

4^ο Κεφάλαιο

Αποκαταστάσεις σε κτίρια από οπλισμένο σκυρόδεμα

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

4.1 Μεμονωμένα στοιχεία (Δοκοί, υποστυλώματα, τοιχώματα, κόμβοι)	4-1
4.1.1 Εισαγωγή	4-1
4.1.2 Επιλογή υλικού και τρόπου επέμβασης	4-2
4.1.3 Ενίσχυση πλακών	4-2
4.1.4 Αντικατάσταση πλακών	4-3
4.1.5 Επέμβαση σε δοκούς	4-4
4.1.6 Επέμβαση σε υποστυλώματα	4-4
4.2 Ενίσχυση πλαισίων	4-26
4.2.1 Εισαγωγή	4-26
4.2.2 Αναλυτικά παραδείγματα	4-29
4.2.3 Κατασκευαστικές λεπτομέρειες	4-44
4.2.4 Συμπεράσματα	4-88
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	4-89

4.1 Μεμονωμένα στοιχεία (Δοκοί, υποστυλώματα, τοιχώματα, κόμβοι)

4.1.1 Εισαγωγή

Μετά από έναν ισχυρό σεισμό, εξαιτίας του οποίου προκλήθηκαν μικρές ή μεγάλες ζημιές σε κάποιο κτίριο, τίθεται το πρόβλημα της επέμβασης σ' αυτό, προκειμένου να αποκατασταθεί η αντοχή και η δυσκαμψία των επιμέρους στοιχείων αλλά και ολόκληρης της κατασκευής, ώστε να μπορεί να αντέξει σε ένα νέο σεισμό ίσης ή μεγαλύτερης έντασης.

Όπως είναι γνωστό, η απόφαση για την επαναφορά της κατασκευής στην προ του σεισμού κατάσταση ή την ενίσχυσή της προκειμένου να αυξηθεί η αντοχή της σύμφωνα με τα καινούργια δεδομένα, βασίζεται σε μία σειρά παράγοντες, με σημαντικότερους, το κόστος των επισκευών (σε φέροντα και μη στοιχεία) σε σχέση με το κόστος της επανακατασκευής νέου κτιρίου, την ηλικία του κτιρίου, τις χρονικές απαιτήσεις, την ύπαρξη χώρου για την εκτέλεση των εργασιών, τη δυνατότητα εξεύρεσης εργατικού δυναμικού, των υλικών και μηχανημάτων, το είδος της κατασκευής, την αισθητική της κλπ.

Εάν προκριθεί η λύση της επέμβασης, πρέπει να εκπονηθεί μελέτη επισκευής, η οποία θα περιλαμβάνει μεταξύ των άλλων, την αποτύπωση της πραγματικής κατάστασης του κτιρίου, τη σύγκριση με την επίσημη μελέτη και τον εντοπισμό αποκλίσεων, τον έλεγχο ποιότητας υλικών, την αναλυτική καταγραφή, αποτίμηση και αιτιολόγηση των βλαβών, τη νέα μελέτη με τις προτάσεις επεμβάσεων (τροποποίηση του φορέα, ενίσχυση διατομών, υλικά κλπ), την οικονομική ανάλυση κλπ.

Στην ελληνική και διεθνή βιβλιογραφία δίνονται εκτενείς οδηγίες για καθεμία από τις παραπάνω ενέργειες, έτσι ώστε ο φάκελος της μελέτης να είναι πλήρης και η τεκμηρίωση της λύσης επαρκής.

Ιδιαίτερη σημασία έχει να γίνεται η διαπίστωση της βλάβης, η πιθανή αιτιολόγησή της και η ορθή αποκατάσταση, σε τρόπο ώστε οι επιβαλλόμενες δράσεις να μεταφέρονται τελικώς με ασφάλεια μέχρι τη θεμελίωση.

Τονίζεται εδώ ότι, κατά το στάδιο της νέας μελέτης επισκευών και ενισχύσεων, πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στον υπολογισμό των εντατικών μεγεθών και των παραμορφώσεων, αφού κάθε επέμβαση και αλλαγή στο φορέα (προσθήκη ή αφαίρεση μελών, αύξηση διατομής μέλους κλπ), προκαλεί ανακατανομή των μεγεθών αυτών και επομένως εκ νέου υπολογισμό (επαναληπτική διαδικασία). Επιπλέον υπενθυμίζεται ότι, σε ένα μέλος το οποίο ενισχύεται με αύξηση της διατομής του, η νέα ένταση που προκύπτει είναι συνήθως μεγαλύτερη από την παλαιά (λόγω αύξησης της δυσκαμψίας του μέλους αυτού) και επομένως, πιθανόν να κριθεί σκόπιμο, προκειμένου να αποτονωθεί η ένταση του μέλους αυτού, να γίνει αύξηση της δυσκαμψίας σε άλλες θέσεις του φορέα.

Ιδιαίτερη επίσης προσοχή πρέπει να δίνεται στην κατανομή των νέων εντατικών μεγεθών επί της ενισχυμένης διατομής, μεταξύ υπάρχουσας και πρόσθετης νέας διατομής. Η νέα διατομή αρχίζει να συμμετέχει στην παραλαβή κατακόρυφων φορτίων, μόνον για τα φορτία που προστίθενται στην κατασκευή μετά την επέμβαση, ενώ στα οριζόντια φορτία ανέμου ή σεισμού, συμμετέχει ταυτόχρονα με την παλαιά διατομή.

4.1.2 Επιλογή υλικού και τρόπου επέμβασης

Στη χώρα μας, το μεγαλύτερο ποσοστό των κατασκευών έχει φέροντα οργανισμό από οπλισμένο σκυρόδεμα. Είναι εξάλλου σαφές, ότι εκτός από τον παράγοντα «οικονομία» κατά την αναζήτηση της βέλτιστης λύσης για την αποκατάσταση βλαβών ή την ενίσχυση, υπάρχουν και άλλοι παράγοντες, οι οποίοι κατά περίπτωση παίζουν σημαντικό ρόλο στην επιλογή του τρόπου και του υλικού επισκευής. Για παράδειγμα, αν ο παράγων «διάρκεια αποκατάστασης ή ενίσχυσης» τίθεται ως πρωτεύων, τότε η χρήση του χάλυβα είναι αναμφισβήτητη η πλέον ενδεδειγμένη, αφού ο απαιτούμενος χρόνος επέμβασης είναι υποπολλαπλάσιος του αντίστοιχου για επέμβαση με βασικό υλικό το οπλισμένο σκυρόδεμα (έγχυτο ή εκτοξευόμενο). Η επιλογή επομένως του τρόπου επέμβασης και των αντίστοιχων υλικών βασίζεται σε οικονομικά, τεχνικά και κοινωνικά δεδομένα, από τη συνεκτίμηση των οποίων προκύπτει η τελική απόφαση.

Τα βασικότερα κριτήρια επιλογής, εκτός από το κόστος, για το οποίο απαιτείται τεχνικοοικονομική μελέτη, είναι τα ακόλουθα:

- Ταχύτητα επέμβασης
- Ελαχιστοποίηση πρόσθετου βάρους από τα υλικά επέμβασης
- Ελαχιστοποίηση όχλησης της λειτουργίας του κτιρίου
- Ευκολία μεταφοράς υλικών.

Σχετικά με τη χρήση του σκυροδέματος (έγχυτου ή εκτοξευμένου) ως υλικού επέμβασης, υπάρχει αρκετή βιβλιογραφία, μέσω της οποίας περιγράφεται το πεδίο και ο τρόπος εφαρμογής καθώς και τα αντίστοιχα πλεονεκτήματα.

Όσον αφορά την επέμβαση μέσω χαλύβδινων στοιχείων, αυτή εξαρτάται όπως προαναφέρθηκε, από τις προτεραιότητες και τα κριτήρια που τίθενται, και συναρτάται άμεσα με τα πλεονεκτήματα που απορρέουν από την επιλογή και χρήση του χάλυβα ως μέσου αποκατάστασης των ζημιών ή και ενίσχυσης του φορέα. Μερικά από τα πλεονεκτήματα αυτά είναι:

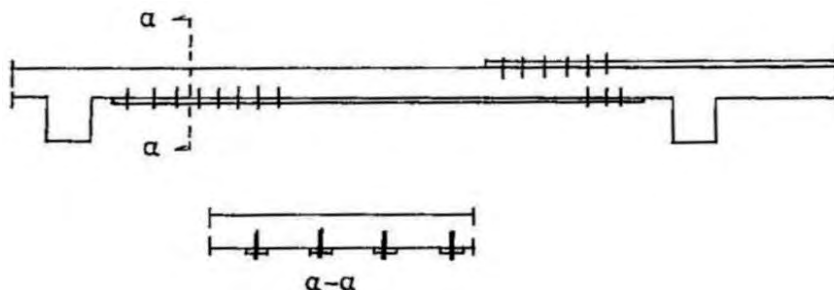
- Ηλεγμένη ποιότητα υλικών (τεμάχια κατασκευής, κοχλίες κλπ)
- Άμεση απόκτηση αντοχής και ακαμψίας
- Ολκιμότητα
- Συνεργασιμότητα με το σκυρόδεμα
- Ανακυκλώσιμο υλικό
- Μικρή όχληση στους χώρους επέμβασης
- Μικρό βάρος του υλικού επισκευής (ευκολία μεταφοράς και επεμβάσεων)
- Μικρός όγκος, μεγάλη αντοχή (μικρή επιφάνεια σε κάτοψη κτιρίου κλπ).

Σημειώνεται, ότι κάθε περίπτωση επισκευής έχει τη δική της ιδιομορφία και δεν είναι φυσικά δυνατή η ένταξη όλων των περιπτώσεων σε τυποποιημένες κατηγορίες επισκευών. Παρ' όλα αυτά, δίνονται στη συνέχεια ορισμένες γενικές οδηγίες για τις πλέον συνήθεις περιπτώσεις επεμβάσεων και για διάφορα μέλη ενός φορέα. Οι επεμβάσεις αυτές μπορεί να γίνουν και για την ενίσχυση στοιχείων, τα οποία δεν έχουν υποστεί βλάβη.

4.1.3 Ενίσχυση πλακών

Τοποθετούνται στην κάτω επιφάνεια της πλάκας ελάσματα ανά αποστάσεις (π.χ. 50x8 mm² ανά 200 mm) και στερεώνονται με αγκύρια (Σχήμα 4.1), τα οποία υπολογίζονται, ώστε να παραλαμβάνουν τη διατμητική ροή στη διεπιφάνεια χάλυβα-

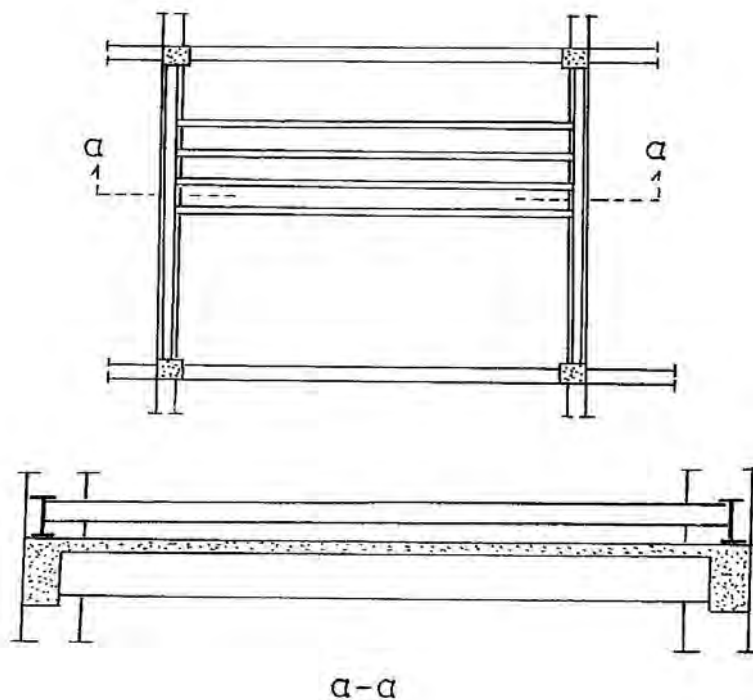
σκυροδέματος. Τα αγκύρια πρέπει να έχουν επαρκές βάθος αγκύρωσης. Τα ελάσματα εκτείνονται και πέραν του σημείου «μηδενισμού» των ροπών. Ο υπολογισμός γίνεται για τα πλέον των μονίμων φορτία, μπορεί όμως να γίνει και μερική αποφόρτιση. Αν δεν είναι δυνατή η τοποθέτηση ελασμάτων στο άνω μέρος της πλάκας (περιοχή των στηρίξεων), το άνοιγμα μπορεί να θεωρηθεί αμφιέριστο και τα κάτω ελάσματα εκτείνονται και αγκυρώνονται στις στηρίξεις.



Σχήμα 4-1: Ενίσχυση πλάκας μέσω ελασμάτων.

4.1.4 Αντικατάσταση πλακών

Επάνω από την προς αντικατάσταση πλάκα και σε μικρή απόσταση (10~20 cm), γίνεται διαδοκίδωση και κατασκευή νέου δαπέδου, το οποίο στηρίζεται είτε στις περιμετρικές δοκούς της παλιάς πλάκας (οπότε απαιτείται ενίσχυσή τους) είτε στους στύλους μόνον, μέσω κατάλληλης αγκύρωσης (Σχήμα 4.2).



Σχήμα 4-2: Αντικατάσταση πλάκας.

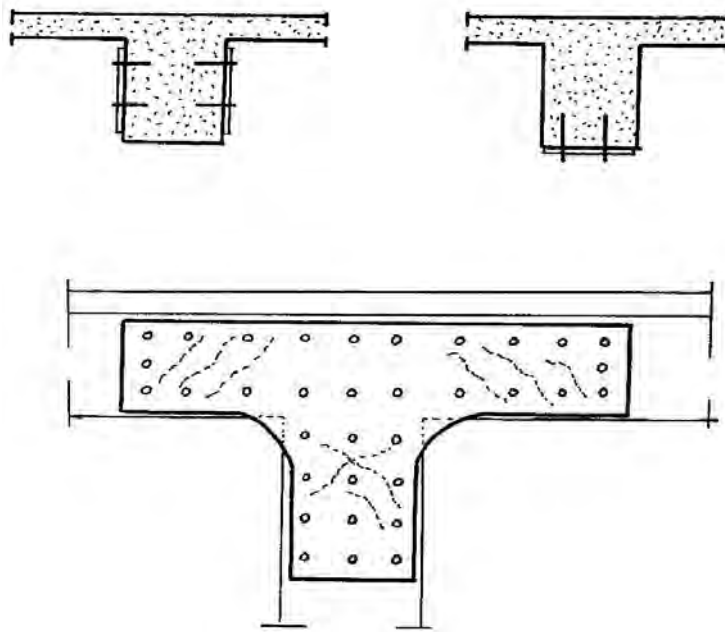
4.1.5 Επέμβαση σε δοκούς

Αν η ρηγμάτωση της δοκού είναι περιορισμένης έκτασης (με άνοιγμα μεταξύ 0,1 mm και 3 mm), γίνεται πλήρωση των ρωγμών με εποξειδική ρητίνη. Η τεχνική των ρητινενέσεων περιγράφεται αναλυτικά στην υπάρχουσα βιβλιογραφία.

Αποκατάσταση της βλάβης με έντονη ρηγμάτωση μπορεί να γίνει μέσω κατακόρυφων ή υπό γωνία 45° εξωτερικών συνδετήρων (κολάρα). Συνιστάται η χρήση εποξειδικής ρητίνης στις ρωγμές.

Άλλος τρόπος επέμβασης είναι μέσω επικόλλησης λεπτών ελασμάτων, πάχους 1~1,5 mm, τα οποία παραλαμβάνουν τάσεις από κάμψη (οριζόντια ελάσματα) ή από διάτμηση (κατακόρυφα ελάσματα).

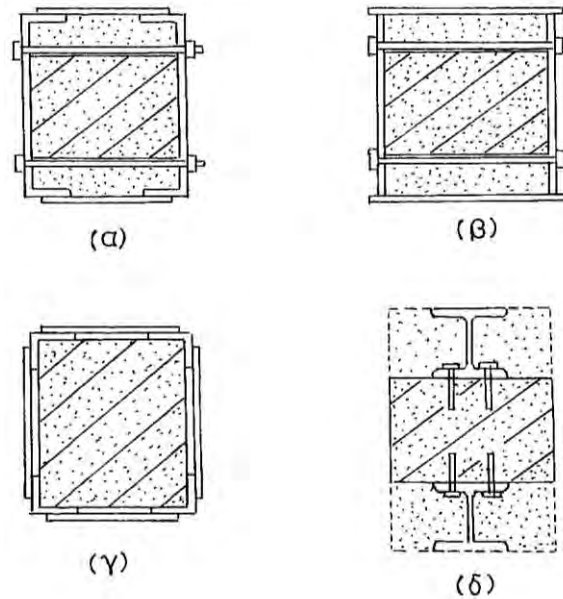
Χρήση ελασμάτων με μεγάλο πάχος ($t > 6$ mm) μπορεί να γίνει, εφ' όσον η στερέωση στο σκυρόδεμα γίνεται μέσω πακτωμένων αγκυρίων (τυφλών ή διαμπερών), προκειμένου να εξασφαλισθεί η συνεργασία των δύο υλικών (Σχήμα 4.3). Στην περίπτωση αυτή είναι σκόπιμο να λαμβάνεται υπόψη η αλλαγή της δυσκαμψίας λόγω των ελασμάτων, ιδιαίτερα όταν η ενίσχυση αυτή εκτείνεται και σε παρακείμενους κόμβους και υποστυλώματα.



Σχήμα 4-3: Ενίσχυση δοκού μέσω ελασμάτων.

4.1.6 Επέμβαση σε υποστυλώματα

Στο Σχήμα 4.4 φαίνονται διάφορες μορφές ενίσχυσης στύλων μέσω προτύπων ή συγκολλητών χαλύβδινων ελασμάτων. Επειδή οι ενισχύσεις αυτές συνεπάγονται σημαντική αύξηση της δυσκαμψίας του υποστυλώματος, θα πρέπει αυτό να λαμβάνεται υπόψη στην ανακατανομή των εντάσεων στο συνολικό φορέα.



Σχήμα 4-4: Ενίσχυση στύλων μέσω ελασμάτων.

Στο Σχήμα 4.4.α τοποθετούνται δύο διατομές μορφής U εκατέρωθεν του υπάρχοντος στύλου (διαγραμμισμένη επιφάνεια) και σφηνώνονται στο δάπεδο και την οροφή ή επεκτείνονται και στους γειτονικούς ορόφους. Πριν από την τοποθέτηση, αφαιρούνται οι σοβάδες και οι επικαλύψεις του σκυροδέματος. Τα ζεύγη των μπουλονιών τοποθετούνται ανά 30 cm το πολύ και σφίγγονται ώστε να δημιουργείται ισχυρή τριβή μεταξύ ελασμάτων και σκυροδέματος. Ο κορμός των U πρέπει να είναι αρκετά παχύς ώστε να εξασφαλίζεται η επιπεδότητά του και μετά το σφίξιμο. Πλευρικά συγκολλώνται στα πέλματα των U χαλύβδινες λάμες, τμηματικά ή συνεχώς. Οι τμηματικές λάμες παίζουν το ρόλο συνδετήρων, ενώ οι συνεχείς, μορφώνουν μαζί με το υπόλοιπο σύστημα ένα καλούπι στο οποίο εγχύνεται σκυρόδεμα και προκύπτει τελικώς ένα σύμμικτο υποστύλωμα.

Στο Σχήμα 4.4.β γίνεται κάτι ανάλογο με την προηγούμενη περίπτωση, μέσω όμως συγκολλητών επιπέδων ελασμάτων. Στο Σχήμα 4.4.γ γίνεται ενίσχυση μέσω γωνιακών στις τέσσερις γωνίες του στύλου, με οριζόντιες ή διαγώνιες συνδέσεις μεταξύ τους. Στο Σχήμα 4.4.δ φαίνεται η ενίσχυση μέσω διατομών I εγκιβωτισμένων σε νέο σκυρόδεμα.

Σε κάθε περίπτωση πρέπει να εξασφαλίζεται η σύμμικτη λειτουργία μέσω διατμητικών συνδέσεων (σύμφωνα με τον EC4), ώστε να επιτυγχάνεται η αύξηση της αντοχής του μέλους στο μέγιστο βαθμό.

Στην παράγραφο 4.1.6.3 παρουσιάζεται ένα παράδειγμα ενίσχυσης υποστύλωσης με χαλύβδινα στοιχεία, όπου φαίνεται η σημαντική προσαύξηση της αντοχής στην ενισχυμένη διατομή.

Στην περίπτωση των κοντών υποστυλωμάτων, η σημαντικότερη επέμβαση είναι η απομάκρυνση των δεσμεύσεων που δημιουργούν το κοντό υποστύλωμα (οπτοπλινθοδομές ή τοιχώματα από οπλισμένο σκυρόδεμα σε επαφή με το υποστύλωμα κλπ). Όσον αφορά την αποκατάσταση της βλάβης, η επέμβαση ακολουθεί ανάλογο σκεπτικό με αυτό των κανονικών υποστυλωμάτων. Εφ' όσον δεν

είναι δυνατή η αποφυγή του φαινομένου του κοντού υποστυλώματος, θα πρέπει να προστεθεί χαλύβδινη διατεμνόμενη επιφάνεια για την παραλαβή των μεγάλων διατμητικών δυνάμεων που αναπτύσσονται.

Ακολουθούν οι πίνακες με τις περιπτώσεις υποστυλωμάτων που εξετάζονται. Παράμετροι αποτελούν οι διαστάσεις του υποστυλώματος Ο.Σ που πρόκειται να ενισχυθεί, η ποιότητα του χάλυβα της διατομής ενίσχυσης και η κατηγορία του σκυροδέματος. Στην παράγραφο 4.1.6.2 αναφέρονται όλοι οι γεωμετρικοί συμβολισμοί και ακολουθεί στην παράγραφο 4.1.6.3 παράδειγμα αναλυτικού προσδιορισμού των καμπυλών M-N για ενισχυμένο υποστυλόμε Ο.Σ με στοιχεία από χάλυβα, σύμφωνα με την μεθοδολογία του Ευρωκώδικα 4.

Στο παράρτημα Β παρουσιάζονται όλα τα διαγράμματα M-N για τις περιπτώσεις υποστυλωμάτων που αναφέρονται στους πίνακες της παραγράφου 4.1.6.2 και έχουν προκύψει σύμφωνα με τη μεθοδολογία της παραγράφου 4.1.6.3.

4.1.6.1 Περιπτώσεις υποστυλωμάτων που εξετάζονται

Ο ακόλουθος πίνακας 4.1 περιλαμβάνει τις περιπτώσεις που εξετάζονται ανάλογα με τις διαστάσεις του υποστυλώματος, το χάλυβα ενίσχυσης και την κατηγορία σκυροδέματος. Η ποιότητα του χάλυβα οπλισμού είναι S500 και το ποσοστό οπλισμού είναι 1%.

Διαστάσεις υποστυλώματος	Χάλυβας ενίσχυσης	Κατηγορία σκυροδέματος	Ονομασία διαγράμματος
30x60	S235	C16/20	A-1
	S275	C16/20	A-2
	S355	C16/20	A-3
	S235	C20/25	A-4
	S275	C20/25	A-5
	S355	C20/25	A-6
40x60	S235	C16/20	A-7
	S275	C16/20	A-8
	S355	C16/20	A-9
	S235	C20/25	A-10
	S275	C20/25	A-11
	S355	C20/25	A-12
50x60	S235	C16/20	A-13
	S275	C16/20	A-14
	S355	C16/20	A-15
	S235	C20/25	A-16
	S275	C20/25	A-17
	S355	C20/25	A-18
60x60	S235	C16/20	A-19
	S275	C16/20	A-20
	S355	C16/20	A-21
	S235	C20/25	A-22
	S275	C20/25	A-23
	S355	C20/25	A-24

Συνέχεια Πίνακα 4.1

Διαστάσεις υποστυλώματος	Χάλυβας ενίσχυσης	Κατηγορία σκυροδέματος	Ονομασία διαγράμματος
30x70	S235	C16/20	B-1
	S275	C16/20	B-2
	S355	C16/20	B-3
	S235	C20/25	B-4
	S275	C20/25	B-5
	S355	C20/25	B-6
40x70	S235	C16/20	B-7
	S275	C16/20	B-8
	S355	C16/20	B-9
	S235	C20/25	B-10
	S275	C20/25	B-11
	S355	C20/25	B-12
50x70	S235	C16/20	B-13
	S275	C16/20	B-14
	S355	C16/20	B-15
	S235	C20/25	B-16
	S275	C20/25	B-17
	S355	C20/25	B-18
60x70	S235	C16/20	B-19
	S275	C16/20	B-20
	S355	C16/20	B-21
	S235	C20/25	B-22
	S275	C20/25	B-23
	S355	C20/25	B-24
70x70	S235	C16/20	B-25
	S275	C16/20	B-26
	S355	C16/20	B-27
	S235	C20/25	B-28
	S275	C20/25	B-29
	S355	C20/25	B-30
30x80	S235	C16/20	C-1
	S275	C16/20	C-2
	S355	C16/20	C-3
	S235	C20/25	C-4
	S275	C20/25	C-5
	S355	C20/25	C-6
40x80	S235	C16/20	C-7
	S275	C16/20	C-8
	S355	C16/20	C-9
	S235	C20/25	C-10
	S275	C20/25	C-11
	S355	C20/25	C-12
50x80	S235	C16/20	C-13
	S275	C16/20	C-14
	S355	C16/20	C-15
	S235	C20/25	C-16
	S275	C20/25	C-17
	S355	C20/25	C-18

Συνέχεια Πίνακα 4.1

Διαστάσεις υποστρώματος	Χάλυβας ενίσχυσης	Κατηγορία σκυροδέματος	Ονομασία διαγράμματος
60x80	S235	C16/20	C-19
	S275	C16/20	C-20
	S355	C16/20	C-21
	S235	C20/25	C-22
	S275	C20/25	C-23
	S355	C20/25	C-24
70x80	S235	C16/20	C-25
	S275	C16/20	C-26
	S355	C16/20	C-27
	S235	C20/25	C-28
	S275	C20/25	C-29
	S355	C20/25	C-30
80x80	S235	C16/20	C-31
	S275	C16/20	C-32
	S355	C16/20	C-33
	S235	C20/25	C-34
	S275	C20/25	C-35
	S355	C20/25	C-36
25x150	S235	C16/20	D-1
	S275	C16/20	D-2
	S355	C16/20	D-3
	S235	C20/25	D-4
	S275	C20/25	D-5
	S355	C20/25	D-6
30x150	S235	C16/20	D-7
	S275	C16/20	D-8
	S355	C16/20	D-9
	S235	C20/25	D-10
	S275	C20/25	D-11
	S355	C20/25	D-12
35x150	S235	C16/20	D-13
	S275	C16/20	D-14
	S355	C16/20	D-15
	S235	C20/25	D-16
	S275	C20/25	D-17
	S355	C20/25	D-18
40x150	S235	C16/20	D-19
	S275	C16/20	D-20
	S355	C16/20	D-21
	S235	C20/25	D-22
	S275	C20/25	D-23
	S355	C20/25	D-24
25x200	S235	C16/20	E-1
	S275	C16/20	E-2
	S355	C16/20	E-3
	S235	C20/25	E-4
	S275	C20/25	E-5
	S355	C20/25	E-6

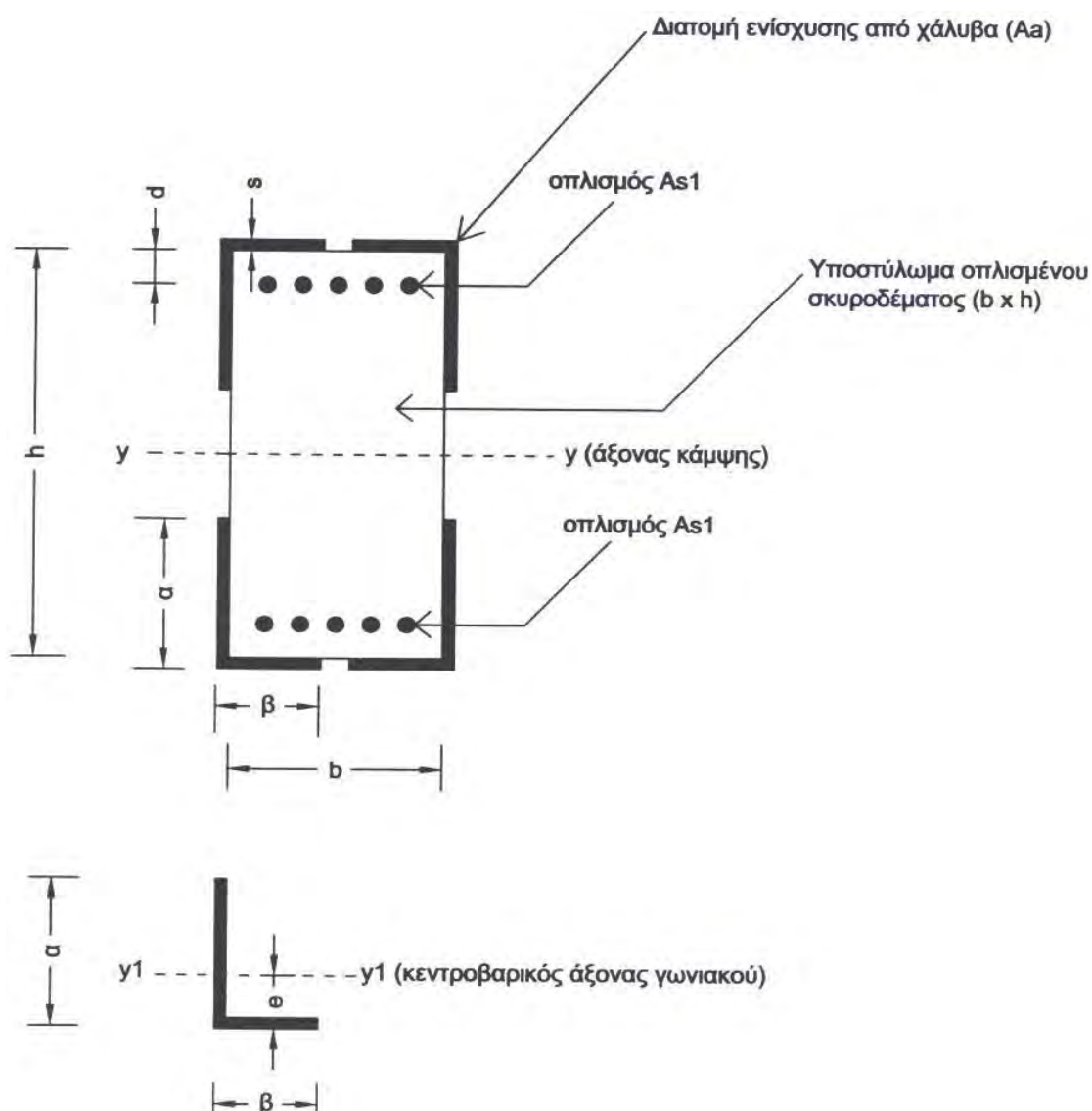
Συνέχεια Πίνακα 4.1

Διαστάσεις υποστυλώματος	Χάλυβας ενίσχυσης	Κατηγορία σκυροδέματος	Ονομασία διαγράμματος
30x200	S235	C16/20	E-7
	S275	C16/20	E-8
	S355	C16/20	E-9
	S235	C20/25	E-10
	S275	C20/25	E-11
	S355	C20/25	E-12
35x200	S235	C16/20	E-13
	S275	C16/20	E-14
	S355	C16/20	E-15
	S235	C20/25	E-16
	S275	C20/25	E-17
	S355	C20/25	E-18
40x200	S235	C16/20	E-19
	S275	C16/20	E-20
	S355	C16/20	E-21
	S235	C20/25	E-22
	S275	C20/25	E-23
	S355	C20/25	E-24
25x250	S235	C16/20	F-1
	S275	C16/20	F-2
	S355	C16/20	F-3
	S235	C20/25	F-4
	S275	C20/25	F-5
	S355	C20/25	F-6
30x250	S235	C16/20	F-7
	S275	C16/20	F-8
	S355	C16/20	F-9
	S235	C20/25	F-10
	S275	C20/25	F-11
	S355	C20/25	F-12
35x250	S235	C16/20	F-13
	S275	C16/20	F-14
	S355	C16/20	F-15
	S235	C20/25	F-16
	S275	C20/25	F-17
	S355	C20/25	F-18
40x250	S235	C16/20	F-19
	S275	C16/20	F-20
	S355	C16/20	F-21
	S235	C20/25	F-22
	S275	C20/25	F-23
	S355	C20/25	F-24

Πίνακας 4-1: Περιπτώσεις υποστυλωμάτων.

4.1.6.2 Γεωμετρικοί συμβολισμοί

- h ύψος διατομής οπλισμένου σκυροδέματος,
 b πλάτος διατομής οπλισμένου σκυροδέματος,
 A_c εμβαδόν διατομής οπλισμένου σκυροδέματος,
 d απόσταση οπλισμού από την εξωτερική παρειά του σκυροδέματος,
 a πλάτος γωνιακού κάθετο στη διεύθυνση κάμψης,
 β πλάτος γωνιακού παράλληλο στη διεύθυνση κάμψης,
 s πάχος γωνιακού,
 e απόσταση κεντροβαρικού άξονα γωνιακού από το άκρο της διατομής,
 A_a εμβαδόν γωνιακού,
 A_a συνολικό εμβαδόν χάλυβα ενίσχυσης,
 A_{s1} εμβαδόν οπλισμού στη μια πλευρά,
 A_s συνολικό εμβαδόν οπλισμού.



Σχήμα 4-5: Γεωμετρικοί συμβολισμοί.

