

1. Εισαγωγή

Η διάτρηση είναι ένα φαινόμενο ανάλογο της διάτμησης, με την διαφορά ότι, ενώ η διάτμηση είναι μια **επίπεδη** ένταση, η διάτρηση συμβαίνει στον **χώρο**. Στην διάτμηση έχουμε τους επίπεδους κεκλιμένους θλιπτήρες ενώ στην διάτρηση η θλίψη μεταβιβάζεται μέσω ενός κόλουρου κώνου. Στην διάτμηση οι έλεγχοι της V_{Rdc} και V_{Rds} γίνονται σε μια διατομή, στην διάτρηση οι αντίστοιχοι έλεγχοι γίνονται σε μια κυλινδρική επιφάνεια.

Διάτρηση δημιουργείται από την δράση ενός συγκεντρωμένου φορτίου που δρα κάθετα σε ένα επιφανειακό στοιχείο ή από την αντίδραση που δρα επί μια σχετικώς μικρής περιοχής. Οι συνηθέστερες περιπτώσεις εμφάνισης διάτρησης είναι:

- σε πλάκες που στηρίζονται απευθείας σε υποστυλώματα χωρίς την παρεμβολή δοκών (σε πλάκες χωρίς δοκούς ή σε μυκητοειδείς πλάκες).
- Σε πλάκες επί των οποίων εδράζονται «φυτευτά» υποστυλώματα (υποστυλώματα τα οποία δεν θεμελιώνονται στο έδαφος).
- Σε εύκαμπτα πέδιλα ή σε γενική πλάκα θεμελίωσης επί των οποίων θεμελιώνονται υποστυλώματα (περίπτωση ανάλογη προς τα φυτευτά υποστυλώματα με την διαφορά ότι εδώ επιπλέον έχουμε και την ευνοϊκή δράση των τάσεων του εδάφους).

Λόγω της πολυπλοκότητας των παραγόντων, που επηρεάζουν τη διάτρηση των πλακών, δεν έχει, μέχρι σήμερα, διατυπωθεί καμιά ακριβής θεωρητική ερμηνεία του φαινομένου αυτού. Ετσι, στους κανονισμούς των διαφόρων κρατών ο έλεγχος και υπολογισμός σε διάτρηση γίνεται με εμπειρικές, συντηρητικές, μεθόδους.

2. Το προσομοίωμα.

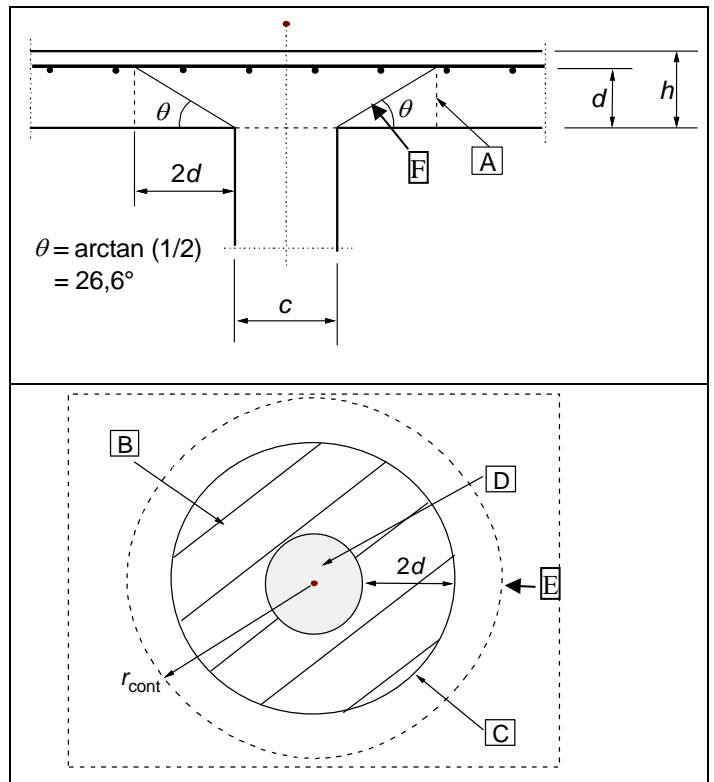
Εν απλουστευτικό προσομοίωμα υπολογισμού σε διάτρηση παρουσιάζεται στο Σχήμα 1.

Κατά την αστοχία από διάτρηση σχηματίζεται η **επιφάνεια αστοχίας**, **F**, μορφής κόλουρου κώνου ή κόλουρης πυραμίδας, της οποίας η μικρή βάση συμπίπτει με τη φορτιζόμενη¹ επιφάνεια, **D**, οι δε γενέτειρες είναι κεκλιμένες (υπό γωνία θ) ως προς το επίπεδο της πλάκας. Η γωνία κλίσεως της επιφάνειας αστοχίας θεωρείται ότι έχει εφαπτομένη 0.5.

Εκτός από την επιφάνεια αστοχίας, στον EC2 εισάγεται η έννοια **βασικής διατομής ελέγχου**, (βλ σχήμα) η οποία είναι μια κυλινδρική² επιφάνεια τέτοια ώστε οι γενέτειρές-της είναι κάθετες στο μέσο επίπεδο της πλάκας και ορίζεται από την **βασική περίμετρο ελέγχου**, **C**.

