

Η ΣΠΟΥΔΑΙΟΤΗΤΑ

της ΠΕΡΙΣΦΙΞΗΣ

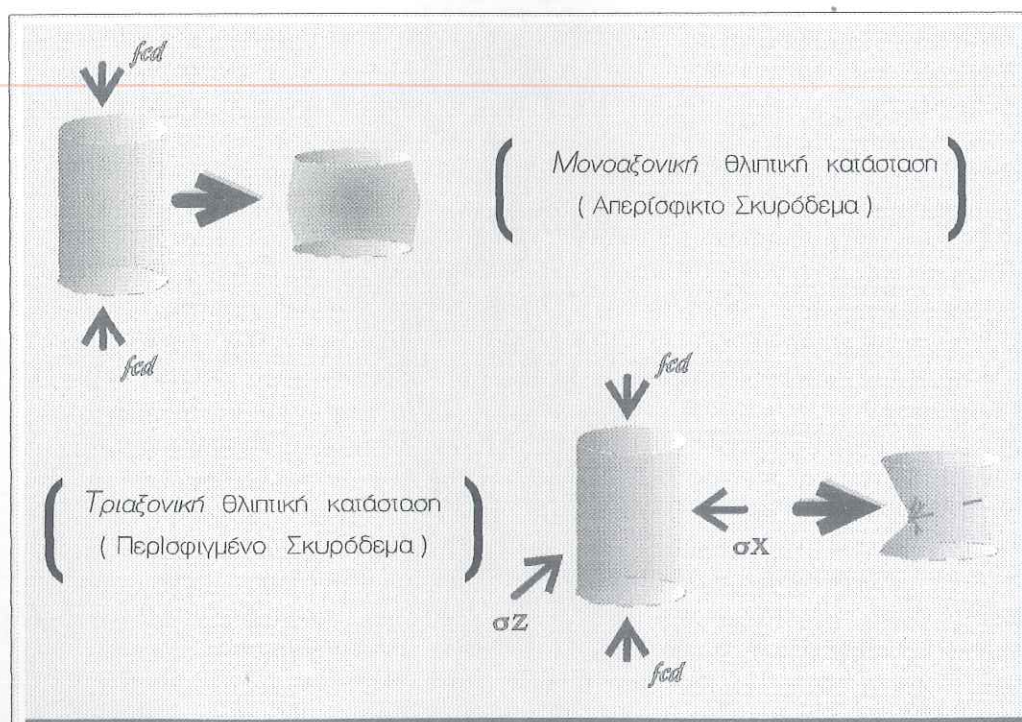
στο ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

Παναγιώτης ΧΡΙΣΤΟΠΟΥΛΟΣ
ΠΟΛΙΤΙΚΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ

Η ΣΠΟΥΔΑΙΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΣΦΙΞΗΣ ΣΤΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

Είναι γνωστό ότι η περίσφιξη είναι ένας από τους πιο βασικούς, ίσως ο βασικότερος, παράγοντας που επηρεάζει την πλαστιμότητα. Με την περίσφιξη αυξάνεται η αντοχή του οπλισμένου σκυροδέματος, με αποτέλεσμα να αναπληρώνονται τυχόν απώλειες που θα προέλθουν από την θραύση της επικάλυψης των οπλισμών, όταν οι θλιπτικές παραμορφώσεις ξεπεράσουν το 3,5. ‰

Αυξάνεται επίσης η ικανότητα παραμόρφωσης του σκυροδέματος όταν περνάει από την μονοαξονικά θλιπτική κατάσταση (απερίσφικτο σκυρόδεμα), στην τριαξονική κατάσταση (σχήμα 1). Αυτό συμβαίνει επειδή οι εγκάρσιοι οπλισμοί (συνδετήρες) παρεμποδίζουν την πλευρική διόγκωση του μονοαξονικά θλιβόμενου στοιχείου.



**ΣΧΗΜΑ 1. Εντατική θλιπτική κατάσταση
απερίσφικτου & περισφιγμένου σκυροδέματος.**

Ο οπλισμός περίσφιξης πρέπει να είναι επαρκής:

- ♦ Για την αντιστάθμιση της απώλειας του εμβαδού διατομής του σκυροδέματος έξω από την εγκάρσιο οπλισμό μόλις η κρίσιμη παραμόρφωση ϵ_{cu} ξεπεράσει το $3,5\%$ του μη περισφιγμένου σκυροδέματος (αποφλοΐωση).
- ♦ Για να προσδίδει στο μέλος αρκετή ικανότητα πλαστικής στρωφής της κρίσιμης περιοχής του υποστυλώματος (πλαστιμότητα).
- ♦ Για λόγους λυγισμού (περιορισμός λυγηρότητας) ώστε να αναπτυχθεί πλήρης η θλιπτική αντοχή των ράβδων. Για το λόγο αυτό πρέπει να ισχύουν οι σχέσεις:

$$s/d_L \leq 6 - 8 \text{ (ανάλογα με το βαθμό πλαστιμότητας)} \text{ και } dw/d_L \geq 0,35 \div 0,40 \sqrt{f_{yd}/f_{yw}}$$

όπου S απόσταση συνδετήρων,

d_L διάμετρος διαμήκων ράβδων ή ισοδύναμη διάμετρος δέσμης ράβδων όπου στη συγκεκριμένη περίπτωση ισχύει $d_L u = d_L \sqrt{u}$ (u αριθμός διαμήκων ράβδων δέσμης)

dw διάμετρος συνδετήρα.

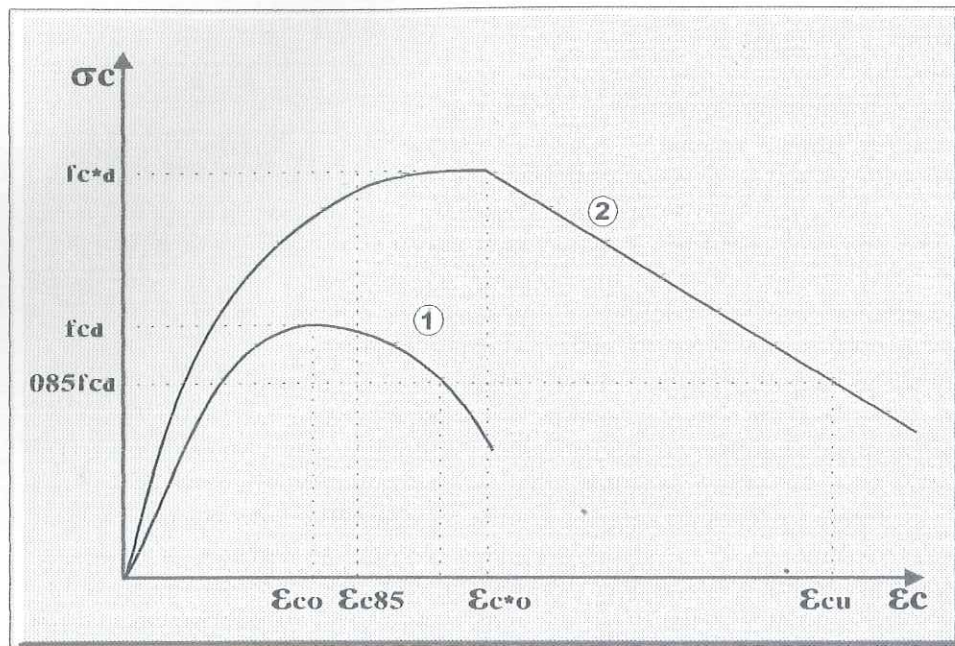
f_{yd} θλιπτική αντοχή διαμήκους ράβδου

f_{yw} θλιπτική αντοχή συνδετήρα.

