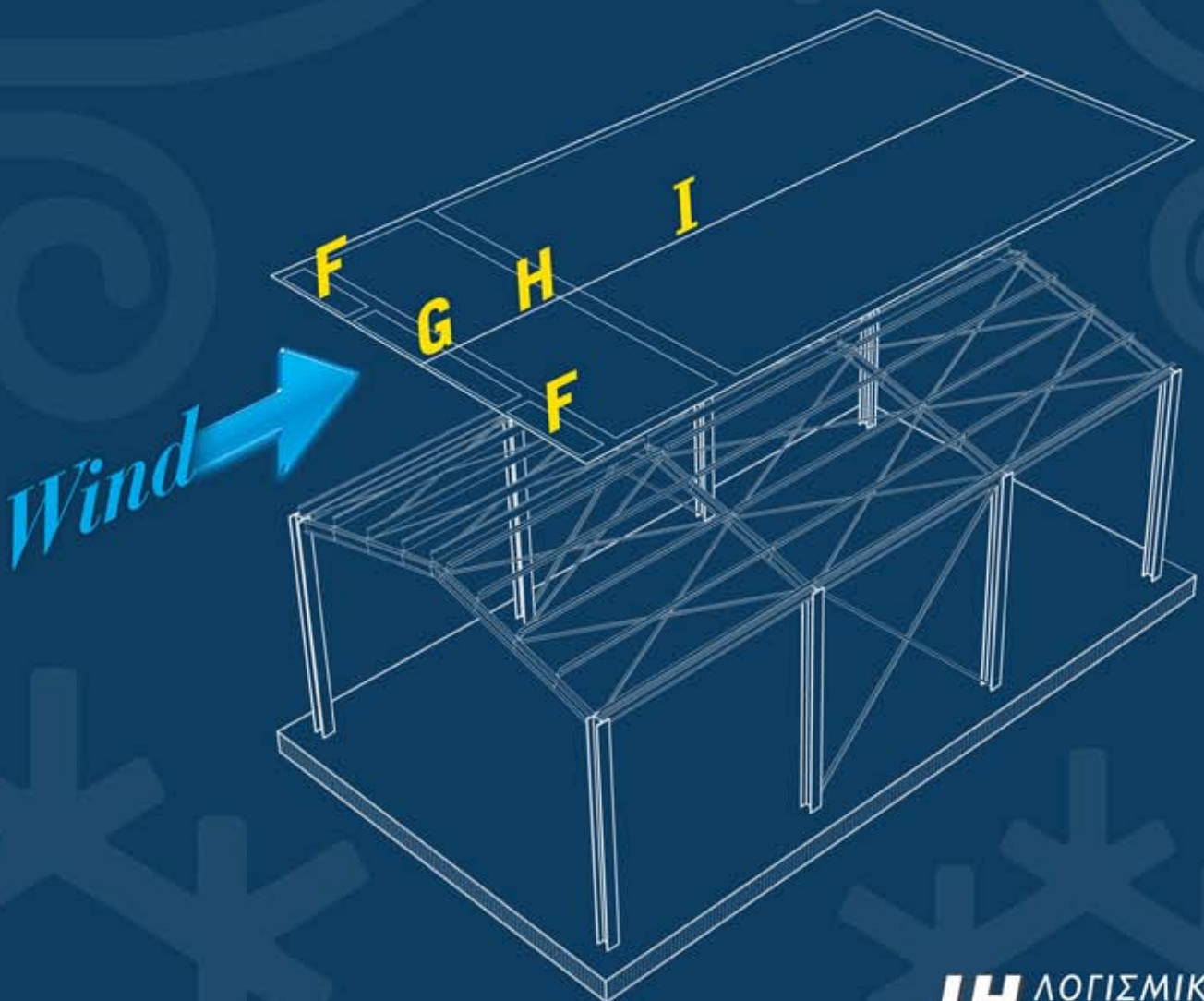


Εγχειρίδιο επαλήθευσης υπολογισμού
φορτίων **ανέμου** και **χιονιού** κατά EC1



FESPA

*Εγχειρίδιο επαλήθευσης υπολογισμού φορτίων
ανέμου και χιονιού*



Αθήνα, Απρίλιος 2015

Version 1.14

Περιεχόμενα

1	Εισαγωγή	3
1.1	Στόχος του εγχειριδίου	3
2	Μεταλλικό Στέγαστρο	4
2.1	Παρουσίαση του φορέα	4
2.2	Υπολογισμός & Επαλήθευση φορτίων ανέμου	7
2.2.1	Υπολογισμός πίεσης αιχμής	7
2.2.2	Υπολογισμός συντελεστών πίεσης	10
2.3	Υπολογισμός & Επαλήθευση Φορτίων Χιονιού	26
2.3.1	Υπολογισμός φορτίων χιονιού	26
2.3.2	Φορτία χιονιού – Σύγκριση αποτελεσμάτων	28
3	Πολυόροφο κτίριο από Ο/Σ	29
3.1	Παρουσίαση του φορέα	29
3.2	Υπολογισμός & Επαλήθευση φορτίων ανέμου	30
3.2.1	Υπολογισμοί με το χέρι	31
3.2.2	Αποτελέσματα Fespa	35
3.2.3	Σύγκριση αποτελεσμάτων	37
4	Βιβλιογραφία	39

1

Εισαγωγή

1.1 Στόχος του εγχειριδίου

Το παρόν είναι ένα εγχειρίδιο τεκμηρίωσης του προγράμματος Fespa όσον αφορά τον υπολογισμό φορτίων χιονιού και ανέμου σύμφωνα με τους Ευρωκώδικες 1-3 και 1-4. Για τις ανάγκες της σύγκρισης επιλέγονται 2 φορείς, ένα μεταλλικό στέγαστρο με δίρριχτη στέγη και ένα πολυόροφο κτίριο από Ο/Σ.

Στο πρώτο παράδειγμα παρουσιάζεται όλη η πορεία υπολογισμού των φορτίων ανέμου στους στύλους και των φορτίων ανέμου και χιονιού στις τεγίδες του φορέα για κάθε διεύθυνση τόσο με το χέρι όσο και με το Fespa. Κατ' αντιστοιχία, στο δεύτερο παράδειγμα τα αποτελέσματα της κατανομής των ανεμοπιέσεων καθ' ύψος των στύλων του κτιρίου με το Fespa επαληθεύονται με αναλυτικούς υπολογισμούς.

Σε κάθε βήμα παρατίθενται συγκεντρωτικοί πίνακες όπου συγκρίνονται τα αποτελέσματα των δύο μεθόδων σύμφωνα με την παρακάτω σχέση:

$$\text{Διαφορά \%} = 100 \cdot \left[\frac{\text{Αποτέλεσμα Fespa}}{\text{Αποτέλεσμα με το χέρι}} - 1 \right]$$

2

Μεταλλικό Στέγαστρο

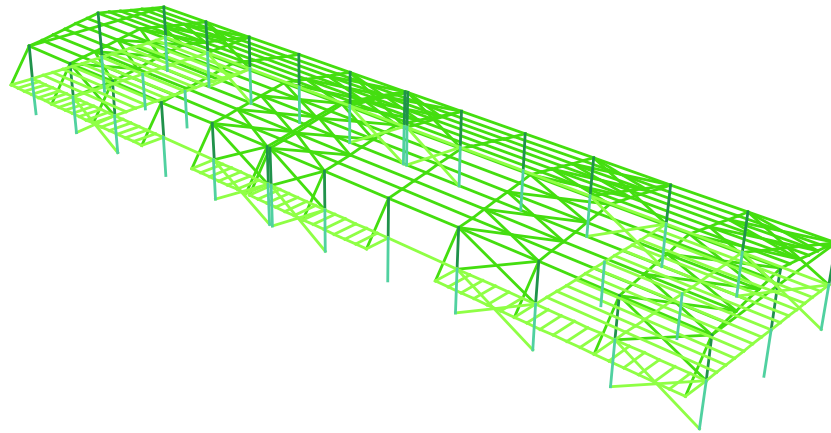
2.1 Παρουσίαση του φορέα

Ο εξεταζόμενος φορέας είναι ένα μεταλλικό στέγαστρο με πατάρι στον οποίο πρόκειται να υπολογιστούν οι δράσεις χιονιού και ανέμου σύμφωνα με τους Ευρωκώδικες 1-3 και 1-4 αντίστοιχα.

Οι διαστάσεις της κάτοψης είναι 66.4 m μήκος και 14.75 m πλάτος ενώ το ύψος του κορφιά της στέγης είναι 7.50 m από το έδαφος.

Σχετικά με τα φορτία ανεμοπιέσεων το στέγαστρο βρίσκεται σε κατηγορία αναγλύφου II ενώ η θεμελιώδης τιμή της βασικής ταχύτητας του ανέμου στη περιοχή είναι $v_{b,0} = 33 \text{ m/s}$. Επίσης, η τιμή του συντελεστή τοπογραφικής διαμόρφωσης είναι $C_0 = 1.0$. Ακόμα, επειδή ο φορέας είναι μεταλλικός η κατανομή του φορτίου ανέμου επιλέγεται να είναι «σε ζώνες, σε τοίχους και στέγες» από τα εισαγόμενα δεδομένα του προγράμματος Fespa.

Όσον αφορά τα φορτία χιονιού, η χαρακτηριστική τιμή του χιονιού στη στάθμη της θάλασσας είναι $s_{k,0} = 0.8 \text{ KN/m}^2$, το υψόμετρο της τοποθεσίας είναι $A = 200 \text{ m}$ και ο συντελεστής έκθεσης είναι $C_e = 1.0$.

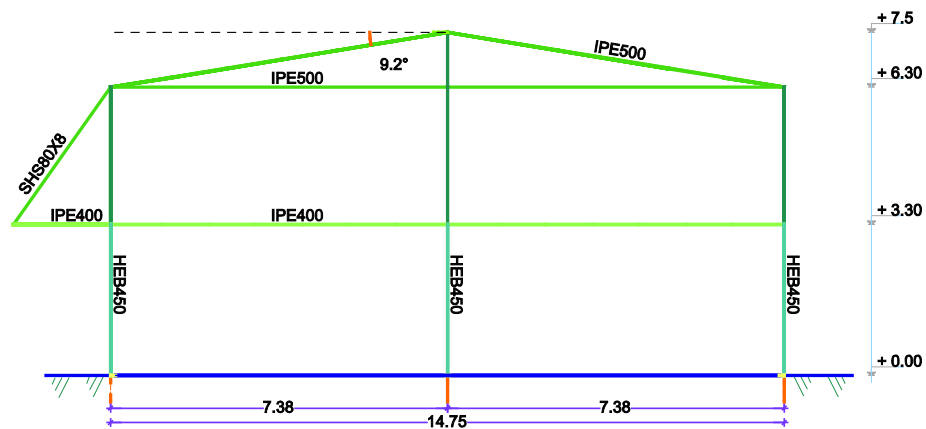


Εικόνα 2.1: 3D απεικόνιση του μεταλλικού στεγάστρου

Η γεωμετρία του μεταλλικού στεγάστρου καθώς και οι διατομές των δομικών μελών και η ποιότητα του χάλυβα παρουσιάζονται συνοπτικά στον Πίνακα 2.1.

