ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΤΟΜΕΑΣ ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΩΣ

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ ΣΠΟΥΔΑΣΤ….

…..……..

Εξέταση στο μάθημα

ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΑΠΟ Ω.Σ.

του 8^{ου} εξ. Πα 23-6-2017

Διάρκεια 3h *Απαντήσατε σε όλα τα ερωτήματα. Επιτρέπεται μόνο η χρήση του Τυπολογίου. Τα κινητά τηλέφωνα πρέπει να είναι απενεργοποιημένα (όχι απλώς σιωπηλά)./*

Ζήτημα 1^{ο} Όπως γνωρίζουμε, μέσω της περισφίγξεως επιτυγχάνεται αύξηση τόσο της θλιπτικής αντοχής (από f_c γίνεται $f_{c,conf}$) όσο και της παραμορφωσιμότητας του σκυροδέματος (από ε_{cu} γίνεται $\varepsilon_{cu,conf}$). Οι σχετικές αυξήσεις δίνονται από τις παρακάτω σχέσεις:

$f_{c,conf} = (1.000+2.50\alpha\omega_w)f_c$ για $\alpha\omega_w < 0.1$

$f_{c,conf} = (1.125+1.25\alpha\omega_w)f_c$ για $\alpha\omega_w \geq 0.1$

$\varepsilon_{cu,conf} = \varepsilon_{cu} + 0.1\alpha\omega_w$

όπου α είναι η απόδοση της περισφίγξεως και ω_w είναι το μηχανικό-ογκομετρικό ποσοστό των συνδετήρων.

α) Για ποιόν λόγο δεν λαμβάνεται υπ’ όψη κατά τον σχεδιασμό η αύξηση της θλιπτικής αντοχής λόγω της περισφίγξεως; (**Βαθμ. 0.0**)

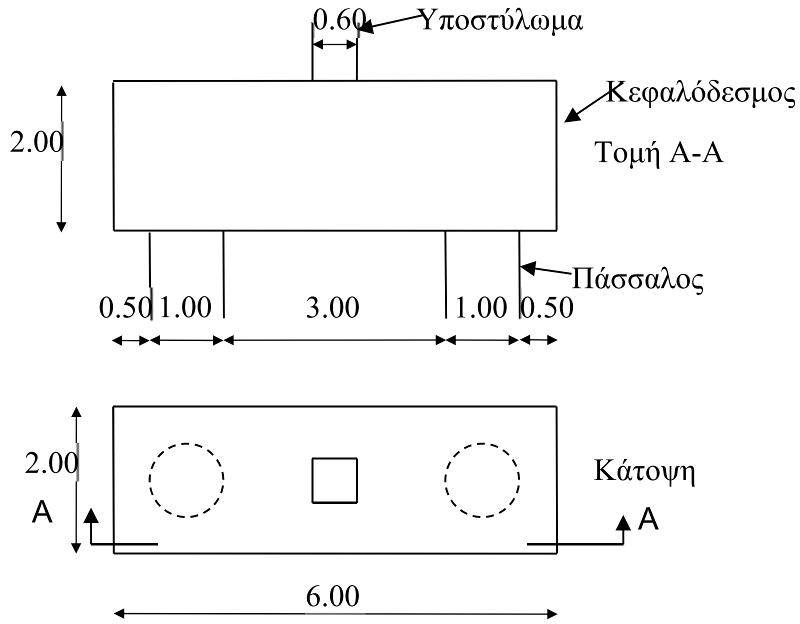
β) Δίδεται κυκλικό υποστύλωμα διαμέτρου 400mm οπλισμένο με 8Φ20 και σπειροειδείς συνδετήρες Φ10/100mm, C16/20, B400C (προσοχή: τετρακόσια όχι πεντακόσια), ονομαστική επικάλυψη συνδετήρων 30mm. Ζητείται να βρείτε την μέγιστη θλιπτική δύναμη που μπορεί να αντέξει το υποστύλωμα (χωρίς κίνδυνο λυγισμού) στην οριακή κατάσταση αστοχίας (χωρίς σεισμό) τόσο αγνοώντας την περίσφιγξη όσο και λαβαίνοντας υπόψη την αύξηση της θλιπτικής αντοχής λόγω της περίσφιγξης (παρά τα περί του αντιθέτου λεγόμενα στο α)). Σχολιάσατε τα αποτελέσματα. (**Βαθμ. 2.5)**

Ζήτημα 2^{ο} Υποστύλωμα διατομής 0.60*0.60m θεμελιώνεται σε δύο κυκλικούς πασσάλους Φ100cm μέσω ενός κεφαλόδεσμου όπως στο σχήμα.

