



Τεχνολογικό
Πανεπιστήμιο
Κύπρου

Σχολή Μηχανικής
και Τεχνολογίας

Πτυχιακή εργασία

**ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΦΟΡΤΙΩΝ ΑΝΕΜΟΥ ΕΠΙ ΤΩΝ
ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ**

Μάριος Νικολάου

Λεμεσός, Μάιος 2020

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Πτυχιακή εργασία

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΦΟΡΤΙΩΝ ΑΝΕΜΟΥ ΕΠΙ ΤΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

του

Μάριου Νικολάου

Επιβλέπων Καθηγητής

Δρ. Νικόλας Κυριακίδης

Λεμεσός, Μάιος 2020

Πνευματικά δικαιώματα

Copyright © Μάριος Νικολάου, 2020

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Η έγκριση της πτυχιακής εργασίας από το Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών του Τεχνολογικού Πανεπιστημίου Κύπρου δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα εκ μέρους του Τμήματος.

Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στον επιβλέποντα καθηγητή μου Δρ. Νικόλα Κυριακίδη, ο οποίος βρισκόταν πάντα δίπλα μου καθ' όλη τη διάρκεια διεκπεραίωσης της παρούσας πτυχιακής διατριβής επιδεικνύοντας εξαιρετικό ενδιαφέρον και προσφέροντας μου πολύτιμη βοήθεια και σωστή καθοδήγηση. Οι σωστές υποδείξεις καθώς και οι συμβουλές του μετατράπηκαν για μένα σε σημαντικά εφόδια για την παραπέρα πορεία της ζωής μου.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κ. Σωτήρη Σωτηρίου τον διευθυντή του μελετητικού γραφείου ASD Sotiriou για τη βοήθεια και την καθοδήγηση του κατά τη διάρκεια της πρακτικής μου καθώς και την παραχώρηση του μοντέλου PARKLANE TOWER για την περάτωση της παρούσας εργασίας.

Θερμές ευχαριστίες απευθύνω στον Δρ. Βελισάριο Δημητρίου της Muskita Aluminium Industries Ltd για τη πολύτιμη βοήθεια του σχετικά με τα διάφορα προφίλ αλουμινίου που χρησιμοποιούνται και ποιες δοκιμές ελέγχου γίνονται για την αντίσταση του υλικού στις ανεμοπιέσεις.

Θα ήθελα επίσης να απευθύνω θερμές ευχαριστίες από καρδιάς σε όλους τους καθηγητές του τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Τεχνολογικού Πανεπιστημίου Κύπρου για τις πολύτιμες γνώσεις και την αμέριστη βοήθεια που μου πρόσφεραν καθ' όλη τη διάρκεια της φοίτησης μου στο Πανεπιστημίου.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες στα μέλη της Εξεταστικής Επιτροπής οι οποίοι είχαν τη καλοσύνη, την υπομονή και τη διάθεση του πολύτιμου τους χρόνου για να αξιολογήσουν τη πτυχιακή αυτή εργασία.

Τέλος οφείλω ένα τεράστιο ευχαριστώ στην οικογένεια μου που βρισκόταν πάντα δίπλα μου στηρίζοντας και ενθαρρύνοντας με. Η στήριξη, η κατανόηση και η εμπιστοσύνη που επέδειξαν σε μένα κατά τη διάρκεια των σπουδών μου έγιναν φάρος που με οδήγησε με ασφάλεια στον προορισμό μου που δεν ήταν άλλος από τη μάθηση και την αξιοποίηση των δυνατοτήτων μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η δοθέντα πτυχιακή εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια του προγράμματος σπουδών του τμήματος Πολιτικών Μηχανικών και Γεωπληροφορικής του Τεχνολογικού Πανεπιστημίου Κύπρου. Ανώτερος σκοπός αυτής της εργασίας είναι η παρουσίαση της μελέτης επίδρασης των χαρακτηριστικών φορτίων του ανέμου επί των κατασκευών με βάση τον Ευρωκώδικα 1 και το Εθνικό Προσάρτημα CYS EN 1991-1-4:2005. Καθώς και πως μπορεί με τη βοήθεια των εξωτερικών επενδυτικών συστημάτων που διατίθενται τόσο στο εξωτερικό όσο και στην Κύπρο να παρέχονται επαρκείς αντίσταση του αέρα. Τέλος, μέσω μιας υφιστάμενης πολυώροφης πολυκατοικίας στο παραλιακό μέτωπο της Λεμεσού θα μας βοηθήσει να κατανοήσουμε σε πραγματικό μοντέλο πως μπορεί να γίνει η εφαρμογή όλων των απαραίτητων παραμέτρων για τον υπολογισμό των συνολικών δυνάμεων λόγω της επίδρασης των φορτίων ανέμου. Για την εκπόνηση των σημαντικών πληροφοριών για τις συμβαλλόμενες δυνάμεις που ασκούνται και οι μετακινήσεις σε κάθε όροφο έγιναν με τη βοήθεια του λογισμικού προγράμματος ETABS. Αρχικά στο πρώτο κεφάλαιο της μελέτης παρουσιάζονται συνοπτικά, οι γενικές πληροφορίες για τη φύση αλλά και των τύπων των ανέμου που υπάρχουν, καθώς και τα απαραίτητα κριτήρια που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη για τον αώτερο σχεδιασμό του ανέμου. Το δεύτερο κεφάλαιο αναφέρεται στις επίμονες, στις παροδικές, στις ξαφνικές και στις σεισμικές καταστάσεις όπου συμπεριλαμβάνονται στο σχεδιασμό καταστάσεων. Η τρίτη ενότητα αναφέρεται σε όλους τους παράγοντες που λαμβάνονται υπόψη για τον υπολογισμό των φορτίων πίεσεων ανέμου επί των κατασκευών. Μερικοί παράγοντες που εξετάζονται στην ενότητα αυτή είναι η έννοια των εξωτερικών επιφανειακών πίεσεων, των εσωτερικών επιφανειακών πίεσεων και την επιφανειακή τριβή κ.λπ. Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η σημαντικότητα της ταχύτητας ανέμου και η πίεση ταχύτητα αιχμής. Επίσης γίνεται αναφορά στις παραμέτρους που λαμβάνονται υπόψη, οι οποίοι είναι η βασική ταχύτητα του ανέμου, οι βασικές τιμές, η μέση τιμή του ανέμου, η τυρβώδης ροή καθώς και η μέγιστη ταχύτητα πίεσης. Στο πέμπτο κεφάλαιο περιγράφεται όλη η διαδικασία και οι απαραίτητοι συντελεστές οι οποίοι πρέπει να εφαρμοσθούν για τον υπολογισμό των δυνάμεων ανέμου επί των κατασκευών. Στο έκτο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι αεροδυναμικοί συντελεστές πίεσεων, οι δυνάμεις σε διάφορες κατασκευές και σε κάποια δομικά στοιχεία των κατασκευών. Στο έβδομο κεφάλαιο παρουσιάζονται κάποια παραδείγματα για τον υπολογισμό δυνάμεων υπό την επίδραση

φορτίων ανέμου σε κατασκευές και σε δομικά στοιχεία. Στο όγδοο κεφάλαιο δίνονται όλοι οι απαραίτητοι έλεγχοι και μέθοδοι εξέτασης των παραθύρων και θυρών σε αντίσταση των φορτίων ανέμου με βάση τους Ευρωκώδικες CYS EN 12211:2016 και CYS EN 14351-1:2006. Στο ένατο κεφάλαιο αναφέρονται κάποια εξωτερικά επενδυτικά συστήματα για την αντίσταση κατασκευής από τα φορτία ανέμου. Στο δέκατο κεφάλαιο γίνεται αναφορά για τα συστήματα επένδυσης αλουμινίου από μια από τις μεγαλύτερες βιομηχανίες επεξεργασίας αλουμινίου στην Κύπρο. Επίσης γίνεται μια συγκριτική μελέτη για τη τοποθέτηση μονού ή διπλού ανοίγματος του προφίλ MU4200. Στο τελευταίο κεφάλαιο της πτυχιακής εργασίας γίνεται η παρουσίαση όσων παραμέτρων χρειάστηκαν για τον σχεδιασμό των εξωτερικών συντελεστών πίεσης και την ανάλυση της πολυώροφης πολυκατοικίας. Αναφέροντας και τα τελικά αποτελέσματα που εξάχθηκαν από την ανάλυση της τρέχουσας μοντελοποίησης.

Λέξεις κλειδιά: εσωτερική-εξωτερική επιφανειακή πίεση, βασική ταχύτητα ανέμου, αεροδυναμικοί συντελεστές πιέσεων, υπολογισμός φορτίων ανέμου

ABSTRACT

The present dissertation has been prepared within the framework of the study program of the Department of the Civil Engineering & Geomatics of the Cyprus University of Technology. The main purpose of this dissertation is the presentation of a study regarding the characteristics of wind loads on the structures according to the Eurocodes CYS EN 1991-1-4:2005 as well as how we can provide adequate air resistance with the help of external cladding systems that are available both in Cyprus and abroad. Finally, through an existing multi-storey apartment building on the coastal area front of Limassol, it will help us to understand in real model how the application of all the necessary parameters for the calculation of the total forces due to the effect of wind loads can be done. The preparation of relevant information for the contracted forces influenced and displacements on each floor respectively were done with the help of structural software program ETABS. Initially the first Chapter of the study provides general information about the nature and types of wind that exist as well as the necessary criteria that should be taken into account for the superior design of the wind. The second Chapter refers to the persistent, transient, accidental and seismic situations respectively that are included in the design of situations. The Third Chapter refers to all factors taken into account for the calculation of wind loads on structures. Some of the factors considered in this section are the concept of external surface pressures, internal surface pressures, surface friction etc. The Fourth Chapter presents the importance of fundamental value of basic wind velocity and wind pressure. It also refers to the parameters that are taken into account which are the basic wind velocity, the basic values, the mean wind values, the wind turbulent as well as the peak pressure velocity. In the Fifth Chapter the whole process and the necessary factors which must be taken into account for the calculation of the wind forces on structures are described. Chapter 6 presents the aerodynamic pressure coefficients and strengths in various structures or some structural elements of the constructions. Chapter 7 presents some examples of the calculation of forces and the effect of wind loads on structures or structural elements. Chapter 8 provides all the necessary controls and methods of testing window and doors to wind loads based on Eurocodes CYS EN 12211:2016 and CYS EN 14351-1:2006. Chapter 9 refers to some external cladding systems of the resistance of structures from wind loads. Chapter 10 refers to aluminium cladding systems of one of the largest aluminium processing

Industries in Cyprus. There is also comparative study for the placement of the single or double span of the profile MU 4200. In the last Chapter of the dissertation there is a presentation about the parameters that were needed for the design of cladding loads and analysis of the multi-storey apartment building. Furthermore, mentioning the final results obtained from the analysis of current modelling.

Keywords: internal – external surface pressure, basic wind velocity, aerodynamics pressure, calculation of wind loads

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Ο πίνακας περιεχομένων περιλαμβάνει υπό μορφή λίστας τη δομή του εγγράφου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	v
ABSTRACT.....	vii
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ	ix
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	xv
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ	xviii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	xx
ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ	xxiii
ΑΠΟΔΟΣΗ ΟΡΩΝ	xxvii
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
Κεφάλαιο 1	2
1 Χαρακτηριστικά Ανέμου	2
1.1 Γενικά.....	2
1.2 Φύση του Ανέμου.....	2
1.3 Κριτήρια που είναι απαραίτητα στο σχεδιασμό για τον άνεμο.....	3
1.4 Τύποι ανέμου.....	3
Κεφάλαιο 2	5
2 Σχεδιασμός Καταστάσεων.....	5
2.1 Επίμονη Κατάσταση	5
2.2 Παροδικές Καταστάσεις	6
2.3 Τυχηματικές Καταστάσεις	7
2.3.1 Κόπωση υπό φορτίο Ανέμου	8
2.3.2 <i>Μεταλλική Κόπωση</i>	8
2.4 Σεισμική Κατάσταση	9

2.5	Συνδυασμός σχεδιασμού στην οριακή κατάσταση αστοχίας.....	9
Κεφάλαιο 3		11
3	Υπολογισμός φορτίων πιέσεων ανέμου επί των επιφανειών κατασκευής	11
3.1	Πεδίο εφαρμογής.....	11
3.2	Πίεση αναφοράς.....	11
3.3	Εξωτερικές Επιφανειακές Πιέσεις	12
3.4	Εσωτερική επιφανειακή πίεση	12
3.5	Τελική επιφανειακή πίεση.....	13
3.6	Επιφανειακή τριβή	14
Κεφάλαιο 4		15
4	Ταχύτητα ανέμου και πίεση ταχύτητας	15
4.1	Βασική ταχύτητα ανέμου	15
4.1.1	Υπολογισμός Συντελεστής Πιθανότητας.....	16
4.1.1.1	Εφαρμογή Εύρεσης Πιθανότητας.....	16
4.2	Βασικές τιμές	17
4.2.1	Θεμελιώδης τιμή για τη βασική τιμή της ταχύτητας	17
4.3	Μέση ταχύτητα ανέμου.....	17
4.3.1	Διακύμανση του ύψους.....	17
4.3.2	Υπολογισμός εδαφικού συντελεστή τραχύτητας.....	18
4.3.3	Συντελεστής τοπογραφικού ανάγλυφου $c_o(z)$	23
4.4	Τυρβώδης ροή ανέμου	26
4.5	Πίεση ταχύτητας αιχμής.....	26
Κεφάλαιο 5		28
5	Υπολογισμός δυνάμεων ανέμου επί των κατασκευών	28
5.1	Υπολογισμός δυνάμεων του ανέμου λόγω πίεσης.....	28
5.2	Δυναμικός Συντελεστής c_{scd}	29

5.2.1	Γενικά	29
5.2.2	Προσδιορισμός $c_s c_d$	30
5.2.3	Υπολογισμός δυναμικού συντελεστή $C_s C_d$	33
Κεφάλαιο 6		37
6	Αεροδυναμικοί συντελεστές πιέσεων και δυνάμεων.....	37
6.1	Γενικά.....	37
6.2	Συντελεστές πίεσης για κτίρια	38
6.2.1	Γενικά	38
6.2.2	Κατακόρυφοι τοίχοι κτιρίων με ορθογωνική κάτοψη	41
6.2.3	Επίπεδες στέγες κατασκευών και δώματα	45
6.2.4	Μονοκλινείς στέγες	47
6.2.5	Δίκλινες Στέγες	50
6.3	Εσωτερική πίεση	52
6.4	Στέγαστρα	55
6.4.1	Γενικά	55
6.4.2	Μονόκλινα στέγαστρα.....	57
6.4.3	Δίκλινα Στέγαστρα.....	59
6.4.4	Επαναλαμβανόμενα δικλινή στέγαστρα	61
6.5	Ελεύθεροι διαχωριστικοί τοίχοι, στηθαία, φράκτες και πινακίδες σήμανσης .	62
6.5.1	Ελεύθεροι διαχωριστικοί τοίχοι και στηθαία	62
6.5.2	Πινακίδες σήμανσης	65
6.6	Κατασκευαστικά στοιχεία με ορθογωνική διατομή.....	66
6.7	Ενεργός λυγηρότητα λ και μειωτικός συντελεστής λυγηρότητας ψ_λ	68
6.8	Συντελεστής τριβής.....	70
Κεφάλαιο 7		71
7	Υπολογισμός δυνάμεων υπό την επίδραση φορτίων ανέμου	71

7.1	Παράδειγμα 1: Επίπεδη στέγη κτιρίου με στηθαία	71
7.2	Παράδειγμα 2: Πολυώροφο κτίριο με επίπεδη στέγη	77
7.3	Παράδειγμα 3: Μονόκλινη στέγη	86
7.4	Παράδειγμα 4: Δίκλινο Στέγαστρο	90
7.5	Παράδειγμα 5: Συμπαγής κατακόρυφος τοίχος (σκυρόδεμα).....	94
7.6	Παράδειγμα 6: Πινακίδα σήμανσης.....	97
	Κεφάλαιο 8	98
8	Παράθυρα και Θύρες - Μέθοδος Εξέτασης Σε Αντίσταση Των Φορτίων Ανέμου ..	98
8.1	Σκοπός.....	98
8.2	Στόχος Εξέτασης παραθύρων και θυρών	98
8.2.1	Δοκιμαστική πίεση.....	99
8.3	Αρχές δοκιμής.....	99
8.4	Έλεγχος διαπερατότητα του αέρα.....	99
8.5	Έλεγχος υδατοστεγανότητας κουφωμάτων	102
8.6	Επισκευή	103
8.7	Προετοιμασία δείγματος δοκιμής	104
8.8	Διαδικασία δοκιμής.....	109
8.8.1	Προκαταρτικά δοκιμής	109
8.9	Δοκιμή Παραμόρφωσης.....	110
8.9.1	Θετική Πίεση	110
8.9.2	Αρνητική Πίεση	110
8.10	Επαναλαμβανόμενη δοκιμή πίεσης.....	110
8.11	Δοκιμή ασφαλείας	111
8.12	Παραμόρφωση.....	112
8.13	Επαναλαμβανόμενη πίεση.....	113

8.14	Αντίσταση σε επαναλαμβανόμενο άνοιγμα και κλείσιμο	113
8.15	Δοκιμή Προστασίας.....	113
8.16	Έκθεση Αναφοράς.....	113
8.17	Παράδειγμα	114
9	Εξωτερικά επενδυτικά συστήματα αντίστασης του ανέμου.....	116
9.1	Γενικά.....	116
9.2	Προκατασκευασμένο σκυρόδεμα	116
9.3	Γυαλί – ινοπλισμένο τσιμέντο.....	117
9.4	Συστήματα τοίχου με υαλοπίνακα (curtain walls)	118
Κεφάλαιο 10		120
10	Συστήματα επένδυσης αλουμινίου	120
10.1	Γενικά	120
10.2	Επενδυτικά συστήματα αλουμινίου στη Κύπρο.....	120
10.3	Προφίλ MU4200	121
10.4	Περιγραφή κύριων χαρακτηριστικών.....	122
10.5	Παραδείγματα επενδυτικών συστημάτων από αλουμίνιο	123
10.6	Διατομές με τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά και ανεμοπιέσεις.....	124
10.7	Παράδειγμα	127
Κεφάλαιο 11		132
11	Εφαρμογή φορτίων ανέμου σε υφιστάμενο κτίριο	132
11.1	Γενικά	132
11.2	Φορτία	133
11.3	Διαδικασία	135
11.4	Αποτελέσματα	139
11.5	Συμπεράσματα.....	148
ΕΠΙΛΟΓΟΣ		149

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 151

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Κατηγορίες εδαφών και παράμετροι εδαφών	19
Πίνακας 2: Απεικονίσεις της ανώτερης τραχύτητας για κάθε κατηγορία εδάφους.....	20
Πίνακας 3: Απόσταση X.....	22
Πίνακας 4: Τιμές του ενεργού μήκους L_e	24
Πίνακας 5: Υπολογισμός z_e ανάλογα με τις τρεις περιπτώσεις σχήματος κτιρίου.....	41
Πίνακας 6: Συντελεστές εξωτερικής πίεσης για κατακόρυφους τοίχους κτιρίων με ορθογωνική κάτοψη.....	44
Πίνακας 7 : Συντελεστές εξωτερικής πίεσης για επίπεδες στέγες.....	46
Πίνακας 8: Συντελεστές εξωτερικής πίεσης για μονοκλινείς στέγες για $\theta = 0^0$ και $\theta = 180^0$	48
Πίνακας 9: Συντελεστές εξωτερικής πίεσης για μονοκλινείς στέγες για $\theta = 90^0$	49
Πίνακας 10: Συντελεστές εξωτερικής πίεσης για δίκλινες στέγες για $\theta = 0^0$	51
Πίνακας 11: Συντελεστές εξωτερικής πίεσης για δίκλινες στέγες για $\theta = 90^0$	52
Πίνακας 12: Τιμές συντελεστών $c_{p,net}$ και c_f για μονοκλινή στέγαστρα	57
Πίνακας 13: Τιμές συντελεστών $c_{p,net}$ και c_f για δίκλινα στέγαστρα	59
Πίνακας 14: Μειωτικός συντελεστής για επαναλαμβανόμενα στέγαστρα.....	61
Πίνακας 15: Συντελεστές πίεσης $c_{p,net}$ για διαχωριστικούς τοίχους και στηθαία	63
Πίνακας 16: Συντελεστές τριβής c_{fr} για τοίχους, στηθαία και επιφάνεια οροφής.....	70
Πίνακας 17: Συντελεστές εξωτερικών πιέσεων για κατακόρυφους τοίχους	73
Πίνακας 18: Συντελεστές εξωτερικών πιέσεων για οριζόντια οροφή	73
Πίνακας 19: Εξωτερικές πιέσεις λόγω ανέμου στους κατακόρυφους τοίχους του κτιρίου	75
Πίνακας 20: Εξωτερικές πιέσεις λόγω ανέμου στην οροφή του κτιρίου.....	75
Πίνακας 21: Τελικές πιέσεις στους κατακόρυφους τοίχους	76
Πίνακας 22: Τελικές πιέσεις στην οροφή	76

Πίνακας 23: Συντελεστές εξωτερικών πιέσεων για κατακόρυφους τοίχους.....	79
Πίνακας 24: Συντελεστές εξωτερικής πίεσης c_{pe} για επίπεδη στέγη με αιχμηρά άκρα..	79
Πίνακας 25: Εξωτερικές πιέσεις λόγω ανέμου στους κατακόρυφους τοίχους σε κάθε ύψος του κτιρίου.....	82
Πίνακας 26: Εξωτερικές πιέσεις λόγω ανέμου στην οροφή του κτιρίου.....	82
Πίνακας 27: Τελικές πιέσεις στους κατακόρυφους τοίχους.....	83
Πίνακας 28: Τελικές πιέσεις στην οροφή.....	83
Πίνακας 29: Συντελεστές εξωτερικής πίεσης μονόκλινης οροφής για διεύθυνση ανέμου $\theta = 0^\circ$	88
Πίνακας 30: Εξωτερικές πιέσεις σε κάθε ζώνη της στέγης με διεύθυνση ανέμου $\theta = 0^\circ$	89
Πίνακας 31: Μέγιστοι και ελάχιστοι συντελεστές πίεσης για δίκλινο στέγαστρο, με λόγο πληρότητας $\varphi = 0$ και για γωνία κλίσης στέγης $\alpha = 20^\circ$	92
Πίνακας 32: Μέγιστες και ελάχιστες τιμές πιέσεων ανέμου για βαθμό πληρότητας $\varphi = 0$	92
Πίνακας 33: Συντελεστές καθαρής πίεσης.....	95
Πίνακας 34: Τελικές πιέσεις κάθε ζώνης.....	95
Πίνακας 35: Διαπερατότητα συνολικής επιφάνειας.....	100
Πίνακας 36: Διαπερατότητα συνολικής αρμών.....	101
Πίνακας 37: Περιγραφή ισοδύναμης πίεσης σε μποφόρ και ταχύτητα.....	101
Πίνακας 38: Ταξινόμηση Υδατοστεγανότητας Κουφωμάτων.....	103
Πίνακας 39: Κατηγοριοποίηση των αντίστοιχων τιμών πίεσης P1.....	112
Πίνακας 40: Παραμόρφωση πλαισίου υπό φορτίου πίεσης P1.....	112
Πίνακας 41: Κατηγοριοποίηση παραθύρων ή θυρών στου αντίστοιχους αριθμούς κύκλων.....	113
Πίνακας 42: Αποτελέσματα δοκιμής.....	114
Πίνακας 43: Αντίστοιχες τιμές κλάσεων με βάση των τιμών δοκιμής.....	115

Πίνακας 44: Ελάχιστο απαιτούμενο πάνελ σύμφωνα με τη πίεση του ανέμου.....	118
Πίνακας 45: Πίνακας χαρακτηριστικών προφίλ MU4200	121
Πίνακας 46: Ύψος κάθε ορόφου του κτιρίου και το αντίστοιχο υψόμετρο	133
Πίνακας 47: Μετακίνηση κάθε ορόφου υπό την επίδραση φορτίων ανέμου	141
Πίνακας 48: Οριζόντιες δυνάμεις κάθε ορόφου υπό την επίδραση φορτίων ανέμου ..	143
Πίνακας 49: Κατανομή της τέμνουσας δύναμης σε κάθε όροφο και τέμνουσας βάσης V_b	145
Πίνακας 50: Ροπή ανατροπής κάθε ορόφου	147

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 1: Μέγεθος τάσης S σε σχέση με τον κύκλο φορτίσεων μέχρι τη θραύση N	8
Διάγραμμα 2: Συντελεστής έκθεσης $ce(z_e)$ για $co=1,0$, $kl=1,0$ (EN 1991-1-4:2005)	27
Διάγραμμα 3: $C_s C_d$ για πολυώροφα χαλύβδινα κτίρια	31
Διάγραμμα 4: $C_s C_d$ για πολυώροφα κτίρια από σκυρόδεμα.....	31
Διάγραμμα 5: $C_s C_d$ για χαλύβδινες καπνοδόχους χωρίς επένδυση	32
Διάγραμμα 6: $C_s C_d$ για καπνοδόχους από σκυρόδεμα χωρίς επένδυση	32
Διάγραμμα 7: $C_s C_d$ για καπνοδόχους με επένδυση	33
Διάγραμμα 8: Συντελεστής εσωτερικής πίεσης για ομοιόμορφα κατανομημένα ανοίγματα	54
Διάγραμμα 9: Συντελεστές προστασίας ψ_s για τοίχους και φράκτες.....	64
Διάγραμμα 10: Συντελεστές δύναμης $c_{f,o}$ για ορθογωνική διατομή με αιχμηρές άκρες και χωρίς ροή ελεύθερων άκρων	67
Διάγραμμα 11: Μειωτικός συντελεστής ψ_r τετραγωνικών διατομών με στρογγυλεμένες ακμές.....	67
Διάγραμμα 12: Συντελεστής λυγηρότητας ψ_l συναρτήσει του ϕ , για διάφορες τιμές του ϕ	69
Διάγραμμα 13: Διάγραμμα ανοίγματος σε σχέση με το αντίστοιχο ύψος και επιτρεπόμενη πίεση.....	125
Διάγραμμα 14: Διάγραμμα ανοίγματος σε σχέση με το αντίστοιχο ύψος και επιτρεπόμενη πίεση.....	126
Διάγραμμα 15: Εντατικά μεγέθη διάτμησης.....	128
Διάγραμμα 16: Εντατικά μεγέθη ροπής.....	128
Διάγραμμα 17 : Εντατικά μεγέθη διάτμησης για διπλό άνοιγμα.....	130
Διάγραμμα 18 : Εντατικά μεγέθη ροπής για διπλό άνοιγμα.....	130
Διάγραμμα 19: Μέγιστη μετακίνηση ορόφου λόγω της επίδρασης φορτίων ανέμου ..	140

Διάγραμμα 20: Πλευρικές δυνάμεις κάθε ορόφου λόγω της επίδρασης φορτίων ανέμου	142
Διάγραμμα 21: Συνολική δύναμη τέμνουσας βάσης V_b	144
Διάγραμμα 22: Ροπή ανατροπής κάθε ορόφου λόγω της επίδρασης φορτίων ανέμου .	146

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1: Χαρακτηρισμοί σήμανσης των πιέσεων επί των κατασκευών.....	13
Σχήμα 2: Χάρτης προσδιορισμού θεμελιώδους βασικής ταχύτητας του ανέμου στην Κύπρο.....	17
Σχήμα 3: Αξιολόγηση τραχύτητας εδάφους.....	21
Σχήμα 4: Αύξηση της ταχύτητας ανέμου λόγο αλλαγής κλίσης του αναγλύφου.....	24
Σχήμα 5: Συντελεστής s για γκρεμούς και εξάρσεις.....	25
Σχήμα 6: Συντελεστής s για λόφους και κορυφές.....	25
Σχήμα 7: Γενικές μορφές που καλύπτονται από τη διαδικασία σχεδιασμού.....	36
Σχήμα 8: Γραφική απεικόνιση για τη προτεινόμενη διαδικασία καθορισμού μεταβολής του εξωτερικού συντελεστή πίεσης c_{pe} για κτίρια με φορτιζόμενη επιφάνειας A μεταξύ 1 m^2 και 10 m^2	39
Σχήμα 9: Κατανομή των πιέσεων που λαμβάνονται υπόψη υπό στρεπτικών επιδράσεων.....	40
Σχήμα 10: Απεικόνιση των σχετικών πιέσεων για προεξέχουσες στέγες.....	40
Σχήμα 11: Απεικόνιση των σχετικών πιέσεων για προεξέχουσες στέγες.....	42
Σχήμα 12: Συμβολισμοί για κατακόρυφους τοίχους.....	43
Σχήμα 13: Καθορισμός ζωνών για επίπεδες στέγες.....	45
Σχήμα 14: Συμβολισμοί ζωνών για μονοκλινείς στέγες.....	48
Σχήμα 15: Συμβολισμοί ζωνών για δίκλινες στέγες.....	50
Σχήμα 16: Ροή του ανέμου σε στέγαστρα.....	55
Σχήμα 17: Θέση του κέντρου δύναμης για μονοκλινείς στέγαστρα.....	58
Σχήμα 18: Θέση του κέντρου δύναμης για δικλινείς στέγαστρα.....	60
Σχήμα 19: Επαναλαμβανόμενα στέγαστρα.....	61
Σχήμα 20: Καθορισμός ζωνών για διαχωριστικούς τοίχους.....	63
Σχήμα 21: Συμβολισμοί των πινακίδων σήμανση.....	65

Σχήμα 22: Ορισμός του συντελεστή πληρότητας.....	69
Σχήμα 23 : Συμβολισμοί επιφάνειας αναφοράς A_{rf} για τοίχους και επιφάνειες ορόφων	70
Σχήμα 24: Κτίριο με επίπεδη στέγη και στηθαία.....	71
Σχήμα 25: Καθορισμός ζωνών κατακόρυφων τοίχων.....	72
Σχήμα 26: Κατανομή συντελεστών εξωτερικής πίεσης κατακόρυφων τοίχων.....	72
Σχήμα 27: Καθορισμός ζωνών επίπεδης στέγης.....	73
Σχήμα 28: Γεωμετρικά στοιχεία πολυώροφου κτιρίου με επίπεδη στέγη.....	77
Σχήμα 29: Καθορισμός ζωνών κατακόρυφων τοίχων.....	78
Σχήμα 30: Κατανομή συντελεστών εξωτερικής πίεσης περιμετρικών τοίχων.....	78
Σχήμα 31: Καθορισμός ζωνών της οροφής.....	79
Σχήμα 32: Εσωτερικές πιέσεις λόγω ανέμου στους κατακόρυφους τοίχους σε KN/m^2	83
Σχήμα 33: Δυνάμεις δράσεως ανέμου επί του κτιρίου.....	84
Σχήμα 34: Κατεύθυνση των τελικών δυνάμεων στη στέγη.....	85
Σχήμα 35: Γεωμετρικά στοιχεία κτιρίου και τομή του εδάφους.....	86
Σχήμα 36: Συντελεστής εξωτερικής πίεσης στέγης.....	87
Σχήμα 37: Καθορισμός ζωνών μονόκλινης στέγης.....	87
Σχήμα 38: Γεωμετρικά στοιχεία δίκλινου στεγάστρου.....	90
Σχήμα 39: Μέγιστοι και ελάχιστοι συντελεστές $c_{p,net}$ για βαθμό πληρότητας $\varphi = 0$	92
Σχήμα 40: Περιπτώσεις συνολικής δύναμης επί του στεγάστρου για F_{max} και F_{min}	93
Σχήμα 41: Γεωμετρικά στοιχεία τοίχου.....	94
Σχήμα 42: Γεωμετρικά στοιχεία πινακίδας σήμανσης.....	97
Σχήμα 43: Σημεία μέτρησης σε παράθυρο με διπλά φύλλα και σταθερά μέρη.....	105
Σχήμα 44: Μετρήσεις μεμονωμένου μετρητή σε σχέση με το πλαίσιο.....	106
Σχήμα 45: Μετρήσεις μεμονωμένου μετρητή σε σχέση με το πλαίσιο.....	107

Σχήμα 46: Μέτρηση σημείων σε μονές και διπλές πόρτες.....	108
Σχήμα 47: Σειρά δοκιμών για αντίσταση φορτίων ανέμου.....	109
Σχήμα 48: Πάνελ προκατασκευασμένου σκυροδέματος.....	117
Σχήμα 49: Πάνελ από γυαλί-ινοπλισμένο τσιμέντο.....	118
Σχήμα 50: Συστήματα τοίχου με υαλοπίνακα.....	119
Σχήμα 51: Προφίλ αλουμινίου MU4200 με υαλοπετάσματα.....	122
Σχήμα 54: Παράθυρο με διπλό άνοιγμα.....	123
Σχήμα 52: Παράθυρο με μονό άνοιγμα.....	123
Σχήμα 53: Ανοιγοκλεινόμενο παράθυρο.....	123
Σχήμα 55: Γεωμετρικά στοιχεία διατομής MU4200 για μονό άνοιγμα.....	125
Σχήμα 56: Γεωμετρικά στοιχεία διατομής MU4200 για διπλό άνοιγμα.....	126
Σχήμα 57: Κατανεμημένο φορτίο για μονό άνοιγμα.....	127
Σχήμα 58: Κατανεμημένο φορτίο για διπλό άνοιγμα.....	129
Σχήμα 59: Τρισδιάστατη προβολή του κτιρίου μελέτης.....	132
Σχήμα 60: Τρισδιάστατο μοντέλο μελέτης.....	134
Σχήμα 61: Εισαγωγή συντελεστών στο μοντέλο.....	135
Σχήμα 62: Σχεδιασμός claddings στις πλευρές του κτιρίου.....	136
Σχήμα 63: Τοπικοί άξονες του κτιρίου.....	137
Σχήμα 64: Συντελεστής εξωτερικής πίεσης της ζώνης D.....	137
Σχήμα 65: Συντελεστής εξωτερικής πίεσης της ζώνης E.....	138
Σχήμα 66: Συντελεστής εξωτερικής πίεσης στους πλευρικούς τοίχους.....	138
Σχήμα 67: Συντελεστής εξωτερικής πίεσης στην οροφή.....	139
Σχήμα 68: Παραμόρφωση κτιρίου υπό την επίδραση φορτίων ανέμου.....	140

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

$G_{k,j}$:	η χαρακτηριστική τιμή των μόνιμων δράσεων
P_k :	η χαρακτηριστική τιμή της προέντασης
$Q_{k,I}$:	η χαρακτηριστική τιμή της μεταβλητής δράσης i
A_d :	Η τιμή σχεδιασμού της τυχηματικής δράσης
A_{ED} :	Η τιμή σχεδιασμού της σεισμικής δράσης
$\gamma_{Gj}, \gamma_{GA,j}$:	Οι επιμέρους συντελεστές ασφαλείας για τη μόνιμη δράση j
γ_P, γ_{PA} :	Οι επιμέρους συντελεστές ασφαλείας για την προένταση
$\gamma_{Q,i}$:	Ο επιμέρους συντελεστής ασφαλείας για τη μεταβλητή δράση i
γ_I :	Ο συντελεστής σπουδαιότητας
$\Psi_{0,i}, \Psi_{1,i}, \Psi_{2,i}$	Οι συντελεστές συνδυασμού των μεταβλητών δράσεων
q_b :	Πίεση αναφοράς
v_b :	Βασική ταχύτητα ανέμου
w_e :	Πίεση του ανέμου στην εξωτερική επιφάνεια
z_e :	Ύψος αναφοράς για την εξωτερική πίεση
C_{pe} :	Συντελεστής εξωτερικής πίεσης
w_i :	Πίεση του ανέμου στην εσωτερική επιφάνεια
z_i :	Ύψος αναφοράς για την εσωτερική πίεση
C_{pi} :	Συντελεστής εσωτερικής πίεσης
C_{dir} :	Συντελεστής διεύθυνσης
C_{season} :	Συντελεστής εποχής
$C_{p,net}$	Τελική πίεση
$v_{b,o}$:	Θεμελιώδης τιμή της βασικής ταχύτητας του ανέμου
p :	Πιθανότητα ρίσκου
n :	Περίοδος χρόνου για 50 χρόνια

r :	Τιμή χρόνων
$v_m(z)$:	Μέση ταχύτητα ανέμου
$c_r(z)$:	Συντελεστής τραχύτητας
$c_o(z)$:	Συντελεστής τοπογραφικής διαμόρφωσης
$c_e(z)$:	Συντελεστής έκθεσης
z_o :	Μήκος τραχύτητας
k_r :	Συντελεστής εδάφους
$Z_{o,II}$:	Κατηγορία εδάφους II
Z_{min} :	Ελάχιστο ύψος
Z_{max} :	Μέγιστο ύψος το οποίο είναι ίσο με 200 m
s :	Συντελεστής τοπογραφικής θέσης
L_e :	Ενεργό μήκος προσήνεμης πλαγιάς
L_u :	Πραγματική της προσήνεμης πλαγιάς στη διεύθυνση του ανέμου
L_d :	Πραγματικό μήκος της κάτω πλαγιάς
H :	Ενεργό ύψος της εδαφικής ανωμαλίας
X :	Οριζόντια απόσταση της κατασκευής από την κορυφή του λόφου
Φ :	Κλίση
$I_v(z)$:	Τυρβώδης ροή ανέμου
k_l :	Συντελεστής στροβιλισμού
ρ :	Πυκνότητα αέρα
$q_p(z_e)$:	Ταχύτητα ανέμου σε ύψος αναφοράς z_e
F_w :	Συνολική δύναμη
$c_s c_d$:	Δυναμικός συντελεστής
Z_s :	Ύψος αναφοράς προσδιορισμού του δυναμικού συντελεστή
B^2 :	Συντελεστής υπόβαθρου
R^2 :	Συντελεστής απόκρισης συντονισμού

δ :	Λογαριθμική μείωση απόσβεσης
S_L :	Αδιάστατη συνάρτηση φάσματος πυκνότητας
f_L :	Αδιάστατη συχνότητα
T :	Μέση διάρκεια της μέσης ταχύτητας ανέμου, ίσο με 600 s
ν :	Συχνότητα
$\eta_{1,x}$	Ιδιοσυχνότητα της κατασκευής
c_f :	Συντελεστής δύναμης
A_{ref} :	Επιφάνεια αναφοράς της κατασκευής ή τμήματος
$F_{w,e}$:	Εξωτερικές δυνάμεις
$F_{w,i}$:	Εσωτερικές δυνάμεις
F_{fr} :	Δυνάμεις τριβής
c_{fr} :	Συντελεστής τριβής
A_{fr} :	Εξωτερική επιφάνεια τριβής
b :	Πλάτος
d :	Μήκος
z_e :	Ύψος αναφοράς
A :	Εμβαδό της επιφάνειας κατασκευής
e :	Εκκεντρότητα
φ :	Λόγος πληρότητας
\max :	Μέγιστο
\min :	Ελάχιστο
α :	Γωνιά
μ :	Λόγος ανοιγμάτων
ψ_s :	Συντελεστής προστασίας
$c_{f,o}$:	Συντελεστής δύναμης ορθογωνικών διατομών
ψ_r :	Μειωτικός συντελεστής

ψ_l :	Μειωτικός συντελεστής λυγηρότητας
A_c :	Συνολική επιφάνεια
$h_{ολ}$:	Συνολικό ύψος
h_p :	Ύψος στηθαίου
P_1 :	Πίεση εκτροπών των τμημάτων δοκιμής
P_2 :	Πίεση για επαναλαμβανόμενες φορτίσεις
P_3 :	Πίεση για ακραίες συνθήκες
P_a :	Μονάδα μέτρησης Πασκάλ
M_{pa} :	Μονάδα μέτρησης Μέγα πασκάλ
F_p :	Μετωπική παραμόρφωση
F_{rp} :	Σχετική μετωπική παραμόρφωση
M_p :	Μετωπική μετατόπιση
R_h :	Σχετική υγρασία
Y_1 :	Θετική πίεση
Y_2 :	Αρνητική Πίεση
t :	Χρόνος
W :	Φορτίο
V :	Διατμητική δύναμη
M :	Ροπή
V_b :	Τέμνουσα Βάσης

ΑΠΟΔΟΣΗ ΟΡΩΝ

Windward	Προσήνεμη επιφάνεια
Leeward	Υπήνεμη επιφάνεια
External cladding systems	Εξωτερικά επενδυτικά συστήματα
Pre - cast concrete	Προκατασκευασμένο σκυρόδεμα
Glass – fibre reinforced cement	Γυαλί – ινοπλισμένο τσιμέντο
Portland	Τύπος τσιμέντου
Associates	Συνεργάτες
Insurance	Ασφάλιση
Building	Κτίριο
Aluminium	Αλουμίνιο
Industries	Βιομηχανίες
Glazing Gaskets	Φλάντζες Υαλοπίνακα
Structural	Κατασκευαστικό
Semi Structural	Ημι Δόμηση
Step Structural	Κλιμακωτή Δόμηση

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τη τελευταία δεκαετία στο νησί μας και με την ανάκαμψη της οικονομίας έχει παρατηρηθεί ανοδική ανάπτυξη στον οικοδομικό τομέα. Ως αποτέλεσμα την ανέγερση και την κατασκευή πολυώροφων κτιρίων και ξενοδοχείων. Πλέον είναι ένα συχνό φαινόμενο στο παραλιακό μέτωπο της Λεμεσού. Έτσι εκτός από τις δυναμικές φορτίσεις του σεισμού πρέπει να μελετώνται εξίσου το ίδιο με τις δυνάμεις ανέμου που ασκούνται ανάλογα με το ύψος του κτιρίου.

Για αυτό και ο στόχος της συγκεκριμένης εργασίας είναι να περιγράψει και να μελετήσει όλους τους παράγοντες και συντελεστές για τους οποίους πρέπει να λαμβάνονται υπόψη ώστε να γίνει ο υπολογισμός των φορτίων ανέμου επί των κατασκευών. Επιπρόσθετα, σκοπός της μελέτης αυτής είναι να παρουσιαστεί ο τρόπος με την οποία δρα ο άνεμος επάνω στα κτίρια και να γίνει ο υπολογισμός των δυνάμεων αυτών σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 1 EN 1991-1-4:2005.

Ο δεύτερος στόχος της εργασίας αυτής είναι να παρουσιάσει κάποιες λύσεις που μπορεί να εφαρμοστούν στο εξωτερικό κέλυφος του κτιρίου ώστε να δώσουν την απαιτούμενη και επαρκή αντίσταση των φορτίων αυτών. Στο τέλος θα παρουσιαστεί ο τρόπος με το οποίο τοποθετούνται οι απαραίτητοι συντελεστές που χρειάζονται για να γίνει η ανάλυση με τη βοήθεια του λογισμικού προγράμματος ETABS και να γίνει σχολιασμός των αποτελεσμάτων.

Με τα πολυώροφα κτίρια καθίσταται αναγκαίο οι σημερινοί μηχανικοί να λαμβάνουν υπόψη τα δυναμικά φορτία ανέμου ώστε να μην παρατηρηθούν αστοχίες στα δομικά στοιχεία των κατασκευών και να μην προκύψουν στη χειρότερη περίπτωση απώλειες ζωής.

Κεφάλαιο 1

1 Χαρακτηριστικά Ανέμου

1.1 Γενικά

Τα φορτία ανέμου γενικότερα έχουν την ίδια σημαντικότητα με τα σεισμικά φορτία καθώς είναι τα δύο κυρίαρχα δυναμικά φορτία που προέρχονται από το περιβάλλον και επιδρούν επάνω στις κατασκευές. Μέχρι τώρα έχουν παρατηρηθεί περίπου ισότιμες ποσότητες ζημιάς κατά μεγάλες χρονικές περιόδους. Αν και οι μεγάλοι σεισμοί συμβαίνουν λιγότερο από τις σοβαρές καταιγίδες ανέμου εντούτοις σε σχεδόν καθημερινή βάση και για όλη τη διάρκεια του χρόνου, μια σοβαρή καταιγίδα ανέμου συμβαίνει σε κάποιο σημείο της γης, ενώ αρκετές καταιγίδες είναι μικρού μεγέθους και εντοπίζονται σε διάφορα σημεία. Στους τροπικούς ωκεανούς, τα περισσότερα ισχυρά φαινόμενα δημιουργούν τους τροπικούς κυκλώνες. Στη νέα εποχή που βρίσκεται η Κύπρος και ειδικότερα η Λεμεσός με τα πολώροφα και τα ψηλά κτίρια καθίσταται η αναγκαιότητα για ένα σωστό σχεδιασμό ώστε να αποφύγουμε οποιαδήποτε αναπάντεχα ατυχήματα που μπορεί να συμβούν λόγω των δυναμικών φορτίων ανέμου. (Taranath 2004)

1.2 Φύση του Ανέμου

Ο άνεμος είναι ο όρος που χρησιμοποιείται για τη κίνηση του αέρα και συνήθως εφαρμόζεται στη φυσική οριζόντια κίνηση της ατμόσφαιρας. Η κίνηση είναι μια κάθετη ή κοντινή κατακόρυφη κατεύθυνση που ονομάζεται ρεύμα. Η κατακόρυφη κίνηση του αέρα είναι σημαντική στη μετεωρολογία αλλά έχει μικρότερη σημασία στην επιφάνεια του εδάφους καθώς η ταχύτητα του ανέμου πάει να μηδενιστεί. Στην άλλη περίπτωση η οριζόντια κίνηση του αέρα και ιδιαίτερα η σταδιακή επιβράδυνση της ταχύτητας του ανέμου και η υψηλή αναταραχή που συμβαίνει κοντά στην επιφάνεια του εδάφους είναι σημαντικές.

Στον οικοδομικό τομέα και ειδικότερα σε αστικές περιοχές, αυτή η ζώνη αναταράξεων εκτείνεται σε ύψος ενός δευτέρου χιλιομέτρου πάνω από το έδαφος και ονομάζεται οριακό στρώμα επιφάνειας. Πάνω από αυτό το στρώμα η οριζόντια ροή αέρα δεν

επηρεάζεται πλέον από το φαινόμενο του εδάφους. Η ταχύτητα του ανέμου σε αυτό το ύψος ονομάζεται ταχύτητα ανεμοστρόβιλου και είναι σε αυτό το οριακό στρώμα όπου διεξάγεται περισσότερη ανθρώπινη δραστηριότητα. Ως εκ τούτου, οι επιπτώσεις των ανέμων στην περιοχή αυτή προκαλούν μεγάλη ανησυχία. Αν και δεν μπορεί κανείς να δει τον άνεμο είναι μια κοινή παρατήρηση ότι η ροή του είναι αρκετά περίπλοκη. (Taranath 2004)

1.3 Κριτήρια που είναι απαραίτητα στο σχεδιασμό για τον άνεμο

- 1) Ανθεκτικότητα και σταθερότητα.
- 2) Κόπωση στα δομικά μέλη και τις συνδέσεις που προκαλούνται από τις διακυμάνσεις των φορτίων ανέμου.
- 3) Υπερβολική πλευρική εκτροπή που μπορεί να προκαλέσει ρωγμές εξωτερικών χωρισμάτων και εξωτερικών επενδύσεων.
- 4) Η σωστή εφαρμογή μηχανικών συστημάτων για την αποφυγή πιθανής μόνιμης παραμόρφωσης των μη δομικών στοιχείων.
- 5) Η συχνότητα και η ένταξη της κίνησης οι οποίες μπορεί να προκαλέσουν δυσφορία στους ενοίκους των ψηλών, ευέλικτων κτιρίων.
- 6) Πιθανές παρεμβάσεις που μπορεί να αυξήσουν το μέγεθος των ταχυτήτων του ανέμου στα γειτονικά κτίρια.
- 7) Δυσφορία στις πεζοδρόμενες περιοχές συνέπεια έντονων ανέμων.
- 8) Ενοχλητικές ακουστικές διαταραχές.
- 9) Απόκριση των κτηρίων με Δονήσεις των συρματόσχοινων κτιρίων.

(Taranath 2004)

1.4 Τύποι Ανέμου

Οι άνεμοι που παρουσιάζουν ενδιαφέρον για το σχεδιασμό των κτηρίων μπορούν να ταξινομηθούν σε 3 κύριους τύπους, τους επικρατούντες ανέμους, τους εποχιακούς ανέμους και τους τοπικούς ανέμους.

A) Επικρατούντες Άνεμοι : Ο επιφανειακός άνεμος που κινεί προς τα εμπρός του Ισημερινού, πάντα με χαμηλές πιέσεις και ονομάζονται επικρατούντες άνεμοι και οι

μεταφερόμενοι άνεμοι. Στο Βόρειο ημισφαίριο, ο Βόρειος άνεμος που πνέει προς τον Ισημερινό εκτρέπεται από την περιστροφή της γης για να γίνει ορμητικός και είναι γνωστός ως Βορειοανατολικός άνεμος μεταφοράς. Ο αντίστοιχος άνεμος είναι το Νότιο ημισφαίριο και ονομάζεται Νοτιοανατολικός άνεμος του εμπορίου.

Β) Εποχιακοί Άνεμοι : Ο αέρας πάνω από τη γη είναι θερμότερος το καλοκαίρι και πιο ψυχρός το χειμώνα σε σχέση με τον αέρα στους Ωκεανούς κατά τις ίδιες εποχές. Κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού οι Ήπειροι καθίστανται βάσεις χαμηλής πίεσης, με τον άνεμο να πνέει από τους ψυχρούς Ωκεανούς το χειμώνα καθώς οι Ήπειροι αντιμετωπίζουν υψηλή πίεση με ανέμους που κατευθύνονται προς τους θερμότερους Ωκεανούς. Αυτές οι κινήσεις του αέρα προκαλούνται από μεταβολές λόγω διαφορά πίεσης οι οποίοι ονομάζονται εποχιακοί άνεμοι. Παραδείγματα αυτών των φαινομένων είναι οι Μουσώνες της θάλασσας της Κίνας και του Ινδικού Ωκεανού.

Γ) Τοπικοί Άνεμοι : Οι τοπικοί άνεμοι είναι αυτοί που σχετίζονται με τα περιφερειακά φαινόμενα και περιλαμβάνουν ανεμοστρόβιλους και καταιγίδες. Αυτά προκαλούνται από τις καθημερινές αλλαγές της θερμοκρασίας και της πίεσης, προκαλώντας τοπικές επιπτώσεις στον άνεμο. Οι καθημερινές διακυμάνσεις της θερμοκρασίας και της πίεσης που μπορεί να εμφανιστούν σε ανώμαλο έδαφος προκαλούν αεράκια κοιλάδας και βουνού. (Taranath 2004)

Κεφάλαιο 2

2 Σχεδιασμός Καταστάσεων

Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζονται οι 4 πιθανές περιπτώσεις καταστάσεων κατά τις οποίες δημιουργούνται από τη δυναμική φόρτιση του ανέμου και για τις οποίες θα πρέπει να περιληφθούν ούτως ώστε να πραγματοποιηθεί ο απαραίτητος σχεδιασμός των κατασκευών ώστε να αποφευχθεί οποιαδήποτε αστοχία.

Πιο κάτω αναφέρονται οι 4 συνθήκες για τις οποίες γίνεται ο σχεδιασμός με βάση τον Ευρωκώδικα EN1991-1-4:

- Επίμονη Κατάσταση
- Παροδική Κατάσταση
- Τυχηματική Κατάσταση
- Σεισμική Κατάσταση

Όλες οι πιο πάνω συνθήκες είναι υπεύθυνες ώστε να εμφανισθούν και να συμβούν τόσο κατά την εκτέλεση όσο και στη λειτουργία της κατασκευής. Για παράδειγμα, δεν είναι προβλέψιμο σε περίπτωση όπου παραχθούν σεισμικά συμβάντα να πραγματοποιηθούν την ίδια στιγμή με μια καταιγίδα ανέμου. Τότε οι σεισμικές καταστάσεις δεν σχετίζονται με τον EN 1991-1-4 αλλά υπάρχει μια μικρή πιθανότητα να συμβεί ένα ξαφνικό περιστατικό κατά τη διάρκεια μιας καταιγίδας. (Cook, N. 2007)

2.1 Επίμονη Κατάσταση

Σε αυτή την κατάσταση γίνεται αναφορά στις δράσεις του ανέμου επάνω στις κατασκευές σε περιπτώσεις καταιγίδας οι οποίες καταγράφονται ως χαρακτηριστικό ρίσκο. Οι συνεχείς υψηλοί άνεμοι που θα συμβούν μόνο για λίγες ώρες και το μέγιστο φορτίο ανέμου σχετίζεται με τη στατικότητα των κατασκευών ώστε να αντισταθούν στις δράσεις αυτών των δυνάμεων.

Ως κατασκευές απαιτείται να αντέχουν σε αυτά τα επίμονα φορτία χωρίς να επιφέρουν καταπόνηση στα μέλη. Είναι συμβιβασμένο η σχεδίαση των κατασκευών και ειδικότερα των κτιρίων να γίνεται μέσω υποθέσεων ώστε να παραμείνουν ανέπαφα και το εξωτερικό

μέρος του κτιρίου ώστε να παραμένει κλειστό. Επιπρόσθετα, τα φορτία ανέμου εφαρμόζονται σε κατασκευές με τον κατάλληλο συντελεστή ασφαλείας γ_f . Μπορούν να συμβούν με συνδυασμό χιονιού και για επιβαλλόμενα φορτία. Είναι σημαντικό να σημειωθεί, ότι η κόπωση λόγω ανέμου θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη για ευαίσθητες κατασκευές. (Cook, N. 2007)

2.2 Παροδικές Καταστάσεις

Οι παροδικές καταστάσεις αναφέρονται κατά τη διάρκεια κατασκευής της δομής, καθώς και τη συναρμολόγηση ή επισκευής της. Οι κατάλληλες τιμές των φορτίων ανέμου χρειάζεται να επιβεβαιωθούν και να συγκροτούν ότι η κατασκευή δεν πρόκειται να υπερφορτωθεί. ενώ αυτές οι παροδικές διαδικασίες συμπεριλαμβάνονται στο μέρος EN 1991-1-6 για δράσεις κατά την κατασκευή. Όμως κατά κύριο λόγο ασχολείται με φορτία τα οποία μπορεί να επιβληθούν επάνω στην κατασκευή από την ίδια την κατασκευή όπως η μεταφορά κατασκευαστικών υλικών γύρω από το πεδίο κατασκευής η οποία είναι επαρκής καθορισμένη ώστε όλες οι σχετικές καταστάσεις να είναι εύκολα προβλέψιμες. Αυτά θα περιλαμβάνουν για παράδειγμα ανοιχτά πλαίσια, μη προωθημένους τοίχους και προσωρινά κυρίαρχα ανοίγματα. Ο μελετητής θα πρέπει να κάνει πλήρη χρήση των διευθύνσεων του ανέμου και λαμβάνοντας υπόψη τις εποχές, επιτρέποντας την ελαχιστοποίηση του μετασχηματισμού των δυναμικών φορτίων του ανέμου κατά τη διάρκεια φάση της κατασκευής και επιτρέποντας την αύξηση του κινδύνου σχεδιασμού. Αυτά τα παροδικά φορτία ανέμου στην κατασκευή καθορίζονται με τον κατάλληλο συντελεστή ασφαλείας γ_f . Αυτά μπορούν να συμβούν με συνδυασμό χιονιού και επιβαλλόμενων φορτίσεων, όπως ορίζεται από το συνδυασμό παραγόντων που βρίσκονται στον EN 1991-1-3:2003. Η κόπωση χαμηλού κύκλου μπορεί να ληφθεί υπόψη στην περίπτωση των λεπτών μελών ή άλλων ευαίσθητων στοιχείων μιας ολοκληρωμένης δομής. Η κόπωση χαμηλού κύκλου είναι ο όρος που δίνεται για την κόπωση που προκαλείται από τη σκλήρυνση στελέχους, τα δομικά υλικά μέσω σχετικά λίγο εκατοντάδων κύκλων φορτίων που είναι υψηλού ποσοστού (π.χ 80% του φορτίου σχεδιασμού). Αυτό μπορεί να συμβεί στα εξαρτήματα στερέωσης ή σε ένα εκτεθειμένο μέλος προβόλου σε περίπτωση καταιγίδας που διατηρεί για αρκετές ώρες. (Cook, N. 2007)

2.3 Τυχηματικές Καταστάσεις

Σε αυτό το σημείο ο Ευρωκώδικας αναφέρεται σε εξαιρετικές περιπτώσεις οι οποίες είναι σπάνιες να συμβούν σε μικρό χρονικό διάστημα. Συνήθως καθορίζεται για τη μικρή διάρκεια και το μεγάλο μέγεθος ανέμου που θα δράσει επάνω στην κατασκευή. Αυτό το αναπάντεχο γεγονός μπορεί να συμβεί επάνω στην κατασκευή κατά τη διάρκεια λειτουργίας, για παράδειγμα:

- Τα μέρη που επηρεάζουν τα τζάμια ενδέχεται να προκαλέσουν στο κυρίαρχο άνοιγμα και στην προσήνεμη επιφάνεια ενός κτιρίου την αύξηση των φορτίων που θα επηρεάσουν την οροφή.
- Ένας τοίχος μπορεί να στηρίζεται στην οροφή για τη σταθερότητα του αλλά μπορεί να παραμείνει αδιάσπαστος για αρκετές ημέρες μετά την καταστροφή της στέγης από φωτιά.

