



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΗΣ

ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΝΟΜΟΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΦΟΡΕΩΝ ΑΠΟ ΦΕΡΟΝ ΕΛΑΦΡΟΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΟΥ

ΧΡΟΝΟΠΟΥΛΟΥ Β. ΦΙΛΙΠΠΟΥ

Επιβλέπων: Χρήστος Ζέρης
Αναπληρωτής Καθηγητής

Αθήνα, Ιούλιος 2020



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΗΣ

**ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΝΟΜΟΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ
ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΦΟΡΕΩΝ ΑΠΟ ΦΕΡΟΝ
ΕΛΑΦΡΟΣΚΥΡΟΔΕΜΑ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΟΥ

ΧΡΟΝΟΠΟΥΛΟΥ Β. ΦΙΛΙΠΠΟΥ

Επιβλέπων: Χρήστος Ζέρης
Αναπληρωτής Καθηγητής

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 16/07/2020.

(Υπογραφή)

(Υπογραφή)

(Υπογραφή)

.....
Χρήστος Ζέρης
Αναπληρωτής Καθηγητής

.....
Ελισσάβετ Βιντζηλαίου
Καθηγήτρια

.....
Εμμανουήλ Βουγιούκας
Επίκουρος καθηγητής

Αθήνα, Ιούλιος 2020



Copyright © - All rights reserved. Με την επιφύλαξη παντός δικαιώματος.
Χρονόπουλος Φίλιππος, 2020.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, 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.

Το περιεχόμενο αυτής της εργασίας δεν απηχεί απαραίτητα τις απόψεις του Τμήματος, του Επιβλέποντα, ή της επιτροπής που την ενέκρινε.

ΔΗΛΩΣΗ ΜΗ ΛΟΓΟΚΛΟΠΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΗΨΗΣ ΠΡΟΣΩΠΙΚΗΣ ΕΥΘΥΝΗΣ

Με πλήρη επίγνωση των συνεπειών του νόμου περί πνευματικών δικαιωμάτων, δηλώνω ευνοπογράφως ότι είμαι αποκλειστικός συγγραφέας της παρούσας Πτυχιακής Εργασίας, για την ολοκλήρωση της οποίας κάθε βοήθεια είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται λεπτομερώς στην εργασία αυτή. Έχω αναφέρει πλήρως και με σαφείς αναφορές, όλες τις πηγές χρήσης δεδομένων, απόψεων, θέσεων και προτάσεων, ιδεών και λεκτικών αναφορών, είτε κατά κυριολεξία είτε βάσει επιστημονικής παράφρασης. Αναλαμβάνω την προσωπική και ατομική ευθύνη ότι σε περίπτωση αποτυχίας στην υλοποίηση των ανωτέρω δηλωθέντων στοιχείων, είμαι υπόλογος έναντι λογοκλοπής, γεγονός που σημαίνει αποτυχία στην Πτυχιακή μου Εργασία και κατά συνέπεια αποτυχία απόκτησης του Τίτλου Σπουδών, πέραν των λοιπών συνεπειών του νόμου περί πνευματικών δικαιωμάτων. Δηλώνω, συνεπώς, ότι αυτή η Πτυχιακή Εργασία προετοιμάστηκε και ολοκληρώθηκε από εμένα προσωπικά και αποκλειστικά και ότι, αναλαμβάνω πλήρως όλες τις συνέπειες του νόμου στην περίπτωση κατά την οποία αποδειχθεί, διαχρονικά, ότι η εργασία αυτή ή τμήμα της δεν μου ανήκει διότι είναι προϊόν λογοκλοπής άλλης πνευματικής ιδιοκτησίας.

(Υπογραφή)

.....
Χρονόπουλος Φίλιππος

15/07/2020

Περίληψη

Στην παρούσα διπλωματική εργασία διερευνήθηκαν οι διαφορές του ελαφροσκυροδέματος και του συμβατικού σκυροδέματος αρχικά στις οριακές καταστάσεις και έπειτα σε επίπεδο φορέα κατά EC2 και EC8. Διερευνήθηκαν αρχικά οι διαφορές στις οριακές καταστάσεις αστοχίας, στις οριακές καταστάσεις λειτουργικότητας και στη πλαστιμότητα. Για να γίνει η σύγκριση αυτή σχεδιάστηκαν διαγράμματα για την εξαγωγή συμπερασμάτων. Αυτό πραγματοποιήθηκε με τα μηχανικά χαρακτηριστικά και τις οριακές καταστάσεις αστοχίας-λειτουργικότητας όπως παρουσιάζονται στις διατάξεις του Ευρωκώδικα 2 και 8. Η χάραξη αυτή των διαγραμμάτων πραγματοποιήθηκε με το λογισμικό matlab[©].

Για την σύγκριση σε επίπεδο φορέα έγινε ο σχεδιασμός πενταόροφης κατασκευής για σκυρόδεμα κανονικού βάρους και για ελαφροσκυρόδεμα με πυκνότητες $\rho = 1600\text{kg}/\text{m}^3$ και $\rho = 1800\text{kg}/\text{m}^3$. Για τον σχεδιασμό χρησιμοποιήθηκε το στατικό πρόγραμμα SAP2000[©].

Προκύπτουν τελικά διαγράμματα σχεδιασμού, πλαστιμότητας και λειτουργίας. Μέσω των διαγραμμάτων συμπεραίνεται ότι με την μείωση της πυκνότητας του σκυροδέματος δεν μεταβάλλονται οι απαιτούμενοι οπλισμοί επηρεάζονται όμως οι οριακές ροπές. Στα κατακόρυφα στοιχεία για δυσμενή περίπτωση υποστυλώματος η αντοχή μπορεί να μειωθεί κατά 15–20% για ελαφροσκυρόδεμα με $\rho = 1400\text{kg}/\text{m}^3$. Δεν παρουσιάζονται ιδιαίτερες μεταβολές στο λυγισμό αλλά αυτό οφείλεται στην αδυναμία του ευρωκώδικα να λάβει υπόψιν τις διαφορές στην μη γραμμικότητα γεωμετρίας. Οι πλαστιμότητες χωρίς περίσφιξη μεταβάλλονται κατά μεγάλο ποσοστό σε κατακόρυφα στοιχεία ενώ όσο μειώνεται ο θλιβόμενος οπλισμός τόσο μειώνονται και οι διαφορές. Για πλαστιμότητες στοιχείων υπό περίσφιξη παρατηρείται ότι οι διαφορές αυξάνονται για αύξηση της περίσφιξης, ειδικά στην περίπτωση κισσηροδέματος πέραν μίας περίσφιξης δεν αυξάνεται η περίσφιξη στοιχείων. Σε οριακές καταστάσεις λειτουργίας παρότι μειώνεται η τέμνουσα δυσκαμψία για μείωση της πυκνότητας δεν μεταβάλλονται τα βελή για τυπικές περιπτώσεις γραμμικών φορέων.

Η εφελκυστική αντοχή f_{ctm} είναι το κριτήριο διαστασιολόγησης των υποστυλωμάτων στο ελαφροσκυρόδεμα. Οι διαφορές στους απαιτούμενους οπλισμούς για ελαφροσκυρόδεμα παρουσιάζονται αποκλειστικά στις στηρίξεις των πλακών και στους διαμήκεις οπλισμούς των δοκών. Για ελαφροσκυρόδεμα ελαφρών αδρανών με $\rho = 1800\text{kg}/\text{m}^3$ παρουσιάζεται ποσοστιαία μείωση κατά 8% των οπλισμών και αύξηση του μέγιστου συντελεστή σεισμικής ευαισθησίας κατά 5% ενώ για ελαφροσκυρόδεμα με $\rho = 1600\text{kg}/\text{m}^3$ παρουσιάζεται ποσοστιαία μείωση κατά 10% των οπλισμών και αύξηση του μέγιστου συντελεστή σεισμικής ευαισθησίας κατά 22%.

Λέξεις Κλειδιά

ελαφροσκυρόδεμα, EC2, EC8, οριακή κατάσταση αστοχίας, διαγράμματα απλού οπλισμού, πίνακες πλακοδοκών, διαγράμματα αλληλεπίδρασης, διαγράμματα διαξονικής κάμψης, διαγράμματα λυγισμού, διαγράμματα αντοχής δοκών, πλαστιμότητα, οριακή κατάσταση λειτουργικότητας, πενταόροφη κατασκευή, σύγκριση, σχεδιασμός, SAP2000[©], matlab[©]

Abstract

A case study was carried out to determine the differences of normal weight concrete and lightweight aggregate concrete in the design of cross sections and the design of buildings, in accordance to the Eurocodes EC2 and EC8. For the comparison of the design of cross sections diagrams were created for ultimate limit states, serviceability limit states and ductility. To create these diagrams the mechanical properties of EC2 and EC8 were used. These diagrams were plotted with use of matlab[©]. To determine the differences in the design of buildings a five storey building was designed. The building was designed with normal weight concrete, lightweight aggregate concrete with a density of $\rho = 1800\text{kg/m}^3$ and lightweight aggregate concrete with a density of $\rho = 1600\text{kg/m}^3$. To design the buildings the static program SAP2000[©] was used.

From the diagrams created it was made clear that the density of concrete does not affect the required steel of horizontal members but does affect the moment limits. In the case of vertical members the resistance may be reduced by about 15–20% for lightweight aggregate concrete with a density of $\rho = 1600\text{kg/m}^3$. There aren't noticeable differences for buckling, but that is due to the parabola stress-strain diagram of EC2 for lightweight aggregate concrete. The ductility of members without confined concrete for different densities changed proportionally to the compression steel. For confined members the differences in ductility are proportional to the confined stress. Especially for pumice concrete after a upper limit of confined stress there is no increase in ductility. In the case of serviceability limit states, even though there is a reduction of stiffness, especially for the uncracked members, there is not a increase in the deflection of beam members.

Having designed the building with a lightweight aggregate concrete of $\rho = 1800\text{kg/m}^3$ there is a 8% decrease of steel and a 5% increase of the maximum sensitivity coefficient whereas for $\rho = 1600\text{kg/m}^3$ there is a 10% decrease of steel and a 22% increase of the maximum sensitivity coefficient. The differences in required steel appeared exclusively in the beams and the supports of the slabs. The difference of the tensile strength determined the dimensions of the columns

Keywords

lightweight concrete, EC2, EC8, ultimate limit states, design diagram for simply reinforced cross section, design diagram for beams, interaction diagrams, biaxial bending diagrams, moment resistance diagrams for beams, ductility, serviceability limit states, five storey structure, comparison, design SAP2000[©], matlab[©]

στην οικογένεια μου...

Ευχαριστίες

Θα ήθελα καταρχήν να ευχαριστήσω τον καθηγητή Κ.Ζέρη για την επίβλεψη αυτής της διπλωματικής εργασίας και για την ευκαιρία που μου έδωσε να συνεργαστώ μαζί του. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου και τον αδερφό μου για την στήριξη και ηθική συμπαράσταση που μου έχουν προσφέρει έως τώρα.

Αθήνα, Ιούλιος 2020

Χρονόπουλος Φίλιππος

Περιεχόμενα

Περίληψη	1
Abstract	3
Ευχαριστίες	7
Κατάλογος συμβόλων-συντομογραφίες	23
Πρόλογος	25
1 Εισαγωγή	27
2 Θεωρητικό υπόβαθρο	29
2.1 Βασικά χαρακτηριστικά ελαφροσκυροδέματος	29
2.2 Κανονισμοί EC2 και EC8	30
2.2.1 Μηχανικές ιδιότητες υλικών	30
2.2.2 Οριακές καταστάσεις αστοχίας	35
2.2.3 Φαινόμενα δευτέρας τάξης	36
2.2.4 Οριακές καταστάσεις λειτουργικότητας	37
2.2.5 Επιμέρους διαφορές ΕΣΕΑ και ΣΚΒ	38
I Σύγκριση σχεδιασμού διατομών και μελών από ΣΚΒ και ΕΣΕΑ σε ΟΚΑ και ΟΚΛ	41
3 Σχεδιασμός διατομών υπό ορθές εντάσεις	43
3.1 Χρήση H/Y για δημιουργία διαγραμμάτων	43
3.2 Ανηγμένες παραμορφώσεις βάση καμπυλότητας σε ΟΚΑ	44
3.3 Συντελεστές πλήρωσης και σημείου εφαρμογής της θλιπτικής δύναμης	44
3.4 Βασικοί αλγόριθμοι	48
3.4.1 Εύρεση καμπυλότητας για δεδομένη αξονική σε ΟΚΑ	48
3.4.2 Εύρεση ανηγμένων παραμορφώσεων για δεδομένη αξονική και καμπυ- λότητα	49
3.5 Διαγράμματα τάσεων-παραμορφώσεων 2 σκυροδέματος	49
3.6 Πλάκες-δοκοί	50
3.6.1 Σχεδιασμός ορθογωνικής διατομής υπό προέχουσα κάμψη	50
3.6.2 Σχεδιασμός πλακοδοκών υπό προέχουσα κάμψη	56

3.6.3	Αντοχή δοκών για την περίπτωση θλιβόμενου οπλισμού	59
3.7	Υποστυλώματα	61
3.7.1	Διαγράμματα αλληλεπίδρασης σε μοναξονική κάμψη	61
3.7.2	Διαγράμματα αλληλεπίδρασης σε διαξονική κάμψη	66
3.7.3	Διαγράμματα λυγισμού	72
4	Πλαστιμότητα διατομών	77
4.1	Αριθμητικές διαδικασίες	77
4.1.1	Εύρεση καμπυλότητας διαρροής για δεδομένη αξονική	77
4.1.2	Υπολογισμός ανηγμένων παραμορφώσεων δεδομένης της εντατικής κα- τάστασης M και N	78
4.2	Πλαστιμότητα με χρήση του διαγράμματος 2	79
4.3	Πλαστιμότητα υποστυλωμάτων υπό περισφιξη	83
5	Διαγράμματα λειτουργίας	89
5.1	Διαγράμματα τάσεων παραμορφώσεων	89
5.2	Συντελεστές πλήρωσης και κέντρου βάρους	90
5.3	Αριθμητικές διαδικασίες	90
5.4	Διαγράμματα ροπής καμπυλοτήτων και τέμνουσας δυσκαμψίας καμπυλοτήτων δοκών	91
5.5	Διάγραμμα ελέγχου βελών γραμμικών φορέων	95
II	Σύγκριση στον σχεδιασμό πενταόροφης πλαισιωτής κατασκευής	99
6	Τεχνική έκθεση πενταόροφης κατασκευής με σκυρόδεμα κανονικού βάρους	101
6.1	Γεωμετρία	101
6.2	Παραδοχές	101
6.3	Σχεδιασμός πλακών	102
6.3.1	Ομαδοποίηση πλακών	103
6.3.2	Σχεδιασμός πλάκας 1	103
6.4	Στατικό προσομοίωμα φορέα	107
6.5	Έλεγχος οριζόντιων μετακινήσεων και πλαστιμότητα	118
6.6	Αναλυτικός σχεδιασμός δοκού 1	119
6.7	Αναλυτικός σχεδιασμός υποστυλώματος 1-στάθμης 1	127
6.8	Σχεδιασμός πεδιλοδοκών	135
6.9	Ικανοτικοί έλεγχοι	137
6.10	Αγκυρώσεις, υπερκαλύψεις και τύμπανα	138
6.11	Προμέτρηση	141
6.11.1	Σκυροδέματος	141
6.11.2	Οπλισμών	141
7	Σχεδιασμός με ελαφροσκυρόδεμα	145
7.1	Ελαφροσκυρόδεμα με $\rho = 1600$	145
7.1.1	Γεωμετρία, Παραδοχές και στατικό προσομοίωμα φορέα.	145

7.1.2	Σχεδιασμός πλάκας 1	146
7.1.3	Έλεγχος οριζόντιων μετακινήσεων και πλαστιμότητα	148
7.1.4	Σχεδιασμός δοκών	149
7.1.5	Σχεδιασμός υποστυλωμάτων	149
7.1.6	Ικανοτικοί έλεγχοι	149
7.1.7	Σχεδιασμός πεδιλοδοκών	150
7.1.8	Αγκυρώσεις, υπερκαλύψεις και τύμπανα	150
7.2	Ελαφροσκυρόδεμα με $\rho = 1800$	151
8	Συγκριτικός σχεδιασμός κτιρίων από ΣΚΒ και ΕΣΕΑ	153
8.1	Πλάκες	153
8.2	Οριζόντιες μετακινήσεις	154
8.3	Διαστάσεις στοιχείων φορέα	155
8.4	Σχεδιασμός δοκών	155
8.5	Σχεδιασμός υποστυλωμάτων	156
8.6	Πεδιλοδοκοί	156
8.7	Συνολική οριζόντια και κατακόρυφη δύναμη.	157
8.8	Ιδιοπερίοδοι	157
8.9	Προμετρήσεις	158
III	Επίλογος	159
9	Επίλογος	161
9.1	Συμπεράσματα	161
9.2	Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα	162
A'	Πίνακες απλού οπλισμού-πλακοδοκών	163
B'	Διαγράμματα αντοχής δοκών	175
Γ'	Διαγράμματα αλληλεπίδρασης σε μονοαξονική κάμψη	181
Δ'	Διαγράμματα αλληλεπίδρασης σε διαξονική κάμψη	191
Ε'	Διαγράμματα λυγισμού	209
	Βιβλιογραφία	227

Κατάλογος Σχημάτων

2.1	Λειτουργία του ΕΣ βάση πυκνότητας και τύπου	30
2.2	Πίνακας σκυροδέματος ΣΚΒ, EC2	31
2.3	Πίνακας σκυροδέματος ΕΣΕΑ, EC2	32
2.4	Διάγραμμα 1 τάσεων-παραμορφώσεων σκυροδέματος	32
2.5	Διάγραμμα 2 τάσεων παραμορφώσεων σκυροδέματος	33
2.6	Διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων σκυροδέματος υπό τριαξονική καταπόνηση	34
2.7	Διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων χάλυβα	35
2.8	Ανηγμένες παραμορφώσεις για ΟΚΑ	36
2.9	Περίπτωση μονόπακτου υποστυλώματος με ελεύθερο άκρο	37
2.10	Ένταση και ροπή αντοχής συναρτήσει της εκκεντρότητας [1]	37
3.1	Απόσπασμα από κώδικα δημιουργίας διαγραμμάτων αλληλεπίδρασης	43
3.2	Περιπτώσεις 1-4 ΟΚΑ	49
3.3	Διαγράμματα τάσεων παραμορφώσεων 2, ποιότητα σκυροδέματος $\leq C50/60$	50
3.4	Περίπτωση προέχουσας κάμψης	51
3.5	Διάγραμμα ροής για οπλισμό προέχουσας κάμψης	53
3.6	Διαγράμματα απλού οπλισμού, χάλυβας χωρίς κράτυνση, παραβολικό διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων, $f_{yk} = 500MPa, \leq C50/60$	54
3.7	Μεταβολή της οριακής ροπής βάση πυκνότητας, $\epsilon_{su} = \infty$ για την περίπτωση $\xi = 0.45$, χωρίς κράτυνση, παραβολικό διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων, $f_{yk} = 500MPa$, ποιότητα σκυροδέματος $\leq C50/60$	55
3.8	Σύγκριση με βιβλιογραφία, πίνακες απλού οπλισμού	56
3.9	Δυνάμεις σε πλακοδοκό υπό προέχουσα κάμψη	57
3.10	Διάγραμμα ροής για διαγράμματα πλακοδοκών	57
3.11	Διάγραμμα οπλισμού πλακοδοκών, παραβολικό διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων, ποιότητα σκυροδέματος $\leq C50/60$	58
3.12	Μεταβολή της οριακής ροπής βάση πυκνότητας, $h_f/d = 0.05$, $\epsilon_{s1} = 0.00217$ χωρίς κράτυνση, παραβολικό διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων, $f_{yk} = 500MPa$, ποιότητα σκυροδέματος $\leq C50/60$	59
3.13	Σύγκριση με βιβλιογραφία, πίνακες πλακοδοκών, $h_f/d = 0.05$	59
3.14	Περίπτωση δοκού	60
3.15	Διάγραμμα ροής για διαγράμματα αντοχής δοκού	60
3.16	Διάγραμμα αντοχής δοκού για $\frac{d1}{h} = 0.05$, $\epsilon_{su} = 67.5\%$, παραβολικό διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων, ποιότητα σκυροδέματος $\leq C50/60$	61

3.17	Δυνάμεις σε ορθογωνική διατομή διπλού οπλισμού	62
3.18	Διάγραμμα ροής για διαγράμματα αλληλεπίδρασης	63
3.19	Διαγράμματα αλληλεπίδρασης, $\frac{d_1}{h} = 0.15$, $\epsilon_{su} = 67.5\%$, $A_{s1} = A_{s2}$, παραβολικό διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων, $f_{uk} = 500MPa$, ποιότητα σκυροδέματος $\leq C50/60$	64
3.20	Διαγράμματα αλληλεπίδρασης, ομοιόμορφη κατανομή οπλισμού, $\epsilon_{su} = 67.5\%$, παραβολικό διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων, $\leq C50/60$	65
3.21	Παραμορφώσεις για διαξονική κάμψη	67
3.22	Διάγραμμα ροής για δημιουργία διαγραμμάτων διαξονικής κάμψης	69
3.23	Διάγραμμα διαξονικής κάμψης βάση οπλισμών ανά πλευρά, $d_b/b = d_h/h=0.05$, $\epsilon_{su} = 67.5\%$, παραβολικό διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων, $f_{uk} = 500MPa$, ποιότητα σκυροδέματος $\leq C50/60$	70
3.24	Διαγράμματα διαξονικής κάμψης για $\frac{d_b}{b} = \frac{d_h}{h} = 0.10$, $\epsilon_{su} = 67.5\%$, παραβολικό διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων, $f_{uk} = 500MPa$, ποιότητα σκυροδέματος $\leq C50/60$	71
3.25	Διάγραμμα ροής για διαγράμματα λυγισμού	73
3.26	Διαγράμματα λυγισμού, $\frac{d_1}{h} = 0.15$, $\epsilon_{su} = 67.5\%$, παραβολικό διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων, $f_{uk} = 500MPa$, ποιότητα σκυροδέματος $\leq C50/60$	74
4.1	Διάγραμμα $\mu - \phi h$, $\nu=0$ παραβολικό διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων, ποιότητα σκυροδέματος $\leq C50/60$	79
4.2	Καμπυλότητες διαρροής και αστοχίας	80
4.3	Διάγραμμα ροής για διάγραμμα $\mu\phi - \nu$	80
4.4	Διάγραμμα $\mu\phi - \nu$ με $A_{s1} = A_{s2}$, $\frac{d_1}{h} = 0.10$, $\epsilon_{su} = 67.5\%$, παραβολικό διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων, $f_{uk} = 500MPa$, ποιότητα σκυροδέματος $\leq C50/60$	81
4.5	Διάγραμμα $\mu\phi - \omega$, $\nu = 0$, $\frac{d_1}{h} = 0.10$, $\epsilon_{su} = 67.5\%$, παραβολικό διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων, $f_{uk} = 500MPa$, ποιότητα σκυροδέματος $\leq C50/60$	82
4.6	Καμπυλότητες διαρροής και αστοχίας	83
4.7	Διάγραμμα ροής για διαγράμματα πλαστιμότητας υποστυλωμάτων υπό περισίφιξη	84
4.8	Διαγράμματα $\mu - \phi h$, διάγραμμα τάσεων παραμορφώσεων τριαξονικής καταπόνησης, $a\omega_w = 0.13$, δεν λαμβάνεται υποψιν αποφλοίωση σκυροδέματος, $f_{uk} = 500MPa$, ποιότητα σκυροδέματος $\leq C50/60$	85
4.9	Διάγραμμα $\mu\phi - \nu$ για $\omega = 0.4$, $A_{s1} = A_{s2}$, $\frac{d_1}{h} = 0.10$, διάγραμμα τάσεων παραμορφώσεων τριαξονική καταπόνησης, $f_{uk} = 500MPa$, ποιότητα σκυροδέματος $\leq C50/60$	86
4.10	Μέγιστη παραμόρφωση ϵ_{cu}^* προς $a * \omega_w$ για δοκίμια κισσηροδέματος και θεωρητική ευθεία κατά EC2 [2]	87
4.11	Διαγράμματα $\mu\phi - \nu$, $\omega = 0.4$, $A_{s1} = A_{s2}$, $\frac{d_1}{h} = 0.05$, περισφιγμένο διάγραμμα τάσεων παραμορφώσεων με διόρθωση βάση της πειραματικής διερεύνησης, ποιότητα σκυροδέματος $\leq C50/60$	87

5.1	Διαγράμματα τάσεων-παραμορφώσεων για $f_{ck} = 20MPa$, $a_{cc} = 0.85$	89
5.2	Συντελεστές διαγράμματος 1 - ανηγμένης παραμόρφωσης, $f_{ck} = 20MPa$, $a_{cc} = 0.85$	90
5.3	Κάμψη δοκού με απλό οπλισμό	91
5.4	Διάγραμμα ροής για διαγράμματα M-φ και EI-M	93
5.5	Διαγράμματα λειτουργίας, $d_1/h = 0.05$, $f_{ck} = 20$, $\beta = 1$, $a_{cc} = 0.85$, διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων για μη γραμμική ανάλυση, νόμος ρηγμάτωσης του EC2	94
5.6	Διάγραμμα ροής για διαγράμματα ελάχιστου πάχους	96
5.7	Διάγραμμα ελάχιστου πάχους-ανοίγματος για ορθογωνική διατομή. $P = 5KPa$, $f_{ck} = 20MPa$, $d_h = 0.04m$, $\beta = 0.5$, $a_{cc} = 0.85$, διάγραμμα τάσεων παραμορφώσεων για μη γραμμική ανάλυση, νόμο ρηγμάτωσης του EC2	97
5.8	Διάγραμμα ελάχιστου πάχους-ανοίγματος για ορθογωνική διατομή. $G = 1.5KPa$ και $Q = 2KPa$, $f_{ck} = 20MPa$, $d_h = 0.04m$, $\beta = 0.5$, $a_{cc} = 0.85$, διάγραμμα τάσεων παραμορφώσεων για μη γραμμική ανάλυση, νόμο ρηγμάτωσης του EC2	97
5.9	Διάγραμμα ελάχιστου πάχους-ανοίγματος για ορθογωνική διατομή. $G = 2.5KPa$ και $Q = 5KPa$, $f_{ck} = 20MPa$, $d_h = 0.04m$, $\beta = 0.5$, $a_{cc} = 0.85$, διάγραμμα τάσεων παραμορφώσεων για μη γραμμική ανάλυση, νόμο ρηγμάτωσης του EC2	98
6.1	Ομαδοποίηση πλακών	103
6.2	Ομαδοποίηση δοκών	108
6.3	Ομαδοποίηση υποστυλωμάτων	108
6.4	Στατικό προσομοίωμα 1	110
6.5	Στατικό προσομοίωμα 2	111
6.6	Στατικό προσομοίωμα 3	112
6.7	Προσομοίωση σεισμικού συνδυασμού 2 με SAP2000 [©] (1)	115
6.8	Προσομοίωση σεισμικού συνδυασμού 2 με SAP2000 [©] (2)	116
6.9	Προσομοίωση σεισμικού συνδυασμού 2 με SAP2000 [©] (3)	117
6.10	Προσομοίωση σεισμικού συνδυασμού 2 με SAP2000 [©] (4)	118
6.11	Τομή υποστυλώματος 1	129
8.1	Προμέτρηση οπλισμών πλακών(t)	154
8.2	Προμέτρηση διαμήκων οπλισμών δοκών(t)	155
8.3	Προμέτρηση σκυροδέματος(m^3)	158
8.4	Προμετρηση οπλισμών(t)	158
B'.1	Διάγραμμα αντοχής ω - μ , A_{s2}/A_{s1} ανά 0.25, $d_1/h = 0.05$, $\epsilon_{su} = 67.5$, χάλυβας χωρίς κράτυνση, B500C, < C50/60, παραβολικό διάγραμμα σκυροδέματος .	176
B'.2	Διάγραμμα αντοχής ω - μ , A_{s2}/A_{s1} ανά 0.25, $d_1/h = 0.1$, $\epsilon_{su} = 67.5$, χάλυβας χωρίς κράτυνση, B500C, < C50/60, παραβολικό διάγραμμα σκυροδέματος .	177

B'.3	Διάγραμμα αντοχής ω-μ, A_{s2}/A_{s1} ανά 0.25, $d_1/h = 0.15001$, $\epsilon_{su} = 67.5$, χάλυβας χωρίς κράτυνση, B500C, < C50/60, παραβολικό διάγραμμα σκυροδέματος	178
B'.4	Διάγραμμα αντοχής ω-μ, A_{s2}/A_{s1} ανά 0.25, $d_1/h = 0.20001$, $\epsilon_{su} = 67.5$, χάλυβας χωρίς κράτυνση, B500C, < C50/60, παραβολικό διάγραμμα σκυροδέματος	179
Γ'.1	Διάγραμμα αλληλεπίδρασης σε μονοαξονική κάμψη, $d_1/h = 0.05$, $A_{s1} = A_{s2}$, $\epsilon_{su} = 67.5$, χάλυβας χωρίς κράτυνση, B500C, < C50/60, παραβολικό διάγραμμα σκυροδέματος	182
Γ'.2	Διάγραμμα αλληλεπίδρασης σε μονοαξονική κάμψη, $d_1/h = 0.1$, $A_{s1} = A_{s2}$, $\epsilon_{su} = 67.5$, χάλυβας χωρίς κράτυνση, B500C, < C50/60, παραβολικό διάγραμμα σκυροδέματος	183
Γ'.3	Διάγραμμα αλληλεπίδρασης σε μονοαξονική κάμψη, $d_1/h = 0.15001$, $A_{s1} = A_{s2}$, $\epsilon_{su} = 67.5$, χάλυβας χωρίς κράτυνση, B500C, < C50/60, παραβολικό διάγραμμα σκυροδέματος	184
Γ'.4	Διάγραμμα αλληλεπίδρασης σε μονοαξονική κάμψη, $d_1/h = 0.20001$, $A_{s1} = A_{s2}$, $\epsilon_{su} = 67.5$, χάλυβας χωρίς κράτυνση, B500C, < C50/60, παραβολικό διάγραμμα σκυροδέματος	185
Γ'.5	Διάγραμμα αλληλεπίδρασης μ-ν, $d_1/h = 0.05$, ομοιόμορφος οπλισμός, $\epsilon_{su} = 67.5$, χάλυβας χωρίς κράτυνση, B500C, < C50/60, παραβολικό διάγραμμα σκυροδέματος	186
Γ'.6	Διάγραμμα αλληλεπίδρασης μ-ν, $d_1/h = 0.1$, ομοιόμορφος οπλισμός, $\epsilon_{su} = 67.5$, χάλυβας χωρίς κράτυνση, B500C, < C50/60, παραβολικό διάγραμμα σκυροδέματος	187
Γ'.7	Διάγραμμα αλληλεπίδρασης μ-ν, $d_1/h = 0.15001$, ομοιόμορφος οπλισμός, $\epsilon_{su} = 67.5$, χάλυβας χωρίς κράτυνση, B500C, < C50/60, παραβολικό διάγραμμα σκυροδέματος	188
Γ'.8	Διάγραμμα αλληλεπίδρασης μ-ν, $d_1/h = 0.20001$, ομοιόμορφος οπλισμός, $\epsilon_{su} = 67.5$, χάλυβας χωρίς κράτυνση, B500C, < C50/60, παραβολικό διάγραμμα σκυροδέματος	189
Δ'.1	Διάγραμμα διαξονικής κάμψης, $d_1/h = 0.05$, 4 γωνιακά σίδερα, $\epsilon_{su} = 67.5$, χάλυβας χωρίς κράτυνση, B500C, < C50/60, παραβολικό διάγραμμα σκυροδέματος	192
Δ'.2	Διάγραμμα διαξονικής κάμψης, $d_1/h = 0.1$, 4 γωνιακά σίδερα, $\epsilon_{su} = 67.5$, χάλυβας χωρίς κράτυνση, B500C, < C50/60, παραβολικό διάγραμμα σκυροδέματος	193
Δ'.3	Διάγραμμα διαξονικής κάμψης, $d_1/h = 0.15001$, 4 γωνιακά σίδερα, $\epsilon_{su} = 67.5$, χάλυβας χωρίς κράτυνση, B500C, < C50/60, παραβολικό διάγραμμα σκυροδέματος	194

Δ'.4	Διάγραμμα διαξονικής κάμψης, $d_1/h = 0.20001$, 4 γωνιακά σίδερα, $\epsilon_{su} = 67.5$, χάλυβας χωρίς κράτυνση, B500C, < C50/60, παραβολικό διάγραμμα σκυροδέματος	195
Δ'.5	Διάγραμμα διαξονικής κάμψης, $d_1/h = 0.05$, ομοιόμορφη κατανομή οπλισμού, $\epsilon_{su} = 67.5$, χάλυβας χωρίς κράτυνση, B500C, < C50/60, παραβολικό διάγραμμα σκυροδέματος	196
Δ'.6	Διάγραμμα διαξονικής κάμψης, $d_1/h = 0.1$, ομοιόμορφη κατανομή οπλισμού, $\epsilon_{su} = 67.5$, χάλυβας χωρίς κράτυνση, B500C, < C50/60, παραβολικό διάγραμμα σκυροδέματος	197
Δ'.7	Διάγραμμα διαξονικής κάμψης, $d_1/h = 0.15001$, ομοιόμορφη κατανομή οπλισμού, $\epsilon_{su} = 67.5$, χάλυβας χωρίς κράτυνση, B500C, < C50/60, παραβολικό διάγραμμα σκυροδέματος	198
Δ'.8	Διάγραμμα διαξονικής κάμψης, $d_1/h = 0.20001$, ομοιόμορφη κατανομή οπλισμού, $\epsilon_{su} = 67.5$, χάλυβας χωρίς κράτυνση, B500C, < C50/60, παραβολικό διάγραμμα σκυροδέματος	199
Δ'.9	Διάγραμμα διαξονικής κάμψης, $d_1/h = 0.05$, 4 γωνιακά σίδερα, $\epsilon_{su} = 67.5$, χάλυβας χωρίς κράτυνση, B500C, < C50/60, παραβολικό διάγραμμα σκυροδέματος	200
Δ'.10	Διάγραμμα διαξονικής κάμψης, $d_1/h = 0.1$, 4 γωνιακά σίδερα, $\epsilon_{su} = 67.5$, χάλυβας χωρίς κράτυνση, B500C, < C50/60, παραβολικό διάγραμμα σκυροδέματος	201
Δ'.11	Διάγραμμα διαξονικής κάμψης, $d_1/h = 0.15001$, 4 γωνιακά σίδερα, $\epsilon_{su} = 67.5$, χάλυβας χωρίς κράτυνση, B500C, < C50/60, παραβολικό διάγραμμα σκυροδέματος	202
Δ'.12	Διάγραμμα διαξονικής κάμψης, $d_1/h = 0.20001$, 4 γωνιακά σίδερα, $\epsilon_{su} = 67.5$, χάλυβας χωρίς κράτυνση, B500C, < C50/60, παραβολικό διάγραμμα σκυροδέματος	203
Δ'.13	Διάγραμμα διαξονικής κάμψης, $d_1/h = 0.05$, ομοιόμορφη κατανομή οπλισμού, $\epsilon_{su} = 67.5$, χάλυβας χωρίς κράτυνση, B500C, < C50/60, παραβολικό διάγραμμα σκυροδέματος	204
Δ'.14	Διάγραμμα διαξονικής κάμψης, $d_1/h = 0.1$, ομοιόμορφη κατανομή οπλισμού, $\epsilon_{su} = 67.5$, χάλυβας χωρίς κράτυνση, B500C, < C50/60, παραβολικό διάγραμμα σκυροδέματος	205
Δ'.15	Διάγραμμα διαξονικής κάμψης, $d_1/h = 0.15001$, ομοιόμορφη κατανομή οπλισμού, $\epsilon_{su} = 67.5$, χάλυβας χωρίς κράτυνση, B500C, < C50/60, παραβολικό διάγραμμα σκυροδέματος	206
Δ'.16	Διάγραμμα διαξονικής κάμψης, $d_1/h = 0.20001$, ομοιόμορφη κατανομή οπλισμού, $\epsilon_{su} = 67.5$, χάλυβας χωρίς κράτυνση, B500C, < C50/60, παραβολικό διάγραμμα σκυροδέματος	207
Ε'.1	Διάγραμμα λυγισμού μ-ν, $d_1/h = 0.05$, $l_0/h = 10.0$, 4 γωνιακά, $K_\phi = 1$, $\epsilon_{su} = 67.5$, χάλυβας χωρίς κράτυνση, B500C, < C50/60, παραβολικό διάγραμμα σκυροδέματος	210

Ε'.2	Διάγραμμα λυγισμού μ-ν, $d_1/h = 0.05$, $l_0/h = 20.0$, 4 γωνιακά, $K_\phi = 1$, $\epsilon_{su} = 67.5$, χάλυβας χωρίς κράτυνση, B500C, < C50/60, παραβολικό διάγραμμα σκυροδέματος	211
Ε'.3	Διάγραμμα λυγισμού μ-ν, $d_1/h = 0.05$, $l_0/h = 30.0$, 4 γωνιακά, $K_\phi = 1$, $\epsilon_{su} = 67.5$, χάλυβας χωρίς κράτυνση, B500C, < C50/60, παραβολικό διάγραμμα σκυροδέματος	212
Ε'.4	Διάγραμμα λυγισμού μ-ν, $d_1/h = 0.05$, $l_0/h = 40.0$, 4 γωνιακά, $K_\phi = 1$, $\epsilon_{su} = 67.5$, χάλυβας χωρίς κράτυνση, B500C, < C50/60, παραβολικό διάγραμμα σκυροδέματος	213
Ε'.5	Διάγραμμα λυγισμού μ-ν, $d_1/h = 0.1$, $l_0/h = 10.0$, 4 γωνιακά, $K_\phi = 1$, $\epsilon_{su} = 67.5$, χάλυβας χωρίς κράτυνση, B500C, < C50/60, παραβολικό διάγραμμα σκυροδέματος	214
Ε'.6	Διάγραμμα λυγισμού μ-ν, $d_1/h = 0.1$, $l_0/h = 20.0$, 4 γωνιακά, $K_\phi = 1$, $\epsilon_{su} = 67.5$, χάλυβας χωρίς κράτυνση, B500C, < C50/60, παραβολικό διάγραμμα σκυροδέματος	215
Ε'.7	Διάγραμμα λυγισμού μ-ν, $d_1/h = 0.1$, $l_0/h = 30.0$, 4 γωνιακά, $K_\phi = 1$, $\epsilon_{su} = 67.5$, χάλυβας χωρίς κράτυνση, B500C, < C50/60, παραβολικό διάγραμμα σκυροδέματος	216
Ε'.8	Διάγραμμα λυγισμού μ-ν, $d_1/h = 0.1$, $l_0/h = 40.0$, 4 γωνιακά, $K_\phi = 1$, $\epsilon_{su} = 67.5$, χάλυβας χωρίς κράτυνση, B500C, < C50/60, παραβολικό διάγραμμα σκυροδέματος	217
Ε'.9	Διάγραμμα λυγισμού μ-ν, $d_1/h = 0.15001$, $l_0/h = 10.0$, 4 γωνιακά, $K_\phi = 1$, $\epsilon_{su} = 67.5$, χάλυβας χωρίς κράτυνση, B500C, < C50/60, παραβολικό διάγραμμα σκυροδέματος	218
Ε'.10	Διάγραμμα λυγισμού μ-ν, $d_1/h = 0.15001$, $l_0/h = 20.0$, 4 γωνιακά, $K_\phi = 1$, $\epsilon_{su} = 67.5$, χάλυβας χωρίς κράτυνση, B500C, < C50/60, παραβολικό διάγραμμα σκυροδέματος	219
Ε'.11	Διάγραμμα λυγισμού μ-ν, $d_1/h = 0.15001$, $l_0/h = 30.0$, 4 γωνιακά, $K_\phi = 1$, $\epsilon_{su} = 67.5$, χάλυβας χωρίς κράτυνση, B500C, < C50/60, παραβολικό διάγραμμα σκυροδέματος	220
Ε'.12	Διάγραμμα λυγισμού μ-ν, $d_1/h = 0.15001$, $l_0/h = 40.0$, 4 γωνιακά, $K_\phi = 1$, $\epsilon_{su} = 67.5$, χάλυβας χωρίς κράτυνση, B500C, < C50/60, παραβολικό διάγραμμα σκυροδέματος	221
Ε'.13	Διάγραμμα λυγισμού μ-ν, $d_1/h = 0.20001$, $l_0/h = 10.0$, 4 γωνιακά, $K_\phi = 1$, $\epsilon_{su} = 67.5$, χάλυβας χωρίς κράτυνση, B500C, < C50/60, παραβολικό διάγραμμα σκυροδέματος	222
Ε'.14	Διάγραμμα λυγισμού μ-ν, $d_1/h = 0.20001$, $l_0/h = 20.0$, 4 γωνιακά, $K_\phi = 1$, $\epsilon_{su} = 67.5$, χάλυβας χωρίς κράτυνση, B500C, < C50/60, παραβολικό διάγραμμα σκυροδέματος	223
Ε'.15	Διάγραμμα λυγισμού μ-ν, $d_1/h = 0.20001$, $l_0/h = 30.0$, 4 γωνιακά, $K_\phi = 1$, $\epsilon_{su} = 67.5$, χάλυβας χωρίς κράτυνση, B500C, < C50/60, παραβολικό διάγραμμα σκυροδέματος	224

- Ε.16 Διάγραμμα λυγισμού μ - ν , $d_1/h = 0.20001$, $l_0/h = 40.0$, 4 γωνιακά, $K_\phi = 1$, $\epsilon_{su} = 67.5$, χάλυβας χωρίς κράτυνση, B500C, < C50/60, παραβολικό διάγραμμα σκυροδέματος 225

Κατάλογος Πινάκων

3.1	M(KN) για την περίπτωση υποστυλώματος με διαστάσεις $35cm * 35cm$, 4 γωνιακά σίδερα, $\rho_s = 1\%$, ποιότητα σκυροδέματος C20/25, $a_{cc} = 0.85$ και επικάλυψη $d_b = d_h = 5cm$	66
3.2	M(KN) για την περίπτωση υποστυλώματος με διαστάσεις $35cm * 35cm$, ομοιόμορφη κατανομή οπλισμού, $\rho_s = 1\%$, ποιότητα σκυροδέματος C20/25, $a_{cc} = 0.85$ και επικάλυψη $d_b = d_h = 5cm$	66
3.3	$M_x - M_y$ (KN) για την περίπτωση υποστυλώματος με διαστάσεις $35cm * 35cm$, $\theta = 45^\circ$, 4 γωνιακά σίδερα, $\rho_s = 1\%$, ποιότητα σκυροδέματος C20/25, $a_{cc} = 0.85$ και επικάλυψη $d_b = d_h = 5cm$	72
3.4	M(KN) για την περίπτωση υποστυλώματος με διαστάσεις $35cm * 35cm$, $\theta = 45^\circ$, ομοιόμορφη κατανομή οπλισμού, $\rho_s = 1\%$, ποιότητα σκυροδέματος C20/25, $a_{cc} = 0.85$ και επικάλυψη $d_b = d_h = 5cm$	72
6.1	Στοιχεία ρηγματώσεως για στήριξη πλάκας 1	107
6.2	Πλευρές υποστυλωμάτων(cm) για περίπτωση $\rho = 2200kg/m^3$	113
6.3	Έλεγχος οριζόντιων μετακινήσεων ΣΚΒ	119
6.4	Εντάσεις δοκού 1	120
6.5	Εγκάρσιες εντάσεις	123
6.6	Πίνακας σχεδιασμού με H/Y	126
6.7	Εντάσεις απο συνδυασμούς δράσεων υποστυλώματος 1	127
6.8	Εντάσεις με ατέλειες στο υποστυλώμα 1	128
6.9	Ανηγμένα μεγέθη εντάσεων στο υποστυλώμα 1	128
6.10	Απαιτούμενος οπλισμός για διαξονική κάμψη	129
6.11	Σχεδιασμός υποστυλώματος 1	135
6.12	Έλεγχος λυγισμού υποστυλώμα 2-στάθμη 2	135
6.13	Έλεγχος λυγισμού υποστυλώμα 3-στάθμη 2	135
6.14	Σχεδιασμός πεδιλοδοκού 1	137
6.15	Μήκη αγκυρώσεων για ΣΚΒ	138
6.16	Αγκυρώσεις πάνω οπλισμών στις δοκούς	140
6.17	Προμέτρηση σκυροδέματος	141
6.18	Προμέτρηση οπλισμού πλακών	141
6.19	Προμετρήσεις οπλισμού δοκών στάθμης 1	142
6.20	Προμέτρηση οπλισμού πεδιλοδοκών	143
6.21	Προμετρήσεις οπλισμού υποστυλωμάτων	144

7.1	Πλευρές υποστυλώματος(ςμ) για σχεδιασμό ΕΣΣΕΑ με $\rho = 1600$	145
7.2	Φορτία και εντάσεις πλάκας 1	146
7.3	Στοιχεία ρηγματώσεως για στήριξη πλάκας 1	148
7.4	Έλεγχος οριζόντιων μετακινήσεων	149
7.5	Διαστάσεις υποστυλώματος για σχεδιασμό ΕΣΣΕΑ $\rho = 1800$	151
7.6	Φορτία και εντάσεις πλάκας 1	151
8.1	Μεταβολή του θ για ΕΣΣΕΑ	154
8.2	Πλευρές υποστυλωμάτων(<i>cm</i>)	155
8.3	Συνολικές δυνάμεις(<i>KN</i>)	157
8.4	Θεμελιώδης ιδιοπερίοδος(<i>sec</i>)	157
A.1	Πίνακας απλού οπλισμού $\rho = 1400$	164
A.2	Πίνακας απλού οπλισμού $\rho = 1600$	165
A.3	Πίνακας απλού οπλισμού $\rho = 1800$	166
A.4	Πίνακας απλού οπλισμού $\rho = 2000$	167
A.5	Πίνακας απλού οπλισμού <i>NWC</i>	168
A.6	Πίνακας πλακοδοκού $\rho = 1400$	169
A.7	Πίνακας πλακοδοκού $\rho = 1600$	170
A.8	Πίνακας πλακοδοκού $\rho = 1800$	171
A.9	Πίνακας πλακοδοκού $\rho = 2000$	172
A.10	Πίνακας πλακοδοκού <i>NWC</i>	173

Κατάλογος συμβόλων-συντομογραφίες

ΕΣ	ελαφροσκυρόδεμα
LWAC, ΕΣΕΑ	ελαφροσκυρόδεμα με ελαφρά αδρανή
NWC, ΣΚΒ	σκυρόδεμα κανονικού βάρους
ΟΚΑ	οριακές καταστάσεις αστοχίας
ΟΚΛ	οριακές καταστάσεις λειτουργικότητας
ρ_o	πυκνότητα οπλισμένου σκυροδέματος
ρ	πυκνότητα άοπλου σκυροδέματος
γ	μοναδιαίο βάρος οπλισμένου σκυροδέματος
ϵ_{c2}	ανηγμένη παραμόρφωση πλέον θλιβόμενης ίνας σκυροδέματος
ϵ_{c1}	ανηγμένη παραμόρφωση πλέον εφελκυσόμενης ίνας σκυροδέματος
ϵ_{s2}	ανηγμένη παραμόρφωση πλέον θλιβόμενης ίνας χάλυβα
ϵ_{s1}	ανηγμένη παραμόρφωση πλέον εφελκυσόμενης ίνας χάλυβα
σ	τάση

Πρόλογος

Η παρούσα διπλωματική εκπονήθηκε κατά την εαρινή περίοδο του ακαδημαϊκού έτους 2019-2020, στα πλαίσια του προπτυχιακού προγράμματος σπουδών της σχολής πολιτικών μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Η εργασία αυτή ολοκληρώνει και τον κύκλο σπουδών διάρκειας 6 ετών με κατεύθυνση δομοστατικού μηχανικού.

Η εργασία αυτή έγινε υπό την επίβλεψη του Κ. Χρήστου Ζέρη, αναπληρωτή καθηγητή του τομέα δομοστατικής της σχολής πολιτικών μηχανικών του ΕΜΠ.

Κεφάλαιο **1**

Εισαγωγή

Ενα από τα ευρέως χρησιμοποιούμενα τεχνικά υλικά για την κατασκευή δομημάτων είναι το οπλισμένο σκυρόδεμα. Ειδικά στην Ελλάδα που παράγεται τσιμέντο και υπάρχουν σημαντικά αποθέματα αδρανών οι περισσότερες κατασκευές είναι κατασκευασμένες από σκυρόδεμα. Πλεονεκτήματα όπως η μικρή τιμή του σκυροδέματος, τα σημαντικά μηχανικά χαρακτηριστικά του και η ευκολία μόρφωσης φερόντων στοιχείων καθιστούν ιδανική την χρήση του ως φέρον υλικό. Ένα από τα σημαντικότερα μειονεκτήματα του όμως είναι το ίδιο το βάρος τους. Η ποσότητα του υλικού που χρησιμοποιείται για την εξασφάλιση των απαιτούμενων αντοχών μπορεί να οδηγήσει σε μεγάλα φορτία τόσο στατικά σε περίπτωση μεγάλων ανοιγμάτων, όσο και σεισμικά στην περίπτωση ψηλών φορέων.

Για να αντιμετωπιστεί αυτή η πρόκληση αναπτύχθηκε το δομικό ελαφροσκυρόδεμα. Το ελαφροσκυρόδεμα χρησιμοποιούνταν αρχικά για θερμομόνωση. Η μεγάλη θερμομονωτική και ηχομονωτική ικανότητα καθώς και το μικρό του βάρος το καθιστούσε ιδανικό για την χρήση σε δάπεδα, μονώσεις κτλ. Με τον καιρό επιχειρήθηκε να αναπτυχθούν πια σκυροδέματα για την δημιουργία φερόντων στοιχείων. Με την χρήση διαφόρων τύπων τεχνητών και φυσικών αδρανών δημιουργήθηκαν σκυροδέματα που μπορούσαν να φέρουν σημαντικά φορτία. Η μελέτη για την εφαρμογή του κάθε τύπου καθορίζονταν βέβαια από την διαθεσιμότητα των δομικών υλικών στις αντίστοιχες χώρες. Στην Ελλάδα για παράδειγμα υπάρχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον για το κισσηρόδεμα, καθώς υπάρχουν στα Δωδεκάνησα σημαντικά αποθέματα ελαφρόπετρας άριστης ποιότητας παγκοσμίου κλάσης.

Τα μηχανικά χαρακτηριστικά του ελαφροσκυροδέματος έχουν εισαχθεί πια και σε κανονισμούς όπως τον Ευρωκώδικα.

Κεφάλαιο 2

Θεωρητικό υπόβαθρο

2.1 Βασικά χαρακτηριστικά ελαφροσκυροδέματος

Ορισμός ελαφροσκυροδέματος

Ως ΕΣ ορίζεται το σκυρόδεμα με πυκνότητα μικρότερη από την πυκνότητα των κανονικών σκυροδεμάτων ($2150-2500\text{kg}/\text{m}^3$).

Τα ΕΣ ανάλογα με την πυκνότητα τους και τον τύπο τους έχουν διαφορετικές χρήσεις λόγω των μηχανικών τους χαρακτηριστικών.

Τύποι ΕΣ

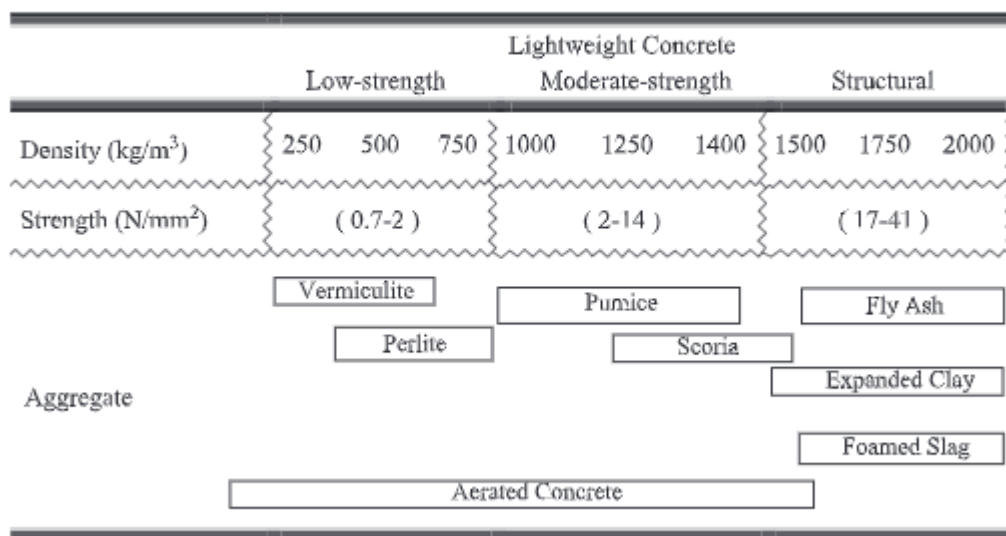
Ανάλογα με τον τρόπο κατασκευής και των υλικών διακρίνονται σε τρεις τύπους [3],

- Με ελαφρά αδρανή
Παρασκευάζονται όπως τα ΣΚΒ με χρήση πια ελαφρών αδρανών. Αυτά τα αδρανή μπορεί να είναι φυσικά ή τεχνητά.
Φυσικό αδρανές είναι η κίσηρη
Τεχνητά αδρανή είναι η σκωρία, ο διογκωμένος περλίτης, η διογκωμένη άργιλος, η υπάμενη τέφρα κ.τ.λ. Στα πιο σύγχρονα τεχνητά αδρανή χρησιμοποιούνται και οι πέρλες διογκωμένης πολυστερίνης, τα ορυκτοποιημένα ροκανίδια ξύλου, το διογκωμένο γυαλί κ.τ.λ.
- Με εγκλωβισμένο αέρα ή αέριο.
Δημιουργείται με φυσαλίδες από εγκλωβισμένο αέριο. Παρασκευάζεται χωρίς χονδρόκοκκα αδρανή και σε πολλές περιπτώσεις χωρίς αδρανή, χαρακτηρίζονται έτσι από πολύ μικρή πυκνότητα ($400 - 1100\text{kg}/\text{m}^3$) και αντοχή ($2 - 10\text{MPa}$). Χρησιμοποιείται ως θερμομονωτικό υλικό.
- Μόνο με χονδρόκοκκα ελαφροαδρανή

Κατηγοριοποίηση ΕΣ βάση λειτουργίας

Μια βασική κατηγοριοποίηση βάση του τύπου και της πυκνότητας από το αμερικάνικό ινστιτούτο σκυροδέματος (ACI) είναι [4],

D. Sari, A.G. Pasamehmetoglu / Cement and Concrete Research 35 (2005) 936–942



Σχήμα 2.1: Λειτουργία του ΕΣ βάση πυκνότητας και τύπου

2.2 Κανονισμοί EC2 και EC8

2.2.1 Μηχανικές ιδιότητες υλικών

Οι μηχανικές ιδιότητες θα χρησιμοποιηθούν στο λογισμικό matlab[©] για την δημιουργία των διαγραμμάτων σύγκρισης.

Σκυρόδεμα

Για το ΣΚΒ τα χαρακτηριστικά δίνονται υπό μορφή πίνακα. Ο πίνακας είναι,

Strength classes for concrete														Analytical relation / Explanation	
f_{yk} (MPa)	12	16	20	25	30	35	40	45	50	55	60	70	80	90	
$f_{ck,cube}$ (MPa)	15	20	25	30	37	45	50	55	60	67	75	85	95	105	
f_{cm} (MPa)	20	24	28	33	38	43	48	53	58	63	68	78	88	98	$f_{cm} = f_{yk} + 8$ (MPa)
f_{ctm} (MPa)	1,6	1,9	2,2	2,6	2,9	3,2	3,5	3,8	4,1	4,2	4,4	4,6	4,8	5,0	$f_{ctm} = 0,30 \cdot f_{ck}^{(2/3)}$ $\leq C50/60$ $f_{ctm} = 2,12 \ln(1 + (f_{cm}/10))$ $> C50/60$
$f_{dk,0.05}$ (MPa)	1,1	1,3	1,5	1,8	2,0	2,2	2,5	2,7	2,9	3,0	3,1	3,2	3,4	3,5	$f_{dk,0.05} = 0,7 \cdot f_{cm}$ 5% fractile
$f_{dk,0.95}$ (MPa)	2,0	2,5	2,9	3,3	3,8	4,2	4,6	4,9	5,3	5,5	5,7	6,0	6,3	6,6	$f_{dk,0.95} = 1,3 \cdot f_{cm}$ 95% fractile
E_{cm} (GPa)	27	29	30	31	33	34	35	36	37	38	39	41	42	44	$E_{cm} = 22 \cdot (f_{cm}/10)^{0,3}$ (f_{cm} in MPa)
ε_{c1} (‰)	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,25	2,3	2,4	2,45	2,5	2,6	2,7	2,8	2,8	see Figure 3.2 $\varepsilon_{c1}(\sigma) = 0,7 \cdot f_{cm}^{0,31} < 2,8$
ε_{c1} (‰)	3,5									3,2	3,0	2,8	2,8	2,8	see Figure 3.2 for $f_{yk} \geq 50$ Mpa $\varepsilon_{c1}(\sigma) = 2,8 + 27 \cdot (98 - f_{cm}) / 100$
ε_{c2} (‰)	2,0									2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	see Figure 3.3 for $f_{yk} \geq 50$ Mpa $\varepsilon_{c2}(\sigma) = 2,0 + 0,085 \cdot (f_{yk} - 50)^{0,55}$
ε_{c2} (‰)	3,5									3,1	2,9	2,7	2,6	2,6	see Figure 3.3 for $f_{yk} \geq 50$ Mpa $\varepsilon_{c2}(\sigma) = 2,6 + 35 \cdot (90 - f_{yk}) / 100$
n	2,0									1,75	1,6	1,45	1,4	1,4	for $f_{yk} \geq 50$ Mpa $n = 1,4 + 23,4 \cdot [(90 - f_{yk}) / 100]^2$
ε_{c3} (‰)	1,75									1,8	1,9	2,0	2,2	2,3	see Figure 3.4 for $f_{yk} \geq 50$ Mpa $\varepsilon_{c3}(\sigma) = 1,75 + 0,55 \cdot ((f_{yk} - 50) / 40)$
ε_{c3} (‰)	3,5									3,1	2,9	2,7	2,6	2,6	see Figure 3.4 for $f_{yk} \geq 50$ Mpa $\varepsilon_{c3}(\sigma) = 2,6 + 35 \cdot (90 - f_{yk}) / 100$

Σχήμα 2.2: Πίνακας σκυροδέματος ΣΚΒ, EC2

Για το ΕΣΕΑ τα χαρακτηριστικά μεταβάλλονται βάση της πυκνότητας ρ του σκυροδέματος. Ο πίνακας αναφέρεται στην χρήση ελαφροσκυροδέματος με ελαφρά αδρανή. Συγκεκριμένα ορίζονται δύο συντελεστές,

$$n_1 = 0.6 + 0.4 \cdot \rho / 2200$$

$$n_E = (\rho / 2200)^2$$

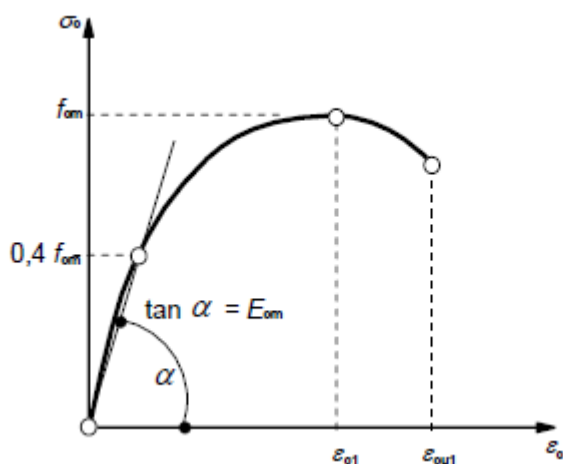
Βάσει αυτών ο πίνακας προκύπτει ως εξής,

Strength classes for light weight concrete														Analytical relation/Explanation	
f_{ck} (MPa)	12	16	20	25	30	35	40	45	50	55	60	70	80		
$f_{ck,cube}$ (MPa)	13	18	22	28	33	38	44	50	55	60	66	77	88		
f_{cm} (MPa)	17	22	28	33	38	43	48	53	58	63	68	78	88	For $f_{ck} \geq 20$ MPa $f_{cm} = f_{ck} + 8$ (MPa)	
f_{ctm} (MPa)	$f_{ctm} = f_{cm} \cdot \eta_1$													$\eta_1 = 0,40 + 0,60\rho/2200$	
$f_{ctk,0.05}$ (MPa)	$f_{ctk,0.05} = f_{ctm} \cdot \eta_1$													5% - fractile	
$f_{ctk,0.95}$ (MPa)	$f_{ctk,0.95} = f_{ctm} \cdot \eta_1$													95% - fractile	
E_{cm} (GPa)	$E_{cm} = E_{cm} \cdot \eta_E$													$\eta_E = (\rho/2200)^2$	
ϵ_{k1} (‰)	$k f_{ctm} / (E_{cm} \cdot \eta_E)$													$\left\{ \begin{array}{l} k = 1,1 \text{ for sanded lightweight aggregate concrete} \\ k = 1,0 \text{ for all lightweight aggregate concrete} \end{array} \right.$ see Figure 3.2	
ϵ_{cu1} (‰)	ϵ_{k1}													see Figure 3.2	
ϵ_{k2} (‰)	2,0				2,2				2,3		2,4		2,5		see Figure 3.3
ϵ_{cu2} (‰)	$3,5 \eta_1$				$3,1\eta_1$				$2,9\eta_1$		$2,7\eta_1$		$2,6\eta_1$		see Figure 3.3 $ \epsilon_{cu2} \geq \epsilon_{k2} $
η	2,0				1,75				1,6		1,45		1,4		
ϵ_{cu3} (‰)	1,75				1,8				1,9		2,0		2,2		see Figure 3.4
ϵ_{cu3} (‰)	$3,5 \eta_1$				$3,1\eta_1$				$2,9\eta_1$		$2,7\eta_1$		$2,6\eta_1$		see Figure 3.4 $ \epsilon_{cu3} \geq \epsilon_{cu2} $

Σχήμα 2.3: Πίνακας σκυροδέματος ΕΣΣΑ, EC2

Με βάση τις παραμέτρους αυτών των δύο πινάκων ορίζονται τα τρία παρακάτω διαγράμματα τάσεων - παραμορφώσεων για τα δυο υλικά, ανάλογα με την εφαρμογή τους:

- Διάγραμμα 1: Χρησιμοποιείται για μη γραμμική ανάλυση φορέων. Απλοποιητικά, για εύρεση παραμορφώσεων σε λειτουργία χρησιμοποιείται τριγωνικό διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων με κλίση E_{cm} .



Σχήμα 2.4: Διάγραμμα 1 τάσεων-παραμορφώσεων σκυροδέματος

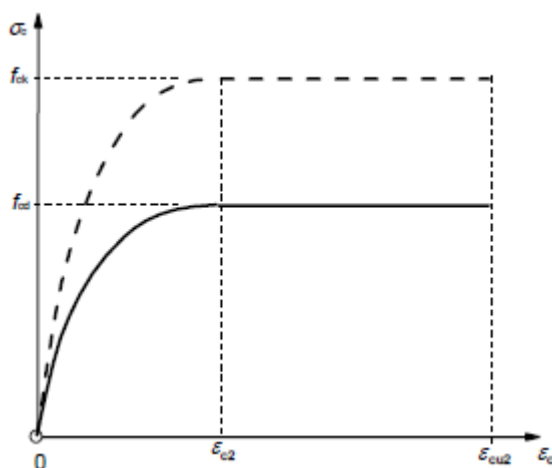
όπου,

$$\sigma_c = f_{cm} * \frac{k * n - n^2}{1 + (k - 2) * n}$$

$$n = \frac{\epsilon_c}{\epsilon_{c1}}$$

$$k = 1.05 * E_{cm} * |\epsilon_{c1}| / f_{cm}$$

- Διάγραμμα 2: Χρησιμοποιείται για σχεδιασμό της διατομής.



Σχήμα 2.5: Διάγραμμα 2 τάσεων παραμορφώσεων σκυροδέματος

Με τον αναλυτικό τύπο να είναι παραβολή,

Αν $0 \leq \epsilon_c \leq \epsilon_{c2}$

$$\sigma_c = f_{cd} * \left[1 - \left(1 - \frac{\epsilon_c}{\epsilon_{c2}} \right)^n \right]$$

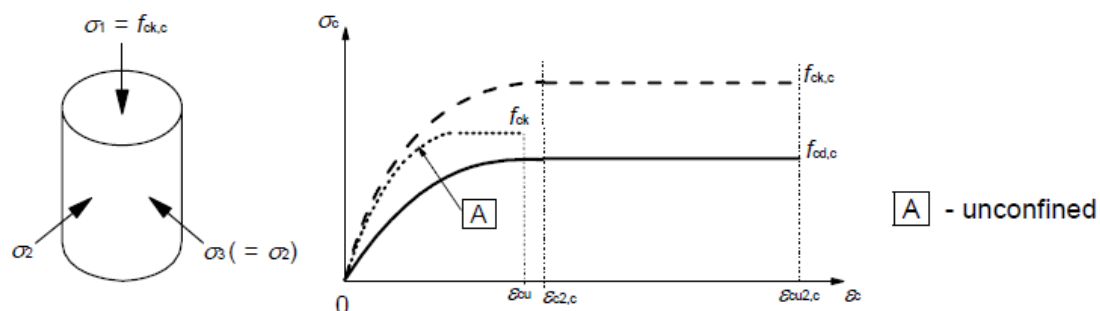
Αλλιώς αν $\epsilon_{c2} \leq \epsilon_c \leq \epsilon_{cu}$

$$\sigma_c = f_{cd}$$

- Διάγραμμα 3: Χρησιμοποιείται για σχεδιασμό της διατομής. Δεν παρουσιάζεται το σχήμα καθώς είναι συντηρητικό για τον υπολογισμό του οπλισμού.

Περισφιγμένο σκυρόδεμα

Για τον σχεδιασμό φορέων από σκυρόδεμα υπό τριαξονική καταπόνηση υιοθετείται το διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων ως εξής,



Σχήμα 2.6: Διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων σκυροδέματος υπό τριαξονική καταπόνηση

με αναλυτικές σχέσεις,

- Συμβατικό σκυρόδεμα,

$$f_{ck,c} = f_{ck} * (1 + 5 * \sigma_2 / f_{ck}) \text{ για } \sigma_2 \leq 0.05 * f_{ck}$$

$$f_{ck,c} = f_{ck} * (1.125 + 2.5 * \sigma_2 / f_{ck}) \text{ για } \sigma_2 > 0.05 * f_{ck}$$

$$\epsilon_{c2,c} = \epsilon_{c2} * (f_{ck,c} / f_{ck})^2$$

$$\epsilon_{cu2,c} = \epsilon_{cu} + 0.2 * \sigma_2 / f_{ck}$$

- ΕΣΣΕΑ,

$$f_{lck,c} = f_{lck} * (1 + k * \sigma_2 / f_{lck})$$

όπου

Για ελαφροσκυρόδεμα με άμμο ως λεπτόκοκκο αδρανές $k = 1.1$

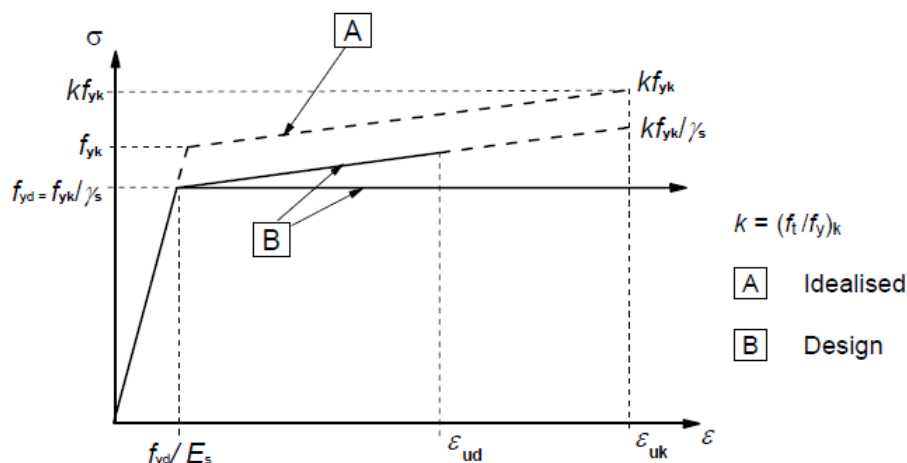
Για ελαφροσκυρόδεμα με λεπτόκοκκα και χονδρόκοκκα αδρανή.

$$\epsilon_{lc2,c} = \epsilon_{lc2} * (f_{lck,c} / f_{lck})^2$$

$$\epsilon_{lcu2,c} = \epsilon_{lcu} + 0.2 * \sigma_2 / f_{lck}$$

Χάλυβας

Χρησιμοποιείται διγραμμικό διάγραμμα στο οποίο ο μελετητής μπορεί να συμπεριλάβει την κράτυνση ή όχι. Για την ελαστική περιοχή του χάλυβα λαμβάνεται μέτρο ελαστικότητας $E = 200MPa$.



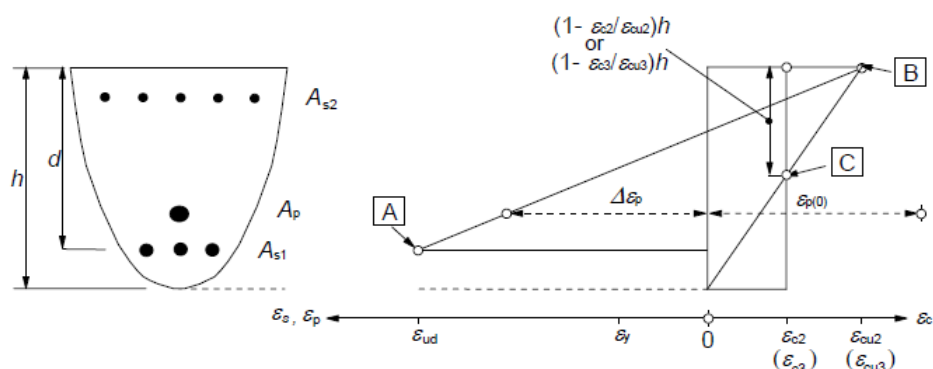
Σχήμα 2.7: Διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων χάλυβα

2.2.2 Οριακές καταστάσεις αστοχίας

Παραδοχές

- Επιπεδότητα διατομών κατά βενουλί όπως ισχύει στην περίπτωση των γραμμικών φορέων
- Για τον υπολογισμό των εσωτερικών τάσεων χρησιμοποιούνται οι εξισώσεις ισοδυναμίας. Απαιτείται έτσι η ισορροπία των εσωτερικών και εξωτερικών αντιδράσεων.
- Η ανηγμένη παραμόρφωση του οπλισμού και του σκυροδέματος στην ίδια στάθμη είναι ίδιες. Δεν υπάρχει σχετική ολίσθηση του χάλυβα.
- Για την περίπτωση οριακής κατάστασης αστοχίας δεν λαμβάνεται υπόψιν η εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος.
- Οι τάσεις στο σκυρόδεμα είναι αυτές που προκύπτουν από το διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων 2 του σκυροδέματος
- Οι τάσεις στον οπλισμό είναι αυτές που προκύπτουν από το διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων του χάλυβα

Οι ανηγμένες παραμορφώσεις διατομής για ΟΚΑ όπως παρουσιάζονται κατά ευρωκώδικα είναι,



A - reinforcing steel tension strain limit

B - concrete compression strain limit

C - concrete pure compression strain limit

Σχήμα 2.8: Ανηγμένες παραμορφώσεις για ΟΚΑ

Βέβαια για την περίπτωση που λάβουμε χάλυβα χωρίς κράτυνση στον σχεδιασμό, η ανηγμένη παραμόρφωση αστοχίας του χάλυβα θεωρείται ότι δεν έχει όριο.

Περιοχές αστοχίας με βάση την ένταση

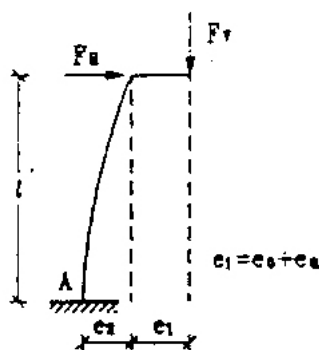
Ανάλογα με την ένταση της διατομής υπάρχουν τρεις περιπτώσεις αστοχίας,

- Προέχουσα κάμψη: Αναπτύσσεται κυρίως ροπή στην διατομή και η αξονική δύναμη είναι μικρή σε σχέση με αυτήν που δύναται να αναπτυχθεί.
Οι ανηγμένες παραμορφώσεις που χαρακτηρίζουν την διατομή είναι, $\epsilon_{c2} > 0$ και $\epsilon_{c1} < 0$.
Πρόκειται για την περίπτωση που παρουσιάζεται στην πλειοψηφία των περιπτώσεων με μεγάλες ροπές.
- Προέχων εφελκυσμός: Αναπτύσσεται μεγάλη εφελκυστική αξονική δύναμη και μικρή ροπή.
Οι ανηγμένες παραμορφώσεις που χαρακτηρίζουν την διατομή είναι, $\epsilon_{c2} < 0$ και $\epsilon_{c1} < 0$.
Πρακτικά για περιπτώσεις εφελκυσμένων στοιχείων.
- Προέχουσα θλίψη: Αναπτύσσεται μεγάλη θλιπτική αξονική δύναμη και μικρή ροπή.
Οι ανηγμένες παραμορφώσεις που χαρακτηρίζουν την διατομή είναι, $\epsilon_{c2} > 0$ και $\epsilon_{c1} > 0$.
Πρακτικά για περιπτώσεις καθαρά θλιτόμενων στοιχείων.

2.2.3 Φαινόμενα δευτέρας τάξης

Για να ληφθεί υπόψιν ο λυγισμός χρησιμοποιείται η μέθοδος του πρότυπου υποστυλώματος [1], ή όπως παρουσιάζεται στον EC2 η μέθοδος της ονομαστικής καμπυλότητας

Έστω υποστυλώμα με ελεύθερο άκρο, γνωστή φόρτιση στο άκρο (N, M_x, M_y) και γνωστά γεωμετρικά χαρακτηριστικά L, b, h . Από τα προηγούμενα προκύπτουν ανηγμένες εντάσεις στο άκρο ν, μ_x, μ_y και λόγος $\frac{l_0}{h}$. Κατά την μία διεύθυνση (έστω x) για μεταβολή της οριζόντιας θέσης της κεφαλής αυξάνεται και η ροπή στην βάση λόγω της κατακόρυφης δύναμης.



Σχήμα 2.9: Περίπτωση μονόπακτου υποστυλώματος με ελεύθερο άκρο

Συγκεκριμένα αυξάνεται κατά,

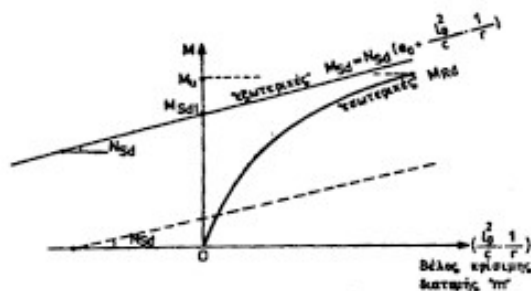
$$M_{Ed} = M_0 + N_{Ed} * e$$

κατά τον EC2 η εκκεντρότητα λαμβάνεται ως

$$e = \frac{l_0^2}{c} * \frac{1}{r}$$

όπου $c = \pi^2 = 10$

Η καμπύλη εκκεντρότητας-αντοχής και εκκεντρότητας-ροπής φαίνεται παρακάτω



Σχήμα 2.10: Ένταση και ροπή αντοχής συναρτήσει της εκκεντρότητας [1]

Υπολογίζοντας την μέγιστη M_0 στον άξονα M προσδιορίζεται και η απαιτούμενη ροπή αντοχής για αποφυγή αστοχίας από φαινόμενα δευτέρας τάξης.

2.2.4 Οριακές καταστάσεις λειτουργικότητας

Οι οριακές καταστάσεις λειτουργικότητας που λαμβάνονται είναι οι καταστάσεις εκείνες πέραν τις οποίες η κατασκευή παύει να είναι χρήσιμη.

Βάση του EC2 απαιτείται,

- Περιορισμός τάσεων
- Έλεγχος ρωγμών
- Έλεγχος βελών

Παραδοχές

Είναι ίδιες με αυτές των ΟΚΑ με τις παρακάτω διαφορές,

- Αφού η διατομή βρίσκεται πια σε λειτουργία λαμβάνεται το διάγραμμα 1 του σκυροδέματος
- Για την περίπτωση του ελέγχου ρωγμών θεωρείται ρηγματωμένη η διατομή (δεν λαμβάνεται υπόψιν η εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος.)

Για την περίπτωση εύρεσης βελών θεωρείται ότι η διατομή βρίσκεται σε μια ενδιάμεση κατάσταση μεταξύ ρηγματωμένης και αρηγματώτης διατομής. Αυτό οφείλεται στην ανάληψη των εφελκυστικών τάσεων από το σκυροδέμα στις διατομές ανάμεσα από τις προκύπτουσες ρωγμές. Αυτή η ανακούφιση ονομάζεται εφελκυστική συμβολή στην ακαμψία (tension stiffening effect). [1]

Συγκεκριμένα θεωρείται,

$$\frac{1}{r} = \zeta * \left(\frac{1}{r}\right)_1 + (1 - \zeta) * \left(\frac{1}{r}\right)_2$$

όπου,

$$\zeta = 1 - \beta * \frac{\sigma_{sr}}{\sigma_s}$$

$\zeta = 0$ για αρηγματώτες διατομές

$\left(\frac{1}{r}\right)_1$ καμπυλότητα για αρηγματώτη διατομή

$\left(\frac{1}{r}\right)_2$ καμπυλότητα ρηγματωμένη διατομή

β είναι συντελεστής που λαμβάνει υπόψιν την χρονική διάρκεια των φορτίσεων.

$\beta=1$ για μεμονωμένη βραχυπρόθεσμη φόρτιση

$\beta=0.5$ για πολλούς κύκλους φορτίσεων

2.2.5 Επιμέρους διαφορές ΕΣΕΑ και ΣΚΒ

Εκτός από τις διαφορές που επισημάνθηκαν για τον καταστατικό χαρακτηρισμό του σκυροδέματος (βλ Πίνακες 2.2 και 2.3) θα παρουσιαστούν και οι υπόλοιπες διαφορές στους ελέγχους κατά EC2.