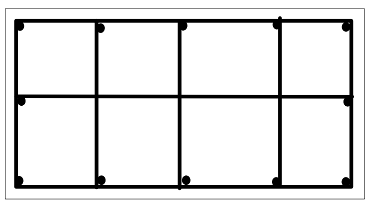
Σχεδιάσατε το απλούστερο προσομοίωμα θλιπτήρα-ελκυστήρα (στην τομή και στην κάτοψη). (**Βαθμ.0.2**)

Να βρείτε το μέγιστο φορτίο του υποστυλώματος το οποίο προκαλεί αστοχία του θλιπτήρα. Το πάχος h του θλιπτήρα να το λάβετε ίσο προς 0.50m ενώ για το πλάτος b του θλιπτήρα να το λάβετε ίσο προς 0.60m, την θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος του θλιπτήρα να την θεωρήσετε ίση με την θλιπτική αντοχή σκυροδέματος υπό εγκάρσιο εφελκυσμό. C25/30. (**Βαθμ. 0.9**)

Αν μελετούσατε τον κεφαλόδεσμο ως έναν ραβδόορφο φορέα, πόση θα ήταν η $V_{Rd,max}$? (**Βαθμ. 0.4**)



Ζήτημα 3^{ο} Ένα υποστύλωμα με διατομή 300x800 [mm^2] έχει συνδετήρες και συνδέσμους ∅10/100 [mm]. Καθαρή επικάλυψη συνδετήρων 25mm. Είναι γνωστό ότι για να έχουμε ικανοποιητική περίσφιγξη θα πρέπει οι οριζόντιες τάσεις περίσφιγξης και στις δύο διευθύνσεις να είναι περίπου ίσες. Ισχύει η απαίτηση αυτή για την διατομή αυτή του υποστυλώματος; Αν όχι, ποια στοιχεία του οπλισμού περίσφιγξης θα μεταβάλατε και πώς; (**Βαθμ. 1.5**)



Συνεχίζεται στην πίσω σελίδα

Συνέχεια από την πίσω σελίδα

Ζήτημα 4ο. Για τον φορέα του σχήματος δίδονται:

- Φορτίσεις (χαρακτηριστικές τιμές):
  - Ομοιόμορφο κατανεμημένο φορτίο σε όλο το μήκος του ζυγώματος: μόνιμο g_k=35.0kN/m (περιλαμβάνει το ι.β. του ζυγώματος) και κινητό q_k=15.0kN/m,
  - Συγκεντρωμένα φορτία στους άξονες των στύλων: P_{Gk}=350kN (περιλαμβάνεται το ι.β. του στύλου), P_{Qk}=175kN,
- Υλικά C30/37, B500C. Επικάλυψη συνδετήρων 30mm.

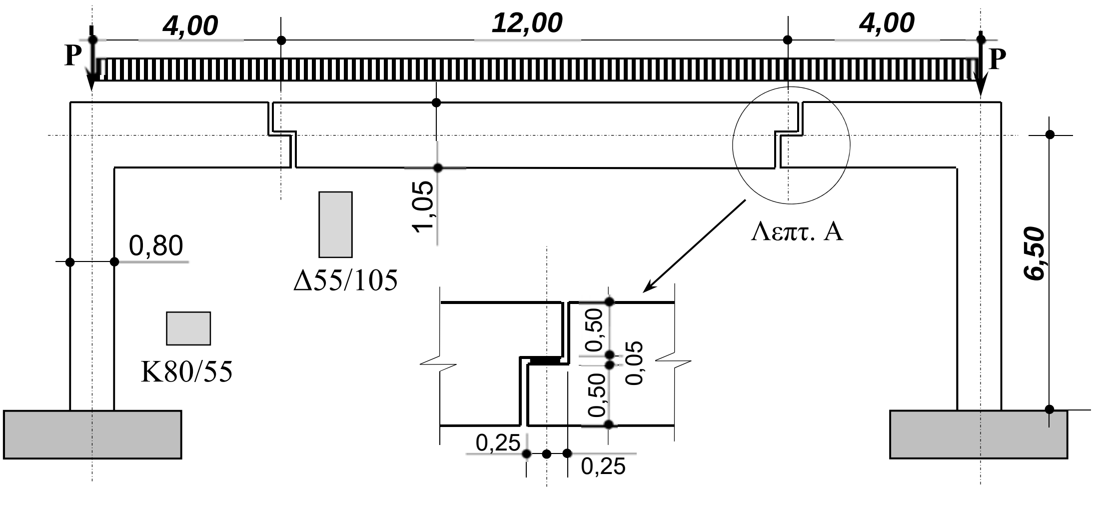
Ζητούνται:

α) Να υπολογισθεί ο απαιτούμενος διαμήκης οπλισμός του στύλου λαμβάνοντας υπόψη τα φαινόμενα παραμορφώσεων δευτέρας τάξεως, εφαρμόζοντας τη μέθοδο ονομαστικών καμπυλοτήτων (μέθοδος προτύπου υποστυλώματος). (Να μην χρησιμοποιηθούν τα ειδικά διαγράμματα αλληλεπιδράσεως λυγισμού, αλλά αν επιθυμείτε μπορείτε να χρησιμοποιήσετε τα κοινά διαγράμματα αλληλεπιδράσεως). Να μην ληφθούν υπόψη: γεωμετρικές ατέλειες και αθέλητες εκκεντρότητες, το φαινόμενο του ερπυσμού, λοιπές κατασκευαστικές απαιτήσεις περί ελαχίστων οπλισμών, μεγίστων αποστάσεων ράβδων κλπ.). Ο οπλισμός να δειχθεί σε κατάλληλα σκαριφήματα.

β) Για την όπλιση που αποφασίσατε στο α) να ελεγχθεί γραφικά η επάρκεια της όπλισης. ***Υπόδειξη:*** Να υπολογίσετε το διάγραμμα ροπών καμπυλοτήτων από το σημείο διαρροής (M_y, $1/R_y$) (απαιτούνται δοκιμές). Την καμπυλότητα αστοχίας δεν χρειάζεται να την υπολογίσετε διότι δεν είναι καθοριστική.

γ) Να υπολογισθεί γραφικά το μέγιστο οριακό κινητό φορτίο που μπορεί να αναλάβει το ζύγωμα, αγνοώντας συντηρητικά την επακόλουθη μεταβολή στην αξονική δύναμη του υποστυλώματος. Γιατί σας προτείνετε η προηγούμενη συντηρητική αγνόηση;

Ό,τι δεν δίνεται θα επιλεγεί ευλόγως από τον Μελετητή. (**βαθμ. 4.5**)



Λεπτομέρεια Α

Απαντήσεις.

Ζήτημα 1ο α) Το περισφιγμένο σκυρόδεμα αστοχεί σε παραμορφώσεις πολύ μεγαλύτερες του απερίσφικτου σκυροδέματος (>3.5‰), κατά συνέπεια η επικάλυψη (απερίσφικτο σκυρόδεμα) θα εκτιναχθεί (αποφλοίωση). Αρα θα έχουμε ένα υποστύλωμα με αυξημένη μεν αντοχή, αλλά με μειωμένη αντοχή. Αρα για την αντιστάθμιση της αποφλοιώσεως υπολογίζουμε με την αρχική (μη αποφλοιωμένη) διατομή αλλά με την αντοχή του απερίσφικτου σκυροδέματος. (**βαθμ. 0.0**)

Το ερώτημα, παρόλο που έχει μηδενική βαθμολογική βαρύτητα, δόθηκε για να βοηθήσει τον Σπουδαστή να σκεφτεί ότι στο επόμενο ερώτημα στην αντοχή του περισφιγμένου σκυροδέματος πρέπει να ληφθεί η απομειωμένη (αποφλοιωμένη) διατομή και όχι ολόκληρη η διατομή. Το περίεργο είναι ότι ενώ πολλοί Σπουδαστές απάντησαν σωστά στο ερώτημα αυτό, στο επόμενο ερώτημα με την περίσφιγξη έλαβαν υπόψη-τους ολόκληρη την διατομή!