4.1.6.3 Παράδειγμα αναλυτικού προσδιορισμού καμπύλων M-N για υποστυλώμα οπλισμένου σκυροδέματος ενισχυμένο με στοιχεία από χάλυβα (EC4: Part 1-1, 4.8)

Α Περίπτωση: $A_a / A_c = 0,03$

A.1 Γενικά

Διαστάσεις υποστυλώματος (b x h): 30x60
 Ποιότητα χάλυβα ενίσχυσης: S235
 Ποιότητα σκυροδέματος: C16/20
 Ποιότητα χάλυβα οπλισμού: S500
 Ποσοστό οπλισμού: 1%
 A_a / A_c σύμμικτης ενισχυμένης διατομής: 0,03

A.1.1 Χαρακτηριστικά διατομής χάλυβα ενίσχυσης

A_a	Εμβαδόν διατομής χάλυβα ενίσχυσης (cm ²)	54,0
A_a	Εμβαδόν ενός γωνιακού (cm ²)	13,5
f_{yk}	Τάση διαρροής χάλυβα ενίσχυσης (kN/cm ²)	23,5
f_{yd}	Τάση διαρροής σχεδιασμού χάλυβα ενίσχυσης (kN/cm ²)	21,4
E_a	Μέτρο ελαστικότητας χάλυβα ενίσχυσης (kN/cm ²)	21000
I_a	Ροπή αδράνειας ενός γωνιακού ως προς y1-y1 (cm ⁴)	78,6
e	Απόσταση κεντροβαρικού άξονα από άκρο διατομής (cm)	2,29
α	Μήκος σκέλους γωνιακού στη διεύθυνση κάμψης (cm)	8,0
β	Μήκος σκέλους γωνιακού κάθετο στη διεύθυνση κάμψης (cm)	8,0
s	Πάχος γωνιακού (cm)	0,9

A.1.2 Χαρακτηριστικά διατομής σκυροδέματος

b	Μήκος πλευράς διατομής σκυροδέματος κάθετης στην κάμψη (cm)	30
h	Μήκος πλευράς διατομής σκυροδέματος στη διεύθυνση της κάμψης (cm)	60
A_c	Εμβαδόν διατομής σκυροδέματος (cm ²)	1800
f_{ck}	Χαρακτηριστική αντοχή σκυροδέματος (kN/cm ²)	1,6
f_{cd}	Αντοχή σχεδιασμού σκυροδέματος (kN/cm ²)	0,9
E_c	Μέτρο ελαστικότητας σκυροδέματος (kN/cm ²)	2900
d	Απόσταση οπλισμού από άκρο διατομής (cm)	5,0
L	Ύψος υποστυλώματος (cm)	600

A.1.3 Χαρακτηριστικά χάλυβα οπλισμού

A_s	Εμβαδόν χάλυβα οπλισμού (cm ²)	18
A_{s1}	Εμβαδόν χάλυβα οπλισμού μιας πλευράς (cm ²)	9
f_{sk}	Τάση διαρροής χάλυβα οπλισμού (kN/cm ²)	50,0
f_{sd}	Τάση διαρροής σχεδιασμού χάλυβα οπλισμού (kN/cm ²)	43,5
E_s	Μέτρο ελαστικότητας χάλυβα οπλισμού (kN/cm ²)	21000

A.1.4 Υπολογισμός απαιτούμενου εμβαδού γωνιακού A_a για δεδομένη τιμή του λόγου A_a / A_c

$A_a / A_c = 0,03$		
b	Μήκος πλευράς διατομής σκυροδέματος κάθετης στην κάμψη (cm)	30
h	Μήκος πλευράς διατομής σκυροδέματος στη διεύθυνση της κάμψης (cm)	60
A_c	Εμβαδόν διατομής σκυροδέματος (cm ²)	1800
A_s	Εμβαδόν χάλυβα οπλισμού (cm ²)	18
f_{yd}	Τάση διαρροής σχεδιασμού χάλυβα ενίσχυσης (kN/cm ²)	21,4
f_{cd}	Αντοχή σχεδιασμού σκυροδέματος (kN/cm ²)	0,9
f_{sd}	Τάση διαρροής σχεδιασμού χάλυβα οπλισμού (kN/cm ²)	43,5
s	Πάχος γωνιακού (cm)	0,9
β	Μήκος σκέλους γωνιακού κάθετο στη διεύθυνση κάμψης (cm)	8,0

A_a	Συνολικό απαιτούμενο εμβαδόν διατομής χάλυβα ενίσχυσης (m ²)	54
A_a	Απαιτούμενο εμβαδόν ενός γωνιακού (cm ²)	13,5
α	Μήκος πλευράς απαιτούμενου ισοσκελούς γωνιακού (cm)	8,0
α	Μήκος πλευράς απαιτούμενου γωνιακού στη διεύθυνση της κάμψης με δεδομένη την πλευρά β (cm)	7,9

A.1.5 Υπολογισμός κέντρου βάρους και ροπής αδρανείας γωνιακού

α	Μήκος σκέλους γωνιακού στη διεύθυνση κάμψης (cm)	7,9
β	Μήκος σκέλους γωνιακού κάθετο στη διεύθυνση της κάμψης (cm)	8,0
s	Πάχος γωνιακού (cm)	0,9

e	Απόσταση κεντροβαρικού άξονα από άκρο διατομής (cm)	2,29
A_a	Εμβαδόν ενός γωνιακού (cm ²)	13,5
I_a	Ροπή αδράνειας ενός γωνιακού ως προς y1-y1 (cm ⁴)	78,6

A.2 Αποτελέσματα (EC 4: Part 1-1, 4.8)

$$N_{pl,Rd} = 3568,2 \text{ kN} \quad (4.8.3.3)$$

$$\bar{\sigma} = 0,32 \quad (4.8.3.4)$$

$$\begin{aligned} (EI)_a &= 8,8E+08 \text{ kNcm}^2 \\ (EI)_c &= 9,3E+08 \text{ kNcm}^2 \\ (EI)_s &= 2,4E+08 \text{ kNcm}^2 \\ (EI) &= 2,0E+09 \text{ kNcm}^2 \end{aligned} \quad (4.8.3.5)$$

$$\begin{aligned} N_{cr} &= 55907,5 \text{ kN} \\ N_{pl,R} &= 4617,0 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\lambda = 0,29 \quad (4.8.3.7)$$

A.2.1 Έλεγχος αντοχής μέλους (4.8.3.13)

$$N_{pm,Rd} = 1632,0 \text{ kN}$$

$$W_{pa} = 1496 \text{ cm}^3$$

$$W_{ps} = 450 \text{ cm}^3$$

$$W_{pc} = 26550 \text{ cm}^3$$

$$M_{maxRd} = 635,6 \text{ kNm}$$

$$x = 5,9 \text{ cm}$$

$$h_n = 24,1 \text{ cm}$$

$$W_{pan} = 173 \text{ cm}^3$$

$$W_{psn} = 0 \text{ cm}^3$$

$$W_{pcn} = 17463 \text{ cm}^3$$

$$M_{n,Rd} = 116,1 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,Rd} = 519,6 \text{ kNm}$$

B Περίπτωση: $A_a / A_c = 0,06$

B.1 Γενικά

Διαστάσεις υποστυλώματος (b x h):	30x60
Ποιότητα χάλυβα ενίσχυσης:	S235
Ποιότητα σκυροδέματος:	C16/20
Ποιότητα χάλυβα οπλισμού:	S500
Ποσοστό οπλισμού:	1%
A_a / A_c σύμμικτης ενισχυμένης διατομής:	0,06

B.1.1 Χαρακτηριστικά διατομής χάλυβα ενίσχυσης

A_a	Εμβαδόν διατομής χάλυβα ενίσχυσης (cm ²)	108,0
A_a	Εμβαδόν ενός γωνιακού (cm ²)	27,0
f_{yk}	Τάση διαρροής χάλυβα ενίσχυσης (kN/cm ²)	23,5
f_{yd}	Τάση διαρροής σχεδιασμού χάλυβα ενίσχυσης (kN/cm ²)	21,4
E_a	Μέτρο ελαστικότητας χάλυβα ενίσχυσης (kN/cm ²)	21000
I_a	Ροπή αδράνειας ενός γωνιακού ως προς y_1-y_1 (cm ⁴)	355,0
e	Απόσταση κεντροβαρικού άξονα από άκρο διατομής (cm)	3,38
α	Μήκος σκέλους γωνιακού στη διεύθυνση κάμψης (cm)	11,9
β	Μήκος σκέλους γωνιακού κάθετο στη διεύθυνση κάμψης (cm)	11,9
s	Πάχος γωνιακού (cm)	1,2

B.1.2 Χαρακτηριστικά διατομής σκυροδέματος

b	Μήκος πλευράς διατομής σκυροδέματος κάθετης στην κάμψη (cm)	30
h	Μήκος πλευράς διατομής σκυροδέματος στη διεύθυνση της κάμψης (cm)	60
A_c	Εμβαδόν διατομής σκυροδέματος (cm ²)	1800
f_{ck}	Χαρακτηριστική αντοχή σκυροδέματος (kN/cm ²)	1,6
f_{cd}	Αντοχή σχεδιασμού σκυροδέματος (kN/cm ²)	0,9
E_c	Μέτρο ελαστικότητας σκυροδέματος (kN/cm ²)	2900
d	Απόσταση οπλισμού από άκρο διατομής (cm)	5,0
L	Ύψος υποστρώματος (cm)	600

B.1.3 Χαρακτηριστικά χάλυβα οπλισμού

A_s	Εμβαδόν χάλυβα οπλισμού (cm ²)	18
A_{s1}	Εμβαδόν χάλυβα οπλισμού μιας πλευράς (cm ²)	9
f_{sk}	Τάση διαρροής χάλυβα οπλισμού (kN/cm ²)	50,0
f_{sd}	Τάση διαρροής σχεδιασμού χάλυβα οπλισμού (kN/cm ²)	43,5
E_s	Μέτρο ελαστικότητας χάλυβα οπλισμού (kN/cm ²)	21000

B.1.4 Υπολογισμός απαιτούμενου εμβαδού γωνιακού A_a για δεδομένη τιμή του λόγου A_a / A_c

$A_a / A_c = 0,06$		
b	Μήκος πλευράς διατομής σκυροδέματος κάθετης στην κάμψη (cm)	30
h	Μήκος πλευράς διατομής σκυροδέματος στη διεύθυνση της κάμψης (cm)	60
A_c	Εμβαδόν διατομής σκυροδέματος (cm ²)	1800
A_s	Εμβαδόν χάλυβα οπλισμού (cm ²)	18
f_{yd}	Τάση διαρροής σχεδιασμού χάλυβα ενίσχυσης (kN/cm ²)	21,4
f_{cd}	Αντοχή σχεδιασμού σκυροδέματος (kN/cm ²)	0,9
f_{sd}	Τάση διαρροής σχεδιασμού χάλυβα οπλισμού (kN/cm ²)	43,5
s	Πάχος γωνιακού (cm)	1,2
β	Μήκος σκέλους γωνιακού κάθετο στη διεύθυνση κάμψης (cm)	11,9

A_a	Συνολικό απαιτούμενο εμβαδόν διατομής χάλυβα ενίσχυσης (m ²)	108,0
A_a	Απαιτούμενο εμβαδόν ενός γωνιακού (cm ²)	27,0
α	Μήκος πλευράς απαιτούμενου ισοσκελούς γωνιακού (cm)	11,9
α	Μήκος πλευράς απαιτούμενου γωνιακού στη διεύθυνση της κάμψης με δεδομένη την πλευρά β (cm)	11,8

B.1.5 Υπολογισμός κέντρου βάρους και ροπής αδρανείας γωνιακού

α	Μήκος σκέλους γωνιακού στη διεύθυνση κάμψης (cm)	11,8
β	Μήκος σκέλους γωνιακού κάθετο στη διεύθυνση της κάμψης (cm)	11,9
s	Πάχος γωνιακού (cm)	1,2

e	Απόσταση κεντροβαρικού άξονα από άκρο διατομής (cm)	3,38
A _a	Εμβαδόν ενός γωνιακού (cm ²)	27,0
I _a	Ροπή αδράνειας ενός γωνιακού ως προς y1-y1 (cm ⁴)	355,0

B.2 Αποτελέσματα (EC 4: Part 1-1, 4.8)

$$N_{pl,Rd} = 4721,9 \text{ kN} \quad (4.8.3.3)$$

$$\bar{\delta} = 0,49 \quad (4.8.3.4)$$

$$\begin{aligned} (EI)_{\alpha} &= 1,6E+09 \text{ kNcm}^2 \\ (EI)_{\epsilon} &= 9,3E+08 \text{ kNcm}^2 \\ (EI)_{\varsigma} &= 2,4E+08 \text{ kNcm}^2 \\ (EI) &= 2,8E+09 \text{ kNcm}^2 \end{aligned} \quad (4.8.3.5)$$

$$\begin{aligned} N_{cr} &= 76719,5 \text{ kN} \\ N_{pl,R} &= 5886,0 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\lambda = 0,28 \quad (4.8.3.7)$$

B.2.1 Έλεγχος αντοχής μέλους (4.8.3.13)

$$N_{pm,Rd} = 1632,0 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} W_{pa} &= 2875 \text{ cm}^3 \\ W_{ps} &= 450 \text{ cm}^3 \\ W_{pc} &= 26550 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$M_{maxRd} = 930,2 \text{ kNm}$$

$$x = 9,4 \text{ cm}$$

$$h_n = 20,6 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} W_{pan} &= 231 \text{ cm}^3 \\ W_{psn} &= 0 \text{ cm}^3 \\ W_{pcn} &= 12773 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$M_{n,Rd} = 107,3 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,Rd} = 822,9 \text{ kNm}$$

Γ Περίπτωση: $A_a / A_c = 0,09$

Γ.1 Γενικά

Διαστάσεις υποστυλώματος (b x h):	30x60
Ποιότητα χάλυβα ενίσχυσης:	S235
Ποιότητα σκυροδέματος:	C16/20
Ποιότητα χάλυβα οπλισμού:	S500
Ποσοστό οπλισμού:	1%
A_a / A_c σύμμικτης ενισχυμένης διατομής:	0,09

Γ.1.1 Χαρακτηριστικά διατομής χάλυβα ενίσχυσης

A_a	Εμβαδόν διατομής χάλυβα ενίσχυσης (cm ²)	162,0
A_a	Εμβαδόν ενός γωνιακού (cm ²)	40,5
f_{yk}	Τάση διαρροής χάλυβα ενίσχυσης (kN/cm ²)	23,5
f_{yd}	Τάση διαρροής σχεδιασμού χάλυβα ενίσχυσης (kN/cm ²)	21,4
E_a	Μέτρο ελαστικότητας χάλυβα ενίσχυσης (kN/cm ²)	21000
I_a	Ροπή αδράνειας ενός γωνιακού ως προς y1-y1 (cm ⁴)	677,7
e	Απόσταση κεντροβαρικού άξονα από άκρο διατομής (cm)	3,93
α	Μήκος σκέλους γωνιακού στη διεύθυνση κάμψης (cm)	13,5
β	Μήκος σκέλους γωνιακού κάθετο στη διεύθυνση κάμψης (cm)	13,5
s	Πάχος γωνιακού (cm)	1,6

Γ.1.2 Χαρακτηριστικά διατομής σκυροδέματος

b	Μήκος πλευράς διατομής σκυροδέματος κάθετης στην κάμψη (cm)	30
h	Μήκος πλευράς διατομής σκυροδέματος στη διεύθυνση της κάμψης (cm)	60
A_c	Εμβαδόν διατομής σκυροδέματος (cm ²)	1800
f_{ck}	Χαρακτηριστική αντοχή σκυροδέματος (kN/cm ²)	1,6
f_{cd}	Αντοχή σχεδιασμού σκυροδέματος (kN/cm ²)	0,9
E_c	Μέτρο ελαστικότητας σκυροδέματος (kN/cm ²)	2900
d	Απόσταση οπλισμού από άκρο διατομής (cm)	5,0
L	Ύψος υποστυλώματος (cm)	600

Γ.1.3 Χαρακτηριστικά χάλυβα οπλισμού

A_s	Εμβαδόν χάλυβα οπλισμού (cm ²)	18
A_{s1}	Εμβαδόν χάλυβα οπλισμού μιας πλευράς (cm ²)	9
f_{sk}	Τάση διαρροής χάλυβα οπλισμού (kN/cm ²)	50,0
f_{sd}	Τάση διαρροής σχεδιασμού χάλυβα οπλισμού (kN/cm ²)	43,5
E_s	Μέτρο ελαστικότητας χάλυβα οπλισμού (kN/cm ²)	21000

Γ.1.4 Υπολογισμός απαιτούμενου εμβαδού γωνιακού A_a για δεδομένη τιμή του λόγου A_a / A_c

$A_a / A_c = 0,09$		
b	Μήκος πλευράς διατομής σκυροδέματος κάθετης στην κάμψη (cm)	30
h	Μήκος πλευράς διατομής σκυροδέματος στη διεύθυνση της κάμψης (cm)	60
A_c	Εμβαδόν διατομής σκυροδέματος (cm ²)	1800
A_s	Εμβαδόν χάλυβα οπλισμού (cm ²)	18
f_{yd}	Τάση διαρροής σχεδιασμού χάλυβα ενίσχυσης (kN/cm ²)	21,4
f_{cd}	Αντοχή σχεδιασμού σκυροδέματος (kN/cm ²)	0,9
f_{sd}	Τάση διαρροής σχεδιασμού χάλυβα οπλισμού (kN/cm ²)	43,5
s	Πάχος γωνιακού (cm)	1,6
β	Μήκος σκέλους γωνιακού κάθετο στη διεύθυνση κάμψης (cm)	13,5

A_a	Συνολικό απαιτούμενο εμβαδόν διατομής χάλυβα ενίσχυσης (m ²)	162,0
A_a	Απαιτούμενο εμβαδόν ενός γωνιακού (cm ²)	40,5
α	Μήκος πλευράς απαιτούμενου ισοσκελούς γωνιακού (cm)	13,5
α	Μήκος πλευράς απαιτούμενου γωνιακού στη διεύθυνση της κάμψης με δεδομένη την πλευρά β (cm)	13,4

Γ.1.5 Υπολογισμός κέντρου βάρους και ροπής αδρανείας γωνιακού

α	Μήκος σκέλους γωνιακού στη διεύθυνση κάμψης (cm)	13,4
β	Μήκος σκέλους γωνιακού κάθετο στη διεύθυνση της κάμψης (cm)	13,5
s	Πάχος γωνιακού (cm)	1,6

e	Απόσταση κεντροβαρικού άξονα από άκρο διατομής (cm)	3,93
A_a	Εμβαδόν ενός γωνιακού (cm ²)	40,5
I_a	Ροπή αδράνειας ενός γωνιακού ως προς y1-y1 (cm ⁴)	677,7

Γ.2 Αποτελέσματα (EC 4: Part 1-1, 4.8)

$$N_{pl,Rd} = 5875,5 \text{ kN} \quad (4.8.3.3)$$

$$\delta = 0,59 \quad (4.8.3.4)$$

$$\begin{aligned} (EI)_a &= 2,4E+09 \text{ kNcm}^2 \\ (EI)_c &= 9,3E+08 \text{ kNcm}^2 \\ (EI)_s &= 2,4E+08 \text{ kNcm}^2 \\ (EI) &= 3,5E+09 \text{ kNcm}^2 \end{aligned} \quad (4.8.3.5)$$

$$\begin{aligned} N_{cr} &= 96770,7 \text{ kN} \\ N_{pl,R} &= 7155,0 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\lambda = 0,27 \quad (4.8.3.7)$$

Γ.2.1 Έλεγχος αντοχής μέλους (4.8.3.13)

$$N_{pm,Rd} = 1632,0 \text{ kN}$$

$$W_{pa} = 4223 \text{ cm}^3$$

$$W_{ps} = 450 \text{ cm}^3$$

$$W_{pc} = 26550 \text{ cm}^3$$

$$M_{maxRd} = 1218,3 \text{ kNm}$$

$$x = 11,2 \text{ cm}$$

$$h_n = 18,8 \text{ cm}$$

$$W_{pan} = 252 \text{ cm}^3$$

$$W_{psn} = 0 \text{ cm}^3$$

$$W_{pcn} = 10577 \text{ cm}^3$$

$$M_{n,Rd} = 101,9 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,Rd} = 1116,4 \text{ kNm}$$

Δ Περίπτωση: $A_a / A_c = 0,12$

Δ.1 Γενικά

Διαστάσεις υποστυλώματος (b x h):	30x60
Ποιότητα χάλυβα ενίσχυσης:	S235
Ποιότητα σκυροδέματος:	C16/20
Ποιότητα χάλυβα οπλισμού:	S500
Ποσοστό οπλισμού:	1%
A_a / A_c σύμμικτης ενισχυμένης διατομής:	0,12

Δ.1.1 Χαρακτηριστικά διατομής χάλυβα ενίσχυσης

A_a	Εμβαδόν διατομής χάλυβα ενίσχυσης (cm ²)	216,0
A_a	Εμβαδόν ενός γωνιακού (cm ²)	54,0
f_{yk}	Τάση διαρροής χάλυβα ενίσχυσης (kN/cm ²)	23,5
f_{yd}	Τάση διαρροής σχεδιασμού χάλυβα ενίσχυσης (kN/cm ²)	21,4
E_a	Μέτρο ελαστικότητας χάλυβα ενίσχυσης (kN/cm ²)	21000
I_a	Ροπή αδράνειας ενός γωνιακού ως προς y1-y1 (cm ⁴)	1466,1
e	Απόσταση κεντροβαρικού άξονα από άκρο διατομής (cm)	5,10
α	Μήκος σκέλους γωνιακού στη διεύθυνση κάμψης (cm)	15,9
β	Μήκος σκέλους γωνιακού κάθετο στη διεύθυνση κάμψης (cm)	15,0
s	Πάχος γωνιακού (cm)	1,8

Δ.1.2 Χαρακτηριστικά διατομής σκυροδέματος

b	Μήκος πλευράς διατομής σκυροδέματος κάθετης στην κάμψη (cm)	30
h	Μήκος πλευράς διατομής σκυροδέματος στη διεύθυνση της κάμψης (cm)	60
A_c	Εμβαδόν διατομής σκυροδέματος (cm ²)	1800
f_{ck}	Χαρακτηριστική αντοχή σκυροδέματος (kN/cm ²)	1,6
f_{cd}	Αντοχή σχεδιασμού σκυροδέματος (kN/cm ²)	0,9
E_c	Μέτρο ελαστικότητας σκυροδέματος (kN/cm ²)	2900
d	Απόσταση οπλισμού από άκρο διατομής (cm)	5,0
L	Ύψος υποστρώματος (cm)	600

Δ.1.3 Χαρακτηριστικά χάλυβα οπλισμού

A_s	Εμβαδόν χάλυβα οπλισμού (cm ²)	18
A_{s1}	Εμβαδόν χάλυβα οπλισμού μιας πλευράς (cm ²)	9
f_{sk}	Τάση διαρροής χάλυβα οπλισμού (kN/cm ²)	50,0
f_{sd}	Τάση διαρροής σχεδιασμού χάλυβα οπλισμού (kN/cm ²)	43,5
E_s	Μέτρο ελαστικότητας χάλυβα οπλισμού (kN/cm ²)	21000

Δ.1.4 Υπολογισμός απαιτούμενου εμβαδού γωνιακού A_a για δεδομένη τιμή του λόγου A_a / A_c

$A_a / A_c = 0,12$		
b	Μήκος πλευράς διατομής σκυροδέματος κάθετης στην κάμψη (cm)	30
h	Μήκος πλευράς διατομής σκυροδέματος στη διεύθυνση της κάμψης (cm)	60
A_c	Εμβαδόν διατομής σκυροδέματος (cm ²)	1800
A_s	Εμβαδόν χάλυβα οπλισμού (cm ²)	18
f_{yd}	Τάση διαρροής σχεδιασμού χάλυβα ενίσχυσης (kN/cm ²)	21,4
f_{cd}	Αντοχή σχεδιασμού σκυροδέματος (kN/cm ²)	0,9
f_{sd}	Τάση διαρροής σχεδιασμού χάλυβα οπλισμού (kN/cm ²)	43,5
s	Πάχος γωνιακού (cm)	1,8
β	Μήκος σκέλους γωνιακού κάθετο στη διεύθυνση κάμψης (cm)	15,0

A_a	Συνολικό απαιτούμενο εμβαδόν διατομής χάλυβα ενίσχυσης (m ²)	216,0
A_a	Απαιτούμενο εμβαδόν ενός γωνιακού (cm ²)	54,0
α	Μήκος πλευράς απαιτούμενου ισοσκελούς γωνιακού (cm)	15,9
α	Μήκος πλευράς απαιτούμενου γωνιακού στη διεύθυνση της κάμψης με δεδομένη την πλευρά β (cm)	16,8

Δ.1.5 Υπολογισμός κέντρου βάρους και ροπής αδρανείας γωνιακού

α	Μήκος σκέλους γωνιακού στη διεύθυνση κάμψης (cm)	16,8
β	Μήκος σκέλους γωνιακού κάθετο στη διεύθυνση της κάμψης (cm)	15,0
s	Πάχος γωνιακού (cm)	1,8

e	Απόσταση κεντροβαρικού άξονα από άκρο διατομής (cm)	5,10
A _a	Εμβαδόν ενός γωνιακού (cm ²)	54,0
I _a	Ροπή αδράνειας ενός γωνιακού ως προς y1-y1 (cm ⁴)	1466,1

Δ.2 Αποτελέσματα (EC 4: Part 1-1, 4.8)

$$N_{pl,Rd} = 7029,2 \text{ kN} \quad (4.8.3.3)$$

$$\bar{\delta} = 0,66 \quad (4.8.3.4)$$

$$\begin{aligned} (EI)_{\alpha} &= 2,9E+09 \text{ kNcm}^2 \\ (EI)_{\epsilon} &= 9,3E+08 \text{ kNcm}^2 \\ (EI)_{\varsigma} &= 2,4E+08 \text{ kNcm}^2 \\ (EI) &= 4,1E+09 \text{ kNcm}^2 \end{aligned} \quad (4.8.3.5)$$

$$\begin{aligned} N_{cr} &= 112282,1 \text{ kN} \\ N_{pl,R} &= 8424,0 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\lambda = 0,27 \quad (4.8.3.7)$$

Δ.2.1 Έλεγχος αντοχής μέλους (4.8.3.13)

$$N_{pm,Rd} = 1632,0 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} W_{pa} &= 5378 \text{ cm}^3 \\ W_{ps} &= 450 \text{ cm}^3 \\ W_{pc} &= 26550 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$M_{maxRd} = 1465,0 \text{ kNm}$$

$$x = 13,5 \text{ cm}$$

$$h_n = 16,5 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} W_{pan} &= 263 \text{ cm}^3 \\ W_{psn} &= 0 \text{ cm}^3 \\ W_{pcn} &= 8157 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$M_{n,Rd} = 93,2 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,Rd} = 1371,8 \text{ kNm}$$

Ε Περίπτωση: $A_a / A_c = 0,15$

Ε.1 Γενικά

Διαστάσεις υποστυλώματος (b x h):	30x60
Ποιότητα χάλυβα ενίσχυσης:	S235
Ποιότητα σκυροδέματος:	C16/20
Ποιότητα χάλυβα οπλισμού:	S500
Ποσοστό οπλισμού:	1%
A_a / A_c σύμμικτης ενισχυμένης διατομής:	0,15

Ε.1.1 Χαρακτηριστικά διατομής χάλυβα ενίσχυσης

A_a	Εμβαδόν διατομής χάλυβα ενίσχυσης (cm ²)	270,0
A_a	Εμβαδόν ενός γωνιακού (cm ²)	67,5
f_{yk}	Τάση διαρροής χάλυβα ενίσχυσης (kN/cm ²)	23,5
f_{yd}	Τάση διαρροής σχεδιασμού χάλυβα ενίσχυσης (kN/cm ²)	21,4
E_a	Μέτρο ελαστικότητας χάλυβα ενίσχυσης (kN/cm ²)	21000
I_a	Ροπή αδράνειας ενός γωνιακού ως προς y1-y1 (cm ⁴)	4107,4
e	Απόσταση κεντροβαρικού άξονα από άκρο διατομής (cm)	8,19
a	Μήκος σκέλους γωνιακού στη διεύθυνση κάμψης (cm)	19,7
β	Μήκος σκέλους γωνιακού κάθετο στη διεύθυνση κάμψης (cm)	15,0
s	Πάχος γωνιακού (cm)	1,8

Ε.1.2 Χαρακτηριστικά διατομής σκυροδέματος

b	Μήκος πλευράς διατομής σκυροδέματος κάθετης στην κάμψη (cm)	30
h	Μήκος πλευράς διατομής σκυροδέματος στη διεύθυνση της κάμψης (cm)	60
A_c	Εμβαδόν διατομής σκυροδέματος (cm ²)	1800
f_{ck}	Χαρακτηριστική αντοχή σκυροδέματος (kN/cm ²)	1,6
f_{cd}	Αντοχή σχεδιασμού σκυροδέματος (kN/cm ²)	0,9
E_c	Μέτρο ελαστικότητας σκυροδέματος (kN/cm ²)	2900
d	Απόσταση οπλισμού από άκρο διατομής (cm)	5,0
L	Ύψος υποστυλώματος (cm)	600

Ε.1.3 Χαρακτηριστικά χάλυβα οπλισμού

A_s	Εμβαδόν χάλυβα οπλισμού (cm ²)	18
A_{s1}	Εμβαδόν χάλυβα οπλισμού μιας πλευράς (cm ²)	9
f_{sk}	Τάση διαρροής χάλυβα οπλισμού (kN/cm ²)	50,0
f_{sd}	Τάση διαρροής σχεδιασμού χάλυβα οπλισμού (kN/cm ²)	43,5
E_s	Μέτρο ελαστικότητας χάλυβα οπλισμού (kN/cm ²)	21000

E.1.4 Υπολογισμός απαιτούμενου εμβαδού γωνιακού A_a για δεδομένη τιμή του λόγου A_a / A_c

$A_a / A_c = 0,15$		
b	Μήκος πλευράς διατομής σκυροδέματος κάθετης στην κάμψη (cm)	30
h	Μήκος πλευράς διατομής σκυροδέματος στη διεύθυνση της κάμψης (cm)	60
A_c	Εμβαδόν διατομής σκυροδέματος (cm ²)	1800
A_s	Εμβαδόν χάλυβα οπλισμού (cm ²)	18
f_{yd}	Τάση διαρροής σχεδιασμού χάλυβα ενίσχυσης (kN/cm ²)	21,4
f_{cd}	Αντοχή σχεδιασμού σκυροδέματος (kN/cm ²)	0,9
f_{sd}	Τάση διαρροής σχεδιασμού χάλυβα οπλισμού (kN/cm ²)	43,5
s	Πάχος γωνιακού (cm)	1,8
β	Μήκος σκέλους γωνιακού κάθετο στη διεύθυνση κάμψης (cm)	15,0

A_a	Συνολικό απαιτούμενο εμβαδόν διατομής χάλυβα ενίσχυσης (m ²)	270,0
A_a	Απαιτούμενο εμβαδόν ενός γωνιακού (cm ²)	67,5
α	Μήκος πλευράς απαιτούμενου ισοσκελούς γωνιακού (cm)	19,7
α	Μήκος πλευράς απαιτούμενου γωνιακού στη διεύθυνση της κάμψης με δεδομένη την πλευρά β (cm)	24,3

E.1.5 Υπολογισμός κέντρου βάρους και ροπής αδρανείας γωνιακού

α	Μήκος σκέλους γωνιακού στη διεύθυνση κάμψης (cm)	24,3
β	Μήκος σκέλους γωνιακού κάθετο στη διεύθυνση της κάμψης (cm)	15,0
s	Πάχος γωνιακού (cm)	1,8

e	Απόσταση κεντροβαρικού άξονα από άκρο διατομής (cm)	8,19
A_a	Εμβαδόν ενός γωνιακού (cm ²)	67,5
I_a	Ροπή αδράνειας ενός γωνιακού ως προς y_1-y_1 (cm ⁴)	4107,4

E.2 Αποτελέσματα (EC 4: Part 1-1, 4.8)

$$N_{pl,Rd} = 8182,8 \quad \text{kN} \quad (4.8.3.3)$$

$$\delta = 0,70 \quad (4.8.3.4)$$

$$\begin{aligned} (EI)_a &= 3,0E+09 \quad \text{kNcm}^2 \\ (EI)_c &= 9,3E+08 \quad \text{kNcm}^2 \\ (EI)_s &= 2,4E+08 \quad \text{kNcm}^2 \\ (EI) &= 4,2E+09 \quad \text{kNcm}^2 \quad (4.8.3.5) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_{cr} &= 115201,2 \quad \text{kN} \\ N_{pl,R} &= 9693,0 \quad \text{kN} \end{aligned}$$

$$\lambda = 0,29 \quad (4.8.3.7)$$

Ε.2.1 Έλεγχος αντοχής μέλους (4.8.3.13)

$N_{pm,Rd} =$	1632,0	kN
---------------	--------	----

$$W_{pa} = 5889 \text{ cm}^3$$

$$W_{ps} = 450 \text{ cm}^3$$

$$W_{pc} = 26550 \text{ cm}^3$$

$M_{maxRd} =$	1574,1	kNm
---------------	--------	-----

$$x = 16,7 \text{ cm}$$

$$h_n = 13,3 \text{ cm}$$

$$W_{pan} = 251 \text{ cm}^3$$

$$W_{psn} = 0 \text{ cm}^3$$

$$W_{pcn} = 5309 \text{ cm}^3$$

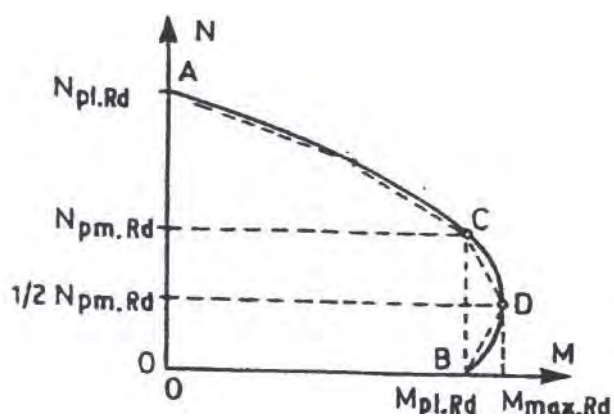
$M_{n,Rd} =$	77,8	kNm
--------------	------	-----

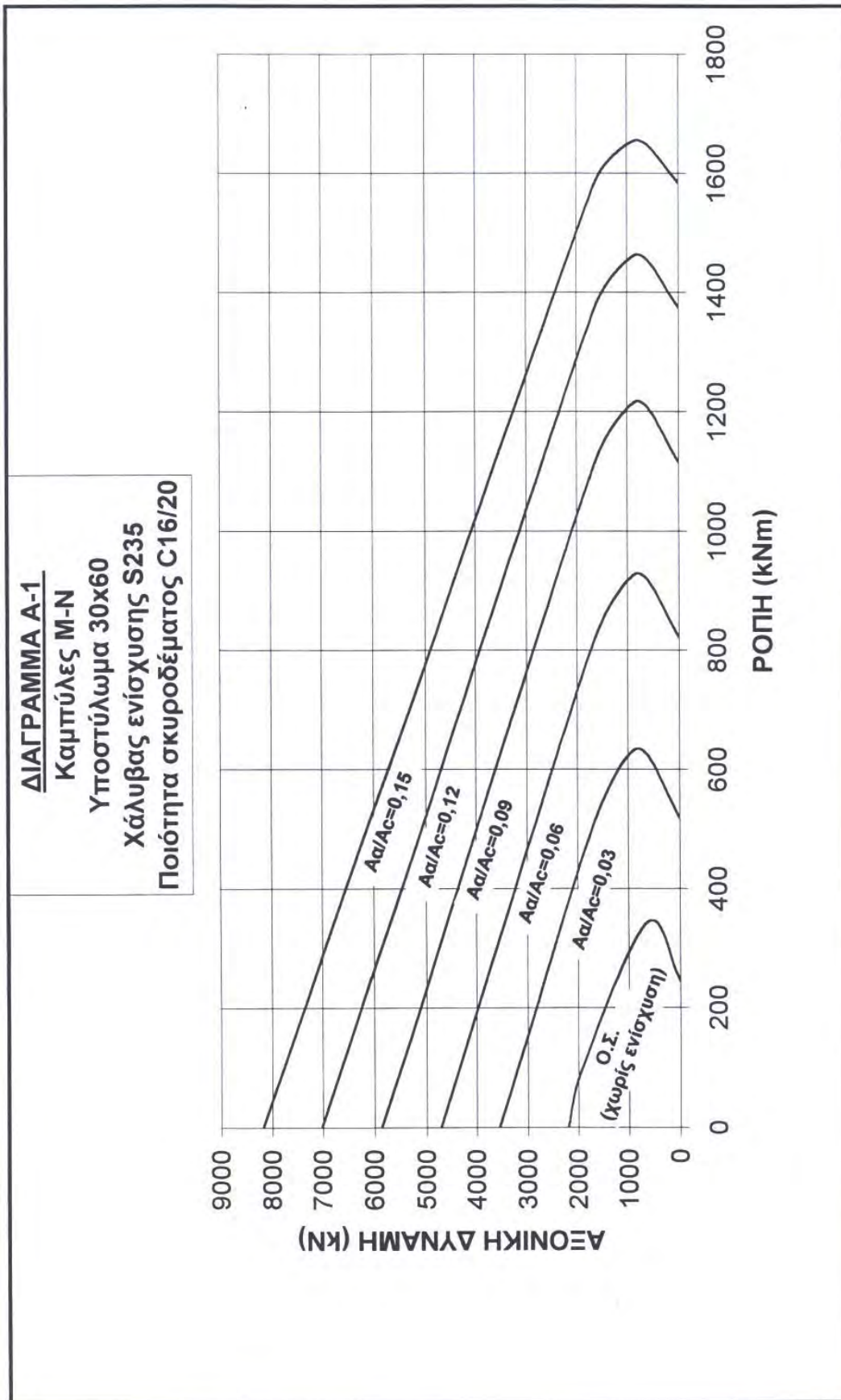
$M_{pl,Rd} =$	1496,3	kNm
---------------	--------	-----

Συγκεντρωτικά αποτελέσματα για καμπύλες M-N

Διαστάσεις υποστυλώματος (b x h): 30 x 60
 Ποιότητα χάλυβα ενίσχυσης: S235
 Ποιότητα σκυροδέματος: C16/20

A_a / A_c	Σημεία	Ροπή (kNm)	Αξονική δύναμη (kN)
Τιμές καμπύλης M-N για $A_a / A_c = 0,03$	A	0	3568
	C	520	1632
	D	636	816
	B	520	0
Τιμές καμπύλης M-N για $A_a / A_c = 0,06$	A	0	4722
	C	823	1632
	D	930	816
	B	823	0
Τιμές καμπύλης M-N για $A_a / A_c = 0,09$	A	0	5876
	C	1116	1632
	D	1218	816
	B	1116	0
Τιμές καμπύλης M-N για $A_a / A_c = 0,12$	A	0	7029
	C	1375	1632
	D	1465	816
	B	1375	0
Τιμές καμπύλης M-N για $A_a / A_c = 0,15$	A	0	8183
	C	1584	1632
	D	1656	816
	B	1584	0
Τιμές καμπύλης M-N για διατομή οπλισμένου σκυροδέματος		0	2203
		98	1926
		343	653
		245	0





4.2 Ενίσχυση πλαισίων

4.2.1 Εισαγωγή

Η ενίσχυση πλαισίων από οπλισμένο σκυρόδεμα βρίσκει εφαρμογή στην πυλωτή (pilotis) όπου γενικά θεωρείται ότι είναι το ευαίσθητο σημείο σε ένα κτίριο. Αυτό οφείλεται στο γεγονός, ότι στο ισόγειο μιας πολυώροφης οικοδομής δημιουργείται ένας εύκαμπτος όροφος σε σχέση με τους υπερκείμενους. Η διαφορά στη δυσκαμψία μεταξύ pilotis και λοιπών ορόφων οφείλεται στην παρουσία της τοιχοποιίας στους υπερκείμενους ορόφους, και είναι εντονότερη στα ολιγώροφα κτίρια, ενώ ελαττώνεται με την αύξηση των ορόφων.

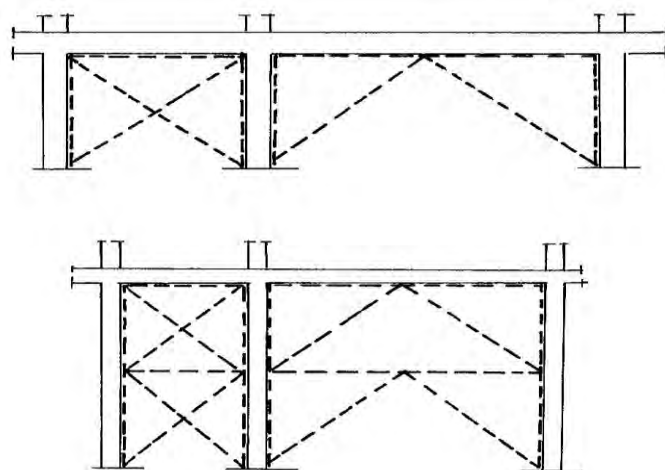
Έτσι, ενώ στο θεωρητικό μοντέλο της μελέτης δε λαμβάνεται υπόψη η συμβολή των τοιχοπληρώσεων στη δυσκαμψία του συνολικού φορέα, στην πραγματικότητα, με τη διευθέτηση αυτή δημιουργείται απότομη αλλαγή στην καθ' ύψος δυσκαμψία, γεγονός που αυξάνει τη σεισμική τρωτότητα του κτιρίου.

Το πρόβλημα αυτό της ασυνέχειας δυσκαμψίας λόγω της pilotis, μπορεί σχετικά εύκολα να αρθεί, με την προσθήκη στοιχείων ακαμψίας σε κατάλληλες θέσεις στην pilotis (π.χ. κατασκευή καλοχτισμένων τοιχοποιιών από συμπαγή τούβλα στις τέσσερις γωνίες του κτιρίου, προσθήκη τοιχίων από οπλισμένο σκυρόδεμα στο ισόγειο κλπ).

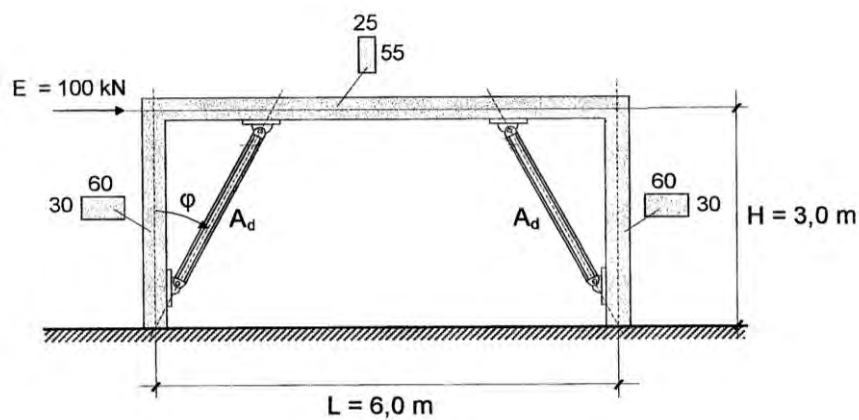
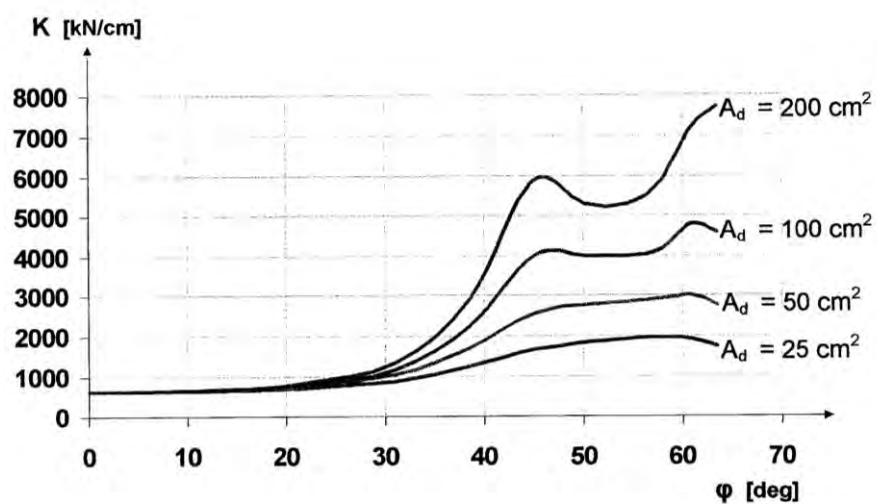
Μεταξύ των άλλων λύσεων, δόκιμη μπορεί να θεωρηθεί και η χρήση επίπεδων φορέων δυσκαμψίας από χαλύβδινα στοιχεία με κατάλληλες διαστάσεις, για την αύξηση της δυσκαμψίας του ισογείου (σύνδεσμοι χιαστί, λάμδα κλπ), αλλά και των υπολοίπων ορόφων, αν απαιτηθεί. Αυτά τα στοιχεία δυσκαμψίας, συνδεδεμένα εύκολα με αντίστοιχα φέροντα στοιχεία, μπορούν να προσδώσουν τη ζητούμενη δυσκαμψία, χωρίς να βλάπτεται λειτουργικά και αισθητικά το κτίριο, και με πολύ μικρό απαιτούμενο χρόνο κατασκευής.

