

## **6° Κεφάλαιο**

### **Αποκαταστάσεις σε κτίρια από φέρουσα τοιχοποιία**

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>6.1 Εισαγωγή</b>	<b>6-1</b>
<b>6.2 Χαρακτηριστικά της τοιχοποιίας</b>	<b>6-1</b>
6.2.1 Τάσεις σχεδιασμού τοιχοποιίας	6-1
6.2.2 Μήκος λυγισμού τοιχοποιίας	6-3
6.2.3 Γεωμετρικοί περιορισμοί τοιχοποιίας	6-4
6.2.4 Αντοχή τοιχοποιίας	6-4
6.2.5 Μέτρα ελαστικότητας και διάτμησης	6-6
6.2.6 Δυσκαμψίες τοιχοποιίας	6-6
<b>6.3 Ενίσχυση ή αντικατάσταση τοιχοποιίας μέσω μεταλλικού πλαισίου</b>	<b>6-7</b>
6.3.1 Γενικά	6-7
6.3.2 Αντιστοιχία τοιχοποιίας και μεταλλικού πλαισίου ως προς τη δυσκαμψία	6-9
6.3.3 Αντικατάσταση τοιχοποιίας από μεταλλικό πλαίσιο - παράδειγμα	6-11
<b>6.4 Τρόποι επέμβασης και σύνδεσης τοιχοποιίας και μεταλλικού πλαισίου</b>	<b>6-14</b>
6.4.1 Ενίσχυση τοιχοποιίας εντός επιπέδου μέσω μεταλλικού πλαισίου και συνδέσμων ακαμψίας	6-14
6.4.2 Ενίσχυση τοιχοποιίας εκτός επιπέδου μέσω μεταλλικού πλαισίου και συνδέσμων ακαμψίας μορφής Χ	6-22
6.4.3 Ενίσχυση τοιχοποιίας εκτός επιπέδου μέσω μεταλλικού πλαισίου και συνδέσμων ακαμψίας μορφής Λ	6-28
6.4.4 Ενίσχυση τοιχοποιίας εκτός επιπέδου μέσω μεταλλικού πλαισίου και έκκεντρων συνδέσμων ακαμψίας	6-31
6.4.5 Ενίσχυση τοιχοποιίας εκτός επιπέδου μέσω μεταλλικού πλαισίου και συνδέσμων ακαμψίας με μορφή τόξου	6-34
6.4.6 Ενίσχυση τοιχοποιίας εκτός επιπέδου μέσω μεταλλικού πλαισίου και συνδέσμων ακαμψίας μορφής Χ με άνοιγμα στο ένα άκρο	6-39
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b>	<b>6-45</b>

## 6.1 Εισαγωγή

Όπως είναι φυσικό, πολλές από τις επεμβάσεις αφορούν κτίρια από φέρουσα τοιχοποιία, τόσο λόγω παλαιότητας όσο και μεγαλύτερης τρωτότητας στο σεισμό. Αν επιχειρηθεί μια ταξινόμηση των επεμβάσεων, θα μπορούσαν να αναφερθούν οι παρακάτω εργασίες:

- αποκατάσταση - ενίσχυση της τοιχοποιίας
- αντικατάσταση της τοιχοποιίας
- καλύτερη σύνδεση της τοιχοποιίας με γειτονικά στοιχεία (πατώματα, στέγες, άλλους τοίχους κλπ.)

Αρχικά, γίνεται μια σύντομη περιγραφή των χαρακτηριστικών της τοιχοποιίας όσον αφορά την αντοχή αυτής, υπό διάφορες φορτίσεις, καθώς και τη δυσκαμψία. Παράλληλα, εξετάζονται τρόποι αντικατάστασης ή ενίσχυσης της τοιχοποιίας μέσω παραδειγμάτων. Στη συνέχεια, δίνεται μια σύντομη περιγραφή των συνηθέστερων τρόπων επέμβασης σε κτίρια από φέρουσα τοιχοποιία, οι οποίοι αφορούν τόσο τους ίδιους του φέροντες τοίχους, όσο και το σύνολο των φερόντων στοιχείων. Για πληρέστερα στοιχεία, αναφορά γίνεται στη σχετική βιβλιογραφία.

## 6.2 Χαρακτηριστικά της τοιχοποιίας

### 6.2.1 Τάσεις σχεδιασμού τοιχοποιίας

#### 6.2.1.1 Θλιπτική αντοχή της τοιχοποιίας

Αναλύεται η περίπτωση άοπλης τοιχοποιίας κατασκευασμένης με κονίαμα γενικής εφαρμογής, που αποτελεί τη συνήθη μορφή. Πληρέστερη αναφορά καθώς και άλλες περιπτώσεις καλύπτονται από τον Ευρωκώδικα 6.

- Χαρακτηριστική τιμή

$$f_k = K \cdot f_b^{0,65} \cdot f_m^{0,25} \text{ (MPa)}, \text{ όπου} \quad (6-1)$$

K είναι σταθερά, η οποία εξαρτάται από το είδος του λιθοσώματος και κυμαίνεται από 0,40 ως 0,60,

$f_b$  είναι η θλιπτική αντοχή του λιθοσώματος και

$f_m$  είναι η θλιπτική αντοχή του κονιάματος.

Στον παρακάτω πίνακα δίνεται η τιμή της θλιπτικής αντοχής του κονιάματος ανάλογα με την κατηγορία στην οποία κατατάσσεται αυτό.

Κατηγορία κονιάματος	M2	M5	M10	M15	M20
$f_m$ (MPa)	2,5	5,0	10,0	15,0	20,0

**Πίνακας 6-1:** Θλιπτική αντοχή κονιαμάτων.

- Τιμή σχεδιασμού

$$f_d = \frac{f_k}{\gamma_M}, \text{ όπου} \quad (6-2)$$

$\gamma_M$  είναι ο επιμέρους συντελεστής ασφαλείας για τοιχοποιία, ο οποίος εξαρτάται από την κατηγορία ελέγχου εργοστασιακής παραγωγής λιθοσωμάτων και την κατηγορία κατασκευής.

Κατηγορία ελέγχου	Κατηγορία κατασκευής		
	A	B	Γ
I	1,7	2,2	2,7
II	2,0	2,5	3,0

**Πίνακας 6-2:** Τιμές του επιμέρους συντελεστή ασφαλείας  $\gamma_M$ .

### 6.2.1.2 Διατμητική αντοχή τοιχοποιίας

- Χαρακτηριστική τιμή

$$f_{vk} = f_{vk0} + 0,4 \cdot \sigma_d \leq 0,065 \cdot f_b \text{ (MPa)}, \text{ όπου} \quad (6-3)$$

$f_{vk0}$  είναι η διατμητική αντοχή υπό μηδενική θλιπτική τάση λαμβανόμενη από τον Πίνακα 6.3 και

$\sigma_d$  είναι η δρώσα θλιπτική τάση.

Λιθόσωμα	Κονίαμα	$f_{vk0}$ (MPa)	Οριακή τιμή της $f_{vk}$ (MPa)	
Οπτόπλινθοι Ομάδας 1	M10 ως M20	0,30	1,70	
	M2,5 ως M9	0,20	1,50	
	M1 ως M2	0,10	1,20	
Λιθοσώματα Ομάδας 1 εκτός οπτοπλίνθων και φυσικών λίθων	M10 ως M20	0,20	1,70	
	M2,5 ως M9	0,15	1,50	
	M1 ως M2	0,10	1,20	
Φυσικοί λίθοι Ομάδας 1	M2,5 ως M9	0,15	1,00	
	M1 ως M2	0,10	1,00	
Οπτόπλινθοι Ομάδας 2α	M10 ως M20	0,30	Το μικρότερο από τις παράπλευρες τιμές ή τη θλιπτική αντοχή κατά τη διαμήκη διεύθυνση (σημείωση)	1,40
	M2,5 ως M9	0,20		1,20
	M1 ως M2	0,10		1,00
Ομάδες 2α και 2β εκτός οπτοπλίνθων και οπτόπλινθοι 2β	M10 ως M20	0,20		1,40
	M2,5 ως M9	0,15		1,20
	M1 ως M2	0,10		1,00
Οπτόπλινθοι Ομάδας 3	M10 ως M20	0,30	-	
	M2,5 ως M9	0,20	-	
	M1 ως M2	0,10	-	

Σημείωση: Για τα λιθοσώματα των Ομάδων 2α και 2β, η διαμήκης θλιπτική αντοχή λαμβάνεται ίση με την μετρηθείσα, για δ όχι μεγαλύτερο από 1,0.  
Όταν η διαμήκης θλιπτική αντοχή αναμένεται να είναι μεγαλύτερη από  $0,15f_b$ , λαμβανομένης υπ' όψη της διατάξεως των κενών, δεν είναι αναγκαία η διεξαγωγή δοκιμών.

**Πίνακας 6-3:** Τιμές της  $f_{vk0}$  και οριακές τιμές της  $f_{vk}$  για κονιάματα γενικής εφαρμογής.

- Τιμή σχεδιασμού

$$f_{vd} = \frac{f_{vk}}{\gamma_M} \quad (6-4)$$

### 6.2.2 Μήκος λυγισμού τοιχοποιίας

Το μήκος λυγισμού λαμβάνεται ίσο με:  $h_{\text{eff}} = \rho_n \cdot h$ , όπου (6-5)  
 $h$  είναι το καθαρό ύψος ορόφου και  
 $\rho_n$  είναι μειωτικός συντελεστής, όπου  $n=2,3$  ή  $4$ , ανάλογα με το πλήθος των πλευρών στήριξης.

#### 6.2.2.1 Μειωτικός συντελεστής $\rho_2$ για διέρειστη τοιχοποιία (στήριξη άνω και κάτω)

- $\rho_2=0,75$  (πάκτωση)  
 Ισχύει υπό τις εξής προϋποθέσεις:
  - δάπεδα από οπλισμένο σκυρόδεμα
  - ενδιάμεσος όροφος
  - πλάτος έδρασης δαπέδου  $\geq \left( \frac{2}{3} \cdot t_{\text{τοιχου}}, 85\text{mm} \right)$
  - εκκεντρότητα κατακόρυφου φορτίου στην κεφαλή του τοίχου  $e \leq 0,25 \cdot t_{\text{τοιχου}}$
- $\rho_2=1,00$  (άρθρωση)  
 Ισχύει για όλες τις άλλες περιπτώσεις (ξύλινα δάπεδα, ανώτερος όροφος, δάπεδα από οπλισμένο σκυρόδεμα που δεν πληρούν τις προϋποθέσεις για πάκτωση κλπ.).

#### 6.2.2.2 Μειωτικός συντελεστής $\rho_3$ για τριέρειστη τοιχοποιία (στήριξη άνω, κάτω και σε εγκάρσιο τοίχο)

$$\rho_3 = \frac{\rho_2}{1 + \left( \frac{\rho_2 \cdot h}{3 \cdot L} \right)^2} > 0,3, \text{ για } h \leq 3,5 \cdot L \text{ και} \quad (6-6)$$

$$\rho_3 = \frac{1,5 \cdot L}{h}, \text{ για } h > 3,5 \cdot L, \text{ όπου} \quad (6-7)$$

$L$  είναι η απόσταση του εγκάρσιου τοίχου από την ελεύθερη πλευρά.

Όταν  $L \geq 15 \cdot t_{\text{τοιχου}}$ , τότε  $\rho_3 = \rho_2$ .

#### 6.2.2.3 Μειωτικός συντελεστής $\rho_4$ για τετραέρειστη τοιχοποιία (στήριξη άνω, κάτω και σε δύο εγκάρσιους τοίχους)

$$\rho_4 = \frac{\rho_2}{1 + \left( \frac{\rho_2 \cdot h}{L} \right)^2}, \text{ για } h \leq L \text{ και} \quad (6-8)$$

$$\rho_4 = \frac{0,5 \cdot L}{h}, \text{ για } h > L. \quad (6-9)$$

Όταν  $L \geq 30 \cdot t_{\text{τοιχου}}$ , τότε  $\rho_4 = \rho_2$ .

#### 6.2.2.4 Απαιτήσεις εγκάρσιων τοίχων προς χρήση των συντελεστών $\rho_3$ και $\rho_4$

- Όμοια κατακόρυφη φόρτιση στηρίζοντος (εγκάρσιου) και στηριζόμενου τοίχου.
- Όμοια παραμορφωσιμότητα στηρίζοντος και στηριζόμενου τοίχου.

- «Δέσιμο» κατά το χτίσιμο στηρίζοντος και στηριζόμενου τοίχου.
- Μέγιστη απόσταση μεταξύ εγκάρσιων τοίχων  $l_{\text{εγκ.}} \leq \frac{1}{5} \cdot h_{\text{ορόφου}}$ .
- Ελάχιστο πάχος εγκάρσιου τοίχου  $10\text{cm} \leq t_{\text{εγκ.}} \leq \frac{1}{3} \cdot t_{\text{τοίχου}}$ .
- Το ελάχιστο μήκος εγκάρσιου τοίχου εκατέρωθεν του στηριζόμενου, μεταξύ τυχόν ανοιγμάτων πρέπει να είναι μεγαλύτερο από το 1/5 του ύψους του ανοίγματος.

#### 6.2.2.5 Επιρροή ανοιγμάτων

Τα τμήματα της τοιχοποιίας μεταξύ ανοιγμάτων θεωρούνται διέρειστα και μεταξύ ανοίγματος και εγκάρσιου τοίχου τριέρειστα, όταν ισχύουν τα παρακάτω:

- ύψος ανοίγματος μεγαλύτερο από 1/4 του ύψους του ορόφου,
- πλάτος ανοίγματος μεγαλύτερο από 1/4 του μήκους του τοίχου και
- εμβαδόν ανοίγματος μεγαλύτερο από 1/10 του εμβαδού του τοίχου.

#### 6.2.3 Γεωμετρικοί περιορισμοί τοιχοποιίας

Οι γεωμετρικοί περιορισμοί για τα διάφορα είδη τοιχοποιίας περιγράφονται συνοπτικά στον παρακάτω πίνακα.

	Είδος τοιχοποιίας				
	Άοπλη με φυσικούς λίθους	Άοπλη με τεχνητά λιθοσώματα	Άοπλη με τεχνητά λιθοσώματα σε ζώνες μικρής σεισμικότητας	Διαζωματική	Οπλισμένη
$t \text{ (mm)} \leq$	400	300	175	240	240
$\lambda = h_{\text{eff}} / t \leq$	9	12	15	15	15
$H / l \leq$	2	2	2,5	3	-
H = καθαρό ύψος του υψηλότερου από τα ανοίγματα που βρίσκονται εκατέρωθεν του τοίχου για μη σεισμικές ζώνες ισχύει $\lambda \leq 25$					

Πίνακας 6-4: Γεωμετρικοί περιορισμοί τοιχοποιίας.

#### 6.2.4 Αντοχή τοιχοποιίας

##### 6.2.4.1 Θλίψη και κάμψη τοίχου εντός του επιπέδου

Η τιμή σχεδιασμού της ροπής αντοχής εντός επιπέδου του τοίχου, υπό ταυτόχρονη θλίψη, δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$M_{\text{Rd}} = \frac{N_{\text{Sd}} \cdot l}{2} \cdot \left( 1 - \frac{N_{\text{Sd}}}{A \cdot f_d} \right), \text{ όπου} \quad (6-10)$$

A το εμβαδόν του τοίχου.

#### 6.2.4.2 Θλίψη και κάμψη τοίχου εκτός του επιπέδου (λυγισμός)

Η τιμή σχεδιασμού του κατακόρυφου φορτίου αντοχής του τοίχου ανά μέτρο μήκους δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$N_{Rd} = \Phi_{i,m} \cdot t \cdot f_d, \text{ όπου} \quad (6-11)$$

$\Phi$  ο μειωτικός συντελεστής αντοχής, που λαμβάνει υπ' όψη τη λυγηρότητα και την εκκεντρότητα του φορτίου.

- Μεσαίο πέμπτο του ύψους του τοίχου

$$\Phi_m = \left( 1 - 2 \cdot \frac{e_{mk}}{t} \right) \cdot e^{\frac{-u^2}{2}}, \text{ όπου } u = \frac{\frac{h_{eff}}{t} - 2}{23 - 37 \cdot \frac{e_{mk}}{t}}, \quad (6-12)$$

$$e_{mk} \text{ είναι η ολική εκκεντρότητα: } e_{mk} = e_m + e_k \geq 0,05 \cdot t, \quad (6-13)$$

$$e_m \text{ είναι η εκκεντρότητα λόγω φόρτισης: } e_m = \frac{M_m}{N_m} + e_{hm} \pm e_s, \quad (6-14)$$

$e_{hm}$  είναι η εκκεντρότητα στο μέσο του ύψους λόγω οριζόντιων φορτίων (άνεμος),

$e_s$  είναι η τυχηματική εκκεντρότητα λόγω κατασκευαστικών ατελειών:

$$e_s = \frac{h_{eff}}{450}, \quad (6-15)$$

$M_m$  είναι η μέγιστη τιμή της ροπής στο μεσαίο πέμπτο του ύψους του τοίχου,

$N_m$  είναι το αξονικό φορτίο σχεδιασμού στο μεσαίο πέμπτο του ύψους του τοίχου,

$$e_k \text{ είναι η εκκεντρότητα λόγω ερπυσμού: } e_k = 0,002 \cdot \varphi_{\infty} \cdot \frac{h_{eff}}{t} \cdot \sqrt{t \cdot e_m}, \quad (6-16)$$

όπου  $\varphi_{\infty}$  είναι ο τελικός συντελεστής ερπυσμού για τοιχοποιία και λαμβάνεται από τον παρακάτω πίνακα.

Τύπος λιθοσώματος	Τελικός συντελεστής ερπυσμού $\varphi_{\infty}$	
	Εύρος τιμών	Τιμή σχεδιασμού
Οπτόπλινθοι	0,5 - 1,5	1,0
Πυριτικό ασβέστιο	1,0 - 2,0	1,5
Λιθοσώματα από σκυρόδεμα και τεχνητοί λίθοι	1,0 - 2,0	1,5
Λιθοσώματα από ελαφρό-σκυρόδεμα	1,0 - 3,0	2,0
Ελαφρόλιθοι από σκυρόδεμα	1,0 - 2,5	1,5
Φυσικοί λίθοι	-	0

Ο τελικός συντελεστής ερπυσμού  $\varphi_{\infty} = \varepsilon_{\infty} / \varepsilon_{el}$ , όπου  $\varepsilon_{\infty}$  είναι η τελική παραμόρφωση λόγω ερπυσμού και  $\varepsilon_{el} = \sigma / E$ .  
Οι τιμές για τους φυσικούς λίθους είναι συνήθως πολύ χαμηλές.

**Πίνακας 6-5:** Συντελεστής ερπυσμού για τοιχοποιία.

- Στην κορυφή ή βάση του τοίχου

$$\Phi_i = 1 - 2 \cdot \frac{e_i}{t}, \text{ όπου} \quad (6-17)$$

$e_i$  είναι η εκκεντρότητα στην κορυφή ή στη βάση του τοίχου, η οποία δίνεται από τη σχέση:

$$e_i = \frac{M_i}{N_i} + e_{hi} + e_s \geq 0,05 \cdot t, \text{ όπου} \quad (6-18)$$

$M_i$  είναι η καμπτική ροπή σχεδιασμού στην κορυφή ή στη βάση του τοίχου λόγω της εκκεντρότητας των κατακόρυφων φορτίων των δαπέδων,  
 $N_i$  είναι το κατακόρυφο φορτίο σχεδιασμού στην κορυφή ή στη βάση του τοίχου,  
 $e_{hi}$  είναι η εκκεντρότητα στην κορυφή ή στη βάση του τοίχου λόγω οριζόντιων φορτίων (άνεμος).

