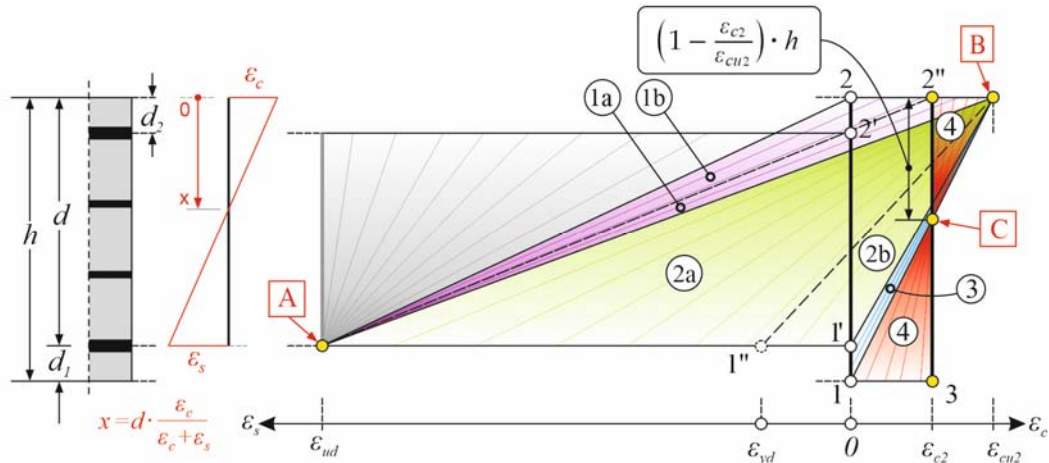
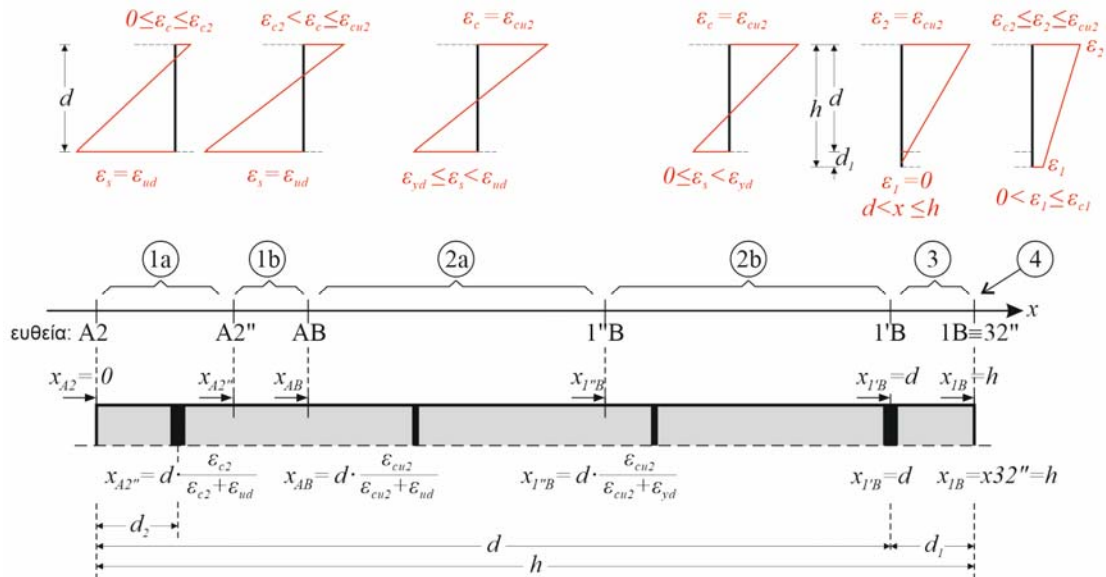


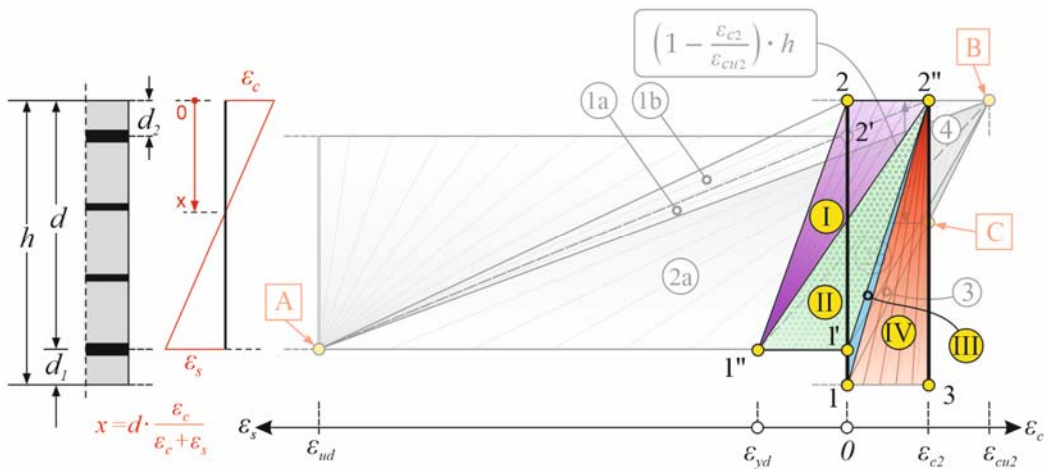
ΕΛΑΣΤΙΚΗ ΚΑΙ ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΤΑ ΚΑΝ.ΕΠΕ ΒΑΣΕΙ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ m



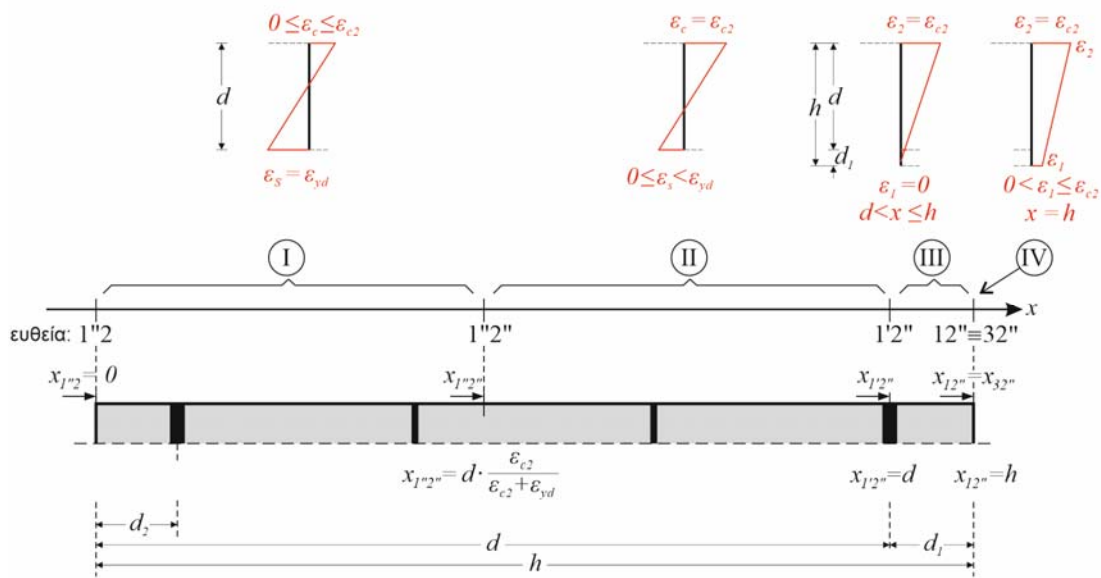
Εικόνα Α.1: Επιτρεπόμενες κατανομές παραμορφώσεων στην οριακή κατάσταση αστοχίας



Εικόνα Α.2: Οι οριακές περιοχές των παραμορφώσεων και η δημιουργία των αντίστοιχων θλιβόμενων περιοχών σε κατάσταση αστοχίας.



Εικόνα Α.3: Επιτρεπόμενες κατανομές παραμορφώσεων στην οριακή κατάσταση ελαστικότητας



Εικόνα Α.4: Οι οριακές περιοχές των παραμορφώσεων και η δημιουργία των αντίστοιχων θλιβόμενων περιοχών σε κατάσταση ελαστικότητας.