Στο Σχήμα 4.6 φαίνονται διάφορες μορφές χαλύβδινων συνδέσμων δυσκαμψίας. Η σύνδεση των χιαστί διαγωνίων στο άνω άκρο τους πρέπει να γίνεται στη δοκό του αντίστοιχου φατνώματος προκειμένου να παραλαμβάνονται οι εμφανιζόμενες οριζόντιες δράσεις άμεσα από τις διαγώνιες ράβδους. Σύνδεση των διαγωνίων με τα υποστυλώματα στην περιοχή της κεφαλής τους δημιουργεί μεγάλες διατμητικές καταπονήσεις (ψαλιδισμό) στη θέση αυτή και γι' αυτό πρέπει να αποφεύγεται. Επίσης, οι θεμελιώσεις των στύλων στον πόδα των οποίων συνδέεται το κάτω άκρο των διαγωνίων ράβδων, πρέπει να επαναδιαστασιολογούνται, λόγω των μεγάλων τεμνουσών δυνάμεων που μεταφέρονται από τις διαγώνιες ράβδους στις θέσεις αυτές.

Προκειμένου να γίνει αντιληπτή η συνεισφορά των χαλύβδινων συνδέσμων δυσκαμψίας, παρουσιάζεται ενδεικτικά στο Σχήμα 4.7 διάγραμμα μεταβολής της δυσκαμψίας K ενός πλαισίου (η δύναμη που προκαλεί μοναδιαία μετατόπιση) από οπλισμένο σκυρόδεμα με διατομή στύλων 30/60 και δοκών 25/55, ενισχυμένου με διαγώνιες ράβδους. Οι παράμετροι που εξετάζονται είναι το εμβαδόν A_d των διαγωνίων και η κλίση τους φ ως προς την κατακόρυφη. Η τιμή $\varphi=0^\circ$ αντιστοιχεί στη δυσκαμψία του πλαισίου χωρίς ενίσχυση.



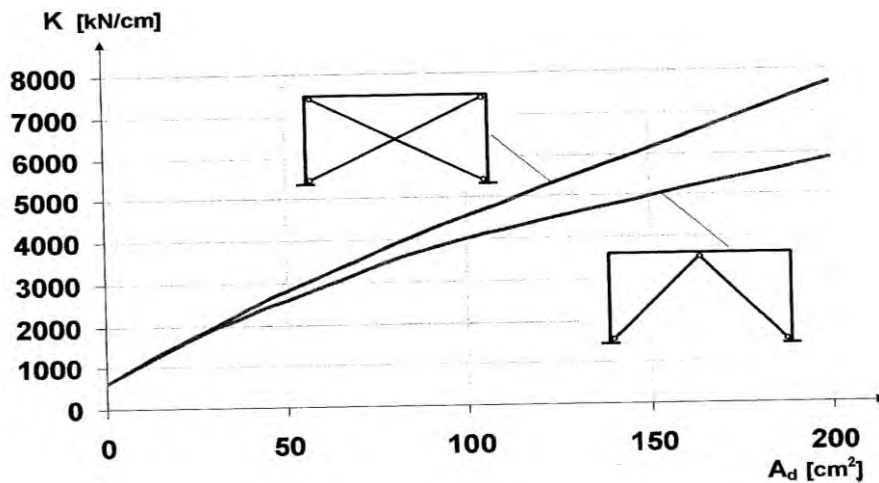
Σχήμα 4-6: Κατακόρυφοι σύνδεσμοι δυσκαμψίας.



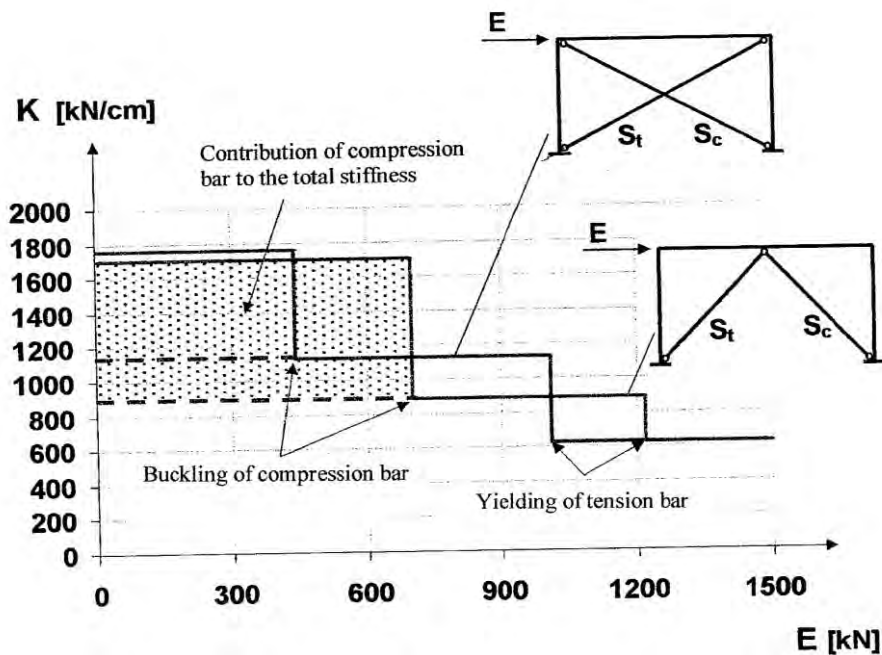
Σχήμα 4-7: Επιρροή των παραμέτρων φ και A στη δυσκαμψία K απλού πλαισίου.

Στο Σχήμα 4.8 φαίνεται η μεταβολή της δυσκαμψίας δύο συγκεκριμένων διατάξεων διαγώνιων ράβδων (σύνδεσμοι χιαστί και λάμδα), συναρτήσει του εμβαδού A_d αυτών, για το ίδιο πλαίσιο.

Τέλος στο Σχήμα 4.9, για τις διατάξεις των διαγώνιων ράβδων του Σχήματος 4.8 και για σταθερό εμβαδόν διατομής $A_d=25 \text{ cm}^2$ (SHS120/120/5.6), δίνονται οι μεταβολές της δυσκαμψίας των πλαισίων συναρτήσει της επιβαλλόμενης οριζόντιας δύναμης E για τις παρακάτω δύο περιπτώσεις: όταν λαμβάνεται υπόψη η συμβολή της θλιβόμενης διαγώνιας ράβδου μέχρι τη στιγμή που φθάνει στο κρίσιμο φορτίο λυγισμού της (συνεχής γραμμή), και όταν λαμβάνεται υπόψη μόνον η εφελκυσμένη διαγώνιος, όπως ο ΕΑΚ αναφέρει (διακεκομμένη γραμμή).



Σχήμα 4-8: Μεταβολή της δυσκαμψίας K συναρτήσει του A_d .



Σχήμα 4-9: Μεταβολή της δυσκαμψίας πλαισίων για συγκεκριμένη τιμή του A_d .

Η χρήση του δομικού χάλυβα μπορεί να προσφέρει «προκατασκευασμένα» τεχνολογικά συστήματα, τα οποία είναι δυνατόν να εφαρμοσθούν σε κάθε συγκεκριμένο πρόβλημα και να δώσουν τη βέλτιστη λύση, με μικρό πρόσθετο βάρος και ελεγχόμενη αλλαγή της αρχικής δυσκαμψίας των ενισχυόμενων μελών. Από την όλη παρουσίαση γίνεται φανερό, ότι σε πολλές περιπτώσεις επεμβάσεων, η λύση της χρησιμοποίησης χαλύβδινων στοιχείων σε κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα είναι, λόγω των προαναφερθέντων, η πλέον ενδεδειγμένη.

4.2.2 Αναλυτικά παραδείγματα

Εξετάστηκε η μεταβολή της ακαμψίας K πλαισίων από οπλισμένο σκυρόδεμα που έχουν ενισχυθεί με μονώροφα και διώροφα χαλύβδινα συστήματα δυσκαμψίας. Τα αποτελέσματα φαίνονται στα διαγράμματα 4.2.1-4.2.18 της παραγράφου 4.2.2.2. Παράμετροι είναι ο τύπος του συνδέσμου δυσκαμψίας (σύνδεσμος τύπου Λ , σύνδεσμος τύπου X και έκκεντρος σύνδεσμος) καθώς και το εμβαδόν του συνδέσμου δυσκαμψίας A_s . Για τις παραπάνω παραμέτρους εξετάστηκαν διάφοροι λόγοι ύψους προς άνοιγμα (H/L) του πλαισίου από οπλισμένο σκυρόδεμα.

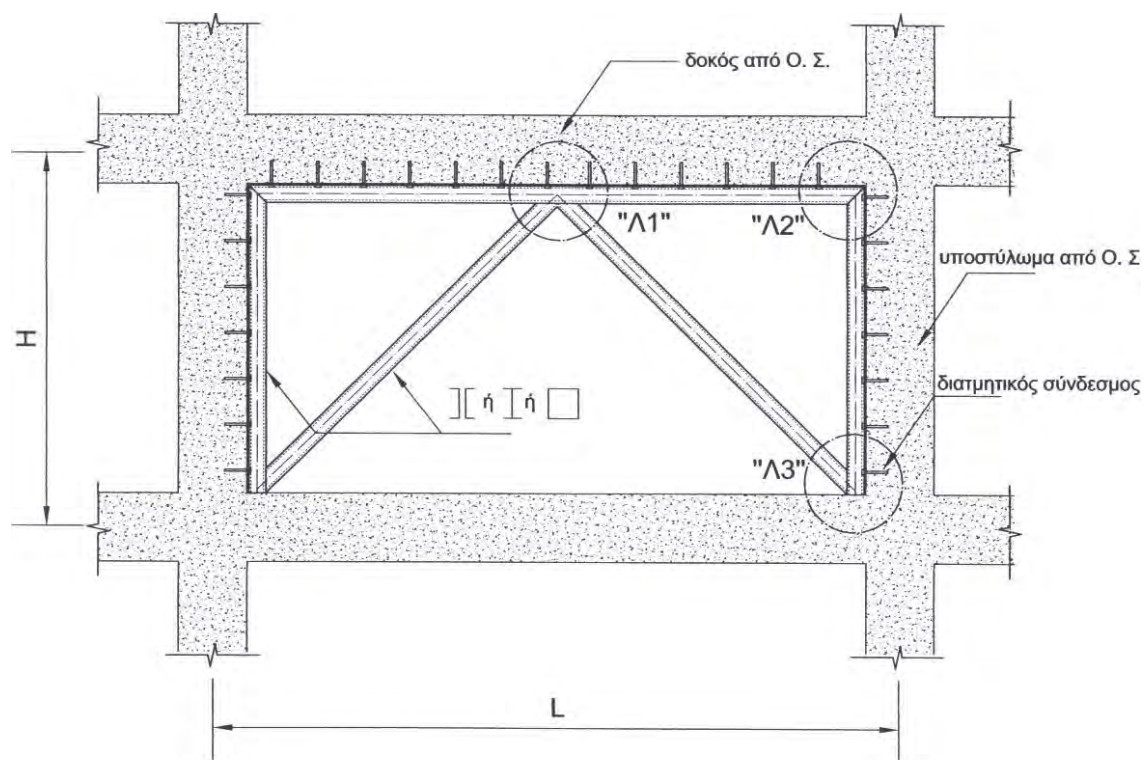
Κατά την ανάλυση θεωρήθηκε πλήρης διατμητική σύνδεση του χαλύβδινου συνδέσμου δυσκαμψίας με το πλαίσιο από οπλισμένο σκυρόδεμα. Στο παράρτημα Γ περιγράφονται τα προσομοιώματα που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση. Επιπλέον, στο παράρτημα Δ εξετάζεται η μεταβολή της δυσκαμψίας του πλαισίου από $O.S$ συναρτήσει του εμβαδού του διατμητικού συνδέσμου A_s καθώς και της πυκνότητας παρεμβολής τους (ανά διαστήματα α).

4.2.2.1 Περιπτώσεις που εξετάζονται

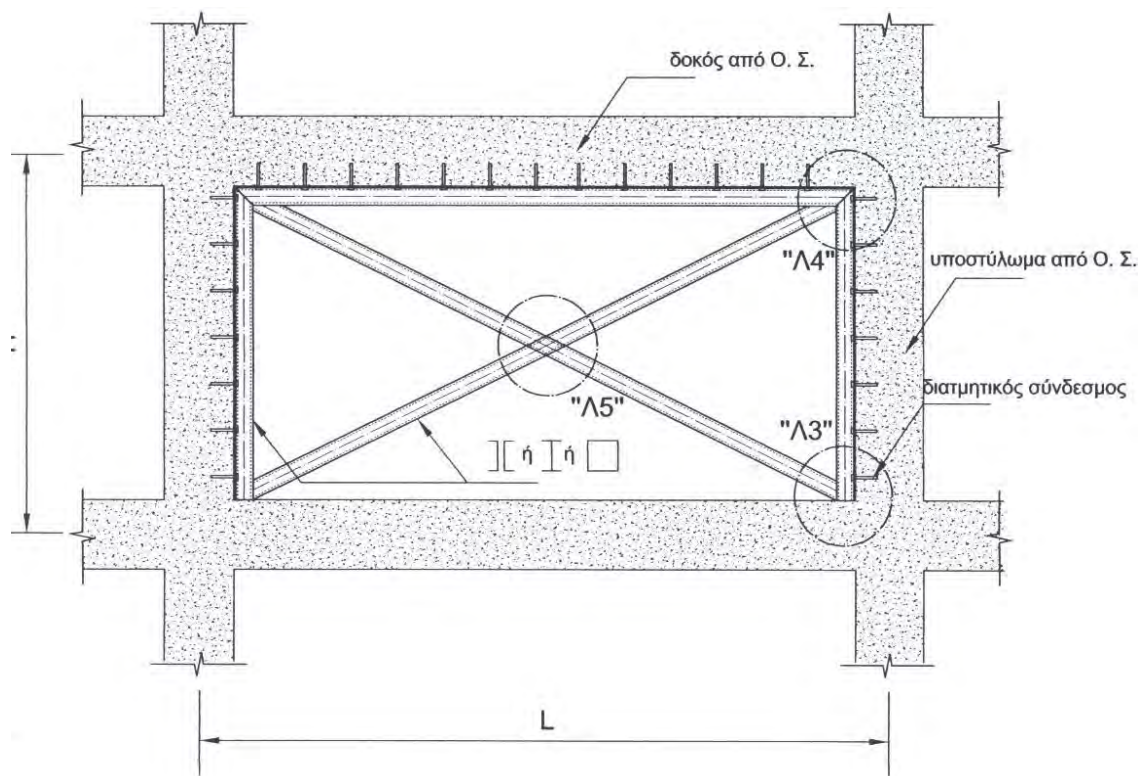
Σε κάθε περίπτωση εξετάζονται σύνδεσμοι τύπου X , τύπου Λ καθώς και έκκεντροι σύνδεσμοι.

Μονώροφη ενίσχυση			
H / L	H (m)	L (m)	Διάγραμμα
0,5	3,0	6,0	1
	4,0	8,0	2
	5,0	10,0	3
0,75	3,0	4,5	4
	4,0	6,0	5
	5,0	7,5	6
1,0	4,0	4,0	7
	5,0	5,0	8
	6,0	6,0	9

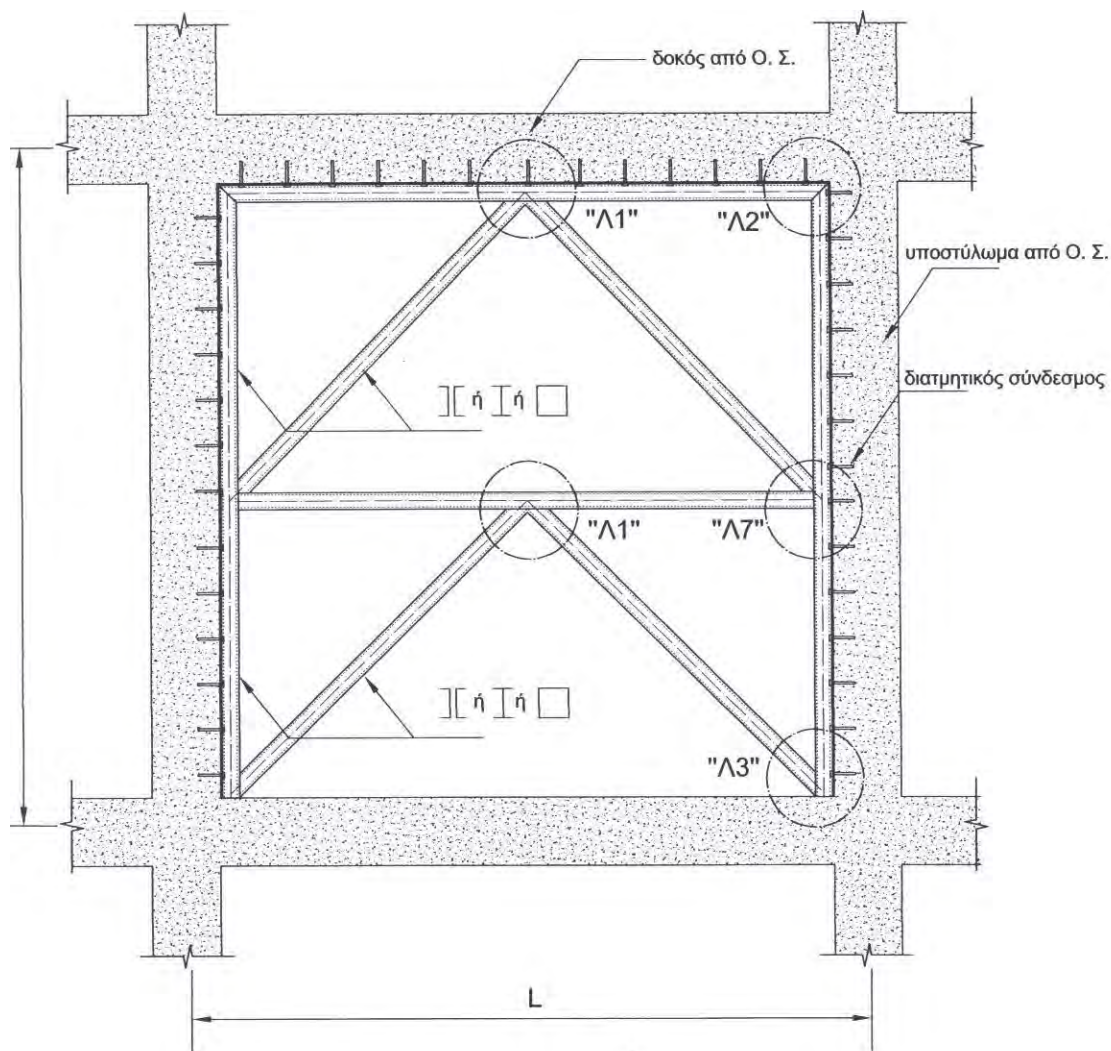
Διώροφη ενίσχυση			
H / L	H (m)	L (m)	Διάγραμμα
1,0	6,0	6,0	10
	7,5	7,5	11
	9,0	9,0	12
1,5	6,0	4,0	13
	7,5	5,0	14
	9,0	6,0	15
2,0	6,0	3,0	16
	8,0	4,0	17
	10,0	5,0	18



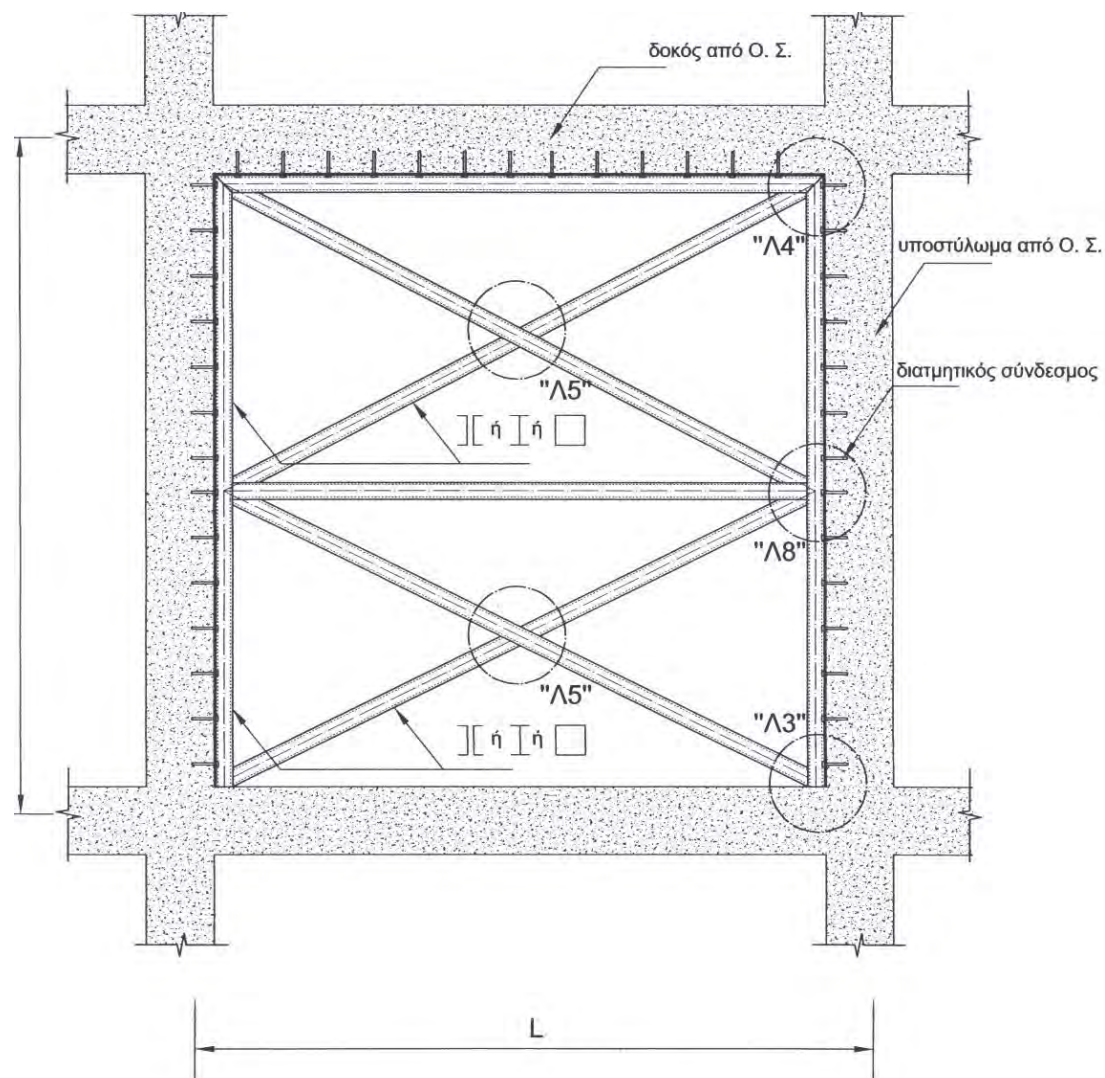
Σχήμα 4-10: Μονώροφος σύνδεσμος δυσκαμψίας τύπου Λ.



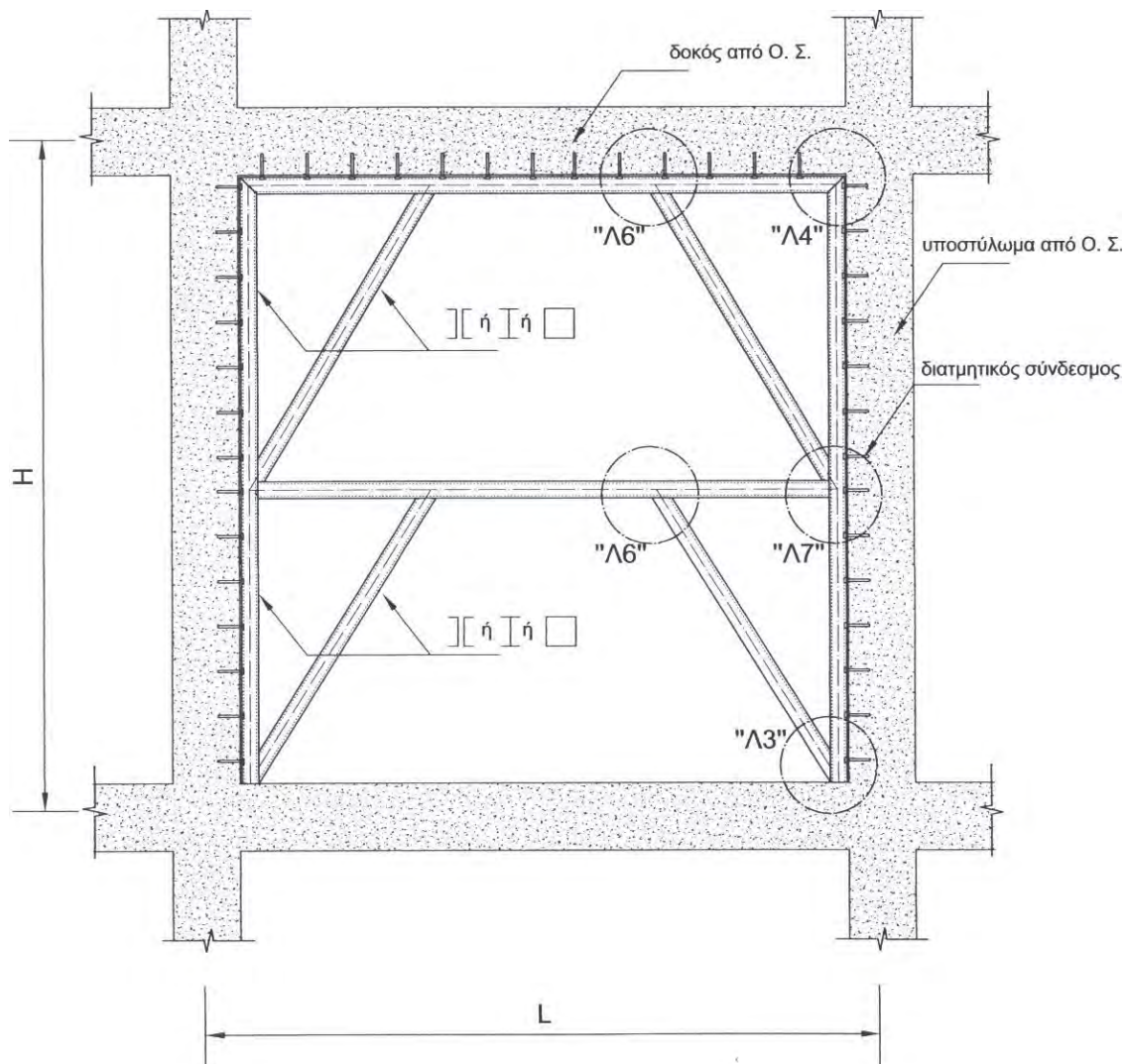
Σχήμα 4-11: Μονώροφος σύνδεσμος δυσκαμψίας τύπου Χ.



Σχήμα 4-13: Διώροφος σύνδεσμος δυσκαμψίας τύπου Λ.

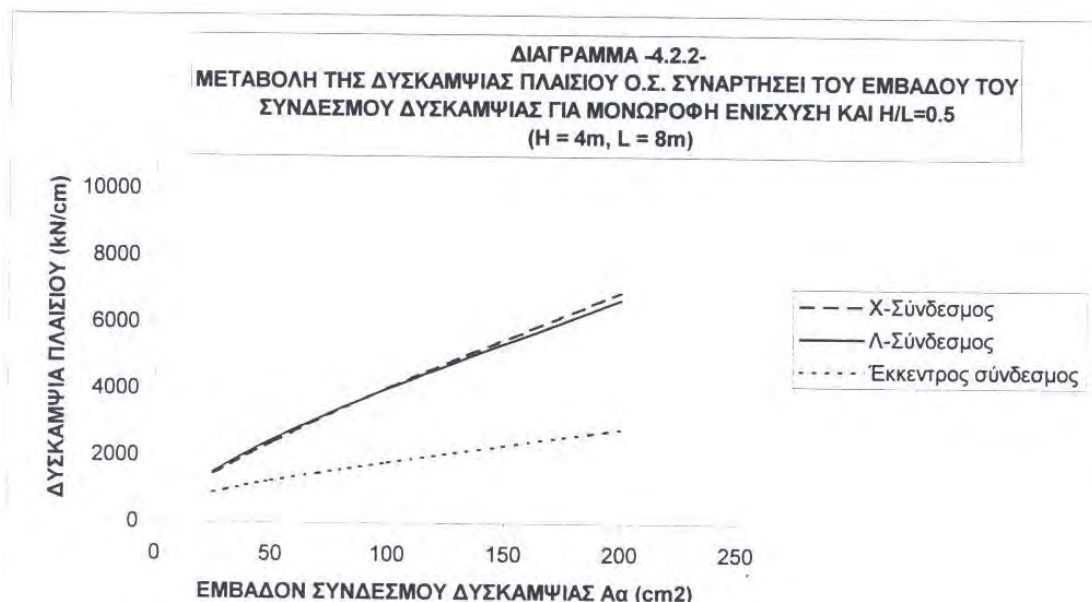
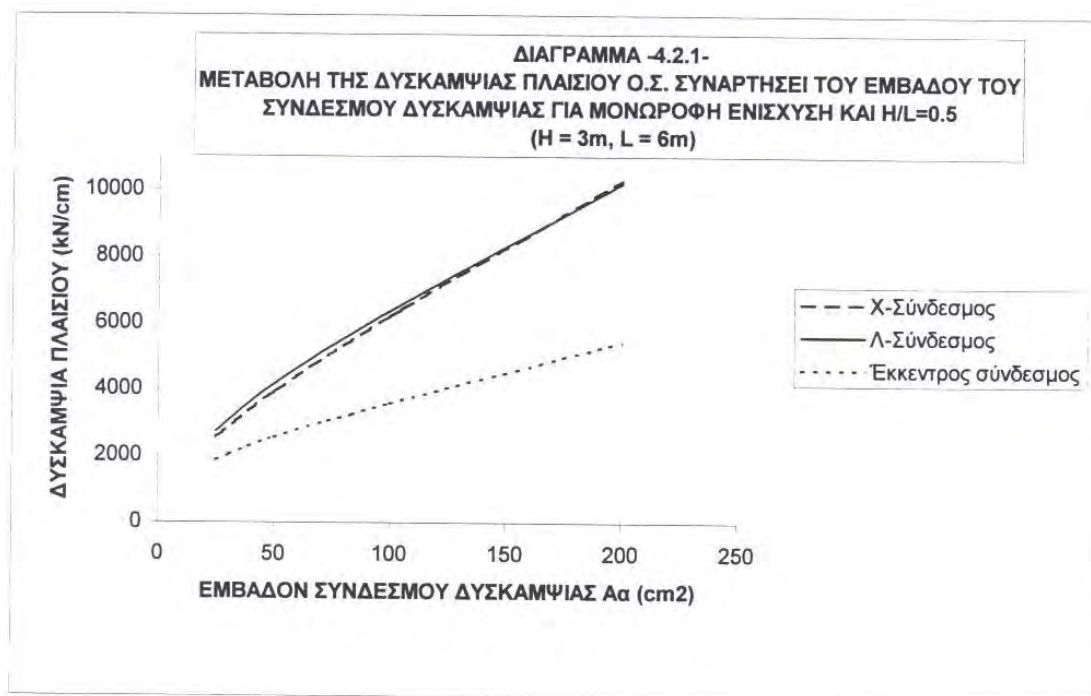


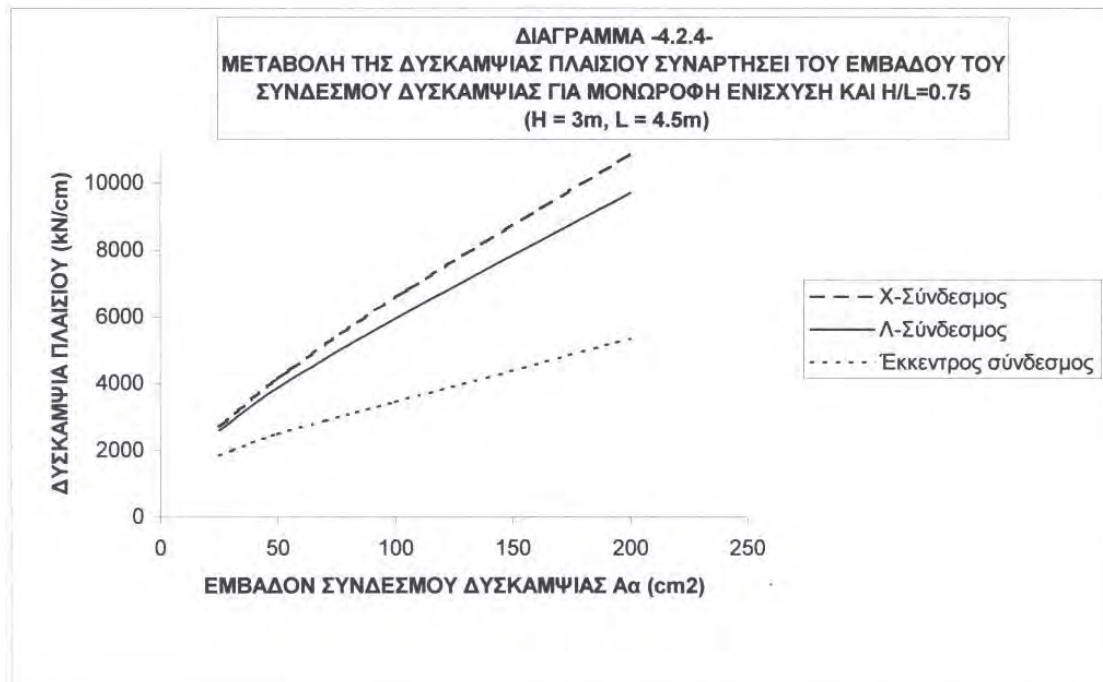
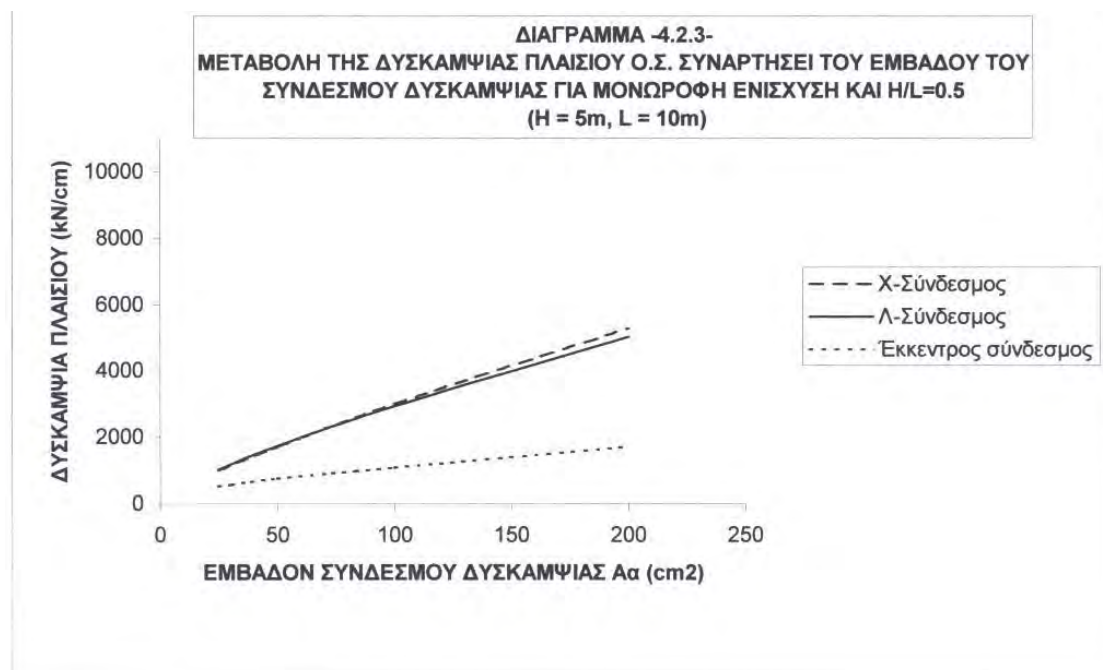
Σχήμα 4-14: Διώροφος σύνδεσμος δυσκαμψίας τύπου Χ.



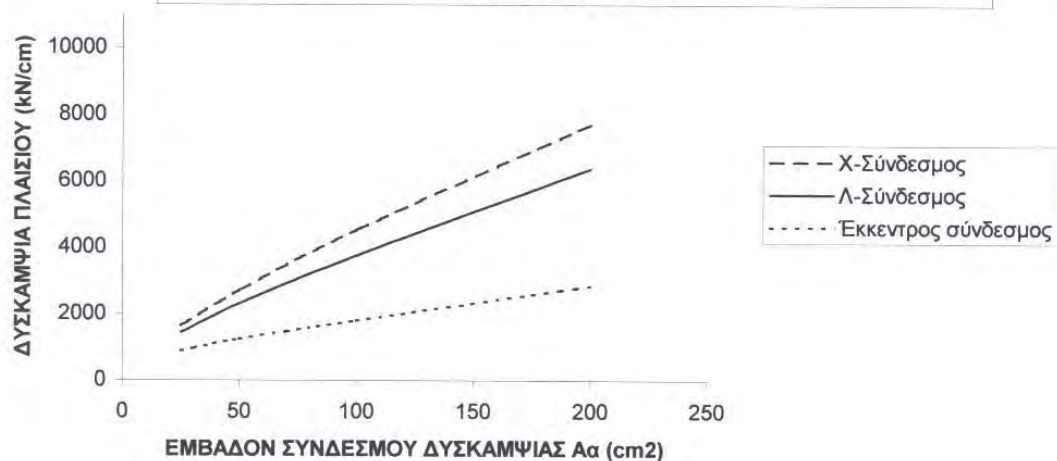
Σχήμα 4-15: Διώροφος έκκεντρος σύνδεσμος δυσκαμψίας.

