



## ΠΠΜ 325: Ανάλυση Κατασκευών με Η/Υ

### Εργασία Εξαμήνου

#### Γενικές οδηγίες:

- Ο στόχος αυτής της εργασίας είναι να σας δώσει τη δυνατότητα να χρησιμοποιήσετε τις βασικές γνώσεις που έχετε πάρει στα μαθήματα της στατικής και δυναμικής ανάλυσης, αξιοποιώντας την υπολογιστική ισχύ των Η/Υ για μία ολοκληρωμένη ανάλυση μίας χωρικής τριώροφης κατασκευής.
- Το θέμα έχει προσεκτικά επιλεγεί έτσι ώστε να χαρακτηρίζει μία ρεαλιστική περίπτωση ανάλυσης κατασκευής με συγκεκριμένες ιδιαιτερότητες και αυξημένες απαιτήσεις προσομοίωσης ώστε να εξοικειωθείτε με τις σχετικές διαδικασίες και μεθόδους.
- Θα πρέπει να παρουσιάσετε σε μία δεκάλεπτη παρουσίαση την ανάλυση την οποία έχετε κάνει, τις παραδοχές και διαδικασίες που ακολουθήσατε και ενδεικτικά αποτελέσματα που έχετε υπολογίσει. Επιπλέον, πρέπει να παραδώσετε μία λεπτομερή και ολοκληρωμένη έκθεση στην οποία θα πρέπει να περιγράψετε ότι έχετε κάνει αλλά και να παρουσιάσετε τα ζητούμενα αποτελέσματα των αναλύσεων σας με τρόπο που να την καθιστά χρήσιμη σε μελλοντικές αναφορές όταν θα χρειαστεί να κάνετε παρόμοιες αναλύσεις, είτε σαν φοιτητές είτε σαν μηχανικοί.

#### Δεδομένα:

Ο/Η κάθε φοιτητής/τρια θα πρέπει να δουλέψει ανεξάρτητα, βάσει διαφορετικών δεδομένων:

	Φοιτητής/τρια	a (m)	b (m)	h (m)	Έδαφος	Υποστύλωμα		Χρονική στιγμή t*
1	Ανδρέου, Κοσμάς	3.8	3.6	3.0	B	Υ	11	10.2 s
2	Αρσαλίδης, Αναστάσης	4.5	4.1	2.9	A	Υ	6	9.7 s
3	Γεωργίου, Δήμητρα	4.1	4.7	3.0	B	Υ	8	10.6 s
4	Γεωργιάδης, Χριστάκης	4.2	3.5	3.5	C	Υ	1	9.1 s
5	Γιασεμή, Κυριάκος	3.9	4.5	3.4	C	Υ	6	11.5 s
6	Δημητρίου, Αντρέας	3.7	3.7	2.9	B	Υ	6	9.4 s
7	Δημητρίου, Κωνσταντίνος	4.4	4.2	3.4	B	Υ	5	8.4 s
8	Διονυσίου, Άντρεα	4.7	4.0	3.3	A	Υ	4	11.3 s
9	Ευαγγέλου, Γεωργία	4.3	4.0	3.5	D	Υ	6	11.1 s
10	Ευθυμούδη, Άννα	4.6	4.2	3.1	C	Υ	8	13.2 s

	Φοιτητής/τρια	a (m)	b (m)	h (m)	Έδαφος	Υποστύλωμα		Χρονική στιγμή t*
11	Κλεάνθους, Παναγιώτης	4.2	3.6	3.0	B	Υ	10	12.5 s
12	Κυπρή, Δέσποινα	3.8	4.1	2.9	C	Υ	6	9.6 s
13	Κυπριανού, Χρήστος	4.8	4.7	3.0	B	Υ	8	13.7 s
14	Κόκκινος, Αλέξανδρος	4.3	3.5	3.5	C	Υ	1	9.4 s
15	Λοΐζου, Ελένη	4.3	4.5	3.4	B	Υ	6	10.5 s
16	Μαρίνου, Ελευθέριος	3.9	3.7	2.9	B	Υ	6	9.3 s
17	Μιχαήλ, Βαλεντίνα	4.4	4.2	3.4	B	Υ	1	8.8 s
18	Νικολάου, Γεωργία	4.1	4.0	3.5	D	Υ	6	10.6 s
19	Παΐση, Αλεξία	4.0	4.2	3.1	D	Υ	8	11.9 s
20	Παναγιώτου, Ραφαέλα	4.5	3.6	3.0	B	Υ	9	12.4 s
21	Παντελή, Κυριάκος	3.9	4.1	2.9	C	Υ	6	14.2 s
22	Πατούνα, Αιμιλία	4.5	4.7	3.0	B	Υ	8	10.6 s
23	Περικλέους, Αγγελική	4.2	3.8	2.9	C	Υ	4	11.3 s
24	Πολυκάρπου, Χρίστος	3.6	4.8	3.0	D	Υ	8	8.8 s
25	Σάββα, Μιχάλης	3.8	3.6	2.9	C	Υ	3	7.6 s
26	Στυλιανού, Στυλιανός	4.2	4.3	3.2	B	Υ	2	6.8 s
27	Τουλούμης, Μιχαήλ	4.5	4.5	2.8	C	Υ	1	8.9 s
28	Τσεριώτη, Μιχαέλα	4.8	4.3	2.9	A	Υ	9	12.7 s
29	Χαμάλης, Νεόφυτος	4.8	4.5	3.3	D	Υ	8	9.4 s
30	Χαραλάμπους, Χριστόδουλος	4.1	3.8	3.4	B	Υ	3	10.7 s
31	Χατζήκωνσταντής, Δημήτρης	3.7	4.5	3.2	C	Υ	5	9.8 s
32	Χατζησάββα, Σταύρος	3.9	3.8	2.8	D	Υ	6	10.2 s
33	Χριστοφόρου, Παναγιώτης	3.9	4.2	3.1	Ψ	Υ	7	8.5 s

