

## ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΠΛΑΚΩΝ ΚΑΙ ΔΟΚΩΝ ΣΕ ΚΑΜΨΗ ΜΕ ΜΑΝΔΥΕΣ Η ΕΛΑΣΜΑΤΑ ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ.

Σύμφωνα με τον Κανονισμό Επεμβάσεων, ο νέος οπλισμός υπολογίζεται έτσι ώστε σε συνεργασία με τον υφιστάμενο παλιό οπλισμό να αναλαμβάνονται οι εφελκυστικές δυνάμεις που αντιστοιχούν στη συνολική καμπτική ένταση της περιοχής ενίσχυσης. Προσεγγιστικά, για τον υπολογισμό της απαιτούμενης διατομής του οπλισμού ενίσχυσης ( $A_j$ ), σε βαθμό προμελέτης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί η σχέση:

$$A_j = \frac{\Delta M_{d0}}{z * \sigma_{jd}} \quad (1)$$

όπου:

$\Delta M_{d0}$  είναι η πρόσθετη ροπή που καλείται να αναλάβει η ενισχυμένη διατομή (επιπλέον της  $M_{d0}$  την οποία μπορεί να αναλάβει η αρχική,

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

Η τιμή σχεδιασμού της ενεργού τάσεως  $\sigma_{jd}$  του νέου οπλισμού, οφείλει ωστόσο να είναι μικρότερη από την τιμή  $\sigma_{jd}$  που αντιστοιχεί στην δυσμενέστερη από τις ακόλουθες μορφές αστοχίας:

### **1. Αστοχία του ιδίου του υλικού ενίσχυσης**

$$\sigma_{jd} = \frac{1}{\gamma_m} * f_{jk} \quad (2)$$

όπου:

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

$\gamma_m = 1.2$  ο επί μέρους συντελεστής ασφαλείας για το υλικό ενίσχυσης

Αν χρησιμοποιούνται περισσότερες, από μία στρώσεις ινοπλισμένου πολυμερούς, η τιμή της αντοχής του υλικού θεωρείται  $f'_{jk} = \psi f_{jk}$  όπου  $\psi$  είναι ο μειωτικός συντελεστής πολλών στρώσεων με  $\psi = 1$  για  $n < 4$  και  $\psi = n^{-1/4}$  για  $n \geq 4$  όπου  $n$  ο αριθμός των στρώσεων

## 2. Πρόωρη αποκόλληση του υλικού ενίσχυσης λόγω ανεπάρκειας της σύνδεσης κατά μήκος του στοιχείου ή της αγκύρωσης των άκρων

Στη περίπτωση αυτή ισχύει:

$$\sigma_{jd} = \frac{\sigma_{j,crit}}{\gamma_{Rd}} \quad (3)$$

όπου:

$\gamma_{Rd}$ : ο κατάλληλος συντελεστής ασφαλείας, ο οποίος καλύπτει τις αβεβαιότητες του προσομοιώματος και θεωρείται ίσος με 1.2.

$\sigma_{j,crit}$ : η τάση του υλικού η οποία οδηγεί σε αποκόλληση

Για αυτή την μορφή αστοχίας μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι παρακάτω προσεγγιστικές σχέσεις:

$$\sigma_{j,crit} = \beta * \frac{\tau_b^{αποκ.}}{t_j} * L_e \quad (4)$$

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

$$\tau_b^{αποκ.} = f_{ctm},$$

$L_e$  το ενεργό μήκος αγκύρωσης (δηλαδή το μήκος του οποίου η αναλαμβανόμενη απ' το υλικό ενίσχυσης δύναμη, δεν αυξάνεται άλλο) και λαμβάνεται ίσο με:

$$L_e = \sqrt{\frac{E_j * t_j}{2 * f_{ctm}}} (MPa, mm) \quad (5)$$

με  $t_j, E_j$  το πάχος και το μέτρο ελαστικότητας του υλικού ενίσχυσης αντίστοιχα. Στην περίπτωση που χρησιμοποιούνται  $k$  επάλληλες στρώσεις υλικού ενίσχυσης πάχους  $t_{j1}$  λαμβάνεται  $t_j = \psi k t_{j1}$  όπου  $\psi$  είναι ο μειωτικός συντελεστής πολλών στρώσεων.