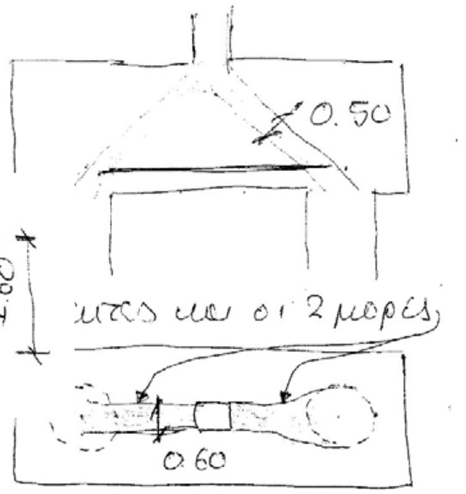
β) Χωρίς περίσφιγξη: *Η μέγιστη αξονική δύναμη θα προκύψει για κεντρική θλίψη (M=0).*
$N_{max}=A_s f_{yd}+A_c f_{cd}=8*3.14*34.8+3.14*0.40^2/4*(0.85*16000/1.5)=874+1139=$**2013kN** *(βαθμ. 0.7)*

Σημείωση: α) Ο *χάλυβας είναι B400 και άρα έχει διαρρεύσει (ε_y=1.74‰) στο 2.0‰ που είναι η παραμόρφωση αστοχίας του απερίσφικτου σκυροδέματος σε κεντρική θλίψη.* ***β)*** *Παρόλο που η περίσφιγξη «θυμίζει» σεισμό στην εκφώνηση είπαμε χωρίς σεισμό). Πάντως ας είμαστε ελαστικοί με όσους δεν έλαβαν το 0.85.* ***γ)*** *Η απάντηση μέσω διαγράμματος αλληλεπιδράσεως δεν είναι δεκτή (μηδενίζεται το ερώτημα) διότι τα δ/τα είναι για χάλυβα B500. Είναι επικίνδυνη η άκριτη χρήση διαγραμμάτων όταν δεν ισχύουν οι παραδοχές με τις οποίες έχουν συνταχθεί.*

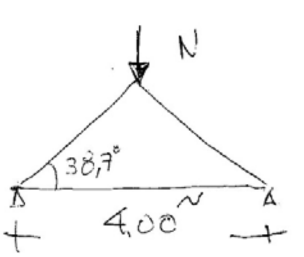
Με περίσφιγξη: Πυρήνας (μέσον συνδετήρα): D_0=400-2*30-2*(10/2)-330mm
α_n=1.00,
α_s=1-s/[2D_0]= 1-100/[2*330]=0.848 (σπειροειδείς συνδετήρες και όχι κυκλικοί συνδετήρες)
ω_w=[0.785*3.14*33*348]/[3.14*33^2/4*10*9070]=0.365
$\alpha\omega_w$=0.848*0.365=0.31>0.1
Αρα f_{conf}=[1.125+1.25*0.31]*9.07=1.52*9.07=13.81MPa (52% αύξηση της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος)
ε_{conf}=3.5‰+0.1$\alpha\omega_w$=3.5‰+0.1*0.31=34.5‰ !! (μεγάλη αύξηση. Πάντως δεν μας χρειάζεται αυτό το μέγεθος εδώ).
Προσοχή ως επιφάνεια του σκυροδέματος θα λάβουμε τώρα το εμβαδόν του πυρήνα: $A_{c,core}$=[33/40]^2A_c=0.68A_c (32% μείωση της επιφάνειας του σκυροδέματος)
$N_{max,conf}=A_s f_{yd}+A_c f_{cd}=8*3.14*34.8+3.14*0.33^2/4*13810=874+1181=$**2055kN** *(βαθμ. 1.8)*

Πρακτικώς δεν είχαμε αλλαγή: διότι η μεν συμβολή του χάλυβα δεν επηρεάζεται, η δε συμβολή του σκυροδέματος (αύξηση αντοχής *1.52, μείωση επιφάνειας *0.68 άρα 1.52*0.68=1.03) επίσης δεν άλλαξε ουσιαστικά.