Για το τριώροφο κτίριο του σχήματος ζητούνται:

1. Προσομοίωση του χωρικού φορέα στο πρόγραμμα SAP2000.
2. Ανάλυση υπό στατικά φορτία:
  - 2.1 Ανάλυση για φορτία 1.35G+1.5Q.
  - 2.2 Προσδιορισμός μαζών για συνδυασμό G+0.3Q.
3. Ιδιομορφική ανάλυση:
  - 3.1 Προσδιορισμός των πρώτων 9 ιδιοπεριόδων και ιδιομορφών του φορέα.
  - 3.2 Υπολογισμός των συντελεστών συμμετοχής της μάζας για τις 9 πρώτες ιδιομορφές (*Modal Participating Mass Ratios*).
4. Φασματική ανάλυση:
  - 4.1 Φασματική ανάλυση με το φάσμα Ευρωκώδικα 8 στην Χ διεύθυνση.
  - 4.2 Φασματική ανάλυση με το φάσμα Ευρωκώδικα 8 στην Υ διεύθυνση.
  - 4.3 Συνδυασμοί φόρτισης χωρικής επαλληλίας:
    1.  $G + 0.3Q + E_x + 0.3E_y$
    2.  $G + 0.3Q + E_x - 0.3E_y$
    3.  $G + 0.3Q - E_x + 0.3E_y$
    4.  $G + 0.3Q - E_x - 0.3E_y$
    5.  $G + 0.3Q + 0.3E_x + E_y$
    6.  $G + 0.3Q + 0.3E_x - E_y$
    7.  $G + 0.3Q - 0.3E_x + E_y$
    8.  $G + 0.3Q - 0.3E_x - E_y$
5. Δυναμική ανάλυση του φορέα για το επιταχυνσιογράφημα της σεισμικής διέγερσης που σας αντιστοιχεί, όπως φαίνεται στον πιο κάτω πίνακα σε σχέση με τον επόμενο σύνδεσμο, βαθμονομημένης έτσι ώστε η μέγιστη επιτάχυνση του εδάφους να είναι ίση με αυτή που αντιστοιχεί στο όνομά σας, όπως πιο κάτω.

Μπορείτε να πάρετε τις τιμές των επιταχύνσεων του εδάφους (χρόνος-επιτάχυνση σε  $m/s^2$ ) για τη συνιστώσα του σεισμού που αντιστοιχεί στο όνομά σας από τον εξής σύνδεσμο:

<https://www.eng.ucy.ac.cy/petros/Earthquakes/earthquakes.htm>

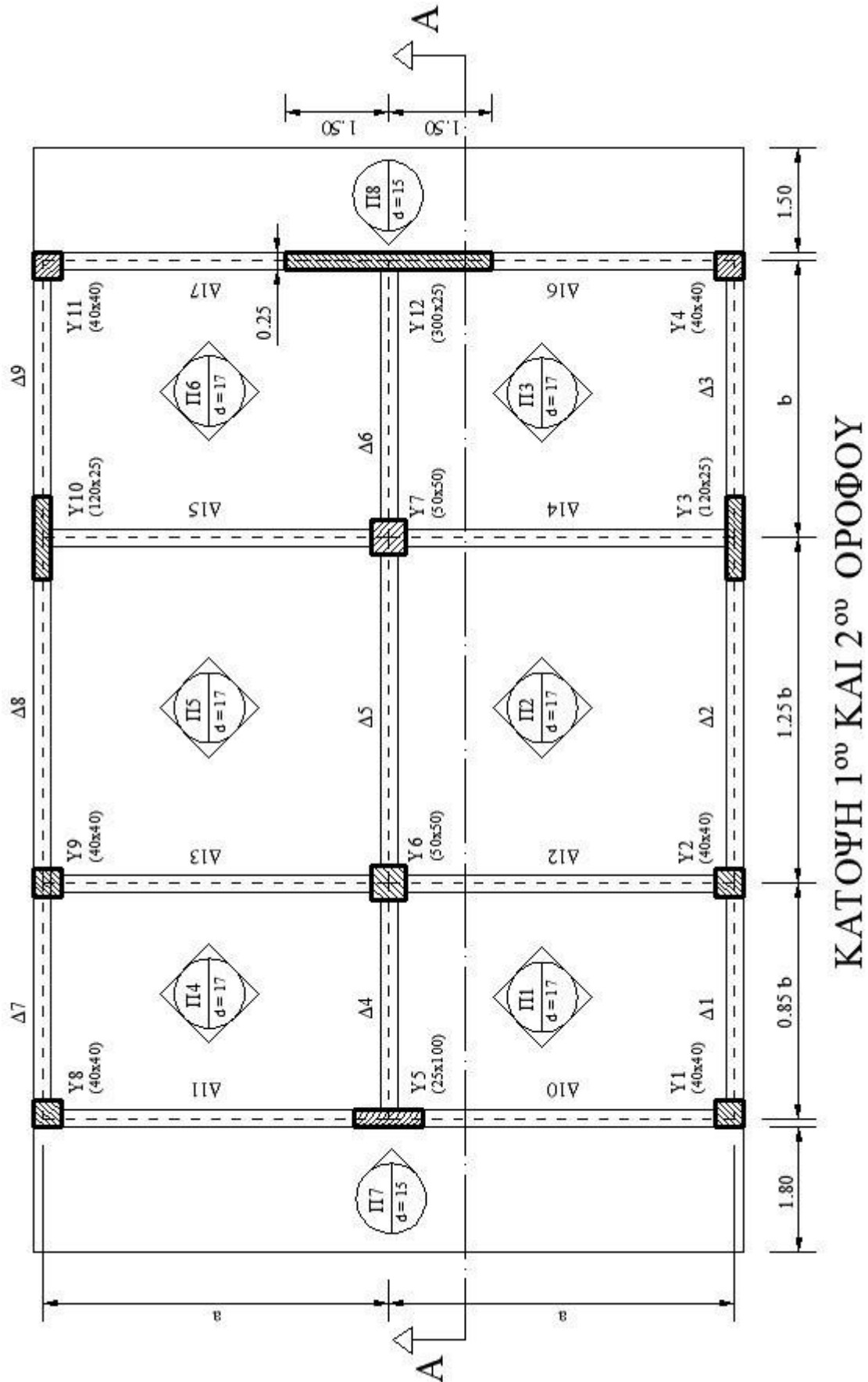
A/A	Όνομα	Σεισμική Διέγερση	PGA [g]
1	Ανδρέου, Κοσμάς	1	0.25
2	Αρσαλίδης, Αναστάσης	2	0.30
3	Γεωργίου, Δήμητρα	4	0.50
4	Γεωργιάδης, Χριστάκης	5	0.40
5	Γιασεμή, Κυριάκος	7	0.25
6	Δημητρίου, Αντρέας	8	0.40
7	Δημητρίου, Κωνσταντίνος	10	0.30
8	Διονυσίου, Άντρεα	11	0.50
9	Ευαγγέλου, Γεωργία	13	0.25
10	Ευθυμούδη, Άννα	14	0.40