Ερπυσμός και συστολή ξήρανσης

Ο συντελεστής ερπυσμού για το ΕΣΕΑ θα ληφθεί ίσος με αυτόν του σκυροδέματος κανονικού βάρους πολλαπλασιασμένος επί τον συντελεστή $n_E = \left(\frac{\rho}{2200}\right)^2$. Οι ανηγμένες παραμορφώσεις όπως προέκυψαν θα πρέπει να πολλαπλασιαστούν με τον συντελεστή n_2 , όπου,

$$n_2 = 1.3 \text{ για } f_{lck} \leq LC16/18$$

$$n_2 = 1 \text{ για } f_{lck} \geq LC20/22$$

Οι τιμές του συντελεστή ζήρασης του ΕΣΣΑ θα προκύψουν από τις τιμές του ΣΚΒ πολλαπλασιασμένες επί τον συντελεστή n_3 ,

$$n_3 = 1.5 \text{ για } f_{lck} \leq LC16/18$$

$$n_3 = 1.2 \text{ για } f_{lck} \geq LC20/22$$

Επικάλυψη

Για το ΕΣΣΑ μπορεί να χρησιμοποιηθεί η ίδια κατηγορία έκθεσης όπως αυτή του ΣΚΒ. Η επικάλυψη του ελαφροσκυροδέματος θα προκύψει από αυτή του ΣΚΒ με αύξηση κατά $5mm$

Ικανότητα στροφής

Για το ΕΣΣΑ η τιμή του θ_{plast} όπως φαίνεται στο σχήμα 5.6N του EC2 θα πολλαπλασιαστεί με την τιμή $\frac{\epsilon_{cu2}}{\epsilon_{cu}}$

Τέμνουσα χωρίς εγκάρσιο οπλισμό

Για το ΕΣΣΑ, η αντοχή διατομής σε τέμνουσα χωρίς εγκάρσιο οπλισμό θα ληφθεί όπως το ΣΚΒ με τροποποίηση των συντελεστών,

$$V_{IRd,c} = [C_{IRd,c} * n_1 * k * (100 * \rho_l * f_{lck})^{1/3} + k_1 * \sigma_{cp}] * b_w * d \geq (n_1 * v_{l,min} + k_1 * \sigma_{cp}) * b_w * d$$

$$C_{IRd,c} = \frac{0.15}{\gamma_c}$$

$$v_{l,min} = 0.028 * k^{3/2} * f_{lck}^{1/2}$$

$$k_1 = 0.15$$

$$v_1 = 0.5 * n_1 * (1 - f_{lck}/250)$$

Μέγιστη τέμνουσα και τέμνουσα για εγκάρσιο οπλισμό

Τροποποιείται ο συντελεστής από $v = 0.6 * (1 - f_{ck}/250)$ σε $v = n_1 * 0.5 * (1 - f_{ck}/250)$

Οριακές καταστάσεις λειτουργικότητας

Οι λόγοι ανοίγματος/στατικού ύψους για οπλισμένα μέλη χωρίς αξονική που δίνονται στην παράγραφο 7.4.2 του EC2 θα πρέπει να μειωθούν με συντελεστή $n_E^{0.15}$ όταν εφαρμόζονται σε ΕΣΣΑ.

Λεπτομέρειες οπλισμού μελών με ΕΣΣΑ

Στην περίπτωση ελαφροσκυροδέματος η διάμετρος των τυμπάνων θα πρέπει να αυξηθεί κατά 50%.

Μέρος I

Σύγκριση σχεδιασμού διατομών και μελών από ΣΚΒ και ΕΣΕΑ σε ΟΚΑ και ΟΚΛ

Κεφάλαιο 3

Σχεδιασμός διατομών υπό ορθές εντάσεις

3.1 Χρήση H/Y για δημιουργία διαγραμμάτων

Αρχικά θα πρέπει να επισημανθεί ότι για την δημιουργία των διαγραμμάτων σχεδιασμού, πλαστιμότητας και έλεγχων ΟΚΛ χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό matlab[®]. Ένα απόσπασμα του κώδικα που χρησιμοποιήθηκε για τον σχεδιασμό των διαγραμμάτων αλληλεπίδρασης σε μονοαξονική κάμψη παρουσιάζεται στο σχήμα 3.1. Συγκεκριμένα στο απόσπασμα αυτό φαίνονται οι επαναλήψεις για τον υπολογισμό των συντελεστών πλήρωσης-βάρους και τον υπολογισμό των ανηγμένων εντατικών μεγεθών.

```
52 -
53 - for index_dl_h=1:4
54 -     dl_h=0.05+(index_dl_h-1)*0.05;
55 -     for index_omega=1:11
56 -         omega=0+(index_omega-1)*0.2;
57 -         for i=1:temp(index_rho_con,index_dl_h)
58 -             ec1=ec1i(i,index_dl_h);
59 -             es1=es1i(i,index_dl_h);
60 -             ec2=ec2i(i,index_dl_h);
61 -             es2=es2i(i,index_dl_h);
62 -             stress_ratio_s1=sign(es1)*(heaviside(esy-abs(es1))*abs(es1)/esy+heaviside(abs(es1)-esy));
63 -             stress_ratio_s2=sign(es2)*(heaviside(esy-abs(es2))*abs(es2)/esy+heaviside(abs(es2)-esy));
64 -             if ec1<=0 && ec2<=0
65 -                 ai=0;
66 -                 zetai=0;
67 -                 xi=0;
68 -             elseif ec2>0 && ec1<=0
69 -                 if ec2<=ecy
70 -                     ai=ec2*(6-ec2)/12;
71 -                     zetai=(8-ec2)/(4*(6-ec2));
72 -                 else
73 -                     ai=(3*ec2-2)/(3*ec2);
74 -                     zetai=(ec2*(3*ec2-4)+2)/(2*ec2*(3*ec2-2));
75 -                 end
76 -                 xi=ec2/(ec2-ec1);
77 -             elseif ec2>0 && ec1>0 && ec2~=ec1
78 -                 inta_e1=ec1^2*(6-ec1)/12;
79 -                 inta_e2=(3*ec2-2)/3;
80 -                 ai=(inta_e2-inta_e1)/(ec2-ec1);
81 -                 intz_e1=(-3*ec1^4+16*ec1^3)/48;
82 -                 intz_e2=(24*ec2^2-16)/48;
83 -                 zetai=ec2/(ec2-ec1)+(intz_e1-intz_e2)/(ai*(ec2-ec1)^2);
84 -                 xi=1;
85 -             else
86 -                 ai=1;
87 -                 zetai=0.5;
88 -                 xi=1;
89 -             end
90 -             n=ai*xi+0.5*omega*(stress_ratio_s1+stress_ratio_s2);
91 -             m=(ai*xi*(0.5-zetai*xi))+0.5*omega*(0.5-dl_h)*(-stress_ratio_s1+stress_ratio_s2);
92 -             table(index_rho_con,index_dl_h,index_omega,1,1)=m;
93 -             table(index_rho_con,index_dl_h,index_omega,2,1)=n;
94 -         end
95 -     end
96 - end
97 - end
```

Σχήμα 3.1: Απόσπασμα από κώδικα δημιουργίας διαγραμμάτων αλληλεπίδρασης

3.2 Ανηγγμένες παραμορφώσεις βάση καμπυλότητας σε ΟΚΑ

Αυτή η διακριτοποίηση έχει ιδιαίτερη σημασία για τον ορισμό των παραμορφώσεων στην διατομή βάση της καμπυλότητας. Οπως φαίνεται στο σχήμα 3.2 ορίζονται τρεις περιοχές.

- Περιοχή 1, όπου η διατομή αστοχίας περιστρέφεται γύρω από την πλέον εφελκυσόμενη ίνα του χάλυβα. Σε αυτήν την περιοχή οι ενδιάμεσες παραμορφώσεις προκύπτουν έως εξής,

$$\epsilon_i = \epsilon_{su} - \frac{\epsilon_{s1} - \epsilon_{c2}}{d} * (y_i - y_{s1}) = \epsilon_{su} - (\epsilon_{s1} - \epsilon_{c2}) * \left(\frac{y_{s1} - y_i}{d}\right) =$$

$$\epsilon_{su} - \phi d * \left(\frac{y_{s1} - y_i}{d}\right) = f(\phi d)$$

όπου, $\phi d = \epsilon_{s1} - \epsilon_{c2}$ και y θετικό προς την πλέον εφελκυσόμενη ίνα ή αντιστοίχως

$$\epsilon_i = \epsilon_{su} - \phi h * \left(\frac{y_{s1} - y_i}{h}\right) = f(\phi h)$$

όπου, $\phi h = \epsilon_{c1} - \epsilon_{c2}$

- Περιοχή 2, όπου η διατομή αστοχίας περιστρέφεται γύρω από την πλέον θλιβόμενη ίνα του σκυροδέματος. Σε αυτήν την περιοχή οι ενδιάμεσες παραμορφώσεις προκύπτουν έως εξής,

$$\epsilon_i = \epsilon_{cu} + \frac{\epsilon_{s1} - \epsilon_{c2}}{d} * (y_i - y_{c2}) = \epsilon_{cu} + (\epsilon_{s1} - \epsilon_{c2}) * \left(\frac{y_i - y_{c2}}{d}\right) =$$

$$\epsilon_{cu} + \phi d * \left(\frac{y_i - y_{c2}}{d}\right) = f(\phi d)$$

ή αντιστοίχως

$$\epsilon_i = \epsilon_{cu} + \phi h * \left(\frac{y_i - y_{c2}}{h}\right) = f(\phi h)$$

- Περιοχή 3, όπου η διατομή αστοχίας περιστρέφεται γύρω από την ίνα που βρίσκεται σε απόσταση $1 - \frac{\epsilon_{c2}}{\epsilon_{cu2}} * h$ από την πλέον θλιβόμενη. Αν θεωρήσουμε την προηγούμενη ίνα ως $c3$,

$$\epsilon_i = \epsilon_{c3} + \frac{\epsilon_{c1} - \epsilon_{c2}}{h} * (y_i - y_{c3}) = \epsilon_{c3} + (\epsilon_{c1} - \epsilon_{c3}) * \left(\frac{y_i - y_{c3}}{h}\right) =$$

ή αντιστοίχως,

$$\epsilon_{c3} + \phi h * \left(\frac{y_i - y_{c3}}{h}\right) = f(\phi h)$$

Οι σχέσεις αυτές αντιστοιχούν τόσο στο ΣΚΒ όσο και στο ΕΣΕΑ. Οι διαφορά για το ΣΚΒ και το ΕΣΕΑ οφείλεται μεταβολή του ϵ_{icu} .

3.3 Συντελεστές πλήρωσης και σημείου εφαρμογής της θλιπτικής δύναμης

Επίσης πρέπει να σημειωθεί ότι στις εξισώσεις ισοδυναμίας το διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων του σκυροδέματος θα αντικατασταθεί με ορθογωνικό το οποίο θα έχει το ίδιο φορτίο και τον

ίδιο μοχλοβραχίονα.

Για τον συντελεστή πλήρωσης a ,

$$a * b * h * f_{cd} = \int_A \sigma_c dA \rightarrow a = \frac{\int_A \sigma_c dA}{b * h * f_{cd}} =$$

$$\frac{b * \int_0^h \sigma_c dh}{b * h * f_{cd}} = \frac{\int_0^h \sigma_c dh}{h * f_{cd}}$$

Θέτοντας όμως

$$\epsilon_c = \epsilon_{c1} + \frac{y}{h} * (\epsilon_{c2} - \epsilon_{c1})$$

προκύπτει,

$$d\epsilon_c = dy * \frac{\epsilon_{c2} - \epsilon_{c1}}{h} \rightarrow dy = \frac{d\epsilon_c * h}{\epsilon_{c2} - \epsilon_{c1}}$$

Συνεπώς,

$$a = \frac{\int_{\epsilon_{c1}}^{\epsilon_{c2}} \sigma_c * \frac{d\epsilon_c * h}{\epsilon_{c2} - \epsilon_{c1}}}{h * f_{cd}} = \frac{\int_{\epsilon_{c1}}^{\epsilon_{c2}} \frac{\sigma_c}{f_{cd}} * d\epsilon_c}{\epsilon_{c2} - \epsilon_{c1}}$$

Αντίστοιχα για το ύψος του σημείου εφαρμογής της θλιπτικής δύναμης έχουμε,

$$(a * b * h * f_{cd}) * h * \zeta = \int_A \sigma_c * (h - y) dA \rightarrow \zeta = \frac{\int_A \sigma_c * (h - y) dA}{a * b * h^2 * f_{cd}} =$$

$$\frac{b * h \int_0^h \sigma_c * (1 - y/h) dh}{a * b * h^2 * f_{cd}} = \frac{\int_0^h \sigma_c * (1 - y/h) dh}{a * h * f_{cd}}$$

Θέτοντας όμως

$$\epsilon_c = \epsilon_{c1} + \frac{y}{h} * (\epsilon_{c2} - \epsilon_{c1})$$

προκύπτει,

$$\frac{y}{h} = \frac{\epsilon_c - \epsilon_{c1}}{\epsilon_{c2} - \epsilon_{c1}}$$

$$dy = \frac{d\epsilon_c * h}{\epsilon_{c2} - \epsilon_{c1}}$$

Συνεπώς,

$$\zeta = \frac{\int_{\epsilon_{c1}}^{\epsilon_{c2}} \sigma_c * \left(1 - \frac{\epsilon_c - \epsilon_{c1}}{\epsilon_{c2} - \epsilon_{c1}}\right) * \frac{d\epsilon_c * h}{\epsilon_{c2} - \epsilon_{c1}}}{a * h * f_{cd}} = \frac{\int_{\epsilon_{c1}}^{\epsilon_{c2}} \frac{\sigma_c}{f_{cd}} * \left(1 - \frac{\epsilon_c - \epsilon_{c1}}{\epsilon_{c2} - \epsilon_{c1}}\right) * d\epsilon_c}{a * (\epsilon_{c2} - \epsilon_{c1})}$$

Διακρίνοντας περιπτώσεις,

Αν $\epsilon_{c1} < 0$ και $\epsilon_{c2} < 0$

$$a = 0$$

$$\zeta = 0$$

Αν $\epsilon_{c1} < 0$ και $\epsilon_{c2} > 0$

$$a = \frac{\int_0^{\epsilon_{c2}} \frac{\sigma_c}{f_{cd}} * d\epsilon_c}{\epsilon_{c2}}$$

$$\zeta = \frac{\int_0^{\epsilon_{c2}} \frac{\sigma_c}{f_{cd}} * \left(1 - \frac{\epsilon_c}{\epsilon_{c2}} * d\epsilon_c\right)}{a * \epsilon_{c2}} = \frac{\int_0^{\epsilon_{c2}} \frac{\sigma_c}{f_{cd}} * (\epsilon_{c2} - \epsilon_c) * d\epsilon_c}{a * \epsilon_{c2}^2} = 1 - \frac{\int_0^{\epsilon_{c2}} \frac{\sigma_c}{f_{cd}} * \epsilon_c * d\epsilon_c}{a * \epsilon_{c2}^2}$$

Αν $\epsilon_{c1} > 0$ και $\epsilon_{c2} > 0$

$$a = \frac{\int_{\epsilon_{c1}}^{\epsilon_{c2}} \frac{\sigma_c}{f_{cd}} * d\epsilon_c}{\epsilon_{c2} - \epsilon_{c1}} = \frac{\int_0^{\epsilon_{c2}} \frac{\sigma_c}{f_{cd}} * d\epsilon_c - \int_0^{\epsilon_{c1}} \frac{\sigma_c}{f_{cd}} * d\epsilon_c}{\epsilon_{c2} - \epsilon_{c1}}$$

$$\zeta = \frac{\int_{\epsilon_{c1}}^{\epsilon_{c2}} \frac{\sigma_c}{f_{cd}} * (1 - \frac{\epsilon_c - \epsilon_{c1}}{\epsilon_{c2} - \epsilon_{c1}} * d\epsilon_c)}{a * (\epsilon_{c2} - \epsilon_{c1})} = \frac{\int_{\epsilon_{c1}}^{\epsilon_{c2}} \frac{\sigma_c}{f_{cd}} * \frac{\epsilon_{c2} - \epsilon_c}{\epsilon_{c2} - \epsilon_{c1}} * d\epsilon_c}{a * (\epsilon_{c2} - \epsilon_{c1})} = \frac{\int_{\epsilon_{c1}}^{\epsilon_{c2}} \frac{\sigma_c}{f_{cd}} * (\epsilon_{c2} - \epsilon_c) * d\epsilon_c}{a * (\epsilon_{c2} - \epsilon_{c1})^2}$$

$$\frac{\epsilon_{c2}}{\epsilon_{c2} - \epsilon_{c1}} + \frac{\int_0^{\epsilon_{c1}} \frac{\sigma_c}{f_{cd}} * \epsilon_c * d\epsilon_c - \int_0^{\epsilon_{c2}} \frac{\sigma_c}{f_{cd}} * \epsilon_c * d\epsilon_c}{a * (\epsilon_{c2} - \epsilon_{c1})^2}$$

Συνεπώς τα ολοκληρώματα που θα πρέπει να υπολογισθούν για να καλύψουμε όλες τις περιπτώσεις είναι,

$$\int_0^{\epsilon_{c2}} \frac{\sigma_c}{f_{cd}} * d\epsilon_c$$

και

$$\int_0^{\epsilon_{c2}} \frac{\sigma_c}{f_{cd}} * \epsilon_c * d\epsilon_c$$

Αν $\epsilon_c < \epsilon_{cy}$

$$\int_0^{\epsilon_{c2}} \frac{\sigma_c}{f_{cd}} * d\epsilon_c = \int_0^{\epsilon_{c2}} (1 - (1 - \frac{\epsilon_c}{\epsilon_{cy}})^n) * d\epsilon_c = \int_0^{\epsilon_{c2}} (1 - \frac{(\epsilon_{cy} - \epsilon_c)^n}{\epsilon_{cy}^n}) * d\epsilon_c =$$

$$[\epsilon_c + \frac{(\epsilon_{cy} - \epsilon_c)^{n+1}}{(n+1) * \epsilon_{cy}^n}]_0^{\epsilon_{c2}} = \epsilon_{c2} + \frac{(\epsilon_{cy} - \epsilon_{c2})^{n+1}}{(n+1) * \epsilon_{cy}^n} - \frac{\epsilon_{cy}^{n+1}}{(n+1) * \epsilon_{cy}^n}$$

Για κατηγορία σκυροδέματος $\leq C50/60$

$$\int_0^{\epsilon_{c2}} \frac{\sigma_c}{f_{cd}} * d\epsilon_c = \epsilon_{c2} + \frac{(2 - \epsilon_{c2})^3}{3 * 2^2} - \frac{2}{3} = \frac{12 * \epsilon_{c2} + 2^3 - 3 * 2^2 * \epsilon_{c2} + 3 * 2 * \epsilon_{c2}^2 - \epsilon_{c2}^3 - 8}{12} =$$

$$\frac{\epsilon_{c2}^2 * (6 - \epsilon_{c2})}{12}$$

Για την επαλήθευση του παραπάνω τύπου

$$a = \frac{\int_0^{\epsilon_{c2}} \frac{\sigma_c}{f_{cd}} * d\epsilon_c}{\epsilon_{c2}} = \frac{\frac{\epsilon_{c2}^2 * (6 - \epsilon_{c2})}{12}}{\epsilon_{c2}} = \frac{\epsilon_{c2} * (6 - \epsilon_{c2})}{12}$$

όπως προκύπτει και στο τυπολόγιο του Ε.Μ.Π.

Για το δεύτερο γίνεται ολοκλήρωση με ολοκληρωτικούς παράγοντες

$$\int_0^{\epsilon_{c2}} \frac{\sigma_c}{f_{cd}} * \epsilon_c * d\epsilon_c = \int_0^{\epsilon_{c2}} (\epsilon_c + \frac{(\epsilon_{cy} - \epsilon_c)^{n+1}}{(n+1) * \epsilon_{cy}^n})' * \epsilon_c * d\epsilon_c =$$

$$[(\epsilon_c + \frac{(\epsilon_{cy} - \epsilon_c)^{n+1}}{(n+1) * \epsilon_{cy}^n}) * \epsilon_c]_0^{\epsilon_{c2}} - \int_0^{\epsilon_{c2}} (\epsilon_c + \frac{(\epsilon_{cy} - \epsilon_c)^{n+1}}{(n+1) * \epsilon_{cy}^n}) * \epsilon_c' * d\epsilon_c =$$

$$\epsilon_{c2}^2 + \frac{(\epsilon_{cy} - \epsilon_{c2})^{n+1}}{(n+1) * \epsilon_{cy}^n} * \epsilon_{c2} - [\frac{\epsilon_c^2}{2} - \frac{(\epsilon_{cy} - \epsilon_c)^{n+2}}{(n+2) * (n+1) * \epsilon_{cy}^n}]_0^{\epsilon_{c2}} =$$

$$\epsilon_{c2}^2 + \frac{(\epsilon_{cy} - \epsilon_{c2})^{n+1}}{(n+1) * \epsilon_{cy}^n} * \epsilon_{c2} - \frac{\epsilon_{c2}^2}{2} + \frac{(\epsilon_{cy} - \epsilon_{c2})^{n+2}}{(n+2) * (n+1) * \epsilon_{cy}^n} - \frac{(\epsilon_{cy})^2}{(n+2) * (n+1)}$$

Για κατηγορία σκυροδέματος $\leq C50/60$

$$\int_0^{\epsilon_{c2}} \frac{\sigma_c}{f_{cd}} * \epsilon_c * d\epsilon_c = \epsilon_{c2}^2 + \frac{(2 - \epsilon_{c2})^3}{3 * 2^2} * \epsilon_{c2} - \frac{\epsilon_{c2}^2}{2} + \frac{(2 - \epsilon_{c2})^4}{4 * 3 * 2^2} - \frac{2^2}{4 * 3} =$$

$$\frac{-3 * \epsilon_{c2}^4 + 16 * \epsilon_{c2}^3}{48}$$

Συνεπώς για την επαλήθευση του παραπάνω τύπου,

$$\zeta = 1 - \frac{\int_0^{\epsilon_{c2}} \frac{\sigma_c}{f_{cd}} * \epsilon_c * d\epsilon_c}{a * \epsilon_{c2}^2} =$$

$$1 - \frac{\frac{-3 * \epsilon_{c2}^4 + 16 * \epsilon_{c2}^3}{48}}{\epsilon_{c2} * (6 - \epsilon_{c2}) / 12 * \epsilon_{c2}^2} = 1 - \frac{-3 * \epsilon_{c2} + 16}{4 * (6 - \epsilon_{c2})} =$$

$$\frac{24 - 4 * \epsilon_{c2} + 3 * \epsilon_{c2} - 16}{4 * (6 - \epsilon_{c2})} = \frac{8 - \epsilon_{c2}}{4 * (6 - \epsilon_{c2})}$$

όπως προκύπτει και στο τυπολόγιο του Ε.Μ.Π.

Αν $\epsilon_c > \epsilon_{cy}$

$$\int_0^{\epsilon_{c2}} \frac{\sigma_c}{f_{cd}} * d\epsilon_c = \int_0^{\epsilon_{cy}} \frac{\sigma_c}{f_{cd}} * d\epsilon_c + \int_{\epsilon_{cy}}^{\epsilon_{c2}} \frac{\sigma_c}{f_{cd}} * d\epsilon_c = \frac{\epsilon_{cy}^2 * (6 - \epsilon_{cy})}{12} + (\epsilon_{c2} - \epsilon_{cy})$$

Για σκυρόδεμα $\leq C50/60$

$$\int_0^{\epsilon_{c2}} \frac{\sigma_c}{f_{cd}} * d\epsilon_c = \frac{2^2 * 4}{12} + \epsilon_{c2} - 2 = \frac{4 + 3 * \epsilon_{c2} - 6}{3} =$$

$$\frac{3 * \epsilon_{c2} - 2}{3}$$

Για επαλήθευση

$$a = \frac{\int_0^{\epsilon_{c2}} \frac{\sigma_c}{f_{cd}} * d\epsilon_c}{\epsilon_{c2}} = \frac{\frac{3 * \epsilon_{c2} - 2}{3}}{\epsilon_{c2}} = \frac{3 * \epsilon_{c2} - 2}{3 * \epsilon_{c2}}$$

Αντιστοίχως,

$$\int_0^{\epsilon_{c2}} \frac{\sigma_c}{f_{cd}} * \epsilon_{c2} * d\epsilon_c = \int_0^{\epsilon_{cy}} \frac{\sigma_c}{f_{cd}} * \epsilon_c * d\epsilon_c + \int_{\epsilon_{cy}}^{\epsilon_{c2}} \frac{\sigma_c}{f_{cd}} * \epsilon_{c2} * d\epsilon_c = \frac{-3 * \epsilon_{cy}^4 + 16 * \epsilon_{cy}^3}{48} + \frac{\epsilon_{c2}^2}{2} - \frac{\epsilon_{cy}^2}{2}$$

Για σκυρόδεμα $\leq C50/60$

$$\int_0^{\epsilon_{c2}} \frac{\sigma_c}{f_{cd}} * \epsilon_c * d\epsilon_c = \frac{-3 * 2^4 + 16 * 2^3}{48} + \frac{\epsilon_{c2}^2}{2} - \frac{2^2}{2} = \frac{24 * \epsilon_{c2}^2 - 16}{48}$$

Για επαλήθευση

$$\zeta = 1 - \frac{\int_0^{\epsilon_{c2}} \frac{\sigma_c}{f_{cd}} * \epsilon_c * d\epsilon_c}{a * \epsilon_{c2}^2} =$$

$$1 - \frac{(24 * \epsilon_{c2}^2 - 16)/48}{(3 * \epsilon_{c2} - 2)/(3 * \epsilon_{c2}) * \epsilon_{c2}^2} = 1 - \frac{(3 * \epsilon_{c2}^2 - 2) * 3}{6 * (3 * \epsilon_{c2} - 2) * \epsilon_{c2}} = \frac{18 * \epsilon_{c2}^2 - 12 * \epsilon_{c2} - 9 * \epsilon_{c2}^2 + 6}{6 * (3 * \epsilon_{c2} - 2) * \epsilon_{c2}} =$$

$$\frac{9 * \epsilon_{c2}^2 - 12 * \epsilon_{c2} + 6}{6 * (3 * \epsilon_{c2} - 2) * \epsilon_{c2}} = \frac{\epsilon_{c2} * (3 * \epsilon_{c2} - 4) + 2}{2 * \epsilon_{c2} * (3 * \epsilon_{c2} - 2)}$$

όπως προκύπτει και στο τυπολόγιο του Ε.Μ.Π.

3.4 Βασικοί αλγόριθμοι

Σε αυτό το σημείο θα παρουσιαστούν δύο βασικοί αλγόριθμοι που χρησιμοποιήθηκαν στους κώδικες για την δημιουργία των διαγραμμάτων σχεδιασμού.

Για την λύση των μη γραμμικών εξισώσεων (εξισώσεων ισοδυναμίας) χρησιμοποιείται η μέθοδος της διχοτόμησης [5].

3.4.1 Εύρεση καμπυλότητας για δεδομένη αξονική σε ΟΚΑ

Μια αριθμητική διαδικασία που πρέπει να επισημανθεί είναι η εύρεση της καμπυλότητας αστοχίας για δεδομένη αξονική.

Αν πρόκειται για περίπτωση προέχουσας κάμψης με απλό οπλισμό, η καμπυλότητα αστοχίας μπορεί να υπολογιστεί απευθείας με χρήση των αναλυτικών σχέσεων όπως εκφράζονται στην παράγραφο (3.6).

Για την περίπτωση που υπάρχει διπλός οπλισμός ή δεν πρόκειται για περίπτωση προέχουσας κάμψης ο υπολογισμός της παραμορφωσιακής κατάστασης μπορεί να γίνει μόνο μέσω επαναληπτικής διαδικασίας.

Συγκεκριμένα, για κάθε περίπτωση ρ και d_1/h

- Υπολογισμός οριακών ανηγμένων αξονικών για τις περιοχές 1,2 και 3. Οι οριακές ανηγμένες αξονικές φαίνονται στο σχήμα 3.2,

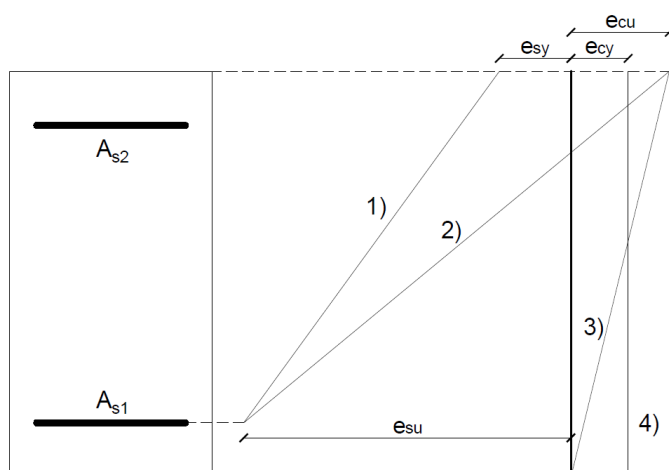
1. $\epsilon_{s1} = \epsilon_{su}$ και $\epsilon_{s2} = \epsilon_{sy}$

2. $\epsilon_{s1} = \epsilon_{su}$ και $\epsilon_{c2} = \epsilon_{cu}$

3. $\epsilon_{c1} = 0$ και $\epsilon_{c2} = \epsilon_{cu}$

4. $\epsilon_{c1} = \epsilon_{cy}$ και $\epsilon_{c2} = \epsilon_{cy}$

- Η αξονική είναι γνησίως αύξουσα από την διατομή 1 έως την διατομή 4. Για δεδομένη ανηγμένη αξονική μπορεί να καθοριστεί η περιοχή αστοχίας.
- Θεωρείται μεταβλητή η καμπυλότητα και χρησιμοποιούνται οι σχέσεις της παραγράφου (3.2) Με την μέθοδο της διχοτόμησης υπολογίζεται με κριτήριο την αξονική η καμπυλότητα αστοχίας της διατομής.



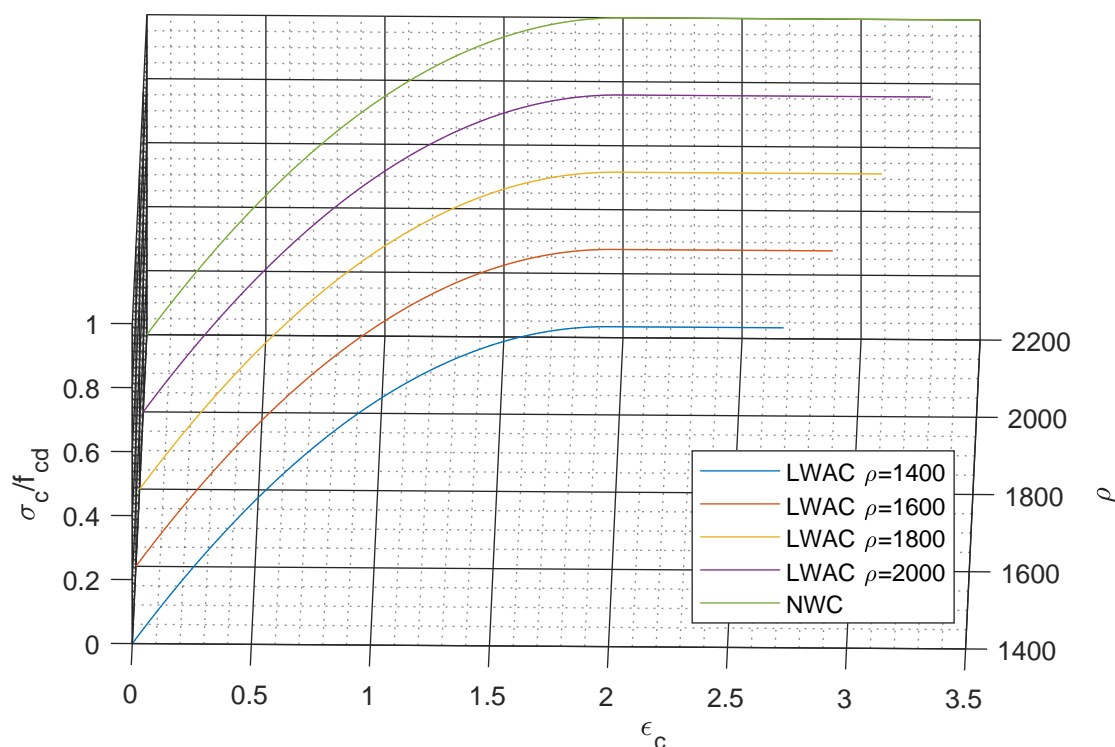
Σχήμα 3.2: Περιπτώσεις 1-4 ΟΚΑ

3.4.2 Εύρεση ανηγμένων παραμορφώσεων για δεδομένη αξονική και καμπυλότητα

Είναι προφανές ότι για δεδομένη καμπυλότητα η αξονική είναι γεννσίως αύξουσα της ανηγμένης παραμόρφωσης της οποιασδήποτε ίνας στην διατομή. Με μεταβλητή την ανηγμένη παραμόρφωση κάποιας ίνας στην διατομή και κριτήριο την αξονική υπολογίζεται μέσω της μεθόδου της διχοτόμησης οι ανηγμένες παραμορφώσεις της διατομής.

3.5 Διαγράμματα τάσεων-παραμορφώσεων 2 σκυροδέματος

Με χρήση των σχέσεων όπως περιγράφονται στην παράγραφο 2.2.1 προκύπτουν τα εξής τρισδιάστατα διαγράμματα τάσεων παραμορφώσεων.



Σχήμα 3.3: Διαγράμματα τάσεων παραμορφώσεων 2, ποιότητα σκυροδέματος $\leq C50/60$

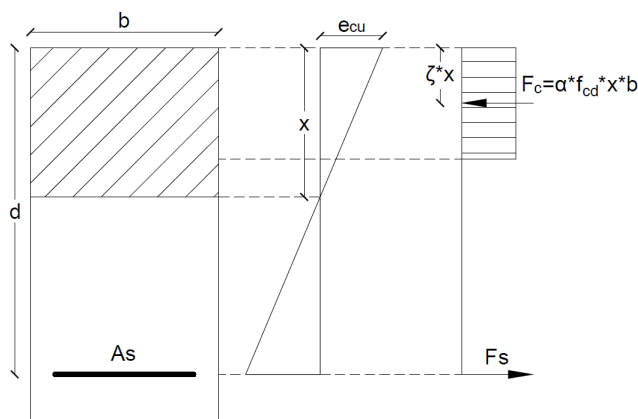
Όπως φαίνεται στο σχήμα 3.3 όσο μικρότερη είναι η πυκνότητα του σκυροδέματος τόσο πιο ψαθυρά λειτουργεί. Η διαφορά στην παραμόρφωση αστοχίας θα οδηγήσει σε διαφορές στην αντοχή των διατομών. Βέβαια, δεν υπάρχει διαφορά στις μικρότερες ανηγμένες παραμορφώσεις συνεπώς δεν λαμβάνονται οι περιπτώσεις που οι διατομές αστοχούν λόγω μη γραμμικότητας γεωμετρίας (λιγισμός).

3.6 Πλάκες-δοκοί

3.6.1 Σχεδιασμός ορθογωνικής διατομής υπό προέχουσα κάμψη

Τα διαγράμματα αυτά χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του οπλισμού για διατομές πλάκων και δοκών υπό προέχουσα κάμψη. Δεδομένου ότι σε μια τυπική κατασκευή οι πλάκες και οι δοκοί σχεδιάζονται αποκλειστικά σε ένταση κάμψης τα διαγράμματα παρουσιάζουν και τις διαφορές οπλισμού σε δοκούς-πλάκες από ΣΚΒ και ΕΣΣΑ.

Η ανάγκη δημιουργίας αυτών των διαγραμμάτων οφείλεται στην μείωση της παραμόρφωσης αστοχίας για μικρότερες πυκνότητες σκυροδέματος. Δεδομένου ότι ο χάλυβας διαρρέει $F_s = A_s * f_{yd}$, (απαιτηση κατά την δημιουργία των διαγραμμάτων και την τοποθέτηση οπλισμού) η μεταβολή του απαιτούμενου οπλισμού για κάθε περίπτωση πυκνότητας θα οφείλεται στον μοχλοβραχίονα των δυνάμεων.



Σχήμα 3.4: Περίπτωση προέχουσας κάμψης

Εξισώσεις ισοδυναμίας

Με χρήση των εξισώσεων ισοδυναμίας [1]

$$N_d = F_c + F_{s1} + (F_{s2}) = f_{cd} * (a * x) * b - A_{s1} * f_{yd} + A_{s2} * f_{yd}$$

$$M_{sd} = F_c * z + (F_{s2} * (d - d_1)) = f_{cd} * (a * x) * b * (d - \zeta * x) + (A_{s2} * f_{yd} * (d - d_1))$$

Διαιρώντας την αξονική και την ροπή με $b * d * f_{cd}$ και $b * d^2 * f_{cd}$ αντίστοιχα για να γίνουν αδιάστατα έχουμε,

$$\nu_d = \frac{N_d}{b * d * f_{cd}} = \frac{f_{cd} * (a * x) * b - A_{s1} * f_{yd} + (A_{s2} * f_{yd})}{b * d * f_{cd}} =$$

$$a * \frac{x}{d} - \omega_1 + (\omega_2) = +a * \xi - \omega_1 + (\omega_2)$$

$$\mu_{sd} = \frac{M_d}{b * d^2 * f_{cd}} = \frac{f_{cd} * (a * x) * b * (d - \zeta * x) + (A_{s2} * f_{yd} * (d - d_1))}{b * d^2 * f_{cd}} =$$

$$a * \frac{x}{d} * (1 - \zeta * \frac{x}{d}) + (\omega_2 * (1 - d_1/d)) = a * \xi * (1 - \zeta * \xi) + (\omega_2 * (1 - d_1/d))$$

όπου, $\xi = x/d$ το ανηγμένο ύψος της θλιβόμενης ζώνης

$$\omega_i = \frac{A_{si} * f_{yd}}{b * d * f_{yd}}$$

το μηχανικό ποσοστό οπλισμού

Η ανηγμένη ροπή γράφεται επίσης ως,

$$\mu_{sd} = a * (1 - z) / \zeta * z + \omega_2 * (1 - d_1/d)$$

όπου $z = 1 - \zeta * \xi$

Περίπτωση απλού οπλισμού

$$\mu_{sd} = a * (1 - z)/\zeta * z = 0 \rightarrow a/\zeta * z^2 - a/\zeta * z + \mu_{sd} = 0 \rightarrow z^2 - z + \mu_{sd} * \zeta/a = 0 \rightarrow$$

$$z = \frac{1 \pm \sqrt{1^2 - 4 * \mu_{sd} * \zeta/a}}{2 * 1} = 0.5 \pm \frac{\sqrt{1 - 4 * \mu_{sd} * \zeta/a}}{2}$$

Εξισώνοντας την ανηγμένη ροπή με το μηδέν προκύπτει δευτεροβάθμια εξίσωση. Λύνοντας προκύπτουν δύο λύσεις. Η μία λύση αντιπροσωπεύει τον μοχλοβραχίονα για θλιβόμενη ζώνη τέτοια ώστε η δύναμη του σκυροδέματος να είναι κάτω από τον οπλισμό. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι στην εξίσωση δεν υπάρχει όριο στην τιμή του $\xi < 1$. Η άλλη λύση που μας ενδιαφέρει είναι μοχλοβραχίονας για θλιβόμενη ζώνη τέτοια ώστε η δύναμη του σκυροδέματος είναι πάνω από τον οπλισμό. Σε αυτήν την περίπτωση έχουμε x μικρότερη $\rightarrow \xi$ μικρότερη $\rightarrow z$ μεγαλύτερη. Συνεπώς επιλέγουμε την μέγιστη τιμή από τις λύσεις των δύο εξισώσεων. Συνεπώς για δεδομένο μ_{sd} ,

$$\nu_d = -a * \xi + \omega_1 \rightarrow \frac{A_{s1} * f_{yd}}{b * d * f_{cd}} = a * \xi + \nu_d \rightarrow A_{s1} = (a * \xi) * b * d * \frac{f_{cd}}{f_{yd}} + \frac{N_d}{f_{yd}}$$

Για καθαρή κάμψη ($N=0$) έχουμε,

$$\omega_1 = a * \xi$$

Συνεπώς η προηγούμενη εξίσωση μπορεί να γραφτεί,

$$A_{s1} = \omega_1 * b * d * \frac{f_{cd}}{f_{yd}} + \frac{N_d}{f_{yd}}$$

οπού ω_1 είναι το απαιτούμενο μηχανικό ποσοστό οπλισμού για καθαρή κάμψη

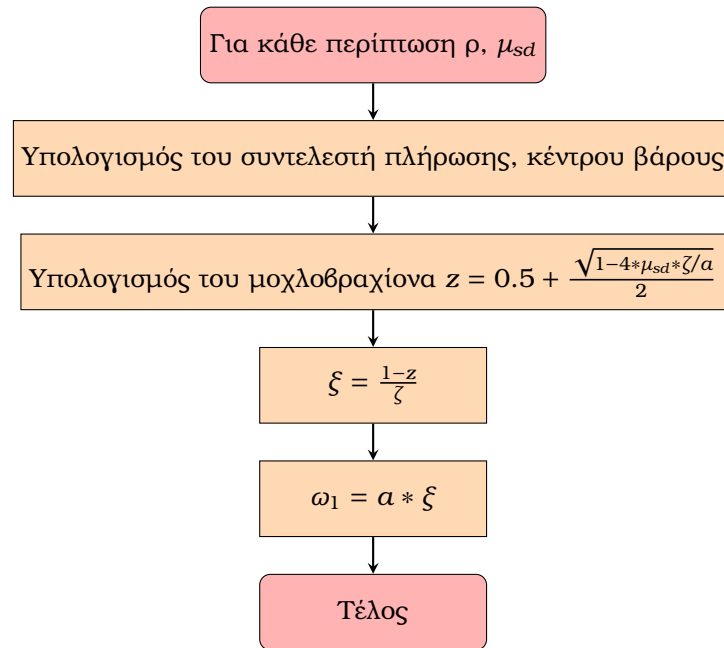
Για να ισχύει βέβαια η υπόθεση ότι ο εφελκυσμένος οπλισμός διαρρέει πρέπει,

$$\epsilon_{s1} \geq \epsilon_{sy} \rightarrow \xi \geq \xi_{lim} = \frac{\epsilon_{cu}}{\epsilon_{s1} + \epsilon_{cu}} \rightarrow \mu_{sd} < a * \xi_{lim} * (1 - \zeta * \xi_{lim})$$

Περίπτωση θλιβόμενου οπλισμού

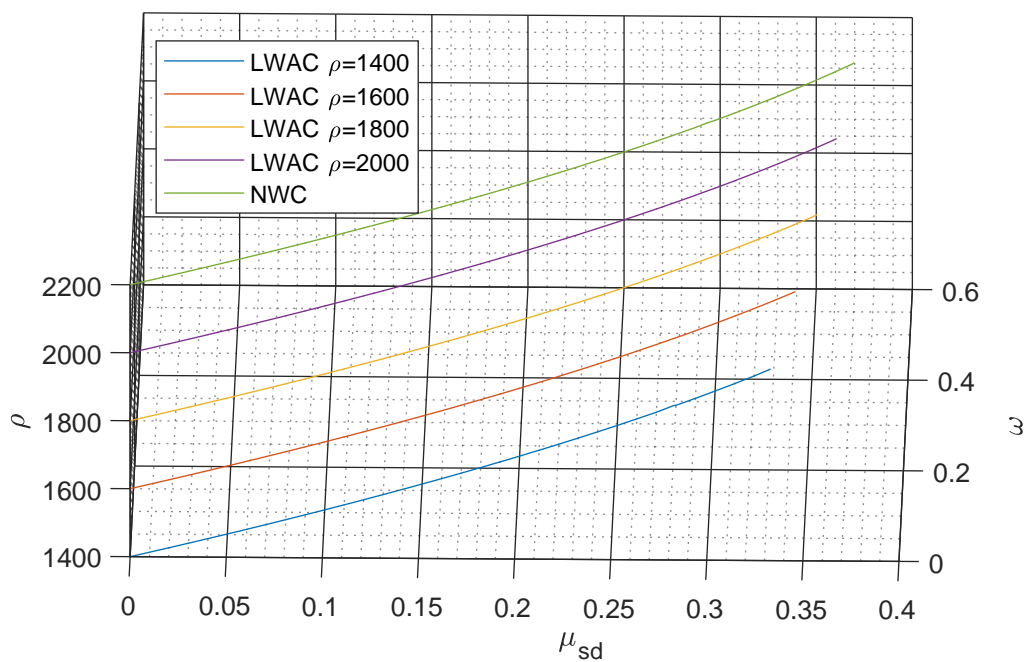
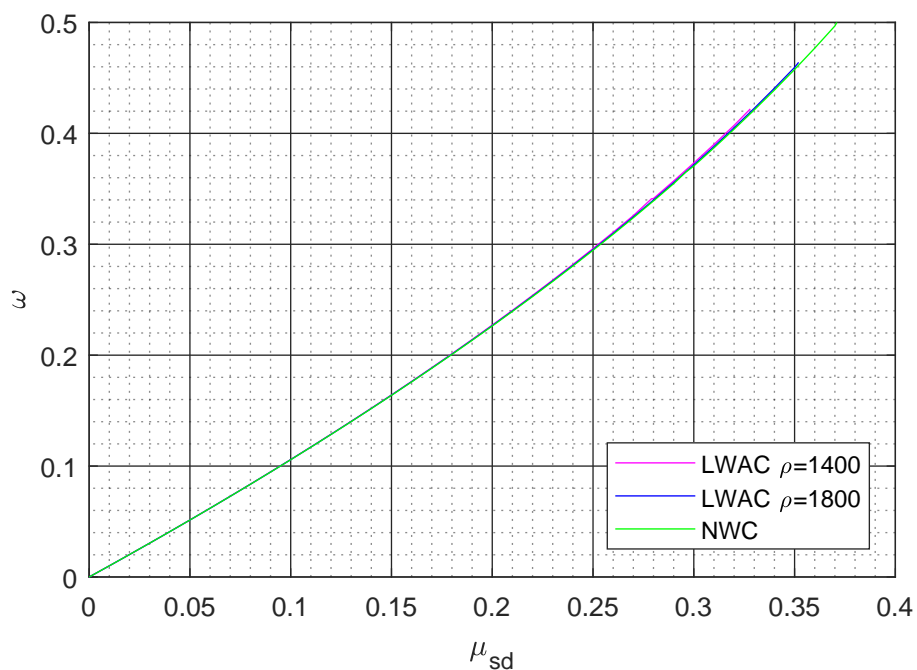
Τοποθετείται ισόποσα θλιβόμενος και εφελκυσμένος οπλισμός έτσι ώστε να περιοριστεί το ξ_{lim} που έχει περιοριστεί. Έτσι,

$$\omega_2 = \frac{\mu_{sd} - \mu_{lim}}{1 - d_2/d}$$



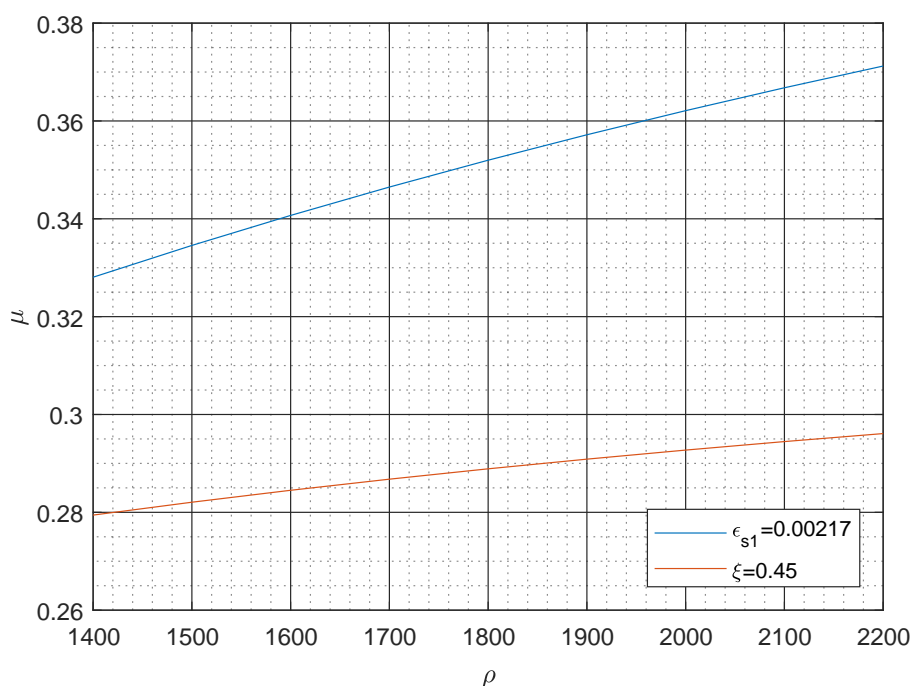
Σχήμα 3.5: Διάγραμμα ροής για οπλισμό προέχουσας κάμψης

Προκύπτων διάγραμμα



Σχήμα 3.6: Διαγράμματα απλού σπλισμού, χάλυβας χωρίς κράτυνση, παραβολικό διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων, $f_{yk} = 500\text{MPa}$, $\leq C50/60$

Φαίνεται να υπάρχει αμελητέα διαφορά στο απαιτούμενο μηχανικό ποσοστό οπλισμού για απλή κάμψη. Η επιρροή της παραμόρφωσης αστοχίας του σκυροδέματος στην μεταβολή του μοχλοβραχίονα είναι μικρή. Βέβαια πρέπει να σημειωθεί ότι με την μείωση της πυκνότητας μειώνεται η οριακή ροπή για την οποία ο οπλισμός έχει μόλις διαρρεύσει όπως φαίνεται στο σχήμα 3.6. Συνεπώς η πυκνότητα του σκυροδέματος δεν επηρεάζει το απαιτούμενο μηχανικό ποσοστό οπλισμού αλλά τις οριακές ροπές που μπορούν να αναπτυχθούν στην διατομή για μη απαίτηση θλιτόμενου οπλισμού και για πλαστική ανάλυση ($\xi < 0.45$). Οι διαφορές φαίνονται καλύτερα στο σχήμα 3.7.



Σχήμα 3.7: Μεταβολή της οριακής ροπής βάση πυκνότητας, $\epsilon_{su} = \infty$ για την περίπτωση $\xi = 0.45$, χωρίς κράτυνση, παραβολικό διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων, $f_{yk} = 500\text{MPa}$, ποιότητα σκυροδέματος $\leq C50/60$

Σύγκριση τιμών με βιβλιογραφίας

Για την σύγκριση θα χρησιμοποιηθούν οι πίνακες του εργαστηρίου οπλισμένου σκυροδέματος του ΕΜΠ.

0.18	0.897	0.248	0.201	10.620
0.19	0.890	0.264	0.213	9.780
0.2	0.884	0.280	0.226	9.020
0.21	0.877	0.296	0.239	8.330
0.22	0.870	0.312	0.253	7.710
0.23	0.863	0.329	0.266	7.130
0.24	0.856	0.346	0.280	6.600
0.25	0.849	0.364	0.295	6.120

(α') Προκύπτων πίνακας

0.18	0.900	0.250	0.200	10.50
0.19	0.894	0.266	0.213	9.67
0.20	0.887	0.282	0.225	8.92
0.21	0.881	0.298	0.238	8.24
0.22	0.874	0.3146	0.252	7.63
0.23	0.867	0.331	0.265	7.06
0.24	0.861	0.349	0.279	6.54
0.25	0.854	0.366	0.293	6.06

(β') Πίνακας του εργαστηρίου Ω.Σ. του ΕΜΠ

Σχήμα 3.8: Σύγκριση με βιβλιογραφία, πίνακες απλού σπλισμού

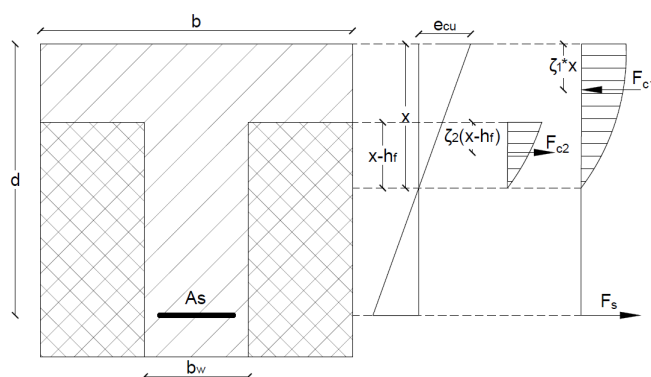
Οι διαφορές των δύο πινάκων είναι αμελητέες.

3.6.2 Σχεδιασμός πλακοδοκών υπό προέχουσα κάμψη

Στις περισσότερες περιπτώσεις οι δοκοί δεν λειτουργούν σαν ορθογωνικές διατομές και λειτουργούν σαν πλακοδοκούς. Για θετικές ροπές οι δοκοί συνεργάζονται με τις διπλανές πλάκες οδηγώντας σε αύξηση του πλάτους της θλιβόμενης περιοχής. Αυτή η αύξηση του πλάτους οδηγεί σε αύξηση του μοχλοβραχίονα και μείωση του απαιτούμενου σπλισμού.

Η κύρια διαφορά με την περίπτωση ορθογωνικών διατομών είναι η εξής. Για ροπές μεγαλύτερες μιας συγκεκριμένης τιμής η θλιβόμενη ζώνη εισέρχεται στον κορμό και ο ρυθμός μείωσης του μοχλοβραχίονα αυξάνεται. Όπως στις ορθογωνικές διατομές είναι αναμενόμενο ότι θα μεταβληθούν οι οριακές τιμές, πέραν αυτού διερευνάται αν στην περίπτωση αυτή, η μεταβολή του μοχλοβραχίονα θα οδηγήσει σε διαφορές στο απαιτούμενο μηχανικό ποσοστό σπλισμού.

Εξισώσεις ισοδυναμίας



Σχήμα 3.9: Δυνάμεις σε πλακοδοκό υπό προέχουσα κάμψη

Με αφαίρεση γραμμοσκιασμένου εμβαδόντος,

$$N_d = F_{c1} + (-F_{c3}) - F_{s1} = +f_{cd} * (a_1 * x) * b - (f_{cd} * (a_3 * (x - h_f)) * b) - A_{s1} * f_{yd}$$

$$M_{sd} = F_{c1} * z_1 + (-F_{c3} * z_2) = (a_1 * x) * b * f_{cd} * (d - z_1 * x) + (-f_{cd} * (a_3 * (x - h_f)) * b * (d - h_f - z_3 * (d - h_f)))$$

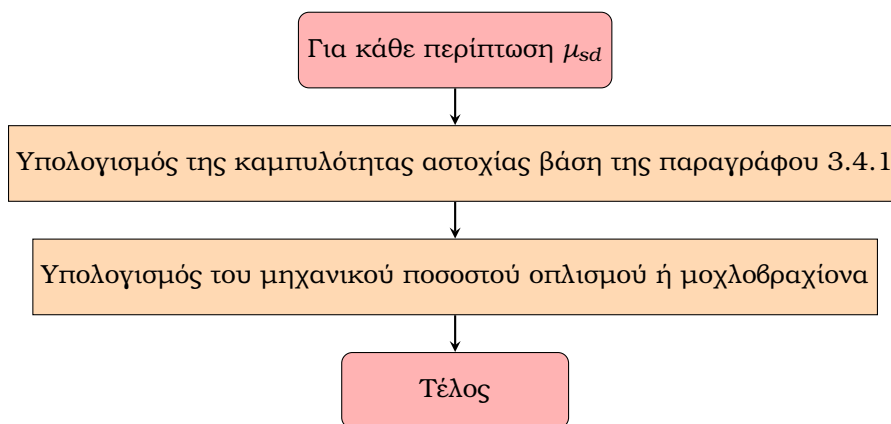
Διαιρώντας την αξονική και την ροπή με $b * d * f_{cd}$ και $b * d^2 * f_{cd}$ αντίστοιχα για να γίνουν αδιάστατα,

$$\nu_d = \frac{N_d}{b * d * f_{cd}} = -a_2 * \xi + \left(1 - \frac{b_w}{b_{eff}}\right) * a_3 * \left(\xi - \frac{h_f}{d}\right) + \omega_1$$

$$\mu_d = \frac{M_d}{b * d^2 * f_{cd}} = a_2 * \xi * (1 - \zeta * \xi) - \left(1 - \frac{b_w}{b_{eff}}\right) * a_3 * \left(\xi - \frac{h_f}{d}\right) * \left(1 - \frac{h_f}{d} - \zeta_3 * \left(\xi - \frac{h_f}{d}\right)\right)$$

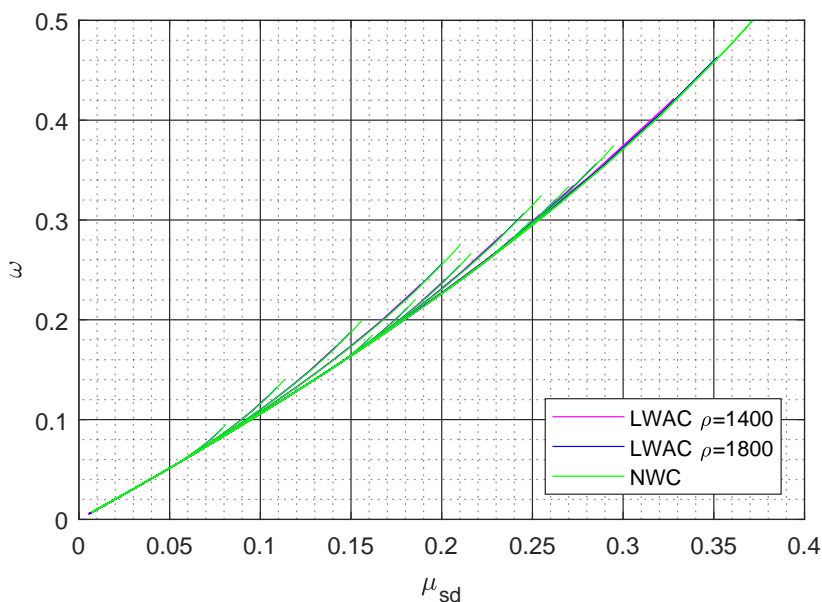
Για την περίπτωση προεντεταμένων δοκών ο υπολογισμός της αντοχής πραγματοποιείται μέσω του μοχλοβραχίονα, όπου ο μοχλοβραχίονας είναι,

$$z = \frac{m}{n_c}$$

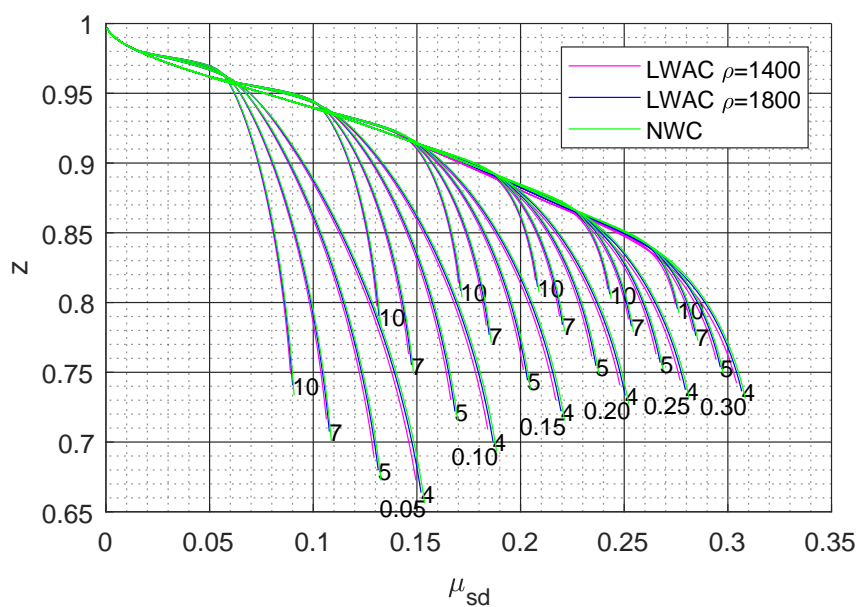


Σχήμα 3.10: Διάγραμμα ροής για διαγράμματα πλακοδοκών

Προκύπτοντα διαγράμματα



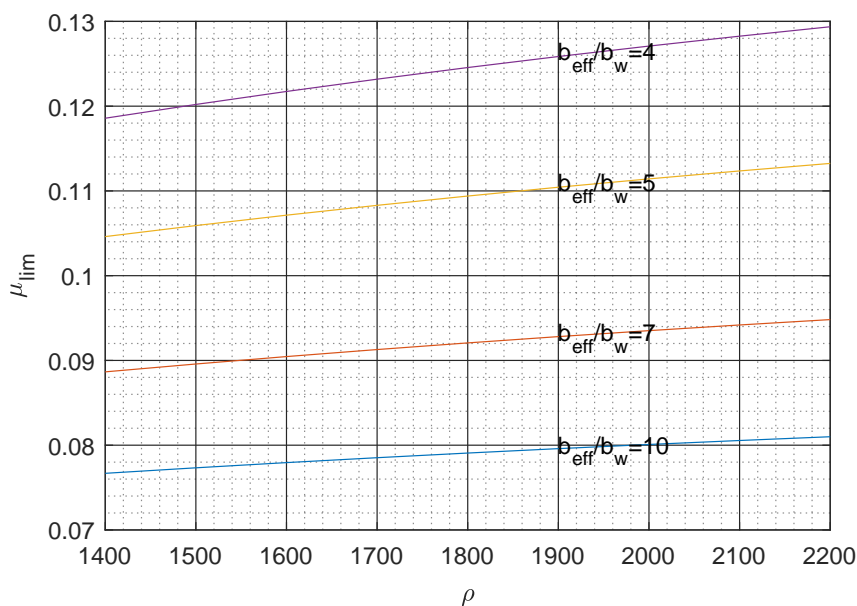
(α) Διάγραμμα μ - z , $\epsilon_{su} = \infty$



(β) Διάγραμμα μ - z , $\epsilon_{su} = 10\text{‰}$

Σχήμα 3.11: Διάγραμμα οπλισμού πλακοδοκών, παραβολικό διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων, ποιότητα σκυροδέματος $\leq C50/60$

Αντίστοιχα με τις απλά οπλισμένες ορθογωνικές δοκούς οι οριακές τιμές είναι,



Σχήμα 3.12: Μεταβολή της οριακής ροπής βάση πυκνότητας, $h_f/d = 0.05$, $\epsilon_{s1} = 0.00217$ χωρίς κράτυνση, παραβολικό διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων, $f_{yk} = 500\text{MPa}$, ποιότητα σκυροδέματος $\leq C50/60$

Όπως φάνηκε και στα διαγράμματα οπλισμού για απλό οπλισμό οι διαφορές είναι αμελητέες και φαίνονται ελάχιστα κοντά στις οριακές ροπές. Διαφορές προκύπτουν στην οριακή ροπή για διαρροή του οπλισμού, όπως και στα διαγράμματα ορθογωνικής διατομής.

Σύγκριση με τιμές βιβλιογραφίας

Τα αποτελέσματα συγκρίθηκαν με τα αντίστοιχα του τυπολογίου του ΕΜΠ και οι διαφορές είναι αμελητέες.

0.06	0.0627	0.0623	0.0621	0.0620	0.0620
0.07	0.0761	0.0740	0.0733	0.0730	0.0727
0.08	0.0929	0.0866	0.0849	0.0842	0.0836
0.09		0.1004	0.0971	0.0958	0.0946
0.1		0.1157	0.1099	0.1076	0.1057
0.11		0.1334	0.1233	0.1199	0.1170
0.12			0.1376	0.1325	0.1285
0.13			0.1528	0.1456	0.1401
0.14			0.1694	0.1591	0.1518

0,06	0,063	0,062	0,062	0,062	0,062
0,08	0,092	0,086	0,085	0,084	0,083
0,10		0,115	0,110	0,107	0,106
0,12			0,137	0,132	0,128
0,14			0,168	0,158	0,151

(α) Προκύπτουν πίνακας

(β) Πίνακας του εργαστηρίου Ω.Σ. του ΕΜΠ

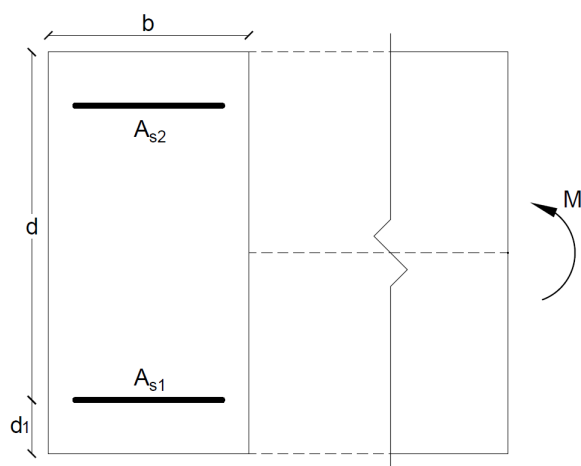
Σχήμα 3.13: Σύγκριση με βιβλιογραφία, πίνακες πλακοδοκών, $h_f/d = 0.05$

3.6.3 Αντοχή δοκών για την περίπτωση θλιβόμενου οπλισμού

Σε όλες τις δοκούς υπάρχει και θλιβόμενος οπλισμός. Θα διερευνηθεί πια η επιρροή της πυκνότητας του σκυροδέματος για περιπτώσεις που υπάρχει και θλιβόμενος οπλισμός στην διατομή. Συγκεκριμένα, παράμετροι θα είναι ο λόγος εμβαδών του χάλυβα $\frac{As_2}{As_1}$ και το

μηχανικό ποσοστό οπλισμού ω .

Εξιώσεις ισοδυναμίας

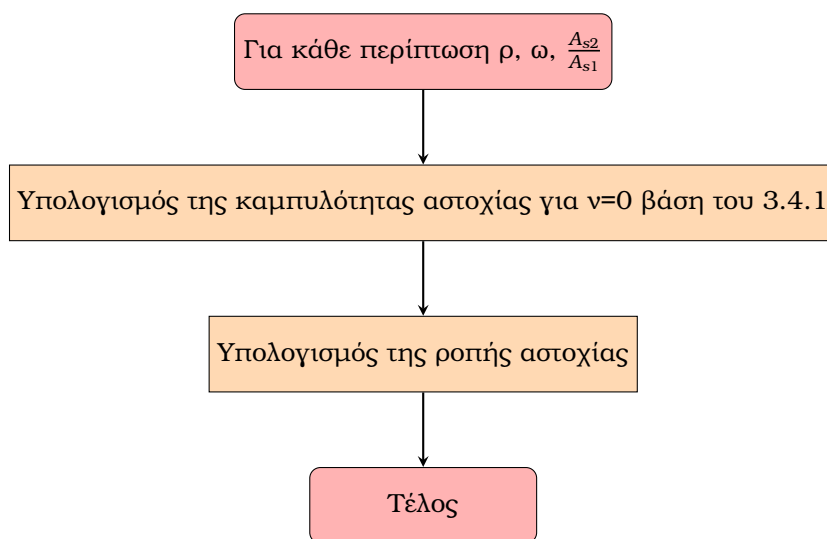


Σχήμα 3.14: Περίπτωση δοκού

Για $\frac{d1}{h} = \frac{d2}{h} = \frac{d'}{h}$ και $\frac{\omega_2}{\omega_1}$

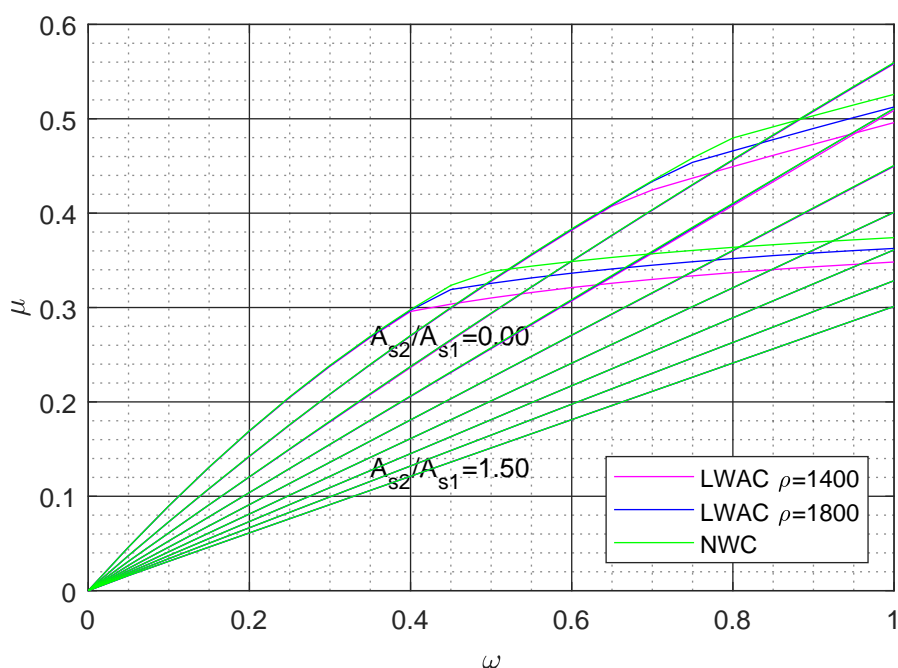
$$\nu_d = \alpha * \xi + \omega_1 * \left(\frac{\sigma_{s1}}{f_{yd}} + \frac{\omega_2}{\omega_1} * \frac{\sigma_{s2}}{f_{yd}} \right)$$

$$\mu_d = \alpha * \xi * \left(0.5 - \zeta * \xi \right) - \omega_1 * \left(\frac{\sigma_{s1}}{f_{yd}} - \frac{\omega_2}{\omega_1} * \frac{\sigma_{s2}}{f_{yd}} \right) * \left(0.5 - \frac{d_1}{h} \right)$$



Σχήμα 3.15: Διάγραμμα ροής για διαγράμματα αντοχής δοκού

Προκύπτων διάγραμμα



Σχήμα 3.16: Διάγραμμα αντοχής δοκού για $\frac{d_1}{h} = 0.05$, $\epsilon_{su} = 67.5\text{‰}$, παραβολικό διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων, ποιότητα σκυροδέματος $\leq C50/60$

Δεν παρατηρούνται διαφορές παρά μόνο στην ανάπτυξη της οριακής ροπής. Το ίδιο συμπέρασμα που εξάχθηκε και στις περιπτώσεις απλού σπλισμού. Βέβαια οι αμελητέες διαφορές στην αντοχή είναι σημαντικό συμπέρασμα καθώς επιβεβαιώνει ότι σε οριζόντια στοιχεία η αντοχή δεν μεταβάλλεται λόγω της πυκνότητας.

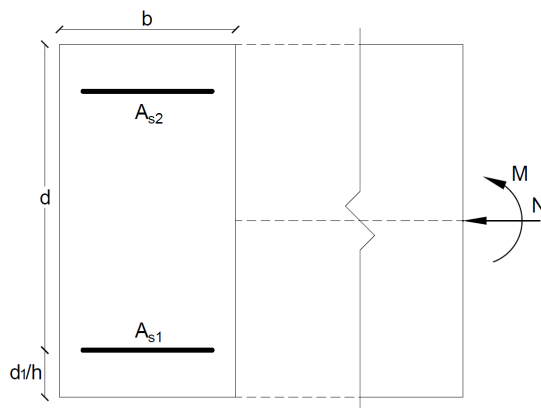
Η επαλήθευση των διαγραμμάτων έγινε συγκρίνοντας τα διαγράμματα με $\frac{\omega_2}{\omega_1} = 0$ με αυτά του απλού σπλισμού ορθογωνικής διατομής.

3.7 Υποστυλώματα

3.7.1 Διαγράμματα αλληλεπίδρασης σε μοναξονική κάμψη

Χρησιμοποιούνται για την όπλιση ορθογωνικών διατομών υπό μονοαξονική κάμψη και αξονική δύναμη. Λαμβάνοντας υπόψιν ότι στα υποστυλώματα υπάρχει διαξονική κάμψη για σεισμό και για στατικά φορτία είναι πιο σωστή η χρήση των διαγραμμάτων διαξονικής κάμψης που θα παρουσιαστούν στην συνέχεια.

Εξισώσεις ισοδυναμίας



Σχήμα 3.17: Δυνάμεις σε ορθογωνική διατομή διπλού οπλισμού

Για τις οριακές καταστάσεις αστοχίας,

$$N_{sd} = (\alpha * x) * b * h * f_{cd} - A_{s1} * \sigma_{s1} + A_{s2} * \sigma_{c2}$$

$$M_{sd} = (\alpha * x) * b * h * f_{cd} * (h/2 - \zeta * x) - A_{s1} * \sigma_{s1} * (h/2 - d_1) + A_{s2} * \sigma_{c2} * (h/2 - d_2)$$

Διαιρώντας την αξονική και την ροπή με $b * d * f_{cd}$ και $b * d^2 * f_{cd}$ αντίστοιχα για να γίνουν αδιάστατα,

$$\nu_d = \alpha * \xi + \omega_1 * \frac{\sigma_{s1}}{f_{yd}} + \omega_2 * \frac{\sigma_{s2}}{f_{yd}}$$

$$\mu_d = \alpha * \xi * (0.5 - \zeta * \xi) - \omega_1 * \frac{\sigma_{s1}}{f_{yd}} * (0.5 - \frac{d_1}{h}) + \omega_2 * \frac{\sigma_{s2}}{f_{yd}} * (0.5 - \frac{d_2}{h})$$

Για την περίπτωση $\omega_1 = \omega_2 = 0.5 * \omega$ και $\frac{d_1}{h} = \frac{d_2}{h} = \frac{d'}{h}$

$$\nu_d = \alpha * \xi + 0.5 * \omega * (\frac{\sigma_{s1}}{f_{yd}} + \frac{\sigma_{s2}}{f_{yd}})$$

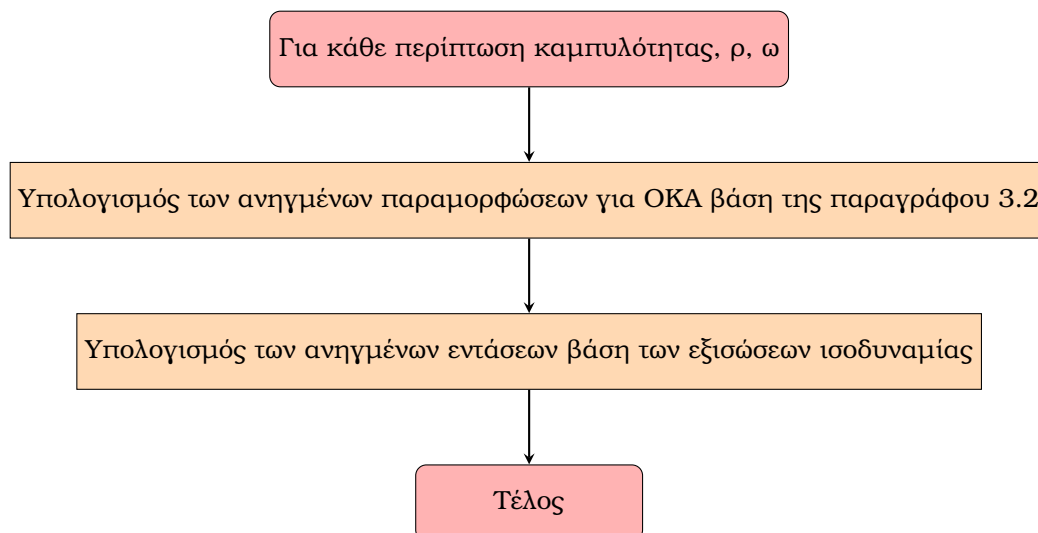
$$\mu_d = \alpha * \xi * (0.5 - \zeta * \xi) + 0.5 * \omega * (0.5 - \frac{d'}{h}) * (-\frac{\sigma_{s1}}{f_{yd}} + \frac{\sigma_{s2}}{f_{yd}})$$

Στην περίπτωση που υπάρχουν πολλαπλοί οπλισμοί οι παραπάνω σχέσεις μεταβάλλονται και γίνονται,

$$\nu_d = \alpha * \xi + \frac{\omega}{n_s} * \sum_{i=1}^{n_s} \frac{\sigma_{si}}{f_{yd}}$$

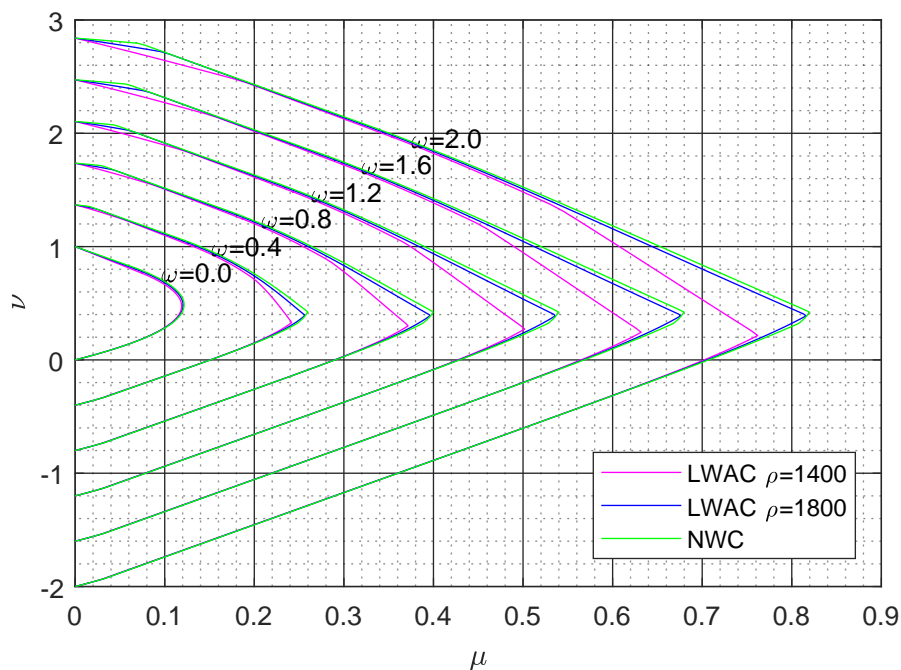
$$\mu_d = \alpha * \xi * (0.5 - \zeta * \xi) + \frac{\omega}{n_s} * \sum_{i=1}^{n_s} \frac{\sigma_{si}}{f_{yd}} * \frac{x_{si}}{h}$$

όπου x_{si} η απόσταση του οπλισμού από την πλέον θλιβόμενη ίνα του σκυροδέματος.

