

Τ.Ε.Ι. ΠΕΙΡΑΙΑ

**ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ
ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ**

**ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ
ΔΟΜΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ**

Τομέας Β΄

**Δομοστατικού
Σχεδιασμού**

ΦΟΡΤΙΑ ΧΙΟΝΙΟΥ & ΦΟΡΤΙΑ ΑΝΕΜΟΥ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟΝ ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑ¹

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΠΑΠΑΓΙΑΝΝΗ ΜΑΡΙΝΑΣ

(Α.Μ. 33607)

ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

Δρ. ΜΩΚΟΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ

ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟΣ ΣΥΝΕΡΓΑΤΗΣ

Τ.Ε.Ι. ΠΕΙΡΑΙΑ

ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ 2010

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1:	6
1.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	6
1.2 ΟΡΙΑΚΕΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ.....	6
1.3 ΔΡΑΣΕΙΣ.....	6
1.4 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ.....	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΦΟΡΤΙΑ ΧΙΟΝΙΟΥ.....	8
2.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	8
2.2 ΜΟΡΦΗ ΤΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ.....	8
2.3 ΦΥΣΗ ΤΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ.....	9
2.4 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΗ ΤΙΜΗ ΦΟΡΤΙΟΥ ΧΙΟΝΙΟΥ.....	9
2.5 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΦΟΡΤΙΟΥ ΧΙΟΝΙΟΥ.....	12
2.5.1 Υπολογισμός φορτίου χιονιού σε στέγες.....	12
2.5.2 Υπολογισμός φορτίου χιονιού στην άκρη της στέγης από αναρτώμενο χιόνι.....	12
2.5.3 Υπολογισμός φορτίου χιονιού σε κιγκλιδώματα ασφαλείας ή σε εμπόδια.....	13
2.5.4 Υπολογισμός φορτίου χιονιού σε γέφυρες.....	13
2.6 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΣΧΗΜΑΤΟΣ ΦΟΡΤΙΟΥ ΧΙΟΝΙΟΥ.....	14
2.6.1 Γενικά.....	14
2.6.2 Μονοκλινείς στέγες.....	15
2.6.3 Δίκλινες στέγες.....	16
2.6.4 Επαναλαμβανόμενες στέγες.....	17
2.6.5 Κυλινδρικές στέγες.....	18
2.6.6 Στέγες με απότομες αλλαγές ύψους.....	19
2.6.7 Πρόβολοι & εμπόδια όπου συγκεντρώνεται χιόνι.....	22
2.7 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΦΟΡΤΙΟΥ ΧΙΟΝΙΟΥ ΓΙΑ ΙΔΙΑΙΤΕΡΕΣ ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ & ΙΔΙΑΙΤΕΡΕΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ ΧΙΟΝΙΟΥ.....	23
2.7.1 Γενικά.....	23
2.7.2 Μονοκλινείς στέγες.....	23
2.7.3 Δίκλινες στέγες.....	23
2.7.4 Επαναλαμβανόμενες στέγες.....	23

2.7.5 Κυλινδρικές στέγες.....	25
2.7.6 Στέγες σε επαφή ή γειτονικές ψηλότερων κτιρίων.....	25
2.7.7 Συγκέντρωση χιονιού σε στηθαία, εμπόδια ή προεξοχές στεγών.....	26
2.8 ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΧΙΟΝΙΟΥ.....	28

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΦΟΡΤΙΩΝ ΧΙΟΝΙΟΥ.....29

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 1: Επίπεδη στέγη.....	29
ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 2: Μονοκλινής στέγη.....	30
ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 3: Μονοκλινής στέγη με κιγκλίδωμα ασφαλείας.....	31
ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 4: Δίκλινη στέγη.....	32
ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 5: Επαναλαμβανόμενη στέγη.....	35
ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 6: Κυλινδρική στέγη.....	37
ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 7: Στέγη με απότομη αλλαγή ύψους.....	39
ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 8: Στέγες με απότομες αλλαγές ύψους.....	42
ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 9: Στέγη με εμπόδιο.....	44
ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 10: Επαναλαμβανόμενη στέγη ίδιου ύψους σε περιοχή με ιδιαίτερες κλιματολογικές συνθήκες.....	46
ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 11: Επαναλαμβανόμενη στέγη διαφορετικού ύψους σε περιοχή με ιδιαίτερες κλιματολογικές συνθήκες.....	47
ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 12: Στέγη εν επαφή με ψηλότερο κτίριο.....	48
ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 13: Στέγη με εμπόδιο.....	49
ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 14: Κεκλιμένη στέγη με εμπόδιο.....	51

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΦΟΡΤΙΑ ΑΝΕΜΟΥ.....52

4.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	52
4.1.1 Φύση του φορτίου.....	52
4.1.2 Απόκριση των κατασκευών.....	53
4.1.3 Προσομοίωση της δράσης του ανέμου.....	53
4.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΠΙΕΣΗΣ ΤΟΥ ΑΝΕΜΟΥ ΕΠΙ ΤΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ.....	54
4.2.1 Πεδίο εφαρμογής.....	54
4.2.2 Εξωτερική πίεση.....	54

4.2.3 Εσωτερική πίεση.....	54
4.2.4 Τελική πίεση.....	54
4.2.5 Πίεση ταχύτητας αιχμής.....	55
4.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ΤΟΥ ΑΝΕΜΟΥ.....	58
4.3.1 Υπολογισμός των δυνάμεων του ανέμου λόγω πίεσης.....	58
4.3.2 Υπολογισμός των δυνάμεων του ανέμου λόγω τριβής.....	58
4.4 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΤΡΑΧΥΤΗΤΑΣ & ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΗΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ.....	59
4.4.1 Υπολογισμός συντελεστή τραχύτητας $c_t(z)$	59
4.4.2 Υπολογισμός συντελεστή αναγλύφου $c_t(z)$	62
4.4.3 Γειτονικές κατασκευές.....	64
4.5 ΔΥΝΑΜΙΚΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ $c_s c_d$	64
4.5.1 Γενικά.....	64
4.5.2 Υπολογισμός $c_s c_d$	67
4.6 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΕΡΟΔΥΝΑΜΙΚΩΝ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ ΠΙΕΣΗΣ & ΔΥΝΑΜΗΣ....	71
4.6.1 ΚΤΙΡΙΑ.....	71
4.6.1.1 Γενικά.....	71
4.6.1.2 Κατακόρυφοι τοίχοι κτιρίων με ορθογωνική κάτοψη.....	73
4.6.1.3 Επίπεδες στέγες & δώματα.....	77
4.6.1.4 Μονοκλινείς στέγες.....	79
4.6.1.5 Δίκλινες στέγες.....	82
4.6.1.6 Τετράκλινες στέγες.....	85
4.6.1.7 Επαναλαμβανόμενες στέγες.....	88
4.6.1.8 Κυλινδρικές στέγες & θόλοι.....	90
4.6.1.9 Εσωτερική πίεση.....	92
4.6.2 ΣΤΕΓΑΣΤΡΑ.....	94
4.6.2.1 Γενικά.....	94
4.6.2.2 Μονόκλινα στέγαστρα.....	95
4.6.2.3 Δίκλινα στέγαστρα.....	97
4.6.2.4 Επαναλαμβανόμενα στέγαστρα.....	99

4.6.3 ΕΛΕΥΘΕΡΑ ΙΣΤΑΜΕΝΟΙ ΤΟΙΧΟΙ, ΣΤΗΘΑΙΑ, ΦΡΑΧΤΕΣ & ΠΙΝΑΚΙΔΕΣ ΣΗΜΑΝΣΗΣ.....	100
4.6.3.1 Ελεύθερα ιστάμενοι τοίχοι & στηθαία.....	100
4.6.3.2 Πινακίδες σήμανσης.....	103
4.6.4 ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΟΡΘΟΓΩΝΙΚΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ.....	104
4.6.5 ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΕ ΑΙΧΜΗΡΕΣ ΑΚΡΕΣ.....	105
4.6.6 ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΚΑΝΟΝΙΚΟΥ ΠΟΛΥΓΩΝΟΥ.....	106
4.6.7 ΚΥΚΛΙΚΟΙ ΚΥΛΙΝΔΡΟΙ & ΣΦΑΙΡΕΣ.....	107
4.6.7.1 Κυκλικοί κύλινδροι.....	107
4.6.7.2 Σφαίρες.....	111
4.6.8 ΔΙΚΤΥΩΤΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ & ΙΚΡΙΩΜΑΤΑ.....	112
4.6.9 ΣΗΜΑΙΕΣ.....	114
4.6.10 ΕΝΕΡΓΟΣ ΛΥΓΗΡΟΤΗΤΑ λ & ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΑΚΡΩΝ Ψ_{λ}	115
4.6.11 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΤΡΙΒΗΣ c_{fr}	117
4.7 ΦΟΡΤΙΑ ΑΝΕΜΟΥ ΣΕ ΓΕΦΥΡΕΣ.....	118
4.7.1 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΔΥΝΑΜΗΣ ΤΟΥ ΑΝΕΜΟΥ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ X (ΓΕΝΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ).....	119
4.7.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΔΥΝΑΜΗΣ ΤΟΥ ΑΝΕΜΟΥ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ X (ΑΠΛΟΠΟΙΗΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ).....	122
4.7.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΔΥΝΑΜΗΣ ΤΟΥ ΑΝΕΜΟΥ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ Z.....	123
4.7.4 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΔΥΝΑΜΗΣ ΤΟΥ ΑΝΕΜΟΥ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ Y.....	124
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΦΟΡΤΙΩΝ ΑΝΕΜΟΥ.....	125
ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 1: Επίπεδη στέγη με στηθαίο.....	125
ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 2: Μονοκλιής στέγη.....	130
ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 3: Δίκλινη στέγη	135
ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 4: Επίπεδη στέγη με μια ανοιχτή πλευρά	139
ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 5: Τετράκλινη στέγη.....	144
ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 6: Επαναλαμβανόμενη στέγη.....	149
ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 7: Θόλος με κυκλική βάση.....	153

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 8: Μονόκλινο στέγαστρο.....	155
ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 9: Δίκλινο στέγαστρο.....	157
ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 10: Πινακίδα σήμανσης.....	159
ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 11: Συμπαγής τοίχος.....	160
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	162
ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	163

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα τελευταία χρόνια τα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης καλούνται να χρησιμοποιούν, ταυτόχρονα με τους Εθνικούς Κανονισμούς, τους Ευρωκώδικες μέχρις ότου ολοκληρωθεί η επεξεργασία τους όπου και θα αντικαταστήσουν τους Εθνικούς Κανονισμούς.

Οι Ευρωκώδικες αποτελούν μία ομάδα εννέα προτύπων, για το σχεδιασμό κτιρίων και έργων Πολιτικού Μηχανικού, τα οποία αποτελούνται από διάφορα Μέρη που καλύπτουν όλα τα επιμέρους αντικείμενα του καθενός.

Η παρούσα εργασία έχει ως αντικείμενο τον Ευρωκώδικα 1 και πιο συγκεκριμένα την παρουσίαση και την ανάπτυξη των Μερών του που αφορούν τις δράσεις στις κατασκευές από τα φορτία χιονιού και τα φορτία ανέμου και δίνονται οι τρόποι υπολογισμού των φορτίων αυτών ανάλογα με διάφορους παράγοντες π.χ. είδος και διαστάσεις κατασκευών, κλιματολογικές συνθήκες κλπ. Όμως, σε αυτή την εργασία δεν περιλαμβάνονται διατάξεις που αφορούν εξειδικευμένα θέματα (π.χ. περιοχές με ιδιαίτερες κλιματολογικές συνθήκες) που πρέπει να αναζητηθούν στο κείμενο του κανονισμού ή σε διεθνή βιβλιογραφία.

Σημειώνεται ότι η εργασία αυτή δεν περιέχει όλα τα Μέρη του Ευρωκώδικα 1 και δεν υποκαθιστά τα τελικά κείμενα των κανονισμών και τα αντίστοιχα Εθνικά Προσαρτήματα στα οποία πρέπει να ανατρέχει κάθε ενδιαφερόμενος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1.1 Γενικά

Στο EN 1990, αναλύονται οι αρχές και οι απαιτήσεις για την επίτευξη της ασφάλειας, της λειτουργικότητας και της ανθεκτικότητας των κατασκευών, βάσει της θεωρίας των οριακών καταστάσεων και της μεθόδου των επιμέρους συντελεστών ασφαλείας.

Για την σωστή ανάλυση και διαστασιολόγηση νέων κατασκευών, θα πρέπει να χρησιμοποιείται, το Πρότυπο αυτό σε συνδυασμό με τους υπόλοιπους Ευρωκώδικες και ταυτόχρονα λαμβάνοντας υπόψη τα αντίστοιχα Εθνικά Προσαρτήματα στα οποία προσδιορίζονται, σε εθνικό επίπεδο, χαρακτηριστικά στοιχεία και παράμετροι.

Οι κατασκευές που σχεδιάζονται βάσει των Ευρωκωδίκων θα πρέπει, καθ' όλη την προβλεπόμενη διάρκεια ζωής τους, να παραμένουν κατάλληλες για την χρήση για την οποία προορίζονται και ταυτόχρονα πρέπει να μπορούν να παραλαμβάνουν όλες τις δράσεις που πιθανόν να ασκηθούν κατά την διάρκεια της ανέγερσης και της χρήσης τους.

Ακόμα, θα πρέπει να ελαχιστοποιηθεί η πιθανότητα να υποστούν δυσανάλογα μεγάλες βλάβες και αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση των καταστάσεων σχεδιασμού, οι οποίες είναι καταστάσεις διαρκείας ή παροδικές ή τυχηματικές ή καταστάσεις σεισμού.

1.2 Οριακές καταστάσεις

Οριακές καταστάσεις ονομάζονται αυτές, πέραν των οποίων η κατασκευή δεν ικανοποιούν τις απαιτήσεις ασφαλείας και λειτουργικότητας του σχεδιασμού. Διακρίνονται σε οριακές καταστάσεις αστοχίας, που αντιστοιχούν σε καταρρεύσεις ή άλλου είδους αστοχίες λόγω απώλειας ισορροπίας της κατασκευής ή λόγω υπερβολικών παραμορφώσεων που θέτουν σε κίνδυνο ανθρώπινες ζωές, και σε οριακές καταστάσεις λειτουργικότητας πέραν των οποίων δεν ικανοποιούνται τα κριτήρια λειτουργικότητας της κατασκευής.

1.3 Δράσεις

Οι δράσεις που επιβάλλονται στις κατασκευές ταξινομούνται σε άμεσες (π.χ. φορτία) και έμμεσες (π.χ. θερμοκρασιακές μεταβολές, σεισμός) και ως προς το χρόνο σε μόνιμες (π.χ. ίδιο βάρος), μεταβλητές (π.χ. φορτία χιονιού, φορτία ανέμου) και τυχηματικές (π.χ. εκρήξεις). Σε ορισμένες περιπτώσεις, κάποιες δράσεις μπορεί να θεωρούνται είτε ως τυχηματικές ή ως μεταβλητές. Ακόμα, ως προς την θέση τους ταξινομούνται σε καθορισμένες (π.χ. ίδιο βάρος) ή ελεύθερες (π.χ. κινητά φορτία) και τέλος, ως προς την φύση τους ταξινομούνται σε στατικές ή δυναμικές.

Οι χαρακτηριστικές τιμές των δράσεων που προαναφέρθηκαν δίνονται αναλυτικά στα διάφορα Μέρη του EN1991. Ανάλογες χαρακτηριστικές τιμές για τις

ιδιότητες των υλικών, προκειμένου να προσδιοριστεί η αντοχή των διατομών ή των μελών της κατασκευής, δίνονται στα υπόλοιπα ΕΝ(1992-1999).

1.4 Περιβαλλοντικές επιδράσεις που επηρεάζουν την ανθεκτικότητα των κατασκευών.

Κατά την επιλογή των υλικών που θα χρησιμοποιηθούν, του σχεδιασμού της κατασκευής και των λεπτομερειών αυτής αλλά και των προδιαγραφών αυτών θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι περιβαλλοντικές επιδράσεις που επηρεάζουν την ανθεκτικότητα της κατασκευής. Τα σχετικά μέτρα αναφέρονται στους αντίστοιχους Ευρωκώδικες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

EN 1991-1-3: ΦΟΡΤΙΑ ΧΙΟΝΙΟΥ

2.1 Γενικά

Σε αυτό το μέρος του Ευρωκώδικα 1, παρουσιάζεται ο τρόπος με τον οποίο μπορούμε να υπολογίσουμε τα φορτία λόγω χιονόπτωσης που έλαβε χώρα υπό συνθήκες νηνεμίας ή με ταυτόχρονη ύπαρξη δυνατών ανεμών, τα οποία επιβάλλονται σε μια κατασκευή. Ο υπολογισμός αυτός αφορά κατασκευές που βρίσκονται σε περιοχές με υψόμετρο χαμηλότερο από 1500m.

Για περιοχές που υπάρχουν άνεμοι υψηλών ταχυτήτων και το χιόνι λιώνει κανονικά, χρησιμοποιούμε το Παράρτημα Β του Μέρους 1-3 του Ευρωκώδικα 1.

Σημειώνεται ότι σε αυτό το μέρος του Ευρωκώδικα 1 δεν περιλαμβάνονται οδηγίες για τις ακόλουθες περιπτώσεις:

- § Δυναμικές φορτίσεις που προέκυψαν από πτώση του χιονιού λόγω ολίσθησης από ψηλότερα σημεία της στέγης σε χαμηλότερα.
- § Επιπλέον φορτία ανεμοπίεσης που προκαλούνται από την αλλαγή του σχήματος και του μεγέθους της κατασκευής λόγω της ύπαρξης χιονιού ή της δημιουργίας πάγου.
- § Πρόσθετες φορτίσεις από το φράξιμο των αποχετεύσεων λόγω δημιουργίας πάγου.
- § Φορτία χιονιού που επιβάλλονται στην κατασκευή καθ'όλη την διάρκεια του έτους.
- § Φορτία που επιβάλλονται στην κατασκευή από την δημιουργία πάγου.
- § Φορτία από πλευρική εναπόθεση του χιονιού στην κατασκευή.
- § Πρόσθετη φόρτιση, στην ήδη υπάρχουσα λόγω του χιονιού, από δυνατή βροχόπτωση.
- § Φορτία χιονιού σε γέφυρες.

2.2 Μορφή του φορτίου

Για τον υπολογισμό του φορτίου χιονιού, γίνεται η παραδοχή της φυσικής απόθεσής του σε ήπιες καιρικές συνθήκες και χωρίς να συμπεριληφθεί η πιθανή αναδιανομή του ή η αφαίρεσή του από ανθρώπινη παρέμβαση.

Παρ'όλες τις ανομοιομορφίες που δημιουργούνται από την φυσική εναπόθεση του χιονιού στις στέγες, τα φορτία ερμηνεύονται με την κατάλληλη, για κάθε περίπτωση, κατανομή, θεωρούνται στατικά και κατατάσσονται στις μεταβλητές καθορισμένες δράσεις.

2.3 Φύση του φορτίου

Ανάλογα με τον τρόπο κατά τον οποίο το χιόνι εναποτίθεται πάνω στις στέγες, προκύπτει και η φύση του φορτίου αυτού. Αυτό εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως:

- § Η μορφή και το σχήμα της στέγης.
- § Τα θερμικά χαρακτηριστικά της στέγης.
- § Την τραχύτητα της επιφάνειάς της.
- § Την ποσότητα της θερμότητας που εκλύεται κάτω από αυτήν.
- § Την απόσταση από τα γειτονικά κτίρια.
- § Τον περιβάλλοντα χώρο (έδαφος).
- § Τις τοπικές κλιματολογικές συνθήκες (ταχύτητα ανέμου στην περιοχή, την μεταβολή της θερμοκρασίας και την ένταση των βροχοπτώσεων και των χιονοπτώσεων).
- § Τον βαθμό έκθεσης της επιφάνειας στον άνεμο.
- § Την δημιουργία χιονοστιβάδων από πτώση του χιονιού από υψηλότερη επιφάνεια σε χαμηλότερη.

2.4 Χαρακτηριστική τιμή φορτίου χιονιού

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

Η χαρακτηριστική τιμή του φορτίου χιονιού εξαρτάται από την τοποθεσία και το υψόμετρο της εκάστοτε περιοχής και τη θέση του φορτίου χιονιού και δίνονται στο Παράρτημα Α του Μέρους ENV 1991-2-3 του Ευρωκώδικα 1.

Σύμφωνα με το Εθνικό Προσάρτημα, η Ελλάδα χωρίζεται σε τρεις ζώνες χιονιού, που φαίνονται στην εικόνα Α1, με τις αντίστοιχες χαρακτηριστικές τιμές S_k των φορτίων για το έδαφος.



Εικόνα Α-1: Εθνικές Ζώνες Χιονιού (ENV 1991-2-3:1995)

Εθνική Ζώνη		Υψόμετρο	Χαρακτηριστική τιμή του φορτίου χιονιού στο έδαφος S_k (KN/m ²)
§ Πελοπόννησος § Δυτική Στερεά § Ήπειρος § Νησιά(εκτός περιοχών με υψόμετρο >600m σε Εύβοια και Κρήτη)	I	0-100	0,22
		100-200	0,27
		200-300	0,33
		300-400	0,39
		400-500	0,47
		500-600	0,57
		600-700	0,68
		700-800	0,82
		800-900	0,98
		900-1000	1,19

§ Θράκη	Π	0-100	0,44
§ Μακεδονία		100-200	0,52
§ Θεσσαλία		200-300	0,62
§ Ανατολική Στερεά		300-400	0,73
§ Εύβοια		400-500	0,86
(με υψόμετρο >600m και <100m)		500-600	1,01
§ Κρήτη		600-700	1,19
(για υψόμετρο >600m και <100m)		700-800	1,41
		800-900	1,67
	900-1000	1,97	

Πίνακας 2.1 Εθνικές Ζώνες και χαρακτηριστική τιμή φορτίου χιονιού στο έδαφος.

Σημειώνεται ότι για περιοχές με υψόμετρο μεγαλύτερο από τα προαναφερόμενα, θα πρέπει να δοθούν οδηγίες από τις Αρμόδιες Αρχές.

Σύμφωνα με το Παράρτημα C του EN 1991-1-3:2003 του Ευρωκώδικα 1, η χαρακτηριστική τιμή του φορτίου χιονιού, για την Ελλάδα, δίνεται από την σχέση :

$$S_k = (0.420Z - 0.030) [1 + (A/917)^2]$$

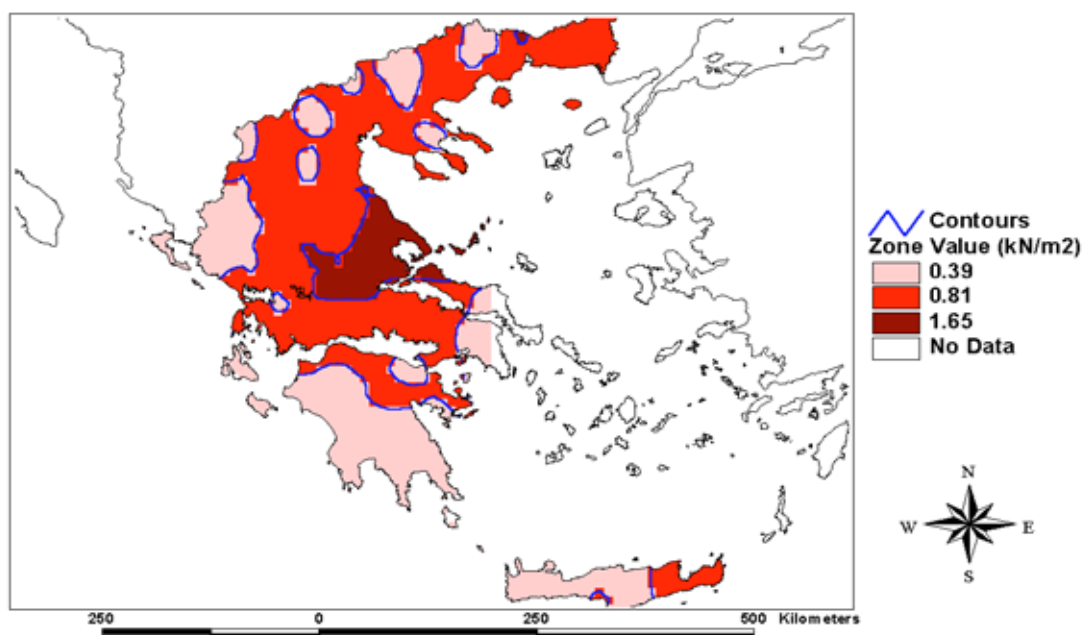
Όπου :

S_k = χαρακτηριστική τιμή φορτίου χιονιού στο έδαφος (KN/m²)

A = το υψόμετρο της περιοχής από την επιφάνεια της θάλασσας(m)

Z = ο αριθμός της ζώνης που δίνεται στον ακόλουθο χάρτη

Greece: Snow Load at Sea Level



Εικόνα 2.1 Εθνικές Ζώνες Χιονιού (EN 1991-1-3:2003)

2.5 Υπολογισμός φορτίου χιονιού

2.5.1 Υπολογισμός φορτίου χιονιού σε στέγες

Για τον υπολογισμό του φορτίου χιονιού σε στέγες χρησιμοποιείται η ακόλουθη σχέση:

$$S = \mu_i C_e C_t S_k$$

Όπου:

S = φορτίο χιονιού στη στέγη

μ_i = ο συντελεστής σχήματος του φορτίου

C_e = συντελεστής έκθεσης

C_t = θερμικός συντελεστής

S_k = χαρακτηριστική τιμή του φορτίου χιονιού στο έδαφος

Σημειώνεται ότι το φορτίο χιονιού S θεωρείται ότι δρα κατακόρυφα στην επιφάνεια της στέγης και ορίζεται στην οριζόντια προβολή της έκτασης αυτής.

