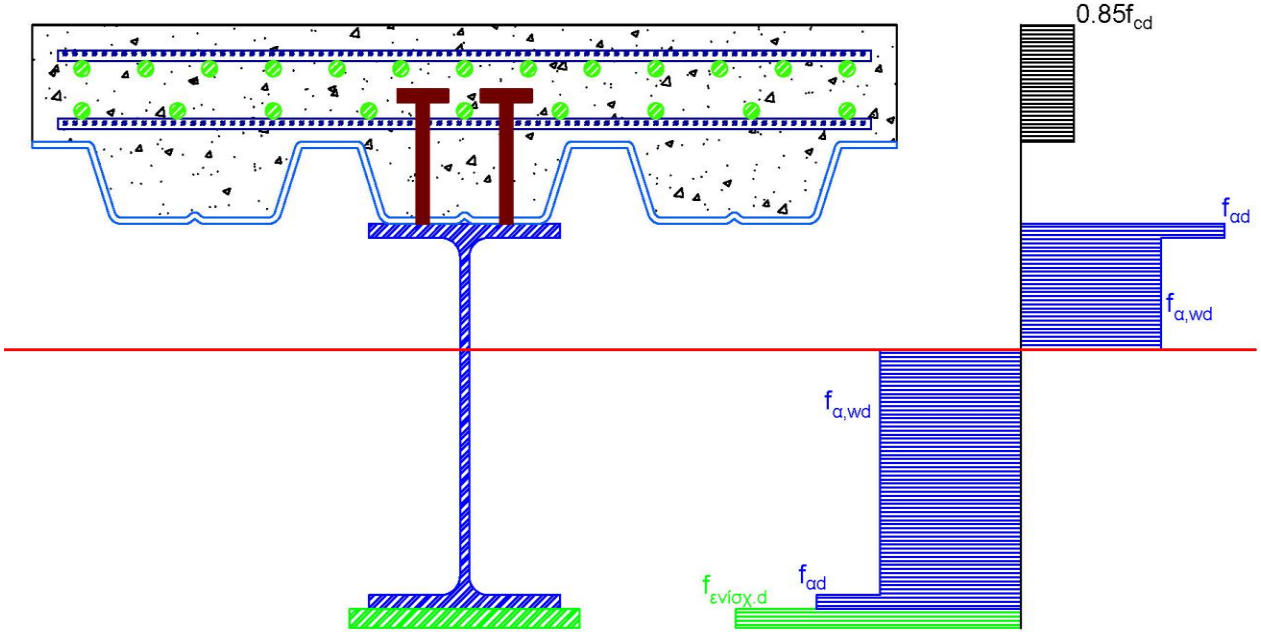
ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Σχολή Πολιτικών Μηχανικών

Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών

ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΣΥΜΜΙΚΤΩΝ ΔΟΚΩΝ ΑΠΟ ΧΑΛΥΒΑ ΚΑΙ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ανδρέας Δημοσθένους

Επιβλέπων: Λέκτορας Θανόπουλος Παύλος

Αθήνα, Ιούλιος 2022

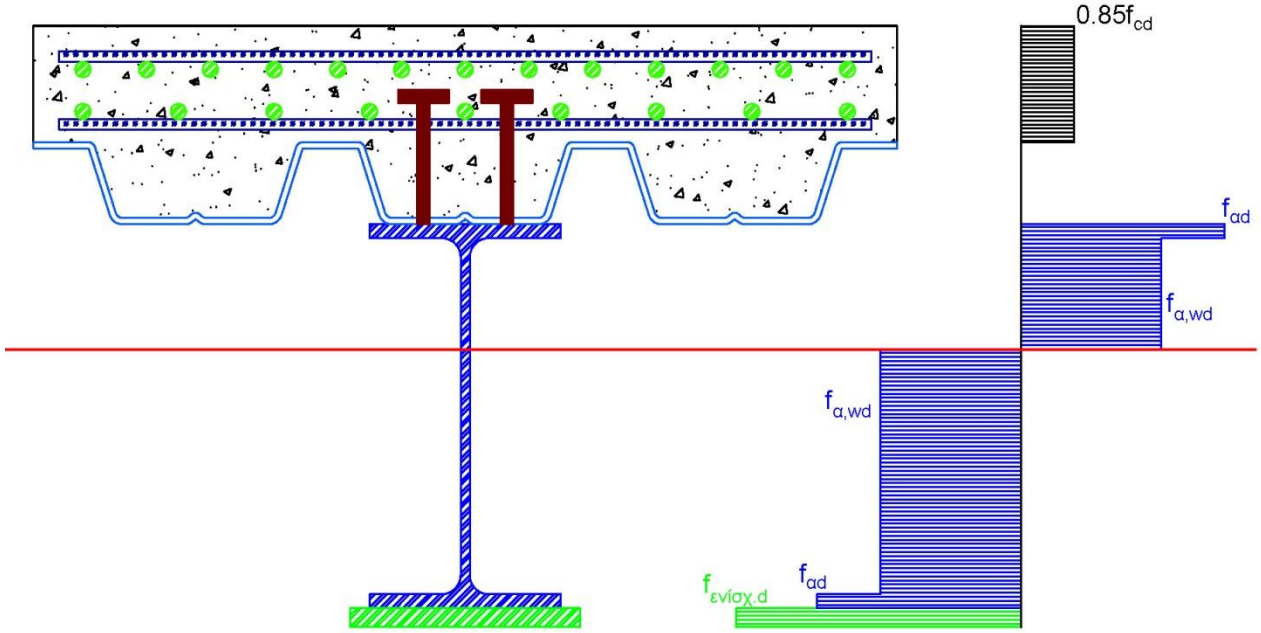
ΕΜΚ ΔΕ 2022/4

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Σχολή Πολιτικών Μηχανικών

Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών

ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΣΥΜΜΙΚΤΩΝ ΔΟΚΩΝ ΑΠΟ ΧΑΛΥΒΑ ΚΑΙ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ανδρέας Δημοσθένους

Επιβλέπων: Λέκτορας Θανόπουλος Παύλος

Αθήνα, Ιούλιος 2022

ΕΜΚ ΔΕ 2022/4

Copyright © Ανδρέας Δημοσθένους, 2022
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση σε αρχείο πληροφοριών, διανομή, αναπαραγωγή, μετάφραση ή μετάδοση της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό, υπό οποιαδήποτε μορφή και με οποιοδήποτε μέσο επικοινωνίας, ηλεκτρονικό ή μηχανικό, χωρίς την προηγούμενη έγγραφη άδεια του συγγραφέα. Επιτρέπεται η αναπαραγωγή, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν στη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από τη Σχολή Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου (ΕΜΠ) δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (Ν. 5343/1932, Άρθρο 202).

Copyright © Andreas Demosthenous, 2022
All Rights Reserved

Neither the whole nor any part of this diploma thesis may be copied, stored in a retrieval system, distributed, reproduced, translated, or transmitted for commercial purposes, in any form or by any means now or hereafter known, electronic or mechanical, without the written permission from the author. Reproducing, storing and distributing this thesis for non-profitable, educational or research purposes is allowed, without prejudice to reference to its source and to inclusion of the present text. Any queries in relation to the use of the present thesis for commercial purposes must be addressed to its author.

Approval of this diploma thesis by the School of Civil Engineering of the National Technical University of Athens (NTUA) does not constitute in any way an acceptance of the views of the author contained herein by the said academic organization (L. 5343/1932, art. 202).

Ανδρέας Δημοσθένους (2022)
Ανάπτυξη Προγράμματος Διαστασιολόγησης Σύμμικτων Δοκών Από Χάλυβα και Σκυρόδεμα
Διπλωματική Εργασία ΕΜΚ ΔΕ 2022/4
Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Andreas Demosthenous (2022)
Creating a Structure Program Design Composite Beams Steel and Concrete
Diploma Thesis ΕΜΚ ΔΕ 2022/4
Institute of Steel Structures, National Technical University of Athens, Greece.

Ευχαριστίες

Με την περάτωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας ολοκληρώνεται ο κύκλος σπουδών μου στη Σχολή Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Θα ήθελα να εκφράσω ιδιαίτερες ευχαριστίες προς τον επιβλέποντα Λέκτορα του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, κύριο Παύλο Θανόπουλο για την ανάθεση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, καθώς και για όλες τις γνώσεις, υποδείξεις και συμβουλές του που αποκόμισα καθ' όλη την διάρκεια συνεργασίας μας.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω σε όλους τους καθηγητές μου για την μεταλαμπάδευση των πολύτιμων γνώσεων τους και με τη σωστή καθοδήγηση τους με μύησαν στο κόσμο του πολιτικού μηχανικού.

Ευχαριστίες προς τους φίλους και συμφοιτητές μου για το αδιάκοπο έμπρακτο ενδιαφέρον τους μέσα στα χρόνια φοίτησης μας.

Τέλος θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου προς τους γονείς μου και σε όλη την οικογένεια μου, για την ατέρμονη στήριξη και συμπαράσταση τους, για τις πολύτιμες συμβουλές τους και για όλα όσα μου έχουν προσφέρει όλα αυτά τα χρόνια της ζωής μου αλλά και των σπουδών μου.

Αθήνα, Ιούλιος 2022

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΕΜΚ ΔΕ 2022/4

Ανάπτυξη Προγράμματος Διαστασιολόγησης Σύμμικτων Δοκών Από Χάλυβα και Σκυρόδεμα

Ανδρέας Δημοσθένους

Επιβλέπων: Λέκτορας Παύλος Θανόπουλος

Ιούλιος 2022

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται την ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου προγράμματος το οποίο διαθέτει αυτοματοποιημένες διαδικασίες όλων των απαιτούμενων ελέγχων και υπολογισμών για τη διαστασιολόγηση σύμμικτων δοκών από χάλυβα και σκυρόδεμα για κτιριακές κατασκευές. Το πρόγραμμα συντάχθηκε σύμφωνα με τους Ευρωκώδικες 0, 1, 2, 3 και 4 λαμβάνοντας υπόψη ελέγχους τόσο σε οριακή κατάσταση αστοχίας (ΟΚΑ) όσο και σε οριακή κατάσταση λειτουργικότητας (ΟΚΛ), καθώς και τις φάσεις κατασκευής. Η εφαρμογή αυτή αποτελεί ένα εργαλείο το οποίο μπορεί να εξυπηρετήσει τις ανάγκες προγραμμάτων τα οποία δεν διαθέτουν υπολογιστικούς ελέγχους για την διαστασιολόγηση σύμμικτων δοκών είτε μπορεί να χρησιμοποιηθεί παράλληλα ως συμπληρωματικό πρόγραμμα για την επανεξέταση αποτελεσμάτων τα οποία λαμβάνονται από άλλα εμπορικά προγράμματα. Η εφαρμογή αναπτύχτηκε στην πλατφόρμα Microsoft Excel 2007 στην οποία έγινε χρήση και της γλώσσας προγραμματισμού VBA (Visual Basic for Applications) για την σύνταξη του κώδικα. Δημιουργήθηκε με την προοπτική να είναι όσο το δυνατόν πιο απλή, εύχρηστη διαθέτοντας ένα φιλικό περιβάλλον προς το χρήστη. Μερικά από τα κύρια πλεονεκτήματα τα οποία διαθέτει συγκριτικά με άλλα εμπορικά προγράμματα είναι η δυνατότητα επίλυσης και διαστασιολόγησης διάφορων μορφών στατικών συστημάτων διαθέτοντας ελέγχους τόσο σε ΟΚΑ

όσο και σε ΟΚΛ λαμβάνοντας υπόψη και τις φάσεις κατασκευής. Οι αναλυτικοί έλεγχοι και υπολογισμοί συνοδεύονται με ταυτόχρονη γραφική σχεδίαση διαγραμμάτων (π.χ. εντατικών μεγεθών, βελών κάμψεως, τάσεων καθ' ύψος της διατομής, διατμητικής ροής στους ελέγχους διατμητικής σύνδεσης κλπ), καθώς επίσης πραγματοποιείται και ρεαλιστική σχεδίαση των σύμμικτων διατομών (με πραγματικές διαστάσεις) στις διάφορες κρίσιμες διατομές ελέγχων έτσι ώστε ο χρήστης να έχει μια οπτική εικόνα κατά την σχεδίαση της γεωμετρίας της διατομής. Επίσης δίνεται η δυνατότητα μελέτης υφιστάμενων δοκών οι οποίες χρήζουν ενίσχυσης όπου η ενίσχυση μπορεί να επιτευχθεί μέσω προσθήκης ελάσματος ενίσχυσης. Το πρόγραμμα είναι εφοδιασμένο με ελέγχους ασφαλείας κατά την εισαγωγή δεδομένων όπου εντοπίζονται λάθη τα οποία προκύπτουν είτε κατά την πληκτρολόγηση, είτε λόγω παράληψης συμπλήρωσης από το χρήστη υποδηλώνοντας τη θέση στην οποία εντοπίζεται το λάθος. Ακόμη ελέγχεται αν οι τιμές εισαγωγής οι οποίες δίνονται από το χρήστη είναι ρεαλιστικά εφικτές (λαμβάνοντας υπόψη και κατασκευαστικές διατάξεις).

Τέλος πραγματοποιήθηκαν πλήθος αριθμητικών παραδειγμάτων έτσι ώστε να διαπιστωθεί ότι τα αποτελέσματα τα οποία λαμβάνονται από το πρόγραμμα είναι αξιόπιστα και συγκλίνουν απόλυτα με τις αναλυτικές λύσεις.

Η παρούσα διπλωματική εργασία χωρίζεται σε δυο κύρια μέρη. Το πρώτο αποτελείται από τα κεφάλαια 1-6 στα οποία γίνεται αναλυτική επεξήγηση του θεωρητικού υπόβαθρου καθώς και των σχέσεων υπολογισμού στις οποίες στηρίζεται η παρούσα εφαρμογή. Το δεύτερο μέρος αποτελείται από το κεφάλαιο 7 το οποίο είναι το εγχειρίδιο χρήσης της εφαρμογής.

NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS
SCHOOL OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF STEEL STRUCTURES

DIPLOMA THESIS
EMK ΔΕ 2022/4

Development of Software for Composite Steel and Concrete Beams

Andreas Demosthenous

Supervisor: Thanopoulos Pavlos

July 2022

Abstract

This thesis deals with the development of an integrated program that has automated processes of all required checks and calculations for the design of composite beams made of steel and concrete for building structures. The program was designed according to Eurocodes 0, 1, 2, 3 and 4 and taking into account both the Ultimate Limit States (ULS) and the Serviceability Limit States (SLS), as well as construction stages. This tool can serve the needs of programs that they do not have computational checks for the design of composite beams. Moreover it can be used as a supplement to the review of results obtained from other commercial programs. The application was developed on the Microsoft Excel 2007 platform which gives you the ability to write the code with VBA programming language (Visual Basic for Applications). It was created with the prospect of being quite simple, manageable and to providing a friendly and graphic environment for the user. Some of the main advantages it has compared to others commercial programs are the ability to solve and design various forms of static systems having checks in both ULS and SLS taking into account the construction stages. The analytical checks and calculations are accompanied by simultaneous graphical diagrams (e.g. intensities, displacements, cross-sectional stresses, shear flow in the shear connection etc.), as well as being carried out and realistic design of composite cross-sections (with real dimensions) various critical cross-sections of controls so that the user has a realistic visual when drawing the geometry of the cross section. It is really impressive that this

application enables the studying of existing beams that need reinforcement. This reinforcement can be achieved through addition of steel plate. The program is equipped with security checks when entering data where errors are detected which occur either when typing, or with failure to complete by the user indicating the location in which the error is detected. Additionally it can check whether the input values given by the user are realistic feasible (taking into account also construction provisions).

Finally, a number of numerical examples were made so that it is established that the results obtained from the program are reliably and perfectly converge with analytical solutions.

This thesis is divided into two main parts, chapters 1-6 in which a detailed explanation is made of the theoretical background and the calculation relationships on which this application is based and in Chapter 7 which is the user manual of the application.

Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή στις Σύμμικτες Κατασκευές 1

1.1 Ιστορική Αναδρομή 1

1.2 Γενικά 2

1.3 Πλεονεκτήματα Μεταλλικών Κατασκευών 6

1.4 Σύμμικτα Δομικά Στοιχεία 8

1.4.1 Σύμμικτες Δοκοί 8

1.4.2 Σύμμικτες Πλάκες 11

1.4.3 Σύμμικτα υποστυλώματα 13

1.4.4 Σύμμικτοι Κόμβοι 16

2. Ευρωκώδικες 19

2.1 Γενικά 19

2.2 Στόχοι των Ευρωκωδίκων 20

2.3 Πρότυπα Ευρωκωδίκων 20

2.4 Ευρωκώδικας 4 21

3. Δομικά Υλικά Σύμμικτων Κατασκευών 23

3.1 Γενικά 23

3.2 Σκυρόδεμα 23

3.3 Δομικός Χάλυβας 26

3.4 Χάλυβας Οπλισμού 28

3.5 Χάλυβας Χαλυβδοφύλλων 31

3.6 Κοχλίες 33

3.7 Διατμητικοί Ήλοι 34

4. Δράσεις Στις Κατασκευές 35

4.1 Γενικά 35
4.2 Κατηγορίες Φορτίων 35
4.3 Οριακές καταστάσεις στις κατασκευές 37
4.3.1 Γενικά 37
4.3.2 Οριακές Καταστάσεις Σχεδιασμού Κατασκευών 37
4.3.2.1 Οριακή Κατάσταση Αστοχίας (ΟΚΑ) (Ultimate Limit States - ULS) 38
4.3.2.2 Οριακή Κατάσταση Λειτουργικότητας (ΟΚΛ) (Serviceability Limit States - SLS) 39
4.3.3 Καταστάσεις Σχεδιασμού Κατασκευής 39
4.4 Συνδυασμός Δράσεων 40
4.4.1 Οριακή Κατάσταση Αστοχίας [ΟΚΑ] 42
4.4.1.1 Έλεγχος Επάρκειας σε Οριακή Κατάσταση Αστοχίας 43
4.4.2 Οριακή Κατάσταση Λειτουργικότητας [ΟΚΛ] 44
4.4.2.1 Έλεγχος Επάρκειας σε Οριακή Κατάσταση Λειτουργικότητας 45
5. Μέθοδοι Υπολογισμού Των Δράσεων Και Των Αντιστάσεων 47
6. Ανάλυση Και Διαστασιολόγηση Σύμμικτων Δοκών 49
6.1 Μέθοδοι Ανάλυσης Και Προσδιορισμός Εντατικών Μεγεθών 49
6.1.1 Ελαστική Ανάλυση 49
6.1.1.1 Αρηγμάτωτη Ανάλυση 50
6.1.1.2 Ρηγματωμένη Ανάλυση 50
6.1.2 Πλαστική Ανάλυση 53
6.1.3 Ελαστική ανάλυση με περιορισμένη ανακατανομή 54
6.2 Συνεργαζόμενο Πλάτος Πλάκας Σκυροδέματος 56
6.3 Κατάταξη Διατομών 61

6.3.1 Γενικά 61

6.3.2 Κατάταξη Αμιγώς Χαλύβδινων Δοκών..... 64

6.3.3 Κατάταξη Σύμμικτων Δοκών 68

6.3.3.1 Γενικά 68

6.3.3.2 Κατάταξη προεξεχόντων στοιχείων (κατάταξη πελμάτων) σύμμικτων δοκών 68

6.3.3.3 Κατάταξη εσωτερικών στοιχείων (κατάταξη κορμού) σύμμικτων δοκών 72

6.4 Διαστασιολόγηση Σύμμικτων Δοκών σε Οριακή Κατάσταση Αστοχίας (ΟΚΑ) 75

6.4.1 Πλαστική Ροπή Αντοχής Σύμμικτης Δοκού 75

6.4.1.1 Γενικά 75

6.4.1.2 Θετικές Πλαστικές Ροπές Αντοχής ($M_{pl,Rd}^{+}$) 76

6.4.1.3 Αρνητικές Πλαστικές Ροπές Αντοχής 86

6.4.2 Πλαστική Ροπή Αντοχής Χαλύβδινης Διατομής ($M_{pl,\alpha,Rd}$) 98

6.4.3 Ελαστική Ροπή Αντοχής Σύμμικτης Δοκού 104

6.4.3.1 Γενικά 104

6.4.3.2 Θετική Ελαστική Ροπή Αντοχής ($M_{el,Rd}^{+}$) 106

6.4.3.3 Αρνητική Ελαστική Ροπή Αντοχής ($M_{el,Rd}^{-}$) 111

6.4.4 Επιρροές λόγω χρόνιων παραμορφώσεων 116

6.4.4.1 Ερπυσμός 116

6.4.4.2 Συστολή σκυροδέματος λόγω αυτογενούς συστολής και συστολή ξήρανσης 121

6.4.5 Αντοχή έναντι Τέμνουσας Δύναμης 129

6.4.5.1 Γενικά 129

6.4.5.2 Σχέσεις υπολογισμού πλαστικού σχεδιασμού έναντι κατακόρυφης διάτμησης 130

6.4.6 Αλληλεπίδραση Ροπών Κάμψης και Τεμνουσών Δυνάμεων 133

6.4.7 Διατμητική Σύνδεση Σύμμικτων Δοκών 135

6.4.7.1 Γενικά 135

6.4.7.2 Μέθοδοι Ανάλυσης Προσδιορισμού Δρώσας Διαμήκους Διάτμησης ($v_{l,Ed}$) 138

6.4.7.3 Διατμητικοί σύνδεσμοι..... 146

6.4.7.4 Κατανομή Διατμητικών Συνδέσμων Κατά Μήκος Της Σύμμικτης Δοκού 160

6.4.7.5 Διατμητική Κάλυψη Πλάκας Σκυροδέματος 169

6.5 Διαστασιολόγηση Σύμμικτων Δοκών Σε Οριακή Κατάσταση Λειτουργικότητας (ΟΚΛ) 177

6.5.1 Γενικά 177

6.5.2 Βέλη κάμψεως σύμμικτης δοκού 178

6.5.2.1 Γενικά 178

6.5.2.2 Προσδιορισμός βελών κάμψεως για διάφορους τύπους δοκών 181

6.5.2.3 Επιτρεπόμενες Τιμές Κατακόρυφων Καμπτικών Παραμορφώσεων Δοκών 197

6.5.3 Έλεγχος Ρηγμάτωση Σκυροδέματος 199

6.5.3.1 Γενικά 199

6.5.3.2 Απλουστευμένη Μέθοδος Υπολογισμού Και Έλεγχου Ρηγμάτωσης Σκυροδέματος 200

6.5.4 Ελάχιστος Οπλισμός Πλάκας Σκυροδέματος..... 203

7. Πρόγραμμα Διαστασιολόγησης Σύμμικτων Δοκών 207

7.1 Γενικά 207

7.2 Εγχειρίδιο Χρήσης Του Προγράμματος Σύμμικτων Δοκών 210

7.2.1 Γενικά 210

7.2.2 Κεντρικό Μενού Προγράμματος 212

7.2.3 Καρτέλες Συμπλήρωσης Δεδομένων Και Λήψη Αποτελεσμάτων Από Το Πρόγραμμα 215

7.2.3.1 Γενικά 215

7.2.3.2 Καρτέλα Προγράμματος «Κατάλογος Χαλύβδινων Διατομών» 216

7.2.3.3 Καρτέλα Προγράμματος «Υλικά» 226

7.2.3.4 Καρτέλα Προγράμματος «Συνεργαζόμενο Πλάτος» 229

7.2.3.5 Καρτέλα Προγράμματος «Γεωμετρία Διατομής» 232

7.2.3.6 Καρτέλα Προγράμματος «Φορτία» 245

7.2.3.7 Καρτέλα Προγράμματος «Υπολογισμός Εντατικών Μεγεθών [ΟΚΑ]» 247

7.2.3.8 Καρτέλα Προγράμματος «Υπολογισμός Εντατικών Μεγεθών [ΟΚΛ]» 252

7.2.3.9 Καρτέλα Προγράμματος «Υπολογισμός Πλαστικής Αντοχής Τέμνουσας [$V_{pl,Rd}$]» 257

7.2.3.10 Καρτέλα Προγράμματος «Υπολογισμός Πλαστικής Ροπής Αντοχής Σιδηροδοκού [$M_{pl,\alpha,Rd}$]» 259

7.2.3.11 Καρτέλα Προγράμματος «Υπολογισμός Πλαστική Ροπή Αντοχής Σύμμικτης Δοκού [$M_{pl,Rd}$]» 260

7.2.3.12 Καρτέλα Προγράμματος «Υπολογισμός Χρόνιων Φαινόμενων» 270

7.2.3.13 Καρτέλα Προγράμματος «Υπολογισμός Ελαστικής Ροπής Αντοχής [$M_{el,Rd}$]» 275

7.2.3.14 Καρτέλα Προγράμματος «Υπολογισμός Κατάταξης Διατομών» 295

7.2.3.15 Καρτέλα Προγράμματος «Υπολογισμός Διατμητικής Σύνδεσης» 298

7.2.3.16 Καρτέλα Προγράμματος «Υπολογισμός Διατμητικής Κάλυψης Πλάκας Σκυροδέματος» 315

7.2.3.17 Καρτέλα Προγράμματος «Υπολογισμός Βελών Κάμψεως [ΟΚΛ]» ... 324

7.2.3.18 Καρτέλα Προγράμματος «Ελάχιστος Οπλισμός και Έλεγχος Ρηγμάτωσης Σκυροδέματος» 329

8. Συμπεράσματα - Παρατηρήσεις..... 339

9. Βιβλιογραφία..... 341

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 2-1 Πρότυπα Ευρωκωδίκων 21

Πίνακας 3-1 Τιμές αντοχών σκυροδέματος [MPa] και Μέτρου Ελαστικότητας [GPa] για τις διάφορες ποιότητες σκυροδέματος, (EN 1992-1-1, Πίνακας 3.1) 24

Πίνακας 3-2 Χαρακτηριστικές τιμές της αντοχής διαρροής f_{ya} και της οριακής εφελκυστικής αντοχής f_{ua} για εν θερμώ ελατούς χάλυβες, (EN 1993-Μέρος 1-1 §3.2, Πίνακας 3.1). 26

Πίνακας 3-3 Ποιότητες και χαρακτηριστικές τιμές (f_{ys}) ορίου διαρροής σε MPa του χάλυβα σκυροδέματος σύμφωνα με τους ΕΛΟΤ 1421-2 και ΕΛΟΤ 1421-3 28

Πίνακας 3-4 Ιδιότητες χάλυβα σκυροδέματος σύμφωνα με τον (EN 1992-1-1, Παράρτημα C, Πίνακας C.1) 29

Πίνακας 3-5 Ποιότητες και χαρακτηριστικές τιμές ορίου διαρροής (f_{yp}) και ορίου αντοχής (f_{up}) γαλβανισμένων χαλυβδοφύλλων σύμφωνα με το Πρότυπο EN10147..... 32

Πίνακας 3-6 Ποιότητες και χαρακτηριστικές τιμές ορίου διαρροής (f_{yb}) και ορίου αντοχής (f_{ub}) κοχλιών 33

Πίνακας 4-1 Επιμέρους συντελεστές ασφαλείας δράσεων 41

Πίνακας 4-2 Τιμές μειωτικών συντελεστών συνδυασμού μεταβλητών δράσεων ψ_i για κτίρια, (EN 1990 Πίνακας A1.1) 42

Πίνακας 5-1 Μέθοδοι ανάλυσης και υπολογισμού Δράσεων (E_d) και Αντιστάσεων (R_d) 47

Πίνακας 6-1 Επιτρεπόμενα ποσοστά [%] ανακατανομής των ροπών στα ενδιάμεσα στηρίγματα (συνεχής δοκού)..... 55

Πίνακας 6-2 Συνεργαζόμενο πλάτος b_{eff} σύμμικτων πλαισιακών δοκών υπό σεισμική διέγερση για τον προσδιορισμό αδρανειακών χαρακτηριστικών σε ελαστική ανάλυση, (Ιωάννης Κ. Βάγιας, 2018)..... 60

Πίνακας 6-3 Συνεργαζόμενο πλάτος b_{eff} σύμμικτων πλαισιακών δοκών υπό σεισμική διέγερση για τον προσδιορισμό πλαστικής ροπής αντοχής, (Ιωάννης Κ. Βάγιας, 2018) 60

Πίνακας 6-4 Κατάταξη εσωτερικών ελασμάτων χαλύβδινης διατομής, (EN 1993-1-1 §7.5, Πίνακας 7.3α)..... 65

Πίνακας 6-5 Κατάταξη προεξεχόντων ελασμάτων χαλύβδινης διατομής, (EN 1993-1-1 §7.5, Πίνακας 7.3β) 66
Πίνακας 6-6 Κατάταξη γωνιακών, (EN 1993-1-1 §7.5, Πίνακας 7.3γ) 67
Πίνακας 6-7 Κατάταξη κοίλων κυκλικών και ελλειπτικών διατομών, (EN 1993-1-1 §7.5, Πίνακας 7.3γ) 67
Πίνακας 6-8 Κατάταξη θλιβόμενων πελμάτων μη συνδεόμενα διατμητικά με την πλάκα σκυροδέματος, (EN 1994-1-1 §5.5, Πίνακας 5.2), (Ιωάννης Κ. Βάγιας, 2018) 69
Πίνακας 6-9 Προϋποθέσεις αποστάσεων των διατμητικών συνδέσμων εγκιβωτισμένων κορμών για την ισχύει των ευμενέστερων ορίων κατάταξης πελμάτων (Πίνακας 6-8) για σιδηροδοκούς με εγκιβωτισμένο κορμό σε σκυρόδεμα, (EN 1994-1-1 §5.5), (Ιωάννης Κ. Βάγιας, 2018) 70
Πίνακας 6-10 Όρια μέγιστων αποστάσεων των διατμητικών συνδέσμων για την ευμενέστερη κατάταξη θλιβόμενων πελμάτων της σιδηροδοκού σε κατηγορίες 1 ή 2 (ανεξάρτητα του λόγου c/t του θλιβόμενου πέλματος), (EN 1994-1-1 §5.5.2), (Ιωάννης Κ. Βάγιας, 2018) 72
Πίνακας 6-11 Τιμές συντελεστών ψ_L για την σχέση υπολογισμού (6.87) 120
Πίνακας 6-12 Τιμές του συντελεστής k_h γα την σχέση (6.90) 126
Πίνακας 6-13 Τιμές συντελεστών α_{ds1} και α_{ds2} για την σχέση (6.92) 126
Πίνακας 6-14 Τιμές μειωτικού συντελεστή κύρτωσης (χ_w), (EN 1993-1-5 §5.3, Πίνακας 5.1) 133
Πίνακας 6-15 Απομείωση οριακής τάσης του κορμού σιδηροδοκού στην καμπτική αντίσταση της διατομής, λόγω ταυτόχρονης συνύπαρξης τεμνουσών δυνάμεων 134
Πίνακας 6-16 Γεωμετρικές διαστάσεις διατμητικών ήλων κεφαλής σε (mm) σύμφωνα με τον (EN 13918) 151
Πίνακας 6-17 Μέγιστες τιμές ($k_{t,max}$) για τον μειωτικό συντελεστή (k_t), (EN 1994-1-1 §6.6.4.2, Πίνακας 6.2) 156
Πίνακας 6-18 Κατασκευαστικές απαιτήσεις ως προς την διάταξη των διατμητικών ήλων για κτίρια 158

Πίνακας 6-19 Γωνίες κλίσης λοξού θλιπτήρα σκυροδέματος στο μηχανισμό παραλαβής της διαμήκους διάτμησης..... 172
Πίνακας 6-20 Εμβαδόν διατομής εγκάρσιου οπλισμού σκυροδέματος ο οποίος διέρχεται από την εξεταζόμενη τομή, (EN 1994-1-1 § 6.6.6.4., Σχήμα 6.1.6) 173
Πίνακας 6-21 Μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές κατακόρυφων καμπτικών παραμορφώσεων (επιτρεπόμενες μέγιστες τιμές βελών κάμψεως δοκών), (EN 1993-1-1 (NA) §7.2.1.) 197
Πίνακας 6-22 Μέγιστες τιμές διαμέτρων διαμήκους οπλισμού σκυροδέματος για τον περιορισμό του εύρους ρωγμής w_k στον έλεγχο ρηγμάτωσης, (EN 1992-1-1 §7.3.3, Πίνακας 7.2N), (EN 1994-1-1 §7.4.2, Πίνακας 7.1)..... 201
Πίνακας 6-23 Μέγιστες τιμές των αποστάσεων μεταξύ των διαμήκων ράβδων οπλισμού σκυροδέματος για τον περιορισμό του εύρους ρωγμής w_k στον έλεγχο ρηγμάτωσης, (EN 1992-1-1 §7.3.3, Πίνακας 7.3N), (EN 1994-1-1 §7.4.3, Πίνακας 7.2) 201

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1-1 Σύμμικτα δομικά στοιχεία κτιρίων στην Ιαπωνία από το 1930-1970, (Ιωάννης Κ. Βάγιας, 2018) 2
Εικόνα 1-2 Επιρροή χρήσης ή μη βοηθητικών υποστηρίξεων (στην φάση σκυροδέτησης) και πως επηρεάζει την παραμόρφωση (βέλος κάμψεως) του σύμμικτου φορέα όσο αυξάνεται η καμπτική ροπή [M]. 5
Εικόνα 1-3 Τυπική Διαμόρφωση Σύμμικτου Δαπέδου 8
Εικόνα 1-4 Τυπικές μορφές σύμμικτων δοκών (για κτίρια), (EN 1994-1-1 §6.1) 10
Εικόνα 1-5 Τυπικές διατάξεις σύμμικτων δοκών, (Ιωάννης Κ. Βάγιας, 2018) 10
Εικόνα 1-6 Τυπική μορφή σύμμικτη πλάκας με πρότυπο χαλυβδόφυλλο, (https://pagouni.gr/) 12
Εικόνα 1-7 Ενδεικτικές διατομές σύμμικτων υποστυλωμάτων, (Ιωάννης Κ. Βάγιας, 2018) 15
Εικόνα 1-8 Τρισδιάστατη απεικόνιση ενδεικτικών σύμμικτων υποστυλωμάτων 16
Εικόνα 1-9 Σύμμικτοι Κόμβοι Δοκού – Υποστυλώματος 18
Εικόνα 3-1 (α) Τυπικό διάγραμμα [σ_c=f(ε_c)] σκυροδέματος (β) Προσεγγιστικό παραβολικό – ορθογωνικό διάγραμμα [σ_c=f(ε_c)] σκυροδέματος (γ) Προσεγγιστικό διγραμμικό διάγραμμα [σ_c=f(ε_c)] σκυροδέματος, σύμφωνα με τον (EN 1992-Μέρος 1-1 §3.1, Σχήμα 3.2, 3.3, 3.4) 25
Εικόνα 3-2 (α) Τυπικό Διάγραμμα χάλυβα (β) Εξιδανικευμένο διάγραμμα δομικού χάλυβα τάσεων – παραμορφώσεων [σ_a=f(ε_a)], (EN 1993-1-1) 27
Εικόνα 3-3 (α) Τυπικό διάγραμμα [σ=f(ε)] του χάλυβα (β) Συμβατικό γραμμικά ελαστικό – γραμμικά κρατυνόμενο διάγραμμα [σ=f(ε)] χάλυβα σκυροδέματος (γ) Συμβατικό γραμμικά ελαστικό – απολύτως πλαστικά διάγραμμα [σ=f(ε)] χάλυβα σκυροδέματος, (EN 1992-1-1) 31
Εικόνα 5-1 Ορισμός Αστοχίας, (Ιωάννης Κ. Βάγιας, 2018) 47
Εικόνα 6-1 Αρηγμάτωτη ανάλυση (Αρηγμάτωτη δυσκαμψία (EI1) σε όλο το μήκος του φορέα 50

Εικόνα 6-2 Ρηγματωμένη ελαστική ανάλυση με την ακριβής (μέθοδο 1) και απλοποιημένη (μέθοδο 2) για τον υπολογισμό των εντατικών μεγεθών συνυπολογίζοντας την ρηγμάτωση του σκυροδέματος, (Ηλιόπουλος Α., 2011) 52
Εικόνα 6-3 Ρηγματωμένη ανάλυση με την απλουστευμένη μέθοδο (Μέθοδος 2)..... 52
Εικόνα 6-4 Διάγραμμα ανακατανομής ροπών σε ενδιάμεση στήριξη (συνεχής δοκού) λόγω ρηγμάτωσης, (Ιωάννης Κ. Βάγιας, 2018)..... 55
Εικόνα 6-5 Φαινόμενο «διατμητικής υστέρησης», Διαγράμματα πραγματικής μεταβαλλόμενης κατανομής και προσεγγιστικής κατανομής σταθερού πλάτους (παραδοχή συνεργαζόμενου πλάτους) ορθών τάσεων, (Ιωάννης Κ. Βάγιας, 2018) 57
Εικόνα 6-6 Ισοδύναμα ανοίγματα L_e για τον προσδιορισμό συνεργαζόμενου πλάτους b_{eff}, (EN 1994-1-1 §5.4.1.2, Σχήμα 5.1) 58
Εικόνα 6-7 Τυπικό διάγραμμα Ροπής – Καμπυλότητας [M=f(κ)] και κατηγοριοποίηση των διατομών λόγω τοπικού λυγισμού, (Γαντές Χ., Βαμβάτσικος Δ., Θανόπουλος Π., Σπηλιόπουλος Α., n.d.)..... 62
Εικόνα 6-8 Ενεργός διατομή κορμού κατηγορίας 3 υπό αρνητική ροπή ο οποίος κατατάσσεται ως διατομή κορμού κατηγορίας 2, (Ιωάννης Κ. Βάγιας, 2018) 74
Εικόνα 6-9 Προσδιορισμός ροπής αντοχή της διατομής με βάση την μέθοδο των λωρίδων, (Ιωάννης Κ. Βάγιας, 2018) 76
Εικόνα 6-10 Κατανομή ορθών τάσεων για την εύρεση θετικής πλαστικής ροπής αντοχής σε διατομή με συμπαγή ή σύμμικτη πλάκα σκυροδέματος με χαλυβδόφυλλο και έλασμα ενίσχυσης. Ο πλαστικός ουδέτερος άξονας βρίσκεται εντός της πλάκα σκυροδέματος..... 78
Εικόνα 6-11 Κατανομή ορθών τάσεων για την εύρεση θετικής πλαστικής ροπής αντοχής σε διατομή με συμπαγή ή σύμμικτη πλάκα σκυροδέματος με χαλυβδόφυλλο και έλασμα ενίσχυσης. Ο πλαστικός ουδέτερος άξονας βρίσκεται εντός του άνω πέλματος της σιδηροδοκού 79
Εικόνα 6-12 Κατανομή ορθών τάσεων για την εύρεση θετικής πλαστικής ροπής αντοχής σε διατομή με συμπαγή ή σύμμικτη πλάκα σκυροδέματος με χαλυβδόφυλλο και

έλασμα ενίσχυσης. Ο πλαστικός ουδέτερος άξονας βρίσκεται στην περιοχή του κορμού της σιδηροδοκού 80
Εικόνα 6-13 Κατανομή ορθών τάσεων για την εύρεση θετικής πλαστικής ροπής αντοχής σε διατομή με συμπαγή ή σύμμικτη πλάκα σκυροδέματος με χαλυβδόφυλλο και έλασμα ενίσχυσης. Ο πλαστικός ουδέτερος άξονας βρίσκεται στην περιοχή του κάτω πέλματος της σιδηροδοκού 81
Εικόνα 6-14 Κατανομή ορθών τάσεων για την εύρεση θετικής πλαστικής ροπής αντοχής σε διατομή με συμπαγή ή σύμμικτη πλάκα σκυροδέματος με χαλυβδόφυλλο και έλασμα ενίσχυσης. Ο πλαστικός ουδέτερος άξονας βρίσκεται στην περιοχή του ελάσματος ενίσχυσης της σιδηροδοκού 82
Εικόνα 6-15 Διάγραμμα μειωτικού συντελεστή «β» για την μείωση της θετικής πλαστικής ροπής αντοχής σε σιδηροδοκούς από χάλυβα κατηγορίας (S420 ή S460), (EN1994-1-1 §6.2.1.2, Σχήμα 6.3) 85
Εικόνα 6-16 Κατανομή ορθών τάσεων για την εύρεση αρνητικής πλαστικής ροπής αντοχής σε διατομή με δυνατότητα επιλογής δυο στρώσεων οπλισμού στην συμπαγή ή σύμμικτη πλάκα σκυροδέματος με χαλυβδόφυλλο και έλασμα ενίσχυσης. Ο πλαστικός ουδέτερος άξονας βρίσκεται εντός της περιοχής της άνω στρώσης του οπλισμού σκυροδέματος..... 87
Εικόνα 6-17 Κατανομή ορθών τάσεων για την εύρεση αρνητικής πλαστικής ροπής αντοχής σε διατομή με δυνατότητα επιλογής δυο στρώσεων οπλισμού στην συμπαγή ή σύμμικτη πλάκα σκυροδέματος με χαλυβδόφυλλο και έλασμα ενίσχυσης. Ο πλαστικός ουδέτερος άξονας βρίσκεται εντός της περιοχής της κάτω στρώσης του οπλισμού σκυροδέματος..... 88
Εικόνα 6-18 Κατανομή ορθών τάσεων για την εύρεση αρνητικής πλαστικής ροπής αντοχής σε διατομή με δυνατότητα επιλογής δυο στρώσεων οπλισμού στην συμπαγή ή σύμμικτη πλάκα σκυροδέματος με χαλυβδόφυλλο και έλασμα ενίσχυσης. Ο πλαστικός ουδέτερος άξονας βρίσκεται εντός του άνω πέλματος της σιδηροδοκού 89
Εικόνα 6-19 Κατανομή ορθών τάσεων για την εύρεση αρνητικής πλαστικής ροπής αντοχής σε διατομή με δυνατότητα επιλογής δυο στρώσεων οπλισμού στην συμπαγή ή

σύμμικτη πλάκα σκυροδέματος με χαλυβδόφυλλο και έλασμα ενίσχυσης. Ο πλαστικός ουδέτερος άξονας βρίσκεται εντός της περιοχής του κορμού της σιδηροδοκού 90
Εικόνα 6-20 Κατανομή ορθών τάσεων για την εύρεση αρνητικής πλαστικής ροπής αντοχής σε διατομή με δυνατότητα επιλογής δυο στρώσεων οπλισμού στην συμπαγή ή σύμμικτη πλάκα σκυροδέματος με χαλυβδόφυλλο και έλασμα ενίσχυσης. Ο πλαστικός ουδέτερος άξονας βρίσκεται εντός της περιοχής του κάτω πέλματος της σιδηροδοκού 91
Εικόνα 6-21 Κατανομή ορθών τάσεων για την εύρεση αρνητικής πλαστικής ροπής αντοχής σε διατομή με δυνατότητα επιλογής δυο στρώσεων οπλισμού στην συμπαγή ή σύμμικτη πλάκα σκυροδέματος με χαλυβδόφυλλο και έλασμα ενίσχυσης. Ο πλαστικός ουδέτερος άξονας βρίσκεται εντός της περιοχής του ελάσματος ενίσχυσης της σιδηροδοκού 92
Εικόνα 6-22 Τυπική μορφή σύμμικτης δοκού με σύμμικτη πλάκα σκυροδέματος (χαλυβδόφυλλο παράλληλο στην διεύθυνση της σιδηροδοκού) 96
Εικόνα 6-23 Λεπτομέρεια σύμμικτης δοκού (ονοματολογίες των φερόντων στοιχείων και διαστάσεις) 97
Εικόνα 6-24 Γεωμετρικά χαρακτηριστικά χαλύβδινης διατομής (σιδηροδοκός + έλασμα ενίσχυσης) 98
Εικόνα 6-25 Κατανομή ορθών τάσεων για την εύρεση πλαστικής ροπής αντοχής της χαλύβδινης διατομής, όπου ο πλαστικός ουδέτερος άξονας βρίσκεται εντός του άνω πέλματος της σιδηροδοκού 99
Εικόνα 6-26 Κατανομή ορθών τάσεων για την εύρεση πλαστικής ροπής αντοχής της χαλύβδινης διατομής, όπου ο πλαστικός ουδέτερος άξονας βρίσκεται εντός του κορμού της σιδηροδοκού 100
Εικόνα 6-27 Κατανομή ορθών τάσεων για την εύρεση πλαστικής ροπής αντοχής της χαλύβδινης διατομής, όπου ο πλαστικός ουδέτερος άξονας βρίσκεται εντός της περιοχής του κάτω πέλματος της σιδηροδοκού 101

Εικόνα 6-28 Κατανομή ορθών τάσεων για την εύρεση πλαστικής ροπής αντοχής της χαλύβδινης διατομής, όπου ο πλαστικός ουδέτερος άξονας βρίσκεται εντός της περιοχής του ελάσματος ενίσχυσης της σιδηροδοκού 102
Εικόνα 6-29 Μετατροπή σύμμικτης διατομής από χάλυβα και σκυρόδεμα (αριστερή εικόνα) σε ισοδύναμη διατομή μόνο από υλικό χάλυβα (δεξιά εικόνα) 106
Εικόνα 6-30 Διάγραμμα τάσεων ελαστικής ανάλυσης (θετικών ροπών) για κάθε φάση κατασκευής για την περίπτωση όπου δεν γίνεται χρήση βοηθητικών υποστυλωμάτων κατά την φάση σκυροδέτησης 110
Εικόνα 6-31 Διάγραμμα τάσεων ελαστικής ανάλυσης (θετικών ροπών) για κάθε φάση κατασκευής για την περίπτωση όπου γίνεται χρήση βοηθητικών υποστυλωμάτων κατά την φάση σκυροδέτησης 111
Εικόνα 6-32 Διάγραμμα τάσεων ελαστικής ανάλυσης (αρνητικών ροπών) για κάθε φάση κατασκευής για την περίπτωση όπου δεν γίνεται χρήση βοηθητικών υποστυλωμάτων κατά την φάση σκυροδέτησης 115
Εικόνα 6-33 Διάγραμμα τάσεων ελαστικής ανάλυσης (αρνητικών ροπών) για κάθε φάση κατασκευής για την περίπτωση όπου γίνεται χρήση βοηθητικών υποστυλωμάτων κατά την φάση σκυροδέτησης 116
Εικόνα 6-34 Τυπικό διάγραμμα ανηγμένων παραμορφώσεων συναρτήσει του χρόνου [ε=f(t)] στο οποίο περιγράφεται το φαινόμενο του ερπυσμού, (Αθανάσιος Χ. Τριανταφύλλου, 2013)..... 118
Εικόνα 6-35 Συστολική παραμόρφωση στοιχείου σκυροδέματος για την περίπτωση συστολής λόγω αυτογενούς και ξήρανσης (αριστερή εικόνα), καθώς και από φαινόμενα ερπυσμού (δεξιά εικόνα)..... 122
Εικόνα 6-36 Δυνάμεις επιφανειακής τάσης στους μηνίσκους και στα τριχοειδή του σκυροδέματος λόγω συστολής ξήρανσης, (Αθανάσιος Χ. Τριανταφύλλου, 2013) 123
Εικόνα 6-37 Τυπικό διάγραμμα συστολής σκυροδέματος λόγω αυτογενούς και συστολής ξηράνσεως, (Αθανάσιος Χ. Τριανταφύλλου, 2013) 124
Εικόνα 6-38 Δυνάμεις - ροπές στη σύμμικτη διατομή λόγω συστολής ξήρανσης, (Ιωάννης Κ. Βάγιας, 2018)..... 127

Εικόνα 6-39 Σύμμικτη διατομή καταπονούμενη σε κατακόρυφη διάτμηση (τέμνουσα δύναμη), (Ιωάννης Κ. Βάγιας, 2018) 130
Εικόνα 6-40 Οριακές τάσεις σιδηροδοκού λόγω ταυτόχρονης συνύπαρξης τέμνουσας δύναμης και ροπής κάμψεως, (Ιωάννης Κ. Βάγιας, 2018) 135
Εικόνα 6-41 Ανάπτυξη κατακόρυφης (τ_v) και διαμήκης διάτμησης (v_l) στο ραβδωτό φορέα από επιβολή τεμνουσών δυνάμεων (V) και στρεπτικών ροπών (M_t), (Ιωάννης Κ. Βάγιας, 2018) 136
Εικόνα 6-42 Πλήρης διατμητική σύνδεση (α σχήμα), Μερική διατμητική σύνδεση (β σχήμα), Χωρίς διατμητική σύνδεση (γ σχήμα), (Ιωάννης Κ. Βάγιας, 2018) 137
Εικόνα 6-43 Τυπικά διαγράμματα ορθών (σ), διατμητικών (τ) τάσεων και ανηγμένων παραμορφώσεων (ε) σύμμικτης δοκού (στην ελαστική περιοχή), για τις περιπτώσεις μηδενικής, πλήρους και μερικής διατμητικής σύνδεσης, (Ιωάννης Κ. Βάγιας, 2018) ... 138
Εικόνα 6-44 Ισορροπία οριζόντιων δυνάμεων στα τμήματα κρίσιμων μηκών μονοπροέχουσας δοκού για την εύρεση δρώσας διατμητικής δύναμης (V_l) με πλαστική ανάλυση, (Ιωάννης Κ. Βάγιας, 2018) 139
Εικόνα 6-45 Ανάπτυξη κατακόρυφης (τ_v) και διαμήκης (τ_l) διατμητικής τάσης στη σύμμικτη δοκό από επιβολή τεμνουσών δυνάμεων (V_{Ed}), (Ιωάννης Κ. Βάγιας, 2018) . 142
Εικόνα 6-46 Διαγράμματα διατμητικής ροής (v_l) και προσδιορισμός κρίσιμων μηκών της σύμμικτης δοκού (l_{cr}), (Ιωάννης Κ. Βάγιας, 2018) 143
Εικόνα 6-47 Διαμήκης διάτμηση σε περιοχές με ανελαστική συμπεριφορά, (Ιωάννης Κ. Βάγιας, 2018) 145
Εικόνα 6-48 Διάγραμμα για τον υπολογισμό της οριζόντιας δύναμης (N) πλάκας σκυροδέματος και οπλισμού, (Ιωάννης Κ. Βάγιας, 2018) 145
Εικόνα 6-49 Διατμητικοί ήλοι κεφαλής, (https://www.precisionfasteners.com/shear-studs-weld-studs.html) 147
Εικόνα 6-50 Διατμητικοί σύνδεσμοι τύποι άγκιστρου και αναβολέα από ράβδους οπλισμένου σκυροδέματος, (Ιωάννης Κ. Βάγιας, 2018) 147
Εικόνα 6-51 Συμπαγείς διατμητικοί σύνδεσμοι, (Ιωάννης Κ. Βάγιας, 2018) 147
Εικόνα 6-52 Διατμητικός σύνδεσμος τύπου γωνιακού, (Ιωάννης Κ. Βάγιας, 2018) 147

Εικόνα 6-53 Διατμητική σύνδεση με χρήση διατμητικών ήλων κεφαλής, (Ερμόπουλος Γιάννης (Ε.Μ.Π), n.d.)..... 149
Εικόνα 6-54 Φάσες συγκόλλησης διατμητικών ήλων κεφαλής, Μηχανή (πιστόλι) συγκόλλησης, (Ερμόπουλος Γιάννης (Ε.Μ.Π), n.d.) 149
Εικόνα 6-55 Σε συμπαγής πλάκα σκυροδέματος οι διατμητικές τάσεις που ασκούνται προς στον διατμητικό ήλο από την άντυγα του σκυροδέματος είναι ομοιόμορφες (τριγωνική κατανομή), (Ιωάννης Κ. Βάγιας, 2018) 153
Εικόνα 6-56 Για την περίπτωση σύμμικτων πλακών με αυλακωτά χαλυβδόφυλλα οι διατμητικές τάσεις που ασκούνται προς στο διατμητικό ήλο από την άντυγα του σκυροδέματος είναι ανομοιόμορφη και τοπική, (Ιωάννης Κ. Βάγιας, 2018) 154
Εικόνα 6-57 Διαστάσεις χαλυβδοφύλλων (διεύθυνση αυλακώσεων χαλυβδόφυλλου παράλληλη με την διεύθυνση της σιδηροδοκού), (EN 1994-1-1 §6.6.4.1, Σχήμα 6.12) 155
Εικόνα 6-58 Διαστάσεις χαλυβδοφύλλων (διεύθυνση αυλακώσεων χαλυβδόφυλλου κάθετα στην διεύθυνση της σιδηροδοκού), (EN 1994-1-1 §6.6.4.2, Σχήμα 6.13) 157
Εικόνα 6-59 Κατασκευαστικές απαιτήσεις στην διάταξη των διατμητικών ήλων κεφαλής για κτίρια, (Ηλιόπουλος Α., 2011), (EN 1994-1-1) 159
Εικόνα 6-60 Τυπική μορφή ελαστικής κατανομής διατμητικής σύνδεσης (διάγραμμα διατμητικής ροής [v_l] και διατμητικής δύναμης των ήλων [$F_{ήλων}$] στην ελαστική ανάλυση)..... 161
Εικόνα 6-61 Πλαστική κατανομή διατμητικών συνδέσμων 162
Εικόνα 6-62 Κάλυψη διαμήκους διάτμησης με ελαστοπλαστική κατανομή διατμητικών συνδέσμων..... 164
Εικόνα 6-63 Τυπικό διάγραμμα ροπής αντοχής συναρτήσει του ποσοστού διατμητικής σύνδεσης για σύμμικτες δοκούς με μερική διατμητική σύνδεση 168
Εικόνα 6-64 Εγκάρσιες τομές για τον έλεγχο διαμήκους διάτμησης της πλάκας σκυροδέματος, (EN 1994-1-1 §6.6.6.4, Σχήμα 6.1.6) 169
Εικόνα 6-65 Δρώσα διαμήκης διατμητική ροή στην εξεταζόμενη τομή α-α, (Βάγιας Ι., Αβραάμ Τ., Θανόπουλος Π., n.d.) 171

Εικόνα 6-66 Μηχανισμός παραλαβής της διαμήκους διάτμησης από την πλάκα σκυροδέματος, (https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-8348-2116-4_8) .. 171
Εικόνα 6-67 Διαγράμματα Ροπών Κάμψεως $M_{(x)}$, Τεμνουσών Δυνάμεων $V_{(x)}$ και Βελών Κάμψεως $w_{(x)}$ Αμφιέρειστης Δοκού 182
Εικόνα 6-68 Βέλος κάμψης δοκού προβόλου 185
Εικόνα 6-69 Διαγράμματα Ροπών Κάμψεως $M_{(x)}$, Τεμνουσών Δυνάμεων $V_{(x)}$ και Βελών Κάμψεως $w_{(x)}$ Συνεχής Δοκού Τεσσάρων Ανοιγμάτων 188
Εικόνα 6-70 Διαγράμματα Ροπών Κάμψεως $M_{(x)}$, Τεμνουσών Δυνάμεων $V_{(x)}$ και Βελών Κάμψεως $w_{(x)}$ Ακραίου Τμήματος Συνεχής Δοκού 189
Εικόνα 6-71 Διαγράμματα Ροπών Κάμψεως $M_{(x)}$, Τεμνουσών Δυνάμεων $V_{(x)}$ και Βελών Κάμψεως $w_{(x)}$ Ενδιάμεσου Τμήματος Συνεχής Δοκού 193
Εικόνα 6-72 Σχηματική απεικόνιση και συμβολισμοί βέλους κάμψεως δοκού, (EN 1990 §A1.4.3, Σχήμα A1.1) 198
Εικόνα 7-1 Κεντρικό Μενού Προγράμματος Σύμμικτων Δοκών 210
Εικόνα 7-2 Ενεργοποίηση των μακροεντολών VBA Excel για την εκτέλεση του κώδικα 211
Εικόνα 7-3 Ενεργοποίηση επαναληπτικής διαδικασίας στο πρόγραμμα Excel 211
Εικόνα 7-4 Εκκίνηση προγράμματος διαστασιολόγησης σύμμικτων δοκών 212
Εικόνα 7-5 Καρτέλα εισαγωγής δεδομένων 212
Εικόνα 7-6 Καρτέλες ελέγχων για την διαστασιολόγησης της σύμμικτης δοκού 214
Εικόνα 7-7 Κουμπιά μεταβίβασης σε κάθε καρτέλα ελέγχου της εφαρμογής 215
Εικόνα 7-8 Βιβλιοθήκη πρότυπων μεταλλικών διατομών 216
Εικόνα 7-9 Πίνακας πρότυπων μεταλλικών διατομών μορφή διπλού ταυ (IPE) 217
Εικόνα 7-10 Πίνακας πρότυπων μεταλλικών διατομών HEA 217
Εικόνα 7-11 Πίνακας πρότυπων μεταλλικών διατομών HEAA 218
Εικόνα 7-12 Πίνακας πρότυπων μεταλλικών διατομών HEB 218
Εικόνα 7-13 Πίνακας πρότυπων μεταλλικών διατομών HEM 219
Εικόνα 7-14 Πίνακας πρότυπων μεταλλικών διατομών U 219
Εικόνα 7-15 Πίνακας πρότυπων μεταλλικών διατομών UPE 220

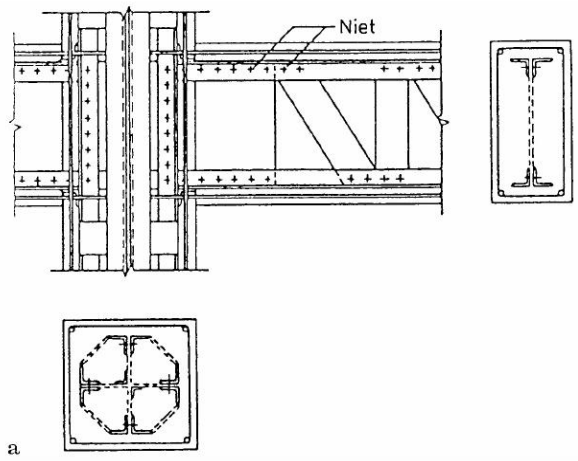
Εικόνα 7-16 Πίνακας πρότυπων μεταλλικών διατομών CHS 222
Εικόνα 7-17 Πίνακας πρότυπων μεταλλικών διατομών SHS 223
Εικόνα 7-18 Πίνακας πρότυπων μεταλλικών διατομών RHS 225
Εικόνα 7-19 Απενεργοποιημένη καρτέλα υλικού ελάσματος ενίσχυσης 226
Εικόνα 7-20 Καρτέλα «Υλικά» Προγράμματος Σύμμικτων Δοκών 228
Εικόνα 7-21 Καρτέλα «Συνεργαζόμενο Πλάτος» Προγράμματος Σύμμικτων Δοκών 231
Εικόνα 7-22 Καρτέλα «Γεωμετρία Διατομής» Προγράμματος Σύμμικτων Δοκών 244
Εικόνα 7-23 Καρτέλα «Φορτία» Προγράμματος Σύμμικτων Δοκών 246
Εικόνα 7-24 Καρτέλα «Υπολογισμός Εντατικών Μεγεθών [ΟΚΑ]» Προγράμματος Σύμμικτων Δοκών 251
Εικόνα 7-25 Καρτέλα «Υπολογισμός Εντατικών Μεγεθών [ΟΚΛ]» Προγράμματος Σύμμικτων Δοκών 256
Εικόνα 7-26 Καρτέλα «Υπολογισμός Πλαστικής Αντοχής Τέμνουσας [$V_{pl,Rd}$]» Προγράμματος Σύμμικτων Δοκών 258
Εικόνα 7-27 Καρτέλα «Υπολογισμός Πλαστικής Ροπής Αντοχής Σιδηροδοκού [$M_{pl,\alpha,Rd}$]» Προγράμματος Σύμμικτων Δοκών 259
Εικόνα 7-28 Καρτέλα «Υπολογισμός Πλαστική Ροπή Αντοχής Σύμμικτης Δοκού [$M_{pl,Rd}$]» Προγράμματος Σύμμικτων Δοκών 263
Εικόνα 7-29 Καρτέλα «Διατομή Ελέγχου Α [$M_{pl,Rd,A}$]» Προγράμματος Σύμμικτων Δοκών 265
Εικόνα 7-30 Καρτέλα «Διατομή Ελέγχου Β [$M_{pl,Rd,B}$]» Προγράμματος Σύμμικτων Δοκών 267
Εικόνα 7-31 Καρτέλα «Διατομή Ελέγχου Γ [$M_{pl,Rd,\Gamma}$]» Προγράμματος Σύμμικτων Δοκών 269
Εικόνα 7-32 Καρτέλα «Υπολογισμός Χρόνιων Φαινόμενων» Προγράμματος Σύμμικτων Δοκών 274
Εικόνα 7-33 Καρτέλα «Υπολογισμός Ελαστικής Ροπής Αντοχής [$M_{el,Rd}$]» Προγράμματος Σύμμικτων Δοκών 282

Εικόνα 7-34 Καρτέλα «Διατομή Ελέγχου Α [$M_{el,Rd,A}$]» Προγράμματος Σύμμικτων Δοκών 286
Εικόνα 7-35 Καρτέλα «Διατομή Ελέγχου Β [$M_{el,Rd,B}$]» Προγράμματος Σύμμικτων Δοκών 290
Εικόνα 7-36 Καρτέλα «Διατομή Ελέγχου Γ [$M_{el,Rd,Γ}$]» Προγράμματος Σύμμικτων Δοκών 294
Εικόνα 7-37 Καρτέλα «Υπολογισμός Κατάταξης Διατομών» Προγράμματος Σύμμικτων Δοκών 297
Εικόνα 7-38 Οριακή δύναμη αντοχής διατμητικού ήλου τοποθετούμενος σε συμπαγή πλάκα σκυροδέματος 298
Εικόνα 7-39 Οριακή δύναμη αντοχής διατμητικού ήλου τοποθετούμενος σε σύμμικτη πλάκα σκυροδέματος με χαλυβδόφυλλο παράλληλο στην διεύθυνση της σιδηροδοκού (Μειωτικός συντελεστής (k_l) στην οριακή αντοχή του διατμητικού ήλου) 299
Εικόνα 7-40 Οριακή δύναμη αντοχής διατμητικού ήλου τοποθετούμενος σε σύμμικτη πλάκα σκυροδέματος με χαλυβδόφυλλο κάθετο στην διεύθυνση της σιδηροδοκού (Μειωτικός συντελεστής (k_t) στην οριακή αντοχή του διατμητικού ήλου) 299
Εικόνα 7-41 Καρτέλα «Υπολογισμός Διατμητικής Σύνδεσης» Προγράμματος Σύμμικτων Δοκών 314
Εικόνα 7-42 Καρτέλα «Υπολογισμός Διατμητικής Κάλυψης Πλάκας Σκυροδέματος» Προγράμματος Σύμμικτων Δοκών 323
Εικόνα 7-43 Καρτέλα «Υπολογισμός Βελών Κάμψεως [ΟΚΛ]» Προγράμματος Σύμμικτων Δοκών 328
Εικόνα 7-44 Καρτέλα «Ελάχιστος Οπλισμός και Έλεγχος Ρηγμάτωσης Σκυροδέματος» Προγράμματος Σύμμικτων Δοκών 338

1. Εισαγωγή στις Σύμμικτες Κατασκευές

1.1 Ιστορική Αναδρομή

Η χρήση του χάλυβα στην γεφυροποιία και τις βιομηχανικές κατασκευές των καθιστούν απαραίτητο για την ανάγκη κάλυψης μεγάλων ανοιγμάτων και την απαίτηση όλο και μεγαλύτερου ύψους κτηρίων. Τα σύμμικτα δομικά στοιχεία πρωτοεμφανίστηκαν στην Ιαπωνία την δεκαετία του 1920 όπου ηλωτές δικτυωτές δοκοί και ηλωτά υποστυλώματα σύνθετων διατομών από γωνιακά, εγκιβωτίζονταν σε σκυρόδεμα. Η συστηματική χρήση σύμμικτων στοιχείων σε οικοδομικά έργα ξεκίνησε ήδη από την δεκαετία του 1930 κυρίως στην Ιαπωνία και της Ηνωμένες Πολιτείες, ενώ στην Ευρώπη η χρήση τους ξεκίνησε από την Γερμανία στα τέλη του 1940. Το 1956 εκδόθηκε και ο πρώτος σχετικός κανονισμός DIN 4239 «Σύμμικτες δοκοί σε κτίρια» βασιζόμενος στην ελαστική θεωρία και την μέθοδο των επιτρεπόμενων τάσεων. Για ένα μεγάλο χρονικό διάστημα στην Ευρώπη μετά τον Β’ Παγκόσμιο Πόλεμο δεν κατασκευάζονταν οικοδομικά έργα από χάλυβα. Οι κυριότερες αιτίες ήταν η έλλειψη χάλυβα, η χαμηλή τιμή κόστους του σκυροδέματος και το υψηλό κόστος πυροπροστασίας. Στις αρχές του 1980 η κατάσταση αυτή έχει αλλάξει γνωρίζοντας μεγαλύτερη άνθιση στην κατασκευή σύμμικτων στοιχείων ,με την ένταξη μεθόδων διαχείρισης fast-track ,με κυρίαρχη την Βρετανία και τις σκανδιναβικές χώρες. Έτσι τα ποσοστά των χαλύβδινων οικοδομικών έργων ανέρχονται στα 64% στην Ιαπωνία οπού έχουμε ιδιαίτερα αυξημένες αντισεισμικές απαιτήσεις, στην Αμερική 50% ενώ στην Ευρώπη 33%. Στην Ελλάδα δεν υπάρχει ακόμη σημαντικό ποσοστό σύμμικτων κατασκευών αλλά τα τελευταία χρόνια γίνεται όλο και μεγαλύτερη χρήση τους σε οικοδομικά έργα για την κατασκευή ξενοδοχείων, εμπορικών κέντρων, βιομηχανίες, κατοικίες, προσθήκη ορόφων σε υφιστάμενα κτίρια από οπλισμένο σκυρόδεμα κλπ. (Ιωάννης Κ. Βάγιας, 2018)



Εικόνα 1-1 Σύμμικτα δομικά στοιχεία κτιρίων στην Ιαπωνία από το 1930-1970, (Ιωάννης Κ. Βάγιας, 2018)

1.2 Γενικά

Σύμμικτες κατασκευές ονομάζονται οι κατασκευές των οποίων τα δομικά τους στοιχεία (δοκοί, υποστυλώματα, πλάκες) αποτελούνται από την συνεργασία δυο υλικών, το χάλυβα και το σκυρόδεμα τα οποία είναι άρρηκτα συνδεδεμένα μεταξύ τους. Ο χάλυβας και το σκυρόδεμα αν και είναι δύο διαφορετικά υλικά με διαφορετική μηχανική συμπεριφορά το καθένα είναι τελείως συμβατά και μπορούν να συνεργαστούν αλληλοσυμπληρώνοντας τα πλεονεκτήματα των ιδιοτήτων που έχει το ένα προς το άλλο. Πιο συγκεκριμένα επιδιώκουμε την παραλαβή θλιπτικών δυνάμεων από το σκυρόδεμα και εφελκυστικών δυνάμεων από τον χάλυβα, λόγω της πολύ καλής συμπεριφοράς και αποτελεσματικότητας που προσφέρει το σκυρόδεμα σε υψηλή αντοχή σε θλίψης και ο χάλυβας σε εφελκυσμό. Αξιοποιώντας τα πλεονεκτήματα που παρέχει το κάθε δομικό υλικό, δημιουργούμε μια σύμμικτη διατομή με βέλτιστη φέρουσα ικανότητα αντοχής. Και τα δυο υλικά χαρακτηρίζονται από μεγάλη πλαστιμότητα και δυσκαμψία κυρίως ο χάλυβας λόγω της μεγάλης ολκιμότητας του. Το σκυρόδεμα πέραν της σημαντικής θλιπτικής αντοχής που παρέχει σε φέρουσα ικανότητα, προσφέρει στο χάλυβα υψηλή προστασία σε διάβρωση, προστασία έναντι

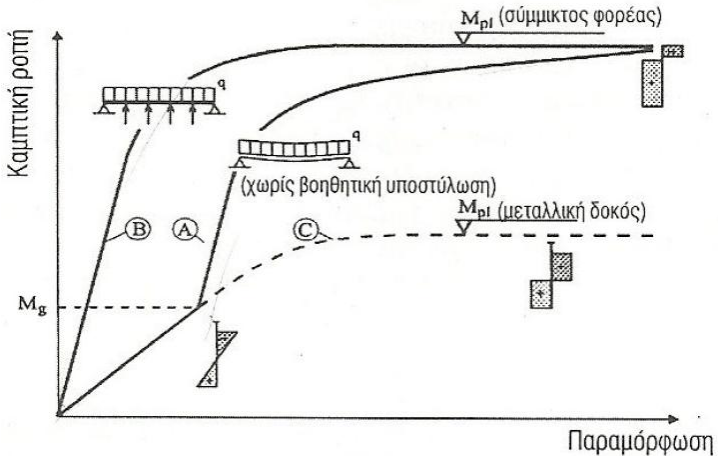
πυρκαγιάς καθώς μπορεί να περιορίσει τα φαινόμενα 2ας τάξης καθολικού, τοπικού και στρεπτοκαμπτικού λυγισμού των χαλύβδινων μελών. Η συνεργασία των δυο υλικών επιτυγχάνεται με την χρήση διατμητικών συνδέσμων οι οποίοι είναι υπεύθυνοι να παραλάβουν κυρίως την διαμήκη διάτμηση που αναπτύσσεται στην διεπιφάνεια των δυο υλικών εμποδίζοντας την σχετική ολίσθηση τους, διατηρώντας την επιπεδότητα των διατομών στην καμπτική αλλά και στην θλιπτική καταπόνηση. Οι σύμμικτοι φορείς λοιπόν χαρακτηρίζονται από αυξημένη αντοχή σε φέρουσα ικανότητα, δυσκαμψία, πλαστιμότητα και ικανότητα απόσβεσης σε σεισμικές δονήσεις, συγκριτικά με κατασκευές οι οποίες κατασκευάζονται εξολοκλήρου από ένα δομικό υλικό (σκυρόδεμα, δομικό χάλυβα).

Οι σύμμικτες κατασκευές παρουσιάζουν κάποιες ιδιαιτερότητες συγκριτικά με τις συμβατικές κατασκευές από χάλυβα ή ωπλισμένο σκυρόδεμα που αξίζει να αναφερθούν. Μια από αυτές τις ιδιαιτερότητες όπως έχει αναφερθεί είναι η διαφορετική συμπεριφορά των δομικών υλικών που τις απαρτίζουν (του σκυροδέματος, δομικού χάλυβα, χάλυβα οπλισμού, χαλυβδοφύλλων, διατμητικών ήλων) με διαφοροποίηση στα μηχανικά τους χαρακτηριστικά όπως είναι για παράδειγμα η χαρακτηριστική τους αντοχή (f_k), τα μέτρα ελαστικότητας τους (E), ολκιμότητα κλπ. Σε ειδικές περιπτώσεις σύμμικτων κατασκευών θα πρέπει να συνυπολογίσουμε στην ανάλυση μας, την συμπεριφορά του σκυροδέματος με την πάροδο του χρόνου (φαινόμενο ερπυσμού) το οποίο οδηγεί σε ανακατανομές των τάσεων στις διατομές και μεταβολές στα εντατικά μεγέθη, καθώς και στα φαινόμενα κόπωσης που παρουσιάζουν τα μεταλλικά δομικά στοιχεία. Επομένως σε σύμμικτες κατασκευές που απαιτούν την λήψη των προαναφερθέν φαινομένων, θα πρέπει να γίνει ακριβής ανάλυση τάσεων ώστε να προσδιορίζονται αυτές οι μεταβολές και να λαμβάνονται υπόψη αυτά τα φαινόμενα. Αυτά τα είδη αναλύσεων και υπολογισμών αφορούν κυρίως σύμμικτες γέφυρες και όχι κτιριακές εφαρμογές.

Οι σύμμικτες κατασκευές παρουσιάζουν ιδιορρυθμίες κατά τη διάρκεια της κατασκευής καθώς η διατομή που παραλαμβάνει τα δρώντα εντατικά μεγέθη

μεταβάλλεται. Επομένως ακόμη μια ιδιαιτερότητα που παρουσιάζουν οι σύμμικτοι φορείς, αφορά την χρήση βοηθητικών υποστυλωμάτων (ικριωμάτων) ή όχι κατά την φάση κατασκευής στην οποία γίνεται η σκυροδέτηση και το σκυρόδεμα βρίσκεται σε ρευστή κατάσταση (νωπό σκυρόδεμα). Στην περίπτωση όπου δεν γίνεται χρήση βοηθητικών ικριωμάτων στην φάση σκυροδέτησης όπου το έγχυτο σκυρόδεμα βρίσκεται σε ρευστή κατάσταση, η λειτουργία της δοκού δεν είναι σύμμικτη. Έτσι καλείται η μονομελής διατομή της σιδηροδοκού να παραλάβει εξολοκλήρου τα βαρυτικά φορτία των υλικών (ίδιο βάρος της σιδηροδοκού, νωπού σκυροδέματος, χαλυβδοφύλλων κλπ). Μετά την σκλήρυνση του σκυροδέματος και αφού έχει αναπτύξει τις απαιτούμενες αντοχές του, η λειτουργία της δοκού γίνεται πλέον σύμμικτη, όπου η σιδηροδοκός με την σκληρυμένη πλάκα σκυροδέματος συνεργάζονται ως ένα ενιαίο σώμα και η παραλαβή των λοιπών μόνιμων και κινητών φορτίων γίνεται πλέον από την σύμμικτη δοκό. Στην περίπτωση στην οποία γίνεται χρήση βοηθητικών υποστυλωμάτων η παραλαβή των βαρυτικών φορτίων (ίδιο βάρος σιδηροδοκού, νωπού σκυροδέματος, χαλυβδοφύλλων) παραλαμβάνονται προσωρινά από τα βοηθητικά υποστυλώματα όσο καιρό χρειαστεί για να γίνει η ωρίμανση και η σκλήρυνση του σκυροδέματος. Εφόσον το σκυρόδεμα έχει σκληρυνθεί και έχει αναπτύξει τις απαιτούμενες αντοχές του τότε γίνεται αφαίρεση των βοηθητικών υποστυλωμάτων με την δοκό να παρέχει σύμμικτη λειτουργία. Επομένως τόσο τα ίδια βάρη (σιδηροδοκού, σκληρυμένου σκυροδέματος, χαλυβδοφύλλων κλπ) αλλά και τα λοιπά μόνιμα φορτία (g΄) καθώς και τα κινητά φορτία (q) παραλαμβάνονται από την σύμμικτη δράση της δοκού. Η χρήση και τοποθέτηση των βοηθητικών υποστυλωμάτων επηρεάζει το ποσοστό των μονίμων φορτίων που παραλαμβάνεται σε κάθε περίπτωση η σύμμικτη διατομή. Το ποσοστό αυτών των μόνιμων φορτίων τα οποία παραλαμβάνονται από την σύμμικτη δράση της δοκού ονομάζεται «βαθμός σύμμικτης δράσης». Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η χρήση (ή μη χρήση) αυτών των βοηθητικών υποστυλωμάτων δεν επηρεάζει την τελική αντοχή του φορέα, καθώς και στις δυο περιπτώσεις ο φορέας φτάνει στις ίδιες οριακές τιμές αντοχής. Αυτό συμβαίνει λόγω του ότι παρά τις διαφορετικές ελαστικές συμπεριφορές που παρατηρούνται σε κάθε

περίπτωση, όταν η διατομή πλαστικοποιηθεί και οι δυο σύμμικτοι φορείς στο τέλος αποκτούν την ίδια φέρουσα ικανότητα (Εικόνα 1-2). Ο σκοπός χρήσης των ικριωμάτων γίνεται για μείωση του συνολικού βέλους κάμψης του σύμμικτου φορέα έτσι ώστε να πληρούνται οι έλεγχοι και περιορισμοί στην οριακή κατάσταση λειτουργικότητας της κατασκευής (ΟΚΛ), εφόσον αυτοί είναι κρίσιμοι, οδηγώντας έτσι σε δυνατότητα επιλογής μικρότερων και οικονομικότερων διατομών . Μια εναλλακτική πρόταση αντί της χρήσης βοηθητικών ικριωμάτων για την αντιμετώπιση και περιορισμό του συνολικού βέλους κάμψεως της σύμμικτης δοκού είναι η δημιουργία αρχικού αντιβέλους στην μεταλλική δοκό. Η εφαρμογή αυτής της μεθόδου γίνεται κυρίως στις σύμμικτες γέφυρες καθώς αποφεύγεται η χρήση της σε συμβατικές κτιριακές κατασκευές λόγω του αυξημένου κόστους κατασκευής της.



Εικόνα 1-2 Επιρροή χρήσης ή μη βοηθητικών υποστηρίξεων (στην φάση σκυροδέτησης) και πως επηρεάζει την παραμόρφωση (βέλος κάμψεως) του σύμμικτου φορέα όσο αυξάνεται η καμπτική ροπή [M].

1.3 Πλεονεκτήματα Μεταλλικών Κατασκευών

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα των μεταλλικών κατασκευών έναντι των συμβατικών κατασκευών από Οπλισμένο Σκυρόδεμα είναι τα εξής:

- Η υψηλή αντοχή του χάλυβα ανά μονάδα βάρους ελαχιστοποιεί το ίδιο βάρος της κατασκευής. Έτσι δίνεται η δυνατότητα κατασκευής μεγαλύτερων ανοιγμάτων στην γεφυροποιία καθώς και την κατασκευή υψηλότερων κτιρίων. Επίσης ο χάλυβας εκτός από την υψηλή αντοχή του, είναι ένα υλικό με μεγάλη ολκιμότητα και ανθεκτικότητα σε διάβρωση.
- Γεφύρωση μεγάλων ανοιγμάτων όπου επιτρέπουν μεγαλύτερη ευελιξία στον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό καθώς παρέχουν μεγαλύτερη ελευθερία στην διαμόρφωση των χώρων και επιτρέπουν μελλοντικές τροποποιήσεις σε αλλαγή χρήσης του κτιρίου.
- Ταχύτητα ανέγερσης της κατασκευής με αποτέλεσμα να επιτυγχάνεται πρώιμη έναρξη εκμετάλλευσης της κατασκευής καθώς και την ταχύτερη ολοκλήρωση και παράδοσης του έργου.
- Εύκολη μεταφορά και συναρμολόγηση προκατασκευασμένων μεταλλικών μελών στο εργοτάξιο.
- Μείωση εργοταξιακού κόστους καθώς το μεγαλύτερο μέρος των δομικών στοιχείων της κατασκευής (σιδηροδοκοί, υποστυλώματα, συνδέσεις κλπ.) γίνονται στο εργοστάσιο.
- Ανεξαρτησία ανέγερσης της κατασκευής από τις καιρικές συνθήκες.
- Η απαίτηση μειωμένου χρόνου κατασκευής για να είναι δυνατή η όσο το δυνατόν συντομότερη έναρξη της απόδοσης του επενδεδυμένου, κυρίως προερχόμενου εκ δανεισμού, κεφαλαίου για την αγορά του ακινήτου και την κατασκευή του κτιρίου.
- Μεγαλύτερη αξιοπιστία και ακρίβεια στην κατασκευή λόγω της βιομηχανικής παραγωγής των βασικών δομικών στοιχείων στο

εργοστάσιο όπου επικρατούν συνθήκες ελεγχόμενου περιβάλλοντος και διαδικασίες ποιοτικού ελέγχου.

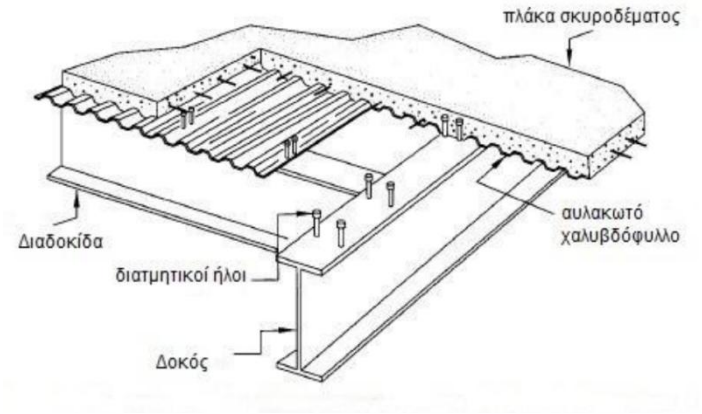
- Βελτιστοποίηση των δυνατοτήτων θερμομόνωσης και ηχομόνωσης.
- Μείωση των εκσκαφών και του συνολικού όγκου θεμελίωσης λόγω μικρότερου ιδίου βάρους της κατασκευής.
- Η χρήση τυποποιημένων συστημάτων για προσόψεις, διαχωριστικούς τοίχους, κλίμακες, εύκολα συνδεόμενων με το χαλύβδινο σκελετό.
- Εξαιρετική αντισεισμική συμπεριφορά σε σεισμικές καταπονήσεις, όπου αυτό οφείλεται στην πολύ καλή μηχανική συμπεριφορά του χάλυβα ως υλικό (αυξάνει την πλαστιμότητα της κατασκευής) καθώς και με την στοχευμένη τοποθέτηση συστημάτων απορρόφησης ενέργειας του σεισμού (συνδέσμους δυσκαμψίας).
- Δυνατότητα αποσυναρμολόγησης της κατασκευής μεταφέροντας και τοποθετώντας την σε κάποιο άλλο σημείο. Επίσης η δυνατότητα αποσυναρμολόγησης μειώνει το κόστος σε περίπτωση κατεδάφισης της κατασκευής καθώς επιτυγχάνεται ανακύκλωση των υλικών με στόχο την μείωση έκθεσης αποβλήτων και ρύπων προς στο περιβάλλον.
- Η μείωση των τιμών της πυροπροστασίας μέσω χρήσης νέων ελαφρύτερων υλικών προστασίας επί του ακατέργαστου χάλυβα.
- Μείωση του συνολικού πάχους του δαπέδου με αποτέλεσμα την συνολική μείωση του ύψους της κατασκευής για τον ίδιο αριθμό ορόφων.
- Ευκολότερη δυνατότητα επέκτασης και προσθήκης ορόφων σε υφιστάμενο κτίριο από ότι σε συμβατικές κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα.

1.4 Σύμμικτα Δομικά Στοιχεία

1.4.1 Σύμμικτες Δοκοί

Οι σύμμικτες δοκοί είναι οριζόντια φέροντα στοιχεία τα οποία καλούνται να παραλάβουν κυρίως καμπτικά φορτία. Αποτελούνται από την συμπαγή ή σύμμικτη πλάκα σκυροδέματος και την σιδηροδοκό. Η συνεργασία μεταξύ πλάκας σκυροδέματος και σιδηροδοκού επιτυγχάνεται με την τοποθέτηση διατμητικών συνδέσμων οι οποίοι ηλεκτροσυγκολλώνται πάνω στην σιδηροδοκό και το χαλυβδόφυλλο. Έτσι αποφεύγεται η σχετική ολίσθηση στην διεπιφάνεια των δυο υλικών και διατηρείτε η επιπεδότητα των διατομών.

Μια τυπική διαμόρφωση ενός σύμμικτου δαπέδου φαίνεται στην (Εικόνα 1-3) όπου παρατηρούμε τις κύριες δοκούς, τις δευτερεύουσες δοκούς (διαδοκίδες) να τοποθετούνται κάθετα στην διεύθυνση των κύριων δοκών, τους διατμητικούς συνδέσμους (διατμητικούς ήλους) συγκολλημένους στο πάνω πέλμα της σιδηροδοκού και το χαλυβδόφυλλο να είναι τοποθετημένο έτσι ώστε η διεύθυνση των αυλακώσεων του χαλυβδόφυλλου να είναι παράλληλη με την διεύθυνση των κύριων δοκών και κάθετη στην διεύθυνση των δευτερευουσών δοκών.



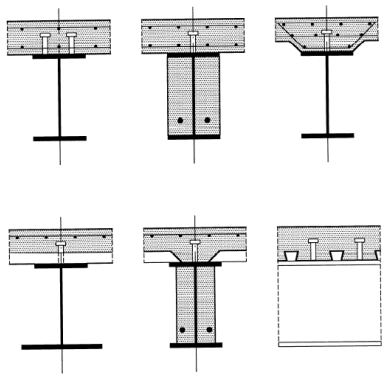
Εικόνα 1-3 Τυπική Διαμόρφωση Σύμμικτου Δαπέδου

Κύρια πλεονεκτήματα των σύμμικτων δοκών είναι η αυξημένη δυσκαμψία και αντοχή σε φέρουσα ικανότητα που προσφέρουν έναντι των παραδοσιακών δοκών κατασκευασμένες από ωπλισμένο σκυρόδεμα ή δομικό χάλυβα. Αυτό οφείλεται στην πολύ καλή συνεργασία των δυο υλικών καθώς εκμεταλλευόμαστε τα πλεονεκτήματα που προσφέρει το κάθε υλικό με την στοχευόμενη τοποθέτηση τους στην διατομή της δοκού (Η παραλαβή της θλίψης γίνεται από το σκυρόδεμα ενώ του εφελκυσμού από τον χάλυβα). Επομένως η επιθυμητή αντοχή επιτυγχάνεται με μικρότερες διαστάσεις διατομής, έχουμε μείωση του ίδιου βάρους του δομικού μέλους και κατ' επέκταση στο σύνολο της κατασκευής. Η μείωση βάρους στο σύνολο της κατασκευής πέραν του οικονομικού οφέλους που δημιουργείται, παράλληλα μειώνονται και τα σεισμικά φορτία που καταπονούν την κατασκευή στην περίπτωση σεισμικών διεγέρσεων.

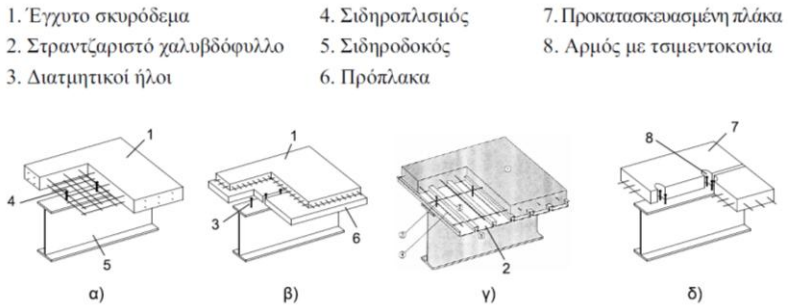
Το σκυρόδεμα όταν σκληρυνθεί εμποδίζει την ανάπτυξη αστοχίας από στρεπτοκαμπτικό λυγισμό καθώς εμποδίζεται το θλιβόμενο πέλμα της σιδηροδοκού το οποίο βρίσκεται σε επαφή με το σκυρόδεμα να εκτραπεί πλευρικά. Επομένως τα φαινόμενα καθολικού και τοπικού λυγισμού περιορίζονται σημαντικά. Σε περιπτώσεις μερικώς εγκιβωτισμένων δοκών σε σκυρόδεμα καθώς επίσης δοκών πλήρως εγκιβωτισμένες μέσα στην πλάκα σκυροδέματος (πλάκες χωρίς δοκούς), αυξάνεται σημαντικά η προστασία του χάλυβα έναντι πυρκαγιάς και διάβρωσης λόγω της προστασίας που προσφέρει το σκυρόδεμα που το περιβάλει.

Επίσης στις περιπτώσεις όπου η δοκός βρίσκεται πλήρως εγκιβωτισμένη στην πλάκα σκυροδέματος, δημιουργούνται επίπεδες πλάκες χωρίς δοκούς (πλάκες χωρίς δοκούς) οδηγώντας σε άριστο αρχιτεκτονικό αποτέλεσμα. Με αυτό τον τρόπο εξαλείφονται οι προεξοχές (κρέμαση) των δοκών στο κάτω μέρος της πλάκας και έτσι μειώνεται το απαιτούμενο ύψος ορόφου καθώς και ολόκληρου του κτιρίου.

Τυπικές μορφές σύμμικτων δοκών φαίνονται στην (Εικόνα 1-4) με συμπαγής ή σύμμικτη πλάκα σκυροδέματος, με πρότυπη ή συγκολλητή διατομή σιδηροδοκού η οποία μπορεί να είναι και μερικώς εγκιβωτισμένη από σκυρόδεμα στην περιοχή του μεταλλικού κορμού.



Εικόνα 1-4 Τυπικές μορφές σύμμικτων δοκών (για κτίρια), (EN 1994-1-1 §6.1)



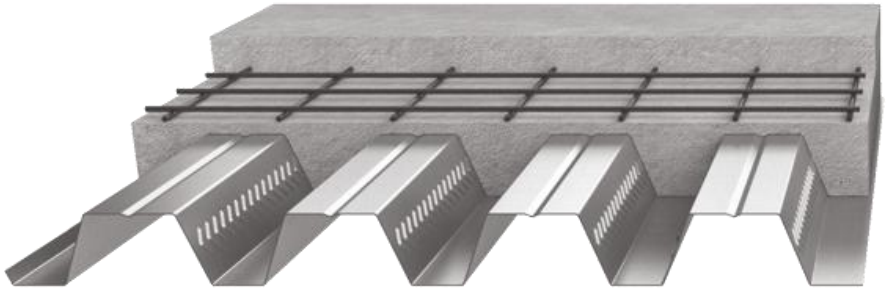
Εικόνα 1-5 Τυπικές διατάξεις σύμμικτων δοκών, (Ιωάννης Κ. Βάγιας, 2018)

1.4.2 Σύμμικτες Πλάκες

Οι σύμμικτες πλάκες είναι φέρουσες πλάκες οροφής αποτελούμενες από γαλβανισμένα αυλακωτά χαλυβδόφυλλα τα οποία έχουν προφίλ συνήθως τραπεζοειδούς σχήματος, τον οπλισμό σκυροδέματος και επί τόπου έγχυτο σκυρόδεμα. Οι πλάκες μεταφέρουν τα κατακόρυφα φορτία (μόνιμα και κινητά) στις δοκούς, καθώς και τα οριζόντια φορτία (σεισμικές δράσεις) μέσω της διαφραγματικής λειτουργίας που παρέχουν. Κατά την φάση σκυροδέτησης τα χαλυβδόφυλλα λειτουργούν ως μεταλλότυποι δημιουργώντας μια επιφάνεια εργασίας για το έγχυτο σκυρόδεμα, παραλαμβάνοντας και μεταφέροντας τα φορτία σκυροδέτησης. Μετά την σκλήρυνση του σκυροδέματος και αφού έχουν αναπτυχτεί οι απαιτούμενες μηχανικές ιδιότητες και αντοχές του σκυροδέματος, το χαλυβδόφυλλο μαζί με το σκληρυμένο σκυρόδεμα λειτουργούν ως ένα σώμα. Έτσι τα λοιπά φορτία μετά την σκλήρυνση του σκυροδέματος και κατά την φάση λειτουργίας της κατασκευής παραλαμβάνονται υπό την σύμμικτη δράση της πλάκας. Το χαλυβδόφυλλο πέρα της χρησιμότητας που παρέχει ως παραμένον μεταλλότυπος στην φάση σκυροδέτησης όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, έχει ως δεύτερη χρησιμότητα συνελκόμενου εφελκυόμενου οπλισμού μετά την ωρίμανση του σκυροδέματος. Η σύμμικτη λειτουργία μεταξύ σκυροδέματος και χαλυβδόφυλλου εξασφαλίζεται μέσω ειδικά διαμορφωμένων νευρώσεων κατά μήκος του κορμού των χαλυβδοφύλλων, προσφέροντας έτσι την απαιτούμενη συνάφεια μεταξύ των δυο υλικών έτσι ώστε να μεταφέρονται οι δυνάμεις διαμήκους διάτμησης που αναπτύσσονται στην διεπιφάνεια μεταξύ χαλυβδόφυλλου – σκυροδέματος. Έτσι περιορίζεται η σχετική ολίσθηση των δυο υλικών και η αποκόλληση του χαλυβδόφυλλου από το σκυρόδεμα. Επίσης στα χαλυβδόφυλλα προβλέπονται διαμήκης νευρώσεις στο πάνω και κάτω πέλμα τους, προς αποφυγή τοπικού λυγισμού που μπορεί να προκληθεί στο χαλυβδόφυλλο κατά την φάση σκυροδέτησης. Στις σύμμικτες πλάκες προβλέπεται συνήθως ένας ελαφρύς οπλισμός αφενός για τον περιορισμό της ρηγμάτωσης του σκυροδέματος και αφετέρου για την παραλαβή αρνητικών ροπών στην περίπτωση ενδιάμεσων στηρίξεων συνεχών πλακών. Οι σύμμικτες πλάκες έχουν διαδεδομένη χρήση σε μεταλλικές και σύμμικτες

κατασκευές καθώς προσφέρουν σημαντικά πλεονεκτήματα έναντι των συμπαγών πλακών από ωπλισμένο σκυρόδεμα. Μερικά από τα κύρια πλεονεκτήματα τους είναι:

- Η ταχύτητα και η απλούστευση που προσφέρουν στην φάση κατασκευής με λιγότερες εργασίες επί τόπου στο εργοτάξιο, επιταχύνεται η κατασκευή του έργου και εξοικονομείτε χρόνος στην φάση ανέγερσης).
- Αποφεύγεται η χρήση ξυλότυπου, δημιουργώντας μια ασφαλή πλατφόρμα εργασίας για το προσωπικό το οποίο θα εργαστεί.
- Ελαφρύτερη και οικονομικότερη κατασκευή με μικρότερη απαίτηση στατικών υψών σε σύγκριση με τις συμπαγής πλάκες από ωπλισμένο σκυρόδεμα.
- Βέλτιστη αναλογία αντοχής – ιδίου βάρους σύμμικτης πλάκας ανά τετραγωνικό μέτρο.
- Δυνατότητα επίτευξη μεγαλύτερων ανοιγμάτων και αντοχών.
- Τα χαλυβδόφυλλα επιτρέπουν την εύκολη ανάρτηση μέσω ειδικών αναρτήρων των αγωγών κλιματισμού, ψευδοροφών κλπ.



Εικόνα 1-6 Τυπική μορφή σύμμικτη πλάκας με πρότυπο χαλυβδόφυλλο, (https://pagouni.gr/)

1.4.3 Σύμμικτα υποστυλώματα

Τα σύμμικτα υποστυλώματα απαρτίζονται από σιδηροδοκούς πλήρως ή μερικώς εγκιβωτισμένες στο σκυρόδεμα είτε χαλύβδινους σωλήνες ή κοιλοδοκούς γεμισμένες στο εσωτερικό τους με σκυρόδεμα. Τα σύμμικτα υποστυλώματα έχουν ιδιαίτερα υψηλή αντοχή, δυσκαμψία και ολκιμότητα, πράγμα που τα καθιστά ιδανικά στοιχεία παραλαβής κατακόρυφων και οριζοντίων σεισμικών δράσεων. Σε μερικές σεισμογενείς χώρες όπως είναι για παράδειγμα η Ιαπωνία, η χρήση των σύμμικτων υποστυλωμάτων χρησιμοποιείται κατά κόρον ως κατακόρυφα φέροντα στοιχεία στην δημιουργία υψηλών κτηρίων.

Στα σύμμικτα υποστυλώματα εντοπίζουμε διαφορές σε σύγκριση με τα υπόλοιπα φέροντα στοιχεία τόσο ως προς την διαμόρφωση της διατομής τους όσο και ως προς την μορφή καταπόνησης και τα φορτία που πρέπει να μεταφέρουν. Στα υπόλοιπα φέροντα στοιχεία όπως οι πλάκες και δοκοί τα δύο συνεργαζόμενα υλικά (χάλυβας – σκυρόδεμα) τοποθετούνταν σε συγκεκριμένες θέσεις της διατομής με στόχο την οικονομικότερη και αποδοτικότερη εκμετάλλευση των δυο υλικών σε φέρουσα ικανότητα αντοχής (δηλαδή το σκυρόδεμα τοποθετείται σε περιοχές της διατομής όπου θλίβεται και ο χάλυβας σε περιοχές οπού εφελκύεται η διατομή). Στην περίπτωση δε των υποστυλωμάτων και τα δύο υλικά καταπονούνται κυρίως σε θλίψη, επομένως σημαντικό μέρος του χάλυβα συμμετέχει στην παραλαβή κυρίως θλιπτικών τάσεων αλλά και καμπτικών καταπονήσεων. Πέραν της σημαντικής φέρουσας ικανότητας που προσφέρει το σκυρόδεμα σε θλίψη, το σκυρόδεμα εγκιβωτισμού μέσα στο οποίο βρίσκεται η σιδηροδοκός, εμποδίζει την ανάπτυξη τοπικού λυγισμού του χάλυβα καθώς και την αποτροπή ανάπτυξης μορφής αστοχίας από στρεπτοκαμπτικό λυγισμό.

Στην περίπτωση πλήρης εγκιβωτισμένων υποστυλωμάτων, το σκυρόδεμα προσφέρει θεαματική πυραντοχή και αντιδιαβρωτική προστασία στην σιδηροδοκό και στον σιδηροπλισμό οπου βρίσκονται εγκιβωτισμένα μέσα στο σκυρόδεμα για επαρκή πάχη επικάλυψης σκυροδέματος. Μειονέκτημα σε αυτού του τύπου σύμμικτου υποστυλώματος είναι ότι η σιδηροδοκός δεν είναι εμφανές για την προσθήκη και

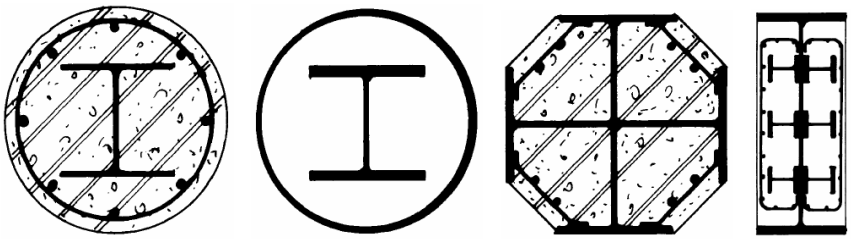
συγκόλληση επιπλέον μεταλλικών στοιχείων στην σιδηροδοκό σε πιθανή μελλοντική επέμβαση, όπως επίσης απαιτούνται επιπρόσθετα μεταλλικά στοιχειά για παράδειγμα εγκάρσιοι οπλισμοί (συνδετήρες) για την περίσφιξη του σκυροδέματος.

Τα σύμμικτα υποστυλώματα με μερικώς εγκιβωτισμένες δοκούς, αποτελούν μια ευκολότερη λύση κατασκευαστικά, αφού η μεταλλική δοκός μπορεί να χρησιμοποιηθεί ταυτόχρονα σαν μεταλλότυπος για την χύτευση του σκυροδέματος καθώς επίσης οι ακάλυπτες μεταλλικές επιφάνειες μπορούν να χρησιμοποιηθούν μεταγενέστερα για επέμβαση για την συγκόλληση και προσθήκη επιπρόσθετων μεταλλικών στοιχείων. Ομοίως και σε αυτή την περίπτωση παρατηρείται ικανοποιητική προστασία έναντι πυρκαγιάς και διάβρωσης του χάλυβα.

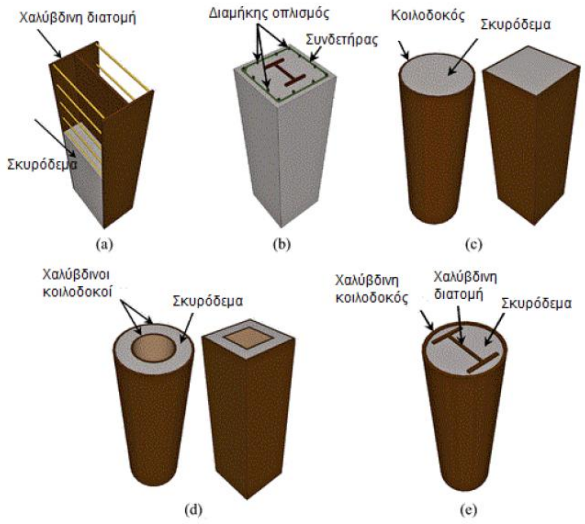
Τέλος για την περίπτωση χαλύβδινων κοίλων διατομών (κυκλικής ή ορθογωνικής διατομής) γεμισμένων στο εσωτερικό τους με σκυρόδεμα, η μεταλλική κοίλη διατομή χρησιμοποιείται στην φάση σκυροδέτησης ως μεταλλότυπος για την χύτευση του σκυροδέματος και μετά την σκλήρυνση του σκυροδέματος στην φάση λειτουργίας η κοίλη διατομή προσφέρει σημαντική περίσφιξη στο σκυρόδεμα αυξάνοντας την αντοχή και την παραμορφωσιμότητα του υποστυλώματος. Επομένως το περισφιγμένο σκυρόδεμα μαζί με την χαλύβδινη σιδηροδοκό πέραν της αυξημένης φέρουσας ικανότητας σε αντοχή που προσφέρουν, εξασφαλίζουν και μεγάλη πλαστιμότητα στο σύμμικτο υποστύλωμα. Βέλτιστες κοίλες διατομές για την παροχή περίσφιξης στο σκυρόδεμα είναι οι κυκλικές διατομές ενώ στις ορθογωνικές η περίσφιξη περιορίζεται κυρίως στις γωνίες και στον πυρήνα του σκυροδέματος. Ωστόσο στην περίπτωση ορθογωνικών κοίλων διατομών, η περίσφιξη αυξάνεται αυξάνοντας την καμπυλότητα των γωνιών της κοιλοδοκού. Αξιοσημείωτο να αναφερθεί ότι στο εσωτερικό της κοιλοδοκού προβλέπεται η τοποθέτηση διαμήκων οπλισμών, έτσι ώστε στην περίπτωση πυρκαγιάς η χαλύβδινη κοιλοδοκός θεωρείται πως χάνει τελείως την αντοχή της και το υποστύλωμα να μπορεί να συμπεριφερθεί ως υποστύλωμα από ωπλισμένο σκυρόδεμα.

Παρακάτω συνοψίζονται βασικά πλεονεκτήματα των σύμμικτων υποστυλωμάτων όπου τα καθιστούν ως ιδανικά φέροντα στοιχειά για την παραλαβή κατακόρυφων και οριζόντιων φορτίων τα οποία είναι τα εξής:

- Η παραλαβή μεγάλων φορτίων από σχετικά μικρές διαστάσεων διατομές λόγω της υψηλή αντοχή και αυξημένη πλαστιμότητα που παρέχουν.
- Αυξημένη πυραντοχή και αντιδιαβρωτική προστασία που προσφέρουν στα φέροντα χαλύβδινα στοιχειά χωρίς την ανάγκη λήψης περισσότερων μέτρων προστασίας.
- Σημαντικά υψηλότερη δυσκαμψία από αυτή που παρέχει ένα αμιγώς μεταλλικό υποστύλωμα.
- Η ταχύτητα και η ευκολία στην φάση κατασκευή τους είτε είναι κατασκευασμένα από έγχυτο σκυρόδεμα είτε είναι προκατασκευασμένα.
- Η αυξημένη πλαστιμότητα και ολκιμότητα που προσφέρουν σε δυναμικές φορτίσεις (σεισμός) συγκριτικά με υποστυλώματα από ωπλισμένο σκυρόδεμα.
- Η ευκολία της συνδεσιμότητας τους με τα υπόλοιπα φέροντα στοιχεία, η οποία μπορεί να πραγματοποιηθεί με συμβατικές μεθόδους σύνδεσης μεταλλικών κατασκευών.



Εικόνα 1-7 Ενδεικτικές διατομές σύμμικτων υποστυλωμάτων, (Ιωάννης Κ. Βάγιας, 2018)



Εικόνα 1-8 Τρισδιάστατη απεικόνιση ενδεικτικών σύμμικτων υποστυλωμάτων

1.4.4 Σύμμικτοι Κόμβοι

Σύμμικτο κόμβο ορίζουμε την περιοχή εκείνη όπου συντρέχουν δυο ή περισσότερα δομικά στοιχεία (δοκοί, υποστυλώματα) και ένα τουλάχιστον από τα δομικά στοιχειά που τον απαρτίζουν είναι σύμμικτο.

Στους κόμβους μεταλλικών κατασκευών η διάκριση κόμβων πλαισίου δοκού - υποστυλώματος γίνεται ως προς τον τρόπο σύνδεσης της σιδηροδοκού στο υποστύλωμα. Η σύνδεση μπορεί να είναι συγκολλητή, με μετωπικές πλάκες, με χρήση γωνιακών και με απλή έδραση των σιδηροδοκών επί συγκολλητών χαλύβδινων τάκων.

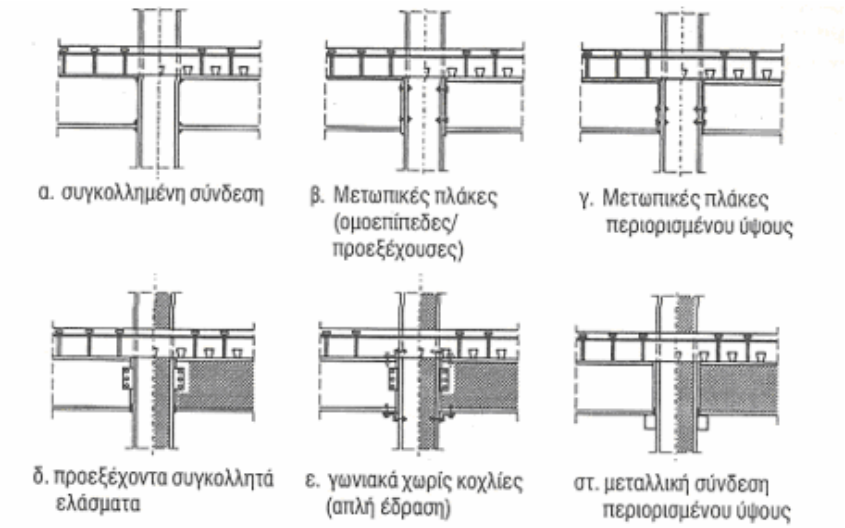
Η συμπεριφορά των κόμβων χαρακτηρίζεται από την αντοχή, την δυσκαμψία, την δυστρεψία, την στροφική ικανότητα και πλαστιμότητα τους. Με κριτήριο την αντοχή οι κόμβοι μπορούν να χαρακτηριστούν ως πλήρους ή μερικής αντοχής (εάν δηλαδή η ροπή αντοχής τους είναι μεγαλύτερη ή μικρότερη από την ροπή αντοχής της δοκού που συνδέουν στην συγκεκριμένη διεύθυνση. Με κριτήριο τη δυσκαμψία οι κόμβοι χαρακτηρίζονται ως αρθρωτοί, ημι-άκαμπτοι και άκαμπτοι. Οι αρθρωτοί κόμβοι προσομοιάζονται ως αρθρώσεις, οι άκαμπτοι ως πακτώσεις και οι ημι-ακαμπτοι με κατάλληλα στροφικά ελατήρια.

Οι σύμμικτοι κόμβοι χαρακτηρίζονται συνήθως ως ημι-ακαμπτοι και μερικής αντοχής έναντι αρνητικών ροπών, όπου αυτό οφείλεται στην συμβολή του εφελκυόμενου οπλισμού της πλάκας, ο οποίος σε συνδυασμό με κάποιο έλασμα στο κάτω μέρος της σιδηροδοκού και του υποστυλώματος δημιουργεί τον απαραίτητο μοχλοβραχίονα για την παραλαβή της ροπής. Η ύπαρξη ράβδων οπλισμού στον σύμμικτο κόμβο συμβάλουν με την εφελκυστική τους δύναμη στην αντοχή του κόμβου καθώς και στην στροφική δυσκαμψία και πλαστιμότητα του κόμβου.

Η απόκριση των σύμμικτων κόμβων έναντι θετικών ροπών διαφέρει έναντι των αρνητικών ροπών. Η αντοχή των σύμμικτων κόμβων εξαρτάται και από τον βαθμό διατμητικής σύνδεσης της δοκού αν δηλαδή είναι πλήρης ή μερική και αυτό αιτιολογείτε ότι πιθανώς δεν μπορεί να αναπτυχτεί η πλήρης εφελκυστική δύναμη του οπλισμού γιατί δεν μπορεί να μεταφερθεί από τους συνδέσμους. Οι κυριότερες διαφορές στον υπολογισμό των σύμμικτων κόμβων σε σχέση με τους μεταλλικούς κόμβους είναι οι εξής:

- Η συμμετοχή του εγκιβωτισμένου σκυροδέματος του υποστυλώματος στη θλιβόμενη ζώνη και διάτμηση του κόμβου.
- Η συμβολή του οπλισμού της πλάκας σκυροδέματος στην παραλαβή αρνητικής ροπής.
- Η συμβολή του σκυροδέματος καθώς και του οπλισμού της πλάκας σκυροδέματος παραλαμβάνοντας θλιπτικές δυνάμεις που υπεισέρχονται στο κόμβο από θετικές ροπές. (Ιωάννης Κ. Βάγιας, 2018)

Η μεγάλη ποικιλία τύπων σύνδεσης που μπορούμε να συναντήσουμε, δεν επίτρεψε μέχρι στιγμής την υιοθέτηση επαρκών τεκμηριωμένων και αναλυτικών υπολογιστικών μεθόδων για κάθε είδους σύνδεσης πέραν αυτών που αναφέρονται στον Ευρωκώδικα 3 (Μέρος 1-8) για αμιγώς μεταλλικές συνδέσεις και στο Ευρωκώδικα 4 (Μέρος 1-1) για μεταλλική σύνδεση μεταξύ σύμμικτης δοκού - χαλύβδινου υποστυλώματος και την ωπλισμένη πλάκα.



Εικόνα 1-9 Σύμμικτοι Κόμβοι Δοκού – Υποστυλώματος

2. Ευρωκώδικες

2.1 Γενικά

Οι Ευρωκώδικες αποτελούν ένα πλέγμα κανονισμών αναφερόμενων στο σχεδιασμό δομικών έργων ειδικότητας Πολιτικού Μηχανικού. Στόχος τους είναι η βελτίωση της λειτουργίας της αγοράς στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης στην περιοχή των τεχνικών έργων, με την παράκαμψη των εμποδίων που προέρχονται από την ύπαρξη πολλών Εθνικών Κανονισμών και η ενδυνάμωση της ανταγωνιστικότητας της ευρωπαϊκής κατασκευαστικής βιομηχανίας σε χώρες της Ε.Ε. (Βάγιας Ι. et al., 2005).

Αρχικά οι Ευρωκώδικες εκδόθηκαν από την Ε.Ε. ως πρότυπα δοκιμαστικής εφαρμογής (ENV) για εναλλακτική προαιρετική χρήση προς τους εθνικούς κανονισμούς. Ακολούθως στην συνέχεια οι εργασίες σύνταξης των Ευρωκωδίκων μεταβιβάστηκαν στον Ευρωπαϊκό Κανονισμό Τυποποίησης (CEN), με στόχο την διαμόρφωση των τελικών προτύπων (EN) (European Norms), η εφαρμογή των οποίων θα καθίσταται υποχρεωτική στα κράτη μέλη της Ε.Ε. ενώ σταδιακά θα αποσύρονται οι αντίστοιχοι εθνικοί κανονισμοί.

Οι Ευρωκώδικες απαρτίζονται από 10 κύρια Ευρωπαϊκά Πρότυπα τα οποία συμπεριλαμβάνουν όλους τους τρόπους δόμησης (από σκυρόδεμα, χάλυβα, ξύλο, τοιχοποιία, αλουμίνιο καθώς και γεωτεχνικά έργα) και υποδιαιρούνται σε μέρη στα οποία γίνεται ανάλυση της συμπεριφοράς των κατασκευών (κτιρίων, γεφυρών, δεξαμενών, φραγμάτων, πύργων, αγωγών, καπνοδόχων κλπ) στο σεισμό ή/και στην πυρκαγιά.

Παράλληλα για κάθε μέρος Ευρωκώδικα, εκδίδεται από κάθε χώρα το «Εθνικό Προσάρτημα». Το Προσάρτημα αυτό περιέχει «Εθνικά Καθορισμένες Παραμέτρους» οι οποίες προκύπτουν και εκφράζουν τις ειδικές γεωγραφικές, γεωλογικές ή κλιματικές συνθήκες, καθώς και τα συγκεκριμένα επίπεδα προστασίας που ισχύουν στην επικράτεια του κάθε κράτους.

2.2 Στόχοι των Ευρωκωδίκων

- Οι Στατικοί Ευρωκώδικες περιέχουν μία ομάδα προτύπων για το στατικό και γεωτεχνικό σχεδιασμό των κατασκευαστικών έργων πολιτικού μηχανικού.
- Αποσκοπούν στο να χρησιμοποιούνται ως κείμενα αναφοράς για τους ακόλουθους σκοπούς:
    1. Ως μέσο για να αποδεικνύεται η συμμόρφωση των κτιρίων των έργων Πολιτικού Μηχανικού προς τις θεμελιώδης απαιτήσεις Οδηγίας Κατασκευαστικών Προϊόντων.
    2. Ως πλαίσιο για την δημιουργία εναρμονισμένων τεχνικών προδιαγραφών για κατασκευαστικά προϊόντα.
- Καλύπτουν εκτέλεση και έλεγχο στο μέτρο που είναι απαραίτητο για να καταδειχτεί η ποιότητα των κατασκευαστικών προϊόντων και το επίπεδο της ποιότητας εργασίας τα οποία απαιτούνται για να υπάρχει συμμόρφωση προς τις παραδοχές κανόνων σχεδιασμού.
- Ορισμένοι από τους Ευρωκώδικες καλύπτουν σε πληροφοριακά παραρτήματα μερικές από αυτές τις πλευρές του αντικειμένου μέχρις ότου καταστεί διαθέσιμο το απαραίτητο σύνολο προδιαγραφών για τα προϊόντα και τις μεθόδους ελέγχου.

2.3 Πρότυπα Ευρωκωδίκων

Παρακάτω αναφέρονται τα 10 κύρια Ευρωπαϊκά Πρότυπα τα οποία καθένα από αυτά υποδιαιρείτε σε διάφορα μέρη (συνολικά 58 μέρη) τα οποία καλύπτουν όλα τα επιμέρους αντικείμενα του κάθε προτύπου.

Κωδικός Προτύπου	Χαρακτηρισμός
EN 1990	Ευρωκώδικας 0: Βάσεις Σχεδιασμού (1 Μέρος)
EN 1991	Ευρωκώδικας 1: Δράσεις στις κατασκευές (10 Μέρη)
EN 1992	Ευρωκώδικας 2: Σχεδιασμός φορέων από σκυρόδεμα (4 Μέρη)
EN 1993	Ευρωκώδικας 3: Σχεδιασμός φορέων από χάλυβα (20 Μέρη)

EN 1994	Ευρωκώδικας 4: Σχεδιασμός σύμμικτων φορέων από χάλυβα και σκυρόδεμα (3 Μέρη)
EN1995	Ευρωκώδικας 5: Σχεδιασμός φορέων από ξύλο (3 Μέρη)
EN 1996	Ευρωκώδικας 6: Σχεδιασμός φορέων από τοιχοποιία (5 Μέρη)
EN 1997	Ευρωκώδικας 7: Γεωτεχνικός σχεδιασμός (3 Μέρη)
EN 1998	Ευρωκώδικας 8: Αντισεισμικός σχεδιασμός (6 Μέρη)
EN 1999	Ευρωκώδικας 9: Σχεδιασμός φορέων από αλουμίνιο (3 Μέρη)

Πίνακας 2-1 Πρότυπα Ευρωκωδίκων

2.4 Ευρωκώδικας 4

Η μελέτη των σύμμικτων κατασκευών από χάλυβα και σκυρόδεμα περιγράφονται στον Ευρωκώδικας 4 μέσα στον οποίο περιέχονται κανόνες σχεδιασμού και εκτέλεσης δομικών έργων από σύμμικτα στοιχεία. Πρόκειται για ένα Κανονισμό, στον οποίο έχει ενσωματωθεί η γνώση και η εμπειρία των τελευταίων δεκαετιών, τεχνικών και επιστημόνων που έχουν ασχοληθεί με τέτοιου είδους κατασκευές.

Ο Ευρωκώδικας 4 (EN 1994) ασχολείται μόνο με τις απαιτήσεις που αφορούν την αντοχή, λειτουργικότητα, ανθεκτικότητα και την αντοχή σε πυρκαγιά των σύμμικτων κατασκευών. Άλλες απαιτήσεις που αφορούν για παράδειγμα θερμική ή ηχητική μόνωση δεν καλύπτονται.

Ο Ευρωκώδικας 4 (EN 1994) υποδιαιρείται σε 3 μέρη τα οποία είναι:

- Μέρος 1-1 : Γενικοί κανόνες και κανόνες για κτίρια (EN 1994-1-1)
- Μέρος 1-2: Γενικοί κανόνες - Σχεδιασμός φορέων σε πυρκαγιά (EN 1994-1-2)
- Μέρος 2: Γενικοί κανόνες και κανόνες για γέφυρες (EN 1994-2)

3. Δομικά Υλικά Σύμμικτων Κατασκευών

3.1 Γενικά

Τα δομικά υλικά που συνθέτουν μια σύμμικτη κατασκευή είναι ο δομικός χάλυβας, το σκυρόδεμα, ο χάλυβας οπλισμού του σκυροδέματος, ο χάλυβας των χαλυβδοφύλλων και ο χάλυβας των μέσων σύνδεσης (κοχλιών, ήλων, αγκυρίων, πύρων κλπ). Παρακάτω θα αναλυθούν οι προδιαγραφές για τις ποιότητες και τα χαρακτηριστικά των υλικών όπως προβλέπονται από τον Ευρωκώδικα 4 και τους ισχύοντες ελληνικούς κανονισμούς.

3.2 Σκυρόδεμα

Ο συμβολισμός του σκυροδέματος δίνεται από το λατινικό γράμμα «C» από το όνομα concrete που σημαίνει σκυρόδεμα. Οι ποιότητες του σκυροδέματος βασίζονται στην χαρακτηριστική αντοχή κυλινδρικού δοκιμίου στις 28 ημέρες (f_{ck}). Στον Ευρωκώδικα 2 στον οποίο στηρίζεται ο Ευρωκώδικας 4 αναφέρονται δύο τιμές χαρακτηριστικών αντοχών όπου η πρώτη τιμή αναφέρεται στην χαρακτηριστική αντοχή σε μονοαξονική θλίψη κυλινδρικού δοκιμίου διαστάσεων 150x300mm και η δεύτερη τιμή για κυβικό δοκίμιο διαστάσεων 150x150x150mm σε MPa. Για παράδειγμα η ποιότητα σκυροδέματος C20/25 αντιστοιχεί σε τιμές θλιπτικής χαρακτηριστικής αντοχής f_{ck}=20 MPa κυλινδρικού δοκιμίου και $f_{ck,cube}$=25 MPa κυβικού δοκιμίου.

Ως ειδικό βάρος του σκληρυμένου σκυροδέματος λαμβάνονται οι τιμές 24 KN/m^3 για άοπλο και 25 KN/m^3 για ωπλισμένο σκυρόδεμα. Το ειδικό βάρος του νωπού σκυροδέματος (υγρού σκυροδέματος) δίνεται 26 KN/m^3.

Οι τιμές των αντοχών και μέτρων ελαστικότητας για τις διάφορες ποιότητες σκυροδέματος παρατίθενται στον πιο κάτω (Πίνακας 3-1). Ποιότητες σκυροδέματος μικρότερες από C20/25 και μεγαλύτερες από C60/75 δεν καλύπτονται από τις διατάξεις του Ευρωκώδικα 4.

Ποιότητα σκυροδέματος	C20/25	C25/30	C30/37	C35/45	C40/50	C45/55	C50/60
f_{ck}	20	25	30	35	40	45	50
f_{cm}	28	33	38	43	48	53	58
f_{ctm}	2.2	2.36	2.9	3.2	3.5	3.8	4.1
$f_{ctk,0.05}$	1.5	1.8	2	2.2	2.5	2.7	2.9
$f_{ctk,0.95}$	2.9	3.3	3.8	4.2	4.6	4.9	5.3
E_{cm}	29	30.5	32	33.5	35	36	37

Πίνακας 3-1 Τιμές αντοχών σκυροδέματος [MPa] και Μέτρου Ελαστικότητας [GPa] για τις διάφορες ποιότητες σκυροδέματος, (EN 1992-1-1, Πίνακας 3.1)

όπου:

f_{ck}: Χαρακτηριστική αντοχή κυλινδρικού δοκιμίου σε μονοαξονική θλίψη 28 ημερών

f_{cm}: Μέση θλιπτική αντοχή κυλινδρικού δοκιμίου

f_{ctm}: Μέση εφελκυστική αντοχή σε μονοαξονικό εφελκυσμό κυλινδρικού δοκιμίου.

$f_{ctk,0.05}$: Χαρακτηριστική εφελκυστική αντοχή σκυροδέματος κυλινδρικού δοκιμίου για ποσοστημόριο αστοχίας 5%

$f_{ctk,0.95}$: Χαρακτηριστική εφελκυστική αντοχή σκυροδέματος κυλινδρικού δοκιμίου για ποσοστημόριο αστοχίας 95%

E_{cm}: Μέση τιμή του επιβατικού Μέτρου Ελαστικότητας του σκυροδέματος.

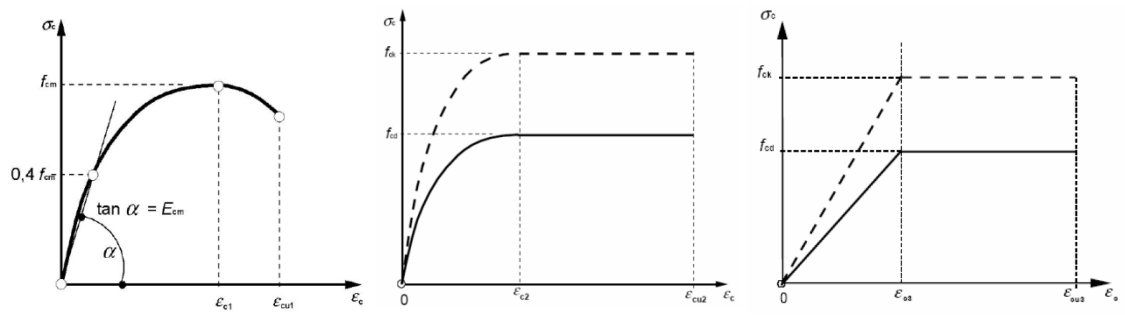
Ο συντελεστής θερμικής διαστολής του σκυροδέματος λαμβάνεται ίσος με $\alpha_t=10^{-5}/^{o}C$

Ο λόγος του Poison στην περιοχή ελαστικών ανηγμένων παραμορφώσεων λαμβάνεται ίσος με ν=0,2 ενώ στις περιοχές όπου το σκυρόδεμα είναι ρηγματομένο λόγω εφελκυσμού η τιμή λαμβάνεται ίση με ν=0. Ο συντελεστής ασφαλείας του υλικού είναι ίσος με γ_c=1,5 και επομένως η θλιπτική αντοχή σχεδιασμού του σκυροδέματος δίνεται από την σχέση (3.1).

$$f_{cd} = \frac{\alpha_{cc} \cdot f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{\alpha_{cc} \cdot f_{ck}}{1,5} \tag{3.1}$$

Παρατηρήθηκε ότι η επιβολή φορτίου με βραδύ ρυθμό (όπως γίνεται στις κατασκευές) δίνει μικρότερα αποτελέσματα αντοχής σε σχέση με το αν η επιβολή του φορτίου γινόταν με σύντομο ρυθμό όπου παρουσιάζονται αποτελέσματα αυξημένης αντοχής (όπως γίνεται στον υπολογισμό συμβατικής αντοχής των δοκιμίων στο εργαστήριο). Επομένως κατά τους υπολογισμούς των αντοχών σε οριακή κατάσταση αστοχίας (ΟΚΑ) (μόνο για ελέγχους ορθής έντασης (ροπής ή και αξονική δύναμη)), η οριακή αντοχή σκυροδέματος απομειώνεται με ένα μειωτικό συντελεστή α_{cc}=0,85, έτσι ώστε να ληφθεί υπόψη η βραδύτητα της επιβολής του φορτίου στην κατασκευή (η συμβατική αντοχή αντιστοιχεί σε σύντομη επιβολή του φορτίου). Σε όλες τις άλλες εντάσεις (διάτμηση, στρέψη κλπ) η τιμή του συντελεστή α_{cc} λαμβάνει την τιμή α_{cc}=1. Επίσης η τιμή α_{cc}=1 λαμβάνεται και για ορθή ένταση στον σεισμικό συνδυασμό.

Στην (Εικόνα 3-1) δίνεται ένα τυπικό και τα δυο προσεγγιστικά διαγράμματα τάσεων-παραμορφώσεων [σ_c=f(ε_c)] του σκυροδέματος σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 2.



(α) (β) (γ)

Εικόνα 3-1 (α) Τυπικό διάγραμμα [σ_c=f(ε_c)] σκυροδέματος (β) Προσεγγιστικό παραβολικό – ορθογωνικό διάγραμμα [σ_c=f(ε_c)] σκυροδέματος (γ) Προσεγγιστικό διγραμμικό διάγραμμα [σ_c=f(ε_c)] σκυροδέματος, σύμφωνα με τον (EN 1992-Μέρος 1-1 §3.1, Σχήμα 3.2, 3.3, 3.4)

3.3 Δομικός Χάλυβας

Στις σύμμικτες κατασκευές ο δομικός χάλυβας συμβολίζεται με το λατινικό γράμμα «a». Οι ποιότητες και τα μηχανικά χαρακτηριστικά του δομικού χάλυβα δίνονται σύμφωνα με την ευρωπαϊκή προδιαγραφή EN 10025. Για κοινούς λεπτόκοκκους χάλυβες θερμής έλασης οι χαρακτηριστικές τιμές του ορίου διαρροής f_{ya} και της εφελκυστικής αντοχής f_{ua} του δομικού χάλυβα δίνονται στον πιο κάτω (Πίνακας 3-2). Για άλλου τύπου χάλυβες γίνεται αναφορά στον Ευρωκώδικα 3 (EN 1993-1-1).

Πρότυπο και ποιότητα	Ονομαστικό πάχος του στοιχείου t [mm]			
	t ≤ 40 mm		40 mm < t ≤ 80 mm	
	$f_{y\alpha}$ [MPa]	$f_{u\alpha}$ [MPa]	$f_{y\alpha}$ [MPa]	$f_{u\alpha}$ [MPa]
EN 10025	Κοινοί χάλυβες - Λεπτόκοκκοι χάλυβες			
S 235	235	360	215	360
S 275	275	390	245	370
S 355	355	490	325	470
S 420	420	510	390	490
S 460	460	540	410	510

Πίνακας 3-2 Χαρακτηριστικές τιμές της αντοχής διαρροής f_{ya} και της οριακής εφελκυστικής αντοχής f_{ua} για εν θερμώ ελατούς χάλυβες, (EN 1993-Μέρος 1-1 §3.2, Πίνακας 3.1)

Παρακάτω παρατίθενται οι συντελεστές μηχανικών χαρακτηριστικών του δομικού χάλυβα όπου:

f_{ya}: Χαρακτηριστική εφελκυστική τιμή ορίου διαρροής δομικού χάλυβα

f_{ua}: Χαρακτηριστική εφελκυστική τιμή ορίου αντοχής δομικού χάλυβα

f_{ad}: Τάση σχεδιασμού του δομικού χάλυβα

E_a: Μέτρο ελαστικότητας δομικού χάλυβα (E_a=210 GPa)

G_a: Μέτρο διάτμησης το οποίο δίνεται από την σχέση: $G_a = \frac{E_a}{2.(1+\nu_\alpha)} \approx 81GPa$

ν_a: Λόγος Poison στην ελαστική περιοχή ο οποίος λαμβάνεται ίσος με (ν_a=0,3).

α_t: Συντελεστής γραμμικής θερμικής διαστολής λαμβάνεται $\alpha_t=10^{-5}/^oC$ (για $T \leq 100\ ^oC$)

γ_a: Ειδικό βάρος του δομικού χάλυβα δίνεται (γ_a=78,5 KN/m^3)

γ_{M0}: Συντελεστής ασφαλείας ορίου διαρροής του υλικού (f_{ya}), για περιπτώσεις χωρίς προβλήματα λυγισμού (έλεγχος διατομής) όπου (γ_{M0}=1)

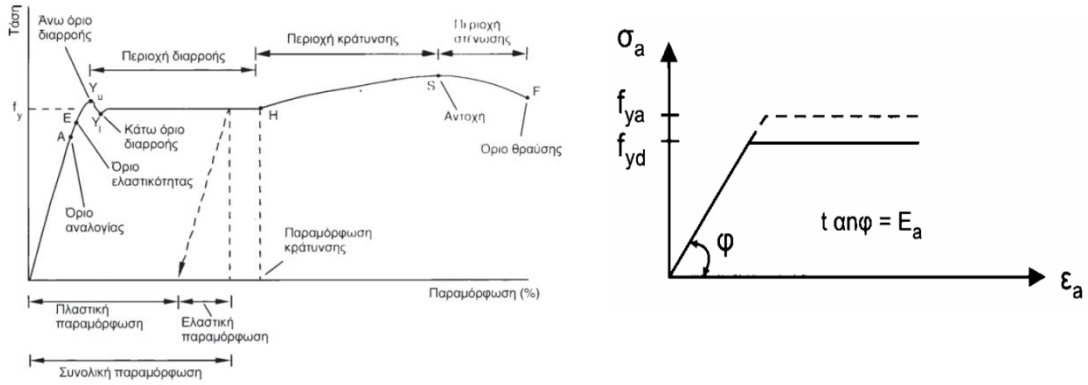
γ_{M1}: Συντελεστής ασφαλείας ορίου διαρροής του υλικού (f_{ya}), για περιπτώσεις με προβλήματα λυγισμού (έλεγχος μέλους), όπου (γ_{M1}=1)

γ_{M2}: Συντελεστής ασφαλείας ορίου θραύσης του υλικού (f_{ua}) όπου (γ_{M2}=1,25)

Η τάση σχεδιασμού (f_{ad}) του δομικού χάλυβα δίνεται από την σχέση (3.2):

$$f_{ad} = \frac{f_{ya}}{\gamma_{M0}} = \frac{f_{ya}}{1,0} \tag{3.2}$$

Στην (Εικόνα 3-2) δίνεται το τυπικό και εξιδανικευμένο διγραμμικό διάγραμμα τάσεων – παραμορφώσεων [$\sigma_a=f(\varepsilon_a)$] του δομικού χάλυβα σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 3.



(α) (β)

Εικόνα 3-2 (α) Τυπικό Διάγραμμα χάλυβα (β) Εξιδανικευμένο διάγραμμα δομικού χάλυβα τάσεων – παραμορφώσεων [$\sigma_a=f(\varepsilon_a)$], (EN 1993-1-1)

3.4 Χάλυβας Οπλισμού

Στις σύμμικτες κατασκευές ο χάλυβας οπλισμού συμβολίζεται με το λατινικό γράμμα «s». Οι ποιότητες και τα μηχανικά χαρακτηριστικά των χαλύβων σκυροδέματος δίνονται από την ευρωπαϊκή προδιαγραφή EN10080 και τις ελληνικές προδιαγραφές ΕΛΟΤ 1421-2 και ΕΛΟΤ 1421-3. Οι χάλυβες οπλισμού κατά ΕΛΟΤ 1421-2 αναφέρονται σε χάλυβες συγκολλήσιμους τεχνικής κατηγορίας B500A (χαμηλής πλαστιμότητας), ενώ ο ΕΛΟΤ 1421-3 αναφέρεται σε χάλυβες οπλισμού συγκολλήσιμους τεχνικής κατηγορίας B500C (υψηλής πλαστιμότητας). Οι ποιότητες και οι χαρακτηριστικές τιμές ορίου διαρροής του χάλυβα οπλισμού (f_{ys}) κατά ΕΛΟΤ 1421-2 και ΕΛΟΤ 1421-3 δίνονται στον παρακάτω (Πίνακας 3-3).

Πρότυπα	Ποιότητα χάλυβα	Χαρακτηριστική τιμή ορίου διαρροής (f_{ys}) σε [MPa]
ΕΛΟΤ 1421-2	B500A	500 MPa
ΕΛΟΤ 1421-3	B500C	500 MPa

Πίνακας 3-3 Ποιότητες και χαρακτηριστικές τιμές (f_{ys}) ορίου διαρροής σε MPa του χάλυβα σκυροδέματος σύμφωνα με τους ΕΛΟΤ 1421-2 και ΕΛΟΤ 1421-3

Οι κατηγορίες των χαλύβων οπλισμού χαρακτηρίζονται από δύο κεφαλαία γράμματα και ενδιάμεσα τους με ένα αριθμό (π.χ. B500C). Το πρώτο γράμμα «B» υποδηλώνει ότι αναφερόμαστε σε χάλυβα σκυροδέματος, ο μεσαίος αριθμός εκφράζει την χαρακτηριστική αντοχή διαρροής του χάλυβα οπλισμού (f_{yk}) σε MPa και το τελευταίο γράμμα υποδηλώνει την κατηγορία πλαστιμότητας που παρέχει ο συγκεκριμένος χάλυβας οπλισμού. Οι χαρακτηριστικές αντοχές διαρροής του χάλυβα οπλισμού (f_{yk}) κυμαίνονται από 400 έως 600 MPa. Επίσης οι κατηγορίες πλαστιμότητας διακρίνονται σε 3 κατηγορίες:

- «A» : Κατηγορία χαμηλής πλαστιμότητας ($1,05 \leq k < 1,08$)
- «B» : Κατηγορία μεσαίας πλαστιμότητας ($1,08 \leq k < 1,15$)
- «C» : Κατηγορία υψηλής πλαστιμότητας ($1,15 \leq k < 1,35$)

όπου k είναι ο λόγος των χαρακτηριστικών τιμών του ορίου αντοχής (f_{tk}) ως προς το όριο διαρροής (f_{yk}) του χάλυβα οπλισμού $\left(k = \frac{f_{tk}}{f_{yk}}\right)$.

Ο χάλυβας οπλισμού που χρησιμοποιείται κυρίως στον ελλαδικό χώρο λόγω των αυξημένων απαιτήσεων για αντισεισμική συμπεριφορά στις κατασκευές όπως προβλέπονται από τους Ευρωκώδικες και από τον Ελληνικό Κανονισμό Ωπλισμένου Σκυροδέματος (ΕΚΩΣ) είναι ο χάλυβας B500C δηλαδή χάλυβας οπλισμού με χαρακτηριστική τιμή ορίου διαρροής f_{yk}=500MPa υψηλής πλαστιμότητας.

Στον πιο κάτω (Πίνακας 3-4) δίνονται οι ιδιότητες οπλισμού για θερμοκρασίες μεταξύ -40°C και 100°C όπως αναφέρονται στον Ευρωκώδικα 2 Μέρος 1-1, Παράρτημα C, Πίνακας C.1.

Πίνακας 1.3 Ιδιότητες χάλυβα (Πίνακας C.1, EC2)							
Μορφή προϊόντος	Ράβδοι και ράβδοι που προέρχονται από κουλούρες			Πλέγματα			Απαίτηση ή πιθανότητα μη συμμόρφωσης (%)
Τεχνική Κατηγορία	A	B	C	A	B	C	-
Χαρακτηριστικό όριο διαρροής f_{yk} ή $f_{0,2k}$ (MPa)	400 έως 600						5,0
Κράτυνση: Ελάχιστη τιμή του $k = f_{tk}/f_{yk}$	≥1,05	≥1,08	≥1,15 <1,35	≥1,05	≥1,08	≥1,15 <1,35	10,0
Χαρακτηριστική ανηγμένη παραμόρφωση υπό το μέγιστο φορτίο ή στην εφελκυστική αντοχή, ε_{uk} (‰)	≥25	≥50	≥75	≥25	≥50	≥75	10,0
Καμψιμότητα	Δοκιμή Κάμψης/Ανάκαμψης			-			
Διατμητική αντοχή	-			0,3Af_{yk} (A είναι η επιφάνεια της διατομής της ράβδου)			Ελάχιστη
Μέγιστη απόκλιση από την ονομαστική μάζα (μεμονωμένη ράβδος) (%)	Ονομαστική διάμετρος ράβδου (mm) ≤ 8 > 8			± 6,0 ± 4,5			5,0

Πίνακας 3-4 Ιδιότητες χάλυβα σκυροδέματος σύμφωνα με τον (EN 1992-1-1, Παράρτημα C, Πίνακας C.1)

Η τάση σχεδιασμού (f_{sd}) των χαλύβων οπλισμού του σκυροδέματος δίνονται από την σχέση (3.3):

$$f_{sd} = \frac{f_{ys}}{\gamma_s} = \frac{f_{ys}}{1,15} \tag{3.3}$$

όπου:

f_{ys}: Χαρακτηριστική εφελκυστική τιμή ορίου διαρροής του χάλυβα οπλισμού

f_{sd}: Εφελκυστική τάση σχεδιασμού του χάλυβα οπλισμού

E_s: Μέτρο ελαστικότητας του χάλυβα οπλισμού το οποίο δίνεται (E_s=200 GPa). (Στους υπολογισμούς μπορεί να θεωρηθεί ότι το μέτρο ελαστικότητας του χάλυβα σκυροδέματος είναι ίσο με αυτό του δομικού χάλυβα δηλαδή (E_s=E_a=210 GPa)).