Και στις δύο περιπτώσεις, το ρίσκο είναι μικρότερο από τον χαρακτηριστικό ρίσκο της ταχύτητας σχεδιασμού του ανέμου επειδή περιλαμβάνονται άλλοι παράγοντες, για παράδειγμα το συνδυαζόμενο ρίσκο όλων των παραγόντων είναι μερικώς η τιμή σχεδιασμού. Ο συνδυασμένος κίνδυνος πολλών ταυτόχρονων ενεργειών είναι προϊόν των ατομικών κινδύνων οι οποίοι κίνδυνοι είναι στατιστικά ανεξάρτητοι και ασυμβίβαστοι. Αυτά τα απρόσμενα φορτία ανέμου εφαρμόζονται στη δομή με συντελεστή ασφαλείας $\gamma_f = 1$. Είναι σωστό να σημειωθεί ότι οι καταιγίδες ανέμου και χιονιού δεν είναι πραγματικά στατιστικά ανεξάρτητα και ασύνδετα καθώς και οι δύο καταστάσεις είναι μετεωρολογικά γεγονότα που συμβαίνουν το χειμώνα.

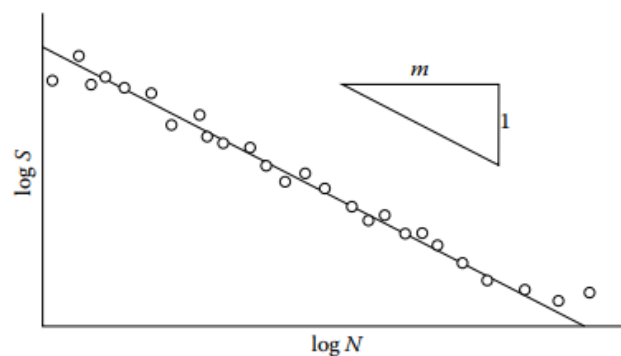
Όπου τα παράθυρα και οι πόρτες του σχεδιασμού θεωρούνται ότι είναι κλειστά σε συνθήκες καταιγίδας, η επίδραση αυτών είναι ανοιχτά και πρέπει να αντιμετωπίζεται ως τυχαία κατάσταση σχεδίασης. Εκ πρώτης όψεως, αυτή η περίπτωση θα μπορούσε να θεωρηθεί ότι λαμβάνει επαρκώς υπόψη τα επιλεγμένα κυρίαρχα ανοίγματα αλλά αυτό δεν συμβαίνει. (Cook, N. 2007)

2.3.1 Κόπωση υπό φορτίο Ανέμου

2.3.2 Μεταλλική Κόπωση

Η κόπωση του μεταλλικού υλικού υπό κυκλική φόρτιση έχει εγκριθεί και έχει ερευνηθεί καλά αν και επεξεργασία της φαινομενικής βλάβης κάτω από το τυχαίο δυναμικό φορτίο που χαρακτηρίζει τη φόρτωση του ανέμου είναι λιγότερο ανεπτυγμένη.

Στο συνηθισμένο πρότυπο μηχανικής αποτυχίας για την κόπωση των μετάλλων θεωρούμε ότι κάθε κύκλος απόκρισης από την ημιτονοειδή τάση προκαλεί μια αύξηση της βλάβης η οποία εξαρτάται από το εύρος της τάσης. Κάθε διαδοχικός κύκλος παράγει τότε πρόσθετη ζημιά η οποία συσσωρεύεται ανάλογα με τον αριθμό των κύκλων μέχρι να συμβεί η βλάβη. Τα αποτελέσματα του σταθερού πλάτους κατά τη διάρκεια δοκιμής κόπωσης είναι συνήθως με τη μορφή της καμπύλης S-N. Ο κατακόρυφος άξονας αναφέρεται στο μέγεθος S όπου σχετίζεται με τη τάση που αναπτύσσεται στο υλικό. Ενώ κατά τον οριζόντιο άξονα αναφέρεται στον αριθμό κύκλων φόρτισης N μέχρι να φθάσει στο όριο θραύσης του το υλικό. Ο άξονας για τον αριθμό κύκλων φόρτισης είναι πάντοτε εκφρασμένο σε λογαριθμική κλίμακα. Για πολλά υλικά η καμπύλη S-N προσεγγίζεται καλά από μια ευθεία γραμμή όταν $\log S$ έναντι $\log N$ όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 1. (Holmes 2005)



Διάγραμμα 1: Μέγεθος τάσης S σε σχέση με τον κύκλο φορτίσεων μέχρι τη θραύση N (Holmes 2005)

2.4 Σεισμική Κατάσταση

Ο σχεδιασμός των κατασκευών οι οποίες βρίσκονται σε σεισμικές ζώνες, θα πρέπει να ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις του αντισεισμικού σχεδιασμού ούτως ώστε να εξασφαλίζεται η απαίτηση περιορισμού βλαβών και η αποφυγή της μη – κατάρρευσης. Για το σχεδιασμό του περιορισμού βλαβών θα πρέπει η κατασκευή να σχεδιαστεί και να κατασκευαστεί με σκοπό να έχει επαρκή αντίσταση από τη σεισμική δράση με μεγαλύτερη πιθανότητα εμφάνισης από τη σεισμική δράση σχεδιασμού, χωρίς να υπάρξει οποιαδήποτε εμφάνιση βλαβών και δημιουργία μη εφικτής λειτουργίας της κατασκευής. Το κόστος που θα δημιουργείτο θα ήταν δυσανάλογο υψηλό σε σύγκριση με το κόστος κατασκευής του φορέα. Ακολουθώντας για την απαίτηση της κατασκευής για αποφυγή κατάρρευσης θα πρέπει ο σχεδιασμός να γίνεται με σκοπό να αναλάβει τη σεισμική δράση σχεδιασμού χωρίς να υπόκειται σε τοπική ή γενική κατάρρευση. Με απώτερο σκοπό να παραμείνει η στατική ακεραιότητα της δομής και της φέρουσας ικανότητας μετά τη δράση του σεισμού. (EN 1998–1:2004)

2.5 Συνδυασμός σχεδιασμού στην οριακή κατάσταση αστοχίας

Οι συνδυασμοί σχεδιασμού των φερουσών κατασκευής που ορίζονται σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα για την οριακή κατάσταση αστοχίας είναι όπως φαίνεται πιο κάτω:

A. Για καταστάσεις σχεδιασμού με διάρκεια ή παροδικές:

$$\Sigma \gamma_{G,j} G_{k,j} \gamma_p P_k \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \Sigma \gamma_{Q,i} \Psi_{o,i} Q_{k,i}$$
$$j \geq 1 \quad i > 1$$

B. Για τυχηματικές καταστάσεις σχεδιασμού:

$$\Sigma \gamma_{G_A,j} G_{k,j} \gamma_{PA} P_k \gamma_{Ad} A_d + \psi_{1,1} Q_{k1} + \Sigma \Psi_{2,i} Q_{k,i}$$
$$j \geq 1 \quad i > 1$$

Γ. Για καταστάσεις σχεδιασμού σεισμού:

$$\Sigma G_{k,j} P_k \gamma_{I} A_{ED} + \Sigma \Psi_{2,i} Q_{k,i}$$
$$j \geq 1 \quad i \geq 1$$

(BS EN 1990:2002)

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η μορφή των συνδυασμών είναι συμβολική και το σύμβολο του συνολικού αθροίσματος δεν αναφέρεται σε αλγεβρική ή γεωμετρική άθροιση, αλλά απλώς στην επαλληλία δράσεων (π.χ την ταυτόχρονη συνύπαρξη των διαφόρων δράσεων). (Ερμόπουλος 1997)

Τα σύμβολα για τους πιο πάνω συνδυασμούς είναι οι εξής:

$+ = \ll \text{επαλληλία με} \gg$

$G_{k,j}$: η χαρακτηριστική τιμή των μόνιμων δράσεων

P_k : η χαρακτηριστική τιμή της προέντασης

$Q_{k,i}$: η χαρακτηριστική τιμή της μεταβλητής δράσης i

A_d : Η τιμή σχεδιασμού της τυχηματικής δράσης

A_{ED} : Η τιμή σχεδιασμού της σεισμικής δράσης

$\gamma_{Gj}, \gamma_{G_{A,j}}$: Οι επιμέρους συντελεστές ασφαλείας για τη μόνιμη δράση j

γ_P, γ_{PA} : Οι επιμέρους συντελεστές ασφαλείας για την προένταση

$\gamma_{Q,i}$: Ο επιμέρους συντελεστής ασφαλείας για τη μεταβλητή δράση i

γ_I : Ο συντελεστής σπουδαιότητας

$\Psi_{0,i}, \Psi_{1,i}, \Psi_{2,i}$: Οι συντελεστές συνδυασμού των μεταβλητών δράσεων

Κεφάλαιο 3

3 Υπολογισμός φορτίων πιέσεων ανέμου επί των επιφανειών κατασκευής

3.1 Πεδίο εφαρμογής

Με τη χρησιμοποίηση του όρου επιφάνεια αναφερόμαστε στις εξωτερικές, εσωτερικές και τελικές πιέσεις, υποδηλώνοντας τις δράσεις των πιέσεων του ανέμου, γύρω από το πεδίο της επιφάνειας αναφοράς. Πιο συγκεκριμένα επάνω στο διαχωρισμό της επιφάνειας του κτιρίου. Οι σχέσεις που θα δοθούν στη συνέχεια ισχύουν για τις επιφάνειες οι οποίες είναι επαρκώς δύσκαμπτες ώστε να αγνοηθούν οι δυναμικές ταλαντώσεις που δημιουργούνται από τις φορτίσεις ανέμου. Εάν προκύψει η ιδιοσυχνότητα της ταλάντωσης μιας επιφάνειας είναι χαμηλή, η συγκεκριμένη ταλάντωση μπορεί να έχει σοβαρές επιπτώσεις που θα πρέπει να ληφθούν υπόψη. (Cook 1999)

3.2 Πίεση αναφοράς

Οι δυναμικές φορτίσεις που ασκούνται επάνω στις επιφάνειες των κατασκευών, έχουν ως αποτέλεσμα την παρουσίαση της δυναμικής πίεσης q και συντελεί την έννοια της κινητικής ενέργειας του ανέμου ο οποίος χρησιμοποιείται ως παράγοντας για το συντελεστή c_p . Η βασική πίεση αναφοράς προσδιορίζεται από τη σχέση :

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2$$

Όπου:

$$\rho = 1025 \text{ kg/m}^3$$

v_b = η βασική ταχύτητα αναφοράς του ανέμου

3.3 Εξωτερική επιφανειακή πίεση

Οι δράσεις των πιέσεων ανέμου που ασκούνται στις εξωτερικές επιφάνειες της κατασκευής δίνονται από το συντελεστή c_{pe} . Η θετική πίεση του συντελεστή δηλώνει την ενέργεια που έχει εξαχθεί από τον άνεμο με $c_{pe} = 1$, το οποίο ερμηνεύει ότι το 100% της ενέργειας έχει εξαχθεί και οι συντελεστές πίεσης που είναι μεγαλύτεροι από την τιμή αυτή, δεν είναι δυνατό να έχουν ομοιόμορφη ροή. Αλλά για τον ατμοσφαιρικό άνεμο, η ταχύτητα αυξάνεται με το ύψος και τότε είναι δυνατό να υπερβεί το $c_{pe} = 1$, με την προϋπόθεση ότι η κινητική ενέργεια έρχεται από το επίπεδο πάνω από το ύψος αναφοράς, στην οποία δεν υπάρχουν τιμές μεγαλύτερες του +1 σε οποιοδήποτε πίνακα.

Από την άλλη το αρνητικό πρόσημο του συντελεστή πίεσης δηλώνει ότι η κινητική ενέργεια του ανέμου ανέβηκε. Αυτό συμβαίνει όπου η επιτάχυνση του ανέμου γύρω σε γωνιές, άκριες των στεγών καθώς και στις κορυφές των κτιρίων, όπου δηλαδή υπάρχουν άκρια. Αυτές οι αναρροφήσεις είναι θεωρητικά απεριόριστες σε τιμή, αλλά η ψηλότερη με βάση τον Ευρωκώδικα 1 είναι $c_{pe} = -2,9$ και συμβαίνει στην άκρη της γωνιάς με κλίση 30° , στο όριο της οροφής με άνεμο να κινείται με 90° στο άκρο της στέγης. (Cook 1999)

Η πίεση του ανέμου στις εξωτερικές επιφάνειες των κατασκευών και η οποία δρα κάθετα σε αυτές υπολογίζεται από την σχέση:

$$w_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe}$$

Όπου:

w_e = η πίεση του ανέμου στην εξωτερική επιφάνεια

q_p = η πίεση της ταχύτητας αιχμής

z_e = το ύψος αναφοράς για την εξωτερική πίεση

c_{pe} = Ο συντελεστής εξωτερικής πίεσης

3.4 Εσωτερική επιφανειακή πίεση

Η πίεση λόγω ανέμου που δρα επί των εσωτερικών επιφανειών μιας κατασκευής δίνεται από την κατανομή των εξωτερικών πιέσεων και από το μέγεθος και τη θέση των ανοιγμάτων που υπάρχουν στο κτίριο. Καταρχήν είναι πιθανόν να υπολογιστεί η εσωτερική πίεση από την καθαρή ροή του αέρα μέσα και έξω πλευρά του κτιρίου αλλά

στην πράξη είναι επαρκής να υποθέσουμε τις σταθερές τιμές των εσωτερικών πιέσεων με συντελεστή c_{pi} για διάφορα είδη κατασκευών. Ο υπολογισμός της εσωτερικής πίεσης καθορίζεται από την πιο κάτω σχέση:

$$w_i = q_p \cdot (z_i) \cdot c_{pi}$$

Όπου:

w_i = η πίεση του ανέμου στην εσωτερική επιφάνεια

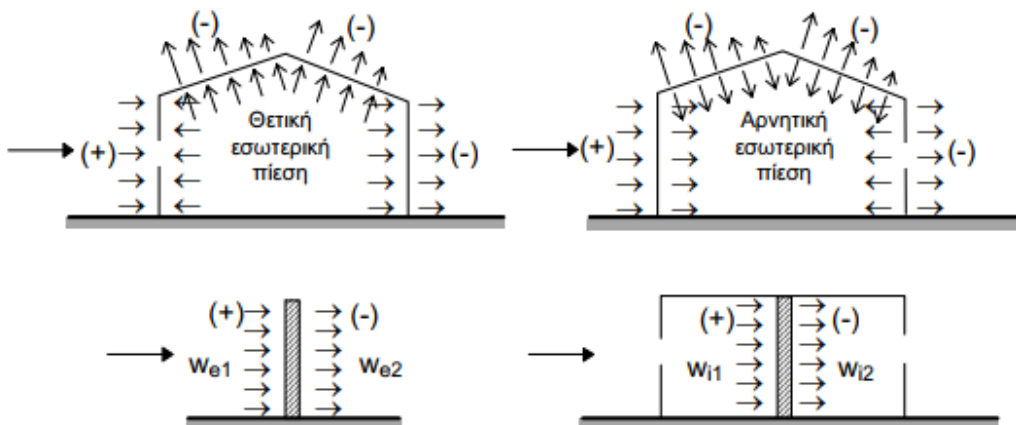
q_p = η πίεση της ταχύτητας αιχμής

z_i = το ύψος αναφοράς για την εσωτερική πίεση

c_{pi} = Ο συντελεστής εσωτερικής πίεσης

3.5 Τελική επιφανειακή πίεση

Η τελική επιφανειακή πίεση δίνεται από τη διαφορά μεταξύ της εσωτερικής και εξωτερικής πίεσης που ασκούνται επάνω στις επιφάνειες των κατασκευών, λαμβάνοντας υπόψη τη φορά των πιέσεων αυτών. Έτσι η ασκούμενη πίεση, που έχει διεύθυνση προς την επιφάνεια ενός τοίχου ή άλλου δομικού στοιχείου λαμβάνεται ως θετική, ενώ η πίεση που απομακρύνεται από την επιφάνεια, λαμβάνεται ως αρνητική. Στο Σχήμα 1 φαίνονται οι χαρακτηρισμοί σήμανσης των πιέσεων επί των κατασκευών. (Cook 1999)



Σχήμα 1: Χαρακτηρισμοί σήμανσης των πιέσεων επί των κατασκευών
(EN 1991-1-4:2003)

3.6 Επιφανειακή τριβή

Η ροή του αέρα επάνω από την επιφάνεια της κατασκευής δημιουργεί διατμητικές δυνάμεις οι οποίες βρίσκονται στη διεύθυνση του ανέμου από τη δράση της επιφανειακής τριβής. Αυτό παρουσιάζεται από τον συντελεστή τριβής οπισθοδρόμησης με σύμβολο c_f . Η συγκεκριμένη δράση επάνω στη περιοχή της επιφάνειας σαρώνεται από τον αέρα επάνω στο πεδίο εφαρμογής. Αυτή η διατμητική δύναμη είναι πολύ μικρότερη από τις κανονικές πιέσεις των τάσεων, αλλά μπορεί να συσσωρεύσει σημαντικό φορτίο όταν η περιοχή της κατασκευής σαρώνεται λόγω του αέρα ο οποίος είναι πολύ μεγάλος όταν η επιφάνεια είναι κυματοειδής. Τα σημαντικά φορτία της τριβής ίσως συμβούν σε μεγάλα ανοίγματα μικρών κτιρίων και η συνεισφορά της τριβής είναι πάρα πολύ μικρή. (Cook 1999)

Κεφάλαιο 4

4 Ταχύτητα ανέμου και πίεση ταχύτητας

Στην ενότητα αυτή θα παρουσιαστούν οι σχεδιαστικές τιμές της ταχύτητας ανέμου και οι αντίστοιχες ταχύτητες πίεσης για οποιαδήποτε γεωγραφική περιοχή και την έκθεση της. Για αυτό και είναι σημαντικό για να προσδιορισθούν οι τιμές αυτές και να εξετάσουμε τις πιο κάτω παραμέτρους:

- Βασική ταχύτητα ανέμου
- Βασικές τιμές
- Μέση ταχύτητα ανέμου
- Τυρβώδης ροή ανέμου
- Πίεση ταχύτητας αιχμής

4.1 Βασική ταχύτητα ανέμου v_b

Η βασική ταχύτητα ανέμου συμβολίζεται με v_b και ορίζεται ως η μέση ωριαία ταχύτητα ανέμου και με ετήσιο κίνδυνο υπέρβασης $Q = 0.02$. Επίσης λαμβάνεται υπόψη η διεύθυνση του ανέμου, σε ύψος 10 m πάνω από το επίπεδο του εδάφους ανοικτό και σε επίπεδο θάλασσας που εκτείνεται τουλάχιστον 100 km σε όλες τις κατευθύνσεις. Ο ετήσιος κίνδυνος με υπέρβαση $Q = 0.02$ είναι για περιόδους επαναφοράς για κάθε 50 χρόνια.

$$v_b = C_{dir} \cdot C_{season} \cdot v_{b,o}$$

Όπου:

C_{dir} = ο συντελεστής διεύθυνσης του ανέμου ο οποίος είναι ίσος με 1,00

C_{season} = ο συντελεστής εποχής ο οποίος για μόνιμες κατασκευές είναι ίσος με 1,00

$v_{b,o}$ = η θεμελιώδης τιμή της βασικής ταχύτητας του ανέμου η οποία είναι η χαρακτηριστική μέση ταχύτητα του ανέμου για χρονική διάρκεια πνοής του ανέμου 10 λεπτά σε ύψος 10 m πάνω από το έδαφος κατηγορίας II

4.1.1 Υπολογισμός Συντελεστής Πιθανότητας

Με τον όρο περίοδο αναφοράς καθορίζεται το ποσοστό επαναφοράς του δυναμικού φορτίου όμως επειδή συχνά παρερμηνεύεται γιατί υπονοεί ότι η επανάληψη είναι περιοδική ενώ στην πραγματικότητα η επανάληψη περιγράφεται σωστά μέσω της δυοномиκής κατανομής. Ο Ευρωκώδικας 1 EN 1991-1-4 καθορίζει την πιθανότητα ως $P(r,n)$ στην οποία η ταχύτητα ανέμου θα ξεπεράσει r φορές σε n έτη, τότε:

$$P(r,n) = \frac{n!}{r!(n-r)!} p^r (1-p)^{n-r}$$

4.1.1.1 Εφαρμογή Εύρεσης Πιθανότητας

Για χαρακτηριστική ετήσια πιθανότητα ρίσκου $p = 0.02$, η πιθανότητα υπέρβασης της περιόδου για 50 χρόνια είναι:

Καμία υπέρβαση, $r = 0: \Rightarrow P(r,n) = 0.98^{50} = 0.364$

Μια υπέρβαση, $r = 1: \Rightarrow P(r,n) = \frac{50}{1} \cdot 0.02^1 \cdot 0.98^{49} = 0.372$

Δύο Υπερβάσεις, $r = 2: \Rightarrow P(r,n) = \frac{50 \cdot 49}{2 \cdot 1} \cdot 0.02^2 \cdot 0.98^{48} = 0.186$

Τρεις Υπερβάσεις, $r = 3: \Rightarrow P(r,n) = \frac{50 \cdot 49 \cdot 48}{3 \cdot 2 \cdot 1} \cdot 0.02^3 \cdot 0.98^{47} = 0.061$

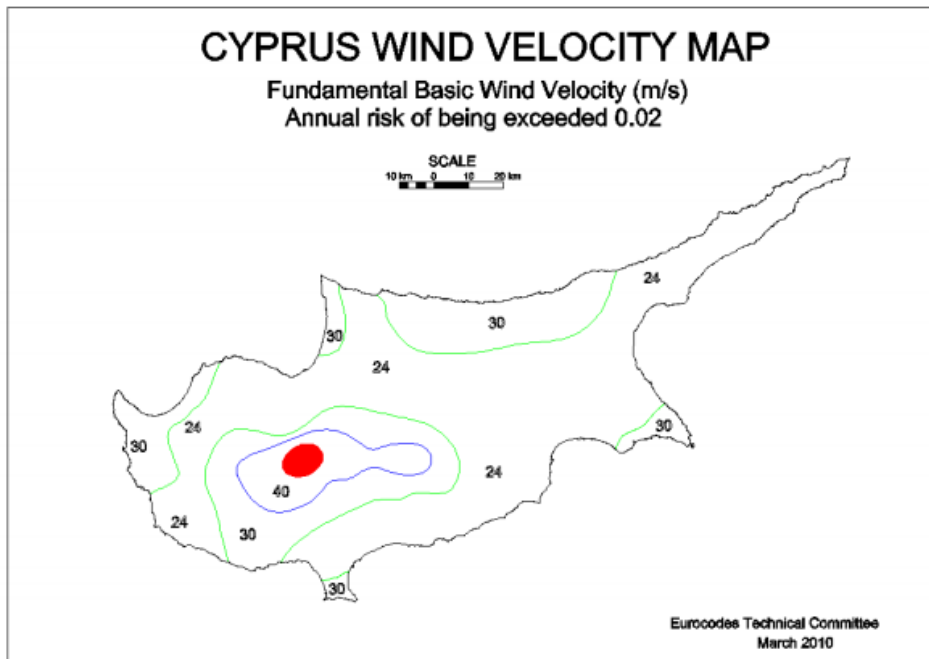
Τέσσερις Υπερβάσεις, $r = 4: \Rightarrow P(r,n) = \frac{50 \cdot 49 \cdot 48 \cdot 47}{4 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 1} \cdot 0.02^4 \cdot 0.98^{46} = 0.0145$

Η πιθανότητα να υπερβεί τουλάχιστον μια φορά δίνεται από τη τιμή της καμίας υπέρβασης $1 - 0.364 = 0.636$. Επομένως η πιθανότητα υπέρβασης της χαρακτηριστικής τιμής τουλάχιστον μια φορά στην περίοδο επαναφοράς είναι περίπου 64%. Δηλαδή είναι σχεδόν δύο φορές πιο πιθανό. Το μέσο διάστημα ανάκαμψης διατηρείται επειδή τα έτη στα οποία δεν υπάρχουν υπερβάσεις, αντισταθμίζονται κατά έτη όταν υπάρχουν πολλές υπερβάσεις, έτσι ώστε ο μέσος όρος από όλες τις υπερβάσεις να είναι μια φορά περίοδος επιστροφής. (Cook, N. 2007)

4.2 Βασικές τιμές

4.2.1 Θεμελιώδης τιμή για τη βασική τιμή της ταχύτητας

Στο πιο κάτω Σχήμα 2 προσδιορίζονται οι θεμελιώδεις τιμές για τη βασική ταχύτητα του ανέμου σε ύψος 10 m για κάθε περιοχή της Κύπρου. Όπως φαίνεται και από το πιο κάτω Σχήμα οι τιμές κυμαίνονται από 24 – 30 m/s, ενώ στην περιοχή του Τροόδους είναι 40 m/s.



Σχήμα 2: Χάρτης προσδιορισμού θεμελιώδους βασικής ταχύτητας του ανέμου στην Κύπρο (EN 1991-1-4:2005)

4.3 Μέση ταχύτητα ανέμου $v_m(z)$

4.3.1 Διακύμανση του ύψους

Η μέση ταχύτητα του ανέμου $v_m(z)$ σε συγκεκριμένο ύψος, επάνω από το έδαφος εξαρτάται από τρεις κύριες παραμέτρους οι οποίες είναι η τραχύτητα του εδάφους, η τοπογραφική διαμόρφωση και η βασική ταχύτητα του ανέμου v_b και χρησιμοποιούνται όπως φαίνεται πιο κάτω:

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b$$

Όπου:

$c_r(z)$ = ο συντελεστής τραχύτητας

$c_o(z)$ = ο συντελεστής τοπογραφικής διαμόρφωσης οποίος χρησιμοποιείται ως 1.

4.3.2 Υπολογισμός εδαφικού συντελεστή τραχύτητας $c_r(z)$

Ο συντελεστής τραχύτητας, $c_r(z)$ υπολογίζει τη διακύμανση του μέσου ανέμου στη περιοχή της κατασκευής λόγω:

- 1) του ύψους πάνω από το επίπεδο του εδάφους
- 2) η τραχύτητα του εδάφους στην πλευρά της κατασκευής κατά την κατεύθυνση του ανέμου.

Η διαδικασία προσδιορισμού $c_r(z)$ για συγκεκριμένο ύψος φαίνεται στον πιο κάτω τύπο:

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_o}\right) \quad \text{για} \quad z_{\min} \leq z \leq z_{\max}$$

$$c_r(z) = c_r(z_{\min}) \quad \text{για} \quad z \leq z_{\min}$$

Όπου:

z_o = το μήκος τραχύτητας

k_r = ο συντελεστής εδάφους ο οποίος εξαρτάται από το μήκος τραχύτητας και υπολογίζεται χρησιμοποιώντας τη σχέση:

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_o}{z_{o,II}}\right)^{0,07}$$

Όπου:

$z_{o,II} = 0.05$ m για κατηγορία εδάφους II

z_{\min} = το ελάχιστο ύψος

z_{\max} = το μέγιστο ύψος το οποίο ισούται προς 200 m

z_o και z_{\min} εξαρτάται από τη κατηγορία εδάφους. Οι τιμές δίδονται από τον Πίνακα 1 και παρουσιάζονται οι πέντε κατηγορίες εδαφών και οι αντίστοιχοι παράμετροι.

Οι πιο πάνω σχέσεις είναι έγκυρες μόνο σε καταστάσεις όπου το έδαφος στη κύρια διεύθυνση του ανέμου έχει ομοιόμορφη τραχύτητα σε αρκετά μεγάλο μήκος ούτως ώστε να μπορεί να θεωρηθεί σταθερή η κατηγορία εδάφους.

Αν υπάρξουν περιπτώσεις αμφιβολίας ως προς τη τραχύτητα του εδάφους και ειδικότερα σε καταστάσεις όπου για παράδειγμα υπάρχουν διάφορες διευθύνσεις γύρω από το κτίριο ισχύουν διαφορετικές τραχύτητες εδάφους. Επίσης όταν πάνω σε μια διεύθυνση αλλάζει η τραχύτητα του εδάφους συνίσταται να λαμβάνεται η δυσμενέστερη, δηλαδή η μικρότερη τιμή.

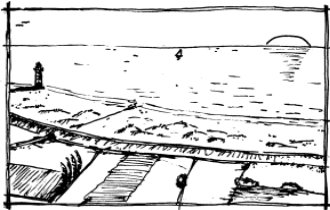
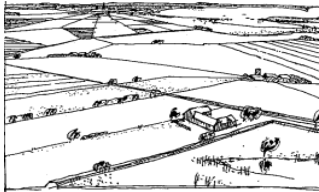
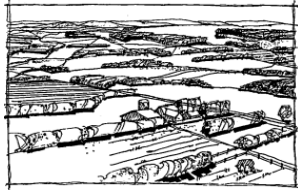

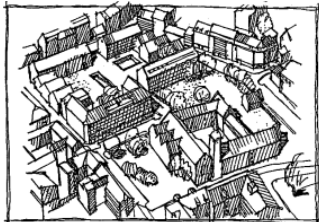
Επιπρόσθετα, αν η απόσταση της κατασκευής από την πλησιέστερη αλλαγή της τραχύτητας του δάσους είναι μικρότερη από 2 km από το πιο λείο έδαφος με τραχύτητα I και 1 km από το πιο λείο έδαφος με τραχύτητα II ή III, τότε στην ανάντη διεύθυνση λαμβάνεται η κατηγορία με τη μικρότερη τραχύτητα. (EN 1991-1-4:2005)

Πίνακας 1: Κατηγορίες εδαφών και παράμετροι εδαφών

Κατηγορία Εδάφους		z_0 (m)	z_{min} (m)
0	Θαλάσσια ή παράκτια περιοχή εκτεθειμένη σε ανοικτή θάλασσα	0,003	1
I	Λίμνες ή επίπεδες και οριζόντιες περιοχές με αμελητέα βλάστηση και χωρίς εμπόδια	0,01	1
II	Περιοχή με χαμηλή βλάστηση όπως γρασίδι και μεμονωμένα εμπόδια (δέντρα, κτίρια) με τουλάχιστον σε απόσταση 20 φορές το ύψος των εμποδίων	0,05	2
III	Περιοχή με κανονική βλάστηση όπως γρασίδι ή με κτίρια ή με μεμονωμένα εμπόδια με μέγιστη απόσταση το πολύ 20 φορές το ύψος των εμποδίων (όπως χωριά, προάστια, μόνιμο δάσος)	0,3	5
IV	Περιοχή όπου τουλάχιστον το 15% της επιφάνειας καλύπτεται με κτίρια και το μέσο ύψος του ξεπερνά τα 15 m	1,0	10

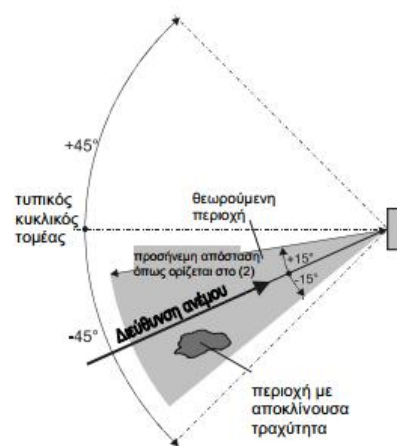
Πηγή: EN 1991-1-4:2005

Πίνακας 2: Απεικονίσεις της ανώτερης τραχύτητας για κάθε κατηγορία εδάφους

Κατηγορία Εδάφους		Απεικόνιση Κατηγορίας
0	Θαλάσσια ή παράκτια περιοχή εκτεθειμένη σε ανοικτή θάλασσα	
I	Λίμνες ή επίπεδες και οριζόντιες περιοχές με αμελητέα βλάστηση και χωρίς εμπόδια	
II	Περιοχή με χαμηλή βλάστηση όπως γρασίδι και μεμονωμένα εμπόδια (δέντρα, κτίρια) με τουλάχιστον σε απόσταση 20 φορές το ύψος των εμποδίων	
III	Περιοχή με κανονική βλάστηση όπως γρασίδι ή με κτίρια ή με μεμονωμένα εμπόδια με μέγιστη απόσταση το πολύ 20 φορές το ύψος των εμποδίων (όπως χωριά, προάστια, μόνιμο δάσος)	
IV	Περιοχή όπου τουλάχιστον το 15% της επιφάνειας καλύπτεται με κτίρια και το μέσο ύψος του ξεπερνά τα 15 m	

Πηγή: EN 1991-1-4:2005

Στο επόμενο Σχήμα 3 παρουσιάζεται η τραχύτητα του εδάφους η οποία πρόκειται να χρησιμοποιηθεί για μια συγκεκριμένη διεύθυνση του αέρα του οποίου εξαρτάται από τις ανωμαλίες του εδάφους και την απόσταση με συνθήκες ομοιόμορφης τραχύτητας εδάφους σε ένα κυκλικό τομέα περί τη διεύθυνση του ανέμου. Κάποιες περιοχές και ειδικότερα σε μικρές επιφάνειες στις οποίες είναι κατά κύριο λόγο μικρότερες του 10% της υπό εξέτασης επιφάνειας καθώς με διαφορετική τραχύτητα και βρίσκονται μέσα στις προαναφερθείσες μεταβατικές ζώνες, αγνοούνται. Ενώ σε άλλη κατάσταση αμφιβολίας ως προς τη κατηγοριοποίηση του εδάφους. Σε κάποια προκείμενη κατηγορία, το συγκεκριμένο έδαφος μελέτης κατατάσσεται στην αντίστοιχη δυσμενέστερη θέση.



Σχήμα 3: Αξιολόγηση τραχύτητας εδάφους (EN 1991-1-4:2003)

- 1) Όταν η πίεση ή ο συντελεστής δύναμης καθορίζεται για ονομαστικό γωνιακό τομέα, το μικρότερο μήκος τραχύτητας με 30° γωνιακός τομέας ανέμου θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί.
- 2) Όταν υπάρχει επιλογή μεταξύ δύο ή περισσότερων εδαφικών κατηγοριών από το πίνακα, τότε θα χρησιμοποιηθεί η περιοχή με το μικρότερο μήκος τραχύτητας.

Πίνακας 3: Απόσταση X

Ύψος z	I σε II	I σε III
5 m	0,50 km	5,00 km
7 m	1,00 km	10,00 km
10 m	2,00 km	20,00 km
15 m	5,00 km	
20 m	12,00 km	
30 m	20,00 km	
50 m	50,00 km	

Ύψος z	II σε III	II σε IV
5 m	0,30 km	2,00 km
7 m	0,50 km	3,50 km
10 m	1,00 km	7,00 km
15 m	3,00 km	20,00 km
20 m	7,00 km	
30 m	10,00 km	
50 m	30,00 km	

Ύψος z	II σε III
5 m	0,30 km
7 m	0,50 km
10 m	1,00 km
15 m	3,00 km
20 m	7,00 km
30 m	10,00 km
50 m	30,00 km

Πηγή: (EN 1991-1-4:2005)

4.3.3 Συντελεστής τοπογραφικού αναγλύφου $c_o(z)$

Σκοπός του συντελεστή αναγλύφου είναι να καθορίσει τη παράμετρο που θα πρέπει να ληφθεί υπόψη για την αύξηση της μέσης ταχύτητας του κύριου ανέμου πάνω από μεμονωμένους λόφους καθώς και σε κοιλάδες ή χαράδρες στις οποίες ορίζεται ως ο λόγος της μέσης τιμής ταχύτητας $v_m(z)$, στην πλαγιά ή τη κορυφή του λόφου προς τη ταχύτητα στη βάση του λόφου $v_m(z)$ σε επίπεδο έδαφος. Θα λαμβάνεται υπόψη για θέσεις οι οποίες απέχουν από τη κορυφή και H το ύψος του γκρεμού. Κοντά στην κορυφή της πλαγιάς παρατηρείται αύξηση των ταχυτήτων του ανέμου όπως φαίνεται στο Σχήμα 4 και εκφράζεται από το πιο κάτω συντελεστή, ο οποίος ισούται:

$$c_o(z) = v_m/v_{mf}$$

Ο συντελεστής τοπογραφικού αναγλύφου προσδιορίζεται από τις ακόλουθες σχέσεις:

$c_o = 1$	για	$\Phi < 0,05$
$c_o = 1+2.s.\Phi$	για	$0,05 < \Phi < 0,3$
$c_o = 1+0,6.s$	για	$\Phi > 0,3$

Όπου:

S = συντελεστής τοπογραφικής θέσης, που προκύπτει από τα Σχήματα 5 &

6 συναρτήσει των x/L_e , x/L_u , x/L_d και z/L_e

L_e = το ενεργό μήκος προς την προσήνεμη πλαγιά που προσδιορίζεται στον πίνακα 4

L_u = το πραγματικό μήκος της προσήνεμης πλαγιάς στη διεύθυνση του ανέμου

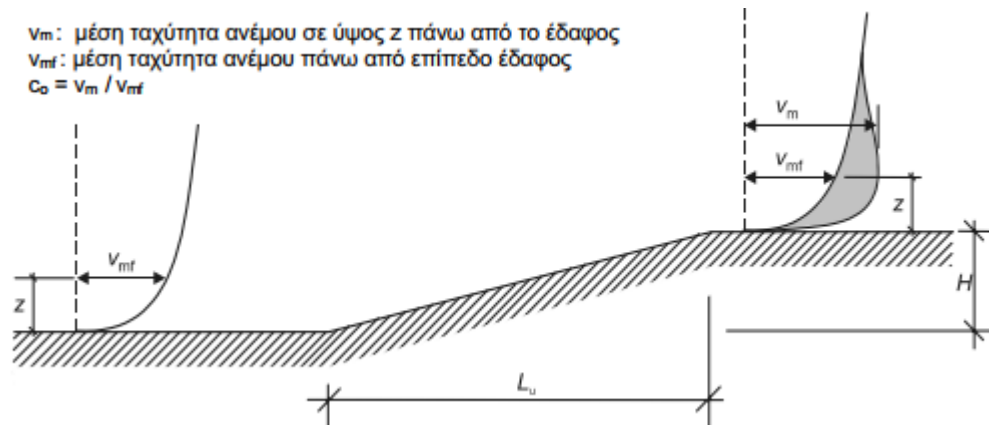
L_d = το πραγματικό μήκος της κάτω πλαγιάς στη διεύθυνση του ανέμου

H = το ενεργό ύψος της εδαφικής ανωμαλίας

X = η οριζόντια απόσταση της κατασκευής από την κορυφή του λόφου

Z = η κατακόρυφη απόσταση της κατασκευής από την επιφάνεια του εδάφους

(EN 1991-1-4:2005)



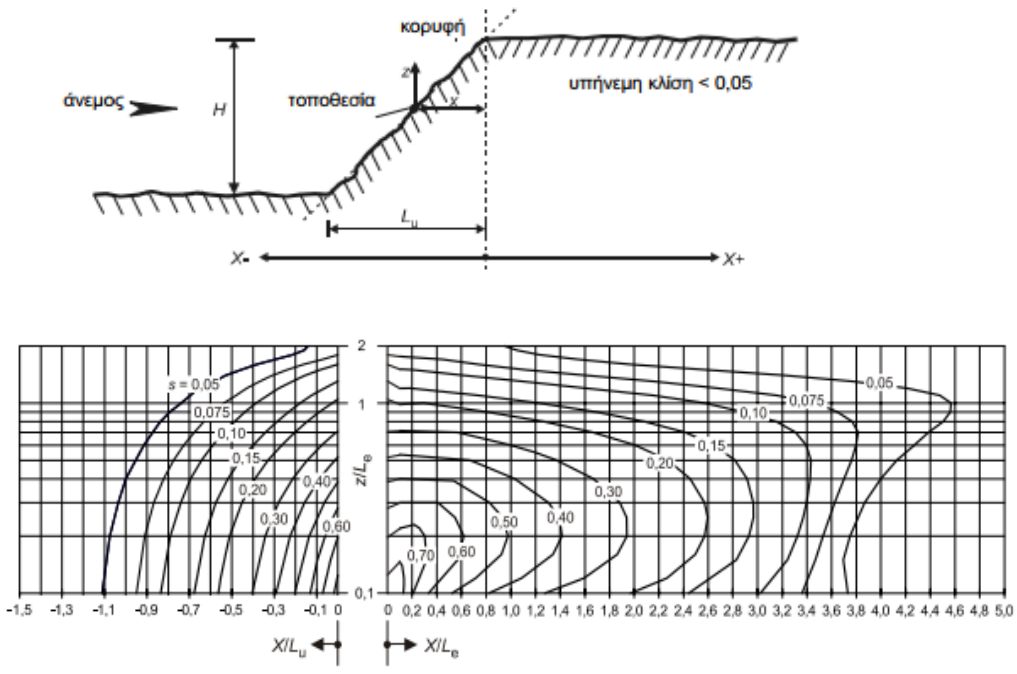
Σχήμα 4: Αύξηση της ταχύτητας ανέμου λόγω αλλαγής κλίσης του αναγλύφου
(EN 1991-1-4:2003)

Πίνακας 4: Τιμές του ενεργού μήκους L_e

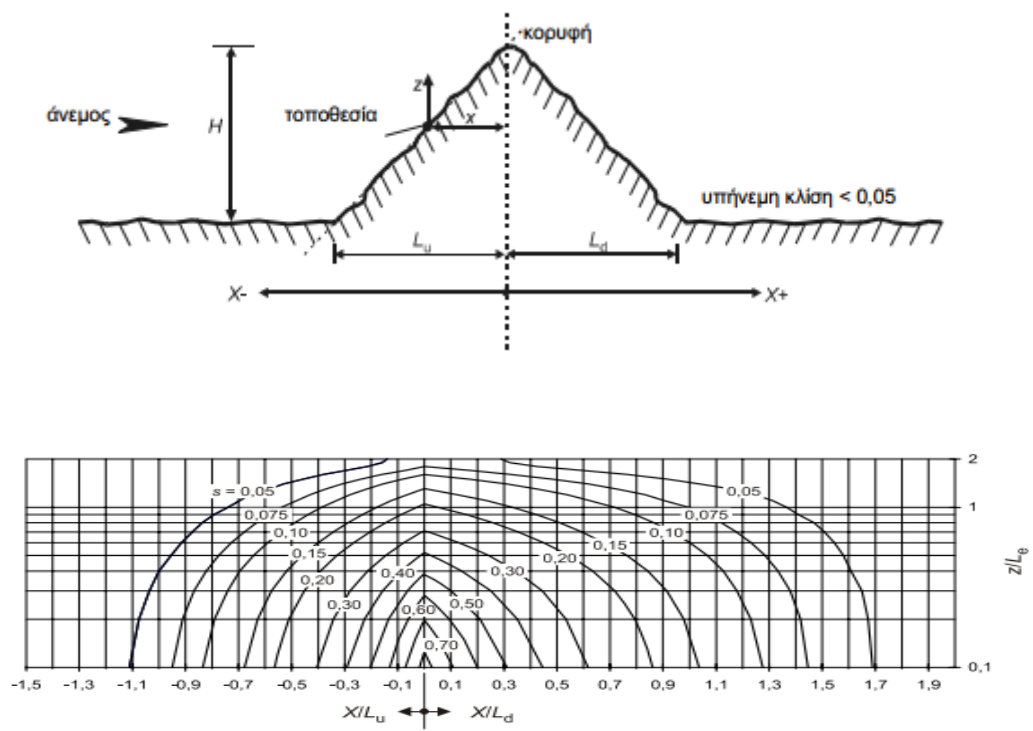
Κλίση ($\Phi = H/L_u$)	
Ελαφρά ($0,05 < \Phi < 0,3$)	Απότομη ($\Phi > 0,3$)
$L_e = L_u$	$L_e = H/0,3$

Πηγή: EN 1991-1-4:2005

Σε κοιλάδες, $c_o(z)$ τίθεται με τη τιμή 1 εάν δεν αναμένεται η επιτάχυνση της πνοής του ανέμου λόγω της τοπογραφικής διαμόρφωσης του περιβάλλοντα χώρου.



Σχήμα 5: Συντελεστής s για γκρεμούς και εξάρσεις (EN 1991-1-4:2003)



Σχήμα 6: Συντελεστής s για λόφους και κορυφές (EN 1991-1-4:2003)

4.4 Τυρβώδης ροή ανέμου $I_v(z)$

Η ένταση στροβιλισμού $I_v(z)$ σε οποιοδήποτε ύψος z είναι η τυπική απόκλιση της ταχύτητας του ανέμου που διαιρείται από τη μέση ταχύτητα ανέμου μέσω του τύπου:

$$I_v(z) = \frac{\sigma_v}{V_m(z)} = \frac{k_I}{[c_o(z) \cdot \ln\left(\frac{z}{z_o}\right)]}$$

Όπου:

$$\sigma_v = k_r \cdot v_b \cdot K_I$$

k_r = συντελεστής εδάφους

v_b = βασική ταχύτητα

K_I = συντελεστής στροβιλισμού ισούται με 1,0

Η τυπική απόκλιση της ταραχώδης είναι κοντά στο έδαφος και σχετίζεται με τη σταθερά του ύψους.

Οι προτεινόμενοι κανόνες για καθορισμό του $I_v(z)$ δίνεται από τη πιο κάτω σχέση:

$$I_v(z) = \frac{\sigma_v}{V_m(z)} = \frac{k_I}{[c_o(z) \cdot \ln\left(\frac{z}{z_o}\right)]} \quad \text{για} \quad z_{\min} \leq z \leq z_{\max}$$

$$I_v(z) = I_v(z_{\min}) \quad \text{για} \quad z < z_{\min}$$

4.5 Πίεση ταχύτητας αιχμής $q_p(z)$

Η μέγιστη ταχύτητα πίεσης $q_p(z)$ στο ύψος z περιλαμβάνει τη μέση και τη βραχυπρόθεσμη διακύμανση της ταχύτητας η οποία δίδεται από το τύπο:

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

Όπου:

ρ = είναι η πυκνότητα του αέρα, η οποία εξαρτάται από το υψόμετρο, τη θερμοκρασία και τη βαρομετρική πίεση που αναμένονται κατά τη περίοδο μιας καταιγίδας ανέμου σε κάποια περιοχή και ισούται με $1,25 \text{ kg/m}^3$

$I_v(z)$ = η ένταση στροβιλισμού σε ύψος z

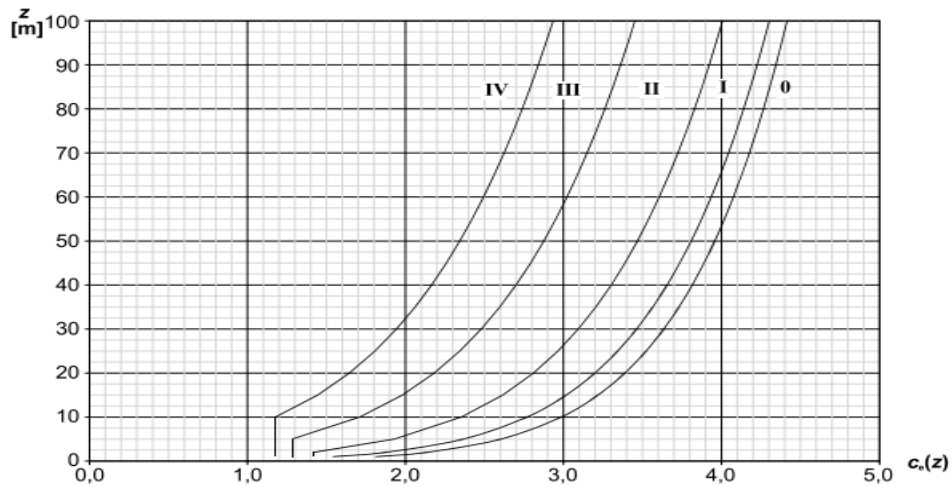
$c_e(z)$ = ο συντελεστής έκθεσης

$$c_e(z) = \frac{q_b(z)}{q_b}$$

q_b = η βασική ταχύτητα πίεσης

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2$$

Για επίπεδο εδάφους όπου $c_o(z) = 1,00$ ο συντελεστής έκθεσης $c_e(z)$ δίνεται από το αναφερόμενο Διάγραμμα 2 που ακολουθεί με συναρτήσει του ύψους z πάνω από το έδαφος αλλά και της κατηγορίας εδάφους. (EN 1991-1-4:2005)



Διάγραμμα 2: Συντελεστής έκθεσης $c_e(z_e)$ για $c_o=1,0$, $k_l=1,0$ (EN 1991-1-4:2005)

Κεφάλαιο 5

5 Υπολογισμός δυνάμεων ανέμου επί των κατασκευών

5.1 Υπολογισμός δυνάμεων του ανέμου λόγω πίεσης

Η συνολική δύναμη η οποία εξασκείται σε μια κατασκευή ή σε κάποιο μέλος του τμήματος που δημιουργείται μέσω των συνολικών δυνάμεων ή το συνολικό άθροισμα των πιέσεων που ασκούνται σε όλες τις επιφάνειες με προϋπόθεση ότι η κατασκευή δεν είναι ευαίσθητη σε δυναμική καταπόνηση (δηλαδή όταν $c_d < 1,2$). Επομένως με τις πιο κάτω σχέσεις μπορεί να υπολογιστεί η συνολική δύναμη:

$$F_w = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref} \quad \text{ή} \quad F_w = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref}$$

Όπου:

$c_s c_d$ = ο δυναμικός συντελεστής

c_f = ο συντελεστής δύναμης για την κατασκευή ή το τμήμα της

$q_p(z_e)$ = η πίεση ταχύτητας αιχμής σε ύψος αναφοράς z

A_{ref} = η επιφάνεια αναφοράς της κατασκευής ή του τμήματος της και αποτελεί την προβολή της επιφάνειας αυτής κάθετα στη διεύθυνση του ανέμου

Η δύναμη του ανέμου, F_w επιδρά επάνω στην κατασκευή ή σε κάποιο στοιχείο μπορεί να καθοριστεί από το άθροισμα των κάθετων δυνάμεων $F_{w,e}$, $F_{w,i}$ και F_{fr} . Υπολογίζονται από τις εξωτερικές, εσωτερικές πιέσεις και δυνάμεις λόγω τριβής κατά της οποίες δημιουργούνται σε περιπτώσεις όπου το εμβαδό της κατασκευής είναι μεγάλη και οι οποίες σαρώνονται από παράλληλο προς αυτές άνεμο. Με το τρόπο αυτ αναπτύσσονται δυνάμεις τριβής που σε ορισμένες περιπτώσεις είναι σημαντικό να ληφθούν υπόψη κατά το σχεδιασμό. Οι δυνάμεις αυτές υπολογίζονται από τις σχέσεις που φαίνονται πιο κάτω:

Εξωτερικές δυνάμεις:

$$F_{w,e} = c_s \cdot c_d \cdot \sum w_e \cdot A_{ref}$$

Εσωτερικές δυνάμεις:

$$F_{w,i} = c_s \cdot c_d \cdot \sum w_i \cdot A_{ref}$$

Δυνάμεις τριβής:

$$F_{fr} = c_{fr} \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref}$$

Όπου:

c_{scd} = δυναμικός συντελεστής

w_e = η πίεση του ανέμου στη εξωτερική επιφάνεια

w_i = η πίεση του ανέμου στην εσωτερική επιφάνεια

A_{ref} = η επιφάνεια αναφοράς της κατασκευής ή του τμήματος της που αποτελεί την προβολή της επιφάνειας αυτής κάθετα στη διεύθυνση του ανέμου.

c_{fr} = ο συντελεστής τριβής

A_{fr} = η εξωτερική επιφάνεια τριβής στην οποία η διεύθυνση του ανέμου επιδρά παράλληλα στη περιοχή επαφής

Οι επιδράσεις των δυνάμεων τριβής επάνω στην επιφάνεια κατασκευής μπορεί να μη ληφθούν υπόψη όταν η συνολική περιοχή της επιφάνειας η οποία σαρώνεται από άνεμο παράλληλα ή με μικρή γωνιά προς αυτή είναι ίση ή μικρότερη κατά 25% του συνολικού εμβαδού των εξωτερικών που είναι κάθετες στον άνεμο (προσήνεμες και υπήνεμες).

(Cook, N. 2007)

5.2 Δυναμικός Συντελεστής $c_s c_d$

5.2.1 Γενικά

Ο δυναμικός συντελεστής $c_s c_d$ πρέπει να λαμβάνεται υπόψη για τον υπολογισμό των επιδράσεων των δυναμικών φορτίων του ανέμου επί των κατασκευών. Για τον προσδιορισμό του δυναμικού συντελεστή $c_s c_d$ είναι αναγκαίο να βρίσκεται η παράμετρος μεγέθους c_s και η δυναμική παράμετρο c_d . Για επιδράσεις ανέμου όπου οι δράσεις του ανέμου δεν αναπτύσσονται ταυτόχρονα, στη μέγιστη ανεμοπίεση και σε όλη την επιφάνεια της κατασκευής, τότε καθορίζεται ο συντελεστής (c_s). Ενώ από την άλλη ο συντελεστής c_d λαμβάνεται υπόψη ώστε να υπολογιστεί η δυναμική απόκριση της κατασκευής λόγω δονήσεων (c_d).

Το είδος της κατασκευής δηλαδή αν είναι κατασκευασμένο από σκυρόδεμα ή χάλυβα, καθώς το ύψος και πλάτος της δομής θα καθορίσουν τον υπολογισμό του δυναμικού συντελεστή. Με την βοήθεια των Διαγραμμάτων 3 έως 7 που δίνονται μέσα από τον Ευρωκώδικα 1, μπορεί να γίνει ευκολότερα η εκτίμηση των συντελεστών. Όταν υπολογιστούν οι συνολικές δυνάμεις που ασκούνται επάνω στις κατασκευές και οι πιέσεις που δρουν επί των εξωτερικών επιφανειών πολλαπλασιάζοντας τους συντελεστές εξωτερικής πίεσης c_{pe} , καθώς και στις συνολικές δυνάμεις πολλαπλασιάζοντας τους συντελεστές δύναμης.

Για κατασκευές οι οποίες δεν είναι ευαίσθητες στις δυναμικές διεγέρσεις τότε ο δυναμικός συντελεστής $c_d = 1$, για κτίρια ή και καπνοδόχους που έχουν ύψος μικρότερο από 200 m τότε ο δυναμικός συντελεστής έχει τιμή $c_d < 1,2$. Όμως όπως έχει προαναφερθεί ο συγκεκριμένος συντελεστής εξαρτάται από τον τύπο της κατασκευής αλλά και τις διαστάσεις της. Στην περίπτωση όπου η κατασκευή είναι μέθοδοι και ο δυναμικός συντελεστής $c_d > 1,2$. (Ερμόπουλος 1997)

5.2.2 Προσδιορισμός $c_s c_d$

Πιο κάτω δίνονται οι περιπτώσεις και αντίστοιχα η τιμή του δυναμικού συντελεστή $c_s c_d$ που στις παραπάνω περιπτώσεις ισούται με 1:

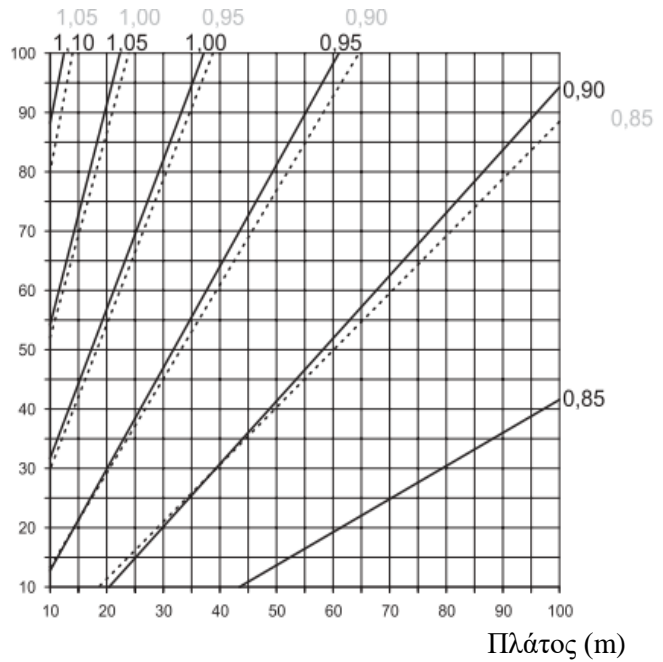
- 1) Για κτίρια με ύψος μικρότερο από 15 m.
- 2) Στοιχεία με πλευρική επένδυση και στη στέγη που έχουν ιδιοσυχνότητα μεγαλύτερη των 5 Hz.
- 3) Για κτίρια με σκελετό και τοιχία όπου το ύψος τους είναι μικρότερος από 100m και 4 φορές μικρότερο των διαστάσεων ως προς τη διεύθυνση ανέμου.
- 4) Για καπνοδόχους με κυκλική διατομή όπου έχουν ύψος μικρότερο από 60 m και 6,5 φορές της διαμέτρου.
- 5) Για τον ακριβή υπολογισμό του συντελεστή $c_s c_d$ δίνεται από το κεφάλαιο §5.2.3.