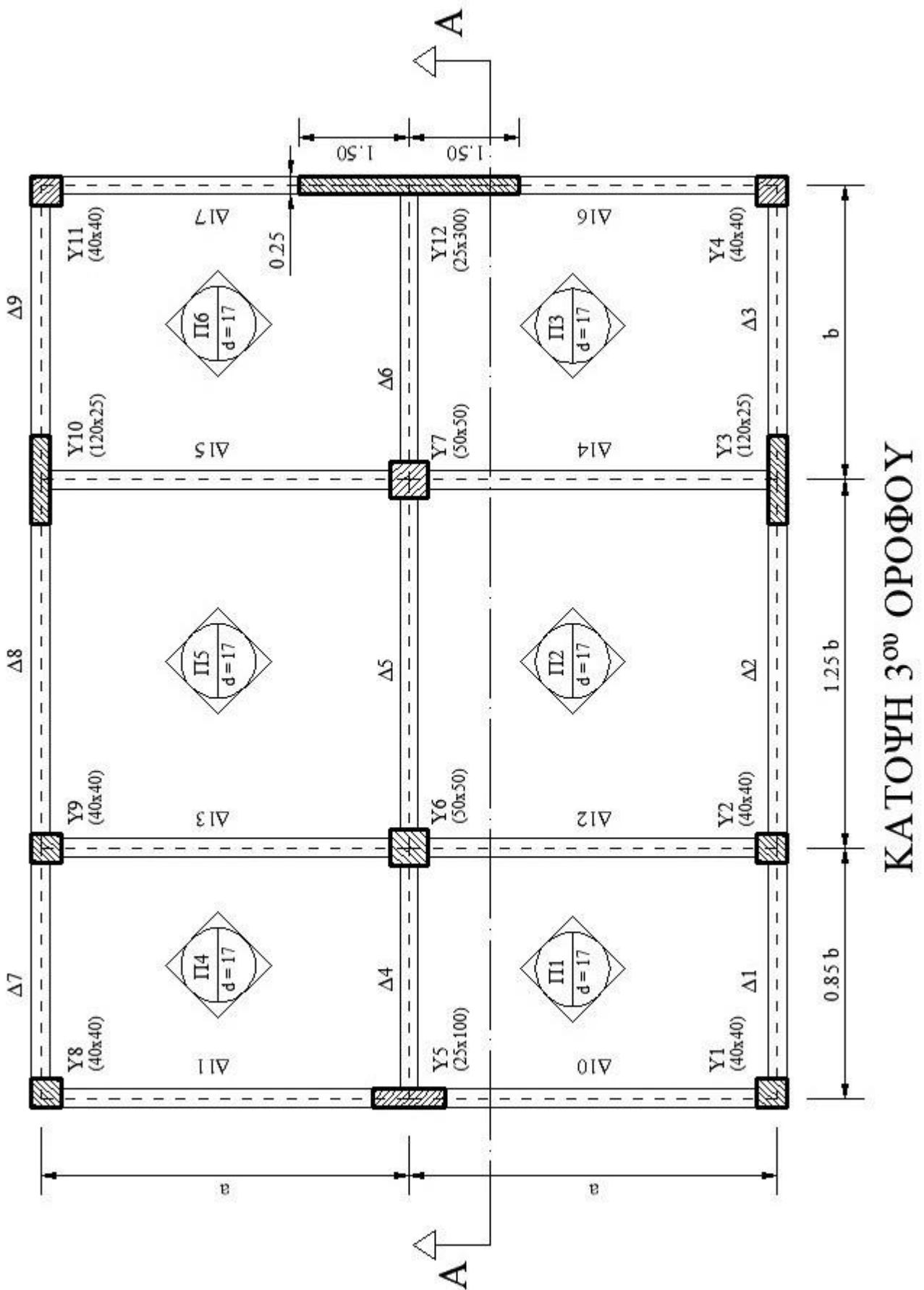
11	Κλεάνθους, Παναγιώτης	16	0.30
12	Κυπρή, Δέσποινα	17	0.40
13	Κυπριανού, Χρήστος	19	0.35
14	Κόκκινος, Αλέξανδρος	20	0.25
15	Λοΐζου, Ελένη	22	0.30
16	Μαρίνου, Ελευθέριος	23	0.50
17	Μιχαήλ, Βαλεντίνα	25	0.25
18	Νικολάου, Γεωργία	26	0.40
19	Παΐση, Αλεξία	28	0.30
20	Παναγιώτου, Ραφαέλα	29	0.25
21	Παντελή, Κυριάκος	31	0.20
22	Πατούνα, Αιμιλία	32	0.35
23	Περικλέους, Αγγελική	34	0.30
24	Πολυκάρπου, Χρίστος	35	0.50
25	Σάββα, Μιχάλης	37	0.25
26	Στυλιανού, Στυλιανός	38	0.35
27	Τουλούμης, Μιχαήλ	40	0.40
28	Τσεριώτη, Μιχαέλα	41	0.25
29	Χαμάλης, Νεόφυτος	43	0.50
30	Χαραλάμπους, Χριστόδουλος	48	0.35
31	Χατζήκωνσταντής, Δημήτρης	49	0.40
32	Χατζησάββα, Σταύρος	51	0.35
33	Χριστοφόρου, Παναγιώτης	52	0.25

