

ΑΡΧΕΣ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ
ΤΩΝ
ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ

Δ.1 ΣΥΜΒΟΛΑ

$E_{c,ef}$	Ενεργό μέτρο ελαστικότητας σκυροδέματος
K, K_I, K_{II}	Ακαμψία, ακαμψία σταδίου I, ή σταδίου II αντιστοιχώς
M_{cr}, N_{cr}	Ροπή κάμψης, αξονική δύναμη κατά τη ρηγμάτωση
M_{ser}, N_{ser}	Δρώσα ροπή κάμψης, αξονική δύναμη (λειτουργικότητας)
a, a_I, a_{II}	Παραμόρφωση, καμπυλότητα κλπ, γενικώς, σταδίου I, σταδίου II, αντιστοιχώς
d	Στατικό ύψος
β_1, β_2	Συντελεστής, για συνθήκες συνάφειας ή φόρτισης, αντιστοιχώς
ζ	Συντελεστής βαρύτητας-κατανομής
ξ	Μειωτικός συντελεστής
σ_s, σ_{sr} ρηγμάτωση	Τάση οπλισμού, τάση οπλισμού κατά τη ρηγμάτωση

Δ.2 ΓΕΝΙΚΑ

Στο Παράρτημα αυτό δίνονται βασικές αρχές και μια απλοποιημένη διαδικασία υπολογισμού των κάθε είδους παραμορφώσεων, μετακινήσεων (μετατοπίσεων και βελών κάμψεως) και γωνιακών παραμορφώσεων ή στροφών, κυρίως για καμπτόμενα στοιχεία, όπως πλάκες, δοκοί και πλαίσια.

Οι παραμορφώσεις των στοιχείων από οπλισμένο (ή και από προεντεταμένο) σκυρόδεμα επηρεάζονται από πλήθος παραμέτρων, με αυξημένες αβεβαιότητες, όπως:

- Τα μηχανικά χαρακτηριστικά των υλικών και κυρίως του σκυροδέματος (σχετικώς, υπενθυμίζεται το κατά $\pm 30\%$ εύρος διακύμανσης της εφελκυστικής αντοχής και του μέτρου ελαστικότητας)
- Οι συνθήκες στήριξης (π.χ. αρθρώσεις ή πακτώσεις, πλήρεις ή μερικές)
- Οι συνθήκες φόρτισης (π.χ. άμεσες ή έμμεσες δράσεις, χαρακτήρας, κλπ.)

Έτσι, οι τιμές των πραγματικών παραμορφώσεων μπορεί να διαφέρουν σημαντικά από τις υπολογιζόμενες μέσες τιμές, ειδικά αν τα δρώντα εντατικά μεγέθη έχουν τιμές παραπλήσιες αυτών της ρηγμάτωσης. Γι' αυτό, δεν συνιστάται η χρήση υπερβολικά λεπτομερών μεθόδων εκτιμής των παραμορφωσιακών μεγεθών, ενώ τα σχετικά αποτελέσματα οποιουδήποτε υπολογισμού είναι συμβατικά και πρέπει να θεωρούνται ως πιθανές εκτιμήτριες των αντίστοιχων παραμορφώσεων.

Τέλος, πρέπει να τονισθεί ότι ιδιαίτερες περιπτώσεις όπως οι παραμορφώσεις από άλλες αιτίες πλην της απλής ή σύνθετης κάμψης (π.χ. διατμητικές ή

στρεπτικές ή λόγω διαφορικής χρόνιας συμπεριφοράς κατακόρυφων στοιχείων υψηλών κτιρίων), δεν καλύπτονται από αυτό το Παράρτημα.

Δ.3 ΑΡΧΕΣ

Η μέθοδος που θα ακολουθηθεί για τον υπολογισμό των παραμορφώσεων πρέπει να προσομοιάζει επαρκώς την πραγματική συμπεριφορά του δομήματος με ακρίβεια αντίστοιχη των στόχων του σχεδιασμού.

Ιδιαίτερη σημασία έχει η εκτίμηση του κινδύνου ρηγματώσης για την υπόψη δράση (ή και άλλες, ίσως προηγούμενες), οπότε δεν ισχύει η αρχή της επαλληλίας για την εκτίμηση των παραμορφώσεων.

Σε συνήθη κτίρια αρκεί γενικώς ο έλεγχος των βελών κάμψης για τους βασικούς συνδυασμούς λειτουργικότητας:

- Είτε τους βραχυχρόνιους (συντελεστές συνδυασμού ψ_1), για το σύνολο των φορτίων, αν κριτήριο είναι η εμφάνιση ή και η χρηστικότητα,
- Είτε τους μακροχρόνιους (συντελεστές συνδυασμού ψ_2), μόνο για τα πρόσθετα φορτία, αν κριτήριο είναι η αποφυγή βλάβης των διαχωριστικών στοιχείων ή και των κάθε είδους τελειωμάτων.