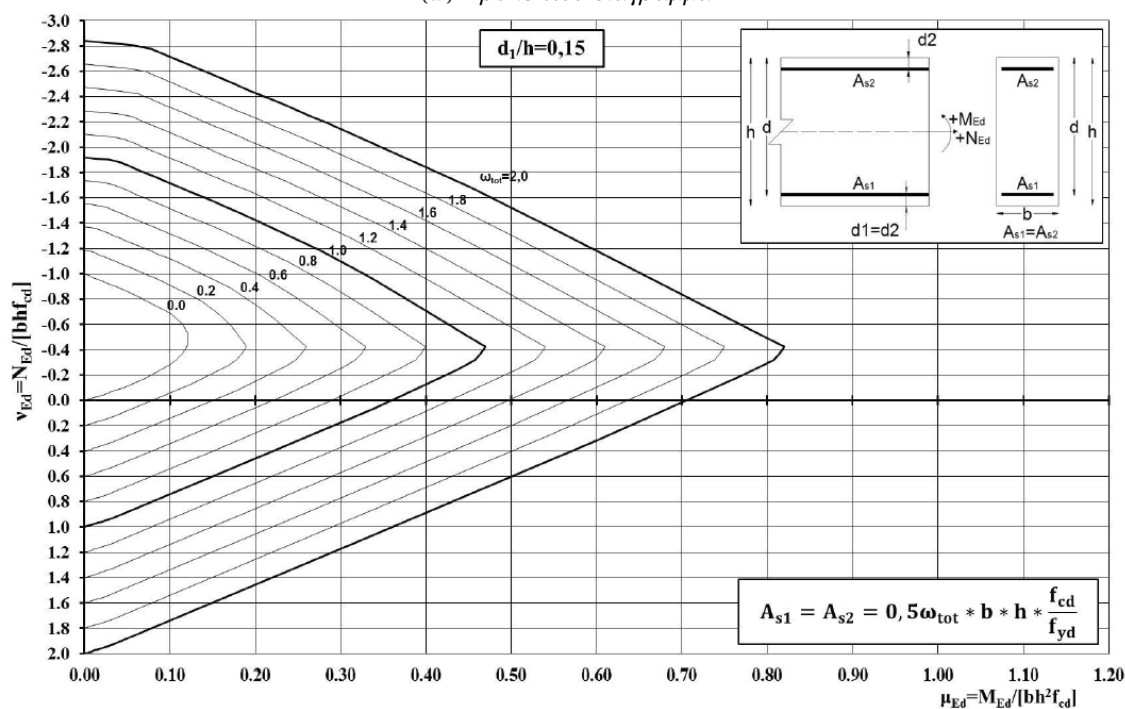


Σχήμα 3.18: Διάγραμμα ροής για διαγράμματα αλληλεπίδρασης

Προκύπτοντα διαγράμματα



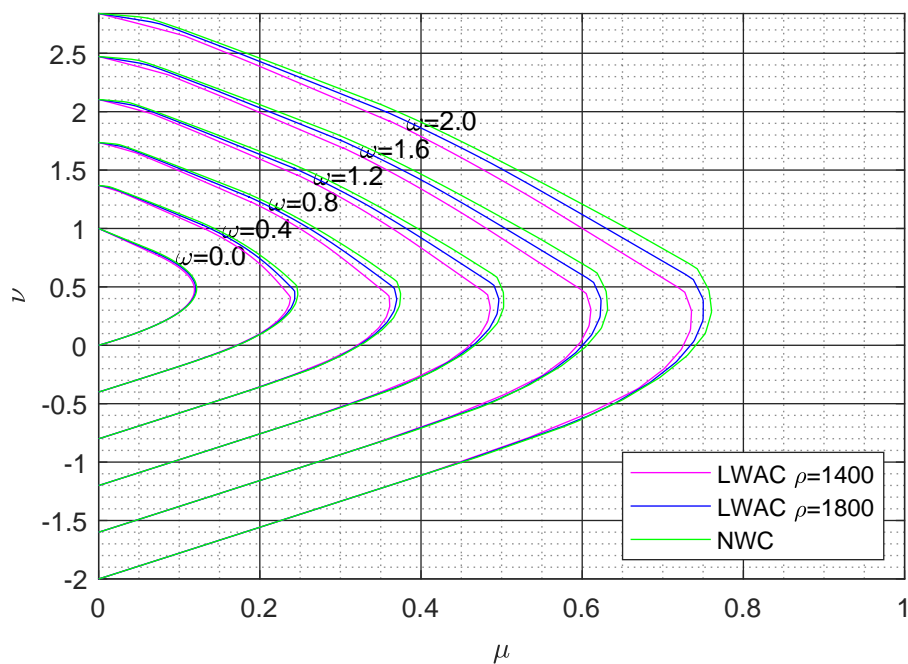
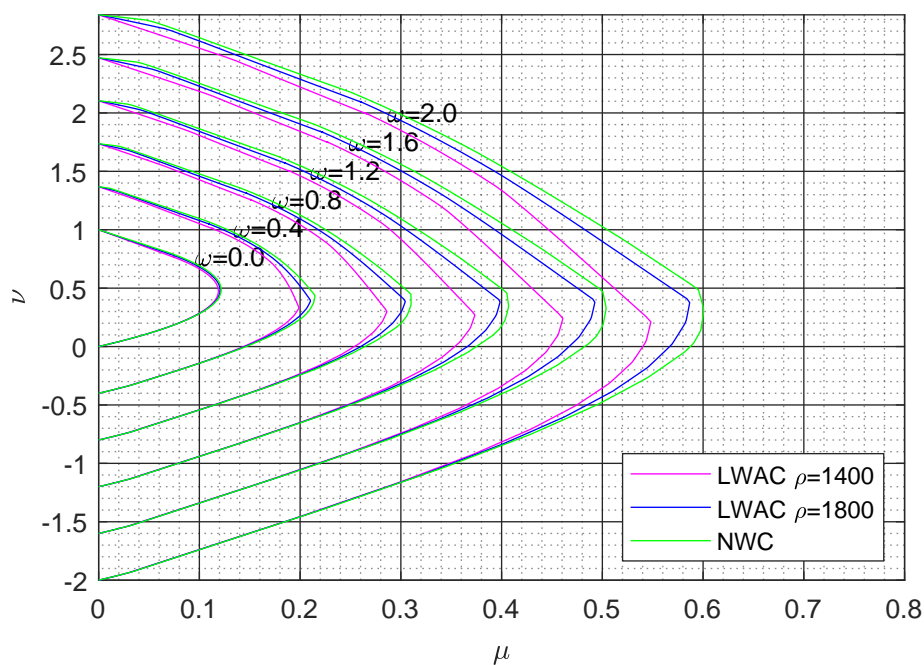
(α') Προκύπτον διάγραμμα



Σχήμα 2.3 Διαγράμματα Αλληλεπίδρασης κατά EC2, $A_{s1}=A_{s2}=0,5A_{lim}$, $d_1/h=0,15$ (για κατηγορίες σκυροδέματος $\leq C50/60$)

(β') Διάγραμμα αλληλεπίδρασης από εργαστήριο Ω.Σ. του ΕΜΠ

Σχήμα 3.19: Διαγράμματα αλληλεπίδρασης, $\frac{d_1}{h} = 0.15$, $\epsilon_{su} = 67.5\%$, $A_{s1} = A_{s2}$, παραβολικό διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων, $f_{yk} = 500MPa$, ποιότητα σκυροδέματος $\leq C50/60$

(α) $d_1/h = 0.05$ (β) $d_1/h = 0.15$

Σχήμα 3.20: Διαγράμματα αλληλεπίδρασης, ομοιόμορφη κατανομή σπλισμού, $\epsilon_{su} = 67.5\%$, παραβολικό διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων, $\leq C50/60$

Όσο αυξάνεται ο λόγος d_1/h τόσο μεγαλύτερες είναι οι διαφορές λόγω της πυκνότητας. Πρακτικές διαφορές στον σχεδιασμό παρουσιάζονται για $d_1/h \geq 0.15$. Το γεγονός ότι υπάρχει και θλιβόμενος οπλισμός σημαίνει ότι για μεταβολή της ανηγμένης παραμόρφωσης αστοχίας μεταβάλλονται και οι δυνάμεις που οπλισμού.

Για να φανεί η πρακτική σημασία αυτών των διαγραμμάτων.

$N(KN)$	ΕΣΣΕΑ $\rho = 1400kg/m^3$	ΕΣΣΕΑ $\rho = 1800kg/m^3$	ΣΚΒ
277	107	107	107
554	114	124	126
830	102	106	112

Πίνακας 3.1: $M(KN)$ για την περίπτωση υποσυλώματος με διαστάσεις $35cm * 35cm$, 4 γωνιακά σίδερα, $\rho_s = 1\%$, ποιότητα σκυροδέματος C20/25, $\alpha_{cc} = 0.85$ και επικάλυψη $d_b = d_h = 5cm$.

$N(KN)$	ΕΣΣΕΑ $\rho = 1400kg/m^3$	ΕΣΣΕΑ $\rho = 1800kg/m^3$	ΣΚΒ
277	87	92	96.9
554	92	102	107
830	87	92	96.9

Πίνακας 3.2: $M(KN)$ για την περίπτωση υποσυλώματος με διαστάσεις $35cm * 35cm$, ομοιόμορφη κατανομή οπλισμού, $\rho_s = 1\%$, ποιότητα σκυροδέματος C20/25, $\alpha_{cc} = 0.85$ και επικάλυψη $d_b = d_h = 5cm$.

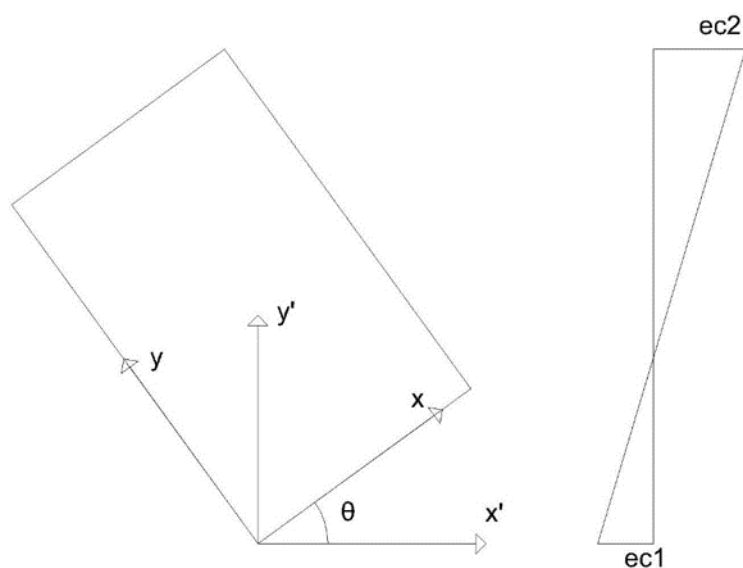
Οι διαφορές σε μια δυσμενής περίπτωση ποιότητας-επικάλυψης είναι κατά μέγιστο της τάξης του 10% για την περίπτωση των 4 γωνιακών και τις τάξης του 15% στην περίπτωση του ομοιόμορφου οπλισμού. Στην περίπτωση του ομοιόμορφου οπλισμού υπάρχουν διαφορές στο μεγαλύτερο εύρος των τιμών. Συνεπώς φαίνεται ότι η μείωση της ανηγμένης παραμόρφωσης αστοχίας οδηγεί σε μειώσεις στις μέγιστες ροπές αστοχίας και η ύπαρξη ενδιάμεσου οπλισμού οδηγεί σε μεγαλύτερες ποσοστιαίες μεταβολές σε μεγαλύτερο εύρος τιμών.

3.7.2 Διαγράμματα αλληλεπίδρασης σε διαξονική κάμψη

Με την αύξηση του ενδιάμεσου οπλισμού μεταβάλλεται η επιρροή της πυκνότητας στις αναπτυσσόμενες ροπές αστοχίας για ταυτόχρονη αξονική και κάμψη. Αυτή η επιρροή αυξάνεται ενδεχομένως στην περίπτωση της διαξονικής κάμψης που για διάφορες γωνίες στροφής μεταβάλλεται το ποσοστό του ενδιάμεσου οπλισμού.

Εξισώσεις ισοδυναμίας

Ακολουθώντας τις οριακές καταστάσεις αστοχίας για τυχαία στροφή θ προκύπτει το εξής σχήμα,



Σχήμα 3.21: Παραμορφώσεις για διαξονική κάμψη

Συνεπώς για τυχαίο θ και ,

$$L = \frac{b}{\cos(\theta)} = \frac{h}{\sin(\theta)}$$

Κατά ύψος θα ισχύει,

$$\epsilon = f(\phi, y')$$

Που ανάλογα με την περιοχή ΟΚΑ θα είναι,

$$\epsilon = \epsilon_{cu} + \phi * (L - y')$$

$$\epsilon = \epsilon_{su} - \phi * y'$$

$$\epsilon = \epsilon_{cy} + \phi * \left(\frac{\epsilon_{cy}}{\epsilon_{cu}} * L - y' \right)$$

Δεδομένου ότι $y' = x * \cos(\theta) + y * \sin(\theta)$, για κάθε σημείο,

$$\epsilon_i = f(\phi, x_i * \cos(\theta) + y_i * \sin(\theta))$$

$$\sigma_{c,i} = f(\epsilon_i)$$

Χωρίζοντας την διατομή σε κάρναθο $n_b \times n_h$

Για το σκυρόδεμα,

$$A_{c,i} = \frac{b}{n_b} * \frac{h}{n_h}$$

$$dF_{c,i} = \sigma_{c,i} * A_{c,i}$$

$$F_c = \sum_{i=1}^{n_b \times n_h} dF_{c,i}$$

$$MF_{c,x} = \sum_{i=1}^{n_b \times n_h} y_i * dF_{c,i}$$

$$MF_{c,y} = \sum_{i=1}^{n_b \times n_h} x_i * dF_{c,i}$$

Για τον χάλυβα

$$\frac{\sigma_{s,i}}{f_{yd}} = f(\epsilon_{dA})$$

$$dF_s = \sigma_s * A_s$$

$$F_s = \sum_{i=1}^{n_s} dF_{s,i}$$

$$MF_{s,x} = \sum_{i=1}^{n_s} y * dF_{s,i}$$

$$MF_{s,y} = \sum_{i=1}^{n_s} x * dF_{s,i}$$

Αν εκφραστούν αδιάστατα οι εσωτερικές εντάσεις,

Για το σκυρόδεμα,

$$\nu_c = \frac{\sum_{i=1}^{n_b \times n_h} dF_{c,i}}{b * h * f_{cd}} = \frac{\sum_{i=1}^{n_b \times n_h} \frac{b}{n_b} * \frac{h}{n_h} * \sigma_{c,i}}{b * h * f_{cd}} = \sum_{i=1}^{n_b \times n_h} \frac{1}{n_b \times n_h} * \frac{\sigma_{c,i}}{f_{cd}}$$

$$\mu_{c,x} = \frac{\sum_{i=1}^{n_b \times n_h} y_i * dF_{c,i}}{b * h^2 * f_{cd}} = \frac{\sum_{i=1}^{n_b \times n_h} y_i * \frac{b}{n_b} * \frac{h}{n_h} * \sigma_{c,i}}{b * h^2 * f_{cd}} = \sum_{i=1}^{n_b \times n_h} \frac{y_i}{h} * \frac{1}{n_b \times n_h} * \frac{\sigma_{c,i}}{f_{cd}}$$

$$\mu_{c,y} = \frac{\sum_{i=1}^{n_b \times n_h} x_i * dF_{c,i}}{b^2 * h * f_{cd}} = \frac{\sum_{i=1}^{n_b \times n_h} x_i * \frac{b}{n_b} * \frac{h}{n_h} * \sigma_{c,i}}{b^2 * h * f_{cd}} = \sum_{i=1}^{n_b \times n_h} \frac{x_i}{b} * \frac{1}{n_b \times n_h} * \frac{\sigma_{c,i}}{f_{cd}}$$

Για τον χάλυβα,

$$\nu_s = \frac{\sum_{i=1}^{n_s} dF_{s,i}}{b * h * f_{cd}} = \frac{\sum_{i=1}^{n_s} A_s * \sigma_{s,i}}{b * h * f_{cd}} = \sum_{i=1}^{n_s} \omega_i * \frac{\sigma_{s,i}}{f_{yd}}$$

$$\mu_{s,x} = \frac{\sum_{i=1}^{n_s} y_i * dF_{s,i}}{b * h^2 * f_{cd}} = \sum_{i=1}^{n_s} \frac{y_i}{h} * \omega_i * \frac{\sigma_{s,i}}{f_{yd}}$$

$$\mu_{s,y} = \frac{\sum_{i=1}^{n_s} x_i * dF_{s,i}}{b^2 * h * f_{cd}} = \sum_{i=1}^{n_s} \frac{x_i}{h} * \omega_i * \frac{\sigma_{s,i}}{f_{yd}}$$

Αντίστοιχα για τις ανηγμένες παραμορφώσεις,

Περίπτωση 1,

$$\epsilon = \epsilon_{cu} + \phi * (L - x * \cos(\theta) + y * \sin(\theta)) = \epsilon_{cu} + \frac{\epsilon_{c1} - \epsilon_{c2}}{L} * (L - (x * \cos(\theta) + y * \sin(\theta))) =$$

$$\epsilon_{cu} + (\epsilon_{c1} - \epsilon_{c2}) * \left(1 - \left(\frac{x * \cos(\theta)}{L} + \frac{y * \sin(\theta)}{L}\right)\right) = \epsilon_{cu} + (\epsilon_{c1} - \epsilon_{c2}) * \left(1 - \left(\frac{x * \cos(\theta)}{b / \cos(\theta)} + \frac{y * \sin(\theta)}{h / \sin(\theta)}\right)\right) =$$

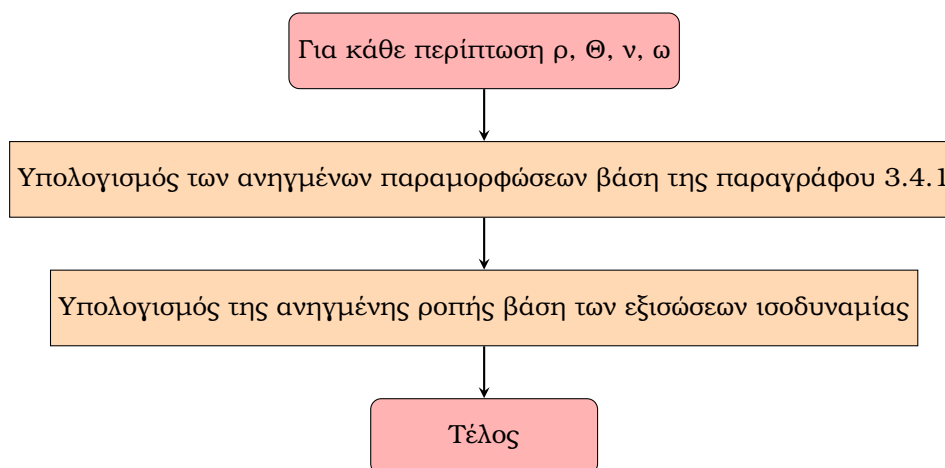
$$\epsilon_{cu} + (\epsilon_{c1} - \epsilon_{c2}) * \left(1 - \left(\frac{x}{b} * \cos(\theta)^2 + \frac{y}{h} * \sin(\theta)^2\right)\right)$$

Περίπτωση 2

$$\epsilon = \epsilon_{su} - (\epsilon_{c1} - \epsilon_{c2} * (\frac{x}{b} * \cos(\theta))^2 + \frac{y}{h} * \sin(\theta)^2))$$

Περίπτωση 3

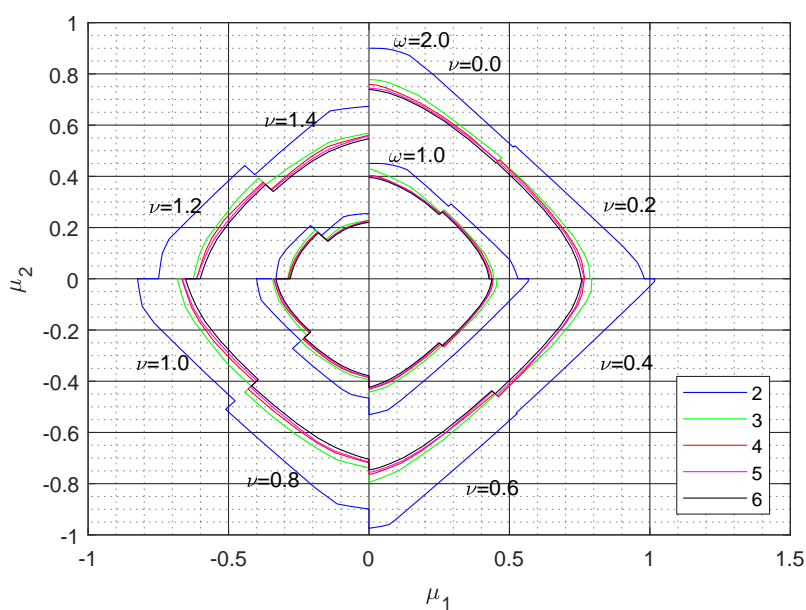
$$\epsilon = \epsilon_{cy} + (\epsilon_{c1} - \epsilon_{c2}) * (\frac{\epsilon_{cy}}{\epsilon_{cu}} - (\frac{x}{b} * \cos(\theta))^2 + \frac{y}{h} * \sin(\theta)^2))$$



Σχήμα 3.22: Διάγραμμα ροής για δημιουργία διαγραμμάτων διαξονικής κάμψης

Κατανομή οπλισμού

Αντίθετα από τα διαγράμματα με ροπή κατά την μία διεύθυνση έχει μια ιδιαίτερη σημασία και η κατανομή των οπλισμών στην διατομή. Συνεπώς θα διερευνηθεί η επιρροή της κατανομής των οπλισμών στα προκύπτοντα διαγράμματα σχεδιασμού. Στο επόμενο διάγραμμα λαμβάνονται διάφορες περιπτώσεις οπλισμού.

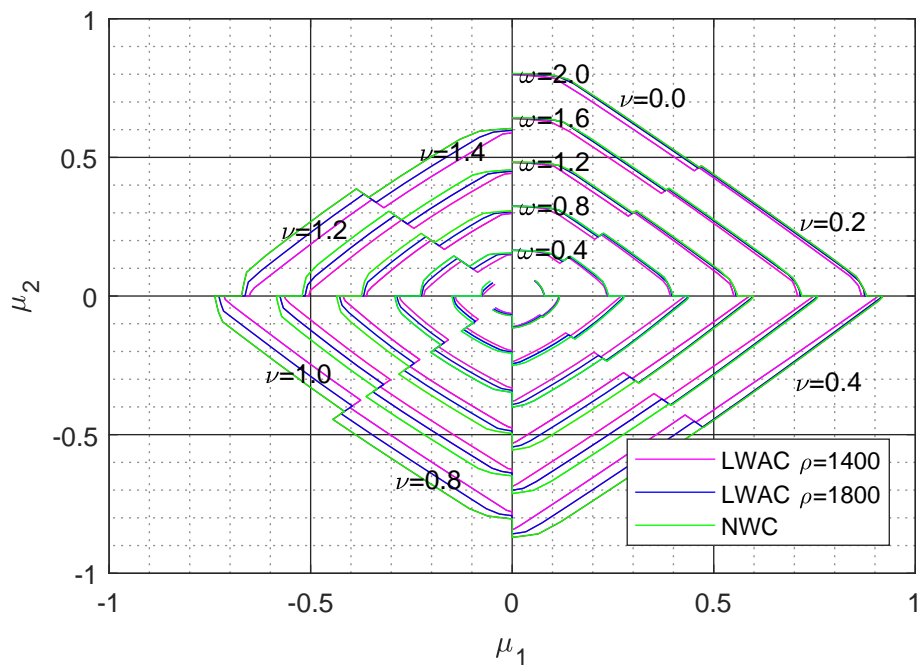


Σχήμα 3.23: Διάγραμμα διαξονικής κάμψης βάση οπλισμών ανά πλευρά, $d_b/b = d_h/h=0.05$, $\epsilon_{su} = 67.5\text{‰}$, παραβολικό διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων, $f_{uk} = 500\text{MPa}$, ποιότητα σκυροδέματος $\leq C50/60$

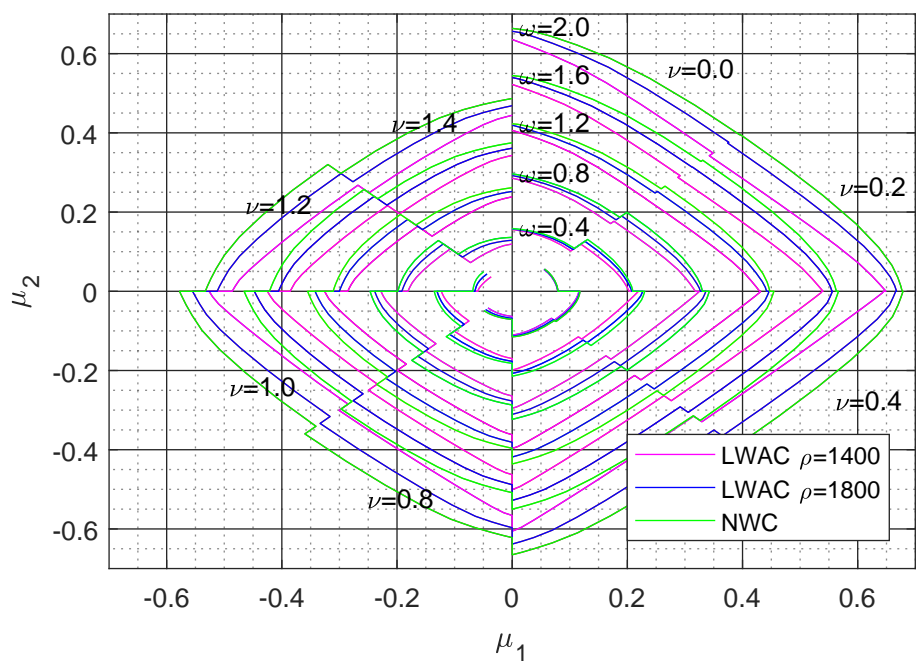
Συνεπώς υπάρχουν σημαντικές διαφορές για 4 σίδερα και για την ομοιόμορφη κατανομή οπλισμού. Χρειάζονται μόνο δύο διαγράμματα, ένα διάγραμμα για 4 γωνιακά σίδερα και ένα για ομοιόμορφη κατανομή οπλισμού.

Προκύπτοντα διαγράμματα

Αν ληφθεί μια περίπτωση υποστυλώματος $50\text{cm} * 50\text{cm}$ με επικάλυψη $d_b = d_h = 5\text{cm}$ πρόκειται για $\frac{d_b}{b} = \frac{d_h}{h} = 0.10$. Για ανηγμένη αξονική ανά 0.2



(α') 4 γωνιακά



(β') ομοιόμορφη κατανομή σπλισμού

Σχήμα 3.24: Διαγράμματα διαξονικής κάμψης για $\frac{d_b}{b} = \frac{d_h}{h} = 0.10$, $\epsilon_{su} = 67.5\%$, παραβολικό διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων, $f_{uk} = 500\text{MPa}$, ποιότητα σκυροδέματος $\leq C50/60$

Παρατηρούνται αισθητές διαφορές για τις τρεις περιπτώσεις πυκνότητας. Είναι άξιο να σημειωθεί ότι για την περίπτωση των 4 γωνιακών οπλισμών δεν παρατηρούνται σημαντικές διαφορές για προέχουσα κάμψη έως $\nu = 0.4$ ενώ για ομοιόμορφη κατανομή οπλισμού παρατηρούνται διαφορές για όλο το εύρος των ανηγμένων αξονικών. Βέβαια, η επιρροή της πυκνότητας στις ροπές αντοχής καθορίζεται όπως και στα διαγράμματα αλληλεπίδρασης από τον λόγο $\frac{d_b}{b} = \frac{d_h}{h}$. Η αύξηση του λόγου $\frac{d_b}{b} = \frac{d_h}{h}$ οδηγεί σε μεγαλύτερες διαφορές στην αντοχή λόγω της πυκνότητας. Παρατηρούνται διαφορές από την περίπτωση για $\frac{d_h}{h} = 0.05$ ειδικά για τον ομοιόμορφο οπλισμό.

Αν ληφθεί η αντίστοιχη περίπτωση με αυτή στα διαγράμματα μονοαξονικής κάμψης

N(KN)	ΕΣΕΑ $\rho = 1400\text{kg}/\text{m}^3$	ΕΣΕΑ $\rho = 1800\text{kg}/\text{m}^3$	ΣΚΒ
277	61	65	67
554	61	67	70
830	56	61	71

Πίνακας 3.3: $M_x - M_y(\text{KN})$ για την περίπτωση υποσύθλωματος με διαστάσεις $35\text{cm} * 35\text{cm}$, $\theta = 45^\circ$, 4 γωνιακά σίδερα, $\rho_s = 1\%$, ποιότητα σκυροδέματος C20/25, $a_{cc} = 0.85$ και επικάλυψη $d_b = d_h = 5\text{cm}$.

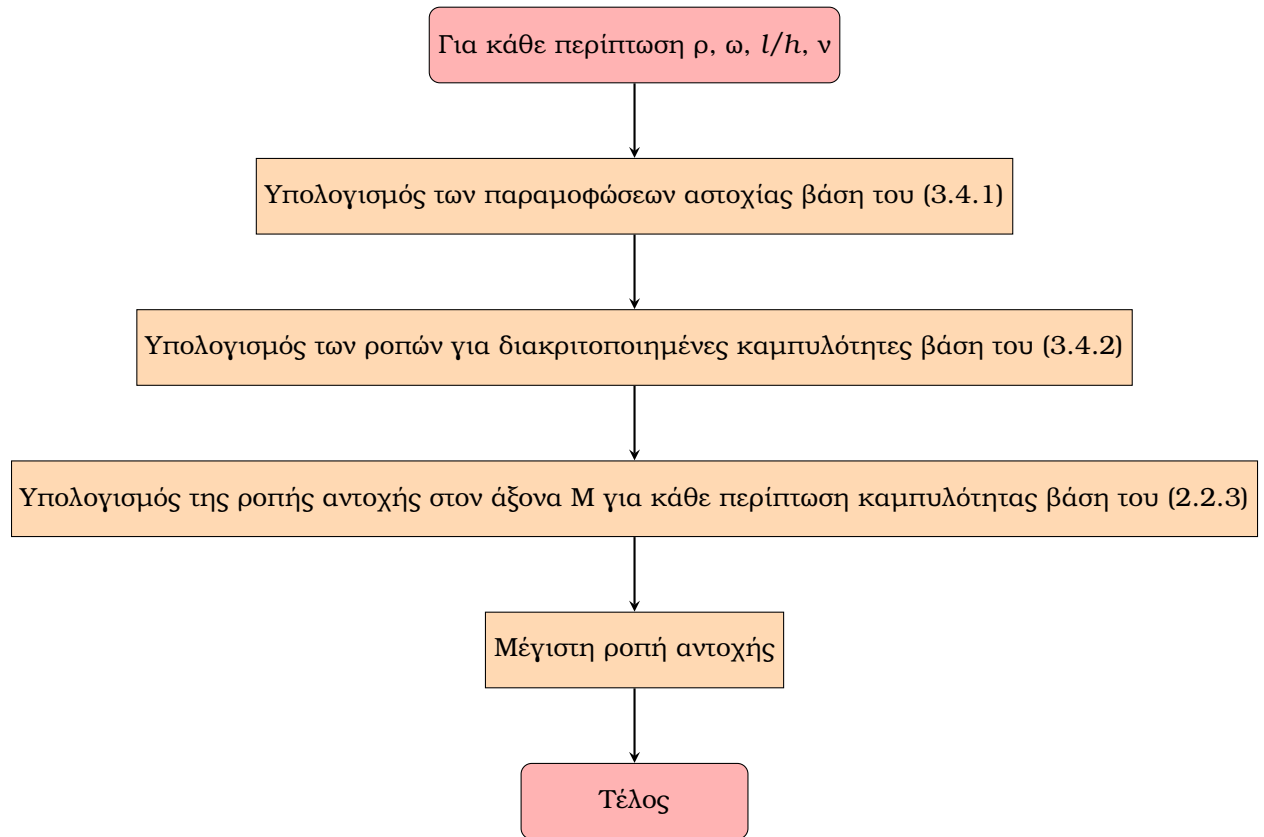
N(KN)	ΕΣΕΑ $\rho = 1400\text{kg}/\text{m}^3$	ΕΣΕΑ $\rho = 1800\text{kg}/\text{m}^3$	ΣΚΒ
277	51	56	58
554	54	58	61
830	51	56	58

Πίνακας 3.4: $M(\text{KN})$ για την περίπτωση υποσύθλωματος με διαστάσεις $35\text{cm} * 35\text{cm}$, $\theta = 45^\circ$, ομοιόμορφη κατανομή οπλισμού, $\rho_s = 1\%$, ποιότητα σκυροδέματος C20/25, $a_{cc} = 0.85$ και επικάλυψη $d_b = d_h = 5\text{cm}$.

Οι διαφορές σε μια δυσμενής περίπτωση ποιότητας-επικάλυψης είναι κατά μέγιστο της τάξης του 20% στην περίπτωση των 4 γωνιακών και της τάξης του 12% στην περίπτωση του ομοιόμορφου οπλισμού. Στην περίπτωση του ομοιόμορφου οπλισμού υπάρχουν διαφορές στο μεγαλύτερο εύρος των τιμών.

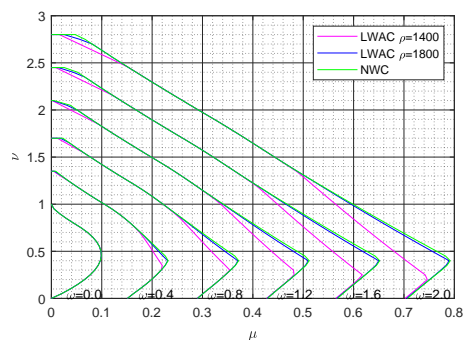
3.7.3 Διαγράμματα λυγισμού

Θα ληφθούν υπόψιν και τα φαινόμενα 2ας τάξης για να εξαχθούν συμπεράσματα για την μεταβολή της αντοχής λόγω της πυκνότητας. Για την σύγκριση των πυκνοτήτων θα χρησιμοποιηθεί η μέθοδος του πρότυπου υποστυλώματος-ονομαστικής καμπυλότητας όπως περιγράφεται στην παράγραφο 2.2.4.

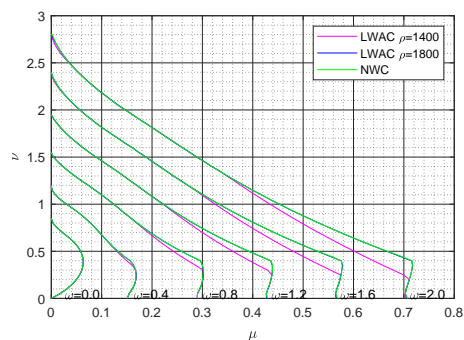


Σχήμα 3.25: Διάγραμμα ροής για διαγράμματα λυγισμού

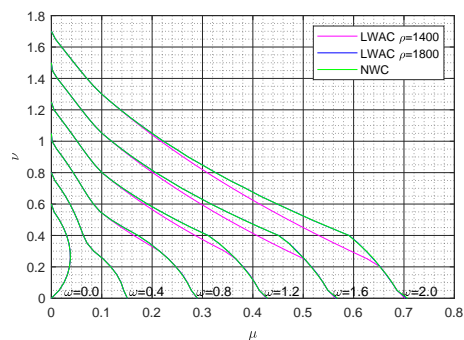
Προκύπτοντα διαγράμματα και σύγκριση με βιβλιογραφίας



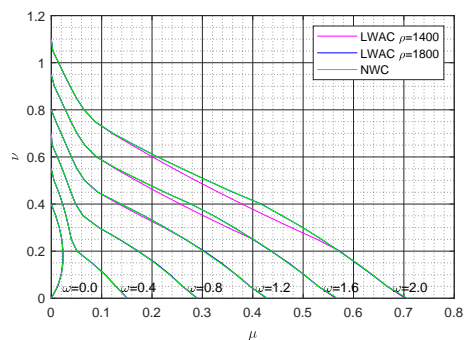
(α) $\frac{l}{h} = 10$



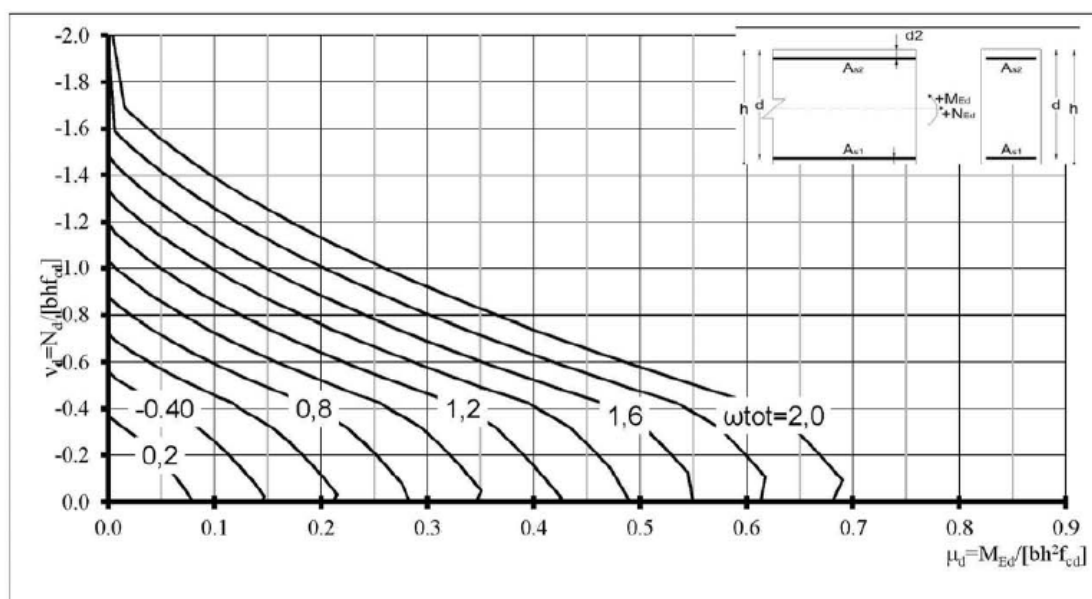
(β) $\frac{l}{h} = 20$



(γ) $\frac{l}{h} = 30$



(δ) $\frac{l}{h} = 40$



(ε) Διάγραμμα του εργαστηρίου Ω.Σ. του ΕΜΠ με $\frac{l}{h} = 30$

Σχήμα 3.26: Διαγράμματα λιγισμού, $\frac{d_1}{h} = 0.15$, $\epsilon_{su} = 67.5\%$, παραβολικό διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων, $f_{yk} = 500\text{MPa}$, ποιότητα σκυροδέματος $\leq C50/60$

Διαφορές παρουσιάζονται πρακτικά για $d_1/h \geq 0.15$ και αυτές οφείλονται σε αστοχία του υλικού. Για μικρότερες τάσεις το διάγραμμα 2 του EC2 δεν παρουσιάζει διαφορές στο ΣΚΒ και στο ΕΣ. Αυτό είναι εκτός πραγματικότητας επειδή το μετρό ελαστικότητας του ΕΣ είναι μικρότερο από αυτό του ΣΚΒ και θα έπρεπε να λαμβάνεται υπόψιν στο διάγραμμα 2, αφού αυτό το διάγραμμα χρησιμοποιείται για τον έλεγχο του λυγισμού.

Για την περίπτωση υποστυλώματος με διαστάσεις $35\text{cm} * 35\text{cm}$, 4 γωνιακά σίδερα, $\rho_s = 1\%$, ποιότητα σκυροδέματος C20/25, $a_{cc} = 0.85$ και επικάλυψη $d_b = d_h = 5\text{cm}$ ανεξάρτητα από την λυγηρότητα παρατηρείται ότι δεν υπάρχουν διαφορές μεταξύ των 3 πυκνοτήτων.

Κεφάλαιο 4

Πλαστιμότητα διατομών

Με τους πιο πρόσφατους κανονισμούς δίνεται η επιλογή στον μελετητή να σχεδιάσει φορείς με μικρότερο σεισμικό φορτίο όταν ικανοποιείται μια δεδομένη πλαστιμότητα στον φορέα. Με αυτόν τον τρόπο για μεγαλύτερους σεισμούς από αυτόν του σχεδιασμού δημιουργούνται ζημιές χωρίς να καταρρεύσει ο φορέας. Αυτή η πλαστιμότητα ικανοποιείται μέσω των κατασκευαστικών διατάξεων που δίνονται από τον κανονισμό αλλά και από την πλαστιμότητα των διατομών. Βάση του συντελεστή συμπεριφοράς με τον οποίο σχεδιάζεται ο φορέας απαιτείται συγκεκριμένη πλαστιμότητα καμπυλότητας διατομών [6].

Πλαστιμότητα καμπυλότητας ορίζεται ως τον λόγο,

$$\mu = \frac{\phi_u}{\phi_y}$$

όπου ϕ_u η καμπυλότητα κατά κατά την αστοχία και ϕ_y η καμπυλότητα κατά την διαρροή. Σε ορθογωνικές διατομές θα θεωρηθεί διαρροή της διατομής η διαρροή του εφελκυσμένου οπλισμού. Ο λόγος είναι η απότομη μείωση της εφαιπτομένης δυσκαμψίας αμέσως μετά την διαρροή του εφελκυσμένου οπλισμού.

Πρέπει να επισημανθεί ότι για την χάραξη των διαγραμμάτων θα χρησιμοποιηθεί το διάγραμμα τάσεων παραμορφώσεων 2-περίσφιξης του σκυροδέματος που χρησιμοποιούνται για ΟΚΑ.

4.1 Αριθμητικές διαδικασίες

4.1.1 Εύρεση καμπυλότητας διαρροής για δεδομένη αξονική

Καταρχήν θα πρέπει να διαπιστωθεί αν ο οπλισμός διαρρέει ή όχι. Θα υπολογισθεί η αξονική έστω ν_y για παραμόρφωση διατομής $\epsilon_{s1} = -\epsilon_{sy}$ και $\epsilon_{c2} = \epsilon_{cu}$. Αυτή η περίπτωση έντασης αντιστοιχεί σε περίπτωση αστοχίας. Είναι προφανές βάση της παραγράφου (3.4.1) ότι αν η αξονική είναι μεγαλύτερη από αυτή την περίπτωση θα ισχύει $\epsilon_{s1} > -\epsilon_{sy}$. Οπότε το αν ο χάλυβας διαρρέει ή όχι σε κάποια διατομή καθορίζεται από την τιμή της ανηγμένης αξονικής σε σχέση με την ν_y .

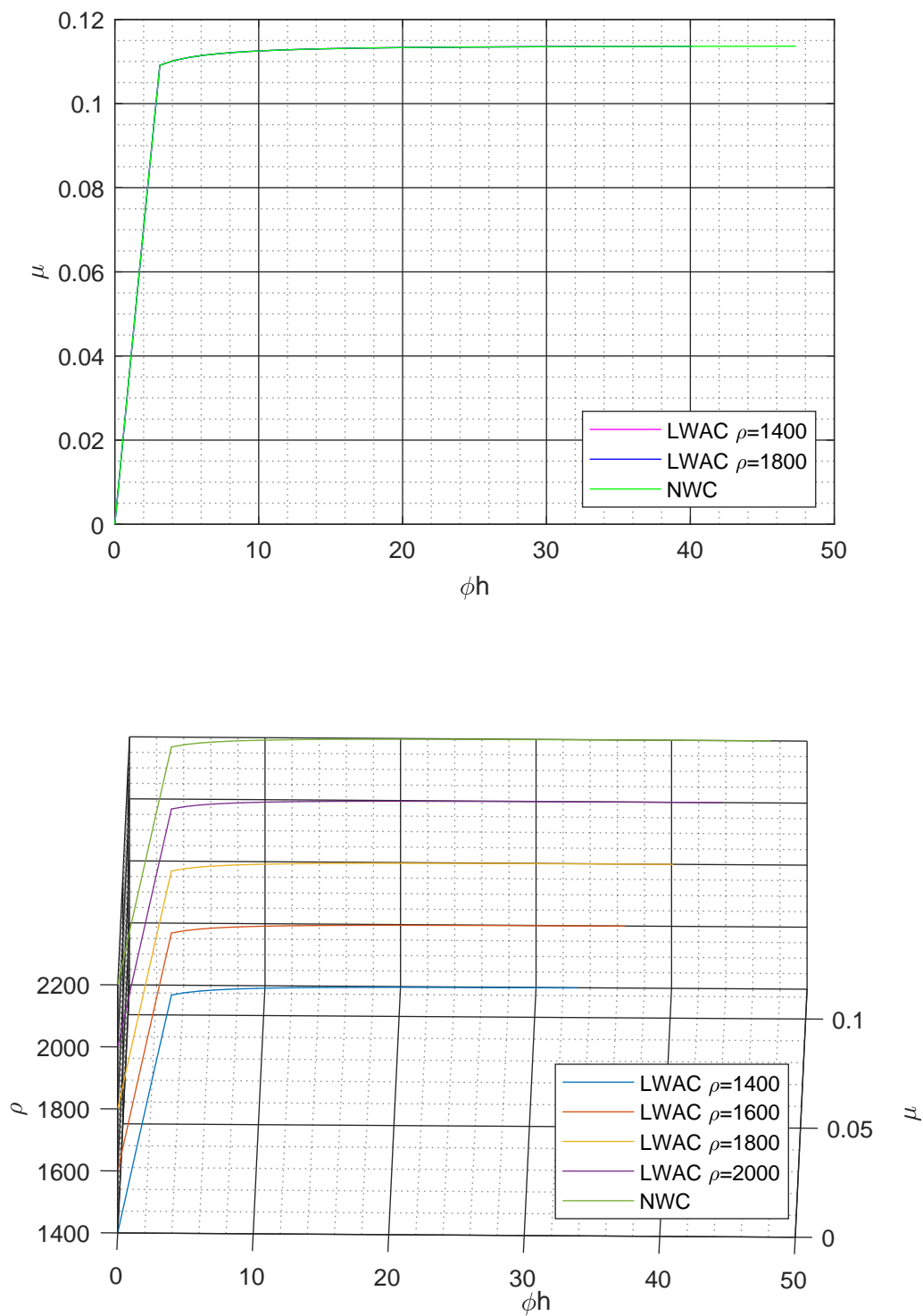
Αφού καθοριστεί ότι διαρρέει ο χάλυβας αναζητείται η καμπυλότητα διαρροής. Για τον σκοπό αυτό λαμβάνεται $\epsilon_{s1} = \epsilon_{sy}$ και με μεταβλητή την καμπυλότητα μέσω της μεθόδου της διχοτόμησης υπολογίζεται η καμπυλότητα έτσι ώστε $\nu = \nu_0$.

4.1.2 Υπολογισμός ανηγμένων παραμορφώσεων δεδομένης της εντατικής κατάστασης M και N

Χρησιμοποιείται διπλή διχοτόμηση για την εύρεση των ανηγμένων παραμορφώσεων. Συγκεκριμένα λαμβάνονται δύο άκρα για την καμπυλότητα, μία για την διαρροή και μία κοντά στο μηδέν (για να είναι διάφορο του μηδενός) και με μεταβλητή την καμπυλότητα υπολογίζονται για κάθε τιμή της καμπυλότητας βάση της παραγράφου (3.4.2) οι ανηγμένες παραμορφώσεις της διατομής.

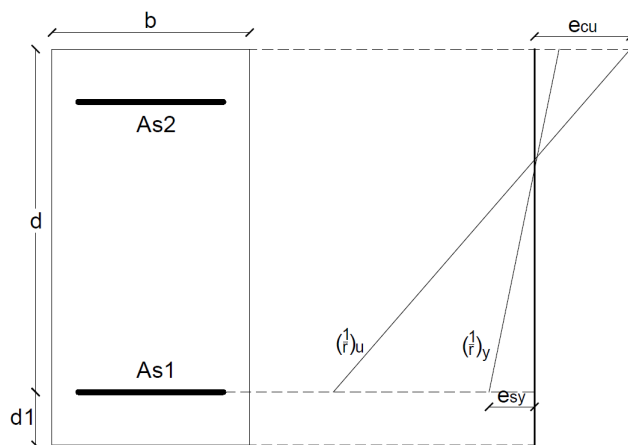
4.2 Πλαστιμότητα με χρήση του διαγράμματος 2

Διαγράμματα ροπών-καμπυλοτήτων



Σχήμα 4.1: Διάγραμμα $\mu - \phi h$, $\nu=0$ παραβολικό διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων, ποιότητα σκυροδέματος $\leq C50/60$

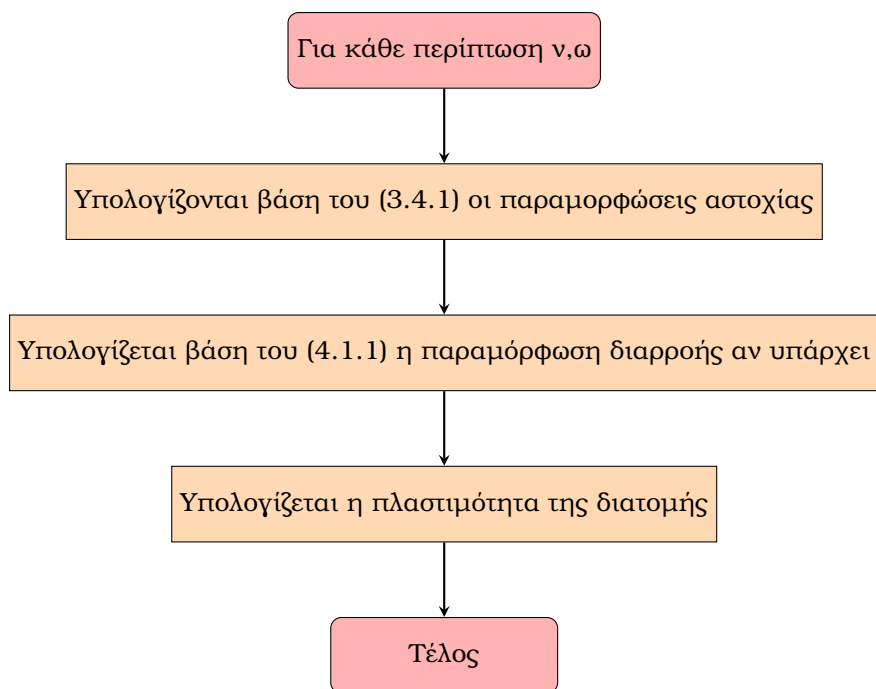
Διάγραμμα μφ-ν



Σχήμα 4.2: Καμπυλότητες διαρροής και αστοχίας

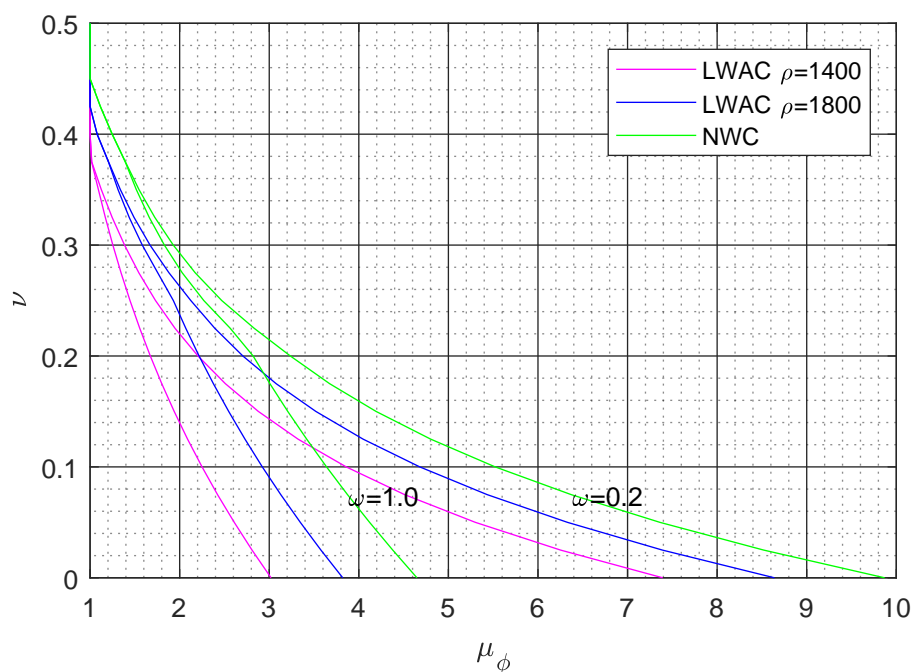
Δεδομένου ότι χρησιμοποιούνται ανηγμένες καμπυλότητες,

$$\frac{\phi h_u}{\phi h_y} = \frac{\phi_u}{\phi_y} = \frac{\phi_u}{\phi_y}$$



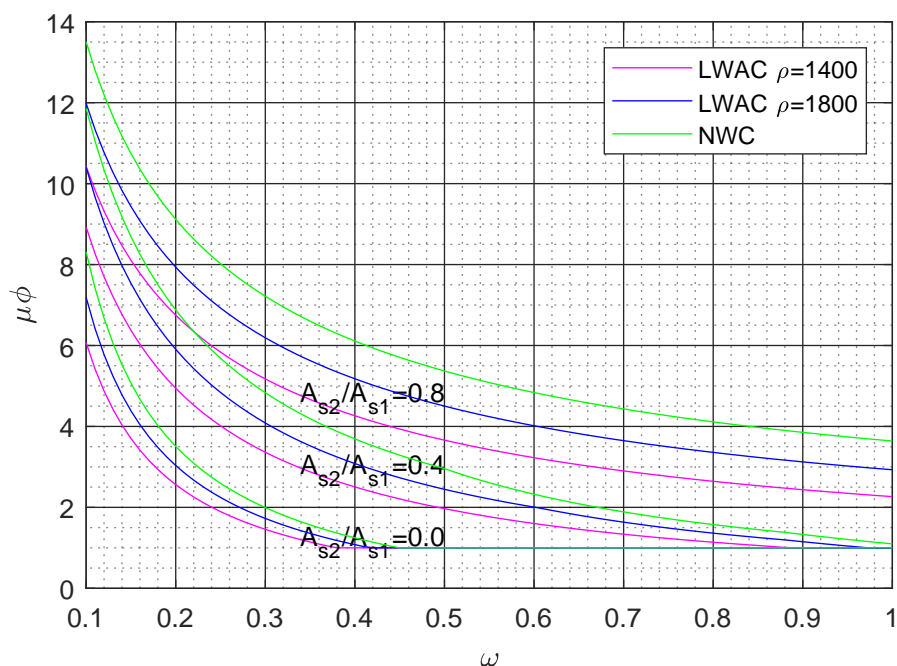
Σχήμα 4.3: Διάγραμμα ροής για διάγραμμα μφ-ν

Προκύπτων διάγραμμα



Σχήμα 4.4: Διάγραμμα $\mu\phi$ - ν με $A_{s1} = A_{s2}$, $\frac{d_1}{h} = 0.10$, $\epsilon_{su} = 67.5\%$, παραβολικό διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων, $f_{uk} = 500\text{MPa}$, ποιότητα σκυροδέματος $\leq C50/60$

Για $\nu=0$ αν λάβουμε ως παράμετρο τον λόγο A_{s2}/A_{s1} προκύπτει,



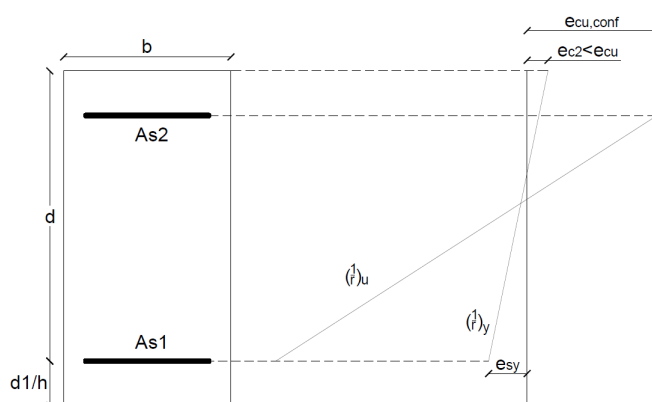
Σχήμα 4.5: Διάγραμμα $\mu\phi-\omega$, $\nu = 0$, $\frac{d_1}{h} = 0.10$, $\epsilon_{su} = 67.5\%$, παραβολικό διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων, $f_{uk} = 500\text{MPa}$, ποιότητα σκυροδέματος $\leq C50/60$

Αντίθετα από τον υπολογισμό της αντοχής η πυκνότητα του σκυροδέματος επηρεάζει έντονα την πλαστιμότητα των καμπυλοτήτων. Παρατηρείται ότι ανεξάρτητα από την αξονική οι διαφορές στην πλαστιμότητα είναι σχεδόν σταθερές. Με την μείωση του λόγου A_{s2}/A_{s1} παρατηρείται ότι μειώνονται οι διαφορές λόγω της πυκνότητας. Με την μείωση της πυκνότητας μειώνεται η παραμόρφωση αστοχίας του σκυροδέματος. Η μείωση της παραμόρφωσης αστοχίας του σκυροδέματος οδηγεί σε μείωση της παραμόρφωσης του θλιβόμενου χάλυβα. Μειώνεται επίσης και παραμόρφωση του εφελκόμενου χάλυβα αφού θα πρέπει να αυξηθεί η θλιβόμενη περιοχή του σκυροδέματος για να αναπτυχθεί η απαραίτητη θλιπτική δύναμη. Δεδομένου ότι η διατομή βρίσκεται σε λειτουργία η καμπυλότητα διαρροής είναι ίδια ανεξάρτητα της πυκνότητας.

4.3 Πλαστιμότητα υποστυλωμάτων υπό περίσφιξη

Σε υποστυλώματα όπως φαίνεται από το διάγραμμα $\mu_\phi - \nu$ για αξονικές μεγαλύτερες από $\nu = 0.2$ αναπτύσσεται ανεπαρκής πλαστιμότητα. Όμως στην περίπτωση των υποστυλωμάτων το σκυρόδεμα στο πυρήνα δέχεται πλευρική πίεση από τους εγκάρσιους συνδετήρες σε συνδυασμό με τους διαμήκεις οπλισμούς. Αυτή η εγκάρσια πίεση δημιουργεί συνθήκες τριαξονικής καταπόνησης που αυξάνει την αντοχή και την παραμόρφωση αστοχίας του σκυροδέματος. Αυτό δεν λαμβάνεται βέβαια στον σχεδιασμό αλλά λαμβάνεται στην πλαστιμότητα της διατομής ανάλογα με την κατηγορία πλαστιμότητας του φορέα. Συγκεκριμένα για κατασκευές υψηλής πλαστιμότητας απαιτείται σε όλες τις κρίσιμες διατομές ενώ για κατασκευές μέσης πλαστιμότητας απαιτείται μόνο στην βάση του υποστυλώματος.

Θεωρητικό υπόβαθρο



Σχήμα 4.6: Καμπυλότητες διαρροής και αστοχίας

Η αστοχία πια του σκυροδέματος καθορίζεται από το διάγραμμα τάσεων παραμορφώσεων σκυροδέματος υπό τριαξονική καταπόνηση του EC2.

Για δεδομένη περίσφιξη $a * \omega_w$ [7],

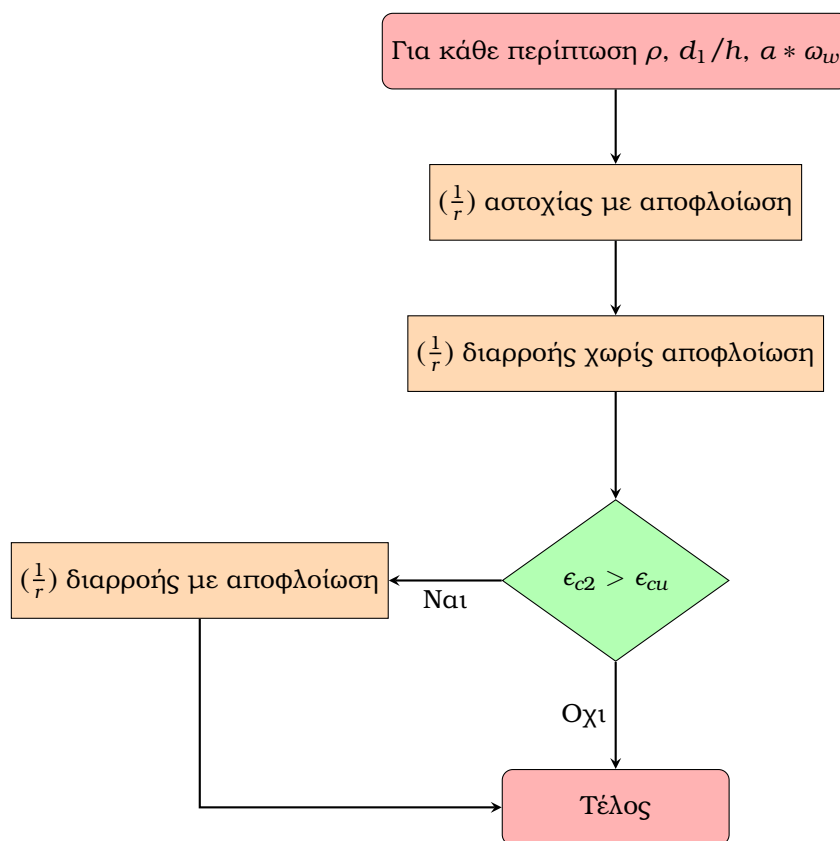
$$\sigma_c / f_{cd} = 0.5 * a * \omega_w$$

Η διαδικασία δημιουργίας των διαγραμμάτων με περίσφιξη είναι αντίστοιχη με τα προηγούμενα διαγράμματα. Στην περίπτωση αυτή πρέπει να ληφθεί υπόψιν και η αποφλοιώση του σκυροδέματος. Τυπικά σε ίνες που το σκυρόδεμα έχει ξεπεράσει την ανηγμένη παραμόρφωση αστοχία το σκυρόδεμα έξω από τον πυρήνα αποφλοιώνεται και δεν λειτουργεί πια στην διατομή.

Για λόγους υπολογιστικής απλότητας της προσομοίωσης θεωρείται ότι,

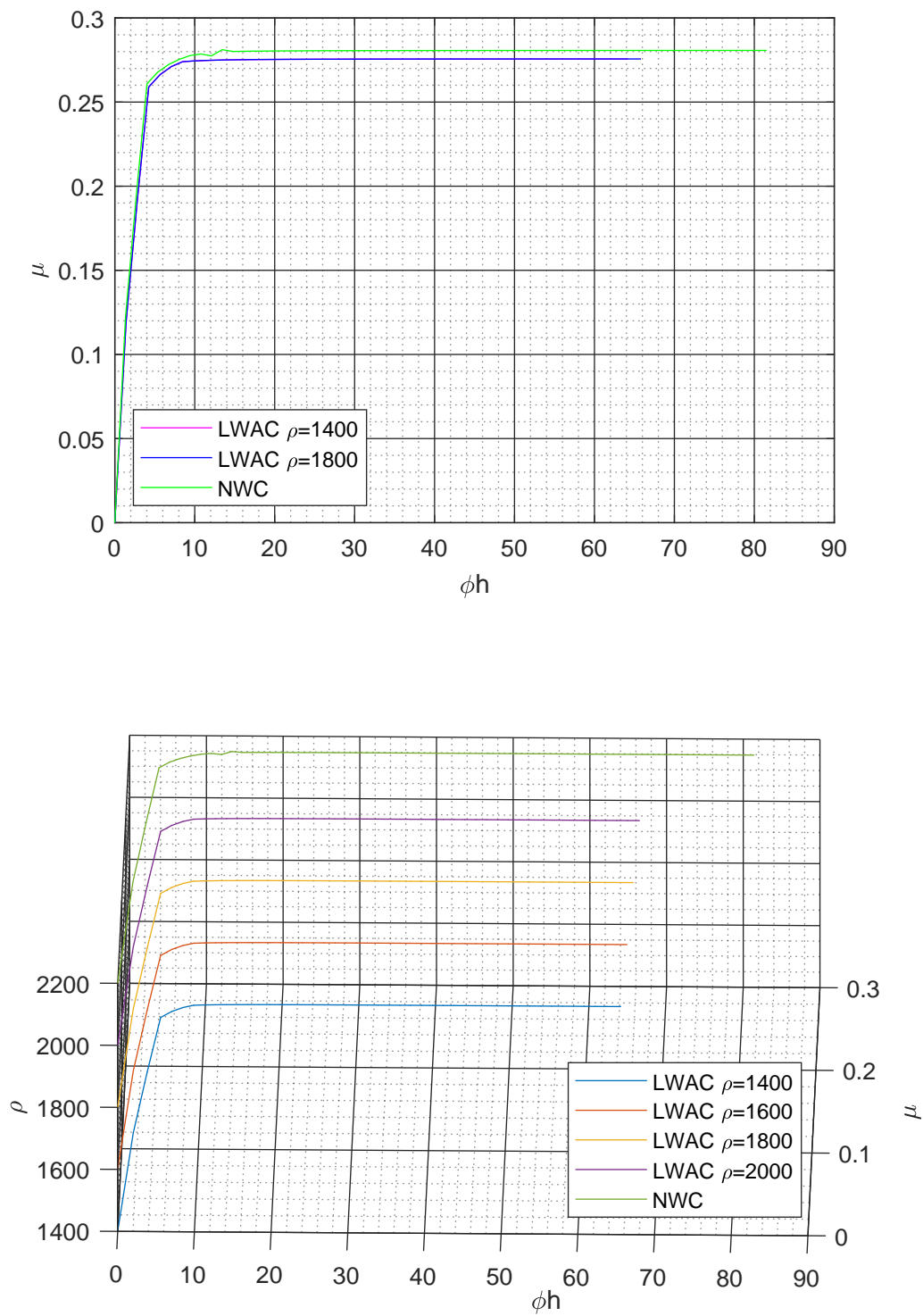
- Αν αστοχήσει η ακριανή ίνα αποφλοιώνεται ολόκληρο το τμήμα της θλιβόμενης ζώνης που βρίσκεται εκτός του πυρήνα.
- Για να μην εισαχθούν παραπάνω παράμετροι ο πυρήνας του σκυροδέματος χαράζεται

από τα κέντρα των διαμήκων οπλισμών.



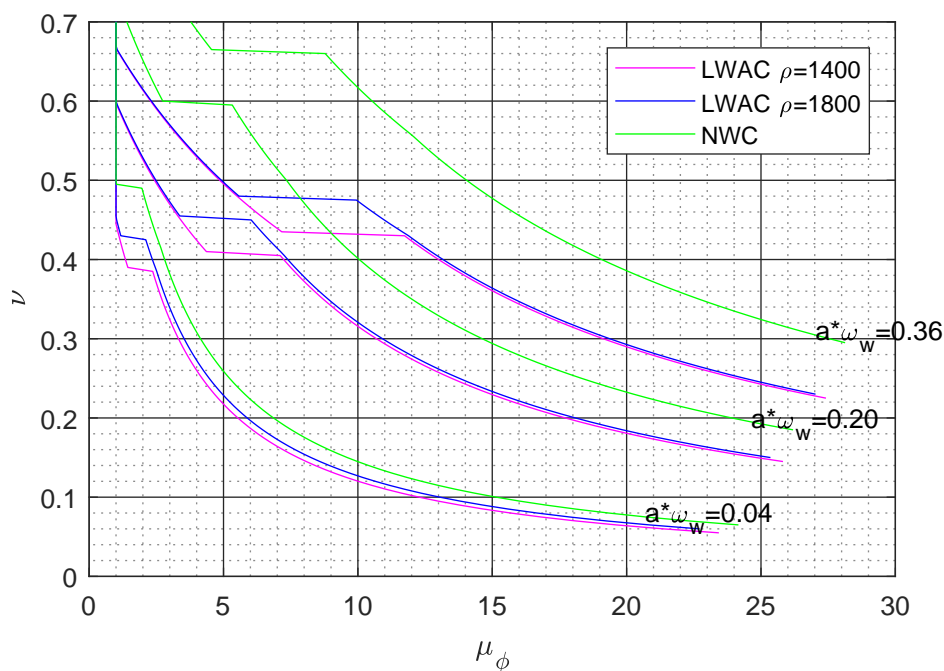
Σχήμα 4.7: Διάγραμμα ροής για διαγράμματα πλαστιμότητας υποστυλιωμάτων υπό περισφιξη

Διαγράμματα ροπών καμπυλοτήτων



Σχήμα 4.8: Διαγράμματα $\mu - \phi h$, διάγραμμα τάσεων παραμορφώσεων τριαξονικής καταπόνησης, $\alpha_{\omega} = 0.13$, δεν λαμβάνεται υποψιν αποφλοιώση σκυροδέματος, $f_{uk} = 500\text{MPa}$, ποιότητα σκυροδέματος $\leq C50/60$

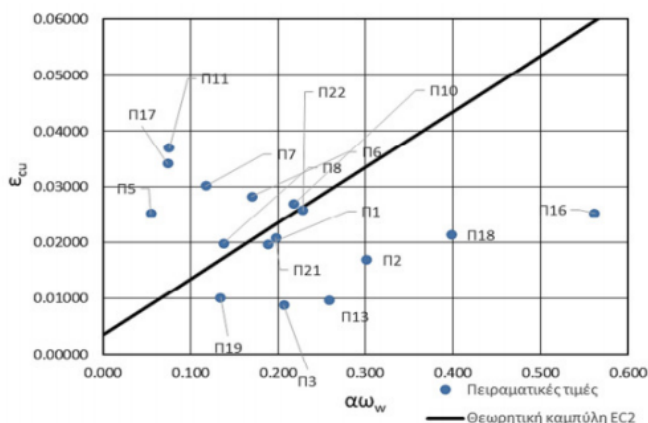
Διάγραμμα $\mu\phi$ - ν



Σχήμα 4.9: Διάγραμμα $\mu\phi$ - ν για $\omega = 0.4$, $A_{s1} = A_{s2}$, $\frac{d_1}{h} = 0.10$, διάγραμμα τάσεων παραμορφώσεων τριαξονική καταπόνησης, $f_{uk} = 500\text{MPa}$, ποιότητα σκυροδέματος $\leq C50/60$

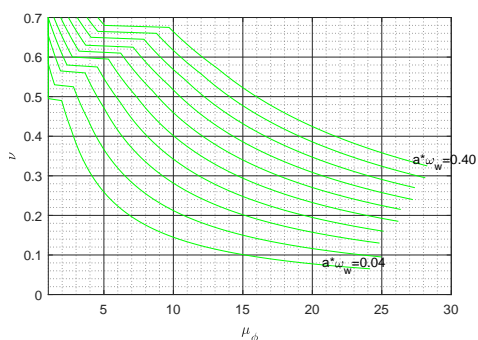
Στην περίπτωση αυτή με χρήση των διαγραμμάτων όπως περιγράφονται στον EC2 οι διαφορές είναι σημαντικές. Όσο αυξάνεται η περισφιξη του σκυροδέματος τόσο αυξάνονται και οι ποσοστιαίες διαφορές της πλαστιμότητας των διατομών βάση της πυκνότητας. Ο βασικός παράγοντας των διαφορών της πλαστιμότητας είναι η μείωση στην παραμόρφωση αστοχίας.

Αν ληφθεί υπόψιν η διόρθωση της σχέσης του EC2 βάση πειραματικής διερεύνησης που πραγματοποιήθηκε σε κισσηρόδεμα, η πλαστιμότητα μειώνεται ακόμα παραπάνω. Συγκεκριμένα περιορίζεται η παραμόρφωση αστοχίας του σκυροδέματος σύμφωνα με το σχήμα 4.10 [2].

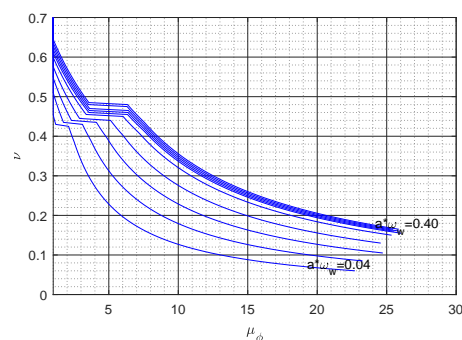


Σχήμα 4.10: Μέγιστη παραμόρφωση ϵ_{cu}^* προς $\alpha * \omega_w$ για δοκίμια κισσηροδέματος και θεωρητική ευθεία κατά EC2 [2]

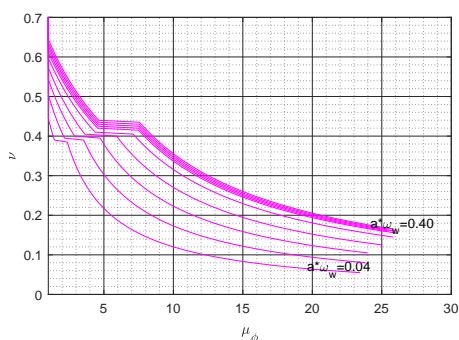
Αν ληφθεί περιορισμός $\epsilon_{cu}^* \leq 0.02$ για την περίπτωση του κισσηροδέματος προκύπτει,



(α) σκυρόδεμα κανονικού βάρους



(β') κισσηρόδεμα $\rho = 1800 \text{ kg/m}^3$



(γ') κισσηρόδεμα $\rho = 1400 \text{ kg/m}^3$

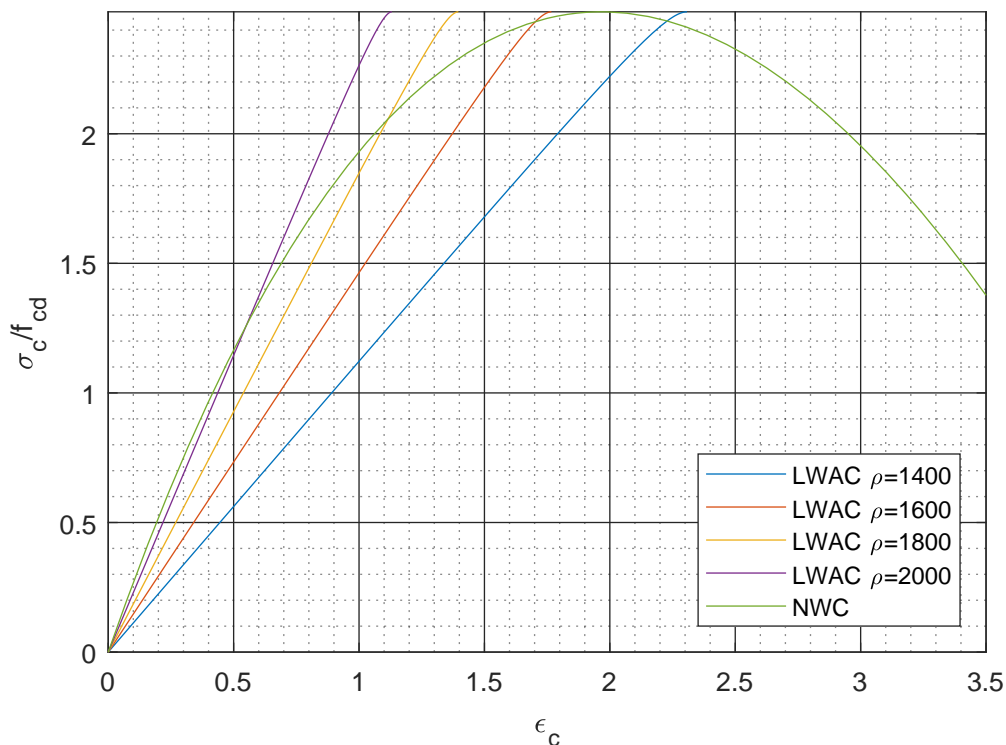
Σχήμα 4.11: Διαγράμματα $\mu_\phi - \nu$, $\omega = 0.4$, $A_{s1} = A_{s2}$, $\frac{d_1}{h} = 0.05$, περισφιγμένο διάγραμμα τάσεων παραμορφώσεων με διόρθωση βάσει της πειραματικής διερεύνησης, ποιότητα σκυροδέματος $\leq C50/60$

Παρατηρείται ότι πέραν μιας συγκεκριμένης τιμής περισφιξης $\alpha\omega_w$ δεν υπάρχει αύξηση στην πλαστιμότητα ανεξάρτητα από την ανηγμένη αξονική.

Διαγράμματα λειτουργίας

5.1 Διαγράμματα τάσεων παραμορφώσεων

Εκτός από τα διαγράμματα σχεδιασμού και πλαστιμότητας που αναφέρονται σε οριακές καταστάσεις αστοχίας ιδιαίτερο ενδιαφέρον για ενδιάμεσες καταστάσεις παρουσιάζουν οι οριακές καταστάσεις λειτουργικότητας. Αν ληφθούν τα διαγράμματα τάσεων-παραμορφώσεων σε λειτουργία,



Σχήμα 5.1: Διαγράμματα τάσεων-παραμορφώσεων για $f_{ck} = 20\text{MPa}$, $\alpha_{cc} = 0.85$

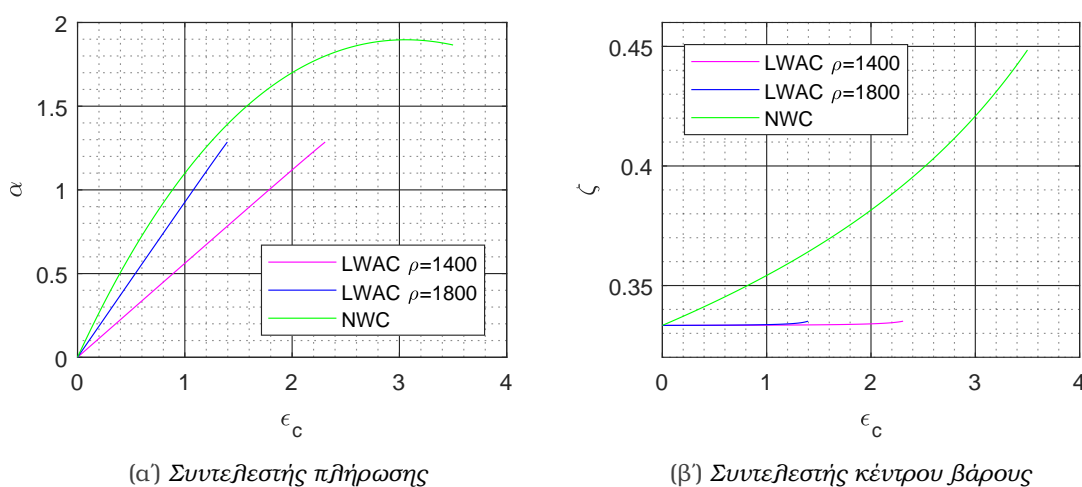
- Φαίνεται απευθείας ότι για μείωση της πυκνότητας μειώνεται και το μέτρο ελαστικότητας.
- Τα ΕΣΕΑ παρουσιάζουν μεγαλύτερη γραμμικότητα υλικού έως την διαρροή του σκυροδέματος.

- Το ΕΣΣΕΑ είναι πιο ψαθυρό από το ΣΚΒ.

5.2 Συντελεστές πλήρωσης και κέντρου βάρους

Στην περίπτωση των διαγραμμάτων λειτουργίας οι συντελεστές δύσκολα υπολογίζονται απευθείας με την χρήση ολοκληρωμάτων. Για τον λόγο αυτό με χρήση της συμβολικής γλώσσας του matlab[©] υπολογίσθηκαν απευθείας τα ολοκληρώματα της παραγράφου (3.3) για περιπτώσεις ρ , f_{ck} που θα χρησιμοποιηθούν, ανα $\epsilon_c = 0.01\%$. Χρησιμοποιήθηκε γραμμική παρεμβολή για τις ενδιάμεσες τιμές.

Τα διαγράμματα που προέκυψαν ενδεικτικά για $f_{ck} = 20\text{MPa}$ και $a_{cc} = 0.85$ είναι τα εξής,



Σχήμα 5.2: Συντελεστές διαγράμματος 1 - ανηγμένης παραμόρφωσης, $f_{ck} = 20\text{MPa}$, $a_{cc} = 0.85$

Παρατηρείται απευθείας ότι το ΕΣΣΕΑ από τους συντελεστές, που καθορίζουν την συμπεριφορά του, λειτουργεί σχεδόν γραμμικά. Η απλοποιητική παραδοχή για τριγωνική κατανομή τάσεων θα ήταν ακριβής. Αντίθετα το ΣΚΒ παρουσιάζει κάποιες μη γραμμικότητες, κυρίως μετά την τιμή διαρροής $\epsilon_c = \epsilon_{cy}$

5.3 Αριθμητικές διαδικασίες

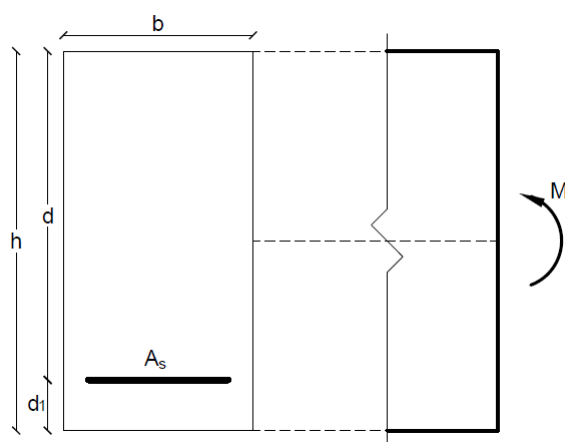
Υπολογισμός ανηγμένων παραμορφώσεων δεδομένης της εντατικής κατάστασης M και N

Καταρχήν για δεδομένη αξονική θα πρέπει να διαπιστωθεί ότι η ροπή είναι αύξουσα της καμπυλότητας δεδομένου ότι το διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων του σκυροδέματος δεν είναι μονότονο. Η ροπή είναι το γινόμενο της δύναμης του χάλυβα και του μοχλοβραχίονα οπότε αυτοί είναι και οι παράγοντες που επηρεάζουν την μονοτονία. Βέβαια έως την διαρροή ο ρυθμός αύξησης της δύναμης του χάλυβα είναι τεράστια και επισκιάζει την πιθανή μείωση του μοχλοβραχίονα που είναι γενικά μικρή. Για αυτόν τον λόγο στην περιοχή των καμπυλοτήτων έως την διαρροή η ροπή θα είναι αύξουσα της καμπυλότητας.

Με δεδομένη πια την μονοτονία χρησιμοποιείται διπλή διχοτόμηση για την εύρεση των ανηγμένων παραμορφώσεων. Συγκεκριμένα λαμβάνονται δύο άκρα για την καμπυλότητα, μία για την διαρροή και μία κοντά στο μηδέν (για να είναι διάφορο του μηδενός) και με μεταβλητή την καμπυλότητα για κάθε τιμή της καμπυλότητας με την παράγραφο (3.4.2) υπολογίζονται οι ανηγμένες παραμορφώσεις της διατομής.

5.4 Διαγράμματα ροπής καμπυλοτήτων και τέμνουσας δυσκαμψίας καμπυλοτήτων δοκών

Τα διαγράμματα αυτά είναι απαραίτητα για να φανεί η μεταβολή της ροπής και της τέμνουσας δυσκαμψίας βάση της πυκνότητας.



Σχήμα 5.3: Κάμψη δοκού με απλό σπλισμό

Εξισώσεις ισοδυναμίας

Για την δημιουργία των διαγραμμάτων λειτουργίας θα ληφθεί πια και η εφελκυστική δύναμη του σκυροδέματος.

Υπάρχουν δύο στάδια του σκυροδέματος στα διαγράμματα λειτουργίας. Το στάδιο 1 όπου η διατομή θεωρείται αρηγμάτωτη και το στάδιο 2 όπου η διατομή έχει ρηγματωθεί πλήρως (δεν λαμβάνεται υπόψιν η εφελκυστική δύναμη του σκυροδέματος).