G_s: Μέτρο διάτμησης το οποίο δίνεται από την σχέση: $G_s = \frac{E_s}{2.(1+\nu_s)} \approx 77GPa$

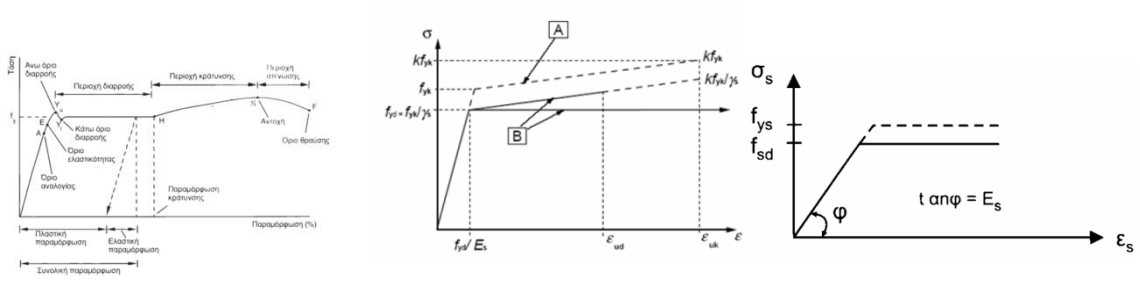
ν_s: Λόγος Poison στην ελαστική περιοχή ο οποίος λαμβάνεται ίσος με (ν_s=0,3)

α_t: Συντελεστής γραμμικής θερμικής διαστολής λαμβάνεται $\alpha_t=10^{-5}/^{o}C$

γ_s: Ειδικό βάρος του χάλυβα σκυροδέματος δίνεται (γ_s=78,5 KN/m^3)

γ_s: Επιμέρους συντελεστής ασφαλείας υλικού χάλυβα σκυροδέματος (γ_s=1,15)

Στην (Εικόνα 3-3) δίνονται τα διαγράμματα τάσεων παραμορφώσεων [σ_s=f(ε_s)] του χάλυβα οπλισμού όπου στην αριστερή εικόνα δίνεται ένα τυπικό διαγράμματα του χάλυβα και στις άλλες δύο εικόνες τα εξιδανικευμένα διγραμμικά διαγράμματα τάσεων – παραμορφώσεων τα οποία δίνονται από τον Ευρωκώδικα 2.



(α) (β) (γ)

Εικόνα 3-3 (α) Τυπικό διάγραμμα [σ=f(ε)] του χάλυβα (β) Συμβατικό γραμμικά ελαστικό – γραμμικά κρατυνόμενο διάγραμμα [σ=f(ε)] χάλυβα σκυροδέματος (γ) Συμβατικό γραμμικά ελαστικό – απολύτως πλαστικά διάγραμμα [σ=f(ε)] χάλυβα σκυροδέματος, (EN 1992-1-1)

3.5 Χάλυβας Χαλυβδοφύλλων

Στις σύμμικτες κατασκευές ο χάλυβας χαλυβδοφύλλων συμβολίζεται με το λατινικό γράμμα «p». Οι χάλυβες των χαλυβδοφύλλων προέρχονται από χάλυβες θερμής έλασης σε μορφή ρολών κατά EN10025, οι οποίοι ακολούθως υφίσταται ψυχρή έλαση για να πάρουν το επιθυμητό προφίλ (σχήμα). Οι ποιότητες και τα μηχανικά χαρακτηριστικά των χαλυβδοφύλλων δίνονται από τις ευρωπαϊκές προδιαγραφές EN10149 για τα κοινά χαλυβδόφυλλα και EN10147 για τα γαλβανισμένα χαλυβδόφυλλα σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 3 Μέρος 1-3. Τα χαλυβδόφυλλα διατίθενται σε διάφορα προφίλ, με την χαρακτηριστική τους αντοχή να κυμαίνεται από 220MPa έως τουλάχιστον 460 MPa και το πάχος τους γύρω στα 0,5-2mm. Κατά κανόνα τα χαλυβδόφυλλα που χρησιμοποιούνται στις σύμμικτες κατασκευές είναι γαλβανισμένα με πάχος επιψευδαργύρωσης περίπου 0,2mm σε κάθε επιφάνεια έτσι ώστε να παρέχεται στο χαλυβδόφυλλο αντιδιαβρωτική προστασία. Οι ποιότητες και οι χαρακτηριστικές τιμές του ορίου διαρροής (f_{yp}) και του ορίου αντοχής (f_{up}) των συχνότερα χρησιμοποιούμενων γαλβανισμένων χαλυβδοφύλλων περιγράφεται από το τον πιο κάτω (Πίνακας 3-5).

Πρότυπο EN10147		
Ποιότητα	f_{yp} [MPa]	f_{up} [MPa]
S 220 GD+Z	220	300
S 250 GD+Z	250	330
S 280 GD+Z	280	360
S 320 GD+Z	320	390
S 350 GD+Z	350	420

Πίνακας 3-5 Ποιότητες και χαρακτηριστικές τιμές ορίου διαρροής (f_{yp}) και ορίου αντοχής (f_{up}) γαλβανισμένων χαλυβδοφύλλων σύμφωνα με το Πρότυπο EN10147

Η τάση σχεδιασμού του χαλυβδόφυλλου δίνεται από την πιο κάτω σχέση (3.4):

$$f_{yp,d} = \frac{f_{yp}}{\gamma_{Mp}} = \frac{f_{yp}}{1,0} \tag{3.4}$$

όπου:

f_{yp}: Χαρακτηριστική τιμή ορίου διαρροής του χάλυβα χαλυβδόφυλλου

f_{up}: Χαρακτηριστική τιμή ορίου αντοχής του χάλυβα χαλυβδόφυλλου

$f_{yp,d}$: Τάση σχεδιασμού του χαλυβδόφυλλου

γ_{Mp}: Επιμέρους συντελεστής ασφαλείας του υλικού χαλυβδόφυλλου (γ_{Mp}=1)

Τα υπόλοιπα μηχανικά χαρακτηριστικά λαμβάνονται ίδια με αυτά των άλλων χαλύβων δηλαδή:

E_p: Μέτρο ελαστικότητας χαλυβδόφυλλου (E_p=210 GPa)

G_p: Μέτρο διάτμησης το οποίο δίνεται από την σχέση: $G_p = \frac{E_p}{2.(1+\nu_p)} \approx 81GPa$

ν_p: Λόγος Poison στην ελαστική περιοχή ο οποίος λαμβάνεται ίσος με (ν_p=0,3)

α_t: Συντελεστής γραμμικής θερμικής διαστολής λαμβάνεται $\alpha_t=10^{-5}/^oC$ (για T ≤ 100 ^oC)

γ_p: Ειδικό βάρους του χάλυβα χαλυβδόφυλλου (γ_p=78,5 KN/m^3)

3.6 Κοχλίες

Στις μεταλλικές κατασκευές ο χάλυβας κοχλιών συμβολίζεται με το λατινικό γράμμα «b». Οι ποιότητες και οι χαρακτηριστικές τιμές ορίου διαρροής (f_{yb}) και ορίου αντοχής (f_{ub}) των κοχλιών περιγράφονται στην ευρωπαϊκή προδιαγραφή (EN1993-1-8 §3.1, Πίνακας 3.1.) όπως φαίνονται στον πιο κάτω (Πίνακας 3-6).

Η ποιότητα των κοχλιών συμβολίζεται με δύο αριθμούς όπου ο 1^{ος} αριθμός αριστερά αναφέρεται στο 1/100 της χαρακτηριστικής εφελκυστικής αντοχής (f_{ub}) του κοχλία και ο 2^{ος} αριθμός δεξιά αναφέρεται στον λόγο των χαρακτηριστικών τιμών ορίου διαρροής (f_{yb}) ως προς το την εφελκυστική αντοχή (f_{ub}) του κοχλία πολλαπλασιασμένα (x10).

						Κοχλίες Υψηλής Αντοχής	
Ποιότητα κοχλία	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	10.9
f_{yb} [MPa]	240	320	300	400	480	640	900
f_{ub} [MPa]	400	400	500	500	600	800	1000

Πίνακας 3-6 Ποιότητες και χαρακτηριστικές τιμές ορίου διαρροής (f_{yb}) και ορίου αντοχής (f_{ub}) κοχλιών

Τα υπόλοιπα μηχανικά χαρακτηριστικά (ειδικό βάρος, μέτρο ελαστικότητας, λόγος Poison, μέτρο διατμήσεως, συντελεστής θερμικής διαστολής κλπ) λαμβάνονται τα ίδια με αυτά που αναφέρθηκαν και στο δομικό χάλυβα.

3.7 Διατμητικοί Ήλοι

Στις σύμμικτες κατασκευές ο συμβολισμός των διατμητικών ήλων δίνεται από τα λατινικά γράμματα «sc». Οι διατμητικοί ήλοι προδιαγράφονται στην ευρωπαϊκή προδιαγραφή EN13918 όπως αναφέρεται στον (EN 1994-1-1 §3.4.2.). Οι διατμητικοί ήλοι προέρχονται συνήθως από κοινό δομικό χάλυβα κατηγορίας S235J2+C450 δηλαδή με χαρακτηριστικές τιμές ορίου διαρροής $f_{y,sc}$=235MPa και ορίου εφελκυστικής αντοχής $f_{u,sc}$=450MPa, ή από χάλυβα κοχλιών ποιότητας 4.8 με χαρακτηριστικές τιμές ορίου διαρροής $f_{y,sc}$=320MPa και ορίου εφελκυστικής αντοχής $f_{u,sc}$=400MPa. Η διαστάσεις των διατμητικών ήλων (διάμετρος κορμού, διάμετρος κεφαλής, συνολικό ύψος, ύψος κεφαλής ήλου κλπ) δίνονται σε mm. Το συνολικό ύψος h_{sc} του διατμητικού ήλου πέραν τις απαιτήσεις επικάλυψης που θα πρέπει να ικανοποιούνται θα πρέπει επιπλέον να πληροί και την συνθήκη ($h_{sc} \geq 3.d_{sc}$).

4. Δράσεις Στις Κατασκευές

4.1 Γενικά

Η ανάλυση και η μελέτη μιας κατασκευής πραγματοποιείται με βάση τις δράσεις που ασκούνται σε αυτή οι όποιες ποικίλουν ανάλογα με την μορφή, την τοποθεσία στην οποία θα κατασκευαστεί το έργο και από την χρήση για την οποία προορίζεται. Η αναφορά των δράσεων γίνεται μέσα από τα ευρωπαϊκά πρότυπα του Ευρωκώδικα 1 (EN 1991-1-1) και τα Εθνικά Προσαρτήματα του κάθε κράτους μέλους της Ευρωπαϊκής Ένωσης στα οποία μπορούν αυτές οι τιμές να διαφοροποιηθούν και να προσαρμοστούν ανάλογα με τις ιδιαιτερότητες και τις συνθήκες που παρατηρούνται στο συγκεκριμένο κράτος.

4.2 Κατηγορίες Φορτίων

Ως δράσεις ορίζονται τα εξωτερικά φορτία ή καταναγκασμοί (π.χ. μεταβολή θερμοκρασίας, ερπυσμός, συστολή ξήρανσης, επιβαλλόμενες παραμορφώσεις) όπου επιβάλλονται στην κατασκευή και αποτελούν την αιτία ανάπτυξης εσωτερικών εντάσεων στο φορέα.

Οι δράσεις μπορούν να ταξινομηθούν σε κατηγορίες ως προς τρόπο επιβολή τους στην κατασκευή σε:

- Άμεσες: Δράσεις οι οποίες επιβάλλονται άμεσα στα φέροντα στοιχεία του φορέα στις οποίες περιλαμβάνονται π.χ. συγκεντρωμένα ή ομοιόμορφα γραμμικά ή επιφανειακά φορτία
- Έμμεσες: Οι οποίες αναφέρονται σε επιβαλλόμενες παραμορφώσεις οι οποίες προκαλούν έμμεσα εσωτερική ένταση στα στοιχεία του φορέα (π.χ. επιβαλλόμενες παραμορφώσεις λόγω υποχώρηση στηρίξεων, θερμοκρασιακών μεταβολών, επιβαλλόμενη επιτάχυνση λόγω σεισμού κλπ)

Ως προς την διακύμανση τους μέσα στο χρόνο οι δράσεις μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε:

- Μόνιμες Δράσεις (G) (Permanent): Όλες οι δράσεις οι οποίες η τιμή και η θέση στην οποία βρίσκονται παραμένει αμετάβλητη κατά την διάρκεια ζωής της κατασκευής. (π.χ. τα ίδια βάρη της κατασκευής, πλάκες, δοκοί, υποστυλώματα, τοιχία, επικαλύψεις, δάπεδα, υποχώρηση στηρίξεων ,συστολή ξήρανσης, ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός, υδραυλικές εγκαταστάσεις κλπ)
- Μεταβλητές Δράσεις (Q) (Variable): Όλες οι δράσεις οι οποίες η τιμή ή και η θέση στην οποία βρίσκονται δεν παραμένει σταθερή αλλά μεταβάλλεται μέσα στην διάρκεια ζωής της κατασκευής (π.χ. Τα φορτία των ανθρώπων, τα έπιπλα, οι πιέσεις ανέμου, τα φορτία χιονιού, τα φορτία των αυτοκινήτων σε μια γέφυρα κλπ)
- Τυχηματικές Δράσεις (A) (Accidental): Μέσα σε αυτή την κατηγορία εντάσσονται οι δράσεις οι οποίες μπορούν να συμβούν σπάνια στην διάρκεια ζωής του έργου (π.χ. πυρκαγιά, εκρήξεις, προσκρούσεις οχημάτων, σεισμός κλπ)

Ως προς τη φύση των δράσεων ανάλογα με την απόκριση της κατασκευής και τον τρόπο με το οποίο επιβάλλονται:

- Στατικές Φορτίσεις: Όταν η ένταση και η θέση των φορτίων παραμένει σταθερή μέσα στο χρόνο
- Δυναμικές Φορτίσεις: Όταν τα φορτία δεν έχουν σταθερή ένταση ή και θέση μέσα στο χρόνο τότε δημιουργούν δυναμική απόκριση στην κατασκευή (π.χ. δράσεις σεισμού, ανέμου κλπ)

Ως προς τις θέσεις τους οι δράσεις διακρίνονται σε :

- Καθορισμένες (Fixed)
- Ελεύθερες (Free)

4.3 Οριακές καταστάσεις στις κατασκευές

4.3.1 Γενικά

Μια κατασκευή θα πρέπει να μελετάται και να κατασκευάζεται με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να παρέχει ασφάλεια, λειτουργικότητα και ανθεκτικότητα μέσα στην διάρκεια ζωής της. Επομένως οι κατασκευές θα πρέπει να σχεδιάζονται έτσι ώστε να ικανοποιούν και να πληρούν θεμελιώδεις απαιτήσεις όπως αναφέρονται στον Ευρωκώδικα 1:

- Να έχουν επαρκή αντοχή, λειτουργικότητα και αξιοπιστία
- Θα πρέπει να παραμένουν κατάλληλες για τη χρήση για την οποία προορίζονται
- Θα πρέπει να παραλαμβάνουν όλες τις δράσεις και τις επιδράσεις που πιθανόν να λάβουν χώρα κατά τη διάρκεια της ανέγερσης και της χρήσης τους
- θα πρέπει να αποφεύγεται ο κίνδυνος να υποστούν δυσανάλογα μεγάλες βλάβες από συμβάντα όπως εκρήξεις, προσκρούσεις ή συνέπειες ανθρώπινου λάθους, μέσω επιλογής κατάλληλων μέτρων (μέτρων προφύλαξης, επιλογή κατάλληλου δομικού συστήματος).

4.3.2 Οριακές Καταστάσεις Σχεδιασμού Κατασκευών

Η φιλοσοφία σχεδιασμού που υιοθετείται από τους Ευρωκώδικες για το σχεδιασμό των κατασκευών είναι αυτή των οριακών καταστάσεων. Οριακές καταστάσεις είναι καταστάσεις πέραν των οποίων ο φορέας ή τμήμα αυτού δεν ικανοποιεί πλέον τα κριτήρια σχεδιασμού του, όπως είναι η ασφάλεια και η λειτουργικότητα του. Οι οριακές καταστάσεις σχεδιασμού των κατασκευών διακρίνονται σε δυο κατηγορίες, την Οριακή Κατάσταση Αστοχίας (ΟΚΑ) και την Οριακή Κατάσταση Λειτουργικότητας (ΟΚΛ), οι οποίες περιγράφονται παρακάτω.

4.3.2.1 Οριακή Κατάσταση Αστοχίας (ΟΚΑ) (Ultimate Limit States - ULS)

Η Οριακή Κατάσταση Αστοχίας σχετίζεται με την κατάρρευση ή άλλες μορφές αστοχίας του φορέα ή τμήματος αυτού οι οποίες θέτουν σε άμεσο κίνδυνο ανθρώπινες ζωές ή την ασφάλεια του φορέα ή ενδεχομένως την προστασία του εσωτερικού περιεχομένου της κατασκευής. Ο μελετητής θα πρέπει να εξασφαλίσει ότι η μέγιστη αντοχή της κατασκευής ή στοιχείων της είναι επαρκής για να μπορεί να αντέξει τις μέγιστες δράσεις από τους δυσμενέστερους συνδυασμούς φορτίων που θα μπορούσαν να επιβληθούν στην κατασκευή υπό ακραίες συνθήκες. Η Οριακή Κατάσταση Αστοχίας διακρίνεται σε αστοχίες που αφορούν:

- Απώλεια στατικής ισορροπίας (EQU) του θεωρούμενου ως άκαμπτου σώματος φορέα ή οποιουδήποτε μέρους του. Ως κρίσιμος παράγοντας αναδεικνύονται οι μικρές διακυμάνσεις στην τιμή ή στη χωρική κατανομή των δράσεων που έχουν ενιαία προέλευση, ενώ δεν είναι κρίσιμη η αντοχή/ αντίσταση των υλικών.
- Αστοχία μέλους λόγω υπέρβασης της φέρουσας ικανότητας αντοχής του υλικού ή από υπερβολική αύξηση παραμορφώσεων (STR). Είναι λοιπόν η δομική αστοχία σύμφωνα με την οποία ο φορέας ή οποιοδήποτε μέρος του μετατρέπεται σε μηχανισμό ή θραύεται ή μπορεί να υπάρξει απώλεια ευστάθειας του φορέα ή οποιουδήποτε μέρους του, συμπεριλαμβανομένων των στηρίξεων και των θεμελίων
- Αστοχία η οποία προκαλείται από κόπωση ή από άλλες επιδράσεις οι οποίες σχετίζονται και εξαρτώνται με το χρόνο (FAT)
- Αστοχία εδάφους (GEO). Κρίσιμη αναδεικνύεται η αντοχή/αντίσταση του εδάφους.

Στις προαναφερθείσες Οριακές Καταστάσεις Αστοχίας θα πρέπει να προσθέσουμε και δυο ακόμη που αφορούν ιδιαίτερες περιπτώσεις αστοχίας εδάφους

- Απώλεια ισορροπίας της κατασκευής ή του εδάφους (UPL) λόγω υδατικών πιέσεων άνωσης ή επίπλευσης (π.χ. στεγανολεκάνης).

- Αστοχία υδραυλικού τύπου (HYD), όπως εσωτερική διάβρωση ή διασωλήνωση του εδάφους λόγω ροής υδάτων με μεγάλη υδραυλική κλίση.

Οι Οριακές Καταστάσεις Αστοχίας θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη και για τον έλεγχο ανθεκτικότητας στη διάρκεια του χρόνου της κατασκευής.

4.3.2.2 Οριακή Κατάσταση Λειτουργικότητας (ΟΚΛ) (Serviceability Limit States - SLS)

Οι Οριακές Καταστάσεις Λειτουργικότητας αντιστοιχούν σε καταστάσεις πέραν των οποίων δεν ικανοποιούνται τα κριτήρια λειτουργικότητας της κατασκευής. Πρόκειται λοιπόν για οριακές καταστάσεις οι οποίες αφορούν τη λειτουργία ενός φορέα ή ενός δομικού μέλους υπό συνθήκες φυσιολογικής χρήσης, την άνεση και την αίσθηση ασφάλειας των ανθρώπων καθώς και την εξωτερική αισθητική εμφάνιση της κατασκευής. Οι έλεγχοι Οριακών Καταστάσεων Λειτουργικότητας αναφέρονται σε αυξημένες παραμορφώσεις ή μετακινήσεις (π.χ. αυξημένα βέλη, υποχώρηση στηρίξεων (διαφορική καθίζηση)),περιορισμό των τάσεων, ταλαντώσεις και δονήσεις, αυξημένο εύρος ρηγματώσεων, τα οποία όλα αυτά μπορούν να δημιουργήσουν βλάβες σε μη φέροντα στοιχεία (π.χ. στοιχεία πλήρωσης, τζάμια, διαχωριστικά, ανοιγοκλείσιμο πόρτων κλπ), αίσθημα ανασφάλειας των χρηστών (π.χ. λόγω αυξημένων αισθητών βελών, ρηγματώσεων, ταλαντώσεων της κατασκευής) καθώς και μείωση της ανθεκτικότητας σε διάρκεια της κατασκευής.

4.3.3 Καταστάσεις Σχεδιασμού Κατασκευής

Ο έλεγχος της κατασκευής έναντι αστοχίας ή λειτουργικότητας επιτυγχάνεται με τη χρήση των λεγόμενων «καταστάσεων σχεδιασμού», όπου περιγράφουν με επαρκή αξιοπιστία όλους τους συνδυασμούς φορτίσεων, στις οποίες μπορεί να υποβληθεί η κατασκευή τόσο κατά την φάση ανέγερση της, όσο και κατά την διάρκεια ζωής της (για

κτιριακά έργα 50 χρόνια). Οι καταστάσεις σχεδιασμού μπορούν να ταξινομηθούν ως εξής:

- Καταστάσεις σχεδιασμού διάρκειας (persistent): όπου αντιστοιχούν σε κανονικές συνθήκες χρήσης της κατασκευής
- Παροδικές καταστάσεις σχεδιασμού (transient): όπου αντιστοιχούν σε προσωρινές συνθήκες (π.χ. κατά τη φάση ανέγερσης ή επισκευών)
- Τυχηματικές καταστάσεις σχεδιασμού (accidental): όπου αντιστοιχούν σε εξαιρετικές συνθήκες (π.χ. πυρκαγιά, έκρηξη, πρόσκρουση ή τοπική αστοχία)
- Καταστάσεις σχεδιασμού έναντι σεισμού (seismic): όπου αντιστοιχούν σε συνθήκες επιβολής σεισμικής καταπόνησης στην κατασκευή

4.4 Συνδυασμός Δράσεων

Για τις διάφορες κατηγορίες δράσεων υπάρχουν και κανόνες συνδυασμού αυτών καθώς τα φορτία στην πραγματικότητα δεν επιβάλλονται στο φορέα μεμονωμένα αλλά συνδυαστικά μεταξύ τους. Οι συνδυασμοί δράσεων αποτελούνται από την επαλληλία των χαρακτηριστικών τιμών των διάφορων δράσεων, οι οποίες επιλέγονται ανάλογα με την θέση της κατασκευής, την μορφή, το είδος και το σκοπό της. Αυτές οι χαρακτηριστικές τιμές των δράσεων πολλαπλασιάζονται με τους συντελεστές ασφαλείας «γ» και τους μειωτικούς συντελεστές συνδυασμού των μεταβλητών δράσεων (ψ_o,ψ_1,ψ_2).

Οι δε συντελεστές ασφαλείας «γ» χρησιμοποιούνται προκειμένου να ληφθούν υπόψη πιθανές δυσμενείς αποκλίσεις ή πιθανή μη ακριβής προσομοίωση των δράσεων καθώς και αβεβαιότητες στο προσδιορισμό των αποτελεσμάτων των δράσεων (εντατικών μεγεθών, μετακινήσεων κλπ). Επομένως ανάλογα με το είδος της δράσης (μόνιμη, μεταβλητή, τυχηματική) και κατά πόσο είναι δυσμενής ή ευμενής η επίδρασης της συγκεκριμένης δράσης καθορίζεται και ο συντελεστής ασφαλείας της «γ» όπως φαίνεται στον (Πίνακας 4-1) σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 0 Παράρτημα Α.

		Οριακές Καταστάσεις Αστοχίας [ΟΚΑ]		Οριακές Καταστάσεις Λειτουργικότητας [ΟΚΛ]	
		Δυσμενής επίδραση	Ευμενής επίδραση	Δυσμενής επίδραση	Ευμενής επίδραση
Μόνιμα Φορτία (G)	γ_G	1,35	1	1	1
Κινητά Φορτία (Q)	γ_Q	1,5	0	1	0
Τυχηματικά Φορτία (A) και Σεισμός (E)	γ_A, γ_E	1	0	-	-

Πίνακας 4-1 Επιμέρους συντελεστές ασφαλείας δράσεων

Οι μειωτικοί συντελεστές συνδυασμού ψ_i εκφράζουν την μειωμένη πιθανότητα δύο ή περισσότερων κινητών φορτίων να εκδηλώσουν την μέγιστη τιμή τους ταυτόχρονα. Με άλλα λόγια αυτοί οι συντελεστές συνδυασμού εκφράζουν το ποσοστό της χαρακτηριστικής τιμής μεταβλητών δράσεων, που δρουν ταυτόχρονα σε μια εξεταζόμενη κατάσταση. Οι τιμές των μειωτικών συντελεστών συνδυασμού ψ_i των μεταβλητών δράσεων δίνονται στο Εθνικό Προσάρτημα του Ευρωκώδικα 0 όπως φαίνονται στο πιο κάτω (Πίνακας 4-2). Συνεπώς οι τέσσερις αντιπροσωπευτικές τιμές που μπορούν να πάρουν οι μεταβλητές δράσεις είναι:

- Χαρακτηριστική Τιμή Q_k
- Τιμή Συνδυασμού $\psi_o.Q_k$
- Συχνή Τιμή $\psi_1.Q_k$
- Οιονεί Μόνιμη Τιμή $\psi_2.Q_k$

Δράσεις	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
Επιβαλλόμενα φορτία σε κτήρια, κατηγορία (βλέπε EN 1991-1-1)			
Κατηγορία A: κατοικίες, συνήθη κτήρια κατοικιών	0,7	0,5	0,3
Κατηγορία B: χώροι γραφείων			
Κατηγορία C: χώροι συνάθροισης	0,7	0,5	0,3
Κατηγορία D: χώροι καταστημάτων	0,7	0,7	0,6
Κατηγορία E: χώροι αποθήκευσης	0,7	0,7	0,6
Κατηγορία F: χώροι κυκλοφορίας οχημάτων βάρος οχημάτων ≤ 30kN	1,0	0,9	0,8
Κατηγορία G: χώροι κυκλοφορίας οχημάτων 30kN < βάρος οχημάτων ≤ 160kN	0,7	0,7	0,6
Κατηγορία H: στέγες	0,7 0	0,5 0	0,3 0
Φορτία χιονιού επάνω σε κτήρια (βλέπε EN 1991-1-3)*			
Φιλανδία, Ισλανδία, Νορβηγία, Σουηδία	0,70	0,50	0,20
Υπόλοιπα Κράτη Μέλη του CEN για τοποθεσίες που βρίσκονται σε υψόμετρο H > 1000 m	0,70	0,50	0,20
Υπόλοιπα Κράτη Μέλη του CEN για τοποθεσίες που βρίσκονται σε υψόμετρο H ≤ 1000 m	0,50	0,20	0
Φορτία ανέμου σε κτήρια (βλέπε EN 1991-1-4)	0,6	0,2	0
Θερμοκρασία (μη-πυρκαϊάς) σε κτήρια (βλέπε EN 1991-1-5)	0,6	0,5	0

Πίνακας 4-2 Τιμές μειωτικών συντελεστών συνδυασμού μεταβλητών δράσεων ψ_i για κτίρια, (EN 1990 Πίνακας A1.1)

4.4.1 Οριακή Κατάσταση Αστοχίας [ΟΚΑ]

Για την οριακή κατάσταση αστοχίας εξετάζονται οι παρακάτω συνδυασμοί (EN 1990 §6.4) οι οποίοι καλύπτουν όλες τις καταστάσεις σχεδιασμού (καταστάσεις διαρκείας, παροδικές, τυχηματικές και σεισμού). Στους συνδυασμούς αυτούς δεν συνυπολογίζονται δράσεις οι οποίες δεν είναι δυνατόν να εμφανιστούν ταυτόχρονα.

- Συνδυασμοί για καταστάσεις διαρκείας ή παροδικές καταστάσεις (Βασικός συνδυασμός)

$$E_d = \sum_{i\geq 1} \gamma_{G,i} . G_{k,i} + \gamma_{Q,1} . Q_{k,1} + \sum_{j>1} \gamma_{Q,j} . \psi_{o,j} . Q_{k,j} \tag{4.1}$$

- Συνδυασμοί για τυχηματικές καταστάσεις

$$E_d = \sum_{i\geq 1} G_{k,i} + A_d + (\psi_{1,1} \; or \; \psi_{2,1}) . Q_{k,1} + \sum_{j>1} \psi_{2,j} . Q_{k,j} \tag{4.2}$$

- Συνδυασμοί για καταστάσεις σεισμού

$$E_d = \sum_{i \geq 1} G_{k,i} + A_{Ed,ULS} + \sum_{j \geq 1} \psi_{2,j} \cdot Q_{k,j} \quad (4.3)$$

όπου:

+: Το σύμβολο του αθροίσματος «+» συμβολίζει ταυτόχρονη δράση (δηλαδή ταυτόχρονη συνύπαρξη των διάφορων δράσεων) και όχι αλγεβρική ή γεωμετρική άθροιση

$G_{k,j}$: Χαρακτηριστική τιμή μόνιμων δράσεων

$Q_{k,1}$: Χαρακτηριστική τιμή δεσπόζουσας μεταβλητής δράσης (επικρατέστερη μεταβλητή δράση)

$Q_{k,j}$: Χαρακτηριστική τιμή λοιπών μεταβλητών δράσεων

A_d: Τιμή σχεδιασμού της τυχηματικής δράσης

A_{Ed}: Τιμή σχεδιασμού σεισμικής δράσης

$\gamma_{G,i}$: Επιμέρους συντελεστής ασφαλείας μόνιμων δράσεων

$\gamma_{Q,j}$: Επιμέρους συντελεστής ασφαλείας μεταβλητών δράσεων

$\psi_{o,j}$: Μειωτικός συντελεστής συνδυασμού μεταβλητών δράσεων (τιμή συνδυασμού)

$\psi_{1,j}$: Μειωτικός συντελεστής συνδυασμού μεταβλητών δράσεων (συχνή τιμή)

$\psi_{2,j}$: Μειωτικός συντελεστής συνδυασμού μεταβλητών δράσεων (οιονεί μόνιμη τιμή)

4.4.1.1 Έλεγχος Επάρκειας σε Οριακή Κατάσταση Αστοχίας

Ο έλεγχος ο οποίος θα πρέπει να πληρείται από όλα τα στοιχεία του φορέα για κάθε ένα από τους πιο πάνω συνδυασμούς δράσεων σε ΟΚΑ, θα πρέπει να ικανοποιείται η παρακάτω ανίσωση:

$$E_d \leq R_d \quad (4.4)$$

όπου:

E_d: Η τιμή του αποτελέσματος των συνδυασμών δράσεων σχεδιασμού (effect) (π.χ. εντατικά μεγέθη, παραμορφώσεις, μετακινήσεις κλπ)

R_d: Η αντίστοιχη τιμή αντοχής σχεδιασμού της διατομής ή του μέλους το οποίο εξετάζεται (αντίσταση-resistance)

Ο υπολογισμός της αντοχής σχεδιασμού R_d προσδιορίζεται μέσω της διαίρεσης της χαρακτηριστικής τιμής αντοχής R_k με τους επιμέρους συντελεστές ασφαλείας του υλικού γ_{Mi}.

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_{Mi}} \tag{4.5}$$

όπου:

R_k: Χαρακτηριστική τιμή της αντίστασης

γ_{Mi}: Επιμέρους συντελεστής ασφαλείας του υλικού, ο οποίος λαμβάνει υπόψη τυχόν δυσμενείς αποκλίσεις από τις χαρακτηριστικές τιμές, ανακρίβειες στους συντελεστές μετατροπής και αβεβαιότητες στα γεωμετρικά χαρακτηριστικά και στην προσομοίωση του φορέα

4.4.2 Οριακή Κατάσταση Λειτουργικότητας [ΟΚΛ]

Για την οριακή κατάσταση λειτουργικότητας εξετάζονται οι παρακάτω συνδυασμοί (EN 1990 §6.5). Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως στους συνδυασμούς αυτούς δεν συνυπολογίζονται δράσεις οι οποίες δεν είναι δυνατόν να εμφανιστούν ταυτόχρονα.

- Χαρακτηριστικοί συνδυασμοί

$$E_d = \sum_{i \geq 1} G_{k,i} + Q_{k,1} + \sum_{j > 1} \psi_{o,j} \cdot Q_{k,j} \tag{4.6}$$

- Συχνοί συνδυασμοί

$$E_d = \sum_{i \geq 1} G_{k,i} + \psi_{1,1} . Q_{k,1} + \sum_{j > 1} \psi_{2,j} . Q_{k,j} \quad (4.7)$$

- Οιονεί μόνιμοι συνδυασμοί

$$E_d = \sum_{i \geq 1} G_{k,i} + \sum_{j \geq 1} \psi_{2,j} . Q_{k,j} \quad (4.8)$$

- Συνδυασμοί για καταστάσεις σεισμού

$$E_d = \sum_{i \geq 1} G_{k,i} + A_{Ed,SLS} + \sum_{j \geq 1} \psi_{2,j} . Q_{k,j} \quad (4.9)$$

Οι συμβολισμοί είναι αντίστοιχοι με αυτούς που αναφέρθηκαν στους συνδυασμούς σε οριακή κατάσταση αστοχίας.

4.4.2.1 Έλεγχος Επάρκειας σε Οριακή Κατάσταση Λειτουργικότητας

Ο έλεγχος ο οποίος θα πρέπει να πληρείται από όλα τα στοιχεία του φορέα για κάθε ένα από τους πιο πάνω συνδυασμούς δράσεων σε ΟΚΛ, θα πρέπει να ικανοποιείται η παρακάτω ανίσωση:

$$\mathrm{E_d} \leq \mathrm{C_d} \quad (4.10)$$

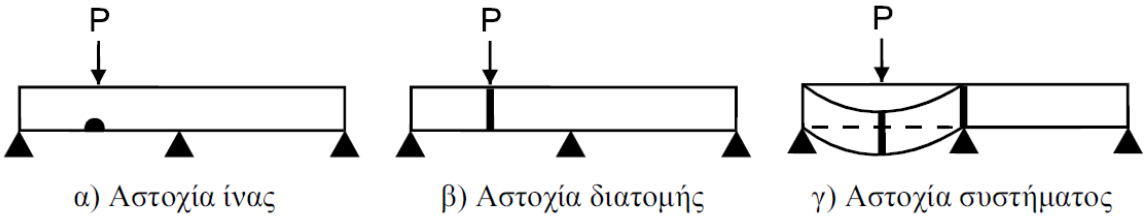
όπου:

E_d: Η τιμή σχεδιασμού των αποτελεσμάτων των δράσεων, οι οποίες καθορίζονται στα πλαίσια του κριτηρίου λειτουργικότητας, και η οποία προσδιορίζεται βάσει του σχετικού συνδυασμού

C_d: Η οριακή τιμή σχεδιασμού του συναφούς κριτηρίου λειτουργικότητας

5. Μέθοδοι Υπολογισμού Των Δράσεων Και Των Αντιστάσεων

Οι διάφορες μέθοδοι υπολογισμού των εντατικών μεγεθών και των αντιστάσεων εξαρτώνται από το πώς ορίζεται η αστοχία του φορέα ή τμήμα αυτού. Υπάρχουν τρείς διαφορετικοί ορισμοί για το πώς ορίζεται η «αστοχία». Ο πρώτος ορίζει ως αστοχία την στιγμή όπου η πρώτη ίνα του φορέα μπαίνει σε διαρροή και η αστοχία αντιστοιχεί στην εμφάνιση της πρώτης διαρροής. Επομένως ο φορέας δεν εισέρχεται στην πλαστική περιοχή και η συμπεριφορά του είναι ελαστική μέχρι την αστοχία. Ο δεύτερος ορίζει ως αστοχία όταν μια ολόκληρη διατομή του φορέα πλαστικοποιείται ενώ ο υπόλοιπος φορέας παραμένει στην ελαστική περιοχή και συμπεριφέρεται ελαστικά. Ο τρίτος ορίζει ως αστοχία την στιγμή όπου επέρχεται πλήρης κατάρρευση του φορέα στην οποία έχουμε διάνοιξη τόσων πλαστικών αρθρώσεων τόσων ώστε ο φορέα πλέον καθίσταται κινηματικά ασταθής. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται η μέγιστη δυνατή πλαστικοποίηση του συστήματος.



Εικόνα 5-1 Ορισμός Αστοχίας, (Ιωάννης Κ. Βάγιας, 2018)

Επομένως με βάση τους ορισμούς αστοχίας που δόθηκαν παραπάνω, μπορούμε να διακρίνουμε 3 μεθόδους ανάλυσης υπολογισμού των δράσεων (E_d) και των αντιστάσεων (R_d) όπως παρατηρούνται στο πιο κάτω (Πίνακας 5-1).

Μέθοδος Υπολογισμού	**Υπολογισμός Δράσεων (E_d)**	**Υπολογισμός Αντιστάσεων (R_d)**
Ελαστική – Ελαστική	Ελαστικός	Ελαστικός
Ελαστική – Πλαστική	Ελαστικός	Πλαστικός
Πλαστική – Πλαστική	Πλαστικός	Πλαστικός

Πίνακας 5-1 Μέθοδοι ανάλυσης και υπολογισμού Δράσεων (E_d) και Αντιστάσεων (R_d)

Η πρώτη μέθοδος ανάλυσης «Ελαστική – Ελαστική» αναφέρεται αν ο φορέας συμπεριφέρεται ελαστικά μέχρι την στιγμή της αστοχίας (δηλαδή θεωρείται αστοχία με το που πλαστικοποιηθεί η πρώτη ίνα μιας διατομής του φορέα). Στην περίπτωση αυτή τόσο οι δράσεις (εντατικά μεγέθη, παραμορφώσεις) όσο και οι αντιστάσεις υπολογίζονται με την ελαστική μέθοδο (με βάση την θεωρία ελαστικότητας).

Η δεύτερη μέθοδος ανάλυσης «Ελαστική – Πλαστική» αναφέρεται εάν η αστοχία ορίζεται στην πλήρη πλαστικοποίηση μιας διατομής ενώ ο υπόλοιπος φορέας συμπεριφέρεται ελαστικά. Τότε οι δράσεις υπολογίζονται με ελαστική ανάλυση ενώ οι αντιστάσεις υπολογίζονται με πλαστική ανάλυση.

Στην τρίτη μέθοδο ανάλυσης «Πλαστική – Πλαστική» η αστοχία του φορέα εκδηλώνεται με την πλήρη πλαστικοποίηση του και την διάνοιξη τόσων πλαστικών αρθρώσεων ώστε ο φορέας πλέον να γίνεται μηχανισμός (κινηματικά ασταθής). Σε αυτή την περίπτωση τόσο οι δράσεις όσο και οι αντιστάσεις υπολογίζονται με πλαστική ανάλυση. Οι πλαστικοποιημένες διατομές σε αυτή την περίπτωση θα πρέπει να συμπεριφέρονται ως πλαστικές αρθρώσεις δηλαδή να έχουν επαρκή στροφική ικανότητα μετά την πλήρη πλαστικοποίηση τους. Αυτή την στροφική ικανότητα δεν την έχουν όλες οι διατομές όπως θα δούμε εν συνεχεία και επομένως δεν επιτρέπεται πάντα η εφαρμογή της «πλαστικής – πλαστικής» ανάλυσης.

Για τον προσδιορισμό των εντατικών μεγεθών μια ενδιάμεση προσέγγιση της δεύτερης και τρίτης μεθόδου ανάλυσης είναι η ελαστική ανάλυση με περιορισμένη ανακατανομή. Σε αυτή την περίπτωση ο υπολογισμός των εντατικών μεγεθών γίνεται με ελαστική ανάλυση αλλά επιτρέπεται η ανακατανομή των ροπών λόγω πλαστικοποίησης των διατομών (κυρίως στις στηρίξεις). Αυτή η μέθοδος προσεγγίζει την «πλαστική – πλαστική» μέθοδο στην οποία έχουμε πλήρης ανακατανομή των ροπών.

6. Ανάλυση Και Διαστασιολόγηση Σύμμικτων Δοκών

6.1 Μέθοδοι Ανάλυσης Και Προσδιορισμός Εντατικών Μεγεθών

Στην παρούσα ενότητα θα περιγράψουμε τις προϋποθέσεις εφαρμογής των διάφορων μεθόδων ανάλυσης για τον προσδιορισμό των εντατικών μεγεθών (E_d) σε ένα φορέα. Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενη ενότητα, ο προσδιορισμός των εντατικών μεγεθών (E_d) μπορεί να γίνει με δυο τρόπους, είτε με ελαστική είτε με πλαστική ανάλυση (Πίνακας 5-1). Μια ενδιάμεση λύση μεταξύ των δύο αναλύσεων είναι η ελαστική ανάλυση με μερική ανακατανομή των ροπών όπως θα περιγραφεί εν συνεχεία.

6.1.1 Ελαστική Ανάλυση

Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενη ενότητα, η εφαρμογή της ελαστικής ανάλυσης τόσο για τον προσδιορισμό των εντατικών μεγεθών όσο και για τον προσδιορισμό των αντιστάσεων επιτρέπεται πάντα σε όλες τις περιπτώσεις και βασίζεται στην αρχή ότι το υλικό συμπεριφέρεται ελαστικά σε όλη την φόρτιση και οι παραμορφώσεις είναι ανάλογες των τάσεων.

Η κατανομή των εντατικών μεγεθών στην ελαστική ανάλυση γίνεται σύμφωνα με τις δυσκαμψίες των στοιχείων, επομένως θα πρέπει να είμαστε ιδιαίτερα προσεκτικοί στην όσο καλύτερη εκτίμηση των δυσκαμψιών του φορέα.

Σε μια συνεχή δοκό διακρίνουμε περιοχές θετικών και αρνητικών ροπών. Στις περιοχές των θετικών ροπών το σκυρόδεμα βρίσκεται υπό θλίψη και επομένως συμμετέχει ενεργά στην παραλαβή θλιπτικών τάσεων συνεισφέροντας στην αντοχή και στην δυσκαμψία. Στις περιοχές όμως όπου έχουμε αρνητικές ροπές, το σκυρόδεμα υπόκειται σε εφελκυσμό με αποτέλεσμα να ρηγματώνεται και επομένως δεν συμβάλει στην αντοχή και στην δυσκαμψία του φορέα στις περιοχές αυτές.

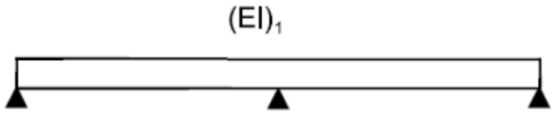
Επομένως σε μια σύμμικτη διατομή διακρίνουμε δυο είδη δυσκαμψιών:

- Η αρηγμάτωτη δυσκαμψία (EI_1), όπου το σκυρόδεμα της πλάκας της διατομής βρίσκεται υπό θλίψη και επομένως συμμετέχει ενεργά στην αντοχή και δυσκαμψία της διατομής.
- Η ρηγματωμένη δυσκαμψία (EI_2), όπου το σκυρόδεμα της πλάκας βρίσκεται υπό εφελκυσμό και επομένως ρηγματώνεται με αποτέλεσμα να είναι ανενεργό και να μην συνεισφέρει στην αντοχή και δυσκαμψία της διατομής.

Επομένως για την εύρεση εντατικών μεγεθών του φορέα στην ελαστική ανάλυση μπορεί να γίνει με δύο τρόπους, είτε με αρηγμάτωτη ανάλυση είτε με ρηγματωμένη ανάλυση.

6.1.1.1 Αρηγμάτωτη Ανάλυση

Στην αρηγμάτωτη ανάλυση θεωρούμε ότι οι διατομές σε όλο το μήκος του φορέα είναι αρηγμάτωτες. Επομένως για την εύρεση των εντατικών μεγεθών, σε όλο το μήκος του φορέα δουλεύουμε με την αρηγμάτωτη δυσκαμψία (EI_1).



Εικόνα 6-1 Αρηγμάτωτη ανάλυση (Αρηγμάτωτη δυσκαμψία (EI1) σε όλο το μήκος του φορέα

6.1.1.2 Ρηγματωμένη Ανάλυση

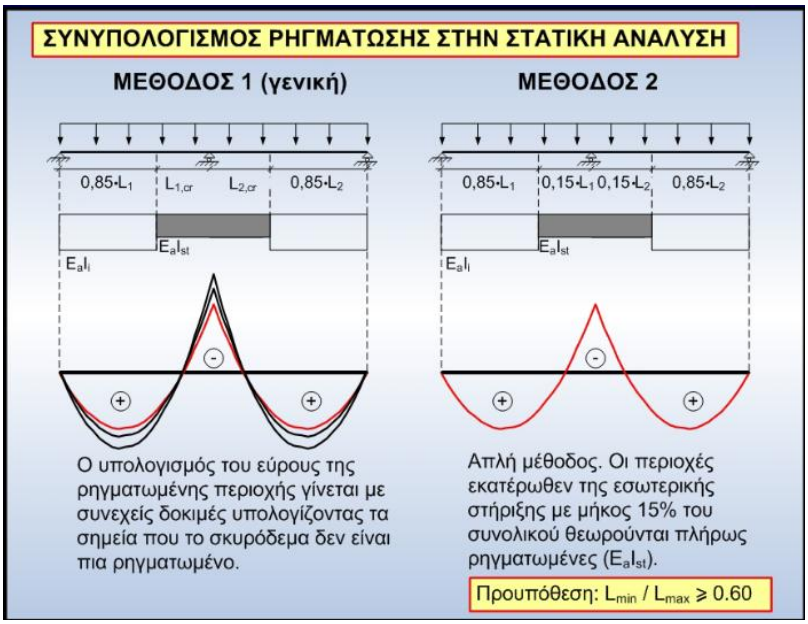
Σε αυτό το είδος ελαστικής ανάλυσης, για την εύρεση των εντατικών μεγεθών λαμβάνεται η επιρροή της ρηγμάτωσης του σκυροδέματος. Επομένως στις περιοχές αρνητικών ροπών (στις ενδιάμεσες στηρίξεις μιας συνεχής δοκού), όπου το σκυρόδεμα βρίσκεται υπό εφελκυσμό και επομένως ρηγματώνεται, οι περιοχές αυτές λαμβάνονται με δυσκαμψία ρηγματωμένης διατομής (EI_2), ενώ στις υπόλοιπες θέσεις το σκυρόδεμα είναι πλήρως ενεργό (αρηγμάτωτο) και επομένως οι διατομές λαμβάνονται με αρηγμάτωτη δυσκαμψία (EI_1).

Ο κανονισμός μας δίνει δύο δυνατότητες (μεθόδους) για να λάβουμε υπόψη την ρηγμάτωση του σκυροδέματος στον υπολογισμό των εντατικών μεγεθών (EN 1994-1-1 §5.4.2.3).

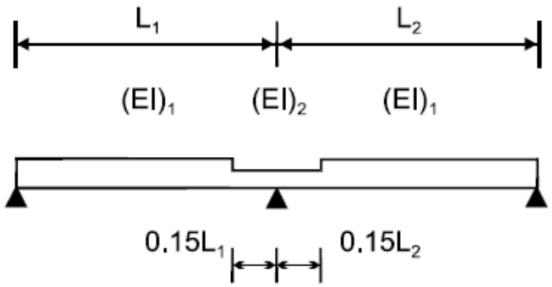
Η 1^{η} μέθοδος η οποία είναι και η πιο ακριβής αλλά και συνάμα χρονοβόρα για τον υπολογισμό των εντατικών, θα πρέπει πρώτα να υπολογιστεί η περιβάλλουσα των εντατικών μεγεθών για τους χαρακτηριστικούς συνδυασμούς φόρτισης, συμπεριλαμβανομένων και μακροπρόθεσμων επιδράσεων τρέχοντας αρχικά μια αρηγμάτωτη ανάλυση (χρησιμοποιώντας σε όλο το μήκος του φορέα δυσκαμψία αρηγμάτωτης διατομής EI_1). Στις περιοχές λοιπόν του διαγράμματος περιβάλλουσας των ροπών όπου η εφελκυστική τάση της ακραίας ίνας του σκυροδέματος υπερβαίνει το διπλάσιο της εφελκυστικής αντοχής του σκυροδέματος (f_{ctm}), η δυσκαμψία λαμβάνεται ως ρηγματωμένη (EI_2), ενώ στις υπόλοιπες περιοχές όπου δεν έχουμε ρηγμάτωση του σκυροδέματος λαμβάνεται ως αρηγμάτωτη με δυσκαμψία (EI_1). Ακολούθως τρέχουμε μια νέα ανάλυση με βάση τις νέες δυσκαμψίες που ορίστηκαν στην κάθε περιοχή και λαμβάνουμε ένα νέο διάγραμμα ροπών. Η διαδικασία αυτή συνεχίζεται με επαναληπτικές δοκιμές υπολογίζοντας κάθε φορά την νέα περιοχή ρηγμάτωσης του σκυροδέματος που θα προκύψει, λαμβάνοντας την ρηγματωμένη δυσκαμψία (EI_2) στις περιοχές αυτές και αρηγμάτωτη στις υπόλοιπες (EI_1), παίρνοντας κάθε φορά ένα νέο διάγραμμα ροπών μέχρι που η διαδικασία να συγκλίνει (βλέπε αριστερή Εικόνα 6-2). Σύγκλιση θεωρείται όταν η περιοχή ρηγμάτωσης του σκυροδέματος η οποία προέκυψε στην προηγούμενη επανάληψη με την περιοχή ρηγμάτωσης του σκυροδέματος που προκύπτει με την νέα επανάληψη είναι οι ίδιες και επομένως η διαδικασία ολοκληρώνεται.

Στη 2^{η} μέθοδος η οποία είναι πιο απλοποιημένη και είθισται να χρησιμοποιείται στις κτιριακές εφαρμογές, η επίδραση της ρηγμάτωσης του σκυροδέματος λαμβάνεται στις θέσεις των εσωτερικών στηρίξεων συνεχών δοκών (αρνητικές ροπές), όπου η περιοχή ρηγματώσεως στην εσωτερική στήριξη ορίζεται από το 15% του αριστερά εκατέρωθεν ανοίγματος και από το 15% του δεξιά εκατέρωθεν ανοίγματος της εσωτερική στήριξης

λαμβάνοντας στις περιοχές αυτές ρηγματωμένη δυσκαμψία (EI_2) ενώ στις υπόλοιπες περιοχές (αρηγμάτωτες περιοχές) λαμβάνεται η αρηγμάτωτη δυσκαμψία (EI_1) όπως φαίνεται και από το δεξιά σχήμα της (Εικόνα 6-2). Για να μπορεί να εφαρμοστεί αυτή η μέθοδος, θα πρέπει όλοι οι λόγοι μήκους των γειτονικών συνεχών ανοιγμάτων (μικρότερο άνοιγμα/μεγαλύτερο άνοιγμα) μεταξύ στηρίξεων να είναι τουλάχιστον 0,60 δηλαδή $\left(\frac{L_{min}}{L_{max}} \geq 0{,}60\right)$.



Εικόνα 6-2 Ρηγματωμένη ελαστική ανάλυση με την ακριβής (μέθοδο 1) και απλοποιημένη (μέθοδο 2) για τον υπολογισμό των εντατικών μεγεθών συνυπολογίζοντας την ρηγμάτωση του σκυροδέματος, (Ηλιόπουλος Α., 2011)



Εικόνα 6-3 Ρηγματωμένη ανάλυση με την απλουστευμένη μέθοδο (Μέθοδος 2)

Επομένως όπως παρατηρούμε στη ρηγματωμένη ανάλυση μειώνεται η ροπή στα στηρίγματα λόγω της ρηγμάτωσης που υφίσταται το σκυρόδεμα με αποτέλεσμα να

αυξάνονται οι ροπές στα ανοίγματα και κατ' επέκταση να έχουμε ταυτόχρονα αύξηση των βελών κάμψεως. Συνεπώς η ρηγματωμένη ανάλυση οδηγεί από μόνη της σε μια ανακατανομή των ροπών από τα στηρίγματα προς τα ανοίγματα.

6.1.2 Πλαστική Ανάλυση

Για να μπορεί να εφαρμοστεί η μέθοδος της πλαστικής ανάλυσης για τον προσδιορισμό των εντατικών μεγεθών, προϋποθέτει διατομές με αντοχή μεγαλύτερη από την πλαστική ροπή αντοχής ($M_{plastic}$) και με επαρκή στροφική ικανότητα, έτσι ώστε στα σημεία πλαστικοποίησης του φορέα (πλαστικών αρθρώσεων) να μπορούν να στραφούν χωρίς μείωση της αντοχής τους.

Επομένως όλες οι διατομές του φορέα θα πρέπει να είναι κατηγορίας 1 ή 2. Ιδιαίτερα στις θέσεις των πλαστικών αρθρώσεων θα πρέπει οι διατομές αυτές να είναι κατηγορίας 1 έτσι ώστε να παρέχεται αυξημένη πλαστιμότητα με επαρκεί δυνατότητα στροφής τους καθώς επίσης οι διατομές στα σημεία αυτά θα πρέπει να είναι συμμετρικές ως προς τον κορμό τους. Η συμμετρία των διατομών επιβάλλεται έτσι ώστε η δοκός να μην υποβάλλεται σε φαινόμενα στρέψης (στρεπτικές παραμορφώσεις).

Επιπροσθέτως για να μπορεί να εφαρμοστεί πλαστική ανάλυση, θα πρέπει τα μήκη γειτονικών ανοιγμάτων σε μια συνεχή δοκό, να είναι όσο το δυνατόν πιο ομοιόμορφα μεταξύ τους. Ο λόγος είναι ότι μεγάλες διαφορές στα μήκη των ανοιγμάτων, δημιουργούν πρώιμη πλαστικοποίηση στις στηρίξεις των βραχύτερων ανοιγμάτων και κατά συνέπεια να απαιτούνται για αυτές τις διατομές μεγαλύτερη στροφική ικανότητα στα σημεία των πλαστικών αρθρώσεων τους. Επομένως ο κανονισμός Ευρωκώδικας 4 (EN 1994-1-1 §5.4.5) προβλέπει κάποιους περιορισμούς όσο αφορά τα μήκη των γειτονικών και ακραίων ανοιγμάτων για να μπορεί να εφαρμοστεί πλαστική ανάλυση όπου θα πρέπει:

- Τα μήκη γειτονικών ανοιγμάτων να μην διαφέρουν περισσότερο από το 50% του βραχύτερου ανοίγματος.

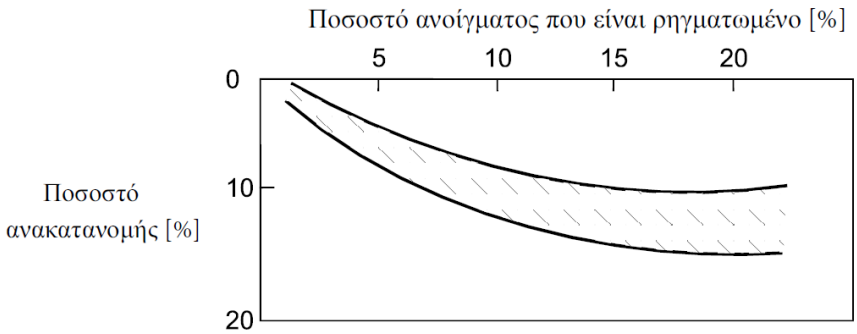
- Τα ακραία ανοίγματα να μην ξεπερνούν το 115% του μήκους του γειτονικού τους ανοίγματος.

Σε όλες τις θέσεις των πλαστικών αρθρώσεων (πλην ίσως αυτής που θα σχηματιστεί τελευταία), το θλιβόμενο πέλμα της χαλύβδινης δοκού, το οποίο είναι μη συνδεδεμένο με την πλάκα σκυροδέματος, θα πρέπει να εξασφαλίζεται πλευρικά έτσι ώστε να αποφευχθεί η ανάπτυξη στρεπτοκαμπτικού λυγισμού ο οποίος απομειώνει την αντοχή των δοκών.

6.1.3 Ελαστική ανάλυση με περιορισμένη ανακατανομή

Μια ενδιάμεση λύση μεταξύ της ελαστικής ανάλυσης και της πλαστικής ανάλυσης για την εύρεση των εντατικών μεγεθών είναι η ελαστική ανάλυση με περιορισμένη ανακατανομή. Αρχικά ο φορέας επιλύεται με ελαστική ανάλυση (είτε με αρηγμάτωτη είτε με ρηγματωμένη ελαστική ανάλυση) και ακολούθως στα σημεία των ενδιάμεσων στηρίξεων της συνεχής δοκού (σημεία αρνητικών ροπών), όπου αναμένουμε ρηγμάτωση του σκυροδέματος και πλαστικοποίηση των διατομών γίνεται μια ανακατανομή των ροπών από τα ενδιάμεσα στηρίγματα προς τις περιοχές των ανοιγμάτων με τρόπο τέτοιο ώστε να εξασφαλίζονται οι συνθήκες ισορροπίας. Η ανακατανομή οφείλεται στην μείωση της δυσκαμψίας που υφίσταται ο φορέας στις περιοχές των εσωτερικών στηρίξεων λόγω ρηγμάτωσης της πλάκας σκυροδέματος και πλαστικοποίησης της διατομής. Επομένως η ανακατανομή προϋποθέτει πλαστικοποίηση και στροφική ικανότητα στις περιοχές των διατομών του φορέα από τις οποίες ξεκινάει η ανακατανομή (ενδιάμεσες στηρίξεις συνεχείς δοκούς). Συνεπώς το ποσοστό ανακατανομής εξαρτάται από την κατηγορία της διατομής και επομένως για την κάθε ενδιάμεση στήριξη συνεχής δοκού το ποσοστό ανακατανομής λαμβάνεται ξεχωριστά ανάλογα με την κατηγορία της. Διατομές κατηγορίας 1 έχουν μεγαλύτερη δυνατότητα ανακατανομής από διατομές δυσμενέστερης κατηγορίας όπως 2, 3 και 4. Επίσης η αρχική ελαστική ανάλυση με την οποία βρέθηκαν αρχικά τα εντατικά μεγέθη (αρηγμάτωτη ή ρηγματωμένη ελαστική ανάλυση) επηρεάζει το επιτρεπόμενο ποσοστό ανακατανομής, δεδομένου ότι η ρηγματωμένη ανάλυση οδηγεί ήδη σε μια πρώτη

ανακατανομή της έντασης και επομένως η επιτρεπόμενη ανακατανομή στην περίπτωση ρηγματωμένης ανάλυσης είναι μικρότερη από την αρηγμάτωτη ανάλυση όπως φαίνεται και στην (Εικόνα 6-4). Ακόμη το ποσοστό ανακατανομής εξαρτάται από το μήκος της περιοχής στο οποίο οι διατομές έχουν ρηγματωθεί καθώς και από το βαθμό μείωσης της δυσκαμψίας λόγω της ρηγμάτωσης.



Εικόνα 6-4 Διάγραμμα ανακατανομής ροπών σε ενδιάμεση στήριξη (συνεχής δοκού) λόγω ρηγμάτωσης, (Ιωάννης Κ. Βάγιας, 2018)

Σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 4 (EN 1994-1-1 §5.4.4, Πίνακας 5.1) στον (Πίνακας 6-1) δίνονται τα επιτρεπόμενα ποσοστά ανακατανομής των ροπών τα οποία λαμβάνονται ξεχωριστά σε κάθε ενδιάμεση στήριξη (συνεχής δοκού) ανάλογα με την κατηγορία της και την ελαστική ανάλυση (αρηγμάτωτη ή ρηγματωμένη) που έχουν προκύψει αρχικώς τα διαγράμματα των εντατικών μεγεθών.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι αυτά τα ποσοστά ανακατανομής αναφέρονται στην σύμμικτη διατομή και όχι στην σκέτη χαλύβδινη διατομή που πιθανόν να υπάρχει στην φάση σκυροδέτησης (όπου το σκυρόδεμα είναι ακόμη νωπό).

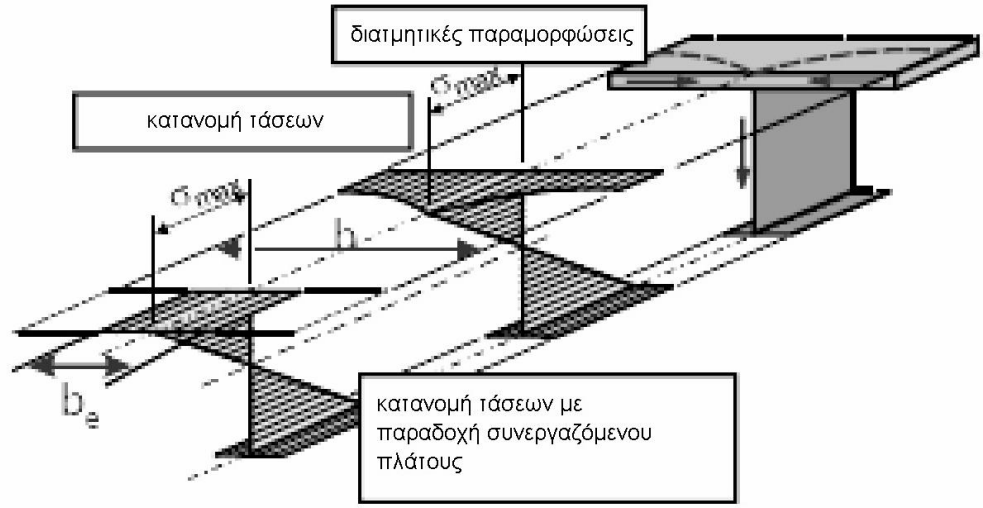
Κατηγορία διατομής ενδιάμεσου στηρίγματος	1	2	3	4
Αρηγμάτωτη ανάλυση	40%	30%	20%	10%
Ρηγματωμένη ανάλυση	25%	15%	10%	0%

Πίνακας 6-1 Επιτρεπόμενα ποσοστά [%] ανακατανομής των ροπών στα ενδιάμεσα στηρίγματα (συνεχής δοκού)

6.2 Συνεργαζόμενο Πλάτος Πλάκας Σκυροδέματος

Με βάση την τεχνική θεωρία κάμψεως και την παραδοχή των (Navier – Bernoulli) στην οποία κάθε διατομή καμπτόμενων φορέων παραμένει επίπεδη και κάθετη στον άξονα της δοκού πριν και μετά την παραμόρφωση, οι ανηγμένες παραμορφώσεις (ε) καθ' ύψος μιας καμπτόμενης διατομής είναι ανάλογη με την απόσταση από τον ουδέτερο άξονα. Επίσης όλα τα σημεία των οποίων η απόσταση τους από τον ουδέτερο άξονα είναι ίση (δηλαδή βρίσκονται στην ίδια στάθμη ίνας καθ' ύψος της διατομής), έχουν την ίδια ανηγμένη παραμόρφωση (ε) και κατ' επέκταση οι ορθές τάσεις που αναπτύσσονται είναι ίσες.

Η παραδοχή (Navier - Bernoulli) περί επιπεδότητας των διατομών οδηγεί σε ασυμβατότητες για διατομές οι οποίες παρουσιάζουν πλατιά πέλματα. Παρατηρήθηκε λοιπόν τα σημεία κατά πλάτος του πέλματος να έχουν διαφορετικές παραμορφώσεις και επομένως να έχουν διαφορετικές τάσεις λόγω της διατμητικής ευκαμψίας που παρουσιάζουν τα πλατιά πέλματα. Όπως φαίνεται και στην (Εικόνα 6-5) λόγω των διατμητικών παραμορφώσεων η κατανομή των ορθών τάσεων σε διατομές με πλατιά πέλματα δεν είναι ομοιόμορφα σταθερή στην περιοχή του πέλματος αλλά μικραίνουν όσο απομακρυνόμαστε από τον κορμό της διατομής. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται «διατμητική υστέρηση» και η επιρροή της αυξάνεται όταν οι διατμητικές τάσεις είναι μεγάλες κάτι που συμβαίνει σε φορείς με μικρά ανοίγματα και διατομές με πλατιά πέλματα. Για να ληφθεί προσεγγιστικά υπόψη το φαινόμενο της διατμητικής υστέρησης όταν εφαρμόζουμε την τεχνική θεωρία κάμψης, θεωρούμε στην θέση της πραγματικής μεταβλητής κατανομής των ορθών τάσεων που εκτίνεται κατά το συνολικό πλάτος του φαρδιού πέλματος, μια σταθερή κατανομή ορθών τάσεων με τιμή ορθής τάσης σ_{max}, η οποία έχει ίσο εμβαδόν με την πραγματική μεταβαλλόμενη κατανομή) και επομένως περιορίζεται σε ένα μικρότερο τμήμα του πλήρους πλάτους του πέλματος το οποίο ονομάζεται «συνεργαζόμενο πλάτος» ($b_{effective}$), (Εικόνα 6-5).



Εικόνα 6-5 Φαινόμενο «διατμητικής υστέρησης», Διαγράμματα πραγματικής μεταβαλλόμενης κατανομής και προσεγγιστικής κατανομής σταθερού πλάτους (παραδοχή συνεργαζόμενου πλάτους) ορθών τάσεων, (Ιωάννης Κ. Βάγιας, 2018)

Με βάση τον Ευρωκώδικα 4 (EN 1994-1-1 §5.4.1.2) ο υπολογισμός του συνεργαζόμενου πλάτους (b_{eff}) πέλματος πλακοδοκού περιγράφεται πιο κάτω από την σχέση (6.1).

$$\mathrm{b_{eff}} = \mathrm{b_0} + \sum_{\mathrm{i=1}}^{2} \beta_{\mathrm{i}}.\mathrm{b_{ei}} \tag{6.1}$$

$$b_{ei} = \frac{\mathrm{L_e}}{8} \leq \mathrm{b_i} \tag{6.2}$$

$$\beta_i = \left[0{,}55 + \frac{0{,}025.\mathrm{L_e}}{\mathrm{b_{ei}}}\right] \leq 1{,}0 \tag{6.3}$$

όπου:

b_{eff}: Συνεργαζόμενο πλάτος πλάκας σκυροδέματος

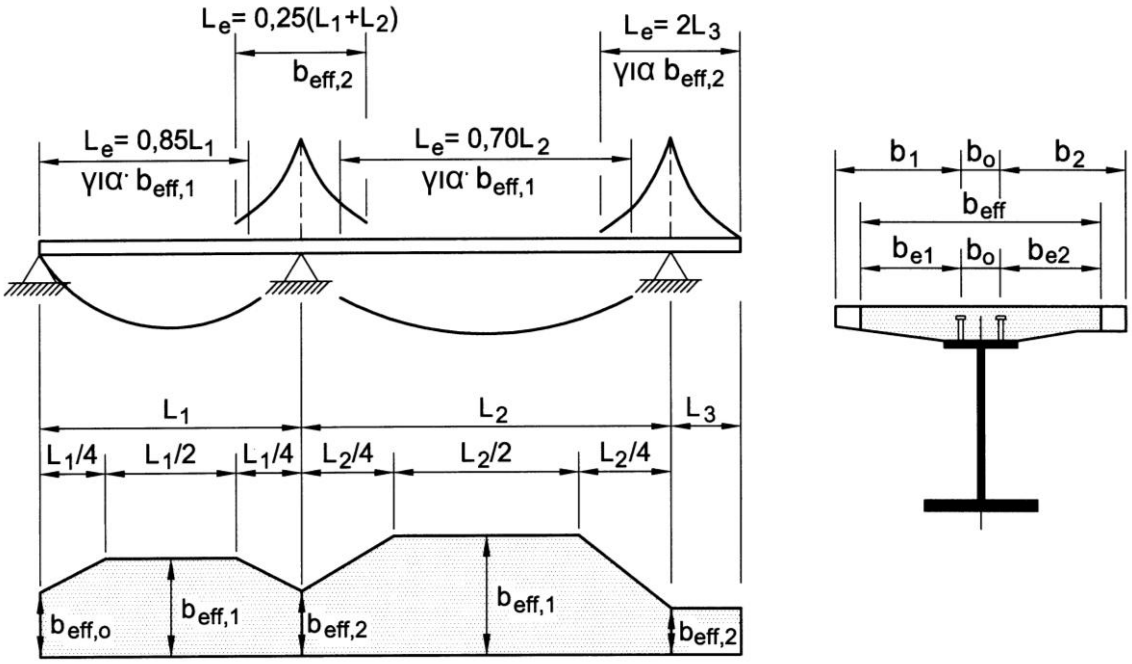
b_0: Η απόσταση μεταξύ των κέντρων των εξωτερικών διατμητικών συνδέσμων. (Στις γέφυρες θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ενώ για κτιριακά έργα μπορεί να αγνοηθεί (b_0=0))

β_i: Σε περιοχές ανοίγματος ή εσωτερικών στηρίξεων δοκού ο συντελεστής αυτός παίρνει την τιμή β_i=1, ενώ σε περιοχές ακραίων στηρίξεων ($b_{eff,o}$) ο συντελεστής β_i προσδιορίζεται με βάση την πιο πάνω σχέση (6.3)

b_{ei}: Είναι η τιμή του συνεργαζόμενου πλάτους του πέλματος σκυροδέματος εκατέρωθεν (δεξιά ή αριστερά) του κορμού, το οποίο λαμβάνεται ίσο με (L_e/8) αλλά όχι μεγαλύτερο από το γεωμετρικό πλάτος b_i όπως δίνεται από την σχέση (6.2)

L_e: Απόσταση δυο διαδοχικών σημείων μηδενισμού του διαγράμματος των ροπών. Λαμβάνεται προσεγγιστικά από την πιο κάτω (Εικόνα 6-6), όπου για ενδιάμεσα ανοίγματα συνεχής δοκού L_e=(0,70.$L_{ανοίγματος}$), για ακραία ανοίγματα συνεχής δοκού το L_e=(0,85.$L_{ανοίγματος}$), για ενδιάμεσες στηρίξεις συνεχής δοκού L_e=0,25.($L_{αριστερ.,ανοίγμ.}$ + $L_{δεξιά,ανοίγμ.}$). Για προβόλους το L_e=(2.$L_{προβόλου}$) και για αμφιέρειστες δοκούς το L_e=$L_{ανοίγμ.αμφιερείστου}$

b_i: Γεωμετρικό ημιπλάτος της πλάκας σκυροδέματος. Για κτίρια είναι η οριζόντια απόσταση από το κέντρο του κορμού της διατομής μέχρι το μέσο της απόστασης της διατομής και της γειτονικής της ή μέχρι το ελεύθερο άκρο. Για τις γέφυρες είναι η οριζόντια απόσταση από τον εξωτερικό διατμητικό σύνδεσμο της διατομής μέχρι το μέσο της απόστασης της διατομής και της γειτονικής της ή μέχρι το ελεύθερο άκρο.



Εικόνα 6-6 Ισοδύναμα ανοίγματα L_e για τον προσδιορισμό συνεργαζόμενου πλάτους b_{eff}, (EN 1994-1-1 §5.4.1.2, Σχήμα 5.1)

Όπως παρατηρούμε στην (Εικόνα 6-6) το συνεργαζόμενο πλάτος κατά μήκος μιας συνεχούς δοκού δεν παραμένει σταθερό αλλά μεταβάλλεται. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αλλαγή των αδρανειακών χαρακτηριστικών της διατομής κατά μήκος του φορέα, το οποίο θα οδηγούσε σε μια κοπιώδη επαναληπτική διαδικασία στην ανάλυση για τον προσδιορισμό των εντατικών μεγεθών και αντιστάσεων του φορέα. Επομένως για να αποφευχθεί αυτή η επίπονη επαναληπτική διαδικασία, για τον προσδιορισμό των εντατικών μεγεθών σε μια συνεχή δοκό ο κανονισμός μας επιτρέπει να λαμβάνουμε σταθερό συνεργαζόμενο πλάτος σε όλο το μήκος της ίσο με την τιμή του ανοίγματος $b_{eff,1}$ και για τους προβόλους $b_{eff,2}$. Όμως για τον έλεγχο αντοχής των διατομών θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη το ακριβές συνεργαζόμενο πλάτος ($b_{eff,i}$) σε κάθε θέση του φορέα.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι σε δοκούς πλαισίων υπό σεισμική καταπόνηση, το συνεργαζόμενο πλάτος σκυροδέματος λαμβάνεται μειωμένο λόγω της ρηγμάτωσης που υφίσταται η πλάκα σκυροδέματος λόγω της εναλλασσόμενης φόρτισης (θλίψης - εφελκυσμού) που έχουμε στην περίπτωση σεισμού. Επομένως για την περίπτωση της σεισμικής φόρτισης ο Ευρωκώδικας 8 προτείνει τροποποιημένες μειωμένες τιμές σε σύγκριση με αυτές που δόθηκαν από την σχέση (6.1). Το συνεργαζόμενο πλάτος b_{eff} υπό συνθήκες σεισμικής διέγερση, για την ελαστική ανάλυση και προσδιορισμό των αδρανειακών χαρακτηριστικών των διατομών δίνονται από τον (Πίνακας 6-2), ενώ για την διαστασιολόγηση και προσδιορισμό των πλαστικών ροπών αντοχής δίνεται από τον (Πίνακας 6-3).

Εξεταζόμενη δοκός συνορεύει με	Εγκάρσια δοκός	b_e για τον προσδιορισμό της (πλαστικής) αντοχής
Εσωτερικό υποστύλωμα	Υπάρχει ή όχι	Περιοχές αρνητικών ροπών: $b_{eff} = L/20$ Περιοχές θετικών ροπών: $b_{eff} = L/27$
Εξωτερικό υποστύλωμα	Υπάρχει	
Εξωτερικό υποστύλωμα	Δεν υπάρχει, ή δεν προβλέπεται ειδική αγκύρωση των οπλισμών της πλάκας	Περιοχές αρνητικών ροπών: $b_{eff} = 0$ Περιοχές θετικών ροπών: $b_{eff} = L/40$
L = άνοιγμα δοκού (απόσταση από στύλο σε στύλο)		

Πίνακας 6-2 Συνεργαζόμενο πλάτος b_{eff} σύμμικτων πλαισιακών δοκών υπό σεισμική διέγερση για τον προσδιορισμό αδρανειακών χαρακτηριστικών σε ελαστική ανάλυση, (Ιωάννης Κ. Βάγιας, 2018)

Εξεταζόμενη δοκός συνορεύει με	Εγκάρσιο στοιχείο	b_{eff}
Περιοχές αρνητικών ροπών		
Εσωτερικό υποστύλωμα	Σεισμικές ράβδοι οπλισμού πλάκας	$b_{eff} = L/10$
Εξωτερικό υποστύλωμα	Σεισμικές ράβδοι οπλισμού πλάκας αγκυρωμένες σε εγκάρσια δοκό ή σε προέκταση πλάκας προς τα έξω ως πρόβολος	$b_{eff} = L/10$
Εξωτερικό υποστύλωμα	Χωρίς την ως άνω αγκύρωση των οπλισμών	$b_{eff} = 0$
Περιοχές θετικών ροπών		
Εσωτερικό υποστύλωμα	Σεισμικές ράβδοι οπλισμού πλάκας	$b_{eff} = L/13$
Εξωτερικό υποστύλωμα	Εγκάρσια δοκός με ήλους Πλάκα σε προέκταση προς τα έξω ως πρόβολος Σεισμικές ράβδοι οπλισμού	$b_{eff} = L/13$
Εξωτερικό υποστύλωμα	Χωρίς εγκάρσια δοκό ή με εγκάρσια δοκός χωρίς ήλους	$b_{eff} = b_b/2 + 0{,}7h_c/2$
b_b= πλάτος έδρασης δοκού= πλάτος στύλου κάθετα στη δοκό h_c = ύψος πλάκας L = άνοιγμα δοκού (απόσταση από στύλο σε στύλο)		

Πίνακας 6-3 Συνεργαζόμενο πλάτος b_{eff} σύμμικτων πλαισιακών δοκών υπό σεισμική διέγερση για τον προσδιορισμό πλαστικής ροπής αντοχής, (Ιωάννης Κ. Βάγιας, 2018)

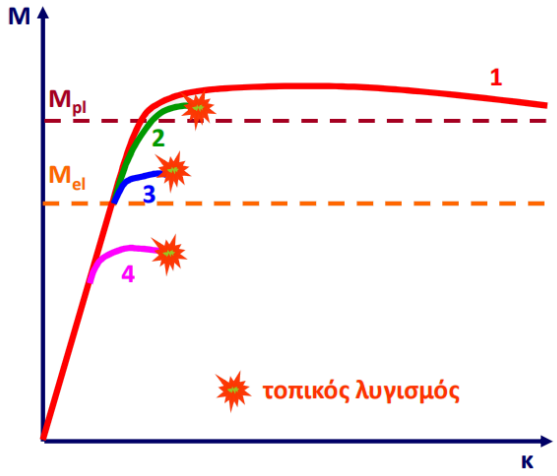
6.3 Κατάταξη Διατομών

6.3.1 Γενικά

Η κατάταξη των διατομών γίνεται για να περιγράψει τον βαθμό κατά τον οποίο η αντοχή και ικανότητα στροφής των διατομών περιορίζεται από την αντοχή τους σε τοπικό λυγισμό, ο οποίος είναι ένα φαινόμενο αστάθειας των επιμέρους θλιβόμενων πλακοειδών στοιχείων της διατομής.

Μια διατομή για να μπορεί να αναπτύξει εκείνες τις εσωτερικές δυνάμεις οι οποίες θα φέρουν το υλικό της διατομής σε οριακές τάσεις (πλαστικοποίηση της διατομής), θα πρέπει να εξασφαλιστεί ότι η διατομή δεν θα υποστεί φαινόμενα τοπικού λυγισμού μέχρι να φτάσει το σημείο πλαστικοποίησης της. Σε περίπτωση όπου στη διατομή αναπτύσσεται τοπικός λυγισμός πριν το υλικό της διατομής φτάσει στις οριακές τάσεις, τότε η αντίσταση της διατομής δεν είναι η μέγιστη δυνατή που θα μπορούσε να επιτευχθεί αλλά μειώνεται λόγω του φαινομένου αυτού.

Όπως και στις αμιγώς μεταλλικές διατομές έτσι και στις σύμμικτες η κατάταξη των διατομών γίνεται σε τέσσερις κατηγορίες (1 έως 4), με την διαφορά ότι στις σύμμικτες διατομές θα πρέπει να συνυπολογιστεί και η επίδραση του σκυροδέματος λόγω της σύνδεσης του με την χαλύβδινη διατομή. Για παράδειγμα ένα θλιβόμενο χαλύβδινο μέλος το οποίο βρίσκεται σε επαφή και δεσμεύεται από το σκυρόδεμα θα πρέπει να καταταγεί σε ευμενέστερη κατάταξη με την προϋπόθεση ότι εξασφαλίζεται βελτίωση στην συμπεριφορά του. Παρακάτω περιγράφονται οι 4 κατηγορίες κατάταξης των χαλύβδινων διατομών. Παράλληλα παρατίθεται μια γραφική απεικόνιση της ροπής αντιστάσεως συνάρτηση της στροφικής ικανότητας διατομών [M_R=f(κ)] και το σημείο που συμβαίνει ο τοπικός λυγισμός (Εικόνα 6-7).



Εικόνα 6-7 Τυπικό διάγραμμα Ροπής – Καμπυλότητας [M=f(κ)] και κατηγοριοποίηση των διατομών λόγω τοπικού λυγισμού, (Γαντές Χ., Βαμβάτσικος Δ., Θανόπουλος Π., Σπηλιόπουλος Α., n.d.)

- Κατηγορία 1: Είναι διατομές με αντοχή σε ροπή μεγαλύτερη της πλαστικής ροπής (M_{pl}) και στροφική ικανότητα επαρκή, ώστε να συμπεριφερθούν ως πλαστικές αρθρώσεις σε περίπτωση πλαστικής ανακατανομής της έντασης. Η εφαρμογή «πλαστικής - πλαστικής» μεθόδου προϋποθέτει διατομές κατηγορίας 1 στη θέση των πλαστικών αρθρώσεων.
- Κατηγορία 2: Είναι διατομές με αντοχή τουλάχιστον ίση με την πλαστική ροπή (M_{pl}), αλλά χωρίς στροφική ικανότητα λόγω τοπικού λυγισμού των πελμάτων ή του κορμού. Για το λόγο αυτό επιτρέπεται η εφαρμογή το πολύ «ελαστικής - πλαστικής» μεθόδου ανάλυσης.
- Κατηγορία 3: Είναι διατομές με αντοχή τουλάχιστον ίση με την ελαστική ροπή (M_{el}), τη ροπή δηλαδή στην οποία για γραμμική ελαστική συμπεριφορά των επιμέρους στοιχείων η πλέον εντεινόμενη ίνα μόλις εισέρχεται στη διαρροή. Συνεπώς επιτρέπεται μόνο η εφαρμογή «ελαστικής - ελαστικής» μεθόδου ανάλυσης.
- Κατηγορία 4: Είναι διατομές με αντοχή μικρότερη της ελαστικής ροπής λόγω εμφάνισης τοπικού λυγισμού πριν την ανάπτυξη τάσης διαρροής. Για τέτοιου είδους διατομές επιτρέπεται μόνο η εφαρμογή «ελαστικής – ελαστικής»

ανάλυσης, απαιτούνται όμως πρόσθετοι έλεγχοι σε κύρτωση έναντι κινδύνου τοπικού λυγισμού.

Η δυνατότητα λοιπόν εφαρμογής πλαστικής ανάλυσης συνδέεται με ορισμένες προϋποθέσεις για τις διατομές στις οποίες αναμένεται πλαστικοποίηση. Επομένως σε διατομές κατηγορίας 1 επιτρέπονται όλων των ειδών αναλύσεων τόσο για την εύρεση των δράσεων όσο και για την εύρεση των αντιστάσεων (Πλαστική – Πλαστική, Ελαστική – Πλαστική, Ελαστική – Ελαστική). Σε διατομές κατηγορίας 2 επιτρέπεται η ανάλυση (Ελαστική – Πλαστική, Ελαστική –Ελαστική) ενώ για διατομές με κατηγορίας 3 και 4 επιτρέπεται μόνο (Ελαστική – Ελαστική) ανάλυση.

Η κατάταξη μιας διατομής εξαρτάται από την τοπική λυγηρότητα δηλαδή τον λόγο πλάτους προς πάχος (c/t) των τμημάτων της τα οποία υπόκεινται σε θλίψη. Η χαλύβδινη διατομή συντίθεται από διάφορα πλακοειδή στοιχεία όπως είναι τα πέλματα και ο κορμός μιας διατομής διπλού ταυ, τα οποία ανάλογα με τον τρόπο στήριξής τους διακρίνονται σε δυο κατηγορίες:

- Εσωτερικά πλακοειδή στοιχεία: Είναι τα στοιχεία μιας διατομής όπου και τα δυο άκρα τους απολήγουν σε άλλα στοιχεία της διατομής. Η συμπεριφορά τους μπορεί να θεωρηθεί ως αμφιέρειστη, με αρθρωτές στηρίξεις στα δυο άκρα του εσωτερικά πλακοειδούς στοιχείου, στα οποία απολήγουν τα άλλα στοιχεία της διατομής. (Για παράδειγμα ο κορμός μιας χαλύβδινης διατομής διπλού ταυ είναι εσωτερικό πλακοειδής στοιχείο όπου τα άκρα του απολήγουν στο άνω και κάτω πέλμα της διατομής).
- Προεξέχοντα πλακοειδή στοιχεία: Είναι τα στοιχεία μιας διατομής στα οποία μόνο το ένα άκρο τους απολήγει σε άλλα στοιχεία της διατομής ενώ το άλλο άκρο του προεξέχοντα πλακοειδούς στοιχείου είναι ελεύθερο. Η συμπεριφορά τους μπορεί να θεωρηθεί ως συμπεριφορά καμπτόμενου προβόλου με την στήριξη στο σημείο όπου καταλήγουν τα άλλα στοιχεία της διατομής και το άλλο άκρο τους ελεύθερο. (Για παράδειγμα τα πέλματα μιας χαλύβδινης

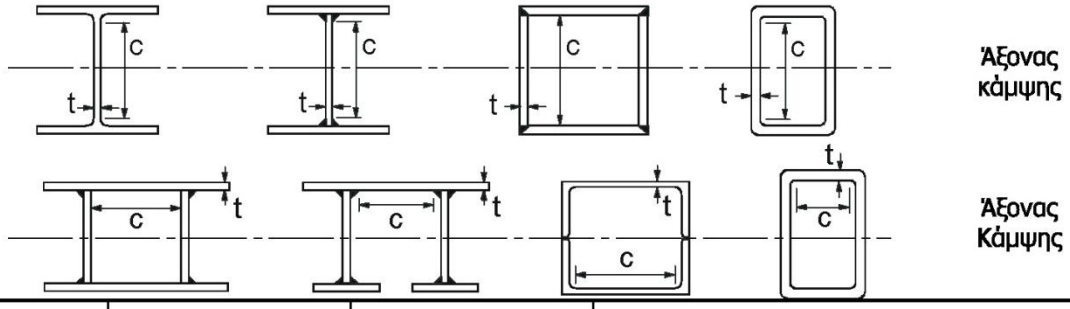
διατομής διπλού ταυ είναι προεξέχοντα πλακοειδής στοιχεία, όπου το ένα άκρο τους απολήγει στον κορμό της διατομής ενώ το άλλο άκρο τους είναι ελεύθερο).

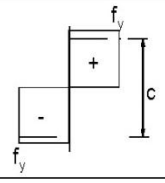
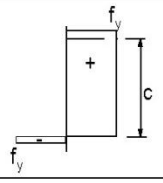
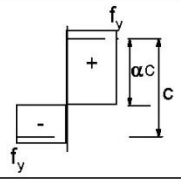
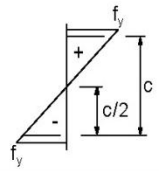
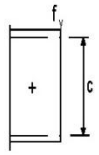
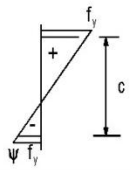
Για την κατάταξη των διατομών δίνονται τόσο στον Ευρωκώδικα 3 όσο και στον Ευρωκώδικα 4 πίνακες στους οποίους γίνεται ξεχωριστά η ταξινόμηση των εσωτερικών τμημάτων (π.χ. κορμός ενός διπλού ταυ) και των εξωτερικών τμημάτων (π.χ. τα πέλματα ενός διπλού ταυ) μιας διατομής. Τελικώς η συνολική κατάταξη της διατομής προκύπτει με βάση την δυσμενέστερη από τις κατηγορίες των θλιβόμενων τμημάτων της ($\text{Κατηγορία Διατομής} = \max\{\text{Κατηγορία Κορμού}\,;\ \text{Κατηγορία Πελμάτων}\}$). Επομένως η κατηγοριοποίηση μιας χαλύβδινης διατομής εξαρτάται τόσο από την γεωμετρία της, όσο και από τον τύπο φόρτισης που επιβάλλεται σε αυτή.

6.3.2 Κατάταξη Αμιγώς Χαλύβδινων Δοκών

Για τις αμιγώς μεταλλικές κατασκευές η κατάταξη των εσωτερικών τμημάτων της χαλύβδινης διατομής (π.χ. κορμός διπλού ταυ) δίνεται από τον (Πίνακας 6-4) ενώ για τα προεξέχοντα τμήματα της χαλύβδινης διατομής (π.χ. πέλματα διπλού ταυ) δίνεται από τον (Πίνακας 6-5). Επίσης παρατίθενται πίνακες για την κατάταξη γωνιακών (Πίνακας 6-6), κοίλων κυκλικών και ελλειπτικών διατομών (Πίνακας 6-7) σύμφωνα με τον (EN 1993-1-1 §7.5).

Εσωτερικά θλιβόμενα τμήματα (α)



Κατηγορία	Τμήμα που υπόκειται σε κάμψη	Τμήμα που υπόκειται σε θλίψη	Τμήμα που υπόκειται σε κάμψη και θλίψη
Κατανομή τάσεων στα τμήματα (θλίψη θετική)			
1	$c/t \le 72\cdot\varepsilon$	$c/t \le 28\cdot\varepsilon$	όταν $\alpha > 0{,}5$: $c/t \le \dfrac{126\cdot\varepsilon}{5{,}5\cdot\alpha - 1}$ όταν $\alpha \le 0{,}5$: $c/t \le \dfrac{36\cdot\varepsilon}{\alpha}$
2	$c/t \le 83\cdot\varepsilon$	$c/t \le 34\cdot\varepsilon$	όταν $\alpha > 0{,}5$: $c/t \le \dfrac{188\cdot\varepsilon}{6{,}53\cdot\alpha - 1}$ όταν $\alpha \le 0{,}5$: $c/t \le \dfrac{41{,}5\cdot\varepsilon}{\alpha}$
Κατανομή τάσεων στα τμήματα (θλίψη θετική)			
3	$c/t \le 121\cdot\varepsilon$	$c/t \le 38\cdot\varepsilon$	$\psi > -1$: $c/t \le \dfrac{38\cdot\varepsilon}{0{,}608 + 0{,}343\cdot\psi + 0{,}049\cdot\psi^2}$ $\psi \le -1^{(\beta)}$: $c/t \le 60{,}5\cdot\varepsilon\cdot(1-\psi)$

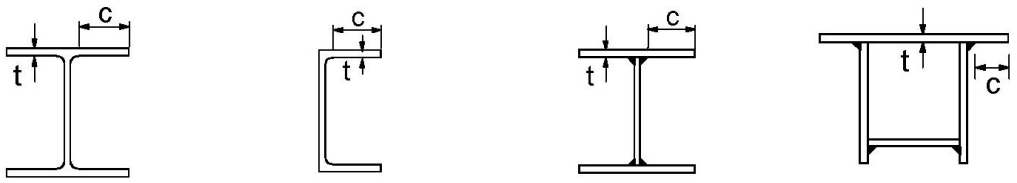
$\varepsilon = \sqrt{235/f_y}$	f_y	235	275	355	420	460
	ε	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71

(α) Για κοίλες ορθογωνικές διατομές λαμβάνεται: $c = b - 3\cdot t$ ή $c = h - 3\cdot t$, ανάλογα τον άξονα κάμψης.

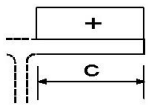
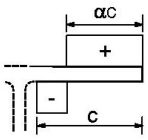
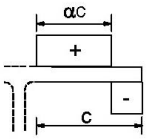
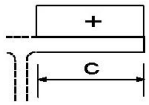
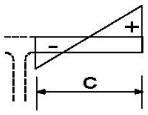
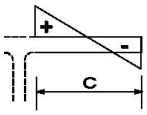
(β) Η τιμή $\psi \le -1$ και η θλιπτική τάση $\sigma_{com,Ed} = f_y$ εφαρμόζεται όπου η εφελκυστική παραμόρφωση $\varepsilon_t > f_y/E$

Πίνακας 6-4 Κατάταξη εσωτερικών ελασμάτων χαλύβδινης διατομής, (EN 1993-1-1 §7.5, Πίνακας 7.3α)

Προεξέχοντα πέλματα

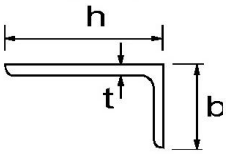


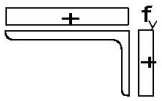
Ελατές διατομές Συγκολλητές διατομές

Κατηγορία	Τμήμα που υπόκειται σε θλίψη	Τμήμα που υπόκειται σε κάμψη και θλίψη	
		Άκρο σε θλίψη	Άκρο σε εφελκυσμό
Κατανομή τάσεων στα τμήματα (θλίψη θετική)			
1	$c/t \le 9\cdot\varepsilon$	$c/t \le \frac{9\cdot\varepsilon}{\alpha}$	$c/t \le \frac{9\cdot\varepsilon}{\alpha\cdot\sqrt{\alpha}}$
2	$c/t \le 10\cdot\varepsilon$	$c/t \le \frac{10\cdot\varepsilon}{\alpha}$	$c/t \le \frac{10\cdot\varepsilon}{\alpha\cdot\sqrt{\alpha}}$
Κατανομή τάσεων στα τμήματα (θλίψη θετική)			
3	$c/t \le 14\cdot\varepsilon$	$c/t \le 21\cdot\varepsilon\cdot\sqrt{k_\sigma}$ Για k_σ βλέπε EN 1993-1-5	

$\varepsilon = \sqrt{235/f_y}$	f_y	235	275	355	420	460
	ε	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71

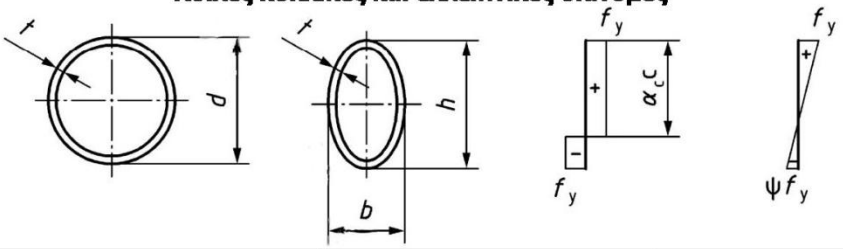
Πίνακας 6-5 Κατάταξη προεξεχόντων ελασμάτων χαλύβδινης διατομής, (EN 1993-1-1 §7.5, Πίνακας 7.3β)

Αναφορά επίσης στα "Προεξέχοντα πέλματα"	**Γωνιακά** 	Δεν ισχύει για γωνιακά σε συνεχή επαφή με άλλα στοιχεία

Κατηγορία	Διατομή σε θλίψη
Κατανομή τάσεων στη διατομή (θλίψη θετική)	
3	$h/t \le 15\cdot\varepsilon$ και $\frac{b+h}{2\cdot t} \le 11{,}5\cdot\varepsilon$

Πίνακας 6-6 Κατάταξη γωνιακών, (EN 1993-1-1 §7.5, Πίνακας 7.3γ)

Κοίλες κυκλικές και ελλειπτικές διατομές



Κατηγορία	Διατομή σε θλίψη	Διατομή σε κάμψη	Διατομή σε κάμψη και θλίψη
1	$d_e/t \le 50\cdot\varepsilon^2$	$d_e/t \le 50\cdot\varepsilon^2$	$d_e/t \le 50\cdot\varepsilon^2$
2	$d_e/t \le 70\cdot\varepsilon^2$	$d_e/t \le 70\cdot\varepsilon^2$	$d_e/t \le 70\cdot\varepsilon^2$
3	$d_e/t \le 90\cdot\varepsilon^2$	$d_e/t \le 140\cdot\varepsilon^2$	$d_e/t \le 2520\cdot\varepsilon^2/(5\cdot\psi+23)$

ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ: Για διατομές κατηγορίας 4 βλέπε EN 1993-1-6.
Για κυκλικές διατομές λαμβάνεται $d_e = d$.
Για ελλειπτικές διατομές ισχύουν ειδικές διατάξεις. Για θλίψη, συντηρητικά λαμβάνεται $d_e = h^2/b$.

$\varepsilon = \sqrt{235/f_y}$	f_y	235	275	355	420	460
	ε	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71
	ε^2	1,00	0,85	0,66	0,56	0,51

Πίνακας 6-7 Κατάταξη κοίλων κυκλικών και ελλειπτικών διατομών, (EN 1993-1-1 §7.5, Πίνακας 7.3γ)

6.3.3 Κατάταξη Σύμμικτων Δοκών

6.3.3.1 Γενικά

Για τις σύμμικτες διατομές είναι προφανές ότι η κατάταξη μιας διατομής μπορεί να διαφέρει για θετικές και αρνητικές ροπές λόγω της διαφορετικής θέσης που μπορεί να έχει ο πλαστικός/ελαστικός ουδέτερος άξονας στις θετικές και αρνητικές ροπές. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως το σκληρυμένο σκυρόδεμα μπορεί να περιορίσει τα φαινόμενα τοπικού λυγισμού θλιβόμενων χαλύβδινων ελασμάτων τα οποία βρίσκονται σε επαφή και δεσμεύονται από το σκυρόδεμα, με την κατάταξη τους σε ευμενέστερη κατηγορία, με την προϋπόθεση ότι εξασφαλίζεται βελτίωση στη συμπεριφοράς τους.

6.3.3.2 Κατάταξη προεξεχόντων στοιχείων (κατάταξη πελμάτων) σύμμικτων δοκών

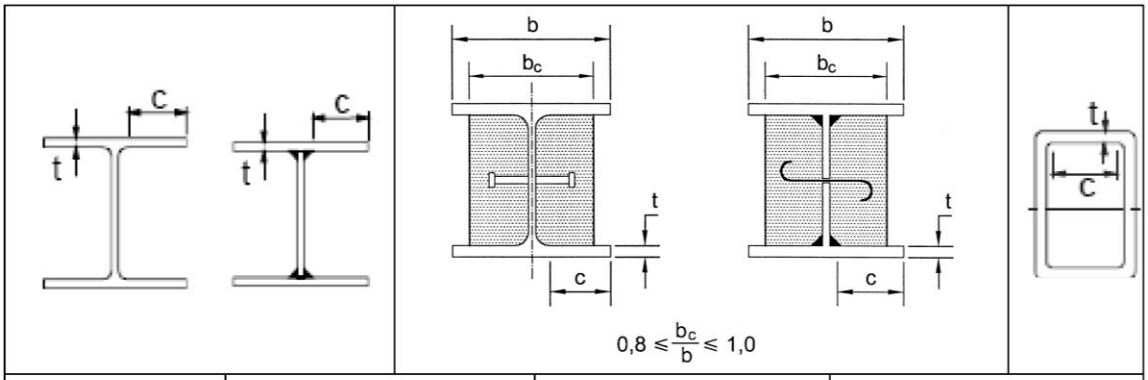
Η κατάταξη των πελμάτων σύμμικτων δοκών διακρίνονται στις δυο πιο κάτω κατηγορίες:

1. <u>Θλιβόμενα πέλματα μη συνδεόμενα διατμητικά με την πλάκα σκυροδέματος</u>

Στην περίπτωση αυτή υπάγονται αμιγώς χαλύβδινες δοκοί, σύμμικτες δοκοί στη φάση κατασκευής (όπου το σκυρόδεμα βρίσκεται σε ρευστή κατάσταση και δεν έχει ακόμη σκληρυνθεί ώστε να εξασφαλίζει δέσμευση στο θλιβόμενο πέλμα), σιδηροδοκούς όπου η πλάκα σκυροδέματος εδράζετε επάνω τους χωρίς διατμητική σύνδεση με την σιδηροδοκό, ή σύμμικτες δοκούς σε περιοχές αρνητικών ροπών.

Η κατάταξη των πελμάτων σε αυτή την κατηγορία διακρίνονται σε δυο υποπεριπτώσεις ανάλογα με το αν υπάρχει ή όχι σκυρόδεμα εγκιβωτισμού μεταξύ των πελμάτων. Η παρουσία σκυροδέματος εγκιβωτισμού στον κορμό της χαλύβδινης διατομής επιδρά ευμενώς στην αποφυγή ανάπτυξης τοπικού λυγισμού, με αποτέλεσμα την αύξηση των ορίων κατηγοριοποίησης των πελμάτων. Πιο κάτω παρατίθεται ο (Πίνακας 6-8) για την κατηγοριοποίηση των θλιβόμενων πελμάτων (μη συνδεόμενα διατμητικά με την πλάκα σκυροδέματος) σύμφωνα με τον (EN 1994-1-1 §5.5). Θα πρέπει να σημειωθεί ότι για να

ισχύουν τα αυξημένα όρια κατάταξη των πελμάτων σε ευμενέστερη κατηγοριοποίηση για σκυρόδεμα εγκιβωτισμένο σε κορμό σιδηροδοκού, όπως δίνεται στον (Πίνακας 6-8), θα πρέπει να πληρούνται κάποιες προϋποθέσεις οι οποίες αφορούν το πλάτος εγκιβωτισμένου σκυροδέματος (b_c) (Πίνακας 6-8), καθώς και αποστάσεις μεταξύ των διατμητικών συνδέσμων του κορμού της σιδηροδοκού οι οποίες θα πρέπει να ικανοποιούνται (Πίνακας 6-9).

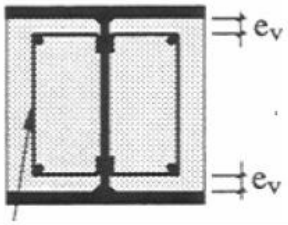
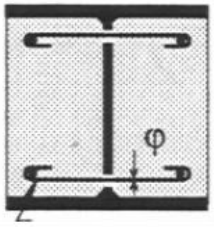
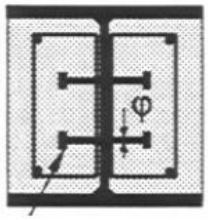
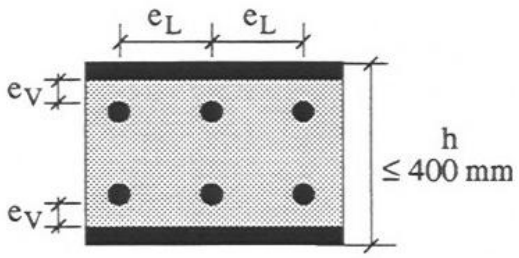
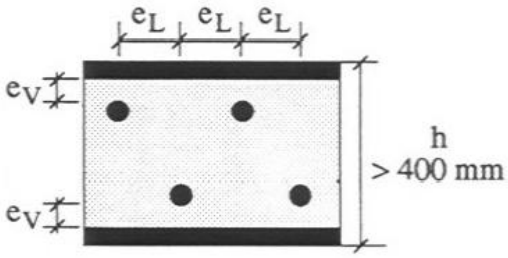


Κατηγορία	Μη εγκιβωτισμένος κορμός	Εγκιβωτισμένος κορμός	Κοίλη διατομή
1	$c/t \le 9\varepsilon$	$c/t \le 9\varepsilon$	$c/t \le 33\varepsilon$
2	$c/t \le 10\varepsilon$	$c/t \le 14\varepsilon$	$c/t \le 38\varepsilon$
3	$c/t \le 14\varepsilon$	$c/t \le 20\varepsilon$	$c/t \le 42\varepsilon$

f_y MPa	235	275	355	420	460
$\varepsilon = \sqrt{235 / f_y}$	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71

Παρατήρηση: Σημειώνεται ότι αν η τάση σ στο πέλμα είναι μικρότερη από το όριο διαρροής τότε γίνεται αντικατάσταση του ορίου διαρροής f_y από την τάση αυτή, οπότε είναι: $\varepsilon = \sqrt{235/\sigma}$, σ σε [MPa]

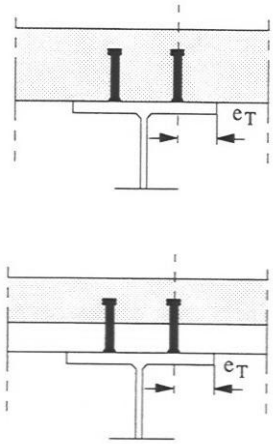
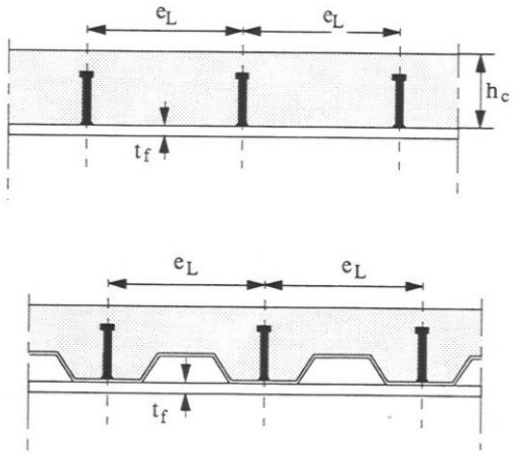
Πίνακας 6-8 Κατάταξη θλιβόμενων πελμάτων μη συνδεόμενα διατμητικά με την πλάκα σκυροδέματος, (EN 1994-1-1 §5.5, Πίνακας 5.2), (Ιωάννης Κ. Βάγιας, 2018)

Διάταξη	Συνδετήρες συγκολλημένοι στον κορμό	Συνδετήρες διαμέσου οπών του κορμού	Διατμητικοί ήλοι
			
Προϋπο-θέσεις		$\Phi \geq 6$ mm	$\Phi \geq 10$ mm
Αποστά-σεις e_v	$e_v \leq 200$ mm		
Αποστά-σεις e_L		$e_L \leq 400$ mm   Για δοκούς ύψους > 400 mm επιτρέπεται μετατοπισμένη διάταξη συνδετήρων ή ήλων ως ανωτέρω	

Πίνακας 6-9 Προϋποθέσεις αποστάσεων των διατμητικών συνδέσμων εγκιβωτισμένων κορμών για την ισχύει των ευμενέστερων ορίων κατάταξης πελμάτων (Πίνακας 6-8) για σιδηροδοκούς με εγκιβωτισμένο κορμό σε σκυρόδεμα, (EN 1994-1-1 §5.5), (Ιωάννης Κ. Βάγιας, 2018)

2. Θλιβόμενα πέλματα συνδεόμενα διατμητικά με την πλάκα σκυροδέματος

Στην περίπτωση αυτή υπάγονται σύμμικτες δοκοί σε περιοχές θετικών ροπών με τον ουδέτερο άξονα να βρίσκεται κάτω από την πλάκα σκυροδέματος, οπότε το άνω πέλμα της σιδηροδοκού βρίσκεται υπό θλίψη. Τα πέλματα αυτά ανεξαρτήτως λόγου c/t μπορούν να θεωρηθούν κατηγορίας 1 λόγω του ότι το σκυρόδεμα το οποίο βρίσκεται διατμητικά συνδεδεμένο με το πέλμα της σιδηροδοκού, εμποδίζοντας την ανάπτυξη τοπικού λυγισμού. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι αν η κατάταξη του πέλματος της χαλύβδινης διατομής όπως θα βρισκόταν με βάση τον (Πίνακας 6-8), αγνοώντας την ύπαρξη της πλάκας σκυροδέματος με την οποία συνδέεται διατμητικά, κατατασσόταν σε κατηγορία 3 ή 4, τότε θα πρέπει να τεθούν πρόσθετοι περιορισμοί που αφορούν τις αποστάσεις μεταξύ των διατμητικών συνδέσμων, έτσι ώστε το πέλμα της σιδηροδοκού να μπορεί να καταταχθεί στις κατηγορίες 1 ή 2 (Πίνακας 6-10), (EN 1994-1-1 §5.5.2).

Είδος πλάκας	e_T	e_L
		
Ολόσωμες πλάκες	$e_T \leq 9 \cdot t_f \cdot \varepsilon$	$22 \cdot t_f \cdot \varepsilon$ $e_L \leq 6 \cdot h_c$ 800 mm
Σύμμικτες πλάκες (χαλυβδόφυλλο ⊥ σιδηροδοκό)		$15 \cdot t_f \cdot \varepsilon$ $e_L \leq 6 \cdot (h_c + h_p)$ 800 mm
t_f = πάχος πέλματος σιδηροδοκού h_p = ύψος χαλυβδοφύλλου $\varepsilon = \sqrt{235 / f_y}$		

Πίνακας 6-10 Όρια μέγιστων αποστάσεων των διατμητικών συνδέσμων για την ευμενέστερη κατάταξη θλιβόμενων πελμάτων της σιδηροδοκού σε κατηγορίες 1 ή 2 (ανεξάρτητα του λόγου c/t του θλιβόμενου πέλματος), (EN 1994-1-1 §5.5.2), (Ιωάννης Κ. Βάγιας, 2018)

6.3.3.3 Κατάταξη εσωτερικών στοιχείων (κατάταξη κορμού) σύμμικτων δοκών

Η κατάταξη των εσωτερικών στοιχείων μιας σύμμικτης δοκού γίνεται αντίστοιχα όπως και η κατάταξη των εσωτερικών στοιχείων αμιγώς μεταλλικών διατομών όπως αναφέρεται από τον (Πίνακας 6-4).

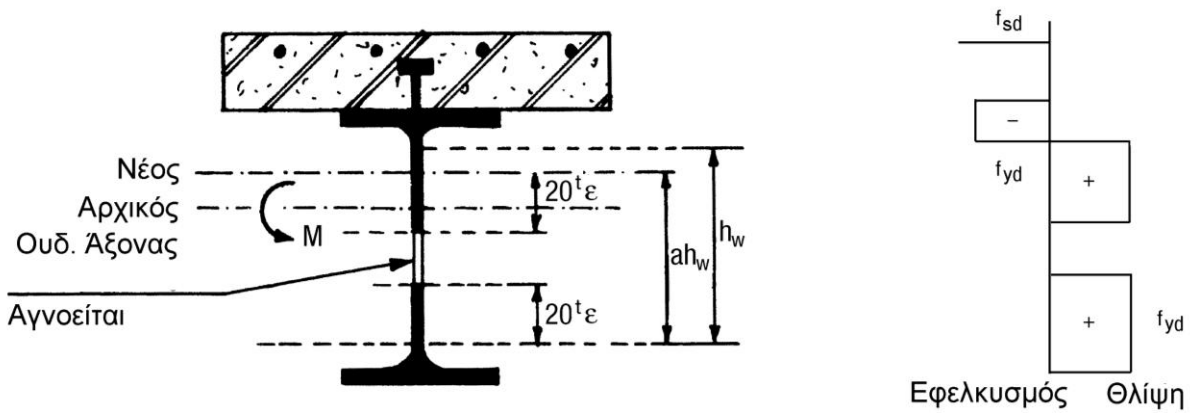
Σημειώνεται ότι στην περίπτωση κορμού σιδηροδοκού ο οποίος είναι κατηγορίας 3 και βρίσκεται εγκιβωτισμένος μέσα σε σκυρόδεμα, μπορεί να καταταχθεί σε ευμενέστερη κατηγορία 2.

Στην περίπτωση όπου ο κορμός της σιδηροδοκού είναι κατηγορίας 3 και δεν βρίσκεται εγκιβωτισμένος μέσα στο σκυρόδεμα, τότε μπορεί να καταταχθεί σε ευμενέστερη κατηγορία 2, με την διαφορά τώρα ότι δεν θεωρείται ολόκληρη η διατομή του κορμού ενεργή αλλά ένα μέρος αυτής. Η ανενεργή περιοχή του κορμού καθορίζεται από την περιοχή που δημιουργείται ανάμεσα στις αποστάσεις, ($20.t_w.\varepsilon$) καθ' ύψος από το θλιβόμενο πέλμα (εκεί που τελειώνει το τόξο συναρμογής του θλιβόμενου πέλματος και ξεκινάει η περιοχή του κορμού) και ($20.t_w.\varepsilon$) καθ' ύψος από την νέα θέση του ουδέτερου άξονα. Εννοείται ότι στις περιοχές όπου ο κορμός εφελκύεται είναι πλήρως ενεργός και η πιο πάνω αναφορά, αφορά μόνο τις περιοχές του κορμού οι οποίες βρίσκονται σε θλίψη. Λόγω της αγνόησης της συμβολής ενός μέρους του κορμού το οποίο το θεωρούμε ανενεργό, ο ουδέτερος άξονας μετατοπίζεται σε νέα θέση.

Στην (Εικόνα 6-8) δίνεται μια διατομή σύμμικτης δοκού υπό αρνητικές ροπές, στην οποία η χαλύβδινη διατομή κατηγορίας 3 θα ταξινομηθεί ως κατηγορίας 2 προσδιορίζοντας την ενεργή περιοχή του κορμού, όπου ο νέος ουδέτερος άξονας βρίσκεται στην περιοχή εντός του κορμού. Για να εξασφαλιστεί ότι ο νέος ουδέτερος άξονας δεν θα βρεθεί σε περιοχές εκτός του κορμού της σιδηροδοκού υπολογίζεται ο συντελεστής «α» σύμφωνα με την πιο κάτω σχέση (6.4). Κάθε οπλισμός της πλάκας σκυροδέματος ο οποίος αυξάνει το συντελεστή «α» πέραν της οριακής του τιμής, δεν θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στον υπολογισμό της πλαστικής ροπής αντοχής.

$$\alpha \leq 0{,}5 + \frac{20.\,t_{\mathrm{w}}.\,\varepsilon}{h_{\mathrm{w}}} \tag{6.4}$$

Για τον υπολογισμό των ροπών αντοχής μιας διατομής στην οποία ο κορμός της σιδηροδοκού είναι κατηγορίας 3 μπορεί να γίνει με 2 τρόπους. Ο πρώτος τρόπος είναι η ροπή αντοχής της σύμμικτης δοκού να υπολογιστεί με ελαστική ανάλυση όπου ο κορμός της σιδηροδοκού λαμβάνεται πλήρης ενεργός ενώ ο δεύτερος τρόπος υπολογισμού της ροπής αντοχής της σύμμικτης δοκού να γίνει με πλαστική ανάλυση αγνοώντας ένα μέρος του κορμού της σιδηροδοκού το οποίο θεωρείται ανενεργό όπως αναφέρθηκαν με αυτά πιο πάνω.



Εικόνα 6-8 Ενεργός διατομή κορμού κατηγορίας 3 υπό αρνητική ροπή ο οποίος κατατάσσεται ως διατομή κορμού κατηγορίας 2, (Ιωάννης Κ. Βάγιας, 2018)

6.4 Διαστασιολόγηση Σύμμικτων Δοκών σε Οριακή Κατάσταση Αστοχίας (ΟΚΑ)

6.4.1 Πλαστική Ροπή Αντοχής Σύμμικτης Δοκού

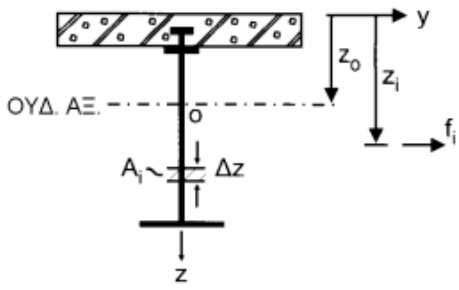
6.4.1.1 Γενικά

Όταν η ανάλυση είναι πλαστική, ένα εντατικό μέγεθος (π.χ. ροπή, αξονική δύναμη) κατανέμεται στα επιμέρους στοιχεία της διατομής ανάλογα με την αντοχή τους. Επομένως για τον προσδιορισμό της πλαστικής ροπής αντοχής μιας σύμμικτης διατομής θεωρούμε ότι οι τάσεις των υλικών φθάνουν μέχρι τις οριακές τους τιμές. Όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενη ενότητα βασική προϋπόθεση για την εφαρμογή πλαστικής ανάλυσης θα πρέπει οι διατομές να είναι κατηγορίας 1 ή 2.

Για τον προσδιορισμό λοιπόν της πλαστικής ροπής αντοχής η πιο συνηθισμένη μέθοδος υπολογισμού είναι η μέθοδος των λωρίδων όπου η διατομή χωρίζεται καθ' ύψος σε οριζόντιες λωρίδες πάχους Δz. Σε κάθε λωρίδα της διατομής αντιστοιχεί ένα εμβαδόν $\Delta A_i = b_i . \Delta z_i$ το οποίο είναι συναρτήσει του πλάτους της διατομής στην εκάστοτε θέση, και μια οριακή τάση (f_i) συναρτήσει του υλικού. Επομένως η ροπή αντοχής που προσφέρει η κάθε λωρίδα (ΔM_i) ως προς τον πλαστικό ουδέτερο άξονα της διατομής (z_o) δίνεται από την σχέση (6.5). Συνεπώς η συνολική ροπή αντοχής της διατομής ($M_{pl,Rd}$) υπολογίζεται από το συνολικό άθροισμα των ροπών που προσφέρουν όλες οι λωρίδες της διατομής σχέση (6.6).

$$\Delta M_i = \Delta A_i . f_i . (z_i - z_o) \tag{6.5}$$

$$M_{pl,Rd} = \sum_i \Delta M_i \tag{6.6}$$



Εικόνα 6-9 Προσδιορισμός ροπής αντοχή της διατομής με βάση την μέθοδο των λωρίδων, (Ιωάννης Κ. Βάγιας, 2018)

Θα πρέπει όμως πρώτα να υπολογιστεί η θέση του πλαστικού ουδέτερου άξονα (z_o) ο οποίος προσδιορίζεται με επαναληπτική διαδικασία έτσι ώστε να ισχύει η εξίσωση ισοδυναμίας των εσωτερικών και εξωτερικών δυνάμεων στην διατομή (όπου $\sum_i N_{i,εξωτερικ\ ών} = \sum_i N_{i,εσωτερικ\ ών}$). Επομένως με βάση την εξίσωση ισοδυναμίας θα πρέπει οι θλιπτικές και οι εφελκυστικές δυνάμεις στην διατομή να ισούνται (6.7).

$$\Delta A_i^+ . f_i^+ = \Delta A_i^- . f_i^- \tag{6.7}$$

Θα πρέπει λοιπόν να γίνει μια προεκτίμηση των θλιβόμενων και εφελκυόμενων λωρίδων της διατομής και με επαναληπτική διαδικασία να υπολογιστεί η θέση του πλαστικού ουδέτερου άξονα της διατομής έτσι ώστε να ικανοποιείται η εξίσωση ισοδυναμίας (6.7). Λόγω της επαναληπτικής διαδικασίας που απαιτεί η προαναφερθείσα μεθοδολογία απαιτεί την χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή για την εύκολη και γρήγορη επίλυσης της. Ένα τέτοιο πρόγραμμα αναπτύχθηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία το οποίο θα αναλυθεί σε επόμενη ενότητα.

6.4.1.2 Θετικές Πλαστικές Ροπές Αντοχής ($M_{pl,Rd}^+$)

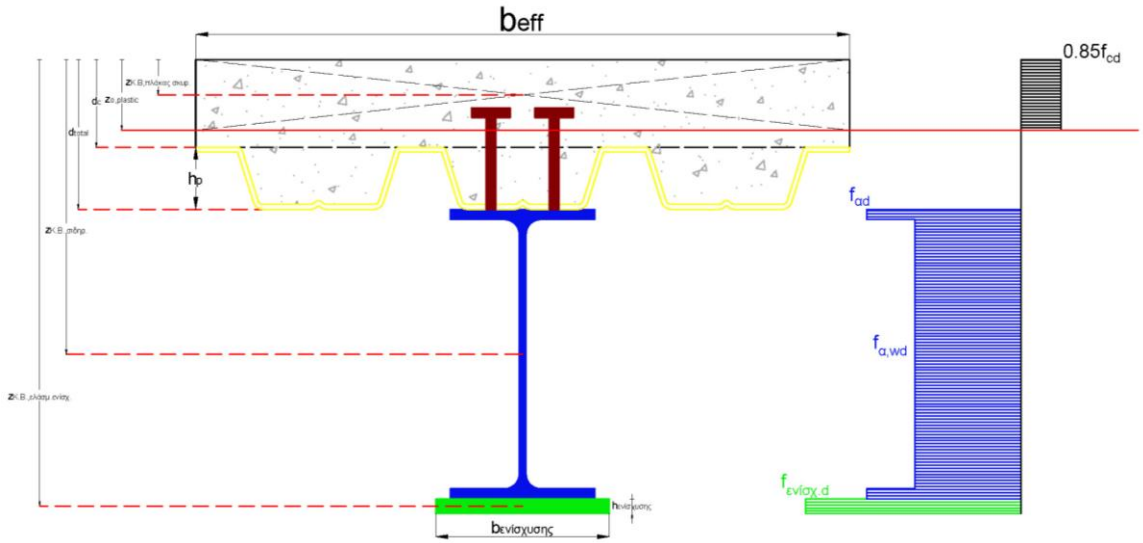
Στην ενότητα αυτή δίνονται οι σχέσεις υπολογισμού για την εύρεση της θετικής πλαστικής ροπής αντοχής ($M_{pl,Rd}^+$) σύμμικτης διατομής με συμπαγή ή σύμμικτη πλάκα σκυροδέματος με χαλυβδόφυλλο (παράλληλο ή κάθετο στη σιδηροδοκό) και με την δυνατότητα ενσωμάτωσης ενισχυτικού ελάσματος ενίσχυσης στο κάτω μέρος της σιδηροδοκού.

Παρακάτω αναφέρονται παραδοχές οι οποίες έγιναν στις σχέσεις υπολογισμού:

- Ισχύει η επιπεδότητα και η καθετότητα των διατομών στον άξονα της δοκού πριν και μετά την παραμόρφωση του φορέα (παραδοχή Navier – Bernoulli)
- Η εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος αγνοείται στους υπολογισμούς (f_{ct}=0).
- Οι τάσεις στο σκυρόδεμα και στον χάλυβα φτάνουν μέχρι την οριακή τιμή σχεδιασμού τους
- Γίνεται αρχική θεώρηση ότι η σύμμικτη διατομή είναι κατηγορίας 1 ή 2. Στο τέλος της διαδικασίας (αφού υπολογιστεί η θέση του πλαστικού ουδέτερου άξονα z_o) γίνεται και η κατάταξη της διατομής και ελέγχεται αν η υφιστάμενη διατομή μπορεί να σχεδιαστεί με πλαστική ανάλυση
- Στην περίπτωση θετικών πλαστικών ροπών αντοχής η συμμετοχή του οπλισμού σκυροδέματος αγνοείται στους υπολογισμούς
- Αγνοείται η συνεισφορά του χαλυβδόφυλλου στην ανάληψη εφελκυστικών τάσεων (το οποίο λειτουργεί ως συνελκόμενος εφελκυόμενος οπλισμός στην περίπτωση όπου εφελκύεται)
- Στην περίπτωση όπου η πλάκα σκυροδέματος είναι σύμμικτη με χαλυβδόφυλλο παράλληλο ή κάθετο στην σιδηροδοκό, αφαιρείται από το συνολικό ύψος της πλάκας σκυροδέματος (d_{total}), το ύψος του χαλυβδόφυλλου (h_p). Επομένως η σύμμικτη δοκός αποτελείται από την σιδηροδοκό, το έλασμα ενίσχυσης αν υπάρχει, ένα κενό ίσο με το ύψος του χαλυβδόφυλλου (h_p) και την πλάκα σκυροδέματος πάχους (d_c=d_{total}-h_p)

Παρακάτω αναλύονται οι σχέσεις υπολογισμού εύρεσης του πλαστικού ουδέτερου άξονα ($z_{o,pl}^+$) και της θετικής πλαστικής ροπής αντοχής ($M_{pl,Rd}^+$), οι οποίες διακρίνονται σε 5 περιπτώσεις ανάλογα με την θέση που βρίσκεται ο πλαστικός ουδέτερος άξονας στην σύμμικτη διατομή:

1. Περίπτωση Α: Ο Πλαστικός Ουδέτερος Άξονας βρίσκεται μέσα στην περιοχή της πλάκας σκυροδέματος ($0 \leq z_o \leq d_c$)



Εικόνα 6-10 Κατανομή ορθών τάσεων για την εύρεση θετικής πλαστικής ροπής αντοχής σε διατομή με συμπαγή ή σύμμικτη πλάκα σκυροδέματος με χαλυβδόφυλλο και έλασμα ενίσχυσης. Ο πλαστικός ουδέτερος άξονας βρίσκεται εντός της πλάκα σκυροδέματος

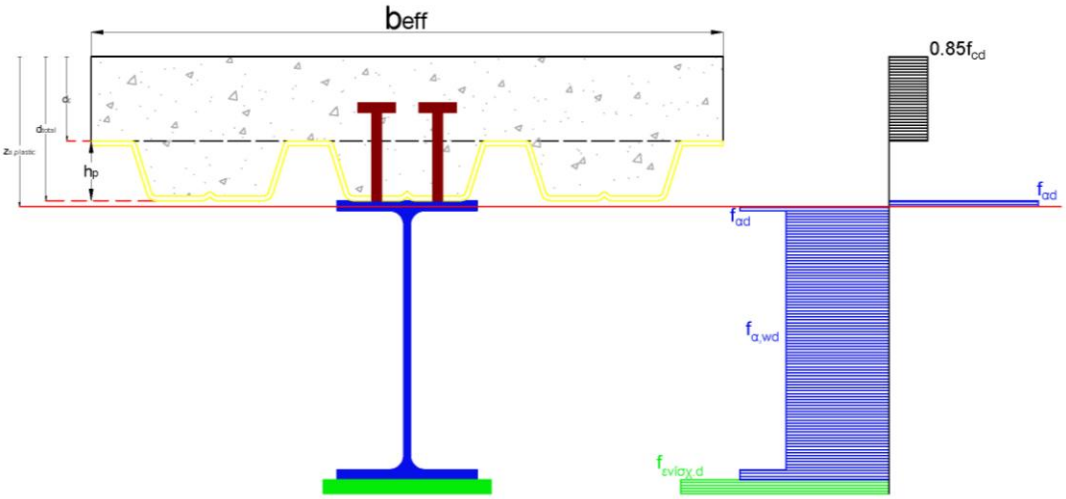
Η θέση του πλαστικού ουδέτερου άξονα ($z_{o,pl}^{+}$) ως προς την άνω στάθμη ίνας της πλάκας σκυροδέματος δίνεται από την πιο κάτω σχέση (6.8).

$$z_{o,pl,A}^{+} = \frac{\left(2.t_f.b_a.f_{ad}\right) + \left[\left(A_a - \left(2t_f.b_a\right)\right).f_{a,wd}\right] + \left(A_{ενισχ\,.}.f_{ενισχ\,.d}\right)}{0{,}85.f_{cd}.b_{eff}} \tag{6.8}$$

Η πλαστική ροπή αντοχής ($M_{pl,Rd}^{+}$) της σύμμικτης διατομής για την συγκεκριμένη περίπτωση δίνεται από την πιο κάτω σχέση (6.9).

$$\begin{aligned} M_{pl,Rd,A}^{+} = &\left[\left(-0.85.f_{cd}.b_{eff}.z_o\right).\frac{z_o}{2}\right] + \left[t_f.b_a.f_{ad}.\left(d + \frac{t_f}{2}\right)\right] \\ &+ \left[\left(A_a - \left(2t_f.b_a\right)\right).f_{a,wd}.\left(d + \frac{h_a}{2}\right)\right] \\ &+ \left[\left(t_f.b_a.f_{ad}\right).\left(d + h_a - \frac{t_f}{2}\right)\right] \\ &+ \left[A_{ενισχ\,.}.f_{ενισχ\,.d}.\left(d + h_a + \frac{t_{ενισχ\,.}}{2}\right)\right] \end{aligned} \tag{6.9}$$

2. Περίπτωση Β: Ο Πλαστικός Ουδέτερος Άξονας βρίσκεται μέσα στην περιοχή του άνω πέλματος της σιδηροδοκού ($d_{total} < z_o \leq (d_{total}+t_{fo})$)



Εικόνα 6-11 Κατανομή ορθών τάσεων για την εύρεση θετικής πλαστικής ροπής αντοχής σε διατομή με συμπαγή ή σύμμικτη πλάκα σκυροδέματος με χαλυβδόφυλλο και έλασμα ενίσχυσης. Ο πλαστικός ουδέτερος άξονας βρίσκεται εντός του άνω πέλματος της σιδηροδοκού

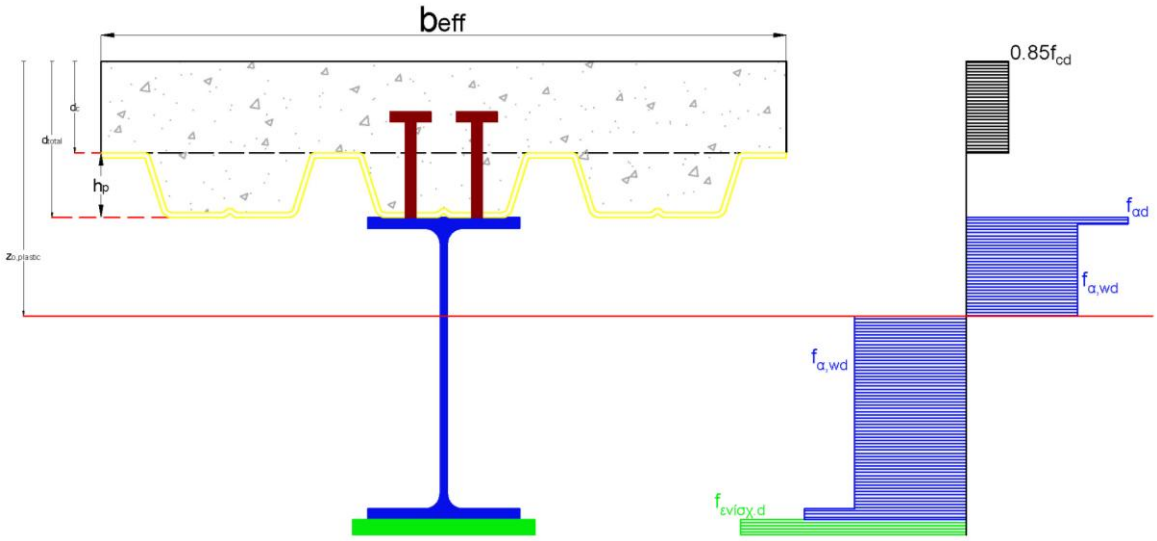
Η θέση του πλαστικού ουδέτερου άξονα ($z_{o,pl}^{+}$) ως προς την άνω στάθμη ίνας της πλάκας σκυροδέματος δίνεται από την πιο κάτω σχέση (6.10).

$$z_{o,pl,B}^{+} = \frac{\begin{array}{c}\left[\left(d+t_f\right).b_a.f_{ad}\right] + \left[\left(A_a - \left(2t_f.b_a\right)\right).f_{a,wd}\right] + \left(t_f.b_a.f_{ad}\right) \\ +\left(A_{\varepsilon\nu\iota\sigma\chi}.f_{\varepsilon\nu\iota\sigma\chi.d}\right) + \left(d.b_a.f_{ad}\right) - \left(0{,}85.f_{cd}.b_{eff}.d_c\right)\end{array}}{2.b_a.f_{ad}} \tag{6.10}$$

Η πλαστική ροπή αντοχής ($M_{pl,Rd}^{+}$) της σύμμικτης διατομής για την συγκεκριμένη περίπτωση δίνεται από την πιο κάτω σχέση (6.11).

$$\begin{aligned} M_{pl,Rd,B}^{+} = & \left[\left(-0.85.f_{cd}.b_{eff}.d_c\right).\frac{d_c}{2}\right] - \left[\left(z_o - d\right).b_a.f_{ad}.\left(\frac{z_o - d}{2} + d\right)\right] \\ & + \left[\left(\left(d+t_f\right) - z_o\right).b_a.f_{ad}.\left(\frac{d+t_f-z_o}{2} + z_o\right)\right] \\ & + \left[\left(A_a - \left(2t_f.b_a\right)\right).f_{a,wd}.\left(d + \frac{h_a}{2}\right)\right] \\ & + \left[\left(t_f.b_a.f_{ad}\right).\left(d + h_a - \frac{t_f}{2}\right)\right] \\ & + \left[A_{\varepsilon\nu\iota\sigma\chi}.f_{\varepsilon\nu\iota\sigma\chi.d}.\left(d + h_a + \frac{t_{\varepsilon\nu\iota\sigma\chi}}{2}\right)\right] \end{aligned} \tag{6.11}$$

3. Περίπτωση Γ: Ο Πλαστικός Ουδέτερος Άξονας βρίσκεται μέσα στην περιοχή του κορμού της σιδηροδοκού ($(d_{total}+t_{fo}) < z_o \leq (d_{total}+h_\alpha-t_{fu})$)



Εικόνα 6-12 Κατανομή ορθών τάσεων για την εύρεση θετικής πλαστικής ροπής αντοχής σε διατομή με συμπαγή ή σύμμικτη πλάκα σκυροδέματος με χαλυβδόφυλλο και έλασμα ενίσχυσης. Ο πλαστικός ουδέτερος άξονας βρίσκεται στην περιοχή του κορμού της σιδηροδοκού

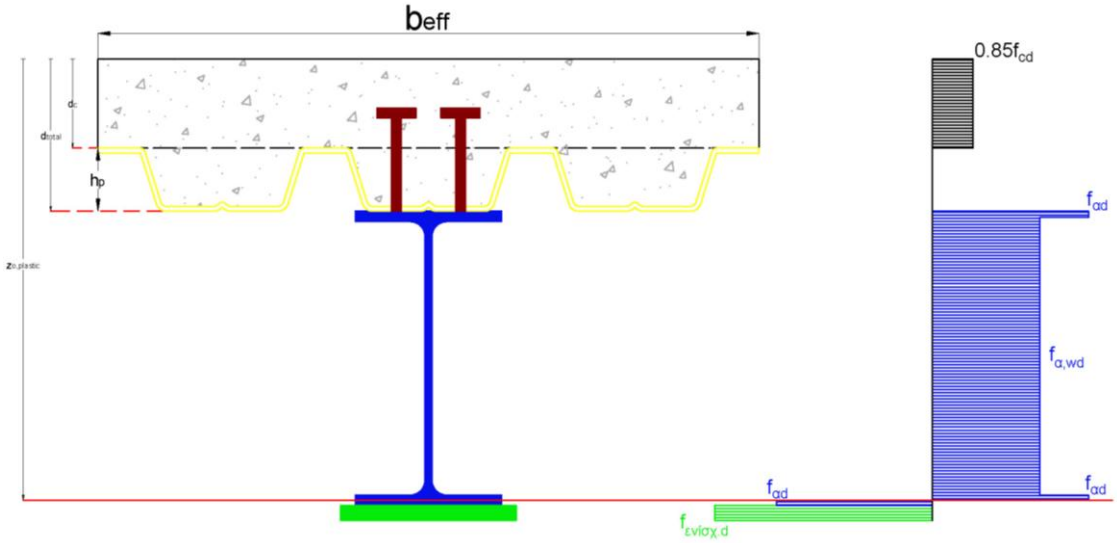
Η θέση του πλαστικού ουδέτερου άξονα ($z_{o,pl}^{+}$) ως προς την άνω στάθμη ίνας της πλάκας σκυροδέματος δίνεται από την πιο κάτω σχέση (6.12).

$$z_{o,pl,\Gamma}^{+} = \frac{\begin{array}{c}\left[(d+h_a-t_f).t_{w,eff}.f_{a,wd}\right]+(A_{\varepsilon\nu\iota\sigma\chi}.f_{\varepsilon\nu\iota\sigma\chi}.d) \\ +\left[(d+t_f).f_{a,wd}.t_{w,eff}\right]-(0{,}85.f_{cd}.b_{eff}.d_c)\end{array}}{2.t_{w,eff}.f_{a,wd}} \tag{6.12}$$

Η πλαστική ροπή αντοχής ($M_{pl,Rd}^{+}$) της σύμμικτης διατομής για την συγκεκριμένη περίπτωση δίνεται από την πιο κάτω σχέση (6.13).

$$\begin{aligned} M_{pl,Rd,\Gamma}^{+} = & \left[(-0.85.f_{cd}.b_{eff}.d_c).\frac{d_c}{2}\right]-\left[(t_f.b_a.f_{ad}).\left(d+\frac{t_f}{2}\right)\right] \\ & -\left[t_{w,eff}.(z_o-d-t_f).f_{a,wd}.\left(\frac{z_o-d-t_f}{2}+d+t_f\right)\right] \\ & +\left[(d+h_a-t_f-z_o).t_{w,eff}.f_{a,wd}.\left(\frac{d+h_a-t_f-z_o}{2}+z_o\right)\right] \\ & +\left[(t_f.b_a.f_{ad}).\left(d+h_a-\frac{t_f}{2}\right)\right]+\left[A_{\varepsilon\nu\iota\sigma\chi}.f_{\varepsilon\nu\iota\sigma\chi}.d.\left(d+h_a+\frac{t_{\varepsilon\nu\iota\sigma\chi}}{2}\right)\right] \end{aligned} \tag{6.13}$$

4. Περίπτωση Δ: Ο Πλαστικός Ουδέτερος Άξονας βρίσκεται μέσα στην περιοχή του κάτω πέλματος της σιδηροδοκού ($(d_{total}+h_{\alpha}-t_{fu}) < z_o \leq (d_{total}+h_{\alpha})$)



Εικόνα 6-13 Κατανομή ορθών τάσεων για την εύρεση θετικής πλαστικής ροπής αντοχής σε διατομή με συμπαγή ή σύμμικτη πλάκα σκυροδέματος με χαλυβδόφυλλο και έλασμα ενίσχυσης. Ο πλαστικός ουδέτερος άξονας βρίσκεται στην περιοχή του κάτω πέλματος της σιδηροδοκού

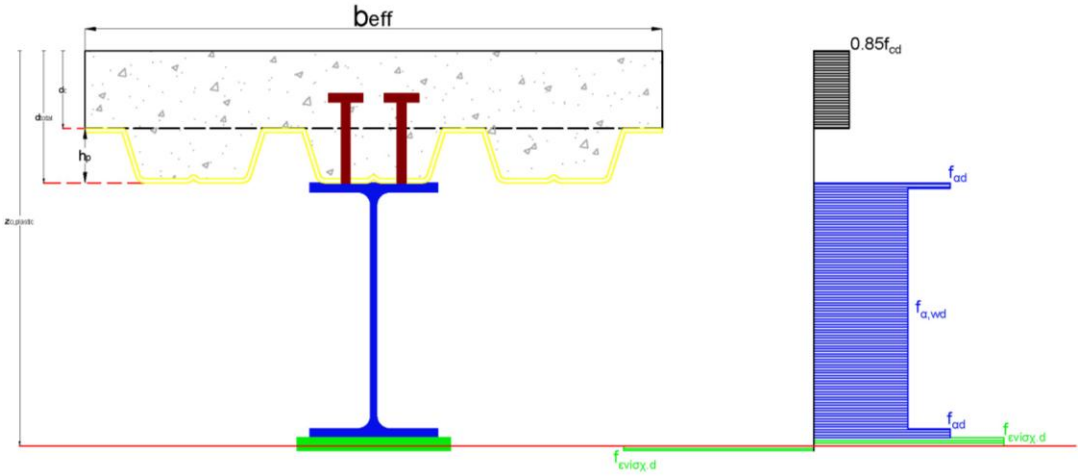
Η θέση του πλαστικού ουδέτερου άξονα ($z_{o,pl}^{+}$) ως προς την άνω στάθμη ίνας της πλάκας σκυροδέματος δίνεται από την πιο κάτω σχέση (6.14).

$$z_{o,pl,\Delta}^{+} = \frac{\begin{array}{c}[(d+h_a).b_a.f_{ad}] + (A_{\varepsilon\nu\iota\sigma\chi}.\cdot f_{\varepsilon\nu\iota\sigma\chi}.d) - (0{,}85.f_{cd}.b_{eff}.d_c) \\ -(t_f.b_a.f_{ad}) - [(A_a - (2t_f.b_a)).f_{a,wd}] - [(t_f - d - h_a).b_a.f_{ad}]\end{array}}{2.b_a.f_{ad}} \qquad (6.14)$$

Η πλαστική ροπή αντοχής ($M_{pl,Rd}^{+}$) της σύμμικτης διατομής για την συγκεκριμένη περίπτωση δίνεται από την πιο κάτω σχέση (6.15).

$$\begin{aligned} M_{pl,Rd,\Delta}^{+} = & \left[(-0.85.f_{cd}.b_{eff}.d_c).\frac{d_c}{2}\right] - \left[(t_f.b_a.f_{ad}).\left(d+\frac{t_f}{2}\right)\right] \\ & - \left[\left(A_a - (2t_f.b_a)\right).f_{a,wd}.\left(d+\frac{h_a}{2}\right)\right] \\ & - \left[\left(z_o - (d+h_a-t_f)\right).b_a.f_{ad}.\left(\frac{z_o-(d+h_a-t_f)}{2} + d + h_a\right.\right. \\ & \left.\left. - t_f\right)\right] + \left[(d+h_a-z_o).b_a.f_{ad}.\left(\frac{d+h_a-z_o}{2}+z_o\right)\right] \\ & + \left[A_{\varepsilon\nu\iota\sigma\chi}.\cdot f_{\varepsilon\nu\iota\sigma\chi}.d.\left(d+h_a+\frac{t_{\varepsilon\nu\iota\sigma\chi}.}{2}\right)\right] \end{aligned} \qquad (6.15)$$

5. Περίπτωση Ε: Ο Πλαστικός Ουδέτερος Άξονας βρίσκεται μέσα στην περιοχή του ελάσματος ενίσχυσης της σιδηροδοκού ($(d_{total}+h_{\alpha}) < z_o \leq (d_{total}+h_{\alpha}+h_{ενίσχυσης})$)



Εικόνα 6-14 Κατανομή ορθών τάσεων για την εύρεση θετικής πλαστικής ροπής αντοχής σε διατομή με συμπαγή ή σύμμικτη πλάκα σκυροδέματος με χαλυβδόφυλλο και έλασμα ενίσχυσης. Ο πλαστικός ουδέτερος άξονας βρίσκεται στην περιοχή του ελάσματος ενίσχυσης της σιδηροδοκού

Η θέση του πλαστικού ουδέτερου άξονα ($z_{o,pl}^{+}$) ως προς την άνω στάθμη ίνας της πλάκας σκυροδέματος δίνεται από την πιο κάτω σχέση (6.16).

$$z_{o,pl,E}^{+} = \frac{\begin{array}{c}\left[\left(d+h_a+t_{ενισχ\,.}\right).b_{ενισχ\,.}.f_{ενισχ\,.d}\right]-\left(0{,}85.f_{cd}.b_{eff}.d_c\right)\\ -\left(2.t_f.b_a.f_{ad}\right)-\left[\left(A_a-\left(2t_f.b_a\right)\right).f_{a,wd}\right]+\left[\left(d+h_a\right).b_{ενισχ\,.}.f_{ενισχ\,.d}\right]\end{array}}{2.b_{ενισχ\,.}.f_{ενισχ\,.d}} \qquad (6.16)$$

Η πλαστική ροπή αντοχής ($M_{pl,Rd}^{+}$) της σύμμικτης διατομής για την συγκεκριμένη περίπτωση δίνεται από την πιο κάτω σχέση (6.17).

$$\begin{aligned} M_{pl,Rd,E}^{+} = &\left[\left(-0.85.f_{cd}.b_{eff}.d_c\right).\frac{d_c}{2}\right]-\left[\left(t_f.b_a.f_{ad}\right).\left(d+\frac{t_f}{2}\right)\right]\\ &-\left[\left(A_a-\left(2t_f.b_a\right)\right).f_{a,wd}.\left(d+\frac{h_a}{2}\right)\right]-\left[\left(t_f.b_a.f_{ad}\right).\left(d+h_a-\frac{t_f}{2}\right)\right]\\ &-\left[\left(z_o-\left(d+h_a\right)\right).b_{ενισχ\,.}.f_{ενισχ\,.d}.\left(\frac{z_o-\left(d+h_a\right)}{2}+d+h_a\right)\right]\\ &+\left[\left(d+h_a+t_{ενισχ\,.}-z_o\right).b_{ενισχ\,.}.f_{ενισχ\,.d}.\left(\frac{d+h_a+t_{ενισχ\,.}-z_o}{2}\right.\right.\\ &\left.\left.+z_o\right)\right] \end{aligned} \qquad (6.17)$$

όπου:

f_{cd}: Οριακή τιμή της τάσης σκυροδέματος σε θλίψη $\left(f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{f_{ck}}{1,5}\right)$

$f_{\alpha d}$: Οριακή τιμή της τάσης δομικού χάλυβα της σιδηροδοκού $\left(f_{ad} = \frac{f_{y,a}}{\gamma_{MO}} = \frac{f_{y,a}}{1,0}\right)$

$f_{\alpha,wd}$: Οριακή τιμή της τάσης του δομικού χάλυβα στην περιοχή του κορμού της σιδηροδοκού $\left(f_{a,wd} = \frac{f_{y,aw}}{\gamma_{MO}} = \frac{f_{y,aw}}{1,0}\right)$

$f_{\varepsilon\nu\acute{\iota}\sigma\chi\upsilon\sigma\eta\varsigma,d}$: Οριακή τιμή της τάσης δομικού χάλυβα ελάσματος ενίσχυσης (εάν υπάρχει) $\left(f_{\varepsilon\nu\acute{\iota}\sigma\chi.,d} = \frac{f_{y,\varepsilon\nu\acute{\iota}\sigma\chi.}}{\gamma_{MO}} = \frac{f_{y,\varepsilon\nu\acute{\iota}\sigma\chi.}}{1,0}\right)$

b_{eff}: Συνεργαζόμενο πλάτος πλάκας σκυροδέματος

d: Συνολικό ύψος της πλάκας σκυροδέματος (d_{total})

d_c: Το ύψος της πλάκας σκυροδέματος αφαιρώντας το ύψος του χαλυβδόφυλλου (d_c=d_{total}-h_p). Στην περίπτωση όπου έχουμε συμπαγή πλάκα σκυροδέματος τότε το (d_c=d_{total})

h_α: Συνολικό ύψος της σιδηροδοκού

t_f: Πάχος των πελμάτων της σιδηροδοκού

b_α: Πλάτος των πελμάτων της σιδηροδοκού

t_w: Πάχος του κορμού της σιδηροδοκού

$t_{w,eff}$: Ισοδύναμο πάχος κορμού της σιδηροδοκού (για προγραμματιστικούς λόγους) $\left(t_{w,eff} = \frac{A_a - (2.t_f.b_a)}{h_a - (2.t_f)}\right)$

h_w: Ύψος του κορμού της σιδηροδοκού

$t_{\varepsilon\nu\acute{\iota}\sigma\chi\upsilon\sigma\eta\varsigma}$: Πάχος του ελάσματος ενίσχυσης

$b_{\varepsilon\nu\acute{\iota}\sigma\chi\upsilon\sigma\eta\varsigma}$: Πλάτος του ελάσματος ενίσχυσης

A_c: Εμβαδόν διατομής της πλάκας σκυροδέματος (A_c=b_{eff}.d_c)

A_α: Εμβαδόν διατομής της σιδηροδοκού

$A_{ενίσχυσης}$: Εμβαδόν διατομής του ελάσματος ενίσχυσης (εάν υπάρχει)

$z_{o,pl}^{+}$: Πλαστικός ουδέτερος άξονας της σύμμικτης διατομής (για θετικές ροπές)

$M_{pl,Rd}^{+}$: Θετική πλαστική ροπή αντοχής της σύμμικτης διατομής

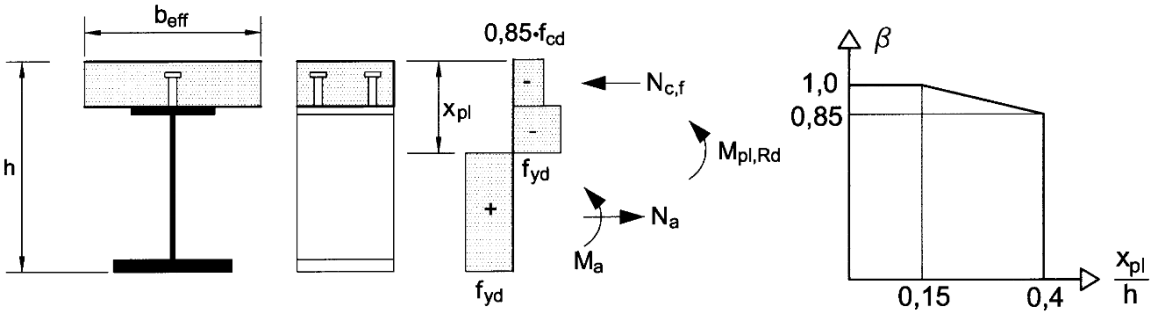
6.4.1.2.1 Επιρροή ύψους θλιβόμενης ζώνης στον υπολογισμό της θετικής πλαστικής ροπής αντοχής

Στην περίπτωση όπου στην σύμμικτη διατομή παρατηρείται μεγάλο ύψος θλιβόμενης ζώνης είναι πιθανόν να αναπτυχτούν πολύ μεγάλες παραμορφώσεις στο σκυρόδεμα οδηγώντας το σε πρόωρη θραύση, με αποτέλεσμα να μην μπορεί να επιτευχτεί η πλήρως ανάπτυξη πλαστικής κατανομής τάσεων στην σύμμικτη διατομή. Το φαινόμενο αυτό συμβαίνει σε περιπτώσεις όπου η πλάκα σκυροδέματος είναι πολύ μικρή ή σε περιπτώσεις όπου ο χάλυβας της σιδηροδοκού είναι υψηλής αντοχής. Προς αποφυγή του ανώτερου φαινομένου ο Ευρωκώδικας 4 (EN 1994-1-1 §6.2.1.2) προβλέπει για σιδηροδοκούς από χάλυβα υψηλής αντοχής (S420 ή S460), την μείωση της θετικής πλαστικής ροπής αντοχής με την χρήση ενός μειωτικού συντελεστή «β». Επομένως η μειωμένη ροπή αντοχής της σύμμικτης δοκού λαμβάνεται όπως φαίνεται από τη σχέση (6.18).

$$M_{Rd}^{+} = \beta . M_{pl,Rd}^{+} \tag{6.18}$$

Ο μειωτικός συντελεστής «β» προσδιορίζεται από το πιο κάτω διάγραμμα της (Εικόνα 6-15) στο οποίο παρατηρούμε ότι η μείωση της θετικής πλαστικής ροπής αντοχής αρχίζει από την στιγμή όπου η θλιβόμενη ζώνη γίνεται μεγαλύτερη από το 15% του συνολικού ύψους της σύμμικτης διατομής. Σε περίπτωση όπου το ύψος της θλιβόμενης ζώνης ξεπεράσει το 40% του συνολικού ύψους της σύμμικτης διατομής, δεν

επιτρέπεται ο σχεδιασμός με πλαστική ανάλυση της διατομής ή θα πρέπει να ληφθεί υπόψη η μη γραμμικότητα αντοχής σε κάμψη όπως αναφαίρετε στον (EN1994-1-1 §6.2.1.2).



