί για την περίπτωση της διαρροής λόγω χάλυβα – εφαρμογή 1.

Για την περίπτωση διαρροης λογω χαλυβα			
$A=p+p'+p\nu+(N/b*d*f_y)$			0,01989
	0,011223	0,0086658	
$B=p+p'*\delta+0,5p\nu*(1+\delta)+(N/b*d*f_y)$			0,01445
	0,0029369	0,0028483	
$\xi_y=(\alpha^2*A^2+2*\alpha*B)^{0,5}-\alpha A$			0,33175
49,10751	0,00040	0,202536	
0,019425839			
$x=\xi_y*d$	0,32		
$(l/r)_y=f_y/E_s*(1-\xi_y)*d$			0,00444
	0,66825		
	129640,185		

Για την περίπτωση της διαρροής λόγω σκυροδέματος:

$$A=p+p'+p\nu-(N/1,8\alpha*b*d*f_c)=0,002849+0,002849+0,005526-(1450*103/1,8*7,008*0,30*0,97*24*106) \Rightarrow A= - 0,00524$$

$$B=p+p'*\delta+0,5p\nu*(1+\delta)=0,002849+0,002849*0,031+0,5*0,005526(1+0,031) \Rightarrow$$

$$B=0,00578$$

$$\xi_y=(\alpha^2*A^2+2*\alpha*B)^{1/2}-\alpha A=[7,008^2*(-0,00524)^2+2*7,008*0,00578]^{1/2} - 7,008*(-0,00524)$$

$$\Rightarrow \xi_y=0,32380$$

$$x=\xi_y*d=0,32380*0,97 \Rightarrow x=0,31 < 1,00$$

$$(l/r)_y=(1,8*f_c)/E_s*\xi_y*d=(1,8*24)/28540*0,32380*0,97 \Rightarrow (l/r)_y=0,004819$$

Τα αποτελέσματα των παραπάνω υπολογισμών με χρήση υπολογιστικού φύλλου Excel παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.2.

Τελικά  $(l/r)_y=0,00444$

**Πίνακας 4.2** Υπολογισμοί για την περίπτωση της διαρροής λόγω σκυροδέματος – εφαρμογή 1.

Για την περίπτωση διαρροης λογω σκυροδεματος			
$A = \rho + \rho' + \rho v - (N / 1,8 \alpha * b * d * f_c)$			-0,00524
	0,011223	0,016459526	
$B = \rho + \rho' * \delta + 0,5 \rho v * (1 + \delta)$			0,005785241
$\xi \gamma = (\alpha^2 * A^2 + 2 * \alpha * B)^{0,5} - \alpha A$			0,32380
49,10751	0,00003	0,081082176	
	0,001346398		
$x = \xi \gamma * d$	0,314083152		
$(I/r) \gamma = (1,8 * f_c) / E_c * \xi \gamma * d$			0,00481929
	8963,97628		
	8963,976278		

Με βάση αυτή την τιμή υπολογίζεται:

$$M_y / b * d^3 = (I/r)_y * \{ E_c * ((\xi \gamma^2) / 2) * (0,5 * (1 + \delta') - \xi \gamma / 3) + [(1 - \xi \gamma) * \rho + (\xi \gamma - \delta') * \rho' + (\rho v / 6) * (1 - \delta')] * (1 - \delta') * E_s / 2 \}$$

$$M_y / 0,30 * 0,97^3 = 0,00444 * \{ 25540 * ((0,33175^2) / 2) * (0,5 * (1 + 0,031) - 0,33175 / 3) + [(1 - 0,33175) * 0,002849 + (0,33175 - 0,031) * 0,002849 + (0,005526 / 6) * (1 - 0,031)] * (1 - 0,031) * 200000 / 2 \} \Rightarrow$$

$$M_y = 1202,143 \text{ KNm}$$

Τα αποτελέσματα των προηγούμενων υπολογισμών με χρήση υπολογιστικού φύλλου Excel παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.3.

**Πίνακας 4.3** Υπολογισμός ροπής αντοχής – εφαρμογή 1.

ροπη διαρροης									Nm	KNm	
$M_y / b * d^3 = (I/r) \gamma * \{ E_c * ((\xi \gamma^2) / 2) * (0,5 * (1 + \delta') - \xi \gamma / 3) + [(1 - \xi \gamma) * \rho + (\xi \gamma - \delta') * \rho' + (\rho v / 6) * (1 - \delta')] * (1 - \delta') * E_s / 2 \}$										1202142,996	1202,143
$b * d^3$	0,2738	0,00444	28540	0,0550	0,5155	0,110584	0,00190	0,000856986	0,000892479	96.907,22	
	0,9127		1.570,54		0,4049			0,00365			
			635,8819					354,0184345			
						989,9003					
						4,3906					

Με δεδομένη την τιμή καμπυλότητας στη διαρροή υπολογίζεται η αντίστοιχη γωνία στροφής χορδής:

$$L_s = 1,50 \text{ m και } M_y / L_s = 1202,143 / 1,50 \Rightarrow M_y / L_s = 801,43$$

$$V_{R1} = [\tau_{Rd} * (\max 1, 1,6-d) * \min(2, 1,2+40*\rho_l) + 0,15*\sigma_{cp}] * b * d$$

όπου

$$\tau_{Rd} = 0,25 * f_{ctk0.05}$$

$$f_{ctm} = 0,30 * f_{ck}^{2/3} = 0,30 * 16 * 103 = 190,49 \Rightarrow f_{ctk0.05} = 0,70 * F_{ctm} = 0,70 * 190,49 = 133,34 \text{ MPa}$$

$$\text{Άρα } \tau_{Rd} = 0,25 * f_{ctk0.05} = 0,25 * 133,34 \Rightarrow \tau_{Rd} = 33,34 \text{ MPa}$$

$$\text{Επίσης } \rho_l = A_{sl} / b * d = 829 \text{ mm}^2 / 300 \text{ mm} * 970 \text{ mm} \Rightarrow \rho_l = 0,00285$$

$$\text{και } \sigma_{cp} = N / A_c \text{ όπου } A_c = b * h = 0,30 * 1,00 = 0,30 \text{ άρα } \sigma_{cp} = N / A_c = 1450 / 0,30 \Rightarrow \sigma_{cp} = 4833,33 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Οπότε } V_{R1} = [\tau_{Rd} * (\max 1,1,6-d) * \min(2,1,2+40*\rho_l) + 0,15*\sigma_{cp}] * b * d =$$

$$= [33,34 * \max 1,1,6-0,97) * \min(2,1,2+40*0,00285) + 0,15 * 4.833,33] * 0,30 * 0,97$$

$$V_{R1} = 219,01 \text{ kN}$$

Οι σχετικοί υπολογισμοί με χρήση λογιστικών φύλλων παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.4.

**Πίνακας 4.4** Έλεγχος λοξής θλίψης – εφαρμογή 1.

$V_{R1} = [\tau_{Rd} * (\max 1,1,6-d) * \min(2,1,2+40*\rho_l) + 0,15*\sigma_{cp}] * b * d$					219,01	801,43	av=	1
	0,03		2,113952					
MAX	0,63	MIN	1,313952					
	27,59471874		725					
	752,5947187							
$\theta_y = (l/r)_y * (L_s + a_v z / 3) + 0,0013 [1 + 1,5 * (h/L_s)] + (l/r)_y * d b * f_y / 8 * \sqrt{f_c}$					0,01185			
	1,791		2,00	0,05101	39,19			
	0,007943717		0,0026	0,00130				
z=0,9*d	0,873							

$$\text{Επειδή } V_{R1} = 219,01 < M_y / L_s = 801,43 \text{ kN} \Rightarrow a_v = 1$$

$$\text{Άρα } \theta_y = (l/r)_y * (L_s + a_v * z / 3) + 0,0013 [1 + 1,5 * (h/L_s)] + (l/r)_y * d b * f_y / 8 * \sqrt{f_c}$$

$$\text{Όπου } z = 0,9 * d = 0,9 * 0,97 \Rightarrow z = 0,873$$

Επομένως

$$\theta_y = (1/r)_y * (L_s + a_v * z / 3) + 0,0013 [1 + 1,5 * (h/L_s)] + (1/r)_y * d_b * f_y / 8 * \sqrt{f_c}$$
$$= 0,00444 * (1,5 + 1 * 0,873 / 3) + 0,0013 [1 + 1,5 * (1/1,5)] + 0,00444 * 0,02 * 575 / 8 * \sqrt{24}$$

$$\boxed{\theta_y = 0,01185}$$

Για την οριακή τιμή της γωνίας στροφής χορδής:

$$\omega = \rho * (f_y / f_c) = 0,002849 * (575 / 24) \Rightarrow \omega = 0,0683 \text{ εφελκόμενος}$$

$$\omega' = \rho' * (f_y / f_c) = 0,002849 * (575 / 24) \Rightarrow \omega' = 0,0683 \text{ θλιβόμενος}$$

$$\theta_{pl} = 0,0145 * (0,25^v) * [\max(0,01, \omega') / \max(0,01, \omega)]^{0,3} * (f_c^{0,2} * a_s^{0,35})$$
$$= 0,0145 * (0,25^{0,2014}) * [\max(0,01, 0,0683) / \max(0,01, 0,0683)]^{0,3} * (24^{0,2} * 1,5^{0,35}) \Rightarrow$$

$$\boxed{\theta_{pl} = 0,0239}$$

$$\text{όπου } a_s = L_s / h = 1,5 / 1 \Rightarrow a_s = 1,5 \text{ και } v = N / (b * h * f_c) = 1450 / (0,30 * 1 * 24 * 103) \Rightarrow v = 0,2014$$

$$\text{Άρα } \boxed{\theta_{um} = \theta_y + \theta_u = 0,01185 + 0,0239 = 0,03571}$$

Με βάση αυτήν την τιμή, ο δείκτης πλαστιμότητας σε όρους γωνιών στροφής χορδής προκύπτει:

$$\mu_\theta = \theta_{um} / \theta_y = 0,03571 / 0,01185 \Rightarrow \boxed{\mu_\theta = 3,015}$$

Τα ίδια μεγέθη υπολογίζονται χρησιμοποιώντας την παρακάτω εξίσωση:

$$\theta_{um} = 0,016 * (0,3^v) * \{ [\max(0,01, \omega') / \max(0,01, \omega)] * (f_c) \}^{0,225} * (a_s^{0,35})$$
$$= 0,016 * (0,30,2014) * \{ [\max(0,01, 0,0683) / \max(0,01, 0,0683)] * (24) \}^{0,225} * (1,5^{0,35}) \Rightarrow$$

$$\theta_{um} = 0,0296$$

$$\mu_\theta = \theta_u / \theta_y = 0,0296 / 0,01185 \Rightarrow \mu_\theta = 2,497$$

Οι σχετικοί υπολογισμοί με χρήση λογιστικών φύλλων παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.5.