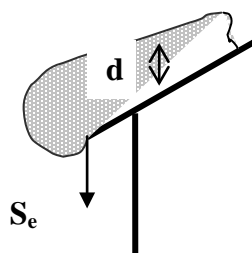
Ο συντελεστής έκθεσης C_e , ανάλογα με τις συνθήκες που επικρατούν σε κάθε περίπτωση, μπορεί να πάρει τις εξής τιμές:

Συνθήκες έκθεσης της κατασκευής	C_e
Κανονικές συνθήκες	1.00
Ισχυροί άνεμοι	0.80
Προστατευμένες κατασκευές	1.20

Πίνακας 2.1 Συντελεστές Έκθεσης.

Ενώ ο θερμικός συντελεστής C_t θεωρείται ίσος με 1.00, εκτός από τις περιπτώσεις που παρατηρείται απώλεια θερμότητας από την στέγη και μπορεί αυτός να μειωθεί.

2.5.2 Υπολογισμός φορτίου χιονιού στην άκρη της στέγης από αναρτώμενο χιόνι.



Σχήμα 2.1 Φορτίο χιονιού αναρτώμενο από την άκρη της στέγης.

Σε περιοχές με υψόμετρο πάνω από 800m και σε στέγες, των οποίων τμήματα τους προεξέχουν σε μορφή προβόλου, πρέπει, εκτός από το φορτίο του χιονιού επί της στέγης, να υπολογίσουμε και να συμπεριλάβουμε και το φορτίο του αναρτώμενου χιονιού, το οποίο δρα στο άκρο της στέγης. Το φορτίο αυτό υπολογίζεται από την σχέση:

$$S_e = k S^2 / \gamma \quad \text{ή} \quad S_e = k \mu_i^2 S_k^2 / \gamma$$

Όπου:

S_e = το φορτίο χιονιού ανά μέτρο πλάτους λόγω της αναρτήσεως (KN/m)
 k = συντελεστής για τον υπολογισμό της μάζας χιονιού με ακανόνιστο σχήμα.
 Ο συντελεστής αυτός κυμαίνεται από 0 έως 2,5 ανάλογα με το κλίμα και το υλικό κατασκευής της στέγης.

$$k = 3/d, \text{ αλλά } k \leq d \cdot \gamma$$

γ = το ειδικό βάρος του χιονιού το οποίο, στην προκειμένη περίπτωση, ισούται με 3 KN/m^3 .

2.5.3 Υπολογισμός φορτίου χιονιού σε κιγκλιδώματα ασφαλείας ή σε εμπόδια.

Σε κεκλιμένες ή καμπύλες στέγες, με κιγκλιδώματα ασφαλείας στα άκρα τους όπου συγκεντρώνονται μάζες χιονιού μετά από ολίσθηση, το φορτίο χιονιού υπολογίζεται από την σχέση :

$$F_s = s \cdot b \cdot \sin a \quad \text{με } s = \mu_i \cdot S_k$$

Όπου:

s = το φορτίο χιονιού στην στέγη σε KN/m^2
 b = η οριζόντια απόσταση από το κιγκλιδώμα ή το εμπόδιο ως την κορυφή της στέγης
 a = η κλίση της στέγης σε μοίρες
 μ_i = ο συντελεστής μορφής του φορτίου χιονιού

2.5.4 Υπολογισμός φορτίου χιονιού σε γέφυρες.

Για τον υπολογισμό του φορτίου χιονιού σε επιστεγασμένες γέφυρες, ακολουθείται η ίδια διαδικασία με αυτή των κτιριακών κατασκευών.

Στις μηχανοκίνητες γέφυρες, το φορτίο χιονιού θεωρείται ως μη συμμετρική κατανομή.

Σε περιπτώσεις που απαιτείται να εξακριβωθεί η στατική επάρκεια κατά τη φάση ανέγερσης μιας κατασκευής, λόγω κλιματολογικών συνθηκών, το φορτίο χιονιού τοποθετείται με μη συμμετρική κατανομή στην δυσμενέστερη θέση με τιμή 25% της χαρακτηριστικής τιμής του φορτίου χιονιού στο έδαφος.

2.6 Υπολογισμός συντελεστή σχήματος φορτίου χιονιού

2.6.1 Γενικά

Για τον προσδιορισμό των συντελεστών σχήματος του φορτίου χιονιού, λαμβάνονται υπ' όψιν τρεις μορφές κατανομής φορτίου και οι οποίες είναι :

- § Η πρώτη μορφή προκύπτει από ένα ομοιόμορφα κατανεμημένο στρώμα χιονιού σε όλη την επιφάνεια της στέγης σε κατάσταση νηνεμίας ή υπό ασθενή άνεμο.
- § Η δεύτερη μορφή προκύπτει από μια ανομοιόμορφη κατανομή, λόγω τοπικής συγκέντρωσης του χιονιού σε εμπόδια ή στις προεξοχές της κατασκευής, ή ανακατανομή του φορτίου του χιονιού που επηρεάζει την κατανομή του φορτίου στο σύνολο της στέγης (π.χ. μεταφορά του χιονιού από την προσήνεμη προς την υπήνεμη πλευρά της στέγης).
- § Η τρίτη μορφή προκύπτει από την ανακατανομή του φορτίου του χιονιού λόγω ολίσθησης του χιονιού από υψηλότερη στάθμη της κατασκευής σε χαμηλότερη.

Αν υπάρχουν ιδιαίτερες κλιματολογικές συνθήκες στην περιοχή της κατασκευής, τότε λαμβάνονται υπ' όψιν οι συντελεστές που δίνονται στο Παράρτημα Β του Μέρους 1-3.

Ανάλογα με το είδος της στέγης, οι συντελεστές μορφής του φορτίου χιονιού παίρνουν διαφορετικές τιμές. Παρακάτω παραθέτονται οι συντελεστές για μερικές τυπικές μορφές στεγών.

2.6.2 Μονοκλινείς στέγες

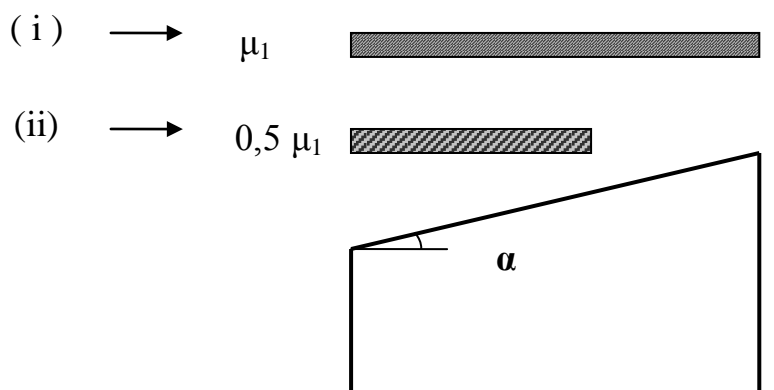
Στις μονοκλινείς στέγες, ανάλογα με την γωνία κλίσης τους έχουν και τον ανάλογο συντελεστή σχήματος που δίνονται στον πίνακα 2.3 :

Γωνία κλίσης της στέγης α (°)	Συντελεστής σχήματος φορτίου χιονιού μ_1
$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	0,80
$30^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ$	$0,8(60-\alpha)/30$
$\alpha \geq 60^\circ$	0,00

Πίνακας 2.2 Συντελεστές μορφής φορτίου χιονιού για μονοκλινείς στέγες.

Οι περιπτώσεις φόρτισης που λαμβάνονται υπ' όψιν είναι οι εξής :

- § Ομοιόμορφη κατανομή του φορτίου σε όλη την επιφάνεια της στέγης, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.2 (i).
- § Ανομοιόμορφη κατανομή του φορτίου με συσσώρευση του μισού στο δυσμενέστερο μισό της στέγης, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.2(ii).



Σχήμα 2.2 Περιπτώσεις φόρτισης μονοκλινών στεγών.

Σημείωση : στις περιπτώσεις που στο χαμηλότερο άκρο της στέγης υπάρχει εμπόδιο (κιγκλίδωμα, στηθαίο κλπ) όπου συγκεντρώνεται χιόνι, ο συντελεστής σχήματος φορτίου χιονιού πρέπει να λαμβάνεται μεγαλύτερος από 0,8.

2.6.3 Δίκλινες στέγες

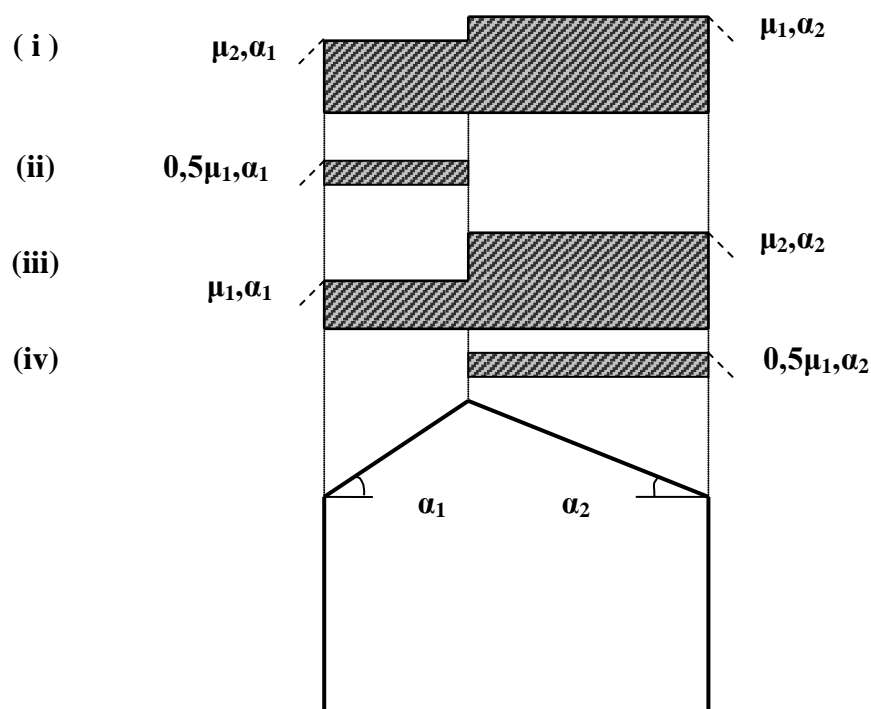
Οι συντελεστές σχήματος φορτίου χιονιού για τις περιπτώσεις των δίκλινων στεγών και ανάλογα με τις γωνίες κλίσης της στέγης, υπολογίζονται ως εξής :

Γωνία κλίσης της στέγης α (°)	Συντελεστής σχήματος φορτίου χιονιού μ_1	Συντελεστής σχήματος φορτίου χιονιού μ_2
$0^\circ \leq \alpha \leq 15^\circ$	0,8	0,8
$15^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	0,8	$0,8 + 0,6(\alpha - 15)/30$
$30^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ$	$0,8(60 - \alpha)/30$	$1,1(60 - \alpha)/30$
$\alpha \geq 60^\circ$	0,0	0,0

Πίνακας 2.3 Συντελεστές μορφής φορτίου χιονιού για δίκλινες στέγες.

Σημείωση : όπως και στις μονόκλινες στέγες, έτσι και στις δίκλινες, στις περιπτώσεις που στο χαμηλότερο άκρο της στέγης υπάρχει εμπόδιο (κιγκλίδωμα, στηθαίο κλπ) όπου συγκεντρώνεται χιόνι, ο συντελεστής σχήματος φορτίου χιονιού πρέπει να λαμβάνεται μεγαλύτερος από 0,8.

Οι περιπτώσεις φόρτισης των δίκλινων στεγών φαίνονται στο σχήμα 2.3.



Σχήμα 2.3 Περιπτώσεις φόρτισης δίκλινων στεγών.

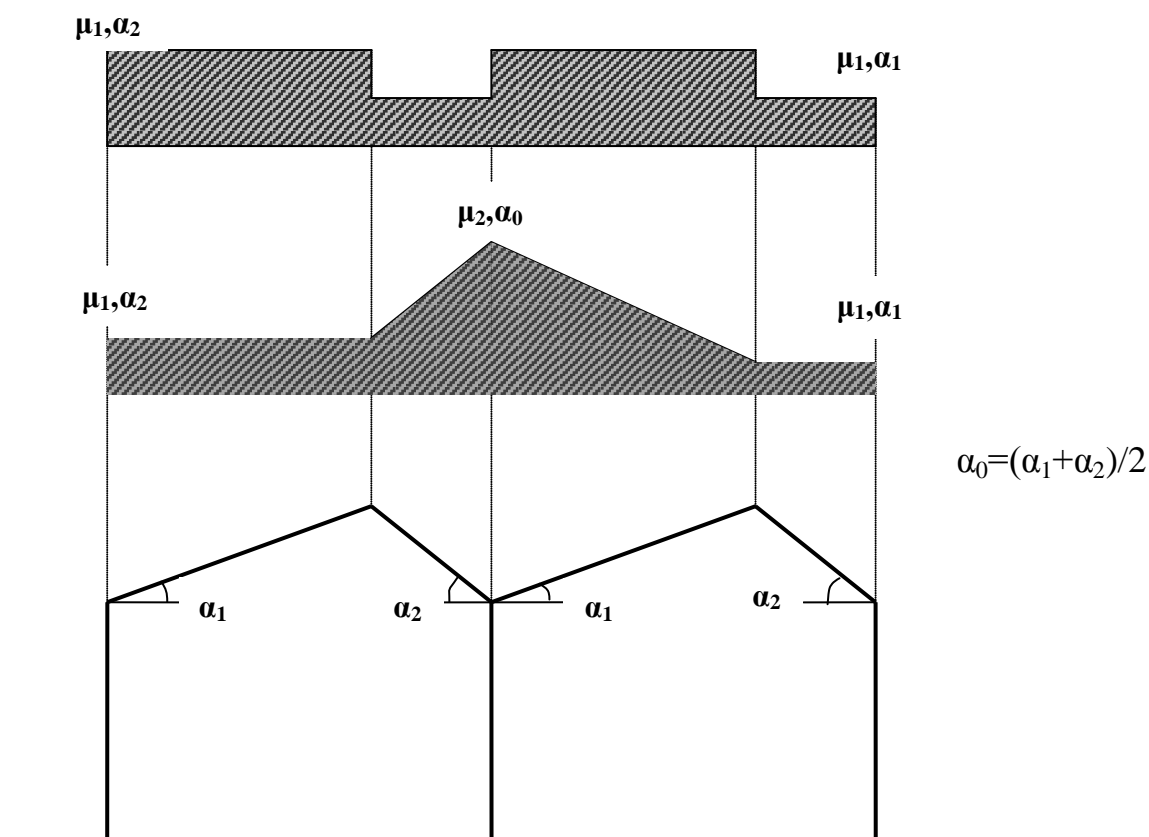
2.6.4 Επαναλαμβανόμενες στέγες

Στις επαναλαμβανόμενες στέγες, οι συντελεστές σχήματος του φορτίου χιονιού παίρνουν τις τιμές που φαίνονται στον πίνακα 2.5 :

Γωνία κλίσης της στέγης α (°)	Συντελεστής σχήματος φορτίου χιονιού μ_1	Συντελεστής σχήματος φορτίου χιονιού μ_2
$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	0,8	$0,8 + 0,8 * \alpha / 30$
$30^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ$	$0,8(60 - \alpha) / 30$	1,6

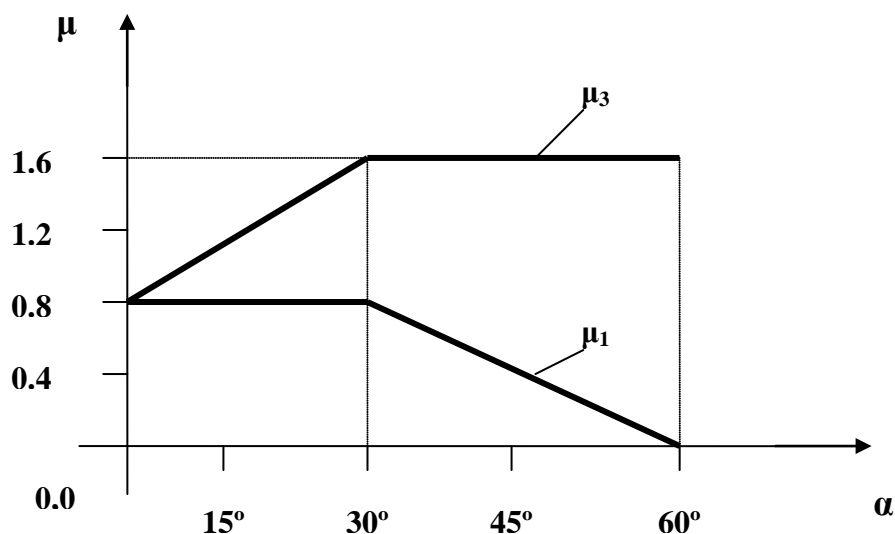
Πίνακας 2.4 Συντελεστές σχήματος φορτίου χιονιού για επαναλαμβανόμενες στέγες.

Στις επαναλαμβανόμενες στέγες, η περίπτωση φόρτισης θεωρείται πως είναι η δυσμενέστερη περίπτωση που προκύπτει είτε από την ομοιόμορφη κατανομή, είτε από την ανομοιόμορφη κατανομή που αναφέρεται στην περίπτωση των δίκλινων στεγών, είτε από την κατανομή συσσωρευμένου φορτίου.



Σχήμα 2.4 Περιπτώσεις φόρτισης επαναλαμβανόμενων στεγών.

Στο σχήμα 2.5 απεικονίζονται οι τιμές των συντελεστών μ_1 και μ_3 .



Σχήμα 2.5 Συντελεστές μορφής φορτίου χιονιού για κεκλιμένες στέγες.

2.6.5 Κυλινδρικές στέγες

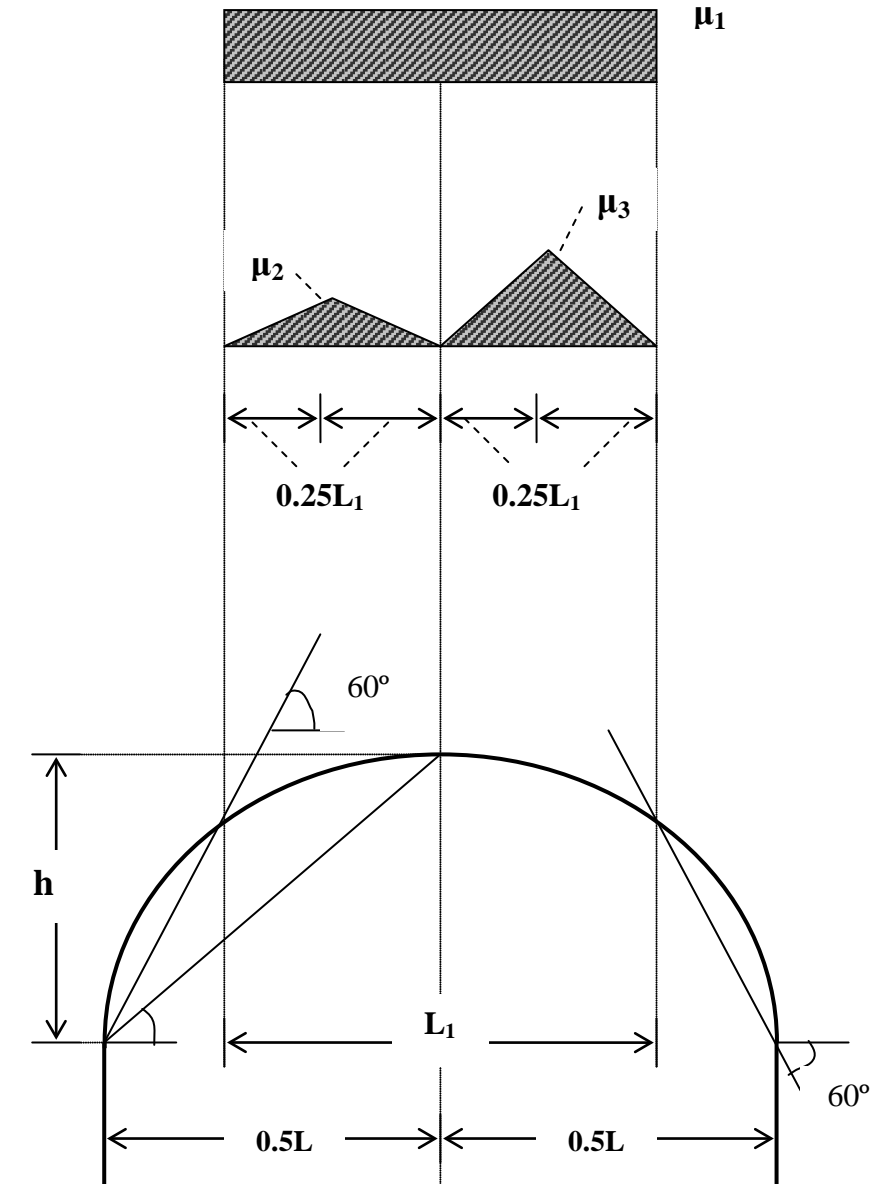
Κυλινδρικές στέγες θεωρούνται όλα τα κυλινδρικά πλαίσια, οποιουδήποτε σχήματος, στα οποία το χιόνι μπορεί να ολισθήσει.

Ο συντελεστής σχήματος του φορτίου χιονιού, για αυτές τις περιπτώσεις, υπολογίζεται με τις παρακάτω σχέσεις:

Γωνία κλίσης της στέγης β (°)	μ_1	μ_2	μ_3
$\beta \leq 60^\circ$	0,8	$0,2+10h/L$ $\mu_2 \leq 2,00$	$0,5\mu_2$
$\beta \geq 60^\circ$	0,0	0,0	0,0

Πίνακας 2.5 Συντελεστές σχήματος φορτίου χιονιού για κυλινδρικές στέγες.

Στις κυλινδρικές στέγες, για τον υπολογισμό του συντελεστή σχήματος του φορτίου χιονιού, εξετάζονται δυο περιπτώσεις φόρτισης και αναλύεται η δυσμενέστερη περίπτωση μεταξύ της ομοιόμορφης και ανομοιόμορφης κατανομής του φορτίου του χιονιού όπως φαίνονται στο σχήμα 2.6 :



Σχήμα 2.6 Περιπτώσεις φόρτισης εναλλαμβανόμενων στεγών

2.6.6 Στέγες με απότομες αλλαγές ύψους

Στις περιπτώσεις των στεγών με απότομες αλλαγές ύψους, όπου είναι πιθανή η συγκέντρωση χιονιού λόγω ανέμου ή ολίσθησης από υψηλότερη στέγη, εξετάζεται η δυσμενέστερη περίπτωση φόρτισης μεταξύ της ομοιόμορφης και της ανομοιόμορφης κατανομής του φορτίου χιονιού, που προκύπτει από την συγκέντρωση χιονιού σε κάποιο σημείο αυτής και φαίνονται στο σχήμα 2.7.

Οι συντελεστές σχήματος του φορτίου του χιονιού γι' αυτές τις περιπτώσεις, υπολογίζεται ως εξής :

μ_1	μ_2
0,80	$\mu_s + \mu_w$

Πίνακας 2.6 Συντελεστές σχήματος φορτίου χιονιού για στέγες με απότομες αλλαγές ύψους.

Όπου :

μ_s = συντελεστής σχήματος φορτίου χιονιού λόγω ολίσθησης.

μ_w = συντελεστής σχήματος φορτίου χιονιού λόγω ανέμου.

Ο συντελεστής σχήματος φορτίου χιονιού λόγω ολίσθησης υπολογίζεται ως εξής :

Γωνία κλίσης της στέγης α (°)	μ_s
$\alpha < 15^\circ$	0,0
$\alpha > 15^\circ$	50% του μέγιστου φορτίου χιονιού στη γειτονική υπερκείμενη στέγη (βλ. § 2.6)

Πίνακας 2.7 Συντελεστής σχήματος φορτίου χιονιού λόγω ολίσθησης.

Ο συντελεστής σχήματος φορτίου χιονιού λόγω ανέμου υπολογίζεται από την σχέση :

$$\mu_w = (b_1 + b_2) / 2h < \gamma h / S_k \quad \text{με} \quad 0,8 \leq \mu_w \leq 4,0$$

Όπου :

μ_w = συντελεστής σχήματος φορτίου χιονιού λόγω ανέμου.

b_1 = πλάτος του χαμηλότερου τμήματος του κτιρίου (βλ. σχήμα 2.7).

b_2 = πλάτος του ψηλότερου τμήματος του κτιρίου (βλ. σχήμα 2.7).

h = η διαφορά ύψους μεταξύ ψηλότερου και χαμηλότερου τμήματος της στέγης.

γ = ειδικό βάρος του χιονιού που στην προκειμένη περίπτωση υπολογίζεται ίσο με $2,0 \text{ KN/m}^3$.