Εικόνα 6-15 Διάγραμμα μειωτικού συντελεστή «β» για την μείωση της θετικής πλαστικής ροπής αντοχής σε σιδηροδοκούς από χάλυβα κατηγορίας (S420 ή S460), (EN1994-1-1 §6.2.1.2, Σχήμα 6.3)

6.4.1.3 Αρνητικές Πλαστικές Ροπές Αντοχής

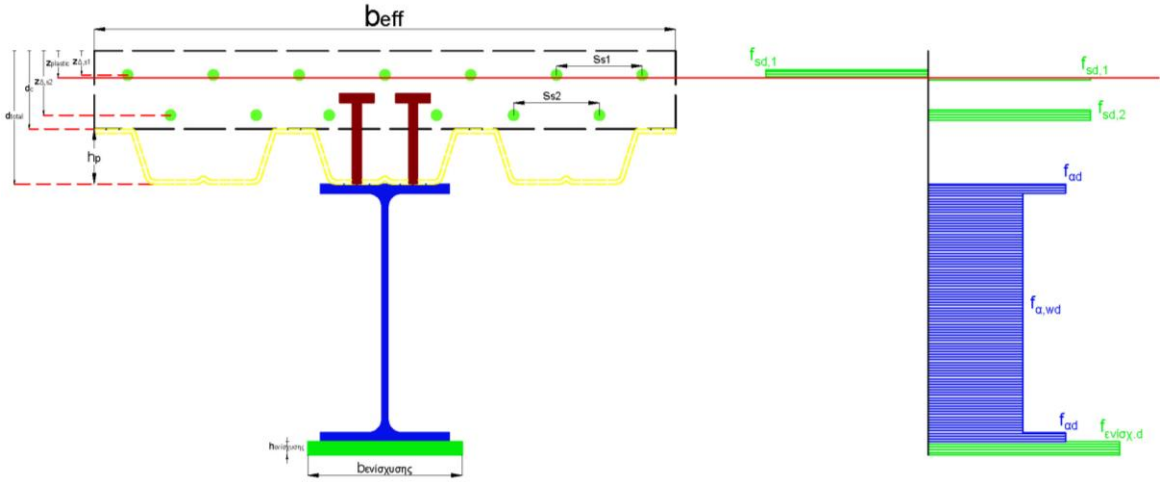
Στην ενότητα αυτή δίνονται οι σχέσεις υπολογισμού για την εύρεση της αρνητικής πλαστικής ροπής αντοχής ($M_{pl,Rd}^{-}$) της διατομής. Στην περίπτωση αυτή όπου η διατομή υπόκειται σε αρνητικές ροπές, το σκυρόδεμα βρίσκεται υπό εφελκυσμό και επομένως η επιρροή του αγνοείται στους υπολογισμούς (f_{ct}=0). Επομένως η διατομή αποτελείται από την σιδηροδοκό, τους οπλισμούς της πλάκας σκυροδέματος (στους οποίους δίνεται δυνατότητα επιλογής δυο στρώσεων οπλισμού καθ' ύψος της διατομής) και το έλασμα ενίσχυσης της σιδηροδοκού (εάν υπάρχει).

Παρακάτω αναφέρονται παραδοχές οι οποίες έγιναν στην διεξαγωγή των σχέσεων υπολογισμού:

- Ισχύει η επιπεδότητα και η καθετότητα των διατομών στον άξονα της δοκού πριν και μετά την παραμόρφωση του φορέα (παραδοχή Navier – Bernoulli)
- Η εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος αγνοείται στους υπολογισμούς (f_{ct}=0)
- Γίνεται αρχική θεώρηση ότι η σύμμικτη διατομή είναι κατηγορίας 1 ή 2. Στο τέλος της διαδικασίας (αφού υπολογιστεί η θέση του πλαστικού ουδέτερου άξονα z_o) γίνεται και η κατάταξη της διατομής και ελέγχεται αν η υφιστάμενη διατομή μπορεί να σχεδιαστεί με πλαστική ανάλυση
- Αγνοείται η συνεισφορά του χαλυβδόφυλλου στην ανάληψη εφελκυστικών τάσεων (το οποίο λειτουργεί ως συνελκόμενος εφελκυόμενος οπλισμός στην περίπτωση όπου εφελκύεται)

Παρακάτω αναλύονται οι σχέσεις υπολογισμού εύρεσης του πλαστικού ουδέτερου άξονα ($z_{o,pl}^{-}$) και της αρνητικής πλαστικής ροπής αντοχής ($M_{pl,Rd}^{-}$), οι οποίες διακρίνονται σε 6 περιπτώσεις ανάλογα με την θέση που βρίσκεται ο πλαστικός ουδέτερος άξονας στην διατομή:

1. Περίπτωση Α: Ο Πλαστικός Ουδέτερος Άξονας βρίσκεται μέσα στην περιοχή της άνω στρώσης οπλισμού σκυροδέματος ($d_1 \leq z_o \leq (d_1+d_{s1})$)



Εικόνα 6-16 Κατανομή ορθών τάσεων για την εύρεση αρνητικής πλαστικής ροπής αντοχής σε διατομή με δυνατότητα επιλογής δυο στρώσεων οπλισμού στην συμπαγή ή σύμμικτη πλάκα σκυροδέματος με χαλυβδόφυλλο και έλασμα ενίσχυσης. Ο πλαστικός ουδέτερος άξονας βρίσκεται εντός της περιοχής της άνω στρώσης του οπλισμού σκυροδέματος

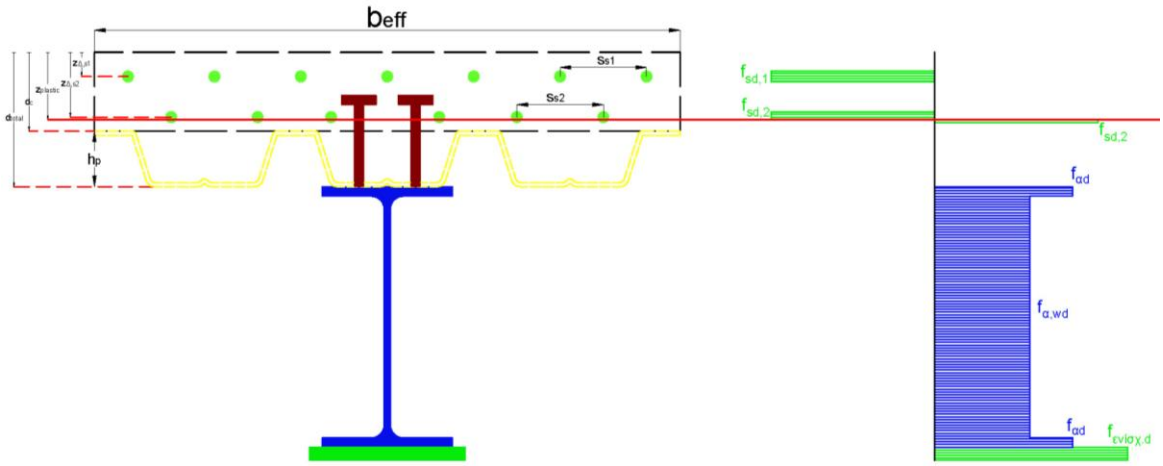
Η θέση του πλαστικού ουδέτερου άξονα ($z_{o,pl}^-$) ως προς την άνω στάθμη ίνας της πλάκας σκυροδέματος δίνεται από την πιο κάτω σχέση (6.19).

$$z_{o,pl,A}^- = \frac{\begin{array}{c}(2.d_1.b_{s1}.f_{sd,1}) + (d_{s1}.b_{s1}.f_{sd,1}) + (b_{s2}.d_{s2}.f_{sd,2}) \\ +(2.t_f.b_a.f_{ad}) + (t_{w,eff}.h_w.f_{a,wd}) + (t_{\varepsilon\nu\iota\sigma\chi}.b_{\varepsilon\nu\iota\sigma\chi}.f_{\varepsilon\nu\iota\sigma\chi.d})\end{array}}{2.b_{s1}.f_{sd,1}} \tag{6.19}$$

Η αρνητική πλαστική ροπή αντοχής ($M_{pl,Rd}^-$) της διατομής για την συγκεκριμένη περίπτωση δίνεται από την πιο κάτω σχέση (6.20).

$$\begin{aligned} M_{pl,Rd,A}^- = & \left[\left(-(z_o - d_1).b_{s1}.f_{sd,1}\right).\left(\frac{z_o - d_1}{2} + d_1\right)\right] \\ & + \left[\left((d_1 + d_{s1} - z_o).b_{s1}.f_{sd,1}\right).\left(\frac{d_1 + d_{s1} - z_o}{2} + z_o\right)\right] \\ & + \left[(b_{s2}.d_{s2}.f_{sd,2}).z_{s2}\right] + \left[t_f.b_a.f_{ad}.\left(d + \frac{t_f}{2}\right)\right] \\ & + \left[t_{w,eff}.h_w.f_{a,wd}.\left(d + \frac{h_a}{2}\right)\right] + \left[t_f.b_a.f_{ad}.\left(d + h_a - \frac{t_f}{2}\right)\right] \\ & + \left[t_{\varepsilon\nu\iota\sigma\chi}.b_{\varepsilon\nu\iota\sigma\chi}.f_{\varepsilon\nu\iota\sigma\chi.d}.\left(d + h_a + \frac{t_{\varepsilon\nu\iota\sigma\chi}}{2}\right)\right] \end{aligned} \tag{6.20}$$

2. Περίπτωση Β: Ο Πλαστικός Ουδέτερος Άξονας βρίσκεται μέσα στην περιοχή της κάτω στρώσης οπλισμού σκυροδέματος ($d_2 \leq z_o \leq (d_2+d_{s2})$)



Εικόνα 6-17 Κατανομή ορθών τάσεων για την εύρεση αρνητικής πλαστικής ροπής αντοχής σε διατομή με δυνατότητα επιλογής δυο στρώσεων οπλισμού στην συμπαγή ή σύμμικτη πλάκα σκυροδέματος με χαλυβδόφυλλο και έλασμα ενίσχυσης. Ο πλαστικός ουδέτερος άξονας βρίσκεται εντός της περιοχής της κάτω στρώσης του οπλισμού σκυροδέματος

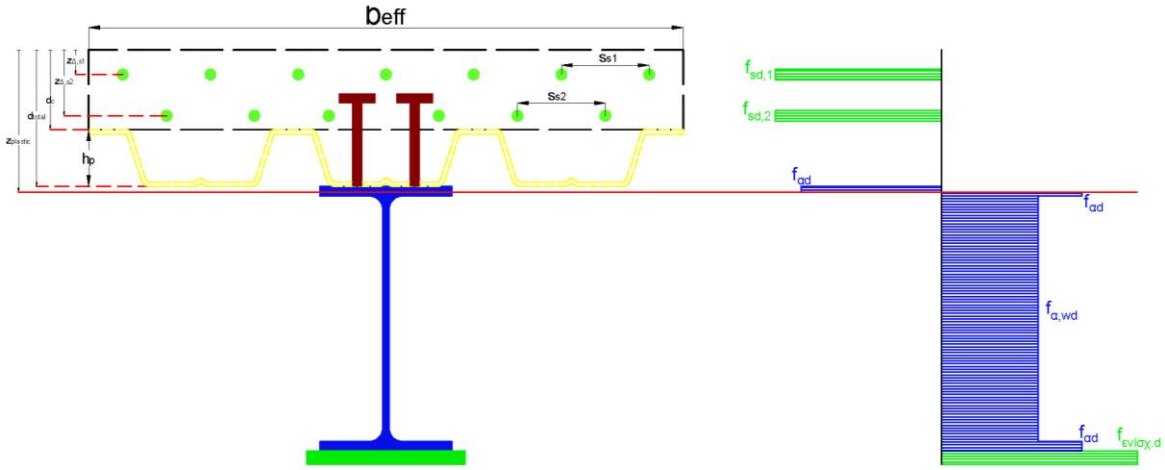
Η θέση του πλαστικού ουδέτερου άξονα ($z_{o,pl}^{-}$) ως προς την άνω στάθμη ίνας της πλάκας σκυροδέματος δίνεται από την πιο κάτω σχέση (6.21).

$$z_{o,pl,B}^{-} = \frac{\begin{array}{c}(d_2.b_{s2}.f_{sd,2}) - (d_{s1}.b_{s1}.f_{sd,1}) + [(d_2+d_{s2}).b_{s2}.f_{sd,2}] \\ +(2.t_f.b_a.f_{ad}) + (t_{w,eff}.h_w.f_{a,wd}) + (t_{ενισχ}.b_{ενισχ}.f_{ενισχ.d})\end{array}}{2.b_{s2}.f_{sd,2}} \quad (6.21)$$

Η αρνητική πλαστική ροπή αντοχής ($M_{pl,Rd}^{-}$) της διατομής για την συγκεκριμένη περίπτωση δίνεται από την πιο κάτω σχέση (6.22).

$$\begin{aligned} M_{pl,Rd,B}^{-} = {} & (-d_{s1}.b_{s1}.f_{sd,1}.z_{s1}) - \left[(z_o-d_2).b_{s2}.f_{sd,2}.\left(\frac{z_o-d_2}{2}+d_2\right)\right] \\ & + \left[(d_2+d_{s2}-z_o).b_{s2}.f_{sd,2}.\left(\frac{d_2+d_{s2}-z_o}{2}+z_o\right)\right] \\ & + \left[t_f.b_a.f_{ad}.\left(d+\frac{t_f}{2}\right)\right] + \left[t_{w,eff}.h_w.f_{a,wd}.\left(d+\frac{h_a}{2}\right)\right] \\ & + \left[t_f.b_a.f_{ad}.\left(d+h_a-\frac{t_f}{2}\right)\right] \\ & + \left[t_{ενισχ}.b_{ενισχ}.f_{ενισχ.d}.\left(d+h_a+\frac{t_{ενισχ}}{2}\right)\right] \end{aligned} \quad (6.22)$$

3. Περίπτωση Γ: Ο Πλαστικός Ουδέτερος Άξονας βρίσκεται μέσα στην περιοχή του άνω πέλματος της σιδηροδοκού ($d_{total} < z_o \leq (d_{total}+t_{fo})$)



Εικόνα 6-18 Κατανομή ορθών τάσεων για την εύρεση αρνητικής πλαστικής ροπής αντοχής σε διατομή με δυνατότητα επιλογής δυο στρώσεων οπλισμού στην συμπαγή ή σύμμικτη πλάκα σκυροδέματος με χαλυβδόφυλλο και έλασμα ενίσχυσης. Ο πλαστικός ουδέτερος άξονας βρίσκεται εντός του άνω πέλματος της σιδηροδοκού

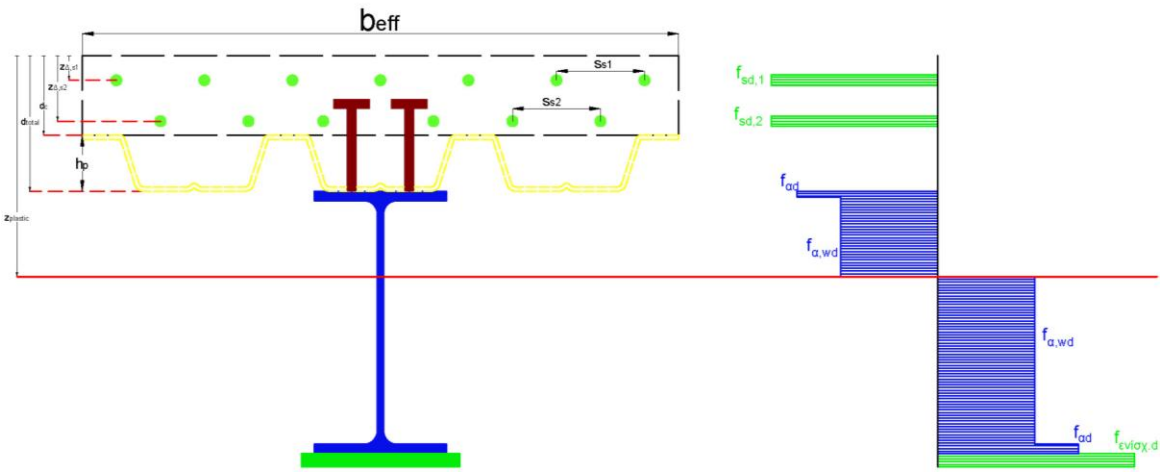
Η θέση του πλαστικού ουδέτερου άξονα ($z_{o,pl}^{-}$) ως προς την άνω στάθμη ίνας της πλάκας σκυροδέματος δίνεται από την πιο κάτω σχέση (6.23).

$$z_{o,pl,\Gamma}^{-} = \frac{(d.b_a.f_{ad}) - (A_{s1}.f_{sd,1}) - (A_{s2}.f_{sd,2}) + [(d+t_f).b_a.f_{ad}] + (h_w.t_{w,eff}.f_{a,wd}) + (t_f.b_a.f_{ad}) + (t_{\varepsilon\nu\iota\sigma\chi}.b_{\varepsilon\nu\iota\sigma\chi}.f_{\varepsilon\nu\iota\sigma\chi.d})}{2.b_a.f_{ad}} \quad (6.23)$$

Η αρνητική πλαστική ροπή αντοχής ($M_{pl,Rd}^{-}$) της διατομής για την συγκεκριμένη περίπτωση δίνεται από την πιο κάτω σχέση (6.24).

$$\begin{aligned} M_{pl,Rd,\Gamma}^{-} = {} & (-A_{s1}.f_{sd,1}.z_{s1}) - (A_{s2}.f_{sd,2}.z_{s2}) - \left[(z_o-d).b_a.f_{ad}.\left(\frac{z_o-d}{2}+d\right)\right] \\ & + \left[(d+t_f-z_o).b_a.f_{ad}.\left(\frac{d+t_f-z_o}{2}+z_o\right)\right] \\ & + \left[h_w.t_{w,eff}.f_{a,wd}.\left(d+\frac{h_a}{2}\right)\right] + \left[t_f.b_a.f_{ad}.\left(d+h_a-\frac{t_f}{2}\right)\right] \\ & + \left[t_{\varepsilon\nu\iota\sigma\chi}.b_{\varepsilon\nu\iota\sigma\chi}.f_{\varepsilon\nu\iota\sigma\chi.d}.\left(d+h_a+\frac{t_{\varepsilon\nu\iota\sigma\chi}}{2}\right)\right] \end{aligned} \quad (6.24)$$

4. Περίπτωση Δ: Ο Πλαστικός Ουδέτερος Άξονας βρίσκεται μέσα στην περιοχή του κορμού της σιδηροδοκού ($(d_{total}+t_{fo}) < z_o \leq (d_{total}+h_\alpha-t_{fu})$)



Εικόνα 6-19 Κατανομή ορθών τάσεων για την εύρεση αρνητικής πλαστικής ροπής αντοχής σε διατομή με δυνατότητα επιλογής δυο στρώσεων οπλισμού στην συμπαγή ή σύμμικτη πλάκα σκυροδέματος με χαλυβδόφυλλο και έλασμα ενίσχυσης. Ο πλαστικός ουδέτερος άξονας βρίσκεται εντός της περιοχής του κορμού της σιδηροδοκού

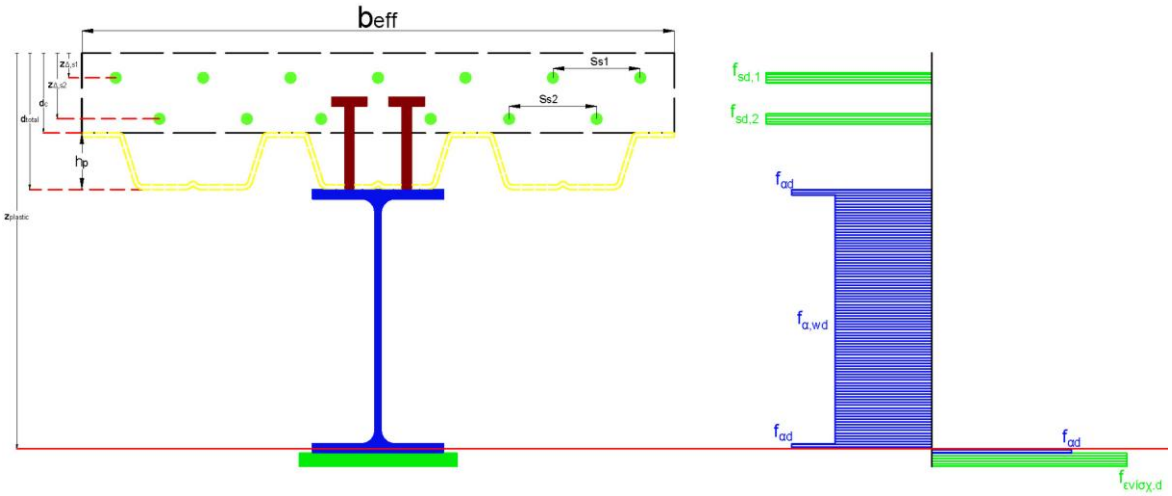
Η θέση του πλαστικού ουδέτερου άξονα ($z_{o,pl}^-$) ως προς την άνω στάθμη ίνας της πλάκας σκυροδέματος δίνεται από την πιο κάτω σχέση (6.25).

$$z_{o,pl,\Delta}^- = \frac{\begin{array}{c}\left[(d+t_f).t_{w,eff}.f_{a,wd}\right]-(A_{s1}.f_{sd,1})-(A_{s2}.f_{sd,2})\\ +\left[(d+t_f+h_w).t_{w,eff}.f_{a,wd}\right]+(t_{\varepsilon\nu\iota\sigma\chi}.b_{\varepsilon\nu\iota\sigma\chi}.f_{\varepsilon\nu\iota\sigma\chi.d})\end{array}}{2.t_{w,eff}.f_{a,wd}} \tag{6.25}$$

Η αρνητική πλαστική ροπή αντοχής ($M_{pl,Rd}^-$) της διατομής για την συγκεκριμένη περίπτωση δίνεται από την πιο κάτω σχέση (6.26).

$$\begin{aligned} M_{pl,Rd,\Delta}^- = {} & (-A_{s1}.f_{sd,1}.z_{s1})-(A_{s2}.f_{sd,2}.z_{s2})-\left[t_f.b_a.f_{ad}.\left(d+\frac{t_f}{2}\right)\right] \\ & -\left[(z_o-d-t_f).t_{w,eff}.f_{a,wd}.\left(\frac{z_o-d-t_f}{2}+t_f+d\right)\right] \\ & +\left[(d+t_f+h_w-z_o).t_{w,eff}.f_{a,wd}.\left(\frac{d+t_f+h_w-z_o}{2}+z_o\right)\right] \\ & +\left[t_f.b_a.f_{ad}.\left(d+h_a-\frac{t_f}{2}\right)\right] \\ & +\left[t_{\varepsilon\nu\iota\sigma\chi}.b_{\varepsilon\nu\iota\sigma\chi}.f_{\varepsilon\nu\iota\sigma\chi.d}.\left(d+h_a+\frac{t_{\varepsilon\nu\iota\sigma\chi}}{2}\right)\right] \end{aligned} \tag{6.26}$$

5. Περίπτωση Ε: Ο Πλαστικός Ουδέτερος Άξονας βρίσκεται μέσα στην περιοχή του κάτω πέλματος της σιδηροδοκού ($(d_{total}+h_{\alpha}-t_{fu}) < z_o \leq (d_{total}+h_{\alpha})$)



Εικόνα 6-20 Κατανομή ορθών τάσεων για την εύρεση αρνητικής πλαστικής ροπής αντοχής σε διατομή με δυνατότητα επιλογής δυο στρώσεων οπλισμού στην συμπαγή ή σύμμικτη πλάκα σκυροδέματος με χαλυβδόφυλλο και έλασμα ενίσχυσης. Ο πλαστικός ουδέτερος άξονας βρίσκεται εντός της περιοχής του κάτω πέλματος της σιδηροδοκού

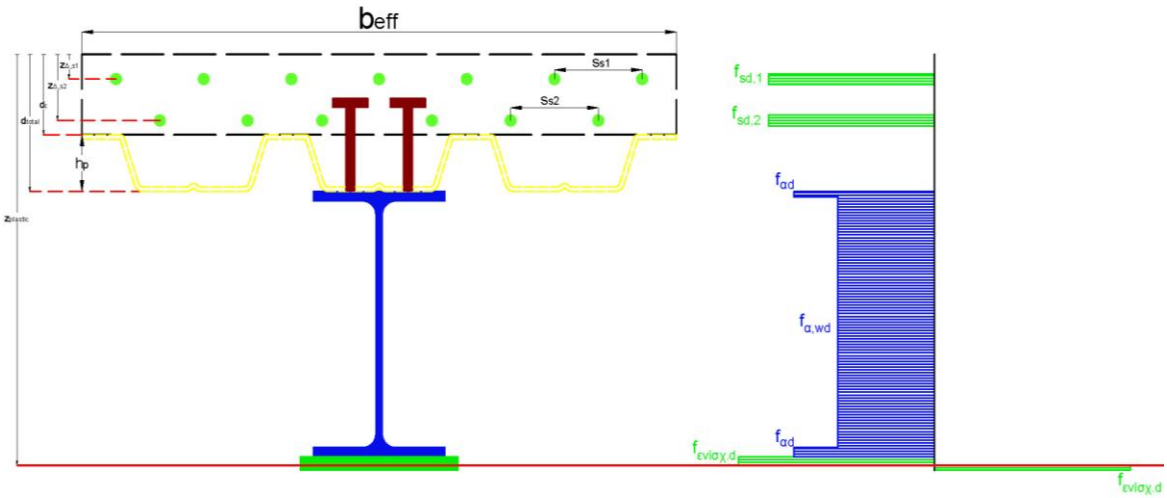
Η θέση του πλαστικού ουδέτερου άξονα ($z_{o,pl}^{-}$) ως προς την άνω στάθμη ίνας της πλάκας σκυροδέματος δίνεται από την πιο κάτω σχέση (6.27).

$$z_{o,pl,E}^{-} = \frac{\begin{array}{c}\left[\left(d+t_f+h_w\right).b_a.f_{ad}\right]-\left(A_{s1}.f_{sd,1}\right)-\left(A_{s2}.f_{sd,2}\right)-\left(t_f.b_a.f_{ad}\right)\\ -\left(t_{w,eff}.h_w.f_{a,wd}\right)+\left[(d+h_a).b_a.f_{ad}\right]+\left(t_{\varepsilon\nu\iota\sigma\chi}.b_{\varepsilon\nu\iota\sigma\chi}.f_{\varepsilon\nu\iota\sigma\chi.d}\right)\end{array}}{2.b_a.f_{ad}} \qquad (6.27)$$

Η αρνητική πλαστική ροπή αντοχής ($M_{pl,Rd}^{-}$) της διατομής για την συγκεκριμένη περίπτωση δίνεται από την πιο κάτω σχέση (6.28).

$$\begin{aligned} M_{pl,Rd,E}^{-} = &\left(-A_{s1}.f_{sd,1}.z_{s1}\right)-\left(A_{s2}.f_{sd,2}.z_{s2}\right)-\left[t_f.b_a.f_{ad}.\left(d+\frac{t_f}{2}\right)\right]\\ &-\left[t_{w,eff}.h_w.f_{a,wd}.\left(d+\frac{h_a}{2}\right)\right]\\ &-\left[\left(z_o-d-t_f-h_w\right).b_a.f_{ad}.\left(\frac{z_o-d-t_f-h_w}{2}+h_w+t_f+d\right)\right]\\ &+\left[(d+h_a-z_o).b_a.f_{ad}.\left(\frac{d+h_a-z_o}{2}+z_o\right)\right]\\ &+\left[t_{\varepsilon\nu\iota\sigma\chi}.b_{\varepsilon\nu\iota\sigma\chi}.f_{\varepsilon\nu\iota\sigma\chi.d}.\left(d+h_a+\frac{t_{\varepsilon\nu\iota\sigma\chi}}{2}\right)\right] \end{aligned} \qquad (6.28)$$

6. Περίπτωση ΣΤ: Ο Πλαστικός Ουδέτερος Άξονας βρίσκεται μέσα στην περιοχή του ελάσματος ενίσχυσης της σιδηροδοκού ($(d_{total}+h_{\alpha}) < z_o \leq (d_{total}+h_{\alpha}+h_{ενίσχυσης})$)



Εικόνα 6-21 Κατανομή ορθών τάσεων για την εύρεση αρνητικής πλαστικής ροπής αντοχής σε διατομή με δυνατότητα επιλογής δυο στρώσεων οπλισμού στην συμπαγή ή σύμμικτη πλάκα σκυροδέματος με χαλυβδόφυλλο και έλασμα ενίσχυσης. Ο πλαστικός ουδέτερος άξονας βρίσκεται εντός της περιοχής του ελάσματος ενίσχυσης της σιδηροδοκού

Η θέση του πλαστικού ουδέτερου άξονα ($z_{o,pl}^{-}$) ως προς την άνω στάθμη ίνας της πλάκας σκυροδέματος δίνεται από την πιο κάτω σχέση (6.29).

$$z_{o,pl,\Sigma T}^{-} = \frac{\begin{array}{c}\left[(d+h_a).b_{ενισχ}.f_{ενισχ}.d\right]-\left(A_{s1}.f_{sd,1}\right)-\left(A_{s2}.f_{sd,2}\right)-\left(2.t_f.b_a.f_{ad}\right)\\ -\left(t_{w,eff}.h_w.f_{a,wd}\right)+\left[\left(d+h_a+t_{ενισχ}.\right).b_{ενισχ}.f_{ενισχ}.d\right]\end{array}}{2.b_{ενισχ}.f_{ενισχ}.d} \quad (6.29)$$

Η αρνητική πλαστική ροπή αντοχής ($M_{pl,Rd}^{-}$) της διατομής για την συγκεκριμένη περίπτωση δίνεται από την πιο κάτω σχέση (6.30).

$$\begin{aligned} M_{pl,Rd,\Sigma T}^{-} = {} & \left(-A_{s1}.f_{sd,1}.z_{s1}\right)-\left(A_{s2}.f_{sd,2}.z_{s2}\right)-\left[t_f.b_a.f_{ad}.\left(d+\frac{t_f}{2}\right)\right] \\ & -\left[t_{w,eff}.h_w.f_{a,wd}.\left(d+\frac{h_a}{2}\right)\right]-\left[t_f.b_a.f_{ad}.\left(d+h_a-\frac{t_f}{2}\right)\right] \\ & -\left[(z_o-d-h_a).b_{ενισχ}.f_{ενισχ}.d.\left(\frac{z_o-d-h_a}{2}+d+h_a\right)\right] \\ & +\left[\left(d+h_a+t_{ενισχ}.-z_o\right).b_{ενισχ}.f_{ενισχ}.d.\left(\frac{d+h_a+t_{ενισχ}.-z_o}{2}\right.\right. \\ & \left.\left.+z_o\right)\right] \end{aligned} \quad (6.30)$$

όπου:

$f_{sd,1}$: Οριακή τιμή της τάσης του χάλυβα οπλισμού σκυροδέματος (άνω στρώση) $\left(f_{sd,1} = \frac{f_{y,s1}}{\gamma_s} = \frac{f_{y,s1}}{1,15}\right)$

$f_{sd,2}$: Οριακή τιμή της τάσης του χάλυβα οπλισμού σκυροδέματος (κάτω στρώση) $\left(f_{sd,2} = \frac{f_{y,s2}}{\gamma_s} = \frac{f_{y,s2}}{1,15}\right)$

$f_{\alpha d}$: Οριακή τιμή της τάσης δομικού χάλυβα της σιδηροδοκού $\left(f_{ad} = \frac{f_{y,a}}{\gamma_{MO}} = \frac{f_{y,a}}{1,0}\right)$

$f_{\alpha,wd}$: Οριακή τιμή της τάσης του δομικού χάλυβα στην περιοχή του κορμού της σιδηροδοκού $\left(f_{a,wd} = \frac{f_{y,aw}}{\gamma_{MO}} = \frac{f_{y,aw}}{1,0}\right)$

$f_{\varepsilon\nu\acute{\iota}\sigma\chi\upsilon\sigma\eta\varsigma,d}$: Οριακή τιμή της τάσης δομικού χάλυβα ελάσματος ενίσχυσης (εάν υπάρχει) $\left(f_{\varepsilon\nu\acute{\iota}\sigma\chi.,d} = \frac{f_{y,\varepsilon\nu\acute{\iota}\sigma\chi.}}{\gamma_{MO}} = \frac{f_{y,\varepsilon\nu\acute{\iota}\sigma\chi.}}{1,0}\right)$

b_{eff}: Συνεργαζόμενο πλάτος πλάκας σκυροδέματος

d: Συνολικό ύψος της πλάκας σκυροδέματος (d_{total})

d_{s1}: Διάμετρος οπλισμού σκυροδέματος της άνω στρώσης

d_{s2}: Διάμετρος οπλισμού σκυροδέματος της κάτω στρώσης

d_1: Κατακόρυφη απόσταση από την άνω παρειά της πλάκας σκυροδέματος μέχρι την άνω παρειά της άνω στρώσης οπλισμού σκυροδέματος

d_2: Κατακόρυφη απόσταση από την άνω παρειά της πλάκας σκυροδέματος μέχρι την άνω παρειά της κάτω στρώσης οπλισμού σκυροδέματος

b_{s1}: Ιδεατό πλάτος άνω στρώσης οπλισμού σκυροδέματος (για προγραμματιστικούς λόγους) $\left(b_{s1} = \frac{\pi.d_{s1}.n_{s1}}{4}\right)$

b_{s2}: Ιδεατό πλάτος κάτω στρώσης οπλισμού σκυροδέματος (για προγραμματιστικούς λόγους) $\left(b_{s2} = \frac{\pi.d_{s2}.n_{s2}}{4}\right)$

n_{s1}: Συνολική ποσότητα οπλισμού σκυροδέματος της άνω στρώσεως μέσα στο συνεργαζόμενο πλάτος της πλάκας σκυροδέματος (b_{eff})

n_{s2}: Συνολική ποσότητα οπλισμού σκυροδέματος της κάτω στρώσεως μέσα στο συνεργαζόμενο πλάτος της πλάκας σκυροδέματος (b_{eff})

z_{s1}: Κατακόρυφη επικάλυψη της άνω στρώσεως οπλισμού σκυροδέματος (μετρούμενο από την άνω παρειά της πλάκας σκυροδέματος μέχρι το Κ.Β. της άνω στρώσεως οπλισμού σκυροδέματος)

z_{s2}: Κατακόρυφη επικάλυψη της κάτω στρώσεως οπλισμού σκυροδέματος (μετρούμενο από την άνω παρειά της πλάκας σκυροδέματος μέχρι το Κ.Β. της κάτω στρώσεως οπλισμού σκυροδέματος)

h_α: Συνολικό ύψος της σιδηροδοκού

t_f: Πάχος των πελμάτων της σιδηροδοκού

b_α: Πλάτος των πελμάτων της σιδηροδοκού

t_w: Πάχος του κορμού της σιδηροδοκού

$t_{w,eff}$: Ισοδύναμο πάχος κορμού της σιδηροδοκού (για προγραμματιστικούς λόγους) $\left(t_{w,eff} = \frac{A_a - (2.t_f.b_a)}{h_a - (2.t_f)}\right)$

h_w: Ύψος του κορμού της σιδηροδοκού

$t_{ενίσχυσης}$: Πάχος του ελάσματος ενίσχυσης

$b_{ενίσχυσης}$: Πλάτος του ελάσματος ενίσχυσης

A_{s1}: Συνολικό εμβαδόν διατομής οπλισμού σκυροδέματος της άνω στρώσης

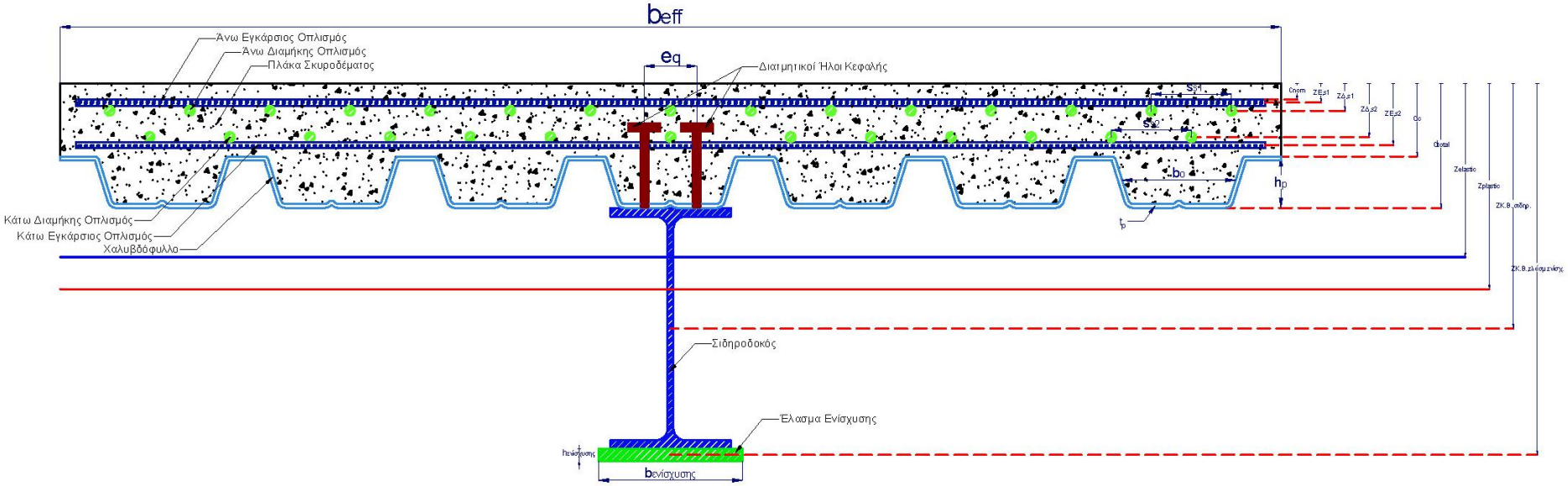
A_{s2}: Συνολικό εμβαδόν διατομής οπλισμού σκυροδέματος της κάτω στρώσης

A_α: Εμβαδόν διατομής της σιδηροδοκού

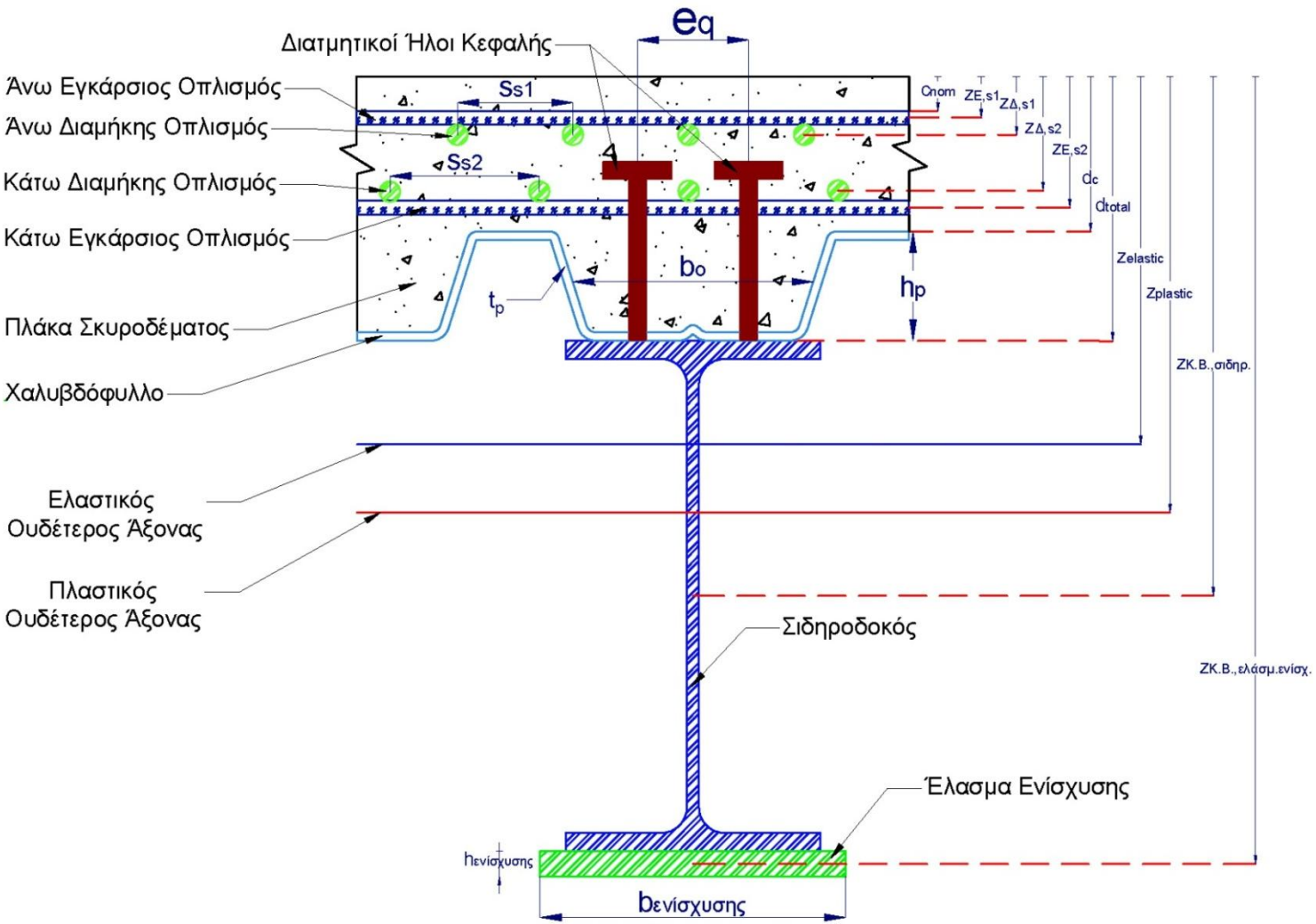
$A_{ενίσχυσης}$: Εμβαδόν διατομής του ελάσματος ενίσχυσης (εάν υπάρχει)

$z_{o,pl}^{-}$: Πλαστικός ουδέτερος άξονας της διατομής (για αρνητικές ροπές)

$M_{pl,Rd}^{-}$: Αρνητική πλαστική ροπή αντοχής της διατομής



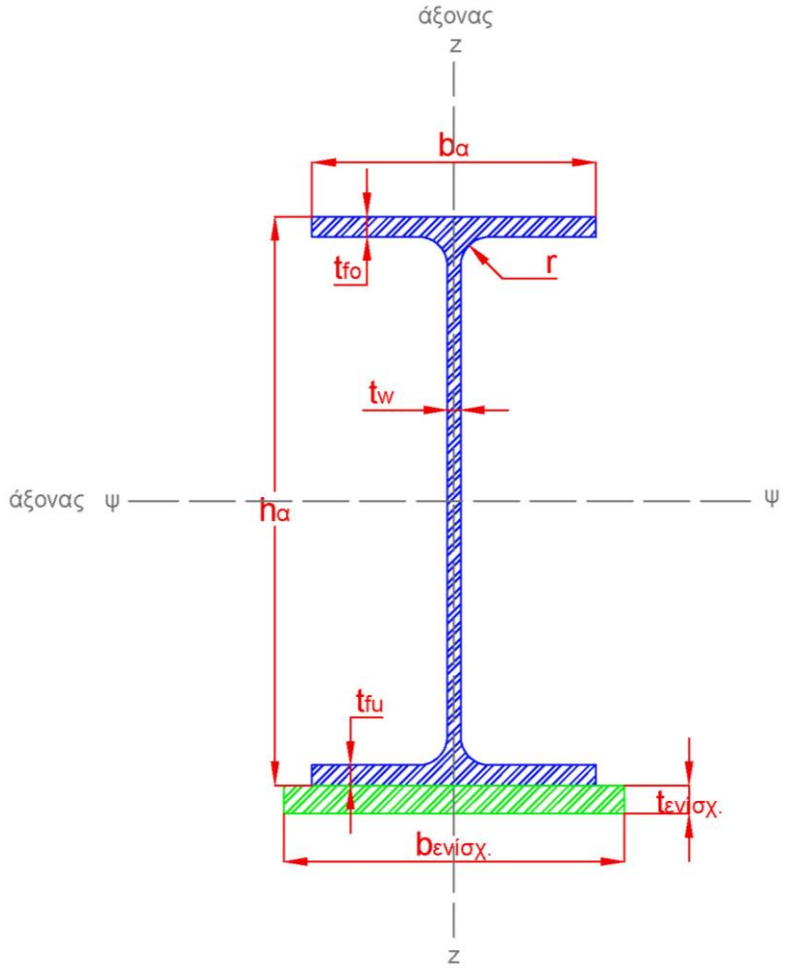
Εικόνα 6-22 Τυπική μορφή σύμμικτης δοκού με σύμμικτη πλάκα σκυροδέματος (χαλυβδόφυλλο παράλληλο στην διεύθυνση της σιδηροδοκού)



Εικόνα 6-23 Λεπτομέρεια σύμμικτης δοκού (ονοματολογίες των φερόντων στοιχείων και διαστάσεις)

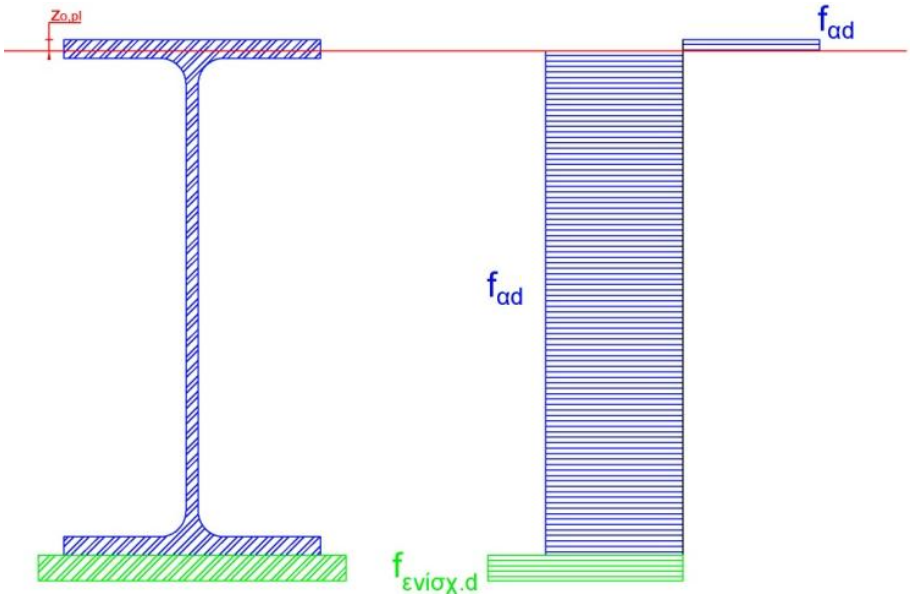
6.4.2 Πλαστική Ροπή Αντοχής Χαλύβδινης Διατομής ($M_{pl,\alpha,Rd}$)

Στην ενότητα αυτή αναλύονται οι σχέσεις υπολογισμού για την εύρεση του πλαστικού ουδέτερου άξονα ($z_{o,pl}$) και της πλαστικής ροπής αντοχής της χαλύβδινης διατομής (σιδηροδοκός + έλασμα ενίσχυσης (αν υπάρχει)),($M_{pl,\alpha,Rd}$), οι οποίες διακρίνονται σε 4 περιπτώσεις ανάλογα με την θέση που βρίσκεται ο πλαστικός ουδέτερος άξονας στην χαλύβδινη διατομή.



Εικόνα 6-24 Γεωμετρικά χαρακτηριστικά χαλύβδινης διατομής (σιδηροδοκός + έλασμα ενίσχυσης)

1. Περίπτωση Α: Ο Πλαστικός Ουδέτερος Άξονας βρίσκεται μέσα στην περιοχή του άνω πέλματος της σιδηροδοκού ($0 \leq z_o \leq (t_{fo})$)



Εικόνα 6-25 Κατανομή ορθών τάσεων για την εύρεση πλαστικής ροπής αντοχής της χαλύβδινης διατομής, όπου ο πλαστικός ουδέτερος άξονας βρίσκεται εντός του άνω πέλματος της σιδηροδοκού

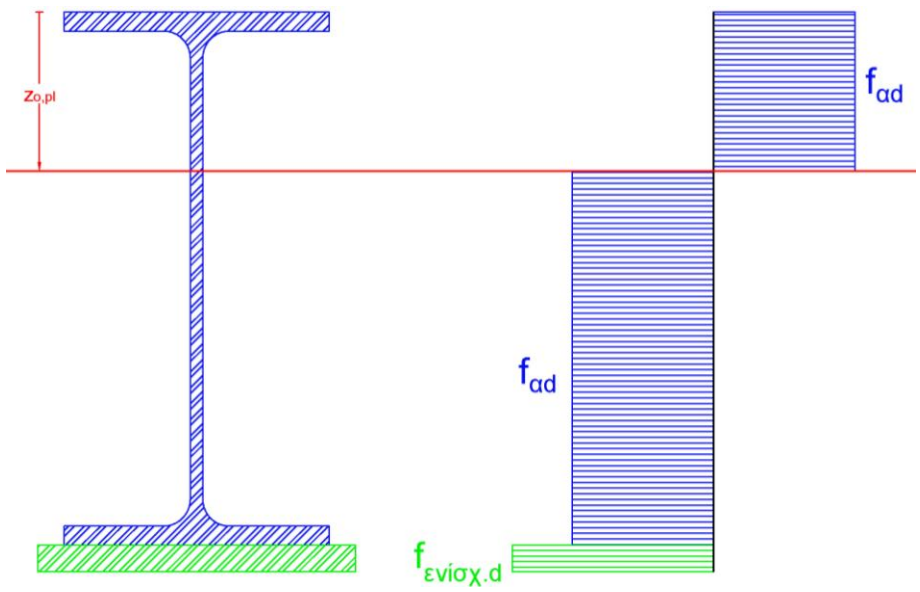
Η θέση του πλαστικού ουδέτερου άξονα ($z_{o,pl}$) ως προς την στάθμη της άνω ίνας του άνω πέλματος της σιδηροδοκού δίνεται από την πιο κάτω σχέση (6.31).

$$z_{o,pl,A} = \frac{(A_a . f_{ad}) + (A_{ενισχ\,.} . f_{ενισχ\,.d})}{2. b_a . f_{ad}} \tag{6.31}$$

Η πλαστική ροπή αντοχής ($M_{pl,\alpha,Rd}$) της χαλύβδινης διατομής για την συγκεκριμένη περίπτωση δίνεται από την πιο κάτω σχέση (6.32).

$$\begin{aligned} M_{pl,\alpha,Rd,A} = & \left(z_o . b_a . \frac{z_o}{2} . f_{ad}\right) + \left[\left(t_f - z_o\right). b_a . \frac{t_f - z_o}{2} . f_{ad}\right] \\ & + \left[t_{w,eff} . h_w . \left(\frac{h_w}{2} + t_f - z_o\right) . f_{ad}\right] \\ & + \left[t_f . b_a . \left(h_w + \frac{3. t_f}{2} - z_o\right) . f_{ad}\right] \\ & + \left[t_{ενισχ\,.} . b_{ενισχ\,.} . \left(\frac{t_{ενισχ\,.}}{2} + \left(2. t_f\right) + h_w - z_o\right) . f_{ενισχ\,.d}\right] \end{aligned} \tag{6.32}$$

2. Περίπτωση Β: Ο Πλαστικός Ουδέτερος Άξονας βρίσκεται εντός της περιοχή του κορμού της σιδηροδοκού ($t_{fo} < z_o \leq (h_\alpha - t_{fu})$)



Εικόνα 6-26 Κατανομή ορθών τάσεων για την εύρεση πλαστικής ροπής αντοχής της χαλύβδινης διατομής, όπου ο πλαστικός ουδέτερος άξονας βρίσκεται εντός του κορμού της σιδηροδοκού

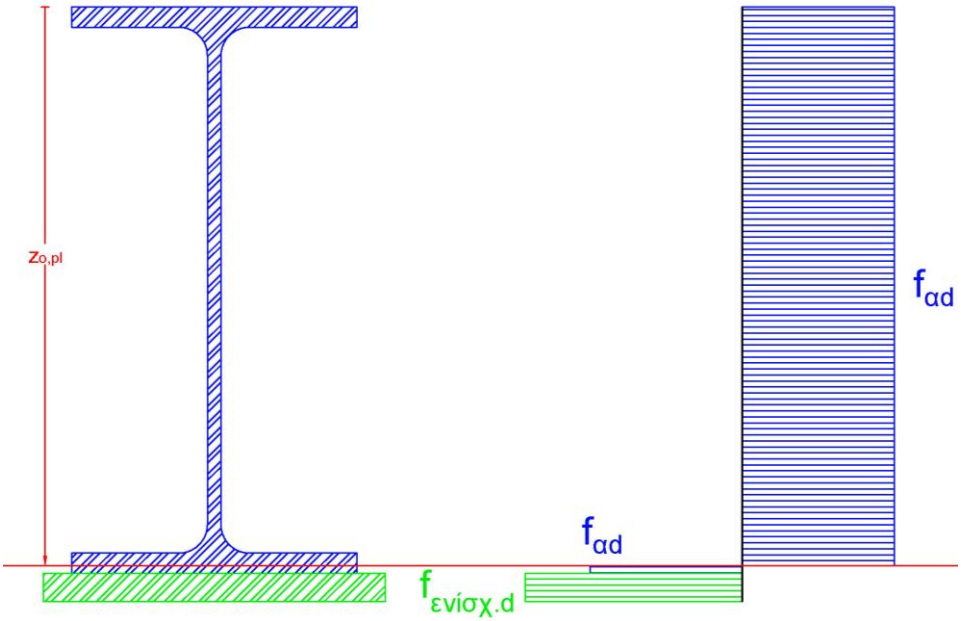
Η θέση του πλαστικού ουδέτερου άξονα ($z_{o,pl}$) ως προς την στάθμη της άνω ίνας του άνω πέλματος της σιδηροδοκού δίνεται από την πιο κάτω σχέση (6.33).

$$z_{o,pl,B} = \frac{(t_f . t_{w,eff} . f_{ad}) + [(t_f + h_w) . t_w . f_{ad}] + (A_{ενισχ} .. f_{ενισχ} .d)}{2 . t_{w,eff} . f_{ad}} \tag{6.33}$$

Η πλαστική ροπή αντοχής ($M_{pl,\alpha,Rd}$) της χαλύβδινης διατομής για την συγκεκριμένη περίπτωση δίνεται από την πιο κάτω σχέση (6.34).

$$\begin{aligned} M_{pl,\alpha,Rd,B} = & \left(b_a . t_f . \left(z_o - \frac{t_f}{2}\right) . f_{ad}\right) + \left[t_{w,eff} . \frac{(z_o - t_f)^2}{2} . f_{ad}\right] \\ & + \left[t_{w,eff} . \frac{(t_f + h_w - z_o)^2}{2} . f_{ad}\right] + \left[t_f . b_a . \left(h_a - z_o - \frac{t_f}{2}\right) . f_{ad}\right] \\ & + \left[t_{ενισχ} .. b_{ενισχ} .. \left(h_a + \frac{t_{ενισχ} .}{2} - z_o\right) . f_{ενισχ} .d\right] \end{aligned} \tag{6.34}$$

3. Περίπτωση Γ: Ο Πλαστικός Ουδέτερος Άξονας βρίσκεται εντός της περιοχή του κάτω πέλματος της σιδηροδοκού ($(h_\alpha - t_{fu}) < z_o \leq h_\alpha$)



Εικόνα 6-27 Κατανομή ορθών τάσεων για την εύρεση πλαστικής ροπής αντοχής της χαλύβδινης διατομής, όπου ο πλαστικός ουδέτερος άξονας βρίσκεται εντός της περιοχής του κάτω πέλματος της σιδηροδοκού

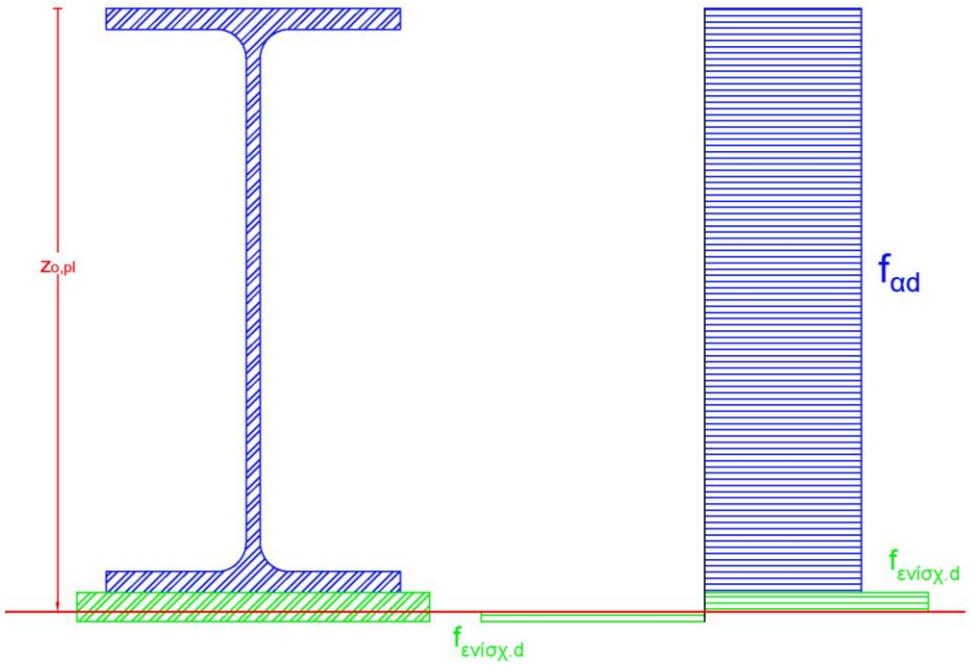
Η θέση του πλαστικού ουδέτερου άξονα ($z_{o,pl}$) ως προς την στάθμη της άνω ίνας του άνω πέλματος της σιδηροδοκού δίνεται από την πιο κάτω σχέση (6.35).

$$z_{o,pl,\Gamma} = \frac{(2.h_a.b_a.f_{ad}) + \left(A_{\varepsilon\nu\iota\sigma\chi\,.}.f_{\varepsilon\nu\iota\sigma\chi\,.d}\right) - (A_a.f_{ad})}{2.b_a.f_{ad}} \tag{6.35}$$

Η πλαστική ροπή αντοχής ($M_{pl,\alpha,Rd}$) της χαλύβδινης διατομής για την συγκεκριμένη περίπτωση δίνεται από την πιο κάτω σχέση (6.36).

$$\begin{aligned} M_{pl,\alpha,Rd,\Gamma} = & \left(b_a.t_f.\left(z_o - \frac{t_f}{2}\right).f_{ad}\right) + \left[t_{w,eff}.h_w\left(z_o - t_f - \frac{h_w}{2}\right).f_{ad}\right] \\ & + \left[b_a.\frac{\left(z_o - t_f - h_w\right)^2}{2}.f_{ad}\right] + \left[b_a.\frac{(h_a - z_o)^2}{2}.f_{ad}\right] \\ & + \left[A_{\varepsilon\nu\iota\sigma\chi\,.}.\left(h_a + \frac{t_{\varepsilon\nu\iota\sigma\chi\,.}}{2} - z_o\right).f_{\varepsilon\nu\iota\sigma\chi\,.d}\right] \end{aligned} \tag{6.36}$$

4. Περίπτωση Δ: Ο Πλαστικός Ουδέτερος Άξονας βρίσκεται μέσα στην περιοχή του ελάσματος ενίσχυσης της σιδηροδοκού ($h_\alpha < z_o \leq (h_\alpha + h_{ενίσχυσης})$)



Εικόνα 6-28 Κατανομή ορθών τάσεων για την εύρεση πλαστικής ροπής αντοχής της χαλύβδινης διατομής, όπου ο πλαστικός ουδέτερος άξονας βρίσκεται εντός της περιοχής του ελάσματος ενίσχυσης της σιδηροδοκού

Η θέση του πλαστικού ουδέτερου άξονα ($z_{o,pl}$) ως προς την στάθμη της άνω ίνας του άνω πέλματος της σιδηροδοκού δίνεται από την πιο κάτω σχέση (6.37).

$$z_{o,pl,\Delta} = \frac{\left(h_a . b_{ενισχ\ .} . f_{ενισχ\ .d}\right) + \left[\left(t_{ενισχ\ .} + h_a\right) . b_{ενισχ\ .} . f_{ενισχ\ .d}\right] - \left(A_a . f_{ad}\right)}{2 . b_{ενισχ\ .} . f_{ενισχ\ .d}} \qquad (6.37)$$

Η πλαστική ροπή αντοχής ($M_{pl,\alpha,Rd}$) της χαλύβδινης διατομής για την συγκεκριμένη περίπτωση δίνεται από την πιο κάτω σχέση (6.38).

$$\begin{aligned} M_{pl,\alpha,Rd,\Delta} = & \left(b_a . t_f . \left(z_o - \frac{t_f}{2}\right) . f_{ad}\right) + \left[t_{w,eff} . h_w \left(z_o - t_f - \frac{h_w}{2}\right) . f_{ad}\right] \\ & + \left[t_f . b_a . \left(z_o - \frac{3 . t_f}{2} - h_w\right) . f_{ad}\right] + \left[b_{ενισχ\ .} . \frac{(z_o - h_a)^2}{2} . f_{ενισχ\ .d}\right] \\ & + \left[b_{ενισχ\ .} . \frac{\left(h_a + t_{ενισχ\ .} - z_o\right)^2}{2} . f_{ενισχ\ .d}\right] \end{aligned} \qquad (6.38)$$

όπου:

$f_{\alpha d}$: Οριακή τιμή της τάσης δομικού χάλυβα της σιδηροδοκού $\left(f_{ad} = \frac{f_{y,a}}{\gamma_{MO}} = \frac{f_{y,a}}{1,0}\right)$

$f_{\varepsilon\nu\acute{\iota}\sigma\chi\upsilon\sigma\eta\varsigma,d}$: Οριακή τιμή της τάσης δομικού χάλυβα ελάσματος ενίσχυσης (εάν υπάρχει) $\left(f_{\varepsilon\nu\acute{\iota}\sigma\chi.,d} = \frac{f_{y,\varepsilon\nu\acute{\iota}\sigma\chi.}}{\gamma_{MO}} = \frac{f_{y,\varepsilon\nu\acute{\iota}\sigma\chi.}}{1,0}\right)$

h_α: Συνολικό ύψος της σιδηροδοκού

h_w: Ύψος του κορμού της σιδηροδοκού

b_α: Πλάτος των πελμάτων της σιδηροδοκού

r: Ακτίνα καμπυλότητας (τόξο συναρμογής πελμάτων με τον κορμό της σιδηροδοκού)

t_{fo}: Πάχος του άνω πέλματος της σιδηροδοκού ($t_f = t_{fo} = t_{fu}$)

t_{fu}: Πάχος του κάτω πέλματος της σιδηροδοκού ($t_f = t_{fo} = t_{fu}$)

t_w: Πάχος του κορμού της σιδηροδοκού

$t_{w,eff}$: Ισοδύναμο πάχος κορμού της σιδηροδοκού (για προγραμματιστικούς λόγους) $\left(t_{w,eff} = \frac{A_a - (2.t_f.b_a)}{h_a - (2.t_f)}\right)$

$t_{\varepsilon\nu\acute{\iota}\sigma\chi\upsilon\sigma\eta\varsigma}$: Πάχος του ελάσματος ενίσχυσης

$b_{\varepsilon\nu\acute{\iota}\sigma\chi\upsilon\sigma\eta\varsigma}$: Πλάτος του ελάσματος ενίσχυσης

A_α: Εμβαδόν διατομής της σιδηροδοκού

$A_{\varepsilon\nu\acute{\iota}\sigma\chi\upsilon\sigma\eta\varsigma}$: Εμβαδόν διατομής του ελάσματος ενίσχυσης (εάν υπάρχει)

$z_{o,pl}$: Πλαστικός ουδέτερος άξονας της χαλύβδινης διατομής (σιδηροδοκού + ελάσματος ενίσχυσης (αν υπάρχει))

$M_{pl,\alpha,Rd}$: Πλαστική ροπή αντοχής της χαλύβδινης διατομής (σιδηροδοκού + ελάσματος ενίσχυσης (αν υπάρχει))

6.4.3 Ελαστική Ροπή Αντοχής Σύμμικτης Δοκού

6.4.3.1 Γενικά

Όπως αναφέρθηκε και στην παράγραφο (6.1.1), στην ελαστική ανάλυση η κατανομή των εντατικών μεγεθών στα επιμέρους τμήματα της διατομής γίνεται ανάλογα με την δυσκαμψία τους (EI ή EA), συνεπώς στους υπολογισμούς υπεισέρχονται τα μέτρα ελαστικότητας των δυο υλικών, χάλυβα (E_α), σκυροδέματος (E_c) ή και ο λόγος αυτών.

$$n = \frac{E_\alpha}{E_c} \tag{6.39}$$

Ο λόγος «n» των μέτρων ελαστικότητας των υλικών εξαρτάται από την διάρκεια επιρροής των δράσεων (βραχυχρόνιες ή μακροχρόνιες συνθήκες φόρτισης). Συνεπώς ο λόγος αυτός δεν παραμένει σταθερός αλλά μεταβάλλεται με το χρόνο με αποτέλεσμα η τιμή του να διαφέρει σε βραχυχρόνιες και μακροχρόνιες συνθήκες φόρτισης. Η μεταβολής της τιμής του μέσα στον χρόνο έγκειται στο γεγονός ότι σε μακροχρόνιες συνθήκες φόρτισης το σκυρόδεμα υπόκειται σε ερπυστικές παραμορφώσεις (φαινόμενο ερπυσμού) με αποτέλεσμα το μέτρο ελαστικότητας του σκυροδέματος να υφίσταται μείωση. Λόγω αυτής της μείωσης που υφίσταται το μέτρο ελαστικότητας του σκυροδέματος οδηγεί σε μείωση της δυσκαμψίας του και επομένως μακροχρόνια έχουμε μια εσωτερική ανακατανομή της έντασης των φορτίων από το σκυρόδεμα προς το χάλυβα. Η μεταβολή της τιμής του μέτρου ελαστικότητας του σκυροδέματος λόγω των ρεολογικών φαινομένων (φαινόμενά ερπυσμού και συστολής ξήρανσης) θα εξεταστεί σε επόμενη ενότητα.

Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενη ενότητα, στις σύμμικτες κατασκευές η διατομή που παραλαμβάνει τα δρώντα εντατικά μεγέθη μεταβάλλεται κατά την διάρκεια της κατασκευής. Επομένως στην ελαστική ανάλυση ο έλεγχος σε φέρουσα ικανότητα της διατομής πραγματοποιείται σε όρους τάσεων, όπου οι τάσεις προστίθενται για διάφορες φάσεις κατασκευής στις οποίες οι διατομές μεταβάλλονται. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι επαλληλία μπορεί να γίνεται μόνο σε όρους τάσεων και ποτέ σε όρους εντατικών μεγεθών.

Έτσι λοιπόν το ζητούμενο στην ελαστική ανάλυση είναι η εύρεση των τάσεων μιας διατομής καταπονούμενης υπό αξονικό φορτίο (N_{Ed}) και καμπτική ροπή (M_{Ed}). Επαλληλίζοντας τις καθ' ύψος τάσεις της διατομής που προκύπτουν από τις διάφορες φάσεις κατασκευής, γίνεται ο σχετικός έλεγχος όπου θα πρέπει οι τάσεις σε κάθε ίνα καθ' ύψος της διατομής να μην υπερβαίνουν τις αντίστοιχες οριακές τάσεις των υλικών που τις αποτελούν όπως δίνονται από τις πιο κάτω ανισότητες.

Σκυρόδεμα: $$(-0{,}85.f_{cd}) \leq -\sigma_c \leq 0 \quad (6.40)$$

Οπλισμός Σκυροδέματος: $$|\sigma_s| \leq f_{sd} \quad (6.41)$$

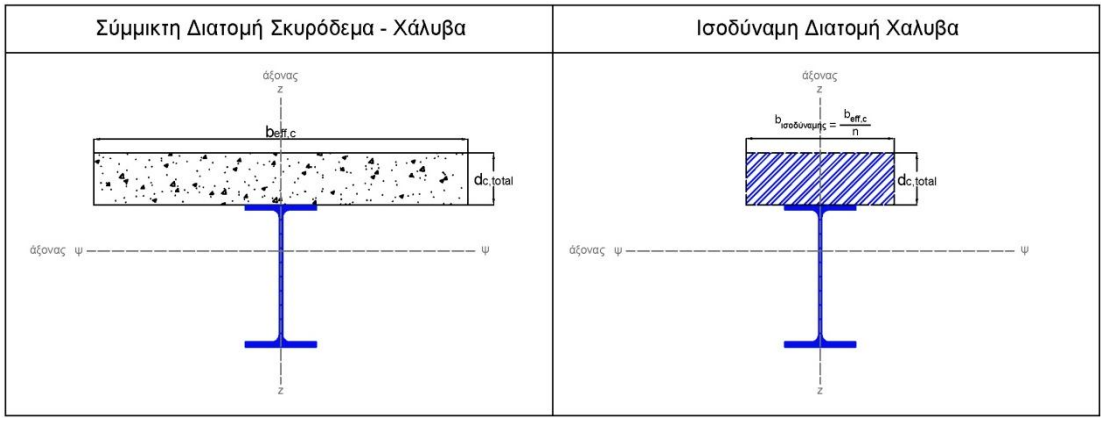
Δομικός Χάλυβας: $$|\sigma_a| \leq f_{ad} \quad (6.42)$$

Οι τάσεις καθ' ύψος της διατομής μπορούν να προσδιοριστούν με δυο μεθόδους, τη μέθοδο της ισοδύναμης διατομής και την μέθοδο των επιμέρους διατομών. Στην παρούσα διατομή θα αναφερθούμε στην μέθοδο της ισοδύναμης διατομής.

Σύμφωνα με την μέθοδο της ισοδύναμης διατομής, η σύμμικτη διατομή η οποία αποτελείται από διαφορετικά υλικά, για να μπορούμε να δουλέψουμε θα πρέπει να την μετατρέψουμε σε μια διατομή από ένα υλικό. Επομένως επιλέγουμε την σύμμικτη διατομή χάλυβα και σκυρόδεμα να την μετατρέψουμε σε μια ισοδύναμη διατομή αποτελούμενη μόνο από υλικό χάλυβα. Έτσι λοιπόν το εμβαδόν της διατομής που αποτελείται από υλικό σκυροδέματος, για να το μετατρέψουμε σε υλικό ισοδύναμου χάλυβα, μεταβάλλουμε (πειράζοντας) τις διαστάσεις του εμβαδού του σκυροδέματος, χρησιμοποιώντας τον λόγο «n» ο οποίος συσχετίζει τα μέτρα ελαστικότητας των δυο υλικών. Πιο συγκεκριμένα η διάσταση του εμβαδού σκυροδέματος την οποία μεταβάλουμε είναι στην εγκάρσια διεύθυνση δηλαδή το πλάτος και όχι το ύψος του εμβαδού σκυροδέματος έτσι ώστε να μην επηρεαστεί το ύψος της συνολικής διατομής καθώς θα δημιουργούσε προβλήματα στην εύρεση των αδρανειακών χαρακτηριστικών της διατομής που αφορούν την κάμψη περί τον οριζόντιο άξονα της διατομής (π.χ. θέση κέντρου βάρους και ουδέτερου άξονα, ροπή αντιστάσεως, ροπή αδρανείας περί τον οριζόντιο άξονα της διατομής). Συνεπώς το ύψος της μετασχηματισμένης διατομής παραμένει το ίδιο με το αρχικό ύψος της διατομής και κατά τον μετασχηματισμό σε ισοδύναμη διατομή μεταβάλουμε μόνο το πλάτος συμμετρικά του υλικού

σκυροδέματος. Έτσι λοιπόν η ισοδύναμη διατομή της σύμμικτης δοκού αποτελείται από τη διατομή της σιδηροδοκού, το έλασμα ενίσχυσης (εάν υπάρχει), τον οπλισμό σκυροδέματος και την ισοδύναμη διατομή σκυροδέματος.

Για την εύρεση της θετικής ($M_{el,Rd}^{+}$) και αρνητικής ($M_{el,Rd}^{-}$) ελαστικής ροπής αντοχής υπολογίζονται σε κάθε περίπτωση τα γεωμετρικά και αδρανειακά χαρακτηριστικά της διατομής καθώς και οι σχέσεις υπολογισμού των τάσεων καθ' ύψος της διατομής.



Εικόνα 6-29 Μετατροπή σύμμικτης διατομής από χάλυβα και σκυρόδεμα (αριστερή εικόνα) σε ισοδύναμη διατομή μόνο από υλικό χάλυβα (δεξιά εικόνα)

6.4.3.2 Θετική Ελαστική Ροπή Αντοχής ($M_{el,Rd}^{+}$)

Στην περίπτωση αυτή θετικών ροπών όπου η πλάκα σκυροδέματος βρίσκεται υπό θλίψη, το σκυρόδεμα είναι ενεργό και επομένως συμμετέχει στην παραλαβή θλιπτικών τάσεων. Συνεπώς ο υπολογισμός των γεωμετρικών και αδρανειακών χαρακτηριστικών αναφέρονται στην αρηγμάτωτη διατομή (σταδίου I). Θα πρέπει να σημειωθεί ότι για την περίπτωση αυτή θετικών ροπών στις πιο κάτω σχέσεις αγνοείται η συνεισφορά του οπλισμού σκυροδέματος και του χαλυβδόφυλλου.

Εμβαδόν ισοδύναμης διατομής:

$$A_e = A_a + \frac{A_c}{n} + A_{ενισχ}\ . \qquad (6.43)$$

Θέση ελαστικού ουδέτερου άξονα της ισοδύναμης διατομής:

$$z_{el}^{+} = \frac{(A_a . z_a) + \left(A_{\varepsilon\nu\iota\sigma\chi\,.} . z_{\varepsilon\nu\iota\sigma\chi\,.}\right) + \left(\frac{A_c}{n} . z_c\right)}{A_e} \tag{6.44}$$

Ροπή Αδρανείας (σταδίου Ι) αρηγμάτωτης διατομής:

$$\begin{aligned} I_{\psi\psi\,,I} = & \left[I_{a,o} + (A_a . (z_a - z_{el})^2)\right] \\ & + \left[I_{\varepsilon\nu\iota\sigma\chi\,.,o} \right. \\ & \left. + \left(A_{\varepsilon\nu\iota\sigma\chi\,.} . \left(z_{\varepsilon\nu\iota\sigma\chi\,.} - z_{el}\right)^2\right)\right] \\ & + \left[\frac{I_{c,o}}{n} + \left(\frac{A_c}{n} . (z_c - z_{el})^2\right)\right] \end{aligned} \tag{6.45}$$

Οι σχέσεις υπολογισμού των ελαστικών ροπών αντίστασης (W_i) της αρηγμάτωτης διατομής (σταδίου Ι) περιγράφονται πιο κάτω:

Κάτω πέλμα ελάσματος ενίσχυσης

$$W_{\varepsilon\nu\iota\sigma\chi\,.,u} = \frac{I_e}{d + h_a + h_{\varepsilon\nu\iota\sigma\chi\,.} - z_{el}} \tag{6.46}$$

Άνω πέλμα ελάσματος ενίσχυσης

$$W_{\varepsilon\nu\iota\sigma\chi\,.,o} = \frac{I_e}{d + h_a - z_{el}} \tag{6.47}$$

Κάτω πέλμα σιδηροδοκού

$$W_{a,u} = \frac{I_e}{d + h_a - z_{el}} \tag{6.48}$$

Άνω πέλμα σιδηροδοκού

$$W_{a,o} = \frac{I_e}{d - z_{el}} \tag{6.49}$$

Κάτω πέλμα πλάκας σκυροδέματος

$$W_{c,u} = \frac{I_e . n}{d_c - z_{el}} \tag{6.50}$$

Άνω πέλμα πλάκας σκυροδέματος

$$W_{c,o} = \frac{I_e . n}{z_{el}} \tag{6.51}$$

Οι σχέσεις υπολογισμού των τάσεων (σ_i) σε κάθε χαρακτηριστική ίνα της αρηγμάτωτης διατομής (σταδίου Ι) υπό την επίδραση αξονικού φορτίου (N_{Ed}) και καμπτικής ροπής (M_{Ed}) περιγράφονται πιο κάτω:

Κάτω πέλμα ελάσματος ενίσχυσης $$\sigma_{ενισχ.,u} = \frac{N_{Ed}}{A_e} + \frac{M_{Ed}}{W_{ενισχ.,u}} \quad (6.52)$$

Άνω πέλμα ελάσματος ενίσχυσης $$\sigma_{ενισχ.,o} = \frac{N_{Ed}}{A_e} + \frac{M_{Ed}}{W_{ενισχ.,o}} \quad (6.53)$$

Κάτω πέλμα σιδηροδοκού $$\sigma_{a,u} = \frac{N_{Ed}}{A_e} + \frac{M_{Ed}}{W_{a,u}} \quad (6.54)$$

Άνω πέλμα σιδηροδοκού $$\sigma_{a,o} = \frac{N_{Ed}}{A_e} + \frac{M_{Ed}}{W_{a,o}} \quad (6.55)$$

Κάτω πέλμα πλάκας σκυροδέματος $$\sigma_{c,u} = \frac{N_{Ed}}{A_e.n} + \frac{M_{Ed}}{W_{c,u}} \quad (6.56)$$

Άνω πέλμα πλάκας σκυροδέματος $$\sigma_{c,o} = \frac{N_{Ed}}{A_e.n} + \frac{M_{Ed}}{W_{c,o}} \quad (6.57)$$

όπου:

n: Ο λόγος μέτρων ελαστικότητας των δυο υλικών όπως δίνεται από την σχέση (6.39)

A_e: Εμβαδόν της ισοδύναμης διατομής

A_c: Εμβαδόν διατομής σκυροδέματος

$A_α$: Εμβαδόν διατομής σιδηροδοκού

$A_{ενίσχ.}$: Εμβαδόν διατομής ελάσματος ενίσχυσης

z_{el}: Θέση Ελαστικού ουδέτερου άξονα της ισοδύναμης διατομής

z_c: Θέση κεντροβαρικού άξονας της διατομής σκυροδέματος

$z_α$: Θέση κεντροβαρικού άξονας της διατομής σιδηροδοκού

$z_{ενίσχ.}$: Θέση κεντροβαρικού άξονα της διατομής ελάσματος ενίσχυσης

$I_{ψψ,I}$: Ροπή αδρανείας αρηγμάτωτης διατομής (σταδίου I)

$I_{c,o}$: Ροπή αδρανείας σκυροδέματος ως προς το κέντρο βάρους του

$I_{α,o}$: Ροπή αδρανείας σιδηροδοκού ως προς το κέντρο βάρους της

$I_{ενισχ.,o}$: Ροπή αδρανείας ελάσματος ενίσχυσης ως προς το κέντρο βάρους του

W_i: Ελαστική ροπή αντίστασης αρηγμάτωτης διατομής (σταδίου Ι) σε χαρακτηριστικές θέσεις ινών καθ' ύψος της διατομής

$σ_i$: Τάσεις σε χαρακτηριστικές θέσεις ινών καθ ύψος της αρηγμάτωτης διατομής (σταδίου Ι)

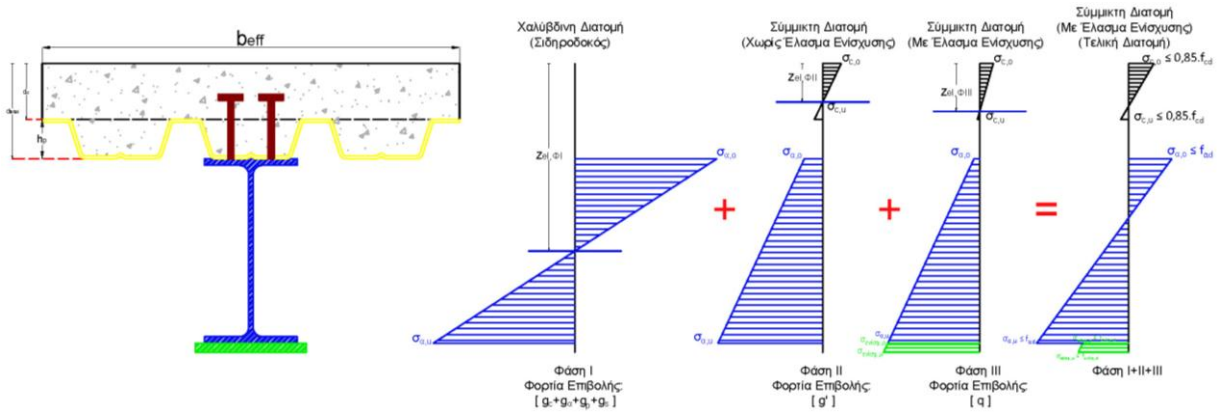
Για τον υπολογισμό της μέγιστης θετικής ελαστικής ροπής αντοχής ($M_{el,Rd}^{+}$) (για N_{Ed}=0) λαμβάνεται ως η μικρότερη τιμή από τον πολλαπλασιασμό των οριακών τάσεων των υλικών επί των αντίστοιχων ροπών αντιστάσεων τους (W_i) όπως δίνεται από την πιο κάτω σχέση (6.58).

$$M_{el,Rd}^{+} = min\begin{Bmatrix} (0{,}85.f_{cd}.W_{c,o})\,;(0{,}85.f_{cd}.W_{c,u})\,;(f_{ad}.W_{a,o})\,; \\ (f_{ad}.W_{a,u})\,;(f_{ενίσχ.,d}.W_{ενισχ.,o})\,;\ (f_{ενίσχ.,d}.W_{ενισχ.,u}) \end{Bmatrix} \quad (6.58)$$

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως στην ελαστική ανάλυση ο έλεγχος σε φέρουσα ικανότητα της διατομής πραγματοποιείται σε όρους τάσεων καθώς η διατομή μεταβάλλεται κατά την διάρκεια της κατασκευής. Επομένως η επαλληλία των διάφορων φάσεων κατασκευής μπορεί να γίνει μόνο σε όρους τάσεων (ποτέ δεν επαλληλίζουμε εντατικά μεγέθη).

Στις πιο κάτω εικόνες (Εικόνα 6-30) και (Εικόνα 6-31) δίνονται αντιπροσωπευτικά τα διαγράμματα των τάσεων που ασκούνται στις αντίστοιχες διατομές για τις διάφορες φάσεις κατασκευής υπό την επίδραση θετικής ροπής (M_{Ed}^{+}). Στην (Εικόνα 6-30) παρουσιάζεται η περίπτωση όπου κατά την φάση σκυροδέτησης δεν γίνεται χρήση βοηθητικών υποστυλωμάτων και έτσι η παραλαβή των μόνιμων φορτίων (ίδιο βάρος του νωπού σκυροδέματος, της σιδηροδοκού, χαλυβδόφυλλου, οπλισμών σκυροδέματος) παραλαμβάνονται από την διατομή της σιδηροδοκού (Φάση Ι).

Ακολούθως αφού το σκυρόδεμα έχει σκληρυνθεί και έχει αναπτύξει τις απαιτούμενες αντοχές του, η διατομή γίνεται πλέον σύμμικτη και ακολούθως γίνεται η αφαίρεση των βοηθητικών υποστυλωμάτων. Επομένως τα επερχόμενα φορτία (λοιπά μόνιμα (g') και κινητά (q) φορτία) παραλαμβάνονται μέσω της σύμμικτης λειτουργίας της δοκού. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι στην περίπτωση όπου αποφασίζεται μελλοντική ενίσχυση της υφιστάμενης σύμμικτης διατομής με έλασμα ενίσχυσης, τότε τα λοιπά μόνιμα φορτία ασκούνται στην σύμμικτη διατομή χωρίς το έλασμα ενίσχυσης (Φάση ΙΙ) και αφού έχει ολοκληρωθεί η επέμβαση και ενίσχυσης της διατομής τότε τα κινητά φορτία θα παραληφθούν από την σύμμικτη διατομή με το έλασμα ενίσχυσης. Τέλος επαλληλίζουμε τις τάσεις που προκύπτουν από κάθε φάση και παίρνουμε το συνολικό διάγραμμα των τάσεων (Φάση Ι+ΙΙ+ΙΙΙ), στο οποίο γίνεται έλεγχος οι συνολικές τάσεις που προκύπτουν να μην ξεπερνούν τις οριακές τάσεις των αντίστοιχων υλικών σε κάθε ίνα της διατομής.

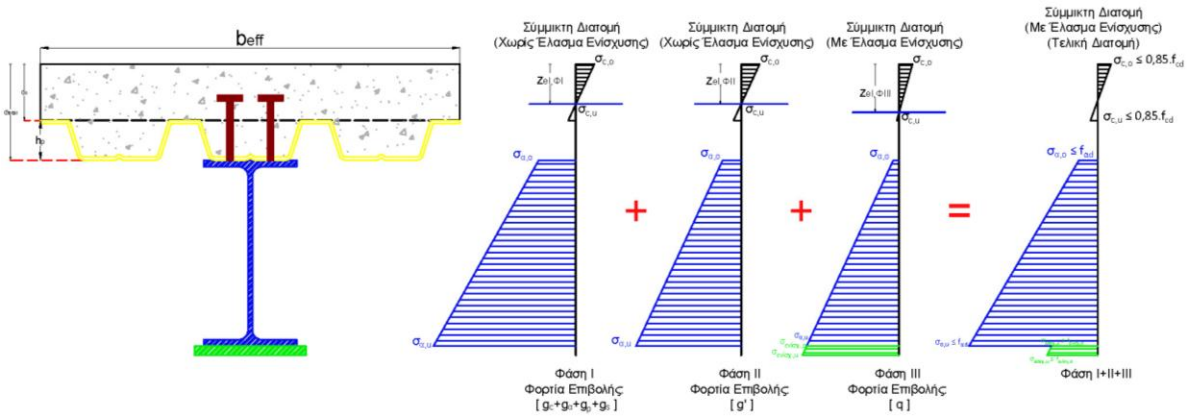


Εικόνα 6-30 Διάγραμμα τάσεων ελαστικής ανάλυσης (θετικών ροπών) για κάθε φάση κατασκευής για την περίπτωση όπου δεν γίνεται χρήση βοηθητικών υποστυλωμάτων κατά την φάση σκυροδέτησης

Στην (Εικόνα 6-31) παρουσιάζεται η περίπτωση όπου κατά την φάση σκυροδέτησης γίνεται χρήση βοηθητικών υποστυλωμάτων και έτσι η παραλαβή των μόνιμων φορτίων (ίδιο βάρος του νωπού σκυροδέματος, της σιδηροδοκού, χαλυβδόφυλλου, οπλισμών σκυροδέματος) παραλαμβάνονται προσωρινά από βοηθητικά υποστυλώματα. Όταν το σκυρόδεμα έχει σκληρυνθεί και έχει αναπτύξεις τις απαιτούμενες αντοχές του, η διατομή γίνεται πλέον σύμμικτη και ακολούθως γίνεται η αφαίρεση των βοηθητικών

υποστυλωμάτων. Επομένως η παραλαβή των μόνιμων, λοιπόν μόνιμων και κινητών φορτίων γίνεται από την σύμμικτη λειτουργία της διατομής. Όπως και πριν θα πρέπει να σημειώσουμε ότι στην περίπτωση όπου αποφασίζεται η μελλοντική ενίσχυση της υφιστάμενης σύμμικτης διατομής με την χρήση ελάσματος ενίσχυσης, τότε τα μόνιμα και τα λοιπά μόνιμα φορτία παραλαμβάνονται από την μη ενισχυμένη σύμμικτη διατομή (Φάση I + Φάση II) ενώ τα κινητά φορτία παραλαμβάνονται από την πλέον ενισχυμένη σύμμικτη διατομή (Φάση III).

Τέλος επαλληλίζουμε τις τάσεις που προκύπτουν από κάθε φάση και παίρνουμε το συνολικό διάγραμμα των τάσεων (Φάση I+II+III), στο οποίο γίνεται έλεγχος οι συνολικές τάσεις που προκύπτουν να μην ξεπερνούν τις οριακές τάσεις των αντίστοιχων υλικών σε κάθε ίνα της διατομής.



Εικόνα 6-31 Διάγραμμα τάσεων ελαστικής ανάλυσης (θετικών ροπών) για κάθε φάση κατασκευής για την περίπτωση όπου γίνεται χρήση βοηθητικών υποστυλωμάτων κατά την φάση σκυροδέτησης

6.4.3.3 Αρνητική Ελαστική Ροπή Αντοχής ($M_{el,Rd}^{-}$)

Στην περίπτωση αυτή αρνητικών ροπών στην οποία η πλάκα σκυροδέματος βρίσκεται υπό εφελκυσμό, το σκυρόδεμα θεωρείται ρηγματομένο με αποτέλεσμα να μην συμμετέχει στην παραλαβή εφελκυστικών τάσεων. Συνεπώς ο υπολογισμός των γεωμετρικών και αδρανειακών χαρακτηριστικών αναφέρονται στην ρηγματωμένη διατομή (σταδίου II). Θα πρέπει να σημειωθεί ότι για την περίπτωση αυτή αρνητικών

ροπών στις πιο κάτω σχέσεις αγνοείται η συνεισφορά της πλάκας σκυροδέματος (όπως αναφερθήκαμε προηγουμένως, λόγω ρηγμάτωσης) αλλά επίσης αγνοείται και η συνεισφορά του χαλυβδόφυλλου ως συνελκόμενος εφελκυόμενος οπλισμός. Συνεπώς η παραλαβή αρνητικών ροπών γίνεται από τα χαλύβδινα στοιχεία, την διατομή της σιδηροδοκού, των οπλισμών σκυροδέματος και του ενισχυτικού ελάσματος (εάν υπάρχει).

Εμβαδόν διατομής:

$$A_e = A_a + A_{ενισχ\,.} + A_{s1} + A_{s2} \tag{6.59}$$

Θέση ελαστικού ουδέτερου άξονα της διατομής:

$$z_{el}^{-} = \frac{(A_a . z_a) + \left(A_{ενισχ\,.} . z_{ενισχ\,.}\right) + (A_{s1} . z_{s1}) + (A_{s2} . z_{s2})}{A_e} \tag{6.60}$$

Ροπή Αδρανείας (σταδίου ΙΙ) ρηγματωμένης διατομής:

$$\begin{aligned} I_{\psi\psi,II} = {} & \left[I_{a,o} + (A_a . (z_a - z_{el})^2)\right] \\ & + \Big[I_{ενισχ\,.,o} \\ & + \left(A_{ενισχ\,.} . \left(z_{ενισχ\,.} - z_{el}\right)^2\right)\Big] \\ & + \left[\left(n_{s1} . I_{s1,O}\right) + (A_{s1} . (z_{s1} - z_{el})^2)\right] \\ & + \left[\left(n_{s2} . I_{s2,O}\right) + (A_{s2} . (z_{s2} - z_{el})^2)\right] \end{aligned} \tag{6.61}$$

Οι σχέσεις υπολογισμού των ελαστικών ροπών αντίστασης (W_i) της ρηγματωμένης διατομής (σταδίου ΙΙ) περιγράφονται πιο κάτω:

Κάτω πέλμα ελάσματος ενίσχυσης

$$W_{ενισχ\,.,u} = \frac{I_e}{z_{el} - d + h_a + h_{ενισχ\,.}} \tag{6.62}$$

Άνω πέλμα ελάσματος ενίσχυσης

$$W_{ενισχ\,.,o} = \frac{I_e}{z_{el} - d + h_a} \tag{6.63}$$

Κάτω πέλμα σιδηροδοκού

$$W_{a,u} = \frac{I_e}{z_{el} - d + h_a} \tag{6.64}$$

Άνω πέλμα σιδηροδοκού

$$W_{a,o} = \frac{I_e}{z_{el} - d} \tag{6.65}$$

Κάτω οπλισμού σκυροδέματος $$W_{s2} = \frac{I_e}{z_{el} - z_{s2}} \quad (6.66)$$

Άνω οπλισμού σκυροδέματος $$W_{s1} = \frac{I_e}{z_{el} - z_{s1}} \quad (6.67)$$

Οι σχέσεις υπολογισμού των τάσεων (σ_i) σε κάθε χαρακτηριστική ίνα της ρηγματωμένης διατομής (σταδίου ΙΙ) υπό την επίδραση αξονικού φορτίου (N_{Ed}) και καμπτικής ροπής (M_{Ed}) περιγράφονται πιο κάτω:

Κάτω πέλμα ελάσματος ενίσχυσης $$\sigma_{ενισχ.,u} = \frac{N_{Ed}}{A_e} + \frac{M_{Ed}}{W_{ενισχ.,u}} \quad (6.68)$$

Άνω πέλμα ελάσματος ενίσχυσης $$\sigma_{ενισχ.,o} = \frac{N_{Ed}}{A_e} + \frac{M_{Ed}}{W_{ενισχ.,o}} \quad (6.69)$$

Κάτω πέλμα σιδηροδοκού $$\sigma_{a,u} = \frac{N_{Ed}}{A_e} + \frac{M_{Ed}}{W_{a,u}} \quad (6.70)$$

Άνω πέλμα σιδηροδοκού $$\sigma_{a,o} = \frac{N_{Ed}}{A_e} + \frac{M_{Ed}}{W_{a,o}} \quad (6.71)$$

Κάτω οπλισμός σκυροδέματος $$\sigma_{s2} = \frac{N_{Ed}}{A_e} + \frac{M_{Ed}}{W_{s2}} \quad (6.72)$$

Άνω οπλισμός σκυροδέματος $$\sigma_{s1} = \frac{N_{Ed}}{A_e} + \frac{M_{Ed}}{W_{s1}} \quad (6.73)$$

όπου:

A_e: Εμβαδόν της διατομής

A_{s1}: Εμβαδόν διατομής της άνω στρώσης οπλισμού σκυροδέματος

A_{s2}: Εμβαδόν διατομής της κάτω στρώσης οπλισμού σκυροδέματος

$A_α$: Εμβαδόν διατομής σιδηροδοκού

$A_{ενίσχ.}$: Εμβαδόν διατομής ελάσματος ενίσχυσης

z_{el}: Θέση Ελαστικού ουδέτερου άξονα της διατομής

z_{s1}: Θέση κεντροβαρικού άξονας της άνω στρώσης οπλισμού σκυροδέματος

z_{s2}: Θέση κεντροβαρικού άξονας της κάτω στρώσης οπλισμού σκυροδέματος

z_{α}: Θέση κεντροβαρικού άξονας της διατομής σιδηροδοκού

$z_{ενίσχ.}$: Θέση κεντροβαρικού άξονα της διατομής ελάσματος ενίσχυσης

n_{s1}: Πλήθος των οπλισμών σκυροδέματος της άνω στρώσης

n_{s2}: Πλήθος των οπλισμών σκυροδέματος της κάτω στρώσης

$I_{ψψ,II}$: Ροπή αδρανείας ρηγματωμένης διατομής (σταδίου ΙΙ)

$I_{s1,o}$: Ροπή αδρανείας (του ενός) άνω οπλισμού σκυροδέματος ως προς το κέντρο βάρους του

$I_{s2,o}$: Ροπή αδρανείας (του ενός) κάτω οπλισμού σκυροδέματος ως προς το κέντρο βάρους του

$I_{\alpha,o}$: Ροπή αδρανείας σιδηροδοκού ως προς το κέντρο βάρους της

$I_{ενισχ.,o}$: Ροπή αδρανείας ελάσματος ενίσχυσης ως προς το κέντρο βάρους του

W_i: Ελαστική ροπή αντίστασης ρηγματωμένης διατομής (σταδίου ΙΙ) σε χαρακτηριστικές θέσεις ινών καθ’ ύψος της διατομής

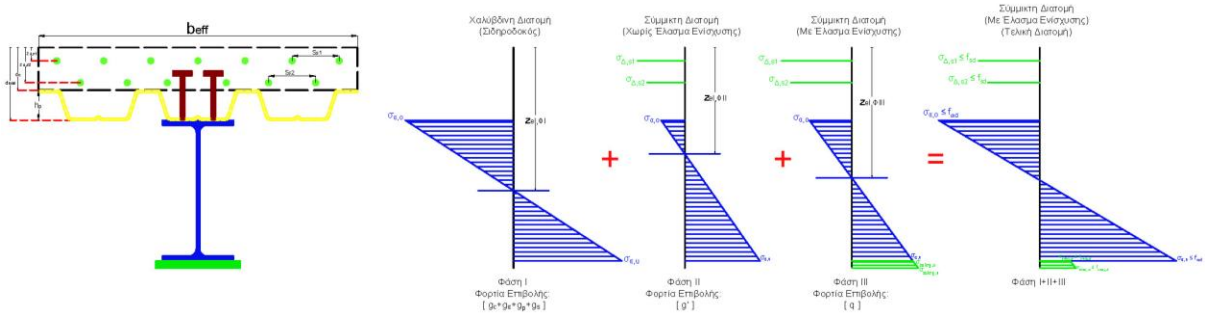
$σ_i$: Τάσεις σε χαρακτηριστικές θέσεις ινών καθ ύψος της ρηγματωμένης διατομής (σταδίου ΙΙ)

Για τον υπολογισμό της μέγιστης αρνητικής ελαστικής ροπής αντοχής ($M_{el,Rd}^{-}$) (για N_{Ed}=0) λαμβάνεται ως η μικρότερη τιμή από τον πολλαπλασιασμό των οριακών τάσεων των υλικών επί των αντίστοιχων ροπών αντιστάσεων τους (W_i) όπως δίνεται από την πιο κάτω σχέση (6.74).

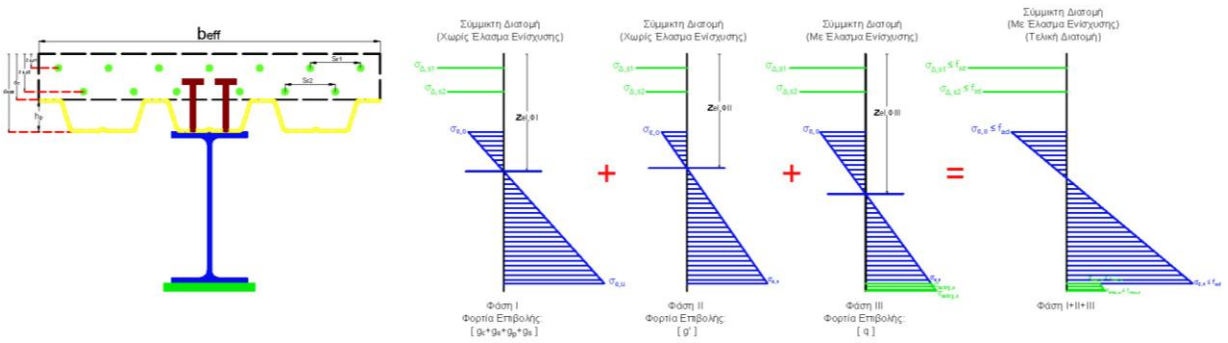
$$M_{el,Rd}^{-} = min\left\{\begin{matrix}(f_{sd}.W_{s1})\,;(f_{sd}.W_{s2})\,;(f_{ad}.W_{a,o})\,;\\(f_{ad}.W_{a,u})\,;(f_{\varepsilon\nu\acute{\iota}\sigma\chi\,.,d}.W_{\varepsilon\nu\iota\sigma\chi\,.,o})\,;\,(f_{\varepsilon\nu\acute{\iota}\sigma\chi\,.,d}.W_{\varepsilon\nu\iota\sigma\chi\,.,u})\end{matrix}\right\} \quad (6.74)$$

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως στην ελαστική ανάλυση ο έλεγχος σε φέρουσα ικανότητα της διατομής πραγματοποιείται σε όρους τάσεων καθώς η διατομή μεταβάλλεται κατά την διάρκεια της κατασκευής. Επομένως η επαλληλία των διάφορων φάσεων κατασκευής μπορεί να γίνει μόνο σε όρους τάσεων (ποτέ δεν επαλληλίζουμε εντατικά μεγέθη).

Στις πιο κάτω εικόνες (Εικόνα 6-32) και (Εικόνα 6-33) δίνονται αντιπροσωπευτικά τα διαγράμματα των τάσεων που ασκούνται στις αντίστοιχες διατομές για τις διάφορες φάσεις κατασκευής υπό την επίδραση αρνητικής ροπής (M_{Ed}^{-}). Στην δε (Εικόνα 6-32) τα διαγράμματα τάσεων για τις διάφορες φάσεις κατασκευής αναφέρονται στην περίπτωση όπου η σιδηροδοκός δεν υποστυλώνεται κατά την φάση σκυροδέτησης με την χρήση βοηθητικών υποστυλωμάτων (ικριωμάτων) ενώ η (Εικόνα 6-33) περιγράφει την περίπτωση όπου η σιδηροδοκός υποστυλώνεται κατά την φάση σκυροδέτησης.



Εικόνα 6-32 Διάγραμμα τάσεων ελαστικής ανάλυσης (αρνητικών ροπών) για κάθε φάση κατασκευής για την περίπτωση όπου δεν γίνεται χρήση βοηθητικών υποστυλωμάτων κατά την φάση σκυροδέτησης



Εικόνα 6-33 Διάγραμμα τάσεων ελαστικής ανάλυσης (αρνητικών ροπών) για κάθε φάση κατασκευής για την περίπτωση όπου γίνεται χρήση βοηθητικών υποστυλωμάτων κατά την φάση σκυροδέτησης

6.4.4 Επιρροές λόγω χρόνιων παραμορφώσεων

6.4.4.1 Ερπυσμός

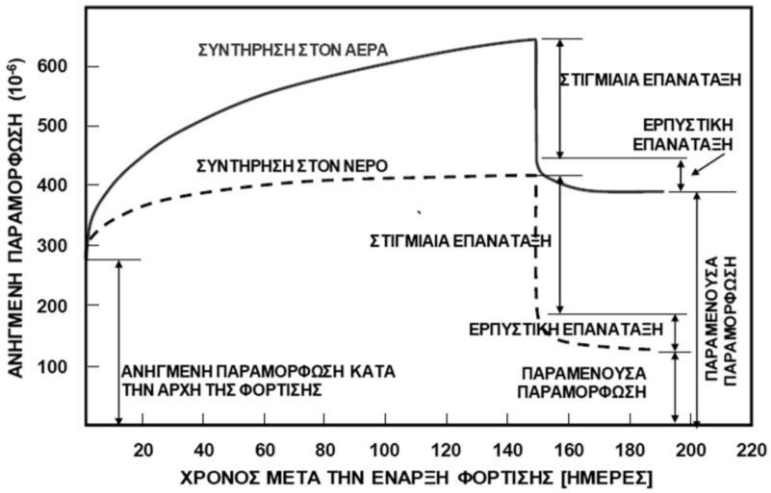
6.4.4.1.1 Γενικά

Οι ιδιότητες του σκυροδέματος δεν παραμένουν σταθερές αλλά μεταβάλλονται με το χρόνο παρατηρώντας αύξηση στην αντοχή του αλλά και στην παραμορφωσιμότητα του μέσα στο χρόνο.

Ο ερπυσμός είναι το φαινόμενο κατά το οποίο οι παραμορφώσεις του σκυροδέματος αυξάνονται υπό σταθερή τάση. Δηλαδή αν επιβάλλουμε σε ένα δοκίμιο σκυροδέματος σταθερό φορτίο χωρίς να το μεταβάλουμε μέσα στο χρόνο, θα παρατηρήσουμε σταδιακή αύξηση της παραμόρφωσης του σκυροδέματος μέσα στο χρόνο. Ο ερπυσμός οφείλεται κυρίως στην μετακίνηση αδέσμευτων μορίων ύδατος από θέσεις υψηλής σε θέσεις χαμηλότερης πίεσης. Η ερπυστική συμπεριφορά του σκυροδέματος εξαρτάται κυρίως από την ηλικία ενάρξεως της φόρτισης, την διάρκεια της, το μέγεθος του στοιχείου, την σχετική υγρασία του περιβάλλοντος, τον τύπο του τσιμέντου, την αντοχή, την πυκνότητα και την σύνθεση (κοκκομετρία) του σκυροδέματος. Οι ερπυστικές παραμορφώσεις του σκυροδέματος είναι σημαντικές καθώς μπορούν να φθάσουν το τετραπλάσιο έως και πενταπλάσιο των ελαστικών παραμορφώσεων και επομένως δεν θα μπορούσε να τις αγνοήσουμε. Μέτρα τα οποία μπορούν να ληφθούν

υπόψη για την μείωση των ερπυστικών παραμορφώσεων είναι το όσο το δυνατό αργότερο ξεκαλούπωμα ώστε να έχει αποκτήσει μεγαλύτερη αντοχή το σκυρόδεμα, την όσο δυνατό καθυστέρηση επιβολής του φορτίου ή επιβολής προέντασης (στις γέφυρες), συντήρηση του σκυροδέματος αμέσως μετά την διάστρωση του εξασφαλίζοντας συνθήκες υψηλής υγρασίας μέσω της χρήσης κάλυψης των επιφανειών του σκυροδέματος με υγρές λινάτσες ή και εμποτισμό του σκυροδέματος με νερό ανά τακτά χρονικά διαστήματα, ιδιαίτερα τις θερινές περιόδους όπου επικρατούν υψηλές θερμοκρασίες.

Η ερπυστική συμπεριφορά του σκυροδέματος προκαλεί μείωση στην δυσκαμψία των σύμμικτων διατομών με την πάροδο του χρόνου. Η μείωση λοιπόν της δυσκαμψίας των αρηγμάτωτων διατομών από $EI_I(t_0)$ σε $EI_I(t_1)$ λόγω αυτής της ερπυστικής συμπεριφοράς μεταξύ των χρόνων t_0 και t_1, προκαλεί πρωτογενείς επιρροές στις οποίες παρατηρείται αύξηση των βελών στον φορέα καθώς και ανακατανομή των τάσεων από το σκυρόδεμα στο χάλυβα (σιδηροδοκό) με την πάροδο του χρόνου. Οι πρωτογενείς επιρροές λόγω ερπυσμού δεν προκαλούν ανάπτυξη εντατικών μεγεθών, συνεπώς οι πρωτογενείς επιρροές τις συναντάμε σε ισοστατικούς φορείς (π.χ. αμφιέρειστες δοκούς). Αντίθετα στους υπερστατικούς φορείς (π.χ. συνεχείς δοκοί) λόγω της παρεμπόδισης υλοποίησης των πρόσθετων παραμορφώσεων οι οποίες προκύπτουν από ερπυσμό, δημιουργείται καταναγκασμός με αποτέλεσμα την ανάπτυξη πρόσθετων εντατικών μεγεθών. Έτσι έχουμε τις δευτερογενείς επιρροές λόγω ερπυσμού οι οποίες προκαλούν αυτές τις πρόσθετες δευτερογενείς ροπές, με αποτέλεσμα την ανακατανομή των ροπών με αύξηση των αρνητικών ροπών στα στηρίγματα και την μείωση των θετικών ροπών στα ανοίγματα συνεχής δοκού. Πέραν από την ανακατανομή που υφίσταται το διάγραμμα των ροπών, επηρεάζεται συνάμα και το διάγραμμα τεμνουσών με την επιπλέον ανάπτυξη πρόσθετων τεμνουσών δυνάμεων και άρα πρόσθετης διαμήκης διατμητικής δύναμης στην διεπιφάνεια σκυροδέματος και σιδηροδοκού.



Εικόνα 6-34 Τυπικό διάγραμμα ανηγμένων παραμορφώσεων συναρτήσει του χρόνου [ε=f(t)] στο οποίο περιγράφεται το φαινόμενο του ερπυσμού, (Αθανάσιος Χ. Τριανταφύλλου, 2013)

6.4.4.1.2 Σχέσεις υπολογισμού για το φαινόμενο του ερπυσμού

Παρακάτω δίνονται οι σχέσεις υπολογισμού για τον προσδιορισμό του φαινομένου του ερπυσμού όπως αναφέρονται από τον EN 1994-1-1 §5.4.2.2 και τον EN 1992-1-1 §3.1.4

φ(t) είναι ο συντελεστής ερπυσμού συναρτήσει του χρόνου t:

$$\varphi_t = \varphi(t, t_0) = \varphi_0 . \beta_c(t, t_0) \tag{6.75}$$

ϕ_0 είναι η βασική τιμή του συντελεστή ερπυσμού:

$$\varphi_0 = \varphi_{RH} . \beta(f_{cm}) . \beta(t_0) \tag{6.76}$$

ϕ_{RH} είναι ο συντελεστής που εκφράζει την επιρροή της σχετικής υγρασίας RH[%]:

$$\varphi_{RH} = 1 + \frac{1 - \frac{RH}{100}}{0{,}1 . \sqrt[3]{h_0}} \qquad \gamma\iota\alpha\ f_{cm} \leq 35MPa \tag{6.77}$$

$$\varphi_{RH} = \left[1 + \left(\frac{1 - \frac{RH}{100}}{0{,}1 . \sqrt[3]{h_0}} . a_1\right)\right] . a_2 \quad \gamma\iota\alpha\ f_{cm} > 35MPa \tag{6.78}$$

όπου RH[%] είναι το ποσοστό [%] της σχετικής υγρασίας του περιβάλλοντος η οποία λαμβάνεται για το εσωτερικό και εξωτερικό των κτιρίων ίση με 70%.

$\beta(f_{cm})$ είναι ο συντελεστής που εκφράζει την επιρροή της μέσης αντοχής του σκυροδέματος στις 28 ημέρες, όπου f_{cm} [MPa]:

$$\beta(f_{cm}) = \frac{16,8}{\sqrt{f_{cm}}} \tag{6.79}$$

$\beta(t_0)$ είναι συντελεστής που εκφράζει την επιρροή της ηλικίας του σκυροδέματος κατά την επιβολή της φόρτισης:

$$\beta(t_0) = \frac{1}{0,1 + t_0^{0,2}} \tag{6.80}$$

h_0 είναι το ιδεατό πάχος του στοιχείου σε [mm]:

$$h_0 = \frac{2.A_c}{u} \tag{6.81}$$

όπου:

Ac: Γεωμετρικό εμβαδόν διατομής της πλάκας σκυροδέματος (προσοχή ο υπολογισμός γίνεται με βάση τις γεωμετρικές διαστάσεις του στοιχείου)

u: Περίμετρος της διατομής του σκυροδέματος η οποία βρίσκεται σε επαφή με την ατμόσφαιρα (ομοίως υπολογίζεται με βάση τις γεωμετρικές διαστάσεις του στοιχείου)

$\beta_c(t,t_0)$ είναι συντελεστής που εκφράζει την χρονική εξέλιξη του ερπυσμού μετά τη φόρτιση:

$$\beta_c(t,t_0) = \left[\frac{(t - t_0)}{\beta_H + t - t_0}\right]^{0,3} \tag{6.82}$$

όπου:

t: είναι η ηλικία του σκυροδέματος κατά την εξεταζόμενη χρονική στιγμή (σε ημέρες)

t_0: είναι η ηλικία που έχει το σκυρόδεμα την στιγμή επιβολής της φόρτισης (σε ημέρες)

$$\beta_H = [1,5.[1 + (0,012.RH)^{18}].h_o] + 250 \leq 1500 \qquad για\ f_{cm} \leq 35MPa \tag{6.83}$$

$$\beta_H = [1,5.[1 + (0,012.RH)^{18}].h_o] + (250.a_3) \leq 1500.a_3 \qquad για\ f_{cm} > 35MPa \tag{6.84}$$

$$a_1 = \left(\frac{35}{f_{cm}}\right)^{0,7}, a_2 = \left(\frac{35}{f_{cm}}\right)^{0,2}, a_3 = \left(\frac{35}{f_{cm}}\right)^{0,5} \quad (6.85$$

Ο ερπυσμός του σκυροδέματος λαμβάνεται υπόψη στην ανάλυση (ελαστική ανάλυση), μέσω του συντελεστή μετατροπής σκυροδέματος – χάλυβα «n». Για βραχυχρόνιες φορτίσεις ο λόγος αυτός υπολογίζεται από την σχέση (6.86),

$$n_0 = \frac{E_a}{E_{cm}} \quad (6.86)$$

ενώ στην περίπτωση υπολογισμού μακροχρόνιων φορτίσεων όπου έχουμε ανάπτυξη και εξέλιξη ερπυστικών φαινομένων, ο συντελεστής αυτός μεταβάλλεται και δίνεται από την σχέση (6.87),

$$n_L = n_0.[1 + (\psi_L.\varphi_t)] \quad (6.87)$$

όπου οι συντελεστές ψ_L δίνονται από τον πιο κάτω (Πίνακας 6-11) ενώ ο συντελεστής ερπυσμού ϕ_t ο οποίος μεταβάλλεται με το χρόνο υπολογίζεται μέσω της εξίσωσης (6.75).

Συμβολισμός	**Περιγραφή δράσεων**	**Τιμή**
P(ermanent)	Μόνιμες δράσεις (π.χ. ίδια βάρη, προένταση) σταθερής τιμής στο χρόνο	ψ_P = 1,10
S(hrincage)	Δευτερογενείς επιρροές συστολής ξήρανσης και ερπυσμού	ψ_S = 0,55
PT	Επιβαλλόμενες παραμορφώσεις (Δράσεις καταναγκασμού μεταβαλλόμενης, λόγω ερπυσμού, τιμής στο χρόνο, όπως π.χ. υποχώρηση στηρίξεων για επιβολή προέντασης)	ψ_{PT} = 1,50

Πίνακας 6-11 Τιμές συντελεστών ψ_L για την σχέση υπολογισμού (6.87)

Ως τελικός χρόνος για τον ερπυσμό λαμβάνεται $t = t_\infty$ = 30000 ημέρες, ο οποίος αντιστοιχεί σε διάρκεια ζωής 100 έτη (χρονικός ορίζοντας με βάση τον οποίο γίνεται ο σχεδιασμός (γεφυρών)). Θα πρέπει να σημειώσουμε ότι το φαινόμενο του ερπυσμού επηρεάζεται μόνο από τα μόνιμα και οιονεί μόνιμα φορτία, την προένταση και τη συστολή ξήρανσης και όχι από φορτία μικρής διαρκείας (π.χ. ωφέλιμα (κινητά) φορτία, άνεμος, θερμοκρασία, φορτία κυκλοφορίας κ.λπ.). Στην περίπτωση κτιριακών έργων η

επιρροή του ερπυσμού επιτρέπεται να λαμβάνεται προσεγγιστικά σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 4 (EN 1994-1-1 §5.4.2.2), όπου η τιμή του λόγου «n» τόσο για μακροχρόνιες όσο και για βραχυχρόνιες φορτίσεις μπορεί να λαμβάνεται ίσος με $n = \frac{E_a}{\frac{E_{cm}}{2}}$, (δηλαδή με ενεργό μέτρο ελαστικότητας $E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{2}$), εφόσον δεν πρόκειται για κτίρια αποθηκών ή κτίρια με προεντεταμένα στοιχεία και εφόσον ικανοποιείται σε όλους τους ορόφους η ανίσωση ($\alpha_{cr} \geq 10$) όπου α_{cr} είναι ο συντελεστής με τον οποίο η φόρτιση σχεδιασμού θα έπρεπε να αυξηθεί ώστε να προκαλέσει ελαστική αστάθεια.

Τέλος στην περίπτωση υπερστατικών φορέων όπου αναπτύσσονται δευτερογενής επιρροές λόγω ερπυσμού, λαμβάνονται υπόψη στην ανάλυση μέσω επιβολής μιας ισοδύναμης διαφοράς θερμοκρασίας (ψυχρότερη η άνω ίνα και θερμότερη η κάτω ίνα σκυροδέματος) κατά την καθολική ανάλυση μέσω της σχέσης (6.88).

$$\Delta T = \frac{M}{E_a} \cdot \frac{h}{a_t} \cdot \left(\frac{1}{I_I(t_1)} - \frac{1}{I_I(t_0)} \right) \tag{6.88}$$

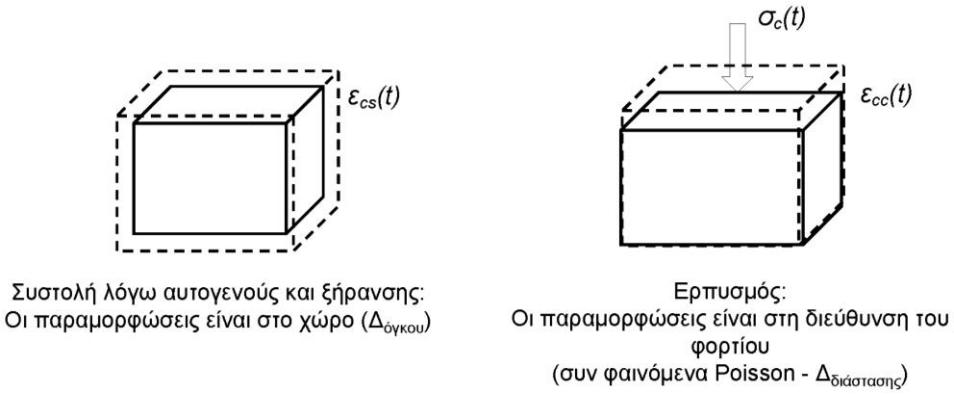
Είναι προφανές ότι η σχέση (6.88) διαφορά θερμοκρασίας επιβάλλεται μόνο στις περιοχές αρηγμάτωτων διατομών και όχι στις ρηγματωμένες θέσεις της συνεχής δοκού.

6.4.4.2 Συστολή σκυροδέματος λόγω αυτογενούς συστολής και συστολή ξήρανσης

6.4.4.2.1 Γενικά

Στην προηγούμενη παράγραφο αναφερθήκαμε στην συρρίκνωση που υφίσταται το σκυρόδεμα λόγω ερπυστικών παραμορφώσεων υπό την επιβολή σταθερού φορτίου. Στην παρούσα παράγραφο θα αναφερθούμε στην συρρίκνωση του σκυροδέματος η οποία οφείλεται στην αυτογενής συστολή (χημική συστολή) και στην συστολή ξήρανσης του σκυροδέματος, από ποιους παράγοντες εξαρτώνται και πως αυτές θα τις ποσοτικοποιήσουμε και θα τις ενσωματώσουμε στην ανάλυση.

Τόσο η αυτογενής συστολή όσο και η συστολή ξήρανσης πραγματοποιούνται χωρίς την επίδραση εξωτερικού φορτίου σε αντιδιαστολή με το φαινόμενο του ερπυσμού όπου η γενεσιουργός αιτία για την χρονική εξέλιξη και αύξηση των παραμορφώσεων είναι η επιβολή ενός σταθερού φορτιού συναρτήσει του χρόνου. Επίσης η βράχυνση που υπόκειται το σκυρόδεμα στην περίπτωση του ερπυσμού γίνεται στην διεύθυνση επιβολής του εξωτερικού φορτίου ενώ στην περίπτωση συστολής λόγω αυτογενούς και ξηράνσεως, η παραμόρφωση πραγματοποιείται και στις 3 διαστάσεις του στοιχείου σκυροδέματος (τριαξονική ογκομετρική παραμόρφωση), (βλέπε Εικόνα 6-35).

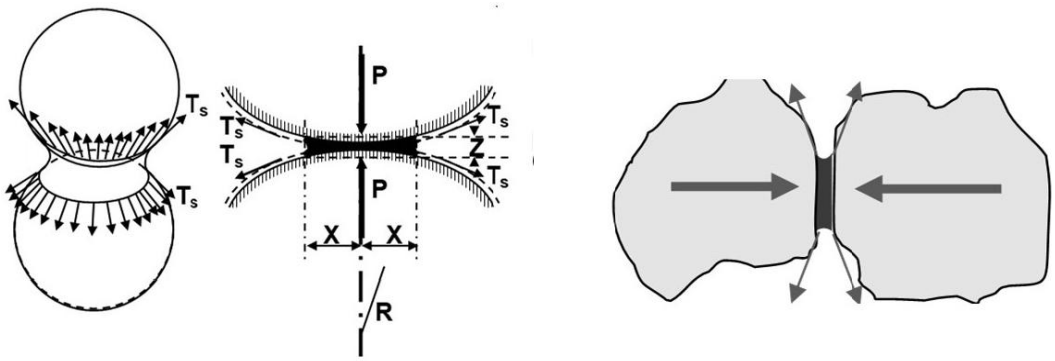


Εικόνα 6-35 Συστολική παραμόρφωση στοιχείου σκυροδέματος για την περίπτωση συστολής λόγω αυτογενούς και ξήρανσης (αριστερή εικόνα), καθώς και από φαινόμενα ερπυσμού (δεξιά εικόνα)

Η μείωση του όγκου του σκυροδέματος στην περίπτωση αυτογενούς συστολής (ή χημική συστολής), οφείλεται στις αντιδράσεις ενυδάτωσης τσιμέντου και νερού. Πιο συγκεκριμένα η ανάμιξη του τσιμέντου με το νερό αρχίζει την μεταξύ τους χημική αντίδραση (αντίδραση ενυδάτωσης), όπου το τσιμέντο δεσμεύει, καταναλώνει συγκεκριμένη ποσότητα νερού με την οποία αντιδράει χημικά παράγοντας τα προϊόντα ενυδάτωσης (τα προϊόντα που δημιουργούνται από το αποτέλεσμα της χημικής αντίδρασης τσιμέντου και νερού). Έτσι η αυτογενής συρρίκνωσης του σκυροδέματος οφείλεται στο γεγονός ότι ο τελικός όγκος των προϊόντων ενυδάτωσης από το αποτέλεσμα της χημικής αντίδρασης τσιμέντου και νερού είναι μικρότερος από τον αρχικό όγκο που είχε το τσιμέντο και το νερό πριν την αντίδραση τους. Η αυτογενής συστολή εξαρτάται κυρίως από την ποσότητα, τον τύπο του τσιμέντου στο μίγμα και

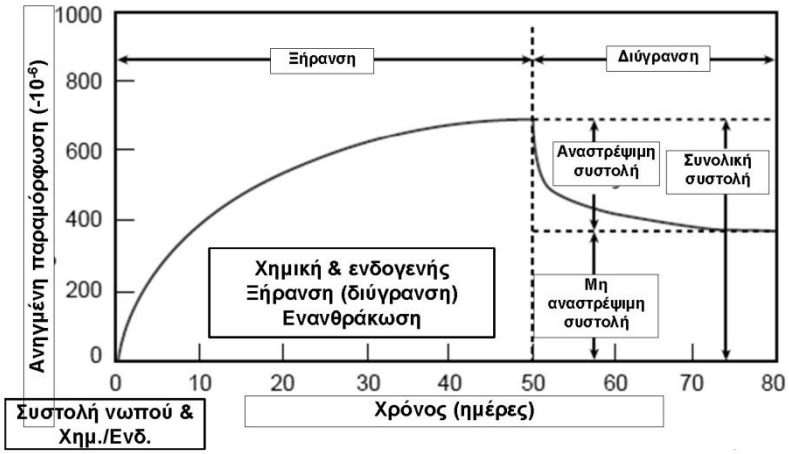
από τον λόγο νερού/τσιμέντο (N/T) καθώς ο τσιμεντοπολτός είναι αυτός που συστέλλεται και προκαλεί την συστολή σε αυτή την περίπτωση. Η συρρίκνωση του σκυροδέματος λόγω αυτογενούς συστολής είναι συνήθως μικρή για συνήθης σκυροδέματα και σημαντικότερη σε σκυροδέματα μεγαλύτερης αντοχής. Συνεπώς η αυτογενής συστολή αγνοείται στις κτιριακές σύμμικτες κατασκευές καλύπτεται όμως στην περίπτωση γεφυροποιίας. Σε αντίθεση με την συστολή ξήρανσης η οποία εξελίσσεται αργά και ολοκληρώνεται μετά από αρκετά χρόνια, η αυτογενής συστολή αναπτύσσεται κατά της πρώτες ημέρες αμέσως μετά την σκυροδέτηση και ολοκληρώνεται μετά από μερικούς μήνες (όταν ολοκληρωθούν οι αντιδράσεις ενυδάτωσης του τσιμέντου).