Διαστάσεις κάτοψης	$L_x = 66.4, L_z = 14.75 \text{ m}$
Ύψος	7.5 m
Χάλυβας	S 235
Πλάκες	$h = 0.10 \text{ m}$
Υποστυλώματα	HEB 450
Δοκοί πλαισίων (Γενικά μέλη)	IPE 400, IPE 500
Τεγίδες	IPE 140, IPE 180
Διαδοκίδες παταριού	HEA 180
Κατακόρυφοι διαγώνιοι σύνδεσμοι	CHS 139.7x8
Οριζόντιοι διαγώνιοι σύνδεσμοι	LEQ 70x70x7

Πίνακας 2.1: Δεδομένα μεταλλικού στεγάστρου



Εικόνα 2.2: Όψη του μεταλλικού στεγάστρου

Υπολογίζεται ακόμα η γωνία κλίσης της δίρριχτης στέγης ως εξής:

$$a = \arctan\left(\frac{1.2}{7.38}\right) = 9.2^\circ \quad (2.1)$$

2.2 Υπολογισμός & Επαλήθευση φορτίων ανέμου

2.2.1 Υπολογισμός πίεσης αιχμής

2.2.1.1 Πίεση αιχμής – Υπολογισμοί με το χέρι

- **Βασική ταχύτητα** (Σχέση 4.1, EN 1991-1-4)

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} = 1.0 \cdot 1.0 \cdot 33.0 = 33.0 \text{ m/s} \quad (2.2)$$

Όπου

$c_{dir} = 1.0$ ο συντελεστής διεύθυνσης

$c_{season} = 1.0$ ο συντελεστής εποχής

$v_{b,0}$ η θεμελιώδης τιμή της βασικής ταχύτητας του ανέμου, η οποία είναι η χαρακτηριστική μέση ταχύτητα του ανέμου 10 λεπτών, ανεξάρτητα από τη διεύθυνσή του και την εποχή του έτους, στα 10m πάνω από το έδαφος, σε ανοικτή περιοχή με χαμηλή βλάστηση, όπως γρασίδι και με μεμονωμένα εμπόδια ανά αποστάσεις μεταξύ τους τουλάχιστον 20 φορές το ύψος των εμποδίων (έδαφος κατηγορίας II).

Σύμφωνα με το Εθνικό Προσάρτημα, η θεμελιώδης τιμή της βασικής ταχύτητας του ανέμου $v_{b,0}$ για την Ελλάδα ορίζεται σε 33m/s για τα νησιά και τα παράλια μέχρι 10km από την ακτή και σε 27m/s για την υπόλοιπη χώρα.

- **Βασική πίεση** (Σχέση 4.10 EN 1991-1-4)

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 = \frac{1}{2} \cdot 0.00125 \cdot 33.0^2 = 0.68 \text{ kN/m}^2 \quad (2.3)$$

Όπου

$\rho = 1.25 \text{ kg/m}^3$ η πυκνότητα του αέρα που εξαρτάται από το υψόμετρο, τη θερμοκρασία και τη βαρομετρική πίεση που αναμένεται σε μια περιοχή κατά τη διάρκεια ανεμοθύελλας

- **Κατηγορία εδάφους** (Πίνακας 4.1, EN 1991-1-4)

Κατηγορία εδάφους II :

Περιοχή με χαμηλή βλάστηση όπως γρασίδι και μεμονωμένα εμπόδια (δέντρα, κτήρια) σε απόσταση μεταξύ τους τουλάχιστον 20 φορές το ύψος των εμποδίων.

$z_0 = z_{0,II} = 0.05\text{m}$ το μήκος της τραχύτητας

$z_{\min} = 2\text{m}$ το ελάχιστο ύψος

- **Συντελεστής εδάφους** (Σχέση 4.5, EN 1991-1-4)

$$k_r = 0.19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0.07} = 0.19 \cdot \left(\frac{0.05}{0.05} \right)^{0.07} = 0.19 \quad (2.4)$$

- **Συντελεστής τραχύτητας** (Σχέση 4.4, EN 1991-1-4)

αφού $2\text{m} \leq 7.5\text{m} \leq 200\text{m}$

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) = 0.19 \cdot \ln\left(\frac{7.5}{0.05}\right) = 0.952 \quad (2.5)$$

Όπου

$z_{\min} = 2\text{m}$ το ελάχιστο ύψος

$z_{\max} = 200\text{m}$ το ελάχιστο ύψος

$z = 7.5\text{m}$ το μέγιστο ύψος του κτηρίου

- **Μέση ταχύτητα ανέμου** (Σχέση 4.3, EN 1991-1-4)

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot v_b = 0.952 \cdot 1.0 \cdot 33.0 = 31.42 \text{ m/s} \quad (2.6)$$

Αναφέρεται σε ύψος $z=7.5\text{ m}$ πάνω από το έδαφος και εξαρτάται από την τραχύτητα του εδάφους και την τοπογραφική διαμόρφωση.

όπου

$C_0(z) = 1.0$ ο συντελεστής τοπογραφικής διαμόρφωσης (προτεινόμενη τιμή).

- **Ένταση του στροβιλισμού** (Σχέση 4.7, EN 1991-1-4)

αφού $2\text{m} \leq 7.5\text{m} \leq 200\text{m}$

$$I_v(z) = \frac{k_l}{c_0(z) \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} = \frac{1.0}{1.0 \cdot \ln\left(\frac{7.5}{0.05}\right)} = 0.199 \approx 0.20 \quad (2.7)$$

Όπου

$k_l=1.0$ ο συντελεστής στροβιλισμού

- Πίεση ταχύτητας αιχμής (Σχέση 4.8, EN 1991-1-4)

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) =$$

$$= [1 + 7 \cdot 0.199] \cdot \frac{1}{2} \cdot 0.00125 \cdot 31.42^2 = 1.48 \text{ kN} / \text{m}^2 \quad (2.8)$$

2.2.1.2 Πίεση αιχμής – Αποτελέσματα Fespa

Τα αποτελέσματα της ανεμοπίεσης αιχμής στο Fespa παρουσιάζονται στο τεύχος «Τεύχος > Γενικοί έλεγχοι δομήματος > Φόρτιση ανέμου διεθ. +X» και είναι ίδια για κάθε διεύθυνση.

Φορτίο ανέμου [EC1-1-4]

Α/Α φόρτισης ανέμου : 1 - Διεύθυνση : +X - Εσωτερική υποπίεση			
Βασική ταχύτητα ανέμου Vb	=	33.0m/s	
Κατηγορία ανάγλυφου	:	II	
Συντελεστής ορεογραφίας Co	=	1.00	
Συντελεστής εσωτερικής πίεσης Cpi	=	-0.30	
Υψόμετρο βάσης για εφαρμογή ανεμοπίεσης	=	0.00m	
Ύψος κτιρίου από τη βάση εφαρμογής ανεμοπίεσης h	=	7.50m	
Διάσταση κτιρίου εγκάρσια στον άνεμο b	=	14.75m	
Διάσταση κτιρίου παράλληλη στον άνεμο d	=	66.40m	
Διάσταση e = min(b, 2h)	=	14.75m	
Ζώνες πλαινών τοίχων για e < d	:	A, B, C	
Είδος και γωνία κλίσης στέγης	:	Δίρριχτη, 9.2°	

Η πίεση ταχύτητας αιχμής δίνεται από την εξ. (4.8), EC1-1-4:

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z)$$

Για την υψομετρική ζώνη 1 (z= 7.50m), είναι:

$$I_v(7.50\text{m}) = 0.200, \quad v_m(7.50\text{m}) = 31.42\text{m/s}, \quad q_p(7.50\text{m}) = 1.48\text{kPa}.$$

Εικόνα 2.3: Δεδομένα και γενικά αποτελέσματα ανεμοπίεσης στο Fespa

2.2.1.3 Πίεση αιχμής – Σύγκριση αποτελεσμάτων

Στον Πίνακα 2.2 παρουσιάζονται και συγκρίνονται τα παραπάνω αποτελέσματα με αυτά που παρήχθησαν από το Fespa.

	Fespa	Υπολογισμός με το χέρι	Διαφορά (%)
Μέση ταχύτητα v_m (m/s)	31.42	31.42	0
Ένταση στροβιλισμού I_v	0.20	0.20	0
Πίεση ταχύτητας	1.48	1.48	0

αιχμής q_p (KPa)			
--------------------	--	--	--

Πίνακας 2.2: Σύγκριση αποτελεσμάτων ανεμοπίεσης

2.2.2 Υπολογισμός συντελεστών πίεσης

Συνολικά εξετάζονται 4 συνδυασμοί φορτίσεων εξωτερικής-εσωτερικής πίεσης, ένας για κάθε κατεύθυνση ανέμου. Το κτίριο θεωρείται προσανατολισμένο με τη μεγάλη του διάσταση να τρέχει κατά μήκος του άξονα X. Επίσης, θεωρείται ότι οι φορτιζόμενες επιφάνειες είναι μεγαλύτερες από 10 m² οπότε $C_{pe}=C_{pe,10}$. Τέλος, ο συντελεστής εσωτερικής πίεσης C_{pi} λαμβάνει την ελάχιστη τιμή του $C_{pi} = -0.30$ για θετικές διευθύνσεις ανέμου (+X, +Z) και τη μέγιστη τιμή του $C_{pi} = 0.20$ για αρνητικές διευθύνσεις ανέμου (-X, -Z) έτσι ώστε κατά την επαλληλία με τις εξωτερικές πιέσεις να προκύπτουν τα δυσμενέστερα αποτελέσματα.

2.2.2.1 Διεύθυνση ανέμου +X [W(+x)]

Συντελεστές πιέσεων κατακόρυφων τοίχων

Υπολογισμοί με το χέρι

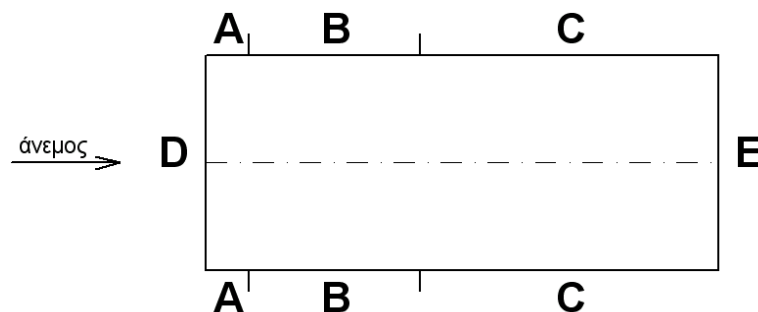
$$e = \min(b, 2h) = \min(14.75, 15.0) = 14.75\text{m} < d=66.4\text{m}$$

$$h/d = 0.113 < 0.25$$

Σύμφωνα με το Σχήμα 7.5 (EN 1991-1-4) και τον Πίνακα 7 (EN 1991-1-4) προκύπτουν οι παρακάτω τιμές του συντελεστή $C_{pe,10}$.

Ζώνη	A	B	C	D	E
Μήκος (m)	2.95	11.80	51.65	14.75	14.75
$C_{pe,10}$	-1.20	-0.80	-0.50	0.70	-0.30

Πίνακας 2.3: Διαστάσεις ζωνών και συντελεστές εξωτερικών πιέσεων για κατακόρυφους τοίχους (διεύθυνση ανέμου +X)



Εικόνα 2.4: Ζώνες εξωτερικών ανεμοπιέσεων για κατακόρυφους τοίχους για διεύθυνση ανέμου+X.