Ο δείκτης m του ΚΑΝ.ΕΠΕ αναφέρεται στη σχέση της κατάστασης αστοχίας με την οποία γίνονται οι διαστασιολογήσεις και της κατάστασης ελαστικότητας με την οποία γίνονται οι αναλύσεις. Το λογισμικό riDesign της εταιρίας μας, που παρέχεται δωρεάν για download από το site μας www.buildinghow.com, όπως και όλα τα σχετικά διεθνή λογισμικά κάνουν διαστασιολόγηση σε κατάσταση αστοχίας.

Αυτό που κάνουμε εμείς είναι να υπολογίζουμε με ακρίβεια όχι μόνο τη κατάσταση αστοχίας αλλά και τη κατάσταση ελαστικότητας.

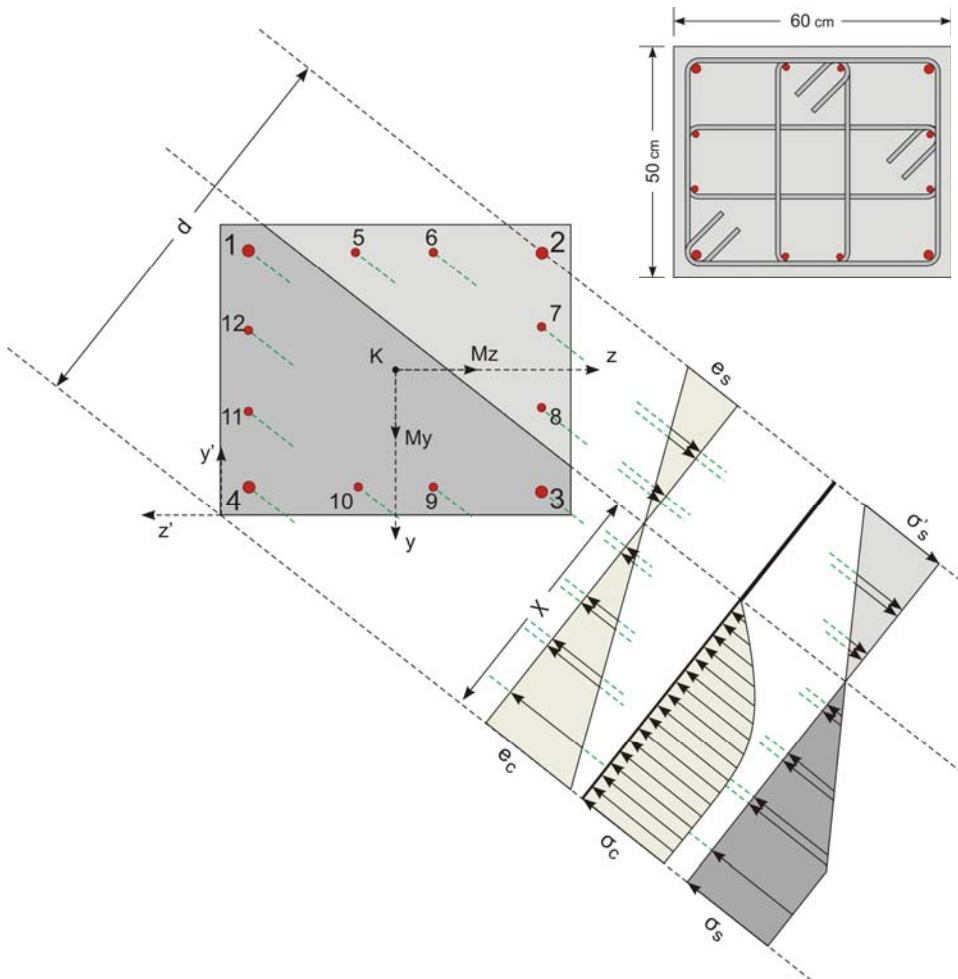
Αυτά που πρέπει να υπολογιστούν είναι οι καμπυλότητες αστοχίας $\varphi_{d,F}$ και ελαστικότητας $\varphi_{d,E}$. Τότε η πλαστιμότητα καμπυλοτήτων μ_d θα είναι $\mu_d = \varphi_{d,F} / \varphi_{d,E}$

Ως γνωστόν $\varphi_d = (\varepsilon_c + \varepsilon_s) / d$, και στις δύο καταστάσεις άρα το κλειδί είναι σε κάθε κατάσταση να βρεθούν οι παραμορφώσεις χάλυβα και σκυροδέματος. Η προσαρμογή που έχει γίνει στους αλγόριθμους της διαστασιολόγησης ενσωματώνονται στο HoloBIM αλλά και στο riDesign για να μπορεί να επιβεβαιωθεί η επιστημονικότητα της μεθόδου και εν τέλει του τελικού προϊόντος.

Στη συνέχεια παρατίθενται οι βασικές έννοιες της διαστασιολόγησης σε αστοχία όπως καταγράφονται στο riDesign και αμέσως μετά δίνεται η τεχνική με την οποία τροποποιούνται οι παράμετροι και τότε λειτουργεί η κατάσταση ελαστικότητας.

Στο τέλος δίνονται παραδείγματα με το riDesign.

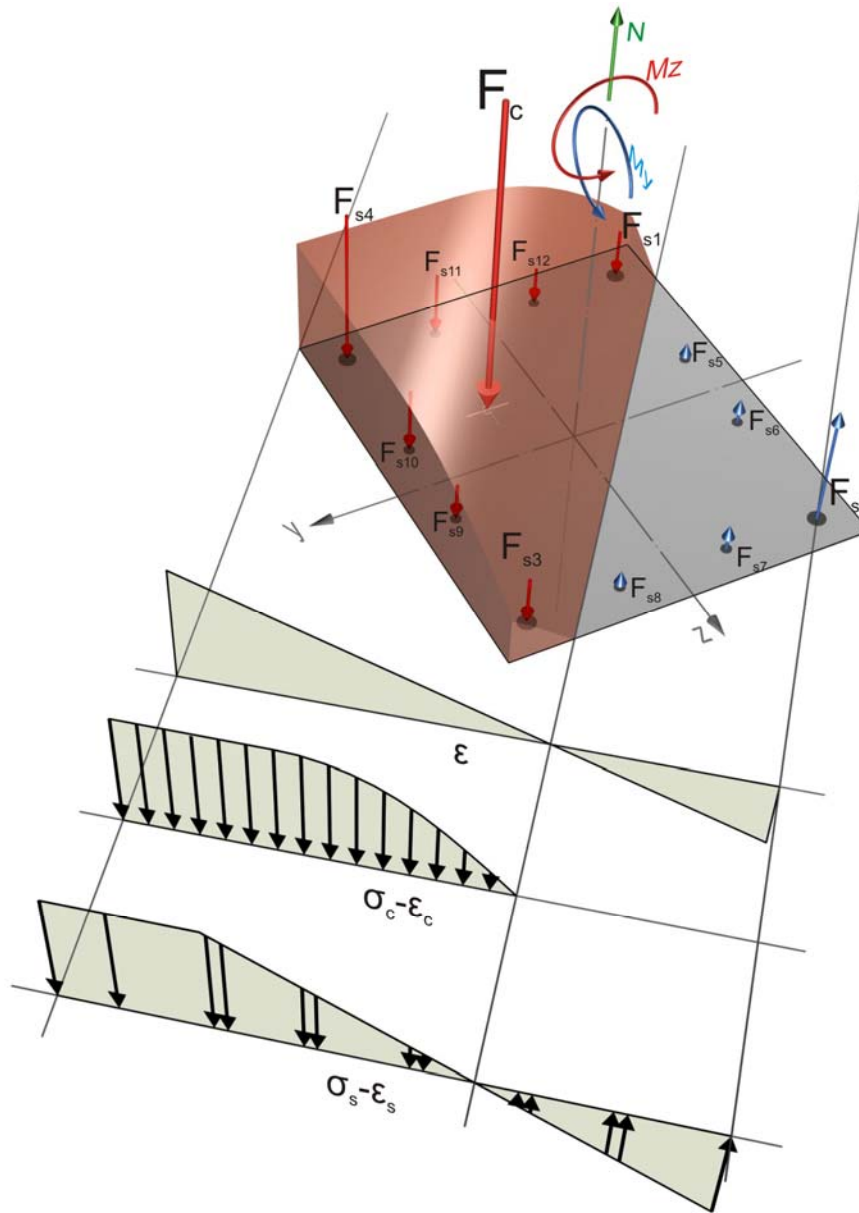
Στο επόμενο σχήμα φαίνεται η διατομή ενός αντισεισμικού υποστυλώματος που είναι οπλισμένο με 3 συνδετήρες σχήματος σταυρού, στις κορυφές των οποίων υπάρχουν ράβδοι χάλυβα. Κατά μήκος της ουδέτερης γραμμής οι παραμορφώσεις είναι μηδενικές, ενώ όλα τα άλλα σημεία της διατομής έχουν παραμορφώσεις, θετικές ή αρνητικές.