Η συρρίκνωση του σκυροδέματος για την περίπτωση συστολής ξήρανσης οφείλεται στα ελεύθερα μόρια νερού τα οποία βρίσκονται μέσα στις τριχοειδής πόρους του σκυροδέματος και δεν είναι χημικά συνδεδεμένα με το τσιμέντο (νερό το οποίο δεν συμμετείχε στις αντιδράσεις ενυδάτωσης), τα οποία εξωθούνται σιγά-σιγά με την πάροδο του χρόνου μέσω του πορώδους από το εσωτερικό του σκυροδέματος προς το εξωτερικό περιβάλλον, με αποτέλεσμα οι κόκκοι των στερεών συστατικών δηλαδή οι στερεοί σχηματισμοί των κρυστάλλων του σκυροδέματος (στερεός σκελετός), να έλκονται όλο και περισσότερο μεταξύ τους (να πλησιάζουν όλο και πιο κοντά ο ένας με τον άλλο) υπό την επιρροή των ελκτικών δυνάμεων μοριακών δεσμών τύπου Van der Waals.



Εικόνα 6-36 Δυνάμεις επιφανειακής τάσης στους μηνίσκους και στα τριχοειδή του σκυροδέματος λόγω συστολής ξήρανσης, (Αθανάσιος Χ. Τριανταφύλλου, 2013)

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την συστολή ξήρανσης του σκυροδέματος είναι η σχετική υγρασία του περιβάλλοντος [RH(%)], η χρονική ηλικία τερματισμού της συντήρησης του σκυροδέματος (t_s), διαστάσεις του στοιχείου, η αντοχή σκυροδέματος (f_{ck}), ο τύπος του τσιμέντου και η σύνθεση του σκυροδέματος (κοκκομετρία, λόγος νερού προς τσιμέντο N/T). Στην πιο κάτω εικόνα δίνεται ένα τυπικό διάγραμμα ανηγμένων παραμορφώσεων του σκυροδέματος συναρτήσει του χρόνου λόγω αυτογενούς συστολής και συστολής ξήρανσης (Εικόνα 6-37).



Εικόνα 6-37 Τυπικό διάγραμμα συστολής σκυροδέματος λόγω αυτογενούς και συστολής ξηράνσεως, (Αθανάσιος Χ. Τριανταφύλλου, 2013)

Το μέγεθος των παραμορφώσεων στην περίπτωση συστολής ξήρανσης είναι πολύ μεγαλύτερο από τις παραμορφώσεις οι οποίες εκδηλώνονται λόγω αυτογενούς συστολή, επομένως η συστολή ξήρανσης καθίσταται μεγαλύτερη και σημαντικότερη. Συνεπώς η συνολική συστολική παραμόρφωση (ε_{cs}) του σκυροδέματος προκύπτει από το άθροισμα της αυτογενούς συστολής (ε_{ca}) και της συστολής ξήρανσης (ε_{cd}) όπως δίνεται και από την εξίσωση (6.89)

$$\varepsilon_{cs} = \varepsilon_{ca} + \varepsilon_{cd} \tag{6.89}$$

Θα πρέπει να σημειώσουμε ότι η συρρίκνωση του σκυροδέματος λόγω ερπυσμού και συστολής (λόγω αυτογενούς και ξήρανσης) είναι ένα πιο σύνθετο και πολύπλοκο πρόβλημα στο οποίο υπάρχει αλληλεπίδραση των φαινομένων μεταξύ τους. Για

υπολογιστική ευκολία τα φαινόμενα αυτά τα διαχωρίζουμε και τα αντιμετωπίζουμε ξεχωριστά.

6.4.4.2.2 Σχέσεις υπολογισμού για το φαινόμενο της συστολής ξήρανσης

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως η συνολική συστολική παραμόρφωση (ε_{cs}) του σκυροδέματος προκύπτει από το άθροισμα της αυτογενούς συστολής (ε_{ca}) και της συστολής ξήρανσης (ε_{cd}), όπως δίνεται και από την εξίσωση (6.89). Για συνήθεις κτιριακές κατασκευές η επιρροή της αυτογενούς συστολής μπορεί να αγνοηθεί καθώς είναι πολύ μικρή η επιρροή και το μέγεθος της συγκριτικά με την συστολή ξήρανσης η οποία είναι πολύ μεγαλύτερη και σημαντικότερη. Συνεπώς στην παράγραφο αυτή θα εξάγουμε τις σχέσεις υπολογισμού για την περίπτωση συστολής ξήρανσης αγνοώντας την επιρροή της αυτογενούς συστολής.

Η χρονική εξέλιξη των συστολικών παραμορφώσεων λόγω συστολής ξήρανσης δίνεται από την εξίσωση (6.90).

$$\varepsilon_{cd}(t) = \beta_{ds}(t, t_s).k_h.\varepsilon_{cd,0} \tag{6.90}$$

όπου:

$\beta_{ds}(t,t_s)$: είναι συντελεστής που εκφράζει την χρονική εξέλιξη της συστολής ξήρανσης και δίνεται από πιο κάτω σχέση (6.91) :

$$\beta_{ds}(t, t_s) = \frac{(t - t_s)}{(t - t_s) + \left(0{,}04.\sqrt{h_o^3}\right)} \tag{6.91}$$

t: είναι η ηλικία του σκυροδέματος κατά την εξεταζόμενη χρονική στιγμή (σε ημέρες)

t_s: είναι η ηλικία του σκυροδέματος (σε ημέρες) κατά την έναρξη της συστολής ξήρανσης, η οποία λαμβάνεται συνήθως ίση με το τέλος της υγρής συντήρησης του σκυροδέματος. Πιο συντηρητικά μπορεί να θεωρηθεί ως χρόνος έναρξης της συστολής ξήρανσης η 1 ημέρα (αμέσως μετά την ολοκλήρωση της σκυροδέτησης).

h_0: είναι το ιδεατό πάχος του στοιχείου σε [mm], εξίσωση (6.81), όπως και στον ερπυσμό

k_h: συντελεστής ο οποίος εξαρτάται από το ιδεατό πάχος του στοιχείου σκυροδέματος και δίνεται από τον πιο κάτω (Πίνακας 6-12)

Ιδεατό πάχος στοιχείου (h_o) (mm)	Συντελεστής k_h
100	1
200	0,85
300	0,75
≥ 500	0,7

Πίνακας 6-12 Τιμές του συντελεστής k_h γα την σχέση (6.90)

$\varepsilon_{cd,0}$: είναι η βασική τιμή της ανηγμένη συστολική παραμόρφωση της συστολής ξήρανσης και δίνεται από την πιο κάτω εξίσωση (6.92).

$$\varepsilon_{cd,0} = 0{,}85.\left[\left(220 + (110.\alpha_{ds1})\right).e^{-\left(\alpha_{ds2}.\frac{f_{cm}}{10}\right)}\right].10^{-6}.\beta_{RH} \qquad (6.92)$$

όπου:

οι συντελεστές α_{ds1} και α_{ds2} δίνονται με βάση τον (Πίνακας 6-13) ανάλογα με την κατηγορία του τσιμέντου

Κατηγορία Τσιμέντου	Συντελεστής a_{ds1}	Συντελεστής a_{ds2}
S	3	0,13
N	4	0,12
R	6	0,11

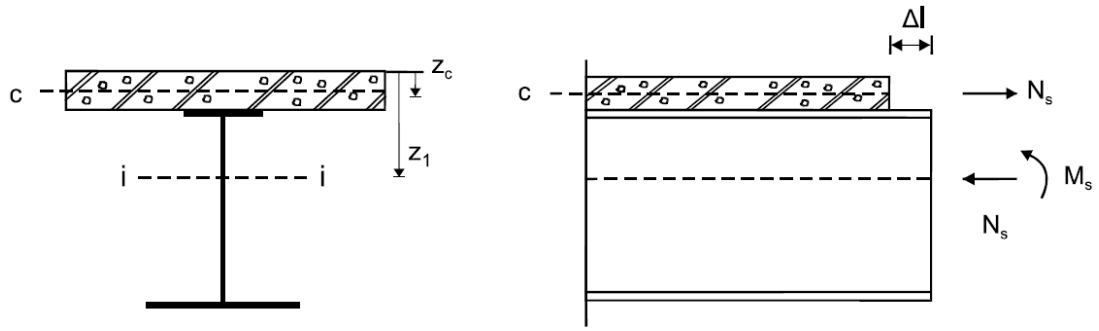
Πίνακας 6-13 Τιμές συντελεστών α_{ds1} και α_{ds2} για την σχέση (6.92)

β_{RH} : συντελεστής ο οποίος λαμβάνει υπόψη την επιρροή της σχετικής υγρασίας RH [%] και δίνεται από την πιο κάτω σχέση (6.93).

$$\beta_{RH} = 1{,}55\,.\left[1 - \left(\frac{RH}{100\%}\right)^3\right] \qquad (6.93)$$

Το σκυρόδεμα λόγω συστολής ξήρανσης τείνει να βραχυνθεί, όμως λόγω της ύπαρξης διατμητικής σύνδεσης μεταξύ πλάκας σκυροδέματος και σιδηροδοκού παρεμποδίζεται αυτή η βράχυνση του με αποτέλεσμα να αναπτύσσεται στην πλάκα σκυροδέματος μια εφελκυστική δύναμη (N_s). Για διατήρηση των συνθηκών ισορροπίας στη διατομή θα

πρέπει να ασκείται ίση και αντίθετη θλιπτική δύναμη (N_s) στο κέντρο βάρους της σύμμικτης διατομής (προσοχή όχι στο κέντρο βάρους της σιδηροδοκού).



Εικόνα 6-38 Δυνάμεις - ροπές στη σύμμικτη διατομή λόγω συστολής ξήρανσης, (Ιωάννης Κ. Βάγιας, 2018)

Έτσι η δύναμη (N_s) λόγω συστολής ξήρανσης σε συνάρτηση με το χρόνο t δίνεται με βάση την σχέση (6.94)

$$N_s = \varepsilon_{cs}.\frac{n_o}{n_s}.E_c.A_c \tag{6.94}$$

και αντίστοιχα η ροπή (M_s) από την σχέση (6.95)

$$M_s = N_s.(z_s - z_c) \tag{6.95}$$

όπου:

n_0: ο λόγος των μέτρων ελαστικότητας χάλυβα προς σκυρόδεμα για βραχυχρόνιες συνθήκες φόρτισης, δίνεται από την σχέση (6.86)

n_s: ο λόγος των μέτρων ελαστικότητας χάλυβα προς σκυρόδεμα για μακροχρόνιες συνθήκες φόρτισης, υπολογίζεται όπως και στον ερπυσμό από την σχέση (6.87), με την διαφορά ότι ο συντελεστής ψ_L λαμβάνεται από τον (Πίνακας 6-11) ίσος με (ψ_L=0,55) ο οποίος αφορά επιρροές λόγω συστολής ξήρανσης την οποία μελετάμε στην παρούσα παράγραφο

A_c: Γεωμετρικό εμβαδόν της διατομής της πλάκας σκυροδέματος. Όπως και στον ερπυσμό έτσι και στην συστολή ξήρανσης το εμβαδόν του σκυροδέματος υπολογίζεται

με βάση τις γεωμετρικές διαστάσεις του στοιχείου και όχι με τις διαστάσεις που προκύπτουν από το συνεργαζόμενο πλάτος

z_c: η θέση του κέντρου βάρους της διατομής σκυροδέματος

z_e: η θέση του κέντρου βάρους της ισοδύναμης διατομής, όπου στους υπολογισμούς για την μετατροπή του σκυροδέματος σε ισοδύναμο χάλυβα, το εμβαδόν του σκυροδέματος διαιρείται με τον συντελεστή «n_s»

Συνεπώς για τον προσδιορισμό της συστολής ξήρανσης στον υπόψη εξεταζόμενο χρόνο (t), θα πρέπει να προσδιορίζονται τα μεγέθη και τα χαρακτηριστικά της διατομής με την χρήση των συντελεστών «n_s».

Οι σχέσεις υπολογισμού των τάσεων (σ_i) σε κάθε χαρακτηριστική ίνα της σύμμικτης διατομής (αρηγμάτωτης διατομής) λόγω συστολής ξήρανσης δίνονται παρακάτω:

Κάτω πέλμα ελάσματος ενίσχυσης
$$\sigma_{ενισχ\ .u,s} = \frac{N_s}{A_{e,s}} + \frac{M_s}{W_{ενισχ\ .u,s}} \tag{6.96}$$

Άνω πέλμα ελάσματος ενίσχυσης
$$\sigma_{ενισχ\ .o,s} = \frac{N_s}{A_{e,s}} + \frac{M_s}{W_{ενισχ\ .o,s}} \tag{6.97}$$

Κάτω πέλμα σιδηροδοκού
$$\sigma_{au,s} = \frac{N_s}{A_{e,s}} + \frac{M_s}{W_{au,s}} \tag{6.98}$$

Άνω πέλμα σιδηροδοκού
$$\sigma_{ao,s} = \frac{N_s}{A_{e,s}} + \frac{M_s}{W_{ao,s}} \tag{6.99}$$

Κάτω πέλμα πλάκας σκυροδέματος
$$\sigma_{cu,s} = \frac{N_s}{A_c} - \frac{N_s}{A_{e,s}.n_s} + \frac{M_s}{W_{cu,s}} \tag{6.100}$$

Άνω πέλμα πλάκας σκυροδέματος
$$\sigma_{co,s} = \frac{N_s}{A_c} - \frac{N_s}{A_{e,s}.n_s} + \frac{M_s}{W_{co,s}} \tag{6.101}$$

Οι προαναφερθείσες σχέσεις υπολογισμού αναφέρονται στις πρωτογενής επιρροές της συστολής ξήρανσης οι οποίες δεν λαμβάνονται υπόψη στην οριακή κατάσταση αστοχίας αλλά μόνο στην οριακή κατάσταση λειτουργικότητας. Συνεπώς σε ισοστατικούς φορείς λαμβάνονται υπόψη μόνο οι πρωτογενείς επιρροές λόγω

συστολής ξήρανσης. Στην περίπτωση όμως υπερστατικών φορέων στην οποία παρατηρείται παρεμπόδιση ανάπτυξης συστολικών παραμορφώσεων λόγω υπερστατικότητας, δημιουργείται καταναγκασμός με αποτέλεσμα πέραν των πρωτογενών επιρροών να αναπτύσσονται και δευτερογενείς επιρροές λόγω συστολή ξήρανσης οφειλόμενες σε αυτό το καταναγκασμό. Έτσι οι δευτερογενείς επιρροές λόγω συστολής ξήρανσης λαμβάνονται υπόψη στην ανάλυση (καθολική ανάλυση) μέσω διαφοράς θερμοκρασίας (ψυχρότερη η άνω ίνα και θερμότερη η κάτω ίνα της διατομής) κατ' αντιστοιχία όπως και στον ερπυσμό, σχέση (6.102).

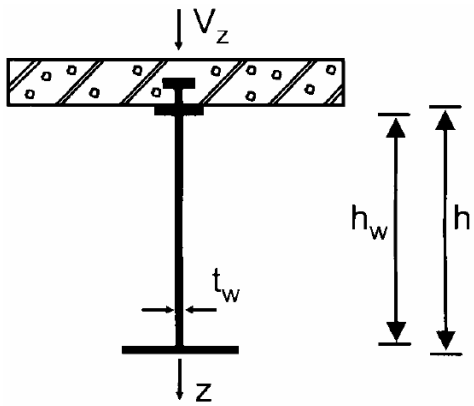
$$\Delta T_s = \frac{M_s}{E_a . I_{e,s}} . \frac{h}{a_t} \tag{6.102}$$

Οι δευτερογενείς επιρροές συστολής ξήρανσης λαμβάνονται υπόψη τόσο στην οριακή κατάσταση αστοχίας όσο και στην οριακή κατάσταση λειτουργικότητας.

6.4.5 Αντοχή έναντι Τέμνουσας Δύναμης

6.4.5.1 Γενικά

Η παραλαβή των κατακόρυφων τεμνουσών δυνάμεων θεωρούμε ότι παραλαμβάνονται εξολοκλήρου από την χαλύβδινη διατομή και πιο συγκεκριμένα μόνο από τον κορμό της σιδηροδοκού, καθώς το ποσοστό τέμνουσας δύναμης που μπορεί να αναλάβει το πέλμα σκυροδέματος είναι δύσκολο να εκτιμηθεί λόγω των αβεβαιοτήτων των παραγόντων που το επηρεάζουν (π.χ. κατασκευαστικές λεπτομέρειες διατμητικής σύνδεσης, βαθμός ρηγμάτωσης του σκυροδέματος κλπ). Συνεπώς λόγω αυτής της δυσκολίας και αβεβαιότητας εκτίμησης της συμμετοχής του σκυροδέματος στην ανάληψη τεμνουσών δυνάμεων και για να είμαστε υπέρ της ασφαλείας θεωρούμε ότι το σύνολο της τέμνουσας παραλαμβάνεται μόνο από την χαλύβδινη διατομή (μόνο από τον κορμό της σιδηροδοκού).



Εικόνα 6-39 Σύμμικτη διατομή καταπονούμενη σε κατακόρυφη διάτμηση (τέμνουσα δύναμη), (Ιωάννης Κ. Βάγιας, 2018)

6.4.5.2 Σχέσεις υπολογισμού πλαστικού σχεδιασμού έναντι κατακόρυφης διάτμησης

6.4.5.2.1 Συμπαγής κορμοί σιδηροδοκού

Επομένως σύμφωνα με τον (EN 1994-1-1 §6.2.2), η πλαστική αντοχή σχεδιασμού κατακόρυφης διάτμησης δίνεται από την σχέση (6.103).

$$V_{pl,a,Rd} = \frac{A_v . \frac{f_{yk}}{\sqrt{3}}}{\gamma_{M0}} \tag{6.103}$$

όπου:

f_{yk}: Χαρακτηριστική αντοχή διαρροής του χάλυβα της σιδηροδοκού

γ_{M0}: Συντελεστής ασφαλείας ορίου διαρροής του υλικού, (γ_{M0}=1)

Αν: Εμβαδόν του κορμού της σιδηροδοκού το οποίο παραλαμβάνει την τέμνουσα δύναμη και δίνεται από τις πιο κάτω σχέσεις:

$$A_v = A_a - (2.b.t_f) + [(t_w + (2.r)).t_f] \quad \textit{, για ελατές διατομές I και H} \tag{6.104}$$

$$A_v = h_w . t_w \quad \textit{, για συγκολλητές διατομές} \tag{6.105}$$

Βασική προϋπόθεση για το πλαστικό σχεδιασμό έναντι τέμνουσας (σχέση (6.103)), θα πρέπει ο κορμός της σιδηροδοκού να μην είναι λεπτότοιχος έτσι ώστε να μην υπόκειται σε τοπικό λυγισμό (φαινόμενο κύρτωσης). Αυτό εξαρτάται από το λόγο ύψους προς πάχος του κορμού της σιδηροδοκού (h_w/t_w), από το αν ο κορμός της σιδηροδοκού είναι εγκιβωτισμένος ή όχι μέσα στο σκυρόδεμα και από το αν ενισχύεται ή όχι με εγκάρσιες νευρώσεις. Ο εγκιβωτισμός του κορμού της σιδηροδοκού μέσα στο σκυρόδεμα καθώς και η ενίσχυση με εγκάρσιες νευρώσεις (νευρώσεις παράλληλα στην διεύθυνση του κατακόρυφου φορτίου), δυσχεραίνουν την ανάπτυξη του τοπικού λυγισμού. Συνεπώς εφαρμόζονται διαφορετικά όρια λυγηρότητας (h_w/t_w) του κορμού για τις διάφορες περιπτώσεις. Τα όρια αυτά δίνονται πιο κάτω σύμφωνα με το (EN 1994-1-1 §6.2.2.3), (EN 1993-1-5 §5.1).

Μη ενισχυμένος κορμός: $$\frac{h_w}{t_w} < \left(72.\frac{\varepsilon}{n}\right) \quad (6.106)$$

Ενισχυμένος κορμός: $$\frac{h_w}{t_w} < \left(31.\frac{\varepsilon.\sqrt{k_\tau}}{n}\right) \quad (6.107)$$

όπου:

h_w: Ύψος του κορμού της σιδηροδοκού

t_w: Πάχος του κορμού της σιδηροδοκού

ε: Συντελεστής ο οποίος λαμβάνεται ίσος με την τιμή $\left(\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}\right)$

n: Συντελεστής ο οποίος λαμβάνει την τιμή ίση με (n=1,20) για κατηγορίες ποιότητας δομικού χάλυβα μικρότερες από S460 συμπεριλαμβανομένων ($f_y \leq 460$MPa), ενώ η τιμή (n=1,00) λαμβάνεται για κατηγορίες ποιότητας δομικού χάλυβα μεγαλύτερες από S460 ($f_y > 460$MPa).

k_τ: Συντελεστής κύρτωσης ο οποίος δίνεται από τις πιο κάτω σχέσεις ως συνάρτηση του λόγου της κατά μήκους απόστασης μεταξύ των εγκάρσιων νευρώσεων ως προς το ύψος του κορμού της σιδηροδοκού $\left(a = \frac{\mathrm{a}}{h_w}\right)$

Αν α < 1 $$k_\tau = 4 + \frac{5{,}34}{\alpha^2} \quad (6.108)$$

Αν α ≥ 1 $$k_\tau = 5{,}34 + \frac{4}{\alpha^2} \quad (6.109)$$

Για σιδηροδοκό με κορμό χωρίς νευρώσεις (πλην των θέσεων των στηρίξεων), ο συντελεστής κύρτωσης λαμβάνεται ίσος με:

$$k_\tau = 5{,}34 \quad (6.110)$$

6.4.5.2.2 Λεπτότοιχοι κορμοί σιδηροδοκού

Στην περίπτωση όπου δεν πληρούνται τα πιο πάνω όρια (h_w/t_w), ο κορμός της σιδηροδοκού θεωρείται λεπτότοιχος. Στην περίπτωση λεπτότοιχων κορμών η αντοχή σε τέμνουσα μειώνεται λόγω ανάπτυξης φαινομένου κύρτωσης του κορμού της σιδηροδοκού. Η μείωση αυτή λαμβάνεται υπ' όψη στο σχεδιασμό εφαρμόζοντας ένα μειωτικό συντελεστή κύρτωσης (χ_w) στην διατμητική οριακή τάση. Αυτή η τιμή του μειωτικού συντελεστή κύρτωσης (χ_w) εξαρτάται από την ανηγμένη λυγηρότητα ($\overline{\lambda_w}$) του κορμού της σιδηροδοκού και δίνεται μέσω της λεγόμενης καμπύλης κύρτωσης. Η καμπύλη κύρτωσης είναι αντίστοιχη των γνωστών καμπύλων λυγισμού ραβδόμορφων φορέων, μόνο που εδώ η κύρτωση αφορά λυγισμό πλακοειδών στοιχείων.

Η μειωμένη αντοχή σχεδιασμού σε τέμνουσα λόγω κύρτωσης του κορμού της σιδηροδοκού δίνεται από την πιο κάτω σχέση (6.111).

$$V_{b,a,Rd} = \chi_w \cdot V_{pl,a,Rd} \quad (6.111)$$

Ο μειωτικός συντελεστής κύρτωσης (χ_w) δίνεται στον πιο κάτω (Πίνακας 6-14), σύμφωνα με τον (EN 1993-1-5 §5.3, Πίνακας 5.1).

	Άκαμπτες ακραίες διαδοκίδες	Χωρίς ή μη άκαμπτες ακραίες διαδοκίδες
$\overline{\lambda}_w < 0,83/\eta$	η	η
$0,83/\eta < \overline{\lambda}_w < 1,08$	$0,83/\overline{\lambda}_w$	$0,83/\overline{\lambda}_w$
$\overline{\lambda}_w > 1,08$	$1,37/(0,7+\overline{\lambda}_w)$	$0,83/\overline{\lambda}_w$

Πίνακας 6-14 Τιμές μειωτικού συντελεστή κύρτωσης (χ_w), (EN 1993-1-5 §5.3, Πίνακας 5.1)

Η ανηγμένη λυγηρότητα ($\overline{\lambda_w}$) του κορμού της σιδηροδοκού δίνεται σύμφωνα με τον (EN 1993-1-5 §5.3) από τις πιο κάτω σχέσεις:

Για εγκάρσιες ενισχύσεις μόνο στα άκρα της δοκού

$$\overline{\lambda_w} = \frac{h_w}{84.\varepsilon.t_w} \tag{6.112}$$

Για εγκάρσιες ενισχύσεις στα άκρα και ενδιάμεσα της δοκού και/ή διαμήκεις ενισχύσεις

$$\overline{\lambda_w} = \frac{h_w}{37,4.\varepsilon.t_w.\sqrt{k_\tau}} \tag{6.113}$$

6.4.6 Αλληλεπίδραση Ροπών Κάμψης και Τεμνουσών Δυνάμεων

Στις διατομές του φορέα όπου παρουσιάζονται ταυτόχρονα ορθές τάσεις (λόγω ροπών κάμψης) και διατμητικές τάσεις (λόγω τεμνουσών δυνάμεων), θα πρέπει να εξετασθεί η πιθανότητα μεταξύ τους αλληλεπίδραση. Αυτή η αλληλεπίδραση μεταξύ ορθών και διατμητικών τάσεων συμβαίνει κυρίως στις περιοχές ενδιάμεσων στηρίξεων συνεχών δοκών, όπου οι μέγιστες ροπές και τέμνουσες δυνάμεις παρουσιάζονται ταυτοχρόνως σε αυτές τις θέσεις. Αντίθετα στην περίπτωση αμφιέρειστων δοκών οι μέγιστες ροπές και οι μέγιστες τέμνουσες δυνάμεις δρουν σε διαφορετικές θέσεις της δοκού συνεπώς δεν παρατηρείται μεταξύ τους αλληλεπίδραση.

Όπως αναφερθήκαμε και στην προηγούμενη παράγραφο οι κατακόρυφες τέμνουσες δυνάμεις θεωρούμε ότι παραλαμβάνονται εξολοκλήρου μόνο από τον κορμό της

σιδηροδοκού μέσω διατμητικών τάσεων. Επομένως η παρουσία μεγάλων τεμνουσών δυνάμεων προκαλεί μεγάλες διατμητικές τάσεις (τ) στον κορμό της σιδηροδοκού.

Με βάση το κριτήριο Von Mises το οποίο δίνεται από την πιο κάτω σχέση (6.114),

$$\sigma^2 + (3.\tau^2) = f_y^2 \tag{6.114}$$

η ορθή τάση που μπορεί να παραλάβει ο κορμός της σιδηροδοκού είναι ίση με:

$$\sigma = f_y.\sqrt{1 - \left(\frac{\tau.\sqrt{3}}{f_y}\right)^2} \leq f_y \tag{6.115}$$

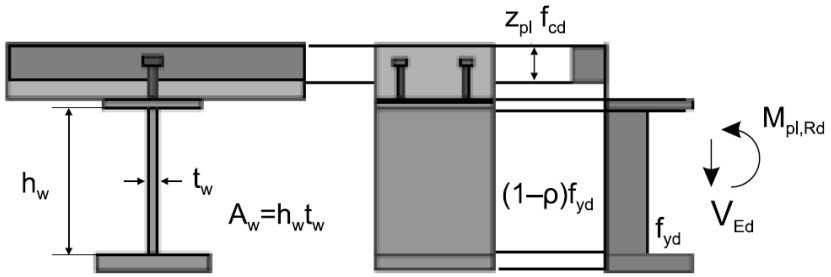
Όπως παρατηρούμε από την σχέση (6.115) όσο πιο μεγάλη είναι η διατμητική τάση (τ) λόγω τέμνουσας δύναμης, τόσο μικρότερη είναι η ικανότητα παραλαβής ορθών τάσεων από το κορμό της σιδηροδοκού.

Έχει αποδειχτεί πειραματικά ότι μικρές τιμές τεμνουσών δυνάμεων δεν επηρεάζουν την ικανότητα αντίστασης σε ροπή κάμψεως της διατομής, παρ' όλο που η σχέση (6.115) με βάση το κριτήριο Von Mises αναφέρει πως ακόμα και οι μικρές τιμές διατμητικών τάσεων (τ) προκαλούν μείωση ικανότητας στην παραλαβή ορθών τάσεων (σ) της διατομής.

Για διατομές κατηγορίας 1 ή 2 αντί του κριτηρίου Von Mises μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένας μειωτικός συντελεστής (ρ) στην τάση διαρροής του κορμού της σιδηροδοκού, ο οποίος εκφράζει το ποσοστό εκμετάλλευσης του υλικού του κορμού λόγω τέμνουσας δύναμης (EN 1994-1-1 §6.2.2.4), (Πίνακας 6-15).

Συνθήκη εφαρμογής	**Σχόλια**	**Μειωτικός συντελεστής (ρ)**	**Εναπομένουσα οριακή τάση σχεδιασμού κορμού της σιδηροδοκού**
$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd}} \leq 0{,}5$	Δεν απαιτείται απομείωση της οριακής τάσης του κορμού στην καμπτική αντίσταση της διατομής, λόγω ταυτόχρονης συνύπαρξης τέμνουσας	$\rho = 0$	f_{yd}
$0{,}5 < \frac{V_{Ed}}{V_{Rd}} \leq 1$	Απαιτείται απομείωση της οριακής τάσης του κορμού στην καμπτική αντίσταση της διατομής, λόγω ταυτόχρονης συνύπαρξης τέμνουσας	$\rho = \left[\left(2.\frac{V_{Ed}}{V_{Rd}}\right) - 1\right]^2$	$(1-\rho).f_{yd}$

Πίνακας 6-15 Απομείωση οριακής τάσης του κορμού σιδηροδοκού στην καμπτική αντίσταση της διατομής, λόγω ταυτόχρονης συνύπαρξης τεμνουσών δυνάμεων



Εικόνα 6-40 Οριακές τάσεις σιδηροδοκού λόγω ταυτόχρονης συνύπαρξης τέμνουσας δύναμης και ροπής κάμψεως, (Ιωάννης Κ. Βάγιας, 2018)

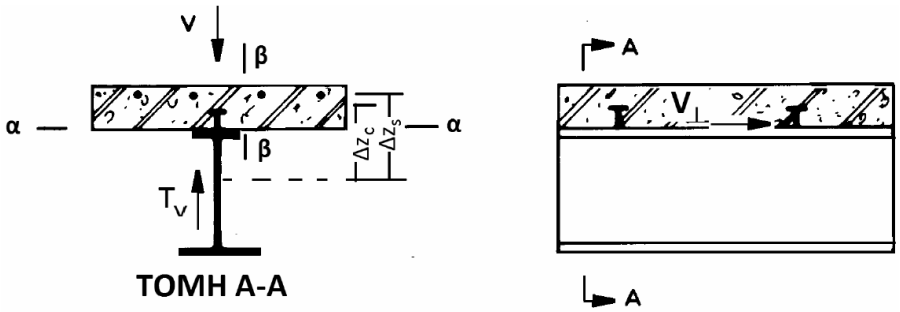
6.4.7 Διατμητική Σύνδεση Σύμμικτων Δοκών

6.4.7.1 Γενικά

Η παρουσία τεμνουσών δυνάμεων (V) καθώς και στρεπτικών ροπών (M_t) είναι αυτές που δημιουργούν την ανάπτυξη διατμητικών τάσεων στο ραβδωτό φορέα. Όπως φαίνεται στην (Εικόνα 6-41), στον φορέα αναπτύσσονται δυο είδη διατμήσεων. Καθώς επιβάλουμε στο φορέα μια κατακόρυφη τέμνουσα, δημιουργείται στην διατομή κατακόρυφη διάτμηση «τ_v» (vertical) η οποία εξασφαλίζει τη συνθήκη ισορροπίας των δυνάμεων ως προς τον κατακόρυφο άξονα της διατομής. Η κατακόρυφη διάτμηση (τ_v) δημιουργεί συγχρόνως και διαμήκη διάτμηση «τ_l» (longitudinal) (Συνθήκη Cauchy), η οποία απαιτείται για λόγους συμβιβαστού των παραμορφώσεων μεταξύ σκυροδέματος και χάλυβα.

Βασική προϋπόθεση για την επίτευξη σύμμικτης λειτουργίας χάλυβα – σκυροδέματος είναι η παραλαβή της διαμήκους διάτμησης (τ_l) που αναπτύσσεται στην διεπιφάνεια μεταξύ σκυροδέματος και χαλύβδινης διατομής. Η παραλαβή αυτή της διαμήκους διάτμησης μεταξύ της διεπιφάνεια σκυροδέματος - σιδηροδοκού επιτυγχάνεται μέσω της χρήσης διατμητικών συνδέσμων οι οποίοι τοποθετούνται κατά μήκος της δοκού εμποδίζοντας την ανάπτυξη σχετικής ολίσθησης μεταξύ των δυο υλικών εξασφαλίζοντας έτσι την κοινή σύμμικτη λειτουργία των δύο υλικών.

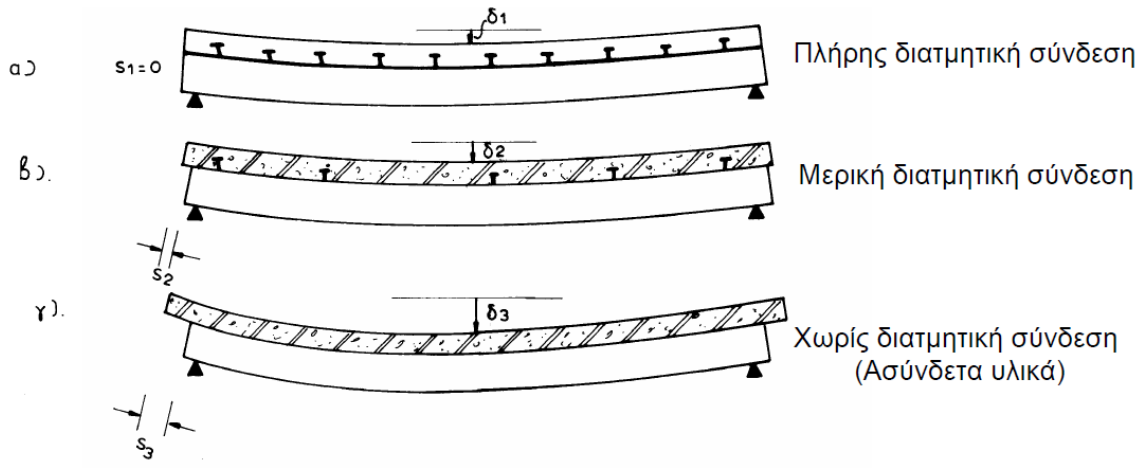
Διαμήκης διάτμηση εμφανίζεται τόσο στην διεπιφάνεια σκυροδέματος – χάλυβα όσο και στις περιοχές εξεχόντων τμημάτων της πλάκας σκυροδέματος (Εικόνα 6-41). Η διαμήκης διάτμηση η οποία εμφανίζεται στην διεπιφάνεια μεταξύ σκυροδέματος και σιδηροδοκού παραλαμβάνεται από τους διατμητικούς συνδέσμους (τομή α-α, Εικόνα 6-41), ενώ στις περιοχές εξεχόντων τμημάτων της πλάκας σκυροδέματος παραλαμβάνεται από το σκυρόδεμα και τους εγκάρσιους οπλισμούς σκυροδέματος (τομή β-β, Εικόνα 6-41). Η διατμητική αντίσταση που προσφέρει η φυσική συνάφεια στην διεπιφάνεια των δυο υλικών πλάκας σκυροδέματος και σιδηροδοκού αγνοείται.



Εικόνα 6-41 Ανάπτυξη κατακόρυφης (τ_v) και διαμήκης διάτμησης (v_l) στο ραβδωτό φορέα από επιβολή τεμνουσών δυνάμεων (V) και στρεπτικών ροπών (M_t), (Ιωάννης Κ. Βάγιας, 2018)

Ανάλογα με την αντοχή σε φέρουσα ικανότητα της ήλωσης, η διατμητική σύνδεση κατηγοριοποιείται σε πλήρης ή μερική. Στην περίπτωση όπου έχουμε πλήρη διατμητική σύνδεση, οι διατμητικοί σύνδεσμοι παραλαμβάνουν όλη τη αναπτυσσόμενη δρώσα διαμήκη διάτμηση, εμποδίζοντας πλήρως την ολίσθηση που θα αναπτυσσόταν μεταξύ σιδηροδοκού και πλάκας σκυροδέματος. Στην περίπτωση μερικής διατμητικής σύνδεσης ο αριθμός των διατμητικών συνδέσμων που τοποθετείται είναι λιγότερος από τον αριθμό των απαιτούμενων διατμητικών συνδέσμων που θα χρειαζόταν για πλήρη παραλαβή της δρώσας διαμήκους διάτμησης (πλήρης διατμητική σύνδεση). Συνεπώς στην περίπτωση της μερικής διατμητικής σύνδεσης παρατηρούμε ότι δεν παραλαμβάνεται ολόκληρη η αναπτυσσόμενη δρώσα διαμήκης διάτμηση, αλλά ένα μέρος αυτής με αποτέλεσμα να εμφανίζεται σχετική ολίσθηση μεταξύ της πλάκας σκυροδέματος και της σιδηροδοκού. Η σχετική ολίσθηση που αναπτύσσεται στην περίπτωση αυτή (μερικής διατμητικής σύνδεσης) είναι σίγουρα μικρότερη από την

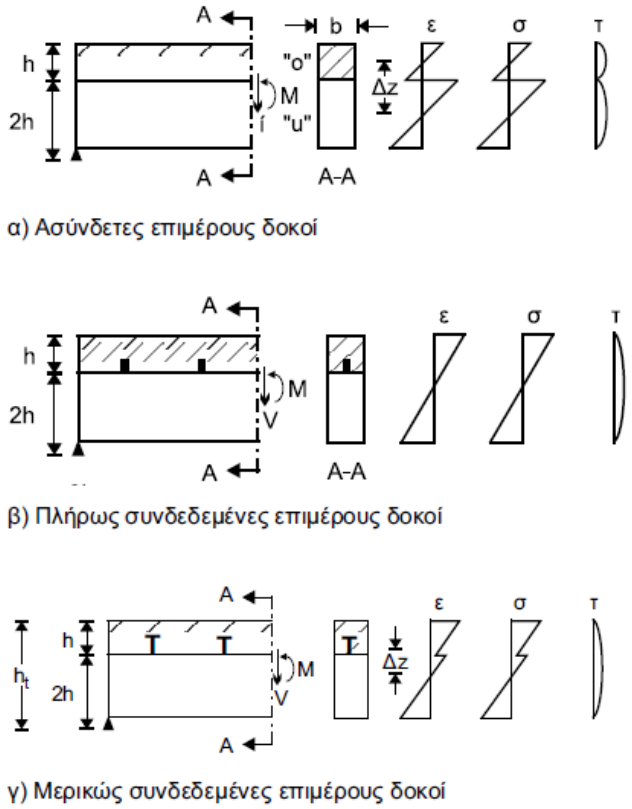
ολίσθηση που θα αναπτυσσόταν αν τα δυο υλικά ήταν εντελώς ασύνδετα μεταξύ τους (χωρίς διατμητική σύνδεση).



Εικόνα 6-42 Πλήρης διατμητική σύνδεση (α σχήμα), Μερική διατμητική σύνδεση (β σχήμα), Χωρίς διατμητική σύνδεση (γ σχήμα), (Ιωάννης Κ. Βάγιας, 2018)

Επιγραμματικά η διαδικασία η οποία ακολουθείται για τον σχεδιασμό της διατμητικής σύνδεσης σύμμικτης δοκού η οποία θα αναλυθεί λεπτομερώς εν συνεχεία στις επόμενες ενότητες είναι η εξής:

- Προσδιορισμός της αναπτυσσόμενης δρώσας διαμήκους διάτμησης στην διεπιφάνεια πλάκας σκυροδέματος και σιδηροδοκού
- Επιλογή του είδους και τον τύπο των διατμητικών συνδέσμων καθώς και τον προσδιορισμό της αντοχή τους
- Επιλογή σχεδιασμού διατμητικής σύνδεσης (πλήρης ή διατμητική σύνδεση), προσδιορίζοντας τον αριθμό των απαιτούμενων διατμητικών συνδέσμων
- Κατανομή των διατμητικών συνδέσμων κατά μήκος της σύμμικτης δοκού
- Έλεγχος της πλάκας σκυροδέματος σε διαμήκη διάτμηση



Εικόνα 6-43 Τυπικά διαγράμματα ορθών (σ), διατμητικών (τ) τάσεων και ανηγμένων παραμορφώσεων (ε) σύμμικτης δοκού (στην ελαστική περιοχή), για τις περιπτώσεις μηδενικής, πλήρους και μερικής διατμητικής σύνδεσης, (Ιωάννης Κ. Βάγιας, 2018)

6.4.7.2 Μέθοδοι Ανάλυσης Προσδιορισμού Δρώσας Διαμήκους Διάτμησης ($v_{l,Ed}$)

6.4.7.2.1 Πλαστική Ανάλυση

Ο υπολογισμός της δρώσας διαμήκης διάτμησης προσδιορίζεται με πλαστική ανάλυση εφόσον η αντοχή των διατομών σε όλες τις θέσεις της σύμμικτης δοκού προσδιορίζονται με πλαστική ανάλυση (κατηγορίας 1 ή 2), καθώς επίσης θα πρέπει να πληρούνται και οι υπόλοιπες εξής προϋποθέσεις:

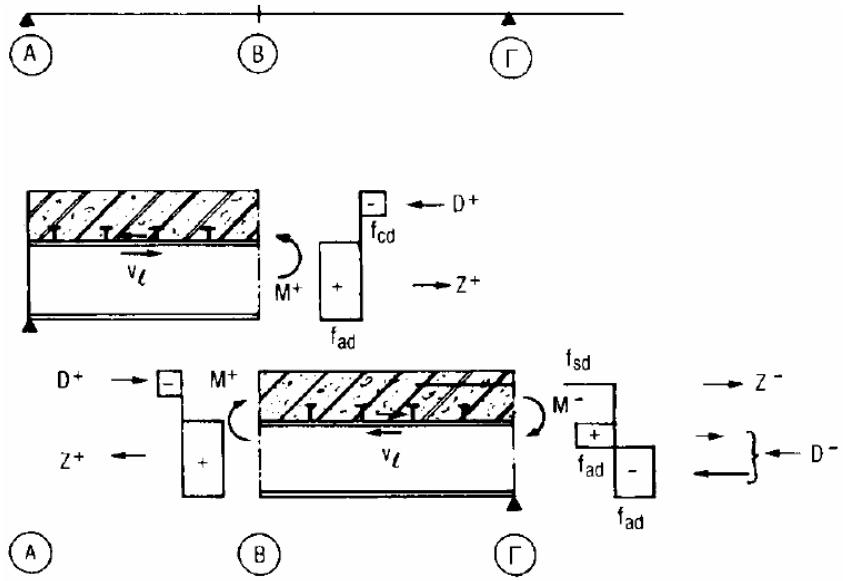
- Οικοδομικά έργα
- Σε όλες τις θέσεις της σύμμικτης δοκού οι διατομές θα πρέπει να είναι κατηγορίας 1 ή 2
- Η συμπεριφορά των διατμητικών συνδέσμων θα πρέπει να είναι όλκιμη

- Έλεγχος οριακής κατάστασης αστοχίας (όχι κόπωσης)

Ο προσδιορισμός της δρώσας διαμήκους διάτμησης με πλαστική ανάλυση βρίσκεται μέσω συνθήκης ισορροπίας των οριζόντιων δυνάμεων στην διεπιφάνεια σκυροδέματος και χάλυβα εντός ενός κρίσιμου μήκους της σύμμικτης δοκού. Κρίσιμο μήκος θεωρείται η απόσταση ανάμεσα σε δυο διαδοχικές χαρακτηριστικές θέσεις διατομών της σύμμικτης δοκού στις οποίες παρουσιάζεται μηδενισμός, ή μέγιστο/ελάχιστο στο διάγραμμα των τεμνουσών δυνάμεων ή θέσεις στις οποίες έχουμε επιβολή συγκεντρωμένου φορτίου ή αλλαγή της διατομής της σύμμικτης δοκού.

Συνεπώς η δρώσα διαμήκης διατμητική δύναμη (V_l) βρίσκεται κάνοντας κατακόρυφες τομές κατά το μήκος της σύμμικτης δοκού σε χαρακτηριστικές θέσεις, εξετάζοντας κάθε φορά την ισορροπία των διατμητικών δυνάμεων στην διεπιφάνεια σκυροδέματος – χάλυβα εντός αυτών των κρίσιμών μηκών.

Παρακάτω παρατίθεται παράδειγμα για την εύρεση δρώσας διατμητικής δύναμης (V_l) με πλαστική ανάλυση σε μονοπροέχουσα σύμμικτη δοκό.



Εικόνα 6-44 Ισορροπία οριζόντιων δυνάμεων στα τμήματα κρίσιμων μηκών μονοπροέχουσας δοκού για την εύρεση δρώσας διατμητικής δύναμης (V_l) με πλαστική ανάλυση, (Ιωάννης Κ. Βάγιας, 2018)

Στο τμήμα ΑΒ (κρίσιμο μήκος ΑΒ, $l_{cr,AB}$) μεταξύ μηδενικών ροπών (σημείο Α) και θετικών ροπών (σημείο Β) από ισορροπία των οριζόντιων δυνάμεων προκύπτει η δρώσα διαμήκης διατμητική δύναμη (V_l) στην διεπιφάνεια σκυροδέματος – σιδηροδοκού και δίνεται από την σχέση (6.116):

$$V_l = \sum \tau_l = D^+ = Z^+ \tag{6.116}$$

Στο τμήμα ΒΓ (κρίσιμο μήκος ΒΓ, $l_{cr,BΓ}$) μεταξύ θετικών ροπών (σημείο Β) και αρνητικών ροπών (σημείο Γ) από ισορροπία των οριζόντιων δυνάμεων προκύπτει η δρώσα διαμήκης διατμητική δύναμη (V_l) στην διεπιφάνεια σκυροδέματος – σιδηροδοκού και δίνεται από την σχέση (6.117):

$$V_l = \sum \tau_l = D^+ + Z^- = Z^+ + D^- \tag{6.117}$$

Στο τμήμα ΓΔ (κρίσιμο μήκος ΓΔ, $l_{cr,ΓΔ}$) μεταξύ αρνητικών ροπών (σημείο Γ) και μηδενικών ροπών (σημείο Δ), (περίπτωση προβόλων), από ισορροπία των οριζόντιων δυνάμεων προκύπτει η δρώσα διαμήκης διατμητική δύναμη (V_l) στην διεπιφάνεια σκυροδέματος – σιδηροδοκού και δίνεται από την σχέση (6.118):

$$V_l = \sum \tau_l = Z^- \tag{6.118}$$

όπου:

D^+: Θλιπτική δύναμη πλάκας σκυροδέματος και οπλισμού σκυροδέματος για θετική πλαστική ροπή αντοχής ($M_{pl,Rd}^+$), η οποία δίνεται από την σχέση ($D^+ = (A_c.0{,}85.f_{cd}) + (A_s.f_{sd})$)

Z^+: Εφελκυστική δύναμη της χαλύβδινης διατομής για θετική πλαστική ροπή αντοχής ($M_{pl,Rd}^+$), η οποία δίνεται από την σχέση ($Z^+ = A_a.f_{ad}$)

Z^-: Εφελκυστική δύναμη οπλισμού σκυροδέματος για αρνητική πλαστική ροπή αντοχής ($M_{pl,Rd}^-$), η οποία δίνεται από την σχέση ($Z^- = A_s.f_{sd}$)

6.4.7.2.2 Ελαστική και Ελαστοπλαστική ανάλυση

6.4.7.2.2.1 Γενικά

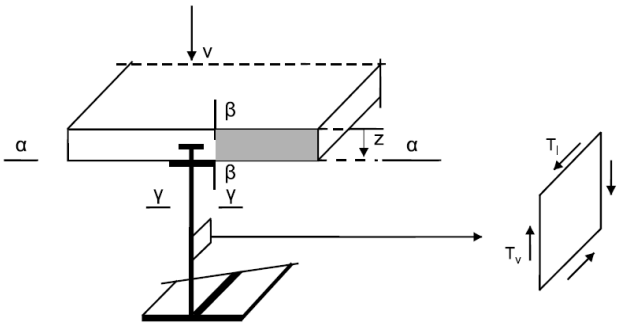
Ο υπολογισμός της δρώσας διαμήκης διάτμησης μπορεί να προσδιοριστεί μέσω ελαστικής ή ελαστοπλαστικής ανάλυσης καθώς εφαρμόζονται σε όλες τις περιπτώσεις σύμμικτων δοκών. Η ελαστική ή ελαστοπλαστική ανάλυση εφαρμόζονται κυρίως στην περίπτωση γεφυροποιίας και όχι σε συμβατικές κτιριακές κατασκευές, καθώς στην περίπτωση οικοδομικών έργων για την εύρεση της δρώσας διαμήκους διάτμησης χρησιμοποιείται κατά κόρον η πλαστική ανάλυση όπως περιγράφτηκε στην προηγούμενη παράγραφο.

Ανάλογα με το μέγεθος της δρώσας ροπής σχεδιασμού (M_{Ed}), ο προσδιορισμός της δρώσας διαμήκους διάτμησης γίνεται είτε με ελαστική ανάλυση ($M_{Ed} \leq M_{el,Rd}$), είτε με ελαστοπλαστική ανάλυση (ανελαστική συμπεριφορά) ($M_{Ed} > M_{el,Rd}$).

6.4.7.2.2.2 Ελαστική ανάλυση (Ελαστική συμπεριφορά) ($M_{Ed} \leq M_{el,Rd}$)

Στην περίπτωση όπου η δρώσα ροπή σχεδιασμού (M_{Ed}) είναι μικρότερη ή ίση της ελαστικής ροπής αντοχής ($M_{el,Rd}$) της σύμμικτης διατομής, τότε έχουμε ελαστική συμπεριφορά στο φορέα. Η μεθοδολογία αυτή εύρεσης της διαμήκους διάτμησης με ελαστική ανάλυση βασίζεται στη θεωρία ελαστικότητας και εφαρμόζεται σε φορείς οι οποίοι υπολογίζονται με την ελαστική μέθοδο.

Η επιβολής τεμνουσών δυνάμεων (V_{Ed}) ή στρεπτικών ροπών ($M_{t,Ed}$) στο φορέα, προκαλούν την ανάπτυξη κατακόρυφων διατμητικών τάσεων (τ_v) στις διατομές του φορέα. Λόγω της ανάπτυξης αυτών των κατακόρυφων τάσεων (τ_v) έχουμε ταυτοχρόνως και την ανάπτυξη οριζόντιας διαμήκους διατμητικής τάσης (τ_l) (συνθήκη Cauchy) κατά μήκος του φορέα, (Εικόνα 6-45).



Εικόνα 6-45 Ανάπτυξη κατακόρυφης (τ_v) και διαμήκης (τ_l) διατμητικής τάσης στη σύμμικτη δοκό από επιβολή τεμνουσών δυνάμεων (V_{Ed}), (Ιωάννης Κ. Βάγιας, 2018)

Με βάση λοιπόν την θεωρία της ελαστικότητας η κατακόρυφη (v_v) και οριζόντια (v_l) διατμητική ροή μπορούν να προσδιοριστούν από την σχέση (6.119).

$$\mathrm{v}_l = \frac{V_{Ed}.S}{I_{e,I}} \tag{6.119}$$

όπου:

v_l: Δρώσα διατμητική ροή (Δύναμη ανά μονάδα μήκους)

V_{Ed}: Δρώσα τέμνουσα δύναμη

$I_{e,I}$: Ροπή αδρανείας αρηγμάτωτης διατομής

$S_{\alpha\text{-}\alpha}$: Στατική ροπή αδρανείας της πλάκας σκυροδέματος (στην διεπιφάνεια μεταξύ σκυροδέματος και σιδηροδοκού) ως προς το κέντρο βάρους της σύμμικτης διατομής, δίνεται από την πιο κάτω σχέση (6.120).

$$S_{a-a} = \left(\frac{A_c}{n}.\Delta z_{e,c}\right) + (A_s.\Delta z_{e,s}) \tag{6.120}$$

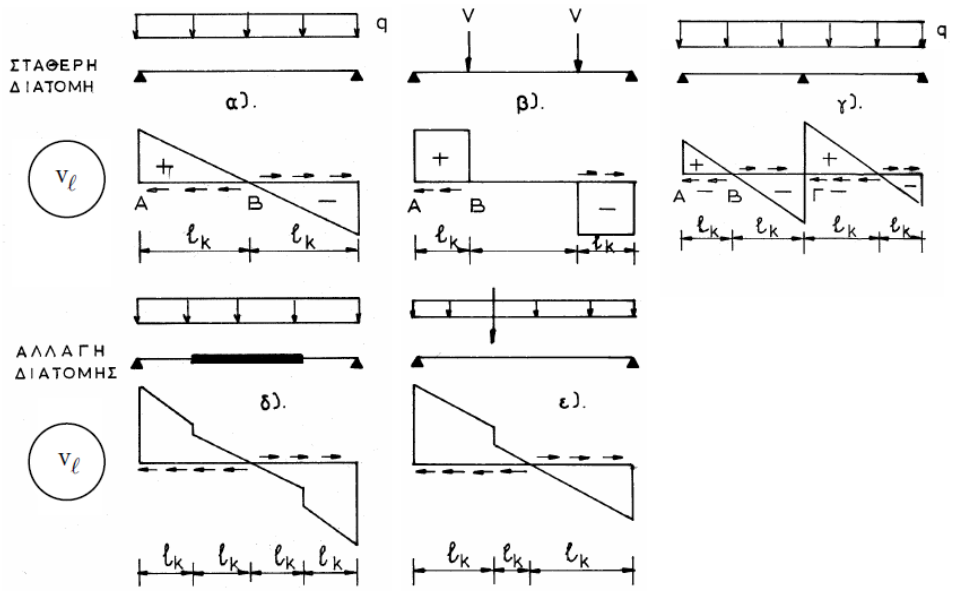
όπου:

$\Delta z_{e,c}$: Απόσταση μεταξύ κέντρου βάρους της σύμμικτης διατομής και του κέντρου βάρους της πλάκας σκυροδέματος

$\Delta z_{e,s}$: Απόσταση μεταξύ κέντρου βάρους της σύμμικτης διατομής και του κέντρου βάρους του οπλισμού σκυροδέματος

Όπως παρατηρούμε και από την εξίσωση (6.119) για σύμμικτες δοκούς σταθερής διατομής, τόσο η στατική ροπή αδρανείας (S) όσο και η ροπή αδρανείας ($I_{e,I}$) είναι σταθερά μεγέθη και επομένως η κατανομή της διαμήκους διατμητικής ροής (v_I) ακολουθεί (έχει την ίδια μορφή) το διάγραμμα των τεμνουσών δυνάμεων (V_{Ed}). Στην περίπτωση όπου έχουμε αλλαγή στην γεωμετρία της διατομής κατά μήκος της σύμμικτης δοκού, τα μεγέθη της στατικής ροπής αδρανείας (S) καθώς και η ροπή αδρανείας ($I_{e,I}$) μεταβάλλονται με αποτέλεσμα να παρατηρείται ένα «άλμα» στο διάγραμμα της διαμήκους διατμητικής ροής (v_I) το οποίο δεν παρατηρείται στο διάγραμμα τεμνουσών δυνάμεων (V_{Ed}).

Συνεπώς η εύρεση της διαμήκους διάτμησης προκύπτει από διαδοχική ολοκλήρωση της διατμητικής ροής (v_I) εντός των κρίσιμών μηκών της σύμμικτης δοκού. Ως κρίσιμα μήκη (l_{cr}) μια σύμμικτης δοκού ορίζονται οι αποστάσεις μεταξύ δυο διαδοχικών χαρακτηριστικών διατομών (κρίσιμων διατομών) κατά μήκος της δοκού, δηλαδή διατομές στις οποίες μπορεί να έχουμε μηδενισμό ή μέγιστο/ελάχστο στο διάγραμμα τεμνουσών δυνάμενων, ή αλλαγή της διατομής της σύμμικτης δοκού ή επιβολή συγκεντρωμένων φορτίων.



Εικόνα 6-46 Διαγράμματα διατμητικής ροής (v_I) και προσδιορισμός κρίσιμων μηκών της σύμμικτης δοκού (l_{cr}), (Ιωάννης Κ. Βάγιας, 2018)

6.4.7.2.2.3 Ελαστοπλαστική Ανάλυση (Ανελαστική συμπεριφορά) ($M_{el,Rd} < M_{Ed} \leq M_{pl,Rd}$)

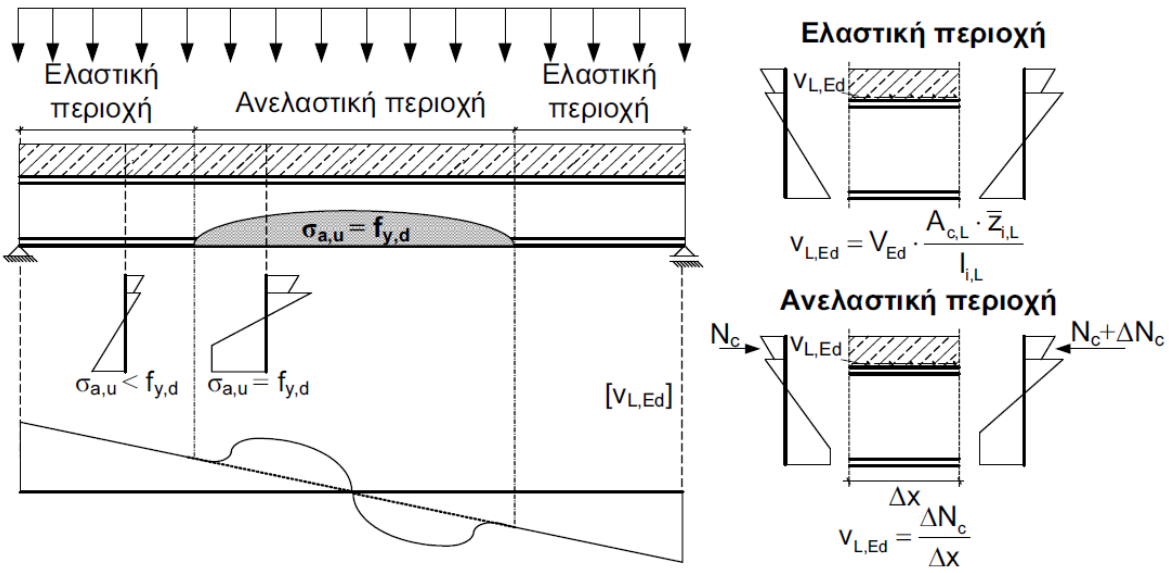
Η μεθοδολογία της ελαστοπλαστικής ανάλυσης για την εύρεση της δρώσας διαμήκους διάτμησης μπορεί να εφαρμοστεί σε σύμμικτες δοκούς οι οποίες όλες οι διατομές τους είναι κατηγορίας 1 ή 2 και ο έλεγχος που πραγματοποιείται αφορά την οριακή κατάσταση αστοχίας.

Έτσι λοιπόν στην περίπτωση αυτή όπου η δρώσα ροπή είναι μεγαλύτερη της ελαστικής ροπής αντοχής ($M_{Ed} > M_{el,Rd}$), τμήμα της σύμμικτης δοκού συμπεριφέρεται ανελαστικά δηλαδή οι διατομές μέσα στο τμήμα αυτό αρχίζουν να πλαστικοποιούνται. Επομένως η δρώσα διαμήκης διάτμηση στην περίπτωση αυτή θα είναι μεγαλύτερη από εκείνη που προέκυψε στην ελαστική ανάλυση (σχέση (6.119)), η οποία είναι προφανές ότι δεν ισχύει πλέον καθώς προέρχεται από την θεωρία ελαστικότητας. Συνεπώς στην ανελαστική περιοχή της σύμμικτης δοκού η διατμητική ροή εντός μήκους «Δx» βρίσκεται με την βοήθεια της πιο κάτω σχέσης (6.121).

$$v_l = \frac{\Delta N_{c+s}}{\Delta x} \tag{6.121}$$

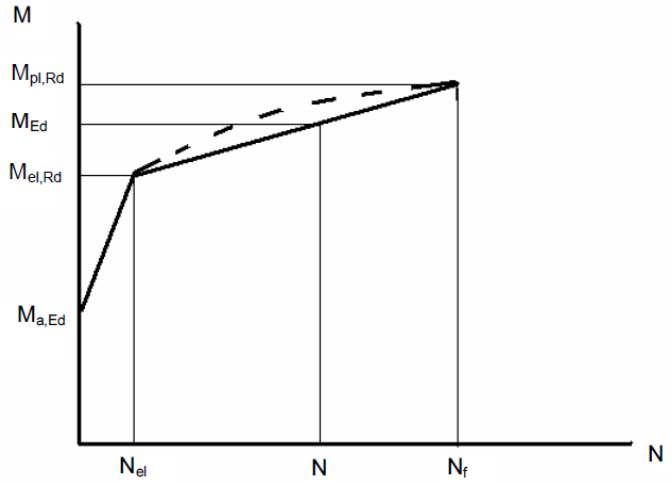
όπου:

ΔN_{c+s}: Είναι η μεταβολή της αξονικής δύναμης στην πλάκα σκυροδέματος και τον οπλισμό σκυροδέματος, μέσα στο υπό εξεταζόμενο τμήμα «Δx» της σύμμικτης δοκού



Εικόνα 6-47 Διαμήκης διάτμηση σε περιοχές με ανελαστική συμπεριφορά, (Ιωάννης Κ. Βάγιας, 2018)

Σε διατομές οι οποίες βρίσκονται στην ανελαστική περιοχή, η οριζόντια δύναμη (N) πλάκας σκυροδέματος και οπλισμού, αντιστοιχεί στο μέγεθος των ροπών και μπορεί να υπολογιστεί από ολοκλήρωση των διαγραμμάτων τάσεων ή προσεγγιστικά μπορεί να υπολογιστεί με την βοήθεια της σχέσης (6.122), (Εικόνα 6-48).



Εικόνα 6-48 Διάγραμμα για τον υπολογισμό της οριζόντιας δύναμης (N) πλάκας σκυροδέματος και οπλισμού, (Ιωάννης Κ. Βάγιας, 2018)

$$N = N_{el} + \left[\frac{M_{Ed} - M_{el,Rd}}{M_{pl,Rd} - M_{el,Rd}} . \left(N_f - N_{el}\right)\right] \qquad (6.122)$$

όπου:

N: Η οριζόντια δύναμη πλάκας σκυροδέματος και οπλισμού η οποία αναπτύσσεται για δρώσα ροπή (M_{Ed}), και υπολογίζεται μέσω γραμμικής παρεμβολής με την βοήθεια της πιο πάνω σχέσης (6.122)

N_{el}: Η οριζόντια δύναμη πλάκας σκυροδέματος και οπλισμού η οποία αναπτύσσεται στην ελαστική ροπή αντοχής ($M_{el,Rd}$)

N_f: Η μέγιστη οριζόντια δύναμη πλάκας σκυροδέματος και οπλισμού η οποία αναπτύσσεται στην πλαστική ροπή αντοχής ($M_{pl,Rd}$)

$M_{el,Rd}$: Ελαστική ροπή αντοχής της διατομής

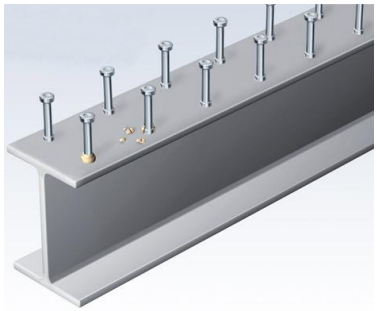
$M_{pl,Rd}$: Πλαστική ροπή αντοχής της διατομής

6.4.7.3 Διατμητικοί σύνδεσμοι

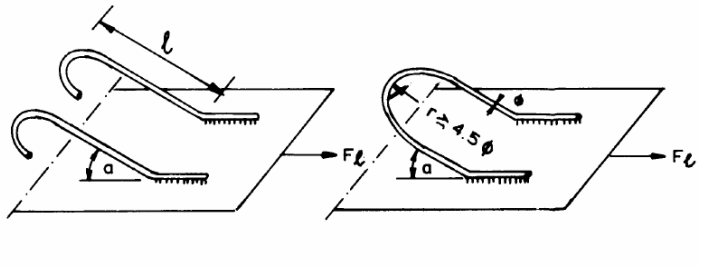
6.4.7.3.1 Γενικά

Η παραλαβή της διαμήκους διάτμησης στις σύμμικτες κατασκευές γίνεται με την βοήθεια μηχανικών μέσων τα οποία ονομάζονται διατμητικοί σύνδεσμοι. Στο εμπόριο υπάρχουν πολλοί τύποι και μέσα διατμητικών συνδέσμων οι οποίοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραλαβή και μεταφορά της διαμήκους διάτμησης. Ο Ευρωκώδικας 4 περιέχει κανόνες εφαρμογής για μερικούς τύπους διατμητικών συνδέσμων όπως είναι:

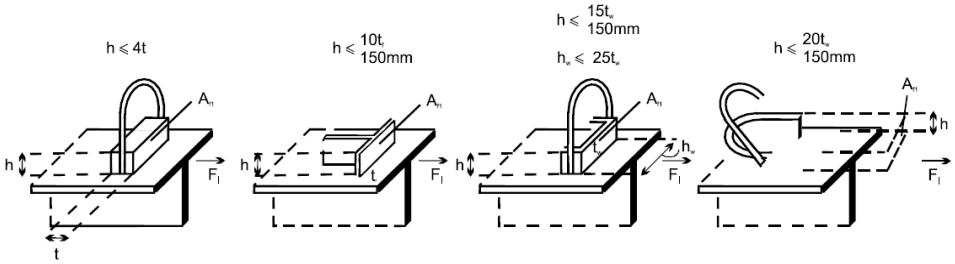
- Ήλοι κεφαλής σε συμπαγής και σύμμικτες πλάκες σκυροδέματος
- Συμπαγείς σύνδεσμοι
- Αναβολείς και άγκιστρα από ράβδους οπλισμού σκυροδέματος
- Γωνιακά σε συμπαγείς πλάκες



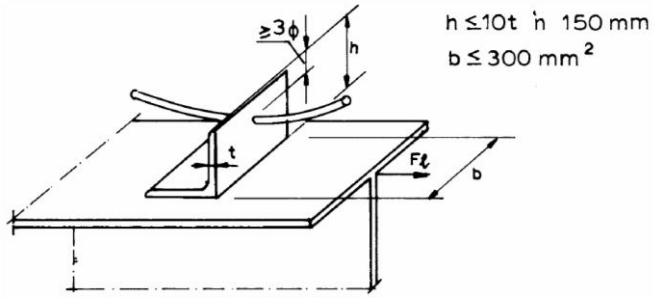
Εικόνα 6-49 Διατμητικοί ήλοι κεφαλής, (https://www.precisionfasteners.com/shear-studs-weld-studs.html)



Εικόνα 6-50 Διατμητικοί σύνδεσμοι τύποι άγκιστρου και αναβολέα από ράβδους οπλισμένου σκυροδέματος, (Ιωάννης Κ. Βάγιας, 2018)



Εικόνα 6-51 Συμπαγείς διατμητικοί σύνδεσμοι, (Ιωάννης Κ. Βάγιας, 2018)



Εικόνα 6-52 Διατμητικός σύνδεσμος τύπου γωνιακού, (Ιωάννης Κ. Βάγιας, 2018)

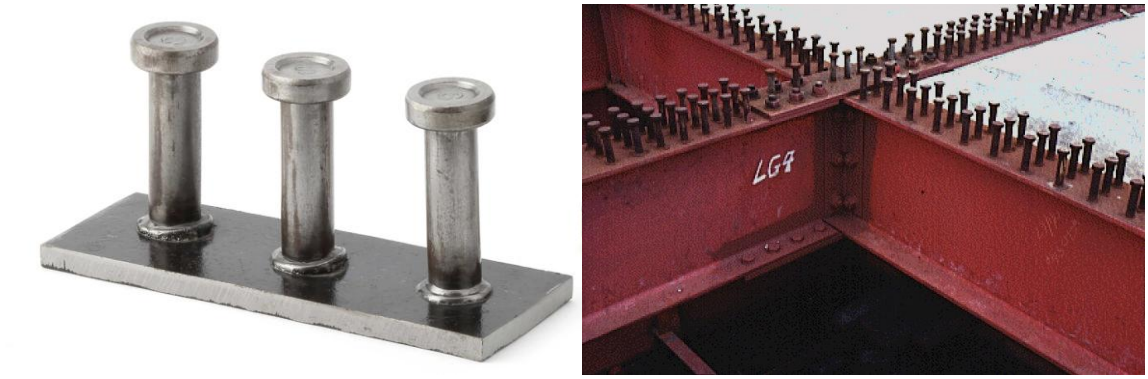
Από τους ανώτερους ο πλέον εφαρμόσιμος και συνηθέστερος τρόπος διατμητικής σύνδεσης είναι αυτός με τους διατμητικούς ήλους κεφαλής ο οποίος θα περιγραφεί αναλυτικότερα στην επόμενη παράγραφο.

Ως προς τη συμπεριφορά τους οι διατμητικοί σύνδεσμοι διακρίνονται σε δυο κατηγορίες, τους εύκαμπτους και τους άκαμπτους συνδέσμους. Η επιλογή διατμητικών συνδέσμων με βάση την συμπεριφορά τους επηρεάζει τον τρόπο με τον οποίο θα κατανεμηθούν κατά μήκος της σύμμικτης δοκού.

6.4.7.3.2 Διατμητικοί ήλοι κεφαλής

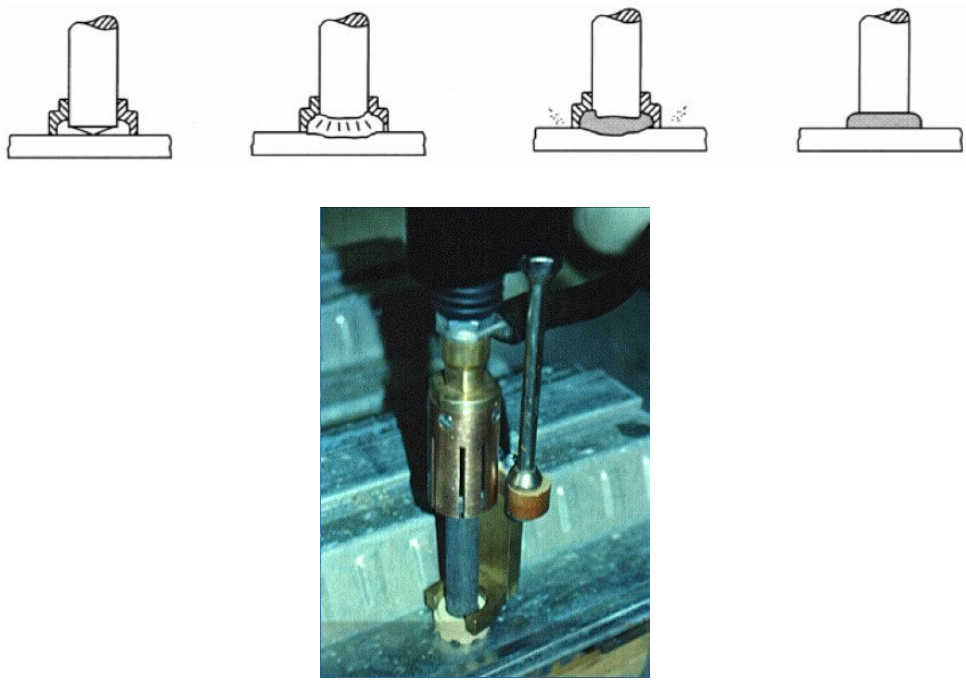
6.4.7.3.2.1 Γενικά

Ο συνηθέστερος και πλέον διαδεδομένος τύπος διατμητικών συνδέσμων είναι αυτός των διατμητικών ήλων κεφαλής, λόγω των πλεονεκτημάτων που προσφέρει ως προς την συμπεριφορά του, την ευκολία κατασκευής του άλλα και στον τρόπο τοποθέτησης του στην κατασκευή. Τα βασικότερα πλεονεκτήματα των διατμητικών ήλων κεφαλής είναι η ίδια διατμητική αντοχή και δυσκαμψία σε κάθε διεύθυνση, η ευκολία στην συγκόλληση τους με την φέρουσα σιδηροδοκό καθώς και η μικρή παρεμπόδιση που μπορούν να επιφέρουν σε κατασκευαστικά θέματα όπως κατά την τοποθέτηση του οπλισμού σκυροδέματος. Η κεφαλή του ήλου εμποδίζει την ανύψωση της πλάκας σκυροδέματος και την αποκόλληση της από την σιδηροδοκό. Το υλικό κατασκευής των διατμητικών ήλων κεφαλής είναι ειδικής ποιότητας ελατού χάλυβα. Ο χάλυβας αυτός όταν τήκεται έχει μεγαλύτερη τάση να εκταθεί προς μια ή περισσότερες διαστάσεις του χώρου και είναι λιγότερο μαλακός έτσι ώστε να εξουδετερώσει κατά κάποιον τρόπο τη σκλήρυνση του υλικού του ήλου κατά την διαδικασία της συγκόλλησης. Η αντοχή των ήλων λόγω της κατεργασίας του υλικού μέσω θέρμανσης και εν συνεχεία απόψυξης του, πρέπει να είναι σημαντικά ανώτερη από την αντοχή που είχε αρχικά το υλικό.



Εικόνα 6-53 Διατμητική σύνδεση με χρήση διατμητικών ήλων κεφαλής, (Ερμόπουλος Γιάννης (Ε.Μ.Π), n.d.)

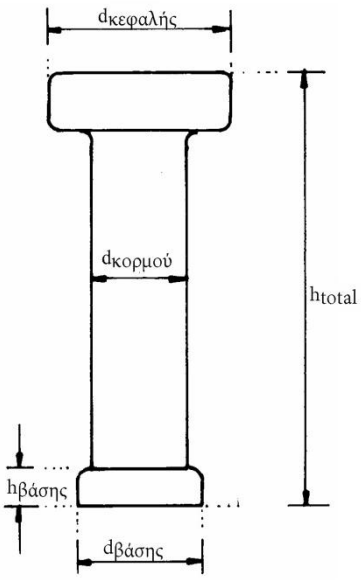
Η συγκόλληση των διατμητικών ήλων κεφαλής με τη σιδηροδοκό επιτυγχάνεται με την μέθοδο συγκόλλησης ηλεκτρικού τόξου η οποία είναι μια ημι-αυτοματοποιημένη διαδικασία με την βοήθεια ειδικής συσκευής πιστολιού συγκόλλησης. Παρακάτω περιγράφεται η διαδικασία συγκόλλησης με την βοήθεια της ειδικής μηχανής σε 4 φάσεις όπως προδιαγράφεται από τον (EN 14555), (Εικόνα 6-54).



Εικόνα 6-54 Φάσες συγκόλλησης διατμητικών ήλων κεφαλής, Μηχανή (πιστόλι) συγκόλλησης, (Ερμόπουλος Γιάννης (Ε.Μ.Π), n.d.)

1. Εφαρμογή του διατμητικού ήλου στο πιστόλι συγκόλλησης καθώς και εφαρμογή κεραμικού δακτυλίου στη βάση του
2. Πιέζοντας τη σκανδάλη του πιστολιού συγκόλλησης, ανυψώνεται ελαφρά προς το πάνω ο διατμητικός ήλος και μέσα από αυτόν διοχετεύεται ρεύμα υψηλής τάσης δημιουργώντας ηλεκτρικό τόξο μεταξύ της βάσης του ήλου και του μητρικού μετάλλου το οποίο περιορίζεται μέσα στον κεραμικό δακτύλιο.
3. Ως αποτέλεσμα του ηλεκτρικού τόξου που δημιουργείται το μητρικό μέταλλο καθώς και η βάση του διατμητικού ήλου λιώνουν, και στο τέλος ο ήλος πιέζεται μέσα στο τήγμα που δημιουργείται
4. Τέλος απομακρύνεται το πιστόλι και ο κεραμικός δακτύλιος (σπάζοντας τον με ένα μικρό σφυρί), όπου ο ρόλος του κεραμικού δακτυλίου είναι να περιορίσει το εύρος του ηλεκτρικού τόξου και το σχηματισμό της βάσης του ήλου. Η βάση του ήλου στην τελική κατάσταση είναι ελαφρώς εξογκωμένη λόγω υπερχείλισης του τήγματος.

Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 6-16) παρατίθενται οι διαστάσεις των διατμητικών ήλων κεφαλής όπως δίνονται στο (EN 13918). Με βάση τον (EN 1994-1-1 §6.6.5.7) θα πρέπει να πληρούνται κάποιες απαιτήσεις στην γεωμετρία των ήλων, όπου θα πρέπει το συνολικό ύψος του ήλου να είναι τουλάχιστον 3 φορές μεγαλύτερο από την διάμετρο κορμού του ($h_{total,ήλου} \geq 3.d_{ήλου}$), η διάμετρος κεφαλής του ήλου να είναι τουλάχιστον 1,5 φορά μεγαλύτερη από την διάμετρο κορμού του ($d_{κεφαλής,ήλου} \geq 1,5.d_{ήλου}$) και το ύψος κεφαλής του ήλου να είναι τουλάχιστον 0,4 φορές μεγαλύτερο από την διάμετρο κορμού του ($h_{κεφαλής,ήλου} \geq 0,4.d_{ήλου}$). Ο παρακάτω πίνακας (Πίνακας 6-16) διατμητικών ήλων καλύπτει τις αναφερόμενες γεωμετρικές απαιτήσεις τις οποίες θα πρέπει να πληρούν οι διατμητικοί ήλοι κεφαλής σύμφωνα με τον (EN 1994-1-1 §6.6.5.7).



Διάμετρος κορμού ($d_{κορμού}$) (mm)	Διάμετρος κεφαλής ($d_{κεφαλής}$) (mm)	Συνολικό Ύψος (h_{total}) (mm)	Ύψος Κεφαλής ($h_{κεφαλής}$) (mm)
16	29	50	29
16	29	75	29
16	29	100	29
16	29	125	29
16	29	150	29
16	29	175	29
16	29	200	29
19	32	75	32
19	32	100	32
19	32	125	32
19	32	150	32
19	32	200	32
22	35	50	35
22	35	75	35
22	35	100	35
22	35	125	35
22	35	150	35
22	35	175	35
22	35	200	35
22	35	225	35
22	35	250	35
25	38	100	40
25	38	125	40
25	38	150	40
25	38	175	40
25	38	200	40
25	38	250	40

Πίνακας 6-16 Γεωμετρικές διαστάσεις διατμητικών ήλων κεφαλής σε (mm) σύμφωνα με τον (EN 13918)

6.4.7.3.2.2 Φέρουσα ικανότητα διατμητικών ήλων κεφαλής

6.4.7.3.2.2.1 Γενικά

Η μέγιστη δύναμη (φορτίο αστοχίας) η οποία μπορεί να παραλάβει ένας διατμητικός ήλος κεφαλής καθορίζεται από τη μορφή αστοχίας που μπορεί να επέλθει. Συνεπώς οι πιθανές μορφές αστοχίας σε αυτή την περίπτωση είναι είτε αστοχία του ίδιου του ήλου σε διάτμηση είτε αστοχία σύνθλιψης άντυγας του σκυροδέματος (θραύση του σκυροδέματος που περιβάλλει τον ήλο).

6.4.7.3.2.2.2 Φέρουσα ικανότητα ενός διατμητικού ήλου μέσα σε συμπαγή πλάκα σκυροδέματος

Βάση των προαναφερθέν η οριακή αντοχή (δύναμη αστοχίας) ενός διατμητικού ήλου εντός συμπαγούς πλάκας σκυροδέματος προκύπτει από την μικρότερη τιμή των δυο πιο κάτω σχέσεων (6.123) και (6.124) σύμφωνα με τον (EN 1994-1-1 §6.6.3.1).

Δύναμη αστοχίας του ήλου σε διάτμηση	$\mathrm{P}_{Rd,1} = \frac{0{,}8.\, f_{u,sc}.\, \pi.\, d_{sc}^2}{4.\, \gamma_v}$	(6.123)
Δύναμη αστοχίας σε σύνθλιψη άντυγας του σκυροδέματος	$\mathrm{P}_{Rd,2} = \frac{0{,}29.\, \alpha.\, d_{sc}^2.\, \sqrt{f_{ck}.\, E_{cm}}}{\gamma_v}$	(6.124)
Τελική δύναμη αστοχίας του ήλου	$\mathrm{P}_{Rd} = \min\left\{P_{Rd,1}; P_{Rd,2}\right\}$	(6.125)

όπου:

$f_{u,sc}$: Εφελκυστική αντοχή του διατμητικού ήλου, (η οποία θα πρέπει να είναι $f_{u,sc} \leq 500$ MPa)

d_{sc}: Διάμετρος κορμού του διατμητικού ήλου (η οποία θα πρέπει να είναι εντός των ορίων (16mm $\leq d_{sc} \leq$ 25mm))

h_{sc}: Συνολικό ύψος του διατμητικού ήλου

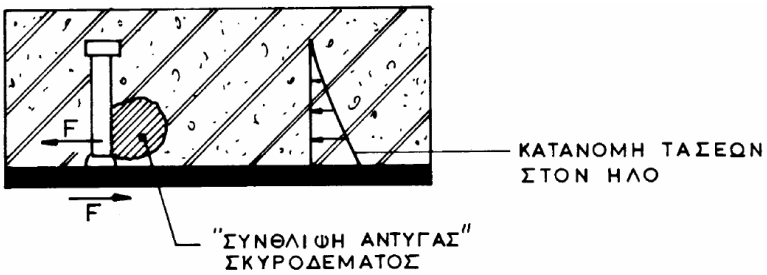
γ_v: Επιμέρους συντελεστής ασφαλείας ο οποίος αφορά τον διατμητικό ήλο. Η συνιστώμενη τιμή του μπορεί να δίνεται στο Εθνικό Προσάρτημα (γ_v=1,25)

α: Ο συντελεστής «α» καθορίζεται από τις πιο κάτω σχέσεις (6.126) και (6.127)

Για $3 \leq \frac{\mathrm{h_{sc}}}{\mathrm{d_{sc}}} \leq 4$	$\alpha = 0{,}2.\left(\frac{\mathrm{h_{sc}}}{\mathrm{d_{sc}}} + 1\right)$	(6.126)
Για $\frac{\mathrm{h_{sc}}}{\mathrm{d_{sc}}} > 4$	$\alpha = 1$	(6.127)

f_{ck}: Η χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή κυλινδρικού δοκιμίου του σκυροδέματος στη θεωρούμενη ηλικία των 28 ημερών, (πυκνότητας όχι μικρότερης από 1750 Kg/m^3)

E_{cm}: Μέση τιμή του μέτρου ελαστικότητας του σκυροδέματος



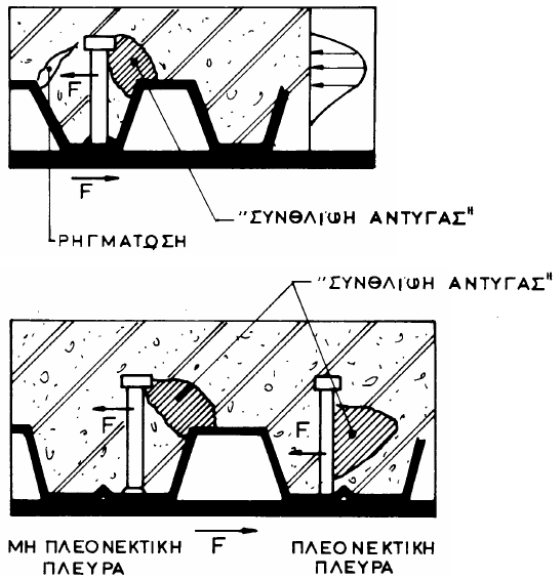
Εικόνα 6-55 Σε συμπαγής πλάκα σκυροδέματος οι διατμητικές τάσεις που ασκούνται προς στον διατμητικό ήλο από την άντυγα του σκυροδέματος είναι ομοιόμορφες (τριγωνική κατανομή), (Ιωάννης Κ. Βάγιας, 2018)

6.4.7.3.2.2.3 Φέρουσα ικανότητα ενός διατμητικού ήλου μέσα σε σύμμικτη πλάκα σκυροδέματος

Στην προηγούμενη παράγραφο περιγράφτηκαν οι σχέσεις υπολογισμού για την εύρεση της δύναμης αστοχίας του ήλου ο οποίος ευρίσκεται σε συμπαγή πλάκα σκυροδέματος. Στην περίπτωση όπου έχουμε σύμμικτη πλάκα σκυροδέματος με αυλακωτό χαλυβδόφυλλο, τότε η φέρουσα αντοχή του διατμητικού ήλου υποβιβάζεται και γίνεται μικρότερη από την αντοχή που θα είχε αν βρισκότανε σε συμπαγή πλάκα σκυροδέματος. Αυτό συμβαίνει λόγω της παρουσίας του χαλυβδόφυλλου το οποίο μειώνει την ποσότητα (την «ψύχα») του σκυροδέματος πίσω από τον ήλο, με αποτέλεσμα την μειωμένη αντοχή που παρουσιάζει η περιοχή του σκυροδέματος η οποία έρχεται σε επαφή με το ήλο (σύνθλιψη άντυγας σκυροδέματος). Κατ' επέκταση η κατανομή των τάσεων που ασκούνται καθ' ύψος του ήλου από την άντυγα του σκυροδέματος γίνεται περισσότερο τοπική (σημειακή) με αποτέλεσμα ο ήλος σε αυτή την περίπτωση να παρουσιάζει μειωμένη φέρουσα ικανότητα αντοχής λόγω της ευκολίας του να αστοχήσει από τοπικές τάσεις που ασκούνται σε αυτόν.

Συνεπώς στην περίπτωση όπου ο ήλος τοποθετείται έκκεντρα ως προς το μέσο των φύλλων του χαλυβδόφυλλου (λόγω της διαμήκους νεύρωσης που βρίσκεται στην βάση των φύλων του χαλυβδόφυλλου), θα πρέπει η εκκεντρότητα που δίνεται στον ήλο να είναι αντίθετης φοράς από την φορά της διατμητικής δύναμης που μεταβιβάζεται από τη σιδηροδοκό στην πλάκα σκυροδέματος. Με αυτό τον τρόπο υπάρχει αρκετή

ποσότητα θλιβόμενου σκυροδέματος πίσω από τον ήλο έτσι ώστε να μεταβιβαστεί η δύναμη από τη σιδηροδοκό διαμέσου του ήλου προς το σκυρόδεμα.



Εικόνα 6-56 Για την περίπτωση σύμμικτων πλακών με αυλακωτά χαλυβδόφυλλα οι διατμητικές τάσεις που ασκούνται προς στο διατμητικό ήλο από την άντυγα του σκυροδέματος είναι ανομοιόμορφη και τοπική, (Ιωάννης Κ. Βάγιας, 2018)

Με βάση λοιπόν τα όσα προαναφέρθηκαν στην περίπτωση που έχουμε σύμμικτη πλάκα με αυλακωτό χαλυβδόφυλλο, η μέγιστη δύναμη (φορτίο αστοχίας) το οποίο μπορεί να παραλάβει ένας διατμητικός ήλος καθορίζεται από την μικρότερη τιμή των σχέσεων (6.123) και (6.124) (δηλαδή από την σχέση (6.125)) όπως και στην περίπτωση συμπαγούς πλάκας σκυροδέματος αλλά πολλαπλασιάζοντας και με ένα μειωτικό συντελεστή (k_l ή k_t) ο οποίος εξαρτάται από την διεύθυνση των αυλακώσεων του χαλυβδόφυλλου σε σχέση με τη διεύθυνση της σιδηροδοκού.

- <u>Χαλυβδόφυλλο με διεύθυνση αυλακώσεων παράλληλη στην διεύθυνση της σιδηροδοκού</u>

  Ο μειωτικός συντελεστής «k_l» (longitudinal) δίνεται με βάση τον (EN 1994-1-1 §6.6.4.1) από την πιο κάτω σχέση (6.128):

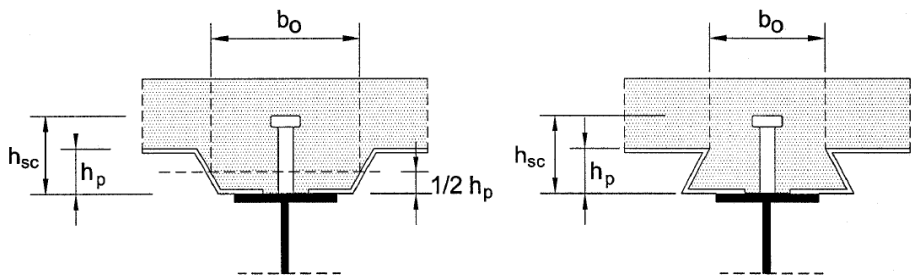
$$k_l = \left[0{,}6.\frac{b_0}{h_p}.\left(\frac{h_{sc}}{h_p} - 1\right)\right] \leq 1{,}0 \qquad (6.128)$$

όπου:

b_0: Μέσο πλάτος αυλακώσεων του χαλυβδόφυλλου το οποίο θα πρέπει να είναι τουλάχιστον ίσο με ($b_0 \geq 50mm$)

h_p: Συνολικό ύψος του χαλυβδόφυλλου

h_{sc}: Συνολικό ύψος του διατμητικού ήλου το οποίο δεν θα πρέπει να υπερβαίνει την τιμή ($h_{sc} \leq (h_p + 75mm)$)



Εικόνα 6-57 Διαστάσεις χαλυβδοφύλλων (διεύθυνση αυλακώσεων χαλυβδόφυλλου παράλληλη με την διεύθυνση της σιδηροδοκού), (EN 1994-1-1 §6.6.4.1, Σχήμα 6.12)

Επομένως στην περίπτωση σύμμικτων πλακών με διεύθυνση αυλακώσεων χαλυβδόφυλλου παράλληλα με την διεύθυνση της σιδηροδοκού, η οριακή αντοχή του διατμητικού ήλου βρίσκεται όπως και στην περίπτωση για συμπαγείς πλάκες σκυροδέματος (σχέση (6.125)) πολλαπλασιάζοντας με τον μειωτικό συντελεστή (k_l) και δίνεται από την πιο κάτω εξίσωση (6.129)

$$P_{Rd} = k_l . \left[\min\{P_{Rd,1}; P_{Rd,2}\}\right] \quad (6.129)$$

- <u>Χαλυβδόφυλλο με διεύθυνση αυλακώσεων κάθετη στην διεύθυνση της σιδηροδοκού</u>

Ο μειωτικός συντελεστής «k_t» (transverse) δίνεται με βάση τον (EN 1994-1-1 §6.6.4.2) από την πιο κάτω σχέση (6.130)

$$k_t = \left[\frac{0,7}{\sqrt{n_r}} . \frac{b_0}{h_p} . \left(\frac{h_{sc}}{h_p} - 1\right)\right] \leq 1,0 \quad (6.130)$$

όπου:

n_r: Ο αριθμός των διατμητικών ήλων σε κάθε αυλάκωση του χαλυβδόφυλλου στην σύνδεση του με την σιδηροδοκό. Σε κάθε αυλάκωση του χαλυβδόφυλλου

η οποία έρχεται σε επαφή με τη σιδηροδοκό τοποθετούνται ένας ή περισσότεροι διατμητικοί ήλοι αλλά στους υπολογισμούς το n_r θα λαμβάνεται πάντα ($n_r \leq 2$)

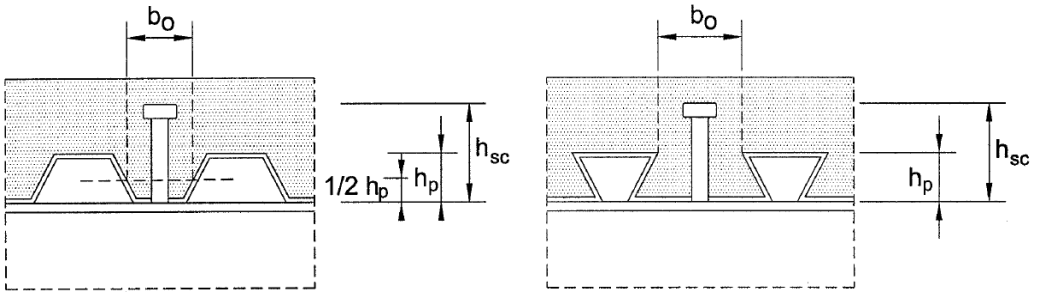
Ο Ευρωκώδικας (EN 1994-1-1 §6.6.4.2, Πίνακας 6.2) θέτει κάποια όρια σχετικά με τις μέγιστες τιμές που μπορεί να πάρει ο μειωτικό συντελεστή (k_t). Επομένως ο μειωτικός συντελεστής (k_t) δεν θα πρέπει να λαμβάνεται μεγαλύτερος από τις μέγιστες τιμές ($k_{t,max}$) που δίνονται στον πιο κάτω (Πίνακας 6-17)

Αριθμός διατμητικών ήλων (n_r) ανά νεύρωση	Πάχος του χαλυβδόφυλλου (t_p) (mm)	Διατμητικοί ήλοι με διάμετρο ($d_{κορμού} \leq 20$ mm) και συγκολλημένοι διαμέσου του χαλυβδόφυλλου	Χαλυβδόφυλλο με οπές και ήλους με διάμετρο ($d_{κορμού}$ = 19 mm) ή ($d_{κορμού}$= 22mm)
n_r=1	≤ 1,0	0,85	0,75
	> 1,0	1,00	0,75
n_r=2	≤ 1,0	0,75	0,60
	> 1,0	0,80	0,60

Πίνακας 6-17 Μέγιστες τιμές ($k_{t,max}$) για τον μειωτικό συντελεστή (k_t), (EN 1994-1-1 §6.6.4.2, Πίνακας 6.2)

Επίσης για να ισχύει η σχέση υπολογισμού του μειωτικού συντελεστή (k_t) όπως και τα μέγιστα όρια του ($k_{t,max}$) θα πρέπει να ισχύουν οι εξής προϋποθέσεις σύμφωνα με τον (EN 1994-1-1 §6.6.4.2):

1. Οι διατμητικοί ήλοι τοποθετούνται σε αυλακώσεις χαλυβδόφυλλου ύψους ($h_p \leq 85$mm) και πλάτους αυλακώσεων ($b_0 \geq h_p$) και
2. Για συγκόλληση διατμητικών ήλων δια μέσου του ελάσματος του χαλυβδόφυλλου, η διάμετρος των ήλων θα πρέπει να είναι ($d_{κορμού,ήλου} \leq$ 20mm), ή
3. Για χαλυβδόφυλλο στο οποίο έχουν προβλεφθεί οπές, η διάμετρος των ήλων θα πρέπει να είναι ($d_{κορμού,ήλου} \leq$ 22mm)



Εικόνα 6-58 Διαστάσεις χαλυβδοφύλλων (διεύθυνση αυλακώσεων χαλυβδόφυλλου κάθετα στην διεύθυνση της σιδηροδοκού), (EN 1994-1-1 §6.6.4.2, Σχήμα 6.13)

Επομένως στην περίπτωση σύμμικτων πλακών με διεύθυνση αυλακώσεων χαλυβδόφυλλου κάθετα προς την διεύθυνση της σιδηροδοκού, η οριακή αντοχή του διατμητικού ήλου βρίσκεται όπως και στην περίπτωση για συμπαγείς πλάκες σκυροδέματος (σχέση (6.125)), πολλαπλασιάζοντας με τον μειωτικό συντελεστή (k_t) και δίνεται από την πιο κάτω εξίσωση (6.131).

$$P_{Rd} = k_t.\left[\min\{P_{Rd,1}; P_{Rd,2}\}\right] \quad (6.131)$$

όπου η εφελκυστική αντοχή του διατμητικού ήλου ($f_{u,sc}$) θα πρέπει να λαμβάνεται ($f_{u,sc} \leq 450$ MPa)

6.4.7.3.2.2.4 Διαξονική φόρτιση διατμητικών συνδέσμων

Στην περίπτωση όπου ο διατμητικός σύνδεσμος εξασφαλίζει διατμητική σύνδεση και στην δοκό αλλά και σε μια πλάκα, δηλαδή παραλαμβάνει διατμητικές δυνάμεις τόσο από την δοκό ($F_{l,Ed}$) όσο και διατμητικές δυνάμεις από την πλάκα ($F_{t,Ed}$), τότε εξετάζεται η μεταξύ τους αλληλεπίδραση των διατμητικών δυνάμεων που ενεργούν προς στον διατμητικό σύνδεσμο μέσω της παρακάτω σχέσης (6.132).

$$\frac{F_{l,Ed}^2}{P_{l,Rd}^2} + \frac{F_{t,Ed}^2}{P_{t,Rd}^2} \leq 1{,}0 \quad (6.132)$$

όπου:

$F_{l,Ed}$: Δρώσα διατμητική δύναμη σχεδιασμού η οποία προκαλείται από την σύμμικτη δράση στην δοκό

$F_{t,Ed}$: Δρώσα διατμητική δύναμη σχεδιασμού η οποία προκαλείται από την σύμμικτη δράση στην πλάκα σκυροδέματος

$P_{l,Rd}$: Διατμητική δύναμη αντοχής σχεδιασμού του ήλου στην διεύθυνση που προκαλείται η δρώσα διατμητική δύναμη λόγω σύμμικτη δράση στην δοκό

$P_{t,Rd}$: Διατμητική δύναμη αντοχής σχεδιασμού του ήλου στην διεύθυνση που προκαλείται η δρώσα διατμητική δύναμη λόγω σύμμικτη δράση με την πλάκα σκυροδέματος

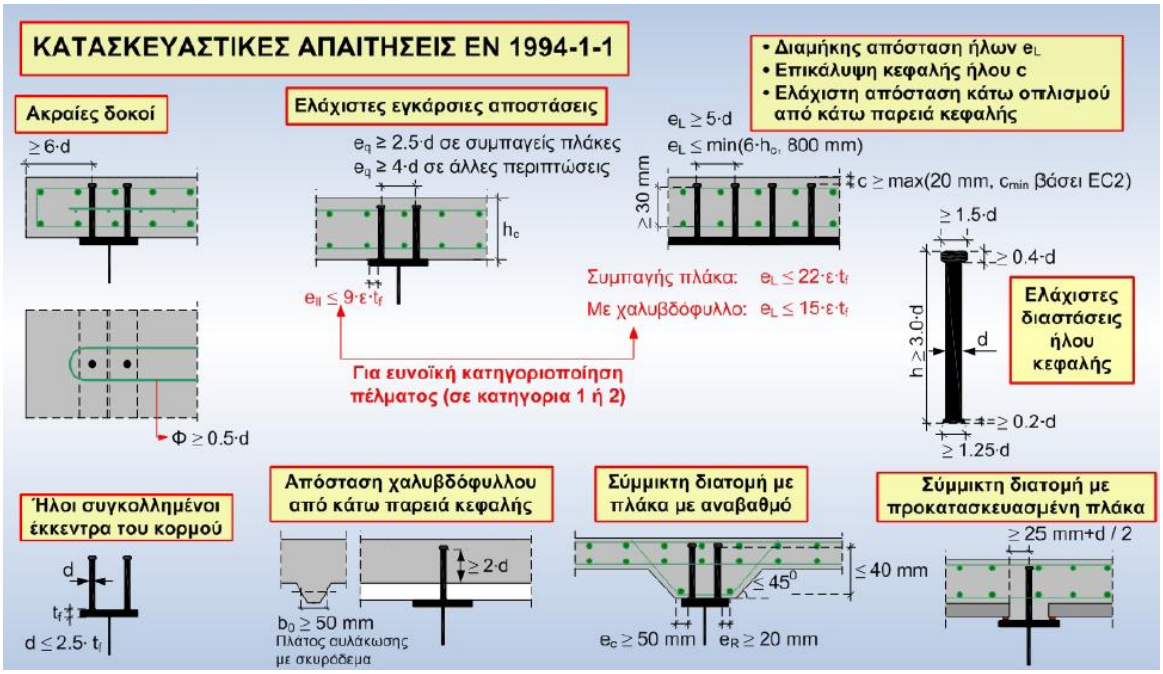
6.4.7.3.2.2.5 Κατασκευαστικές Διατάξεις (Γεωμετρικές Απαιτήσεις) Διατμητικών Ήλων Κεφαλής Για Κτίρια

Οι κατασκευαστικές διατάξεις στον κανονισμό (EN 1994-1-1) βρίσκονται σε διάφορα σημεία των παραγράφων του, στις οποίες γίνεται αναφορά στις μέγιστες/ελάχιστες αποστάσεις μεταξύ των διατμητικών ήλων στην διαμήκη και στην εγκάρσια διεύθυνση της δοκού, στην απαιτούμενη επικάλυψη τους και στην εξασφάλιση ευνοϊκότερης κατηγοριοποίηση πελμάτων σιδηροδοκού για κατηγορίας 3 ή 4 κλπ. Στον παρακάτω (Πίνακας 6-18) και (Εικόνα 6-59) συνοψίζονται οι κατασκευαστικές απαιτήσεις των διατμητικών ήλων οι οποίες αναφέρονται στον (EN 1994-1-1) για κτιριακές κατασκευές.

	Όρια μέγιστων/ελάχιστων διαμήκης αποστάσεων μεταξύ των ήλων (e_L)	Όρια μέγιστων/ελάχιστων εγκάρσιων αποστάσεων μεταξύ των ήλων (e_T)
Συμπαγής Πλάκες Σκυροδέματος	$5.d_{ήλου} \le e_L \le \min\{ (6.h_c) ; 800mm \}$	$e_T \ge 2,5.d_{ήλου}$
Σύμμικτη πλάκα σκυροδέματος με αυλακωτό χαλυβδόφυλλο κάθετο στη σιδηροδοκό	$5.d_{ήλου} \le e_L \le \min\{ [6.(h_c + h_p)] ; 800mm \}$	$e_T \ge 4.d_{ήλου}$

• Ελάχιστη επικάλυψη σκυροδέματος διατμητικών ήλων (c_{min}) (όπου απαιτείται για ανθεκτικότητα) (EN 1994-1-1 §6.6.5.2)	$c \ge c_{min} = \max \{ 20mm ; c_{nom}$ (βάσει του EN1992-1-1)$\}$
• Ελάχιστο πλάτος αυλακωτού χαλυβδόφυλλου	$b_o \ge b_{o,min} = 50mm$
• Το συνολικό ύψος του ήλου μείον το ύψος του χαλυβδόφυλλου θα πρέπει να είναι τουλάχιστον μεγαλύτερο από 2 φορές της διάμετρο του κορμού του ήλου	$(h_{sc} - h_p) \ge (2.d_{ήλου})$

Πίνακας 6-18 Κατασκευαστικές απαιτήσεις ως προς την διάταξη των διατμητικών ήλων για κτίρια



Εικόνα 6-59 Κατασκευαστικές απαιτήσεις στην διάταξη των διατμητικών ήλων κεφαλής για κτίρια, (Ηλιόπουλος Α., 2011), (EN 1994-1-1)

6.4.7.4 Κατανομή Διατμητικών Συνδέσμων Κατά Μήκος Της Σύμμικτης Δοκού

6.4.7.4.1 Κατανομή Διατμητικών Συνδέσμων - Πλήρης Διατμητική Σύνδεση

Στην περίπτωση όπου έχουμε πλήρης διατμητική σύνδεση, τοποθετούνται τόσοι διατμητικοί σύνδεσμοι έτσι ώστε να παραλαμβάνουν όλη τη αναπτυσσόμενη δρώσα διαμήκη διάτμηση, εμποδίζοντας πλήρως την ολίσθηση που θα αναπτυσσόταν μεταξύ σιδηροδοκού και πλάκας σκυροδέματος. Στην πλήρη διατμητική σύνδεση επιτυγχάνεται η πλήρης ανάπτυξη της πλαστικής ροπής αντοχής της σύμμικτης δοκού. Συνεπώς ο συνολικός αριθμός των διατμητικών συνδέσμων που απαιτούνται για την επίτευξη πλήρης διατμητικής κάλυψης, προσδιορίζεται από τον λόγο της συνολικής δρώσας δύναμης διαμήκους διάτμησης ($V_{l,total}$) προς την δύναμη αντοχής του ενός διατμητικού συνδέσμου (P_{Rd}) μέσα στο υπό εξεταζόμενο τμήμα κρίσιμου μήκους (l_{cr}) της δοκού.

$$n_f = \frac{V_{l,total}}{P_{Rd}} \tag{6.133}$$

όπου:

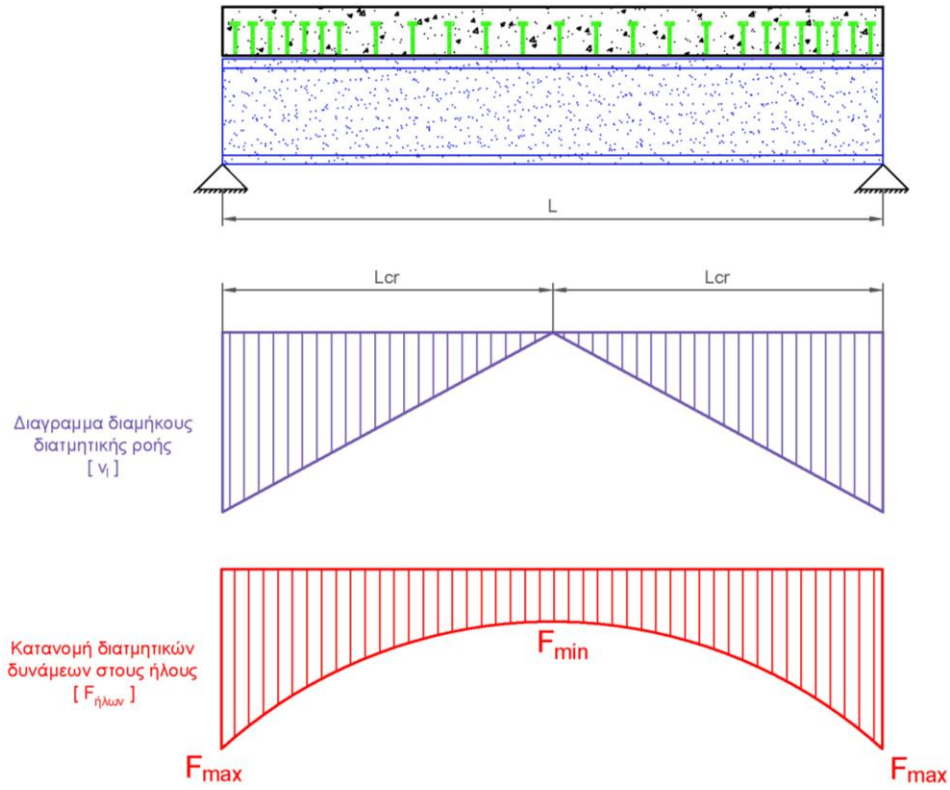
n_f: Απαιτούμενος αριθμός διατμητικών συνδέσμων για πλήρη διατμητική σύνδεση μέσα στο υπό εξέταση κρίσιμο μήκος της δοκού

$V_{l,total}$: Δρώσα διατμητική δύναμη στο υπό εξέταση τμήμα κρίσιμου μήκους της δοκού (βλέπε ενότητα 6.4.7.2)

P_{Rd}: Δύναμη Αντοχής του ενός διατμητικού συνδέσμου (βλέπε ενότητα 6.4.7.3.2.2)

6.4.7.4.1.1 Ελαστική Κατανομή Διατμητικών Συνδέσμων

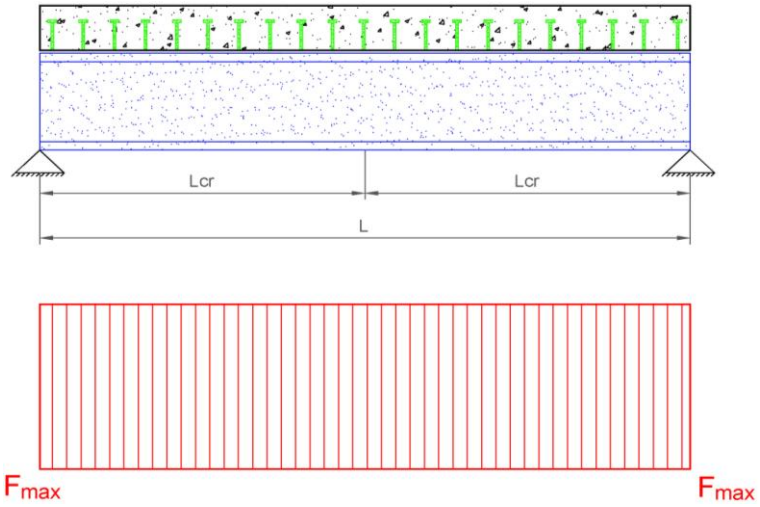
Στην ελαστική ανάλυση η κατανομή των διατμητικών συνδέσμων κατά μήκος του φορέα μέσα στο εξεταζόμενο κρίσιμο μήκος γίνεται ακλουθώντας το διάγραμμα των διαμήκους διατμητικών τάσεων. Στην περίπτωση αυτή δεν τίθενται ιδιαίτερες απαιτήσεις όσο αφορά την ολκιμότητα των διατμητικών συνδέσμων. Συνεπώς παρατηρώντας το διάγραμμα διαμήκους διάτμησης κατά μήκος του φορέα, στην ελαστική συμπεριφορά οι διατμητικοί σύνδεσμοι οι οποίοι βρίσκονται στα άκρα του υπό εξέταση τμήματος παραλαμβάνουν μεγαλύτερη διατμητική δύναμη σε σύγκριση με τους μεσαίους διατμητικούς συνδέσμους που παραλαμβάνουν λιγότερη. Η μελέτη της διατμητικής σύνδεσης και κατανομής των διατμητικών συνδέσμων με ελαστική κατανομή εφαρμόζεται σε όλες τις περιπτώσεις, κυρίως όμως εφαρμόζεται στην περίπτωση της γεφυροποιίας.



Εικόνα 6-60 Τυπική μορφή ελαστικής κατανομής διατμητικής σύνδεσης (διάγραμμα διατμητικής ροής [v_l] και διατμητικής δύναμης των ήλων [$F_{ήλων}$] στην ελαστική ανάλυση)

6.4.7.4.1.2 Πλαστική Κατανομή Διατμητικών Συνδέσμων

Όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη παράγραφο, παρατηρώντας το διάγραμμα διαμήκους διάτμησης, οι ακραίοι διατμητικοί σύνδεσμοι στο υπό εξεταζόμενο κρίσιμο μήκος της δοκού, παραλαμβάνουν μεγαλύτερη διαμήκη διατμητική δύναμη σε σύγκριση με τους μεσαίους διατμητικούς συνδέσμους. Καθώς αυξάνεται το φορτίο της διαμήκους διάτμησης, η πλαστικοποίηση των διατμητικών συνδέσμων αρχίζει από τα άκρα του υπό εξεταζόμενου τμήματος, καθώς οι ακραίοι ήλοι είναι αυτοί που εντείνονται περισσότερο και έπειτα η πλαστικοποίηση εκτίνεται προς τους ήλους που βρίσκονται προς το μέσο του τμήματος, οι οποίοι εντείνονται λιγότερο. Έτσι λοιπόν έχουμε την ανακατανομή της διαμήκους διατμητικής δύναμης από τους ακραίους προς τους μεσαίους ήλους εντός του κρίσιμου μήκους της δοκού. Στην οριακή κατάσταση, όλοι οι διατμητικοί σύνδεσμοι έχουν πλαστικοποιηθεί και παραλαμβάνουν την ίδια διαμήκη διατμητική δύναμη. Βασική λοιπόν προϋπόθεση πλήρους πλαστικοποίησης όλων των διατμητικών συνδέσμων κατά μήκος της δοκού, είναι η πλαστική συμπεριφορά την οποία θα πρέπει να διαθέτουν. Συνεπώς στην περίπτωση αυτή σχεδιασμού της διατμητικής σύνδεσης με πλαστική συμπεριφορά η τοποθέτηση των διατμητικών συνδέσμων γίνεται με ομοιόμορφη κατανομή εντός του κρίσιμου μήκους της δοκού όπως φαίνεται στην (Εικόνα 6-61).



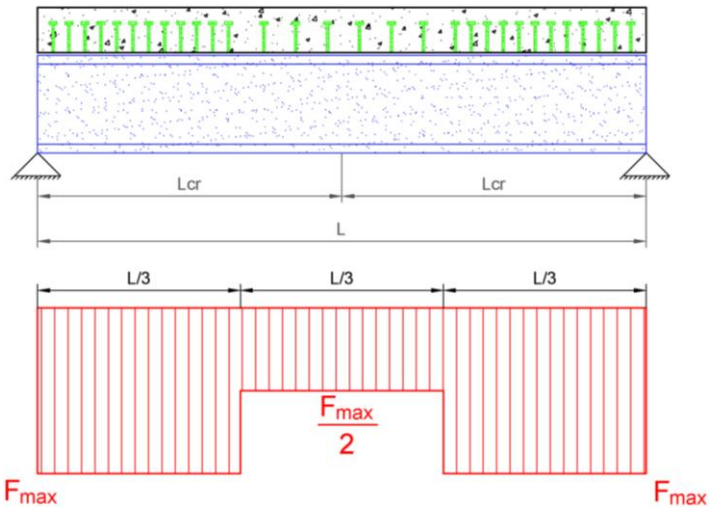
Εικόνα 6-61 Πλαστική κατανομή διατμητικών συνδέσμων

Για να μπορεί λοιπόν να εφαρμοστεί πλαστική κατανομή διατμητικής σύνδεσης θα πρέπει να πληρούνται οι πιο κάτω προϋποθέσεις:

- Οικοδομικά έργα
- Όλκιμη συμπεριφορά διατμητικών συνδέσμων. Όλκιμοι διατμητικοί σύνδεσμοι θεωρούνται οι κοχλίες τριβής και οι διατμητικοί ήλοι κεφαλής στους οποίους η διάμετρος τους είναι μεταξύ 16mm και 22mm ($16mm \leq d_{κορμού,ήλου} \leq 22mm$) και το συνολικό τους ύψος είναι τουλάχιστον 4 φορές μεγαλύτερο από την διάμετρό τους ($h_{total,ήλου} \geq 4.d_{κορμού,ήλου}$). Οι απαιτήσεις αυτές καλύπτονται από τους διατμητικούς ήλους που δόθηκαν στον (Πίνακας 6-16). Σε κάθε άλλη περίπτωση διατμητικών συνδέσμων πέραν των άνω αναφερομένων, απαιτούνται πειραματικές μετρήσεις και αποτελέσματα για την απόδειξη όλκιμης συμπεριφοράς τους. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η ολκιμότητα των συνδέσμων ακόμη και των όλκιμων, εξαντλείται στην περίπτωση όπου η πλαστική κατανομή γίνεται σε μεγάλες αποστάσεις μηκών, δηλαδή αν η διαφορά μεταξύ μέγιστης (F_{max}) και ελάχιστης (F_{min}) δύναμης των διατμητικών συνδέσμων σύμφωνα με την ελαστική ανάλυση είναι μεγάλη.
- Όλες οι διατομές κατά μήκος της σύμμικτης δοκού θα πρέπει να είναι κατηγορίας 1 ή 2
- Ο λόγος της πλαστικής ροπής αντοχής της σύμμικτης διατομής ($M_{pl,Rd}$) προς την πλαστική ροπή αντοχής της χαλύβδινης διατομής ($M_{pl,α,Rd}$) (βλέπε ενότητα 6.4.2) δεν πρέπει να υπερβαίνει τις 2,5 φορές.

Τέλος στα οικοδομικά έργα παρατηρείται ένας πιο συνηθισμένος τρόπος κατανομής των διατμητικών συνδέσμων κατά μήκος της δοκού, κάτι μεταξύ ελαστικής και πλαστικής κατανομής, όπου η τοποθέτηση των ήλων γίνεται με ελαστοπλαστική κατανομή (Εικόνα 6-62). Στα ακραία τρίτα της δοκού η παραλαμβανόμενη διαμήκης διάτμηση είναι διπλάσια από αυτή του μεσαίου τρίτου του ανοίγματος της δοκού, πράγμα που επιτυγχάνεται με πυκνότερη διάταξη των ήλων στα άκρα κατά μήκος της δοκού ή με αύξηση του αριθμού των ήλων στην ίδια διατομή. Ομοίως και σε αυτή την

περίπτωση για να μπορεί να εφαρμοστεί η ελαστοπλαστική κατανομή των διατμητικών συνδέσμων θα πρέπει να πληρούνται οι προϋποθέσεις που έχουν προαναφερθεί.



Εικόνα 6-62 Κάλυψη διαμήκους διάτμησης με ελαστοπλαστική κατανομή διατμητικών συνδέσμων

6.4.7.4.2 Κατανομή Διατμητικών Συνδέσμων - Πλαστική Ανάλυση Με Μερική Διατμητική Σύνδεση

Όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη ενότητα (6.4.7.4.1) για να μπορεί να αναπτύξει η σύμμικτη δοκός την πλήρη πλαστική ροπή αντοχής της, θα πρέπει να παρέχεται σε αυτή πλήρης διατμητική σύνδεση, δηλαδή ο αριθμός των τοποθετούμενων διατμητικών συνδέσμων να είναι ίσος ή περισσότερος από τον απαιτούμενο αριθμό για πλήρη διατμητική κάλυψη, έτσι ώστε να εμποδίζεται πλήρως η διολίσθηση στην διεπιφάνεια μεταξύ πλάκας σκυροδέματος και σιδηροδοκού.

Υπάρχουν περιπτώσεις πολλές φορές στις οποίες η τιμή της δρώσας ροπής σχεδιασμού (M_{Ed}) είναι αρκετά μικρότερη από την τιμή της πλήρους πλαστικής ροπής αντοχής ($M_{pl,Rd}$) την οποία διαθέτει η σύμμικτη δοκός αν σχεδιαστεί με πλήρη διατμητική κάλυψη, με αποτέλεσμα να μην εξαντλείται πλήρως η αντοχή σε ροπή της σύμμικτης δοκού και κατά συνέπεια στον αντιοικονομικό σχεδιασμό της. Στην περίπτωση αυτή (υπό προϋποθέσεις που θα αναλυθούν εν συνεχεία), ο σχεδιασμός της διατμητικής

σύνδεσης θα μπορούσε αντί της πλήρους διατμητικής κάλυψης να πραγματοποιούταν με μερική διατμητική κάλυψη. Στην μερική διατμητική σύνδεση ο αριθμός των τοποθετούμενων διατμητικών συνδέσμων είναι μικρότερος από τον απαιτούμενο αριθμό διατμητικών συνδέσμων για πλήρης διατμητικής σύνδεσης. Έτσι λόγω της μερικής κάλυψης που έχουμε, η δρώσα διαμήκης διατμητική δύναμη δεν δύναται να παραληφθεί πλήρως από τους διατμητικούς συνδέσμους με αποτέλεσμα την μερική ολίσθηση στην διεπιφάνεια μεταξύ πλάκας σκυροδέματος και σιδηροδοκού. Επομένως λόγω της μερικής διατμητικής κάλυψης την οποία διαθέτει η σύμμικτη δοκός δεν μπορεί να αναπτύξει την μέγιστη πλαστική ροπή αντοχής της ($M_{pl,Rd}$), η οποία θα μπορούσε να επιτευχθεί αν ο σχεδιασμός γινότανε με πλήρη διατμητική σύνδεση, αλλά η φέρουσα ικανότητα της λαμβάνεται με μειωμένη ροπή αντοχής (M_{Rd}).

Στην πιο κάτω σχέση (6.134) δίνεται το ποσοστό διατμητικής σύνδεσης (N) το οποίο ορίζεται ως ο λόγος του αριθμού των τοποθετούμενων διατμητικών συνδέσμων ($n_{τοποθετ.}$) ως προς τον απαιτούμενο αριθμό διατμητικών συνδέσμων για πλήρη διατμητική σύνδεση (n_{full}).

$$N = \frac{n_{τοποθετ\,.}}{n_{full}} \tag{6.134}$$

όπου:

N: Ποσοστό της διατμητικής σύνδεσης της σύμμικτης δοκού. Ο λόγος αυτός κυμαίνεται μεταξύ των τιμών ($0 \leq N \leq 1$), όπου για N=0 αυτό σημαίνει πως η πλάκα σκυροδέματος και η σιδηροδοκός είναι ασύνδετα μεταξύ τους (δεν υπάρχει διατμητική σύνδεση μεταξύ των δύο υλικών), ενώ στην περίπτωση όπου το N=1 υπάρχει πλήρης συνεργασία μεταξύ πλάκας σκυροδέματος και σιδηροδοκού (πλήρης διατμητική σύνδεση)

$n_{τοποθετ.}$: Ο αριθμός των τοποθετούμενων διατμητικών συνδέσμων εντός του κρισίμου μήκους της σύμμικτης δοκού

n_{full}: Ο απαιτούμενος αριθμός διατμητικών συνδέσμων για πλήρη διατμητική σύνδεση εντός του κρίσιμου μήκους της σύμμικτης δοκού

Για να μπορεί να εφαρμοστεί ο σχεδιασμός με μερική διατμητική σύνδεση θα πρέπει να πληρούνται οι εξής προϋποθέσεις που αναφέρονται παρακάτω σύμφωνα με τον (EN 1994-1-1 §6.6.1.2):

- Οικοδομικά έργα
- Όλες οι διατομές κατά μήκος της σύμμικτης δοκού θα πρέπει να είναι κατηγορίας 1 ή 2
- Όλκιμη συμπεριφορά διατμητικών συνδέσμων
- Ο έλεγχος αφορά οριακή κατάσταση αστοχίας (όχι κόπωσης)

Στον Ευρωκώδικα (EN 1994-1-1 §6.6.1.2) αναγράφονται κάποιοι περιορισμοί για τον σχεδιασμό της σύμμικτης δοκού με μερική διατμητική σύνδεση στις οποίες θέτονται όρια στο ελάχιστο ποσοστό (N) βαθμού διατμητικής σύνδεσης όπως φαίνονται από τις πιο κάτω εξισώσεις:

- Για χαλύβδινες διατομές με ίσα πέλματα:

Για Le ≤ 25m
$$N \geq \max\left\{\left[1-\left[\frac{355}{f_{ya}}.\left(0{,}75-(0{,}03.L_e)\right)\right]\right];0{,}4\right\} \quad (6.135)$$

Για Le > 25m
$$N = 1 \quad (6.136)$$

- Για χαλύβδινες διατομές των οποίων το εμβαδόν διατομής του κάτω πέλματος είναι ίση με τρείς φορές το εμβαδόν διατομής του άνω πέλματος της χαλύβδινης διατομής:

Για Le ≤ 20m
$$N \geq \max\left\{\left[1-\left[\frac{355}{f_{ya}}.\left(0{,}30-(0{,}015.L_e)\right)\right]\right];0{,}4\right\} \quad (6.137)$$

Για Le > 20m
$$N = 1 \quad (6.138)$$

- Για χαλύβδινες διατομές των οποίων το εμβαδόν διατομής του κάτω πέλματος τους είναι μεγαλύτερο από το εμβαδόν διατομής του άνω πέλματος τους αλλά μικρότερο από το τριπλάσιο αυτού (άνω πέλματος), τότε η ελάχιστη τιμή του βαθμού διατμητικής σύνδεσης (N) μπορεί να καθοριστεί με γραμμική παρεμβολή μεταξύ των σχέσεων (6.135) και (6.137).

όπου:

N: Ποσοστό της διατμητικής σύνδεσης της σύμμικτης δοκού (σχέση (6.134))

$f_{\gamma\alpha}$: Χαρακτηριστική τιμή του ορίου διαρροής της σιδηροδοκού (σε MPa)

L_e: Η απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών σημείων μηδενισμού στου διαγράμματος των ροπών

Ακόμη ένας πρόσθετος περιορισμός για την ελάχιστη τιμή του ποσοστού διατμητικής σύνδεσης (N) αναφέρεται στον Ευρωκώδικα 8, όπου για κύριες δοκούς κτιρίων με πλαισιακή λειτουργία σε σεισμικές περιοχές το ποσοστό διατμητικής σύνδεσης θα πρέπει να είναι τουλάχιστον μεγαλύτερος από 80%.

$$N \geq 0{,}80 \tag{6.139}$$

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι ο σχεδιασμός με μερική διατμητική σύνδεση επιτρέπεται μόνο στις περιοχές θετικών ροπών της σύμμικτης δοκού ενώ στις περιοχές όπου παρουσιάζονται αρνητικές ροπές όπου το σκυρόδεμα βρίσκεται υπό εφελκυσμό (π.χ. στις ενδιάμεσες στηρίξεις συνεχούς δοκού), η διατμητική σύνδεση σε αυτές τις περιοχές θα πρέπει να σχεδιάζεται με πλήρης διατμητική κάλυψη.

Η οριακή ροπή σχεδιασμού της σύμμικτης δοκού κατηγορίας διατομής 1 ή 2 με μερική διατμητική σύνδεση βρίσκεται μέσω της πιο κάτω σχέση (6.140), (EN 1994-1-1 § 6.2.1.3).

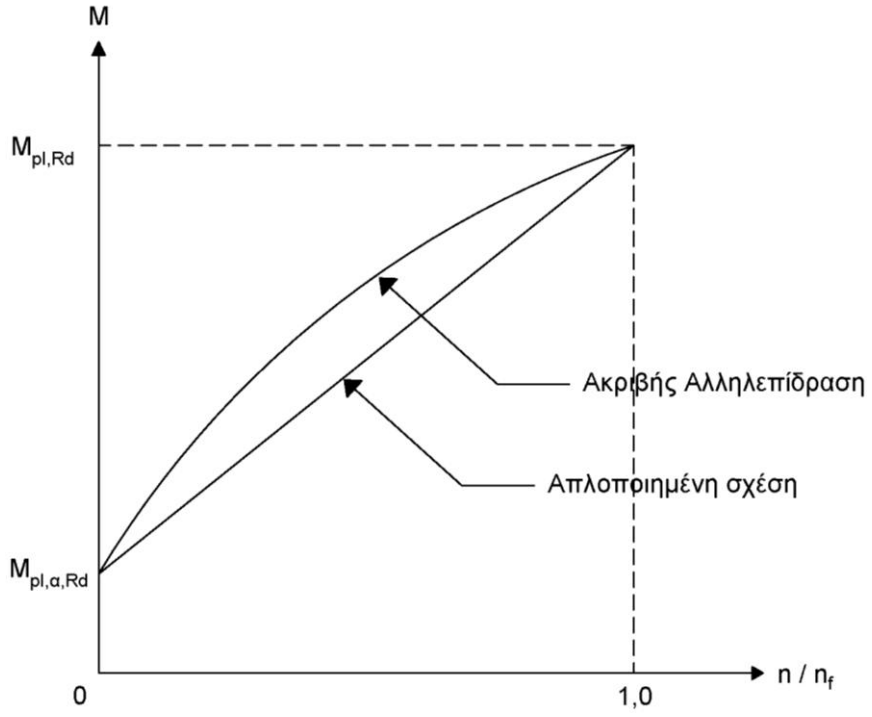
$$M_{Rd} = M_{pl,a,Rd} + \left[N.\left(M_{pl,Rd} - M_{pl,a,Rd}\right)\right] \tag{6.140}$$

όπου:

$M_{pl,Rd}$: Πλαστική ροπή αντοχής σύμμικτης δοκού

$M_{pl,\alpha,Rd}$: Πλαστική ροπή αντοχής της χαλύβδινης διατομής

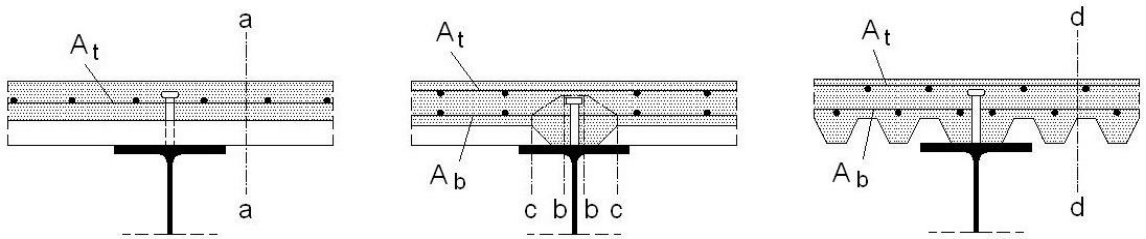
N: Ποσοστό διατμητικής σύνδεσης σύμμικτης δοκού (σχέση (6.134))



Εικόνα 6-63 Τυπικό διάγραμμα ροπής αντοχής συναρτήσει του ποσοστού διατμητικής σύνδεσης για σύμμικτες δοκούς με μερική διατμητική σύνδεση

6.4.7.5 Διατμητική Κάλυψη Πλάκας Σκυροδέματος

Η διαμήκης διατμητική ροή μεταφέρεται από την πλάκα σκυροδέματος προς την σιδηροδοκού μέσω των διατμητικών συνδέσμων. Κατά την μεταφορά της διατμητικής ροής από την πλάκα σκυροδέματος στους διατμητικούς συνδέσμους αναπτύσσεται διαμήκης διάτμηση σε διάφορες εγκάρσιες τομές όπως φαίνονται στην (Εικόνα 6-64), (τομές α-α, b-b, c-c, d-d). Ο έλεγχος για την παραλαβή και την ασφαλή μετάβαση της διαμήκους διάτμησης από την πλάκα σκυροδέματος προς τους διατμητικούς συνδέσμους ελέγχεται σε οριακή κατάσταση αστοχίας.



Εικόνα 6-64 Εγκάρσιες τομές για τον έλεγχο διαμήκους διάτμησης της πλάκας σκυροδέματος, (EN 1994-1-1 §6.6.6.4, Σχήμα 6.1.6)

6.4.7.5.1 Εύρεση Δρώσας Διατμητικής Ροής στις εγκάρσιες τομές ελέγχου

- <u>Εύρεση δρώσας διατμητικής ροής στις εγκάρσιες τομές ελέγχου (α-α, d-d), (Εικόνα 6-64) (προεξέχον τμήμα πλάκας σκυροδέματος)</u>

  Η δρώσας διατμητική ροή η οποία αναπτύσσεται σε προεξέχον τμήμα της πλάκας σκυροδέματος ($v_{lc,Ed}$) (Εικόνα 6-64, εγκάρσιες τομές ελέγχου α-α, d-d), λαμβάνεται ως ποσοστό της συνολικής διατμητικής ροής, ανάλογα με το εμβαδόν διατομής του αποκοπτόμενου τμήματος της πλάκας σκυροδέματος ($A_{cp,eff}$) ή του διαμήκους οπλισμού (A_{sp}), προς το αντίστοιχο συνολικό εμβαδόν διατομής της πλάκας σκυροδέματος ($A_{c,total,eff}$) ή του διαμήκους οπλισμού ($A_{s,total}$) αντίστοιχα.

  Παρακάτω δίνεται η σχέση υπολογισμού δρώσας διατμητικής ροής η οποία αναπτύσσεται στις τομές ελέγχου (α-α, d-d), (Εικόνα 6-64)

Για θλιβόμενο πέλμα: $$v_{l,c,Ed} = v_{l,Ed} \cdot \frac{A_{cp,eff}}{A_{c,total\ ,eff}} \quad (6.141)$$

Για εφελκυόμενο πέλμα: $$v_{l,c,Ed} = v_{l,Ed} \cdot \frac{A_{sp}}{A_{sp,total}} \quad (6.142)$$

όπου:

$v_{l,Ed}$: Συνολική διατμητική ροή μεταξύ πλάκας σκυροδέματος και σιδηροδοκού (βλέπε ενότητα 6.4.7.2)

$A_{cp,eff}$: Εμβαδόν διατομής αποκοπτόμενου τμήματος πλάκας σκυροδέματος εντός του συνεργαζόμενου πλάτους της πλάκας

$A_{c,total,eff}$: Συνολικό εμβαδόν διατομής πλάκας σκυροδέματος εντός του συνεργαζόμενου πλάτους της πλάκας

A_{sp}: Εμβαδόν διατομής αποκοπτόμενου τμήματος οπλισμών σκυροδέματος εντός του συνεργαζόμενου πλάτους της πλάκας

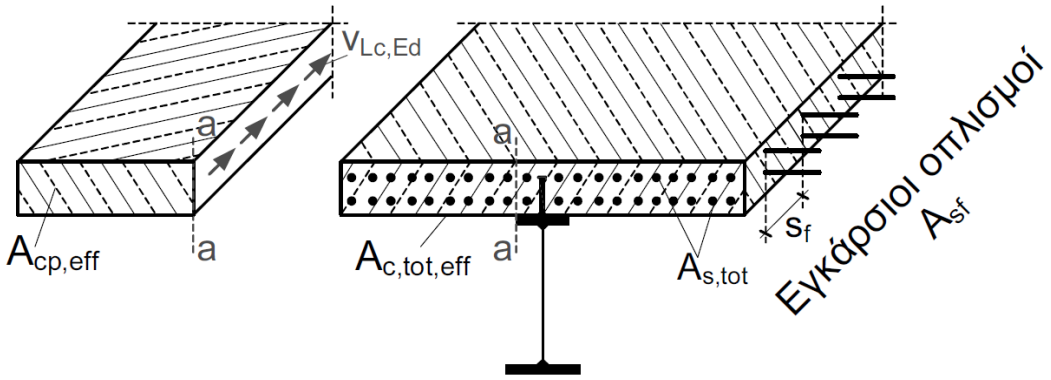
$A_{s,total}$: Συνολικό εμβαδόν διατομής των οπλισμών σκυροδέματος εντός του συνεργαζόμενου πλάτους της πλάκας

- Εύρεση δρώσας διατμητικής ροής στις εγκάρσιες τομές ελέγχου (b-b, c-c), (Εικόνα 6-64) (εγκάρσιες τομές περιμετρικά των διατμητικών συνδέσμων)

  Η δρώσα διατμητική ροή η οποία αναπτύσσεται περιμετρικά των διατμητικών συνδέσμων (τομές ελέγχου b-b ,c-c) (Εικόνα 6-64), είναι ίση με το σύνολο της δρώσας διατμητικής ροής

$$v_{lc,Ed} = v_{l,Ed} \quad (6.143)$$

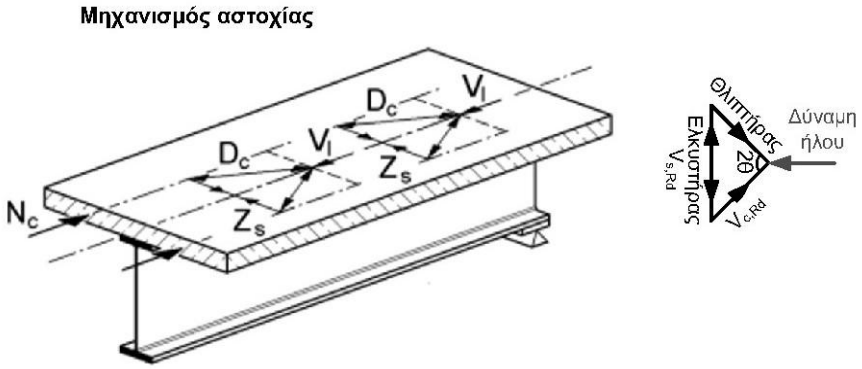
Σημειώνεται στην περίπτωση σύμμικτων πλακών με διεύθυνση αυλακωτού χαλυβδόφυλλου κάθετα στη διεύθυνση του άξονα της σιδηροδοκού, όπου εφαρμόζεται ο μειωτικός συντελεστής «k_t» στην φέρουσα ικανότητα αντοχής των διατμητικών ήλων, δεν χρειάζεται η εξέταση των τομών τύπου b-b.