Οι σχέσεις που δίνουν την εξωτερική και εσωτερική πίεση είναι αντίστοιχα οι εξής:

$$W_e = q_p(z) \cdot C_{pe} \quad (2.9)$$

$$W_i = q_p(z) \cdot C_{pi} \quad (2.10)$$

Ενώ το διανυσματικό τους άθροισμα σύμφωνα με το σχήμα 5.1 του EN 1991-1-4 δίνει την τιμή της συνολικής πίεσης.

Αποτελέσματα Fespa

Οι συντελεστές πιέσεων κατακόρυφων τοίχων κατά τη διεύθυνση +X στο Fespa παρουσιάζονται στο τεύχος «Τεύχος > Γενικοί έλεγχοι δομήματος > φόρτιση ανέμου διεθ. +X» όπως παρουσιάζονται στην Εικόνα 2.5:

Ζώνες τοίχων: Διαστάσεις, συντελεστές και πιέσεις

Ζώνη:	A	B	C	D	E
Διάσταση [m]=	2.95	11.80	51.65	14.75	14.75
$C_{pe,10}$ [/]=	-1.20	-0.80	-0.50	0.70	-0.30
C_p [/]=	-0.90	-0.50	-0.20	1.00	0.00
Z=+7.50m: W [kPa]=	-1.33	-0.74	-0.30	1.48	0.00

Εικόνα 2.5: Διαστάσεις ζωνών και συντελεστές εξωτερικών πιέσεων για κατακόρυφους τοίχους από το τεύχος του Fespa για διεύθυνση ανέμου +X.

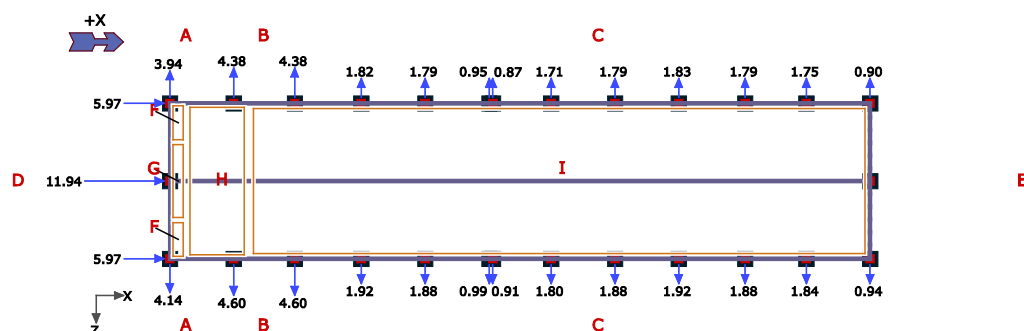
Σύγκριση αποτελεσμάτων

Οι τιμές των επιμέρους τελικών πιέσεων, καθώς και η σύγκριση με τις τιμές όπως υπολογίζονται στο Fespa παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.4.

Ζώνες	Υπολογισμοί με το χέρι			Αποτελέσματα Fespa	Διαφορά (%)
	W_e (KPa)	W_i (KPa)	W (KPa)	W (KPa)	
A	-1.77	-0.44	-1.33	-1.33	0
B	-1.18	-0.44	-0.74	-0.74	0
C	-0.74	-0.44	-0.30	-0.30	0
D	1.04	-0.44	1.48	1.48	0
E	-0.44	-0.44	0.00	0.00	0

Πίνακας 2.4: Υπολογισμός και σύγκριση πιέσεων σε κατακόρυφους τοίχους για διεύθυνση ανέμου +X.

Όπου για αυτή τη διεύθυνση ανέμου (+X) χρησιμοποιείται η τιμή του συντελεστή εσωτερικής πίεσης $C_{pi} = -0.30$. Στη συνέχεια η υπολογισθείσα πίεση πολλαπλασιάζεται με την επιφάνεια επιρροής των στύλων και υπολογίζεται η κατανεμημένη δύναμη ανά μέτρο μήκους. Στην Εικόνα 2.6 παρουσιάζονται τα κατανεμημένα φορτία στους στύλους όπως ακριβώς τυπώνονται στο τεύχος του προγράμματος Fespa.



Εικόνα 2.6: Κατανεμημένα φορτία στους στύλους λόγω ανέμου διεύθυνσης +X

Συντελεστές πιέσεων στέγης

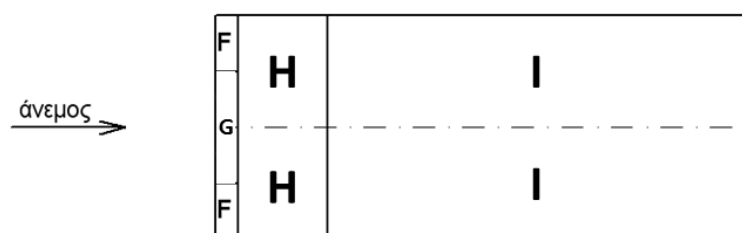
Υπολογισμοί με το χέρι

Πρόκειται για δικλινή στέγη με γωνία κλίσης 9.2° οπότε σύμφωνα με το Σχήμα 7.8 (EN 1991-1-4) και τον Πίνακα 7.4b (EN 1991-1-4) για $\theta=90^\circ$ προκύπτουν οι παρακάτω τιμές του συντελεστή $C_{pe,10}$

Ζώνη	F	G	H	I
------	---	---	---	---

Διαστάσεις (L _x x L _z)	1.48 x 3.69	1.48 x 7.38	5.90 x 14.75	59.02 x 14.75
C _{pe,10}	-1.47	-1.30	-0.66	-0.56

Πίνακας 2.5: Διαστάσεις ζωνών και συντελεστές εξωτερικών πιέσεων για τη στέγη (διεύθυνση ανέμου +X).



Εικόνα 2.7: Ζώνες εξωτερικών ανεμοπιέσεων για τη στέγη για διεύθυνση ανέμου +X.

Έπειτα από χρήση των σχέσεων (2.9) και (2.10) υπολογίζονται οι εξωτερικές και εσωτερικές πιέσεις επί των τειγίδων της στέγης καθώς και η συνολική πίεση και γίνεται η σύγκριση με το Fespa.

Αποτελέσματα Fespa

Οι συντελεστές πιέσεων στέγης κατά τη διεύθυνση +X στο Fespa παρουσιάζονται στο τεύχος «Τεύχος > Γενικοί έλεγχοι δομήματος > φόρτιση ανέμου διεθ. +X» όπως παρουσιάζονται στην Εικόνα 2.8:

Ζώνες στέγης: Διαστάσεις, συντελεστές και πιέσεις

Ζώνη:	F	G	H	I
L _x x L _z [m]=	1.48 x 3.69	1.48 x 7.38	5.90 x 14.75	59.02 x 14.75
C _{pe,10} [1]=	-1.47	-1.30	-0.66	-0.56
C _p [1]=	-1.17	-1.00	-0.36	-0.26
Z=+7.50m: W [kPa]=	-1.73	-1.48	-0.53	-0.38

Εικόνα 2.8: Διαστάσεις ζωνών και συντελεστές εξωτερικών πιέσεων για τη στέγη από το τεύχος του Fespa για διεύθυνση ανέμου +X.

Σύγκριση αποτελεσμάτων

Ζώνες	W _e (KPa)	W _i (KPa)	W (KPa)	Fespa (W)	Διαφορά (%)
F	-2.18	-0.44	-1.73	-1.73	0
G	-1.18	-0.44	-0.48	-0.48	0

H	-0.97	-0.44	-0.53	-0.53	0
I	-0.82	-0.44	-0.38	-0.38	0

Πίνακας 2.6: Υπολογισμός και σύγκριση πιέσεων στη στέγη για διεύθυνση ανέμου +X.

2.2.2.2 Διεύθυνση ανέμου +Z [W(+z)]

Συντελεστές πιέσεων κατακόρυφων τοίχων

Υπολογισμοί με το χέρι

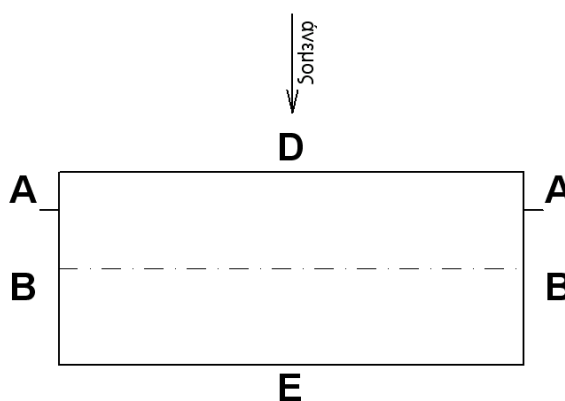
$$e = \min(b, 2h) = \min(66.40, 15.0) = 15.0\text{m} > d = 14.75\text{m}$$

$$h/d = 0.508 < 0.25$$

Σύμφωνα με το Σχήμα 7.5 (EN 1991-1-4) και τον Πίνακα 7 (EN 1991-1-4) προκύπτουν οι παρακάτω τιμές του συντελεστή $C_{pe,10}$.

Ζώνη	A	B	C	D	E
Μήκος (m)	3.00	11.75	0	66.4	66.4
$C_{pe,10}$	-1.20	-0.80	0	0.73	-0.37

Πίνακας 2.7: Διαστάσεις ζωνών και συντελεστές εξωτερικών πιέσεων για κατακόρυφους τοίχους για διεύθυνση ανέμου +Z.



Εικόνα 2.9: Ζώνες εξωτερικών ανεμοπιέσεων για κατακόρυφους τοίχους για διεύθυνση ανέμου +Z.

Αποτελέσματα Fespa

Οι συντελεστές πιέσεων κατακόρυφων τοίχων κατά τη διεύθυνση +Z στο Fespa παρουσιάζονται στο τεύχος «Τεύχος > Γενικοί έλεγχοι δομήματος > Φόρτιση ανέμου διεθ. +Z» όπως παρουσιάζονται στην Εικόνα 2.10:

Ζώνες τοίχων: Διαστάσεις, συντελεστές και πιέσεις

Ζώνη:	A	B	C	D	E
Διάσταση [m]=	3.00	11.75	0.00	66.40	66.40
$C_{pe,10}$ [/]=	-1.20	-0.80	0.00	0.73	-0.37
C_p [/]=	-0.90	-0.50	0.00	1.03	-0.07
Z=+7.50m:					
W [kPa]=	-1.33	-0.74	0.00	1.53	-0.10

Εικόνα 2.10: Διαστάσεις ζωνών και συντελεστές εξωτερικών πιέσεων για κατακόρυφους τοίχους από το τεύχος του Fespa για διεύθυνση ανέμου +Z

Σύγκριση αποτελεσμάτων

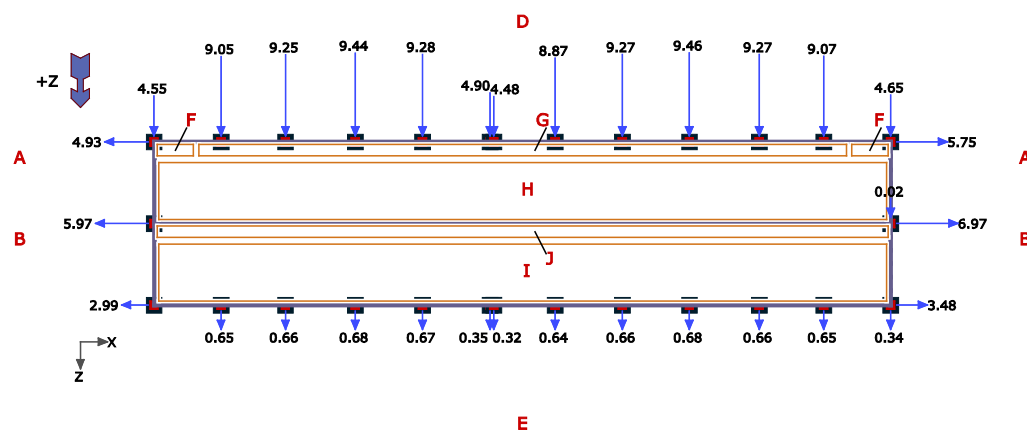
Έπειτα από χρήση των σχέσεων (2.9) και (2.10) υπολογίζονται οι εξωτερικές και εσωτερικές πιέσεις επί των κατακόρυφων τοίχων καθώς και η συνολική πίεση και γίνεται η σύγκριση με το Fespa.

