

Αναλυτικές οδηγίες για επίλυση πολυωρόφου

Ακολουθούν αναλυτικές οδηγίες για την αντιμετώπιση του θέματος εξαμήνου του μαθήματος.

Προετοιμασία των δεδομένων:

Οι διαστάσεις της κατασκευής είναι διαφορετικές για κάθε σπουδαστή, καθώς είναι συναρτήσεις των αριθμών X, Y , των δύο τελευταίων ψηφίων του κωδικού του. Επομένως καταρχάς υπολογίζονται οι διαστάσεις της κατασκευής με βάση τον αριθμό μητρώου. Είναι καλό να γίνει ένα σκαρίφημα της κατασκευής με τις διαστάσεις που αντιστοιχούν στον κωδικό του σπουδαστή, κατά προτίμηση υπό κλίμακα, το οποίο θα βοηθήσει στη συνέχεια του θέματος.

Η κατανομή των μαζών ανά στάθμη. Θα ληφθούν υπόψη τα ίδια βάρη των πλακών, δοκών, υποστυλωμάτων και τα κινητά φορτία.

Η κατασκευή είναι διώροφη χωρίς υπόγειο. Θα πρέπει να γίνει κατανομή των μαζών σε τρεις στάθμες: Τη στάθμη 1 που είναι η οροφή του ισογείου, τη στάθμη 2 που είναι η οροφή του Α' ορόφου, τη στάθμη 3 που είναι η οροφή του Β' ορόφου. Θα υπολογιστούν ξεχωριστά η μάζα m_1 της 1^{ης} στάθμης (οροφή ισογείου) και η μάζα m_2 της 2^{ης} στάθμης (οροφή ορόφου) και η μάζα m_3 της 3^{ης} στάθμης (οροφή 2^{ου} ορόφου). Για τον υπολογισμό της μάζας κάθε στάθμης θα υπολογιστούν πρώτα τα φορτία που αντιστοιχούν στη στάθμη και στη συνέχεια το συνολικό φορτίο (Προσοχή: σε μονάδες N) θα διαιρεθεί με το $g=9.81 \text{ m/sec}^2$ ώστε να προκύψει η μάζα σε kg. Δίνεται το ειδικό βάρος οπλισμένου σκυροδέματος: $\gamma_{σκ} = 25 \text{ kN/m}^3$.

Όπως αναφέρεται και στην εκφώνηση, θα ληφθούν υπόψη τα παρακάτω βάρη για τον καθορισμό της μάζας της κατασκευής:

Α. Ίδιο βάρος πλακών

Για κάθε στάθμη θα υπολογιστεί το ίδιο βάρος της κάθε πλάκας. Οι πλάκες που φαίνονται στον ξυλότυπο οροφής ισογείου θα ληφθούν υπόψη στη στάθμη 1, ενώ οι πλάκες που φαίνονται στον ξυλότυπο οροφής Α' ορόφου θα ληφθούν υπόψη στη στάθμη 2 και ούτω καθ' εξής. Στο τέλος θα γίνει άθροιση των βαρών των πλακών για κάθε στάθμη. Τα τελικά βάρη θα είναι σε N. Προσοχή στο ότι κάποιες πλάκες έχουν διαφορετικά πάχη από άλλες, τα πάχη των πλακών είναι αυτά που αναγράφονται στους ξυλοτύπους.

Β. Ίδιο βάρος δοκών

Για κάθε στάθμη θα υπολογιστεί το ίδιο βάρος της κάθε δοκού. Όλες οι δοκοί έχουν διαστάσεις 25/60. Οι δοκοί που φαίνονται στον ξυλότυπο οροφής ισογείου θα ληφθούν υπόψη στη στάθμη 1, ενώ οι δοκοί που φαίνονται στον ξυλότυπο οροφής Α' ορόφου θα ληφθούν υπόψη στη στάθμη 2 και ούτω καθ' εξής. Ως μήκος δοκού θα ληφθεί το καθαρό μήκος από υποστύλωμα σε υποστύλωμα. Ως ύψος δοκού θα ληφθεί το ύψος της μείον το ύψος την πλάκας, καθώς το τμήμα της δοκού που ανήκει και στην πλάκα έχει ληφθεί ήδη υπόψη στα βάρη των πλακών. Στο τέλος θα γίνει άθροιση των βαρών των δοκών για κάθε στάθμη. Τα τελικά βάρη θα είναι σε N.