Πρέπει να επισημάνουμε ότι ένα βαθμό περίσφιξης μπορούν να συνεισφέρουν, τόσο οι διαμήκες οπλισμοί όταν μάλιστα είναι μεγάλης διαμέτρου και σε κοντινές αποστάσεις, καθώς και σε κάποιες περιπτώσεις η αξονική δύναμη vd .

Όταν το σκυρόδεμα είναι απερίσφικτο (χωρίς εγκάρσιο οπλισμό) τότε η ανελαστική συμπεριφορά του υλικού οφείλεται στη δημιουργία εσωτερικών ρωγμών συνάφειας μεταξύ αδρανών-κονιαμάτων, κάτι που επηρεάζει σημαντικά τον φθίνοντα κλάδο του διαγράμματος **σc Ec**. (σχήμα 2)

Με την περίσφιξη επηρεάζεται η συμπεριφορά του σκυροδέματος από την στιγμή που η εσωτερική ρωγμάτωση προκαλεί διόγκωση του υλικού. Έτσι παρουσιάζεται το φαινόμενο, οι εγκάρσιοι οπλισμοί να μην επηρεάζουν το πρώτο τμήμα της καμπύλης διαγράμματος **σc Ec**. (ανιόντας κλάδος) και η επιρροή αρχίζει να γίνεται σημαντική όσο πλησιάζουμε στη θλιπτική αντοχή και γίνεται καθοριστική στην περιοχή του φθίνοντα κλάδου. (σχήμα 2) Συγκεκριμένα λοιπόν μειώνεται η κλίση του φθίνοντα κλάδου **σc Ec** του σκυροδέματος αυξάνοντας έτσι την παραμόρφωση ϵ_{cu} πάνω από το 3,5 και έτσι επιτυγχάνεται το πολύ σημαντικό πλεονέκτημα της αύξησης της πλαστιμότητας, όπως αναφέρθηκε αρχικά.



ΣΧΗΜΑ 2. Διάγραμμα τάσεων - παραμορφώσεων σκυροδέματος

Καμπύλη 1. Απερίσφικτο σκυρόδεμα $W_v = 0$

Καμπύλη 2. Περισφιγμένο σκυρόδεμα $W_v \neq 0$

$\epsilon_{co} = 0.002, \epsilon_{c85} = 0.0035$

f_{cd} = θλιπτική αντοχή απερίσφικτου σκυροδέματος

f_{c^*d} = θλιπτική αντοχή περισφιγμένου σκυροδέματος

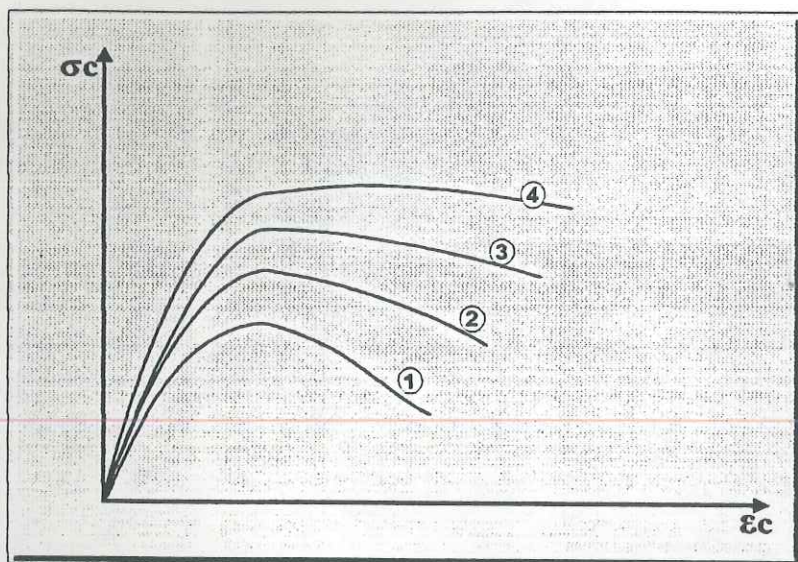
$$W_v = \frac{\text{'ογκος κλειστων συνδετηρων}}{\text{'ογκος πυρηνα σκυροδεματος}} \times \frac{f_{yd}}{f_{cd}}$$

$$\epsilon_{cu} = 0.0035 + 0.10 a_u \cdot a_s W_v$$

$$\epsilon_{c^*o} = \epsilon_{co} \left(\frac{f_{c^*d}}{f_{cd}} \right)^2$$

f_{ywvd} = Αντοχή συνδετήρα

Η αύξηση της αντοχής της οριακής παραμόρφωσης όμως επηρεάζεται και μεταξύ των εγκάρσιων οπλισμών. Συγκεκριμένα η περίσφιξη με κυκλικές σπείρες (κυκλικά υποστυλώματα) είναι πολύ πιο αποτελεσματική από την περίσφιξη με τετραγωνικούς ή ορθογωνικούς συνδετήρες (σχήμα 3).



Καμπύλη 1: Απερίσφικτο σκυρόδεμα.

Καμπύλη 2: Περίσφιξη με συνδετήρες (τετραγωνικά ή ορθογωνικά).

Καμπύλη 3: Περίσφιξη με κυκλικές σπείρες.

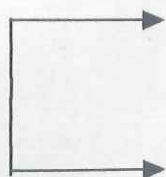
Καμπύλη 4: Υδροστατική πίεση.

ΣΧΗΜΑ 3. Διαγράμματα τάσεων παραμορφώσεων για διάφορα είδη περίσφιξης.

Όπως φαίνεται από το σχήμα 3 οι κυκλικοί συνδετήρες μπορούν να φτάσουν σε κατάσταση υδροστατικής πίεσης. Αυτό οφείλεται στο ότι οι κυκλικοί συνδετήρες βρίσκονται σε περιμετρικό (περιφερειακό) εφελκυσμό και δημιουργούν συνεχώς πίεση περίσφιξης σε όλη την περιφέρεια. Αντίθετα οι τετραγωνικοί ή ορθογωνικοί συνδετήρες έχουν τη δυνατότητα να προσφέρουν σημαντική πίεση μόνο στις γωνίες τους εξαιτίας της διόγκωσης του σκυροδέματος στο εσωτερικό τους που εκτρέπει τις πλευρές των συνδετήρων προς τα έξω με αποτέλεσμα να αφήνει τμήματα της διατομής χωρίς περίσφιξη. Είδαμε προηγουμένως ότι με την περίσφιξη έχουμε μεταβολή της μονοαξονικής θλιπτικής κατάστασης σε τριαξονική θλιπτική κατάσταση με την δημιουργία των (2) επιπλέον τάσεων περίσφιξης σ_x, σ_z . Εξετάζοντας μερικές περιπτώσεις περίσφιξης καταλήγουμε στην επόμενη σημαντική σχέση: $\frac{\sigma_x, \sigma_z}{f_{cd}} \approx 0.50 W_n$.