Για ενδιάμεσες καταστάσεις χρησιμοποιείται ο νόμος ρηγμάτωσης της παραγράφου 2.2.4.

Εξισώσεις ισοδυναμίας

Για την αρηγμάτωτη διατομή,

$$N = F_{c1} - F_{c2} - F_s = (a_1 * x) * b * h * f_{cd} - (a_2 * (1 - x)) * b * h * f_{cd} + A_{s1} * \sigma_{s1}$$

$$M_{sd} = (a_1 * x) * b * h * f_{cd} * (h/2 - \zeta_1 * x) - (a_2 * (1 - x)) * b * h * f_{cd} * (h/2 - \zeta_2 * (1 - x)) - A_{s1} * \sigma_{s1} * (h/2 - d_1)$$

Διαιρώντας την αξονική και την ροπή με $b * d * f_{cd}$ και $b * d^2 * f_{cd}$ αντίστοιχα για να γίνουν αδιάστατα έχουμε,

$$v_d = a_1 * \xi - a_2 * (1 - \xi) + \omega_1 * \frac{\sigma_{s1}}{f_{yd}}$$

$$\mu_d = \alpha_1 * \xi * (0.5 - \zeta_1 * \xi) - \alpha_2 * (1 - \xi) * (0.5 - \zeta_2 * (1 - \xi)) - \omega_1 * \frac{\sigma_{s1}}{f_{yd}} * (0.5 - \frac{d_1}{h})$$

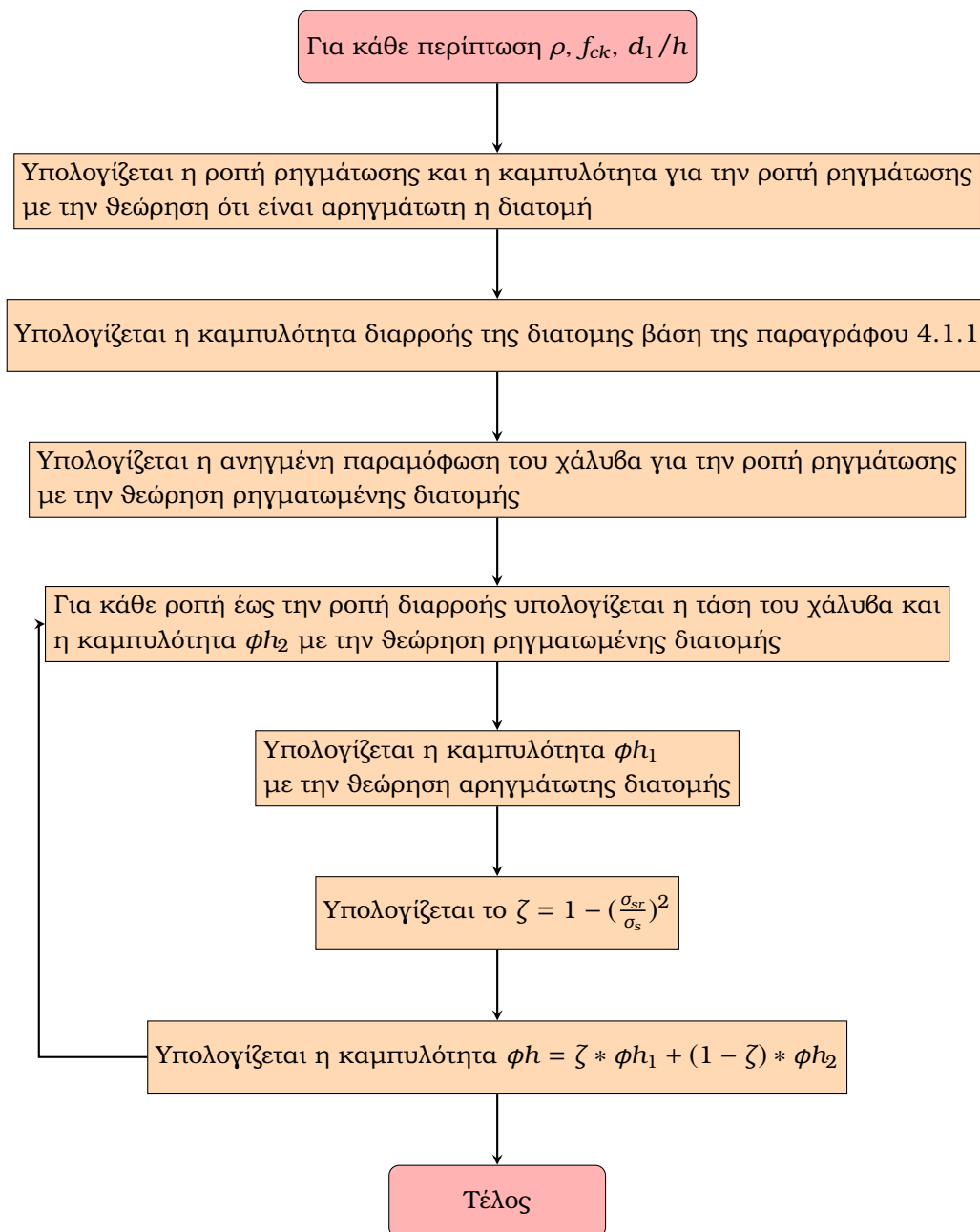
Αντιστοίχως για την ρηγματωμένη,

$$v_d = \alpha_1 * \xi + \omega_1 * \frac{\sigma_{s1}}{f_{yd}}$$

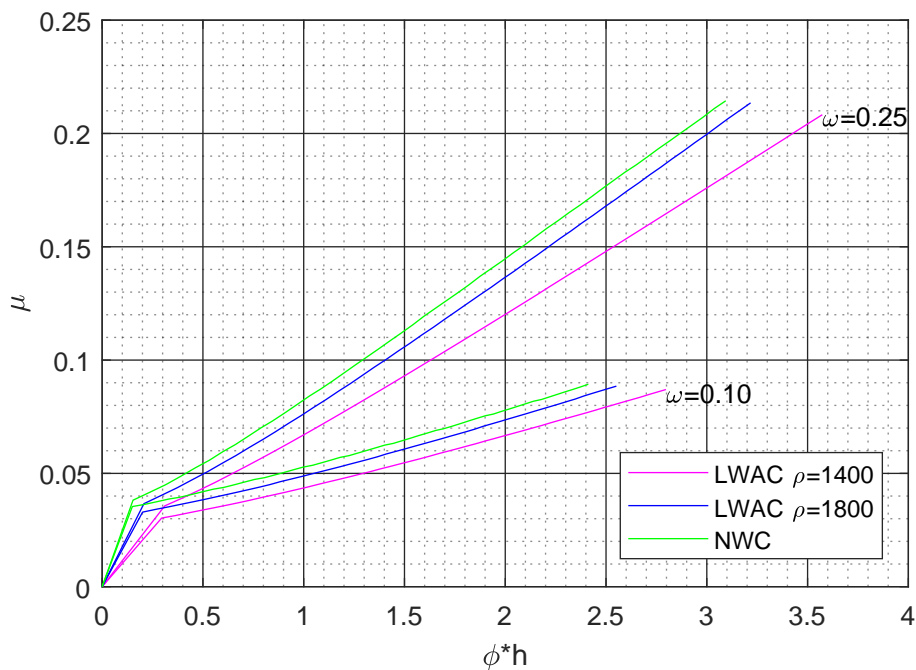
$$\mu_d = \alpha_1 * \xi * (0.5 - \zeta_1 * \xi) - \omega_1 * \frac{\sigma_{s1}}{f_{yd}} * (0.5 - \frac{d_1}{h})$$

Θα εισαχθεί σε αυτό το σημείο η ανηγμένη τέμνουσα δυσκαμψία,

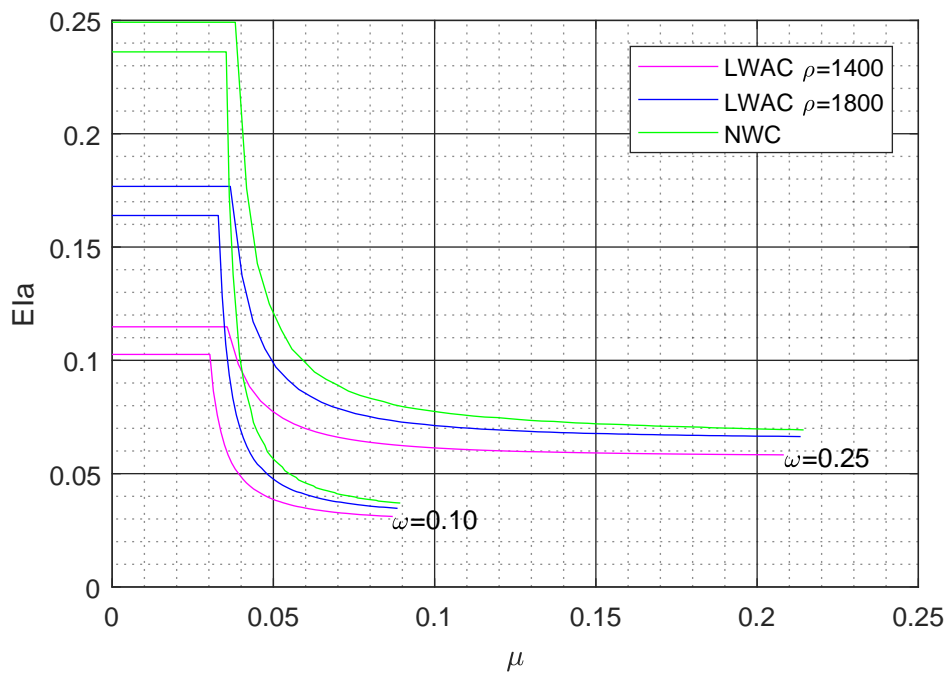
$$EI\alpha = \frac{\mu_\phi}{\phi h} = \frac{M/b * h^2 * f_{cd}}{\phi * h} = \frac{EI}{b * h^3 * f_{cd}}$$

Σχήμα 5.4: Διάγραμμα ροπής για διαγράμματα $M-\phi$ και $EI-M$

Προκύπτοντα διαγράμματα



(α) Διάγραμμα ροπής καμπυλιότητας



(β) Διάγραμμα τέμνουσας δυσκαμψίας

Σχήμα 5.5: Διαγράμματα λειτουργίας, $d_1/h = 0.05$, $f_{ck} = 20$, $\beta = 1$, $a_{cc} = 0.85$, διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων για μη γραμμική ανάλυση, νόμος ρηγμάτωσης του EC2

Απευθείας φαίνεται ότι τα ΕΣΕΑ λειτουργούν πιο ψαθυρά και με μικρότερη δυσκαμψία. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει το διάγραμμα τέμνουσας δυσκαμψίας που απαιτείται για την εύρεση βελών. Παρατηρείται ότι η διαφορά της τέμνουσας δυσκαμψίας για αρηγμάτωτη διατομή είναι πολύ μεγάλη ενώ για ρηγματωμένη διατομή οι τέμνουσες δυσκαμψίες συγκλίνουν. Επίσης είναι άξιο να σημειωθεί ότι παρότι οι ροπές ρηγμάτωσης έχουν μικρές διαφορές οι τέμνουσες δυσκαμψίες αρηγμάτωτης διατομής μειώνονται σημαντικά για μικρότερες πυκνότητες.

5.5 Διάγραμμα ελέγχου βελών γραμμικών φορέων

Ιδιαίτερη σημασία έχει πια να ληφθεί υπόψιν και η μείωση του βάρους του ελαφροσκυροδέματος. Σε αυτό το σημείο θα εξετασθεί κατά πόσο επηρεάζει η μεταβολή της δυσκαμψίας και του βάρους τα βέλη που προκύπτουν σε απλούς γραμμικούς φορείς. Συγκεκριμένα, θα υπολογιστούν τα απαραίτητα πάχη για να ικανοποιούνται οι ΟΚΛ για διάφορες περιπτώσεις ανοιγμάτων και γραμμικών φορέων.

Ο έλεγχος βελών που απαιτείται για τις ΟΚΛ είναι,

- $\delta_{G+0.3*Q} < L/250$, για να νιώθει ασφάλεια ο χρήστης
- $\delta_{0.3Q} < L/500$, για μην προκληθούν ζημιές σε ευαίσθητα χωρίσματα

Στην συγκεκριμένη παράγραφο υπολογίζονται τα απαιτούμενα ελάχιστα πάχη h_{min} έτσι ώστε να ικανοποιούνται οι προηγούμενες συνθήκες σε απλούς γραμμικούς φορείς. Αυτοί οι φορείς παρουσιάζονται και σε κτιριακές κατασκευές (π.χ. πλάκα καμπύλομενη κατά μία διεύθυνση, πρόβολος κ.τ.λ.).

Διαδικασία δημιουργίας του διαγράμματος

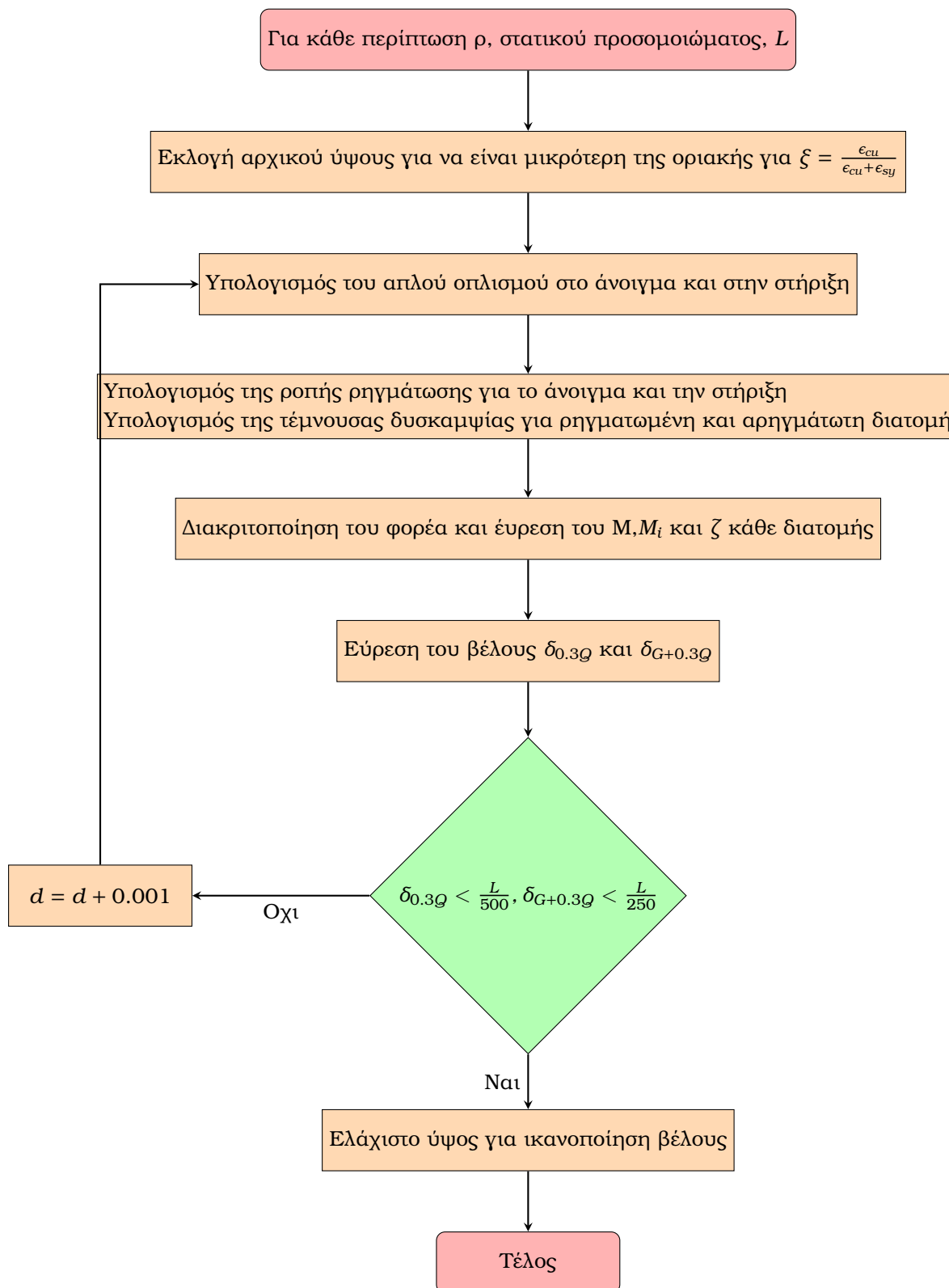
Ο υπολογισμός των παχών θα γίνει για τις τέσσερις βασικές περιπτώσεις γραμμικών φορέων, δηλαδή για αμφιέριστη, αμφίπακτη, μονόπακτη δοκός και πρόβολος. Ο υπολογισμός των βελών θα γίνει με την αρχή των δυνατών έργων. Οπότε το βέλος θα ληφθεί ως,

$$d = \int_0^L \zeta * \frac{M_i * M}{EI_1} dL + \int_0^L (1 - \zeta) * \frac{M_i * M}{EI_2} dL$$

όπου,

$$\zeta = 1 - \beta * \frac{M_{cr}}{M}$$

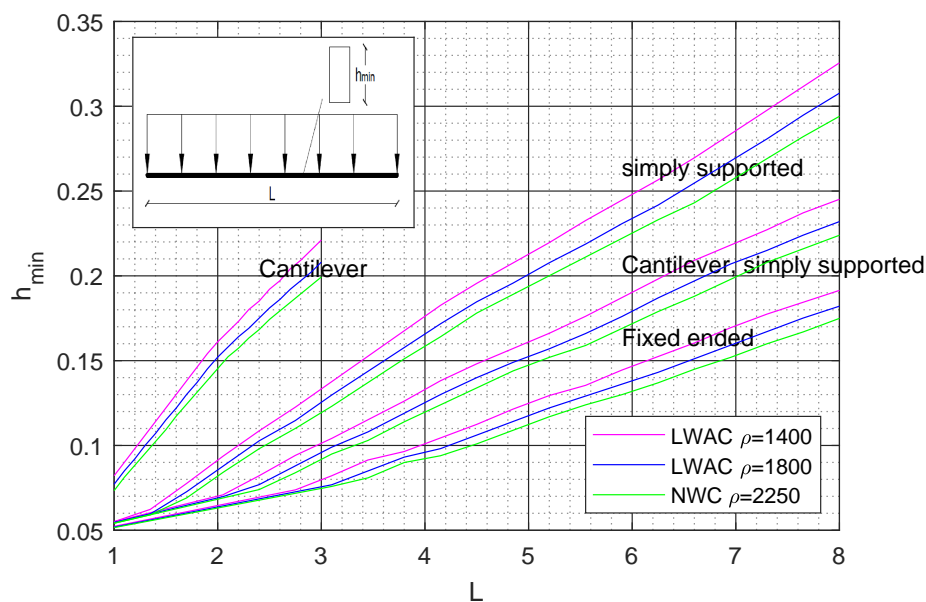
απλοποιητικά λαμβάνονται οι ροπές για τον υπολογισμό του ζ για την αποφυγή πολλών επαναλήψεων στο πρόγραμμα. Συγκεκριμένα αν λαμβάνονταν οι τάσεις στον υπολογισμό του ζ θα έπρεπε για κάθε διατομή να γίνει διαδικασία της παραγράφου (5.3) αυξάνοντας σημαντικά τον χρόνο εκτέλεσης του προγράμματος χωρίς μεγάλη διαφορά στο αποτέλεσμα. Για περιπτώσεις στατικών προσομοιωμάτων που αναφέρθηκαν θα χρησιμοποιήσουμε γεωμετρικά χαρακτηριστικά και φορτία έτσι ώστε να αντιστοιχούν σε πραγματικές περιπτώσεις πλακών.



Σχήμα 5.6: Διαγράμμα ροής για διαγράμματα ελάχιστου πάχους

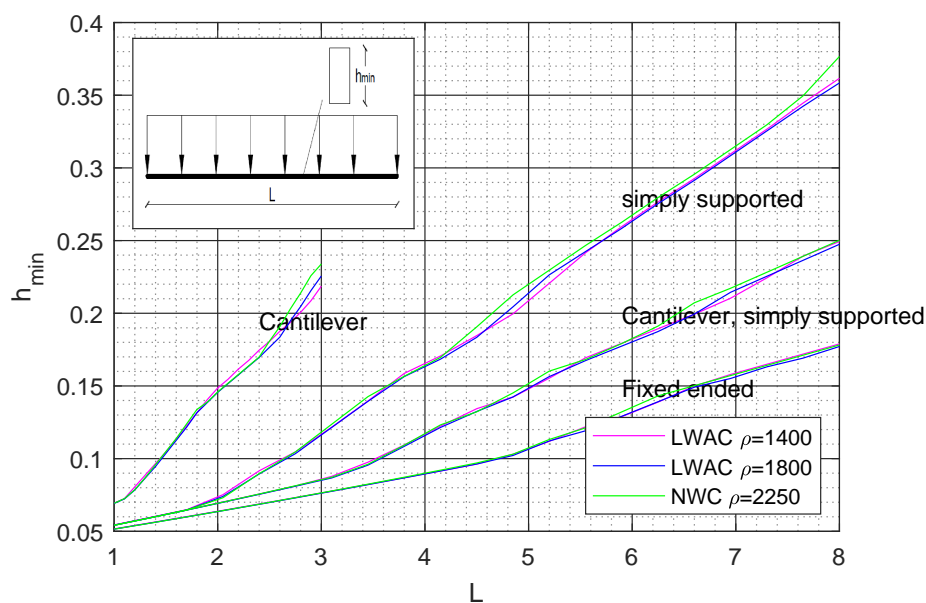
Διαγράμματα σύγκρισης

Αν ληφθεί το ίδιο φορτίο για τις διαφορετικές περιπτώσεις πυκνότητας φαίνεται απευθείας η διαφορά στα απαιτούμενα πάχη.



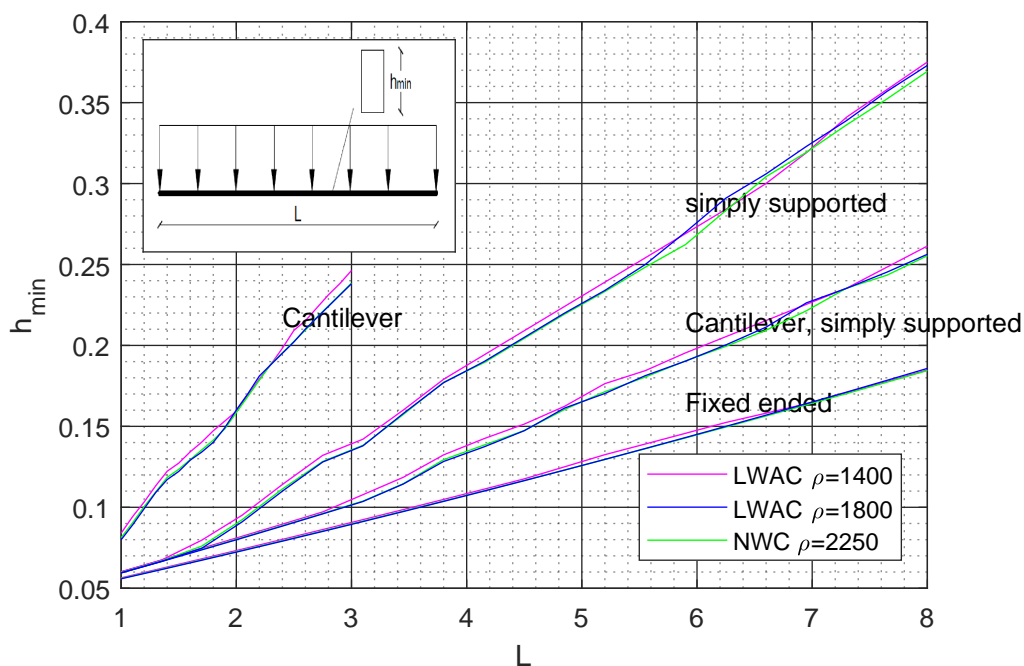
Σχήμα 5.7: Διάγραμμα ελάχιστου πάχους-ανοίγματος για ορθογωνική διατομή. $P = 5\text{KPa}$, $f_{ck} = 20\text{MPa}$, $d_h = 0.04\text{m}$, $\beta = 0.5$, $\alpha_{cc} = 0.85$, διάγραμμα τάσεων παραμορφώσεων για μη γραμμική ανάλυση, νόμο ρηγμάτωσης του EC2

Για περίπτωση οικίας



Σχήμα 5.8: Διάγραμμα ελάχιστου πάχους-ανοίγματος για ορθογωνική διατομή. $G = 1.5\text{KPa}$ και $Q = 2\text{KPa}$, $f_{ck} = 20\text{MPa}$, $d_h = 0.04\text{m}$, $\beta = 0.5$, $\alpha_{cc} = 0.85$, διάγραμμα τάσεων παραμορφώσεων για μη γραμμική ανάλυση, νόμο ρηγμάτωσης του EC2

Για περίπτωση γραφείων με μεγάλα φορτία επικάλυψως



Σχήμα 5.9: Διάγραμμα ελάχιστου πάχους-ανοίγματος για ορθογωνική διατομή. $G = 2.5\text{KPa}$ και $Q = 5\text{KPa}$, $f_{ck} = 20\text{MPa}$, $d_h = 0.04\text{m}$, $\beta = 0.5$, $a_{cc} = 0.85$, διάγραμμα τάσεων παραμορφώσεων για μη γραμμική ανάλυση, νόμο ρηγμάτωσης του EC2

Για ίδια φορτία οι μικρότερες πυκνότητες οδηγούν σε μεγαλύτερα πάχη. Για τυπικές περιπτώσεις όμως φαίνεται ότι η ταυτόχρονη μείωση του βάρους και της δυσκαμψίας οδηγεί σε σχεδόν ίσα βέλη ανεξάρτητα από την πυκνότητα. Συνεπώς για την περίπτωση γραμμικών φορέων οι διαφορές στα βέλη λόγω της πυκνότητας είναι αμελητέες.

Μέρος 

Σύγκριση στον σχεδιασμό πενταόροφης πλαισιωτής κατασκευής

Κεφάλαιο **6**

Τεχνική έκθεση πενταόροφης κατασκευής με σκυρόδεμα κανονικού βάρους

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται βήμα προς βήμα σχεδιασμός φορέα κατά τις διατάξεις του EC2 και EC8. Ο φορέας πρόκειται για πενταόροφη κατασκευή αποτελούμενη από συμπαγείς πλάκες, δοκούς, υποστυλώματα και θεμελίωση δια πεδιλοδοκών.

6.1 Γεωμετρία

Πρόκειται για κατασκευή τριών ανοιγμάτων πλάτους $6m$ και πέντε ορόφων μεικτού ύψους $h = 3m$.

6.2 Παραδοχές

Μέθοδοι υπολογισμού

- Επίλυση πλακών κατά Czerny
- Υπολογισμός των στατικών εντάσεων μέσω ελαστικής ανάλυσης του χωρικού πλαισίου
- Υπολογισμός σεισμικών εντάσεων μέσω ιδιομορφικής ανάλυσης του χωρικού πλαισίου.

Υλικά

- Σκυρόδεμα C20/25
- Χάλυβας B500
- Συντελεστής ασφαλείας σκυροδέματος $\gamma_c = 1.5$
- Συντελεστής ασφαλείας χάλυβα $\gamma_s = 1.15$

Φορτία

- Βάρος οπλισμένου σκυροδέματος $25KN/m^3$
- Βάρος μπατικής οπτοπλινθοδομής $3.60KN/m^2$

- Επικάλυψη πλακών $1.50KN/m^2$
- Κινητά πλακών: Θεωρούμε χρήση κατοικίας $2.00KN/m^2$
- Κινητά δώματος $2.00KN/m^2$
- Συντελεστής ασφάλειας μόνιμων φορτίων $\gamma_G = 1.35$
- Συντελεστής ασφάλειας κινητών φορτίων $\gamma_Q = 1.50$

Σεισμολογικά στοιχεία

- Κατηγορία μέσης πλαστιμότητας
- Ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας Z1 ($a_{gR} = 0.16$)
- Σπουδαιότητα δομήματος Σ2 ($\gamma_1 = 1.00$)
- Κατηγορία εδάφους B $1.50KN/m^2$
- Συντελεστής σεισμικής συμπεριφοράς: Πρόκειται για πολυώροφο πλαισιωτό πολύστυλο πλαίσιο, οπότε $q = 3.9$ (EC8-§5.2.2.2).

Αλληλεπίδραση εδάφους-κατασκευής

- Προσομοίωση μέσω ελατηρίων wrinkler. Θεωρούμε μια περίπτωση χαλαρής άμμου ή αμμώδους αργίλου με μέτρο ελαστικότητας $E_S = 30MPa$ και λόγο poisson $\nu = 0.2$.
- Επιτρεπόμενη τάση εδάφους $0.20MPa$

6.3 Σχεδιασμός πλακών

Επικάλυψη πλακών (EC2-§4.4.1)

Για κατηγορία έκθεση XC1 από τον πίνακα E.1N φαίνεται ότι η κατηγορία σκυροδέματος C20/25 καλύπτει την ελάχιστη απαίτηση.

Πρόκειται για συνήθης κατασκευή οπότε η κατηγορία κατασκευής είναι S4.

Για διαμήκεις Φ8,

$$c_{min,b} = 8mm$$

$$c_{min,dur} = 15mm$$

$$\Delta C_{dur,y} = \Delta C_{dur,st} = \Delta C_{dur,add} = 0$$

$$c_{min} = \max(c_{min,b}, c_{mind,dur} + \Delta C_{dur,y} - \Delta C_{dur,st} - \Delta C_{dur,add}, 10mm) =$$

$$\max(8, 15, 10)mm = 15mm$$

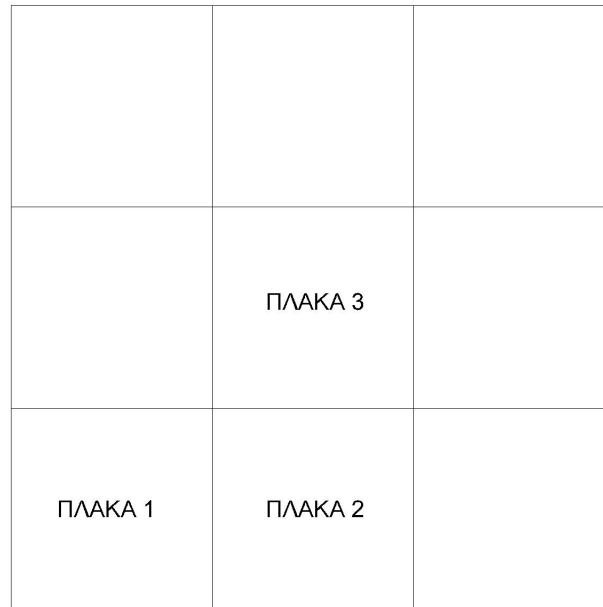
$$c_{nom} = c_{min} + \Delta C_{dev} = 15mm + 10mm = 25mm$$

$$d_1 = c_{nom} + \Phi/2 = 25mm + 8mm/2 = 29mm$$

Θέτουμε $d_1 = 30mm$

6.3.1 Ομαδοποίηση πλακών

Έχουν ληφθεί τα ίδια φορτία για όλες τις πλάκες. Δεδομένου ότι είναι συμμετρική η κατασκευή χρειάζεται να σχεδιαστούν οι 3 πλάκες.



Σχήμα 6.1: Ομαδοποίηση πλακών

6.3.2 Σχεδιασμός πλάκας 1

Πρόκειται για πλάκα εδραζόμενη κατά τις τέσσερις ακμές και πακτώμενη κατά τις δύο.

Στατικό ύψος

Δεδομένου ότι ο σχεδιασμός έγινε με σκοπό την σύγκριση των πυκνοτήτων θα έπρεπε να επιλεγεί το ελάχιστο ύψος για κάθε περίπτωση πυκνότητας. Βέβαια η απαλλακτική διάταξη του EC2 μπορεί να οδηγήσει και σε στατικά ύψη τα οποία είναι εκτός πραγματικότητας. Για τον λόγο αυτό επιλέχθηκε και στις δύο περιπτώσεις πλάκα πάχους $h = 15\text{cm}$. Πάχος το οποίο για την περίπτωση ανοίγματος 6m μπορεί να θεωρηθεί αρκετά μικρό. Συνεπώς για επικάλυψη $d_1 = 3\text{cm}$, στατικό ύψος θα είναι $d = 12\text{cm}$. Θα ελεγχθεί στην συνέχεια το στατικό ύψος βάση του EC2

Θεωρητικό άνοιγμα πλακών (EC2-§5.3.2.2)

Λαμβάνεται πλάτος εξωτερικής δοκού $b = 25\text{cm}$ και πλάτος εσωτερική δοκού $b = 30\text{cm}$.

$$L_{n,x} = L_{n,y} = 6\text{m} - 0.25\text{m} - \frac{0.30\text{m}}{2} = 5.60\text{m}$$

$$a_1 = \min(1/2 * h, 1/2 * t) = \min(1/2 * 15\text{cm}, 1/2 * 25\text{cm}) = 7.5\text{cm}$$

$$a_2 = \min(1/2 * h, 1/2 * t) = \min(1/2 * 15\text{cm}, 1/2 * 30\text{cm}) = 7.5\text{cm}$$

$$l_{eff} = l_n + a_1 + a_2 = 5.75m \rightarrow 5.80m$$

Φορτία

$$G = 0.15m * 25KN/m^3 + 1.5KN/m^2 = 5.25KPa$$

$$Q = 2KPa$$

Πεσοειδής φορτίσεις

$$p_1 = 1.175 * G + 0.75 * Q = 1.175 * 5.25 + 0.75 * 2 = 7.67 \rightarrow 7.7KPa$$

$$p_2 = 0.175 * G + 0.75 * Q = 0.175 * 5.25 + 0.75 * 2 = 2.42 \rightarrow 2.5KPa$$

Εντάσεις

Από τους πίνακες Czerny για πλάκα εδραζόμενη στις τέσσερις ακμές και πακτώμενη στις δύο με $l_x/l_y = 1$

$$m_{span} = p_1 * l^2/42.7 + p_2 * l^2/27.2 = 7.7 * 5.8^2/42.7 + 2.5 * 5.8^2/27.2 = 10KNm/m$$

$$m_{sup} = p_1 * l^2/14.3 + p_2 * l^2/11.9 = 7.7 * 5.8^2/14.3 + 2.5 * 5.8^2/11.9 = 26KNm/m$$

Στην εσωτερική στήριξη,

$$V_{sup,1} = (p_1 + p_2) * l/1.96 = (7.7 + 2.5) * 5.8/1.96 = 31KN/m$$

Στην εξωτερική στήριξη,

$$V_{sup,2} = (p_1 + p_2) * l/2.76 = (7.7 + 2.5) * 5.8/2.76 = 22KN/m$$

Ελάχιστος οπλισμός (EC2-§9.2.1.1)

$$A_{s,min} = \min(0.26 * f_{ctm}/f_{yk}, 0.0013) * b_t * d =$$

$$\min(0.26 * 2.2/500, 0.0013) * 100 * 12cm^2/m = 1.56cm^2/m$$

Μέγιστη απόσταση οπλισμών(EC2-§9.3.1.1)

$$s_{min} = \min(1.5 * h, 200mm) = \min(1.5 * 150, 200)mm = 200mm$$

Οπότε για ελάχιστο οπλισμό Φ8, $A_s = 0.5 * \frac{100}{20} = 2.5cm^2/m$

Απαιτούμενος οπλισμός ανοίγματος(ΕC2-§6.1)

$$\mu = \frac{m}{d^2 * f_{cd}} = \frac{10\text{KNm/m}}{0.12^2 * 11.3\text{MPa}} = 0.06$$

Από πίνακες απλού οπλισμού

$$\omega = 0.062$$

$$A_s = \omega * b * d * \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0.062 * 100 \frac{\text{cm}}{\text{m}} * 12\text{cm} * \frac{11.3}{435} = 2\text{cm}^2$$

Τοποθετείται ο ελάχιστος, Φ8/20 ($A_s = 2.5\text{cm}^2/\text{m}$)

Απαιτούμενος οπλισμός στήριξης(ΕC2-§6.1)

$$\mu = \frac{m}{d^2 * f_{cd}} = \frac{26\text{KNm/m}}{0.12^2 * 11.3\text{MPa}} = 0.16$$

Από πίνακες απλού οπλισμού

$$\omega = 0.175$$

$$A_s = \omega * b * d * \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0.175 * 100 \frac{\text{cm}}{\text{m}} * 12\text{cm} * \frac{11.3}{435} = 5.5\text{cm}^2$$

Απαιτείται επιπλέον,

$$A_s = (5.5 - 2.5) = 3\text{cm}^2/\text{m}$$

Θέτουμε επιπλέον, Φ8/15 ($3.3\text{cm}^2/\text{m}$)

Αντοχή διάτμησης(ΕC2-§6.2.2)

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{120}} = 2.3 \leq 2 \rightarrow k = 2$$

$$C_{Rd,c} = \frac{0.18}{\gamma_c} = \frac{0.18}{1.5} = 0.12$$

$$v_{min} = 0.035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2} = 0.035 * 2^{3/2} * 20 * 1/2 = 0.443$$

Εσωτερική στήριξη

$$\rho_l = \frac{A_{s1}}{b_w * d} = \frac{2.5 + 3.3}{100 * 12} = 0.5\% < 2\%$$

$$V_{Rd,c} = \max(C_{Rd,c} * k * (100 * \rho_l * f_{ck})^{1/3}, v_{min}) * b_w * d =$$

$$\max(0.12 * 2 * (100 * 0.5\% * 20)^{1/3}, 0.443) * \frac{1000\text{mm}}{1\text{m}} * 120\text{mm} =$$

$$\max(0.517, 0.443) * \frac{1000\text{mm}}{1\text{m}} * 150\text{mm} = 77.6\text{KN/m}$$

Συνεπώς αν γίνει ο έλεγχος στην στήριξη(υπέρ της ασφαλείας)

$$V_{Ed} = 31\text{KN/m} < V_{Rd,c} = 77.6\text{KN/m}$$

Εξωτερική στήριξη Για την εξωτερική στήριξη αν ληφθεί η ελάχιστη τέμνουσα που είναι υπερ της ασφάλειας,

$$V_{Rd,c} = 0.443 * \frac{1000mm}{1m} * 150mm = 66.5KN/m$$

$$V_{Ed} = 22KN/m < V_{Rd,c} = 66.5KN/m$$

Ρηγμάτωση(ΕC2-§7.3.3)

[8] Στο άνοιγμα

- Υπολογισμός ύψους ουδέτερου άξονα,

$$E_{cm} * b * x^2 / 2 = E_s * A_s * (d - x) \rightarrow 30 * 100 * x^2 / 2 = 200 * 2.5 * (12 - x) \rightarrow x = 1.9cm$$

- Υπολογισμός της τάσης στον εφελκυσμένο οπλισμό

$$M_{sls} = \frac{G + 0.3 * Q}{1.35 * G + 1.5 * Q} * \mu_{span} = \frac{5.25 + 0.3 * 2}{1.35 * 5.25 + 1.5 * 2} * 10KNm/m = 5.8KNm/m$$

$$\sigma_s = \frac{M_{sls}}{(d - x/3) * A_s} = \frac{5.8KNm/m}{(12 - 1.9/3)cm * 2.5cm^2/m} = 204MPa$$

- Υπολογισμός,

Για μακροχρόνια φόρτιση, $k_t = 0.4$

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cm}} = \frac{200}{30} = 6.67$$

$$h_{c,eff} = \min(2.5(h - d), (h - x)/3, h/2) = \min(2.5 * (15 - 12), (15 - 2.3)/3, 15/2) =$$

$$\min(7.5, 4.2, 7.5)cm = 4.2cm$$

$$\rho_{\rho,eff} = \frac{A_s}{A_{c,eff}} = \frac{2.5cm^2/m}{4.2cm} = 6\text{‰}$$

$$\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm} = \frac{\sigma_c - k_t * \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{\rho,eff}} * (1 + \alpha_e * \rho_{\rho,eff})}{E_s} = \frac{204MPa - 0.4 * \frac{2.2MPa}{6\text{‰}} * (1 + 6.67 * 6\text{‰})}{200GPa} =$$

$$0.26 < \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.6 * \frac{204MPa}{200GPa} = 0.61\text{‰} \rightarrow \epsilon_{sm} - \epsilon_{cm} = 0.61\text{‰}$$

- Υπολογισμός μέγιστης απόστασης ρωγμών

$$s > 5 * d_1 = 5 * 3cm = 15cm, \text{ οπότε } s_{r,max} = 1.3 * (h - x) = 1.3 * (15 - 1.9) = 17cm$$

- Υπολογισμός του πλάτους των ρωγμών

$$W_k = 0.61\text{‰} * 172mm = 0.11mm$$

που ικανοποιείται

Στην εσωτερική στήριξη

x	M_{sls}	σ_c	a_e	$h_{c,eff}$	$\rho_{\rho,eff}$	$\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}$	$S_{r,max}$	w_k
2.7cm	15.1KN/m	235MPa	6.67	4.1cm	1.4%	0.79‰	160mm	0.13mm

Πίνακας 6.1: Στοιχεία ρηγματώσεως για στήριξη πλάκας 1

Απαλλαγή από έλεγχο βέλους(EC2-§7.4.2)

Κατά ευρωκώδικα 2

Χωρίς να ληφθεί η διόρθωση λόγω της μειωμένης τάσης οπλισμού(υπέρ της ασφαλείας),

$$\rho = \frac{A_{s,rqd}}{A_c} = \frac{2.2}{100 * 12} = 1.8‰$$

$$\rho_0 = \sqrt{f_{ck}}‰ = \sqrt{20}‰ = 4.5‰$$

$\rho < \rho_0$ οπότε,

$$\frac{l}{d} = 1.3 * [11 + 1.5 * \sqrt{f_{ck}} * \frac{\rho_0}{\rho} + 3.2 * \sqrt{f_{ck}} * (\frac{\rho_0}{\rho} - 1)^{3/2}] =$$

$$1.3 * [11 + 1.5 * \sqrt{20} * \frac{4.5}{1.8} + 3.2 * \sqrt{20} * (\frac{4.5}{1.8} - 1)^{3/2}] = 70 \rightarrow d = \frac{580}{70} = 8.3 < 12cm$$

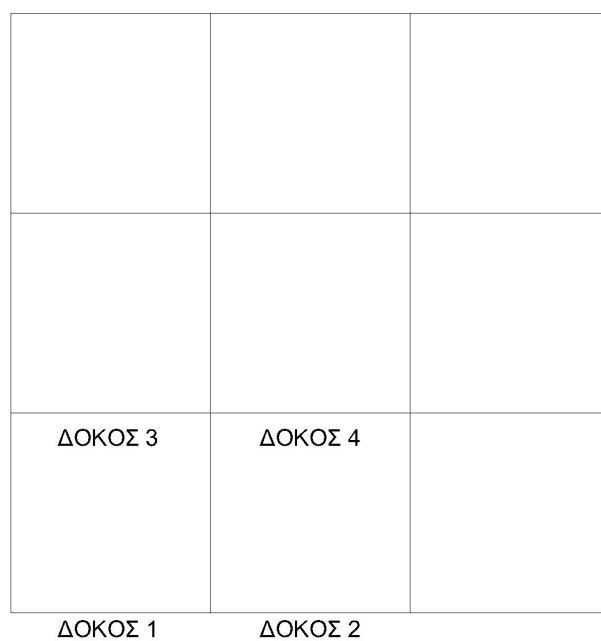
Οπότε δεν απαιτείται έλεγχος βελών.

Σχεδιασμός πλάκας 2,3

Η πλάκα 2 είναι πακτωμένη στις τέσσερις πλευρές, η πλάκα 3 είναι πακτωμένη κατά 2 και η πλάκα 1 είναι πακτωμένη στις δύο. Λαμβάνοντας υπόψιν το γεγονός ότι έχουν την ίδια γεωμετρία και φόρτιση και λαμβάνοντας υπόψιν την στατική λειτουργία των πλακών οι εντάσεις που αναπτύσσονται στην πλάκα 1 είναι μεγαλύτερες από αυτές που αναπτύσσονται στην πλάκα 2 και 3, τόσο στο άνοιγμα όσο και στην στήριξη. Αφού έχουμε τοποθετήσει στην πλάκα 1 τους ελάχιστους οπλισμούς στο άνοιγμα θα τοποθετηθούν οι ίδιοι οπλισμοί στην Πλάκα 2,3 χωρίς να πραγματοποιηθούν οι αντίστοιχοι έλεγχοι.

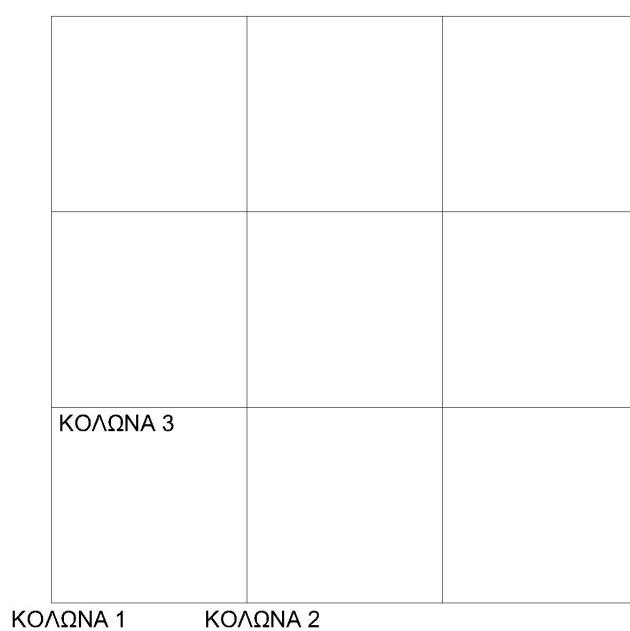
6.4 Στατικό προσομοίωμα φορέα**Ομαδοποίηση στοιχείων στατικού προσομοιώματος**

Βάση της συμμετρίας η ομαδοποίηση των στοιχείων του φορέα μπορεί να γίνει ως εξής,



Σχήμα 6.2: Ομαδοποίηση δοκών

Αντίστοιχα για τα υποστυλώματα



Σχήμα 6.3: Ομαδοποίηση υποστυλωμάτων

Συνεργαζόμενα πλάτη δοκών(ΕC2-§5.3.2.1)**Δοκός 1(εξωτερικό άνοιγμα-εξωτερική δοκός),**

$$b_1 = \frac{l_n}{2} = \frac{6m - 0.35m - 0.4m/2}{2} = 2.8m$$

$$l_0 = 0.85 * (6m - 0.35m/2) = 5m$$

$$b_{eff,1} = \min(0.2 * b_1 + 0.1 * l_0, b_1, 0.2 * l_0) = \min(0.2 * 2.8 + 0.1 * 5, 2.7, 0.2 * 5)m =$$

$$\min(1.1, 2.7, 1)m = 1m$$

$$b_{eff,2} = 0$$

$$b_{eff} = b_w + b_{eff,1} + b_{eff,2} = 0.25m + 1m + 0m = 1.25m$$

Δοκός 2(εσωτερικό άνοιγμα-εξωτερική δοκός),

$$b_1 = \frac{6 - 0.4}{2} = 2.8m$$

$$l_0 = 0.7 * 6m = 4.1m$$

$$b_{eff,1} = \min(0.2 * b_1 + 0.1 * l_0, b_1, 0.2 * l_0) = \min(0.2 * 2.8 + 0.1 * 4.1, 2.8, 0.2 * 4.1) =$$

$$\min(0.95, 2.7, 0.8) = 0.8m$$

$$b_{eff,2} = 0$$

$$b_{eff} = b_w + b_{eff,1} + b_{eff,2} = 0.25 + 0.8 = 1.1m$$

Δοκός 3(εξωτερικό άνοιγμα-εσωτερική δοκός),

$$b_1 = \frac{6m - 0.4m - 0.45m/2}{2} = 2.6$$

$$l_0 = 5m$$

$$b_{eff,1} = b_{eff,2} = \min(0.2 * b_1 + 0.1 * l_0, b_1, 0.2 * l_0) = \min(0.2 * 2.6 + 0.1 * 5, 2.6, 0.2 * 5) =$$

$$\min(1.05, 2.6, 1) = 1m$$

$$b_{eff} = b_w + b_{eff,1} + b_{eff,2} = 0.3 + 1 + 1 = 2.3m$$

Δοκός 4(εσωτερικό άνοιγμα-εσωτερική δοκός),

$$b_1 = \frac{6 - 0.45}{2} = 2.7m$$

$$l_0 = 0.7 * 6m = 4.1m$$

$$b_{eff,1} = b_{eff,2} = \min(0.2 * b_1 + 0.1 * l_0, b_1, 0.2 * l_0) = \min(0.2 * 2.7 + 0.1 * 4.1, 2.7, 0.2 * 4.1) =$$

$$\min(0.95, 2.7, 0.8) = 0.8m$$

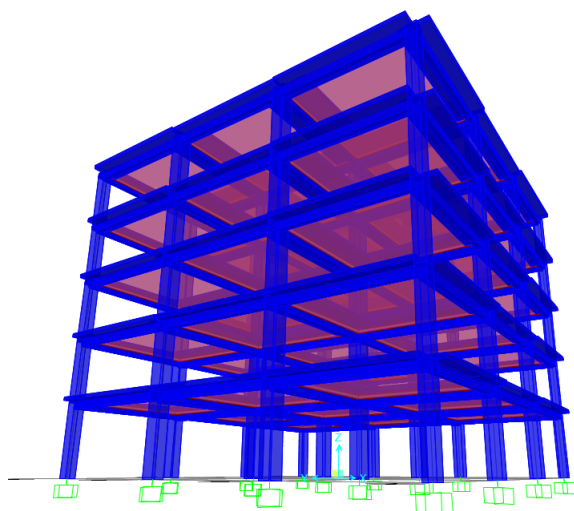
$$b_{eff} = b_w + b_{eff,1} + b_{eff,2} = 0.3 + 0.8 + 0.8 = 1.9m$$

Μέλη προσομοιώματος

Θα ληφθούν 3 διαφορετικά προσομοιώματα για τον σχεδιασμό του φορέα.

- Πλάκες $h = 15\text{cm}$ και $d = 12\text{cm}$ σε όλες τις στάθμες.
- Κολώνες,
Κ1 διαστάσεων $35\text{cm} \times 35\text{cm}$
Κ2 διαστάσεων $40\text{cm} \times 40\text{cm}$
Κ3 διαστάσεων $45\text{cm} \times 45\text{cm}$
- **Στατική φόρτιση**
 - Δοκάρια πλακοδοκοί:
Δοκός 1 διαστάσεων: $b_{eff} = 1.25\text{m}$, $b_w = 0.25\text{m}$, $h = 0.5\text{m}$
Δοκός 2 διαστάσεων: $b_{eff} = 1.1\text{m}$, $b_w = 0.25\text{m}$, $h = 0.5\text{m}$
Δοκός 3 διαστάσεων: $b_{eff} = 2.3\text{m}$, $b_w = 0.3\text{m}$, $h = 0.6\text{m}$
Δοκός 4 διαστάσεων: $b_{eff} = 1.9\text{m}$, $b_w = 0.3\text{m}$, $h = 0.6\text{m}$
 - Στηρίξεις: Θα ληφθούν πακτώσεις.

Αυτό το στατικό προσομοίωμα θα χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό των εντάσεων στον φορέα.



Σχήμα 6.4: Στατικό προσομοίωμα 1

• Σεισμική φόρτιση 1

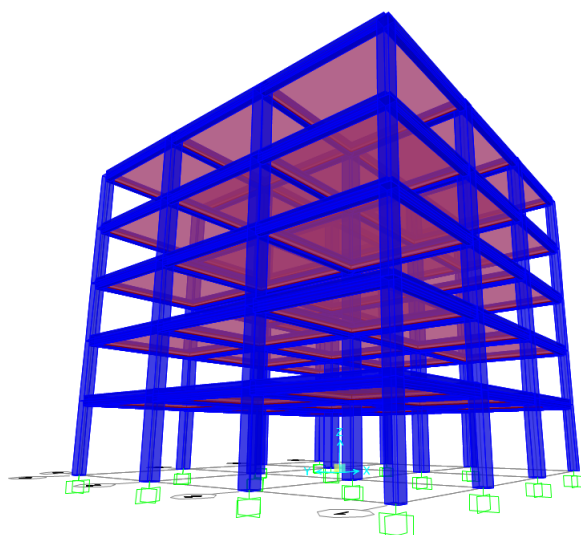
Στην περίπτωση αυτή τα δοκάρια λειτουργούν στο μισό του μήκους ως ορθογωνικές διατομές και στο άλλο μισό ως πλακοδοκοί, οπότε λαμβάνονται ως ορθογωνικές διατο-

μές.

- Δοκάρια ορθογωνικής διατομής όπου,
 Δοκός 1 διαστάσεων $b = 0.25m$, $h = 0.5m$
 Δοκός 2 διαστάσεων $b = 0.25m$, $h = 0.5m$
 Δοκός 3 διαστάσεων $b = 0.25m$, $h = 0.5m$
 Δοκός 4 διαστάσεων $b = 0.25m$, $h = 0.5m$
- Στηρίξεις: Θα ληφθούν πακτώσεις.

Σε συνδυασμό με την στατική φόρτιση θα χρησιμοποιηθούν τα φορτία που προκύπτουν για την διαστασιολόγηση των μελών.

Δεν λαμβάνεται υπόψιν η ενδοσιμότητα του εδάφους για τον υπολογισμό των φορτίων καθώς γίνεται η υπόθεση ότι με την λήψη της ενδοσιμότητας αυξάνεται η ιδιοπερίοδος και μειώνονται τα σεισμικά φορτία. Υπόθεση η οποία ισχύει καθώς το φάσμα απόκρισης που θα προκύψει είναι φθίνουσα συνάρτηση.



Σχήμα 6.5: Στατικό προσομοίωμα 2

• Σεισμική φόρτιση 2

Δοκάρια και κολώνες λαμβάνονται όπως την φόρτιση 1. Σε αυτήν την περίπτωση θα ληφθεί υπόψιν και η θεμελίωση του φορέα που θα γίνει με πεδילוδοκούς. Έγινε επιλογή αυτού του τρόπου θεμελίωσης λόγω του μεγέθους της κατασκευής και της αποδοτικότητας αυτής της θεμελίωσης για αποφυγή διαφορικών καθιζήσεων. Για να ληφθεί η ενδοσιμότητα του εδάφους θα τοποθετηθούν κατακόρυφες κυλίσεις στα άκρα του κτιρίου για να υπάρχουν κατακόρυφες μετακινήσεις και κατακόρυφα ελατήρια για να ληφθούν η παραμορφώσεις του εδάφους. Οι πεδילוδοκοί θα προσομοιωθούν

με γραμμικά στοιχεία.

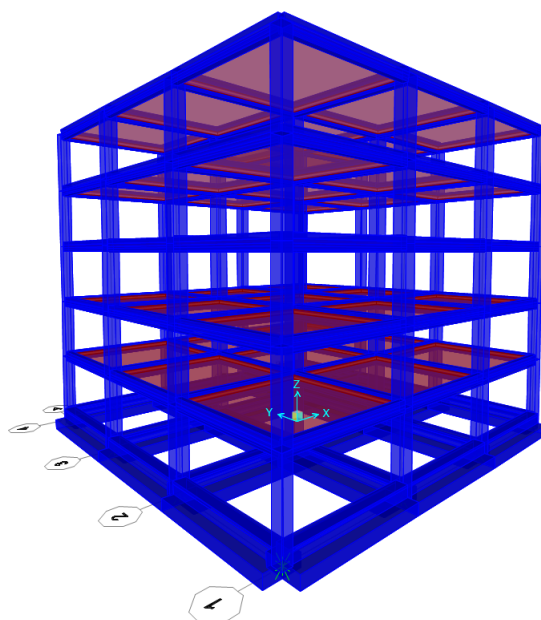
- Δοκάρια όπως της σεισμικής φόρτισης 1
- Πεδιλοδοκοί:
 - Πεδιλοδοκός 1 διαστάσεων $b_{eff} = 1.5m$, $b_w = 0.4m$, $h = 1m$, $h_f = 0.5m$
 - Πεδιλοδοκός 2 διαστάσεων $b_{eff} = 1.5m$, $b_w = 0.45m$, $h = 1m$, $h_f = 0.5m$
- Στηρίξεις: Για να ληφθεί η ενδοσιμότητα του εδάφους θα τοποθετηθούν κατακόρυφα ελατήρια με δείκτη ελατηρίου. Ο δείκτης του εδάφους θα ληφθεί ως [9],

$$k_s = \frac{0.65 * E_s}{b * (1 - \nu^2)}$$

Πρόκειται όμως για γραμμικά στοιχεία οπότε η σταθερά του ελατηρίου θα είναι προσεγγιστικά,

$$k = \frac{0.65 * 30MPa}{1 - 0.2^2} = 20000KN/m^2$$

Για να μην υπάρχουν οριζόντιες μετακινήσεις θα τοποθετηθούν στους κόμβους κατακόρυφες κυλίσεις.



Σχήμα 6.6: Στατικό προσομοίωμα 3

Κριτήρια εκλογής διαστάσεων

- Δοκοί: Το πλάτος σε τέτοια κτιριακά λαμβάνεται συνήθως ως 0.25–0.3m. Το ύψος επιλέχθηκε ως το διπλάσιο του πλάτους και ελέγχθηκε στην συνέχεια ότι για την ανηγμένη

Υποστυλώμα	οριακά $\nu \leq 0.65$	Ικανοποίηση συνάφειας
1	30	35
2	40	40
3	45	45

Πίνακας 6.2: Πλευρές υποστυλωμάτων(cm) για περίπτωση $\rho = 2200\text{kg/m}^3$

ροπή ικανοποιούνται τα όρια για διαρροή του οπλισμού και εφαρμογής πλαστικής ανάλυσης.

- **Κολώνες:** Τυπικά στην βιβλιογραφία επισημαίνεται ότι η διάσταση των υποστυλωμάτων καθορίζεται από τον περιορισμό της ανηγμένης αξονικής, στην περίπτωση κατηγορίας μέσης πλαστιμότητας, ($\nu_{seis} \leq 0.65$). Στην συγκεκριμένη περίπτωση όμως, κρίσιμος έλεγχος ήταν η απαίτηση συνάφειας των διαμήκων οπλισμών στους κόμβους μέσω του περιορισμού των διαμέτρων. Συνεπώς έγινε βελτιστοποίηση των διαστάσεων των υποστυλωμάτων με κριτήριο την ικανοποίηση του ελέγχου απαίτησης συνάφειας στους κόμβους με κάτω όριο των διαμήκων οπλισμών να είναι 12mm . Συγκεκριμένα φαίνονται οι προκύπτουσες διαστάσεις στο σχήμα 6.2.
- **Πεδιλοδοκοί:** Λήφθηκε το συνολικό ύψος ως το $1/6$ του ανοίγματος [9]. Θα ληφθεί το πάχος του κορμού από τα υποστυλώματα που στηρίζει. Το πάχος του πέλματος θα είναι το ελάχιστο, δηλαδή $h_f = 0.5\text{m}$ κατά ΕΚΩΣ.

Φορτία

- Πλάκα τυπικού ορόφου,

$$G_1 = 1.5\text{KPa}$$

$$Q = 2\text{KPa}$$

- Φορτία ιδίων βαρών δοκών, υποστυλωμάτων και πεδιλοδοκών προκύπτουν απευθείας από το πρόγραμμα.
- Τοιχοποιίες λαμβάνονται στα ακριανά δοκάρια ως, $G = 3.6\text{KPa} * 2.5\text{m} = 9.2\text{KN/m}$ δεδομένου ότι ελάχιστο ύψος των ακριανών δοκών είναι $h = 0.5\text{m}$.

Σεισμικοί συνδυασμοί

Για τα 3 προσομοιώματα θα χρησιμοποιηθούν οι αντίστοιχοι συνδυασμοί

- Στατικό σύστημα 1:
 $1.35 * G + 1.5 * Q$, για ελέγχους ΟΚΑ. Στις δοκούς δεν θα γίνει έλεγχος βελών και ρηγμάτωσης οπότε δεν απαιτείται να ληφθεί η φόρτιση $G + 0.3Q$
- Στατικό σύστημα 2:
 $G + 0.3 * Q + E_x + 0.3 * E_y$, για ελέγχους ΟΚΑ
 $G + 0.3 * Q$, για τους ικανοτικούς ελέγχους.

- Στο στατικό σύστημα 3:

$G + 0.3 * Q + E_x + 0.3 * E_y$ για τον υπολογισμό των σεισμικών μετακινήσεων

$G + 0.3 * Q + 1.4 * E_x + 0.42 * E_y$ για τον υπολογισμό των εντάσεων στις πεδιλοδοκούς. Για να μην απαιτηθούν ικανοτικοί έλεγχοι θα ληφθεί συντελεστής επαύξησης $a_{CD} = 1.4$.

Προσομοίωση με Η/Υ

Ένα από τα βήματα σχεδιασμού είναι η προσομοίωση του φορέα στον Η/Υ. Για τον λόγο αυτό θα παρουσιαστεί η διαδικασία προσομοίωσης όπως πραγματοποιήθηκε για τον σχεδιασμό του συγκεκριμένου φορέα με χρήση του προγράμματος SAP2000[©].

- **Δημιουργία καννάβου και πλαισίου**

Συνολικό μήκος-πλάτος είναι $18m$ με εξωτερικές δοκούς $b = 0.25m$ και εσωτερικές δοκούς $b = 0.3m$, συνεπώς οι ακριανές δοκοί έχουν μήκος $5.875m \rightarrow 5.90m$ και οι εσωτερικές έχουν μήκος $6m$

Για το ύψος όλες οι στάθμες του στατικού προσομοιώματος έχουν ύψος $3m$ εκτός από το ισόγειο που έχει ύψος $3m + 0.5m - \frac{h_{slab}}{2} = 3m + 0.5m - \frac{0.18m}{2} = 3.41 \rightarrow 3.5m$

- **Εισαγωγή υλικού**

- **Ορισμός διαφραγμάτων**

- **Εισαγωγή διατομών γραμμικών φορέων**

Για την στατική φόρτιση και την σεισμική φόρτιση θα απομειωθούν οι στρεπτικές δυσκαμψίες των δοκών στο 10% των αρχικών.

Για την σεισμική φόρτιση επιπλέον θα απομειωθούν οι ροπές αδράνειας όλων των στοιχείων κατά 50%.

- **Εισαγωγή διατομών πλακών**

- **Εισαγωγή συνοριακών συνθηκών**

- **Διακριτοποίηση των πλακών**

- **Εισαγωγή περιπτώσεων φόρτισης και φορτίσεων**

- **Εισαγωγή σεισμικού φάσματος**

- **Ορισμός συνδυασμών φόρτισης**

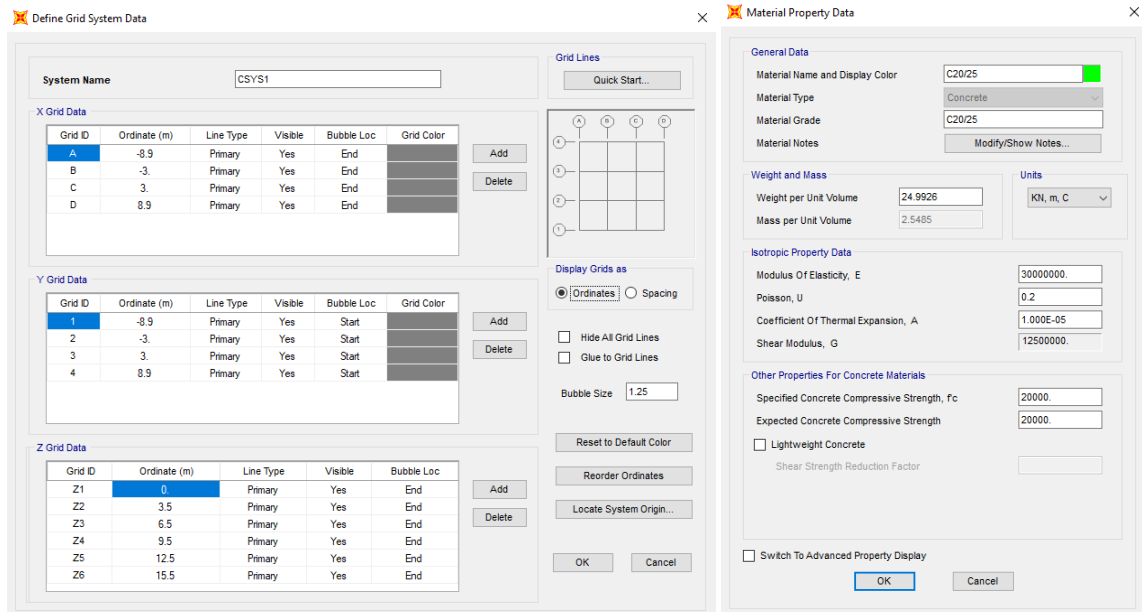
- **Εισαγωγή φορτίων σε γραμμικούς φορείς-πλάκες**

- **Δημιουργία τομών** Χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο του συντελεστή ευαισθησίας-σχετικής μετακίνησης ορόφου.

- **Διακριτοποίηση των πεδιλοδοκών** Εφαρμόζεται στις πεδιλοδοκούς για την εισαγωγή των κατακόρυφων ελατηρίων.

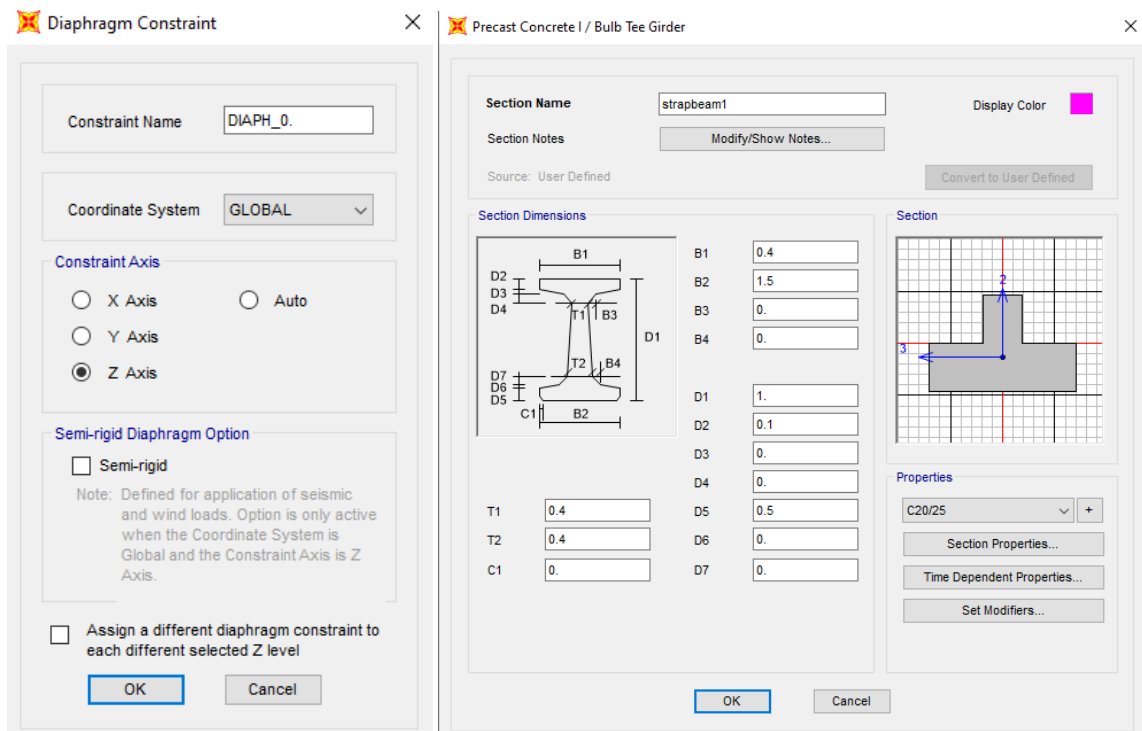
- **Εισαγωγή ελατηρίων στις πεδιλοδοκούς**

Περίπτωση σεισμικού συνδυασμού 2



(α) Δημιουργία καννάβου

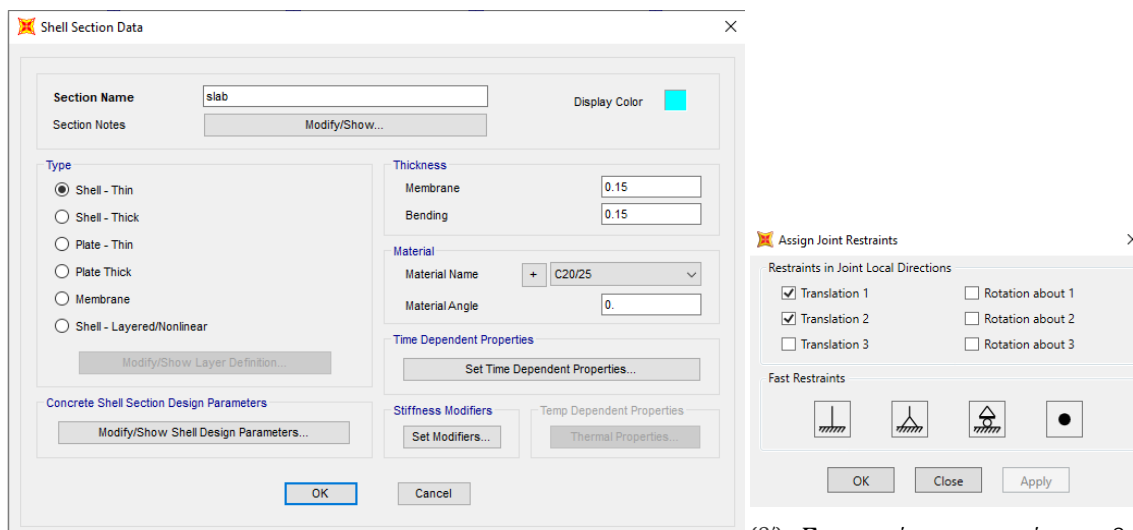
(β') Εισαγωγή υλικού



(γ) Ορισμός διαφραγμάτων

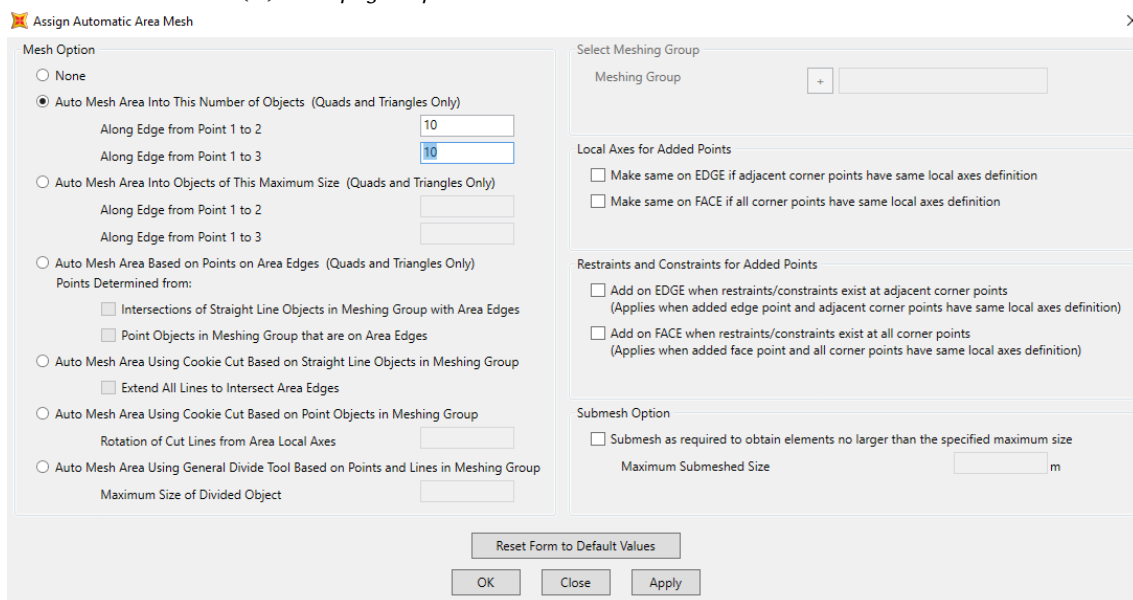
(δ) Διατομή πεδιλοδοκού 1

Σχήμα 6.7: Προσομοίωση σεισμικού συνδυασμού 2 με SAP2000[©](1)



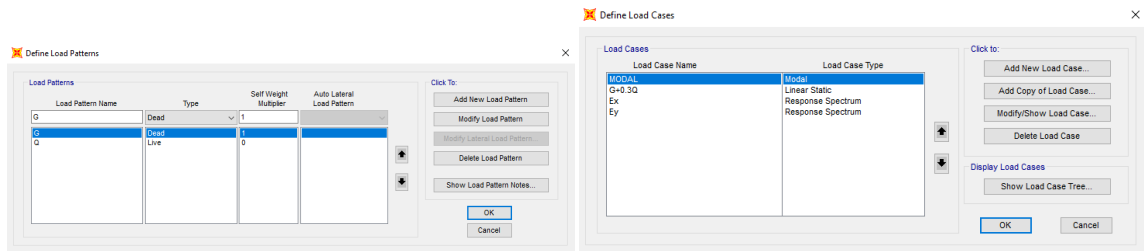
(α) Διατομές επιφανειών

(β) Εισαγωγή συνοριακών συνθηκών



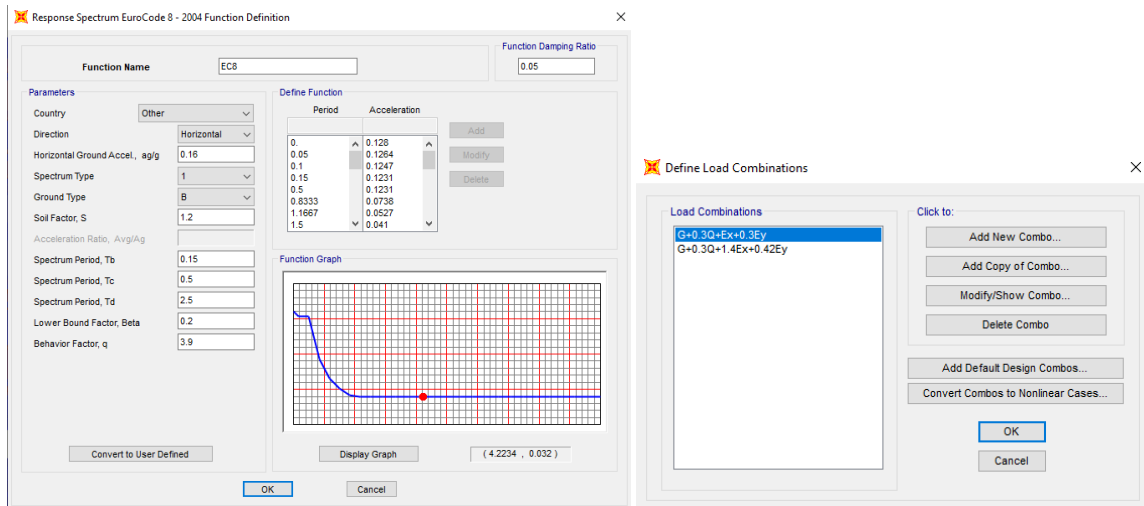
(γ) Διακριτοποίηση των πλινθών

Σχήμα 6.8: Προσομοίωση σεισμικού συνδυασμού 2 με SAP2000[©](2)



(α) Εισαγωγή περιπτώσεων φόρτισης

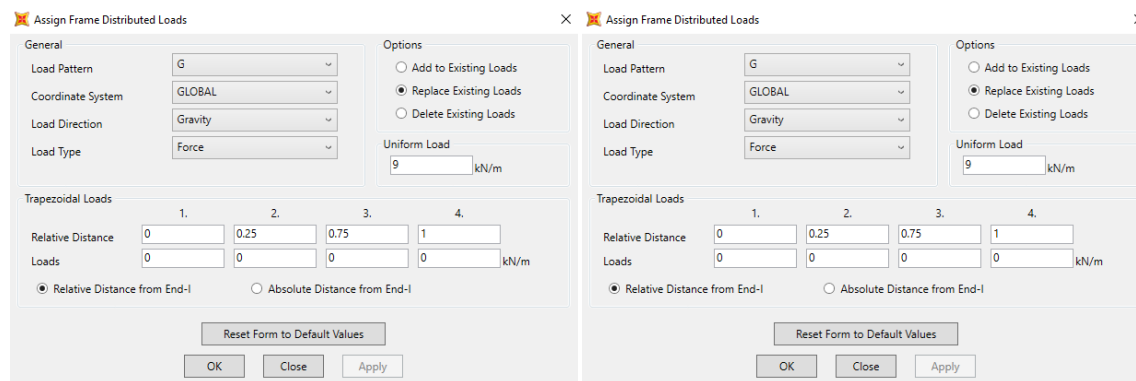
(β) Εισαγωγή φορτίσεων



(γ) Εισαγωγή σεισμικού φάσματος

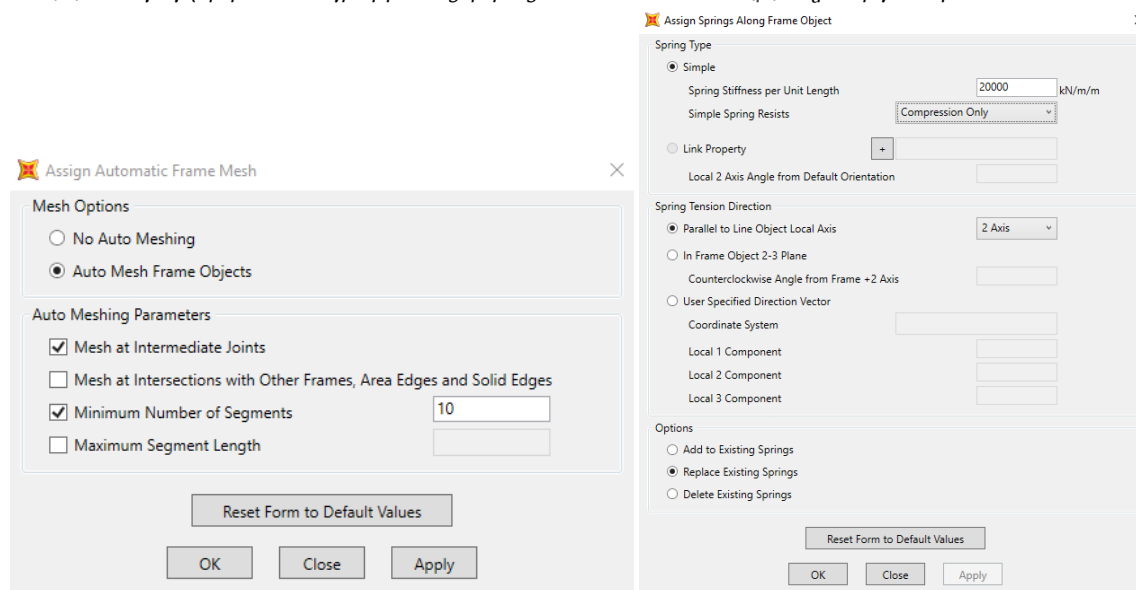
(δ) Εισαγωγή συνδυασμών φόρτισης

Σχήμα 6.9: Προσομοίωση σεισμικού συνδυασμού 2 με SAP2000[©] (3)



(α') Εισαγωγή φορτίων σε γραμμικούς φορείς

(β') Δημιουργία τομών



(γ') Διακριτοποίηση των πεδιλοδοκών

(δ') Εισαγωγή ελατηρίων στις πεδιλοδοκούς

Σχήμα 6.10: Προσομοίωση σεισμικού συνδυασμού 2 με SAP2000[©] (4)

6.5 Έλεγχος οριζόντιων μετακινήσεων και πλαστιμότητα

Πλαστιμότητα(ΕC8-§5.2.3.4)

Από το στατικό προσομοίωμα η ιδιοπερίοδος της 1ης ιδιομορφής είναι,

$$T_1 = 1.23s > T_c = 0.5s$$

Συνεπώς η απαιτούμενη πλαστιμότητα των διατομών είναι,

$$\mu_\phi = 2 * q - 1 = 2 * 3.9 - 1 = 6.8$$

Οριζόντιες μετακινήσεις(ΕC8-§4.4)

Για τον σεισμό σχεδιασμού θα πρέπει να υπολογιστούν για όλους τους ορόφους οι σχετικές μετακινήσεις(drift). Για αυτές τις μετακινήσεις υπάρχει περιορισμός καταρχήν για την μείωση των φαινομένων δευτέρας τάξης αλλά και περιορισμός για να την αποφυγή ζημιών

στα ψαθυρά στοιχεία της κατασκευής.