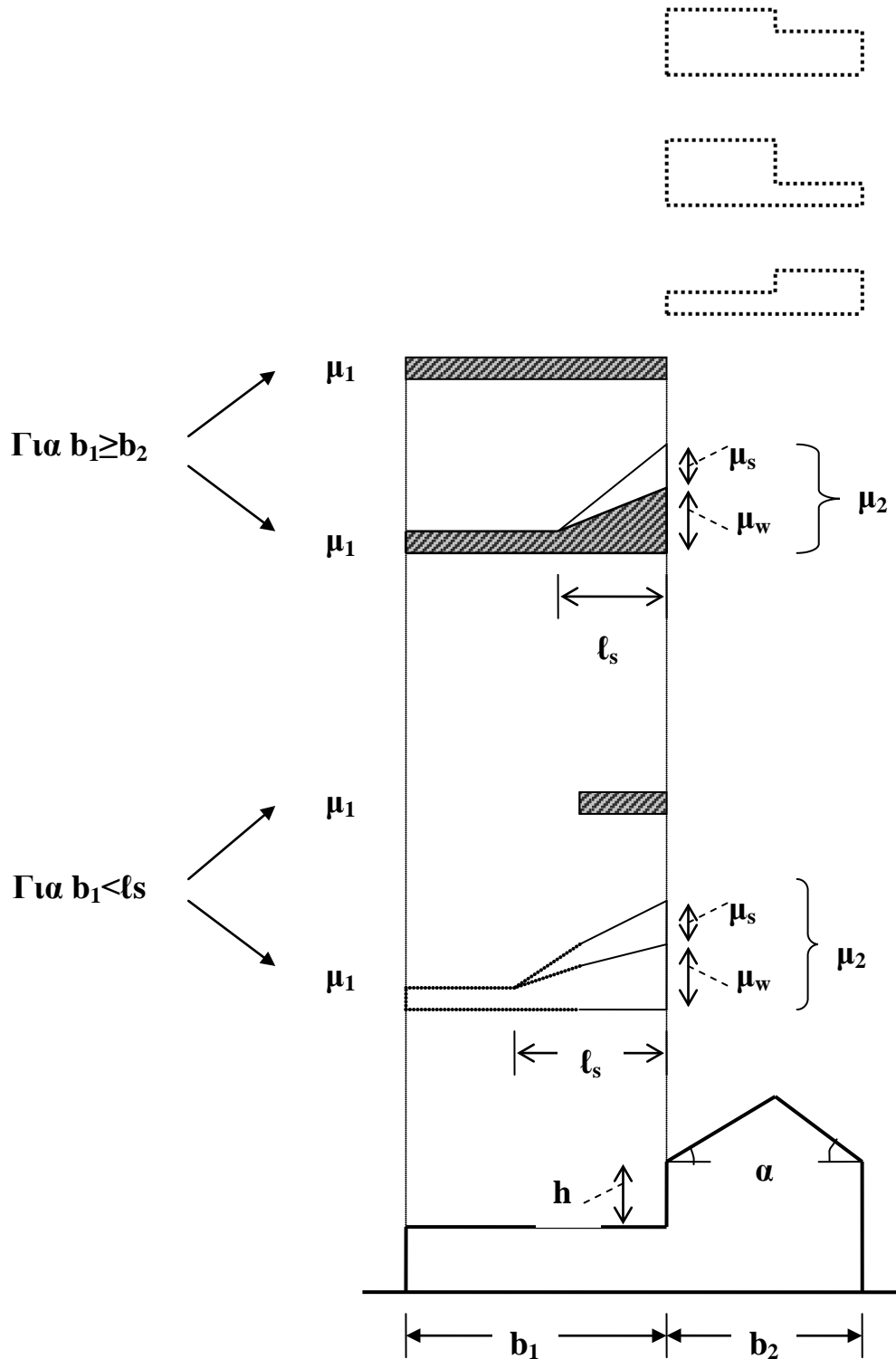
S_k = χαρακτηριστική τιμή του φορτίου χιονιού στο έδαφος.

Το μήκος της επιφάνειας συγκέντρωσης του χιονιού ℓ_s ισούται με $2h$ με τον περιορισμό:

$$5\text{m} \leq \ell_s \leq 15\text{m}$$

Σε περίπτωση που $b_1 < \ell_s$, τότε η τιμή του συντελεστή του φορτίου του χιονιού στο άκρο της χαμηλότερης στέγης υπολογίζεται με παρεμβολή μεταξύ των τιμών μ_1 και μ_2 .

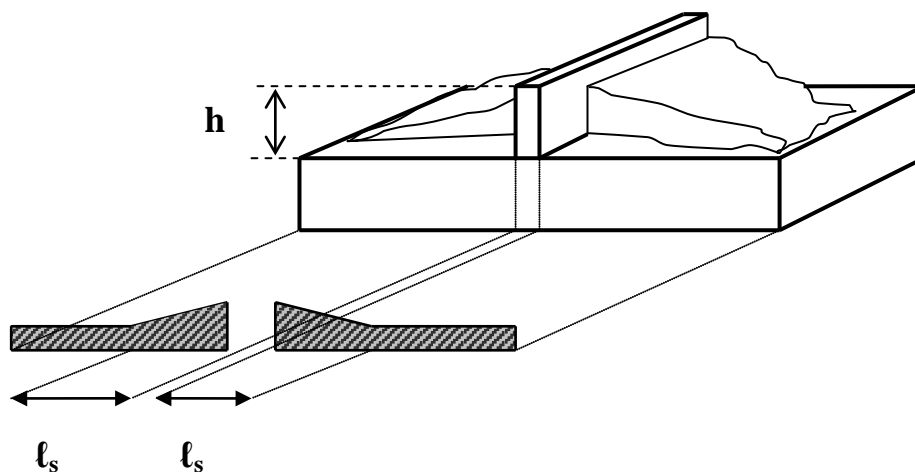
Στο σχήμα 2.7 που ακολουθεί, φαίνονται οι περιπτώσεις φόρτισης των στεγών με απότομες αλλαγές ύψους σε συνδυασμό με τις περιπτώσεις φόρτισης της ψηλότερης στέγης.



Σχήμα 2.7 Περιπτώσεις φόρτισης στεγών με απότομες αλλαγές ύψους.

2.6.7 Πρόβολοι και εμπόδια όπου συγκεντρώνεται χιόνι.

Σε περιπτώσεις ανέμου, το χιόνι συγκεντρώνεται στα εμπόδια των στεγών όπως φαίνεται στο σχήμα 2.8 :



Σχήμα 2.8 Περίπτωση φόρτισης στεγών με εμπόδια ή προβόλους.

Στις περιπτώσεις αυτές, οι συντελεστές σχήματος του φορτίου χιονιού είναι οι εξής :

μ_1	μ_2
0,8	$\gamma \cdot h / S_k$

Πίνακας 2.8 Συντελεστές σχήματος φορτίου χιονιού για προβόλους και εμπόδια όπου συγκεντρώνεται χιόνι.

Όπου :

γ = ειδικό βάρος του χιονιού που στην προκειμένη περίπτωση υπολογίζεται ίσο με $2,0 \text{ KN/m}^3$.

h = η διαφορά ύψους μεταξύ ψηλότερου και χαμηλότερου τμήματος της στέγης.

S_k = χαρακτηριστική τιμή του φορτίου χιονιού στο έδαφος.

Το μήκος της επιφάνειας του συγκεντρωμένου χιονιού l_s ισούται, όπως και στην προηγούμενη παράγραφο, με $2h$ με τον περιορισμό :

$$5\text{m} < l_s < 15\text{m}.$$

2.7 Συντελεστές φορτίου χιονιού για ιδιαίτερες κλιματολογικές συνθήκες και ιδιαίτερες συγκεντρώσεις χιονιού.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β EN1991-1-3

2.7.1 Γενικά

Σε αυτό το Παράρτημα του Ευρωκώδικα 1, παρουσιάζονται οι τιμές των συντελεστών φορτίου χιονιού για περιοχές όπου οι Αρμόδιες Εθνικές Αρχές θεωρούν ότι χρήζουν ιδιαίτερης προσοχής λόγω των εξαιρετικών καιρικών συνθηκών που επικρατούν και έτσι δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι συντελεστές που παρουσιάσαμε στην προηγούμενη ενότητα.

Στις περιοχές αυτές συγκαταλέγονται αυτές στις οποίες όλο το χιόνι λιώνει και απομακρύνεται, οπότε το φορτίο του δεν υφίσταται για ορισμένες εποχές του χρόνου, αλλά και τις περιοχές όπου επικρατούν ισχυροί άνεμοι.

Κάθε περίπτωση φόρτισης που οφείλεται σε φορτίο χιονιού θεωρείται ότι δρα ανεξάρτητα και δεν πρέπει να επαλληλίζεται με κάποια άλλη περίπτωση φόρτισης χιονιού.

Σημειώνεται πως, όταν εξετάζονται περιπτώσεις φόρτισης με τη χρήση των συντελεστών αυτού του Παραρτήματος, θα θεωρείται ότι δεν υπάρχει χιόνι σε κάποιο άλλο σημείο της στέγης και θα επιλέγεται η δυσμενέστερη εξ' αυτών.

2.7.2 Μονοκλινείς στέγες

Δεν υπάρχει κάποια διαφοροποίηση για τις μονοκλινείς στέγες και έτσι χρησιμοποιούνται οι συντελεστές που αναφέρονται στην παράγραφο §2.6.2. (εκτός αν ορίζεται κάτι άλλο από την Αρμόδια Αρχή).

2.7.3 Δίκλινες στέγες

Ομοίως και για τις δίκλινες στέγες δεν υπάρχει κάποια διαφοροποίηση και έτσι χρησιμοποιούνται οι συντελεστές που αναφέρονται στην παράγραφο §2.6.3. (εκτός αν ορίζεται κάτι άλλο από την Αρμόδια Αρχή).

2.7.4 Επαναλαμβανόμενες στέγες

Στην περίπτωση των επαναλαμβανόμενων στεγών όπου το χιόνι συγκεντρώνεται ανάμεσα στο κενό που δημιουργείται μεταξύ των κορφιάδων, ο υπολογισμός των συντελεστών σχήματος του φορτίου του χιονιού γίνεται ως εξής :

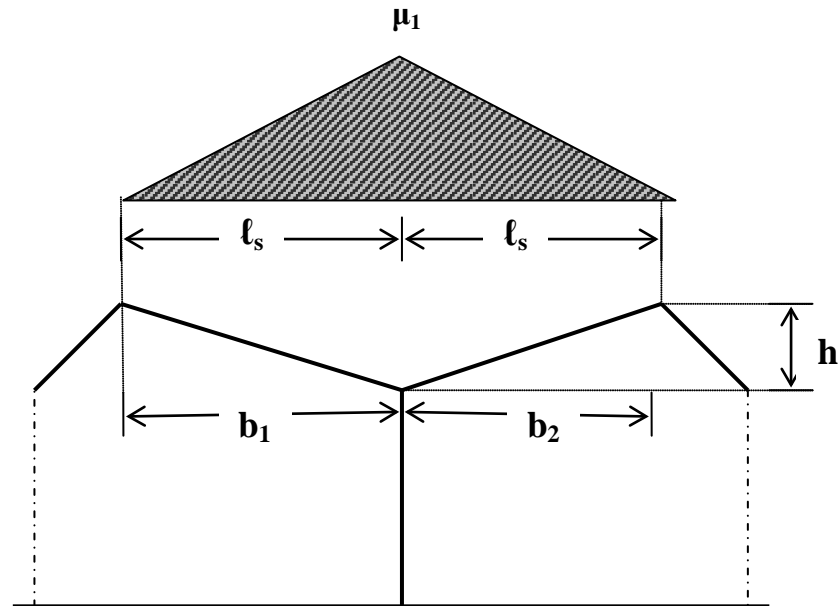
Μήκος συσσώρευσης :

$$\text{Αν } b \leq 15\text{m} \rightarrow \ell_s = b$$

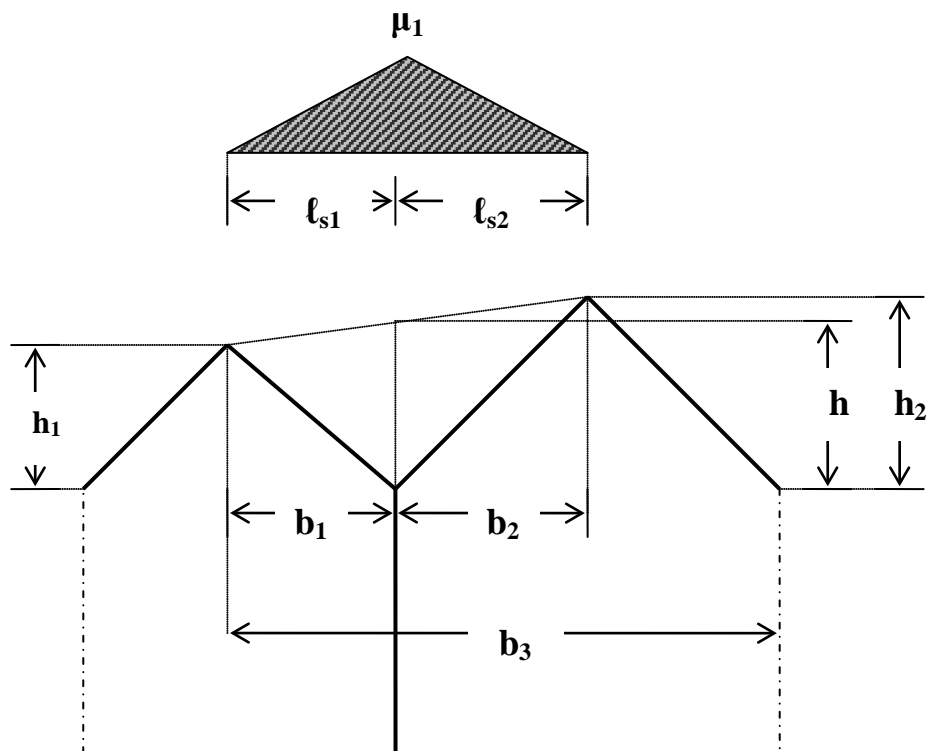
$$\text{Αν } b > 15\text{m} \rightarrow \ell_s = 15\text{m}$$

Συντελεστής σχήματος φορτίου χιονιού :

$$\mu_1 = \min \{ 2h / S_k, 2b_3 / (\ell_{s1} + \ell_{s2}), 5 \}$$



Σχήμα 2.9 Περιπτώσεις φόρτισης για επαναλαμβανόμενες στέγες με ίδια ύψη και γωνίες.



Σχήμα 2.10 Περιπτώσεις φόρτισης επαναλαμβανόμενων στεγών με διαφορετικά ύψη και γωνίες.

Για στέγες με περισσότερα από δυο ανοίγματα και περίπου συμμετρική και ομοιόμορφη γεωμετρία, το b_3 θα θεωρείται ως η οριζόντια διάσταση τριών κεκλιμένων τμημάτων και η κατανομή που προκύπτει θα θεωρείται ότι ενεργεί σε κάθε εσοχή και όχι απαραίτητα ταυτόχρονα.

Σε περιπτώσεις ασυμμετρίας των στεγών και των ανοιγμάτων, πρέπει να γίνονται ανάλογες παραδοχές του φορτίου χιονιού.

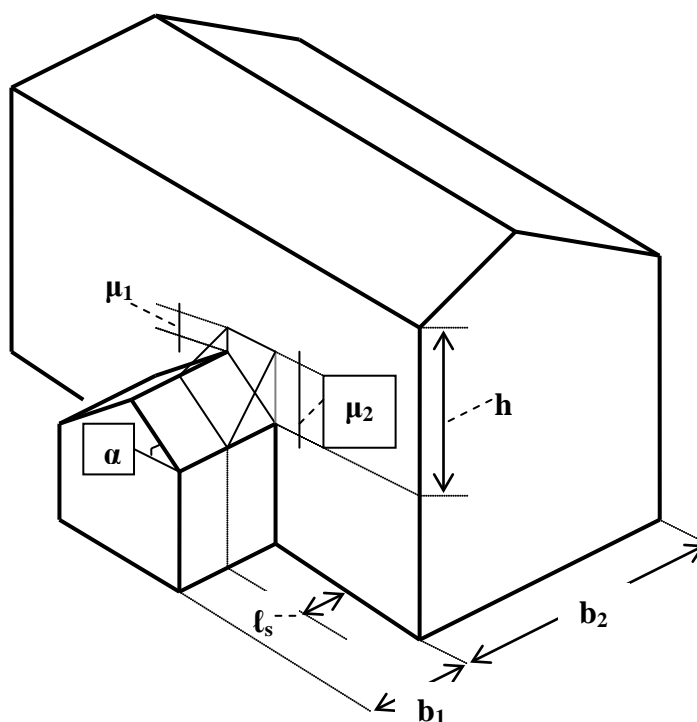
2.7.5 Κυλινδρικές στέγες

Δεν υπάρχει κάποια διαφοροποίηση για τις κυλινδρικές στέγες και έτσι χρησιμοποιούνται οι συντελεστές που αναφέρονται στην παράγραφο §2.6.5. (εκτός αν ορίζεται κάτι άλλο από την Αρμόδια Αρχή).

2.7.6 Στέγες σε επαφή ή γειτονικές ψηλότερων κτιρίων

Στην περίπτωση αυτή, όπου η χαμηλότερη στέγη βρίσκεται σε επαφή ή πολύ κοντά με μια ψηλότερη, οι συντελεστές σχήματος του φορτίου του χιονιού υπολογίζονται σύμφωνα με τον πίνακα 2.10.

Αν η υπόψη στέγη δεν είναι σε επαφή με το ψηλότερο κτίριο, τότε από την κατανομή που προκύπτει αμελούμε το τμήμα το οποίο αντιστοιχεί στο κενό που δημιουργείται μεταξύ των δυο άνισων στεγών, εκτός από την περίπτωση που το κενό αυτό είναι μεγαλύτερο από 1,5m οπότε δεν λαμβάνεται υπ' όψιν ουδεμία επιρροή χιονιού λόγω πτώσης από την ψηλότερη στέγη.



Σχήμα 2.11 Περίπτωση φόρτισης στέγης εν επαφή ή κοντά σε υψηλότερα κτίρια.

Γωνία κλίσης της στέγης α (°)	μ_1	μ_2	μ_3
$0^\circ \leq \alpha \leq 15^\circ$	μ_3	μ_3	$\min\{2h/S_k, 2b/\ell_s, 8\}$
$15^\circ < \alpha \leq 30^\circ$	$\mu_3 * (30-\alpha)/15$	μ_3	
$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	0,0	$\mu_3 * (60-\alpha)/30$	
$60^\circ \leq \alpha$	0,0	0,0	

Πίνακας 2.9 Συντελεστές μορφής φορτίου χιονιού για στέγες εν επαφή ή κοντά σε υψηλότερα κτίρια.

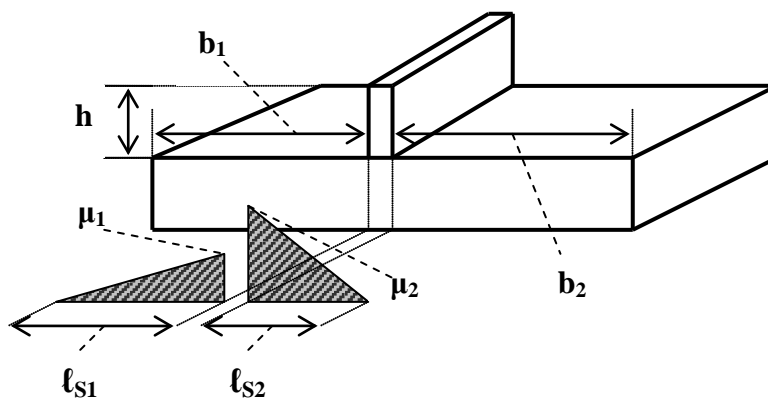
όπου : $b = \max \{ b_1, b_2 \}$
 $\ell_s = \min \{ 5h, b_1, 15m \}$

2.7.7 Συγκέντρωση χιονιού σε στηθαία, εμπόδια ή προεξοχές στεγών.

Σε περιπτώσεις που έχουμε στέγες με στηθαία, εμπόδια ή προεξοχές, ο υπολογισμός των συντελεστών σχήματος του φορτίου του χιονιού γίνεται όπως φαίνεται παρακάτω.

Εξαιρούνται οι περιπτώσεις που η κατακόρυφη επιφάνεια του στηθαίου ή του εμποδίου ή της προεξοχής, είναι μικρότερη από $1m^2$, περιπτώσεις κατά τις οποίες δεν λαμβάνεται υπ' όψιν καμία συγκέντρωση χιονιού.

Ακόμα, αν η στέγη εκτείνεται εκατέρωθεν του εμποδίου, τότε θα πρέπει να εξετάζονται οι φορτίσεις της κάθε πλευράς μεμονωμένα αλλά και η ταυτόχρονη φόρτιση και των δυο πλευρών.



Σχήμα 2.12 Περίπτωση φόρτισης στέγης με εμπόδιο.

Στην περίπτωση οριζόντιας ή κεκλιμένης στέγης με εμπόδιο (βλ. σχήμα 2.12 & σχήμα 2.13), οι συντελεστές σχήματος του φορτίου χιονιού υπολογίζονται ως εξής :

Μήκος συσσώρευσης :

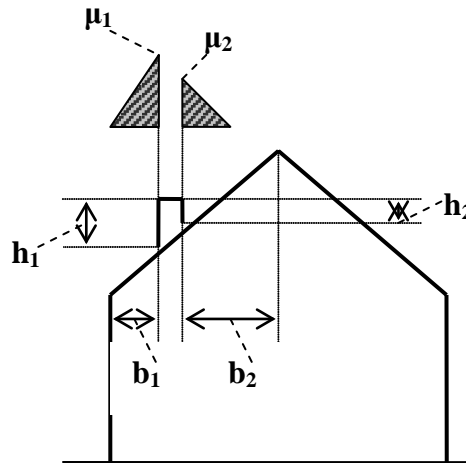
$$\text{An } b_i < 5\text{m} \rightarrow \ell_s = b_i$$

$$\text{An } b_i \geq 5\text{m} \ \& \ \ell_s \geq 5\text{m} \rightarrow \ell_s = \min \{5h, b_i, 15\text{m}\}$$

Συντελεστής σχήματος φορτίου χιονιού :

$$\mu_1 = \min \{2h_1/S_k, 5\} \ \& \ \mu_2 = \min \{2h_2/S_k, 5\}$$

όμως αν $b_1 \notin 5\text{m}$, τότε $\mu_1 \notin (2 b_i / \ell_{s1})$ με $(i=1 \ \acute{\eta} \ 2)$



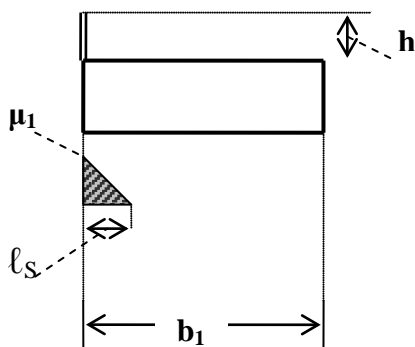
Σχήμα 2.13 Περίπτωση φόρτισης κεκλιμένης στέγης με εμπόδιο.

Στην περίπτωση οριζόντιας ή κεκλιμένης στέγης με στηθαίο (βλ. σχήμα 2.13), οι συντελεστές σχήματος υπολογίζονται ως εξής :

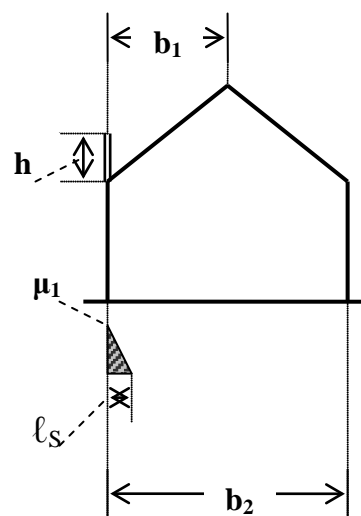
$$\text{Για } b = \max \{b_1, b_2\}$$

$$\ \& \ \ell_s = \min (5h, b, 15\text{m})$$

$$\mu_1 = \min \{2h/S_k, 2b/\ell_s, 8\}$$



Επίπεδη στέγη



Κεκλιμένη στέγη

Σχήμα 2.14 Περίπτωση φόρτισης οριζόντιων και κεκλιμένων στεγών με στηθαίο.

2.8 Ειδικό βάρος χιονιού

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ D EN 1991-1-3

Σε αυτό το Παράρτημα του Ευρωκώδικα 1, παρουσιάζονται οι τιμές που μπορεί να πάρει το ειδικό βάρος του χιονιού ανάλογα με την θέση της κατασκευής, το κλίμα και το υψόμετρο της περιοχής και την χρονική διάρκεια της συσσώρευσης του.

Στον πίνακα που ακολουθεί δίνονται κάποιες ενδεικτικές τιμές του ειδικού βάρους του χιονιού στο έδαφος :

Είδος χιονιού	Ειδικό βάρος χιονιού KN/m ²
Φρέσκο (λίγες ώρες μετά την χιονόπτωση)	1,00
Συμπιεσμένο (πολλές ώρες ή μέρες μετά την χιονόπτωση)	2,00
Παλαιό (εβδομάδες ή μήνες μετά την χιονόπτωση)	2,5 - 3,5
Υγρό (μετά από βροχή)	4,00

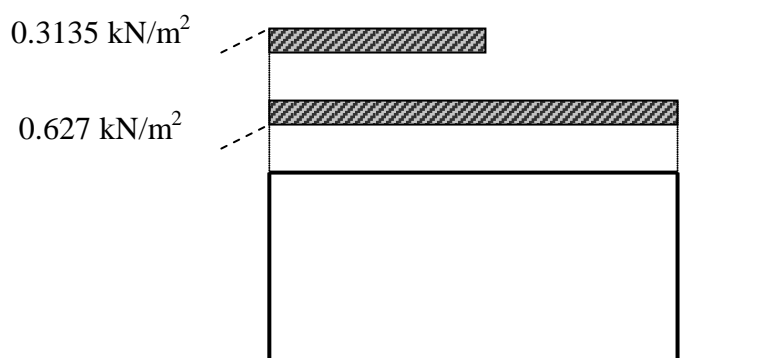
Πίνακας 2.10 Ειδικό βάρος χιονιού στο έδαφος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΦΟΡΤΙΩΝ ΧΙΟΝΙΟΥ

Παράδειγμα 1 : Επίπεδη στέγη

Να υπολογιστεί το φορτίο χιονιού σε κτίριο με επίπεδη στέγη, το οποίο βρίσκεται στην Αρκαδία σε υψόμετρο 820m. Σημειώνεται ότι το κτίριο είναι εκτεθειμένο σε ισχυρούς ανέμους.