**Πίνακας 4.5** Υπολογισμός στρωφής στη διαρροή και την αστοχία – εφαρμογή 1.

	$\theta\gamma=(l/r)y*(Ls+avz/3)+0,0013[1+1,5*(h/Ls)]+(l/r)y*db*fy/8*\text{SQRT}fc$				0,01185
	1,791	2,00	0,05101	39,19	
	0,007943717	0,0026	0,00130		
$z=0,9*d$	0,873				
$\omega=\rho*(fy/fc)$	0,0683	εφελκυσμενος			
$\omega'=\rho'*(fy/fc)$	0,0683	θλιβομενος			
	$\theta^{\text{pl}}=0,0145*(0,25^{\wedge}v)[\max(0,01,\omega'/\max(0,01,\omega))^{\wedge}0,3*(fc^{\wedge}0,2*as^{\wedge}0,35)]$				0,0239
	0,01096781	1	2,176077		
$\theta_{\text{um}}=\theta\gamma+\theta u$	0,03571				
$\mu\theta=\theta_{\text{um}}/\theta\gamma$	3,015				
	$\theta_{\text{um}}=0,016*(0,3^{\wedge}v)*\{[\max(0,01,\omega'/\max(0,01,\omega))*(fc)]^{\wedge}0,225*(as^{\wedge}0,35)\}$				0,0296
	0,01255504	2,0443	1,1525		
$\mu\theta=\theta u/\theta\gamma$	2,497				

#### 4.1.2. Εφαρμογή 2 : κάμψη κατά τον ισχυρό άξονα με αξονικό φορτίο $N= 2900 \text{ kN}$ .

##### Μέτρο ελαστικότητας σκυροδέματος $E_c$ :

$$E_c=11.000*fc^{0.3}=11.000*24^{0.3} \Rightarrow E_c=28.540 \text{ MPa}$$

$$d=h-d_1=1,00-0,03 \Rightarrow d=0,97 \text{ m} \quad \text{και} \quad \delta=d_1/d=0,03/0,97 \Rightarrow \delta=0,031$$

$$\text{Κάτω πέλμα(εφελκυσμένος)} \quad 2\Phi 20+1\Phi 16=628+201 \Rightarrow A_s=829 \text{ mm}^2$$

$$\text{Άρα } \rho=A_s/(b*d)=829/(300*970) \Rightarrow \rho=0,002849$$

$$\text{Άνω πέλμα(θλιβόμενος)} \quad 2\Phi 20+1\Phi 16=628+201 \Rightarrow A_s'=829 \text{ mm}^2$$

$$\text{Άρα } \rho'=A_s'/(b*d)=829/(300*970) \Rightarrow \rho'=0,002849$$

$$\text{Ενδιάμεσος οπλισμός} \quad 8\Phi 16=1608 \Rightarrow A_{sv}=1608 \text{ mm}^2$$

$$\text{Άρα } \rho_v=A_{sv}/(b*d)=1608/(300*970) \Rightarrow \rho_v=0,005526$$

$$\alpha=E_s/E_c=200.000/28.540 \Rightarrow \alpha=7,008$$

**Για την περίπτωση της διαρροής λόγω χάλυβα:**

$$A=p+p'+pn+(N/b*d*fy)=0,002849+0,002849+0,005526+(2900*103/0,30*0,97*575*106)$$

$$\Rightarrow A=0,02855$$

$$B=p+p'*\delta+0,5pn*(1+\delta)+(N/b*d*fy)=0,002849+0,002849*0,031+0,5*0,005526*(1+0,031)$$

$$+(2900*103/0,30*0,97*575*106) \Rightarrow$$

$$B=0,02312$$

$$\xi y=(\alpha^2*A^2+2*\alpha*B)^{1/2}-\alpha A=(7,008^2*0,02855^2+2*7,008*0,02312)^{1/2}-7,008*0,02855$$

$$\Rightarrow \xi y=0,40325$$

$$x=\xi y*d=0,40325*0,27 \Rightarrow x=0,39 < 1,00$$

$$(l/r)y=fy/Es*(1-\xi y)*d=575/200.000*(1-0,40325)*0,97 \Rightarrow (l/r)y=0,00497$$

Τα αποτελέσματα των υπολογισμών με χρήση υπολογιστικού φύλλου Excel παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.6.

**Πίνακας 4.6** Υπολογισμοί για την περίπτωση της διαρροής λόγω χάλυβα – εφαρμογή 2.

Για την περίπτωση διαρροης λογω χαλυβα		
$A=p+p'+pn+(N/b*d*fy)$		0,02855
	0,011223	0,017332
$B=p+p'*\delta+0,5pn*(1+\delta)+(N/b*d*fy)$		0,02312
	0,002936904	0,002848
$\xi y=(\alpha^2*A^2+2*\alpha*B)^{0,5}-\alpha A$		0,40325
49,10751	0,00082	0,32399
	0,040041414	
$x=\xi y*d$	0,39	
$(l/r)y=fy/Es*(1-\xi y)*d$		0,00497
	0,59675	
	115770,1864	

**Για την περίπτωση της διαρροής λόγω σκυροδέματος:**

$$A=p+p'+pn-(N/1,8\alpha*b*d*fc)=0,002849+0,002849+0,005526-$$

$$(2900*103/1,8*7,008*0,30*0,97*24*106) \Rightarrow A= - 0,02170$$



$$B=p+p'\delta+0,5\rho v*(1+\delta)=0,002849+0,002849*0,031+0,5*0,005526(1+0,031) \Rightarrow$$

$$B=0,00578$$

$$\xi y=(\alpha^2*A^2+2*\alpha*B)^{1/2}-\alpha A=[7,008^2*(-0,02170)^2+2*7,008*0,00578]^{1/2}-7,008*(-0,02170)$$

$$\Rightarrow \xi y=0,47483$$

$$x=\xi y*d=0,47483*0,97 \Rightarrow x=0,46<1,00$$

$$(l/r)_y=(1,8*fc)/Ec*\xi y*d=(1,8*24)/28.540*0,47483*0,97 \Rightarrow (l/r)_y=0,003286$$

Τα αποτελέσματα των παραπάνω υπολογισμών με χρήση υπολογιστικού φύλλου Excel παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.7.

Τελικά  $(l/r)_y=0,003286$

**Πίνακας 4.7** Υπολογισμοί για την περίπτωση της διαρροής λόγω σκυροδέματος – εφαρμογή 2.

Για την περίπτωση διαρροής λόγω σκυροδέματος			
$A=p+p'+\rho v-(N/1,8\alpha*b*d*fc)$			-0,02170
	0,011223	0,032919	
$B=p+p'\delta+0,5\rho v*(1+\delta)$			0,00578524
$\xi y=(\alpha^2*A^2+2*\alpha*B)^{1/2}-\alpha A$			0,47483
	49,10751	0,00047	0,081082
	0,023115037		
$x=\xi y*d$		0,460587266	
$(l/r)_y=(1,8*fc)/Ec*\xi y*d$			0,00328636
	13145,22379		
	13145,22379		

Με βάση αυτή την τιμή υπολογίζεται:

$$M_y/b*d^3=(l/r)_y*\{Ec*((\xi y^2)/2)*(0,5*(1+\delta')-\xi y/3)+[(1-\xi y)*\rho+(\xi y-\delta')*\rho'+(\rho v/6)*(1-\delta')]*(1-\delta')*Es/2\}$$

$$M_y/0,30*0,97^3=0,003286*\{25.540*((0,47483^2)/2)*(0,5*(1+0,031)-0,47483/3)+$$

$$[(1-0,47483)*0,002849+(0,47483-0,031)*0,002849+(0,005526/6)*(1-0,031)]*(1-$$

$$0,031)*200.000/2\}$$

$$\Rightarrow \boxed{M_y=1352,624 \text{ KNm}}$$

Τα αποτελέσματα των προηγούμενων υπολογισμών με χρήση υπολογιστικού φύλλου Excel παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.8.

**Πίνακας 4.8** Υπολογισμός ροπής αντοχής – εφαρμογή 2.

ροπή διαρροής									Nm	KNm
$M_y/b*d^3=(I/r)y*\{E_c*((\xi y^2)/2)*0,5*(1+\delta')-\xi y/3\}+[(1-\xi y)*\rho+(\xi y-\delta')*p'+(\rho v/6)*(1-\delta')]*(1-\delta')*E_s/2\}$									1352624,37	1352,624
0,2738	0,00329	28540	0,1127	0,5155	0,158277	0,00150	0,001264594	0,000892	96.907,22	
0,9127		3.217,39		0,3572			0,00365			
			1149,2100				354,0184345			
					1503,2284					
					4,9402					

Με δεδομένη την τιμή καμπυλότητας στη διαρροή υπολογίζεται η αντίστοιχη γωνία στροφής χορδής:

$$L_s=1,50 \text{ m και } \acute{\alpha}\rho\alpha \ M_y/L_s=1352,624/1,50 \Rightarrow M_y/L_s=901,75$$

$$V_{R1}=[\tau R_d*(\max 1.1,6-d)*\min(2.1,2+40*\rho_l)+0.15*\sigma_{cp}]*b*d$$

$$\text{Όπου } \tau R_d=0,25*F_{ctk}^{0.05}$$

$$F_{ctm}=0,30*f_{ck}^{2/3}=0,30*16*103=190,49 \Rightarrow F_{ctk}^{0.05}=0,70*F_{ctm}=0,70*190,49=133,34$$

$$\acute{\alpha}\rho\alpha \ \tau R_d=0,25*F_{ctk}^{0.05}=0,25*133,34 \Rightarrow \tau R_d=33,34 \text{ MPa}$$

$$\text{Επίσης } \rho_l=As_l/b*d=829\text{mm}^2/300\text{mm}*970\text{mm} \Rightarrow \rho_l=0,00285$$

$$\text{Και } \sigma_{cp}=N/A_c \text{ όπου } A_c=b*h=0,30*1,00=0,30 \acute{\alpha}\rho\alpha \ \sigma_{cp}=N/A_c=2900/0,30 \Rightarrow$$

$$\sigma_{cp}=9.666,67 \text{ KN/m}^2$$

$$\text{Οπότε } V_{R1}=[\tau R_d*(\max 1.1,6-d)*\min(2.1,2+40*\rho_l)+0.15*\sigma_{cp}]*b*d=$$

$$=[33,34*\max 1.1,6-0,97)*\min(2.1,2+40*0,00285)+0,15*9.666,67]*0,30*0,97$$

$$V_{R1}=429,98 \text{ KN}$$

Οι σχετικοί υπολογισμοί με χρήση λογιστικών φύλλων παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.9.

**Πίνακας 4.9** Έλεγχος λοξής θλίψης – εφαρμογή 2.

$V_{R1}=[t_{Rd} \cdot \max(1,1.6-d)] \cdot \min(2,1.2+40 \cdot \rho_L) + 0.15 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b \cdot d$					429,98	901,75	av=	1
		0,03		2,113952				
MAX		0,63	MIN	1,313952				
		27,59471874		1450				

Επειδή  $V_{R1}=429,98 < M_y / L_s=901,75 \Rightarrow a_v=1$

Άρα  $\theta_y=(1/r)_y \cdot (L_s+a_v \cdot z/3)+0,0013[1+1,5 \cdot (h/L_s)]+(1/r)_y \cdot db \cdot f_y/8 \cdot \sqrt{f_c}$

Όπου  $z=0,9 \cdot d=0,9 \cdot 0,97 \Rightarrow z=0,873$

Επομένως

$\theta_y=(1/r)_y \cdot (L_s+ a_v \cdot z /3)+0,0013[1+1,5 \cdot (h/L_s)]+(1/r)_y \cdot db \cdot f_y/8 \cdot \sqrt{f_c}$

$=0,003286 \cdot (1,5+1 \cdot 0,873/3)+0,0013[1+1,5 \cdot (1/1,5)]+ 0,003286 \cdot 0,02 \cdot 575/8 \sqrt{24}$

$$\theta_y=0,01295$$

Για την οριακή τιμή της γωνίας στροφής χορδή:

$\omega=\rho \cdot (f_y/f_c)=0,002849 \cdot (575/24) \Rightarrow \omega=0,0683$  εφελκυόμενος

$\omega'=\rho' \cdot (f_y/f_c)= 0,002849 \cdot (575/24) \Rightarrow \omega'=0,0683$  θλιβόμενος

$\Rightarrow \theta_{pl}=0,0145 \cdot (0,25^v) \cdot [\max(0,01 \cdot \omega' / \max(0,01 \cdot \omega)]^{0,3} \cdot (f_c^{0,2} \cdot a_s^{0,35})$   
 $=0,0145 \cdot (0,25^{0,4028}) \cdot [\max(0,01 \cdot 0,0683 / \max(0,01 \cdot 0,0683)]^{0,3} \cdot (24^{0,2} \cdot 1,5^{0,35}) \Rightarrow$

$$\theta_{pl}=0,0181$$

όπου  $a_s=L_s/h=1,5/1 \Rightarrow a_s=1,5$  και  $v=N/(b \cdot h \cdot f_c)=2900/(0,30 \cdot 1 \cdot 24 \cdot 103) \Rightarrow v=0,4028$

άρα  $\theta_{um}=\theta_y+\theta_u=0,01295+0,0181=0,03101$

Με βάση αυτήν την τιμή, ο δείκτης πλαστικότητας σε όρους γωνιών στροφής χορδής προκύπτει:

$\mu_\theta=\theta_{um}/\theta_y=0,03101/0,01295 \Rightarrow \mu_\theta=2,394$

Τα ίδια μεγέθη υπολογίζονται χρησιμοποιώντας την παρακάτω εξίσωση:

$\theta_{um}=0,016 \cdot (0,3^v) \cdot \{[\max(0,01 \cdot \omega' / \max(0,01 \cdot \omega)] \cdot (f_c)\}^{0,225} \cdot (a_s^{0,35})$   
 $=0,016 \cdot (0,3^{0,4028}) \cdot \{[\max(0,01 \cdot 0,0683 / \max(0,01 \cdot 0,0683)] \cdot (24)\}^{0,225} \cdot (1,5^{0,35}) \Rightarrow$

$$\theta_{um}=0,0232$$

$\mu_\theta=\theta_u/\theta_y=0,0232/0,01295 \Rightarrow \mu_\theta=1,792$

Οι σχετικοί υπολογισμοί με χρήση λογιστικών φύλλων παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.10.