Γ. Ίδιο βάρος υποστυλωμάτων

Τα υποστυλώματα θα θεωρηθεί ότι ανήκουν κατά το ήμισυ στην άνω στάθμη και κατά το ήμισυ στην κάτω στάθμη τις οποίες ενώνουν, όσον αφορά στα βάρη τους. Επομένως, τα βάρη των υποστυλωμάτων του Α' ορόφου θα πάνε μισά-μισά στις στάθμες 1 και 2, ενώ τα βάρη των υποστυλωμάτων του ισογείου θα πάνε το πάνω μισό μέρος στη στάθμη 1 και το κάτω μισό μέρος θα αγνοηθεί θεωρώντας ότι πηγαίνει στην πάκτωση κάτω. Το ίδιο για τον Β' όροφο. Στο τέλος θα γίνει άθροιση των βαρών των υποστυλωμάτων για κάθε στάθμη. Προσοχή στο ότι το ύψος των υποστυλωμάτων του ισογείου. Τα τελικά βάρη θα είναι σε N.

Δ. Κινητό φορτίο

Για κάθε στάθμη θα υπολογιστεί το κινητό φορτίο της αντίστοιχης πλάκας. Το κινητό φορτίο των πλακών που φαίνονται στον ξυλότυπο οροφής ισογείου θα ληφθεί υπόψη στη στάθμη 1, ενώ το κινητό των πλακών που φαίνονται στον ξυλότυπο οροφής Α' ορόφου θα ληφθεί υπόψη στη στάθμη 2 και ούτω καθ' εξής. Δίνεται το κινητό φορτίο: 2 kN/m² σε όλες τις εσωτερικές πλάκες και 5 kN/m² στους προβόλους. Δίνεται ο συντελεστής συνδυασμού δράσεων $\Psi_2=0.30$. Τα τελικά κινητά φορτία θα πολλαπλασιαστούν με τον συντελεστή Ψ_2 , θεωρώντας ότι κατά τη διάρκεια του σεισμού δεν θα είναι παρόντα όλα τα κινητά φορτία, αλλά μόνο το 30% τους. Τα τελικά φορτία θα είναι σε N.

ΣΤ. Άθροιση των επιμέρους φορτίων και εύρεση των μαζών

Αφού βρεθούν όλα τα παραπάνω φορτία για κάθε στάθμη, τα φορτία αθροίζονται ανά στάθμη και έχουμε τα τελικά φορτία B_1 B_2 B_3 των τριών σταθμών. Για τον υπολογισμό της μάζας κάθε στάθμης, το αντίστοιχο φορτίο της στάθμης (Προσοχή: σε μονάδες N) θα διαιρεθεί με το $g=9.81 \text{ m/sec}^2$ ώστε να προκύψει η μάζα σε kg. Με τον τρόπο αυτό θα βρεθούν οι μάζες m_1 , m_2 και m_3 . Η ολική μάζα της κατασκευής $m_{ολ}$ θα βρεθεί ως το άθροισμα των τριών επιμέρους μαζών.

1. Ο υπολογισμός της ιδιοπεριόδου του κτιρίου για κάθε διεύθυνση (x, y).

Για τον υπολογισμό των ιδιοπεριοδών T_x και T_y (σε sec), θα γίνει χρήση του παρακάτω τύπου της παρ. 3.5.2[1] του ΕΑΚ2000:

$$T = 0.09 \cdot \frac{H}{\sqrt{L}} \cdot \sqrt{\frac{H}{H + \rho \cdot L}}$$

Για την αναλυτική επεξήγηση των μεταβλητών που περιέχονται στον παραπάνω τύπο, βλ. παρ. 3.5.2[1] του ΕΑΚ 2000. Ο παραπάνω τύπος θα χρησιμοποιηθεί δύο φορές, μία φορά για κάθε διεύθυνση της κατασκευής και έτσι θα προκύψουν οι δύο ιδιοπερίοδοι T_x και T_y . Αυτό που θα αλλάξει από τη μία περίπτωση στην άλλη θα είναι το μήκος L της κατασκευής σε κάθε διεύθυνση. Στην περίπτωση μας, ο τύπος δεν απλοποιείται αφού ρ δεν είναι 0 λόγω του ότι υπάρχουν τοιχώματα στην κατασκευή.

2. Ο υπολογισμός της συνολικής σεισμικής δύναμης (τέμνουσας βάσης) για κάθε διεύθυνση.

Για τον υπολογισμό της συνολικής σεισμικής δύναμης για κάθε διεύθυνση, V_{0x} και V_{0y} (σε N), θα γίνει χρήση του παρακάτω τύπου της παρ. 3.5.2[1] του ΕΑΚ2000:

$$V_o = M \cdot \Phi_d(T)$$

Όπου M είναι η συνολική μάζα της κατασκευής που έχει βρεθεί στο ερώτημα 1 και $\Phi_d(T)$ είναι η επιτάχυνση σχεδιασμού για κάθε διεύθυνση (χωριστά $\Phi_d(T_x)$ και $\Phi_d(T_y)$). Θα βρεθεί χωριστά η V_{0x} που αντιστοιχεί στο T_x και η V_{0y} που αντιστοιχεί στο T_y . Η $\Phi_d(T)$ θα βρεθεί για τα T_x και T_y από τους παρακάτω τύπους της παρ. 2.3.1[1] του ΕΑΚ2000:

$$0 \leq T < T_1 : \quad \Phi_d(T) = \gamma_I \cdot A \cdot \left[1 + \frac{T}{T_1} \left(\frac{\eta \cdot \theta \cdot \beta_0}{q} - 1 \right) \right] \dots\dots\dots (2.1.α)$$

$$T_1 \leq T \leq T_2 : \quad \Phi_d(T) = \gamma_I \cdot A \cdot \frac{\eta \cdot \theta \cdot \beta_0}{q} \dots\dots\dots (2.1.β)$$

$$T_2 < T : \quad \Phi_d(T) = \gamma_I \cdot A \cdot \frac{\eta \cdot \theta \cdot \beta_0}{q} \cdot \left(\frac{T_2}{T} \right)^{2/3} \dots\dots\dots (2.1.γ)$$

Σύμφωνα με την παρ. 2.3.1[4], πρέπει σε κάθε περίπτωση:

$$\frac{\Phi_d(T)}{A\gamma_i} \geq 0.25$$

Οπότε πρέπει να γίνει και ο παραπάνω έλεγχος. Για την αναλυτική επεξήγηση των μεταβλητών που περιέχονται στις παραπάνω σχέσεις, βλ. παρ. 2.3.1 του ΕΑΚ 2000. Στο βήμα αυτό χρειάζεται να ληφθούν υπόψη τα παρακάτω δεδομένα που δίνονται στην εκφώνηση του θέματος: Συντελεστής απόσβεσης $\zeta=5\%$, Ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας: II, Κατηγορία σπουδαιότητας: Σ2, Συντελεστής σεισμικής συμπεριφοράς: $q=3.5$, Έδαφος κατηγορίας B.

3. Ο υπολογισμός της συνολικής σεισμικής δύναμης ανά στάθμη, για κάθε διεύθυνση.

Για τον υπολογισμό της συνολικής σεισμικής δύναμης ανά στάθμη, $F_{x,1}$, $F_{x,2}$ και $F_{x,3}$ για σεισμική διεύθυνση x , και $F_{y,1}$, $F_{y,2}$, $F_{y,2}$ για σεισμική διεύθυνση y (σε N), θα γίνει χρήση του παρακάτω τύπου της παρ. 3.5.2[3] του ΕΑΚ2000, για κάθε στάθμη i της κατασκευής και για κάθε σεισμική διεύθυνση x και y :

$$F_i = (V_o - V_H) \cdot \frac{m_i \cdot z_i}{\sum_j m_j \cdot z_j}, \quad i, j = 1, 2, \dots, N$$

Για την αναλυτική επεξήγηση των μεταβλητών που περιέχονται στην παραπάνω σχέση, βλ. παρ. 2.3.1 του ΕΑΚ 2000. Στη δική μας περίπτωση, είναι $V_H=0$ αφού οι ιδιοπερίοδοι της κατασκευής είναι (λογικά) < 1 sec, επομένως ο τύπος απλοποιείται.

Προτείνεται η δημιουργία του παρακάτω βοηθητικού πίνακα (απαιτούνται δύο πίνακες, ένας για τη διεύθυνση x και ένας για τη διεύθυνση y):

Στάθμη	m_i	z_i	$m_i \cdot z_i$	F_i
1				
2				
3				
Άθροισμα	$\Sigma(m_i)$		$\Sigma(m_i \cdot z_i)$	$\Sigma(F_i)$

4. Ο υπολογισμός του Κέντρου Βάρους (KB) της κάθε στάθμης.

Ορίζουμε ένα αυθαίρετο σύστημα συντεταγμένων x, y . Οι άξονες θα πρέπει να είναι παράλληλοι με τις κύριες διευθύνσεις της κατασκευής, ενώ ως αρχή των αξόνων μπορεί να ληφθεί πχ το κάτω αριστερά σημείο του υποστυλώματος K5 ή και άλλο σημείο της κάτοψης. Καλό είναι να χρησιμοποιηθεί το ίδιο σύστημα συντεταγμένων και για τις τρεις εξεταζόμενες στάθμες.

Για τον υπολογισμό του κέντρου βάρους κάθε στάθμης, θα ληφθούν υπόψη μόνο οι πλάκες της κατασκευής με τα φορτία τους, αμελώντας την επιρροή των δοκών, υποστυλωμάτων. Για τις στάθμες 1 (ισόγειο), 2(ορόφου), 3(ορόφου) θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί ο αναλυτικός τύπος υπολογισμού του κέντρου βάρους:

$$x_{KB} = \frac{\sum x_i P_i}{\sum P_i}, \quad y_{KB} = \frac{\sum y_i P_i}{\sum P_i}$$

Όπου P_i είναι το κατακόρυφο φορτίο του στοιχείου i .