Διατομή υποστυλώματος υπό διαξονική κάμψη

Όπου υπάρχει χάλυβας υπάρχουν τάσεις, εφελκυστικές όταν είναι θετικές οι παραμορφώσεις και θλιπτικές όταν είναι αρνητικές οι παραμορφώσεις. Οι τάσεις αυτές δίνουν στο κέντρο κάθε ράβδου μία δύναμη F_{si} . Οι εφελκυστικές τάσεις δίνουν εφελκυστικές δυνάμεις που συμβολίζονται με Θ και οι θλιπτικές τάσεις δίνουν θλιπτικές δυνάμεις που συμβολίζονται με Φ

Στην εφελκυσόμενη περιοχή της διατομής δεν υπάρχουν καθόλου τάσεις επί του σκυροδέματος, ενώ στη θλιβόμενη περιοχή της διατομής υπάρχουν παντού θλιπτικές τάσεις (και στο σκυρόδεμα και στους οπλισμούς). Οι θλιπτικές τάσεις επί του σκυροδέματος δίνουν τη συνισταμένη θλιπτική δύναμη F_c του σκυροδέματος.



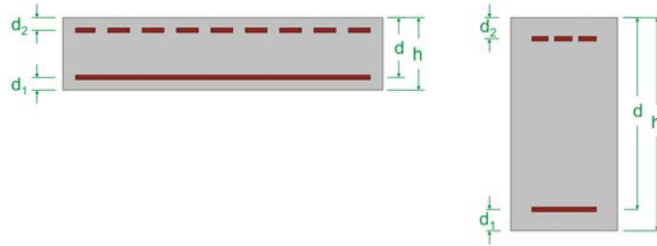
Οι εσωτερικές δυνάμεις (F_c, F_{si}) εξισορροπούν τις εξωτερικές (N, M_y, M_z)

Οι εσωτερικές δυνάμεις της διατομής F_c και F_{si} δίνουν μία ένταση στο Κ.Β. της διατομής N_{in}, M_{yin}, M_{zin} , όπου $N_{in} = F_c + \Sigma(F_{si})$, $M_{yin} = -z_c + \Sigma(F_{si} * z_i)$ και $M_{zin} = F_c * y_c + \Sigma(F_{si} * y_i)$.

Αν η εξωτερική ένταση που εξασκείται στη διατομή είναι N, M_y, M_z τότε οι τρεις συνθήκες ισορροπίας που πρέπει να ικανοποιούνται είναι: $N_{in} = N, M_{yin} = M_y, M_{zin} = M_z$

Οι αλγόριθμοι που υπολογίζουν τον αναγκαίο οπλισμό σε μία διατομή πρέπει να ξέρουν από την αρχή την κατανομή του οπλισμού.

Στις περιπτώσεις των πλακών και των δοκών είναι γνωστή η θέση των ράβδων η οποία λαμβάνεται σε απόσταση d_1 και d_2 από την πάνω και την κάτω ίνα της διατομής.



Οι οπλισμοί στις πλάκες και τις δοκούς θεωρούνται διανεμημένοι

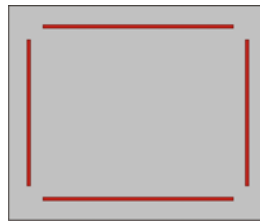
Στην περίπτωση όμως των υποστυλωμάτων, η κατανομή του οπλισμού δεν είναι εξ' αρχής γνωστή. Εξαρτάται από την ανάγκη σε οπλισμό, από την ανάγκη σε τμήσεις συνδετήρων και άλλους παράγοντες. Στο παραπάνω παράδειγμα του υποστυλώματος, δεν είναι γνωστό εξ' αρχής αν στις 4 γωνίες του υποστυλώματος θα τοποθετηθούν ράβδοι μεγαλύτερης διαμέτρου (π.χ. Φ25) απ' ότι στις 8 εσωτερικές γωνίες του σταυρού των συνδετήρων (π.χ. Φ20).

Στα υποστυλώματα, οι δύο οριακές κατανομές του οπλισμού είναι: η θεώρηση του οπλισμού στις γωνίες και η θεώρηση του οπλισμού ομοιόμορφα σε όλες τις πλευρές.

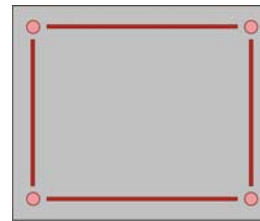
Θεώρηση κατανομής του οπλισμού σε υποστυλώμα



(α) μόνο σημειακή κατανομή
(dis=0.0)



(β) μόνο διανεμημένη κατανομή (dis=1.0)



(γ) μικτή, σημειακή και διανεμημένη κατανομή
(0.0 < dis < 1.0)

Παρατήρηση: όπως φαίνεται στα παραδείγματα του υποστυλώματος K1 στην § 8.4, η (α) κατανομή δίνει αναγκαίο οπλισμό $A_{s,cal}=39.16cm^2$, η (β) κατανομή για $dis=1.0$ $A_{s,cal}=49.92cm^2$ και η (γ) κατανομή για $dis=0.50$ $A_{s,cal}=21.85+21.85=43.70cm^2$.

A. Η Δύναμη που αναλαμβάνει το σκυρόδεμα

Η τιμή της θλιπτικής αντοχής σχεδιασμού του σκυροδέματος ορίζεται ως:

$$f_{cd} = \alpha_{cc} f_{ck} / \gamma_C$$

όπου:

γ_C είναι ο μερικός συντελεστής ασφαλείας για το σκυρόδεμα (συνήθως 1.50) και
 α_{cc} είναι συντελεστής που συνεκτιμά μακροχρόνιες επιδράσεις στην θλιπτική αντοχή και δυσμενείς επιρροές που προκύπτουν από τον τρόπο με τον οποίο επιβάλλεται το φορτίο. Η συνιστώμενη και Εθνική τιμή είναι $\alpha_{cc}=1.00$

π.χ. για σκυρόδεμα C30 είναι $f_{cd}=1.0*30/1.50=20.0\text{MPa}$

Για το σχεδιασμό διατομών χρησιμοποιείται η ακόλουθη σχέση τάσεων-παραμορφώσεων, βλ. επόμενο σχήμα (η θλιπτική παραμόρφωση εμφανίζεται θετική):

$$\sigma_c = f_{cd} \left[1 - \left(1 - \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{c2}} \right)^n \right] \quad \text{για } 0 \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_{c2}$$

