

# ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΣΕΙΣ ΤΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Διδάσκων Καθηγητής  
Γιάννακας Νικόλαος  
Δρ. Πολιτικός Μηχανικός

## Κεφάλαιο 2

# Μηχανισμοί μεταφοράς δυνάμεων

Τα τελευταία χρόνια έχει γίνει συστηματική προσπάθεια για τη μελέτη και έρευνα της μηχανικής των διεπιφανειών κατά την μεταβίβαση εντάσεως από το ένα υλικό στο άλλο, δοθέντος ότι μια τέτοια γνώση αποτελεί βασική προϋπόθεση για την ορθολογική διαστασιολόγηση ενός επισκευασμένου στοιχείου. Οι βασικοί μηχανισμοί λειτουργίας στις διεπιφάνειες που βρίσκονται υπό διερεύνηση είναι οι εξής :

- Σύνθλιψη προρηγματωμένων επιφανειών σκυροδέματος.
- Συνάφεια μεταξύ μη μεταλλικών επιφανειών.
- Τριβή μεταξύ μη μεταλλικών επιφανειών..
- Δράση βλήτρου.
- Αγκυρώσεις νέων οπλισμών.
- Συγκολλήσεις στοιχείων χάλυβα.

## ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ΑΠΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΣΕ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

### 1 Θλίψη στην διεπιφάνεια μεταξύ παλαιού και νέου σκυροδέματος

Η θλιπτική αντοχή κάθετα στην διεπιφάνεια μεταξύ ενός παλαιού και ενός νέου σκυροδέματος μπορεί να λαμβάνεται **ίση με την μικρότερη θλιπτική αντοχή των δύο υλικών.**

Οι **θλιπτικές παραμορφώσεις** τόσο στο παλαιό, όσο και στο νέο σκυρόδεμα είναι μεγαλύτερες στην περιοχή της διεπιφάνειας των δύο υλικών.

Ετσι, προκύπτει μειωμένο φαινόμενο μέτρο ελαστικότητας, καθώς και αυξημένες μέσες παραμορφώσεις, κυρίως **για υψηλές τάσεις** (κοντά στην αντοχή). Πάντως, σε συνήθεις περιπτώσεις, αυτό το φαινόμενο μπορεί να αμεληθεί.

## ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ΑΠΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΣΕ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

### 2 Θλίψη προρηγματωμένου σκυροδέματος

Η επιβολή θλίψεως κάθετα σε μιά προρηγματωμένη επιφάνεια οδηγεί στην ανάπτυξη θλιπτικών τάσεων προτού να κλείσει πλήρως η ρωγμή. Αυτό το φαινόμενο οφείλεται

α) στην (αναπόφευκτη) παρουσία **ταυτόχρονων διατμητικών παραμορφώσεων** κατά μήκος της διεπιφάνειας, οι οποίες φέρουν τα χείλη της ρωγμής σε επαφή πριν απ' τον μηδενισμό του ανοίγματός της, καθώς και

β) στην παρουσία **παγιδευμένου υλικού** (λόγω της ρηγματώσεως) μέσα στην διεπιφάνεια. Πρέπει, πάντως, να ληφθεί υπ' όψη ότι η ανακύκλιση των δράσεων, δηλαδή, διαδοχικά ανοίγματα και κλεισίματα της ρωγμής, έχουν συνέπεια την σταδιακή μείωση της θλιπτικής τάσεως η οποία μπορεί να μεταφερθεί από ανοιχτές ρωγμές. Επομένως, μία συντηρητική αντιμετώπιση είναι να **αμεληθούν οι θλιπτικές τάσεις** οι επιστρατευόμενες πριν απ' το πλήρες κλείσιμο μιάς ρωγμής.

### 3 Συνοχή μεταξύ παλαιού και νέου σκυροδέματος

Συνοχή είναι η μέγιστη διατμητική τάση (αντίσταση), η οποία μπορεί να μεταφερθεί κατά μήκος μιάς διεπιφάνειας, όταν η **ορθή θλιπτική τάση στην διεπιφάνεια είναι μηδενική** και **όταν δεν υπάρχει οπλισμός** ο οποίος να διαπερνά την διεπιφάνεια. Η συνοχή οφείλεται κυρίως στον **χημικό** δεσμό του νέου με το παλαιό σκυρόδεμα.

Η μέγιστη τιμή συνοχής επιστρατεύεται για τιμές της σχετικής ολισθήσεως κατά μήκος της διεπιφάνειας από 0,01mm έως 0,02 mm, ενώ διατηρείται πρακτικώς αμείωτη για τιμές της σχετικής ολισθήσεως μέχρι 0,50 mm περίπου.