#### 6.2.4.3 Διάτμηση τοίχου

Η τιμή σχεδιασμού του τοίχου λόγω διάτμησης δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$V_{Rd} = f_{vd} \cdot t. \quad (6-19)$$

#### 6.2.4.4 Αντοχή έναντι συγκεντρωμένων φορτίων

Η τιμή σχεδιασμού του τοίχου λόγω συγκεντρωμένου φορτίου δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$N_{Rd} = \frac{A_1}{l_1} \cdot (l_1 + 2 \cdot z) \cdot f_{cond}, \text{ όπου} \quad (6-20)$$

$$f_{cond} = \left( 1 + 0,1 \cdot \frac{a_1}{l_1} \right) \cdot \frac{f_k}{\gamma_M} \leq 1,5 \cdot \frac{f_k}{\gamma_M} \quad (6-21)$$

$l_1$  είναι το μήκος έδρασης,

$a_1$  είναι η απόσταση του άκρου έδρασης από το άκρο του τοίχου,

$A_1$  είναι η επιφάνεια εφαρμογής του φορτίου, όπου  $A_1 \leq 2 \cdot t^2$ ,

$e$  είναι η εκκεντρότητα του φορτίου, όπου  $e \leq t/6$ ,

$z$  είναι η στάθμη ελέγχου κάτω από το φορτίο (ακριβώς κάτω από το φορτίο  $z=0$ ).

#### 6.2.5 Μέτρα ελαστικότητας και διάτμησης

##### 6.2.5.1 Μέτρο ελαστικότητας E

Όταν δε διατίθεται τιμή για το μέτρο ελαστικότητας μέσω δοκιμών, τότε λαμβάνεται ίσο με:  $E_{τοχ.} = 1000 \cdot f_k$ . (6-22)

##### 6.2.5.2 Μέτρο διάτμησης G

Το μέτρο διάτμησης λαμβάνεται ίσο με:  $G = 0,4 \cdot E_{τοχ.}$ . (6-23)

#### 6.2.6 Δυσκαμψίες τοιχοποιίας

##### 6.2.6.1 Διατμητική δυσκαμψία τοιχοποιίας (χωρίς ανοίγματα)

$$S_v = G \cdot t \cdot l \quad (6-24)$$

##### 6.2.6.2 Καμπτική δυσκαμψία τοιχοποιίας εντός επιπέδου (χωρίς ανοίγματα)

$$(EI)_B = E_{τοχ.} \cdot t \cdot \frac{l^3}{12} \quad (6-25)$$



### 6.2.6.3 Ισοδύναμη δυσκαμψία τοιχοποιίας

$$\frac{1}{(EI)_{\text{τοιχ.}}} = \frac{1}{(EI)_B} + \frac{1}{S_v \cdot h^2} \quad (6-26)$$

Αν αντικαταστήσουμε τις σχέσεις (6-23), (6-24) και (6-25) στη σχέση (6-26) λαμβάνουμε:

$$\frac{1}{(EI)_{\text{τοιχ.}}} = \frac{12}{(EA)_{\text{τοιχ.}} \cdot l^2} + \frac{2,5}{(EA)_{\text{τοιχ.}} \cdot h^2}, \text{ όπου} \quad (6-27)$$

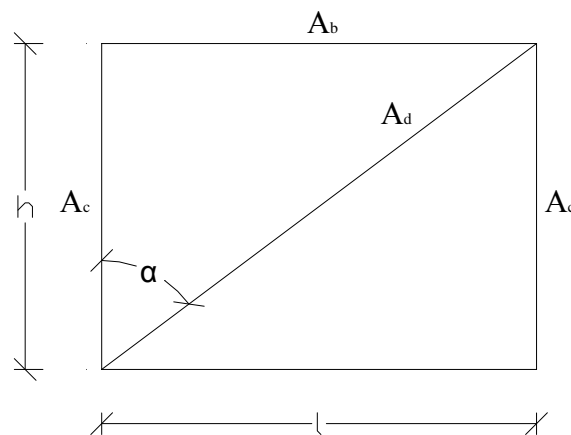
$A_{\text{τοιχ.}} = t \cdot l$  είναι το εμβαδόν του τοίχου.

## 6.3 Ενίσχυση ή αντικατάσταση τοιχοποιίας μέσω μεταλλικού πλαισίου

### 6.3.1 Γενικά

Στην παρούσα ενότητα προσδιορίζονται οι ιδιότητες ενός ισοδύναμου μεταλλικού πλαισίου, το οποίο αντικαθιστά έναν καθαιρούμενο τοίχο είτε απλά τον ενισχύει. Παράλληλα, εξετάζονται διάφορες μορφές συνδέσμων ακαμψίας του πλαισίου καθώς και η σχέση τους με τη δυσκαμψία της τοιχοποιίας.

Στο σχήμα 6-1 απεικονίζεται η μορφή ενός ισοδύναμου μεταλλικού πλαισίου με ένα σύνδεσμο ακαμψίας. Ως  $l$  καλείται το μήκος του τοίχου ή η απόσταση μεταξύ δύο τοίχων για την περίπτωση της ενίσχυσης τοίχου εκτός επιπέδου και  $h$  είναι το ύψος της τοιχοποιίας. Το εμβαδόν των διατομών του μεταλλικού πλαισίου είναι  $A$ , όπου:  
 $A_b$  είναι το εμβαδόν της διατομής της δοκού του πλαισίου,  
 $A_c$  είναι το εμβαδόν της διατομής του υποστυλώματος του πλαισίου και  
 $A_d$  είναι το εμβαδόν της διατομής του διαγωνίου συνδέσμου του πλαισίου.  
 Η γωνία που σχηματίζει ο διαγώνιος σύνδεσμος με την κατακόρυφο καλείται  $\alpha$ .



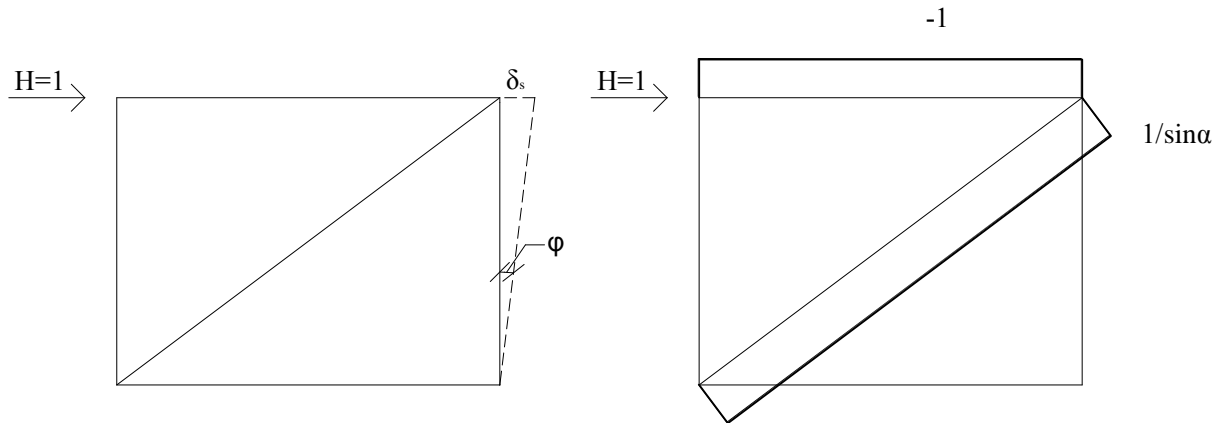
**Σχήμα 6-1:** Διάταξη ισοδύναμου μεταλλικού πλαισίου.

$$\text{Η καμπτική δυσκαμψία του πλαισίου είναι: } (EI)_s = \frac{(EA)_c \cdot l^2}{2}. \quad (6-28)$$

Για τον υπολογισμό της διατμητικής δυσκαμψίας ασκείται οριζόντια δύναμη  $H=1$  στην κορυφή του πλαισίου (σχήμα 6-2). Η μετατόπιση κορυφής  $\delta_s$  είναι ίση με:

$$\delta_s = \sum_i \frac{N_i}{E_s \cdot A_i} \cdot l_i, \text{ όπου} \quad (6-29)$$

$N_i$  είναι οι αξονικές δυνάμεις που αναπτύσσονται στα μέλη του πλαισίου λόγω της οριζόντιας δύναμης  $H=1$  (σχήμα 6-2).



**Σχήμα 6-2:** Παραμόρφωση και αξονικές δυνάμεις λόγω οριζόντιας δύναμης  $H=1$ .

$$\text{Συνεπώς έχουμε: } \delta_s = \frac{l}{(EA)_d \cdot \sin^3 \alpha} + \frac{l}{(EA)_b}. \quad (6-30)$$

$$\text{Η διατμητική δυσκαμψία του πλαισίου είναι: } S_v = \frac{H}{\varphi} = \frac{1}{\varphi}, \text{ όπου} \quad (6-31)$$

$$\varphi \text{ είναι η γωνία στροφής του πλαισίου: } \tan \varphi = \frac{\delta_s}{h}. \quad (6-32)$$

$$\text{Για μικρές γωνίες ισχύει } \tan \varphi = \varphi, \text{ οπότε } \varphi = \frac{\delta_s}{h}. \quad (6-33)$$

Αντικαθιστώντας τις σχέσεις (6-30) και (6-33) στη σχέση (6-31) προκύπτει η παρακάτω σχέση για τη διατμητική δυσκαμψία:

$$S_v = \frac{1}{\frac{1}{(EA)_d \cdot \sin^2 \alpha \cdot \cos \alpha} + \frac{1}{(EA)_b \cdot \cot \alpha}}. \quad (6-34)$$

Στον παρακάτω πίνακα δίνεται η διατμητική δυσκαμψία πλαισίου για διάφορες περιπτώσεις διαγωνίων συνδέσμων.

Σχέσεις Πίνακα 6-6:

$$S_1 = (EA)_d \cdot \sin^2 \alpha \cdot \cos \alpha,$$

$$S_2 = (EA)_b \cdot \cot \alpha,$$

$$S_3 = G_s \cdot A_{bv} \cdot \tan \alpha,$$

$$S_4 = \frac{3 \cdot (EI)_b \cdot \tan \alpha}{e^2},$$

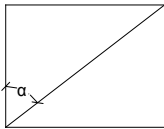
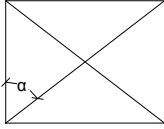
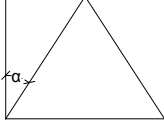
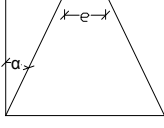
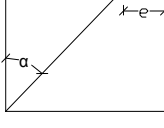

$$\varepsilon = \frac{e}{l},$$

$$\varphi = r \cdot (1 - \varepsilon) + \varepsilon,$$

$$r = \frac{1}{1 + \mu \cdot \frac{I_d}{I_b} \cdot \sin \alpha},$$

$\psi = 1 - \varepsilon$ , όπου

$G_s$  είναι το μέτρο διάτμησης,  $A_{bv}$  είναι η επιφάνεια διάτμησης της δοκού,  $I_b$  και  $I_d$  είναι οι ροπές αδρανείας της διατομής της δοκού και διαγωνίου αντίστοιχα και  $h_b$  είναι το ύψος της διατομής της δοκού. Ο συντελεστής  $\mu$  λαμβάνεται ίσος με μηδέν αν οι διαγώνιοι είναι αρθρωτά συνδεδεμένες στα άκρα τους. Αν οι διαγώνιοι είναι αρθρωτά συνδεδεμένες στη δοκό και πακτωμένες στο άλλο άκρο τους, ο συντελεστής  $\mu$  λαμβάνεται ίσος με ένα. Τέλος, αν οι διαγώνιοι είναι πακτωμένες και στα δύο άκρα τους, τότε ο συντελεστής  $\mu$  λαμβάνεται ίσος με 4/3.

Μορφή μεταλλικού πλαισίου	Διατμητική δυσκαμψία	
	$S_v = \frac{1}{\frac{1}{S_1} + \frac{1}{S_2}}$	(6-35)
	$S_v = \frac{1}{\frac{1}{2 \cdot S_1} + \frac{1}{S_2}}$	(6-36)
	$S_v = \frac{1}{\frac{1}{2 \cdot S_1} + \frac{1}{2 \cdot S_2}}$	(6-37)
	$S_v = \frac{1}{\frac{1}{2 \cdot S_1} + \frac{1}{2 \cdot S_2} + \frac{\varepsilon}{2 \cdot S_3} + \frac{\varphi \cdot (1 - \varepsilon)}{8 \cdot S_4}}$	(6-38)
	$S_v = \frac{1}{\frac{1}{2 \cdot S_1} + \frac{1}{2 \cdot S_2} + \frac{\varepsilon}{\psi \cdot S_3} + \frac{\varphi \cdot \psi \cdot (1 - \varepsilon)}{S_4}}$	(6-39)
	$S_v = 3 \cdot E \cdot A_b \cdot \frac{h_b^2}{h \cdot l}$	(6-40)

**Πίνακας 6-6:** Τιμές της διατμητικής δυσκαμψίας για διάφορες περιπτώσεις πλαισίων.

### 6.3.2 Αντιστοιχία τοιχοποιίας και μεταλλικού πλαισίου ως προς τη δυσκαμψία

Όταν τίθεται μεταλλικό πλαίσιο προς αντικατάσταση ή ενίσχυση τοιχοποιίας, οι συνδέσεις των δοκών - υποστυλωμάτων και των διαγωνίων είναι αρθρωτές, συνεπώς δε μεταβιβάζουν ροπές. Στη συγκεκριμένη περίπτωση η δυσκαμψία του πλαισίου είναι η διατμητική του δυσκαμψία με μόνο τους διαγώνιους συνδέσμους να συμμετέχουν σε αυτή. Στην περίπτωση λοιπόν τοποθέτησης ενός συνδέσμου μορφής Χ, η δυσκαμψία του πλαισίου θα είναι:

$$S_v = 2 \cdot (EA)_d \cdot \sin^2 \alpha \cdot \cos \alpha \quad (6-41)$$

Αν στη σχέση (6-27) της ισοδύναμης δυσκαμψίας της τοιχοποιίας θέσουμε  $\tan \alpha = \frac{l}{h}$ ,

προκύπτει η παρακάτω σχέση:

$$\frac{1}{(EI)_{\text{τοιχ.}}} = \frac{1}{(EA)_{\text{τοιχ.}} \cdot h^2} \cdot \left( \frac{12}{\tan^2 \alpha} + 2,5 \right) \quad \text{ή}$$

$$\frac{(EI)_{\text{τοιχ.}}}{h^2} = \frac{(EA)_{\text{τοιχ.}}}{\left( \frac{12}{\tan^2 \alpha} + 2,5 \right)} \quad (6-42)$$

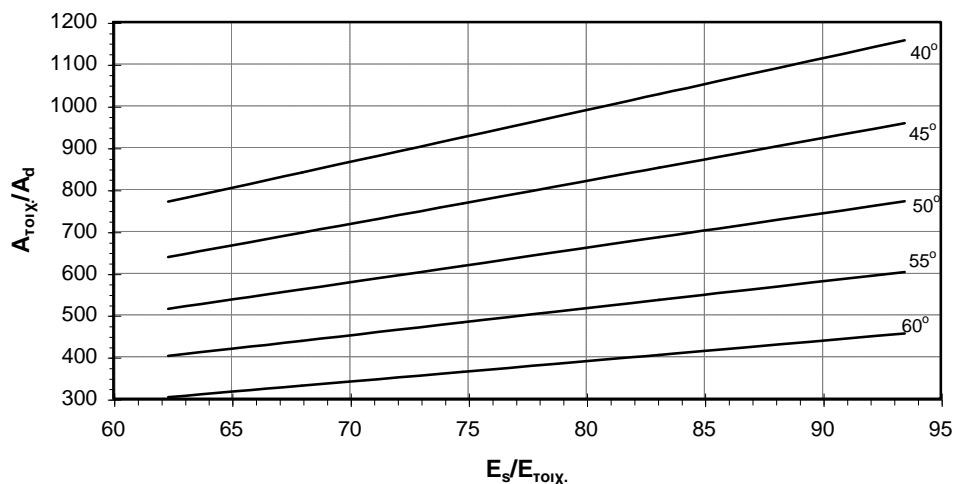
Εξισώνοντας τις σχέσεις (6-41) και (6-42) προκύπτει η αντιστοιχία μεταξύ της ισοδύναμης δυσκαμψίας της τοιχοποιίας και της δυσκαμψίας του μεταλλικού πλαισίου:

$$2 \cdot (EA)_d \cdot \sin^2 \alpha \cdot \cos \alpha = \frac{(EA)_{\text{τοιχ.}}}{\left( \frac{12}{\tan^2 \alpha} + 2,5 \right)} \quad \text{ή}$$

$$\frac{E_s}{E_{\text{τοιχ.}}} = \frac{1}{2 \cdot \sin^2 \alpha \cdot \cos \alpha \cdot \left( \frac{12}{\tan^2 \alpha} + 2,5 \right)} \cdot \frac{A_{\text{τοιχ.}}}{A_d} \quad (6-43)$$

Παρατηρούμε ότι από την άνω σχέση εύκολα προκύπτουν διαγράμματα που συνδέουν τα χαρακτηριστικά της τοιχοποιίας με τα αντίστοιχα του ισοδύναμου μεταλλικού πλαισίου συναρτήσει της γωνίας  $\alpha$  του διαγωνίου συνδέσμου. Καθώς το μέτρο ελαστικότητας συνδέεται με τη χαρακτηριστική τιμή της θλιπτικής αντοχής της τοιχοποιίας μέσω της σχέσης (6-22), για θλιπτική αντοχή κονιάματος  $f_m = 2,5 \text{ MPa}$  και για θλιπτική αντοχή λιθοσώματος  $f_b = 10 \text{ MPa}$ , προκύπτει το παρακάτω διάγραμμα.

**$f_m = 2,5 \text{ MPa}$  &  $f_b = 10 \text{ MPa}$**



**Διάγραμμα 6-1:** Αντιστοιχία ως προς τη δυσκαμψία μεταλλικού πλαισίου και τοιχοποιίας με  $f_m = 2,5 \text{ MPa}$  και  $f_b = 10 \text{ MPa}$  για διάφορες τιμές της γωνίας  $\alpha$ .

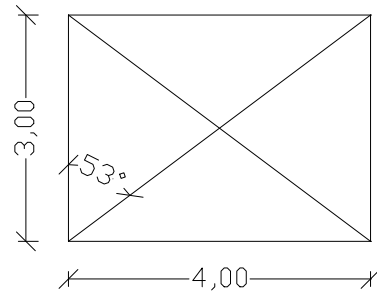
Στο παράρτημα Ε υπάρχουν αντίστοιχα διαγράμματα, τα οποία καλύπτουν όλες τις διακυμάνσεις των τιμών για τις θλιπτικές αντοχές  $f_m$  και  $f_b$ . Τα συγκεκριμένα διαγράμματα αναφέρονται μόνο στην περίπτωση τοποθέτησης ενός συνδέσμου δυσκαμψίας μορφής Χ. Στην περίπτωση ενός διαγωνίου συνδέσμου (1<sup>η</sup> σειρά Πίνακα 6-6) η τιμή του εμβαδού του διαγωνίου συνδέσμου, που προκύπτει από το διάγραμμα, διαιρείται με δύο. Στην περίπτωση τοποθέτησης συνδέσμων μορφής Λ (3<sup>η</sup> σειρά Πίνακα 6-6), η γωνία  $\alpha$  αναπαρίσταιται στον Πίνακα 6-6. Παρόμοιες αντιστοιχίες γίνονται και για τις άλλες περιπτώσεις του Πίνακα 6-6.