Συγκεκριμένα

α) περίπτωση



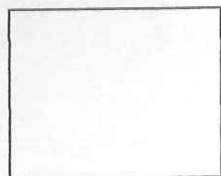
$A_s f_{yd}$

$$6x, 6z = \frac{2A_s f_{yd}}{b s}$$

$A_s f_{yd}$

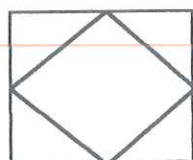
$$W_v = \frac{\pi b A_s}{\frac{\pi b^2}{4} s} \frac{f_{yd}}{f_{cd}} \quad du \frac{\sigma}{f_{cd}} \approx 0.50 W_v$$

b



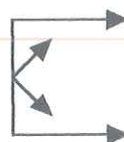
b

β) περίπτωση

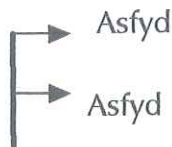


$$\sigma = \frac{2A_s f_{yd}}{b s}, \quad w_v = \frac{4b A_s}{b^2 s} \frac{f_{yd}}{f_{cd}}$$

$$\frac{6}{f_{cd}} \approx 0.50 W_v$$



γ) περίπτωση



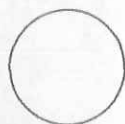
$A_s f_{yd}$

$A_s f_{yd}$

$$6 = \frac{2A_s f_{yd}}{b s}$$

$$w_u \frac{\pi b a s}{\frac{\pi b^2}{4}}$$

$$\frac{f_{yd}}{f_{cd}}, \quad \frac{6}{f_{cd}} \approx 0.50 w_v$$



Ομοίως και για άλλες περιπτώσεις περίσφιξης.

Αν λάβουμε υπόψη τον συντελεστή αποδοτικότητας περίσφιξης $\alpha = a.u.a.s$ ο οποίος εξαρτάται από την διάταξη και την απόσταση των συνδετήρων τότε οι προηγούμενες σχέσεις γίνονται : $\frac{6}{f_{cd}} = 0.50.a.w_v = 0.50 a.u.a.s w_v$ (1)

$$\text{όπου } a.u = 1 - \frac{8}{3} \frac{1}{4}, \quad a.s = \left(1 - \frac{1}{2} \frac{s}{b.o}\right)^2$$

η: αριθμός διαμήκων ράβδων που συγκρατούνται υπό γωνία συνδετήρα.

s απόσταση συνδετήρα.

c επικάλυψη οπλισμού

bo b=2C

b διάσταση υποστυλώματος

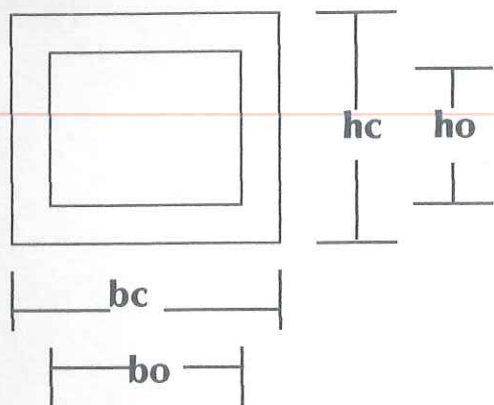
Από τη σχέση (1) βγαίνει το συμπέρασμα ότι ο λόγος της ενεργού τάσης περίσφιξης προς τη θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος παραμένει πάντα σταθερός και εξαρτώμενος από το μηχανικό ποσοστό οπλισμό w_n .

Επιπλέον μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε την επόμενη σχέση που συνδέει το μηχανικό ποσοστό οπλισμού w_n με την αξονική δύναμη V_d :

$$v_d:W_n = \frac{1}{d}(v_d + 0.05) \left(0.35 \frac{A_c}{A_o} + 0.15 \right) \geq 0.15 \quad (2)$$

$$\text{όπου } v_d = \frac{V_d}{A_c f_{cd}} \leq 0.50$$

Ας εμβადόν ολοκληρης διατομής σκυροδέματος υποσ. = $b \times h$



Αο εμβადόν διατομής περισφιγμένου σκυροδέματος $b_o \cdot h_o$

Από την σχέση (2) έχουμε την ακόλουθη σχέση

$$v_d = \frac{W_n \cdot a}{0.35 \frac{A_c}{A_o} + 0.15} - 0.05 \leq 0.50 \quad (3)$$

Θέτω $\frac{A_c}{A_o} \approx 1.40$ οπότε η σχέση (2) γίνεται ως εξής:

$$W_n = \frac{1}{a}(v_d + 0.05) \times 0.64 \Rightarrow W_n = \frac{0.64}{a}(v_d + 0.05) \geq 0.15 \quad (4)$$

και η σχέση (3) γίνεται $v_d = \frac{W_n \cdot a}{0.64} - 0.05 \leq 0.50 \quad (5)$

Αντικαθιστώντας την σχέση (4) στη σχέση (1) έχω την ακόλουθη

$$\text{σχέση: } \frac{6}{f_{cd}} = 0.32(v_d + 0.05) \quad (6)$$

Όπως είπαμε αρχικά με την περίσφιξη επιτυγχάνεται αύξηση της αντοχής του σκυροδέματος, όχι όμως σημαντική. Είναι λοιπόν ξεκάθαρο ότι η αύξηση αυτή της αντοχής θα είναι άμεσα εξαρτώμενη από τον δείκτη W_n

Ισχύουν λοιπόν οι επόμενες σχέσεις:

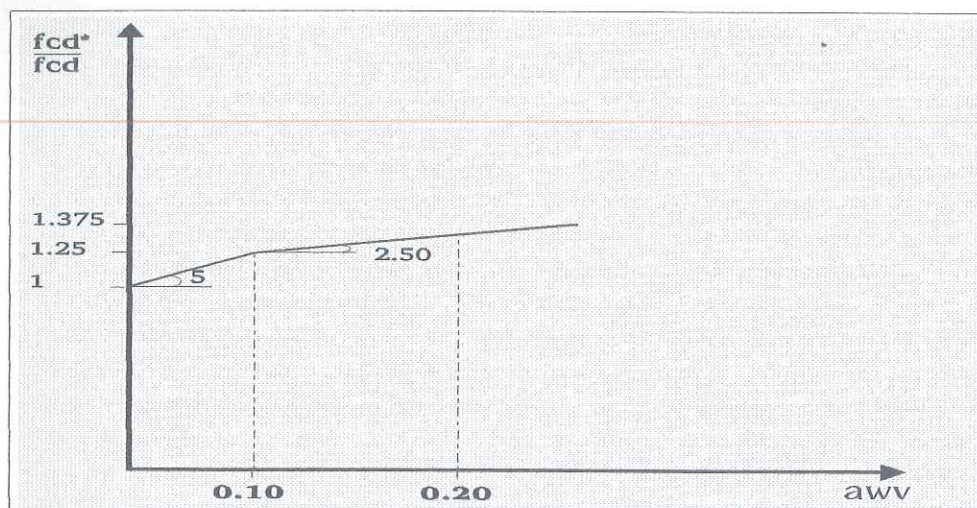
$$\frac{f_c^* d}{f_{cd}} = (1.00 + 2.50 a_{wn}) \text{ για } \frac{6}{f_{cd}} \leq 0.05 \text{ ή } a_{wn} \leq 0.10 \quad (7)$$

$$\text{και } \frac{f_c^* d}{f_{cd}} = (1.125 + 1.25 a_{wn}) \text{ για } \frac{6}{f_{cd}} \geq 0.05 \text{ ή } a_{wn} \geq 0.10 \quad (7\alpha)$$