Γενικώς, τα βέλη κάμψης υπολογίζονται με κατάλληλες μεθόδους (ακόμη και απλοποιητικές, με αποδεκτό βαθμό προσέγγισης), με βάση την μεταβλητή κατά μήκος των στοιχείων ολική καμπυλότητα σε χρόνο t , δηλ. το «άθροισμα» της καμπυλότητας λόγω των συνήθων μηχανικών δράσεων – φορτίων και της καμπυλότητας λόγω της χρόνιας συμπεριφοράς του σκυροδέματος (συστολή και ερπυσμός), όπου ανάλογα με την περίπτωση η καμπυλότητα σχετίζεται με το στάδιο I, ή II, ή με κάποιο ενδιάμεσο στάδιο (βλ. παρ. Δ.4).

Επιπλέον, και αν απαιτείται, πρέπει να ληφθούν υπόψη και άλλες έμμεσες δράσεις, όπως οι θερμοκρασιακές διαφορές ή και οι μεταβολές συνθηκών στηρίξεων, καθώς και η «ανακούφιση» λόγω της συμβολής του εφελκόμενου σκυροδέματος μεταξύ διαδοχικών ρωγμών.

Για ειδικές περιπτώσεις, ο Κύριος του έργου μπορεί να θέτει ιδιαίτερες απαιτήσεις για έλεγχο – περιορισμό των παραμορφώσεων.

Δ.4 ΜΕΘΟΔΟΣ

- α) Για τον υπολογισμό των παραμορφώσεων θεωρούνται δύο ακραίες καταστάσεις:
- Η κατάσταση χωρίς ρωγμές (στάδιο I), όπου το σκυρόδεμα και οι ράβδοι σιδηροπλισμού δρουν μαζί και οιονεί ελαστικά, τόσο υπό εφελκυσμό όσο και υπό θλίψη, και
 - Η κατάσταση με ρωγμές (στάδιο II), πλήρεις και αναπτυγμένες /



σταθεροποιημένες, όπου αγνοείται η συμμετοχή του εφελκόμενου σκυροδέματος (κυρίως για τις αντοχές).

- β) Στοιχεία για τα οποία, σε οποιαδήποτε περιοχή τους, δεν αναμένονται εντατικά μεγέθη τέτοια που να συνεπάγονται υπέρβαση της εφελκυστικής αντοχής του σκυροδέματος, θα θεωρούνται μη ρηγματωμένα.

Στοιχεία που αναμένεται να ρηγματωθούν, θα συμπεριφέρονται σε κάποιο ενδιάμεσο στάδιο, μεταξύ της μη ρηγματωμένης κατάστασης και της πλήρως ρηγματωμένης κατάστασης, υπό γενικευμένη ρηγμάτωση.

- γ) Για στοιχεία που υπόκεινται κυρίως σε εφελκυσμό ή κάμψη, απλή ή και σύνθετη, αλλά χωρίς σημαντικές αξονικές δυνάμεις, η συμπεριφορά τους μπορεί να προσεγγισθεί με βάση την σχέση:

$$a = (1 - \zeta)a_I + \zeta a_{II}$$

όπου:

a η θεωρούμενη παράμετρος, που μπορεί να είναι π.χ. η παραμόρφωση (βέλος ή στροφή), ή η καμπυλότητα.

a_I η τιμή της υπόψη παραμέτρου για την κατάσταση χωρίς ρωγμές

a_{II} η τιμή της υπόψη παραμέτρου για την κατάσταση με πλήρεις ρωγμές

ζ ο συντελεστής βαρύτητας – κατανομής, που εκφράζει την “ανακούφιση” της συνολικής (μέσης) παραμόρφωσης των ράβδων σιδηροπλισμού ανάμεσα σε δύο διαδοχικές ρωγμές και δίνεται από τις σχέσεις:

$$\zeta = 0 \quad \text{για } \sigma_s < \sigma_{sr}$$

$$\zeta = 1 - \beta \cdot \left(\frac{\sigma_{sr}}{\sigma_s} \right)^2 \quad \text{για } \sigma_s \geq \sigma_{sr}$$

$$\beta = \beta_1 \beta_2$$

β_1 συντελεστής, για τις συνθήκες συνάφειας:

$$\beta_1 = 1.0 \quad \text{για ράβδους με νευρώσεις}$$

$$\beta_1 = 0.5 \quad \text{για ράβδους λείες}$$

β_2 συντελεστής, για τις συνθήκες φόρτισης:

$$\beta_2 = 1.0 \quad \text{για μεμονωμένη και βραχυχρόνια φόρτιση}$$

$\beta_2 = 0.5$ για επαναλαμβανόμενη ή μακροχρόνια φόρτιση

σ_s η τάση των ράβδων σιδηροπλισμού στην ρηγματωμένη διατομή, υπό τον σχετικό συνδυασμό φορτίσεως (λειτουργικότητας).