**Πίνακας 4.10** Υπολογισμός στροφής στη διαρροή και την αστοχία – εφαρμογή 2.

	$\theta_{\gamma}=(l/r)\gamma*(L_s+avz/3)+0,0013[1+1,5*(h/L_s)]+(l/r)\gamma*db*fy/8*SQRTfc$			0,01295
	1,791	2,00	0,05712	39,19
	0,008895425	0,0026	0,00146	
$z=0,9*d$	0,873			
$\omega=\rho*(fy/fc)$	0,0683	εφελκυσμενος		
$\omega'=\rho'*(fy/fc)$	0,0683	θλιβομενος		
	$\theta^{\rho l}=0,0145*(0,25^{\wedge}v)[\max(0,01,\omega'/\max(0,01,\omega))^{\wedge}0,3*(fc^{\wedge}0,2*as^{\wedge}0,35)$			0,0181
	0,008296055	1	2,176077	
$\theta_{um}=\theta_{\gamma}+\theta_u$	0,03101			
$\mu_{\theta}=\theta_{um}/\theta_{\gamma}$	2,394			
	$\theta_{um}=0,016*(0,3^{\wedge}v)*\{[\max(0,01,\omega'/\max(0,01,\omega))*(fc)]^{\wedge}0,225*(as^{\wedge}0,35)$			0,0232
	0,00985181	2,0443	1,1525	
$\mu_{\theta}=\theta_u/\theta_{\gamma}$	1,792			

#### 4.1.3. Εφαρμογή 3 : κάμψη κατά τον ασθενή άξονα με αξονικό φορτίο N= 1450 kN.

##### Μέτρο ελαστικότητας σκυροδέματος $E_c$ :

$$E_c=11.000*fc^{0.3}=11.000*240.3 \Rightarrow E_c=28.540 \text{ MPa}$$

$$d=h-d_1=0,30-0,03 \Rightarrow d=0,27 \text{ m} \quad \text{και} \quad \delta=d_1/d=0,03/0,27 \Rightarrow \delta=0,111$$

$$\text{Κάτω πέλμα(εφελκυσόμενος)} \quad 2\Phi 20+4\Phi 16=628+804 \Rightarrow A_s=1432 \text{ mm}^2$$

$$\text{Άρα } \rho=A_s/(b*d)=1432/(1000*270) \Rightarrow \rho=0,005304$$

$$\text{Άνω πέλμα(θλιβόμενος)} \quad 2\Phi 20+4\Phi 16=628+804 \Rightarrow A_s'=1432 \text{ mm}^2$$

$$\text{Άρα } \rho'=A_s'/(b*d)=1432/(1000*270) \Rightarrow \rho'=0,005304$$

$$\text{Μεσσαίος οπλισμός} \quad 2\Phi 16=402 \Rightarrow A_{sv}=402 \text{ mm}^2$$

$$\text{Άρα } \rho_v=A_{sv}/(b*d)=402/(1000*270) \Rightarrow \rho_v=0,001489$$

$$\alpha = E_s / E_c = 200.000 / 28.540 \Rightarrow \alpha = 7,008$$

**Για την περίπτωση της διαρροής λόγω χάλυβα:**

$$A = p + p' + p_n + (N/b * d * f_y) = 0,005304 + 0,005304 + 0,001489 + (1.450 * 103 / 1,00 * 0,27 * 575 * 106) \\ \Rightarrow A = 0,02144$$

$$B = p + p' * \delta + 0,5 p_n * (1 + \delta) + (N/b * d * f_y) = 0,005304 + 0,005304 * 0,111 + 0,5 * 0,001489 * (1 + 0,111) \\ + (1.450 * 103 / 1,00 * 0,27 * 575 * 106) \Rightarrow$$

$$B = 0,01606$$

$$\xi y = (\alpha^2 * A^2 + 2 * \alpha * B)^{1/2} - \alpha A = (7,008^2 * 0,02144^2 + 2 * 7,008 * 0,01606)^{1/2} - 7,008 * 0,02144 \\ \Rightarrow \xi y = 0,34743$$

$$x = \xi y * d = 0,34743 * 0,27 \Rightarrow x = 0,09 < 1,00$$

$$(l/r) y = f_y / E_s * (1 - \xi y) * d = 575 / 200.000 * (1 - 0,34743) * 0,27 \Rightarrow (l/r) y = 0,01632$$

Τα αποτελέσματα των υπολογισμών με χρήση υπολογιστικού φύλλου Excel παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.11.

**Πίνακας 4.11** Υπολογισμοί για την περίπτωση της διαρροής λόγω χάλυβα – εφαρμογή 3.

Για την περίπτωση διαρροής λόγω χάλυβα		
$A = p + p' + p_n + (N/b * d * f_y)$		0,02144
	0,012096	0,00934
$B = p + p' * \delta + 0,5 p_n * (1 + \delta) + (N/b * d * f_y)$		0,01606
	0,005893004	0,000827
$\xi y = (\alpha^2 * A^2 + 2 * \alpha * B)^{0,5} - \alpha A$		0,34743
	49,10751	0,00046
		0,225086
	0,022565151	
$x = \xi y * d$	0,09	
$(l/r) y = f_y / E_s * (1 - \xi y) * d$		0,01632
	0,65257	
	35238,87426	

**Για την περίπτωση της διαρροής λόγω σκυροδέματος:**

$$A=p+p'+p\nu-(N/1,8\alpha*b*d*fc)= 0,005304+0,005304+0,001489-(1450*103/1,8*7,008*1,00*0,27*24*106) \Rightarrow A= - 0,00564$$

$$B=p+p'*\delta+0,5p\nu*(1+\delta)= 0,005304+0,005304*0,111+0,5*0,001489(1+0,111) \Rightarrow B=0,006720$$

$$\xi_y=(\alpha^2*A^2+2*\alpha*B)^{1/2}-\alpha A=[7,008^2*(-0,00564)^2+2*7,008*0,00564]^{1/2} - 7,008*(-0,00564) \Rightarrow \xi_y=0,34898$$

$$x=\xi_y*d=0,34898*0,27 \Rightarrow x=0,094<1,00$$

$$(l/r)_y=(1,8*fc)/E_c*\xi_y*d=(1,8*24)/28.540*0,34898*0,27 \Rightarrow (l/r)_y=0,016064$$

Τα αποτελέσματα των παραπάνω υπολογισμών με χρήση υπολογιστικού φύλλου Excel παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.12.

Τελικά  $(l/r)_y=0,01604$

**Πίνακας 4.12** Υπολογισμοί για την περίπτωση της διαρροής λόγω σκυροδέματος – εφαρμογή 3.

Για την περίπτωση διαρροης λογω σκυροδεματος			
$A=p+p'+p\nu-(N/1,8\alpha*b*d*fc)$			-0,00564
0,012096	0,017739712		
$B=p+p'*\delta+0,5p\nu*(1+\delta)$			0,006720165
$\xi_y=(\alpha^2*A^2+2*\alpha*B)^{1/2}-\alpha A$			0,34898
49,10751	0,00003	0,094185456	
0,001563982			
$x=\xi_y*d$	0,09422495		
$(l/r)_y=(1,8*fc)/E_c*\xi_y*d$			0,0160643
2689,19288			
2689,19288			

Με βάση αυτή την τιμή υπολογίζεται:

$$M_y/b*d^3=(l/r)_y*\{E_c*((\xi_y^2)/2)*(0,5*(1+\delta')-\xi_y/3)+[(1-\xi_y)*\rho+(\xi_y-\delta')*\rho'+(p\nu/6)*(1-\delta')]*(1-\delta')*E_s/2\}$$

$$M_y/1,00*0,27^3=0,01604*\{25.540*((0,34898^2)/2)*(0,5*(1+0,111)-0,34898/3)+[(1-0,34898)*0,005304+(0,34898-0,111)*0,005304+(0,001489/6)*(1-0,111)]*(1-0,111)*200.000/2\} \Rightarrow$$

$$M_y=384,1594 \text{ KNm}$$

Τα αποτελέσματα των προηγούμενων υπολογισμών με χρήση υπολογιστικού φύλλου Excel παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.13.

**Πίνακας 4.13** Υπολογισμός ροπής αντοχής – εφαρμογή 3.

ροπή διαρροής									Nm	KNm
$M_y/b*d^3=(l/r)\gamma*\{E_c*((\xi\gamma^2)/2)*(0,5*(1+\delta')-\xi\gamma/3)+[(1-\xi\gamma)*\rho+(\xi\gamma-\delta')*\rho'+(\rho\nu/6)*(1-\delta')]\*(1-\delta')*E_s/2\}$									384159,3861	384,1594
0,0197	0,01632	28540	0,0604	0,5556	0,115809	0,00346	0,00125336	0,000220576	88.888,89	
0,0197		1.722,48		0,4397			0,00493			
			757,4540					438,6648377		
									1196,1189	

**Με δεδομένη την τιμή καμπυλότητας στη διαρροή υπολογίζεται η αντίστοιχη γωνία στροφής χορδής:**

$$L_s=1,50 \text{ m και } \acute{\alpha}\rho\alpha \ M_y/L_s=384,1594/1,50 \Rightarrow M_y/L_s=256,11$$

$$V_{R1}=[\tau_{Rd}*(\max 1.1,6-d)*\min(2.1,2+40*\rho_l)+0.15*\sigma_{cp}]*b*d$$

$$\acute{\omicron}\pi\omicron\upsilon \ \tau_{Rd}=0,25*f_{ctk}^{0.05}$$

$$f_{ctm}=0,30*f_{ck}^{2/3}=0,30*16*103=190,49 \Rightarrow f_{ctk}^{0.05}=0,70*f_{ctm}=0,70*190,49=133,34\text{MPa}$$

$$\acute{\alpha}\rho\alpha \ \tau_{Rd}=0,25*f_{ctk}^{0.05}=0,25*133,34 \Rightarrow \tau_{Rd}=33,34$$

$$\text{Επίσης } \rho_l=A_{sl}/b*d=1432\text{mm}^2/1000\text{mm}*270\text{mm} \Rightarrow \rho_l=0,00530$$

$$\text{Και } \sigma_{cp}=N/A_c \acute{\omicron}\pi\omicron\upsilon \ A_c=b*h=1,00*0,30=0,30 \acute{\alpha}\rho\alpha \ \sigma_{cp}=N/A_c=1450/0,30 \Rightarrow \sigma_{cp}=4.833,33 \text{ KN/m}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Οπότε } V_{R1} &= [\tau_{Rd}*(\max 1.1,6-d)*\min(2.1,2+40*\rho_l)+0.15*\sigma_{cp}]*b*d= \\ &= [33,34*(\max 1.1,6-0,27) * \min(2.1,2+40*0,00530)+0,15*4,833,33]*1,00*0,27 \\ V_{R1} &= 212,65\text{KN} \end{aligned}$$

Οι σχετικοί υπολογισμοί με χρήση λογιστικών φύλλων παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.14.