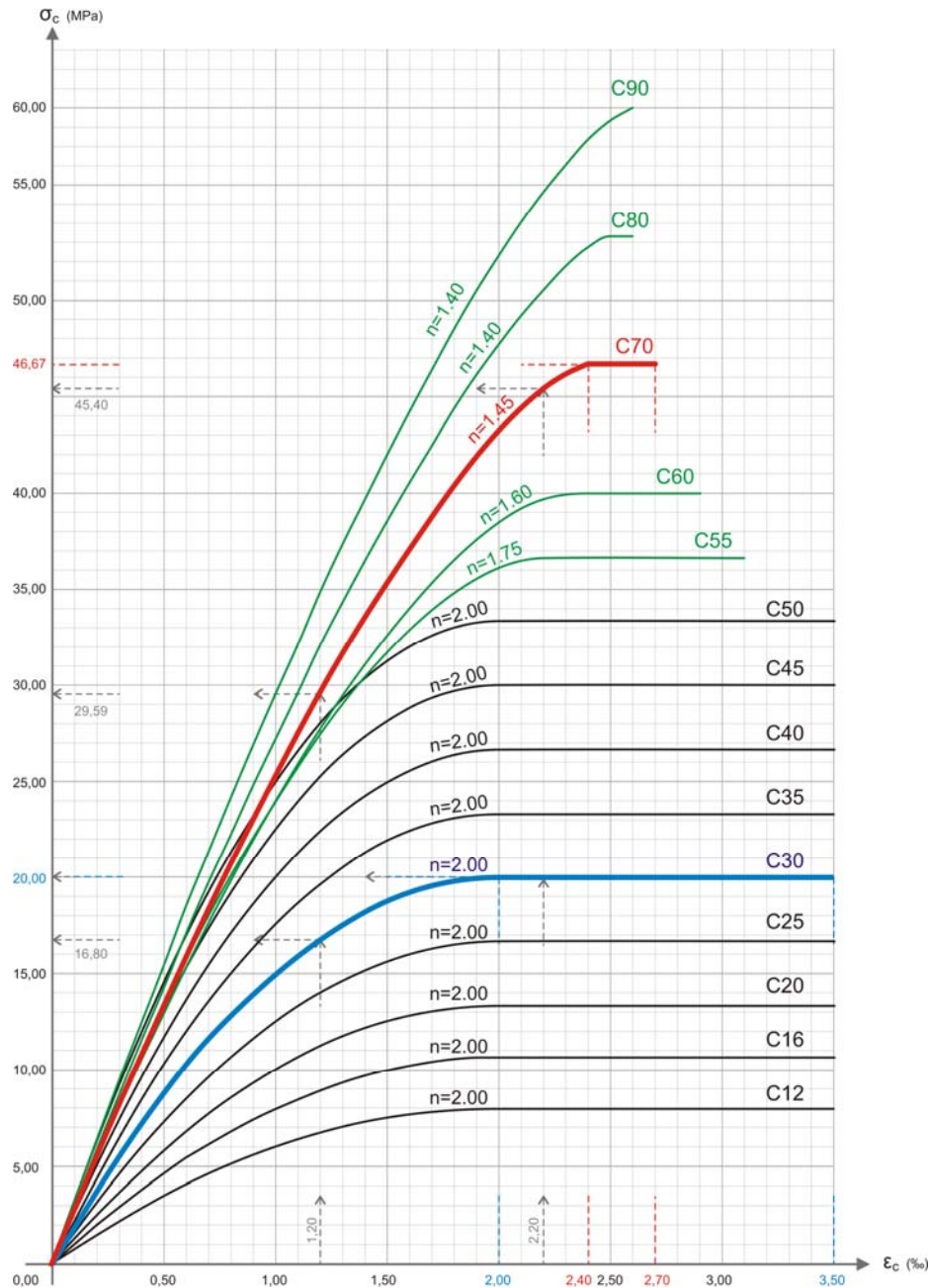
$$\sigma_c = f_{cd} \quad \text{για } \varepsilon_{c2} \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_{cu2}$$

όπου:

n είναι ο εκθέτης σύμφωνα με τον Πίνακα 3.1

ε_{c2} είναι η παραμόρφωση που αντιστοιχεί στη μέγιστη αντοχή σύμφωνα με τον Πίνακα 3.1

ε_{cu2} είναι η παραμόρφωση αστοχίας σύμφωνα με τον Πίνακα 3.1



Διαγράμματα τάσεων-παραμορφώσεων κάθε ποιότητας σκυροδέματος για $a_{cc}=1.00$ και $\gamma_c=1.50$, ενώ n είναι ο βαθμός της κάθε καμπύλης.

Το διάγραμμα τάσεων - παραμορφώσεων κάθε ποιότητας σκυροδέματος αποτελείται από ένα καμπύλο και από ένα οριζόντιο ευθύγραμμο τμήμα. Για ποιότητες με αντοχή $\leq 50\text{MPa}$ το καμπύλο τμήμα είναι βαθμού $n=2.0$ (παραβολικό), ενώ για μεγαλύτερες ποιότητες, που είναι περισσότερο φαθυρές, είναι βαθμού $1.4 \leq n < 2.0$. Για ποιότητες σκυροδέματος με αντοχή $\leq 50\text{MPa}$ οι οριακές παραμορφώσεις είναι $\epsilon_{c2} = -2.0\text{‰}$ και $\epsilon_{cu2} = -3.5\text{‰}$, ενώ για μεγαλύτερες ποιότητες οι δύο τιμές τείνουν στο -2.6‰ και για το C90 φτάνουν το -2.6‰ , που σημαίνει καθόλου πλαστική περιοχή.

Παραδείγματα σκυροδέματος C30 ($\epsilon_{c2}=2.0\%$, $\epsilon_{cu2}=3.5\%$, $n=2.0$):

- για $\epsilon_c=1.2\%$ → $\sigma_c=30/1.5*[1-(1-1.2/2.0)^2]=20.0*[1-0.16]=20.0*0.84=16.80\text{MPa}$
- για $\epsilon_c=2.2\%$ → $\sigma_c=20.0\text{MPa}$

Παραδείγματα σκυροδέματος C70 ($\epsilon_{c2}=2.4\%$, $\epsilon_{cu2}=2.7\%$, $n=1.45$):

- για $\epsilon_c=1.2\%$ → $\sigma_c=70/1.5*[1-(1-1.2/2.4)^{1.45}]=46.67*[1-0.366]=46.67*0.634=29.59\text{MPa}$
- για $\epsilon_c=2.2\%$ → $\sigma_c=70/1.5*[1-(1-2.2/2.4)^{1.45}]=46.67*[1-0.027]=46.67*0.973=45.40\text{MPa}$

Η δύναμη που αναλαμβάνει το σκυρόδεμα είναι $F_c = \iint \sigma_c * d_y * d_z$ και το σημείο εφαρμογής αυτής της δύναμης (y_c, z_c) είναι: $y_c = \frac{(\iint \sigma_c * d_y * d_z * z)}{F_c}$, $z_c = \frac{(\iint \sigma_c * d_y * d_z * y)}{F_c}$

Στην ειδική περίπτωση που η διατομή είναι ορθογωνική πλάτους b και η κάμψη μονοαξονική με ύψος x θλιβόμενης ζώνης χ , τα ολοκληρώματα εξειδικεύονται όπως παρακάτω:

Για $0 < \epsilon_c \leq \epsilon_{c2}$

$$F_c = f_{cd} * b * x * \left(1 - \frac{1 - \left(1 - \frac{\epsilon_c}{\epsilon_{c2}}\right)^{n+1}}{(n+1) * \frac{\epsilon_c}{\epsilon_{c2}}} \right)$$

$$z_c = \frac{1}{2} * x * \frac{1 - 2 * \frac{\left(1 - \frac{\epsilon_c}{\epsilon_{c2}}\right)^{n+2} + (n+2) * \frac{\epsilon_c}{\epsilon_{c2}} - 1}{(n+1) * (n+2) * \left(\frac{\epsilon_c}{\epsilon_{c2}}\right)^2}}{1 - \frac{1 - \left(1 - \frac{\epsilon_c}{\epsilon_{c2}}\right)^{n+1}}{(n+1) * \frac{\epsilon_c}{\epsilon_{c2}}}}$$

Για $\epsilon_{c2} \leq \epsilon_c \leq \epsilon_{cu2}$ ¹:

$$F_c = f_{cd} * b * x * \left(1 - \frac{1}{n+1} * \frac{\epsilon_{c2}}{\epsilon_c} \right)$$

¹ Για την οριακή περίπτωση όπου $\epsilon_c = \epsilon_{c2}$ οι δύο περιοχές εκφυλίζονται στην κοινή λύση:

$$F_c = f_{cd} * b * x * \frac{n}{n+1}, z_c = \frac{1}{2} * x * \frac{n+1}{n+2}$$

$$z_c = \frac{1}{2} * x * \frac{\left(1 - \frac{\epsilon_{c2}}{\epsilon_c}\right)^2 + \frac{2 * (n + 2) - (n + 3) * \frac{\epsilon_{c2}}{\epsilon_c}}{(n + 1)(n + 2)} * n * \frac{\epsilon_{c2}}{\epsilon_c}}{1 - \frac{1}{n + 1} * \frac{\epsilon_{c2}}{\epsilon_c}}$$

Παραδείγματα σκυροδέματος C30 ($\epsilon_{c2}=2.0\%$, $n=2.0$), για $b=0.30\text{m}$ και $x=0.20\text{m}$:

για $\epsilon_c=1.2\%$ → $F_c=576.00\text{kN}$ και $z_c=0.0708\text{m}$

για $\epsilon_c=2.2\%$ → $F_c=836.36\text{kN}$ και $z_c=0.0763\text{m}$

Παραδείγματα σκυροδέματος C70 ($\epsilon_{c2}=2.4\%$, $n=1.45$), για $b=0.30\text{m}$ και $x=0.20\text{m}$:

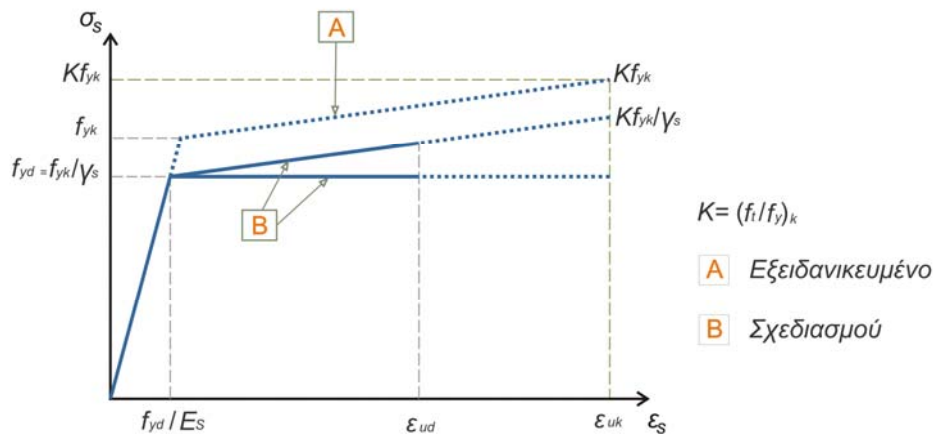
για $\epsilon_c=1.2\%$ → $F_c=932.6\text{kN}$ και $z_c=0.0682\text{m}$

για $\epsilon_c=2.2\%$ → $F_c=1556.1\text{kN}$ και $z_c=0.0704\text{m}$

Παρατήρηση:

Με το πρώτο φύλλο εργασίας 'Concrete' του αρχείου *StressesAndForces.xls*, που βρίσκεται στην έκδοση του συνοδευτικού προγράμματος, μπορεί να γίνεται πολύ εύκολα ο έλεγχος των προηγούμενων και άλλων ανάλογων παραδειγμάτων.

B. Η δύναμη που αναλαμβάνει ο χάλυβας



Διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων σχεδιασμού χάλυβα οπλισμού
(ισχύει για εφελκυσμό και θλίψη)

Αν ονομάσουμε ϵ_{yd} την παραμόρφωση του χάλυβα στο όριο ελαστικότητας ($\epsilon_{yd}=f_{yd}/E_{yd}$),

$$\sigma = \epsilon * E_s \quad \text{για } 0 \leq \epsilon \leq \epsilon_{yd}$$

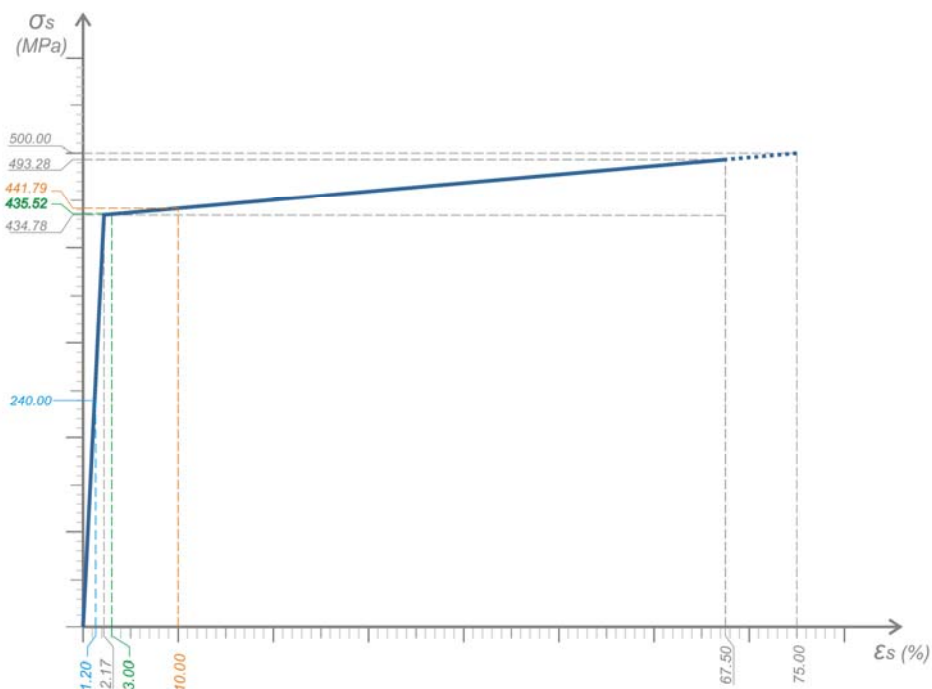
και

$$\sigma = f_{yd} + (k-1) * f_{yd} * (\epsilon - \epsilon_{yd}) / (\epsilon_{uk} - \epsilon_{yd}) \quad \text{για } \epsilon_{yd} < \epsilon \leq \epsilon_{ud}, \text{ όπου το } \epsilon \text{ λαμβάνεται } \geq 0$$

Για τον Ελληνικό χώρο που χρησιμοποιείται κατά κανόνα χάλυβας B500c, οι τιμές των παραμέτρων μπορούν να λαμβάνονται ως:

$\epsilon_{uk}=75\text{‰}$, $\epsilon_{ud}=0.9*\epsilon_{uk}=67.5\text{‰}$ και $k=f_t/f_{yk}=1.15$. Επίσης για $\gamma_s=1.15 \rightarrow f_{yd}=500/1.15=434.78\text{MPa}$ και επειδή $E_s=200\text{GPa} \rightarrow \epsilon_{yd}=f_{yd}/E_s=434.78/(200*10^3)=2.17\text{‰}$.

Επίσης $k*f_{yk}/\gamma_s=1.15*500/1.15=500\text{MPa}$ (το γεγονός ότι οι δύο τιμές k και γ_s είναι ίσες με 1.15, είναι σύμπτωση), οπότε το διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων της συγκεκριμένης ποιότητας χάλυβα είναι το παρακάτω:



Διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων σχεδιασμού αντισεισμικού χάλυβα οπλισμού ποιότητας B500c (ισχύει για εφελκυσμό και θλίψη)

Παραδείγματα χάλυβα B500c:

- για $\epsilon_s=1.20\text{‰} \rightarrow \sigma_s=(1.20/1000)*200*10^3=240\text{MPa}$,
- για $\epsilon_s=3.00\text{‰} \rightarrow \sigma_s=434.78+(1.15-1)*434.78*(3.00-2.17)/(75.00-2.17)=434.78+0.74=435.52\text{MPa}$
- για $\epsilon_s=10.00\text{‰} \rightarrow \sigma_s=434.78+(1.15-1)*434.78*(10.00-2.17)/(75.00-2.17)=434.78+7.01=441.79\text{MPa}$
- για $\epsilon_s=67.5\text{‰} \rightarrow \sigma_s=434.78+(1.15-1)*434.78*(67.5-2.17)/(75.00-2.17)=434.78+58.50=493.28\text{MPa}$

Μία ράβδος $\Phi 20$ ($A_s=3.14\text{cm}^2$) για $\epsilon_s=1.20\text{‰}$ δίνει δύναμη $F_s=3.14\text{cm}^2*240/10\text{MPa}=75.36\text{kN}$

C. Η διαστασιολόγηση μίας διατομής

Γενικά έχουμε δύο προβλήματα διαστασιολόγησης:

Πρόβλημα A

Δίνεται η εξωτερική ένταση σχεδιασμού (N_d, M_{dy}, M_{dz}) ως προς το Κ.Β. της διατομής και ζητείται ο αναγκαίος οπλισμός $A_{s,cal}$.

Το πρόβλημα αυτό λύνεται όταν βρεθεί ο συνδυασμός του απαιτούμενου οπλισμού $A_{s,cal}$ και μιας συγκεκριμένης θέσης της ουδέτερης γραμμής, που δίνει $N_d=N_{in}, M_{dy}=M_{yin}, M_{dz}=M_{zin}$

Πρόβλημα B

Δίνεται ο τοποθετημένος οπλισμός $A_{s,eff}$, η θλιπτική δύναμη N_d και η κατεύθυνση της ουδέτερης γραμμής dir σε μοίρες. Εναλλακτικά αντί της γωνίας dir μπορούν να συμπληρώνονται τα πεδία dM_y και dM_z που αποτελούν τις δύο συνιστώσες της κατεύθυνσης, δηλαδή $dir=atan(dM_z/dM_y)$. Ζητείται η ροπή αντοχής M_{Rd} ως προς την κατεύθυνση dir .