Λύση :

Το φορτίο του χιονιού στην στέγη θα υπολογιστεί από την σχέση :

$$S = \mu_i C_e C_t S_k$$

Όπου :

Ο συντελεστής σχήματος του φορτίου του χιονιού, σύμφωνα με τον πίνακα 2.3 για γωνία κλίσης $\alpha = 0^\circ$ είναι $\mu_i = 0,80$.

Ο συντελεστής έκθεσης ισούται με $C_e = 0,80$ σύμφωνα με τον πίνακα 2.2 και για έκθεση σε ισχυρούς ανέμους.

Ο θερμικός συντελεστής είναι $C_t = 1,00$.

Η χαρακτηριστική τιμή του φορτίου χιονιού στο έδαφος είναι:

$S_k = 0,98 \text{ kN/m}^2$ σύμφωνα με τον πίνακα 2.1 του Παραρτήματος Α του Ευρωκώδικα 1 για την Ζώνη Ι και για υψόμετρο 820m.

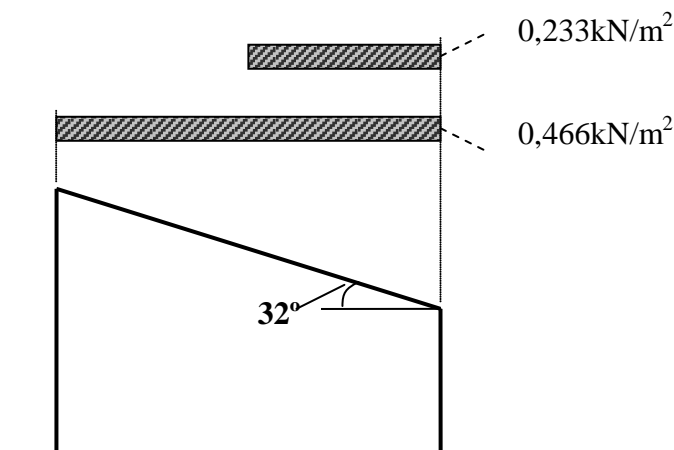
Άρα το φορτίο του χιονιού στη στέγη του κτιρίου είναι :

$$S = \mu_i C_e C_t S_k \quad \hat{U} \quad S = 0,80 * 0,80 * 1,00 * 0,98 \text{ kN/m}^2 \quad \hat{U}$$

$$\hat{U} \quad \underline{\underline{S = 0,627 \text{ kN/m}^2}}$$

Παράδειγμα 2 : Μονοκλινής στέγη

Να υπολογιστεί το φορτίο χιονιού σε κτίριο με μονοκλινή στέγη, το οποίο βρίσκεται στην Χαλκιδική σε υψόμετρο 150m και του οποίου η κλίση της στέγης είναι $\alpha = 32^\circ$. Σημειώνεται ότι το κτίριο είναι προστατευμένο περιμετρικά από άλλα κτίρια και δέντρα.



Το φορτίο του χιονιού στην στέγη θα υπολογιστεί από την σχέση :

$$S = \mu_i C_e C_t S_k$$

Όπου :

Ο συντελεστής σχήματος του φορτίου του χιονιού, σύμφωνα με τον πίνακα 2.3 και για γωνία κλίσης $\alpha = 32^\circ$, υπολογίζεται από τον τύπο:

$$\mu_i = 0,8(60-\alpha)/30 \hat{=} \mu_i = 0,8(60-32)/30 \hat{=} \mu_i = 0,747$$

Ο συντελεστής έκθεσης είναι ίσος με $C_e = 1,20$, σύμφωνα με τον πίνακα 2.2 για προστατευμένες κατασκευές.

Ο θερμικός συντελεστής ισούται με $C_t = 1,00$.

Η χαρακτηριστική τιμή του φορτίου του χιονιού στο έδαφος σύμφωνα με τον πίνακα 2.1 του Παραρτήματος Α του Ευρωκώδικα 1 για την Ζώνη ΙΙ και για υψόμετρο 150m, είναι $S_k = 0,52 \text{ kN/m}^2$.

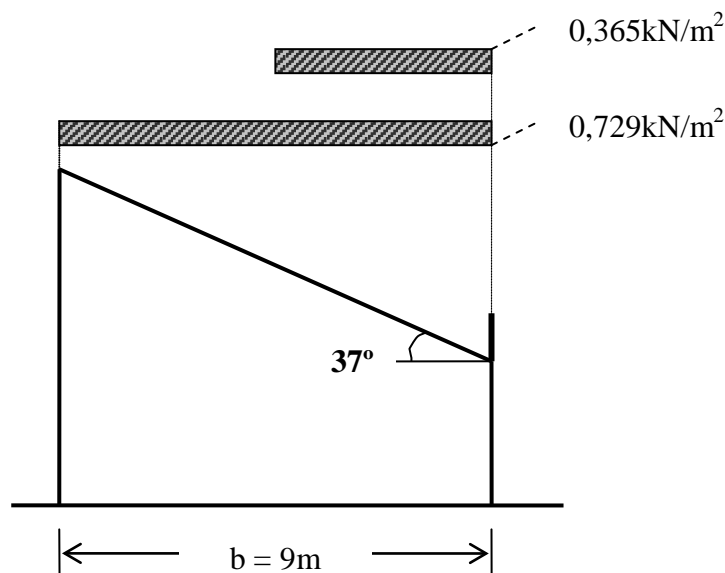
Άρα το φορτίο του χιονιού στη στέγη του κτιρίου είναι

$$S = \mu_i C_e C_t S_k \hat{=} S = 0,747 * 1,20 * 1,00 * 0,52 \text{ kN/m}^2 \hat{=} S = 0,466 \text{ kN/m}^2$$

$$\hat{=} \underline{\underline{S = 0,466 \text{ kN/m}^2}}$$

Παράδειγμα 3 : Μονοκλινής στέγη με κιγκλίδωμα ασφαλείας.

Να υπολογιστεί το φορτίο χιονιού σε κτίριο με μονοκλινή στέγη, το οποίο βρίσκεται στην Εύβοια σε υψόμετρο 630m και του οποίου η κλίση της στέγης είναι $\alpha = 37^\circ$. Σημειώνεται ότι στο άκρο της στέγης υπάρχει κιγκλίδωμα ασφαλείας.



Το φορτίο του χιονιού στη στέγη θα υπολογιστεί από την σχέση :

$$S = \mu_i C_e C_t S_k$$

Όπου :

Ο συντελεστής σχήματος του φορτίου του χιονιού, σύμφωνα με τον πίνακα 2.3 και για γωνία κλίσης $\alpha = 37^\circ$, υπολογίζεται από τον τύπο:

$$\mu_i = 0,8(60-\alpha)/30 \quad \hat{U} \quad \mu_i = 0,8(60-37)/30 \hat{U} \quad \mu_i = 0,613.$$

Ο συντελεστής έκθεσης είναι ίσος με $C_e = 1,00$, σύμφωνα με τον πίνακα 2.2 για κανονικές συνθήκες.

Ο θερμικός συντελεστής ισούται με $C_t = 1,00$.

Η χαρακτηριστική τιμή του φορτίου του χιονιού στο έδαφος σύμφωνα με τον πίνακα 2.1 του Παραρτήματος Α του Ευρωκώδικα 1 για την Ζώνη II και για υψόμετρο 630m, είναι $S_k = 1,19 \text{ kN/m}^2$.

Άρα το φορτίο του χιονιού στη στέγη του κτιρίου είναι

$$S = \mu_i C_e C_t S_k \quad \hat{U} \quad S = 0,613 * 1,00 * 1,00 * 1,19 \text{ kN/m}^2 \quad \hat{U}$$

$$\hat{U} \quad \underline{\underline{S = 0,729 \text{ kN/m}^2}}$$

Λόγω της ύπαρξης του προστατευτικού κιγκλιδώματος στο άκρο της στέγης, κατά την ολίσθηση του χιονιού προς την κατεύθυνση της ολίσθησης, αυτό

συγκεντρώνεται με αποτέλεσμα την δημιουργία πρόσθετου φορτίου. Το φορτίο αυτό υπολογίζεται, σύμφωνα με την παράγραφο 2.5.3, από την σχέση :

$$F = S * b * \sin a$$

Όπου :

S = το φορτίο χιονιού στην στέγη σε KN/m^2 \hat{U}

$$S = \mu_i * S_k = 0,613 * 1,19 \text{ kN/m}^2 = 0,729 \text{ kN/m}^2.$$

b = η οριζόντια απόσταση από το κιγκλίδωμα ή το εμπόδιο ως την κορυφή της στέγης \hat{U} $b = 9,0\text{m}$.

a = η κλίση της στέγης σε μοίρες \hat{U} $a = 37^\circ$.

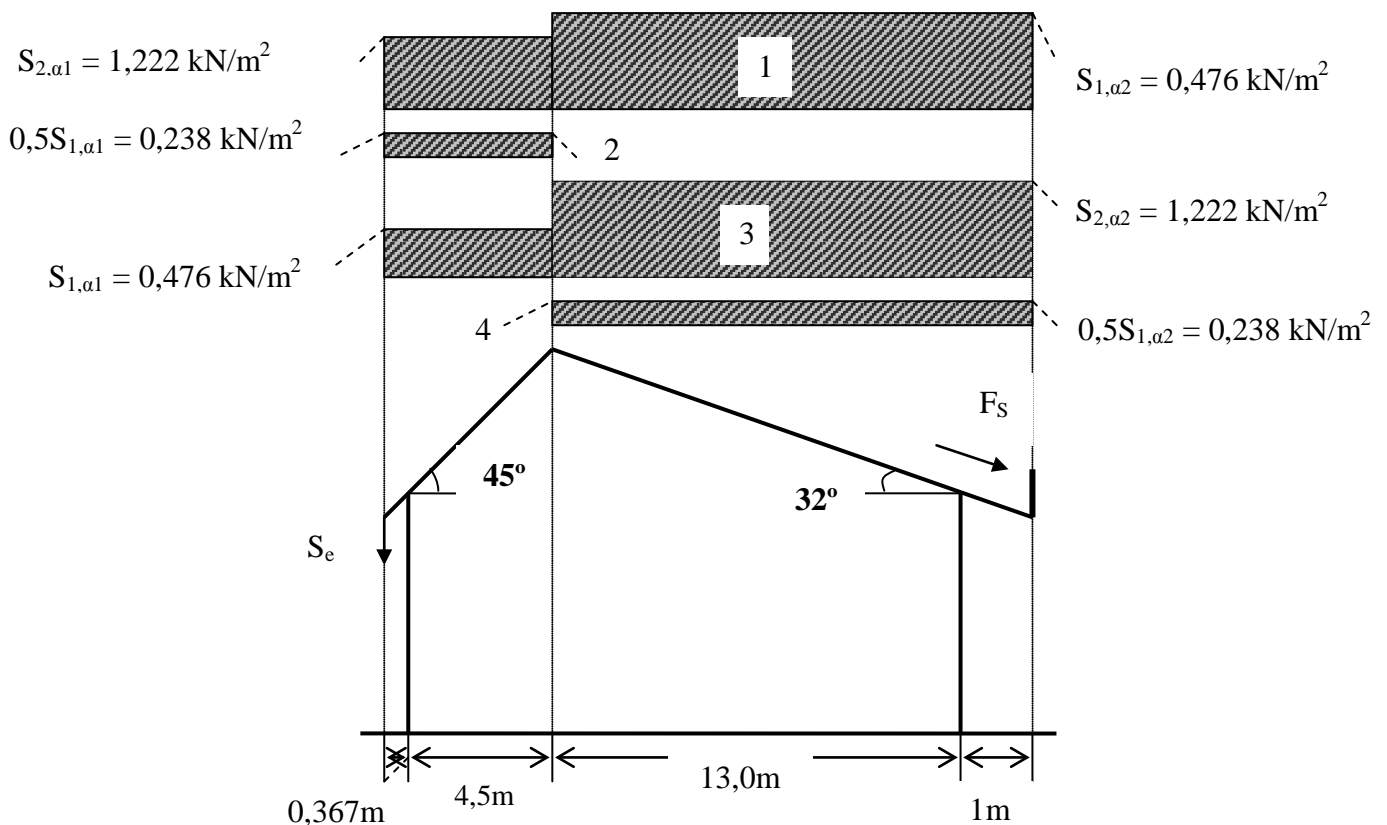
Άρα το φορτίο χιονιού της ολισθαίνουσας μάζας ισούται με :

$$F = S * b * \sin a \hat{U} \quad F = 0,729 \text{ kN/m}^2 * 9,0\text{m} * \sin 37^\circ \hat{U}$$

$$\hat{U} \quad \mathbf{F = 3,95 \text{ kN/m.}}$$

Παράδειγμα 4 : Δίκλινη στέγη.

Να υπολογιστεί το φορτίο χιονιού σε κτίριο με δίκλινη στέγη, το οποίο βρίσκεται στην Ήπειρο σε υψόμετρο 910m και του οποίου οι κλίσεις της στέγης είναι $\alpha_1 = 45^\circ$ και $\alpha_2 = 32^\circ$. Σημειώνεται ότι στο άκρο της στέγης υπάρχει στηθαίο ασφαλείας.



Το φορτίο του χιονιού στην στέγη θα υπολογιστεί από την σχέση :

$$S = \mu_i C_e C_t S_k$$

Όπου :

Οι συντελεστές σχήματος του φορτίου του χιονιού, σύμφωνα με τον πίνακα 2.3 και για γωνίες κλίσης $\alpha_1 = 45^\circ$ και $\alpha_2 = 32^\circ$, υπολογίζονται από τον τύπο:

$$\mu_1 = 0,8(60-\alpha)/30 \quad \hat{U} \quad \mu_1 = 0,8(60-45)/30 \quad \hat{U} \quad \mu_1 = 0,400$$

$$\mu_2 = 1,1(60-\alpha)/30 \quad \hat{U} \quad \mu_2 = 1,1(60-32)/30 \quad \hat{U} \quad \mu_2 = 1,027$$

Ο συντελεστής έκθεσης είναι ίσος με $C_e = 1,00$, σύμφωνα με τον πίνακα 2.2 για κανονικές συνθήκες.

Ο θερμικός συντελεστής ισούται με $C_t = 1,00$.

Η χαρακτηριστική τιμή του φορτίου του χιονιού στο έδαφος σύμφωνα με τον πίνακα 2.1 του Παραρτήματος Α του Ευρωκώδικα 1 για την Ζώνη Ι και για υψόμετρο 910m, είναι $S_k = 1,19 \text{ kN/m}^2$.

Άρα τα φορτία του χιονιού στη στέγη του κτιρίου είναι:

Περίπτωση φόρτισης 1:

$$S_{2,\alpha_1} = \mu_2 * C_e * C_t * S_k \quad \hat{U} \quad S_{2,\alpha_1} = 1,027 * 1,00 * 1,00 * 1,19 \text{ kN/m}^2 \quad \hat{U} \\ \hat{U} \quad \underline{\underline{S_{2,\alpha_1} = 1,222 \text{ kN/m}^2}}$$

$$S_{1,\alpha_2} = \mu_1 * C_e * C_t * S_k \quad \hat{U} \quad S_{1,\alpha_2} = 0,400 * 1,00 * 1,00 * 1,19 \text{ kN/m}^2 \quad \hat{U} \\ \hat{U} \quad \underline{\underline{S_{1,\alpha_2} = 0,476 \text{ kN/m}^2}}$$

Περίπτωση φόρτισης 2:

$$0,5S_{1,\alpha_1} = 0,5 * \mu_1 * C_e * C_t * S_k \quad \hat{U} \quad 0,5S_{1,\alpha_1} = 0,5 * 0,400 * 1,00 * 1,00 * 1,19 \text{ kN/m}^2 \quad \hat{U} \\ \hat{U} \quad \underline{\underline{0,5S_{1,\alpha_1} = 0,238 \text{ kN/m}^2}}$$

Περίπτωση φόρτισης 3:

$$S_{1,\alpha_1} = \mu_1 * C_e * C_t * S_k \quad \hat{U} \quad S_{1,\alpha_1} = 0,400 * 1,00 * 1,00 * 1,19 \text{ kN/m}^2 \quad \hat{U} \\ \hat{U} \quad \underline{\underline{S_{1,\alpha_1} = 0,476 \text{ kN/m}^2}}$$

$$S_{2,\alpha_2} = \mu_2 * C_e * C_t * S_k \quad \hat{U} \quad S_{2,\alpha_2} = 1,027 * 1,00 * 1,00 * 1,19 \text{ kN/m}^2 \quad \hat{U} \\ \hat{U} \quad \underline{\underline{S_{2,\alpha_2} = 1,222 \text{ kN/m}^2}}$$

Περίπτωση φόρτισης 4:

$$0,5S_{1,\alpha_2} = 0,5 * \mu_1 * C_e * C_t * S_k \quad \hat{U} \quad 0,5S_{1,\alpha_2} = 0,5 * 0,400 * 1,0 * 1,0 * 1,19 \text{ kN/m}^2 \quad \hat{U} \\ \hat{U} \quad \underline{\underline{0,5S_{1,\alpha_2} = 0,238 \text{ kN/m}^2}}$$

Σε περιοχές με υψόμετρο πάνω από 800m και σε στέγες, των οποίων τμήματα τους προεξέχουν σε μορφή προβόλου, πρέπει, εκτός από το φορτίο του χιονιού επί της στέγης, να υπολογίσουμε και να συμπεριλάβουμε και το φορτίο του αναρτώμενου χιονιού, το οποίο δρα στο άκρο της στέγης. Το φορτίο αυτό υπολογίζεται από την σχέση:

$$S_e = k S^2 / \gamma \quad \text{ή} \quad S_e = k \mu_i^2 S_k^2 / \gamma$$

Όπου:

k = συντελεστής για τον υπολογισμό της μάζας χιονιού με ακανόνιστο σχήμα.
Ο συντελεστής αυτός κυμαίνεται από 0 έως 2,5 ανάλογα με το κλίμα και το υλικό κατασκευής της στέγης.

γ = το ειδικό βάρος του χιονιού το οποίο, στην προκειμένη περίπτωση, ισούται με 3 KN/m^3 .

$$S_e = k * \mu_1^2 * S_k^2 / \gamma \quad \hat{U} \quad S_e = 2,5 * 0,400^2 * 1,19^2 / 3 \hat{U}$$

$$\hat{U} \quad S_e = \underline{\underline{0,189 \text{ kN/m.}}}$$

Λόγω της ύπαρξης του προστατευτικού στηθαίου στο άκρο της στέγης, κατά την ολίσθηση του χιονιού προς την κατεύθυνση της ολίσθησης, αυτό συγκεντρώνεται με αποτέλεσμα την δημιουργία πρόσθετου φορτίου. Το φορτίο αυτό υπολογίζεται σύμφωνα με την παράγραφο 2.5.3, από την σχέση :

$$F = S * b * \sin a$$

Όπου :

S = το φορτίο χιονιού στην στέγη σε $\text{KN/m}^2 \quad \hat{U}$

$$S = \mu_2 * S_k = 1,027 * 1,19 \text{ kN/m}^2 = 1,222 \text{ kN/m}^2.$$

b = η οριζόντια απόσταση από το κιγκλίδωμα ή το εμπόδιο ως την κορυφή της στέγης $\hat{U} \quad b = 14,0\text{m.}$

a = η κλίση της στέγης σε μοίρες $\hat{U} \quad a = 32^\circ.$

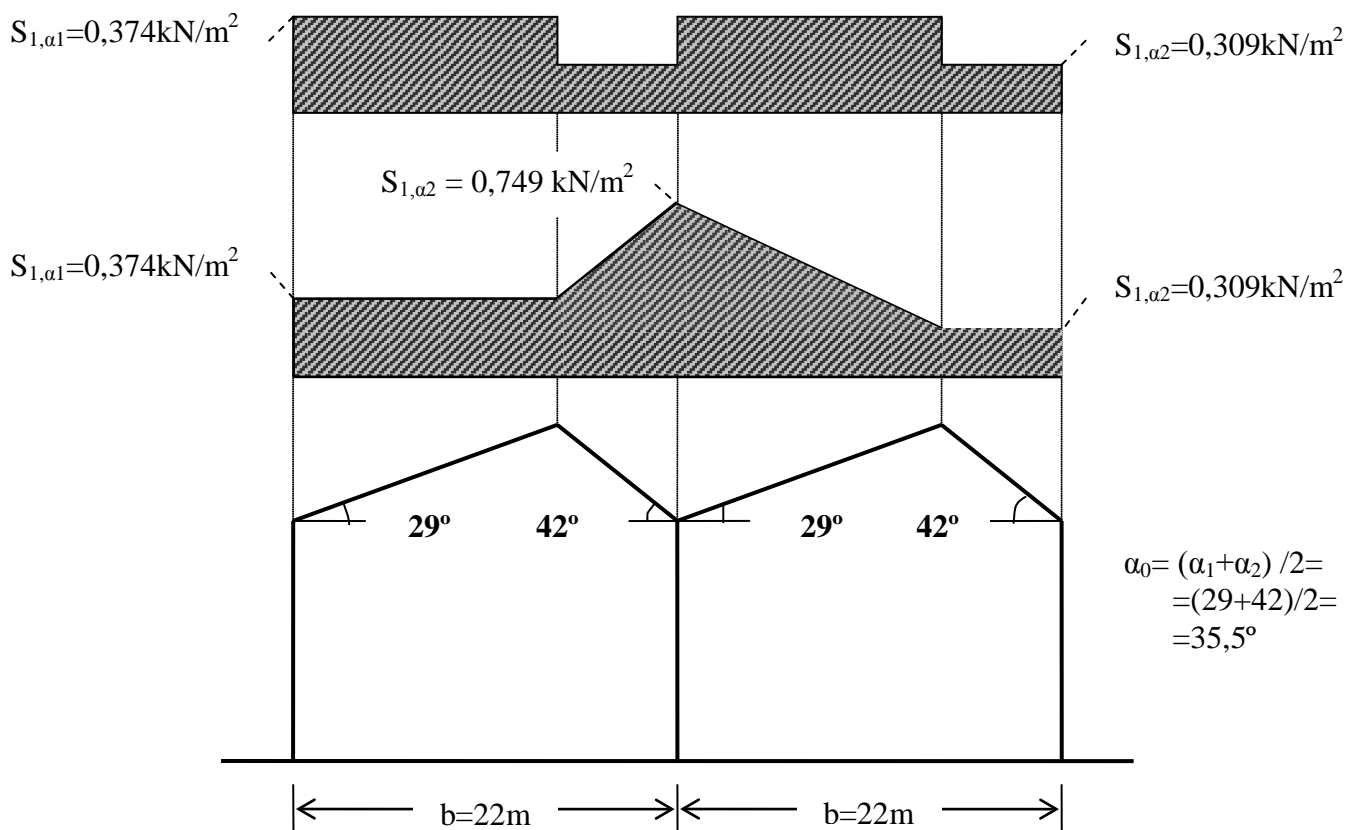
Άρα το φορτίο χιονιού της ολισθαίνουσας μάζας ισούται με :

$$F = S * b * \sin a \quad \hat{U} \quad F = 1,222 \text{ kN/m}^2 * 14,0\text{m} * \sin 32^\circ \hat{U}$$

$$\hat{U} \quad F = \underline{\underline{9,07 \text{ kN/m.}}}$$

Παράδειγμα 5 : Επαναλαμβανόμενη στέγη.

Να υπολογιστεί το φορτίο χιονιού σε κτίριο με επαναλαμβανόμενη στέγη, το οποίο βρίσκεται στην Κεφαλονιά σε υψόμετρο 380m και του οποίου οι κλίσεις της στέγης είναι $\alpha_1 = 29^\circ$ και $\alpha_2 = 42^\circ$. Σημειώνεται ότι το κτίριο είναι προστατευμένο περιμετρικά από άλλα κτίρια και δέντρα.



Το φορτίο του χιονιού στη στέγη θα υπολογιστεί από την σχέση :

$$S = \mu_i C_e C_t S_k$$

Όπου :

Οι συντελεστές σχήματος του φορτίου του χιονιού, σύμφωνα με τον πίνακα 2.5 και για γωνίες κλίσης $\alpha_1 = 29^\circ$ και $\alpha_2 = 42^\circ$, υπολογίζονται από τον τύπο:

$$\mu_{1,\alpha_1} = 0,8$$

$$\mu_{1,\alpha_2} = 1,1(60-\alpha)/30 \hat{=} \mu_{1,\alpha_2} = 1,1(60-42)/30 \hat{=} \mu_{1,\alpha_2} = 0,66$$

$$\mu_{2,\alpha_0} = 1,6$$

Ο συντελεστής έκθεσης είναι ίσος με $C_e = 1,20$, σύμφωνα με τον πίνακα 2.2 για προστατευμένες κατασκευές.

Ο θερμικός συντελεστής ισούται με $C_t = 1,00$.

Η χαρακτηριστική τιμή του φορτίου του χιονιού στο έδαφος σύμφωνα με τον πίνακα 2.1 του Παραρτήματος Α του Ευρωκώδικα 1 για την Ζώνη Ι και για υψόμετρο 380m, είναι $S_k = 0,39 \text{ kN/m}^2$.