**Πίνακας 4.14** Έλεγχος λοξής θλίψης – εφαρμογή 3.

$V_{R1}=[t_{Rd}*\max(1,1.6-d)*\min(2,1,2+40*\rho_l)+0.15*\sigma_{cp}]*b*d$						212,65
		0,73		2,212148		
MAX		1,33	MIN	1,412148		
		62,60915758		725		
		787,6091576				

Επειδή  $V_{R1}=212,65 < M_y / L_s = 256,11 \Rightarrow a_v = 1$

Άρα  $\theta_y = (1/r)_y * (L_s + a_v * z / 3) + 0,0013 [1 + 1,5 * (h/L_s)] + (1/r)_y * db * f_y / 8 * \sqrt{f_c}$

Όπου  $z = 0,9 * d = 0,9 * 0,27 \Rightarrow z = 0,243$

Επομένως

$$\theta_y = (1/r)_y * (L_s + a_v * z / 3) + 0,0013 [1 + 1,5 * (h/L_s)] + (1/r)_y * db * f_y / 8 * \sqrt{f_c}$$

$$= 0,01604 * (1,5 + 1 * 0,243 / 3) + 0,0013 [1 + 1,5 * (0,30 / 1,5)] + 0,01604 * 0,02 * 575 / 8 * \sqrt{24}$$

$$\boxed{\theta_y = 0,03228}$$

Για την οριακή τιμή της γωνίας στροφής χορδή:

$$\omega = \rho * (f_y / f_c) = 0,005304 * (575 / 24) \Rightarrow \omega = 0,1271 \text{ εφελκόμενος}$$

$$\omega' = \rho' * (f_y / f_c) = 0,005304 * (575 / 24) \Rightarrow \omega' = 0,1271 \text{ θλιβόμενος}$$

$$\theta_{pl} = 0,0145 * (0,25^v) * [\max(0,01, \omega' / \max(0,01, \omega))]^{0,3} * (f_c^{0,2} * a_s^{0,35})$$

$$= 0,0145 * (0,25^{0,2014}) * [\max(0,01, 0,1271 / \max(0,01, 0,1271))]^{0,3} * (24^{0,2} * 5^{0,35}) \Rightarrow$$

$$\boxed{\theta_{pl} = 0,0364}$$

όπου  $a_s = L_s / h = 1,5 / 0,30 \Rightarrow a_s = 5$  και  $v = N / (b * h * f_c) = 1450 / (1,00 * 0,30 * 24 * 103) \Rightarrow v = 0,2014$

$$\text{Άρα } \boxed{\theta_{um} = \theta_y + \theta_u = 0,03228 + 0,0364 = 0,06865}$$

Με βάση αυτήν την τιμή, ο δείκτης πλαστικότητας σε όρους γωνιών στροφής χορδής προκύπτει:

$$\mu_\theta = \theta_{um} / \theta_y = 0,06865 / 0,03228 \Rightarrow \boxed{\mu_\theta = 2,127}$$

Τα ίδια μεγέθη υπολογίζονται χρησιμοποιώντας την παρακάτω εξίσωση:



$$\theta_{um}=0,016*(0,3^v)*\{[\max(0,01.\omega'/\max(0,01.\omega)]*(f_c)\}^{0,225*}(a_s^{0,35})$$

$$=0,016*(0,3^{0,2014})*\{[\max(0,01.0,1271/\max(0,01.0,1271)]*(24)\}^{0,225*}(5^{0,35}) \Rightarrow$$

$$\theta_{um}=0,0451$$

$$\mu_{\theta}=\theta_u/\theta_y=0,0451/0,03228 \Rightarrow \mu_{\theta}=1,397$$

Οι σχετικοί υπολογισμοί με χρήση λογιστικών φύλλων παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.15.

**Πίνακας 4.15** Υπολογισμός στροφής στη διαρροή και την αστοχία – εφαρμογή 3.

	$\theta_y=(l/r)y*(Ls+avz/3)+0,0013[1+1,5*(h/Ls)]+(l/r)y*db*fy/8*\text{SQRT}f_c$				0,03228
	1,581		1,30	0,18765	39,19
	0,025797504		0,00169	0,00479	
$z=0,9*d$	0,243				
$\omega=\rho*(fy/f_c)$	0,1271	εφελκυσμενος			
$\omega'=\rho'*(fy/f_c)$	0,1271	θλιβομενος			
$\theta^{\wedge}pl=0,0145*(0,25^{\wedge}v)[\max(0,01,\omega'/\max(0,01,\omega)]^{\wedge}0,3*(f_c^{\wedge}0,2*as^{\wedge}0,35)$					0,0364
0,010967807		1	3,316513		
$\theta_{um}=\theta_y+\theta_u$	0,06865				
$\mu_{\theta}=\theta_{um}/\theta_y$	2,127				
$\theta_{um}=0,016*(0,3^{\wedge}v)*\{[\max(0,01,\omega'/\max(0,01,\omega)]*(f_c)\}^{\wedge}0,225*(as^{\wedge}0,35)$					0,0451
0,012555037		2,0443		1,7565	
$\mu_{\theta}=\theta_u/\theta_y$	1,397				

#### 4.1.4. Εφαρμογή 4 : κάμψη κατά τον ασθενή άξονα με αξονικό φορτίο N= 2900 kN.

**Μέτρο ελαστικότητας σκυροδέματος  $E_c$ :**

$$E_c=11.000*f_c^{0,3}=11.000*24^{0,3} \Rightarrow E_c=28.540 \text{ MPa}$$

$$d=h-d_1=0,30-0,03 \Rightarrow d=0,27 \text{ m} \quad \text{και} \quad \delta=d_1/d=0,03/0,27 \Rightarrow \delta=0,111$$

Κάτω πέλμα(εφελκυόμενος)  $2\Phi 20+4\Phi 16=628+804 \Rightarrow A_s=1432 \text{ mm}^2$

Άρα  $p=A_s/(b*d)=1432/(1000*270) \Rightarrow p=0,005304$

Άνω πέλμα(θλιβόμενος)  $2\Phi 20+4\Phi 16=628+804 \Rightarrow A_s'=1432 \text{ mm}^2$

Άρα  $p'=A_s'/(b*d)=1432/(1000*270) \Rightarrow p'=0,005304$

Μεσσαίος οπλισμός  $2\Phi 16=402 \Rightarrow A_{sv}=402\text{mm}^2$

Άρα  $p_v=A_{sv}/(b*d)=402/(1000*270) \Rightarrow p_v=0,001489$

$\alpha=E_s/E_c=200.000/28.540 \Rightarrow \alpha=7,008$

**Για την περίπτωση της διαρροής λόγω χάλυβα:**

$A=p+p'+p_v+n+(N/b*d*f_y)=0,005304+0,005304+0,001489+(2900*103/1,00*0,27*575*106)$   
 $\Rightarrow A=0,03078$

$B=p+p'*\delta+0,5p_v*(1+\delta)+(N/b*d*f_y)=0,005304+0,005304*0,111+0,5*0,001489*(1+0,111)$   
 $+(2900*103/1,00*0,27*575*10^6) \Rightarrow$   
 $B=0,02540$

$\xi_y=(\alpha^2*A^2+2*\alpha*B)^{1/2}-\alpha A=(7,008^2*0,03078^2+2*7,008*0,02540)^{1/2}-7,008*0,03078$   
 $\Rightarrow \xi_y=0,41876$

$x=\xi_y*d=0,41876*0,27 \Rightarrow x=0,11 < 1,00$

$(l/r)_y=f_y/E_s*(1-\xi_y)*d=575/200.000*(1-0,41876)*0,27 \Rightarrow (l/r)_y=0,01832$

Τα αποτελέσματα των υπολογισμών με χρήση υπολογιστικού φύλλου Excel παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.16.

**Πίνακας 4.16** Υπολογισμοί για την περίπτωση της διαρροής λόγω χάλυβα – εφαρμογή 4.

Για την περίπτωση διαρροης λογω χαλυβα			
$A=p+p'+p_v+n+(N/b*d*f_y)$			0,03078
	0,012096	0,01868	
$B=p+p'*\delta+0,5p_v*(1+\delta)+(N/b*d*f_y)$			0,02540
	0,005893004	0,000827	
$\xi_y=(\alpha^2*A^2+2*\alpha*B)^{0,5}-\alpha A$			0,41876
	49,10751	0,00095	0,355986
	0,046512305		
$x=\xi_y*d$		0,11	
$(l/r)_y=f_y/E_s*(1-\xi_y)*d$			0,01832
		0,58124	
		31386,94272	

**Για την περίπτωση της διαρροής λόγω σκυροδέματος:**

$$A=p+p'+p_v-(N/1,8\alpha*b*d*f_c)= 0,005304+0,005304+0,001489-(2900*103/1,8*7,008*1,00*0,27*24*106) \Rightarrow A= - 0,02338$$

$$B=p+p'*\delta+0,5p_v*(1+\delta)= 0,005304+0,005304*0,111+0,5*0,001489 (1+0,111) \Rightarrow$$

$$B=0,006720$$

$$\xi_y=(\alpha^2*A^2+2*\alpha*B)^{1/2}-\alpha A=[7,008^2*(-0,02338)^2+2*7,008*0,006720]^{1/2} - 7,008*(-0,02338) \Rightarrow \xi_y=0,51176$$

$$x=\xi_y*d=0,51176*0,27 \Rightarrow x=0,138 < 1,00$$

$$(l/r)_y=(1,8*f_c)/E_c*\xi_y*d=(1,8*24)/28.540*0,51176*0,27 \Rightarrow (l/r)_y=0,01095$$

Τα αποτελέσματα των παραπάνω υπολογισμών με χρήση υπολογιστικού φύλλου Excel παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.17.

Τελικά  $(l/r)_y=0,01095$

**Πίνακας 4.17** Υπολογισμοί για την περίπτωση της διαρροής λόγω σκυροδέματος – εφαρμογή 4.

Για την περίπτωση διαρροης λογω σκυροδεματος			
A=p+p'+p <sub>v</sub> -(N/1,8α*b*d*f <sub>c</sub> )		-0,02338	
	0,012096	0,035479	
B=p+p'*δ+0,5p <sub>v</sub> *(1+δ)		0,00672016	
ξ <sub>y</sub> =(α <sup>2</sup> *A <sup>2</sup> +2*α*B) <sup>0,5</sup> -αA		0,51176	
49,10751	0,00055	0,094185	
	0,026850541		
x=ξ <sub>y</sub> *d	0,13817618		
(l/r) <sub>y</sub> =(1,8*f <sub>c</sub> )/E <sub>c</sub> *ξ <sub>y</sub> *d		0,01095455	
	3943,56714		
	3943,567137		

Με βάση αυτή την τιμή υπολογίζεται:

$$M_y/b*d^3=(l/r)_y*\{E_c*((\xi_y^2)/2)*(0,5*(1+\delta')-\xi_y/3)+[(1-\xi_y)*\rho+(\xi_y-\delta')*\rho'+(\rho_v/6)*(1-\delta')]*(1-\delta')*E_s/2\}$$

$$M_y/1,00*0,27^3=0,01095*\{25.540*((0,51176^2)/2)*(0,5*(1+0,111)-0,51176/3)+[(1-0,51176)*0,005304$$

$$+(0,51176-0,111)*0,005304+(0,001489/6)*(1-0,111)]*(1-0,111)*200.000/2\} \Rightarrow$$

$$M_y=404,8064 \text{ KNm}$$

Τα αποτελέσματα των προηγούμενων υπολογισμών με χρήση υπολογιστικού φύλλου Excel παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.18.