Η τιμή της αντοχής συνοχής μπορεί να λαμβάνεται ίση με:

α)  **$0,25f_{ctk}$** , για **λείες** επιφάνειες σκυροδέματος, χωρίς να έχει προηγηθεί καμμία επεξεργασία (π.χ. η επιφάνεια που προκύπτει κατά την σκυροδέτηση, μετά από την εξομάλυνση με μυστρί)

β)  **$0,75f_{ctk}$** , για **διεπιφάνειες** οι οποίες έχουν υποστεί **τεχνητή τράχυνση** πριν απ' την χύτευση του νέου σκυροδέματος (μέσω αμμοβολής, υδροβολής, κλπ.)

γ)  **$1,00f_{ctk}$** , όταν το νέο σκυρόδεμα εφαρμόζεται πάνω στο υπάρχον **δια ψεκασμού** (υπό πίεση) ή όταν το νέο σκυρόδεμα χυτεύεται μετά από την εφαρμογή ενός **ισχυρού συνδετικού υλικού** (π.χ. κόλλας) στην διεπιφάνεια, όπου,  $f_{ctk}$  είναι η χαρακτηριστική τιμή (5%) της εφελκυστικής αντοχής **του ασθενέστερου** από τα δύο σκυροδέματα.

Πρέπει, πάντως, να ληφθεί υπ' όψη ότι η λείανση της διεπιφάνειας και η ενδεχόμενη απώλεια του χημικού δεσμού μεταξύ των δύο σκυροδεμάτων, κατά την διάρκεια μεγάλου εύρους ανακυκλιζόμενων μετακινήσεων, ενδέχεται να προκαλέσουν σημαντική μείωση της συνοχής.

Γι' αυτόν τον λόγο, η συνοχή δεν λαμβάνεται υπ' όψη κατά τους ελέγχους που πραγματοποιούνται σε οριακή κατάσταση αστοχίας.

Στην περίπτωση διεπιφανειών κάθετα στις οποίες ασκείται θλιπτική τάση (είτε λόγω εξωτερικού φορτίου είτε λόγω δράσεως σφινγκτήρα του οπλισμού που τις διαπερνά), η διατμητική αντίσταση επιστρατεύεται για σχετικώς μεγάλες τιμές της σχετικής ολισθήσεως. Σ' αυτήν την περίπτωση, η μέχρι μηδενισμού μείωση της συνοχής είναι περισσότερο πιθανή.

#### 4 Τριβή μεταξύ παλαιού και νέου σκυροδέματος

Η διατμητική τάση που μεταφέρεται λόγω τριβής κατά μήκος μιάς ασυνέχειας (διεπιφάνειας) είναι συνάρτηση της σχετικής ολισθήσεως,  $s$ , των δύο επιφανειών, της ορθής θλιπτικής τάσεως,  $\sigma_0$ , στην διεπιφάνεια, καθώς και της τραχύτητας.

Η μέγιστη διατμητική αντίσταση,  $\tau_u$ , μπορεί να υπολογίζεται, εν γένει, μέσω της σχέσεως:

$$\tau_u = \mu \sigma_0$$

όπου,  $\mu$  συντελεστής τριβής, χαρακτηριστικός της τραχύτητας της διεπιφάνειας. Πρέπει να λαμβάνεται υπ' όψη ότι ο συντελεστής τριβής μειώνεται αυξανομένης της ορθής θλιπτικής δυνάμεως στην διεπιφάνεια. Αυτή η μείωση είναι ιδιαίτερος έντονη στην περίπτωση μικρών τιμών της  $\sigma_0$ .

Επί πλέον, εάν η διεπιφάνεια αναμένεται να υποβληθεί σε ανακυκλιζόμενες μετακινήσεις, θα πρέπει να λαμβάνεται υπ' όψη κατάλληλη μείωση της διατμητικής της αντιστάσεως λόγω τριβής.



## Μεταφορά δυνάμεων μέσω στρώσεως κόλλας

### 1 Θλίψη

Η θλιπτική αντοχή κάθετα σε μιά διεπιφάνεια σκυροδέματος, η οποία έχει πληρωθεί ή επαληφθεί με κόλλα, μπορεί να λαμβάνεται ίση με την θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος. Όταν η κόλλα συνδέει δύο σκυροδέματα διαφορετικής θλιπτικής αντοχής, η θλιπτική αντοχή καθέτως προς την διεπιφάνεια θα λαμβάνεται ίση με την θλιπτική αντοχή σχεδιασμού του ασθενέστερου σκυροδέματος (χαρακτηριστική τιμή διηρημένη δια  $\gamma_m=1,50$ ).