Ζώνες	W_e (KPa)	W_i (KPa)	W (KPa)	Fespa (W)	Διαφορά (%)
A	-1.77	-0.44	-1.33	-1.33	0
B	-1.18	-0.44	-0.74	-0.74	0
C	0.0	0.0	0.0	0.0	0
D	1.09	-0.44	1.53	1.53	0
E	-0.54	-0.44	0.00	-0.10	0

Πίνακας 2.8: Υπολογισμός και σύγκριση πιέσεων σε κατακόρυφους τοίχους για διεύθυνση ανέμου +Z.

Όπου για αυτή τη διεύθυνση ανέμου (+Z) χρησιμοποιείται η τιμή του συντελεστή εσωτερική πίεσης $C_{pi} = -0.30$

Στη συνέχεια η υπολογισθείσα πίεση πολλαπλασιάζεται με την επιφάνεια επιρροής των στύλων και υπολογίζεται η κατανεμημένη δύναμη ανά μέτρο μήκους. Στην Εικόνα 2.11 παρουσιάζονται τα κατανεμημένα φορτία στους στύλους όπως ακριβώς τυπώνονται στο τεύχος του προγράμματος Fespa.



Εικόνα 2.11: Καταναμημένα φορτία στους στύλους λόγω ανέμου διεύθυνσης +Z

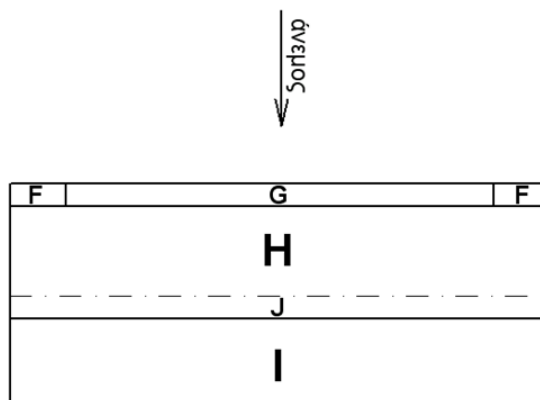
Συντελεστές πιέσεων στέγης

Υπολογισμοί με το χέρι

Πρόκειται για δικλινή στέγη με γωνία κλίσης 9.2° οπότε σύμφωνα με το Σχήμα 7.8 (EN 1991-1-4) και τον Πίνακα 7.4α (EN 1991-1-4) για $\theta=0^\circ$ προκύπτουν οι παρακάτω τιμές του συντελεστή $C_{pe,10}$. Σημειώνεται ότι επιλέγονται οι θετικές τιμές του πίνακα αφού όταν αυτές επαλληλιστούν με τις αρνητικές εσωτερικές πιέσεις θα δώσουν δυσμενέστερο αποτέλεσμα.

Ζώνη	F	G	H	I	J
Διαστάσεις ($L_x \times L_z$)	3.75 x 1.50	58.90 x 1.50	66.40 x 5.88	66.40 x 5.88	66.40 x 1.50
$C_{pe,10}$	0.08	0.08	0.08	-0.35	-0.35

Πίνακας 2.9: Διαστάσεις ζωνών και συντελεστές εξωτερικών πιέσεων για τη στέγη (διεύθυνση ανέμου +Z).



Εικόνα 2.12: Ζώνες εξωτερικών ανεμοπιέσεων για τη στέγη για διεύθυνση ανέμου +Z.

Αποτελέσματα Fespa

Οι συντελεστές πιέσεων στέγης κατά τη διεύθυνση +Z στο Fespa παρουσιάζονται στο τεύχος «Τεύχος > Γενικοί έλεγχοι δομήματος > φόρτιση ανέμου διεθ. +Z» όπως παρουσιάζονται στην Εικόνα 2.13:

Ζώνες στέγης: Διαστάσεις, συντελεστές και πιέσεις

Ζώνη:	F	G	H	I	J
LX x LZ [m]=	3.75 x 1.50	58.90 x 1.50	66.40 x 5.88	66.40 x 5.88	66.40 x 1.50
Cpe,10 [/]=	0.08	0.08	0.08	-0.35	-0.35
Cp [/]=	0.38	0.38	0.38	-0.05	-0.05
Z=+7.50m:					
W [kPa]=	0.57	0.57	0.57	-0.07	-0.07

Εικόνα 2.13: Διαστάσεις ζωνών και συντελεστές εξωτερικών πιέσεων για τη στέγη από το τεύχος του Fespa για διεύθυνση ανέμου +Z.

Σύγκριση αποτελεσμάτων

Έπειτα από χρήση των σχέσεων (2.9) και (2.10) υπολογίζονται οι εξωτερικές και εσωτερικές πιέσεις επί των τειγίδων της στέγης καθώς και η συνολική πίεση και γίνεται η σύγκριση με το Fespa.

Ζώνες	W _e (KPa)	W _i (KPa)	W (KPa)	Fespa (W)	Διαφορά (%)
F	0.13	-0.44	0.57	0.57	0
G	0.13	-0.44	0.57	0.57	0
H	0.13	-0.44	0.57	0.57	0
I	-0.07	-0.44	-0.07	-0.07	0

J	-0.07	-0.44	-0.07	-0.07	0
----------	-------	-------	-------	-------	---

Πίνακας 2.10: Υπολογισμός και σύγκριση πιέσεων στη στέγη για διεύθυνση ανέμου +Z.

2.2.2.3 Διεύθυνση ανέμου -X [W(-x)]

Συντελεστές πιέσεων κατακόρυφων τοίχων

Υπολογισμοί με το χέρι

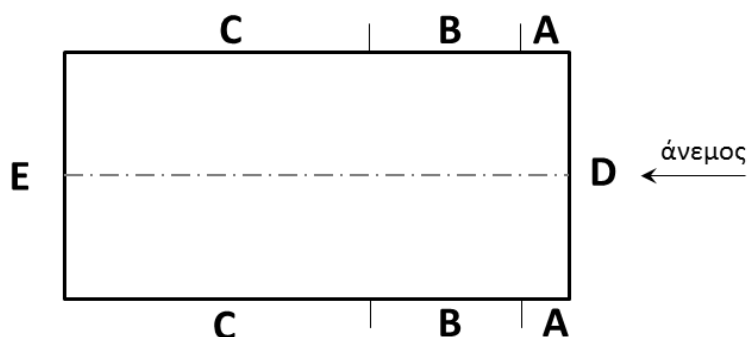
$$e = \min(b, 2h) = \min(14.75, 15.0) = 14.75\text{m} < d=66.4\text{m}$$

$$h/d = 0.113 < 0.25$$

Σύμφωνα με το Σχήμα 7.5 (EN 1991-1-4) και τον Πίνακα 7 (EN 1991-1-4) προκύπτουν οι παρακάτω τιμές του συντελεστή $C_{pe,10}$.

Ζώνη	A	B	C	D	E
Μήκος (m)	2.95	11.80	51.65	14.75	14.75
$C_{pe,10}$	-1.20	-0.80	-0.50	0.70	-0.30

Πίνακας 2.11: Διαστάσεις ζωνών και συντελεστές εξωτερικών πιέσεων για κατακόρυφους τοίχους για διεύθυνση ανέμου -X.



Εικόνα 2.14: Ζώνες εξωτερικών ανεμοπιέσεων κατακόρυφων τοίχων για διεύθυνση ανέμου -X

Αποτελέσματα Fespa

Οι συντελεστές πιέσεων κατακόρυφων τοίχων κατά τη διεύθυνση -X στο Fespa παρουσιάζονται στο τεύχος «Τεύχος > Γενικοί έλεγχοι δομήματος > φόρτιση ανέμου διεθ. -X» όπως παρουσιάζονται στην Εικόνα 2.15:

Ζώνες τοίχων: Διαστάσεις, συντελεστές και πιέσεις

Ζώνη:	A	B	C	D	E
Διάσταση [m]=	2.95	11.80	51.65	14.75	14.75
$C_{pe,10}$ [/]=	-1.20	-0.80	-0.50	0.70	-0.30
C_p [/]=	-1.40	-1.00	-0.70	0.50	-0.50
Z=+7.50m: W [kPa]=	-2.07	-1.48	-1.04	0.74	-0.74

Εικόνα 2.15: Διαστάσεις ζωνών και συντελεστές εξωτερικών πιέσεων τοίχου από το τεύχος του Fespa για διεύθυνση ανέμου -X.

Σύγκριση αποτελεσμάτων

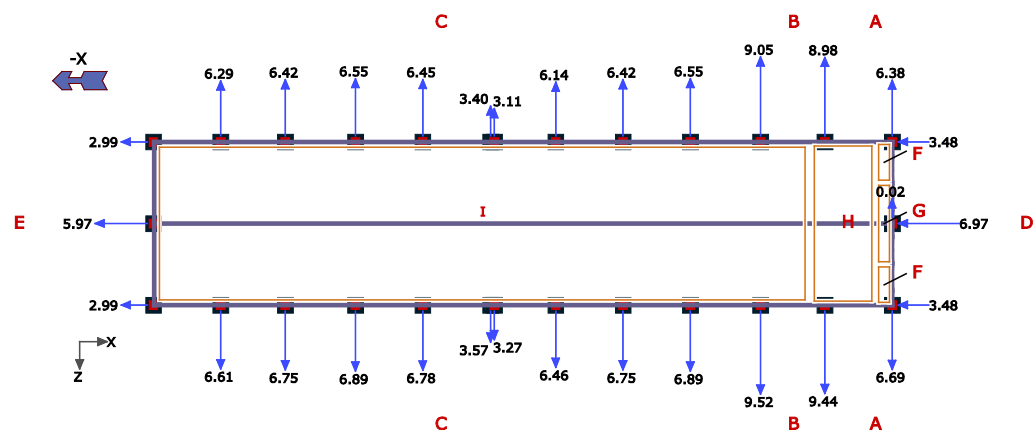
Έπειτα από χρήση των σχέσεων (2.9) και (2.10) υπολογίζονται οι εξωτερικές και εσωτερικές πιέσεις επί των κατακόρυφων τοίχων καθώς και η συνολική πίεση. Οι τιμές των επιμέρους και τελικών πιέσεων, καθώς και η σύγκριση με τις τιμές όπως υπολογίζονται στο Fespa παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.12

Ζώνες	W_e (KPa)	W_i (KPa)	W (KPa)	Fespa (W)	Διαφορά (%)
A	-1.77	0.30	-2.07	-2.07	0
B	-1.18	0.30	-1.48	-1.48	0
C	-0.74	0.30	-1.04	-1.04	0
D	1.04	0.30	0.74	0.74	0
E	-0.44	0.30	-0.74	-0.74	0

Πίνακας 2.12: Υπολογισμός και σύγκριση πιέσεων σε κατακόρυφους τοίχους για διεύθυνση ανέμου -X.