Εικόνα 6-65 Δρώσα διαμήκης διατμητική ροή στην εξεταζόμενη τομή α-α, (Βάγιας Ι., Αβραάμ Τ., Θανόπουλος Π., n.d.)

6.4.7.5.2 Σύστημα παραλαβής διαμήκους διατμητικής ροής από την πλάκα σκυροδέματος και τους εγκάρσιους οπλισμούς

Στην πιο κάτω (Εικόνα 6-66) δίνεται γραφική απεικόνιση του μηχανισμού παραλαβής της διαμήκους διάτμησης στην πλάκα σκυροδέματος. Η δρώσα διατμητική ροή η οποία επιβάλλεται από τον διατμητικό ήλο προς το σκυρόδεμα παραλαμβάνεται από τους λοξούς θλιπτήρες του σκυροδέματος και τους ελκυστήρες του εγκάρσιου οπλισμού της πλάκας σκυροδέματος.



Εικόνα 6-66 Μηχανισμός παραλαβής της διαμήκους διάτμησης από την πλάκα σκυροδέματος, (https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-8348-2116-4_8)

- Η αντοχή των λοξών θλιπτήρων της πλάκας σκυροδέματος δίνεται από την πιο κάτω σχέση (6.144).

$$v_{c,Rd} = \frac{0{,}75.L_v.f_{cd}}{\cot(\theta) + \tan(\theta)} \quad (6.144)$$

όπου:

L_v: Μήκος της εξεταζόμενης τομής (α-α ή b-b ή c-c ή d-d)

f_{cd}: Θλιπτική αντοχή σχεδιασμού του σκυροδέματος ως $\left(f_{cd} = \frac{f_{ck}}{1{,}5}\right)$.

θ: Γωνία κλίσης λοξού θλιπτήρα σκυροδέματος οι οποίοι λαμβάνονται από τον πιο κάτω (Πίνακας 6-19):

	Γωνία κλίσης λοξού θλιπτήρα σκυροδέματος (θ^o)	Συνεφαπτομένη cot(θ)
Για θλιβόμενο πέλμα πλάκας σκυροδέματος:	$39{,}81^o$	1,2
Για εφελκυόμενο πέλμα πλάκας σκυροδέματος:	45°	1

Πίνακας 6-19 Γωνίες κλίσης λοξού θλιπτήρα σκυροδέματος στο μηχανισμό παραλαβής της διαμήκους διάτμησης

- Η αντοχή των εγκάρσιων οπλισμών σκυροδέματος για την παραλαβή του εγκάρσιου εφελκυσμού που δημιουργείται, οι οποίοι διέρχονται από την υπόψη εξεταζόμενη τομή ελέγχου δίνεται από την πιο κάτω σχέση (6.145).

$$v_{s,Rd} = \frac{A_{sf}}{s_f}.f_{sd}.\cot(\theta) \quad (6.145)$$

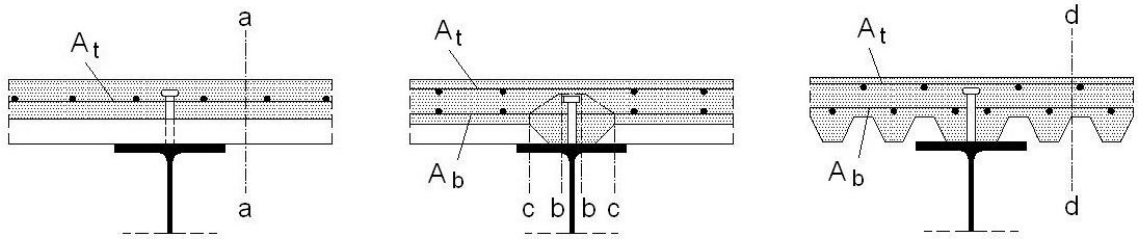
όπου:

A_{sf}: Εμβαδόν διατομής εγκάρσιου οπλισμού σκυροδέματος ο οποίος διέρχεται από την υπόψη εξεταζόμενη τομή (Πίνακας 6-20)

s_f: Απόσταση μεταξύ των εγκάρσιων οπλισμών σκυροδέματος

f_{sd}: Εφελκυστική αντοχή σχεδιασμού του εγκάρσιου οπλισμού σκυροδέματος $\left(f_{sd} = \frac{f_{sk,\varepsilon\gamma\kappa\ \acute{\alpha}\rho.}}{\gamma_s} = \frac{f_{sk,\varepsilon\gamma\kappa\ \acute{\alpha}\rho.}}{1{,}15}\right)$

θ: Γωνία κλίσης λοξού θλιπτήρα σκυροδέματος οι οποίοι λαμβάνονται από τον (Πίνακας 6-19)



Τομή ελέγχου	A_{sf}
α-α	A_t
b-b	$2.A_b$
c-c	$2.A_b$
d-d	$A_t + A_b$

Πίνακας 6-20 Εμβαδόν διατομής εγκάρσιου οπλισμού σκυροδέματος ο οποίος διέρχεται από την εξεταζόμενη τομή, (EN 1994-1-1 § 6.6.6.4., Σχήμα 6.1.6)

Στην περίπτωση σύμμικτων πλακών με συνεχές χαλυβδόφυλλο κάθετο στην διεύθυνση της σιδηροδοκού και συνδεόμενο με διατμητικούς ήλους στο άνω πέλμα της σιδηροδοκού, πέραν της συνεισφοράς των διατμητικών ήλων στην παραλαβή της διαμήκης διάτμησης επιτρέπετε να ληφθεί υπόψη και η συμβολή του χαλυβδόφυλλου. Η αντοχή των διατμητικών ήλων και του χαλυβδόφυλλου έναντι διαμήκους διάτμησης δίνεται από την σχέση (6.146).

$$v_{s+p,Rd} = \left[\left(\frac{A_{sf}}{s_f}.f_{sd}\right) + \left(A_p.f_{yp,d}\right)\right].\cot(\theta) \qquad (6.146)$$

Στην δε περίπτωση όπου το κάθετο χαλυβδόφυλλο προς τη σιδηροδοκό δεν είναι συνεχές αλλά διακοπτόμενο, τότε ο όρος ($A_p.f_{yp,d}$) στην πιο πάνω σχέση (6.146), αντικαθιστάται από τον πιο κάτω όρο της σχέσης (6.147), (EN 1994-1-1 §6.6.6.4):

$$\frac{P_{pb,Rd}}{e_L} \leq A_p.f_{yp,d} \qquad (6.147)$$

$$P_{pb,Rd} = k_{\varphi} . d_{\text{ήλου}} . t_p . f_{yp,d} \tag{6.148}$$

Συνεπώς για την περίπτωση αυτή η σχέση διατμητικής αντοχής που προσφέρουν οι διατμητικοί ήλοι και το χαλυβδόφυλλο έναντι διαμήκους διάτμησης μετατρέπετε σε (σχέση (6.149))

$$v_{s+p,Rd} = \left[\left(\frac{A_{sf}}{\mathrm{s_f}} . f_{sd}\right) + \left(\min\left\{\frac{P_{pb,Rd}}{e_L}; \left(A_p . f_{yp,d}\right)\right\}\right)\right] . \cot(\theta) \tag{6.149}$$

όπου:

A_{sf}: Εμβαδόν διατομής εγκάρσιου οπλισμού σκυροδέματος ο οποίος διέρχεται από την υπόψη εξεταζόμενη τομή (Πίνακας 6-20)

A_p: Εμβαδόν διατομής του χαλυβδόφυλλου ανά μονάδα μήκους

f_{sd}: Εφελκυστική αντοχή σχεδιασμού του εγκάρσιου οπλισμού σκυροδέματος $\left(f_{sd} = \frac{f_{sk,\varepsilon\gamma\kappa\ \acute{\alpha}\rho.}}{\gamma_s} = \frac{f_{sk,\varepsilon\gamma\kappa\ \acute{\alpha}\rho.}}{1{,}15}\right)$

$f_{yp,d}$: Εφελκυστική αντοχή σχεδιασμού του χαλυβδόφυλλου $\left(\mathrm{f}_{yp,d} = \frac{\mathrm{f_{yp}}}{\gamma_{\mathrm{Mp}}} = \frac{\mathrm{f_{yp}}}{1{,}0}\right)$

s_f: Απόσταση μεταξύ των εγκάρσιων οπλισμών σκυροδέματος

e_L: Διαμήκης απόσταση μεταξύ των διατμητικών ήλων

θ: Γωνία κλίσης λοξού θλιπτήρα σκυροδέματος οι οποίοι λαμβάνονται από τον (Πίνακας 6-19)

$P_{pb,Rd}$: Διατμητική αντοχή του διατμητικού ήλου συγκολλημένου διαμέσω του χαλυβδόφυλλου λαμβάνοντας υπόψη τη σύνθλιψη άντυγας του χαλυβδόφυλλου, σχέση (6.148)

$d_{\text{ήλου}}$: Διάμετρος κορμού του διατμητικού ήλου

t_p: Πάχος του χαλυβδόφυλλου

k_ϕ: Συντελεστής ο οποίος λαμβάνεται από την σχέση $\left[k_\varphi = \left(1 + \frac{\alpha}{d_{d0}}\right) \leq 6\right]$

α: Απόσταση του ακραίου (τελευταίου) ήλου από την άκρη του χαλυβδόφυλλου

d_{d0}: Διάμετρος ραφής συγκόλλησης στη βάση του διατμητικού ήλου η οποία λαμβάνεται ίση με 1,10 φορές την διάμετρο του κορμού του ήλου (d_{d0}=1,10.$d_{ήλου}$)

Τέλος για όλες τις δυνατές περιπτώσεις εξεταζόμενων τομών (α-α, b-b, c-c, d-d), (Εικόνα 6-64), θα πρέπει να ικανοποιούνται οι ανισότητες ελέγχου έτσι ώστε να αποτρέπετε τόσο η αστοχίας των θλιπτήρων σκυροδέματος (6.150), αλλά και του εγκάρσιου οπλισμού σκυροδέματος (6.151)

$$v_{lc,Ed} \leq v_{c,Rd} \tag{6.150}$$

$$v_{lc,Ed} \leq (v_{s,Rd} \text{ ή } v_{s+p,Rd}) \tag{6.151}$$

6.4.7.5.3 Ελάχιστο Ποσοστό Εγκάρσιου Οπλισμού Σκυροδέματος

Σύμφωνα με τον (EN 1994-1-1 §6.6.6.3) θα πρέπει το ποσοστό του εγκάρσιου οπλισμού σκυροδέματος ($\rho_{s,εγκάρ.}$) το οποίο διέρχεται από την υπόψη εξεταζόμενη τομή, να μην είναι μικρότερο από το ελάχιστο ποσοστό ($\rho_{s,min,εγκάρ.}$)

$$\rho_{s,εγκάρ.} \geq \rho_{s,min,εγκάρ.} \tag{6.152}$$

$$\rho_{s,min,εγκάρ.} = \frac{A_{sf}}{s_f . h_c} = 0{,}16.\frac{f_{ctm}}{f_{ys}} \tag{6.153}$$

όπου:

A_{sf}: Εμβαδόν διατομής εγκάρσιου οπλισμού σκυροδέματος ο οποίος διέρχεται από την υπόψη εξεταζόμενη τομή (Πίνακας 6-20)

s_f: Απόσταση μεταξύ των εγκάρσιων οπλισμών σκυροδέματος

h_c: Ύψος της πλάκας σκυροδέματος

f_{ctm}: Μέση εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος

f_{ys}: Χαρακτηριστική εφελκυστική τιμή ορίου διαρροής του εγκάρσιου οπλισμού σκυροδέματος

Στην περίπτωση σύμμικτων πλακών με αυλακωτά χαλυβδόφυλλα, ο ελάχιστος εγκάρσιος οπλισμός, αναφέρεται στο εμβαδόν της πλάκας σκυροδέματος το οποίο βρίσκεται πάνω από το χαλυβδόφυλλο.

6.5 Διαστασιολόγηση Σύμμικτων Δοκών Σε Οριακή Κατάσταση Λειτουργικότητας (ΟΚΛ)

6.5.1 Γενικά

Πέραν των ελέγχων σε οριακή κατάσταση αστοχίας οι οποίοι θα πρέπει να ικανοποιούνται από όλα τα φέροντα στοιχεία του φορέα, συνάμα θα πρέπει να πληρούνται και έλεγχοι οι οποίοι αναφέρονται σε οριακή κατάσταση λειτουργικότητας. Οι έλεγχοι οριακής κατάστασης λειτουργικότητας πραγματοποιούνται έτσι ώστε να εξασφαλίζεται στο έργο απαιτήσεις οι οποίες αφορούν την λειτουργικότητα ενός φορέα υπό συνθήκες φυσιολογικής χρήσης του, όπως η αισθητική εμφάνιση της κατασκευής, η παροχή άνεση και αίσθησης ασφάλειας των χρηστών, την ανθεκτικότητά της, την επαρκή λειτουργικότητά της, καθώς θα πρέπει να επιτελεί το σκοπό για τον οποίο δημιουργήθηκε και έλεγχους οι οποίοι αφορούν την παραμορφωσιμότητα της κατασκευής κάτω από κανονικές συνθήκες χρήσης της. Συνεπώς οι έλεγχοι σε οριακή κατάσταση λειτουργικότητας αναφέρονται στην συμπεριφορά της κατασκευής υπό συνήθη φορτία λειτουργίας της.

Ανάλογα λοιπόν με την φύση του έργου και τον σκοπό για τον οποίο δημιουργήθηκε, καθορίζονται οι απαιτήσεις και τα σχετικά όρια λειτουργικότητας τα οποία θα πρέπει να ικανοποιούνται. Οι βασικότεροι έλεγχοι και κριτήρια λειτουργικότητας τα οποία συναντάμε στις σύμμικτες κατασκευές είναι:

- Περιορισμός ανάπτυξης μεγάλων παραμορφώσεων στο φορέα (οριζόντιες/κατακόρυφες μετατοπίσεις, στροφές), οι οποίες μπορούν να επηρεάσουν την εμφάνιση της κατασκευής καθώς μπορεί να οδηγήσουν και σε βλάβες μη φερόντων στοιχείων (π.χ. διαχωριστικά, στοιχεία πλήρωσης, πλαίσια κουφωμάτων, τζάμια, ανοιγοκλείσιμο πόρτων, κεραμικά κλπ).
- Περιορισμός ανάπτυξης μεγάλων ταλαντώσεων στην κατασκευή οι οποίες δημιουργούν αίσθημα ανασφάλειας στο χρήστη. Ο περιορισμός τους γίνεται ακόμη σημαντικότερος σε περιπτώσεις κατασκευών στις οποίες

χρησιμοποιούνται ευαίσθητα μηχανήματα όπως για παράδειγμα σε νοσοκομεία, μουσεία κλπ.

- Έλεγχος και περιορισμός εύρους ρηγμάτωσης σκυροδέματος η οποία επηρεάζει δυσμενώς την αισθητική εμφάνιση και την ανθεκτικότητα σε διάρκεια της κατασκευής (ενανθράκωση σκυροδέματος, οξείδωση του χάλυβα)
- Αστοχία του χάλυβα λόγω φαινομένου κόπωσης (αφορά κυρίως έργα γεφυροποιίας)
- Η υπερβολική ανάπτυξη θλιπτικών τάσεων στο σκυρόδεμα μπορεί να οδηγήσει σε μικρορηγμάτωση του, και κατά συνέπεια τη δυσμενή επιρροή στην ανθεκτικότητα του φέροντος στοιχείου

Ο προσδιορισμός των εντατικών μεγεθών και των παραμορφωσιακών μεγεθών για τους ελέγχους σε οριακή κατάσταση λειτουργικότητας γίνεται με βάση την ελαστική ανάλυση. Οι εξεταζόμενοι συνδυασμοί δράσεων για την περίπτωση αυτή αναφέρθηκαν στην ενότητα (4.4.2).

6.5.2 Βέλη κάμψεως σύμμικτης δοκού

6.5.2.1 Γενικά

Τα βέλη κάμψεως σε κτιριακές κατασκευές υπολογίζονται κατά κανόνα για τον πλέον δυσμενέστερο συνδυασμό δράσεων στην οριακή κατάσταση λειτουργικότητας εφαρμόζοντας μεθόδους ελαστικής ανάλυσης αφού ο φορέας στην κατάσταση λειτουργίας του συμπεριφέρεται ελαστικά. Στον υπολογισμό των βελών κάμψης θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι φάσεις κατασκευής (με ή χωρίς υποστήριξη ικριωμάτων της δοκού στη φάση σκυροδέτησης) καθώς παίζουν σημαντικό ρόλο στο μέγεθος ανάπτυξης των βελών κάμψεως. Ανάλογα με το αν η σιδηροδοκός υποστυλώνεται ή όχι στη φάση σκυροδέτησης, τα φορτία σε κάθε φάση κατασκευής αναλαμβάνονται από διαφορετικά είδη διατομών με διαφορετικά αδρανειακά χαρακτηριστικά διατομής κάθε φορά (μονομελής σιδηροδοκός, σύμμικτη λειτουργία

δοκού με ή χωρίς ενίσχυση), (βλέπε ενότητα 1.2). Το συνολικό βέλος της δοκού προκύπτει από το άθροισμα των βελών κάμψης που προκύπτει σε κάθε φάση κατασκευής.

Η ενεργός δυσκαμψία της διατομής προσδιορίζεται λαμβάνοντας το μέτρο ελαστικότητας του σκυροδέματος ίσο με την τιμή (E_{cm}) για βραχυχρόνιες συνθήκες φόρτισης, ενώ για μακροχρόνιες συνθήκες φόρτισης (για τα οιονεί μόνιμα φορτία), η τιμή του μέτρου ελαστικότητας σε κτιριακές κατασκευές μπορεί να λαμβάνεται ίση με την τιμή ($E_{cm}/3$), έτσι ώστε να λαμβάνεται υπόψη η επιρροή του ερπυσμού και της συστολής ξήρανσης στην εύρεση των βελών. Για τον ακριβέστερο προσδιορισμό του μέτρου ελαστικότητας του σκυροδέματος μπορεί να χρησιμοποιηθεί η ακριβέστερη μέθοδος η οποία αναπτύχθηκε στην (ενότητα 6.4.4) η οποία χρησιμοποιείται κυρίως για τον έλεγχο των τάσεων και όχι για τον έλεγχο παραμορφώσεων.

Η ρηγμάτωση του σκυροδέματος μειώνει την δυσκαμψία στην περιοχή των ενδιάμεσων στηρίξεων συνεχής δοκού και έχει ως αποτέλεσμα αφ' ενός την ανακατανομή των ροπών από τα ενδιάμεσα στηρίγματα προς τα ανοίγματα της συνεχής δοκού, αφ' ετέρου την παρουσία μεγαλύτερων βελών στα ανοίγματα. Η δημιουργία μεγαλύτερων βελών που δημιουργούνται λόγω ρηγμάτωσης του σκυροδέματος, λαμβάνεται υπόψη στην περίπτωση ρηγματωμένης ανάλυσης για την εύρεση των εντατικών μεγεθών, όπου στις περιοχές ενδιάμεσων στηρίξεων συνεχής δοκού στις οποίες το σκυρόδεμα ρηγματώνεται, οι διατομές αυτές λαμβάνονται με τα αδρανειακά χαρακτηριστικά ρηγματωμένης διατομής (EI_2) ενώ στις υπόλοιπες θέσεις όπου το σκυρόδεμα είναι αρηγμάτωτο, οι διατομές σε αυτές τις θέσεις λαμβάνονται με αδρανειακά χαρακτηριστικά αρηγμάτωτης διατομής (EI_1), (βλέπε ενότητα 6.1.1.2).

Στην περίπτωση όπου η στατική επίλυση εύρεσης εντατικών μεγεθών γίνεται με την μέθοδο αρηγμάτωτης ανάλυσης (βλέπε ενότητα 6.1.1.1), όπου σε όλο το μήκος του φορέα οι διατομές θεωρούνται αρηγμάτωτες με αποτέλεσμα να μην λαμβάνεται υπόψη η ρηγμάτωση του σκυροδέματος. Σε αυτή την περίπτωση υπάρχουν δυο

εναλλακτικές δυνατότητες για να ληφθεί υπόψη η ρηγμάτωση του σκυροδέματος οι οποίες είναι:

1) Σε κάθε ενδιάμεσο στήριγμα συνεχής δοκού στο οποίο οι εφελκυστικές τάσεις σκυροδέματος υπό τα φορτία λειτουργίας ξεπερνούν το $0,15.f_{ck}$, επαναλαμβάνεται η στατική επίλυση με δυσκαμψία ρηγματωμένης διατομής (EI_2), επί μήκους 15% του ανοίγματος εκατέρωθεν του ενδιάμεσου στηρίγματος
2) Σε κάθε ενδιάμεσο στήριγμα συνεχής δοκού στο οποίο οι εφελκυστικές τάσεις σκυροδέματος υπό τα φορτία λειτουργίας ξεπερνούν το $0,15.f_{ck}$, η ροπή στηρίγματος μειώνεται κατά 40% με ταυτόχρονη αύξηση των ροπών στα ανοίγματα. Τα βέλη κάμψεως προσδιορίζονται με βάση την νέα κατανομή του διαγράμματος ροπών. Η μέθοδος αυτή ισχύει μόνο για διατομές κατηγορίας 1 έως 3.

Επίσης το μέγεθος του βέλους κάμψεως της δοκού επηρεάζεται από την παραμορφωσιμότητα των συνδεσμολογικών στοιχείων μεταξύ πλάκας σκυροδέματος και σιδηροδοκού δηλαδή τον τρόπο σύνδεσης της σιδηροδοκού με την πλάκα σκυροδέματος (πλήρης/ μερική διατμητική σύνδεση). Στην περίπτωση πλήρους διατμητικής σύνδεσης η επιρροή αυτή μπορεί να αγνοηθεί καθώς θεωρείται σε αυτή την περίπτωση ότι δεν υπάρχει σχετική ολίσθηση στην διεπιφάνεια των δύο υλικών πλάκας σκυροδέματος και σιδηροδοκού. Στην περίπτωση μερικής διατμητικής σύνδεσης πέραν της επιρροής που έχει στην φέρουσα ικανότητα αντοχής σε ροπή κάμψεως, επηρεάζεται και η δυσκαμψία της σύμμικτης δοκού λόγω της σχετικής ολίσθησης στην διεπιφάνεια πλάκας σκυροδέματος και σιδηροδοκού με αποτέλεσμα να παρατηρείται αύξηση των βελών κάμψεως στην σύμμικτη δοκό.

Τα αυξημένα βέλη τα οποία παρατηρούνται στην περίπτωση μερικής διατμητικής σύνδεσης δίνονται από τις πιο κάτω σχέσεις (6.154) και (6.155), οι οποίες ισχύουν για σύμμικτες δοκούς με βαθμό διατμητικής σύνδεσης μεγαλύτερο του 40%.

Η σιδηροδοκός υποστυλώνεται στη φάση κατασκευής

$$\delta_M = \delta_c.\left[1 + \left[0,5.\left(1 - \frac{n}{n_f}\right).\left(\frac{\delta_\alpha}{\delta_c} - 1\right)\right]\right] \qquad (6.154)$$

Η σιδηροδοκός ΔΕΝ υποστυλώνεται στη φάση κατασκευής

$$\delta_M = \delta_c.\left[1 + \left[0{,}3.\left(1 - \frac{n}{n_f}\right).\left(\frac{\delta_\alpha}{\delta_c} - 1\right)\right]\right] \quad (6.155)$$

όπου:

δ_M: Βέλος κάμψεως της σύμμικτης δοκού με μερική διατμητική σύνδεση

δ_c: Βέλος κάμψεως της σύμμικτης δοκού με πλήρη διατμητική σύνδεση

δ_α: Βέλος κάμψεως της μονομελής σιδηροδοκού

n/n_f: Βαθμός διατμητικής σύνδεσης της σύμμικτης δοκού, $\left(0{,}4 \leq \frac{n}{n_f} \leq 1\right)$

6.5.2.2 Προσδιορισμός βελών κάμψεως για διάφορους τύπους δοκών

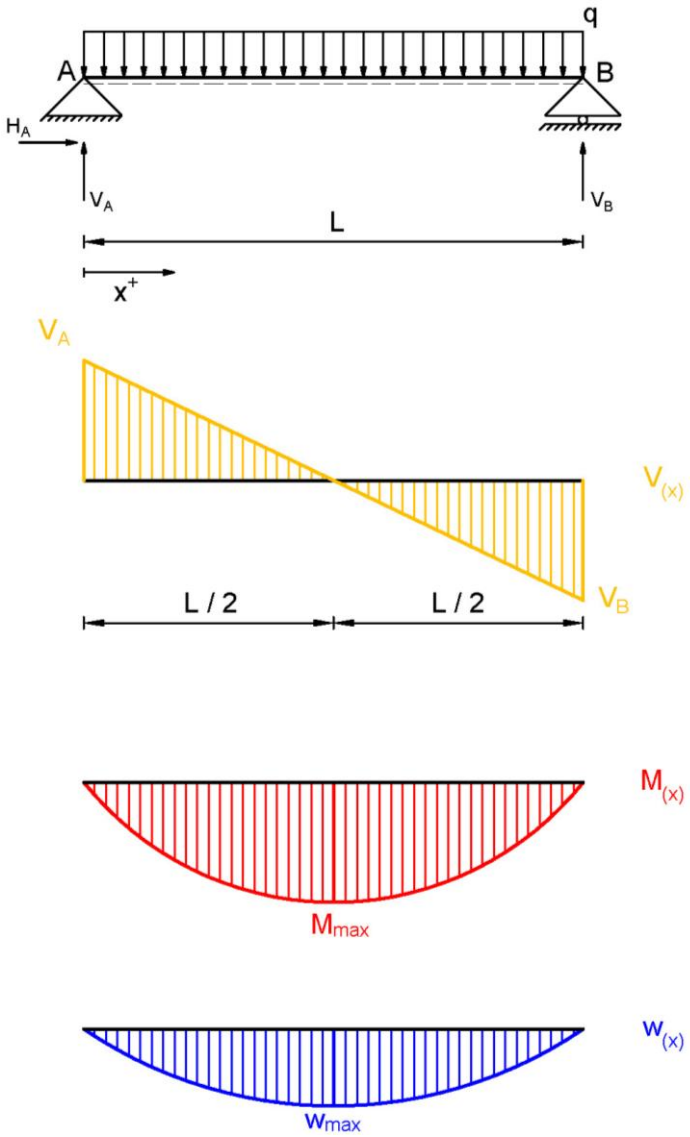
6.5.2.2.1 Γενικά

Στην παρούσα παράγραφο δίνονται οι σχέσεις υπολογισμού βελών κάμψεως για τους διάφορους τύπους δοκών τις οποίες μπορούμε να συναντήσουμε σε μια κατασκευή (π.χ. αμφιέρειστων δοκών, ακραία ή ενδιάμεσα τμήματα συνεχών δοκών πολλών ανοιγμάτων και προβόλους). Η διεξαγωγή της εξίσωσης βέλους κάμψης ραβδωτών φορέων προκύπτει από διαδοχική ολοκλήρωση της διαφορικής εξίσωσης της ελαστικής γραμμής της δοκού, η οποία δίνεται από την πιο κάτω σχέση (6.156), (Βαρδουλάκης Ιωάννης, 1999).

$$EI_{\psi\psi}.w'' = -M_{(x)} \quad (6.156)$$

6.5.2.2.2 Βέλος Κάμψης Αμφιέρειστης Δοκού

Με διαδοχική ολοκλήρωση της διαφορικής εξίσωσης της ελαστικής γραμμής της δοκού, σχέση (6.156), και εφαρμογή των σταθερών ολοκλήρωσης (C_i) οι οποίες προκύπτουν από τις συνοριακές συνθήκες του προβλήματος, προκύπτει η εξίσωση του βέλους κάμψεως κατά μήκος της αμφιέρειστης δοκού.



Εικόνα 6-67 Διαγράμματα Ροπών Κάμψεως $M_{(x)}$, Τεμνουσών Δυνάμεων $V_{(x)}$ και Βελών Κάμψεως $w_{(x)}$ Αμφιέρειστης Δοκού

Εξίσωση ελαστικής γραμμής γραμμικών φορέων (Αμφιέρειστης δοκού):

$$EI_{\psi\psi}.w'' = -M_{(x)} \tag{6.157}$$

$$EI_{\psi\psi}.w'' = -V_A.x + \frac{q.x^2}{2} \tag{6.158}$$

$$EI_{\psi\psi}.w = \iint \left(\left(-V_A.x + \frac{q.x^2}{2} \right).d_x \right).dx \tag{6.159}$$

$$EI_{\psi\psi}.w = \int \left(-\frac{V_A.x^2}{2} + \frac{q.x^3}{6} + C_1 \right).d_x \tag{6.160}$$

$$EI_{\psi\psi}.w' = -\frac{V_A.x^2}{2} + \frac{q.x^3}{6} + C_1 \tag{6.161}$$

$$EI_{\psi\psi}.w = -\frac{V_A.x^3}{6} + \frac{q.x^4}{24} + C_1.x + C_2 \tag{6.162}$$

Εύρεση σταθερών ολοκλήρωσης (C_1 και C_2):

- <u>Για (x=0) → ($w_{(x=0)}$ = 0)</u> $$C_2 = 0 \tag{6.163}$$
- <u>Για (x=l) → ($w_{(x=l)}$ = 0)</u> $$EI_{\psi\psi}.w_{(x=l)} = -\frac{V_A.l^3}{6} + \frac{q.l^4}{24} + C_1.l + 0 = 0$$ $$C_1 = \frac{q.l^3}{24} \tag{6.164}$$

Συνεπώς η εξίσωση βέλους κάμψεως κατά μήκος της αμφιέρειστης δοκού στην οποία επιβάλλεται ομοιόμορφο κατανεμημένο φορτίο δίνεται από την σχέση (6.166).

$$w_{(x)} = \frac{1}{E.I_{\psi\psi}}.\left[\frac{\frac{q.l}{2}.x^3}{6} + \frac{q.x^4}{24} + \left(\frac{q.l^3}{24}.x \right) \right] \tag{6.165}$$

$$w_{(x)} = \frac{q.x}{24.E.I_{\psi\psi}}.[l^3 - (2.l.x^2) + x^3] \tag{6.166}$$

Το μέγιστο βέλος αμφιέρειστης δοκού εντοπίζεται στο μέσο της, σε απόσταση (x = l/2) από την αριστερή στήριξη της και δίνεται από την πιο κάτω σχέση (6.167).

$$w_{max,(x=\frac{l}{2})} = \frac{5.q.l^4}{384.E.I_{\psi\psi}} \tag{6.167}$$

όπου:

$w'_{(x)}$: Στροφή της αμφιέρειστης δοκού στην εξεταζόμενη θέση x (σε σχέση με την οριζόντια διεύθυνση του άξονα της δοκού)

$w_{(x)}$: Βέλος κάμψης αμφιέρειστης δοκού στην εξεταζόμενη θέση x (Κατακόρυφη βύθιση)

x: Εξεταζόμενη θέση x κατά μήκος της δοκού η οποία έχει θετική φορά προς τα δεξιά και σημείο αναφοράς (αρχή των αξόνων) την θέση της αριστερής στήριξης A της αμφιέρειστης δοκού ($0 \leq x \leq l$)

l: Συνολικό μήκος ανοίγματος αμφιέρειστης δοκού

q: Τιμή του ομοιόμορφου κατανεμημένου φορτίου το οποίο επιβάλλεται στην δοκό

E: Μέτρο ελαστικότητας της δοκού

$I_{\psi\psi}$: Ροπή αδρανείας της δοκού περί τον άξονα ψ-ψ

$M_{(x)}$: Εξίσωση ροπής κάμψεως αμφιέρειστης δοκού περί τον άξονα ψ-ψ, συναρτήσει της κατά μήκους απόστασης (x)

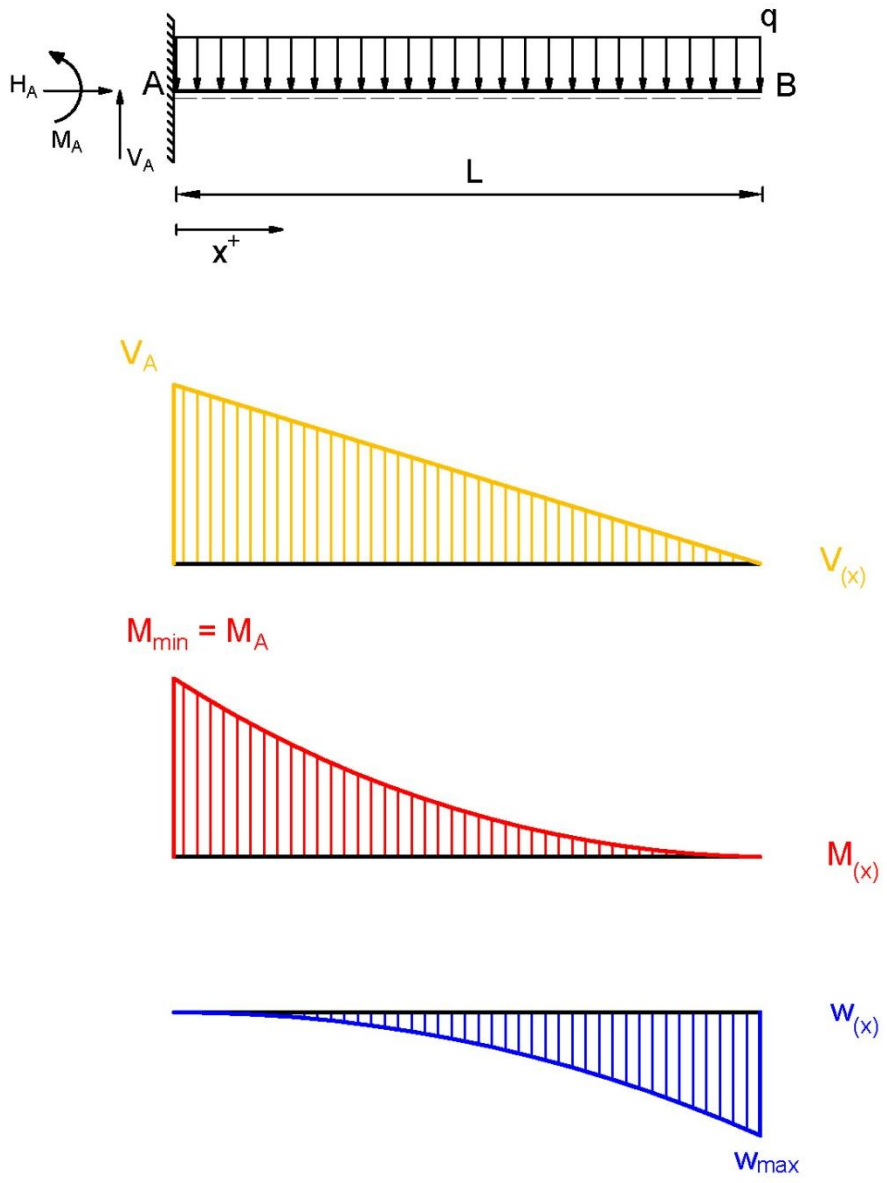
V_A: Κατακόρυφη αντίδραση στην στήριξη A (αριστερή στήριξη της αμφιέρειστης δοκού)

H_A: Οριζόντια αντίδραση στην στήριξη A (αριστερή στήριξη της αμφιέρειστης δοκού)

V_B: Κατακόρυφη αντίδραση στην στήριξη B (δεξιά στήριξη της αμφιέρειστης δοκού)

6.5.2.2.3 Βέλος Κάμψης Προβόλου

Με διαδοχική ολοκλήρωση της διαφορικής εξίσωσης της ελαστικής γραμμής της δοκού, σχέση (6.156), και εφαρμογή των σταθερών ολοκλήρωσης (C_i) οι οποίες προκύπτουν από τις συνοριακές συνθήκες του προβλήματος, προκύπτει η εξίσωση του βέλους κάμψεως κατά μήκος του προβόλου.



Εικόνα 6-68 Βέλος κάμψης δοκού προβόλου

Εξίσωση ελαστικής γραμμής γραμμικών φορέων (δοκού Προβόλου):

$$EI_{\psi\psi}.w'' = -M_{(x)} \tag{6.168}$$

$$EI_{\psi\psi}.w'' = \frac{q.l^2}{2} - (q.l.x) + \frac{q.x^2}{2} \tag{6.169}$$

$$EI_{\psi\psi}.w = \iint \left(\left(\frac{q.l^2}{2} - (q.l.x) + \frac{q.x^2}{2} \right).d_x \right).dx \tag{6.170}$$

$$EI_{\psi\psi}.w = \int \left(\frac{q.l^2.x}{2} - \frac{q.l.x^2}{2} + \frac{q.x^3}{6} + C_1 \right).d_x \tag{6.171}$$

$$EI_{\psi\psi}.w' = \frac{q.l^2.x}{2} - \frac{q.l.x^2}{2} + \frac{q.x^3}{6} + C_1 \tag{6.172}$$

$$EI_{\psi\psi}.w = \frac{q.l^2.x^2}{4} - \frac{q.l.x^3}{6} + \frac{q.x^4}{24} + C_1.x + C_2 \tag{6.173}$$

Εύρεση σταθερών ολοκλήρωσης (C_1 και C_2):

- <u>Για (x=0) → ($w_{(x=0)}$ = 0)</u> $C_2 = 0$ (6.174)

- <u>Για (x=0) → ($w'_{(x=0)}$ = 0)</u> $C_1 = 0$ (6.175)

Συνεπώς η εξίσωση βέλους κάμψεως κατά μήκος του προβόλου στην οποία επιβάλλεται ομοιόμορφο κατανεμημένο φορτίο δίνεται από την σχέση (6.177).

$$w_{(x)} = \frac{1}{E.I_{\psi\psi}}.\left(\frac{q.l^2.x^2}{4} - \frac{q.l.x^3}{6} + \frac{q.x^4}{24} \right) \tag{6.176}$$

$$w_{(x)} = \frac{q.x^2}{24.E.I_{\psi\psi}}.[x^2 - (4.l.x) + (6.l^2)] \tag{6.177}$$

Το μέγιστο βέλος δοκού προβόλου εντοπίζεται στο άκρο Β δηλαδή σε απόσταση (x = l) από την αριστερή στήριξη πάκτωσης του προβόλου και δίνεται από την πιο κάτω σχέση (6.178).

$$w_{\max,(x=l)} = \frac{q.l^4}{8.E.I_{\psi\psi}} \tag{6.178}$$

όπου:

$w'_{(x)}$: Στροφή της δοκού προβόλου στην εξεταζόμενη θέση x (σε σχέση με την οριζόντια διεύθυνση του άξονα της δοκού)

$w_{(x)}$: Βέλος κάμψης δοκού προβόλου στην εξεταζόμενη θέση x (Κατακόρυφη βύθιση)

x: Εξεταζόμενη θέση x κατά μήκος της δοκού η οποία έχει θετική φορά προς τα δεξιά και σημείο αναφοράς (αρχή των αξόνων) την θέση της αριστερής στήριξης Α (πάκτωσης) του προβόλου ($0 \le x \le l$)

l: Συνολικό μήκος της δοκού προβόλου

q: Τιμή του ομοιόμορφου κατανεμημένου φορτίου το οποίο επιβάλλεται στην δοκό

E: Μέτρο ελαστικότητας της δοκού

$I_{\psi\psi}$: Ροπή αδρανείας της δοκού περί τον άξονα ψ-ψ

$M_{(x)}$: Εξίσωση ροπής κάμψεως δοκού προβόλου περί τον άξονα ψ-ψ, συναρτήσει της κατά μήκους απόστασης (x)

V_A: Κατακόρυφη αντίδραση στην στήριξη πάκτωσης του προβόλου

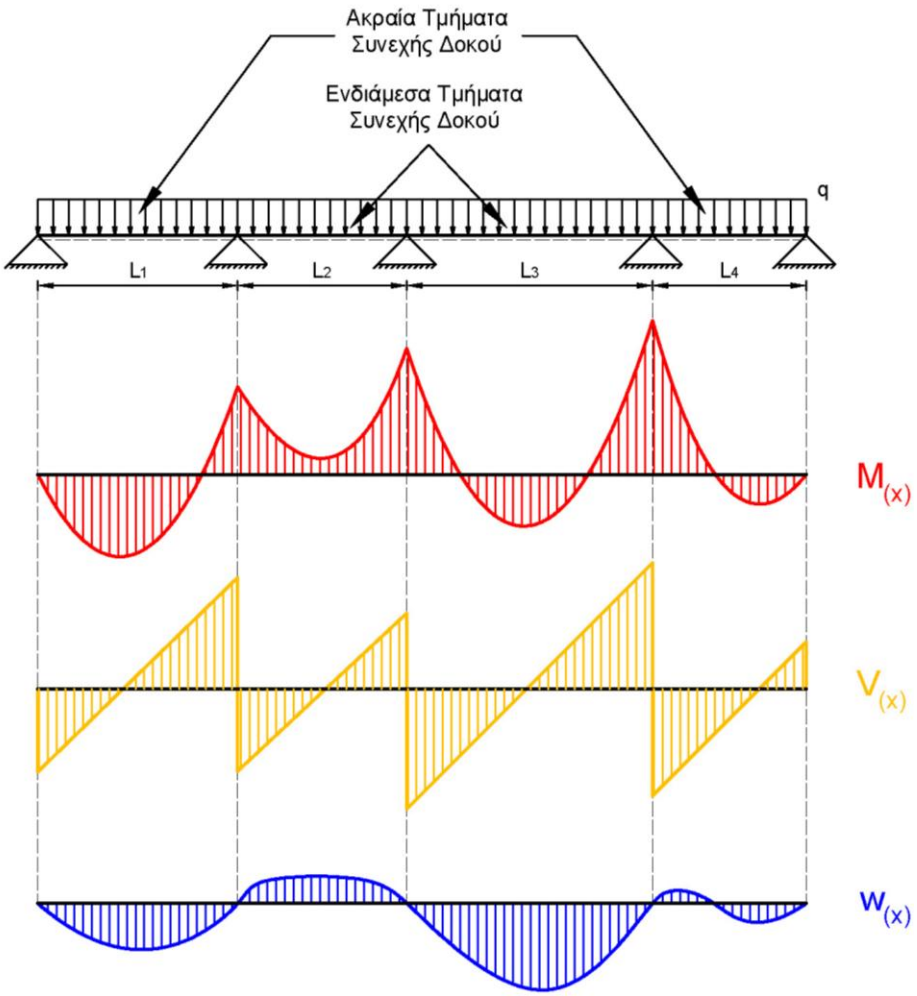
H_A: Οριζόντια αντίδραση στην στήριξη πάκτωσης του προβόλου

M_A: Αντίδρασης ροπής στην στήριξη πάκτωσης του προβόλου

6.5.2.2.4 Βέλος Κάμψης Συνεχής Δοκού Πολλών Ανοιγμάτων

6.5.2.2.4.1 Γενικά

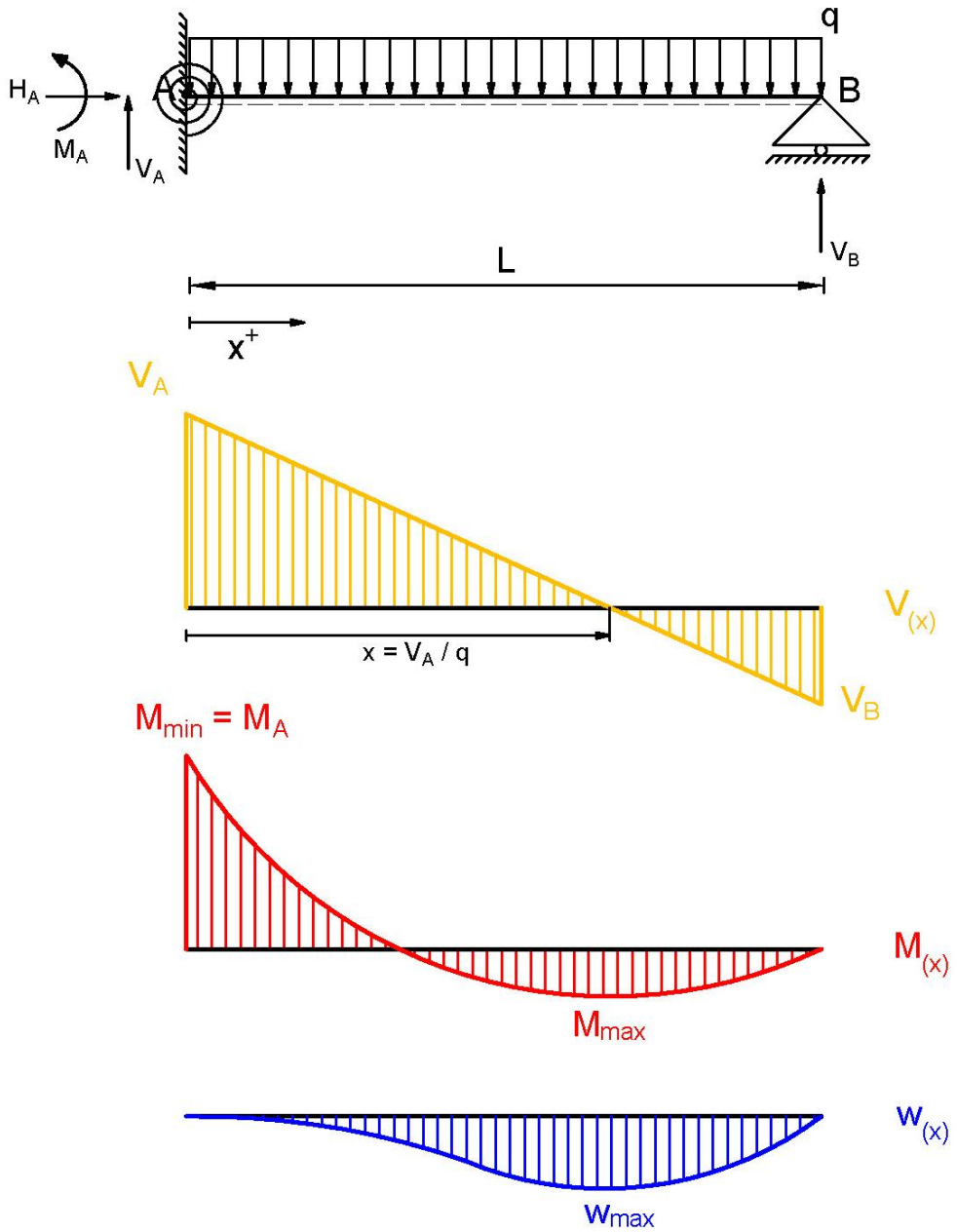
Η διαδικασία η οποία ακλουθείτε για τον υπολογισμό των βελών κάμψεως συνεχής δοκού πολλών ανοιγμάτων είναι όπως και προηγουμένως με την διαφορά ότι σε αυτή την περίπτωση για να μπορούμε να εργαστούμε θα πρέπει να απομονώσουμε τα τμήματα των ανοιγμάτων της συνεχής δοκού και ακολούθως να τα επιλύσουμε ξεχωριστά το καθένα, λαμβάνοντας τις συνθήκες στήριξης (συνοριακές συνθήκες) στα άκρα κάθε τμήματος (στροφή, οριζόντιες/ κατακόρυφες μετατοπίσεις στα άκρα του υπό εξέταση τμήματος).



Εικόνα 6-69 Διαγράμματα Ροπών Κάμψεως $M_{(x)}$, Τεμνουσών Δυνάμεων $V_{(x)}$ και Βελών Κάμψεως $w_{(x)}$ Συνεχής Δοκού Τεσσάρων Ανοιγμάτων

6.5.2.2.4.2 Βέλος Κάμψης Ακραίου Τμήματος Συνεχής Δοκού

Με διαδοχική ολοκλήρωση της διαφορικής εξίσωσης της ελαστικής γραμμής της δοκού, σχέση (6.156), και εφαρμογή των σταθερών ολοκλήρωσης (C_i) οι οποίες προκύπτουν από τις συνοριακές συνθήκες του προβλήματος, προκύπτει η εξίσωση του βέλους κάμψεως κατά μήκος της δοκού (ακραίου τμήματος συνεχής δοκού).



Εικόνα 6-70 Διαγράμματα Ροπών Κάμψεως $M_{(x)}$, Τεμνουσών Δυνάμεων $V_{(x)}$ και Βελών Κάμψεως $w_{(x)}$ Ακραίου Τμήματος Συνεχής Δοκού

Εξίσωση ελαστικής γραμμής γραμμικών φορέων (Ακραίο τμήμα συνεχής δοκού):

$$EI_{\psi\psi}.w'' = -M_{(x)} \tag{6.179}$$

$$EI_{\psi\psi}.w'' = -(V_A.x) + M_A + \frac{q.x^2}{2} \tag{6.180}$$

$$EI_{\psi\psi}.w = \iint \left(\left(-(V_A.x) + M_A + \frac{q.x^2}{2} \right).d_x \right).dx \tag{6.181}$$

$$EI_{\psi\psi}.w = \int \left(-\frac{V_A.x^2}{2} + (M_A.x) + \frac{q.x^3}{6} + C_1 \right).d_x \tag{6.182}$$

$$EI_{\psi\psi}.w' = -\frac{V_A.x^2}{2} + (M_A.x) + \frac{q.x^3}{6} + C_1 \tag{6.183}$$

$$EI_{\psi\psi}.w = -\frac{V_A.x^3}{6} + \frac{M_A.x^2}{2} + \frac{q.x^4}{24} + C_1.x + C_2 \tag{6.184}$$

Εύρεση σταθερών ολοκλήρωσης (C_1 και C_2):

- <u>Για (x=0) → ($w_{(x=0)}$ = 0)</u> $$C_2 = 0 \tag{6.185}$$
- <u>Για (x=l) → ($w_{(x=l)}$ = 0)</u> $$C_1 = \frac{V_A.l^2}{6} - \frac{M_A.l}{2} - \frac{q.l^3}{24} \tag{6.186}$$

Συνεπώς η εξίσωση βέλους κάμψεως κατά μήκος του ακραίου τμήματος συνεχής δοκού στην οποία επιβάλλεται ομοιόμορφο κατανεμημένο φορτίο δίνεται από την σχέση (6.190).

$$w_{(x)} = \frac{1}{E.I_{\psi\psi}}.\left(-\frac{V_A.x^3}{6} + \frac{M_A.x^2}{2} + \frac{q.x^4}{24} + \frac{V_A.l^2.x}{6} - \frac{M_A.l.x}{2} - \frac{q.l^3.x}{24} \right) \tag{6.187}$$

$$w_{(x)} = \frac{x}{24.E.I_{\psi\psi}}.[(-4.V_A.x^2) + (12.M_A.x) + (q.x^3) + (4.V_A.l^2) - (12.M_A.l) - (q.l^3)] \tag{6.188}$$

$$w_{(x)} = \frac{x}{24.E.I_{\psi\psi}}.\left[\left(-4.\left(\frac{q.l}{2} + \frac{M_A}{l} \right).x^2 \right) + (12.M_A.x) + (q.x^3) + \left(4.\left(\frac{q.l}{2} + \frac{M_A}{l} \right).l^2 \right) - (12.M_A.l) - (q.l^3) \right] \tag{6.189}$$

$$w_{(x)} = \frac{x}{24.E.I_{\psi\psi}}.\left[-(2.q.l.x^2) - \frac{4.M_A.x^2}{l} + (12.M_A.x) + (q.x^3) + (q.l^3) - (8.M_A.l)\right] \quad (6.190)$$

Το μέγιστο βέλος της δοκού υπολογίζεται αν παραγωγίσουμε μια φορά την εξίσωση του βέλους (σχέση (6.184), (6.190)) και ακολούθως θέσουμε την εξίσωση αυτή της παραγώγου η οποία προκύπτει (σχέση (6.183)) ίση με μηδέν. Δηλαδή με πιο απλά λόγια το μέγιστο βέλος της δοκού εντοπίζεται στην θέση όπου έχουμε μηδενική στροφή (w΄=0). Επιλύοντας την τριτοβάθμια εξίσωση που προκύπτει (σχέση (6.191)), βρίσουμε την θέση x στην οποία παρουσιάζεται το μέγιστο βέλος της δοκού. Τέλος για να βρούμε την τιμή του μέγιστου βέλους ($w_{max(x)}$) η οποία βρίσκεται στην θέση x, κάνουμε αντικατάσταση της τιμής του x την οποία βρήκαμε, μέσα στην εξίσωση του βέλους κάμψης (σχέση (6.190)).

$$\left(\frac{q}{6}\right).x^3 - \left(\frac{q.l}{4} + \frac{M_A}{2.l}\right).x^2 + M_A.x + \left(\frac{q.l^3}{24} + \frac{M_A.l^2}{6.l} - \frac{M_A.l}{2}\right) = 0 \quad (6.191)$$

όπου:

$w'_{(x)}$: Στροφή της δοκού στην εξεταζόμενη θέση x (σε σχέση με την οριζόντια διεύθυνση του άξονα της δοκού)

$w_{(x)}$: Βέλος κάμψης δοκού στην εξεταζόμενη θέση x (Κατακόρυφη βύθιση)

x: Εξεταζόμενη θέση x κατά μήκος της δοκού η οποία έχει θετική φορά προς τα δεξιά και σημείο αναφοράς (αρχή των αξόνων) την θέση της αριστερής στήριξης A (ελαστικής πάκτωσης) της δοκού ($0 \le x \le l$)

l: Συνολικό μήκος ανοίγματος της δοκού

q: Τιμή του ομοιόμορφου κατανεμημένου φορτίου το οποίο επιβάλλεται στην δοκό

E: Μέτρο ελαστικότητας της δοκού

$I_{\psi\psi}$: Ροπή αδρανείας της δοκού περί τον άξονα ψ-ψ

$M_{(x)}$: Εξίσωση ροπής κάμψεως της δοκού περί τον άξονα ψ-ψ, συναρτήσει της κατά μήκους απόστασης (x)

V_A: Κατακόρυφη αντίδραση στην στήριξη Α (αριστερή στήριξη της δοκού)

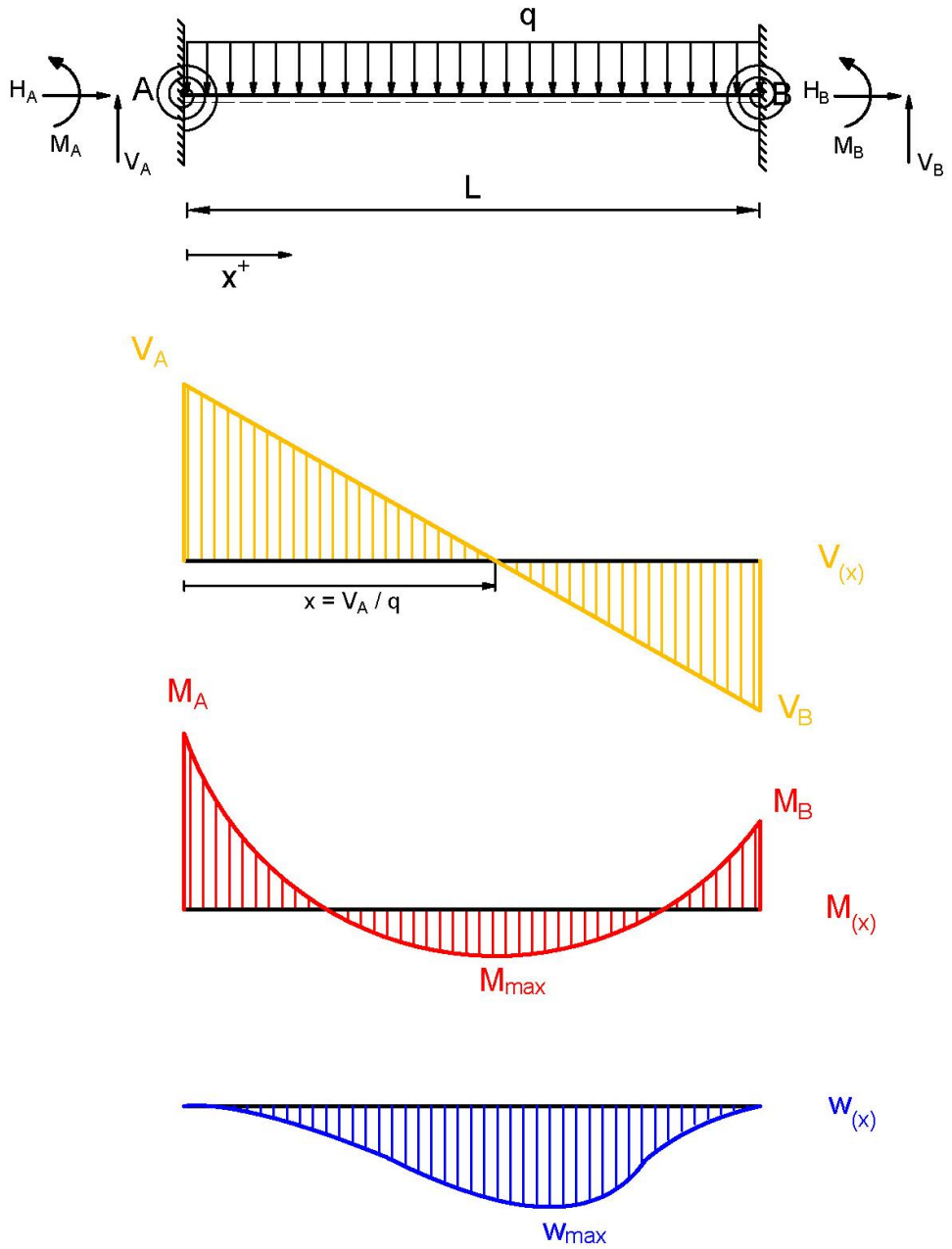
H_A: Οριζόντια αντίδραση στην στήριξη Α (αριστερή στήριξη της δοκού)

M_A: Αντίδραση ροπής στην στήριξη Α (αριστερή στήριξη της δοκού)

V_B: Κατακόρυφη αντίδραση στην στήριξη Β (δεξιά στήριξη της δοκού)

6.5.2.2.4.3 Βέλος Κάμψης Ενδιάμεσου Τμήματος Συνεχής Δοκού

Με διαδοχική ολοκλήρωση της διαφορικής εξίσωσης της ελαστικής γραμμής της δοκού, σχέση (6.156), και εφαρμογή των σταθερών ολοκλήρωσης (C_i) οι οποίες προκύπτουν από τις συνοριακές συνθήκες του προβλήματος, προκύπτει η εξίσωση του βέλους κάμψεως κατά μήκος της δοκού (για ενδιάμεσο τμήμα συνεχής δοκού).



Εικόνα 6-71 Διαγράμματα Ροπών Κάμψεως $M_{(x)}$, Τεμνουσών Δυνάμεων $V_{(x)}$ και Βελών Κάμψεως $w_{(x)}$ Ενδιάμεσου Τμήματος Συνεχής Δοκού

Εξίσωση ελαστικής γραμμής γραμμικών φορέων (Ενδιάμεσο τμήμα συνεχής δοκού):

$$EI_{\psi\psi}.w'' = -M_{(x)} \tag{6.192}$$

$$EI_{\psi\psi}.w'' = -(V_A.x) + M_A + \frac{q.x^2}{2} \tag{6.193}$$

$$EI_{\psi\psi}.w = \iint \left(\left(-(V_A.x) + M_A + \frac{q.x^2}{2} \right).d_x \right).dx \tag{6.194}$$

$$EI_{\psi\psi}.w = \int \left(-\frac{V_A.x^2}{2} + (M_A.x) + \frac{q.x^3}{6} + C_1 \right).d_x \tag{6.195}$$

$$EI_{\psi\psi}.w' = -\frac{V_A.x^2}{2} + (M_A.x) + \frac{q.x^3}{6} + C_1 \tag{6.196}$$

$$EI_{\psi\psi}.w = -\frac{V_A.x^3}{6} + \frac{M_A.x^2}{2} + \frac{q.x^4}{24} + C_1.x + C_2 \tag{6.197}$$

Εύρεση σταθερών ολοκλήρωσης (C_1 και C_2):

- <u>Για (x=0) → ($w_{(x=0)}$ = 0)</u> $$C_2 = 0 \tag{6.198}$$
- <u>Για (x=l) → ($w_{(x=l)}$ = 0)</u> $$C_1 = \frac{V_A.l^2}{6} - \frac{M_A.l}{2} - \frac{q.l^3}{24} \tag{6.199}$$

Συνεπώς η εξίσωση βέλους κάμψεως κατά μήκος του ενδιάμεσου τμήματος συνεχής δοκού στην οποία επιβάλλεται ομοιόμορφο κατανεμημένο φορτίο δίνεται από την σχέση (6.203).

$$w_{(x)} = \frac{1}{E.I_{\psi\psi}}.\left(-\frac{V_A.x^3}{6} + \frac{M_A.x^2}{2} + \frac{q.x^4}{24} + \frac{V_A.l^2.x}{6} - \frac{M_A.l.x}{2} - \frac{q.l^3.x}{24} \right) \tag{6.200}$$

$$w_{(x)} = \frac{x}{24.E.I_{\psi\psi}}.[(-4.V_A.x^2) + (12.M_A.x) + (q.x^3) + (4.V_A.l^2) - (12.M_A.l) - (q.l^3)] \tag{6.201}$$

$$w_{(x)} = \frac{x}{24.E.I_{\psi\psi}}.\left[\left(-4.\left(\frac{M_A - M_B}{l} + \frac{q.l}{2}\right).x^2\right) + (12.M_A.x) + (q.x^3) + \left(4.\left(\frac{M_A - M_B}{l} + \frac{q.l}{2}\right).l^2\right) - (12.M_A.l) - (q.l^3)\right] \quad (6.202)$$

$$w_{(x)} = \frac{x}{24.E.I_{\psi\psi}}.\left[-(2.q.l.x^2) - \frac{4.M_A.x^2}{l} + (12.M_A.x) + (q.x^3) + (q.l^3) - (8.M_A.l) + \frac{4.x^2.(M_B - M_A)}{l}\right] \quad (6.203)$$

Το μέγιστο βέλος της δοκού υπολογίζεται αν παραγωγίσουμε μια φορά την εξίσωση του βέλους (σχέση (6.197), (6.203)) και ακολούθως θέσουμε την εξίσωση αυτή της παραγώγου η οποία προκύπτει (σχέση (6.196)) ίση με μηδέν. Δηλαδή με πιο απλά λόγια το μέγιστο βέλος της δοκού εντοπίζεται στην θέση όπου έχουμε μηδενική στροφή (w΄=0). Επιλύοντας την τριτοβάθμια εξίσωση που προκύπτει (σχέση (6.204)), βρίσουμε την θέση x στην οποία παρουσιάζεται το μέγιστο βέλος της δοκού. Τέλος για να βρούμε την τιμή του μέγιστου βέλους ($w_{max(x)}$) η οποία βρίσκεται στην θέση x, κάνουμε αντικατάσταση της τιμής του x την οποία βρήκαμε, μέσα στην εξίσωση του βέλους κάμψης (σχέση (6.203)).

$$\left(\frac{q}{6}\right).x^3 - \left(\frac{M_A - M_B}{2.l} + \frac{q.l}{4} +\right).x^2 + M_A.x + \left(\frac{q.l^3}{24} - \frac{(M_A + M_B).l}{2}\right) = 0 \quad (6.204)$$

όπου:

$w'_{(x)}$: Στροφή της δοκού στην εξεταζόμενη θέση x (σε σχέση με την οριζόντια διεύθυνση του άξονα της δοκού)

$w_{(x)}$: Βέλος κάμψης δοκού στην εξεταζόμενη θέση x (Κατακόρυφη βύθιση)

x: Εξεταζόμενη θέση x κατά μήκος της δοκού η οποία έχει θετική φορά προς τα δεξιά και σημείο αναφοράς (αρχή των αξόνων) την θέση της αριστερής στήριξης A (ελαστικής πάκτωσης) της δοκού ($0 \le x \le l$)

l: Συνολικό μήκος ανοίγματος της δοκού

q: Τιμή του ομοιόμορφου κατανεμημένου φορτίου το οποίο επιβάλλεται στην δοκό

E: Μέτρο ελαστικότητας της δοκού

$I_{ψψ}$: Ροπή αδρανείας της δοκού περί τον άξονα ψ-ψ

$M_{(x)}$: Εξίσωση ροπής κάμψεως της δοκού περί τον άξονα ψ-ψ, συναρτήσει της κατά μήκους απόστασης (x)

V_A: Κατακόρυφη αντίδραση στην στήριξη A (αριστερή στήριξη της δοκού)

H_A: Οριζόντια αντίδραση στην στήριξη A (αριστερή στήριξη της δοκού)

M_A: Αντίδραση ροπής στην στήριξη A (αριστερή στήριξη της δοκού)

V_B: Κατακόρυφη αντίδραση στην στήριξη B (δεξιά στήριξη της δοκού)

H_B: Οριζόντια αντίδραση στην στήριξη B (δεξιά στήριξη της δοκού)

M_B: Αντίδραση ροπής στην στήριξη B (δεξιά στήριξη της δοκού)

6.5.2.3 Επιτρεπόμενες Τιμές Κατακόρυφων Καμπτικών Παραμορφώσεων Δοκών

Έχοντας προσδιορίσει τις τιμές των βελών κάμψεως που αναπτύσσονται στο φορέα (βλέπε ενότητα 6.5.2.2), οι τιμές αυτές θα πρέπει να συγκριθούν με τις επιτρεπόμενες μέγιστες τιμές οι οποίες δίνονται στην παρούσα παράγραφο και εξαρτώνται από το είδος των φερόντων και μη φερόντων στοιχείων που απαρτίζουν τον φορέα.

$$w_{\Delta o\kappa o\acute{\upsilon}} \leq w_{\varepsilon\pi\iota\tau\rho\,.,\acute{o}\rho\iota\alpha} \tag{6.205}$$

Για κτιριακές κατασκευές τα επιτρεπόμενα όρια τα οποία συνιστώνται για τις κατακόρυφες καμπτικές παραμορφώσεις (κατακόρυφα βέλη κάμψεως), δίνονται στον πιο κάτω (Πίνακας 6-21) σύμφωνα με τον (EN 1993-1-1 (NA) §7.2.1.)

Περιγραφή	**Οριακές Τιμές**	
	$w_{max,total}$	$w_{3,2}$
Στέγες (γενικά)	L/200	L/250
Στέγες που συχνά φέρουν προσωπικό άλλο από αυτό για συντήρηση	L/250	L/300
Πατώματα (γενικά)	L/250	L/300
Πατώματα κα στέγες που υποστηρίζουν γύψινα ή άλλα ψαθυρά τελειώματα ή μη εύκαμπτα χωρίσματα	L/250	L/350
Πατώματα που υποστηρίζουν υποστυλώματα (εκτός εάν το βέλος κάμψης έχει ληφθεί υπ' όψη στην καθολική ανάλυση για τον προσδιορισμό της έσχατης οριακής κατάστασης)	L/400	L/500
Όπου το $w_{max,total}$ μπορεί να βλάψει την εμφάνιση του κτιρίου	L/250	

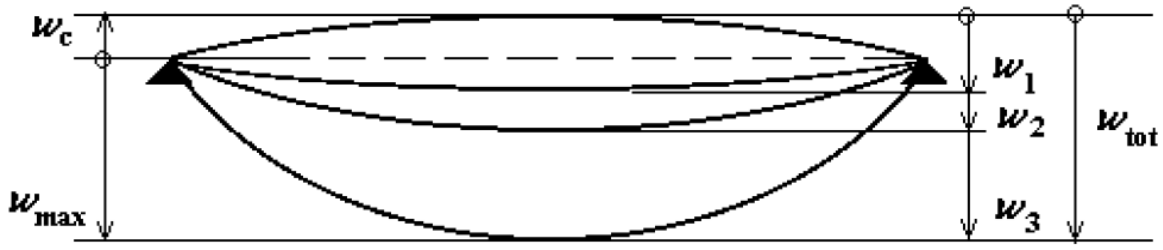
Πίνακας 6-21 Μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές κατακόρυφων καμπτικών παραμορφώσεων (επιτρεπόμενες μέγιστες τιμές βελών κάμψεως δοκών), (EN 1993-1-1 (NA) §7.2.1.)

όπου:

L: Το μήκος ανοίγματος της δοκού. Για δοκούς μορφής προβόλου το μήκος L λαμβάνεται ίσο με το μισό του μήκους του προβόλου ($L = L_{\pi\rho o\beta\acute{o}\lambda o\upsilon}/2$)

$w_{max,total}$: Μέγιστη τιμή κατακόρυφου βέλους κάμψης (λαμβάνοντας υπόψη και το αρχικό αντιβέλος το οποίο δίνεται στην δοκό αν υπάρχει)

$w_{3,2}$: Μέγιστη τιμή κατακόρυφου βέλους κάμψης λόγω μεταβλητών δράσεων (w_3) και χρόνιων παραμορφώσεων (w_2)



Εικόνα 6-72 Σχηματική απεικόνιση και συμβολισμοί βέλους κάμψεως δοκού, (EN 1990 §A1.4.3, Σχήμα A1.1)

όπου:

w_0: Αρχικό αντιβέλος (αν υπάρχει) της δοκού στην αφόρτιστη κατάσταση (αρνητικό βέλος κάμψης). Συνήθως σε κατασκευές γεφυροποιίας, στην σιδηροδοκό δίνεται ένα κατασκευαστικό αντιβέλος έτσι ώστε να μειώσει το θετικό βέλος κάμψης το οποίο θα αναπτυχθεί στην δοκό λόγω των επερχόμενων φορτίων που θα επιβληθούν μετέπειτα.

w_1: Βέλος κάμψης το οποίο προκύπτει υπό την επίδραση των μόνιμων φορτίων

w_2: Βέλος κάμψης το οποίο προκύπτει μακροπρόθεσμα υπό την επίδραση των μόνιμων φορτίων λόγω χρόνιων παραμορφώσεων (φαινόμενα ερπυσμού, συστολής ξήρανσης)

w_3: Βέλος κάμψης το οποίο προκύπτει υπό την επίδραση μεταβλητών δράσεων

$w_{max,total}$: Συνολικό βέλος κάμψης της δοκού λαμβάνοντας υπόψη και το αρχικό αντιβέλος το οποίο δίνεται στην δοκό, ($w_{max,total} = w_1 + w_2 + w_3 = w_0 + w_{max}$)

w_{max}: Θετικό βέλος κάμψης της δοκού (αγνοώντας το αρχικό αντιβέλος που δίνεται στην δοκό), ($w_{max} = w_{max,total} – w_0$)

6.5.3 Έλεγχος Ρηγμάτωση Σκυροδέματος

6.5.3.1 Γενικά

Η ρηγμάτωση του σκυροδέματος είναι μια κατάσταση αναπόφευκτη στις κατασκευές την οποία δεν μπορούμε να την εξαλείψουμε τελείως αλλά να την περιορίσουμε. Η ρηγμάτωση του σκυροδέματος συμβαίνει όταν οι αναπτυσσόμενες εφελκυστικές τάσεις υπερβαίνουν την εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος, με αποτέλεσμα την διάνοιξη ρωγμών οι οποίες έχουν διεύθυνση κάθετα στην διεύθυνση των κύριων εφελκυστικών τάσεων του σκυροδέματος. Η ρηγμάτωση του σκυροδέματος ξεκινά από τα πρώιμα στάδια ηλικίας του όπου η αντοχή του είναι μικρή ενώ οι ανηγμένες παραμορφώσεις λόγω θερμικών επιρροών και συστολής ξήρανσης είναι μεγάλη με αποτέλεσμα να παρατηρούνται μικρές ρηγματώσεις στο δομικό στοιχείο.

Η λειτουργικότητα του φορέα επηρεάζεται δυσμενώς λόγω της ρηγμάτωσης που υφίσταται το σκυρόδεμα καθώς επηρεάζεται τόσο η εξωτερική εμφάνιση του δομήματος άλλα κυρίως υποβαθμίζεται η ανθεκτικότητα σε διάρκεια της κατασκευής, όπου διαμέσου των ρωγμών και ανάλογα με το εύρος ανοίγματος της υπεισέρχεται υγρασία στο στοιχείο με αποτέλεσμα την διάβρωση μακροχρόνια του οπλισμού σκυροδέματος . Οι κυρίου ενδιαφέροντος ρηγματώσεις οι οποίες μας απασχολούν ιδιαίτερα είναι αυτές οι οποίες έχουν μόνιμο χαρακτήρα, δηλαδή αυτές οι οποίες προκαλούνται από οιονεί μόνιμες δράσεις, ενώ ρηγματώσεις λόγω δράσεων μικρής διάρκειας κλείνουν συχνά από μόνες τους.

Έτσι λοιπόν ο σκοπός του ελέγχου σε ρηγμάτωση δεν είναι η πλήρης εξάλειψη της καθώς όπως αναφέραμε πιο πάνω είναι αδύνατον να συμβεί αυτό άλλα ο περιορισμός της σε μικρές τιμές εύρους των ρωγμών και η όσο το δυνατόν πιο ομοιόμορφη κατανομή της. Συνεπώς ο λογιστικός έλεγχος σε ρηγμάτωση του σκυροδέματος περιλαμβάνει τον προσδιορισμό του εύρους ανοίγματος της ρωγμής και σύγκριση της με τα επιτρεπόμενα όρια.

Η διαδικασία αυτή και η μέθοδος υπολογισμού περιγράφεται αναλυτικά στον Ευρωκώδικα 2 (EN 1992-1-1 §7.3) και στον Ευρωκώδικα 4 (EN 1994-1-1 §7.4) όπου το εύρος της ρωγμής και η σύγκριση της με τα επιτρεπόμενα όρια μπορεί να γίνεται είτε με αναλυτικό τρόπο είτε με την χρήση μιας πιο απλουστευμένης διαδικασίας η οποία θα περιγραφτεί εν συνεχεία.

Για τον περιορισμό διάνοιξης ρωγμών στην πλάκα σκυροδέματος θα πρέπει να προβλέπετε οπλισμός σκυροδέματος τουλάχιστον ίσο με τον ελάχιστο. Το γεωμετρικό ποσοστό του ελάχιστου οπλισμού ($\rho_{s,min}= A_s / A_c$) λαμβάνεται για την περίπτωση όπου η σιδηροδοκός δεν υποστυλώνονται στη φάση κατασκευής ίσο με $\rho_{s,min}$=0,4%, ενώ για την περίπτωση όπου η σιδηροδοκός υποστυλώνονται στη φάση κατασκευής, το $\rho_{s,min}$=0,2%.

6.5.3.2 Απλουστευμένη Μέθοδος Υπολογισμού Και Έλεγχου Ρηγμάτωσης Σκυροδέματος

Σύμφωνα λοιπόν με τον (EN 1992-1-1 §7.3.3) και (EN 1994-1-1 §7.4.3) στην παρούσα παράγραφο περιγράφεται η απλουστευμένη διαδικασία με την οποία γίνεται ο έλεγχος ρηγμάτωσης του σκυροδέματος. Συνεπώς στην περίπτωση όπου τοποθετείται ο ελάχιστος οπλισμός (βλέπε ενότητα 6.5.4), ο περιορισμός του εύρους ρωγμής (w_k) επιτυγχάνεται με περιορισμό της μέγιστης διαμέτρου (Πίνακας 6-22) ή της μέγιστης απόσταση μεταξύ των διαμήκων ράβδων οπλισμού σκυροδέματος (Πίνακας 6-23). Έτσι λοιπόν ο έλεγχος πληρείται αν ισχύει ένας εκ των δυο περιορισμών τους οποίους θέτει ο κανονισμός (ή Πίνακας 6-22 ή Πίνακας 6-23).

	Μέγιστη Διάμετρος Ράβδου Ø (mm) Διαμήκους Οπλισμού, για Άνοιγμα Ρωγμής w_k		
Τάση Οπλισμού σ_s (MPa)	w_k=0,4mm	w_k=0,3mm	w_k=0,2mm
160	40	32	25
200	32	25	16
240	20	16	12
280	16	12	8
320	12	10	6
360	10	8	5
400	8	6	4
450	6	5	-

Πίνακας 6-22 Μέγιστες τιμές διαμέτρων διαμήκους οπλισμού σκυροδέματος για τον περιορισμό του εύρους ρωγμής w_k στον έλεγχο ρηγμάτωσης, (EN 1992-1-1 §7.3.3, Πίνακας 7.2N), (EN 1994-1-1 §7.4.2, Πίνακας 7.1)

	Μέγιστη Απόσταση Μεταξύ των Ράβδων Ø (mm) Διαμήκους Οπλισμού, για Άνοιγμα Ρωγμής w_k		
Τάση Οπλισμού σ_s (MPa)	**w_k=0,4mm**	**w_k=0,3mm**	**w_k=0,2mm**
160	300	300	200
200	300	250	150
240	250	200	100
280	200	150	50
320	150	100	-
360	100	50	-

Πίνακας 6-23 Μέγιστες τιμές των αποστάσεων μεταξύ των διαμήκων ράβδων οπλισμού σκυροδέματος για τον περιορισμό του εύρους ρωγμής w_k στον έλεγχο ρηγμάτωσης, (EN 1992-1-1 §7.3.3, Πίνακας 7.3N), (EN 1994-1-1 §7.4.3, Πίνακας 7.2)

Για την εύρεση των τάσεων του διαμήκους οπλισμού σκυροδέματος μετά τον πλήρη σχηματισμό των ρωγμών στην σύμμικτη δοκό δίνεται από την πιο κάτω σχέση (6.206).

$$\sigma_s = \sigma_{s,0} + \Delta\sigma_s \qquad (6.206)$$

όπου:

$\sigma_{s,0}$: Μέγιστη τάση οπλισμού σκυροδέματος στην ρηγματωμένη διατομή για τον οιονεί μόνιμο συνδυασμό στην οριακή κατάσταση λειτουργικότητας

$\Delta\sigma_s$: Πρόσθετη τάση λόγω συμμετοχής του σκυροδέματος στην παραλαβή εφελκυσμού μεταξύ των ρωγμών, η οποία δίνεται από την πιο κάτω εξίσωση (6.207):

$$\Delta\sigma_s = \frac{0{,}4.\, f_{ctm}}{a_{st}.\, \rho_s} \tag{6.207}$$

f_{ctm}: Μέση εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος

α_{st}: Ο λόγος του γινομένου εμβαδού και ροπής αδρανείας της ρηγματωμένης διατομής προς το εμβαδόν και την ροπή αδρανείας της σιδηροδοκού, η οποία δίνεται από την σχέση (6.208):

$$\alpha_{st} = \frac{A_{II}.\, I_{II}}{A_a.\, I_a} \tag{6.208}$$

ρ_s: Γεωμετρικό ποσοστό διαμήκους οπλισμού σκυροδέματος, ο οποίος δίνεται από την πιο κάτω σχέση (6.209):

$$\rho_s = \frac{A_s}{A_{ct}} \tag{6.209}$$

A_s: Είναι το συνολικό εμβαδόν διατομής του διαμήκους οπλισμού σκυροδέματος εντός της ενεργού επιφάνειας A_{ct}

A_{ct}: Ενεργός επιφάνεια διατομής της πλάκας σκυροδέματος εντός της εφελκυόμενης ζώνης. Για απλούστευση μπορεί να χρησιμοποιηθεί το εμβαδόν διατομής της πλάκας σκυροδέματος εντός του συνεργαζόμενου πλάτους

A_{II}: Εμβαδόν της ρηγματωμένης διατομής της σύμμικτης δοκού

I_{II}: Ροπή αδρανείας της ρηγματωμένης διατομής της σύμμικτης δοκού

A_α: Εμβαδόν διατομής της σιδηροδοκού

I_α: Ροπή αδρανείας της σιδηροδοκού

6.5.4 Ελάχιστος Οπλισμός Πλάκας Σκυροδέματος

Στις περιοχές αρνητικών ροπών όπου το σκυρόδεμα παραλαμβάνει εφελκυστικές τάσεις παρατηρείται ρηγμάτωση του όταν οι αναπτυσσόμενες εφελκυστικές τάσεις που δημιουργούνται στο σκυρόδεμα υπερβαίνουν την εφελκυστική αντοχή του, με αποτέλεσμα την διάνοιξη ρωγμών οι οποίες έχουν διεύθυνση κάθετα στην διεύθυνση των κύριων εφελκυστικών τάσεων του σκυροδέματος. Έτσι λοιπόν στις περιοχές αυτές θα πρέπει να προβλέπεται κατάλληλος οπλισμός σκυροδέματος ο οποίος θα είναι σε θέση να αναλαμβάνει τις εφελκυστικές τάσεις τις οποίες θα αναλάμβανε από μόνο του το σκυρόδεμα, έτσι ώστε να αποφεύγεται η ψαθυρή μορφή αστοχίας του σκυροδέματος στην περίπτωση όπου εφελκύεται.

Ο ελάχιστος απαιτούμενος οπλισμός ο οποίος θα πρέπει να τοποθετείται στις θέσεις όπου το σκυρόδεμα βρίσκεται υπό εφελκυσμό δίνεται από την σχέση (6.210), (EN 1994-1-1 §7.4.2)

$$A_{s,min} = \frac{k_s . k_c . k . f_{ct,eff} . A_{ct}}{\sigma_s} \qquad (6.210)$$

όπου:

k: Συντελεστής ο οποίος λαμβάνει υπόψη την ανομοιόμορφη κατανομή αυτεντατικών τάσεων, μπορεί να λαμβάνεται ίσος με την τιμή (k=0,8)

k_s: Συντελεστής ο οποίος λαμβάνει υπόψη την επιρροή της μείωσης της αξονικής δύναμης στην πλάκα σκυροδέματος λόγω της ρηγμάτωσης και της ολίσθησης των διατμητικών ήλων, μπορεί να λαμβάνεται ίσος με την τιμή (k_s=0,9)

A_{ct}: Ενεργός επιφάνεια διατομής της πλάκας σκυροδέματος εντός της εφελκυόμενης ζώνης. Για απλούστευση μπορεί να χρησιμοποιηθεί το εμβαδόν διατομής της πλάκας σκυροδέματος εντός του συνεργαζόμενου πλάτους

$f_{ct,eff}$: Ενεργός εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος τη στιγμή της ρηγμάτωσης. Η τιμή της ενεργού εφελκυστικής αντοχής του σκυροδέματος $f_{ct,eff}$ μπορεί να λαμβάνεται ίση με την τιμή της μέσης εφελκυστικής αντοχής του σκυροδέματος f_{ctm} όπου θα πρέπει

να λαμβάνεται υπόψη ο χρόνο στον οποίο γίνεται η ρηγμάτωση. Όταν η ηλικία του σκυροδέματος κατά την ρηγμάτωση δεν μπορεί να προσδιοριστεί με ακρίβεια τότε μπορεί να λαμβάνεται προσεγγιστικά ίση με ($f_{ct,eff}$ = 3MPa)

σ_s: Μέγιστη επιτρεπόμενη τάση στον οπλισμό σκυροδέματος αμέσως μετά την ρηγμάτωση η οποία μπορεί να λαμβάνεται ως η χαρακτηριστική τιμή του ορίου διαρροής του οπλισμού (f_{ys}). Για τον υπολογισμό της ακριβέστερης τιμής της έτσι ώστε να ικανοποιούνται και τα απαιτούμενα όρια εύρους των ρωγμών δίνεται από την σχέση υπολογισμού (6.206)

k_c: Συντελεστής ο οποίος λαμβάνει υπόψη την κατανομή των τάσεων στην διατομή αμέσως πριν την ρηγμάτωση (αρηγμάτωτη διατομή) και δίνεται από την πιο κάτω σχέση (6.211)

$$k_c = \left(\frac{1}{1 + \frac{d_c}{2.z_o}} + 0{,}3 \right) \leq 1 \qquad (6.211)$$

όπου:

z_o: Είναι η κατακόρυφη απόσταση μεταξύ των κέντρων βαρών της αρηγμάτωτης πλάκας σκυροδέματος και της αρηγμάτωτης σύμμικτης διατομής, υπολογιζόμενη χρησιμοποιώντας τον συντελεστή ισοδυναμίας (n_o) για βραχυχρόνιες συνθήκες φόρτισης

d_c: Το ύψος της πλάκας σκυροδέματος. Στην περίπτωση σύμμικτης πλάκας σκυροδέματος με αυλακωτό χαλυβδόφυλλο, το ύψος της πλάκας σκυροδέματος (d_c) βρίσκεται αφού αφαιρεθεί από το συνολικό ύψος της πλάκας ($d_{c,total}$) το ύψος του χαλυβδόφυλλου (h_p), δηλαδή (d_c=$d_{c,total}$-h_p). Στην περίπτωση συμπαγούς πλάκας σκυροδέματος τότε το (d_c = $d_{c,total}$)

Η τοποθέτηση του ελάχιστου οπλισμού γίνεται εντός του συνεργαζόμενου πλάτους της πλάκας σκυροδέματος σε ένα μήκος ίσο με το ¼ του ανοίγματος εκατέρωθεν των

ενδιάμεσων στηρίξεων ή το μισό του μήκους προβόλων. Στον ελάχιστο οπλισμό δεν συνυπολογίζεται το εμβαδόν του χαλυβδόφυλλου το οποίο λειτουργεί ως συνελκόμενος εφελκυόμενος οπλισμός στην σύμμικτη διατομή. Τέλος τουλάχιστον ο μισός οπλισμός σκυροδέματος θα πρέπει να τοποθετείται στο ανώτερο μισό του πάχους της πλάκας σκυροδέματος.

7. Πρόγραμμα Διαστασιολόγησης Σύμμικτων Δοκών

7.1 Γενικά

Στην παρούσα ενότητα γίνεται η παρουσίαση και η ανάλυση του προγράμματος το οποίο δημιουργήθηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία το οποίο αναφέρεται σε διαστασιολόγηση σύμμικτων δοκών από χάλυβα και σκυρόδεμα για κτιριακές κατασκευές. Η δημιουργία του προγράμματος συντάχθηκε στο πρόγραμμα Microsoft Excel (έκδοση 2007) καθώς επίσης έγινε χρήση ενός περιβάλλοντος προγραμματισμού το οποίο διαθέτει το Excel "VBA Excel (Visual Basic for Applications) μέσα από το οποίο δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να συντάξει δικό του κώδικα εκτελώντας αυτόν στο περιβάλλον του Excel.

Στόχος λοιπόν του παρόν προγράμματος είναι η αυτοματοποιημένη διαδικασία όλων των απαιτούμενων ελέγχων οι οποίοι θα πρέπει να γίνονται για την διαστασιολόγηση μιας σύμμικτης δοκού τόσο σε οριακή κατάσταση αστοχίας όσο και σε οριακή κατάσταση λειτουργικότητας, λαμβάνοντας υπόψη και τις φάσεις κατασκευής.

Οι κύριες μορφές στατικών συστημάτων οι οποίες μπορεί να συναντήσει ο χρήστης στην μελέτη μιας κατασκευής είναι δοκοί μορφής αμφιέρειστης δοκού, προβόλου και συνεχή δοκός πολλών ανοιγμάτων γα τις οποίες προσφέρεται δυνατότητα επίλυση και διαστασιολόγησης τους μέσω του παρόν προγράμματος.

Η εισαγωγή δεδομένων στο πρόγραμμα όπου απαιτείται γίνεται χειροκίνητα από το χρήστη, ενώ στις περιπτώσεις εισαγωγής δεδομένων οι οποίες δεν απαιτούν χειροκίνητο τρόπο εισαγωγής, γίνεται επιλογή τους μέσω αναπτυσσόμενων λιστών με σκοπό να αποφεύγονται τυχόν λάθη τα οποία μπορεί να προκληθούν κατά την διαδικασία πληκτρολόγησης. Σε περιπτώσεις όπου το επιθυμεί ο χρήστης δίνεται η δυνατότητα χειροκίνητης εισαγωγής δεδομένων. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι στην περίπτωση όπου η εισαγωγή των δεδομένων δεν είναι ορθή τότε το πρόγραμμα εντοπίζει το λάθος και καλείται ο χρήστης να κάνει τις κατάλληλες διορθώσεις. Παραδείγματα τέτοιων περιπτώσεων αναφέρονται πιο κάτω:

- Η εισαγωγή γραμμάτων σε κελιά τα οποία δέχονται μόνο αριθμούς
- Εισαγωγή αρνητικών αριθμών ενώ στο συγκεκριμένο πεδίο εισαγωγής δεδομένων δέχεται μόνο θετικούς αριθμούς (π.χ. μήκος δοκού, αποστάσεις μεταξύ των οπλισμών, κατακόρυφη επικάλυψη οπλισμών κλπ)
- Γίνεται έλεγχος στην κατασκευή της γεωμετρία της διατομής (π.χ. η τοποθέτηση του οπλισμού σκυροδέματος τόσο του διάμηκες όσο και του εγκάρσιου θα πρέπει να είναι εντός της πλάκας σκυροδέματος και να μην υπερβαίνει τα επιτρεπόμενα όρια της επικάλυψης του σκυροδέματος, το ύψος των ήλων δεν πρέπει να ξεπερνά την επιτρεπόμενη επικάλυψη ή την άνω ίνα του σκυροδέματος, η εγκάρσια απόσταση μεταξύ των ήλων δεν μπορεί να είναι τέτοια ώστε οι ήλοι να βρίσκονται εκτός του ορίου του άνω πέλματος της σιδηροδοκού λαμβάνοντας και κατασκευαστικές διατάξεις του Ευρωκώδικα κλπ)
- Στην περίπτωση όπου δεν έγινε συμπλήρωση δεδομένων μέσω αναπτυσσόμενης λίστας ή χειροκίνητης διαδικασίας συμπλήρωσης (π.χ. ο χρήστης ξέχασε να επιλέξει την κατηγορία ποιότητας σκυροδέματος μέσω της αναπτυσσόμενης λίστας)

Σε περιοχές κελιών όπου δεν θα πρέπει να γίνεται εισαγωγή δεδομένων ή εμφάνιση αποτελεσμάτων, το πρόγραμμα αυτόματα απενεργοποιεί την εμφάνιση και τις ιδιότητες των περιοχών αυτών. Επίσης κατά τον έλεγχο των αποτελεσμάτων, το πρόγραμμα εντοπίζει και σημειώνει με κόκκινο χρώμα τους ελέγχους οι οποίοι δεν πληρούνται ενώ στην αντίθετη περίπτωση όπου οι έλεγχοι πληρούνται σημειώνονται με πράσινο χρώμα.

Η γραφική απεικόνιση που παρέχει το συγκεκριμένο πρόγραμμα είναι από τα κύρια πλεονεκτήματα του καθώς προσφέρει αυτοματοποιημένη σχεδίαση των εξής:

- Διαγράμματα ροπών [M] ,Τεμνουσών δυνάμεων [V] και Βελών κάμψεως [w] σε οριακή κατάσταση αστοχίας (ΟΚΑ) και σε οριακή κατάσταση λειτουργικότητας (ΟΚΛ)
- Διαγράμματα βελών κάμψης [w_i] για τις διάφορες φάσεις κατασκευής

- Διαγράμματα τάσεων καθ’ ύψος της σύμμικτης διατομής στους ελέγχους Πλαστικής Ροπής Αντοχής [$M_{pl,Rd,i}$]
- Διαγράμματα τάσεων καθ’ ύψος της σύμμικτης διατομής στους ελέγχους Ελαστικής Ροπής Αντοχής (με φάσεις κατασκευής – έλεγχος τάσεων) [$M_{el,Rd,i}$]
- Διαγράμματα δρώσας διατμητικής ροής [$v_{l,Ed}$] και διατμητικής ροής αντοχής [$v_{l,Rd}$] στους ελέγχους διατμητικής σύνδεσης
- Γίνεται ρεαλιστική χάραξη σχεδιασμού των σύμμικτων διατομών σε κάθε θέση ελέγχου κρίσιμης διατομής κατά μήκος της δοκού έτσι ώστε να δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να μπορεί να ελέγξει και μέσω της γραφικής απεικόνισης ότι η εισαγωγή των δεδομένων στο πρόγραμμα έγινε ορθά

Όλο το θεωρητικό υπόβαθρο και οι σχέσεις υπολογισμού οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν στο παρόν πρόγραμμα έχει γίνει είδη αναφορά και η ανάλυση τους στα προηγούμενα κεφάλαια. Συνεπώς συστήνεται στον αναγνώστη πριν την ανάγνωση του παρόντος κεφαλαίου να ανατρέξει στα προηγούμενα κεφάλαια θεωρητικού υποβάθρου έτσι ώστε να γίνονται κατανοητές οι έννοιες και οι σχέσεις υπολογισμού στις οποίες αναφέρονται στο πρόγραμμα.

7.2 Εγχειρίδιο Χρήσης Του Προγράμματος Σύμμικτων Δοκών

7.2.1 Γενικά

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως το πρόγραμμα αυτό συντάχθηκε στο πρόγραμμα Microsoft Excel σε έκδοση 2007, συνεπώς υπάρχει πιθανότητα να υπολειτουργεί σε νεότερες εκδόσεις του προγράμματος Excel.

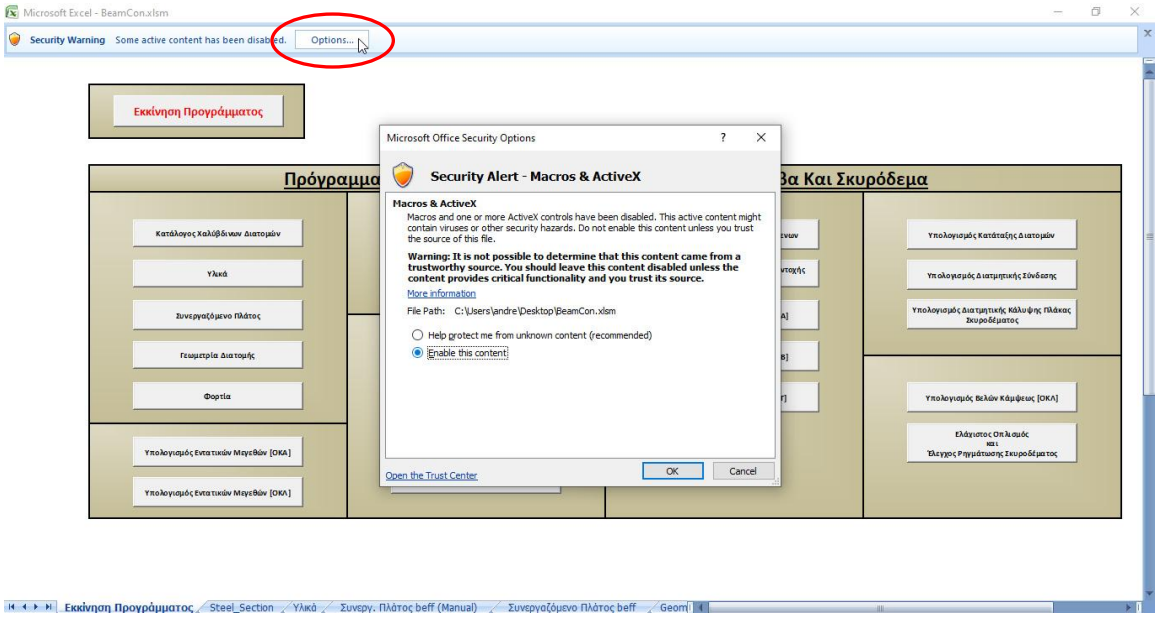
Η εφαρμογή του προγράμματος σύμμικτων δοκών εμπεριέχεται σε ένα αρχείο Excel το οποίο αποτελείται συνολικά από 24 φύλλα. Κατά το άνοιγμα της εφαρμογής εμφανίζεται αρχικά το κεντρικό μενού της εφαρμογής το οποίο φαίνεται στην πιο κάτω (Εικόνα 7-1).

Εικόνα 7-1 Κεντρικό Μενού Προγράμματος Σύμμικτων Δοκών

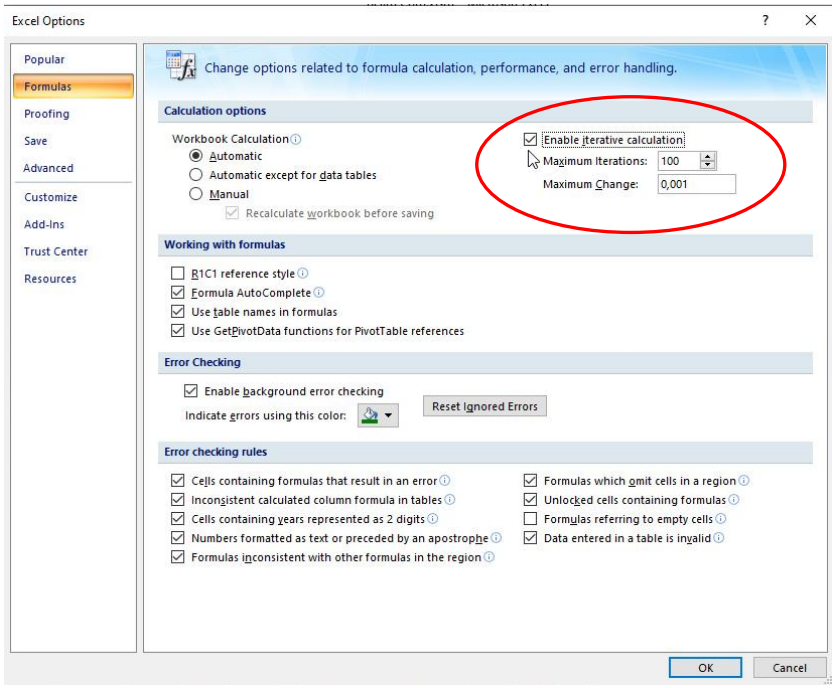
Αρχικά για να μπορεί να τρέξει η εφαρμογή θα πρέπει πρώτα ο χρήστης να δώσει την άδεια στο excel για την ενεργοποίηση και εκτέλεση των μακροεντολών κάνοντας κλικ στη επιλογή “Enable this content” όπως φαίνεται στην (Εικόνα 7-2).

Επίσης λόγω του ότι στο παρόν πρόγραμμα έχουν συνταχθεί εντολές οι οποίες απαιτούν επαναληπτική διαδικασία, για να μπορεί να γίνει εκτέλεση αυτών θα πρέπει αρχικά ο χρήστης να ενεργοποιήσει από την καρτέλα “Excel Options -> Formulas” την επιλογή “Enable iterative calculation” και στα πεδία “Maximum Iterations” και

“Maximum Change” οι προκαθορισμένες τιμές οι οποίες δίνονται από το excel (100 και 0,001 αντίστοιχα), (βλέπε Εικόνα 7-3)



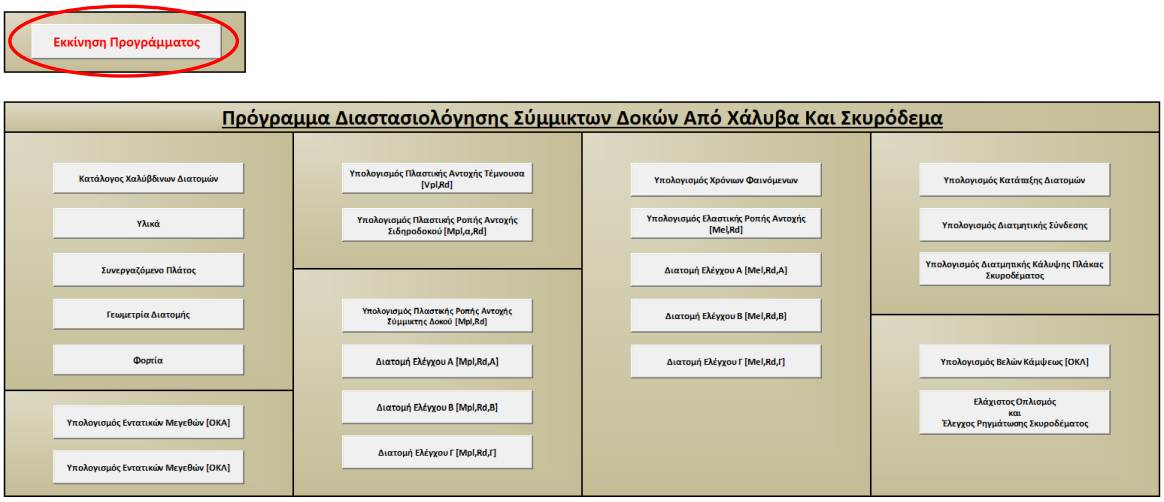
Εικόνα 7-2 Ενεργοποίηση των μακροεντολών VBA Excel για την εκτέλεση του κώδικα



Εικόνα 7-3 Ενεργοποίηση επαναληπτικής διαδικασίας στο πρόγραμμα Excel

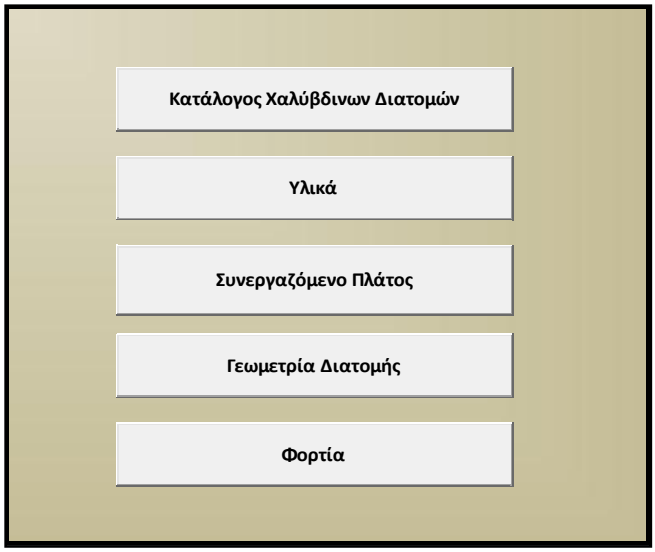
7.2.2 Κεντρικό Μενού Προγράμματος

Η εκκίνηση του προγράμματος γίνεται με το πάτημα του κουμπιού «Εκκίνηση Προγράμματος» στο κεντρικό μενού της εφαρμογής, (βλέπε Εικόνα 7-4).



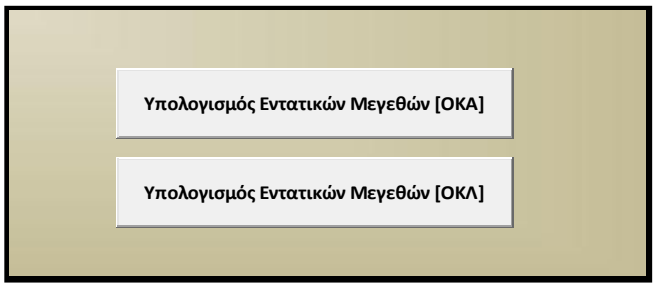
Εικόνα 7-4 Εκκίνηση προγράμματος διαστασιολόγησης σύμμικτων δοκών

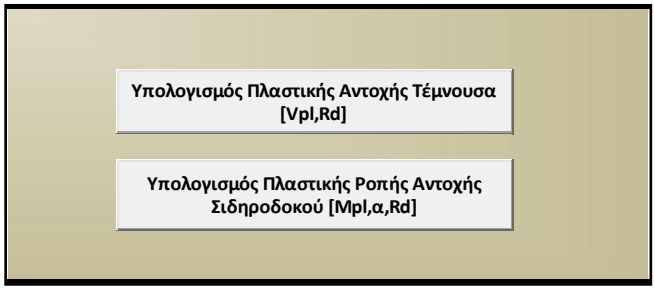
Η κύρια συμπλήρωση των δεδομένων γίνεται μέσω της πρώτης αριστερά στήλης καρτελών από το κεντρικό μενού του προγράμματος, στην οποία ο χρήστης με το πάτημα του αντίστοιχου κουμπιού μεταβιβάζεται στο αντίστοιχο φύλλο εργασίας το οποίο αφορά την συγκεκριμένη ιδιότητα, (Εικόνα 7-5).

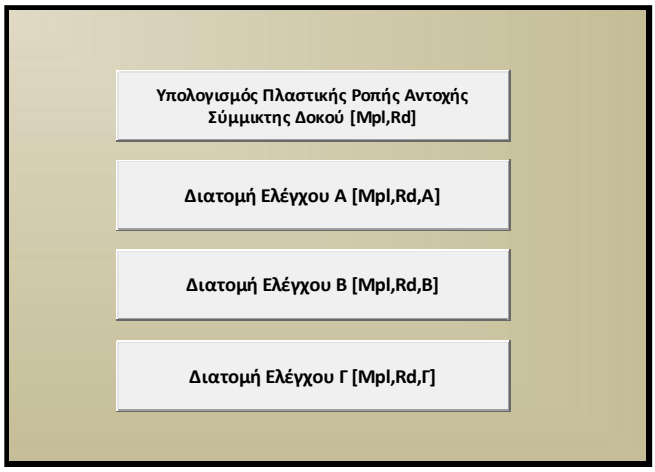


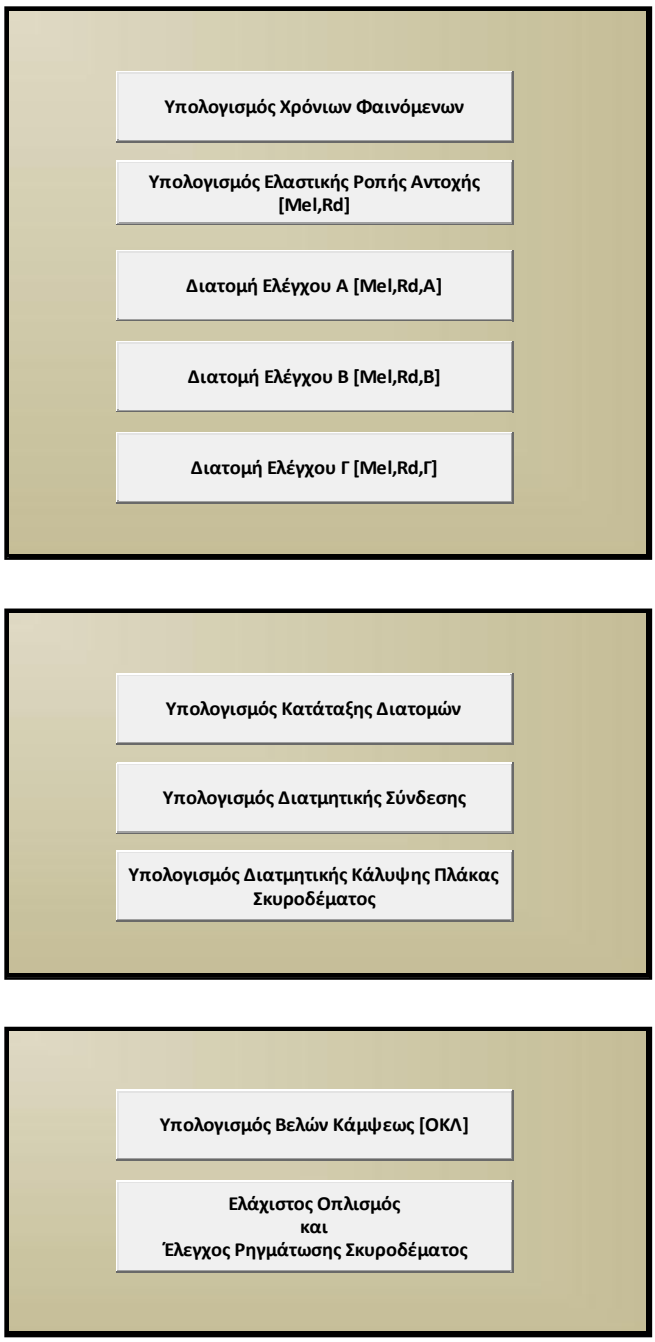
Εικόνα 7-5 Καρτέλα εισαγωγής δεδομένων

Οι υπόλοιπες καρτέλες από το κεντρικό μενού της εφαρμογής αφορούν τους ελέγχους οι οποίοι γίνονται για την διαστασιολόγηση της σύμμικτης δοκού όπου ο χρήστης μπορεί να μεταβιβάζεται στον αντίστοιχο έλεγχο πατώντας το αντίστοιχο κουμπί.









Εικόνα 7-6 Καρτέλες ελέγχων για την διαστασιολόγησης της σύμμικτης δοκού

7.2.3 Καρτέλες Συμπλήρωσης Δεδομένων Και Λήψη Αποτελεσμάτων Από Το Πρόγραμμα

7.2.3.1 Γενικά

Εν συνεχεία γίνεται ανασκόπηση στις καρτέλες (φύλλα εργασίας) στις οποίες μεταβιβάζεται ο χρήστης με το πάτημα των αντίστοιχων κουμπιών τόσο για την εισαγωγή δεδομένων όσο και για την λήψη αποτελεσμάτων τα οποία λαμβάνει από το πρόγραμμα.

Στο πάνω αριστερά μέρος κάθε καρτέλας ελέγχου υπάρχουν τα εξής κουμπιά όπως φαίνονται στην (Εικόνα 7-7) όπου ο χρήστης πατώντας το κουμπί «Επόμενη» μεταβιβάζεται στην επόμενη καρτέλα ελέγχου ενώ πατώντας το κουμπί «Προηγούμενη» μεταβιβάζεται στην προηγούμενη καρτέλα ελέγχου του προγράμματος. Σε κάθε περίπτωση μπορεί να μεταφερθεί στο αρχικό μενού του προγράμματος πιέζοντας το κουμπί «Αρχικό Μενού».

Εικόνα 7-7 Κουμπιά μεταβίβασης σε κάθε καρτέλα ελέγχου της εφαρμογής

Σε κάθε καρτέλα του προγράμματος στις περιοχές όπου γίνεται εισαγωγή δεδομένων είτε μέσω χειροκίνητης συμπλήρωσης ή μέσω της δυνατότητας επιλογής από αναπτυσσόμενες λίστες, τα πεδία αυτά σημειώνονται με κόκκινο χρώμα.

7.2.3.2 Καρτέλα Προγράμματος «Κατάλογος Χαλύβδινων Διατομών»

Η συγκεκριμένη καρτέλα του προγράμματος αποτελεί την βιβλιοθήκη πρότυπων μεταλλικών διατομών οι οποίες χρησιμοποιούνται από το πρόγραμμα, στην οποία καταχωρήθηκαν τύποι της μορφής IPE, HEA, HEAA, HEB, HEM, U, UPE, CHS, SHS, RHS αναγράφοντας μέσω πίνακα τα γεωμετρικά και αδρανειακά χαρακτηριστικά της κάθε πρότυπης διατομής. Ο χρήστης δεν μπορεί να παρέμβει στον πίνακα αυτό, δίνεται μόνο για ανάγνωση του, (βλέπε Εικόνα 7-8).

Microsoft Excel - Beam Com.xlsm

Αρχικό Μενού | Επόμενη

Πρότυπες Διατομές

ID Διατομής	Διατομή	h (mm)	b (mm)	tw (mm)	tf (mm)	r (mm)	c₁ (mm)	c₂ (mm)	D (mm)	T (mm)	A (cm²)	G (Kg/m)	Iyy (cm⁴)	Izz (cm⁴)	It (cm⁴)	Iw (cm⁶)	iyy (cm)	izz (cm)	Ct (cm³)	Wel,yy (cm³)	Wel,zz (cm³)	Wpl,yy (cm³)	Wpl,zz (cm³)
	IPE																						
IPE 80	80	80	46	3,8	5,2	5,0	59	16,1	-	-	7,643	6,00	80,14	8,489	0,698	118	3,24	1,054	-	20,03	3,691	23,22	5,818
IPE 100	100	100	55	4,1	5,7	7,0	74	18,45	-	-	10,32	8,10	171,0	15,92	1,202	351	4,07	1,242	-	34,20	5,789	39,41	9,146
IPE 120	120	120	64	4,4	6,3	7,0	93	22,8	-	-	13,21	10,4	317,8	27,67	1,735	890	4,90	1,447	-	52,96	8,646	60,73	13,58
IPE 140	140	140	73	4,7	6,9	7,0	112	27,15	-	-	16,43	12,9	541,2	44,92	2,447	1981	5,74	1,654	-	77,32	12,31	88,34	19,25
IPE 160	160	160	82	5,0	7,4	9,0	127	29,5	-	-	20,09	15,8	869,3	68,31	3,604	3959	6,58	1,844	-	108,7	16,66	123,9	26,10
IPE 180	180	180	91	5,3	8,0	9,0	146	33,85	-	-	23,95	18,8	1317	100,9	4,790	7451	7,42	2,052	-	146,3	22,16	166,4	34,60
IPE 200	200	200	100	5,6	8,5	12,0	159	35,2	-	-	28,48	22,4	1943	142,4	6,980	12990	8,26	2,236	-	194,3	28,47	220,6	44,61
IPE 220	220	220	110	5,9	9,2	12,0	177	40,05	-	-	33,37	26,2	2772	204,9	9,066	22670	9,11	2,478	-	252,0	37,25	285,4	58,11
IPE 240	240	240	120	6,2	9,8	15,0	190	41,9	-	-	39,12	30,7	3892	283,6	12,88	37390	9,97	2,693	-	324,3	47,27	366,6	73,92
IPE 270	270	270	135	6,6	10,2	15,0	219	49,2	-	-	45,95	36,1	5790	419,9	15,94	70580	11,2	3,023	-	428,9	62,20	484,0	96,95
IPE 300	300	300	150	7,1	10,7	15,0	248	56,45	-	-	53,81	42,2	8356	603,8	20,12	125900	12,5	3,35	-	557,1	80,50	628,4	125,2
IPE 330	330	330	160	7,5	11,5	18,0	271	58,25	-	-	62,61	49,1	11770	788,1	28,15	199100	13,7	3,548	-	713,1	98,52	804,3	153,7
IPE 360	360	360	170	8,0	12,7	18,0	298	63	-	-	72,73	57,1	16270	1043	37,32	313600	15,0	3,788	-	903,6	122,8	1019	191,1
IPE 400	400	400	180	8,6	13,5	21,0	331	64,7	-	-	84,46	66,3	23130	1318	51,08	490000	16,6	3,95	-	1156	146,4	1307	229,0
IPE 450	450	450	190	9,4	14,6	21,0	378	69,3	-	-	98,82	77,6	33740	1676	66,87	791000	18,5	4,118	-	1500	176,4	1702	276,4
IPE 500	500	500	200	10,2	16,0	21,0	426	73,9	-	-	115,5	90,7	48200	2142	89,29	1249000	20,4	4,306	-	1928	214,2	2194	335,9
IPE 550	550	550	210	11,1	17,2	24,0	467	75,45	-	-	134,4	106	67120	2668	123,2	1884000	22,4	4,455	-	2441	254,1	2787	400,5
IPE 600	600	600	220	12,0	19,0	24,0	514	80	-	-	156,0	122	92080	3387	165,4	2846000	24,3	4,66	-	3069	307,9	3512	485,6
	HEA																						
HEA 100	100	96	100	5,0	8,0	12,0	56	35,5	-	-	21,24	16,7	349,2	133,8	5,237	2581	4,055	2,51	-	72,76	26,76	83,01	41,14
HEA 120	120	114	120	5,0	8,0	12,0	74	45,5	-	-	25,34	19,9	606,2	230,9	5,994	6472	4,891	3,019	-	106,3	38,48	119,5	58,85
HEA 140	140	133	140	5,5	8,5	12,0	92	55,25	-	-	31,42	24,7	1033	389,3	8,130	15060	5,735	3,52	-	155,4	55,62	173,5	84,85
HEA 160	160	152	160	6,0	9,0	15,0	104	62	-	-	38,77	30,4	1673	615,6	12,19	31410	6,569	3,985	-	220,1	76,95	245,1	117,6
HEA 180	180	171	180	6,0	9,5	15,0	122	72	-	-	45,25	35,5	2510	924,6	14,80	60210	7,448	4,52	-	293,6	102,7	324,9	156,5
HEA 200	200	190	200	6,5	10,0	18,0	134	78,75	-	-	53,83	42,3	3692	1336	20,98	108000	8,282	4,981	-	388,6	133,6	429,5	203,8
HEA 220	220	210	220	7,0	11,0	18,0	152	88,5	-	-	64,34	50,5	5410	1955	28,46	193300	9,169	5,512	-	515,2	177,7	568,5	270,6
HEA 240	240	230	240	7,5	12,0	21,0	164	95,25	-	-	76,84	60,3	7763	2769	41,55	328500	10,05	6,003	-	675,1	230,7	744,6	351,7
HEA 260	260	250	260	7,5	12,5	24,0	177	102,25	-	-	86,82	68,2	10450	3668	52,37	516400	10,97	6,5	-	836,4	282,1	919,8	430,2
HEA 280	280	270	280	8,0	13,0	24,0	196	112	-	-	97,26	76,4	13670	4763	62,10	785400	11,86	6,998	-	1013	340,2	1112	518,1
HEA 300	300	290	300	8,5	14,0	27,0	208	118,75	-	-	112,5	88,3	18260	6310	85,17	1200000	12,74	7,488	-	1260	420,6	1383	641,2
HEA 320	320	310	300	9,0	15,5	27,0	225	118,5	-	-	124,4	97,6	22930	6985	108,0	1512000	13,58	7,494	-	1479	465,7	1628	709,7
HEA 340	340	330	300	9,5	16,5	27,0	243	118,25	-	-	133,5	105	27690	7436	127,2	1824000	14,4	7,464	-	1678	495,7	1850	755,9
HEA 360	360	350	300	10,0	17,5	27,0	261	118	-	-	142,8	112	33090	7887	148,8	2177000	15,22	7,433	-	1891	525,8	2088	802,3
HEA 400	400	390	300	11,0	19,0	27,0	298	117,5	-	-	159,0	125	45070	8564	189,0	2942000	16,84	7,339	-	2311	570,9	2562	872,9
HEA 450	450	440	300	11,5	21,0	27,0	344	117,25	-	-	178,0	140	63720	9465	243,8	4148000	18,92	7,292	-	2896	631,0	3216	965,5
HEA 500	500	490	300	12,0	23,0	27,0	390	117	-	-	197,5	155	86970	10370	309,3	5643000	20,98	7,244	-	3550	691,1	3949	1059
HEA 550	550	540	300	12,5	24,0	27,0	438	116,75	-	-	211,8	166	111900	10820	351,5	7189000	22,99	7,148	-	4146	721,3	4622	1107
HEA 600	600	590	300	13,0	25,0	27,0	486	116,5	-	-	226,5	178	141200	11270	397,8	8978000	24,97	7,055	-	4787	751,4	5350	1156
HEA 650	650	640	300	13,5	26,0	27,0	534	116,25	-	-	241,6	190	175200	11720	448,3	11030000	26,93	6,966	-	5474	781,6	6136	1205
HEA 700	700	690	300	14,5	27,0	27,0	582	115,75	-	-	260,5	204	215300	12180	513,9	13350000	28,75	6,838	-	6241	811,9	7032	1257
HEA 800	800	790	300	15,0	28,0	30,0	674	112,5	-	-	285,8	224	303400	12640	596,9	18290000	32,58	6,65	-	7682	842,6	8699	1312

Εκκίνηση Προγράμματος | Steel_Section | Υλικά | Συνερ. Πλάτος beff (Manual) | Συνεργαζόμενο Πλάτος beff | Geom

Εικόνα 7-8 Βιβλιοθήκη πρότυπων μεταλλικών διατομών

Αρχικό Μενού Επόμενη

Πρότυπες Διατομές

ID Διατομής	Διατομή	h (mm)	b (mm)	tw (mm)	tf (mm)	r (mm)	cw (mm)	cf (mm)	D (mm)	T (mm)	A (cm^2)	G (Kg/m)	Iyy (cm^4)	Izz (cm^4)	It (cm^4)	Iw (cm^6)	iyy (cm)	izz (cm)	Ct (cm^3)	Wel,yy (cm^3)	Wel,zz (cm^3)	Wpl,yy (cm^3)	Wpl,zz (cm^3)
	IPE																						
IPE 80	80	80	46	3,8	5,2	5,0	59	16,1	-	-	7,643	6,00	80,14	8,489	0,698	118	3,24	1,054	-	20,03	3,691	23,22	5,818
IPE 100	100	100	55	4,1	5,7	7,0	74	18,45	-	-	10,32	8,10	171,0	15,92	1,202	351	4,07	1,242	-	34,20	5,789	39,41	9,146
IPE 120	120	120	64	4,4	6,3	7,0	93	22,8	-	-	13,21	10,4	317,8	27,67	1,735	890	4,90	1,447	-	52,96	8,646	60,73	13,58
IPE 140	140	140	73	4,7	6,9	7,0	112	27,15	-	-	16,43	12,9	541,2	44,92	2,447	1981	5,74	1,654	-	77,32	12,31	88,34	19,25
IPE 160	160	160	82	5,0	7,4	9,0	127	29,5	-	-	20,09	15,8	869,3	68,31	3,604	3959	6,58	1,844	-	108,7	16,66	123,9	26,10
IPE 180	180	180	91	5,3	8,0	9,0	146	33,85	-	-	23,95	18,8	1317	100,9	4,790	7431	7,42	2,052	-	146,3	22,16	166,4	34,60
IPE 200	200	200	100	5,6	8,5	12,0	159	35,2	-	-	28,48	22,4	1943	142,4	6,980	12990	8,26	2,236	-	194,3	28,47	220,6	44,61
IPE 220	220	220	110	5,9	9,2	12,0	177	40,05	-	-	33,37	26,2	2772	204,9	9,066	22670	9,11	2,478	-	252,0	37,25	285,4	58,11
IPE 240	240	240	120	6,2	9,8	15,0	190	41,9	-	-	39,12	30,7	3892	283,6	12,88	37390	9,97	2,693	-	324,3	47,27	366,6	73,92
IPE 270	270	270	135	6,6	10,2	15,0	219	49,2	-	-	45,95	36,1	5790	419,9	15,94	70580	11,2	3,023	-	428,9	62,20	484,0	96,95
IPE 300	300	300	150	7,1	10,7	15,0	248	56,45	-	-	53,81	42,2	8356	603,8	20,12	125900	12,5	3,35	-	557,1	80,50	628,4	125,2
IPE 330	330	330	160	7,5	11,5	18,0	271	58,25	-	-	62,61	49,1	11770	788,1	28,15	199100	13,7	3,548	-	713,1	98,52	804,3	153,7
IPE 360	360	360	170	8,0	12,7	18,0	298	63	-	-	72,73	57,1	16270	1043	37,32	313600	15,0	3,788	-	903,6	122,8	1019	191,1
IPE 400	400	400	180	8,6	13,5	21,0	331	64,7	-	-	84,46	66,3	23130	1318	51,08	490000	16,6	3,95	-	1156	146,4	1307	229,0
IPE 450	450	450	190	9,4	14,6	21,0	378	69,3	-	-	98,82	77,6	33740	1676	66,87	791000	18,5	4,118	-	1500	176,4	1702	276,4
IPE 500	500	500	200	10,2	16,0	21,0	426	73,9	-	-	115,5	90,7	48200	2142	89,29	1249000	20,4	4,306	-	1928	214,2	2194	335,9
IPE 550	550	550	210	11,1	17,2	24,0	467	75,45	-	-	134,4	106	67120	2668	123,2	1884000	22,4	4,455	-	2441	254,1	2787	400,5
IPE 600	600	600	220	12,0	19,0	24,0	514	80	-	-	156,0	122	92080	3387	165,4	2846000	24,3	4,66	-	3069	307,9	3512	485,6

Εικόνα 7-9 Πίνακας πρότυπων μεταλλικών διατομών μορφή διπλού ταυ (IPE)

	HEA	h (mm)	b (mm)	tw (mm)	tf (mm)	r (mm)	cw (mm)	cf (mm)	D (mm)	T (mm)	A (cm^2)	G (Kg/m)	Iyy (cm^4)	Izz (cm^4)	It (cm^4)	Iw (cm^6)	iyy (cm)	izz (cm)	Ct (cm^3)	Wel,yy (cm^3)	Wel,zz (cm^3)	Wpl,yy (cm^3)	Wpl,zz (cm^3)
HEA 100	100	96	100	5,0	8,0	12,0	56	35,5	-	-	21,24	16,7	349,2	133,8	5,237	2581	4,055	2,51	-	72,76	26,76	83,01	41,14
HEA 120	120	114	120	5,0	8,0	12,0	74	45,5	-	-	25,34	19,9	606,2	230,9	5,994	6472	4,891	3,019	-	106,3	38,48	119,5	58,85
HEA 140	140	133	140	5,5	8,5	12,0	92	55,25	-	-	31,42	24,7	1033	389,3	8,130	15060	5,735	3,52	-	155,4	55,62	173,5	84,85
HEA 160	160	152	160	6,0	9,0	15,0	104	62	-	-	38,77	30,4	1673	615,6	12,19	31410	6,569	3,985	-	220,1	76,95	245,1	117,6
HEA 180	180	171	180	6,0	9,5	15,0	122	72	-	-	45,25	35,5	2510	924,6	14,80	60210	7,448	4,52	-	293,6	102,7	324,9	156,5
HEA 200	200	190	200	6,5	10,0	18,0	134	78,75	-	-	53,83	42,3	3692	1336	20,98	108000	8,282	4,981	-	388,6	133,6	429,5	203,8
HEA 220	220	210	220	7,0	11,0	18,0	152	88,5	-	-	64,34	50,5	5410	1955	28,46	193300	9,169	5,512	-	515,2	177,7	568,5	270,6
HEA 240	240	230	240	7,5	12,0	21,0	164	95,25	-	-	76,84	60,3	7763	2769	41,55	328500	10,05	6,003	-	675,1	230,7	744,6	351,7
HEA 260	260	250	260	7,5	12,5	24,0	177	102,25	-	-	86,82	68,2	10450	3668	52,37	516400	10,97	6,5	-	836,4	282,1	919,8	430,2
HEA 280	280	270	280	8,0	13,0	24,0	196	112	-	-	97,26	76,4	13670	4763	62,10	785400	11,86	6,998	-	1013	340,2	1112	518,1
HEA 300	300	290	300	8,5	14,0	27,0	208	118,75	-	-	112,5	88,3	18260	6310	85,17	1200000	12,74	7,488	-	1260	420,6	1383	641,2
HEA 320	320	310	300	9,0	15,5	27,0	225	118,5	-	-	124,4	97,6	22930	6985	108,0	1512000	13,58	7,494	-	1479	465,7	1628	709,7
HEA 340	340	330	300	9,5	16,5	27,0	243	118,25	-	-	133,5	105	27690	7436	127,2	1824000	14,4	7,464	-	1678	495,7	1850	755,9
HEA 360	360	350	300	10,0	17,5	27,0	261	118	-	-	142,8	112	33090	7887	148,8	2177000	15,22	7,433	-	1891	525,8	2088	802,3
HEA 400	400	390	300	11,0	19,0	27,0	298	117,5	-	-	159,0	125	45070	8564	189,0	2942000	16,84	7,339	-	2311	570,9	2562	872,9
HEA 450	450	440	300	11,5	21,0	27,0	344	117,25	-	-	178,0	140	63720	9465	243,8	4148000	18,92	7,292	-	2896	631,0	3216	965,5
HEA 500	500	490	300	12,0	23,0	27,0	390	117	-	-	197,5	155	86970	10370	309,3	5643000	20,98	7,244	-	3550	691,1	3949	1059
HEA 550	550	540	300	12,5	24,0	27,0	438	116,75	-	-	211,8	166	111900	10820	351,5	7189000	22,99	7,148	-	4146	721,3	4622	1107
HEA 600	600	590	300	13,0	25,0	27,0	486	116,5	-	-	226,5	178	141200	11270	397,8	8978000	24,97	7,055	-	4787	751,4	5350	1156
HEA 650	650	640	300	13,5	26,0	27,0	534	116,25	-	-	241,6	190	175200	11720	448,3	11030000	26,93	6,966	-	5474	781,6	6136	1205
HEA 700	700	690	300	14,5	27,0	27,0	582	115,75	-	-	260,5	204	215300	12180	513,9	13350000	28,75	6,838	-	6241	811,9	7032	1257
HEA 800	800	790	300	15,0	28,0	30,0	674	112,5	-	-	285,8	224	303400	12640	596,9	18290000	32,58	6,65	-	7682	842,6	8699	1312
HEA 900	900	890	300	16,0	30,0	30,0	770	112	-	-	320,5	252	422100	13550	736,8	24960000	36,29	6,501	-	9485	903,2	10810	1414
HEA 1000	1000	990	300	16,5	31,0	30,0	868	111,75	-	-	346,8	272	553800	14000	822,4	32070000	39,96	6,354	-	11190	933,6	12820	1470

Εικόνα 7-10 Πίνακας πρότυπων μεταλλικών διατομών HEA

	HEAA	h (mm)	b (mm)	tw (mm)	tf (mm)	r (mm)	cw (mm)	cf (mm)	D (mm)	T (mm)	A (cm^2)	G (Kg/m)	Iyy (cm^4)	Izz (cm^4)	It (cm^4)	Iw (cm^6)	iyy (cm)	izz (cm)	Ct (cm^3)	Wel,yy (cm^3)	Wel,zz (cm^3)	Wpl,yy (cm^3)	Wpl,zz (cm^3)
HEAA 100	**100**	91	100	4,2	5,5	12,0	56	35,9	-	-	15,6	12,2	237,0	92,1	2,51	1680,0	3,89	2,43	-	52,0	18,4	58,4	28,4
HEAA 120	**120**	109	120	4,2	5,5	12,0	74	45,9	-	-	18,6	14,6	413,0	159,0	2,78	4240,0	4,72	2,93	-	75,8	26,5	84,1	40,6
HEAA 140	**140**	128	140	4,3	6,0	12,0	92	55,85	-	-	23,0	18,1	719,0	275,0	3,54	10200,0	5,59	3,45	-	112,0	39,3	124,0	59,9
HEAA 160	**160**	148	160	4,5	7,0	15,0	104	62,75	-	-	30,4	23,8	1283,0	479,0	6,33	23800,0	6,5	3,97	-	173,0	59,8	190,0	91,4
HEAA 180	**180**	167	180	5,0	7,5	15,0	122	72,5	-	-	36,5	28,7	1967,0	730,0	8,33	46400,0	7,34	4,47	-	238,0	81,1	258,0	124,0
HEAA 200	**200**	186	200	5,5	8,0	18,0	134	79,25	-	-	44,1	34,6	2944,0	1068,0	12,7	84500,0	8,17	4,92	-	317,0	107,0	347,0	163,0
HEAA 220	**220**	205	220	6,0	8,5	18,0	152	89	-	-	51,5	40,4	4170,0	1510,0	15,9	146000,0	9	5,42	-	407,0	137,0	445,0	209,0
HEAA 240	**240**	224	240	6,5	9,0	21,0	164	95,75	-	-	60,4	47,4	5835,0	2077,0	23	240000,0	9,83	5,87	-	521,0	173,0	571,0	264,0
HEAA 260	**260**	244	260	6,5	9,5	24,0	177	102,75	-	-	69,0	54,1	7981,0	2788,0	30,3	383000,0	10,8	6,38	-	654,0	214,0	714,0	328,0
HEAA 280	**280**	264	280	7,0	10,0	24,0	196	112,5	-	-	78,0	61,2	10560,0	3664,0	36,2	590000,0	11,6	6,85	-	800,0	262,0	873,0	399,0
HEAA 300	**300**	283	300	7,5	10,5	27,0	208	119,25	-	-	88,9	69,8	13800,0	4734,0	49,3	877000,0	12,5	7,3	-	976,0	316,0	1065,0	482,0
HEAA 320	**320**	301	300	8,0	11,0	27,0	225	119	-	-	94,6	74,2	16450,0	4959,0	55,9	1041000,0	13,2	7,24	-	1093,0	331,0	1196,0	500,0
HEAA 340	**340**	320	300	8,5	11,5	27,0	243	118,75	-	-	101,0	78,9	19550,0	5185,0	63,1	1231000,0	13,9	7,18	-	1222,0	346,0	1341,0	529,0
HEAA 360	**360**	339	300	9,0	12,0	27,0	261	118,5	-	-	107,0	83,7	23040,0	5410,0	71	1444000,0	14,7	7,12	-	1359,0	361,0	1495,0	553,0
HEAA 400	**400**	378	300	9,5	13,0	27,0	298	118,25	-	-	118,0	92,4	31250,0	5861,0	84,7	1948000,0	16,3	7,06	-	1654,0	391,0	1824,0	600,0
HEAA 450	**450**	425	300	10,0	13,5	27,0	344	118	-	-	127,0	99,7	41890,0	6088,0	95,6	2572000,0	18,2	6,92	-	1971,0	406,0	2183,0	624,0
HEAA 500	**500**	472	300	10,5	14,0	27,0	390	117,75	-	-	137,0	107,0	54640,0	6314,0	108	3304000,0	20	6,79	-	2315,0	421,0	2576,0	649,0
HEAA 550	**550**	522	300	11,5	15,0	27,0	438	117,25	-	-	153,0	120,0	72870,0	6767,0	134	4338000,0	21,8	6,65	-	2792,0	451,0	3128,0	699,0
HEAA 600	**600**	571	300	12,0	15,5	27,0	486	117	-	-	164,0	129,0	91870,0	6993,0	150	5381000,0	23,7	6,53	-	3218,0	466,0	3623,0	724,0
HEAA 650	**650**	620	300	12,5	16,0	27,0	534	116,75	-	-	176,0	138,0	113900,0	7221,0	168	6567000,0	25,5	6,41	-	3676,0	481,0	4160,0	751,0
HEAA 700	**700**	670	300	13,0	17,0	27,0	582	116,5	-	-	191,0	150,0	142700,0	7673,0	195	8155000,0	27,3	6,34	-	4260,0	512,0	4840,0	800,0
HEAA 800	**800**	770	300	14,0	18,0	30,0	674	113	-	-	218,0	172,0	208900,0	8134,0	257	11450000,0	30,9	6,1	-	5426,0	542,0	6225,0	857,0
HEAA 900	**900**	870	300	15,0	20,0	30,0	770	112,5	-	-	252,0	198,0	301100,0	9041,0	335	16260000,0	34,6	5,99	-	6923,0	603,0	7999,0	958,0
HEAA 1000	**1000**	970	300	16,0	21,0	30,0	868	112	-	-	282,0	222,0	406500,0	9501,0	403	21280000,0	38	5,8	-	8380,0	633,0	9777,0	1016,0