### 2 Εφελκυσμός

Όταν μιά διεπιφάνεια σκυροδέματος, η οποία έχει πληρωθεί με κόλλα, υποβάλλεται σε εφελκυσμό, η αντοχή της θα λαμβάνεται ίση με την εφελκυστική αντοχή σχεδιασμού του ασθενέστερου σκυροδέματος (χαρακτηριστική τιμή διηρημένη δια 1,50).

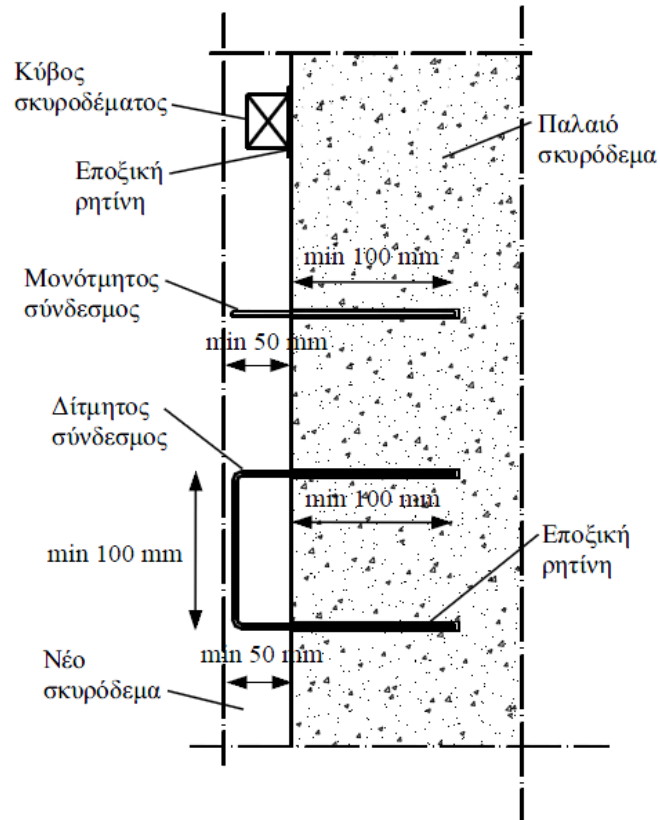
Η επιρροή του πάχους της κόλλας, καθώς και οι συνθήκες προετοιμασίας της επιφάνειας του σκυροδέματος, θα πρέπει να λαμβάνονται κατάλληλα υπ' όψη κατά την εκτίμηση της εφελκυστικής αντοχής της διεπιφάνειας.

### 3 Διάτμηση

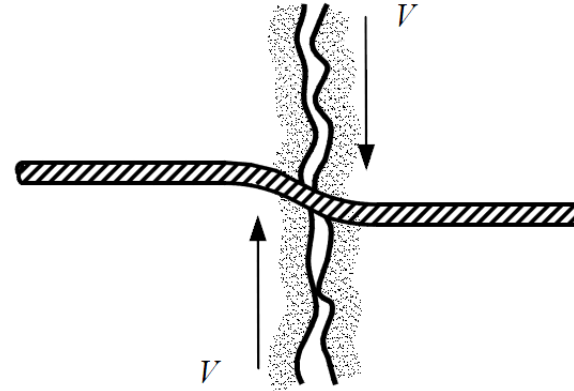
Η τέμνουσα που μεταφέρεται από σκυρόδεμα σε σκυρόδεμα μέσω ενός αρμού κόλλας είναι συνάρτηση της τοπικής ολισθήσεως κατά μήκος της διεπιφάνειας, καθώς και του μεγέθους της ορθής τάσεως που ασκείται στην διεπιφάνεια. Όταν η σύνδεση των σκυροδεμάτων μέσω κόλλας έχει πραγματοποιηθεί με τήρηση των σχετικών κανόνων και μετά από κατάλληλη προετοιμασία της διεπιφάνειας, τότε η διατμητική αντοχή του συστήματος σκυρόδεμα-κόλλα-σκυρόδεμα είναι πολλαπλάσια της διατμητικής αντοχής του σκυροδέματος. Επομένως, κατά τον σχεδιασμό, μιά τέτοια διεπιφάνεια σκυροδέματος μπορεί να θεωρείται ότι **διαθέτει συνοχή ίση με την εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος.**

# ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ΑΠΟ ΧΑΛΥΒΑ ΣΕ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΚΑΙ ΑΠΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΣΕ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΜΕΣΩ ΒΛΗΤΡΩΝ ΚΑΙ ΑΓΚΥΡΙΩΝ