4.2.2.2 Διαγράμματα

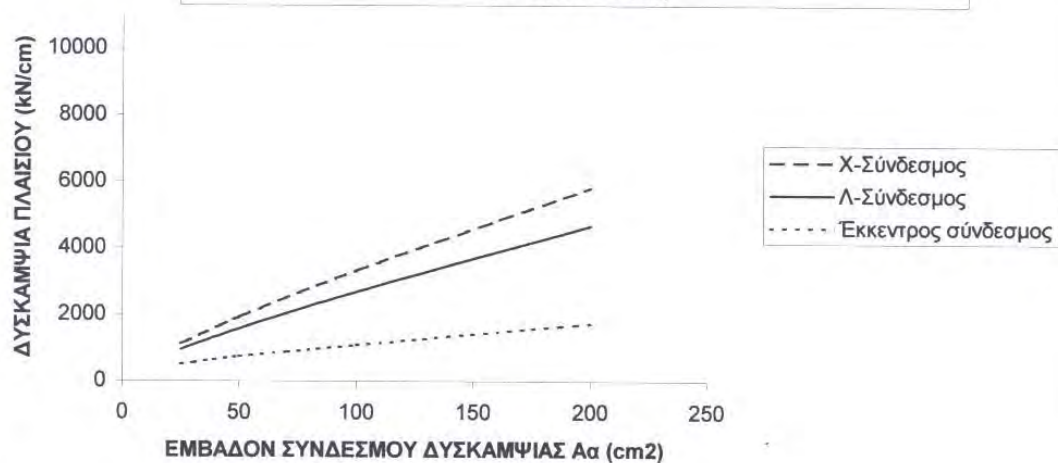




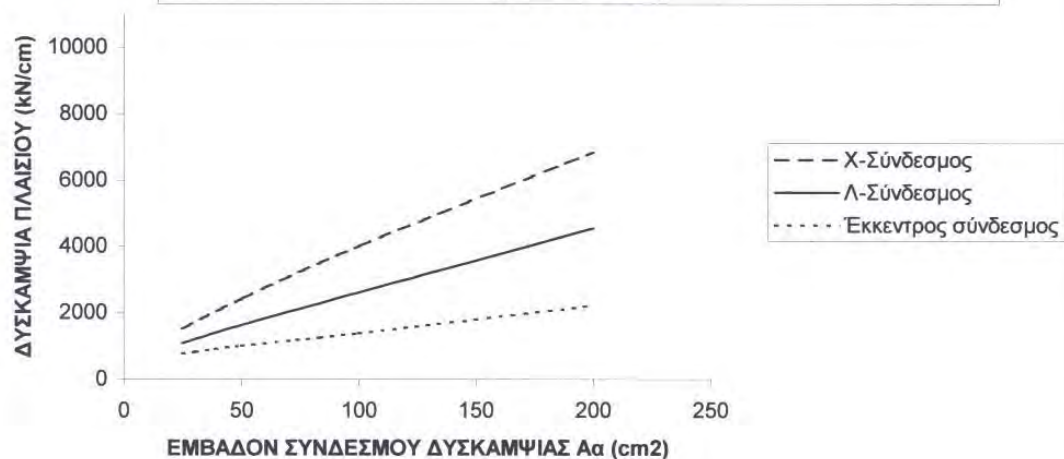
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ -4.2.5-
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΔΥΣΚΑΜΨΙΑΣ ΠΛΑΙΣΙΟΥ Ο.Σ. ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΤΟΥ ΕΜΒΑΔΟΥ ΤΟΥ
ΣΥΝΔΕΣΜΟΥ ΔΥΣΚΑΜΨΙΑΣ ΓΙΑ ΜΟΝΩΡΟΦΗ ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΚΑΙ $H/L=0.75$
($H = 4m, L = 6.0m$)



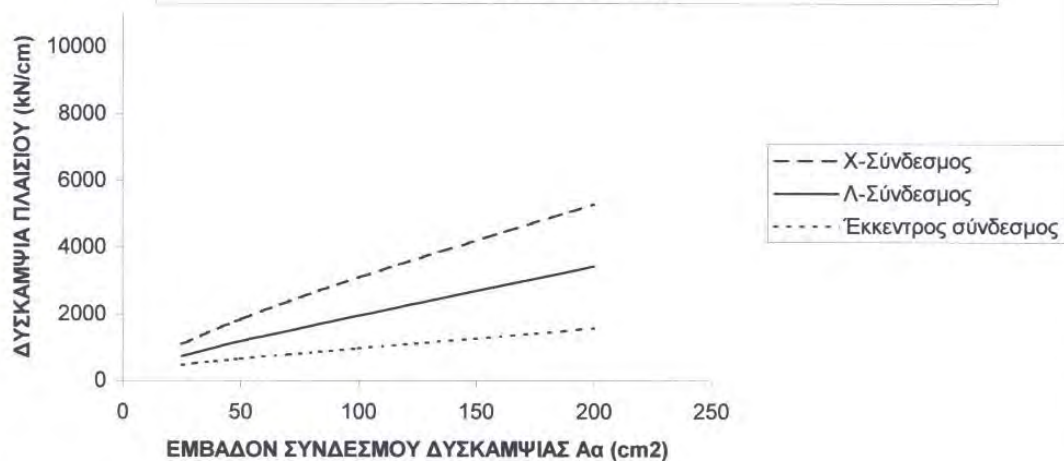
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ -4.2.6-
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΔΥΣΚΑΜΨΙΑΣ ΠΛΑΙΣΙΟΥ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΤΟΥ ΕΜΒΑΔΟΥ ΤΟΥ
ΣΥΝΔΕΣΜΟΥ ΔΥΣΚΑΜΨΙΑΣ ΓΙΑ ΜΟΝΩΡΟΦΗ ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΚΑΙ $H/L=0.75$
($H = 5m, L = 7.5m$)

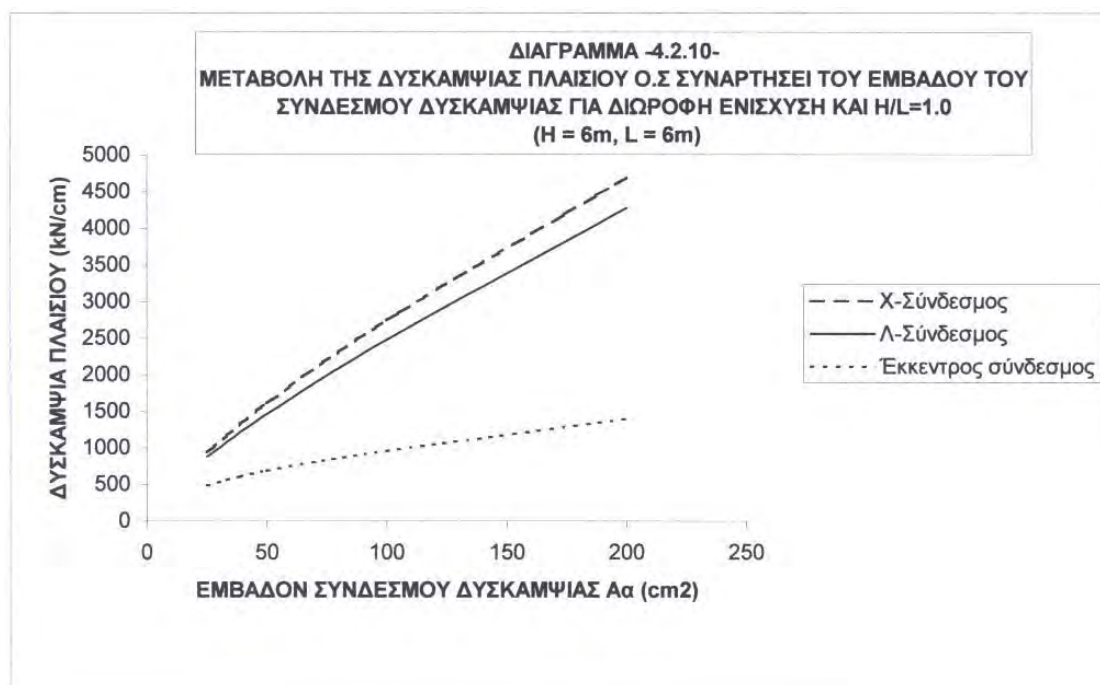
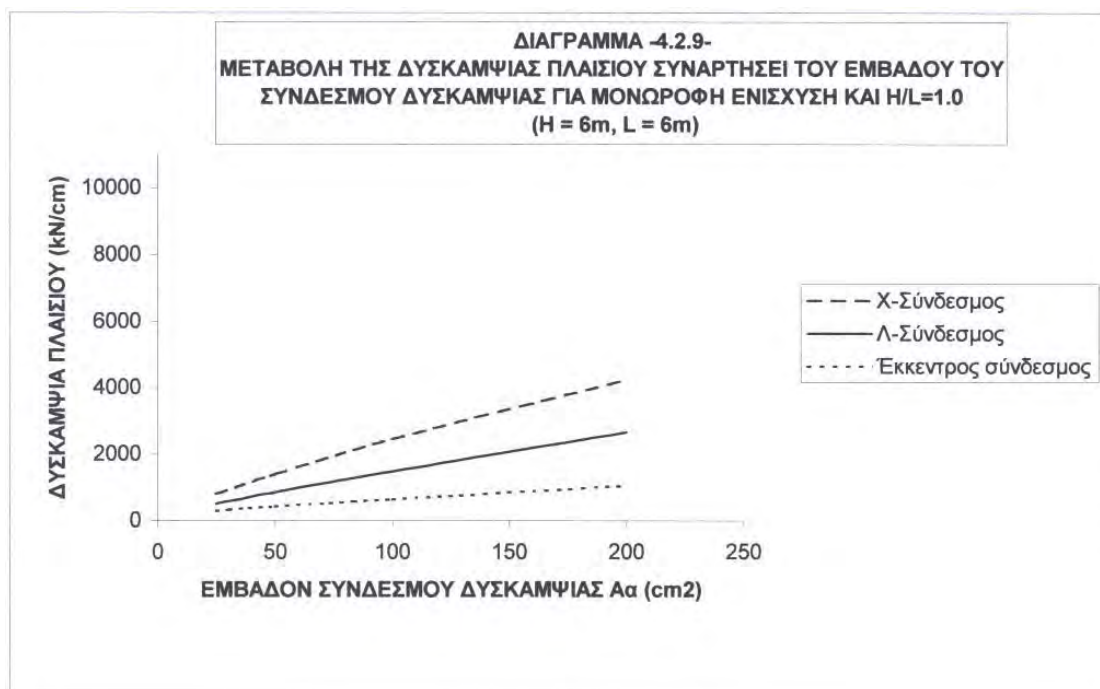


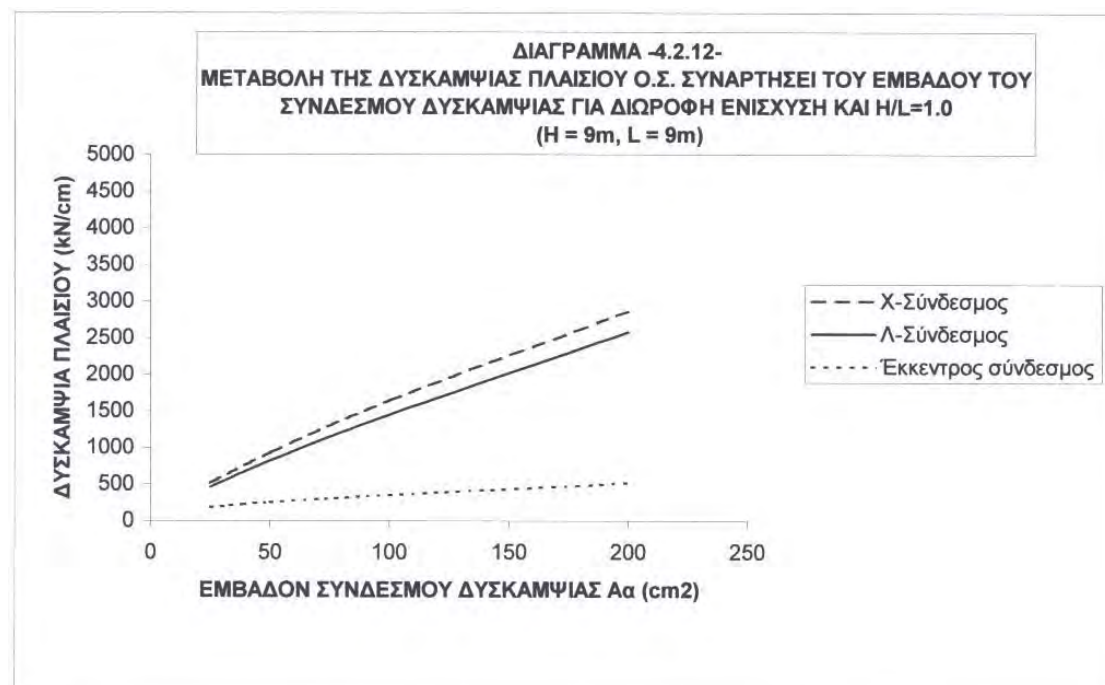
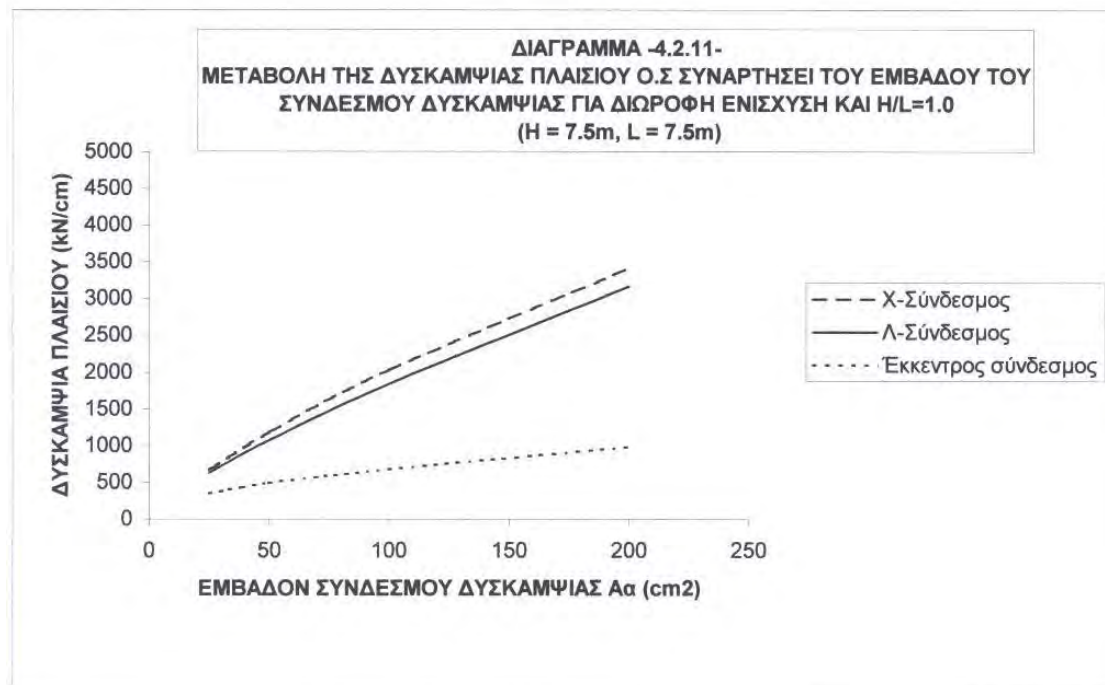
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ -4.2.7-
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΔΥΣΚΑΜΨΙΑΣ ΠΛΑΙΣΙΟΥ Ο.Σ. ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΤΟΥ ΕΜΒΑΔΟΥ ΤΟΥ
ΣΥΝΔΕΣΜΟΥ ΔΥΣΚΑΜΨΙΑΣ ΓΙΑ ΜΟΝΩΡΟΦΗ ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΚΑΙ $H/L=1.0$
($H = 4m, L = 4m$)

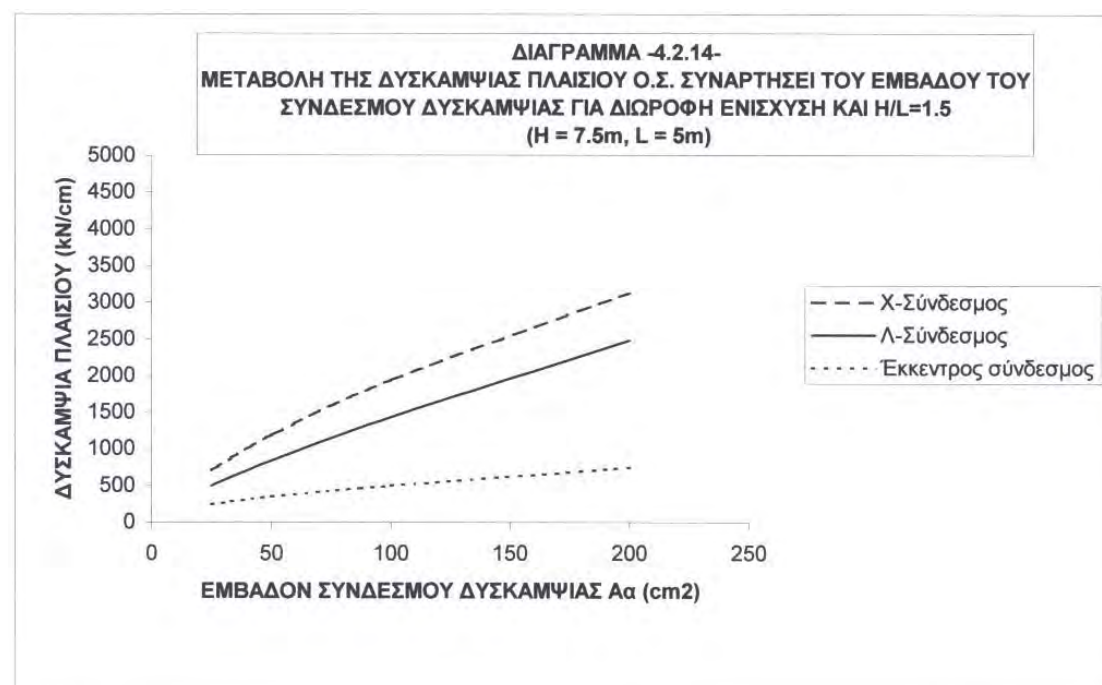
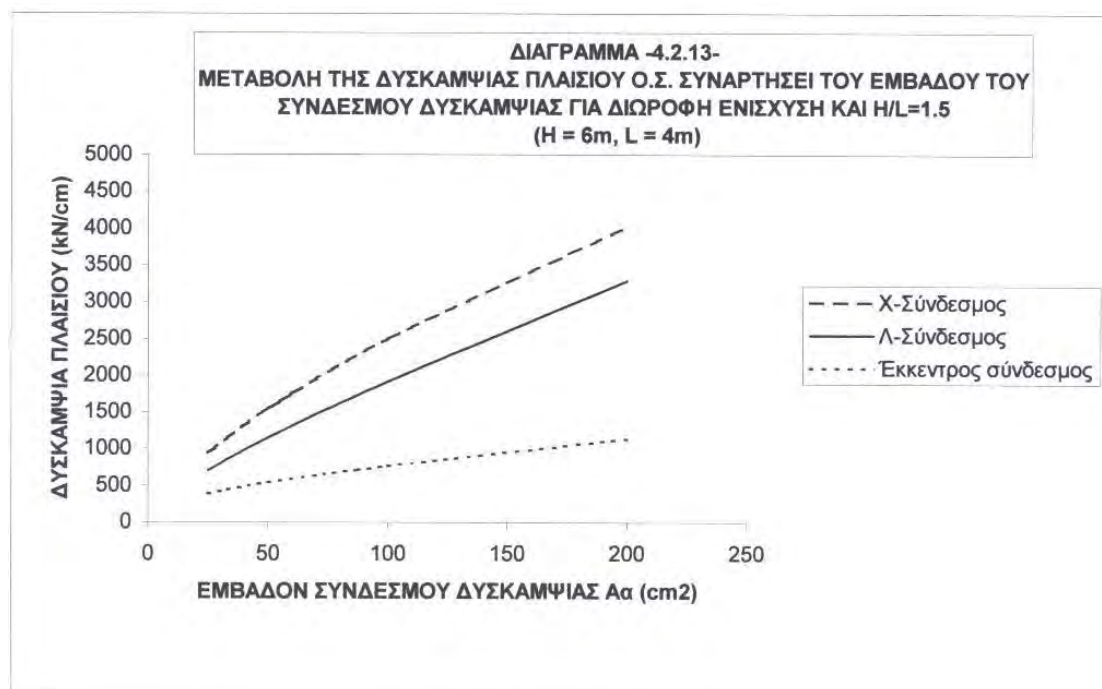


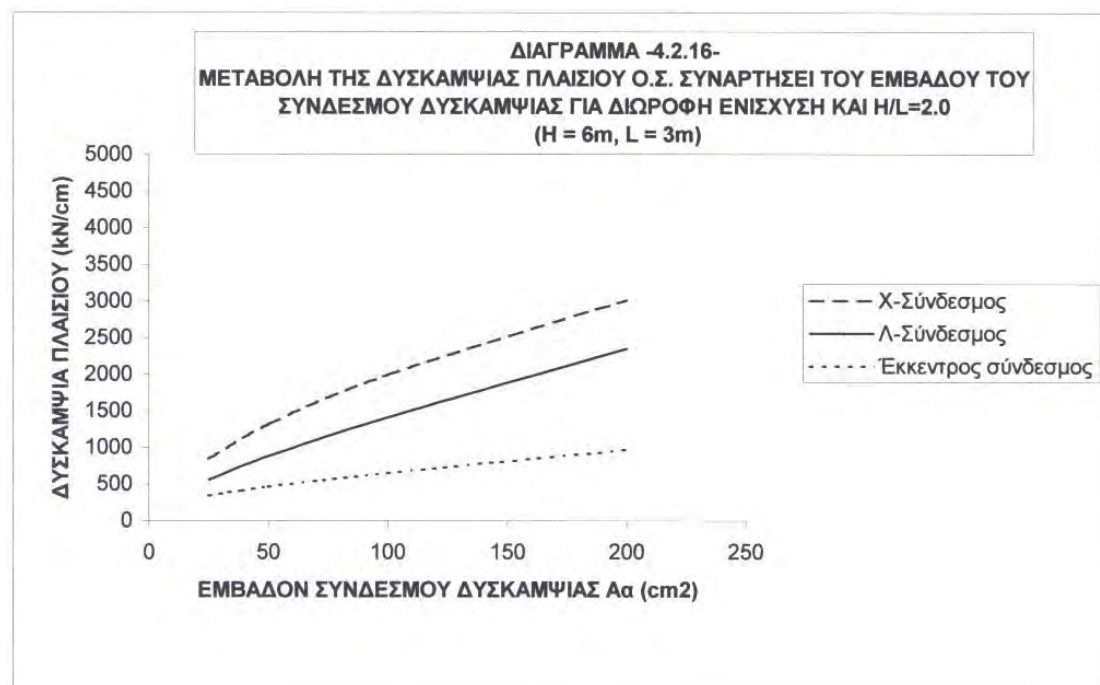
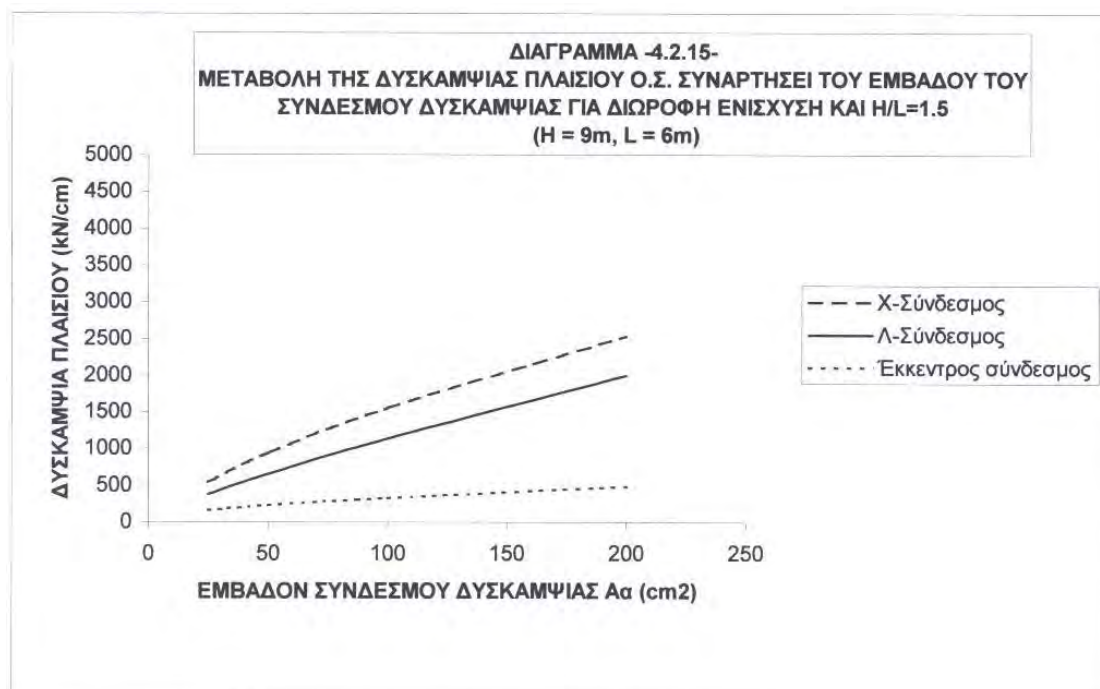
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ -4.2.8-
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΔΥΣΚΑΜΨΙΑΣ ΠΛΑΙΣΙΟΥ Ο.Σ. ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΤΟΥ ΕΜΒΑΔΟΥ ΤΟΥ
ΣΥΝΔΕΣΜΟΥ ΔΥΣΚΑΜΨΙΑΣ ΓΙΑ ΜΟΝΩΡΟΦΗ ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΚΑΙ $H/L=1.0$
($H = 5m, L = 5m$)

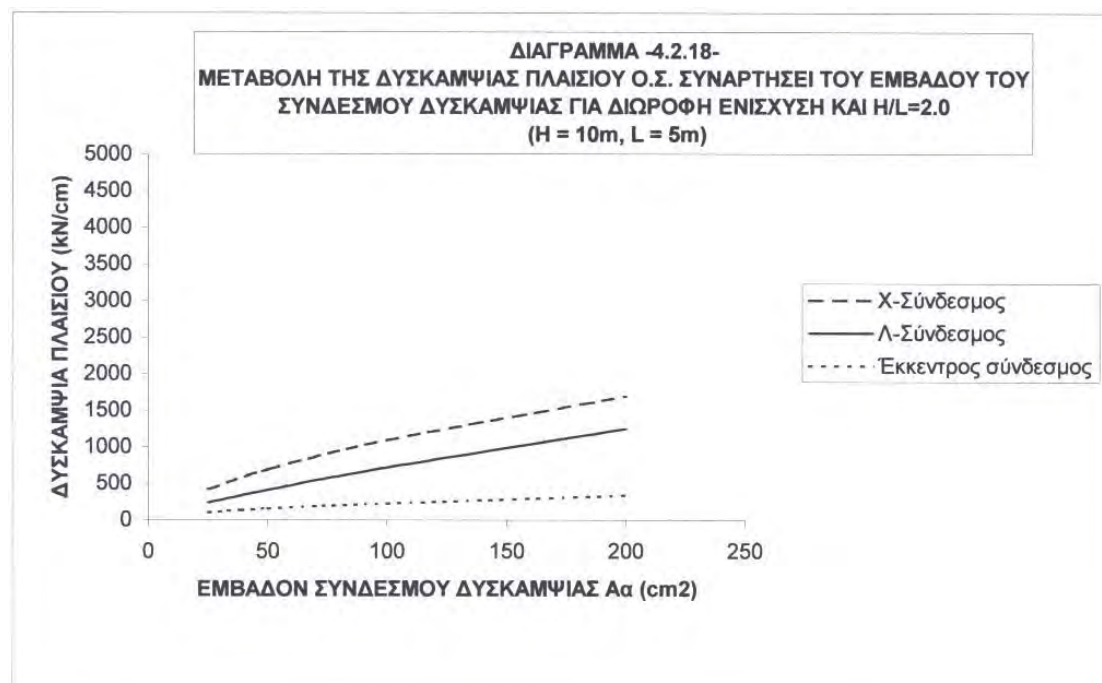
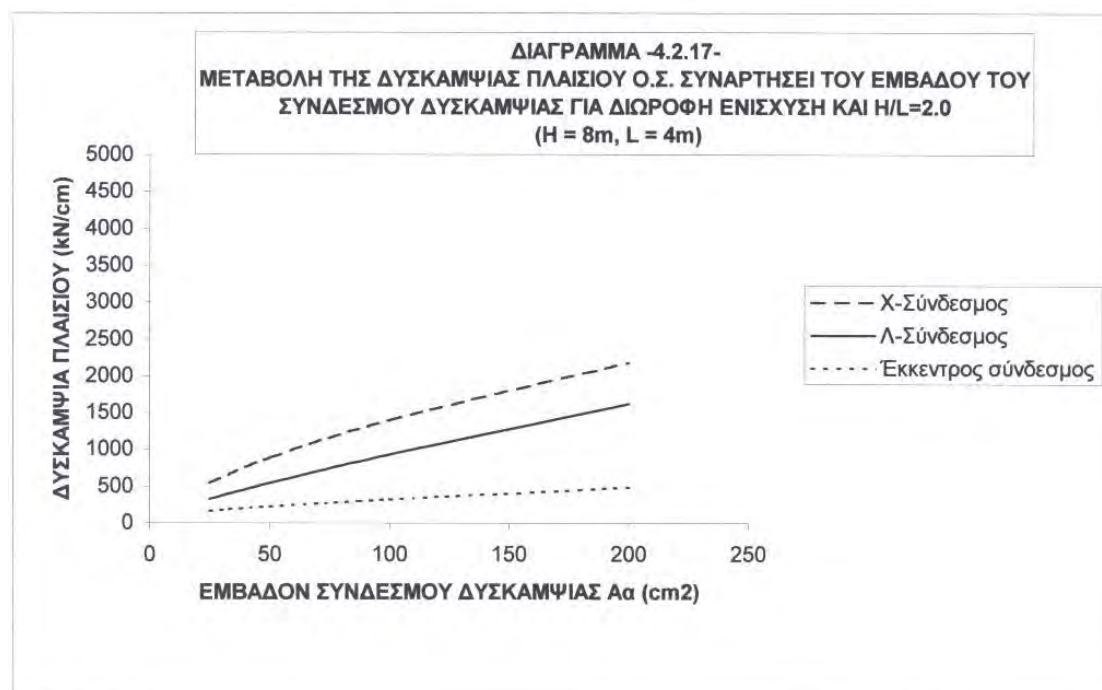












4.2.3 Κατασκευαστικές λεπτομέρειες

Για την ενίσχυση πλαισίων από οπλισμένο σκυρόδεμα μπορεί να χρησιμοποιηθούν μεταλλικά πλαίσια κυρίως με τρεις τύπους συνδέσμων δυσκαμψίας: Τους συνδέσμους δυσκαμψίας τύπου Λ και τύπου Χ καθώς και τον έκκεντρο σύνδεσμο. Εξετάστηκε η δυνατότητα χρησιμοποίησης διαφόρων τύπων προτύπων διατομών για το μεταλλικό πλαίσιο του συνδέσμου καθώς και για τις διαγώνιους. Στον Πίνακα της παραγράφου 4.2.3.1 φαίνονται όλοι οι πιθανοί συνδυασμοί (παραλλαγές) για κάθε τύπο διατομών.

Στα Σχήματα 4.10 έως 4.15 περιγράφονται οι τρεις διαφορετικοί τύποι συνδέσμων δυσκαμψίας. Στα Σχήματα 4.16 έως 4.56 φαίνονται οι λεπτομέρειες των κόμβων Λ1 έως Λ8 για τα παραπάνω πλαίσια με όλες τις δυνατές παραλλαγές τους. Συγκεκριμένα:

- Λεπτομέρεια Λ1

Στα Σχήματα 4.16 έως και 4.18 το μεταλλικό πλαίσιο κατασκευάζεται από διατομή κοίλης δοκού. Στην περίπτωση που και η διαγώνιος έχει επίσης διατομή από κοιλοδοκό, συγκολλάται το κομβοέλασμα στο μεταλλικό πλαίσιο από το εργοστάσιο και στη συνέχεια κατά την τοποθέτηση συγκολλάται στο εργοτάξιο η διαγώνιος με περιμετρική εξωραφή, στο κομβοέλασμα. Η κοιλοδοκός του μεταλλικού πλαισίου είναι συγκολλημένη με ένα έλασμα μέσω του οποίου θα γίνει η σύνδεση με το σκυρόδεμα. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση εκτονούμενων βλήτρων ή βλήτρων με ρητίνη. Τα βλήτρα αυτά τοποθετούνται στην κεφαλή και στον πόδα των υποστυλωμάτων καθώς και κατά μήκος των δοκών ανά αποστάσεις έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η πλήρης συνεργασία του μεταλλικού πλαισίου με το πλαίσιο από σκυρόδεμα. Το μήκος τους είναι συνήθως της τάξης των 10-15cm. Το έλασμα σύνδεσης συγκολλάται στο εργοστάσιο με το μεταλλικό πλαίσιο. Οι οπές μέσω των οποίων διέρχονται τα βλήτρα διαμορφώνονται επίσης εργοστασιακά. Το πάχος του ελάσματος σύνδεσης είναι συνήθως της τάξης των 10mm. Στην περίπτωση κατά την οποία η διαγώνιος αποτελείται από διπλά U, το κομβοέλασμα συγκολλάται στη μία πλευρά της κοιλοδοκού με αμφίπλευρη εξωραφή. Για τη σύνδεση του κομβοελάσματος με τη διατομή της διαγωνίου συνίσταται η συγκόλληση με περιμετρική εξωραφή αλλά είναι δυνατή και η χρήση κοχλιωτής σύνδεσης. Στα Σχήματα 4.19 έως 4.21 η διατομή των μεταλλικών πλαισίων είναι διπλό ταυ. Ο τρόπος σύνδεσης με το σκυρόδεμα γίνεται και στην περίπτωση αυτή μέσω συγκολλητού ελάσματος στο πέλμα και με την χρήση εκτονούμενων βλήτρων ή βλήτρων με ρητίνη. Είναι δυνατή επίσης και η απ'ευθείας σύνδεση της διατομής με το πλαίσιο του σκυροδέματος με χρήση βλήτρων μέσω οπών του πέλματος. Στην περίπτωση που η διαγώνιος αποτελείται από διατομή διπλού ταυ (I), είναι δυνατή η σύνδεσή της με το μεταλλικό πλαίσιο με χρήση κοχλίων, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.28. Η συγκόλληση της μετωπικής πλάκας γίνεται εργοταξιακά. Σε κάθε περίπτωση πρέπει να σημειωθεί ότι οι άξονες των διαγώνιων στοιχείων πρέπει να τέμνονται στον άξονα της διατομής του μεταλλικού πλαισίου, όπως υποδεικνύεται και στα σχήματα έτσι ώστε να μην δημιουργούνται ροπές λόγω εκκεντρότητας.

- Λεπτομέρεια Λ2

Στα Σχήματα 4.22 και 4.23 φαίνεται ο τρόπος σύνδεσης των μελών των μεταλλικών πλαισίων στη γωνία. Η σύνδεση αυτή πραγματοποιείται είτε με εσωραφές συγκόλλησης είτε κοχλιωτά, ανάλογα με τη χρησιμοποιούμενη διατομή.

- Λεπτομέρεια Λ3

Στην περίπτωση της κοιλοδοκού ως διατομή του μεταλλικού πλαισίου (Σχήμα 4.24), το κομβοέλασμα συγκολλάται στη δοκό καθώς και στην πλάκα έδρασης επί τόπου, ή εργοστασιακά. Η πλάκα έδρασης έχει συγκολληθεί στο εργοστάσιο με τη δοκό του μεταλλικού πλαισίου. Στην συνέχεια για την σύνδεση της πλάκας με το σκυρόδεμα τοποθετούνται τα εκτονούμενα βλήτρα ή βλήτρα με ρητίνη. Ενδιάμεσα παρεμβάλλεται μία εξομαλυντική στρώση από μη συρρικνούμενο κονίαμα. Όταν η διαγώνιος αποτελείται από διατομή μορφής διπλού ταυ (I), η σύνδεση με τη δοκό του μεταλλικού πλαισίου γίνεται συγκολλητά, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.25. Επίσης για την περίπτωση που η διαγώνιος αποτελείται από διατομή μορφής διπλού U, η σύνδεση γίνεται μέσω κομβοελάσματος συγκολλητά, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.26, ή και κοχλιωτά με οπές που έχουν διανοιχτεί στο κομβοέλασμα και στα U. Για την περίπτωση που η δοκός του μεταλλικού πλαισίου είναι διατομή μορφής I, οι τρόποι σύνδεσης με το διαγώνιο στοιχείο φαίνονται στα Σχήματα 4.27 έως 4.29. Για την κοχλιωτή σύνδεση σημειώνεται ότι η συγκόλληση της μετωπικής πλάκας με τη διατομή της διαγωνίου γίνεται στο εργοστάσιο.

- Λεπτομέρεια Λ4

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.30, το κομβοέλασμα συγκολλάται επί τόπου στο έργο και αφού έχουν τοποθετηθεί οι μεταλλικές δοκοί του πλαισίου. Στη συνέχεια συγκολλάται η διαγώνια κοιλοδοκός με το κομβοέλασμα. Στην περίπτωση του σχήματος 4.31, η διαγώνια δοκός μορφής I συγκολλάται απ'ευθείας στη δοκό του πλαισίου. Στο Σχήμα 4.32 το κομβοέλασμα συγκολλάται επί τόπου στην εξωτερική πλευρά της κοιλοδοκού με αμφίπλευρη εξωραφή και στη συνέχεια συγκολλώνται οι διατομές μορφής U των διαγωνίων στο κομβοέλασμα. Με τον ίδιο τρόπο πραγματοποιείται η συνδεσμολογία, όταν η δοκός του πλαισίου είναι μορφής I.