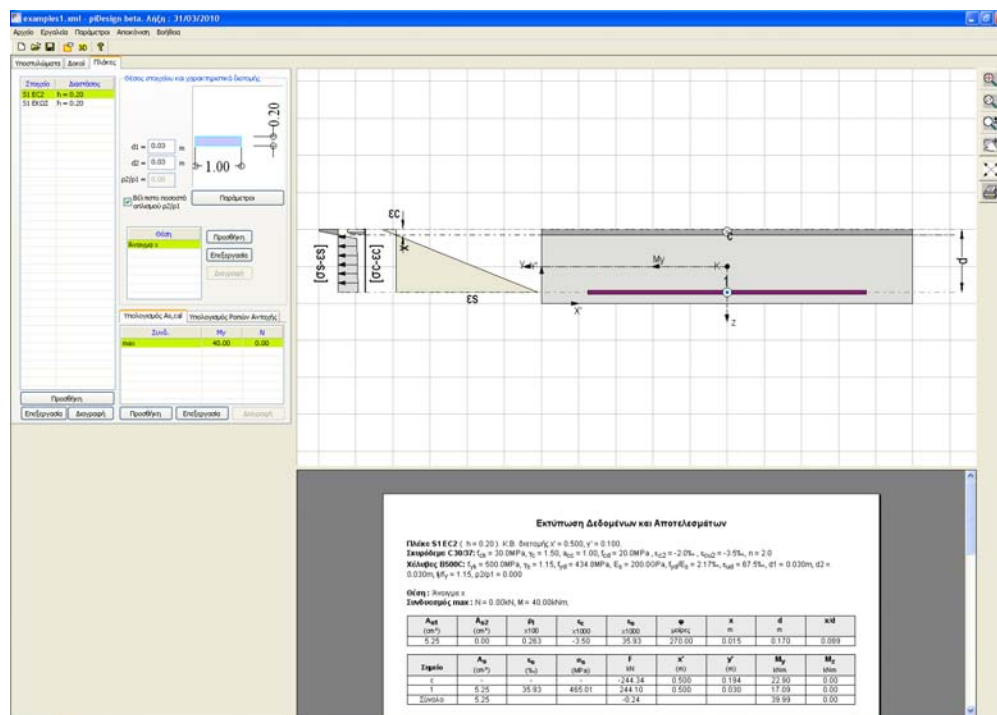
Το πρόβλημα αυτό λύνεται όταν βρεθεί η συγκεκριμένη ουδέτερη γραμμή που δίνει $N_{in}=N_d$ και 2 ροπές M_{yin}, M_{zin} με κλήση ίση με dir . Τότε η λύση είναι $M_{Rd} = \sqrt{M_{yin}^2 + M_{zin}^2}$.

Παραδείγματα επίλυσης προβλημάτων A και B με τη χρήση του λογισμικού ri-DESIGN

Όλα τα παραδείγματα για τη διαστασιολόγηση πλάκας, δοκού και υποστυλώματος υπάρχουν στο αρχείο examples1.xml.

Πλάκα 'S1 EC2'²

Το πάχος της πλάκας είναι 0.20m, τα υλικά C30/B500c, το $d_1=0.03m$ και η ροπή σχεδιασμού $M_d=40.0$ kNm.



Η οθόνη του προγράμματος με τα δεδομένα και τα αποτελέσματα³ της πλάκας 'S1 EC2'

Το αποτέλεσμα είναι μόνο εφελκόμενος οπλισμός $A_{s1}=5.25\text{cm}^2$ [$\rho_1=0.263\%$, $\epsilon_c=-3.50\%$, $\epsilon_s=35.93\%$, $x/d=0.089$]. Οι λεπτομέρειες της λύσης φαίνονται στο σχετικό πίνακα της οθόνης του προγράμματος, καθώς και στην εκτύπωση δεδομένων και αποτελεσμάτων⁴.

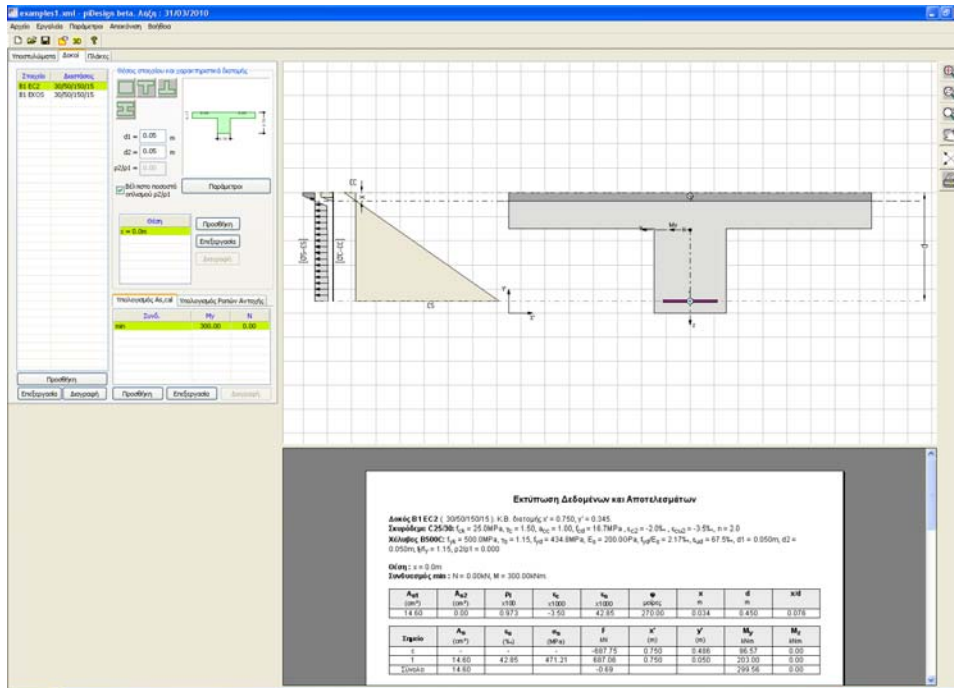
Δοκός 'B1 EC2'

Ο κορμός της δοκού έχει διατομή 30/50 και το συνεργαζόμενο πλάτος είναι 200/15, τα υλικά C25/B500c, το $d_1=0.05m$ και η ροπή σχεδιασμού $M_d=300.0$ kNm.

² ο δείκτης δίπλα στην πλάκα S1 μπήκε για να δηλώσει ότι αντιμετωπίζεται σύμφωνα με τον EC2

³ Με τα αναλυτικά δεδομένα και τα αποτελέσματα του πίνακα μπορεί να ελεγχθεί μαθηματικά η ακρίβεια της λύσης.

⁴ Η πλάκα 'S1 EKOS' του ίδιου παραδείγματος διατηρώντας τα ίδια δεδομένα και επιλέγοντας από τις παραμέτρους τον προηγούμενο ελληνικό κανονισμό (ΕΚΩΣ), δίνει $A_{s1}=5.70$ cm² [$\rho_1=0.285\%$, $\epsilon_c=-1.66\%$, $\epsilon_s=10.0\%$, $x/d=0.143$].



Η οθόνη του προγράμματος με τα δεδομένα και τα αποτελέσματα της δοκού 'B1 EC2'

Το αποτέλεσμα είναι μόνο εφελκόμενος οπλισμός $A_{s1}=14.60\text{cm}^2$ [$\rho_l=0.973\%$ ⁵, $\epsilon_c=-3.50\%$, $\epsilon_s=42.85\%$, $x/d=0.076$]⁶

