

Περίσφιγξη μέσω ινοπλισμένων πολυμερών (ΚΑΝ. ΕΠΕ. § 6.2.3)

Στην περίπτωση κατά την οποία η περίσφιγξη επιτυγχάνεται μέσω ινοπλισμένου πολυμερούς, ο μηχανισμός αστοχεί όταν αστοχεί το περισφίγγον σύνθετο υλικό. Ακολουθεί φθιτός κλάδος πολύ μεγάλης κλίσεως, ο οποίος δεν μπορεί να ληφθεί υπ' όψη. Έτσι, ως παραμόρφωση αστοχίας του περισφιγμένου σκυροδέματος λαμβάνεται η $\varepsilon_{c2,c}$, δηλαδή, η παραμόρφωση που αντιστοιχεί στην αντοχή του περισφιγμένου σκυροδέματος $f_{cd,c}$.

Η ενεργή εγκάρσια θλιπτική τάση $\sigma_2(=\sigma_3) \sim 0,5\alpha\omega_{wd}f_{cd}$, καθώς και το ποσοστό περισφίξεως, $\alpha\omega_{wd}$, υπολογίζονται όπως και στην περίπτωση περισφίξεως μέσω χαλύβδινων στοιχείων, με την διαφορά ότι στην αντίστοιχη σχέση, αντί του ορίου διαρροής του χάλυβα, εισάγεται η διαθέσιμη εφελκυστική αντοχή του ΙΠ, μειωμένη λόγω της καμπύλωσης του υλικού στις γωνίες του δομικού στοιχείου (Βλ. § 4.4.3(ε)) και ενδεχομένως κατά την σχέση (6.23).

Η εφαρμογή πρόσθετου ελάσματος (χαλύβδινου) ή υφάσματος (ΙΟΠ) σε περιοχές γωνιών και ακμών δομικού στοιχείου, συνεπάγεται και μία τοπική μείωση εο της διαθέσιμης παραμόρφωσης αστοχίας εο αυτού του προστιθέμενου υλικού, συναρτήσει της τοπικής ακτίνας καμπυλότητας r και του πάχους t του προστιθέμενου υλικού. Έτσι, η «απομένουσα» παραμόρφωση αστοχίας του προστιθέμενου υλικού είναι:

$$\varepsilon_{u,res} = \varepsilon_u - \varepsilon_o, \text{ όπου } \varepsilon_u \text{ κατά το κεφ. 8 και } \varepsilon_o = t / (2r)$$

Τα μηχανικά χαρακτηριστικά του περισφιγμένου σκυροδέματος υπολογίζονται με τη βοήθεια των παρακάτω σχέσεων:

$$f_{cd,c} = (1.125 + 1.25\alpha\omega_{wd}) f_{cd}$$

$$\varepsilon_{c2,c} = \gamma_{\text{ΙΟΠ}} 0.0035 \left(\frac{f_{cd,c}}{f_{cd}} \right)^2$$

όπου

$f_{cd,c}$ είναι η θλιπτική αντοχή σχεδιασμού του περισφιγμένου σκυροδέματος

f_{cd} είναι η θλιπτική αντοχή σχεδιασμού του υφιστάμενου σκυροδέματος

$\alpha\omega_{wd}$ είναι το ενεργό ποσοστό περισφίξεως

α είναι ο συντελεστής αποδοτικότητας της περισφίξεως (υπολογίζεται με τη βοήθεια των σχέσεων του ΚΑΝ.ΕΠΕ. § 6.2.2β και του σχήματος 3.1(β), όπως παρουσιάστηκαν παραπάνω)

ω_{wd} είναι το ογκομετρικό μηχανικό ποσοστό των συνδετήρων ή του ελάσματος περισφίξεως

$\varepsilon_{c2,c}$ είναι η ανηγμένη παραμόρφωση που αντιστοιχεί στην $f_{cd,c}$