Αν τώρα αντικαταστήσουμε την σχέση (4) στις σχέσεις (7) & (7α) προκύπτουν οι επόμενες σχέσεις:

$$\frac{f_c^* d}{f_{cd}} = (1.00 + 2.5 a_{wn}) = (1.03 + 1.60 v_d) \text{ για } \frac{6}{f_{cd}} \leq 0.05 \text{ ή } a_{wn} \leq 0.10 \text{ ή } v_d \leq 0.10 \quad (8)$$

$$\frac{f_c^* d}{f_{cd}} = (1.125 + 1.25 a_{wn}) = (1.17 + 0.80 v_d) \text{ για } \frac{6}{f_{cd}} \geq 0.05 \text{ ή } a_{wn} \geq 0.10 \text{ ή } v_d \geq 0.10 \quad (8\alpha)$$



ΣΧΗΜΑ 4. Διάγραμμα μεταβολής του λόγου $f_c^* d / f_{cd}$ συναρτήση του ογκομετρικού ποσοστού W_v .

Στο **σχήμα (4)** φαίνεται η μεταβολή του λόγου $f_c^* d / f_{cd}$ σε σχέση με το a_{wn} .

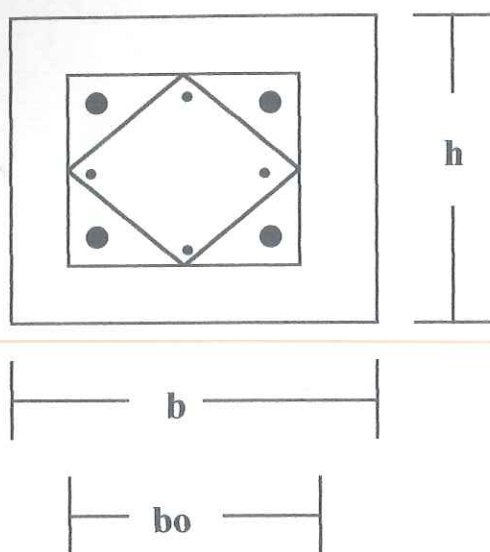
Παρατηρούμε ότι για $a_{wn} \leq 0.10$ η περίσφιξη προκαλεί αύξηση της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος $f_c^* d$ σε σχέση με την αντοχή f_{cd} του απερίσφικτου σκυροδέματος 5% σταθερή. Για $a_{wn} \geq 0.10$ η αύξηση που προκαλείται είναι η μισή της 2.5%.

Δεν μπορούμε λοιπόν να μιλήσουμε για σημαντική αύξηση της αντοχής του σκυροδέματος όταν έχουμε αύξηση του a_{wn} και κατ'επέκταση του W_v . Η σημαντική μεταβολή εμφανίζεται στον δείκτη πλαστιμότητας μ_f , ο οποίος επηρεάζεται πάρα πολύ από την περίσφιξη W_v καθώς και από την αξονική δύναμη v_d . Η επιρροή αυτή φαίνεται ξεκάθαρα από το επόμενο παράδειγμα.

Ας υποθέσουμε ότι έχουμε υποστύλωμα διαστάσεων 40×40 , υλικά με $f_{cd} = 16 \text{ MPa}$, $f_{yd} = 400 \text{ MPa}$ και $f_{yw} = 220 \text{ MPa}$.

Δίνεται επίσης επικάλυψη οπλισμού $c = 2 \text{ cm}$, $b_o = b = 2c = 36 \text{ cm}$

Διαμήκης οπλισμός 8 $\Phi 16$ με $A_s = 16 \text{ cm}^2 = \rho_{min} b h = 10^0 / 100 \times 40 \times 40$



Εξετάζουμε τις εξής περιπτώσεις:

- 1) Αξονική δύναμη $vd = 010$ συνδετήρες $\Phi 8$ ανά απόσταση $s = 10 \text{ cm}$
- 2) Αξονική δύναμη $vd = 010$ συνδετήρες $\Phi 8$ ανά απόσταση $s = 20 \text{ cm}$
- 3) Αξονική δύναμη $vd = 010$ συνδετήρες $\Phi 10$ ανά απόσταση $s = 10 \text{ cm}$
- 4) Αξονική δύναμη $vd = 010$ συνδετήρες $\Phi 10$ ανά απόσταση $s = 20 \text{ cm}$
- 5) Αξονική δύναμη $vd = 050$ συνδετήρες $\Phi 8$ ανά απόσταση $s = 10 \text{ cm}$
- 6) Αξονική δύναμη $vd = 050$ συνδετήρες $\Phi 8$ ανά απόσταση $s = 20 \text{ cm}$
- 7) Αξονική δύναμη $vd = 050$ συνδετήρες $\Phi 10$ ανά απόσταση $s = 10 \text{ cm}$
- 8) Αξονική δύναμη $vd = 050$ συνδετήρες $\Phi 10$ ανά απόσταση $s = 20 \text{ cm}$

Για συνδετήρες Φ8/10

$$pw = \frac{4 \times 360 \times 50}{360^2 \times 100} = 5.55\%/\infty$$

$$Wv = pw \cdot \frac{fyd}{fcd} = 0.139$$

$$au = 1 - \frac{8.1}{3.8} = 0.666, as = 0.74$$

$$au \cdot as \cdot Wv = 0.139 + 0.666 + 0.74 = 0.069$$

$$Ecu = 0.0035 + 0.10 au \cdot as \cdot Wv = 0.010$$

Για συνδετήρες Φ8/20

$$pw = 2.78\%/\infty$$

$$Wv = 0.0695$$

$$au = 0.666$$

$$as = 0.522$$

$$au \cdot as \cdot Wv = 0.024$$

$$Ecu = 0.0059$$

Για συνδετήρες Φ10/ 10

$$pw = 8.33\%/\infty$$

$$Wv = 0.206$$

$$au = 0.666$$

$$as = 0.74$$

$$au \cdot as \cdot Wv = 0.1025$$

$$Ecu = 0.014$$

Για συνδετήρες Φ10/ 20

$$pw = 4.17\%/\infty$$

$$Wv = 0.104$$

$$au = 0.666$$

$$as = 0.522$$

$$au \cdot as \cdot Wv = 0.036$$

$$Ecu = 0.0071$$

Εφαρμόζω τη σχέση : $\mu\phi = \frac{E_{cu}}{E_{sy}} \left(\frac{0.9 - 0.5v_d}{1.35v_d} \right)$ για να υπολογίσω το συντελεστή

πλαστιμότητας, όπου $E_{sy} = \frac{f_{cd}}{E_s} = 0.012$

Για v_d 010 έχω $\frac{0.9 - 0.5v_d}{1.35v_d} = 6.296$

Για v_d 050 έχω $\frac{0.9 - 0.5v_d}{1.35v_d} = 0.963$

Ο πίνακας (1) δείχνει την τιμή του συντελεστή πλαστιμότητας για κάθε μία από τις προηγούμενες περιπτώσεις (1) έως (8).