**Πίνακας 4.18** Υπολογισμός ροπής αντοχής – εφαρμογή 4.

ροπή διαρροής									Nm	KNm
$M_y/b*d^3=(l/r)_y*\{E_c*((\xi_y^2)/2)*(0,5*(1+\delta')-\xi_y/3)+[(1-\xi_y)*\rho+(\xi_y-\delta')*\rho'+(\rho_v/6)*(1-\delta')]*(1-\delta')*E_s/2\}$									404806,409	404,8064
0,0197	0,01095	28540	0,1310	0,5556	0,170588	0,00259	0,002124942	0,000221	88.888,89	
0,0197		3.737,34		0,3850			0,00493			
			1438,7558				438,6648377			
					1877,4206					
					20,5663					

Με δεδομένη την τιμή καμπυλότητας στη διαρροή υπολογίζεται η αντίστοιχη γωνία στροφής χορδής:

$$L_s= 1,50 \text{ m και } \acute{\alpha}\rho\alpha \ M_y/ L_s=404,8064/1,50 \Rightarrow M_y/ L_s=269,87$$

και

$$V_{R1}=[\tau_{Rd}*(\max 1.1,6-d)*\min(2.1,2+40*\rho_l)+0.15*\sigma_{cp}]*b*d$$

$$\acute{\text{Οπου}} \ \tau_{Rd}=0,25*f_{ctk}^{0.05}$$

$$F_{ctm}=0,30*f_{ck}^{2/3}=0,30*16*103=190,49 \Rightarrow f_{ctk}^{0.05}=0,70*F_{ctm}=0,70*190,49=133,34$$

$$\acute{\text{Άρα}} \ \tau_{Rd}=0,25*f_{ctk}^{0.05}=0,25*133,34 \Rightarrow \tau_{Rd}=33,34$$

$$\text{Επίσης } \rho_l=A_{sl}/b*d=1432\text{mm}^2/1000\text{mm}*270\text{mm} \Rightarrow \rho_l=0,00530$$

$$\text{Και } \sigma_{cp}=N/A_c \ \acute{\text{όπου}} \ A_c=b*h=1,00*0,30=0,30 \ \acute{\text{άρα}} \ \sigma_{cp}=N/A_c=2900/0,30 \Rightarrow \sigma_{cp}=9.666,67 \text{ KN/m}^2$$

$$\text{Οπότε } V_{R1}=[\tau_{Rd}*(\max 1.1,6-d)*\min(2.1,2+40*\rho_l)+0.15*\sigma_{cp}]*b*d=$$

$$=[33,34*\max 1.1,6-0,27]*\min(2.1,2+40*0,00530)+0,15*9.666,67]*1,00*0,27$$

$$V_{R1}=408,40\text{KN}$$

Οι σχετικοί υπολογισμοί με χρήση λογιστικών φύλλων παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.19.

**Πίνακας 4.19** Έλεγχος λοξής θλίψης – εφαρμογή 4.

$V_{R1}=[t_{Rd}*\max(1,1.6-d)*\min(2,1.2+40*\rho)]+0.15*\sigma_{cp}]*b*d$				408,40	269,87	av=	0
	0,73		2,212148				
MAX	1,33	MIN	1,412148				
		62,60915758	1450				
		1512,609158					

Επομένως επειδή  $V_{R1}=408,40 > M_y / L_s = 269,87 \Rightarrow av=0$

Άρα  $\theta_y = (1/r)_y * (L_s + a_v * z / 3) + 0,0013 [1 + 1,5 * (h/L_s)] + (1/r)_y * db * f_y / 8 * \sqrt{f_c}$

Όπου  $z = 0,9 * d = 0,9 * 0,27 \Rightarrow z = 0,243$

Επομένως

$$\theta_y = (1/r)_y * (L_s + a_v * z / 3) + 0,0013 [1 + 1,5 * (h/L_s)] + (1/r)_y * db * f_y / 8 * \sqrt{f_c}$$

$$= 0,01095 * (1,5 + 1 * 0,243 / 3) + 0,0013 [1 + 1,5 * (0,30 / 1,5)] + 0,01095 * 0,02 * 575 / 8 * \sqrt{24}$$

$$\theta_y = 0,03455$$

Για την οριακή τιμή της γωνίας στροφής χορδή:

$$\omega = \rho * (f_y / f_c) = 0,005304 * (575 / 24) \Rightarrow \omega = 0,1271 \text{ εφελκόμενος}$$

$$\omega' = \rho' * (f_y / f_c) = 0,005304 * (575 / 24) \Rightarrow \omega' = 0,1271 \text{ θλιβόμενος}$$

$$\theta_{pl} = 0,0145 * (0,25^v) * [\max(0,01 * \omega' / \max(0,01 * \omega)]^{0,3} * (f_c^{0,2} * a_s^{0,35})$$

$$= 0,0145 * (0,25^{0,4028}) * [\max(0,01 * 0,1271 / \max(0,01 * 0,1271)]^{0,3} * (24^{0,2} * 5^{0,35}) \Rightarrow$$

$$\theta_{pl} = 0,0275$$

$$\text{όπου } a_s = L_s / h = 1,5 / 0,30 \Rightarrow a_s = 5 \text{ και } v = N / (b * h * f_c) = 2900 / (1,00 * 0,30 * 24 * 103) \Rightarrow$$

$$v = 0,4028$$

$$\text{άρα } \theta_{um} = \theta_y + \theta_u = 0,03455 + 0,0275 = 0,06206$$

Με βάση αυτήν την τιμή, ο δείκτης πλαστικότητας σε όρους γωνιών στροφής χορδής προκύπτει:

$$\mu_\theta = \theta_{um} / \theta_y = 0,06206 / 0,03455 \Rightarrow \mu_\theta = 1,796$$

Τα ίδια μεγέθη υπολογίζονται χρησιμοποιώντας την παρακάτω εξίσωση:

$$\theta_{um}=0,016*(0,3^v)*\{[\max(0,01.\omega'/\max(0,01.\omega)]*(f_c)\}^{0,225}*(as^{0,35})$$

$$=0,016*(0,3^{0,4028})*\{[\max(0,01.0,1271/\max(0,01.0,1271)]*(24)\}^{0,225}*(5^{0,35}) \Rightarrow$$

$$\theta_{um}=0,0354$$

$$\mu_\theta=\theta_u/\theta_y=0,0354/0,03455 \Rightarrow \mu_\theta=1,024$$

Οι σχετικοί υπολογισμοί με χρήση λογιστικών φύλλων παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.20.

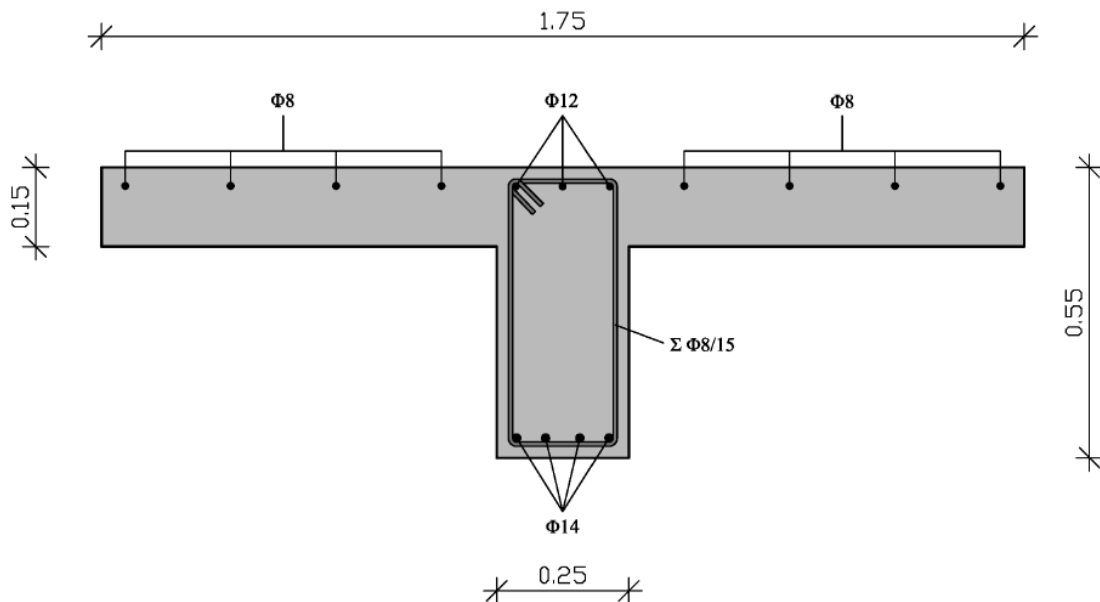
**Πίνακας 4.20** Υπολογισμός στροφής στη διαρροή και την αστοχία – εφαρμογή 4.

	$\theta_y=(l/r)y*(Ls+avz/3)+0,0013[1+1,5*(h/Ls)]+(l/r)y*db*fy/8*\text{SQRT}f_c$				0,03455
	1,5	1,30	0,21068	39,19	
	0,02747958	0,00169	0,00538		
z=0,9*d	0,243				
$\omega=\rho*(fy/f_c)$	0,1271	εφελκυσμενος			
$\omega'=\rho'*(fy/f_c)$	0,1271	θλιβομενος			
	$\theta^{\text{pl}}=0,0145*(0,25^v)[\max(0,01,\omega'/\max(0,01,\omega))^0,3*(f_c^0,2*as^0,35)]$				0,0275
	0,008296055	1	3,316513		
$\theta_{um}=\theta_y+\theta_u$	0,06206				
$\mu_\theta=\theta_{um}/\theta_y$	1,796				
	$\theta_{um}=0,016*(0,3^v)*\{[\max(0,01,\omega'/\max(0,01,\omega)]*(f_c)\}^{0,225}*(as^0,35)$				0,0354
	0,00985181	2,0443	1,7565		
$\mu_\theta=\theta_u/\theta_y$	1,024				

#### 4.2. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΩΝ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ ΤΟΥ ΕΚ8 ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΗΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΜΙΑΣ ΤΥΠΙΚΗΣ ΔΟΚΟΥ

Οι εξισώσεις που παρουσιάστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο της εργασίας εφαρμόζονται αρχικά για τον υπολογισμό της αντοχής και ικανότητας παραμόρφωσης μιας τυπικής δοκού (Σχήμα 4.2). Οι διαμήκεις ράβδοι και συνδετήρες όπως σημειώνονται στο σχήμα. Η επικάλυψη ελήφθη  $d_1 = 3$  cm. Επιπλέον το μήκος της δοκού θεωρήθηκε  $L = 5,50$  m οπότε  $L_s = 2,25$  m (μήκος διάτμησης).

Για τις ποιότητες των υλικών ελήφθη χάλυβας B500c με  $f_y = 575$  MPa ( $500 \times 1.15$ ), σκυρόδεμα C16 με  $f_{cm} = 24$  MPa. Επίσης, μέτρο ελαστικότητας για το χάλυβα  $E_s = 200$  GPa. Εξετάζονται και οι δύο διευθύνσεις κάμψης, θετική (θλίψη άνω) και αρνητική (θλίψη κάτω) και ζητούνται: η καμπυλότητα διαρροής  $(1/r)_y$ , η στρόφη χορδής στη διαρροή  $\theta_y$ , η ροπή διαρροής  $M_y$  και οι στρόφες χορδής στην αστοχία  $\theta_u$ .



Σχήμα 4.2 Η διατομή της τυπικής δοκού που εξετάζεται.