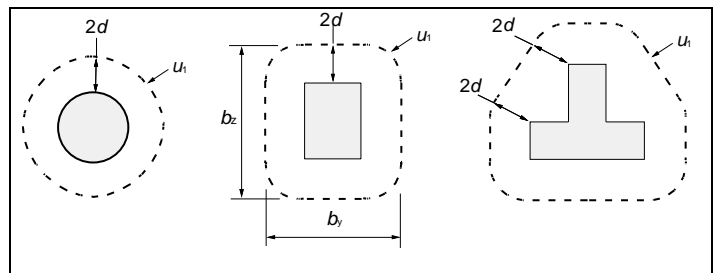
3. Βασική περίμετρος ελέγχου

Η βασική περίμετρος ελέγχου είναι μια καμπύλη που περιβάλλει την φορτιζόμενη επιφάνεια, μερικώς ή ολικώς, και της οποίας κανένα σημείο δεν απέχει απόσταση μικρότερη από $2d$ από την φορτιζόμενη επιφάνεια και έχει το ελάχιστο μήκος (δηλαδή πρόκειται για **κυρτή καμπύλη**) (Σχήμα 2). Το μήκος περιμέτρου συμβολίζεται u_1 , το εμβαδόν A_{cont} και το μέσο στατικό ύψος $d=0.5[d_x+d_y]$.



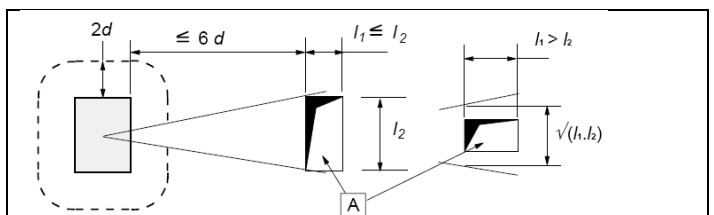
Σχήμα 1: Προσομοίωμα υπολογισμού για τον έλεγχο της Ο.Κ. αστοχίας από διάτρηση. Υπόμνημα:

- A: βασική διατομή ελέγχου (σε τομή)
B: βασική επιφάνεια ελέγχου A_{cont} (σε κάτοψη)
C: βασική περίμετρος ελέγχου, u_1
D: φορτιζόμενη επιφάνεια, A_{load}
E: 2η περίμετρος ελέγχου, ακτίνας r_{cont}
F: επιφάνεια αστοχίας



Σχήμα 2: Παραδείγματα βασικής περιμέτρου ελέγχου.

Για τις φορτιζόμενες επιφάνειες που βρίσκονται «κοντά» ($\leq 6d$) σε ένα άνοιγμα A, το τμήμα της περιμέτρου ελέγχου που περιλαμβάνεται μεταξύ δύο εφαπτομένων που χαράσσονται από το κέντρο της φορτιζόμενης επιφάνειας προς το περίγραμμα του ανοίγματος θεωρείται ανενεργό (Σχήμα 3) μειώνοντας έτσι το μήκος της βασικής περιμέτρου ελέγχου.



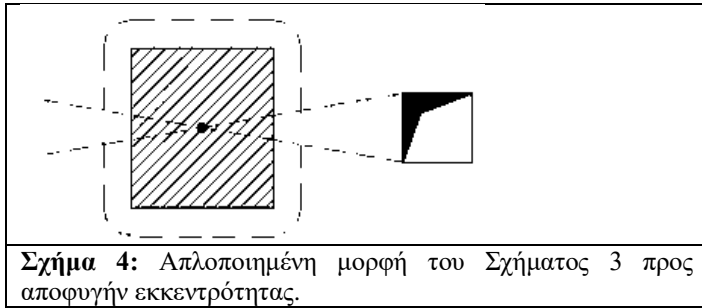
Σχήμα 3: Περίμετρος ελέγχου κοντά σε άνοιγμα.

¹ Ο Κανονισμός χρησιμοποιεί γενικώς τον όρο «φορτιζόμενη επιφάνεια». Βέβαια στην περίπτωση των φυτευτών υποστυλωμάτων ή των θεμελίων, ορθότερος είναι ο όρος «φορτιζούσα επιφάνεια». Σε κάθε περίπτωση πάντως, είτε το υποστυλώμα στηρίζει πλάκα είτε το υποστυλώμα στηρίζεται σε Κ.Γ. Τρέξος / Beton 7^{οο} /18-10-2019

πλάκα, η φορτιζόμενη ή φορτιζούσα επιφάνεια είναι η επιφάνεια του υποστυλώματος.

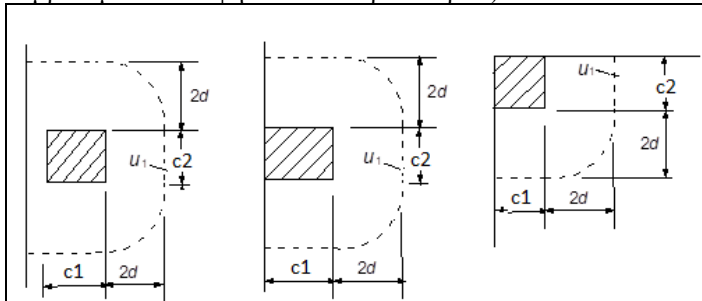
² Κυλινδρική με την γενικευμένη έννοια: η τομή κάθετα στις γενέτειρες μπορεί να είναι, εκτός από κύκλο, μια **κυρτή** καμπύλη ή πολύγωνο ανάλογα με την φορτιζόμενη επιφάνεια.