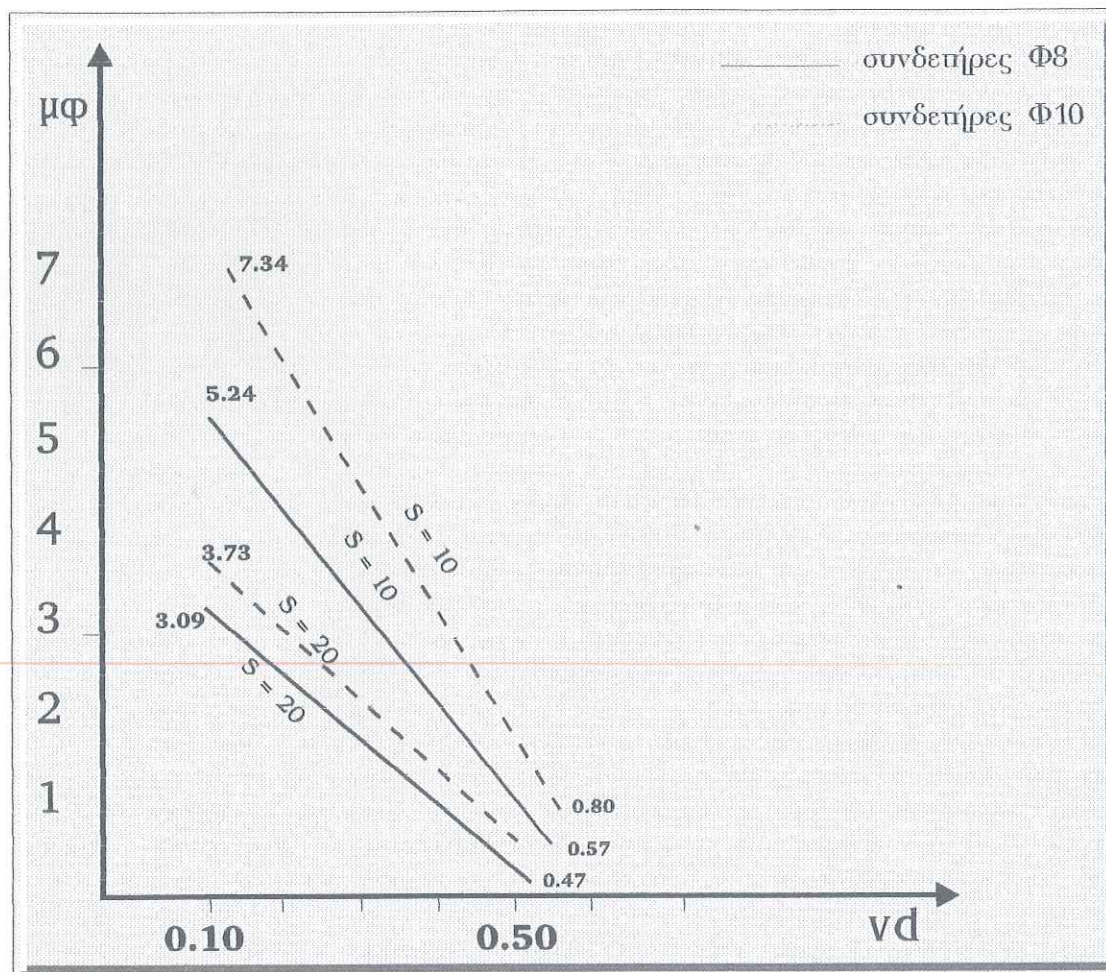
ΠΙΝΑΚΑΣ 1

	$\mu\phi(v_d \text{ 010})$	$\mu\phi(v_d \text{ 050})$	$\mu\phi(v_d = 050) / \mu\phi(v_d = 010)(\%)$	μείωση (%)
Φ8/ 10	5.24	0.80	15	85
Φ8/ 20	3.09	0.47	15	85
Φ10/ 10	7.34	1.12	15	85
Φ10/ 20	3.73	0.57	15	85

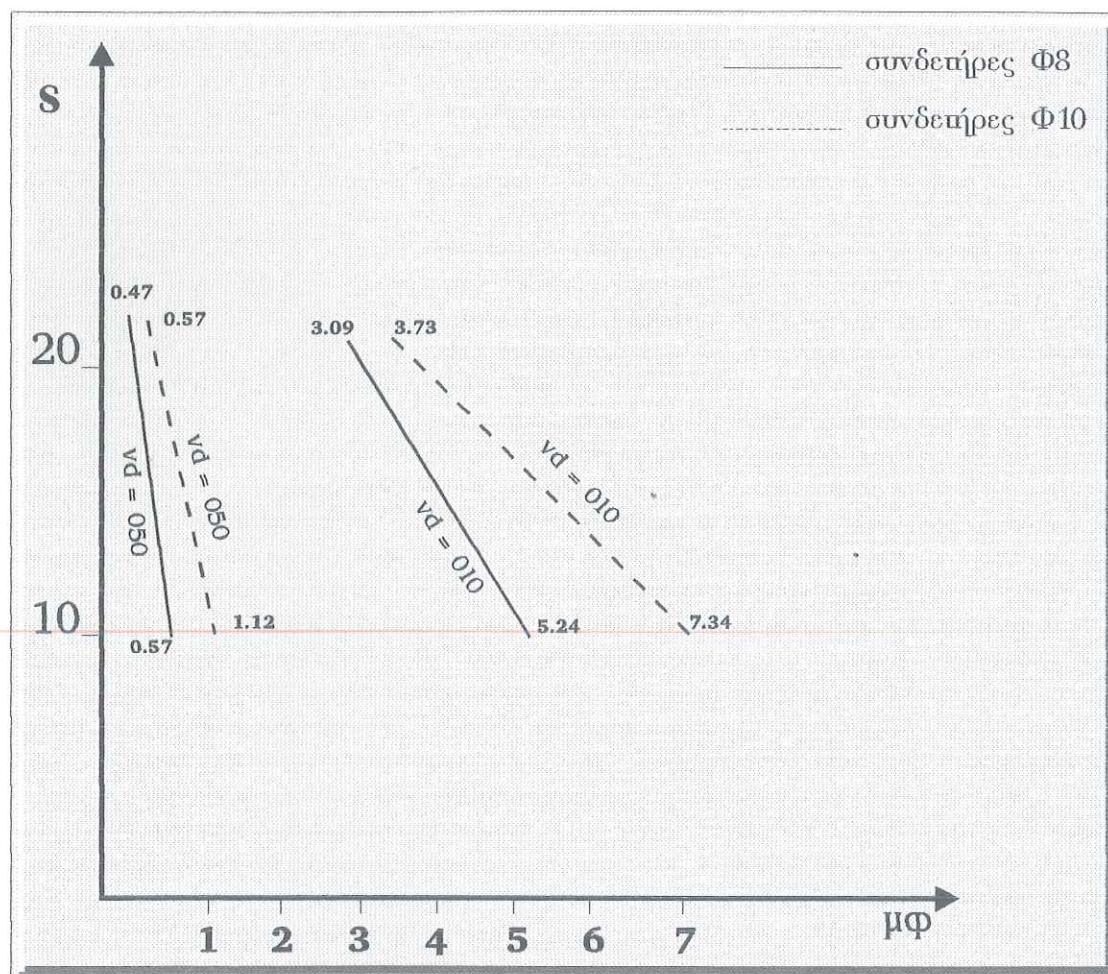
Στα σχήματα 5,6 παρουσιάζονται οι μεταβολές του συντελεστή πλαστιμότητας $\mu\phi$ συναρτήση του v_d και της απόστασης συνδετήρα S αντίστοιχα.