Προσοχή στο ότι για την περίπτωση των πλακών, πρέπει να ληφθεί υπόψη τόσο το ίδιο βάρος (μόνιμο) όσο και το κινητό φορτίο, και επομένως για κάποια πλάκα θα είναι:

$$P=L_x \cdot L_y \cdot (\text{Πάχος}) \cdot \gamma_{σκ} + 0.3 \cdot L_x \cdot L_y \cdot (\text{Κινητό φορτίο}).$$

5. Ο υπολογισμός των δυσκαμψιών των υποστυλωμάτων ανά διεύθυνση και ανά στάθμη.

6. Η εύρεση του Κέντρου Ελαστικής Στροφής (ΚΕΣ) για κάθε στάθμη.

Το Κέντρο Ελαστικής Στροφής (ΚΕΣ) μονορόφου κατασκευής (ορισμός) είναι το σημείο στο οποίο αν ασκηθεί δύναμη κατά x, θα μετακινηθεί ο δίσκος (διάφραγμα) της κατασκευής μόνο κατά x-x (όχι μετακίνηση y-y, όχι στροφή του διαφράγματος). Ομοίως και αν ασκηθεί δύναμη κατά y. Η θέση του ΚΕΣ μίας μονόροφης κατασκευής εξαρτάται από τα υποστυλώματα (τις διαστάσεις και τις θέσεις τους), αφού αυτά συνεισφέρουν δυσκαμψίες κατά x και y.

Στο θέμα, για τον υπολογισμό της θέσης του ΚΕΣ κάθε στάθμης, είναι χρήσιμο να γίνει ένας πίνακας όπως ο παρακάτω (προτείνεται να χρησιμοποιηθεί το MS Excel ή ισοδύναμο πρόγραμμα). Θα γίνουν τρεις πίνακες, ένας για κάθε στάθμη της κατασκευής.

Υποσύλωμα	dx	dy	x	y	I _x	I _y	K _x	K _y	x·K _y	y·K _x
1										
2										
...										
6										
Άθροισμα							Σ(K _x)	Σ(K _y)	Σ(x·K _y)	Σ(y·K _x)

Στον παραπάνω πίνακα: dx, dy είναι οι διαστάσεις της διατομής του κάθε υποστυλώματος, x,y είναι οι συντεταγμένες της θέσης του κέντρου του υποστυλώματος, I_x, I_y είναι οι ροπές αδράνειας του υποστυλώματος στους άξονες x και y αντίστοιχα, και K_x, K_y είναι οι δυσκαμψίες του υποστυλώματος στους άξονες x και y αντίστοιχα. Για τα υποστυλώματα εφαρμόζεται ο συντελεστής α για τον υπολογισμό της δυσκαμψίας. Ο υπολογισμός έχει παρουσιαστεί και ανεβεί στο eclass. Ισχύουν οι παρακάτω σχέσεις:

Ροπές αδράνειας:

$$I_x = \frac{1}{12} dx \cdot dy^3, \quad I_y = \frac{1}{12} dy \cdot dx^3$$

Δυσκαμψίες (σύμφωνα με τη θεωρία που έχει δοθεί):

$$K_x = \alpha \cdot \frac{12EI_y}{h^3}, \quad K_y = \alpha \cdot \frac{12EI_x}{h^3}$$

Όπου h το ύψος του υποστυλώματος της στάθμης και α ο συντελεστής που προκύπτει σύμφωνα με τη θεωρία για την οποία έχει ανέβει σχετική παρουσίαση. Προσοχή στο

ότι άλλος είναι ο συντελεστής α για το ισόγειο και άλλος για τον Α' και Β' όροφο (διαφορετικοί τύποι).

$$x_{\text{ΚΕΣ}} = \frac{\sum (x \cdot K_y)}{\sum (K_y)}, \quad y_{\text{ΚΕΣ}} = \frac{\sum (y \cdot K_x)}{\sum (K_x)}$$

Δεν ισχύει το ίδιο για τα κέντρα βάρους, που θα είναι διαφορετικά.

Σκοπός μας είναι τελικά η ανάπτυξη ενός μοντέλου «ισοδύναμου υποστυλώματος» για κάθε στάθμη. Πρόκειται για ένα θεωρητικό υποστυλίσμα για κάθε στάθμη, το οποίο θεωρείται ότι βρίσκεται στη θέση του ΚΕΣ της κατασκευής και το οποίο έχει την ιδιότητα ότι θα έχει τις ίδιες μετακινήσεις με το ΚΕΣ (μετακινήσεις u κατά x και v κατά y , καθώς και στροφή ϕ περί τον z), για την ίδια φόρτιση στην εξεταζόμενη στάθμη. Πρέπει να βρεθούν οι δυσκαμψίες και η δυστρεψία του ισοδύναμου υποστυλώματος, σύμφωνα με τα παρακάτω.