Επειδή η παρουσία του ανοίγματος έχει συνέπεια η αντιστεκόμενη επιφάνεια να γίνεται έκκεντρη (με συνέπεια την αύξηση των τάσεων), συνιστάται (ΕΚΩΣ παρ. 13.2.2) να θεωρείται ανενεργό και το συμμετρικό τμήμα της περιμέτρου μειώνοντας περαιτέρω το μήκος της βασικής περιμέτρου ελέγχου (Σχήμα 4).



Σχήμα 4: Απλοποιημένη μορφή του Σχήματος 3 προς αποφυγήν εκκεντρότητας.

Για τις φορτιζόμενες επιφάνειες που βρίσκονται κοντά σε ελεύθερο άκρο, ή επί του άκρου/περιμέτρου ή σε γωνία η περίμετρος ελέγχου θα λαμβάνεται όπως φαίνεται στο σχήμα 5, όταν η θεώρηση αυτή δίνει μικρότερη περίμετρο (μη λαμβανομένων υπόψη των ελεύθερων άκρων).



Σχήμα 5: Βασικές περιμέτροι ελέγχου για φορτιζόμενες επιφάνειες που βρίσκονται κοντά σε περίμετρο ή σε γωνία.

Τέλος, και επειδή η διάτρηση είναι πιο έντονη κοντά στις γωνίες ορθογωνικών υποστυλμάτων, προτείνεται (αυτό είναι διάταξη του ΕΚΩΣ που δεν υπάρχει στον Ευρωκώδικα) στα επιμήκη υποστυλώματα (με $c_{max} > 2c_{min}$) να λαβαίνεται μειωμένο μήκος (βλ. ΕΚΩΣ σχήμα Σ13.4)

4. Υποστυλώματα με διαπλάτυνση κεφαλής.

Πολλές φορές, σε πλάκες χωρίς δοκούς, για την καλύτερη ανάληψη της συγκεντρωμένης δύναμης, διαμορφώνεται στην κεφαλή του υποστυλώματος, μια χαρακτηριστική διαπλάτυνση (μορφής μύκητα = μανιτάρι) γι' αυτό και οι πλάκες αυτές λέγονται και «μυκητοειδείς πλάκες»

Η διαπλάτυνση μπορεί να είναι πρισματική (βλ. αριστερό ημισχήμα στο Σχήμα 6) ή κωνική (βλ. δεξί ημισχήμα στο Σχήμα 6). Η διαπλάτυνση χαρακτηρίζεται από το ύψος h_H και από το μήκος l_H . Σκοπός της διαπλάτυνσης είναι να αυξηθεί η φορτιζόμενη επιφάνεια και κατ' επέκταση να μεγαλώσει η βασική περίμετρος ελέγχου μιας και ο έλεγχος γίνεται σε απόσταση $2d$ από παρειά της διαπλάτυνσης.

Ετσι, για **μικρού μήκους διαπλάτυνση** $l_H < 2h_H$, ο έλεγχος γίνεται εκτός της διαπλάτυνσης θεωρώντας την βασική περίμετρο ως κύκλο (ανεξαρτήτως του σχήματος του υποστυλώματος ή της διαπλάτυνσης), με:

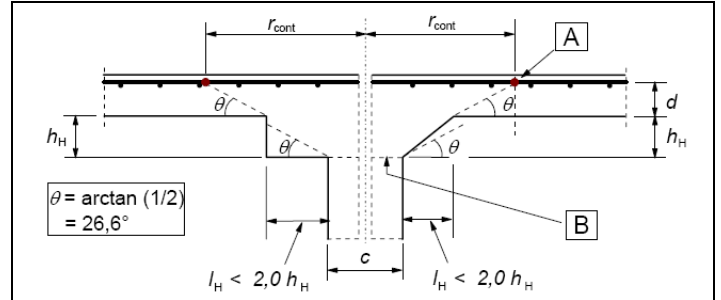
- Για **κυκλικό** υποστυλόμετρο η ακτίνα της βασικής περιμέτρου ελέγχου είναι:

$$r_{cont} = 2d + l_H + 0.5c$$
όπου c είναι η διάμετρος του κυκλικού υποστυλώματος

- Για **ορθογωνικό** υποστυλόμετρο η βασική περίμετρος ελέγχου να θεωρηθεί **κύκλος** με ακτίνα, (απλούστευση υπέρ της ασφαλείας),:

$$r_{count} = 2d + \min\{0.56\sqrt{l_1 l_2}, 0.69 \min(l_1, l_2)\}$$

$$\text{όπου: } l_1 = c_1 + 2l_{H1} \text{ και } l_2 = c_2 + 2l_{H2}.$$

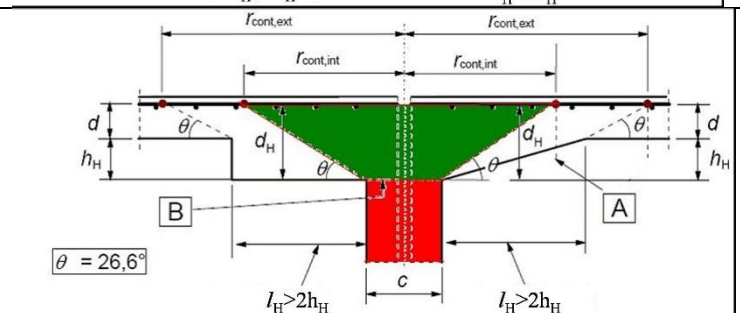
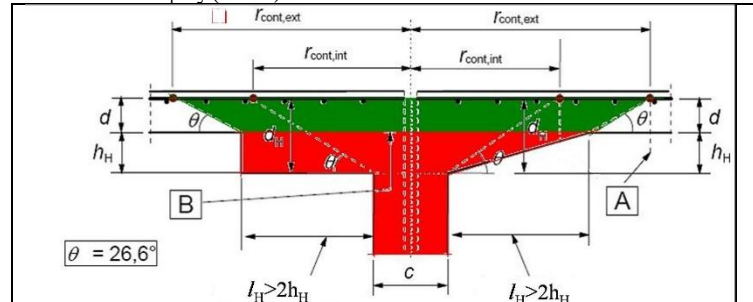