Ο συντελεστής επιρροής πλάτους οπλισμού ενίσχυσης δίνεται από τον τύπο:

$$\beta_w = \sqrt{\frac{2 - \frac{b_j}{b_w}}{1 + \frac{b_j}{b_w}}} \quad (6)$$

όπου  $b_j$  το πλάτος του υλικού ενίσχυσης και

$b_w$  το πλάτος του εφελκυσμένου πέλματος δομικού στοιχείου επί του οποίου επικολλάται το υλικό ενίσχυσης

Ο συντελεστής επιρροής του διατιθέμενου μήκους αγκύρωσης δίνεται από τον τύπο:

$$\beta_L = \sin\left(\frac{\pi * \lambda}{2}\right) = \lambda * (2 - \lambda) \quad (8)$$

όπου  $\lambda = \frac{L_{av}}{L_e} < 1$  και  $L_{av}$  το διατιθέμενο μήκος αγκύρωσης του σπλισμού ενίσχυσης. Για

$\lambda \geq 1$  ο συντελεστής  $\beta_L$  λαμβάνεται ίσος με μονάδα.

## **STRENGTHENING OF BEAMS AND PLATES WITH FRP.**

According to the Greek Code for Intervention on Existing Structures (KAN.ΕΠΕ), the FRP reinforcement is calculated so that, in cooperation with the existing steel reinforcement, they can undertake the tension forces from required moment. As an initial approximation, the required FRP reinforcement area  $A_j$ , can be calculated from:

$$A_j = \frac{\Delta M_{d0}}{z * \sigma_{jd}} \quad (1)$$

Where:

$\Delta M_{d0}$  is the additional moment to be carried by the strengthened section (in addition to the  $M_{d0}$  that can be undertaken by the unstrengthened section),

$z$  can be taken as  $0.9d_j$ , where  $d_j$  is the distance of reinforcement from the outer fiber of the beam.

The design value of  $\sigma_{jd}$  for the FRP should be less than the  $\sigma_{jd}$  that corresponds to either ..... of the following two types of failure:

### **1. Failure of the reinforcing material (FRP)**

$$\sigma_{jd} = \frac{1}{\gamma_m} * f_{jk} \quad (2)$$

where:

$f_{jk}$ :  $\eta$  characteristic tensile strength of FRP

$\gamma_m = 1,2$  partial safety factor for the FRP.

When more than one layers of material are used, the strength is consider to be  $f'_{jk} = \psi f_{jk}$  where  $\psi$  is a reduction factor accounting for the multi-layer effect with  $\psi=1$  for  $n < 4$  and  $\psi = n^{-1/4}$ , where  $n$  is the number of the layers.

### **2. Bond failure because of insufficient anchorage length**

In this case:

$$\sigma_{jd} = \frac{\sigma_{j,crit}}{\gamma_{Rd}} \quad (3)$$

where:

$\gamma_{Rd} = 1,2$  proper safety factor accounting for uncertainties in the modelling

$\sigma_{j,crit}$  = debonding shear stress

For this failure type, one may use the following relationships:

$$\sigma_{j,crit} = \beta * \frac{\tau_b^{\alpha_{\text{ΠOK}}}}{t_j} * L_e \quad (4)$$

where  $\beta = \beta_w \beta_L$ , is a correction factor,

$\tau_b^{\alpha_{\text{ΠOK}}} = f_{ctm}$ ,

$L_e$  is the effective bond length. The maximum value of  $L_e$  is given by:

$$L_e = \sqrt{\frac{E_j * t_j}{2 * f_{ctm}}} \text{ (MPa, mm)} \quad (5)$$

where  $t_j, E_j$  is the thickness and the modulus of elasticity of the FRP, respectively. For more than one layers, the equivalent thickness  $t_j$  is calculated from  $t_j = \psi k t_{j1}$ , where  $k$  is the number of layers and  $\psi$  is the reduction factor, as given before.

The  $\beta_w$  expressing the effect of the FRP width is given by:

$$\beta_w = \sqrt{\frac{2 - \frac{b_j}{b_w}}{1 + \frac{b_j}{b_w}}} \quad (6)$$

Where  $b_j$  is the FRP width and  $b_w$  is the total width of the strengthened structural element.

The  $\beta_L$  expressing the effect of provided anchorage length is given by:

$$\beta_L = \sin\left(\frac{\pi * \lambda}{2}\right) = \lambda * (2 - \lambda) \quad (8)$$

where  $\lambda = \frac{L_{av}}{L_e} < 1$  and  $L_{av}$  is the provided length to anchor the FRP. For  $\lambda \geq 1$  coefficient  $\beta_L$  is

taken as equal to 1.

