

Χρ. Καραγιάννης, Πολιτικός Μηχ. ΕΜΠ, Δρ. Μηχ.

ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

Κατασκευών Ωπλισμένου Σκυροδέματος και Αντισεισμικού Σχεδιασμού

ΠΡΟΕΔΡΟΣ

ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΠΘ

Συνοπτική Παρουσίαση Σχεδιασμού έναντι Διάτμησης κατά EC2

Συνοπτική Παρουσίαση

Παρουσιάζεται συνοπτικά η διαδικασία που προβλέπεται από τον Ευρωκώδικα 2 για τον έλεγχο στοιχείων από ωπλισμένο σκυρόδεμα έναντι διάτμησης (οριακή κατάσταση αστοχίας έναντι διάτμησης). Ακόμη γίνεται προσπάθεια η παρουσίαση των προβλεπομένων διατάξεων να γίνει συγκριτικά με τις διατάξεις του ισχύοντος πλέγματος κανονισμών (ΕΚΩΣ-2000 και ΕΑΚ-2000 για σεισμικές δράσεις).

1. Αρχές σχεδιασμού έναντι διάτμησης με βάση τον EC2

Δεν απαιτείται οπλισμός διάτμησης για διατμητική δύναμη μικρότερη ή ίση με την τιμή $V_{Rd,c}$

(αν $V_{Rd,c} > V_{Ed}$: *ελάχιστο ποσοστό εγκάρσιου οπλισμού προβλέπεται μόνο για τις δοκούς*)

Εάν η διατμητική δύναμη σχεδιασμού είναι μεγαλύτερη από την τιμή $V_{Rd,c}$ τότε απαιτείται οπλισμός διάτμησης για την συνολική τέμνουσα σχεδιασμού.

Εφόσον απαιτείται οπλισμός ($V_{Rd,c} < V_{Ed}$) ο υπολογισμός του απαιτούμενου οπλισμού διάτμησης γίνεται με το «δικτυωματικό μοντέλο μεταβλητής γωνίας». Βάσει αυτού γίνεται αρχική εκτίμηση της γωνίας κλίσης θ των θλιβομένων διαγωνίων του σκυροδέματος.

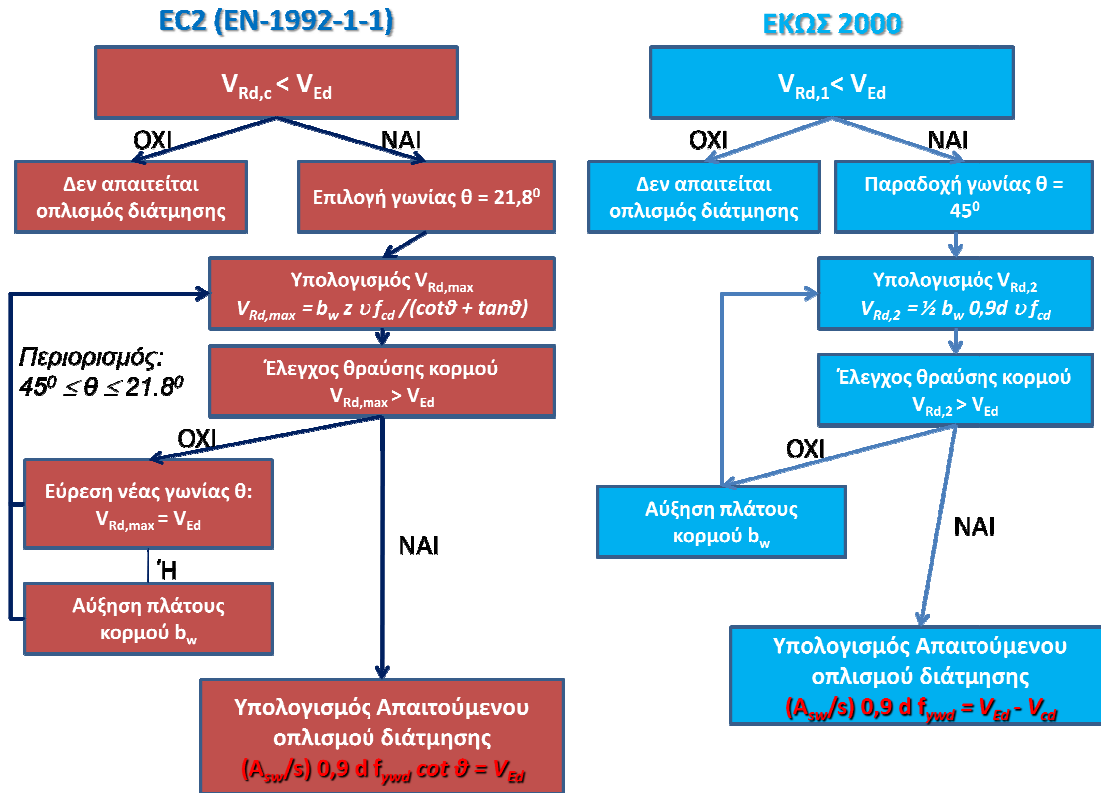
Κατά την αρχική εκτίμηση της γωνίας θ ισχύει ο περιορισμός :