Όπου για αυτή τη διεύθυνση ανέμου (-X) χρησιμοποιείται η τιμή του συντελεστή εσωτερική πίεσης $C_{pi}=0.20$.

Στη συνέχεια η υπολογισθείσα πίεση πολλαπλασιάζεται με την επιφάνεια επιρροής των στύλων και υπολογίζεται η κατανεμημένη δύναμη ανά μέτρο μήκους. Στην Εικόνα 2.16 παρουσιάζονται τα κατανεμημένα φορτία στους στύλους όπως ακριβώς τυπώνονται στο τεύχος του προγράμματος Fespa.



Εικόνα 2.16: Κατανεμημένα φορτία στους στύλους λόγω ανέμου διεύθυνσης -X

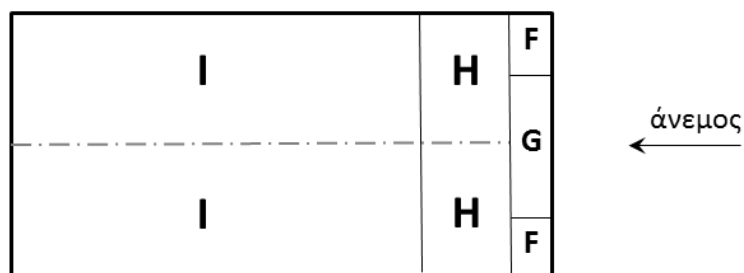
Συντελεστές πιέσεων στέγης

Υπολογισμοί με το χέρι

Πρόκειται για δικλινή στέγη με γωνία κλίσης 9.2° οπότε σύμφωνα με το Σχήμα 7.8 (EN 1991-1-4) και τον Πίνακα 7.4b (EN 1991-1-4) για $\theta=90^\circ$ προκύπτουν οι παρακάτω τιμές του συντελεστή $C_{pe,10}$

Ζώνη	F	G	H	I
Διαστάσεις ($L_x \times L_z$)	1.48 x 3.69	1.48 x 7.38	5.90 x 14.75	59.02 x 14.75
$C_{pe,10}$	-1.47	-1.30	-0.66	-0.56

Πίνακας 2.13: Διαστάσεις Ζωνών και συντελεστές εξωτερικών πιέσεων για τη στέγη.



Εικόνα 2.17: Ζώνες εξωτερικών ανεμοπιέσεων για τη στέγη

Αποτελέσματα Fespa

Οι συντελεστές πιέσεων στέγης κατά τη διεύθυνση -X στο Fespa παρουσιάζονται στο τεύχος «Τεύχος > Γενικοί έλεγχοι δομήματος > φόρτιση ανέμου διεθ. -X» όπως παρουσιάζονται στην Εικόνα 2.18:

Ζώνες στέγης: Διαστάσεις, συντελεστές και πιέσεις

Ζώνη:	F	G	H	I
LX x LZ [m]=	1.48 x 3.69	1.48 x 7.38	5.90 x 14.75	59.02 x 14.75
C _{pe,10} [J]=	-1.47	-1.30	-0.66	-0.56
C _p [J]=	-1.67	-1.50	-0.86	-0.76
Z=+7.50m:				
W [kPa]=	-2.47	-2.22	-1.27	-1.12

Εικόνα 2.18: Διαστάσεις ζωνών και συντελεστές εξωτερικών πιέσεων στέγης από το τεύχος του Fespa για διεύθυνση ανέμου -X

Σύγκριση αποτελεσμάτων

Έπειτα από χρήση των σχέσεων (2.9) και (2.10) υπολογίζονται οι εξωτερικές και εσωτερικές πιέσεις επί των τειγίδων της στέγης καθώς και η συνολική πίεση και γίνεται η σύγκριση με το Fespa.

Ζώνες	W _e (KPa)	W _i (KPa)	W (KPa)	Fespa (W)	Διαφορά (%)
F	-2.17	0.3	-2.47	-2.47	0
G	-1.92	0.3	-2.22	-2.22	0
H	-0.97	0.3	-1.27	-1.27	0
I	-0.82	0.3	-1.12	-1.12	0

Πίνακας 2.14: Υπολογισμός και σύγκριση πιέσεων στη στέγη για διεύθυνση ανέμου -X.

2.2.2.4 Διεύθυνση ανέμου -Z [W(-z)]

Συντελεστές πιέσεων κατακόρυφων τοίχων

Υπολογισμοί με το χέρι

$$e = \min(b, 2h) = \min(66.40, 15.0) = 15.0\text{m} > d=14.75\text{m}$$

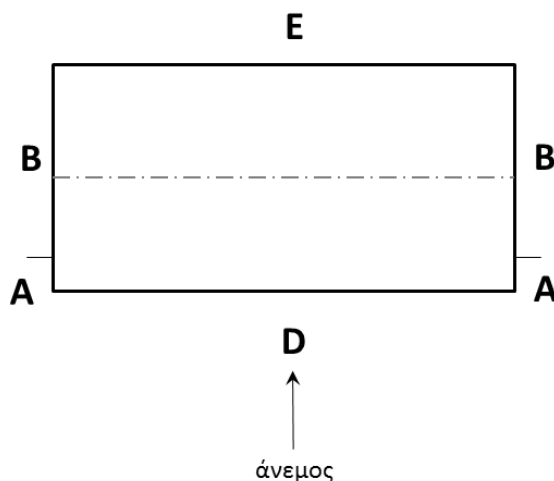
$$h/d = 0.508 < 0.25$$

Σύμφωνα με το Σχήμα 7.5 (EN 1991-1-4) και τον Πίνακα 7 (EN 1991-1-4) προκύπτουν οι παρακάτω τιμές του συντελεστή C_{pe,10}.

Ζώνη	A	B	C	D	E
Μήκος (m)	3.00	11.75	0	66.4	66.4

$C_{pe,10}$	-1.20	-0.80	0	0.73	-0.37
-------------	-------	-------	---	------	-------

Πίνακας 2.15: Διαστάσεις ζωνών και συντελεστές εξωτερικών πιέσεων κατακόρυφων τοίχων για διεύθυνση ανέμου -Z.



Εικόνα 2.19: Ζώνες εξωτερικών ανεμοπιέσεων για κατακόρυφους τοίχους

Αποτελέσματα Fespa

Οι συντελεστές πιέσεων κατακόρυφων τοίχων κατά τη διεύθυνση -Z στο Fespa παρουσιάζονται στο τεύχος «Τεύχος > Γενικοί έλεγχοι δομήματος > φόρτιση ανέμου διεθ. -Z» όπως παρουσιάζονται στην Εικόνα 2.20.

Ζώνες τοίχων: Διαστάσεις, συντελεστές και πιέσεις

Ζώνη:	A	B	C	D	E
Διάσταση [m]=	3.00	11.75	0.00	66.40	66.40
$C_{pe,10}$ [/]=	-1.20	-0.80	0.00	0.73	-0.37
C_p [/]=	-1.40	-1.00	0.00	0.53	-0.57
Z=+7.50m: W [kPa]=	-2.07	-1.48	0.00	0.79	-0.84

Εικόνα 2.20: Διαστάσεις ζωνών και συντελεστές εξωτερικών πιέσεων κατακόρυφων τοίχων από το τεύχος του Fespa για διεύθυνση ανέμου -Z

Σύγκριση αποτελεσμάτων

Έπειτα από χρήση των σχέσεων (2.9) και (2.10) υπολογίζονται οι εξωτερικές και εσωτερικές πιέσεις επί των κατακόρυφων τοίχων καθώς και η συνολική πίεση. Οι τιμές των επιμέρους και τελικών πιέσεων, καθώς και η σύγκριση με τις τιμές όπως υπολογίζονται στο Fespa παρουσιάζονται στον παρακάτω Πίνακας 2.16

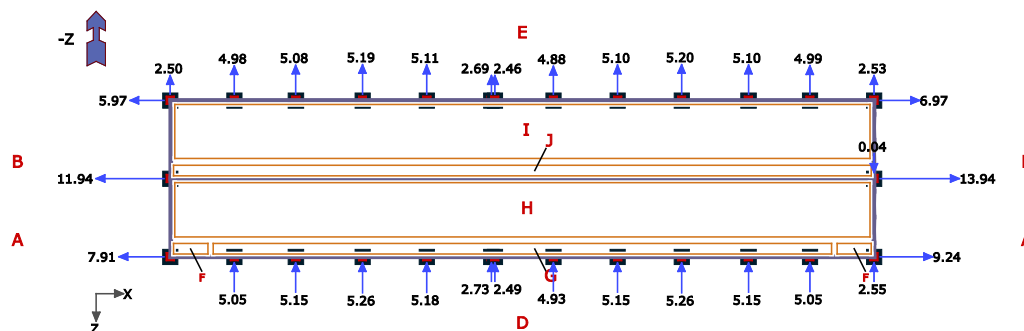
Ζώνες	W_e (KPa)	W_i (KPa)	W (KPa)	Fespa (W)	Διαφορά
-------	-------------	-------------	---------	-----------	---------

					(%)
A	-1.77	0.3	-2.07	-2.07	0
B	-1.18	0.3	-1.48	-1.48	0
C	0.0	0	0.0	0.0	0
D	1.09	0.3	0.79	0.79	0
E	-0.54	0.3	-0.84	-0.84	0

Πίνακας 2.16: Υπολογισμός και σύγκριση πιέσεων σε κατακόρυφους τοίχους για διεύθυνση ανέμου -Z.

Όπου για αυτή τη διεύθυνση ανέμου (-Z) χρησιμοποιείται η τιμή του συντελεστή εσωτερικής πίεσης $C_{pi}=0.20$

Στη συνέχεια η υπολογισθείσα πίεση πολλαπλασιάζεται με την επιφάνεια επιρροής των στύλων και υπολογίζεται η κατανεμημένη δύναμη ανά μέτρο μήκους. Στην Εικόνα 2.21 παρουσιάζονται τα κατανεμημένα φορτία στους στύλους όπως ακριβώς τυπώνονται στο τεύχος του προγράμματος Fespa.



Εικόνα 2.21: Κατανεμημένα φορτία στους στύλους λόγω ανέμου διεύθυνσης -Z

Συντελεστές πιέσεων στέγης

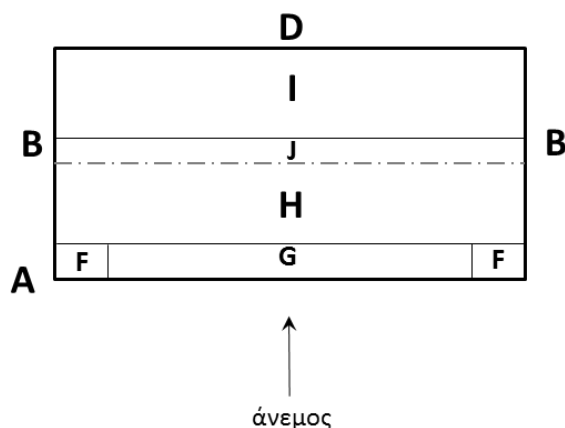
Υπολογισμοί με το χέρι

Πρόκειται για δικλινή στέγη με γωνία κλίσης 9.2° οπότε σύμφωνα με το Σχήμα 7.8 (EN 1991-1-4) και τον Πίνακα 7.4α (EN 1991-1-4) για $\theta=0^\circ$ προκύπτουν οι παρακάτω τιμές του συντελεστή $C_{pe,10}$. Σημειώνεται ότι επιλέγονται οι αρνητικές τιμές του πίνακα αφού όταν αυτές επαλληλιστούν με τις θετικές εσωτερικές πιέσεις θα δώσουν δυσμενέστερο αποτέλεσμα.