Άρα τα φορτία του χιονιού στη στέγη του κτιρίου είναι:

Περίπτωση φόρτισης 1:

$$S_{1,\alpha_1} = \mu_{1,\alpha_1} * C_e * C_t * S_k \hat{U} \quad S_{1,\alpha_1} = 0,80 * 1,20 * 1,00 * 0,39 \text{ kN/m}^2 \hat{U}$$

$$\hat{U} \quad \underline{\underline{S_{1,\alpha_1} = 0,374 \text{ kN/m}^2}}$$

$$S_{1,\alpha_2} = \mu_{1,\alpha_2} * C_e * C_t * S_k \hat{U} \quad S_{1,\alpha_2} = 0,66 * 1,20 * 1,00 * 0,39 \text{ kN/m}^2 \hat{U}$$

$$\hat{U} \quad \underline{\underline{S_{1,\alpha_2} = 0,309 \text{ kN/m}^2}}$$

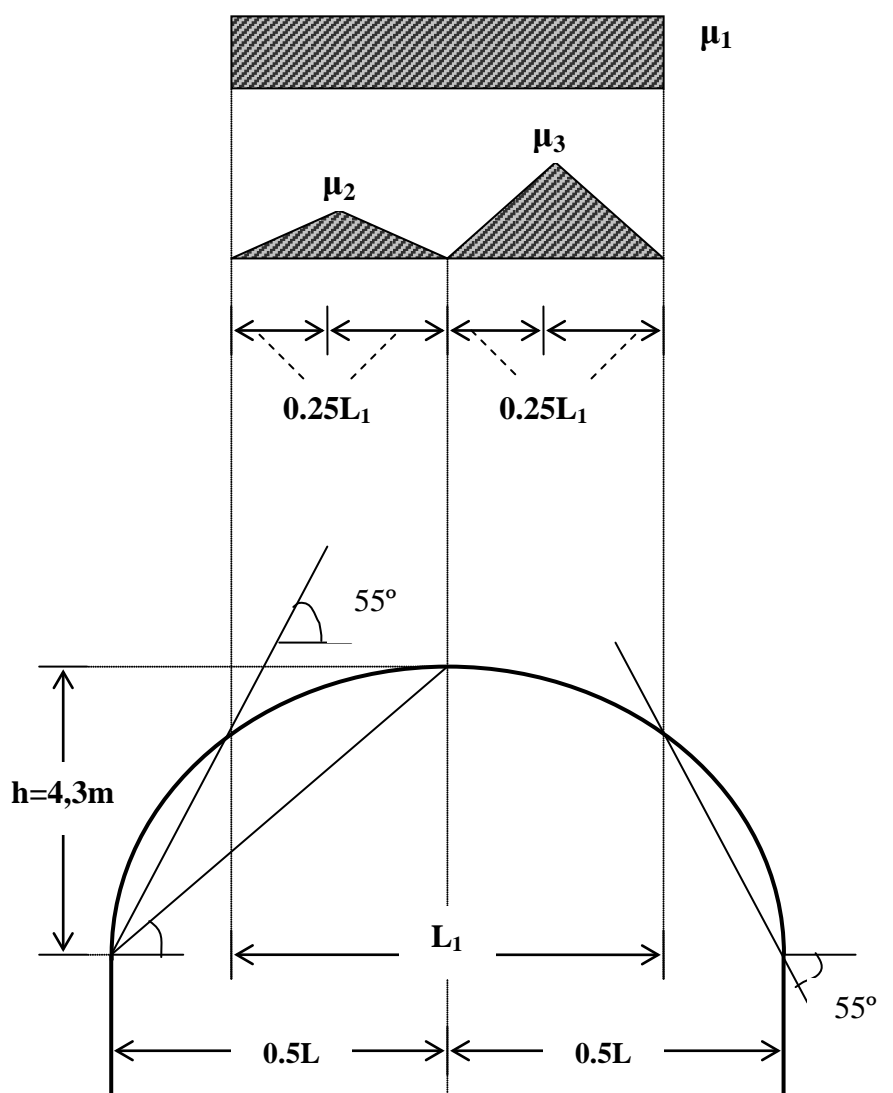
Περίπτωση φόρτισης 2:

$$S_{2,\alpha_0} = \mu_{2,\alpha_0} * C_e * C_t * S_k \hat{U} \quad S_{2,\alpha_0} = 1,6 * 1,20 * 1,00 * 0,39 \text{ kN/m}^2 \hat{U}$$

$$\hat{U} \quad \underline{\underline{S_{1,\alpha_2} = 0,749 \text{ kN/m}^2}}$$

Παράδειγμα 6 : Κυλινδρική στέγη

Να υπολογιστεί το φορτίο χιονιού σε κτίριο με κυλινδρική στέγη, το οποίο βρίσκεται στα Τρίκαλα σε υψόμετρο 590m.



Το φορτίο του χιονιού στην στέγη θα υπολογιστεί από την σχέση :

$$S = \mu_i C_e C_t S_k$$

Όπου :

Οι συντελεστές σχήματος του φορτίου του χιονιού, σύμφωνα με τον πίνακα 2.6 και για γωνία κλίσης $\beta = 55^\circ$, υπολογίζονται από τον τύπο:

$$\mu_1 = 0,8$$

$$\mu_2 = 0,2 + 10h/L \hat{U} \quad \mu_2 = 0,2 + 10 \cdot 4,3/12,5 \hat{U} \quad \mu_2 = 3,64$$

όμως πρέπει $\mu_2 \leq 2,00$ άρα λαμβάνεται $\mu_2 = 2,00$.

$$\mu_3 = 0,5 \mu_2$$

Ο συντελεστής έκθεσης είναι ίσος με $C_e = 1,00$, σύμφωνα με τον πίνακα 2.2 για κανονικές συνθήκες.

Ο θερμικός συντελεστής ισούται με $C_t = 1,00$.

Η χαρακτηριστική τιμή του φορτίου του χιονιού στο έδαφος σύμφωνα με τον πίνακα 2.1 του Παραρτήματος Α του Ευρωκώδικα 1 για την Ζώνη Ι και για υψόμετρο 590m, είναι $S_k = 0,57 \text{ kN/m}^2$.

Άρα τα φορτία του χιονιού στη στέγη του κτιρίου είναι:

$$S_1 = \mu_1 * C_e * C_t * S_k \hat{U} \quad S_1 = 0,80 * 1,00 * 1,00 * 0,57 \hat{U}$$

$$\hat{U} \quad \underline{\underline{S_1 = 0,456 \text{ kN/m}^2}}$$

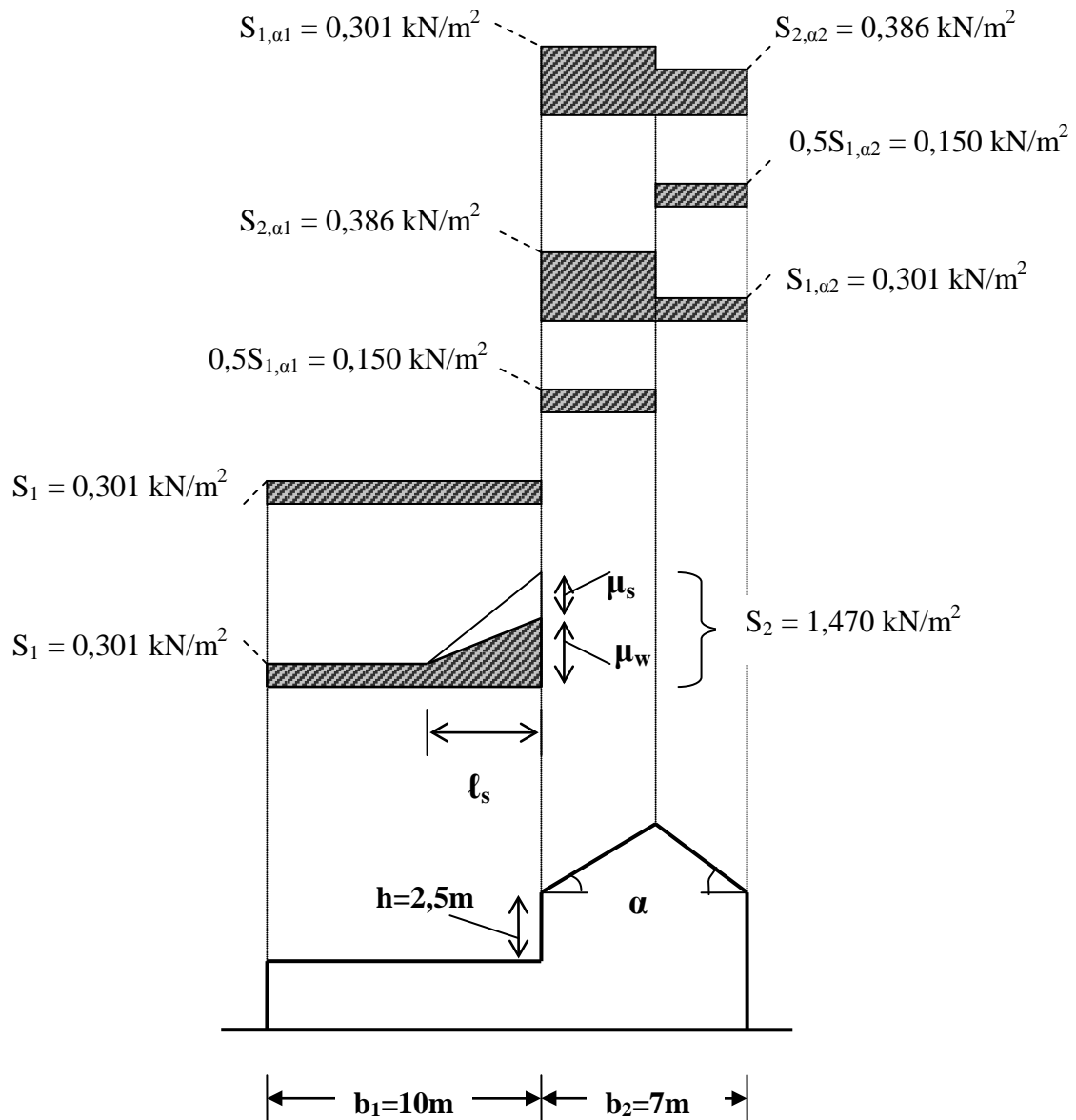
$$S_2 = \mu_2 * C_e * C_t * S_k \hat{U} \quad S_2 = 2,00 * 1,00 * 1,00 * 0,57 \hat{U}$$

$$\hat{U} \quad \underline{\underline{S_2 = 1,140 \text{ kN/m}^2}}$$

$$S_3 = 0,5\mu_2 \hat{U} \quad S_3 = 0,5 * 2,00 \hat{U} \quad \underline{\underline{S_3 = 1,00 \text{ kN/m}^2}}$$

Παράδειγμα 7 : Στέγη με απότομη αλλαγή ύψους

Να υπολογιστεί το φορτίο του χιονιού σε στέγη με απότομη αλλαγή ύψους σε κτίριο που βρίσκεται στην Κρήτη σε υψόμετρο 450m και οι γωνίες κλίσης της στέγης είναι $\alpha_1 = 27^\circ$ και $\alpha_2 = 32^\circ$. Σημειώνεται ότι το κτίριο είναι εκτεθειμένο σε ισχυρούς ανέμους.



Για να υπολογίσουμε το φορτίο χιονιού στη στέγη θα πρέπει να υπολογίσουμε ξεχωριστά το φορτίο στην οριζόντια στέγη και ξεχωριστά το φορτίο στην κεκλιμένη (βλ. παράδειγμα 4 δικλινείς στέγη).

Η χαρακτηριστική τιμή του φορτίου του χιονιού στο έδαφος σύμφωνα με τον πίνακα 2.1 του Παραρτήματος Α του Ευρωκώδικα 1 για την Ζώνη Ι και υψόμετρο 450m, είναι $S_k = 0,47 \text{ kN/m}^2$.

Ο συντελεστής έκθεσης ισούται με $C_e = 0,80$ σύμφωνα με τον πίνακα 2.2 για έκθεση σε ισχυρούς ανέμους.

Ο θερμικός συντελεστής είναι $C_t = 1,00$.

§ Κεκλιμένη στέγη

Στην κεκλιμένη στέγη οι συντελεστές μορφής του φορτίου χιονιού, σύμφωνα με τον πίνακα 2.4 για γωνίες $\alpha_1 = 27^\circ$ και $\alpha_2 = 32^\circ$, είναι οι εξής:

$$\mu_1 = 0,8$$

$$\mu_2 = 1,1(60-\alpha)/30 \hat{=} \mu_2 = 1,1(60-32)/30 \hat{=} \mu_2 = 1,027$$

§ Οριζόντια στέγη

Στην οριζόντια στέγη οι συντελεστές μορφής του φορτίου χιονιού είναι οι εξής:

$$\mu_1 = 0,8$$

$$\mu_2 = \mu_s + \mu_w$$

όπου: $\mu_s = 50\% * \mu_2$ (της κεκλιμένης στέγης) $\hat{=} \mu_s = 50\% * 1,027$

$$\hat{=} \mu_s = 0,51$$

και $\mu_w = (b_1 + b_2) / 2h \hat{=} \mu_w = (10 + 7) / 2 * 2,5 \hat{=} \mu_w = 3,4$

$$\text{όμως πρέπει: } \mu_w < \gamma h / S_k \hat{=} \mu_w = 3,4 < 2 * 2,5 / 0,47 \hat{=} \mu_w = 3,4 < 10,64 \text{ P ισχύει}$$

$$\mu_w = 3,4 < 10,64 \text{ P ισχύει}$$

$$\text{αλλά και: } 0,8 \leq \mu_w \leq 4,0 \hat{=} 0,8 \leq 3,4 \leq 4,0 \text{ P ισχύει}$$

$$\text{άρα } \mu_2 = \mu_s + \mu_w \hat{=} \mu_2 = 0,51 + 3,4 \hat{=} \mu_2 = 3,91$$

Σύμφωνα με την παράγραφο 2.6.6, το μήκος συγκέντρωσης του χιονιού ισούται με:

$$\ell_s = 2h \hat{=} \ell_s = 2 * 2,5 \hat{=} \ell_s = 5,0\text{m}$$

$$\text{πρέπει όμως: } 5\text{m} < \ell_s = 5,0\text{m} < 15\text{m} \text{ P ισχύει}$$

§ Υπολογισμός φορτίου χιονιού στην κεκλιμένη στέγη

Περίπτωση φόρτισης 1:

$$S_{2,\alpha_2} = \mu_2 * C_e * C_t * S_k \hat{=} S_{2,\alpha_2} = 1,027 * 0,80 * 1,00 * 0,47 \text{ kN/m}^2 \hat{=} \hat{=} S_{2,\alpha_2} = \underline{\underline{0,386 \text{ kN/m}^2}}$$

$$\hat{=} \underline{\underline{S_{2,\alpha_2} = 0,386 \text{ kN/m}^2}}$$

$$S_{1,\alpha_1} = \mu_1 * C_e * C_t * S_k \hat{=} S_{1,\alpha_1} = 0,80 * 0,80 * 1,00 * 0,47 \text{ kN/m}^2 \hat{=} \hat{=} S_{1,\alpha_1} = \underline{\underline{0,301 \text{ kN/m}^2}}$$

$$\hat{=} \underline{\underline{S_{1,\alpha_1} = 0,301 \text{ kN/m}^2}}$$

Περίπτωση φόρτισης 2:

$$0,5S_{1,\alpha_2} = 0,5 * \mu_1 * C_e * C_t * S_k \hat{=} 0,5S_{1,\alpha_2} = 0,5 * 0,80 * 0,80 * 1,00 * 0,47 \text{ kN/m}^2 \hat{=} \hat{=} 0,5S_{1,\alpha_2} = \underline{\underline{0,150 \text{ kN/m}^2}}$$

$$\hat{=} \underline{\underline{0,5S_{1,\alpha_2} = 0,150 \text{ kN/m}^2}}$$

Περίπτωση φόρτισης 3:

$$S_{1,\alpha 2} = \mu_1 * C_e * C_t * S_k \hat{U} \quad S_{1,\alpha 2} = 0,80 * 0,80 * 1,00 * 0,47 \text{ kN/m}^2 \hat{U} \\ \hat{U} \quad \underline{\underline{S_{1,\alpha 2} = 0,301 \text{ kN/m}^2}}$$

$$S_{2,\alpha 1} = \mu_2 * C_e * C_t * S_k \hat{U} \quad S_{2,\alpha 1} = 1,027 * 0,80 * 1,00 * 0,47 \text{ kN/m}^2 \hat{U} \\ \hat{U} \quad \underline{\underline{S_{2,\alpha 1} = 0,386 \text{ kN/m}^2}}$$

Περίπτωση φόρτισης 4:

$$0,5S_{1,\alpha 1} = 0,5 * \mu_1 * C_e * C_t * S_k \hat{U} \quad 0,5S_{1,\alpha 1} = 0,5 * 0,80 * 0,80 * 1,0 * 0,47 \text{ kN/m}^2 \hat{U} \\ \hat{U} \quad \underline{\underline{0,5S_{1,\alpha 1} = 0,150 \text{ kN/m}^2}}$$

§ Υπολογισμός φορτίου χιονιού στην οριζόντια στέγη

Περίπτωση φόρτισης 1:

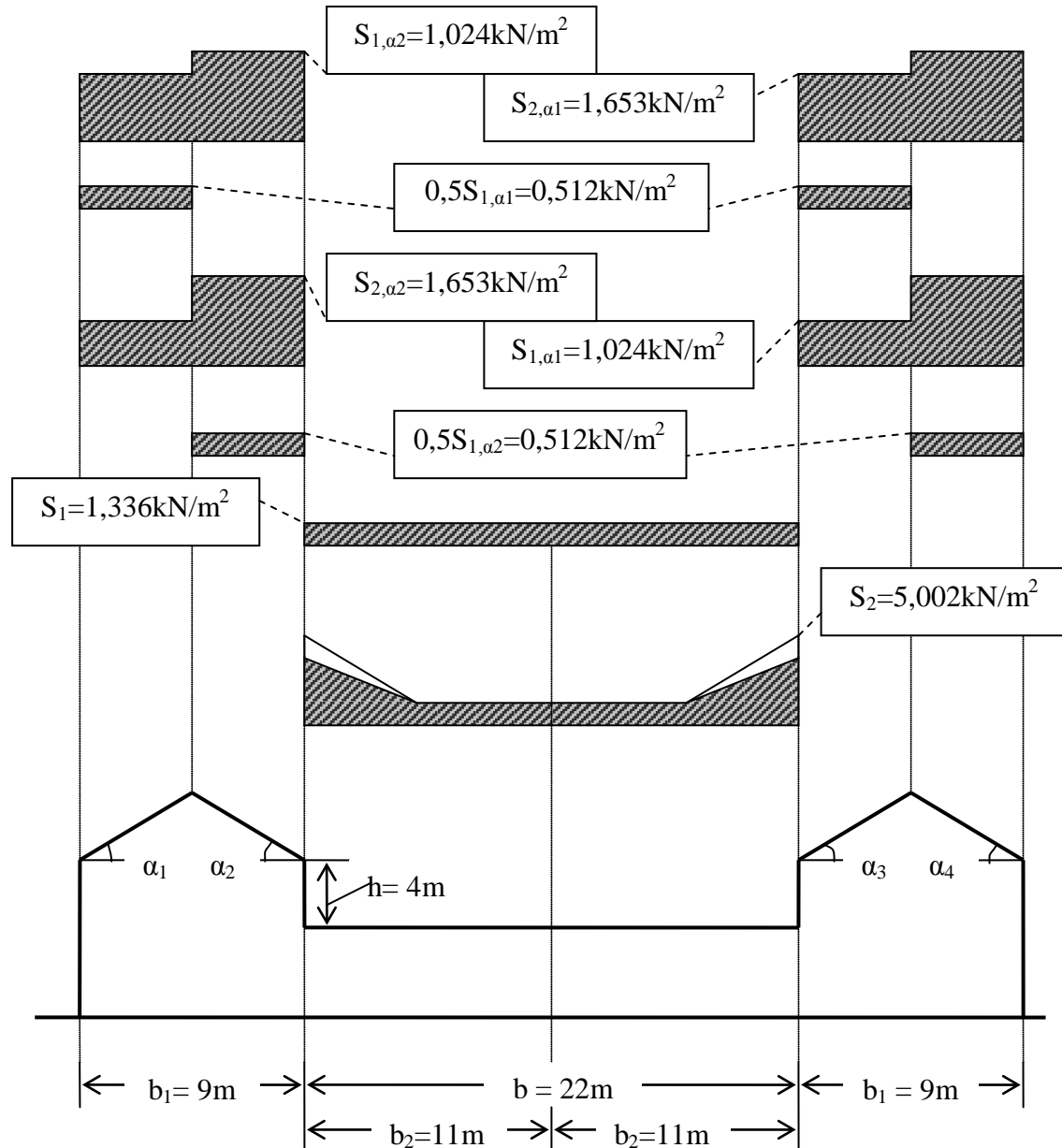
$$S_1 = \mu_1 * C_e * C_t * S_k \hat{U} \quad S_{1,\alpha 1} = 0,80 * 0,80 * 1,00 * 0,47 \text{ kN/m}^2 \hat{U} \\ \hat{U} \quad \underline{\underline{S_1 = 0,301 \text{ kN/m}^2}}$$

Περίπτωση φόρτισης 2:

$$S_2 = \mu_2 * C_e * C_t * S_k \hat{U} \quad S_{2,\alpha 2} = 3,91 * 0,80 * 1,00 * 0,47 \text{ kN/m}^2 \hat{U} \\ \hat{U} \quad \underline{\underline{S_2 = 1,470 \text{ kN/m}^2}}$$

Παράδειγμα 8 : Στέγες με απότομες αλλαγές ύψους

Να υπολογιστεί το φορτίο του χιονιού στις στέγες με απότομη αλλαγή ύψους σε κτίριο που βρίσκεται στον Έβρο σε υψόμετρο 850m και οι γωνίες κλίσης της στέγης είναι $\alpha_1 = \alpha_3 = 37^\circ$ & $\alpha_2 = \alpha_4 = 33^\circ$.



Για να υπολογίσουμε το φορτίο χιονιού στη στέγη θα πρέπει να υπολογίσουμε ξεχωριστά το φορτίο στην οριζόντια στέγη και ξεχωριστά το φορτίο στις κεκλιμένες (βλ. παράδειγμα 4 δικλινείς στέγη).

Η χαρακτηριστική τιμή του φορτίου του χιονιού στο έδαφος σύμφωνα με τον πίνακα 2.1 του Παραρτήματος Α του Ευρωκώδικα 1 για την Ζώνη ΙΙ και υψόμετρο 850m, είναι $S_k = 1,67 \text{ kN/m}^2$.

Ο συντελεστής έκθεσης είναι ίσος με $C_e = 1,00$, σύμφωνα με τον πίνακα 2.2 για κανονικές συνθήκες.

Ο θερμικός συντελεστής ισούται με $C_t = 1,00$.

§ Κεκλιμένη στέγη

Στις κεκλιμένες στέγες οι συντελεστές μορφής του φορτίου χιονιού, σύμφωνα με τον πίνακα 2.4 για γωνίες $\alpha_1=\alpha_3=37^\circ$ & $\alpha_2=\alpha_4=33^\circ$ είναι οι εξής:

$$\begin{aligned}\mu_1 &= 0,8(60-\alpha)/30 \hat{=} \mu_1 = 0,8(60-37)/30 \hat{=} \mu_1 = 0,613 \\ \mu_2 &= 1,1(60-\alpha)/30 \hat{=} \mu_2 = 1,1(60-33)/30 \hat{=} \mu_2 = 0,99\end{aligned}$$

§ Οριζόντια στέγη

Στην οριζόντια στέγη οι συντελεστές μορφής του φορτίου χιονιού είναι οι εξής:

$$\begin{aligned}\mu_1 &= 0,8 \\ \mu_2 &= \mu_s + \mu_w\end{aligned}$$

$$\text{όπου: } \mu_s = 50\% * \mu_2 \text{ (της κεκλιμένης στέγης)} \hat{=} \mu_s = 50\% * 0,99 \hat{=} \\ \hat{=} \mu_s = 0,495$$

$$\text{και } \mu_w = (b_1 + b_2) / 2h \hat{=} \mu_w = (9 + 11) / 2 * 4 \hat{=} \mu_w = 2,5$$

$$\begin{aligned}\text{όμως πρέπει: } \mu_w < \gamma h / S_k \hat{=} \mu_w = 2,5 < 2 * 4 / 1,67 \hat{=} \\ \mu_w = 2,5 < 4,79 \mathbf{P} \text{ ισχύει}\end{aligned}$$

$$\text{αλλά και: } 0,8 \leq \mu_w \leq 4,0 \hat{=} 0,8 < 2,5 < 4,0 \mathbf{P} \text{ ισχύει}$$

$$\text{άρα } \mu_2 = \mu_s + \mu_w \hat{=} \mu_2 = 0,495 + 2,5 \hat{=} \mu_2 = 2,995$$

Σύμφωνα με την παράγραφο 2.6.6, το μήκος συγκέντρωσης του χιονιού ισούται με:

$$\ell_s = 2h \hat{=} \ell_s = 2 * 4 \hat{=} \ell_s = 8,0\text{m}$$

$$\text{πρέπει όμως: } 5\text{m} < \ell_s = 8,0\text{m} < 15\text{m} \mathbf{P} \text{ ισχύει}$$

§ Υπολογισμός φορτίου χιονιού στην κεκλιμένη στέγη

Επειδή οι δυο δικλινείς στέγες είναι πανομοιότυπες, θα υπολογίσουμε μια φορά και θα ισχύει και για τις δυο περιπτώσεις.