#### 4.2.1. Εφαρμογή 5 : θετική κάμψη δοκού.

$$E_c = 11.000 * f_c^{0.3} = 11.000 * 24^{0.3} \Rightarrow E_c = 28.540 \text{ MPa}$$

$$d = h - d_1 = 0,55 - 0,03 \Rightarrow d = 0,52 \text{ m} \quad \text{και} \quad \delta = d_1/d = 0,03/0,52 \Rightarrow \delta = 0,058$$

$$\text{Κάτω πέλμα (εφελκυσόμενος) } 4\Phi 14 = 616 \Rightarrow A_s = 616 \text{ mm}^2$$

$$\text{Άρα } p = A_s / (b * d) = 616 / (1750 * 520) \Rightarrow p = 0,000677$$

$$\text{Άνω πέλμα (θλιβόμενος) } 3\Phi 12 = 339 \Rightarrow A_s' = 339 \text{ mm}^2$$

$$\text{Άρα } p' = A_s' / (b * d) = 339 / (1750 * 520) \Rightarrow p' = 0,000373$$

$$\alpha = E_s / E_c = 200.000 / 28.540 \Rightarrow \alpha = 7,008$$

**Για την περίπτωση της διαρροής λόγω χάλυβα:**

$$A = p + p' + p_v + (N/b * d * f_y) = 0,000677 + 0,000373 \Rightarrow A = 0,00105$$

$$B = p + p' * \delta + 0,5 p_v * (1 + \delta) + (N/b * d * f_y) = 0,000677 + 0,000373 * 0,058 \Rightarrow$$

$$B = 0,00070$$

$$\xi_y = (\alpha^2 * A^2 + 2 * \alpha * B)^{1/2} - \alpha A = (7,008^2 * 0,00105^2 + 2 * 7,008 * 0,00070)^{1/2} - 7,008 * 0,00105$$
$$\Rightarrow \xi_y = 0,09186$$

$$x = \xi_y * d = 0,09186 * 0,52 \Rightarrow x = 0,05 < 0,15$$

$$(1/r)_y = f_y / E_s * (1 - \xi_y) * d = 575 / 200.000 * (1 - 0,09186) * 0,52 \Rightarrow (1/r)_y = 0,00609$$

Τα αποτελέσματα των υπολογισμών με χρήση υπολογιστικού φύλλου Excel παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.21.



**Πίνακας 4.21** Υπολογισμοί για την περίπτωση της διαρροής λόγω χάλυβα – εφαρμογή 5.

Για την περίπτωση διαρροης λογω χαλυβα		
$A=p+p'+(N/b*d*f_y)$		0,00105
0,001049	0	
$B=p+p'*\delta+0,5p_v*(1+\delta)+(N/b*d*f_y)$		0,00070
0,0006984		
$\xi_y=(\alpha^2*A^2+2*\alpha*B)^{0,5}-\alpha A$		0,09186
49,108	0,00000	0,00979
5,40844E-05		
$x=\xi_y*d$	0,05	
$(l/r)_y=f_y/E_s*(1-\xi_y)*d$		0,00609
0,90814		
94447,002		

**Για την περίπτωση της διαρροής λόγω σκυροδέματος:**

$$A=p+p'+p_v-(N/1,8\alpha*b*d*f_c)=0,000677+0,000373 \Rightarrow A=0,00105$$

$$B=p+p'*\delta+0,5p_v*(1+\delta)=0,000677+0,000373*0,058 \Rightarrow B=0,00070$$

$$\xi_y=(\alpha^2*A^2+2*\alpha*B)^{1/2}-\alpha A=[7,008^2*0,00105^2+2*7,008*0,00070]^{1/2}-7,008*0,00105 \Rightarrow \xi_y=0,09186$$

$$x=\xi_y*d=0,09186*0,52 \Rightarrow x=0,05 < 0,15$$

$$(l/r)_y=(1,8*f_c)/E_s*\xi_y*d=(1,8*24)/28.540*0,09186*0,52 \Rightarrow (l/r)_y=0,03169$$

Τα αποτελέσματα των παραπάνω υπολογισμών με χρήση υπολογιστικού φύλλου Excel παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.22.

Τελικά  $(l/r)_y=0,00609$

**Πίνακας 4.22** Υπολογισμοί για την περίπτωση της διαρροής λόγω σκυροδέματος – εφαρμογή 5.

Για την περίπτωση διαρροης λογω σκυροδεματος			
$A=r\rho'+\rho\nu-(N/1,8\alpha*b*d*fc)$	0,00105		
0,001049	0		
$B=r\rho'+\delta+0,5\rho\nu*(1+\delta)$	0,00070		
$\xi\gamma=(\alpha^2*A^2+2*\alpha*B)^{0,5}-\alpha A$	0,09186		
49,1075	0,00000	0,00979	
5,40844E-05			
$x=\xi\gamma*d$	0,05		
$(l/r)\gamma=(1,8*fc)/Ec*\xi\gamma*d$	0,03169		
1363,21934			
1363,21934			

Με βάση αυτή την τιμή υπολογίζεται:

$$M_y/b*d^3=(l/r)_y*\{E_c*((\xi\gamma^2)/2)*(0,5*(1+\delta')-\xi\gamma/3)+[(1-\xi\gamma)*\rho+(\xi\gamma-\delta')*\rho'+(\rho\nu/6)*(1-\delta')]*(1-\delta')*E_s/2\} \Rightarrow$$

$$M_y/1,75*0,52^3=0,00609*\{25.540*((0,09186^2)/2)*(0,5*(1+0,058)-0,09186/3)+[(1-0,09186)*0,000677+(0,09186-0,058)*0,000373]\} \Rightarrow$$

$$M_y=178,441 \text{ KNm}$$

Τα αποτελέσματα των προηγούμενων υπολογισμών με χρήση υπολογιστικού φύλλου Excel παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.23.

**Πίνακας 4.23** Υπολογισμός ροπής αντοχής – εφαρμογή 5.

ροπη διαρροης								Nm	KNm
$M_y/b*d^3=(l/r)_y*\{E_c*((\xi\gamma^2)/2)*(0,5*(1+\delta')-\xi\gamma/3)+[(1-\xi\gamma)*\rho+(\xi\gamma-\delta')*\rho'+(\rho\nu/6)*(1-\delta')]*(1-\delta')*E_s/2\}$								178440,9	178,441
0,2461	0,00609	28540	0,0042	0,5288	0,03062	0,00061	1,2727E-05	0	94.230,77
0,1406		120,40		0,4982			0,00063		
			59,9880				59,12703933		
					119,1150				
					0,7252				

Με δεδομένη την τιμή καμπυλότητας στη διαρροή υπολογίζεται η αντίστοιχη γωνία στροφής χορδής:

$$L_s=2,25 \text{ m και } \acute{\alpha}\rho\alpha \ M_y/L_s=178,441/2,25 \Rightarrow M_y/L_s=79,31$$

$$V_{R1}=[\tau_{Rd}*(\max 1.1,6-d)*\min(2.1,2+40*\rho_l)+0.15*\sigma_{cp}]*b*d$$

Όπου

$$\tau_{Rd}=0,25*f_{ctk}^{0.05}$$

$$f_{ctm}=0,30*f_{ck}^{2/3}=0,30*16*103=190,49 \Rightarrow f_{ctk}^{0.05}=0,70*f_{ctm}=0,70*190,49=133,34$$

$$\text{Άρα } \tau_{Rd}=0,25*f_{ctk}^{0.05}=0,25*133,34 \Rightarrow \tau_{Rd}=33,34$$

$$\text{Επίσης } \rho_l=A_{sl}/b*d=616\text{mm}^2/1750\text{mm}*520\text{mm} \Rightarrow \rho_l=0,00068$$

$$\text{Και } \sigma_{cp}=N/A_c \text{ όπου } A_c=b*h=1,75*0,55=0,9625 \text{ άρα } \sigma_{cp}=N/A_c=0/0,9625 \Rightarrow$$

$$\sigma_{cp}=0 \text{ KN/m}^2$$

$$\text{Οπότε } V_{R1}=[\tau_{Rd}*(\max 1.1,6-d)*\min(2.1,2+40*\rho_l)+0.15*\sigma_{cp}]*b*d=$$

$$=[33,34*\max 1.1,6-0,52)*\min(2.1,2+40*0,00068)]*1,75*0,52$$

$$V_{R1}=40,20 \text{ KN}$$

Οι σχετικοί υπολογισμοί με χρήση λογιστικών φύλλων παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.24.

**Πίνακας 4.24** Έλεγχος λοξής θλίψης – εφαρμογή 5.

$V_{R1}=[\tau_{Rd}*\max 1,1,6-d)*\min(2,1,2+40*\rho_l)+0.15*\sigma_{cp}]*b*d$						40,20
		0,48		2,027077		
MAX		1,08	MIN	1,227077		
		44,17753734			0	
		44,17753734				

$$\text{Επειδή } V_{R1}=40,20 < M_y/L_s=79,31 \Rightarrow a_v=1$$

$$\text{Άρα } \theta_y=(1/r)_y*(L_s+a_v*z/3)+0,0013[1+1,5*(h/L_s)]+(1/r)_y*db*f_y/8*\sqrt{f_c}$$

$$\text{Όπου } z=0,9*d=0,9*0,52 \Rightarrow z=0,468$$

Επομένως

$$\theta_y=(1/r)_y*(L_s+ a_v*z /3)+0,0013[1+1,5*(h/L_s)]+(1/r)_y*db*f_y/8*\sqrt{f_c}$$

$$=0,00609*(2,25+1*0,468/3)+0,0013[1+1,5*(0,55/2,25)]+0,00609*0,014*575/8*\sqrt{24}$$

$$\theta_y=0,01768$$

Για την οριακή τιμή της γωνίας στροφής χορδή:

$$\omega = \rho \cdot (f_y/f_c) = 0,000677 \cdot (575/24) \Rightarrow \omega = 0,0162 \text{ εφελκόμενος}$$

$$\omega' = \rho' \cdot (f_y/f_c) = 0,000373 \cdot (575/24) \Rightarrow \omega' = 0,0089 \text{ θλιβόμενος}$$

$$\theta_{pl} = 0,0145 \cdot (0,25^v) \cdot [\max(0,01 \cdot \omega' / \max(0,01 \cdot \omega)]^{0,3} \cdot (f_c^{0,2} \cdot a_s^{0,35})$$

$$= 0,0145 \cdot (0,25^0) \cdot [\max(0,01 \cdot 0,0089 / \max(0,01 \cdot 0,0162)]^{0,3} \cdot (24^{0,2} \cdot 4,091^{0,35}) \Rightarrow$$

$$\theta_{pl} = 0,0375$$

όπου  $a_s = L_s/h = 2,25/0,55 \Rightarrow a_s = 4,091$  και  $v = N/(b \cdot h \cdot f_c) = 0/(1,75 \cdot 0,55 \cdot 24 \cdot 103) \Rightarrow v = 0$

άρα  $\theta_{um} = \theta_y + \theta_u = 0,01768 + 0,0375 = 0,05515$

Με βάση αυτήν την τιμή, ο δείκτης πλαστικότητας σε όρους γωνιών στροφής χορδής προκύπτει:

$$\mu_\theta = \theta_{um} / \theta_y = 0,05515 / 0,01768 \Rightarrow \mu_\theta = 3,120$$

Τα ίδια μεγέθη υπολογίζονται χρησιμοποιώντας την παρακάτω εξίσωση:

$$\theta_{um} = 0,016 \cdot (0,3^v) \cdot \{ [\max(0,01 \cdot \omega' / \max(0,01 \cdot \omega)] \cdot (f_c) \}^{0,225} \cdot (a_s^{0,35})$$

$$= 0,016 \cdot (0,3^0) \cdot \{ [\max(0,01 \cdot 0,0089 / \max(0,01 \cdot 0,0162)] \cdot (24) \}^{0,225} \cdot (4,091^{0,35}) \Rightarrow$$

$$\theta_{um} = 0,0295$$

$$\mu_\theta = \theta_u / \theta_y = 0,0295 / 0,01768 \Rightarrow \mu_\theta = 1,667$$

Οι σχετικοί υπολογισμοί με χρήση λογιστικών φύλλων παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.25.