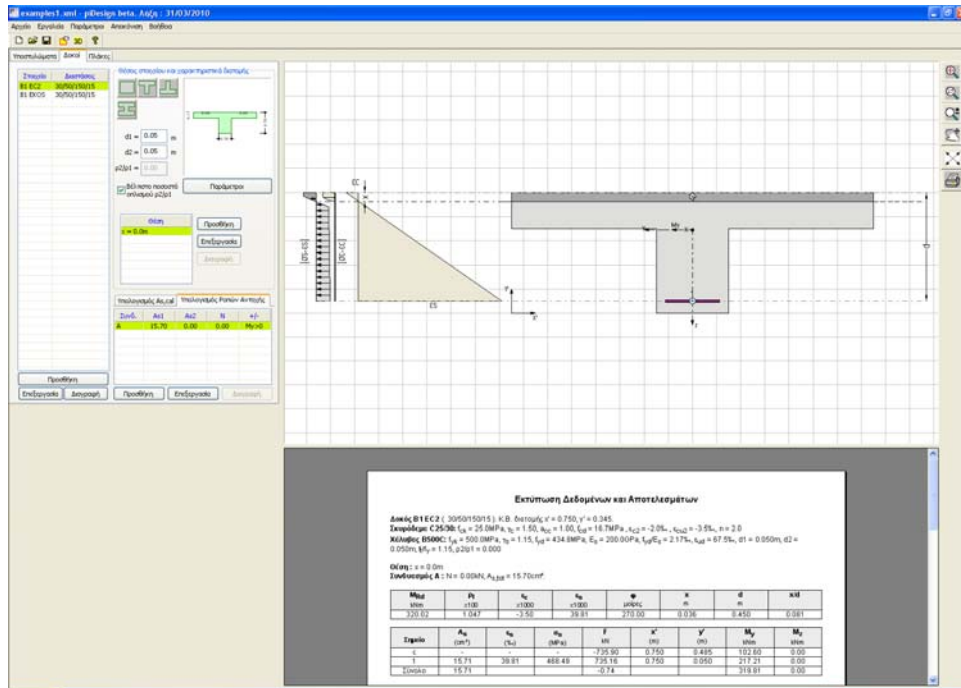
Για να καλυφθεί αυτός ο οπλισμός μπορούν να χρησιμοποιηθούν 5Φ20 (15.70 cm²) (πίνακας 1). Ο οπλισμός αυτός είναι μεγαλύτερος από τον απαιτούμενο, άρα και η ροπή που μπορεί να φέρει η δοκός είναι μεγαλύτερη. Η ροπή αυτή ονομάζεται ροπή αντοχής M_{Rd} και η τιμή της βρίσκεται από το πρόγραμμα εφαρμόζοντας την αντίστροφη διαδικασία, όπως φαίνεται στο επόμενο παράδειγμα 'B2 EC2'.

Δοκός 'B1 EC2' υπολογισμός ροπής αντοχής

Ο κορμός της δοκού είναι 30/50 και το συνεργαζόμενο πλάτος 200/15, τα υλικά είναι C25/B500c, το $d_1=0.05\text{m}$ και ο οπλισμός $A_s=15.70\text{cm}^2$ ενώ η οριακή ροπή που ζητείται είναι η θετική.

⁵ Το ποσοστό οπλισμού στις πλακοδοκούς είναι ανοιγμένο στο κορμό τους και όχι στο σύνολο της διατομής.

⁶ Η δοκός 'B1 ΕΚΩΣ' με τα ίδια δεδομένα, αλλά με τον προηγούμενο ελληνικό κανονισμό, δίνει $A_{s1}=16.09\text{cm}^2$ [$\rho_l=1.073\%$, $\epsilon_c=-1.50\%$, $\epsilon_s=10.0\%$, $x/d=0.130$]



Η οθόνη του προγράμματος με τα δεδομένα και τα αποτελέσματα της δοκού 'B2 EC2'

Το αποτέλεσμα είναι $M_{Rd} = 320.02 \text{ kNm}$ [$\epsilon_c = -3.50\%$, $\epsilon_s = 39.81\%$, $x/d = 0.081$].

Στο πρώτο από τα παραδείγματα που ακολουθούν, οι παράμετροι της κατάστασης αστοχίας βρίσκονται στο αριστερό κελί του πίνακα που ακολουθεί και οι παράμετροι της κατάστασης ελαστικότητας βρίσκονται στο δεξιό κελί.

Ex10 400x550 Parameters

Regulations - Material: EC Hellenic

Concrete Type: C40/50

Safety Factor γ_c : 1.50

Ultimate Strain ϵ_{cu2} : -3.50 ‰

Maximum Strain Strength ϵ_{c2} : -2.00 ‰

fck = 40.0 MPa

fcd = 26.67 MPa

acc = 0.850

n = 2.00

Steel Type: B500C

Safety Factor γ_s : 1.15

Ultimate Strain ϵ_{ud} : 20.0000 ‰

Elasticity E_s : 200.00 GPa

fyk = 500.0 MPa

fyd = 434.78 MPa

K = f_t/f_y = 1.00

ϵ_{uk} = 75.00 ‰

Calculations

Accurate Calculations

Max Tolerance

Max number of attempts to find neutral axis: 32

Precision of reinforcement allocation: 100.000 ‰ Step: ‰

Divergence of neutral axis vertical from direction of flexure (used only for lower precision calculations and column sections): 0.00

Number of parts for circular section: 16

Save OK Cancel

Οι παράμετροι σε κατάσταση αστοχίας

Ex10 400x550 Parameters

Regulations - Material: EC Standard

Concrete Type: C40/50

Safety Factor γ_c : 1.50

Ultimate Strain ϵ_{cu2} : -2.00 ‰

Maximum Strain Strength ϵ_{c2} : -2.00 ‰

fck = 40.0 MPa

fcd = 26.67 MPa

acc = 0.850

n = 2.00

Steel Type: B500C

Safety Factor γ_s : 1.15

Ultimate Strain ϵ_{ud} : 2.1739 ‰

Elasticity E_s : 200.00 GPa

fyk = 500.0 MPa

fyd = 434.78 MPa

K = f_t/f_y = 1.00

ϵ_{uk} = 75.00 ‰

Calculations

Accurate Calculations

Max Tolerance

Max number of attempts to find neutral axis: 32

Precision of reinforcement allocation: 100.000 ‰ Step: ‰

Divergence of neutral axis vertical from direction of flexure (used only for lower precision calculations and column sections): 0.00

Number of parts for circular section: 16

Save OK Cancel

Οι παράμετροι σε κατάσταση ελαστικότητας

Με βάση τις αντίστοιχες παραμέτρους υπολογίστηκαν τα επόμενα παραδείγματα:

Τελικά παραδείγματα Καμπυλοτήτων και Πλαστιμοτήτων σε καταστάσεις Αστοχίας και Ελαστικότητας με χρήση του riDesign

Παράδειγμα 1^ο:

Ζητείται σε κατάσταση αστοχίας ο αναγκαίος οπλισμός και η καμπυλότητα στη διατομή 400/550 με $d_1=d_2=50$ mm όταν $f_{yd}=500$ MPa, $f_{ck}=40$ MPa και $M_d=200$ kNm, $N_d=-100$ kN με $A_{s2}/A_{s1}=0$. Ζητείται επίσης η καμπυλότητα σε κατάσταση ελαστικότητας με τον οπλισμό που έχει προκύψει.

Η λύση:

Αστοχία (περιοχή 1b) : $x=66.3$ $\epsilon_c=3.06$ $\epsilon_s=20$ $\sigma_{s1}=434.78$ $\epsilon_{s2}=-$ $\sigma_{s2}=-$ $F_c=470.3$ $z_c=26.9$ $F_{s2}=-$
 $A_{s1}=852$ $A_{s2}=0$ $M_{sd}=225$ $M_d=200$ $\phi_d=46.12$ $\mu_d=7.61$

Ελαστικότητα (περιοχή I): $x=141.3$ $\epsilon_c=0.857$ $\epsilon_s=2.174$ $\sigma_{s1}=434.78$ $\epsilon_{s2}=-$ $\sigma_{s2}=-$ $F_c=470.44$ $z_c=49.1$
 $F_{s2}=-A_{s1}=852$ $A_{s2}=0$ $M_{sd}=212.1$ $M_d=189.63$ $\phi_d=6.07$

Παράδειγμα 2^ο:

Ζητείται η ροπή αντοχής M_{Rd} και η καμπυλότητα αστοχίας $\phi_{d,F}$ στη διατομή 400/550 με $d_1=d_2=50$ mm όταν $f_{yd}=500$ MPa, $f_{ck}=40$ MPa, $A_{s1}=851$ mm², $A_{s2}=0$ και $N_d=-100$ kN.

Ισχύουν τα προηγούμενα

Παράδειγμα 3^ο: (ανεξάρτητο από προηγούμενους πίνακες)

Ζητείται ο αναγκαίος οπλισμός και η καμπυλότητα ϕ_d στη διατομή 250/600 με $d_1=d_2=50$ mm σε κατάσταση αστοχίας όταν $f_{yk}=400$ MPa, $f_{ck}=16$ MPa και $M_d=400$ kNm με $N_d=-200$ kN με ανάγκη οπλισμού σε εφελκυσμό.