σ_{sr} η τάση των ράβδων σιδηροπλισμού στην ρηγματωμένη διατομή, όταν πρωτοεμφανίζεται η ρηγμάτωση (αρχική γενιά ρωγμών).

Σημειώσεις

(i) Γενικώς, για γραμμική συνάρτηση μεταξύ τάσεως και εντάσεως, η σχέση (σ_{sr} / σ_s) μπορεί να αντικατασταθεί από την σχέση:

$$(M_{cr} / M_{ser}), \quad \text{για κάμψη – απλή ή σύνθετη}$$

$$(N_{cr} / N_{ser}), \quad \text{για καθαρό εφελκυσμό (ελκυστήρες),}$$

όπου: M_{ser} και N_{ser} είναι τα σχετικά εντατικά μεγέθη (λειτουργικότητας).

(ii) Η τιμή M_{cr} μπορεί προσεγγιστικά να εκτιμηθεί από την σχέση (N_{ser} : αρνητική τιμή για θλίψη):

$$M_{cr} \cong W_c \cdot \left(f_{ct} - \frac{N_{ser}}{A_c} \right)$$

Η τιμή N_{cr} μπορεί προσεγγιστικά να εκτιμηθεί από την σχέση (για καθαρό εφελκυσμό):

$$N_{cr} \cong A_c \cdot f_{ct}$$

(iii) Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά A_c (εμβαδόν διατομής) και W_c (ροπή αντίστασης της πλέον εφελκυσόμενης ίνας ως προς τον ουδέτερο άξονα) μπορούν να εκτιμηθούν χωρίς την ύπαρξη οπλισμών.

(iv) Γενικώς, για την εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος μπορεί να χρησιμοποιηθεί η τιμή f_{ctm} .

δ) Ερπυσμός.

Η επιρροή του ερπυσμού μπορεί να ληφθεί υπόψη είτε μέσω πρόσθετης καμπυλότητας $(1/r)_{cc}$, λαμβάνοντας υπόψη κατάλληλο μειωτικό συντελεστή που εκφράζει τον ρόλο της παρουσίας του οπλισμού στην ελάττωση του ερπυσμού του σκυροδέματος, (π.χ. $(1/r)_{cc} \cong \xi \cdot \varphi \cdot (1/r)_0$, είτε – απλούστερα – μέσω μειωμένης «ενεργής» δυσκαμψίας, χρησιμοποιώντας ένα «ενεργό» μέτρο ελαστικότητας για το σκυρόδεμα,



ως εξής:

$$E_{c,ef} \cong E_{cm} / (1 + \varphi),$$

όπου φ ο σχετικός συντελεστής ερπυσμού.

Ισοδυνάμως, και για συνήθεις περιπτώσεις (συνήθη κτίρια, συνήθη φορτία, γραμμική σχέση μεταξύ ερπυστικών παραμορφώσεων και εντάσεως, αμελητέα επιρροή άλλων εμμέσων δράσεων – κυρίως συστολής και θερμοκρασίας), η επιρροή του ερπυσμού μπορεί να ληφθεί υπόψη ως εξής:

$$a_t \cong a_0 (1 + \varphi),$$

όπου:

a_t π.χ. το βέλος κάμψης για χρόνο $t = t$

a_0 π.χ. το βέλος κάμψης για χρόνο $t = 0$

ε) **Συστολή.**

Η επιρροή της συστολής μπορεί να ληφθεί υπόψη μέσω πρόσθετης καμπυλότητας $(1/r)_{cs}$, ως εξής:

$$(1/r)_{cs} \cong \xi \cdot \varepsilon_{cs} / d,$$

όπου:

d το στατικό ύψος

ε_{cs} η συστολή ξήρανσης

ξ ο μειωτικός συντελεστής, για την παρουσία του οπλισμού, ως εξής:

$$\xi \cong \left(1 - \frac{\rho'}{\rho} \right) \geq 0.5$$

στ) **Θερμοκρασία.**

- Πρόσθετη καμπυλότητα για ομοιόμορφη αύξηση κατά T (καθ' ύψος ολόκληρης της διατομής):

$$(1/r)_T \cong -\xi \cdot T / d$$

- Πρόσθετη καμπυλότητα για διαφορική αύξηση κατά ΔT μεταξύ θλιβόμενου και εφελκυσμένου πέλματος:

$$(1/r)_{\Delta T} \cong -\alpha_T \cdot \Delta T / d$$

- ζ) Με βάση την ακριβέστερη διαδικασία, υπολογίζονται οι ολικές καμπυλότητες σε αρκετές χαρακτηριστικές διατομές κατά μήκος του δομικού στοιχείου.