Σχήμα 6: Πλάκα με κιονόκρανο μικρού μήκους ($l_H < 2h_H$). Α: βασική διατομή ελέγχου, Β: φορτιζόμενη επιφάνεια.

Παρατηρήσατε ότι ο κώνος διατήρησης που ξεκινά από την φορτιζόμενη επιφάνεια τέμνει την διαπλάτυνση (σε αντίθεση με το σχήμα 7)

Αν όμως η διαπλάτυνση είναι **μεγάλου μήκους**, $l_H > 2h_H$ ³, τότε είναι δυνατόν να αναπτυχθούν δύο επιφάνειες αστοχίας:

- είτε στην πλάκα, με φορτιζόμενα επιφάνεια όλη την διαπλάτυνση: μεγάλη περίμετρος (ακτίνας $r_{cont,ext}$) και μικρό στατικό ύψος (d)
- είτε μέσα στην διαπλάτυνση, με φορτιζόμενα επιφάνεια το υποστυλόμετρο: μικρή περίμετρος (ακτίνας $r_{cont,int}$) και μεγάλο στατικό ύψος ($d + h_H$)



Σχήμα 7: Πλάκα με κιονόκρανο μεγάλου μήκους ($l_H > 2h_H$). Α: βασική διατομή ελέγχου, Β: φορτιζόμενη επιφάνεια.

Παρατηρήσατε στο κάτω σχήμα ότι ο κώνος διατήρησης που ξεκινά από την επιφάνεια του υποστυλώματος και με κλίση 1:2 βρίσκεται εντός της διαπλάτυνσης (σε αντίθεση με το Σχήμα 6)

Ετσι πρέπει να γίνονται δύο έλεγχοι: ένας εκτός της διαπλάτυνσης και ένας εντός της διαπλάτυνσης. Για ένα **κυκλικό** υποστυλόμετρο με κυκλική διαπλάτυνση, οι αντίστοιχες ακτίνας της διατομής ελέγχου (Σχήμα 7) είναι:

$$r_{cont,ext} = l_H + 2d + 0.5c$$

$$r_{cont,int} = 2(d + h_H) + 0.5c$$

Για ένα ορθογωνικό υποστυλόμετρο με ορθογωνική διαπλάτυνση, οι βασικές περιμέτροι ακολουθούν τον κανόνα του Σχήματος 2.

³ Προσοχή: στον Ευρωκώδικα, Σχήμα 6.18 (αντίστοιχο του παραπάνω Σχήματος 7) έχει σημειωθεί εκ λάθους $l_H > 2(d + h_H)$ αντί του ορθού $l_H > 2h_H$.

5. Δρώσα τέμνουσα

Η δρώσα τέμνουσα, v_{Ed}^4 , δίνεται ανηγμένη στο μήκος της θεωρούμενης περιμέτρου ελέγχου, u_i , και στο μέσο στατικό ύψος,

$$d: v_{Ed} = \beta \frac{V_{Ed}}{u_i d} \quad (v_{Ed} \text{ σε MPa})$$

β συντελεστής που λαβαίνει υπόψη την εκκεντρότητα της δρώσας τέμνουσας ως προς την περίμετρο ελέγχου και δίνεται από την σχέση:

$$\beta = 1 + k \frac{M_{Ed}}{V_{Ed}} \times \frac{u_1}{W_1}$$

k είναι ένας συντελεστής που εξαρτάται από το λόγο των διαστάσεων του υποστυλώματος c_1 και c_2

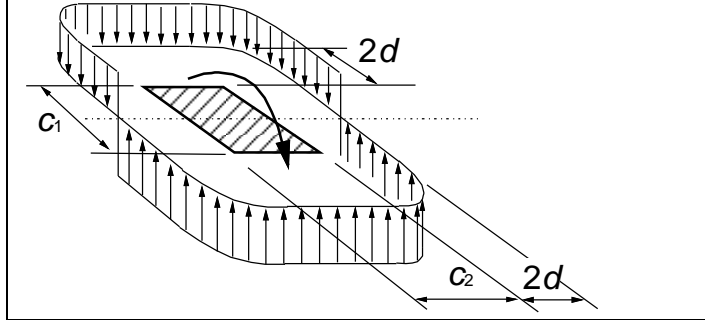
Πίνακας 1: τιμές του συντελεστή k , συναρτήσει του λόγου c_1/c_2				
c_1/c_2	$\leq 0,5$	1,0	2,0	$\geq 3,0$
k	0,45	0,60	0,70	0,80

$$W_1 = \int_0^{u_i} |e| dl \quad \text{αντιστοιχεί σε κατανομή της τέμνουσας όπως}$$

φαίνεται στο Σχήμα 8 και είναι συνάρτηση της βασικής περιμέτρου ελέγχου u_1

dl είναι στοιχειώδες μήκος πάνω στην περίμετρο

e είναι η απόσταση του dl από τον άξονα περί τον οποίο δρα η ροπή M_{Ed} .