Από τα σχήματα 5, 6 καθώς και από τον πίνακα 1 φαίνεται ξεκάθαρα πόσο σημαντική επιρροή έχει στην πλαστιμότητα ενός μέλους η αξονική δύναμη v_d . Παρατηρούμε ότι για αύξηση του v_d από 010 σε 050 (πενταπλασιασμό) έχω σημαντική μείωση του συντελεστή $\mu\phi$ (περίπου) κατά 85 σταθερή, ανεξάρτητως της διαμέτρου ϕ και της

απόστασης S του συνδετήρα $\frac{\mu\phi(v_d = 050)}{\mu\phi(v_d = 010)} = 15\%$



ΣΧΗΜΑ 5. Διάγραμμα μεταβολής του συντελεστή πλαστιμότητας $\mu\phi$ συναρτήση της αξονικής δύναμης vd σε σχέση με την διάμετρο ϕ και την απόστασης.



ΣΧΗΜΑ 6. Διάγραμμα μεταβολής του συντελεστή $\mu\phi$ συναρτήση της αποστάσεως S σε σχέση με την διάμετρο συνδετήρα και την αξονική δύναμη.

Ο συντελεστής πλαστιμότητας $\mu\phi$ έχει άμεση σχέση και με το σεισμικό δείκτη R_d . Αν θεωρήσουμε ότι βρισκόμαστε στην περίπτωση όπου ισχύουν οι σχέσεις $\gamma_1 = 1.00$ (σπουδαιότητα κτιρίου $\Sigma 2$) $\Theta = 1.00$ (συντελεστής θεμελίωσης), $\beta = 2.50$ σταθερός πάντα και $T_1 < T_x, T_y < T_2$ τότε για το σεισμικό συντελεστή ισχύει η σχέση $R_d = A \gamma_1 \Theta \frac{b_0}{q}$

Εφαρμόζοντας ταυτόχρονα και τη σχέση $\mu\phi = 0.80 \times q^2 \Rightarrow q = \sqrt{1.25 \mu\phi}$ τότε ο σεισμικός συντελεστής γίνεται $R_d = \frac{2.23 A}{\sqrt{\mu\phi}}$ (10).

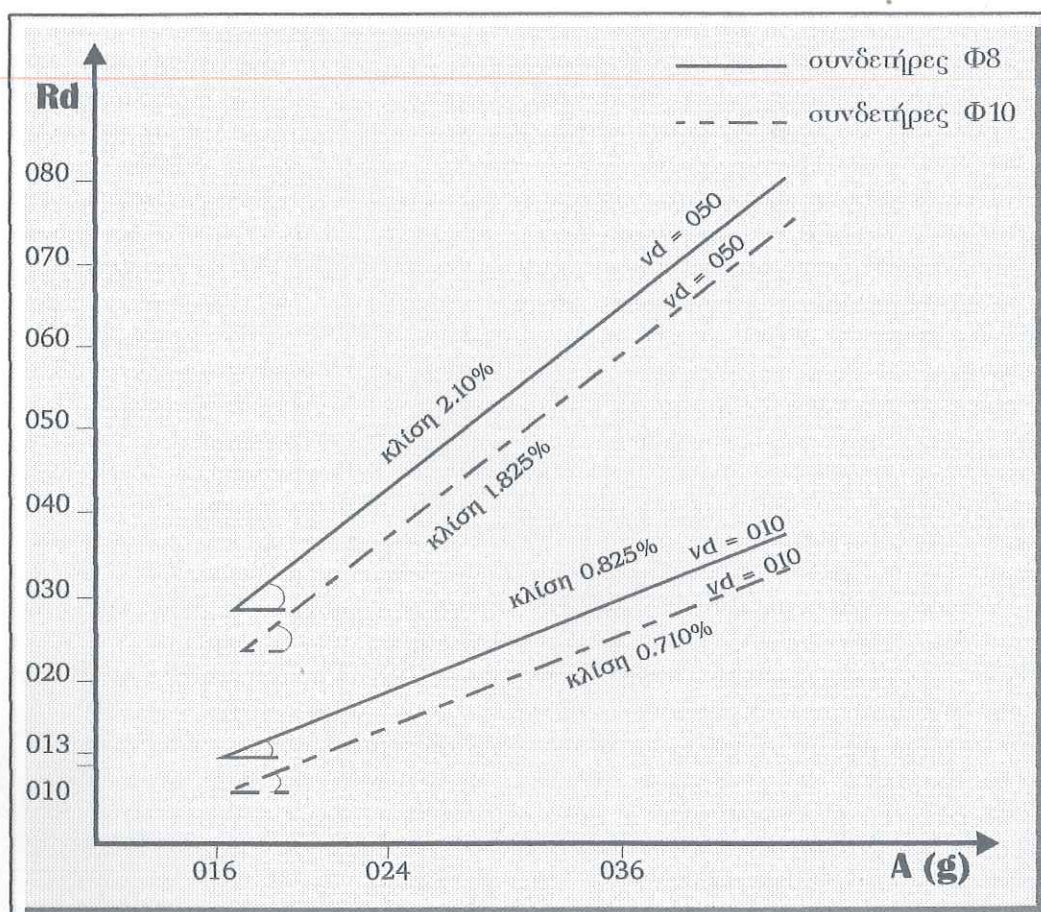
Από τον συντελεστή πλαστικότητας $\mu\phi$ και από την σχέση (10) μπορούμε να υπολογίσουμε τον σεισμικό συντελεστή R_d που θα απαιτούνταν για τον υπολογισμό της εντατικής κατάστασης ενός τυπικού υποστυλώματος διαστάσεων 40×40 , ανάλογα με την ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας, την αξονική δύναμη vd , την διάμετρο και την απόσταση του συνδετήρα.

Οι τιμές του σεισμικού συντελεστή R_d παρουσιάζονται στον πίνακα 2.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2

	A 016g		A 024g		A 036g	
	Rd(vd 010)	Rd(vd 050)	Rd(vd 010)	Rd(vd 050)	Rd(vd 010)	Rd(vd 050)
Φ8	0132	0337	0198	0505	0297	0757
Φ10	0114	0292	0171	0438	0256	0657

Οι μεταβολές του σεισμικού συντελεστή R_d φαίνονται και στο **σχήμα 7**.



ΣΧΗΜΑ 7. Η μεταβολή του σεισμικού δείκτη R_d συναρτήση της σεισμικής ζώνης σε σχέση με τη διάμετρο συνδετήρων και την αξονική δύναμη.

Αναλύουμε πιο κάτω το τυπικό αυτό υποστήλωμα διαστάσεων 40×40 για δύο διαφορετικές περιπτώσεις.