$\gamma_{\text{ΙΟΠ}}$ είναι συντελεστής με τιμές:

Για $\gamma_{\text{ΙΟΠ}} = 1$, για ινοπλισμένα πολυμερή με ίνες άνθρακα

Για $\gamma_{\text{ΙΟΠ}} = 2$, για ινοπλισμένα πολυμερή με ίνες υάλου

Παρατήρηση: Για τον υπολογισμό του ω_{wd} , αντί του ορίου διαρροής του χάλυβα, χρησιμοποιείται η διαθέσιμη εφελκυστική αντοχή του ινοπλισμένου πολυμερούς, μειωμένη κατά την παρακάτω σχέση του ΚΑΝ.ΕΠΕ.:

$$f_j' = f_j \cdot \psi \quad (6.23)$$

Όπου: ψ είναι ο συντελεστής επιρροής του πλήθους των στρώσεων του πολυμερούς και δίνεται από την εξής σχέση:

$$\psi = \begin{cases} k^{-1/4} \leq 1 & \text{αν } k \geq 4 \\ 1.0 & \text{αν } k < 4 \end{cases}$$

k είναι ο αριθμός των στρώσεων του πολυμερούς

Ενίσχυση σε τέμνουσα μέσω ινοπλισμένων πολυμερών (ΚΑΝ.ΕΠΕ. § 8.2.2.2)

Η ενίσχυση στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος σε διάτμηση με σύνθετα υλικά επιτυγχάνεται μέσω της επικόλλησης υφασμάτων ή σπανιότερα ελασμάτων, τα οποία επικολλούνται στις εξωτερικές επιφάνειες με τις ίνες κατά το δυνατόν παράλληλες στις τροχιές των κυρίων τάσεων, δηλαδή περίπου κάθετα σε πιθανές ρωγμές. Συνιστάται η επιδίωξη «κλειστών» ενισχύσεων με την μορφή ολόπλευρων μανδυνών ή κολλάρων που περιβάλλουν ολόκληρη τη διατομή του στοιχείου. Στην περίπτωση που αυτό δεν είναι εφικτό, απαιτείται η πλήρης αγκύρωση του διατμητικού οπλισμού της «ανοικτής» ενίσχυσης (κάλυψη τουλάχιστον τριών πλευρών του αρχικού στοιχείου με υλικό ενίσχυσης) στο υφιστάμενο σκυρόδεμα με πρόσθετα στοιχεία σύνδεσης, με επαρκή ικανότητα για την μεταφορά των δυνάμεων στο αρχικό στοιχείο. Δεν επιτρέπονται «ανοικτές» ενισχύσεις με ανεξάρτητα ελάσματα ή υφάσματα επικολλημένα στις παρειές του στοιχείου: «Ανοικτές» ενισχύσεις επιτρέπονται μόνο υπό μορφή συνεχούς U (δεν επιτρέπονται δίπλευρες ενισχύσεις). Κατά παρέκκλιση, επιτρέπεται η εφαρμογή «ανοικτών» ενισχύσεων με αγκύρωση χωρίς πρόσθετα ακραία στοιχεία σύνδεσης, αλλά μόνο μέσω εποξειδικής κόλλας υπό τις ακόλουθες σύγχρονες προϋποθέσεις:

- a) Το ύψος του αρχικού στοιχείου που διατίθεται για την επικόλληση του στοιχείου ενίσχυσης είναι επαρκές για την εξασφάλιση της δύναμης η οποία ζητείται να αναληφθεί από τους νέους συνδετήρες
- b) Η ικανότητα του αρχικού στοιχείου χωρίς ενίσχυση είναι επαρκής για τον συνδυασμό φόρτισης $G + \psi_2 Q$.
- c) Ο ποιοτικός έλεγχος των εργασιών είναι υψηλής στάθμης.