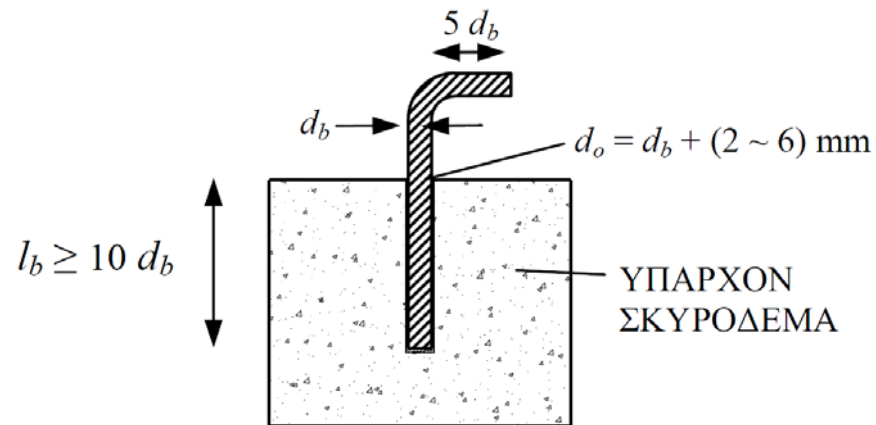
## Δράση βλήτρου των ράβδων οπλισμού



Σχήμα 5.5.: Τύποι διατμητικών συνδέσεων.



Σχήμα 5.6.: Μηχανισμός δράσης βλήτρου.



Σχήμα 5.4 Μονότμητο βλήτρο σχήματος Γ.

## **ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ΑΠΟ ΧΑΛΥΒΑ ΣΕ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΚΑΙ ΑΠΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΣΕ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΜΕΣΩ ΒΛΗΤΡΩΝ ΚΑΙ ΑΓΚΥΡΙΩΝ**

### **Δράση βλήτρου των ράβδων οπλισμού**

#### **(α) Μήκος βλήτρου**

Για να είναι σε θέση οι ράβδοι να μεταφέρουν τέμνουσα δύναμη ίση με την υπολογιζόμενη από την σχέση (11), θα πρέπει το μήκος τους εντός του σκυροδέματος να είναι τουλάχιστον ίσο με το δεκαπλάσιο της διαμέτρου των.

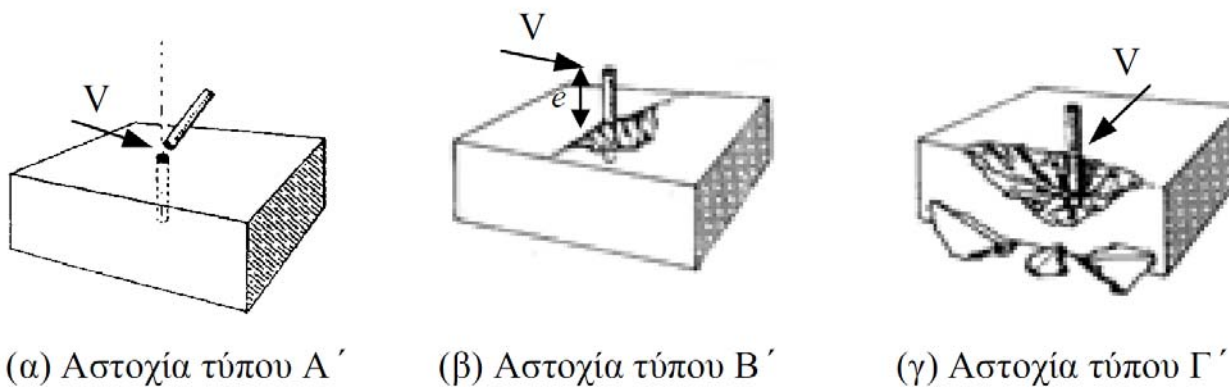
#### **(β) Τρόπος αστοχίας - Ελάχιστες επικαλύψεις**

Ο τρόπος με τον οποίον αστοχεί ο μηχανισμός, καθώς και το μέγεθος της μέγιστης μεταφερόμενης τέμνουσας, εξαρτάται από το μέγεθος της επικάλυψης σκυροδέματος, η οποία εξασφαλίζεται στην ράβδο (κατά την διεύθυνση της φορτίσεως και κάθετα προς αυτήν):

(i) Όταν στην ράβδο, διαμέτρου  $d_b$ , εξασφαλίζονται επικαλύψεις τουλάχιστον ίσες με τις τιμές που ακολουθούν, ο μηχανισμός αστοχεί λόγω διαρροής της ράβδου και τοπικής αστοχίας από σύνθλιψη του σκυροδέματος κάτω από την ράβδο:

Κατά την διεύθυνση φορτίσεως:	Ελάχιστη κάτω επικάλυψη	$=8d_b$
	Ελάχιστη άνω επικάλυψη	$=5d_b$
Κάθετα στην διεύθυνση φορτίσεως:	Ελάχιστη πλευρική επικάλυψη	$=3d_b$

(ii) Για μικρότερες τιμές επικάλυψης, ο μηχανισμός αστοχεί λόγω **αποσχίσεως του σκυροδέματος**, η οποία συμβαίνει για χαμηλή τιμή τέμνουσας, σε πολύ μικρή τιμή της σχετικής μετακινήσεως και είναι **εξαιρετικά ψαθυρή**. Γι' αυτό, συνιστάται να εξασφαλίζονται στην κατασκευή τα ελάχιστα που αναφέρονται στην προηγούμενη παράγραφο (i).