- 5.1 Ανάλυση στην Χ διεύθυνση.
- 5.2 Ανάλυση στην Υ διεύθυνση.
- 5.3 Συνδυασμοί φόρτισης χωρικής επαλληλίας:
  - i.  $G + 0.3Q + E_x + 0.3E_y$
  - ii.  $G + 0.3Q + 0.3E_x + E_y$

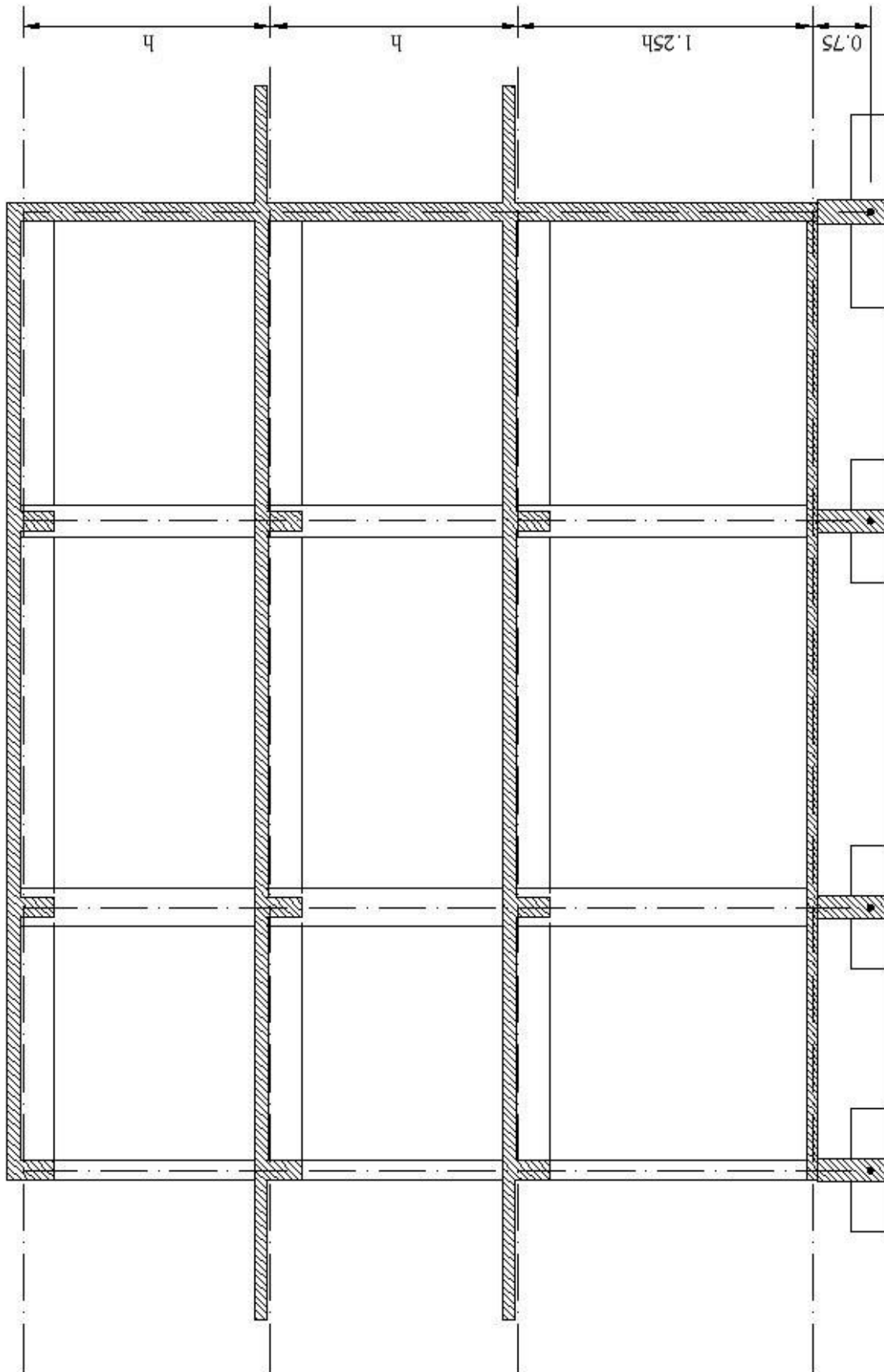
**Συγκεκριμένα ζητούνται:**

- α. Πίνακας στον οποίο να φαίνονται οι τιμές των εντατικών μεγεθών της βάσης του ζητούμενου υποστυλώματος (βλ. πίνακα δεδομένων) για την ανάλυση υπό στατικά φορτία και την φασματική ανάλυση.
- β. Για την δυναμική ανάλυση με επιταχυνσιογράφημα: να σχεδιαστεί η χρονοϊστορία των καμπτικών ροπών στην βάση του ζητούμενου υποστυλώματος για τους 2 συνδυασμούς (5.3.i., 5.3.ii). Επίσης, να υπολογιστούν οι μέγιστες διαφορικές μετακινήσεις των ορόφων και οι μέγιστες απόλυτες επιταχύνσεις των ορόφων για τους ίδιους συνδυασμούς. Τέλος, να σχεδιαστεί η κάτοψη της πλάκας του τελευταίου ορόφου με τις μετακινήσεις κατάλληλα μεγεθυσμένες τη χρονική στιγμή  $t^*$  που καθορίζεται για τον καθένα σας.
- γ. Στην παρουσίαση των εργασιών να παρουσιαστούν σχηματικά ιδιομορφές και ενδεικτικά διαγράμματα ροπών από κάποια μέλη.
- δ. Ποιες επιπτώσεις στη σεισμική συμπεριφορά του κτηρίου έχει η θέση των τοιχωμάτων σε κάτοψη; Τι προτείνετε για τη βελτίωσή της;





ΚΑΤΟΨΗ 3ου ΟΡΟΦΟΥ



### Δεδομένα – Γενικές Παραδοχές

- Όλες οι δοκοί έχουν διαστάσεις 25/60 cm
- Όλες οι συνδετήριες δοκοί θεμελίωσης έχουν διαστάσεις 30/100 cm
- Όλες οι πλάκες έχουν πάχος 17 cm και οι πρόβολοι 15 cm.