Τα φαινόμενα δευτέρας τάξης περιορίζονται μέσω του συντελεστή ευαισθησίας σχετικών μετακινήσεων ϑ , όπου σε κάθε περίπτωση απαιτείται $\vartheta < 0.3$ και στην περίπτωση όπου $\vartheta > 0.1$ απαιτείται ο έλεγχος φαινομένων δευτέρας τάξης.

$$\vartheta = \frac{P_{tot} * d_t}{V_{tot} * h}$$

Για την αποφυγή ζημιών στα ψαθυρά στοιχεία της κατασκευής, πρέπει,

$$d_t * v < 0.01 * h$$

Όπου για συνήθεις κατασκευές $v = 0.5$

Τελικά προκύπτει,

Στάθμη	$\Delta l(m)$	$d_1(m)$	P(KN)	V1(KN)	h(m)	ϑ	$dt < 0.01h$	$\vartheta < 0.3$
1	0.0073	0.02847	15545	713	3.5	0.177	YES	YES
2	0.0135	0.02418	12283	631	3	0.157	YES	YES
3	0.0185	0.0195	9052	526	3	0.112	YES	YES
4	0.0221	0.01404	5821	397	3	0.069	YES	YES
5	0.0241	0.0078	2590	210	3	0.032	YES	YES

Πίνακας 6.3: Έλεγχος οριζόντιων μετακινήσεων ΣΚΒ

6.6 Αναλυτικός σχεδιασμός δοκού 1

Γεωμετρικοί περιορισμοί

- Για οιονεί-μόνιμες καταστάσεις (EC2-§5.9(3))

$$\frac{l_{0t}}{b} = \frac{5.4m}{0.25m} = 21.6 \leq \frac{50}{(h/b)^{1/3}} = \frac{50}{(50/25)^{1/3}} = 39.7$$

- Για κατασκευές μέσης πλοσιμότητας απαιτούνται οι εξής γεωμετρικοί περιορισμοί (EC8-§5.4.1.2.1), $b_w \leq \min(b_c + h_w, 2 * b_c)$ και $e \leq b_c/4$

$$b_w = 0.25m < \min(b_c + h_w, 2 * b_c) = \min(0.35m + 0.5m, 2 * 0.35m) = 0.7m$$

$$e = (0.35m - 0.25m)/2 = 0.05 \leq 0.35/4 = 0.08$$

Αυτοί οι γεωμετρικοί περιορισμοί ικανοποιούνται σε όλες τις δοκούς

Επικάλυψη δοκών (EC2-§4.4.1)

Για τους συνδετήρες Φ8,

$$c_{min,b} = 8mm$$

$$c_{min,dur} = 15mm$$

$$\Delta c_{dur,y} = \Delta c_{dur,st} = \Delta c_{dur,add} = 0$$

$$c_{min} = \max(c_{min,b}, c_{mind,dur} + \Delta c_{dur,y} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}, 10mm) =$$

$$\max(8, 15, 10)mm = 15mm$$

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 15mm + 10mm = 25mm$$

Για τους διαμήκεις οπλισμούς,

$$c_{min,b} = 18mm$$

$$c_{min,dur} = 15mm$$

$$\Delta c_{dur,y} = \Delta c_{dur,st} = \Delta c_{dur,add} = 0$$

$$c_{min} = \max(c_{min,b}, c_{mind,dur} + \Delta c_{dur,y} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}, 10mm) =$$

$$\max(18, 15, 10)mm = 18mm$$

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 18mm + 10mm = 28mm$$

Κρίσιμη είναι η επικάλυψη των συνδετήρων αφού, $25 + 8 > 28$,

$$d_1 = c_{nom} + F/2 = 25 + 8 = 33mm$$

Τοποθετείται $d_1 = 40mm$

Εντάσεις από συνδυασμούς φορτίσεων

A/A		Msup1(KNm)	Mspan(KNm)	Msup2(KNm)
Seismic	Mmax	22		2
	Mmin	-93		-110
Static	-	-51	64	-96

Πίνακας 6.4: Εντάσεις δοκού 1

Περιορισμός ανηγμένης ροπής για πλαστική ανάλυση(ΕC8-§5.6.3)

$$\mu_{max} = \frac{M_{seis}}{b * d^2 * f_{cd}} = \frac{110KNm}{0.25m * (0.46m)^2 * 13.3MPa} = 0.15 < 0.295$$

Οπλισμός για απλή κάμψη(ΕC2-§6.1)

- **Εξωτερική στήριξη κάτω**

Συνεργαζόμενο πλάτος για σεισμική φόρτιση(ΕC8-§5.4.3.1.1)

$$b_{eff} = b_w + 2 * h_f = 0.25 + 2 * 0.15 = 0.55$$

$$\mu = \frac{M}{b_{eff} * d^2 * f_{cd}} = \frac{22KNm}{0.55m * (0.46m)^2 * 13.3MPa} = 0.015$$

Από πίνακες πλακοδοκού, ανεξάρτητα από τον λόγο $\frac{h_f}{d}$

$$\omega = 0.016$$

$$A_s = \omega * b_{eff} * d * \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0.016 * 55cm * 46cm * \frac{13.3}{435} = 1cm^2$$

- **Εξωτερική στήριξη πάνω**

$$\mu = \frac{M}{b_{eff} * d^2 * f_{cd}} = \frac{93}{0.25 * 0.46^2 * 13.3MPa} = 0.13$$

Από πίνακες πλακοδοκού,

$$\omega = 0.14$$

$$A_s = \omega * b_w * d * \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0.14 * 25cm * 46cm * \frac{13.3MPa}{435} = 4.9cm^2$$

- **Άνοιγμα κάτω**

$$M_{sup1-} = 64KNm$$

$$\mu = \frac{M}{b_{eff} * d^2 * f_{cd}} = \frac{64KNm}{1.25m * (0.46m)^2 * 11.3MPa} = 0.02$$

Από πίνακες πλακοδοκού,

$$\omega = 0.02$$

$$A_s = \omega * b_{eff} * d * \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0.02 * 125cm * 46cm * \frac{11.3}{435} = 3cm^2$$

- **Εσωτερική στήριξη κάτω**

$$M_{sup1+} = 2KNm$$

Πρακτικά μηδενική ροπή

- **Εσωτερική στήριξη πάνω**

$$\mu = \frac{M}{b_{eff} * d^2 * f_{cd}} = \frac{110}{0.25 * 0.46^2 * 13.3MPa} = 0.16$$

Από πίνακες πλακοδοκού,

$$\omega = 0.175$$

$$A_s = \omega * b_w * d * \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0.175 * 25cm * 46cm * \frac{13.3MPa}{435} = 6.2cm^2$$

Ελάχιστος εφελκόμενος οπλισμός(ΕC8-§5.4.3.1.2)

$$\rho_{s,min} = 0.5 * \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} = 0.5 * \frac{2.2}{500} = 0.22\%$$

$$A_{s,min} = \rho_{s,min} * b * d = 0.22 * 25cm * 46cm = 2.53cm^2$$

Πραγματοποιούμενος εφελκόμενος οπλισμός

- Στήριξη 1 πάνω 4Φ14(6.2cm²)
- Στήριξη 2 πάνω 5Φ14(7.7cm²)

Ελάχιστος θλιβόμενος για κρίσιμες περιοχές (EC8-§5.4.3.1.2(4))

Τοποθετείται ο απαιτούμενος θλιβόμενος οπλισμός και επιπλέον το μισό του εφελκόμενου οπλισμού

- Στήριξη 1:

$$A_{s,min} = A_{s,rqd} + 0.5 * A_{s,top} = 1cm^2 + 0.5 * 6.2cm^2 = 4.1cm^2$$

- Στήριξη 2

$$A_{s,min} = A_{s,rqd} + 0.5 * A_{s,top} = 0.5 * 7.7cm^2 = 3.9cm^2$$

Πραγματοποιούμενος θλιβόμενος οπλισμός

Τοποθετούνται 3Φ14(4.6cm²)

Μέγιστος εφελκόμενος-κρίσιμες περιοχές (EC8-§5.4.3.1.2(4))

$$\rho_{s,max} = \rho' + \frac{0.0018 * f_{cd}}{\mu_{\phi} * \epsilon_{sy,d} * f_{yd}} =$$

$$\rho' + \frac{0.0018 * 13.3}{6.8 * 0.00217 * 435} = \rho' + 0.37\%$$

Εξωτερική-εσωτερική στήριξη

$$\rho_{s,max} = \rho' + 0.37\% = \frac{4.6cm^2}{25cm * 46cm} + 0.37\% = (0.4 + 0.37)\% = 0.77\%$$

$$A_{s,max} = \rho_{s,max} * b * d = 0.0077 * 25cm * 46cm = 8.9cm^2$$

Μέγιστες διαμέτροι (EC2-§5.6.2.2)

Εξωτερική στήριξη

$$N_{min} = 360KN$$

$$v = \frac{N}{b_c * h_c * f_{cd}} = \frac{360}{0.35 * 0.35 * 13.3 * 1000} = 0.22$$

$$\frac{d_{bl}}{h_c} \leq 7.5 * (1 + 0.8 * v_d) * \frac{f_{ctm}}{f_{yd}} \leq 7.5 * (1 + 0.8 * 0.22) * \frac{2.2}{435} = 0.045 \rightarrow$$

$$d_{bl} \leq 0.045 * 0.35m = 15.7mm$$

Εσωτερική στήριξη

$$N_{min} = 700KN$$

$$v = \frac{N_{min}}{b_c * h_c * f_{cd}} = \frac{1000}{0.4^2 * 13.3} = 0.32$$

$$\rho_{max} = 0.77\%$$

$$\rho' = 0.4\%$$

$$\frac{d_{bL}}{h_c} \leq 7.5 * \frac{1 + 0.8v_d}{1 + 0.5 * \frac{\rho'}{\rho_{max}}} * \frac{f_{ctm}}{f_{yd}} = 7.5 * \frac{1 + 0.8 * 0.24}{1 + 0.5 * \frac{0.004}{0.0077}} * \frac{2.2}{435} = 0.038$$

$$d_{bL} = 0.038 * b_c = 0.038 * 400mm = 15.2mm$$

Εγκάρσιες εντάσεις

- Από συνδυασμούς φορτίσεων

A/A	Vsup1(KN)	Vsup2(KN)
MAX	76	75
G+0.3Q	44	47

Πίνακας 6.5: Εγκάρσιες εντάσεις

- Ικανοτικός σχεδιασμός(ΕC8-§5.4.2.2)

Εξωτερική στήριξη

Για να μεγιστοποιηθεί η τέμνουσα στην εξωτερική ροπή λαμβάνεται η περίπτωση σεισμού που είναι θετική η ροπή στην εξωτερική στήριξη και αρνητική στην εσωτερική. Στην δοκό,

$$\frac{d_1}{h} = \frac{0.04}{0.5} = 0.08 \rightarrow 0.10$$

Στην εξωτερική στήριξη,

$$\omega = \frac{A_s * f_{yd}}{b * h * f_{cd}} = \frac{(6.2 + 4.6) * 435}{25 * 50 * 13.3} = 0.28$$

$$\omega_1 / \omega_2 = 0.75$$

$$\mu_{Rd+} = 0.14$$

Στην εσωτερική στήριξη,

$$\omega = \frac{A_s * f_{yd}}{b * h * f_{cd}} = \frac{(7.7 + 4.6) * 435}{25 * 50 * 13.3} = 0.32$$

$$\omega_2 / \omega_1 = 7.7 / 4.6 = 1.67 \rightarrow 1.5$$

$$\mu_{Rd+} = 0.1$$

$$V_{Ed} = \frac{\sum \mu * b * h^2 * f_{cd}}{l_{cl}} + V_{G+0.3Q} =$$

$$\frac{(0.14 + 0.1) * 0.25m * (0.5m)^2 * 13.3MPa}{5.4m} + 44KN = 37KN + 44KN = 81KN$$

Εσωτερική στήριξη Αντιστοίχως στην εσωτερική στήριξη,

$$\frac{d_1}{h} = \frac{0.04}{0.5} = 0.08 \rightarrow 0.10$$

Στην εξωτερική στήριξη,

$$\omega = \frac{A_s * f_{yd}}{b * h * f_{cd}} = \frac{(6.2 + 4.6) * 435}{25 * 50 * 13.3} = 0.28$$

$$\omega_2/\omega_1 = 0.135 \rightarrow 1.25$$

$$\mu_{Rd-} = 0.11$$

Στην εσωτερική στήριξη,

$$\omega = \frac{A_s * f_{yd}}{b * h * f_{cd}} = \frac{(7.7 + 4.6) * 435}{25 * 50 * 13.3} = 0.32$$

$$\omega_1/\omega_2 = 0.59 \rightarrow 0.5$$

$$\mu_{Rd+} = 0.18$$

$$V_{Ed} = \frac{\sum \mu * b * h^2 * f_{cd}}{l_{cl}} + V_{G+0.3\varnothing} =$$

$$\frac{(0.11 + 0.18) * 0.25m * (0.5m)^2 * 13.3MPa}{5.4m} + 47KN = 43KN + 47KN = 90KN$$

Οι τέμνουσες καθορίζονται από τον ικανοτικό σχεδιασμό,

$$V_{sup,out} = 96KN$$

$$V_{sup,in} = 90KN$$

Εγκάρσιοι οπλισμοί(ΕC2-§6.2.3)

Ο συντελεστής ασφάλειας υλικού τροποποιείται για τους εγκάρσιους συνδετήρες

$$f_{ywd} = 0.8 * f_{yw} = 0.8 * 500MPa = 400MPa$$

Στην στήριξη(υπέρ της ασφαλείας),

$$V_{Ed} = 90KN$$

$$\frac{A_{sw}}{s} = \frac{V_{Ed}}{z * f_{ywd} * \cot(\vartheta)} = \frac{90KN}{0.9 * 0.46m * 40KN/cm^2 * \cot(\vartheta)} = 2.1cm^2$$

Για διτμήτους συνδετήρες Φ8 έχουμε,

$$A_{sw} = 1cm^2 \rightarrow s = A_{sw}/2.1 = 47cm$$

Μήκος κρίσιμης περιοχής(ΕC8-§5.4.3.1.2(1))

$$L_{cr} = h_w = 0.5m$$

Ελάχιστη διάμετρος συνδετήρων(ΕC8-§5.4.3.1.2)

$$d_{bw} \geq 6mm$$

Ελάχιστες αποστάσεις εντός κρίσιμων περιοχών(ΕC8-§5.4.3.1.2)

$$s_w \leq \min(8 * d_{bL}, h_w/4, 24 * d_{bw}, 225mm) = \min(8 * 1., 50/4, 24 * 0.8)cm =$$

$$\min(11.2, 12.5, 19)cm = 11cm$$

Ελάχιστες αποστάσεις εκτός κρίσιμων περιοχών(ΕC2-§9.2.2)

$$s \leq 0.75 * d = 0.75 * 46cm = 34cm$$

Ελάχιστος εγκάρσιος οπλισμός(ΕC2-§9.2.2)

$$\rho_{w,min} = 0.08 * \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = 0.08 * \sqrt{20500} = 0.7\%$$

$$s \leq \frac{A_{sw}}{b_w * \rho_{w,min}} = \frac{1cm^2}{25cm * 0.0007} = 57cm$$

Μέγιστη τέμνουσα αντοχής(ΕC2-§6.2.3)

$$z = 0.9 * d = 0.9 * 0.46m = 0.41m$$

$$\nu_1 = 0.6 * \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0.6 * \left(1 - \frac{20}{250}\right) = 0.55$$

$$V_{Rd,max} = a_{cw} * b_w * z * \nu_1 * f_{cd} * \frac{\cot(\theta)}{1 + \cot(\theta)^2} =$$

$$1 * 25cm * 42cm * 0.55 * 1.33KN/cm^2 * 2.5/(1 + 2.5^2) = 265KN$$

Πραγματοποιούμενος διαμήκης και εγκάρσιος οπλισμός**Διαμήκης οπλισμός**

- Εξωτερική στήριξη 4Φ14 πάνω
- Εσωτερική στήριξη 5Φ14 πάνω
- 3Φ14 κάτω

Εγκάρσιος οπλισμός

- Κρίσιμη περιοχή 1: Φ8/11

- Κρίσιμη περιοχή 2: Φ8/11

- Άνοιγμα: Φ8/34

Παρά το γεγονός ότι έγινε οριζόντια ομαδοποίηση των δοκών αν ομαδοποιήσουμε τις δοκούς κατά ύψος ανά 2 στάθμες χρειάζεται να λυθούν άλλες 11 περιπτώσεις για αυτήν τη περίπτωση πυκνότητας. Για να αποφευχθεί αυτή η χρονοβόρα διαδικασία έγινε αυτοματοποίηση της διαδικασίας επίλυσης δοκών με χρήση του Η/Υ. Συγκεκριμένα για την περίπτωση της δοκού 1,

ΔΟΚΟΣ 1-ΣΤΑΘΜΗ 1-2										
A/A	bw(m)	h	fck	ρc	fyk	cot(θ)	d1	hf	fctm	dbw
	0.25	0.5	20	2500	500	2.5	0.04	0.18	2.2	8
Forces	A/A		Msup1	Mspan	Msup2	μlim		A/A	Vsup1	Vsup2
	Seismic	Mmax	22		2			MAX	76	75
		Mmin	-93		-110	0.2961		G+0.3Q	44	47
	Static	-	-51	64	-96	0.3714				
Required reinforcement	A/A	Beff	M	acc	μsd	ω	ξ	ξ<hf/d	As	
	Sup 1 top	0.25	93	1	0.13	0.14225	0.1757	YES	5.0167	YES
	Sup 2 top	0.25	110	1	0.16	0.17098	0.2112	YES	6.0297	YES
	Span bot	1.25	64	0.85	0.02	0.02159	0.0267	YES	3.2359	YES
	Sup 1 bot	0.7	22	1	0.01	0.0112	0.0138	YES	1.1064	YES
	Sup 2 bot	0.7	2	1	0.00	0.00101	0.0013	YES	0.1001	YES
Provided reinforcement	A/A	Φ	n	As	Min	A/A	As,top	As,req	As,min	Check
	Sup 1 top	14	4	6.15752		Sup 1	6.1575	1.10637	4.1851	YES
	Sup 2 top	14	5	7.6969		Sup 2	7.6969	0.100052	3.9485	YES
	Span bottom	14	3	4.61814	Min,Max	As,min	μφ	a/a	As,max	Check
	Sup 1 bottom	14	3	4.61814		2.53	6.800	sup1	8.912	YES
	Sup 2 bottom	14	3	4.61814				sup2	8.912	YES
max	A/A		Nd	bc	hc	vd	ρ	ρ'	dbl/hc	Check
	Sup 1	out	360	0.35	0.35	0.22041	-	-	0.0446	YES
	Sup 2	in	700	0.4	0.4	0.32813	0.0077	0.004016	0.0381	YES
Required	A/A	Asw/s	A/A	ω1/ω2	ω	Σm	lcl	VEd	Asw/s	
	Sup1	1.83575	Crit1	0.75	0.2811	0.24	5.4	81.03704	1.957	
	Sup2	1.81159	Crit2	0.6	0.32126	0.29	5.4	91.75309	2.216	
detailing	Lcr	sw, crit	sw,sup	ρ,min	s,min	acw	v1	Vrd,max		Check
	0.5	11.2	34.5	0.00072	56.1985	1	0.552	262.6759		YES
Required	Crti1	Sup1	Sup2	Crit2	Actual	Crti1	Sup1	Sup2	Crit2	
	51.09	54.47	55.20	45.12		11	34	34	11	YES

Πίνακας 6.6: Πίνακας σχεδιασμού με Η/Υ

Με χρήση των ελέγχων της δοκού 1-στάθμης 1 κρίθηκε ότι το φύλλο είναι ικανό για τον έλεγχο των δοκών.

6.7 Αναλυτικός σχεδιασμός υποστυλώματος 1-στάθμης 1

Επικάλυψη

Απαιτούμενη επικάλυψη είναι ίδια με αυτή των δοκών, αλλά τοποθετείται $d_1 = 50mm$

Εντάσεις

Για την στατική φόρτιση λαμβάνονται οι εντάσεις από το στατικό πρόγραμμα. Για την σεισμική φόρτιση λαμβάνονται οι μέγιστες τιμές των ροπών και η ελάχιστη αξονική. Τυπικά θα έπρεπε να εξεταστούν όλες οι περιπτώσεις και να ληφθεί η δυσμενέστερη, βέβαια μια τέτοια προσέγγιση θα ήταν υπολογιστικά δυσχερής. Λαμβάνονται λοιπόν οι μέγιστες ροπές και η ελάχιστη αξονική που δεν αντιστοιχούν σε συγκεκριμένο σεισμικό συνδυασμό αλλά είναι υπέρ της ασφαλείας.

A/A	N(KN)	M1(KNm)	M2(KNm)
ΣΤΑΤΙΚΑ ΚΕΦΑΛΗ	780	21.00	21.00
ΣΤΑΤΙΚΑ ΒΑΣΗ	795	10.00	10.00
ΣΕΙΣΜΟΣ ΚΕΦΑΛΗ	441	51.00	27.00
ΣΕΙΣΜΟΣ ΒΑΣΗ	452	58.00	23.00

Πίνακας 6.7: Εντάσεις από συνδυασμούς δράσεων υποστυλώματος 1

Για την λήψη των ατελειών απαιτείται η μεταθετότητα του πλαισίου

Μεταθετότητα πλαισίου

Θα καθοριστεί η μεταθετότητα του πλαισίου για στατική και σεισμική φόρτιση,

- **Στατική φόρτιση(ΕC2-§5.8.3.3)**

$$\sum I_c = 4 * 0.45m^4 / 12 + 8 * 0.55^4 / 12 + 4 * 0.6^4 / 12 = 0.1179m^4$$

$$E_{cd} = \frac{E_{cm}}{1.2} = 25GPa$$

$$F_{v,Ed} = 27126KN > 0.31 * \frac{n_s}{n_s + 1.6} * \frac{\sum E_{cd} * I_c}{L^2} =$$

$$0.31 * \frac{5}{5 + 1.6} * \frac{\sum 25GPa * 0.1179m^4}{(15.5m)^2} = 2881KN$$

Πρόκειται για μεταθετό πλαίσιο.

- **Σεισμική φόρτιση(ΕC8-§4.4.2.2(2))** Δεδομένου ότι $\vartheta > 0.1$ για τουλάχιστον μία στάθμη θεωρείται μεταθετό το πλαίσιο.

Γεωμετρικές ατέλειες(ΕC2-§5.2)

Θα ληφθεί η επιρροή των ατελειών μεμονωμένα στα υποστυλώματα.

Για το υποστυλώμα 1,

$$a_h = \frac{2}{\sqrt{l}} = \frac{2}{\sqrt{3.5}} = 1.07 \rightarrow 2/3 \leq a_h = 1.07 \leq 1 \rightarrow a_h = 1$$

$$\partial_i = \partial_0 * a_h * a_m = \frac{l}{200} * a_h * a_m = \frac{1}{200} * 1 * 1 = 0.005$$

Αφού πρόκειται για μεταθετό πλαίσιο

$$H_i = \partial_i * N = 0.005 * N$$

Τροποποιημένες εντάσεις με λήψη των ατελειών

A/A	N(KN)	M1(KNm)	M2(KNm)
ΣΤΑΤΙΚΑ ΚΕΦΑΛΗ	780	24.90	24.90
ΣΤΑΤΙΚΑ ΒΑΣΗ	795	13.98	13.98
ΣΕΙΣΜΟΣ ΚΕΦΑΛΗ	441	53.21	29.21
ΣΕΙΣΜΟΣ ΒΑΣΗ	452	60.26	25.26

Πίνακας 6.8: Εντάσεις με ατέλειες στο υποστυλώμα 1

Ανηγμένα μεγέθη

Τροποποιώντας τις εντάσεις να γίνουν αδιάστατες,

A/A	v	μ1	μ2
ΣΤΑΤΙΚΑ ΚΕΦΑΛΗ	0.48	0.04	0.04
ΣΤΑΤΙΚΑ ΒΑΣΗ	0.49	0.02	0.02
ΣΕΙΣΜΟΣ ΚΕΦΑΛΗ	0.27	0.09	0.05
ΣΕΙΣΜΟΣ ΒΑΣΗ	0.28	0.11	0.04

Πίνακας 6.9: Ανηγμένα μεγέθη εντάσεων στο υποστυλώμα 1

Περιορισμός ανηγμένης αξονικής(ΕC8-§5.4.3.2.1)

Μέγιστη αξονική όπως προκύπτει από το πρόγραμμα είναι,

$$N_{seis,max} = 611KN$$

$$v_{seis,max} = \frac{611KN}{(0.35m)^2 * 13.3MPa} = 0.38$$

Πρόκειται για φορέας μέσης πλαστιμότητας οπότε,

$$v_{seis,max} = 0.38 < 0.65$$

Υπολογισμός οπλισμού για διαξονική κάμψη(ΕC2-§6.1)

Στην διατομή

$$\frac{d_b}{b} = \frac{d_h}{h} = \frac{0.05}{0.35} = 0.14 \rightarrow 0.15$$

Με χρήση των διαγραμμάτων διαξονικής κάμψης για ομοιόμορφο οπλισμό και $\frac{d_b}{b} = 0.15$

A/A	v	μ1	μ2	ω
ΣΤΑΤΙΚΑ ΚΕΦΑΛΗ	0.48	0.04	0.04	0.0
ΣΤΑΤΙΚΑ ΒΑΣΗ	0.49	0.02	0.02	0.0
ΣΕΙΣΜΟΣ ΚΕΦΑΛΗ	0.27	0.09	0.05	0.2
ΣΕΙΣΜΟΣ ΒΑΣΗ	0.28	0.11	0.04	0.2

Πίνακας 6.10: Απαιτούμενος οπλισμός για διαξονική κάμψη

Δηλαδή απαιτείται,

$$A_s = \omega * b * d * \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0.2 * (35\text{cm})^2 * \frac{13.3}{435} = 7.5\text{cm}^2$$

Ελάχιστος οπλισμός(ΕC8-§5.4.3.2.2)

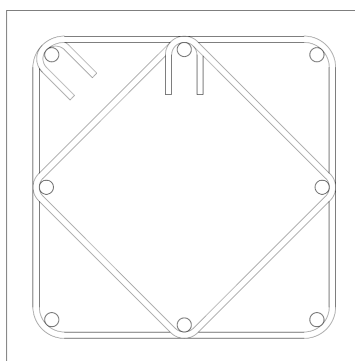
$$\rho_{min} = 1\% \rightarrow A_{s,min} = 0.01 * b_c * h_c = 0.01 * 35\text{cm} * 35\text{cm} = 12.3\text{cm}^2$$

Ελάχιστος αριθμός οπλισμών ανά πλευρά(ΕC8-§5.4.3.2.2)

Ανά πλευρά πρέπει να τοποθετηθούν 3 οπλισμοί

Πραγματοποιούμενοι οπλισμοί

Τοποθετούνται 8Φ16 (16.1cm²)

Τομή διατομής

Σχήμα 6.11: Τομή υποστυλώματος 1

Ενεργό μήκος πλαισίου(ΕC2-§5.8.3.2)

Για την κολόνα

$$\frac{I_c}{L} = \left(\frac{b_c * h_c^3}{12}\right)/L = \left(\frac{(350mm)^4}{12}\right)/3300mm = 378946mm^3$$

Για την συντρέχουσα εξωτερική δοκό,

$$\frac{M}{\partial} = 4 * \frac{I_c}{L} = 4 * \frac{250mm * (500mm)^3}{12} / 5400mm * 0.5 = 482253mm^3$$

Για τον υπολογισμό των δεικτών ευκαμψίας, Στην βάση λαμβάνεται πάκτωση,

$$k_1 = 0$$

Στην κεφαλή του υποστυλώματος,

$$k_2 = \sum \left(\frac{\partial}{M}\right) b * \frac{I_c}{L} = 2 * \frac{378946mm^3}{482253mm^4} = 1.6$$

Περίπτωση μεταθετού πλαισίου

$$l_0 = l * \max\left(\sqrt{1 + 10 * \frac{k_1 * k_2}{k_1 + k_2}}, \left(1 + \frac{k_1}{1 + k_1}\right) * \left(1 + \frac{k_2}{1 + k_2}\right)\right) =$$

$$l * \max\left(\sqrt{1 + 10 * \frac{0 * 1.6}{0 + 1.6}}, \left(1 + \frac{0}{1 + 0}\right) * \left(1 + \frac{1.6}{1 + 1.6}\right)\right) =$$

$$l * \max(1, 1.6) = 1.6 * l = 1.6 * 3.3m = 5.3m$$

Απαλλαγή από έλεγχο λυγισμού(ΕC2-§5.8.3.1)

Για την στατική φόρτιση,

$$A = 0.7$$

$$\omega = \frac{A_s * f_{yd}}{A_c * f_{cd}} = \frac{20.25cm^2 * 435MPa}{45cm^2 * 11.3MPa} = 0.38$$

$$B = \sqrt{1 + 2 * \omega} = \sqrt{1 + 2 * 0.38} = 1.3$$

$$r_m = \frac{M_{01}}{M_{02}} = 1$$

$$C = 1.7 - r_m = 0.7$$

$$\beta_{lim} = 20 * A * B * C / \sqrt{n} = 20 * 0.7 * 1.3 * 0.7 / \sqrt{0.33} = 22$$

Για εύρεση της πραγματικής λυγηρότητας για στατική φόρτιση,

Ακτίνα αδράνειας για αρηγμάτωτη διατομή,

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{b * h^3 / 12}{b * h}} = \sqrt{h^2 / 12} = 0.289 * h = 0.289 * 0.35m = 0.1m$$

$$\hat{l} = l_0/i = 5.3/0.1 = 53 > \hat{l}_{lim}$$

Συνεπώς απαιτείται έλεγχος λυγισμού για στατική φόρτιση

Τα κριτήρια είναι δυσμενέστερα για την σεισμική φόρτιση οπότε απαιτείται έλεγχος λυγισμού και για την σεισμική φόρτιση

Έλεγχος λυγισμού(ΕC2-§5.8.8)

- **Στατική φόρτιση**

λαμβάνοντας μόνο τους ακριανούς σπλισμούς(υπέρ της ασφάλειας),

$$\omega = \frac{12.1 * 435MPa}{(35cm)^2 * 11.3MPa} = 0.38 \rightarrow \omega = 0.4$$

Λαμβάνεται

$$\frac{l_0}{h} = \frac{5.3m}{0.35m} = 15.1 \rightarrow 20$$

$$\frac{d_1}{h} = 0.15$$

Δεν θα ληφθεί υπόψιν ο ερπυσμός στον λυγισμό.

Για την αποφυγή πολλαπλών ελέγχων λαμβάνεται από τους σεισμικούς συνδυασμούς οι μέγιστες ροπές και αξονικές(υπέρ της ασφαλείας). Από διαγράμματα λυγισμού για $\omega = 0.4$, $\nu = 0.5$, $d_1/h = 0.15$

$$\mu = 0.03 < \mu_{Rd} = 0.13$$

ικανοποιείται

- **Σεισμική φόρτιση**

$$\omega = \frac{12.1cm^2 * 435MPa}{(35cm)^2 * 13.3MPa} = 0.33$$

Από διαγράμματα λυγισμού για $\omega = 0.3$, $\nu = 0.4$, $d_1/h = 0.15$

$$\mu = 0.11 < \mu_{Rd} = 0.12$$

ικανοποιείται

Εντάσεις τέμνουσας

- Μέγιστη από συνδυασμούς,

$$V_{Ed} = 31KN$$

- Από τον ικανοτικό έλεγχο,

$$\omega = \frac{16.1 * 435}{35^2 * 13.3} = 0.43$$

Για την δυσμενέστερη περίπτωση θα ληφθεί

$$N_{SLS} = 611KN$$

$$v_{SLS} = \frac{611KN}{(0.35m)^2 * 13.3MPa} = 0.38$$

Από διαγράμματα διαξονικής κάμψης

$$m_{ult} = 0.23$$

$$M_{Rd+} = M_{Rd-} = m_{ult} * b_c * h_c^2 * f_{cd} = 0.23 * (0.35m)^3 * 13.3MPa = 132KNm$$

$$V_{Ed} = \gamma_{Rd} * \frac{M_{Rd+} + M_{Rd-}}{l_{cl}} = 1.1 * \frac{2 * 132KNm}{2.5m} = 120KN$$

λήφθηκε μήκος υποστυλώματος 2.5m για να καλυφθούν και οι υπόλοιπες στάθμες.

Υπολογισμός εγκάρσιων οπλισμών

$$\frac{A_{sw}}{s} = \frac{V_{Ed}}{z * f_{ywd} * \cot(\theta)} = \frac{120KN}{0.9 * 0.4m * 400MPa * 2.5} = 3.3cm^2$$

Έλεγχος μέγιστης τέμνουσας(ΕC2-§6.2.3)

$$a_{cw} = 1$$

$$b_w = 0.45m$$

$$z = 0.9 * d = 0.9 * 0.40m = 0.36m$$

$$v_1 = 0.6 * \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0.55$$

$$V_{Rd,max} = a_{cw} * b_w * z * v_1 * f_{cd} * \frac{\cot(\theta)}{1 + (\cot(\theta))^2} =$$

$$1 * 45cm * 36cm * 0.55 * 1.33KN/cm^2 * \frac{2.5}{1 + 2.5^2} = 410KN$$

Ελάχιστες διαμέτρους

$$d_{bw} \geq \max(6mm, d_{bL}/4) = \max(6mm, 16mm/4) = 6mm$$

Διάταξη συνδετήρων εκτός κρίσιμων περιοχών(ΕC2-§9.5.3)

$$s_w = \min(20 * d_{bL}, h_c, b_c, 400mm) = \min(20 * 16mm, 350mm, 350mm, 400mm) = 32cm$$

Σε περιοχές υπερκάλυψης,

$$s_w = \min(12 * d_{bL}, 0.6 * h_c, 0.6 * b_c, 240\text{mm}) =$$

$$\min(12 * 16, 0.6 * 350, 0.6 * 350, 240)\text{mm} = 19\text{cm}$$

Διάταξη συνδετήρων εντός κρίσιμων περιοχών(ΕC8-§5.2.3.4)

$$s_w = \min(8 * d_{bL}, b_0/2, 175\text{mm}) = \min(8 * 16, 274/2, 175)\text{mm} = 12\text{cm}$$

Οπλισμός περίσφιξης για πλαστιμότητα(ΕC8-§5.4.3.2.2)

$$b_i = \frac{350\text{mm} - 2 * 50\text{mm}}{2} = 125\text{mm}$$

$$b_0 = 350\text{mm} - 2 * 50\text{mm} + 16\text{mm} + 8\text{mm} = 274\text{mm}$$

Γενικά

$$\omega \geq 0.08$$

Για Φ8/10,

$$\omega_{wd} = \frac{\sum b_i * A_{sw} * f_{yd}}{b_0^2 * s * f_{cd}} = \frac{(27.6 * 4 + 19.5 * 4) * 0.5 * 435}{27.6 * 27.6 * 10 * 13.3} = 0.4$$

$$a_n = 1 - \sum \frac{b_i^2}{6 * b_0 * h_0} = 1 - \frac{8 * (125\text{mm})^2}{6 * 276\text{mm} * 276\text{mm}} = 0.73$$

$$a_s = \left(1 - \frac{s}{2 * b_0}\right) * \left(1 - \frac{s}{2 * h_0}\right) = \left(1 - \frac{100}{2 * 276}\right) * \left(1 - \frac{100}{2 * 276}\right) = 0.67$$

$$a = a_n * a_s = 0.73 * 0.67 = 0.49$$

$$a\omega_{wd} = 0.47 * 0.49 * 0.4 = 0.2$$

$$30 * \mu_\phi * \nu_d * \epsilon_{sy,d} * \frac{b_c}{b_0} - 0.035 = 30 * 6.8 * 0.37 * 0.00217 * \frac{0.35}{0.28} - 0.035 = 0.17$$

Παρατηρείται ότι τοποθετήθηκαν οι ελάχιστοι διαμήκεις οπλισμοί οπότε θα γίνει ο σχεδιασμός των υποστυλωμάτων μόνο του ισογείου

Μήκος κρίσιμης περιοχής(ΕC8-§5.4.3.2.2)

$$l_{cr} = \max(h_c, b_c, 0.45m, l_c/5) = \max(0.35m, 0.35m, 0.45m, 3m/5) = 0.6m$$

Έλεγχος λυγισμού για υπόλοιπες στάθμες

Για την στάθμη 2 που αυξάνεται το ενεργό μήκος,

$$k_1 = k_2 = 1.6$$

Περίπτωση μεταθετού πλαισίου

$$l_0 = l * \max(\sqrt{1 + 10 * \frac{k_1 * k_2}{k_1 + k_2}}, (1 + \frac{k_1}{1 + k_1}) * (1 + \frac{k_2}{1 + k_2})) =$$

$$l * \max(\sqrt{1 + 10 * \frac{1.6 * 1.6}{1.6 + 1.6}}, (1 + \frac{1.6}{1 + 1.6}) * (1 + \frac{1.6}{1 + 1.6})) =$$

$$l * \max(3, 2.6) = 3 * l = 3 * 3m = 9m$$

Λαμβάνεται

$$\frac{l_0}{h} = \frac{9m}{0.35m} = 25$$

• Στατική φόρτιση

$$v = \frac{N}{b_c * h_c * f_{cd}} = \frac{625KN}{(0.35m)^2 * 11.3MPa} = 0.45$$

$$\mu = \frac{M_{0Ed}}{b_c * h_c^2 * f_{cd}} = \frac{(36 + 0.005 * 625)KNm}{(0.35m)^3 * 11.3MPa} = 0.08$$

Από διαγράμματα λυγισμού για $l_0/h = 25$, $\omega = 0.4$, $v = 0.45$, $d_1/h = 0.15$

Με γραμμική παρεμβολή, $\mu = (0.16 + 0.06)/2 = 0.11$

$$\mu = 0.08 < \mu_{Rd} = 0.11$$

• Σεισμική φόρτιση

$$v = \frac{N}{b_c * h_c * f_{cd}} = \frac{470KN}{(0.35m)^2 * 13.3MPa} = 0.29$$

$$\mu = \frac{M_{0Ed}}{b_c * h_c^2 * f_{cd}} = \frac{(54 + 0.005 * 470)KNm}{(0.35m)^3 * 13.3MPa} = 0.1$$

Από διαγράμματα λυγισμού για $l_0/h = 25$, $\omega = 0.33$, $v = 0.3$, $d_1/h = 0.15$

Για $l_0/h = 20$ με γραμμική παρεμβολή για $\omega = 0.3$ και $\omega = 0.4$

$$\mu_{Rd} = 0.1 + (0.165 - 0.1)/(0.4 - 0.2) * (0.33 - 0.2) = 0.14$$

Για $l_0/h = 30$ με γραμμική παρεμβολή για $\omega = 0.3$ και $\omega = 0.4$

$$\mu_{Rd} = 0.05 + (0.08 - 0.05)/(0.4 - 0.2) * (0.33 - 0.2) = 0.07$$

Έτσι, για $l_0/h = 25$

$$\mu_{Rd} = (0.14 + 0.07)/2 = 0.105$$

$$\mu = 0.1 < \mu_{Rd} = 0.105$$

που οριακά αρκεί.

Αυτοματοποιώντας την διαδικασία εκτός από τον έλεγχο του λυγισμού, προκύπτει,

ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ 1							
fck	fyk	cotθ	db-dh	dbw	lcr	bc	Nmax,seis
20	500	2.5	0.05	8	0.45	0.35	611
A/A	N(KN)	M1(KNm)	M2(KNm)	v	μ1	μ2	ω
ΣΤΑΤΙΚΑ ΚΕΦΑΛΗ	780	24.90	24.90	0.48	0.04	0.04	0
ΣΤΑΤΙΚΑ ΒΑΣΗ	795	13.98	13.98	0.49	0.02	0.02	0
ΣΕΙΣΜΟΣ ΚΕΦΑΛΗ	441	53.21	29.21	0.27	0.09	0.05	0.2
ΣΕΙΣΜΟΣ ΒΑΣΗ	452	60.26	25.26	0.28	0.11	0.04	0.2
v(KN)	G+0.3Q	MAX	ΣΙΔΕΡΑ	n	Φ	As	
	7	31		8	16	16.085	
vseis,max	ρmin	As,min	nmin	acw	v1	VRd,max	Check
0.37	0.01	12.25	3	1	0.552	239.8345	YES
Asw/s	ω	mu	lcl	Ved	Asw/s	s,rqd	YES
1.15	0.43	0.23	2.5	115.7053333	4.29	32	YES
dbw,min	sw	sw,crit	n	s,base	s,crit	s,col	YES
6	19.2	12.8	3	10	12	19	YES
bi	bo	Asw/AΦ	wwd	αn	αs	αwd	αwd,min
12.5	27.4	2.7	0.41	0.72	0.67	0.20	0.18
19.4							

Πίνακας 6.11: Σχεδιασμός υποστυλώματος 1

Δεδομένου ότι έχουν γίνει οι υπόλοιποι έλεγχοι με αυτοματοποίηση, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα λυγισμού στην 2η στάθμη που θεωρείται και κρίσιμη στα υποστυλώματα 2 και 3.

α/α	v	μ	d ₁ /h	l ₀ /h	ω	μ _{Rd}
Στατική φόρτιση	0.63	0.01	0.15	22.5	0.4	0.12
Σεισμός	0.36	0.07	0.15	22.5	0.33	0.12

Πίνακας 6.12: Έλεγχος λυγισμού υποστυλώμα 2-στάθμη 2

α/α	v	μ	d ₁ /h	l ₀ /h	ω	μ _{Rd}
Στατική φόρτιση	0.73	0.01	0.15	20	0.4	0.1
Σεισμός	0.45	0.09	0.15	20	0.33	0.12

Πίνακας 6.13: Έλεγχος λυγισμού υποστυλώμα 3-στάθμη 2

6.8 Σχεδιασμός πεδιλοδοκών

Περιορισμός εδαφικής πίεσης

Η μέγιστη κατανεμημένη δύναμη που προκύπτει είναι 265KN/m. Οπότε προκύπτει τάση,

$$\sigma_{gr} = \frac{265\text{KN/m}}{1.5\text{m}} = 177\text{KPa} < 200\text{KPa}$$

Σχεδιασμός πέλματος

Το πέλημα πρόκειται για περίπτωση βραχέων προβόλων.

$$\mu_{sd} = \frac{177KPa * (0.5m)^2 / 2}{(0.45m)^2 * 11.3} = 0.01$$

$$A_s = \omega * b * d * \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0.01 * 100cm/m * 45cm * 11.3/435 = 1.2cm^2/m$$

ο οποίος είναι ελάχιστος. Θα τοποθετηθεί πλέγμα T12/10 στο κάτω μέρος της πλακοδοκού. Για τον σχεδιασμό των πεδιλοδοκών θα ληφθούν υπόψιν οι έλεγχοι,

- Απλής κάμψης
- Ελάχιστου οπλισμού
- Τέμνουσας
- Μέγιστης τέμνουσας

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως οι ικανοτικοί έλεγχοι δεν απαιτούνται καθώς έχει ληφθεί συντελεστής επαύξησης $\alpha_{cD} = 1.4$ Με την αυτοματοποίηση της διαδικασίας των δοκών χρησιμοποιείται το ίδιο φύλλο για τους πεδιλοδοκούς με τους αντίστοιχους ελέγχους. Επίσης πρέπει να επισημανθεί ότι στην περίπτωση των πεδιλοδοκών υπάρχει ελάχιστος διαμήκης οπλισμός $\rho_s = 4\%$ κάτω και πάνω.

Πεδιλοδοκός 1

Πεδιλοδοκός 1										
A/A	bw(m)	h	fck	ρc	fyk	cot(θ)	d1	hf	fctm	dbw
	0.4	1	20	2500	500	2.5	0.05	0.5	2.2	8
Forces	A/A		Msup1	Mspan	Msup2	μlim		A/A	Vsup1	Vsup2
	Seismic	Mmax	52	390				MAX	334	512
		Mmin	-88		-386	0.2961				
Static	-	-27	435	-550	0.3714					
Required reinforcement	A/A	Beff	M	acc	μsd	ω	ξ	ξ<hf/d	As	Check
	Sup 1 top	0.4	88	1	0.02	0.018	0.023	YES	2.15	YES
	Sup 2 top	0.4	550	0.85	0.13	0.145	0.179	YES	14.39	YES
	Span bot	1.5	435	0.85	0.03	0.029	0.036	YES	10.69	YES
	Sup 1 bot	1.5	52	1	0.00	0.003	0.004	YES	1.26	YES
	Sup 2 bot	1.5	0	1	0.00	0	0	YES	0	YES
Provided reinforcement	A/A	Φ	n	As	Check	acw	v1	Vrd,max	As,min	Check
	Sup 1 bot	20	6	18.8496	YES	1	0.552	867.97	16	YES
	Sup 2 bot	20	6	18.8496	YES					
	Span top	20	6	18.8496	YES					
	Sup 1 top	20	6	18.8496	YES					
	Sup 2 top	20	6	18.8496	YES					
Required	A/A	Asw/s	s,rqd	s,prov	Check					
	Sup1	3.9	40.4	15	YES					
	Sup2	6.0	26.4	15	YES					

Πίνακας 6.14: Σχεδιασμός πεδιλοδοκού 1

6.9 Ικανοτικοί έλεγχοι

Στα υποστυλώματα τοποθετήθηκε ο ελάχιστος οπλισμός οπότε έχουν την ίδια ροπή αντοχής κατά ύψος. Ο ικανοτικός έλεγχος των κόμβων απαιτείται μόνο στην στάθμη που οι δοκοί έχουν τους μέγιστους οπλισμούς. Συνεπώς θα γίνουν στην στάθμη 1,

- Κόμβος K1-Δ1

$$\max(M_{Rb+}, M_{Rb-}) = \mu_{\max} * b * h^2 * f_{cd} = 0.17 * 0.25m * (0.5m)^2 * 13.3MPa = 142KNm$$

$$M_{Rc+} = M_{Rc-} = \mu_{\max} * b * h^2 * f_{cd} = 0.2 * (0.35m)^3 * 13.3MPa = 114$$

$$\sum M_{Rc} = 2 * 114 = 228KNm \geq 1.3 * \sum M_{Rb} = 1.3 * 142KNm = 185KNm$$

- Κόμβος Δ1-K2-Δ2 Όπως έχει σχεδιασθεί ο φορέας οι δοκοί 1-2 έχουν την ίδια αντοχή στον κόμβο

$$\sum MRb = \sum \mu * b * h^2 * f_{cd} = 0.28 * 0.25m * 0.5m * 13.3MPa = 233KNm$$

$$M_{Rc+} = M_{Rc-} = \mu_{\max} * b * h^2 * f_{cd} = 0.2 * (0.40m)^3 * 13.3MPa = 170$$

$$\sum M_{Rc} = 2 * 170KNm = 340KNm \geq 1.3 * \sum M_{Rb} = 1.3 * 233KNm = 303KNm$$

- Κόμβος Κ2-Δ3

$$\max(M_{Rb+}, M_{Rb-}) = \mu * b * d^2 * f_{cd} = 0.13 * 0.3m * (0.6m)^2 * 13.3MPa = 186KNm$$

$$M_{Rc+} = M_{Rc-} = 170KNm$$

$$\sum M_{Rc} = 2 * 170KNm = 340KNm \geq 1.3 * \sum M_{Rb} = 1.3 * 186KNm = 242KNm$$

- Κόμβος Δ3-Κ3-Δ4

$$\sum MRb = \sum \mu * b * h^2 * f_{cd} = 0.26 * 0.3 * 0.6^2 * 13.3MPa = 374$$

$$M_{Rc+} = M_{Rc-} = \mu * b * h^2 * f_{cd} = 0.21 * (0.45m)^3 * 13.3MPa = 254KNm$$

$$\sum M_{Rc} = 2 * 254KNm = 509KNm \geq 1.3 * \sum M_{Rb} = 1.3 * 374 = 487KNm$$

Ικανοποιούνται οι ικανοτικοί έλεγχοι στην στάθμη 1 και συνεπώς σε όλες τις στάθμες.

Πρέπει να επισημανθεί σε αυτό το σημείο ότι σχεδόν κρίσιμοι ήταν οι ικανοτικοί έλεγχοι για την διαστασιολόγηση των υποσυλιωμάτων.

6.10 Αγκυρώσεις, υπερκαλύψεις και τύπανα

Για τις αγκυρώσεις θα δημιουργηθεί αρχικά πίνακας για,

$$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c = 1.5MPa / 1.5 = 1MPa$$

α/α	Υπερκαλυψη(mm)		αγκύρωση(mm)			
			ευθύγραμμη		μη ευθύγραμμη	
Φ	Μη ευνοϊκές	ευνοϊκές	Μη ευνοϊκές	ευνοϊκές	Μη ευνοϊκές	ευνοϊκές
8	746	522	497	348	348	244
14	1305	914	870	609	609	426
16	1491	1044	994	696	696	487
18	1678	1175	1119	783	783	548
20	1864	1305	1243	870	870	609
22	2051	1436	1367	957	957	670

Πίνακας 6.15: Μήκη αγκυρώσεων για ΣΚΒ

Με δεδομένο πιά τον πίνακα πρέπει να υπολογισθούν τα συνολικά μήκη των ράβδων οπλισμού για να γίνει κοστολόγηση του φορέα.

Πλάκες

Στις εσωτερικές στηρίξεις, οι οπλισμοί θα επεκταθούν στο 1/4 του μήκους της διπλής πλάκας.

Στις εξωτερικές στηρίξεις: Για την πλάκα 1 που είναι η πιο δυσμενής αφού αναπτύσσονται οι μεγαλύτερες ροπές στο άνοιγμα.

- Κάτω οπλισμός(ευνοϊκές συνθήκες): Το βασικό μήκος αγκύρωσης χωρίς την μείωση λόγω τάσεων είναι $l_{b,rqd} = 348mm$ οπότε, με μείωση των τάσεων

$$l_{b,rqd} = \frac{A_{rqd}}{A_{prov}} * l_{b,rqd} = \frac{1.6}{2.5} * 348mm = 223mm$$

Αν ληφθεί μη ευθύγραμμη αγκύρωση, δεδομένου ότι πρόκειται για εφελκυσμένο οπλισμό

$$l_{bd} = 0.7 * l_{b,rqd} = 0.7 * 223mm = 157mm \rightarrow 16cm$$

μήκος το οποίο αρκεί να επεκταθεί μέσα στο δοκάρι.

- Πάνω οπλισμός: Με την ίδια λογική για μη ευθύγραμμη αγκύρωση,

$$l_{bd} = 23cm$$

το οποίο αρκεί.

Δοκοί

Για τον οπλισμό των δοκών θα γίνει η παραδοχή ότι το σημείο μηδενισμού των ροπών δεν μεταβάλλεται από στάθμη σε στάθμη. Σε όλες τις δοκούς θα ληφθεί υπερκάλυψη στους κάτω οπλισμούς και αγκύρωση στους πάνω. Η υπερκάλυψη των δοκών θα γίνει αμέσως μετά την αντίστοιχη στήριξη. Στους δύο πάνω οπλισμούς των δοκών θα γίνει υπερκάλυψη. Θα υπολογισθούν οι αγκυρώσεις για τις υπόλοιπες ράβδους. Για γίνουν οι αγκυρώσεις θα πρέπει να ληφθεί και η μετατόπιση του διαγράμματος ροπών λόγω ρηγματώσης.

$$a_i = z * (\cot \vartheta - \cot \alpha) / 2 = 0.9 * 46cm * (2.5 - 0) / 2 = 52cm$$

Στην στήριξη της δοκού 1-στάθμη 1,

$$M = 100KNm$$

$$2/5 * M = 40KNm$$

Η οποία αναπτύσσεται σε θέση $x_i = 0.6m$ από την στήριξη. Οπότε από παρεία της στήριξης η αγκύρωση πρέπει να γίνει σε απόσταση,

$$l_i = x_i + l_{bd} + a_i - b_c / 2 = 0.6m + 1m + 1.04m - 0.45m / 2 = 2.4m$$

Θα γίνει η ίδια διαδικασία και για τους υπόλοιπους κόμβους και προκύπτει

Μήκη πάνω οπλισμών									
Κόμβος	Προς	χ _i (m)	d(m)	a _l (m)	Φ(mm)	l _{bd} (m)	b _c (m)	l _i (m)	
Εξωτερικός Δ1	Δ1	0.65	0.46	1.035	14	0.9	0.35	2.4	
Δ1-Δ2	Δ1	1.1	0.46	1.035	14	0.9	0.4	2.8	
Δ1-Δ2	Δ2	1	0.46	1.035	14	0.9	0.4	2.7	
Εξωτερικός Δ3	Δ3	0.6	0.56	1.26	16	1.0	0.4	2.7	
Δ3-Δ4	Δ3	0.9	0.56	1.26	16	1.0	0.45	2.9	
Δ3-Δ4	Δ4	0.8	0.56	1.26	16	1.0	0.45	2.8	

Πίνακας 6.16: Αγκυρώσεις πάνω οπλισμών στις δοκούς

Πεδιλοδοκοί

Χρησιμοποιήθηκαν υπερκαλύψεις πάνω και κάτω μιας και τοποθετήθηκε ο ελάχιστος οπλισμός

Υποστυλώματα

Θα ληφθούν υπερκαλύψεις όπως προκύπτουν από τον πίνακα

Τύμπανα

Αρκεί να βρεθούν στην δυσμενέστερη περίπτωση, δηλαδή στην εξωτερική στήριξη της πεδιλοδοκού 1. Για την πεδιλοδοκό 2 το πλάτος του υποστυλώματος είναι μεγαλύτερο και συνεπώς πρόκειται για ευμενέστερη περίπτωση.

Συγκεκριμένα, [6]

- Κάτω οπλισμός:

Καταρχήν για να μην αστοχήσει ο οπλισμός Φ20

$$D_{mand} = 7 * \Phi = 7 * 20mm = 140mm$$

Για $D_{mand} = 450mm$

$$l_1 = b_c - d_1 - D_{mand}/2 = 350mm - 50mm - 450mm/2 = 75mm$$

$$F_{bt} = A_s * f_{yd} - l_1 * \pi * \Phi * f_{bd} =$$

$$\pi * (20mm)^2 / 4 * 435N/mm^2 - 75mm * \pi * 20mm * 1.75N/mm^2 = 128412N$$

$$D_{mand} \geq F_{bt} * \left(\frac{1}{a_b} + \frac{1}{2*\Phi} \right) = 128412 * \left(\frac{1}{50} + \frac{1}{2*20} \right) mm = 435mm$$

διάμετρος η οποία αρκεί.

- Κάτω οπλισμός: Για τον κάτω οπλισμό θα χρησιμοποιηθεί η ίδια διάμετρος τυμπάνου που θα αρκεί καθώς είναι ευνοϊκές οι συνθήκες.

Συνεπώς θα χρησιμοποιηθεί $D_{mand} = 450mm$ για όλες τις δοκούς και πεδιλοδοκούς. Προφανώς δεν υπάρχει κάποιος λόγος να υπολογισθούν οριακά τα τύμπανα μιας και δεν υπάρχει κάποιο τεχνικό-οικονομικό όφελος.

6.11 Προμέτρηση


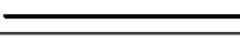

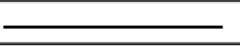

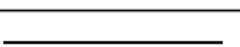

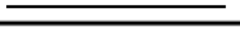
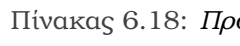

6.11.1 Σκυροδέματος

ΠΡΟΜΕΤΡΗΣΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ(m ³)				
Στάθμη	Πλάκες-δοκοί	Υποστυλώματα	Πεδιλοδοκοί	Άθροισμα
1	64.4	1.4	127.9	193.7
2	64.4	1.2		65.6
3	64.4	1.2		65.6
4	64.4	1.2		65.6
5	64.4	1.2		65.6
ΣΥΝΟΛΟ	321.9	6.2	127.9	456.0

Πίνακας 6.17: Προμέτρηση σκυροδέματος



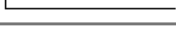


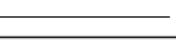

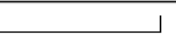

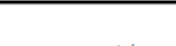
6.11.2 Οπλισμών


Πλάκες τυπικής στάθμης

Προμέτρηση διαμήκων οπλισμών-Πλάκες							
A/A	Δομικό στοιχείο	Σχημα-περιγραφή	Φ(mm)	Όμοια τεμάχια	Μήκος τεμαχίου(L)	Συνολικό μήκος(m)	Βάρος(kg)
1	Ανοιγμα Π1		8	56	7.9	443.5	175.0
2	Ανοιγμα Π1		8	56	6.4	356.2	140.5
3	Στήριξη Π1-Π2		8	520	3.2	1664.0	656.6
4	Ανοιγμα Π2		8	56	9.4	527.5	208.2
5	Ανοιγμα Π2		8	56	6.5	361.8	142.7
6	Ανοιγμα Π2		8	60	9.1	546.0	215.4
7	Ανοιγμα Π2		8	60	6.3	378.0	149.2
8	Στήριξη Π2-Π3		8	264	3.2	844.8	333.3
9	Ανοιγμα Π3		8	15	9.1	136.5	53.9
10	Ανοιγμα Π3		8	15	6.3	94.5	37.3

Πίνακας 6.18: Προμέτρηση οπλισμού πλακών


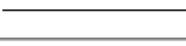

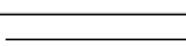
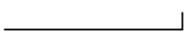



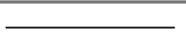
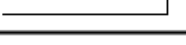
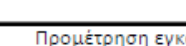
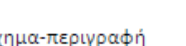
Δοκοί στάθμης 1


Προμέτρηση διαμήκων οπλισμών							
A/A	Δομικό στοιχείο	Σχημα-περιγραφή	Φ(mm)	Ομοια τεμάχια	Μήκος τεμαχίου(L)	Συνολικό μήκος(m)	Βαρος(kg)
1	Δ1 Εξωτερική στήριξη πάνω		14	32	3.3	104.6	126.4
2	Δ1 Εσωτερική στήριξη πάνω		14	40	5.9	236.0	285.2
3	Δ2 Εξωτερική στήριξη 1 κάτω		14	12	7.5	90.6	109.4
4	Δ1 Εσωτερική στήριξη κάτω		14	12	6.5	78.2	94.5
5	Δ1 Εξωτερική στήριξη 2 κάτω		14	12	6.2	74.8	90.4
6	Δ3 Εξωτερική στήριξη πάνω		16	32	3.7	118.2	186.6
7	Δ3 Εσωτερική στήριξη πάνω		16	32	6.2	196.8	310.6
8	Δ3 Εξωτερική στήριξη 1 κάτω		16	16	7.8	124.2	196.1
9	Δ4 Εσωτερική στήριξη κάτω		16	16	6.6	105.5	166.5
10	Δ3 Εξωτερική στήριξη 2 κάτω		16	16	6.3	100.3	158.4
							1724.1

Προμέτρηση εγκάρσιων οπλισμών							
A/A	Δομικό στοιχείο	Σχημα-περιγραφή	Φ(mm)	Ομοια τεμάχια	Μήκος τεμαχίου(L)	Συνολικό μήκος(m)	Βαρος(kg)
1	ΔΟΚΟΣ 1-2		8.00	267	1.44	384.1	151.6
2	ΔΟΚΟΣ 3-4		8.00	247	1.74	429.8	169.6
							321.1

Πίνακας 6.19: Προμετρήσεις οπλισμού δοκών στάθμης 1

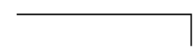

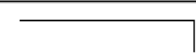



Πεδιλοδοκοί


Προμέτρηση διαμήκων οπλισμών							
A/A	Δομικό στοιχείο	Σχημα-περιγραφή	Φ(mm)	Ομοια τεμάχια	Μήκος τεμαχίου(L)	Συνολικό μήκος(m)	Βαρος(kg)
1	Δ1 Εξωτερική στήριξη πάνω		20	24	9.0	215.0	530.3
2	Δ1 Εσωτερική στήριξη πάνω		20	24	7.9	188.6	465.2
3	Δ1 Εξωτερική στήριξη 2 πάνω		20	24	6.7		
4	Δ2 Εξωτερική στήριξη 1 κάτω		20	24	7.9	190.3	469.4
5	Δ1 Εσωτερική στήριξη κάτω		20	24	7.3	175.2	432.1
6	Δ1 Εξωτερική στήριξη 2 κάτω		20	24	6.8	162.0	399.5
7	Δ3 Εξωτερική στήριξη πάνω		20	24	8.9	214.4	528.8
8	Δ3 Εσωτερική στήριξη πάνω		20	24	7.9	188.6	465.2
9	Δ3 Εξωτερική στήριξη 2 πάνω		20	24	6.6		
10	Δ3 Εξωτερική στήριξη 1 κάτω		20	24	7.9	189.7	467.9
11	Δ4 Εσωτερική στήριξη κάτω		20	24	7.3	175.2	432.1
12	Δ3 Εξωτερική στήριξη 2 κάτω		20	24	6.7	160.2	395.1
							4585.6

Προμέτρηση εγκάρσιων οπλισμών							
A/A	Δομικό στοιχείο	Σχημα-περιγραφή	Φ(mm)	Ομοια τεμάχια	Μήκος τεμαχίου(L)	Συνολικό μήκος(m)	Βαρος(kg)
1	ΔΟΚΟΣ 1-2		8.00	80	2.66	212.8	84.0
2	ΔΟΚΟΣ 3-4		8.00	80	2.76	220.8	87.1
							171.1

Πίνακας 6.20: Προμέτρηση οπλισμού πεδιλοδοκών

Υποστυλώματα στάθμης 1

Προμέτρηση διαμήκων οπλισμών							
A/A	Δομικό στοιχείο	Σχημα-περιγραφή	Φ(mm)	Ομοια τεμάχια	Μήκος τεμαχίου(L)	Συνολικό μήκος(m)	Βαρος(kg)
1	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ 1-3 ΣΤΑΘΜΗ 1		16	80	4.5	363.5	573.8
2	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ 1-3 ΣΤΑΘΜΗ 2-4		16	80	4.0	323.5	510.6
3	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ 1-3 ΣΤΑΘΜΗ 5		16	80	4.0	323.5	510.6
4	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ 2 ΣΤΑΘΜΗ 1		18	64	4.7	299.2	597.6
5	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ 2 ΣΤΑΘΜΗ 2-4		18	64	4.2	267.2	533.7
6	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ 2 ΣΤΑΘΜΗ 5		18	64	4.2	267.2	533.7
							3260.0

Προμέτρηση εγκάρσιων οπλισμών							
A/A	Δομικό στοιχείο	Σχημα-περιγραφή	Φ(mm)	Ομοια τεμάχια	Μήκος τεμαχίου(L)	Συνολικό μήκος(m)	Βαρος(kg)
1	Υποστυλώμα 1		8	115	1.10	126.0	49.7
2	Υποστυλώμα 2		8	106	1.30	138.2	54.5
3	Υποστυλώμα 3		8	108	1.50	161.6	63.8
							168.0

Πίνακας 6.21: Προμετρήσεις οπλισμού υποστυλωμάτων

Κεφάλαιο **7**

Σχεδιασμός με ελαφροσκυρόδεμα

Η διαδικασία είναι ίδια με αυτή του σκυροδέματος κανονικού βάρους.

7.1 Ελαφροσκυρόδεμα με $\rho = 1600$

7.1.1 Γεωμετρία, Παραδοχές και στατικό προσομοίωμα φορέα.

- Γεωμετρία: Τα ανοίγματα και ύψη είναι ίδια με αυτά του ΣΚΒ
- Παραδοχές: Είναι ίδιες εκτός από το ίδιο βάρος του σκυροδέματος. Χρησιμοποιείται ελαφροσκυρόδεμα LC20/25 με $\rho = 1600 \rightarrow \gamma = 17KN/m^3$.
- Στατικό προσομοίωμα:
 - Πλάκες: Θα ληφθεί το ίδιο πάχος παρότι επιτρέπεται από τον EC2 να ληφθεί μικρότερο πάχος. Η χρήση μικρότερου πάχους θα ήταν εκτός πραγματικότητας και άνευ νοήματος για την εξαγωγή συμπερασμάτων
 - Δοκοί: Οι διαστάσεις των δοκών θα ληφθούν ίδιες.
 - Υποστυλώματα: Όπως στην περίπτωση του ΣΚΒ οι διαστάσεις καθορίστηκαν με δοκιμές έτσι ώστε να ικανοποιείται ο έλεγχος συνάφειας στους κόμβους. Έτσι και στο ΕΣ προέκυψε,

Υποσύλωμα	οριακά $v \leq 0.65$	Ικανοποίηση συνάφειας
1	25	40
2	35	45
3	40	45

Πίνακας 7.1: Πίλευρές υποστυλώματος(ζυ) για σχεδιασμό ΕΣΕΑ με $\rho = 1600$

7.1.2 Σχεδιασμός πλάκας 1

Επικάλυψη πλακών (§4.4.1)

Είναι ίδια με αυτή του ΣΚΒ με επαύξηση $dc = 5mm$ οπότε,

$$d1 = 29mm + 5mm = 34mm$$

Οπότε θα ληφθεί επικάλυψη $d_1 = 40mm$.

Θεωρητικό άνοιγμα πλακών

Το θεωρητικό άνοιγμα των πλακών είναι ίδιο

Φορτία και εντάσεις

$G(KPa)$	$Q(KPa)$	$p_1(KPa)$	$p_2(KPa)$	m_{span}	m_{sup}	$V_{sup,1}$	$V_{sup,2}$
4.05	2	6.3	2.2	7.7	21.1	25.2	17.9

Πίνακας 7.2: Φορτία και εντάσεις πλάκας 1

Ελάχιστος οπλισμός

$$A_s, \min = \min(0.26 * f_{ctm}/f_{yk}, 0.0013) * b_t * d =$$

$$\min(0.26 * n_1 * f_{ctm}/f_{yk}, 0.0013) * b_t * d =$$

$$\min(0.26 * 0.84 * 2.2MPa/500MPa, 0.0013) * 1200cm^2/m = 1.56cm^2/m$$

Απαιτούμενος οπλισμός

Στο άνοιγμα

$$A_{s,span} = 1.56cm^2/m$$

Θα τοποθετηθεί ο ελάχιστος οπλισμός, $\Phi 8/20(2.5cm^2/m)$

Στην στήριξη

$$A_{s,sup} = 4.4cm^2/m$$

Απαιτείται $1.9cm^2/m$ οπότε θα τοποθετηθεί $\Phi 8/25(2cm^2/m)$

Αντοχή διάτμησης

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{150}} = 2.2 \leq 2 \rightarrow k = 2$$

$$C_{IRd,c} = \frac{0.15}{\gamma_c} = \frac{0.15}{1.5} = 0.10$$

$$v_{min} = 0.03 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2} = 0.03 * 2^{3/2} * 20 * 1/2 = 0.38$$

Εσωτερική στήριξη,

$$\rho_l = \frac{A_{s1}}{b_w * d} = \frac{2.5 + 2}{100 * 15} = 0.3\% < 2\%$$

$$V_{Rd,c} = \max(C_{Rd,c} * k * (100 * \rho_l * f_{ck})^{1/3}, v_{min}) * b_w * d =$$

$$\max(0.1 * 2 * (100 * 0.3\% * 20)^{1/3}, 0.38) * \frac{1000mm}{1m} * 120mm =$$

$$\max(0.36, 0.38) * \frac{1000mm}{1m} * 120mm = 43.2KN$$

Για την εξωτερική στήριξη,

$$V_{Ed} = 17.9KN/m < V_{Rd,c} = 43.2KN/m$$

Για την εσωτερική στήριξη,

$$V_{Ed} = 25.2KN/m < V_{Rd,c} = 43.2KN/m$$

Ρηγμάτωση

Στο άνοιγμα

- Υπολογισμός ύψους ουδέτερου άξονα,

$$E_{cm} * b * x^2 / 2 = E_s * A_s * (d - x) \rightarrow 16 * 100 * x^2 / 2 = 200 * 2.5 * (11 - x) \rightarrow x = 2.3cm$$

- Υπολογισμός της τάσης στον εφελκόμενο οπλισμό

$$M_{s1s} = \frac{G + 0.3 * Q}{1.35 * G + 1.5 * Q} * \mu_{span} = \frac{4.05 + 0.3 * 2}{1.35 * 4.05 + 1.5 * 2} * 7.7KNm/m = 4.2KNm/m$$

$$\sigma_s = \frac{M_{s1s}}{(d - x/3) * A_s} = \frac{4.2KNm/m}{(11 - 2.3/3)cm * 2.5cm^2/m} = 164MPa$$

- Υπολογισμός,

Για μακροχρόνια φόρτιση, $k_t = 0.4$

$$a_e = \frac{E_s}{E_{cm}} = \frac{200}{16} = 12.5$$

$$h_{c,ef} = \min(2.5(h - d), (h - x)/3, h/2) = \min(2.5 * (15 - 11), (15 - 2.3)/3, 15/2) =$$

$$\min(10, 4.2, 7.5)cm = 4.2cm$$

$$\rho_{\rho,eff} = \frac{A_s}{A_{c,eff}} = \frac{2.5cm^2/m}{4.2cm} = 6\%$$

$$\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t * \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{\rho,eff}} * (1 + a_e * \rho_{\rho,eff})}{E_s} = \frac{164MPa - 0.4 * \frac{1.8MPa}{6\%} * (1 + 12.5 * 6\%)}{200GPa} =$$

$$0.18 < \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.6 * \frac{164MPa}{200GPa} = 0.49\% \rightarrow \epsilon_{sm} - \epsilon_{cm} = 0.49\%$$

- Υπολογισμός μέγιστης απόστασης ρωγμών

$$s > 5 * d_1 = 5 * 3cm = 15cm, \text{ οπότε } s_{r,max} = 1.3 * (h - x) = 1.3 * (15 - 2.3) = 17cm$$

- Υπολογισμός του πλάτους των ρωγμών

$$W_k = 0.49\text{‰} * 170mm = 0.08mm$$

που ικανοποιείται

Στην εσωτερική στήριξη

x	M_{sis}	σ_c	a_e	$h_{c,eff}$	$\rho_{\rho,eff}$	$\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}$	$s_{r,max}$	W_k
3cm	11.6kN/m	320MPa	12.5	4cm	1.1%	1.23‰	156mm	0.19mm

Πίνακας 7.3: Στοιχεία ρηγματώσεως για στήριξη πλάκας 1

Απαλλαγή από έλεγχο βέλους

Χωρίς να λάβουμε την διόρθωση λόγω της τάσης οπλισμού(υπέρ της ασφαλείας),

$$\rho = \frac{A_{s,rqd}}{A_c} = \frac{1.56}{100 * 12} = 1.3\text{‰}$$

$$\rho_0 = \sqrt{f_{ck}}\text{‰} = \sqrt{20}\text{‰} = 4.5\text{‰}$$

$\rho < \rho_0$ οπότε,

$$\frac{l}{d} = 1.3 * [11 + 1.5 * \sqrt{f_{ck}} * \frac{\rho_0}{\rho} + 3.2 * \sqrt{f_{ck}} * (\frac{\rho_0}{\rho} - 1)^{3/2}] =$$

$$1.3 * [11 + 1.5 * \sqrt{20} * \frac{4.5}{1.3} + 3.2 * \sqrt{20} * (\frac{4.5}{1.3} - 1)^{3/2}] = 100$$

Λαμβάνοντας και την διόρθωση για περίπτωση ελαφροσκυροδέματος,

$$\frac{l}{d} = \eta_E^{0.15} * 248 = 0.53^0.15 * 248 = 91$$

$$d = \frac{580}{90} = 6.4$$

που αρκεί

Πλάκες 2 και 3

Με την ίδια λογική του φορέα ΣΚΒ θα τοποθετηθούν τα σίδερα που τοποθετήθηκαν στην πλάκα 1

7.1.3 Έλεγχος οριζόντιων μετακινήσεων και πλαστιμότητα

Πλαστιμότητα

Αντιστοίχως με ΣΚΒ,

$$T_1 = 1.39s > T_c = 0.5s \rightarrow \mu_\phi = 6.8$$

Οριζόντιες μετακινήσεις

Στάθμη	Δl (m)	d_1 (m)	P(KN)	V1(KN)	h(m)	θ	$dt < 0.01h$	$\theta < 0.3$
1	0.0073	0.02847	15545	713	3.5	0.177	YES	YES
2	0.0135	0.02418	12283	631	3	0.157	YES	YES
3	0.0185	0.0195	9052	526	3	0.112	YES	YES
4	0.0221	0.01404	5821	397	3	0.069	YES	YES
5	0.0241	0.0078	2590	210	3	0.032	YES	YES

Πίνακας 7.4: Έλεγχος οριζόντιων μετακινήσεων

7.1.4 Σχεδιασμός δοκών

Διαφορές των πραγματοποιούμενων ελέγχων

- **Επικάλυψη:** Η επικάλυψη αυξάνεται κατά 5mm αλλά $d_1 = 40mm$ αρκεί.
- **Ελάχιστος οπλισμός:** Τροποποιείται η μέση εφελκυστική αντοχή, $f_{ctm} = n_1 * f_{ctm}$
- **Μέγιστη τέμνουσα:** Τροποποιείται ο συντελεστής $\nu_1 = 0.5 * n_1 * (1 - \frac{20}{250})$ αντί του αρχικού $\nu = 0.6 * (1 - \frac{20}{250})$
- **Ικανοποίηση συνάφειας στους κόμβους:** Τροποποιείται η μέση εφελκυστική αντοχή, $f_{ctm} = n_1 * f_{ctm}$

7.1.5 Σχεδιασμός υποστυλωμάτων

Διαφορές των πραγματοποιούμενων ελέγχων

- **Επικάλυψη:** Η επικάλυψη αυξάνεται κατά 5mm αλλά $d_1 = 50mm$ που αρκεί.
- **Μέγιστη τέμνουσα:** Τροποποιείται ο συντελεστής $\nu_1 = 0.5 * n_1 * (1 - \frac{20}{250})$ αντί του αρχικού $\nu = 0.6 * (1 - \frac{20}{250})$
- Τροποποιείται η αντοχή για διαξονική κάμψη.

Για τον λυγισμό, από τα διαγράμματα λυγισμού που δημιουργήθηκαν για το ΣΚΒ και για το ΕΣΕΑ παρατηρείται ότι για d_1/h και για $\omega = 0.4$ οι διαφορές βάση των πυκνοτήτων είναι αμελητέες. Στην περίπτωση του ΕΣΕΑ αυξάνονται οι διατομές των υποστυλωμάτων και ταυτόχρονα μειώνονται τα φορτία, οι έλεγχοι που έγιναν για ΣΚΒ καλύπτουν και αυτήν την περίπτωση.

7.1.6 Ικανοτικοί έλεγχοι

Παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των ελέγχων,

- Κόμβος Κ1-Δ1

$$\sum M_{Rc} = 256KNm \geq 1.3 * \sum M_{Rb} = 108KNm$$

- Κόμβος Δ1-Κ2-Δ2

$$\sum M_{Rc} = 437\text{KNm} \geq 1.3 * \sum M_{Rb} = 227\text{KNm}$$

- Κόμβος Κ2-Δ3

$$\sum M_{Rc} = 437\text{KNm} \geq 1.3 * \sum M_{Rb} = 186\text{KNm}$$

- Κόμβος Δ3-Κ3-Δ4

$$\sum M_{Rc} = 485\text{KNm} \geq 1.3 * \sum M_{Rb} = 336\text{KNm}$$

7.1.7 Σχεδιασμός πεδιλοδοκών

- **Ελάχιστος οπλισμός:** Τροποποιείται η μέση εφελκυστική αντοχή, $f_{ctm} = n_1 * f_{ctm}$
- **Μέγιστη τέννουσα:** Τροποποιείται ο συντελεστής $\nu_1 = 0.5 * n_1 * (1 - \frac{20}{250})$ αντί του αρχικού $\nu = 0.6 * (1 - \frac{20}{250})$

7.1.8 Αγκυρώσεις, υπερκαλύψεις και τύμπανα

Η διαφορά στην εφελκυστική αντοχή επηρεάζει ανάλογα τα απαιτούμενα μήκη αγκυρώσεως και υπερκάλυψης.

$$f_{ctd} = n_1 * f_{ctk} / \gamma_c = 0.84 * 1.5\text{MPa} / 1.5 = 0.84\text{MPa}$$

Τροποποιείται αντίστοιχα ο πίνακας των αγκυρώσεων.

Πλάκες

Οι αγκυρώσεις και τα τύμπανα θα υπολογισθούν με τον ίδιο τρόπο που υπολογίστηκαν στο ΣΚΒ, προκύπτει,

- Κάτω οπλισμός: Διαμορφώνεται μη ευθύγραμμη αγκύρωση με $l_{bd} = 19\text{cm}$
- Πάνω οπλισμός: Διαμορφώνεται ευθύγραμμη αγκύρωση με $l_{bd} = 28\text{cm}$ και $D_{mand} = 150$ (Με χρήση $f_{ctd} = 0.8\text{MPa}$ αρκούσε οριακά $D_{mand} = 100$ αλλά για ΕΣ οι διάμετροι των τυμπάνων πρέπει να αυξηθούν κατά 50%)

Δοκοί, πεδιλοδοκοί και υποστυλώματα

Υπολογίζονται με τον ίδιο τρόπο που υπολογίστηκαν στο ΣΚΒ.

Τύμπανα

Όπως στο ΣΚΒ αρχικά υπολογίστηκε με $f_{ctd} = 0.8\text{MPa}$, για $b_c = 40\text{cm}$ και $\Phi 20$ προκύπτει $D_{mand} = 450\text{mm}$, για αύξηση κατά 50% προκύπτει $D_{mand} = 675$

[Πρέπει να σημειωθεί ότι αν το υποσύλωμα είχε διάσταση $b_c = 35\text{cm}$ θα απαιτούνταν σύμφωνα με τις διατάξεις του ΣΚΒ για $f_{ctd} = 0.8\text{MPa} \rightarrow D_{mand} > 450\text{mm}$ δηλαδή με αύξηση κατά 50%. $D_{mand} > 675\text{mm}$. Μια τέτοια διάσταση δεν θα 'χωρούσε' σε υποσύλωμα πλάτους $b_c = 350\text{mm}$ με επικάλυψη $d_1 = 5\text{mm}$. Συνεπώς στην περίπτωση αυτή θα έπρεπε να γίνει αλληλαγή στις διαστάσεις του υποσυλώματος ή στην διάμετρο του οπλισμού.]

7.2 Ελαφροσκυρόδεμα με $\rho = 1800$

Γεωμετρία, παραδοχές και στατικό προσομοίωμα φορέα.

Η γεωμετρία είναι ακριβώς η ίδια με αυτή του $\rho = 1600$, με την μόνη διαφορά τις διαστάσεις των υποσυλωμάτων, σε αυτήν την περίπτωση προκύπτει.

Υποσύλωμα	οριακά $v \leq 0.65$	Ικανοποίηση συνάφειας	Ικανοτικός-έλεγχος λυγισμού
1	25	35	35
2	30	40	40
3	40	40	45

Πίνακας 7.5: Διαστάσεις υποσυλώματος για σχεδιασμό ΕΣΕΑ $\rho = 1800$

Πλάκες

Θα ληφθούν μόνο οι διαφορές στην εξωτερική στήριξη. Μιας και αυτή καθορίζει τις αλλαγές στον οπλισμό. Οι υπόλοιποι έλεγχοι ικανοποιούνται.

$G(\text{KPa})$	$Q(\text{KPa})$	$p_1(\text{KPa})$	$p_2(\text{KPa})$	m_{sup}	μ_{sup}	ω_{sup}	$A_{sup}(\text{cm}^2)$
4.35	2	6.7	2.3	23	0.17	0.188	5.86

Πίνακας 7.6: Φορτία και εντάσεις πλάκας 1

Τοποθετείται στην στήριξη $\Phi 8/10(5\text{cm}^2)$

Έλεγχος οριζόντιων μετακινήσεων και πλαστιμότητα

Ικανοποιούνται οι απαιτούμενοι έλεγχοι.

Δοκοί, υποσυλώματα και πεδιλοδοκοί

Ίδια λογική με αυτή του ελαφροσκυροδέματος.