Η ενίσχυση έναντι τέμνουσας ενός στοιχείου Ο.Σ. η οποία απαιτείται λόγω ανεπάρκειας του οπλισμού διάτμησης ($V_{sd} > V_{Rd3}$), μπορεί σύμφωνα με τον ΚΑΝ.ΕΠΕ. § 8.2.2.2, να γίνει είτε με μανδύες οπλισμένου σκυροδέματος, είτε με εξωτερικά στοιχεία από χάλυβα ή ινοπλισμένα πολυμερή τα οποία επικολλώνται πλήρως επί του στοιχείου, αναλαμβάνοντας το ρόλο οπλισμού διάτμησης.

Στην περίπτωση ενίσχυσης με εξωτερικά στοιχεία ινοπλισμένα πολυμερή, η τέμνουσα αντοχής σχεδιασμού λόγω οπλισμού διάτμησης ($V_{Rd,tot}$) υπολογίζεται από την σχέση:

$$V_{Rd,tot} = V_{Rd,s} + V_{jd} \quad (8.12)$$

όπου:

$V_{Rd,s}$ είναι η τέμνουσα που αναλαμβάνουν οι συνδετήρες του αρχικού στοιχείου

V_{jd} είναι η τέμνουσα που αναλαμβάνει ο νέος οπλισμός διάτμησης

- Για στοιχεία με ορθογωνική διατομή:

$$V_{jd} = \sigma_{jd} \cdot \rho_j \cdot b_w \cdot h_{j,ef} \cdot (\cot \theta + \cot \alpha) \cdot \sin^2 \alpha \quad (8.13)$$

όπου :

n: αριθμός στρώσεων υλικού ενίσχυσης

σ_{jd} : η τιμή σχεδιασμού της ενεργού τάσης του εξωτερικού οπλισμού διάτμησης

ρ_j : είναι το γεωμετρικό ποσοστό του εξωτερικού οπλισμού

b_w : το πλάτος της διατομής

$h_{j,ef}$: το ενεργό (για την ανάληψη τέμνουσας) ύψος της ενίσχυσης .

θ : η γωνία μεταξύ του άξονα του στοιχείου και της διεύθυνσης των αναμενόμενων λοξών ρωγμών, η οποία μπορεί να θεωρηθεί ίση με 45° .

α : η γωνία του εξωτερικού οπλισμού διάτμησης ως προς τον διαμήκη άξονα του στοιχείου.

Το ποσοστό ορίζεται ως:

$$\rho_j = \frac{2 \cdot n \cdot A_j}{s_j \cdot b_w \cdot \sin \alpha} \quad (\Sigma 8.8)$$

όπου:

t_j : το πάχος του εξωτερικού οπλισμού

w_j : το πλάτος του εξωτερικού οπλισμού στην περίπτωση λωρίδων

s_j : η αξονική απόσταση του εξωτερικού οπλισμού στην περίπτωση λωρίδων

Για συνεχή φύλλα $t_j = A_j/s_j$ και $w_j = s_j$

Για $\theta = 45^\circ$ και $\alpha = 90^\circ$ η σχέση (8.13) απλοποιείται:

$$V_{jd} = \sigma_{jd} \cdot \rho_j \cdot b_w \cdot h_{j,ef} = \frac{2A_j}{s_j} \cdot h_{j,ef} \cdot \sigma_{jd} \quad (\Sigma 8.9)$$

Μπορεί να θεωρηθεί $h_{j,ef} = 2/3 d$ όπου d είναι το στατικό ύψος του στοιχείου.