Η λύση:

Αστοχία (περιοχή επί της 1''B): $x=367.4$ $\epsilon_c=3.50$ $\epsilon_s=1.739$ $\sigma_{s1}=347.83$ $\epsilon_{s2}=3.024$ $\sigma_{s2}=347.83$
 $F_c=674.15$ $z_c=102.8$ $F_{s2}=364.42$ $A_{s1}=2412$ $A_{s2}=1046$ $M_{sd}=445$ $M_d=400$ $\phi_d=9.53$
 $\mu_d=9.53/6.089=1.57$

Ελαστικότητα (περιοχή II): $x=328.4$ $\epsilon_c=2.0$ $\epsilon_s=1.349$ $\sigma_{s1}=269.89$ $\epsilon_{s2}=1.696$ $\sigma_{s2}=339.10$ $F_c=496.27$
 $z_c=73.2$ $F_{s2}=-354.69$ $A_{s1}=2412$ $A_{s2}=1046$ $M_{sd}=M_d=339.18$ $\phi_d=6.089$

Παράδειγμα 4^ο:

Ζητείται ο αναγκαίος οπλισμός, η καμπυλότητα αστοχίας $\phi_{d,F}$ και η πλαστιμότητα καμπυλοτήτων μ_d στη διατομή 250/660 με $d_1=d_2=60$ mm σε κατάσταση αστοχίας όταν $f_{yk}=500$ MPa, $f_{ck}=20$ MPa και $M_d=300$ kNm, $N_d=-200$ kN με $A_{s2}/A_{s1}=1$

Η λύση:

Αστοχία (περιοχή 2a,i): $x=122.4$ $\epsilon_c=3.50$ $\epsilon_s=13.656$ $\sigma_{s1}=434.78$ $\epsilon_{s2}=1.784$ $\sigma_{s2}=356.89$ $F_c=280.76$
 $z_c=50.9$ $F_{s2}=370.04$ $A_{s1}=1036.9$ $A_{s2}=1036.9$ $M_{sd}=-$ $M_d=300$ $\phi_{d,F}=28.59$ $\mu_d=28.59/6.207=4.60$

Ελαστικότητα (περιοχή I): $x=249.7$ $\epsilon_c=1.55$ $\epsilon_s=2.1739$ $\sigma_{s1}=434.78$ $\epsilon_{s2}=1.177$ $\sigma_{s2}=235.49$
 $F_c=406.65$ $z_c=90.5$ $F_{s2}=244.18$ $A_{s1}=1037$ $A_{s2}=1037$ $M_{sd}=-$ $M_d=285.06$ $\phi_{d,E}=6.207$

Σε παρατήρηση αν είχαμε $d_1=d_2=50$ mm τότε $A_{s1}=A_{s2}=998$ mm² αντί 1037 και $\phi_{d,F}=32.32$ αντί 28.59 ενώ $\phi_{d,E}=5.915$ αντί 5.998 και $\mu_d=5.464$ αντί 4.77 (να ελεγχθεί και εξηγηθεί)

Σ' αυτό το παράδειγμα αναφορά στην προσεγγιστική λύση $d_1/d \neq 0.1$

Παράδειγμα 5°:

Ζητείται ο αναγκαίος οπλισμός, η καμπυλότητα αστοχίας $\varphi_{d,F}$ και η πλαστιμότητα μ_d στη διατομή 250/660 σε κατάσταση αστοχίας όταν $f_{yk}=500\text{MPa}$, $f_{ck}=20\text{MPa}$, $M_d=300\text{ kNm}$, $A_{s2}/A_{s1}=0.5$ και $N_d=-200\text{kN}$.

Η λύση:

Αστοχία (περιοχή): $x=189.8$ $\varepsilon_c=3.50$ $\varepsilon_s=7.562$ $\sigma_{s1}=434.78$ $\varepsilon_{s2}=2.394$ $\sigma_{s2}=434.78$ $F_c=435.43$
 $z_c=79.0$ $F_{s2}=235.43$ $A_{s1}=1083$ $A_{s2}=541$ $M_{sd}=-$ $M_d=300$ $\varphi_d=18.44$ $\mu_d=18.44/6.77=2.724$

Ελαστικότητα (περιοχή I): $x=278.7$ $\varepsilon_c=1.886$ $\varepsilon_s=2.1739$ $\sigma_{s1}=434.78$ $\varepsilon_{s2}=1.480$ $\sigma_{s2}=296.04$
 $F_c=510.69$ $z_c=103.6$ $F_{s2}=160.15$ $A_{s1}=1083$ $A_{s2}=541$ $M_{sd}=-$ $M_d=286.01$ $\varphi_d=6.77$

Παράδειγμα 6°: (τίποτε τυποποιημένο)

Η διατομή 300/700 με $f_{yd}=600\text{MPa}$, $f_{ck}=80\text{MPa}$ με $d_1=50\text{mm}$, $d_2=60\text{mm}$ υπό $M_d=600\text{kNm}$ και $N_d=-300\text{ kN}$ με $\rho_2/\rho_1=0.20$

Η λύση:

Αστοχία (περιοχή 2a): $x=129.3$ $\varepsilon_c=2.60$ $\varepsilon_s=10.469$ $\sigma_{s1}=521.74$ $\varepsilon_{s2}=1.394$ $\sigma_{s2}=278.73$ $F_c=1054.07$
 $z_c=45.9$ $F_{s2}=90.21$ $A_{s1}=1618$ $A_{s2}=324$ $M_{sd}=-$ $M_d=600$ $\varphi_d=20.106$ $\mu_d=20.106/6.128=3.281$

Ελαστικότητα (περιοχή I): $x=224.3$ $\varepsilon_c=1.374$ $\varepsilon_s=2.609$ $\sigma_{s1}=521.74$ $\varepsilon_{s2}=1.007$ $\sigma_{s2}=201.34$
 $F_c=1079.0$ $z_c=76.5$ $F_{s2}=65.24$ $A_{s1}=1618.1$ $A_{s2}=324.0$ $M_{sd}=-$ $M_d=567.29$ $\varphi_d=6.128$

Παράδειγμα 7°:

Τυπική διατομή έχει οπλισμό $A_{s1}=A_{s2}=1200\text{mm}^2$ και $N_d=-1000\text{kN}$. Ζητείται η καμπυλότητα αστοχίας και η πλαστιμότητα της διατομής

Η λύση:

Αστοχία (περιοχή 2a,ii): $x=242.2$ $\varepsilon_c=3.50$ $\varepsilon_s=3.725$ $\sigma_{s1}=434.78!$ $\varepsilon_{s2}=2.778$ $\sigma_{s2}=434.78$ $F_c=-1000.0$
 $z_c=100.8$ $F_{s2}=521.46$ $A_{s1}=1200$ $A_{s2}=1200$ $M_{sd}=-$ $M_d=408.98$ $\varphi_d=14.45$ $\mu_d=14.45/7.028=2.056$ (το K τέθηκε ίσο με 1.0001)

Ελαστικότητα (περιοχή II): $x=284.6$ $\varepsilon_c=2.0$ $\varepsilon_s=1.514$ $\sigma_{s1}=302.75$ $\varepsilon_{s2}=1.649$ $\sigma_{s2}=329.73$ $F_c=967.63$
 $z_c=106.7$ $F_{s2}=395.64$ $A_{s1}=1200$ $A_{s2}=1200$ $M_{sd}=-$ $M_d=333.59$ $\varphi_d=7.028$

Παράδειγμα 8°:

Διατομή 400x400 με οπλισμό με $A_{s1}=A_{s2}=1000\text{mm}^2$ με $N_d=-2300\text{kN}$ και υλικά $f_{ck}=35$, $f_{yk}=500$ ζητείται η ροπή αντοχής, η καμπυλότητα και η πλαστιμότητα, $d_1=d_2=50\text{mm}$

Η λύση:

Αστοχία (περιοχή 2b,ii): $x=317.3$ $\varepsilon_c=3.5$ $\varepsilon_s=0.361$ $\sigma_{s1}=72.26$ $\varepsilon_{s2}=2.948$ $\sigma_{s2}=434.78$ $F_c=2037.45$
 $z_c=132.0$ $F_{s2}=434.81$ $A_{s1}=1000$ $A_{s2}=1000$ $M_{sd}=-$ $M_d=214.68$ $\varphi_d=11.031$ $\mu_d=11.031/5.240=2.105$

Ελαστικότητα (περιοχή III): $x=381.8$ $\varepsilon_c=2.0$ $\varepsilon_s=-0.166$ $\sigma_{s1}=-33.28$ $\varepsilon_{s2}=1.738$ $\sigma_{s2}=-347.61$
 $F_c=2019.08$ $z_c=143.2$ $F_{s2}=347.64$ $A_{s1}=1000$ $A_{s2}=1000$ $M_{sd}=-$ $M_d=161.92$ $\varphi_d=(2.0-0.166)/0.35=5.24$