### 6.3.3 Αντικατάσταση τοιχοποιίας από μεταλλικό πλαίσιο - παράδειγμα

Παρατίθεται παράδειγμα αντικατάστασης τοιχοποιίας μέσω μεταλλικού πλαισίου με διαγώνιους συνδέσμους δυσκαμψίας μορφής Χ (σχήμα 6-3).

#### 6.3.3.1 Δεδομένα τοιχοποιίας

Λιθόσωμα: οπτόπλινθος (Ομάδας 2α)  $f_b = 10 \text{ MPa}$   
 Κονίαμα κατηγορίας M5:  $f_m = 5 \text{ MPa}$   
 Πάχος τοιχοποιίας:  $t=40\text{cm}$   
 Κατακόρυφο φορτίο:  $\sigma_o=0,12 \text{ kN/cm}^2$   
 Κατηγορία ελέγχου κατασκευής Β  
 Κατηγορία ελέγχου εργοστασιακής παραγωγής  
 λιθοσωμάτων Ι.



Σχήμα 6-3: Μορφή μεταλλικού πλαισίου.

#### 6.3.3.2 Θλιπτική αντοχή τοιχοποιίας

Για λιθόσωμα της Ομάδας 2α, χωρίς διαμήκη αρμό κονιάματος, ο συντελεστής  $K$  της σχέσης (6-1) λαμβάνεται ίσος με 0,55.

Η χαρακτηριστική τιμή της θλιπτικής αντοχής είναι (σχέση 6-1):

$$f_k = 0,55 \cdot 10^{0,65} \cdot 5^{0,25} = 3,67 \text{ MPa}$$

Η τιμή σχεδιασμού της θλιπτικής αντοχής είναι (σχέση 6-2):  $f_d = \frac{3,67}{2,2} = 1,67 \text{ MPa}$

Μέτρο ελαστικότητας  $E_{\text{τοιχ.}} = 1000f_k = 3670 \text{ MPa}$

Μέτρο ολίσθησης  $G = 0,4E_{\text{τοιχ.}} = 1468 \text{ MPa}$

#### 6.3.3.3 Διατμητική αντοχή τοιχοποιίας

Από τον Πίνακα 6-3 έχουμε  $f_{vk0}=0,20 \text{ MPa}$  και  $\max f_{vk}=1,20 \text{ MPa}$

Η χαρακτηριστική τιμή της διατμητικής αντοχής είναι (σχέση 6-3):

$$f_{vk} = 0,20 + 0,4 \cdot 0,012 = 0,2048 \text{ MPa} < 0,065f_b = 0,65 \text{ MPa}$$

Η τιμή σχεδιασμού της διατμητικής αντοχής είναι (σχέση 6-4):

$$f_{vd} = \frac{0,2048}{2,2} = 0,0931 \text{ MPa}$$

#### 6.3.3.4 Θλίψη και κάμψη τοιχοποιίας εντός επιπέδου

Το κατακόρυφο φορτίο είναι  $N_{sd} = 0,12 \cdot 40 \cdot 400 = 1920 \text{ kN}$ .

Η τιμή σχεδιασμού της ροπής αντοχής του τοίχου (σχέση 6-10) είναι:

$$M_{Rd} = \frac{N_{sd} \cdot l}{2} \cdot \left(1 - \frac{N_{sd}}{A \cdot f_d}\right) = \frac{1920 \cdot 4}{2} \cdot \left(1 - \frac{1920}{0,4 \cdot 4 \cdot 1670}\right) = 1081 \text{ kNm}$$

#### 6.3.3.5 Θλίψη και κάμψη τοιχοποιίας εκτός επιπέδου

Το μήκος λυγισμού του τοίχου, για αρθρωτή στήριξη άνω και κάτω, είναι (σχέση 6-5):  
 $h_{eff} = 300 \text{ cm}$ .

Η τυχηματική εκκενρότητα λόγω κατασκευαστικών ατελειών (σχέση 6-15) είναι:

$$e_s = \frac{300}{450} = 0,67 \text{ cm}.$$

Θεωρούμε ότι η εκκενρότητα στο μέσο του ύψους λόγω οριζόντιων φορτίων  $e_{hm}$  είναι ίση με μηδέν. Παράλληλα, υπό τη θεώρηση τριγωνικής κατανομής των φορτίων, η εκκενρότητα στην κορυφή του τοίχου θα είναι 7 cm. Συνεπώς, η τιμή της ροπής στο μεσαίο πέμπτο του ύψους του τοίχου θα είναι  $M_m = 0,02 \cdot 0,07 \cdot 1920 = 2,7 \text{ kNm}$ . Η τιμή της αξονικής δύναμης στο μεσαίο πέμπτο του ύψους του τοίχου θα είναι περίπου ίση με 1980 kN (ειδικό βάρος τοιχοποιίας  $20 \text{ kNm}^3$ ). Συνεπώς, η εκκενρότητα λόγω φόρτισης (σχέση 6-14) είναι:

$$e_m = \frac{270}{1980} + 0,67 = 0,803 \text{ cm}.$$

Η εκκενρότητα λόγω ερπυσμού (σχέση 6-16) είναι:

$$e_k = 0,002 \cdot 1 \cdot \frac{300}{40} \cdot \sqrt{40 \cdot 0,803} = 0,085 \text{ cm}.$$

Η ολική εκκενρότητα (σχέση 6-13) είναι:

$$e_{mk} = 0,803 + 0,085 = 0,89 \text{ cm} \leq 0,05 \cdot t = 2 \text{ cm}, \text{ άρα } e_{mk} = 2 \text{ cm}.$$

Ο μειωτικός συντελεστής λυγισμού στο μέσο του τοίχου προκύπτει από τη σχέση (6-12):

$$\Phi_m = \left(1 - 2 \cdot \frac{2}{40}\right) \cdot e^{\frac{-0,26^2}{2}} = 0,87$$

Ο μειωτικός συντελεστής λυγισμού στα άκρα του τοίχου προκύπτει από τη σχέση (6-17):

$$\Phi_i = 1 - 2 \cdot \frac{7,67}{40} = 0,62, \text{ όπου}$$

$$e_i = 7 + 0,67 = 7,67 \text{ cm} \geq 0,05 \cdot t = 2 \text{ cm (σχέση 6-18)}.$$

Συνεπώς, το κατακόρυφο φορτίο αντοχής είναι (σχέση 6-11):

$$N_{sd} = \Phi \cdot t \cdot f_d \cdot L = 0,62 \cdot 0,4 \cdot 1670 \cdot 4 = 1657 \text{ kN} < 1920 \text{ kN}$$

Συμπεραίνουμε ότι η τοιχοποιία χρειάζεται αντικατάσταση.

### 6.3.3.6 Διάτμηση τοιχοποιίας

Η τιμή σχεδιασμού του τοίχου λόγω διάτμησης σύμφωνα με τη σχέση (6-19) είναι:

$$V_{Rd} = 93,1 \cdot 0,4 \cdot 4 = 149 \text{ kN.}$$

### 6.3.3.7 Δυσκαμψίες τοιχοποιίας

Διατμητική (σχέση 6-24):  $S_v = 1468000 \cdot 0,4 \cdot 4 = 2,349 \cdot 10^6 \text{ kN}$

Καμπτική (σχέση 6-25):  $(EI)_B = 3670000 \cdot 0,4 \cdot \frac{4^3}{12} = 7,829 \cdot 10^6 \text{ kNm}^2$

Ισοδύναμη δυσκαμψία (σχέση 6-26):  $\frac{10^6}{(EI)_{\text{τοίχ.}}} = \frac{1}{7,829} + \frac{1}{2,349 \cdot 3^2} \Rightarrow$

$$EI = 5,713 \cdot 10^6 \text{ kNm}^2$$

### 6.3.3.8 Ισοδυναμία ως προς τη δυσκαμψία

Από τη σχέση (6-41) έχουμε:

$$5,713 \cdot 10^6 = 2 \cdot 210 \cdot 10^6 \cdot 0,64 \cdot 0,6 \cdot 3^2 \cdot A_d \Rightarrow A_d = 39,4 \text{ cm}^2.$$

Αν χρησιμοποιηθεί ο αντίστοιχος πίνακας του παραρτήματος Ε, για  $\frac{E_s}{E_{\text{τοίχ.}}} = \frac{210000}{3670} = 57,22$  προκύπτει  $\frac{A_{\text{τοίχ.}}}{A_s} = 405 \Rightarrow A_s = 39,5 \text{ cm}^2.$

### 6.3.3.9 Ισοδυναμία ως προς την αντοχή

- Απαιτούμενη διατομή δοκού

$$M_{Sd} = \frac{q \cdot l^2}{8} = \frac{0,12 \cdot 40 \cdot 400^2}{8} = 96000 \text{ kNcm}$$

$$W_{pl} = \frac{M_{Sd} \cdot \gamma_{MO}}{f_y} = \frac{96000 \cdot 1,1}{23,5} = 4494 \text{ cm}^3.$$

Με δεδομένη την απαιτούμενη πλαστική ροπή αντίστασης επιλέγεται η διατομή της δοκού, όπως HEA 600 ή HEB 500.

- Απαιτούμενη διατομή υποστυλώματος

$$N_{Sd} = \frac{q \cdot l}{2} = \frac{0,12 \cdot 40 \cdot 400}{2} = 960 \text{ kN}$$

$$A_{\text{απ}} = \frac{N_{Sd} \cdot \gamma_{MO}}{f_y} = \frac{960 \cdot 1,1}{23,5} = 45 \text{ cm}^2.$$

Επιλέγεται διατομή υποστυλώματος IPE 300 ή HEA 200 ή 2U180.

- Απαιτούμενη διατομή διαγωνίου συνδέσμου

Λόγω της καμπτικής ροπής  $M_{Rd} = 1081 \text{ kNm}$  έχουμε:

$$V_{Rd} = \frac{1081}{3} = 360 \text{ kN} > 149 \text{ kN (λόγω διάτμησης της τοιχοποιίας)}$$

$$V_{Rd} = N_{Rd} \cdot \cos \alpha = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_M} \cdot \cos \alpha \Rightarrow A = \frac{V_{Rd} \cdot \gamma_{MO}}{f_y \cdot \cos \alpha} = \frac{360 \cdot 1,1}{2 \cdot 23,5 \cdot 0,6} = 14 \text{ cm}^2$$

Επιλέγεται διατομή διαγωνίου συνδέσμου IPE 140 ή HEA 100 ή U120 ή 2U65.

Ενδεικτικά ακολουθεί ο έλεγχος σε λυγισμό του διαγωνίου συνδέσμου με διατομή IPE 140.

Η λυγηρότητα είναι:  $\lambda = \frac{l}{i} = \frac{250}{5,74} = 43,55$ .

Η αδιάστατη λυγηρότητα είναι:  $\bar{\lambda} = \frac{43,55}{93,9 \cdot 1} = 0,46$ .

Για καμπύλη λυγισμού α έχουμε  $\chi=0,9363$ .

Η αντοχή σε λυγισμό είναι:

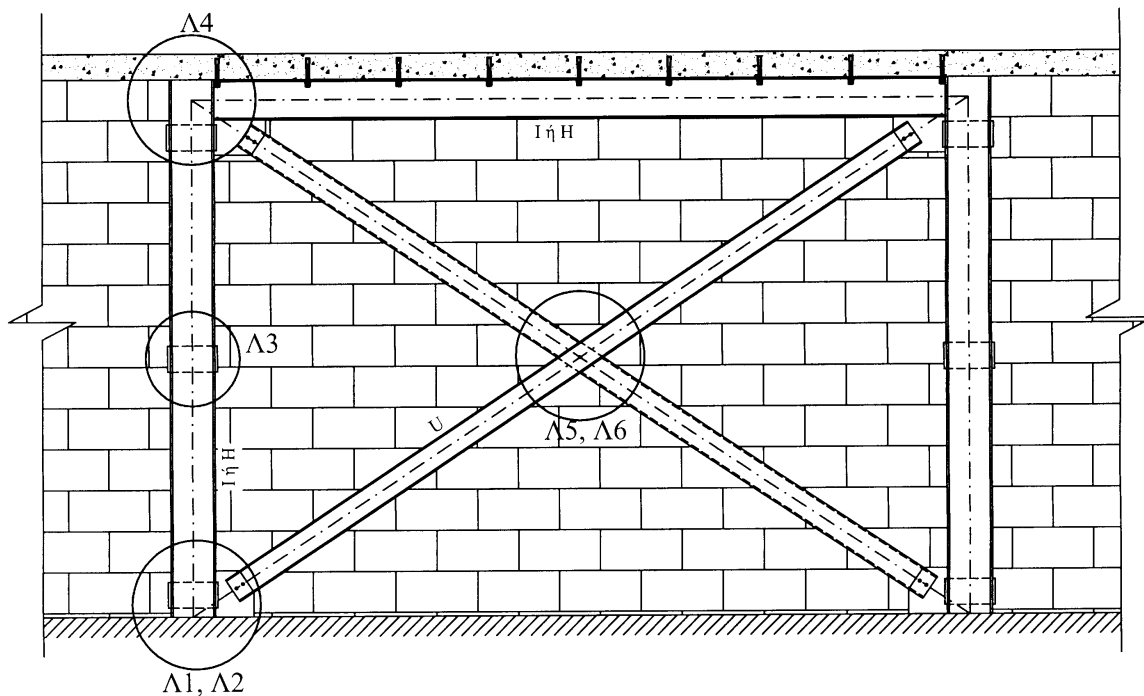
$$N_{Rd} = \chi \cdot \beta_A \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 0,9363 \cdot \frac{16,4 \cdot 23,5}{1,1} = 328 \text{ kN} > \frac{V_{Rd}}{\cos \alpha} = \frac{180}{0,6} = 300 \text{ kN}.$$

Παρατηρούμε ότι η απαιτούμενη διατομή λόγω ισοδυναμίας της δυσκαμψίας της τοιχοποιίας με του μεταλλικού πλαισίου είναι μεγαλύτερη αυτής λόγω ισοδυναμίας ως προς την αντοχή.

#### 6.4 Τρόποι επέμβασης και σύνδεσης τοιχοποιίας και μεταλλικού πλαισίου

Οι παρακάτω επεμβάσεις διακρίνονται στην ενίσχυση - αντικατάσταση τοιχοποιίας εντός και εκτός επιπέδου αυτής.

##### 6.4.1 Ενίσχυση τοιχοποιίας εντός επιπέδου μέσω μεταλλικού πλαισίου και συνδέσμων ακαμψίας



Σχήμα 6-4: Μορφή μεταλλικού πλαισίου ενίσχυσης τοιχοποιίας εντός επιπέδου.



Ως ενδεικτική διάταξη πλαισίου για την ενίσχυση τοιχοποιίας εντός επιπέδου φέρεται η μορφή του σχήματος 6-4. Χρησιμοποιούνται διαγώνιοι σύνδεσμοι μορφής Χ και διατομής U. Η δοκός και τα υποστυλώματα έχουν διατομή τύπου Ι ή Η. Η περιγραφή των άνω συνδέσεων του σχήματος 6-4 αναφέρεται στις ακόλουθες παραγράφους. Η επιλογή του τύπου των διατομών είναι ενδεικτική. Αν χρησιμοποιηθούν άλλου τύπου διατομές, οι συνδέσεις τους θα είναι παραπλήσιες των κατωτέρω.

#### **6.4.1.1 Στάδια υλοποίησης**

##### **6.4.1.1.1 Έδραση υποστυλώματος**

Στο υποστύλωμα συγκολλάται η πλάκα έδρασης και το έλασμα σύνδεσης του διαγωνίου συνδέσμου. Ο διαγώνιος σύνδεσμος συνδέεται με το κομβοέλασμα μέσω κοχλίωσης ή εργοταξιακών συγκολλήσεων. Κάτω από την πλάκα έδρασης τοποθετείται μη συρρικνούμενη κονία ή παρέμβλημα (futter) για τη σταθεροποίηση του υποστυλώματος.

Η πλάκα έδρασης φέρει τις αντίστοιχες οπές για τη σύνδεση της με τον υποκείμενο φορέα. Για την υλοποίηση της σύνδεσης της μετωπικής πλάκας με το σκυρόδεμα χρησιμοποιούνται εκτονούμενα βλήτρα ή βλήτρα με ρητίνη. Τα βλήτρα τοποθετούνται κεντρικά ως προς το σημείο τομής των αξόνων των μελών. Παράλληλα, τοποθετείται νεύρωση μορφής T, στην εξωτερική πλευρά του πλαισίου, για την παραλαβή των εφελκυστικών δυνάμεων που ασκούνται στο εξωτερικό βλήτρο. Στην περίπτωση που δεν είναι δυνατή η κεντρική τοποθέτηση των βλήτρων, πρέπει να λαμβάνεται υπ' όψιν η εκκεντρότητα των δυνάμεων ως προς αυτά.

Στη λεπτομέρεια Λ1 περιγράφεται η άνω σύνδεση με χρήση συρρικνούμενης κονίας κάτω από την πλάκα έδρασης, κεντρική τοποθέτηση των βλήτρων και κοχλίωση του διαγωνίου μέλους στο κομβοέλασμα. Στη λεπτομέρεια Λ2 χρησιμοποιείται παρέμβλημα για την εξισορρόπηση των αποκλίσεων του ύψους της τοιχοποιίας. Παράλληλα, τα βλήτρα τοποθετούνται έκκεντρα ως προς τον άξονα της σύνδεσης και η σύνδεση της διαγωνίου γίνεται μέσω κοχλίωσης.

##### **6.4.1.1.2 Σύνδεση του υποστυλώματος με την τοιχοποιία**

Η σύνδεση υλοποιείται μέσω ελάσματος, το οποίο συγκολλάται στο υποστύλωμα. Το έλασμα συνδέεται με την τοιχοποιία μέσω κατάλληλων βλήτρων. Τέτοιου είδους σύνδεση είναι απαραίτητη στον πόδα και στην κορυφή του υποστυλώματος καθώς και σε ενδιάμεσα ύψη ανάλογα με το ύψος της ενισχυόμενης τοιχοποιίας (λεπτομέρεια Λ3).

##### **6.4.1.1.3 Σύνδεση δοκού - υποστυλώματος και διαγωνίου συνδέσμου του πλαισίου**

Στη δοκό συγκολλάται η μετωπική πλάκα και το έλασμα σύνδεσης του διαγωνίου συνδέσμου. Κατόπιν ο φορέας κοχλιώνεται στο υποστύλωμα. Στο υποστύλωμα τοποθετούνται κατάλληλες νευρώσεις, εκατέρωθεν του κορμού, για την ενίσχυση αυτού. Ο διαγώνιος σύνδεσμος συνδέεται με το κομβοέλασμα μέσω κοχλίωσης ή εργοταξιακών συγκολλήσεων. Στη λεπτομέρεια Λ4, που περιγράφεται η σύνδεση, γίνεται χρήση κοχλίων για τη σύνδεση της διαγωνίου. Η δοκός συνδέεται με βλήτρα, με το οπλισμένο σκυρόδεμα, ανά αποστάσεις.