(Cook, N. 2007)

Οι τιμές για διαφορετικών τύπων κατασκευών

CsCd για πολυώροφα κτίρια από χάλυβα

Ύψος (m)



Βασισμένο:

$\delta_s = 0,05$

κατηγορία εδάφους II (συνεχής γραμμή)

κατηγορία εδάφους III (διακεκομμένη γραμμή)

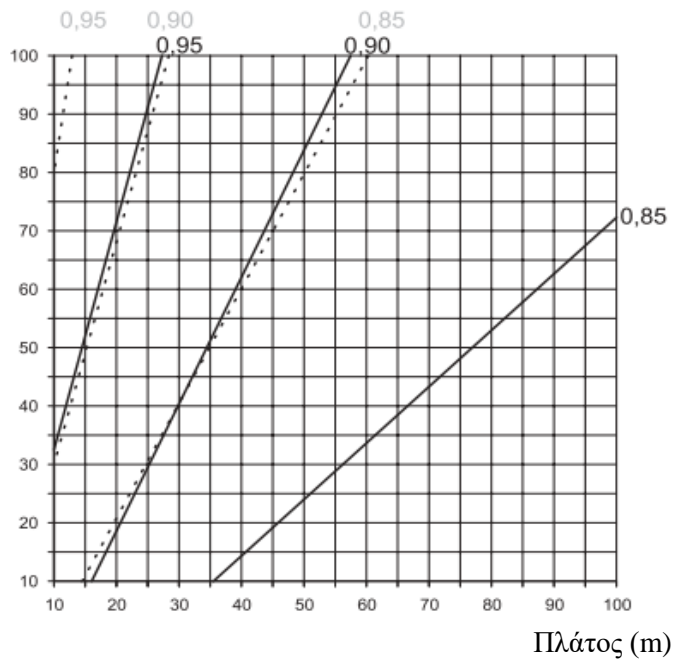
$v_b = 28 \text{ m/sec}$

$\delta_s = 0$

Διάγραμμα 3: $c_s c_d$ για πολυώροφα χάλυβδινα κτίρια

CsCd για πολυώροφα κτίρια από σκυρόδεμα

Ύψος (m)



Βασισμένο:

$\delta_s = 0,1$

κατηγορία εδάφους II (συνεχής γραμμή)

κατηγορία εδάφους III (διακεκομμένη γραμμή)

$v_b = 28 \text{ m/sec}$

$\delta_s = 0$

Διάγραμμα 4: $c_s c_d$ για πολυώροφα κτίρια από σκυρόδεμα

CsCd για χαλύβδινες καπνοδόχους χωρίς επένδυση

Βασισμένο:

$$\delta_s = 0,012$$

$$w_s/w_t = 1$$

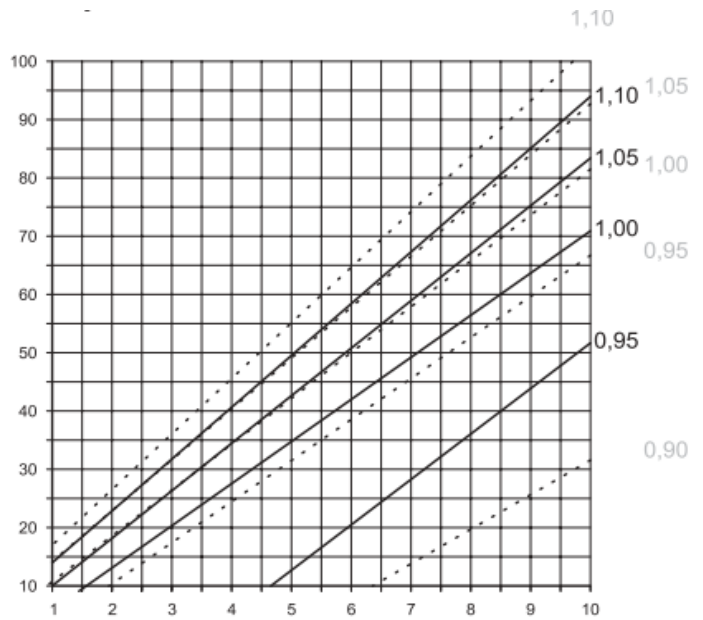
κατηγορία εδάφους II (συνεχής γραμμή)

κατηγορία εδάφους III (διακεκομμένη γραμμή)

$$v_b = 28 \text{ m/sec}$$

$$\delta_s = 0$$

Ύψος (m)



Διάμετρος (m)

Διάγραμμα 5: c_{s,c_d} για χαλύβδινες καπνοδόχους χωρίς επένδυση

CsCd για καπνοδόχους από σκυρόδεμα χωρίς επένδυση

Βασισμένο:

$$\delta_s = 0,03$$

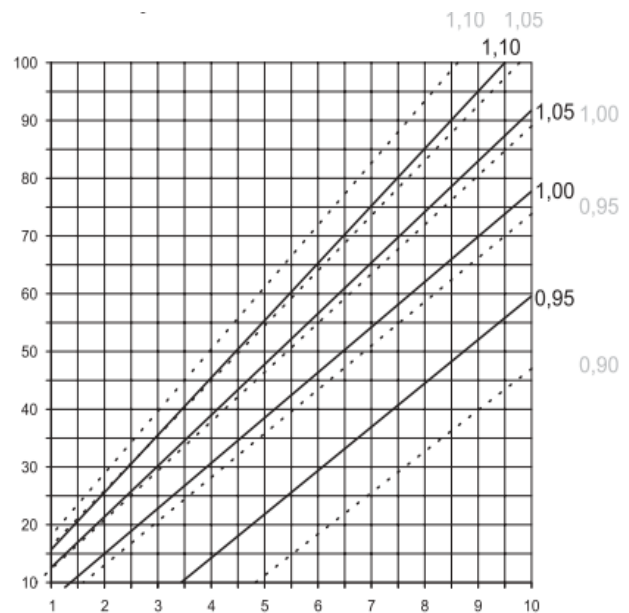
κατηγορία εδάφους II (συνεχής γραμμή)

κατηγορία εδάφους III (διακεκομμένη γραμμή)

$$v_b = 28 \text{ m/sec}$$

$$\delta_s = 0$$

Ύψος (m)



Διάμετρος (m)

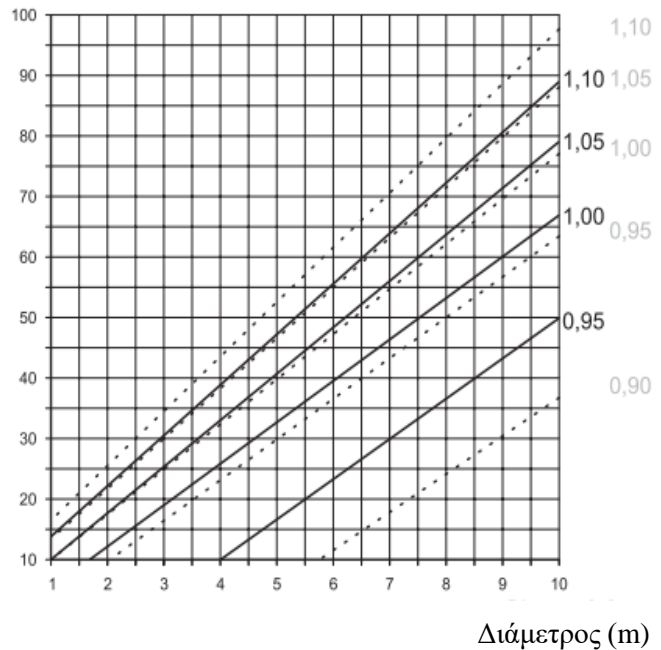
Διάγραμμα 6: c_{s,c_d} για καπνοδόχους από σκυρόδεμα χωρίς επένδυση

CsCd για χαλύβδινες καπνοδόχους με επένδυση

Υψος (m)

Βασισμένο:

δ_s = εξαρτάται από το λόγο h/b
 $h/b < 18$ $\delta_s = 0,02$
 $20 \leq h/b \leq 18$ $\delta_s = 0,04$
 $h/b > 26$ $\delta_s = 0,025$
 κατηγορία εδάφους II (συνεχής γραμμή)
 κατηγορία εδάφους III (διακεκομμένη γραμμή)
 $v_b = 28$ m/sec
 $\delta_s = 0$



Διάγραμμα 7: c_{s,c_d} για καπνοδόχους με επένδυση

5.2.3 Υπολογισμός δυναμικού συντελεστή $C_s C_d$

Για τη λεπτομερή διαδικασία υπολογισμού του δυναμικού συντελεστή c_{s,c_d} δίνεται από την πιο κάτω σχέση:

$$C_s C_d = \frac{1 + 2 \cdot K_p \cdot I_v(z_s) \cdot \sqrt{B^2 + R^2}}{1 + 7 \cdot I_v(z_s)}$$

Όπου:

z_s = είναι το ύψος αναφοράς για προσδιορισμό του δυναμικού συντελεστή
 Σε περιπτώσεις όπου δεν εφαρμόζεται το z_s και το h ισούται με το ύψος της κατασκευής
 K_p = είναι ο συντελεστής αιχμής ο οποίος καθορίζεται ως ο λόγος της μέγιστης τιμής του κυμαίνόμενου μέρους της απόκρισης ως προς την τυπική απόκλιση του

I_v = είναι η ένταση στροβιλισμού όπως ορίζεται στη §4.4

B^2 = είναι ο συντελεστής υπόβαθρου, στον οποίο λαμβάνεται υπόψη η έλλειψη πλήρους συσχέτισης των πιέσεων στην επιφάνεια κατασκευής

R^2 = είναι ο συντελεστής απόκρισης του συντονισμού, στον οποίο λαμβάνεται υπόψη ο στροβιλισμός σε συντονισμό με την ιδιομορφή της κατασκευής

Σημείωση 1: το μέγεθος του συντελεστή c_s λαμβάνει υπόψη την μείωση επίδρασης των δράσεων ανέμου λόγω ότι δε συμβαίνουν ταυτόχρονα με τη πίεση αιχμής επάνω στην επιφάνεια και η εξίσωση λαμβάνεται ως εξής:

$$C_s = \frac{1+7 \cdot I_v(Z_s) \cdot \sqrt{B^2}}{1+7 \cdot I_v(Z_s)}$$

Σημείωση 2: ο δυναμικός συντελεστής c_d λαμβάνει υπόψη την αύξηση την επίδραση των δονήσεων λόγω του στροβιλισμού σε συντονισμό με την κατασκευή και η εξίσωση λαμβάνεται ως εξής:

$$C_d = \frac{1+2 \cdot K_p \cdot I_v(Z_s) \cdot \sqrt{B^2+R^2}}{1+7 \cdot I_v(Z_s) \cdot \sqrt{B^2}}$$

Για τον υπολογισμό του συντελεστή υπόβαθρου B^2 μπορεί να ληφθεί υπόψη ίσο με 1 αλλά και να υπολογιστεί από τη πιο κάτω εξίσωση:

$$B^2 = \frac{1}{1+0.9 \left[\frac{b+h}{L(z_e)} \right]^{0.63}}$$

Όπου:

b = είναι το πλάτος της κατασκευής

h = είναι το ύψος της κατασκευής

$L(z_e)$ = ισοδυναμεί με το μήκος του στροβιλισμού σε ύψος αναφοράς z_e

Το μήκος στροβιλισμού $L(z_e)$ αντιπροσωπεύει το μέγεθος της μέσης ανεμορριπής για φυσικούς ανέμους. Για ύψος κάτω από 200 m, το μήκος στροβιλισμού υπολογίζεται από τη σχέση :

$$\text{Για } z \geq z_{\min} \Rightarrow L(z) = L_t \cdot \left(\frac{z}{z_t} \right)^\alpha$$

$$\text{Για } z < z_{\min} \Rightarrow L(z) = L(z_{\min})$$

Όπου:

L_t = το μήκος αναφοράς το οποίο είναι ίσο με 300 m

z_t = το ύψος αναφοράς το οποίο είναι ίσο με 200 m

$$\alpha = 0,67 + 0,05 \ln(z_0)$$

z_{\min} = το ελάχιστο ύψος το οποίο δίνεται από τον Πίνακα 1

Ο συντελεστής απόκρισης συντονισμού R^2 δίνεται από τη σχέση:

$$R^2 = \left(\frac{\pi}{2\delta}\right) \cdot S_L(Z_e, n_{1,x}) \cdot R_b(\eta_b) R_b(\eta_h)$$

Όπου:

δ = η ολική λογαριθμική μείωση της απόσβεσης, που δίνεται στο Παράρτημα F, πίνακα, F2 του prEn 1991-1-4

S_L = η αδιάστατη συνάρτηση φάσματος πυκνότητας που προκύπτει από την πιο κάτω σχέση:

$$S_L(z,n) = \frac{6,8 \cdot f_L(z,n)}{(1+10,2 \cdot f_L(z,n))^{5/3}}$$

Και :

f_L = αδιάστατη συχνότητα για τη $n = n_{1,x}$ και ισούται με:

$$f_L = \frac{n \cdot L(z)}{V_m(z)}$$

R_h, R_b = οι αεροδυναμικοί συναρτήσεις εισόδου οι οποίες για μια θεμελιώδη ιδιομορφή, προσδιορίζονται από τις σχέσεις:

$$R_h = \frac{1}{\eta_h} - \frac{1}{2 \cdot \eta_h} \cdot (1 - e^{-2\eta_h}) : R_h = 1 \text{ για } \eta_h = 0$$

$$R_b = \frac{1}{\eta_b} - \frac{1}{2 \cdot \eta_b} \cdot (1 - e^{-2\eta_b}) : R_b = 1 \text{ για } \eta_b = 0$$

Για:

$$\eta_h = \frac{4,6 \cdot h}{L(z_e)} \cdot f_L(Z_e, n_{1,x})$$

$$\eta_b = \frac{4,6 \cdot b}{L(z_e)} \cdot f_L(Z_e, n_{1,x})$$

Ο συντελεστής αιχμής k_p υπολογίζεται από τη σχέση:

$$k_p = \max \left\{ \sqrt{[2 \cdot \ln(v \cdot T)]} + \frac{0,6}{[\sqrt{2 \cdot \ln(v \cdot T)}]}, 3 \right\}$$

Όπου:

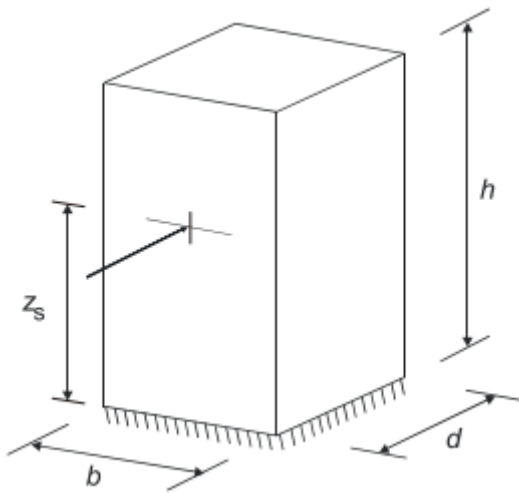
T = η μέση διάρκεια της μέσης ταχύτητας ανέμου και είναι ίσο με 600 s

v = η συχνότητα που ισούται με: $v = \eta_{1,x} \cdot \sqrt{\left[\frac{R^2}{(B^2 + R^2)}\right]}$, $v \geq 0,08$ Hz

$\eta_{1,x}$ = η ιδιοσυχνότητα της κατασκευής που υπολογίζονται από το παράρτημα F του F του prEn 1991-1-4.

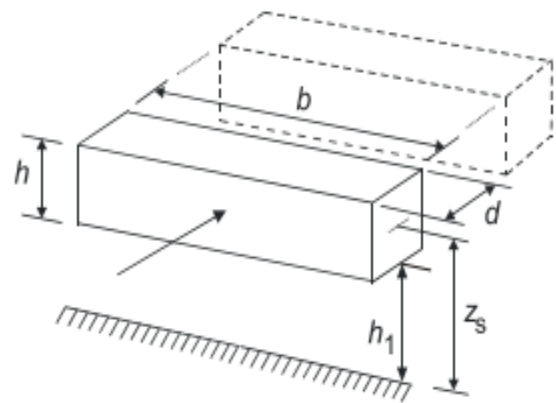
Σημειώνεται ότι ο περιορισμός των $v \geq 0,08$ Hz ισχυρεί για συντελεστή αιχμής $k_p = 3,0$.

A) Κατακόρυφες κατασκευές
π.χ κτίρια



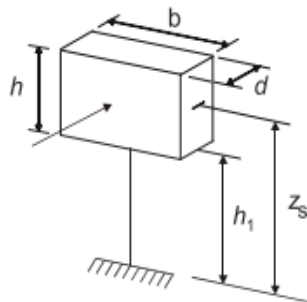
$$z_s = 0,6 \cdot h \geq z_{min}$$

B) Παράλληλες κατασκευές π.χ οριζόντια
δομικά στοιχεία όπως οι δοκοί



$$z_e = h_1 + h/2 \geq z_{min}$$

Γ) Σημειακές κατασκευές
π.χ πινακίδες σήμανσης



$$z_e = h_1 + h/2 \geq z_{min}$$

Σχήμα 7: Γενικές μορφές που καλύπτονται από τη διαδικασία σχεδιασμού (EN1991-1-4:2005)

Σημείωση: Για λεπτά κτίρια όπου (h/d) και καμινάδες $(h/d > 6,5)$ οι οποίες έχουν γειτονικές κατασκευές θα πρέπει να ληφθεί υπόψη και ο παραγόμενος στροβιλισμός μεταξύ των κατασκευών που βρίσκονται σε ομαδική διάταξη. Για να ισχύει το πιο πάνω πρέπει η απόσταση μεταξύ των κτιρίων ή και των καμινάδων να είναι 25 φορές μεγαλύτερη από την εγκάρσια ως προς τον άνεμο διάσταση του προσήνεμου κτιρίου ή της καπνοδόχου. Μια δεύτερη παράμετρος είναι η ιδιοσυχνότητα των υπήνεμων δομικών στοιχείων που αναφέρονται πιο πάνω να είναι μεγαλύτερη από 1 Hz.

Κεφάλαιο 6

6 Αεροδυναμικοί συντελεστές πιέσεων και δυνάμεων

Στην παρούσα ενότητα θα παρουσιαστεί ο καθαρισμός και υπολογισμός των αεροδυναμικών συντελεστών πιέσεων που ασκούνται πάνω σε διάφορες κατασκευές ή δομικά στοιχεία μιας κατασκευής. Αυτό που θα καθορίσει τον υπολογισμό των εσωτερικών και εξωτερικών πιέσεων μιας επιφάνειας είναι το είδος της κατασκευής και το σχήμα της. Μετά την εύρεση των συντελεστών πίεσης θα μπορεί να υπολογισθούν και οι τελικές πιέσεις που εφαρμόζονται στην κάθε πλευρά της δομής καθώς και την εύρεση των συντελεστών τριβής και των δυνάμεων ανέμου για να βρεθούν οι τελικές δυνάμεις ανέμου σε όλη την κατασκευή ή ένα τμήμα της. (Cook, N. 2007)

Οι συντελεστές αυτές αναφέρονται σε διάφορες κατασκευές ή στοιχεία κατασκευών όπως:

- Συντελεστές πιέσεων των κτιρίων
- Στέγαστρα κατασκευών
- Διαχωριστικοί τοίχοι, στηθαία, ικριώματα, πινακίδες και φράκτες
- Συντελεστές τριβής
- Δομικά στοιχεία με ορθογωνική διατομή
- Δομικά στοιχεία κατασκευών με οξείες ακμές
- Κυκλικοί κύλινδροι
- Δικτυωτές κατασκευές
- Σημαίες

6.1 Γενικά

Οι αεροδυναμικές επιδράσεις των φορτίων ανέμου επί των κατασκευών καθορίζονται χρησιμοποιώντας τους συντελεστές πίεσης και δύναμης όπως έχουν δοθεί στο Κεφάλαιο 3. Ανάλογα με τη μορφή της κατασκευής, είναι αναγκαίο να χρησιμοποιηθούν οι πιο κάτω επιδράσεις:

- **Εσωτερικοί και εξωτερικοί συντελεστές πίεσης:** για την κατανομή των κανονικών τάσεων που δημιουργούνται λόγω του ανέμου επάνω στις εσωτερικές

και εξωτερικές επιφάνειες των κατασκευών. Αυτοί οι συντελεστές είναι εξίσου σημαντικοί όταν η κατανομή των φορτίων επάνω στις επιφάνειες απαιτείται, όπως για παράδειγμα φορτία ανέμου. Σε μερικές περιπτώσεις, ο συντελεστής εσωτερικής πίεσης μπορεί να προσδιορισθεί από τη κατανομή του εξωτερικού συντελεστή πίεσης και τη διαπερατότητα της κατασκευής.

- **Τελική πίεση συντελεστή:** για τη τελική κανονική τάση του ανέμου σε μια επιφάνεια χρειάζεται όταν δεν υπάρχει εσωτερικό και όταν από τις δύο πλευρές της επιφάνειας είναι εκτεθειμένες στον άνεμο(π.χ σε καμινάδες και στα όρια του τοίχου).
- **Συντελεστής τριβής:** η τριβή που δημιουργείται επάνω στις επιφάνειες λόγω των επαφτομενικών τάσεων στη διεύθυνση του ανέμου ή από την συσσώρευση κανονικών τάσεων στις προεξοχές της επιφάνειας (π.χ. ραβδώσεις ή αυλακώσεις).
- **Συντελεστής Δύναμης:** για τα συνολικά φορτία επάνω στις κατασκευές ή για φορτία επάνω σε δομικά στοιχεία τα οποία δεν είναι αναγκαίο τα καθορισθούν στη χωρική κατανομή.

(Cook, N. 2007)

6.2 Συντελεστές πίεσης για κτίρια

6.2.1 Γενικά

Για τους συντελεστές πίεσης και ειδικότερα της εξωτερικής πίεσης c_{pe} , η οποία επιδρά επί των κτιρίων, εξαρτώνται κατά κύριο λόγο από τις διαστάσεις της δρώντας επιφάνειας A , στην οποία μεταφέρεται το εξεταζόμενο στοιχείο της κατασκευής καθώς και τη δράση της ανεμοπίεσης με αποτέλεσμα να δημιουργείται η αντίστοιχη καταπόνηση του. Για ενδιαμέσες τιμές γίνεται γραμμική λογαριθμική παρεμβολή σύμφωνα με την πιο κάτω σχέση:

$$C_{pe,A} = C_{pe,1} + (C_{pe,10} - C_{pe,1}) \log_{10} A$$

Για την φορτιζόμενη επιφάνεια έχουμε τις πιο κάτω συνθήκες πιέσεων:

Όπου:

$$\text{Για } A \leq 1 \text{ m}^2 \quad \Rightarrow C_{pe} = C_{pe,1}$$

$$\text{Για } 1 \text{ m}^2 < A < 10 \text{ m}^2 \quad \Rightarrow C_{pe} = C_{pe,1} + (C_{pe,10} - C_{pe,1}) \log_{10} A$$

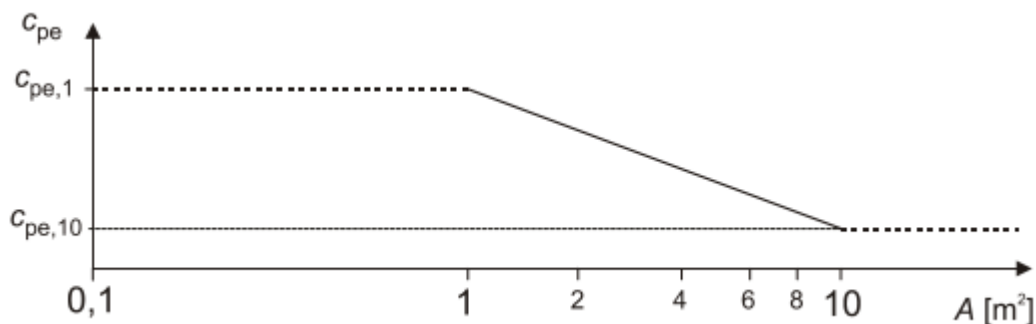
$$\text{Για } A \geq 10 \text{ m}^2 \quad \Rightarrow C_{pe} = C_{pe,10}$$

Όπου για τις χαρακτηριστικές τιμές των συντελεστών $c_{pe,1}$ για τοπικούς συντελεστές και $c_{pe,10}$ συνολικούς συντελεστές για επιφάνεια με εμβαδό 1m^2 και 10m^2 αντίστοιχα. (Τρέζος et al. 2011)

Σημείωση

- Οι τοπικοί συντελεστές εφαρμόζονται σε φορτιζόμενη περιοχή για 1m^2 και προορίζονται για το σχεδιασμό μικρών στοιχείων και πακτωμένων μελών για τον προσδιορισμό των μελών τους από τα φορτία ανέμου.
- Οι συνολικοί συντελεστές εφαρμόζονται σε φορτιζόμενη περιοχή για 10m^2 και προορίζεται για το σχεδιασμό και καθορισμό των κατασκευαστικών φορτίων, όπου προτείνονται για την εφαρμογή των δυναμικών συντελεστών κατασκευής c_{sd} . (Cook, N. 2007)

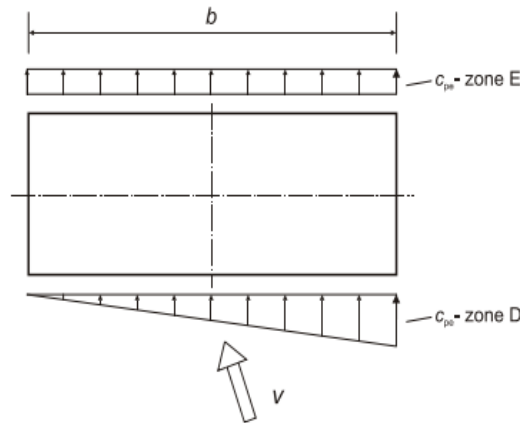
Για την διαδικασία υπολογισμού των εξωτερικών πιέσεων της φορτιζόμενης επιφάνειας η οποία είναι πάνω από 1m^2 , βασίζεται επάνω στους συντελεστές εξωτερικών πιέσεων $c_{pe,1}$ και $c_{pe,10}$. Η προτεινόμενη διαδικασία για φορτιζόμενες περιοχές μέχρι 10m^2 δίνεται όπως φαίνεται στο Σχήμα 8.



Σχήμα 8: Γραφική απεικόνιση για τη προτεινόμενη διαδικασία καθορισμού μεταβολής του εξωτερικού συντελεστή πίεσης c_{pe} για κτίρια με φορτιζόμενη επιφάνειας A μεταξύ 1m^2 και 10m^2 (EN 1991-1-4:2005)

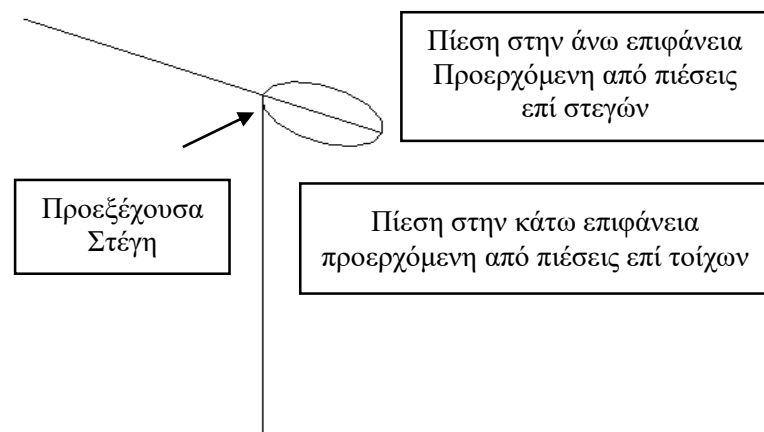
Στους επόμενους πίνακες που θα ακολουθήσουν, δίνονται οι συντελεστές για τον καθορισμό των τιμών $c_{pe,1}$ και $c_{pe,10}$, οι οποίοι προσδιορίζονται σε διευθύνσεις του ανέμου κατά γωνίες 0° , 90° και 180° αντίστοιχα. Αυτές οι τιμές έχουν προκύψει μέσα από ένα εύρος μεταβολής της διεύθυνσης του ανέμου κατά $\theta = \pm 45^\circ$ σε κάθε πλευρά της σχετιζόμενης ορθογωνικής διεύθυνσης. Ως εκ τούτου αυτές οι τιμές, αντιπροσωπεύουν τις δυσμενέστερες τιμές πιέσεων που μπορεί να προκύψουν σε μια κατασκευή.

Σε περιπτώσεις όπου υπάρχουν ορθογωνικές κατασκευές μπορεί να προκύψει να είναι ευαίσθητες σε επιδράσεις όπου εφαρμόζεται η κατανομή των ανεμικών πιέσεων όπως φαίνεται στο Σχήμα 9. Ο σκοπός είναι να ληφθούν υπόψη οι στρεπτικές επιδράσεις από την εφαρμογή δυνάμεων ανέμου υπό γωνία ή από την έλλειψη συσχέτισης μεταξύ των δυνάμεων του ανέμου που δρουν σε διαφορετικά σημεία της κατασκευής. Αυτές οι στρεπτικές δυνάμεις εμφανίζονται κυρίως σε ορθογωνικά κτίρια, πινακίδες και σε στέγαστρα. (Cook, N. 2007)



Σχήμα 9: Κατανομή των πιέσεων που λαμβάνονται υπόψη υπό στρεπτικών επιδράσεων
(EN 1991-1-4:2005)

Σε κατασκευές όπου οι στέγες των οροφών τους έχουν προεξέχουσα γωνιά όπως στο Σχήμα 10, η πίεση που δημιουργείται στην κάτω πλευρά της προεξέχουσας στέγης ισοδυναμεί με τη πίεση της ζώνης ενός κατακόρυφου τοίχου ο οποίος είναι συνδεδεμένος κυρίως με την προεξέχουσα οροφή. Η πίεση στο πάνω μέρος της οροφής είναι ισοδύναμη με τη πίεση της αντίστοιχης ζώνης της στέγης που ορίσαμε. (EN 1991-1-4:2005)



Σχήμα 10: Απεικόνιση των σχετικών πιέσεων για προεξέχουσες στέγες

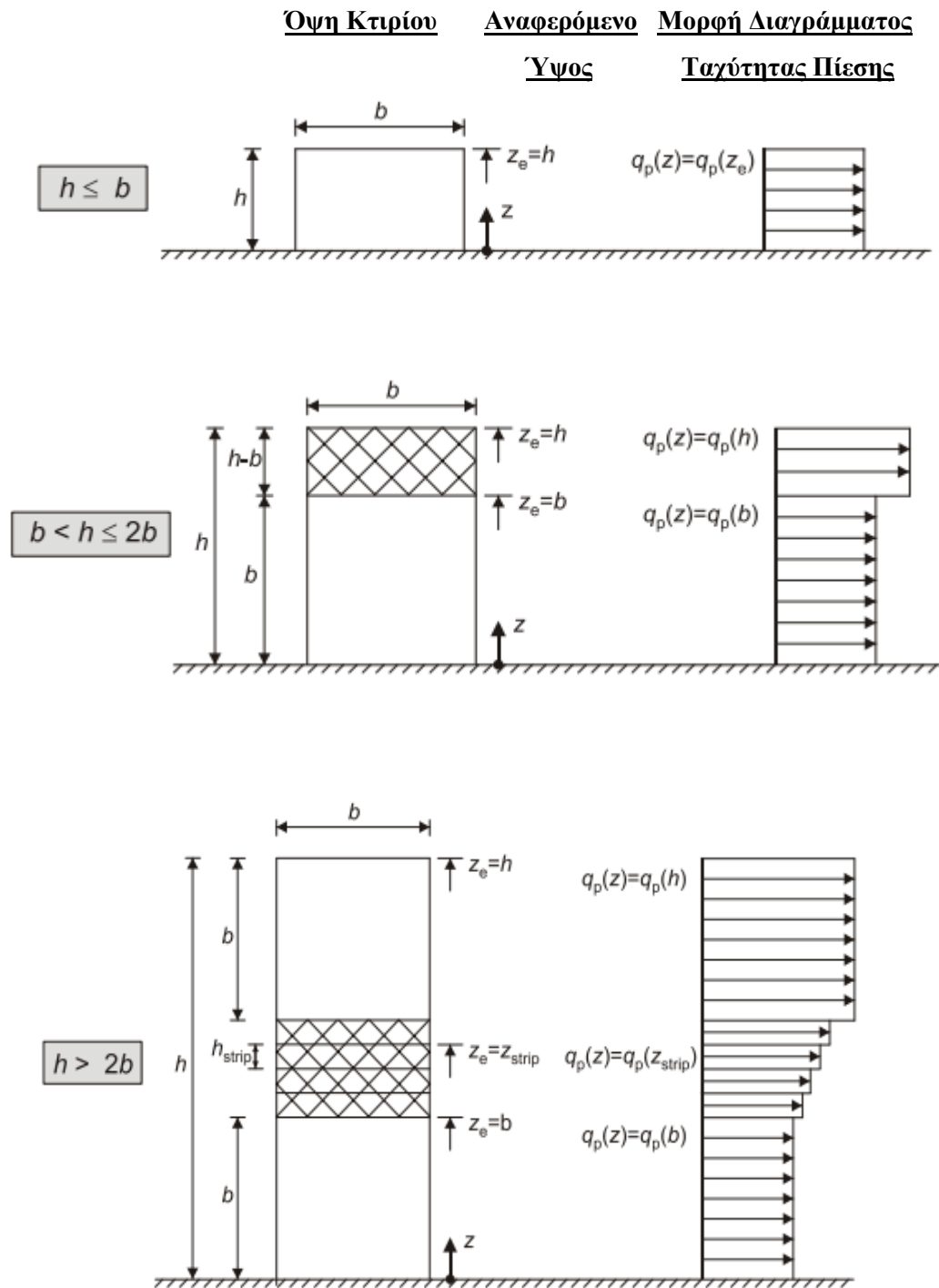
6.2.2 Κατακόρυφοι τοίχοι κτιρίων με ορθογωνική κάτοψη

Ο τρόπος με τον οποίο πραγματοποιείται ο υπολογισμός του ύψους αναφοράς z_e για τους προσήνεμους κατακόρυφους τοίχους είναι ανάλογα με τη σχέση μεταξύ h και του πλάτους των τοίχων αυτών. Η σχέση αυτή είναι ο λόγος των δύο συντελεστών (h/b) και στο Σχήμα 11 που ακολουθεί φαίνονται όλοι οι απώτεροι υπολογισμοί του αναφερόμενου ύψους z_e . Στον Πίνακα 5 παρουσιάζονται οι τρεις περιπτώσεις των κτιρίων και πως ανάλογα με το σχήμα τους κατηγοριοποιούνται. (Ερμόπουλος 1997)

Πίνακας 5: Υπολογισμός z_e ανάλογα με τις τρεις περιπτώσεις σχήματος κτιρίου

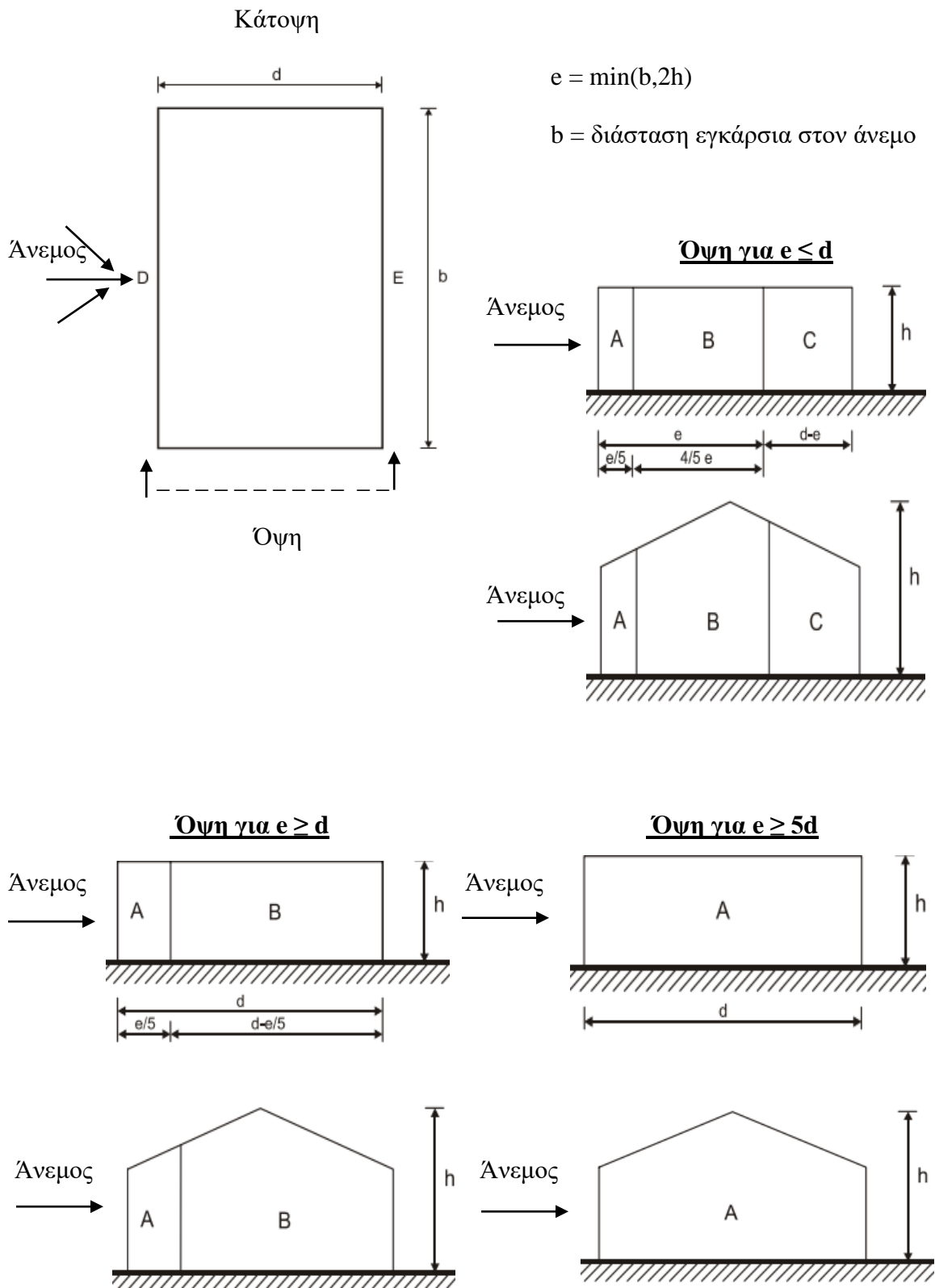
No	Περίπτωση	Υπολογισμός z_e
1	$h \leq b$	Το κτίριο θεωρείται ότι ένα τμήμα της δομής αποτελείται από ένα τμήμα με ύψος $z_e = h$
2	$b < h < 2b$	Το κτίριο θεωρείται ότι αποτελείται από δύο τμήματα με ύψος $z_e = b$ για το χαμηλότερο και $z_e = h$ για το υπερκείμενο
3	$h > 2b$	Το κτίριο αποτελείται κυρίως από πολλά τμήματα από τα οποία το χαμηλότερο έχει ύψος $z_e = b$, το υψηλότερο έχει ύψος $z_e = h$ και το διάστημα μεταξύ αυτών υποδιαιρείται σε μικρότερα τμήματα με μέγιστο ύψος του καθενός ίσο με b .

Σημειώνεται ότι για τον υπήνεμο τοίχο αλλά και για τους παράπλευρους, το ύψος αναφοράς z_e λαμβάνεται ίσο με το ύψος του κτιρίου.



Σχήμα 11: Απεικόνιση των σχετικών πιέσεων για προεξέχουσες στέγες (EN 1991-1-4:2005)

Στον Πίνακα 6 που ακολουθείται αναφέρονται οι συντελεστές εξωτερικής πίεσης $c_{pe,10}$ και $c_{pe,1}$, οι οποίοι σχετίζονται για κατακόρυφους τοίχους ορθογωνικών κτιρίων σύμφωνα με το συμβολισμό του Σχήματος 12.



Σχήμα 12: Συμβολισμοί για κατακόρυφους τοίχους (EN 1991-1-4:2005)

Πίνακας 6: Συντελεστές εξωτερικής πίεσης για κατακόρυφους τοίχους κτιρίων με ορθογωνική κάτοψη

h/d	Ζώνη									
	A		B		C		D		E	
	C _{pe.10}	C _{pe.1}	C _{pe.10}	C _{pe.1}	C _{pe.10}	C _{pe.1}	C _{pe.10}	C _{pe.1}	C _{pe.10}	C _{pe.1}
5	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,7	
1	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,5	
≤ 0,25	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,7	+1,0	-0,3	

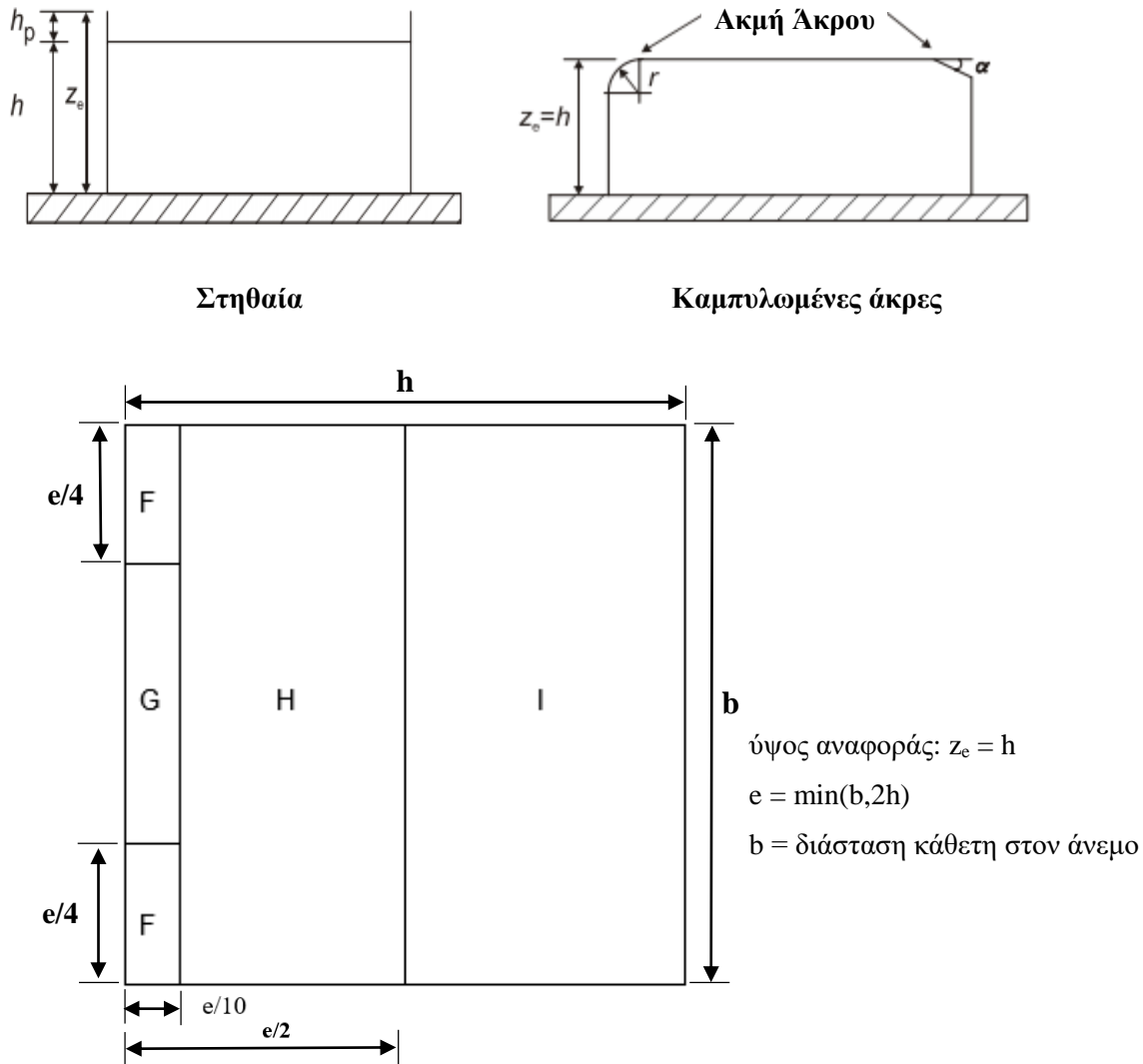
Πηγή: EN 1991-1-4:2005

Σε περιπτώσεις όπου η δύναμη του ανέμου επάνω στα κτιριακά κατασκευάσματα καθορίζεται από την εφαρμογή των συντελεστών πίεσης c_{pe} στην προσήνεμη (windward) πλευρά του ανέμου και την υπήνεμη πλευρά (leeward) που φεύγει ο άνεμος (ζώνη D και E) του κτιρίου ταυτόχρονα. Η έλλειψη συσχέτισης των ανεμοπιέσεων μεταξύ της πλευράς του ανέμου και της πλευράς που φεύγει ο άνεμος πρέπει να λαμβάνεται υπόψη.

Σημείωση: Η έλλειψη συσχέτισης των ανεμοπιέσεων μεταξύ των ζωνών D και E λαμβάνονται υπόψη ως ακολούθως: για κτίρια με $h/d \geq 5$ η προσκύπτουσα δύναμη πολλαπλασιάζεται με 1. Για κτίρια με $h/d \leq 1$, η προσκύπτουσα δύναμη πολλαπλασιάζεται με 0,85. Σε περίπτωση όπου υπάρξουν ενδιάμεσες τιμές χρησιμοποιείται γραμμική παρεμβολή.

6.2.3 Επίπεδες στέγες κατασκευών και δώματα

Οι επίπεδες στέγες ορίζονται αυτές εκ των οποίων η κλίση τους κυμαίνεται μεταξύ $-5^\circ < \alpha < +5^\circ$ ως προς την οριζόντια κατεύθυνση. Στο Σχήμα 13 απεικονίζεται ο τρόπος χωρισμού της στέγης σε ζώνες και στον Πίνακα 7 οι συντελεστές εξωτερικής πίεσης για επίπεδες στέγες.



Σχήμα 13: Καθορισμός ζωνών για επίπεδες στέγες (EN 1991-1-4:2005)

Πίνακας 7 : Συντελεστές εξωτερικής πίεσης για επίπεδες στέγες

Τύπος Στέγης		Ζώνη							
		F		G		H		I	
		C _{pe.10}	C _{pe.1}	C _{pe.10}	C _{pe.1}	C _{pe.10}	C _{pe.1}	C _{pe.10}	C _{pe.1}
Αιχμηρά Άκρα		-1,8	-2,5	-1,2	2,0	-0,7	-1,2	±0,2	
Με Στηθαία	h _p /h = 0,025	-1,6	-2,2	-1,1	-1,8	-0,7	-1,2	±0,2	
	h _p /h = 0,05	-1,4	-2,0	-0,9	-1,6	-0,7	-1,2	±0,2	
	h _p /h = 0,10	-1,2	-1,8	-0,8	-1,4	-0,7	-1,2	±0,2	
Καμπυλωτά Άκρα	r/h = 0,05	-1,0	-1,5	-1,2	-1,8	-0,4		±0,2	
	r/h = 0,10	-0,7	-1,2	-0,8	-1,4	-0,3		±0,2	
	r/h = 0,20	-0,5	-0,8	-0,5	-0,8	-0,3		±0,2	
Κεκλιμένα άκρα	α = 30°	-1,0	-1,5	-1,0	-1,5	-0,3		±0,2	
	α = 45°	-1,2	-1,8	-1,3	-1,9	-0,4		±0,2	
	α = 60°	-1,3	-1,9	-1,3	-1,9	-0,5		±0,2	

Πηγή: EN 1991-1-4:2005

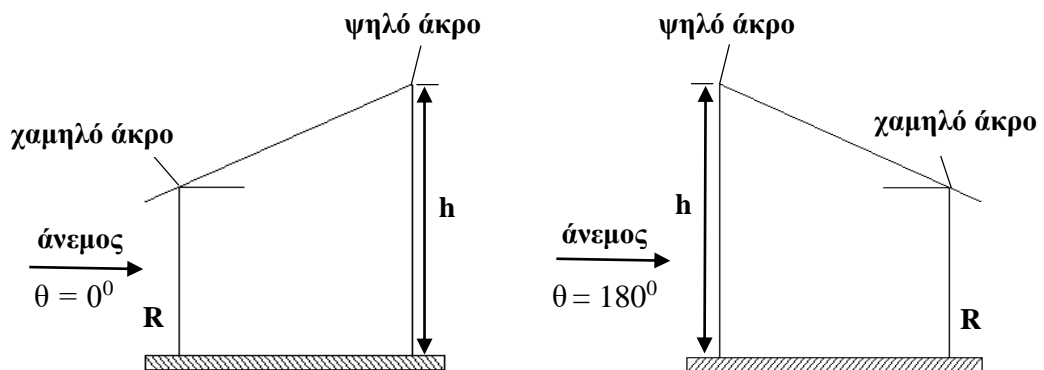
Σημείωση

- 1) Για οροφές με στηθαία ή καμπυλωτά άκρα, για να προσδιορισθούν οι ενδιάμεσες τιμές των h_p/h και r/h χρησιμοποιείται γραμμική παρεμβολή.
- 2) Για οροφές οι οποίες είναι με κεκλιμένα άκρα και οι τιμές των γωνιών κυμαίνονται μεταξύ 30°, 45° και 60° για να προσδιορισθούν μπορεί να χρησιμοποιηθεί η γραμμική παρεμβολή. Όταν α > 60° τότε γίνεται η γραμμική παρεμβολή μεταξύ των τιμών για α = 60° και των τιμών για αιχμηρά άκρα.
- 3) Οι δύο τιμές των συντελεστών (θετική και αρνητική) που υπάρχουν στη ζώνη I θα πρέπει να λαμβάνονται εξίσου υπόψη.
- 4) Σε κεκλιμένα άκρα, ο υπολογισμός των συντελεστών της πίεσης που ασκείται στο σημείο αυτό γίνεται σύμφωνα με τον Πίνακα 7, για διεύθυνση ανέμου 0° και ζώνες F και G. Αυτό όμως εξαρτάται από την κλίση α του συγκεκριμένου άκρου.

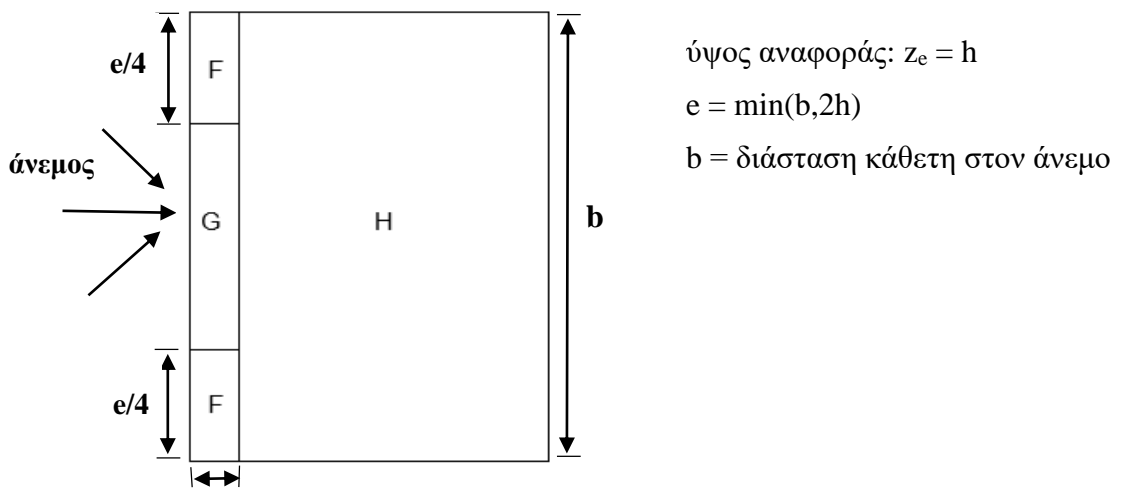
- 5) Σε καμπυλωτό άκρο όπου είναι το ίδιο, τότε οι συντελεστές εξωτερικής πίεσης μπορούν να υπολογιστούν με γραμμική παρεμβολή μεταξύ των τιμών που αντιστοιχούν στον τοίχο και τη στέγη.