Σχήμα 8: Κατανομή της τέμνουσας από ροπή λόγω εκκεντρότητας σε έναν «κόμβο» πλάκας - εσωτερικού υποστυλώματος.

Για ορθογωνικό υποστύλωμα η παραπάνω σχέση γίνεται:

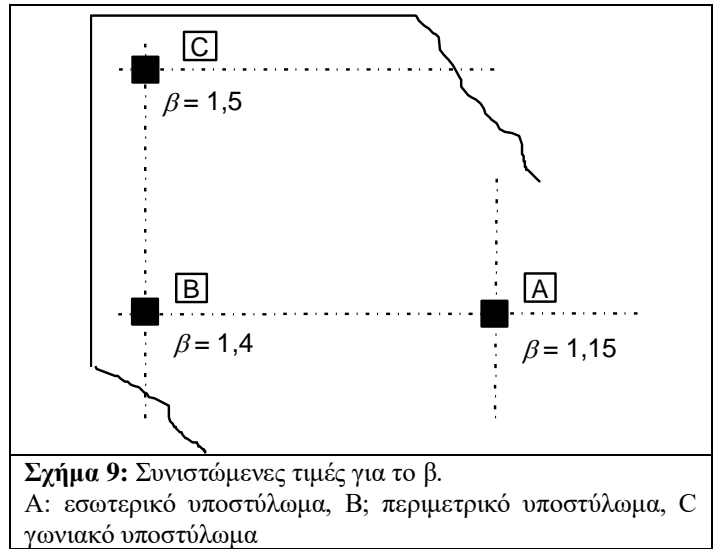
$$W_1 = \frac{c_1^2}{2} + c_1 c_2 + 4c_2 d + 16d^2 + 2\pi d c_1$$

Ενώ για κυκλικό υποστύλωμα γίνεται:

$$\beta = 1 + 0,6\pi \frac{e}{D + 4d}$$

Πάντως, σε φορείς των οποίων η ευστάθεια, υπό οριζόντια φορτία, δεν εξαρτάται από την πλαισιακή λειτουργία μεταξύ πλακών και υποστυλωμάτων και στους οποίους τα γειτονικά ανοίγματα δεν διαφέρουν παραπάνω από 25%, για το β μπορεί να χρησιμοποιούνται οι προσεγγιστικές τιμές του Σχήματος 9.

Η τέμνουσα διάτρησης V_{Ed} σε μια πλάκα θεμελίωσης μπορεί να μειώνεται λόγω της ευνοϊκής επιρροής των εδαφικών πιέσεων. Επειδή όμως η μείωση αυτή είναι μεγάλη καλόν είναι να εξετάζονται και άλλες διατομές σε απόσταση μικρότερη από $2d$: αδ (π.χ. $\alpha=1$ έως $\alpha=2$)⁵.



Σχήμα 9: Συνιστώμενες τιμές για το β .

Α: εσωτερικό υποστύλωμα, Β: περιμετρικό υποστύλωμα, Γ: γωνιακό υποστύλωμα

6. Έλεγχοι

Κατ' αντιστοιχία με την διάτμηση, έτσι και στην διάτρηση γίνονται οι εξής έλεγχοι⁶:

- $V_{Rd,max}$, ο έλεγχος γίνεται στην παρειά της φορτιζόμενης επιφάνειας και αν δεν ικανοποιείται απαιτείται αλλαγή διαστάσεων
- $V_{Rd,c}$, ο έλεγχος γίνεται στην βασική διατομή ελέγχου και αν ικανοποιείται η πλάκα μπορεί να παραμείνει χωρίς οπλισμό διατμήσεως, αν δεν ικανοποιείται τότε τίθεται οπλισμός διατμήσεως (αντοχή σε διάτρηση άοπλου σκυροδέματος)
- $V_{Rd,cs}$, ο έλεγχος για τον προσδιορισμό του απαιτούμενου οπλισμού διατμήσεως (όταν απαιτείται).
- Έλεγχος για την εύρεση της περιοχής στην οποία πρέπει να εκτείνεται ο οπλισμός διατμήσεως (όταν απαιτείται)

7. Τέμνουσες αντοχής

Η **μέγιστη αντοχή σε διάτρηση** μιας πλάκας (πέραν της οποίας απαιτείται αλλαγή διαστάσεων), $V_{Rd,max}$, δίνεται από την σχέση:

$$V_{Rd,max} = 0,5 \cdot v f_{cd}$$

$$v = 0,6 [1 - f_{ck}/250]$$

Θα πρέπει στην παρειά του υποστυλώματος η δρώσα τάση διάτμησης, v_{Ed} , να μην υπερβαίνει την $V_{Rd,max}$:

$$v_{Ed} = \beta V_{Ed} / [u_0 d] \leq V_{Rd,max}$$

όπου: $u_0 =$

- για εσωτερικό υποστύλωμα: η περίμετρος του υποστυλώματος (mm)
- για περιμετρικό υποστύλωμα: $u_0 = c_2 + 3d \leq c_2 + 2c_1$ [mm]
- για γωνιακό υποστύλωμα: $u_0 = 3d \leq c_1 + c_2$ [mm]