$$1 \leq \cot\theta \leq 2.5 \quad (\text{δηλαδή γωνία } 45^\circ \leq \theta \leq 21.8^\circ)$$

Στοιχεία από ωπλισμένο σκυρόδεμα χωρίς διατμητικό οπλισμό μπορεί να είναι οι πλάκες, οι δευτερεύουσες δοκοί (δηλαδή δοκοί επί δοκών) και τα υπέρθυρα.

Οι δοκοί από ωπλισμένο σκυρόδεμα έχουν διατμητικό οπλισμό

Η διαδικασία του ελέγχου έναντι διάτμησης καθώς και ο υπολογισμός των απαραίτητων οπλισμών διάτμησης παρουσιάζεται σχηματικά στο επόμενο διάγραμμα. Στο ίδιο διάγραμμα παρουσιάζεται και η γνωστή διαδικασία ελέγχου και υπολογισμού οπλισμών κατά τον ισχύοντα ΕΚΩΣ-2000.



2. Υπολογισμός Αντοχής σχεδιασμού για την οποία δεν απαιτείται οπλισμός διάτμησης

$$V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3} + k_1 \sigma_{cp}] b_w d$$

$C_{Rd,c}$ συνιστώμενη τιμή $0,18/\gamma_c = 0,12$

k φαινόμενο κλίμακος $= 1 + \sqrt{(200/d)} \leq 2,0$ (d σε mm)

ρ_l ποσοστό εφελκόμενου διαμήκη οπλισμού ($\leq 0,02$)

f_{ck} χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή σκυροδέματος

k_1 συνιστώμενη τιμή $0,15$

$\sigma_{cp} = N_{Ed}/A_c < 0,2 f_{cd}$ (MPa)

N_{Ed} αξονικό φορτίο διατομής λόγω φόρτισης ή προέντασης ($N_{Ed} > 0$ για θλίψη)

A_c εμβαδόν διατομής (mm^2)

b_w μικρότερο πλάτος κορμού στην εφελκόμενη περιοχή (mm)

d ενεργό ύψος διατομής

Ελάχιστη τιμή για την $V_{Rd,c}$

$$V_{Rd,c} = (v_{min} + k_1 \sigma_{cp}) b_w d$$

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

Τιμές v_{min} (N/mm²)

	d=200	d=400	d=600	d=800
C20	0,44	0,35	0,25	0,29
C40	0,63	0,49	0,44	0,41
C60	0,77	0,61	0,54	0,50
C80	0,89	0,70	0,62	0,58

Σύγκριση με τον ισχύοντα ΕΚΩΣ-2000

-Ευρωκώδικας

$$V_{Rd,c} = [C_{Rd,c}k(100\rho f_{ck})^{1/3} + k_1\sigma_{cp}] b_w d$$

$$V_{Rd,c} = [0,12k(100\rho f_{ck})^{1/3} + 0,15\sigma_{cp}] b_w d$$

-ΕΚΩΣ-2000

$$V_{Rd,l} = [\tau_{Rd}k(1,2+40\rho_l) + 0,15\sigma_{cp}] b_w d$$

$$\tau_{Rd} = 0,25f_{ctk,0.05}/\gamma_c = 0,0525f_{ck}^{2/3}/\gamma_c$$

$$k = 1,6-d \geq 1,00 \text{ (d σε m)}$$

Παράδειγμα

Διατομή δοκού:

$$b_w = 30\text{cm}$$

$$d = 55\text{cm}$$

$$\rho_{l,\max} = 0.02$$

$$\rho_{l,\min} = 0.26f_{ctm}/f_{yk} \text{ EC2}$$

$$\rho_{l,\min} = 0.50f_{ctm}/f_{yk} \text{ ΕΚΩΣ (EC8)}$$

Χάλυβας S500

Υπολογισμός των τιμών

- V_{Rdc} κατά EC2 και

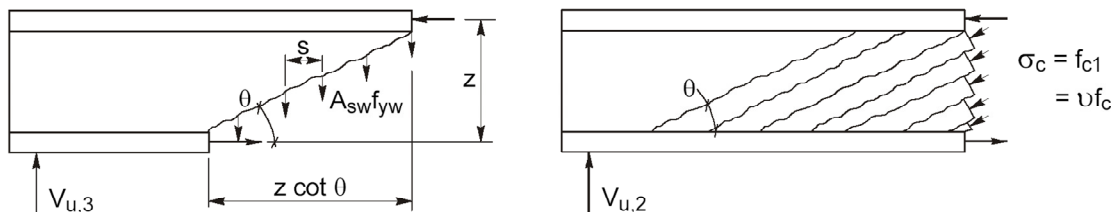
- V_{Rdl} κατά ΕΚΩΣ-2000

	f_{ck}	12	16	20	25	30	35	40	45	50
	b_w (mm)	300	300	300	300	300	300	300	300	300
	d (mm)	550	550	550	550	550	550	550	550	550
	$\rho_{l,max}$	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
EC2	C_{Rd}	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
	k	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6
	V_{Rdc}	91.38	100.58	108.34	116.71	124.02	130.56	136.50	141.97	147.05
ΕΚΩΣ	τ_{Rd}	0.18	0.22	0.25	0.30	0.33	0.37	0.42	0.45	0.48
	k	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
	V_{Rd1}	63.53	75.08	86.63	103.95	115.50	127.05	144.38	155.93	167.48

Τιμές V_{Rdc} κατά EC2 και V_{Rd1} κατά ΕΚΩΣ-2000 για ελάχιστες τιμές οπλισμών

	f_{ck}	12	16	20	25	30	35	40	45	50
	b_w (mm)	300	300	300	300	300	300	300	300	300
	d (mm)	550	550	550	550	550	550	550	550	550
EC2	$\rho_{l,min}$	0.0008	0.0010	0.0011	0.0014	0.0015	0.0017	0.0018	0.0020	0.0021
	V_{Rdc}	31.66	39.90	41.75	47.54	52.40	56.99	61.40	65.63	69.72
ΕΚΩΣ	$\rho_{l,min}$	0.0016	0.0019	0.0022	0.0026	0.0029	0.0032	0.0035	0.0038	0.0041
	V_{Rd1}	40.11	47.90	55.80	67.70	75.99	84.39	96.76	105.39	114.12
EC2	V_{Rdc}	39.37	45.89	51.91	59.12	65.16	70.88	76.35	81.61	86.70

3. Σχεδιασμός στοιχείων στα οποία απαιτείται οπλισμός διάτμησης ($V_{E,d} > V_{Rd,c}$)



Ο υπολογισμός του απαιτούμενου οπλισμού διάτμησης γίνεται με το «δικτυωματικό μοντέλο μεταβλητής γωνίας» βάσει του οποίου γίνεται εκτίμηση της γωνίας κλίσης θ των θλιβόμενων διαγωνίων του σκυροδέματος.

Πλεονεκτήματα εφαρμογής της μεθόδου σχεδιασμού με βάση το «δικτυωματικό μοντέλο μεταβλητής γωνίας»:

- επιλογή μικρής γωνιάς θ οδηγεί σε μικρό ποσοστό διατμητικού οπλισμού
- επιλογή μεγάλης γωνία θ οδηγεί σε μικρές διαστάσεις για τον κορμό

Η βέλτιστη επιλογή εξαρτάται από τον τύπο της κατασκευής

Μεθοδολογία σχεδιασμού:

-Λαμβάνεται $\cot \theta = 2,5$ ($\theta=21,8^\circ$)

-Υπολογισμός απαιτούμενου οπλισμού διάτμησης

-Έλεγχος ικανότητας κορμού για παραλαβή διαγώνιας θλίψης σκυροδέματος ($V_{E,d} \leq V_{Rd,max}$)

-Εάν $V_{E,d} > V_{Rd,max}$ αύξηση πλάτους κορμού ή εκ νέου υπολογισμός της τιμής $\cot \theta$ ώστε

$V_{E,d} = V_{Rd,max}$ και επανάληψη των υπολογισμών.