6.2.4 Μονοκλινείς στέγες

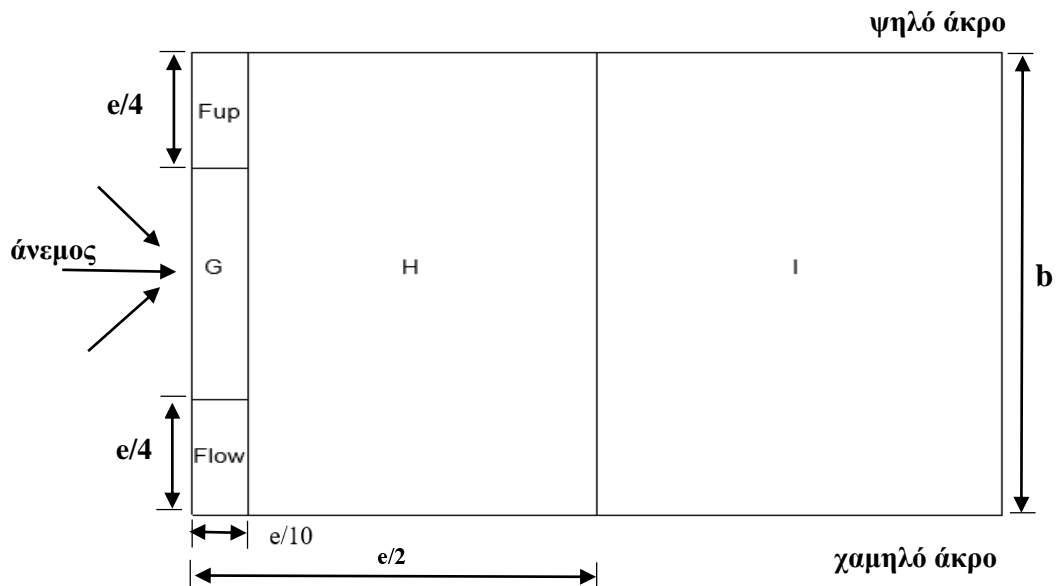
Για μονοκλινείς στέγες, οι συντελεστές εξωτερικής πίεσης δίνονται μέσα από το Πίνακα 8 και 9 και ο τρόπος υποδιαίρεσης των μονόκλινών στεγών σε ζώνες γίνεται σύμφωνα με το Σχήμα 14. Σε περίπτωση όπου οι οροφές έχουν μεγάλο εμβαδόν επιφάνειας θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη και οι δυνάμεις τριβής που μπορούν να αναπτυχθούν. Σε στέγες όπου υπάρχει προεξοχή υπό μορφή προβόλου πέραν του κατακόρυφου τοίχου όπως φαίνεται στο Σχήμα 14 για τη ζώνη R, τότε ασκείται πάνω σε αυτές πίεση ίση με αυτή του κατακόρυφου τοίχου. Ο κανόνας αυτός ισχύει και για τους άλλους τύπους οροφών (οριζόντιες, δίκλινες κλπ). (Ερμόπουλος 1997)



(A) Γενικά



(B) Διεύθυνση ανέμου $\theta = 0^\circ$ και $\theta = 180^\circ$



(Γ) Διεύθυνση Ανέμου $\theta = 90^\circ$

Σχήμα 14: Συμβολισμοί ζωνών για μονοκλινείς στέγες

Πίνακας 8: Συντελεστές εξωτερικής πίεσης για μονοκλινείς στέγες για $\theta = 0^\circ$ και $\theta = 180^\circ$

Γωνία Κλίσης α	Ζώνη για διεύθυνση ανέμου $\theta = 0^\circ$						Ζώνη για διεύθυνση ανέμου $\theta = 180^\circ$					
	F		G		H		F		G		H	
	$C_{pe.10}$	$C_{pe.1}$	$C_{pe.10}$	$C_{pe.1}$	$C_{pe.10}$	$C_{pe.1}$	$C_{pe.10}$	$C_{pe.1}$	$C_{pe.10}$	$C_{pe.1}$	$C_{pe.10}$	$C_{pe.1}$
5°	-1,7	-2,5	-1,2	-2,0	-0,6	-1,2	-2,3	-2,5	-1,3	-2,0	-0,8	-1,2
	+0,0		+0,0		+0,0							
15°	-0,9	-2,0	-0,8	-1,5	-0,3		-2,5	-2,8	-1,3	-2,0	-0,9	-1,2
	+0,2		+0,2		+0,2							
30°	-0,5	-1,5	-0,5	-1,5	-0,2		-1,1	-2,3	-0,8	-1,5	-0,8	
	+0,7		+0,7		+0,4							
45°	-0,0		-0,0		-0,0		-0,6	-1,3	-0,5		-0,7	
	+0,7		+0,7		+0,6							
60°	+0,7		+0,7		+0,7		-0,5	-1,0	-0,5		-0,5	
75°	+0,8		+0,8		+0,8		-0,5	-1,0	-0,5		-0,5	

Πίνακας 9: Συντελεστές εξωτερικής πίεσης για μονοκλινείς στέγες για $\theta = 90^\circ$

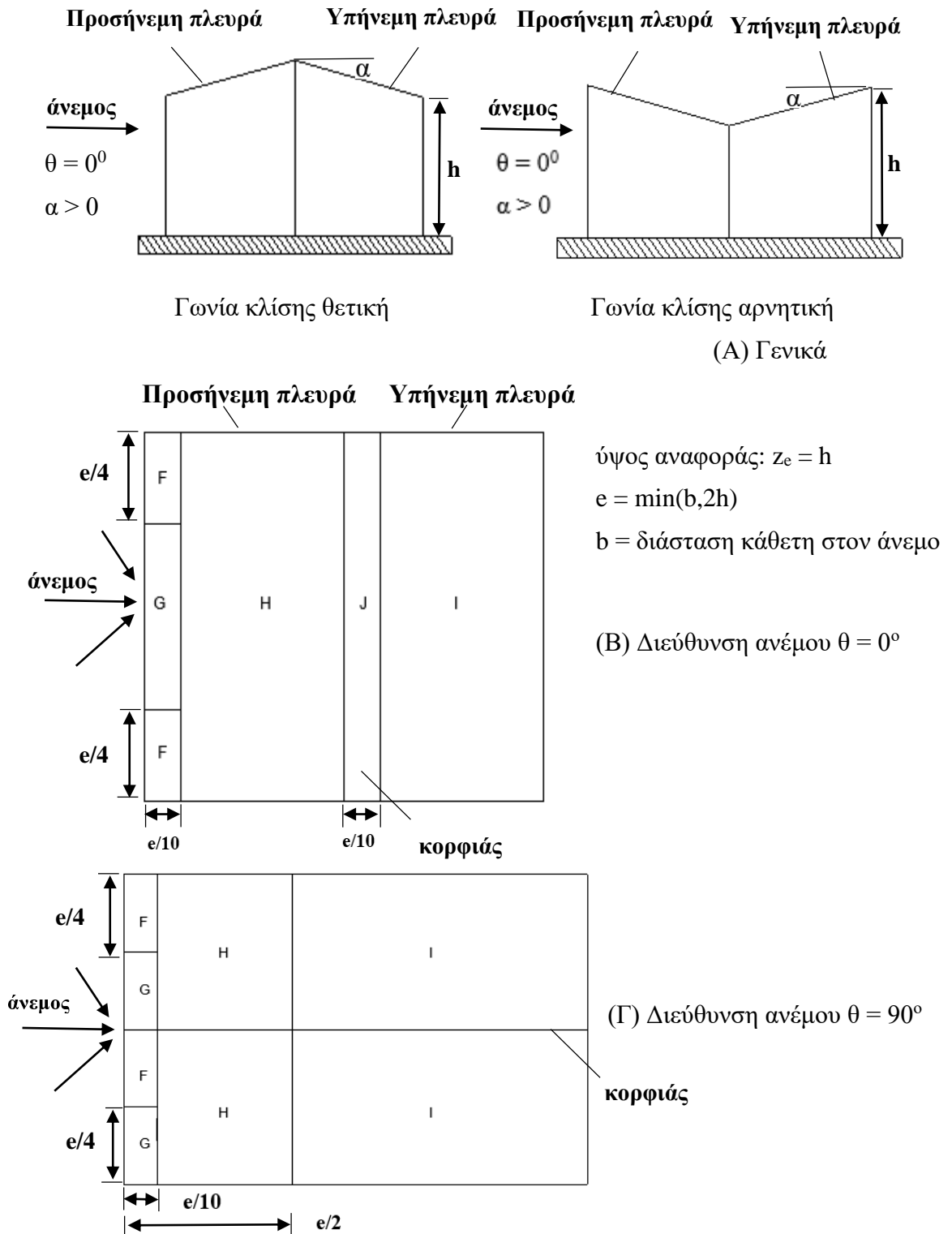
Γωνία Κλίσης α	Ζώνη για διεύθυνση ανέμου $\theta = 90^\circ$									
	F_{up}		F_{low}		G		H		I	
	$C_{pe.10}$	$C_{pe.1}$	$C_{pe.10}$	$C_{pe.1}$	$C_{pe.10}$	$C_{pe.1}$	$C_{pe.10}$	$C_{pe.1}$	$C_{pe.10}$	$C_{pe.1}$
5°	-2,1	-2,6	-2,1	-2,4	-1,8	-2,0	-0,6	-1,2	-0,5	
15°	-2,4	-2,9	-1,6	-2,4	-1,9	-2,5	-0,8	-1,2	-0,7	-1,2
30°	-2,1	-2,9	-1,3	-2,0	-1,5	-2,0	-1,0	-1,3	-0,8	-1,2
45°	-1,5	-2,4	-1,3	-2,0	-1,4	-2,0	-1,0	-1,3	-0,9	-1,2
60°	-1,2	-2,0	-1,2	-2,0	-1,2	-2,0	-1,0	-1,3	-0,7	-1,2
75°	-1,2	-2,0	-1,2	-2,0	-1,2	-2,0	-1,0	-1,3	-0,5	

Πηγή: EN 1991-1-4:2005

Σημείωση : σε περιπτώσεις όπου $\theta = 0^\circ$, τότε δίνεται για θετικές και αρνητικές τιμές μιας και η πίεση του ανέμου μεταβάλλεται γρήγορα μεταξύ των γωνιών με κλίση $\alpha = +5^\circ$ μέχρι $\alpha = +45^\circ$. Για αυτές τις στέγες γίνονται δύο διαφορετικές περιπτώσεις, όπου μια με θετικές τιμές και μία με τις αρνητικές τιμές, καθώς η ανάμιξη τους στην ίδια επιφάνεια δεν επιτρέπεται. Για τις ενδιάμεσες γωνίες κλίσης, μπορεί να εφαρμοστεί γραμμική παρεμβολή μεταξύ τιμών του ίδιου πρόσημου.

6.2.5 Δίκλινες Στέγες

Στο πιο κάτω Σχήμα 15 φαίνεται ο τρόπος με τον οποίο γίνεται η υποδιαίρεση για δίκλινες στέγες σε ζώνες. Στους Πίνακες 10 και 11 δίνονται οι συντελεστές εξωτερικής πίεσης.



Σχήμα 15: Συμβολισμοί ζωνών για δίκλινες στέγες

Πίνακας 10: Συντελεστές εξωτερικής πίεσης για δίκλινες στέγες για $\theta = 0^\circ$

Γωνία Κλίσης α	Ζώνη διεύθυνσης ανέμου για $\theta = 0^\circ$									
	F		G		H		I		J	
	$C_{pe.10}$	$C_{pe.1}$	$C_{pe.10}$	$C_{pe.1}$	$C_{pe.10}$	$C_{pe.1}$	$C_{pe.10}$	$C_{pe.1}$	$C_{pe.10}$	$C_{pe.1}$
-45°	-0,6		-0,6		-0,8		-0,7		-1,0	-1,5
-30°	-1,1	-2,0	-0,8	-1,5	-0,8		-0,6		-0,8	-1,4
-15°	-2,5	-2,8	-1,3	-2,0	-0,9	-1,2	-0,5		-0,7	-1,2
-5°	-2,3	-2,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,2	+0,2		+0,2	
							-0,6		-0,6	
5°	-1,7	-2,5	-1,2	-2,0	-0,6	-1,2	-0,6		+0,2	
	+0,0		+0,0		+0,0				-0,6	
15°	-0,9	-2,0	-0,8	-1,5	-0,3		-0,4		-1,0	-1,5
	+0,2		+0,2		+0,2		+0,0		+0,0	+0,0
30°	-0,5	-1,5	-0,5	-1,5	-0,2		-0,4		-0,5	
	+0,7		+0,7		+0,4		+0,0		+0,0	
45°	-0,0		-0,0		-0,0		-0,2		-0,3	
	+0,7		+0,7		+0,6		+0,0		+0,0	
60°	+0,7		+0,7		+0,7		-0,2		-0,3	
75°	+0,8		+0,8		+0,8		-0,2		-0,3	

Πηγή: EN 1991-1-4:2005

Σημείωση: σε περιπτώσεις όπου $\theta = 0^\circ$ η πίεση αλλάζει γρήγορα μεταξύ των θετικών και αρνητικών τιμών, στην προσήνεμη όψη γύρω από τη γωνιά της οροφής με κλίση από $\alpha = -5^\circ$ έως $\alpha = +45^\circ$, τότε δίνεται και για θετικές αλλά και αρνητικές τιμές. Για αυτό το είδος της στέγης γίνεται σε τέσσερις διαφορετικές παραδοχές στις οποίες οι μικρότερες τιμές των επιφανειών F, G και H συνδυάζονται με τις μικρότερες ή τις μεγαλύτερες τιμές των επιφανειών I και J. Ο συνδυασμός των θετικών και αρνητικών τιμών στην ίδια επιφάνεια πρέπει να αποφεύγεται.

Η γραμμική παρεμβολή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ενδιάμεσες τιμές γωνιών κλίσεων του ίδιου πρόσημου αλλά όχι δεν επιτρέπεται μεταξύ των γωνιών με κλίση $\alpha = +5^\circ$ και $\alpha = -5^\circ$ όπου χρησιμοποιούνται οι τιμές για στέγες.

Πίνακας 11: Συντελεστές εξωτερικής πίεσης για δίκλινες στέγες για $\theta = 90^\circ$

Γωνία Κλίσης α	Ζώνη διεύθυνσης ανέμου για $\theta = 90^\circ$							
	F		G		H		I	
	$C_{pe.10}$	$C_{pe.1}$	$C_{pe.10}$	$C_{pe.1}$	$C_{pe.10}$	$C_{pe.1}$	$C_{pe.10}$	$C_{pe.1}$
-45°	-1,4	-2,0	-1,2	-2,0	-1,0	-1,3	-0,9	-1,2
-30°	-1,5	-2,1	-1,2	-2,0	-1,0	-1,3	-0,9	-1,2
-15°	-1,9	-2,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,2	-0,8	-1,2
-5°	-1,8	-2,5	-1,2	-2,0	-0,7	-1,2	-0,6	-1,2
5°	-1,6	-2,2	-1,3	-2,0	-0,7	-1,2	-0,6	
15°	-1,3	-2,0	-1,3	-2,0	-0,6	-1,2	-0,5	
30°	-1,1	-1,5	-1,4	-2,0	-0,8	-1,2	-0,5	
45°	-1,1	-1,5	-1,4	-2,0	-0,9	-1,2	-0,5	
60°	-1,1	-1,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,0	-0,5	
75°	-1,1	-1,5	-1,2	-2,0	-0,9	-1,0	-0,5	

Πηγή: EN 1991-1-4:2005

6.3 Εσωτερική πίεση

Η εσωτερική πίεση όπως φαίνεται και από την §3.4 πρέπει να θεωρείται ότι επιδρά επάνω στις κατασκευές την ίδια στιγμή με τις εξωτερικές πιέσεις. Για αυτό και ο δυσμενέστερος συνδυασμός των εξωτερικών και εσωτερικών πιέσεων πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και να γίνεται ο υπολογισμός για κάθε δυνατών ανοιγμάτων του κτιρίου.

Ο συντελεστής εσωτερικής πίεσης c_{pi} , κατά κύριο λόγο εξαρτάται από τα γεωμετρικά στοιχεία και την κατανομή των ανοιγμάτων του κτιρίου. Όταν υπάρχουν τουλάχιστον δύο πλευρές ενός κτιρίου του οποίου η συνολική επιφάνεια των ανοιγμάτων σε κάθε πλευρά

είναι 30% της επιφάνειας αυτής ,τότε ο υπολογισμός των δράσεων που ασκούνται επάνω στην κατασκευή γίνεται ο ίδιος με αυτών των στεγάστρων, στηθαίων ή και φρακτών.

Επίσης, στην περίπτωση όπου υπάρχει κυρίαρχο εξωτερικό άνοιγμα και θεωρείται κλειστό κατά την οριακή κατάσταση αστοχίας και σε περίπτωσης διάρκειας μιας ανεμοθύελλας ανοίξει, τότε το αποτέλεσμα αυτής της κατάστασης θεωρείται ξαφνική κατάσταση.

Κυρίαρχη πλευρά μιας κατασκευής θεωρείται η πλευρά στην οποία επιφάνεια των ανοιγμάτων της είναι δύο φορές μεγαλύτερη από το συνολικό άθροισμα της επιφάνειας των ανοιγμάτων και λοιπών σημείων διαρροής των υπόλοιπων πλευρών του κτιρίου.

Σε περίπτωση όπου υπάρχει μια κυρίαρχη πλευρά, τότε η εσωτερική πίεση υπολογίζεται από ένα κλάσμα της εξωτερικής πίεσης που δίνονται στις σχέσεις που ακολουθούν:

- 1) Όταν η επιφάνεια των ανοιγμάτων της κυρίαρχης πλευράς είναι δύο φορές της επιφάνειας των ανοιγμάτων των υπολοίπων πλευρών τότε:

$$c_{pi} = 0,75 \cdot c_{pe}$$

- 2) Όταν η επιφάνεια των ανοιγμάτων της κυρίαρχης πλευράς είναι τουλάχιστο τρεις φορές από την επιφάνεια των ανοιγμάτων από την επιφάνεια των ανοιγμάτων των υπολοίπων πλευρών, τότε:

$$c_{pi} = 0,90 \cdot c_{pe}$$

Όπου:

c_{pe} = η τιμή για τον συντελεστή εξωτερικής πίεσης στα κυρίαρχα ανοίγματα της όψης. Όταν αυτά τα ανοίγματα βρίσκονται σε ζώνες με διαφορετικές τιμές ζωνών και με διαφορετικές τιμές των εξωτερικών πιέσεων της επιφάνειας έχουν την ίδια βαρύτητα της μέσης τιμής c_{pe} .

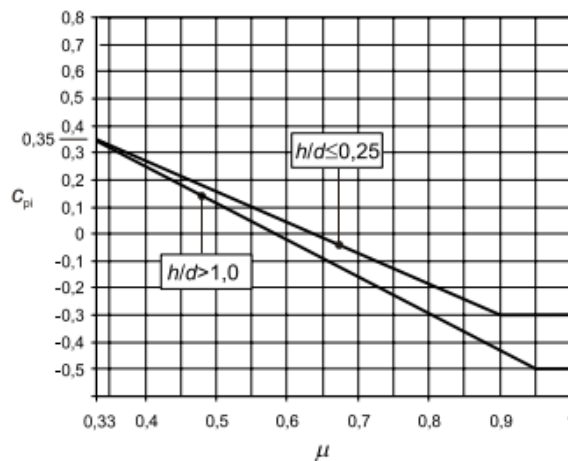
- 3) Όταν η επιφάνεια των ανοιγμάτων της κυρίαρχης πλευράς βρίσκεται μεταξύ του διπλάσιου και τριπλασίου της επιφάνειας των ανοιγμάτων των υπολοίπων πλευρών, τότε για τον υπολογισμό της εσωτερικής πίεσης c_{pi} χρησιμοποιείται η γραμμική παρεμβολή.

Για κτίρια χωρίς κυρίαρχη πλευρά, ο συντελεστής εσωτερικής πίεσης υπολογίζεται από το Διάγραμμα 8 συναρτήσει του λόγου του ύψους προς το βάθος του κτιρίου h/d και του

λόγου του των ανοιγμάτων μ για κάθε διεύθυνση θ του άνεμου και δίνεται από τη πιο κάτω σχέση:

$$\mu = \frac{\text{Σεπιφάνεια ανοιγμάτων}}{\text{Σεπιφάνεια όλων των ανοιγμάτων}}$$

Η σχέση αυτή χρησιμοποιείται στις πλευρές και στην οροφή κτιρίων με ή χωρίς εσωτερικά διαχωριστικά. Όπου δεν μπορεί να υπολογιστεί σωστά το μ , σε αυτή την περίπτωση ο συντελεστής εσωτερικής πίεσης c_{pe} πρέπει να θεωρείται ως τα πλέον δυσμενές από +0,2 και -0,3. (EN 1991-1-4:2005)



Διάγραμμα 8: Συντελεστές εσωτερικής πίεσης για ομοιόμορφα κατανεμημένα ανοίγματα (EN 1991-1-4:2005)

Στις πλευρές στις οποίες τα ανοίγματα τους συνεισφέρουν στη δημιουργία εσωτερικής πίεσης, το ύψος αναφοράς z_i για τις εσωτερικές πιέσεις ισούται με το ύψος αναφοράς z_e για τις εξωτερικές πιέσεις. Σε περίπτωση που υπάρχουν πολλά ανοίγματα, ως z_i θα χρησιμοποιείται η μεγαλύτερη τιμή του z_e .

Ο συντελεστής εσωτερικής πίεσης c_{pi} ανοικτών σιλό και καπνοδόχων δίνεται από τη πιο κάτω σχέση:

$$c_{pi} = -0,60$$

Και για δεξαμενές με μικρά ανοίγματα από τη σχέση:

$$C_{pi} = -0,40$$

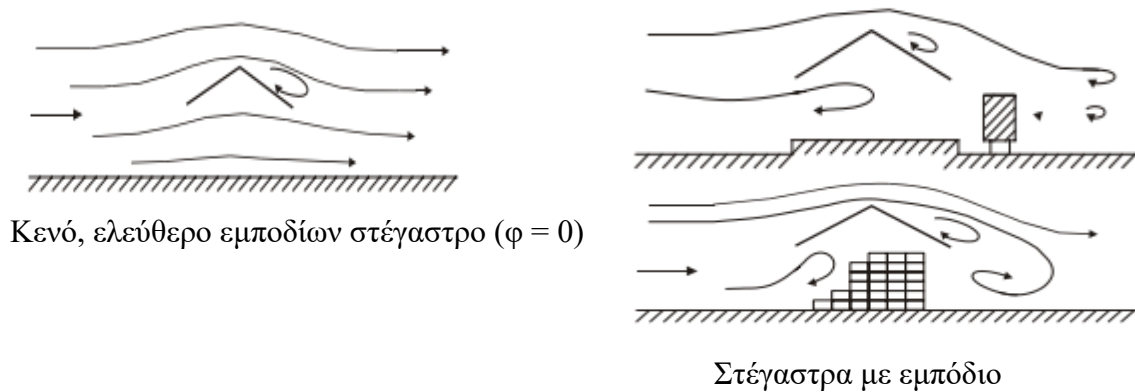
ενώ το ύψος αναφοράς z_i λαμβάνεται ίσο με το ύψος της κατασκευής.

6.4 Στέγαστρα

6.4.1 Γενικά

Στην συγκεκριμένη κατηγορία θεωρούνται στέγαστρα οι στέγες των κτιρίων και των κατασκευών των οποίων δεν έχουν μόνιμους τοίχους όπως π.χ αποθήκες, στέγαστρα σε σταθμούς αυτοκινήτων, σε πρατήρια υγρών καυσίμων, σε αχυρώνες ανοικτοί περιμετρικά. (Ερμόπουλος 1997)

Στο Σχήμα 16 παρουσιάζεται η ροή του ανέμου για τις περιπτώσεις όπου το στέγαστρο είναι κενό ή περιλαμβάνει αποθηκευμένα αγαθά, τα οποία δημιουργούν ένα φυσικό εμπόδιο ως αποτέλεσμα να αλλοιώνεται η ροή του ανέμου.



Σχήμα 16: Ροή του ανέμου σε στέγαστρα (EN 1991-1-4:2005)

Ο βαθμός εμποδίου δίνεται από το λόγο πληρότητας φ , όπου:

$$\varphi = \frac{\text{επιφάνεια εμποδίων κάτω από το στέγαστρο}}{\text{Σεπιφάνεια κάτω από το στέγαστρο}}$$

Για τις δύο επιφάνειες αυτές μετρούνται επί κατακόρυφου επιπέδου καθέτου προς τη διεύθυνση του ανέμου.

Σε περίπτωση όπου δεν υπάρχει εμπόδιο κάτω από το στέγαστρο ο λόγος πληρότητας είναι $\varphi = 0$, ενώ για ένα στέγαστρο όπου υπάρχει πλήρης παρεμπόδιση της ροής του στην υπήνεμη πλευρά του με $\varphi = 1$.

Ο συντελεστής δύναμης c_f αναφέρεται στην συνολική δύναμη και συντελεστής τελικής πίεσης $c_{p,net}$ για $\varphi = 0$ και $\varphi = 1$. Οι δύο αυτοί συντελεστές φαίνονται στον Πίνακα 12 και 13 αντίστοιχα όπως δίνονται μέσα από τον EN 1991-1-4:2005. Σε περιπτώσεις όπου υπάρχουν ενδιάμεσες τιμές τότε χρησιμοποιείται η γραμμική παρεμβολή. Ο συνολικός συντελεστής αντιπροσωπεύει τη συνισταμένη δύναμη ενώ ο τοπικός συντελεστής αντιπροσωπεύει τη μέγιστη τοπική δύναμη που δρα σε διαφορετικές διευθύνσεις του ανέμου.

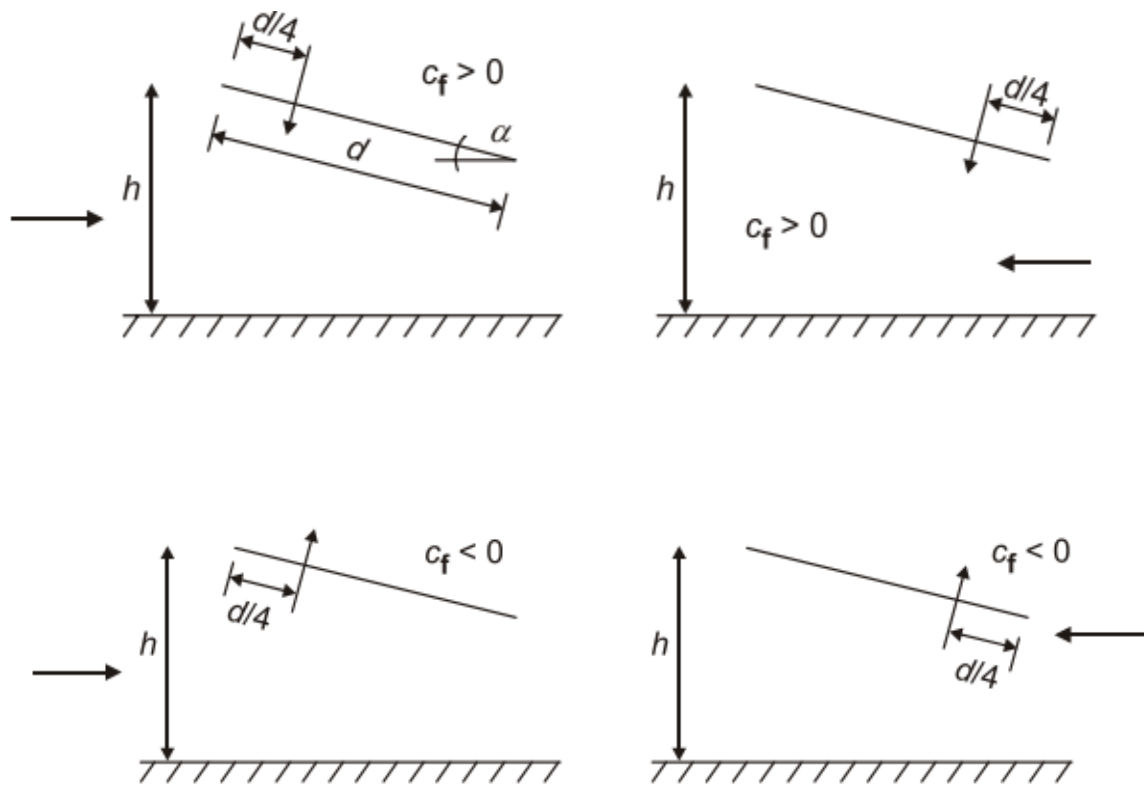
Η συνολική συνισταμένη σε μονόκλινα στέγαστρα δρα σε απόσταση $d/4$ από το προσήνεμο άκρο, ενώ σε δίκλινα στέγαστρα δρα στο μέσο κάθε κεκλιμένης επιφάνειας όπως φαίνεται στο Σχήμα 17 και 18. Για τα δίκλινα στέγαστρα είναι απαραίτητο να εξετάζονται και για δυσμενείς φορτίσεις (μέγιστο ή ελάχιστο φορτίο στη μια κεκλιμένη επιφάνεια αφόρτιστη η άλλη). (Ερμόπουλος 1997)

6.4.2 Μονόκλινα στέγαστρα

Πίνακας 12: Τιμές συντελεστών $c_{p,net}$ και c_f για μονόκλινη στέγαστρα

Γωνία στέγης α	Βαθμός πληρότητας φ	Συνολικοί συντελεστές δύναμης c_f	Ζώνη A	Ζώνη B	Ζώνη C
0°	Max. για όλα τα φ	+0,2	+0,5	+1,8	+1,1
	Min. για $\varphi = 0$	-0,5	-0,6	-1,3	-1,4
	Min. για $\varphi = 1$	-1,3	-1,5	-1,8	-2,2
5°	Max. για όλα τα φ	+0,4	+0,8	+2,1	+1,3
	Min. για $\varphi = 0$	-0,7	-1,1	-1,7	-1,8
	Min. για $\varphi = 1$	-1,4	-1,6	-2,2	-2,5
10°	Max. για όλα τα φ	+0,5	+1,2	+2,4	+1,6
	Min. για $\varphi = 0$	-0,9	-1,5	-2,0	-2,1
	Min. για $\varphi = 1$	-1,4	-2,1	-2,6	-2,7
15°	Max. για όλα τα φ	+0,7	+1,4	+2,7	+1,8
	Min. για $\varphi = 0$	-1,1	-1,8	-2,4	-2,5
	Min. για $\varphi = 1$	-1,4	-1,6	-2,9	-3,0
20°	Max. για όλα τα φ	+0,8	+1,7	+2,9	+2,1
	Min. για $\varphi = 0$	-1,3	-2,2	-2,8	-2,9
	Min. για $\varphi = 1$	-1,4	-1,6	-2,9	-3,0
25°	Max. για όλα τα φ	+1,0	+2,0	+3,1	+2,3
	Min. για $\varphi = 0$	-1,6	-2,6	-3,2	-3,2
	Min. για $\varphi = 1$	-1,4	-1,5	-2,5	-2,8
30°	Max. για όλα τα φ	+1,2	+2,2	+3,2	+2,4
	Min. για $\varphi = 0$	-1,8	-3,0	-3,8	-3,6
	Min. για $\varphi = 1$	-1,4	-1,5	-2,2	-2,7

Θα πρέπει να σημειωθεί για τιμές με θετικό πρόσημο (+) δηλώνουν τη δράση του ανέμου με διεύθυνση προς τα κάτω ενώ για τιμές με αρνητικό πρόσημο (-) η δράση του ανέμου έχει φορά προς τα πάνω.



Σχήμα 17: Θέση του κέντρου δύναμης για μονοκλινείς στέγαστρα (EN 1991-1-4:2005)

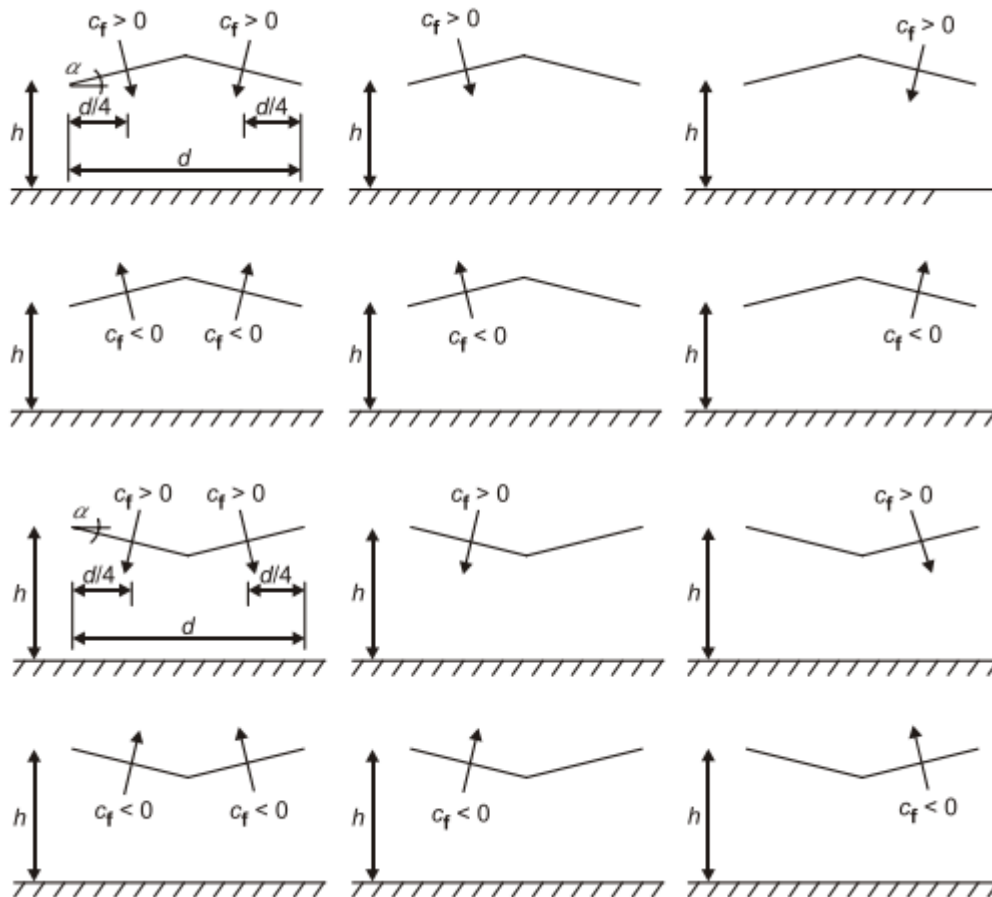
6.4.3 Δίκλινα Στέγαστρα

Πίνακας 13: Τιμές συντελεστών $c_{p,net}$ και c_f για δίκλινα στέγαστρα

Γωνία στέγης α	Βαθμός πληρότητας φ	Συνολικοί συντελεστές δύναμης c_f	Ζώνη A	Ζώνη B	Ζώνη C	Ζώνη D
-20°	Max. για όλα τα φ	+0,7	+0,8	+1,6	+0,6	+1,7
	Min. για $\varphi = 0$	-0,7	-0,9	-1,3	-1,6	-0,6
	Min. για $\varphi = 1$	-1,3	-1,5	-2,4	-2,4	-0,6
-15°	Max. για όλα τα φ	+0,5	+0,6	+1,5	+0,7	+1,4
	Min. για $\varphi = 0$	-0,6	-0,8	-1,3	-1,6	-0,6
	Min. για $\varphi = 1$	-1,4	-1,6	-2,7	-2,6	-0,6
-10°	Max. για όλα τα φ	+0,4	+0,6	+1,4	+0,8	+1,1
	Min. για $\varphi = 0$	-0,6	-0,8	-1,3	-1,5	-0,6
	Min. για $\varphi = 1$	-1,4	-1,6	-2,7	-2,6	-0,6
-5°	Max. για όλα τα φ	+0,3	+0,5	+1,5	+0,8	+0,8
	Min. για $\varphi = 0$	-0,5	-0,7	-1,3	-1,6	-0,6
	Min. για $\varphi = 1$	-1,3	-1,5	-2,4	-2,4	-0,6
$+5^\circ$	Max. για όλα τα φ	+0,3	+0,6	+1,8	+1,3	+0,4
	Min. για $\varphi = 0$	-0,6	-0,6	-1,4	-1,4	-1,1
	Min. για $\varphi = 1$	-1,3	-1,3	-2,0	-1,8	-1,5
$+10^\circ$	Max. για όλα τα φ	+0,4	+0,7	+1,8	+1,4	+0,4
	Min. για $\varphi = 0$	-0,8	-0,7	-1,5	-1,4	-1,4
	Min. για $\varphi = 1$	-1,3	-1,3	-2,0	-1,8	-1,8

+15°	Μακ. για όλα τα φ	+0,4	+0,9	+1,9	+1,4	+0,4
	Μιν. για φ = 0	-0,8	-0,9	-1,7	-1,4	-1,8
	Μιν. για φ = 1	-1,3	-1,3	-2,2	-1,6	-2,1
+20°	Μακ. για όλα τα φ	+0,6	+1,1	+1,9	+1,5	+0,4
	Μιν. για φ = 0	-0,9	-1,2	-1,8	-1,4	-2,0
	Μιν. για φ = 1	-1,3	-1,4	-2,2	-1,6	-2,1
+25°	Μακ. για όλα τα φ	+0,7	+1,2	+1,9	+1,6	+0,5
	Μιν. για φ = 0	-1,0	-1,4	-1,9	-1,4	-2,0
	Μιν. για φ = 1	-1,3	-1,4	-2,0	-1,5	-2,0
+30°	Μακ. για όλα τα φ	+0,9	+1,3	+1,9	+1,6	+0,7
	Μιν. για φ = 0	-1,0	-1,4	-1,9	-1,4	-2,0
	Μιν. για φ = 1	-1,3	-1,4	-1,8	-1,4	-2,0

Θα πρέπει να σημειωθεί για τιμές με θετικό πρόσημο (+) δηλώνουν τη δράση του ανέμου με διεύθυνση προς τα κάτω ενώ για τιμές με αρνητικό πρόσημο (-) η δράση του ανέμου έχει φορά προς τα πάνω.



Σχήμα 18: Θέση του κέντρου δύναμης για δικλινείς στέγαστρα (EN 1991-1-4:2005)

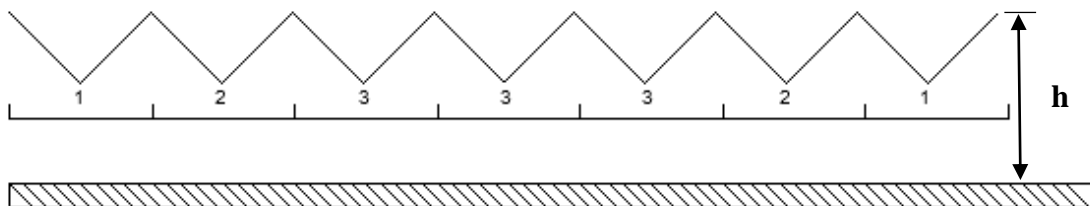
6.4.4 Επαναλαμβανόμενα δίκλινεις στέγαστρα

Στην περίπτωση όπου υπάρχουν επαναλαμβανόμενα δίκλινη στέγαστρα όπως στο Σχήμα 19 εφαρμόζονται οι μειωτικοί συντελεστές του Πίνακα 14 για να υπολογισμοί της συνολικής δύναμης και μεμονωμένα δίκλινα στέγαστρα. Θα πρέπει και στα στέγαστρα να λαμβάνονται υπόψη οι δυνάμεις τριβής. Το ύψος αναφοράς λαμβάνεται ίσο με $z_e = h$. (Ερμόπουλος 1997)

Πίνακας 14: Μειωτικός συντελεστής για επαναλαμβανόμενα στέγαστρα

Φάτνωμα	Θέση	Μειωτικός συντελεστής για όλα τα ϕ	
		Μέγιστος συντελεστής πίεσης και δύναμης (προς τα κάτω)	Ελάχιστος συντελεστής πίεσης και δύναμης (προς τα άνω)
1	Ακραίο φάτνωμα	1,00	0,81
2	Δεύτερο φάτνωμα	0,87	0,64
3	Τρίτο και διαδοχικά φανώματα	0,68	0,63

Πηγή: (Ερμόπουλος 1997)



Σχήμα 19: Επαναλαμβανόμενα στέγαστρα

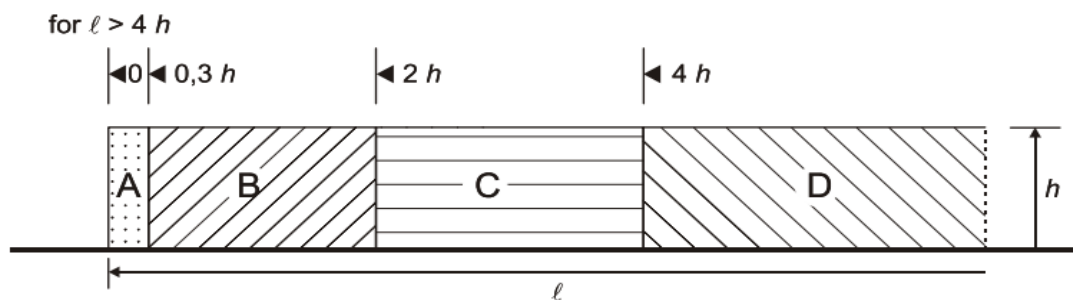
6.5 Ελεύθεροι διαχωριστικοί τοίχοι, στηθαία, φράκτες και πινακίδες σήμανσης

Για τους διαχωριστικούς τοίχους και στηθαία είναι αναγκαίο να διαχωριστούν σε διάφορες ζώνες όπως φαίνεται και στο Σχήμα 20. Σε κάθε ζώνη εφαρμόζεται ανάλογα ο απαραίτητος συντελεστής τελικής πίεσης που εξαρτάται κυρίως από το λόγο της πληρότητας ϕ . Όλες οι τιμές των συντελεστών για ελεύθερους διαχωριστικούς τοίχους είναι σύμφωνα με τον Πίνακα 15. Για λόγους πληρότητας $0,8 < \phi < 1$ είναι αναγκαίο να γίνεται γραμμική παρεμβολή.

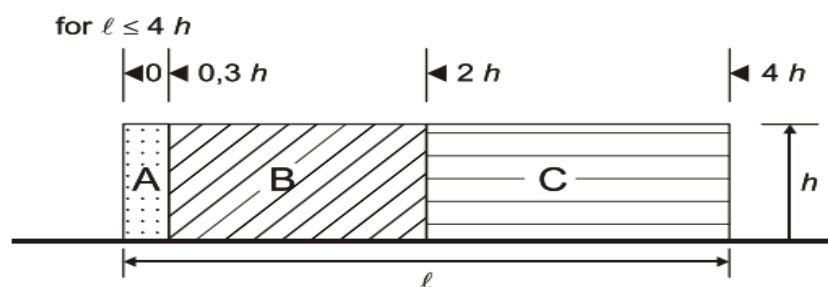
Σε περιπτώσεις όπου υπάρξουν πορώδεις τοίχοι ή ακόμη και φράκτες με λόγο πληρότητας $\phi \leq 0,8$, τότε οι συντελεστές υπολογίζονται όπως γίνεται στα επίπεδα δικτυώματα. (Ερμόπουλος 1997)

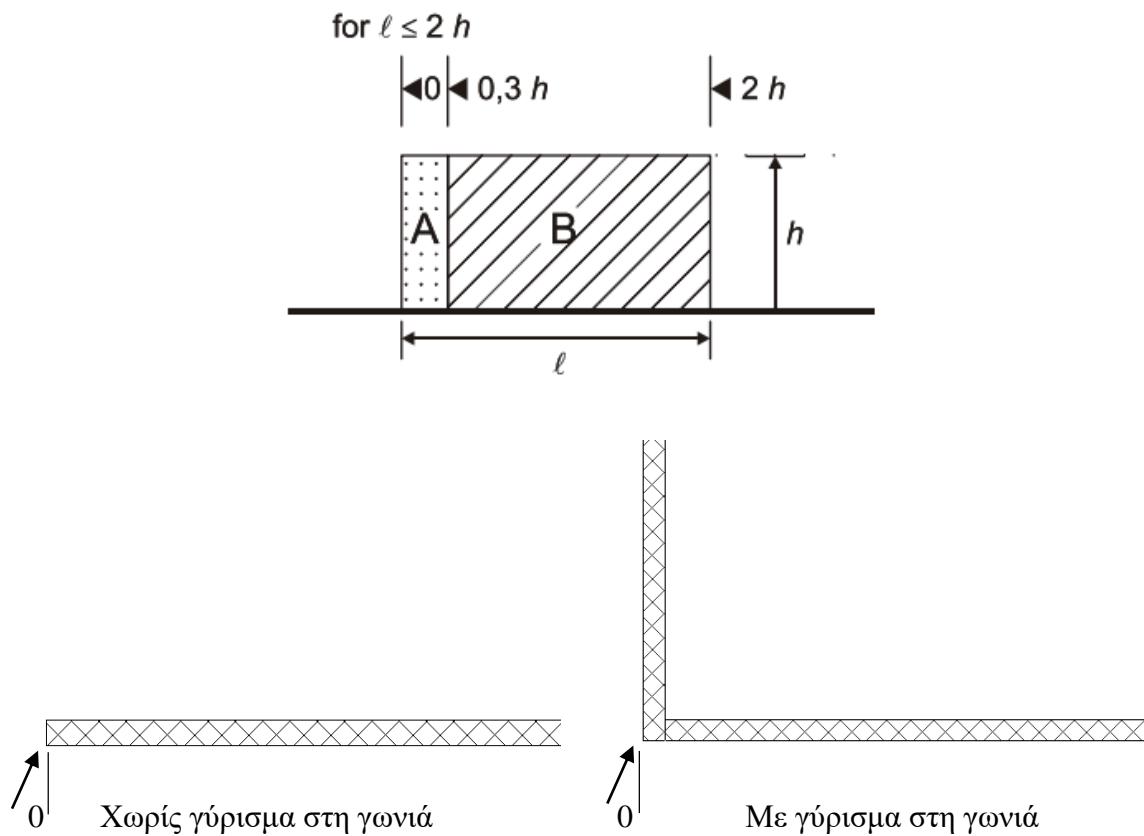
6.5.1 Ελεύθεροι διαχωριστικοί τοίχοι και στηθαία

Για τους διαχωριστικούς τοίχους και στηθαία είναι αναγκαίο να διαχωριστούν και να χωριστούν σε διάφορες ζώνες όπως φαίνεται και στο Σχήμα 20. Σε κάθε ζώνη εφαρμόζεται ανάλογα ο απαραίτητος συντελεστής καθαρής πίεσης $C_{p,net}$ που εξαρτάται κυρίως από το λόγο της πληρότητας ϕ . Όλες οι τιμές των συντελεστών για ελεύθερους διαχωριστικούς τοίχους είναι σύμφωνα με τον Πίνακα 15.



ύψος αναφοράς: $z_e = h$





Σχήμα 20: Καθορισμός ζωνών για διαχωριστικούς τοίχους (EN 1991-1-4:2005)

Πίνακας 15: Συντελεστές πίεσης $c_{p,net}$ για διαχωριστικούς τοίχους και στηθαία

Πληρότητα	Ζώνη		A	B	Γ	Δ
$\varphi = 1$	Χωρίς γύρισμα στις γωνίες	$l/h \leq 3$	2,2	1,4	1,2	1,2
		$l/h = 5$	2,9	1,8	1,4	1,2
		$l/h \geq 10$	3,4	2,1	1,7	1,2
	Με γύρισμα στις γωνίες μήκους $\geq h^a$		2,1	1,8	1,4	1,2
$\varphi = 0,8$			1,2	1,2	1,2	1,2

Πηγή: (Ερμόπουλος 1997)

Σε περιπτώσεις όπου το μήκος του γυρίσματος στις γωνίες κυμαίνεται από 0,0 και h, τότε μπορεί να χρησιμοποιηθεί η γραμμική παρεμβολή για ορισμό της τιμής.

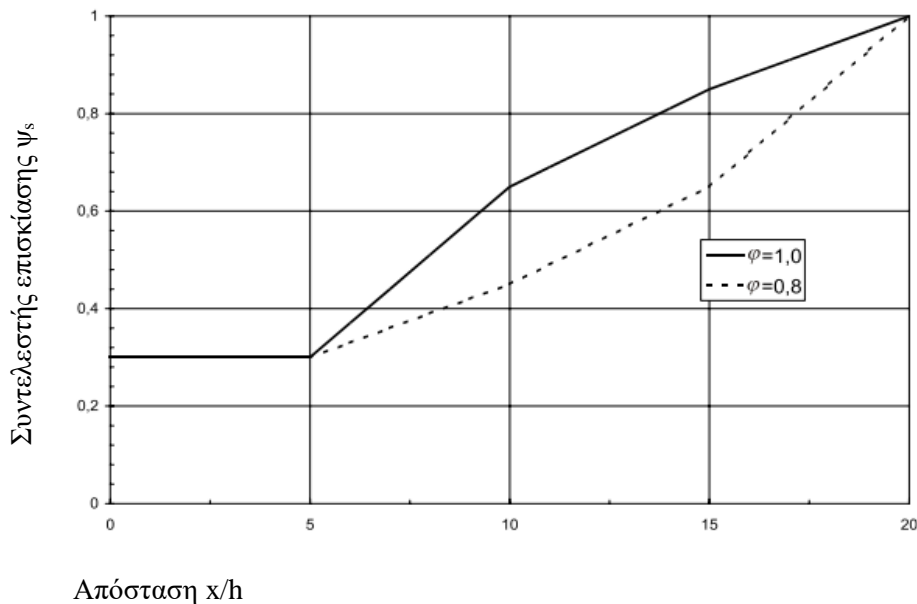
Σημείωση

- Το ύψος αναφοράς για τους ελεύθερα διαχωριστικούς τοίχους είναι ίσο με $z_e = h$.
- Το ύψος αναφοράς για στηθαία σε κτίρια είναι ίσο με $z_e = (h+h_p)$.

Σε περίπτωση όπου υπάρχουν άλλοι τοίχοι ή και φράκτες, ιδίου ή και μεγαλύτερου ύψους από τον υπό εξέταση τοίχο ή φράκτη στη διεύθυνση του ανέμου χρησιμοποιείται ένας συντελεστής προστασίας ψ_s . Μαζί με τους αντίστοιχους συντελεστές τελικής πίεσης ο οποίος εξαρτάται από την απόσταση x μεταξύ των τοίχων ή φρακτών και από το συντελεστή πληρότητας ϕ του προσήνεμου τοίχου ή φράκτη. Έτσι ο συντελεστής πίεσης $c_{p,net,s}$ του προστατευόμενου τοίχου υπολογίζεται από τη σχέση:

$$c_{p,net,s} = \psi_s \cdot c_{p,net}$$

Αναφέρεται ότι αυτός ο συντελεστής δε μπορεί να χρησιμοποιηθεί στις ακραίες ζώνες σε απόσταση h από το ελεύθερο άκρο του τοίχου. Στο Διάγραμμα 9 δίνονται οι συντελεστές προστασίας ψ_s για τοίχους και φράκτες.



Διάγραμμα 9: Συντελεστές προστασίας ψ_s για τοίχους και φράκτες (EN 1991-1-4:2005)

6.5.2 Πινακίδες σήμανσης

Για πινακίδες σήμανσης όπου η απόστασή τους από το έδαφος ύψος είναι z_g είναι μεγαλύτερη από $h/4$, τότε ο υπολογισμός του συντελεστή δύναμης χρησιμοποιείται η πιο κάτω σχέση:

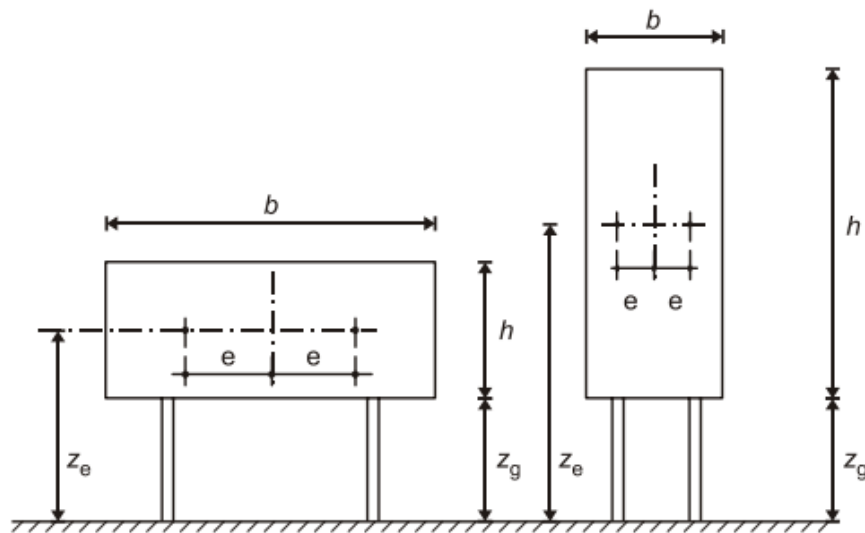
$$c_f = 1,80$$

Η πιο πάνω σχέση μπορεί να εφαρμοστεί και σε περιπτώσεις όπου το z_g είναι μικρότερο από $h/4$ και $b/h > 1$. Ως τοίχοι αντιμετωπίζονται στην περίπτωση όπου $z_g < h/4$ και έχουν λόγο πλάτους ύψους $b/h > 1$.

Η συνισταμένη κάθετη δύναμη που δρα προς τη πινακίδα, θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ότι δρα στο ύψος του κέντρου της πινακίδας με οριζόντια εκκεντρότητα e . Στην πιο κάτω σχέση φαίνεται πως υπολογίζεται η τιμή του e :

$$e = \pm b/4$$

Για τον πλήρη υπολογισμό των δυνάμεων στις πινακίδες η επιφάνεια αναφοράς $A_{ref} = b \cdot h$ και το ύψος αναφοράς με $z_g = z_g + h/2$. Οι συμβολισμοί για τις πινακίδες σήμανσης φαίνονται στο Σχήμα 21. (EN 1991-1-4:2005)



Σχήμα 21: Συμβολισμοί των πινακίδων σήμανσης (EN 1991-1-4:2005)

6.6 Κατασκευαστικά στοιχεία με ορθογωνική διατομή

Για κατασκευαστικά στοιχεία με ορθογωνική διατομή είναι αναγκαίο να γίνει ο υπολογισμός του συντελεστή δύναμης c_f , θεωρώντας ότι το φορτίο του ανέμου ασκείται εγκάρσια σε μια από τη πλευρά της δομή. Για την εύρεση του συντελεστή δύναμης δίνεται από τη πιο κάτω σχέση:

$$c_f = c_{f,0} \cdot \psi_r \cdot \psi_l$$

Όπου:

$c_{f,0}$ = ο συντελεστής δύναμης ορθογωνικών διατομών με αιχμηρές γωνιές και χωρίς ροή ελεύθερων άκρων όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 10

ψ_r = ο μειωτικός συντελεστής με τετραγωνική διατομή και στρογγυλεμένες γωνιές όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 11

ψ_l = ο μειωτικός συντελεστής για στοιχεία με πεπερασμένο λόγο λυγηρότητας

Η επιφάνεια αναφοράς A_{ref} του ορθογωνικού στοιχείου είναι ίση με:

$$A_{ref} = l \cdot b$$

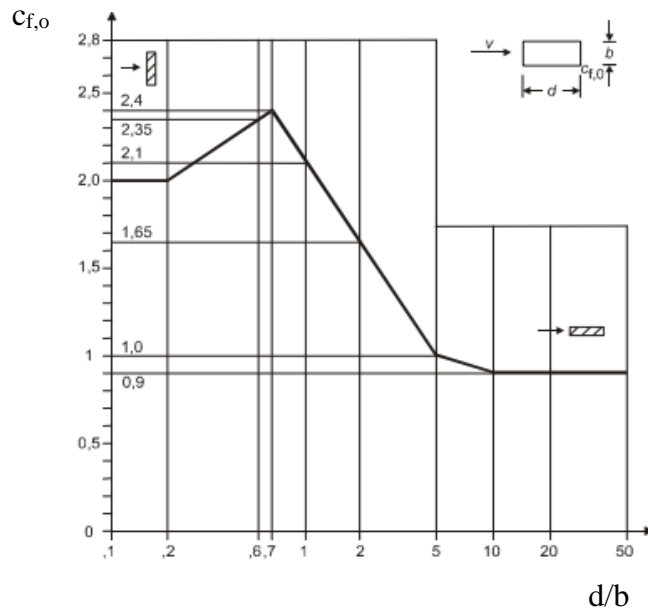
Όπου:

l = μήκος

b = πλάτος

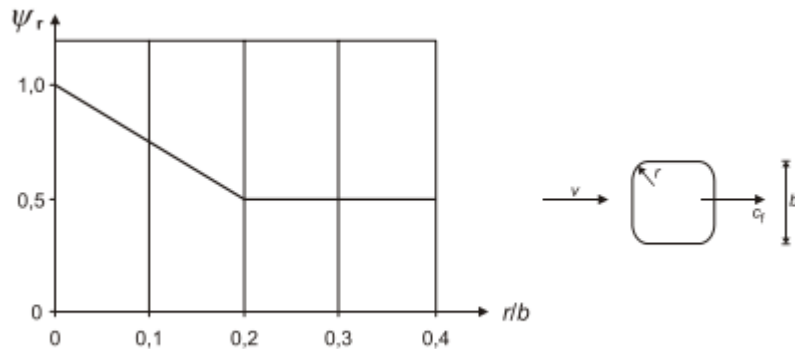
Σημείωση: Σε περιπτώσεις πλακοειδών διατομών όπου ($d/b < 0,2$), τότε μπορεί να υπάρξει η πιθανότητα οι δυνάμεις ανύψωσης να δημιουργήσουν μια αύξηση στις τιμές του συντελεστή c_f έως και 25% για ορισμένες γωνιές όπου δρα ο άνεμος.

Το ύψος αναφοράς είναι ίσο με το μέγιστο ύψος από το έδαφος της θεωρούμενης διατομής.



