

Έλεγχος ενισχύσεων δομικών στοιχείων Ο/Σ μέσω ινοπλισμένων πολυμερών (ΙΟΠ)

Επεμβάσεις με σκοπό την ικανότητα έναντι μεγεθών ορθής έντασης (ΚΑΝ.ΕΠΕ. § 8.2.1)

Προσθήκη ελασμάτων από χάλυβα ή ινοπλισμένα πολυμερή (ΚΑΝ.ΕΠΕ. § 8.2.1.3α):

Η ανεπάρκεια του εφελκυσμένου οπλισμού σε ένα υφιστάμενο δομικό στοιχείο Ο/Σ μπορεί να αντιμετωπιστεί με επικόλληση ελασμάτων από χάλυβα ή ινοπλισμένα πολυμερή (σε μορφή ελάσματος ή σπανίως επιτόπου εμποτισμένου ειδικού υφάσματος). Η τεχνική εφαρμόζεται κυρίως σε πλάκες και δοκούς, σπανίως δε σε υποστυλώματα ή τοιχώματα. Επίσης, δεν πρέπει να εφαρμόζεται σε περιοχές οι οποίες ενδέχεται να βρεθούν υπό θλιπτική καταπόνηση λόγω ανακυκλιζόμενης ροπής ή τυχηματικής δράσης. Στα σχόλια ΚΑΝ.ΕΠΕ. § 8.2.1.3α(i) δίνονται γενικές οδηγίες για τον τρόπο επικόλλησης των ελασμάτων ή των υφασμάτων στο εφελκυσμένο πέλμα του δομικού στοιχείου.

Η προσθήκη ελασμάτων ή υφασμάτων επιτρέπεται υπό τον όρο ότι το υφιστάμενο δομικό στοιχείο είναι σε θέση να αναλάβει, χωρίς την ενίσχυση, την ένταση από τα μόνιμα φορτία του τελικού σχεδιασμού. Επίσης, αν η υπό ενίσχυση εφελκυσμένη περιοχή του δομικού στοιχείου ενδέχεται, υπό συνθήκες ανακυκλιζόμενης έντασης, να βρεθεί υπό θλιπτική καταπόνηση, απαιτούνται πρόσθετα κατάλληλα μέτρα (π.χ. περίσφιξη της περιοχής) για να παρεμποδιστεί ο τοπικός λυγισμός του στοιχείου.

Στον ΚΑΝ.ΕΠΕ. § 8.2.1.3α(vii) δίνονται κατασκευαστικές οδηγίες και συστάσεις σχετικά με το πάχος και το πλήθος των ελασμάτων, τη γεωμετρική διάταξη τους, καθώς και τον τρόπο αγκύρωσής τους στο ήδη υπάρχον δομικό στοιχείο.

Υπολογισμός απαιτούμενης διατομής του υλικού ενίσχυσης (ΚΑΝ.ΕΠΕ. § 8.2.1.3β(iv) & 8.2.1.3β(v))

Στον ΚΑΝ.ΕΠΕ. § 8.2.1.3α(iv) δίνεται σχέση υπολογισμού της απαιτούμενης διατομής του υλικού ενίσχυσης. Πιο συγκεκριμένα, αναφέρεται ότι το υλικό ενίσχυσης πρέπει να θεωρείται ως νέος εξωτερικός οπλισμός. Ο νέος οπλισμός πρέπει να υπολογίζεται έτσι ώστε σε συνεργασία με τον υφιστάμενο παλιό οπλισμό να αναλαμβάνονται οι εφελκυστικές δυνάμεις που αντιστοιχούν στην συνολική καμπτική ένταση στην περιοχή ενίσχυσης. Η ποσότητα του προστιθέμενου υλικού ενισχύσεως συνιστάται να επιλέγεται έτσι ώστε στην οριακή κατάσταση αστοχίας, ο υφιστάμενος εφελκυσμένος οπλισμός να αναπτύσσει παραμόρφωση τουλάχιστον ίση με την παραμόρφωση διαρροής του, χωρίς αστοχία της θλιβόμενης ζώνης του σκυροδέματος.

Υπό το σύνολο των προϋποθέσεων που θέτει ο ΚΑΝ.ΕΠΕ., το ενισχυμένο στοιχείο θεωρείται μονολιθικό, η δε εκτίμηση της καμπτικής του αντίστασης και των άλλων χαρακτηριστικών του μπορεί να γίνει θεωρώντας το υλικό ενίσχυσης ως νέον εξωτερικό οπλισμό.

Προσεγγιστικά, για τον υπολογισμό της απαιτούμενης διατομής του οπλισμού ενίσχυσης (A_j) μπορεί να χρησιμοποιηθεί η παρακάτω σχέση:

$$A_j = \frac{\Delta M_{do}}{z \cdot \sigma_{jd}} \quad (\Sigma 8.2)$$

Όπου:

ΔM_{do} είναι η πρόσθετη ροπή που καλείται να αναλάβει η ενισχυμένη διατομή (επιπλέον της M_{do} την οποία μπορεί να αναλάβει η αρχική),

z είναι ο μοχλοβραχίονας των εσωτερικών δυνάμεων (ο οποίος μπορεί να ληφθεί ίσος με $0.9d_j$), με d_j το στατικό ύψος της διατομής, μετρούμενο από την στάθμη του εξωτερικού οπλισμού.