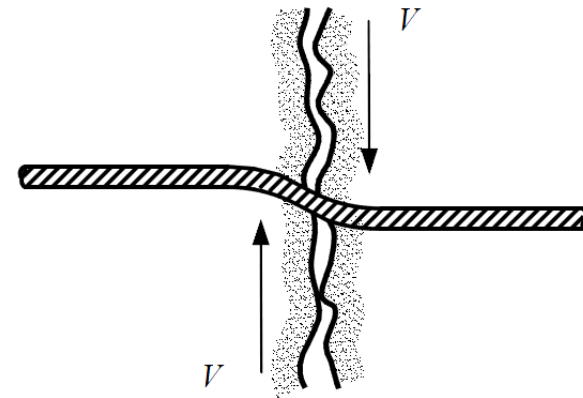
Σχήμα 5.7.: Τύποι αστοχίας λόγω δράσης βλήτρου.

### (γ) Αστοχία τύπου Ά - Αντοχή βλήτρου σε τέμνουσα

Θραύση του χάλυβα του βλήτρου λόγω υπέρβασης της χαρακτηριστικής αντοχής του στη θέση της διεπιφάνειας

$$V_{ud}^A = A_s f_{yd} / \sqrt{3}$$

Πρόκειται για τον πιθανότερο τύπο αστοχίας στην περίπτωση που το βλήτρο αγκυρώνεται **σκυρόδεμα καλής ποιότητας** και βρίσκεται σε ικανή απόσταση από το άκρο του στοιχείου.



Σχήμα 5.6.: Μηχανισμός δράσης βλήτρου.

### Αστοχία τύπου 'B' - Αντοχή βλήτρου σε τέμνουσα

Η τιμή σχεδιασμού της μέγιστης τέμνουσας,  $F_{ud}$  ή  $V_{ud}$  που μπορεί να μεταφερθεί από μιά ράβδο με διάμετρο  $d_b$ , μπορεί να υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$F_{ud} = 1,30d_b^2 \left[ \sqrt{1 + (1,3\varepsilon)^2} - 1,3\varepsilon \right] \sqrt{f_{cd} f_{yd}} \leq \frac{A_s f_{yd}}{\sqrt{3}} \quad (11)$$

όπου,

$$\varepsilon = 3 \frac{e}{d_b} \sqrt{\frac{f_{cd}}{f_{yd}}}$$

$A_s$ : η διατομή της ράβδου

$f_{cd}$ : η τιμή σχεδιασμού της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος

$f_{yd}$ : η τιμή σχεδιασμού του ορίου διαρροής της ράβδου

$e$ : η εκκεντρότητα εφαρμογής της τέμνουσας

Για μηδενική εκκεντρότητα, όταν-δηλαδή-η τέμνουσα ασκείται στο επίπεδο της διεπιφάνειας, προκύπτει η ακόλουθη σχέση:

$$F_{ud} = 1,30d_b^2 \sqrt{f_{cd} f_{yd}} \leq \frac{A_s f_{yd}}{\sqrt{3}} \quad (12)$$

Όταν η διεπιφάνεια την οποία διαπερνά η ράβδος ενδέχεται να υποβληθεί σε ανακυκλιζόμενη δράση, συνιστάται να λαμβάνεται υπ' όψη μειωμένη αντοχή βλήτρου, ως ακολούθως:

$$F_{ud} = d_b^2 \sqrt{f_{cd} f_{yd}} \leq \frac{A_s f_{yd}}{\sqrt{3}} \quad (13)$$

### (δ) Αλληλεπίδραση μηχανισμού βλήτρου και εξολκείσεως (Αστοχία τύπου Β')

Στην συνήθη περίπτωση βλήτρων μικρού μήκους, θεωρείται ότι αυτά μπορούν να λειτουργήσουν μόνον σε διάτμηση. Η περιορισμένη ικανότητά τους να λαμβάνουν αξονικές εφελκυστικές τάσεις αμελείται.