Ζήτημα 2ο
α) Στην πραγματικότητα οι θλιπτήρες δεν θα είναι πρισματικοί, αλλά δεχόμαστε και τις δύο εκδοχές (βλ τους δύο θλιπτήρες στην κάτοψη) ***(βαθμ. 0.2)***



β) Από τις διαστάσεις του φορέα εκτιμώ τις διαστάσεις του προσομοιώματος: μήκος περίπου 4.00m και ύψος περίπου 1.60m (για το ύψος δεκτές τιμές και από 1.5 έως κάτι λιγότερο από 2.0m), πάντως όχι 2.00m.
Γωνία δικτυώματος: α=tan^{-1}(1.6/2.0)=38.7^o
Θλιπτική δύναμη sinα*Fc=0.5N άρα Fc=0.8N.
Εξάλλου η αντοχή του θλιπτήρα είναι $F_{Rd}=A_c*f_c^*$,



όπου η θλιπτική αντοχή σκυροδέματος υπό εγκάρσιο εφελκυσμό (δηλαδή η αντοχή του σκυροδέματος υπό διαξονική ένταση, βλ. και κεφάλαια διάτμησης, στρέψης) $f_c^*=\nu_1 f_{cd}=0.6(1-f_{ck}/250)\ f_{cd}=0.6(1-25/25)*25/1.5=9.0MPa$ άρα:
$F_{Rd}=A_c*f_c^*=0.50*0.60*9000=2700kN$

Αρα $F_c = F_{Rd}$ $0.8N_d=2700$, <u>$\mathbf{N_d=3375kN}$</u> ***(βαθμ. 0.9)***

γ) $V_{Rd,max}=0.5b_w z\nu_1 f_{cd}\sin 2\theta$

$b_w=2.00m$,

$z=0.9d=0.9(2.00-0.20^{\sim})=1.62m$

$\nu_1 f_{cd}=9.0MPa$

θ συνήθως το λαμβάνουμε 45^o αλλά αν θέλαμε να είμαστε συνεπείς και με το συγκεκριμένο προσομοίωμα θα παίρναμε 38.7^o. (Δεκτές και οι δύο τιμές)

$V_{Rd,max}=0.5*2.00*1.62*9000*\sin(2*38.7)=$<u>**14228kN**</u> (συγκρινόμενη με την N/2) ***(βαθμ. 0.2)***

Ζήτημα 3° α) Για να είναι ίσες οι περισφίγξεις θα πρέπει τα γεωμετρικά ποσοστά των συνδετήρων κατά τις δύο διευθύνσεις (και ομοιόμορφα κατανεμημένα στην περίμετρο). Εδώ, προφανώς στην διεύθυνση x έχουμε περισσότερους συνδετήρες από ότι στην διεύθυνση y: πράγματι

$\rho_x=3*0.785/[24*100]=0.98‰$

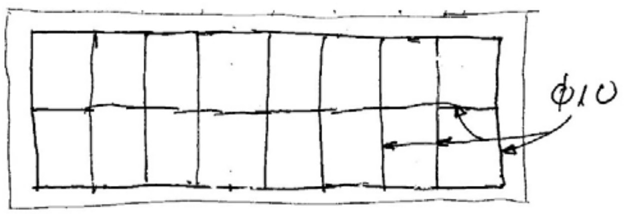
$\rho_y=5*0.785/[74*100]=0.53‰$

Αρα δεν είναι ίσες οι τάσεις περίσφιγξης ***(βαθμ. 0.7)***

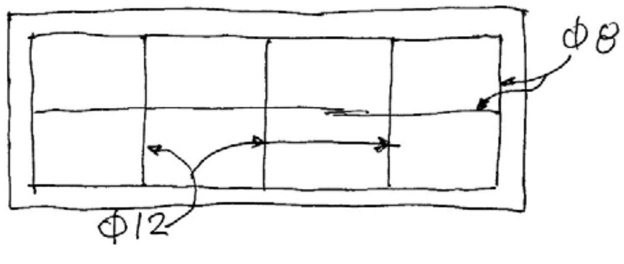
Σημείωση: Η αναγωγή έγινε στην διάσταση του πυρήνα αφαιρώντας 2*[25+10/2]=60mm από κάθε πλευρά.