- Για στοιχεία με κυκλική διατομή:

$$V_{jd} = \sigma_{jd} \cdot \rho_j \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{\pi D^2}{4} \cdot (\cot \theta + \cot \alpha) \cdot \sin^2 \alpha \quad (8.16)$$

Όπου:

ρ_j : το ογκομετρικό ποσοστό του εξωτερικού οπλισμού διάτμησης, το οποίο στην περίπτωση λωρίδων ή κολλάρων είναι ίσο προς $4A_j/(D s_j \sin \alpha)$ ενώ στην περίπτωση ολόσωμων μανδυνών είναι $4t_j/(D \sin \alpha)$

D : η διάμετρος της διατομής

$A_j = t_j w_j$: το εμβαδόν της διατομής του οπλισμού διάτμησης

Στην περίπτωση ενίσχυσης με ινοπλισμένα πολυμερή, η γωνία α είναι η γωνία των κύριων ινών του πολυμερούς ως προς τον διαμήκη άξονα του στοιχείου.

Η τιμή σχεδιασμού της ενεργού τάσεως σ_{jd} , του νέου οπλισμού διάτμησης, εκτιμάται με βάση μια κρίσιμη τιμή της τάσης $\sigma_{j,crit}$ ή της παραμορφώσεως $\varepsilon_{j,crit}$ του υλικού ενίσχυσης, η οποία εξαρτάται από την μορφή αστοχίας. Ως τιμή σχεδιασμού σ_{jd} θεωρείται αυτή που αντιστοιχεί στη δυσμενέστερη (μικρότερη τιμή) από τις ακόλουθες δύο μορφές αστοχίας:

[Αστοχία του ιδίου του υλικού ενίσχυσης \(ΚΑΝ.ΕΠΕ. § 8.2.2.2\(iv\)-Α\)](#)

Έναντι αυτής, πρέπει:

$$\sigma_{jd} \leq \frac{f_{jk}}{\gamma_m} \quad (8.14)$$

όπου:

f_{jk} : είναι η χαρακτηριστική τιμή αντοχής του υλικού ενίσχυσης

γ_m : είναι ο συντελεστής ασφαλείας για το υλικό ενίσχυσης

Στην περίπτωση που το υλικό ενίσχυσης είναι ινοπλισμένα πολυμερή (ΙΟΠ) λαμβάνεται $\gamma_m = \gamma_{IOΠ} = 1.2$ και $f_{jk} = E_j \varepsilon_{j,crit}$, όπου E_j είναι το μέτρο ελαστικότητας του υλικού ενίσχυσης. Όταν χρησιμοποιείται ινοπλισμένο πολυμερές, η αστοχία του υλικού μπορεί να συμβεί υπό παραμορφώσεις σημαντικά μικρότερες της συμβατικής παραμόρφωσης αστοχίας του υλικού (όπως αυτή προκύπτει από τις δοκιμές αξονικού εφελκυσμού), λόγω τοπικής υπερκαταπόνησης στην θέση όπου γεφυρώνεται το μεγαλύτερο άνοιγμα μιας κρίσιμης διατμητικής ρωγμής. Έναντι αυτού του δυσμενούς ενδεχομένου, λαμβάνεται:

$$\varepsilon_{j,crit} = k_v \varepsilon_{j,max}$$

όπου:

k_n : είναι ο συντελεστής που εκφράζει την περίπου τριγωνική κατανομή των παραμορφώσεων κατά μήκος της κρίσιμης λοξής ρωγμής και λαμβάνεται $k_n = 1/2$.

Εξάλλου:

$$\varepsilon_{j,max} = \varepsilon_{ju} \psi \leq 1.5\%$$

όπου:

ε_{ju} : η μέγιστη εφελκυστική παραμόρφωση του υλικού

ψ : ο μειωτικός συντελεστής πολλών στρώσεων

Η μέγιστη τιμή $\varepsilon_{j,max}=1.5\%$ στοχεύει στον περιορισμό του ανοίγματος μιας κρίσιμης λοξής ρωγμής πέραν της οποίας μειώνεται η συμβολή του σκυροδέματος (V_c) στην διατμητική αντοχή του μέλους, η δε αστοχία συμβαίνει πριν από την εξάντληση της αντοχής του υλικού ενίσχυσης.