Όταν οι ράβδοι έχουν επαρκές μήκος αγκυρώσεως εκατέρωθεν της διεπιφάνειας και υποβάλλονται ταυτοχρόνως σε εφελκυσμό και σε διάτμηση, η μέγιστη τέμνουσα δύναμη την οποία μπορούν να αναλάβουν, υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$F_{ud} = 1,30d_b^2 \left[ \sqrt{1 + (1,3\varepsilon)^2} - 1,3\varepsilon \right] \sqrt{f_{cd} f_{yd} (1 - \zeta^2)} \leq \frac{A_s f_{yd}}{\sqrt{3}} \quad (14)$$

όπου,  $\zeta = \sigma_s / f_{yd}$  και  $\sigma_s$  η εφελκυστική τάση στην ράβδο.

Για μηδενική εκκεντρότητα εφαρμογής της τέμνουσας και για συνθήκες ανακυκλίσεως,

$$F_{ud} = d_b^2 \sqrt{f_{cd} f_{yd} (1 - \zeta^2)} \leq \frac{A_s f_{yd}}{\sqrt{3}} \quad (15)$$



## Αστοχία τύπου Γ'

Η αστοχία τύπου Γ' εξαρτάται έκτός του μήκους του βλήτρου και από το **πάχος του στοιχείου** στην αξονική διεύθυνση του βλήτρου. Η τιμή σχεδιασμού της μέγιστης τέμνουσας  $V_{ud}^C$  γι' αυτόν τον τύπο αστοχίας μπορεί να εκτιμηθεί από την παρακάτω σχέση:

$$V_{ud}^C = k_1 \alpha_1 \alpha_2 \sqrt{d_b f_{cd}} (l_b/d_b)^{1/5} c_p^{3/2}$$

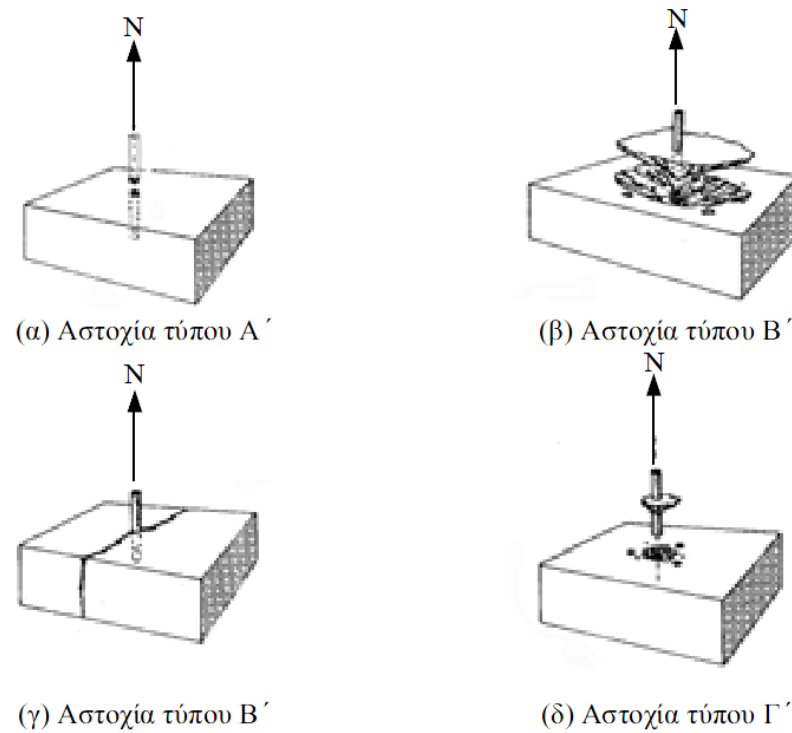
όπου  $d_b$  είναι η διάμετρος του βλήτρου σε mm,  $f_{cd}$  η θλιπτική αντοχή σχεδιασμού του σκυροδέματος σε MPa,  $l_b$  το μήκος αγκύρωσης του βλήτρου σε mm και  $c_p$  η επικάλυψη σκυροδέματος στη διεύθυνση της διατμητικής φόρτισης σε mm. Ο συντελεστής  $k_1$  είναι ίσος με 0.28 και έχει μονάδες  $N^{1/2}/mm$ . Οι συντελεστές  $\alpha_1$  και  $\alpha_2$  χρησιμοποιούνται για να εκφράσουν τη μείωση της τέμνουσας σε περίπτωση που δεν είναι δυνατός ο πλήρης σχηματισμός του κώνου απόσχισης λόγω ανεπαρκούς πλευρικής επικάλυψης και πάχους στοιχείου και δίνονται από τις ακόλουθες σχέσεις:

$$\alpha_1 = (t/1.4c_p)^{2/3} \leq 1.0$$

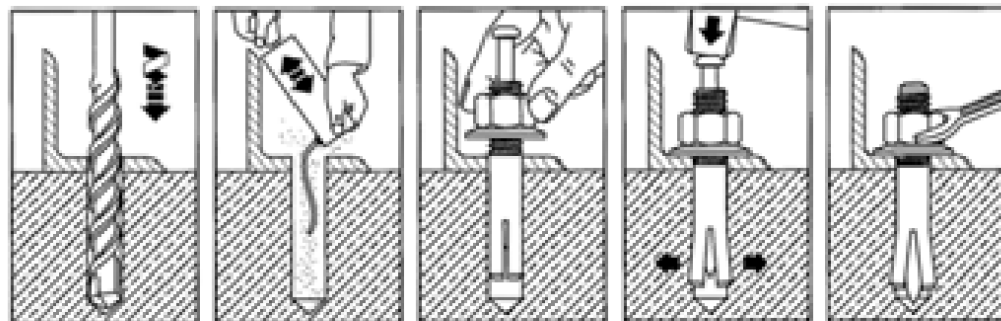
$$\alpha_2 = \max[0.3 + 0.7 c_n^{min}/1.5 c_p, (c_n^{max} + c_n^{min})/3.5c_p] \leq 1.0$$

όπου  $t$  είναι το πάχος του στοιχείου και  $c_n$  η πλευρική επικάλυψη σκυροδέματος σε διεύθυνση κάθετη σε αυτή του φορτίου.

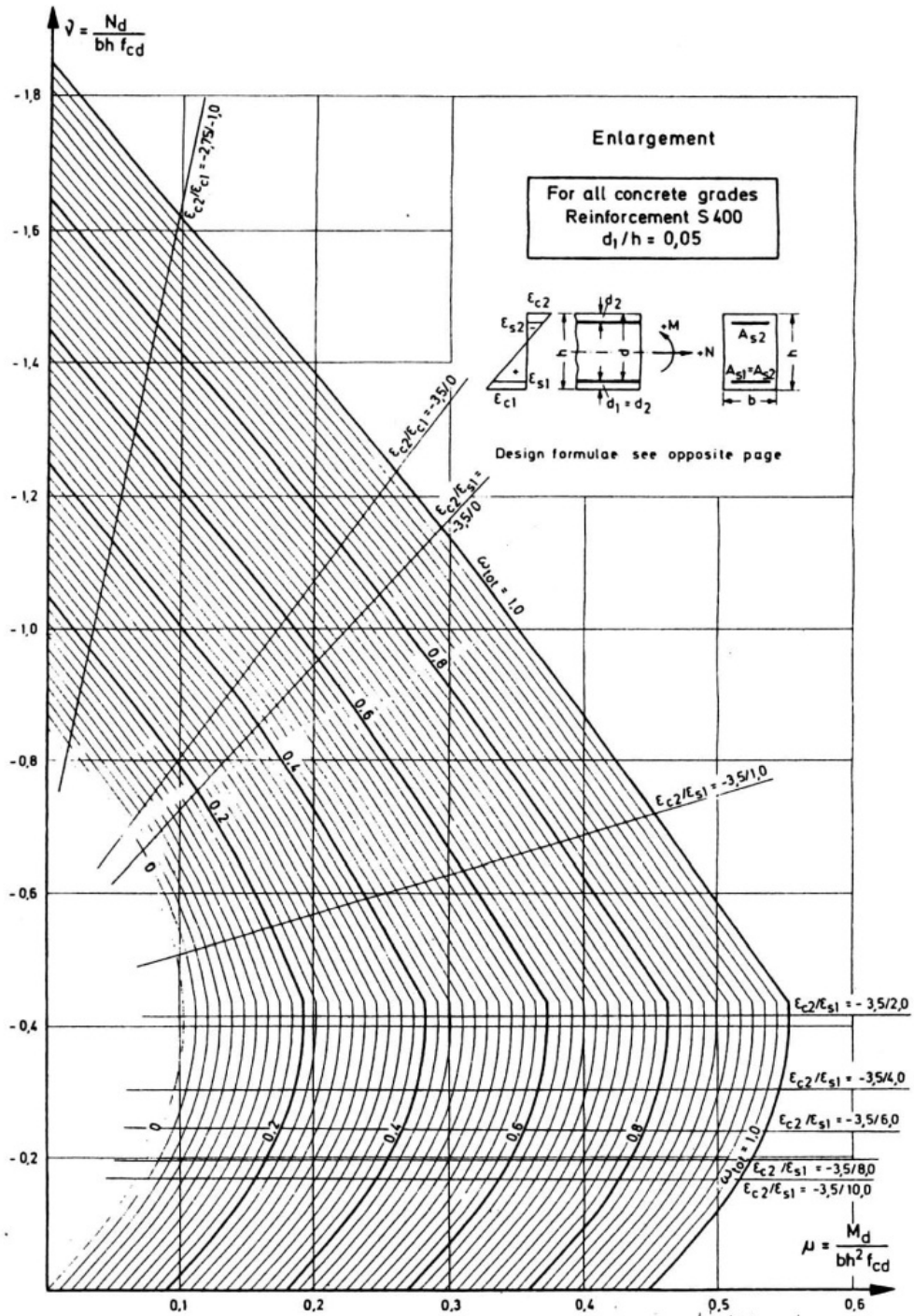
## Μεταφορά δυνάμεων μέσω μεταλλικών αγκυριών

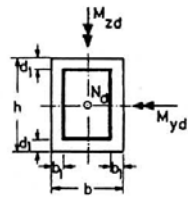


Σχήμα 5.9.: Τύποι αστοχίας λόγω δράσης αγκυρίου.