α) Περίπτωση A 024g, Συνδετήρες διαμέτρου $\Phi 8$, vd 010

β) Περίπτωση A 024g, Συνδετήρες διαμέτρου $\Phi 8$, vd 050

Το τυπικό αμφίπακτο υποστήλωμα είναι διαστάσεων 40×40 με υλικά $f_{cd} = 16$ MPa S400 το οποίο καταπονείται σε διπλή κάμψη, με ύψος $H = 3.000$ M. Για vd = 010 έχω αξονική δύναμη $N_d = v_d \cdot A_c \cdot f_{cd} = 170,60 \text{ KN}$ & vd = 50 έχω αξονική δύναμη $N_d = v_d \cdot A_c \cdot f_{cd} = 853,33 \text{ KN}$.

Από τον πίνακα 2 σε συνδιασμό με την αξονική δύναμη N_d (κατακόρυφα φορτία) υπολογίζουμε τις οριζόντιες σεισμικές δυνάμεις V_x , V_z στην κορυφή του υποστηλώματος. Τα αποτελέσματα αυτά παρουσιάζονται στον πίνακα 3.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3

		$V_x, V_z (N_d 170,60 \text{ KN})$	$V_x, V_z (N_d 853,33 \text{ KN})$
A 0.16g	$\Phi 8$	22.52 KN	287,57 KN
	$\Phi 10$	19.45 KN	249.17 KN
A 0.24g	$\Phi 8$	33.78 KN	430.93 KN
	$\Phi 10$	29.17 KN	373.76 KN
A 0.36g	$\Phi 8$	50.67 KN	645.97 KN
	$\Phi 10$	43.67 KN	560.64 KN

Από το σχήμα αυτό έχουμε τις ακόλουθες σχέσεις:

$$R_d(Au + 1) = R_d(A1) + 2.10(Au + L - A1) \text{ για vd 050, } \Phi 8$$

$$R_d(Au + 1) = R_d(A1) + 1.825(Au + L - A1) \text{ για vd 050, } \Phi 10$$

$$R_d(Au + 1) = R_d(A1) + 0.825(Au + L - A1) \text{ για vd 010, } \Phi 8$$

$$R_d(Au + 1) = R_d(A1) + 0.710(Au + L - A1) \text{ για vd 010, } \Phi 10$$

Όπου $A1012g$ και $u = 1, 2, 3$.

Φαίνεται ξεκάθαρα ότι για τον πενταπλασιασμό της αξονικής δύναμης (Από vd 010 σε vd 050) παρουσιάζεται, σημαντική αύξηση του σεισμικού συντελεστή R_d (περίπου 60 %) και κατ'επέκταση των σεισμικών φορτίων γενικότερα, ανεξαρτήτως σεισμικής ζώνης, λόγω μείωσης του συντελεστή πλαστικότητας μ_f .

Αναλυτικότερα

α) Περίπτωση

Από τον πίνακα 3 έχω οριζόντια σεισμική δύναμη
 $V_x = V_z = 0198 \times 170.60 = 33.78 KN$

$$M_x = M_z = V \cdot \frac{H}{2} = 33.78 \times \frac{3}{2} = 50.67 KNM$$

$$\mu_{sd}x = \mu_{sd}z = 0.074$$

Για vd 010 και $\frac{d}{h} = 0.10$ από διαγράμματα αλληλεπίδρασης έχουμε

$$w_{tot} = 0.20, p_{tot} = p_{min} = 10^\circ/\infty$$

και άρα
 $A_{stot} = w_{tot} \frac{f_{cd}}{f_{yd}} b \cdot h = 16 cm^2, 8\Phi 16$

β) Περίπτωση

Από τον πίνακα 3 έχω οριζόντια σεισμική δύναμη
 $V_x = V_z = 0505 \times 853.33 = 430.93 KN$

$$M_x = M_z = V \cdot \frac{H}{2} = 646.40 KNM$$

$$\mu_{sd}x = \mu_{sd}z = 0.37$$

Για vd 050 και $\frac{d}{h} = 0.10$ από διαγράμματα αλληλεπίδρασης έχουμε

$$w_{tot} = 1.40 \Rightarrow p_{tot} = 43^\circ/\infty$$

$$A_{stot} = 58.70 cm^2 D_{uy} = 20\Phi 20 (60 cm^2)$$

Αν μελετηθεί το υποστήλωμα αυτό για διαφορετικές αξονικές δυνάμεις vd και για διαφορετικές σεισμικές ζώνες Α προκύπτουν οι κάτωθι οπλισμοί όπως παρουσιάζονται στον πίνακα 4. (Έχουν εκλεγεί συνδετήρες Φ8 παντού.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4

	Α 024g		Α 036g	
	vd010	vd 050	vd 010	vd 050
As	$16 cm^2$	$58.70 cm^2$	$19.70 cm^2$	$98.55 cm^2$

Φαίνεται λοιπόν ξεκάθαρα ότι η αύξηση της vd προκαλεί αύξηση του απαιτούμενου οπλισμού εξαιτίας της μείωσης του συντελεστή πλαστιμότητας. Για να διατηρηθεί σταθερός ο συντελεστής πλαστιμότητας θα πρέπει να τροποποιούμε την διάμετρο και την απόσταση των συνδετήρων.

Η αύξηση αυτή όμως του vd καθώς και του οπλισμού επηρεάζει σημαντικά το λόγο M_u/M_y όπου M_u ροπή αστοχίας και M_y ροπή ρηγμάτωσης με αποτέλεσμα να υπάρχει κίνδυνος να προέλθει πρώτα η αστοχία του υλικού πριν από τη διαρροή του

$Dy(My > Mu)$. Για να αποφευχθεί αυτό πρέπει να ισχύει η

$$\text{σχέση: } \frac{Mu}{My} = (1.24 - 0.15W1 - 0.5vd)\epsilon > 1 \quad (11)$$

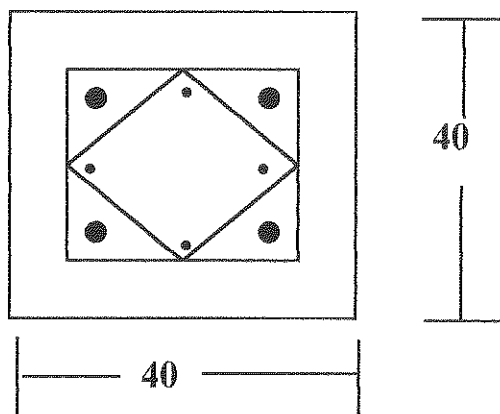
Όπου ϵ λογαριθμοκανονική τυχαία μεταβλητή με μέση τιμή 1.0 και τυπική απόκλιση 0.12 και $W1 = w_{tot} / 2$. Έτσι η σχέση 11 γίνεται

$$\frac{Mu}{My} = \left(1.24 - 0.15 \frac{w_{tot}}{2} - 0.5vd \right) > 1 \Rightarrow \boxed{vd + 0.15w_{tot} < 0.48} \quad (12)$$

Η σχέση 12 είναι πλέον σημαντική προϋπόθεση που πρέπει να ισχύει σε ένα μέλος ώστε να προηγείται πρώτα η διαρροή (πλάστιμη αστοχία, $My < Mu$) του υλικού από την αστοχία του (ψάθυρη αστοχία, $Mu < My$).