**Πίνακας 4.25** Υπολογισμός στροφής στη διαρροή και την αστοχία – εφαρμογή 5

$\theta_y = (l/r) \gamma \cdot (L_s + avz/3) + 0,0013 [1 + 1,5 \cdot (h/L_s)] + (l/r) \gamma \cdot db \cdot f_y / 8 \cdot \text{SQRT} f_c$				0,01768
	2,406	1,37	0,04901	39,19
	0,014647897	0,001776667	0,00125	
$z = 0,9 \cdot d$	0,468			
$\theta_{um} = 0,016 \cdot (0,3^v) \cdot \{ [\max(0,01 \cdot \omega' / \max(0,01 \cdot \omega)] \cdot (f_c) \}^{0,225} \cdot (a_s^{0,35})$				0,0295
	0,016	1,1250	1,6373	
$\mu_\theta = \theta_u / \theta_y$	1,667			

$\omega = \rho \cdot (f_y / f_c)$	0,0162	εφέλκυστος		
$\omega' = \rho' \cdot (f_y / f_c)$	0,0089	θλιβόμενος		
$\theta_{pl} = 0,0145 \cdot (0,25^v) \cdot [\max(0,01, \omega' / \max(0,01, \omega))^{0,3} \cdot (f_c^{0,2} \cdot a_s^{0,35})]$				0,0375
	0,0145	0,83596	3,09157	
$\theta_{um} = \theta_y + \theta_u$	0,05515			
$\mu_\theta = \theta_{um} / \theta_y$	3,120			

Αν τα  $\omega$  και  $\omega'$  καθοριστούν λαμβάνοντας υπόψη και τον κανόνα που διατυπώνεται στις σημειώσεις του Μ.Ν. Φαρδή για το μεταπτυχιακό μάθημα «Αντισεισμικός Σχεδιασμός Κατασκευών από Ο/Σ», όπου τα μέλη υπό ανακυκλιζόμενη φόρτιση ισχύει  $\omega > \omega'$  προκύπτει:

$$\omega = \rho \cdot (f_y / f_c) = 0,000373 \cdot (575 / 24) \Rightarrow \omega = 0,0089$$

$$\omega' = \rho' \cdot (f_y / f_c) = 0,000677 \cdot (575 / 24) \Rightarrow \omega' = 0,0162 \text{ θλιβόμενος}$$

$$\theta_{pl} = 0,0145 \cdot (0,25^v) \cdot [\max(0,01, \omega' / \max(0,01, \omega))^{0,3} \cdot (f_c^{0,2} \cdot a_s^{0,35})]$$

$$= 0,0145 \cdot (0,25^0) \cdot [\max(0,01, 0,0162 / \max(0,01, 0,0089))^{0,3} \cdot (24^{0,2} \cdot 4,091^{0,35})] \Rightarrow$$

$$\theta_{pl} = 0,0536$$

$$\text{όπου } a_s = L_s / h = 2,25 / 0,55 \Rightarrow a_s = 4,091 \text{ και } v = N / (b \cdot h \cdot f_c) = 0 / (1,75 \cdot 0,55 \cdot 24 \cdot 10^3) \Rightarrow v = 0$$

$$\text{άρα } \theta_{um} = \theta_y + \theta_u = 0,01768 + 0,0536 = 0,07130$$

Με βάση αυτήν την τιμή, ο δείκτης πλαστικότητας σε όρους γωνιών στροφής χορδής προκύπτει:

$$\mu_\theta = \theta_{um} / \theta_y = 0,07130 / 0,01768 \Rightarrow \mu_\theta = 4,034$$

Οι σχετικοί υπολογισμοί με χρήση λογιστικών φύλλων παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.26.

**Πίνακας 4.26** Υπολογισμός στροφής στη διαρροή και την αστοχία – εφαρμογή 5

$\omega = \rho \cdot (f_y / f_c)$	0,0089			
$\omega' = \rho' \cdot (f_y / f_c)$	0,0162			
$\theta_{pl} = 0,0145 \cdot (0,25^v) \cdot [\max(0,01, \omega' / \max(0,01, \omega))^{0,3} \cdot (f_c^{0,2} \cdot a_s^{0,35})]$				0,0536
	0,0145	1,19623	3,09157	
$\theta_{um} = \theta_y + \theta_u$	0,07130			
$\mu_\theta = \theta_{um} / \theta_y$	4,034			

Τα ίδια μεγέθη υπολογίζονται χρησιμοποιώντας την παρακάτω εξίσωση:

$$\theta_{um}=0,016*(0,3^v)*\{[\max(0,01.\omega'/\max(0,01.\omega))*f_c]\}^{0,225}*(a_s^{0,35})$$

$$=0,016*(0,30^0*\{[\max(0,01.0,0162/\max(0,01.0,0089))*24]\}^{0,225}*(4,091^{0,35}) \Rightarrow$$

$$\theta_{um}=0,0973$$

$$\mu_\theta=\theta_u/\theta_y=0,0973/0,01768 \Rightarrow \mu_\theta=5,506$$

Οι σχετικοί υπολογισμοί με χρήση λογιστικών φύλλων παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.27.

**Πίνακας 4.27** Υπολογισμός στροφής στη διαρροή και την αστοχία – εφαρμογή 5

$\theta_{um}=0,016*(0,3^v)*\{[\max(0,01.\omega'/\max(0,01.\omega))*f_c]\}^{0,225}*(a_s^{0,35})$		0,0973
0,016	3,7147	1,6373
$\mu_\theta=\theta_u/\theta_y$	5,506	

#### 4.2.2. Εφαρμογή 6 : αρνητική κάμψη δοκού.

$$E_c=11.000*f_c^{0.3} =11.000*240.3 \Rightarrow E_c=28.540 \text{ MPa}$$

$$d=h-d_1=0,55-0,03 \Rightarrow d=0,52\text{m} \quad \text{και} \quad \delta=d_1/d=0,03/0,52 \Rightarrow \delta=0,058$$

$$\text{Κάτω πέλμα(εφελκυόμενος)} \quad 3\Phi 12+8\Phi 8=339+402 \Rightarrow A_s=741 \text{ mm}^2$$

$$\text{Άρα } p=A_s/(b*d)=741/(250*520) \Rightarrow p=0,005700$$

$$\text{Άνω πέλμα(θλιβόμενος)} \quad 4\Phi 14=616 \Rightarrow A_s'=616 \text{ mm}^2$$

$$\text{Άρα } p'=A_s'/(b*d)=616/(250*520) \Rightarrow p'=0,004738$$

$$\alpha=E_s/E_c=200.000/28.540 \Rightarrow \alpha=7,008$$

**Για την περίπτωση της διαρροής λόγω χάλυβα:**

$$A=p+p'+p_v+(N/b*d*f_y)=0,005700+0,004738 \Rightarrow A=0,01044$$

$$B=p+p'*\delta+0,5p_v*(1+\delta)+(N/b*d*f_y)=0,005700+0,000814*0,058 \Rightarrow$$

$$B=0,00597$$

$$\xi_y = (\alpha^2 * A^2 + 2 * \alpha * B)^{1/2} - \alpha A = (7,008^2 * 0,01044^2 + 2 * 7,008 * 0,00597)^{1/2} - 7,008 * 0,01044 \Rightarrow \xi_y = 0,22530$$

$$x = \xi_y * d = 0,22530 * 0,52 \Rightarrow x = 0,12 < 0,15$$

$$(l/r)_y = f_y / E_s * (1 - \xi_y) * d = 575 / 200.000 * (1 - 0,22530) * 0,52 \Rightarrow (l/r)_y = 0,00714$$

Τα αποτελέσματα των υπολογισμών με χρήση υπολογιστικού φύλλου Excel παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.28.

**Πίνακας 4.28** Υπολογισμοί για την περίπτωση της διαρροής λόγω χάλυβα – εφαρμογή 6.

Για την περίπτωση διαρροής λόγω χάλυβα			
A=p+p'+(N/b*d*f <sub>y</sub> )			0,01044
0,010438		0	
B=p+p'*δ+0,5p <sub>v</sub> *(1+δ)+(N/b*d*f <sub>y</sub> )			0,00597
0,0059734			
ξ <sub>y</sub> =(α <sup>2</sup> *A <sup>2</sup> +2*α*B) <sup>0,5</sup> -αA			0,22530
49,108	0,00011	0,08372	
0,005350826			
x=ξ <sub>y</sub> *d	0,12		
(l/r) <sub>y</sub> =f <sub>y</sub> /E <sub>s</sub> *(1-ξ <sub>y</sub> )*d			0,00714
0,77470			
80569,197			

**Για την περίπτωση της διαρροής λόγω σκυροδέματος:**

$$A=p+p'+p_v-(N/1,8\alpha*b*d*f_c)= 0,005700+0,004738\Rightarrow A= 0,01044$$

$$B=p+p'*\delta+0,5p_v*(1+\delta)= 0,005700+0,00438*0,058 \Rightarrow B=0,00597$$

$$\xi_y=(\alpha^2*A^2+2*\alpha*B)^{1/2}-\alpha=[7,008^2*0,01044^2+2*7,008*0,00597]^{1/2}-7,008*0,01044 \Rightarrow \xi_y=0,22530$$

$$x=\xi_y*d=0,22530*0,52 \Rightarrow x=0,12<0,15$$

$$(l/r)_y=(1,8*f_c)/E_c*\xi_y*d=(1,8*24)/28.540*0,22530*0,52 \Rightarrow (l/r)_y=0,01292$$

Τα αποτελέσματα των παραπάνω υπολογισμών με χρήση υπολογιστικού φύλλου Excel παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.29.

Τελικά  $(l/r)_y=0,00714$

**Πίνακας 4.29** Υπολογισμοί για την περίπτωση της διαρροής λόγω σκυροδέματος – εφαρμογή 6.

Για την περίπτωση διαρροης λογω σκυροδεματος			
$A=p+p'+p_v-(N/1,8\alpha*b*d*f_c)$			0,01044
	0,010438	0	
$B=p+p'*\delta+0,5p_v*(1+\delta)$			0,00597
$\xi_y=(\alpha^2*A^2+2*\alpha*B)^{1/2}-\alpha$			0,22530
49,1075	0,00011	0,08372	
0,005350826			
$x=\xi_y*d$	0,12		
$(l/r)_y=(1,8*f_c)/E_c*\xi_y*d$			0,01292
	3343,59172		
	3343,591715		

Με βάση αυτή την τιμή υπολογίζεται:

$$M_y/b*d^3=(l/r)_y*\{E_c*((\xi_y^2)/2)*(0,5*(1+\delta')-\xi_y/3)+[(1-\xi_y)*\rho+(\xi_y-\delta')*\rho'+(\rho_v/6)*(1-\delta')]*(1-\delta')*E_s/2\} \Rightarrow$$



$$M_y/0,25*0,52^3=0,00714* \{ 25.540*((0,22530^2)/2)*(0,5*(1+0,058)- 0,22530/3)+$$

$$[(1-0,22530)*0,005700+ (0,22530-0,058)*0,004738] \} \Rightarrow$$

$$M_y=205,613 \text{ KNm}$$

Τα αποτελέσματα των προηγούμενων υπολογισμών με χρήση υπολογιστικού φύλλου Excel παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.30.

**Πίνακας 4.30** Υπολογισμός ροπής αντοχής – εφαρμογή 6.

ροπή διαρροής								Nm	KNm
$M_y/b*d^3=(l/r)\gamma*\{E_c*((\xi\gamma^2)/2)*(0,5*(1+\delta')-\xi\gamma/3)+[(1-\xi\gamma)*\rho+(\xi\gamma-\delta')*\rho'+(\rho\nu/6)*(1-\delta')]*(1-\delta')*E_s/2\}$								205613,405	205,6134
0,0352	0,00714	28540	0,0254	0,5288	0,075099	0,00442	0,000794185	0	94.230,77
0,1406		724,32		0,4537			0,00521		
			328,6592				490,9419563		
					819,6012				
					5,8493				

Με δεδομένη την τιμή καμπυλότητας στη διαρροή υπολογίζεται η αντίστοιχη γωνία στροφής χορδής:

$$L_s= 2,25 \text{ m και άρα } M_y/ L_s=205,613/2,25 \Rightarrow M_y/ L_s=91,38$$

$$V_{R1}=[\tau_{Rd}*(\max 1.1,6-d)*\min(2.1,2+40*\rho_l)+0.15*\sigma_{cp}]*b*d$$

Όπου

$$\tau_{Rd}=0,25*f_{ctk}^{0.05}$$

$$f_{ctm}=0,30*f_{ck}^{2/3}=0,30*16*103$$

$$=190,49 \Rightarrow f_{ctk}^{0.05}=0,70*f_{ctm}=0,70*190,49=133,34$$

$$\text{Άρα } \tau_{Rd}=0,25*F_{ctk}^{0.05}=0,25*133,34 \Rightarrow \tau_{Rd}=33,34$$

$$\text{Επίσης } \rho_l=A_{sl}/b*d=741\text{mm}^2/1750\text{mm}*520\text{mm} \Rightarrow \rho_l=0,00570$$

$$\text{Και } \sigma_{cp}=N/A_c \text{ όπου } A_c=b*h=0,25*0,55=0,1375 \text{ άρα } \sigma_{cp}=N/A_c=0/0,9625 \Rightarrow$$

$$\sigma_{cp}=0 \text{ KN/m}^2$$

$$\text{Οπότε } V_{R1}=[\tau_{Rd}*(\max 1.1,6-d)*\min(2.1,2+40*\rho_l)+0.15*\sigma_{cp}]*b*d=$$

$$=[33,34*\max 1.1,6-0,52)*\min(2.1,2+40*0,00570)]*0,25*0,52$$

$$V_{R1}=6,68 \text{ KN}$$

Οι σχετικοί υπολογισμοί με χρήση λογιστικών φύλλων παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.31.