Περίπτωση φόρτισης 1:

$$S_{2,\alpha 1} = \mu_2 * C_e * C_t * S_k \hat{=} S_{2,\alpha 1} = 0,99 * 1,00 * 1,00 * 1,67 \text{ kN/m}^2 \hat{=} \\ \hat{=} \underline{\underline{S_{2,\alpha 1} = 1,653 \text{ kN/m}^2}}$$

$$S_{1,\alpha 2} = \mu_1 * C_e * C_t * S_k \hat{=} S_{1,\alpha 2} = 0,613 * 1,00 * 1,00 * 1,67 \text{ kN/m}^2 \hat{=} \\ \hat{=} \underline{\underline{S_{1,\alpha 2} = 1,024 \text{ kN/m}^2}}$$

Περίπτωση φόρτισης 2:

$$0,5S_{1,\alpha 1} = 0,5 * \mu_1 * C_e * C_t * S_k \hat{=} 0,5S_{1,\alpha 1} = 0,5 * 0,613 * 1,00 * 1,00 * 1,67 \text{ kN/m}^2 \hat{=} \\ \hat{=} \underline{\underline{0,5S_{1,\alpha 1} = 0,512 \text{ kN/m}^2}}$$

Περίπτωση φόρτισης 3:

$$S_{1,\alpha 1} = \mu_1 * C_e * C_t * S_k \hat{U} \quad S_{1,\alpha 1} = 0,613 * 1,00 * 1,00 * 1,67 \text{ kN/m}^2 \hat{U} \\ \hat{U} \quad \underline{S_{1,\alpha 1} = 1,024 \text{ kN/m}^2}$$

$$S_{2,\alpha 2} = \mu_2 * C_e * C_t * S_k \hat{U} \quad S_{2,\alpha 2} = 0,99 * 1,00 * 1,00 * 1,67 \text{ kN/m}^2 \hat{U} \\ \hat{U} \quad \underline{S_{2,\alpha 2} = 1,653 \text{ kN/m}^2}$$

Περίπτωση φόρτισης 4:

$$0,5S_{1,\alpha 2} = 0,5 * \mu_1 * C_e * C_t * S_k \hat{U} \quad 0,5S_{1,\alpha 2} = 0,5 * 0,613 * 1,00 * 1,0 * 1,67 \text{ kN/m}^2 \hat{U} \\ \hat{U} \quad \underline{0,5S_{1,\alpha 2} = 0,512 \text{ kN/m}^2}$$

§ Υπολογισμός φορτίου χιονιού στην οριζόντια στέγη

Περίπτωση φόρτισης 1:

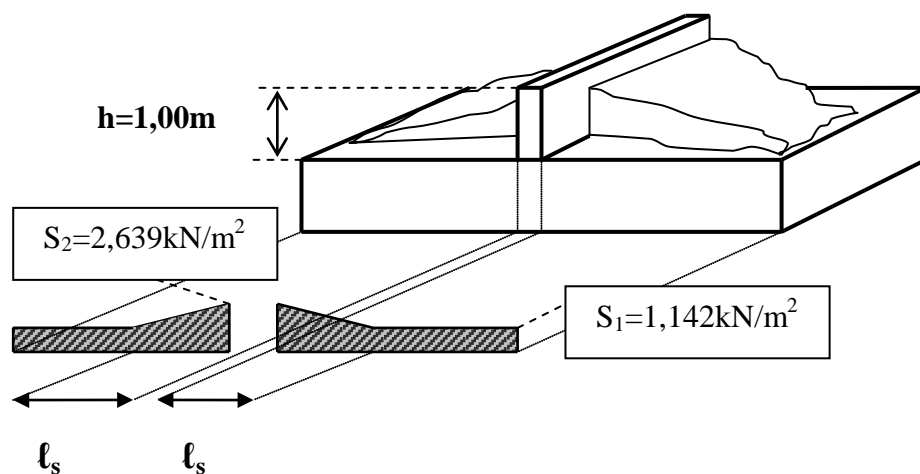
$$S_1 = \mu_1 * C_e * C_t * S_k \hat{U} \quad S_{1,\alpha 1} = 0,80 * 1,00 * 1,00 * 1,67 \text{ kN/m}^2 \hat{U} \\ \hat{U} \quad \underline{S_1 = 1,336 \text{ kN/m}^2}$$

Περίπτωση φόρτισης 2:

$$S_2 = \mu_2 * C_e * C_t * S_k \hat{U} \quad S_{2,\alpha 2} = 2,995 * 1,00 * 1,00 * 1,67 \text{ kN/m}^2 \hat{U} \\ \hat{U} \quad \underline{S_2 = 5,002 \text{ kN/m}^2}$$

Παράδειγμα 9 : Στέγη με εμπόδιο

Να υπολογιστεί το φορτίο του χιονιού που συγκεντρώνεται σε στέγη με εμπόδιο σε κτίριο που βρίσκεται στην Νότια Πελοπόννησο σε υψόμετρο 940m. Σημειώνεται ότι το κτίριο είναι εκτεθειμένο σε ισχυρούς ανέμους.



Το φορτίο του χιονιού στην στέγη θα υπολογιστεί από την σχέση :

$$S = \mu_i C_e C_t S_k$$

Όπου :

Η χαρακτηριστική τιμή του φορτίου του χιονιού στο έδαφος σύμφωνα με τον πίνακα 2.1 του Παραρτήματος Α του Ευρωκώδικα 1 για την Ζώνη Ι και για υψόμετρο 940m, είναι $S_k = 1,19 \text{ kN/m}^2$.

Οι συντελεστές σχήματος του φορτίου του χιονιού, σύμφωνα με τον πίνακα 2.9, είναι οι εξής:

$$\mu_1 = 0,8$$

$$\mu_2 = \gamma \cdot h / S_k \hat{=} \mu_2 = 2 \cdot 1,1 / 1,19 \hat{=} \mu_2 = 1,848$$

Ο συντελεστής έκθεσης είναι ίσος με $C_e = 1,20$, σύμφωνα με τον πίνακα 2.2 για προστατευμένες κατασκευές.

Ο θερμικός συντελεστής ισούται με $C_t = 1,00$.

Σύμφωνα με την παράγραφο 2.6.7, το μήκος συγκέντρωσης του χιονιού ισούται με:

$$\ell_s = 2h \hat{=} \ell_s = 2 \cdot 1,1 \hat{=} \ell_s = 2,2\text{m}$$

πρέπει όμως : $5\text{m} < \ell_s < 15\text{m}$ \Rightarrow δεν ισχύει, άρα θεωρούμε $\ell_s = 5\text{m}$.

Άρα τα φορτία του χιονιού στη στέγη του κτιρίου εκατέρωθεν του εμποδίου είναι:

$$S_1 = \mu_1 \cdot C_e \cdot C_t \cdot S_k \hat{=} S_1 = 0,80 \cdot 1,20 \cdot 1,00 \cdot 1,19 \hat{=} \hat{=} S_1 = 1,142 \text{ kN/m}^2$$

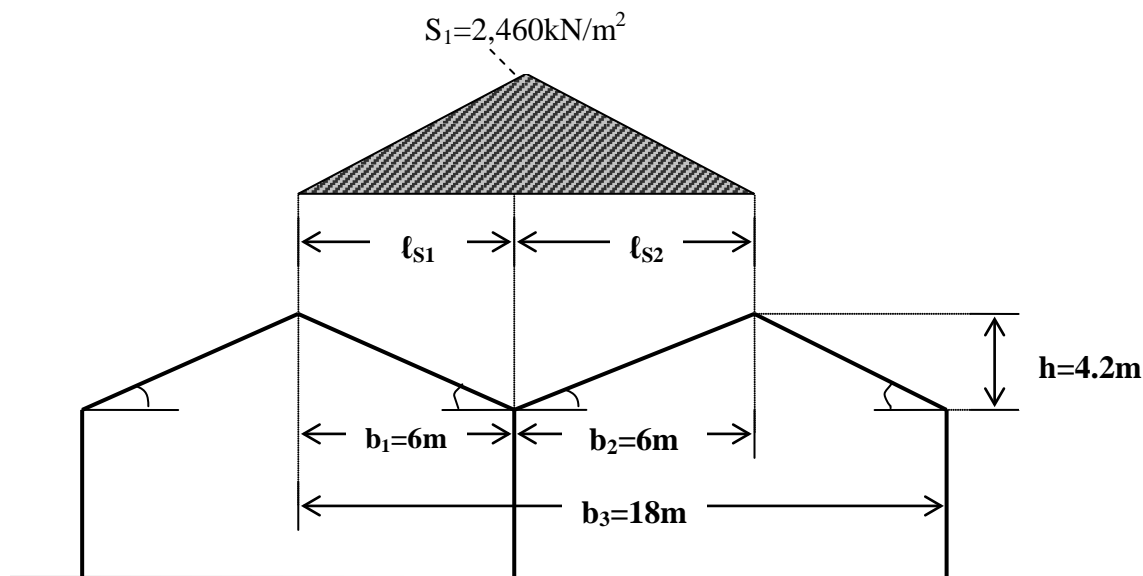
$$\hat{=} \underline{\underline{S_1 = 1,142 \text{ kN/m}^2}}$$

$$S_2 = \mu_2 \cdot C_e \cdot C_t \cdot S_k \hat{=} S_2 = 1,848 \cdot 1,20 \cdot 1,00 \cdot 1,19 \hat{=} \hat{=} S_2 = 2,639 \text{ kN/m}^2$$

$$\hat{=} \underline{\underline{S_2 = 2,639 \text{ kN/m}^2}}$$

Παράδειγμα 10 : Επαναλαμβανόμενη στέγη ίδιου ύψους σε περιοχή με ειδικές κλιματολογικές συνθήκες

Να υπολογιστεί το φορτίο του χιονιού που συγκεντρώνεται σε επαναλαμβανόμενη στέγη σε κτίριο που βρίσκεται στα Ιωάννινα σε υψόμετρο 760m και οι κλίσεις των στεγών είναι $\alpha = 35^\circ$. Σημειώνεται ότι οι υπολογισμοί θα γίνουν βάσει του Παραρτήματος Β του Ευρωκώδικα 1 για ιδιαίτερες κλιματολογικές συνθήκες.



Το φορτίο του χιονιού στην στέγη θα υπολογιστεί από την σχέση :

$$S = \mu_i C_e C_t S_k$$

Όπου :

Η χαρακτηριστική τιμή του φορτίου του χιονιού στο έδαφος σύμφωνα με τον πίνακα 2.1 του Παραρτήματος Α του Ευρωκώδικα 1 για την Ζώνη Ι και για υψόμετρο 760m, είναι $S_k = 0,82 \text{ kN/m}^2$.

Ο συντελεστής σχήματος του φορτίου του χιονιού, σύμφωνα με την παράγραφο 2.7.4, είναι ο εξής:

$$\begin{aligned} \mu_1 &= \min \{ 2h / S_k , 2b_3 / (l_{s1} + l_{s2}) , 5 \} \hat{=} \\ \hat{=} \mu_1 &= \min \{ 2 \cdot 4.2 / 0.82 , 2 \cdot 18 / (6 + 6) , 5 \} \hat{=} \\ \hat{=} \mu_1 &= \min \{ 10.24 , 3 , 5 \} \\ \hat{=} \mu_1 &= 3,0 \end{aligned}$$

Ο συντελεστής έκθεσης είναι ίσος με $C_e = 1,00$,σύμφωνα με τον πίνακα 2.2 για κανονικές συνθήκες.

Ο θερμικός συντελεστής ισούται με $C_t = 1,00$.

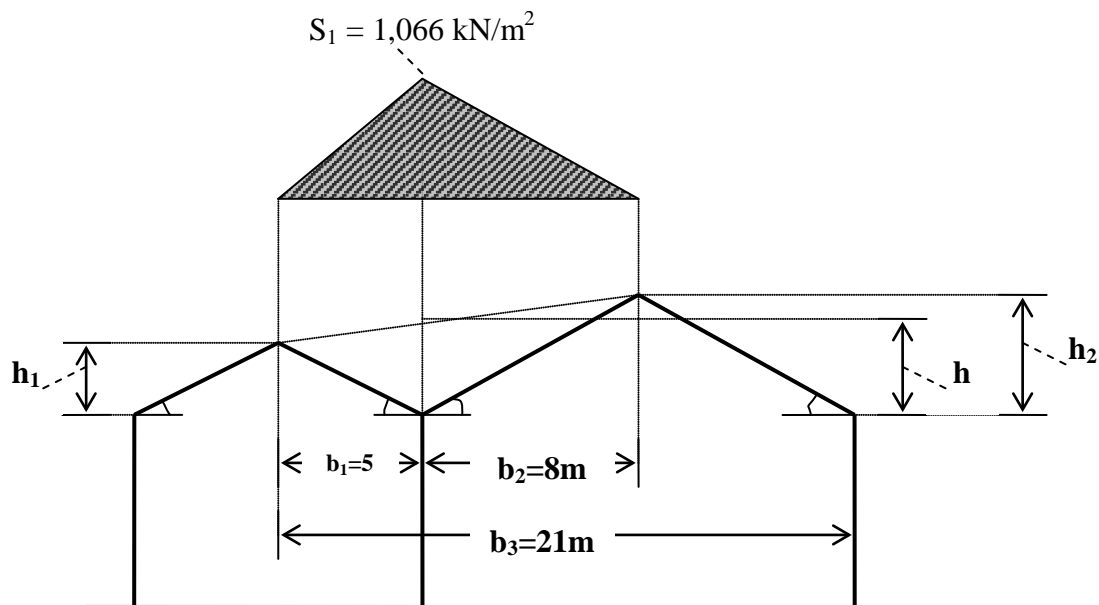
Άρα το φορτίο του χιονιού στη στέγη του κτιρίου είναι:

$$S_1 = \mu_1 * C_e * C_t * S_k \hat{=} S_1 = 3,0 * 1,00 * 1,00 * 0,82 \hat{=} 2,460 \text{ kN/m}^2$$

$$\hat{=} \underline{\underline{S_1 = 2,460 \text{ kN/m}^2}}$$

Παράδειγμα 11 : Επαναλαμβανόμενη στέγη διαφορετικού ύψους σε περιοχή με ειδικές κλιματολογικές συνθήκες

Να υπολογιστεί το φορτίο του χιονιού που συγκεντρώνεται σε επαναλαμβανόμενη στέγη σε κτίριο που βρίσκεται στην Άρτα σε υψόμετρο 290m και οι κλίσεις των στεγών είναι $\alpha = 30^\circ$. Σημειώνεται ότι οι υπολογισμοί θα γίνουν βάσει του Παραρτήματος Β του Ευρωκώδικα 1 για ιδιαίτερες κλιματολογικές συνθήκες.



Το φορτίο του χιονιού στην στέγη θα υπολογιστεί από την σχέση :

$$S = \mu_i C_e C_t S_k$$

Όπου :

Η χαρακτηριστική τιμή του φορτίου του χιονιού στο έδαφος σύμφωνα με τον πίνακα 2.1 του Παραρτήματος Α του Ευρωκώδικα 1 για την Ζώνη Ι και για υψόμετρο 290m, είναι $S_k = 0,33 \text{ kN/m}^2$.

Σε περίπτωση που δεν μας δίνονται τα ύψη h , h_1 & h_2 , τα υπολογίζουμε ως εξής:

$$\tan \alpha = h_1 / b_1 \hat{=} h_1 = \tan 30^\circ \times 5 \hat{=} h_1 = 2,89\text{m}$$

$$\tan \alpha = h_2 / b_2 \hat{=} h_2 = \tan 30^\circ \times 8 \hat{=} h_2 = 4,62\text{m}$$

$$\text{Άρα : } (h_2 - h_1) / 13 = (h - h_1) / 5 \hat{=} (4,62 - 2,89) / 13 = (h - 2,89) / 5 \hat{=} 0,133 = (h - 2,89) / 5 \hat{=} 0,665 = h - 2,89 \hat{=} h = 3,55\text{m}$$

$$\hat{=} 0,133 = (h - 2,89) / 5 \hat{=} 0,665 = h - 2,89 \hat{=} h = 3,55\text{m}$$

Ο συντελεστής σχήματος του φορτίου του χιονιού, σύμφωνα με την παράγραφο 2.7.4, είναι ο εξής:

$$\begin{aligned} \mu_1 &= \min \{ 2h / S_k, 2b_3 / (\ell_{s1} + \ell_{s2}), 5 \} \hat{=} \\ \hat{=} \mu_1 &= \min \{ 2 \cdot 3,55 / 0,33, 2 \cdot 21 / (5 + 8), 5 \} \hat{=} \\ \hat{=} \mu_1 &= \min \{ 21,52, 3,23, 5 \} \\ \hat{=} \mu_1 &= 3,23 \end{aligned}$$

Ο συντελεστής έκθεσης είναι ίσος με $C_e = 1,00$,σύμφωνα με τον πίνακα 2.2 για κανονικές συνθήκες.

Ο θερμικός συντελεστής ισούται με $C_t = 1,00$.

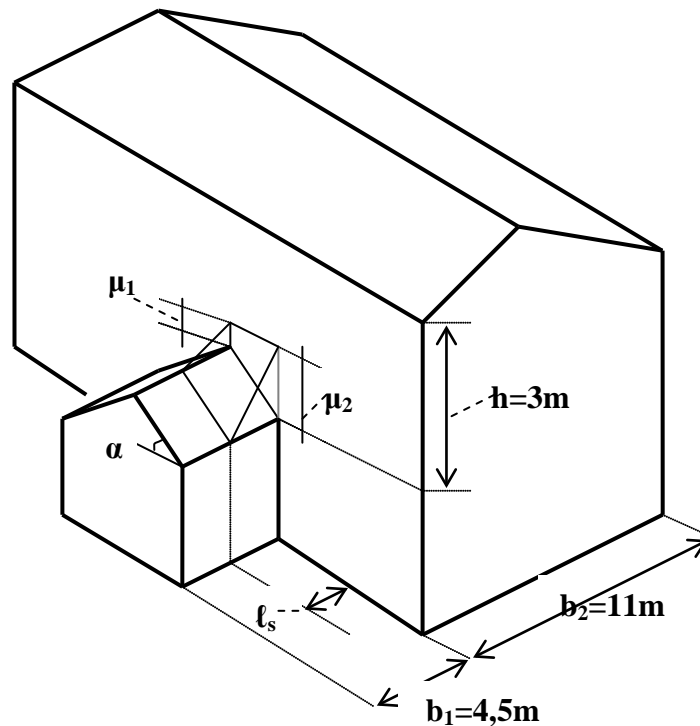
Άρα το φορτίο του χιονιού στη στέγη του κτιρίου είναι:

$$S_1 = \mu_1 * C_e * C_t * S_k \hat{U} \quad S_1 = 3,23 * 1,00 * 1,00 * 0,33 \hat{U}$$

$$\hat{U} \quad \underline{\underline{S_1 = 1,066 \text{ kN/m}^2}}$$

Παράδειγμα 12 : Στέγη εν επαφή με υψηλότερο κτίριο

Να υπολογιστεί το φορτίο του χιονιού που συγκεντρώνεται σε στέγη που εφάπτεται σε ψηλότερο κτίριο που βρίσκεται στην Θεσσαλία σε υψόμετρο 320m και η κλίση της χαμηλότερης στέγης είναι $\alpha = 25^\circ$. Σημειώνεται ότι οι υπολογισμοί θα γίνουν βάσει του Παραρτήματος Β του Ευρωκώδικα 1 για ιδιαίτερες κλιματολογικές συνθήκες.



Το φορτίο του χιονιού στην στέγη θα υπολογιστεί από την σχέση :

$$S = \mu_i C_e C_t S_k$$

Όπου :

Η χαρακτηριστική τιμή του φορτίου του χιονιού στο έδαφος σύμφωνα με τον πίνακα 2.1 του Παραρτήματος Α του Ευρωκώδικα 1 για την Ζώνη Ι και για υψόμετρο 290m, είναι $S_k = 0,73 \text{ kN/m}^2$.

Σύμφωνα με την παράγραφο 2.7.6., το μήκος συγκέντρωσης του χιονιού είναι :

$$\ell_s = \min \{ 5h, b_1, 15m \} \hat{=} \ell_s = \min \{ 5 \cdot 3, 4.5, 15 \} \hat{=} \\ \hat{=} \ell_s = \min \{ 15, 4.5, 15 \} \hat{=} \ell_s = 4.5m$$

$$\text{και : } b = \max \{ b_1, b_2 \} \hat{=} b = \max \{ 4.5, 11 \} \hat{=} b = 11m$$

Οι συντελεστές σχήματος του φορτίου του χιονιού, σύμφωνα με την παράγραφο 2.7.6 και για γωνία $\alpha = 25^\circ$, είναι οι εξής:

$$\mu_1 = \mu_3 \cdot (30 - \alpha) / 15$$

$$\mu_2 = \mu_3$$

$$\mu_3 = \min \{ 2h/S_k, 2b/\ell_s, 8 \} \hat{=} \mu_3 = \min \{ 2 \cdot 3 / 0.73, 2 \cdot 11 / 4.5, 8 \} \hat{=} \\ \hat{=} \mu_3 = \min \{ 8.22, 4.89, 8 \} \hat{=} \mu_3 = 4.89$$

$$\hat{=} \mu_3 = \min \{ 8.22, 4.89, 8 \} \hat{=} \mu_3 = 4.89$$

$$\text{Άρα } \mu_1 = 1.63 \text{ \& } \mu_2 = 4.89$$

Ο συντελεστής έκθεσης είναι ίσος με $C_e = 1.00$, σύμφωνα με τον πίνακα 2.2 για κανονικές συνθήκες.

Ο θερμικός συντελεστής ισούται με $C_t = 1.00$.

Άρα τα φορτία του χιονιού στη στέγη του κτιρίου είναι:

$$S_1 = \mu_1 \cdot C_e \cdot C_t \cdot S_k \hat{=} S_1 = 1.63 \cdot 1.00 \cdot 1.00 \cdot 0.73 \hat{=} \\ \hat{=} S_1 = 1.190 \text{ kN/m}^2$$

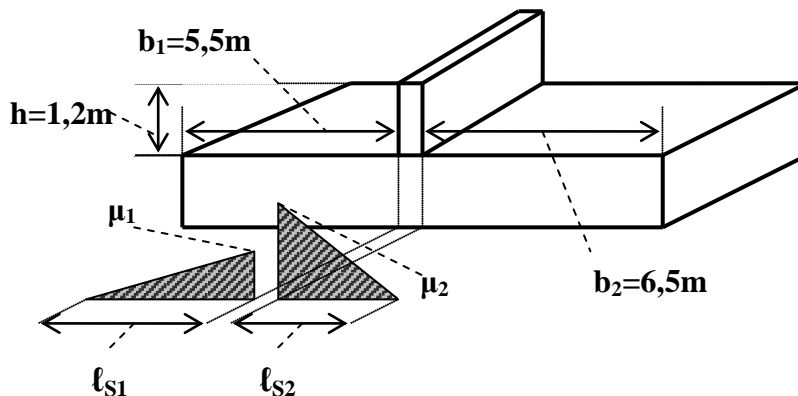
$$\hat{=} \underline{\underline{S_1 = 1.190 \text{ kN/m}^2}}$$

$$S_2 = \mu_2 \cdot C_e \cdot C_t \cdot S_k \hat{=} S_2 = 4.89 \cdot 1.00 \cdot 1.00 \cdot 0.73 \hat{=} \\ \hat{=} S_2 = 3.570 \text{ kN/m}^2$$

$$\hat{=} \underline{\underline{S_2 = 3.570 \text{ kN/m}^2}}$$

Παράδειγμα 13 : Στέγη με εμπόδιο

Να υπολογιστεί το φορτίο του χιονιού που συγκεντρώνεται σε στέγη με εμπόδιο σε κτίριο που βρίσκεται στα Δωδεκάνησα σε υψόμετρο 170m. Σημειώνεται ότι οι υπολογισμοί θα γίνουν βάσει του Παραρτήματος Β του Ευρωκώδικα 1 για ιδιαίτερες κλιματολογικές συνθήκες.



Το φορτίο του χιονιού στην στέγη θα υπολογιστεί από την σχέση :

$$S = \mu_i C_e C_t S_k$$

Όπου :

Η χαρακτηριστική τιμή του φορτίου του χιονιού στο έδαφος σύμφωνα με τον πίνακα 2.1 του Παραρτήματος Α του Ευρωκώδικα 1 για την Ζώνη Ι και για υψόμετρο 170m, είναι $S_k = 0,27 \text{ kN/m}^2$.

Σύμφωνα με την παράγραφο 2.7.7., το μήκος συγκέντρωσης του χιονιού είναι :

$$\begin{aligned} b_1 &= 5,5 > 5\text{m} \quad \hat{U} \quad \ell_{s1} = \min \{5h, b_1, 15\text{m}\} \quad \hat{U} \\ \hat{U} \quad \ell_{s1} &= \min \{5 \cdot 1,2, 5,5, 15\} \quad \hat{U} \quad \ell_{s1} = \min \{6, 5,5, 15\} \quad \hat{U} \\ & \quad \hat{U} \quad \underline{\ell_{s1} = 5,5\text{m}} \\ b_2 &= 6,5 > 5\text{m} \quad \hat{U} \quad \ell_{s2} = \min \{5h, b_2, 15\text{m}\} \quad \hat{U} \\ \hat{U} \quad \ell_{s2} &= \min \{5 \cdot 1,2, 6,5, 15\} \quad \hat{U} \quad \ell_{s2} = \min \{6, 6,5, 15\} \quad \hat{U} \\ & \quad \hat{U} \quad \underline{\ell_{s2} = 6,0\text{m}} \end{aligned}$$

Οι συντελεστές σχήματος του φορτίου του χιονιού, σύμφωνα με την παράγραφο 2.7.7, είναι οι εξής:

$$\begin{aligned} \mu_1 &= \min \{2h_1/S_k, 5\} \quad \hat{U} \quad \mu_1 = \min \{2 \cdot 1,2/0,27, 5\} \quad \hat{U} \\ \mu_1 &= \min \{8,89, 5\} \quad \hat{U} \quad \underline{\mu_1 = 5} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu_2 &= \min \{2h_2/S_k, 5\} \quad \hat{U} \quad \mu_2 = \min \{2 \cdot 1,2/0,27, 5\} \quad \hat{U} \\ \mu_2 &= \min \{8,89, 5\} \quad \hat{U} \quad \underline{\mu_2 = 5} \end{aligned}$$

Ο συντελεστής έκθεσης είναι ίσος με $C_e = 1,00$, σύμφωνα με τον πίνακα 2.2 για κανονικές συνθήκες.

Ο θερμικός συντελεστής ισούται με $C_t = 1,00$.