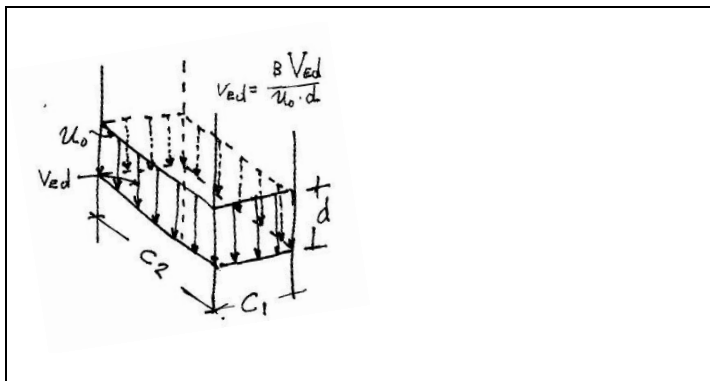
c_1, c_2 οι διαστάσεις του υποστυλώματος (βλ. Σχήμα 5)

Σημείωση: παρόλο που πρόκειται για έλεγχο θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος, η επιφάνειας αναγωγής της δράσης είναι «παράλληλη» προς την δράση (βλ. Σχήμα 10).

⁴ Στην ουσία πρόκειται για την δρώσα διατμητική τάση

⁵ Στην ουσία είναι σαν να δεχόμαστε πιο απότομη γωνία κλίσεως της επιφάνειας αστοχίας (π.χ. έως 45°)

⁶ Οι έλεγχοι γίνονται συγκρίνοντας τάσεις (σε MPa) και όχι δυνάμεις (σε kN)



Σχήμα 10: Κατανομή της τέμνουσας στην παράπλευρη επιφάνεια της τομής του υποστυλώματος με την πλάκα. Η πλάκα μεταβιβάζει κατακόρυφο φορτίο στο υποστύλωμα.

Η αντοχή σε διάτρηση μιας πλάκας χωρίς οπλισμό διάτρησης, $V_{Rd,c}$ δίνεται από την σχέση (σχέση όμοια με την αντίστοιχη της διάτμησης):

$$V_{Rd,c} = C_{Rd,c} k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3} + k_1 \sigma_{cp} \geq (v_{min} + k_1 \sigma_{cp})$$

όπου:

f_{ck} σε MPa

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2,0 \quad (d \text{ σε mm})$$

$\rho_l = \sqrt{\rho_{ly} \times \rho_{lz}} \leq 0,02$ είναι ο γεωμετρικός μέσος των εφελκνόμενων οπλισμών στις διευθύνσεις y και z. Οι τιμές ρ_{ly} και ρ_{lz}

πρέπει να υπολογίζονται λαβαίνοντας υπόψη τους οπλισμούς που βρίσκονται σ' ένα πλάτος πλάκας ίσο προς το πλάτος του υποστυλώματος συν 3d σε κάθε πλευρά.

Σχόλιο για την δράση βλήτρου των οπλισμών: μόλις σχηματισθεί η επιφάνεια αστοχίας μειώνεται η συμβολή της δράσης βλήτρου των πάνω οπλισμών στην δυνατότητα μεταφοράς τέμνουσας, μιας και η επικάλυψη του σκυροδέματος πολύ εύκολα απομακρύνεται (ενώ πριν από την ρηγμάτωση η συμβολή του οπλισμού είναι σημαντική). Η παρουσία διαμητικού οπλισμού ο οποίος συνδέει και συγκρατεί τις πάνω ράβδους με τις κάτω ράβδους (οι οποίες δεν κινδυνεύουν να βρεθούν εκτός σκυροδέματος) αυξάνει ουσιαστικά την αντοχή και την πλαστιμότητα της σύνδεσης πλάκας-υποστυλώματος (όπως επίσης συμβάλλει στην αύξηση της πλαστιμότητας της σύνδεσης και στον περιορισμό της αλυσωτής κατάρρευσης το να είναι αυτοί οι κάτω διαμήκεις οπλισμοί συνεχείς και να έχουν καλή αγκύρωση εκατέρωθεν).

$$\sigma_{cp} = (\sigma_{cy} + \sigma_{cz}) / 2$$

όπου:

σ_{cy}, σ_{cz} είναι οι ορθές τάσεις στο σκυρόδεμα της κρίσιμης διατομής στις διευθύνσεις y και z (σε MPa, θετικές για θλίψη):

$$\sigma_{cy} = N_{Ed,y} / A_{cy} \quad \text{και} \quad \sigma_{cz} = N_{Ed,z} / A_{cz}$$

$N_{Ed,y}, N_{Ed,z}$ είναι οι αξονικές δυνάμεις (θετικές για θλίψη) σε ολόκληρο το φάνωμα για εσωτερικά υποστυλώματα, και η αξονική δύναμη στη διατομή ελέγχου σε ακραία υποστυλώματα. Η δύναμη αυτή μπορεί να προέρχεται είτε από φορτίο είτε από προένταση.