Δυσκαμψίες ισοδύναμου υποστυλώματος D_x, D_y :

$$D_x = \sum_{i=1}^N (K_{xi}), \quad D_y = \sum_{i=1}^N (K_{yi})$$

Οι δυσκαμψίες D_x, D_y της κάθε στάθμης της κατασκευής έχουν βρεθεί ήδη και εκφράζονται από τα αθροίσματα της 8ης και 9ης στήλης του παραπάνω πίνακα που αφορά την εξεταζόμενη στάθμη.

Δυστρεψία ισοδύναμου υποστυλώματος D_ϕ :

Η δυστρεψία του ισοδύναμου υποστυλώματος της εξεταζόμενης στάθμης δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$D_\phi = \sum_{i=1}^N (K_{\phi i} + \bar{x}_i^2 K_{yi} + \bar{y}_i^2 K_{xi})$$

Όπου τα $\bar{x}, \bar{y}$ είναι οι συντεταγμένες του εκάστοτε υποστυλώματος ως προς το νέο σύστημα συντεταγμένων με αρχή το ΚΕΣ, το οποίο θα ονομάζεται σύστημα $\bar{x}, \bar{y}$. Αφού βρεθεί το ΚΕΣ, πρέπει για τη συνέχεια των υπολογισμών να ληφθεί αυτό ως αρχή των νέων αξόνων. Ισχύουν για ένα οποιοδήποτε σημείο x, y οι γενικές σχέσεις μετασχηματισμού:

$$\bar{x} = x - x_{\text{ΚΕΣ}}, \quad \bar{y} = y - y_{\text{ΚΕΣ}}$$

Στην σχέση υπολογισμού του D_ϕ , το $K_{\phi i}$ είναι η δυστρεψία κάθε μεμονωμένου υποστυλώματος i . Ο όρος αυτός συχνά παραλείπεται, καθώς είναι σχετικά μικρός σε σχέση με τους δύο άλλους όρους της σχέσης και προτείνεται να παραληφθεί και για τις ανάγκες του θέματος. Προτείνεται η κατασκευή ενός βοηθητικού πίνακα για κάθε στάθμη ως εξής:

Υποστύλωμα	dx	dy	x	y	$\bar{x}$	$\bar{y}$	K _x	K _y	$\bar{x}^2 K_y$	$\bar{y}^2 K_x$
1										
2										
...										
6										
Άθροισμα									$\sum (\bar{x}^2 K_y)$	$\sum (\bar{y}^2 K_x)$
										Άθροισμα των δύο = D _φ

Κάποιες από τις στήλες του παραπάνω πίνακα έχουν υπολογιστεί ήδη στον προηγούμενο πίνακα, ενώ τα νέα στοιχεία φαίνονται μέσα σε έντονο πλαίσιο. Το άθροισμα των δύο τελευταίων στηλών του πίνακα θα μας δώσει τελικά τη δυστρεψία D_φ της εξεταζόμενης στάθμης.

7. Ο υπολογισμός των γεωμετρικών εκκεντροτήτων.

Οι γεωμετρικές εκκεντρότητες εκφράζουν την απόσταση μεταξύ του ΚΒ και του ΚΕΣ κάθε στάθμης σε κάθε διεύθυνση και προκύπτουν από τις παρακάτω σχέσεις:

$$e_{x,i} = |x_{KB,i} - x_{KES,i}|, \quad e_{y,i} = |y_{KB,i} - y_{KES,i}|$$

Όπου i η εξεταζόμενη στάθμη. Τονίζεται ότι τα e_x, e_y πρέπει να υπολογιστούν επομένως τρεις φορές, μία για κάθε στάθμη της κατασκευής. Προκύπτουν τελικά 6 τιμές.

8. Ο υπολογισμός των εκκεντροτήτων σχεδιασμού.

Σύμφωνα με την παρ. 3.5.3[1] του ΕΑΚ2000, κατά την εφαρμογή της απλοποιημένης φασματικής μεθόδου, για κάθε κύρια διεύθυνση του κτιρίου και σε κάθε διάφραγμα (στάθμη), οι σεισμικές δυνάμεις εφαρμόζονται εκατέρωθεν του Κέντρου Μάζας (Κέντρου Βάρους) με τις εκκεντρότητες σχεδιασμού ως προς τον ελαστικό άξονα του κτιρίου, που υπολογίζονται με τις παρακάτω σχέσεις:

$$e_{xd,i} = \lambda \cdot e_{x,i} \pm 0.05 \cdot L_x, \quad e_{yd,i} = \lambda \cdot e_{y,i} \pm 0.05 \cdot L_y$$