#### 6.4.1.1.4 Διαγώνιοι σύνδεσμοι

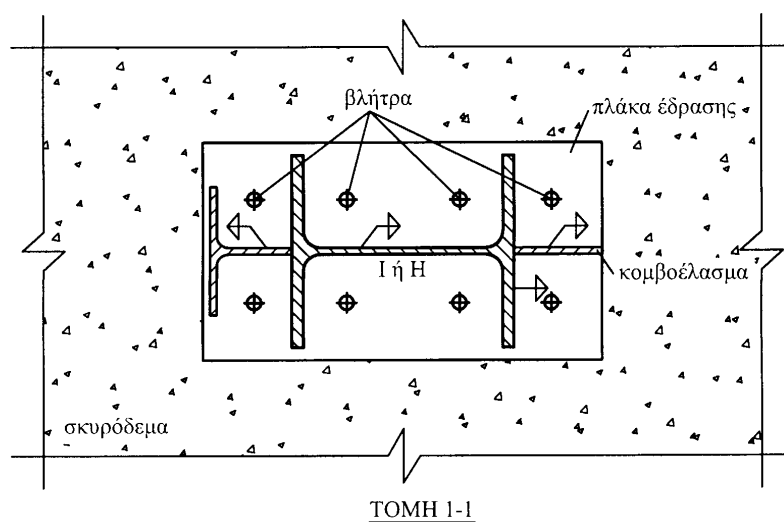
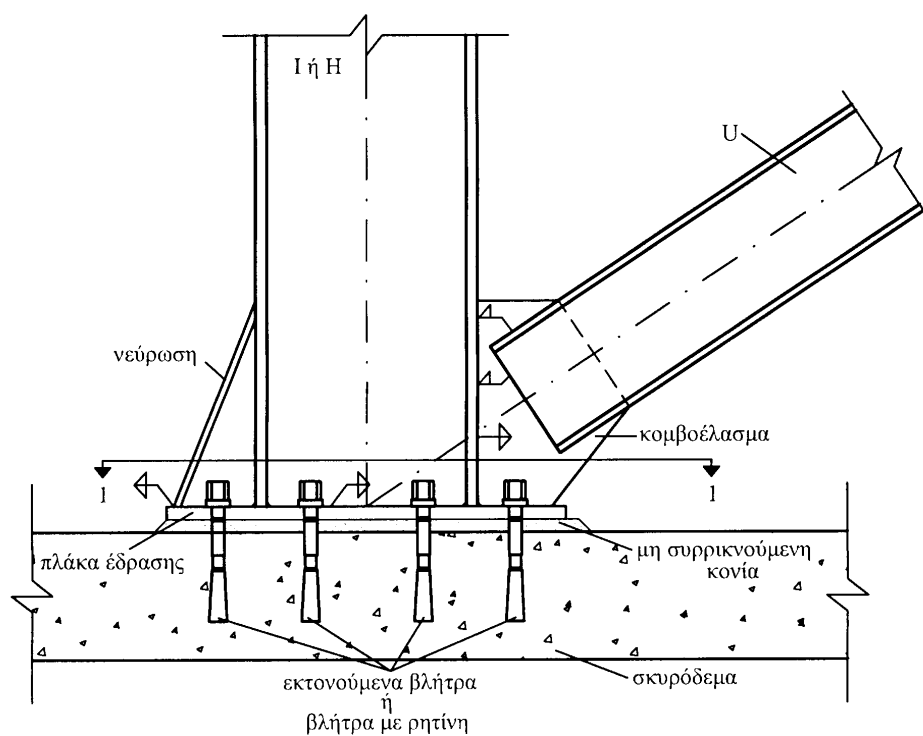
Τα ελάσματα σύνδεσης των διαγώνιων συνδέσμων συγκολλούνται στο μέσο των δοκών ή υποστυλωμάτων. Οι σύνδεσμοι κοχλιώνονται ή συγκολλούνται στα ελάσματα εκατέρωθεν, ούτως ώστε να μην τέμνονται στο σημείο τομής των αξόνων τους. Η απόσταση μεταξύ των παρειών των κορμών είναι ίση με το πάχος των ελασμάτων σύνδεσης. Στο σημείο τομής των αξόνων των συνδέσμων υλοποιείται σύνδεση αυτών μέσω ελάσματος (λεπτομέρειες Λ5 και Λ6).

Στη λεπτομέρεια Λ5 η σύνδεση υλοποιείται μέσω εργοταξιακών συγκολλήσεων, ενώ στη λεπτομέρεια Λ6 γίνεται χρήση κοχλιών.

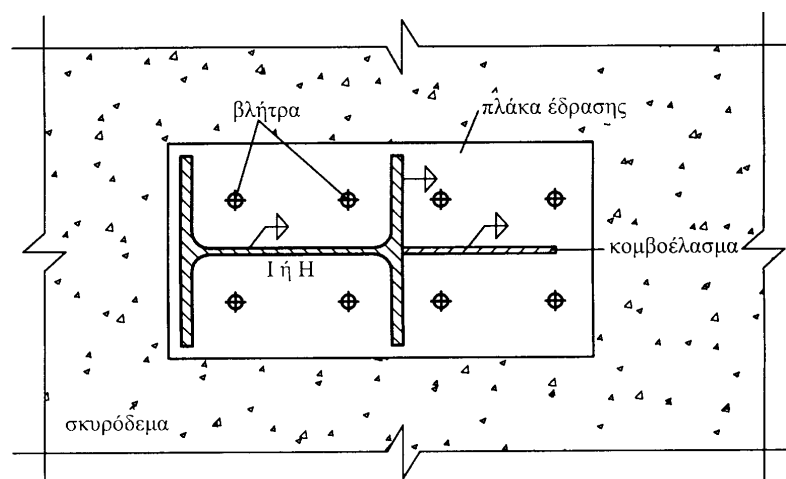
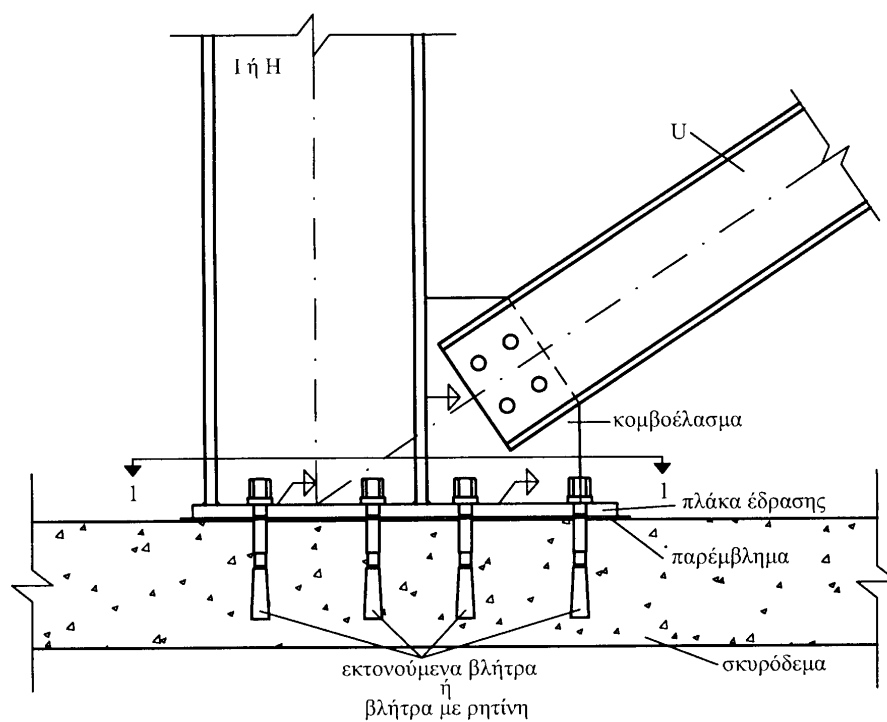
#### 6.4.1.2 Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα

Τα φορτία της τοιχοποιίας μεταφέρονται στο μεταλλικό πλαίσιο ενίσχυσης. Οι διαγώνιοι σύνδεσμοι ακαμψιάς ενισχύουν το φορέα έναντι της σεισμικής δράσης. Στο σύνολο της κατασκευής ενισχύεται η αντοχή και δυσκαμψία αυτής.

#### 6.4.1.3 Λεπτομέρειες σχήματος 6-4

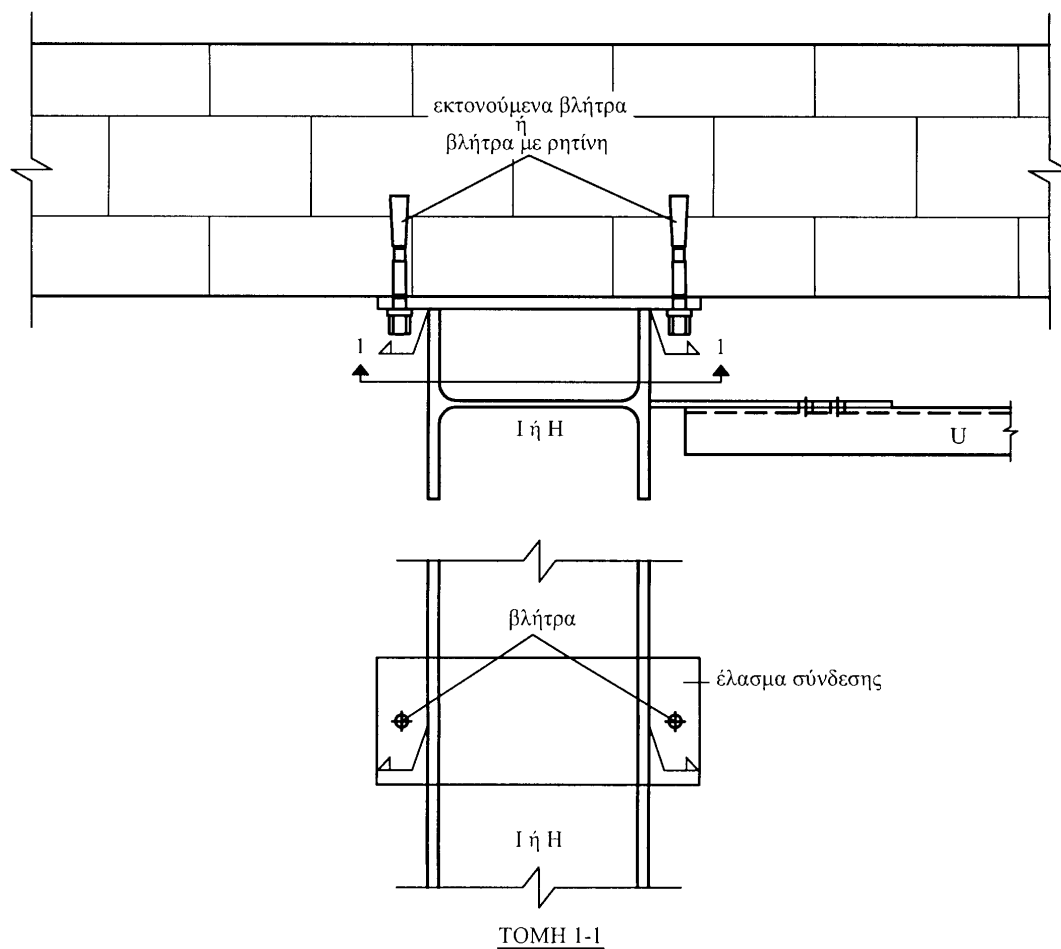


Λεπτομέρεια 6.4.1-1: Έδραση υποστύλωματος με κεντρική τοποθέτηση των βλήτρων.

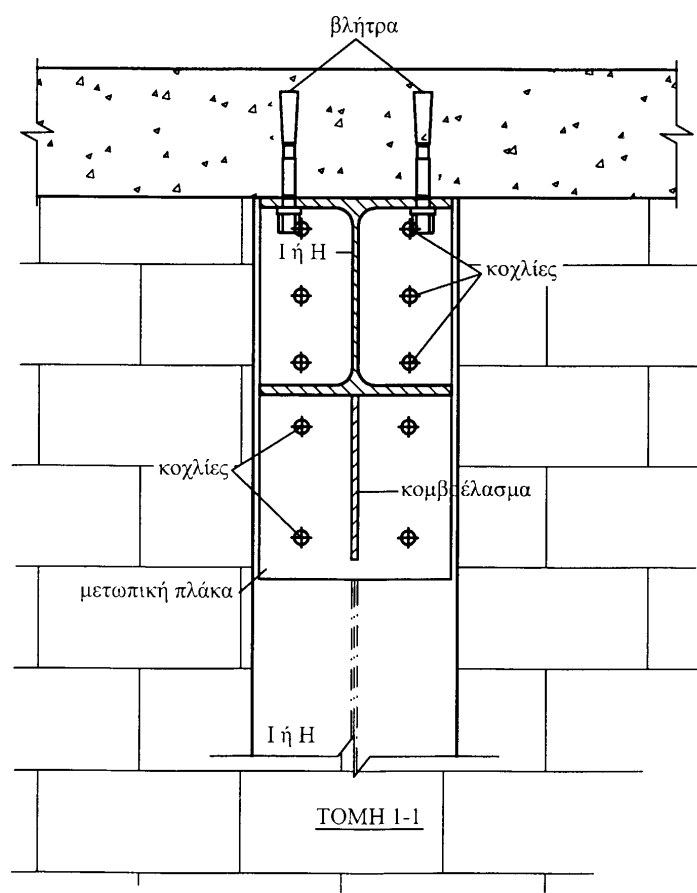
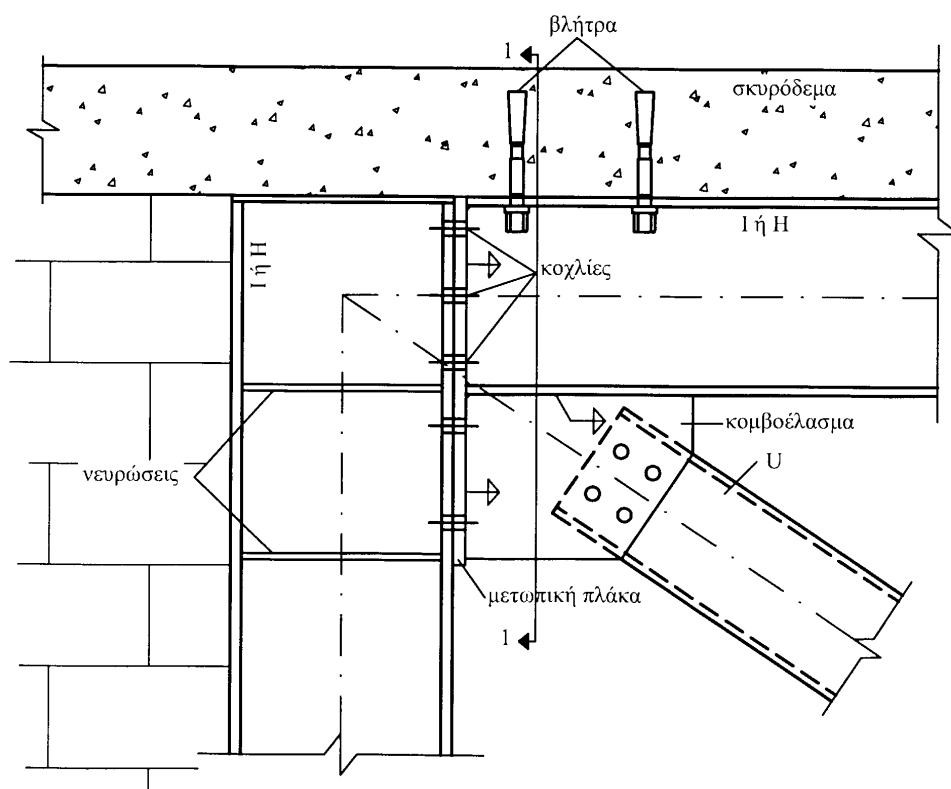


ΤΟΜΗ 1-1

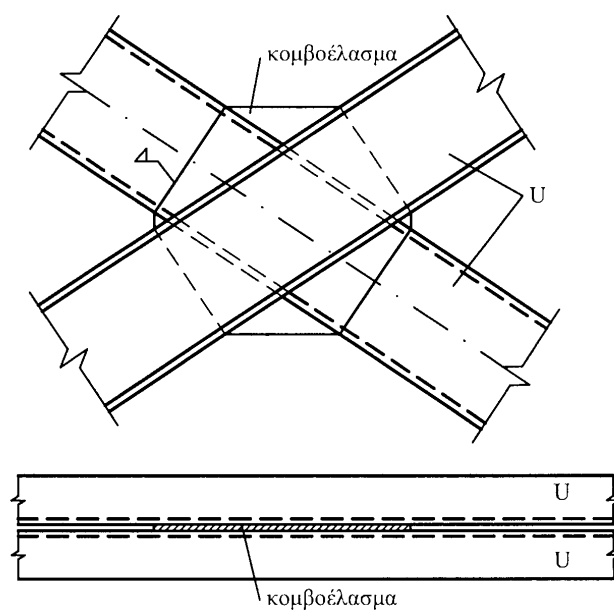
**Λεπτομέρεια 6.4.1-2:** Έδραση υποστυλώματος με έκκεντρη τοποθέτηση των βλήτρων.



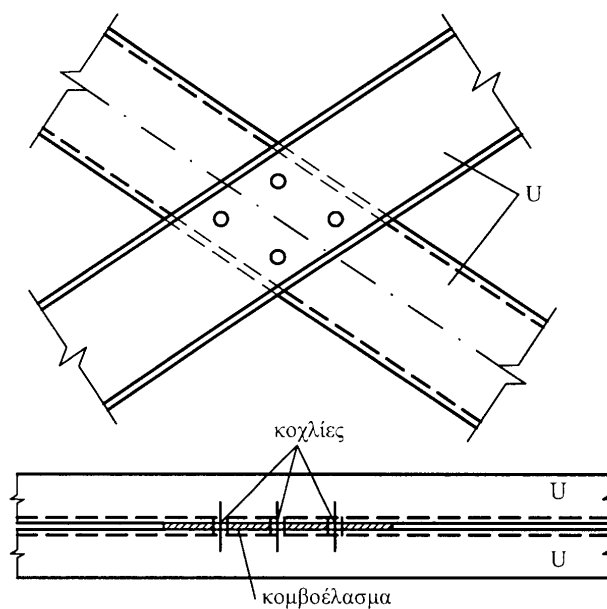
**Λεπτομέρεια 6.4.1-3:** Σύνδεση υποστυλώματος με την τοιχοποιία.



Λεπτομέρεια 6.4.1-4: Σύνδεση δοκού, υποστύλωματος και διαγωνίου συνδέσμου.