Κεφάλαιο 8

Συγκριτικός σχεδιασμός κτιρίων από ΣΚΒ και ΕΣΕΑ

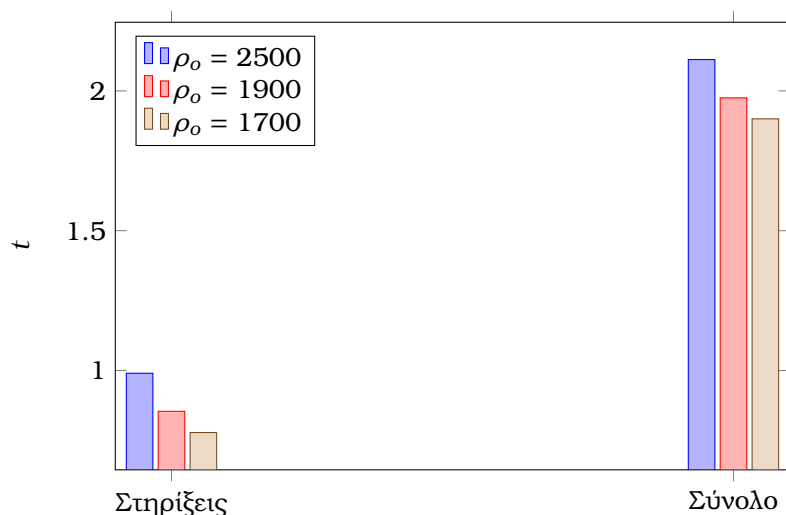
8.1 Πλάκες

Πάχη πλάκας για ικανοποίηση βελών

Αρχική πεποίθηση ήταν να γίνει ελαχιστοποίηση στον όγκο σκυροδέματος όσο και στην ποσότητα οπλισμών για να φανούν οι διαφορές τόσο στο πάχος όσο και στους οπλισμούς. Βέβαια αυτό ήταν τελικά άνευ νοήματος καθώς για άνοιγμα 6m σύμφωνα με τον έλεγχο βελών του EC2 μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν πάχη ακόμα και των 13cm (στατικό ύψος 10cm) στο ΣΚΒ και στο ΕΣ. Πάχος το οποίο σε πραγματική περίπτωση θεωρείται πολύ μικρό. Συνεπώς για το άνοιγμα δεν υπήρχε λόγος να γίνει σύγκριση του πάχους και χρησιμοποιήθηκε πάχος $h = 15cm$ και στις δύο περιπτώσεις. Πάχος το οποίο μπορεί να θεωρηθεί και μικρό για τέτοιο άνοιγμα.

Διαμήκεις οπλισμοί

Όπως αναπτύχθηκε και πριν οι διαφορές στο προκύπτοντα οπλισμό για προέχουσα κάμψη απλά οπλισμένης διατομής είναι αμελητέες για την περίπτωση του ΣΚΒ και του ΕΣ. Οπότε με την μείωση του βάρους του σκυροδέματος ήταν αναμενόμενο να μειωθούν και οι απαραίτητοι οπλισμοί. Στις στηρίξεις παρατηρούνται οι διαφορές



Σχήμα 8.1: Προμέτρηση οπλισμών πλακών(t)

Παρατηρείται μείωση των οπλισμών στις στηρίξεις 14%-20% για ΕΣΕΑ(1800)-ΕΣΕΑ(1600). Στα ανοίγματα τοποθετήθηκαν και στις δύο περιπτώσεις οι ελάχιστοι οπλισμοί. Συνολικά στις πλάκες η μείωση είναι 6%-10%.

Έλεγχος τέμνουσας

Για μείωση της πυκνότητας παρατηρείται και σημαντική μείωση της αντοχής σε τέμνουσα χωρίς οπλισμό διάτμησης. Για την περίπτωση $\rho = 1600\text{kg/m}^3$ παρατηρείται ότι μειώθηκε η ελάχιστη τέμνουσα της πλάκας 15cm από 66.5KN/m σε 43.2KN/m.

Αγκυρώσεις

Για πάχος της εξωτερικής δοκού $b_w = 25\text{cm}$ στην περίπτωση του ΣΚΒ το απαιτούμενο μήκος αγκύρωσης ήταν τέτοιο που χρησιμοποιήθηκε μη ευθύγραμμη αγκύρωση ενώ στην περίπτωση του ΕΣΕΑ απαιτήθηκε ευθύγραμμη αγκύρωση με τύμπανο.

8.2 Οριζόντιες μετακινήσεις

Μία από τις πιο σημαντικές διαφορές του σκυροδέματος είναι στις μετακινήσεις και στον δείκτη σεισμικής ευαισθησίας θ . Στην περίπτωση αυτή ο μέγιστος συντελεστής ευαισθησίας σχετικής μετακίνησης για ΕΣΕΑ(1800)-ΕΣΕΑ(1600) αυξήθηκε κατά 5%-22% αντίστοιχα. Συγκεκριμένα,

α/α	ΣΚΒ	ΕΣΕΑ $\rho = 1800\text{kg/m}^3$	ΕΣΕΑ $\rho = 1600\text{kg/m}^3$
Στάθμη 1	0.03	0.04	0.04
Στάθμη 2	0.07	0.08	0.09
Στάθμη 3	0.12	0.13	0.15
Στάθμη 4	0.16	0.17	0.21
Στάθμη 5	0.18	0.19	0.22

Πίνακας 8.1: Μεταβολή του θ για ΕΣΕΑ

8.3 Διαστάσεις στοιχείων φορέα

Στις πλάκες και στις δοκούς δεν κρίθηκαν οι διαστάσεις από κάποιον έλεγχο. Για την περίπτωση των υποστυλωμάτων δεν ήταν κρίσιμος ο έλεγχος περιορισμού ανηγμένης αξονικής αλλά ο περιορισμός των διαμέτρων για ικανοποίηση της συνάφειας στους οπλισμούς των κόμβων. Ειδικά στο ΕΣΕΑ που μειώνεται η μέση εφελκυστική αντοχή f_{ctm} . Παρότι θα έπρεπε να μειωθούν οι διαστάσεις με την μείωση των εντάσεων, παρατηρείται ότι απαιτούνται μεγαλύτερες διαστάσεις υποστυλώματος. Αυτά ισχύουν για μέση κατηγορία πλαστιμότητας.

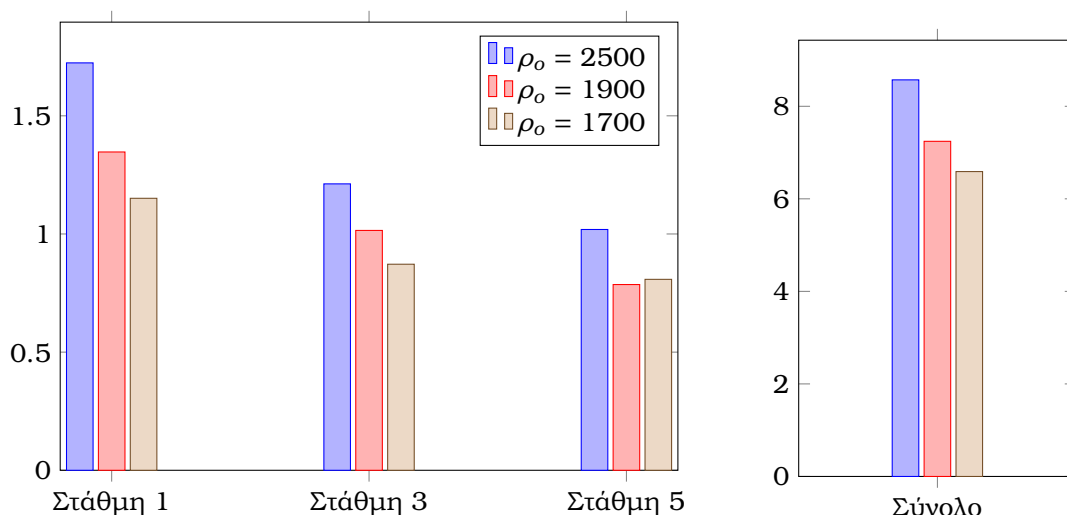
α/α	ΣΚΒ	ΕΣΕΑ $\rho = 1800kg/m^3$	ΕΣΕΑ $\rho = 1600kg/m^3$
Υποσύλωμα 1	35	35	40
Υποσύλωμα 2	40	40	45
Υποσύλωμα 3	45	45	45

Πίνακας 8.2: Πλευρές υποστυλωμάτων(cm)

8.4 Σχεδιασμός δοκών

Διαμήκεις οπλισμοί

Η μείωση των φορτίων οδήγησε σε αντίστοιχη μείωση του διαμήκους οπλισμού. Η μείωση της f_{ctm} λόγω της πυκνότητας δεν οδήγησε σε θέμα στον έλεγχο περιορισμού του εφελκυσμένου οπλισμού. Θα παρουσιαστούν οι διαφορές ανά στάθμη.



Σχήμα 8.2: Προμέτρηση διαμήκων οπλισμών δοκών(t)

Παρατηρείται ότι για μείωση της πυκνότητας μειώνονται οι διαμήκεις οπλισμοί και σε μεγαλύτερες στάθμες είναι μικρότερη η μείωση. Η συνολικά διαφορά για ΕΣΕΑ(1600)-ΕΣΕΑ(1800) είναι 23%-16%

Μέγιστη τέμνουσα

Μειώνεται σημαντικά η μέγιστη τέμνουσα των δοκών. Αυτή η μείωση οφείλεται στον συντελεστή ν και είναι ακριβώς 36%. Βέβαια για τα ανοίγματα των δοκών και τα φορτία που έχουν ληφθεί δεν υπάρχει κάποιος περιορισμός.

Εγκάρσιοι οπλισμοί

Οι εγκάρσιοι οπλισμοί καθορίστηκαν από τις μέγιστες αποστάσεις όπως καθορίζονται από τον EC2

8.5 Σχεδιασμός υποστυλωμάτων

Διαμήκεις οπλισμοί

Οι διαμήκεις οπλισμοί που προέκυψαν τελικά ήταν και στις δύο περιπτώσεις οι ελάχιστοι (1%).

Λυγισμός

Δεν παρατηρήθηκε κάποια διαφορά στον έλεγχο του λυγισμού. Αυτό οφείλεται στα προκύπτοντα διαγράμματα ελαφροσκυροδέματος βάση του EC2. Για την περίπτωση του υποστυλώματος που εξετάστηκε τα διαγράμματα αλληλεπίδρασης δεν παρουσιάζουν διαφορά ενώ παράλληλα η λυγηρότητα αυξάνεται λόγω μεγαλύτερων διαστάσεων υποστυλώματος.

Ικανοτικοί έλεγχοι

Ήταν οριακοί στο ΣΚΒ αλλά με την αύξηση των διαστάσεων στο ΕΣΕΑ δεν προέκυψε κάποιο θέμα. Γενικώς η μείωση της πυκνότητας οδηγεί σε μικρότερες αντοχές στην διαξονική κάμψη. Παράλληλα όμως μειώνονται και οι εντάσεις στις δοκούς που οδηγεί και στην μείωση αντοχής των δοκών. Με μείωση της αντοχής τόσο στις δοκούς όσο και στα υποστυλώματα δεν θα υπάρχει θέμα στους ικανοτικούς ελέγχους κόμβων.

Εγκάρσιοι οπλισμοί

Καθορίζονται από τον ικανοτικό έλεγχο τέμνουσας. Δεν υπάρχει διαφορά καθώς καθορίζονται από τις μέγιστες αποστάσεις.

Μέγιστη τέμνουσα

Υπάρχει μείωση της μέγιστης τέμνουσας κατά 36% όπως στις δοκούς λόγω του συντελεστή ν .

8.6 Πεδιλοδοκοί

Στις πεδιλοδοκούς δεν υπάρχουν διαφορές ούτε στο απαιτούμενο σκυρόδεμα ούτε στους οπλισμούς. Το ύψος είναι τέτοιο που οι εντάσεις που δημιουργούνται είναι μικρές για την

περίπτωση των πεδילוδοκών. Συνεπώς οι οπλισμοί καθορίζονται από τους ελάχιστους του EC2.

8.7 Συνολική οριζόντια και κατακόρυφη δύναμη.

α/α	ΣΚΒ	ΕΣΕΑ(1800)	ΕΣΕΑ(1600)
Κατακόρυφη δύναμη $1.35G + 1.5Q$	24429	22462	21534
Κατακόρυφη δύναμη $G + 0.3Q + E_x + 0.3E_y$	15543	13372	12585
Τέμνουσα δύναμη $G + 0.3Q + E_x + 0.3E_y$	730	587	524

Πίνακας 8.3: *Συνολικές δυνάμεις(KN)*

Στις κατακόρυφες δυνάμεις οι διαφορές για ΕΣΕΑ(1800)-ΕΣΕΑ(1600) είναι 8%-12% για την στατική φόρτιση και 14%-20% για την σεισμική φόρτιση. Στις οριζόντιες δυνάμεις οι διαφορές είναι 20%-30%. Στην περίπτωση αυτού του κτιρίου η θεμελίωση ήταν απλή και άνευ τεχνικού θέματος. Σε περιπτώσεις που η θεμελίωση του έργου είναι προβληματική η χρήση του ελαφροσκυροδέματος ενδεχομένως να δίνει καλύτερη ή και μοναδική λύση.

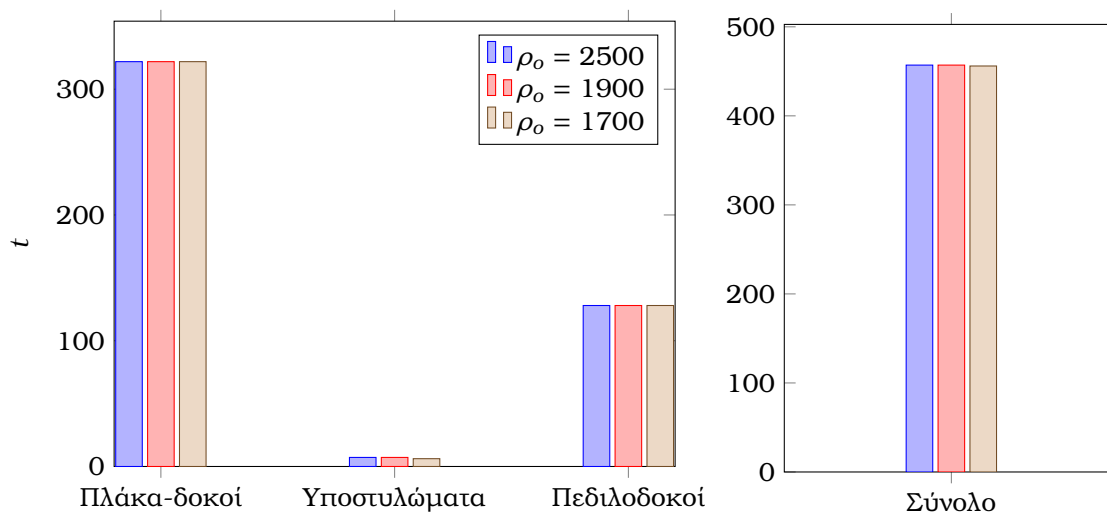
8.8 Ιδιοπερίοδοι

ΣΚΒ	ΕΣΕΑ(1800)	ΕΣΕΑ(1600)
1.23	1.28	1.39

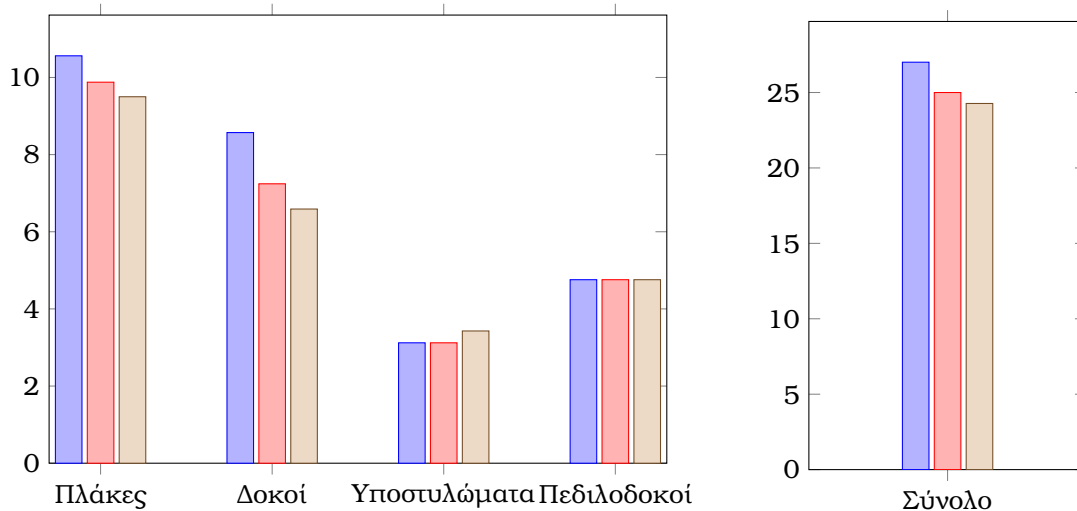
Πίνακας 8.4: *Θεμελιώδης ιδιοπερίοδος(sec)*

Για ΕΣΕΑ(1800)-ΕΣΕΑ(1600) η θεμελιώδης ιδιοπερίοδος αυξάνεται κατά 4%-13%

8.9 Προμετρήσεις



Σχήμα 8.3: Προμέτρηση σκυροδέματος(m^3)



Σχήμα 8.4: Προμετρηση οπλισμών(t)

Οι διαφορές που εμφανίζονται στις πλάκες είναι αυτές των οπλισμών στηρίζεως ενώ στις δοκούς είναι αυτές των διαμήκων οπλισμών. Οι διαφορές στα υποστυλώματα οφείλονται στις διαφορές του ελάχιστου οπλισμού. Σε όλους τους άλλους οπλισμούς κρίσιμοι ήταν οι ελάχιστοι οπότε δεν φαίνονται διαφορές. Η ποσοστιαία διαφορά για το ΣΚΒ και του ΕΣΣΕΑ(1800)-ΕΣΣΕΑ(1600) είναι 8%-10%.

Μέρος 

Επίλογος

Κεφάλαιο 9

Επίλογος

9.1 Συμπεράσματα

Σχεδιασμός διατομών

- Οριζόντια μέλη: Η μείωση της πυκνότητας δεν επιφέρει αύξηση του οπλισμού. Με μείωση της πυκνότητας μειώνονται οι οριακές ροπές για $\xi = 0.45$ και $\epsilon_{s1} \geq 2.17\text{‰}$.
- Υποστυλώματα: Η μείωση της πυκνότητας οδηγεί σε αισθητές διαφορές στον απαιτούμενο οπλισμό οι οποίες για μια δυσμενής περίπτωση δεν είναι μεγαλύτερες του 15 – 20%. Διαφορές οι οποίες έχουν νόημα μόνο για οριακό σχεδιασμό.
- Λυγισμός: Διαφορές οι οποίες είναι πολύ μικρές καθώς δεν μεταβάλλεται το διάγραμμα 2 τάσεων-παραμορφώσεων για ανηγμένες παραμορφώσεις μικρότερες της οριακής.

Πλαστιμότητα διατομών

- Διατομές χωρίς περίσφιξη: Υπάρχουν σταθερές διαφορές για όλο το φάσμα των τιμών ν . Για μείωση του λόγου A_{s2}/A_{s1} οι διαφορές μειώνονται.
- Υποστυλώματα με περίσφιξη: Με αύξηση της περίσφιξης αυξάνονται και οι ποσοστιαίες μεταβολές. Για την περίπτωση ειδικά του κισσηροδέματος αν ληφθεί διόρθωση της σχέσης του ευρωκώδικα βάση πειραματικών μετρήσεων η πλαστιμότητα πέραν μιας περίσφιξης δεν αυξάνεται.

Βέλη

- Διαγράμματα ροπών-καμπυλότητας: Με μείωση της πυκνότητας αυξάνει η ψαθυρότητα, μειώνεται η δυσκαμψία και αυξάνεται η γραμμική συμπεριφορά του σκυροδέματος. Όσον αφορά την τέμνουσα δυσκαμψία παρατηρούνται μεγάλες διαφορές στην αρηγμάτωτη διατομή.
- Βέλη απλών στατικών φορέων: Παρά την μείωση της δυσκαμψίας που παρατηρείται για μικρότερα ρ η αντίστοιχη μείωση του βάρους οδηγεί σε ίδια βέλη στην περίπτωση γραμμικών φορέων.

Σχεδιασμός φορέων

Οι διαφορές στους ελέγχους οφείλονται κυρίως στην εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος f_{ctm} . Οι διαφορές στους απαιτούμενους οπλισμούς για ελαφροσκυρόδεμα παρουσιάζονται αποκλειστικά στις στηρίξεις των πλακών και στους διαμήκεις οπλισμούς των δοκών. Για ΕΣΕΑ με $\rho = 1800\text{kg}/\text{m}^3$ παρουσιάζεται ποσοστιαία μείωση κατά 8% των οπλισμών και αύξηση του μέγιστου συντελεστή σεισμικής ευαισθησίας κατά 5% ενώ για ΕΣΕΑ με $\rho = 1600\text{kg}/\text{m}^3$ παρουσιάζεται ποσοστιαία μείωση κατά 10% των οπλισμών και αύξηση του μέγιστου συντελεστή σεισμικής ευαισθησίας κατά 22%. Αυτό έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον καθώς η μείωση της πυκνότητας οδηγεί σε πολύ μικρή μείωση των οπλισμών και πολύ μεγάλη διαφορά στον συντελεστή σεισμικής ευαισθησίας. Παρατηρούνται και μεγάλες διαφορές στις συνολικές δυνάμεις, για την σεισμική φόρτιση μειώνεται η κατακόρυφη δύναμη για τις δύο πυκνότητες κατά 14% και 20% και οι οριζόντιες μειώνονται κατά 20% και 30%. Εν ολίγοις η χρήση ΕΣΕΑ σε περίπτωση κτιρίων οδηγεί σε διαφορές στους οπλισμούς των οριζόντιων στοιχείων αλλά κυρίως επηρεάζει τις οριζόντιες μετακινήσεις και τις συνολικές δράσεις που ασκούνται στο έδαφος.

9.2 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

Βάση των αποτελεσμάτων θα ήταν ενδιαφέρον να διερευνηθεί:

- Η χρήση του ΕΣΕΑ σε οριζόντια στοιχεία γεφυρών.
- Η χρήση ΕΣΕΑ στην θεμελίωση δυσμενών περιπτώσεων. Ψηλών κτιρίων, γεφυρών ή κακών εδαφικών χαρακτηριστικών.
- Η χρήση εναλλακτικών διαγραμμάτων τάσεων-παραμορφώσεων ΕΣΕΑ για την εξαγωγή συμπερασμάτων στον λυγισμό κατακόρυφων στοιχείων.

Παράρτημα **A'**

Πίνακες απλού οπλισμού-πλακοδοκών

Πίνακας απλού σπλισμού			$\rho_c(\text{kg/m}^3)$	1400
μsd	ζ	ξ	ω	$\epsilon_{s1}(\%)$
0.000	1.000	0.000	0.000	0.000
0.01	0.995	0.013	0.010	203.14
0.02	0.989	0.027	0.020	99.65
0.03	0.984	0.04	0.030	65.15
0.04	0.979	0.054	0.041	47.89
0.05	0.973	0.068	0.051	37.54
0.06	0.967	0.082	0.062	30.63
0.07	0.962	0.096	0.073	25.7
0.08	0.956	0.111	0.084	22
0.09	0.95	0.125	0.095	19.11
0.1	0.944	0.14	0.106	16.81
0.11	0.938	0.155	0.117	14.92
0.12	0.932	0.17	0.129	13.34
0.13	0.926	0.186	0.140	12.01
0.14	0.92	0.201	0.152	10.86
0.15	0.914	0.217	0.164	9.87
0.16	0.907	0.233	0.176	9
0.17	0.901	0.25	0.189	8.23
0.18	0.894	0.266	0.201	7.54
0.19	0.887	0.283	0.214	6.93
0.2	0.881	0.3	0.227	6.38
0.21	0.874	0.318	0.240	5.87
0.22	0.866	0.336	0.254	5.42
0.23	0.859	0.354	0.268	5
0.24	0.852	0.373	0.282	4.61
0.25	0.844	0.391	0.296	4.25
0.26	0.837	0.411	0.311	3.92
0.27	0.829	0.431	0.326	3.62
0.279	0.821	0.45	0.341	3.34
0.28	0.821	0.451	0.341	3.33
0.29	0.812	0.472	0.357	3.06
0.3	0.804	0.494	0.373	2.81
0.31	0.795	0.516	0.390	2.57
0.32	0.786	0.538	0.407	2.35
0.328	0.778	0.557	0.422	2.17

Πίνακας Α'.1: Πίνακας απλού σπλισμού $\rho = 1400$

Πίνακας απλού σπλισμού				$\rho(\text{kg/m}^3)=$	1600
μsd	ζ	ξ	ω	$\epsilon\text{s1}(\text{‰})$	
0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.01	0.995	0.013	0.010	221.95	
0.02	0.989	0.026	0.020	108.91	
0.03	0.984	0.039	0.030	71.23	
0.04	0.979	0.053	0.041	52.38	
0.05	0.973	0.067	0.051	41.07	
0.06	0.968	0.08	0.062	33.53	
0.07	0.962	0.094	0.073	28.14	
0.08	0.956	0.108	0.084	24.1	
0.09	0.951	0.123	0.095	20.95	
0.1	0.945	0.137	0.106	18.43	
0.11	0.939	0.152	0.117	16.37	
0.12	0.933	0.167	0.129	14.65	
0.13	0.927	0.182	0.140	13.19	
0.14	0.921	0.197	0.152	11.94	
0.15	0.914	0.212	0.164	10.85	
0.16	0.908	0.228	0.176	9.9	
0.17	0.902	0.244	0.189	9.06	
0.18	0.895	0.26	0.201	8.31	
0.19	0.888	0.277	0.214	7.64	
0.2	0.882	0.294	0.227	7.04	
0.21	0.875	0.311	0.240	6.49	
0.22	0.868	0.328	0.254	5.99	
0.23	0.861	0.346	0.267	5.53	
0.24	0.853	0.364	0.281	5.11	
0.25	0.846	0.383	0.296	4.72	
0.26	0.838	0.402	0.310	4.36	
0.27	0.83	0.421	0.325	4.02	
0.28	0.822	0.441	0.340	3.71	
0.285	0.819	0.45	0.348	3.58	
0.29	0.814	0.461	0.356	3.42	
0.3	0.806	0.482	0.372	3.14	
0.31	0.797	0.504	0.389	2.89	
0.32	0.788	0.526	0.406	2.64	
0.33	0.779	0.549	0.424	2.41	
0.34	0.769	0.572	0.442	2.19	
0.341	0.769	0.574	0.444	2.17	

Πίνακας Α'.2: Πίνακας απλού σπλισμού $\rho = 1600$

Πίνακας απλού σπλισμού			$\rho(\text{kg/m}^3)=$	1800
μsd	ζ	ξ	ω	$\epsilon\text{s1}(\%)$
0.000	1.000	0.000	0.000	0.000
0.01	0.995	0.013	0.0101	240.76
0.02	0.99	0.026	0.0202	118.17
0.03	0.984	0.039	0.0305	77.31
0.04	0.979	0.052	0.0409	56.87
0.05	0.973	0.065	0.0514	44.61
0.06	0.968	0.079	0.0620	36.43
0.07	0.962	0.093	0.0727	30.58
0.08	0.957	0.106	0.0836	26.2
0.09	0.951	0.12	0.0946	22.78
0.1	0.945	0.135	0.1058	20.05
0.11	0.939	0.149	0.1171	17.82
0.12	0.933	0.164	0.1286	15.95
0.13	0.927	0.178	0.1402	14.37
0.14	0.921	0.193	0.1520	13.01
0.15	0.915	0.209	0.1639	11.84
0.16	0.909	0.224	0.1761	10.81
0.17	0.902	0.24	0.1884	9.89
0.18	0.896	0.256	0.2009	9.08
0.19	0.889	0.272	0.2137	8.36
0.2	0.882	0.288	0.2266	7.7
0.21	0.876	0.305	0.2398	7.1
0.22	0.869	0.322	0.2533	6.56
0.23	0.862	0.34	0.2669	6.07
0.24	0.854	0.357	0.2809	5.61
0.25	0.847	0.375	0.2952	5.19
0.26	0.839	0.394	0.3097	4.8
0.27	0.832	0.413	0.3246	4.43
0.28	0.824	0.432	0.3399	4.09
0.289	0.817	0.45	0.3540	3.81
0.29	0.816	0.452	0.3555	3.78
0.3	0.807	0.473	0.3716	3.48
0.31	0.799	0.494	0.3881	3.2
0.32	0.79	0.515	0.4051	2.93
0.33	0.781	0.538	0.4226	2.68
0.34	0.772	0.561	0.4407	2.44
0.35	0.762	0.584	0.4594	2.22
0.352	0.76	0.589	0.4640	2.17

Πίνακας Α'.3: Πίνακας απλού σπλισμού $\rho = 1800$

Πίνακας απλού σπλισμού				$\rho(\text{kg/m}^3)=$	2000
μsd	ζ	ξ	ω	$\epsilon\text{s1}(\text{‰})$	
0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.01	0.995	0.013	0.0101	259.56	
0.02	0.99	0.025	0.0202	127.43	
0.03	0.984	0.038	0.0305	83.39	
0.04	0.979	0.051	0.0409	61.36	
0.05	0.974	0.064	0.0514	48.14	
0.06	0.968	0.078	0.0620	39.32	
0.07	0.962	0.091	0.0727	33.02	
0.08	0.957	0.105	0.0836	28.3	
0.09	0.951	0.118	0.0946	24.62	
0.1	0.945	0.132	0.1058	21.67	
0.11	0.94	0.147	0.1171	19.26	
0.12	0.934	0.161	0.1285	17.25	
0.13	0.928	0.175	0.1401	15.55	
0.14	0.922	0.19	0.1519	14.09	
0.15	0.915	0.205	0.1639	12.82	
0.16	0.909	0.22	0.1760	11.71	
0.17	0.903	0.236	0.1883	10.72	
0.18	0.896	0.251	0.2008	9.85	
0.19	0.89	0.267	0.2135	9.07	
0.2	0.883	0.284	0.2265	8.36	
0.21	0.876	0.3	0.2396	7.72	
0.22	0.869	0.317	0.2530	7.13	
0.23	0.862	0.334	0.2667	6.6	
0.24	0.855	0.351	0.2806	6.11	
0.25	0.848	0.369	0.2949	5.65	
0.26	0.84	0.387	0.3094	5.23	
0.27	0.833	0.406	0.3242	4.84	
0.28	0.825	0.425	0.3394	4.48	
0.29	0.817	0.445	0.3550	4.13	
0.293	0.815	0.45	0.3600	4.04	
0.3	0.809	0.465	0.3710	3.81	
0.31	0.8	0.485	0.3874	3.51	
0.32	0.791	0.506	0.4044	3.23	
0.33	0.782	0.528	0.4218	2.96	
0.34	0.773	0.551	0.4398	2.7	
0.35	0.763	0.574	0.4584	2.46	
0.36	0.754	0.598	0.4778	2.22	
0.362	0.751	0.604	0.4820	2.17	

Πίνακας Α'.4: Πίνακας απλού σπλισμού $\rho = 2000$

Πίνακας απλού σπλισμού			$\rho(\text{kg/m}^3)=$	2200
μsd	ζ	ξ	ω	$\epsilon\text{s1}(\%)$
0.000	1.000	0.000	0.000	0.000
0.01	0.995	0.012	0.010	278.370
0.02	0.990	0.025	0.020	136.700
0.03	0.984	0.038	0.030	89.470
0.04	0.979	0.050	0.041	65.850
0.05	0.974	0.063	0.051	51.670
0.06	0.968	0.077	0.062	42.220
0.07	0.963	0.090	0.073	35.460
0.08	0.957	0.103	0.084	30.400
0.09	0.951	0.117	0.095	26.450
0.1	0.946	0.131	0.106	23.290
0.11	0.940	0.145	0.117	20.710
0.12	0.934	0.159	0.128	18.550
0.13	0.928	0.173	0.140	16.730
0.14	0.922	0.188	0.152	15.160
0.15	0.916	0.202	0.164	13.800
0.16	0.910	0.217	0.176	12.610
0.17	0.903	0.232	0.188	11.550
0.18	0.897	0.248	0.201	10.620
0.19	0.890	0.264	0.213	9.780
0.2	0.884	0.280	0.226	9.020
0.21	0.877	0.296	0.239	8.330
0.22	0.870	0.312	0.253	7.710
0.23	0.863	0.329	0.266	7.130
0.24	0.856	0.346	0.280	6.600
0.25	0.849	0.364	0.295	6.120
0.26	0.841	0.382	0.309	5.670
0.27	0.834	0.400	0.324	5.250
0.28	0.826	0.419	0.339	4.860
0.29	0.818	0.438	0.355	4.490
0.296	0.813	0.450	0.365	4.280
0.3	0.810	0.458	0.371	4.150
0.31	0.801	0.478	0.387	3.820
0.32	0.793	0.499	0.404	3.520
0.33	0.784	0.520	0.421	3.230
0.34	0.774	0.542	0.439	2.950
0.35	0.765	0.565	0.458	2.690
0.36	0.755	0.589	0.477	2.440
0.37	0.745	0.614	0.497	2.200
0.371	0.743	0.617	0.500	2.170

Πίνακας Α'.5: Πίνακας απλού σπλισμού NWC

μsd	$hf/d=0.05$					$hf/d=0.10$					$hf/d=0.2$					$hf/d=0.3$					
	$beff/f$					$beff/f$					$beff/f$					$beff/f$					
	10	5	3	2	1	10	5	3	2	1	10	5	3	2	1	10	5	3	2	1	
0.01	0.0101	0.0101	0.0101	0.0101	0.0101	0.0101	0.0101	0.0101	0.0101	0.0101	0.0101	0.0101	0.0101	0.0101	0.0101	0.0101	0.0101	0.0101	0.0101	0.0101	0.0101
0.02	0.0202	0.0202	0.0202	0.0202	0.0202	0.0202	0.0202	0.0202	0.0202	0.0202	0.0202	0.0202	0.0202	0.0202	0.0202	0.0202	0.0202	0.0202	0.0202	0.0202	0.0202
0.03	0.0305	0.0305	0.0305	0.0305	0.0305	0.0305	0.0305	0.0305	0.0305	0.0305	0.0305	0.0305	0.0305	0.0305	0.0305	0.0305	0.0305	0.0305	0.0305	0.0305	0.0305
0.04	0.0409	0.0409	0.0409	0.0409	0.0409	0.0409	0.0409	0.0409	0.0409	0.0409	0.0409	0.0409	0.0409	0.0409	0.0409	0.0409	0.0409	0.0409	0.0409	0.0409	0.0409
0.05	0.0514	0.0514	0.0514	0.0514	0.0514	0.0514	0.0514	0.0514	0.0514	0.0514	0.0514	0.0514	0.0514	0.0514	0.0514	0.0514	0.0514	0.0514	0.0514	0.0514	0.0514
0.06	0.0628	0.0623	0.0622	0.0621	0.0620	0.0620	0.0620	0.0620	0.0620	0.0620	0.0620	0.0620	0.0620	0.0620	0.0620	0.0620	0.0620	0.0620	0.0620	0.0620	0.0620
0.07	0.0763	0.0740	0.0734	0.0731	0.0728	0.0728	0.0728	0.0728	0.0728	0.0728	0.0728	0.0728	0.0728	0.0728	0.0728	0.0728	0.0728	0.0728	0.0728	0.0728	0.0728
0.08		0.0867	0.0851	0.0843	0.0837	0.0837	0.0837	0.0837	0.0837	0.0837	0.0837	0.0837	0.0837	0.0837	0.0837	0.0837	0.0837	0.0837	0.0837	0.0837	0.0837
0.09		0.1007	0.0973	0.0959	0.0947	0.0946	0.0946	0.0946	0.0947	0.0947	0.0947	0.0947	0.0947	0.0947	0.0947	0.0947	0.0947	0.0947	0.0947	0.0947	0.0947
0.1		0.1163	0.1101	0.1078	0.1059	0.1059	0.1059	0.1059	0.1059	0.1059	0.1059	0.1059	0.1059	0.1059	0.1059	0.1059	0.1059	0.1059	0.1059	0.1059	0.1059
0.11			0.1237	0.1201	0.1172	0.1189	0.1178	0.1175	0.1173	0.1173	0.1172	0.1172	0.1172	0.1172	0.1172	0.1172	0.1172	0.1172	0.1172	0.1172	0.1172
0.12			0.1382	0.1329	0.1287		0.1308	0.1296	0.1291	0.1287	0.1287	0.1287	0.1287	0.1287	0.1287	0.1287	0.1287	0.1287	0.1287	0.1287	0.1287
0.13			0.1537	0.1460	0.1404		0.1452	0.1424	0.1413	0.1404	0.1404	0.1404	0.1404	0.1404	0.1404	0.1404	0.1404	0.1404	0.1404	0.1404	0.1404
0.14			0.1705	0.1597	0.1522		0.1614	0.1559	0.1539	0.1522	0.1522	0.1522	0.1522	0.1522	0.1522	0.1522	0.1522	0.1522	0.1522	0.1522	0.1522
0.15				0.1740	0.1642			0.1703	0.1669	0.1642	0.1641	0.1641	0.1641	0.1641	0.1641	0.1642	0.1642	0.1642	0.1642	0.1642	0.1642
0.16				0.1889	0.1764			0.1857	0.1804	0.1764	0.1761	0.1761	0.1761	0.1762	0.1764	0.1764	0.1764	0.1764	0.1764	0.1764	0.1764
0.17				0.2045	0.1887			0.2024	0.1944	0.1887	0.1887	0.1887	0.1883	0.1884	0.1887	0.1887	0.1887	0.1887	0.1887	0.1887	0.1887
0.18				0.2211	0.2013				0.2091	0.2013	0.2007	0.2009	0.2010	0.2011	0.2013	0.2013	0.2013	0.2013	0.2013	0.2013	0.2013
0.19					0.2141				0.2245	0.2141	0.2144	0.2141	0.2140	0.2140	0.2141	0.2141	0.2141	0.2141	0.2141	0.2141	0.2141
0.2					0.2271				0.2408	0.2271		0.2286	0.2277	0.2274	0.2271	0.2271	0.2271	0.2271	0.2271	0.2271	0.2271
0.21					0.2404				0.2580	0.2404			0.2423	0.2412	0.2404	0.2403	0.2403	0.2403	0.2403	0.2403	0.2404
0.22					0.2539					0.2539				0.2557	0.2539	0.2535	0.2536	0.2537	0.2537	0.2537	0.2539
0.23					0.2677					0.2677				0.2708	0.2677	0.2670	0.2670	0.2672	0.2673	0.2673	0.2677
0.24					0.2818					0.2818				0.2868	0.2818	0.2807	0.2807	0.2810	0.2813	0.2818	0.2818
0.25					0.2961					0.2961				0.3037	0.2961	0.2944	0.2949	0.2953	0.2956	0.2961	0.2961
0.26					0.3108					0.3108					0.3108		0.3099	0.3101	0.3104	0.3108	0.3108
0.27					0.3259					0.3259					0.3259			0.3259	0.3258	0.3258	0.3259
0.28					0.3413					0.3413					0.3413				0.3420	0.3420	0.3413
0.29					0.3570					0.3570					0.3570						0.3570
0.3					0.3733					0.3733					0.3733						0.3733
0.31					0.3900					0.3900					0.3900						0.3900
0.32					0.4072					0.4072					0.4072						0.4072
Julim	0.0767	0.1046	0.1419	0.1884	0.3281	0.1183	0.1416	0.1727	0.2115	0.3281	0.1946	0.2094	0.2292	0.2539	0.3281	0.2578	0.2656	0.2760	0.2890	0.3281	
kolim	0.0872	0.1243	0.1738	0.2358	0.4215	0.1322	0.1643	0.2072	0.2608	0.4215	0.2219	0.2441	0.2737	0.3106	0.4215	0.3060	0.3189	0.3360	0.3574	0.4215	

Πίνακας Α.6: Πίνακας πλακοδοκού $\rho = 1400$

μsd	hf/d=0.05					hf/d=0.10					hf/d=0.2					hf/d=0.3				
	beff/f					beff/f					beff/f					beff/f				
	10	5	3	2	1	10	5	3	2	1	10	5	3	2	1	10	5	3	2	1
0.01	0.0101	0.0101	0.0101	0.0101	0.0101	0.0101	0.0101	0.0101	0.0101	0.0101	0.0101	0.0101	0.0101	0.0101	0.0101	0.0101	0.0101	0.0101	0.0101	0.0101
0.02	0.0202	0.0202	0.0202	0.0202	0.0202	0.0202	0.0202	0.0202	0.0202	0.0202	0.0202	0.0202	0.0202	0.0202	0.0202	0.0202	0.0202	0.0202	0.0202	0.0202
0.03	0.0305	0.0305	0.0305	0.0305	0.0305	0.0305	0.0305	0.0305	0.0305	0.0305	0.0305	0.0305	0.0305	0.0305	0.0305	0.0305	0.0305	0.0305	0.0305	0.0305
0.04	0.0409	0.0409	0.0409	0.0409	0.0409	0.0409	0.0409	0.0409	0.0409	0.0409	0.0409	0.0409	0.0409	0.0409	0.0409	0.0409	0.0409	0.0409	0.0409	0.0409
0.05	0.0514	0.0514	0.0514	0.0514	0.0514	0.0514	0.0514	0.0514	0.0514	0.0514	0.0514	0.0514	0.0514	0.0514	0.0514	0.0514	0.0514	0.0514	0.0514	0.0514
0.06	0.0628	0.0623	0.0621	0.0621	0.0620	0.0620	0.0620	0.0620	0.0620	0.0620	0.0620	0.0620	0.0620	0.0620	0.0620	0.0620	0.0620	0.0620	0.0620	0.0620
0.07	0.0762	0.0740	0.0733	0.0730	0.0728	0.0728	0.0728	0.0728	0.0728	0.0728	0.0728	0.0728	0.0728	0.0728	0.0728	0.0728	0.0728	0.0728	0.0728	0.0728
0.08		0.0867	0.0850	0.0843	0.0836	0.0836	0.0836	0.0836	0.0836	0.0836	0.0836	0.0836	0.0836	0.0836	0.0836	0.0836	0.0836	0.0836	0.0836	0.0836
0.09		0.1006	0.0972	0.0959	0.0947	0.0946	0.0946	0.0946	0.0946	0.0947	0.0947	0.0947	0.0947	0.0947	0.0947	0.0947	0.0947	0.0947	0.0947	0.0947
0.10		0.1161	0.1100	0.1078	0.1058	0.1058	0.1058	0.1058	0.1058	0.1058	0.1058	0.1058	0.1058	0.1058	0.1058	0.1058	0.1058	0.1058	0.1058	0.1058
0.11			0.1236	0.1201	0.1172	0.1188	0.1174	0.1173	0.1172	0.1172	0.1172	0.1172	0.1172	0.1172	0.1172	0.1172	0.1172	0.1172	0.1172	0.1172
0.12			0.1380	0.1327	0.1286		0.1307	0.1295	0.1290	0.1286	0.1286	0.1286	0.1286	0.1286	0.1286	0.1286	0.1286	0.1286	0.1286	0.1286
0.13			0.1534	0.1459	0.1403		0.1450	0.1423	0.1412	0.1403	0.1403	0.1403	0.1403	0.1403	0.1403	0.1403	0.1403	0.1403	0.1403	0.1403
0.14			0.1701	0.1595	0.1521		0.1612	0.1557	0.1537	0.1521	0.1521	0.1521	0.1521	0.1521	0.1521	0.1521	0.1521	0.1521	0.1521	0.1521
0.15				0.1737	0.1640			0.1701	0.1667	0.1640	0.1640	0.1640	0.1640	0.1640	0.1640	0.1640	0.1640	0.1640	0.1640	0.1640
0.16				0.1885	0.1762			0.1854	0.1802	0.1762	0.1762	0.1762	0.1762	0.1762	0.1762	0.1762	0.1762	0.1762	0.1762	0.1762
0.17				0.2041	0.1885			0.2020	0.1942	0.1885	0.1885	0.1885	0.1885	0.1885	0.1885	0.1885	0.1885	0.1885	0.1885	0.1885
0.18				0.2205	0.2011				0.2088	0.2011	0.2005	0.2007	0.2008	0.2009	0.2011	0.2011	0.2011	0.2011	0.2011	0.2011
0.19				0.2379	0.2139				0.2241	0.2139	0.2142	0.2138	0.2138	0.2138	0.2139	0.2139	0.2139	0.2139	0.2139	0.2139
0.20					0.2268				0.2403	0.2268		0.2283	0.2274	0.2271	0.2268	0.2268	0.2268	0.2268	0.2268	0.2268
0.21					0.2401				0.2574	0.2401		0.2448	0.2419	0.2409	0.2401	0.2400	0.2400	0.2401	0.2401	0.2401
0.22					0.2536					0.2536			0.2575	0.2553	0.2536	0.2533	0.2533	0.2534	0.2534	0.2536
0.23					0.2672					0.2672			0.2746	0.2704	0.2672	0.2666	0.2667	0.2670	0.2670	0.2672
0.24					0.2813					0.2813				0.2862	0.2813	0.2802	0.2804	0.2806	0.2809	0.2813
0.25					0.2956					0.2956				0.3030	0.2956	0.2941	0.2945	0.2948	0.2951	0.2956
0.26					0.3102					0.3102				0.3209	0.3102	0.3091	0.3093	0.3096	0.3098	0.3102
0.27					0.3252					0.3252					0.3252		0.3257	0.3252	0.3251	0.3252
0.28					0.3405					0.3405					0.3405			0.3421	0.3411	0.3405
0.29					0.3562					0.3562					0.3562			0.3581	0.3581	0.3562
0.30					0.3723					0.3723					0.3723					0.3723
0.31					0.3889					0.3889					0.3889					0.3889
0.32					0.4060					0.4060					0.4060					0.4060
0.33					0.4237					0.4237					0.4237					0.4237
0.34					0.4419					0.4419					0.4419					0.4419
μmm	0.0779	0.1071	0.1461	0.1947	0.3407	0.1196	0.1441	0.1769	0.2178	0.3407	0.1961	0.2121	0.2336	0.2603	0.3407	0.2612	0.2700	0.2818	0.2965	0.3407

Πίνακας Α.7: Πίνακας πλακοδοκού $\rho = 1600$

μsd	hf/d=0.05 beff/f					hf/d=0.10 beff/f					hf/d=0.2 beff/f					hf/d=0.3 beff/f				
	10	5	3	2	1	10	5	3	2	1	10	5	3	2	1	10	5	3	2	1
	0.01	0.0101	0.0101	0.0101	0.0101	0.0101	0.0101	0.0101	0.0101	0.0101	0.0101	0.0101	0.0101	0.0101	0.0101	0.0101	0.0101	0.0101	0.0101	0.0101
0.02	0.0202	0.0202	0.0202	0.0202	0.0202	0.0202	0.0202	0.0202	0.0202	0.0202	0.0202	0.0202	0.0202	0.0202	0.0202	0.0202	0.0202	0.0202	0.0202	0.0202
0.03	0.0305	0.0305	0.0305	0.0305	0.0305	0.0305	0.0305	0.0305	0.0305	0.0305	0.0305	0.0305	0.0305	0.0305	0.0305	0.0305	0.0305	0.0305	0.0305	0.0305
0.04	0.0409	0.0409	0.0409	0.0409	0.0409	0.0409	0.0409	0.0409	0.0409	0.0409	0.0409	0.0409	0.0409	0.0409	0.0409	0.0409	0.0409	0.0409	0.0409	0.0409
0.05	0.0513	0.0514	0.0514	0.0514	0.0514	0.0514	0.0514	0.0514	0.0514	0.0514	0.0514	0.0514	0.0514	0.0514	0.0514	0.0514	0.0514	0.0514	0.0514	0.0514
0.06	0.0628	0.0623	0.0621	0.0621	0.0620	0.0620	0.0620	0.0620	0.0620	0.0620	0.0620	0.0620	0.0620	0.0620	0.0620	0.0620	0.0620	0.0620	0.0620	0.0620
0.07	0.0762	0.0740	0.0733	0.0730	0.0727	0.0727	0.0727	0.0727	0.0727	0.0727	0.0727	0.0727	0.0727	0.0727	0.0727	0.0727	0.0727	0.0727	0.0727	0.0727
0.08		0.0866	0.0850	0.0843	0.0836	0.0836	0.0836	0.0836	0.0836	0.0836	0.0836	0.0836	0.0836	0.0836	0.0836	0.0836	0.0836	0.0836	0.0836	0.0836
0.09		0.1005	0.0972	0.0958	0.0946	0.0946	0.0946	0.0946	0.0946	0.0946	0.0946	0.0946	0.0946	0.0946	0.0946	0.0946	0.0946	0.0946	0.0946	0.0946
0.1		0.1160	0.1100	0.1077	0.1058	0.1058	0.1058	0.1058	0.1058	0.1058	0.1058	0.1058	0.1058	0.1058	0.1058	0.1058	0.1058	0.1058	0.1058	0.1058
0.11			0.1235	0.1200	0.1171	0.1188	0.1177	0.1174	0.1172	0.1171	0.1171	0.1171	0.1171	0.1171	0.1171	0.1171	0.1171	0.1171	0.1171	0.1171
0.12			0.1378	0.1326	0.1286	0.1350	0.1307	0.1295	0.1290	0.1286	0.1286	0.1286	0.1286	0.1286	0.1286	0.1286	0.1286	0.1286	0.1286	0.1286
0.13			0.1532	0.1457	0.1402		0.1449	0.1422	0.1411	0.1402	0.1402	0.1402	0.1402	0.1402	0.1402	0.1402	0.1402	0.1402	0.1402	0.1402
0.14			0.1698	0.1593	0.1520		0.1610	0.1556	0.1536	0.1520	0.1520	0.1520	0.1520	0.1520	0.1520	0.1520	0.1520	0.1520	0.1520	0.1520
0.15				0.1735	0.1639			0.1699	0.1666	0.1639	0.1639	0.1639	0.1639	0.1639	0.1639	0.1639	0.1639	0.1639	0.1639	0.1639
0.16				0.1883	0.1761			0.1852	0.1800	0.1759	0.1759	0.1759	0.1759	0.1760	0.1761	0.1761	0.1761	0.1761	0.1761	0.1761
0.17				0.2037	0.1884			0.2017	0.1940	0.1884	0.1884	0.1884	0.1884	0.1883	0.1884	0.1884	0.1884	0.1884	0.1884	0.1884
0.18				0.2201	0.2009			0.2198	0.2086	0.2009	0.2009	0.2004	0.2006	0.2008	0.2009	0.2009	0.2009	0.2009	0.2009	0.2009
0.19				0.2374	0.2137				0.2238	0.2137	0.2141	0.2137	0.2137	0.2136	0.2137	0.2137	0.2137	0.2137	0.2137	0.2137
0.2				0.2559	0.2266					0.2399	0.2266	0.2281	0.2272	0.2269	0.2266	0.2266	0.2266	0.2266	0.2266	0.2266
0.21					0.2398				0.2569	0.2398			0.2445	0.2406	0.2398	0.2398	0.2398	0.2398	0.2398	0.2398
0.22					0.2533				0.2750	0.2533				0.2572	0.2533	0.2531	0.2531	0.2531	0.2531	0.2533
0.23					0.2669					0.2669				0.2742	0.2669	0.2665	0.2665	0.2666	0.2667	0.2669
0.24					0.2809					0.2809					0.2858	0.2809	0.2800	0.2804	0.2806	0.2809
0.25					0.2952					0.2952					0.3025	0.2952	0.2939	0.2942	0.2947	0.2952
0.26					0.3097					0.3097					0.3203	0.3097	0.3088	0.3092	0.3094	0.3097
0.27					0.3247					0.3247						0.3247	0.3247	0.3247	0.3246	0.3247
0.28					0.3399					0.3399						0.3399	0.3399	0.3415	0.3406	0.3399
0.29					0.3555					0.3555						0.3555	0.3555	0.3574	0.3406	0.3555
0.3					0.3716					0.3716						0.3716	0.3716	0.3753	0.3406	0.3716
0.31					0.3881					0.3881						0.3881	0.3881			0.3881
0.32					0.4051					0.4051						0.4051	0.4051			0.4051
0.33					0.4226					0.4226						0.4226	0.4226			0.4226
0.34					0.4407					0.4407						0.4407	0.4407			0.4407
0.35					0.4595					0.4595						0.4595	0.4595			0.4595
μlim	0.0791	0.1094	0.1498	0.2004	0.3520	0.1207	0.1464	0.1807	0.2235	0.3520	0.1972	0.2144	0.2373	0.2660	0.3520	0.2636	0.2735	0.2865	0.3029	0.3520
ωlim	0.0913	0.1326	0.1877	0.2566	0.4632	0.1363	0.1726	0.2211	0.2816	0.4632	0.2263	0.2526	0.2877	0.3316	0.4632	0.3149	0.3313	0.3533	0.3808	0.4632

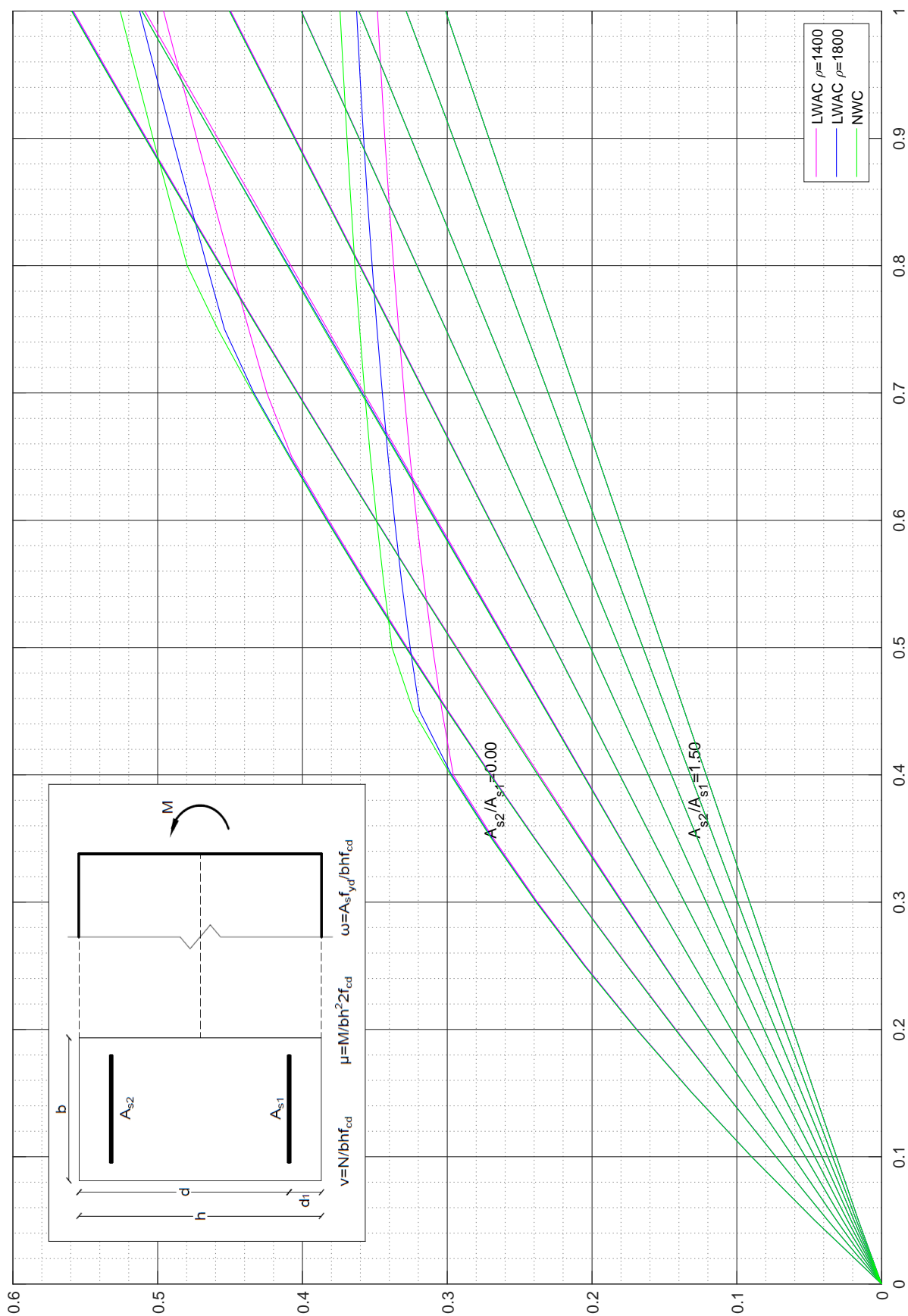
Πίνακας Α'.8: Πίνακας πλακοδοκού ρ = 1800

μsd	hf/d=0.05 beff/f					hf/d=0.10 beff/f					hf/d=0.2 beff/f					hf/d=0.3 beff/f				
	10	5	3	2	1	10	5	3	2	1	10	5	3	2	1	10	5	3	2	1
0.01	0.0101	0.0101	0.0101	0.0101	0.0101	0.0101	0.0101	0.0101	0.0101	0.0101	0.0101	0.0101	0.0101	0.0101	0.0101	0.0101	0.0101	0.0101	0.0101	0.0101
0.02	0.0202	0.0202	0.0202	0.0202	0.0202	0.0202	0.0202	0.0202	0.0202	0.0202	0.0202	0.0202	0.0202	0.0202	0.0202	0.0202	0.0202	0.0202	0.0202	0.0202
0.03	0.0305	0.0305	0.0305	0.0305	0.0305	0.0305	0.0305	0.0305	0.0305	0.0305	0.0305	0.0305	0.0305	0.0305	0.0305	0.0305	0.0305	0.0305	0.0305	0.0305
0.04	0.0409	0.0409	0.0409	0.0409	0.0409	0.0409	0.0409	0.0409	0.0409	0.0409	0.0409	0.0409	0.0409	0.0409	0.0409	0.0409	0.0409	0.0409	0.0409	0.0409
0.05	0.0513	0.0513	0.0514	0.0514	0.0514	0.0514	0.0514	0.0514	0.0514	0.0514	0.0514	0.0514	0.0514	0.0514	0.0514	0.0514	0.0514	0.0514	0.0514	0.0514
0.06	0.0628	0.0623	0.0621	0.0620	0.0620	0.0620	0.0620	0.0620	0.0620	0.0620	0.0620	0.0620	0.0620	0.0620	0.0620	0.0620	0.0620	0.0620	0.0620	0.0620
0.07	0.0761	0.0740	0.0733	0.0730	0.0727	0.0727	0.0727	0.0727	0.0727	0.0727	0.0727	0.0727	0.0727	0.0727	0.0727	0.0727	0.0727	0.0727	0.0727	0.0727
0.08	0.0930	0.0866	0.0850	0.0842	0.0836	0.0836	0.0836	0.0836	0.0836	0.0836	0.0836	0.0836	0.0836	0.0836	0.0836	0.0836	0.0836	0.0836	0.0836	0.0836
0.09		0.1004	0.0971	0.0958	0.0946	0.0946	0.0946	0.0946	0.0946	0.0946	0.0946	0.0946	0.0946	0.0946	0.0946	0.0946	0.0946	0.0946	0.0946	0.0946
0.10		0.1158	0.1099	0.1077	0.1058	0.1058	0.1058	0.1058	0.1058	0.1058	0.1058	0.1058	0.1058	0.1058	0.1058	0.1058	0.1058	0.1058	0.1058	0.1058
0.11		0.1336	0.1234	0.1199	0.1171	0.1188	0.1177	0.1173	0.1172	0.1171	0.1171	0.1171	0.1171	0.1171	0.1171	0.1171	0.1171	0.1171	0.1171	0.1171
0.12			0.1377	0.1326	0.1285	0.1349	0.1306	0.1294	0.1289	0.1285	0.1285	0.1285	0.1285	0.1285	0.1285	0.1285	0.1285	0.1285	0.1285	0.1285
0.13			0.1530	0.1456	0.1401		0.1448	0.1422	0.1411	0.1401	0.1401	0.1401	0.1401	0.1401	0.1401	0.1401	0.1401	0.1401	0.1401	0.1401
0.14			0.1696	0.1592	0.1519	0.1609	0.1556	0.1536	0.1519	0.1519	0.1519	0.1519	0.1519	0.1519	0.1519	0.1519	0.1519	0.1519	0.1519	0.1519
0.15			0.1877	0.1733	0.1639			0.1698	0.1665	0.1639	0.1638	0.1638	0.1638	0.1639	0.1639	0.1639	0.1639	0.1639	0.1639	0.1639
0.16				0.1880	0.1760			0.1850	0.1799	0.1760	0.1759	0.1759	0.1759	0.1759	0.1759	0.1760	0.1760	0.1760	0.1760	0.1760
0.17				0.2035	0.1883			0.2014	0.1938	0.1883	0.1880	0.1880	0.1881	0.1882	0.1883	0.1883	0.1883	0.1883	0.1883	0.1883
0.18				0.2197	0.2008			0.2195	0.2084	0.2008	0.2004	0.2005	0.2006	0.2007	0.2008	0.2008	0.2008	0.2008	0.2008	0.2008
0.19				0.2370	0.2135				0.2236	0.2135	0.2140	0.2135	0.2135	0.2135	0.2135	0.2135	0.2135	0.2135	0.2135	0.2135
0.20				0.2554	0.2265				0.2396	0.2265	0.2265	0.2279	0.2270	0.2267	0.2265	0.2265	0.2265	0.2265	0.2265	0.2265
0.21					0.2396				0.2565	0.2396		0.2444	0.2415	0.2404	0.2396	0.2396	0.2396	0.2396	0.2396	0.2396
0.22					0.2530				0.2745	0.2530			0.2570	0.2548	0.2530	0.2529	0.2530	0.2530	0.2530	0.2530
0.23					0.2667					0.2667			0.2739	0.2697	0.2667	0.2663	0.2664	0.2665	0.2665	0.2667
0.24					0.2806					0.2806			0.2926	0.2855	0.2806	0.2799	0.2800	0.2800	0.2803	0.2806
0.25					0.2948					0.2948				0.3022	0.2948	0.2937	0.2940	0.2943	0.2945	0.2948
0.26					0.3094					0.3094				0.3199	0.3094	0.3085	0.3087	0.3089	0.3090	0.3094
0.27					0.3242					0.3242				0.3389	0.3242		0.3248	0.3243	0.3242	0.3242
0.28					0.3395					0.3395					0.3395			0.3410	0.3401	0.3395
0.29					0.3550					0.3550					0.3550			0.3594	0.3569	0.3550
0.30					0.3710					0.3710					0.3710				0.3748	0.3710
0.31					0.3874					0.3874					0.3874					0.3874
0.32					0.4043					0.4043					0.4043					0.4043
0.33					0.4218					0.4218					0.4218					0.4218
0.34					0.4398					0.4398					0.4398					0.4398
0.35					0.4584					0.4584					0.4584					0.4584
0.36					0.4778					0.4778					0.4778					0.4778
μlim	0.0801	0.1114	0.1532	0.2054	0.3621	0.1217	0.1484	0.1840	0.2286	0.3621	0.1982	0.2164	0.2407	0.2711	0.3621	0.2653	0.2761	0.2904	0.3083	0.3621
ωlim	0.0932	0.1364	0.1940	0.2660	0.4819	0.1382	0.1764	0.2273	0.2910	0.4819	0.2282	0.2564	0.2940	0.3410	0.4819	0.3177	0.3359	0.3603	0.3907	0.4819

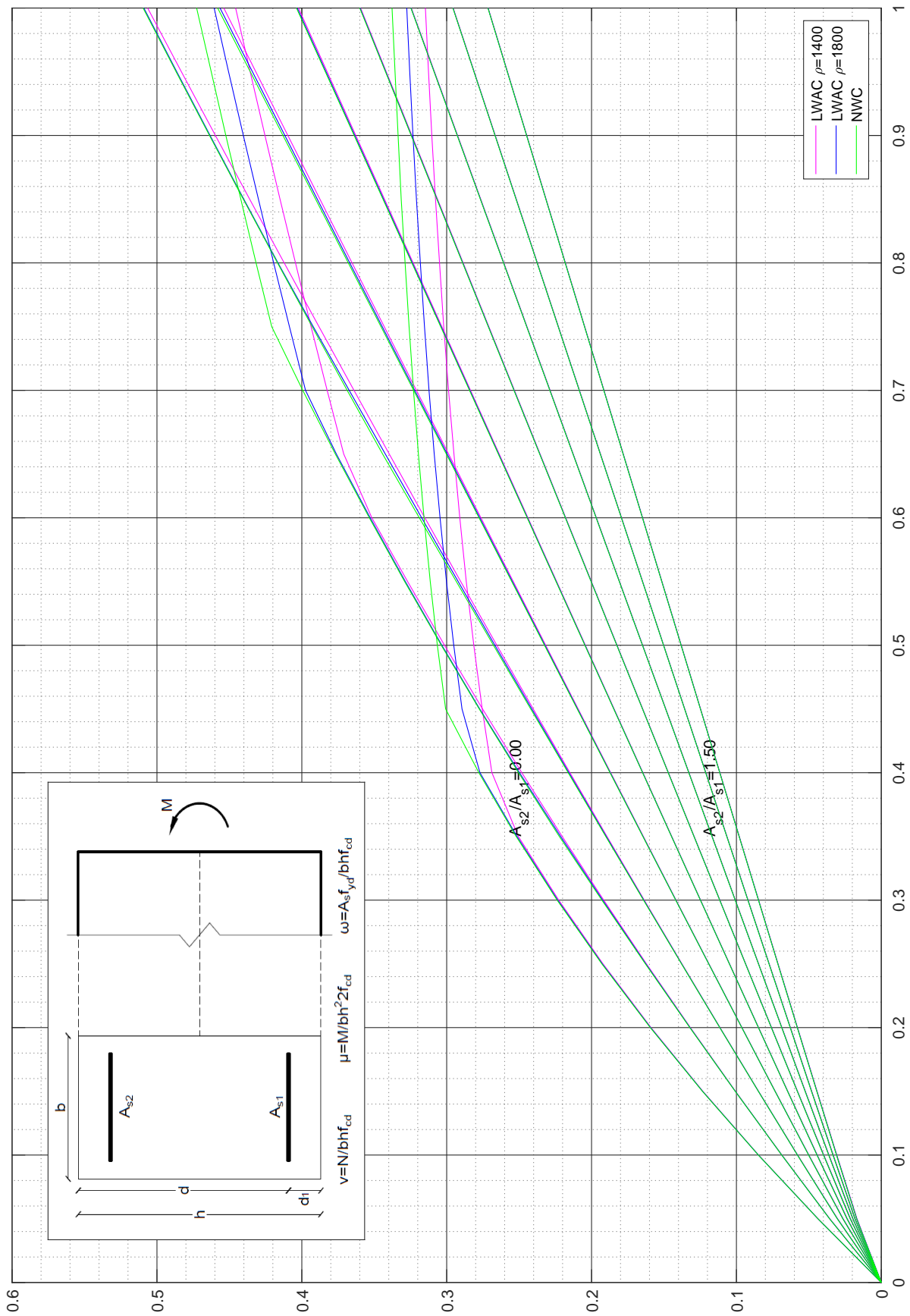
Πίνακας Α'.9: Πίνακας πλακοδοκού ρ = 2000

Παράρτημα **B'**

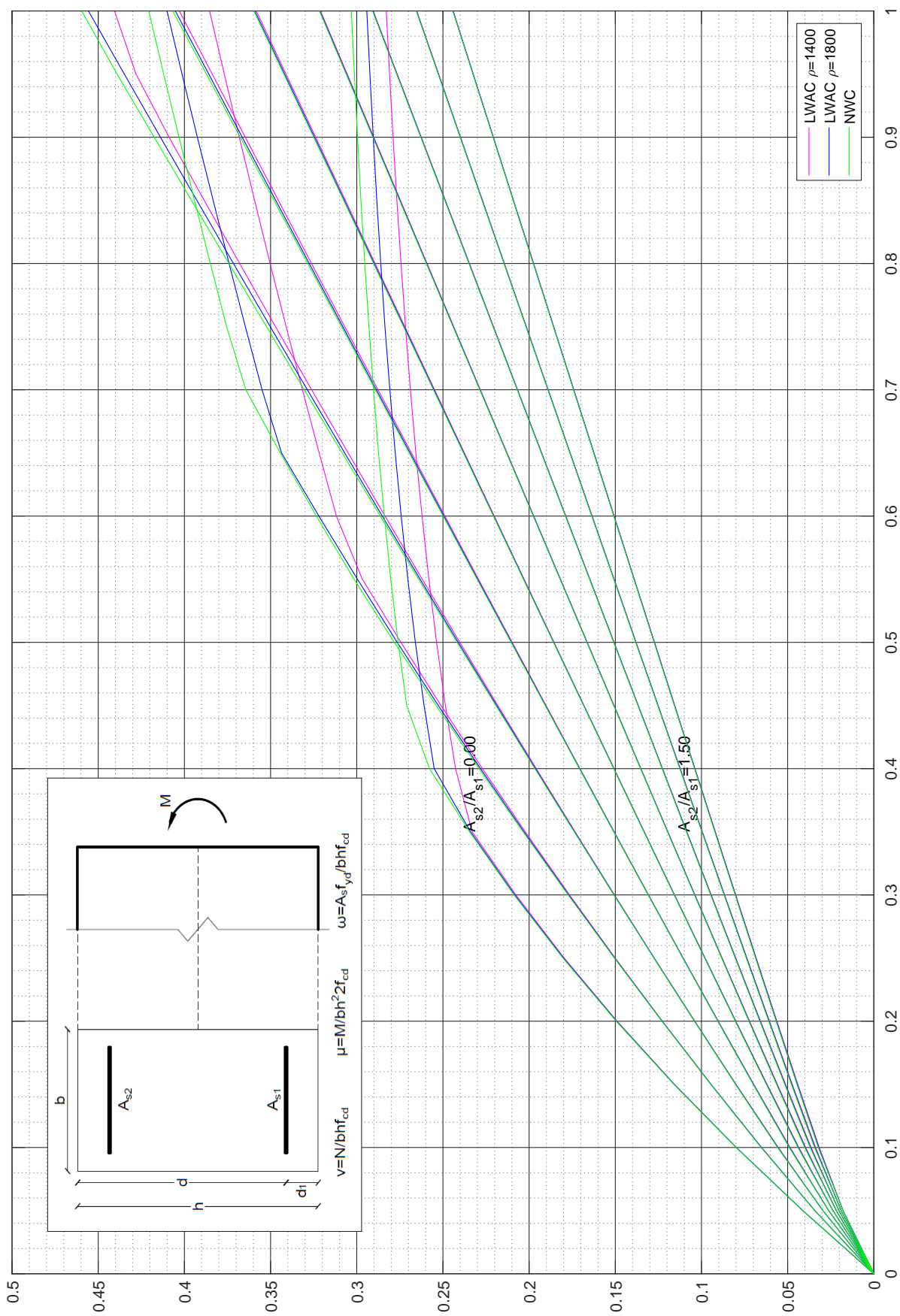
Διαγράμματα αντοχής δοκών



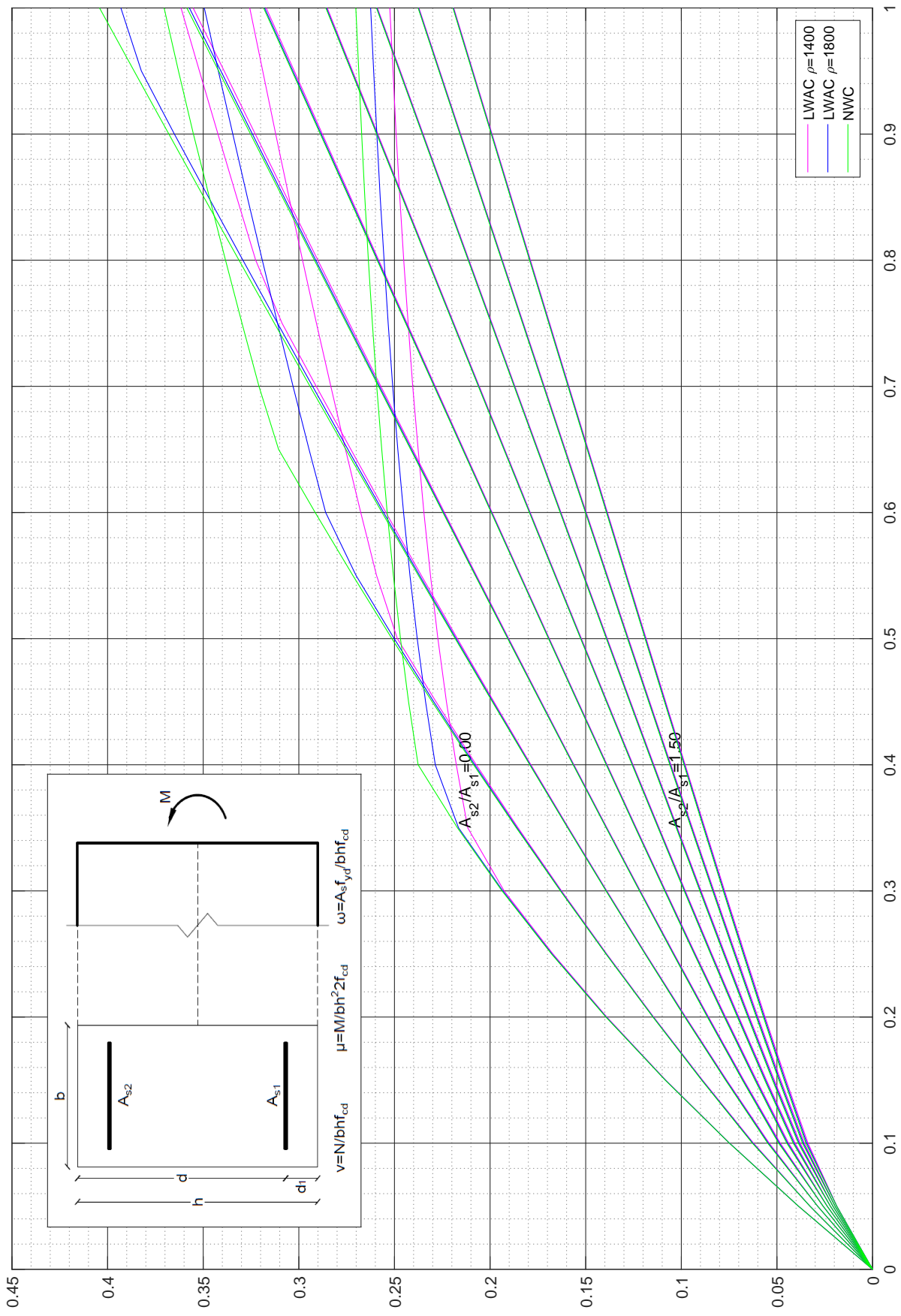
Σχήμα Β'.1: Διάγραμμα αντοχής ω - μ , A_{s2}/A_{s1} ανά 0.25, $d_1/h = 0.05$, $\epsilon_{su} = 67.5$, χάλυβας 176 κράτυνση, B500C, < C50/60, παραβολικό διάγραμμα σκυροδέματος



Σχήμα Β'.2: Διάγραμμα αντοχής ω - μ , A_{s2}/A_{s1} ανά 0.25, $d_1/h = 0.1$, $\epsilon_{su} = 67.5$, χάλυβας χωρίς κράνση, B500C, < C50/60, παραβολικό διάγραμμα σκυροδέματος



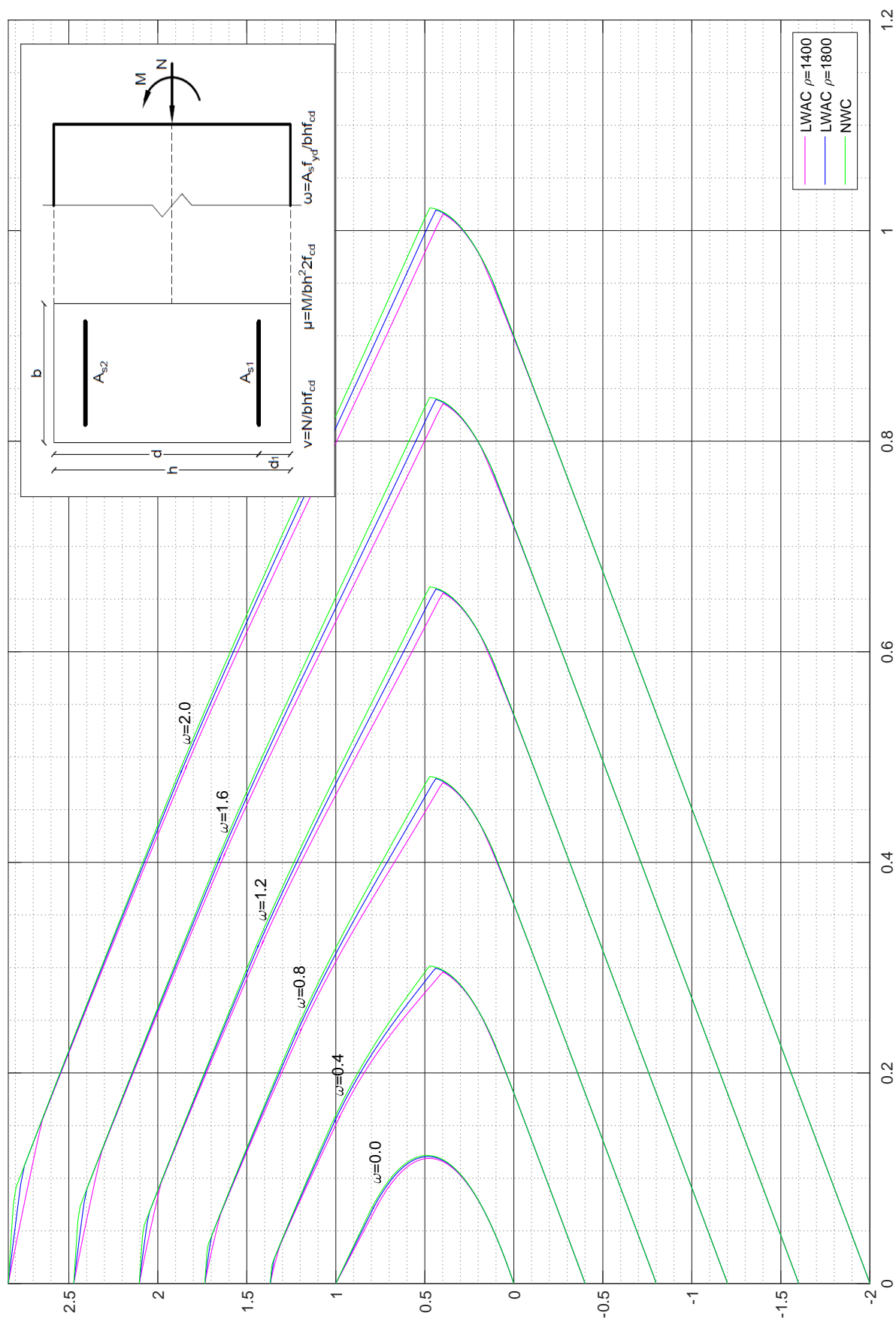
Σχήμα Β'.3: Διάγραμμα αντοχής ω - μ , A_{s2}/A_{s1} ανά 0.25, $d_1/h = 0.15001$, $\epsilon_{su} = 67.5$, **178** βασ χωρίς κράτιση, B500C, < C50/60, παραβολικό διάγραμμα σκυροδέματος