Η τιμή σχεδιασμού της ενεργού τάσης σ_{jd} του νέου οπλισμού εκτιμάται με βάση μια κρίσιμη τιμή της τάσης $\sigma_{j,crit}$. Πιο συγκεκριμένα, ως τιμή της τάσης σ_{jd} λαμβάνεται η μικρότερη από τις παρακάτω τιμές (§ 8.2.1.3α(v)):

- Όταν έχουμε αστοχία του υλικού ενίσχυσης: $\sigma_{j,crit} = f_{jk}$ και $\sigma_{jd} = f_{jk}/\gamma_m$

όπου: f_{jk} είναι η χαρακτηριστική αντοχή του υλικού ενίσχυσης και γ_m είναι ο επιμέρους συντελεστής ασφάλειας για το υλικό ενίσχυσης.

Στα σχόλια της παραγράφου επισημαίνεται ότι αν το υλικό ενίσχυσης είναι χάλυβας, ως αστοχία θεωρείται η διαρροή του. Σ' αυτή την περίπτωση η αντοχή του υλικού ταυτίζεται με το όριο διαρροής του χάλυβα και ο συντελεστής γ_m με τον συντελεστή γ_s όπως προκύπτει από την παράγραφο 4.5.3.2α. Αν το υλικό ενίσχυσης είναι ινοοπλισμένο πολυμερές, τότε ως αστοχία θεωρείται η θραύση του υλικού. Σ' αυτή την περίπτωση ο συντελεστής γ_m λαμβάνεται ίσος με 1.2 (§ 4.5.3.2β). Τονίζεται ακόμα ότι αν χρησιμοποιούνται περισσότερες, από μία στρώσεις πολυμερούς, τότε η τιμή της αντοχής του υλικού θεωρείται ίση με $f'_{jk} = \psi \cdot f_{jk}$ όπου ψ είναι ο μειωτικός συντελεστής πολλών στρώσεων (§ 6.2.3).

- Όταν έχουμε πρόωρη αποκόλληση του υλικού ενίσχυσης: $\sigma_{jd} = \sigma_{j,crit}/\gamma_{Rd}$

όπου: $\gamma_{Rd}=1.2$ είναι συντελεστής ασφάλειας για τις αβεβαιότητες του προσομοιώματος και $\sigma_{j,crit}$ είναι η τάση του υλικού, η οποία οδηγεί σε αποκόλληση και υπολογίζεται με βάση τον ΚΑΝ.ΕΠΕ. § 6.1.4 είτε χρησιμοποιώντας την παρακάτω σχέση:

$$\sigma_{j,crit} = \beta \frac{\tau_b^{α_{ποκ}}}{\tau_j} L_e \quad (\Sigma 8.3)$$

όπου:

$\beta = \beta_w \cdot \beta_L$, διορθωτικός συντελεστής

$$\beta_w = \sqrt{\frac{2 - b_j / b_w}{1 + b_j / b_w}}, \quad b_j \text{ είναι το πλάτος του υλικού ενίσχυσης και } b_w \text{ είναι το πλάτος του}$$

εφελκόμενου πέλματος του δομικού στοιχείου πάνω στο οποίο επικολλάται το υλικό ενίσχυσης

$$\beta_L = \begin{cases} \sin\left(\frac{\pi\lambda}{2}\right) = \lambda(2 - \lambda) & \text{αν } \lambda < 1 \\ 1.0 & \text{αν } \lambda \geq 1 \end{cases}$$

$$\lambda = \frac{L_{av}}{L_e}, \quad L_{av} \text{ είναι το μήκος αγκύρωσης του οπλισμού ενίσχυσης}$$

L_e το ενεργό μήκος αγκύρωσης (δηλ. το μήκος πέραν του οποίου η αναλαμβανόμενη απ' το υλικό ενίσχυσης δύναμη, δεν αυξάνεται άλλο), που υπολογίζεται από τη σχέση θεωρώντας ότι το άνοιγμα της κρίσιμης ρωγμής ισούται με 0,5mm, και λαμβάνεται ίσο με:

$$L_e = \sqrt{\frac{E_j \cdot t_j}{2 \cdot f_{ctm}}} \quad (\Sigma 8.4)$$

f_{ctm} (MPa) είναι η μέση εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος,

E_j (MPa) και t_j (mm) είναι το μέτρο ελαστικότητας και το πάχος του υλικού ενίσχυσης αντιστοίχως.