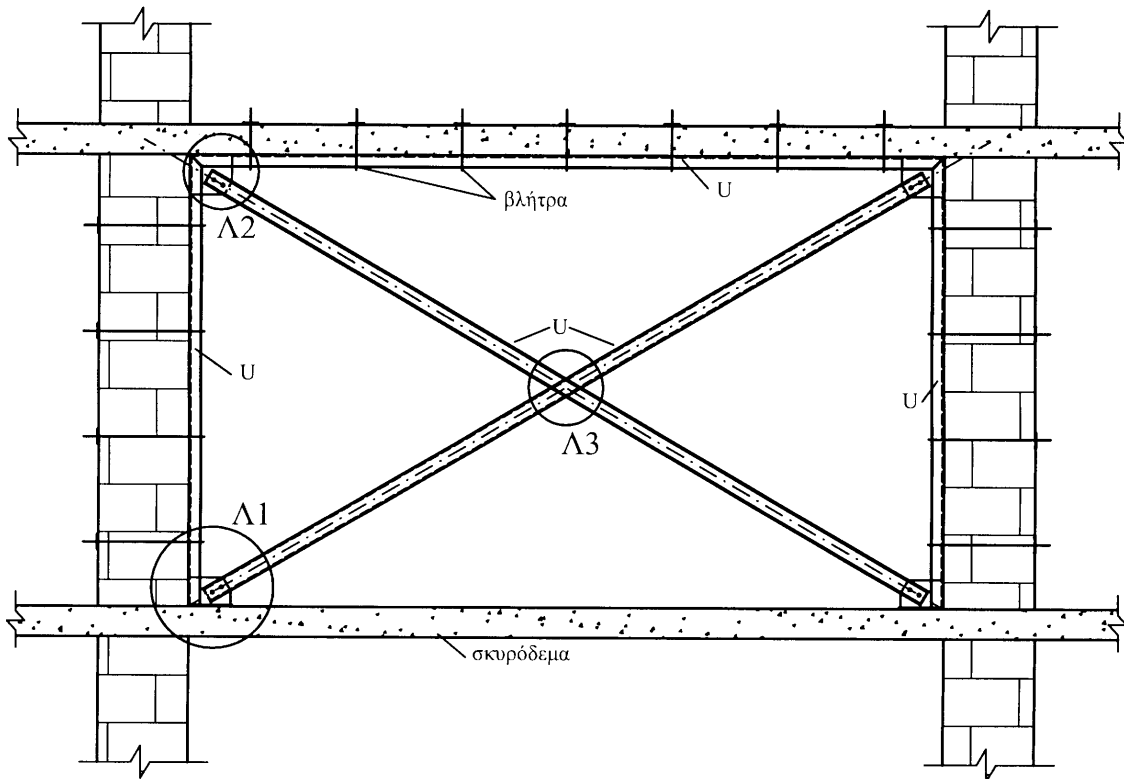


**Λεπτομέρεια 6.4.1-5:** Σύνδεση διαγωνίων συνδέσμων μέσω συγκόλλησης.



**Λεπτομέρεια 6.4.1-6:** Σύνδεση διαγωνίων συνδέσμων μέσω κοχλίωσης.

#### 6.4.2 Ενίσχυση τοιχοποιίας εκτός επιπέδου μέσω μεταλλικού πλαισίου και συνδέσμων ακαμψίας μορφής Χ



**Σχήμα 6-5:** Μορφή μεταλλικού πλαισίου ενίσχυσης τοιχοποιίας εκτός επιπέδου με συνδέσμους δυσκαμψίας μορφής Χ.

Στο άνω σχήμα φαίνεται η μορφή του μεταλλικού πλαισίου με χρήση διατομών μορφής U. Η επιλογή του τύπου των διατομών είναι ενδεικτική. Παράλληλα, περιγράφεται η χρήση διατομής διπλού U για τους διαγώνιους συνδέσμους.

##### 6.4.2.1 Στάδια υλοποίησης

###### 6.4.2.1.1 Έδραση και σύνδεση του υποστυλώματος με την τοιχοποιία

Στο υποστυλώμα συγκολλάται η πλάκα έδρασης και το έλασμα σύνδεσης του διαγώνιου συνδέσμου. Ο διαγώνιος σύνδεσμος συνδέεται με το κομβόελασμα μέσω κοχλίωσης ή εργοταξιακών συγκολλήσεων. Κάτω από την πλάκα έδρασης τοποθετείται μη συρρικνούμενη κονία ή παρέμβλημα (futter) για τη σταθεροποίηση του υποστυλώματος. Η πλάκα έδρασης φέρει τις αντίστοιχες οπές για τη σύνδεση της με τον υποκείμενο φορέα. Για την υλοποίηση της σύνδεσης της μετωπικής πλάκας με το σκυρόδεμα χρησιμοποιούνται εκτονούμενα βλήτρα ή βλήτρα με ρητίνη.

Στη λεπτομέρεια Λ1 περιγράφεται η άνω σύνδεση με χρήση παρεμβλήματος κάτω από την πλάκα έδρασης και κοχλίωση του διαγώνιου μέλους στο κομβόελασμα.



#### 6.4.2.1.2 Σύνδεση δοκού - υποστυλώματος και διαγωνίου συνδέσμου του πλαισίου

Η δοκός φέρει, μέσω συγκόλλησης, το έλασμα σύνδεσης του διαγωνίου συνδέσμου. Επί της δοκού συγκολλάται το υποστύλωμα. Ο διαγώνιος σύνδεσμος συνδέεται με το κομβόελασμα μέσω κοχλίωσης ή εργοταξιακών συγκολλήσεων. Παράλληλα, η δοκός συνδέεται με εκτονούμενα βλήτρα ή βλήτρα με ρητίνη, με το οπλισμένο σκυρόδεμα, ανά αποστάσεις (λεπτομέρεια Λ2).

#### 6.4.2.1.3 Διαγώνιοι σύνδεσμοι

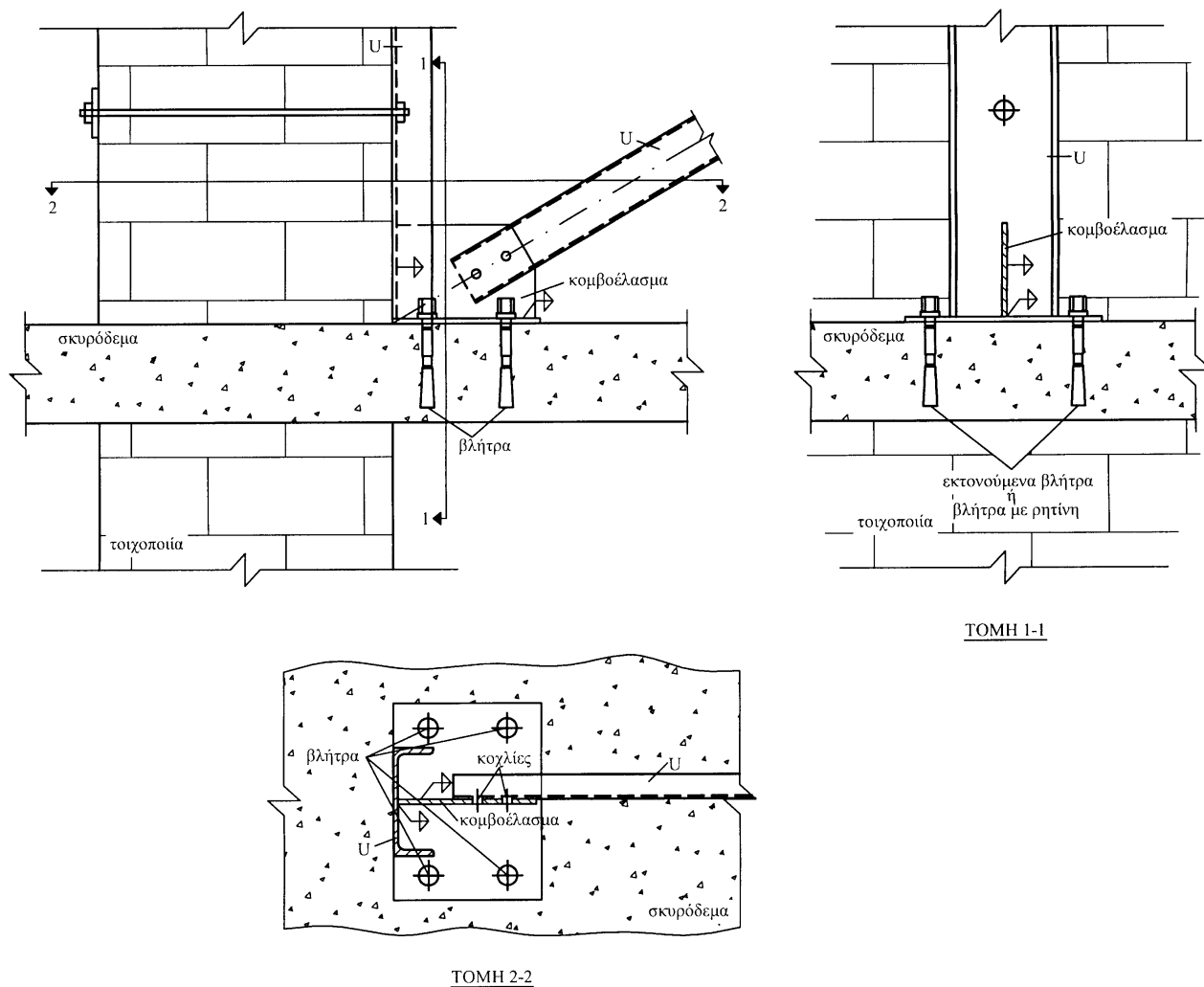
Τα ελάσματα σύνδεσης των διαγωνίων συνδέσμων συγκολλούνται στο μέσο των δοκών ή υποστυλωμάτων. Οι σύνδεσμοι κοχλιώνονται στα ελάσματα εκατέρωθεν, ούτως ώστε να μην τέμνονται στο σημείο τομής των αξόνων τους. Η απόσταση μεταξύ των παρειών των κορμών είναι ίση με το πάχος των ελασμάτων σύνδεσης. Στο σημείο τομής των αξόνων των συνδέσμων υλοποιείται σύνδεση αυτών μέσω ελάσματος (λεπτομέρεια Λ3).

Στην περίπτωση που τίθενται δύο U για κάθε μέλος των συνδέσμων, η σύνδεση αυτών περιγράφεται στη λεπτομέρεια Λ4. Στην ουσία τα δύο U του ενός συνδέσμου συγκολλούνται από την έξω πλευρά των πελμάτων του υποστυλώματος, ενώ τα δύο U του δεύτερου συνδέσμου συγκολλούνται από την μέσα πλευρά των πελμάτων του υποστυλώματος. Οπότε, στο σημείο τομής των αξόνων τους η απόσταση μεταξύ των παρειών των κορμών είναι επίσης ίση με το πάχος των ελασμάτων σύνδεσης. Τα δύο U, που αποτελούν το διαγώνιο σύνδεσμο, συνδέονται ανά αποστάσεις με ελάσματα για τη μείωση του μήκους λυγισμού των διαγωνίων εκτός επιπέδου (λεπτομέρεια Λ5).

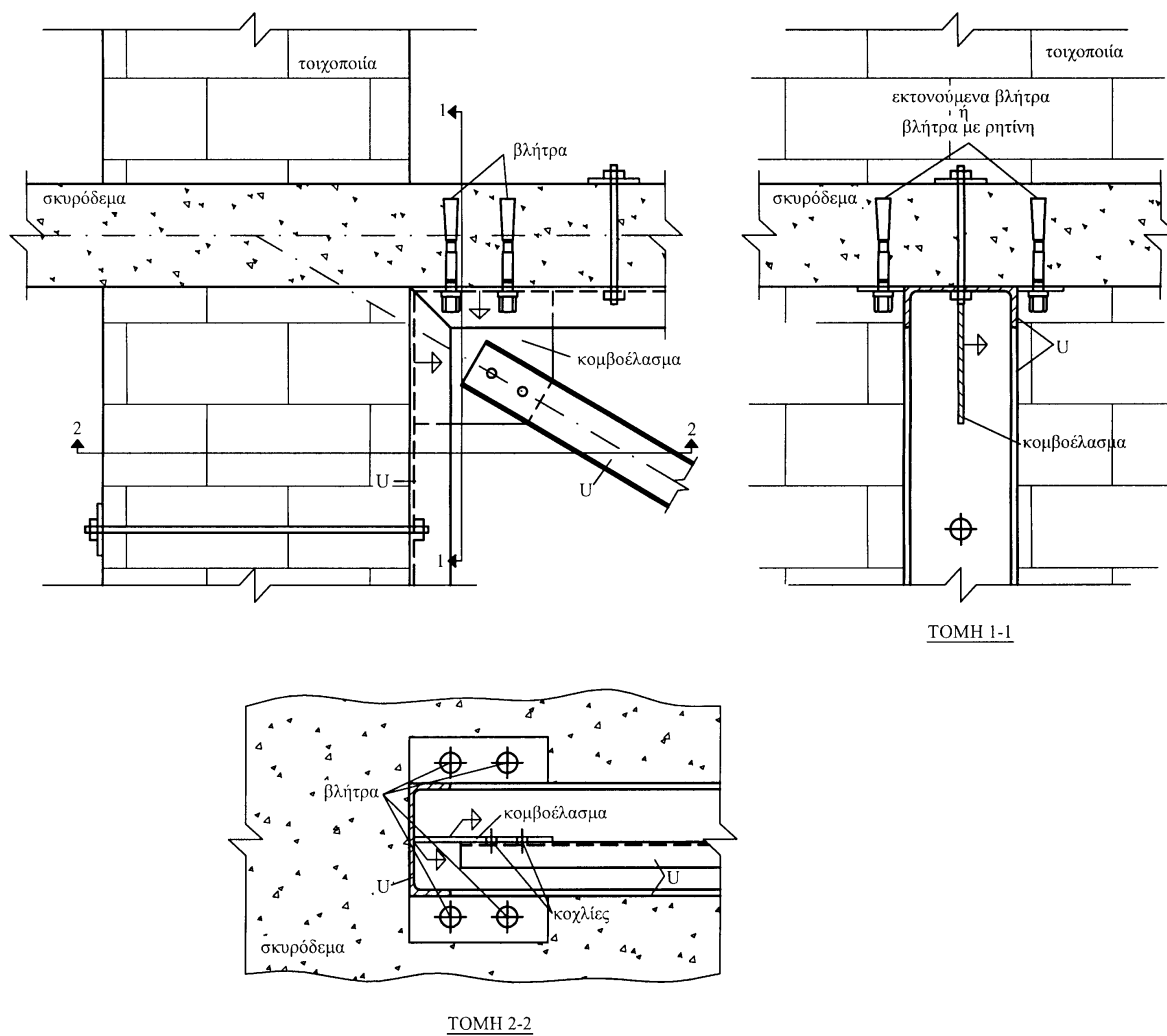
#### 6.4.2.2 Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα

Η τοιχοποιία ενισχύεται εκτός επιπέδου έναντι των σεισμικών δυνάμεων. Ωστόσο, η τοποθέτηση των διαγωνίων στην ουσία κλείνει τον υπάρχον άνοιγμα του φορέα με συνέπεια την τοπική αλλαγή χρήσης της κατασκευής.

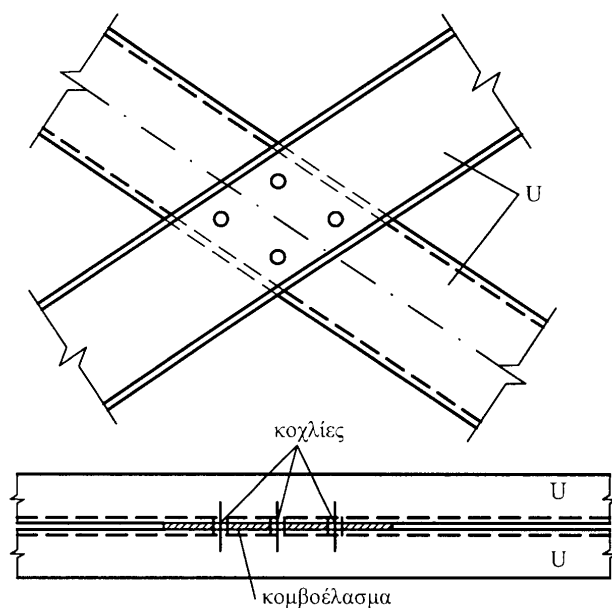
### 6.4.2.3 Λεπτομέρειες σχήματος 6-5



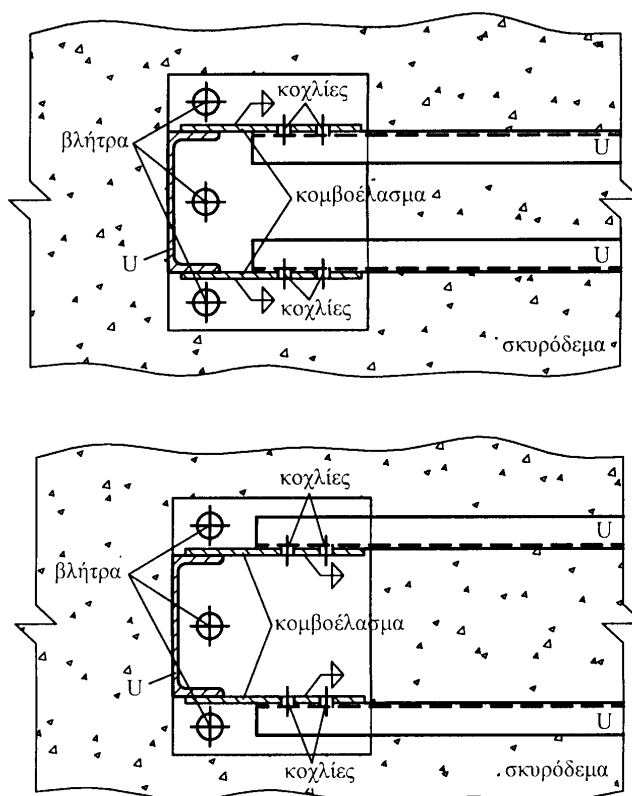
Λεπτομέρεια 6.4.2-1: Έδραση και σύνδεση υποστρώματος με την τοιχοποιία.



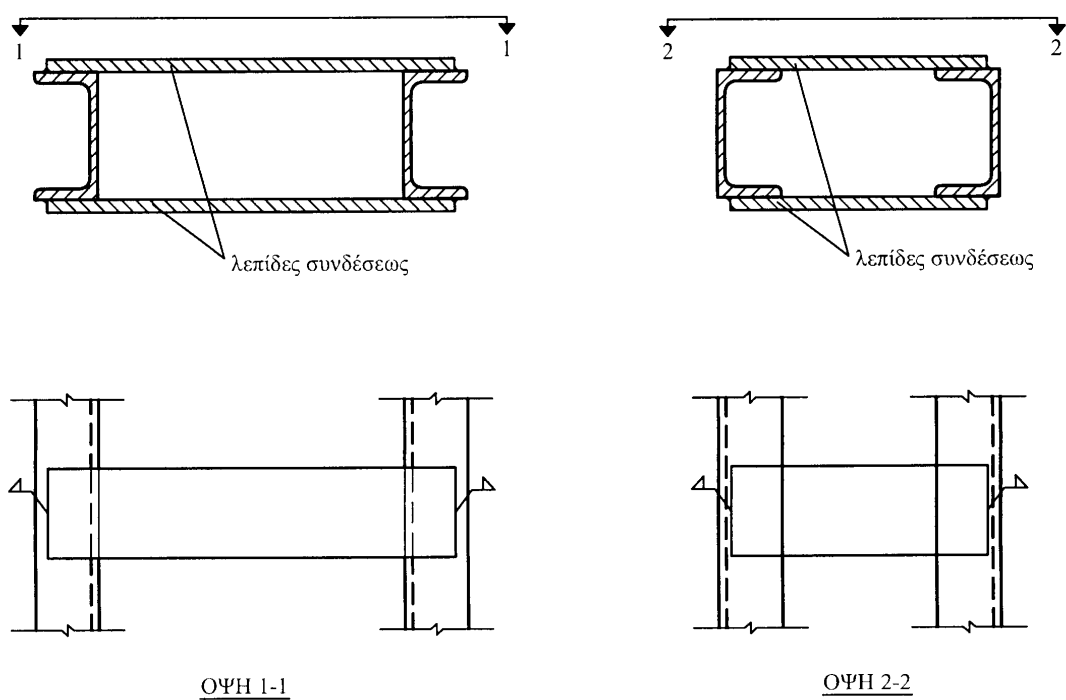
**Λεπτομέρεια 6.4.2-2:** Σύνδεση δοκού, υποστύλματος και διαγωνίου συνδέσμου.