Εικόνα 7-11 Πίνακας πρότυπων μεταλλικών διατομών HEAA

	HEB	h (mm)	b (mm)	tw (mm)	tf (mm)	r (mm)	cw (mm)	cf (mm)	D (mm)	T (mm)	A (cm^2)	G (Kg/m)	Iyy (cm^4)	Izz (cm^4)	It (cm^4)	Iw (cm^6)	iyy (cm)	izz (cm)	Ct (cm^3)	Wel,yy (cm^3)	Wel,zz (cm^3)	Wpl,yy (cm^3)	Wpl,zz (cm^3)
HEB 100	**100**	100	100	6,0	10,0	12,0	56	35	-	-	26,04	20,4	449,5	167,3	9,248	3375	4,155	2,535	-	89,91	33,45	104,2	51,42
HEB 120	**120**	120	120	6,5	11,0	12,0	74	44,75	-	-	34,01	26,7	864,4	317,5	13,84	9410	5,042	3,056	-	144,1	52,92	165,2	80,97
HEB 140	**140**	140	140	7,0	12,0	12,0	92	54,5	-	-	42,96	33,7	1509	549,7	20,06	22480	5,927	3,577	-	215,6	78,52	245,4	119,8
HEB 160	**160**	160	160	8,0	13,0	15,0	104	61	-	-	54,25	42,6	2492	889,2	31,24	47940	6,777	4,049	-	311,5	111,2	354,0	170,0
HEB 180	**180**	180	180	8,5	14,0	15,0	122	70,75	-	-	65,25	51,2	3831	1363	42,16	93750	7,662	4,57	-	425,7	151,4	481,4	231,0
HEB 200	**200**	200	200	9,0	15,0	18,0	134	77,5	-	-	78,08	61,3	5696	2003	59,28	171100	8,541	5,065	-	569,6	200,3	642,5	305,8
HEB 220	**220**	220	220	9,5	16,0	18,0	152	87,25	-	-	91,04	71,5	8091	2843	76,57	295400	9,427	5,588	-	735,5	258,5	827,0	393,9
HEB 240	**240**	240	240	10,0	17,0	21,0	164	94	-	-	106,0	83,2	11260	3923	102,7	486900	10,31	6,084	-	938,3	326,9	1053	498,4
HEB 260	**260**	260	260	10,0	17,5	24,0	177	101	-	-	118,4	93,0	14920	5135	123,8	753700	11,22	6,584	-	1148	395,0	1283	602,2
HEB 280	**280**	280	280	10,5	18,0	24,0	196	110,75	-	-	131,4	103	19270	6595	143,7	1130000	12,11	7,085	-	1376	471,0	1534	717,6
HEB 300	**300**	300	300	11,0	19,0	27,0	208	117,5	-	-	149,1	117	25170	8563	185,0	1688000	12,99	7,579	-	1678	570,9	1869	870,1
HEB 320	**320**	320	300	11,5	20,5	27,0	225	117,25	-	-	161,3	127	30820	9239	225,1	2069000	13,82	7,567	-	1926	615,9	2149	939,1
HEB 340	**340**	340	300	12,0	21,5	27,0	243	117	-	-	170,9	134	36660	9690	257,2	2454000	14,65	7,53	-	2156	646,0	2408	985,7
HEB 360	**360**	360	300	12,5	22,5	27,0	261	116,75	-	-	180,6	142	43190	10140	292,5	2883000	15,46	7,493	-	2400	676,1	2683	1032
HEB 400	**400**	400	300	13,5	24,0	27,0	298	116,25	-	-	197,8	155	57680	10820	355,7	3817000	17,08	7,396	-	2884	721,3	3232	1104
HEB 450	**450**	450	300	14,0	26,0	27,0	344	116	-	-	218,0	171	79890	11720	440,5	5258000	19,14	7,333	-	3551	781,4	3982	1198
HEB 500	**500**	500	300	14,5	28,0	27,0	390	115,75	-	-	238,6	187	107200	12620	538,4	7018000	21,19	7,273	-	4287	841,6	4815	1292
HEB 550	**550**	550	300	15,0	29,0	27,0	438	115,5	-	-	254,1	199	136700	13080	600,3	8856000	23,2	7,174	-	4971	871,8	5591	1341
HEB 600	**600**	600	300	15,5	30,0	27,0	486	115,25	-	-	270,0	212	171000	13530	667,2	10970000	25,17	7,08	-	5701	902,0	6425	1391
HEB 650	**650**	650	300	16,0	31,0	27,0	534	115	-	-	286,3	225	210600	13980	739,2	13360000	27,12	6,988	-	6480	932,3	7320	1441
HEB 700	**700**	700	300	17,0	32,0	27,0	582	114,5	-	-	306,4	241	256900	14440	830,9	16060000	28,96	6,865	-	7340	962,7	8327	1495
HEB 800	**800**	800	300	17,5	33,0	30,0	674	111,25	-	-	334,2	262	359100	14900	946,0	21840000	32,78	6,678	-	8977	993,6	10230	1553
HEB 900	**900**	900	300	18,5	35,0	30,0	770	110,75	-	-	371,3	291	494100	15820	1137	29460000	36,48	6,527	-	10980	1054	12580	1658
HEB 1000	**1000**	1000	300	19,0	36,0	30,0	868	110,5	-	-	400,0	314	644700	16280	1254	37640000	40,15	6,378	-	12890	1085	14860	1716

Εικόνα 7-12 Πίνακας πρότυπων μεταλλικών διατομών HEB

	HEM	h (mm)	b (mm)	tw (mm)	tf (mm)	r (mm)	cw (mm)	cf (mm)	D (mm)	T (mm)	A (cm^2)	G (Kg/m)	Iyy (cm^4)	Izz (cm^4)	It (cm^4)	Iw (cm^6)	iyy (cm)	izz (cm)	Ct (cm^3)	Wel,yy (cm^3)	Wel,zz (cm^3)	Wpl,yy (cm^3)	Wpl,zz (cm^3)
HEM 100	**100**	120	106	12,0	20,0	12,0	56	35	-	-	53,24	41,8	1143	399,2	68,21	9930	4,633	2,738	-	190,4	75,31	235,8	116,3
HEM 120	**120**	140	126	12,5	21,0	12,0	74	44,75	-	-	66,41	52,1	2018	702,8	91,66	24790	5,512	3,253	-	288,2	111,6	350,6	171,6
HEM 140	**140**	160	146	13,0	22,0	12,0	92	54,5	-	-	80,56	63,2	3291	1144	120,0	54330	6,392	3,769	-	411,4	156,8	493,8	240,5
HEM 160	**160**	180	166	14,0	23,0	15,0	104	61	-	-	97,05	76,2	5098	1759	162,4	108100	7,248	4,257	-	566,5	211,9	674,6	325,5
HEM 180	**180**	200	186	14,5	24,0	15,0	122	70,75	-	-	113,3	88,9	7483	2580	203,3	199300	8,129	4,773	-	748,3	277,4	883,4	425,2
HEM 200	**200**	220	206	15,0	25,0	18,0	134	77,5	-	-	131,3	103	10640	3651	259,4	346300	9,003	5,274	-	967,4	354,5	1135	543,2
HEM 220	**220**	240	226	15,5	26,0	18,0	152	87,25	-	-	149,4	117	14600	5012	315,3	572700	9,886	5,791	-	1217	443,5	1419	678,6
HEM 240	**240**	270	248	18,0	32,0	21,0	164	94	-	-	199,6	157	24290	8153	627,9	1152000	11,03	6,391	-	1799	657,5	2117	1006
HEM 260	**260**	290	268	18,0	32,5	24,0	177	101	-	-	219,6	172	31310	10450	719,0	1728000	11,94	6,897	-	2159	779,7	2524	1192
HEM 280	**280**	310	288	18,5	33,0	24,0	196	110,75	-	-	240,2	189	39550	13160	807,3	2520000	12,83	7,403	-	2551	914,1	2966	1397
HEM 300	**300**	340	310	21,0	39,0	27,0	208	117,5	-	-	303,1	238	59200	19400	1408	4386000	13,98	8,001	-	3482	1252	4078	1913
HEM 320	**320**	359	309	21,0	40,0	27,0	225	117	-	-	312,0	245	68130	19710	1501	5004000	14,78	7,947	-	3796	1276	4435	1951
HEM 340	**340**	377	309	21,0	40,0	27,0	243	117	-	-	315,8	248	76370	19710	1506	5584000	15,55	7,9	-	4052	1276	4718	1953
HEM 360	**360**	395	308	21,0	40,0	27,0	261	116,5	-	-	318,8	250	84870	19520	1507	6137000	16,32	7,825	-	4297	1268	4989	1942
HEM 400	**400**	432	307	21,0	40,0	27,0	298	116	-	-	325,8	256	104100	19340	1515	7410000	17,88	7,704	-	4820	1260	5571	1934
HEM 450	**450**	478	307	21,0	40,0	27,0	344	116	-	-	335,4	263	131500	19340	1529	9251000	19,8	7,593	-	5501	1260	6331	1939
HEM 500	**500**	524	306	21,0	40,0	27,0	390	115,5	-	-	344,3	270	161900	19150	1539	11190000	21,69	7,459	-	6180	1252	7094	1932
HEM 550	**550**	572	306	21,0	40,0	27,0	438	115,5	-	-	354,4	278	198000	19160	1554	13520000	23,64	7,353	-	6923	1252	7933	1937
HEM 600	**600**	620	305	21,0	40,0	27,0	486	115	-	-	363,7	285	237400	18980	1564	15910000	25,55	7,224	-	7660	1244	8772	1930
HEM 650	**650**	668	305	21,0	40,0	27,0	534	115	-	-	373,7	293	281700	18980	1579	18650000	27,45	7,126	-	8433	1245	9657	1936
HEM 700	**700**	716	304	21,0	40,0	27,0	582	114,5	-	-	383,0	301	329300	18800	1589	21400000	29,32	7,006	-	9198	1237	10540	1929
HEM 800	**800**	814	303	21,0	40,0	30,0	674	111	-	-	404,3	317	442600	18630	1646	27780000	33,09	6,788	-	10870	1230	12490	1930
HEM 900	**900**	910	302	21,0	40,0	30,0	770	110,5	-	-	423,6	333	570400	18450	1671	34750000	36,7	6,6	-	12540	1222	14440	1929
HEM 1000	**1000**	1008	302	21,0	40,0	30,0	868	110,5	-	-	444,2	349	722300	18460	1701	43020000	40,32	6,446	-	14330	1222	16570	1940

Εικόνα 7-13 Πίνακας πρότυπων μεταλλικών διατομών HEM

	U	h (mm)	b (mm)	tw (mm)	tf (mm)	r (mm)	cw (mm)	cf (mm)	D (mm)	T (mm)	A (cm^2)	G (Kg/m)	Iyy (cm^4)	Izz (cm^4)	It (cm^4)	Iw (cm^6)	iyy (cm)	izz (cm)	Ct (cm^3)	Wel,yy (cm^3)	Wel,zz (cm^3)	Wpl,yy (cm^3)	Wpl,zz (cm^3)
U 30x15	**30x15**	30	15	4	4,5	4,5	12	6,5	-	-	2,21	1,73	2,53	0,38	0,17		1,07	0,42	-	1,69	0,39		
U 30	**30**	30	33	5	7	7	1	21	-	-	5,44	4,27	6,39	5,33	0,91		1,08	0,99	-	4,26	2,68		
U 40x20	**40x20**	40	20	5	5,5	5,5	18	9,5	-	-	3,66	2,87	7,58	1,14	0,36		1,44	0,56	-	3,79	0,86		
U 40	**40**	40	35	5	7	7	11	23	-	-	6,21	4,87	14,1	6,68	1		1,5	1,04	-	7,05	3,08		
U 50x25	**50x25**	50	25	5	6	6	25	14	-	-	4,92	3,86	16,8	2,49	0,88		1,85	0,71	-	6,72	1,47		
U 50	**50**	50	38	5	7	7	20	26	-	-	7,12	5,59	26,4	9,12	1,12		1,92	1,13	-	10,56	3,75		
U 60	**60**	60	30	6	6	6	35	18	-	-	6,46	5,07	31,6	4,51	0,94		2,21	0,84	-	10,53	2,16		
U 65	**65**	65	42	5,5	7,5	7,5	33	29	-	-	9,03	7,09	57,5	14,1	1,61		2,52	1,25	-	17,69	5,07		
U 80	**80**	80	45	6	8	8	47	31	-	-	11	8,64	106	19,4	2,16		3,1	1,33	-	26,5	6,36		
U 100	**100**	100	50	6	8,5	8,5	64	35,5	-	-	13,5	10,6	206	29,3	2,81		3,91	1,47	-	41,2	8,49		
U 120	**120**	120	55	7	9	9	82	39	-	-	17	13,35	364	43,2	4,15		4,62	1,59	-	60,67	11,08		
U 140	**140**	140	60	7	10	10	97	43	-	-	20,4	16,01	605	62,7	5,68		5,45	1,75	-	86,43	14,75		
U 160	**160**	160	65	7,5	10,5	10,5	116	47	-	-	24	18,84	925	85,3	7,39		6,21	1,89	-	115,63	18,3		
U 180	**180**	180	70	8	11	11	133	51	-	-	28	21,98	1350	114	9,55		6,95	2,02	-	150	22,44		
U 200	**200**	200	75	8,5	11,5	11,5	151	55	-	-	32,2	25,28	1910	148	11,9		7,7	2,14	-	191	26,96		
U 220	**220**	220	80	9	12,5	12,5	166	58,5	-	-	37,4	29,36	2690	197	16		8,48	2,3	-	244,55	33,62		
U 240	**240**	240	85	9,5	13	13	185	62,5	-	-	42,3	33,21	3600	248	19,7		9,22	2,42	-	300	39,55		
U 260	**260**	260	90	10	14	14	201	66	-	-	48,3	37,92	4820	317	25,5		9,99	2,56	-	370,77	47,74		
U 280	**280**	280	95	10	15	15	216	70	-	-	53,3	41,84	6280	399	31		10,9	2,74	-	448,57	57,25		
U 300	**300**	300	100	10	16	16	232	74	-	-	58,8	46,16	8030	495	37,4		11,7	2,9	-	535,33	67,81		
U 320	**320**	320	100	14	17,5	17,5	247	68,5	-	-	75,8	59,5	10870	597	66,7		12,1	2,81	-	679,38	80,68		
U 350	**350**	350	100	14	16	16	283	70	-	-	77,3	60,68	12840	570	61,2		12,9	2,72	-	733,71	75		
U 380	**380**	380	102	13,5	16	16	313	72,5	-	-	80,4	63,11	15760	615	59,1		14	2,77	-	829,47	78,64		
U 400	**400**	400	110	14	18	18	325	78	-	-	91,5	71,83	20350	846	81,6		14,9	3,04	-	1017,5	101,32		

Εικόνα 7-14 Πίνακας πρότυπων μεταλλικών διατομών U

	UPE	h (mm)	b (mm)	tw (mm)	tf (mm)	r (mm)	c_w (mm)	c_f (mm)	D (mm)	T (mm)	A (cm^2)	G (Kg/m)	Iyy (cm^4)	Izz (cm^4)	It (cm^4)	Iw (cm^6)	iyy (cm)	izz (cm)	Ct (cm^3)	Wel,yy (cm^3)	Wel,zz (cm^3)	Wpl,yy (cm^3)	Wpl,zz (cm^3)
UPE 80	**80**	80	50	4,0	7,0	10,0	46	36	-	-	10,07	7,90	107,2	25,41	1,47	220	3,263	1,589	-	26,80	7,98	31,23	14,28
UPE 100	**100**	100	55	4,5	7,5	10,0	65	40,5	-	-	12,50	9,82	206,9	38,21	2,01	530	4,067	1,748	-	41,37	10,63	48,01	19,34
UPE 120	**120**	120	60	5,0	8,0	12,0	80	43	-	-	15,42	12,1	363,5	55,40	2,90	1120	4,856	1,896	-	60,58	13,79	70,33	25,28
UPE 140	**140**	140	65	5,0	9,0	12,0	98	48	-	-	18,42	14,5	599,5	78,70	4,05	2200	5,705	2,067	-	85,64	18,19	98,84	33,22
UPE 160	**160**	160	70	5,5	9,5	12,0	117	52,5	-	-	21,67	17,0	911,1	106,8	5,20	3960	6,484	2,22	-	113,9	22,58	131,6	41,49
UPE 180	**180**	180	75	5,5	10,5	12,0	135	57,5	-	-	25,11	19,7	1353	143,7	6,99	6810	7,341	2,392	-	150,4	28,56	173,0	52,30
UPE 200	**200**	200	80	6,0	11,0	13,0	152	61	-	-	29,01	22,8	1909	187,3	8,89	11000	8,113	2,541	-	190,9	34,43	220,1	63,28
UPE 220	**220**	220	85	6,5	12,0	13,0	170	65,5	-	-	33,87	26,6	2682	246,4	12,1	17600	8,9	2,698	-	243,9	42,51	281,5	78,25
UPE 240	**240**	240	90	7,0	12,5	15,0	185	68	-	-	38,52	30,2	3599	310,9	15,1	26400	9,666	2,841	-	299,9	50,08	346,9	92,18
UPE 270	**270**	270	95	7,5	13,5	15,0	213	72,5	-	-	44,84	35,2	5255	401,0	19,9	43500	10,83	2,99	-	389,2	60,69	451,1	111,6
UPE 300	**300**	300	100	9,5	15,0	15,0	240	75,5	-	-	56,62	44,4	7823	537,7	31,5	72700	11,76	3,082	-	521,5	75,58	613,4	136,6
UPE 330	**330**	330	105	11,0	16,0	18,0	262	76	-	-	67,77	53,2	11010	681,5	45,2	112000	12,74	3,171	-	667,1	89,66	791,9	156,2
UPE 360	**360**	360	110	12,0	17,0	18,0	290	80	-	-	77,91	61,2	14830	843,7	58,5	166000	13,79	3,291	-	823,6	105,1	982,3	177,8
UPE 400	**400**	400	115	13,5	18,0	18,0	328	83,5	-	-	91,93	72,2	20980	1045	79,1	259000	15,11	3,371	-	1049	122,6	1263	191,4

Εικόνα 7-15 Πίνακας πρότυπων μεταλλικών διατομών UPE

	CHS	h (mm)	b (mm)	tw (mm)	tf (mm)	r (mm)	c_w (mm)	c_f (mm)	D (mm)	T (mm)	A (cm^2)	G (Kg/m)	Iyy (cm^4)	Izz (cm^4)	It (cm^4)	Iw (cm^6)	iyy (cm)	izz (cm)	Ct (cm^3)	Wel,yy (cm^3)	Wel,zz (cm^3)	Wpl,yy (cm^3)	Wpl,zz (cm^3)
CHS 33,7x2,6	**33,7x2,6**	-	-	-	-	-	-	-	33,7	2,6	2,54	1,99	3,09	3,09	6,19	-	1,1	1,1	3,67	1,84	1,84	2,52	2,52
CHS 33,7x3,2	**33,7x3,2**	-	-	-	-	-	-	-	33,7	3,2	3,07	2,41	3,6	3,6	7,21	-	1,08	1,08	4,28	2,14	2,14	2,99	2,99
CHS 33,7x4	**33,7x4**	-	-	-	-	-	-	-	33,7	4	3,73	2,93	4,19	4,19	8,38	-	1,06	1,06	4,97	2,49	2,49	3,55	3,55
CHS 42,4x2,6	**42,4x2,6**	-	-	-	-	-	-	-	42,4	2,6	3,25	2,55	6,46	6,46	12,93	-	1,41	1,41	6,1	3,05	3,05	4,12	4,12
CHS 42,4x3,2	**42,4x3,2**	-	-	-	-	-	-	-	42,4	3,2	3,94	3,09	7,62	7,62	15,24	-	1,39	1,39	7,19	3,59	3,59	4,93	4,93
CHS 42,4x4	**42,4x4**	-	-	-	-	-	-	-	42,4	4	4,83	3,79	8,99	8,99	17,98	-	1,36	1,36	8,48	4,24	4,24	5,92	5,92
CHS 48,3x2,6	**48,3x2,6**	-	-	-	-	-	-	-	48,3	2,6	3,73	2,93	9,78	9,78	19,55	-	1,62	1,62	8,1	4,05	4,05	5,44	5,44
CHS 48,3x3,2	**48,3x3,2**	-	-	-	-	-	-	-	48,3	3,2	4,53	3,56	11,59	11,59	23,17	-	1,6	1,6	9,59	4,8	4,8	6,52	6,52
CHS 48,3x4	**48,3x4**	-	-	-	-	-	-	-	48,3	4	5,57	4,37	13,77	13,77	27,54	-	1,57	1,57	11,4	5,7	5,7	7,87	7,87
CHS 60,3x3,2	**60,3x3,2**	-	-	-	-	-	-	-	60,3	3,2	5,74	4,51	23,47	23,47	46,94	-	2,02	2,02	15,57	7,78	7,78	10,44	10,44
CHS 60,3x4	**60,3x4**	-	-	-	-	-	-	-	60,3	4	7,07	5,55	28,17	28,17	56,35	-	2	2	18,69	9,34	9,34	12,7	12,7
CHS 60,3x5	**60,3x5**	-	-	-	-	-	-	-	60,3	5	8,69	6,82	33,48	33,48	66,95	-	1,96	1,96	22,21	11,1	11,1	15,33	15,33
CHS 76,1x3,2	**76,1x3,2**	-	-	-	-	-	-	-	76,1	3,2	7,33	5,75	48,8	48,8	97,6	-	2,58	2,58	25,6	12,8	12,8	17	17
CHS 76,1x4	**76,1x4**	-	-	-	-	-	-	-	76,1	4	9,06	7,11	59,06	59,06	118,11	-	2,55	2,55	31,04	15,52	15,52	20,81	20,81
CHS 76,1x5	**76,1x5**	-	-	-	-	-	-	-	76,1	5	11,17	8,77	70,92	70,92	141,84	-	2,52	2,52	37,28	18,64	18,64	25,32	25,32
CHS 88,9x3,2	**88,9x3,2**	-	-	-	-	-	-	-	88,9	3,2	8,62	6,76	79,21	79,21	158,41	-	3,03	3,03	35,64	17,82	17,82	23,51	23,51
CHS 88,9x4	**88,9x4**	-	-	-	-	-	-	-	88,9	4	10,67	8,38	96,34	96,34	192,68	-	3	3	43,35	21,67	21,67	28,85	28,85
CHS 88,9x5	**88,9x5**	-	-	-	-	-	-	-	88,9	5	13,18	10,4	116,37	116,37	232,75	-	2,97	2,97	52,36	26,18	26,18	35,24	35,24
CHS 88,9x6	**88,9x6**	-	-	-	-	-	-	-	88,9	6	15,63	12,3	134,94	134,94	269,88	-	2,94	2,94	60,72	30,36	30,36	41,31	41,31
CHS 88,9x6,3	**88,9x6,3**	-	-	-	-	-	-	-	88,9	6,3	16,35	12,8	140,24	140,24	280,47	-	2,93	2,93	63,1	31,55	31,55	43,07	43,07
CHS 101,6x4	**101,6x4**	-	-	-	-	-	-	-	101,6	4	12,26	9,63	146,28	146,28	292,57	-	3,45	3,45	57,59	28,8	28,8	38,12	38,12
CHS 101,6x5	**101,6x5**	-	-	-	-	-	-	-	101,6	5	15,17	11,9	177,47	177,47	354,94	-	3,42	3,42	69,87	34,93	34,93	46,7	46,7
CHS 101,6x6,3	**101,6x6,3**	-	-	-	-	-	-	-	101,6	6,3	18,86	14,8	215,07	215,07	430,13	-	3,38	3,38	84,67	42,34	42,34	57,3	57,3
CHS 114,3x4	**114,3x4**	-	-	-	-	-	-	-	114,3	4	13,86	10,9	211,07	211,07	422,13	-	3,9	3,9	73,86	36,93	36,93	48,69	48,69
CHS 114,3x5	**114,3x5**	-	-	-	-	-	-	-	114,3	5	17,17	13,5	256,92	256,92	513,84	-	3,87	3,87	89,91	44,96	44,96	59,77	59,77
CHS 114,3x6,3	**114,3x6,3**	-	-	-	-	-	-	-	114,3	6,3	21,38	16,8	312,71	312,71	625,43	-	3,82	3,82	109,44	54,72	54,72	73,57	73,57
CHS 114,3x8	**114,3x8**	-	-	-	-	-	-	-	114,3	8	26,7	21	379	379	759	-	3,77	3,77	133	66,4	66,4	90,6	90,6
CHS 139,7x4	**139,7x4**	-	-	-	-	-	-	-	139,7	4	17,05	13,4	392,86	392,86	785,72	-	4,8	4,8	112,49	56,24	56,24	73,68	73,68
CHS 139,7x5	**139,7x5**	-	-	-	-	-	-	-	139,7	5	21,16	16,6	480,54	480,54	961,08	-	4,77	4,77	137,59	68,8	68,8	90,76	90,76
CHS 139,7x6,3	**139,7x6,3**	-	-	-	-	-	-	-	139,7	6,3	26,4	20,7	588,62	588,62	1177,24	-	4,72	4,72	168,54	84,27	84,27	112,2	112,2
CHS 139,7x8	**139,7x8**	-	-	-	-	-	-	-	139,7	8	33,1	26	720,29	720,29	1440,58	-	4,66	4,66	206,24	103,12	103,12	138,93	138,93
CHS 139,7x12,5	**139,7x12,5**	-	-	-	-	-	-	-	139,7	12,5	50	39,2	1020	1020	2040	-	4,52	4,52	292	146	146	203	203
CHS 168,3x5	**168,3x5**	-	-	-	-	-	-	-	168,3	5	25,65	20,1	855,85	855,85	1711,69	-	5,78	5,78	203,41	101,7	101,7	133,38	133,38
CHS 168,3x6,3	**168,3x6,3**	-	-	-	-	-	-	-	168,3	6,3	32,06	25,2	1053,42	1053,42	2106,84	-	5,73	5,73	250,37	125,18	125,18	165,42	165,42
CHS 168,3x8	**168,3x8**	-	-	-	-	-	-	-	168,3	8	40,29	31,6	1297,27	1297,27	2594,54	-	5,67	5,67	308,32	154,16	154,16	205,74	205,74
CHS 168,3x10	**168,3x10**	-	-	-	-	-	-	-	168,3	10	49,73	39	1563,98	1563,98	3127,97	-	5,61	5,61	371,71	185,86	185,86	250,92	250,92
CHS 168,3x12,5	**168,3x12,5**	-	-	-	-	-	-	-	168,3	12,5	61,2	48	1868	1868	3737	-	5,53	5,53	444	222	222	304	304
CHS 177,8x6,3	**177,8x6,3**	-	-	-	-	-	-	-	177,8	6,3	33,9	26,6	1250	1250	2499	-	6,07	6,07	281	141	141	185	185
CHS 177,8x8	**177,8x8**	-	-	-	-	-	-	-	177,8	8	42,7	33,5	1541	1541	3083	-	6,01	6,01	347	173	173	231	231
CHS 177,8x10	**177,8x10**	-	-	-	-	-	-	-	177,8	10	52,7	41,4	1862	1862	3724	-	5,94	5,94	419	209	209	282	282
CHS 177,8x12,5	**177,8x12,5**	-	-	-	-	-	-	-	177,8	12,5	64,9	51	2230	2230	4460	-	5,86	5,86	502	251	251	342	342

CHS 193,7x6,3	**193,7x6,3**	-	-	-	-	-	-	-	193,7	6,3	37,09	29,1	1630,05	1630,05	3260,09	-	6,63	6,63	336,61	168,31	168,31	221,33	221,33
CHS 193,7x8	**193,7x8**	-	-	-	-	-	-	-	193,7	8	46,67	36,6	2015,54	2015,54	4031,07	-	6,57	6,57	416,22	208,11	208,11	276,05	276,05
CHS 193,7x10	**193,7x10**	-	-	-	-	-	-	-	193,7	10	57,71	45,3	2441,59	2441,59	4883,18	-	6,5	6,5	504,2	252,1	252,1	337,79	337,79
CHS 193,7x16	**193,7x16**	-	-	-	-	-	-	-	193,7	16	89	70,1	3554	3554	7109	-	6,31	6,31	734	367	367	507	507
CHS 219,1x6,3	**219,1x6,3**	-	-	-	-	-	-	-	219,1	6,3	42,12	33,1	2386,14	2386,14	4772,28	-	7,53	7,53	435,63	217,81	217,81	285,37	285,37
CHS 219,1x8	**219,1x8**	-	-	-	-	-	-	-	219,1	8	53,06	41,7	2959,63	2959,63	5919,26	-	7,47	7,47	540,33	270,16	270,16	356,68	356,68
CHS 219,1x10	**219,1x10**	-	-	-	-	-	-	-	219,1	10	65,69	51,6	3598,44	3598,44	7196,88	-	7,4	7,4	656,95	328,47	328,47	437,56	437,56
CHS 219,1x16	**219,1x16**	-	-	-	-	-	-	-	219,1	16	102	80,1	5297	5297	10593	-	7,2	7,2	967	483	483	661	661
CHS 219,1x20	**219,1x20**	-	-	-	-	-	-	-	219,1	20	127	98,2	6261	6261	12523	-	7,07	7,07	1143	572	572	795	795
CHS 244,5x6,3	**244,5x6,3**	-	-	-	-	-	-	-	244,5	6,3	47,1	37	3346	3346	6692	-	8,42	8,42	547	274	274	358	358
CHS 244,5x8	**244,5x8**	-	-	-	-	-	-	-	244,5	8	59,44	46,66	4160,45	4160,45	8320,89	-	8,37	8,37	680,65	340,32	340,32	447,63	447,63
CHS 244,5x10	**244,5x10**	-	-	-	-	-	-	-	244,5	10	73,67	57,83	5073,15	5073,15	10146,29	-	8,3	8,3	829,96	414,98	414,98	550,24	550,24
CHS 244,5x12,5	**244,5x12,5**	-	-	-	-	-	-	-	244,5	12,5	91,11	71,52	6147,42	6147,42	12294,83	-	8,21	8,21	1005,71	502,86	502,86	673,45	673,45
CHS 244,5x16	**244,5x16**	-	-	-	-	-	-	-	244,5	16	115	90,2	7533	7533	15066	-	8,1	8,1	1232	616	616	837	837
CHS 244,5x20	**244,5x20**	-	-	-	-	-	-	-	244,5	20	141	111	8957	8957	17914	-	7,97	7,97	1465	733	733	1011	1011
CHS 244,5x25	**244,5x25**	-	-	-	-	-	-	-	244,5	25	172	135	10517	10517	21034	-	7,81	7,81	1721	860	860	1210	1210
CHS 273x6,3	**273x6,3**	-	-	-	-	-	-	-	273	6,3	52,79	41,4	4695,82	4695,82	9391,64	-	9,43	9,43	688,03	344,02	344,02	448,2	448,2
CHS 273x8	**273x8**	-	-	-	-	-	-	-	273	8	66,6	52,3	5851,71	5851,71	11703,43	-	9,37	9,37	857,39	428,7	428,7	561,97	561,97
CHS 273x10	**273x10**	-	-	-	-	-	-	-	273	10	82,62	64,9	7154,09	7154,09	14308,18	-	9,31	9,31	1048,22	524,11	524,11	692,02	692,02
CHS 273x12,5	**273x12,5**	-	-	-	-	-	-	-	273	12,5	102,3	80,3	8697,45	8697,45	17394,9	-	9,22	9,22	1274,35	637,18	637,18	848,9	848,9
CHS 273x16	**273x16**	-	-	-	-	-	-	-	273	16	129	101	10707	10707	21414	-	9,1	9,1	1569	784	784	1058	1058
CHS 273x20	**273x20**	-	-	-	-	-	-	-	273	20	159	125	12798	12798	25597	-	8,97	8,97	1875	938	938	1283	1283
CHS 273x25	**273x25**	-	-	-	-	-	-	-	273	25	195	153	15127	15127	30234	-	8,81	8,81	2216	1108	1108	1543	1543
CHS 323,9x8	**323,9x8**	-	-	-	-	-	-	-	323,9	8	79,39	62,3	9910,08	9910,08	19820,16	-	11,17	11,17	1223,84	611,92	611,92	798,51	798,51
CHS 323,9x10	**323,9x10**	-	-	-	-	-	-	-	323,9	10	98,61	77,4	12158,34	12158,34	24316,68	-	11,1	11,1	1501,49	750,75	750,75	985,67	985,67
CHS 323,9x12,5	**323,9x12,5**	-	-	-	-	-	-	-	323,9	12,5	122,29	96	14846,53	14846,53	29693,05	-	11,02	11,02	1833,47	916,74	916,74	1212,78	1212,78
CHS 323,9x16	**323,9x16**	-	-	-	-	-	-	-	323,9	16	155	121	18390	18390	36780	-	10,9	10,9	2271	1136	1136	1518	1518
CHS 323,9x20	**323,9x20**	-	-	-	-	-	-	-	323,9	20	191	150	22139	22139	44278	-	10,8	10,8	2734	1367	1367	1850	1850
CHS 323,9x25	**323,9x25**	-	-	-	-	-	-	-	323,9	25	235	184	26400	26400	52800	-	10,6	10,6	3260	1630	1630	2239	2239
CHS 355,6x8	**355,6x8**	-	-	-	-	-	-	-	355,6	8	87,4	68,6	13201	13201	26403	-	12,3	12,3	1485	742	742	967	967
CHS 355,6x10	**355,6x10**	-	-	-	-	-	-	-	355,6	10	109	85,2	16223	16223	32447	-	12,2	12,2	1825	912	912	1195	1195
CHS 355,6x12,5	**355,6x12,5**	-	-	-	-	-	-	-	355,6	12,5	135	106	19852	19852	39704	-	12,1	12,1	2233	1117	1117	1472	1472
CHS 355,6x16	**355,6x16**	-	-	-	-	-	-	-	355,6	16	171	154	24663	24663	49326	-	12	12	2774	1387	1387	1847	1847
CHS 355,6x20	**355,6x20**	-	-	-	-	-	-	-	355,6	20	211	166	29792	29792	59583	-	11,9	11,9	3351	1676	1676	2255	2255
CHS 355,6x25	**355,6x25**	-	-	-	-	-	-	-	355,6	25	260	204	35677	35677	71353	-	11,7	11,7	4013	2007	2007	2738	2738
CHS 406,4x10	**406,4x10**	-	-	-	-	-	-	-	406,4	10	125	97,8	24476	24476	48952	-	14	14	2409	1205	1205	1572	1572
CHS 406,4x12,5	**406,4x12,5**	-	-	-	-	-	-	-	406,4	12,5	155	121	30031	30031	60061	-	13,9	13,9	2956	1478	1478	1940	1940
CHS 406,4x16	**406,4x16**	-	-	-	-	-	-	-	406,4	16	196	154	37449	37449	74898	-	13,8	13,8	3686	1843	1843	2440	2440
CHS 406,4x20	**406,4x20**	-	-	-	-	-	-	-	406,4	20	243	191	45432	45432	90864	-	13,7	13,7	4472	2236	2236	2989	2989
CHS 406,4x25	**406,4x25**	-	-	-	-	-	-	-	406,4	25	300	235	54702	54702	109404	-	13,5	13,5	5384	2692	2692	3642	3642
CHS 406,4x30	**406,4x30**	-	-	-	-	-	-	-	406,4	30	355	278	63224	63224	126447	-	13,3	13,3	6223	3111	3111	4259	4259
CHS 406,4x40	**406,4x40**	-	-	-	-	-	-	-	406,4	40	460	361	78186	78186	156373	-	13	13	7696	3848	3848	5391	5391
CHS 457x10	**457x10**	-	-	-	-	-	-	-	457	10	140	110	35091	35091	70183	-	15,8	15,8	3071	1536	1536	1998	1998
CHS 457x12,5	**457x12,5**	-	-	-	-	-	-	-	457	12,5	175	137	43145	43145	86290	-	15,7	15,7	3776	1888	1888	2470	2470
CHS 457x16	**457x16**	-	-	-	-	-	-	-	457	16	222	174	53959	53959	107919	-	15,6	15,6	4723	2361	2361	3113	3113
CHS 457x20	**457x20**	-	-	-	-	-	-	-	457	20	275	216	65681	65681	131363	-	15,5	15,5	5749	2874	2874	3822	3822
CHS 457x25	**457x25**	-	-	-	-	-	-	-	457	25	339	266	79415	79415	158830	-	15,3	15,3	6951	3475	3475	4671	4671
CHS 457x30	**457x30**	-	-	-	-	-	-	-	457	30	402	316	92173	92173	184346	-	15,1	15,1	8068	4034	4034	5479	5479
CHS 457x40	**457x40**	-	-	-	-	-	-	-	457	40	524	411	114949	114949	229898	-	14,8	14,8	10061	5031	5031	6977	6977
CHS 457x50	**457x50**	-	-	-	-	-	-	-	457	50	639	502	134375	134375	268750	-	14,5	14,5	11761	5881	5881	8324	8324
CHS 508x10	**508x10**	-	-	-	-	-	-	-	508	10	156	123	48520	48520	97040	-	17,6	17,6	3820	1910	1910	2480	2480
CHS 508x12,5	**508x12,5**	-	-	-	-	-	-	-	508	12,5	195	153	59755	59755	119511	-	17,5	17,5	4705	2353	2353	3070	3070
CHS 508x16	**508x16**	-	-	-	-	-	-	-	508	16	247	194	74909	74909	149818	-	17,4	17,4	5898	2949	2949	3874	3874
CHS 508x20	**508x20**	-	-	-	-	-	-	-	508	20	307	241	91428	91428	182856	-	17,3	17,3	7199	3600	3600	4766	4766
CHS 508x25	**508x25**	-	-	-	-	-	-	-	508	25	379	298	110918	110918	221837	-	17,1	17,1	8734	4367	4367	5837	5837
CHS 508x30	**508x30**	-	-	-	-	-	-	-	508	30	451	354	129173	129173	258346	-	16,9	16,9	10171	5086	5086	6864	6864
CHS 508x40	**508x40**	-	-	-	-	-	-	-	508	40	588	462	162188	162188	324376	-	16,6	16,6	12771	6385	6385	8782	8782
CHS 508x50	**508x50**	-	-	-	-	-	-	-	508	50	719	565	190885	190885	381770	-	16,3	16,3	15030	7515	7515	10530	10530
CHS 610x10	**610x10**	-	-	-	-	-	-	-	610	10	188	148	84847	84847	169693	-	21,2	21,2	5564	2782	2782	3600	3600
CHS 610x12,5	**610x12,5**	-	-	-	-	-	-	-	610	12,5	235	184	104755	104755	209509	-	21,1	21,1	6869	3435	3435	4463	4463
CHS 610x16	**610x16**	-	-	-	-	-	-	-	610	16	299	234	131781	131781	263563	-	21	21	8641	4321	4321	5647	5647
CHS 610x20	**610x20**	-	-	-	-	-	-	-	610	20	371	291	161490	161490	322979	-	20,9	20,9	10589	5295	5295	6965	6965
CHS 610x25	**610x25**	-	-	-	-	-	-	-	610	25	459	361	196906	196906	393813	-	20,7	20,7	12912	6456	6456	8561	8561
CHS 610x30	**610x30**	-	-	-	-	-	-	-	610	30	547	429	230476	230476	460952	-	20,5	20,5	15113	7557	7557	10101	10101
CHS 610x40	**610x40**	-	-	-	-	-	-	-	610	40	716	562	292333	292333	584666	-	20,2	20,2	19169	9585	9585	13017	13017
CHS 610x50	**610x50**	-	-	-	-	-	-	-	610	50	880	691	347570	347570	695140	-	19,9	19,9	22791	11396	11396	15722	15722

CHS 711x10	**711x10**	-	-	-	-	-	-	-	711	10	220	173	135301	135301	270603	-	24,8	24,8	7612	3806	3806	4914	4914
CHS 711x20	**711x20**	-	-	-	-	-	-	-	711	20	434	341	259351	259351	518702	-	24,4	24,4	14591	7295	7295	9552	9552
CHS 711x25	**711x25**	-	-	-	-	-	-	-	711	25	539	423	317357	317357	634715	-	24,3	24,3	1785	8927	8927	11770	11770
CHS 711x30	**711x30**	-	-	-	-	-	-	-	711	30	642	504	372790	372790	745580	-	24,1	24,1	20973	10486	10486	13922	13922
CHS 711x40	**711x40**	-	-	-	-	-	-	-	711	40	843	662	476242	476242	952485	-	23,8	23,8	26793	13396	13396	18031	18031
CHS 711x50	**711x50**	-	-	-	-	-	-	-	711	50	1038	815	570312	570312	1140623	-	23,4	23,4	32085	16043	16043	21888	21888
CHS 711x60	**711x60**	-	-	-	-	-	-	-	711	60	1227	963	655583	655583	1311166	-	23,1	23,1	36882	18441	18441	25500	25500
CHS 762x10	**762x10**	-	-	-	-	-	-	-	762	10	236	185	167028	167028	334057	-	26,6	26,6	8768	4386	4386	5655	5655
CHS 762x16	**762x16**	-	-	-	-	-	-	-	762	16	375	294	260973	260973	521947	-	26,4	26,4	13699	6850	6850	8906	8906
CHS 762x20	**762x20**	-	-	-	-	-	-	-	762	20	466	366	321083	321083	642166	-	26,2	26,2	16855	8427	8427	11014	11014
CHS 762x25	**762x25**	-	-	-	-	-	-	-	762	25	579	454	393461	393461	786922	-	26,1	26,1	20654	10327	10327	13584	13584
CHS 762x30	**762x30**	-	-	-	-	-	-	-	762	30	690	542	462853	462853	925706	-	25,9	25,9	24297	12148	12148	16084	16084
CHS 762x40	**762x40**	-	-	-	-	-	-	-	762	40	907	712	593011	593011	1186021	-	25,6	25,6	31129	15565	15565	20873	20873
CHS 762x50	**762x50**	-	-	-	-	-	-	-	762	50	1118	878	712207	712207	1424414	-	25,2	25,2	37386	18693	18693	25389	25389
CHS 813x10	**813x10**	-	-	-	-	-	-	-	813	10	252	198	203364	203364	406728	-	28,4	28,4	10006	5003	5003	6448	6448
CHS 813x16	**813x16**	-	-	-	-	-	-	-	813	16	401	314	318222	318222	636443	-	28,2	28,2	15657	7828	7828	10165	10165
CHS 813x20	**813x20**	-	-	-	-	-	-	-	813	20	498	391	391909	391909	783819	-	28	28	19282	9641	9641	12580	12580
CHS 813x25	**813x25**	-	-	-	-	-	-	-	813	25	619	486	480856	480856	961713	-	27,9	27,9	23658	11829	11829	15529	15529
CHS 813x30	**813x30**	-	-	-	-	-	-	-	813	30	738	579	566374	566374	1132748	-	27,7	27,7	27866	13933	13933	18402	18402
CHS 914x10	**914x10**	-	-	-	-	-	-	-	914	10	284	223	290147	290147	580294	-	32	32	12698	6349	6349	8172	8172
CHS 914x16	**914x16**	-	-	-	-	-	-	-	914	16	451	354	455142	455142	910284	-	31,8	31,8	19919	9959	9959	12904	12904
CHS 914x25	**914x25**	-	-	-	-	-	-	-	914	25	698	548	690317	690317	1380634	-	31,4	31,4	30211	15105	15105	19763	19763
CHS 914x30	**914x30**	-	-	-	-	-	-	-	914	30	833	656	814775	814775	1629550	-	31,3	31,3	35658	17829	17829	23453	23453
CHS 1016x10	**1016x10**	-	-	-	-	-	-	-	1016	10	316	248	399850	399850	799699	-	35,6	35,6	15742	7871	7871	10121	10121
CHS 1016x16	**1016x16**	-	-	-	-	-	-	-	1016	16	503	395	628479	628479	1256959	-	35,4	35,4	24743	12372	12372	16001	16001
CHS 1016x25	**1016x25**	-	-	-	-	-	-	-	1016	25	778	611	956086	956086	1912173	-	35	35	37641	18821	18821	24557	24557
CHS 1016x30	**1016x30**	-	-	-	-	-	-	-	1016	30	929	729	1130352	1130352	2260704	-	34,9	34,9	44502	22251	22251	29175	29175
CHS 1067x10	**1067x10**	-	-	-	-	-	-	-	1067	10	332	261	463792	463792	927585	-	37,4	37,4	17387	8693	8693	11173	11173
CHS 1067x16	**1067x16**	-	-	-	-	-	-	-	1067	16	528	415	729600	729600	1459213	-	37	37	27352	13676	13676	17675	17675
CHS 1067x25	**1067x25**	-	-	-	-	-	-	-	1067	25	818	642	1111355	1111355	2222711	-	36,9	36,9	41663	20831	20831	27149	27149
CHS 1067x30	**1067x30**	-	-	-	-	-	-	-	1067	30	977	767	1314864	1314864	2629727	-	36,7	36,7	49292	24646	24646	32270	32270
CHS 1168x10	**1168x10**	-	-	-	-	-	-	-	1168	10	364	286	609843	609843	1219686	-	40,9	40,9	20885	10443	10443	13410	13410
CHS 1168x16	**1168x16**	-	-	-	-	-	-	-	1168	16	579	455	960774	960774	1921547	-	40,7	40,7	32903	16452	16452	21235	21235
CHS 1168x25	**1168x25**	-	-	-	-	-	-	-	1168	25	898	705	1466717	1466717	2933434	-	40,4	40,4	50230	25115	25115	32666	32666
CHS 1219x10	**1219x10**	-	-	-	-	-	-	-	1219	10	380	298	694014	694014	1388029	-	42,7	42,7	22773	11387	11387	14617	14617
CHS 1219x16	**1219x16**	-	-	-	-	-	-	-	1219	16	605	475	1094091	1094091	2188123	-	42,5	42,5	35901	17951	17951	23157	23157
CHS 1219x25	**1219x25**	-	-	-	-	-	-	-	1219	25	938	736	1671873	1671873	3343746	-	42,2	42,2	54860	27430	27430	35646	35646

Εικόνα 7-16 Πίνακας πρότυπων μεταλλικών διατομών CHS

	SHS	**h (mm)**	**b (mm)**	**tw (mm)**	**tf (mm)**	**r (mm)**	**cw (mm)**	**cι (mm)**	**D (mm)**	**T (mm)**	**A (cm^2)**	**G (Kg/m)**	**Iyy (cm^4)**	**Izz (cm^4)**	**It (cm^4)**	**Iw (cm^6)**	**iyy (cm)**	**izz (cm)**	**Ct (cm^3)**	**Wel,yy (cm^3)**	**Wel,zz (cm^3)**	**Wpl,yy (cm^3)**	**Wpl,zz (cm^3)**
SHS 40x40x3	**40x40x3**	40	40	3	3				-	-	4,34	3,41	9,78	9,78	15,7	-	1,5	1,5	7,1	4,89	4,89	5,97	5,97
SHS 40x40x4	**40x40x4**	40	40	4	4				-	-	5,59	4,39	11,8	11,8	19,5	-	1,45	1,45	8,54	5,91	5,91	7,44	7,44
SHS 50x50x3	**50x50x3**	50	50	3	3				-	-	5,54	4,35	20,2	20,2	32,1	-	1,91	1,91	11,8	8,08	8,08	9,7	9,7
SHS 50x50x4	**50x50x4**	50	50	4	4				-	-	7,19	5,64	25	25	40,4	-	1,86	1,86	14,5	9,99	9,99	12,3	12,3
SHS 60x60x3	**60x60x3**	60	60	3	3				-	-	6,74	5,29	36,2	36,2	56,9	-	2,32	2,32	17,7	12,1	12,1	14,3	14,3
SHS 60x60x4	**60x60x4**	60	60	4	4				-	-	8,79	6,9	45,4	45,4	72,5	-	2,27	2,27	22	15,1	15,1	18,3	18,3
SHS 60x60x5	**60x60x5**	60	60	5	5				-	-	10,7	8,4	53,3	53,3	86,4	-	2,23	2,23	25,7	17,8	17,8	21,9	21,9
SHS 70x70x3	**70x70x3**	70	70	3	3				-	-	7,94	6,23	59	59	92,2	-	2,73	2,73	24,8	16,9	16,9	19,9	19,9
SHS 70x70x4	**70x70x4**	70	70	4	4				-	-	10,4	8,16	74,7	74,7	118	-	2,68	2,68	31,2	21,3	21,3	25,5	25,5
SHS 70x70x5	**70x70x5**	70	70	5	5				-	-	12,7	9,97	88,5	88,5	142	-	2,64	2,64	36,8	25,3	25,3	30,8	30,8
SHS 80x80x4	**80x80x4**	80	80	4	4				-	-	12	9,42	114	114	180	-	3,09	3,09	41,9	28,6	28,6	34	34
SHS 80x80x5	**80x80x5**	80	80	5	5				-	-	14,7	11,54	137	137	217	-	3,05	3,05	49,8	34,2	34,2	4101	4101
SHS 80x80x6,3	**80x80x6,3**	80	80	6,3	6,3				-	-	18,1	14,21	162	162	262	-	2,99	2,99	58,7	40,5	40,5	49,7	49,7
SHS 90x90x4	**90x90x4**	90	90	4	4				-	-	13,6	10,68	166	166	260	-	3,5	3,5	54,2	37	37	43,6	43,6
SHS 90x90x5	**90x90x5**	90	90	5	5				-	-	16,7	13,11	200	200	316	-	3,45	3,45	64,8	44,4	44,4	53	53
SHS 90x90x6,3	**90x90x6,3**	90	90	6,3	6,3				-	-	20,7	16,25	238	238	382	-	3,4	3,4	77	53	53	64,3	64,3

SHS 100x100x4	**100x100x4**	100	100	4	4	-	-	15,2	11,9	232	232	361	-	3,91	3,91	68,2	46,4	46,4	54,4	54,4
SHS 100x100x5	**100x100x5**	100	100	5	5	-	-	18,7	14,7	279	279	439	-	3,86	3,86	81,8	55,9	55,9	66,4	66,4
SHS 100x100x6,3	**100x100x6,3**	100	100	6,3	6,3	-	-	23,2	18,2	336	336	534	-	3,8	3,8	97,8	67,1	67,1	80,9	80,9
SHS 120x120x5	**120x120x5**	120	120	5	5	-	-	22,7	17,82	498	498	777	-	4,68	4,68	122	83	83	97,6	97,6
SHS 120x120x6,3	**120x120x6,3**	120	120	6,3	6,3	-	-	28,2	22,14	603	603	950	-	4,62	4,62	147	100	100	120	120
SHS 120x120x8	**120x120x8**	120	120	8	8	-	-	35,2	27,63	726	726	1160	-	4,55	4,55	176	121	121	146	146
SHS 120x120x10	**120x120x10**	120	120	10	10	-	-	42,9	33,68	852	852	1382	-	4,46	4,46	206	142	142	175	175
SHS 140x140x5	**140x140x5**	140	140	5	5	-	-	26,7	20,96	807	807	1253	-	5,5	5,5	170	115	115	135	135
SHS 140x140x6,3	**140x140x6,3**	140	140	6,3	6,3	-	-	33,3	26,14	984	984	1540	-	5,44	5,44	206	141	141	166	166
SHS 140x140x8	**140x140x8**	140	140	8	8	-	-	41,6	32,66	1200	1200	1892	-	5,36	5,36	249	171	171	204	204
SHS 140x140x10	**140x140x10**	140	140	10	10	-	-	50,9	39,96	1420	1420	2272	-	5,27	5,27	294	202	202	246	246
SHS 150x150x5	**150x150x5**	150	150	5	5	-	-	28,7	22,53	1002	1002	1550	-	5,9	5,9	197	134	134	156	156
SHS 150x150x6,3	**150x150x6,3**	150	150	6,3	6,3	-	-	35,8	28,1	1220	1220	1909	-	5,85	5,85	240	163	163	192	192
SHS 150x150x8	**150x150x8**	150	150	8	8	-	-	44,8	35,17	1490	1490	2350	-	5,77	5,77	291	199	199	237	237
SHS 150x150x10	**150x150x10**	150	150	10	10	-	-	54,9	43,1	1770	1770	2830	-	5,68	5,68	344	236	236	286	286
SHS 160x160x6,3	**160x160x6,3**	160	160	6,3	6,3	-	-	38,3	30,07	1500	1500	2330	-	6,26	6,26	275	187	187	220	220
SHS 160x160x8	**160x160x8**	160	160	8	8	-	-	48	37,68	1830	1830	2880	-	6,18	6,18	335	229	229	272	272
SHS 160x160x10	**160x160x10**	160	160	10	10	-	-	58,9	46,24	2190	2190	3480	-	6,09	6,09	398	273	273	329	329
SHS 160x160x12,5	**160x160x12,5**	160	160	12,5	12,5	-	-	72,1	56,6	2580	2580	4160	-	5,98	5,98	467	322	322	395	395
SHS 180x180x6,3	**180x180x6,3**	180	180	6,3	6,3	-	-	43,3	33,99	2170	2170	3360	-	7,07	7,07	355	241	241	281	281
SHS 180x180x8	**180x180x8**	180	180	8	8	-	-	54,4	42,7	2660	2660	4160	-	7	7	434	296	296	346	346
SHS 180x180x10	**180x180x10**	180	180	10	10	-	-	66,9	52,52	3190	3190	5050	-	6,91	6,91	518	355	355	424	424
SHS 180x180x12,5	**180x180x12,5**	180	180	12,5	12,5	-	-	82,1	64,45	3790	3790	6070	-	6,8	6,8	613	421	421	511	511
SHS 200x200x6,3	**200x200x6,3**	200	200	6,3	6,3	-	-	48,4	37,99	3010	3010	4650	-	7,89	7,89	444	301	301	350	350
SHS 200x200x8	**200x200x8**	200	200	8	8	-	-	60,8	47,73	3709	3709	5780	-	7,81	7,81	545	371	371	531	531
SHS 200x200x10	**200x200x10**	200	200	10	10	-	-	74,9	58,8	4470	4470	7030	-	7,72	7,72	655	447	447	643	643
SHS 200x200x12,5	**200x200x12,5**	200	200	12,5	12,5	-	-	92,1	72,3	5340	5340	8490	-	7,61	7,61	778	534	534	427	427
SHS 220x220x6,3	**220x220x6,3**	220	220	6,3	6,3	-	-	53,4	41,92	4050	4050	6240	-	8,71	8,71	544	368	368	532	532
SHS 220x220x8	**220x220x8**	220	220	8	8	-	-	67,2	52,75	5000	5000	7760	-	8,63	8,63	669	455	455	650	650
SHS 220x220x10	**220x220x10**	220	220	10	10	-	-	82,9	65,08	6050	6050	9470	-	8,54	8,54	807	550	550	789	789
SHS 220x220x12,5	**220x220x12,5**	220	220	12,5	12,5	-	-	102	80,07	7250	7250	11480	-	8,43	8,43	963	659	659	556	556
SHS 250x250x6,3	**250x250x6,3**	250	250	6,3	6,3	-	-	61	47,89	6010	6010	9238	-	9,93	9,93	712	481	481	694	694
SHS 250x250x8	**250x250x8**	250	250	8	8	-	-	76,8	60,29	7450	7450	11530	-	9,86	9,86	880	596	596	851	851
SHS 250x250x10	**250x250x10**	250	250	10	10	-	-	94,9	74,5	9060	9060	14110	-	9,77	9,77	1060	724	724	1280	1280
SHS 250x250x16	**250x250x16**	250	250	16	16	-	-	147	115,4	13270	13270	21140	-	9,5	9,5	1550	1060	1060	753	753
SHS 260x260x8	**260x260x8**	260	260	8	8	-	-	80	62,8	8423	8423	13006	-	10,26	10,26	956	648	648	924	924
SHS 260x260x10	**260x260x10**	260	260	10	10	-	-	98,9	77,64	10242	10242	15932	-	10,18	10,18	1159	788	788	1127	1127
SHS 260x260x16	**260x260x16**	260	260	16	16	-	-	153	120,11	15061	15061	23942	-	9,91	9,91	1689	1159	1159	1394	1394
SHS 300x300x8	**300x300x8**	300	300	8	8	-	-	92,8	72,85	13128	13128	20194	-	11,9	11,9	1294	875	875	1013	1013
SHS 300x300x10	**300x300x10**	300	300	10	10	-	-	115	90,28	16026	16026	24807	-	11,8	11,8	1575	1068	1068	1246	1246
SHS 300x300x12,5	**300x300x12,5**	300	300	12,5	12,5	-	-	142	111,47	19442	19442	30333	-	11,7	11,7	1904	1296	1296	1525	1525
SHS 300x300x16	**300x300x16**	300	300	16	16	-	-	179	140,52	23850	23850	37622	-	11,5	11,5	2325	1590	1590	1895	1895
SHS 350x350x8	**350x350x8**	350	350	8	8	-	-	109	85,57	21129	21129	32384	-	13,9	13,9	1789	1207	1207	1392	1392
SHS 350x350x10	**350x350x10**	350	350	10	10	-	-	135	105,98	25884	25884	39886	-	13,9	13,9	2185	1479	1479	1715	1715
SHS 350x350x12,5	**350x350x12,5**	350	350	12,5	12,5	-	-	167	131,1	31541	31541	48934	-	13,7	13,7	2654	1802	1802	2107	2107
SHS 350x350x16	**350x350x16**	350	350	16	16	-	-	211	165,64	38942	38942	60990	-	13,6	13,6	3264	2225	2225	2630	2630
SHS 400x400x10	**400x400x10**	400	400	10	10	-	-	155	121,68	39128	39128	60092	-	15,9	15,9	2895	1956	1956	2260	2260
SHS 400x400x12,5	**400x400x12,5**	400	400	12,5	12,5	-	-	192	150,72	47839	47839	73906	-	15,8	15,8	3530	2392	2392	2782	2782
SHS 400x400x16	**400x400x16**	400	400	16	16	-	-	243	190,76	59344	59344	92442	-	15,6	15,6	4362	2967	2967	3484	3484

Εικόνα 7-17 Πίνακας πρότυπων μεταλλικών διατομών SHS

	RHS	h (mm)	b (mm)	tw (mm)	tf (mm)	r (mm)	cw (mm)	cf (mm)	D (mm)	T (mm)	A (cm^2)	G (Kg/m)	Iyy (cm^4)	Izz (cm^4)	It (cm^4)	Iw (cm^6)	iyy (cm)	izz (cm)	Ct (cm^3)	Wel,yy (cm^3)	Wel,zz (cm^3)	Wpl,yy (cm^3)	Wpl,zz (cm^3)
RHS 50x30x3	**50x30x3**	50	30	3	3				-	-	4,34	3,41	13,6	5,94	13,5	-	1,77	1,17	6,51	5,43	3,96	6,88	476
RHS 50x30x4	**50x30x4**	50	30	4	4				-	-	5,59	4,39	16,5	7,08	16,6	-	1,72	1,13	7,77	6,6	4,72	8,59	5,88
RHS 60x40x3	**60x40x3**	60	40	3	3				-	-	5,54	4,35	26,5	13,9	29,2	-	2,18	1,58	11,2	8,82	6,95	10,9	8,19
RHS 60x40x4	**60x40x4**	60	40	4	4				-	-	7,19	5,64	32,8	17	36,7	-	2,14	1,54	13,7	10,9	8,52	13,8	10,3
RHS 80x40x3	**80x40x3**	40	80	3	3				-	-	6,74	5,29	54,2	18	43,8	-	2,84	1,63	15,3	13,6	9	17,1	10,4
RHS 80x40x4	**80x40x4**	80	40	4	4				-	-	8,79	6,9	68,2	22,2	55,2	-	2,79	1,59	18,9	17,1	11,1	21,8	13,2
RHS 80x40x5	**80x40x5**	80	40	5	5				-	-	10,7	8,4	80,3	25,7	65,1	-	2,74	1,55	21,9	20,1	12,9	26,1	15,7
RHS 90x50x3	**90x50x3**	90	50	3	3				-	-	7,94	6,24	84,4	33,5	76,5	-	3,26	2,05	22,4	18,8	13,4	23,2	15,3
RHS 90x50x4	**90x50x4**	90	50	4	4				-	-	10,4	8,15	107	41,9	97,5	-	3,21	2,01	28	23,8	16,8	29,8	19,6
RHS 90x50x5	**90x50x5**	90	50	5	5				-	-	12,7	9,99	127	49,2	116	-	3,16	1,97	32,9	28,3	19,7	36	23,5
RHS 100x50x4	**100x50x4**	100	50	4	4				-	-	11,2	8,79	140	46,2	113	-	3,53	2,03	31,4	27,9	18,5	35,2	21,5
RHS 100x50x5	**100x50x5**	100	50	5	5				-	-	13,7	10,75	167	54,3	135	-	3,48	1,99	36,9	33,3	21,7	42,6	25,8
RHS 100x50x6,3	**100x50x6,3**	100	50	6,3	6,3				-	-	16,9	13,27	197	63	160	-	3,42	1,93	42,9	39,4	25,2	51,3	30,8
RHS 100x60x4	**100x60x4**	100	60	4	4				-	-	12	9,42	158	70,5	156	-	3,63	2,43	38,7	31,6	23,5	39,1	27,3
RHS 100x60x5	**100x60x5**	100	60	5	5				-	-	14,7	11,54	189	83,6	188	-	3,58	2,38	45,9	37,8	27,9	47,4	32,9
RHS 100x60x6,3	**100x60x6,3**	100	60	6,3	6,3				-	-	18,1	14,21	225	98,1	224	-	3,52	2,33	53,8	45	32,7	57,3	39,5
RHS 120x60x4	**120x60x4**	120	60	4	4				-	-	13,6	10,68	249	83,1	201	-	4,28	2,47	47,1	41,5	27,7	51,9	31,7
RHS 120x60x5	**120x60x5**	120	60	5	5				-	-	16,7	13,11	299	98,8	242	-	4,23	2,43	56	49,9	32,9	63,1	38,4
RHS 120x60x6,3	**120x60x6,3**	120	60	6,3	6,3				-	-	20,7	16,25	358	116	290	-	4,16	2,37	65,9	59,7	38,8	76,7	46,3
RHS 120x80x4	**120x80x4**	120	80	4	4				-	-	15,2	11,93	303	161	330	-	4,46	3,25	65	50,4	40,2	61,2	46,1
RHS 120x80x5	**120x80x5**	120	80	5	5				-	-	18,7	14,68	365	193	401	-	4,42	3,21	77,9	60,9	48,2	74,6	56,1
RHS 120x80x6,3	**120x80x6,3**	120	80	6,3	6,3				-	-	23,2	18,21	440	230	487	-	4,36	3,15	92,9	73,3	57,6	91	68,2
RHS 140x80x4	**140x80x4**	140	80	4	4				-	-	16,8	13,19	441	184	411	-	5,12	3,31	76,5	62,9	46	77,1	52,2
RHS 140x80x5	**140x80x5**	140	80	5	5				-	-	20,7	16,25	534	221	499	-	5,08	3,27	91,9	76,3	55,3	94,3	63,6
RHS 140x80x6,3	**140x80x6,3**	140	80	6,3	6,3				-	-	25,7	20,17	646	265	607	-	5,01	3,21	110	92,3	66,2	115	77,5
RHS 150x100x6,3	**150x100x6,3**	150	100	6,3	6,3				-	-	29,5	23,16	898	474	986	-	5,52	4,01	153	120	94,8	147	110
RHS 150x100x8	**150x100x8**	150	100	8	8				-	-	36,8	28,89	1090	569	1203	-	5,44	3,94	183	145	114	180	135
RHS 150x100x10	**150x100x10**	150	100	10	10				-	-	44,9	35,25	1282	665	1432	-	5,34	3,85	214	171	133	216	161
RHS 160x80x5	**160x80x5**	160	80	5	5				-	-	22,7	17,82	744	249	600	-	5,72	3,31	106	93	62,3	116	71,1
RHS 160x80x6,3	**160x80x6,3**	160	80	6,3	6,3				-	-	28,2	22,14	903	299	730	-	5,66	3,26	127	113	74,8	142	86,8
RHS 160x80x8	**160x80x8**	160	80	8	8				-	-	35,2	27,63	1091	356	883	-	5,57	3,18	151	136	89	175	106
RHS 160x80x10	**160x80x10**	160	80	10	10				-	-	42,9	33,68	1284	411	1041	-	5,47	3,1	175	161	103	209	125
RHS 180x100x5	**180x100x5**	180	100	5	5				-	-	26,7	20,96	1153	460	1042	-	6,57	4,15	154	128	92	157	104
RHS 180x100x6,3	**180x100x6,3**	180	100	6,3	6,3				-	-	33,3	26,14	1407	557	1277	-	6,5	4,09	186	156	111	194	128
RHS 180x100x8	**180x100x8**	180	100	8	8				-	-	41,6	32,66	1713	671	1560	-	6,42	4,02	224	190	134	239	157
RHS 180x100x10	**180x100x10**	180	100	10	10				-	-	50,9	39,96	2036	787	1862	-	6,32	3,93	263	226	157	288	177
RHS 200x100x6,3	**200x100x6,3**	200	100	6,3	6,3				-	-	35,8	28,1	1829	613	1475	-	7,15	4,14	208	183	123	228	140
RHS 200x100x8	**200x100x8**	200	100	8	8				-	-	44,8	35,17	2234	739	1804	-	7,06	4,06	251	223	148	282	172
RHS 200x100x10	**200x100x10**	200	100	10	10				-	-	54,9	43,1	2664	869	2156	-	6,96	3,98	295	266	174	341	206
RHS 200x100x12,5	**200x100x12,5**	200	100	12,5	12,5				-	-	67,1	52,67	3136	1004	2541	-	6,84	3,87	341	314	201	408	245
RHS 200x120x6,3	**200x120x6,3**	200	120	6,3	6,3				-	-	38,3	30,07	2065	929	2028	-	7,34	4,92	255	207	155	253	177
RHS 200x120x8	**200x120x8**	200	120	8	8				-	-	48	37,68	2529	1128	2495	-	7,26	4,85	310	253	188	313	218
RHS 200x120x10	**200x120x10**	200	120	10	10				-	-	58,9	46,24	3026	1337	3001	-	7,17	4,76	367	303	223	379	263
RHS 200x120x12,5	**200x120x12,5**	200	120	12,5	12,5				-	-	72,1	56,6	3576	1562	3569	-	7,04	4,66	428	358	260	455	314
RHS 250x150x6,3	**250x150x6,3**	250	150	6,3	6,3				-	-	48,4	37,99	4143	1874	4054	-	9,25	6,22	413	331	250	402	283
RHS 250x150x8	**250x150x8**	250	150	8	8				-	-	60,8	47,73	5111	2298	5021	-	9,17	6,15	506	409	306	501	350
RHS 250x150x10	**250x150x10**	250	150	10	10				-	-	74,9	58,8	6174	2755	6090	-	9,08	6,06	605	494	367	611	426
RHS 250x150x12,5	**250x150x12,5**	250	150	12,5	12,5				-	-	92,1	72,3	7387	3265	7326	-	8,96	5,96	717	591	435	740	514
RHS 260x180x6,3	**260x180x6,3**	260	180	6,3	6,3				-	-	53,4	41,92	5170	2930	5810	-	9,83	7,4	524	397	325	475	369
RHS 260x180x8	**260x180x8**	260	180	8	8				-	-	67,2	52,75	6390	3610	7220	-	9,75	7,33	644	492	401	592	459
RHS 260x180x10	**260x180x10**	260	180	10	10				-	-	82,9	65,08	7740	4350	8800	-	9,66	7,24	775	595	483	724	560
RHS 260x180x12,5	**260x180x12,5**	260	180	12,5	12,5				-	-	102	80,07	9300	5200	10640	-	9,54	7,13	924	715	577	879	679
RHS 300x200x6,3	**300x200x6,3**	300	200	6,3	6,3				-	-	61	47,89	7829	4193	8476	-	11,3	8,29	681	522	419	624	472
RHS 300x200x8	**300x200x8**	300	200	8	8				-	-	76,8	60,29	9717	5184	10562	-	11,3	8,22	840	648	518	779	589
RHS 300x200x10	**300x200x10**	300	200	10	10				-	-	94,9	74,5	11819	6278	12908	-	11,2	8,13	1015	788	628	956	721
RHS 300x200x12,5	**300x200x12,5**	300	200	12,5	12,5				-	-	117	91,85	14273	7537	15677	-	11	8,02	1217	952	754	1165	877
RHS 300x250x8	**300x250x8**	300	250	8	8				-	-	84,8	66,57	11422	8627	15187	-	11,6	10,1	1067	761	690	1118	888
RHS 300x250x10	**300x250x10**	300	250	10	10				-	-	105	82,43	13923	10496	18620	-	11,5	10	1295	928	840	1375	1091
RHS 300x250x12,5	**300x250x12,5**	300	250	12,5	12,5				-	-	130	102,05	16857	12680	22711	-	11,4	9,89	1560	1124	1014	1685	1334
RHS 300x250x16	**300x250x16**	300	250	16	16				-	-	163	127,96	20620	15460	28064	-	11,2	9,74	1896	1375	1237	2095	1655
RHS 400x200x8	**400x200x8**	400	200	8	8				-	-	92,8	72,85	19562	6660	15735	-	14,5	8,47	1135	978	666	1203	743
RHS 400x200x10	**400x200x10**	400	200	10	10				-	-	115	90,28	23914	8084	19259	-	14,4	8,39	1376	1196	808	1480	911
RHS 400x200x12,5	**400x200x12,5**	400	200	12,5	12,5				-	-	142	111,47	29063	9738	23438	-	14,3	8,28	1656	1453	974	1813	1111
RHS 400x200x16	**400x200x16**	400	200	16	16				-	-	179	140,52	35738	11824	28871	-	14,1	8,13	2010	1787	1182	2256	1374

RHS 450x250x8	**450x250x8**	450	250	8	8	-	-	109	85,57	30082	12142	27083	-	16,6	10,6	1629	1337	971	1622	1081
RHS 450x250x10	**450x250x10**	450	250	10	10	-	-	135	105,98	36895	14819	33284	-	16,5	10,5	1986	1640	1185	2000	1331
RHS 450x250x12,5	**450x250x12,5**	450	250	12,5	12,5	-	-	167	131,1	45026	17973	40719	-	16,4	10,4	2406	2001	1438	2458	1631
RHS 450x250x16	**450x250x16**	450	250	16	16	-	-	211	165,64	55705	22041	50545	-	16,2	10,2	2947	2476	1763	3070	2029
RHS 500x300x10	**500x300x10**	500	300	10	10	-	-	155	121,68	53762	24439	52450	-	18,6	12,6	2696	2150	1629	2595	1826
RHS 500x300x12,5	**500x300x12,5**	500	300	12,5	12,5	-	-	192	150,72	65813	29780	64389	-	18,5	12,5	3281	2633	1985	3196	2244
RHS 500x300x16	**500x300x16**	500	300	16	16	-	-	243	190,76	81783	36768	80329	-	18,3	12,3	4044	3271	2451	4005	2804
RHS 500x300x20	**500x300x20**	500	300	20	20	-	-	300	235,5	98777	44078	97447	-	18,2	12,1	4842	3951	2939	4885	3408

Εικόνα 7-18 Πίνακας πρότυπων μεταλλικών διατομών RHS

7.2.3.3 Καρτέλα Προγράμματος «Υλικά»

Στην παρούσα καρτέλα μέσω των αναπτυσσόμενων λιστών γίνεται η επιλογή ποιότητας κάθε υλικού. Τα μηχανικά χαρακτηριστικά για κάθε υλικό (π.χ. χαρακτηριστική εφελκυστική/θλιπτική αντοχή, εφελκυστική/θλιπτική αντοχή σχεδιασμού, Μέτρο Ελαστικότητας (E), Μέτρο Διατμήσεως (G), λόγος Poison (ν), ειδικό βάρος υλικού (γ), συντελεστές ασφαλείας υλικού ($\gamma_{υλικού}$) κλπ) καταχωρούνται αυτόματα από το πρόγραμμα ανάλογα με την ποιότητα κάθε υλικού η οποία επιλέγεται από τον χρήστη. Στην περίπτωση όπου κάποιο υλικό δεν χρησιμοποιείται ή δεν έγινε επιλογή συγκεκριμένης ποιότητας του από το χρήστη αυτόματα τα μηχανικά χαρακτηριστικά του συγκεκριμένου υλικού στην αντίστοιχη καρτέλα φαίνονται απενεργοποιημένα (π.χ. όταν έχουμε συμπαγή πλάκα σκυροδέματος η καρτέλα ποιότητας χαλυβδόφυλλου είναι ανενεργή, ομοίως όταν δεν χρησιμοποιείται ενισχυτικό έλασμα για την ενίσχυση μιας υφιστάμενης δοκού τότε δεν επιλέγεται κατηγορία ποιότητας για το έλασμα ενίσχυσης), (βλέπε Εικόνα 7-19)

Επιλογή Ποιότητας Χάλυβα Ελάσματος Ενίσχυσης		
Επιλογή Ποιότητας Χάλυβα Ελάσματος Ενίσχυσης	-	
Μέγιστο Πάχος Στοιχείου t (mm)		
Χαρακτηριστική Εφελκυστική Τιμή Ορίου Διαρροής: $f_{y,\varepsilon}$	MPa	
Χαρακτηριστική Εφελκυστική Αντοχή: $f_{u,\varepsilon}$	MPa	
Συντελεστής ασφαλείας υλικού: γ_{MO}		
Εφελκυστική Τιμή Σχεδιασμού Ορίου Διαρροής: $f_{y\varepsilon,d}$	MPa	
Εφελκυστική Αντοχή Σχεδιασμού: $f_{u\varepsilon,d}$	MPa	
Μέτρο Ελαστικότητας: E_ε	GPa	
Λόγος Poisson υλικού: ν_ε		
Μέτρο Ολίσθησης: G_ε	GPa	
Ειδικό βάρος υλικού: γ_ε	KN/m^3	
Συντελεστής Θερμικής διαστολής: $\alpha_{t,\varepsilon}$	$/\ ^oC$	

Εικόνα 7-19 Απενεργοποιημένη καρτέλα υλικού ελάσματος ενίσχυσης

Στην παρακάτω (Εικόνα 7-20) δίνεται η μορφή του φύλλου εργασίας «Υλικά» του προγράμματος.

Αρχικό Μενού | Προηγούμενη | Επόμενη

Υλικά

Επιλογή Ποιότητας Σκυροδέματος:		
Επιλογή Ποιότητας Σκυροδέματος:	C20/25	
Θλιπτική Χαρακτηριστική Αντοχή Κυλινδρου 28 ημερών: f_{ck}	20	MPa
Μέση Θλιπτική Αντοχή: f_{cm}	28	MPa
Μέση Εφελκυστική Αντοχή: f_{ctm}	2,2	MPa
$f_{ctk\ 0.05}$	1,5	MPa
$f_{ctk\ 0.95}$	2,9	MPa
Μέση Τιμή Μέτρου Ελαστικότητας: E_{cm}	29	GPa
Ειδικό Βάρος Οπλισμένου Σκυροδέματος γ_c	25	KN/m^3
Συντελεστής Ασφαλείας Υλικού: γ_c	1,5	
Θλιπτική Αντοχή Σχεδιασμού: f_{cd}	13,333333	MPa

C20/25
-
C20/25
C25/30
C30/37
C35/45
C40/50
C45/55
C50/60

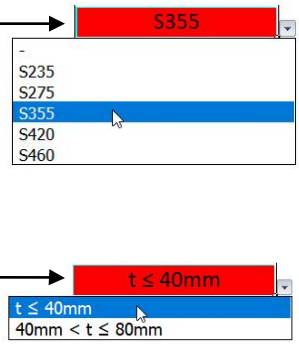
Επιλογή Ποιότητας Χάλυβα Χαλυβδόφυλλου:		
Επιλογή Ποιότητας Χάλυβα Χαλυβδόφυλλου:	S 220 GD+Z	
Χαρακτηριστική Εφελκυστική Τιμή Ορίου Διαρροής: f_{yp}	220	MPa
Χαρακτηριστική Εφελκυστική Αντοχή: f_{up}	300	MPa
Συντελεστής ασφαλείας υλικού: γ_{M0}	1	
Συντελεστής ασφαλείας έλεγχος μέλους: γ_{M1}	1	
Εφελκυστική Τιμή Σχεδιασμού Ορίου Διαρροής: $f_{yp,d}$	220	MPa
Εφελκυστική Αντοχή Σχεδιασμού: $f_{up,d}$	300	MPa
Μέτρο Ελαστικότητας: E_p	210	GPa
Λόγος Poisson υλικού: ν_p	0,3	
Μέτρο Ολίσθησης: G_p	80,769231	GPa
Ειδικό βάρος υλικού: γ_p	78,5	KN/m^3
Συντελεστής Θερμικής διαστολής: $\alpha_{t,p}$	0,00001	/ °C

S 220 GD+Z
-
S 220 GD+Z
S 250 GD+Z
S 280 GD+Z
S 320 GD+Z
S 350 GD+Z

Επιλογή Ποιότητας Χάλυβα Οπλισμού		
Επιλογή Ποιότητας Χάλυβα Οπλισμού	S500	
Χαρακτηριστική Εφελκυστική Τιμή Ορίου Διαρροής: f_{sk}	500	MPa
Συντελεστής ασφαλείας υλικού: γ_s	1,15	
Εφελκυστική Τιμή Σχεδιασμού Ορίου Διαρροής: f_{sd}	434,78261	MPa
Μέτρο Ελαστικότητας: E_s	200	GPa
Λόγος Poisson υλικού: ν_s	0,3	
Μέτρο Ολίσθησης: G_s	76,923077	GPa
Ειδικό βάρος υλικού: γ_s	78,5	KN/m^3
Συντελεστής Θερμικής διαστολής: $\alpha_{t,s}$	0,00001	/ °C

S500
-
S400
S500

Επιλογή Ποιότητας Δομικού Χάλυβα Σιδηροδοκού		
Επιλογή Ποιότητας Δομικού Χάλυβα	S355	
Μέγιστο Πάχος Στοιχείου t (mm)	t ≤ 40mm	
Χαρακτηριστική Εφελκυστική Τιμή Ορίου Διαρροής: $f_{y\alpha}$	355	MPa
Χαρακτηριστική Εφελκυστική Αντοχή: $f_{u\alpha}$	490	MPa
Συντελεστής ασφαλείας υλικού: γ_{M0}	1	
Συντελεστής ασφαλείας έλεγχος μέλους: γ_{M1}	1	
Εφελκυστική Τιμή Σχεδιασμού Ορίου Διαρροής: $f_{y\alpha,d}$	355	MPa
Εφελκυστική Αντοχή Σχεδιασμού: $f_{u\alpha,d}$	490	MPa
Μέτρο Ελαστικότητας: E_α	210	GPa
Λόγος Poisson υλικού: ν_α	0,3	
Μέτρο Ολίσθησης: G_α	80,769231	GPa
Ειδικό βάρος υλικού: γ_α	78,5	KN/m^3
Συντελεστής Θερμικής διαστολής: $\alpha_{t,\alpha}$	0,00001	/ °C



Επιλογή Ποιότητας Χάλυβα Ελάσματος Ενίσχυσης		
Επιλογή Ποιότητας Χάλυβα Ελάσματος Ενίσχυσης	S420	
Μέγιστο Πάχος Στοιχείου t (mm)	t ≤ 40mm	
Χαρακτηριστική Εφελκυστική Τιμή Ορίου Διαρροής: $f_{y,\varepsilon}$	420	MPa
Χαρακτηριστική Εφελκυστική Αντοχή: $f_{u,\varepsilon}$	510	MPa
Συντελεστής ασφαλείας υλικού: γ_{M0}	1	
Εφελκυστική Τιμή Σχεδιασμού Ορίου Διαρροής: $f_{y\varepsilon,d}$	420	MPa
Εφελκυστική Αντοχή Σχεδιασμού: $f_{u\varepsilon,d}$	510	MPa
Μέτρο Ελαστικότητας: E_ε	210	GPa
Λόγος Poisson υλικού: ν_ε	0,3	
Μέτρο Ολίσθησης: G_ε	80,769231	GPa
Ειδικό βάρος υλικού: γ_ε	78,5	KN/m^3
Συντελεστής Θερμικής διαστολής: $\alpha_{t,\varepsilon}$	0,00001	/ °C

Επιλογή Ποιότητας Χάλυβα Διατμητικού Σύνδεσμου (Διατμητικοί Ήλοι Κεφαλής)		
Επιλογή Ποιότητας Διατμητικών Ηλών Κεφαλής	S420	
Μέγιστο Πάχος Στοιχείου t (mm)	t ≤ 40mm	
Χαρακτηριστική Εφελκυστική Τιμή Ορίου Διαρροής: $f_{y,sc}$	420	MPa
Χαρακτηριστική Εφελκυστική Αντοχή: $f_{u,sc}$	510	MPa
Συντελεστής ασφαλείας υλικού: γ_v	1,25	
Μέτρο Ελαστικότητας: E_{sc}	210	GPa
Λόγος Poisson υλικού: ν_{sc}	0,3	
Μέτρο Ολίσθησης: G_{sc}	80,769231	GPa
Ειδικό βάρος υλικού: γ_{sc}	78,5	KN/m^3
Συντελεστής Θερμικής διαστολής: $\alpha_{t,sc}$	0,00001	/ °C

Εικόνα 7-20 Καρτέλα «Υλικά» Προγράμματος Σύμμικτων Δοκών

7.2.3.4 Καρτέλα Προγράμματος «Συνεργαζόμενο Πλάτος»

Στην παρούσα καρτέλα γίνεται ο υπολογισμός του συνεργαζόμενου πλάτους κατά μήκος της δοκού. Όπως γνωρίζουμε το συνεργαζόμενο πλάτος της δοκού δεν παραμένει σταθερό αλλά μεταβάλλεται κατά μήκος της δοκού. Συνεπώς το πρόγραμμα υπολογίζει αυτόματα το συνεργαζόμενο πλάτος κατά μήκος της δοκού για τις διάφορες κρίσιμες θέσεις ελέγχων.

Ο χρήστης καλείται να πληκτρολογήσει το γεωμετρικό πλάτος της διατομής ($b_{Γ1,αριστερά}$ και $b_{Γ2,δεξιά}$), το συνολικό μήκος του ανοίγματος της δοκού (L) και μέσω της αναπτυσσόμενης λίστας να επιλέξει το είδος του στατικού συστήματος το οποίο θέλει να επιλύσει, (βλέπε Εικόνα 7-21).

Το πρόγραμμα διαθέτει επίλυση στατικού συστήματος «Αμφιέρειστης Δοκού», «Προβόλου», «Ακραίου τμήματος συνεχής δοκού» και «Ενδιάμεσου τμήματος συνεχής δοκού». Στην περίπτωση όπου επιλέγεται για την επίλυση «Ενδιάμεσο τμήμα συνεχής δοκού», τότε αυτόματα στο πρόγραμμα ενεργοποιούνται δύο πεδία στην καρτέλα, όπου καλείται ο χρήστης να συμπληρώσει το μήκος των ανοιγμάτων αριστερά και δεξιά των στηρίξεων του υπό εξέταση ενδιάμεσου τμήματος της δοκού.

Είδος Δοκού:	**Ενδιάμεσο Τμήμα Συνεχής Δοκού ("Αμφίπακτη")**

Συνολικό Μήκος Δοκού L:	**10 m**
Μήκος Ανοίγματος Αριστερά της Στήριξης (Πάκτωσης) Συνεχής Δοκού $L_{αριστερά}$	**7 m**
Μήκος Ανοίγματος Δεξιά της Στήριξης (Πάκτωσης) Συνεχής Δοκού $L_{δεξιά}$	**5 m**

Στην περίπτωση όπου επιλέγεται για επίλυση «Ακραίο τμήμα συνεχής δοκού», τότε στο πρόγραμμα ενεργοποιείται μόνο ένα επιπρόσθετο πεδίο, όπου καλείται ο χρήστης καλείται να συμπληρώσει το μήκος του γειτονικού ανοίγματος του υπό εξέταση ακραίου τμήματος της δοκού.

Είδος Δοκού:	Ακραίο Τμήμα Συνεχής Δοκού ("Μονόπακτη")

Συνολικό Μήκος Δοκού L:	10 m
Μήκος Ανοίγματος Αριστερά της Στήριξης (Πάκτωσης) Συνεχής Δοκού $L_{Αριστερά}$	7 m

Τέλος στην περίπτωση όπου επιλέγεται για την επίλυση «Αμφιέρειστη δοκός» ή «Πρόβολος», τότε τα προαναφερόμενα επιπρόσθετα πεδία είναι απενεργοποιημένα.

Είδος Δοκού:	Αμφιέρειστη Δοκός

Συνολικό Μήκος Δοκού L:	10 m

Αρχικό Μενού | Προηγούμενη | Επόμενη

Εύρεση Συνεργαζόμενου Πλάτους Πλάκας Σκυροδέματος beff

Δώσε Γεωμετρικό πλάτος δοκού b_{r1}	2 m
Δώσε Γεωμετρικό πλάτος δοκού b_{r2}	2 m

**Σημείωση: b_{ri} είναι η απόσταση από το μέσο της πλάκας εώς το μέσον μεταξύ παράλληλων κορμών, ή μέχρι το ελεύθερο άκρο κατά την εγκάρσια διεύθυνση της δοκού.

Είδος Δοκού:	**Ενδιάμεσο Τμήμα Συνεχής Δοκού ("Αμφίπακτη")**

Αμφιέρειστη Δοκός
Ακραίο Τμήμα Συνεχής Δοκού ("Μονόπακτη")
Ενδιάμεσο Τμήμα Συνεχής Δοκού ("Αμφίπακτη")
Πρόβολος

Συνολικό Μήκος Δοκού L:	**10 m**

Μήκος Ανοίγματος Αριστερά της Στήριξης (Πάκτωσης) Συνεχής Δοκού $L_{Αριστερά}$	**15 m**
Μήκος Ανοίγματος Δεξιά της Στήριξης (Πάκτωσης) Συνεχής Δοκού $L_{δεξιά}$	**15 m**

Γεωμετρικό Συνεργαζόμενο Πλάτος Πλάκας Σκυροδέματος (beff) (Για τον υπολογισμό των Φορτίων)

Γεωμετρικό Συνεργαζόμενο Πλάτος Πλάκας Σκυροδέματος ($b_{eff,Γεωμετρικό}$)	**400 cm**

Συνεργαζόμενα Πλάτη Πλάκας Σκυροδέματος (beff) στα διάφορα Σημεία Ελέγχου Α,Β,Γ

Σημείο Ελέγχου Α

Σημειο Ελέγχου Κατά Μήκος Της Δοκού:	**Αριστερή Στήριξη Πάκτωση Αμφίπακτης Δοκού (Σημείο Α)**
Συνεργαζόμενο Πλάτος στο Σημείο Α ($b_{eff,A}$)	**156,25 cm**

Σημείο Ελέγχου Β

Σημειο Ελέγχου Κατά Μήκος Της Δοκού:	**Άνοιγμα Αμφίπακτης Δοκού (Σημείο Β)**
Συνεργαζόμενο Πλάτος στο Σημείο Β ($b_{eff,B}$)	**175 cm**

Σημείο Ελέγχου Γ

Σημειο Ελέγχου Κατά Μήκος Της Δοκού:	**Δεξιά Στήριξη Πάκτωση Αμφίπακτης Δοκού (Σημείο Γ)**
Συνεργαζόμενο Πλάτος στο Σημείο Γ ($b_{eff,r}$)	**156,25 cm**

Εικόνα 7-21 Καρτέλα «Συνεργαζόμενο Πλάτος» Προγράμματος Σύμμικτων Δοκών

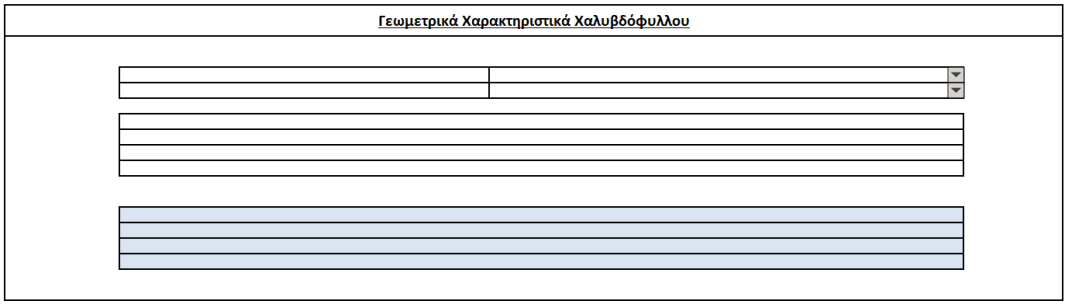
7.2.3.5 Καρτέλα Προγράμματος «Γεωμετρία Διατομής»

Στην καρτέλα αυτή καλείται ο χρήστης να συμπληρώσει τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της σύμμικτης διατομής είτε μέσω πληκτρολόγησης ή μέσω χρήσης αναπτυσσόμενων λιστών.

Στην υποκαρτέλα «Γεωμετρικά Χαρακτηριστικά Πλάκας Σκυροδέματος», (βλέπε Εικόνα 7-22), καλείται ο χρήστης να επιλέξει από την αναπτυσσόμενη λίστα το είδος της πλάκας σκυροδέματος (αν εξετάζεται συμπαγής πλάκα ή σύμμικτη πλάκα σκυροδέματος με αυλακωτό χαλυβδόφυλλο). Επίσης ο χρήστης επιλέγει αν επιθυμεί το συνεργαζόμενο πλάτος της διατομής να υπολογίζεται αυτόματα από το πρόγραμμα (όπου υπολογίζεται διαφορετικό σε κάθε κρίσιμη θέση κατά μήκος της δοκού, (βλέπε κεφάλαιο 7.2.3.4) ή δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να δηλώνει αυτός το συνεργαζόμενο πλάτος με το οποίο θα λαμβάνεται ενιαία το ίδιο σε όλο το μήκος της δοκού. Στην περίπτωση αυτή ενεργοποιείται ένα πεδίο για την συμπλήρωση συνεργαζόμενου πλάτους χειροκίνητα από τον χρήστη.

Επίσης θα πρέπει χειροκίνητα να συμπληρωθεί το συνολικό ύψος της πλάκας σκυροδέματος (d) καθώς και την ονομαστική επικάλυψη σκυροδέματος (c_{nom}).

Η υποκαρτέλα «Γεωμετρικά Χαρακτηριστικά Χαλυβδόφυλλου» συμπληρώνεται μόνο στην περίπτωση όπου επιλέγεται σύμμικτη πλάκα σκυροδέματος με αυλακωτό χαλυβδόφυλλο, στην οποία καλείται να συμπληρωθεί το ύψος του χαλυβδόφυλλου (hp), το μέσο πλάτος αυλακώσεων (b_o), το πάχος του (t_p) και το εμβαδόν διατομής του ανά τρέχον μέτρο (A_p). Στην περίπτωση όπου επιλέγεται συμπαγής πλάκα σκυροδέματος τότε η υποκαρτέλα αυτή είναι απενεργοποιημένη.

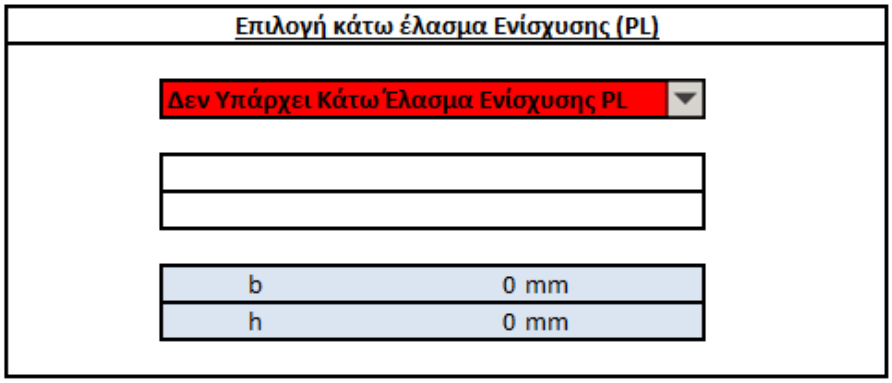


Στην υποκαρτέλα «Γεωμετρικά Χαρακτηριστικά Διατμητικών Συνδέσμων (Διατμητικοί Ήλοι Κεφαλής)» επιλέγεται μέσω αναπτυσσόμενης λίστας ο διατμητικού ήλος κεφαλής και ο αριθμός των ήλων που τοποθετείται εγκαρσίως της διατομής (1 ή 2 ήλοι εγκαρσίως της διατομής). Στην περίπτωση όπου τοποθετούνται 2 ήλοι ανά διατομή (εγκαρσίως) τότε ενεργοποιείται ένα πεδίο όπου θα πρέπει να πληκτρολογηθεί από το χρήστη η εγκάρσια απόσταση μεταξύ των ήλων (e_q). Το πρόγραμμα αυτόματα καταχωρεί τα υπόλοιπα γεωμετρικά χαρακτηριστικά που αφορούν τον ήλο (π.χ. διάμετρο κορμού, διάμετρο κεφαλής, συνολικό ύψος του ήλου και ύψος κεφαλής).

Στην υποκαρτέλα «Γεωμετρικά Χαρακτηριστικά Διαμήκη Οπλισμών Σκυροδέματος» δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη τοποθέτησης μέχρι και δυο στρώσεων διαμήκη αλλά και εγκάρσιων οπλισμών σκυροδέματος (άνω και κάτω στρώση). Οι οπλισμοί σε κάθε στρώση τόσο στους διαμήκης όσο και στους εγκάρσιους οπλισμούς μπορεί να λαμβάνεται με διαφορετική διάμετρο η οποία επιλέγεται αντίστοιχα από την αναπτυσσόμενη λίστα της κάθε στρώσης και διαφορετικές αποστάσεις μεταξύ των οπλισμών. Τέλος για κάθε στρώση οπλισμού θα πρέπει να καταχωρείται η κατακόρυφη επικάλυψη του οπλισμού από την άνω ίνα της πλάκας σκυροδέματος. Το πρόγραμμα υπολογίζει την συνολική ποσότητα των διαμήκων οπλισμού άνω και κάτω στρώσης αντίστοιχα μέσα στο συνεργαζόμενο πλάτος για κάθε θέση κρίσιμης διατομής ελέγχου όπως και την συνολική ποσότητα των εγκάρσιων οπλισμών μέσα στο συνολικό μήκος της δοκού.

Στην επόμενη υποκαρτέλα «Γεωμετρικά Χαρακτηριστικά Σιδηροδοκού» επιλέγεται η διατομή της σιδηροδοκού μέσω αναπτυσσόμενης λίστας και αυτόματα το πρόγραμμα καταχωρεί τα γεωμετρικά της χαρακτηριστικά από την βιβλιοθήκη των πρότυπων

διατομών του προγράμματος. Τέλος σε περιπτώσεις όπου έχουμε υφιστάμενη σύμμικτης δοκό την οποία θέλουμε να ενισχύσουμε, δίνεται η δυνατότητα ενίσχυσης της με χρήση ελάσματος ενίσχυσης στο κάτω πέλμα της σιδηροδοκού. Συνεπώς στην περίπτωση αυτή καλείται ο χρήστης να δώσει τις διαστάσεις του ελάσματος ενίσχυσης. Στην περίπτωση όπου δεν επιλέγεται η χρήση ελάσματος ενίσχυσης το πεδίο αυτό απενεργοποιείται.



Τέλος γίνεται αυτόματη ρεαλιστική σχεδίαση των διατομών σε κάθε κρίσιμη θέση διατομής ελέγχου, στην οποία ο σχεδιασμός του κάθε δομικού στοιχείου γίνεται εφόσον τα δεδομένα καταχωρήθηκαν σωστά στο πρόγραμμα. Σε περίπτωση όπου τα δεδομένα για συγκεκριμένο δομικό στοιχείο δεν καταχωρούνται σωστά τότε δεν πραγματοποιείται η σχεδίαση του συγκεκριμένου στοιχείου στην συνολική σχεδίαση της διατομής. Τέτοια παραδείγματα αναφέρονται πιο κάτω:

- Δεν έγινε επιλογή της ποιότητας υλικού ενός δομικού στοιχείου από την καρτέλα «Υλικά» του προγράμματος (π.χ. ξέχασε ο χρήστης να επιλέξει την κατηγορία ποιότητας χάλυβα οπλισμού)
- Το ύψος της πλάκας σκυροδέματος, η επικάλυψη σκυροδέματος, κατακόρυφες επικαλύψεις οπλισμών, διαστάσεις χαλυβδόφυλλου, διαστάσεις ελάσματος ενίσχυσης κλπ δίνεται από το χρήστη είτε με αρνητική τιμή είτε γίνεται χρήση γραμμάτων, συμβόλων κλπ

- Το ύψος της κατακόρυφης επικάλυψης οπλισμού (z_i) το οποίο δίνεται από το χρήστη, τοποθετεί τον οπλισμό εκτός ορίων της πλάκας σκυροδέματος ή εκτός των ορίων επικάλυψης σκυροδέματος στην πάνω και κάτω ίνα
- Η εγκάρσια απόσταση μεταξύ των διατμητικών ήλων (e_q) η οποία δίνεται από τον χρήστη τοποθετεί τους ήλους εκτός ορίων του άνω πέλματος της σιδηροδοκού λαμβάνοντας και τις κατασκευαστικές απαιτήσεις του Ευρωκώδικα)

Σε κάθε περίπτωση όπου ο χρήστης ξεχάσει να επιλέξει την κατηγορία ποιότητας του συγκεκριμένου δομικού στοιχείου του προηγούμενου βήματος (βλέπε κεφάλαιο 7.2.3.3), ή δεν συμπληρώνονται όλα τα απαιτούμενα πεδία που αφορούν το συγκεκριμένο δομικό στοιχείο στη συγκεκριμένη υποκαρτέλα, τότε η υποκαρτέλα για το συγκεκριμένο δομικό στοιχείο θα είναι ανενεργή.

Επίσης στις περιπτώσεις όπου ο χρήστης καλείται να συμπληρώσει με χειροκίνητο τρόπο τιμές διαστάσεων όπως για π.χ. ύψος της πλάκας σκυροδέματος, συνεργαζόμενο πλάτος (χειροκίνητα από τον χρήστη), επικάλυψη σκυροδέματος, επικάλυψη των οπλισμών, εγκάρσια απόσταση μεταξύ των ήλων, γεωμετρικά χαρακτηριστικά χαλυβδόφυλλου κ.λπ. και στις οποίες ο χρήστης πληκτρολογεί αρνητικές τιμές ή χαρακτήρες γραμμάτων ή σύμβολα, τα οποία είναι μη επιτρεπόμενοι χαρακτήρες, τότε δεν πραγματοποιείται η καταχώριση από το πρόγραμμα υποδηλώνοντας αυτόματα την θέση όπου έγινε η λάθος πληκτρολόγηση.

Αρχικό Μενού | Προηγούμενη | Επόμενη

Γεωμετρία Διατομής

Γεωμετρικά Χαρακτηριστικά Πλάκας Σκυροδέματος

Είδος Πλάκας Σκυροδέματος:	Σύμμικτη Πλάκα Σκυροδέματος με Χαλυβδόφυλλο (dc=d-hp)
Συνεργαζόμενο Πλάτος beff:	Αυτόματη εύρεση συνεργαζόμενου πλάτους beff από πρόγραμμα

Συνολικό Ύψος Πλάκας Σκυροδέματος: d	15 cm
Ονομαστική Επικάλυψη Σκυροδέματος (c_{nom}) (EN 1992 1-1) (Μετρούμενο από την πάνω παριά της πλάκας σκυροδέματος)	2 cm

Συνεργαζόμενα Πλάτη Πλάκας Σκυροδέματος beff (Αυτές οι τιμές χρησιμοποιούνται για τους υπολογισμούς των πράξεων σε όλο το πρόγραμμα)	
Γεωμετρικό Συνεργαζόμενο Πλάτος Πλάκας Σκυροδέματος Σημείο Ελέγχου Ο ($b_{eff,Γεωμετρικό}$)	400 cm
Συνεργαζόμενο Πλάτος Πλάκας Σκυροδέματος στο Σημείο Ελέγχου Α ($b_{eff,A}$)	156,25 cm
Συνεργαζόμενο Πλάτος Πλάκας Σκυροδέματος στο Σημείο Ελέγχου Β ($b_{eff,B}$)	175 cm
Συνεργαζόμενο Πλάτος Πλάκας Σκυροδέματος στο Σημείο Ελέγχου Γ ($b_{eff,Γ}$)	156,25 cm

Συνολικό Ύψος Πλάκας Σκυροδέματος: d	15 cm
Ύψος Σύμμικτη Πλάκα Σκυροδέματος μετά την αφαίρεση του ύψους του Χαλυβδόφυλλου (dc=d-hp)	12 cm
Ονομαστική Επικάλυψη Σκυροδέματος (c_{nom}) (EN 1992 1-1) (Μετρούμενο από την πάνω παριά της πλάκας σκυροδέματος)	2 cm

Σύμμικτη Πλάκα Σκυροδέματος με Χαλυβδόφυλλο (dc=d-hp)

- Συμπαγής Πλάκα Σκυροδέματος (dc=d)
- Σύμμικτη Πλάκα Σκυροδέματος με Χαλυβδόφυλλο (dc=d-hp)

Αυτόματη εύρεση συνεργαζόμενου πλάτους beff από πρόγραμμα

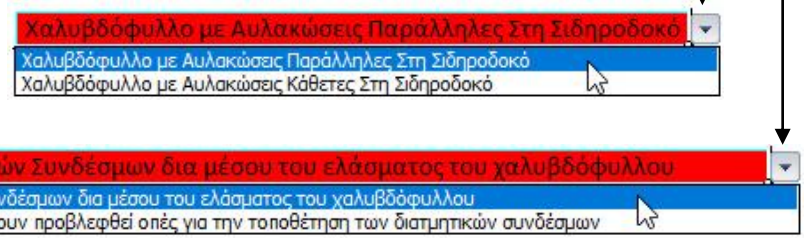
- Αυτόματη εύρεση συνεργαζόμενου πλάτους beff από πρόγραμμα
- Συμπλήρωση συνεργαζόμενου πλάτους beff από τον χρήστη

Γεωμετρικά Χαρακτηριστικά Χαλυβδόφυλλου

Προσανατολισμός Χαλυβδόφυλλου:	Χαλυβδόφυλλο με Αυλακώσεις Παράλληλες Στη Σιδηροδοκό
Μέθοδος Τοποθέτησης Διατμητικών Ηλών δια μέσω του Χαλυβδοφύλλου:	Συγκόλληση Διατμητικών Συνδέσμων δια μέσου του ελάσματος του χαλυβδόφυλλου

Υψος Χαλυβδόφυλλου: hp	3 cm
Μέσο Πλάτος αυλακώσεων χαλυβδόφυλλου: (bo)	90 cm
Πάχος Χαλυβδόφυλλου: (t_p)	0,3 cm
Εμβαδόν Διατομής Χαλυβδόφυλλου ανά μέτρο: A_p (cm^2/m)	1,4 cm^2/m

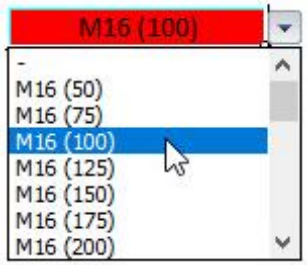
Υψος Χαλυβδόφυλλου: hp	3 cm
Μέσο Πλάτος αυλακώσεων χαλυβδόφυλλου: (bo)	90 cm
Πάχος Χαλυβδόφυλλου (t_p)	0,3 cm
Εμβαδόν Διατομής Χαλυβδόφυλλου ανά μέτρο: A_p (cm^2/m)	1,4 cm^2/m

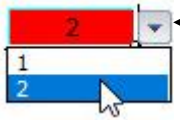


Γεωμετρικά Χαρακτηριστικά Διατμητικών Συνδέσμων (Διατμητικοί Ήλοι Κεφαλής)

Επιλογή Διατμητικού Συνδέσμου (Διατμητικοί Ήλοι Κεφαλής)	M16 (100)	
Αριθμός Διατμητικών Συνδέσμων σε κάθε Διατομή (n_{sc})	2	Ήλοι/Διατομή
Εγκάρσια Απόσταση μεταξύ των Διατμητικών Ήλων (e_q) (Περίπτωση όπου έχουμε 2 Ήλους/Διατομή)	80	mm

Διάμετρος Κορμού Διατμητικού Συνδέσμου ($d_{sc,1}$)	16	mm
Διάμετρος Κεφαλής Διατμητικού Συνδέσμου ($d_{sc,2}$)	29	mm
Ύψος Διατμητικού Συνδέσμου ($h_{sc,1}$)	100	mm
Ύψος Κεφαλής Διατμητικού Συνδέσμου ($h_{sc,2}$)	29	mm
Εγκάρσια Απόσταση μεταξύ των Διατμητικών Ήλων (e_q) (Περίπτωση όπου έχουμε 2 Ήλους/Διατομή)	80	mm

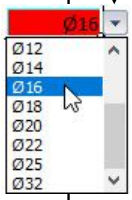




Γεωμετρικά Χαρακτηριστικά Διαμήκη Οπλισμών Σκυροδέματος

Άνω Διαμήκη Οπλισμοί Σκυροδέματος

Επιλογή Άνω Διαμήκους Οπλισμού	Ø16	mm
Αποστάσεις μεταξύ των άνω Διαμήκη οπλισμών	10	cm
Κατακόρυφη Επικάλυψη Άνω Διαμήκη Οπλισμών (μετρούμενο από την πάνω παριά της πλάκας σκυροδέματος μέχρι το Κ.Β. του άνω οπλισμού): $Z_{\Delta,s1}$	4	cm



Διάμετρος Άνω Διαμήκους Οπλισμού: $D_{\Delta,s1}$	16	mm
Αποστάσεις μεταξύ των άνω Διαμήκη οπλισμών	10	cm
Κατακόρυφη Επικάλυψη Άνω Διαμήκη Οπλισμών (μετρούμενο από την πάνω παριά της πλάκας σκυροδέματος μέχρι το Κ.Β. του άνω οπλισμού): $Z_{\Delta,s1}$	4	cm

Συνολική Ποσότητα Άνω Διαμήκη Οπλισμών μέσα στο Συνεργαζόμενο Πλάτος b_{eff}, στα υπό εξεταζόμενα Σημεία 0,Α,Β,Γ

Σημείο Ελέγχου Ο (Αφορά το Γεωμετρικό Συνεργαζόμενο Πλάτος ($b_{eff,Γεωμετρικό}$))		
Συνολική Ποσότητα Άνω Οπλισμών μέσα στο Συνεργαζόμενο Πλάτος $b_{eff,O}$	40	οπλισμοί
Στρογγυλοποιημένη Ποσότητα (προς τα κάτω) των Άνω Οπλισμών μέσα στο Συνεργαζόμενο Πλάτος $b_{eff,O}$	40	οπλισμοί

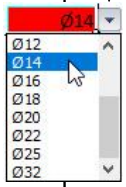
Σημείο Ελέγχου Α		
Συνολική Ποσότητα Άνω Οπλισμών μέσα στο Συνεργαζόμενο Πλάτος $b_{eff,A}$	15,625	οπλισμοί
Στρογγυλοποιημένη Ποσότητα (προς τα κάτω) των Άνω Οπλισμών μέσα στο Συνεργαζόμενο Πλάτος $b_{eff,A}$	15	οπλισμοί

Σημείο Ελέγχου Β		
Συνολική Ποσότητα Άνω Οπλισμών μέσα στο Συνεργαζόμενο Πλάτος $b_{eff,B}$	17,5	οπλισμοί
Στρογγυλοποιημένη Ποσότητα (προς τα κάτω) των Άνω Οπλισμών μέσα στο Συνεργαζόμενο Πλάτος $b_{eff,B}$	17	οπλισμοί

Σημείο Ελέγχου Γ		
Συνολική Ποσότητα Άνω Οπλισμών μέσα στο Συνεργαζόμενο Πλάτος $b_{eff,Γ}$	15,625	οπλισμοί
Στρογγυλοποιημένη Ποσότητα (προς τα κάτω) των Άνω Οπλισμών μέσα στο Συνεργαζόμενο Πλάτος $b_{eff,Γ}$	15	οπλισμοί

Κάτω Διαμήκη Οπλισμοί Σκυροδέματος

Επιλογή Κάτω Διαμήκους Οπλισμού	Ø14	mm
Αποστάσεις μεταξύ των κάτω Διαμήκη οπλισμών	15	cm
Κατακόρυφη απόσταση Κάτω Διαμήκη Οπλισμών (μετρούμενο από την πάνω παριά της πλάκας σκυροδέματος μέχρι το Κ.Β. του κάτω οπλισμού): $Z_{\Delta,s2}$	8	cm



Διάμετρος Κάτω Διαμήκους Οπλισμού: $D_{\Delta,s2}$	14	mm
Αποστάσεις μεταξύ των κάτω Διαμήκη οπλισμών	15	cm
Κατακόρυφη απόσταση Κάτω Διαμήκη Οπλισμών (μετρούμενο από την πάνω παριά της πλάκας σκυροδέματος μέχρι το Κ.Β. του κάτω οπλισμού): $Z_{\Delta,s2}$	8	cm

Συνολική Ποσότητα Κάτω Διαμήκη Οπλισμών μέσα στο Συνεργαζόμενο Πλάτος b_{eff}, στα υπό εξεταζόμενα Σημεία Α,Β,Γ

Σημείο Ελέγχου Ο (Αφορά το Γεωμετρικό Συνεργαζόμενο Πλάτος ($b_{eff,Γεωμετρικό}$))		
Συνολική Ποσότητα Άνω Οπλισμών μέσα στο Συνεργαζόμενο Πλάτος $b_{eff,O}$	26,66667	οπλισμοί
Στρογγυλοποιημένη Ποσότητα (προς τα κάτω) των Άνω Οπλισμών μέσα στο Συνεργαζόμενο Πλάτος $b_{eff,O}$	26	οπλισμοί

Σημείο Ελέγχου Α		
Συνολική Ποσότητα Άνω Οπλισμών μέσα στο Συνεργαζόμενο Πλάτος $b_{eff,A}$	10,41667	οπλισμοί
Στρογγυλοποιημένη Ποσότητα (προς τα κάτω) των Άνω Οπλισμών μέσα στο Συνεργαζόμενο Πλάτος $b_{eff,A}$	10	οπλισμοί

Σημείο Ελέγχου Β		
Συνολική Ποσότητα Άνω Οπλισμών μέσα στο Συνεργαζόμενο Πλάτος $b_{eff,B}$	11,66667	οπλισμοί
Στρογγυλοποιημένη Ποσότητα (προς τα κάτω) των Άνω Οπλισμών μέσα στο Συνεργαζόμενο Πλάτος $b_{eff,B}$	11	οπλισμοί

Σημείο Ελέγχου Γ		
Συνολική Ποσότητα Άνω Οπλισμών μέσα στο Συνεργαζόμενο Πλάτος $b_{eff,Γ}$	10,41667	οπλισμοί
Στρογγυλοποιημένη Ποσότητα (προς τα κάτω) των Άνω Οπλισμών μέσα στο Συνεργαζόμενο Πλάτος $b_{eff,Γ}$	10	οπλισμοί

Γεωμετρικά Χαρακτηριστικά Εγκάρσιων Οπλισμών Σκυροδέματος

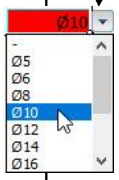
Άνω Εγκάρσιοι Οπλισμοί Σκυροδέματος

Επιλογή Άνω Εγκάρσιου Οπλισμού	Ø10	mm
Αποστάσεις μεταξύ των άνω Εγκάρσιων οπλισμών	17	cm
Κατακόρυφη Επικάλυψη Άνω Εγκάρσιων Οπλισμών (μετρούμενο από την πάνω παριά της πλάκας σκυροδέματος μέχρι το Κ.Β. του άνω οπλισμού): $z_{E,s1}$	3	cm

Διάμετρος Άνω Εγκάρσιου Οπλισμού: $D_{E,s1}$	10	mm
Αποστάσεις μεταξύ των άνω Εγκάρσιων οπλισμών	17	cm
Κατακόρυφη Επικάλυψη Άνω Εγκάρσιων Οπλισμών (μετρούμενο από την πάνω παριά της πλάκας σκυροδέματος μέχρι το Κ.Β. του άνω οπλισμού): $z_{E,s1}$	3	cm

Συνολική Ποσότητα Άνω Εγκάρσιων Οπλισμών μέσα στο Συνολικό Μήκος της Δοκού

Συνολική Ποσότητα Άνω Εγκάρσιων Οπλισμών μέσα στο Συνολικό Μήκος της Δοκού		
Συνολική Ποσότητα Άνω Οπλισμών μέσα στο συνολικό μήκος της Δοκού	58,82353	οπλισμοί
Στρογγυλοποιημένη Ποσότητα (προς τα κάτω) των Άνω Οπλισμών	58	οπλισμοί



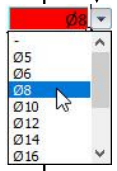
Κάτω Εγκάρσιοι Οπλισμοί Σκυροδέματος

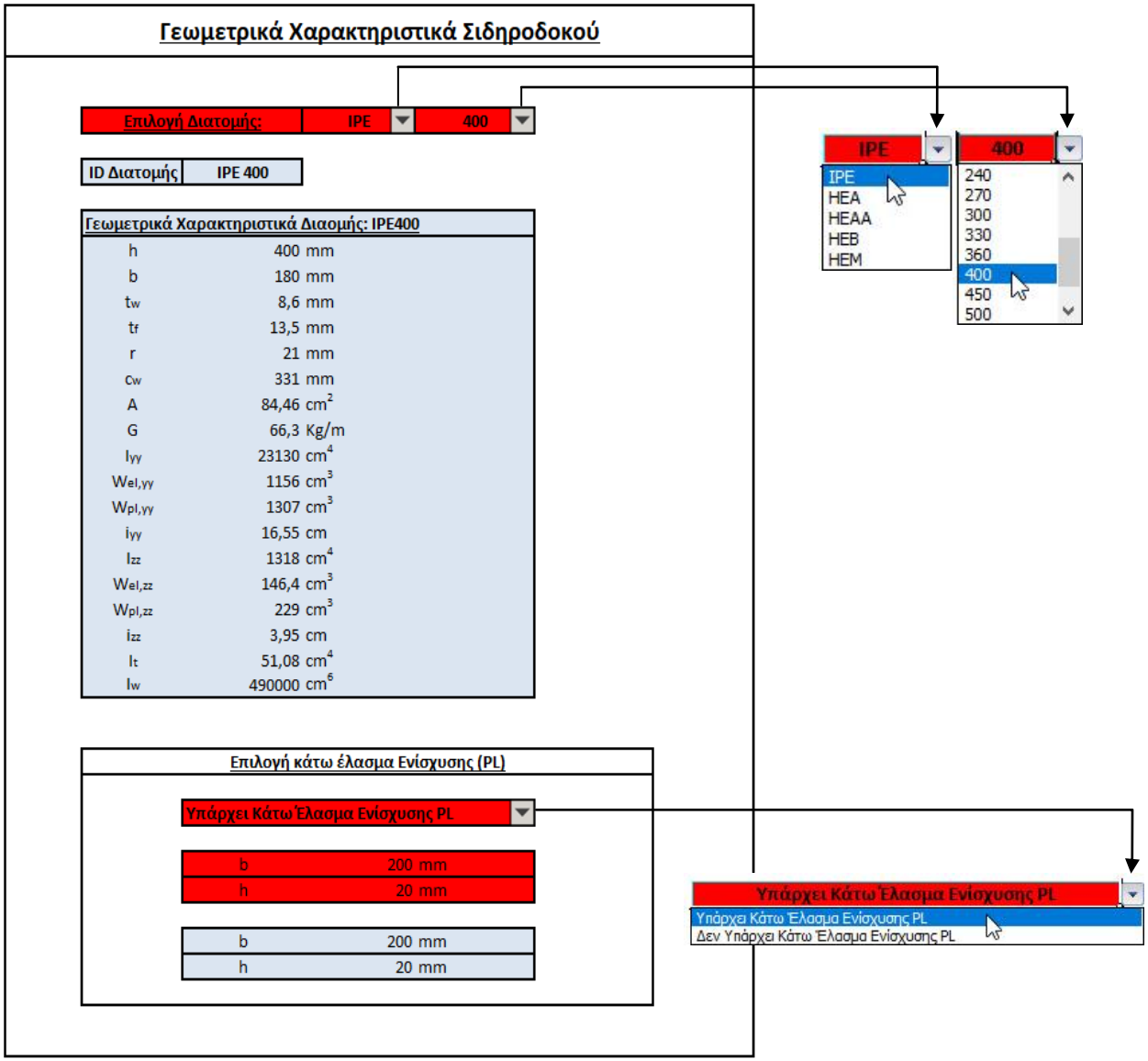
Επιλογή Κάτω Εγκάρσιου Οπλισμού	Ø8	mm
Αποστάσεις μεταξύ των κάτω Εγκάρσιων οπλισμών	22	cm
Κατακόρυφη απόσταση Κάτω Εγκάρσιων Οπλισμών (μετρούμενο από την πάνω παριά της πλάκας σκυροδέματος μέχρι το Κ.Β. του κάτω οπλισμού): $z_{E,s2}$	9	cm

Διάμετρος Κάτω Εγκάρσιου Οπλισμού: $D_{E,s2}$	8	mm
Αποστάσεις μεταξύ των κάτω Εγκάρσιων οπλισμών	22	cm
Κατακόρυφη απόσταση Κάτω Εγκάρσιων Οπλισμών (μετρούμενο από την πάνω παριά της πλάκας σκυροδέματος μέχρι το Κ.Β. του κάτω οπλισμού): $z_{E,s2}$	9	cm

Συνολική Ποσότητα Κάτω Εγκάρσιων Οπλισμών μέσα στο Συνολικό Μήκος της Δοκού

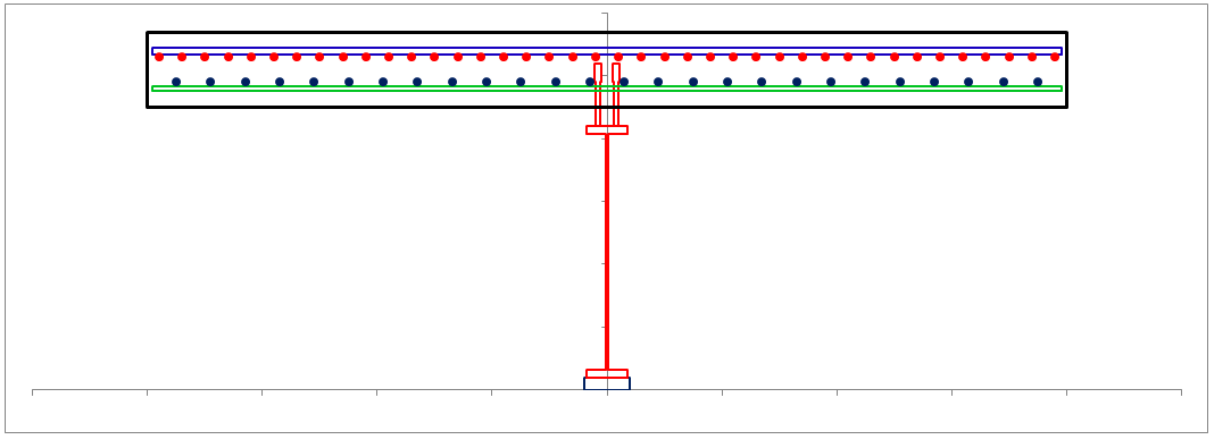
Συνολική Ποσότητα Κάτω Εγκάρσιων Οπλισμών μέσα στο Συνολικό Μήκος της Δοκού		
Συνολική Ποσότητα Κάτω Οπλισμών μέσα στο συνολικό μήκος της Δοκού	45,45455	οπλισμοί
Στρογγυλοποιημένη Ποσότητα (προς τα κάτω) των Κάτω Οπλισμών	45	οπλισμοί



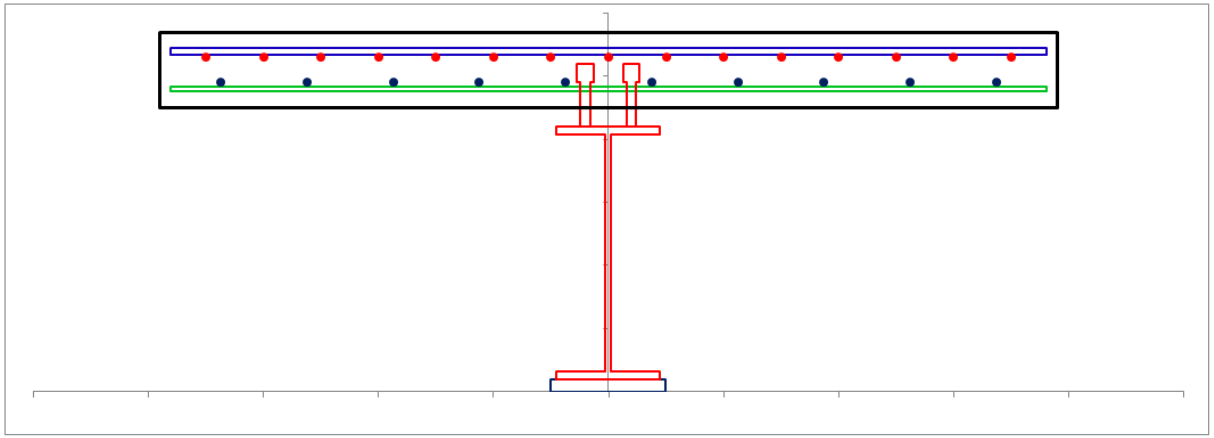

Γεωμετρικά Χαρακτηριστικά Σιδηροδοκού
Επιλογή Διατομής:
IPE
400
ID Διατομής
IPE 400
Γεωμετρικά Χαρακτηριστικά Διαομής: IPE400
h 400 mm
b 180 mm
tw 8,6 mm
tf 13,5 mm
r 21 mm
cw 331 mm
A 84,46 cm2
G 66,3 Kg/m
Iyy 23130 cm4
Wel,yy 1156 cm3
Wpl,yy 1307 cm3
iyy 16,55 cm
Izz 1318 cm4
Wel,zz 146,4 cm3
Wpl,zz 229 cm3
izz 3,95 cm
It 51,08 cm4
Iw 490000 cm6
Επιλογή κάτω έλασμα Ενίσχυσης (PL)
Υπάρχει Κάτω Έλασμα Ενίσχυσης PL
b 200 mm
h 20 mm
b 200 mm
h 20 mm
IPE
IPE
HEA
HEAA
HEB
HEM
400
240
270
300
330
360
400
450
500
Υπάρχει Κάτω Έλασμα Ενίσχυσης PL
Υπάρχει Κάτω Έλασμα Ενίσχυσης PL
Δεν Υπάρχει Κάτω Έλασμα Ενίσχυσης PL

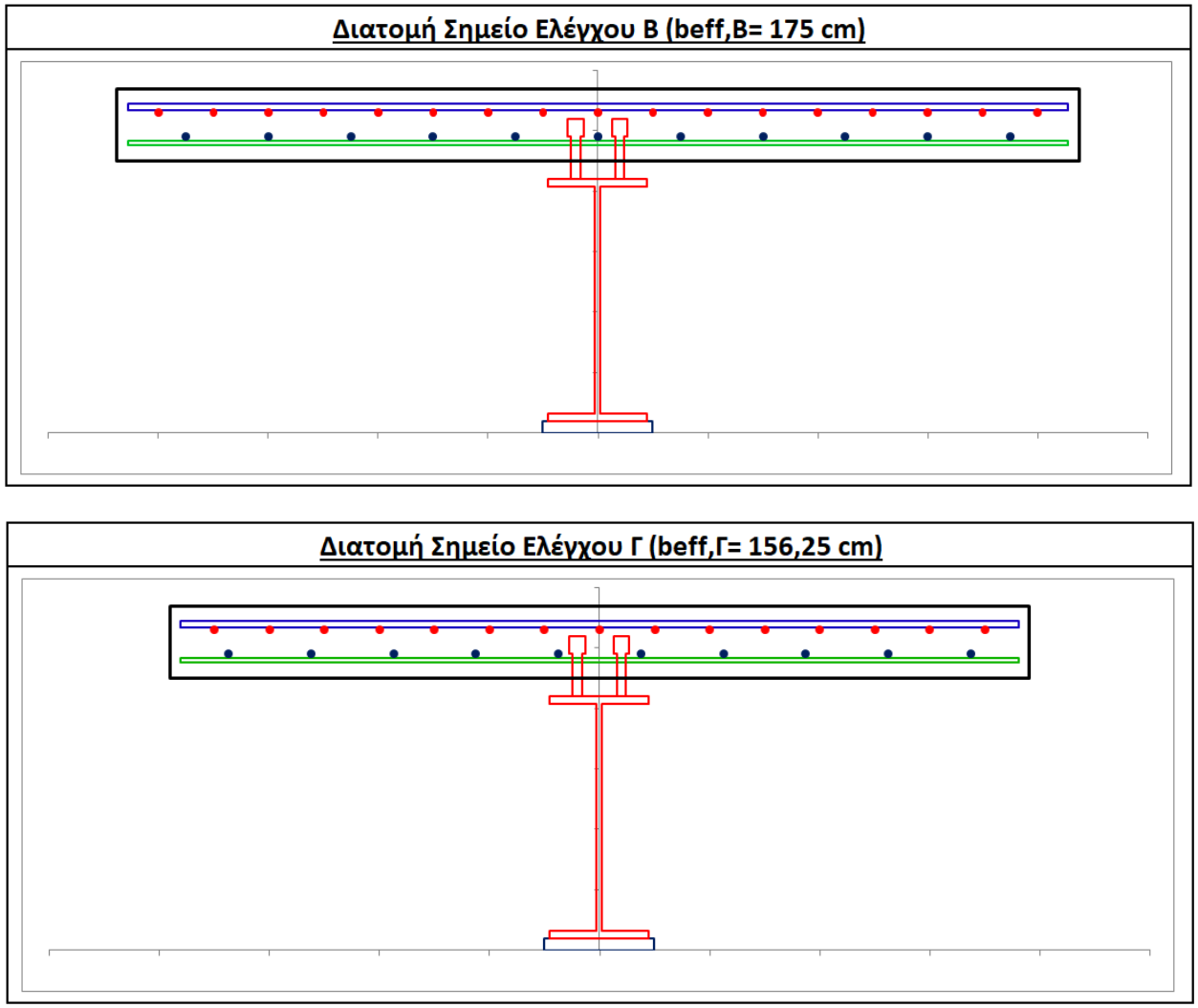
Αυτόματη Σχεδίαση Διατομής (Για τα διάφορα Σημεία Ελέγχου Ο,Α,Β,Γ)

Διατομή Σημείο Ελέγχου Ο (beff,Γεωμετρικό= 400 cm)



Διατομή Σημείο Ελέγχου Α (beff,Α= 156,25 cm)





Εικόνα 7-22 Καρτέλα «Γεωμετρία Διατομής» Προγράμματος Σύμμικτων Δοκών

7.2.3.6 Καρτέλα Προγράμματος «Φορτία»

Στην δεδομένη καρτέλα ο χρήστης καλείται να συμπληρώσει μόνο τις χαρακτηριστικές τιμές των λοιπών μόνιμων (g’) και κινητών (q) φορτίων τα οποία θα ληφθούν στο σχεδιασμό. Ο υπολογισμός των ίδιων βαρών του φορέα (g) υπολογίζονται αυτόματα από το πρόγραμμα. Γίνεται υπολογισμός των φορτίων σχεδιασμού για οριακή κατάσταση αστοχίας (ΟΚΑ) και οριακή κατάσταση λειτουργικότητας (ΟΚΛ) για τον βασικό συνδυασμό (ΟΚΑ) και χαρακτηριστικό συνδυασμό (ΟΚΛ) αντίστοιχα.

Αρχικό Μενού | Προηγούμενη | Επόμενη

Φορτία

Χαρακτηριστικές Τιμές Μόνιμων και Κινητών Φορτίων gk, qk

Μόνιμα Φορτία		
Χαρακτηριστική Τιμή Ιδίου Βάρους Πλάκας Σκυροδέματος: $g_{c,k}$	12	KN/m
Χαρακτηριστική Τιμή Ιδίου Βάρους Σιδηροδοκού: $g_{\alpha,k}$	0,663011	KN/m
Χαρακτηριστική Τιμή Λοιπά Μόνιμων Φορτίων: g^{1}_{k}	10	KN/m

Κινητά Φορτία		
Χαρακτηριστική Τιμή Κινητών Φορτίων: q_k	15	KN/m

Τιμές Σχεδιασμού Μόνιμων και Κινητών Φορτίων g_{Ed}, q_{Ed}

Φορτία Οριακής Κατάστασης Αστοχίας (ΟΚΑ)

Συντελεστές Ασφαλείας Φορτίων Σχεδιασμού ΟΚΑ	
Συντελεστής Ασφαλείας Μόνιμων Φορτίων: $\gamma_{G,OKA}$	1,35
Συντελεστής Ασφαλείας Κινητών Φορτίων: $\gamma_{Q,OKA}$	1,5

Μόνιμα Φορτία (ΟΚΑ)		
Τιμή Φορτίου Σχεδιασμού ΟΚΑ, Ιδίου Βάρους Πλάκας Σκυροδέματος: $g_{Ed,c,OKA}$	16,2	KN/m
Τιμή Φορτίου Σχεδιασμού ΟΚΑ, Ιδίου Βάρους Σιδηροδοκού: $g_{Ed,\alpha,OKA}$	0,895065	KN/m
Τιμή Φορτίου Σχεδιασμού ΟΚΑ, Λοιπά Μόνιμων Φορτίων: $g'_{Ed,OKA}$	13,5	KN/m

Κινητά Φορτία (ΟΚΑ)		
Τιμή Φορτίου Σχεδιασμού ΟΚΑ, Κινητών Φορτίων: $q_{Ed,OKA}$	22,5	KN/m

Φορτία Οριακής Κατάστασης Λειτουργικότητας (ΟΚΛ)

Συντελεστές Ασφαλείας Φορτίων Σχεδιασμού ΟΚΛ	
Συντελεστής Ασφαλείας Μόνιμων Φορτίων: $\gamma_{G,OK\Lambda}$	1
Συντελεστής Ασφαλείας Κινητών Φορτίων: $\gamma_{Q,OK\Lambda}$	1

Μόνιμα Φορτία (ΟΚΛ)		
Τιμή Φορτίου Σχεδιασμού ΟΚΛ, Ιδίου Βάρους Πλάκας Σκυροδέματος: $g_{Ed,c,OK\Lambda}$	12	KN/m
Τιμή Φορτίου Σχεδιασμού ΟΚΛ, Ιδίου Βάρους Σιδηροδοκού: $g_{Ed,\alpha,OK\Lambda}$	0,663011	KN/m
Τιμή Φορτίου Σχεδιασμού ΟΚΛ, Λοιπά Μόνιμων Φορτίων: $g'_{Ed,OK\Lambda}$	10	KN/m

Κινητά Φορτία (ΟΚΛ)		
Τιμή Φορτίου Σχεδιασμού ΟΚΛ, Κινητών Φορτίων: $q_{Ed,OK\Lambda}$	15	KN/m

Συνολική Τιμή Φορτίων, Οριακής Κατάστασης Αστοχίας/ Λειτουργικότητας (ΟΚΑ/ΟΚΛ)

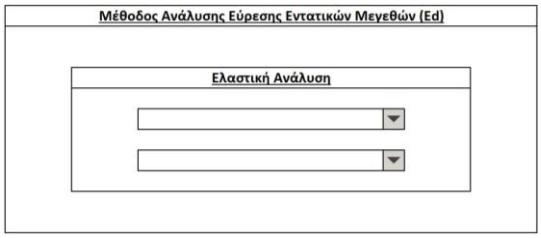
Συνολικό Φορτίο Οριακής Κατάστασης Αστοχίας (ΟΚΑ), ($q_{Ed,OKA}$)	**53,10**	**KN/m**
Συνολικό Φορτίο Οριακής Κατάστασης Λειτουργικότητας (ΟΚΛ), ($q_{Ed,OK\Lambda}$)	**37,66**	**KN/m**

Εικόνα 7-23 Καρτέλα «Φορτία» Προγράμματος Σύμμικτων Δοκών

7.2.3.7 Καρτέλα Προγράμματος «Υπολογισμός Εντατικών Μεγεθών [ΟΚΑ]»

Στην παρούσα καρτέλα γίνεται αυτόματη εύρεση και σχεδίαση των εντατικών μεγεθών του φορέα σε οριακή κατάσταση αστοχίας (ΟΚΑ). Ο χρήστης καλείται πρώτα να επιλέξει μέσω αναπτυσσόμενης λίστας το είδος της ανάλυσης για την εύρεση των εντατικών μεγεθών, όπου του παρέχεται η δυνατότητα ανάλογα με το στατικό σύστημα το οποίο έχει επιλέξει, η εύρεση των εντατικών μεγεθών μπορεί να γίνεται με ελαστική αρηγμάτωτη ή ρηγματωμένη ανάλυση με ή χωρίς ανακατανομή. Για παράδειγμα στην περίπτωση αμφιέρειστης δοκού οι αναπτυσσόμενες λίστες είναι απενεργοποιημένες καθώς η ανάλυση εύρεσης των εντατικών μεγεθών στην περίπτωση αυτή γίνεται μόνο με ελαστική αρηγμάτωτη ανάλυση χωρίς ανακατανομή. Στην περίπτωση όπου η δοκός είναι μορφής προβόλου τότε η ανάλυση η οποία μπορεί να γίνεται είναι ελαστική αρηγμάτωτη ή ρηγματωμένη, χωρίς ανακατανομή. Συνεπώς η αναπτυσσόμενη λίστα επιλογής της «ανακατανομής εντάσεως» είναι απενεργοποιημένη. Τέλος για τις περιπτώσεις ενδιάμεσου ή ακραίου τμήματος συνεχής δοκού, δίνεται η δυνατότητα ελαστικής ανάλυσης αρηγμάτωτης ή ρηγματωμένης ανάλυσης, με ή χωρίς ανακατανομή. Επομένως σε αυτή την περίπτωση και οι δύο αναπτυσσόμενες λίστες είναι ενεργοποιημένες.

Για τις περιπτώσεις ενδιάμεσου ή ακραίου τμήματος συνεχής δοκού καλείται ο χρήστης να συμπληρώσει τις ροπές στα άκρα του υπό εξέταση τμήματος για μοναδιαίο ομοιόμορφο κατανεμημένο φορτίο (q = 1KN/m). Στις περιπτώσεις αμφιέρειστης δοκού ή δοκών μορφής προβόλου, τα πεδία αυτά είναι απενεργοποιημένα.



Στην εύρεση των εντατικών μεγεθών όπου επιλέγεται ανακατανομή της εντάσεως στην ανάλυση (π.χ. εξετάζεται ενδιάμεσο ή ακραίο τμήμα συνεχής δοκού), τότε το πρόγραμμα αυτόματα υπολογίζει την κατηγορία διατομής στην θέση κάθε ενδιάμεσης

στήριξης (στην οποία έχουμε αρνητική ροπή). Έτσι ανάλογα με το είδος της ανάλυσης (ρηγματωμένη ή αρηγμάτωτη) και την κατηγορία διατομής κάθε ενδιάμεσης στήριξης, υπολογίζεται από το πρόγραμμα το ποσοστό ανακατανομής εντάσεως το οποίο λαμβάνεται ξεχωριστά σε κάθε θέση ενδιάμεση στήριξη της δοκού.

Στο παρόν πρόγραμμα προσφέρει δυνατότητα γραφικής απεικόνισης των διαγραμμάτων των εντατικών μεγεθών καθώς γίνεται αυτόματος υπολογισμός και σχεδιασμός των διαγραμμάτων εντατικών μεγεθών ροπών κάμψεως [M], τεμνουσών δυνάμεων [V] και βελών κάμψεως [z] από το πρόγραμμα, στα οποία σημειώνονται αυτόματα στα διαγράμματα τα μέγιστα και τα ελάχιστα τους. Στην περίπτωση όπου επιλέγεται ανακατανομή εντάσεως στην ανάλυση, τότε στο ίδιο διάγραμμα σχεδιάζεται με συνεχή γραμμή το διάγραμμα του εντατικού μεγέθους πριν την ανακατανομή και με διακεκομμένη γραμμή το διάγραμμα μετά την ανακατανομή της εντάσεως. Με αυτό τον τρόπο δίνεται στο χρήστη καλύτερη εποπτεία και δυνατότητα παρατήρησης και σύγκρισης των δυο αποτελεσμάτων.