- Λεπτομέρεια Λ5

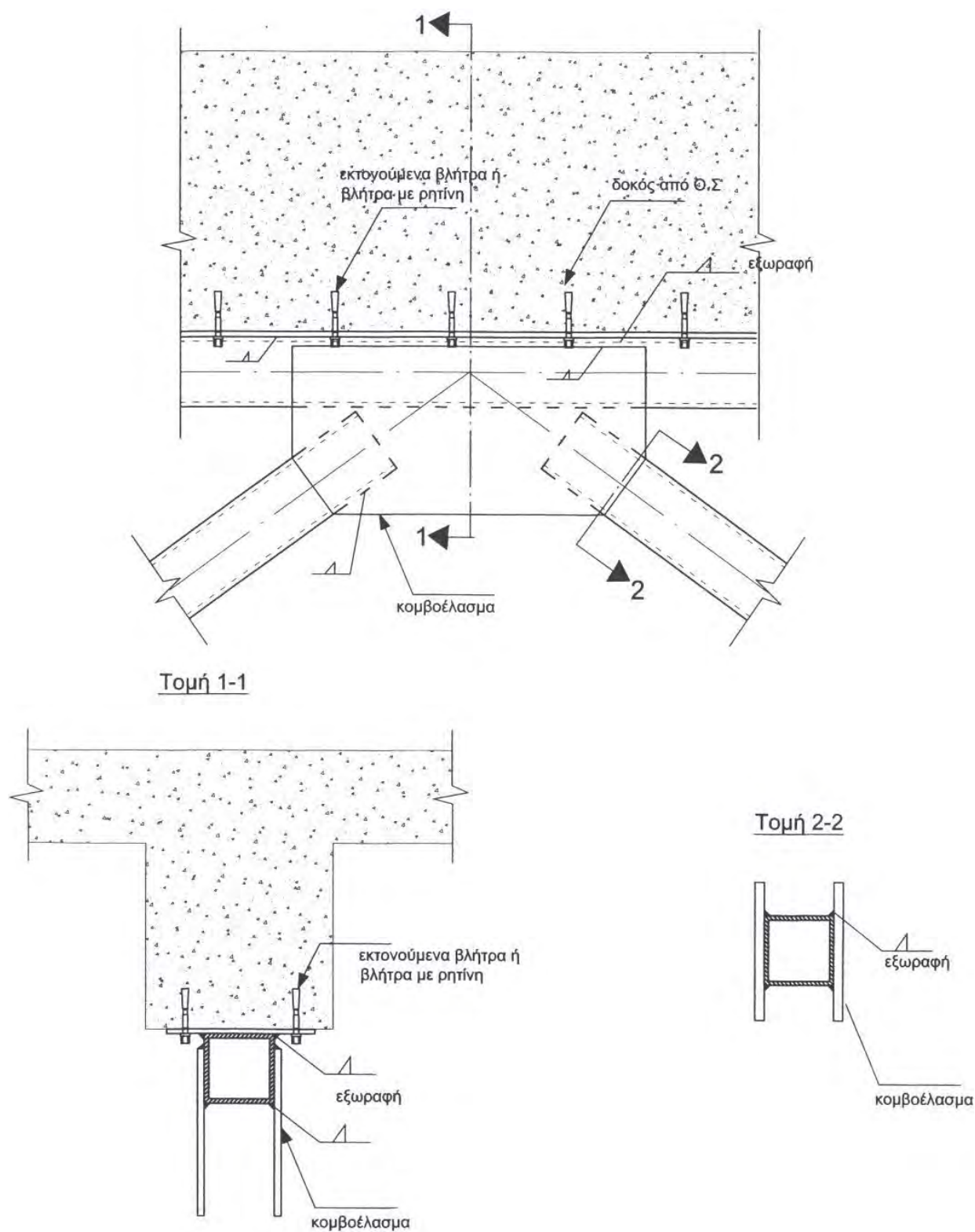
Στο Σχήμα 4.36 το κομβοέλασμα συγκολλάται στο εργοστάσιο με τη μία διατομή της διαγωνίου (μορφής διπλού U) και στη συνέχεια επί τόπου συγκολλώνται οι διατομές της άλλης διαγωνίου στο κομβοέλασμα. Παρόμοια και στην περίπτωση του Σχήματος 4.38.

- Λεπτομέρειες Λ6, Λ7, Λ8

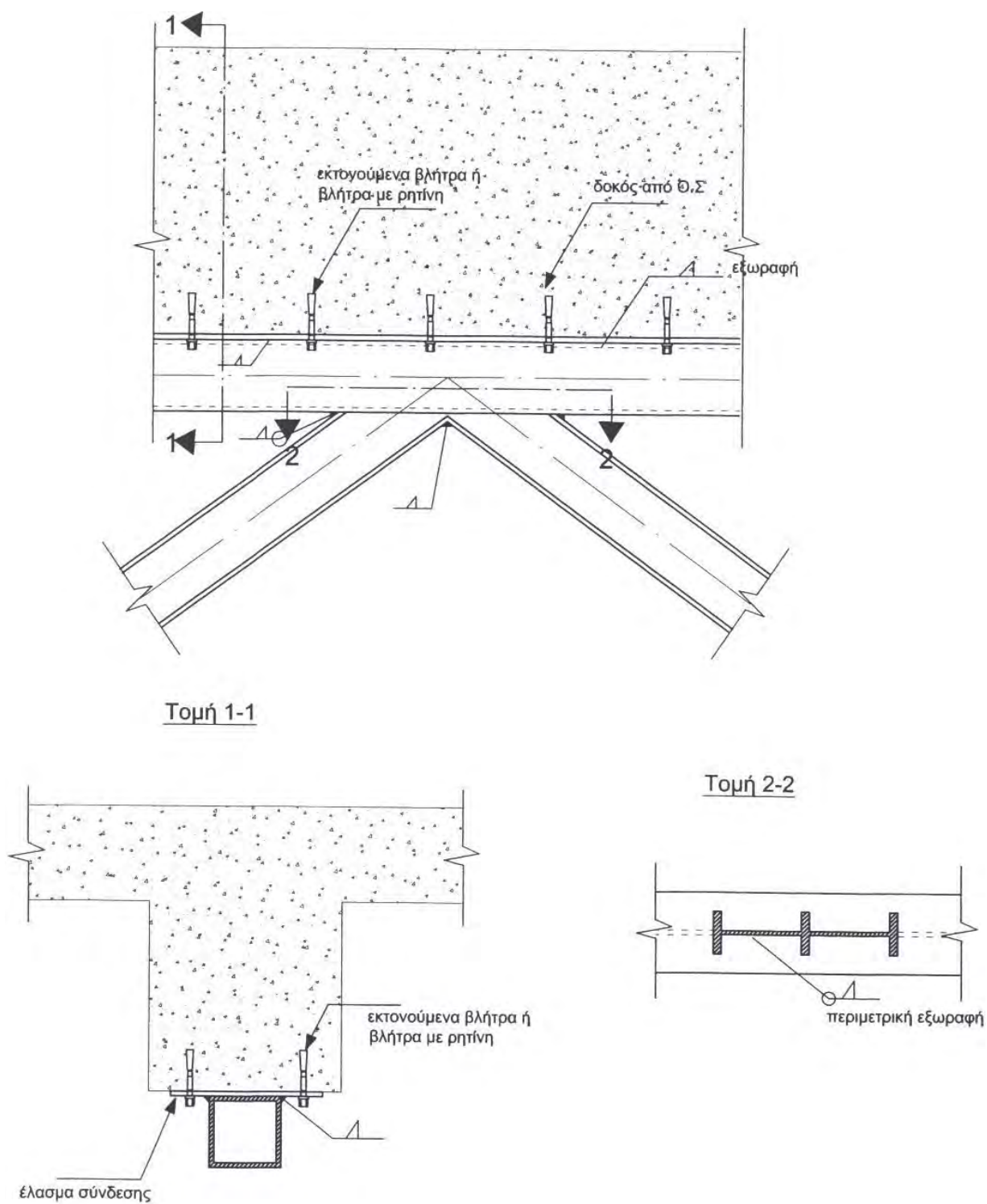
Στην περίπτωση της κοιλοδοκού ως διατομής για το μεταλλικό πλαίσιο, το κομβοέλασμα συγκολλάται σε αυτήν στο εργοστάσιο και στη συνέχεια τα διαγώνια στοιχεία συγκολλώνται στο κομβοέλασμα επί τόπου. Είναι δυνατή και η απ'ευθείας σύνδεση των διαγωνίων με το πλαίσιο είτε κοχλιωτά (όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.43) είτε συγκολλητά. Πάντως η χρήση των κομβοελασμάτων διευκολύνει γενικώς την κατασκευή. Παρομοίως και στη περίπτωση που η κύρια δοκός του πλαισίου είναι διατομής I.

4.2.3.1 Σχήματα λεπτομερειών

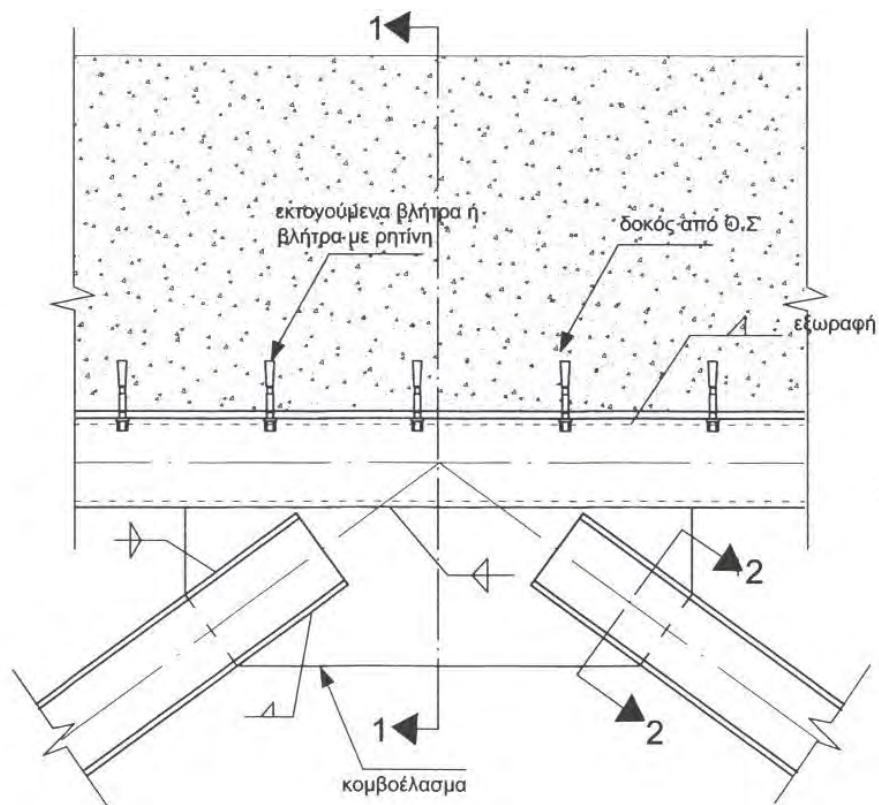
Διατομή μεταλλικών πλαισίων	Διατομή διαγωνίων	Παραλλαγές
Κοίλη δοκός	Κοίλη δοκός	Παραλλαγή 1
Κοίλη δοκός	Κοίλη δοκός	Παραλλαγή 2
Κοίλη δοκός	Διπλό U	Παραλλαγή 3
Διπλό ταυ	Κοίλη δοκός	Παραλλαγή 4
Διπλό ταυ	Διπλό ταυ	Παραλλαγή 5
Διπλό ταυ	Διπλό U	Παραλλαγή 6



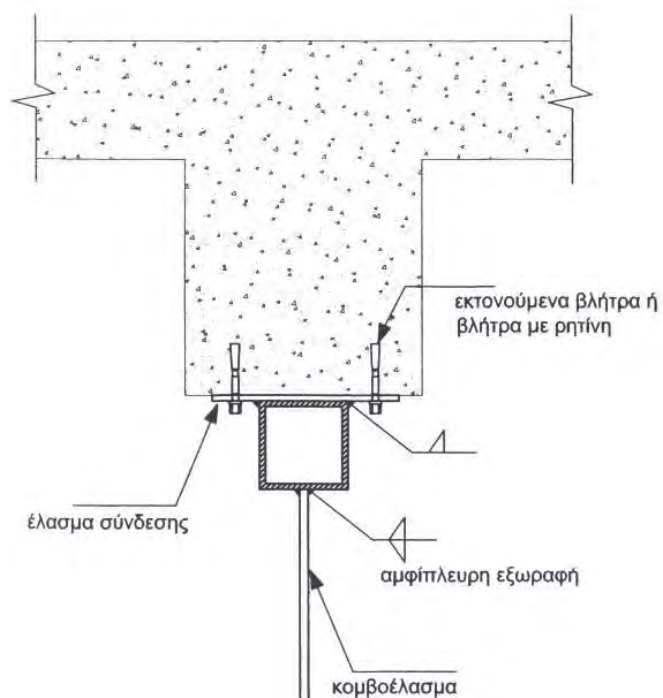
Σχήμα 4-16: Λεπτομέρεια Λ1 (Παραλλαγή 1)



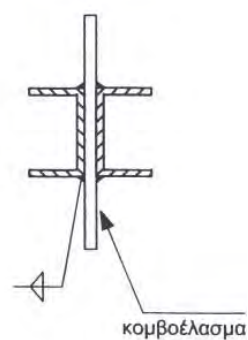
Σχήμα 4-17: Λεπτομέρεια Λ1 (Παραλλαγή 2)



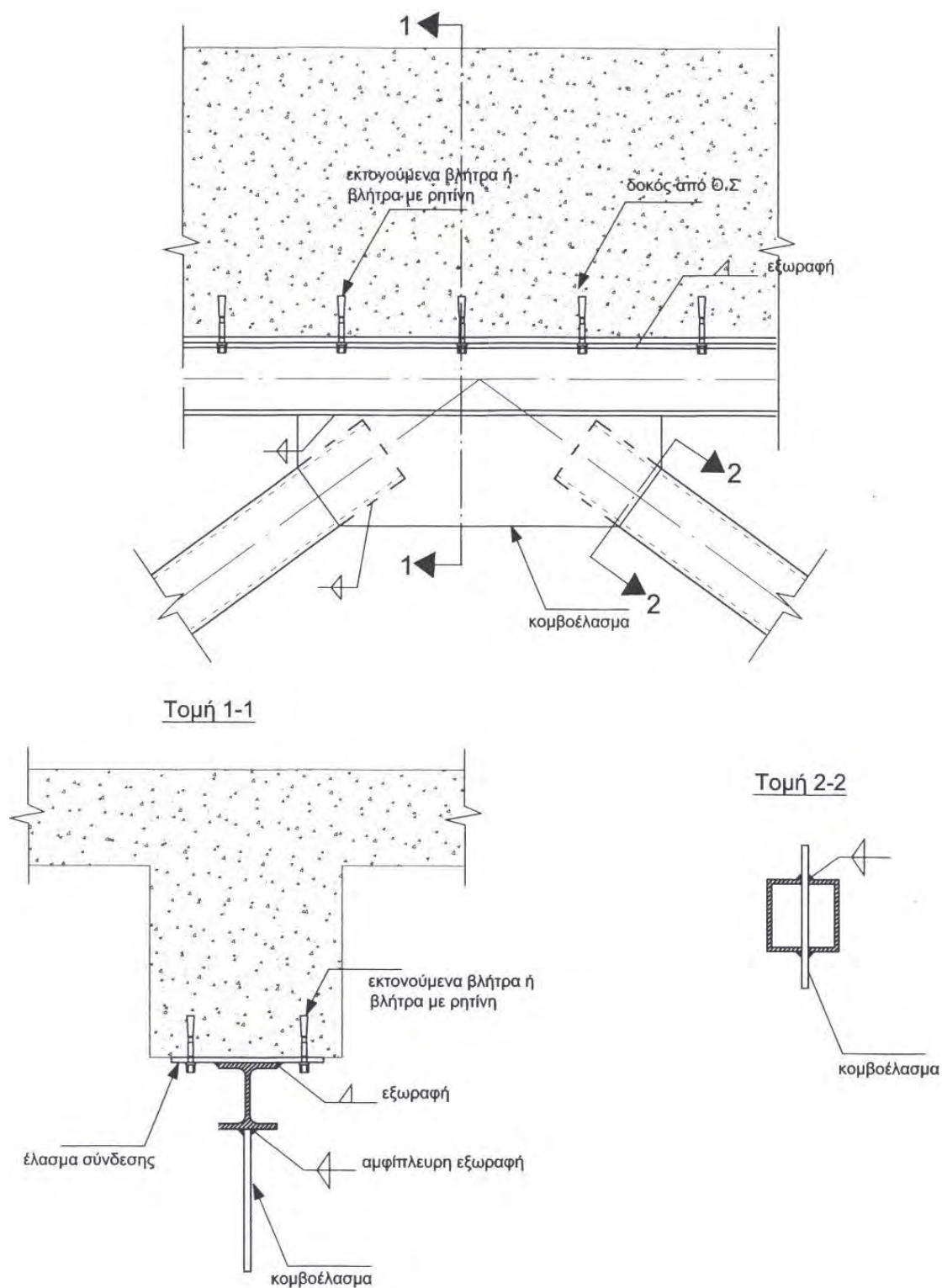
Τομή 1-1



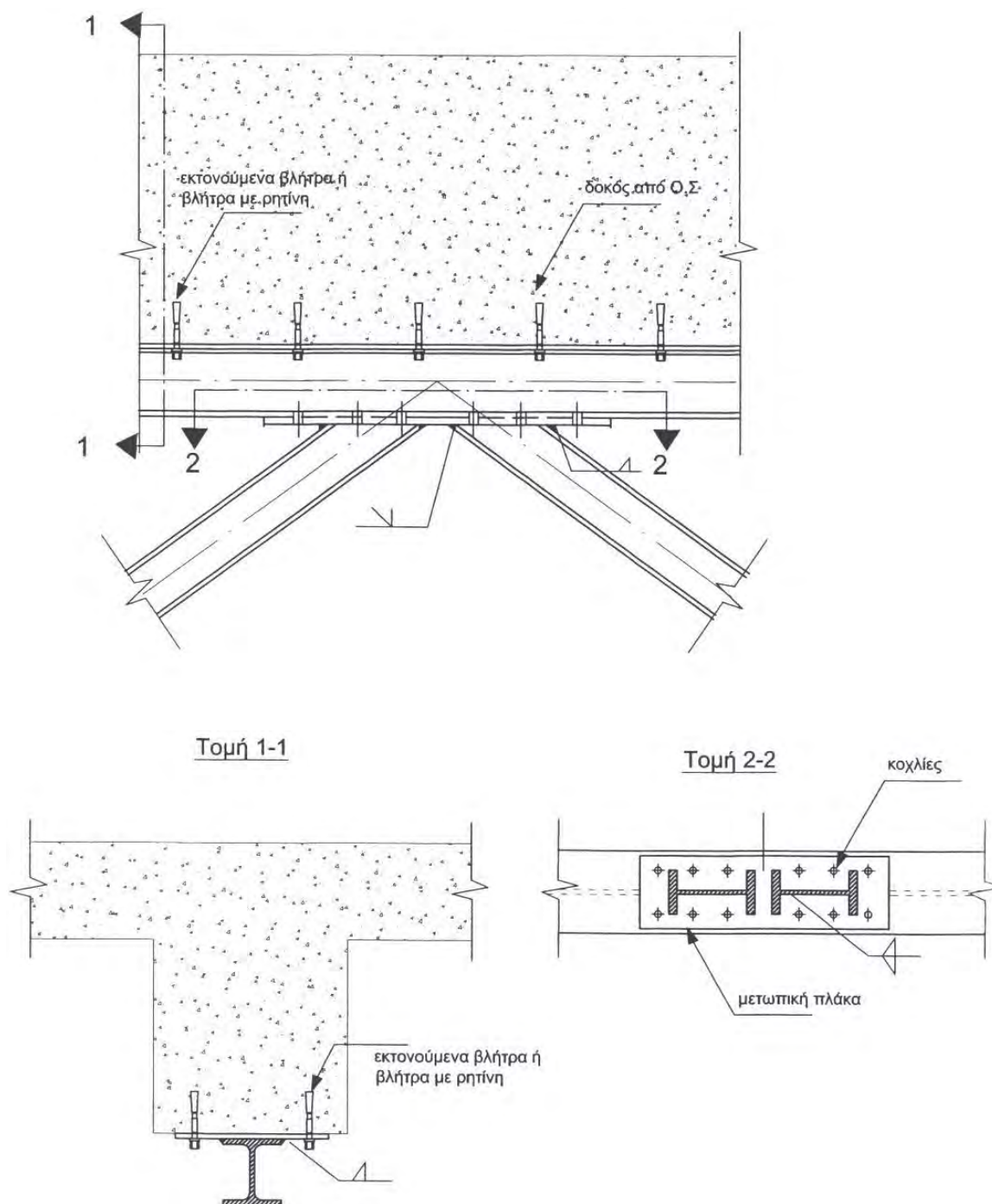
Τομή 2-2



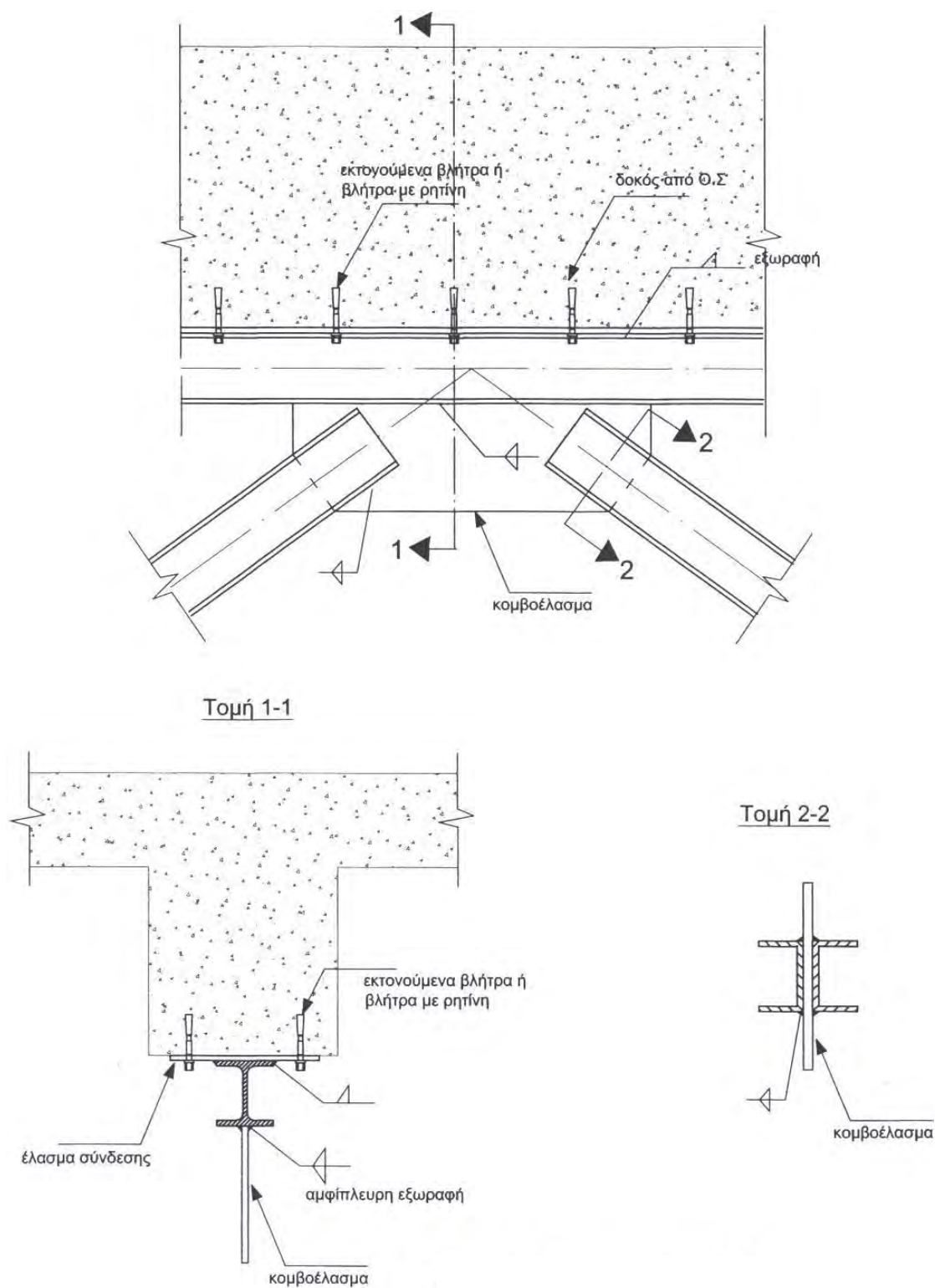
Σχήμα 4-18: Λεπτομέρεια Λ1 (Παραλλαγή 3)



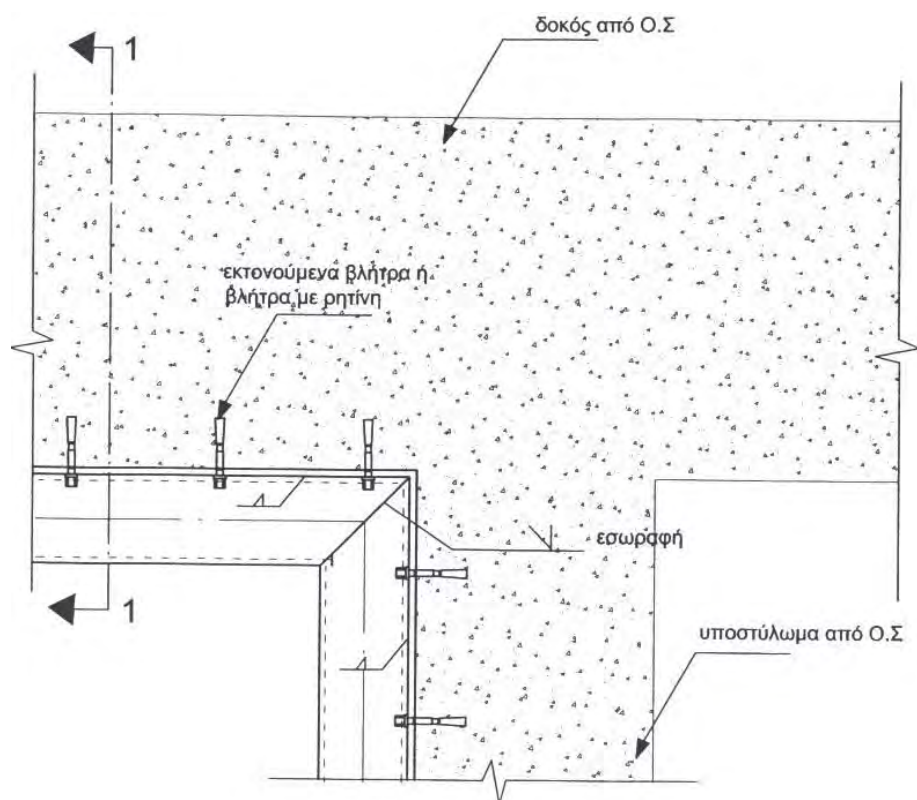
Σχήμα 4-19: Λεπτομέρεια Λ1 (Παραλλαγή 4)



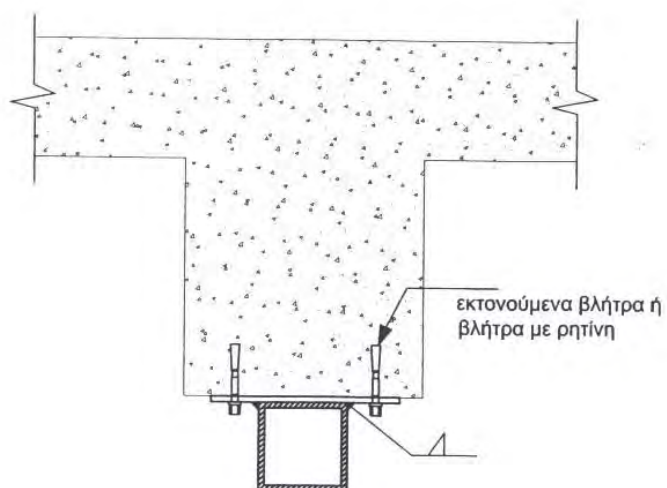
Σχήμα 4-20: Λεπτομέρεια Λ1 (Παραλλαγή 5)



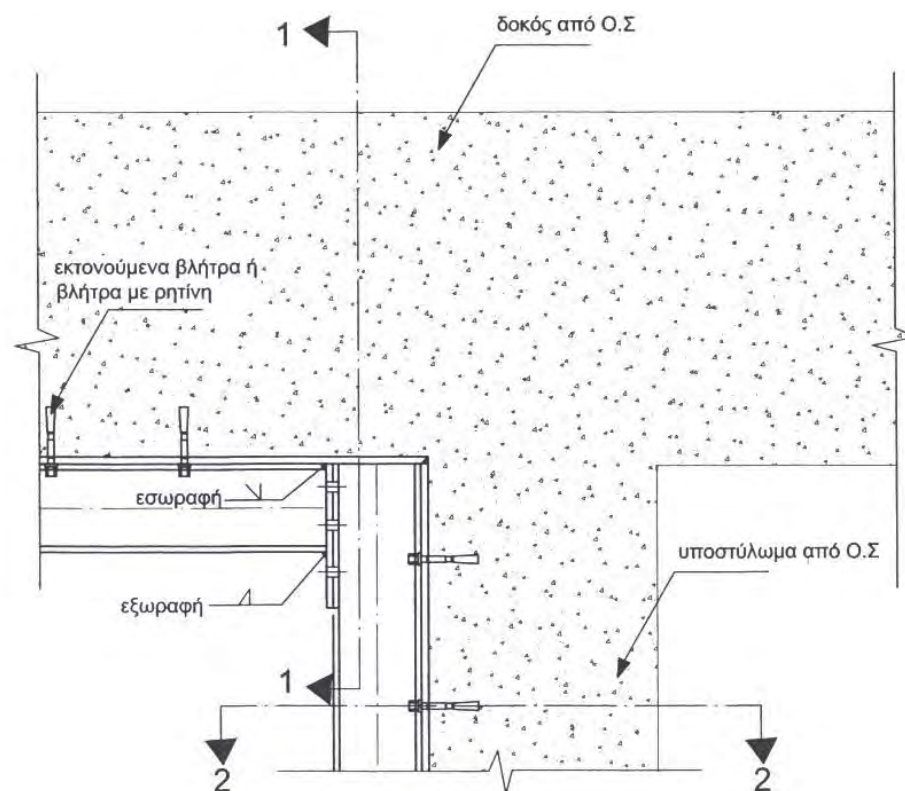
Σχήμα 4-21: Λεπτομέρεια Λ1 (Παραλλαγή 6)



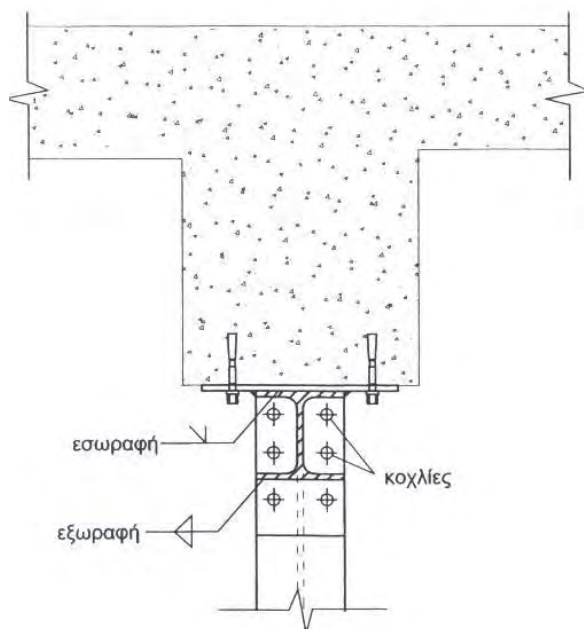
Τομή 1-1



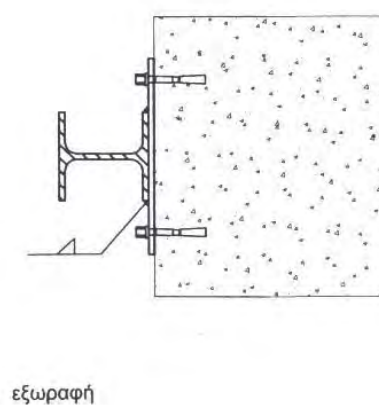
Σχήμα 4-22: Λεπτομέρεια Λ2 (Παραλλαγή 1)



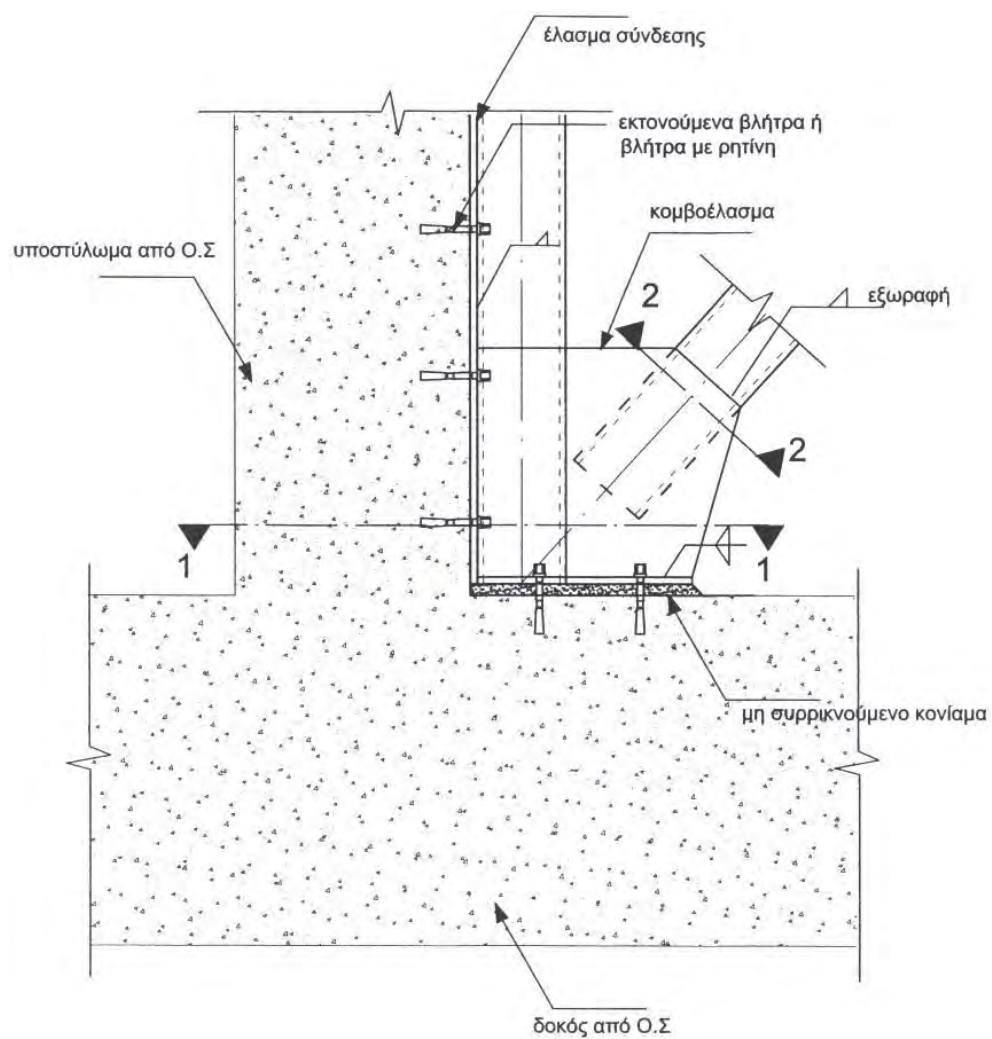
Τομή 1-1



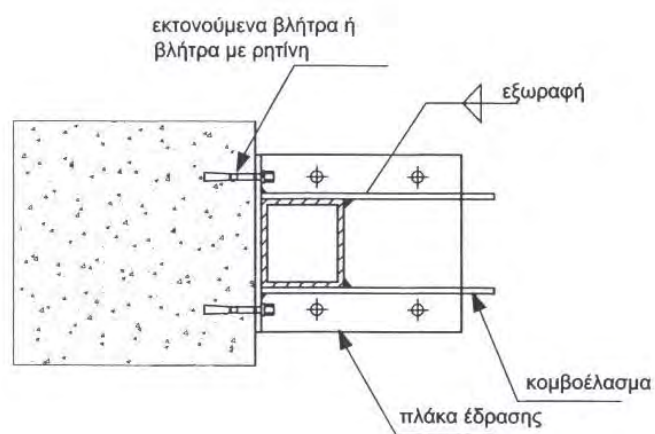
Τομή 2-2



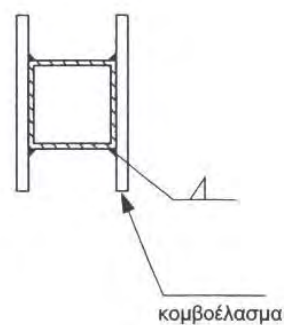
Σχήμα 4-23: Λεπτομέρεια Λ2 (Παραλλαγή 4)



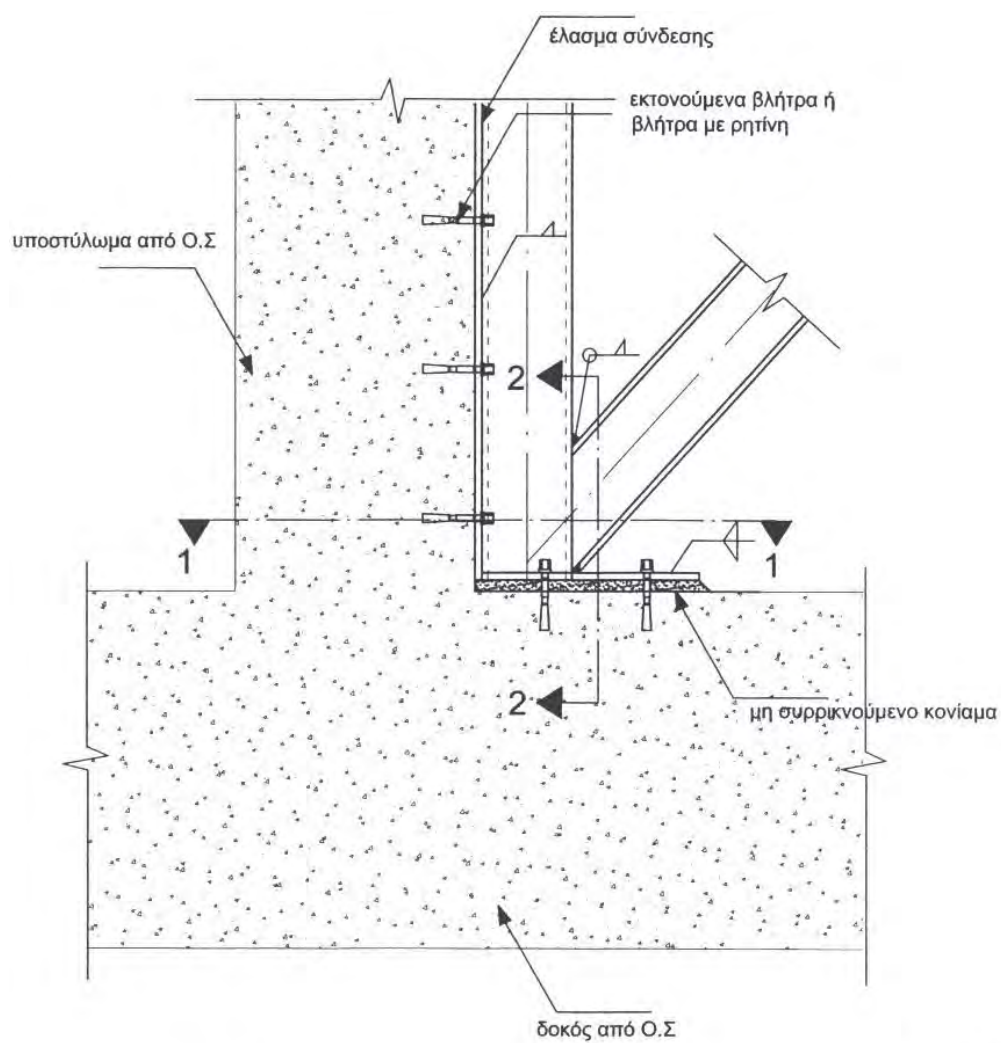
Τομή 1-1



Τομή 2-2

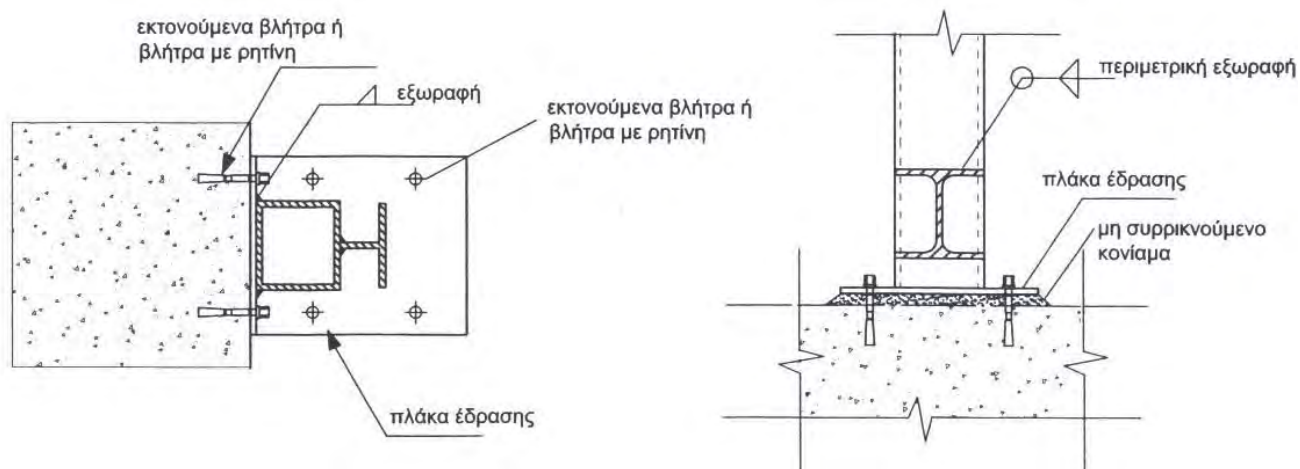


Σχήμα 4-24: Λεπτομέρεια Λ3 (Παραλλαγή 1)