- Το πάχος για όλα τα πέδιλα είναι 50 cm.
- Να θεωρηθεί διαφραγματική λειτουργία σε κάθε στάθμη ορόφου.
- Συνεργαζόμενο πλάτος πλακοδοκών
  - Αμφίπλευρες πλακοδοκοί  $b_m=8 \cdot h_f + b_w$
  - Μονόπλευρες πλακοδοκοί  $b_m=3 \cdot h_f + b_w$
- Δυσκαμψίες-δυστρεψίες γραμμικών στοιχείων:

Οι δυσκαμψίες και δυστρεψίες λαμβάνονται μειωμένες (με θεώρηση ανάλογων modification factors) σύμφωνα με τον ΕΑΚ 2000. (3.2.3{2})

Δομικό στοιχείο	Συντελεστής μείωσης δυσκαμψίας	Συντελεστής μείωσης δυστρεψίας
Δοκοί	1/2	0.1
Υποστυλώματα	1	0.1
Τοιχώματα	2/3	0.1
Πεδιλοδοκοί	1/2	0.1

### Μονάδες:

Σύστημα μονάδων S.I (μήκος: m, Δύναμη: kN)

### Υλικό:

Οπλισμένο Σκυρόδεμα:

- Μέτρο Ελαστικότητας  $E=2.5 \cdot 10^7$  kN/m<sup>2</sup>
- Λόγος Poisson  $\nu=0.2$
- Ειδικό βάρος  $\gamma=25$  kN/m<sup>3</sup>

### Θεμελίωση:

- Στα σημεία όπου υπάρχουν μεμονωμένα πέδιλα να θεωρηθεί πάκτωση στο κέντρο βάρους καθ' ύψος του θεμελίου.
- Όλα τα μεμονωμένα πέδιλα συνδέονται μεταξύ τους με συνδετήριες δοκούς 30/100cm. Δεν χρειάζεται να προσομοιωθούν στα πλαίσια της εργασίας αυτής.



### Μάζες:

Η συνολική μάζα κάθε ορόφου να θεωρηθεί συγκεντρωμένη στο γεωμετρικό κέντρο βάρους του αντίστοιχου διαφράγματος. Η συνολική μάζα κάθε ορόφου συντίθεται από:

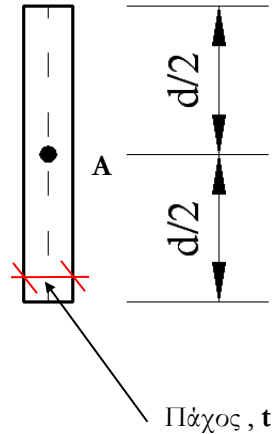
- Μάζα πλακών και δοκών του ορόφου συμπεριλαμβανομένων και των επιστρώσεων.
- Μάζα τοιχοπληρώσεων που εδράζονται επί αυτών.
- Μάζα που αντιστοιχεί στο 30% του ωφέλιμου φορτίου.