β) *Προκειμένου να πετύχουμε ισότητα των περισφίγξεων θα πρέπει ή να μειώσουμε το* ρ_x ή/και να αυξήσουμε το ρ_y.
Είναι προφανές ότι υπάρχει απειρία λύσεων με την οποία μπορούμε να πετύχουμε $\rho_x=\rho_y$.
Π.χ.

- Μπορούμε, κρατώντας σταθερή την διάμετρο, να αυξήσουμε τους συνδέσμους της διεύθυνσης y έτσι ώστε: 3/24=n/74 δηλαδή να θέσουμε n=9.25~9 σκέλη όποτε θα είναι
  $\rho_x=3*0.785/[24*100]=0.98‰$
  $\rho_y=9*0.785/[74*100]=0.95‰$



- Εναλλακτικά, αν θέλουμε να κρατήσουμε την γεωμετρία των συνδετήρων και συνδέσμων, μπορούμε να τοποθετήσουμε περιμετρικό συνδετήρα Φ8, σύνδεσμο κατά x Φ8 και συνδέσμους κατά y 3Φ12 οπότε είναι
  $\rho_x=3*0.5/[24.2*100]=0.62‰$
  $\rho_y=[2*0.5+3*1.13]/[74.2*100]=0.59‰$
  Σημείωση: Η αναγωγή έγινε στην διάσταση του πυρήνα αφαιρώντας 2*[25+8/2]=58mm από κάθε πλευρά.



Δεκτές όλες οι λύσεις που ακολουθούν αυτή την λογική. ***(βαθμ. 0.8)***

Ζήτημα 4° βλ. συνημ.

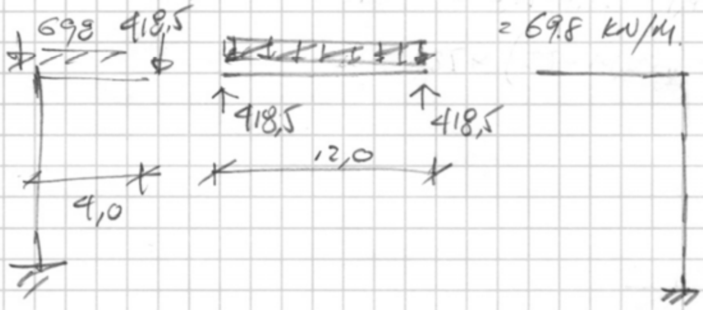
Πρόταση βαθμολογίας: **α) 2.2 (εκ των οποίων 0.2 για το σκαρίφημα της όπλισης)**
β) 1.5
γ) 0.8

Επίλυση:

$g_k = 35,0$ kN/m $q_k = 15,0$ kN/m

φορτίο σχάρας $w = 1,35 \times 35 + 1,50 \times 15 =$

$= 69,8$ kN/m.



Επί πλέον

$P = 1,35 \times 350 +$
$1,50 \times 175 =$
$= 735$ kN.

άρα τελικό φορτίο στον πρόβολο 1m ζώνης

$P_1 = 735 + 418,5 + 69,8 \times 4,0 = 1433 \text{ kN} = P_1$

$M_1 = 418,5 \times 4,0 + 69,8 \times 4 \times 2,0$

$M_1 = 2232,4$ kNm.

$e_1 = \dfrac{2232,4}{1433} = 1,56$ m.

$l = 6,50$ m.

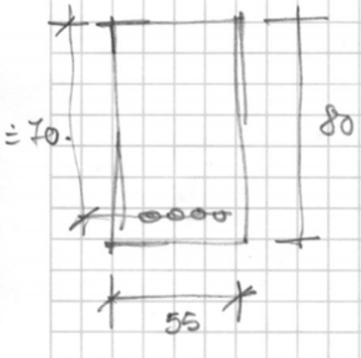
$l_0 = 2l = 13,0$ $\lambda = \dfrac{13,0}{1/\sqrt{12} \cdot 0,8} = 56,0$

$e_i = 0.$

Μέθοδος ισοδ. προβόλου: $e_2 \doteq \left(\frac{1}{r}\right)_y \dfrac{l_0^2}{\pi^2}$

$\left(\frac{1}{r}\right)_y = K_r \cdot K_\varphi \cdot \left(\frac{1}{r_0}\right)$

$\dfrac{1}{r_0} = \dfrac{\varepsilon_{yd}}{0,45d} = \dfrac{0,00217}{0,45 \cdot 0,70} = 0,0069 \ 1/m$



$K_\varphi = 1 + \beta\varphi_{ef} \geq 1,0$ ⊕

$\beta = 0,35 + \dfrac{30}{200} - \dfrac{56}{150} = 0,127.$

$K_\varphi = 1 + (0,127) \cdot 2,0 = 1,25$

$K_r = 1,0$ (συντηρητικά) (max).