**Λεπτομέρεια 6.4.2-3:** Σύνδεση διαγωνίων συνδέσμων μέσω κοχλίωσης.

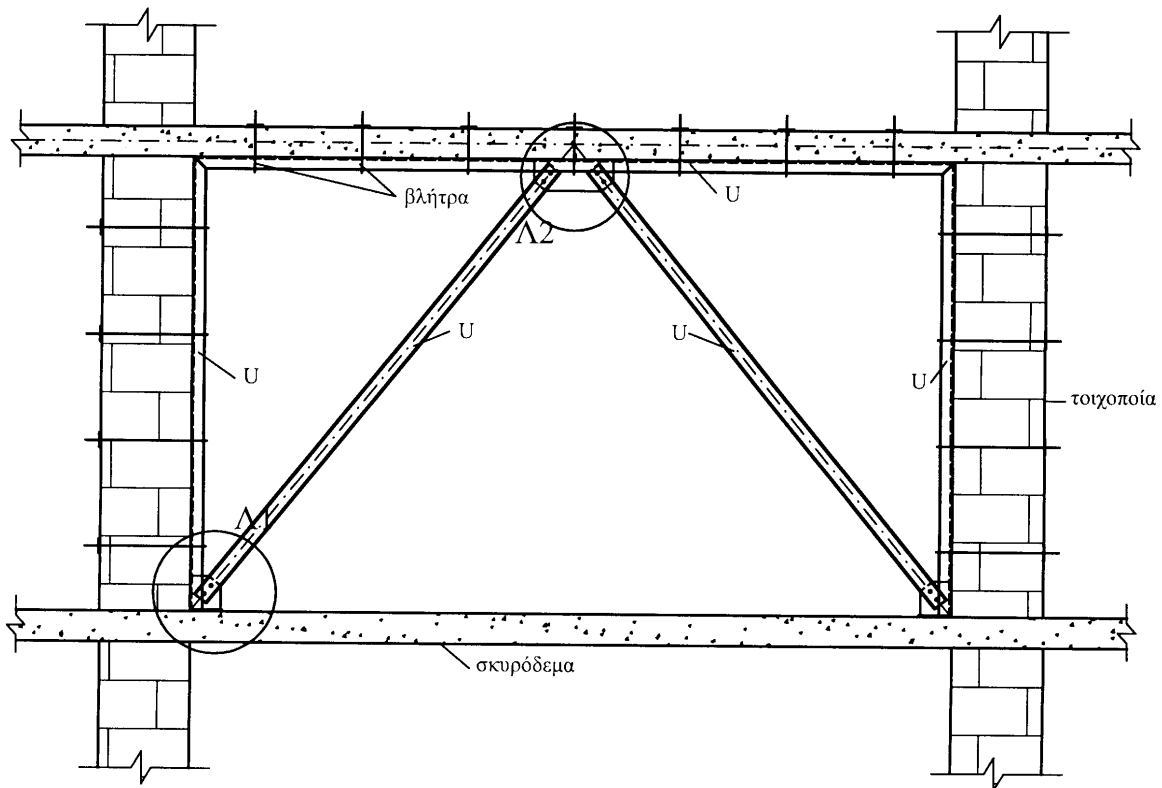


**Λεπτομέρεια 6.4.2-4:** Σύνδεση διαγωνίων συνδέσμων διατομής 2U με τα υποστυλώματα.



**Λεπτομέρεια 6.4.2-5:** Ενδιάμεση σύνδεση των 2U των διαγωνίων συνδέσμων μέσω λεπίδων σύνδεσης.

#### 6.4.3 Ενίσχυση τοιχοποιίας εκτός επιπέδου μέσω μεταλλικού πλαισίου και συνδέσμων ακαμψίας μορφής Λ



**Σχήμα 6-6:** Μορφή μεταλλικού πλαισίου ενίσχυσης τοιχοποιίας εκτός επιπέδου με συνδέσμους δυσκαμψίας μορφής Λ.

##### 6.4.3.1 Στάδια υλοποίησης

Κατά την υλοποίηση του φορέα ισχύουν όσα αναφέρθηκαν στην άνω περίπτωση και όσον αφορά την έδραση και σύνδεση του υποστυλώματος με την τοιχοποιία και τη σύνδεση της δοκού με την τοιχοποιία. Στη λεπτομέρεια Λ1 περιγράφεται η σύνδεση του υποστυλώματος στον πόδα αυτού.

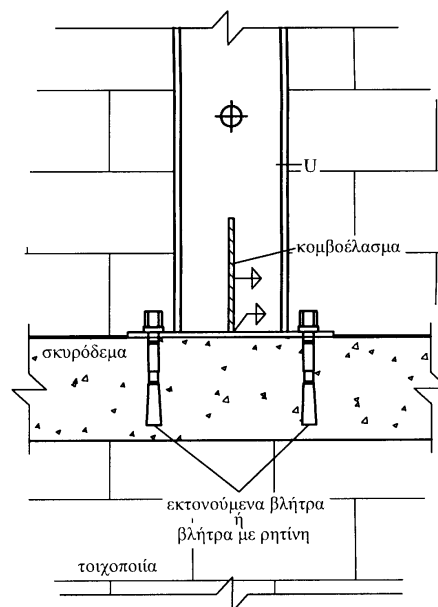
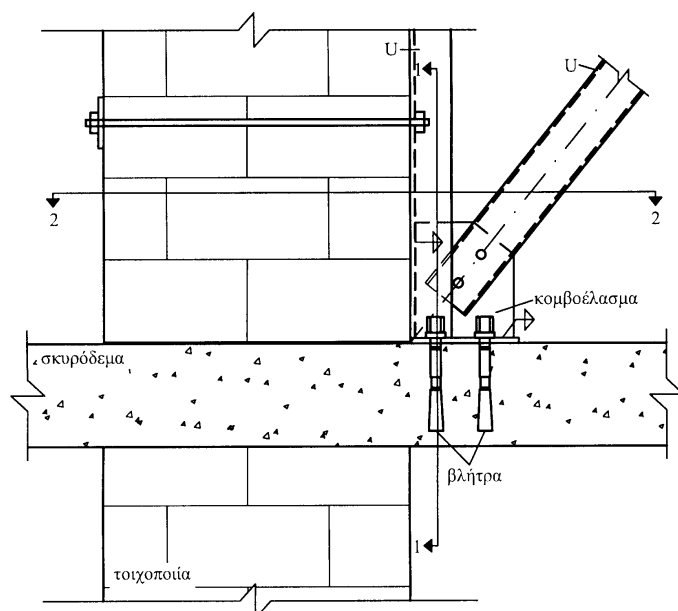
Στη λεπτομέρεια Λ2 περιγράφεται η σύνδεση των διαγωνίων στη δοκό μέσω συγκολλητού κομβοελάσματος επί αυτής. Η σύνδεση των διαγωνίων μελών με το κομβοέλασμα δύναται να είναι κοχλιωτή ή συγκολλητή.

##### 6.4.3.2 Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα

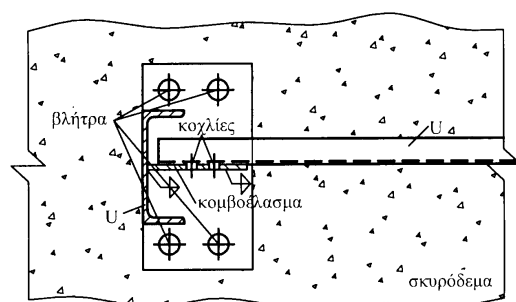
Η τοιχοποιία ενισχύεται εκτός επιπέδου έναντι των σεισμικών δυνάμεων. Παράλληλα, η τοποθέτηση των διαγωνίων σε μορφή Λ παρέχει τη δυνατότητα δημιουργίας ανοίγματος στο μέσο του ανοίγματος του πλαισίου.

Η διαστασιολόγηση των διαγωνίων γίνεται με βάση την αντοχή αυτών σε θλίψη (λυγισμός). Η διαστασιολόγηση της δοκού γίνεται με βάση την αντοχή αυτής σε θλίψη. Οι σεισμικές δυνάμεις λαμβάνονται με συντελεστή συμπεριφοράς  $q=1$ .

### 6.4.3.3 Λεπτομέρειες σχήματος 6-6

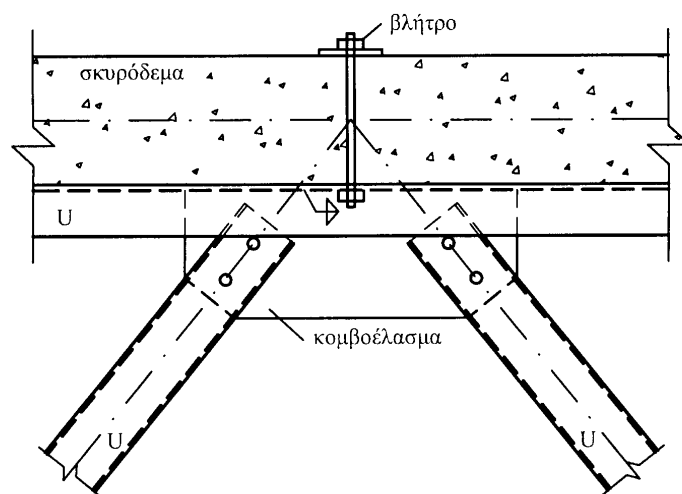


ΤΟΜΗ 1-1



ΤΟΜΗ 2-2

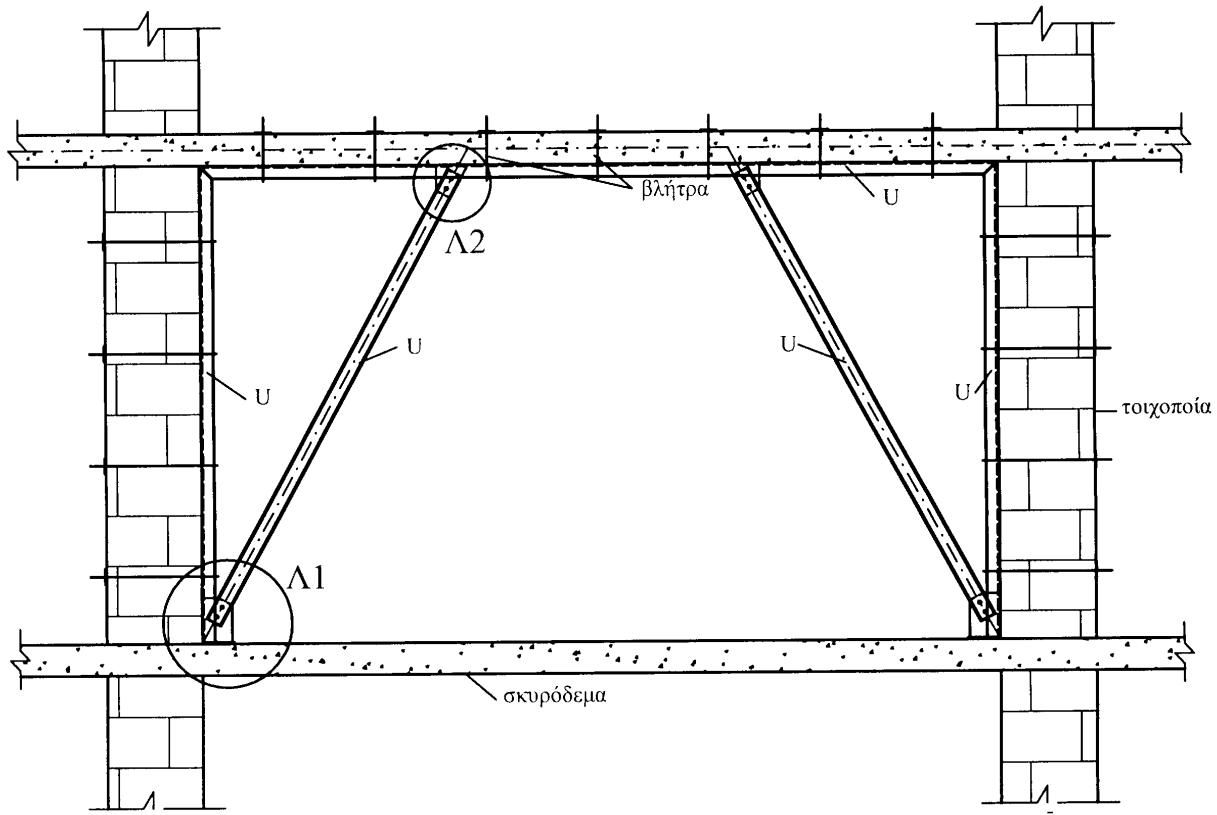
**Λεπτομέρεια 6.4.3-1:** Έδραση και σύνδεση υποστυλώματος με την τοιχοποιία.



**Λεπτομέρεια 6.4.3-2:** Σύνδεση διαγωνίων συνδέσμων επί της δοκού.



#### 6.4.4 Ενίσχυση τοιχοποιίας εκτός επιπέδου μέσω μεταλλικού πλαισίου και έκκεντρων συνδέσμων ακαμψίας



**Σχήμα 6-7:** Μορφή μεταλλικού πλαισίου ενίσχυσης τοιχοποιίας εκτός επιπέδου με έκκεντρους συνδέσμους δυσκαμψίας.

##### 6.4.4.1 Στάδια υλοποίησης

Κατά την υλοποίηση του φορέα ισχύουν όσα αναφέρθηκαν στην περίπτωση τοποθέτησης διαγωνίων συνδέσμων μορφής Χ και όσον αφορά την έδραση και σύνδεση του υποστυλώματος με την τοιχοποιία και τη σύνδεση της δοκού με την τοιχοποιία. Στη λεπτομέρεια Λ1 περιγράφεται η σύνδεση του υποστυλώματος στον πόδα αυτού.

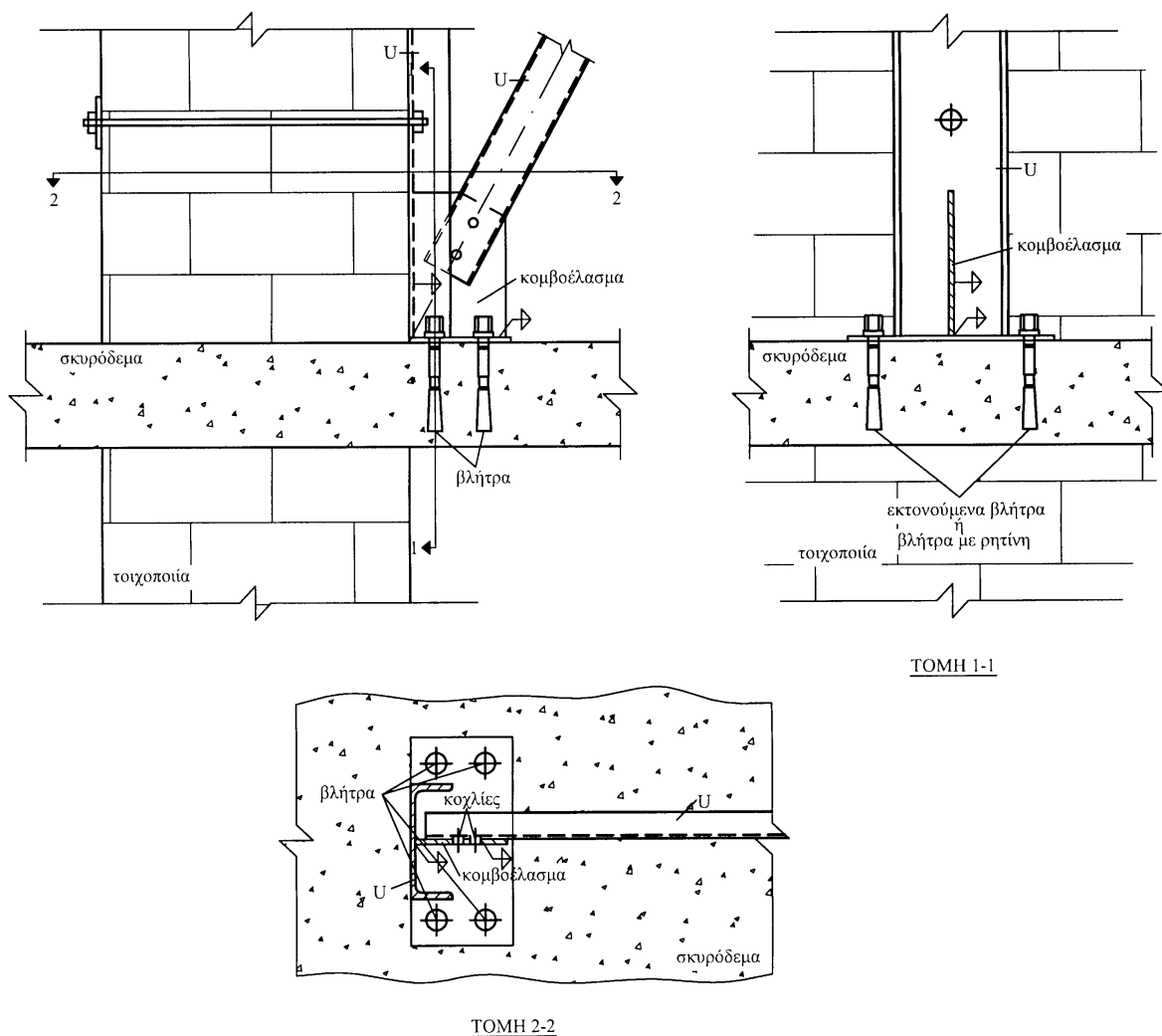
Στη λεπτομέρεια Λ2 περιγράφεται η σύνδεση των διαγωνίων στη δοκό μέσω συγκολλητού κομβοελάσματος επί αυτής. Η σύνδεση των διαγωνίων μελών με το κομβοέλασμα δύναται να είναι κοχλιωτή ή συγκολλητή.

##### 6.4.4.2 Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα

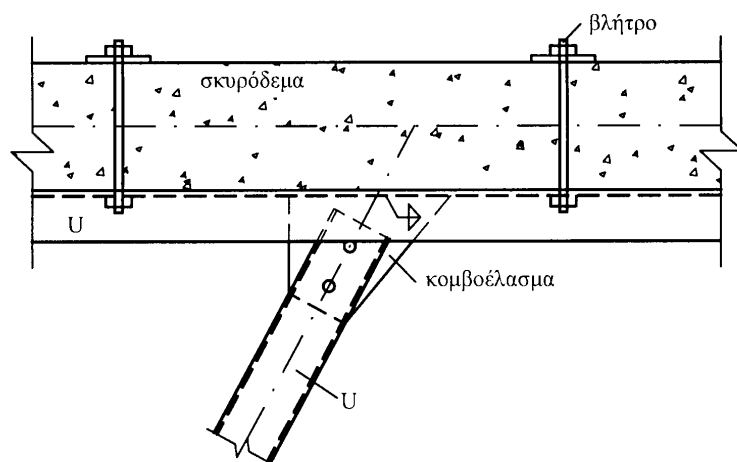
Η τοιχοποιία ενισχύεται εκτός επιπέδου έναντι των σεισμικών δυνάμεων. Παράλληλα, η τοποθέτηση των έκκεντρων διαγωνίων παρέχει τη δυνατότητα δημιουργίας μεγάλου ανοίγματος στο μέσο του ανοίγματος του πλαισίου.