Όπου i η εξεταζόμενη στάθμη, L_x και L_y οι χαρακτηριστικές διαστάσεις του κτιρίου στις διευθύνσεις x και y, αντίστοιχα, και ο συντελεστής λ παίρνει τις τιμές 1.5 ή 0.5. Επομένως, για κάθε στάθμη i και για κάθε διεύθυνση x και y υπολογίζονται 4 τιμές των εκκεντροτήτων σχεδιασμού. Για παράδειγμα, για τη στάθμη 1 και για τη διεύθυνση x υπολογίζονται οι παρακάτω 4 τιμές:

$$e_{xd,1\alpha} = 1.50 e_{x,1} + 0.05 \cdot L_x$$

$$e_{xd,1\beta} = 1.50 e_{x,1} - 0.05 \cdot L_x$$

$$e_{xd,1\gamma} = 0.50 e_{x,1} + 0.05 \cdot L_x$$

$$e_{xd,1\delta} = 0.50 e_{x,1} - 0.05 \cdot L_x$$

Προσοχή: Στις παραπάνω 4 τιμές προσθέτουμε και μία πλασματική (θα χρειαστεί παρακάτω), την $e_{xd,1\epsilon} = 0$ (μηδέν). Από τις παραπάνω 5 συνολικά τιμές κρατάμε τελικά τις δύο ακραίες, δηλαδή το $e_{xd,1min}$ και το $e_{xd,1max}$, όπου το min (ελάχιστο) και το max (μέγιστο) είναι σε αλγεβρικές τιμές (όχι σε απόλυτες τιμές). Η πλασματική τιμή του μηδενός προστίθεται ώστε το ελάχιστο (min) να μην μπορεί να είναι θετικό (σε περίπτωση που και οι 4 τιμές ήταν θετικές) και να γίνει αυτομάτως μηδέν.

Το παραπάνω θα γίνει και για τις τρεις στάθμες, και για τις δύο διευθύνσεις. Έτσι, θα έχουμε στο τέλος 12 τιμές, ως εξής:

4 τιμές για τη στάθμη 1: $e_{xd,1min}$, $e_{xd,1max}$, $e_{yd,1min}$, $e_{yd,1max}$

4 τιμές για τη στάθμη 2: $e_{xd,2min}$, $e_{xd,2max}$, $e_{yd,2min}$, $e_{yd,2max}$

Προτείνεται η κατασκευή ενός βοηθητικού πίνακα για κάθε στάθμη, όπως φαίνεται παρακάτω:

		Στάθμη i (πχ Στάθμη 1)							
Διεύθυνση	e	L	$e_{\alpha}=e_{1.5+}$	$e_{\beta}=e_{1.5-}$	$e_{\gamma}=e_{0.5+}$	$e_{\delta}=e_{0.5-}$	$e_{\epsilon}=0$	e_{min}	e_{max}
x									
y									

Απαιτούνται συνολικά δύο πίνακες για τις τρεις στάθμες.

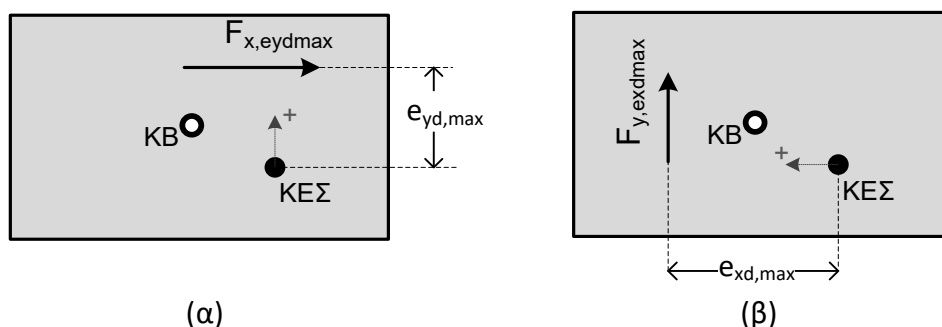
9. Η κατανομή των σεισμικών δυνάμεων στα υποστυλώματα λαμβάνοντας υπόψη τις εκκεντρότητες σχεδιασμού, για σεισμικό συνδυασμό $F_x + 0.3 F_y$ και για σεισμικό συνδυασμό $F_y + 0.3 F_x$.

Ορίζουμε 4 σεισμικές φορτίσεις για την κατασκευή, κάθε μία από τις οποίες αποτελείται από ένα σετ (ζευγάρι) δύο δυνάμεων, μία σε κάθε στάθμη (όροφο). Τα 4 ζευγάρια σεισμικών δυνάμεων είναι τα εξής: **1.** $F_{x,eydmax}$ (δύναμη κατά x, εφαρμογή στο $e_{yd,max}$), **2.** $F_{x,eydmin}$ (δύναμη κατά x, εφαρμογή στο $e_{yd,min}$), **3.** $F_{y,exdmax}$ (δύναμη κατά y, εφαρμογή στο $e_{xd,max}$), **4.** $F_{y,exdmin}$ (δύναμη κατά y, εφαρμογή στο $e_{xd,min}$).