Πρώρη αποκόλληση του υλικού ενίσχυσης λόγω ανεπαρκούς αγκύρωσης των άκρων του.
(ΚΑΝ.ΕΠΕ. § 8.2.2.2(iv)-B)

Έναντι αυτής της αστοχίας, πρέπει:

$$\sigma_{jd} \leq \frac{\sigma_{j,crit}}{\gamma_{Rd}} \quad (8.15)$$

όπου:

γ_{Rd} : είναι κατάλληλος συντελεστής αβεβαιότητας του προσομοιώματος

Αυτή η μορφή αστοχίας αφορά μόνο τις κατά παρέκκλιση επιτρεπόμενες ανοικτές ενισχύσεις που δεν έχουν πρόσθετα ακραία στοιχεία αγκύρωσης, και η αγκύρωση των άκρων τους εξασφαλίζεται μόνο με πρόσφυση μέσω εποξειδικής κόλλας.

Στην περίπτωση «κλειστών» ενισχύσεων, η αστοχία αυτή αποφεύγεται εξασφαλίζοντας την περιμετρική συνέχεια του στοιχείου ενίσχυσης. Η περιμετρική συνέχεια θεωρείται ότι εξασφαλίζεται μέσω επαρκούς (της τάξεως των 150mm) υπερκάλυψης των δύο άκρων του υφάσματος σύνθετου υλικού.

«Ανοικτές» ενισχύσεις μπορεί να θεωρηθούν ως οιονεί «κλειστές», εάν εξασφαλίζεται η πλήρης αγκύρωση των άκρων τους στα υφιστάμενα στοιχεία σκυροδέματος, ελέγχοντας και όλους τους ενδεχόμενους τρόπους αστοχίας των στοιχείων αγκύρωσης. Ο συντελεστής αβεβαιότητας του προσομοιώματος, γ_{Rd} , λαμβάνεται ίσος με 1.2.

Οι τιμές των $\sigma_{j,crit}$ ή $\varepsilon_{j,crit}$ προσδιορίζονται με χρήση αξιόπιστων δεδομένων της διεθνούς βιβλιογραφίας. Ελλείπει τέτοιων δεδομένων μπορεί να θεωρηθεί:

$$\sigma_{j,crit} = k_v \sigma_{j,max}$$

με:

$$k_v = 0.40 + 0.25\lambda \leq 0.65$$

όπου :

$L_{av} = h_{j,ef}$: είναι το διατιθέμενο μήκος αγκύρωσης του οπλισμού ενίσχυσης

L_e : είναι το αντίστοιχο ενεργό μήκος αγκύρωσης (δηλ. το μήκος αγκύρωσης πέραν του οποίου η αναλαμβανόμενη δύναμη από το υλικό ενίσχυσης δεν αυξάνεται) και μπορεί να ληφθεί από την σχέση :

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

$$\sigma_{j,max} = \beta \frac{\tau_b^{\alpha_{\text{ποκ}}}}{\tau_j} L_e \quad (\Sigma 8.10)$$

$$\tau_b^{\alpha_{\text{ποκ}}} = f_{ctm}$$

t_j : το πάχος του υλικού ενίσχυσης

Στην περίπτωση που χρησιμοποιούνται k επάλληλες στρώσεις υλικού ενίσχυσης πάχους t_{j1} , λαμβάνεται $t_j = \psi k t_{j1}$, όπου $\psi < 1$ είναι ο μειωτικός συντελεστής πολλών στρώσεων

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

$$\beta_w = \sqrt{\frac{2 - w_j / s_j \sin \alpha}{1 + w_j / s_j \sin \alpha}}$$

β_w : ο συντελεστής επιρροής πλάτους οπλισμού ενίσχυσης, ίσος με $1/\sqrt{2}$ για ενίσχυση με συνεχή φύλλα ή υφάσματα

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

β_L : ο συντελεστής επιρροής διατιθέμενου μήκους αγκύρωσης

$$\text{Και, } \lambda = \frac{L_{av}}{L_e}$$