Η διαστασιολόγηση των διαγωνίων γίνεται με βάση την αντοχή αυτών σε θλίψη (λυγισμός). Η διαστασιολόγηση της δοκού γίνεται με βάση την αντοχή αυτής σε θλίψη. Οι σεισμικές δυνάμεις λαμβάνονται με συντελεστή συμπεριφοράς  $q=1$ .

#### 6.4.4.3 Λεπτομέρειες σχήματος 6-7

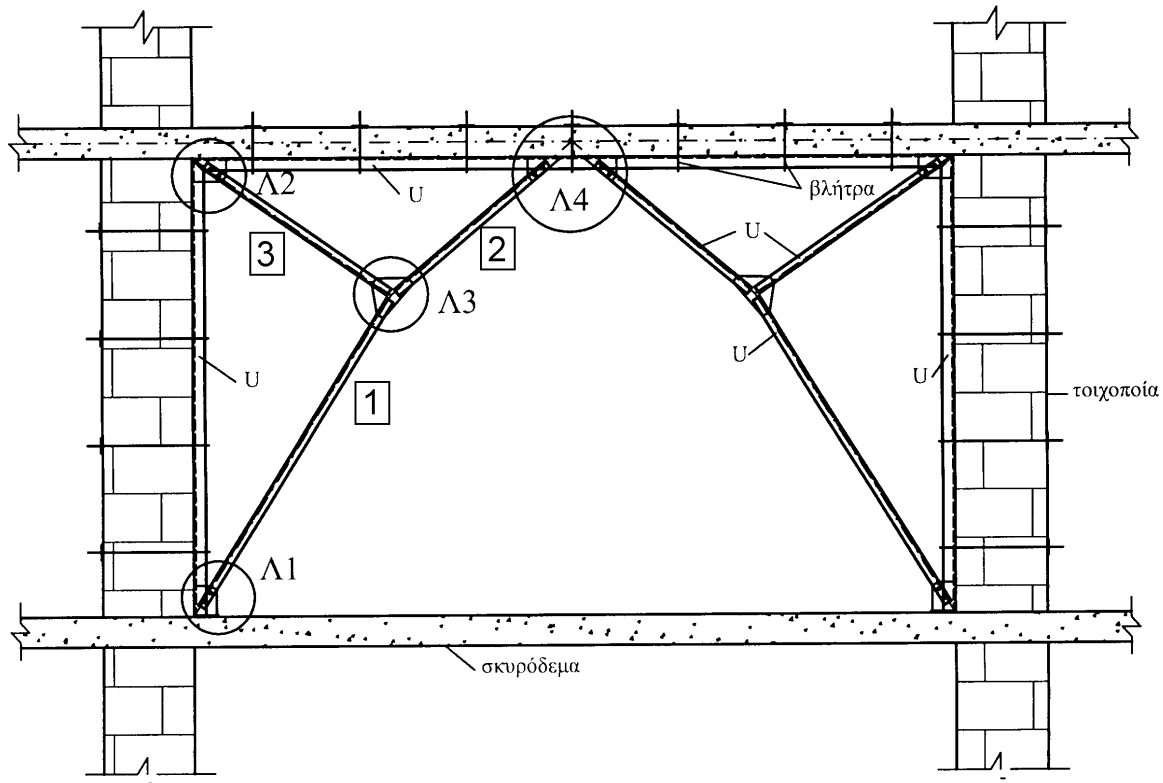


**Λεπτομέρεια 6.4.4-1: Έδραση και σύνδεση υποστυλώματος με την τοιχοποιία.**



**Λεπτομέρεια 6.4.4-2:** Σύνδεση διαγωνίου συνδέσμου επί της δοκού.

#### 6.4.5 Ενίσχυση τοιχοποιίας εκτός επιπέδου μέσω μεταλλικού πλαισίου και συνδέσμων ακαμψίας με μορφή τόξου



**Σχήμα 6-8:** Μορφή μεταλλικού πλαισίου ενίσχυσης τοιχοποιίας εκτός επιπέδου με συνδέσμους δυσκαμψίας με μορφή τόξου.

##### 6.4.5.1 Στάδια υλοποίησης

Κατά την υλοποίηση του φορέα ισχύουν όσα αναφέρθηκαν στην περίπτωση των διαγωνίων συνδέσμων μορφής Χ και όσον αφορά την έδραση και σύνδεση του υποστυλώματος με την τοιχοποιία και τη σύνδεση της δοκού με την τοιχοποιία. Στη λεπτομέρεια Λ1 περιγράφεται η σύνδεση του υποστυλώματος στον πόδα αυτού και στη λεπτομέρεια Λ2 η σύνδεση δοκού υποστυλώματος και διαγωνίου.

Η διαφορά της αυτής περίπτωσης έγκειται στο γεγονός ότι οι διαγώνιοι σύνδεσμοι τοποθετούνται με τον ασθενή τους άξονα εντός του επιπέδου του πλαισίου. Ο λόγος είναι ότι το μήκος λυγισμού των διαγωνίων εκτός επιπέδου του πλαισίου είναι ίσο με το άθροισμα του μήκους των διαγωνίων (1) και (2). Συνεπώς, για την καλύτερη εκμετάλλευση των μελών των διαγωνίων (στην ουσία της μεγάλης ακτίνας αδρανείας  $i_{max}$ ), τοποθετούνται όπως αναφέρθηκε.

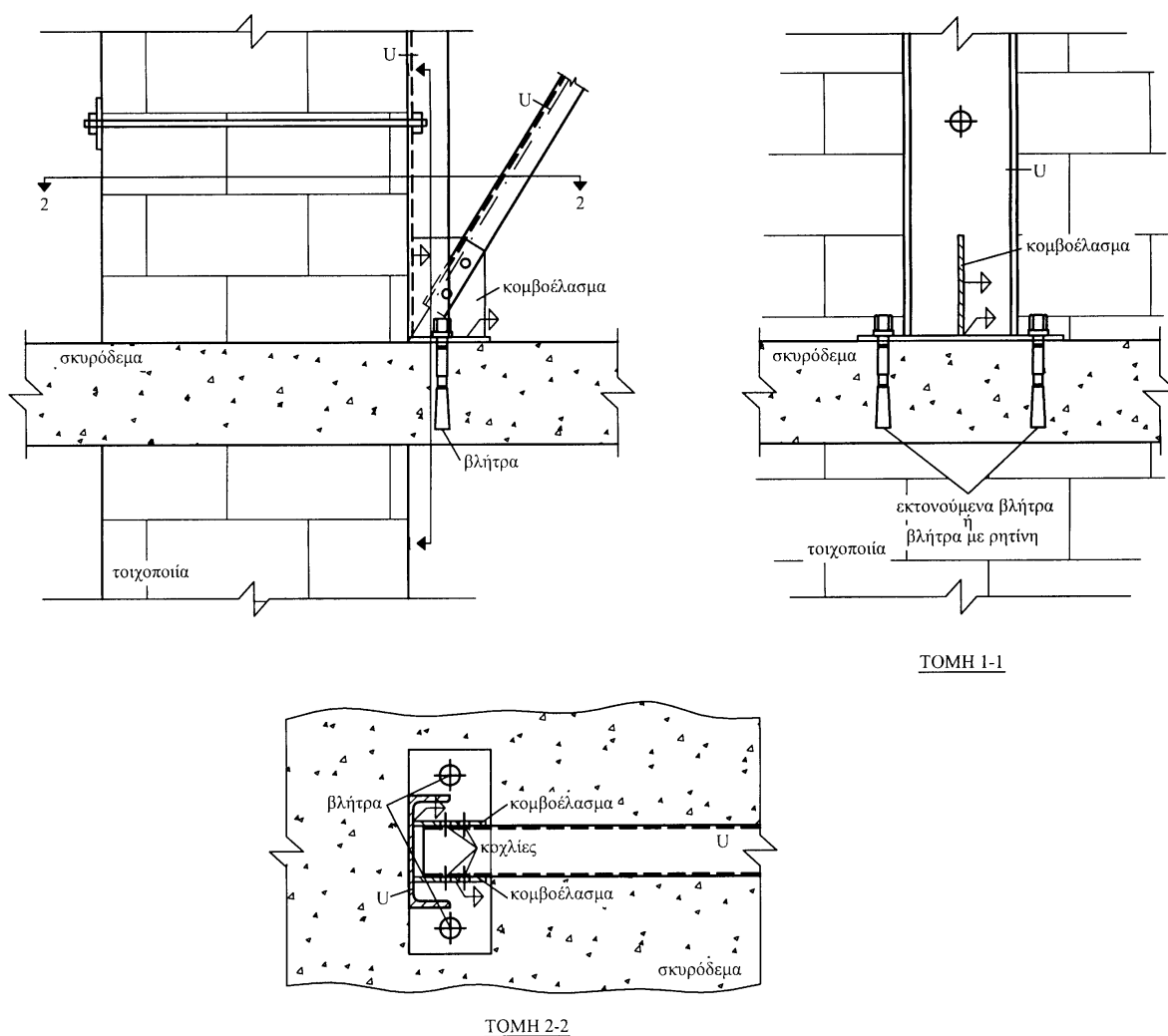
Στη λεπτομέρεια Λ3 περιγράφεται η σύνδεση των διαγωνίων στο σημείο τομής των αξόνων τους μέσω κοχλίωσης ή συγκόλλησης. Στη λεπτομέρεια Λ4 περιγράφεται η σύνδεση των διαγωνίων στη δοκό μέσω συγκολλητού

κομβοελάσματος επί αυτής. Η σύνδεση των διαγωνίων μελών με το κομβοέλασμα δύναται να είναι κοχλιωτή ή συγκολλητή.

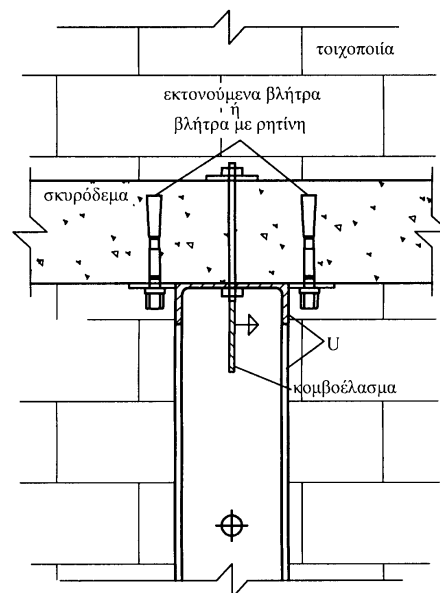
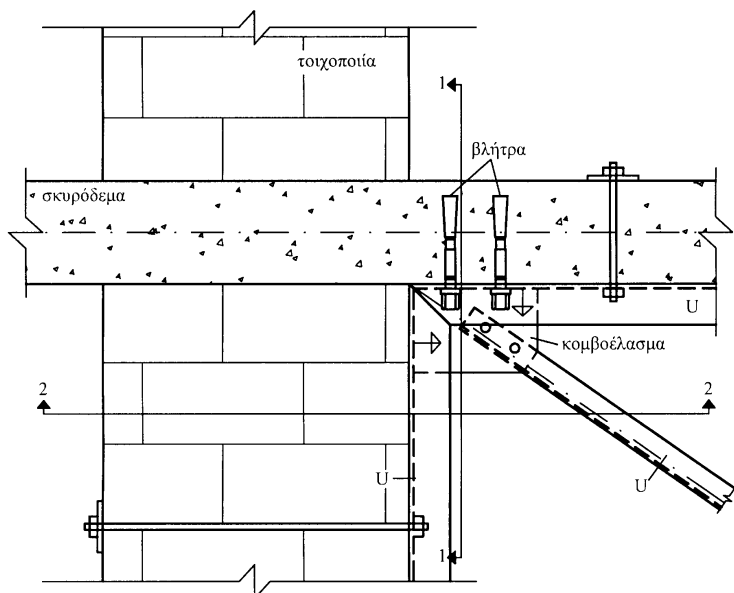
#### 6.4.5.2 Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα

Η τοιχοποιία ενισχύεται εκτός επιπέδου έναντι των σεισμικών δυνάμεων. Παράλληλα, η τοποθέτηση των διαγωνίων σε τόξου παρέχει τη δυνατότητα δημιουργίας μεγάλου ανοίγματος στο μέσο του ανοίγματος του πλαισίου.

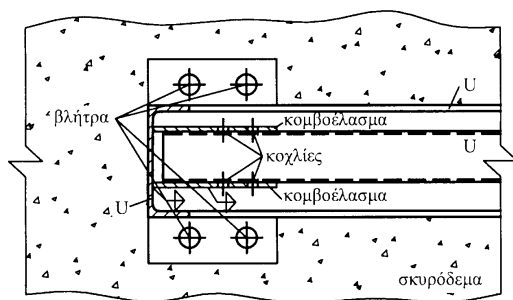
#### 6.4.5.3 Λεπτομέρειες σχήματος 6-8



**Λεπτομέρεια 6.4.5-1:** Έδραση και σύνδεση υποστυλώματος με την τοιχοποιία.

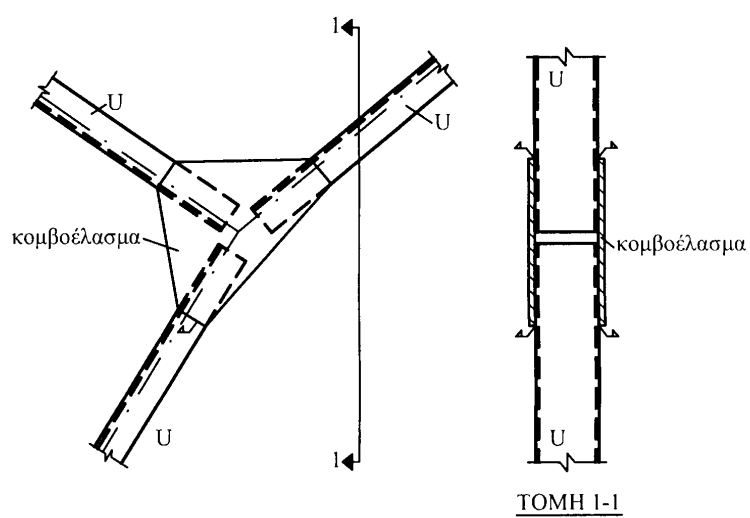
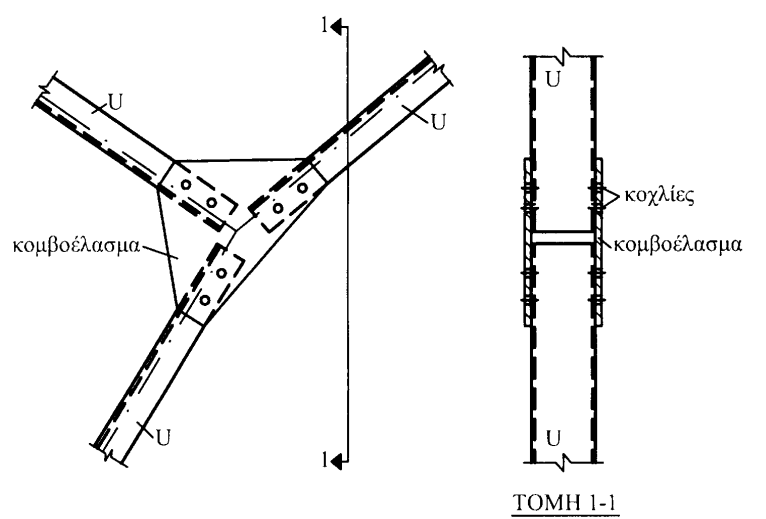


TOMH 1-1

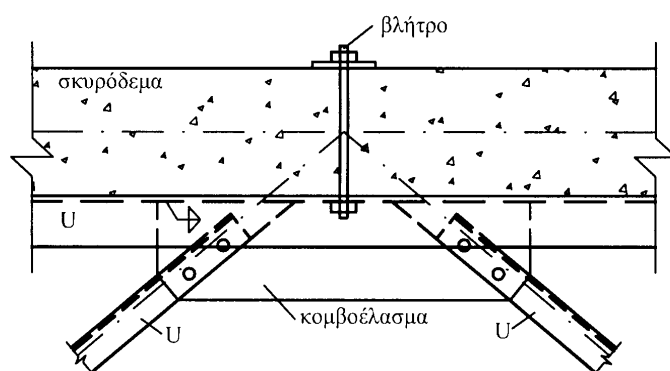


TOMH 2-2

**Λεπτομέρεια 6.4.5-2: Σύνδεση δοκού, υποστυλώματος και διαγωνίου συνδέσμου.**



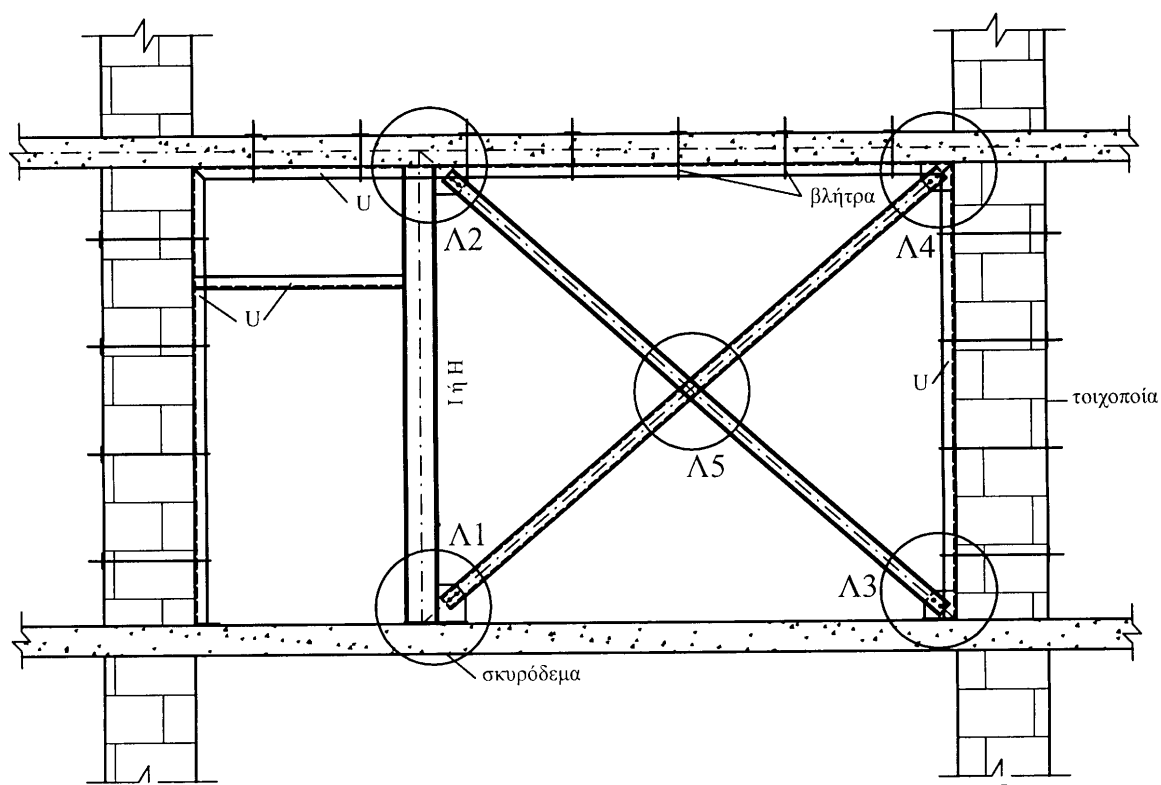
**Λεπτομέρεια 6.4.5-3:** Σύνδεση διαγωνίων συνδέσμων μέσω κοχλίωσης ή συγκόλλησης.