Παρακάτω θα δοθούν αναλυτικές οδηγίες για την 1^η φόρτιση, δηλαδή την $F_{x,eydmax}$ (δύναμη κατά x, εφαρμογή στο $e_{yd,max}$). Σε πλήρη αντιστοιχία θα αντιμετωπιστούν και οι άλλες τρεις φορτίσεις. Η φόρτιση $F_{x,eydmax}$ αποτελείται από δύο σεισμικές δυνάμεις κατά x, μία σε κάθε στάθμη (όροφο) της κατασκευής. Το μέτρο κάθε δύναμης έχει βρεθεί ήδη, όπου έγινε κατανομή της σεισμικής δύναμης κατά x στις τρεις στάθμες της κατασκευής. Η θέση εφαρμογής της κάθε δύναμης ορίζεται από το $e_{yd,max}$ της κάθε στάθμης, όπως θα δούμε αναλυτικότερα παρακάτω.

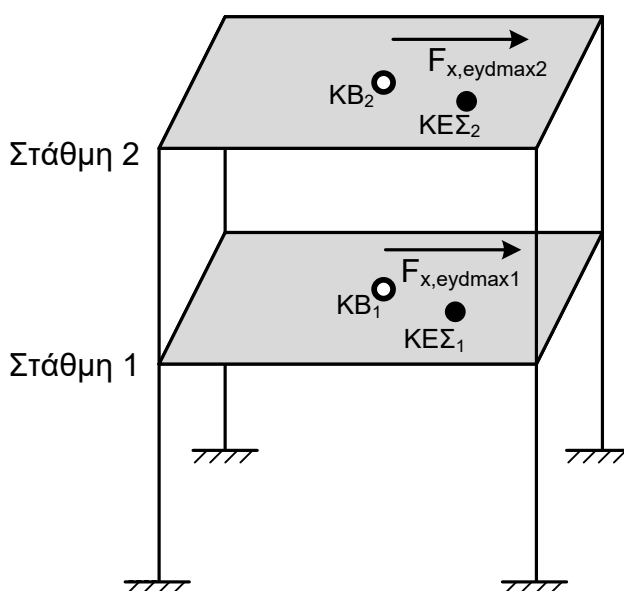
Προσοχή: Για να προσδιορίσουμε την ακριβή θέση εφαρμογής της σεισμικής δύναμης $F_{x,eydmax}$ στην εξεταζόμενη στάθμη, μετράμε απόσταση $e_{yd,max}$ από το ΚΕΣ της εξεταζόμενης στάθμης, θεωρώντας θετική φορά τη φορά από το ΚΕΣ προς το ΚΒ. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται στο (α) η θέση εφαρμογής της εξεταζόμενης

σεισμικής δύναμης $F_{x,eydmax}$ (για κάποια στάθμη). Στο (β) φαίνεται για λόγους καλύτερης κατανόησης της μεθοδολογίας η αντίστοιχη δύναμη $F_{y,exdmax}$, που αντιστοιχεί όμως στην 3^η φόρτιση και δεν θα μας απασχολήσει στην παρούσα φάση.



Πρέπει να σημειωθεί εδώ ότι η δύναμη $F_{x,eydmax}$ του παραπάνω σχήματος (α) δεν έχει σημασία σε ποια ακριβώς θέση κατά x εφαρμόζεται, με άλλα λόγια το διάνυσμά της μπορεί να «ολισθαίνει» πάνω στη διεύθυνσή του, αρκεί η απόστασή του από το ΚΕΣ να παραμένει η ίδια ($e_{yd,max}$). Αντίστοιχα, η δύναμη $F_{y,exdmax}$ του παραπάνω σχήματος (β) δεν έχει σημασία σε ποια ακριβώς θέση κατά y εφαρμόζεται, καθώς το διάνυσμά της μπορεί να «ολισθαίνει» πάνω στη διεύθυνσή του, αρκεί η απόστασή του από το ΚΕΣ να παραμένει η ίδια ($e_{xd,max}$).

Παρακάτω φαίνεται σχηματικά το 1^ο ζευγάρι σεισμικών δυνάμεων, με την εφαρμογή της $F_{x,eydmax}$ (δύναμη κατά x , εφαρμογή στο $e_{yd,max}$) σε κάθε στάθμη της κατασκευής.