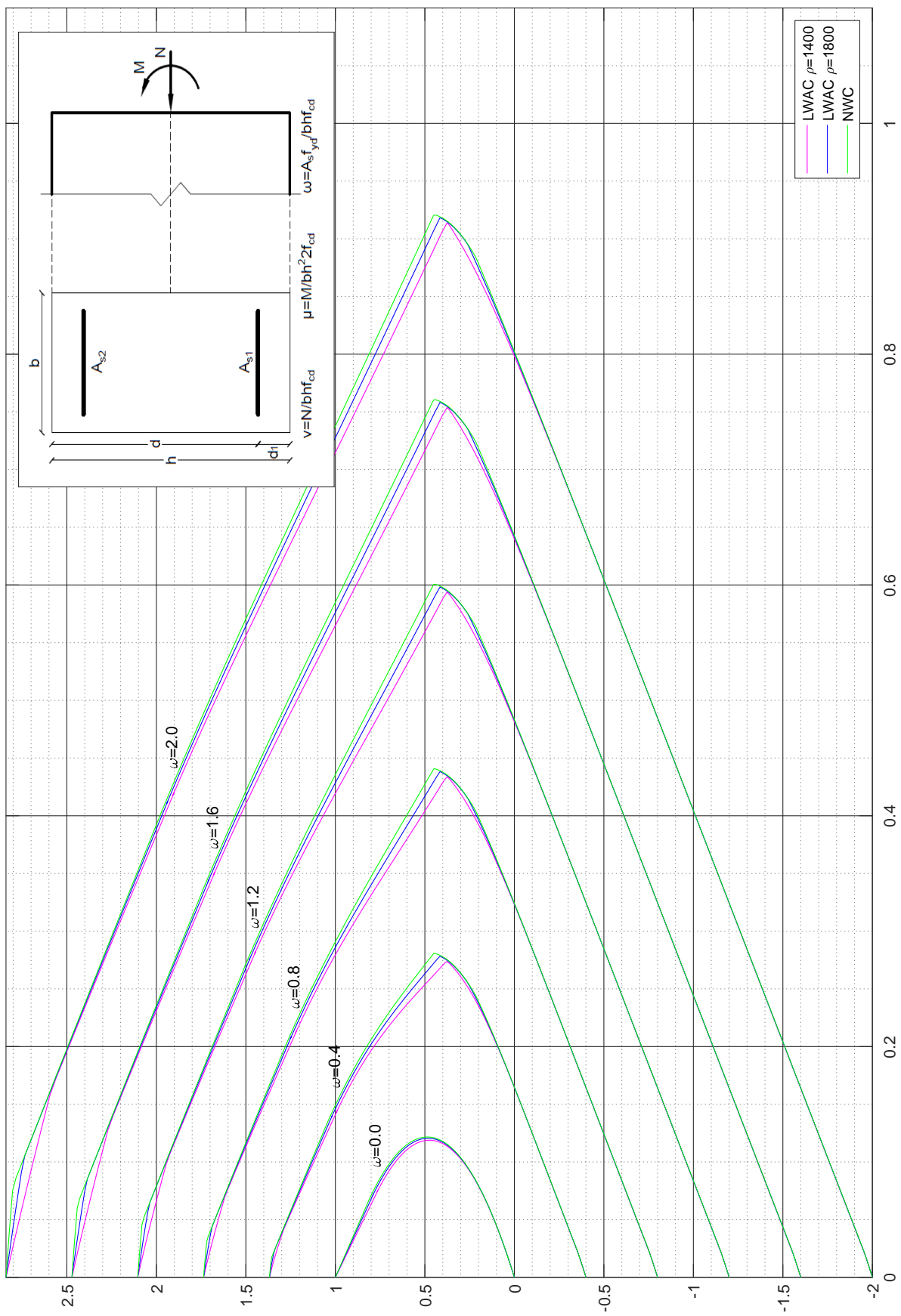
Σχήμα Β'.4: Διάγραμμα αντοχής ω - μ , A_{s2}/A_{s1} ανά 0.25, $d_1/h = 0.20001$, $\epsilon_{su} = 67.5$, χάλυβας χωρίς κράτηση, B500C, < C50/60, παραβολικό διάγραμμα σκυροδέματος **179**

Παράρτημα **Γ'**

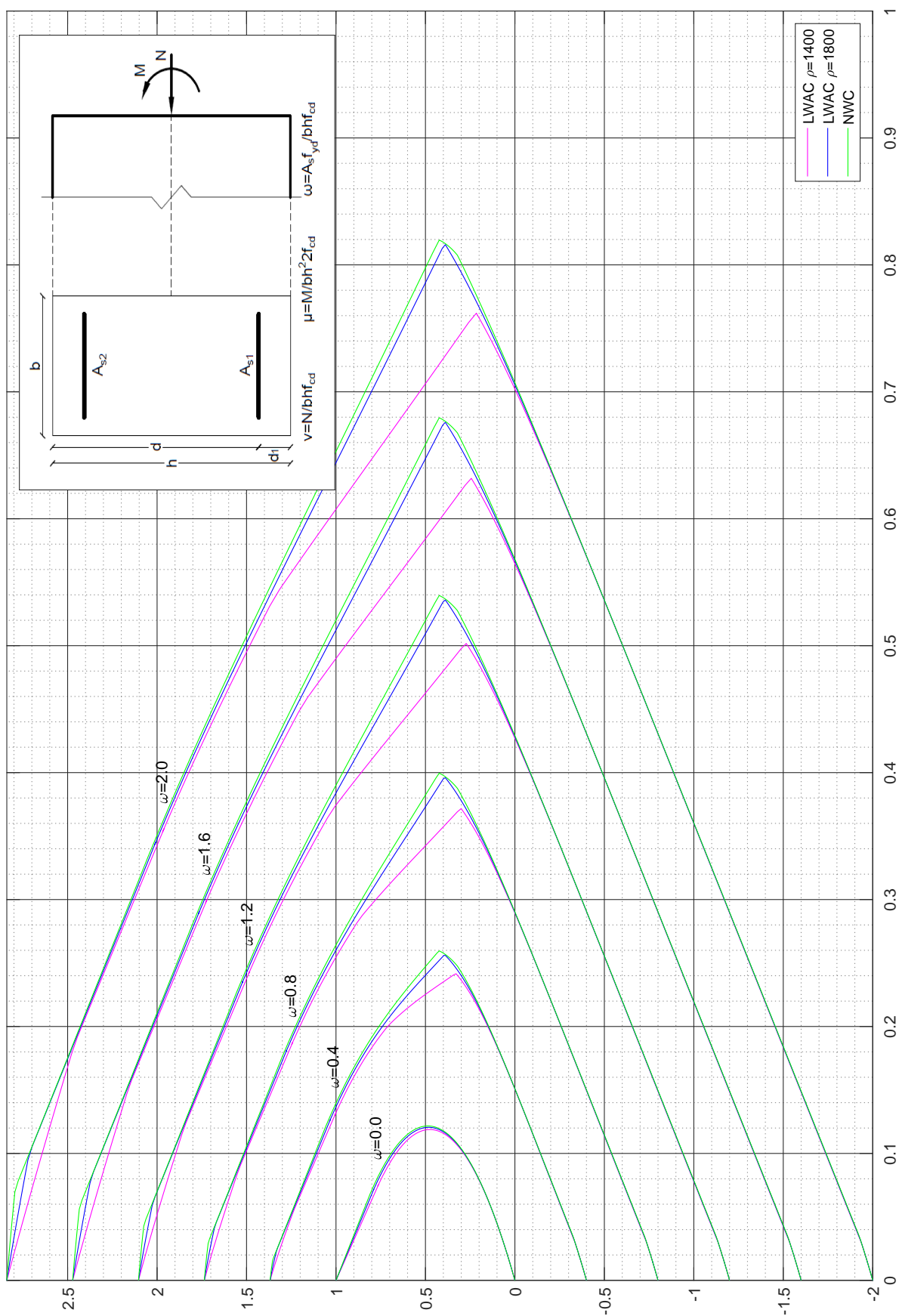
Διαγράμματα αλληλεπίδρασης σε μονοαξονική κάμψη



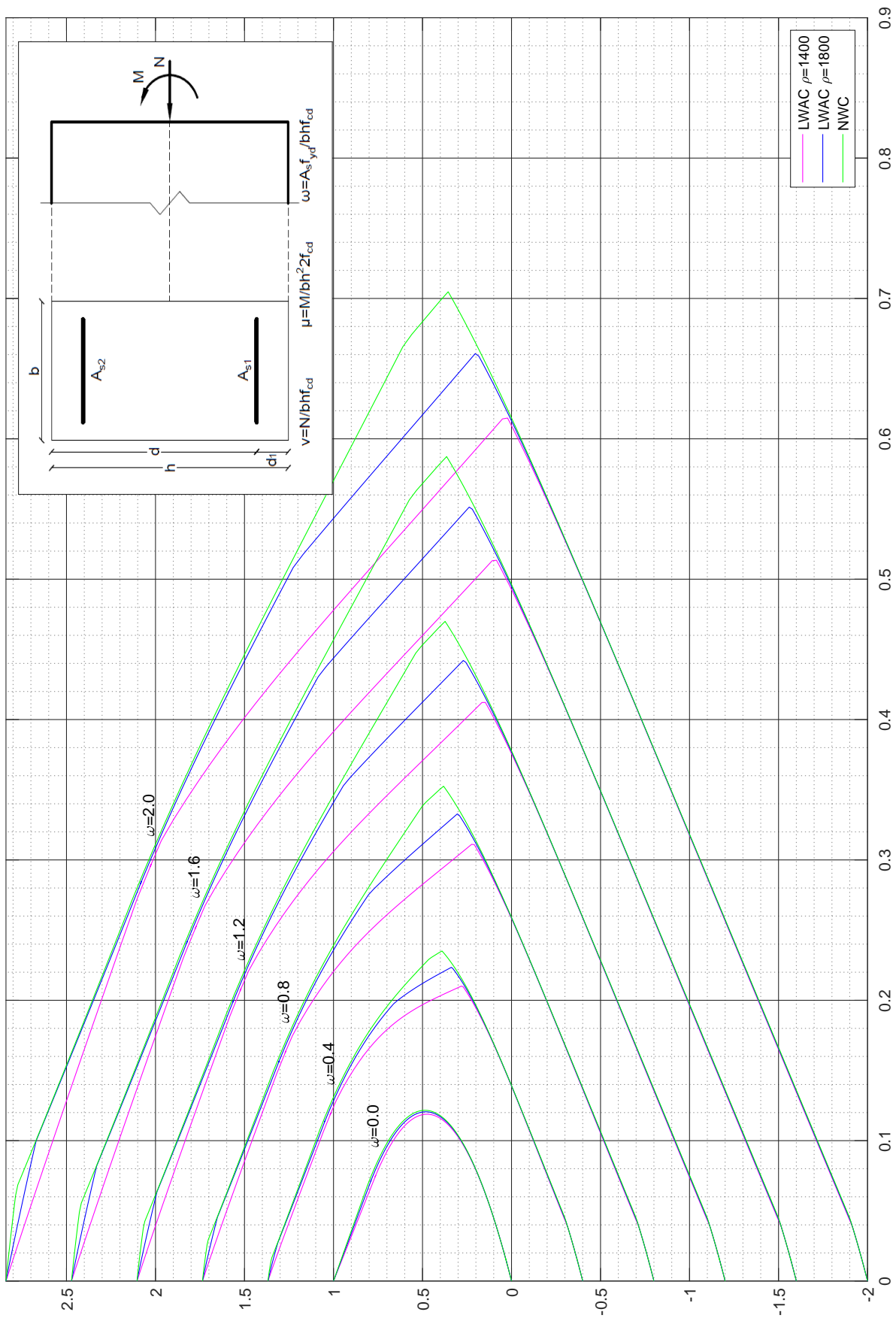
Σχήμα Γ.1: Διάγραμμα αλληλεπίδρασης σε μονοαξονική κάμψη, $d_l/h = 0.05$, $A_{s1} = A_{s2}$, 182 67.5, χάλυβας χωρίς κράνιση, B500C, < C50/60, παραβολικό διάγραμμα σκυροδέματος



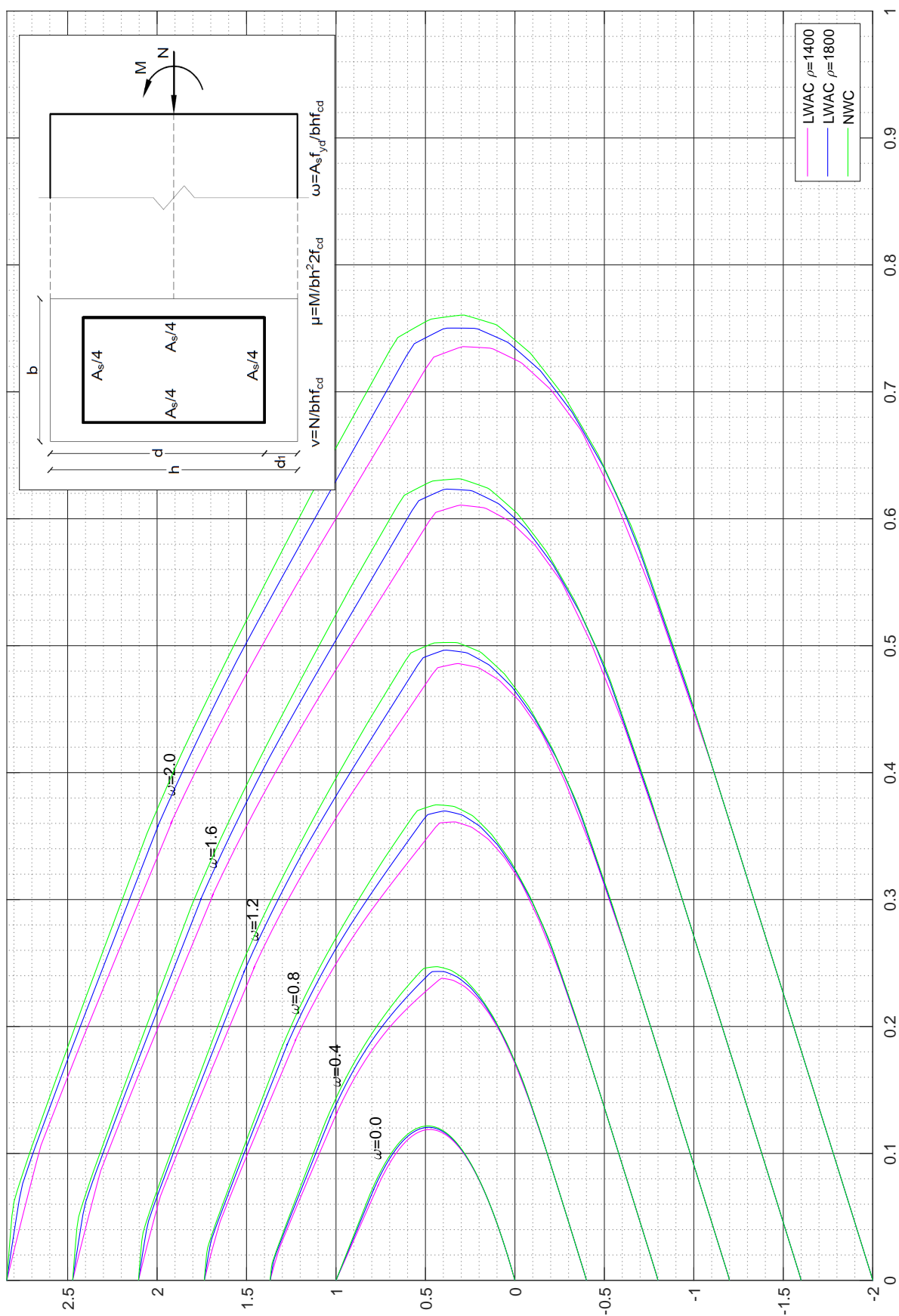
Σχήμα Γ.2: Διάγραμμα αλληλεπίδρασης σε μονοαξονική κάμψη, $d_1/h = 0.1$, $A_{s1} = A_{s2}$, $\epsilon_{su} = 67.5$, χάλυβας χωρίς κράντιση, B500C, < C50/60, παραβολικό διάγραμμα σ **183** δέματος



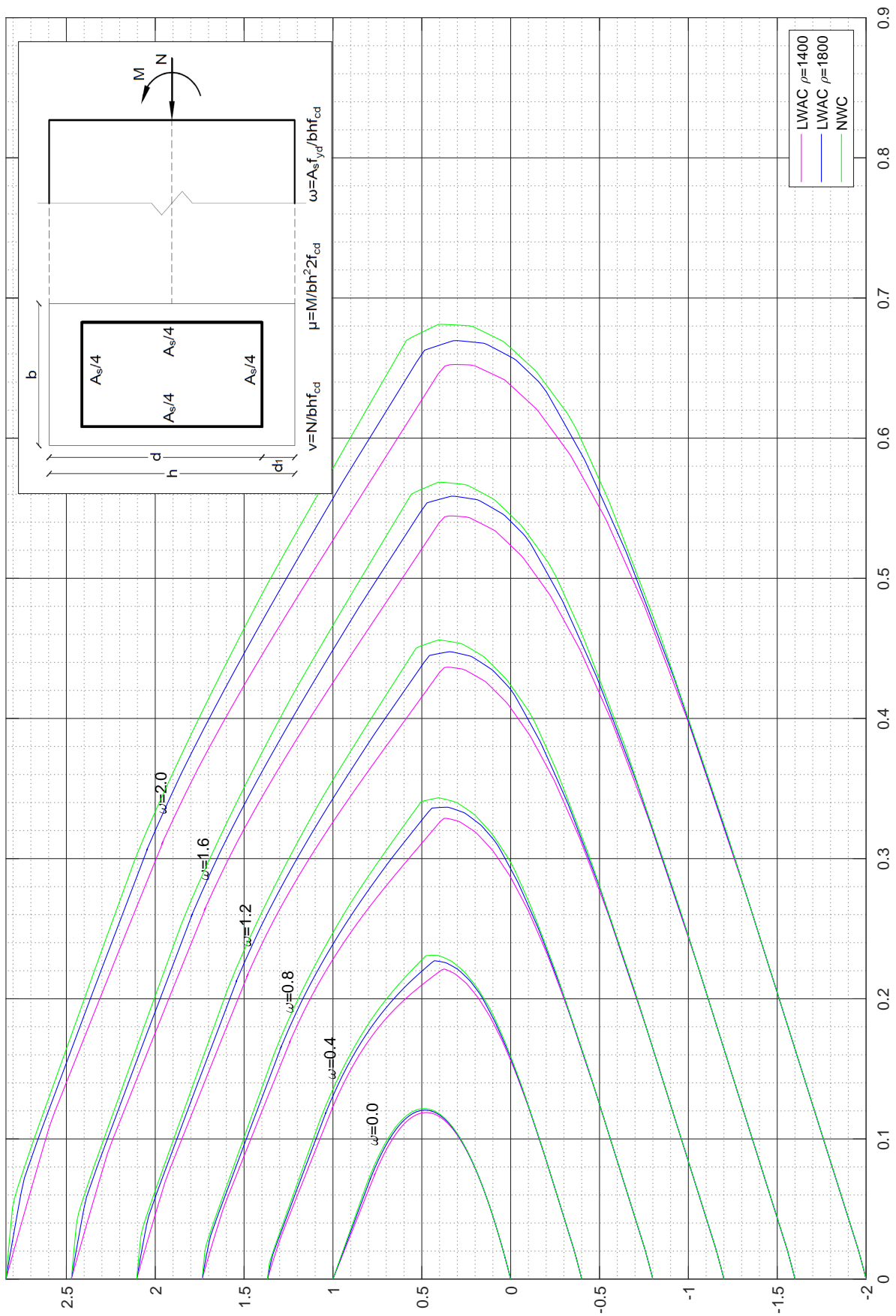
Σχήμα Γ.3: **184** Διαγράμματα αλληλεπίδρασης σε μονοαξονική κάμψη, $d_1/h = 0.15001$, $A_{s1} = \epsilon_{su} = 67.5$, χάλυβας χωρίς κράνωση, B500C, < C50/60, παραβολικό διάγραμμα σκυροδέματος



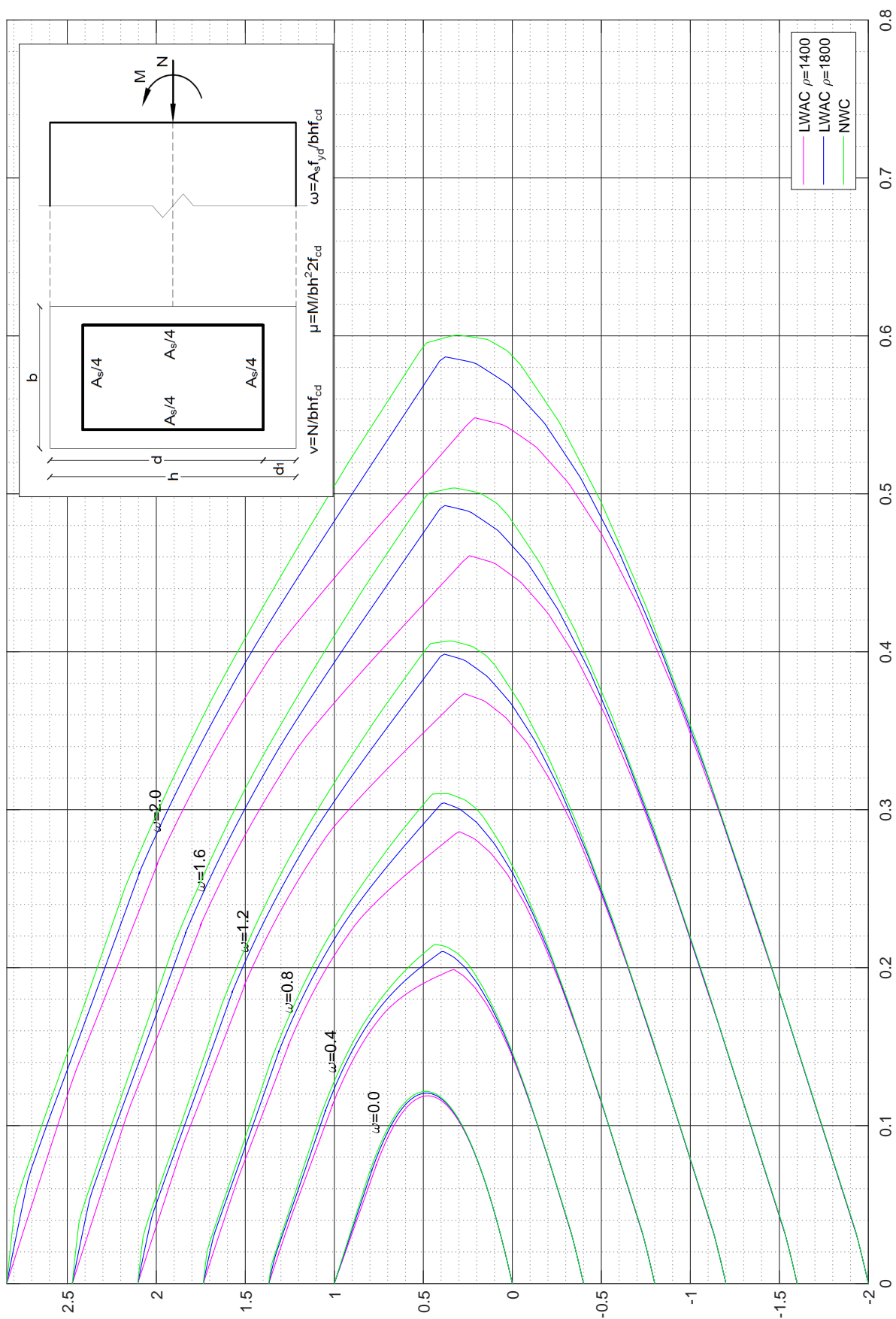
Σχήμα Γ.4: Διάγραμμα αλληλεπίδρασης σε μονοαξονική κάμψη, $d_1/h = 0.20001$, $A_{s1} = A_{s2}$, $\epsilon_{su} = 67.5$, χάλυβας χωρίς κράτυνση, B500C, < C50/60, παραβολικό διάγραμμα σκυροδέματος



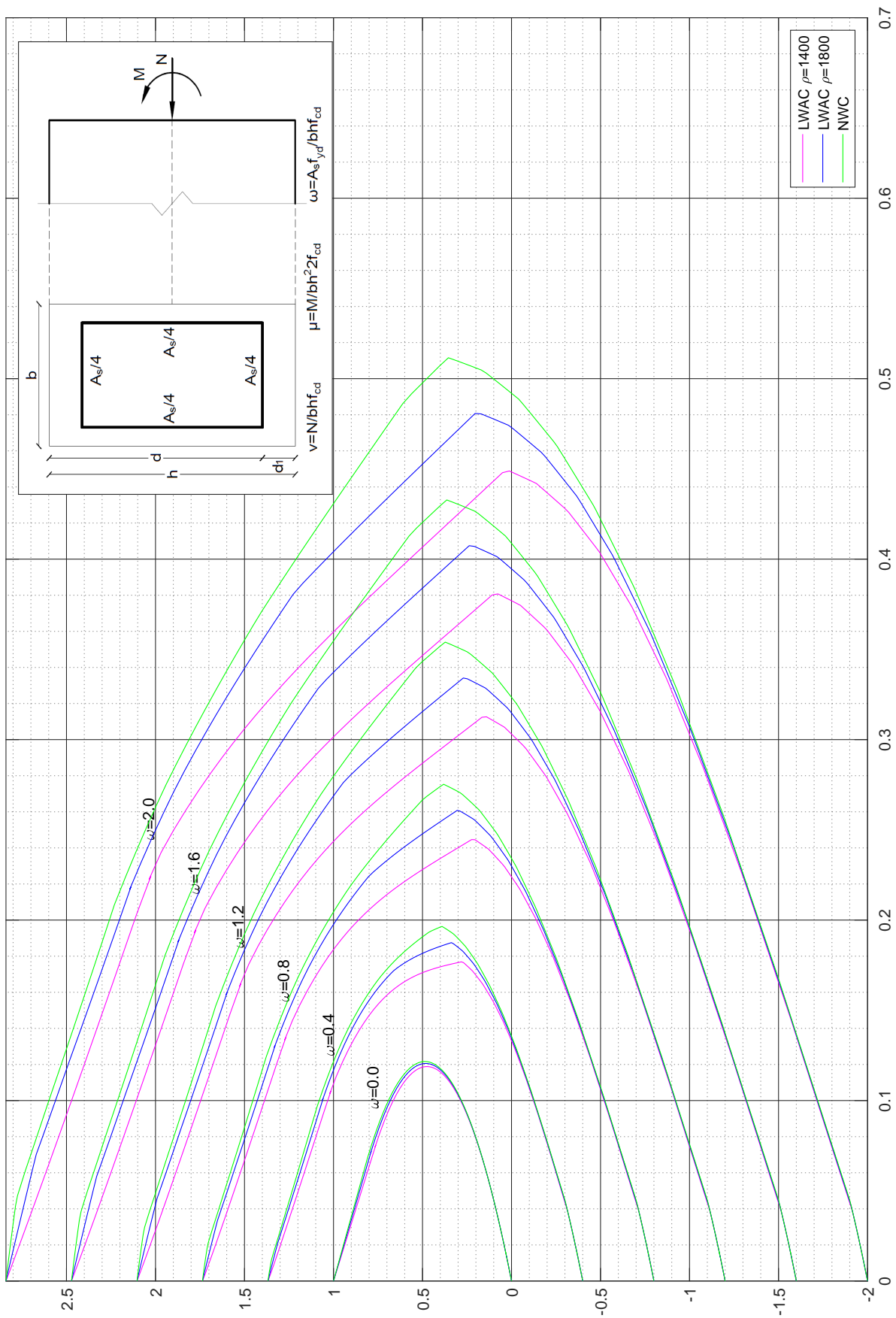
Σχήμα Γ.5: Διάγραμμα αλληλεπίδρασης μ - v , $d_l/h = 0.05$, ομοιόμορφος σπλισμός, $\epsilon_{su} = 186$ χάλυβας χωρίς κράτυνση, B500C, < C50/60, παραβολικό διάγραμμα σκυροδέματος



Σχήμα Γ.6: Διάγραμμα αλληλεπίδρασης μ - v , $d_1/h = 0.1$, ομοιόμορφος σπλισμός, $\epsilon_{su} = 67.5$, χάλυβας χωρίς κράντηση, B500C, < C50/60, παραβολικό διάγραμμα σκυροδέματος **187**



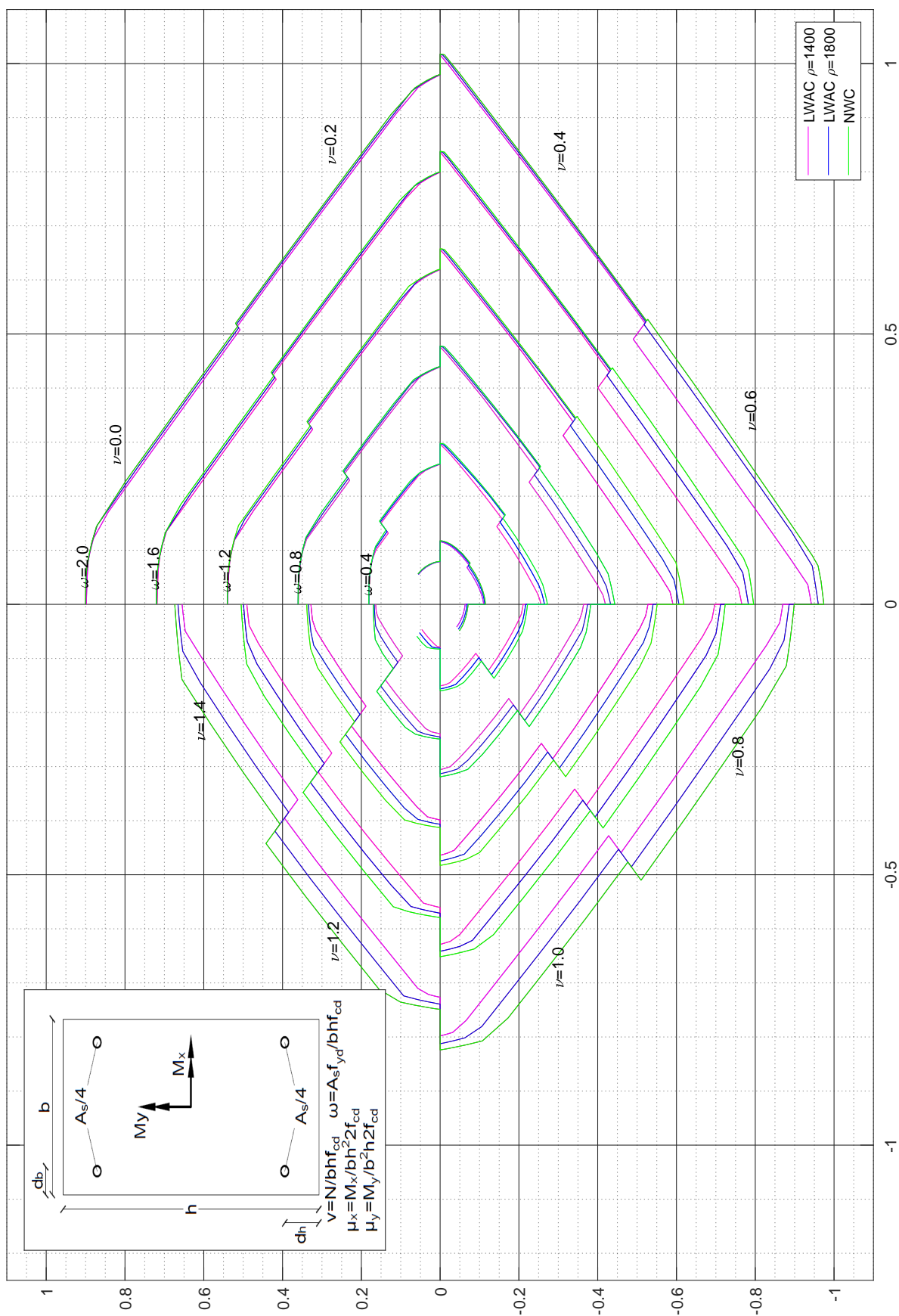
Σχήμα Γ.7: Διάγραμμα αλληλεπίδρασης μ - v , $d_1/h = 0.15001$, ομοιόμορφος σπλισμός, $\epsilon_{su} = 188$ χάλυβας χωρίς κράτυνση, B500C, < C50/60, παραβολικό διάγραμμα σκυροδέματος



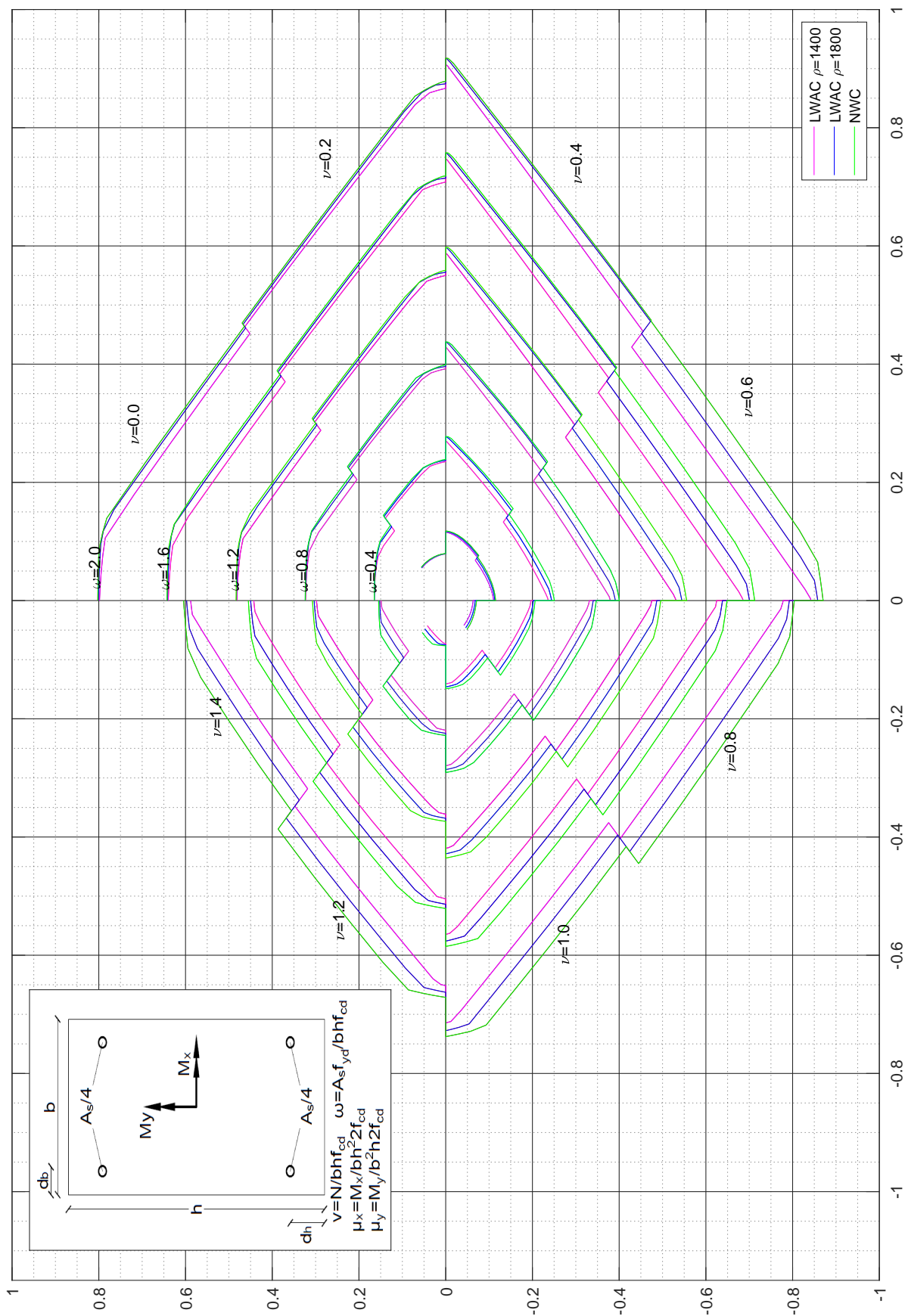
Σχήμα Γ.8: Διάγραμμα αλληλεπίδρασης μ - v , $d_1/h = 0.20001$, ομοιόμορφος σπλισμός, $\epsilon_{su} = 67.5$, χάλυβας χωρίς κράνυση, B500C, < C50/60, παραβολικό διάγραμμα σκυροδέματος 189

Παράρτημα 

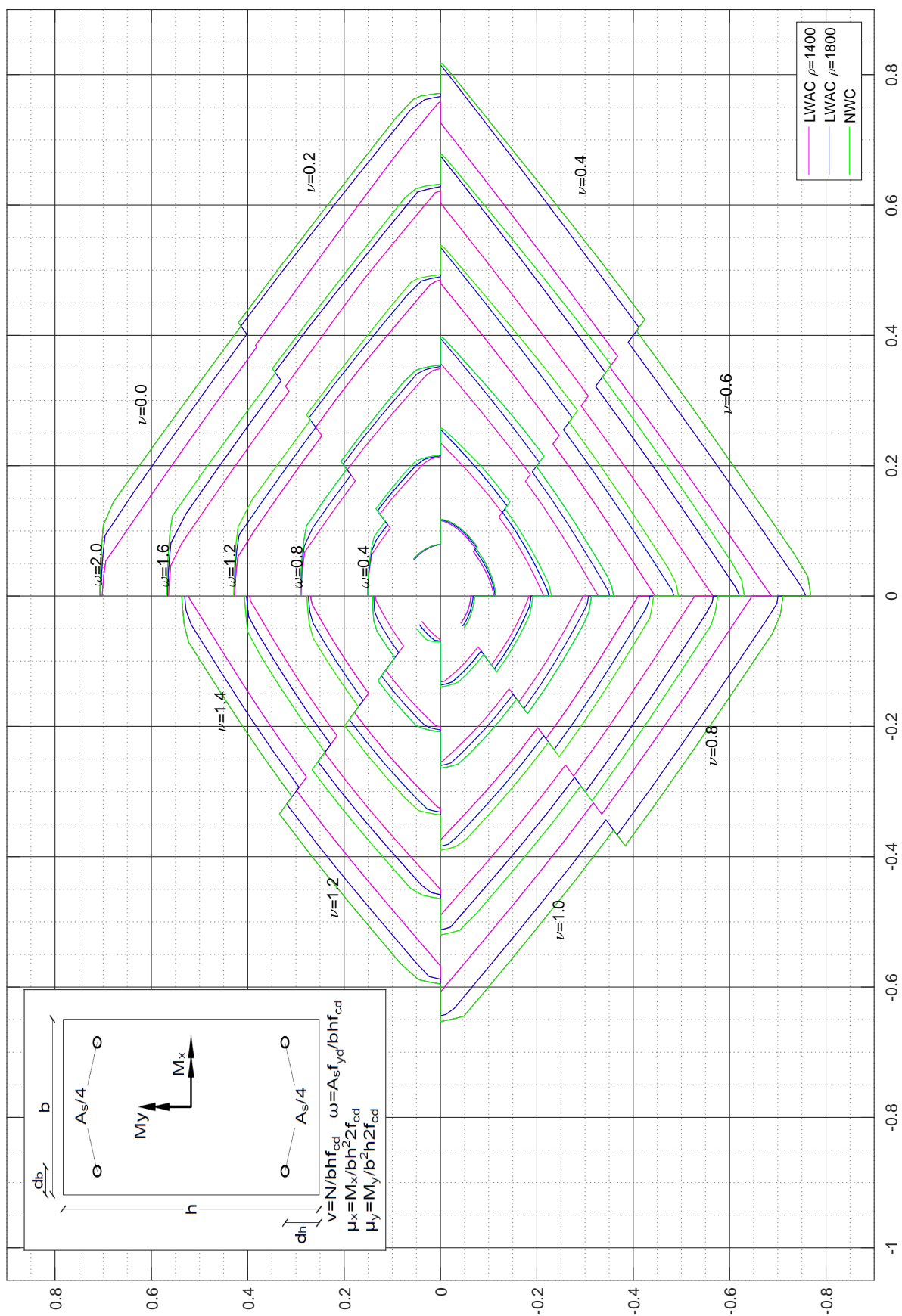
Διαγράμματα αλληλεπίδρασης σε διαζονική κάμψη



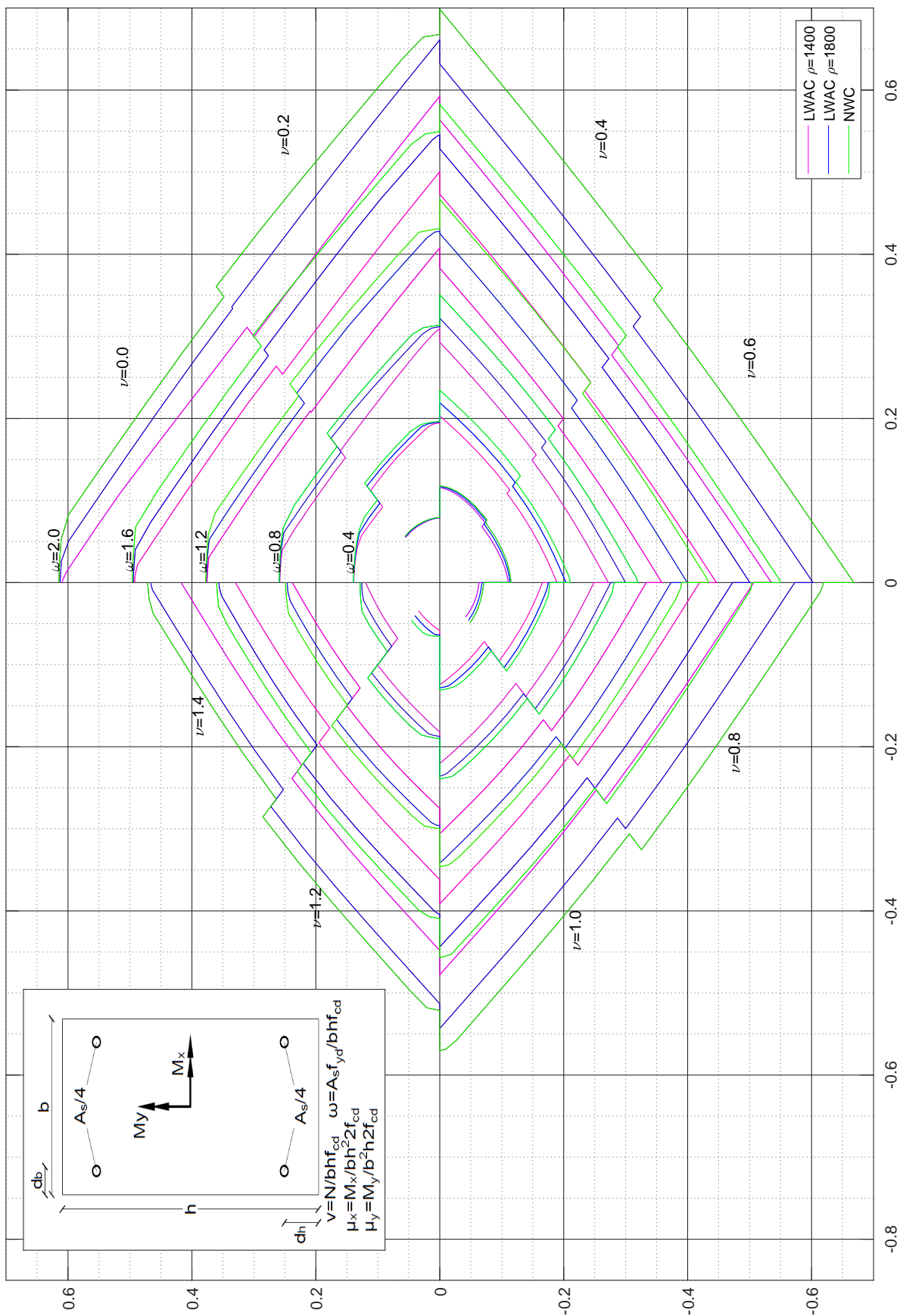
Σχήμα Δ.1: Διάγραμμα διαξονικής κάμψης, $d_1/h = 0.05$, 4 γωνιακά σίδερα, $\epsilon_{su} = 67.5$, 192 βας χωρίς κράτυση, B500C, < C50/60, παραβολικό διάγραμμα σκυροδέματος



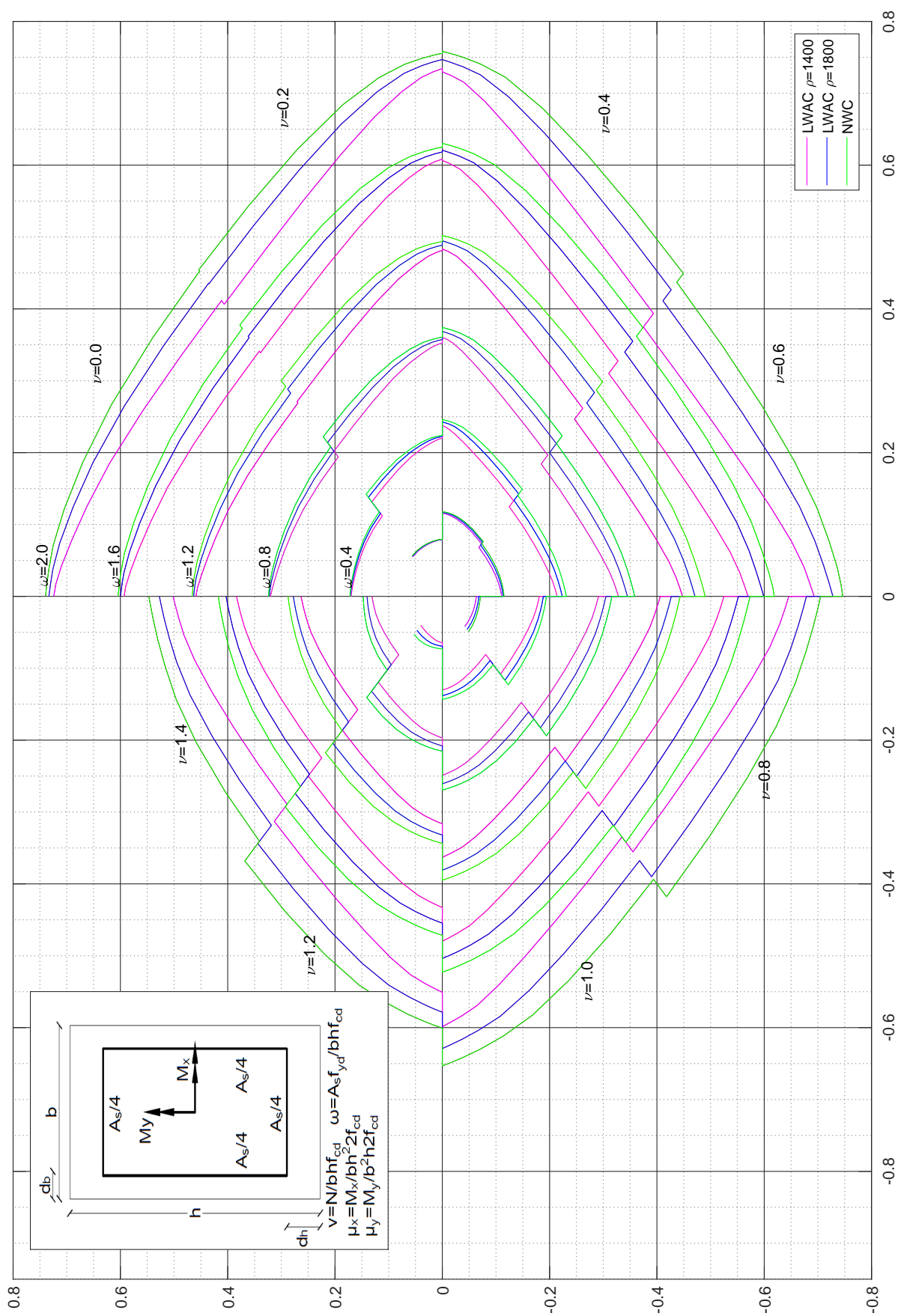
Σχήμα Δ'2: Διάγραμμα διαξονικής κάμψης, $d_1/h = 0.1$, 4 γωνιακά σίδερα, $\epsilon_{su} = 67.5$, χάλυβας χωρίς κράνση, B500C, < C50/60, παραβολικό διάγραμμα σκυροδέματος **193**



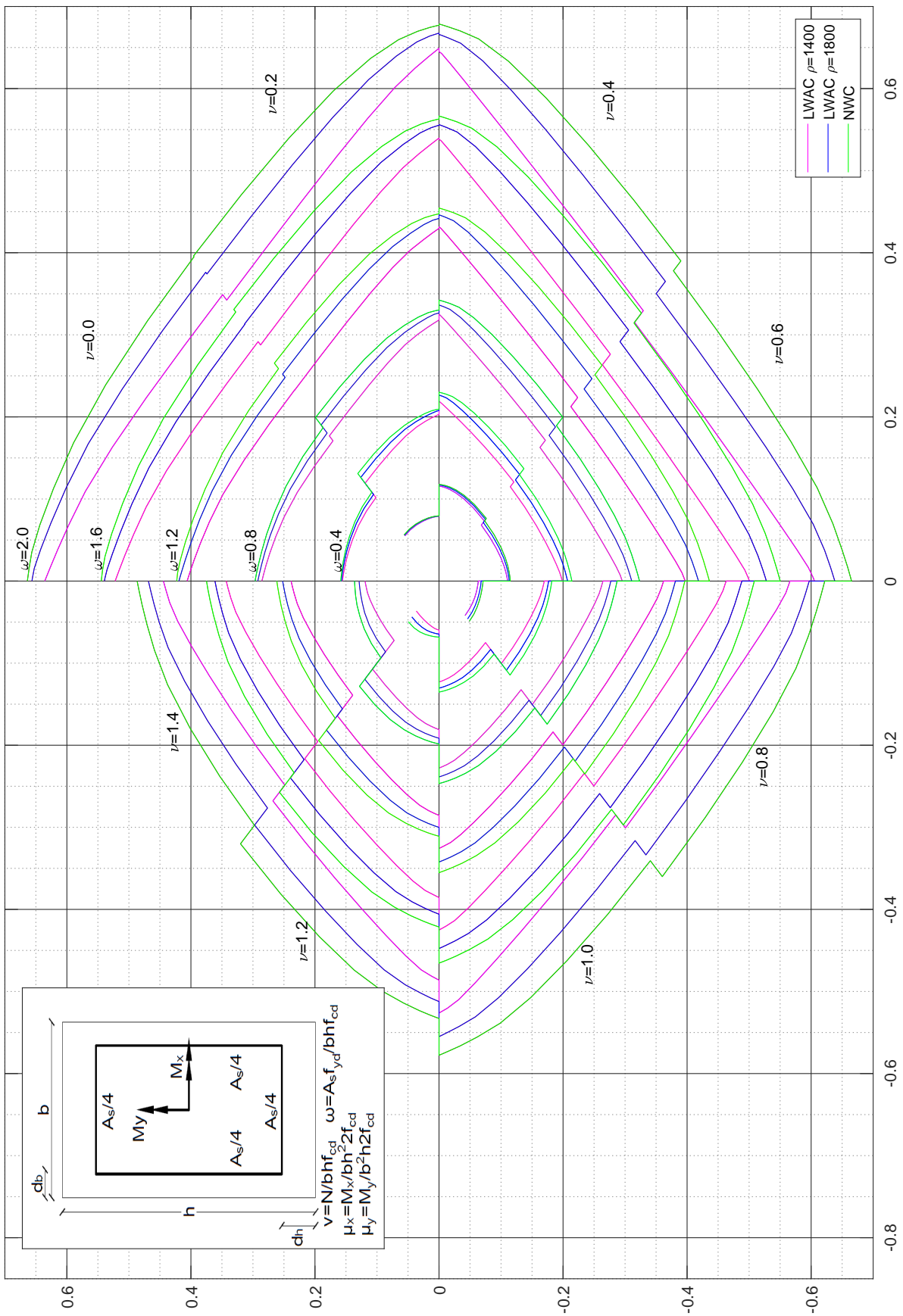
Σχήμα Δ.3: Διάγραμμα διαξονικής κάμψης, $d_1/h = 0.15001$, 4 γωνιακά σίδερα, $\epsilon_{su} = 67.5$, 194 βασ χωρίς κράτυψη, B500C, < C50/60, παραβολικό διάγραμμα σκυροδέματος



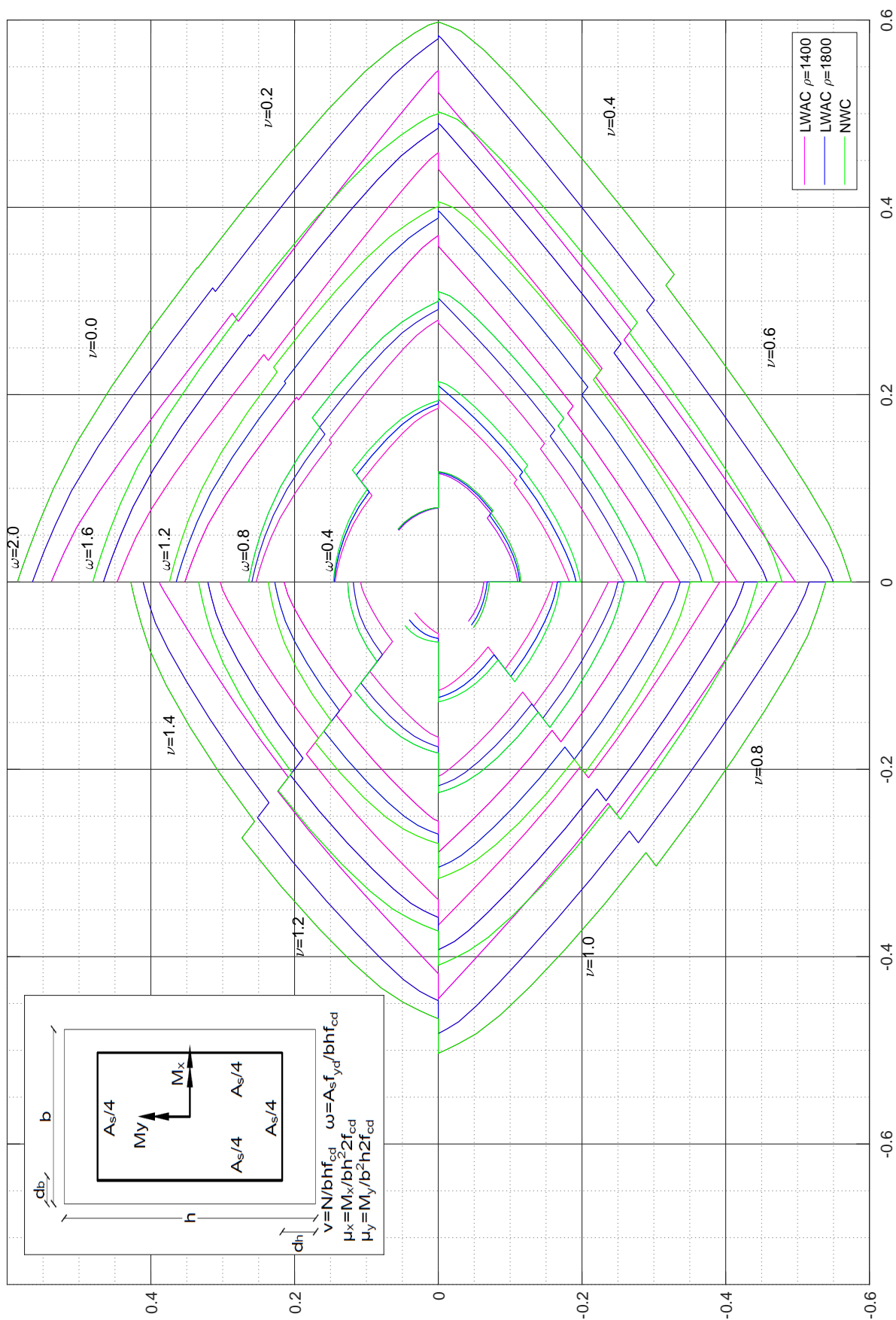
Σχήμα Δ'.4: Διάγραμμα διαξονικής κάμψης, $d_1/h = 0.20001$, 4 γωνιακά σίδερα, $\epsilon_{su} = 67.5$, χάλυβας χωρίς κράνση, B500C, < C50/60, παραβολικό διάγραμμα σκυροδέματος **195**



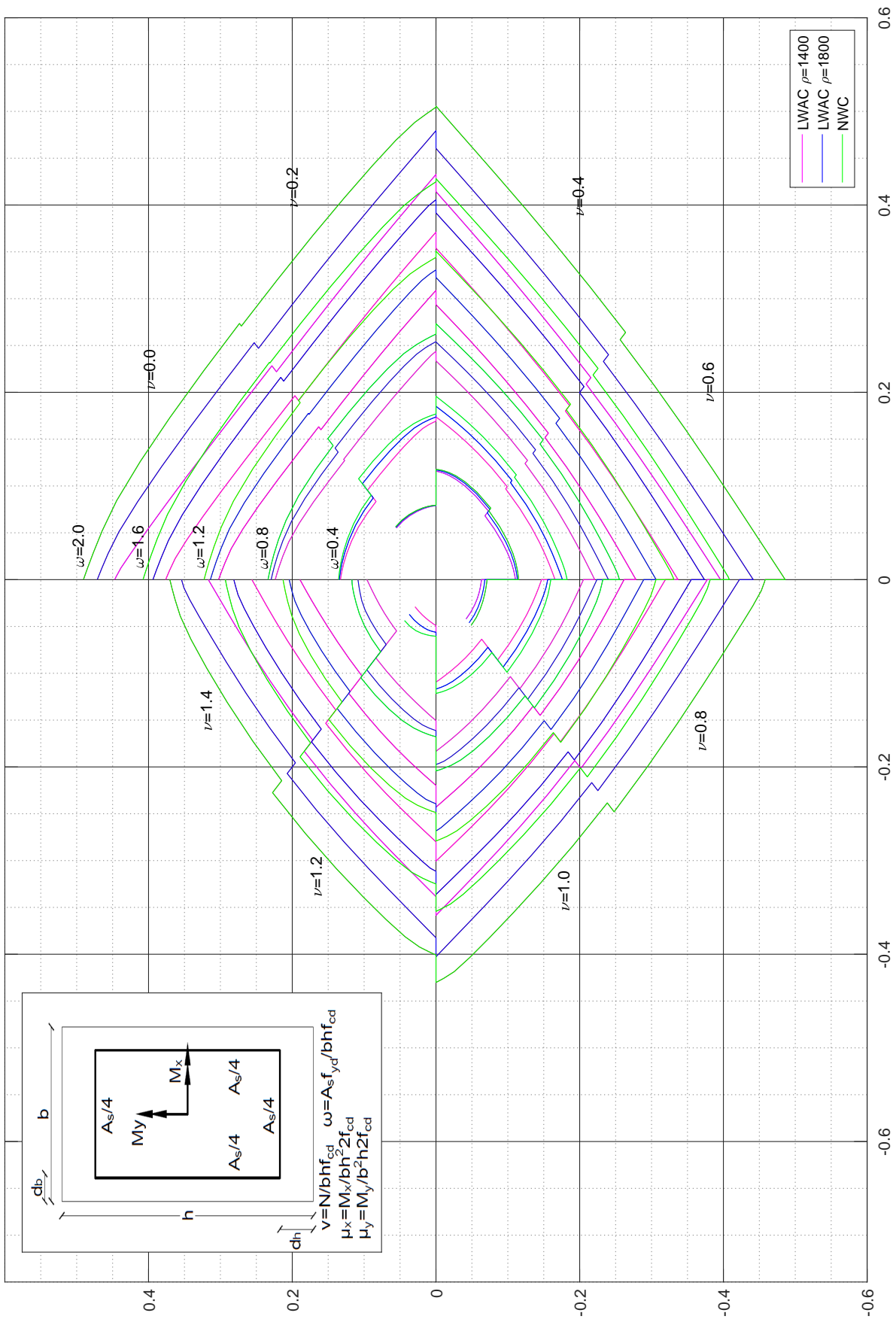
Σχήμα Δ.5: Διάγραμμα διαξονικής κάμψης, $d_1/h = 0.05$, ομοιόμορφη κατανομή οπλισμού, $\epsilon_{su} = 67.5$, χάλυβας χωρίς κράτυση, B500C, < C50/60, παραβολικό διάγραμμα σκυρο-



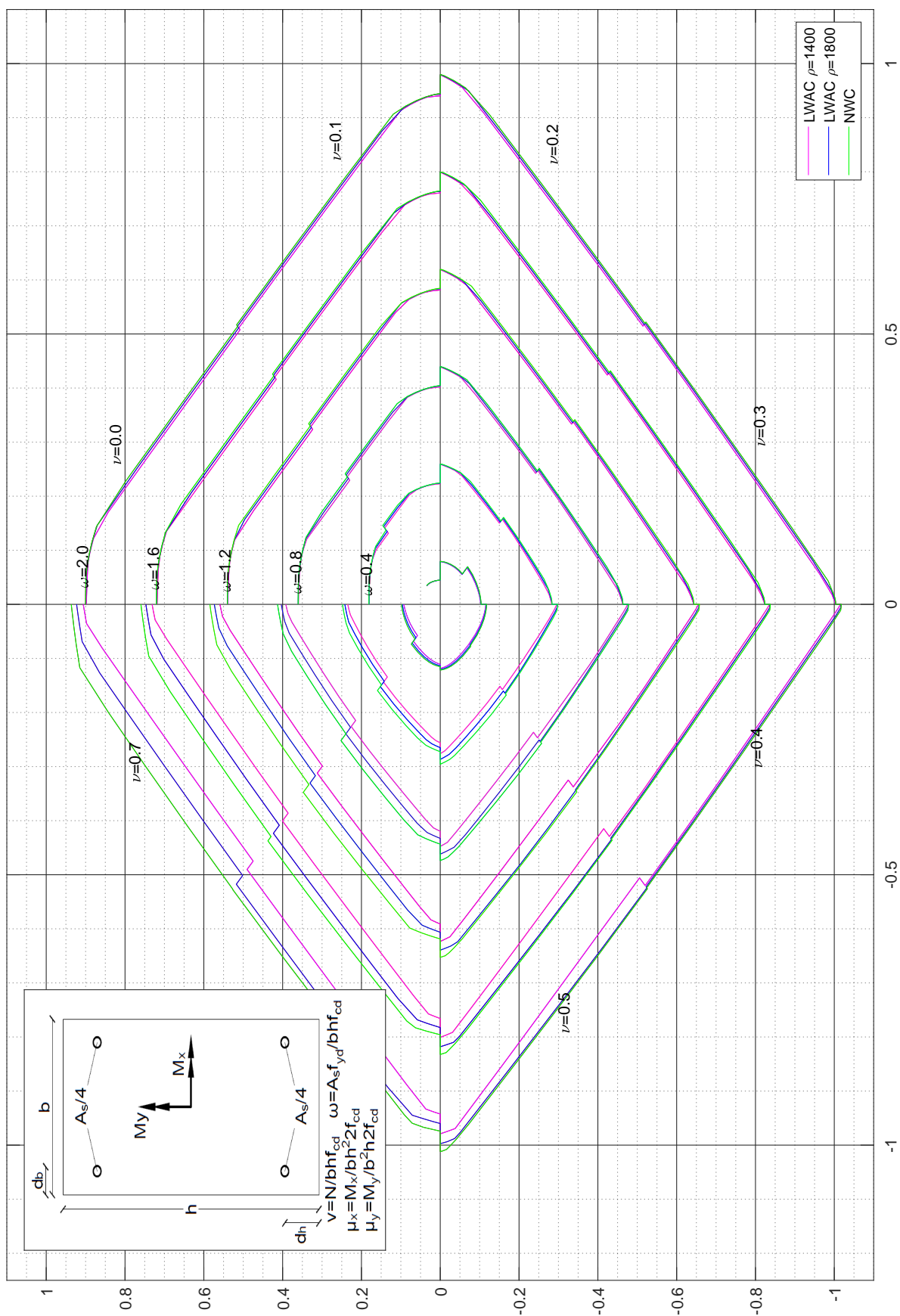
Σχήμα Δ'6: Διάγραμμα διαξονικής κάμψης, $d_1/h = 0.1$, ομοιόμορφη κατανομή σπλιτισμού, $\epsilon_{su} = 67.5$, χάλυβας χωρίς κράτυση, B500C, < C50/60, παραβολικό διάγραμμα σκυροδέματος



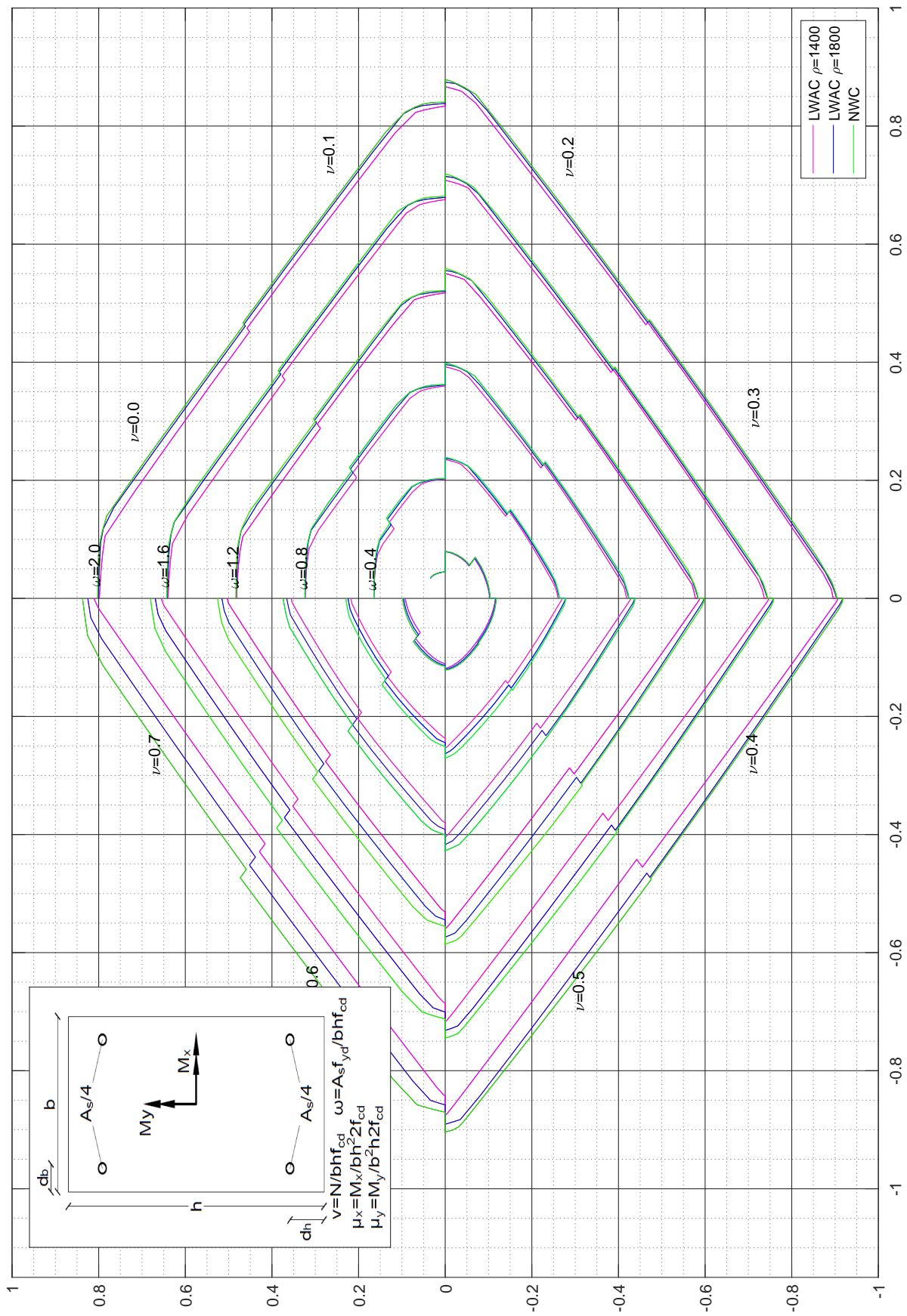
Σχήμα Δ.7: Διαγράμματα διαξονικής κάμψης, $d_1/h = 0.15001$, ομοιόμορφη κατανομή οπλισμού, $\epsilon_{su} = 67.5$, χάλυβας χωρίς κράτυση, B500C, < C50/60, παραβολικό διάγραμμα



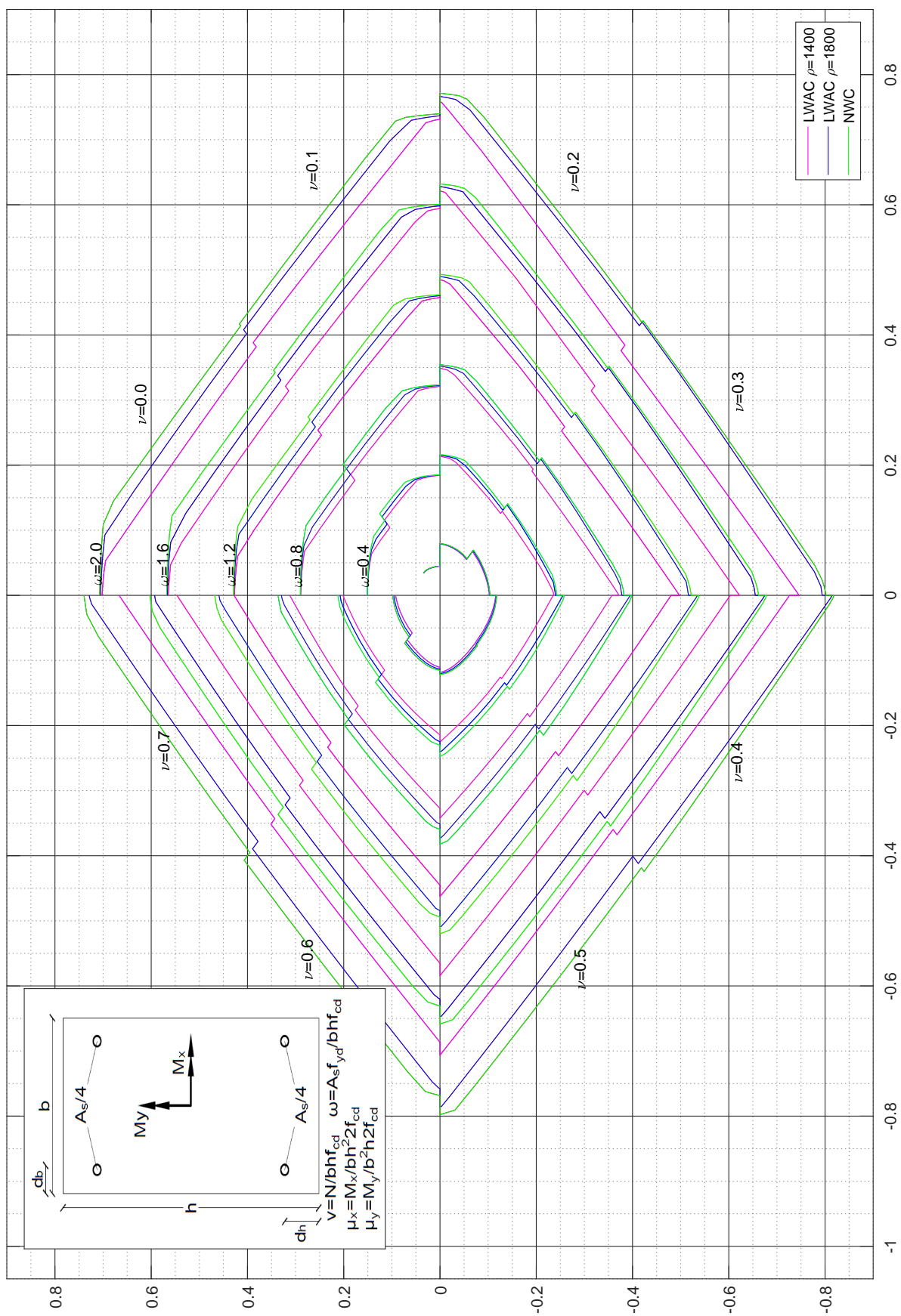
Σχήμα Δ'.8: Διάγραμμα διαξονικής κάμψης, $d_1/h = 0.20001$, ομοιόμορφη κατανομή οπλισμού, $\epsilon_{su} = 67.5$, χάλυβας χωρίς κράτυνση, B500C, < C50/60, παραβολικό διάγραμμα σκυροδέματος



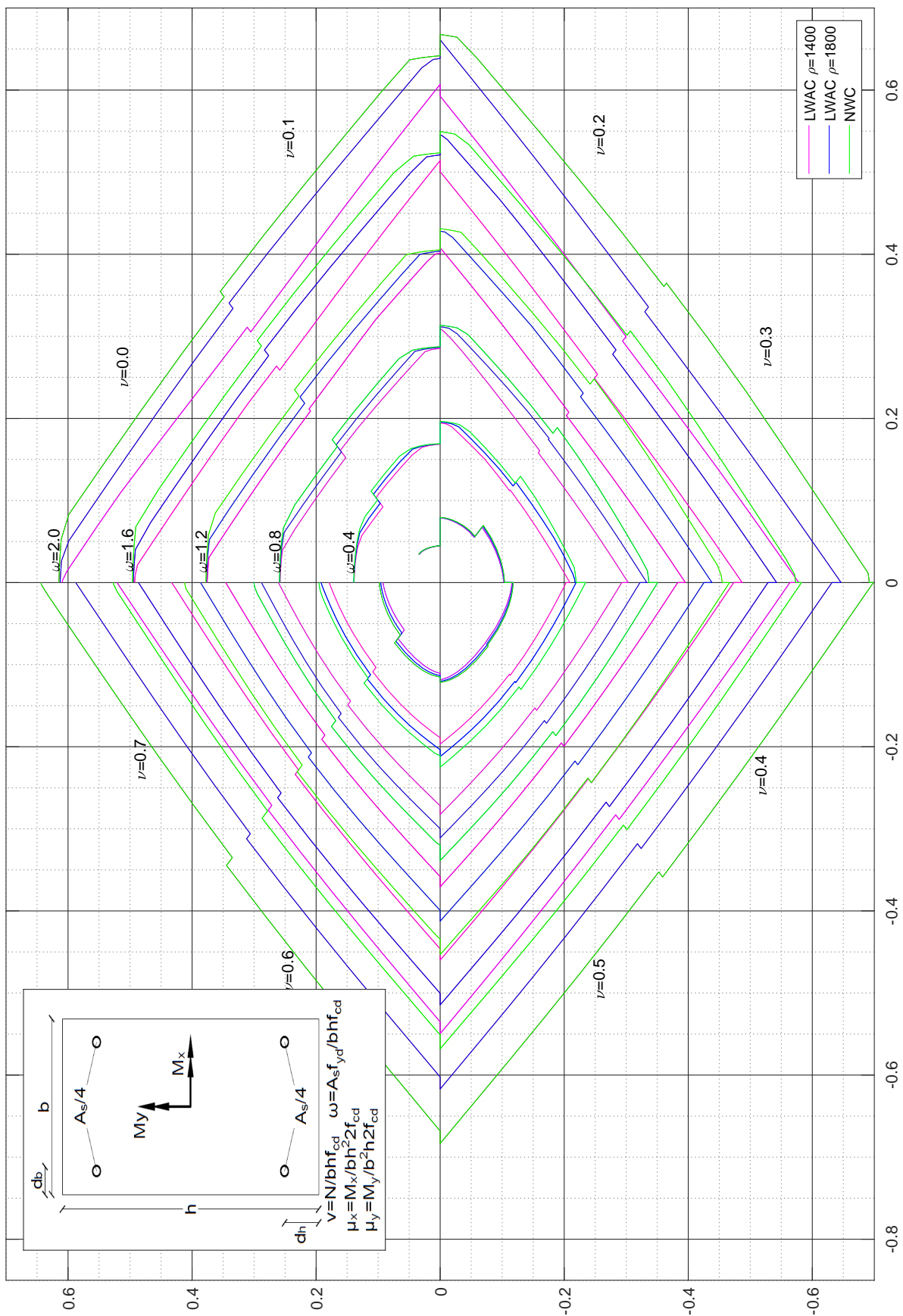
Σχήμα Δ'.9: Διάγραμμα διαξονικής κάμψης, $d_1/h = 0.05$, 4 γωνιακά σίδερα, $\epsilon_{su} = 67.5$, 200 βάς χωρίς κράτυψη, B500C, < C50/60, παραβολικό διάγραμμα σκυροδέματος



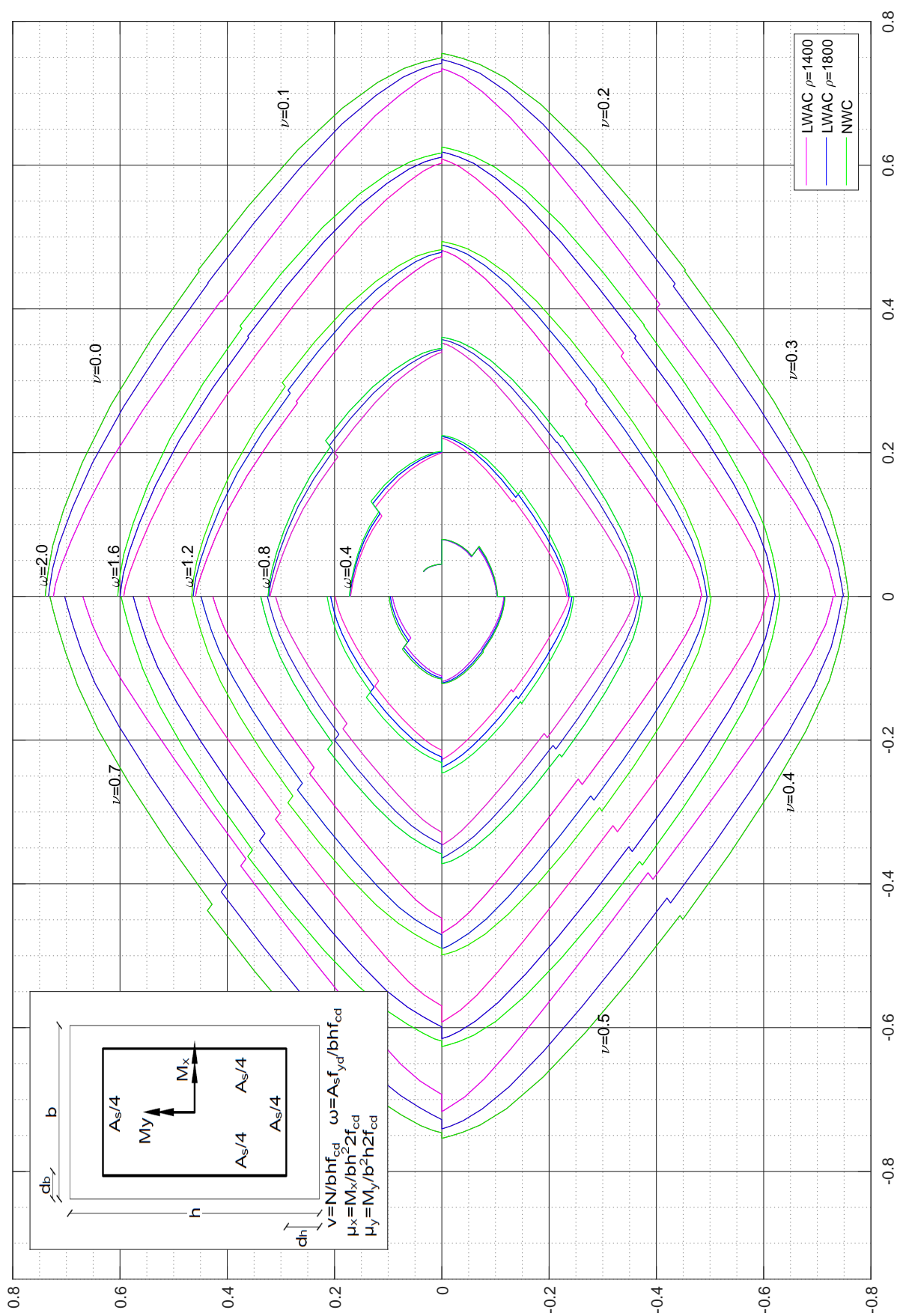
Σχήμα Δ'10: Διάγραμμα διαξονικής κάμψης, $d_1/h = 0.1$, 4 γωνιακά σίδερα, $\epsilon_{su} = 67.5$, χάλυβας χωρίς κράνωση, B500C, < C50/60, παραβολικό διάγραμμα σκυροδέματος **201**