### Φορτία:

- Στις περιμετρικές δοκούς εδράζεται μπατική τοιχοποιία σε όλους τους ορόφους  $3.8 \text{ kN/m}^2$  (εκτός του τελευταίου)
- Κατά μήκος των εσωτερικών δοκών υπάρχει δρομική τοιχοποιία  $2.3 \text{ kN/m}^2$  (εκτός του τελευταίου ορόφου)
- Όλα τα δάπεδα έχουν επίστρωση από μάρμαρο, βάρους  $1.6 \text{ kN/m}^2$ .
- Το ωφέλιμο φορτίο (Q) να θεωρηθεί κατανεμημένο  $2.0 \text{ kN/m}^2$  για όλους τους ορόφους και  $5.0 \text{ kN/m}^2$  για τους προβόλους.
- Το ίδιο βάρος των στοιχείων να ληφθεί υπόψη μέσω του *Material Properties* του SAP2000.
- Φάσμα Σχεδιασμού
  - Σχέσεις Ευροκώδικα 8.
  - Ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας: Πάφος (III=0.25g).
  - $q=3.5$
  - Ο συντελεστής σπουδαιότητας III ( $\gamma_I=1$ ).
  - Κατηγορία εδάφους ανάλογα με τα δεδομένα για τον/την κάθε φοιτητή/τρια.
  - Ποσοστό απόσβεσης  $\xi=3\%$  ( $\xi=0.03$ ).

### Προσομοίωση τοιχώματος:

Τα τοιχώματα μπορούν να προσομοιωθούν σε ένα στατικό μοντέλο με τη χρήση ισοδύναμων κατακόρυφων στύλων και άκαμπτων οριζόντιων βραχιόνων που συνδέουν τους στύλους οριζόντια στα επίπεδα των ορόφων.



Η διατομή του στύλου θα έχει διαστάσεις:

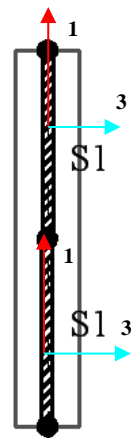
Στύλος A :  $t \times d$

Για να εξασφαλίζεται η συνεργασία των τμημάτων, συνδέονται με άκαμπτα γραμμικά στοιχεία (βραχίονες) σε κάθε στάθμη ορόφου στα οποία προσδίδονται οι ακόλουθες ιδιότητες διατομής:

- Βραχίονες ( $S_1$  στο σχήμα):

- Διαστάσεις διατομής: Ύψος =  $h_1/2 + h_2/2$   
(όπου  $h_1$  και  $h_2$  τα ύψη των εκατέρωθεν ορόφων)  
Πλάτος =  $t$

- Πολύ μεγάλη ατένεια στην αξονική έννοια ( $A \rightarrow * 100-1000$ )
- Πολύ μεγάλη δυσκαμψία ( $I_{33} \rightarrow * 100-1000$ )
- Πολύ μεγάλη δυστημψία ( $A_2 \rightarrow * 100-1000$ )
- Μηδενικό ίδιο βάρος



**Σχέσεις Ευρωκώδικα 8 για φάσμα σχεδιασμού:**

$$0 \leq T \leq T_B : S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \left[ \frac{2}{3} + \frac{T}{T_B} \cdot \left( \frac{2,5}{q} - \frac{2}{3} \right) \right] \quad (3.12)$$

$$T_B \leq T \leq T_C : S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \quad (3.13)$$

$$T_C \leq T \leq T_D : S_d(T) \begin{cases} = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \cdot \left[ \frac{T_C}{T} \right] \\ \geq \beta \cdot a_g \end{cases} \quad (3.14)$$

$$T_D \leq T : S_d(T) \begin{cases} = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \cdot \left[ \frac{T_C T_D}{T^2} \right] \\ \geq \beta \cdot a_g \end{cases} \quad (3.15)$$

$T$  vibration period of a linear single-degree-of-freedom system;

$a_g$  design ground acceleration on type A ground ( $a_g = \gamma_I \cdot a_{gR}$ );

$T_B, T_C$  limits of the constant spectral acceleration branch;

$S_d(T)$  design spectrum;