**Λεπτομέρεια 6.4.5-4:** Σύνδεση διαγωνίων συνδέσμων επί της δοκού.



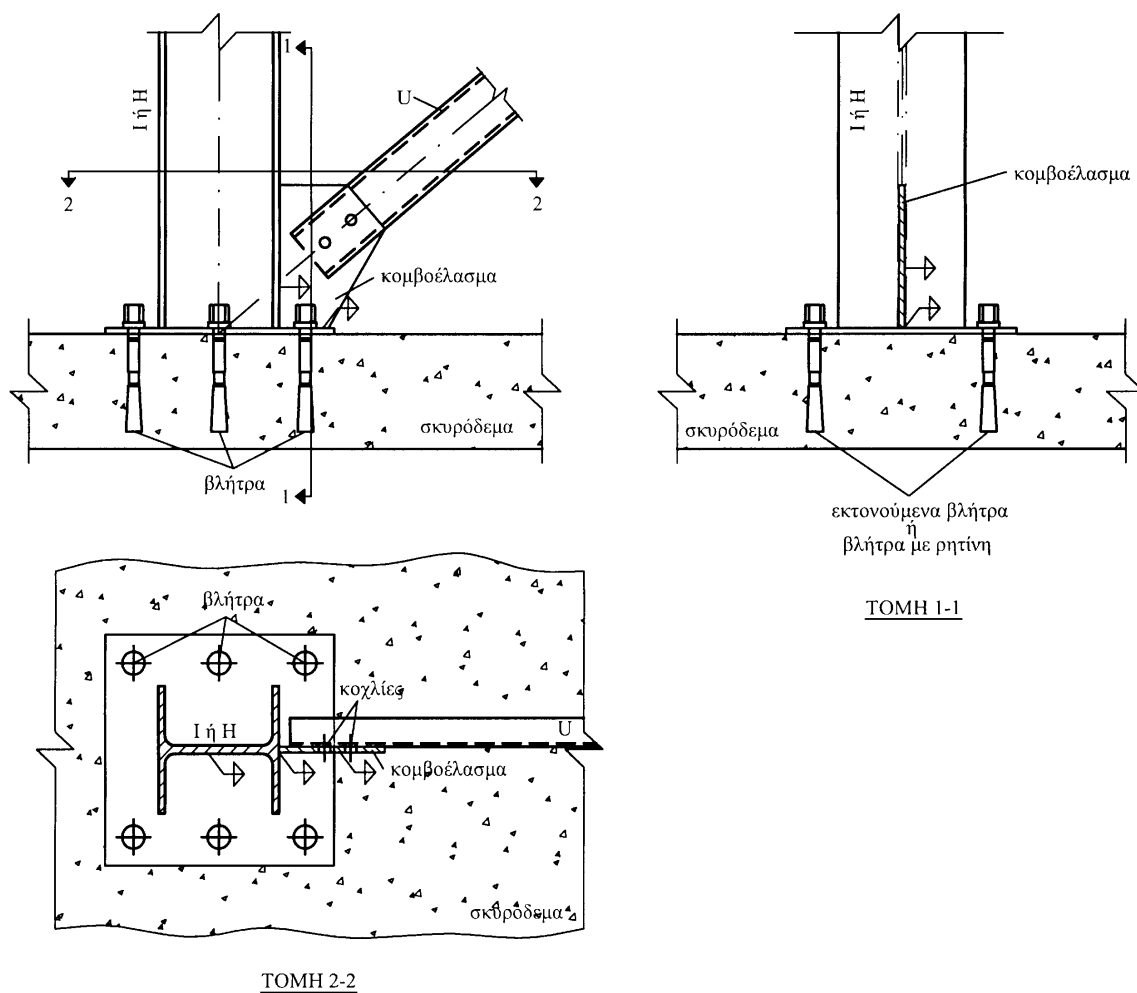
#### 6.4.6 Ενίσχυση τοιχοποιίας εκτός επιπέδου μέσω μεταλλικού πλαισίου και συνδέσμων ακαμψίας μορφής Χ με άνοιγμα στο ένα άκρο



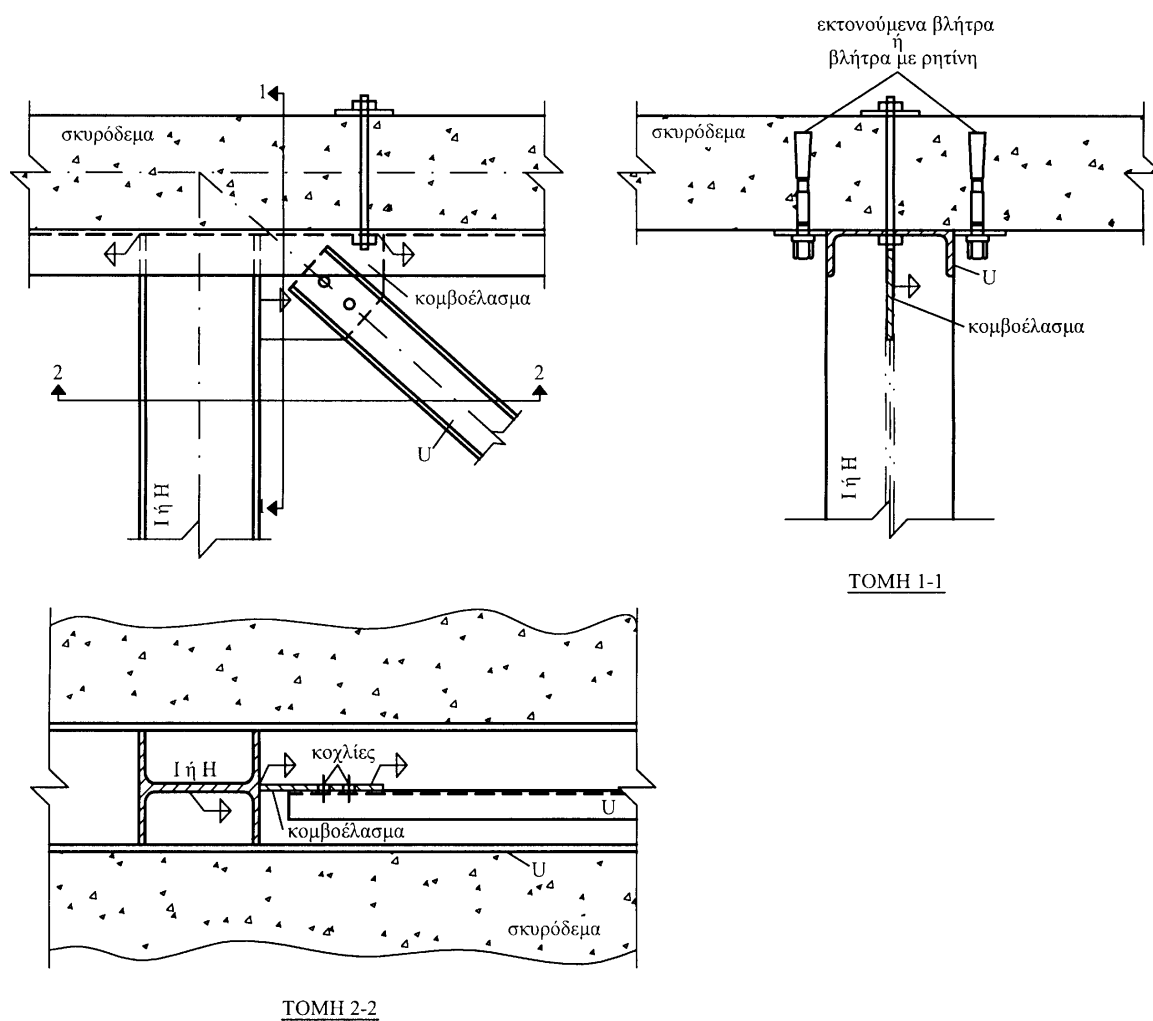
**Σχήμα 6-9:** Μορφή μεταλλικού πλαισίου ενίσχυσης τοιχοποιίας εκτός επιπέδου με συνδέσμους δυσκαμψίας μορφής Χ και άνοιγμα στο ένα άκρο.

Τα στάδια υλοποίησης είναι τα ίδια με αυτά της παραγράφου 6.4.2.

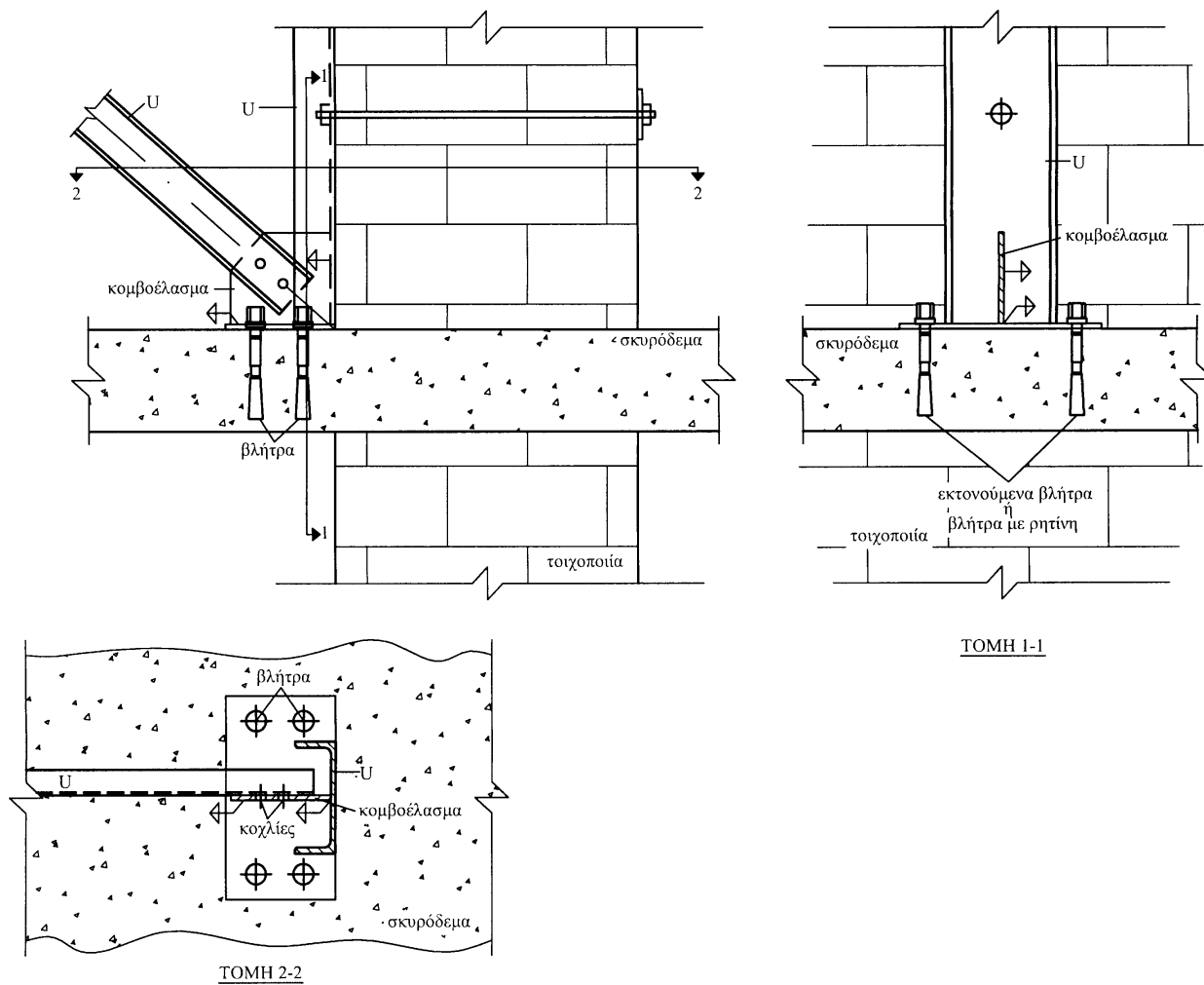
#### 6.4.6.1 λεπτομέρειες σχήματος 6-9



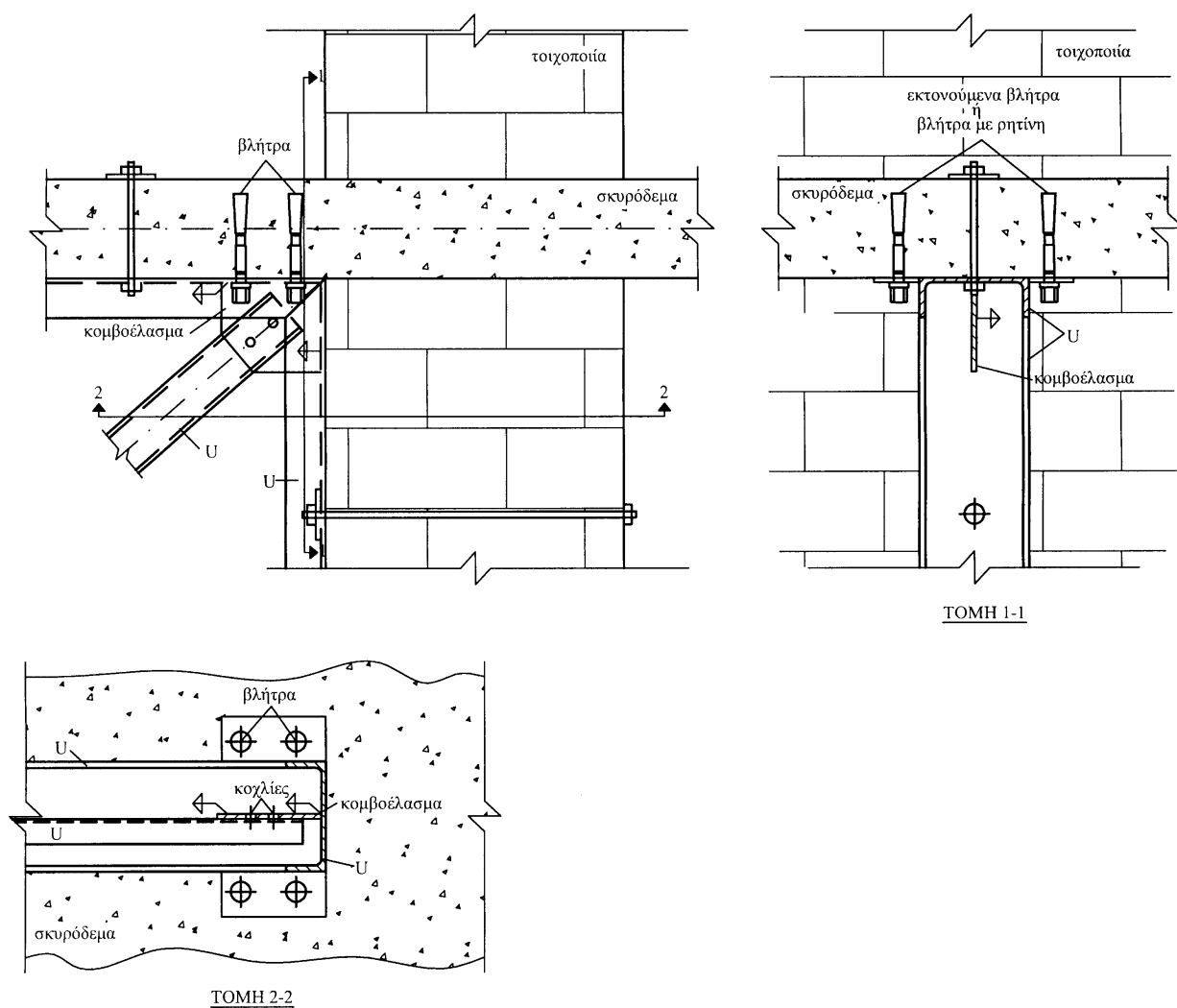
Λεπτομέρεια 6.4.6-1: Έδραση υποστύλωσης τύπου I ή H.



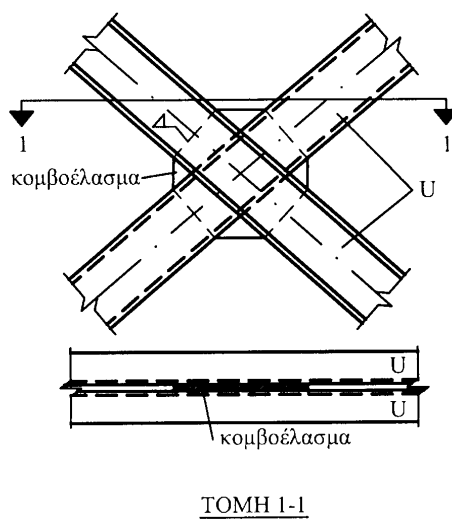
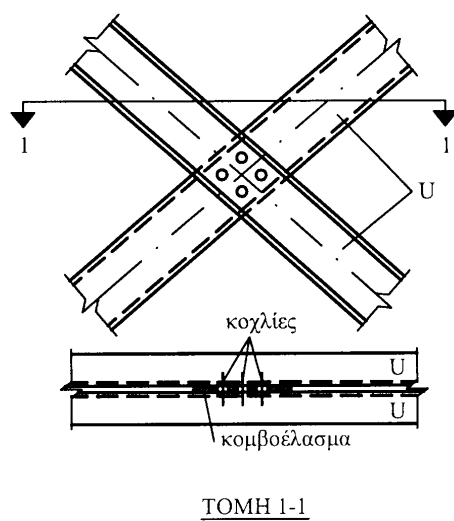
**Λεπτομέρεια 6.4.6-2:** Σύνδεση δοκού, υποστυλώματος τύπου I ή H και διαγωνίου συνδέσμου.



Λεπτομέρεια 6.4.6-3: Έδραση υποστρώματος τύπου U.



**Λεπτομέρεια 6.4.6-4:** Σύνδεση δοκού, υποστρώματος τύπου U και διαγωνίου συνδέσμου.



**Λεπτομέρεια 6.4.6-5:** Σύνδεση διαγωνίων συνδέσμων μέσω κοχλίωσης ή συγκόλλησης.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

1. A. Mandara (2000): Consolidation techniques for buildings, Advanced professional training on Refurbishment of buildings and bridges, CISM, Udine
2. Βάγιας Ι., Ερμόπουλος Ι., Ιωαννίδης Γ. (1997): "Σιδηρές Κατασκευές", Κλειδάριθμος, Αθήνα
3. C.J. Gantes, I. Vayas, A. Spiliopoulos (2001): Bending and shear stiffness optimization for rigid and braced multi – story steel frames, Steel and Composite Structures
4. Eurocode 3 - Design of steel structures - Part 1-1. European Committee for Standardization (CEN), ENV 1993-1-1, 1992
5. Eurocode 6 – Design of masonry structures - Part 1-1. European Committee for Standardization (CEN), ENV 1996-1-1, 1995
6. Eurocode 8 - Design provisions for earthquake resistance of structures - Part 1.4. European Committee for Standardization (CEN), ENV 1998-1-4, 1995
7. ΟΑΣΠ - ΥΠΕΧΩΔΕ: Τεχνικές οδηγίες προσεισμικού ελέγχου τρωτότητας δημοσίων κτιρίων, Τεύχος Α, Αθήνα, 2000