Άρα τα φορτία του χιονιού στη στέγη του κτιρίου είναι:

$$S_1 = \mu_1 \cdot C_e \cdot C_t \cdot S_k \quad \hat{U} \quad S_1 = 5,0 \cdot 1,00 \cdot 1,00 \cdot 0,27 \quad \hat{U}$$

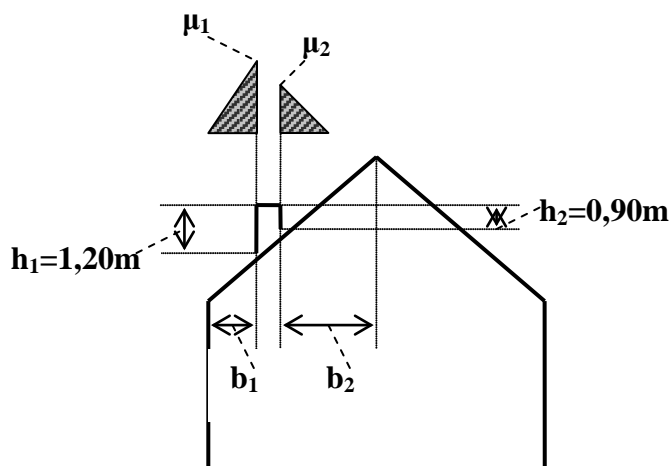
$$\hat{U} \quad \underline{S_1 = 1,350 \text{ kN/m}^2}$$

$$S_2 = \mu_2 \cdot C_e \cdot C_t \cdot S_k \quad \hat{U} \quad S_2 = 5,0 \cdot 1,00 \cdot 1,00 \cdot 0,27 \quad \hat{U}$$

$$\hat{U} \quad \underline{S_2 = 1,350 \text{ kN/m}^2}$$

Παράδειγμα 14 : Κεκλιμένη στέγη με εμπόδιο

Να υπολογιστεί το φορτίο του χιονιού που συγκεντρώνεται σε κεκλιμένη στέγη με εμπόδιο σε κτίριο που βρίσκεται στην Ξάνθη σε υψόμετρο 770m. Σημειώνεται ότι οι υπολογισμοί θα γίνουν βάσει του Παραρτήματος Β του Ευρωκώδικα 1 για ιδιαίτερες κλιματολογικές συνθήκες.



Το φορτίο του χιονιού στην στέγη θα υπολογιστεί από την σχέση :

$$S = \mu_i C_e C_t S_k$$

Όπου :

Η χαρακτηριστική τιμή του φορτίου του χιονιού στο έδαφος σύμφωνα με τον πίνακα 2.1 του Παραρτήματος Α του Ευρωκώδικα 1 για την Ζώνη ΙΙ και για υψόμετρο 770m, είναι $S_k = 1,41 \text{ kN/m}^2$.

Σύμφωνα με την παράγραφο 2.7.7., το μήκος συγκέντρωσης του χιονιού είναι:

$$b_1 = 1,8\text{m} < 5\text{m} \rightarrow \ell_s = b_1 \hat{=} \ell_s = 1,8\text{m}$$

$$b_2 = 3,5\text{m} < 5\text{m} \rightarrow \ell_s = b_2 \hat{=} \ell_s = 3,5\text{m}$$

Οι συντελεστές σχήματος του φορτίου του χιονιού, σύμφωνα με την παράγραφο 2.7.7, είναι οι εξής:

$$\mu_1 = \min \{ 2h_1/S_k, 5 \} \hat{=} \mu_1 = \min \{ 2*1.2/1.41, 5 \} \hat{=} \mu_1 = \min \{ 1.70, 5 \} \hat{=} \underline{\underline{\mu_1 = 1,70}}$$

$$\mu_2 = \min \{ 2h_2/S_k, 5 \} \hat{=} \mu_2 = \min \{ 2*0.90/1.41, 5 \} \hat{=} \mu_2 = \min \{ 1.28, 5 \} \hat{=} \underline{\underline{\mu_2 = 1,28}}$$

$$\mu_2 = \min \{ 2h_2/S_k, 5 \} \hat{=} \mu_2 = \min \{ 2*0.90/1.41, 5 \} \hat{=} \mu_2 = \min \{ 1.28, 5 \} \hat{=} \underline{\underline{\mu_2 = 1,28}}$$

$$\mu_2 = \min \{ 1.28, 5 \} \hat{=} \underline{\underline{\mu_2 = 1,28}}$$

Ο συντελεστής έκθεσης είναι ίσος με $C_e = 1,00$, σύμφωνα με τον πίνακα 2.2 για κανονικές συνθήκες.

Ο θερμικός συντελεστής ισούται με $C_t = 1,00$.

Άρα τα φορτία του χιονιού στη στέγη του κτιρίου είναι:

$$S_1 = \mu_1 * C_e * C_t * S_k \hat{=} S_1 = 1,70 * 1,00 * 1,00 * 1,41 \hat{=} \underline{\underline{S_1 = 2,397 \text{ kN/m}^2}}$$

$$S_2 = \mu_2 * C_e * C_t * S_k \hat{=} S_2 = 1,28 * 1,00 * 1,00 * 1,41 \hat{=} \underline{\underline{S_2 = 1,805 \text{ kN/m}^2}}$$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

EN 1991-1-4 : ΦΟΡΤΙΑ ΑΝΕΜΟΥ

4.1 Γενικά

Σε αυτό το μέρος του Ευρωκώδικα 1, παρουσιάζεται ο τρόπος με τον οποίο μπορούμε να υπολογίσουμε τα φορτία λόγω ανέμου που επιβάλλονται σε διάφορες κατασκευές, είτε σε ολόκληρη την επιφάνεια τους είτε σε επιμέρους τμήματα αυτών.

Για να μπορούμε να εφαρμόσουμε όμως τις οδηγίες αυτές, θα πρέπει οι κατασκευές τις οποίες εξετάζουμε να βρίσκονται σε περιοχές που δεν υπερβαίνουν τα 200m υψόμετρο και αφορούν τις εξής :

- § Καμινάδες
- § Κατασκευές με μορφή προβόλου
- § Οδικές και σιδηροδρομικές γέφυρες ανοίγματος έως 200m
- § Πεζογέφυρες και γέφυρες ποδηλάτων ανοίγματος έως 30m

Σημειώνεται ότι σε αυτό το μέρος του Ευρωκώδικα 1 δεν περιλαμβάνονται οδηγίες για τις ακόλουθες περιπτώσεις:

- § Καλωδιωτές και κρεμαστές γέφυρες
- § Δικτυωτούς πύργους
- § Στύλους φωτισμού
- § Ιστούς με επιτόνους
- § Κατασκευές στην ανοικτή θάλασσα

4.1.1 Φύση του φορτίου

Οι δράσεις του ανέμου κατατάσσονται στις μεταβλητές, ως προς το χρόνο, δράσεις και θεωρείται ότι εφαρμόζονται άμεσα στις εξωτερικές επιφάνειες του κτιρίου και έμμεσα στις εσωτερικές λόγω του πορώδους των υλικών κατασκευής. Υπάρχει όμως και η περίπτωση να εφαρμόζονται άμεσα στις εσωτερικές επιφάνειες από κάποιο άνοιγμα, π.χ. παράθυρο.

Κατά τους υπολογισμούς, θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη και οι υπόλοιπες δράσεις (π.χ. χιόνι, πάγος, κυκλοφορία κλπ) ή αλλαγές (π.χ. ανοίγματα, πόρτες κλπ που δύναται να τροποποιήσουν την εξωτερική ή εσωτερική πίεση) που μπορούν να δράσουν στην κατασκευή και να τροποποιήσουν την επιφάνεια υπολογισμού των

φορτίσεων. Σημειώνεται ότι οι κατασκευές που είναι ευαίσθητες σε δυναμικές καταπονήσεις σχεδιάζονται λαμβάνοντας υπόψη και την κόπωση.

Επίσης, όταν μια επιφάνεια φορτίζεται από άνεμο παράλληλο προς την επιφάνεια, αναπτύσσονται δυνάμεις τριβής οι οποίες, σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να είναι αρκετά σημαντικές.

Έτσι, κατά τον σχεδιασμό των κατασκευών, εξετάζουμε :

1. Τον τυρβώδη άνεμο ο οποίος δρα σε ολόκληρη την κατασκευή ή σε κάποιο τμήμα της.
2. Τις μεταβαλλόμενες δυνάμεις και τις μεταβαλλόμενες πιέσεις που προκαλούνται στην υπήνεμη πλευρά της κατασκευής.
3. Τις μεταβαλλόμενες δυνάμεις που προκαλούνται λόγω της κίνησης της κατασκευής από την δράση του ανέμου.

4.1.2 Απόκριση των κατασκευών

Η επίδραση του ανέμου στην απόκριση της κατασκευής, εξαρτάται από το μέγεθος, το σχήμα και τα δυναμικά χαρακτηριστικά της κατασκευής και γενικά, θεωρείται ότι δρα σαν το σύνολο μιας στατικής και μιας δυναμικής έντασης η οποία όμως, δυναμική ένταση, στις περισσότερες κατασκευές είναι αμελητέα.

Όμως, οι εύκαμπτες κατασκευές (π.χ. καπνοδόχοι, παρατηρητήρια, ιστοί και γέφυρες, ορισμένα πολυώροφα κτίρια κλπ) πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά τον σχεδιασμό λόγω της δυναμικής επιρροής σε αυτά από την τυρβώδη ροή του ανέμου.

4.1.3 Προσομοίωση της δράσης του ανέμου

Η δράση του ανέμου διακρίνεται στην πίεση του ανέμου (η οποία ενεργεί κάθετα στην επιφάνεια της κατασκευής) και στην δύναμη του ανέμου.

Κατά την διάρκεια πειραματικών δοκιμών με την χρήση κατάλληλων προσομοιωμάτων φυσικού ανέμου, θα πρέπει να πληρούνται δυο συνθήκες:

1. Θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου καθ' ύψος συναρτήσει των συνθηκών του εδάφους της εκάστοτε περιοχής που βρίσκεται η κατασκευή.
2. Θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η πραγματική τυρβώδης ροή του ανέμου στην εκάστοτε περιοχή που βρίσκεται η κατασκευή.

4.2 Υπολογισμός της πίεσης του ανέμου επί των επιφανειών.

4.2.1 Πεδίο εφαρμογής

Στην παράγραφο αυτή, η πίεση του ανέμου αναφέρεται σε δύσκαμπτες κατασκευές και έτσι αγνοούνται οι ταλαντώσεις συντονισμού που προκαλούνται από τον άνεμο.

Η τελική πίεση που ασκείται σε μια κατασκευή από τον άνεμο είναι αποτέλεσμα της διαφοράς της εξωτερικής και της εσωτερικής πίεσης αυτής.

4.2.2 Εξωτερική πίεση

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

$$w_e = q_p(z_e) * c_{pe}$$

όπου :

w_e = η πίεση του ανέμου στην εξωτερική επιφάνεια

$q_p(z_e)$ = η πίεση ταχύτητας αιχμής

z_e = το ύψος αναφοράς για την εξωτερική πίεση

c_{pe} = ο συντελεστής εξωτερικής πίεσης

4.2.3 Εσωτερική πίεση

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

$$w_i = q_p(z_i) * c_{pi}$$

όπου :

w_i = η πίεση του ανέμου στην εσωτερική επιφάνεια

$q_p(z_i)$ = η πίεση ταχύτητας αιχμής

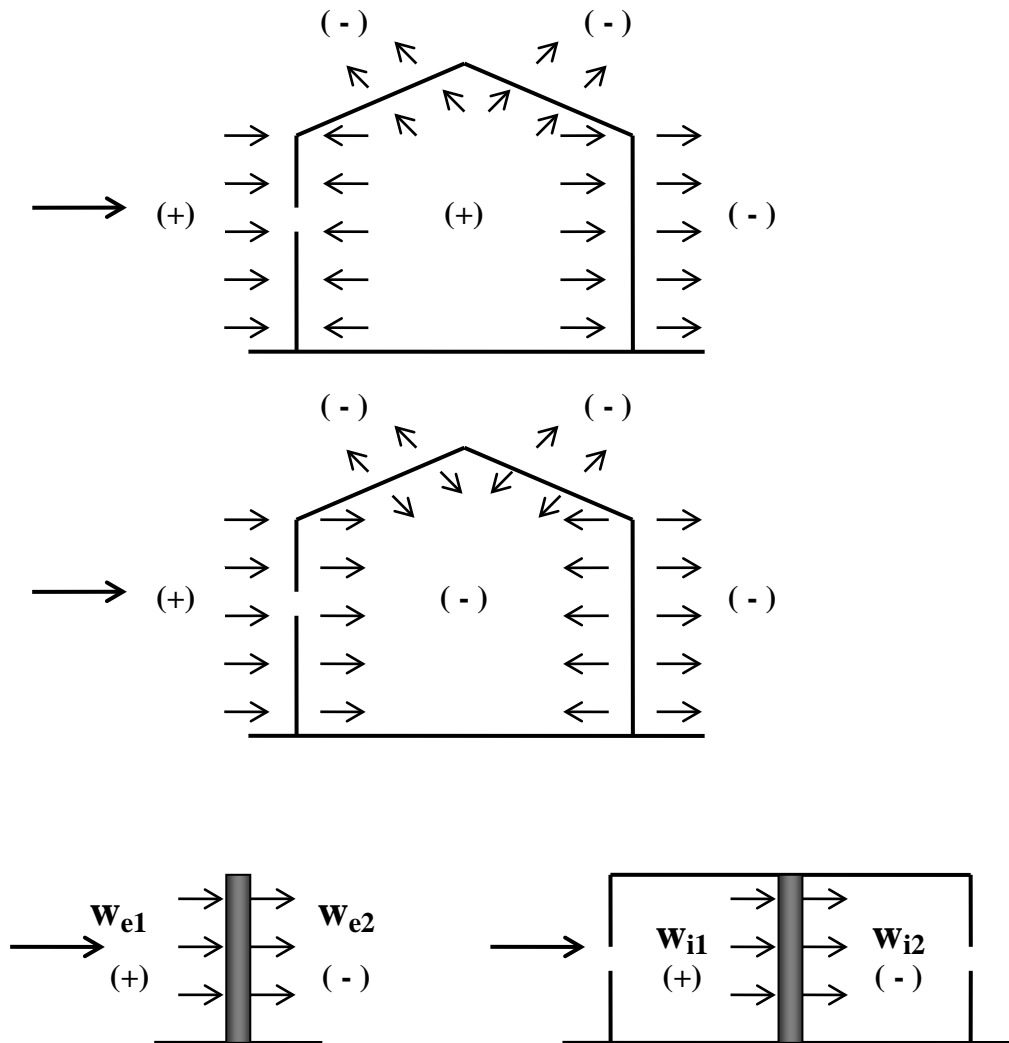
z_i = το ύψος αναφοράς για την εσωτερική πίεση

c_{pe} = ο συντελεστής εσωτερικής πίεσης

4.2.4 Τελική πίεση

Όπως αναφέραμε παραπάνω, η τελική πίεση προκύπτει από τη διαφορά της εξωτερικής και της εσωτερικής πίεσης που ασκούνται στις επιφάνειες των κατασκευών. Έτσι, η πίεση που έχει φορά προς την επιφάνεια χαρακτηρίζεται ως

θετική ενώ, η πίεση που απομακρύνεται από την επιφάνεια χαρακτηρίζεται ως αρνητική (βλ. σχήμα 4.1).



Σχήμα 4.1 Πίεση του ανέμου επί των επιφανειών.

4.2.5 Πίεση ταχύτητας αιχμής

Η πίεση ταχύτητας αιχμής σε ύψος z , που περιλαμβάνει διακυμάνσεις ταχύτητας του ανέμου μικρής διάρκειας, υπολογίζεται από την σχέση :

$$q_p(z) = [1+7 * \ell_v(z)] * 1/2 * \rho * v_m^2(z) = c_e(z) * q_b$$

όπου:

ρ = η πυκνότητα του αέρα. Εξαρτάται από την θερμοκρασία, το υψόμετρο και την βαρομετρική πίεση που αναμένονται σε κάποια περιοχή κατά την διάρκεια ανεμοθύελλας και ισούται με $1,25\text{kg/m}^3$.

$\ell_v(z)$ = η ένταση στροβιλισμού σε ύψος z .

$c_e(z)$ = ο συντελεστής έκθεσης που ισούται με $[q_p(z)/q_b]$

q_b = η βασική πίεση που ισούται με $[\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2]$

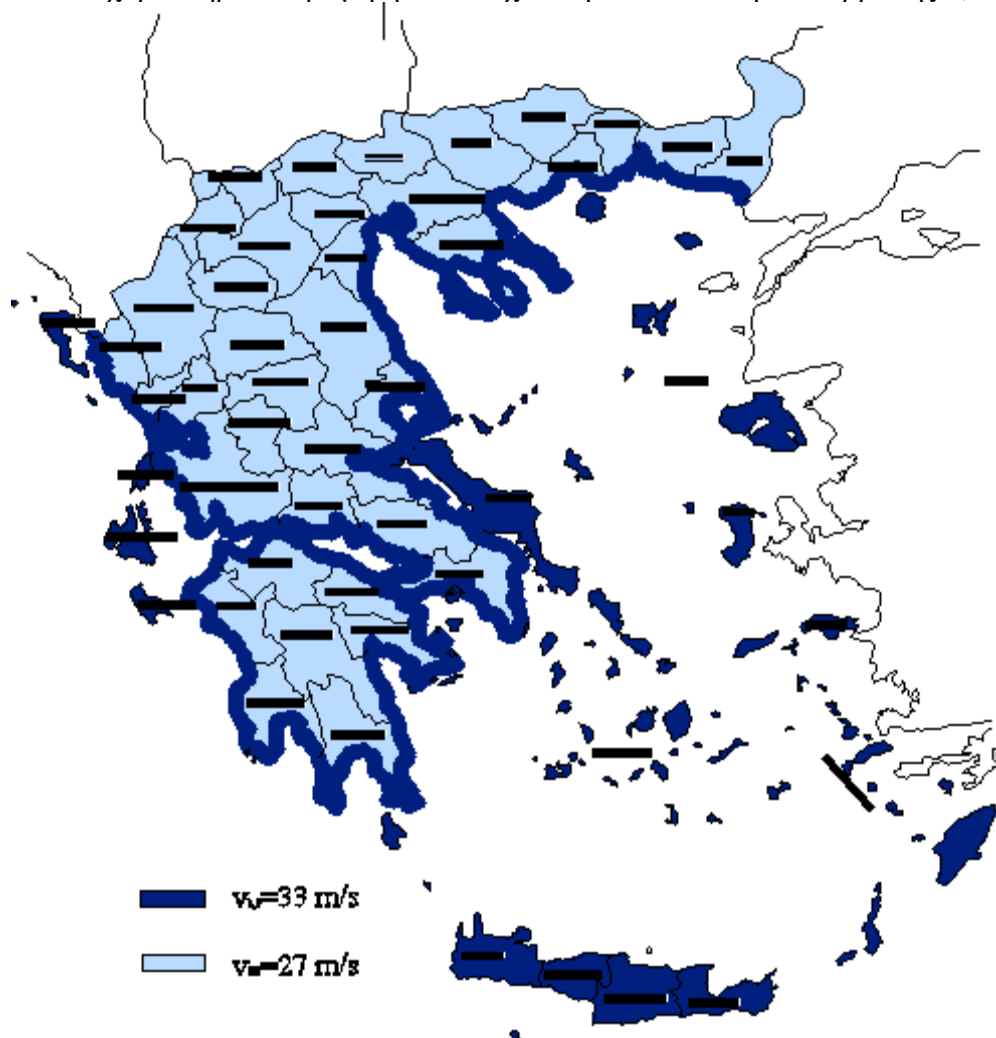
v_b = η βασική ταχύτητα του ανέμου και ορίζεται ως συνάρτηση της διεύθυνσης του ανέμου και της εποχής του έτους, σε κατηγορία εδάφους II και σε ύψος 10m, σύμφωνα με την σχέση $v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0}$

όπου:

c_{dir} = ο συντελεστής διεύθυνσης που ισούται με 1,00

c_{season} = ο συντελεστής εποχής που ισούται με 1,00

$v_{b,0}$ = η θεμελιώδης τιμή της βασικής ταχύτητας του ανέμου, η οποία είναι η χαρακτηριστική μέση ταχύτητα του ανέμου 10 λεπτών, ανεξάρτητα από την διεύθυνση του και την εποχή του έτους, στα 10m πάνω από το έδαφος κατηγορίας II. Για την χώρα μας ορίζεται, σύμφωνα με το Εθνικό Προσάρτημα, σε 33m/s για τα νησιά και τα παράλια μέχρι 10km από την ακτή και σε 27m/s για την υπόλοιπη χώρα. Από τις μετρήσεις της ταχύτητας του ανέμου υπολογίζεται εκείνη η χαρακτηριστική τιμή η οποία έχει ετήσια πιθανότητα υπέρβασης 0,02.



Εικόνα 4.1 Χάρτης θεμελιώδους βασικής ταχύτητας του ανέμου στην Ελλάδα.

Η μέση ταχύτητα του ανέμου $v_m(z)$, σε ύψος z πάνω από το έδαφος, εξαρτάται από την τραχύτητα του εδάφους και την τοπογραφική διαμόρφωση και υπολογίζεται από την σχέση:

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot v_b$$

όπου:

$c_r(z)$ = ο συντελεστής τραχύτητας

$c_0(z)$ = ο συντελεστής αναγλύφου

Η ένταση στροβιλισμού $l_v(z)$ σε ύψος z πάνω από το έδαφος, υπολογίζεται από τις σχέσεις:

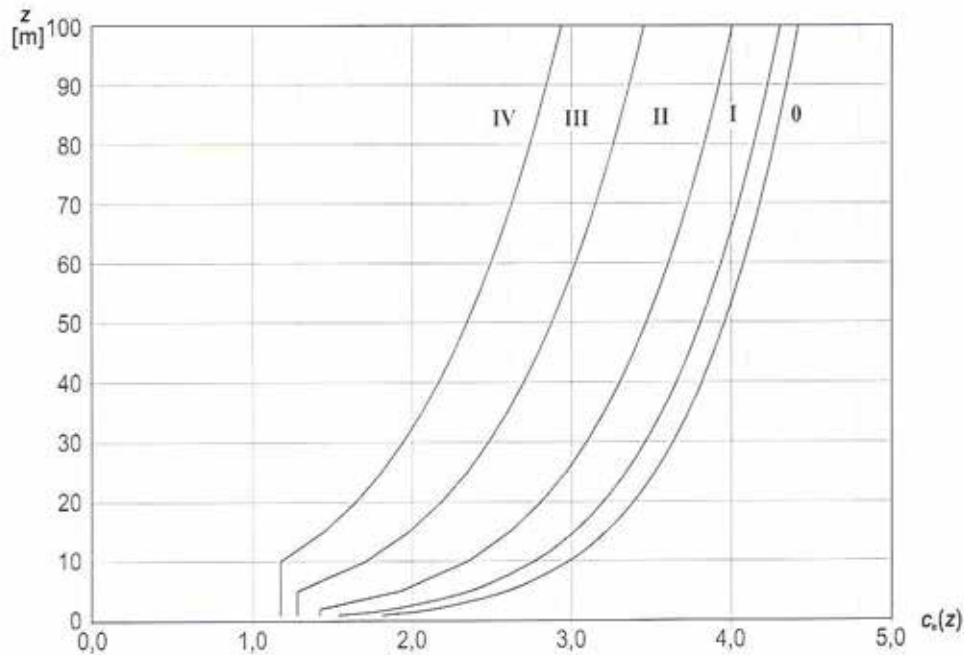
$$\text{για } z_{\min} \leq z \leq z_{\max} \quad l_v(z) = k_i / [c_0(z) \cdot \ln(z/z_0)]$$

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

όπου:

k_i = ο συντελεστής στροβιλισμού που ισούται με 1,00

Για επίπεδο έδαφος όπου $c_0(z)=1,00$ ο συντελεστής έκθεσης $c_e(z)$ δίνεται στο διάγραμμα που ακολουθεί, συναρτήσει του ύψους z πάνω από το έδαφος αλλά και της κατηγορίας εδάφους.



Σχήμα 4.2 Διάγραμμα συντελεστή έκθεσης $c_e(z)$ για $c_0=1$ & $k_i=1$

4.3 Υπολογισμός των δυνάμεων του ανέμου.

4.3.1 Υπολογισμός δυνάμεων του ανέμου λόγω πίεσης

Η δύναμη του ανέμου F_w η οποία δρα σε μια κατασκευή ή σε κάποιο τμήμα της, υπολογίζεται χρησιμοποιώντας είτε τις συνολικές δυνάμεις είτε το άθροισμα των επιμέρους πιέσεων που ασκούνται στην αυτήν. Έτσι, μπορεί να υπολογιστεί από τις σχέσεις :

$$F_w = c_s c_d * c_f * q_p(z_e) * A_{ref} \quad \& \quad F_w = c_s c_d * \Sigma c_f * q_p(z_e) * A_{ref}$$

Οπου:

$c_s c_d$ = 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 τμήματός της και αποτελεί την προβολή της επιφάνειας αυτής κάθετα στην διεύθυνση του ανέμου.

Επίσης, η δύναμη F_w , μπορεί να προσδιοριστεί και με διανυσματική άθροιση των δυνάμεων $F_{w,e}$ και $F_{w,i}$ που αναφέρονται στην εξωτερική και στην εσωτερική πίεση αντίστοιχα, επί της κατασκευής σύμφωνα με τις σχέσεις :

$$F_{w,e} = c_s c_d * \Sigma w_e * A_{ref} \quad \& \quad F_{w,i} = \Sigma w_i * A_{ref}$$

4.3.2 Υπολογισμός δυνάμεων του ανέμου λόγω τριβής

Όπως αναφέραμε παραπάνω, στην περίπτωση κατασκευών με μεγάλες επιφάνειες οι οποίες σαρώνονται από, παράλληλο προς αυτές, άνεμο, αναπτύσσονται δυνάμεις τριβής που σε ορισμένες περιπτώσεις είναι σημαντικές. Αυτές οι δυνάμεις, λοιπόν, υπολογίζονται από την σχέση :

$$F_{fr} = c_{fr} * q_p(z_e) * A_{fr}$$

Οπου:

c_{fr} = ο συντελεστής τριβής

A_{fr} = η εξωτερική επιφάνεια τριβής παράλληλα προς τον άνεμο

Οι δυνάμεις της τριβής του ανέμου δεν λαμβάνονται υπόψη όταν η επιφάνεια, η οποία σαρώνεται από άνεμο παράλληλο προς αυτήν, είναι ίση ή μικρότερη από το $\frac{1}{4}$ του συνολικού εμβαδού των εξωτερικών επιφανειών της κατασκευής που είναι κάθετες στον άνεμο (προσήνεμες και υπήνεμες).