Στην περίπτωση που χρησιμοποιούνται k επάλληλες στρώσεις υλικού ενίσχυσης πάχους t_{j1} η καθεμιά λαμβάνεται $t_j = \psi \cdot k \cdot t_{j1}$, όπου ψ είναι ο μειωτικός συντελεστής πολλών στρώσεων (§ 6.2.3)

$$\tau_b^{\alpha\pi\omicron\kappa} = f_{ctm}$$

Έλεγχος διατμητικής αστοχίας (ΚΑΝ.ΕΠΕ. § 8.2.1.3β(vi))

Σύμφωνα με τον ΚΑΝ.ΕΠΕ. § 8.2.1.3α(vi) απαιτείται ειδικός έλεγχος για την περίπτωση πρόωρης διατμητικής αστοχίας του αρχικού στοιχείου στην περιοχή απόληξης του ελάσματος (ή υφάσματος) ενίσχυσης. Αυτή η μορφή αστοχίας συμβαίνει συνήθως με τη μορφή απόσχισης της επικάλυψης του διαμήκους οπλισμού του στοιχείου στην περιοχή όπου απολήγει το υλικό ενίσχυσης. Κατά τον εν λόγω έλεγχο πρέπει να ικανοποιούνται οι ακόλουθες ανισώσεις:

$$V_{Sd, \alpha\pi\omicron\lambda} \leq V_{cd, \alpha\pi\omicron\lambda} \text{ και } M_{Sd, \alpha\pi\omicron\lambda} \leq 2 / 3 M_{Rd, \alpha\pi\omicron\lambda}$$

όπου:

$V_{Sd, \alpha\pi\omicron\lambda}$ και $V_{cd, \alpha\pi\omicron\lambda}$ είναι οι τιμές της τέμνουσας σχεδιασμού και της τέμνουσας που αναλαμβάνει το σκυρόδεμα στη θέση που απολήγει το υλικό ενίσχυσης. Υπολογίζονται με βάση τις διατάξεις του ΕΚ 2.

$M_{sd, απολ}$ είναι η τιμή της καμπτικής ροπής (η οποία προκαλεί εφελκυσμό στο πέλμα όπου επικολλάται το υλικό ενίσχυσης) στη θέση που απολήγει το υλικό ενίσχυσης

$M_{Rd, απολ}$ είναι η αντίστοιχη ροπή αντοχής στην ίδια θέση.

Αν το παραπάνω κριτήριο δεν ικανοποιείται, απαιτείται πρόσθετος εξωτερικός οπλισμός διάτμησης ο οποίος θα αναλάβει τέμνουσα που δίνεται από τη σχέση:

$$V_{sdj} = \frac{A_j \cdot \sigma_{jd}}{A_{so} \cdot f_{ydo} + A_j \cdot \sigma_{jd}} V_{sd, απολ} \quad (\Sigma 8.5)$$

όπου:

A_{so} είναι το εμβαδόν της διατομής του παλιού εφελκυσμένου οπλισμού που υπάρχει στο αρχικό δομικό στοιχείο

f_{ydo} είναι το όριο διαρροής του παλιού εφελκυσμένου οπλισμού που υπάρχει στο αρχικό δομικό στοιχείο

A_j είναι το εμβαδόν της διατομής του υλικού ενίσχυσης

Πάντως το πλήθος των στρώσεων δεν είναι σκόπιμο να ξεπερνά το 3 για ελάσματα και το 5 για εύκαμπτα υφάσματα, εκτός αν διατίθεται σχετική τεκμηρίωση που επιτρέπει τη χρήση περισσότερων στρώσεων. Επίσης, το πάχος των ελασμάτων δεν είναι σκόπιμο να ξεπερνά τα 4 mm ή 2% του πλάτους του ελάσματος.

Η απόσταση του υλικού ενίσχυσης από τις ακμές της διατομής σκυροδέματος συνιστάται να μην υπερβαίνει το πάχος της επικάλυψης της πλησιέστερης προς την ακμή παράλληλης ράβδου του υφιστάμενου οπλισμού.

Στις περιπτώσεις χρήσης περισσότερων παραλλήλων λωρίδων (συνήθως στην περίπτωση πλακών), η μεταξύ τους απόσταση δεν πρέπει να υπερβαίνει το 3πλάσιο του πάχους του στοιχείου και του 0,10 l_0 , όπου l_0 είναι η απόσταση των σημείων μηδενισμού της ροπής κάμψης κατά μήκος του στοιχείου.

Στις περιπτώσεις ενίσχυσης στο μέσο ανοίγματος, το υλικό ενίσχυσης πρέπει να επεκτείνεται και να αγκυρώνεται κοντά στις στηρίξεις. Στην περίπτωση ενίσχυσης στην περιοχή της στήριξης δοκών ή πλακών, το υλικό ενίσχυσης επεκτείνεται και αγκυρώνεται στις θλιβόμενες περιοχές σε μήκος περίπου του 1 m, εντός αυτών.

Να αποφεύγεται η διάτρηση των σύνθετων υλικών. Στις περιπτώσεις που η διάτρηση είναι αναπόφευκτη, απαιτείται ειδική ενίσχυση της γειτονικής περιοχής με ειδικό σύστημα του οποίου η αποτελεσματικότητα θα τεκμηριώνεται από αξιόπιστες πειραματικές δοκιμές.

Να αποφεύγεται η επαφή κοινού χάλυβα με ίνες άνθρακα, για την αποφυγή γαλβανικής διάβρωσης.