$\therefore \left(\frac{1}{r}\right) = (1,0)(1,25)(0,0069) = 0,0086$ 1/m.

$e_2 = (0,0086) \dfrac{(13,0)^2}{\pi^2} = 0,148$ m.

⊕ Δεχόμαστε και $K_\varphi = 1,0$

$M_2 = N_d \cdot e_2 = 1433 \times 0{,}148 = 211{,}7$ kNm.

$M_{sd} = 211{,}7 + 2232 = 2444$ kNm. $N = 1433$ kN.

$\mu_{sd} = \dfrac{2444}{0{,}55 \cdot 0{,}80^2 \cdot 17000} = 0{,}41$

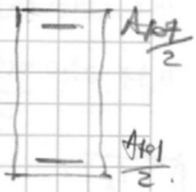
$f_{cd} = \dfrac{0{,}85 \times 30}{1{,}50} = 17$ MPa

$f_{yd} = 434{,}8$ MPa.

$\nu_d = \dfrac{1433}{0{,}55 \cdot 0{,}80 \cdot 17000} = 0{,}19$

$d_1/h = 10/80 = 0{,}12^5$

Τυπολόγιο, σελ. 9-10 ($d_1/h = 0{,}10$ κ $0{,}15$ μέση τιμή)



σελ. (9) → $\omega_{tot} \approx 0{,}82$

(10) $\omega_{tot} = 0{,}94$

$\omega_{tot} = 0{,}88$

$\dfrac{A_{tot}}{2} = 0{,}88 \cdot \dfrac{1}{2} \cdot 55 \cdot 80 \cdot \dfrac{17}{434{,}8} =$

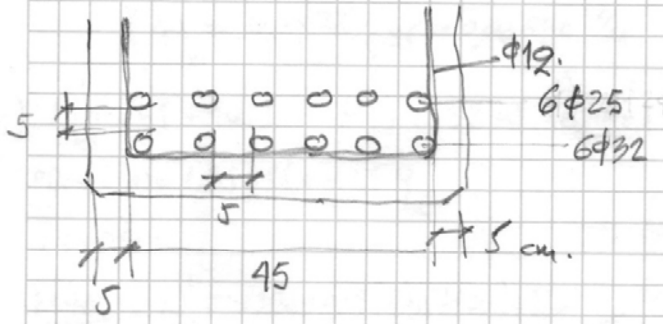
$= 76$ cm²

τίθενται 16φ25 ανά πλευρά.

8φ25 ανά στρώση.

(εναλλακτικά 6φ25 + 6φ32).

$= 77{,}4$ cm² $\rho_{tot} = 3{,}5‰$ ✓



τελικό

$d \approx 80 - 5{,}0 - 3{,}2 - 2{,}5$

$= 69{,}3 \approx 70$ ✓

ΣΗΜ: για $k_\varphi = 1{,}0$ $(1/r) = 0{,}0069$ 1/m ⇒ $e_2 = 0{,}118$ m.

$M_2 = 169$ kNm ⇝ $M_{sd} = 2401$ kNm ⇝ $\mu_{sd} = 0{,}40$.

⇝ $\omega_{tot} = \left(\dfrac{0{,}80 + 0{,}96}{2}\right) = 0{,}88$ $\dfrac{A_{tot}}{2} = 75{,}7$ cm²

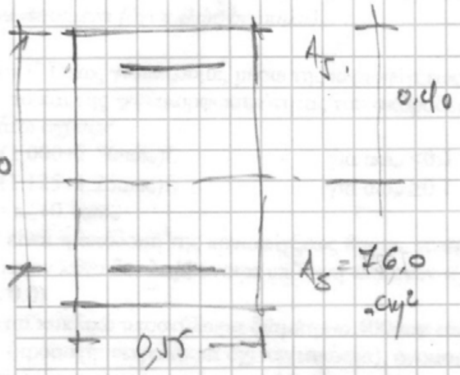
⇝ $\left\{\begin{array}{l} 16φ25\ (8+8φ25) \text{ είτε} \\ 6φ25+6φ32 \end{array}\right.$