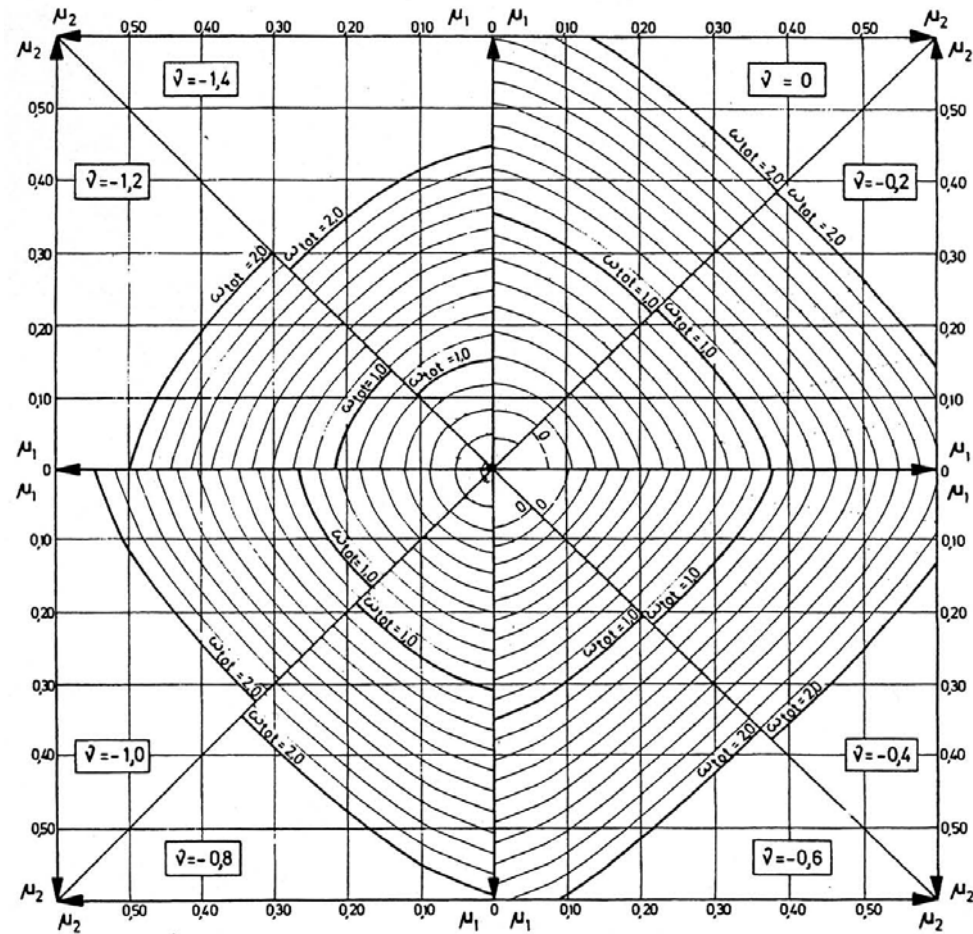
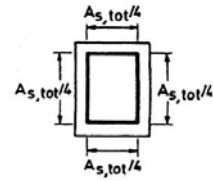


Σχήμα 5.3.: Τοποθέτηση αγκυρίου διογκούμενης κεφαλής.





For all concrete grades  
Reinforcement S 500  
 $d_1/h = b_1/b = 0,10$



$$\mu_y = \frac{|M_{yd}|}{bh^2 f_{cd}}$$

$$\mu_z = \frac{|M_{zd}|}{b^2 h f_{cd}}$$

$$\bar{\nu} = \frac{N_d}{bh f_{cd}}$$

if  $\mu_y > \mu_z \rightarrow \mu_1 = \mu_y; \mu_2 = \mu_z$

if  $\mu_y < \mu_z \rightarrow \mu_1 = \mu_z; \mu_2 = \mu_y$

$$\omega_{tot} = \frac{A_{s,tot}}{bh} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}}$$

$$A_{s,tot} = \omega_{tot} \frac{bh}{f_{yd}/f_{cd}}$$