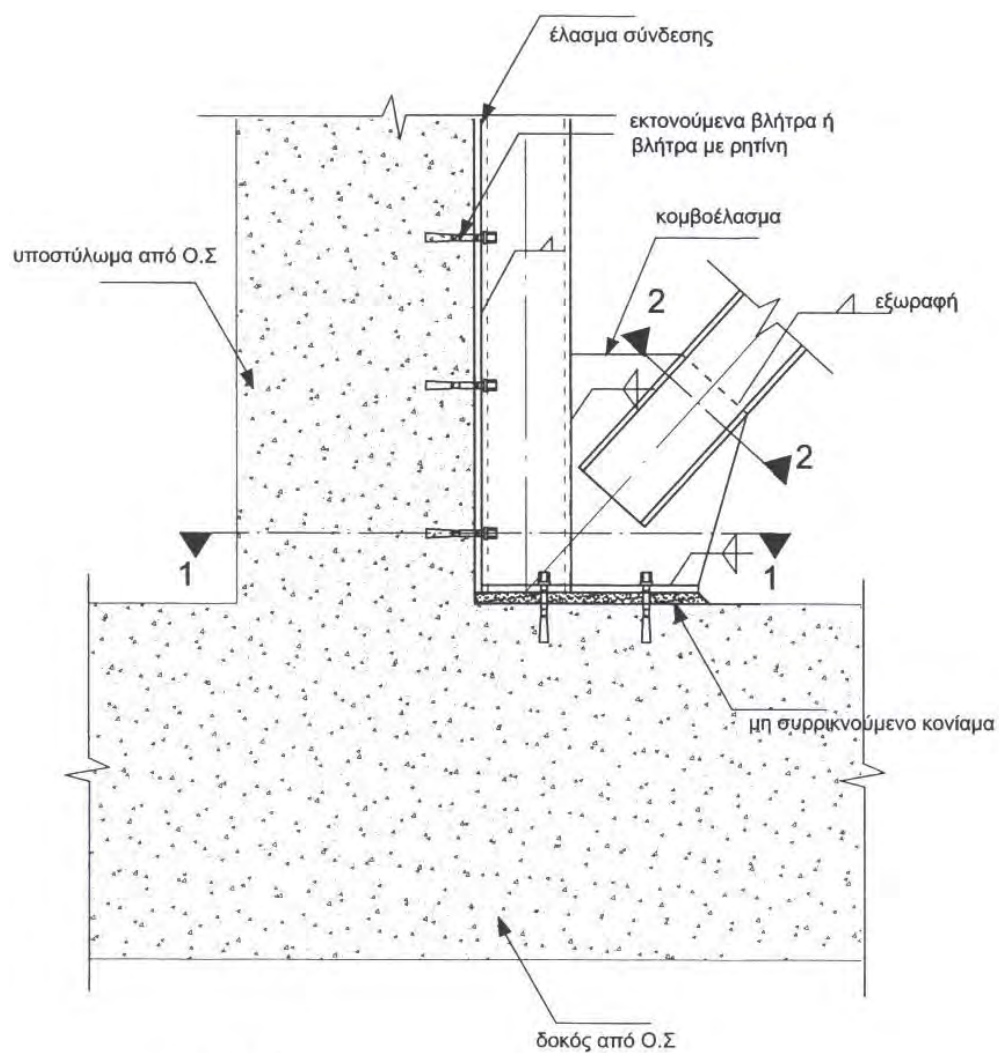


Τομή 1-1

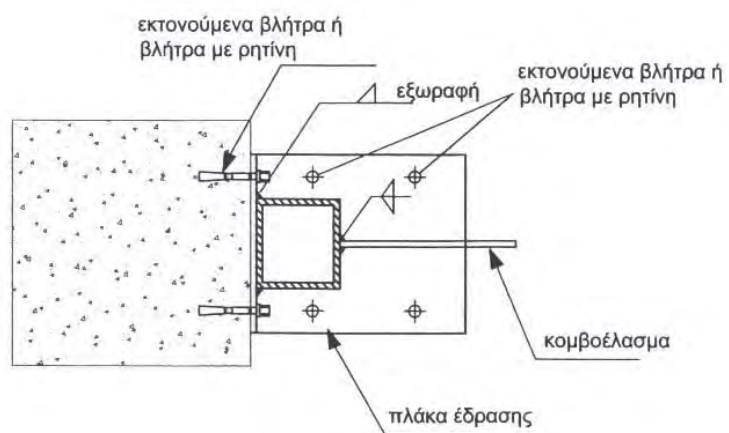
Τομή 2-2



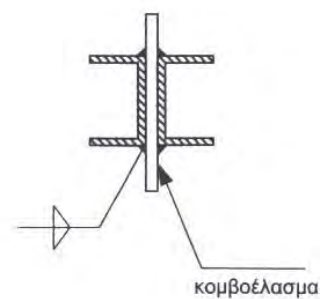
Σχήμα 4-25: Λεπτομέρεια Λ3 (Παραλλαγή 2)



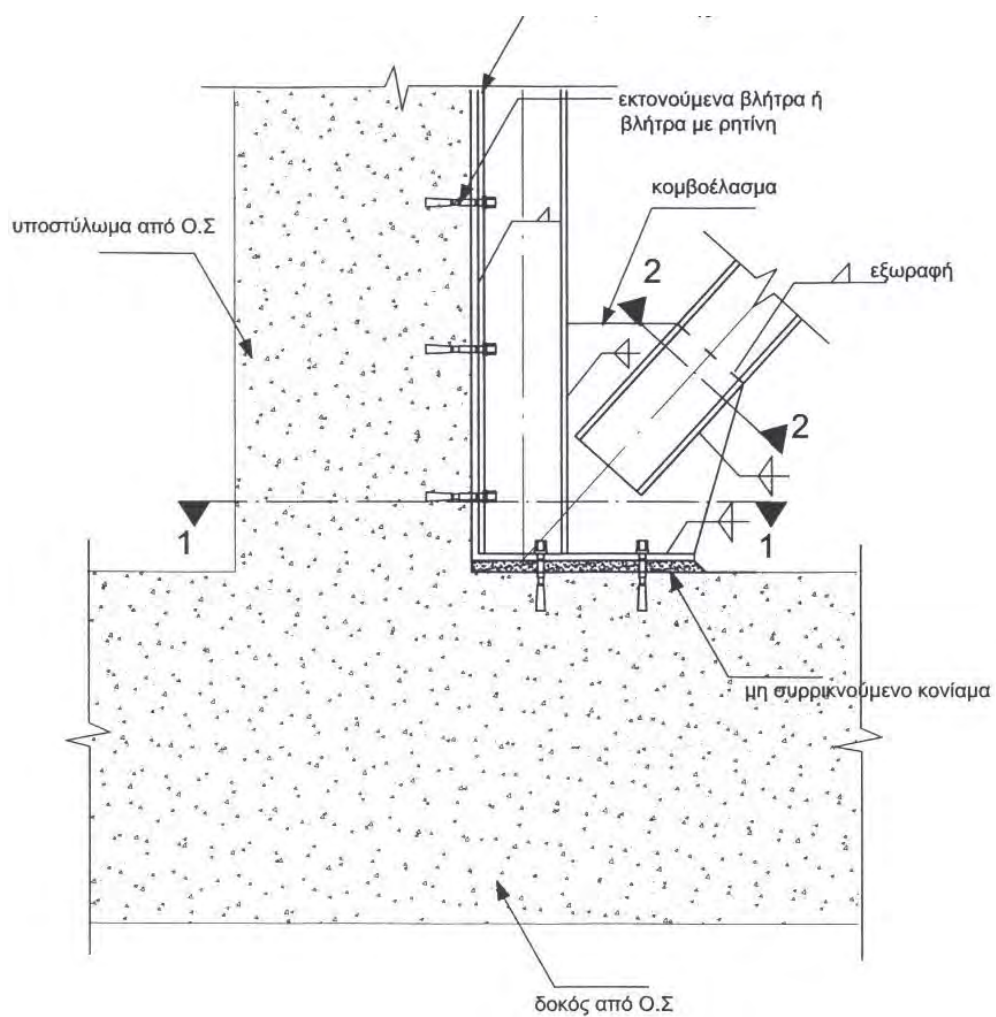
Τομή 1-1



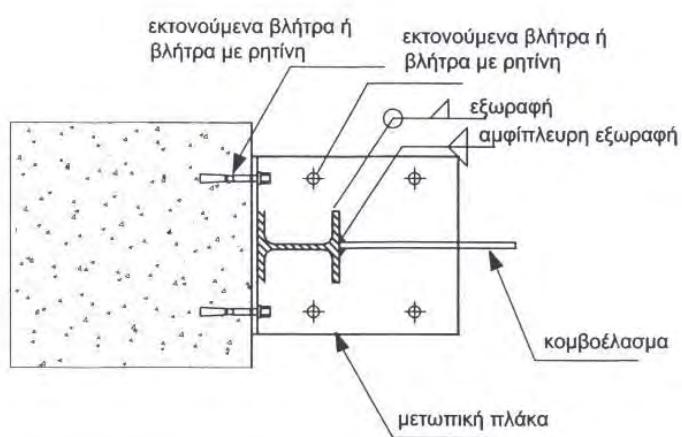
Τομή 2-2



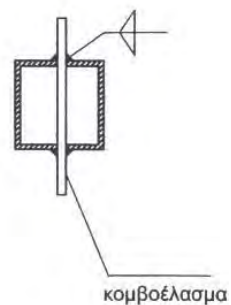
Σχήμα 4-26: Λεπτομέρεια Λ3 (Παραλλαγή 3)



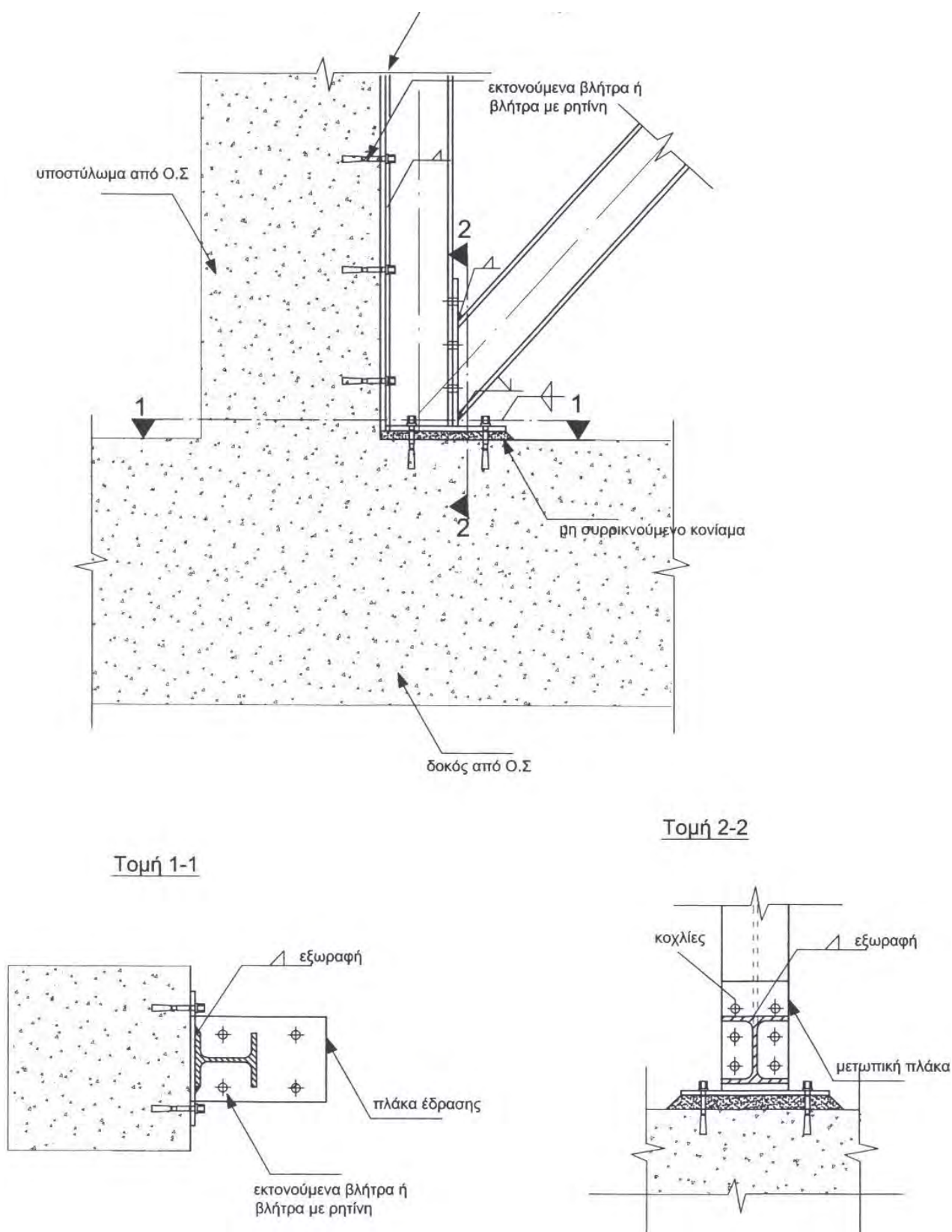
Τομή 1-1



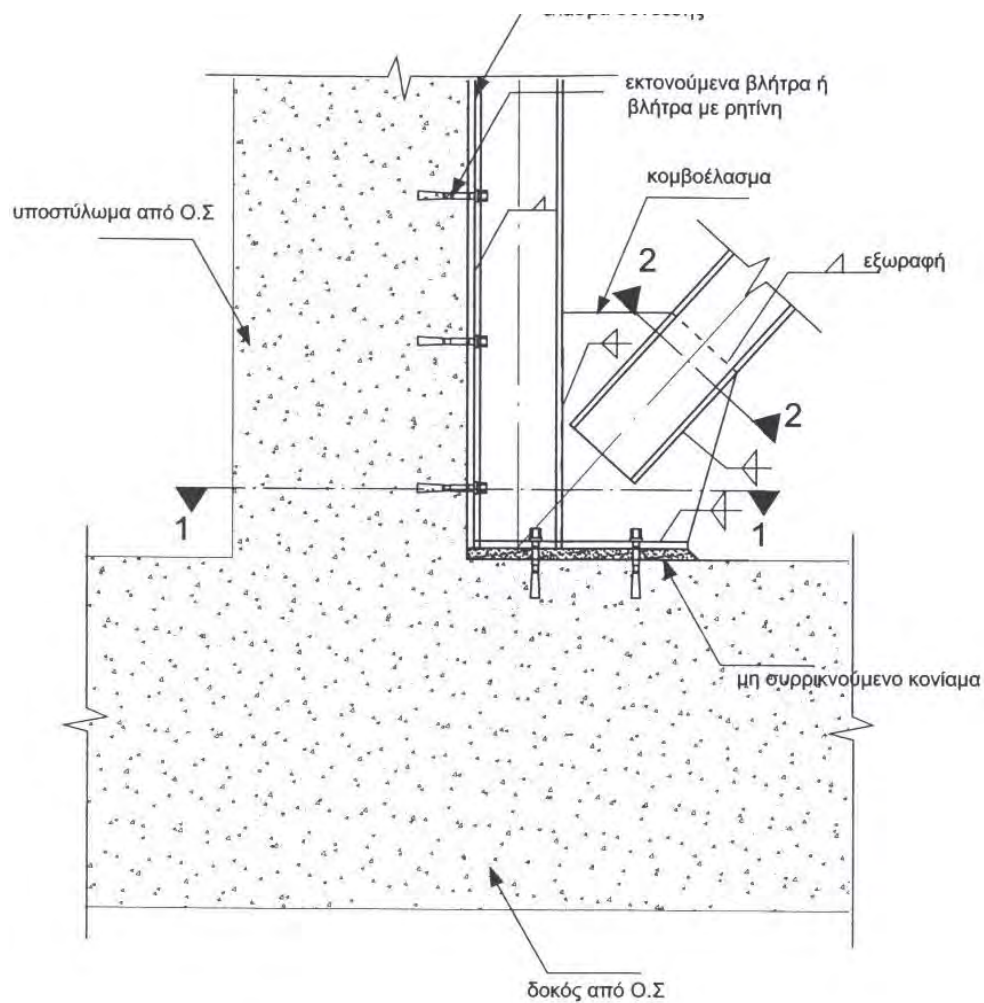
Τομή 2-2



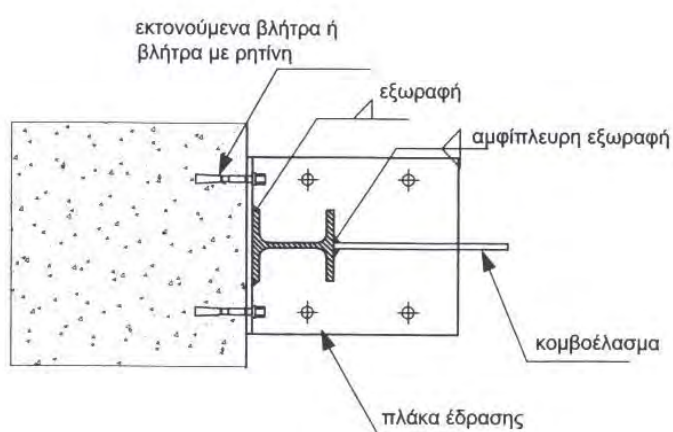
Σχήμα 4-27: Λεπτομέρεια Λ3 (Παραλλαγή 4)



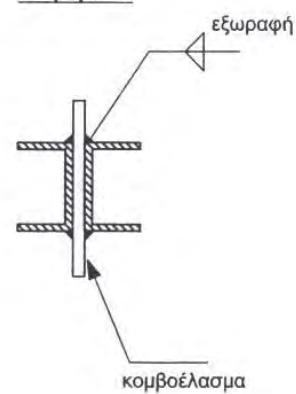
Σχήμα 4-28: Λεπτομέρεια Λ3 (Παραλλαγή 5)



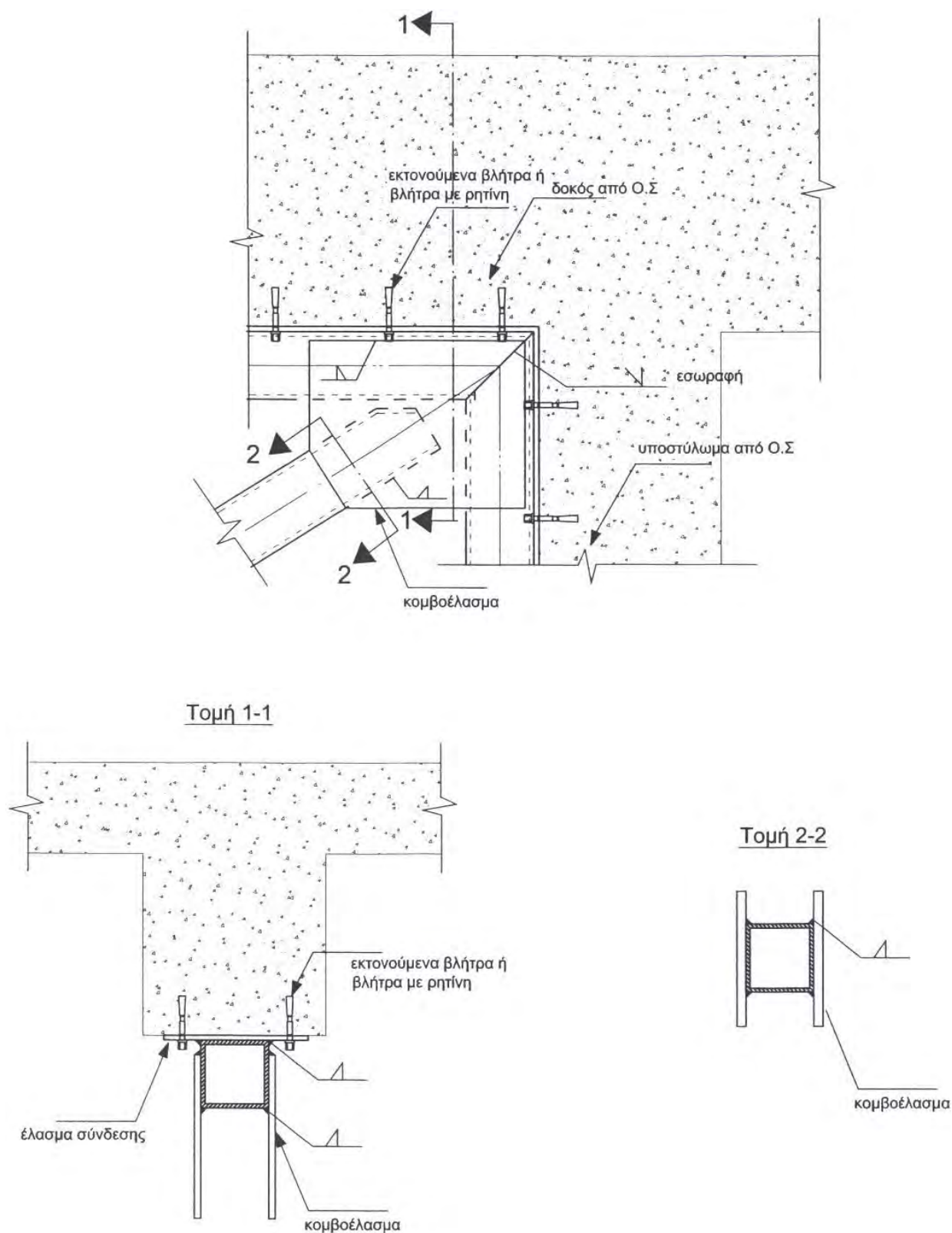
Τομή 1-1



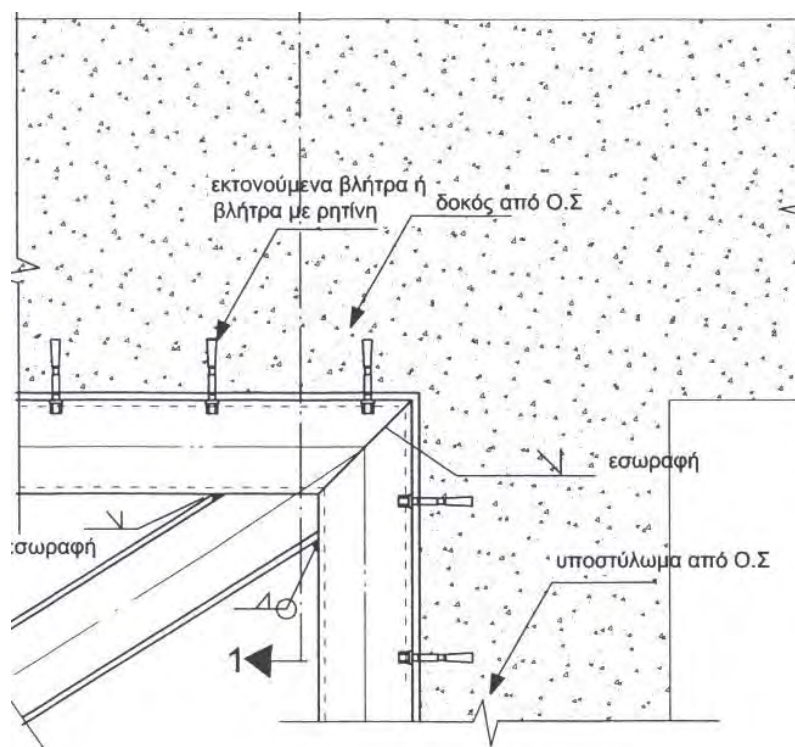
Τομή 2-2



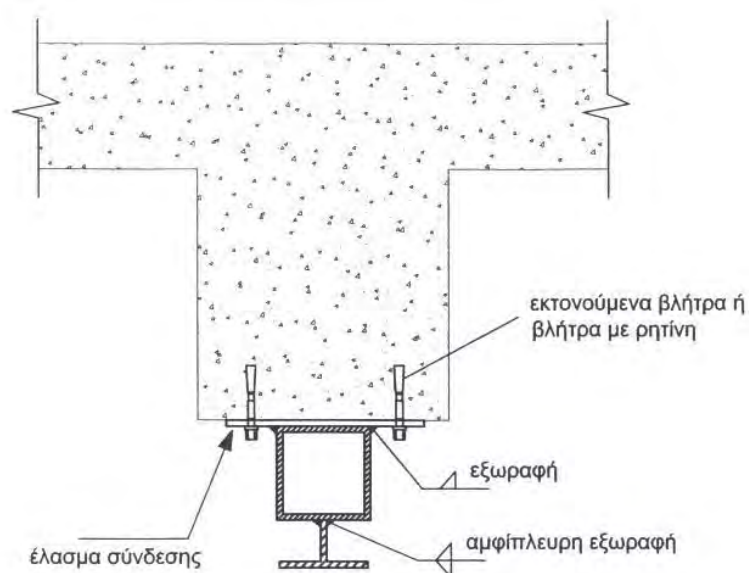
Σχήμα 4-29: Λεπτομέρεια Λ3 (Παραλλαγή 6)



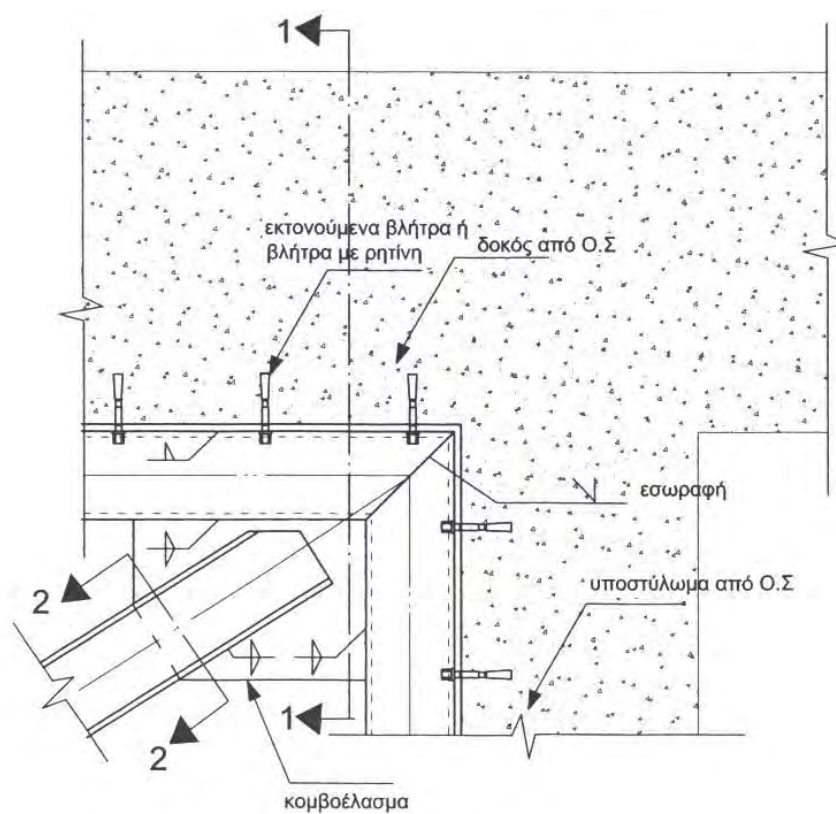
Σχήμα 4-30: Λεπτομέρεια Λ4 (Παραλλαγή 1)



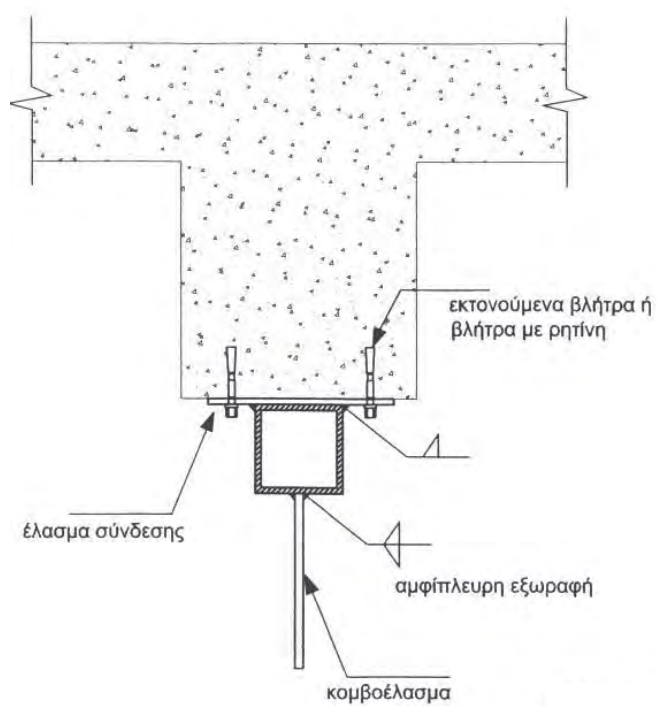
Τομή 1-1



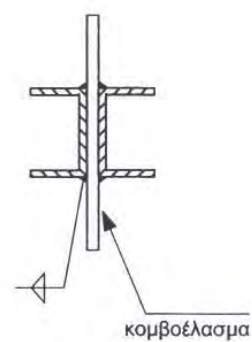
Σχήμα 4-31: Λεπτομέρεια Λ4 (Παραλλαγή 2)



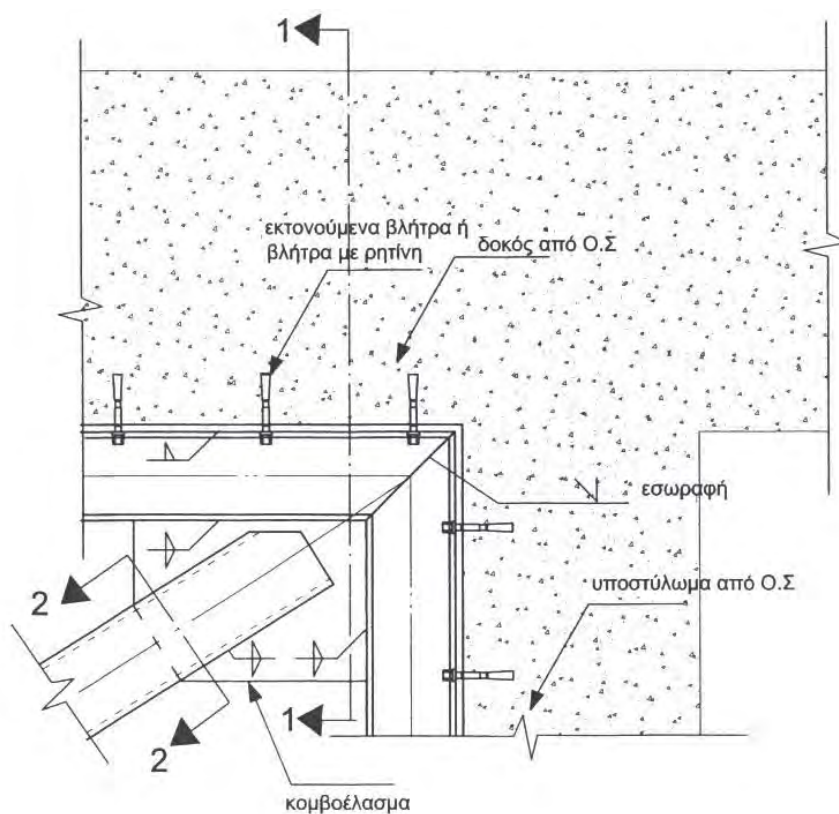
Τομή 1-1



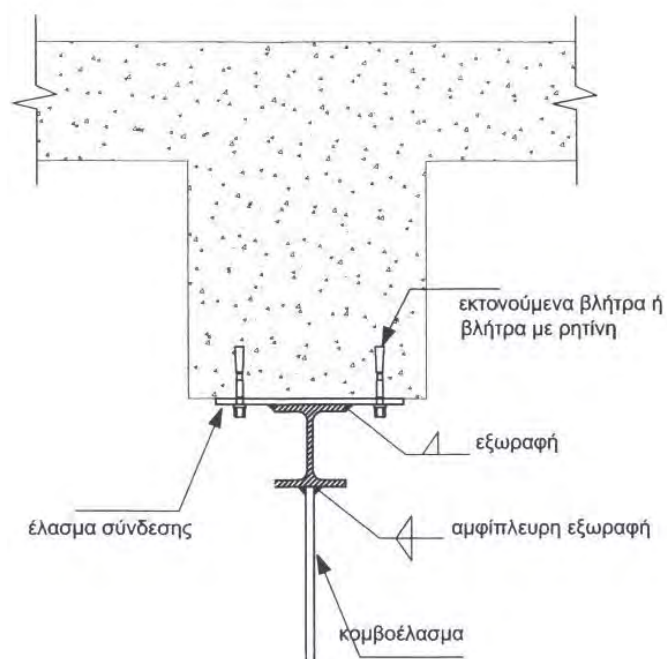
Τομή 2-2



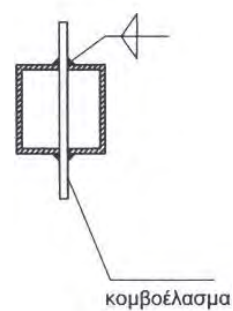
Σχήμα 4-32: Λεπτομέρεια Λ4 (Παραλλαγή 3)



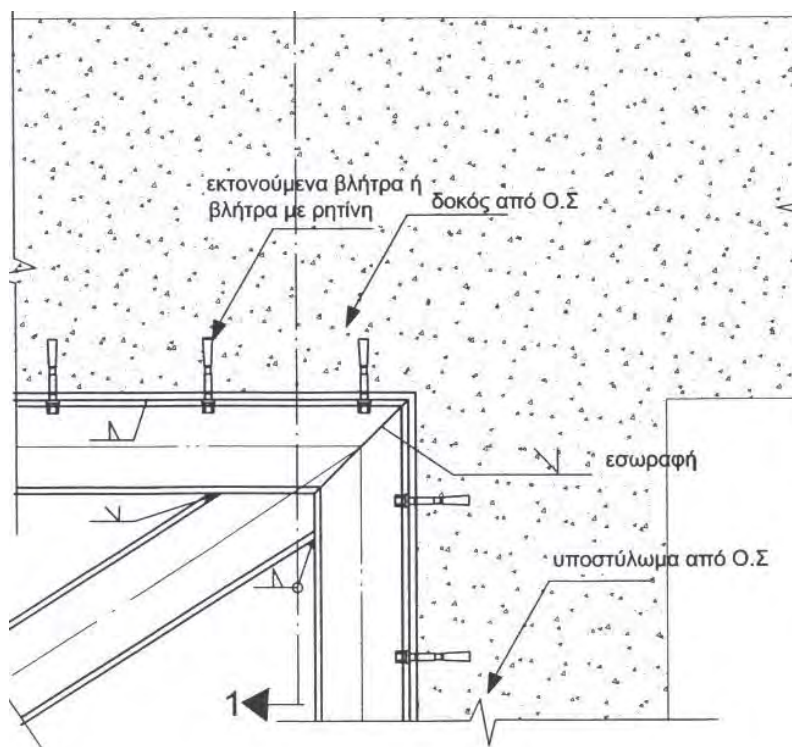
Τομή 1-1



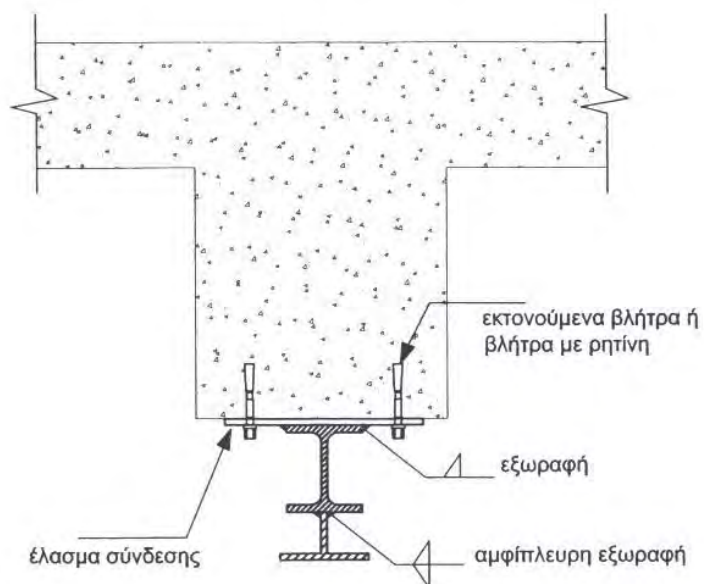
Τομή 2-2



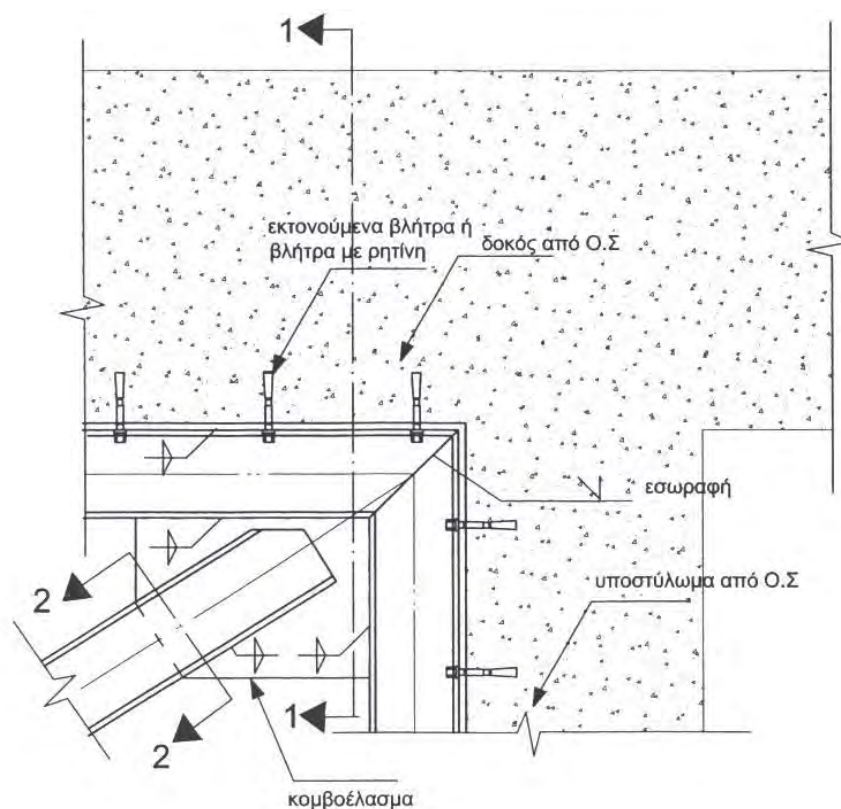
Σχήμα 4-33: Λεπτομέρεια Λ4 (Παραλλαγή 4)