A_c είναι το εμβαδόν της διατομής σκυροδέματος, σύμφωνα με τον ορισμό της N_{Ed}

$$V_{Rd,c} \text{ σε [MPa]}$$

$$C_{Rd,c} = 0,18 / \gamma_c = 0,18 / 1,5 = 0,12$$

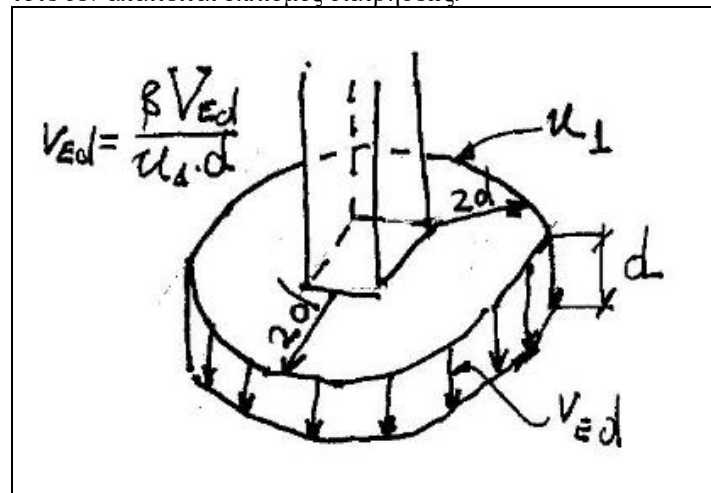
$$k_1 = 0,1$$

$$v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2}$$

Αν η δρώσα τάση διάτρησης, v_{Ed} , στην βασική περίμετρο ελέγχου (βλ. Σχήμα 11) ικανοποιεί την σχέση:

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,c}$$

τότε δεν απαιτείται οπλισμός διάτρησης.



Σχήμα 11: Κατανομή της τέμνουσας στην παράπλευρη επιφάνεια της βασικής περιμέτρου ελέγχου. Η πλάκα μεταβιβάζει κατακόρυφο φορτίο στο υποστύλωμα.

Ειδικώς για τα θεμέλια: τροποποιείται η απόσταση της βασικής περιμέτρου ελέγχου από την φορτίζουσα επιφάνεια (και άρα τροποποιούνται τόσο η δράση όσο και η αντοχή)

Η αντοχή σε διάτρηση των βάσεων των υποστυλωμάτων πρέπει να ελέγχεται σε διάφορες περιμέτρους ελέγχου που απέχουν μέχρι 2d από την περίμετρο του υποστυλώματος και να επιλέγεται η δυσμενέστερη.

Για φόρτιση χωρίς εκκεντρότητα η καθαρή ασκούμενη δύναμη είναι

$$V_{Ed,red} = V_{Ed} - \Delta V_{Ed}$$

όπου:

V_{Ed} είναι η δρώσα τέμνουσα

ΔV_{Ed} είναι η καθαρή δύναμη που δρα προς τα πάνω (την ανωδομή) εντός της θεωρούμενης περιμέτρου ελέγχου, δηλ. η προς τα πάνω εδαφική πίεση μείον το ίδιο βάρος της βάσης του υποστυλώματος.

$$V_{Ed} = V_{Ed,red} / u_d$$

και η τέμνουσα αντοχής τροποποιείται (για να ληφθεί υπόψη ότι ο έλεγχος γίνεται σε απόσταση μικρότερη από 2d)

$$V_{Rd} = C_{Rd,c} k (100 \rho f_{ck})^{1/3} \times 2d / a \geq v_{min} \times 2d / a$$

όπου:

$a = ad$ ($1 \leq a \leq 2$) είναι η απόσταση από την περίμετρο του υποστυλώματος ως την θεωρούμενη περίμετρο ελέγχου

Η τιμή σχεδιασμού της αντοχής σε διάτρηση μιας πλάκας με οπλισμό διάτρησης, $V_{Rd,cs}$. Ο οπλισμός διάτρησης, στην απλούστερη περίπτωση, συνίσταται στην τοποθέτηση κλειστών συνδετήρων σε περιμέτρους ομοιόθετες προς την βασική περίμετρο ελέγχου, οι οποίες περιμέτροι απέχουν μεταξύ-τους ακτινικά απόσταση s_r . Για μια τέτοια τοποθέτηση η αντοχή $V_{Rd,cs}$ δίνεται από την σχέση:

$$V_{Rd,cs} = 0,75 V_{Rd,c} + 1,5 (d / s_r) A_{sw} f_{ywd,ef} (1 / (u_1 d)) \sin \alpha \leq k_{max} V_{Rd,c}$$

όπου:

A_{sw} είναι το εμβαδόν του οπλισμού διάτμησης καταμήκος μιας από τις περιμέτρους γύρω από το υποστύλωμα [mm²]

s_r είναι η αξονική απόσταση των περιμέτρων του οπλισμού διάτμησης [mm] Αν ο οπλισμός τοποθετηθεί σε μία μόνο περίμετρο, τότε ο λόγος d / s_r μπορεί να ληφθεί ίσος προς 0,67

$f_{ywd,ef}$ είναι η ενεργός τιμή σχεδιασμού της αντοχής του οπλισμού διάτρησης, σύμφωνα με τη σχέση $f_{ywd,ef} = 250 + 0.25d < f_{ywd}$ [MPa] (σε μικρού πάχους στοιχεία λαβαίνεται μικρότερη τάση των συνδετήρων)

d είναι ο μέσος όρος των στατικών υψών σε δύο κάθετες διευθύνσεις [mm]

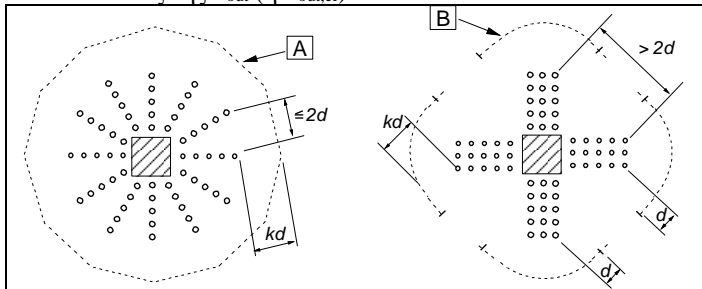
α είναι η γωνία που σχηματίζει ο οπλισμός διάτρησης με το επίπεδο της πλάκας