Ευρωκώδικας 2 (EC2):

Τέμνουσα αντοχής σχεδιασμού $V_{Rd} = \min \{ V_{Rd,s} ; V_{Rd,max} \}$

Μέγιστος οπλισμός διάτμησης $A_{sw,max}$: $A_{sw,max} f_{ywd} / b_w s \leq 1/2 \cup f_{cd}$

ΕΚΩΣ 2000:

Τέμνουσα αντοχής σχεδιασμού $V_{Rd} = \min \{ V_{Rd,3} ; V_{Rd,2} \}$

Μέγιστος οπλισμός διάτμησης $A_{sw,max}$: $A_{sw,max} f_{ywd} / b_w s \leq 1/2 \cup f_{cd}$

(Αναφέρεται στην γενική μέθοδο υπολογισμού αντοχών δοκών έναντι τέμνουσας)

EC2: Στοιχεία με κατακόρυφο οπλισμό διάτμησης

Τέμνουσα αντοχής σχεδιασμού $V_{Rd} = \min \{ V_{Rd,s} ; V_{Rd,max} \}$

Τέμνουσα αντοχής σχεδιασμού για
διαρροή οπλισμού διάτμησης:

$$V_{Rd,s} = (A_{sw}/s) z f_{ywd} \cot \theta$$

θ από 45° έως $21,8^\circ$

Τέμνουσα αντοχής σχεδιασμού λόγω
λοξής θλίψης κορμού:

$$V_{Rd,max} = b_w z \cup f_{cd} / (\cot \theta + \tan \theta)$$

θ από $21,8^\circ$ έως 45°

Σύγκριση Ευρωκώδικα και ΕΚΩΣ-2000

Τέμνουσα αντοχής σχεδιασμού για διαρροή οπλισμού διάτμησης:

$$V_{Rd,s} = (A_{sw}/s) z f_{ywd} \cot\theta$$

EC2: $z = 0,9 d$ για $\theta = 45^\circ$

$$V_{cd} = 0.0$$

Τέμνουσα αντοχής σχεδιασμού λόγω λοξής θλίψης κορμού:

$$V_{Rd,max} = b_w z v f_{cd} / (\cot\theta + \tan\theta)$$

για $\theta = 45^\circ$

$$V_{Rd,max} = \frac{1}{2} v f_{cd} b_w$$

$$z = 0,9 d$$

Τέμνουσα αντοχής σχεδιασμού λόγω λοξής θλίψης κορμού:

$$V_{Rd,max} = b_w z v f_{cd} / (\cot\theta + \tan\theta)$$

$$1 \leq \cot\theta \leq 2.5$$

$$z = 0,9 d$$

ΕΚΩΣ 2000 (τυπική μέθοδος):

$$V_{Rd,3} = V_{wd} + V_{cd}$$

παραδοχή $\theta = 45^\circ$

$$V_{wd} = (A_{sw}/s) 0,9 d f_{ywd}$$

$$V_{cd} = V_{Rd1}$$

ΕΚΩΣ 2000 (τυπική μέθοδος):

$$V_{Rd,2} = \frac{1}{2} v f_{cd} b_w z$$

παραδοχή $\theta = 45^\circ$

$$z = 0,9 d$$

ΕΚΩΣ 2000 (γενική μέθοδος):

Εναλλακτική μέθοδος για δοκούς

$$V_{Rd,2} = b_w z v f_{cd} / (\cot\theta + \tan\theta)$$

$0.40 < \cot\theta < 2.5$ σταθ. διαμήκη οπλ.

$0.50 < \cot\theta < 2.0$ κλιμ. διαμήκη οπλ.

$$z = 0,9 d$$

Σχεδιασμός κρίσιμων περιοχών Δοκών σε διάτμηση έναντι σεισμικών δράσεων

Ευρωκώδικας 8

Τέμνουσα αντοχής σχεδιασμού για
διαρροή οπλισμού διάτμησης(EC2):

$$V_{Rd,s} = (A_{sw}/s) 0,9 d f_{ywd} \cot\theta$$

$$V_{cd} = 0.0$$

Ειδικά για δοκούς με υψηλό επίπεδο
πλασσιμότητας (DCH): **EC8: $\theta=45^\circ$**

$$V_{Rd,s} = (A_{sw}/s) 0,9 d f_{ywd}$$

EAK 2000:

$$V_{Rd,3} = V_{wd} + V_{cd}$$

παραδοχή $\theta = 45^\circ$

$$V_{wd} = (A_{sw}/s) 0,9 d f_{ywd}$$

$$V_{cd} = 0,3V_{Rd1}$$

Ευρωκώδικας 8

Ειδικά για δοκούς με υψηλό επίπεδο
πλασσιμότητας (DCH):

$$\text{Έλεγχος } \zeta = V_{Emlr} / V_{Emax}$$

$$\zeta < -0.5$$

$$|V_E|_{max} > (2+\zeta)f_{ctd} b_w d$$

(α) Λοξές ράβδοι υπό γωνία $\pm \alpha$ ως προς
άξονα της δοκού, με A_s / κατεύθυνση:

$$A_s = 0,5V_{Emax} / f_{yd} \sin\alpha \text{ και}$$

(β) συνδετήρες για $0,5V_{Emax}$

EAK 2000:

$$\text{Έλεγχος } \zeta = V_{Emlr} / V_{Emax}$$

$$\zeta < -0.5$$

$$2.25 (2+\zeta)f_{ctd} b_w d > |V_E|_{max} > 1.125 (2+\zeta)f_{ctd} b_w d$$

(α) Λοξές ράβδοι υπό γωνία $\pm \alpha$ ως προς
άξονα της δοκού, με A_s / κατεύθυνση:

$$A_s = 0,5V_{Emax} / f_{yd} \sin\alpha \text{ και}$$

(β) συνδετήρες για $0,5V_{Emax}$

$$\text{Έλεγχος } \zeta = V_{Emlr} / V_{Emax}$$

$$\zeta < -0.5$$

$$2.25 (2+\zeta)f_{ctd} b_w d < |V_E|_{max}$$

(α) Λοξές ράβδοι υπό γωνία $\pm \alpha$ ως προς
άξονα της δοκού, με A_s / κατεύθυνση:

$$A_s = V_{Emax} / f_{yd} \sin\alpha$$

Όλη η τέμνουσα από δισδιαγώνιο

Παράδειγμα σχεδιασμού δοκού έναντι διάτμησης EC2 – ΕΚΩΣ

$b_w = 30\text{cm}$, $d = 70\text{cm}$, $t_f = 15\text{ cm}$

$\rho_l = 0.005$ (2 \varnothing 20) εφελκυσμένος διαμήκης οπλισμός δοκού
ο οποίος εκτείνεται μέχρι απόσταση $l_{bd} + d$ από την διατομή ελέγχου

Υλικά: C20, S500



EC2 [EN-1992-1-1]		ΕΚΩΣ 2000	
$V_{Ed} \text{ (KN)} = 300\text{KN}$			
Επιλογή γωνίας $\theta = 21.8^\circ$		Παραδοχή $\theta = 45^\circ$	
Υπολογισμός $V_{Rd,max} = b_w 0,9 d v f_{cd} / (\cot\theta + \tan\theta)$		Υπολογισμός $V_{Rd,2} = 1/2 b_w 0,9 d v f_{cd}$	
$V_{Rd,max} \text{ (KN)}$	479,64	$V_{Rd,2} \text{ (KN)}$	756
Έλεγχος θραύσης κορμού			
$V_{Ed} < V_{Rd,max}$	OK	$V_{Ed} < V_{Rd,2}$	OK
Απαιτούμενος Οπλισμός διάτμησης $(A_{sw} / s) 0,9 d f_{ywd} \cot\theta = V_{Ed}$		Απαιτούμενος Οπλισμός διάτμησης $(A_{sw} / s) 0,9 d f_{ywd} = V_{Ed} - V_{cd}$	
A_{sw}	Ø8 (δίτμητος)	A_{sw}	Ø8 (δίτμητος)
ρ_w	0,00146	ρ_w	0,00267
$\rho_{w,min} (0,08 \sqrt{f_{ck}} / f_{yk})$	0,00072	$\rho_{w,min} \text{ (C20, S500)}$	0,0007
Ø8 / 23 cm		Ø8 / 12,5 cm	

EC2 [EN-1992-1-1]		ΕΚΩΣ 2000	
V_{Ed} (KN) = 300KN			
Επιλογή γωνίας $\theta = 45^{\circ}$		Παραδοχή $\theta = 45^{\circ}$	
Υπολογισμός $V_{Rd,max} = b_w 0,9 d v f_{cd} / (\cot\theta + \tan\theta)$		Υπολογισμός $V_{Rd,2} = 1/2 b_w 0,9 d v f_{cd}$	
$V_{Rd,max}$ (KN)	695,52	$V_{Rd,2}$ (KN)	756
Έλεγχος θραύσης κορμού			
$V_{Ed} < V_{Rd,max}$	OK	$V_{Ed} < V_{Rd,2}$	OK
Απαιτούμενος Οπλισμός διάτμησης $(A_{sw} / s) 0,9 d f_{ywd} \cot\theta = V_{Ed}$		Απαιτούμενος Οπλισμός διάτμησης $(A_{sw} / s) 0,9 d f_{ywd} = V_{Ed} - V_{cd}$	
Asw	Ø8 (δίτμητος)	Asw	Ø8 (δίτμητος)
ρ_w	0,00365	ρ_w	0,00267

$\rho_{w,min} (0.08 \sqrt{f_{ck} / f_{yk}})$	0,00072	$\rho_{w,min} (C20, S500)$	0,0007
Ø8 / 9 cm		Ø8 / 12,5 cm	