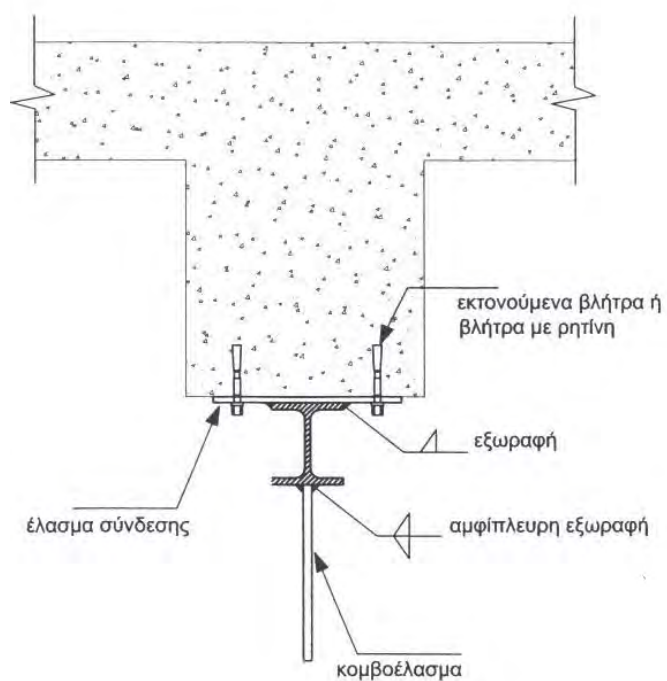
Τομή 1-1



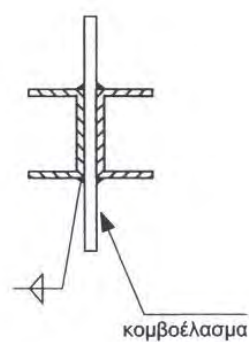
Σχήμα 4-34: Λεπτομέρεια Λ4 (Παραλλαγή 5)



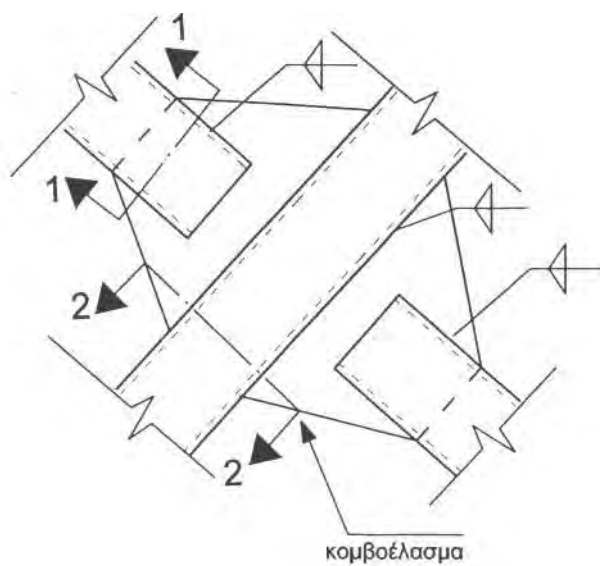
Τομή 1-1



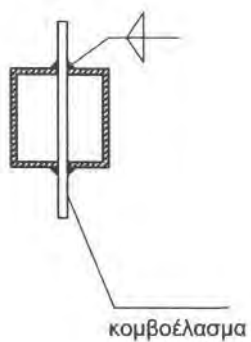
Τομή 2-2



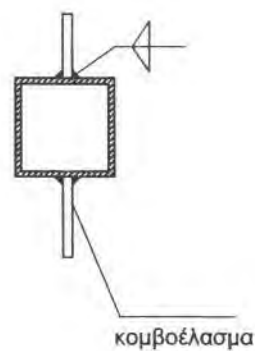
Σχήμα 4-35: Λεπτομέρεια Λ4 (Παραλλαγή 6)



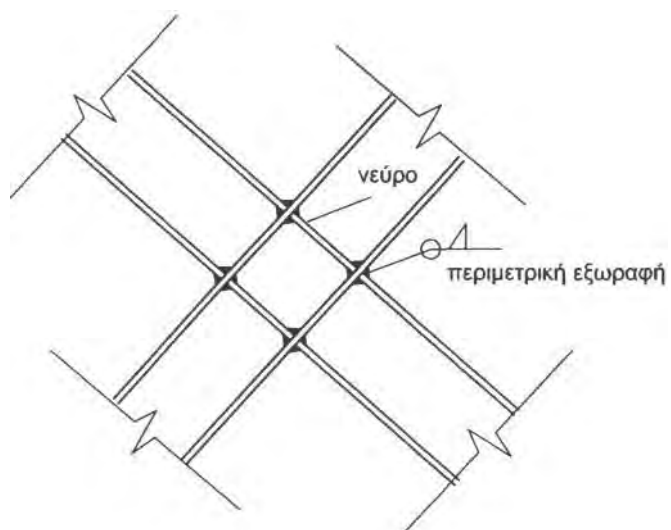
Τομή 1-1



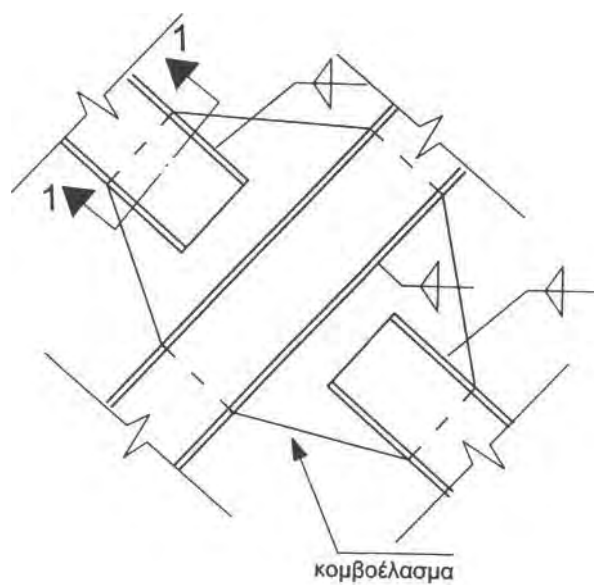
Τομή 2-2



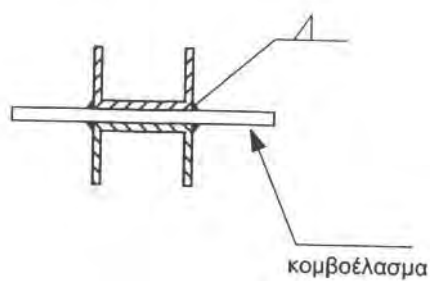
Σχήμα 4-36: Λεπτομέρεια Λ5 (Παραλλαγή 1)



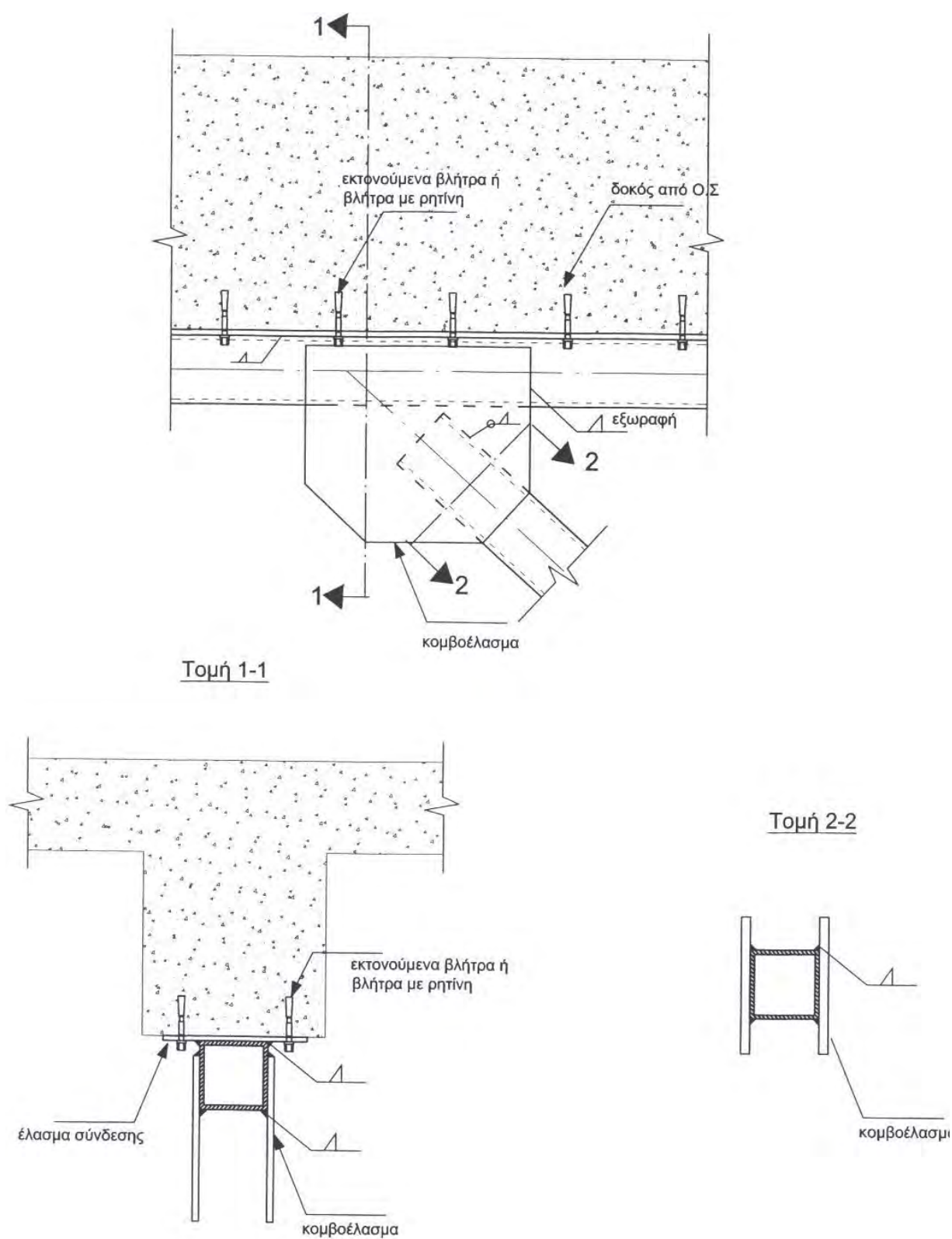
Σχήμα 4-37: Λεπτομέρεια Λ5 (Παραλλαγή 2)



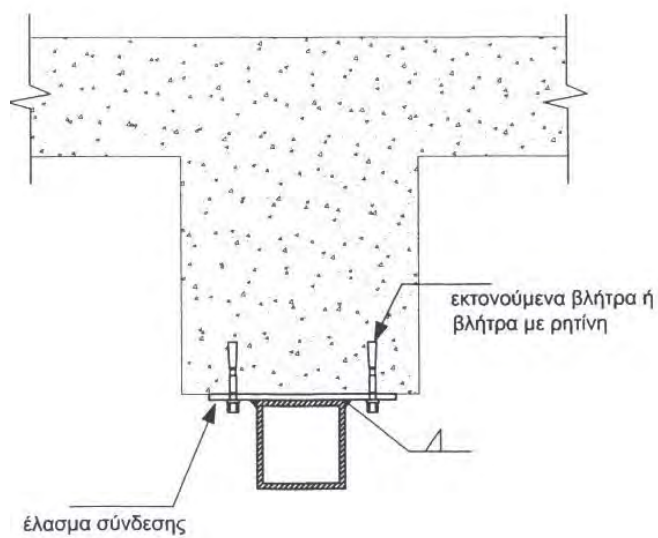
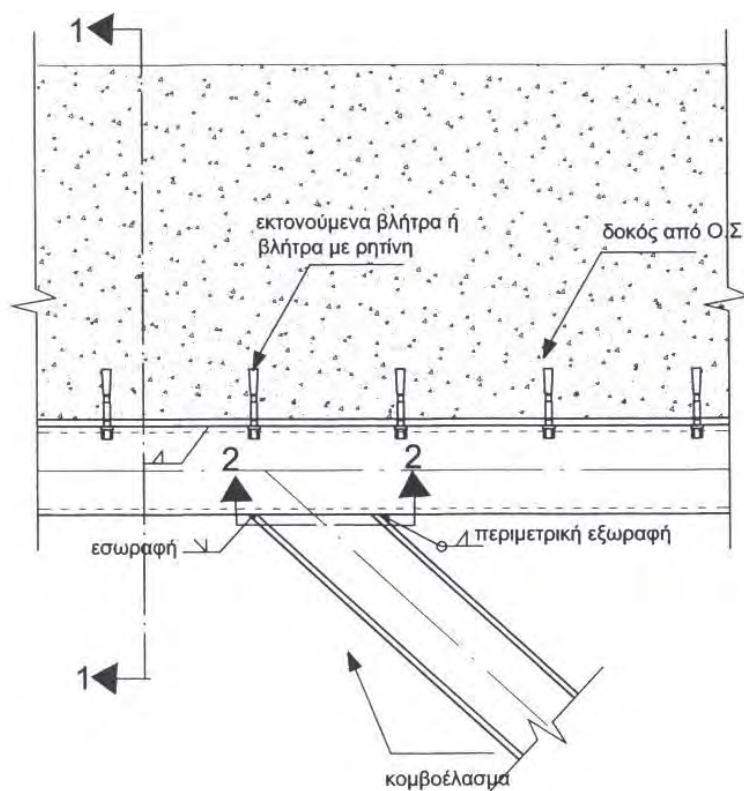
Τομή 1-1



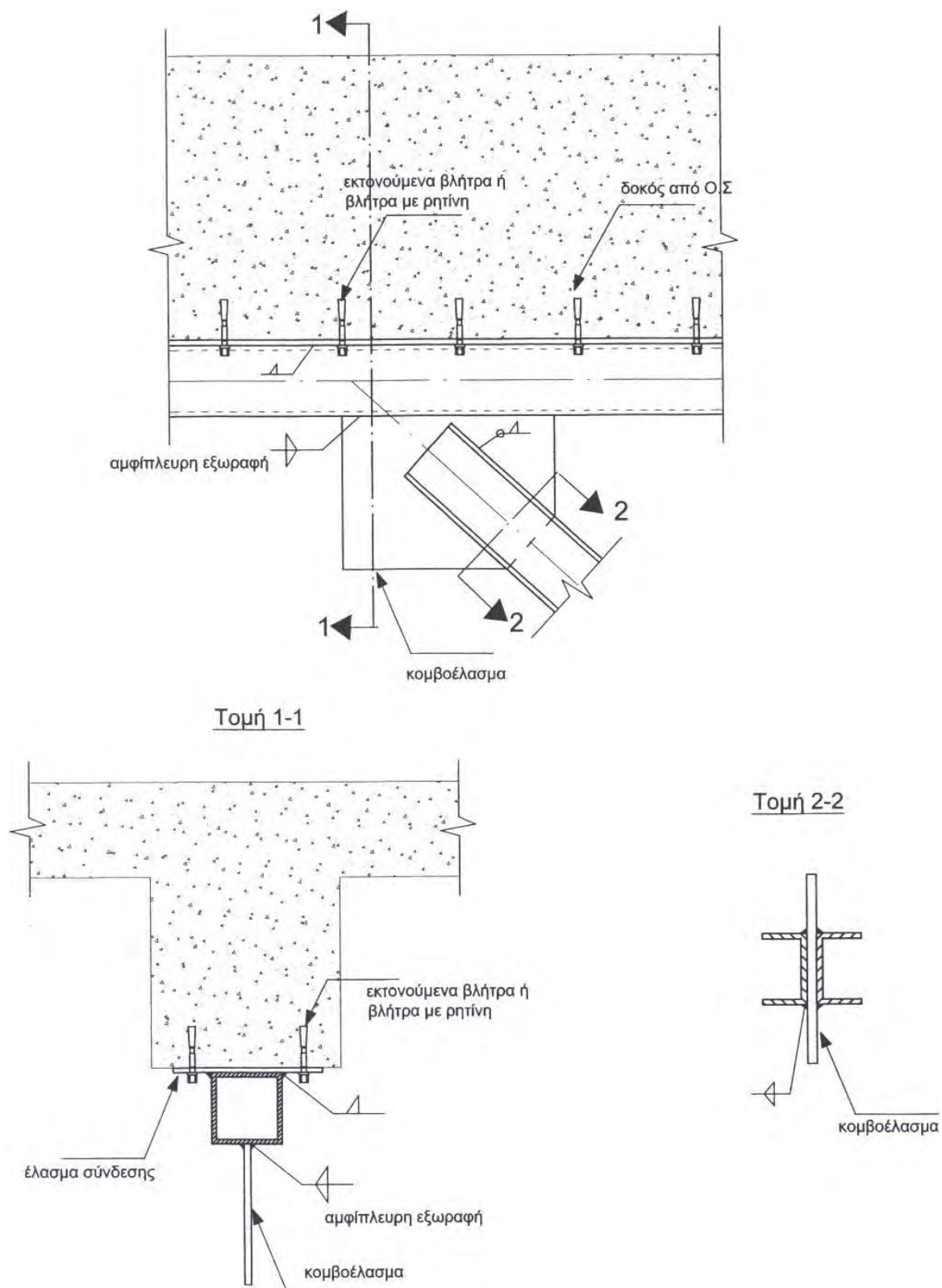
Σχήμα 4-38: Λεπτομέρεια Λ5 (Παραλλαγή 3)



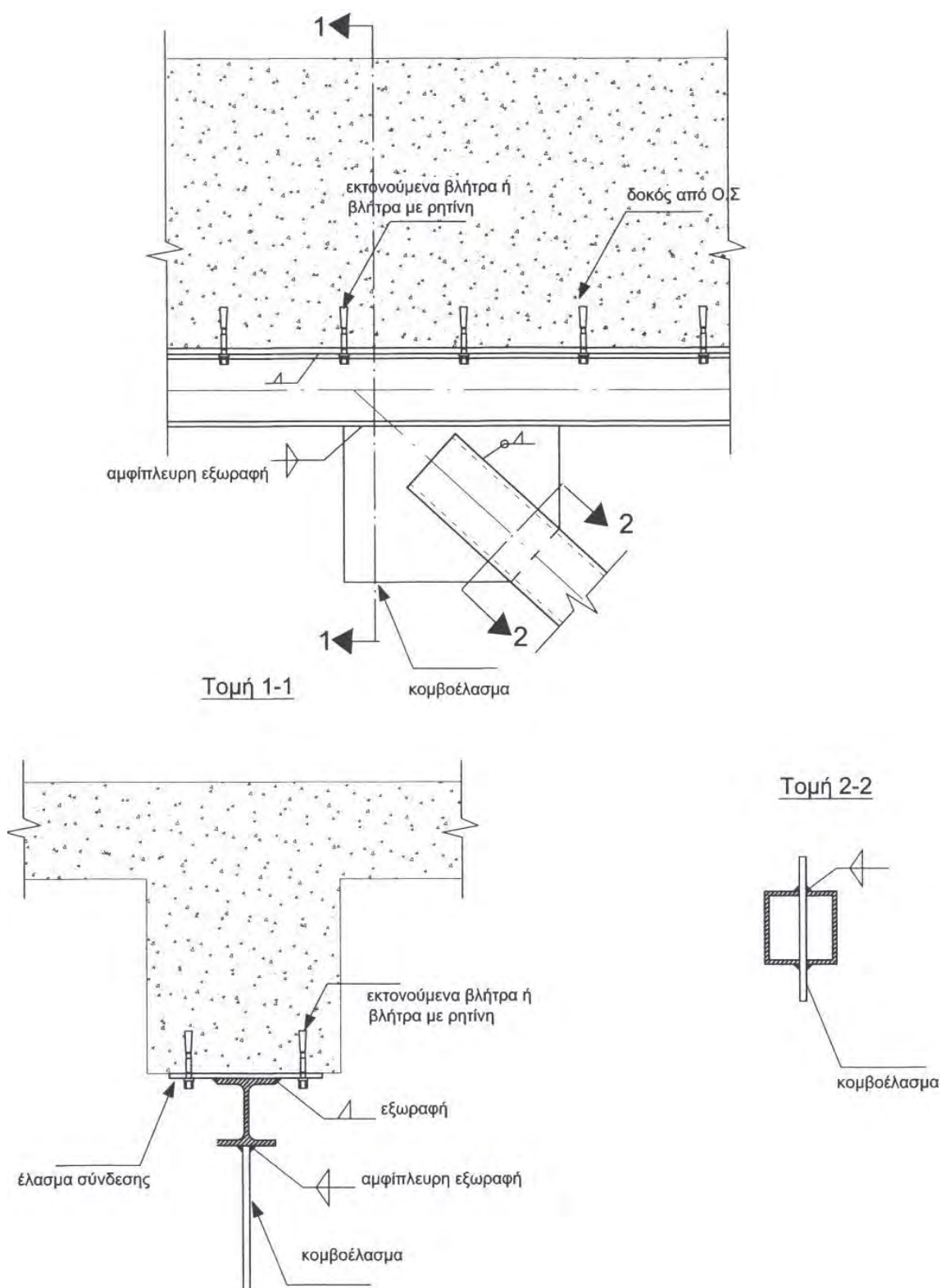
Σχήμα 4-39: Λεπτομέρεια Λ6 (Παραλλαγή 1)



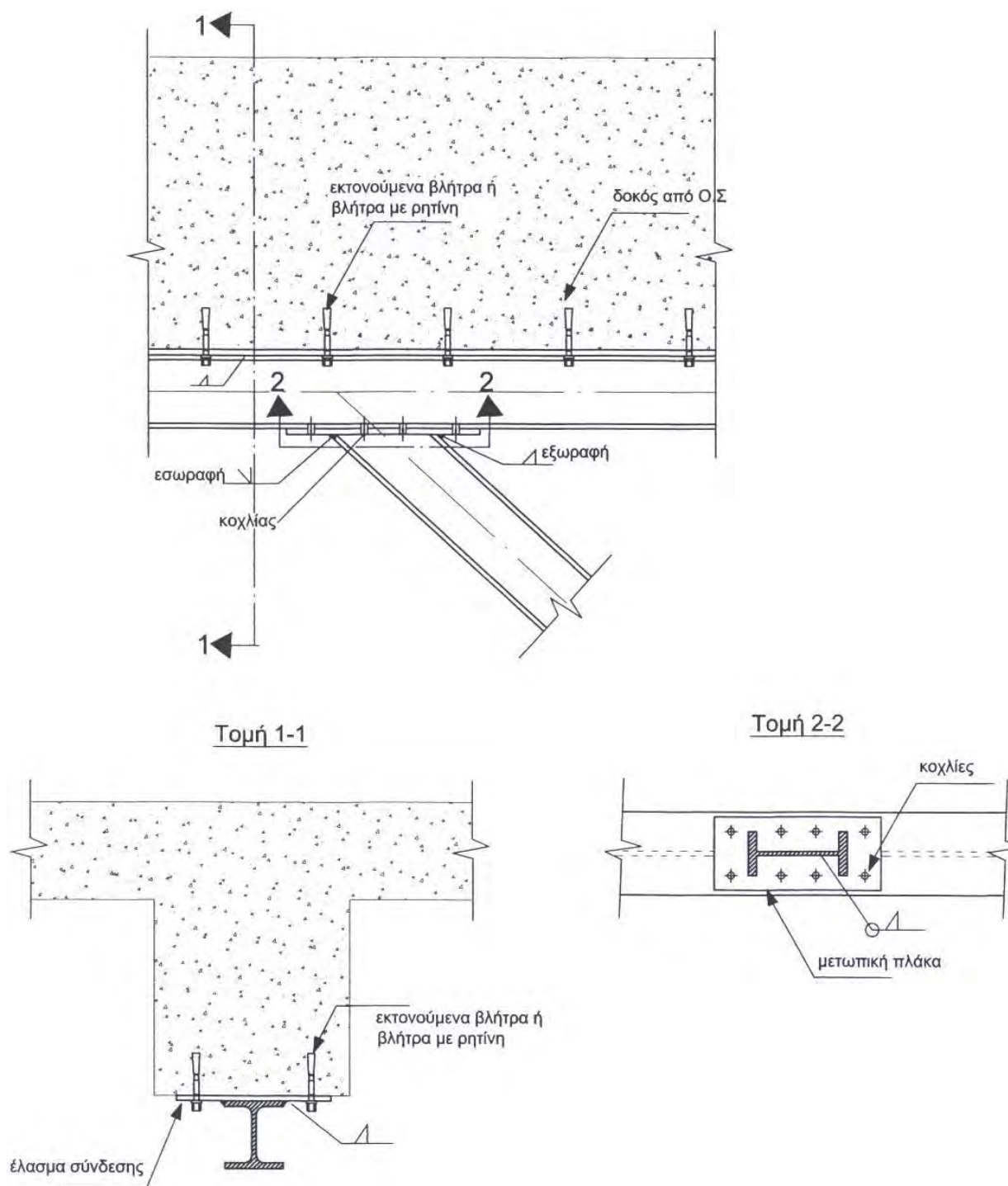
Σχήμα 4-40: Λεπτομέρεια Λ6 (Παραλλαγή 2)



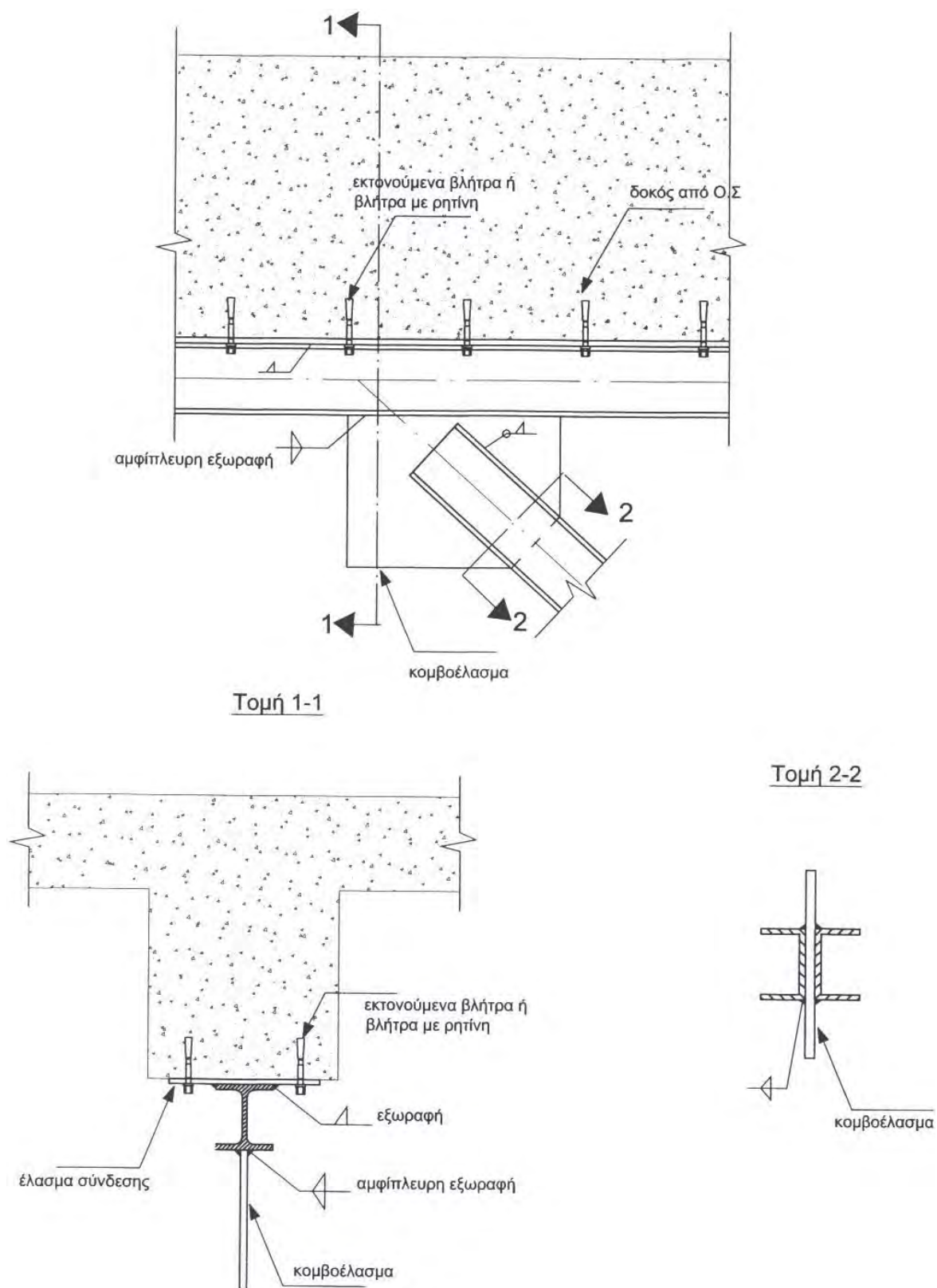
Σχήμα 4-41: Λεπτομέρεια Λ6 (Παραλλαγή 3)



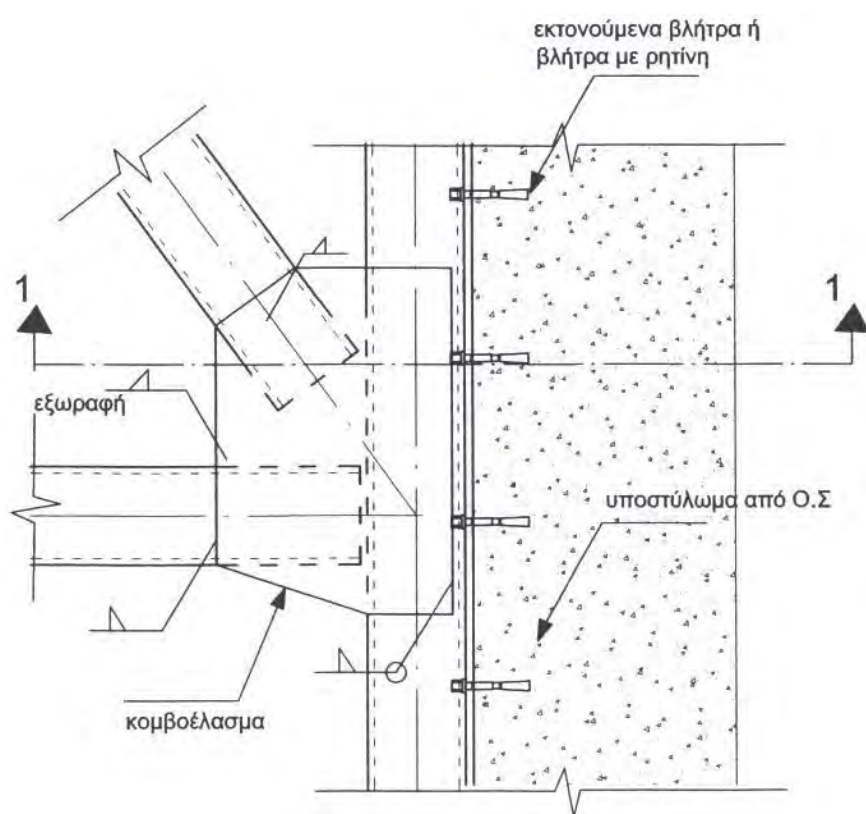
Σχήμα 4-42: Λεπτομέρεια Λ6 (Παραλλαγή 4)



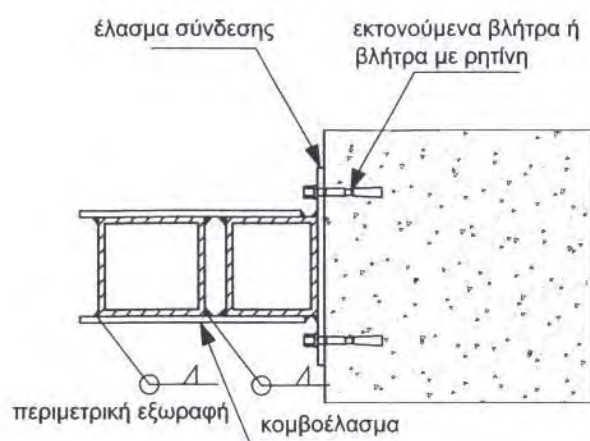
Σχήμα 4-43: Λεπτομέρεια Λ6 (Παραλλαγή 5)



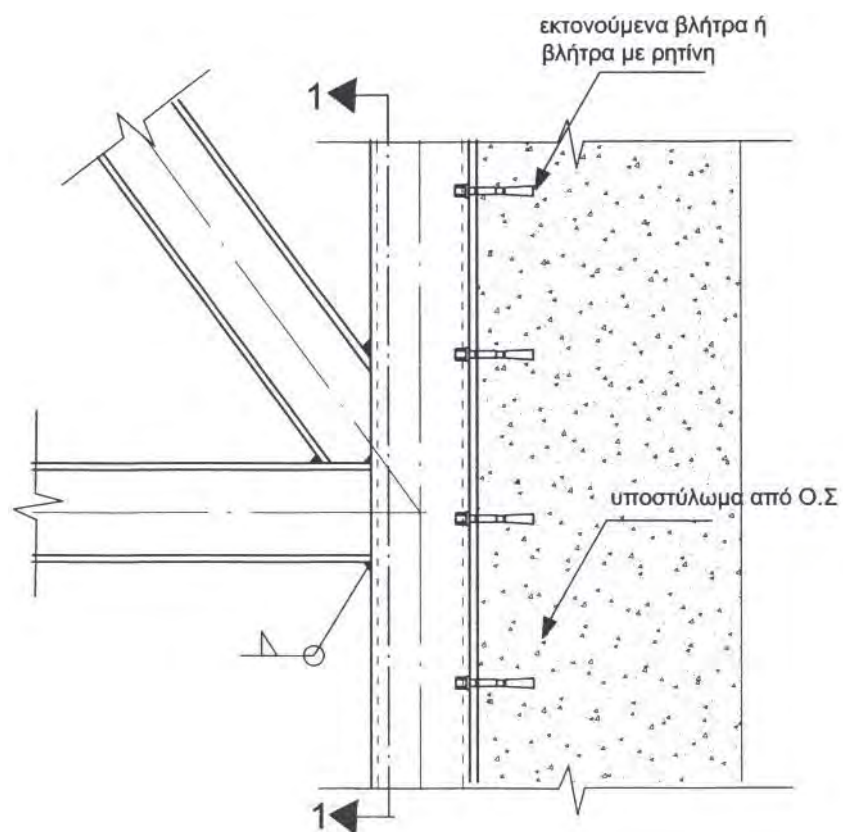
Σχήμα 4-44: Λεπτομέρεια Λ6 (Παραλλαγή 6)



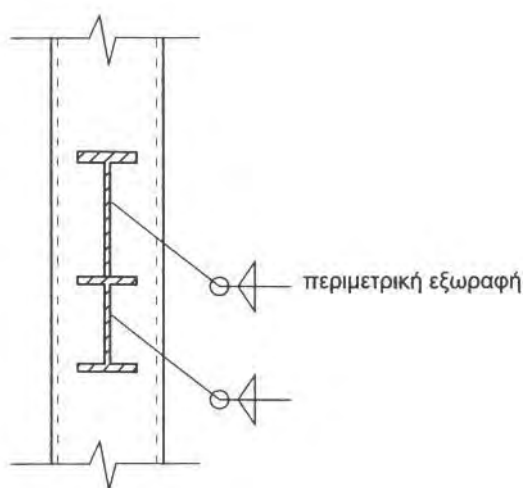
Τομή 1-1



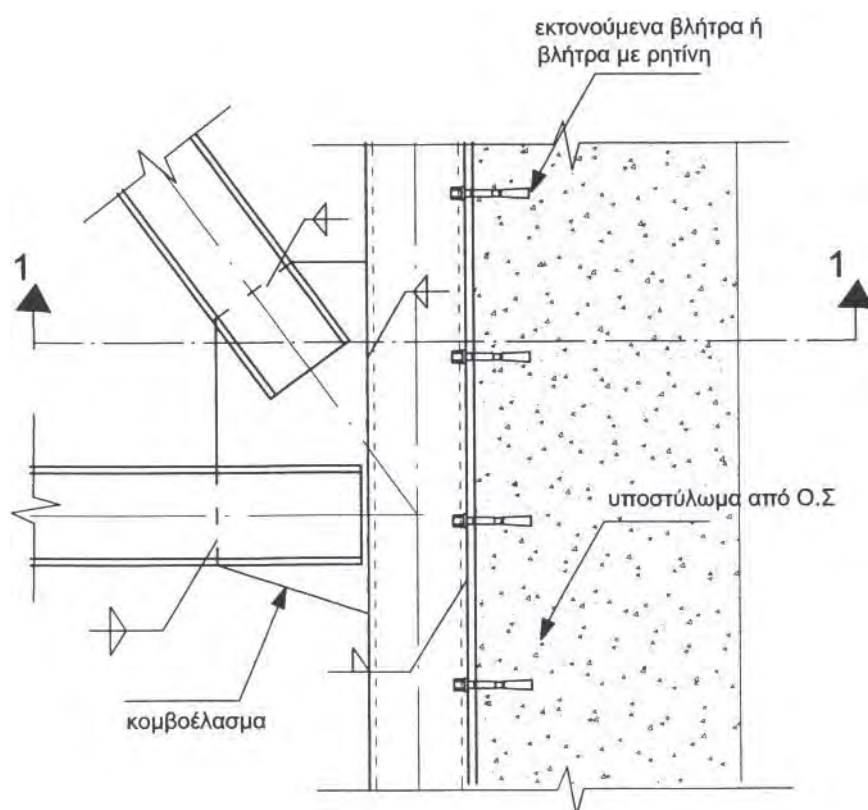
Σχήμα 4-45: Λεπτομέρεια Λ7 (Παραλλαγή 1)