$k_{max} = 1.50$ συντελεστής, με τον οποίο περιορίζεται η μέγιστη ικανότητα που μπορεί να επιτευχθεί με την τοποθέτηση οπλισμού διάτμησης (αν η τέμνουσα είναι τόσο μεγάλη και απαιτεί μεγάλα ποσοστά οπλισμού, τότε υπάρχει ο φόβος να αστοχήσει το σκυρόδεμα από θλίψη). Αν δεν ικανοποιείται η απαίτηση αυτή, τότε, προφανώς, απαιτείται αλλαγή διαστάσεων,

Αν απαιτηθεί οπλισμός διάτρησης, μέχρι ποιου σημείου θα πρέπει να εκτείνεται ο οπλισμός αυτός? Υπολογίζεται η περίμετρος ελέγχου, u_{out} ή $u_{out,ef}$, για την οποία δεν απαιτείται οπλισμός διατρήσεως, δηλαδή για την οποία η δρώσα τέμνουσα γίνεται ίση με την $v_{Rd,c}$ (Σχήμα 12):

$$u_{out} = \beta V_{Ed} / [v_{Rd,c,d}]$$

Η τελευταία (εξώτερη) περίμετρος στην οποία θα τεθεί οπλισμός διάτμησης πρέπει να βρίσκεται σε μια απόσταση όχι μεγαλύτερη από $1.5d$ εντός της u_{out} (ή $u_{out,ef}$).



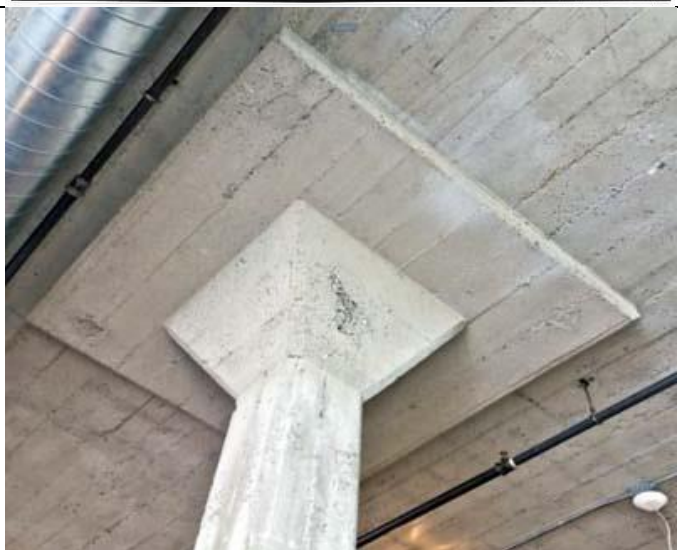
Σχήμα 12: Εξώτατη περίμετρος οπλισμού διάτμησης.

A: Περίμετρος u_{out} , B: Περίμετρος $u_{out,ef}$

8. Φωτογραφίες



Σχήμα 11: Αστοχία διάτρησης σε χώρο στάθμευσης: μια έκταση 15*15m του δώματος κατέρρευσε στις 3.00π.μ. της 20^{ης} Μαρτίου 1997 όταν η αστοχία από διάτρηση ενός υποστυλώματος οδήγησε στην αλυσωτή οκτώ γειτονικών υποστυλωμάτων. Ευτυχώς ο χώρος ήταν κενός και δεν υπήρξαν θύματα. Από το: Jonathan G M Wood, «Pipers Row Car Park, Wolverhampton, Quantitative Study of the Causes of the Partial Collapse on 20th March 1997».



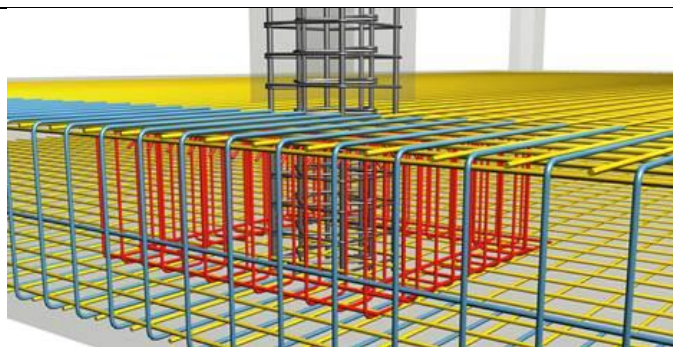
Σχήμα 12: Μυκητοειδής πλάκα. Παρατηρήσατε ότι, εκτός από την διαμόρφωση του πολυγωνικού κιονόκρανου, υπάρχει και περαιτέρω τετραγωνική διαπλάτυνση μεταξύ κιονόκρανου και πλάκας. (Φωτογραφία από το διαδίκτυο)..



Σχήμα 13: Μυκητοειδής πλάκα. Σκεφτείτε το κόστος διαμόρφωσης του κιονόκρανου (Φωτογραφία από το διαδίκτυο)..



Σχήμα 14: Πλάκα χωρίς δοκούς (flat slab) (Φωτογραφία από το διαδίκτυο).



Σχήμα 14: Οπλισμός διατρήσεως με συμβατικούς συνδετήρες.



Σχήμα 15: Οπλισμός διατρήσεως με ήλους διπλής κεφαλής. (Φωτογραφία από το διαδίκτυο)..