Για να γίνει πιο κατανοητή η σχέση 12 καθώς και η σημασία της θα εξετάσουμε το επόμενο παράδειγμα.

Εκλέγω το τυπικό υποστύλωμα διαστάσεων 40×40 με οπλισμό $8\Phi 16$, συνδετήρες $\Phi 8 / 10$ όπως φαίνεται στο πιο κάτω σκαρίφημα.



$$A_{stot} = 16 \text{ cm}^2 \quad D_{cyltot} = 10 \text{ }^{\circ}/_{\infty} \Rightarrow w_{tot} = 0.32$$

$$f_{cd} = 16 \text{ MPa (C16)}$$

$$f_{ywd} = 220 \text{ MPa (S220)}$$

$$\text{Συνδετήρες } \Phi 8 / 10, vd = 0.10$$

$$pw = \frac{(4 \times 360 \times 50) \times 2}{360^2 \times 100} = 0.010 = 11.11 \text{ }^{\circ}/_{\infty}$$

$$\text{Είναι } wv = pw \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0.36, au = 0.666, as = 0.74, auswv = 0.177$$

$$E_{cu} = 0.0035 + 0.1 au as swv = 0.021$$

$$\frac{Mu}{My} = \left(1.24 - 0.15 \times \frac{0.32}{2} - 0.5 \times 0.10 \right) = 1.16$$

$$\text{Είναι } Mu = 166.40 \text{ KNM}$$

$$\text{Άρα } M_y = \frac{Mu}{1.16} = 143.43 \text{ KNM}$$

$$\xi_u = 1.35(v + w_1 - w_2) = 1.35(0.10) = 0.135$$

$$\xi_y = 0.40 + 0.5v_d + \frac{d_1}{h} = 0.35$$

$$\Phi_u = \frac{E\epsilon_u}{\xi_u \cdot h} = 0.39 \quad (\text{καμπυλότητα στην αστοχία})$$

$$\Phi_y = \frac{\epsilon_s}{\left(1 - \xi_y - \frac{d_1}{h}\right)} = 0.0079 \quad (\text{καμπυλότητα στην διαρροή})$$

$$\text{Άρα } \Phi_u / \Phi_y = 49.23$$

Αν το ίδιο παράδειγμα μελετηθεί για $v_d = 0.50, \Phi_8 / 10$ προκύπτουν τα αποτελέσματα

$$\frac{Mu}{My} = 0.966 \Rightarrow My = \frac{Mu}{0.966} = \frac{166.40}{0.966} = 172.25$$

($Mu < My$. Θα προέλθει πρώτα αστοχία του υλικού πριν από τη διαρροή κάτι που πρέπει να αποφεύγεται)

$$\Phi_u / \Phi_y = 13.48$$

Για συνδετήρες $\Phi 10 / 10$ και $v_d 0.10$ προκύπτουν τα εξής αποτελέσματα

$$Mu = 166.40 \text{ KNM}, My = \frac{Mu}{1.16} = 143.43 \text{ KNM}$$

$$\Phi_u = 0.57, \Phi_y = 0.0079, \Phi_u / \Phi_y = 72.66$$

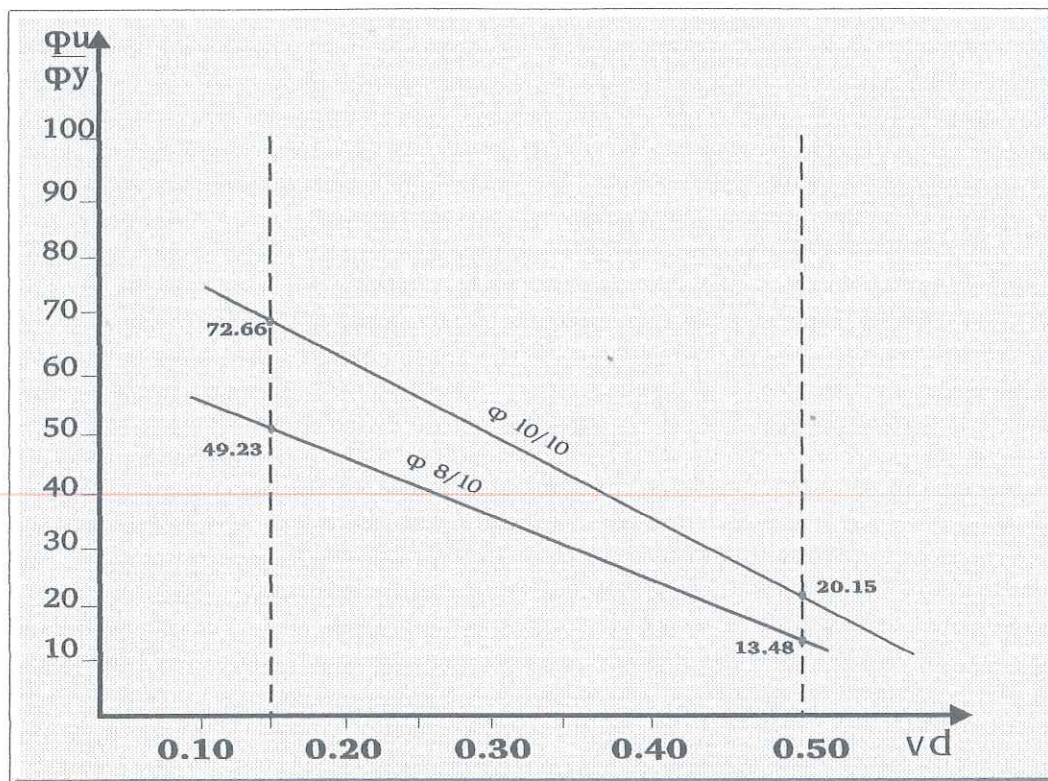
Τέλος για συνδετήρες $\Phi 10 / 10$ και για $v_d 0.50$ έχουμε

$$Mu = 166.40 \text{ KNM}, My = \frac{Mu}{0.966} = 172.25 \text{ KN} \quad (Mu < My \text{ αστοχία υλικού πριν από τη διαρροή})$$

$$\Phi_u / \Phi_y = 20.15$$

Φαίνεται λοιπόν ξεκάθαρα ότι όταν έχουμε $v_d 0.10$ (για σταθερό ποσοστό διαμήκους οπλισμού) προηγείται η πλάστιμη αστοχία ($My > Mu$ επιθυμητή) ενώ όταν η αξονική δύναμη v_d φτάνει στο 0.50 προηγείται η ψαθυρή αστοχία του υλικού ($Mu < My$ μη επιθυμητή).

Συμπερασματικά λοιπόν θα πρέπει η αξονική δύναμη νd να διατηρείται σε όσον το δυνατόν μικρότερες τιμές -ανάλογες διαστάσεις- ώστε και η πλαστιμότητα του υλικού να κυμαίνεται σε επιθυμητές τιμές καθώς και να αποφεύγεται ο κίνδυνος εμφάνισης της ψαθυρής αστοχίας του υλικού, πριν από την πλαστική αστοχία, με τις γνωστές δυσμενείς επιπτώσεις που θα υπάρξουν σε κατάσκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα.



ΣΧΗΜΑ 8. Μεταβολή του δείκτη καμπυλότητας $\Phi u / \Phi y$ συναρτήση του νd .