Ζώνη	F	G	H	I	J
Λιαστέσεις	3.75 x 1.50	58.90 x 1.50	66.40 x 5.88	66.40 x 5.88	66.40 x 1.50

(L _x x L _z)					
C _{pe,10}	-1.36	-1.03	-0.47	-0.52	-0.31

Πίνακας 2.17: Διαστάσεις ζωνών και συντελεστές εξωτερικών πιέσεων για τη στέγη.



Εικόνα 2.22: Ζώνες εξωτερικών ανεμοπιέσεων στέγης για διεύθυνση ανέμου -Z.

Αποτελέσματα Fespa

Οι συντελεστές πιέσεων στέγης κατά τη διεύθυνση -Z στο Fespa παρουσιάζονται στο τεύχος «Τεύχος > Γενικοί έλεγχοι δομήματος > φόρτιση ανέμου διεθ. -Z» όπως παρουσιάζονται στην Εικόνα 2.23:

Ζώνες στέγης: Διαστάσεις, συντελεστές και πιέσεις

Ζώνη:	F	G	H	I	J
L _x x L _z [m]=	3.75 x 1.50	58.90 x 1.50	66.40 x 5.88	66.40 x 5.88	66.40 x 1.50
C _{pe,10} [J]=	-1.36	-1.03	-0.47	-0.52	-0.31
C _p [J]=	-1.56	-1.23	-0.67	-0.72	-0.51
Z=+7.50m: W [kPa]=	-2.31	-1.82	-0.99	-1.06	-0.75

Εικόνα 2.23: Διαστάσεις ζωνών και συντελεστές εξωτερικών πιέσεων στέγης από το τεύχος του Fespa για διεύθυνση ανέμου -Z.

Σύγκριση αποτελεσμάτων

Έπειτα από χρήση των σχέσεων (2.9) και (2.10) υπολογίζονται οι εξωτερικές και εσωτερικές πιέσεις επί των τεγίδων της στέγης καθώς και η συνολική πίεση και γίνεται η σύγκριση με το Fespa.

Ζώνες	W _e (KPa)	W _i (KPa)	W (KPa)	Fespa (W)	Διαφορά (%)
-------	----------------------	----------------------	---------	-----------	-------------

F	-2.01	0.3	-2.31	-2.31	0
G	-1.52	0.3	-1.82	-1.82	0
H	-0.69	0.3	-0.99	-0.99	0
I	-0.76	0.3	-1.06	-1.06	0
J	-0.45	0.3	-0.75	-0.75	0

Πίνακας 2.18: Υπολογισμός και σύγκριση πιέσεων στη στέγη για διεύθυνση ανέμου -Z.

2.3 Υπολογισμός & Επαλήθευση Φορτίων Χιονιού

2.3.1 Υπολογισμός φορτίων χιονιού

2.3.1.1 Φορτία χιονιού – Υπολογισμοί με το χέρι

Η χαρακτηριστική τιμή του φορτίου του χιονιού στο έδαφος για τη δεδομένη περιοχή δίνεται από την αντίστοιχη εξίσωση για την Ελλάδα στον πίνακα Γ1 (EC1-1-3):

$$s_k = s_{k,0} \cdot \left(1 + \left(\frac{A}{917} \right)^2 \right) = 0.8 \cdot \left(1 + \left(\frac{200}{917} \right)^2 \right) = 0.84 \text{ KN} / \text{m}^2 \quad (2.11)$$

Όπου

A = 200m το υψόμετρο της τοποθεσίας του στεγάστρου

s_{k,0} = 0.8 KN/m² η χαρακτηριστική τιμή του φορτίου χιονιού στη στάθμη της θάλασσας

Τα φορτία χιονιού στη στέγη δίνονται από την εξίσωση 5.1 (EC1-1-3):

$$s = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0.8 \cdot 1.0 \cdot 1.0 \cdot 0.84 = 0.67 \text{ KN} / \text{m}^2 \quad (2.12)$$

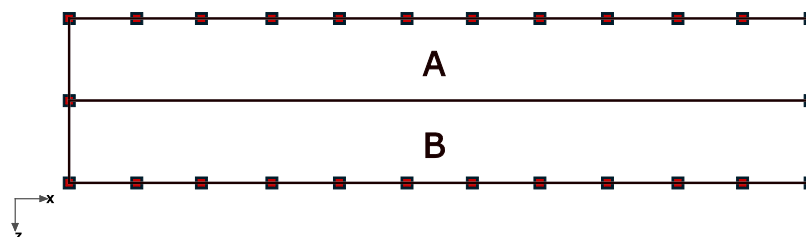
Όπου

μ_i = 0.8 ο συντελεστής μορφής φορτίου χιονιού, δίνεται από τον πίνακα 5.2 για κλίση στέγης α = 9.2°

C_e = 1.0 ο συντελεστής έκθεσης, ο οποίος για κανονικές συνθήκες λαμβάνεται ίσος με 1

C_t = 1.0 ο θερμικός συντελεστής, ο οποίος είναι συνήθως ίσος με 1 για κανονικές συνθήκες.

Η δικλινής στέγη του παραδείγματος φορτίζεται με τη δυσμενέστερη φόρτιση του σχήματος 5.3 (EC1-1-3) που στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι η (i) όπου και οι δύο πλευρές της στέγης φορτίζονται με το ίδιο φορτίο.



Εικόνα 2.24: Επιφάνειες φόρτισης χιονιού.

2.3.1.2 Φορτία χιονιού – Αποτελέσματα Fespa

Τα δεδομένα καθώς και τα αποτελέσματα της φόρτισης χιονιού στο Fespa παρουσιάζονται στο τεύχος «Τεύχος > Γενικοί έλεγχοι δομήματος > φόρτιση χιονιού»

Φορτία χιονιού [EC1-1-3]

Φορτία χιονιού στο επίπεδο της θάλασσας $S_{k,0}$ ($A=0$)	=	0.80kPa
Υψόμετρο τοποθεσίας A	=	200.0m
Συντελεστής έκθεσης C_e	=	1.00

Η χαρακτηριστική τιμή του φορτίου του χιονιού στο έδαφος για τη δεδομένη περιοχή δίνεται από την εξ.:

$$s_k = s_{k,0} \cdot [1 + (A/917)^2] = 0.84kPa,$$

Τα φορτία χιονιού στη στέγη δίνονται από την εξ.(5.1), [EC1-1-3]:

$$s = \mu \cdot C_e \cdot C_s \cdot s_k$$

Στοιχεία επιφανειών φορτίου χιονιού

Επιφάνεια	Προβαλλόμενο εμβαδό [m ²]	L [m]	B [m]	Γωνία κλίσης α [°]	Συντελεστής σχήματος $\mu_1(\alpha)$ [1]	Προβαλλόμενο φορτία χιονιού s [kN/m ²]
A	489.6	66.40	7.39	9.3	0.80	0.67
B	489.6	66.40	7.39	9.3	0.80	0.67

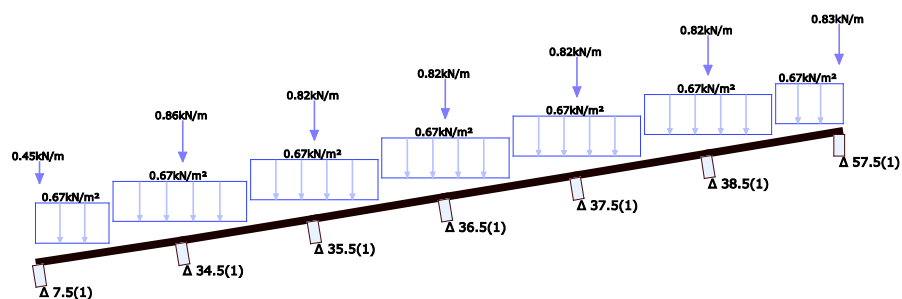
Σημείωση:

Το φορτία χιονιού s αναφέρεται σε οριζόντια προβολή της επιφάνειας της στέγης, σύμφωνα με τον EC 1-1-3, §5.2(4).

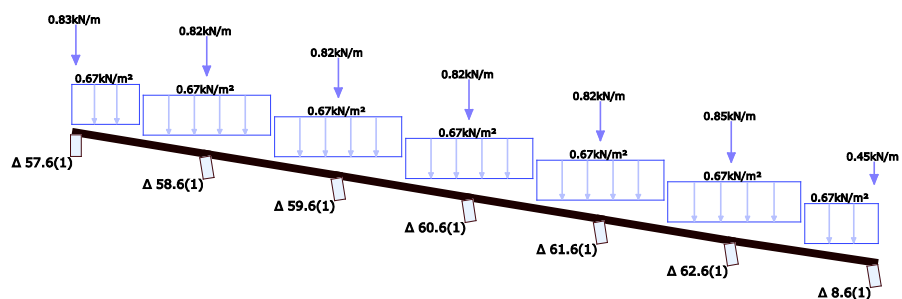
Εικόνα 2.25: Δεδομένα και γενικά αποτελέσματα φόρτισης χιονιού στο Fespa

Σύμφωνα με την παράγραφο 5.2(4) του EC1-1-3 το φορτία χιονιού δρ. κάθετα και αναφέρεται στην οριζόντια προβολή της επιφάνειας της στέγης.

Στη συνέχεια η υπολογισθείσα πίεση πολλαπλασιάζεται με την επιφάνεια επιρροής των τεγίδων και υπολογίζεται η κατανεμημένη δύναμη ανά μέτρο μήκους. Στις παρακάτω εικόνες Εικόνα 2.26 και Εικόνα 2.27 παρουσιάζονται οι πιέσεις στις επιφάνειες καθώς και τα κατανεμημένα φορτία στις τεγίδες όπως ακριβώς τυπώνονται στο τεύχος του προγράμματος Fespa.



Εικόνα 2.26: Φορτία χιονιού στις τεγίδες της επιφάνειας A της στέγης



Εικόνα 2.27: Φορτία χιονιού στις τεγίδες της επιφάνειας B της στέγης

2.3.2 Φορτία χιονιού – Σύγκριση αποτελεσμάτων

Στον Πίνακα 2.19 συνοψίζονται τα παραπάνω αποτελέσματα και γίνεται η σύγκριση με το Fespa.

Επιφάνεια	Προβαλόμενο εμβαδόν (m ²)	Γωνία κλίσης	Συντελεστής σχήματος	Φορτίο χιονιού (KN/m ²)	Fespa	Διαφορά %
A	489.6	9.3°	0.8	0.67	0.67	0
B	489.6	9.3°	0.8	0.67	0.67	0

Πίνακας 2.19: Διαστάσεις επιφανειών φόρτισης και σύγκριση πιέσεων χιονιού με το Fespa.