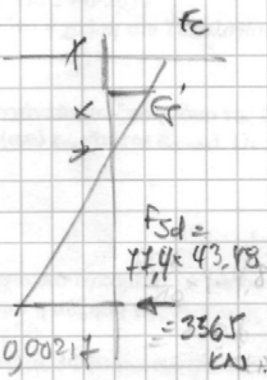
100 JAHRE DIN 1917–2017

β) Έλεγχος. Ζητείται η ροπή διαρροής

$f_{cd} = 17\ MPa$

Δοκιμές.





$x = 0,70 \cdot \dfrac{\epsilon_c}{\epsilon_c + 0,00217}$

$F_{cd} = a \cdot 0,55 \cdot x \cdot 17000$

$\epsilon_s' = \dfrac{\epsilon_c}{x}(x - 0,10)\ kN$

$F_s' = \dfrac{200000 \cdot \epsilon_s'}{10} \cdot 77,4$

	ϵ_c	x	a	F_{cd}	ϵ_s'	F_s'	ΣF_{int}	N'' 1433
1)	0,0012	0,25	0,48	1122	0,00072	1114	−1128	
2)	0,0017	0,31	0,61	1768	0,00115	1782	185	
3)	0,00225	0,356	0,705	2346	0,00162	2504	1485	≐ N_d.

$\to \delta' = 0,382$

$M_{rd} = 2346(0,4 - 0,382 \cdot 0,35) + (2504 + 3365) \cdot 0,3 = 2380$

$\left(\frac{1}{r}\right)_{yd} = 0,00225/0,35 = 0,00630\ 1/m$ $\quad e_2 = 0,\frac{13^2}{\pi^2} = 0,108\ m$.

γ) $N_{sd}' = 735 + 10\omega$ $\quad M_{sd}' = 32\omega = e_1 \cdot N_{sd}$ $\quad \to$ Ερώτημα (β)

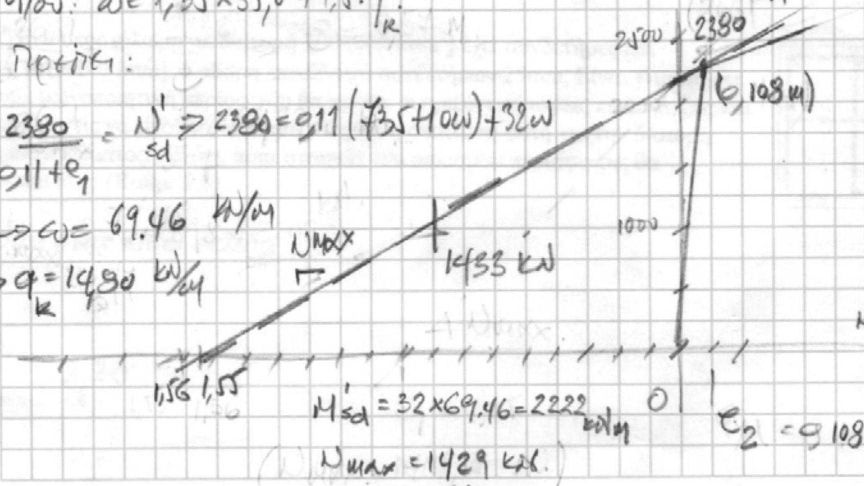
όπου: $\omega = 1,35 \times 35,0 + 1,5 \cdot q_k$

Πρέπει:

$\dfrac{2380}{0,11 + e_1} = N_{sd}' \Rightarrow 2380 = 0,11(735 + 10\omega) + 32\omega$

$\to \omega = 69.46\ kN/m$

$\to q_k = 14.80\ kN/m$



$\Delta M_{sd} = 1433 \cdot 0,108 = 154.\ kNm$

$M_{sd} = 2232 + 154 = 2387\ kNm$

$M_{sd} \doteq 2380\ kNm$

$M_{sd}' = 32 \times 69.46 = 2222\ kNm$

$N_{max} = 1429\ kN.$

$e_1 = 1,55\ m$

$e_2 = 0,108$

e_2