**Πίνακας 4.31** Έλεγχος λοξής θλίψης – εφαρμογή 6.

$V_{R1}=[trd*\max(1,1.6-d)*\min(2,1,2+40*\rho\lambda)+0.15*\sigma_{cp}]*b*d$						6,68
	0,48		2,228			
MAX	1,08	MIN	1,428			
	51,41122137			0		
	51,41122137					

Επειδή  $V_{R1}=6,68 < M_y/L_s=91,38 \Rightarrow a_v=1$

Άρα  $\theta_y=(1/r)_y*(L_s+a_v*z/3)+0,0013[1+1,5*(h/L_s)]+(1/r)_y*db*f_y/8*\sqrt{f_c}$

Όπου  $z=0,9*d=0,9*0,52 \Rightarrow z=0,468$

Επομένως

$\theta_y=(1/r)_y*(L_s+a_v*z/3)+0,0013[1+1,5*(h/L_s)]+(1/r)_y*db*f_y/8*\sqrt{f_c}$

$=0,00714*(2,25+1*0,468/3)+0,0013[1+1,5*(0,55/2,25)]+0,00714*0,012*575/8*\sqrt{24}$

$\theta_y=0,02020$

Για την οριακή τιμή της γωνίας στρωφής χορδής:

$\omega=\rho*(f_y/f_c)=0,005700*(575/24) \Rightarrow \omega=0,1366$  εφελκόμενος

$\omega'=\rho'*(f_y/f_c)=0,004738*(575/24) \Rightarrow \omega'=0,1135$  θλιβόμενος

$\theta_{pl}=0,0145*(0,25^v)*[\max(0,01.\omega'/\max(0,01.\omega)]^{0,3}*(f_c^{0,2}*a_s^{0,35})$

$=0,0145*(0,25^0)*[\max(0,01.0,1135/\max(0,01.0,1366)]^{0,3}*(24^{0,2}*4,091^{0,35}) \Rightarrow$

$\theta_{pl}=0,0424$

όπου  $a_s=L_s/h=2,25/0,55 \Rightarrow a_s=4,091$  και  $v=N/(b*h*f_c)=0/(0,25*0,55*24*103) \Rightarrow v=0$

άρα  $\theta_{um}=\theta_y+\theta_u=0,02020+0,0424=0,06261$

Με βάση αυτήν την τιμή, ο δείκτης πλαστικότητας σε όρους γωνιών στρωφής χορδής προκύπτει:

$\mu_\theta=\theta_{um}/\theta_y=0,06261/0,02020 \Rightarrow \mu_\theta=3,099$

Τα ίδια μεγέθη υπολογίζονται χρησιμοποιώντας την παρακάτω εξίσωση:

$$\theta_{um}=0,016*(0,3^v)*\{[\max(0,01.\omega'/\max(0,01.\omega)]*(fc)\}^{0,225}*(as^{0,35})$$

$$=0,016*(0,30^0*\{[\max(0,01.0,1135/\max(0,01.0,1366)]*(24)\}^{0,225}*(4,091^{0,35}) =>$$

$$\theta_{um}=0,0445$$

$$\mu\theta=\theta_u/\theta_y=0,0445/0,02020 => \mu\theta=2,204$$

Οι σχετικοί υπολογισμοί με χρήση λογιστικών φύλλων παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.32.

**Πίνακας 4.32** Υπολογισμός στροφής στη διαρροή και την αστοχία – εφαρμογή 6

	$\theta_y=(l/r)y*(L_s+avz/3)+0,0013[1+1,5*(h/L_s)]+(l/r)y*db*fy/8*\text{SQRT}fc$				0,02020
	2,406	1,37	0,04924	39,19	
	0,017170954	0,001776667	0,00126		
$z=0,9*d$	0,468				
	$\theta_{um}=0,016*(0,3^v)*\{[\max(0,01,\omega'/\max(0,01,\omega)]*(fc)\}^{0,225}*(as^{0,35})$				0,0445
	0,016	1,6995		1,6373	
$\mu\theta=\theta_u/\theta_y$	2,204				
$\omega=\rho*(fy/fc)$	0,1366	εφελκυσμενος			
$\omega'=\rho'*(fy/fc)$	0,1135	θλιβομενος			
	$\theta^{\wedge}pI=0,0145*(0,25^v)[\max(0,01,\omega'/\max(0,01,\omega)]^{0,3}*(fc^{0,2}*as^{0,35})$				0,0424
	0,0145	0,946082	3,091571		
$\theta_{um}=\theta_y+\theta_u$	0,06261				
$\mu\theta=\theta_{um}/\theta_y$	3,099				

Αν τα  $\omega$  και  $\omega'$  καθοριστούν λαμβάνοντας υπόψη και τον κανόνα που διατυπώνεται στις σημειώσεις του Μ.Ν. Φαρδή για το μεταπτυχιακό μάθημα «Αντισεισμικός Σχεδιασμός Κατασκευών από Ο/Σ», όπου τα μέλη υπό ανακυκλιζόμενη φόρτιση ισχύει  $\omega > \omega'$  προκύπτει:

$$\omega=\rho*(fy/fc)=0,004738*(575/24) => \omega=0,1135$$

$$\omega'=\rho'*(fy/fc)=0,005700*(575/24) => \omega'=0,1366 \text{ θλιβόμενος}$$

$$\theta_{pl}=0,0145*(0,25^v)*[\max(0,01.\omega'/\max(0,01.\omega)]^{0,3}*(f_c^{0,2}*a_s^{0,35})$$

$$=0,0145*(0,25^0)*[\max(0,01.0,1366/\max(0,01.0,1135)]^{0,3}*(24^{0,2}*4,091^{0,35}) \Rightarrow$$

$$\theta_{pl}=0,0474$$

$$\text{όπου } a_s=L_s/h=2,25/0,55 \Rightarrow a_s=4,091 \text{ και } v=N/(b*h*f_c)=0/(0,25*0,55*24*103) \Rightarrow v=0$$

$$\text{άρα } \theta_{um}=\theta_y+\theta_u=0,02020+0,0474=0,06759$$

Με βάση αυτήν την τιμή, ο δείκτης πλαστικότητας σε όρους γωνιών στροφής χορδής προκύπτει:

$$\mu_\theta=\theta_{um}/\theta_y=0,06759/0,02020=3,345$$

Οι σχετικοί υπολογισμοί με χρήση λογιστικών φύλλων παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.33.

**Πίνακας 4.33** Υπολογισμός στροφής στη διαρροή και την αστοχία – εφαρμογή 6

$\omega=\rho*(f_y/f_c)$	0,1135			
$\omega'=\rho'*(f_y/f_c)$	0,1366			
$\theta^{pl}=0,0145*(0,25^v)*[\max(0,01,\omega'/\max(0,01,\omega)]^{0,3}*(f_c^{0,2}*a_s^{0,35})$				0,0474
0,0145		1,056991	3,091571	
$\theta_{um}=\theta_y+\theta_u$	0,06759			
$\mu_\theta=\theta_{um}/\theta_y$	3,345			

Τα ίδια μεγέθη υπολογίζονται χρησιμοποιώντας την παρακάτω εξίσωση:

$$\theta_{um}=0,016*(0,3^v)*\{[\max(0,01.\omega'/\max(0,01.\omega)]*(f_c)\}^{0,225}*(a_s^{0,35})$$

$$=0,016*(0,30^0)*\{[\max(0,01.0,1366/\max(0,01.0,1135)]*(24)\}^{0,225}*(4,091^{0,35}) \Rightarrow$$

$$\theta_{um}=0,0644$$

$$\mu_\theta=\theta_u/\theta_y=0,0644/0,02020 \Rightarrow \mu_\theta=3,189$$

Οι σχετικοί υπολογισμοί με χρήση λογιστικών φύλλων παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.34.

**Πίνακας 4.34** Υπολογισμός στροφής στη διαρροή και την αστοχία – εφαρμογή 6

$\theta_{um}=0,016*(0,3^{\wedge}n)*\{[\max(0,01,\omega'/\max(0.01,\omega)]*(f_c)\}^{\wedge}0,225*(a_s^{\wedge}0,35)$					0,0644
0,016		2,4592		1,6373	
$\mu\theta=\theta_u/\theta_y$	3,189				

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5**

### **Σύντομα συμπεράσματα**

Στην παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε μία σύντομη παρουσίαση των κύριων αξόνων για των αντισεισμικό σχεδιασμό κατασκευών από Οπλισμένο Σκυρόδεμα σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 8. Ακολούθως εξετάστηκαν μέσω παραδειγμάτων οι εξισώσεις που διαθέτει ο Κανονισμός για τον υπολογισμό της αντοχής και ικανότητας παραμόρφωσης μελών Οπλισμένου Σκυροδέματος. Τα βασικά συμπεράσματα της εργασίας έχουν ως ακολούθως:

- Στον Ευρωκώδικα 8 η σεισμική απειλή παραμετροποιείται αναλυτικά και περιγράφεται μέσω διαθέσιμων φασμάτων ψευδοεπιταχύνσεων, τα οποία διακρίνονται για την λεπτομερέστερη επισκόπηση των παραμέτρων που επηρεάζουν τη σεισμική κίνηση και την απόκριση της κατασκευής, σε σχέση με φάσματα προγενέστερων κανονισμών.
- Γίνεται διάκριση κατηγοριών πλαστιμότητας των κατασκευών και ο σχεδιασμός προσαρμόζεται σε αυτές ώστε να λαμβάνεται υπόψη η δυνατότητα των μελών να παραμορφώνονται πέρα από τη διαρροή χωρίς να αστοχούν. Η δυνατότητα αυτή δεν υπήρχε σε παλαιότερους κανονισμούς αντισεισμικού σχεδιασμού.
- Οι σχέσεις για τον υπολογισμό της καμπυλότητας και της στροφής χορδής στη διαρροή και την αστοχία είναι γενικά απλές και μπορούν να προγραμματισθούν σε υπολογιστικά φύλλα κάνοντας τη χρήση τους ακόμα ευκολότερη.
- Κατά την εφαρμογή των σχέσεων σε τυπικά μέλη οπλισμένου σκυροδέματος διαπιστώθηκε ότι τα υποστυλώματα έχουν δυνατότητα ανάπτυξης έως και τετραπλάσιας στροφή από αυτή της διαρροής στο άκρο τους πριν τη θεωρητική αστοχία τους. Η τιμή αυτή μπορεί να είναι και πενταπλάσια σε δοκούς, όπου όμως κατά κανόνα οι ροπές διαρροής είναι μικρότερες. Οι τιμές αυτές προκύπτουν από τη μελέτη των σχετικών δεικτών πλαστιμότητας στροφών που υπολογίστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο.
- Τέλος, αναφορικά με την επιρροή του αξονικού φορτίου, παρατηρήθηκε ότι η αύξηση του θλιπτικού αξονικού φορτίου αυξάνει τη ροπή αντοχής. Ωστόσο, η διαθέσιμη γωνία στροφής του μέλους μειώνεται, δηλαδή η συμπεριφορά του στοιχείου είναι πιο ψαθυρή.