Διάγραμμα 10: Συντελεστής δύναμης $c_{f,o}$ για ορθογωνική διατομή με αιχμηρές άκρες και χωρίς ροή ελεύθερων άκρων (EN 1991-1-4:2005)

Σημείωση: το πιο πάνω σχήμα χρησιμοποιείται και για κτίρια όπου $h/d > 5,0$



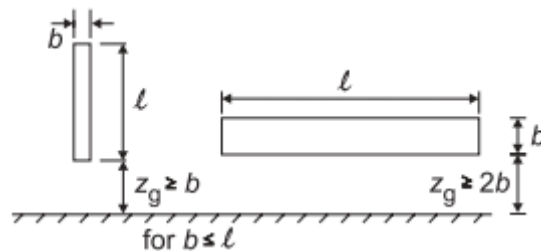
Διάγραμμα 11: Μειωτικός συντελεστής ψ_r τετραγωνικών διατομών με στρογγυλεμένες ακμές (EN 1991-1-4:2005)

6.7 Ενεργός λυγηρότητα λ και μειωτικός συντελεστής λυγηρότητας

ψ_λ

Η ενεργός λυγηρότητα λ εξαρτάται από τις διαστάσεις που έχει μια κατασκευή και παρουσιάζεται πιο κάτω για κάθε περίπτωση. Ενώ από την άλλη οι τιμές του μειωτικού συντελεστή λυγηρότητας ψ_λ συναρτηθεί της τιμής του λ και του λόγου πληρότητας φ υπολογίζονται όπως φαίνεται πιο κάτω στα σχήματα και στο Διάγραμμα 12:

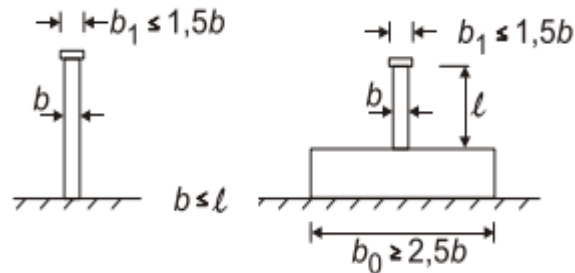
- 1) Πολυγωνικές, ορθογωνικές διατομές και με αιχμηρές γωνίες



Για $l \geq 50$ m τότε $\lambda = \min(1,4l/b, 70)$

Για $l < 15$ m τότε $\lambda = \min(2l/b, 70)$

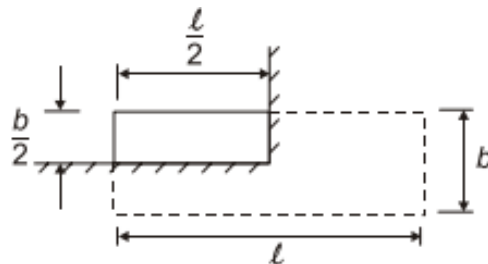
- 2) Κυκλικοί κύλινδροι



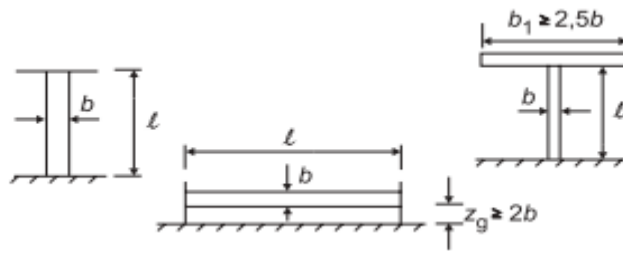
Για $l \geq 50$ m τότε $\lambda = \min(1,4l/b, 70)$

Για $l < 15$ m τότε $\lambda = \min(2l/b, 70)$

- 3) Για ενδιάμεσες τιμές του l όπου χρησιμοποιείται γραμμική παρεμβολή

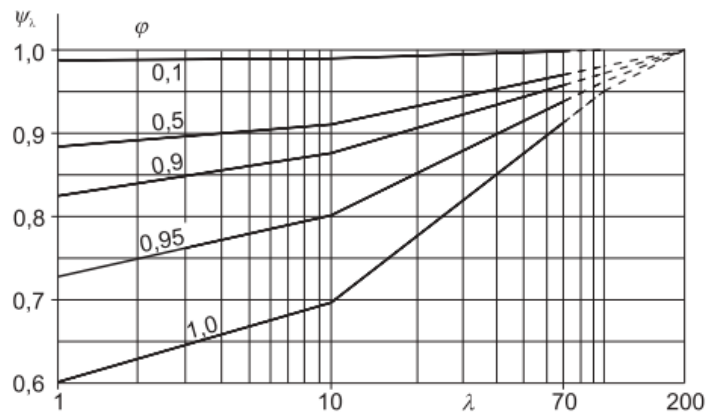


4) Για ενδιάμεσες τιμές του l όπου χρησιμοποιείται γραμμική παρεμβολή



Για $l \geq 50$ m τότε $\lambda = \max(0,7 l/b, 70)$

Για $l < 15$ m τότε $\lambda = \max(l/b, 70)$



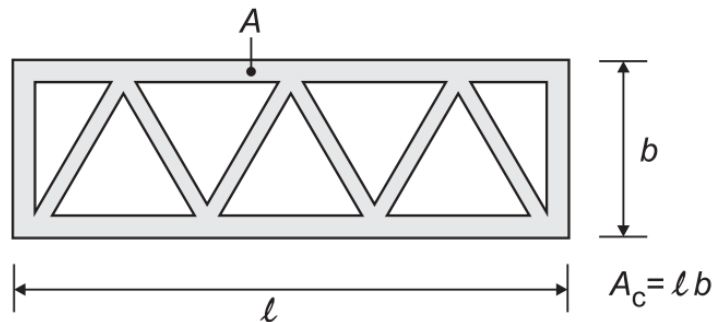
Διάγραμμα 12: Συντελεστής λυγηρότητας ψ_λ συναρτήσει του λ , για διάφορες τιμές του φ (EN 1991-1-4:2005)

Ο λόγος πληρότητας φ δίνεται από το Σχήμα 22 και τη πιο κάτω σχέση:

$$\varphi = A/A_c$$

Όπου:

A = άθροισμα των προβολών των επιφανειών των μελών



A_c = η συνολική επιφάνεια εντός του περιγράμματος $\Rightarrow A_c = b.l$

Σχήμα 22: Ορισμός του συντελεστή πληρότητας (EN 1991-1-4:2005)

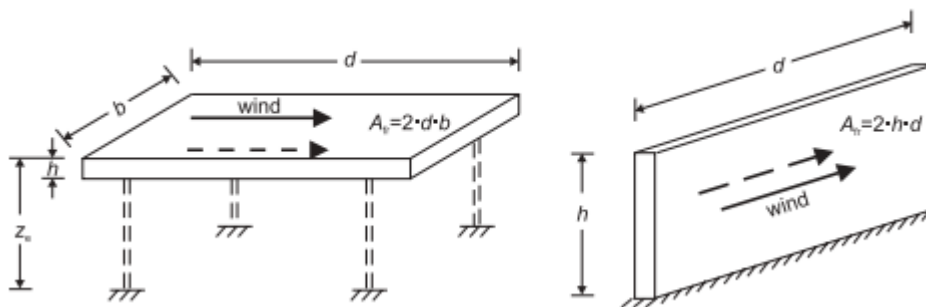
6.8 Συντελεστής τριβής

Οι συντελεστές τριβής c_{fr} , για επιφάνεια σε τοίχους δίνονται στον Πίνακα 16. Η επιφάνεια αναφοράς A_{fr} δίνεται στο Σχήμα 23. Οι δυνάμεις τριβής εφαρμόζονται στο εξωτερικό κέλυφος της επιφάνειας, παράλληλα με τον άνεμο, ο οποίος πέραν μιας απόστασης από το προσήνεμο άκρο ισούται με τη μικρότερη τιμή των $2b$ ή $4h$. Το ύψος αναφοράς z_e πρέπει να είναι ίσο με το ύψος της κατασκευής πάνω από το έδαφος ή το ύψος του κτιρίου. (Ερμόπουλος 1997)

Πίνακας 16: Συντελεστές τριβής c_{fr} για τοίχους, στηθαία και επιφάνεια οροφής

Επιφάνεια	Συντελεστής τριβής c_{fr}
Ομαλή (π.χ χάλυβας, λείο σκυρόδεμα)	0,01
Τραχεία (π.χ τραχύ σκυρόδεμα)	0,02
Πολύ τραχεία (π.χ νευρώσεις, πτυχώσεις)	0,04

Πηγή: (Ερμόπουλος 1997)



Σχήμα 23: Συμβολισμοί επιφάνειας αναφοράς A_{fr} για τοίχους και επιφάνειες ορόφων (EN 1991-1-4:2005)

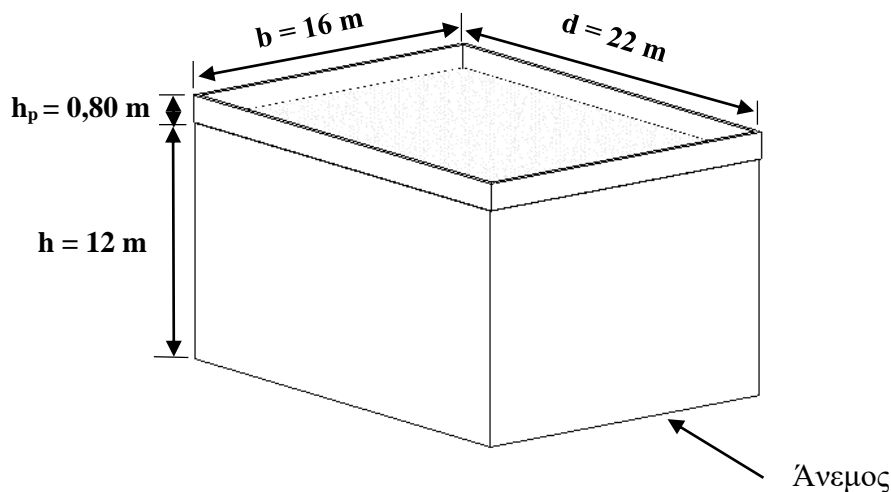
Κεφάλαιο 7

7 Υπολογισμός δυνάμεων υπό την επίδραση φορτίων ανέμου

7.1 Παράδειγμα 1: Επίπεδη στέγη κτιρίου με στηθαία

Το κτίριο που φαίνεται στο Σχήμα 24 είναι κατασκευασμένο από οπλισμένο σκυρόδεμα. Σκοπός του παραδείγματος είναι να γίνει υπολογισμός των συνολικών πιέσεων που ασκούνται στην οροφή και στους τοίχους καθώς και τον υπολογισμό της συνολικής δύναμης που ασκείται στους τοίχους λόγω της επίδρασης του ανέμου. Η διεύθυνση του ανέμου και τα γεωμετρικά στοιχεία του κτιρίου φαίνονται στο Σχήμα 24.

Δεδομένα: Κατηγορία εδάφους II, Ταχύτητα αναφοράς $v_{b,0} = 30$ m/s, λόγος ανοιγμάτων $\mu = 0,75$, ύψος στηθαίου $h_p = 0,8$.



Σχήμα 24: Κτίριο με επίπεδη στέγη και στηθαία

Λύση

Ύψος κτιρίου: $h_{ολ} = h + h_p = 12 + 0,8 = 12,8 < 15$ m $\Rightarrow h_{ολ} = 12,8 < 15$

τότε $c_{sd} = 1$ από παράγραφο §5.2.2

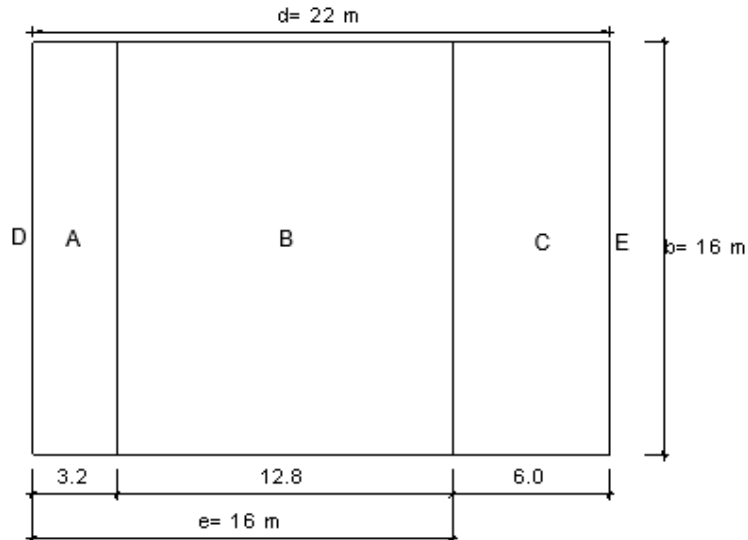
$h_{ολ} = 12,8 < 16 \Rightarrow z_e = h_{ολ} \Rightarrow z_e = 12,8$ m

1) Εύρεση συντελεστών εξωτερικής πίεσης

Από το Σχήμα 12 προκύπτει :

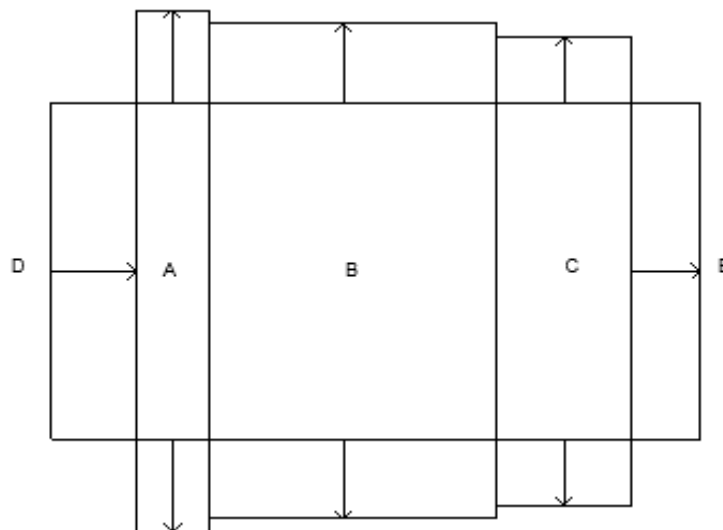
$$e = \min(b, 2h_{ολ}) = \min(16, 2 \cdot 12,8) = \min(16, 25,6) = 16 \text{ m}$$

$\Rightarrow e = 16 < d = 22 \text{ m}$. Στο Σχήμα 25 δίνεται ο καθορισμός ζωνών κατακόρυφων τοίχων



Σχήμα 25: Καθορισμός ζωνών κατακόρυφων τοίχων

Στο Σχήμα 26 φαίνεται η κατανομή και στον Πίνακα 17 οι συντελεστές εξωτερικών πιέσεων στους κατακόρυφους τοίχους αντίστοιχα. Από τον Πίνακα 6 υπολογίστηκαν οι συντελεστές εξωτερικής πίεσης για τους κατακόρυφους τοίχους και κτίρια με ορθογωνική κάτοψη. Άρα $h_{ολ}/d = 12,8/22 = 0,581$. Για ενδιάμεσες τιμές του πιο πάνω λόγου χρειάστηκε γραμμική παρεμβολή για την επιφάνεια d και οι συντελεστές που προέκυψαν για τις εξωτερικές πιέσεις είναι οι εξής:

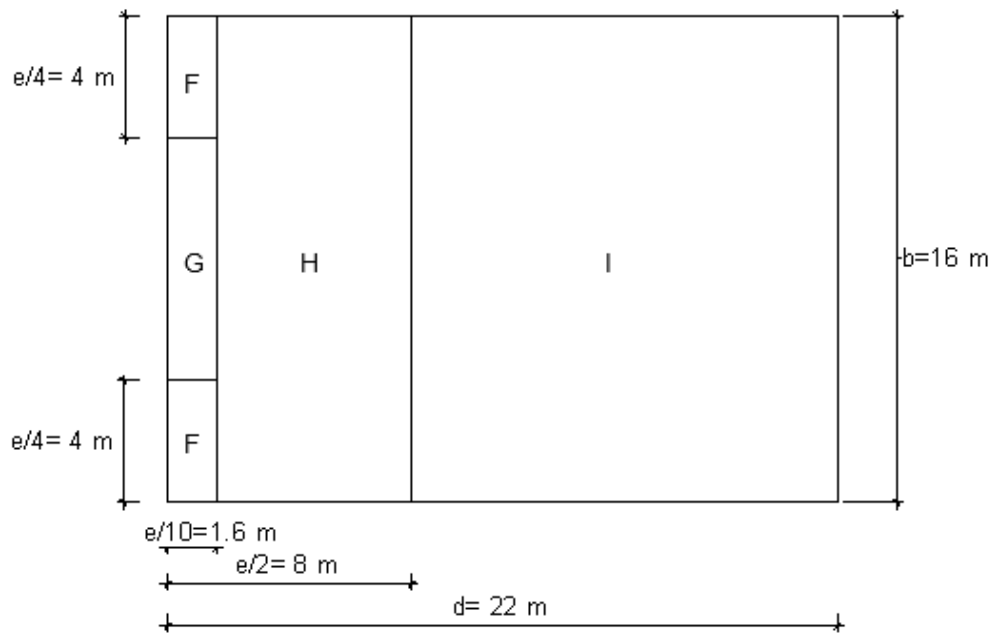


Σχήμα 26: Κατανομή συντελεστών εξωτερικής πίεσης κατακόρυφων τοίχων

Πίνακας 17: Συντελεστές εξωτερικών πιέσεων για κατακόρυφους τοίχους

Ζώνη									
A		B		C		D		E	
C _{pe.10}	C _{pe.1}	C _{pe.10}	C _{pe.1}	C _{pe.10}	C _{pe.1}	C _{pe.10}	C _{pe.1}	C _{pe.10}	C _{pe.1}
1,2	1,4	0,8	1,1	0,5	0,5	0,744	1,0	0,388	

Στο Σχήμα 27 φαίνεται ο καθορισμός ζωνών επίπεδης στέγης με στηθαία. Από τον Πίνακα 7 για $h_p/h = 0,8/12 = 0,067$ και με γραμμική παρεμβολή οι συντελεστές που προκύπτουν οι συντελεστές εξωτερικής πίεσης ανά επιφάνεια για την οριζόντια οροφή δίνονται στον Πίνακα 18.



Σχήμα 27: Καθορισμός ζωνών επίπεδης στέγης

Πίνακας 18: Συντελεστές εξωτερικών πιέσεων για οριζόντια οροφή

Ζώνη							
F		G		H		I	
C _{pe.10}	C _{pe.1}	C _{pe.10}	C _{pe.1}	C _{pe.10}	C _{pe.1}	C _{pe.10}	C _{pe.1}
-1,166	-1,868	-0,834	-1,468	-0,7	-1,2	± 0,2	

2) Συντελεστής για την εσωτερική πίεση

Από το Διάγραμμα 8 και με βάση τα πιο πάνω δεδομένα μπορεί να βρεθεί ο συντελεστής εσωτερικής πίεσης c_{pi} . Για λόγο ανοίγματος $\mu = 0,75$ και για $h_{o\lambda}/d = 12,8/22$
 $\Rightarrow h_{o\lambda}/d = 0,581$. Άρα $c_{pi} = -0,2$.

3) Πίεση ταχύτητας αιχμής

Σύμφωνα με την §4.1 η βασική ταχύτητα του ανέμου ισοδυναμεί ως εξής:

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 30,0 = 30 \text{ m/sec}$$

Για κατάταξη του εδάφους II και από τον Πίνακα 1 προκύπτουν οι εξής τιμές:

$$z_0 = 0,05 \text{ m και } z_{min} = 2,0 \text{ m}$$

$$\Rightarrow z_{min} = 2,0 \text{ m} < z_e = 12,8 \text{ m} < z_{max} = 200 \text{ m}$$

Επομένως από την §4.3.2, μπορεί να υπολογιστεί ο συντελεστής τραχύτητας και για $z_{min} \leq z \leq z_{max}$ δίνεται ως εξής:

$$\Rightarrow c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)$$

Τότε ο υπολογισμός του k_r είναι:

$$\Rightarrow k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07} \Rightarrow k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{0,05}{0,05}\right)^{0,07} = 0,19$$

Ο τελικός συντελεστής τραχύτητας είναι:

$$\Rightarrow c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \Rightarrow c_r(z) = 0,19 \cdot \ln\left(\frac{12,8}{0,05}\right) = 1,054$$

Ο συντελεστής τοπογραφικής διαμόρφωσης ισούται:

Σύμφωνα με την §4.3.3 και αφού το κτίριο μας εμπίπτει στη κατηγορία II και $\Phi < 0,05$ τότε ο συντελεστής διαμόρφωσης ισοδυναμεί $c_o(z) = 1$.

Με αυτό συνεπάγεται πως η μέση ταχύτητα ανέμου για συγκεκριμένο ύψος z να είναι ίσο με :

$$v_m(z_e) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b = 1,054 \cdot 1,0 \cdot 30 = 31,62 \text{ m/sec.}$$

Με βάση και με τις πιο πάνω τιμές του $z_{min} = 2,0 < z_e = 12,8 \text{ m} < z_{max} = 200 \text{ m}$, η ένταση στροβιλισμού $I_v(z)$ σε συγκεκριμένο ύψος z πάνω από το έδαφος είναι:

$$I_v(z) = \frac{\sigma_v}{V_m(z)} = \frac{k_I}{[c_o(z) \cdot \ln(\frac{z}{z_0})]} \Rightarrow I_v(z) = \frac{1,0}{[1,0 \cdot \ln(\frac{12,8}{0,05})]} = 0,180$$

Άρα η μέγιστη πίεση ταχύτητα είναι ίση με:

$$q_p(z_e) = [1+7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z_e) \Rightarrow q_p(z_e) = (1+7 \cdot 0,180) \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 31,62^2 = 1,41 \text{ KN/m}^2.$$

4) Εξωτερικές και εσωτερικές ανεμοπιέσεις

Σύμφωνα με τη παράγραφο §3.3 η εξωτερική πίεση w_e είναι ίση με:

$$w_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe} \Rightarrow w_e = 1,41 \cdot c_{pe}$$

και με βάση τις τιμές των συντελεστών για εξωτερικές πιέσεις που υπολογίστηκαν στους Πίνακες 17 και 18 για κατακόρυφους τοίχους και οροφής για το κτίριο της άσκησης έχουμε τις εξής εξωτερικές πιέσεις όπως φαίνονται στον Πίνακα 19 και 20:

Πίνακας 19: Εξωτερικές πιέσεις λόγω ανέμου στους κατακόρυφους τοίχους του κτιρίου

Εξωτερική Πίεση (KN/m ²)	Ζώνη									
	A		B		C		D		E	
	c _{pe.10}	c _{pe.1}	c _{pe.10}	c _{pe.1}	c _{pe.10}	c _{pe.1}	c _{pe.10}	c _{pe.1}	c _{pe.10}	c _{pe.1}
	1,2	1,4	0,8	1,1	0,5	0,5	0,744	1,0	0,388	
w_e	1,692	1,974	1,128	1,551	0,705	0,705	1,05	1,41	0,547	

Πίνακας 20: Εξωτερικές πιέσεις λόγω ανέμου στην οροφή του κτιρίου

Εξωτερική Πίεση (KN/m ²)	Ζώνη							
	F		G		H		I	
	c _{pe.10}	c _{pe.1}	c _{pe.10}	c _{pe.1}	c _{pe.10}	c _{pe.1}	c _{pe.10}	c _{pe.1}
	-1,166	-1,868	-0,834	-1,468	-0,7	-1,2	±0,2	
w_e	-1,644	-2,63	-1,176	-2,070	-0,987	-1,692	±0,282	

Σύμφωνα με την §3.4 οι εσωτερικές πιέσεις που ασκούνται κάθετα στις επιφάνειες των κατακόρυφων τοίχων και της οροφής του κτιρίου είναι ίσο με:

$$w_i = q_p(z_i) \cdot c_{pi} = 1,41 \cdot (-0,2) = -0,282 \text{ KN/m}^2$$

5) Τελικές πιέσεις

Σύμφωνα με την §3.5 για την εύρεση των τελικών πιέσεων υπολογίζονται από τη διαφορά των εξωτερικών και των εσωτερικών πιέσεων. Οι τελικές πιέσεις στους κατακόρυφους τοίχους και στην οροφή δίνονται στους Πίνακες 21 και 22.

Πίνακας 21: Τελικές πιέσεις στους κατακόρυφους τοίχους

Τελικές πιέσεις (KN/m ²)	Ζώνη									
	A		B		C		D		E	
	C _{pe.10}	C _{pe.1}	C _{pe.10}	C _{pe.1}	C _{pe.10}	C _{pe.1}	C _{pe.10}	C _{pe.1}	C _{pe.10}	C _{pe.1}
	1,974	2,256	1,41	1,833	0,987	0,987	1,332	1,692	0,664	

Πίνακας 22: Τελικές πιέσεις στην οροφή

Τελικές πιέσεις (KN/m ²)	Ζώνη									
	F		G		H		I			
	C _{pe.10}	C _{pe.1}	C _{pe.10}	C _{pe.1}	C _{pe.10}	C _{pe.1}	C _{pe.10}		C _{pe.1}	
	-1,362	-2,348	-0,894	-1,788	-0,705	-1,41	+0,564	0	+0.564	0

6) Υπολογισμός της συνολικής δύναμης F_w υπό την επίδραση των φορτίων ανέμου

Όπως φαίνεται και από την §5.1 το άθροισμα της δύναμης υπό την επίδραση ανέμου επάνω στις κατασκευές υπολογίζεται από τη πιο κάτω εξίσωση:

$$F_w = c_{sd} \cdot \Sigma w_e \cdot A_{ref} \Rightarrow F_w = 1,0 \cdot (1,332 \cdot 12,8 \cdot 16,0) + 1,0 \cdot (0,382 \cdot 12,8 \cdot 16,0) = 351,02 \text{ KN}$$

Λόγο του ότι $h_{ολ}/d = 12,8/22 = 0,581 < 1$, η συνολική δύναμη υπολογίζεται με 0,85 όπως φαίνεται στην §6.2.2 και άρα:

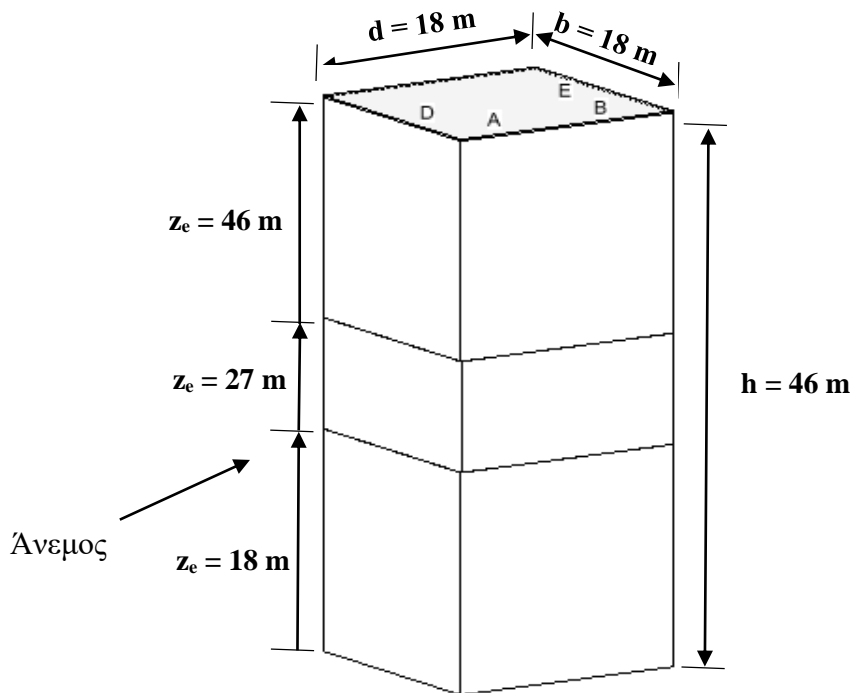
$$F_w \cdot 0,85 = 351,02 \cdot 0,85 = 298,37 \text{ KN.}$$

Η συγκεκριμένη δύναμη ενεργείται σε ύψος και $h_{ολ}/2 = 12,8/2 = 6.4 \text{ m}$ πάνω από το έδαφος και με εκκεντρότητα $e = b/10 \Rightarrow e = 16/10 = 1,6 \text{ m}$

7.2 Παράδειγμα 2: Πολυώροφο κτίριο με επίπεδη στέγη

Το κτίριο που φαίνεται στο Σχήμα 28 είναι κατασκευασμένο από οπλισμένο σκυρόδεμα. Σκοπός του παραδείγματος είναι να γίνει υπολογισμός των συνολικών πιέσεων που ασκούνται στην οροφή και στους τοίχους λόγω της επίδρασης του ανέμου. Η διεύθυνση του ανέμου και τα γεωμετρικά στοιχεία του κτιρίου φαίνονται στο Σχήμα 28.

Δεδομένα: Κατηγορία εδάφους I, Ταχύτητα αναφοράς $v_{b,0} = 30 \text{ m/s}$, λόγος ανοιγμάτων $\mu = 0,75$.



Σχήμα 28: Γεωμετρικά στοιχεία πολυώροφου κτιρίου με επίπεδη στέγη

Λύση

Ύψος κτιρίου: $h = 46 < 200 \text{ m}$ τότε $c_{s,c_d} = 0,95$ από την παράγραφο §5.2.2

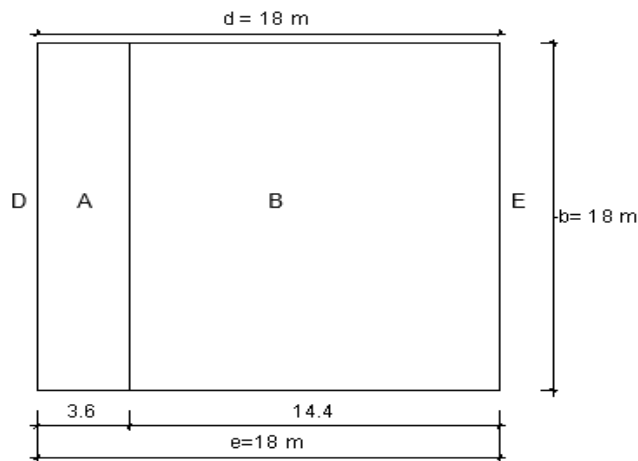
Τα ύψη αναφοράς z_e προκύπτουν με βάση το Σχήμα §6.2.2 και φαίνονται στο πιο πάνω Σχήμα 28.

1) Εύρεση συντελεστών εξωτερικής πίεσης

Από το Σχήμα 13 προκύπτει :

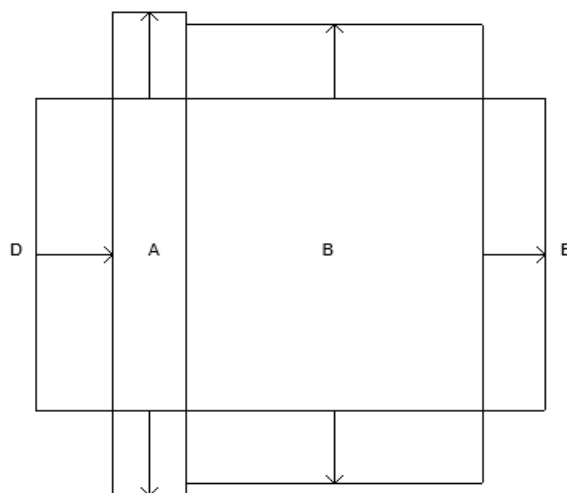
$$e = \min(b, 2h) = \min(18 \times 2.46) = \min(18, 92) = 18 \text{ m}$$

=> $e = 18 = d = 18 \text{ m}$. Στο Σχήμα 29 δίνεται ο καθορισμός ζωνών κατακόρυφων τοίχων



Σχήμα 29: Καθορισμός ζωνών κατακόρυφων τοίχων

Από τον Πίνακα 6 Θα βρούμε τους συντελεστές εξωτερικής πίεσης για τους κατακόρυφους τοίχους και κτίρια με ορθογωνική κάτοψη. Άρα $h/d = 46/18 = 2.56$. Για ενδιάμεσες τιμές του πιο πάνω λόγου χρειάστηκε γραμμική παρεμβολή για την επιφάνεια d και οι συντελεστές που προέκυψαν για τις εξωτερικές πιέσεις δίνονται στον Πίνακα 23 και στο Σχήμα 30 φαίνεται η κατανομή των συντελεστών εξωτερικής πίεσης στους αντίστοιχους τοίχους.

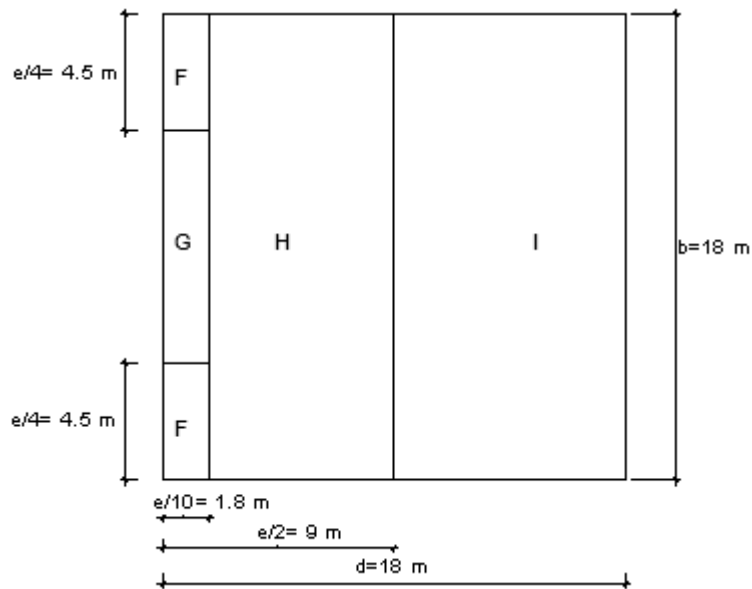


Σχήμα 30: Κατανομή συντελεστών εξωτερικής πίεσης περιμετρικών τοίχων

Πίνακας 23: Συντελεστές εξωτερικών πιέσεων για κατακόρυφους τοίχους

Ζώνη									
A		B		C		D		E	
$C_{pe.10}$	$C_{pe.1}$	$C_{pe.10}$	$C_{pe.1}$	$C_{pe.10}$	$C_{pe.1}$	$C_{pe.10}$	$C_{pe.1}$	$C_{pe.10}$	$C_{pe.1}$
1,2	1,4	0,8	1,1	0,5	0,5	0,8	1,0	0,579	

Στο Σχήμα 31 δίνεται ο καθορισμός ζωνών της οροφής. Από τον Πίνακα 7 και για επίπεδη στέγη με αιχμηρά άκρα, οι συντελεστές που προκύπτουν της εξωτερικής πίεσης που ασκείται σε κάθε ζώνη της επιφάνειας οροφής φαίνονται στον Πίνακα 24.



Σχήμα 31: Καθορισμός ζωνών της οροφής

Πίνακας 24: Συντελεστές εξωτερικής πίεσης c_{pe} για επίπεδη στέγη με αιχμηρά άκρα

Τύπος Στέγης	Ζώνη							
	F		G		H		I	
	$C_{pe.10}$	$C_{pe.1}$	$C_{pe.10}$	$C_{pe.1}$	$C_{pe.10}$	$C_{pe.1}$	$C_{pe.10}$	$C_{pe.1}$
Αιχμηρά άκρα	-1,8	-2,5	-1,2	-2,0	-0,7	-1,2	$\pm 0,2$	$\pm 0,2$

1) Συντελεστής για την εσωτερική πίεση

Από το Διάγραμμα 8 και με βάση τα πιο πάνω δεδομένα μπορεί να βρεθεί ο συντελεστής εσωτερικής πίεσης c_{pi} . Για λόγο ανοίγματος $\mu = 0,75$ και για $h/d = 46/18 \Rightarrow h/d = 2,56$. Άρα $c_{pi} = -0,25$.

2) Πίεση ταχύτητας αιγμής

Όπως φαίνεται από την §4.2 η βασική ταχύτητα του ανέμου ισοδυναμεί ως εξής:

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 30,0 = 30 \text{ m/sec}$$

Για κατάταξη του εδάφους I και από τον πίνακα 1 προκύπτουν οι εξής τιμές:

$$z_0 = 0,01 \text{ m και } z_{min} = 1,0 \text{ m}$$

$$\Rightarrow z_{min} = 1,0 \text{ m} < z_e = (18, 27, 46) < z_{max} = 200 \text{ m}$$

Επομένως από την §4.3.2 μπορεί να υπολογιστεί ο συντελεστής τραχύτητας και για $z_{min} \leq z \leq z_{max}$ δίνεται ως εξής:

$$\Rightarrow c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)$$

Τότε ο υπολογισμός του k_r είναι:

$$\Rightarrow k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07} \Rightarrow k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{0,01}{0,05}\right)^{0,07} = 0,17$$

Ο τελικός συντελεστής τραχύτητας για κάθε ύψος είναι:

$$\text{Για } z_e = 18 \text{ m} \Rightarrow c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \Rightarrow c_r(z) = 0,17 \cdot \ln\left(\frac{18}{0,01}\right) = 1,274$$

$$\text{Για } z_e = 27 \text{ m} \Rightarrow c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \Rightarrow c_r(z) = 0,17 \cdot \ln\left(\frac{27}{0,01}\right) = 1,343$$

$$\text{Για } z_e = 46 \text{ m} \Rightarrow c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \Rightarrow c_r(z) = 0,17 \cdot \ln\left(\frac{46}{0,01}\right) = 1,434$$

Ο συντελεστής τοπογραφικής διαμόρφωσης ισούται:

Σύμφωνα με την §4.3.3 και αφού το κτίριο εμπίπτει στη κατηγορία I και $\Phi < 0,05$ τότε ο συντελεστής διαμόρφωσης ισοδυναμεί $c_o(z) = 1$.

Με αυτό συνεπάγεται πως η μέση ταχύτητα ανέμου για συγκεκριμένο ύψος z είναι ίσο με :

$$\text{Για } z_e = 18 \text{ m} \Rightarrow v_m(z_e) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b = 1,274 \cdot 1,0 \cdot 30 = 38,22 \text{ m/sec.}$$

$$\text{Για } z_e = 27 \text{ m} \Rightarrow v_m(z_e) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b = 1,343 \cdot 1,0 \cdot 30 = 40,29 \text{ m/sec.}$$

$$\text{Για } z_e = 46 \text{ m} \Rightarrow v_m(z_e) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b = 1,434 \cdot 1,0 \cdot 30 = 43,02 \text{ m/sec.}$$

Με βάση και με τις πιο πάνω τιμές του $z_{\min} = 1,0 < z_e = (18,27,46) \text{ m} < z_{\max} = 200 \text{ m}$, η ένταση στροβιλισμού $I_v(z)$ σε συγκεκριμένο ύψος z πάνω από το έδαφος είναι:

$$\text{Για } z_e = 18 \text{ m} \Rightarrow I_v(z) = \frac{\sigma_v}{v_m(z)} = \frac{k_I}{[c_o(z) \cdot \ln(\frac{z}{z_o})]} \Rightarrow I_v(z) = \frac{1,0}{[1,0 \cdot \ln(\frac{18}{0,01})]} = 0,133$$

$$\text{Για } z_e = 27 \text{ m} \Rightarrow I_v(z) = \frac{\sigma_v}{v_m(z)} = \frac{k_I}{[c_o(z) \cdot \ln(\frac{z}{z_o})]} \Rightarrow I_v(z) = \frac{1,0}{[1,0 \cdot \ln(\frac{27}{0,01})]} = 0,127$$

$$\text{Για } z_e = 46 \text{ m} \Rightarrow I_v(z) = \frac{\sigma_v}{v_m(z)} = \frac{k_I}{[c_o(z) \cdot \ln(\frac{z}{z_o})]} \Rightarrow I_v(z) = \frac{1,0}{[1,0 \cdot \ln(\frac{46}{0,01})]} = 0,119$$

Άρα η μέγιστη πίεση ταχύτητα είναι ίση με:

Για $z_e = 18 \text{ m}$:

$$\Rightarrow q_p(z_e) = [1+7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z_e) \Rightarrow q_p(z_e) = (1+7 \cdot 0,133) \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 38,22^2 = 1,76 \text{ KN/m}^2$$

Για $z_e = 27 \text{ m}$:

$$\Rightarrow q_p(z_e) = [1+7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z_e) \Rightarrow q_p(z_e) = (1+7 \cdot 0,127) \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 40,29^2 = 1,92 \text{ KN/m}^2$$

Για $z_e = 46 \text{ m}$:

$$\Rightarrow q_p(z_e) = [1+7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z_e) \Rightarrow q_p(z_e) = (1+7 \cdot 0,119) \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 43,02^2 = 2,12 \text{ KN/m}^2$$

3) Εξωτερικές και εσωτερικές ανεμοπιέσεις

Σύμφωνα με τη παράγραφο §3.3 η εξωτερική πίεση w_e είναι ίση με:

$$\text{Για } z_e = 18 \text{ m} \Rightarrow w_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe} \Rightarrow w_e = 1,76 \cdot c_{pe}$$

$$\text{Για } z_e = 27 \text{ m} \Rightarrow w_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe} \Rightarrow w_e = 1,92 \cdot c_{pe}$$

$$\text{Για } z_e = 46 \text{ m} \Rightarrow w_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe} \Rightarrow w_e = 2,12 \cdot c_{pe}$$

Στον Πίνακα 25 δίνονται οι εξωτερικές πιέσεις λόγω ανέμου που δρα στους κατακόρυφους τοίχους σε κάθε ύψος του κτιρίου και ζώνη. Στον Πίνακα 26 δίνονται οι

εξωτερικές πιέσεις που θα ασκηθούν σε κάθε ζώνη της οροφής. Οι υπολογισμοί έγιναν με βάση τις τιμές των συντελεστών εξωτερικής πίεσης του Πίνακα 23 και 24.

Πίνακας 25: Εξωτερικές πιέσεις λόγω ανέμου στους κατακόρυφους τοίχους σε κάθε ύψος του κτιρίου

Εξωτερική Πίεση (KN/m ²)	Ζώνη									
	A		B		C		D		E	
	C _{pe.10}	C _{pe.1}	C _{pe.10}	C _{pe.1}	C _{pe.10}	C _{pe.1}	C _{pe.10}	C _{pe.1}	C _{pe.10}	C _{pe.1}
	1,2	1,4	0,8	1,1	0,5	0,5	0,8	1,0	0,579	
w_e (z_e = 18 m)	2,11	2,47	1,41	1,94	0,88	0,88	1,41	1,76	1,02	
w_e (z_e = 27 m)	2,30	2,69	1,54	2,11	0,96	0,96	1,54	1,92	1,11	
w_e (z_e = 46 m)	2,54	2,97	1,70	2,33	1,06	1,06	1,70	2,12	1,23	

Πίνακας 26: Εξωτερικές πιέσεις λόγω ανέμου στην οροφή του κτιρίου

Εξωτερική Πίεση (KN/m ²)	Ζώνη							
	F		G		H		I	
	C _{pe.10}	C _{pe.1}	C _{pe.10}	C _{pe.1}	C _{pe.10}	C _{pe.1}	C _{pe.10}	C _{pe.1}
	-1,8	-2,5	-1,2	-2,0	-0,7	-1,2	± 0,2	
w_e (z_e = 46 m)	-3,82	-5,3	-2,54	-4,24	-1,48	-2,54	±0,424	

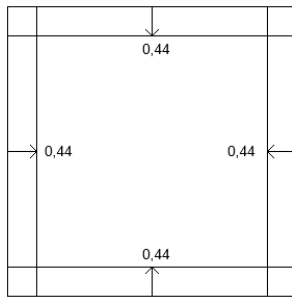
Σύμφωνα με την §3.4 οι εσωτερικές πιέσεις που ασκούνται κάθετα στις επιφάνειες των κατακόρυφων τοίχων και της οροφής του κτιρίου είναι ίσο με:

$$\text{Για } z_e = 18 \text{ m} \Rightarrow w_i = q_p(z_i) \cdot c_{pi} = 1,76 \cdot (-0,25) = - 0,44 \text{ KN/m}^2$$

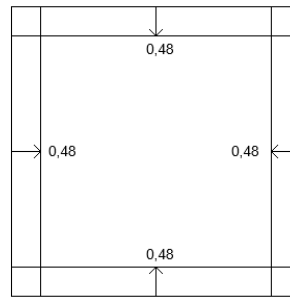
$$\text{Για } z_e = 27 \text{ m} \Rightarrow w_i = q_p(z_i) \cdot c_{pi} = 1,92 \cdot (-0,25) = - 0,48 \text{ KN/m}^2$$

$$\text{Για } z_e = 46 \text{ m} \Rightarrow w_i = q_p(z_i) \cdot c_{pi} = 2,12 \cdot (-0,25) = - 0,53 \text{ KN/m}^2$$

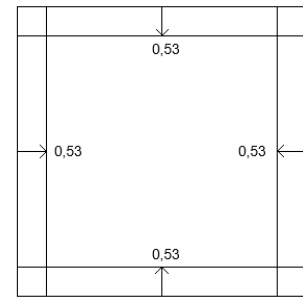
Στο πιο κάτω Σχήμα 32 φαίνεται η κατανομή των εσωτερικών πιέσεων σε κάθε ύψος:



Για $z = 0 - 18 \text{ m}$



Για $z = 18 - 27 \text{ m}$



Για $z = 18 - 46 \text{ m}$

Σχήμα 32: Εσωτερικές πιέσεις λόγω ανέμου στους κατακόρυφους τοίχους σε KN/m^2

4) Τελικές πιέσεις

Οι τελικές πιέσεις σε κάθε ύψος του κτιρίου στους κατακόρυφους τοίχους και οροφής δίνονται στον Πίνακα 27 και 28. Τα αποτελέσματα βγαίνουν από τη διαφορά των εξωτερικών και των εσωτερικών πιέσεων του Πίνακα 24 και 25:

Πίνακας 27: Τελικές πιέσεις στους κατακόρυφους τοίχους

Τελικές πιέσεις (KN/m^2)	Ζώνη									
	A		B		C		D		E	
	$C_{pe.10}$	$C_{pe.1}$	$C_{pe.10}$	$C_{pe.1}$	$C_{pe.10}$	$C_{pe.1}$	$C_{pe.10}$	$C_{pe.1}$	$C_{pe.10}$	$C_{pe.1}$
Για $z = 18 \text{ m}$	2,55	2,91	1,85	2,38	1,32	1,32	1,85	2,2	1,46	
Για $z = 27 \text{ m}$	2,78	3,17	2,02	2,59	1,44	1,44	2,02	2,4	1,59	
Για $z = 46 \text{ m}$	3,07	3,5	2,23	2,86	1,59	1,59	2,23	2,65	1,76	

Πίνακας 28: Τελικές πιέσεις στην οροφή

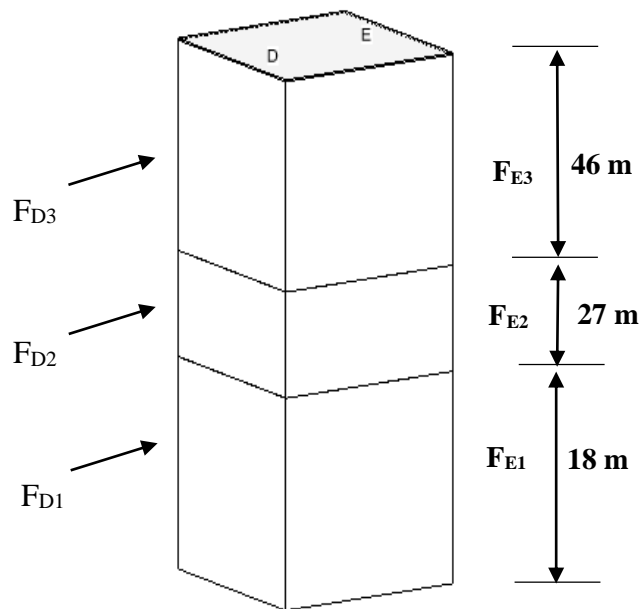
Τελικές πιέσεις (KN/m^2)	Ζώνη									
	F		G		H		I			
	$C_{pe.10}$	$C_{pe.1}$	$C_{pe.10}$	$C_{pe.1}$	$C_{pe.10}$	$C_{pe.1}$	$C_{pe.10}$		$C_{pe.1}$	
	-3,29	-4,77	-2,01	-3,71	-0,95	-2,01	0,106	0,954	0,106	0,954

5) Υπολογισμός της συνολικής δύναμης F_w στους κατακόρυφους τοίχους του κτιρίου υπό την επίδραση των φορτίων ανέμου

Όπως φαίνεται και από την §5.1 το άθροισμα της δύναμης υπό την επίδραση ανέμου επάνω στις κατασκευές υπολογίζεται από τη πιο κάτω εξίσωση:

$$F_w = c_s c_d \cdot \Sigma w_e \cdot A_{ref}$$

Στο πιο κάτω Σχήμα 33 φαίνεται η διεύθυνση των δυνάμεων δράσεως ανέμου επί του κτιρίου:



Σχήμα 33: Δυνάμεις δράσεως ανέμου επί του κτιρίου

Άρα:

$$F_{w1} = F_{D1} + F_{E1} = 0,95 \cdot (1,85 \cdot 18,0 \cdot 18,0) + 0,95 \cdot (1,46 \cdot 18,0 \cdot 18,0) = 1018,8 \text{ KN}$$

$$F_{w2} = F_{D2} + F_{E2} = 0,95 \cdot (2,02 \cdot 9,0 \cdot 18,0) + 0,95 \cdot (1,59 \cdot 9,0 \cdot 18,0) = 555,6 \text{ KN}$$

$$F_{w3} = F_{D3} + F_{E3} = 0,95 \cdot (2,23 \cdot 19,0 \cdot 18,0) + 0,95 \cdot (1,76 \cdot 19,0 \cdot 18,0) = 1296,4 \text{ KN}$$

$$\Rightarrow F_{total} = F_{w1} + F_{w2} + F_{w3} = 1018,8 + 555,6 + 1296,4 = 2870,8 \text{ KN}$$

Η συνολική δύναμη F_{total} ενεργεί σε απόσταση z_o από το έδαφος:

$$z_o = \frac{(1018,8) \times 9 + (555,6) \times 22,5 + (1296,4) \times 36,5}{2870,8} = 24,03 \text{ m}$$

6) Υπολογισμός της συνολικής δύναμης στη στέγη υπό την επίδραση των φορτίων ανέμου F_w

Αρχικά γίνεται ο υπολογισμός του εμβαδού της επιφάνειας για την κάθε ζώνη της στέγης όπως φαίνεται πιο κάτω:

$$A_F = 4,5 \cdot 1,8 = 8,1 \text{ m}^2$$

$$A_G = 9 \cdot 1,8 = 16,2 \text{ m}^2$$

$$A_H = 7,2 \cdot 1,8 = 129,6 \text{ m}^2$$

$$A_I = 9 \cdot 1,8 = 162 \text{ m}^2$$

Άρα οι τελικές δυνάμεις που θα ασκηθούν σε κάθε ζώνη της στέγης και σύμφωνα με τον Πίνακα 28 υπολογίζονται ως εξής:

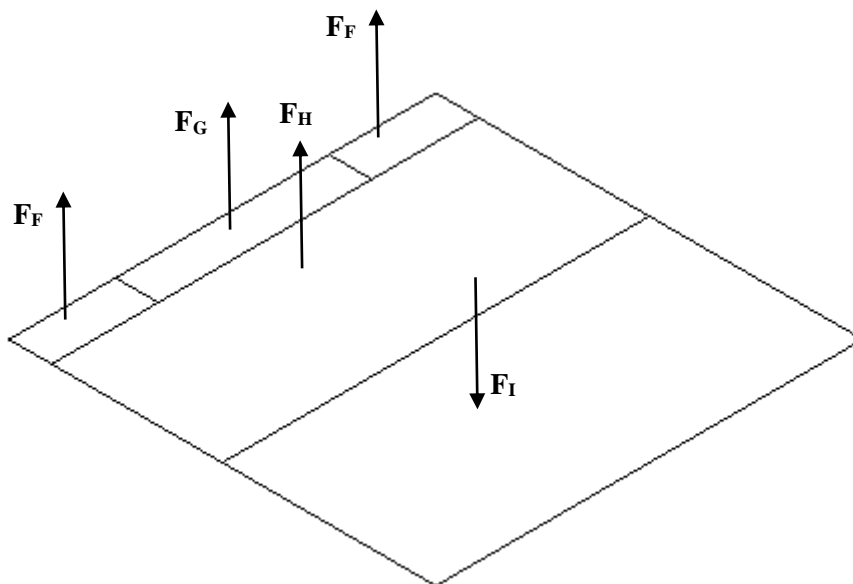
$$F_F = 8,1 \cdot (-3,29) = -26,65 \text{ KN}$$

$$F_G = 16,2 \cdot (-2,01) = -32,56 \text{ KN}$$

$$F_H = 129,6 \cdot (-0,95) = -122,55 \text{ KN}$$

$$F_I = 162 \cdot (0,106) = 17,17 \text{ KN} \text{ ή } F_I = 162 \cdot (0,954) = 154,55 \text{ KN}$$

Στο πιο κάτω Σχήμα 34 φαίνεται η κατεύθυνση των τελικών δυνάμεων στη στέγη:

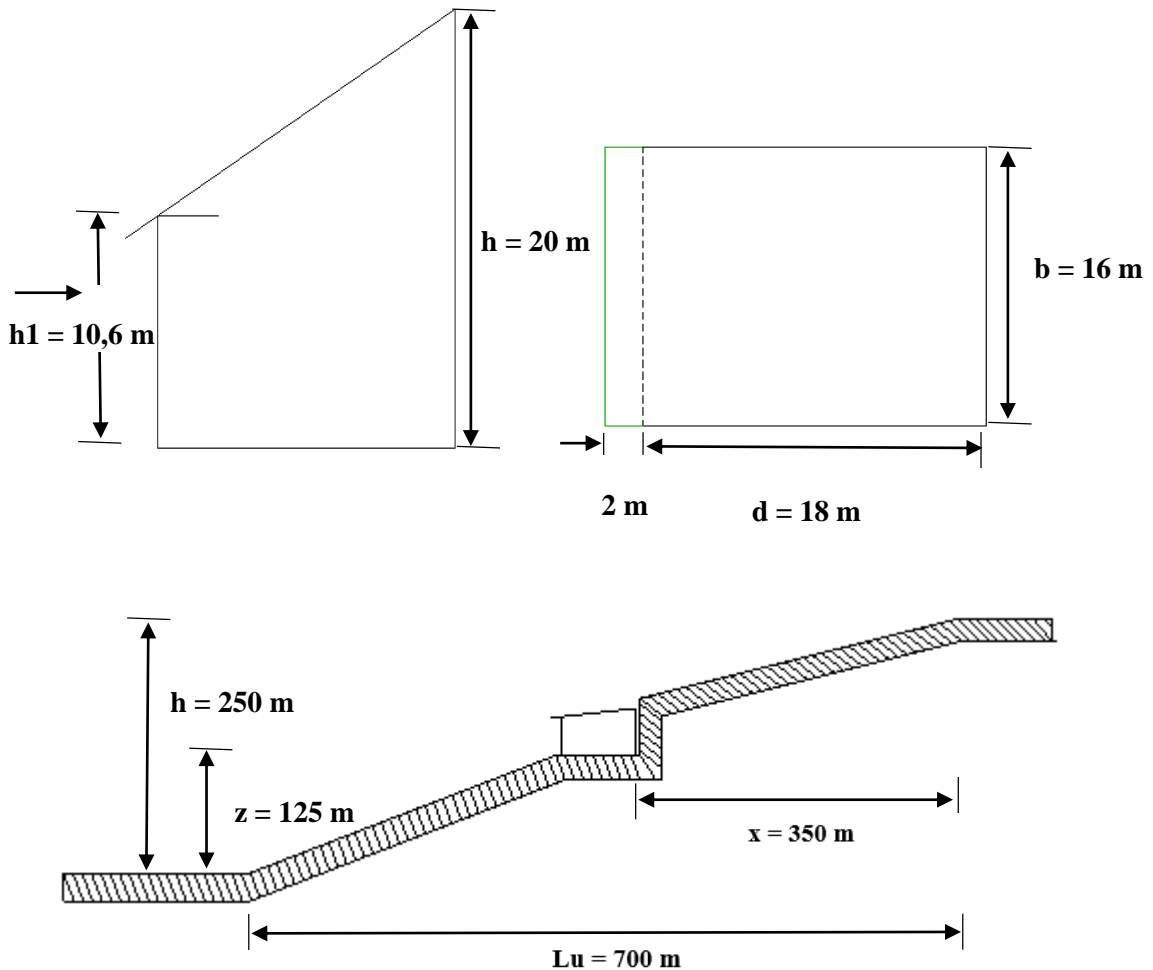


Σχήμα 34: Κατεύθυνση των τελικών δυνάμεων στη στέγη

7.3 Παράδειγμα 3: Μονόκλινη στέγη

Το κτίριο που φαίνεται στο πιο κάτω Σχήμα 35 είναι κατασκευασμένο από σκυρόδεμα. Σκοπός του παραδείγματος είναι να γίνει ο υπολογισμός των εξωτερικών πιέσεων λόγω ανέμου που ασκούνται στην επιφάνεια της μονόκλινης στέγης με διεύθυνση ανέμου $\theta = 0^\circ$.

Δεδομένα: Κατηγορία εδάφους III, $v_{b,0} = 30 \text{ m/s}$



Σχήμα 35: Γεωμετρικά στοιχεία κτιρίου και τομή του εδάφους

Λύση

Ύψος κτιρίου: $h_{ολ} = h = 20 > 15 \text{ m} \Rightarrow$ τότε $c_s c_d = 0,94$ από παράγραφο §5.2.2
και ύψος αναφοράς $z_e = 20 \text{ m}$

1) Συντελεστής εξωτερικής πίεσης για διεύθυνση ανέμου $\theta = 0^\circ$

Για διεύθυνση ανέμου $\theta = 0^\circ$ και σύμφωνα με το Σχήμα 13 είναι:

$$e = \min(b, 2h) = \min(16, 2 \cdot 20) = \min(16, 40) = 16 \text{ m}$$

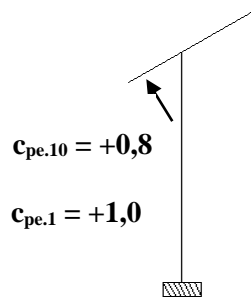
$$e = 16 \text{ m} < d = 20 \text{ m}$$

$$h/d = 20/18 = 1,1$$

Από το Σχήμα 13 και από το Πίνακα 6 προκύπτει ο συντελεστής εξωτερικής πίεσης:

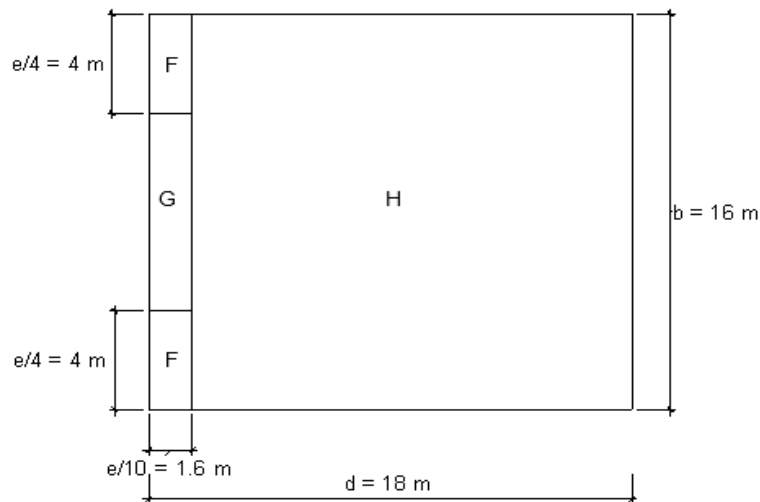
$$c_{pe,10} = +0,8 \text{ και } c_{pe,1} = +1,0$$

Σύμφωνα με την §6.2.1 και το Σχήμα 11, ο συντελεστής εξωτερικής πίεσης για τον κατακόρυφο τοίχο εφαρμόζεται στην κάτω επιφάνεια του προβόλου της στέγης όπως φαίνεται στο Σχήμα 36:



Σχήμα 36: Συντελεστής εξωτερικής πίεσης στέγης

Από τον Πίνακα 8 και για κλίση στέγης $\alpha = 30^\circ$ προκύπτουν οι συντελεστές εξωτερικής πίεσης της στέγης για διεύθυνση ανέμου $\theta = 0^\circ$. Στο Σχήμα 37 δίνεται ο καθορισμός ζωνών μονόκλινης στέγης και στο Πίνακα 29 οι συντελεστές εξωτερικής πίεσης.