Για την επίλυση της διώροφης κατασκευής για την παραπάνω φόρτιση, θα θεωρήσουμε κάθε στάθμη ξεχωριστά ως μία μονώροφη κατασκευή. Το πρόβλημα ανάγεται επομένως στην επίλυση τριών ξεχωριστών προβλημάτων μονώροφης κατασκευής. Για το πρόβλημα αυτό έχουν δοθεί αναλυτικές οδηγίες (φυλλάδιο θεωρίας μονωρόφου και αντίστοιχη εφαρμογή σε Excel) τις οποίες πρέπει να

μελετήσει ο σπουδαστής στη φάση αυτή του θέματος. Στην εφαρμογή που έχει δοθεί σε αρχείο Excel, εφαρμόζονται δύο δυνάμεις (F_x , F_y) σε μονώροφη κατασκευή με 4 υποστυλώματα και προκύπτουν τελικά οι τέμνουσες των υποστυλωμάτων. Για το θέμα θα γίνει το ίδιο, όμως κάθε φορά θα εφαρμόζεται μόνο μία δύναμη σε κατάλληλη θέση της κατασκευής σε μία διεύθυνση, καθώς η επαλληλία των δυνάμεων κατά x και y θα γίνει στο τέλος.

Για τις μετακινήσεις u , v και τη στροφή του ΚΕΣ, ισχύουν:

α. Αν έχω δυνάμεις κατά x , τότε για κάθε στάθμη ισχύει:

$$\varphi = \frac{M}{D_\varphi} = \frac{-F_x \cdot \bar{y}_p}{D_\varphi}, \quad u_{\text{ΚΕΣ}} = \frac{F_x}{D_x}, \quad v_{\text{ΚΕΣ}} = 0$$

β. Αν έχω δυνάμεις κατά y , τότε για κάθε στάθμη ισχύει:

$$\varphi = \frac{M}{D_\varphi} = \frac{F_y \cdot \bar{x}_p}{D_\varphi}, \quad u_{\text{ΚΕΣ}} = 0, \quad v_{\text{ΚΕΣ}} = \frac{F_y}{D_y}$$

10. Εύρεση για κάθε μία σεισμική δύναμη (και για κάθε στάθμη) των μετακινήσεων u , v του κάθε υποστυλώματος της κάτοψης.

Οι μετακινήσεις και στροφές των υποστυλωμάτων προκύπτουν και αυτές με βάση τις αναλυτικές οδηγίες του φυλλαδίου θεωρίας μονώροφου. **Ισχύουν οι γνωστές σχέσεις της θεωρίας μονοώροφου:**

Οι μετακινήσεις u_Σ , v_Σ κάποιου σημείου Σ του διαφράγματος θα δίνονται από τις παρακάτω σχέσεις:

$$u_\Sigma = \frac{F_x}{D_x} - \bar{y}_\Sigma \cdot \varphi, \quad v_\Sigma = \frac{F_y}{D_y} + \bar{x}_\Sigma \cdot \varphi$$

Αν όπου Σ ορίσουμε το κέντρο βάρους ενός υποστυλώματος του θέματος, θα λάβουμε τις μετακινήσεις του εν λόγω υποστυλώματος και με τον τρόπο αυτό μπορούμε να βρούμε τις μετακινήσεις u , v όλων των υποστυλωμάτων της κατασκευής.

Για κάθε σεισμική δύναμη ($F_{x, eydmax}$, $F_{x, eydmin}$, $F_{y, exdmax}$, $F_{y, exdmin}$.) προτείνεται η μόρφωση του ακόλουθου πίνακα αποτελεσμάτων που περιλαμβάνει και τις τρεις στάθμες της κατασκευής:

Φόρτιση $F_{x, eydmax}$		
Υποσύλωμα	u	v
$K_{1,1}$	$u_{K1,1}(F_{x, eydmax})$	$v_{K1,1}(F_{x, eydmax})$
$K_{2,1}$	$u_{K2,1}(F_{x, eydmax})$	$v_{K2,1}(F_{x, eydmax})$
...	...	...
$K_{6,1}$	$u_{K6,1}(F_{x, eydmax})$	$v_{K6,1}(F_{x, eydmax})$

$K_{1,2}$	$U_{,K1,2_}(F_x, e_{y\text{dmax}})$	$V_{K1,2_}(F_x, e_{y\text{dmax}})$
$K_{2,2}$	$U_{x,K2,2_}(F_x, e_{y\text{dmax}})$	$V_{K2,2_}(F_x, e_{y\text{dmax}})$
...	...	...
$K_{6,2}$	$U_{,K6,2_}(F_x, e_{y\text{dmax}})$	$V_{K6,2_}(F_x, e_{y\text{dmax}})$
$K_{1,3}$	$U_{,K1,3_}(F_x, e_{y\text{dmax}})$	$V_{K1,3_}(F_x, e_{y\text{dmax}})$
$K_{2,3}$	$U_{x,K2,3_}(F_x, e_{y\text{dmax}})$	$V_{K2,3_}(F_x, e_{y\text{dmax}})$
...	...	...
$K_{6,3}$	$U_{,K6,2_}(F_x, e_{y\text{dmax}})$	$V_{K6,3_}(F_x, e_{y\text{dmax}})$