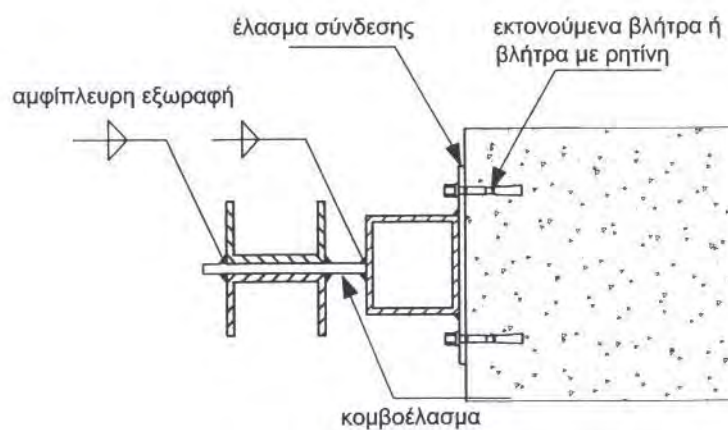
Τομή 1-1



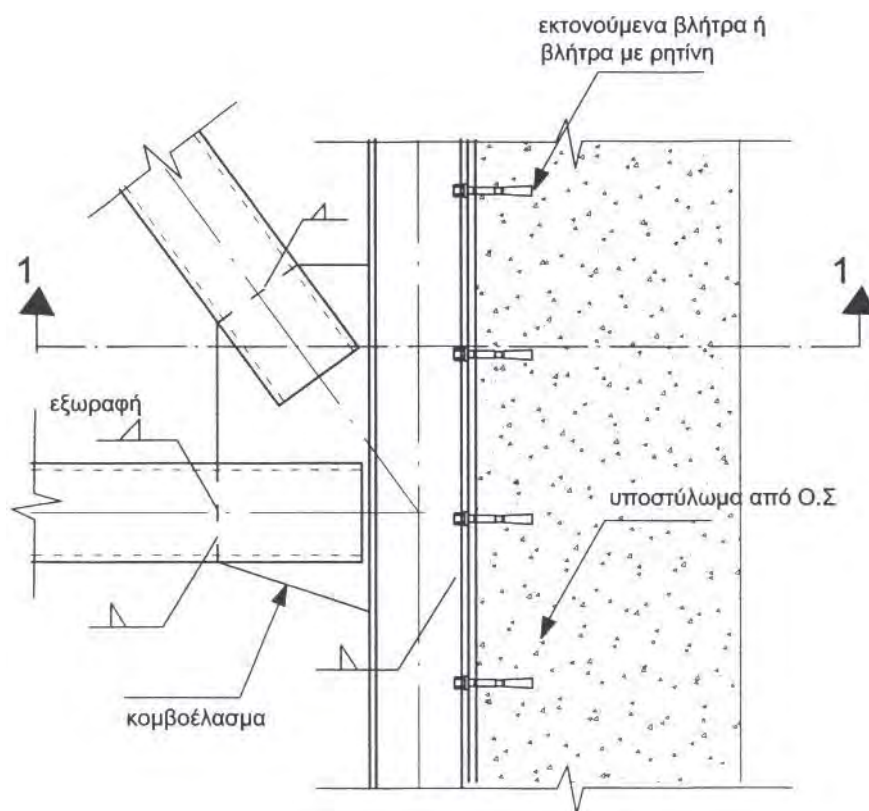
Σχήμα 4-46: Λεπτομέρεια Λ7 (Παραλλαγή 2)



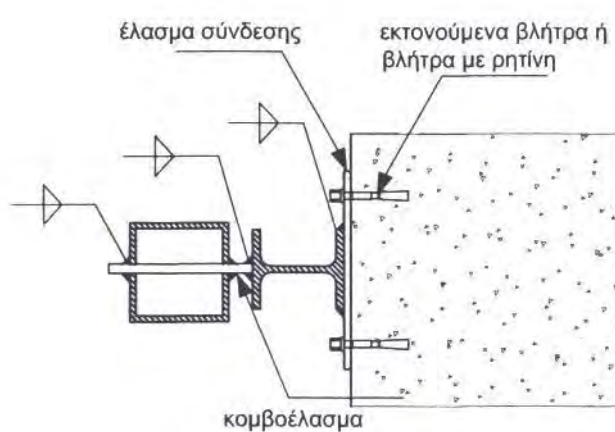
Τομή 1-1



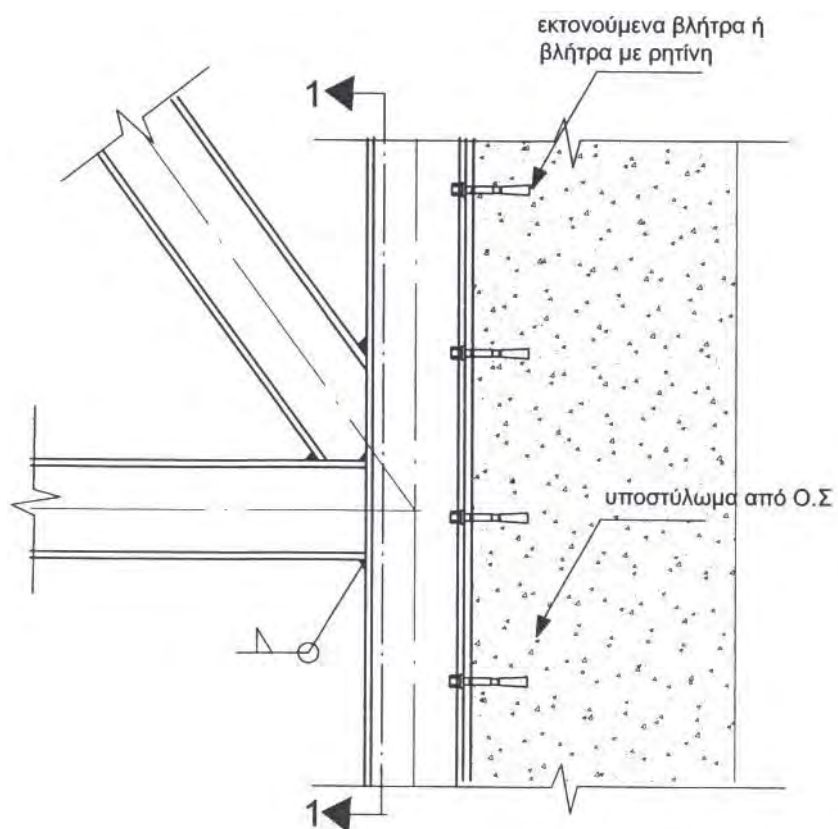
Σχήμα 4-47: Λεπτομέρεια Λ7 (Παραλλαγή 3)



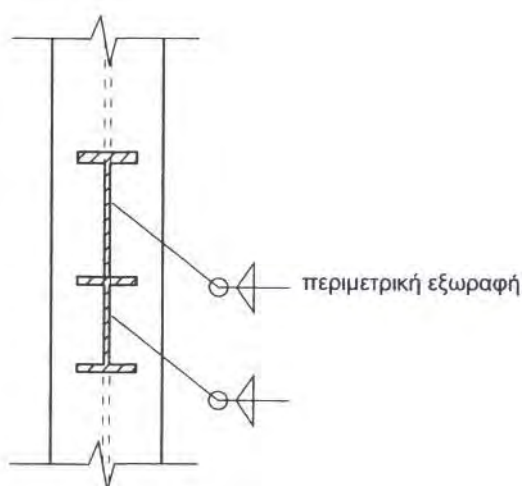
Τομή 1-1



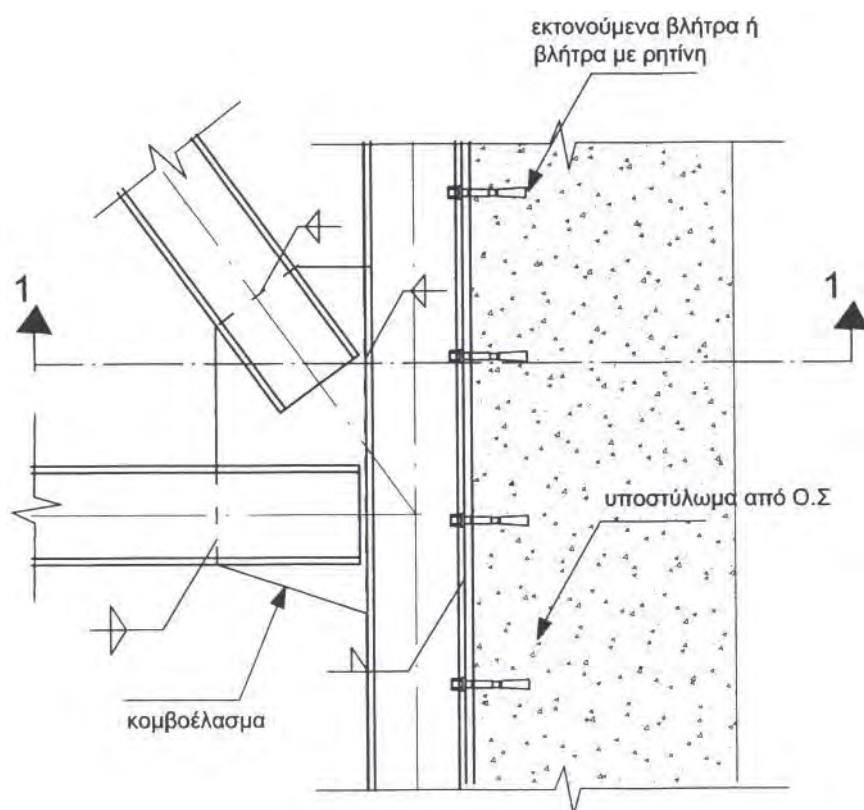
Σχήμα 4-48: Λεπτομέρεια Λ7 (Παραλλαγή 4)



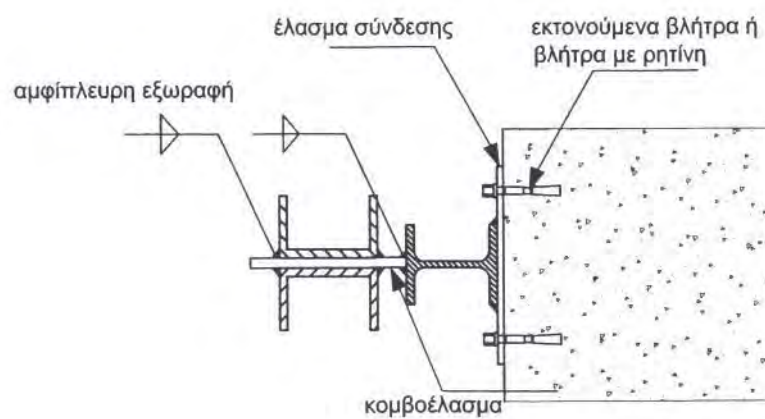
Τομή 1-1



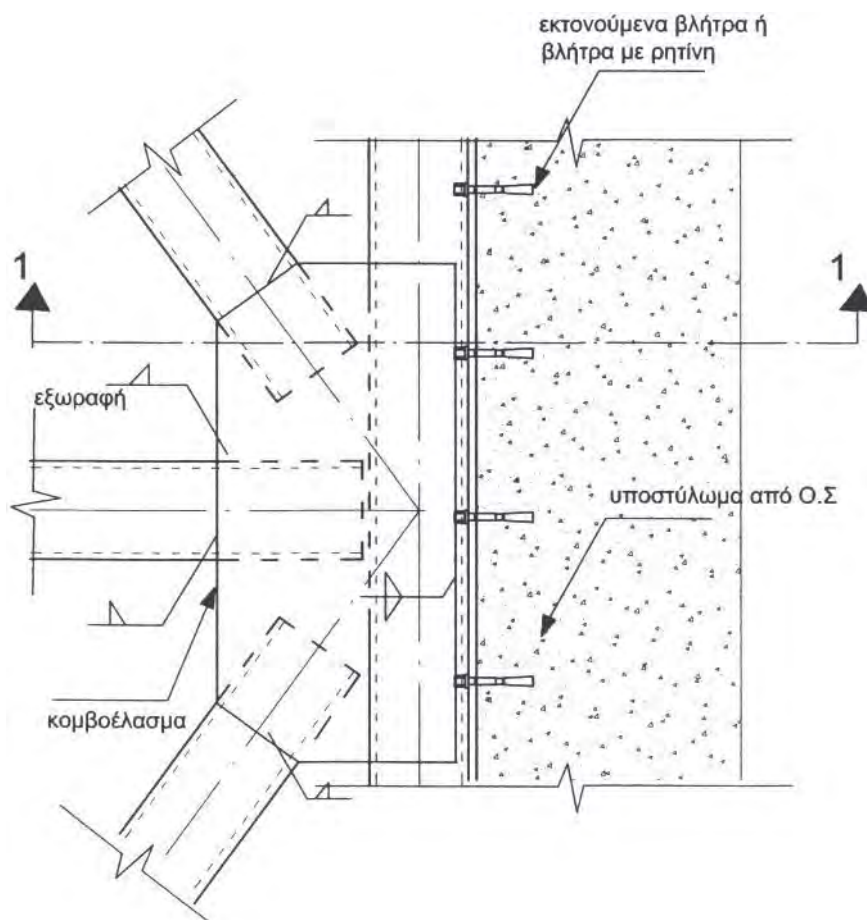
Σχήμα 4-49: Λεπτομέρεια Λ7 (Παραλλαγή 5)



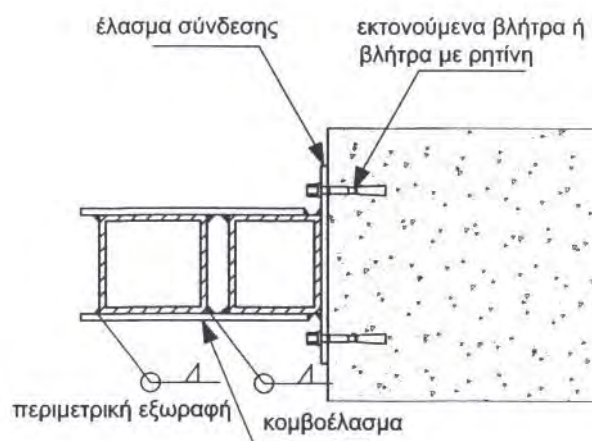
Τομή 1-1



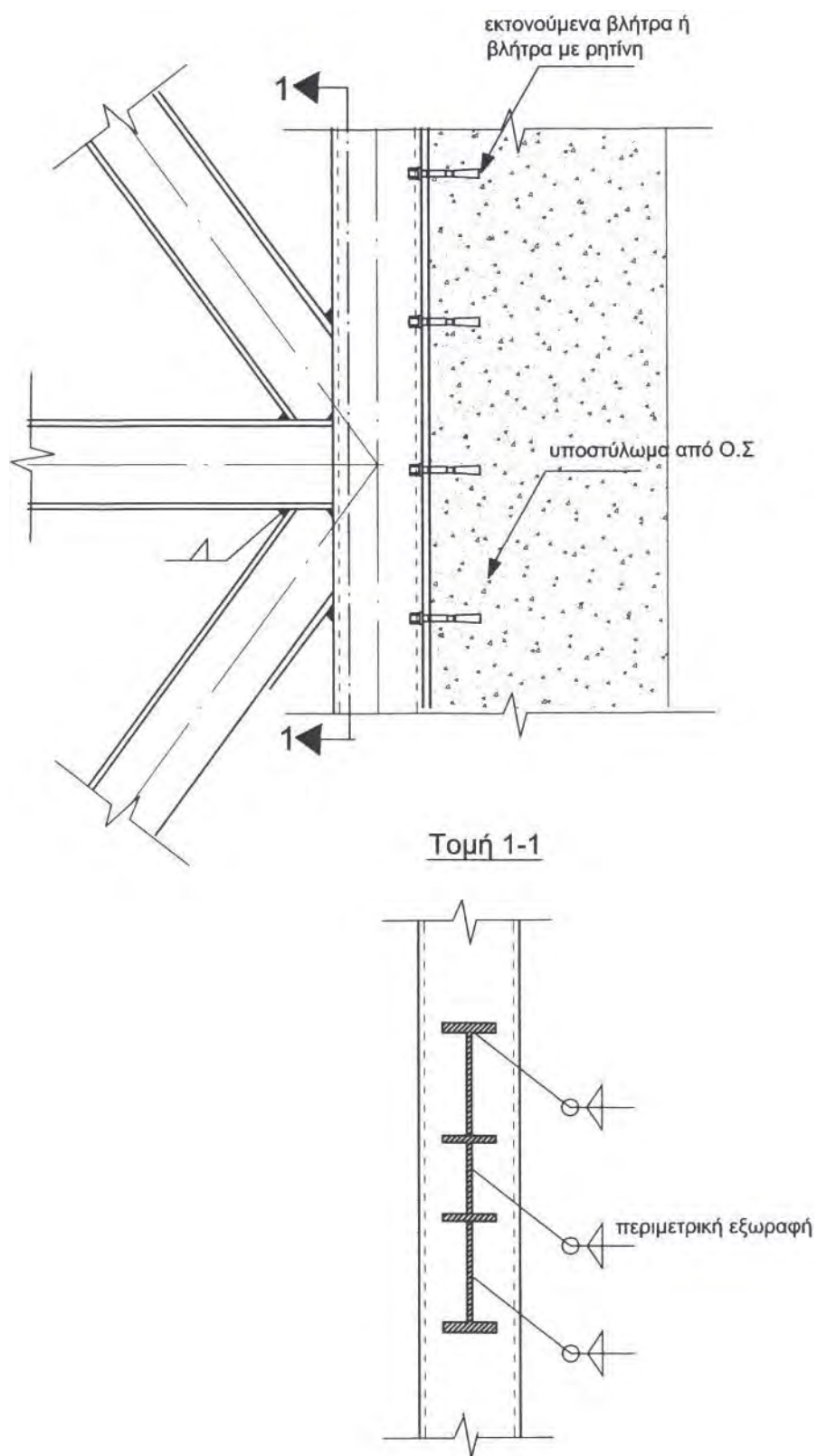
Σχήμα 4-50: Λεπτομέρεια Λ7 (Παραλλαγή 6)



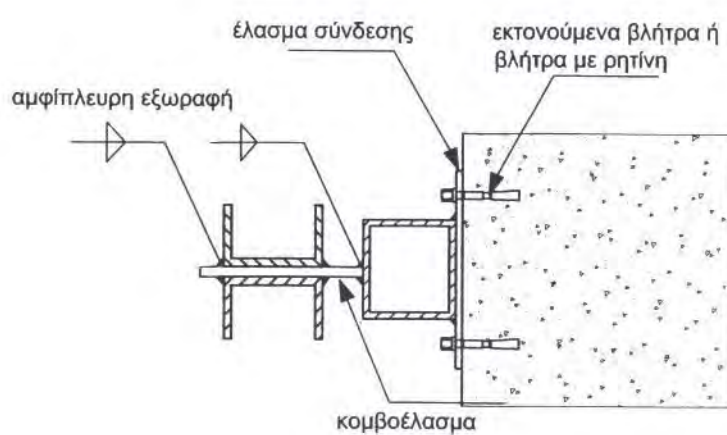
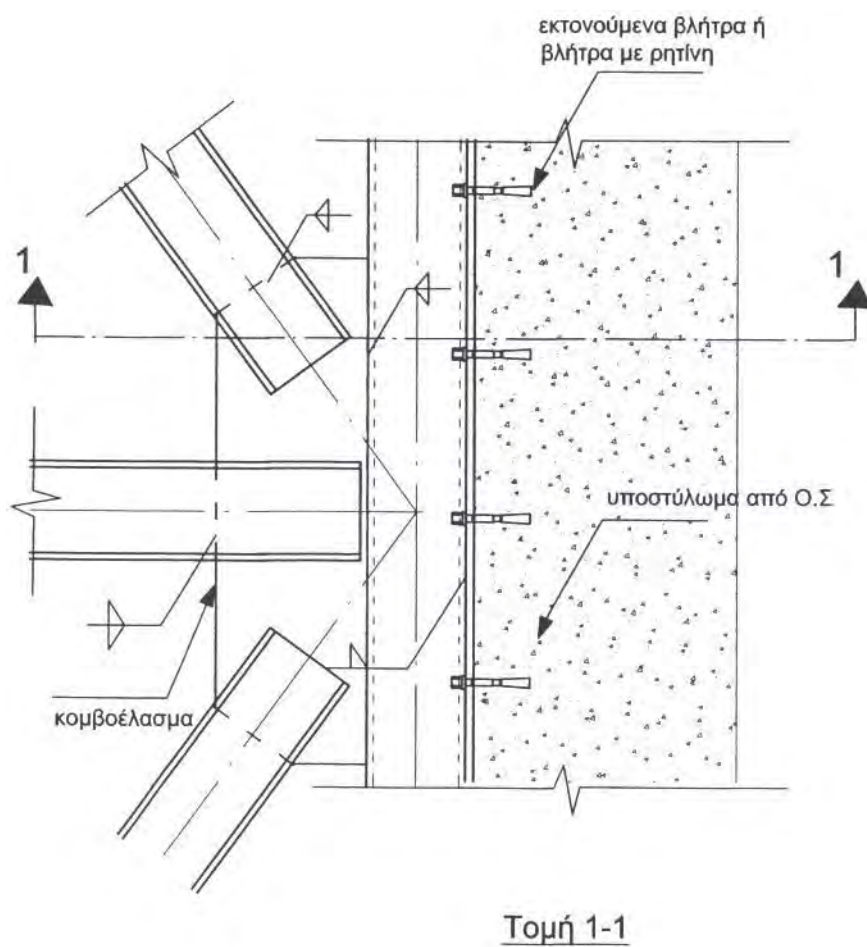
Τομή 1-1



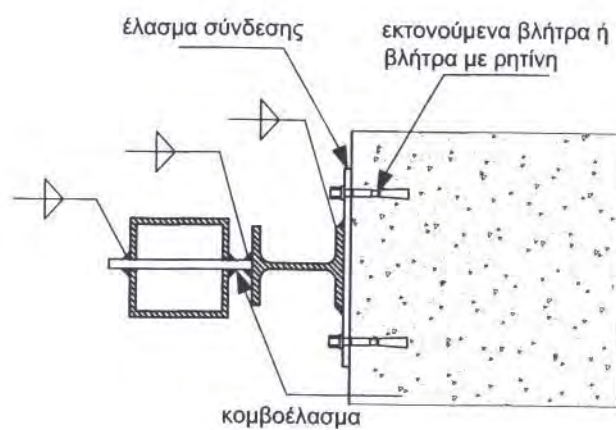
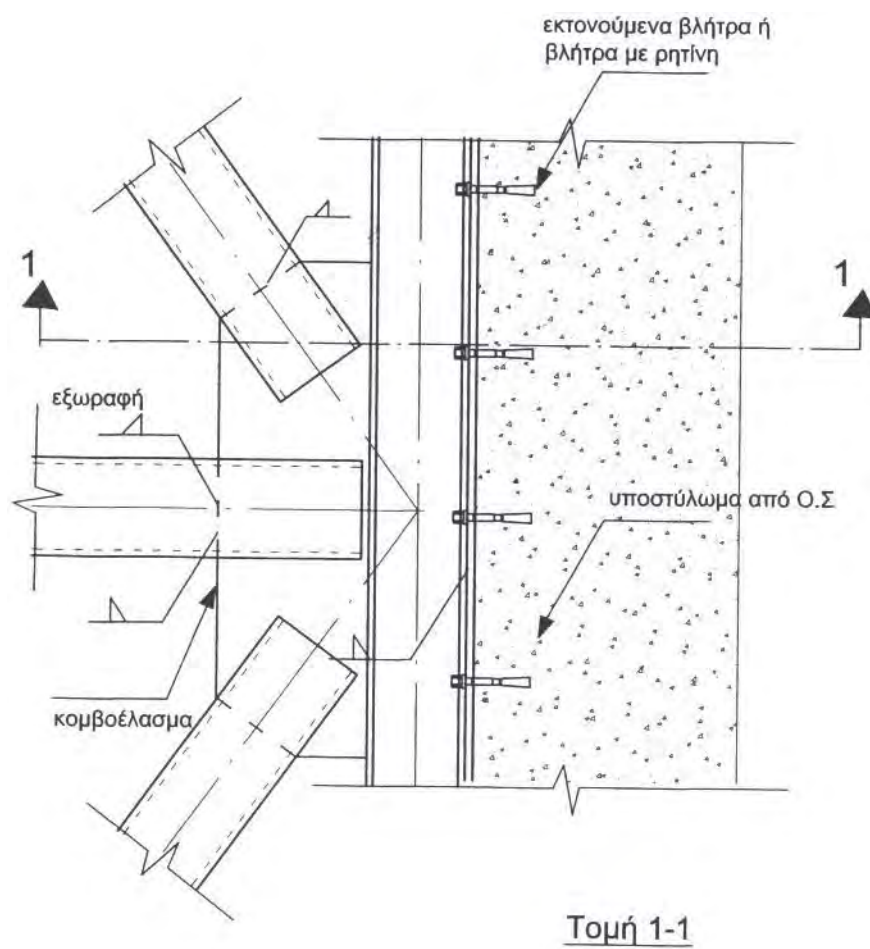
Σχήμα 4-51: Λεπτομέρεια Λ8 (Παραλλαγή 1)



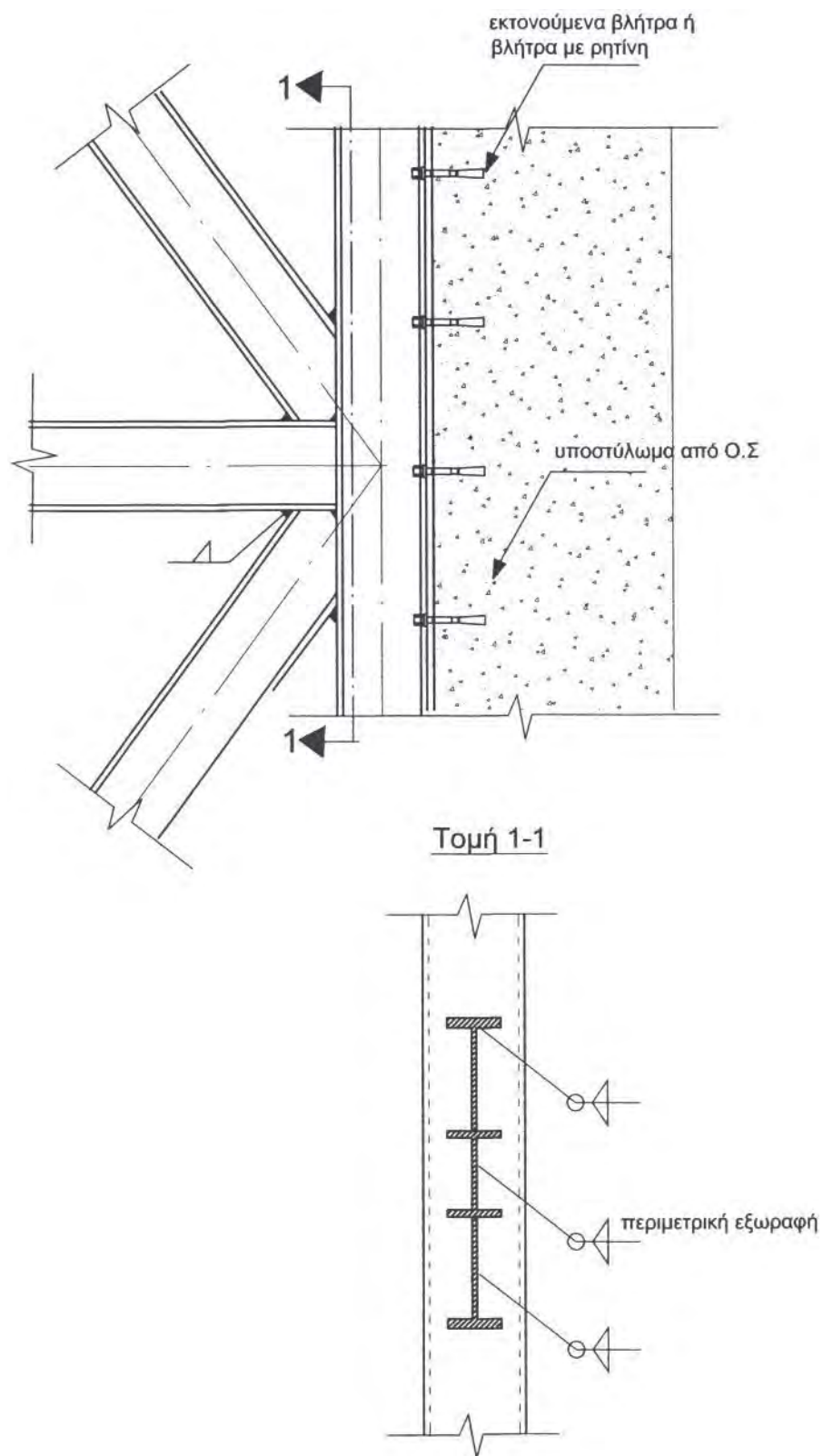
Σχήμα 4-52: Λεπτομέρεια Λ8 (Παραλλαγή 2)



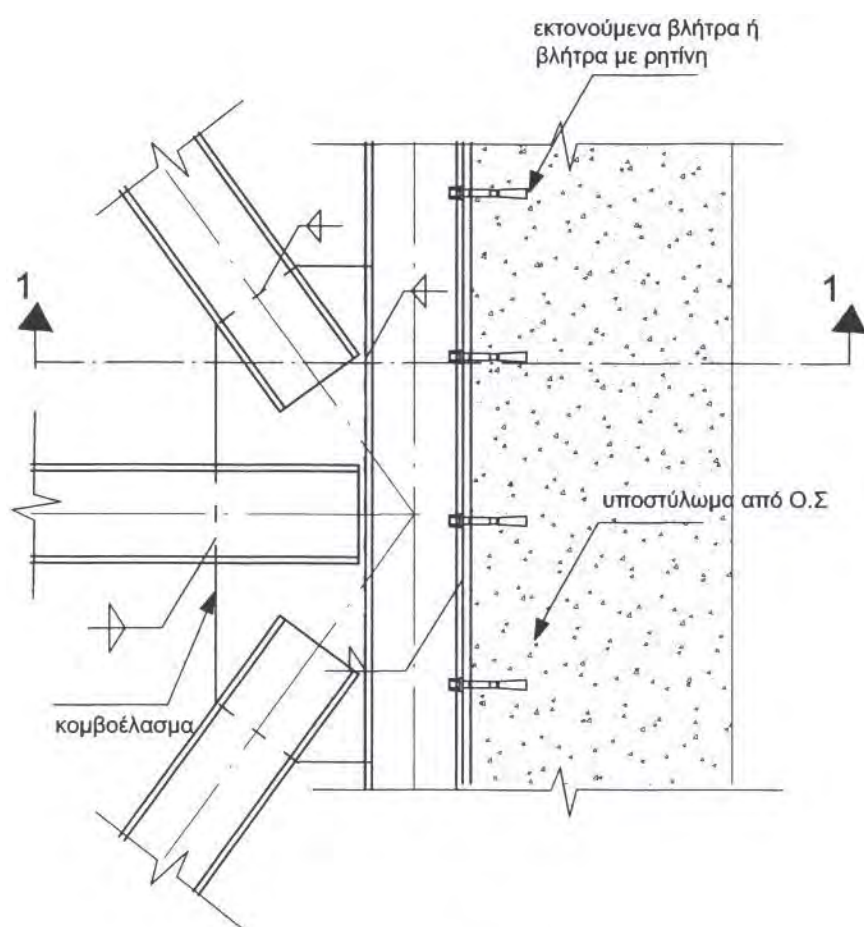
Σχήμα 4-53: Λεπτομέρεια Λ8 (Παραλλαγή 3)



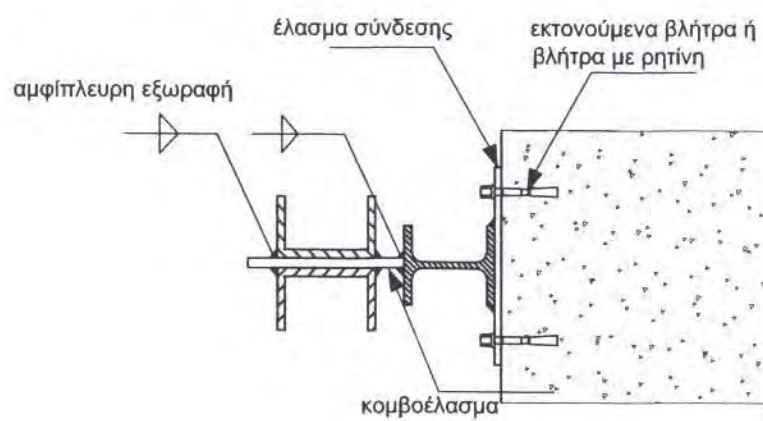
Σχήμα 4-54: Λεπτομέρεια Λ8 (Παραλλαγή 4)



Σχήμα 4-55: Λεπτομέρεια Λ8 (Παραλλαγή 5)



Τομή 1-1



Σχήμα 4-56: Λεπτομέρεια Λ8 (Παραλλαγή 6)

4.2.4 Συμπεράσματα

Στην παράγραφο 4.1.6 μελετήθηκε λεπτομερώς η επιρροή του χάλυβα ενίσχυσης σε υποστύλωμα Ο.Σ. Η σημαντικότερη παράμετρος είναι το εμβαδόν της διατομής του χάλυβα ενίσχυσης. Η αντοχή της σύμμικτης (ενισχυμένης) διατομής διαπιστώθηκε ότι αυξάνει γραμμικά με αύξηση του εμβαδού της διατομής. Σημαντικός είναι ο ρόλος επίσης της ποιότητας του χάλυβα, αλλά πρέπει να σημειωθεί ότι η περισσότερο χρησιμοποιούμενη στην αγορά είναι η S235.

Κατά την ενίσχυση πλαισίων Ο.Σ με συνδέσμους δυσκαμψίας και σύμφωνα με τα διαγράμματα της παραγράφου 4.2.2.3 προκύπτουν τα παρακάτω:

- Χρησιμοποιώντας έκκεντρο σύνδεσμο δυσκαμψίας η μεταβολή στη δυσκαμψία του πλαισίου Ο.Σ είναι πολύ μικρότερη συγκρινόμενη με αυτή που προκύπτει από τη χρησιμοποίηση συνδέσμων δυσκαμψίας τύπου Λ ή και Χ.
- Το εμβαδόν του συνδέσμου δυσκαμψίας αποτελεί σημαντικό παράγοντα στη δυσκαμψία του ενισχυμένου πλαισίου Ο.Σ.
- Για λόγους H/L (ύψος προς άνοιγμα πλαισίου Ο.Σ), η χρησιμοποίηση του συνδέσμου δυσκαμψίας τύπου Λ και τύπου Χ επιφέρει τα ίδια αποτελέσματα ως προς την αύξηση της δυσκαμψίας του ενισχυμένου πλαισίου Ο.Σ, όπως φαίνεται στα διαγράμματα 4.2.1-4.2.3. Για λόγους όμως $H/L=0,75$ και μεγαλύτερους, με τη χρήση του συνδέσμου τύπου Χ επιτυγχάνεται μεγαλύτερη δυσκαμψία από αυτή που προκύπτει με τη χρήση του συνδέσμου τύπου Λ.

Η χρήση του χάλυβα ως βασικού δομικού στοιχείου για επεμβάσεις σε κτίρια από οπλισμένο σκυρόδεμα εμφανίζει πολλά πλεονεκτήματα τόσο από στατική όσο και από αρχιτεκτονική άποψη. Πράγματι, οι αποκαταστάσεις - ενισχύσεις απαιτούν την εφαρμογή λύσεων, οι οποίες εξασφαλίζουν κατά το δυνατόν τη μεγαλύτερη προσαρμοστικότητα, οικονομία, ευκολία μελέτης και κατασκευής και ταχύτητα εκτέλεσης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. ΑΠΘ-Πολυτεχνική Σχολή (1978), Επισκευή ζημιών από σεισμό σε κτίρια-Οδηγίες, Θεσ/νίκη, σ. 88.
2. Βάγιας Ι. (1997), Σύμμικτες κατασκευές από χάλυβα και οπλισμένο σκυρόδεμα, εκδ. ΚΛΕΙΔΑΡΙΘΜΟΣ, Αθήνα, σ. 391.
3. Βάγιας Ι., Ερμόπουλος Ι, και Ιωαννίδης Γ. (1997 και 1999): ΣΙΔΗΡΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ, Παραδείγματα εφαρμογής του Ευρωκώδικα 3, Τόμοι Ι και ΙΙ, εκδ. ΚΛΕΙΔΑΡΙΘΜΟΣ, Αθήνα, σ. 469 και σ. 459.
4. ENV1998-1-4 (1996): Design provisions for earthquake resistance of structures, Part 1.4: General rules-Strengthening and repair of buildings, CEN, Brussels, pp. 112.
5. Ερμόπουλος Χ. Ι. (1997), ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑΣ 1, Βάσεις σχεδιασμού και δράσεις επί των κατασκευών, εκδ. ΚΛΕΙΔΑΡΙΘΜΟΣ, Αθήνα, σ. 210.
6. Mandara A. (2000), Consolidation techniques for buildings, Advanced professional training on Refurbishment of buildings and bridges, CISM, Udine.
7. Mazzolani F. (2000), Steel in structural rehabilitation, Advanced professional training on Refurbishment of buildings and bridges, CISM, Udine, pp. 118.
8. ΟΑΣΠ-ΥΠΕΧΩΔΕ (1999) Συνοπτικές οδηγίες για επισκευή του φέροντος οργανισμού κτιρίων από οπλισμένο σκυρόδεμα με βλάβες από σεισμό, Αθήνα, σ. 13.
9. ΟΑΣΠ-ΥΠΕΧΩΔΕ (2000), Τεχνικές οδηγίες προσεισμικού ελέγχου τρωτότητας δημοσίων κτιρίων, Τεύχος Α, Αθήνα.
10. Penelis G. and Kappos A. (1996), Earthquake-resistant concrete structures, E & FN SPON, London, pp. 563.
11. Τ.Ε.Ε.-Ο.Ε. (1987), Επισκευές-Ενισχύσεις, Παραδείγματα διαστασιολόγησης, Αθήνα, σ. 138.
12. Υ.Δ.Ε. (1978), Επισκευές βλαβών σε κτίρια που έχουν πληγεί από τους σεισμούς (ακριβής μετάφραση από τη σχετική έκδοση του Ο.Η.Ε., Ν. York, 1977), Θεσ/νίκη, σ. 60.
13. Υ.Δ.Ε.(1978), Κατευθυντήριες προδιαγραφές και οδηγίες για επισκευές κτιρίων με βλάβες από σεισμό, Θεσ/νίκη, σ. 69.
14. UNDP/UNIDO, Project RER/79/015 (1983): Building construction under seismic conditions in the Balkan region, Volume 5, Repair and strengthening of reinforced concrete, stone and brick-masonry buildings, Vienna, p. 229.