Σχήμα 37: Καθορισμός ζωνών μονόκλινης στέγης

Πίνακας 29: Συντελεστές εξωτερικής πίεσης μονόκλινης οροφής για διεύθυνση ανέμου $\theta = 0^\circ$

Ζώνη					
F		G		H	
$C_{pe.10}$	$C_{pe.1}$	$C_{pe.10}$	$C_{pe.1}$	$C_{pe.10}$	$C_{pe.1}$
-0,5	-1,5	-0,5	-1,5	-0,2	-0,2

2) Πίεση ταχύτητας αιγμής

Σύμφωνα με την §4.1 η βασική ταχύτητα του ανέμου ισοδυναμεί ως εξής:

$$v_b = C_{dir} \cdot C_{season} \cdot v_{b,0} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 30,0 = 30 \text{ m/sec}$$

Συντελεστής έκθεσης $c_e(z_e)$:

Από το Σχήμα 5 προκύπτει $\Phi = H / L_u = 250/700 = 0,36 > 0,3$ με αυτό να συνεπάγεται

$$L_s = H/0,3 = 250/0,3 = 833 \text{ m}$$

Το ενεργό μήκος προς τη προσήνεμη πλαγιά:

$$X / L_e = - 350/700 = -0,5$$

$$Z / L_e = 125/700 = 0,180$$

όπου προκύπτει $S = 0,22$ και ο συντελεστής τοπογραφικής διαμόρφωσης είναι :

$$c_o = 1+2 \cdot S \cdot \Phi = 1+2 \cdot 0,35 = 1,154$$

Για κατάταξη του εδάφους III και από τον Πίνακα 1 προκύπτουν οι εξής τιμές:

$$z_o = 0,3 \text{ m και } z_{\min} = 5,0 \text{ m}$$

$$\Rightarrow z_{\min} = 5,0 \text{ m} < z_e = 20 \text{ m} < z_{\max} = 200 \text{ m}$$

Επομένως από την §4.3.2 μπορεί να υπολογιστεί ο συντελεστής τραχύτητας και για $z_{\min} \leq z \leq z_{\max}$ δίνεται ως εξής:

$$\Rightarrow c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_o}\right)$$

Τότε ο υπολογισμός του k_r είναι:

$$\Rightarrow k_r = 0.19 \cdot \left(\frac{z_o}{z_{o,II}}\right)^{0.07} \Rightarrow k_r = 0.19 \cdot \left(\frac{0,3}{0.05}\right)^{0.07} = 0,215$$

Ο τελικός συντελεστής τραχύτητας είναι:

$$\Rightarrow c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \Rightarrow c_r(z) = 0.215 \cdot \ln\left(\frac{20}{0.3}\right) = 0,903$$

Για $c_0(z) = 1,154$, όπως υπολογίστηκε πριν η μέση ταχύτητα ανέμου για ύψος z είναι ίση με:

$$v_m(z_e) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot v_b = 0,903 \cdot 1,154 \cdot 30 = 31,26 \text{ m/sec}$$

Με βάση και τις πιο πάνω τιμές του $z_{\min} = 5,0 < z_e = 20 \text{ m} < z_{\max} = 200 \text{ m}$, η ένταση στροβιλισμού $I_v(z)$ σε συγκεκριμένο ύψος z πάνω από το έδαφος είναι:

$$I_v(z) = \frac{\sigma_v}{v_m(z)} = \frac{k_I}{[c_0(z) \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)]} \Rightarrow I_v(z) = \frac{1,0}{[1,154 \cdot \ln\left(\frac{20}{0,3}\right)]} = 0,206$$

Άρα η μέγιστη πίεση ταχύτητα είναι ίση με:

$$q_p(z_e) = [1+7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z_e) \Rightarrow q_p(z_e) = (1+7 \cdot 0,206) \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 31,26^2 = 1,49 \text{ KN/m}^2$$

3) Εξωτερική πίεση που ασκείται σε κάθε ζώνη για διεύθυνση ανέμου $\theta = 0^\circ$

Σύμφωνα με τη παράγραφο §3.3 η εξωτερική πίεση w_e του τμήματος της στέγης η οποία είναι υπό μορφή προβόλου είναι ίση με:

$$w_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe} \Rightarrow w_e = 1,49 \cdot c_{pe} \Rightarrow w_e = 1,49 \cdot 0,8 = 1,19 \text{ KN/m}^2$$

και με βάση τις τιμές των συντελεστών των εξωτερικών πιέσεων της μονόκλινης στέγης του κτιρίου που υπολογίστηκαν στον Πίνακα 29, υπολογίστηκαν οι εξής εξωτερικές πιέσεις που δίνονται στον Πίνακα 30 :

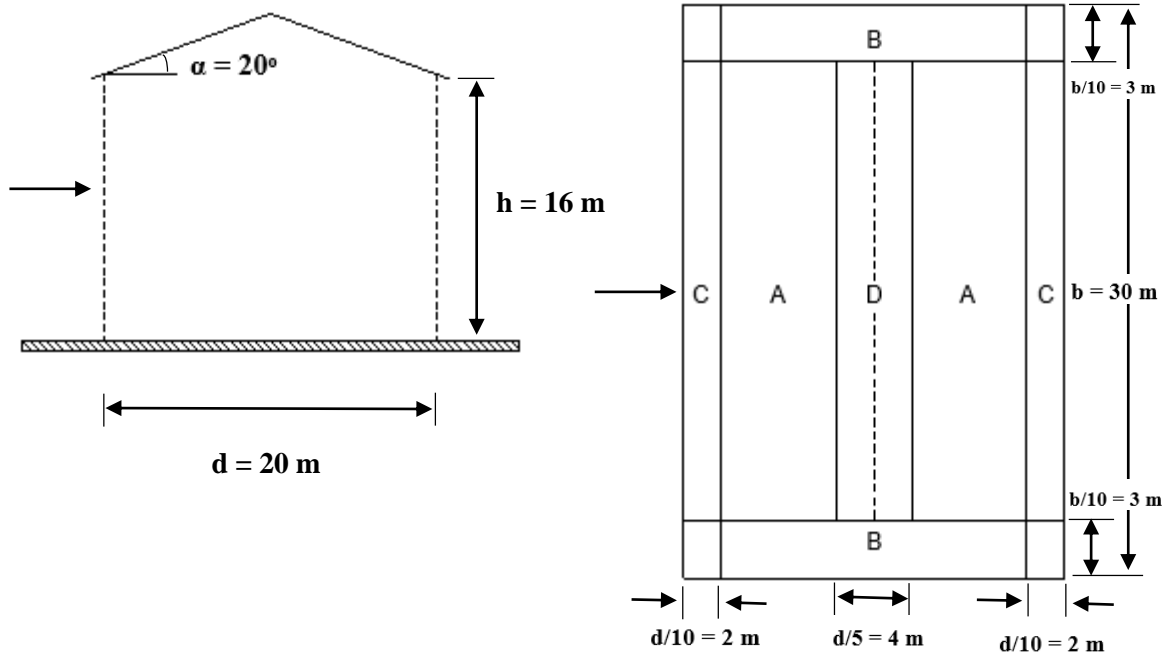
Πίνακας 30: Εξωτερικές πιέσεις σε κάθε ζώνη της στέγης με διεύθυνση ανέμου $\theta = 0^\circ$

Εξωτερική Πίεση (KN/m ²)	Ζώνη					
	F		G		H	
	$c_{pe.10}$	$c_{pe.1}$	$c_{pe.10}$	$c_{pe.1}$	$c_{pe.10}$	$c_{pe.1}$
	-0,5	-1,5	-0,5	-1,5	-0,2	-0,2
w_e	-0,745	-2,235	-0,745	-2,235	-0,298	-0,298

7.4 Παράδειγμα 4: Δίκλινο Στέγαστρο

Σκοπός του δίκλινες στεγάστρου στο Σχήμα 38 είναι να γίνει υπολογισμός των πιέσεων και της συνισταμένης δύναμης που δρα στην κατασκευή λόγω ανέμου.

Δεδομένα: Κατηγορία εδάφους III, Ταχύτητα ανέμου $v_{b,0} = 24 \text{ m/s}$, βαθμός πληρότητας $\varphi = 0$ (στέγαστρο κενό).



Σχήμα 38: Γεωμετρικά στοιχεία δίκλινου στεγάστρου

Λύση

Το ύψος αναφοράς του κτιρίου είναι ίσο με $z_e = 16 \text{ m}$

1) Πίεση ταχύτητας αιγμής

Σύμφωνα με την §4.1 η βασική ταχύτητα του ανέμου ισοδυναμεί ως εξής:

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 24,0 = 24 \text{ m/sec}$$

Για κατάταξη του εδάφους III και από τον Πίνακα 1 προκύπτουν οι εξής τιμές:

$$z_0 = 0,3 \text{ m και } z_{min} = 5 \text{ m}$$

$$\Rightarrow z_{min} = 5 \text{ m} < z_e = 16 \text{ m} < z_{max} = 200 \text{ m}$$

Επομένως από την §4.3.2 μπορεί να υπολογιστεί ο συντελεστής τραχύτητας και για $z_{\min} \leq z \leq z_{\max}$ δίνεται ως εξής:

$$\Rightarrow c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)$$

Τότε ο υπολογισμός του k_r είναι:

$$\Rightarrow k_r = 0.19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0.07} \Rightarrow k_r = 0.19 \cdot \left(\frac{0.3}{0.05}\right)^{0.07} = 0,215$$

Ο τελικός συντελεστής τραχύτητας είναι:

$$\Rightarrow c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \Rightarrow c_r(z) = 0.215 \cdot \ln\left(\frac{16}{0,3}\right) = 0,855$$

Ο συντελεστής τοπογραφικής διαμόρφωσης ισούται:

Σύμφωνα με την §4.3.3 και αφού το κτίριο εμπίπτει στη κατηγορία III και $\Phi < 0,05$ τότε ο συντελεστής διαμόρφωσης ισοδυναμεί $c_o(z) = 1$.

Με αυτό συνεπάγεται πως η μέση ταχύτητα ανέμου για συγκεκριμένο ύψος z να είναι ίσο με :

$$v_m(z_e) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b = 0,855 \cdot 1,0 \cdot 24,0 = 20,52 \text{ m/sec.}$$

Με βάση και με τις πιο πάνω τιμές του $z_{\min} = 5 < z_e = 16 \text{ m} < z_{\max} = 200 \text{ m}$, η ένταση στροβιλισμού $I_v(z)$ σε συγκεκριμένο ύψος z πάνω από το έδαφος είναι:

$$I_v(z) = \frac{\sigma_v}{v_m(z)} = \frac{k_f}{[c_o(z) \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)]} \Rightarrow I_v(z) = \frac{1,0}{[1,0 \cdot \ln\left(\frac{16}{0,3}\right)]} = 0,251$$

Άρα η μέγιστη πίεση ταχύτητας είναι ίση με:

$$q_p(z_e) = [1+7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z_e) \Rightarrow q_p(z_e) = (1+7 \cdot 0,251) \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 20,52^2 = 0,726 \text{ KN/m}^2$$

2) Συντελεστές πίεσης

Στον πιο κάτω Πίνακα 31 δίνονται οι μέγιστοι και οι ελάχιστοι συντελεστές πίεσης για λόγο πληρότητας $\phi = 0$ όπως προκύπτουν από τον Πίνακα 13 και για γωνία στέγης $\alpha = 20^\circ$.

Πίνακας 31: Μέγιστοι και ελάχιστοι συντελεστές πίεσης για δίκλινο στέγαστρο, με λόγο πληρότητας $\phi = 0$ και για γωνία κλίσης στέγης $\alpha = 20^\circ$

$c_{p,net}$	Ζώνη				Συνολικός Συντελεστής Δύναμης c_f
	A	B	C	D	
max $\phi = 0$	1,1	1,9	1,5	0,4	0,6
min $\phi = 0$	-1,2	-1,8	-1,4	-2,0	-0,9

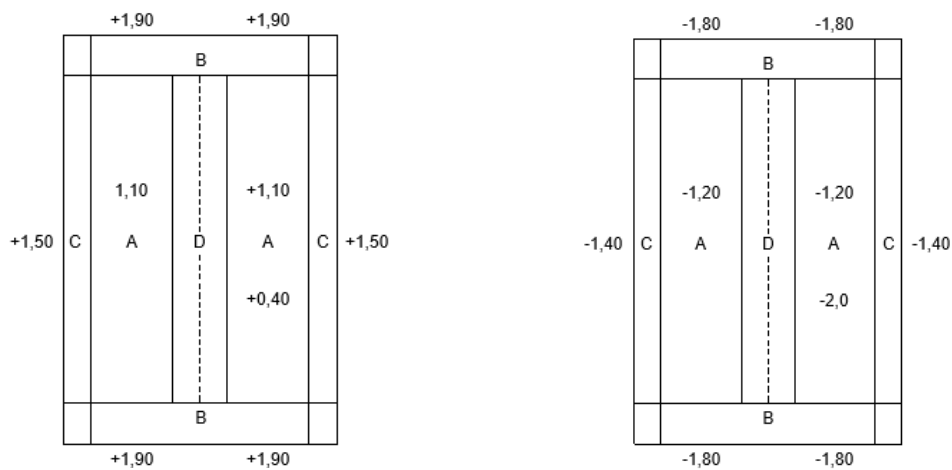
3) Πιέσεις ανέμου

Στον Πίνακα 32 δίνεται η εξωτερική πίεση που θα εξασκηθεί σε κάθε ζώνη του και στο Σχήμα 39 παρουσιάζονται οι κατανομές των τελικών πιέσεων στις επιφάνειες του στεγάστρου. Σύμφωνα με τη παράγραφο §3.3 η εξωτερική πίεση w_e είναι ίση με:

$$w_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe} \Rightarrow w_e = 0,749 \cdot c_{pe}$$

Πίνακας 32: Μέγιστες και ελάχιστες τιμές πιέσεων ανέμου για βαθμό πληρότητας $\phi = 0$

w_e (KN/m ²)	Ζώνη			
	A	B	C	D
max $\phi = 0$	0,824	1,423	1,124	0,300
min $\phi = 0$	-0,899	-1,348	-1,049	-1,498



Σχήμα 39: Μέγιστοι και ελάχιστοι συντελεστές $c_{p,net}$ για βαθμό πληρότητας $\phi = 0$

4) Συνισταμένη δυνάμεων

Σύμφωνα με τους συνολικούς συντελεστές δυνάμεων c_f που προέρχονται από τον Πίνακα 13 για δίκλινες στέγες και με γωνία κλίσης $\alpha = 20^\circ$, οι συνολικοί συντελεστές πίεσης είναι οι εξής:

$$\text{Για } \max \varphi = 0 \Rightarrow c_{p,\text{net}} = 0,6$$

$$\text{Για } \min \varphi = 0 \Rightarrow c_{p,\text{net}} = -0,9$$

Τότε οι αντίστοιχες εξωτερικές πιέσεις είναι:

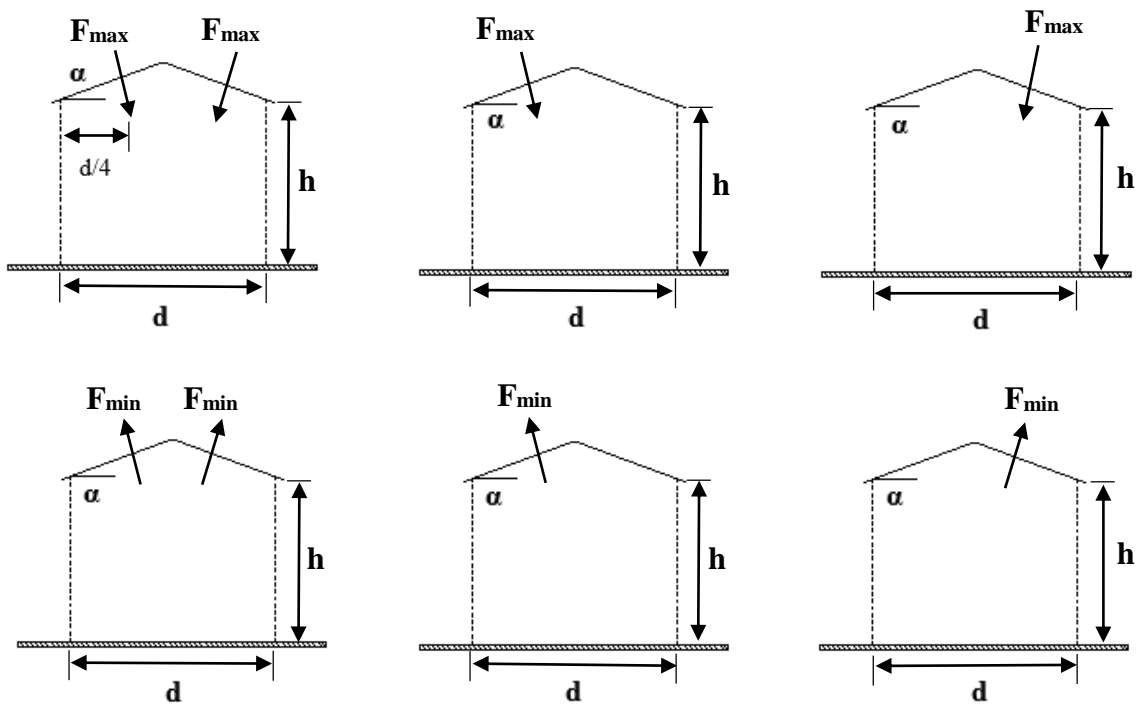
$$w_{e,\text{max}} = 0,749 \cdot 0,6 = 0,449 \text{ KN/m}^2$$

$$w_{e,\text{min}} = 0,749 \cdot (-0,9) = -0,674 \text{ KN/m}^2$$

Άρα η συνολική δύναμη σε κάθε κεκλιμένη επιφάνεια όπως φαίνεται και στο Σχήμα 40 είναι οι εξής:

$$\text{Για } F_{\text{max}} = w_{e,\text{max}} \cdot A_f \Rightarrow F_{\text{max}} = 0,449 \cdot 16 \cdot 30 = 215,52 \text{ KN}$$

$$\text{Για } F_{\text{min}} = w_{e,\text{min}} \cdot A_f \Rightarrow F_{\text{min}} = -0,674 \cdot 16 \cdot 30 = -323,52 \text{ KN}$$



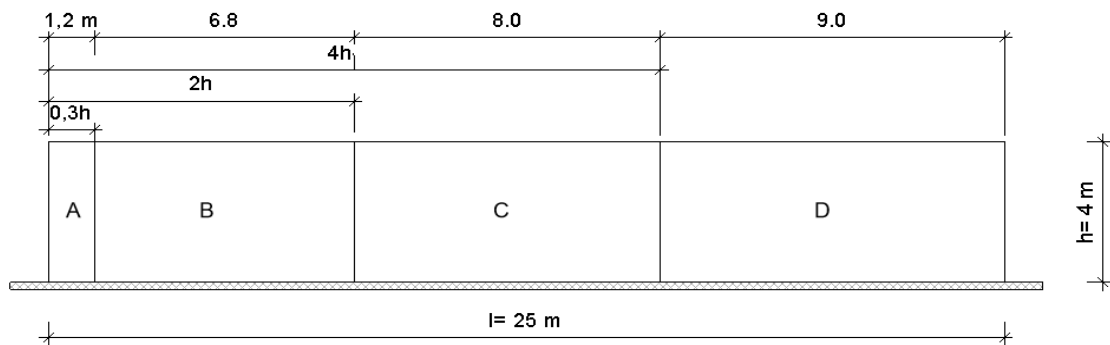
Σχήμα 40: Περιπτώσεις συνολικής δύναμης επί του στεγαστρου για F_{max} και F_{min}

7.5 Παράδειγμα 5: Συμπαγής κατακόρυφος τοίχος (σκυρόδεμα)

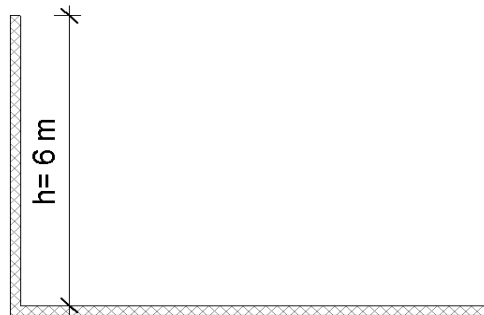
Σκοπός του παραδείγματος είναι να γίνει υπολογισμός των καθαρών πιέσεων που δρουν επάνω στον ελεύθερο συμπαγή τοίχο που φαίνεται στο Σχήμα 41 ο οποίος είναι κατασκευασμένος από σκυρόδεμα με εγκάρσια προέκταση.

Παραδοχές: Ο συμπαγής κατακόρυφος τοίχος δεν προστατεύεται

Δεδομένα: Κατηγορία εδάφους IV, ταχύτητα ανέμου $v_{b,0} = 30$ m/s. Όλες οι διαστάσεις του τοίχου φαίνονται στο πιο κάτω σχήμα.



Όψη



Κάτωψη

Σχήμα 41: Γεωμετρικά στοιχεία τοίχου

Λύση

Από την §6.3.1 για ελεύθερους συμπαγείς τοίχους ο λόγος πληρότητας είναι ίσος με $\phi = 1$ και για $l/h = 6,25$. Για ενδιάμεσες τιμές του πιο πάνω λόγου χρειάστηκε γραμμική παρεμβολή για την εύρεση των συντελεστών καθαρής πίεσης για κάθε ζώνη. Οι πιο κάτω τιμές έγιναν σύμφωνα με τις τιμές τον Πίνακα 15. Το ύψος αναφοράς για τους ελεύθερα διαχωριστικούς τοίχους είναι ίσο με $z_e = h$. Άρα στην περίπτωση μας $z_e = h = 4$ m.

1) Συντελεστής πίεσης

Άρα συντελεστές καθαρής πίεσης που προκύπτουν μέσα από τη γραμμική παρεμβολή δίνονται στο πιο κάτω Πίνακα 33:

Πίνακας 33: Συντελεστές καθαρής πίεσης

$C_{p,net}$	Ζώνη			
	A	B	C	D
	3,025	1,875	1,475	1,2

2) Πίεση αναφοράς

Από τα δεδομένα της άσκησης η ταχύτητα ανέμου είναι ίση με:

$$v_{b,o} = C_{dir} \cdot C_{season} \cdot v_{b,o} \Rightarrow v_{b,o} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 30,0 = 30 \text{ m/s}$$

και σύμφωνα με την §4.5 η πίεση αναφοράς είναι ίση με:

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_{b,o}^2 \Rightarrow q_b = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 30^2 = 0,563 \text{ KN/m}^2$$

3) Λυγηρότητα λ και μειωτικός συντελεστής λυγηρότητας ψ_λ

Σύμφωνα με την §6.6 για λυγηρότητα $\lambda = l/h = 25/4 = 6,25$ και για λόγο πληρότητας $\phi = 1,0$ προκύπτει ο μειωτικός συντελεστής να είναι ίσος με $\psi_\lambda = 0,67$.

4) Συντελεστής έκθεσης

Από το Διάγραμμα 2, για $z_e = 4 \text{ m}$, κατηγορία εδάφους IV και για συντελεστή τοπογραφικής διαμόρφωσης $c_o = 1$ προκύπτει ο συντελεστής έκθεσης είναι ίσος με $c_e(z_e) = 1,18$.

5) Τελικές πιέσεις

Στον πιο κάτω Πίνακα 34 φαίνονται οι τελικές πιέσεις για κάθε ζώνη που προέκυψαν από το τύπο $w_{p,net} = \psi_\lambda \cdot q_{ref} \cdot c_e(z_e) \cdot C_{p,net}$

Πίνακας 34: Τελικές πιέσεις κάθε ζώνης

$w_{p,net}$ (KN/m ²)	Ζώνη			
	A	B	C	D
	1,367	0,847	0,665	0,542

Ζώνη A: $0,68 \cdot 0,563 \cdot 1,18 \cdot 3,025 = 1,367 \text{ KN/m}^2$

Ζώνη B: $0,68 \cdot 0,563 \cdot 1,18 \cdot 1,875 = 0,847 \text{ KN/m}^2$

Ζώνη C: $0,68 \cdot 0,563 \cdot 1,18 \cdot 1,472 = 0,665 \text{ KN/m}^2$

Ζώνη D: $0,68 \cdot 0,563 \cdot 1,18 \cdot 1,2 = 0,542 \text{ KN/m}^2$

6) Συντελεστής και δύναμη τριβής

Η επιφάνεια αναφοράς σύμφωνα με την §6.7 είναι ίση με:

$$A_{fr} = 2 \cdot h \cdot d \Rightarrow A_{fr} = 2 \cdot 4 \cdot 25 = 200 \text{ m}^2$$

και ο συντελεστής τριβής από τον Πίνακα 16 για τραχύ σκυρόδεμα είναι ίσος με:

$$c_{fr} = 0,02$$

Άρα η συνολική δύναμη τριβής η οποία εξασκείται παράλληλα προς τις επιφάνειες του τοίχου είναι:

$$F_w = q_p \cdot c_e(z_e) \cdot c_{fr} \cdot A_{fr} \Rightarrow F_w = 0,563 \cdot 1,18 \cdot 0,02 \cdot 200 = 2,66 \text{ KN}$$

7.6 Παράδειγμα 6: Πινακίδα σήμανσης

Σκοπός του παραδείγματος είναι να γίνει ο υπολογισμός της συνολικής δύναμης που δρα πάνω σε μια μεταλλική πινακίδα σήμανσης λόγω ανέμου όπως φαίνεται στο Σχήμα 42.

Δεδομένα: Κατηγορία εδάφους III, Ταχύτητα ανέμου $v_{b,o} = 30$ m/s

Λύση

Για $z_g = 3,5$ m $>$ $h/4 = 1,25$ m και με βάση την §6.3.2 ο συντελεστής δύναμης ισοδυναμεί με $c_f = 1,80$.

Το ύψος αναφοράς είναι ίσο με:

$$z_e = h/2 + z_g \Rightarrow z_e = 5/2 + 3,5 = 6$$
 m

Το εμβαδό της επιφάνειας αναφοράς είναι ίσο με:

$$A_{ref} = b \cdot h \Rightarrow A_{ref} = 3 \cdot 5 = 15$$
 m²

1) Πίεση αναφοράς

Για ταχύτητα ανέμου που δρα επάνω στην πινακίδα:

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,o} \Rightarrow v_b = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 30 = 30$$
 m/sec

Η πίεση αναφοράς σύμφωνα με την §4.5 είναι ίση με:

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_{b,o}^2 \Rightarrow q_b = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 30^2 = 0,563$$
 KN/m²

2) Συντελεστής έκθεσης

Ο συντελεστής έκθεσης δίνεται από το Διάγραμμα 2 για ύψος αναφοράς $z_e = 6$ m και για κατηγορία εδάφους III καθώς και συντελεστής τοπογραφικής διαμόρφωσης $c_o(z) = 1$ τότε:

$$c_e(z_e) = 1,30$$

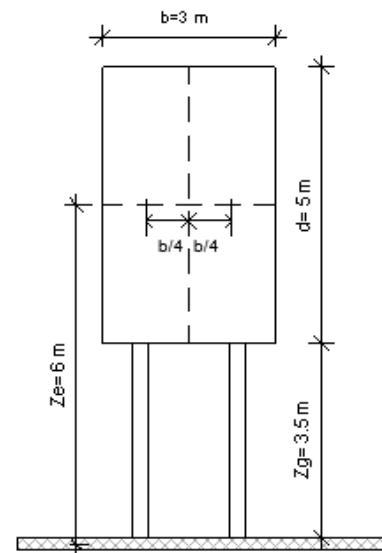
3) Συνολική δύναμη F_w

Από την §5.1 η συνολική δύναμη F_w είναι ίση με:

$$F_w = q_{ref} \cdot c_e(z_e) \cdot c_f \cdot A_{ref} \Rightarrow F_w = 0,563 \cdot 1,30 \cdot 1,80 \cdot 15 = 19,76$$
 KN

η οποία δύναμη ασκείται στο ύψος του κέντρου της πινακίδας με οριζόντια εκκεντρότητα και η οποία είναι ίση με:

$$e = \pm b/4 = \pm 0,75$$
 m



Σχήμα 42: Γεωμετρικά στοιχεία πινακίδας σήμανσης

Κεφάλαιο 8

8 Παράθυρα και Θύρες - Μέθοδος Εξέτασης Σε Αντίσταση Των Φορτίων Ανέμου

8.1 Σκοπός

Για τον προσδιορισμό της αντοχής σε φορτία ανέμου για πλήρως κατασκευασμένα παράθυρα και θύρες για κάθε υλικό όταν υποβάλλεται σε θετικές ή αρνητικές πιέσεις δοκιμών δίνονται μέσα από τα Ευρωπαϊκά πρότυπα όπου έγιναν οι απαραίτητες δοκιμές για τις πιο πάνω εξετάσεις.

Αυτή η δοκιμή εξέτασης σχεδιάστηκε για να ληφθούν υπόψη οι συνθήκες για τις οποίες χρησιμοποιούνται, όταν το παράθυρο ή θύρα εγκαθίστανται σύμφωνα με τις κατασκευαστικές προδιαγραφές και οι απαιτήσεις που σχετίζονται με τα Ευρωπαϊκά πρότυπα και κώδικες πρακτικής.

Το συγκεκριμένο Ευρωπαϊκό πρότυπο δεν εφαρμόζεται σε αρθρώσεις μεταξύ του παραθύρου ή του πλαισίου της θύρας καθώς και τη κατασκευή κτιρίων και δεν αποσκοπεί στην αξιολόγηση αντοχής του γυαλιού. (EN 12211:2016)

8.2 Στόχος Εξέτασης παραθύρων και θυρών

Ο απώτερος στόχος της εξέτασης των παραθύρων και θυρών είναι να δοκιμαστούν τα στοιχεία σε διάφορες εργαστηριακές ανεμοπιέσεις και μετά από συγκεκριμένες τιμές κύκλων φορτίσεων των πιέσεων να καταγραφεί η μετωπική μετατόπιση όπου είναι η μετακίνηση ενός σημείου επάνω στο πλαίσιο του μέλους το οποίο μετρείται κανονικά στο πλαίσιο. Στη συνέχεια εξετάζεται η μετωπική τροπή δηλαδή η μετακίνηση μέλους του πλαισίου μείον το μισό του αθροίσματος των μετωπικών μετακινήσεων σε κάθε άκρο του μέλους. Τέλος βρίσκουμε τη σχετική παραμόρφωση του πλαισίου εξέτασης, υποδιαιρεμένο μήκος πάνω από το οποίο μετρήθηκε αρχικά η μετωπική παραμόρφωση (π.χ απόσταση των άκρων του μέλους). Όταν πραγματοποιηθεί η δοκιμή εξέτασης και με βάση τα αποτελέσματα που θα εξετάσουμε πιο πάνω θα δούμε αν είναι κατάλληλο το πλαίσιο που θέλουμε με βάση το σκοπό που θέλουμε να το χρησιμοποιήσουμε. Στη συνέχεια θα παρουσιαστεί πως γίνεται και κατηγοριοποίηση των στοιχείων.

8.2.1 Δοκιμαστική πίεση

Η δοκιμαστική πίεση είναι η διαφορά μεταξύ των στατικών πιέσεων αέρα εντός και εκτός του μέλους δοκιμής.

Σημείωση 1 στη καταχώρηση: Η πίεση δοκιμής είναι θετική εάν η στατική πίεση αέρα εντός του θαλάμου της συσκευής δοκιμής είναι υψηλότερη από εκείνη που βρίσκεται εκτός του θαλάμου δοκιμίου.

Σημείωση 2 στη καταχώρηση : Η πίεση δοκιμής είναι αρνητική εάν η στατική πίεση αέρα εντός του θαλάμου της συσκευής δοκιμής είναι χαμηλότερη από εκείνη που βρίσκεται εκτός θαλάμου δοκιμίου.

Για τους σκοπούς των δοκιμών αυτών, καθορίζονται τρεις ομάδες πίεσης δοκιμής:

- P1 η οποία εφαρμόζεται για τη μέτρηση των εκτροπών των τμημάτων του δοκιμίου.
- P2 μέσω της παλμικής πίεσης η οποία εφαρμόζεται για 50 κύκλους ούτως ώστε να εκτιμηθεί η απόδοση υπό επαναλαμβανόμενες φορτίσεις του αέρα.
- P3 εφαρμόζεται για την αξιολόγηση της ασφάλειας του δοκιμίου σε ακραίες συνθήκες. Για αυτό και τα στοιχεία υποβάλλονται σε πιέσεις μεγαλύτερες των 2000 Pa.

Οι τιμές των P1, P2, P3 σχετίζονται ως ακολούθως:

$$P2 = 0,5P1 \text{ και } P3 = 1,5P1$$

8.3 Αρχές δοκιμής

Γίνεται η εφαρμογή μιας καθορισμένης σειράς θετικών και αρνητικών πιέσεων στις οποίες πραγματοποιούνται μετρήσεις και επιθεωρήσεις για την εκτίμηση της σχετικής μετωπικής παραμόρφωσης και της αντοχής σε ζημιές από φορτίσεις ανέμου.

8.4 Έλεγχος διαπερατότητα του αέρα

Ο έλεγχος διαπερατότητας του αέρα στα παράθυρα είναι ένας αναγκαίος έλεγχος στην αρχική διαδικασία δοκιμής. Με τον όρο διαπερατότητα του αέρα αναφερόμαστε στην ποσότητα του αέρα που θα διαπεράσει μέσα από ένα παράθυρο ή πόρτα όταν είναι κλειστά. Είναι ένας σημαντικός παράγοντας ώστε η πίεση που θα ασκηθεί στα

κουφώματα του αέρα να έχει επαρκή αντίσταση. Καθώς η δοκιμή αυτή αναφέρεται κατά κύριο λόγο στην ποιότητα των συστημάτων σφράγισης, μηχανικής και κατασκευής ώστε να εξασφαλισθεί πως όλα τα μέλη του ανοίγματος θα είναι επαρκώς σφραγισμένα για να σταματήσουν τη διείσδυση του αέρα όσο το δυνατό περισσότερο.

Είναι σημαντικός παράγοντας για την άνεση στους εσωτερικούς χώρους ώστε να γίνεται η ελάχιστη είσοδος ανέμου και είναι επίσης εξίσου σημαντικό για περιβαλλοντικούς παράγοντες όπου υπάρχει περιορισμός της μετακίνησης ενέργειας από το εσωτερικό προς το εξωτερικό του συστήματος.

Η αεροδιαπερατότητα χωρίζεται σε κλάσεις από το 1- 4. Κατά τη δοκιμή εξέτασης γίνεται μέτρηση δύο μεγεθών. Αρχικά γίνεται έλεγχος της αεροδιαπερατότητας του κουφώματος που οφείλεται λόγω της συνολικής επιφάνειας και αυτή που μετράει το μήκος των αρμών του φύλλου. Μεταξύ της σύγκρισης των δύο μετρήσεων εξάγεται η τελική ταξινόμηση. Σε περίπτωση όπου ένα κούφωμα βρίσκεται στην ίδια κλάση και κατηγορία, τότε είναι και η κλάση που τελικά κατατάσσεται. Αν στη περίπτωση όπου οι κλάσεις στις δύο κατηγορίες είναι κοντινές τότε το κούφωμα παίρνει την πιο κατάλληλη κοντινή κλάση. Όταν υπάρξει διαφορά δύο κλάσεων τότε το κούφωμα παίρνει τη μεσαία τάξη.

(EN 14351-1:2006 + A2:2016)

Στους πιο κάτω Πίνακες 35 και 36 παρουσιάζονται οι κλάσεις της αεροδιαπερατότητας για συνολική επιφάνεια και συνολική αρμών αντίστοιχα. Στον Πίνακα 37 φαίνονται οι τιμές πίεσης Pa και πως αυτές μεταφράζονται σε κλίμακα μποφόρ, η ανάπτυξη ταχύτητας (km/h) και η περιγραφή των συνθηκών που δημιουργούνται.

Πίνακας 35: Διαπερατότητα συνολικής επιφάνειας

Διαπερατότητα συνολικής επιφάνειας		
Κλάση	Διαπερατότητα στα 100 Pa ($m^3/h.m^2$)	Μέγιστη πίεση (Pa)
1	50	150
2	27	300
3	9	600
4	3	600

Πηγή: EN 14351-1:2006 + A2:2016

Πίνακας 36: Διαπερατότητα συνολικής αρμών

Διαπερατότητα συνολικής αρμών		
Κλάση	Διαπερατότητα στα 100 Pa (m³/h.m²)	Μέγιστη πίεση (Pa)
1	50	150
2	27	300
3	9	600
4	3	600

Πηγή: EN 14351-1:2006 + A2:2016

Πίνακας 37: Περιγραφή ισοδύναμης πίεσης σε μποφόρ και ταχύτητα

Μποφόρ	Πίεση (Pa)	Ταχύτητα (km/h)	Περιγραφή
5	50	29 – 38	Δροσερή αύρα
6	100	39 – 49	Δυνατός αέρας
7	150	50 – 61	Ενισχ. Δυνατός αέρας
8	200	62 – 74	Ελαφρά καταιγίδα
9	300	75 – 88	Καταιγίδα
10	450	89 – 102	Δυνατή καταιγίδα
11	600	103 – 117	Θύελλα
12	750	> 117	Κυκλώνας

Πηγή: EN 14351-1:2006 + A2:2016

8.5 Έλεγχος υδατοστεγανότητας κουφωμάτων

Η υδατοστεγανότητα είναι ένας δεύτερος παράγοντας που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη για τον έλεγχο των κουφωμάτων σε διάφορες πιέσεις νερού ούτως ώστε να μας δείξει από πιο στάδιο πίεσης και μετά, το κούφωμα θα αρχίσει να χάνει την υδατοστεγανότητα του και θα περάσει νερό στο εσωτερικό του χώρου μας.

Ο προσδιορισμός της υδατοστεγανότητας χωρίζεται σε διάφορες κατηγορίες όπου: (μικρότερη τιμή = χειρότερη) 1A-9^A και Exxx, (μεγαλύτερη = καλύτερη). Μετά τη κατηγορία 9A ακολουθεί η E με τη τιμή της πίεσης που εμφανίστηκε το φαινόμενο.

Όπως και στη αεροδιαπερατότητα και την υδατοστεγανότητα των κουφωμάτων προβλέπονται να υπάρξουν δύο μέθοδοι δοκιμής. Στην μια περίπτωση όπου τα κουφώματα είναι απόλυτα εκτεθειμένα σε βροχή και στη δεύτερη περίπτωση τα κουφώματα τα οποία είναι προστατευμένα από μπαλκόνι ή σκέπαστρο. Το δείγμα υποβάλλεται σε διαρκεί ψεκασμό νερού και ασκείται πάνω του συνεχόμενη πίεση για συγκεκριμένο χρόνο. (EN 14351-1:2006 + A2:2016)

Στον πιο κάτω Πίνακα 38 παρουσιάζεται η ταξινόμηση υδατοστεγανότητας κουφωμάτων για Μέθοδο A (κουφώματα εντελώς εκτεθειμένα) και Μέθοδο B (κουφώματα μερικώς προστατευμένα).

Πίνακας 38: Ταξινόμηση Υδατοστεγανότητας Κουφωμάτων

Ταξινόμηση Υδατοστεγανότητας Κουφωμάτων				
Κλάση	Πίεση δοκιμής (Pa)	Μέθοδος Α	Μέθοδος Β	Χρόνος Πίεσης Νερού (min)
1	0	1 Α	1 Β	15
2	50	2 Α	2 Β	15 + 5
3	100	3 Α	3 Β	20 + 5
4	150	4 Α	4 Β	25 + 5
5	200	5 Α	5 Β	30 + 5
6	250	6 Α	6 Β	35 + 5
7	300	7 Α	7 Β	40 + 5
8	450	8 Α	-	45 + 5
9	600	9 Α	-	50 + 5
Exx	> 600	Exx	-	> 600 Pa

Πηγή: EN 14351-1:2006 + A2:2016

8.6 Επισκευή

- 1) Ένας θάλαμος με ανοικτή πλευρά στο οποίο μπορεί να τοποθετηθεί το δοκιμαστικό δείγμα. Θα πρέπει να είναι κατασκευασμένο έτσι ώστε να είναι σε θέση να αντέχει τις πιέσεις χωρίς παραμόρφωση σε βαθμό που ενδέχεται να επηρεάσει τα αποτελέσματα των δοκιμών.
- 2) Μέσω της εφαρμογής ελεγχόμενης πίεσης δοκιμής εξέτασης του δοκιμίου.
- 3) Μέσω της παραγωγής ταχέων αλλαγών στη διαδικασία δοκιμής που ελέγχονται εκτός καθορισμένων ορίων.
- 4) Όργανο κατάλληλο για τη μέτρηση ποσότητας ροής αέρα μέσα ή έξω από το θάλαμο με ακρίβεια $\pm 5\%$ της μετρούμενης τιμής για ροές αέρα μεγαλύτερες από $1 \text{ m}^3/\text{h}$ και ακρίβεια $\pm 0,05 \text{ m}^3/\text{h}$ για ροές αέρα ίσες ή μικρότερες από $1 \text{ m}^3/\text{h}$.

Σημείωση: Ακρίβεια \pm (το άθροισμα του ποσού σφάλματος συν το ποσό της διευρυμένης αβεβαιότητας μέτρησης) για τιμές τόσο σφάλματος όσο και αυξημένης αβεβαιότητας βλέποντας τη βαθμονόμηση του οργάνου.

- 5) Μέσω μέτρησης της πίεσης δοκιμής που εφαρμόζεται στο δείγμα δοκιμής με ακρίβεια $\pm 5\%$.
- 6) Συσκευές όπως μέτρησης περιστροφής ή μεταδότες μετατόπισης, για τη μέτρηση μετατοπίσεων σημείων μέτρησης με ανάλυση 0,1 mm και με ακρίβεια $\pm 5\%$.
- 7) Μέσω για την κατάλληλη τοποθέτηση των συσκευών μέτρησης ώστε να εξασφαλίζεται η σταθερότητα του κατά τη διάρκεια της δοκιμής.
- 8) Μια ταινία μέτρησης με ακρίβεια 1 mm η οποία είναι αναγκαία για τη μέτρηση των απαραίτητων διαστάσεων όπως για παράδειγμα μέλη πλαισίου του δοκιμαστικού δείγματος.

8.7 Προετοιμασία δείγματος δοκιμής

Το εξεταστικό δοκίμιο πρέπει να στερεώνεται όπως έχει προβλεφθεί για τη χρήση χωρίς τυχόν περιστροφές και κάμψης που μπορεί να επηρεάσουν τα αποτελέσματα της δοκιμής. Το εξεταστικό δοκίμιο πρέπει να είναι πλήρως λειτουργικό.

Η ακαμψία της εξέδρας δοκιμής και η στερέωση των δοκιμαστικών δειγματος σε αυτό πρέπει να είναι επαρκείς ώστε να αποφεύγονται δυσμενείς επιδράσεις στην απόδοση του δείγματος κατά όλη τη διάρκεια δοκιμής.

Το εξεταστικό δοκίμιο πρέπει να είναι καθαρό και με ξηρή επιφάνεια.

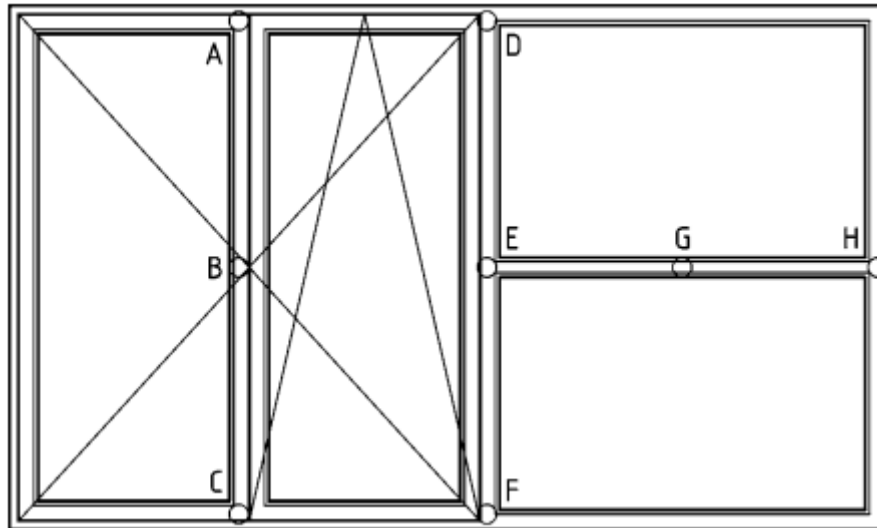
Τοποθέτηση συσκευής μέτρησης για μετωπική τροπή:

Η συσκευή μέτρησης πρέπει να στερεώνεται στη θέση τους σε κάθε άκρο και στο κέντρο μιας άκαμπτης δοκού η οποία είναι υποστηριζόμενη όσο το δυνατόν πλησιέστερα προς τα άκρα του μέλους του πλαισίου που πρόκειται να μετρηθεί.

Σημείωση Μέλος ενός πλαισίου θα μπορούσε να είναι στοιχείο ενός ανοίγματος ή πακτωμένου πλαισίου.

Για τη τοποθέτηση των συσκευών μέτρησης φαίνονται στα Σχήματα 43 έως 46.

Μετρήσεις Παραμορφώσεων



Σχήμα 43: Σημεία μέτρησης σε παράθυρο με διπλά φύλλα και σταθερά μέρη (EN 12211:2016)

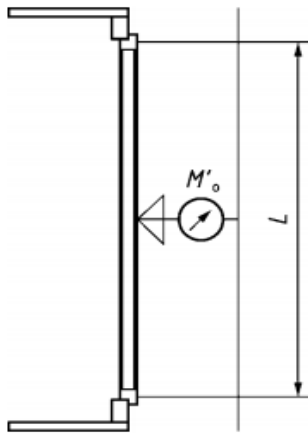
Έννοια Συμβολισμών

A, B, C, D, E, F, G, H Τα σημεία μέτρησης που είναι τοποθετημένα σε ένα πλαίσιο με την εξέδρα δοκιμής

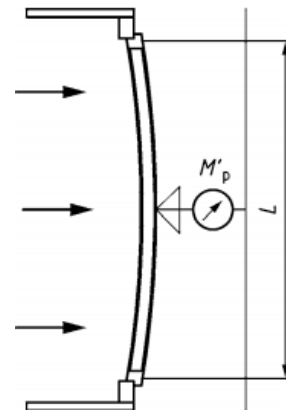
Σημείωση: Στον τύπο που ακολουθεί το δεύτερο γράμμα p ή o, δηλώνει την πίεση δοκιμής P1 ή μηδέν.

Παράδειγμα

B_p :	η μέτρηση στην πίεση δοκιμής = P1
B_o :	η μέτρηση στην πίεση δοκιμής = 0 Pa
$B_p - B_o$:	μετωπική μετατόπιση στο συγκεκριμένο σημείο
$E_p - E_o$:	μετωπική μετατόπιση κάθετη στη ράβδο μεταξύ των υαλοπινάκων στο παράθυρο
$G_p - G_o$:	μετωπική μετατόπιση στο ανώφλι του παραθύρου
$(B_p - B_o) - \frac{(A_p - A_o) + (C_p - C_o)}{2}$:	μετωπική παραμόρφωση στο συγκεκριμένο σημείο
$(E_p - E_o) - \frac{(D_p - D_o) + (F_p - F_o)}{2}$:	μετωπική παραμόρφωση κάθετη στη ράβδο μεταξύ των υαλοπινάκων στο παράθυρο
$(G_p - G_o) - \frac{(E_p - E_o) + (H_p - H_o)}{2}$:	μετωπική παραμόρφωση στο ανώφλι του παραθύρου



Δοκιμή πίεσης για 0 Pa

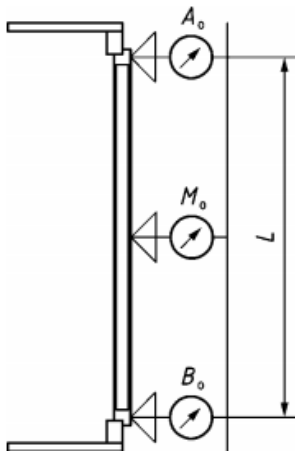


Δοκιμή πίεσης για P1

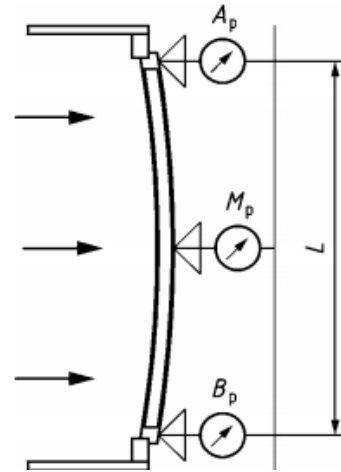
Σχήμα 44: Μετρήσεις μεμονωμένου μετρητή σε σχέση με το πλαίσιο (EN 12211:2016)

Έννοια Συμβολισμών

L:	πλάτος και / ή μήκος
M'_0 :	μετωπική παραμόρφωση για πίεση δοκιμής 0 Pa
M'_p :	μετωπική παραμόρφωση για πίεση δοκιμής P1
Μετωπική παραμόρφωση:	$F_p = M'_p - M'_0$
Σχετική μετωπική παραμόρφωση:	$F_{rp} = \frac{F_p}{L}$



Δοκιμή πίεσης για 0 Pa

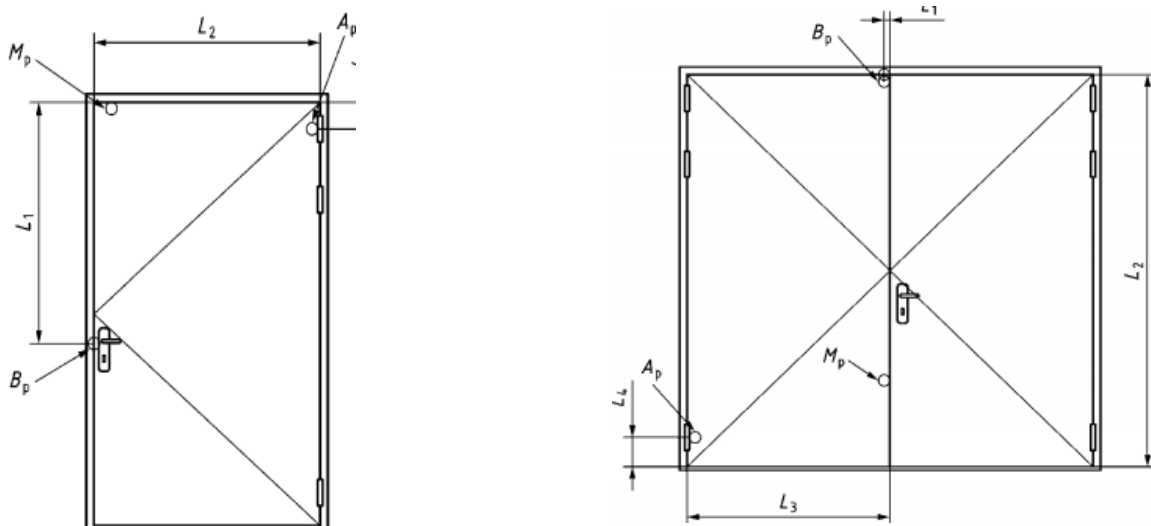


Δοκιμή πίεσης για 0 P1

Σχήμα 45: Μετρήσεις μεμονωμένου μετρητή σε σχέση με το πλαίσιο (EN 12211:2016)

Έννοια Συμβολισμών

A_0 :	μετωπική παραμόρφωση στη κορυφή σε πίεση δοκιμής ίση με 0 Pa
A_p :	μετωπική παραμόρφωση στη κορυφή σε πίεση δοκιμής ίση με P1
B_0 :	μετωπική παραμόρφωση στο κάτω μέρος σε πίεση δοκιμής ίση με 0 Pa
B_p :	μετωπική παραμόρφωση στο κάτω μέρος σε πίεση δοκιμής ίση με P1
L :	πλάτος και / ή μήκος
M_0 :	μετωπική παραμόρφωση στο κέντρο σε πίεση δοκιμής ίση με 0 Pa
M_p :	μετωπική παραμόρφωση στο κέντρο σε πίεση δοκιμής ίση με P1
Μετωπική μετατόπιση:	$D_p = M_p - M_0$
Μετωπική παραμόρφωση:	$F_p = (M_p - M_0) - \frac{(A_p - A_0) + (B_p - B_0)}{2}$
Σχετική μετωπική παραμόρφωση:	$F_{rp} = \frac{F_p}{L}$



Σχήμα 46: Μέτρηση σημείων σε μονές και διπλές πόρτες (EN 12211:2016)

Έννοια Συμβολισμών

- A_p : μετωπική κάμψη στην άρθρωση της πόρτας με πίεση δοκιμής P1
 A_o : μετωπική κάμψη στην άρθρωση της πόρτας με πίεση δοκιμής 0 Pa
 B_p : μετωπική κάμψη στο κλείδωμα της πόρτας με πίεση δοκιμής P1
 B_o : μετωπική κάμψη στο κλείδωμα της πόρτας με πίεση δοκιμής 0 Pa
 L_1, L_2, L_3 : απόσταση
 M_p : μετωπική κάμψη στο κέντρο της πόρτας με πίεση δοκιμής P1
 M_o : μετωπική κάμψη στο κέντρο της πόρτας με πίεση δοκιμής 0 Pa

Μετωπική εκτροπή:
$$F_p = (M_p - M_o) - \frac{(A_p - A_o) + (B_p - B_o)}{2}$$

Σχετική μετωπική

Εκτροπή(μονή πόρτα):
$$F_{TP} = \frac{F_p}{L_1 + L_2 + L_3}$$

Σχετική μετωπική

Εκτροπή(διπλή πόρτα):
$$F_{TP} = \frac{F_p}{L_1 + L_2 + L_3 + L_4}$$

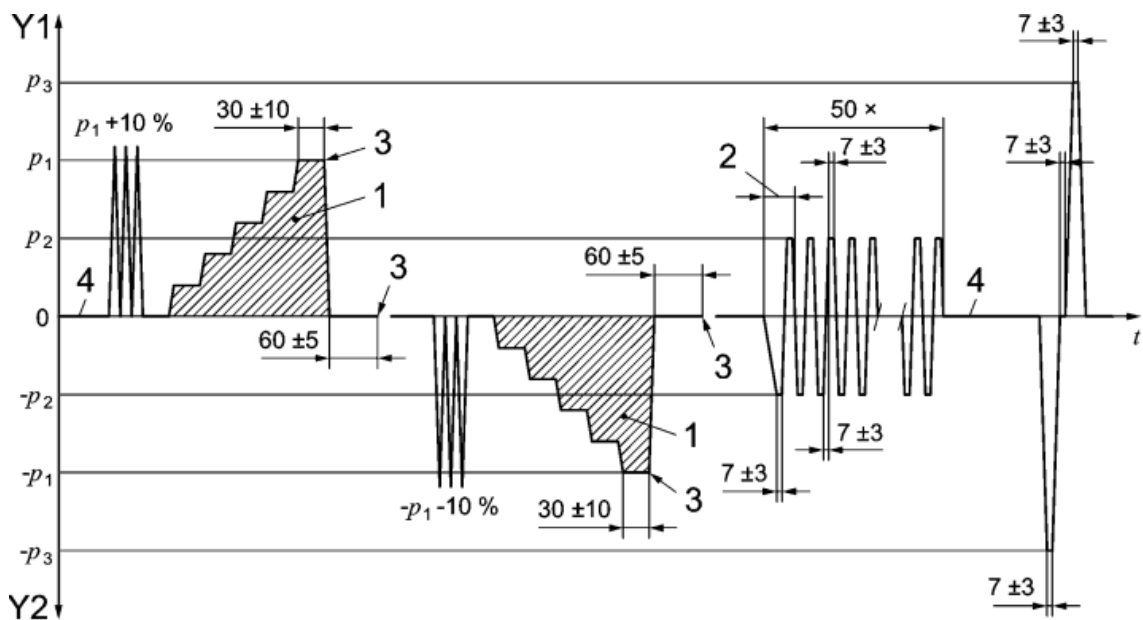
8.8 Διαδικασία δοκιμής

8.8.1 Προκαταρκτικά δοκιμής

Η θερμοκρασία και η υγρασία περιβάλλοντος κοντά στο δοκίμιο πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 10°C έως 30°C και 25% έως 75% RH αντίστοιχα. Το δοκίμιο πρέπει να προετοιμάζεται για τουλάχιστον 4 ώρες μετά από τη δοκιμή.