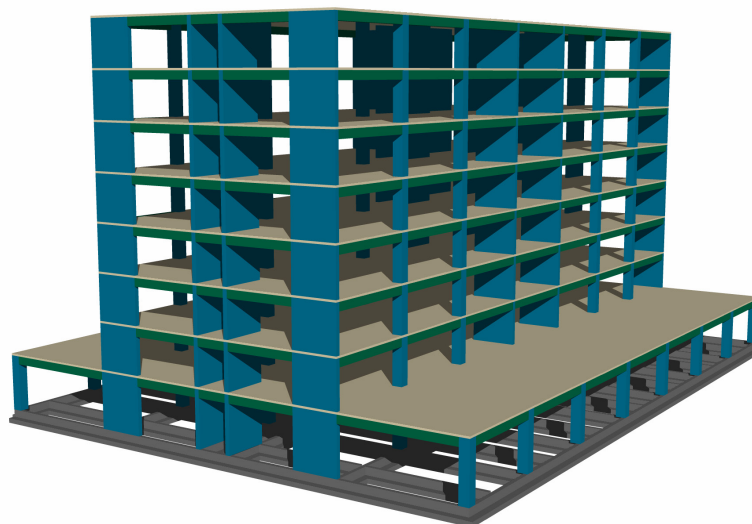
3

Πολυόροφο κτίριο από Ο/Σ

3.1 Παρουσίαση του φορέα

Ο εξεταζόμενος φορέας παρουσιάζεται στην Εικόνα 3.1 και είναι ένα δόροφο κτίριο από οπλισμένο σκυρόδεμα στο οποίο πρόκειται να υπολογιστούν οι δράσεις ανέμου σύμφωνα με τον Ευρωκώδικες 1-4. Οι διαστάσεις της κάτοψης είναι 56.0 x 40.35 m ενώ το ύψος είναι 28.8 m από το έδαφος.

Σχετικά με τα φορτία ανεμοπιέσεων το στέγαστρο βρίσκεται σε κατηγορία αναγλύφου ΙΙΙ ενώ η θεμελιώδης τιμή της βασικής ταχύτητας του ανέμου στη περιοχή είναι $v_{b,0} = 33 \text{ m/s}$. Επίσης, η τιμή του συντελεστή τοπογραφικής διαμόρφωσης είναι $C_0 = 1.0$. Τέλος, επειδή ο φορέας είναι από Ο/Σ η κατανομή του φορτίου ανέμου επιλέγεται να είναι «καθ' ύψος» από τα εισαγόμενα δεδομένα του προγράμματος Fespa, καθώς η πλευρική ώθηση του ανέμου είναι η σημαντική για το μελετητή.



Εικόνα 3.1: 3D απεικόνιση του πολυόροφου κτιρίου.

Η γεωμετρία του κτιρίου καθώς και οι διατομές των δομικών μελών και η ποιότητα του χάλυβα παρουσιάζονται συνοπτικά στον Πίνακα 2.1.

Διάσταση κατά x, Lx	40.35 m (1 ^{ος} όροφος) 21.10 m (2 ^{ος} – 8 ^{ος} όροφος)
Διάσταση κατά z, Lz	56.0 m
Ύψος	28.8 m
Σκυρόδεμα	C30/37
Χάλυβας οπλισμών	B500C
Πλάκες	h=15 cm
Υποστυλώματα	K 75/75
Τοιχώματα	K 350/35
Δοκοί	Δ 45/75, Δ35/50

Πίνακας 3.1: Δεδομένα πολυόροφου κτιρίου

3.2 Υπολογισμός & Επαλήθευση φορτίων ανέμου

3.2.1 Υπολογισμοί με το χέρι

Παρόμοια με το 1^ο παράδειγμα

- **Βασική ταχύτητα** (Σχέση 4.1, EN 1991-1-4)

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} = 1.0 \cdot 1.0 \cdot 33.0 = 33.0 \text{ m/s} \quad (3.1)$$

- **Βασική πίεση** (Σχέση 4.10 EN 1991-1-4)

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 = \frac{1}{2} \cdot 0.00125 \cdot 33.0^2 = 0.68 \text{ kN/m}^2 \quad (3.2)$$

- **Κατηγορία εδάφους** (Πίνακας 4.1, EN 1991-1-4)

Κατηγορία εδάφους III :

$z_0 = 0.3 \text{ m}$ το μήκος της τραχύτητας

$z_{min} = 5 \text{ m}$ το ελάχιστο ύψος

- **Συντελεστής εδάφους** (Σχέση 4.5, EN 1991-1-4)

$$k_r = 0.19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0.07} = 0.19 \cdot \left(\frac{0.3}{0.05} \right)^{0.07} = 0.215 \quad (3.3)$$

3.2.1.1 Διεύθυνση ανέμου +X & -X

Πίεση αιχμής

- Ύψος κτιρίου: $h=28.80\text{m}$

Πλάτος κτιρίου κάθετη στον άνεμο: $b=56.0\text{m}$

Συνεπώς ισχύει $h \leq b$ και η κατανομή του ανέμου καθ' ύψος του κτιρίου θα γίνει ομοιόμορφα μέχρι την κορυφή του ($z_e = h$). (Σχήμα 7.4 EN 1991-1-4)

- **Συντελεστής τραχύτητας** (Σχέση 4.4, EN 1991-1-4)

αφού $5.0\text{m} \leq 28.8\text{m} \leq 200\text{m}$

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) = 0.215 \cdot \ln\left(\frac{28.8}{0.3}\right) = 0.981 \quad (3.4)$$

- **Μέση ταχύτητα ανέμου** (Σχέση 4.3, EN 1991-1-4)

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot v_b = 0.981 \cdot 1.0 \cdot 33.0 = 32.38 \text{ m/s} \quad (3.5)$$

- **Ένταση του στροβιλισμού** (Σχέση 4.7, EN 1991-1-4)

αφού $5.0m \leq 28.8m \leq 200m$

$$I_v(z) = \frac{k_l}{c_0(z) \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} = \frac{1.0}{1.0 \cdot \ln\left(\frac{28.8}{0.3}\right)} = 0.219 \quad (3.6)$$

- Πίεση ταχύτητας αιχμής (Σχέση 4.8, EN 1991-1-4)

$$\begin{aligned} q_p(z) &= [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = \\ &= [1 + 7 \cdot 0.219] \cdot \frac{1}{2} \cdot 0.00125 \cdot 32.38^2 = 1.66 \text{ kN} / \text{m}^2 \end{aligned} \quad (3.7)$$

Συντελεστές πιέσεων κατακόρυφων τοίχων

$$h/d = 28.8/21.10 = 1.36$$

Σύμφωνα με το Σχήμα 7.5 (EN 1991-1-4) και τον Πίνακα 7.1 (EN 1991-1-4) προκύπτουν οι παρακάτω τιμές των συντελεστών εξωτερικής πίεσης για τον προσήνεμο (C_{peD}) και τον υπήνεμο τοίχο (C_{peE}).

$$C_{peD} = +0.80$$

$$C_{peE} = -0.52$$

Σημείωση: Οι εσωτερικές πιέσεις στο εσωτερικό του κτιρίου θεωρούνται μηδενικές καθώς αλληλοεξουδετερώνονται οι εσωτερικές δυνάμεις όταν αυτές από τους τοίχους μεταφέρονται στα διαφράγματα. Επιπρόσθετα, οι πλευρικές εξωτερικές πιέσεις θεωρούνται ομοίως μηδενικές καθώς οι τελικές δυνάμεις επί των στάθμεων των διαφραγμάτων είναι ίσες και αντίθετης φοράς.

Τελικές δυνάμεις ανεμοπίεσης καθ' ύψος

Οι τελικές δυνάμεις αναμοπίεσεων ασκούνται χάρην απλότητας στις στάθμες διαφραγμάτων στην προσήνεμη πλευρά του κτιρίου. Προκύπτουν όταν το διανυσματικό άθροισμα των εξωτερικών πιέσεων, σύμφωνα με το σχήμα 5.1 (EN 1991-1-4), πολλαπλασιαστεί με το εμβαδόν αναφοράς του κάθε ορόφου. Τα συνολικά αποτελέσματα παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στον παρακάτω Πίνακα 3.2.

Όροφος	Υψόμετρο στάθμης h_i (m)	Εμβαδόν αναφοράς A_{ref} (m ²)	Ολική πίεση αιχμής q_p (KPa)	Δύναμη ανέμου F_w (KN)
1	4.30	218.4	2.20	480.48
2	7.80	196.0	2.20	431.20
3	11.30	196.0	2.20	431.20

4	14.80	196.0	2.20	431.20
5	18.30	196.0	2.20	431.20
6	21.80	196.0	2.20	431.20
7	25.30	196.0	2.20	431.20
8	28.80	98.0	2.20	215.60

Πίνακας 3.2: Αποτελέσματα ανεμοπιέσεων καθ' ύψος του κτιρίου για τη διεύθυνση +X & -X

Τέλος, η τελική δύναμη ασκείται στο χωρικό πλαίσιο του φορέα καθώς επιμερίζεται ομοιόμορφα στους κόμβους που συντρέχουν δοκοί και υποστυλώματα.

3.2.1.2 Διεύθυνση ανέμου +Z & -Z

Πίεση αιχμής

- Ύψος κτιρίου: $h=28.80m$

Πλάτος κτιρίου κάθετη στον άνεμο: $b=21.10m$, όπου επιλέγεται η πλευρά που εμφανίζεται στους περισσότερους ορόφους

Επειδή ισχύει $b < h \leq 2b$ η κατανομή του ανέμου καθ' ύψος του κτιρίου θα γίνει σε δύο στάδια, ομοιόμορφα για ύψος $(0 \leq z_e \leq 21.10m)$ και ομοιόμορφα επίσης στο υπολοιπόμένο ύψος $(21.10 < z_e \leq 28.80m)$ (Σχήμα 7.4 EN 1991-1-4). Συνεπώς, θα υπολογιστούν δύο πιέσεις αιχμής, μία για κάθε στάθμη αναφοράς.

- Συντελεστής τραχύτητας (Σχέση 4.4, EN 1991-1-4)

αφού $5.0m \leq 28.8m \leq 200m$

$$c_r(b) = k_r \cdot \ln\left(\frac{b}{z_0}\right) = 0.215 \cdot \ln\left(\frac{21.1}{0.3}\right) = 0.914 \quad (3.8)$$

$$c_r(h) = k_r \cdot \ln\left(\frac{h}{z_0}\right) = 0.215 \cdot \ln\left(\frac{28.8}{0.3}\right) = 0.981 \quad (3.9)$$

- Μέση ταχύτητα ανέμου (Σχέση 4.3, EN 1991-1-4)

$$v_m(b) = c_r(b) \cdot c_0(b) \cdot v_b = 0.914 \cdot 1.0 \cdot 33.0 = 30.16 \text{ m/s} \quad (3.10)$$

$$v_m(h) = c_r(h) \cdot c_0(h) \cdot v_b = 0.981 \cdot 1.0 \cdot 33.0 = 32.38 \text{ m/s} \quad (3.11)$$

- Ένταση του στροβιλισμού (Σχέση 4.7, EN 1991-1-4)

αφού $5.0m \leq 28.8m \leq 200m$

$$I_v(b) = \frac{k_t}{c_0(z) \cdot \ln\left(\frac{b}{z_0}\right)} = \frac{1.0}{1.0 \cdot \ln\left(\frac{21.1}{0.3}\right)} = 0.235 \quad (3.12)$$

$$I_v(h) = \frac{k_t}{c_0(z) \cdot \ln\left(\frac{h}{z_0}\right)} = \frac{1.0}{1.0 \cdot \ln\left(\frac{28.8}{0.3}\right)} = 0.219 \quad (3.13)$$

- Πίεση ταχύτητας αιχμής (Σχέση 4.8, EN 1991-1-4)

$$\begin{aligned} q_p(b) &= [1 + 7 \cdot I_v(b)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(b) = \\ &= [1 + 7 \cdot 0.235] \cdot \frac{1}{2} \cdot 0.00125 \cdot 30.16^2 = 1.50 \text{ kN} / \text{m}^2 \end{aligned} \quad (3.14)$$

$$\begin{aligned} q_p(h) &= [1 + 7 \cdot I_v(h)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(h) = \\ &= [1 + 7 \cdot 0.219] \cdot \frac{1}{2} \cdot 0.00125 \cdot 32.38^2 = 1.66 \text{ kN} / \text{m}^2 \end{aligned} \quad (3.15)$$

Συντελεστές πιέσεων κατακόρυφων τοίχων

$$h/d = 28.8/56.0 = 0.514$$

Σύμφωνα με το Σχήμα 7.5 (EN 1991-1-4) και τον Πίνακα 7.1 (EN 1991-1-4) προκύπτουν οι παρακάτω τιμές των συντελεστών εξωτερικής πίεσης για τον προσήνεμο (C_{peD}) και τον υπήνεμο τοίχο (C_{peE}).

$$C_{peD} = +0.74$$

$$C_{peE} = -0.37$$

Σημείωση: Οι εσωτερικές πιέσεις στο εσωτερικό του κτιρίου θεωρούνται μηδενικές καθώς αλληλοεξουδετερώνονται οι εσωτερικές δυνάμεις όταν αυτές από τους τοίχους μεταφέρονται στα διαφράγματα. Επιπρόσθετα, οι πλευρικές εξωτερικές πιέσεις θεωρούνται ομοίως μηδενικές καθώς οι τελικές δυνάμεις επί των στάθμεων των διαφραγμάτων είναι ίσες και αντίθετης φοράς.