Τέλος παρουσιάζεται συγκεντρωτικός πίνακας των εντατικών μεγεθών όπου σημειώνονται οι θέσεις των κρίσιμων διατομών ελέγχου οι οποίες θα ληφθούν υπόψη στους ελέγχους και το μέγεθος κάθε εντατικού μεγέθους το οποίο αντιστοιχεί στην συγκεκριμένη κρίσιμη θέση ελέγχου. Οι τιμές των εντατικών μεγεθών [M], [V] και [z] παρουσιάζονται στον πίνακα με τα πρόσημα τους. Στο συγκεκριμένο πίνακα παρουσιάζονται 3 υποψήφιες θέσεις κρίσιμων διατομών. Το «Σημείο Ελέγχου Α» είναι η διατομή ελέγχου στην αριστερή στήριξη της δοκού, το «Σημείο Ελέγχου Β» είναι η διατομή ελέγχου ενδιάμεσα του άνοιγμα της δοκού και «Σημείο Ελέγχου Γ» είναι η διατομή ελέγχου στην δεξιά στήριξη της δοκού. Σε κάθε περίπτωση όπου το «Σημείο Ελέγχου i » δεν αποτελεί κρίσιμη διατομή ελέγχου τότε το πρόγραμμα παρουσιάζει την ένδειξη «FALSE» στο συγκεκριμένο «Σημείο Ελέγχου i ».

Ο υπολογισμός των βελών κάμψεως στην παρούσα καρτέλα αγνοείται καθώς ο λεπτομερής υπολογισμός τους (με φάσεις κατασκευής) γίνεται σε επόμενη καρτέλα του προγράμματος («Καρτέλα Υπολογισμός Βελών Κάμψεως ΟΚΛ», (κεφάλαιο 7.2.3.17)).

Αρχικό Μενού | Προηγούμενη | Επόμενη

Εύρεση Εντατικών Μεγεθών Ροπών Κάμψεως [M],Τεμνουσών Δυνάμεων [V], σε Οριακή Κατάσταση Αστοχίας (ΟΚΑ)

Δεδομένα Εισαγωγής

Μέθοδος Ανάλυσης Εύρεσης Εντατικών Μεγεθών (Ed)

Ελαστική Ανάλυση

Αρηγμάτωτη Ανάλυση → Αρηγμάτωτη Ανάλυση / Ρηγματωμένη Ανάλυση

Με Ανακατανομή Εντάσεως → Με Ανακατανομή Εντάσεως / Χωρίς Ανακατανομή Εντάσεως

Ροπές Στα Άκρα Του Ανοίγματος Της Δοκού:

**Σημείωση: Ροπές Στηρίξεων (στα άκρα του ανοίγματος της Δοκού) για Μοναδιαίο Ομοιόμορφο Κατανεμημένο Φορτίο q=1KN/m)

Αρηγμάτωτη Ανάλυση

Ροπή Στήριξης Α ($M_{A,Αρηγμ.}$)	2,68	KNm
Ροπή Στήριξης Γ ($M_{Γ,Αρηγμ.}$)	7,68	KNm

Ρηγματωμένη Ανάλυση

Κατηγορία Κατάταξης Διατομής στις Στηρίξεις

Κατηγορία Κατάταξης Διατομής Στήριγμα Α (αριστερά)	2
Κατηγορία Κατάταξης Διατομής Στήριγμα Γ (δεξιά)	2

**Σημείωση: Η μεθοδολογία για την αυτόματη εισαγωγή της Κατάταξης Διατομής στην καρτέλα Εντατικά Μεγέθη (ΟΚΑ) προκύπτει από επαναληπτική διαδικασία (Δοκιμές μέχρι να συγκλίνει η μέθοδος σε μια συγκεκριμένη τιμή). Επομένως θα πρέπει πρώτα ο χρήστης να ενεργοποιήσει μια ρύθμιση στο Excel (Office Button -> Excel Options -> Formulas -> Workbook Calculation -> Click στο Enable Iterative Calculation (Maximum Iterations:100, Maximum Change: 0,001)

Δυσκαμψία της Δοκού EI

Αρηγμάτωτη Δυσκαμψία Διατομής

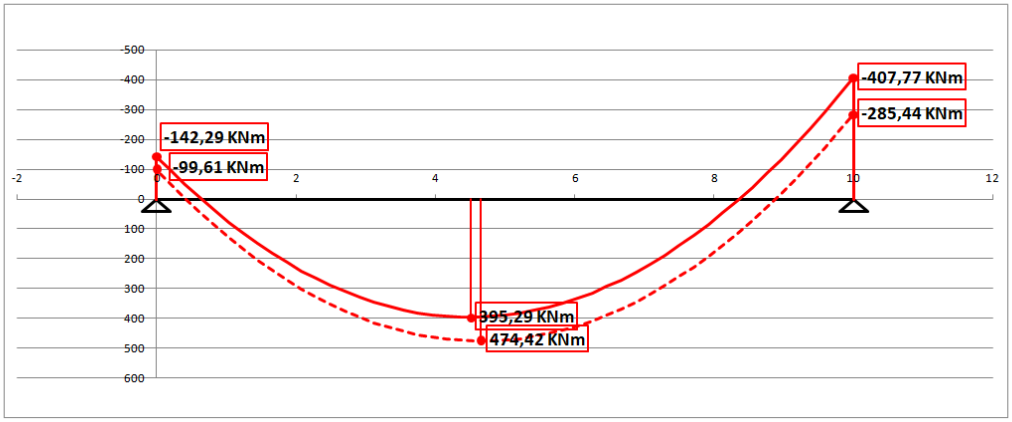
Αρηγμάτωτη Δυσκαμψία $EI_{\text{Αρηγμάτωτη}}$ 600000 KNm^2

Ρηγματωμένη Δυσκαμψία Διατομής

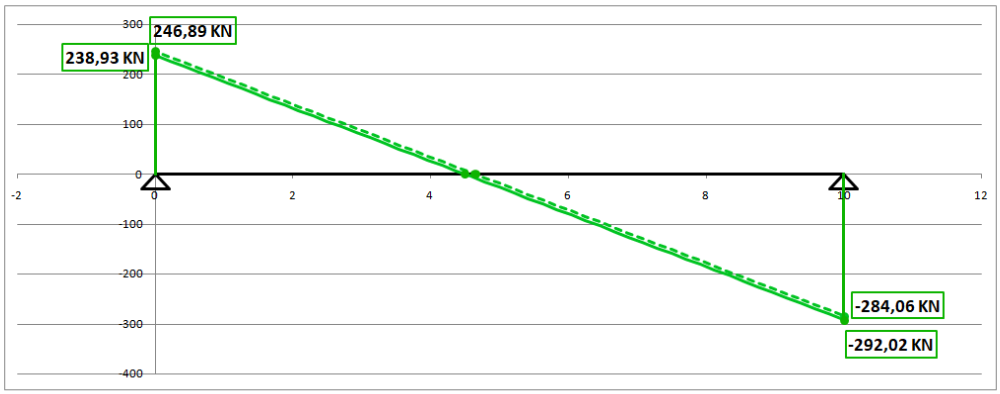
Σημείωση:
*Η Δυσκαμψία EI της Δοκού χρειάζεται για τον υπολογισμό Βελών Κάμψεως

Αυτόματη Σχεδίαση Εντατικών Μεγεθών [M] + [V],Βελών Κάμψεως [z], [Με Ελαστική (Αρηγμάτωτη ή Ρηγματωμένη Ανάλυση) , (Χωρίς ή Με Ανακατανομή)]

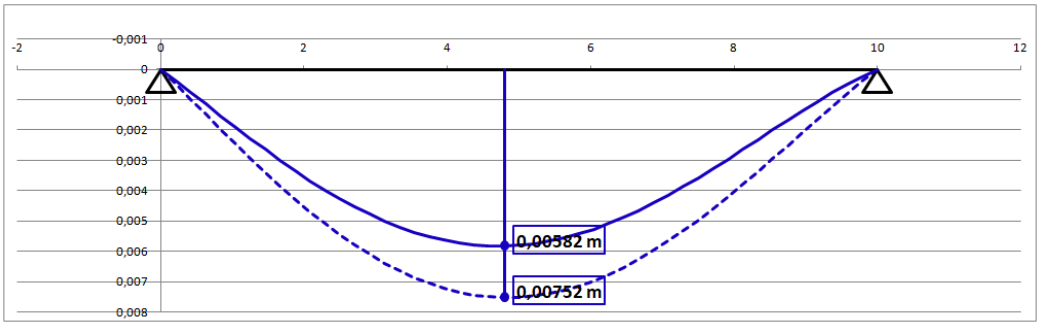
Διάγραμμα Ροπών [M] (Ελαστική (Αρηγμάτωτη ή Ρηγματωμένη Ανάλυση) , (Χωρίς ή Με Ανακατανομή))



Διάγραμμα Τεμνουσών [V] (Ελαστική (Αρηγμάτωτη ή Ρηγματωμένη Ανάλυση) , (Χωρίς ή Με Ανακατανομή))



Διάγραμμα Βελών Κάμψεως [z] (Ελαστική (Αρηγμάτωτη ή Ρηγματωμένη Ανάλυση) , (Χωρίς ή Με Ανακατανομή))



Διατομές Ελέγχου Ροπών Κάμψεως [M] + Τεμνουσών [V] + Βελών Κάμψεως [z]

Ροπές Κάμψεως [M] στις Διατομές Ελέγχου Α,Β,Γ

Σημείο Ελέγχου Α	Σημείο Ελέγχου Β	Σημείο Ελέγχου Γ
-99,6063 KNm	474,4177 KNm	-285,439 KNm

Τέμνουσες [V] στις Διατομές Ελέγχου Α,Β,Γ

Σημείο Ελέγχου Α	Σημείο Ελέγχου Β	Σημείο Ελέγχου Γ
246,8921 KN	FALSE KN	-284,059 KN

Βέλος Κάμψεως [z] στήν Διατομή Ελέγχου Χ

Σημείο Ελέγχου Θέση Χ	
Θέση Χ(m)	max z(m)
4,791667	0,007521 m

Θέσεις Σημείων Μηδενισμού Διαγράμματος Ροπών [M]

Σημείο $X_{1,M=0}$ (m)	0,422649
Σημείο $X_{2,M=0}$ (m)	8,877351

Σημείωση:

• Οι Ροπές, οι Τέμνουσες και τα Βέλη Κάμψεως στις Διατομές Ελέγχου δίνονται με τα πρόσημα τους!

• Για τα Σημεία Θέσεων Μηδενισμού Διαγράμματος Ροπών $X_{i,M=0}$,Σε περίπτωση που δεν υπάρχει σημείο μηδενισμού στο διάγραμμα Ροπών [M], τότε το πρόγραμμα βγάζει την ένδειξη "FALSE"

• Στα Σημεία Ελέγχου όπου η Δρώσα Ροπή είναι μηδέν [MEd,i=0] ή Στην περίπτωση όπου το υπό εξεταζόμενο Σημείο Ελέγχου δεν είναι Κρίσιμη Διατομή Ελέγχου, τότε το πρόγραμμα παρουσιάζει την ένδειξη "FALSE".

Εικόνα 7-24 Καρτέλα «Υπολογισμός Εντατικών Μεγεθών [ΟΚΑ]» Προγράμματος Σύμμικτων Δοκών

7.2.3.8 Καρτέλα Προγράμματος «Υπολογισμός Εντατικών Μεγεθών [ΟΚΛ]»

Στην παρούσα καρτέλα γίνεται αυτόματη εύρεση και σχεδίαση των εντατικών μεγεθών του φορέα σε οριακή κατάσταση αστοχίας (ΟΚΛ). Δεν απαιτείται καμία συμπλήρωση από τον χρήστη καθώς το πρόγραμμα λαμβάνει αυτόματα από μόνο του τις πληροφορίες οι οποίες απαιτούνται για την διεξαγωγή των αποτελεσμάτων.

Η εύρεση των εντατικών μεγεθών σε οριακή κατάσταση λειτουργικότητας (ΟΚΛ) βρίσκεται από το πρόγραμμα με ελαστική αρηγμάτωτη ή ρηγματωμένη ανάλυση (ανάλογα με την επιλογή που έκανε ο χρήστης στην καρτέλα «Υπολογισμός Εντατικών Μεγεθών [ΟΚΑ]») χωρίς όμως ανακατανομή εντάσεως.

Όπως και στην προηγούμενη ενότητα (7.2.3.7) έτσι και εδώ πραγματοποιείται αυτόματος υπολογισμός και χάραξη των διαγραμμάτων ροπών κάμψεως [M], τεμνουσών δυνάμεων [V] και Βελών κάμψεως [z]. Στα διαγράμματα των εντατικών μεγεθών εντοπίζονται και σημειώνονται οι θέσεις κρίσιμων διατομών (θέσεις στις οποίες παρουσιάζονται τα μέγιστα εντατικά μεγέθη), καθώς δίπλα από τις θέσεις αυτές αναγράφεται η αντίστοιχη μέγιστη τιμή τους.

Τέλος παρουσιάζεται συγκεντρωτικός πίνακας των εντατικών μεγεθών όπου σημειώνονται οι θέσεις των κρίσιμων διατομών ελέγχου οι οποίες θα ληφθούν υπόψη στους ελέγχους και το μέγεθος κάθε εντατικού μεγέθους το οποίο αντιστοιχεί στην συγκεκριμένη κρίσιμη θέση ελέγχου. Οι τιμές των εντατικών μεγεθών [M], [V] και [z] παρουσιάζονται στον πίνακα με τα πρόσημα τους. Στο συγκεκριμένο πίνακα παρουσιάζονται 3 υποψήφιες θέσεις κρίσιμων διατομών. Το «Σημείο Ελέγχου Α» είναι η διατομή ελέγχου στην αριστερή στήριξη της δοκού, το «Σημείο Ελέγχου Β» είναι η διατομή ελέγχου ενδιάμεσα του άνοιγμα της δοκού και «Σημείο Ελέγχου Γ» είναι η διατομή ελέγχου στην δεξιά στήριξη της δοκού. Σε κάθε περίπτωση όπου το «Σημείο Ελέγχου i » δεν αποτελεί κρίσιμη διατομή ελέγχου τότε το πρόγραμμα παρουσιάζει την ένδειξη «FALSE» στο συγκεκριμένο «Σημείο Ελέγχου i ».

Ο υπολογισμός των βελών κάμψεως στην παρούσα καρτέλα αγνοείται καθώς ο λεπτομερής υπολογισμός τους (με φάσεις κατασκευής) γίνεται σε επόμενη καρτέλα του προγράμματος («Καρτέλα Υπολογισμός Βελών Κάμψεως ΟΚΛ», (κεφάλαιο 7.2.3.17)).

Αρχικό Μενού | Προηγούμενη | Επόμενη

Εύρεση Εντατικών Μεγεθών Ροπών Κάμψεως [M], Τεμνουσών Δυνάμεων [V] σε Οριακή Κατάσταση Λειτουργικότητας (ΟΚΛ)

Δεδομένα Εισαγωγής

Μέθοδος Ανάλυσης Εύρεσης Εντατικών Μεγεθών (Ed)

Ελαστική Ανάλυση

Αρηγμάτωτη Ανάλυση

Χωρίς Ανακατανομή Εντάσεως

Ροπές Στα Άκρα Του Ανοίγματος Της Δοκού:

****Σημείωση:** Ροπές Στηρίξεων (στα άκρα του ανοίγματος της Δοκού) για Μοναδιαίο Ομοιόμορφο Κατανεμημένο Φορτίο q=1KN/m)

Αρηγμάτωτη Ανάλυση

Ροπή Στήριξης Α ($M_{A,Αρηγμ.}$)	2,68	KNm
Ροπή Στήριξης Γ ($M_{Γ,Αρηγμ.}$)	7,68	KNm

Ρηγματωμένη Ανάλυση

Δυσκαμψία της Δοκού EI

Αρηγμάτωτη Δυσκαμψία Διατομής

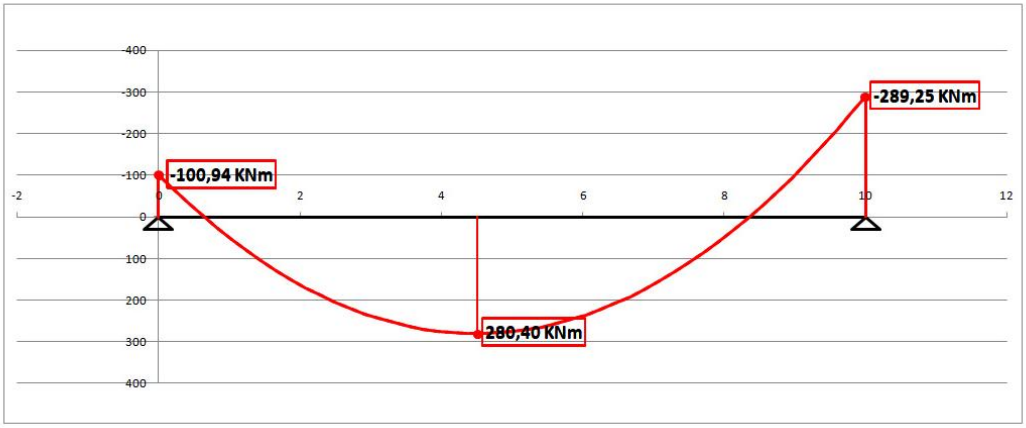
Αρηγμάτωτη Δυσκαμψία $EI_{Αρηγμάτωτη}$ 600000 KNm^2

Ρηγματωμένη Δυσκαμψία Διατομής

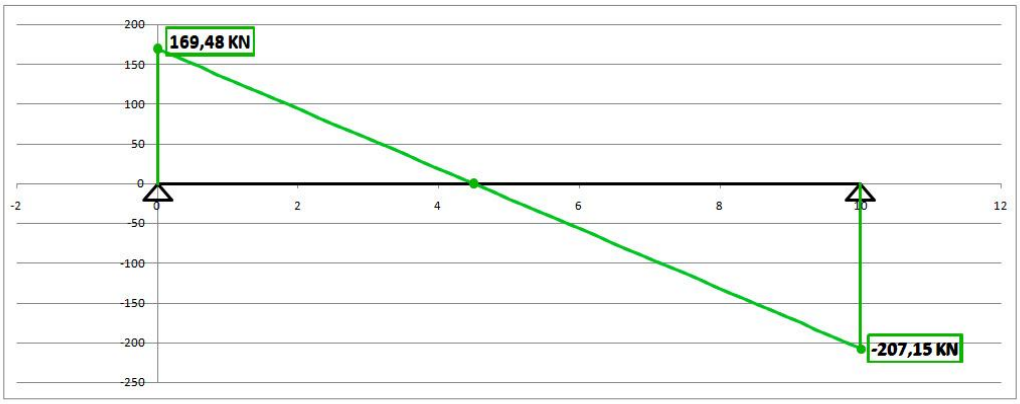
Σημείωση:
*Η Δυσκαμψία EI της Δοκού χρειάζεται για τον υπολογισμό Βελών Κάμψεως

Αυτόματη Σχεδίαση Εντατικών Μεγεθών [M] + [V],Βελών Κάμψεως [z], [Με Ελαστική (Αρηγμάτωτη ή Ρηγματωμένη Ανάλυση) , (Χωρίς Ανακατανομή)]

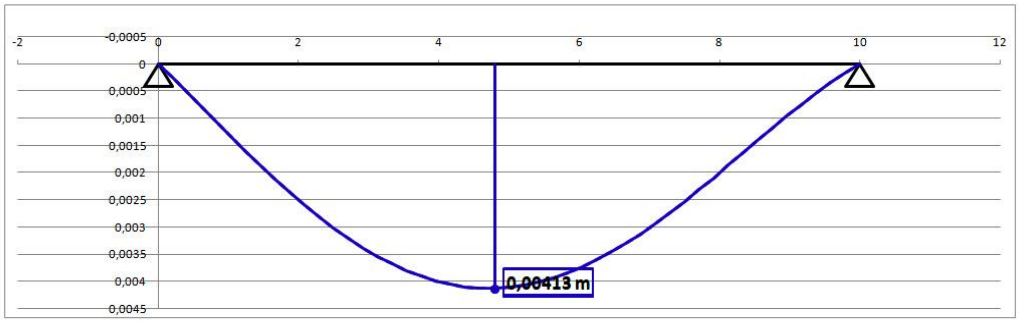
Διάγραμμα Ροπών [M] (Ελαστική (Αρηγμάτωτη ή Ρηγματωμένη Ανάλυση) , (Χωρίς Ανακατανομή))



Διάγραμμα Τεμνουσών [V] (Ελαστική (Αρηγμάτωτη ή Ρηγματωμένη Ανάλυση) , (Χωρίς Ανακατανομή))



Διάγραμμα Βελών Κάμψεως [z] (Ελαστική (Αρηγμάτωτη ή Ρηγματωμένη Ανάλυση) , (Χωρίς Ανακατανομή))



Διατομές Ελέγχου Ροπών Κάμψεως [M] + Τεμνουσών [V] + Βελών Κάμψεως [z]

Ροπές Κάμψεως [M] στις Διατομές Ελέγχου Α,Β,Γ

Σημείο Ελέγχου Α	Σημείο Ελέγχου Β	Σημείο Ελέγχου Γ
-100,937 KNm	280,4011 KNm	-289,252 KNm

Τέμνουσες [V] στις Διατομές Ελέγχου Α,Β,Γ

Σημείο Ελέγχου Α	Σημείο Ελέγχου Β	Σημείο Ελέγχου Γ
169,4835 KN	FALSE KN	-207,147 KN

Βέλος Κάμψεως [z] στήν Διατομή Ελέγχου Χ

Σημείο Ελέγχου Θέση Χ	
Θέση X(m)	max z(m)
4,791667	0,004126 m

Θέσεις Σημείων Μηδενισμού Διαγράμματος Ροπών [M]

Σημείο $X_{1,M=0}$ (m)	0,641244
Σημείο $X_{2,M=0}$ (m)	8,358756

Σημείωση:

• Οι Ροπές, οι Τέμνουσες και τα Βέλη Κάμψεως στις Διατομές Ελέγχου δίνονται με τα πρόσημα τους!

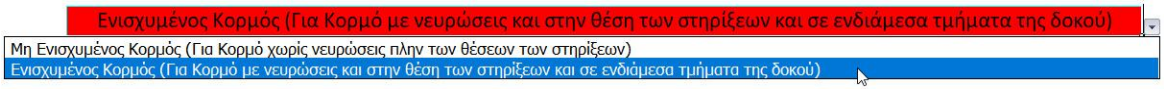
• Για τα Σημεία Θέσεων Μηδενισμού Διαγράμματος Ροπών $X_{i,M=0}$,Σε περίπτωση που δεν υπάρχει σημείο μηδενισμού στο διάγραμμα Ροπών [M], τότε το πρόγραμμα βγάζει την ένδειξη "FALSE"

• Στα Σημεία Ελέγχου όπου η Δρώσα Ροπή είναι μηδέν [MEd,i=0] ή Στην περίπτωση όπου το υπό εξεταζόμενο Σημείο Ελέγχου δεν είναι Κρίσιμη Διατομή Ελέγχου, τότε το πρόγραμμα παρουσιάζει την ένδειξη "FALSE".

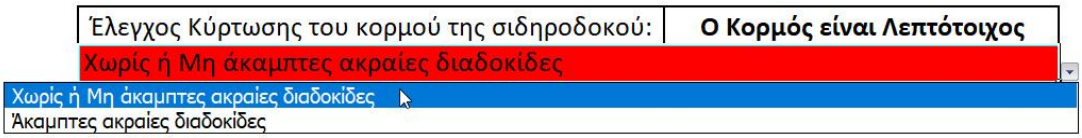
Εικόνα 7-25 Καρτέλα «Υπολογισμός Εντατικών Μεγεθών [ΟΚΛ]» Προγράμματος Σύμμικτων Δοκών

7.2.3.9 Καρτέλα Προγράμματος «Υπολογισμός Πλαστικής Αντοχής Τέμνουσας [$V_{pl,Rd}$]»

Στην καρτέλα αυτή γίνεται ο υπολογισμός σε φέρουσα ικανότητα αντοχής σε τέμνουσα δύναμη της σύμμικτης δοκού. Ο χρήστης επιλέγει μέσω της αναπτυσσόμενης λίστας αν κατά μήκος της δοκού ο κορμός της σιδηροδοκού ενισχύεται εγκαρσίως ή όχι.



Στην περίπτωση στην οποία παρατηρείται ενίσχυση του κορμού της σιδηροδοκού, ενεργοποιείται αυτόματα από το πρόγραμμα ενός ακόμη πεδίου, στο οποίο ο χρήστης καλείται να συμπληρώσω την απόσταση μεταξύ των εγκάρσιων νευρώσεων οι οποίες τοποθετούνται κατά μήκος της σιδηροδοκού. Γίνεται εξέταση από το πρόγραμμα αν ο κορμός της σιδηροδοκού είναι λεπτότοιχος ή όχι (έλεγχος σε κύρτωση). Στην περίπτωση όπου ο κορμός της σιδηροδοκού δεν είναι λεπτότοιχος τότε η φέρουσα ικανότητα αντοχής σε τέμνουσα δύναμη της σιδηροδοκού λαμβάνεται ίση με την πλαστική της αντοχή ($V_{pl,\alpha,Rd}$). Σε αντίθετη περίπτωση στην οποία παρουσιάζεται λεπτότοιχος κορμός στην σιδηροδοκό τότε υπολογίζεται ο μειωτικός συντελεστής κύρτωσης (χ_w) με τον οποίο γίνεται απομείωση της πλαστικής αντοχής τέμνουσας δύναμη. Έτσι λοιπόν στην περίπτωση αυτή η φέρουσα ικανότητα αντοχής σε τέμνουσα δύναμη λαμβάνεται μειωμένη ($V_{b,\alpha,Rd}$). Παράλληλα ενεργοποιείται αναπτυσσόμενη λίστα στην οποία επιλέγεται αν καταλήγουν στην σιδηροδοκό άκαμπτες ή όχι ακραίες διαδοκίδες.



Αρχικό Μενού | Προηγούμενη | Επόμενη

Έλεγχος Πλαστικής Αντοχής Τέμνουσας

Ενισχυμένος Κορμός (Για Κορμό με νευρώσεις και στην θέση των στηρίξεων και σε ενδιάμεσα τμήματα της δοκού)

Απόσταση μεταξύ των εγκάρσιων νευρώσεων: a 100 cm

Έλεγχος Κύρτωσης του κορμού της σιδηροδοκού:	**Ο Κορμός δεν είναι Λεπτότοιχος**

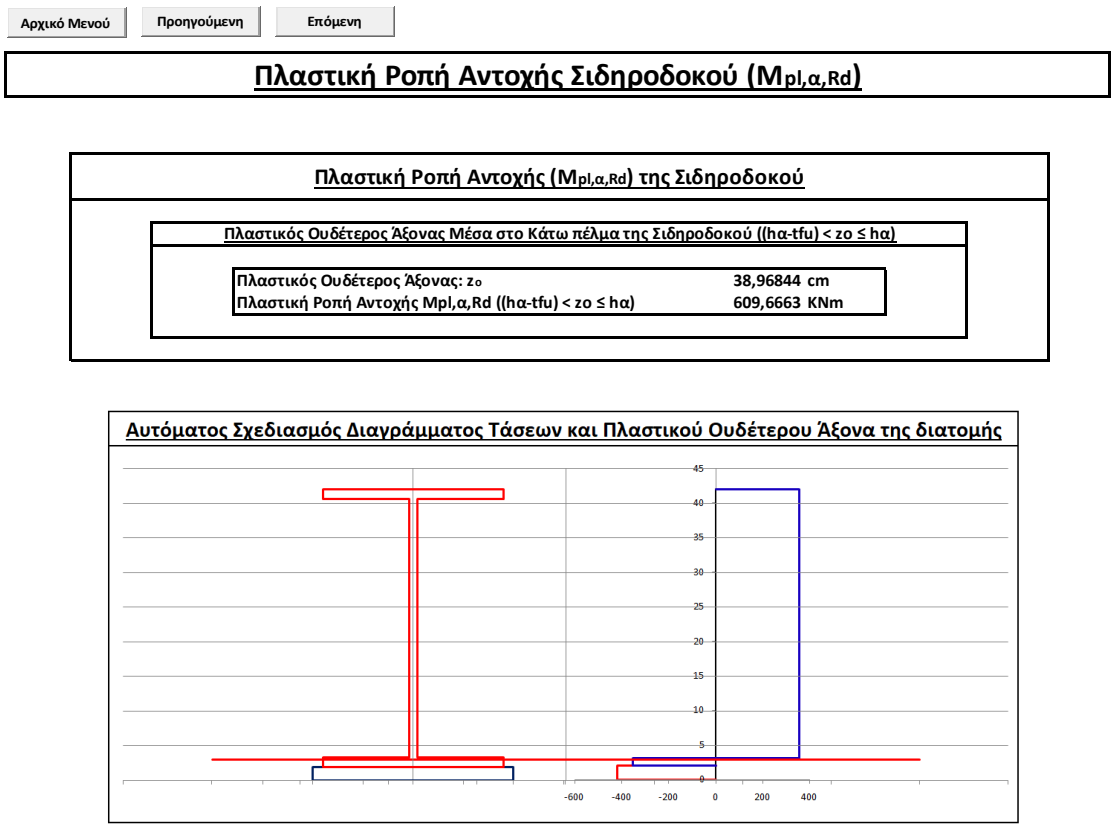
Βοηθητικές Λεπτομέρειες:		
Συντελεστής n	1,2	
Συντελεστής Κύρτωσης: k_τ	5,778244	
Ανηγμένη λυγηρότητα του κορμού της σιδηροδοκού: λ_w'	0,526187	
Εμβαδόν του Κορμού της σιδηροδοκού το οποίο παραλαμβάνει την τέμνουσα: A_v	42,691	cm^2
Πλαστική Αντοχή σε Τέμνουσα: $V_{pl,\alpha,Rd}$	874,9919	KN

Πλαστική Αντοχή σε Τέμνουσα: **Vpl,α,Rd** **874,9919421** **KN**

Εικόνα 7-26 Καρτέλα «Υπολογισμός Πλαστικής Αντοχής Τέμνουσας [$V_{pl,Rd}$]» Προγράμματος Σύμμικτων Δοκών

7.2.3.10 Καρτέλα Προγράμματος «Υπολογισμός Πλαστικής Ροπής Αντοχής Σιδηροδοκού [$M_{pl,\alpha,Rd}$]»

Στην καρτέλα αυτή παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για την εύρεση της πλαστικής ροπής αντοχής της σιδηροδοκού (με ή χωρίς ενισχυτικό έλασμα ενίσχυσης στο κάτω πέλμα της σιδηροδοκού). Το πρόγραμμα υπολογίζει την θέση του πλαστικού ουδέτερου άξονα καθ' ύψος της σιδηροδοκού (z_o) καθώς αναφέρεται και στην περιοχή στην οποία βρίσκεται (π.χ. «πλαστικός ουδέτερος άξονας μέσα στο κάτω πέλμα της σιδηροδοκού ((h_α-t_{fu}) < z_o ≤ h_α)»). Ανάλογα με την θέση στην οποία βρίσκεται ο πλαστικός ουδέτερος άξονας (z_o) γίνεται υπολογισμός της πλαστικής ροπής αντοχής της σιδηροδοκού ($M_{pl,\alpha,Rd}$). Τέλος γίνεται αυτόματη σχεδίαση της διατομής της σιδηροδοκού μαζί με το ενισχυτικό έλασμα ενίσχυσης (αν υπάρχει), η θέση του πλαστικού ουδέτερου άξονα καθώς και το διάγραμμα ορθών τάσεων καθ' ύψος της διατομής της σιδηροδοκού.



Εικόνα 7-27 Καρτέλα «Υπολογισμός Πλαστικής Ροπής Αντοχής Σιδηροδοκού [$M_{pl,\alpha,Rd}$]» Προγράμματος Σύμμικτων Δοκών

7.2.3.11 Καρτέλα Προγράμματος «Υπολογισμός Πλαστική Ροπή Αντοχής Σύμμικτης Δοκού [$M_{pl,Rd}$]»

Το πρόγραμμα εντοπίζει αυτόματα τις θέσεις κρίσιμων διατομών ελέγχου κατά μήκος της δοκού, στις οποίες παρουσιάζονται οι μέγιστες θετικές/αρνητικές δρώσες ροπές. Για κάθε μια από τις θέσεις αυτές υπολογίζεται η θετική ή αρνητική πλαστική ροπή αντοχής τους ($M_{pl,Rd}^{+}$ / $M_{pl,Rd}^{-}$), ανάλογα με το πρόσημο επιβολής της δρώσας ροπής στις θέσεις αυτές. Επίσης η κάθε θέση κρίσιμου ελέγχου λαμβάνεται με το δικό της συνεργαζόμενο πλάτος ($b_{eff,θέση\ i}$), στην εύρεση της πλαστικής ροής αντοχής της.

Σε περιπτώσεις όπου στην υπό εξέταση θέση παρουσιάζεται ταυτόχρονη συνύπαρξη μέγιστων τιμών δρώσας ροπής και τεμνουσών δυνάμεων, τότε πραγματοποιείται έλεγχος αλληλεπίδρασης δρώσας ροπής και τέμνουσας στις θέσεις αυτές έτσι ώστε να διαπιστωθεί αν χρειάζεται απομείωση της οριακής τάσης του κορμού της σιδηροδοκού λόγω αυτού του φαινομένου. Έτσι λοιπόν στις περιπτώσεις όπου απαιτείται υπολογίζεται ο μειωτικός συντελεστής απομείωσης οριακής τάσης (ρ) καθώς και η απομειωμένη οριακή τάση του κορμού της σιδηροδοκού, η οποία λαμβάνεται υπόψη στον υπολογισμό της πλαστικής ροπής αντοχής της σύμμικτης δοκού.

Ανάλογα λοιπόν με την θέση διατομής ελέγχου (θέση θετικών ή αρνητικών ροπών) το πρόγραμμα υπολογίζει το ύψος του πλαστικού ουδέτερου άξονα (z_o) αναφέροντας και τη θέση στην οποία βρίσκεται καθ' ύψος της διατομής (π.χ. πλαστικός ουδέτερος άξονας μέσα στον κορμό της σιδηροδοκού [$(d+t_{fo}) < z_o \leq (d+h_{\alpha}-t_{fu})$]). Έτσι λοιπόν ανάλογα με την θέση στην οποία βρίσκεται η διατομής ελέγχου κατά μήκος της δοκού και τη θέση στην οποία βρίσκεται ο πλαστικός ουδέτερος άξονας καθ' ύψος της διατομής υπολογίζεται και αντίστοιχη θετική ή αρνητική πλαστική ροπή αντοχής στην συγκεκριμένη θέση ελέγχου.

Σημειώνεται ότι για να μπορεί να πραγματοποιηθεί σχεδιασμός με πλαστική ροπή αντοχής θα πρέπει η διατομή να είναι κατηγορίας 1 ή 2. Συνεπώς το πρόγραμμα σε κάθε θέση διατομής ελέγχου και ανάλογα με τη θέση που βρίσκεται ο πλαστικός ουδέτερος άξονας, υπολογίζει αυτόματα τις κατηγορίες των διατομών στις θέσεις

αυτές (βλέπε καρτέλα 7.2.3.14). Στις περιπτώσεις όπου η κατηγορία διατομής είναι 3 ή 4 το πρόγραμμα εμφανίζει το εξής μήνυμα «Δεν επιτρέπεται ο σχεδιασμός με πλαστική ροπή αντοχής ($M_{pl,Rd}^{+}$/ $M_{pl,Rd}^{-}$). Ο σχεδιασμός με πλαστική ροπή αντοχής επιτρέπεται μόνο στις περιπτώσεις όπου η κατηγορία κατάταξης της διατομής είναι 1 ή 2». Έτσι λοιπόν το πρόγραμμα στην περίπτωση αυτή απενεργοποιεί την εμφάνιση των αποτελεσμάτων προς το χρήστη.

Τέλος πραγματοποιείται ρεαλιστική γραφική απεικόνιση στην οποία σχεδιάζεται η διατομή ελέγχου, η θέση του πλαστικού ουδέτερου άξονα και τα διαγράμματα ορθών τάσεων στην οριακή κατάσταση καθ’ ύψος της συγκεκριμένης διατομής.

Αρχικό Μενού | Προηγούμενη | Επόμενη

Πλαστική Ροπή Αντοχής Mpl,Rd , Διατομή Σημείο Ελέγχου A (beff,A= 156,25 cm)

Εντατικά Μεγέθη Ροπή [M] + Τέμνουσα [V] σε ΟΚΑ, Διατομή Σημείο Ελέγχου A (beff,A= 156,25 cm)

Δρώσα Ροπή [M_{Ed}]	-860,75	KNm
Δρώσα Τέμνουσα [V_{Ed}]	670,57	KN

Έλεγχος Αλληλεπίδρασης Ταυτόχρονης Συνύπαρξης Δράσεων Ροπής + Τέμνουσας:

Ταυτόχρονη συνύπαρξη Ροπής + Τέμνουσας στην ίδια διατομή

Δρώσα Τέμνουεσα V_{Ed}:	670,57 KN

Σημείωση: Σε περίπτωση ταυτόχρονης δράσης Ροπής + Τέμνουσας στην ίδια διατομή, θα πρέπει να προηγηθεί πρώτα ο έλεγχος εύρεσης Πλαστικής Αντοχής σε Τέμνουσα.

Πλαστική Αντοχή σε Τέμνουσα: Vpl,α,Rd	874,991942 KN
Έλεγχος VEd ≤ Vpl,α,Rd	Επαρκεί

Έλεγχος αν απαιτείται απομείωση της Οριακής τάσης του κορμού της σιδηροδοκού λόγο αλληλεπίδρασης Ροπής + Τέμνουσας	Απαιτείται

Εύρεση Μειωτικού Συντελεστή ρ απομείωσης της οριακής τάσης του κορμού της σιδηροδοκού	0,283817814
Απομειωμένη Οριακή Τάση του κορμού της σιδηροδοκού f_{ad}*	25,4244676 KN/cm^2

Αρνητική Πλαστική Ροπή Αντοχή Mpl,Rd-

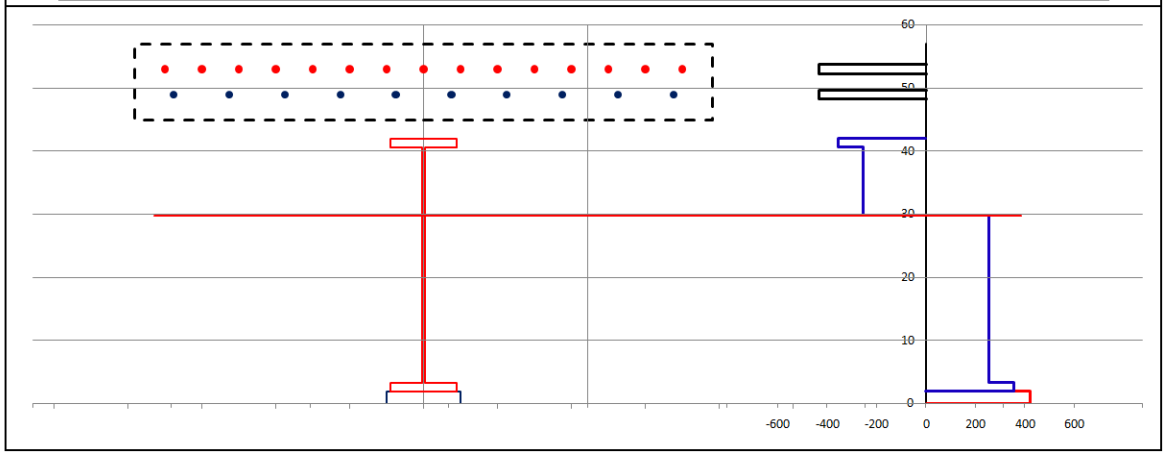
Πλαστικός Ουδέτερος Άξονας Μέσα στο Κορμό της Σιδηροδοκού (d+tfo) < zo ≤d+(hα-tfu)

Πλαστικός Ουδέτερος Άξονας: zo	27,1635223	cm
Αρνητική Πλαστική Ροπή Αντοχής Mpl,Rd- (d+tfo) < zo ≤d+(hα-tfu)	1367,893252	KNm
Διαμήκης Διατμητική Δύναμη στην Διεπιφάνεια μεταξύ Πλάκας Σκυροδέματος – Σιδηροδοκού (D+,Z-)	-2063,093002	KN

**** Σημείωση: Παραδοχή στην εύρεση της Αρνητικής Πλαστικής Ροπής Αντοχής Mpl,Rd- αγνοούμε την συνεισφορά του σκυροδέματος (Ριγματωμένο Σκυρόδεμα). (Θεωρούμε ότι η εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος είναι μηδενική fct=0)**

Κατηγορία Κατάταξης Διατομής Σιδηροδοκού: IPE 400	**2**

Αυτόματος Σχεδιασμός Διαγράμματος Τάσεων και Πλαστικού Ουδέτερου Άξονα της διατομής



Αρχικό Μενού | Προηγούμενη | Επόμενη

Πλαστική Ροπή Αντοχής Mpl,Rd , Διατομή Σημείο Ελέγχου B (beff,B= 175 cm)

Εντατικά Μεγέθη Ροπή [M] + Τέμνουσα [V] σε ΟΚΑ, Διατομή Σημείο Ελέγχου B (beff,B= 175 cm)

Δρώσα Ροπή [M_{Ed}]	474,4177	KNm
Δρώσα Τέμνουσα [V_{Ed}]	FALSE	KN

Έλεγχος Αλληλεπίδρασης Ταυτόχρονης Συνύπαρξης Δράσεων Ροπής + Τέμνουσας:

Η Ροπή + Τέμνουσα ΔΕΝ συνυπάρχουν στην ίδια διατομή

Δρώσα Τέμνουεσα V_{Ed}:	0 KN

Σημείωση: Σε περίπτωση ταυτόχρονης δράσης Ροπής + Τέμνουσας στην ίδια διατομή, θα πρέπει να προηγηθεί πρώτα ο έλεγχος εύρεσης Πλαστικής Αντοχής σε Τέμνουσα.

Πλαστική Αντοχή σε Τέμνουσα: Vpl,α,Rd	874,991942 KN
Έλεγχος VEd ≤ Vpl,α,Rd	Επαρκεί

Έλεγχος αν απαιτείται απομείωση της Οριακής τάσης του κορμού της σιδηροδοκού λόγο αλληλεπίδρασης Ροπής + Τέμνουσας	Δεν Απαιτείται

Εύρεση Μειωτικού Συντελεστή ρ απομείωσης της οριακής τάσης του κορμού της σιδηροδοκού	0
Απομειωμένη Οριακή Τάση του κορμού της σιδηροδοκού f_{ad}*	35,5 KN/cm^2

Θετική Πλαστική Ροπή Αντοχή Mpl,Rd+

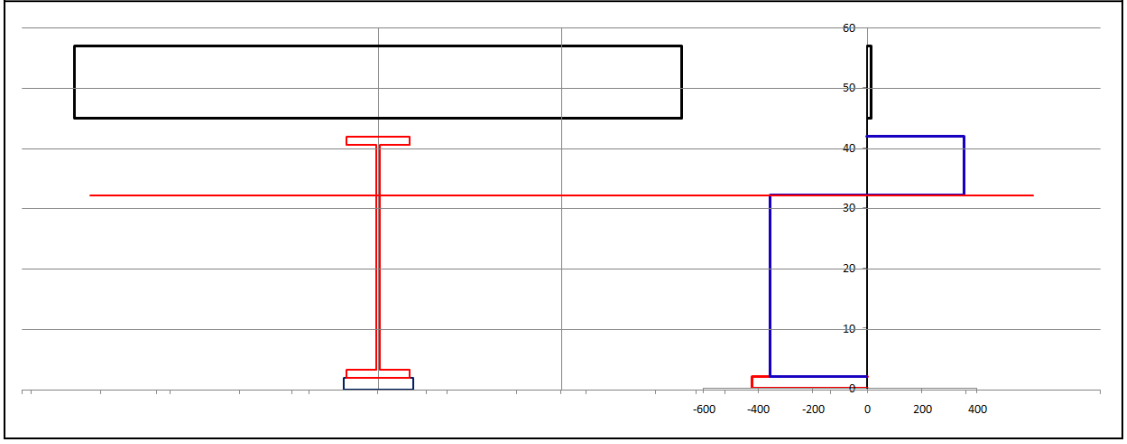
Πλαστικός Ουδέτερος Άξονας Μέσα στο Κορμό της Σιδηροδοκού (d+tfo) < zo ≤d+(ha-tfu)

Πλαστικός Ουδέτερος Άξονας: zo	24,74493924	cm
Θετική Πλαστική Ροπή Αντοχής Mpl,Rd+ (d+tfo) < zo ≤d+(ha-tfu)	1422,179366	KNm
Διαμήκης Διατμητική Δύναμη στην Διεπιφάνεια μεταξύ Πλάκας Σκυροδέματος – Σιδηροδοκού (D+)	2380	KN

** Σημείωση: Παραδοχή στην εύρεση της Θετικής Πλαστικής Ροπής Αντοχής Mpl,Rd+ αγνωούμε την συνεισφορά του οπλισμού σκυροδέματος

Κατηγορία Κατάταξης Διατομής Σιδηροδοκού: IPE 400	**1**

Αυτόματος Σχεδιασμός Διαγράμματος Τάσεων και Πλαστικού Ουδέτερου Άξονα της διατομής



Εικόνα 7-28 Καρτέλα «Υπολογισμός Πλαστική Ροπή Αντοχής Σύμμικτης Δοκού [$M_{pl,Rd}$]» Προγράμματος Σύμμικτων Δοκών

7.2.3.11.1 Καρτέλα Προγράμματος «Διατομή Ελέγχου Α [$M_{pl,Rd,A}$]»

Με βάση το συνεργαζόμενο πλάτος της συγκεκριμένης διατομής (Διατομή Ελέγχου Α), ($b_{eff,A}$), γίνεται εύρεση της θέσης του πλαστικού ουδέτερου άξονα (z_o) καθώς και της πλαστικής ροπής αντοχής στην συγκεκριμένη διατομή ($M_{pl,Rd,A}^{+}$ ή $M_{pl,Rd,A}^{-}$)ανάλογα με το αν η διατομή βρίσκεται σε θέση θετικών ή αρνητικών ροπών). Ανάλογα με την θέση στην οποία βρίσκεται ο πλαστικός ουδέτερος άξονας καθ' ύψος της διατομής πραγματοποιείται αυτόματη κατάταξη κατηγορίας της συγκεκριμένης διατομής. Ακολουθεί έλεγχος αν η διατομή μπορεί να σχεδιαστεί με βάση την πλαστική ροπή αντοχής, όπου θα πρέπει η κατηγορία διατομής να είναι 1 ή 2. Τέλος πραγματοποιείται αυτόματη σχεδίαση της εξεταζόμενης διατομής ελέγχου Α, του πλαστικού ουδέτερου άξονα της, καθώς και η χάραξη του διαγράμματος ορθών οριακών τάσεων καθ' ύψος της διατομής αυτής.

Σε κάθε περίπτωση στην οποία η διατομή αυτή δεν αποτελεί κρίσιμη διατομή ελέγχου, ή αν αποτελεί κρίσιμη διατομή ελέγχου αλλά δεν πληροί τις προϋποθέσεις για πλαστικό σχεδιασμό ροπής αντοχής (δηλαδή δεν είναι κατηγορίας 1 ή 2 αλλά είναι κατηγορίας 3 ή 4), τότε δεν εμφανίζεται κανένα από τα πιο πάνω αποτελέσματα (πλαστικός ουδέτερος άξονας, πλαστική ροπή αντοχής κλπ) αλλά ούτε πραγματοποιείτε σχεδίασή της. Ο χρήστης ενημερώνεται με το κατάλληλο μήνυμα από το πρόγραμμα.

Αρχικό Μενού | Προηγούμενη | Επόμενη

Πλαστική Ροπή Αντοχής Mpl,Rd , Διατομή Σημείο Ελέγχου A (beff,A= 156,25 cm)

Εντατικά Μεγέθη Ροπή [M] + Τέμνουσα [V] σε ΟΚΑ, Διατομή Σημείο Ελέγχου A (beff,A= 156,25 cm)

Δρώσα Ροπή [M_{Ed}]	-99,6063	KNm
Δρώσα Τέμνουσα [V_{Ed}]	246,8921	KN

Έλεγχος Αλληλεπίδρασης Ταυτόχρονης Συνύπαρξης Δράσεων Ροπής + Τέμνουσας:

Ταυτόχρονη συνύπαρξη Ροπής + Τέμνουσας στην ίδια διατομή

Δρώσα Τέμνουεσα V_{Ed}:	246,892052 KN

Σημείωση: Σε περίπτωση ταυτόχρονης δράσης Ροπής + Τέμνουσας στην ίδια διατομή, θα πρέπει να προηγηθεί πρώτα ο έλεγχος εύρεσης Πλαστικής Αντοχής σε Τέμνουσα.

Πλαστική Αντοχή σε Τέμνουσα: Vpl,α,Rd	874,991942 KN
Έλεγχος VEd ≤ Vpl,α,Rd	Επαρκεί

Έλεγχος αν απαιτείται απομείωση της Οριακής τάσης του κορμού της σιδηροδοκού λόγο αλληλεπίδρασης Ροπής + Τέμνουσας	Δεν Απαιτείται

Εύρεση Μειωτικού Συντελεστή ρ απομείωσης της οριακής τάσης του κορμού της σιδηροδοκού	0
Απομειωμένη Οριακή Τάση του κορμού της σιδηροδοκού f_{ad}*	35,5 KN/cm^2

Αρνητική Πλαστική Ροπή Αντοχή Mpl,Rd-

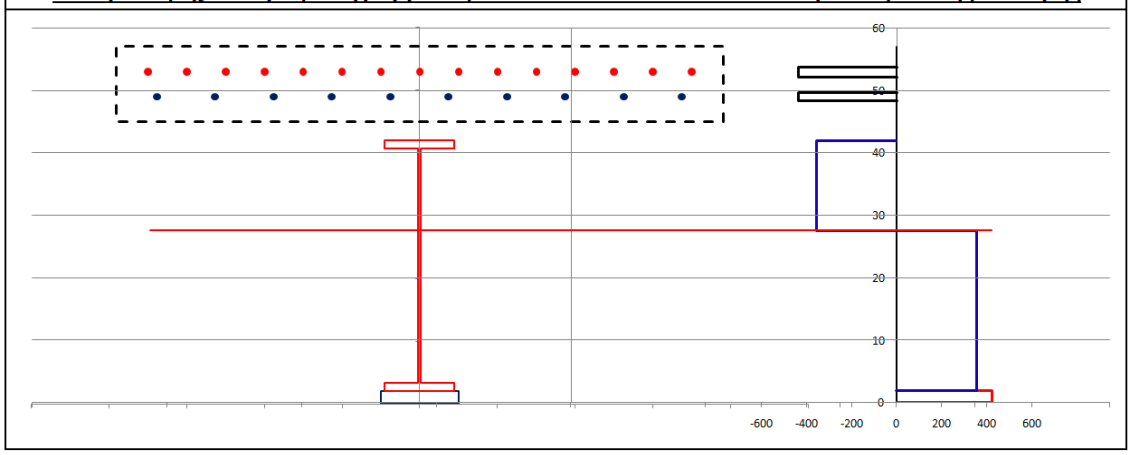
Πλαστικός Ουδέτερος Άξονας Μέσα στο Κορμό της Σιδηροδοκού (d+tfo) < zo ≤d+(ha-tfu)

Πλαστικός Ουδέτερος Άξονας: zo	29,38765427	cm
Αρνητική Πλαστική Ροπή Αντοχής Mpl,Rd- (d+tfo) < zo ≤d+(ha-tfu)	1405,845525	KNm
Διαμήκης Διατμητική Δύναμη στην Διεπιφάνεια μεταξύ Πλάκας Σκυροδέματος – Σιδηροδοκού (D+,Z-)	-2063,093002	KN

**** Σημείωση: Παραδοχή στην εύρεση της Αρνητικής Πλαστικής Ροπής Αντοχής Mpl,Rd- αγνοούμε την συνεισφορά του σκυροδέματος (Ριγματωμένο Σκυρόδεμα). (Θεωρούμε ότι η εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος είναι μηδενική fct=0)**

Κατηγορία Κατάταξης Διατομής Σιδηροδοκού: IPE 400	**2**

Αυτόματος Σχεδιασμός Διαγράμματος Τάσεων και Πλαστικού Ουδέτερου Άξονα της διατομής



Εικόνα 7-29 Καρτέλα «Διατομή Ελέγχου A [$M_{pl,Rd,A}$]» Προγράμματος Σύμμικτων Δοκών

7.2.3.11.2 Καρτέλα Προγράμματος «Διατομή Ελέγχου Β [$M_{pl,Rd,B}$]»

Με βάση το συνεργαζόμενο πλάτος της συγκεκριμένης διατομής (Διατομή Ελέγχου Β), ($b_{eff,B}$), γίνεται εύρεση της θέσης του πλαστικού ουδέτερου άξονα (z_o) καθώς και της πλαστικής ροπής αντοχής στην συγκεκριμένη διατομή ($M_{pl,Rd,B}^{+}$ ή $M_{pl,Rd,B}^{-}$)ανάλογα με το αν η διατομή βρίσκεται σε θέση θετικών ή αρνητικών ροπών). Ανάλογα με την θέση στην οποία βρίσκεται ο πλαστικός ουδέτερος άξονας καθ' ύψος της διατομής πραγματοποιείται αυτόματη κατάταξη κατηγορίας της συγκεκριμένης διατομής. Ακολουθεί έλεγχος αν η διατομή μπορεί να σχεδιαστεί με βάση την πλαστική ροπή αντοχής, όπου θα πρέπει η κατηγορία διατομής να είναι 1 ή 2. Τέλος πραγματοποιείται αυτόματη σχεδίαση της εξεταζόμενης διατομής ελέγχου Β, του πλαστικού ουδέτερου άξονα της, καθώς και η χάραξη του διαγράμματος ορθών οριακών τάσεων καθ' ύψος της διατομής αυτής.

Σε κάθε περίπτωση στην οποία η διατομή αυτή δεν αποτελεί κρίσιμη διατομή ελέγχου, ή αν αποτελεί κρίσιμη διατομή ελέγχου αλλά δεν πληροί τις προϋποθέσεις για πλαστικό σχεδιασμό ροπής αντοχής (δηλαδή δεν είναι κατηγορίας 1 ή 2 αλλά είναι κατηγορίας 3 ή 4), τότε δεν εμφανίζεται κανένα από τα πιο πάνω αποτελέσματα (πλαστικός ουδέτερος άξονας, πλαστική ροπή αντοχής κλπ) αλλά ούτε πραγματοποιείτε σχεδίασή της. Ο χρήστης ενημερώνεται με το κατάλληλο μήνυμα από το πρόγραμμα.

Αρχικό Μενού | Προηγούμενη | Επόμενη

Πλαστική Ροπή Αντοχής Mpl,Rd , Διατομή Σημείο Ελέγχου B (beff,B= 175 cm)

Εντατικά Μεγέθη Ροπή [M] + Τέμνουσα [V] σε ΟΚΑ, Διατομή Σημείο Ελέγχου B (beff,B= 175 cm)

Δρώσα Ροπή [M_{Ed}]	474,4177	KNm
Δρώσα Τέμνουσα [V_{Ed}]	FALSE	KN

Έλεγχος Αλληλεπίδρασης Ταυτόχρονης Συνύπαρξης Δράσεων Ροπής + Τέμνουσας:

Η Ροπή + Τέμνουσα ΔΕΝ συνυπάρχουν στην ίδια διατομή

Δρώσα Τέμνουεσα V_{Ed}:	0 KN

Σημείωση: Σε περίπτωση ταυτόχρονης δράσης Ροπής + Τέμνουσας στην ίδια διατομή, θα πρέπει να προηγηθεί πρώτα ο έλεγχος εύρεσης Πλαστικής Αντοχής σε Τέμνουσα.

Πλαστική Αντοχή σε Τέμνουσα: Vpl,α,Rd	874,991942 KN
Έλεγχος VEd ≤ Vpl,α,Rd	Επαρκεί
Έλεγχος αν απαιτείται απομείωση της Οριακής τάσης του κορμού της σιδηροδοκού λόγο αλληλεπίδρασης Ροπής + Τέμνουσας	Δεν Απαιτείται
Εύρεση Μειωτικού Συντελεστή ρ απομείωσης της οριακής τάσης του κορμού της σιδηροδοκού	0
Απομειωμένη Οριακή Τάση του κορμού της σιδηροδοκού $f_{\alpha d}$*	35,5 KN/cm^2

Θετική Πλαστική Ροπή Αντοχή Mpl,Rd+

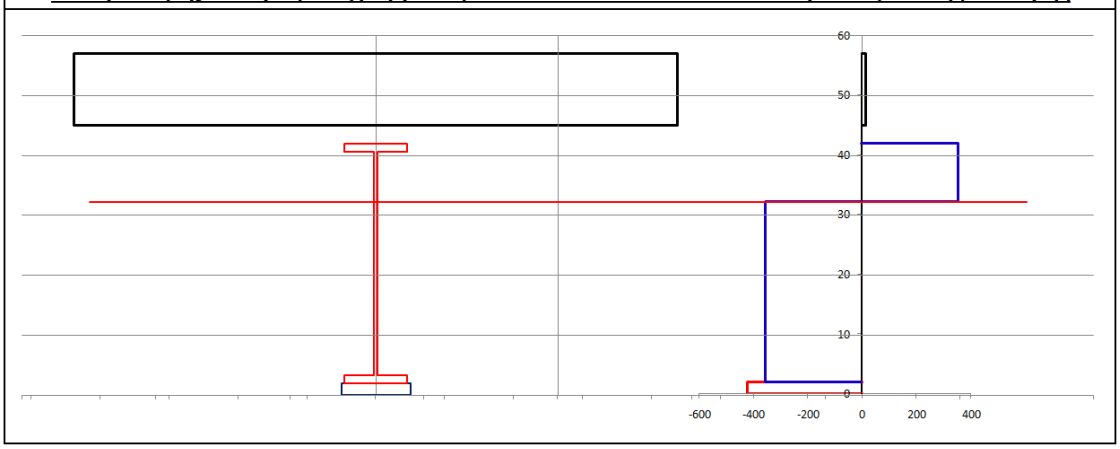
Πλαστικός Ουδέτερος Άξονας Μέσα στο Κορμό της Σιδηροδοκού (d+tfo) < zo ≤d+(hα-tfu)

Πλαστικός Ουδέτερος Άξονας: zo	24,74493924	cm
Θετική Πλαστική Ροπή Αντοχής Mpl,Rd+ (d+tfo) < zo ≤d+(hα-tfu)	1422,179366	KNm
Διαμήκης Διατμητική Δύναμη στην Διεπιφάνεια μεταξύ Πλάκας Σκυροδέματος – Σιδηροδοκού (D+)	2380	KN

** Σημείωση: Παραδοχή στην εύρεση της Θετικής Πλαστικής Ροπής Αντοχής Mpl,Rd+ αγνωούμε την συνεισφορά του οπλισμού σκυροδέματος

Κατηγορία Κατάταξης Διατομής Σιδηροδοκού: IPE 400	**1**

Αυτόματος Σχεδιασμός Διαγράμματος Τάσεων και Πλαστικού Ουδέτερου Άξονα της διατομής



Εικόνα 7-30 Καρτέλα «Διατομή Ελέγχου B [$M_{pl,Rd,B}$]» Προγράμματος Σύμμικτων Δοκών

7.2.3.11.3 Καρτέλα Προγράμματος «Διατομή Ελέγχου Γ [$M_{pl,Rd,Γ}$]»

Με βάση το συνεργαζόμενο πλάτος της συγκεκριμένης διατομής (Διατομή Ελέγχου Γ), ($b_{eff,Γ}$), γίνεται εύρεση της θέσης του πλαστικού ουδέτερου άξονα (z_o) καθώς και της πλαστικής ροπής αντοχής στην συγκεκριμένη διατομή ($M_{pl,Rd,Γ}^{+}$ ή $M_{pl,Rd,Γ}^{-}$)ανάλογα με το αν η διατομή βρίσκεται σε θέση θετικών ή αρνητικών ροπών). Ανάλογα με την θέση στην οποία βρίσκεται ο πλαστικός ουδέτερος άξονας καθ' ύψος της διατομής πραγματοποιείται αυτόματη κατάταξη κατηγορίας της συγκεκριμένης διατομής. Ακολουθεί έλεγχος αν η διατομή μπορεί να σχεδιαστεί με βάση την πλαστική ροπή αντοχής, όπου θα πρέπει η κατηγορία διατομής να είναι 1 ή 2. Τέλος πραγματοποιείται αυτόματη σχεδίαση της εξεταζόμενης διατομής ελέγχου Γ, του πλαστικού ουδέτερου άξονα της, καθώς και η χάραξη του διαγράμματος ορθών οριακών τάσεων καθ' ύψος της διατομής αυτής.

Σε κάθε περίπτωση στην οποία η διατομή αυτή δεν αποτελεί κρίσιμη διατομή ελέγχου, ή αν αποτελεί κρίσιμη διατομή ελέγχου αλλά δεν πληροί τις προϋποθέσεις για πλαστικό σχεδιασμό ροπής αντοχής (δηλαδή δεν είναι κατηγορίας 1 ή 2 αλλά είναι κατηγορίας 3 ή 4), τότε δεν εμφανίζεται κανένα από τα πιο πάνω αποτελέσματα (πλαστικός ουδέτερος άξονας, πλαστική ροπή αντοχής κλπ) αλλά ούτε πραγματοποιείτε σχεδίασή της. Ο χρήστης ενημερώνεται με το κατάλληλο μήνυμα από το πρόγραμμα.

Αρχικό Μενού | Προηγούμενη | Επόμενη

Πλαστική Ροπή Αντοχής Mpl,Rd , Διατομή Σημείο Ελέγχου Γ (beff,Γ= 156,25 cm)

Εντατικά Μεγέθη Ροπή [M] + Τέμνουσα [V] σε ΟΚΑ, Διατομή Σημείο Ελέγχου Γ (beff,Γ= 156,25 cm)

Δρώσα Ροπή [M_{Ed}]	-285,439	KNm
Δρώσα Τέμνουσα [V_{Ed}]	-284,059	KN

Έλεγχος Αλληλεπίδρασης Ταυτόχρονης Συνύπαρξης Δράσεων Ροπής + Τέμνουσας:

Ταυτόχρονη συνύπαρξη Ροπής + Τέμνουσας στην ίδια διατομή

Δρώσα Τέμνουεσα V_{Ed}:	284,058597 KN

Σημείωση: Σε περίπτωση ταυτόχρονης δράσης Ροπής + Τέμνουσας στην ίδια διατομή, θα πρέπει να προηγηθεί πρώτα ο έλεγχος εύρεσης Πλαστικής Αντοχής σε Τέμνουσα.

Πλαστική Αντοχή σε Τέμνουσα: Vpl,α,Rd	874,991942 KN
Έλεγχος VEd ≤ Vpl,α,Rd	Επαρκεί

Έλεγχος αν απαιτείται απομείωση της Οριακής τάσης του κορμού της σιδηροδοκού λόγο αλληλεπίδρασης Ροπής + Τέμνουσας	Δεν Απαιτείται

Εύρεση Μειωτικού Συντελεστή ρ απομείωσης της οριακής τάσης του κορμού της σιδηροδοκού	0
Απομειωμένη Οριακή Τάση του κορμού της σιδηροδοκού f_{ad}*	35,5 KN/cm^2

Αρνητική Πλαστική Ροπή Αντοχή Mpl,Rd-

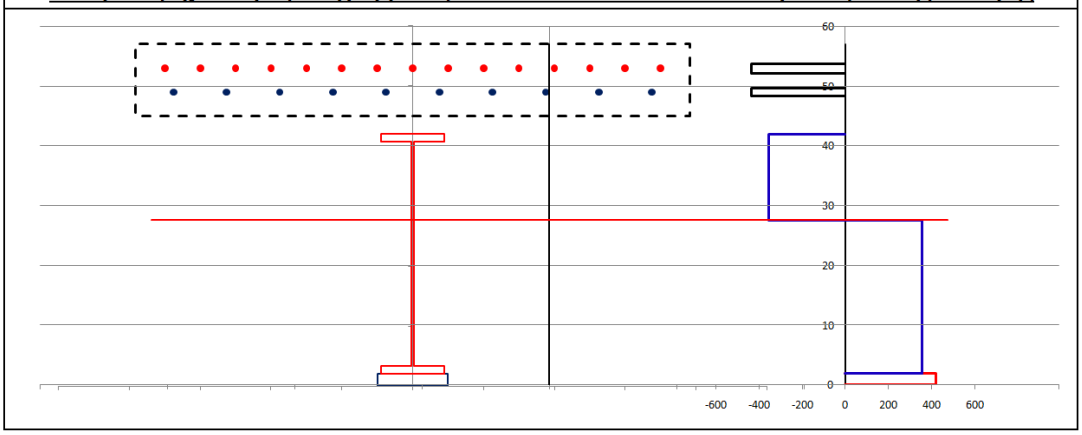
Πλαστικός Ουδέτερος Άξονας Μέσα στο Κορμό της Σιδηροδοκού (d+tfo) < zo ≤d+(ha-tfu)

Πλαστικός Ουδέτερος Άξονας: zo	29,38765427	cm
Αρνητική Πλαστική Ροπή Αντοχής Mpl,Rd- (d+tfo) < zo ≤d+(ha-tfu)	1405,845525	KNm
Διαμήκης Διατμητική Δύναμη στην Διεπιφάνεια μεταξύ Πλάκας Σκυροδέματος – Σιδηροδοκού (D+,Z-)	-2063,093002	KN

**** Σημείωση: Παραδοχή στην εύρεση της Αρνητικής Πλαστικής Ροπής Αντοχής Mpl,Rd- αγνωούμε την συνεισφορά του σκυροδέματος (Ριγματωμένο Σκυρόδεμα). (Θεωρούμε ότι η εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος είναι μηδενική fct=0)**

Κατηγορία Κατάταξης Διατομής Σιδηροδοκού: IPE 400	**2**

Αυτόματος Σχεδιασμός Διαγράμματος Τάσεων και Πλαστικού Ουδέτερου Άξονα της διατομής



Εικόνα 7-31 Καρτέλα «Διατομή Ελέγχου Γ [$M_{pl,Rd,Γ}$]» Προγράμματος Σύμμικτων Δοκών

7.2.3.12 Καρτέλα Προγράμματος «Υπολογισμός Χρόνιων Φαινόμενων»

Στην παρούσα καρτέλα γίνεται αναλυτικός υπολογισμός των χρόνιων φαινομένων λόγω ερπυσμού και συστολής ξήρανσης του σκυροδέματος. Τα φαινόμενα αυτά λαμβάνονται υπόψη στην ανάλυση (π.χ. για την εύρεση της ελαστικής ροπής αντοχής σύμμικτης δοκού, στον υπολογισμό βελών κάμψεως σε (ΟΚΛ) με φάσεις κατασκευής κλπ), μέσω του συντελεστή μετατροπής του σκυροδέματος (n_i).

Ο χρήστης καλείται μέσω αναπτυσσόμενης λίστας να επιλέξει αν η πλάκα σκυροδέματος βρίσκεται σε τμήμα ακραίας δοκού ή όχι. Ακολούθως ζητείται από το χρήστη να συμπληρώσει τα πεδία σχετική υγρασία περιβάλλοντος RH [%], την χρονική στιγμή έναρξης της φόρτισης του σκυροδέματος (t_o) και την χρονική στιγμή στην οποία εξετάζουμε το φαινόμενο αυτό (t). Ως τελικός χρόνος για το φαινόμενο του ερπυσμού λαμβάνεται η τιμή (t=30000 ημέρες), ο οποίος αντιστοιχεί σε διάρκεια ζωής 100 έτη.

Λόγω της διαφορετικής χρονικής στιγμής στην οποία επιβάλλονται τα μόνιμα «g» και τα λοιπά μόνιμα φορτία «g'» στην πλάκα σκυροδέματος, η χρονική εξέλιξη του ερπυσμού την οποία προκαλούν καθένα από τα φορτία αυτά θα είναι διαφορετική. Συνεπώς θα πρέπει να υπολογίζονται δυο διαφορετικοί συντελεστές ερπυσμού φ(t) έτσι ώστε να λαμβάνεται η διαφορετική ερπυστική συμπεριφορά την οποία προκαλούν κάθε ένα από τα φορτία αυτά.

Επομένως ο χρήστης καλείται να συμπληρώσει δύο διαφορετικές χρονικές στιγμές επιβολής φόρτισης στο σκυρόδεμα (t_o). Η πρώτη χρονική στιγμή φόρτισης του σκυροδέματος η οποία αφορά τα μόνιμα φορτία «g» (ίδιο βάρος πλάκας σκυροδέματος, σιδηροδοκού, χαλυβδοφύλλων κλπ) μπορεί να θεωρηθεί η ημέρα ξεκαλουπώματος του σκυροδέματος ($t_{o,g}$) ενώ η δεύτερη χρονική στιγμή επιβολής φόρτισης στο σκυρόδεμα αφορά τα λοιπά μόνιμα φορτία ($t_{o,g'}$) τα οποία μπορεί να επιβληθούν σε μεταγενέστερο στάδιο από ότι τα μόνιμα φορτία.

Έτσι λοιπόν το πρόγραμμα για τις δύο αυτές φάσεις υπολογίζει δυο διαφορετικούς συντελεστές ερπυσμού φ(t). Τέλος υπολογίζονται οι συντελεστές μετατροπής σκυροδέματος (n_i) τόσο για βραχυχρόνιες (n_o) όσο και για μακροχρόνιες συνθήκες

φόρτισης ($n_{L,P}$, $n_{L,S}$,$n_{L,PT}$), τα οποία θα ενσωματωθούν στην ανάλυση για την λήψη των χρόνιων αυτών φαινομένων.

Αρχικό Μενού | Προηγούμενη | Επόμενη

Πρόγραμμα Υπολογισμός Φαινόμενο Ερπυσμού (Creep)

Φαινόμενο Ερπυσμού (Creep) για την Φάση Κατασκευής Ι [Μόνιμα Φορτία Σκυροδέματος (g_c) + Σιδηροδοκού(g_a)]

Δεδομένα Εισαγωγής Προγράμματος

Είδος Πλάκας Σκυροδέματος:

Σύμμικτη Πλάκα Σκυροδέματος με Χαλυβδόφυλλο (dc=d-hp)

Πλάκα Σκυροδέματος σε τμήμα ΜΗ Ακραίας Δοκού

Πλάκα Σκυροδέματος σε τμήμα Ακραίας Δοκού

Πλάκα Σκυροδέματος σε τμήμα ΜΗ Ακραίας Δοκού

Σχετική Υγρασία RH[%]	70 %
Χρονική στιγμή έναρξης της φόρτισης του σκυροδέματος t_o	28 ημέρες
Χρονική στιγμή εξέτασης, ανάπτυξης φαινομένου ερπυσμού t	30000 ημέρες

Σημείωση:

*Η τιμή της σχετικής υγρασίας RH[%] λαμβάνεται για το εσωτερικό και εξωτερικό των κτιρίων ως 70%

*Και οι δυο χρόνοι (Χρονική στιγμή έναρξης της φόρτισης του σκυροδέματος to, Χρονική στιγμή εξέτασης ανάπτυξης φαινομένου ερπυσμού t) έχουν σαν σημείο αναφοράς t=0 την ημέρα σκυροδέτησης.

*Ως τελικός χρόνος για τον ερπυσμό λαμβάνεται t=30000 ημέρες, ο οποίος αντιστοιχεί σε διάρκεια ζωής 100 έτη)

Μηχανικά και Γεωμετρικά Χαρακτηριστικά Υλικών

Γεωμετρικό Συνεργαζόμενο Πλάτος Πλάκας Σκυροδέματος (beff,Γεωμετρικό)	400	cm
Ύψος Σύμμικτη Πλάκα Σκυροδέματος μετά την αφαίρεση του ύψους του Χαλυβδόφυλλου (dc=d-hp)	12	cm
Εμβαδόν Διατομής Πλάκας Σκυροδέματος Ac	4800	cm^2
Περίμετρος Διατομής Σκυροδέματος σε επαφή με την ατμόσφαιρα u	400	cm
Μέση Θλιπτική Αντοχή Σκυροδέματος fcm	28	MPa
Μέση Τιμή Μέτρου Ελαστικότητας Σκυροδέματος Ecm	29	GPa
Μέτρο Ελαστικότητας Χάλυβας Σιδηροδοκού Ea	210	GPa

Εύρεση Συντελεστή Ερπυσμού ϕ_t

Ιδεατό Πάχος του στοιχείου από σκυρόδεμα h_o	240	mm
Συντελεστής α_1	1,169061	
Συντελεστής α_2	1,04564	
Συντελεστής α_3	1,118034	

Συντελεστής επιρροής της σχετικής υγρασίας RH[%] (ϕ_{RH})	1,482745
Συντελεστής επιρροής της μέσης θλίπτικής αντοχής του σκυροδέματος σε 28 ημέρες β(f_{cm})	3,174902
Συντελεστής επιρροής της ηλικίας του σκυροδέματος κατά το χρόνο της φόρτισης β(t_o)	0,48845
Βασικός συντελεστής ερπυσμού (ϕ_o)	2,29941

Συντελεστής β_H	625,6074
Συντελεστής χρονικής εξέλιξης του ερπυσμού μετά τη φόρτιση $\beta_c(t,t_o)$	0,993822

Τελικός συντελεστής ερπυσμού (ϕ_t)	**2,285203**

Συντελεστής Μετατροπής Σκυροδέματος – Χάλυβα για Βραχυχρόνιες Φορτίσεις

Συντελεστής μετατροπής Σκυροδέματος – Χάλυβα για βραχυχρόνιες φορτίσεις (ωφέλιμα φορτία κτιρίων, θερμοκρασίες κλπ) n_o	**n_o**	**7,241379**

Συντελεστής Μετατροπής Σκυροδέματος – Χάλυβα Για Μακροχρόνιες Φορτίσεις Λόγω Ερπυσμού

Πίνακας Τιμές Συντελεστών ψ_L

Είδος Δράσεων	Περιγραφή Δράσεων	ψ_L
P(ermanent)	Μόνιμες δράσεις (π.χ. ίδια βάρη, προένταση) σταθερής τιμής στο χρόνο	1,1
S(hringcage)	Δευτερογενείς επιρροές συστολής ξήρανσης και ερπυσμού	0,55
PT	Επιβαλλόμενες παραμορφώσεις (Δράσεις καταναγκασμού μεταβαλλόμενης, λόγω ερπυσμού, τιμής στο χρόνο, όπως π.χ.υποχώρηση στηρίξεων για επιβολή προένταση)	1,5

Συντελεστής Μετατροπής Σκυροδέματος – Χάλυβα Για Μακροχρόνιες Φορτίσεις Λόγω Ερπυσμού (Μόνιμα φορτία, δευτερογενείς επιρροές συτσολή ξήρανσης και ερπυσμός, επιβαλλόμενες παραμορφώσεις κλπ) n_L

Είδος Δράσεων	n_L	
P(ermanent)	**$n_{L,P}$**	**25,4442051**
S(hringcage)	**$n_{L,S}$**	**16,3427922**
PT	**$n_{L,PT}$**	**32,0634145**

Φαινόμενο Ερπυσμού (Creep) για την Φάση Κατασκευής ΙΙ [Λοιπά Μόνιμα Φορτία (g')]

Δεδομένα Εισαγωγής Προγράμματος

Είδος Πλάκας Σκυροδέματος:
Σύμμικτη Πλάκα Σκυροδέματος με Χαλυβδόφυλλο (dc=d-hp)
Πλάκα Σκυροδέματος σε τμήμα ΜΗ Ακραίας Δοκού

Σχετική Υγρασία RH[%]	70	%
Χρονική στιγμή έναρξης της φόρτισης του σκυροδέματος t_o	40	ημέρες
Χρονική στιγμή εξέτασης, ανάπτυξης φαινομένου ερπυσμού t	30000	ημέρες

Σημείωση:

*Η τιμή της σχετικής υγρασίας RH[%] λαμβάνεται για το εσωτερικό και εξωτερικό των κτιρίων ως 70%

*Και οι δυο χρόνοι (Χρονική στιγμή έναρξης της φόρτισης του σκυροδέματος to, Χρονική στιγμή εξέτασης ανάπτυξης φαινομένου ερπυσμού t) έχουν σαν σημείο αναφοράς t=0 την ημέρα σκυροδέτησης.

*Ως τελικός χρόνος για τον ερπυσμό λαμβάνεται t=30000 ημέρες, ο οποίος αντιστοιχεί σε διάρκεια ζωής 100 έτη)

Μηχανικά και Γεωμετρικά Χαρακτηριστικά Υλικών

Γεωμετρικό Συνεργαζόμενο Πλάτος Πλάκας Σκυροδέματος (beff,Γεωμετρικό)	400	cm
Ύψος Σύμμικτη Πλάκα Σκυροδέματος μετά την αφαίρεση του ύψους του Χαλυβδόφυλλου (dc=d-hp)	12	cm
Εμβαδόν Διατομής Πλάκας Σκυροδέματος Ac	4800	cm^2
Περίμετρος Διατομής Σκυροδέματος σε επαφή με την ατμόσφαιρα u	400	cm
Μέση Θλιπτική Αντοχή Σκυροδέματος fcm	28	MPa
Μέση Τιμή Μέτρου Ελαστικότητας Σκυροδέματος Ecm	29	GPa
Μέτρο Ελαστικότητας Χάλυβας Σιδηροδοκού Ea	210	GPa

Εύρεση Συντελεστή Ερπυσμού ϕ_t

Ιδεατό Πάχος του στοιχείου από σκυρόδεμα h_o	240 mm
Συντελεστής α_1	1,169061
Συντελεστής α_2	1,04564
Συντελεστής α_3	1,118034

Συντελεστής επιρροής της σχετικής υγρασίας RH[%] (ϕ_{RH})	1,482745
Συντελεστής επιρροής της μέσης θλίπτικής αντοχής του σκυροδέματος σε 28 ημέρες $\beta(f_{cm})$	3,174902
Συντελεστής επιρροής της ηλικίας του σκυροδέματος κατά το χρόνο της φόρτισης $\beta(t_o)$	0,456354
Βασικός συντελεστής ερπυσμού (ϕ_o)	2,14832

Συντελεστής β_H	625,6074
Συντελεστής χρονικής εξέλιξης του ερπυσμού μετά τη φόρτιση $\beta_c(t,t_o)$	0,993819

Τελικός συντελεστής ερπυσμού (ϕ_t)	**2,135042**

Συντελεστής Μετατροπής Σκυροδέματος – Χάλυβα για Βραχυχρόνιες Φορτίσεις

Συντελεστής μετατροπής Σκυροδέματος – Χάλυβα για βραχυχρόνιες φορτίσεις (ωφέλιμα φορτία κτιρίων, θερμοκρασίες κλπ) no	**n_o**	**7,241379**

Συντελεστής Μετατροπής Σκυροδέματος – Χάλυβα Για Μακροχρόνιες Φορτίσεις Λόγω Ερπυσμού

Πίνακας Τιμές Συντελεστών ψι

Είδος Δράσεων	Περιγραφή Δράσεων	ψι
P(ermanent)	Μόνιμες δράσεις (π.χ. ίδια βάρη, προένταση) σταθερής τιμής στο χρόνο	1,1
S(hringcage)	Δευτερογενείς επιρροές συστολής ξήρανσης και ερπυσμού	0,55
PT	Επιβαλλόμενες παραμορφώσεις (Δράσεις καταναγκασμού μεταβαλλόμενης, λόγω ερπυσμού, τιμής στο χρόνο, όπως π.χ.υποχώρηση στηρίξεων για επιβολή προένταση)	1,5

Συντελεστής Μετατροπής Σκυροδέματος – Χάλυβα Για Μακροχρόνιες Φορτίσεις Λόγω Ερπυσμού (Μόνιμα φορτία, δευτερογενείς επιρροές συτσολή ξήρανσης και ερπυσμός, επιβαλλόμενες παραμορφώσεις κλπ) nι

Είδος Δράσεων	nι	
P(ermanent)	$n_{L,P}$	24,24809
S(hringcage)	$n_{L,S}$	15,74473
PT	$n_{L,PT}$	30,43235

Εικόνα 7-32 Καρτέλα «Υπολογισμός Χρόνιων Φαινόμενων» Προγράμματος Σύμμικτων Δοκών

7.2.3.13 Καρτέλα Προγράμματος «Υπολογισμός Ελαστικής Ροπής Αντοχής [$M_{el,Rd}$]»

Ο ελαστικός έλεγχος της ροπής αντοχής της δοκού πραγματοποιείται με έλεγχο τάσεων λαμβάνοντας υπόψη τις φάσεις κατασκευής της δοκού. Ο έλεγχος πραγματοποιείται για κάθε κρίσιμη διατομή ελέγχου από το πρόγραμμα με το δικό τους συνεργαζόμενο πλάτος ($b_{eff,i}$) και ανάλογα με την θέση στην οποία βρίσκονται (περιοχή θετικών/ αρνητικών ροπών), πραγματοποιείται ελαστικός έλεγχος τάσεων για θετικές ή αρνητικές ροπές αντίστοιχα.

Ο χρήστης επιλέγει μέσω αναπτυσσόμενης λίστας αν η σιδηροδοκός υποστυλώνεται ή όχι στην φάση σκυροδέτησης, καθώς του ζητείται επίσης να επιλέξει αν ο έλεγχος ο οποίος θα πραγματοποιηθεί αφορά βραχυχρόνιες ή μακροχρόνιες συνθήκες φόρτισης έτσι ώστε το πρόγραμμα να συνυπολογίσει τα χρόνια φαινόμενα λόγω ερπυσμού και συστολής ξήρανσης. Για κάθε φάση κατασκευής αναφέρεται η μορφή της διατομής στην οποία επιβάλλονται τα αντίστοιχα φορτία υπολογίζοντας τα αδρανειακά χαρακτηριστικά της (χαλύβδινη σιδηροδοκός, σύμμικτη διατομή (χωρίς το έλασμα ενίσχυσης αν υπάρχει), σύμμικτη διατομή (με το έλασμα ενίσχυσης αν υπάρχει)).

Πραγματοποιείται υπολογισμός τάσεων και σύγκριση με τις οριακές τάσεις των αντίστοιχων υλικών σε κάθε ίνα καθ’ ύψος της διατομής για κάθε φάση κατασκευής. Σε κάθε περίπτωση στην οποία ο έλεγχος πληρείται εμφανίζεται αυτόματα η ένδειξη «TRUE» πρασινίζοντας το πεδίο αυτό, ενώ σε αντίθετη περίπτωση παρουσιάζεται η ένδειξη «FALSE» κοκκινίζοντας το πεδίο της συγκεκριμένης φάσης κατασκευής στην οποία παρουσιάζεται η υπέρβαση.

Ακολουθεί αυτόματη σχεδίαση των διαγραμμάτων ορθών τάσεων καθ’ ύψος της διατομής με ταυτόχρονη σχεδίαση του ελαστικού ουδέτερου άξονα για κάθε φάση κατασκευής.

Τέλος για κάθε κρίσιμη διατομή ελέγχου γίνεται έλεγχος κατάταξη κατηγορίας της διατομής (με βάση τον ελαστικό ουδέτερο άξονα της διατομής στην τελική κατάσταση μετά από επαλληλία όλων των φάσεων κατασκευής). Όπως γνωρίζουμε ελαστικός σχεδιασμός μπορεί να πραγματοποιηθεί σε όλες τις περιπτώσεις. Στην περίπτωση όπου

η κατηγορία διατομής είναι 1 ή 2 ο χρήστης μπορεί να λάβει αποτελέσματα από τον έλεγχο ελαστική ροπή αντοχής, απλός το πρόγραμμα του εμφανίζει μια υποσημείωση ότι ο έλεγχος της διατομής σε αυτές τις περιπτώσεις πραγματοποιείται με πλαστικό σχεδιασμό (Πλαστική ροπή αντοχής, $M_{pl,Rd}$). Στις περιπτώσεις όπου η κατηγορία διατομής είναι 4 τότε το πρόγραμμα δεν μπορεί να συνεχίσει τους υπολογισμούς καθώς δημιουργήθηκε για την αντιμετώπιση διατομών μέχρι κατηγορίας 3. Έτσι τόσο τα αποτελέσματα όσο και τα διαγράμματα τάσεων δεν εμφανίζονται προς το χρήστη λαμβάνοντας το σχετικό μήνυμα από το πρόγραμμα, «Η κατάταξη της διατομής είναι κατηγορίας 4 (Αλλαγή Διατομής). Το πρόγραμμα σχεδιάστηκε για την διαστασιολόγηση σύμμικτων δοκών μέχρι κατηγορίας 3».

Αρχικό Μενού | Προηγούμενη | Επόμενη

Ελαστική Ροπή Αντοχής Mel,Rd , Διατομή Σημείο Ελέγχου B (beff,B= 175 cm)

Ροπές Κάμψεως [M] στην Διατομή Ελέγχου B

Ροπή [M] στην Διατομή Ελέγχου B, για Μοναδιαίο Κατακόρυφο Ομοιόμορφο Φορτίο q=1KN/m

Διατομή Ελέγχου B	
$M_{Ed,q=1}$	893,525 **KNcm**

Σημείωση:
*Η $M_{Ed,q=1}$ είναι η Δρώσα Ροπή στην Διατομή Ελέγχου για μοναδιαίο ομοιόμορφο κατανεμημένο φορτίο q=1KN/m
*Η Δρώσα Ροπή $M_{Ed,q=1}$ δίνεται με το πρόσημο της. (Θετικό Πρόσημο – Περιοχή Θετικών Ροπών, Αρνητικό Πρόσημο – Περιοχή Αρνητικών Ροπών)

Επιλογή Φάσεων Κατασκευής

Η Σιδηροδοκός ΔΕΝ Υποστυλώνεται στη Φάση Σκυροδέτησης

Η Σιδηροδοκός Υποστυλώνεται στη Φάση Σκυροδέτησης
Η Σιδηροδοκός ΔΕΝ Υποστυλώνεται στη Φάση Σκυροδέτησης

Επιρροή Λόγω Χρόνιων Παραμορφώσεων (Ερπυσμός)

Μακροχρόνια Φόρτιση (Ερπυσμός Σκυροδέματος)

Βραχυχρόνια Φόρτιση
Μακροχρόνια Φόρτιση (Ερπυσμός Σκυροδέματος)

****Σημείωση: Για την περίπτωση όπου γίνεται έλεγχος για Μακροχρόνιες Φορτίσεις θα πρέπει πρώτα να συμπληρωθεί το αντίστοιχο φύλλο υπολογισμού συντελεστή ερπυσμού φ(t).**

Θετική Ελαστική Ροπή Αντοχής $M_{el,Rd}^{+}$

Φάση Κατασκευής I: Μόνιμα Φορτία Σκυροδέματος (gc) + Σιδηροδοκού(ga)

Λόγος Μέτρων Ελαστικότητας n_l	25,444205

Δρώσα Εντατικά Μεγέθη στην Φάση Κατασκευής I

Μόνιμα Φορτία $g_{Ed,c} + g_{Ed,a}$	17,095065 KN/m
Δρώσα Ροπή $M_{Ed,gc+ga}$	15274,868 **KNcm**

Διατομή Φάσης Κατασκευής I:	Χαλύβδινη Διατομή (Σιδηροδοκός)

Εμβαδόν Ισοδύναμης Διατομής A_e	84,46 cm^2
Ελαστικός Ουδέτερος Άξονας Ισοδύναμης Διατομής z_e	35 cm
Ροπή Αδρανείας Ισοδύναμης Διατομής $I_{e,\psi\psi,I}$	23130 cm^4

Φάση Κατασκευής ΙΙ: Λοιπά Μόνιμα Φορτία (g')

Λόγος Μέτρων Ελαστικότητας n_{II}	**24,24809**

Δρώσα Εντατικά Μεγέθη στην Φάση Κατασκευής ΙΙ

Λοιπά Μόνιμα Φορτία g'_{Ed}	13,5	KN/m
Δρώσα Ροπή $M_{Ed,g'}$	12062,59	**KNcm**

Διατομή Φάσης Κατασκευής ΙΙ:	**Σύμμικτη Διατομή (Χωρίς Έλασμα Ενίσχυσης Αν Υπάρχει)**

Εμβαδόν Ισοδύναμης Διατομής A_e	171,06476	cm^2
Ελαστικός Ουδέτερος Άξονας Ισοδύναμης Διατομής z_e	20,318203	cm
Ροπή Αδρανείας Ισοδύναμης Διατομής $I_{e,\psi\psi,I}$	60129,969	cm^4

Φάση Κατασκευής ΙΙΙ: Κινητά Φορτία (q)

Λόγος Μέτρων Ελαστικότητας n_{III}	**7,2413793**

Δρώσα Εντατικά Μεγέθη στην Φάση Κατασκευής ΙΙΙ

Κινητά Φορτία q_{Ed}	22,5	KN/m
Δρώσα Ροπή $M_{Ed,q}$	20104,313	**KNcm**

Διατομή Φάσης Κατασκευής ΙΙΙ:	**Σύμμικτη Διατομή (Με Έλασμα Ενίσχυσης Αν Υπάρχει)**

Εμβαδόν Ισοδύναμης Διατομής A_e	414,46	cm^2
Ελαστικός Ουδέτερος Άξονας Ισοδύναμης Διατομής z_e	16,73527	cm
Ροπή Αδρανείας Ισοδύναμης Διατομής $I_{e,\psi\psi,I}$	149889,3	cm^4

Ροπές Αντιστάσεως [W] και Τάσεων [σ] καθ' ύψος της διατομής, σε κάθε Στάδιο Φάσεως Κατασκευής

	Ροπές Αντιστάσεως [W] (cm^3) καθ' ύψος της διατομής σε κάθε Φάση Κατασκευής			Τάσεις [σ] (KPa) καθ' ύψος της διατομής σε κάθε Φάση Κατασκευής			Τελικές Τάσεις [σ] (KPa)
Στάθμες καθ' ύψος της διατομής	Φάση I $W_{g\alpha+gc}$	Φάση II $W_{g'}$	Φάση III W_q	Φάση I $\sigma_{g\alpha+gc}$	Φάση II $\sigma_{g'}$	Φάση III σ_q	σ_{total}
Άνω Ίνα Πλάκας Σκυροδέματος	FALSE	-71760,13	-64857,36	0	-0,168096	-0,3099773	-0,478073
Κάτω Ίνα Πλάκας Σκυροδέματος	FALSE	-175282,7	-229217,2	0	-0,068818	-0,0877086	-0,156526
Άνω Ίνα Σιδηροδοκού	-1156,5	-11306,44	-86378,1	-13,20784	-1,066877	-0,2327478	-14,50747
Κάτω Ίνα Σιδηροδοκού	1156,5	1733,7616	3917,1667	13,207841	6,9574659	5,1323607	25,297667
Άνω Ίνα Ελάσματος Ενίσχυσης	FALSE	FALSE	3917,1667	0	0	5,1323607	5,1323607
Κάτω Ίνα Ελάσματος Ενίσχυσης	FALSE	FALSE	3722,5961	0	0	5,4006161	5,4006161

Κατηγορία Κατάταξης Διατομής (Στην Τελική Φάση):	1

****Σημείωση:** Η Κατάταξη της Διατομής (Τελική Φάση) λαμβάνεται από το πρόγραμμα Αυτόματης Κατάταξης Διατομής

Παρουσίαση Αποτελεσμάτων

Κατηγορία Κατάταξης Διατομής (Στην Τελική Φάση):	1

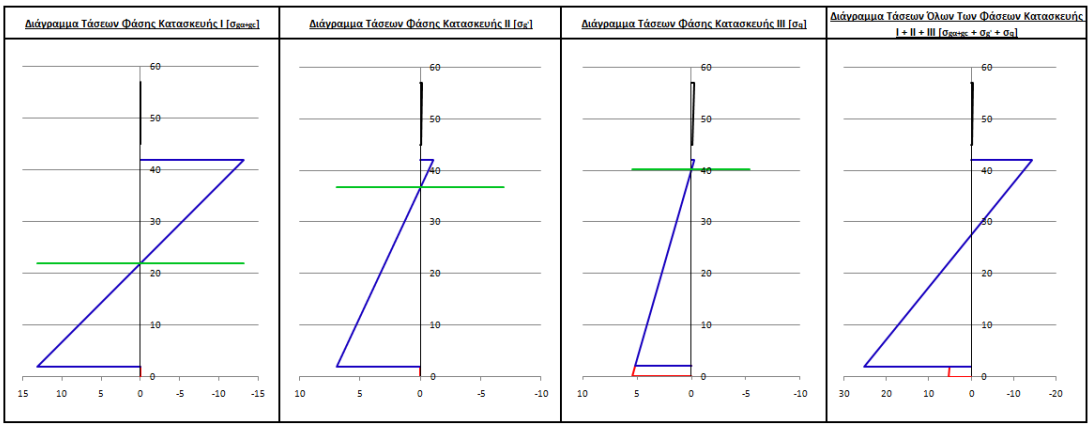
Έλεγχος Επάρκειας Τάσεων σε κάθε Στάδιο Φάσεως Κατασκευής $\sigma_i \leq \sigma_{\epsilon\pi\iota\tau\rho.}$

Στάθμες καθ' ύψος της διατομής	Φάση I			Φάση II			Φάση III			Φάση Total		
	σ_{ga+gc} (KN/cm^2)	$\sigma_{\epsilon\pi\iota\tau\rho.}$ (KN/cm^2)	Έλεγχος Επάρκειας $\sigma_{ga+gc} \leq \sigma_{\epsilon\pi\iota\tau\rho.}$	$\sigma_{g'}$ (KN/cm^2)	$\sigma_{\epsilon\pi\iota\tau\rho.}$ (KN/cm^2)	Έλεγχος Επάρκειας $\sigma_{g'} \leq \sigma_{\epsilon\pi\iota\tau\rho.}$	σ_q (KN/cm^2)	$\sigma_{\epsilon\pi\iota\tau\rho.}$ (KN/cm^2)	Έλεγχος Επάρκειας $\sigma_q \leq \sigma_{\epsilon\pi\iota\tau\rho.}$	σ_{total} (KN/cm^2)	$\sigma_{\epsilon\pi\iota\tau\rho.}$ (KN/cm^2)	Έλεγχος Επάρκειας $\sigma_{total} \leq \sigma_{\epsilon\pi\iota\tau\rho.}$
Άνω 'ίνα Πλάκας Σκυροδέματος	0	1,1333333	TRUE	0,168096	1,1333333	TRUE	0,30997734	1,133333	TRUE	0,478073	1,133333	TRUE
Κάτω 'ίνα Πλάκας Σκυροδέματος	0	1,1333333	TRUE	0,0688179	1,1333333	TRUE	0,08770856	1,133333	TRUE	0,156526	1,133333	TRUE
Άνω 'ίνα Σιδηροδοκού	13,207841	35,5	TRUE	1,0668772	35,5	TRUE	0,23274779	35,5	TRUE	14,50747	35,5	TRUE
Κάτω 'ίνα Σιδηροδοκού	13,207841	35,5	TRUE	6,9574659	35,5	TRUE	5,13236069	35,5	TRUE	25,29767	35,5	TRUE
Άνω 'ίνα Ελάσματος Ενίσχυσης	0	42	TRUE	0	42	TRUE	5,13236069	42	TRUE	5,132361	42	TRUE
Κάτω 'ίνα Ελάσματος Ενίσχυσης	0	42	TRUE	0	42	TRUE	5,40061611	42	TRUE	5,400616	42	TRUE

Σημείωση:

Ο Έλεγχος της Διατομής γίνεται με την Πλαστική Ροπή Αντοχής Mpl,Rd+

Σχεδιασμός Διαγράμματος Τάσεων Και Ελαστικού Ουδέτερου Άξονα Σε Κάθε Στάδιο Φάσεως Κατασκευής (Θετική Ελαστική Ροπή Αντοχής $M_{el,Rd}^{+}$)



Αρχικό Μενού | Προηγούμενη | Επόμενη

Ελαστική Ροπή Αντοχής Mel,Rd , Διατομή Σημείο Ελέγχου A (beff,A= 156,25 cm)

Ροπές Κάμψεως [M] στην Διατομή Ελέγχου A

Ροπή [M] στην Διατομή Ελέγχου A, για Μοναδιαίο Κατακόρυφο Ομοιόμορφο Φορτίο q=1KN/m

Διατομή Ελέγχου A	
$M_{Ed,q=1}$	-187,6 **KNcm**

Σημείωση:
*Η $M_{Ed,q=1}$ είναι η Δρώσα Ροπή στην Διατομή Ελέγχου για μοναδιαίο ομοιόμορφο κατανεμημένο φορτίο q=1KN/m
*Η Δρώσα Ροπή $M_{Ed,q=1}$ δίνεται με το πρόσημο της. (Θετικό Πρόσημο – Περιοχή Θετικών Ροπών, Αρνητικό Πρόσημο – Περιοχή Αρνητικών Ροπών)

Επιλογή Φάσεων Κατασκευής

Η Σιδηροδοκός ΔΕΝ Υποστυλώνεται στη Φάση Σκυροδέτησης
Η Σιδηροδοκός Υποστυλώνεται στη Φάση Σκυροδέτησης
Η Σιδηροδοκός ΔΕΝ Υποστυλώνεται στη Φάση Σκυροδέτησης

Επιρροή Λόγω Χρόνιων Παραμορφώσεων (Ερπυσμός)

Μακροχρόνια Φόρτιση (Ερπυσμός Σκυροδέματος)
Βραχυχρόνια Φόρτιση
Μακροχρόνια Φόρτιση (Ερπυσμός Σκυροδέματος)

****Σημείωση: Για την περίπτωση όπου γίνεται έλεγχος για Μακροχρόνιες Φορτίσεις θα πρέπει πρώτα να συμπληρωθεί το αντίστοιχο φύλλο υπολογισμού συντελεστή ερπυσμού φ(t).**

Αρνητική Ελαστική Ροπή Αντοχής Mel,Rd⁻

Φάση Κατασκευής I: Μόνιμα Φορτία Σκυροδέματος (gc) + Σιδηροδοκού(gα)

Δρώσα Εντατικά Μεγέθη στην Φάση Κατασκευής I

Μόνιμα Φορτία $g_{Ed,c} + g_{Ed,α}$	17,095065 KN/m
Δρώσα Ροπή $M_{Ed,gc+gα}$	3207,0342 **KNcm**

Διατομή Φάσης Κατασκευής I:	Χαλύβδινη Διατομή (Σιδηροδοκός)
Εμβαδόν Ισοδύναμης Διατομής A_e	84,46 cm^2
Ελαστικός Ουδέτερος Άξονας Ισοδύναμης Διατομής z_e	35 cm
Ροπή Αδρανείας Ισοδύναμης Διατομής $I_{e,ψψ,I}$	23130 cm^4

Φάση Κατασκευής ΙΙ: Λοιπά Μόνιμα Φορτία (g')

Δρώσα Εντατικά Μεγέθη στην Φάση Κατασκευής ΙΙ

Λοιπά Μόνιμα Φορτία g'_{Ed}	13,5	KN/m
Δρώσα Ροπή $M_{Ed,g'}$	2532,6	**KNcm**

Διατομή Φάσης Κατασκευής ΙΙ:	**Σύμμικτη Διατομή (Χωρίς Έλασμα Ενίσχυσης Αν Υπάρχει)**	
Εμβαδόν Ισοδύναμης Διατομής A_e	131,91114	cm^2
Ελαστικός Ουδέτερος Άξονας Ισοδύναμης Διατομής z_e	24,334908	cm
Ροπή Αδρανείας Ισοδύναμης Διατομής $I_{e,\psi\psi,I}$	50013,24	cm^4

Φάση Κατασκευής ΙΙΙ: Κινητά Φορτία (q)

Δρώσα Εντατικά Μεγέθη στην Φάση Κατασκευής ΙΙΙ

Κινητά Φορτία q_{Ed}	22,5	KN/m
Δρώσα Ροπή $M_{Ed,q}$	4221	**KNcm**

Διατομή Φάσης Κατασκευής ΙΙΙ:	**Σύμμικτη Διατομή (Με Έλασμα Ενίσχυσης Αν Υπάρχει)**	
Εμβαδόν Ισοδύναμης Διατομής A_e	171,9111	cm^2
Ελαστικός Ουδέτερος Άξονας Ισοδύναμης Διατομής z_e	31,70269	cm
Ροπή Αδρανείας Ισοδύναμης Διατομής $I_{e,\psi\psi,I}$	80801,64	cm^4

Ροπές Αντιστάσεως [W] και Τάσεων [σ] καθ' ύψος της διατομής, σε κάθε Στάδιο Φάσεως Κατασκευής

	Ροπές Αντιστάσεως [W] (cm^3) καθ' ύψος της διατομής σε κάθε Φάση Κατασκευής			Τάσεις [σ] (KPa) καθ' ύψος της διατομής σε κάθε Φάση Κατασκευής			Τελικές Τάσεις [σ] (KPa)
Στάθμες καθ' ύψος της διατομής	Φάση I $W_{g\alpha+gc}$	Φάση II $W_{g'}$	Φάση III W_q	Φάση I $\sigma_{g\alpha+gc}$	Φάση II $\sigma_{g'}$	Φάση III σ_q	σ_{total}
Ίνα Άνω Οπλισμού Σκυροδέματος	FALSE	2459,4771	2916,7434	0	1,0297311	1,4471619	2,476893
Ίνα Κάτω Οπλισμού Σκυροδέματος	FALSE	3061,74	3408,965	0	0,8271767	1,2382057	2,0653824
Άνω Ίνα Σιδηροδοκού	1156,5	5357,6577	4837,6424	2,7730516	0,4727066	0,8725325	4,1182906
Κάτω Ίνα Σιδηροδοκού	-1156,5	-1630,95	-3468,282	-2,773052	-1,552837	-1,2170292	-5,542918
Άνω Ίνα Ελάσματος Ενίσχυσης	FALSE	FALSE	-3468,282	0	0	-1,2170292	-1,217029
Κάτω Ίνα Ελάσματος Ενίσχυσης	FALSE	FALSE	-3194,08	0	0	-1,3215072	-1,321507

Κατηγορία Κατάταξης Διατομής (Στην Τελική Φάση):	2

****Σημείωση:** Η Κατάταξη της Διατομής (Τελική Φάση) λαμβάνεται από το πρόγραμμα Αυτόματης Κατάταξης Διατομής

Παρουσίαση Αποτελεσμάτων

Κατηγορία Κατάταξης Διατομής (Στην Τελική Φάση):	2

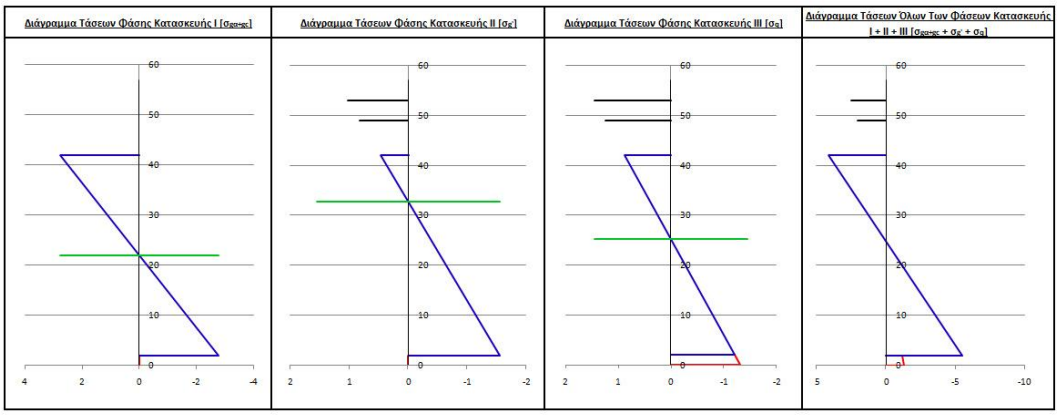
Έλεγχος Επάρκειας Τάσεων σε κάθε Στάδιο Φάσεως Κατασκευής σι≤ σεπιτρ.

Στάθμες καθ' ύψος της διατομής	Φάση I			Φάση II			Φάση III			Φάση Total		
	$\sigma_{\alpha+gc}$ (KN/cm^2)	$\sigma_{\epsilon\pi\iota\tau\rho.}$ (KN/cm^2)	Έλεγχος Επάρκειας $\sigma_{\alpha+gc} \leq \sigma_{\epsilon\pi\iota\tau\rho.}$	$\sigma_{g'}$ (KN/cm^2)	$\sigma_{\epsilon\pi\iota\tau\rho.}$ (KN/cm^2)	Έλεγχος Επάρκειας $\sigma_{g'} \leq \sigma_{\epsilon\pi\iota\tau\rho.}$	σ_q (KN/cm^2)	$\sigma_{\epsilon\pi\iota\tau\rho.}$ (KN/cm^2)	Έλεγχος Επάρκειας $\sigma_q \leq \sigma_{\epsilon\pi\iota\tau\rho.}$	σ_{total} (KN/cm^2)	$\sigma_{\epsilon\pi\iota\tau\rho.}$ (KN/cm^2)	Έλεγχος Επάρκειας $\sigma_{total} \leq \sigma_{\epsilon\pi\iota\tau\rho.}$
Ίνα Άνω Οπλισμού Σκυροδέματος	0	43,478261	TRUE	1,0297311	43,478261	TRUE	1,4471619	43,47826	TRUE	2,476893	43,47826	TRUE
Ίνα Κάτω Οπλισμού Σκυροδέματος	0	43,478261	TRUE	0,8271767	43,478261	TRUE	1,23820574	43,47826	TRUE	2,065382	43,47826	TRUE
Άνω Ίνα Σιδηροδοκού	2,7730516	35,5	TRUE	0,4727066	35,5	TRUE	0,87253246	35,5	TRUE	4,118291	35,5	TRUE
Κάτω Ίνα Σιδηροδοκού	2,7730516	35,5	TRUE	1,552837	35,5	TRUE	1,21702917	35,5	TRUE	5,542918	35,5	TRUE
Άνω Ίνα Ελάσματος Ενίσχυσης	0	42	TRUE	0	42	TRUE	1,21702917	42	TRUE	1,217029	42	TRUE
Κάτω Ίνα Ελάσματος Ενίσχυσης	0	42	TRUE	0	42	TRUE	1,32150725	42	TRUE	1,321507	42	TRUE

Σημείωση:

Ο Έλεγχος της Διατομής γίνεται με την Πλαστική Ροπή Αντοχής Mpl,Rd+

Σχεδιασμός Διαγράμματος Τάσεων Και Ελαστικού Ουδέτερου Άξονα Σε Κάθε Στάδιο Φάσεως Κατασκευής (Αρνητική Ελαστική Ροπή Αντοχής $M_{el,Rd}^{-}$)



Εικόνα 7-33 Καρτέλα «Υπολογισμός Ελαστικής Ροπής Αντοχής [$M_{el,Rd}$]» Προγράμματος Σύμμικτων Δοκών

7.2.3.13.1 Καρτέλα Προγράμματος «Διατομή Ελέγχου Α [$M_{el,Rd,A}$]»

Στην περίπτωση όπου η «Διατομή Ελέγχου Α» αποτελεί κρίσιμη διατομή ελέγχου τότε με βάση το συνεργαζόμενο πλάτος της ($b_{eff,A}$) και τη θέση στην οποία βρίσκεται κατά μήκος της δοκού (περιοχή θετικών/ αρνητικών ροπών) πραγματοποιείται ελαστικός έλεγχος τάσεων (ελαστική ροπή αντοχής $M_{el,Rd,A}$), λαμβάνοντας υπόψη τις φάσεις κατασκευής. Τα δεδομένα εισαγωγής και τα αποτελέσματα τα οποία λαμβάνονται από το πρόγραμμα είναι αυτά τα οποία αναφέρθηκαν στην (ενότητα 7.2.3.13).

Αρχικό Μενού | Προηγούμενη | Επόμενη

Ελαστική Ροπή Αντοχής Mel,Rd , Διατομή Σημείο Ελέγχου Α (beff,A= 156,25 cm)

Ροπές Κάμψεως [Μ] στην Διατομή Ελέγχου Α

Ροπή [Μ] στην Διατομή Ελέγχου Α, για Μοναδιαίο Κατακόρυφο Ομοιόμορφο Φορτίο q=1KN/m

Διατομή Ελέγχου Α	
$M_{Ed,q=1}$	-187,6 **KNcm**

Σημείωση:
*Η $M_{Ed,q=1}$ είναι η Δρώσα Ροπή στην Διατομή Ελέγχου για μοναδιαίο ομοιόμορφο κατανεμημένο φορτίο q=1KN/m
*Η Δρώσα Ροπή $M_{Ed,q=1}$ δίνεται με το πρόσημο της. (Θετικό Πρόσημο – Περιοχή Θετικών Ροπών, Αρνητικό Πρόσημο – Περιοχή Αρνητικών Ροπών)

Επιλογή Φάσεων Κατασκευής

Η Σιδηροδοκός ΔΕΝ Υποστυλώνεται στη Φάση Σκυροδέτησης
Η Σιδηροδοκός Υποστυλώνεται στη Φάση Σκυροδέτησης
Η Σιδηροδοκός ΔΕΝ Υποστυλώνεται στη Φάση Σκυροδέτησης

Επιρροή Λόγω Χρόνιων Παραμορφώσεων (Ερπυσμός)

Μακροχρόνια Φόρτιση (Ερπυσμός Σκυροδέματος)
Βραχυχρόνια Φόρτιση
Μακροχρόνια Φόρτιση (Ερπυσμός Σκυροδέματος)

****Σημείωση: Για την περίπτωση όπου γίνεται έλεγχος για Μακροχρόνιες Φορτίσεις θα πρέπει πρώτα να συμπληρωθεί το αντίστοιχο φύλλο υπολογισμού συντελεστή ερπυσμού φ(t).**

Αρνητική Ελαστική Ροπή Αντοχής Mel,Rd⁻

Φάση Κατασκευής Ι: Μόνιμα Φορτία Σκυροδέματος (gc) + Σιδηροδοκού(gα)

Δρώσα Εντατικά Μεγέθη στην Φάση Κατασκευής Ι

Μόνιμα Φορτία $g_{Ed,c} + g_{Ed,α}$	17,095065	KN/m
Δρώσα Ροπή $M_{Ed,gc+gα}$	3207,0342	**KNcm**

Διατομή Φάσης Κατασκευής Ι:	Χαλύβδινη Διατομή (Σιδηροδοκός)

Εμβαδόν Ισοδύναμης Διατομής A_e	84,46	cm^2
Ελαστικός Ουδέτερος Άξονας Ισοδύναμης Διατομής z_e	35	cm
Ροπή Αδρανείας Ισοδύναμης Διατομής $I_{e,ψψ,I}$	23130	cm^4

Φάση Κατασκευής ΙΙ: Λοιπά Μόνιμα Φορτία (g')

Δρώσα Εντατικά Μεγέθη στην Φάση Κατασκευής ΙΙ

Λοιπά Μόνιμα Φορτία g'_{Ed}	13,5	KN/m
Δρώσα Ροπή $M_{Ed,g'}$	2532,6	**KNcm**

Διατομή Φάσης Κατασκευής ΙΙ:	**Σύμμικτη Διατομή (Χωρίς Έλασμα Ενίσχυσης Αν Υπάρχει)**	
Εμβαδόν Ισοδύναμης Διατομής A_e	131,91114	cm^2
Ελαστικός Ουδέτερος Άξονας Ισοδύναμης Διατομής z_e	24,334908	cm
Ροπή Αδρανείας Ισοδύναμης Διατομής $I_{e,\psi\psi,I}$	50013,24	cm^4

Φάση Κατασκευής ΙΙΙ: Κινητά Φορτία (q)

Δρώσα Εντατικά Μεγέθη στην Φάση Κατασκευής ΙΙΙ

Κινητά Φορτία q_{Ed}	22,5	KN/m
Δρώσα Ροπή $M_{Ed,q}$	4221	**KNcm**

Διατομή Φάσης Κατασκευής ΙΙΙ:	**Σύμμικτη Διατομή (Με Έλασμα Ενίσχυσης Αν Υπάρχει)**	
Εμβαδόν Ισοδύναμης Διατομής A_e	171,9111	cm^2
Ελαστικός Ουδέτερος Άξονας Ισοδύναμης Διατομής z_e	31,70269	cm
Ροπή Αδρανείας Ισοδύναμης Διατομής $I_{e,\psi\psi,I}$	80801,64	cm^4

Ροπές Αντιστάσεως [W] και Τάσεων [σ] καθ' ύψος της διατομής, σε κάθε Στάδιο Φάσεως Κατασκευής

	Ροπές Αντιστάσεως [W] (cm^3) καθ' ύψος της διατομής σε κάθε Φάση Κατασκευής			Τάσεις [σ] (KPa) καθ' ύψος της διατομής σε κάθε Φάση Κατασκευής			Τελικές Τάσεις [σ] (KPa)
Στάθμες καθ' ύψος της διατομής	Φάση I $W_{g\alpha+gc}$	Φάση II $W_{g'}$	Φάση III W_q	Φάση I $\sigma_{g\alpha+gc}$	Φάση II $\sigma_{g'}$	Φάση III σ_q	σ_{total}
Ίνα Άνω Οπλισμού Σκυροδέματος	FALSE	2459,4771	2916,7434	0	1,0297311	1,4471619	2,476893
Ίνα Κάτω Οπλισμού Σκυροδέματος	FALSE	3061,74	3408,965	0	0,8271767	1,2382057	2,0653824
Άνω Ίνα Σιδηροδοκού	1156,5	5357,6577	4837,6424	2,7730516	0,4727066	0,8725325	4,1182906
Κάτω Ίνα Σιδηροδοκού	-1156,5	-1630,95	-3468,282	-2,773052	-1,552837	-1,2170292	-5,542918
Άνω Ίνα Ελάσματος Ενίσχυσης	FALSE	FALSE	-3468,282	0	0	-1,2170292	-1,217029
Κάτω Ίνα Ελάσματος Ενίσχυσης	FALSE	FALSE	-3194,08	0	0	-1,3215072	-1,321507

Κατηγορία Κατάταξης Διατομής (Στην Τελική Φάση):	2

****Σημείωση:** Η Κατάταξη της Διατομής (Τελική Φάση) λαμβάνεται από το πρόγραμμα Αυτόματης Κατάταξης Διατομής

Παρουσίαση Αποτελεσμάτων

Κατηγορία Κατάταξης Διατομής (Στην Τελική Φάση):	2

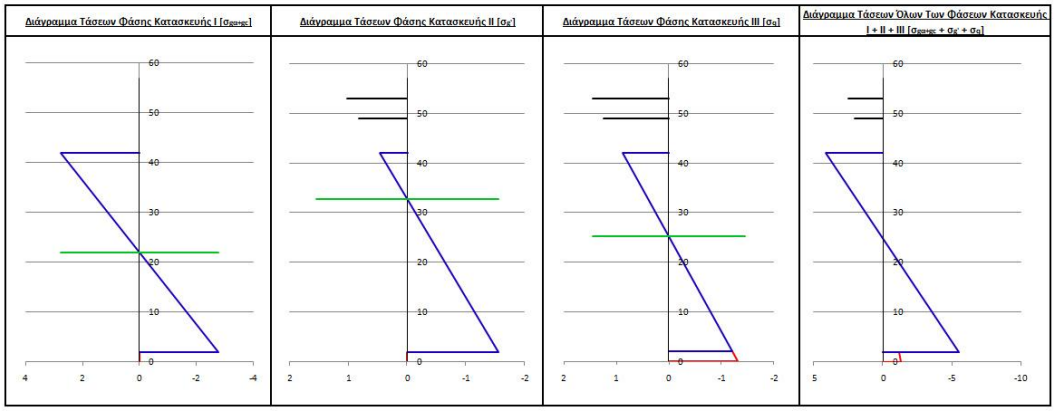
Έλεγχος Επάρκειας Τάσεων σε κάθε Στάδιο Φάσεως Κατασκευής σι ≤ σεπιτρ.

Στάθμες καθ' ύψος της διατομής	Φάση I			Φάση II			Φάση III			Φάση Total		
	$\sigma_{\alpha+gc}$ (KN/cm^2)	$\sigma_{\epsilon\pi\iota\tau\rho.}$ (KN/cm^2)	Έλεγχος Επάρκειας $\sigma_{\alpha+gc} \leq \sigma_{\epsilon\pi\iota\tau\rho.}$	$\sigma_{g'}$ (KN/cm^2)	$\sigma_{\epsilon\pi\iota\tau\rho.}$ (KN/cm^2)	Έλεγχος Επάρκειας $\sigma_{g'} \leq \sigma_{\epsilon\pi\iota\tau\rho.}$	σ_q (KN/cm^2)	$\sigma_{\epsilon\pi\iota\tau\rho.}$ (KN/cm^2)	Έλεγχος Επάρκειας $\sigma_q \leq \sigma_{\epsilon\pi\iota\tau\rho.}$	σ_{total} (KN/cm^2)	$\sigma_{\epsilon\pi\iota\tau\rho.}$ (KN/cm^2)	Έλεγχος Επάρκειας $\sigma_{total} \leq \sigma_{\epsilon\pi\iota\tau\rho.}$
Ίνα Άνω Οπλισμού Σκυροδέματος	0	43,478261	TRUE	1,0297311	43,478261	TRUE	1,4471619	43,47826	TRUE	2,476893	43,47826	TRUE
Ίνα Κάτω Οπλισμού Σκυροδέματος	0	43,478261	TRUE	0,8271767	43,478261	TRUE	1,23820574	43,47826	TRUE	2,065382	43,47826	TRUE
Άνω Ίνα Σιδηροδοκού	2,7730516	35,5	TRUE	0,4727066	35,5	TRUE	0,87253246	35,5	TRUE	4,118291	35,5	TRUE
Κάτω Ίνα Σιδηροδοκού	2,7730516	35,5	TRUE	1,552837	35,5	TRUE	1,21702917	35,5	TRUE	5,542918	35,5	TRUE
Άνω Ίνα Ελάσματος Ενίσχυσης	0	42	TRUE	0	42	TRUE	1,21702917	42	TRUE	1,217029	42	TRUE
Κάτω Ίνα Ελάσματος Ενίσχυσης	0	42	TRUE	0	42	TRUE	1,32150725	42	TRUE	1,321507	42	TRUE

Σημείωση:

Ο Έλεγχος της Διατομής γίνεται με την Πλαστική Ροπή Αντοχής Mpl,Rd+

Σχεδιασμός Διαγράμματος Τάσεων Και Ελαστικού Ουδέτερου Άξονα Σε Κάθε Στάδιο Φάσεως Κατασκευής (Αρνητική Ελαστική Ροπή Αντοχής $M_{el,Rd}^-$)



Εικόνα 7-34 Καρτέλα «Διατομή Ελέγχου Α [$M_{el,Rd,A}$]» Προγράμματος Σύμμικτων Δοκών

7.2.3.13.2 Καρτέλα Προγράμματος «Διατομή Ελέγχου Β [$M_{el,Rd,B}$]»

Στην περίπτωση όπου η «Διατομή Ελέγχου Β» αποτελεί κρίσιμη διατομή ελέγχου τότε με βάση το συνεργαζόμενο πλάτος της ($b_{eff,B}$) και τη θέση στην οποία βρίσκεται κατά μήκος της δοκού (περιοχή θετικών/ αρνητικών ροπών) πραγματοποιείται ελαστικός έλεγχος τάσεων (ελαστική ροπή αντοχής $M_{el,Rd,B}$), λαμβάνοντας υπόψη τις φάσεις κατασκευής. Τα δεδομένα εισαγωγής και τα αποτελέσματα τα οποία λαμβάνονται από το πρόγραμμα είναι αυτά τα οποία αναφέρθηκαν στην (ενότητα 7.2.3.13).

Αρχικό Μενού | Προηγούμενη | Επόμενη

Ελαστική Ροπή Αντοχής Mel,Rd , Διατομή Σημείο Ελέγχου B (beff,B= 175 cm)

Ροπές Κάμψεως [M] στην Διατομή Ελέγχου B

Ροπή [M] στην Διατομή Ελέγχου B, για Μοναδιαίο Κατακόρυφο Ομοιόμορφο Φορτίο q=1KN/m

Διατομή Ελέγχου B		
$M_{Ed,q=1}$	893,525	**KNcm**

Σημείωση:
*Η $M_{Ed,q=1}$ είναι η Δρώσα Ροπή στην Διατομή Ελέγχου για μοναδιαίο ομοιόμορφο κατανεμημένο φορτίο q=1KN/m
*Η Δρώσα Ροπή $M_{Ed,q=1}$ δίνεται με το πρόσημο της. (Θετικό Πρόσημο – Περιοχή Θετικών Ροπών, Αρνητικό Πρόσημο – Περιοχή Αρνητικών Ροπών)

Επιλογή Φάσεων Κατασκευής

Η Σιδηροδοκός ΔΕΝ Υποστυλώνεται στη Φάση Σκυροδέτησης

Η Σιδηροδοκός Υποστυλώνεται στη Φάση Σκυροδέτησης
Η Σιδηροδοκός ΔΕΝ Υποστυλώνεται στη Φάση Σκυροδέτησης

Επιρροή Λόγω Χρόνιων Παραμορφώσεων (Ερπυσμός)

Μακροχρόνια Φόρτιση (Ερπυσμός Σκυροδέματος)

Βραχυχρόνια Φόρτιση
Μακροχρόνια Φόρτιση (Ερπυσμός Σκυροδέματος)

****Σημείωση: Για την περίπτωση όπου γίνεται έλεγχος για Μακροχρόνιες Φορτίσεις θα πρέπει πρώτα να συμπληρωθεί το αντίστοιχο φύλλο υπολογισμού συντελεστή ερπυσμού φ(t).**

Θετική Ελαστική Ροπή Αντοχής Mel,Rd^{+}

Φάση Κατασκευής I: Μόνιμα Φορτία Σκυροδέματος (gc) + Σιδηροδοκού(ga)

Λόγος Μέτρων Ελαστικότητας n_l	25,444205

Δρώσα Εντατικά Μεγέθη στην Φάση Κατασκευής I

Μόνιμα Φορτία $g_{Ed,c} + g_{Ed,a}$	17,095065	KN/m
Δρώσα Ροπή $M_{Ed,gc+ga}$	15274,868	**KNcm**

Διατομή Φάσης Κατασκευής I:	Χαλύβδινη Διατομή (Σιδηροδοκός)

Εμβαδόν Ισοδύναμης Διατομής A_e	84,46	cm^2
Ελαστικός Ουδέτερος Άξονας Ισοδύναμης Διατομής z_e	35	cm
Ροπή Αδρανείας Ισοδύναμης Διατομής $I_{e,\psi\psi,I}$	23130	cm^4

Φάση Κατασκευής ΙΙ: Λοιπά Μόνιμα Φορτία (g')

Λόγος Μέτρων Ελαστικότητας n_{II}	**24,24809**

Δρώσα Εντατικά Μεγέθη στην Φάση Κατασκευής ΙΙ

Λοιπά Μόνιμα Φορτία g'_{Ed}	13,5	KN/m
Δρώσα Ροπή $M_{Ed,g'}$	12062,59	**KNcm**

Διατομή Φάσης Κατασκευής ΙΙ:	**Σύμμικτη Διατομή (Χωρίς Έλασμα Ενίσχυσης Αν Υπάρχει)**	
Εμβαδόν Ισοδύναμης Διατομής A_e	171,06476	cm^2
Ελαστικός Ουδέτερος Άξονας Ισοδύναμης Διατομής z_e	20,318203	cm
Ροπή Αδρανείας Ισοδύναμης Διατομής $I_{e,\psi\psi,I}$	60129,969	cm^4

Φάση Κατασκευής ΙΙΙ: Κινητά Φορτία (q)

Λόγος Μέτρων Ελαστικότητας n_{III}	**7,2413793**

Δρώσα Εντατικά Μεγέθη στην Φάση Κατασκευής ΙΙΙ

Κινητά Φορτία q_{Ed}	22,5	KN/m
Δρώσα Ροπή $M_{Ed,q}$	20104,313	**KNcm**

Διατομή Φάσης Κατασκευής ΙΙΙ:	**Σύμμικτη Διατομή (Με Έλασμα Ενίσχυσης Αν Υπάρχει)**	
Εμβαδόν Ισοδύναμης Διατομής A_e	414,46	cm^2
Ελαστικός Ουδέτερος Άξονας Ισοδύναμης Διατομής z_e	16,73527	cm
Ροπή Αδρανείας Ισοδύναμης Διατομής $I_{e,\psi\psi,I}$	149889,3	cm^4

Ροπές Αντιστάσεως [W] και Τάσεων [σ] καθ' ύψος της διατομής, σε κάθε Στάδιο Φάσεως Κατασκευής

	Ροπές Αντιστάσεως [W] (cm^3) καθ' ύψος της διατομής σε κάθε Φάση Κατασκευής			Τάσεις [σ] (KPa) καθ' ύψος της διατομής σε κάθε Φάση Κατασκευής			Τελικές Τάσεις [σ] (KPa)
Στάθμες καθ' ύψος της διατομής	Φάση I $W_{gα+gc}$	Φάση II $W_{g'}$	Φάση III W_q	Φάση I $σ_{gα+gc}$	Φάση II $σ_{g'}$	Φάση III $σ_q$	$σ_{total}$
Άνω Ίνα Πλάκας Σκυροδέματος	FALSE	-71760,13	-64857,36	0	-0,168096	-0,3099773	-0,478073
Κάτω Ίνα Πλάκας Σκυροδέματος	FALSE	-175282,7	-229217,2	0	-0,068818	-0,0877086	-0,156526
Άνω Ίνα Σιδηροδοκού	-1156,5	-11306,44	-86378,1	-13,20784	-1,066877	-0,2327478	-14,50747
Κάτω Ίνα Σιδηροδοκού	1156,5	1733,7616	3917,1667	13,207841	6,9574659	5,1323607	25,297667
Άνω Ίνα Ελάσματος Ενίσχυσης	FALSE	FALSE	3917,1667	0	0	5,1323607	5,1323607
Κάτω Ίνα Ελάσματος Ενίσχυσης	FALSE	FALSE	3722,5961	0	0	5,4006161	5,4006161

Κατηγορία Κατάταξης Διατομής (Στην Τελική Φάση):	1

****Σημείωση:** Η Κατάταξη της Διατομής (Τελική Φάση) λαμβάνεται από το πρόγραμμα Αυτόματης Κατάταξης Διατομής

Παρουσίαση Αποτελεσμάτων

Κατηγορία Κατάταξης Διατομής (Στην Τελική Φάση):	1

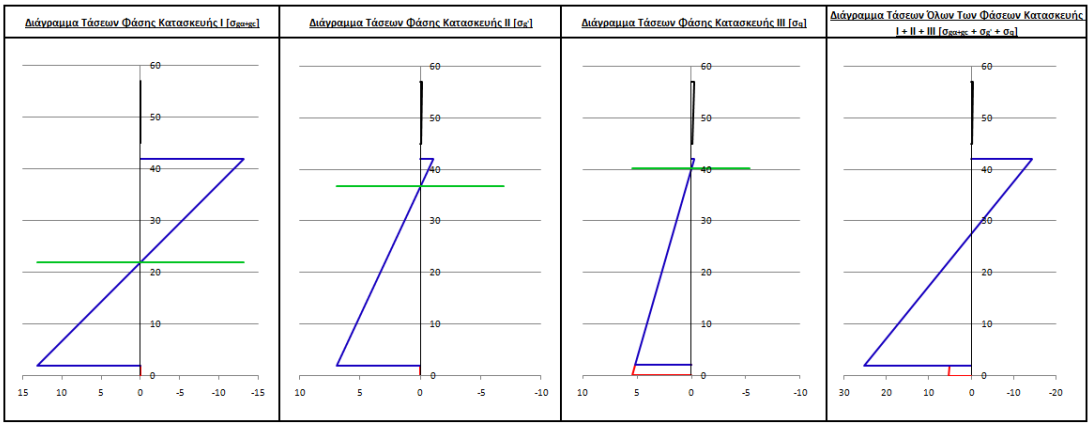
Έλεγχος Επάρκειας Τάσεων σε κάθε Στάδιο Φάσεως Κατασκευής $\sigma_i \leq \sigma_{επιτρ.}$

Στάθμες καθ' ύψος της διατομής	Φάση I			Φάση II			Φάση III			Φάση Total		
	σ_{ga+gc} (KN/cm^2)	$\sigma_{επιτρ.}$ (KN/cm^2)	Έλεγχος Επάρκειας $\sigma_{ga+gc} \leq \sigma_{επιτρ.}$	$\sigma_{g'}$ (KN/cm^2)	$\sigma_{επιτρ.}$ (KN/cm^2)	Έλεγχος Επάρκειας $\sigma_{g'} \leq \sigma_{επιτρ.}$	σ_q (KN/cm^2)	$\sigma_{επιτρ.}$ (KN/cm^2)	Έλεγχος Επάρκειας $\sigma_q \leq \sigma_{επιτρ.}$	σ_{total} (KN/cm^2)	$\sigma_{επιτρ.}$ (KN/cm^2)	Έλεγχος Επάρκειας $\sigma_{total} \leq \sigma_{επιτρ.}$
Άνω ΄ίνα Πλάκας Σκυροδέματος	0	1,1333333	TRUE	0,168096	1,1333333	TRUE	0,30997734	1,133333	TRUE	0,478073	1,133333	TRUE
Κάτω ΄ίνα Πλάκας Σκυροδέματος	0	1,1333333	TRUE	0,0688179	1,1333333	TRUE	0,08770856	1,133333	TRUE	0,156526	1,133333	TRUE
Άνω ΄ίνα Σιδηροδοκού	13,207841	35,5	TRUE	1,0668772	35,5	TRUE	0,23274779	35,5	TRUE	14,50747	35,5	TRUE
Κάτω ΄ίνα Σιδηροδοκού	13,207841	35,5	TRUE	6,9574659	35,5	TRUE	5,13236069	35,5	TRUE	25,29767	35,5	TRUE
Άνω ΄ίνα Ελάσματος Ενίσχυσης	0	42	TRUE	0	42	TRUE	5,13236069	42	TRUE	5,132361	42	TRUE
Κάτω ΄ίνα Ελάσματος Ενίσχυσης	0	42	TRUE	0	42	TRUE	5,40061611	42	TRUE	5,400616	42	TRUE

Σημείωση:

Ο Έλεγχος της Διατομής γίνεται με την Πλαστική Ροπή Αντοχής Mpl,Rd+

Σχεδιασμός Διαγράμματος Τάσεων Και Ελαστικού Ουδέτερου Άξονα Σε Κάθε Στάδιο Φάσεως Κατασκευής (Θετική Ελαστική Ροπή Αντοχής $M_{el,Rd}^{+}$)



Εικόνα 7-35 Καρτέλα «Διατομή Ελέγχου Β [$M_{el,Rd,B}$]» Προγράμματος Σύμμικτων Δοκών

7.2.3.13.3 Καρτέλα Προγράμματος «Διατομή Ελέγχου Γ [$M_{el,Rd,Γ}$]»

Στην περίπτωση όπου η «Διατομή Ελέγχου Γ» αποτελεί κρίσιμη διατομή ελέγχου τότε με βάση το συνεργαζόμενο πλάτος της ($b_{eff,Γ}$) και τη θέση στην οποία βρίσκεται κατά μήκος της δοκού (περιοχή θετικών/ αρνητικών ροπών) πραγματοποιείται ελαστικός έλεγχος τάσεων (ελαστική ροπή αντοχής $M_{el,Rd,Γ}$), λαμβάνοντας υπόψη τις φάσεις κατασκευής. Τα δεδομένα εισαγωγής και τα αποτελέσματα τα οποία λαμβάνονται από το πρόγραμμα είναι αυτά τα οποία αναφέρθηκαν στην (ενότητα 7.2.3.13).

Αρχικό Μενού | Προηγούμενη | Επόμενη

Ελαστική Ροπή Αντοχής Mel,Rd , Διατομή Σημείο Ελέγχου Γ (beff,Γ= 156,25 cm)

Ροπές Κάμψεως [M] στην Διατομή Ελέγχου Γ

Ροπή [M] στην Διατομή Ελέγχου Γ, για Μοναδιαίο Κατακόρυφο Ομοιόμορφο Φορτίο q=1KN/m

Διατομή Ελέγχου Γ	
$M_{Ed,q=1}$	-537,6 **KNcm**

Σημείωση:
*Η $M_{Ed,q=1}$ είναι η Δρώσα Ροπή στην Διατομή Ελέγχου για μοναδιαίο ομοιόμορφο κατανεμημένο φορτίο q=1KN/m
*Η Δρώσα Ροπή $M_{Ed,q=1}$ δίνεται με το πρόσημο της. (Θετικό Πρόσημο – Περιοχή Θετικών Ροπών, Αρνητικό Πρόσημο – Περιοχή Αρνητικών Ροπών)

Επιλογή Φάσεων Κατασκευής

Η Σιδηροδοκός ΔΕΝ Υποστυλώνεται στη Φάση Σκυροδέτησης

Η Σιδηροδοκός Υποστυλώνεται στη Φάση Σκυροδέτησης
Η Σιδηροδοκός ΔΕΝ Υποστυλώνεται στη Φάση Σκυροδέτησης

Επιρροή Λόγω Χρόνιων Παραμορφώσεων (Ερπυσμός)

Μακροχρόνια Φόρτιση (Ερπυσμός Σκυροδέματος)

Βραχυχρόνια Φόρτιση
Μακροχρόνια Φόρτιση (Ερπυσμός Σκυροδέματος)

****Σημείωση: Για την περίπτωση όπου γίνεται έλεγχος για Μακροχρόνιες Φορτίσεις θα πρέπει πρώτα να συμπληρωθεί το αντίστοιχο φύλλο υπολογισμού συντελεστή ερπυσμού φ(t).**

Αρνητική Ελαστική Ροπή Αντοχής Mel,Rd⁻

Φάση Κατασκευής I: Μόνιμα Φορτία Σκυροδέματος (gc) + Σιδηροδοκού(ga)

Δρώσα Εντατικά Μεγέθη στην Φάση Κατασκευής I

Μόνιμα Φορτία $g_{Ed,c} + g_{Ed,a}$	17,095065	KN/m
Δρώσα Ροπή $M_{Ed,gc+ga}$	9190,3069	**KNcm**

Διατομή Φάσης Κατασκευής I:	Χαλύβδινη Διατομή (Σιδηροδοκός)

Εμβαδόν Ισοδύναμης Διατομής A_e	84,46	cm^2
Ελαστικός Ουδέτερος Άξονας Ισοδύναμης Διατομής z_e	35	cm
Ροπή Αδρανείας Ισοδύναμης Διατομής $I_{e,\psi\psi,I}$	23130	cm^4

Φάση Κατασκευής ΙΙ: Λοιπά Μόνιμα Φορτία (g')

Δρώσα Εντατικά Μεγέθη στην Φάση Κατασκευής ΙΙ

Λοιπά Μόνιμα Φορτία g'_{Ed}	13,5	KN/m
Δρώσα Ροπή $M_{Ed,g'}$	7257,6	**KNcm**

Διατομή Φάσης Κατασκευής ΙΙ:	**Σύμμικτη Διατομή (Χωρίς Έλασμα Ενίσχυσης Αν Υπάρχει)**	
Εμβαδόν Ισοδύναμης Διατομής A_e	131,91114	cm^2
Ελαστικός Ουδέτερος Άξονας Ισοδύναμης Διατομής z_e	24,334908	cm
Ροπή Αδρανείας Ισοδύναμης Διατομής $I_{e,\psi\psi,I}$	50013,24	cm^4

Φάση Κατασκευής ΙΙΙ: Κινητά Φορτία (q)

Δρώσα Εντατικά Μεγέθη στην Φάση Κατασκευής ΙΙΙ

Κινητά Φορτία q_{Ed}	22,5	KN/m
Δρώσα Ροπή $M_{Ed,q}$	12096	**KNcm**

Διατομή Φάσης Κατασκευής ΙΙΙ:	**Σύμμικτη Διατομή (Με Έλασμα Ενίσχυσης Αν Υπάρχει)**	
Εμβαδόν Ισοδύναμης Διατομής A_e	171,9111	cm^2
Ελαστικός Ουδέτερος Άξονας Ισοδύναμης Διατομής z_e	31,70269	cm
Ροπή Αδρανείας Ισοδύναμης Διατομής $I_{e,\psi\psi,I}$	80801,64	cm^4

Ροπές Αντιστάσεως [W] και Τάσεων [σ] καθ' ύψος της διατομής, σε κάθε Στάδιο Φάσεως Κατασκευής

	Ροπές Αντιστάσεως [W] (cm^3) καθ' ύψος της διατομής σε κάθε Φάση Κατασκευής			Τάσεις [σ] (KPa) καθ' ύψος της διατομής σε κάθε Φάση Κατασκευής			Τελικές Τάσεις [σ] (KPa)
Στάθμες καθ' ύψος της διατομής	Φάση I $W_{g\alpha+gc}$	Φάση II $W_{g'}$	Φάση III W_q	Φάση I $\sigma_{g\alpha+gc}$	Φάση II $\sigma_{g'}$	Φάση III σ_q	σ_{total}
Ίνα Άνω Οπλισμού Σκυροδέματος	FALSE	2459,4771	2916,7434	0	2,9508711	4,1470908	7,097962
Ίνα Κάτω Οπλισμού Σκυροδέματος	FALSE	3061,74	3408,965	0	2,3704168	3,5482911	5,9187079
Άνω Ίνα Σιδηροδοκού	1156,5	5357,6577	4837,6424	7,9466553	1,3546218	2,5003915	11,801669
Κάτω Ίνα Σιδηροδοκού	-1156,5	-1630,95	-3468,282	-7,946655	-4,449921	-3,487606	-15,88418
Άνω Ίνα Ελάσματος Ενίσχυσης	FALSE	FALSE	-3468,282	0	0	-3,487606	-3,487606
Κάτω Ίνα Ελάσματος Ενίσχυσης	FALSE	FALSE	-3194,08	0	0	-3,7870058	-3,787006

Κατηγορία Κατάταξης Διατομής (Στην Τελική Φάση):	2

****Σημείωση:** Η Κατάταξη της Διατομής (Τελική Φάση) λαμβάνεται από το πρόγραμμα Αυτόματης Κατάταξης Διατομής

Παρουσίαση Αποτελεσμάτων

Κατηγορία Κατάταξης Διατομής (Στην Τελική Φάση):	2

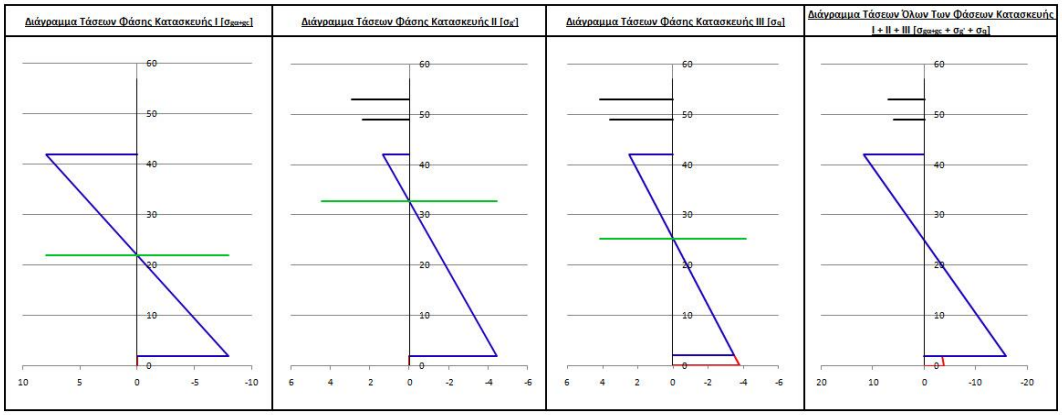
Έλεγχος Επάρκειας Τάσεων σε κάθε Στάδιο Φάσεως Κατασκευής σi ≤ σεπιτρ.