Το δείγμα δοκιμής πρέπει να βρίσκεται στην καθορισμένη κατάσταση κλεισίματος σύμφωνα με τις οδηγίες κατασκευής.

Στο Σχήμα 47 δείχνει τη σειρά δοκιμής που πρέπει να διενεργηθεί και το σύνολο των πιέσεων δοκιμών και τα χαρακτηριστικά τους που πρέπει να εφαρμοστούν. Η εξέταση για την διαπερατότητα του αέρα πρέπει να υλοποιείται πριν την αντίσταση των φορτίων ανέμου σε δοκιμές πίεσης P1 και P2.



Σχήμα 47: Σειρά δοκιμών για αντίσταση φορτίων ανέμου (EN 12211:2016)

Έννοια Συμβολισμών

1. Αύξηση ή συνεχείς διακυμάνσεις που δεν υπερβαίνει τα 100 Pa/s Y1 θετική Πίεση
2. Κύκλος, αρνητική και θετική πίεση Y2 αρνητική Πίεση
3. Μετωπική μετατόπιση ή υπολειπόμενη μετωπική παραμόρφωση t χρόνος (s)
4. Δοκιμή διαπερατότητα αέρα

8.9 Δοκιμή Παραμόρφωσης

Καταγραφή του μήκους των μελών των οποίων η μετωπική εκτροπή πρέπει να μετρηθεί.

Σημείωση: Εάν πρόκειται να μετρηθούν πολλές μετατοπίσεις ή παραμορφώσεις μπορούν να καταγραφούν είτε κατά τη διάρκεια μιας σειράς ακολουθιών της πίεσης δοκιμής σε P1, είτε κατά τη διάρκεια όσων αλληλουχιών σε P1 καθώς υπάρχουν μετρήσεις που πρέπει να γίνουν.

8.9.1 Θετική Πίεση

Γίνεται εφαρμογή τριών παλμών πιέσεων, κάθε 10% μεγαλύτερο από τη πίεση ελέγχου P1. Ο χρόνος για την επίτευξη των μέγιστων πιέσεων δεν πρέπει να είναι μικρότερος από 1 δευτερόλεπτο και πρέπει να διατηρείται για τουλάχιστον 3 δευτερόλεπτα. Όλοι οι αισθητήρες πρέπει να τοποθετηθούν για μηδενική πίεση ή να καταγράφεται η αρχική τους ένδειξη.

Εφαρμογή δοκιμή πίεσης ίση με P1 σύμφωνα με τη ταξινόμηση που απαιτείται για το δείγμα δοκιμής με ρυθμό που δεν υπερβαίνει τα 100 Pa, είτε σταδιακά ή συνεχώς. Όταν η πίεση P1 έχει εφαρμοστεί για 30 δευτερόλεπτα, γίνεται η καταγραφή της μετωπικής τροπής ή μετωπικής μετατόπισης αντίστοιχα.

Μείωση δοκιμής σε 0 Pa, με ρυθμό όχι μεγαλύτερο από 100 Pa/s και μετά από (60 ± 50) καταγράφουν την παραμένουσα μετωπική εκτροπή ή μετωπική μετατόπιση.

(EN 12211:2016)

8.9.2 Αρνητική Πίεση

Εφαρμογή της ίδιας διαδικασίας 8.9.1 χρησιμοποιώντας αρνητική πίεση.

8.10 Επαναλαμβανόμενη δοκιμή πίεσης

Το δοκίμιο υποβάλλεται σε 50 κύκλους που περιλαμβάνουν αρνητικές και θετικές πιέσεις, με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- Η δοκιμή πίεση είναι ίση με P2
- Το πρώτο βήμα είναι αρνητικό, το επόμενο είναι θετικό όπως η τελευταία από τη σειρά των 50 παραμορφώσεων.

- Η διακύμανση από $-P2$ σε $+P2$ και η ανάστροφη διαδρομή πρέπει να είναι $(7\pm 3)s$. Η τιμή $P2$ διατηρείται τουλάχιστον για $(7\pm 3)s$.
- Μετά τη συμπλήρωση των 50 κύκλων, ανοίγοντας και κλείνοντας τα κινούμενα μέρη του δοκιμίου και σημειώνοντας τη βλάβη ή τα ελαττώματα λειτουργίας εάν υπήρξαν. Ξανά επαναλαμβάνουμε τη δοκιμή αεροδιαπερατότητας με βάση τον κώδικα EN 1026.

8.11 Δοκιμή ασφαλείας

Το εξεταστικό δοκίμιο πρέπει να υποβάλλεται σε έναν κύκλο συμπεριλαμβανομένης της αρνητικής και θετικής πίεσης με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- Δοκιμαστική πίεση ίση με $P3$
- Πρώτα εφαρμόζεται η αρνητική δοκιμή πίεσης
- Διακύμανση από $0 Pa$ σε $-P3$ και ξανά πίσω από $-P3$ σε $0 Pa$ η οποία πρέπει να είναι $(7\pm 3)s$. Η μέγιστη δοκιμή πίεσης $P3$ πρέπει να διατηρείται για $(7\pm 3)s$
- Θετική δοκιμή πίεση εφαρμόζεται μετά τα $(7\pm 3)s$ και μετά το υπόλοιπο για $0 Pa$
- Διακύμανση από $0 Pa$ σε $+P3$ και πίσω για $0 Pa$ η οποία πρέπει να έχει την ίδια διάρκεια όσο για αρνητική δοκιμή πίεσης $-P3$

Μετά τη καταγραφή της δοκιμής ασφαλείας εάν το δοκίμιο παραμένει κλειστό και περιγράφει οποιαδήποτε τμήματα του δοκιμίου τα οποία έχουν αποκολληθεί.

Στο πιο κάτω Πίνακα 39 φαίνονται οι τιμές πίεσης $P1$ που διενεργούνται και ο αριθμός των κύκλων πιέσεων με βάση τον κώδικα EN 14351-1:2006 + A2:2016.

Πίνακας 39: Κατηγοριοποίηση των αντίστοιχων τιμών πίεσης P1

Αντίσταση σε φορτίο ανέμου		
Δοκιμή	Αντίσταση σε φορτίο ανέμου Δοκιμή πίεσης P1 (Pa)	Κλάση
1	(400)	1
2	(800)	2
3	(1200)	3
4	(1600)	4
5	(2000)	5
6	(> 2000)	6

Πηγή: EN 14351-1:2006 + A2:2016

8.12 Παραμόρφωση

Η παραμόρφωση και μετατόπιση, κάτω από τα βήματα πίεσης για + P1 και – P1 πρέπει να καταγράφονται. Οι σχετικές μετωπικές παραμορφώσεις πρέπει να υπολογίζονται σε μορφή κλάσματος με τον αριθμητή ίσο με 1 και ο παρονομαστής εκφράζει 3 σημαντικά στοιχεία.

Στον Πίνακα 40 φαίνονται οι κλάσεις ενός στοιχείου που υποβάλλεται υπό πίεση P1 και έχει παραμορφωθεί.

Πίνακας 40: Παραμόρφωση πλαισίου υπό φορτίου πίεσης P1

Αντίσταση σε φορτίο ανέμου		
Περίπτωση	Παραμόρφωση πλαισίου	Κλάση
1	($1 \leq 150$)	A
2	($1 \leq 200$)	B
3	($1 \leq 300$)	C

Πηγή: EN 14351-1:2006 + A2:2016

8.13 Επαναλαμβανόμενη πίεση

Καταγραφή τυχόν ζημιών και λειτουργικά ελαττώματα.

8.14 Αντίσταση σε επαναλαμβανόμενο άνοιγμα και κλείσιμο

Σε περιπτώσεις όπου έχουμε παράθυρα ή θύρες πρέπει να υποβάλλονται σε ρυθμό επαναλαμβανόμενων αριθμών ανοίγματος και κλεισίματος των στοιχείων ώστε να διαπιστωθεί και ο κύκλος ζωής και πόσες φορές μπορεί να γίνει η χρήση τους χωρίς ζημιά. Στον Πίνακα 41 και με βάση το EN 14351-1:2016 δίνεται ο αριθμός των επαναλήψεων και η αντίστοιχη κλάση τους.

Πίνακας 41: Κατηγοριοποίηση παραθύρων ή θυρών στον αντίστοιχο αριθμούς κύκλων

Αντίσταση σε επαναλαμβανόμενο άνοιγμα και κλείσιμο		
Δοκιμή	Αριθμό κύκλων	Κλάση
1	5,000	1
2	10,000	2
3	20,000	3

Πηγή: EN 14351-1:2006 + A2:2016

8.15 Δοκιμή Προστασίας

Οποιαδήποτε ζημιά και αποτυχία η οποία συμβαίνει καθώς και οποιοσδήποτε λειτουργικές δυσκολίες πρέπει να καταγραφούν.

8.16 Έκθεση Αναφοράς

Η έκθεση δοκιμής αναφέρει τις συσκευές μέτρησης φορτίου ανέμου που χρησιμοποιήθηκαν για τη δοκιμή, σχέδιο της όψης και των τμημάτων του δείγματος δοκιμής που δείχνει τα σχετικά μέλη, τα σημεία μέτρησης της μετατόπισης και αν χρειάζεται καταγράφει σε σχέδιο ή φωτογραφία της δοκιμής δείγματος της θέσης τυχόν ζημιών και λειτουργικών ελαττωμάτων.

8.17 Παράδειγμα

Μετά από εργαστηριακή δοκιμή ενός παραθύρου οροφής και με βάση τις τιμές που πήραμε να γίνει η κατηγοριοποίηση του παραθύρου. Επίσης σε σχέση με τον Πίνακα 42 να γίνει έλεγχος αν το παράθυρο οροφής μπορεί να αντέξει σε περίπτωση ακραίων συνθηκών που μπορεί να συμβούν σε περίοδο καταιγίδας πάνω σε ένα πολυώροφο κτίριο. Τα αποτελέσματα που πήραμε από την εργαστηριακή δοκιμή δίνονται στον Πίνακα 43. Το ύψος του παραθύρου είναι 2,20 m.

Πίνακας 42: Αποτελέσματα δοκιμής

No.	Χαρακτηριστικά/ Δοκιμή	Τιμή
1	Διαπερατότητα αέρα Μέγιστη δοκιμή πίεσης (Pa) Διαπερατότητα αέρα στα 100 Pa (m ³ /h.m ²) ή (m ³ /h.m)	(600)
2	Αντίσταση σε φορτίο ανέμου Δοκιμή πίεσης P1 (Pa)	(2400)
3	Αντίσταση σε φορτίο ανέμου Παραμόρφωση πλαισίου	10,8 mm
4	Υδατοστεγανότητα Χωρίς προστασία (A) Δοκιμή πίεσης (Pa)	(450)
5	Αντίσταση σε επαναλαμβανόμενο άνοιγμα και κλείσιμο Αριθμός κύκλων	(20000)

Με τη χρήση των Πινάκων του κεφαλαίου 8 και του Ευρωκώδικα EN 14351-1:2006 + A2:2016, δίνονται στον Πίνακα 37 οι αντίστοιχες κλάσεις με βάση τις τιμές που πήραμε μετά τις χαρακτηριστικές δοκιμές.

Πίνακας 43: Αντίστοιχες τιμές κλάσεων με βάση των τιμών δοκιμής

No.	Χαρακτηριστικά/ Δοκιμή	Τιμή	Κλάση
1	Διαπερατότητα αέρα Μέγιστη δοκιμή πίεσης (Pa) Διαπερατότητα αέρα στα 100 Pa (m ³ /h.m ²) ή (m ³ /h.m)	(600)	6
2	Αντίσταση σε φορτίο ανέμου Δοκιμή πίεσης P1 (Pa)	(2400)	3
3	Αντίσταση σε φορτίο ανέμου Παραμόρφωση πλαισίου	10,8 < 11 (1 ≤ 200)	B
4	Υδατοστεγανότητα Χωρίς προστασία (A) Δοκιμή πίεσης (Pa)	(450)	8 A
5	Αντίσταση σε επαναλαμβανόμενο άνοιγμα και κλείσιμο Αριθμός κύκλων	(20,000)	3

Συμπεράσματα

Με βάση τα πιο πάνω τιμές που πήραμε από τις αντίστοιχες χαρακτηριστικές δοκιμές και αντίστοιχες κλάσεις, το παράθυρο οροφής μας είναι κατάλληλο να τοποθετηθεί στην οροφή του πολυώροφου κτιρίου και να αντέξει στις ακραίες καιρικές συνθήκες που μπορεί να δημιουργηθούν σε περίοδο δυνατής καταιγίδας.

9 Εξωτερικά επενδυτικά συστήματα αντίστασης του ανέμου

9.1 Γενικά

Τα εξωτερικά επενδυτικά συστήματα (external cladding systems) είναι κατά κύριο λόγο η εφαρμογή ενός υλικού πάνω από ένα άλλο υλικό ούτως ώστε να δημιουργηθεί ένα καινούργιο στρώμα το οποίο ως συνήθως χρησιμοποιείται για την εξασφάλιση της επαρκούς θερμομόνωσης. Όμως με τις τελευταίες απαιτήσεις των ψηλών κτιρίων κατέστη αναγκαίο να κατασκευαστούν νέα εξωτερικά επενδυτικά συστήματα τα οποία θα παρέχουν καλή αντοχή και αντίσταση στο χρόνο από τις δράσεις του ανέμου, ούτως ώστε να μην επηρεάσει αρνητικά τα δομικά στοιχεία της κατασκευής. Σε αυτή την ενότητα θα παρουσιαστούν κάποια επενδυτικά συστήματα τα οποία είναι κατασκευασμένα από προκατασκευασμένο σκυρόδεμα, γυαλί-ινοπλισμένο τσιμέντο και συστήματα τοίχου με υαλοπίνακα.

9.2 Προκατασκευασμένο σκυρόδεμα

Το προκατασκευασμένο σκυρόδεμα είναι το δομικό υλικό το οποίο παράγεται με χύτευση σκυροδέματος σε επαναχρησιμοποιήσιμο καλούπι το οποίο στη συνέχεια σκληραίνεται σε ελεγχόμενο περιβάλλον. Το προκατασκευασμένο σκυρόδεμα χρησιμοποιείται για εξωτερικούς και εσωτερικούς τοίχους. Τα προκατασκευασμένα αρχιτεκτονικά πάνελ χρησιμοποιούνται ως εξωτερική επένδυση για την αντίσταση του ανέμου.

Τα κύρια οφέλη του προκατασκευασμένου σκυροδέματος σε σχέση με άλλα υλικά επένδυσης είναι ο καλός λόγος αντοχής σε βάρος, είναι ελαφριά και ο πολύς εύκολος τρόπος εγκατάστασης. Επίσης προσφέρει καλύτερη ποιότητα και ποικιλία επιφανειών επειδή τα πάνελ κατασκευάζονται σε ελεγχόμενες εργοστασιακές καταστάσεις. Το οικονομικό κόστος του προκατασκευασμένου σκυροδέματος παραγωγής είναι συνάρτηση της τυποποίησης του καλουπιού. Ομοίως του μεγέθους του πίνακα και τα μέσα στερέωσης είναι σημαντικά για τη μείωση του κόστους, τη μεταφορά και τη συναρμολόγηση. Ωστόσο, η εμμονή με τη τυποποίηση του μεγέθους και την έλλειψη έρευνας σε εφαρμοσμένα τελειώματα εμπόδισαν την ανάπτυξη του, την ποικιλία του μεγέθους και του φινιρίσματος που απαιτούνται τώρα από το αρχιτεκτονικό επάγγελμα.

Τα καλούπια που χρησιμοποιούνται είναι συνήθως από ξύλο, χάλυβα, πλαστικό ή και καουτσούκ. Για την αντίσταση του ανέμου χρησιμοποιούνται τα καλούπια υπό κλίση επειδή ο χειρισμός των τάσεων είναι μικρότερος με αποτέλεσμα η απαίτηση του οπλισμού να είναι λιγότερη για το συγκεκριμένο ύψος που απαιτείται. Όμως θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη και οι απαιτήσεις του επιπλέον οπλισμού ώστε να αντιστέκεται στις φορτίσεις. Στο πιο κάτω Σχήμα 48 φαίνεται ένα σύστημα προκατασκευασμένου σκυροδέματος υπό κλίση. (Meijs et al. 2008)



Σχήμα 48: Πάνελ προκατασκευασμένου σκυροδέματος (Meijs et al. 2008)

9.3 Γυαλί – ινοπλισμένο τσιμέντο

Το ενισχυμένο με ίνες γυαλί, τσιμέντο (glass – fibre reinforced cement) ή GRC είναι ένα σύνθετο υλικό που αποτελείται από το συνηθισμένο τσιμέντο Portland, άμμο πυριτίου και νερό, το οποίο αναμιγνύεται με ίνες γυαλιού ανθεκτικά σε αλκάλια. Οι ίνες γυαλιού εισάγονται στο μίγμα τσιμέντου για τη μεταφορά των δυνάμεων εφελκυσμού. Η περιεκτικότητα σε γυαλί ελέγχει τη μέγιστη φόρτιση που μπορεί να κάνει το υλικό να αντέχει, την απόδοση κρούσης και την ανθεκτικότητα του υλικού από τα φορτία ανέμου. Συνήθως χρησιμοποιείται σε πάνελ από GRC. Στο πιο κάτω Σχήμα 49 χρησιμοποιείται ως εξωτερική επένδυση σε μπαλκόνια πολυώροφων πολυκατοικιών με το γυαλί – ινοπλισμένο σκυρόδεμα σε καμπυλωτά πάνελ. Για τον προσδιορισμό του ελάχιστου απαιτούμενου πάχους του πάνελ για να αντισταθμίσει τις διάφορες πιέσεις του ανέμου παρουσιάζονται στον Πίνακα 44. (Meijs et al. 2008)



Σχήμα 49: Πάνελ από γυαλί-ινοπλισμένο τσιμέντο (Meijs et al. 2008)

Πίνακας 44: Ελάχιστο απαιτούμενο πάχος πάνελ σύμφωνα με τη πίεση του ανέμου

Ανοιγμα πάνελ (m)	Ελάχιστο απαιτούμενο πάχος πάνελ (mm)		
	Πίεση ανέμου 0,5 KN/m ²	Πίεση ανέμου 1,0 KN/m ²	Πίεση ανέμου 1,5 KN/m ²
0,5	4	6	7
1,0	8	11	14
1,5	12	17	22
2,0	16	20	25

9.4 Συστήματα τοίχου με υαλοπίνακα (curtain walls)

Οι εξωτερικοί τοίχοι με υαλοπίνακα μπορούν να οριστούν ως μία εξωτερική επένδυση ενός κτιρίου στο οποία τα εξωτερικά τοιχώματα είναι μη δομικά όπου το ίδιο το βάρος της κατασκευής αλλά και των δράσεων του ανέμου μεταφέρονται στο δομικό πλαίσιο της κατασκευής μέσω των σημείων αγκύρωσης. Για αυτό και οι συγκεκριμένοι τοίχοι έχουν σχεδιαστεί για να μπορούν να αντιστέκονται στην ροή του ανέμου όσο και του νερού, καθώς απορροφά την ταλάντωση που προκαλείται από τον άνεμο και τις σεισμικές δυνάμεις που ενεργούν επάνω στο κτίριο.

Συνήθως αποτελούνται από ένα ορθογώνιο πλέγμα κάθετης ή οριζόντιας πλαισίωσης με πλαίσια πλήρωσης από ή άλλο ελαφρύ πάνελ αλλά αυτό δε συμβαίνει πάντοτε η οποία

κατηγορία συστημάτων περιλαμβάνει μια ευρεία ποικιλία συστημάτων. Τα αναρτημένα γυάλινα συγκροτήματα αναπτύχθηκαν από τους Foster Associates το 1973 για τους Willis, Faber and Dumas Insurance Building στο Ipswich, όπως φαίνεται στο Σχήμα 50. Το σύστημα αποτελείται από δύο γυάλινα εξαρτήματα:

- A) Τοίχωμα από φύλλα σκληρού γυαλιού 12 mm (πλαίσια θωράκισης)
- B) Κατακόρυφα πτερύγια που στερεώνονται κάθετα στο δάπεδο για να παρέχουν πλευρική αντίσταση του ανέμου. Αυτά αποτελούνται από πλάκα θωράκισης 19 mm.

Το σύστημα κατασκευάζεται από την κορυφή προς τα κάτω. Οι υαλοπίνακες αναρτώνται ανεξάρτητα από την κύρια δομή χρησιμοποιώντας ένα κεντρικό κοχλία. Το φορτίο μεταφέρεται σε όλο το πλάτος του υαλοπίνακα μέσω μιας λωρίδας σύσφιξης.

Το ύψος της συναρμολόγησης περιορίζεται από την αντοχή διάτμησης των οπών της συναρμολόγησης, περιορίζεται από την αντοχή διάτμησης των οπών των μπουλονιών και διανοίγονται δια μέσου του γυαλιού με το μέγιστο ύψος να είναι 23 m. (Meijs et al. 2008)



Σχήμα 50: Συστήματα τοίχου με υαλοπίνακα (Meijs et al. 2008)

Κεφάλαιο 10

10 Συστήματα επένδυσης αλουμινίου

Στη συγκεκριμένη ενότητα θα παρουσιαστούν τα πλεονεκτήματα του αλουμινίου και τα επενδυτικά συστήματα τα οποία προσφέρονται από τις βιομηχανίες της Κύπρου ούτως ώστε τα παράθυρα και οι θύρες να παρέχουν επαρκής ασφάλιση και αντίσταση από τις ανεμοπιέσεις.

10.1 Γενικά

Το αλουμίνιο είναι το τρίτο πιο άφθονο μεταλλικό στοιχείο στο φλοιό της γης. Τόσο ο χάλυβας όσο και το αλουμίνιο προσφέρουν μεγάλη ποικιλία από τραπεζοειδές προφίλ και μπορεί να χρησιμοποιηθούν οριζόντια ή κατακόρυφα για τη κατασκευή οριζοντίων μεταλλικών φύλλων. Το αλουμίνιο έχει πάρα πολλές χρήσιμες ιδιότητες. Είναι ελαφρύ καθώς έχει μόνο το ένα τρίτο της πυκνότητας του χάλυβα και όπως ο χαλκός έχει υψηλή αγωγιμότητα για τη θερμότητα και την ηλεκτρική ενέργεια καθώς. Τέλος μια πάρα πολύ σημαντική διαφορά σε σχέση με το χάλυβα είναι η αντοχή που έχει στη διάβρωση μέσω της ανοδίσωσης. Η δύναμη του αλουμινίου σε εφελκυσμό κυμαίνεται από 70 έως 700 Μρα ανάλογα με το κράμα καθώς και τη διαδικασία κατασκευής. Οι τρεις τύποι κράματος του οποίου είναι κατασκευασμένο από μαγνήσιο, πυρίτιο και μαγγάνιο. Αυτό μπορεί να είναι ζεστής ή ψυχρής έλασης για να σχηματίσουν επίπεδα φύλλα. (Lumley 2011)

10.2 Επενδυτικά συστήματα αλουμινίου στη Κύπρο

Η μεγαλύτερη κατασκευαστική βιομηχανία στην Κύπρο για θέματα αλουμινίου είναι η εταιρεία Muskita Aluminium Industries η οποία εδράζεται στο συγκεκριμένο τομέα με π πάνω από 60 χρόνια εμπειρίας. Στη συνέχεια παρουσιάζεται το προφίλ MU4200 το οποίο χρησιμοποιείται για την αντίσταση του αέρα καθώς και οι αντίστοιχοι πίνακες ανεμοπιέσεων για κάθε άνοιγμα και το αντίστοιχο επιτρεπόμενο ύψος κατασκευής του κορμού.

10.3 Προφίλ MU4200

Τα συγκεκριμένα συστήματα αλουμινίου διακρίνονται κυρίως για τις απλές ασφαλίσεις καθώς και για τις δοκιμασμένες λύσεις για τις πιο απαιτητικές λύσεις και για τους πιο απαιτητικούς σχεδιασμούς της μοντέρνας αρχιτεκτονικής.

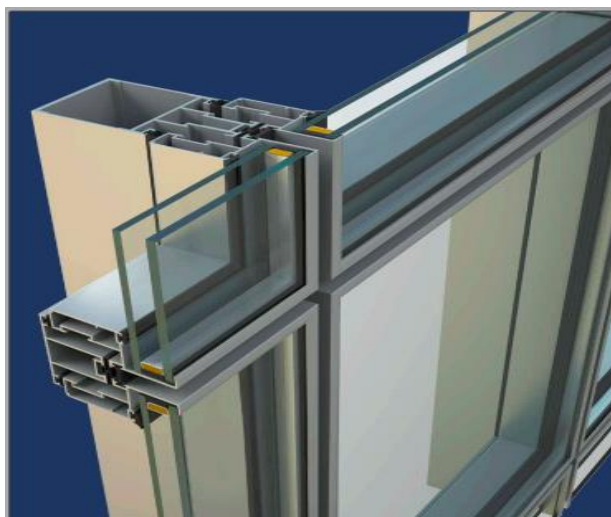
Η ευκολία και ταχύτητα με την οποία μπορεί να γίνει η συναρμολόγηση και τοποθέτηση καθίστανται τα κύρια χαρακτηριστικά του συγκεκριμένου προφίλ. Ακόμη και η επιλογή προβαλλόμενων ή ανοιγοκλινόμενων παραθύρων, σε οποιοδήποτε σημείο του υαλοπίνακα. Τα δύο συστήματα προσφέρουν άριστες ιδιότητες τόσο για θερμομονωτικές επιδόσεις και αντίσταση του αέρα. Η εταιρεία Muskita Aluminium Industries προσφέρει δύο είδη αλουμινίου του συγκεκριμένου προφίλ του οποίου φαίνονται πιο κάτω:

- **MU4200 Semi Structural:** έχει ορατό προφίλ αλουμινίου με πάχος 12 mm που παρέχει μηχανικό κράτημα και στήριξη για ενισχυμένη ασφάλεια χρησιμοποιώντας κοινά διπλά κρύσταλλα ως αποτέλεσμα η παροχή σημαντικής μείωσης κόστους.
- **MU4200 Structural και MU4200 Step Structural:** στο σύστημα Step Structural το εσωτερικό κρύσταλλο στηρίζεται σε προφίλ αλουμινίου και μόνο το εξωτερικό κρύσταλλο στηρίζεται από δομική σιλικόνη καθιστώντας τα υαλοπετάσματα πιο ασφαλείς.

Πιο κάτω δίνεται ο Πίνακας 45 με τα κύρια χαρακτηριστικά του κύριου προφίλ καθώς και το Σχήμα 49 όπου φαίνεται το προφίλ του αλουμινίου και με τα υαλοπετάσματα.

Πίνακας 45: Πίνακας χαρακτηριστικών προφίλ MU4200

№	Περιγραφή	Χαρακτηριστικά / Επιδόσεις
1	Πλάτος Στύλου	70 mm
2	Μήκος Στύλου	122 - 150 mm
3	Δυνατότητες Υάλωσης	33 mm
4	Επιδόσεις & Κλάση	122 mm – 150 mm
5	Αεροδιαπερατότητα	600 Pa
6	Υδατοστεγανότητα	600 Pa
7	Αντοχή σε Ανεμοπίεση	2400 Pa



Σχήμα 51: Προφίλ αλουμινίου MU4200 με υαλοπετάσματα (MUSKITA 2018)

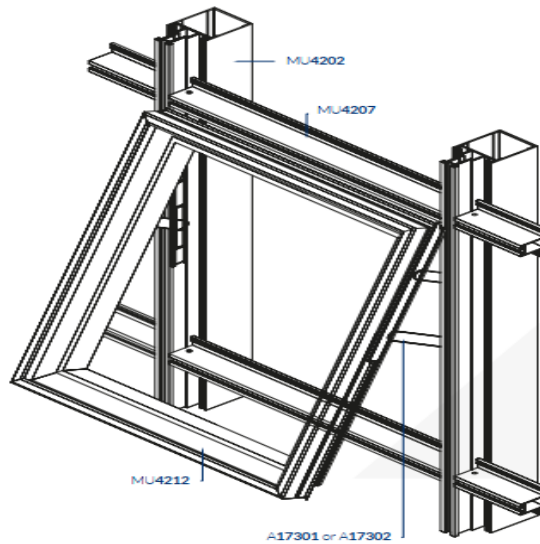
10.4 Περιγραφή κύριων χαρακτηριστικών

- 1) Τα συστήματα αυτά έχουν τη δυνατότητα να έχουν κάθετους και οριζόντιους αρμούς σε 15 mm – 18 mm.
- 2) Οι κολόνες είναι 70 mm και 55 mm από σωληνωτό προφίλ και με πολύ υψηλή αντοχή στις ανεμοπιέσεις.
- 3) Οι κάθετες κολόνες διακόπτονται ανά όροφο με αποτέλεσμα να δέχονται ανεξάρτητα τα φορτία των πλαισίων ανά όροφο και να απορροφούν τις διαστολές και συστολές.
- 4) Το στερέωμα των κολόνων γίνεται με ειδικά πρακέττα αλουμινίου ρυθμιζόμενα αριστερά – δεξιά, άνω - κάτω ανοδιωμένα ή ηλεκτροστατικά.
- 5) Το στερέωμα των πλαισίων γίνεται ανάλογα με το ύψος του πλαισίου και με ελάχιστη στερέωση σε 4 σημεία, με ειδικά πρακέττα υψηλής αντοχής, με στρογγυλεμένες επιφάνειες με το τρόπο αυτό στην στερέωση των πλαισίων υπάρχει ελεύθερη περιμετρική μετακίνηση των πλαισίων.
- 6) Το σύστημα ειδικά στις σεισμικές δονήσεις έχει τη δυνατότητα μετακίνησης άνω και κάτω, αριστερά και δεξιά. Μετακινήσεις γίνονται ανεξάρτητες, από τα πρακέττα, τις κάθετες κολόνες, τις οριζόντιες τραβέρσες μέσον των ειδικών φλαντζών και από τα πλαίσια που είναι ελεύθερα περιμετρικά.
- 7) Το σύστημα κλείνει σε τρία σημεία ερμητικά με ειδικά Glazing Gaskets EPDM Rubber TO BS 3-74 και έχει τέλεια αερωδατοστεγανότητα. (MUSKITA 2018)

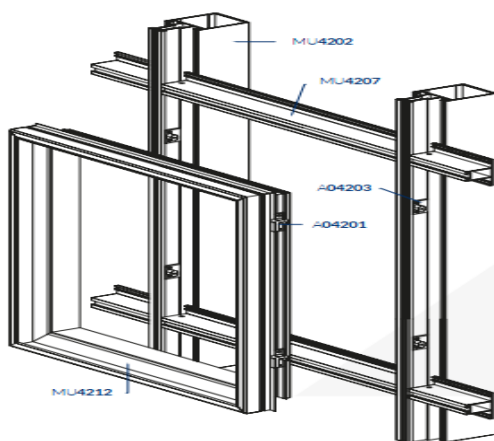
10.5 Παραδείγματα επενδυτικών συστημάτων από αλουμίνιο

Πιο κάτω παρουσιάζονται στο Σχήμα 52 έως 54 τα διάφορα είδη παραθύρων των οποίων ο κορμός τους είναι από προφίλ MU4200 το οποίο με βάση τα χαρακτηριστικά του έχει μεγάλη αντοχή στις ανεμοπιέσεις και έχει μεγάλη αεροδατοστεγανότητα. Στο άνοιγμα μεταξύ των κορμών υπάρχουν τοποθετημένοι υαλοπίνακες.

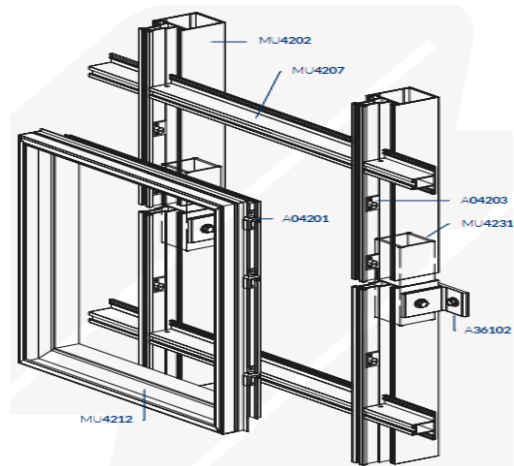
Σημείωση: Όλα τα παράθυρα ελέγχθηκαν με βάση το Κεφάλαιο 8 για τις πιο ακραίες τιμές.



Σχήμα 54: Ανοιγοκλεινόμενο παράθυρο (MUSKITA 2018)



Σχήμα 53: Παράθυρο με μονό άνοιγμα
(MUSKITA 2018)

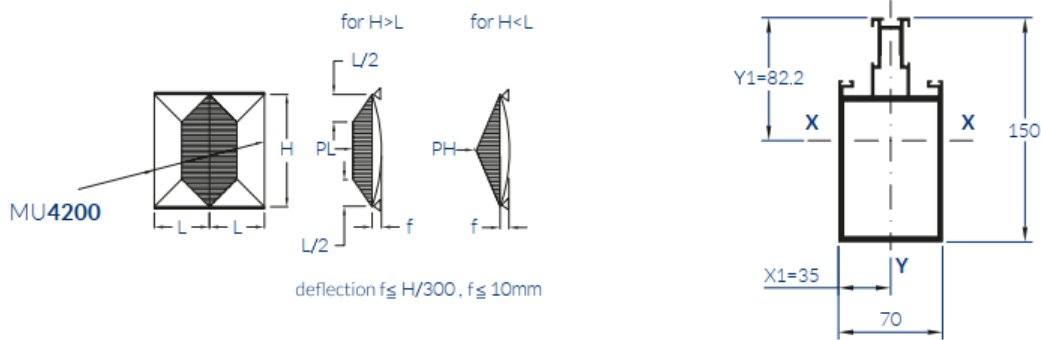


Σχήμα 52: Παράθυρο με διπλό άνοιγμα
(MUSKITA 2018)

10.6 Διατομές με τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά και ανεμοπιέσεις

Στην συγκεκριμένη παράγραφο παρουσιάζονται οι ιδιότητες των διατομών MU4200 και τα γεωμετρικά τους στοιχεία. Αρχικά, θα γίνει μια σύγκριση για τη διατομή MU4200 όταν ο κορμός είναι με απλό άνοιγμα μεταξύ των κορμών και στη δεύτερη περίπτωση όταν στη μέση του ανοίγματος τοποθετηθεί πρακέττα. Στο Σχήμα 55 και 56 φαίνονται τα γεωμετρικά στοιχεία της διατομής MU4200 για μονό άνοιγμα και διπλό άνοιγμα. Με τη χρήση πρακέττας στην ουσία υπάρχει ακόμα μία στήριξη μεταξύ του μήκους του κορμού ούτως ώστε να μειωθεί το μέγεθος της ροπής που μπορεί να αναπτυχθεί κατά το μήκος ολόκληρου του κορμού . Η στήριξη αυτή και με βάση των εργαστηριακών δοκιμών που έκανε η εταιρεία MUSKITA, υπάρχουν διαφορετικές τιμές των ανεμοπιέσεων. Αυτές οι διαφορές στην επιτρεπόμενη αντίσταση του ανέμου καθορίζουν και το επιτρεπόμενο ύψος που μπορεί να πάρει σε κάθε άνοιγμα. Αυτό φαίνεται από τα σχετικά Διαγράμματα 13 και 14. Επίσης φαίνεται η σημαντικότητα της επιπλέον στήριξης στη μέση του κορμού σε σχέση με το μονό άνοιγμα. Μετά τη σύγκριση των δύο διαγραμμάτων θα προκύψει η καλύτερη κατανόηση των αναφορών πιο πάνω καθώς και μέσω ενός παραδείγματος που θα εξετάσουμε στη συνέχεια.

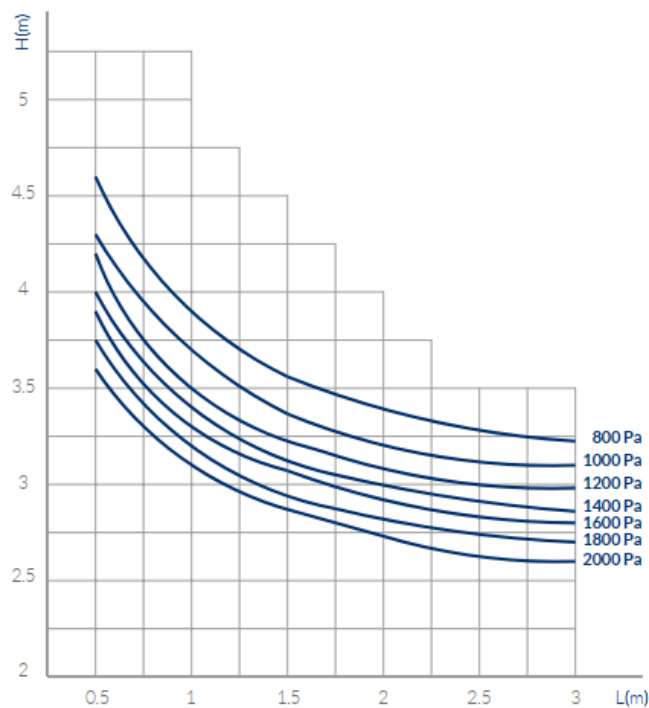
Μονό άνοιγμα



Σχήμα 55: Γεωμετρικά στοιχεία διατομής MU4200 για μονό άνοιγμα (MUSKITA 2018)

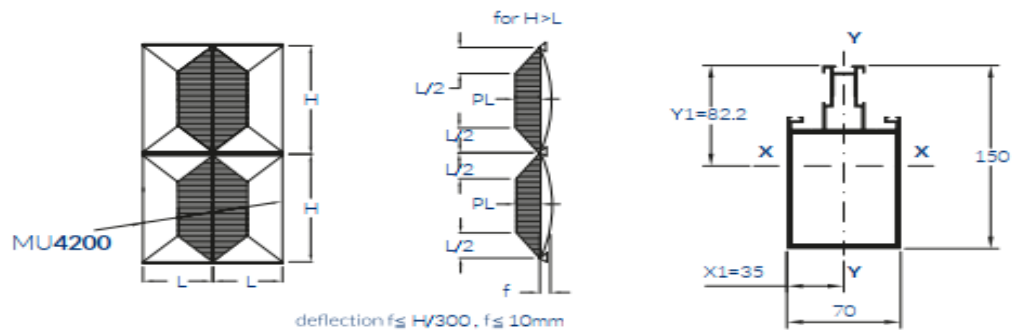
Ιδιότητες

$$I_x = 344.0 \text{ cm}^4, I_y = 104.2 \text{ cm}^4, \frac{I_x}{Y_1} = 41,185 \text{ cm}^3, \frac{I_y}{X_1} = 29,79 \text{ cm}^3$$



Διάγραμμα 13: Διάγραμμα ανοίγματος σε σχέση με το αντίστοιχο ύψος και επιτρεπόμενη πίεση (MUSKITA 2018)

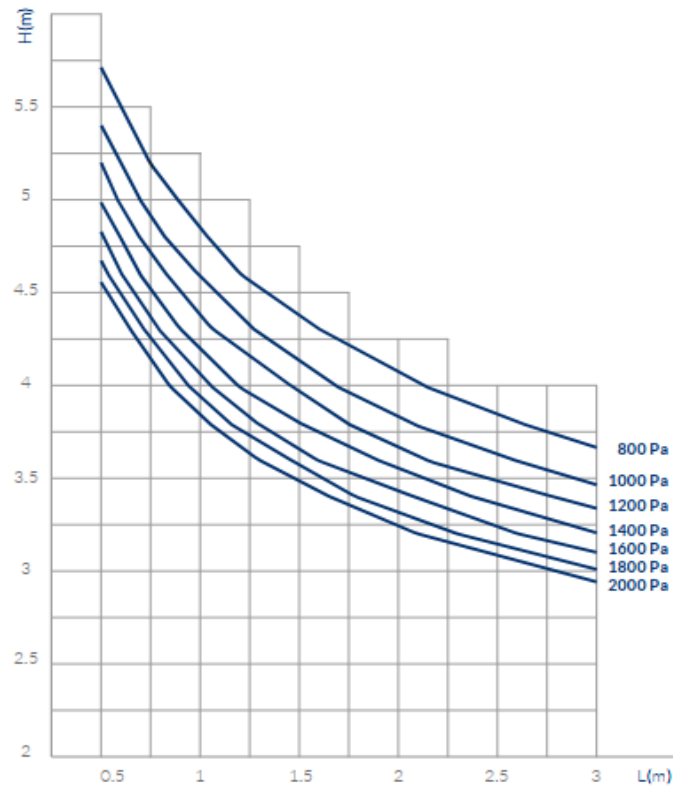
Διπλό άνοιγμα



Σχήμα 56: Γεωμετρικά στοιχεία διατομής MU4200 για διπλό άνοιγμα (MUSKITA 2018)

Ιδιότητες

$$I_x = 344.0 \text{ cm}^4, I_y = 104.2 \text{ cm}^4, \frac{I_x}{Y_1} = 41,185 \text{ cm}^3, \frac{I_y}{X_1} = 29,79 \text{ cm}^3$$



Διάγραμμα 14: Διάγραμμα ανοίγματος σε σχέση με το αντίστοιχο ύψος και επιτρεπόμενη πίεση (MUSKITA 2018)

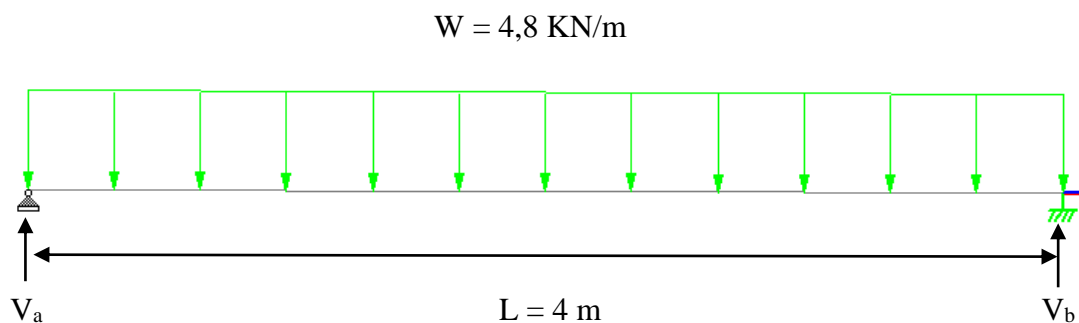
Συμπεράσματα

Όπως μπορεί να παρατηρηθεί και από τα δύο πιο πάνω Διαγράμματα 14 και 15 η τοποθέτηση μιας επιπλέον στήριξης στο μέσο του κορμού μπορεί να επιτρέψει για το ίδιο άνοιγμα των κορμών να έχουμε περισσότερο επιτρεπόμενο ύψος. Για παράδειγμα όπως φαίνεται από το πρώτο διάγραμμα για να έχουμε αντίσταση ανέμου 2000 Pa και για άνοιγμα 2 m, το επιτρεπόμενο ύψος του κορμού είναι 2.75 m. Ενώ στο δεύτερο διάγραμμα για να έχουμε την ίδια αντίσταση ανέμου και για άνοιγμα 2 m το επιτρεπόμενο ύψος είναι στα 3.25 m. Άρα όπως μπορούμε να καταλήξουμε η επιπλέον στήριξη, μας επιτρέπει να αυξήσουμε το ύψος του κορμού και να έχουμε την ίδια αντίσταση του αέρα. Όμως αυτό σε κάθε περίπτωση εξαρτάται από τις αρχιτεκτονικές απαιτήσεις και την ανάλυση του κτιρίου ώστε αν είναι απαραίτητο να αυξηθεί το κόστος κατασκευής με διπλό άνοιγμα.

10.7 Παράδειγμα

Κορμός του υαλοπίνακα χρησιμοποιείται για εξωτερική επένδυση ώστε να αντισταθεί στον άνεμο. Το φορτίο ανέμου που ασκείται επάνω στον κορμό είναι $1,2 \text{ KN/m}^2$. Το άνοιγμα του κορμού είναι $L = 4 \text{ m}$ και το ύψος $H = 4 \text{ m}$. Να βρεθούν τα εντατικά μεγέθη που αναπτύσσονται επάνω στον κορμό και να εξεταστεί αν η διατομή MU4200 με απλό άνοιγμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί στο συγκεκριμένο κτίριο ή χρειάζεται να τοποθετηθεί πρακέττα στο ενδιάμεσο του κορμού. Στο Σχήμα 57 και 58 φαίνεται ο κορμός με το κατανεμημένο φορτίο για μονό και διπλό άνοιγμα αντίστοιχα.

Μόνιμο φορτίο = $1,2 \times 4 = 4,8 \text{ KN/m}$



Σχήμα 57: Κατανεμημένο φορτίο για μονό άνοιγμα

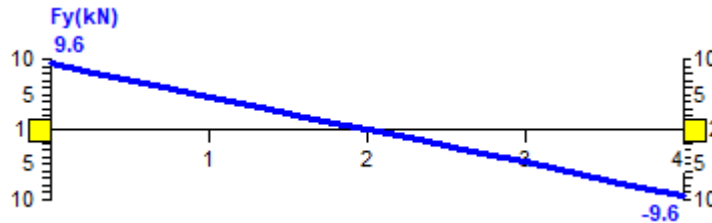
Εντατικά μεγέθη

$$V_a = V_b \Rightarrow V_a = \frac{W.L}{2} \Rightarrow V_a = \frac{4,8.4}{2} \Rightarrow V_a = 9,6 \text{ KN}$$

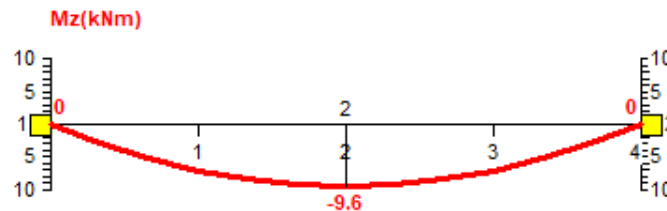
$$M = \frac{W.L^2}{8} \Rightarrow M = \frac{4,8.4^2}{8} \Rightarrow M = 9,6 \text{ KN/m}$$

Στο Διάγραμμα 15 και 16 δίνονται τα Διαγράμματα διάτμησης και ροπής.

Διαγράμματα:



Διάγραμμα 15: Εντατικά μεγέθη διάτμησης



Διάγραμμα 16: Εντατικά μεγέθη ροπής

Έλεγχος κάμψης

Από το προκαταρκτικό έλεγχο κάμψης το απαιτούμενο μέτρο πλαστικής ροπής αντίστασης διατομής είναι:

$$M_{Rd} = \frac{W_x f_u}{\gamma_{Mo}} \Rightarrow W = \frac{1,0 \times 9,6 \times 10^6}{210 \times 10^3} \Rightarrow W = 45,71 \text{ cm}^3$$

Όμως:

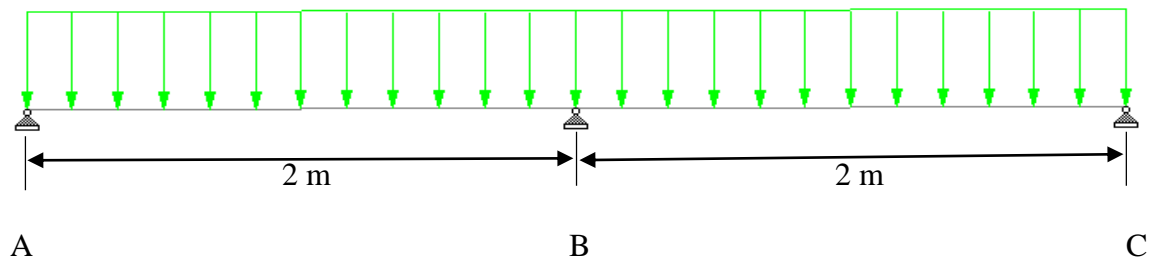
$$W = \frac{I_{xx}}{\gamma_1} \Rightarrow W = \frac{344 \times 10^3}{82,2} = 41,185 \text{ cm}^3$$

Άρα:

Θα πρέπει να ελέγξουμε για διπλό άνοιγμα ή να μειώσουμε το μήκος του ανοίγματος του κορμού ώστε να μειωθεί η ροπή που θα αναπτυχθεί και να έχουμε επαρκείς αντίσταση του φορτίου ανέμου.

Έλεγχος για διπλό άνοιγμα

$W = 4,8 \text{ KN/m}$



Σχήμα 58: Κατανεμημένο φορτίο για διπλό άνοιγμα

$DF_{AB} = DF_{CB} = 0$

$DF_{BA} = DF_{BC} \Rightarrow DF_{AB} = \frac{\frac{4EI}{L_1}}{\frac{4EI}{L_1} + \frac{4EI}{L_2}} \Rightarrow DF_{AB} = \frac{\frac{4EI}{2}}{\frac{4EI}{2} + \frac{4EI}{2}} = 0,5$

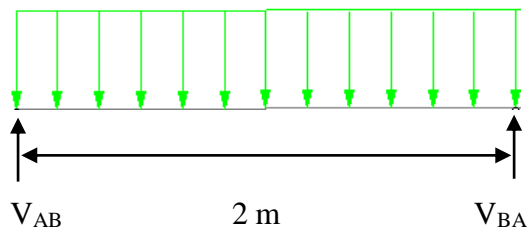
$M_{AB} = M_{BC} \Rightarrow M_{AB} = \frac{-W \cdot L^2}{12} \Rightarrow M_{AB} = \frac{-4,8 \cdot 2^2}{12} = -1,6 \text{ KN/m}$

$M_{BC} = M_{CB} \Rightarrow M_{BC} = \frac{W \cdot L^2}{12} \Rightarrow M_{BC} = \frac{4,8 \cdot 2^2}{12} = 1,6 \text{ KN/m}$

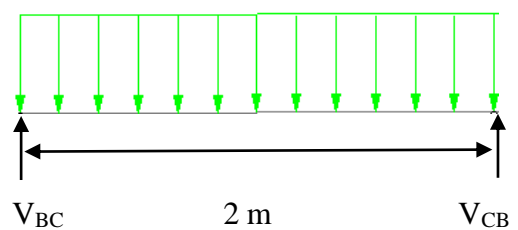
Μέθοδος Hardy – Cross για να υπολογισθούν οι ροπές στο μήκος του κορμού

0	0,5	0,5	0
-1,6	1,6	-1,6	1,6
1,6	→	←	-1,6
0	2,4	-2,4	0

$W = 4,8 \text{ KN/m}$



$W = 4,8 \text{ KN/m}$



$V_{AB} = V_{BC}$ και $V_{BA} = V_{CB}$

$$\Sigma_{MB} = 0 \Rightarrow V_{AB} \cdot 2 + 2,4 - 4,8 \cdot \frac{2^2}{2}$$

$$\Rightarrow V_{AB} = \frac{1}{2} \cdot (4,8 \cdot 2 - 2,4)$$

$$\Rightarrow V_{AB} = 3,6 \text{ KN}$$

$$V_{BA} = 4,8 \cdot 2 - 3,6 = 6 \text{ KN}$$

$$M_x = V_{AB}x - w \frac{x^2}{2}$$

$$\frac{dM_x}{dx} = 0 = V_{AB} - \frac{2w \cdot x}{2}$$

$$\Rightarrow V_{AB} - w \cdot x \Rightarrow x = \frac{V_{AB}}{w} = \frac{3,6}{4,8} = 0,75$$

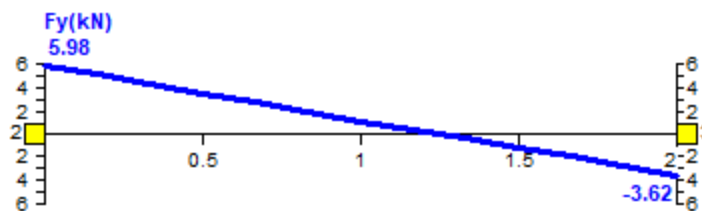
$$\text{Για } (x = 0,75) \Rightarrow M_{\max} = V_{AB}x - w \frac{x^2}{2} = 3,6 \cdot 0,75 - \frac{4,8 \cdot 0,75^2}{2} = 1,35 \text{ KN/m}$$

$$\text{Για } (x = 1) \Rightarrow M_x = 3,6 \cdot 1 - \frac{4,8 \cdot 1^2}{2} = 1,2 \text{ KN/m}$$

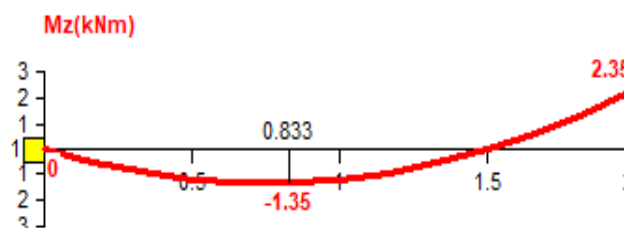
Επειδή και το δεύτερο μέλος έχει τα ίδια γεωμετρικά στοιχεία τότε και τα εντατικά μεγέθη που αναπτύσσονται είναι τα ίδια.

Στο Διάγραμμα 17 και 18 δίνονται τα Διαγράμματα διάτμησης και ροπής

Διαγράμματα



Διάγραμμα 17 : Εντατικά μεγέθη διάτμησης για διπλό άνοιγμα



Διάγραμμα 18 : Εντατικά μεγέθη ροπής για διπλό άνοιγμα

Έλεγχος κάμψης

Από το προκαταρκτικό έλεγχο κάμψης το απαιτούμενο μέτρο πλαστικής ροπής αντίστασης διατομής είναι:

$$M_{Rd} = \frac{W_{xfu}}{\gamma_{Mo}} \Rightarrow W = \frac{1,0 \times 2,35 \times 10^6}{210 \times 10^3} \Rightarrow W = 11,19 < 45,185 \text{ cm}^3$$

Συμπεράσματα

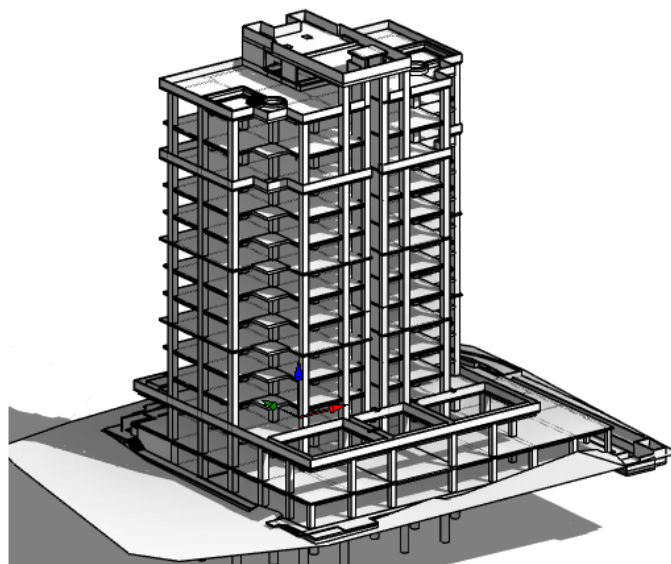
Όπως μπορούμε να παρατηρήσουμε από τη σύγκριση των δύο ανοιγμάτων, η τοποθέτηση μιας επιπλέον στήριξης (πρακέττα) στο μέσο του κορμού επιτρέπει την ανάπτυξη μικρότερων εντατικών μεγεθών διάτμησης και ροπής. Με αυτό το τρόπο δίνεται η δυνατότητα το ύψος το οποίο είχαμε επιλέξει να μπορεί να αντισταθεί στα φορτία ανέμου. Ενώ με το μονό άνοιγμα θα πρέπει να μειώσουμε το μήκος του ανοίγματος ή το ύψος του κορμού ώστε να έχουμε τα ίδια αποτελέσματα.