Τελικές δυνάμεις ανεμοπίεσης καθ' ύψος

Οι τελικές δυνάμεις αναμοπίεσεων ασκούνται χάριν απλότητας στις στάθμες διαφραγμάτων στην προσήνεμη πλευρά του κτιρίου. Προκύπτουν όταν το διανυσματικό άθροισμα των εξωτερικών πιέσεων, σύμφωνα με το σχήμα 5.1

(EN 1991-1-4), πολλαπλασιαστεί με το εμβαδόν αναφοράς του κάθε ορόφου. Τα συνολικά αποτελέσματα παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στον παρακάτω πίνακα Πίνακας 3.3.

Όροφος	Υψόμετρο στάθμης h_i (m)	Εμβαδόν αναφοράς A_{ref} (m ²)	Ολική πίεση αιχμής q_p (KPa)	Δύναμη ανέμου F_w (KN)
1	4.30	157.4	1.67	262.83
2	7.80	73.85	1.67	123.33
3	11.30	73.85	1.67	123.33
4	14.80	73.85	1.67	123.33
5	18.30	73.85	1.67	123.33
6	21.80	73.85	1.84	135.88
7	25.30	73.85	1.84	135.88
8	28.80	36.93	1.84	67.95

Πίνακας 3.3: Αποτελέσματα ανεμοπιέσεων καθ' ύψος του κτιρίου για τη διεύθυνση +Z & -Z.

Η τελική δύναμη ασκείται στο χωρικό πλαίσιο του φορέα καθώς επιμερίζεται ομοιόμορφα στους κόμβους που συντρέχουν δοκοί και υποστυλώματα.

3.2.2 Αποτελέσματα Fespa

Τα αποτελέσματα των ανεμοπιέσεων στο Fespa παρουσιάζονται στο τεύχος «Τεύχος > Γενικοί έλεγχοι δομήματος > Φορτίσεις ανέμου»

Φορτία ανέμου [EC1-1-4]

Βασική ταχύτητα ανέμου V_b	=	33.0m/s
Κατηγορία ανάγλυφου	:	III
Συντελεστής ορεογραφίας C_o	=	1.00
Συντελεστής εσωτερικής πίεσης C_{pi}	=	0.00
Υψόμετρο βάσης για εφαρμογή ανεμοπίεσης	=	0.00m
Ύψος κτιρίου ως προς τα φορτία ανέμου	=	28.80m

Φόρτιση ανέμου. Φορτίσεις ανέμου - Διευθύνσεις: +X & -X

Διαστάσεις κτιρίου	:	
Διάσταση κτιρίου κάθετη στον άνεμο b	=	56.00m
Διάσταση κτιρίου παράλληλη στον άνεμο d	=	21.10m
Συντελεστής εξωτερικής πίεσης στη διεύθυνση του ανέμου	:	
Προσήνεμος C_{peD}	=	0.80
Υπήνεμος C_{peE}	=	-0.52

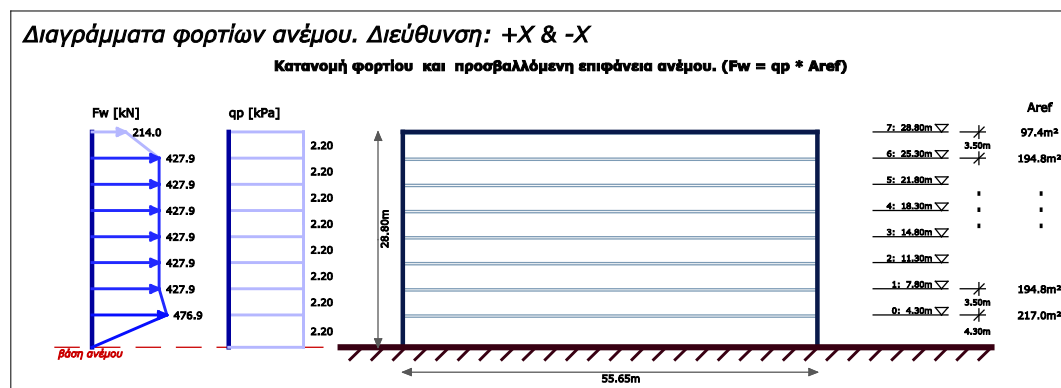
Φόρτιση ανέμου. Φορτίσεις ανέμου - Διευθύνσεις: +Z & -Z

Διαστάσεις κτιρίου	:	
Διάσταση κτιρίου κάθετη στον άνεμο b	=	21.10m
Διάσταση κτιρίου παράλληλη στον άνεμο d	=	56.00m
Συντελεστής εξωτερικής πίεσης στη διεύθυνση του ανέμου	:	
Προσήνεμος C_{peD}	=	0.74
Υπήνεμος C_{peE}	=	-0.37

Εικόνα 3.2: Δεδομένα και γενικά αποτελέσματα ανεμοπίεσης στο Fespa

3.2.2.1 Διεύθυνση ανέμου +X & -X

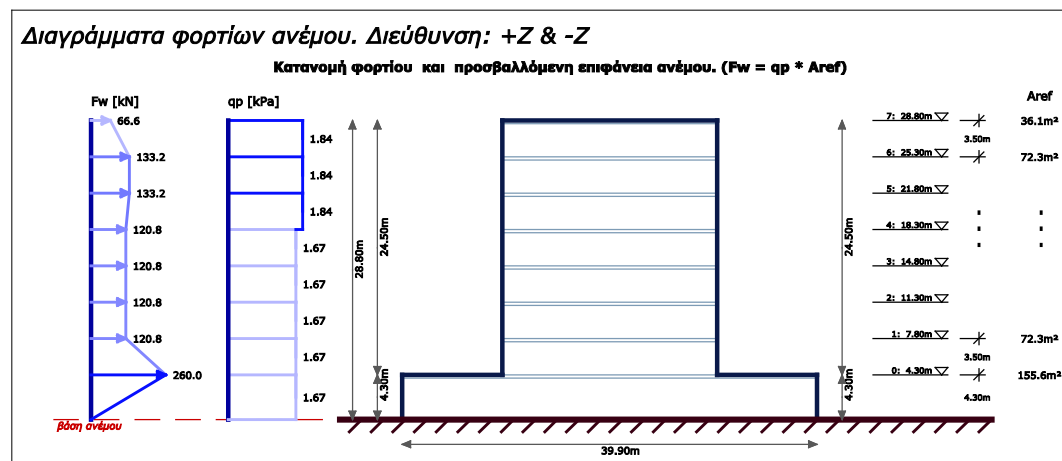
Τα αποτελέσματα της ανεμοπίεσης κατά τη διεύθυνση +X & -X στο Fespa παρουσιάζονται στο τεύχος «Τεύχος > Γενικοί έλεγχοι δομήματος > Φόρτιση ανέμου, διευθ. +X & -X»



Εικόνα 3.3: Κατανομή ανεμοπιέσεων στο Fespa στις διευθύνσεις +X & -X.

3.2.2.2 Διεύθυνση ανέμου +Z & -Z

Τα αποτελέσματα της ανεμοπίεσης κατά τη διεύθυνση +X & -X στο Fespa παρουσιάζονται στο τεύχος «Τεύχος > Γενικοί έλεγχοι δομήματος > Φόρτιση ανέμου, διευθ. +Z & -Z»



Εικόνα 3.4: Κατανομή ανεμοπιέσεων στο Fespa στις διευθύνσεις +Z & -Z.

3.2.3 Σύγκριση αποτελεσμάτων

3.2.3.1 Διεύθυνση ανέμου +X & -X

Στον Πίνακα 3.4 παρουσιάζονται και συγκρίνονται τα αποτελέσματα που παρήχθησαν με υπολογισμούς με το χέρι με αυτά του Fespa για τη διεύθυνση ανέμου +X & -X.

Όροφος	Υπολογισμοί με το χέρι F _w (KN)	Fespa F _w (KN)	Διαφορά (%)
1	480.48	476.90	-0.75
2	431.20	427.90	-0.77
3	431.20	427.90	-0.77
4	431.20	427.90	-0.77
5	431.20	427.90	-0.77
6	431.20	427.90	-0.77

7	431.20	427.90	-0.77
8	215.60	214.00	-0.74

Πίνακας 3.4: Σύγκριση αποτελεσμάτων ανεμοπίεσης.

3.2.3.2 Διεύθυνση ανέμου +Z & -Z

Παρομοίως, στον Πίνακα 3.5 παρουσιάζονται και συγκρίνονται τα αποτελέσματα που παρήχθησαν με υπολογισμούς με το χέρι με αυτά του Fespa για τη διεύθυνση ανέμου +Z & -Z.

Όροφος	Υπολογισμοί με το χέρι F_w (KN)	Fespa F_w (KN)	Διαφορά (%)
1	262.83	260.00	-1.08
2	123.33	120.80	-2.05
3	123.33	120.80	-2.05
4	123.33	120.80	-2.05
5	123.33	120.80	-2.05
6	135.88	133.20	-1.97
7	135.88	133.20	-1.97
8	67.95	66.60	-1.99

Πίνακας 3.5: Σύγκριση αποτελεσμάτων ανεμοπίεσης

4

Βιβλιογραφία

- [1] EN 1991-1-3: Eurocode 1: Actions on structures - Part 1-3: General actions - Snow loads.
- [2] EN 1991-1-4: Eurocode 1: Actions on structures - Part 1-4: General actions - Wind actions.
- [3] Ι.Χ. Ερμόπουλος, Ευρωκώδικας 1, Βασικές αρχές σχεδιασμού και δράσεις επί των κατασκευών. Ερευνητικά σχόλια και παραδείγματα εφαρμογής. Κλειδάριθμος 2005.
- [4] Ahmed Elghazouli, Seismic Design of Buildings to Eurocode 8. CRC Press, May 2009.