	Φάση I			Φάση II			Φάση III			Φάση Total		
Στάθμες καθ' ύψος της διατομής	$\sigma_{g\alpha+gc}$ (KN/cm^2)	$\sigma_{\epsilon\pi\iota\tau\rho.}$ (KN/cm^2)	Έλεγχος Επάρκειας $\sigma_{g\alpha+gc} \leq \sigma_{\epsilon\pi\iota\tau\rho.}$	$\sigma_{g'}$ (KN/cm^2)	$\sigma_{\epsilon\pi\iota\tau\rho.}$ (KN/cm^2)	Έλεγχος Επάρκειας $\sigma_{g'} \leq \sigma_{\epsilon\pi\iota\tau\rho.}$	σ_q (KN/cm^2)	$\sigma_{\epsilon\pi\iota\tau\rho.}$ (KN/cm^2)	Έλεγχος Επάρκειας $\sigma_q \leq \sigma_{\epsilon\pi\iota\tau\rho.}$	σ_{total} (KN/cm^2)	$\sigma_{\epsilon\pi\iota\tau\rho.}$ (KN/cm^2)	Έλεγχος Επάρκειας $\sigma_{total} \leq \sigma_{\epsilon\pi\iota\tau\rho.}$
Ίνα Άνω Οπλισμού Σκυροδέματος	0	43,478261	TRUE	2,9508711	43,478261	TRUE	4,14709083	43,47826	TRUE	7,097962	43,47826	TRUE
Ίνα Κάτω Οπλισμού Σκυροδέματος	0	43,478261	TRUE	2,3704168	43,478261	TRUE	3,54829108	43,47826	TRUE	5,918708	43,47826	TRUE
Άνω Ίνα Σιδηροδοκού	7,9466553	35,5	TRUE	1,3546218	35,5	TRUE	2,50039152	35,5	TRUE	11,80167	35,5	TRUE
Κάτω Ίνα Σιδηροδοκού	7,9466553	35,5	TRUE	4,4499211	35,5	TRUE	3,48760597	35,5	TRUE	15,88418	35,5	TRUE
Άνω Ίνα Ελάσματος Ενίσχυσης	0	42	TRUE	0	42	TRUE	3,48760597	42	TRUE	3,487606	42	TRUE
Κάτω Ίνα Ελάσματος Ενίσχυσης	0	42	TRUE	0	42	TRUE	3,78700584	42	TRUE	3,787006	42	TRUE

Σημείωση:

Ο Έλεγχος της Διατομής γίνεται με την Πλαστική Ροπή Αντοχής Mpl,Rd+

Σχεδιασμός Διαγράμματος Τάσεων Και Ελαστικού Ουδέτερου Άξονα Σε Κάθε Στάδιο Φάσεως Κατασκευής (Αρνητική Ελαστική Ροπή Αντοχής M_{el,Rd^-})



Εικόνα 7-36 Καρτέλα «Διατομή Ελέγχου Γ [$M_{el,Rd,\Gamma}$]» Προγράμματος Σύμμικτων Δοκών

7.2.3.14 Καρτέλα Προγράμματος «Υπολογισμός Κατάταξης Διατομών»

Σε κάθε κρίσιμη διατομή ελέγχου ανάλογα με την θέση του πλαστικού ουδέτερου άξονα (για πλαστικό σχεδιασμό ροπής αντοχής) ή του ελαστικού ουδέτερου άξονα αντίστοιχα (ελαστικός σχεδιασμός ροπής αντοχής), γίνεται αυτόματη κατηγοριοποίηση κατάταξης της διατομής της σιδηροδοκού.

Πρόγραμμα Εύρεσης Κατηγορίας Διατομής

Διατομή Σημείο Ελέγχου Α (beff,A= 156,25 cm)

Είδος Διατομής: Σύμμικτη Διατομή		

Επιλογή Διατομής Σιδηροδοκού:	IPE	400

Για Αρνητικές Ροπές Μ-

Συνολικό Ύψος Πλάκας Σκυροδέματος: d	15 cm
Θέση Πλαστικού Ουδέτερου Άξονα: z_o	29,38765 cm

Συνολικό Ύψος Πλάκας Σκυροδέματος: d	15 cm
Θέση Πλαστικού Ουδέτερου Άξονα: z_o	29,38765 cm

Σημείωση:
• Ο Πλαστικός ουδέτερος άξονας z_o στην σύμμικτη διατομή μετριέται από την άνω ίνα της πλάκας σκυροδέματος.

Τάσεις στα δυο άκρα της σιδηροδοκού		
Τάση Στην Άνω Ίνα του Άνω Πέλματος της Σιδηροδοκού $\sigma_{Ανω}$	4,118291	KPa
Τάση Στην Κάτω Ίνα του Κάτω Πέλματος της Σιδηροδοκού $\sigma_{Κάτω}$	-5,54292	KPa

Σημείωση:
*Ελαστικές Τάσεις στα δύο άκρα της σιδηροδοκού δίνονται στην περίπτωση όπου η κατηγορία κατάταξης της διατομής δεν είναι 1 ή 2 και πρέπει να εξεταστεί αν είναι κατηγορίας 3 ή 4.

Θετική Προσήμανση Τάσεων:
• Θλιπτικές Τάσεις -> Αρνητικό Πρόσημο (-)
• Εφελκυστικές Τάσεις -> Θετικό Πρόσημο (+)

Κατάταξη Κορμού Σιδηροδοκού:	2

Κατάταξη Πέλματος Σιδηροδοκού:	1

Κατάταξη Διατομής Σιδηροδοκού:	**2**

Διατομή Σημείο Ελέγχου B (beff,B= 175 cm)

Είδος Διατομής: Σύμμικτη Διατομή

Επιλογή Διατομής Σιδηροδοκού:	IPE	400

Για Θετικές Ροπές M+

Συνολικό Ύψος Πλάκας Σκυροδέματος: d	15	cm
Θέση Πλαστικού Ουδέτερου Άξονα: z_o	24,74494	cm

Συνολικό Ύψος Πλάκας Σκυροδέματος: d	15	cm
Θέση Πλαστικού Ουδέτερου Άξονα: z_o	24,74494	cm

Σημείωση:
• Ο Πλαστικός ουδέτερος άξονας z_o στην σύμμικτη διατομή μετριέται από την άνω ίνα της πλάκας σκυροδέματος.

Τάσεις στα δυο άκρα της σιδηροδοκού		
Τάση Στην Άνω Ίνα του Άνω Πέλματος της Σιδηροδοκού $\sigma_{Ανω}$	-14,5075	KPa
Τάση Στην Κάτω Ίνα του Κάτω Πέλματος της Σιδηροδοκού $\sigma_{Κάτω}$	25,29767	KPa

Σημείωση:
*Ελαστικές Τάσεις στα δύο άκρα της σιδηροδοκού δίνονται στην περίπτωση όπου η κατηγορία κατάταξης της διατομής δεν είναι 1 ή 2 και πρέπει να εξεταστεί αν είναι κατηγορίας 3 ή 4.

Θετική Προσήμανση Τάσεων:
• Θλιπτικές Τάσεις -> Αρνητικό Πρόσημο (-)
• Εφελκυστικές Τάσεις -> Θετικό Πρόσημο (+)

Κατάταξη Κορμού Σιδηροδοκού:	1

Κατάταξη Πέλματος Σιδηροδοκού:	1

Κατάταξη Διατομής Σιδηροδοκού:	**1**

Διατομή Σημείο Ελέγχου Γ (beff,Γ= 156,25 cm)

Είδος Διατομής: Σύμμικτη Διατομή		

Επιλογή Διατομής Σιδηροδοκού:	IPE	400

Για Αρνητικές Ροπές M-	
Συνολικό Ύψος Πλάκας Σκυροδέματος: d	15 cm
Θέση Πλαστικού Ουδέτερου Άξονα: z_o	29,38765 cm

Συνολικό Ύψος Πλάκας Σκυροδέματος: d	15 cm
Θέση Πλαστικού Ουδέτερου Άξονα: z_o	29,38765 cm

Σημείωση:
• Ο Πλαστικός ουδέτερος άξονας z_o στην σύμμικτη διατομή μετριέται από την άνω ίνα της πλάκας σκυροδέματος.

Τάσεις στα δυο άκρα της σιδηροδοκού		
Τάση Στην Άνω Ίνα του Άνω Πέλματος της Σιδηροδοκού $\sigma_{Ανω}$	11,80167	KPa
Τάση Στην Κάτω Ίνα του Κάτω Πέλματος της Σιδηροδοκού $\sigma_{Κάτω}$	-15,8842	KPa

Σημείωση:
*Ελαστικές Τάσεις στα δύο άκρα της σιδηροδοκού δίνονται στην περίπτωση όπου η κατηγορία κατάταξης της διατομής δεν είναι 1 ή 2 και πρέπει να εξεταστεί αν είναι κατηγορίας 3 ή 4.

Θετική Προσήμανση Τάσεων:
• Θλιπτικές Τάσεις -> Αρνητικό Πρόσημο (-)
• Εφελκυστικές Τάσεις -> Θετικό Πρόσημο (+)

Κατάταξη Κορμού Σιδηροδοκού:	2

Κατάταξη Πέλματος Σιδηροδοκού:	1

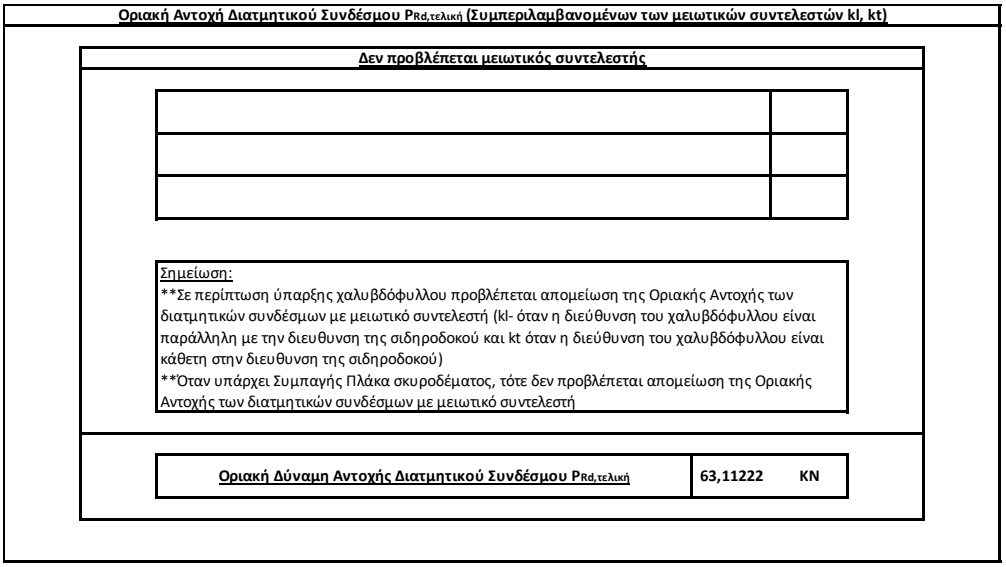
Κατάταξη Διατομής Σιδηροδοκού:	**2**

Εικόνα 7-37 Καρτέλα «Υπολογισμός Κατάταξης Διατομών» Προγράμματος Σύμμικτων Δοκών

7.2.3.15 Καρτέλα Προγράμματος «Υπολογισμός Διατμητικής Σύνδεσης»

Στην καρτέλα αυτή ο χρήστης λαμβάνει αποτελέσματα τα οποία αφορούν την διαστασιολόγηση της διατμητικής σύνδεσης της σύμμικτης δοκού. Αρχικά το πρόγραμμα υπολογίζει την δρώσα διαμήκης διάτμηση ($v_{l,Ed}$), η οποία μπορεί να υπολογιστεί μόνο με πλαστική ανάλυση καθώς το παρόν πρόγραμμα δεν παρέχει δυνατότητα υπολογισμού της διαμήκους διάτμησης με ελαστικό σχεδιασμό. Επομένως γίνεται έλεγχος από το πρόγραμμα αν πληρούνται οι προϋποθέσεις έτσι ώστε η δρώσα διαμήκης διάτμηση να πραγματοποιηθεί με πλαστική ανάλυση. Υπολογίζονται τα κρίσιμα μήκη της σύμμικτης δοκού (L_{cr}) και οι αντίστοιχες τιμές της διατμητικής ροής στα τμήματα αυτά ($v_{l,Ed,i}$).

Ακολούθως γίνεται ο υπολογισμός της οριακής δύναμης αντοχής του διατμητικού ήλου ($P_{Rd,ήλου}$). Στην περίπτωση σύμμικτης πλάκας με αυλακωτό χαλυβδόφυλλο η οριακή δύναμη του διατμητικού ήλου υφίσταται μείωση με την χρήση μειωτικού συντελεστή k_t ή k_l ανάλογα αν η διεύθυνση των αυλακώσεων του χαλυβδόφυλλου είναι κάθετη ή παράλληλη στην διεύθυνση του άξονα της σιδηροδοκού αντίστοιχα. Για συμπαγής πλάκες σκυροδέματος δεν προβλέπεται απομείωση της οριακής αντοχής των διατμητικών ήλων.



Εικόνα 7-38 Οριακή δύναμη αντοχής διατμητικού ήλου τοποθετούμενος σε συμπαγή πλάκα σκυροδέματος

Οριακή Αντοχή Διατμητικού Συνδέσμου $P_{Rd,τελική}$ (Συμπεριλαμβανομένων των μειωτικών συντελεστών kl, kt)

Μειωτικός Συντελεστής: kl

Μειωτικός Συντελεστής Οριακής Αντοχής Διατμητικού Συνδέσμου, Για Χαλυβδόφυλλο με Αυλακώσεις Παράλληλες Στη Σιδηροδοκό: kl	0,6

Σημείωση:
**Σε περίπτωση ύπαρξης χαλυβδόφυλλου προβλέπεται απομείωση της Οριακής Αντοχής των διατμητικών συνδέσμων με μειωτικό συντελεστή (kl- όταν η διεύθυνση του χαλυβδόφυλλου είναι παράλληλη με την διευθυνση της σιδηροδοκού και kt όταν η διεύθυνση του χαλυβδόφυλλου είναι κάθετη στην διευθυνση της σιδηροδοκού)
**Όταν υπάρχει Συμπαγής Πλάκα σκυροδέματος, τότε δεν προβλέπεται απομείωση της Οριακής Αντοχής των διατμητικών συνδέσμων με μειωτικό συντελεστή

Οριακή Δύναμη Αντοχής Διατμητικού Συνδέσμου $P_{Rd,τελική}$	**37,86733**	**KN**

Εικόνα 7-39 Οριακή δύναμη αντοχής διατμητικού ήλου τοποθετούμενος σε σύμμικτη πλάκα σκυροδέματος με χαλυβδόφυλλο παράλληλο στην διεύθυνση της σιδηροδοκού (Μειωτικός συντελεστής (k_l) στην οριακή αντοχή του διατμητικού ήλου)

Οριακή Αντοχή Διατμητικού Συνδέσμου $P_{Rd,τελική}$ (Συμπεριλαμβανομένων των μειωτικών συντελεστών kl, kt)

Μειωτικός Συντελεστής: kt

Μειωτικός Συντελεστής Οριακής Αντοχής Διατμητικού Συνδέσμου,Για Χαλυβδόφυλλο με Αυλακώσεις Κάθετες Στη Σιδηροδοκό: kt	0,7
Μέγιστος Μειωτικός Συντελεστής Οριακής Αντοχής Διατμητικού Συνδέσμου,Για Χαλυβδόφυλλο με Αυλακώσεις Κάθετες Στη Σιδηροδοκό: kt,max	1

Σημείωση:
**Σε περίπτωση ύπαρξης χαλυβδόφυλλου προβλέπεται απομείωση της Οριακής Αντοχής των διατμητικών συνδέσμων με μειωτικό συντελεστή (kl- όταν η διεύθυνση του χαλυβδόφυλλου είναι παράλληλη με την διευθυνση της σιδηροδοκού και kt όταν η διεύθυνση του χαλυβδόφυλλου είναι κάθετη στην διευθυνση της σιδηροδοκού)
**Όταν υπάρχει Συμπαγής Πλάκα σκυροδέματος, τότε δεν προβλέπεται απομείωση της Οριακής Αντοχής των διατμητικών συνδέσμων με μειωτικό συντελεστή

Οριακή Δύναμη Αντοχής Διατμητικού Συνδέσμου $P_{Rd,τελική}$	**44,17855**	**KN**

Εικόνα 7-40 Οριακή δύναμη αντοχής διατμητικού ήλου τοποθετούμενος σε σύμμικτη πλάκα σκυροδέματος με χαλυβδόφυλλο κάθετο στην διεύθυνση της σιδηροδοκού (Μειωτικός συντελεστής (k_t) στην οριακή αντοχή του διατμητικού ήλου)

Η μέθοδος ανάλυσης υπολογισμού για την εύρεση της διαμήκους διατμητικής αντοχής ($v_{l,Rd}$) σύμμικτης δοκού, όπως και πριν μπορεί να ευρεθεί μόνο με πλαστική ανάλυση με πλήρη ή μερική διατμητική κάλυψη κατά μήκος της σύμμικτης δοκού καθώς δεν παρέχεται δυνατότητα στο πρόγραμμα ελαστικής μεθόδου ανάλυσης. Συνεπώς ο χρήστης καλείται να επιλέξει μέσω αναπτυσσόμενης λίστας τον τρόπο με τον οποίο επιθυμεί να γίνει η διατμητική κάλυψη στην σύμμικτη δοκό (πλήρη ή μερική διατμητική σύνδεση) καθώς επίσης του ζητείται να επιλέξει αν η υπό εξέταση σύμμικτη δοκό η οποία μελετάτε είναι κύρια δοκός κτιρίου με πλαισιακή λειτουργία σε περιοχές σεισμικής επικινδυνότητας ή όχι. Ακολούθως γίνεται έλεγχος αν πληρούνται οι προϋποθέσεις ώστε η εύρεση της διαμήκους διατμητικής αντοχής ($v_{l,Rd}$) να γίνεται μέσω ομοιόμορφης πλαστικής κατανομής διατμητικών συνδέσμων.

Ανάλογα με το είδος στατικού συστήματος (αμφιέρειστη δοκός, πρόβολος, ενδιάμεσο ή ακραίο τμήμα συνεχής δοκού) και την μέθοδο διατμητικής κάλυψης της σύμμικτης δοκού (πλήρης ή μερική διατμητική σύνδεση), γίνεται διαχωρισμός του υπό εξέταση ανοίγματος της δοκού σε μικρότερα τμήματα. Σε κάθε ένα από τα τμήμα αυτά αναφέρεται η μέθοδος διατμητικής κάλυψης η οποία πραγματοποιείται (πλήρης ή μερική διατμητική σύνδεση), το διάστημα ελέγχου του συγκεκριμένου τμήματος το οποίο εξετάζεται, το τοποθετούμενο ποσοστό διατμητικής σύνδεσης και ο αριθμός των διατμητικών ήλων οι οποίοι τοποθετούνται ανά διατομή με την απαιτούμενη διαμήκη απόσταση οι οποίοι θα πρέπει να τοποθετούνται οι ήλοι ανά μεταξύ τους (στρογγυλοποιημένη).

Για παράδειγμα στην περίπτωση όπου το στατικό σύστημα το οποίο επιλέγεται είναι ενδιάμεσο τμήμα συνεχής δοκού, το οποίο θα διαστασιολογηθεί με μερική διατμητική σύνδεσης, τότε το πρόγραμμα αυτόματα διαχωρίζει το εξεταζόμενο άνοιγμα της σύμμικτης δοκού σε 4 τμήματα:

- Τμήμα A-X_1: Τμήμα από την αριστερή στήριξη της δοκού μέχρι το σημείο X_1 όπου έχουμε μηδενισμό του διαγράμματος ροπών. Το διάγραμμα ροπών στην περιοχή αυτή είναι αρνητικό.

- Τμήμα X_1-Β: Τμήμα από το αριστερό σημείο μηδενισμού της σύμμικτης δοκού μέχρι το σημείο κρίσιμου μήκους της δοκού (σημείο μέγιστης θετικής ροής). Το διάγραμμα ροπών μέσα στο τμήμα αυτό είναι με θετικό πρόσημο.
- Τμήμα Β-X_2: Τμήμα από το αριστερό σημείο κρίσιμου μήκους της δοκού (σημείο μέγιστης θετικής ροπής) μέχρι το σημείο μηδενισμού του διαγράμματος ροπών (στα δεξιά της δοκού). Το διάγραμμα ροπών μέσα στο τμήμα αυτό είναι με θετικό πρόσημο.
- Τμήμα X_2-Γ: Τμήμα από το δεξιά σημείο μηδενισμού διαγράμματος ροπών μέχρι την δεξιά στήριξη της σύμμικτης δοκού. Το διάγραμμα ροπών μέσα στο τμήμα αυτό είναι με αρνητικό πρόσημο.

Όπως παρατηρούμε και στην (Εικόνα 7-41) σε κάθε ένα από τα τμήματα αυτά αναγράφεται η μέθοδος κάλυψης διατμητικής σύνδεσης (πλήρης ή μερική), το διάστημα του κάθε τμήματος (με σημείο αναφοράς αρχής των αξόνων την αριστερή στήριξη της δοκού, Σημείο Α), το τοποθετούμενο ποσοστό διατμητικής σύνδεσης μέσα στο τμήμα αυτό και ο αριθμός με τη διάμετρο του διατμητικού ήλου και την απαιτούμενη απόσταση μεταξύ των ήλων στην διαμήκη διεύθυνση της σύμμικτης δοκού (στρογγυλοποιημένη). Όπως γνωρίζουμε μερική διατμητική σύνδεση μπορεί να επιτευχθεί μόνο σε περιοχές θετικών ροπών ενώ στις περιοχές αρνητικών ροπών της σύμμικτης δοκού η διατμητική σύνδεση σχεδιάζεται με πλήρη διατμητική κάλυψη. Αυτός είναι και ο κύριος λόγος που το πρόγραμμα διαχωρίζει σε τμήματα το εξεταζόμενο άνοιγμα της δοκού (στην περίπτωση μερικής διατμητικής σύνδεσης) έτσι ώστε να εμφανίζει ξεκάθαρα στο χρήστη τις περιοχές στις οποίες απαιτείται πλήρης διατμητική σύνδεση (τμήματα Α-X_1 και X_2-Γ), και τα τμήματα τα οποία σχεδιάζονται με μερική διατμητική σύνδεση (X_1-Β και Β-X_2), αναγράφοντας σε κάθε τμήμα τις απαραίτητες τιμές για την διάταξη των ήλων στη σύμμικτη δοκό.

Αξίζει να αναφέρουμε ότι ο υπολογισμός της απαιτούμενης διαμήκους απόστασης μεταξύ των διατμητικών ήλων επιλέγεται έτσι ώστε να ικανοποιούνται οι ελάχιστες ($e_{L,min}$) και μέγιστες ($e_{L,max}$) αποστάσεις μεταξύ των διατμητικών ήλων με το δυνατότερο

και πιο οικονομικό τρόπο. Στην περίπτωση όπου η απαιτούμενη απόσταση μεταξύ των ήλων είναι μικρότερη από την ελάχιστη απόσταση μεταξύ των ήλων ($e_{L,Απαιτ.} < e_{L,min}$), τότε το πρόγραμμα εμφανίζει ένδειξη προβλήματος διατμητικής σύνδεσης στο συγκεκριμένο τμήμα καθώς δεν μπορεί να γίνει τοποθέτηση ήλων οι οποίοι θα έχουν απόσταση μεταξύ τους η οποία δεν επιτρέπεται με βάση τις κατασκευαστικές διατάξεις.

Στην συνέχεια το πρόγραμμα παραθέτει πίνακα στον οποίο αναγράφονται το απαιτούμενο ($N_{i,Απαιτ.}$) και το τοποθετούμενο ($N_{i,Τοποθετ.}$) ποσοστό διατμητικής σύνδεσης και τις τελικές τιμές ροπών αντοχής ($M_{Rd,i}$) σε ΟΚΑ στις κρίσιμες διατομές ελέγχων της σύμμικτης δοκού.

Πραγματοποιείται αυτόματη σχεδίαση των διαγραμμάτων της δρώσας διατμητικής ροής ($v_{l,Ed}$) με κόκκινο χρώμα και της διατμητικής ροής αντοχής ($v_{l,Rd}$) με μπλε χρώμα κατά μήκος της σύμμικτης δοκού. Στην περίπτωση όπου επιλέγεται σχεδιασμός με μερική διατμητική σύνδεση τότε σε κάθε ένα από τα διαγράμματα αυτά, παρουσιάζεται στο ίδιο γράφημα η πλήρης διατμητική ροή με διακεκομμένη γραμμή ενώ η μερική διατμητική ροή με συνεχής γραμμή, έτσι ώστε ο χρήστης να έχει καλύτερη οπτική σύγκριση στην διαφορά των αποτελεσμάτων που προσφέρουν οι δυο διαφορετικές μέθοδοι. Τόσο τα διαγράμματα της δρώσας διατμητικής ροής ($v_{l,Ed}$) όσο και τα διαγράμματα της διατμητικής ροής αντοχής ($v_{l,Rd}$) συνοψίζονται στο τέλος σε ένα ενιαίο τελικό διάγραμμα έτσι ώστε να μπορεί να παρακολουθείται και γραφικώς ότι όντως η δρώσα διατμητική ροή ($v_{l,Ed}$) δεν υπερβαίνει την διατμητική ροή αντοχής ($v_{l,Rd}$).

Τέλος ανάλογα με το αν η πλάκα σκυροδέματος είναι συμπαγής ή σύμμικτη με αυλακωτό χαλυβδόφυλλο παράλληλα ή κάθετα στην διεύθυνση της σιδηροδοκού, πραγματοποιείται έλεγχος κατασκευαστικών διατάξεων οι οποίες αφορούν τους διατμητικούς ήλους και το αυλακωτό χαλυβδόφυλλο. Στις περιπτώσεις όπου ο έλεγχος των κατασκευαστικών διατάξεων πληρείται τότε αναγράφεται η ένδειξη «True» με πράσινο χρώμα, ενώ στις περιπτώσεις όπου κάποιες από τις διατάξεις δεν πληρούνται τότε εμφανίζεται η ένδειξη «False» με κόκκινο χρώμα εντοπίζοντας το πρόγραμμα τους

περιορισμούς οι οποίοι δεν επαρκούν έτσι ώστε ο χρήστης να προβεί στις κατάλληλες διορθώσεις.

Αρχικό Μενού | Προηγούμενη | Επόμενη

Διατμητική Σύνδεση

Γεωμετρικά και Μηχανικά Χαρακτηριστικά Χαλυβδόφυλλου

Προσανατολισμός Χαλυβδόφυλλου:	Χαλυβδόφυλλο με Αυλακώσεις Παράλληλες Στη Σιδηροδοκό

Μέθοδος Τοποθέτησης Διατμητικών Ηλών δια μέσω του Χαλυβδοφύλλου:

Συγκόλληση Διατμητικών Συνδέσμων δια μέσου του ελάσματος του χαλυβδόφυλλου

Γεωμετρικά και Μηχανικά Χαρακτηριστικά Διατμητικών Συνδέσμων (Διατμητικοί Ήλοι Κεφαλής)

Ονομαστική Εφελκυστική Αντοχή του Διατμητικού Συνδέσμου $f_{sc,u}$	51	KN/cm^2
Επιμέρους Συντελεστής ασφαλείας του Διατμητικού Συνδέσμου (γ_v)	1,25	
Επικάλυψη Διατμητικών Συνδέσμων (Στην Κεφαλή των ήλων) (c_{studs})	20	mm

Διατμητικοί Συνδέσμοι (Διατμητικοί Ήλοι Κεφαλής)	M16 (100)	
Αριθμός Διατμητικών Συνδέσμων σε κάθε Διατομή (n_{sc})	2	Ήλοι/Διατομή
Διάμετρος Κορμού Διατμητικού Συνδέσμου ($d_{sc,1}$)	16	mm
Διάμετρος Κεφαλής Διατμητικού Συνδέσμου ($d_{sc,2}$)	29	mm
Ύψος Διατμητικού Συνδέσμου ($h_{sc,1}$)	100	mm
Ύψος Κεφαλής Διατμητικού Συνδέσμου ($h_{sc,2}$)	29	mm
Εγκάρσια Απόσταση μεταξύ των Διατμητικών Ήλων (e_q) (Περίπτωση όπου έχουμε 2 Ήλους	80	mm

Δρώσα Διαμήκης Διάτμησης ($v_{l,Ed}$)

Προϋποθέσεις Εύρεσης Δρώσας Διαμήκης Διάτμησης ($v_{l,Ed}$) με Πλαστική Ανάλυση

1. Οικοδομικά Έργα	TRUE
2. Όλες οι διατομές της Σύμμικτης Δοκού θα πρέπει να είναι Διατομές Κατηγορίας 1 ή 2	TRUE
3. Όλκιμη Συμπεριφορά Διατμητικών Συνδέσμων	TRUE
4. Οριακή Κατάσταση Αστοχίας (Όχι Κόπωσης)	TRUE
Έλεγχος Προσδιορισμού Δρώσας Διαμήκης Διάτμηση με Πλαστική Ανάλυση	**TRUE**

Κρίσιμα Μήκη ($L_{cr,i}$)

$L_{cr,AB}$	4,65 m	$L_{cr,BΓ}$	5,35 m

Σημείωση:

• Κρίσιμα Μήκη μίας σύμμικτης δοκού ονομάζονται οι αποστάσεις μεταξύ διαδοχικών χαρακτηριστικών διατομών της δοκού όπου έχουμε κάτι από τα ακόλουθα:

. Μηδενισμός των Τεμνουσών δυνάμεων

. Αλλαγή της διατομής της σύμμικτης δοκού

. Επιβολή συγκεντρωμένων φορτίων

• Σε περίπτωση όπου δεν υπάρχει σημείο μηδενισμού στο διάγραμμα Τεμνουσών [V], τότε το ($L_{cr,BΓ}$=False) και το ($L_{cr,AΓ}$ = $L_{cr,AB}$ = $L_{δοκού}$)

Διαμήκης Διατμητική Δύναμη Στα Σημεία Ελέγχου Διατομής (D^+,Z^-)

	Σημεία Ελέγχου Διατομής		
	Σημείο Ελέγχου Α	**Σημείο Ελέγχου Β**	**Σημείο Ελέγχου Γ**
Κατάταξη Διατομής	2	1	2
Διαμήκης Διατμητική Δύναμη (D^+,Z^-)	-2063,09 KN	2380 KN	-2063,093 KN

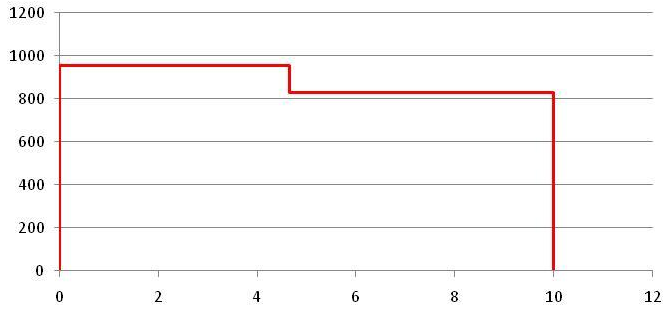
Δρώσα Αθροιστική Διαμήκες Διατμητική Δύναμη στο τμήμα Α-Β και Β-Γ ($ΣD^+,Z^-$)

Τμήμα Α-Β		Τμήμα Β-Γ	
$ΣD^+,Z^-_{(A-B)}$	4443,093 KN	$ΣD^+,Z^-_{(B-Γ)}$	4443,093 KN

Δρώσα Διατμητική Ροή στο τμήμα Α-Β και Β-Γ ($v_{Ed,l}$)

Τμήμα Α-Β		Τμήμα Β-Γ	
$v_{Ed,l,AB}$	955,5039 KN/m	$v_{Ed,l,BΓ}$	830,4847 KN/m

Αυτόματη Σχεδίαση Διαγράμματος Δρώσας Διατμητικής Ροής (Πλήρης) ($v_{Ed,l}$)



Οριακή Αντοχή Διατμητικού Συνδέσμου (P_{Rd})

Οριακή Αντοχή Διατμητικού Συνδέσμου (Χωρίς τους μειωτικούς συντελεστές kl, kt)

Συντελεστής α	1	
Δύναμη Αστοχίας σε Διάτμηση του ενός Διατμητικού Συνδέσμου $P_{Rd,A}$	65,62661	KN
Δύναμη Αστοχίας σε Σύνθλιψη Άντυγας του σκυροδέματος $P_{Rd,B}$	45,2316	KN

Οριακή Αντοχή Διατμητικού Συνδέσμου $P_{Rd,τελική}$ (Συμπεριλαμβανομένων των μειωτικών συντελεστών kl, kt)

Μειωτικός Συντελεστής: kl

Μειωτικός Συντελεστής Οριακής Αντοχής Διατμητικού Συνδέσμου, Για Χαλυβδόφυλλο με Αυλακώσεις Παράλληλες Στη Σιδηροδοκό: kl	1

Σημείωση:
**Σε περίπτωση ύπαρξης χαλυβδόφυλλου προβλέπεται απομείωση της Οριακής Αντοχής των διατμητικών συνδέσμων με μειωτικό συντελεστή (kl- όταν η διεύθυνση του χαλυβδόφυλλου είναι παράλληλη με την διευθυνση της σιδηροδοκού και kt όταν η διεύθυνση του χαλυβδόφυλλου είναι κάθετη στην διευθυνση της σιδηροδοκού)
**Όταν υπάρχει Συμπαγής Πλάκα σκυροδέματος, τότε δεν προβλέπεται απομείωση της Οριακής Αντοχής των διατμητικών συνδέσμων με μειωτικό συντελεστή

Οριακή Δύναμη Αντοχής Διατμητικού Συνδέσμου $P_{Rd,τελική}$	**45,2316**	**KN**

Μέθοδος Ανάλυσης Εύρεσης Διατμητικής Αντοχής Διαμήκους Διάτμησης ($v_{l,Rd}$)

Πλαστική Ανάλυση

Μερική Διατμητική Σύνδεση

Πλήρης Διατμητική Σύνδεση
Μερική Διατμητική Σύνδεση

Η Σύμμικτη Δοκός ΔΕΝ είναι Κύρια δοκός κτιρίου με Πλαισιακή Λειτουργία σε Σεισμικές περιοχές

Η Σύμμικτη Δοκός είναι Κύρια δοκός κτιρίου με Πλαισιακή Λειτουργία σε Σεισμικές περιοχές
Η Σύμμικτη Δοκός ΔΕΝ είναι Κύρια δοκός κτιρίου με Πλαισιακή Λειτουργία σε Σεισμικές περιοχές

Προϋποθέσεις Εύρεσης Διαμήκης Διατμητικής Αντχοχής ($v_{l,Rd}$) με Ομοιόμορφη Πλαστική Κατανομή Διατμητικών Συνδέσμων

1. Οικοδομικά Έργα	TRUE
2. Όλες οι διατομές της Σύμμικτης Δοκού θα πρέπει να είναι Διατομές Κατηγορίας 1 ή 2	TRUE
3. Όλκιμη Συμπεριφορά Διατμητικών Συνδέσμων	TRUE
4. Οριακή Κατάσταση Αστοχίας (Όχι Κόπωσης)	TRUE
5. Ο Λόγος της Πλαστικής Ροπής Αντοχής της Σύμμικτης Διατομής προς την Πλαστική Ροπή Αντοχής της Σιδηροδοκού δεν υπερβαίνει το 2,5 ($M_{pl,A,B,Γ,Rd} \leq 2,5\ M_{pl,α,Rd}$)	TRUE

Έλεγχος Προσδιορισμού Διαμήκης Διατμητική Αντοχή με Πλαστική Ανάλυση	**TRUE**

Αποτελέσματα Διατμητικής Σύνδεσης

Είδος Δοκού:	Ενδιάμεσο Τμήμα Συνεχής Δοκού ("Αμφίπακτη")

Μέθοδος Ανάλυσης Εύρεσης Διατμητικής Αντοχής Διαμήκους Διάτμησης (vl,Rd)

Πλαστική Ανάλυση

Μερική Διατμητική Σύνδεση

Τμήματα Δοκού (Διάστημα Σημείων Ελέγχου) **A-X1**

Μέθοδος Ανάλυσης Διατμητικής Σύνδεσης (Στο Συγκεκριμένο Τμήμα)

Πλήρης Διατμητική Σύνδεση

Μήκος Ελέγχου:

Αρχή (Από)	Τέλος (Μέχρι)
0 m	0,422649 m

Σημείωση:
• Οι αποστάσεις αυτές υπολογίζονται από την αρχή των αξόνων της δοκού ($X_{\text{Αρχή Αξόνων}}$ =0, Σημείο Αριστερά της Δοκού) και μετριούνται από αριστερά προς τα δεξιά

Τοποθετούμενο Ποσοστό Διατμητικής Σύνδεσης Ni

1

Τοποθέτηση Διατμητικών Συνδέσμων (Ηλων) (Στο Συγκεκριμένο Τμήμα)

Διάμετρος Κορμού Διατμητικού Συνδέσμου (dsc,1)	16	mm
Διαμήκης Απόσταση μεταξύ των Διατμητικών Συνδέσμων	90	mm

2M 16 / 90

Τμήματα Δοκού (Διάστημα Σημείων Ελέγχου)	Χ1-Β

Μέθοδος Ανάλυσης Διατμητικής Σύνδεσης (Στο Συγκεκριμένο Τμήμα)

Μερική Διατμητική Σύνδεση

Μήκος Ελέγχου:

Αρχή (Από)	Τέλος (Μέχρι)
0,422649 m	4,65 m

Σημείωση:
• Οι αποστάσεις αυτές υπολογίζονται από την αρχή των αξόνων της δοκού ($X_{\text{Αρχή Αξόνων}}$ =0, Σημείο Αριστερά της Δοκού) και μετριούνται από αριστερά προς τα δεξιά

Τοποθετούμενο Ποσοστό Διατμητικής Σύνδεσης Ni

0,806257264

Τοποθέτηση Διατμητικών Συνδέσμων (Ηλων) (Στο Συγκεκριμένο Τμήμα)

Διάμετρος Κορμού Διατμητικού Συνδέσμου (dsc,1)	16	mm
Διαμήκης Απόσταση μεταξύ των Διατμητικών Συνδέσμων	120	mm

2M 16 / 120

Τμήματα Δοκού (Διάστημα Σημείων Ελέγχου)	Β-Χ2

Μέθοδος Ανάλυσης Διατμητικής Σύνδεσης (Στο Συγκεκριμένο Τμήμα)

Μερική Διατμητική Σύνδεση

Μήκος Ελέγχου:

Αρχή (Από)	Τέλος (Μέχρι)
4,65 m	8,877351 m

Σημείωση:
• Οι αποστάσεις αυτές υπολογίζονται από την αρχή των αξόνων της δοκού ($X_{\text{Αρχή Αξόνων}}$ =0, Σημείο Αριστερά της Δοκού) και μετριούνται από αριστερά προς τα δεξιά

Τοποθετούμενο Ποσοστό Διατμητικής Σύνδεσης Ni

0,927629325

Τοποθέτηση Διατμητικών Συνδέσμων (Ηλων) (Στο Συγκεκριμένο Τμήμα)

Διάμετρος Κορμού Διατμητικού Συνδέσμου (dsc,1)	16	mm
Διαμήκης Απόσταση μεταξύ των Διατμητικών Συνδέσμων	120	mm

2M 16 / 120

Τμήματα Δοκού (Διάστημα Σημείων Ελέγχου)	Χ2-Γ

Μέθοδος Ανάλυσης Διατμητικής Σύνδεσης (Στο Συγκεκριμένο Τμήμα)

Πλήρης Διατμητική Σύνδεση

Μήκος Ελέγχου:

Αρχή (Από)	Τέλος (Μέχρι)
8,877351 m	10 m

Σημείωση:
• Οι αποστάσεις αυτές υπολογίζονται από την αρχή των αξόνων της δοκού ($X_{\text{Αρχή Αξόνων}}$ =0, Σημείο Αριστερά της Δοκού) και μετριούνται από αριστερά προς τα δεξιά

Τοποθετούμενο Ποσοστό Διατμητικής Σύνδεσης Ni

1

Τοποθέτηση Διατμητικών Συνδέσμων (Ηλων) (Στο Συγκεκριμένο Τμήμα)

Διάμετρος Κορμού Διατμητικού Συνδέσμου (dsc,1)	16	mm
Διαμήκης Απόσταση μεταξύ των Διατμητικών Συνδέσμων	90	mm

2M 16 / 90

Απαιτούμενο Ποσοστό Διατμητικής Σύνδεσης $N_{i,Απαιτ.}$ στις Διατομές Ελέγχου Α,Β,Γ

Σημείο Ελέγχου Α	Σημείο Ελέγχου Β	Σημείο Ελέγχου Γ
N_A 1	N_B 0,769632	$N_Γ$ 1

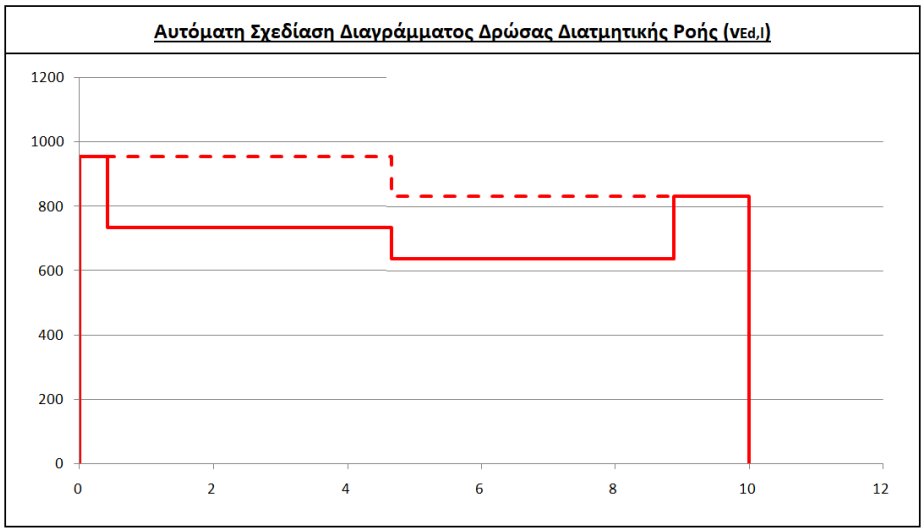
Τοποθετούμενο Ποσοστό Διατμητικής Σύνδεσης $N_{i,τοποθετ.}$ στις Διατομές Ελέγχου Α,Β,Γ

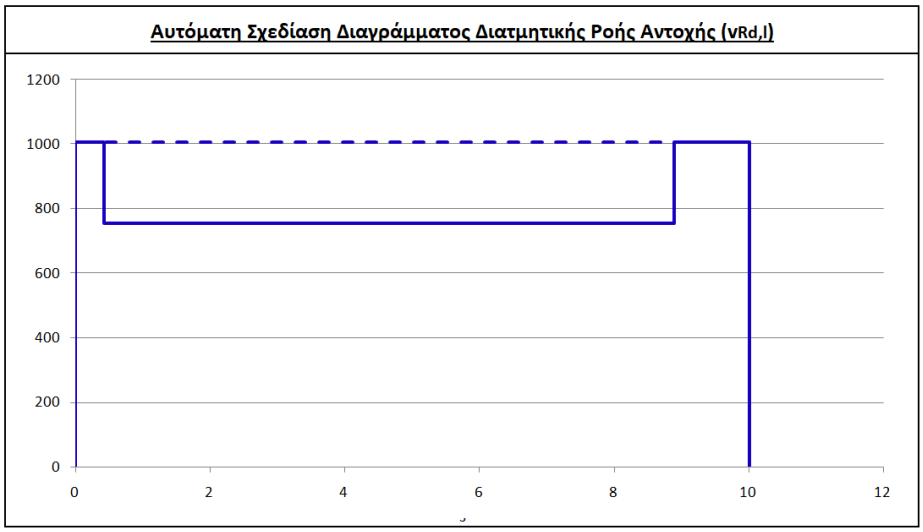
Σημείο Ελέγχου Α	Σημείο Ελέγχου Β	Σημείο Ελέγχου Γ
N_A 1	N_B 0,806257	$N_Γ$ 1

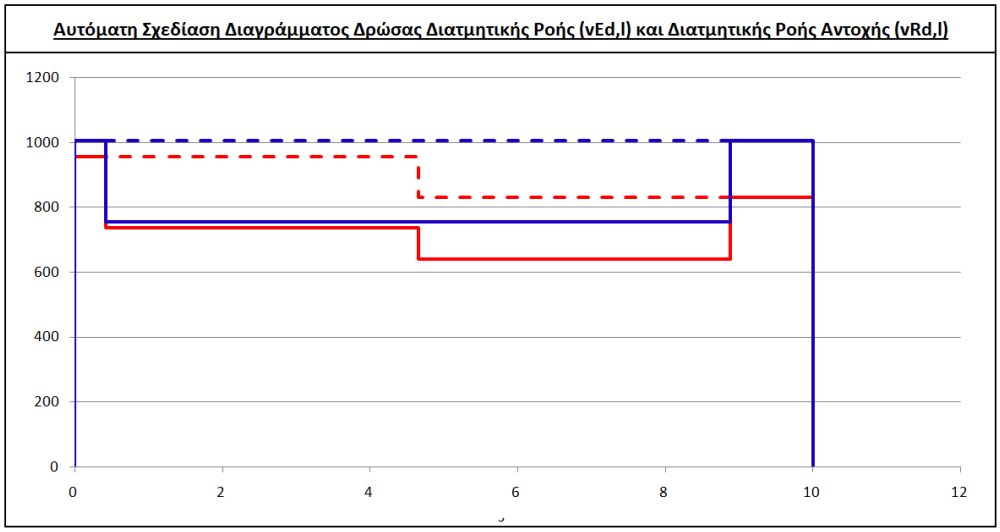
Τελικές Ροπές Αντοχής $M_{Rd,i}$ στις Διατομές Ελέγχου Α,Β,Γ σε Οριακή Κατάσταση Αστοχίας (ΟΚΑ)

Σημείο Ελέγχου Α	Σημείο Ελέγχου Β	Σημείο Ελέγχου Γ
$M_{Rd,A}$ -1405,85 KNm	$M_{Rd,B}$ 1264,761 KNm	$M_{Rd,Γ}$ -1405,85 KNm

Αυτόματη Σχεδίαση Διαγράμματος Δρώσας Διατμητικής Ροής ($v_{Ed,I}$) και Διατμητικής Ροής Αντοχής ($v_{Rd,I}$)







Σημείωση:

- Με κόκκινο χρώμα στο διάγραμμα εμφανίζεται η Δρώσα Διατμητική Ροή ($v_{l,Ed}$)
- Με μπλε χρώμα στο διάγραμμα εμφανίζεται Διατμητική Ροή Αντοχής ($v_{l,Rd}$)
- Σε περίπτωση όπου υπάρχει πρόβλημα στην Διατμητική Σύνδεση τότε δεν εμφανίζονται τα αντίστοιχα διαγράμματα διατμητικής ροής

Κατασκευαστικές Διατάξεις

Σύμμικτη Πλάκα Σκυροδέματος με Χαλυβδόφυλλο (dc=d-hp)

Χαλυβδόφυλλο με Αυλακώσεις Παράλληλες Στη Σιδηροδοκό

• Διατμητικοί Συνδέσμοι (Ήλοι Κεφαλής) με: α. Ύψος ήλου ($h_{sc,1} \geq 3*d_{sc,1}$) β. Διάμετρος κεφαλής ήλου ($d_{sc,2} \geq 1,5*d_{sc,1}$) γ. Ύψος κεφαλής ήλου ($h_{sc,2} \geq 0,4*d_{sc,1}$)	TRUE
• Όλκιμη Συμπεριφορά Διατμητικών Συνδέσμων (16mm ≤ $d_{sc,1}$≤22mm) και ($h_{sc,1} \geq (4*d_{sc,1})$)	TRUE
• Ονομαστική τιμή Εφελκυστικής Αντοχής του διατμητικού συνδέσμου $f_{sc,u} \leq 500MPa$	FALSE
• Μέγιστο Επιτρεπόμενο ύψος του διατμητικού συνδέσμου (ήλου) ($h_{sc,1} \leq (h_{total,σκυρ.} - c_{studs})$)	TRUE
• Ελάχιστες/Μέγιστες Διαμήκεις Αποστάσεις μεταξύ των διατμητικών συνδέσμων (ήλων) (e_L) ($5d_{sc,1}) \leq e_L \leq min(6h_{πλάκας σκυρ.}$; 800mm)	TRUE
• Διατμητικοί Ήλοι Συγκολλημένοι Έκκεντρα του Κορμού της Σιδηροδοκού (Περίπτωση όπου έχουμε 2 Ήλους/Διατομή, nsc=2) ($d_{sc,1} \leq 2,5*t_{f,o}$)	TRUE
• Εγκάρσια Απόσταση μεταξύ των Διατμητικών Ήλων (e_q) (Περίπτωση όπου έχουμε 2 Ήλους/Διατομή, n_{sc}=2), (Για Πλάκες με Χαλυβδόφυλλο Παράλληλα στη Σιδηροδοκό)) ($(4*d_{sc,1}) \leq e_q \leq (min((b_α-(2*20mm)-d_{sc,1})$; $(b_o-d_{sc,1}))$)	TRUE
• Προεξέχουσα Εγκάρσια Απόσταση μεταξύ Άνω πέλματος σιδηροδοκού και της Παριάς του διατμητικού ήλου (Για Πλάκες με Χαλυβδόφυλλο Παράλληλη στη Σιδηροδοκό) α. Περίπτωση όπου έχουμε 1 Ήλο/Διατομή (n_{sc}=1), $(max(20mm;((b_α-b_o)/2)) \leq e_R=((b_α-d_{sc,1})/2) \leq (9*ε*t_{fo})$) β. Περίπτωση όπου έχουμε 2 Ήλους/Διατομή, (n_{sc}=2), $(max(20mm;((b_α-b_o)/2)) \leq e_R=((b_α-e_q-d_{sc,1})/2) \leq (9*ε*t_{fo})$	TRUE
• Μέσο πλάτος αυλακώσεων του χαλυβδόφυλλου $b_o \geq 50mm$	TRUE
• Ολικό ύψος του ήλου $h_{sc,1} \leq (h_p+75mm)$	TRUE
• Ολικό Ύψος ήλου μείον ύψος χαλυβδοφύλλου ($h_{sc,1}-h_p \geq 2d_{sc,1}$)	TRUE

Πληρότητα Ελέγχων: FALSE

Κατασκευαστικές Διατάξεις

Σύμμικτη Πλάκα Σκυροδέματος με Χαλυβδόφυλλο (dc=d-hp)

Χαλυβδόφυλλο με Αυλακώσεις Κάθετες Στη Σιδηροδοκό

• Διατμητικοί Συνδέσμοι (Ήλοι Κεφαλής) με: α. Ύψος ήλου ($h_{sc,1} \geq 3*d_{sc,1}$) β. Διάμετρος κεφαλής ήλου ($d_{sc,2} \geq 1,5*d_{sc,1}$) γ. Ύψος κεφαλής ήλου ($h_{sc,2} \geq 0,4*d_{sc,1}$)	TRUE
• Όλκιμη Συμπεριφορά Διατμητικών Συνδέσμων (16mm ≤ $d_{sc,1}$≤22mm) και ($h_{sc,1} \geq (4*d_{sc,1})$)	TRUE
• Ονομαστική τιμή Εφελκυστικής Αντοχής του διατμητικού συνδέσμου $f_{sc,u} \leq 500MPa$	FALSE
• Μέγιστο Επιτρεπόμενο ύψος του διατμητικού συνδέσμου (ήλου) ($h_{sc,1} \leq (h_{total,\sigma\kappa\upsilon\rho.} - c_{studs})$)	TRUE
• Ελάχιστες/Μέγιστες Διαμήκεις Αποστάσεις μεταξύ των διατμητικών συνδέσμων (ήλων) (e_L) ($5d_{sc,1)} \leq e_L \leq min(6(h_{\pi\lambda\acute{\alpha}\kappa\alpha\varsigma\ \sigma\kappa\upsilon\rho.} + h_p)$; 800mm)	FALSE
• Διατμητικοί Ήλοι Συγκολλημένοι Έκκεντρα του Κορμού της Σιδηροδοκού (Περίπτωση όπου έχουμε 2 Ήλους/Διατομή, nsc=2) ($d_{sc,1} \leq 2,5*t_{f,o}$)	TRUE
• Εγκάρσια Απόσταση μεταξύ των Διατμητικών Ήλων (e_q) (Περίπτωση όπου έχουμε 2 Ήλους/Διατομή, n_{sc}=2), (Για Πλάκες με Χαλυβδόφυλλο Κάθετα στη Σιδηροδοκό)) ($(4*d_{sc,1}) \leq e_q \leq (b_\alpha-(2*20mm)-d_{sc,1})$)	TRUE
• Προεξέχουσα Εγκάρσια Απόσταση μεταξύ Άνω πέλματος σιδηροδοκού και της Παριάς του διατμητικού ήλου (Για Πλάκες με Χαλυβδόφυλλο Κάθετα στη Σιδηροδοκό) α. Περίπτωση όπου έχουμε 1 Ήλο/Διατομή (n_{sc}=1), (20mm ≤ $e_K=((b_\alpha-d_{sc,1})/2) \leq (9*\varepsilon*t_{fo})$) β. Περίπτωση όπου έχουμε 2 Ήλους/Διατομή, (n_{sc}=2), (20mm ≤ $e_K=((b_\alpha-e_q-d_{sc,1})/2) \leq (9*\varepsilon*t_{fo})$	TRUE
• Μέσο πλάτος αυλακώσεων του χαλυβδόφυλλου $b_o \geq 50mm$	TRUE
• Ολικό ύψος του ήλου $h_{sc,1} \leq (h_p+75mm)$	TRUE
• Ολικό Ύψος ήλου μείον ύψος χαλυβδοφύλλου ($h_{sc,1}-h_p \geq 2d_{sc,1}$)	TRUE
• Οι Διατμητικοί σύνδεσμοι τοποθετούνται σε αυλακώσεις ύψους $h_p \leq 85mm$ και πλάτος $b_o \geq h_p$	TRUE
• Για συγκόλληση δια μέσου του ελάσματος του χαλυβδόφυλλου, η διάμετρος των διατμητικών συνδέσμων dsc,1 ≤ 20mm	TRUE

Πληρότητα Ελέγχων:	**FALSE**

Κατασκευαστικές Διατάξεις

Συμπαγής Πλάκα Σκυροδέματος (dc=d)			
• Διατμητικοί Συνδέσμοι (Ήλοι Κεφαλής) με: α. Ύψος ήλου ($h_{sc,1} \geq 3*d_{sc,1}$) β. Διάμετρος κεφαλής ήλου ($d_{sc,2} \geq 1,5*d_{sc,1}$) γ. Ύψος κεφαλής ήλου ($h_{sc,2} \geq 0,4*d_{sc,1}$)	TRUE		
• Όλκιμη Συμπεριφορά Διατμητικών Συνδέσμων (16mm ≤ $d_{sc,1}$≤22mm) και ($h_{sc,1} \geq (4*d_{sc,1})$)	TRUE		
• Ονομαστική τιμή Εφελκυστικής Αντοχής του διατμητικού συνδέσμου $f_{sc,u}$ ≤ 500MPa	TRUE		
• Μέγιστο Επιτρεπόμενο ύψος του διατμητικού συνδέσμου (ήλου) ($h_{sc,1} \leq (h_{total,\sigma\kappa\upsilon\rho.} - c_{studs})$)	TRUE		
• Ελάχιστες/Μέγιστες Διαμήκεις Αποστάσεις μεταξύ των διατμητικών συνδέσμων (ήλων) (e_L) ($5d_{sc,1}$) ≤ e_L ≤ min($6h_{\pi\lambda\acute{\alpha}\kappa\alpha\varsigma\ \sigma\kappa\upsilon\rho.}$; 800mm)	TRUE		
• Διατμητικοί Ήλοι Συγκολλημένοι Έκκεντρα του Κορμού της Σιδηροδοκού (Περίπτωση όπου έχουμε 2 Ήλους/Διατομή, nsc=2) ($d_{sc,1} \leq 2,5*t_{f,o}$)	TRUE		
• Εγκάρσια Απόσταση μεταξύ των Διατμητικών Ήλων (e_q) (Περίπτωση όπου έχουμε 2 Ήλους/Διατομή, n_{sc}=2), (Για Συμπαγής Πλάκες) ($(2,5*d_{sc,1}) \leq e_q \leq (b_\alpha-(2*20mm)-d_{sc,1})$)	TRUE		
• Προεξέχουσα Εγκάρσια Απόσταση μεταξύ Άνω πέλματος σιδηροδοκού και της Παριάς του διατμητικού ήλου (Για Συμπαγής Πλάκες) α. Περίπτωση όπου έχουμε 1 Ήλο/Διατομή (n_{sc}=1), (20mm ≤ $e_R=((b_\alpha-d_{sc,1})/2) \leq (9*\varepsilon*t_{fo})$) β. Περίπτωση όπου έχουμε 2 Ήλους/Διατομή, (n_{sc}=2), (20mm ≤ $e_R=((b_\alpha-e_q-d_{sc,1})/2) \leq (9*\varepsilon*t_{fo})$	TRUE		
Πληρότητα Ελέγχων:	**TRUE**		

Εικόνα 7-41 Καρτέλα «Υπολογισμός Διατμητικής Σύνδεσης» Προγράμματος Σύμμικτων Δοκών

7.2.3.16 Καρτέλα Προγράμματος «Υπολογισμός Διατμητικής Κάλυψης Πλάκας Σκυροδέματος»

Στην παρούσα καρτέλα ο χρήστης λαμβάνει τα αποτελέσματα για τον έλεγχο της διατμητικής κάλυψης πλάκας σκυροδέματος. Αρχικά υπολογίζεται το μήκος κάθε εξεταζόμενης τομής ελέγχου ($L_{v,\alpha-\alpha}$, $L_{v,b-b}$) η οποία θα χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό και έλεγχο των λοξών θλιπτήρων σκυροδέματος. Σε κάθε εξεταζόμενη τομή έλεγχου (α-α, b-b) υπολογίζεται το εμβαδόν των εγκάρσιων οπλισμών σκυροδέματος (λόγος A_{sf}/s_f) οι οποίοι διέρχονται από την υπόψη τομή ελέγχου και θα χρησιμοποιηθεί στον έλεγχο αντοχής εγκάρσιων οπλισμών. Σε περιπτώσεις όπου η πλάκα σκυροδέματος είναι σύμμικτη με διεύθυνση των αυλακώσεων του χαλυβδόφυλλου κάθετη στην διεύθυνση του άξονα της σιδηροδοκού λαμβάνεται υπόψη η συμβολή του στην αντίσταση έναντι διαμήκους διάτμησης.

Έτσι λοιπόν για κάθε κρίσιμη διατομή ελέγχου (Σημεία Ελέγχου Α,Β,Γ) και για κάθε εξεταζόμενη τομή ελέγχου (α-α, b-b), υπολογίζεται η δρώσα διατμητική ροή ($v_{l,Ed,i,\alpha-\alpha}$, $v_{l,Ed,i,b-b}$), η διαμήκης διατμητική αντοχή λοξού θλιπτήρα σκυροδέματος ($v_{l,c,Rd,i,\alpha-\alpha}$, $v_{l,c,Rd,i,b-b}$), η διαμήκης διατμητική αντοχή εγκάρσιου οπλισμού ($v_{l,s,Rd,i,\alpha-\alpha}$, $v_{l,s,Rd,i,b-b}$) ο οποίος διέρχεται από την εξεταζόμενη τομή ελέγχου και το ελάχιστο ποσοστό εγκάρσιου οπλισμού στις εξεταζόμενες τομές αυτές.

Ακολούθως με βάση τους πιο πάνω υπολογισμούς γίνεται έλεγχος επάρκειας για κάθε τομή ελέγχου μορφής (α-α,b-b) σε κάθε κρίσιμη διατομή ελέγχου (Α,Β,Γ). Στις περιπτώσεις όπου ο έλεγχος πληρείται τότε αναγράφεται η ένδειξη «True» με πράσινο χρώμα στο αντίστοιχο πεδίο ελέγχου, ενώ σε αντίθετη περίπτωση όπου ο έλεγχος δεν ικανοποιείται αναγράφεται η ένδειξη «False» με κόκκινο χρώμα.

Τέλος σε κάθε κρίσιμη διατομή ελέγχου πραγματοποιείται ρεαλιστική χάραξη της διατομής (με πραγματικές διαστάσεις στο σχήμα), έτσι ώστε να φαίνονται και μέσω γραφικής απεικόνισης η γεωμετρία της διατομής (π.χ. αριθμός των διαμήκων οπλισμών κάθε στρώσης μέσα στο συνεργαζόμενο πλάτος της πλάκας σκυροδέματος, τα πάχη των εγκάρσιων οπλισμών, κατακόρυφη τοποθέτηση των οπλισμών μέσα στην πλάκα

σκυροδέματος, διάταξη των ήλων εγκαρσίως, πάχη επικαλύψεων, είδος της πλάκας σκυροδέματος (συμπαγής ή σύμμικτη με αυλακωτό χαλυβδόφυλλο κλπ).

Αρχικό Μενού | Προηγούμενη | Επόμενη

Διατμητική Κάλυψη Πλάκας Σκυροδέματος

Μήκη Εξεταζόμενων Τομών ($L_{v,\alpha-\alpha}$, $L_{v,b-b}$) για τον Έλεγχο των Λοξών Θλιπτήρων Σκυροδέματος

Έλεγχος Επάρκειας Εγκάρσιων Αποστάσεων (e_q)	TRUE

Εξεταζόμενη Τομή α-α

Μήκος Εξεταζόμενης Τομής ($L_{v,\alpha-\alpha}$)	12 cm

Εξεταζόμενη Τομή b-b

Μήκος Εξεταζόμενης Τομής ($L_{v,b-b}$)	30,9 cm

Ενεργοί Εγκάρσιοι Οπλισμοί οι οποίοι διέρχονται από τις υπόψη Εξεταζόμενες Τομές α-α και b-b

Εξεταζόμενη Τομή α-α

Άνω Εγκάρσιοι Οπλισμοί Σκυροδέματος

Συμμετοχή Άνω Εγκάρσιου Οπλισμού στην Εξεταζόμενη Τομή α-α	TRUE	
Εφελκυστική Τιμή Σχεδιασμού Ορίου Διαρροής Άνω Οπλισμού: $f_{sd,1}$	43,47826	KN/cm^2
Επιλογή Άνω Εγκάρσιου Οπλισμού	Ø10	
Διάμετρος Άνω Εγκάρσιου Οπλισμού: $D_{E,s1}$	1	cm
Αποστάσεις μεταξύ των άνω Εγκάρσιων οπλισμών	17	cm
Λόγος A_{sf}/s_f	0,0462	cm^2/cm

Κάτω Εγκάρσιοι Οπλισμοί Σκυροδέματος

Συμμετοχή Κάτω Εγκάρσιου Οπλισμού στην Εξεταζόμενη Τομή α-α	TRUE	
Εφελκυστική Τιμή Σχεδιασμού Ορίου Διαρροής Κάτω Οπλισμού: $f_{sd,2}$	43,47826	KN/cm^2
Επιλογή Κάτω Εγκάρσιου Οπλισμού	Ø8	
Διάμετρος Κάτω Εγκάρσιου Οπλισμού: $D_{E,s2}$	0,8	cm
Αποστάσεις μεταξύ των κάτω Εγκάρσιων οπλισμών	22	cm
Λόγος A_{sf}/s_f	0,022848	cm^2/cm

Χαλυβδόφυλλο με Αυλακώσεις Κάθετες Στη Σιδηροδοκό

Συμμετοχή Χαλυβδόφυλλου στην Εξεταζόμενη Τομή α-α	FALSE	
Εφελκυστική Τιμή Σχεδιασμού Ορίου Διαρροής Χαλυβδόφυλλου: $f_{yp,d}$	0	KN/cm^2
Λόγος Εμβαδόν Διατομής Χαλυβδόφυλλου ανά cm: A_p (cm^2/cm)	0	cm^2/cm

Εξεταζόμενη Τομή b-b

Άνω Εγκάρσιοι Οπλισμοί Σκυροδέματος		
Συμμετοχή Άνω Εγκάρσιου Οπλισμού στην Εξεταζόμενη Τομή b-b	FALSE	
Εφελκυστική Τιμή Σχεδιασμού Ορίου Διαρροής Άνω Οπλισμού: $f_{sd,1}$	0	KN/cm^2
Επιλογή Άνω Εγκάρσιου Οπλισμού	0	
Διάμετρος Άνω Εγκάρσιου Οπλισμού: $D_{E,s1}$	0	cm
Αποστάσεις μεταξύ των άνω Εγκάρσιων οπλισμών	0	cm
Λόγος A_{sf}/s_f	0	cm^2/cm

Κάτω Εγκάρσιοι Οπλισμοί Σκυροδέματος		
Συμμετοχή Κάτω Εγκάρσιου Οπλισμού στην Εξεταζόμενη Τομή b-b	TRUE	
Εφελκυστική Τιμή Σχεδιασμού Ορίου Διαρροής Κάτω Οπλισμού: $f_{sd,2}$	43,47826	KN/cm^2
Επιλογή Κάτω Εγκάρσιου Οπλισμού	Ø8	
Διάμετρος Κάτω Εγκάρσιου Οπλισμού: $D_{E,s2}$	0,8	cm
Αποστάσεις μεταξύ των κάτω Εγκάρσιων οπλισμών	22	cm
Λόγος A_{sf}/s_f	0,022848	cm^2/cm

Χαλυβδόφυλλο με Αυλακώσεις Κάθετες Στη Σιδηροδοκό		
Συμμετοχή Χαλυβδόφυλλου στην Εξεταζόμενη Τομή b-b	FALSE	
Εφελκυστική Τιμή Σχεδιασμού Ορίου Διαρροής Χαλυβδόφυλλου: $f_{yp,d}$	0	KN/cm^2
Λόγος Εμβαδόν Διατομής Χαλυβδόφυλλου ανά cm: A_p (cm^2/cm)	0	cm^2/cm

Έλεγχοι Διατμητικής Κάλυψης Πλάκας Σκυροδέματος

Διατομή Ελέγχου Α

Συνεργαζόμενο Πλάτος Πλάκας Σκυροδέματος στο Σημείο Ελέγχου Α (beff,A)	156,25	cm

Δρώσες Διατμητικές Ροές στην Διατομή Ελέγχου Α ($v_{Ed,l,A}$)		
Δρώσα Διατμητική Ροή (Ολική) στην Διατομή Ελέγχου Α ($v_{Ed,l,A,full}$)	955,5039	KN/m
Δρώσα Διατμητική Ροή στο προεξέχον τμήμα της πλάκας σκυροδέματος (Τομή α-α) ($v_{Ed,l,\alpha-\alpha}$)	69,125	KN/m
Δρώσα Διατμητική Ροή Περί τους ήλους (Τομή b-b) ($v_{Ed,l,b-b}$)	955,5039	KN/m

Αντοχή Λοξών Θλιπτήρων Σκυροδέματος ($v_{l,c,Rd}$)

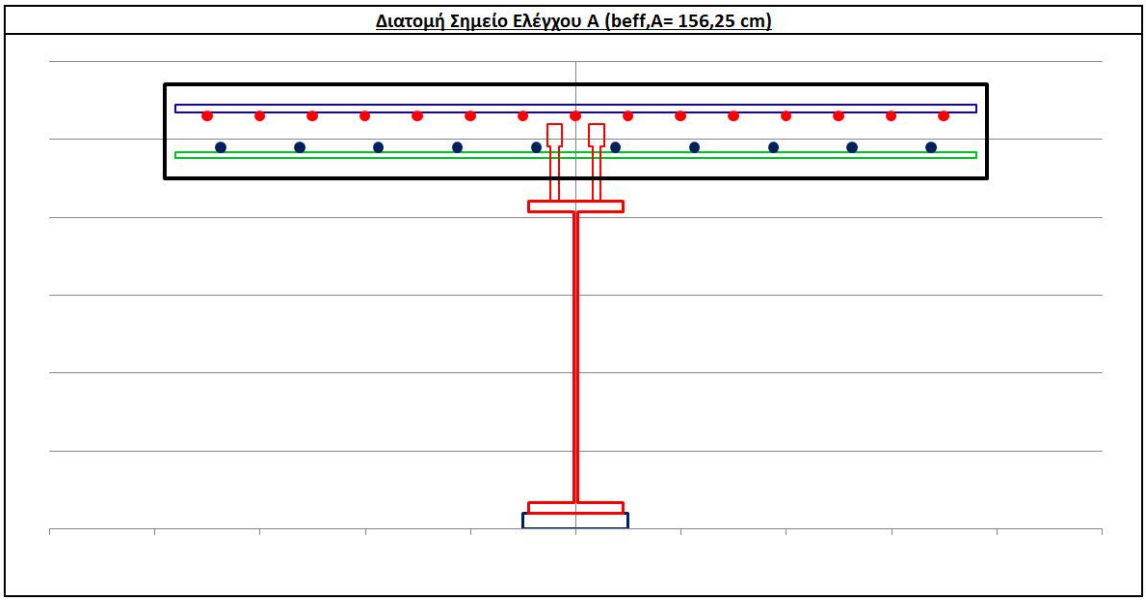
Γωνία Κλίσης του Θλιπτήρα Σκυροδέματος (cot(θ))	1	
Διαμήκης Διατμητική Αντοχή Λοξού Θλιπτήρα Σκυροδέματος, (Στην Εξεταζόμενη Τομή α-α) ($v_{l,c,Rd,\alpha-\alpha}$)	600	KN/m
Διαμήκης Διατμητική Αντοχή Λοξού Θλιπτήρα Σκυροδέματος, (Στην Εξεταζόμενη Τομή b-b) ($v_{l,c,Rd,b-b}$)	1545	KN/m
Έλεγχος Επάρκειας Διαμήκης Διατμητική Αντοχή Λοξού Θλιπτήρα ($v_{l,c,Rd,\alpha-\alpha}$) έναντι Δρώσας Διατμητικής Ροής ($v_{,Ed,l,\alpha-\alpha}$), (Στην Εξεταζόμενη Τομή α-α), ($v_{Ed,l,\alpha-\alpha} \leq v_{l,c,Rd,\alpha-\alpha}$)	**TRUE**	
Έλεγχος Επάρκειας Διαμήκης Διατμητική Αντοχή Λοξού Θλιπτήρα ($v_{l,c,Rd,b-b}$) έναντι Δρώσας Διατμητικής Ροής ($v_{,Ed,l,b-b}$), (Στην Εξεταζόμενη Τομή b-b), ($v_{Ed,l,b-b} \leq v_{l,c,Rd,b-b}$)	**TRUE**	

Αντοχή Εγκάρσιων Οπλισμών που διέρχονται από την υπόψη τομή ($v_{l,s,Rd}$)

Διαμήκης Διατμητική Αντοχή Εγκάρσιου Οπλισμού Σκυροδέματος, (Στην Εξεταζόμενη Τομή α-α) ($v_{l,s,Rd,\alpha-\alpha}$)	300,208	KN/m
Διαμήκης Διατμητική Αντοχή Εγκάρσιου Οπλισμού Σκυροδέματος, (Στην Εξεταζόμενη Τομή b-b) ($v_{l,s,Rd,b-b}$)	198,6778	KN/m
Έλεγχος Επάρκειας Διαμήκης Διατμητική Αντοχή Εγκάρσιου Οπλισμού ($v_{l,s,Rd,\alpha-\alpha}$) έναντι Δρώσας Διατμητικής Ροής ($v_{,Ed,l,\alpha-\alpha}$), (Στην Εξεταζόμενη Τομή α-α), ($v_{Ed,l,\alpha-\alpha} \leq v_{l,s,Rd,\alpha-\alpha}$)	**TRUE**	
Έλεγχος Επάρκειας Διαμήκης Διατμητική Αντοχή Εγκάρσιου Οπλισμού ($v_{l,s,Rd,b-b}$) έναντι Δρώσας Διατμητικής Ροής ($v_{,Ed,l,b-b}$), (Στην Εξεταζόμενη Τομή b-b), ($v_{Ed,l,b-b} \leq v_{l,s,Rd,b-b}$)	**FALSE**	
Ελάχιστο Ποσοστό Εγκάρσιων Οπλισμών που διέρχονται της Εξεταζόμενης Τομής α-α και b-b ($\rho_{min,\alpha-\alpha,b-b}$)	0,000704	cm^2/cm
Έλεγχος Επάρκειας Ελάχιστου Ποσοστού Εγκάρσιου Οπλισμού με το Ποσοστό Εγκάρσιου Οπλισμού που διέρχεται από την Εξεταζόμενη Τομή α-α ($\rho_{min,\alpha-\alpha} \leq \rho_{τοποθ,\alpha-\alpha}$)	**TRUE**	
Έλεγχος Επάρκειας Ελάχιστου Ποσοστού Εγκάρσιου Οπλισμού με το Ποσοστό Εγκάρσιου Οπλισμού που διέρχεται από την Εξεταζόμενη Τομή b-b ($\rho_{min,b-b} \leq \rho_{τοποθ,b-b}$)	**TRUE**	

Σημείωση:

• Στην Περίπτωση Σύμμικτης Δοκού με Χαλυβδόφυλλο με Αυλακώσεις Κάθετες στην Σιδηροδοκό , μπορεί ο χρήστης να αγνοήσει τον έλεγχο της Εξεταζόμενης Τομής b-b (λόγω του ότι έχει εφαρμοστεί ο μειωτικός συντελεστής k_t στην αντοχή των διατμητικών ήλων).


Διατομή Σημείο Ελέγχου Α (beff,A= 156,25 cm)

Διατομή Ελέγχου Β

Συνεργαζόμενο Πλάτος Πλάκας Σκυροδέματος στο Σημείο Ελέγχου Β (beff,B)	175	cm

Δρώσες Διατμητικές Ροές στην Διατομή Ελέγχου Β ($v_{Ed,l,B}$)		
Δρώσα Διατμητική Ροή (Ολική) στην Διατομή Ελέγχου Β ($v_{Ed,l,B,full}$)	735,3867	KN/m
Δρώσα Διατμητική Ροή στο προεξέχον τμήμα της πλάκας σκυροδέματος (Τομή α-α) ($v_{Ed,l,\alpha-\alpha}$)	78,5	KN/m
Δρώσα Διατμητική Ροή Περί τους ήλους (Τομή b-b) ($v_{Ed,l,b-b}$)	735,3867	KN/m

Αντοχή Λοξών Θλιπτήρων Σκυροδέματος ($v_{l,c,Rd}$)

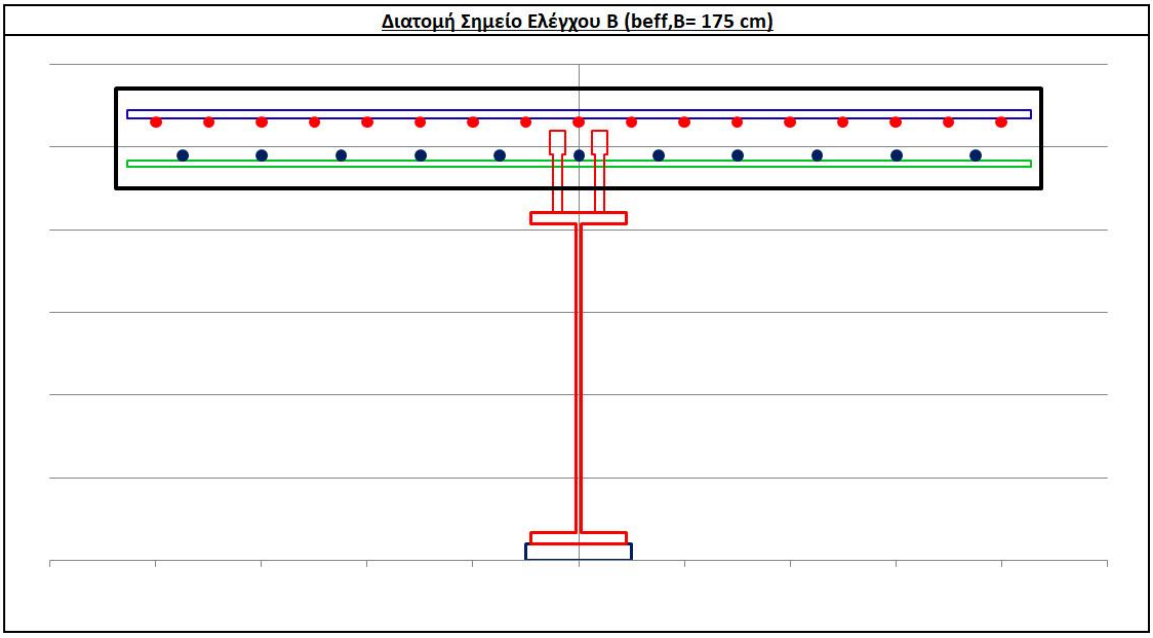
Γωνία Κλίσης του Θλιπτήρα Σκυροδέματος (cot(θ))	1,2	
Διαμήκης Διατμητική Αντοχή Λοξού Θλιπτήρα Σκυροδέματος, (Στην Εξεταζόμενη Τομή α-α) ($v_{l,c,Rd,\alpha-\alpha}$)	590,1639	KN/m
Διαμήκης Διατμητική Αντοχή Λοξού Θλιπτήρα Σκυροδέματος, (Στην Εξεταζόμενη Τομή b-b) ($v_{l,c,Rd,b-b}$)	1519,672	KN/m
Έλεγχος Επάρκειας Διαμήκης Διατμητική Αντοχή Λοξού Θλιπτήρα ($v_{l,c,Rd,\alpha-\alpha}$) έναντι Δρώσας Διατμητικής Ροής ($v_{,Ed,l,\alpha-\alpha}$), (Στην Εξεταζόμενη Τομή α-α), ($v_{Ed,l,\alpha-\alpha} \leq v_{l,c,Rd,\alpha-\alpha}$)	**TRUE**	
Έλεγχος Επάρκειας Διαμήκης Διατμητική Αντοχή Λοξού Θλιπτήρα ($v_{l,c,Rd,b-b}$) έναντι Δρώσας Διατμητικής Ροής ($v_{,Ed,l,b-b}$), (Στην Εξεταζόμενη Τομή b-b), ($v_{Ed,l,b-b} \leq v_{l,c,Rd,b-b}$)	**TRUE**	

Αντοχή Εγκάρσιων Οπλισμών που διέρχονται από την υπόψη τομή ($v_{l,s,Rd}$)

Διαμήκης Διατμητική Αντοχή Εγκάρσιου Οπλισμού Σκυροδέματος, (Στην Εξεταζόμενη Τομή α-α) ($v_{l,s,Rd,\alpha-\alpha}$)	360,2496	KN/m
Διαμήκης Διατμητική Αντοχή Εγκάρσιου Οπλισμού Σκυροδέματος, (Στην Εξεταζόμενη Τομή b-b) ($v_{l,s,Rd,b-b}$)	238,4134	KN/m
Έλεγχος Επάρκειας Διαμήκης Διατμητική Αντοχή Εγκάρσιου Οπλισμού ($v_{l,s,Rd,\alpha-\alpha}$) έναντι Δρώσας Διατμητικής Ροής ($v_{,Ed,l,\alpha-\alpha}$), (Στην Εξεταζόμενη Τομή α-α), ($v_{Ed,l,\alpha-\alpha} \leq$	**TRUE**	
Έλεγχος Επάρκειας Διαμήκης Διατμητική Αντοχή Εγκάρσιου Οπλισμού ($v_{l,s,Rd,b-b}$) έναντι Δρώσας Διατμητικής Ροής ($v_{,Ed,l,b-b}$), (Στην Εξεταζόμενη Τομή b-b), ($v_{Ed,l,b-b} \leq$	**FALSE**	
Ελάχιστο Ποσοστό Εγκάρσιων Οπλισμών που διέρχονται της Εξεταζόμενης Τομής α-α και b-b ($\rho_{min,\alpha-\alpha,b-b}$)	0,000704	cm^2/cm
Έλεγχος Επάρκειας Ελάχιστου Ποσοστού Εγκάρσιου Οπλισμού με το Ποσοστό Εγκάρσιου Οπλισμού που διέρχεται από την Εξεταζόμενη Τομή α-α ($\rho_{min,\alpha-\alpha} \leq \rho_{τοποθ,\alpha-}$	**TRUE**	
Έλεγχος Επάρκειας Ελάχιστου Ποσοστού Εγκάρσιου Οπλισμού με το Ποσοστό Εγκάρσιου Οπλισμού που διέρχεται από την Εξεταζόμενη Τομή b-b ($\rho_{min,b-b} \leq \rho_{τοποθ,b-b}$)	**TRUE**	

Σημείωση:

• Στην Περίπτωση Σύμμικτης Δοκού με Χαλυβδόφυλλο με Αυλακώσεις Κάθετες στην Σιδηροδοκό , μπορεί ο χρήστης να αγνοήσει τον έλεγχο της Εξεταζόμενης Τομής b-b (λόγω του ότι έχει εφαρμοστεί ο μειωτικός συντελεστής k_t στην αντοχή των διατμητικών ήλων).


Διατομή Σημείο Ελέγχου Β (beff,B= 175 cm)

Διατομή Ελέγχου Γ

Συνεργαζόμενο Πλάτος Πλάκας Σκυροδέματος στο Σημείο Ελέγχου Γ (beff,Γ)	156,25	cm

Δρώσες Διατμητικές Ροές στην Διατομή Ελέγχου Γ ($v_{Ed,I,Γ}$)		
Δρώσα Διατμητική Ροή (Ολική) στην Διατομή Ελέγχου Γ ($v_{Ed,I,Γ,full}$)	830,4847	KN/m
Δρώσα Διατμητική Ροή στο προεξέχον τμήμα της πλάκας σκυροδέματος (Τομή α-α) ($v_{Ed,I,α-α}$)	69,125	KN/m
Δρώσα Διατμητική Ροή Περί τους ήλους (Τομή b-b) ($v_{Ed,I,b-b}$)	830,4847	KN/m

Αντοχή Λοξών Θλιπτήρων Σκυροδέματος ($v_{I,c,Rd}$)

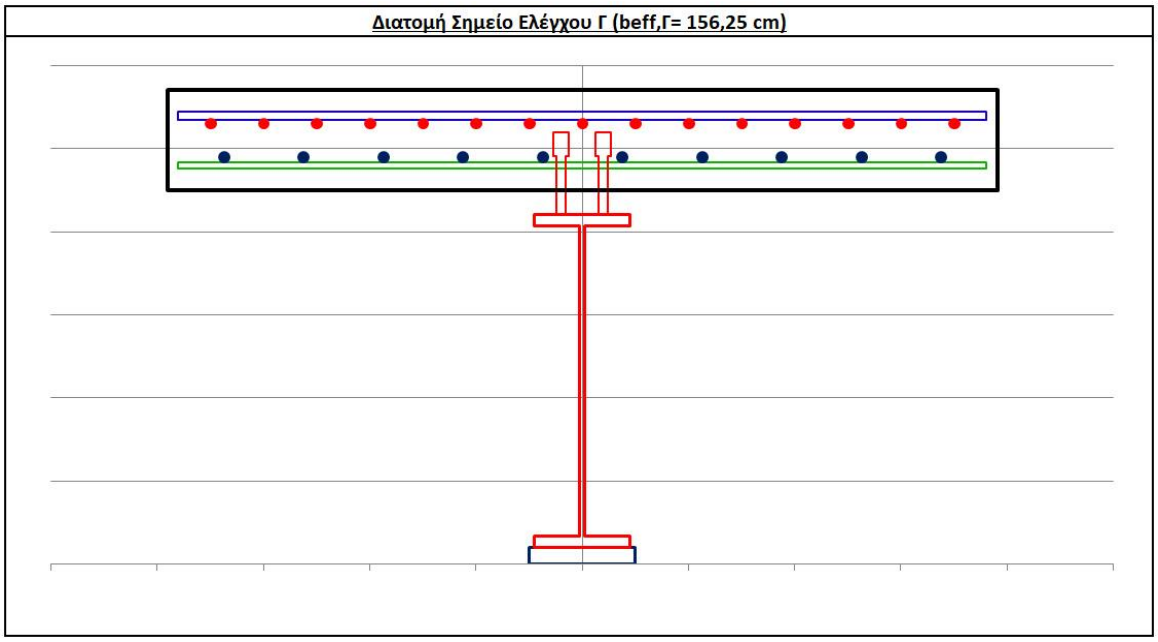
Γωνία Κλίσης του Θλιπτήρα Σκυροδέματος (cot(θ))	1	
Διαμήκης Διατμητική Αντοχή Λοξού Θλιπτήρα Σκυροδέματος, (Στην Εξεταζόμενη Τομή α-α) ($v_{I,c,Rd,α-α}$)	600	KN/m
Διαμήκης Διατμητική Αντοχή Λοξού Θλιπτήρα Σκυροδέματος, (Στην Εξεταζόμενη Τομή b-b) ($v_{I,c,Rd,b-b}$)	1545	KN/m
Έλεγχος Επάρκειας Διαμήκης Διατμητική Αντοχή Λοξού Θλιπτήρα ($v_{I,c,Rd,α-α}$) έναντι Δρώσας Διατμητικής Ροής ($v_{,Ed,I,α-α}$), (Στην Εξεταζόμενη Τομή α-α), ($v_{Ed,I,α-α} \leq v_{I,c,Rd,α-α}$)	**TRUE**	
Έλεγχος Επάρκειας Διαμήκης Διατμητική Αντοχή Λοξού Θλιπτήρα ($v_{I,c,Rd,b-b}$) έναντι Δρώσας Διατμητικής Ροής ($v_{,Ed,I,b-b}$), (Στην Εξεταζόμενη Τομή b-b), ($v_{Ed,I,b-b} \leq v_{I,c,Rd,b-b}$)	**TRUE**	

Αντοχή Εγκάρσιων Οπλισμών που διέρχονται από την υπόψη τομή ($v_{I,s,Rd}$)

Διαμήκης Διατμητική Αντοχή Εγκάρσιου Οπλισμού Σκυροδέματος, (Στην Εξεταζόμενη Τομή α-α) ($v_{I,s,Rd,α-α}$)	300,208	KN/m
Διαμήκης Διατμητική Αντοχή Εγκάρσιου Οπλισμού Σκυροδέματος, (Στην Εξεταζόμενη Τομή b-b) ($v_{I,s,Rd,b-b}$)	198,6778	KN/m
Έλεγχος Επάρκειας Διαμήκης Διατμητική Αντοχή Εγκάρσιου Οπλισμού ($v_{I,s,Rd,α-α}$) έναντι Δρώσας Διατμητικής Ροής ($v_{,Ed,I,α-α}$), (Στην Εξεταζόμενη Τομή α-α), ($v_{Ed,I,α-α} \leq$	**TRUE**	
Έλεγχος Επάρκειας Διαμήκης Διατμητική Αντοχή Εγκάρσιου Οπλισμού ($v_{I,s,Rd,b-b}$) έναντι Δρώσας Διατμητικής Ροής ($v_{,Ed,I,b-b}$), (Στην Εξεταζόμενη Τομή b-b), ($v_{Ed,I,b-b} \leq$	**FALSE**	
Ελάχιστο Ποσοστό Εγκάρσιων Οπλισμών που διέρχονται της Εξεταζόμενης Τομής α-α και b-b ($ρ_{min,α-α,b-b}$)	0,000704	cm^2/cm
Έλεγχος Επάρκειας Ελάχιστου Ποσοστού Εγκάρσιου Οπλισμού με το Ποσοστό Εγκάρσιου Οπλισμού που διέρχεται από την Εξεταζόμενη Τομή α-α ($ρ_{min,α-α} \leq ρ_{τοποθ,α-}$	**TRUE**	
Έλεγχος Επάρκειας Ελάχιστου Ποσοστού Εγκάρσιου Οπλισμού με το Ποσοστό Εγκάρσιου Οπλισμού που διέρχεται από την Εξεταζόμενη Τομή b-b ($ρ_{min,b-b} \leq ρ_{τοποθ,b-b}$)	**TRUE**	

Σημείωση:

• Στην Περίπτωση Σύμμικτης Δοκού με Χαλυβδόφυλλο με Αυλακώσεις Κάθετες στην Σιδηροδοκό , μπορεί ο χρήστης να αγνοήσει τον έλεγχο της Εξεταζόμενης Τομής b-b (λόγω του ότι έχει εφαρμοστεί ο μειωτικός συντελεστής k_t στην αντοχή των διατμητικών ήλων).



Εικόνα 7-42 Καρτέλα «Υπολογισμός Διατμητικής Κάλυψης Πλάκας Σκυροδέματος» Προγράμματος Σύμμικτων Δοκών

7.2.3.17 Καρτέλα Προγράμματος «Υπολογισμός Βελών Κάμψεως [ΟΚΛ]»

Στην παρούσα καρτέλα του προγράμματος γίνεται ο υπολογισμός του βέλους κάμψεως της σύμμικτης δοκού σε οριακή κατάσταση λειτουργικότητας (ΟΚΛ) λαμβάνοντας υπόψη την αλλαγή γεωμετρίας της διατομής και τα φορτία που επιβάλλονται σε αυτή για κάθε φάση κατασκευής της δοκού.

Ο χρήστης καλείται να επιλέξει μέσω αναπτυσσόμενης λίστας αν κατά τη φάση σκυροδέτησης η σιδηροδοκός υποστυλώνεται ή όχι καθώς επίσης ζητείται να επιλέξει αν ο έλεγχος αυτός γίνεται για βραχυχρόνιες ή μακροχρόνιες συνθήκες φόρτισης έτσι ώστε να ληφθούν υπόψη η επιρροή χρόνιων παραμορφώσεων λόγω ερπυσμού και συστολής ξήρανσης του σκυροδέματος.

Τα βέλη κάμψεως (σε κάθε φάση κατασκευής) υπολογίζεται με βάση τις πιο πάνω επιλογές οι οποίες έγιναν από το χρήστη, την μέθοδο ανάλυσης η οποία επιλέχθηκε στον υπολογισμό εντατικών μεγεθών (Ελαστική ρηγματωμένη/ αρηγμάτωτη ανάλυση), τον βαθμό διατμητικής σύνδεσης (n/n_f), τα αδρανειακά χαρακτηριστικά της διατομής με τα αντίστοιχα φορτία τα οποία επιβάλλονται σε αυτή σε κάθε φάση κατασκευής αναφέροντας και την μορφή που έχει η διατομή σε κάθε φάση (χαλύβδινη σιδηροδοκός, σύμμικτη δοκός χωρίς έλασμα ενίσχυσης (αν υπάρχει), σύμμικτη δοκός με έλασμα ενίσχυσης (αν υπάρχει).

Τέλος πραγματοποιείται χάραξη των διαγραμμάτων βελών κάμψεως παρουσιάζοντας την τιμή του μέγιστου βέλους και την θέση στην οποία εντοπίζεται σε κάθε φάση κατασκευής αλλά και στην τελική κατάσταση της δοκού (συνολικό βέλος από Φάση I+II+III). Στην περίπτωση όπου ο σχεδιασμός της διατμητικής σύνδεσης γίνεται με μερική κάλυψη (μερική διατμητική σύνδεση), τότε στο κάθε διάγραμμα παρουσιάζεται με διακαιομένη γραμμή το βέλος κάμψης με βάση τον υφιστάμενο βαθμό διατμητικής σύνδεσης τον οποίο έχει η σύμμικτη δοκός ενώ με συνεχής γραμμή παρουσιάζεται το βέλος κάμψης που θα είχε η σύμμικτη δοκός αν σχεδιαζόταν με πλήρη διατμητική σύνδεση (δηλαδή με βαθμό διατμητικής σύνδεσης (n/n_f=1)).

Αρχικό Μενού | Προηγούμενη | Επόμενη

Έλεγχος Βελών Κάμψεως z(x) σε Οριακή Κατάσταση Λειτουργικότητας (ΟΚΛ)

Δεδομένα Εισαγωγής

Μέθοδος Ανάλυσης Εύρεσης Εντατικών Μεγεθών (Ed)

Ελαστική Ανάλυση

Αρηγμάτωτη Ανάλυση

Επιλογή Φάσεων Κατασκευής

Η Σιδηροδοκός ΔΕΝ Υποστυλώνεται στη Φάση Σκυροδέτησης

Η Σιδηροδοκός Υποστυλώνεται στη Φάση Σκυροδέτησης
Η Σιδηροδοκός ΔΕΝ Υποστυλώνεται στη Φάση Σκυροδέτησης

Επιρροή Λόγω Χρόνιων Παραμορφώσεων (Ερπυσμός)

Μακροχρόνια Φόρτιση (Ερπυσμός Σκυροδέματος)

Βραχυχρόνια Φόρτιση
Μακροχρόνια Φόρτιση (Ερπυσμός Σκυροδέματος)

****Σημείωση: Για την περίπτωση όπου γίνεται έλεγχος για Μακροχρόνιες Φορτίσεις θα πρέπει πρώτα να συμπληρωθεί το αντίστοιχο φύλλο υπολογισμού συντελεστή ερπυσμού φ(t).**

Δεδομένα Διατμητικής Σύνδεσης

Βαθμός Διατμητικής Σύνδεσης: (n/nf)	**80,625726 %**

****Σημείωση: Για Πλήρη Διατμητική Σύνδεση ο Βαθμός Διατμητικής Σύνδεσης (n/nf) παίρνει την τιμή 100%, ενώ για Μερική Διατμητική Σύνδεση παίρνει τιμές από: [0% ≤ (n/nf)<100%]**

Φορτία Οριακής Κατάστασης Λειτουργικότητας (ΟΚΛ)

Μόνιμα Φορτία $g_{Ed,c,OKΛ} + g_{Ed,α,OKΛ}$	12,663011	KN/m
Λοιπά Μόνιμα Φορτία $g'_{Ed,OKΛ}$	10	KN/m
Κινητά Φορτία $q_{Ed,OKΛ}$	15	KN/m

Αδρανειακά Μεγέθη για τον υπολογισμό των Βελών Κάμψεως

Φάση Κατασκευής I: Μόνιμα Φορτία Σκυροδέματος (gc) + Σιδηροδοκού(ga)

Δρώσα Μεγέθη στην Φάση Κατασκευής I

Μόνιμα Φορτία $g_{Ed,c} + g_{Ed,a}$	12,663011	KN/m

Διατομή Φάσης Κατασκευής I:	**Χαλύβδινη Διατομή (Σιδηροδοκός)**	
Ροπή Αδρανείας Ισοδύναμης Διατομής Ie,ψψ,I	23130	cm^4

Φάση Κατασκευής II: Λοιπά Μόνιμα Φορτία (g')

Δρώσα Μεγέθη στην Φάση Κατασκευής II

Λοιπά Μόνιμα Φορτία g'_{Ed}	10	KN/m

Διατομή Φάσης Κατασκευής II:	**Σύμμικτη Διατομή (Χωρίς Έλασμα Ενίσχυσης Αν Υπάρχει)**	
Ροπή Αδρανείας Ισοδύναμης Διατομής Ie,ψψ,I	60129,969	cm^4

Φάση Κατασκευής III: Κινητά Φορτία (q)

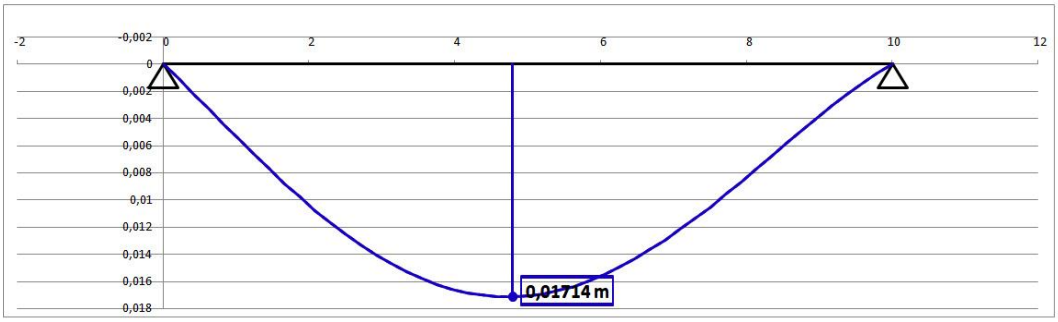
Δρώσα Μεγέθη στην Φάση Κατασκευής III

Κινητά Φορτία q_{Ed}	15	KN/m

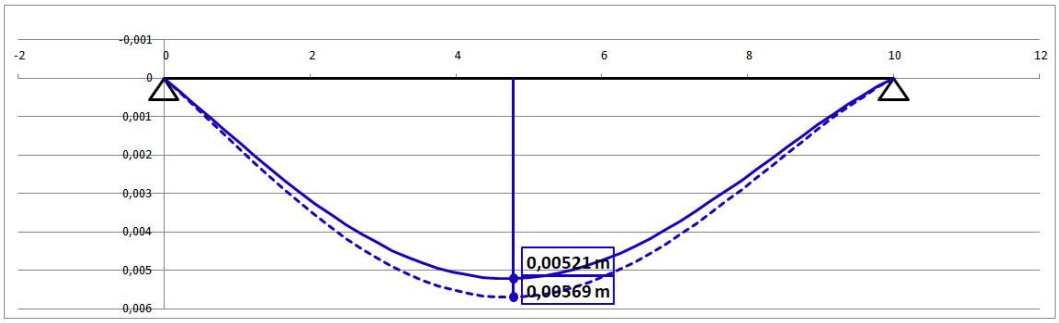
Διατομή Φάσης Κατασκευής III:	**Σύμμικτη Διατομή (Με Έλασμα Ενίσχυσης Αν Υπάρχει)**	
Ροπή Αδρανείας Ισοδύναμης Διατομής Ie,ψψ,I	149889,33	cm^4

Βέλη Κάμψεως για Πλήρη ή Μερική Διατμητική Σύνδεση σε Κάθε Φάση Κατασκευής

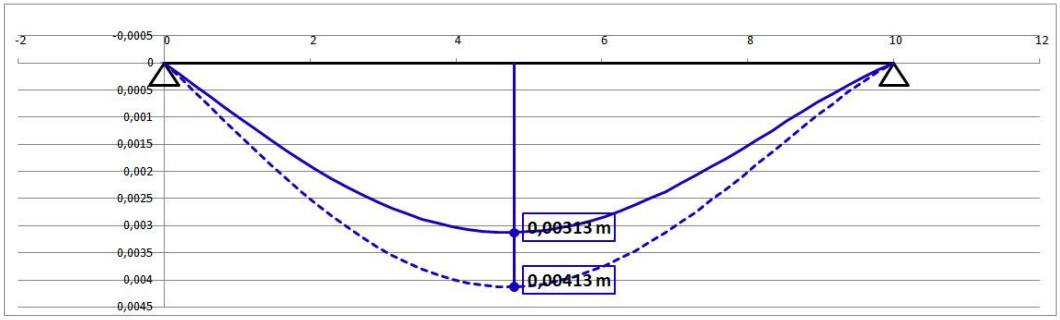
Διάγραμμα Βελών Κάμψεως [z(x)], (Ελαστική (Αρηγμάτωτη ή Ρηγματωμένη Ανάλυση) , Φάση Κατασκευής I)

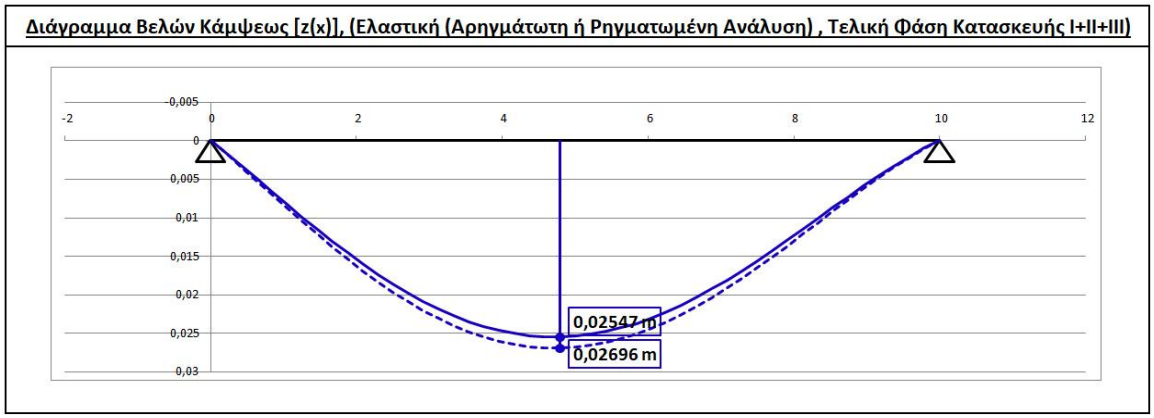


Διάγραμμα Βελών Κάμψεως [z(x)], (Ελαστική (Αρηγμάτωτη ή Ρηγματωμένη Ανάλυση) , Φάση Κατασκευής II)



Διάγραμμα Βελών Κάμψεως [z(x)], (Ελαστική (Αρηγμάτωτη ή Ρηγματωμένη Ανάλυση) , Φάση Κατασκευής III)





Εικόνα 7-43 Καρτέλα «Υπολογισμός Βελών Κάμψεως [ΟΚΛ]» Προγράμματος Σύμμικτων Δοκών

7.2.3.18 Καρτέλα Προγράμματος «Ελάχιστος Οπλισμός και Έλεγχος Ρηγμάτωσης Σκυροδέματος»

Η τελευταία καρτέλα του προγράμματος αναφέρεται στον υπολογισμό και έλεγχο επάρκειας ελάχιστου οπλισμού ($A_{s,min}$) και έλεγχο ρηγμάτωσης της πλάκας σκυροδέματος. Ο χρήστης καλείται να επιλέξει μέσω αναπτυσσόμενης λίστας το επιθυμητό εύρος ρωγμής (w_k) με το οποίο θα γίνουν οι αντίστοιχοι έλεγχοι από το πρόγραμμα. Σε κάθε κρίσιμη διατομή ελέγχου με το αντίστοιχο συνεργαζόμενο της πλάτος και τα αδρανειακά χαρακτηριστικά (ρηγματωμένης διατομής) υπολογίζεται η μέγιστη επιτρεπόμενη τάση στο οπλισμό σκυροδέματος αμέσως μετά την ρηγμάτωση του σκυροδέματος (σ_s). Στην συνέχεια υπολογίζεται το εμβαδόν του ελάχιστου οπλισμού σκυροδέματος ($A_{s,min}$), το οποίο συγκρίνεται με το εμβαδόν τοποθετούμενου οπλισμού σκυροδέματος ($A_{s,τοποθετ.}$). Στην περίπτωση όπου ο έλεγχος ικανοποιείται τότε αναγράφεται στο αντίστοιχο πεδίο ελέγχου η ένδειξη «True» με πράσινο χρώμα ενώ σε αντίθετη περίπτωση στην οποία ο έλεγχος δεν επαρκεί αναγράφεται η ένδειξη «False» με κόκκινο χρώμα. Ακολούθως πραγματοποιείται ο έλεγχος ρηγμάτωσης σκυροδέματος ο οποίος γίνεται μέσω επάρκειας μέγιστης επιτρεπόμενης διαμέτρου ή μέσω έλεγχου μέγιστης επιτρεπόμενης απόστασης μεταξύ των διαμήκων οπλισμών σκυροδέματος. Όπως και πριν έτσι και εδώ στην περίπτωση όπου ο έλεγχος ικανοποιείται αναγράφεται στο αντίστοιχο πεδίο ελέγχου η ένδειξη «True» με πράσινο χρώμα ενώ σε αντίθετη περίπτωση στην οποία ο έλεγχος δεν επαρκεί αναγράφεται η ένδειξη «False» με κόκκινο χρώμα. Ο έλεγχος τόσο του ελάχιστου οπλισμού όσο και ο έλεγχος ρηγμάτωσης του σκυροδέματος πραγματοποιούνται σε κάθε κρίσιμη διατομή ελέγχου. Τέλος το πρόγραμμα παρουσιάζει την επάρκεια των δύο ελέγχων για το σύνολο του φορέα.

Αρχικό Μενού | Προηγούμενη

Έλεγχος Επάρκειας Ελάχιστου Οπλισμού As,min και Έλεγχος Ρηγμάτωσης Σκυροδέματος

Επιλογή Εύρος Ρωγμής: wk — **wk = 0,3 (mm)**

wk = 0,4 (mm)
wk = 0,3 (mm)
wk = 0,2 (mm)

Πίνακες Μέγιστων Τιμών Διαμέτρων και Αποστάσεων μεταξύ των Διαμήκη Οπλισμών (Για τον Έλεγχο Ρηγμάτωσης Σκυροδέματος)

	Μέγιστη Διάμετρος Ράβδου Ø (mm) Διαμήκους Οπλισμού, για Άνοιγμα Ρωγμής wk		
Τάση Οπλισμού σs (MPa)	wk = 0,4 (mm)	wk = 0,3 (mm)	wk = 0,2 (mm)
160	40	32	25
200	32	25	16
240	20	16	12
280	16	12	8
320	12	10	6
360	10	8	5
400	8	6	4
450	6	5	-

	Μέγιστη Απόσταση Ράβδου Ø (mm) Διαμήκους Οπλισμού, για Άνοιγμα Ρωγμής wk		
Τάση Οπλισμού σs (MPa)	wk = 0,4 (mm)	wk = 0,3 (mm)	wk = 0,2 (mm)
160	300	300	200
200	300	250	150
240	250	200	100
280	200	150	50
320	150	100	-
360	100	50	-

Πρόγραμμα Αυτόματου Ελέγχου Επάρκειας Ελάχιστου Οπλισμού As,min και Έλεγχος Ρηγμάτωσης Σκυροδέματος

Σημείο Ελέγχου Α

Για Συνεργαζόμενο Πλάτος Πλάκας Σκυροδέματος $b_{eff,A}$ 156,25 cm

Γεωμετρικά Χαρακτηριστικά Σιδηροδοκού + Έλασμα Ενίσχυσης (Αν υπάρχει)

$A_{(\alpha+\varepsilon)}$ 124,46 cm^2

$z_{o,(\alpha+\varepsilon)}$ 41,74916 cm

$I_{\psi\psi,(\alpha+\varepsilon)}$ 35114,04 cm^4

Γεωμετρικά Χαρακτηριστικά Αρηγμάτωτης Σύμμικτης Διατομής

$A_{\alpha\rho\eta\gamma\mu.}$ 430,8397 cm^2

$z_{o,\alpha\rho\eta\gamma.,beff,A}$ 16,25574 cm

$I_{\psi\psi,\alpha\rho\eta\gamma.,beff}$ 152164,7 cm^4

Γεωμετρικά Χαρακτηριστικά Ρηγματωμένης Σύμμικτης Διατομής

$A_{\rho\eta\gamma\mu.}$ 171,9111 cm^2

$z_{o,\rho\eta\gamma\mu.,beff,A}$ 31,70269 cm

$I_{\psi\psi,\rho\eta\gamma\mu.,beff}$ 80803,97 cm^4

Πρόγραμμα Έλεγχος Ελάχιστου Διαμήκους Οπλισμού Σκυροδέματος ($A_{\Delta s,min}$) (Διατομή Ελέγχου Α)

Κατακόρυφη Απόσταση Οπλισμών (μετρούμενο από την πάνω παριά της πλάκας σκυροδέματος μέχρι το Κ.Β. του οπλισμού), (Αναφαίρετε στον οπλισμό που είναι ποιο κοντά στην πάνω παριά της πλάκας σκυροδέματος): $z_{\Delta,s1,2}$	4	cm
Ροπή Αντιστάσεως Ρηγματωμένης Διατομής (Στην Ανώτερη Σειρά Οπλισμών): $W_{s,Ανωτ.,ρηγμ.}$	2916,828	cm^3
Μέγιστη Τάση Οπλισμού στην Ρηγματωμένη Διατομή για τον Οιονεί Μόνιμο Συνδιασμό Λειτουργικότητας [ΟΚΛ]: $\sigma_{s,o}$	34,60502	MPa
Συντελεστής α_{st}	3,178528	
Γεωμετρικό Ποσοστό Οπλισμού: ρ_s	0,025307	
Πρόσθετη Τάση λόγω συμμετοχής του σκυροδέματος μεταξύ των ρωγμών: $\Delta\sigma_s$	10,93985	MPa
Μέγιστη Συνολική Επιτρεπόμενη Τάση στον Οπλισμό Πρίν την Ρηγμάτωση: $\sigma_{s,total}$	**45,54486**	**MPa**
Συντελεστής που λαμβάνει υπόψη την επιρροή της μείωσης της αξονικής δύναμης της πλάκας λόγω ρηγμάτωσης και ολίσθησης των διατμητικών ήλων: k_s	0,9	
Συντελεστής που λαμβάνει υπόψη την κατανομή ανομοιόμορφων αυτεντατικών τάσεων: k	0,8	
Συντελεστής k_c	0,9309	
Ενεργός Εφελκυστική Αντοχή Σκυροδέματος τη στιγμή της ρηγμάτωσης: $f_{ct,eff}$	3	MPa
Εμβαδόν Ελάχιστου Απαιτούμενου Οπλισμού: $A_{s,total,min}$	**82,77867**	**cm^2**
Εμβαδόν Τοποθετούμενου Οπλισμού Σκυροδέματος: $A_{s,total,τοποθετ.}$	47,45114	cm^2
Έλεγχος Επάρκειας Ελάχιστου Διαμήκους Οπλισμού ($A_{s,min} \leq A_{s,total}$)	**FALSE**	

Πρόγραμμα Έλεγχος Ρηγμάτωσης Σκυροδέματος (Διατομή Ελέγχου Α)

Μέγιστη Επιτρεπόμενη Τάση στον Οπλισμό Πριν την Ρηγμάτωση (Για Προγραμματιστικούς Λόγους Εύρεσης Μέγιστης Διαμέτρου Ø): $\sigma_{s,total,max\varnothing}$	160	MPa
Μέγιστη Επιτρεπόμενη Διάμετρος Διαμήκων Οπλισμών (Για Εύρος Άνοιγμα Ρωγμών w_k): $\varnothing_{\Delta,s,max,\text{Επιτρεπ.}}$	32	mm
Έλεγχος Επάρκειας Μέγιστης Επιτρεπόμενης Διαμέτρου Διαμήκων Οπλισμών (Για Εύρος Άνοιγμα Ρωγμών w_k) ($\varnothing_{\Delta,s,max,\text{τοποθετ.}} \leq \varnothing_{\Delta,s,max.\text{Επιτρεπ.}}$)	**TRUE**	

Μέγιστη Επιτρεπόμενη Τάση στον Οπλισμό Πριν την Ρηγμάτωση (Για Προγραμματιστικούς Λόγους Εύρεσης Μέγιστης Απόστασης μεταξύ των οπλισμών): $\sigma_{s,total,max,s}$	160	MPa
Μέγιστη Επιτρεπόμενη Απόσταση μεταξύ των Διαμήκων Οπλισμών (Για Εύρος Άνοιγμα Ρωγμών w_k): $S_{\Delta,s,max,\text{Επιτρεπ.}}$	300	mm
Έλεγχος Επάρκειας Μέγιστης Επιτρεπόμενης Απόστασης μεταξύ των Διαμήκων Οπλισμών (Για Εύρος Άνοιγμα Ρωγμών w_k) ($S_{\Delta,s,max,\text{τοποθετ.}} \leq S_{\Delta,s,max,\text{Επιτρεπ.}}$)	**TRUE**	

Ελεγχος Ρηγμάτωσης Σκυροδέματος	**TRUE**

Σημείο Ελέγχου Β

Για Συνεργαζόμενο Πλάτος Πλάκας Σκυροδέματος $b_{eff,B}$	175	cm

Γεωμετρικά Χαρακτηριστικά Σιδηροδοκού + Έλασμα Ενίσχυσης (Αν υπάρχει)

$A_{(\alpha+\varepsilon)}$	124,46	cm^2
$z_{o,(\alpha+\varepsilon)}$	41,74916	cm
$I_{\psi\psi,(\alpha+\varepsilon)}$	35114,04	cm^4

Γεωμετρικά Χαρακτηριστικά Αρηγμάτωτης Σύμμικτης Διατομής

$A_{\alpha\rho\eta\gamma\mu.}$	467,6053	cm^2
$z_{o,A\rho\eta\gamma.,beff,E}$	15,44148	cm
$I_{\psi\psi,A\rho\eta\gamma.,beff}$	156194,1	cm^4

Γεωμετρικά Χαρακτηριστικά Ρηγματωμένης Σύμμικτης Διατομής

$A_{P\eta\gamma\mu.}$	177,6053	cm^2
$z_{o,P\eta\gamma\mu.,beff,E}$	30,85786	cm
$I_{\psi\psi,P\eta\gamma\mu.,beff}$	84652,56	cm^4

Πρόγραμμα Έλεγχος Ελάχιστου Διαμήκους Οπλισμού Σκυροδέματος ($A_{\Delta s,min}$) (Διατομή Ελέγχου Β)

Κατακόρυφη Απόσταση Οπλισμών (μετρούμενο από την πάνω παριά της πλάκας σκυροδέματος μέχρι το Κ.Β. του οπλισμού), (Αναφαίρετε στον οπλισμό που είναι ποιο κοντά στην πάνω παριά της πλάκας σκυροδέματος): $z_{\Delta,s1,2}$	4	cm
Ροπή Αντιστάσεως Ρηγματωμένης Διατομής (Στην Ανώτερη Σειρά Οπλισμών): $W_{s,Άνωτ.,ρηγμ.}$	3151,873	cm^3
Μέγιστη Τάση Οπλισμού στην Ρηγματωμένη Διατομή για τον Οιονεί Μόνιμο Συνδιασμό Λειτουργικότητας [ΟΚΛ]: $\sigma_{s,o}$	88,96333	MPa
Συντελεστής α_{st}	3,440213	
Γεωμετρικό Ποσοστό Οπλισμού: ρ_s	0,025307	
Πρόσθετη Τάση λόγω συμμετοχής του σκυροδέματος μεταξύ των ρωγμών: $\Delta\sigma_s$	10,10769	MPa
Μέγιστη Συνολική Επιτρεπόμενη Τάση στον Οπλισμό Πρίν την Ρηγμάτωση: $\sigma_{s,total}$	**99,07102**	**MPa**
Συντελεστής που λαμβάνει υπόψη την επιρροή της μείωσης της αξονικής δύναμης της πλάκας λόγω ρηγμάτωσης και ολίσθησης των διατμητικών ήλων: k_s	0,9	
Συντελεστής που λαμβάνει υπόψη την κατανομή ανομοιόμορφων αυτεντατικών τάσεων: k	0,8	
Συντελεστής k_c	0,911436	
Ενεργός Εφελκυστική Αντοχή Σκυροδέματος τη στιγμή της ρηγμάτωσης: $f_{ct,eff}$	3	MPa
Εμβαδόν Ελάχιστου Απαιτούμενου Οπλισμού: $A_{s,total,min}$	**41,73042**	**cm^2**
Εμβαδόν Τοποθετούμενου Οπλισμού Σκυροδέματος: $A_{s,total,τοποθετ.}$	53,14528	cm^2
Έλεγχος Επάρκειας Ελάχιστου Διαμήκους Οπλισμού ($A_{s,min} \leq A_{s,total}$)	**TRUE**	

Πρόγραμμα Έλεγχος Ρηγμάτωσης Σκυροδέματος (Διατομή Ελέγχου Β)

Μέγιστη Επιτρεπόμενη Τάση στον Οπλισμό Πριν την Ρηγμάτωση (Για Προγραμματιστικούς Λόγους Εύρεσης Μέγιστης Διαμέτρου Ø): $\sigma_{s,total,max\varnothing}$	160	MPa
Μέγιστη Επιτρεπόμενη Διάμετρος Διαμήκων Οπλισμών (Για Εύρος Άνοιγμα Ρωγμών w_k): $\varnothing_{\Delta,s,max,\text{Επιτρεπ.}}$	32	mm
Έλεγχος Επάρκειας Μέγιστης Επιτρεπόμενης Διαμέτρου Διαμήκων Οπλισμών (Για Εύρος Άνοιγμα Ρωγμών w_k) ($\varnothing_{\Delta,s,max,\text{τοποθετ.}} \leq \varnothing_{\Delta,s,max.\text{Επιτρεπ.}}$)	**TRUE**	

Μέγιστη Επιτρεπόμενη Τάση στον Οπλισμό Πριν την Ρηγμάτωση (Για Προγραμματιστικούς Λόγους Εύρεσης Μέγιστης Απόστασης μεταξύ των οπλισμών): $\sigma_{s,total,max,s}$	160	MPa
Μέγιστη Επιτρεπόμενη Απόσταση μεταξύ των Διαμήκων Οπλισμών (Για Εύρος Άνοιγμα Ρωγμών w_k): $S_{\Delta,s,max,\text{Επιτρεπ.}}$	300	mm
Έλεγχος Επάρκειας Μέγιστης Επιτρεπόμενης Απόστασης μεταξύ των Διαμήκων Οπλισμών (Για Εύρος Άνοιγμα Ρωγμών w_k) ($S_{\Delta,s,max,\text{τοποθετ.}} \leq S_{\Delta,s,max,\text{Επιτρεπ.}}$)	**TRUE**	

Ελεγχος Ρηγμάτωσης Σκυροδέματος	**TRUE**

Σημείο Ελέγχου Γ

Για Συνεργαζόμενο Πλάτος Πλάκας Σκυροδέματος $b_{eff,Γ}$	156,25	cm

Γεωμετρικά Χαρακτηριστικά Σιδηροδοκού + Έλασμα Ενίσχυσης (Αν υπάρχει)

$A_{(α+ε)}$	124,46	cm^2
$z_{o,(α+ε)}$	41,74916	cm
$I_{ψψ,(α+ε)}$	35114,04	cm^4

Γεωμετρικά Χαρακτηριστικά Αρηγμάτωτης Σύμμικτης Διατομής

$A_{αρηγμ.}$	430,8397	cm^2
$z_{o,Αρηγ.,beff,Γ}$	16,25574	cm
$I_{ψψ,Αρηγ.,beff}$	152164,7	cm^4

Γεωμετρικά Χαρακτηριστικά Ρηγματωμένης Σύμμικτης Διατομής

$A_{Ρηγμ.}$	171,9111	cm^2
$z_{o,Ρηγμ.,beff,Γ}$	31,70269	cm
$I_{ψψ,Ρηγμ.,beff}$	80803,97	cm^4

Πρόγραμμα Έλεγχος Ελάχιστου Διαμήκους Οπλισμού Σκυροδέματος ($A_{\Delta s,min}$) (Διατομή Ελέγχου Γ)

Κατακόρυφη Απόσταση Οπλισμών (μετρούμενο από την πάνω παριά της πλάκας σκυροδέματος μέχρι το Κ.Β. του οπλισμού), (Αναφαίρετε στον οπλισμό που είναι ποιο κοντά στην πάνω παριά της πλάκας σκυροδέματος): $z_{\Delta,s1,2}$	4	cm
Ροπή Αντιστάσεως Ρηγματωμένης Διατομής (Στην Ανώτερη Σειρά Οπλισμών): $W_{s,Άνωτ.,ρηγμ.}$	2916,828	cm^3
Μέγιστη Τάση Οπλισμού στην Ρηγματωμένη Διατομή για τον Οιονεί Μόνιμο Συνδιασμό Λειτουργικότητας [ΟΚΛ]: $\sigma_{s,o}$	99,16662	MPa
Συντελεστής α_{st}	3,178528	
Γεωμετρικό Ποσοστό Οπλισμού: ρ_s	0,025307	
Πρόσθετη Τάση λόγω συμμετοχής του σκυροδέματος μεταξύ των ρωγμών: $\Delta\sigma_s$	10,93985	MPa
Μέγιστη Συνολική Επιτρεπόμενη Τάση στον Οπλισμό Πρίν την Ρηγμάτωση: $\sigma_{s,total}$	**110,1065**	**MPa**
Συντελεστής που λαμβάνει υπόψη την επιρροή της μείωσης της αξονικής δύναμης της πλάκας λόγω ρηγμάτωσης και ολίσθησης των διατμητικών ήλων: k_s	0,9	
Συντελεστής που λαμβάνει υπόψη την κατανομή ανομοιόμορφων αυτεντατικών τάσεων: k	0,8	
Συντελεστής k_c	0,9309	
Ενεργός Εφελκυστική Αντοχή Σκυροδέματος τη στιγμή της ρηγμάτωσης: $f_{ct,eff}$	3	MPa
Εμβαδόν Ελάχιστου Απαιτούμενου Οπλισμού: $A_{s,total,min}$	**34,24089**	**cm^2**
Εμβαδόν Τοποθετούμενου Οπλισμού Σκυροδέματος: $A_{s,total,τοποθετ.}$	47,45114	cm^2
Έλεγχος Επάρκειας Ελάχιστου Διαμήκους Οπλισμού ($A_{s,min} \leq A_{s,total}$)	**TRUE**	

Πρόγραμμα Έλεγχος Ρηγμάτωσης Σκυροδέματος (Διατομή Ελέγχου Γ)

Μέγιστη Επιτρεπόμενη Τάση στον Οπλισμό Πριν την Ρηγμάτωση (Για Προγραμματιστικούς Λόγους Εύρεσης Μέγιστης Διαμέτρου Ø): $\sigma_{s,total,max\varnothing}$	160	MPa
Μέγιστη Επιτρεπόμενη Διάμετρος Διαμήκων Οπλισμών (Για Εύρος Άνοιγμα Ρωγμών w_k): $\varnothing_{\Delta,s,max,\Epsilon\pi\iota\tau\rho\epsilon\pi.}$	32	mm
Έλεγχος Επάρκειας Μέγιστης Επιτρεπόμενης Διαμέτρου Διαμήκων Οπλισμών (Για Εύρος Άνοιγμα Ρωγμών w_k) ($\varnothing_{\Delta,s,max,\tau o\pi o\theta\epsilon\tau.} \leq \varnothing_{\Delta,s,max.\Epsilon\pi\iota\tau\rho\epsilon\pi.}$)	**TRUE**	

Μέγιστη Επιτρεπόμενη Τάση στον Οπλισμό Πριν την Ρηγμάτωση (Για Προγραμματιστικούς Λόγους Εύρεσης Μέγιστης Απόστασης μεταξύ των οπλισμών): $\sigma_{s,total,max,s}$	160	MPa
Μέγιστη Επιτρεπόμενη Απόσταση μεταξύ των Διαμήκων Οπλισμών (Για Εύρος Άνοιγμα Ρωγμών w_k): $S_{\Delta,s,max,\Epsilon\pi\iota\tau\rho\epsilon\pi.}$	300	mm
Έλεγχος Επάρκειας Μέγιστης Επιτρεπόμενης Απόστασης μεταξύ των Διαμήκων Οπλισμών (Για Εύρος Άνοιγμα Ρωγμών w_k) ($S_{\Delta,s,max,\tau o\pi o\theta\epsilon\tau.} \leq S_{\Delta,s,max,\Epsilon\pi\iota\tau\rho\epsilon\pi.}$)	**TRUE**	
Ελεγχος Ρηγμάτωσης Σκυροδέματος	**TRUE**	

Παρουσίαση Αποτελεσμάτων (Έλεγχος Επάρκειας Ελάχιστου Οπλισμού As,min και Έλεγχος Ρηγμάτωσης Σκυροδέματος)

Έλεγχος Επάρκειας Ελάχιστου Διαμήκους Οπλισμού (As,min ≤ As,total)	**FALSE**
Ελεγχος Ρηγμάτωσης Σκυροδέματος	**TRUE**

Εικόνα 7-44 Καρτέλα «Ελάχιστος Οπλισμός και Έλεγχος Ρηγμάτωσης Σκυροδέματος» Προγράμματος Σύμμικτων Δοκών

8. Συμπεράσματα - Παρατηρήσεις

Η παρούσα εφαρμογή δημιουργήθηκε με γνώμονα να είναι όσο το δυνατόν πιο απλή, εύχρηστη, διαθέτοντας ένα φιλικό και γραφικό λειτουργικό περιβάλλον προς το χρήστη. Μέσω πολυάριθμων και στοχευμένων παραδειγμάτων διαπιστώθηκε ότι τα αποτελέσματα τα οποία λαμβάνονται από το πρόγραμμα είναι αξιόπιστα και συγκλίνουν απόλυτα με τις αναλυτικές λύσεις. Η εφαρμογή λαμβάνει υπόψη μια μεγάλη γκάμα υπολογιστικών ελέγχων και διατάξεων των κανονισμών για την διαστασιολόγηση σύμμικτων δοκών για κτιριακές κατασκευές. Μέσω του εύκολου χειρισμού της ο χρήστης δύναται να εξετάζει εύκολα και γρήγορα διάφορες εναλλακτικές λύσεις με στόχο την επίτευξη της οικονομικότερης λύσης. Επίσης μπορεί να ληφθούν άμεσα αποτελέσματα κατά την διενέργεια παραμετρικών διερευνήσεων εξετάζοντας την επιρροή που έχει ένα μέγεθος ως προς τους συνολικούς ελέγχους επάρκειας της σύμμικτης δοκού.

Φυσικά υπάρχουν περιθώρια βελτίωσης και προσθήκης επιπλέον δυνατοτήτων έτσι ώστε το πρόγραμμα να αποτελεί ένα πλήρες εργαλείο για την ανάλυση και διαστασιολόγησης σύμμικτων κατασκευών όπως για παράδειγμα:

- Μελέτη σύμμικτων δοκών διαφορετικής μορφής (π.χ. Delta beam, Integrated beam)
- Αντιμετώπιση σύμμικτων δοκών σε κατασκευές γεφυροποιίας
- Προσθήκη συγκολλητών διατομών στην χάραξη διατομής της σιδηροδοκού
- Αντιμετώπιση διατομών κατηγορίας 4
- Ενσωμάτωση ελαστικού σχεδιασμού στους ελέγχους διατμητικής σύνδεσης
- Έλεγχος σε στρεπτοκαμπτικό λυγισμό
- Έλεγχος σε κόπωση
- Σχεδιασμός έναντι πυρκαγιάς

Τέλος το πρόγραμμα συντάχθηκε με βάση τα σημερινά κείμενα των Ευρωκωδίκων. Με την οριστικοποίηση των νέων κειμένων των Ευρωκωδίκων μπορούν να ενσωματωθούν

εύκολα σε νέα έκδοση του προγράμματος αφού δεν αναμένονται σημαντικές δομικές αλλαγές στην εφαρμογή, στην οποία ο κώδικας είναι αρκετά ευμετάβλητος.

9. Βιβλιογραφία

1. Αθανάσιος Χ. Τριανταφύλλου (2013). «*Δομικά Υλικά»*. Αθήνα: Εκδόσεις Gotsis.

2. Βάγιας Ι. (2013). «*Παραδείγματα Εφαρμογής σε Ειδικά Θέματα Μεταλλικών Κατασκευών»*. Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα.

3. Βάγιας Ι., Αβραάμ Τ., Θανόπουλος Π. «Σημειώσεις και ασκήσεις του μαθήματος Σύμμικτες Κατασκευές». Ε.Μ.Π. Available at: http://mycourses.ntua.gr/course_description/index.php?cidReq=CIVIL1145.

4. Βάγιας Ι., Ερμόπουλος Ι. Ιωαννίδης Γ. (2005). «*Σιδηρές Κατασκευές Παραδείγματα Εφαρμογής Του Ευρωκώδικα 3, Τόμος Ι*. 2η έκδοση». Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα.

5. Βάγιας Ι., Ερμόπουλος Ι., Ιωαννίδης Γ. (2005). «*Σχεδιασμός Δομικών Έργων Από Χάλυβα Με Βάση Τα Τελικά Κείμενα Των Ευρωκωδίκων*. 2η έκδοση». Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα.

6. Βάγιας Ι., Ερμόπουλος Ι, Ιωαννίδης Γ. (2013). «*Σχεδιασμός Δομικών Έργων από Χάλυβα με Παραδείγματα Εφαρμογής»*. Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα.

7. Βαρδουλάκης Ιωάννης (1999). «*Τεχνική Μηχανική ΙΙ»*. Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα.

8. Γαντές Χ., Βαμβάτσικος Δ., Αβραάμ Τ., Θανόπουλος Π., Σπηλιόπουλος Α. «Σημειώσεις και ασκήσεις του μαθήματος Σιδηρές Κατασκευές ΙΙ». Ε.Μ.Π. Available at: http://mycourses.ntua.gr/course_description/index.php?cidReq=CIVIL1028.

9. Γαντές Χ., Βαμβάτσικος Δ., Θανόπουλος Π., Σπηλιόπουλος Α. «Σημειώσεις και ασκήσεις του μαθήματος Σιδηρές Κατασκευές Ι». Ε.Μ.Π. Available at: http://mycourses.ntua.gr/course_description/index.php?cidReq=CIVIL1054.

10. Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών Ε.Μ.Π. (2022). «Τυπολόγιο Διαστασιολόγησης Κατασκευών Από Χάλυβα Σύμφωνα Με Τους Ευρωκώδικες EN1993-1-1, EN1993-1-8 Και EN 1998-1, Έκδοση 13.0».

11. Ερμόπουλος Γιάννης (Ε.Μ.Π). «Ευρωκώδικας 4: Σύμμικτες κατασκευές (Διατμητική Σύνδεση Και Σύμμικτα Υποστυλώματα), Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών Ε.Μ.Π.» Τ.Ε.Ε. Available at: https://www.teepelop.gr/.

12. Ηλιόπουλος Α. (2011). «Ευρωκώδικας 4-1 Δομή και Βασικές Διατάξεις, Σεμινάρια ΙΕΚΕΜ, ΤΕΕ».

13. Ιωάννης Κ. Βάγιας (2003). «*Σιδηρές Κατασκευές Ανάλυση Και Διαστασιολόγηση*». Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα.

14. Ιωάννης Κ. Βάγιας (2018). «*Σύμμικτες Κατασκευές Από Χάλυβα Και Οπλισμένο Σκυρόδεμα*. 4η έκδοση». Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα.

15. (ΚΕΔΕ) (2008). «*Νέος Κανονισμός Τεχνολογίας Χαλύβων Οπλισμού Σκυροδέματος (ΚΤΧ)*».

16. Οργανισμός Αντισεισμικού Σχεδιασμού Και Προστασίας (ΟΑΣΠ) και Σύλλογος Πολιτικών Μηχανικών Ελλάδος (ΣΠΜΕ) (2001). «*ΕΚΩΣ 2000: Ελληνικός Κανονισμός Ωπλισμένου Σκυροδέματος 2000*».

17. Τασιούλα Αναστασία (2017). «*Υπολογιστικά Εργαλεία για τη διαστασιολόγηση Σύμμικτων Στοιχείων Χάλυβα – Σκυροδέματος*». Διατριβή Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης. Πανεπιστήμιο Πατρών.

18. Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος (ΙΕΚΕΜ-ΤΕΕ), Νίκος Μαλακάτας, ΔρΠΜ, Πρόεδρος CEN/TC250/SC1, και Κώστας Τρέζος, Δρ ΠΜ, Επίκ. Καθηγητής ΕΜΠ (2011). «Σημειώσεις για τη χρήση των Ευρωκωδίκων EN 1990: Βάσεις Σχεδιασμού των Φέρουσων Κατασκευών, EN 1991: Δράσεις επί των κατασκευών».

19. Φαίδων Σ. Καρυδάκης (2010). «Σχεδιασμός Σύμμικτων Δομικών Στοιχείων Σύμφωνα με τον EC4». Τ.Ε.Ε.

20. Χαράλαμπος Ι. Γαντές, Καθηγητής Ε.Μ.Π. (2015). «*Μη Γραμμική Συμπεριφορά Των Κατασκευών»*. Αθήνα.

21. Arcelor Mittal *Arcelor Mittal Beams Calculator*

22. *AutoCAD 2021 (Computer Aided Design)*. Autodesk. Available at: https://www.autodesk.com/education/edu-software/overview.

23. EN 1990 (2002) *Ευρωκώδικας 0: Βάσεις σχεδιασμού, (CEN)*.

24. EN 1991-1-1 (2002) *Ευρωκώδικας 1: Δράσεις – Μέρος 1-1: Γενικές δράσεις – Πυκνότητες, ίδιον βάρος, επιβαλλόμενα φορτία σε κτίρια (CEN)*.

25. EN 1992-1-1 (2004) *Ευρωκώδικας 2: Σχεδιασμός φορέων από Σκυρόδεμα – Μέρος 1-1: Γενικοί Κανόνες και Κανόνες για κτίρια, (CEN)*.

26. EN 1993-1-1 (2005) *Ευρωκώδικας 3 : Σχεδιασμός κατασκευών από χάλυβα Μέρος 1-1: Γενικοί κανόνες και κανόνες για κτίρια (CEN)*.

27. EN 1993-1-8 (2005) *Ευρωκώδικας 3: Σχεδιασμός Κατασκευών Από Χάλυβα Μέρος 1-8: Σχεδιασμός Κόμβων (CEN)*.

28. EN 1994-1-1 (2004) *Ευρωκώδικας 4: Σχεδιασμός σύμμικτων κατασκευών από χάλυβα και σκυρόδεμα Μέρος 1-1: Γενικοί κανόνες και κανόνες για κτίρια (CEN)*.

29. *Microsoft Office Excel έκδοση 2007* Available at: https://www.microsoft.com/.