Κεφάλαιο 11

11 Εφαρμογή φορτίων ανέμου σε υφιστάμενο κτίριο

11.1 Γενικά

Στο συγκεκριμένο Κεφάλαιο θα παρουσιαστεί ο τρόπος σχεδιασμούς των συντελεστών πιέσεων επί της 13όροφης πολυκατοικίας και ο υπολογισμός των δυνάμεων που θα αναπτυχθούν σε κάθε όροφο. Το έργο που θα μελετήσουμε είναι ένα υφιστάμενο κτίριο το οποίο πραγματοποιήθηκε από το μελετητικό γραφείο ASD Sotiρίου. Η πολυκατοικία (Park Tower) βρίσκεται στο παραλιακό μέτωπο της Λεμεσού, έτσι λαμβάνοντας υπόψη όλους τους παράγοντες της Ενότητας 4, 5 και 6 θα γίνει η ανάλυση του κτιρίου με σκοπό να φανεί σε πραγματικά μοντέλα πως επιδρά ο άνεμος πάνω σε αυτά. Αρχικά θα τοποθετήσουμε τα μόνιμα φορτία και τα κινητά φορτία που θα δράσουν στην κατασκευή όπως ο σεισμός και ο άνεμος. Στη συνέχεια θα εφαρμόσουμε τους αεροδυναμικούς συντελεστές με βάση την Ενότητα 6 και των καθορισμό ζωνών στις πλευρές και οροφή του κτιρίου. Επίσης θα παρουσιαστούν οι τιμές των συντελεστών που θα χρησιμοποιηθούν με βάση τον Πίνακα 6 και 7. Τέλος με το πέρας της ανάλυσης θα παρουσιαστούν οι δυνάμεις που θα ασκηθούν σε κάθε όροφο, η παραμόρφωση, η τέμνουσα βάση και η ροπή ανατροπής. Στο πιο κάτω Σχήμα 59 φαίνεται η τρισδιάστατη προβολή του κτιρίου όπου μελετήθηκε και στον Πίνακα 46 παρουσιάζεται το ύψος κάθε ορόφου. Η ανάλυση θα γίνει με το λογισμικό πρόγραμμα ETABS.



Σχήμα 59: Τρισδιάστατη προβολή του κτιρίου μελέτης

Πίνακας 46: Ύψος κάθε ορόφου του κτιρίου και το αντίστοιχο υψόμετρο

A/A	Ύψος Ορόφου (m)	Υψόμετρο (m)
Ισόγειο	3,5	0
1 ^{ος} όροφος	5,2	5,2
2 ^{ος} όροφος	4	9,2
3 ^{ος} όροφος	4	13,2
4 ^{ος} όροφος	4	17,2
5 ^{ος} όροφος	4	21,2
6 ^{ος} όροφος	4	25,2
7 ^{ος} όροφος	4	29,2
8 ^{ος} όροφος	4	33,2
9 ^{ος} όροφος	4	37,2
10 ^{ος} όροφος	4	41,2
11 ^{ος} όροφος	5,2	46,2
12 ^{ος} όροφος	5,2	51,6
Οροφή	3,2	54,8

11.2 Φορτία

Στο πιο κάτω Σχήμα 60 φαίνεται το τρισδιάστατο μοντέλο μελέτης στο λογισμικό πρόγραμμα ETABS. Αρχικά εισήχθησαν όλα τα μόνιμα και τα κινητά φορτία τα οποία θα επιδράσουν στην στατικότητα του κτιρίου. Τα μόνιμα φορτία που έχουν σχεδιαστεί για τα πιο κάτω ομοιόμορφα καταναμημένα ωφέλημα φορτία είναι τα εξής:

Κατηγορία Περιοχών: Χρήσης Κτιρίου A

Δωμάτια κατοικιών: 2 KN/m^2

Κλιμακοστάσια: 3 KN/m^2

Μπαλκόνια: 4 KN/m^2

Στέγη κατηγορίας H: $0,4 \text{ KN/m}^2$

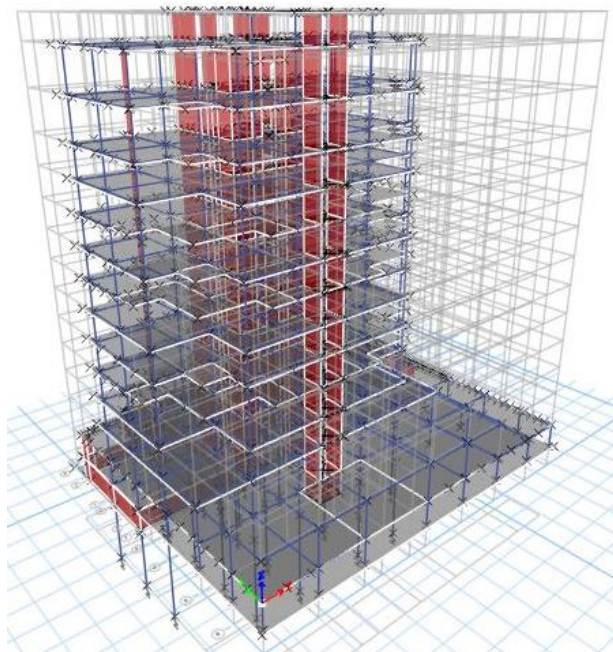
Τα πιο πάνω φορτία τοποθετήθηκαν σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 1 και το Εθνικό Προσάρτημα CYS EN 1991-1-1:2002

Σεισμικά φορτία:

- 1) Το κτίριο είναι σχεδιασμένο για σεισμικά φορτία σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 8 και το Εθνικό Προσάρτημα CYS EN 1998-1:2004
- 2) Παράμετροι αντισεισμικού σχεδιασμού:
 - A: Σεισμική ζώνη 3
 - B: Μέγιστη εδαφική επιτάχυνση (A_{max}): 0,25g
 - C: Κατηγορία εδάφους
 - D: Συντελεστής σπουδαιότητας κτιρίου: 1

Φορτία ανέμου:

- 1) Το κτίριο σχεδιάστηκε για φορτία ανέμου σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 1 και το Εθνικό Προσάρτημα CYS EN 1991-1-4: 2005
- 2) Ταχύτητα ανέμου 30 m/s



Σχήμα 60: Τρισδιάστατο μοντέλο μελέτης

11.3 Διαδικασία

Με βάση το Σχήμα 1 η βασική ταχύτητα στην περιοχή είναι 30 m/s. Το κτίριο είναι Κατηγορίας εδάφους 0 καθώς βρίσκεται κοντά σε παράκτια περιοχή εκτεθειμένη σε ανοικτή θάλασσα. Άρα με βάση τον Πίνακα 1 το $z_0(m) = 0,003$ και το $z_{min} = 1$. Λόγω ότι το έδαφος είναι επίπεδο ο συντελεστής τοπογραφικού ανάγλυφου $c_o(z) = 1$ και ο συντελεστής έκθεσης σύμφωνα με το Διάγραμμα 2 $c_e(z) = 1,8$. Ο συντελεστής στροβιλισμού με βάση τον Ευρωκώδικα 1 είναι ίσος με $K_1 = 1$. Επίσης ο δυναμικός συντελεστής c_{s,c_d} και με βάση το Διάγραμμα 3 είναι ίσος με 1. Οι απαραίτητοι αεροδυναμικοί συντελεστές που θα επιδράσουν επάνω στους τοίχους της κατασκευής έγιναν σύμφωνα με τον Πίνακα 6 και 7, όπου στη μεριά που δρo ο άνεμος στην ζώνη D ο συντελεστής εξωτερικής πίεσης είναι $c_{pe,10} = 0,8$ ενώ από την υπήνεμη πλευρά του κτιρίου και για ζώνη E ο συντελεστής εξωτερικής πίεσης είναι $c_{pe,10} = -0,5$. Για τους πλευρικούς τοίχους και για τις ζώνες A, B, C, ο συντελεστής εξωτερικής πίεσης είναι $c_{pe,10} = -0,7$. Για την οροφή του κτιρίου ο συντελεστής εξωτερικής πίεσης είναι $c_{pe,10} = -0,2$. Το ύψος του στηθαίου για την οροφή είναι 1.5 m. Στο πιο κάτω Σχήμα 61 φαίνονται όλοι οι συντελεστές που εισήχθησαν στο μοντέλο για τον υπολογισμό των δυνάμεων που θα ασκηθούν επάνω στην κατασκευή.

ET Wind Load Pattern - EuroCode 1 2005

Exposure and Pressure Coefficients

Exposure from Extents of Diaphragms
 Exposure from Shell Objects

Wind Exposure Parameters

Wind Directions and Exposure Widths

Windward Coefficient, Cp

Leeward Coefficient, Cp

Wind Coefficients

Wind Velocity, V0 (m/s)

Terrain Category

Orography Factor, Co(z)

Turbulence Factor, K1

Structural Factor, CsCd

Air Density, Rho (kg/m³)

Exposure Height

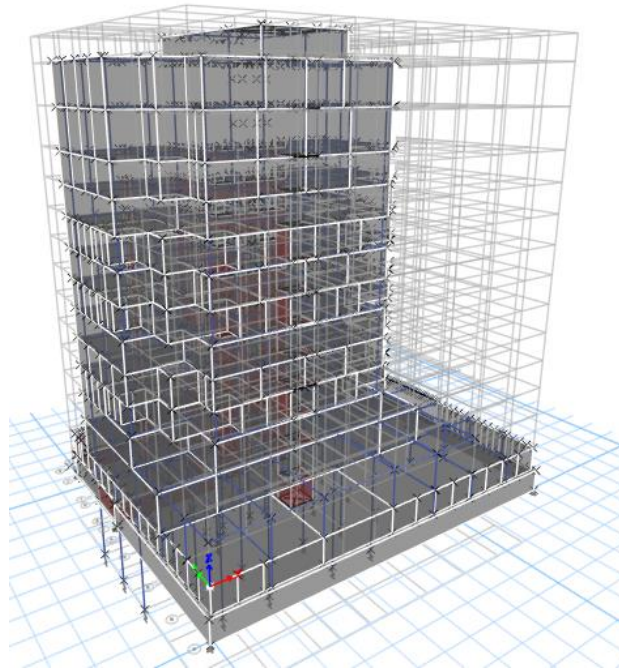
Top Story

Bottom Story

Include Parapet
Parapet Height m

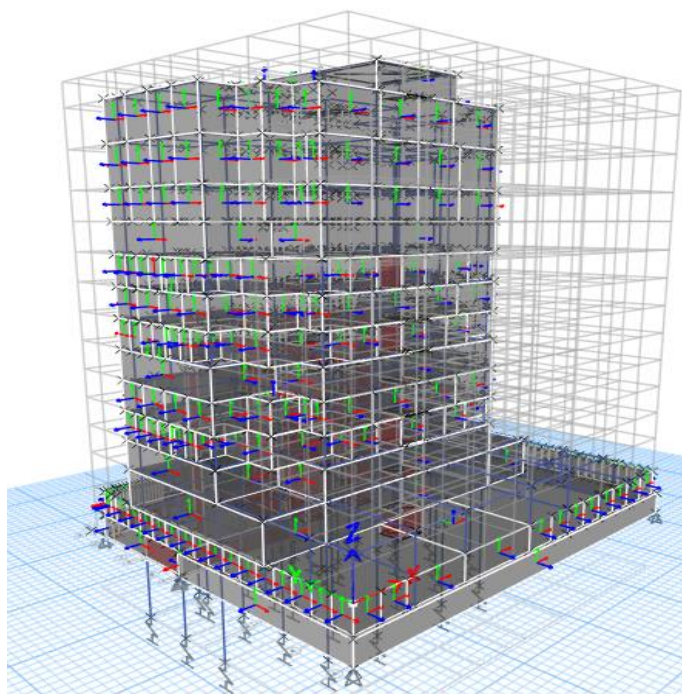
Σχήμα 61: Εισαγωγή συντελεστών στο μοντέλο

Στη συνέχεια έγινε ο σχεδιασμός των claddings επάνω στις πλευρικές όψεις του κτιρίου και στην οροφή όπως φαίνεται στο Σχήμα 62. Τα claddings κατά κύριο λόγο δεν είναι δομικά στοιχεία καθώς δεν έχουν μάζα, ούτε δυσκαμψία αλλά έχουν σκοπό να μεταφέρουν τα οριζόντια φορτία του ανέμου στις πλάκες, δοκούς και στο τέλος στις κολώνες.



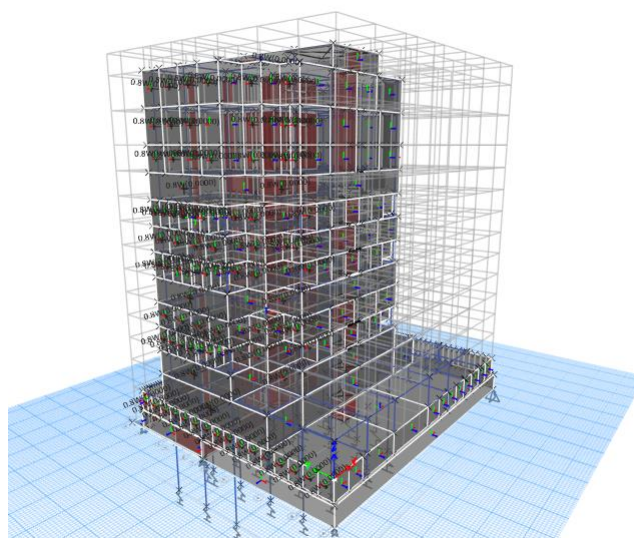
Σχήμα 62: Σχεδιασμός claddings στις πλευρές του κτιρίου

Στη συνέχεια καθορίστηκε από ποια πλευρά θα δράσει ο άνεμος ούτως ώστε να επιλεγούν κατάλληλα οι ζώνες D και E για την εφαρμογή των εξωτερικών συντελεστών πίεσης προς τη προσήνεμη και υπήνεμη πλευρά του κτιρίου. Για τη σωστή τοποθέτηση των συντελεστών λήφθηκαν υπόψη οι τοπικοί άξονες του μοντέλου ώστε τα πρόσημα των συντελεστών που θα καθοριστούν να έχουν την ορθή διεύθυνση. Στο Σχήμα 63 φαίνονται οι τοπικοί άξονες επάνω στο κτίριο. Ο άνεμος δρα δυτικά και άρα η συγκεκριμένη πλευρά προσήνεμη μεριά του κτιρίου ορίστηκε η ζώνη D όπως φαίνεται στο Σχήμα 64. Στο Σχήμα 65 φαίνεται η υπήνεμη πλευρά της ζώνης E και στο Σχήμα 66 παρουσιάζεται ο συντελεστής εξωτερικής πίεσης που εφαρμόζεται στους πλευρικούς τοίχους του κτιρίου για τις ζώνες A και B. Ενώ στο Σχήμα 67 φαίνεται ο συντελεστής εξωτερικής πίεσης για την οροφή. Τα πρόσημα των συντελεστών εξωτερικής πίεσης μπορεί να αλλάξουν λόγω της διεύθυνσης των τοπικών αξόνων.

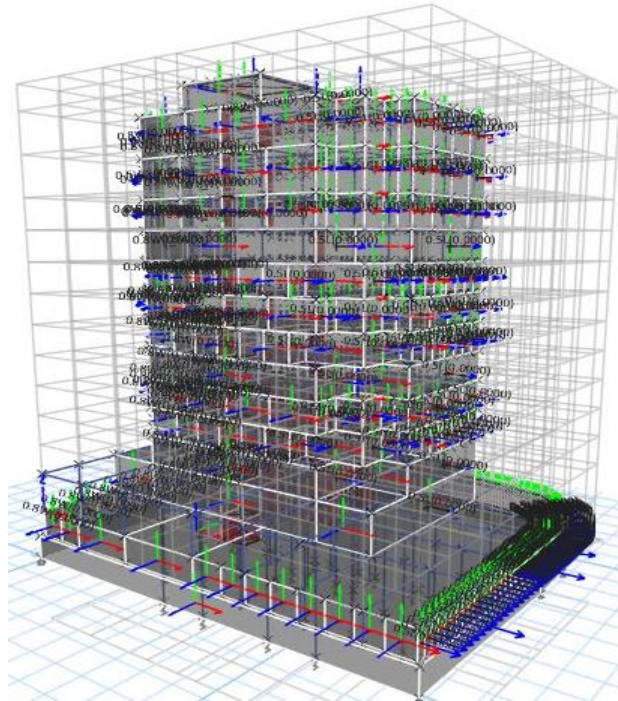


Σχήμα 63: Τοπικοί άξονες του κτιρίου

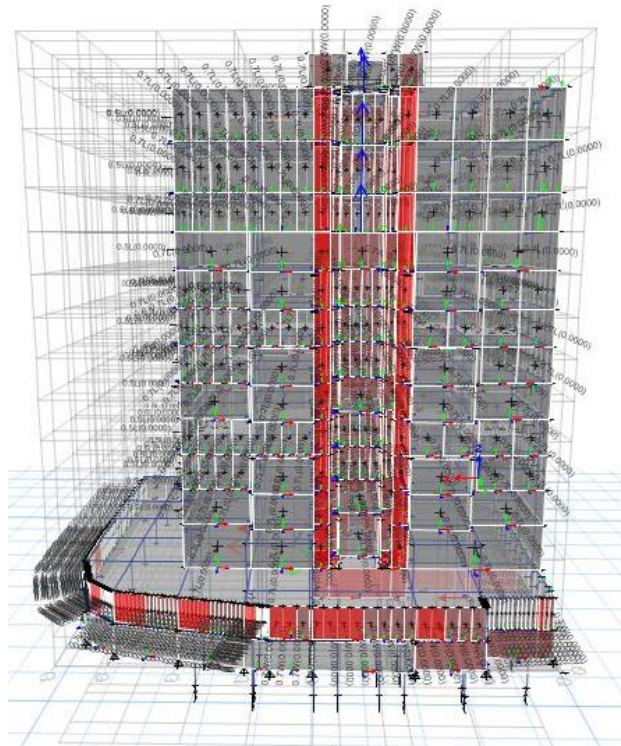
Όπως φαίνεται στο Σχήμα 63, για την πλευρά D χρειαζόταν να αντιστρέψουμε τους τοπικούς άξονες ή να θέσουμε τα Windward με αρνητικό πρόσημο λόγω της αρνητικής φοράς του άξονα X. Στην δεδομένη περίπτωση αντιστράφηκε ο τοπικός άξονας X ώστε να είναι θετικοί οι συντελεστές εξωτερικής πίεσης του ανέμου. Οι συντελεστές εξωτερικής πίεσης για τη ζώνη E, για τους πλευρικούς τοίχους και για τη στέγη δηλώθηκαν και αυτοί θετικοί για να μη αντιστρέψουμε τον άξονα X και να έχουν φορά προς τα έξω του κτιρίου.



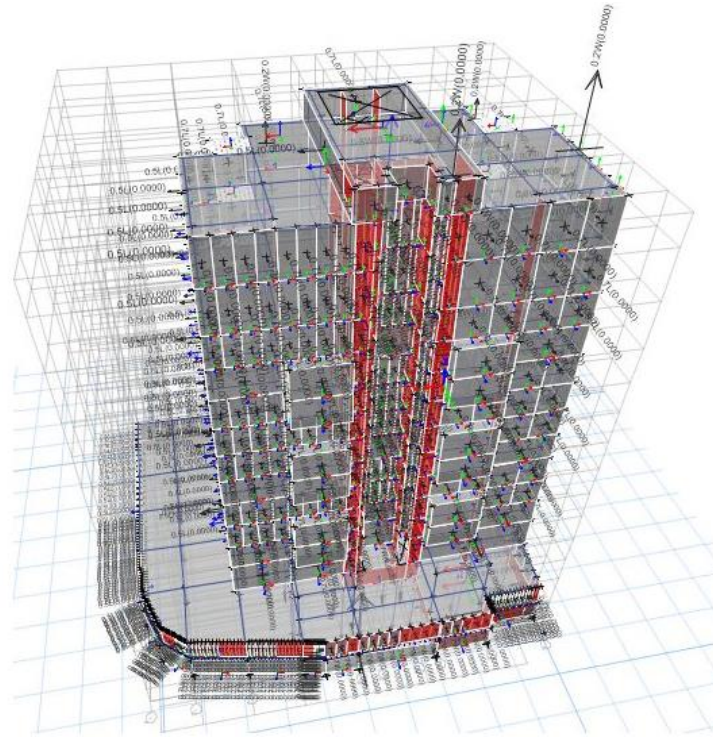
Σχήμα 64: Συντελεστής εξωτερικής πίεσης της ζώνης D



Σχήμα 65: Συντελεστής εξωτερικής πίεσης της ζώνης E



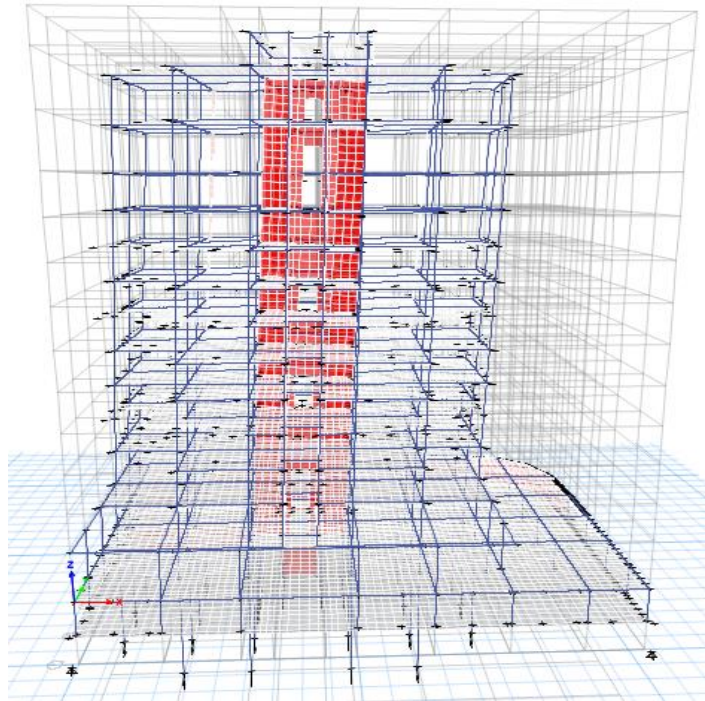
Σχήμα 66: Συντελεστής εξωτερικής πίεσης στους πλευρικούς τοίχους



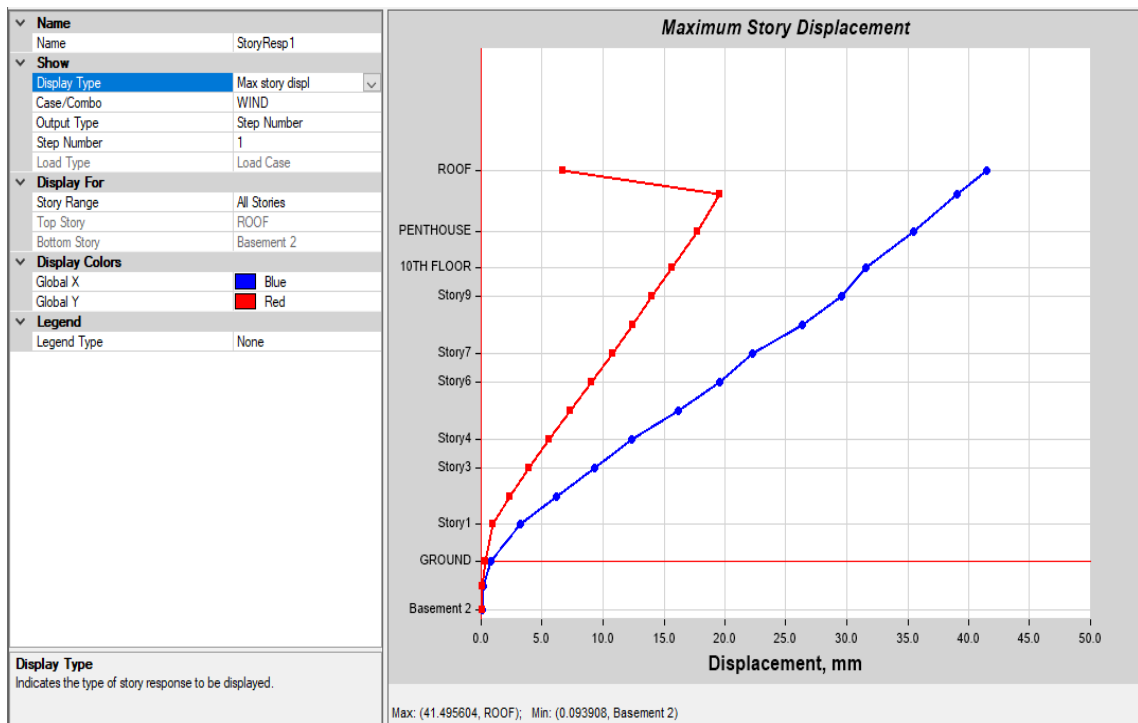
Σχήμα 67: Συντελεστής εξωτερικής πίεσης στην οροφή

11.4 Αποτελέσματα

Με το πέρας του σχεδιασμού και την εφαρμογή των συντελεστών εξωτερικής πίεσης του ανέμου που εφαρμόστηκε σε κάθε πλευρά του κτιρίου, ακολούθησε η ανάλυση του μοντέλου ώστε να δούμε τη συμπεριφορά του κτιρίου. Στο Σχήμα 68 φαίνεται η παραμόρφωση του κτιρίου που δημιουργήθηκε λόγω των φορτίων ανέμου. Με αυτό το τρόπο δίνεται η δυνατότητα να κατανοηθεί καλύτερα πως θα αντιδράσει και θα κινηθεί το κτίριο σύμφωνα με τα φορτία και τη διεύθυνση του ανέμου που έχει δηλωθεί. Επίσης, είναι πολύ σημαντικό για κάποιον μέσα από την παραμόρφωση του κτιρίου να προσέξει αν κάτι έχει γίνει λάθος πάνω στο μοντέλο. Ο συνδυασμός με το Διάγραμμα 19 είναι εύκολο να γίνει ο υπολογισμός για την μετακίνηση του κάθε ορόφου και να βρεθεί το σημείο όπου θα έχει τη μέγιστη μετακίνηση και να ελεγχθεί για τυχόν αστοχίες. Στον Πίνακα 47 παρουσιάζεται αναλυτικά η μετακίνηση στον άξονα X και Ψ για κάθε όροφο. Επίσης στην τελευταία στήλη του πίνακα δίνεται το ποσοστό αύξησης της μετακίνησης κάθε ορόφου προς στον άξονα X σε σχέση με τον προηγούμενο όροφο του κτιρίου. Έτσι μπορεί να παρατηρήσει κάποιος την αναλογία αύξησης που θα υπάρξει και να γίνει καλύτερη κατανόηση με τον τρόπο που κινείται και παραμορφώνεται το κτίριο.



Σχήμα 68: Παραμόρφωση κτιρίου υπό την επίδραση φορτίων ανέμου



Διάγραμμα 19: Μέγιστη μετακίνηση ορόφου λόγω της επίδρασης φορτίων ανέμου

Πίνακας 47: Μετακίνηση κάθε ορόφου υπό την επίδραση φορτίων ανέμου

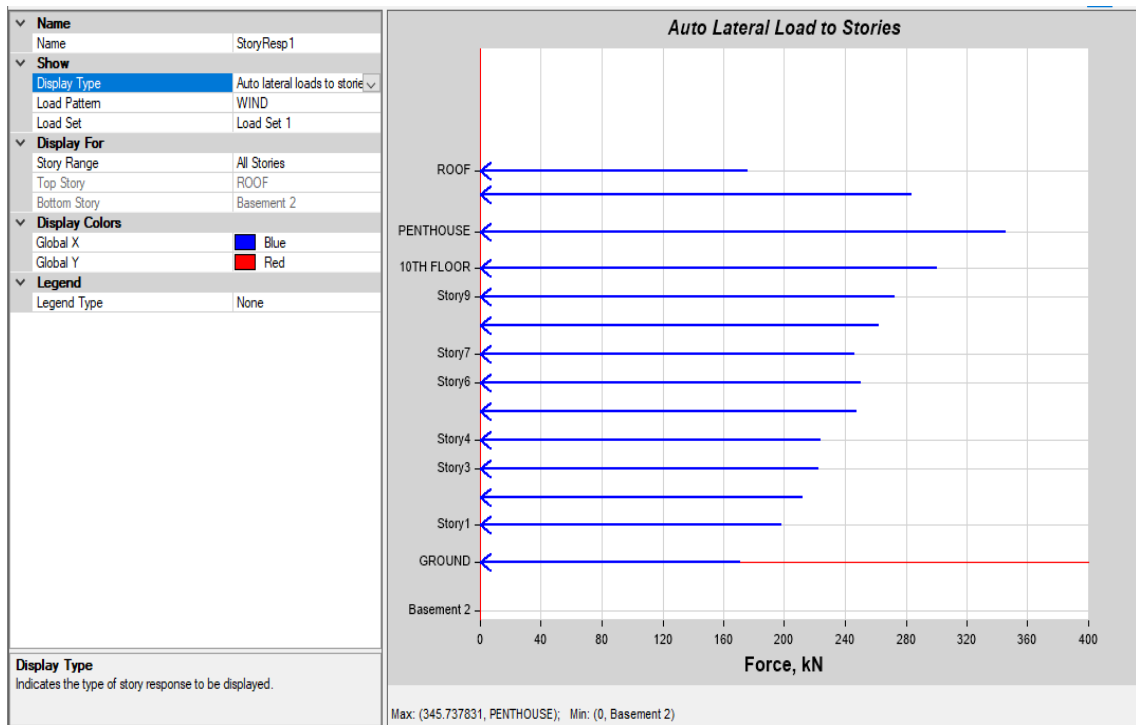
A/A	Ύψος Ορόφου (m)	Υψόμετρο (m)	Μετακίνηση Άξονα Y (mm)	Μετακίνηση Άξονα X (mm)	Ποσοστό Αύξησης Μετακίνησης Άξονα X (%)
Ισόγειο	3,5	0	0,31	0,82	100
1 ^{ος} όροφος	5,2	5,2	0,98	3,24	74,69
2 ^{ος} όροφος	4	9,2	2,36	6,15	47,32
3 ^{ος} όροφος	4	13,2	3,93	9,31	33,94
4 ^{ος} όροφος	4	17,2	5,60	12,35	24,62
5 ^{ος} όροφος	4	21,2	7,32	16,15	23,53
6 ^{ος} όροφος	4	25,2	9,05	19,57	17,48
7 ^{ος} όροφος	4	29,2	10,74	22,24	12,01
8 ^{ος} όροφος	4	33,2	12,40	26,32	15,50
9 ^{ος} όροφος	4	37,2	14,03	29,54	10,90
10 ^{ος} όροφος	4	41,2	15,64	31,60	6,52
11 ^{ος} όροφος	5,2	46,2	17,76	35,50	10,99
12 ^{ος} όροφος	5,2	51,6	19,53	39,03	9,04
Οροφή	3,2	54,8	6,67	41,96	6,98

Συμπεράσματα

Όπως φαίνεται και στο πιο πάνω Σχήμα 65 το κτίριο θα κινηθεί προς τον άξονα X και με φορά από τα αριστερά προς τα δεξιά, δηλώνοντας την ορθότητα για τη διεύθυνση των συντελεστών πίεσης που εφαρμόστηκαν. Όπως μπορεί να παρατηρηθεί όσο ανεβαίνουμε σε κάθε όροφο, η μετακίνηση στο συγκεκριμένο σημείο αυξάνεται και αυτό συμφωνεί με το Κεφάλαιο 4 όπου εκεί που βρίσκεται σε μεγαλύτερο ύψος τότε η ενέργεια του ανέμου μεγαλώνει και προσδίδει μεγαλύτερες ταχύτητες με αποτέλεσμα να αναπτύσσονται

μεγαλύτερες οριζόντιες δυνάμεις που θα έχουν δράσει στο κτίριο και τη δημιουργία μεγαλύτερων μετακινήσεων.

Στο Διάγραμμα 20 φαίνονται οι οριζόντιες δυνάμεις που αναπτύχθηκαν καθ' ύψος σε κάθε όροφο για τον άξονα X και Ψ. Με μπλε χρώμα είναι ο άξονας X και με κόκκινο χρώμα ο άξονας Ψ. Στη συνέχεια στον Πίνακα 48 παρουσιάζονται αναλυτικά οι οριζόντιες δυνάμεις που θα αναπτυχθούν σε κάθε όροφο και το σύνολο της δύναμης F_w . Στις τελευταίες δύο στήλες φαίνεται το ποσοστό της συνολικής δύναμης που θα δεχθεί ο κάθε όροφος και το ποσοστό αύξησης της δύναμης για κάθε ύψος.



Διάγραμμα 20: Οριζόντιες δυνάμεις κάθε ορόφου λόγω της επίδρασης φορτίων ανέμου

Πίνακας 48: Οριζόντιες δυνάμεις κάθε ορόφου υπό την επίδραση φορτίων ανέμου

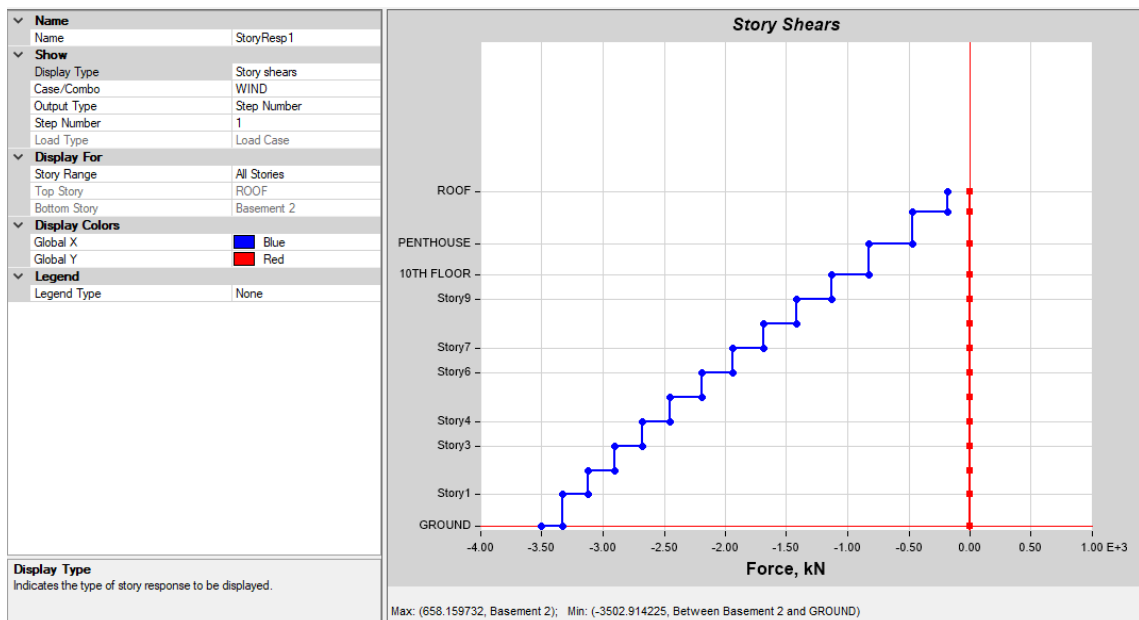
A/A	Ύψος Ορόφου (m)	Υψόμετρο (m)	Δύναμη (KN)	Ποσοστό Συνολικής Δύναμης (%)	Ποσοστό Αύξησης Δύναμης (%)
Ισόγειο	3,5	0	171,12	4,99	100
1 ^{ος} όροφος	5,2	5,2	198,50	5,81	13,79
2 ^{ος} όροφος	4	9,2	214,14	6,28	7,31
3 ^{ος} όροφος	4	13,2	222,76	6,51	3,87
4 ^{ος} όροφος	4	17,2	224,24	6,57	0,66
5 ^{ος} όροφος	4	21,2	247,79	7,26	9,50
6 ^{ος} όροφος	4	25,2	250,26	7,33	0,99
7 ^{ος} όροφος	4	29,2	246,11	7,21	-1,66
8 ^{ος} όροφος	4	33,2	262,37	7,68	6,10
9 ^{ος} όροφος	4	37,2	272,95	7,98	3,88
10 ^{ος} όροφος	4	41,2	300,40	8,79	9,14
11 ^{ος} όροφος	5,2	46,2	345,74	10,12	13,11
12 ^{ος} όροφος	5,2	51,6	283,55	8,30	-21,93
Οροφή	3,2	54,8	175,87	5,17	-61,22
Σύνολο			3429,66	100	

Συμπεράσματα

Όπως φαίνεται και από τα αποτελέσματα του Πίνακα 48, ο 11^{ος} όροφος θα δεχθεί την περισσότερη δύναμη και τη λιγότερη το ισόγειο αποδεικνύοντας και τις παρατηρήσεις που έγιναν πριν πως με την αύξηση του υψόμετρου ενδέχεται να υπάρχουν μεγαλύτερης έντασης δυνάμειων. Η μείωση της δύναμης στο 12^ο όροφο και στην οροφή οφείλεται στο μικρότερο εμβαδό της επιφάνειας των δύο ορόφων σε σύγκριση με τον 11^ο όροφο. Το μικρότερο ποσοστό της συνολικής δύναμης θα το αναλάβει το ισόγειο με ποσοστό 4,99 % και το μεγαλύτερο ποσοστό της δύναμης θα το αναλάβει ο 11^{ος} όροφος και με

ποσοστό 10,12 %, δηλαδή λίγο περισσότερο από το 1/10 της συνισταμένης δύναμης που θα ασκηθεί σε όλο το κτίριο. Στην τελευταία στήλη φαίνεται και σε ποια σημεία υπήρξε η μεγαλύτερη αύξηση και μείωση της δύναμης από τον προηγούμενο όροφο. Για παράδειγμα η μεγαλύτερη αύξηση σημειώθηκε από το ισόγειο στον 1^ο όροφο με ποσοστό 13,1%. Ενώ η μεγαλύτερη μείωση σημειώθηκε από τον 12^ο όροφο στην οροφή με ποσοστό -62,22 %. Άρα φαίνεται επακριβώς για την εύρεση της συνολικής δύναμης F_w οι πιο σημαντικοί παράγοντες είναι το υψόμετρο αλλά και η συνολική επιφάνεια όπου θα δράσει ο άνεμος.

Το χαρακτηριστικό μέγεθος των δράσεων ανέμου είναι η συνολική οριζόντια δύναμη και ονομάζεται τέμνουσα βάσης V_b και η οποία είναι ίση με το συνολικό άθροισμα των τεμνουσών δυνάμεων όλων των κολόνων στη βάση του κτιρίου. Στην συγκεκριμένη περίπτωση η βάση του κτιρίου είναι το ισόγειο. Όπως φαίνεται από τον Πίνακα 48 η συνολική δύναμη είναι 3429,66 KN για τριγωνική κατανομή. Στο Διάγραμμα 21 παρουσιάζεται η συνολική δύναμη τέμνουσας βάσης V_b με ορθογωνική ισοκατανομή. Ακόμη στον Πίνακα 49 παρουσιάζεται κατανομή της τέμνουσας δύναμης σε κάθε όροφο και της συνολικής τέμνουσας βάσης V_b .



Διάγραμμα 21: Συνολική δύναμη τέμνουσας βάσης V_b

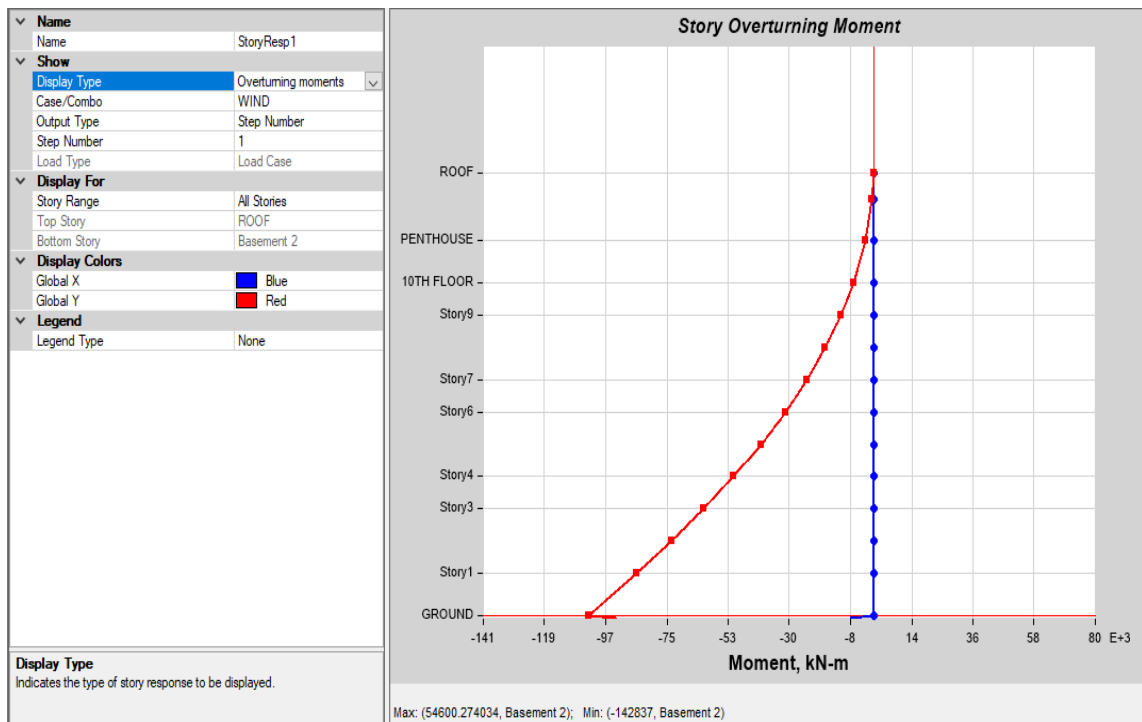
Πίνακας 49: Κατανομή της τέμνουσας δύναμης σε κάθε όροφο και τέμνουσας βάσης V_b

A/A	Ύψος Ορόφου (m)	Υψόμετρο (m)	Τέμνουσα Δύναμη (N)	Συνολική Τέμνουσα (N)
Οροφή	3,2	54,8	-180,9	-180,9
12 ^{ος} όροφος	5,2	51,6	-289,96	-470,86
11 ^{ος} όροφος	5,2	46,2	-354,63	-824,63
10 ^{ος} όροφος	4	41,2	-308,63	-1133,26
9 ^{ος} όροφος	4	37,2	-280,58	-1413,84
8 ^{ος} όροφος	4	33,2	-269,79	-1683,63
7 ^{ος} όροφος	4	29,2	-253,69	-1937,32
6 ^{ος} όροφος	4	25,2	-257	-2194,32
5 ^{ος} όροφος	4	21,2	-254,56	-2448,88
4 ^{ος} όροφος	4	17,2	-231,05	-2679,93
3 ^{ος} όροφος	4	13,2	-227,78	-2907,71
2 ^{ος} όροφος	4	9,2	-217	-3124,71
1 ^{ος} όροφος	5,2	5,2	-203,08	-3327,79
Ισόγειο	3,5	0	-175	-3502,79

Συμπεράσματα

Όπως μπορεί να διαπιστωθεί η συνολική τέμνουσα βάση είναι ίση με $V_b = -3502,79$ N. Το αποτέλεσμα μπορεί να διαφέρει κατά 2,09 % σε σύγκριση με την τριγωνική κατανομή. Όμως αυτή η μικρή απόκλιση είναι ορθή καθώς μπορεί να φθάσει μέχρι και 5%.

Στο Διάγραμμα 22 παρουσιάζεται η ροπή ανατροπή αναπτύχθηκε σε κάθε όροφο του κτιρίου και σε κάθε άξονα X και Ψ ενώ στον Πίνακα 50 παρουσιάζεται αναλυτικά η κατανομή της ροπής σε κάθε όροφο ως προς τον άξονα Ψ.



Διάγραμμα 22: Ροπή ανατροπής κάθε ορόφου λόγω της επίδρασης φορτίων ανέμου

Πίνακας 50: Ροπή ανατροπής κάθε ορόφου

A/A	Ύψος Ορόφου (m)	Υψόμετρο (m)	Ροπή Ανατροπής (KN/m)	Ποσοστό Αύξησης ροπής (%)
Οροφή	3,2	54,8	-0,02	100
12 ^{ος} όροφος	5,2	51,6	-0,56	96,43
11 ^{ος} όροφος	5,2	46,2	-3,03	81,5
10 ^{ος} όροφος	4	41,2	-7,32	58,61
9 ^{ος} όροφος	4	37,2	-11,81	39,03
8 ^{ος} όροφος	4	33,2	-17,51	32,55
7 ^{ος} όροφος	4	29,2	-24,25	27,78
6 ^{ος} όροφος	4	25,2	-31,99	24,20
5 ^{ος} όροφος	4	21,2	-40,78	21,55
4 ^{ος} όροφος	4	17,2	-50,57	19,95
3 ^{ος} όροφος	4	13,2	-61,29	17,49
2 ^{ος} όροφος	4	9,2	-72,92	16,35
1 ^{ος} όροφος	5,2	5,2	-85,42	14,63
Ισόγειο	3,5	0	-102,73	20,26

Συμπεράσματα

Με βάση και τα αποτελέσματα του Πίνακα 49 η μεγαλύτερη ροπή ανατροπής θα παρατηρηθεί στη βάση του κτιρίου και είναι ορθή η απάντηση καθώς εκεί υπήρξε και η μεγαλύτερη τέμνουσα δύναμη. Η μέγιστη τιμή της ροπής ανατροπής στη βάση του κτιρίου ήταν $M = -102,73 \text{ KN/m}$.

11.5 Συμπεράσματα

Στην εν λόγω Ενότητα της εργασίας χρησιμοποιήθηκαν οι συντελεστές εξωτερικής πίεσης ώστε να υπολογιστεί μέσα από την ανάλυση του μοντέλου η όλη συμπεριφορά του κτιρίου υπό την επίδραση των φορτίων ανέμου και τα εντατικά μεγέθη. Όπως φάνηκε και από την πιο πάνω διαδικασία ο σωστός καθορισμός των ζωνών για του κατακόρυφους τοίχους και της οροφής καθίστανται αναγκαία ώστε να τοποθετηθούν σωστά οι τιμές των συντελεστών πίεσης και να έχουν τη σωστή διεύθυνση που θα ασκηθούν επάνω στην προσήνεμη και την υπήνεμη πλευρά του κτιρίου. Μέσα από το σωστό σχεδιασμό των claddings και την ανάλυση του μοντέλου για τα φορτία ανέμου παρουσιάστηκε η παραμόρφωση που θα δημιουργηθεί. Μέσω της μετατόπισης προς τον άξονα X από τα αριστερά προς τα δεξιά δηλώνει την ορθότητα με την οποία δηλώθηκαν οι τιμές και η φορά των συντελεστών για δυτικό άνεμο. Από το Διάγραμμα 19 παρατηρήθηκε η μέγιστη παραμόρφωση η οποία υπήρξε στον τελευταίο όροφο με μετατόπιση 41,96 mm. Για να δούμε ότι δε θα έχει αστοχία εξετάσαμε την παραμόρφωση του κτιρίου από τον τύπο $(l \leq 250)$. Στην συγκεκριμένη περίπτωση το ύψος του κτιρίου είναι $l = 54800$ mm, τότε $(54800/250) = 219,2 > 41,96$. Αυτό δείχνει πως δε θα υπάρξει αστοχία λόγω παραμόρφωσης και δεν χρειάζεται να αλλάξουμε τη διαστασιολόγηση των δομικών στοιχείων του κτιρίου. Στη συνέχεια μέσα από το Διάγραμμα 20 παρουσιάστηκε η δύναμη που θα παραλάβει ο κάθε όροφος και πολύ ορθά φάνηκε εκεί που θα αναπτυχθεί η περισσότερη δύναμη είναι στο υψηλότερο ύψος και τη συνολική επιφάνειας δράσης. Στο Διάγραμμα 21 υπολογίστηκε η τέμνουσα βάση V_b ορθογωνική ισοκατανομή και φάνηκε η μικρή απόκλιση των αποτελεσμάτων που μπορεί να υπάρξει μεταξύ τριγωνικής κατανομής. Επιπρόσθετα με βάση την τέμνουσα και το Διάγραμμα 22 υπολογίστηκε σε κάθε όροφο και στη βάση του κτιρίου η μέγιστη ροπή ανατροπής. Επίσης από το Παράδειγμα 2 του Κεφαλαίου η συνολική δύναμη που θα ασκηθεί στο πολυώροφο κτίριο είναι 2870,8 KN για ύψος 46 m και δείχνει πόσο κοντά είναι το αποτέλεσμα αυτό με τη συνολική δύναμη του παραδείγματος στο Κεφάλαιο 11 όπου για ύψος 54,8 m η συνισταμένη δύναμη ήταν 3429,66 KN. Όμως εκτός από το υψόμετρο άλλος ένας σημαντικός παράγοντας για τη συνολική δύναμη είναι και το εμβαδό της επιφάνειας δράσης του ανέμου. Μέσα από αυτή τη σύγκριση φαίνεται και πως μέσα από τις απλές υπολογιστικές μεθόδους του Ευρωκώδικα 1 μπορούν να βρεθούν σωστά τα αποτελέσματα χωρίς να έχουν μεγάλη απόκλιση από τις πραγματικές τιμές.

ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Με το τέλος της πτυχιακής εργασίας, μπορεί να κατανοηθεί η σημαντικότητα των δυναμικών φορτίων ανέμου που δημιουργούνται στα ψηλά και πολυώροφα κτίρια. Για αυτό θα πρέπει να λαμβάνεται εξίσου υπόψη η σημαντικότητα του μαζί με τις σεισμικές φορτίσεις. Οι δύο αυτές περιπτώσεις δυναμικών φορτίσεων, πρέπει να υπολογίζονται ως τα κινητά φορτία που ασκούνται επάνω σε μια κατασκευής. Σε μερικά ψηλά κτίρια τα οποία εκτίθενται σε περιοχές με υψηλή ταχύτητα ανέμου ταλαντεύονται υπερβολικά. Ως εκ τούτου ο υπολογισμός των δυνάμεων με βάση τις παραμέτρους που παρουσιάστηκαν όπως η βασική ταχύτητα ανέμου $v_{b,0}$, ο υπολογισμός εδαφικού συντελεστή τραχύτητας $c_T(z)$, ο συντελεστής τοπογραφικού ανάγλυφου $c_o(z)$, η τυρβώδης ροή ανέμου $I_v(z)$, η μέγιστη ταχύτητα πίεσης $q_p(z)$, ο δυναμικός συντελεστής c_{scd} και οι αεροδυναμικοί συντελεστές c_{pe} , θα πρέπει να υπολογίζονται ακριβείς και ανάλογα με την κατασκευή. Η συνολική επίδραση του ανέμου γίνεται με μια απλουστευμένη προσέγγιση, αλλά μια ομοιόμορφη πλευρική πίεση στην πλευρά του κτιρίου προς τα εμπρός και η αναρρόφηση στο τοίχο. Υπολογίστηκαν μόνο η οριζόντια διάτμηση και ροπή ανατροπής. Για χαμηλά ή μεσαίου ύψους, τέτοιες απλές μέθοδοι μπορεί να είναι αρκετά ικανοποιητικές, αλλά για ψηλά κτίρια, η μεγαλύτερη σημασία της φόρτισης επιβάλλει μεγαλύτερη ακρίβεια. Ο άνεμος δεν είναι σταθερός ούτε με το ύψος ή με το χρόνο και δεν είναι ομοιόμορφος στο πλάι ενός κτιρίου καθώς δεν είναι πάντα θετική η πίεση. Στην πραγματικότητα ο άνεμος είναι ένα περίπλοκο φαινόμενο. Ο αέρας σε τυρβώδη ροή που σημαίνει ότι η κίνηση των μεμονωμένων σωματιδίων αέρα είναι τόσο ακανόνιστη που κατά τη μελέτη του ανέμου κάποιος θα πρέπει να ασχολείται με τις στατικές κατανομές ταχύτητας και κατευθύνσεων.

Μέσα από τα παραδείγματα του Κεφαλαίου 7 παρουσιάστηκε πως μπορεί να γίνει ο υπολογισμός των συνολικών δυνάμεων που ασκούνται σε κτίρια με επίπεδη στέγη, σε πολυώροφο κτίριο, σε μονόκλινη στέγη, σε δίκλινο στέγαστρο πινακίδα σήμανσης και συμπαγούς κατακόρυφου τοίχου. Έγινε πλήρης αναφορά για το πως μπορούν να βρεθούν οι εξωτερικές, εσωτερικές και τελικές πιέσεις αντίστοιχα. Ο υπολογισμός των σχετικών συντελεστών από το κεφάλαιο 4, 5 και 6 μας βοήθησε στη σωστή διαδικασία επίλυσης των παραδειγμάτων και τη σημαντικότητα τους ώστε να λαμβάνονται υπόψη σωστά.

Επίσης το ύψος του κτιρίου αλλά και το εμβαδό της επιφάνειας είναι που θα καθορίσει το μέγεθος της δύναμης.

Οι αρχιτέκτονες και οι πολιτικοί μηχανικοί ευθύνονται όχι μόνο για τη δομική σχεδίαση αλλά και των εξωτερικών επενδυτικών συστημάτων για την προστασία της κατασκευής. Μέσα από την εργασία παρουσιάστηκαν τα είδη των συστημάτων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αντίσταση του ανέμου καθώς και οι παράμετροι για τον υπολογισμό των εντατικών μεγεθών που μπορούν να ασκηθούν επάνω στα επενδυτικά συστήματα.

Μέσα από το στατικό λογισμικό πρόγραμμα ETABS που χρησιμοποιήθηκε στην Ενότητα 11, μας βοήθησε να παρουσιαστεί σε κανονικά μοντέλα ο τρόπος με τον οποίο γίνεται ο σχεδιασμός και υπολογισμός των φορτίων ανέμου. Επίσης κατανοήθηκε η αναγκαιότητα και η σημαντικότητα των παραμέτρων που πρέπει να τοποθετούνται στα δεδομένα, ώστε να εξάγονται τα σωστά αποτελέσματα των δυνάμεων που ασκούνται επάνω στις κατασκευές και των ορθών συμπερασμάτων για τη λήψη σωστών αποφάσεων. Οι δυνάμεις που ασκήθηκαν και οι μετατοπίσεις που υπέστη κάθε όροφος, μας έδωσαν καλύτερη αντίληψη για όλες τις πληροφορίες που δόθηκαν στις Ενότητες 3,4,5,6 και για το πως συμπεριφέρονται τα πολυώροφα κτίρια έναντι στα φορτία ανέμου. Επίσης μέσα από το Παράδειγμα 2 του Κεφαλαίου 7 και του μοντέλου του Κεφαλαίου 11 φάνηκε πως μέσα από απλές υπολογιστικές μεθόδους και την ανάλυση από το στατικό λογισμικό μπορεί να δοθεί η συνολική δύναμη χωρίς να υπάρξει μεγάλη απόκλιση μεταξύ των δύο μεθόδων.

Συνολικά με όλα τα στοιχεία που παρατηρήθηκαν στην εν λόγω εργασία, δόθηκαν οι απαραίτητες πληροφορίες για τον τρόπο εφαρμογή συντελεστών πιέσεων του ανέμου για τον υπολογισμό των δυναμικών φορτίων του ανέμου επί των κατασκευών και οι μέθοδοι οι οποίοι υπάρχουν και μπορούμε αποφύγουμε τυχών αστοχίες. Επίσης έγινε η κατανόηση για τον υπολογισμό των δυνάμεων σε διάφορες κατασκευές και ποιοι παράμετροι πρέπει να λαμβάνονται υπόψη σε κάθε περίπτωση.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Cook, J. N. (1999). “Commentary.” Wind loading A practical guide to BS 6399-2 Wind loads on buildings, Thomas Telford, London, 29–32.
- Cook, N. (2007). “Design situations.” Designers’ Guide to EN 1991-1-4 Eurocode 1: Actions on Structures, General Actions part 1-4. Wind Actions, Thomas Telford, London.
- Eurocode-Basis of structural design, BS EN 1990:2002. (2006).
- Eurocode 1: Actions on structures-Part 1-4: General Actions - Wind actions, CYS, EN 1991-1-4:2005. (2005).
- Holmes, J. D. (2005). “Resonant dynamic response and effective static load distributions.” Wind Loading of Structures, CRC Press, New York, 138–141.
- Lumley, R. (Ed.). (2011). Fundamentals of aluminium metallurgy : Production, processing and applications. Woodhead Publishing, Cambridge , UK.
- Meijs, A. J. B. and M. (2008). CLADDING OF BUILDINGS. Taylor & Francis, New York.
- MUSKITA. (2018). MU 4200 TECHNICAL CATALOGUE. Muskita Aluminium Industries.
- Taranath, B. S. (2004). “Wind loads.” Wind and Earthquake Resistant Buildings, ASCE, New York, 1–3.
- Windows and doors - Product standard, performance characteristics - Part 1: Windows and external pedestrian doorsets, CYS, EN, 14351-1:2006 + A2:2016. (2016).
- Windows and doors - Resistance to wind load - Test method, CYS, EN, 12211:2016,. (2016).
- Ερμόπουλος, Ι. (1997). Ευρωκώδικας 1: Βάσεις σχεδιασμού και δράσεις επί των κατασκευών, Ερμηνευτικά σχόλια και παραδείγματα εφαρμογής,. Κλειδάριθμος, Αθήνα.
- Ευρωκώδικας 1: Δράσεις επί των κατασκευών-Μέρος 1-4: Γενικές Δράσεις- Δράσεις ανέμου EN 1991-1-4:2003. (2003).
- Νίκος Μαλακάτας, και Τρέζος, Κ. (2011). Σημειώσεις για τη χρήση των Ευρωκωδίκων, EN: Βάσεις Σχεδιασμού των Φέροντων Κατασκευών, EN 1991:

Δράσεις επί των κατασκευών. ΤΕΧΝΙΚΟ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟ ΕΛΛΑΔΟΣ,
Αθήνα.