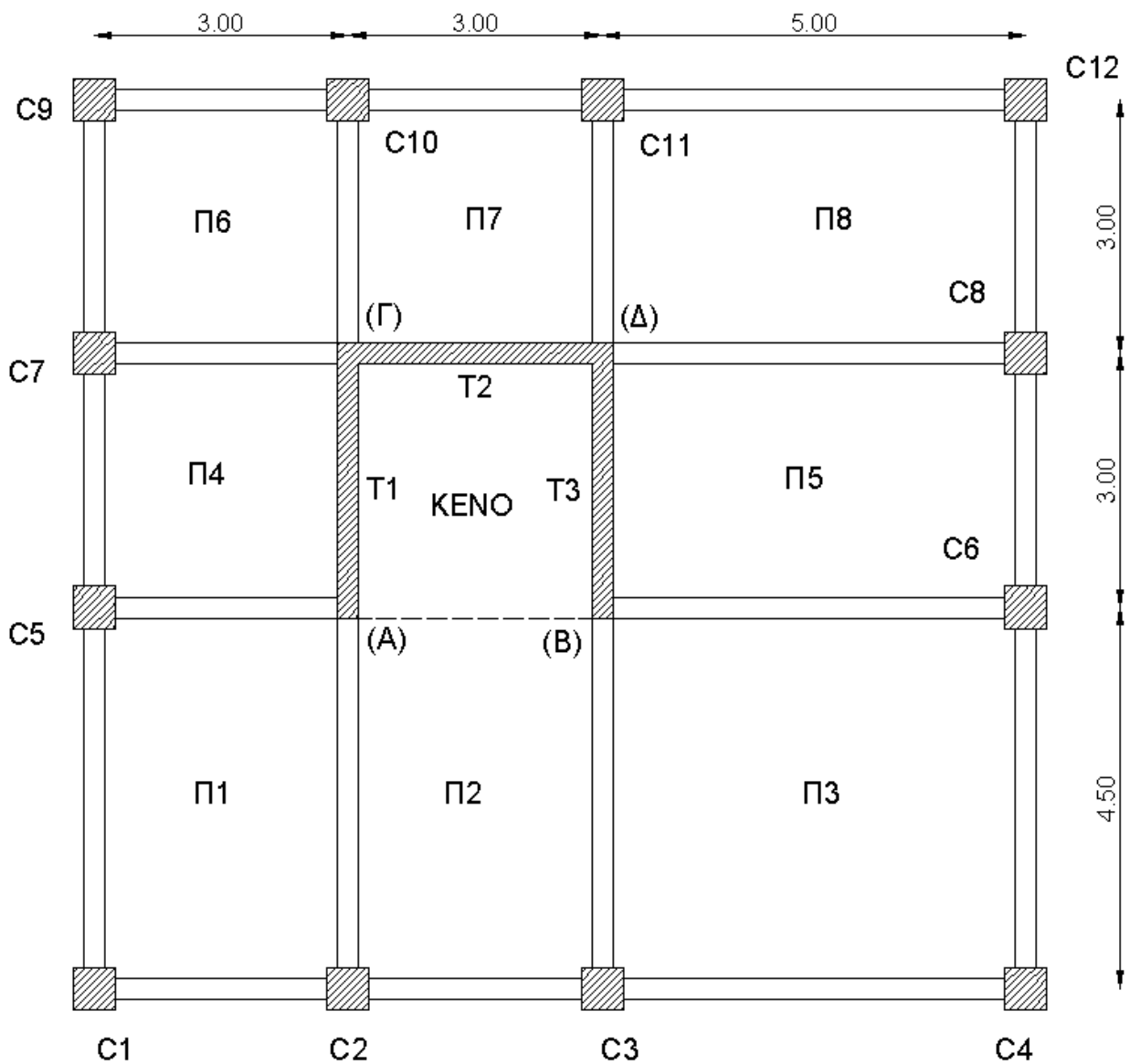
$q$  behaviour factor;

$\beta$  lower bound factor for the horizontal design spectrum.

NOTE: The value to be ascribed to  $\beta$  for use in a Country may be found in its National Annex. The recommended value is  $\beta = 0,2$ .

Ground type	$S$	$T_B$ (s)	$T_C$ (s)	$T_D$ (s)
A	1,0	0,15	0,4	2,0
B	1,2	0,15	0,5	2,0
C	1,15	0,20	0,6	2,0
D	1,35	0,20	0,8	2,0
E	1,4	0,15	0,5	2,0

**Παράδειγμα μεταφοράς φορτίων πλακών σε δοκούς:**



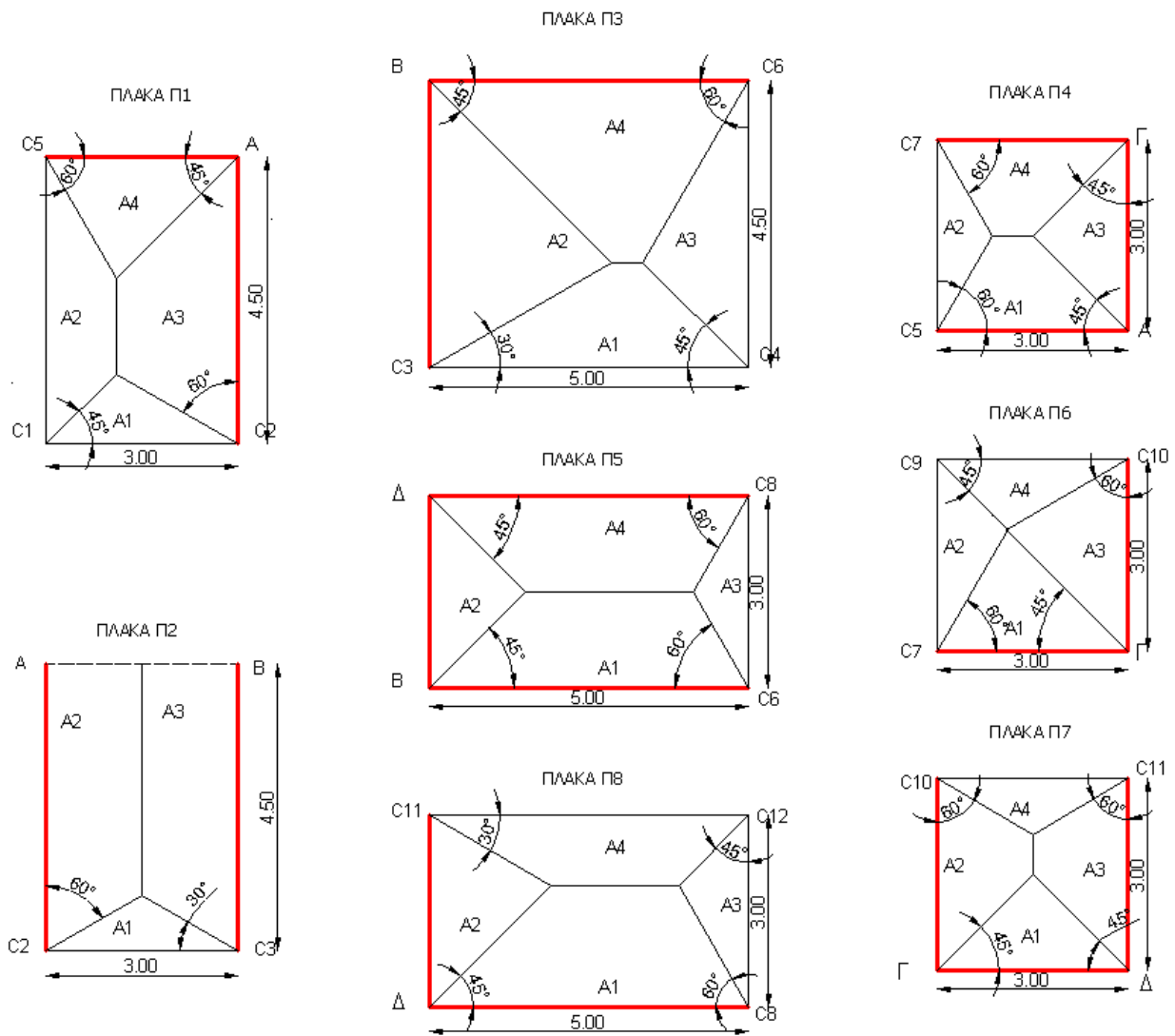
Το ίδιο βάρος των πλακών είναι  $d \cdot 25 \text{ KN/m}^3 = 0.15 \cdot 25 = 3.75 \text{ KN/m}^2$ . Προσθέτοντας σε αυτό την επίστρωση του μαρμάρου έχουμε  $g = 3.75 + 1.3 = 5.05 \text{ KN/m}^2$ . Επομένως τα φορτία των πλακών είναι:

$$\text{Μόνιμο } g = 5.05 \text{ KN/m}^2 \quad \text{Μεταβλητό } q = 2 \text{ KN/m}^2.$$

Στο σχήμα φαίνεται η κατανομή της επιφάνειας των ορθογωνικών πλακών (τριγωνική – τραπεζοειδής). Το τριγωνικό φορτίο κατανέμεται στις δοκούς ως ομοιόμορφο.

$$(\text{Κατανεμημένο Φορτίο}) \text{ kN/m} = (\text{Φορτίο}) \text{ kN/m}^2 \cdot (\text{Εμβαδόν}) \text{ m}^2 / (\text{μήκος δοκού}) \text{ m}$$

Η κατανομή του φορτίου από τις πλάκες στις δοκούς γίνεται με βάση της επιφάνειας που αντιστοιχεί σε κάθε δοκό ανάλογα με τον τρόπο στήριξης της.



Ακολουθεί πίνακας με το φορτίο που κατανέμεται στις δοκούς από τις πλάκες (Μόνιμα):

Πλάκα Π1

Δοκός	Εμβαδό	Μήκος	Φορτίο
C1-C2	1.638	3.000	2.757
C1-C5	3.294	4.500	3.697
C2-A	5.715	4.500	6.414
C5-A	2.862	3.000	4.818

Πλάκα Π5

Δοκός	Εμβαδό	Μήκος	Φορτίο
B-C6	5.726	5.000	5.783
B-D	2.250	3.000	3.788
C6-C8	1.303	3.000	2.194
C8-D	5.726	5.000	5.783

Πλάκα Π2

Δοκός	Εμβαδό	Μήκος	Φορτίο
C2-C3	1.299	3.000	2.187
C2-A	6.100	4.500	6.846
C3-B	6.100	4.500	6.846

Πλάκα Π6

Δοκός	Εμβαδό	Μήκος	Φορτίο
C7-G	2.826	3.000	4.758
C7-C9	1.658	3.000	2.791
G-C10	2.853	3.000	4.802
C9-C10	1.653	3.000	2.782

Πλάκα Π3

Δοκός	Εμβαδό	Μήκος	Φορτίο
C3-C4	4.530	5.000	4.575
C3-B	6.419	4.500	7.204
C4-C6	3.706	4.500	4.159
B-C6	7.845	5.000	7.924

Πλάκα Π7

Δοκός	Εμβαδό	Μήκος	Φορτίο
G-D	2.258	3.000	3.800
G-C10	2.735	3.000	4.603
D-C11	2.724	3.000	4.585
C10-C11	1.299	3.000	2.187

Πλάκα Π4

Δοκός	Εμβαδό	Μήκος	Φορτίο
C5-A	2.726	3.000	4.588
C5-C7	1.290	3.000	2.172
A-G	2.250	3.000	3.788
C7-G	2.726	3.000	4.588

Πλάκα Π8

Δοκός	Εμβαδό	Μήκος	Φορτίο
D-C8	6.682	5.000	6.749
D-C11	2.853	3.000	4.802
C8-C12	1.638	3.000	2.757
C11-C12	3.843	5.000	3.882

Για τα μόνιμα φορτία θα προστεθεί επιπλέον το φορτίο από την τοιχοποιία.

- Κατά μήκος των εσωτερικών δοκών υπάρχει δομική τοιχοποιία  $2.1 \text{ kN/m}^2$ .
- Στις περιμετρικές δοκούς εδράζεται μπατική τοιχοποιία σε όλους τους ορόφους  $3.6 \text{ kN/m}^2$ .

Το ύψος του ορόφου είναι 4m επόμενος στις εξωτερικές δοκούς θα προστεθεί επιπλέον φορτίο  $3.6 \text{ kN/m}^2 \cdot 4\text{m} = 14.4 \text{ kN/m}$

στις εξωτερικές δοκούς θα προστεθεί επιπλέον φορτίο:  
 $2.1 \text{ kN/m}^2 \cdot 4\text{m} = 8.4 \text{ kN/m}$