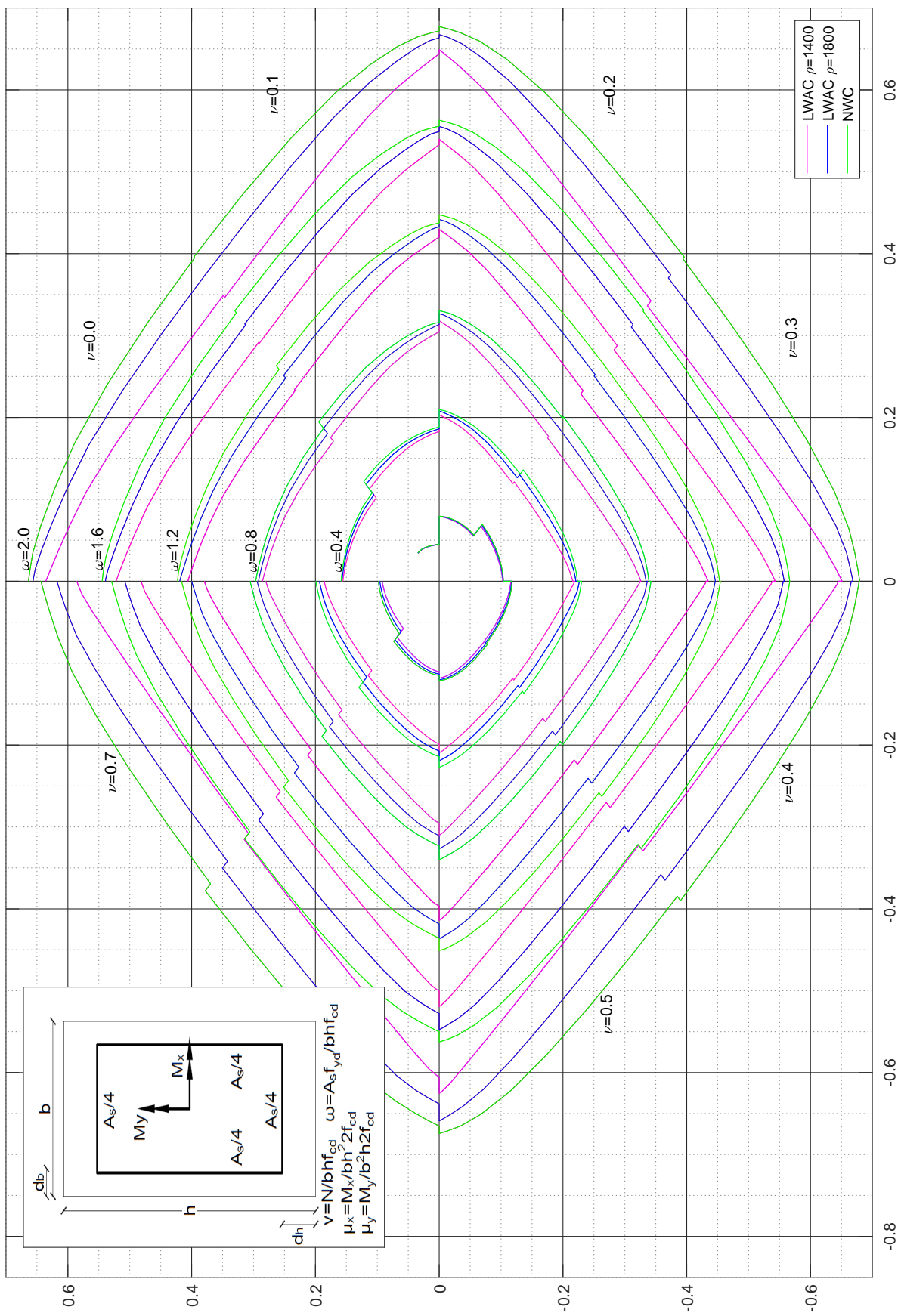
Σχήμα Δ'.11: Διάγραμμα διαξονικής κάμψης, $d_1/h = 0.15001$, 4 γωνιακά σίδερα, $\epsilon_{su} = 67.5$, 202 βασ χωρίς κράτυψη, B500C, < C50/60, παραβολικό διάγραμμα σκυροδέματος



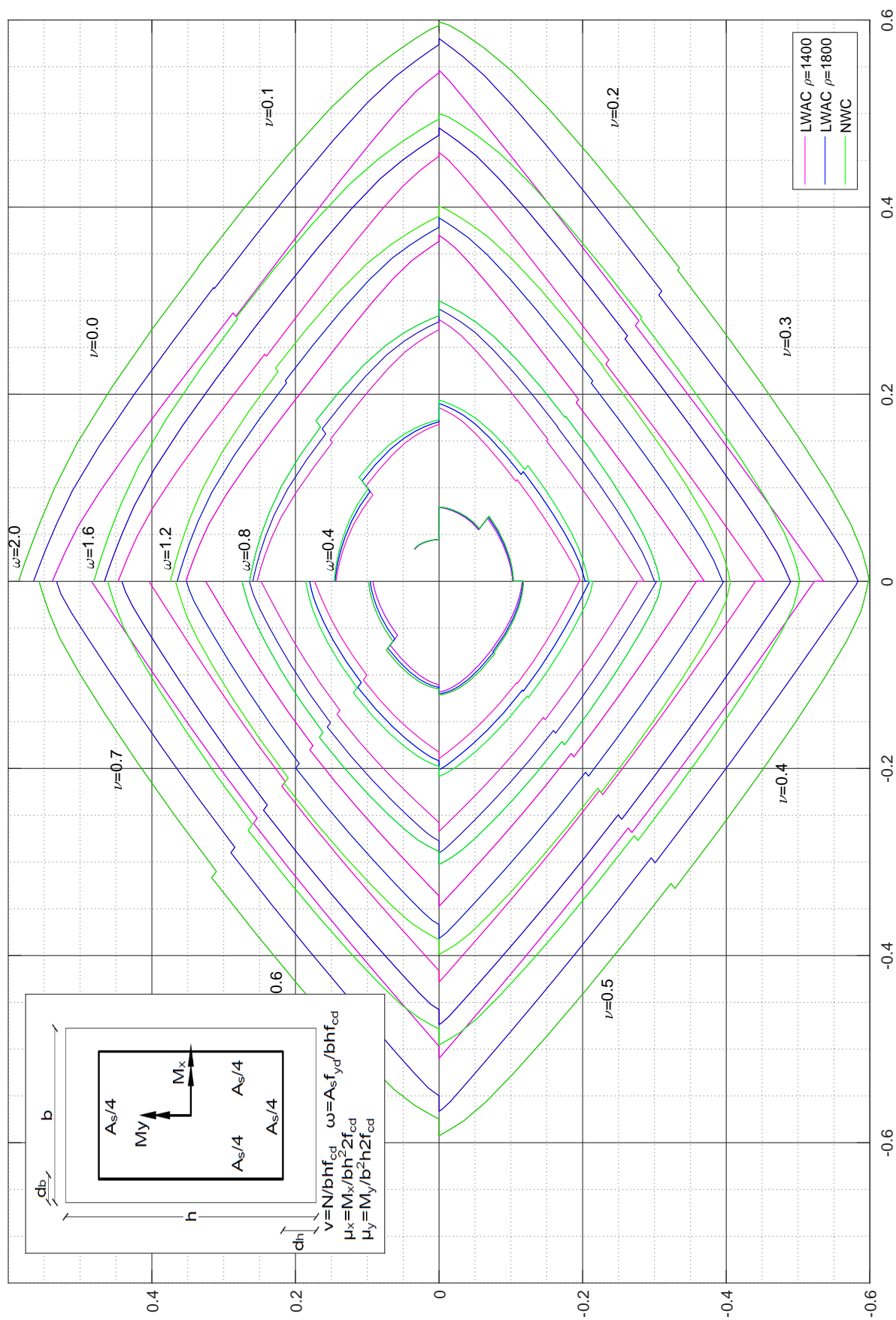
Σχήμα Δ'.12: Διάγραμμα διαξονικής κάμψης, $d_1/h = 0.20001$, 4 γωνιακά σίδερα, $\epsilon_{su} = 67.5$, χάλυβας χωρίς κράτηση, B500C, < C50/60, παραβολικό διάγραμμα σκυροδέματος **203**



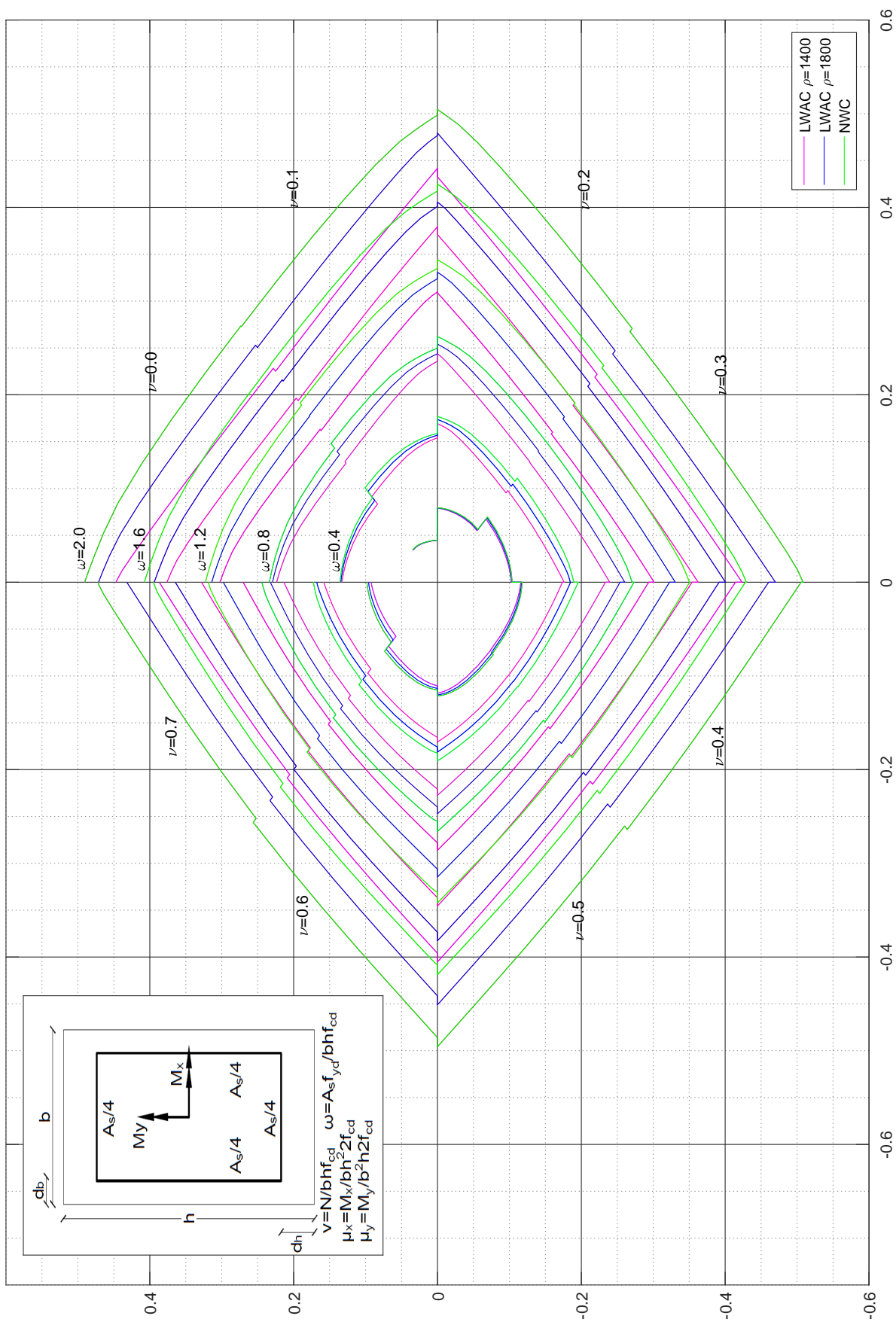
Σχήμα Δ'.13: Διάγραμμα διαξονικής κάμψης, $d_1/h = 0.05$, ομοιόμορφη κατανομή σπλισμού, **204** 67.5, χάλυβας χωρίς κράτυνση, B500C, < C50/60, παραβολικό διάγραμμα σκυροδέματος



Σχήμα Δ'.14: Διάγραμμα διαξονικής κάμψης, $d_1/h = 0.1$, ομοιόμορφη κατανομή σπλισμού, $\epsilon_{su} = 67.5$, χάλυβας χωρίς κράνση, B500C, < C50/60, παραβολικό διάγραμμα σ **205** δέματος



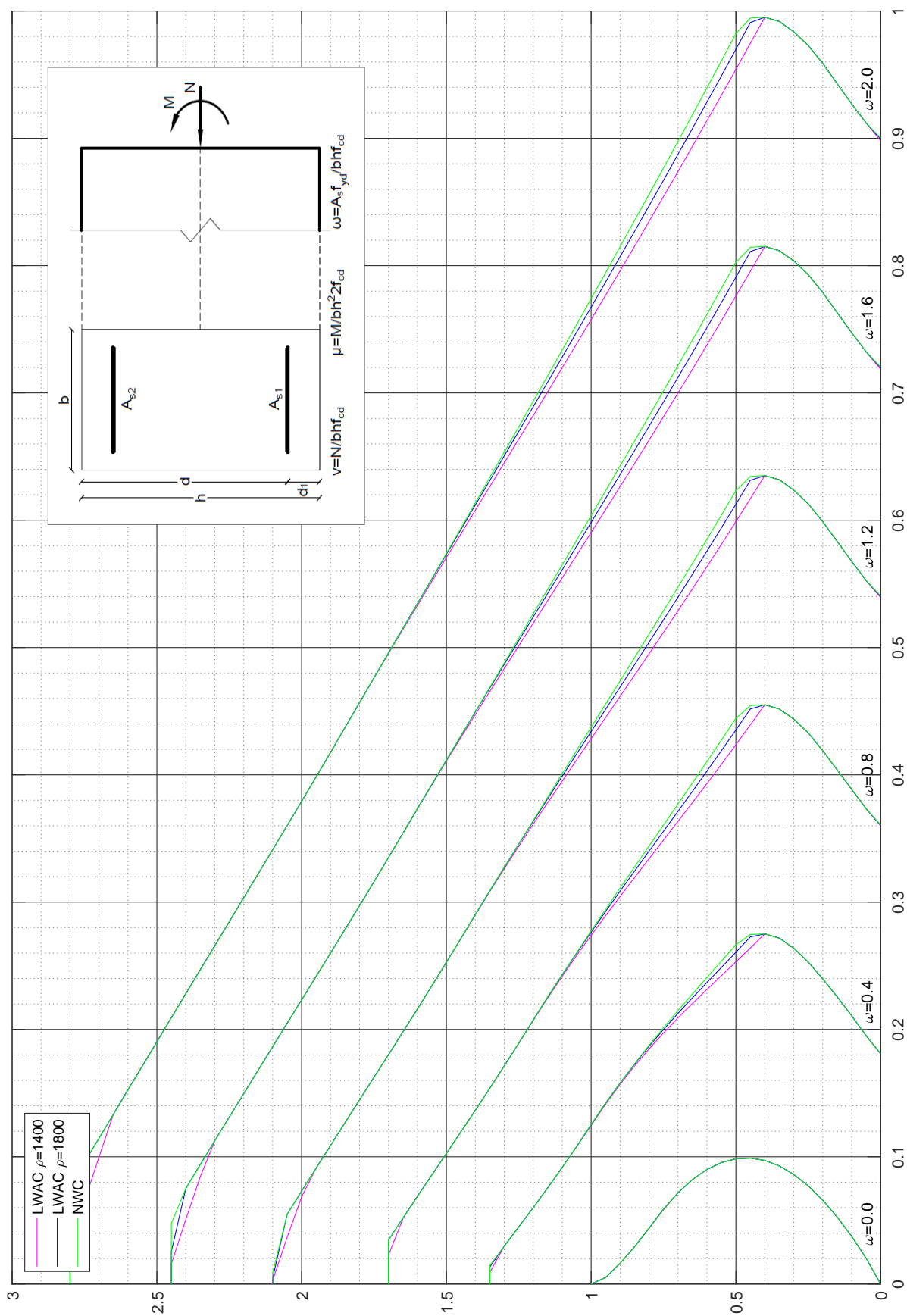
Σχήμα Δ.15: Διάγραμμα διαξονικής κάμψης, $d_1/h = 0.15001$, ομοιόμορφη κατανομή οπλι-
206 $\epsilon_{su} = 67.5$, χάλυβας χωρίς κράνση, B500C, < C50/60, παραβολικό διάγραμμα
 σκυροδέματος



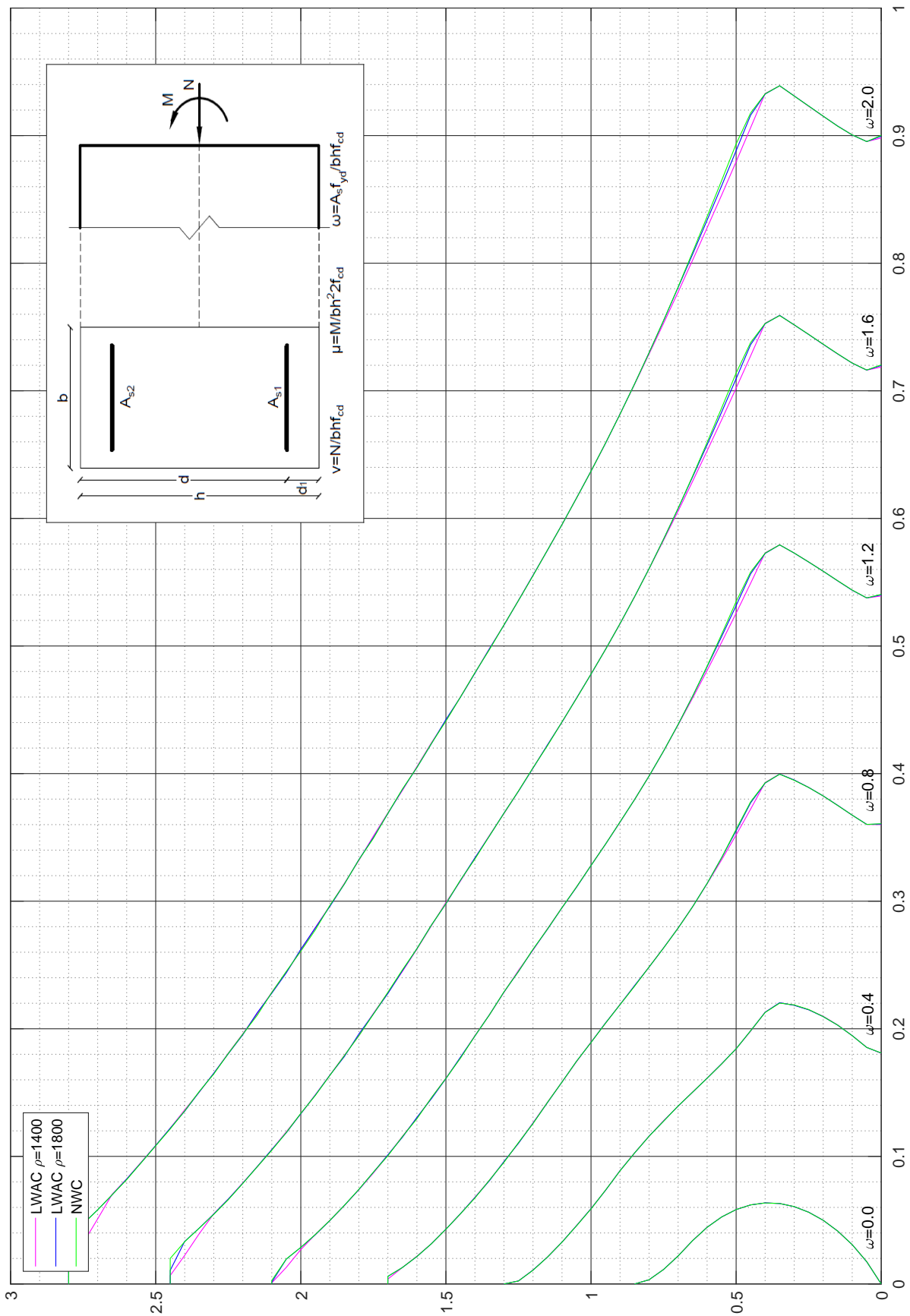
Σχήμα Δ'.16: Διάγραμμα διαξονικής κάμψης, $d_1/h = 0.20001$, ομοιόμορφη κατανομή σπλι-
 σμού, $\epsilon_{su} = 67.5$, χάλυβας χωρίς κράτυση, B500C, < C50/60, παραβολικό διάγρ-
 σκυροδέματος **207**

Παράρτημα **Ε'**

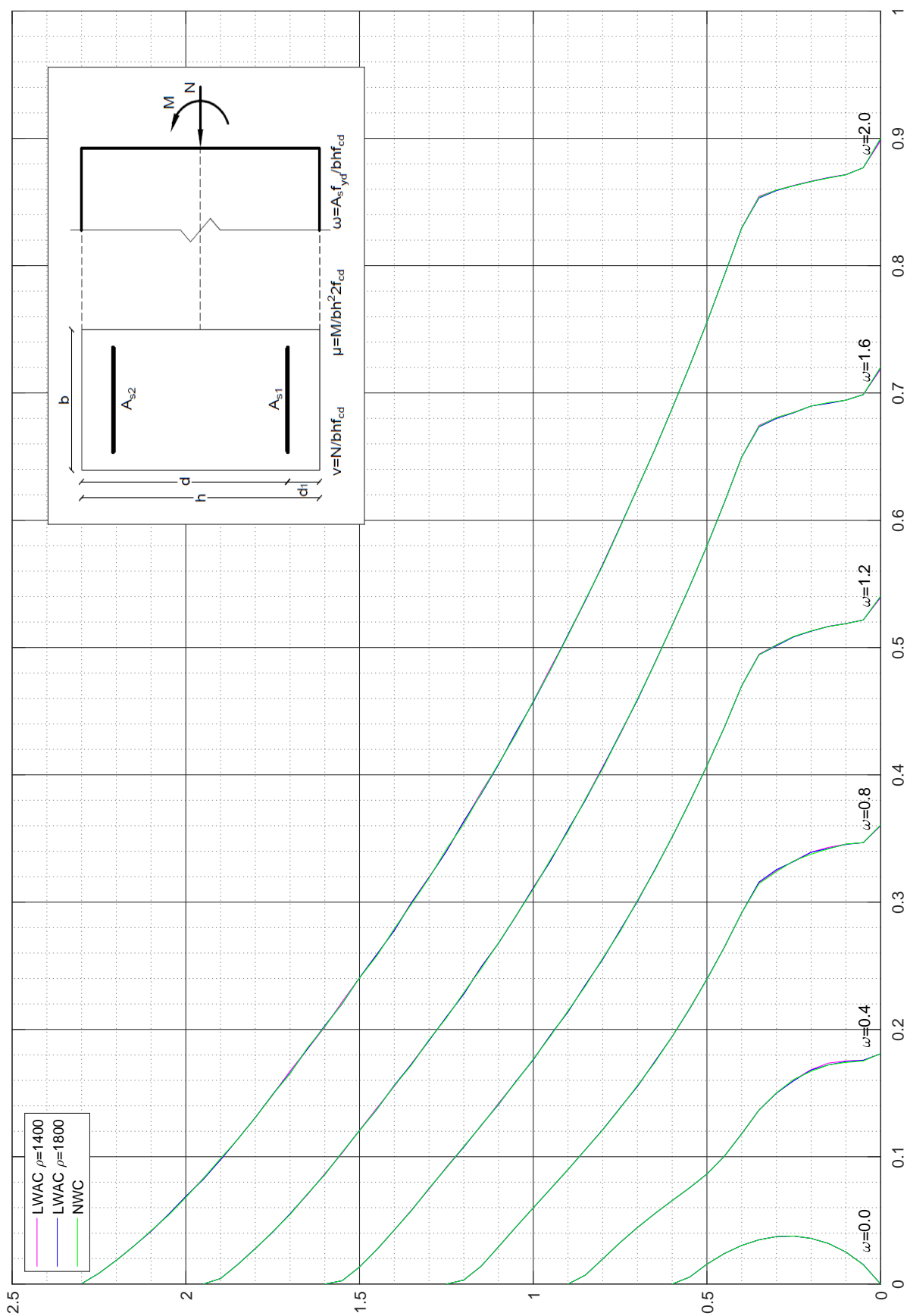
Διαγράμματα λυγισμού



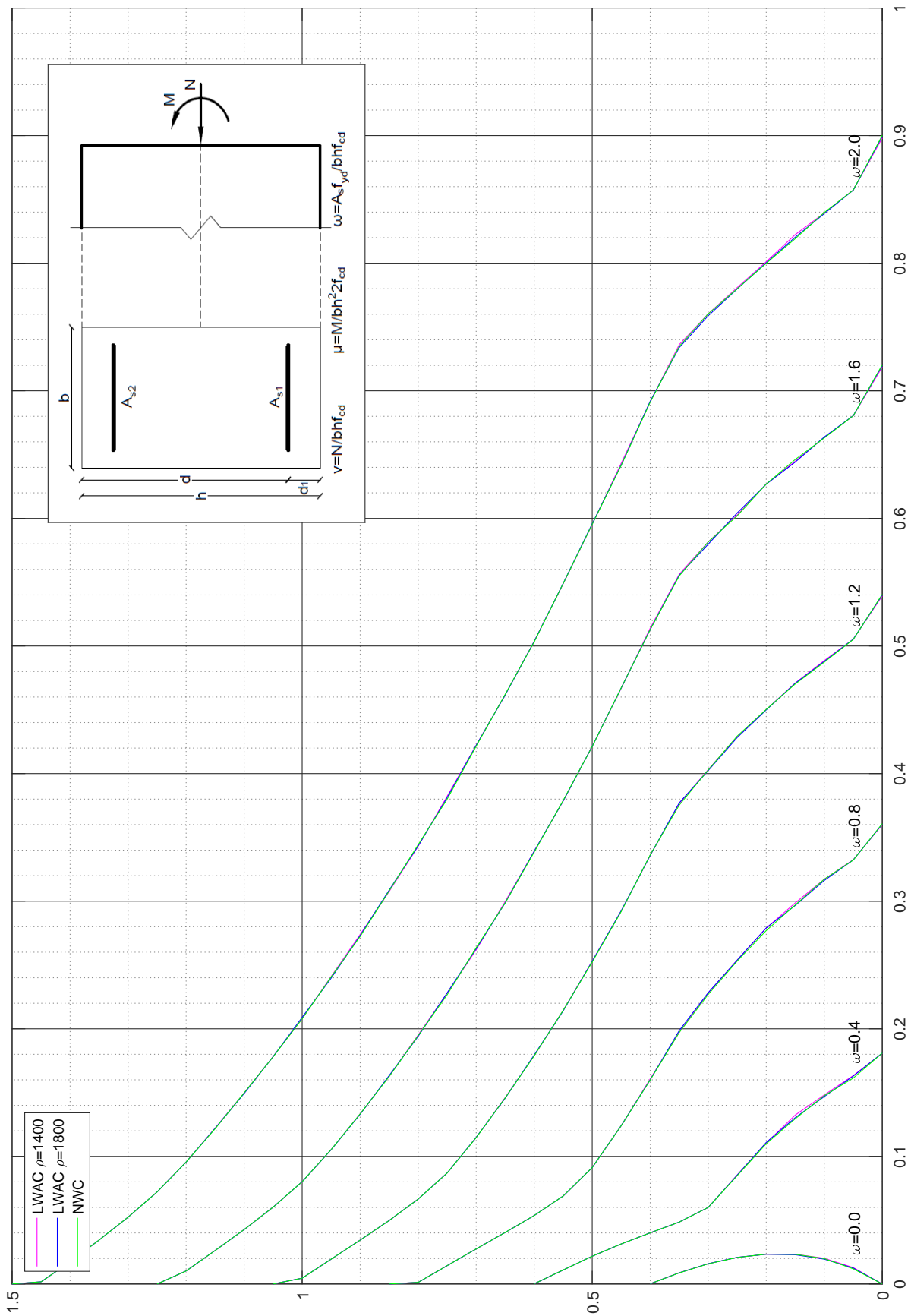
Σχήμα Ε'.1: Διαγράμματα λυγισμού μ - v , $d_1/h = 0.05$, $l_0/h = 10.0$, 4 γωνιακά, $K_\phi = 1$, $\epsilon_{su} = 210$ χάλυβας χωρίς κράτυνση, B500C, < C50/60, παραβολικό διάγραμμα σκυροδέματος



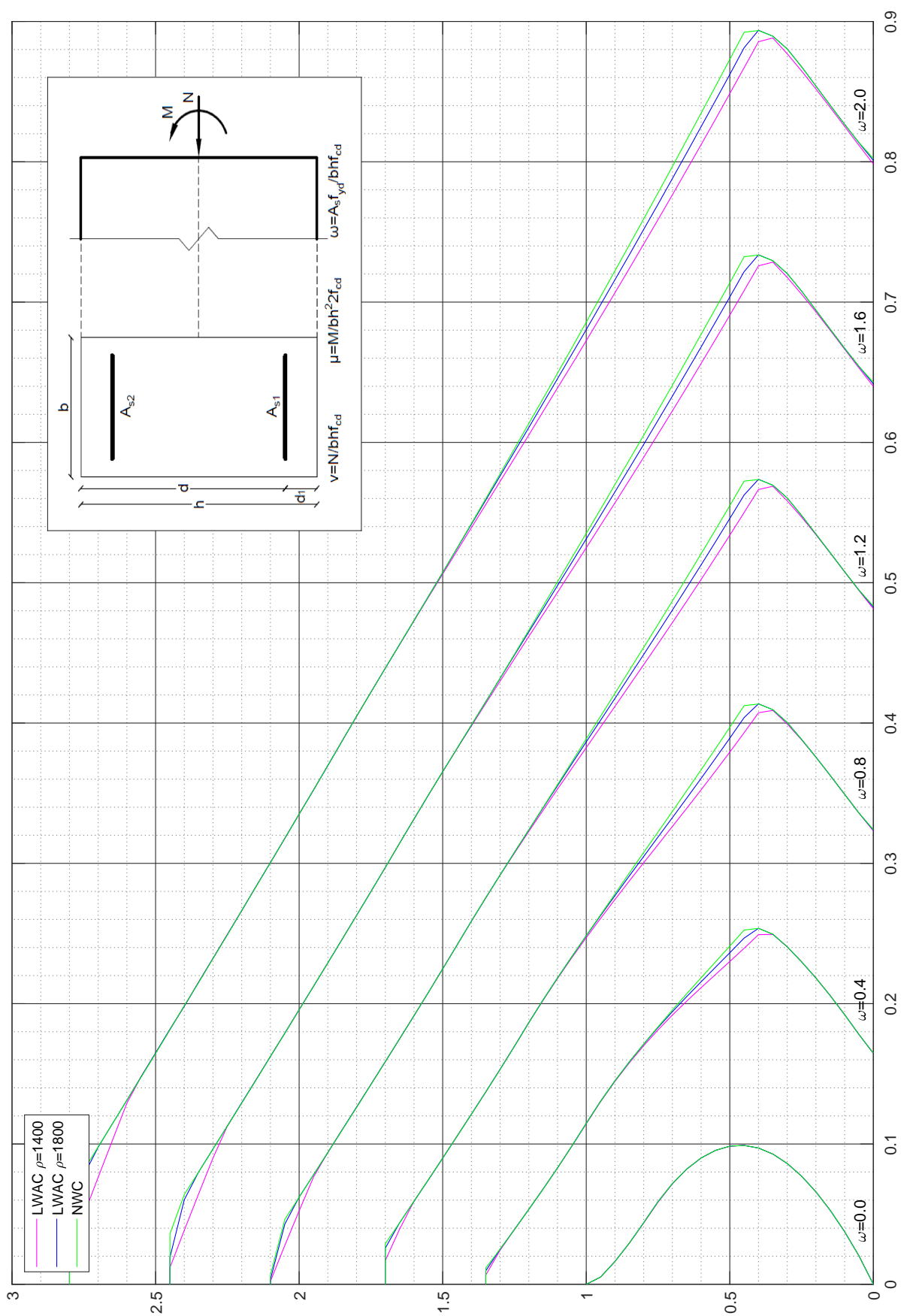
Σχήμα Ε.2: Διάγραμμα ληψισμού $\mu-v$, $d_1/h = 0.05$, $l_0/h = 20.0$, 4 γωνιακά, $K_\phi = 1$, $\epsilon_{su} = 67.5$, χάλυβας χωρίς κράντιση, B500C, < C50/60, παραβολικό διάγραμμα σκυροδέματος **211**



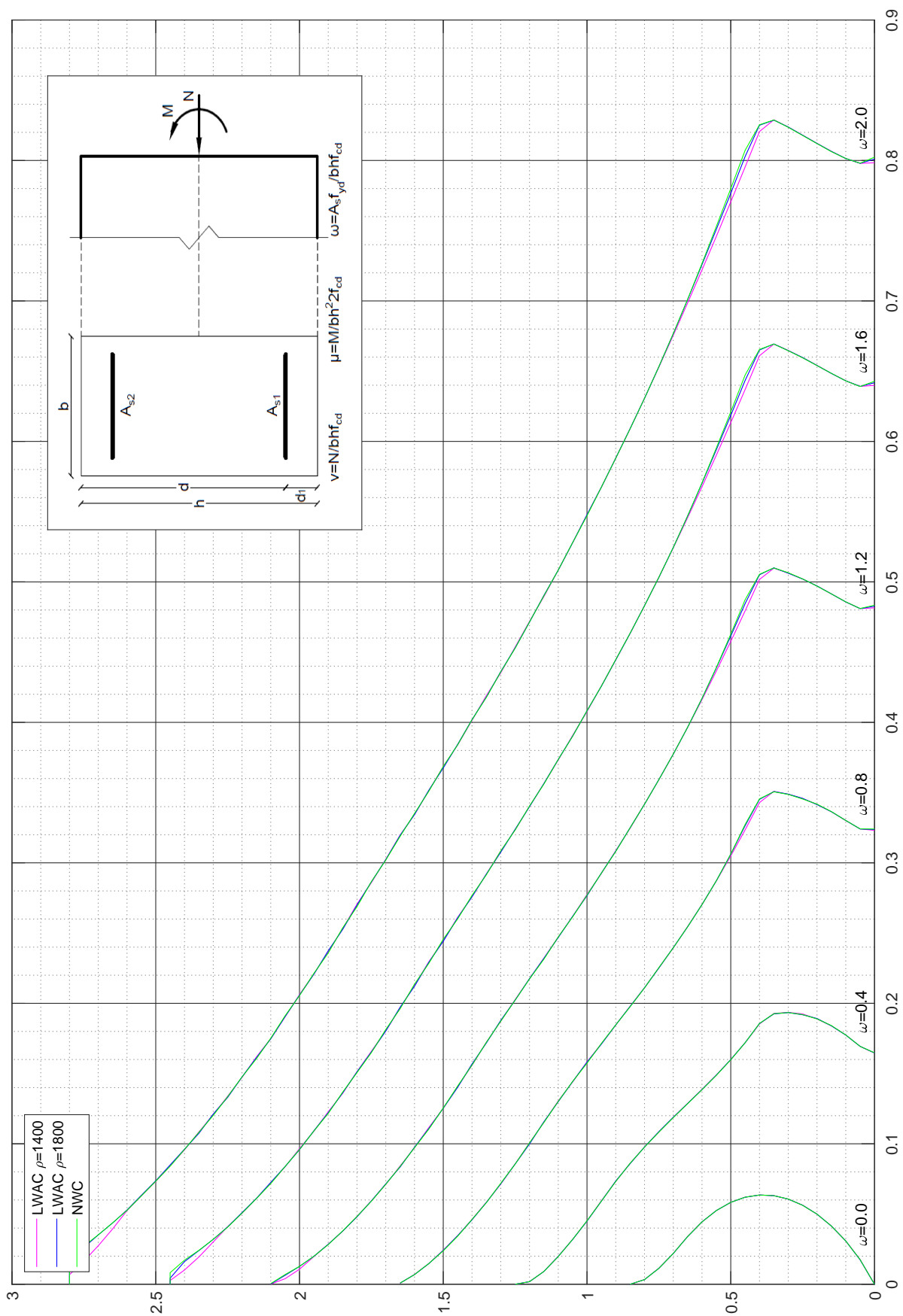
Σχήμα Ε.3: Διάγραμμα λυγισμού $\mu-v$, $d_1/h = 0.05$, $l_0/h = 30.0$, 4 γωνιακά, $K_\phi = 1$, $\epsilon_{su} =$
212 χάλυβας χωρίς κράτυψη, B500C, < C50/60, παραβολικό διάγραμμα σκυροδέματος



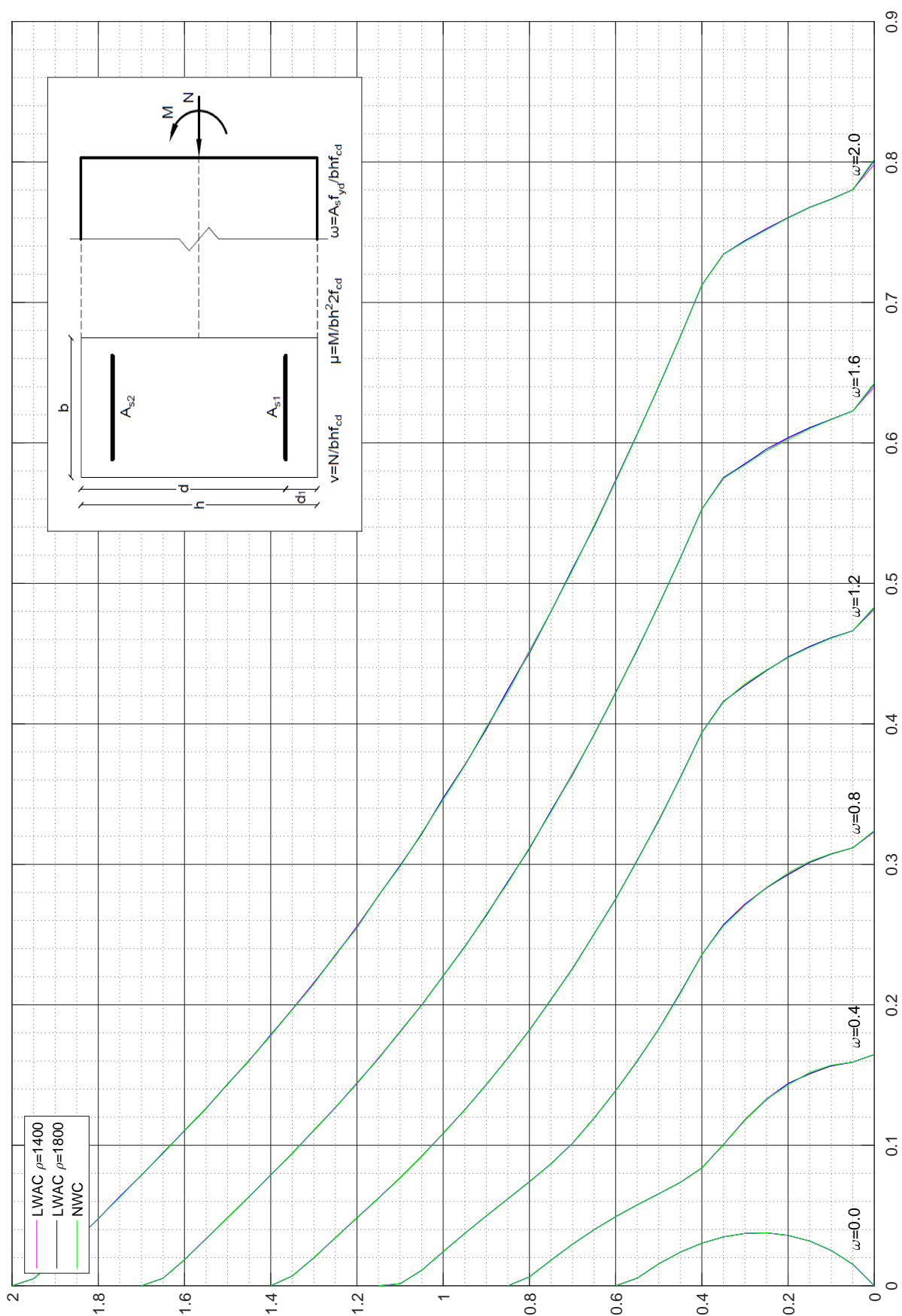
Σχήμα Ε' 4: Διάγραμμα ληψισμού $\mu-v$, $d_1/h = 0.05$, $l_0/h = 40.0$, 4 γωνιακά, $K_\phi = 1$, $\epsilon_{su} = 67.5$, χάλυβας χωρίς κράντιση, B500C, < C50/60, παραβολικό διάγραμμα σκυροδέματος



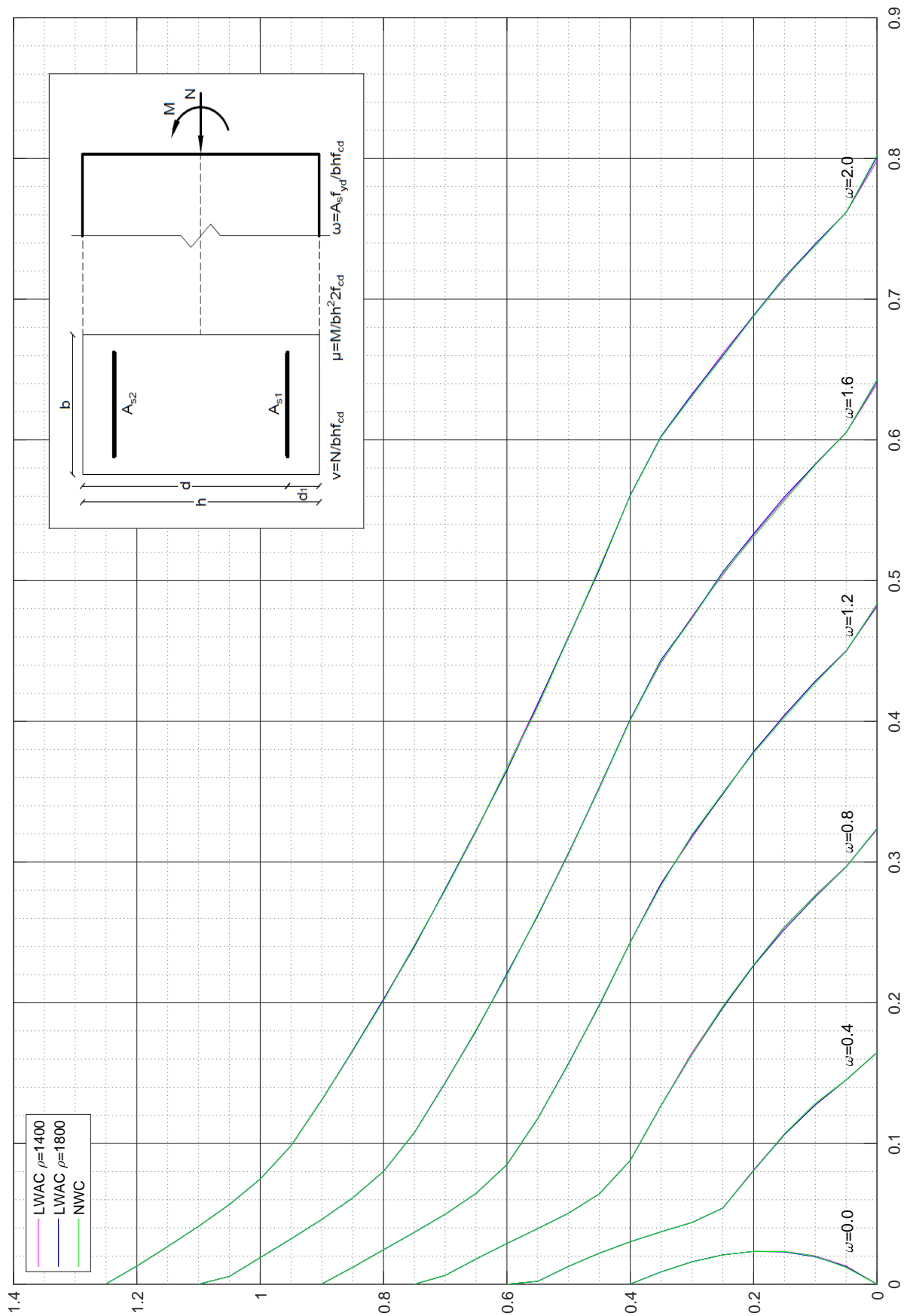
Σχήμα Ε.5: Διαγράμματα λυγισμού $\mu-v$, $d_1/h = 0.1$, $l_0/h = 10.0$, 4 γωνιακά, $K_\phi = 1$, $\epsilon_{su} =$
214 χάλυβας χωρίς κράτυψη, B500C, < C50/60, παραβολικό διάγραμμα σκυροδέματος



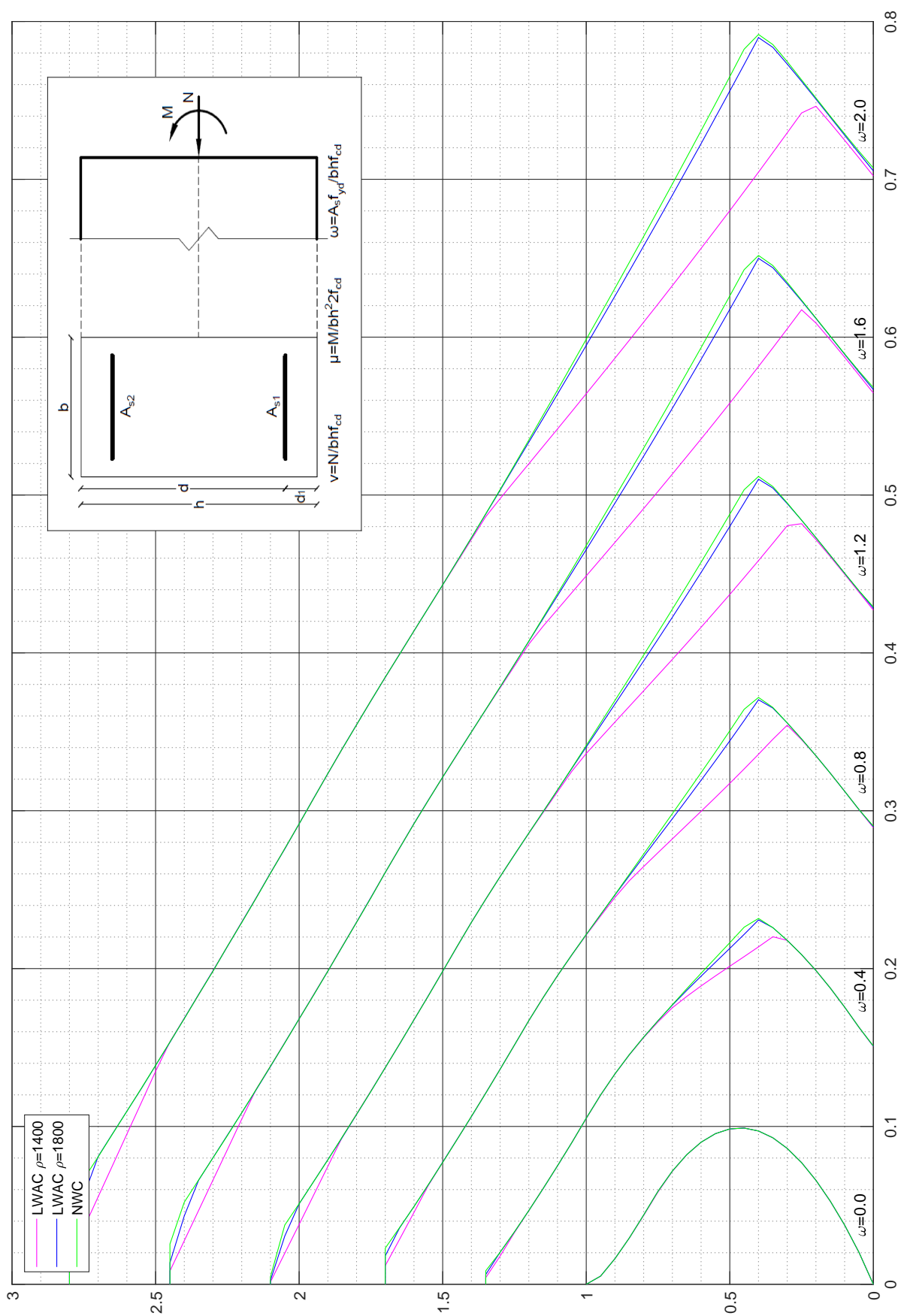
Σχήμα Ε'6: Διάγραμμα ληψισμού μ - v , $d_1/h = 0.1$, $l_0/h = 20.0$, 4 γωνιακά, $K_\phi = 1$, $\epsilon_{su} = 67.5$, χάλυβας χωρίς κράνιση, B500C, < C50/60, παραβολικό διάγραμμα σκυροδέματος 215



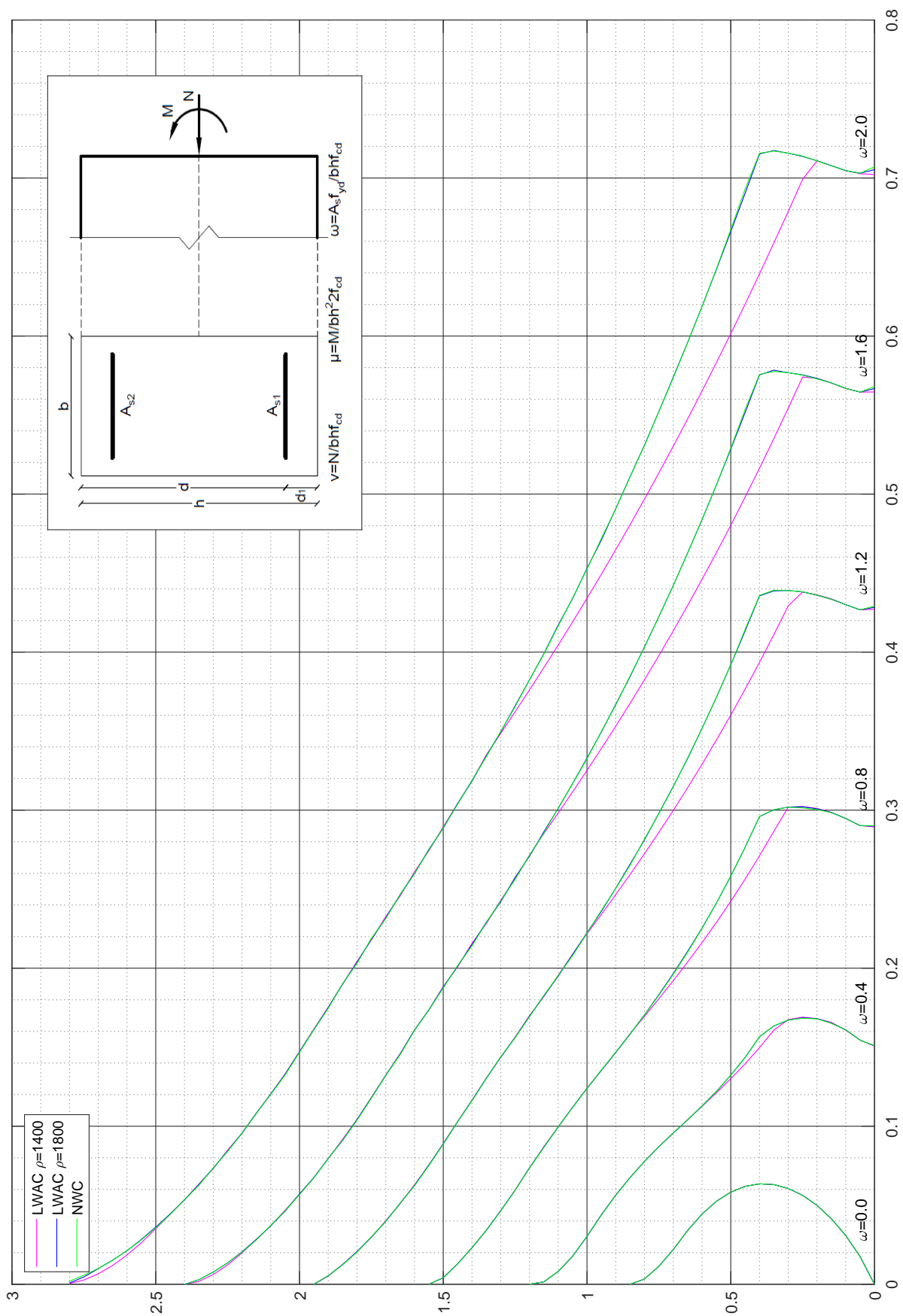
Σχήμα Ε.7: Διαγράμματα λυγισμού μ - ν , $d_1/h = 0.1$, $l_0/h = 30.0$, 4 γωνιακά, $K_\phi = 1$, $\epsilon_{su} =$
216 χάλυβας χωρίς κράτυψη, B500C, < C50/60, παραβολικό διάγραμμα σκυροδέματος



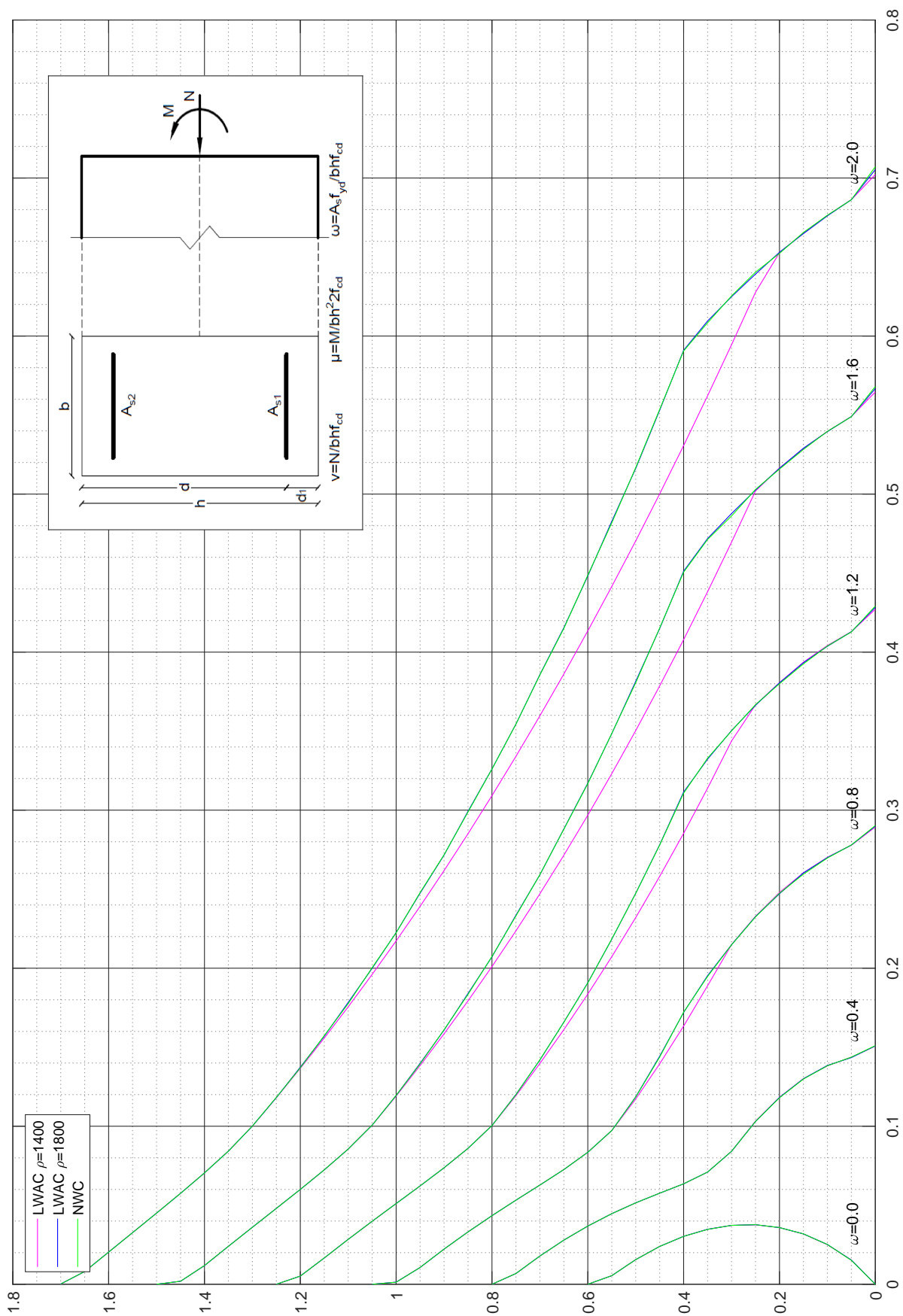
Σχήμα Ε'8: Διάγραμμα ληψισμού $\mu-v$, $d_1/h = 0.1$, $l_0/h = 40.0$, 4 γωνιακά, $K_\phi = 1$, $\epsilon_{su} = 67.5$, χάλυβας χωρίς κράντιση, B500C, < C50/60, παραβολικό διάγραμμα σκυροδέματος



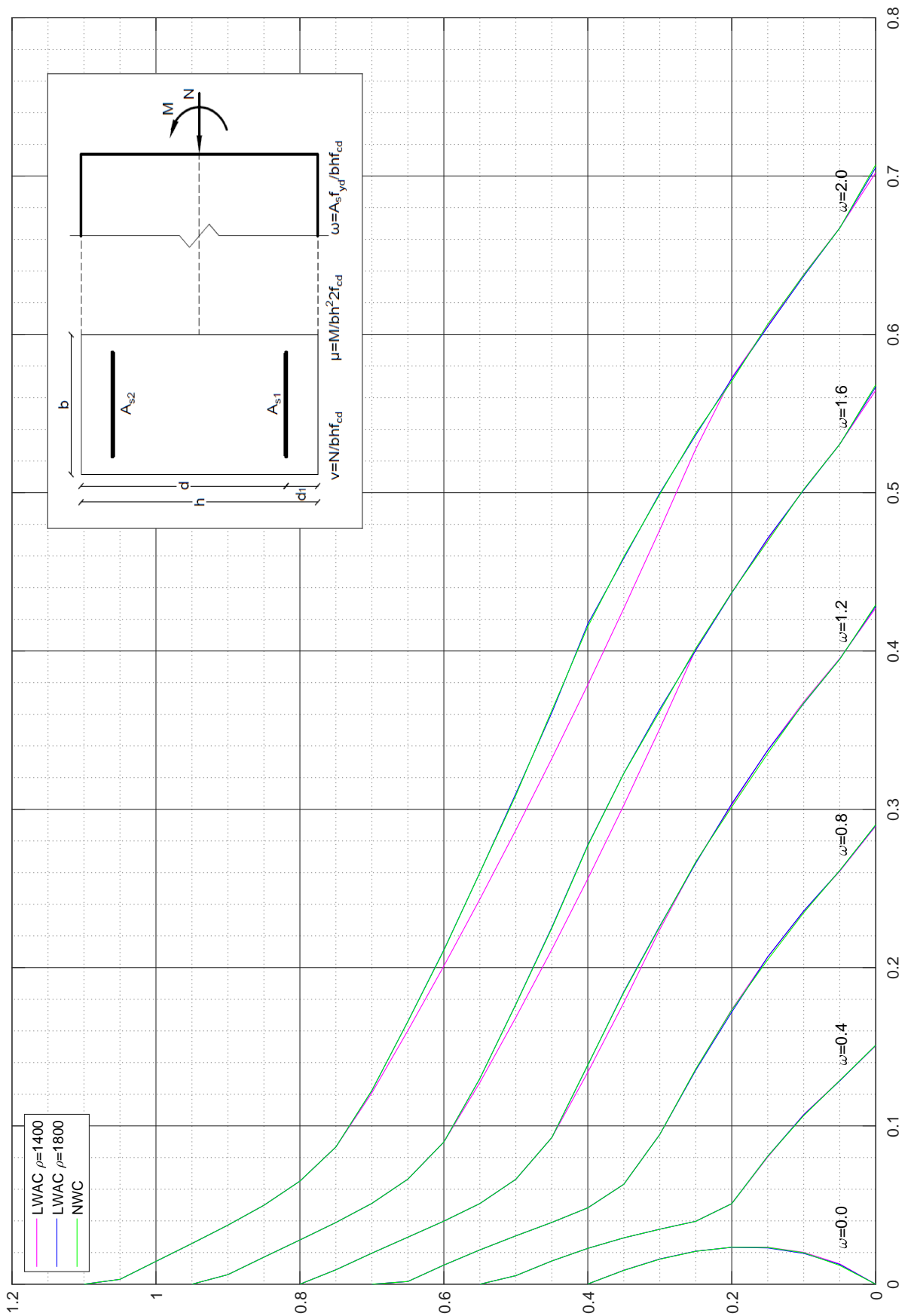
Σχήμα Ε'.9: Διαγράμματα λυγισμού $\mu-v$, $d_1/h = 0.15001$, $l_0/h = 10.0$, 4 γωνιακά, $K_\phi = 1$, 218 67.5, χάλυβας χωρίς κράνιση, B500C, < C50/60, παραβολικό διάγραμμα σκυροδέματος



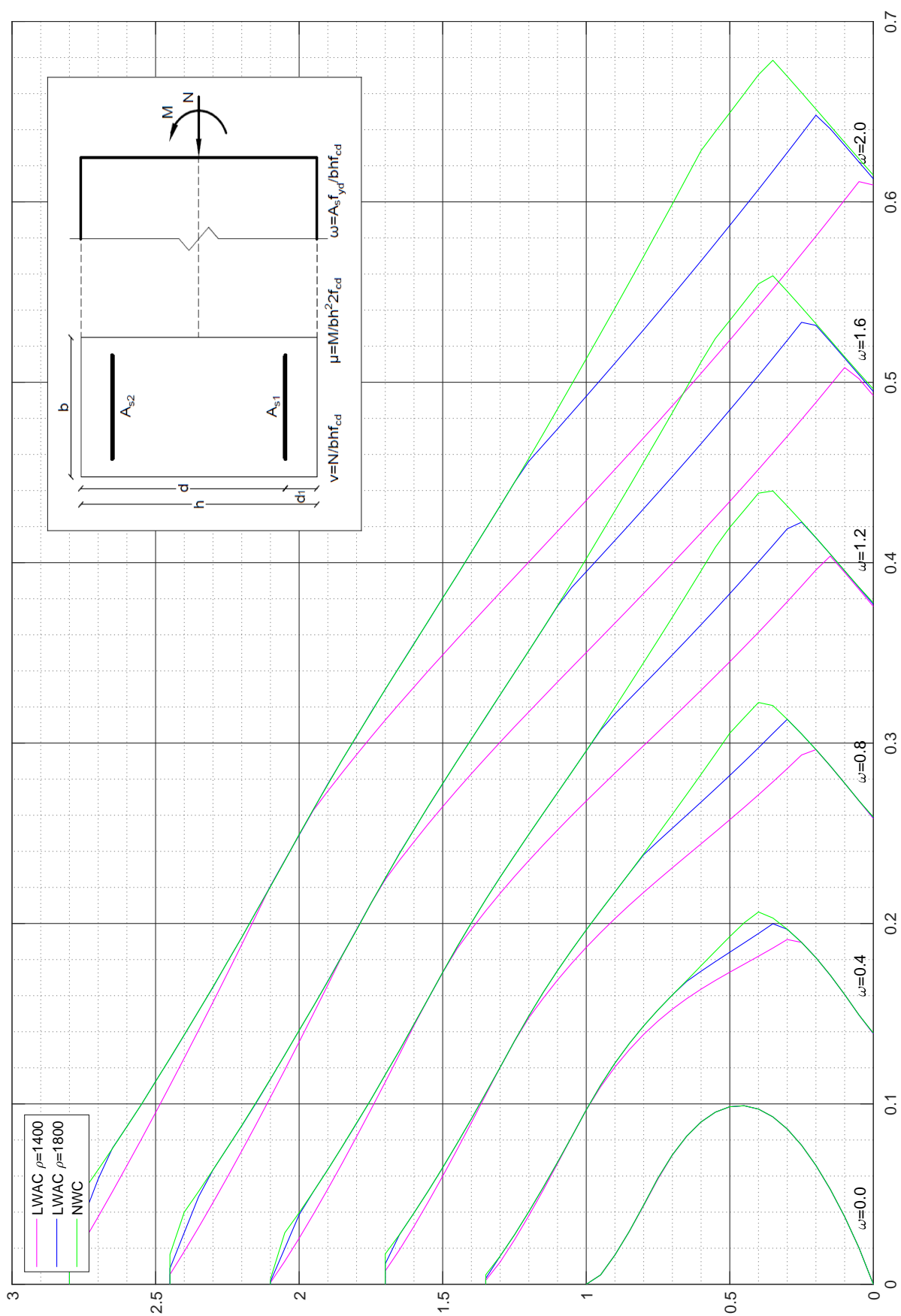
Σχήμα Ε'10: Διάγραμμα ληψιμοσύ μ - v , $d_1/h = 0.15001$, $l_0/h = 20.0$, 4 γωνιακά, $K_\phi = 1$, $\epsilon_{su} = 67.5$, χάλυβας χωρίς κράντιση, B500C, < C50/60, παραβολικό διάγραμμα σ **219** δέματος



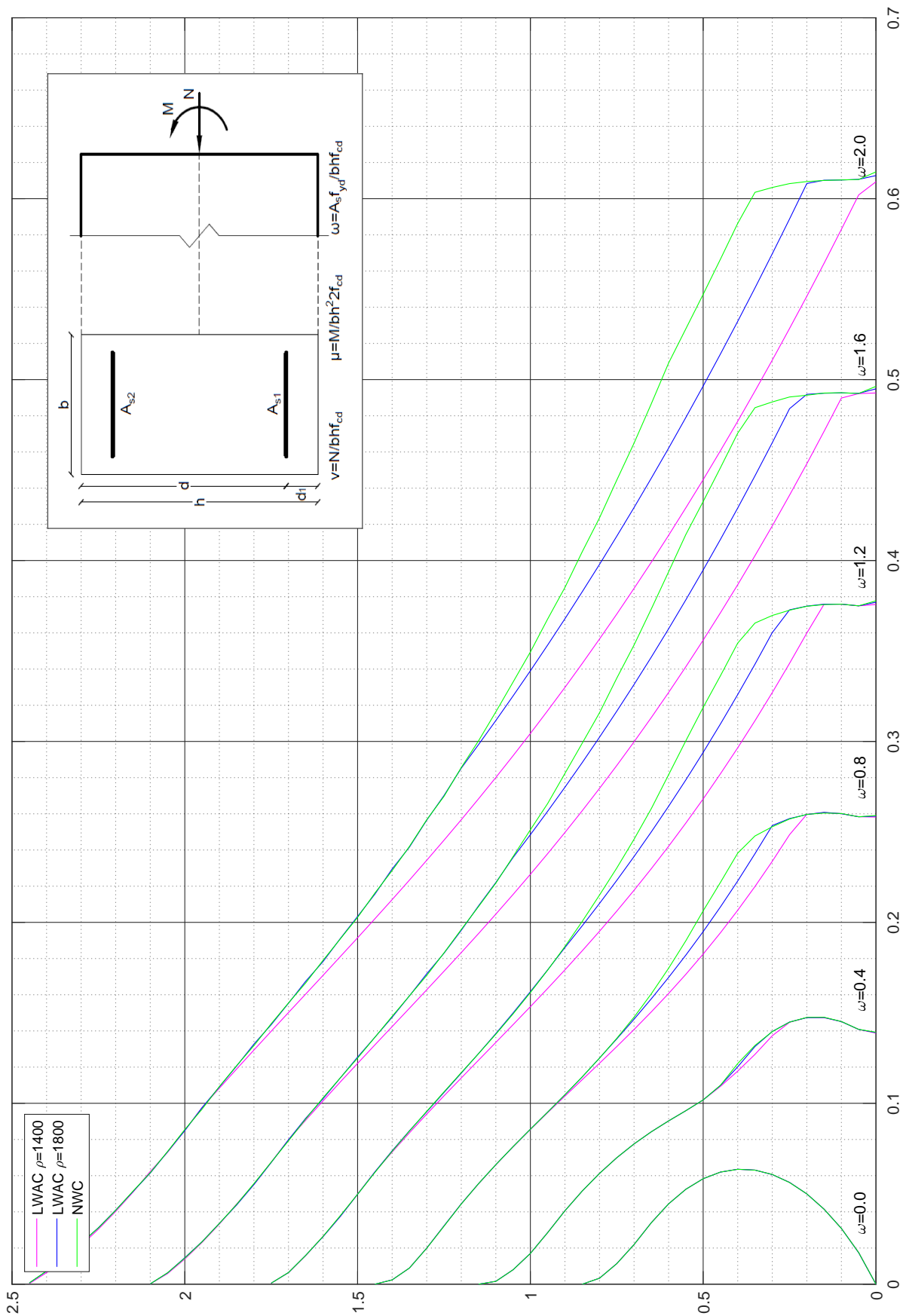
Σχήμα Ε'.11: Διαγράμμα λυγισμού μ - v , $d_1/h = 0.15001$, $l_0/h = 30.0$, 4 γωνιακά, $K_\phi = 1$, **220** 67.5, χάλυβας χωρίς κράτυση, B500C, < C50/60, παραβολικό διάγραμμα σκυροδέματος



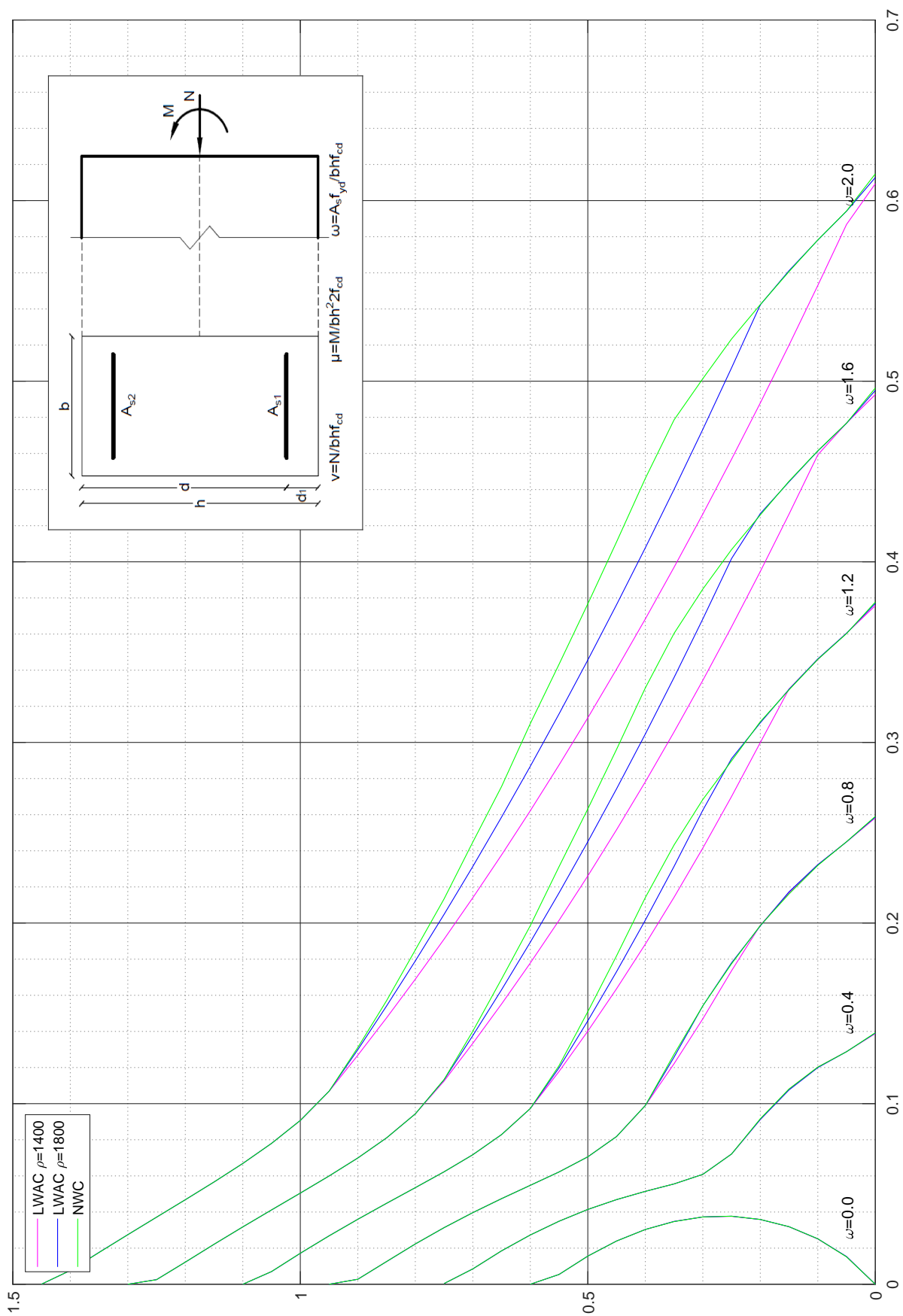
Σχήμα Ε'12: Διάγραμμα ληψιμοσύ $\mu-v$, $d_1/h = 0.15001$, $l_0/h = 40.0$, 4 γωνιακά, $K_\phi = 1$, $\epsilon_{su} = 67.5$, χάλυβας χωρίς κράτηση, B500C, < C50/60, παραβολικό διάγραμμα σ **221**
 δέματος



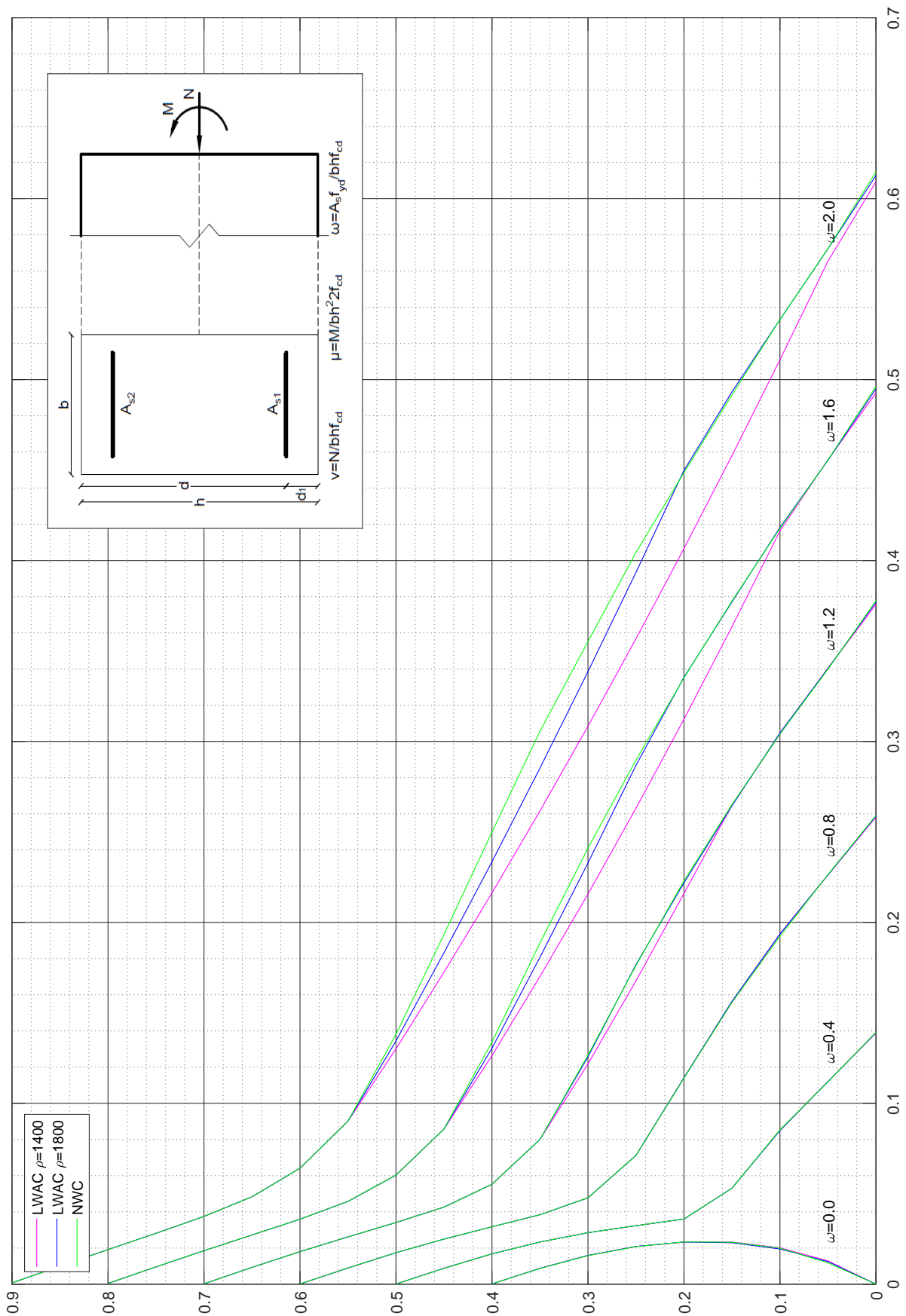
Σχήμα Ε'.13: Διάγραμμα λυγισμού μ - v , $d_1/h = 0.20001$, $l_0/h = 10.0$, 4 γωνιακά, $K_\phi = 1$, **222** 67.5, χάλυβας χωρίς κράνση, B500C, < C50/60, παραβολικό διάγραμμα σκυροδέματος



Σχήμα Ε'14: Διάγραμμα ληγισμού μ - v , $d_1/h = 0.20001$, $l_0/h = 20.0$, 4 γωνιακά, $K_\phi = 1$, $\epsilon_{su} = 67.5$, χάλυβας χωρίς κράντιση, B500C, < C50/60, παραβολικό διάγραμμα σ **223**
 δέματος



Σχήμα Ε'.15: Διαγράμματα λυγισμού μ - v , $d_1/h = 0.20001$, $l_0/h = 30.0$, 4 γωνιακά, $K_\phi = 1$, 224 67.5, χάλυβας χωρίς κράτωση, B500C, < C50/60, παραβολικό διάγραμμα σκυροδέματος



Σχήμα Ε'16: Διάγραμμα ληγισμού μ - v , $d_1/h = 0.20001$, $l_0/h = 40.0$, 4 γωνιακά, $K_\phi = 1$, $\epsilon_{su} = 67.5$, χάλυβας χωρίς κράνση, B500C, < C50/60, παραβολικό διάγραμμα σ **225** δέματος

Βιβλιογραφία

- [1] Θ. Τάσιος. *οπλισμένο σκυρόδεμα*. Ε.Μ. Πολυτεχνείο, Αθήνα, 1998.
- [2] Ερήστος Ζέρης, Γιώργος Μάνος. *Πειραματική διερεύνηση περισφιγγμένων υποσυλιωμάτων από φέρον κισσηρόδεμα*. Πανελλήνιο Συνέδριο Σκυροδέματος, 2016.
- [3] ΤΕΕ. *ΟΔΗΓΟΙ ΔΟΜΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ: ΕΛΑΦΡΟΣΚΥΡΟΔΕΜΑ*. http://portal.tee.gr/portal/page/portal/MATERIAL_GUIDES/PIRANT_YLIKA/pir_5_6.htm.
- [4] D.Sari A.G Pasamehmetoglu. *The effects of gradation and admixture on the pumice lightweight aggregate concrete*. *Cement and Concrete Research*, 35:936–942, 2005.
- [5] Α.Μπακόπουλος-Ι.Χρυσοβέργης. *Εισαγωγή στην αριθμητική ανάλυση*. Συμεών, Ζωγράφου, 2009.
- [6] Χρήστος Γ. Καραγιάννης. *Σχεδιασμός-συμπεριφορά κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα*. Ε.Μ. Πολυτεχνείο, Αθήνα, Β' έκδοση, 2013.
- [7] Θ. Τάσιος. *Σημειώσεις για τις κατασκευές από Ω.Σ.* Ε.Μ. Πολυτεχνείο, Αθήνα, 2016.
- [8] Ray Hulse Bill Mosley, John Bungey. *Μελέτη κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα*. Κλειδάριθμος, Αθήνα, 7η έκδοση, 2016.
- [9] Μιχαήλ Ν.Φαρδής. *Μαθήματα οπλισμένου σκυροδέματος-Μέρος 3*. Πάτρα, 2015.
- [10] EN. *EN 1992-1-1 Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings*, Brussels, 2004. CEN.
- [11] EN. *EN 1998-1 Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance - Part 1-1: General rulew, seismic actions and rules for buildings.*, Brussels, 2004. CEN.
- [12] ΥΠ.Ε.Χ.Ω.Δ.Ε. *Ελληνικός κανονισμός οπλισμένου σκυροδέματος*, ΑΘΗΝΑ, 2000. Οργανισμός αντισεισμικού σχεδιασμού και προστασίας.
- [13] Θ.Π. Τάσιος. *Προεντεταμένο σκυρόδεμα*. Συμμετρία, Αθήνα, 1995.
- [14] Εμμανουήλ Κίρτας, Γεώργιος Παναγόπουλος. *Προσομοίωση κατασκευών σε προγράμματα ηλεκτρονικού υπολογιστή*. Σέρρες, 2015.