4.4 Συντελεστής τραχύτητας και τοπογραφικής διαμόρφωσης.

4.4.1 Υπολογισμός συντελεστή τραχύτητας $c_r(z)$

Ο συντελεστής τραχύτητας είναι μια παράμετρος που λαμβάνει υπόψη τη μεταβολή της μέσης ταχύτητας του ανέμου στην περιοχή που βρίσκεται μια κατασκευή και επηρεάζεται από την τραχύτητα του εδάφους, η οποία με την σειρά της, εξαρτάται από το ύψος και την πυκνότητα των εμποδίων γύρω από την εξεταζόμενη περιοχή (π.χ. δέντρα, κτίρια κλπ). Για να υπολογιστεί αυτός ο συντελεστής χρησιμοποιείται η παρακάτω λογαριθμική κατανομή :

$$c_r(z) = k_r * \ln(z/z_0) \quad \text{για } z_{\min} \leq z \leq z_{\max}=200\text{m}$$

$$c_r(z) = c_r(z_{\min}) = k_r * \ln(z_{\min}/z_0) \quad \text{για } z \leq z_{\min}$$

όπου :

$$k_r = 0,19 * (z_0/z_{0,II})^{0,07}$$

z_0 = το μήκος τραχύτητας σε m

$z_{0,II}$ = 0,05m για κατηγορία εδάφους II

z_{\min} = το ελάχιστο ύψος

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

Οι σχέσεις αυτές ισχύουν μόνο για τις περιπτώσεις που το έδαφος στη διεύθυνση του ανέμου έχει ομοιόμορφη τραχύτητα σε αρκετά μεγάλο μήκος, ώστε να μπορεί να θεωρηθεί σταθερή η κατηγορία εδάφους.

Σε περίπτωση αμφιβολίας ως προς την τραχύτητα του εδάφους, ιδίως σε περιπτώσεις όπως π.χ. όταν στις διάφορες διευθύνσεις γύρω από το κτίριο ισχύουν διαφορετικές τραχύτητες εδάφους ή όταν πάνω σε μια διεύθυνση αλλάζει η τραχύτητα του εδάφους, συνιστάται να λαμβάνεται η δυσμενέστερη, δηλαδή η μικρότερη.

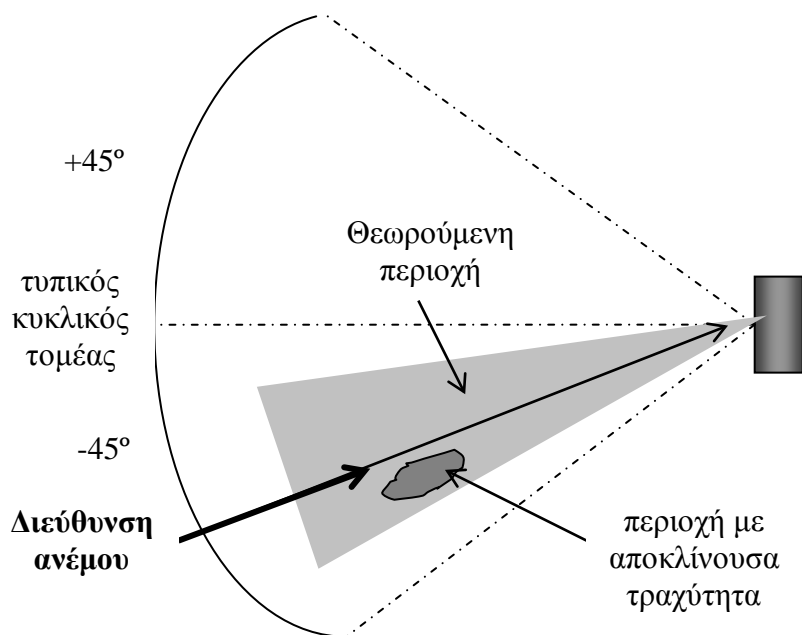
Επίσης, αν η απόσταση της κατασκευής από την πλησιέστερη αλλαγή της τραχύτητας του εδάφους είναι μικρότερη από 2km από το πιο λείο έδαφος με τραχύτητα I και 1km από το πιο λείο έδαφος με τραχύτητα II ή III, τότε στην ανάντι διεύθυνση λαμβάνεται η κατηγορία με την μικρότερη τραχύτητα.

Οι παράμετροι z_0 (m) και z_{\min} (m) δίνονται στον πίνακα που ακολουθεί συναρτήσει της τραχύτητας του εδάφους.

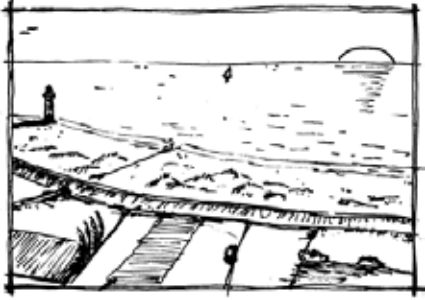

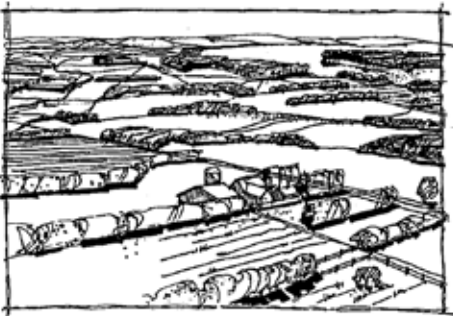
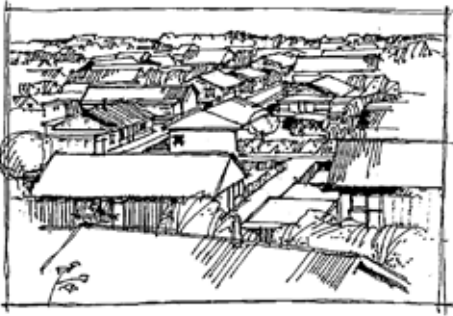
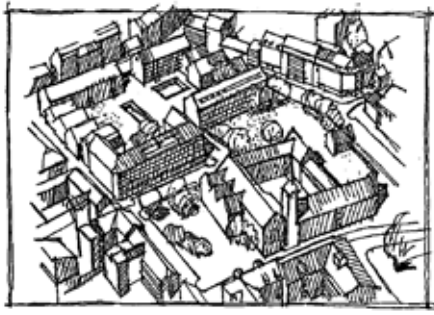
ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΕΔΑΦΟΥΣ		z_0 (m)	z_{min} (m)
0	Θάλασσα ή παράκτια περιοχή εκτεθειμένη σε ανοικτή θάλασσα	0,003	1
I	Λίμνες ή επίπεδες και οριζόντιες περιοχές με αμελητέα βλάστηση και χωρίς εμπόδια	0,01	1
II	Περιοχή με χαμηλή βλάστηση όπως γρασίδι και μεμονωμένα εμπόδια (δέντρα, κτίρια) με απόσταση τουλάχιστον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

Πίνακας 4.1 Κατηγορίες εδάφους και αντίστοιχες παράμετροι.

Στο σχήμα που ακολουθεί φαίνεται ότι η τραχύτητα του εδάφους που θα χρησιμοποιείται για μια δεδομένη διεύθυνση του ανέμου εξαρτάται από τις ανωμαλίες του εδάφους και την απόσταση με συνθήκες ομοιόμορφης τραχύτητας εδάφους σε ένα κυκλικό τομέα περί τη διεύθυνση του ανέμου. Μικρές περιοχές με διαφορετικές τραχύτητες εκτάσεως μικρότερης από το 10% της υπόψη περιοχής, μπορούν να αμεληθούν.



Σχήμα 4.3 Εκτίμηση τραχύτητας εδάφους.

	<p align="center">Κατηγορία εδάφους 0</p> <p>Θάλασσα, παράκτια περιοχή εκτεθειμένη σε ανοικτή θάλασσα.</p>
	<p align="center">Κατηγορία εδάφους I</p> <p>Λίμνες ή περιοχή με αμελητέα βλάστηση και χωρίς εμπόδια.</p>
	<p align="center">Κατηγορία εδάφους II</p> <p>Περιοχή με χαμηλή βλάστηση όπως γρασίδι και μεμονωμένα εμπόδια (δέντρα, κτίρια) με απόσταση τουλάχιστον 20 φορές το ύψος των εμποδίων.</p>
	<p align="center">Κατηγορία εδάφους III</p> <p>Περιοχή με κανονική κάλυψη από βλάστηση ή από κτίρια ή από μεμονωμένα εμπόδια με μέγιστη απόσταση το πολύ 20 φορές το ύψος των εμποδίων (χωριά, προάστια, μόνιμα δάση).</p>
	<p align="center">Κατηγορία εδάφους IV</p> <p>Περιοχή στην οποία τουλάχιστον το 15% της επιφάνειας καλύπτεται με κτίρια των οποίων το μέσο ύψος ξεπερνά τα 15m.</p>

Σχήμα 4.4 Απεικονίσεις της τραχύτητας κάθε κατηγορίας εδάφους.

4.4.2 Υπολογισμός συντελεστή αναγλύφου $c_i(z)$

Ο συντελεστής αναγλύφου είναι μια παράμετρος που λαμβάνει υπόψη την αύξηση της μέσης ταχύτητας του ανέμου που παρατηρείται σε κορυφές των λόφων ή σε κοιλάδες και χαράδρες και ορίζεται ως ο λόγος της μέσης ταχύτητας $v_m(z)$, στην πλαγιά ή την κορυφή του λόφου προς την ταχύτητα στην βάση του λόφου $v_{mf}(z)$ σε επίπεδο έδαφος.

Η μεγαλύτερη αύξηση των ταχυτήτων του ανέμου συμβαίνει κοντά στην κορυφή της πλαγιάς και εκφράζεται μέσω του συντελεστή αυτού, ο οποίος ισούται με :

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

Ο συντελεστής αναγλύφου προσδιορίζεται από τις ακόλουθες σχέσεις :

$$\begin{array}{lll} c_t = 1 & \text{για} & \Phi < 0,05 \\ c_t = 1 + 2*s*\Phi & \text{για} & 0,05 < \Phi < 0,3 \\ c_t = 1 + 0,6*s & \text{για} & \Phi > 0,3 \end{array}$$

όπου :

s = συντελεστής τοπογραφικής θέσης, που προκύπτει από τα σχήματα 4.4 & 4.5 συναρτήσει των x/L_e , x/L_u , x/L_d και z/L_e .

Φ = η κλίση προς την προσήνεμη πλευρά ($\Phi = H / L_u$)

L_u = το πραγματικό μήκος της προσήνεμης πλαγιάς

L_e = το ενεργό μήκος προς την προσήνεμη πλαγιά που προσδιορίζεται στον πίνακα 4.2

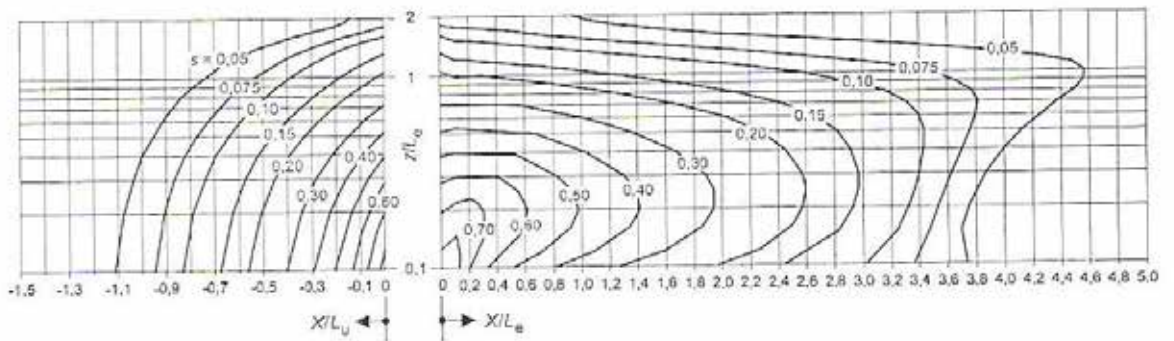
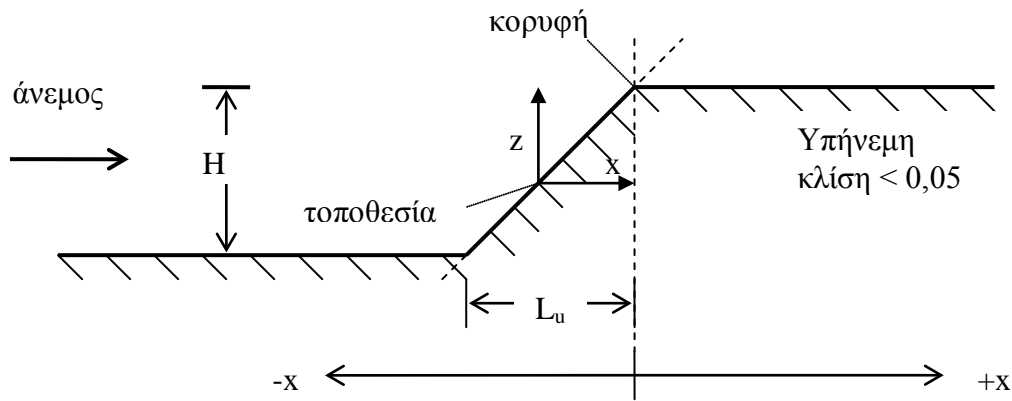
H = το ενεργό ύψος της εδαφικής ανωμαλίας

x = η οριζόντια απόσταση της τοποθεσίας από την κορυφή του λόφου

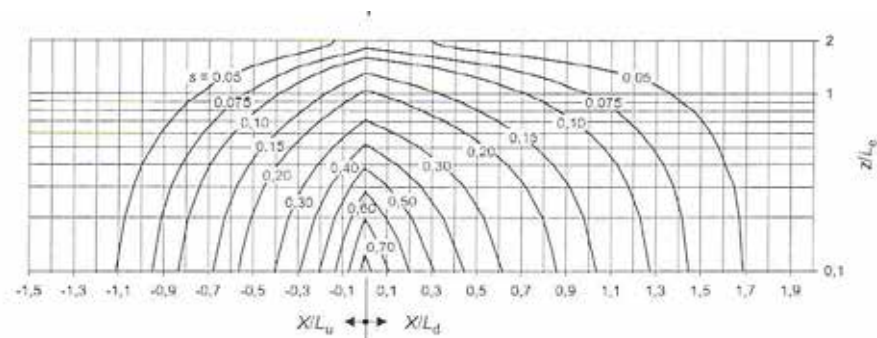
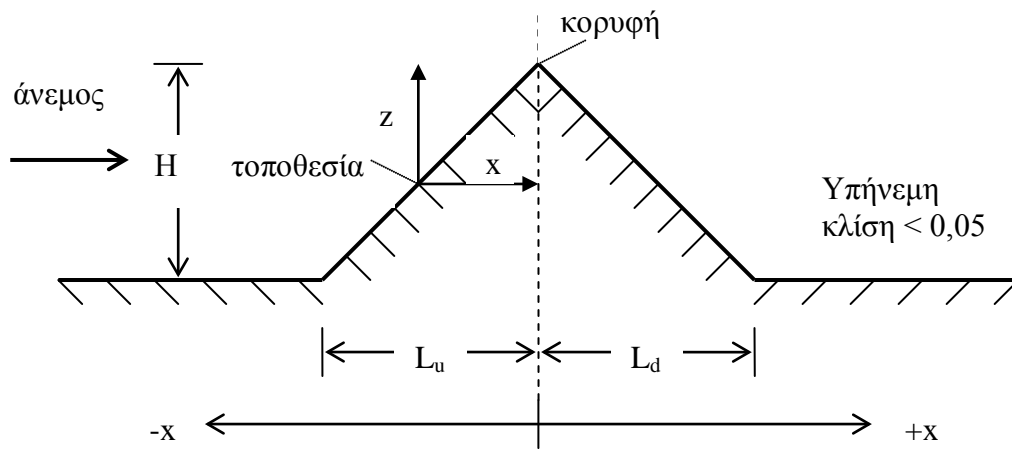
z = η κατακόρυφη απόσταση της τοποθεσίας από την επιφάνεια του εδάφους

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

Πίνακας 4.2 Τιμές του ενεργού ύψους L_e



Σχήμα 4.5 Συντελεστής s για γκρεμούς και εξάρσεις.



Σχήμα 4.6 Συντελεστής s για λόφους και κορυφές.

Σε κοιλάδες μπορούμε να λαμβάνουμε $c_0 = 1$, εάν δεν αναμένεται επιτάχυνση της πνοής του ανέμου λόγω της διαμόρφωσης του περιβάλλοντος χώρου.

4.4.3 Γειτονικές κατασκευές

Σε περίπτωση κτιρίου με ύψος μεγαλύτερο από το διπλάσιο του μέσου ύψους των γειτονικών κατασκευών, τότε ο σχεδιασμός κάθε μιας από αυτές τις κατασκευές μπορεί να βασιστεί στην πίεση ταχύτητας αιχμής σε ύψος z_n πάνω από το έδαφος.

4.5 Δυναμικός συντελεστής $c_s c_d$

4.5.1 Γενικά

Για να υπολογίσουμε τις δυνάμεις του ανέμου πρέπει να υπολογίσουμε τον δυναμικό συντελεστή $c_s c_d$. Ο συντελεστής αυτός αποτελείται από δυο επιμέρους παραμέτρους, την παράμετρο μεγέθους c_s και την δυναμική παράμετρο c_d . Ο συντελεστής c_s εισάγεται μιας και η πίεση αιχμής δεν αναπτύσσεται ταυτόχρονα σε όλη την προσβαλλόμενη επιφάνεια, ενώ ο συντελεστής c_d , για να ληφθεί υπόψη η δυναμική απόκριση της κατασκευής.

Ο δυναμικός συντελεστής εξαρτάται από τον τύπο της κατασκευής (κατασκευή από σκυρόδεμα ή χάλυβα) και από το ύψος και το πλάτος της. Χρησιμοποιείται όταν υπολογίζονται συνολικά οι δυνάμεις επί της κατασκευής και κυρίως εφαρμόζεται στις πιέσεις επί των εξωτερικών επιφανειών πολλαπλασιάζοντας τους συντελεστές εξωτερικής πίεσης c_{pe} αλλά και στις συνολικές δυνάμεις πολλαπλασιάζοντας τους συντελεστές δύναμης.

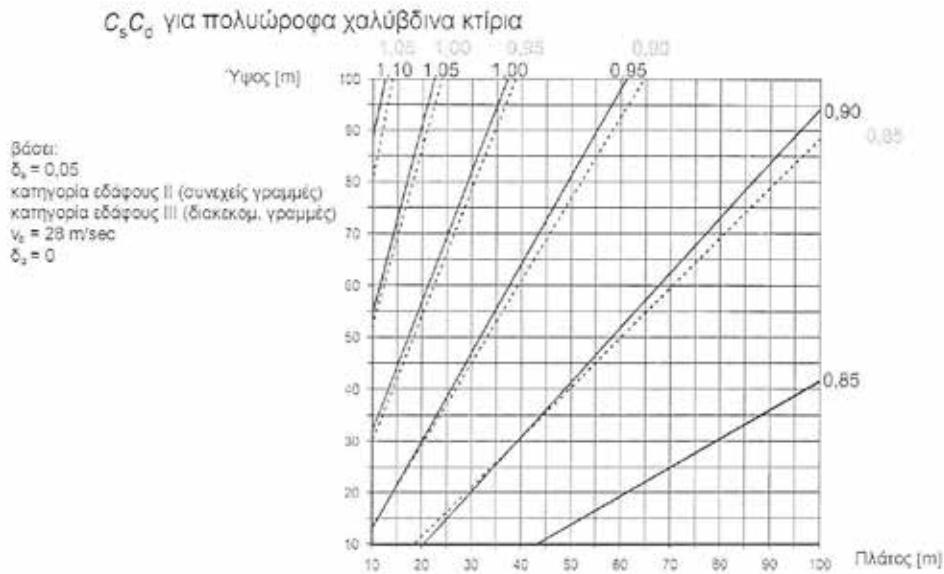
Στην περίπτωση όπου η υπό εξέταση κατασκευή δεν είναι μεγάλων διαστάσεων ή τα δυναμικά φαινόμενα δεν είναι σημαντικά, οι δυο αυτοί συντελεστές λαμβάνονται ως ένας ενιαίος συντελεστής για τον οποίο δίνεται κάποια τιμή, συνήθως ίση με 1,00.

Γενικά ισχύουν τα εξής :

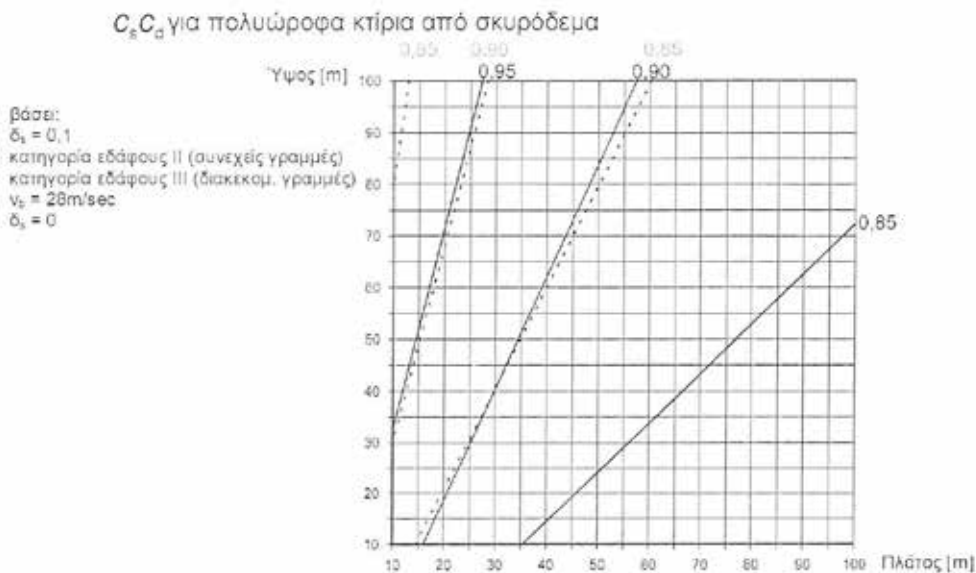
Είδος κατασκευής	$c_s c_d$
Κτίρια με ύψος μικρότερο από 15m.	1,00
Στοιχεία πλευρικής επένδυσης & στέγης με ιδιοσυχνότητα μεγαλύτερη των 5Hz.	1,00
Κτίρια με σκελετό και τοίχους με ύψος μικρότερο από 100m και μικρότερο από το 4πλάσιο της διάστασης κατά την διεύθυνση του ανέμου.	1,00

Καπνοδόχοι κυκλικής διατομής με ύψος μικρότερο από 60m και από το 6,5πλάσιο της διαμέτρου.	1,00
Έργα πολιτικού μηχανικού (εκτός από γέφυρες, καπνοδόχους και κτίρια που αναφέρθηκαν παραπάνω).	Υπολογισμός (βλ. §4.5.2)

Πίνακας 4.3 Υπολογισμός δυναμικού συντελεστή $c_s c_a$ ανάλογα με το είδος της κατασκευής.

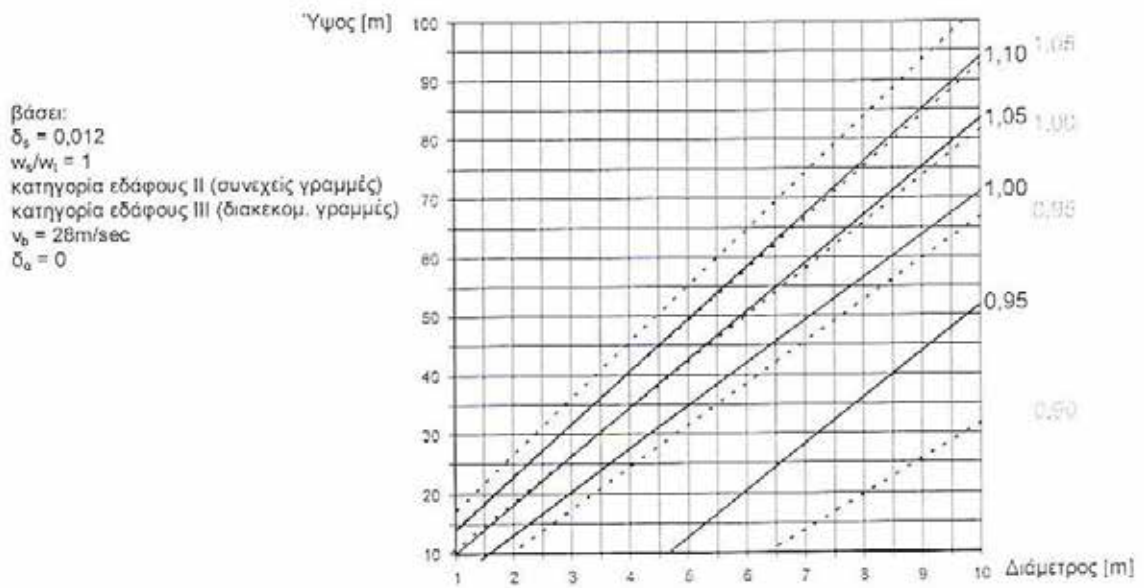


Σχήμα 4.7 $c_s c_a$ για πολυώροφα χαλύβδινα κτίρια.



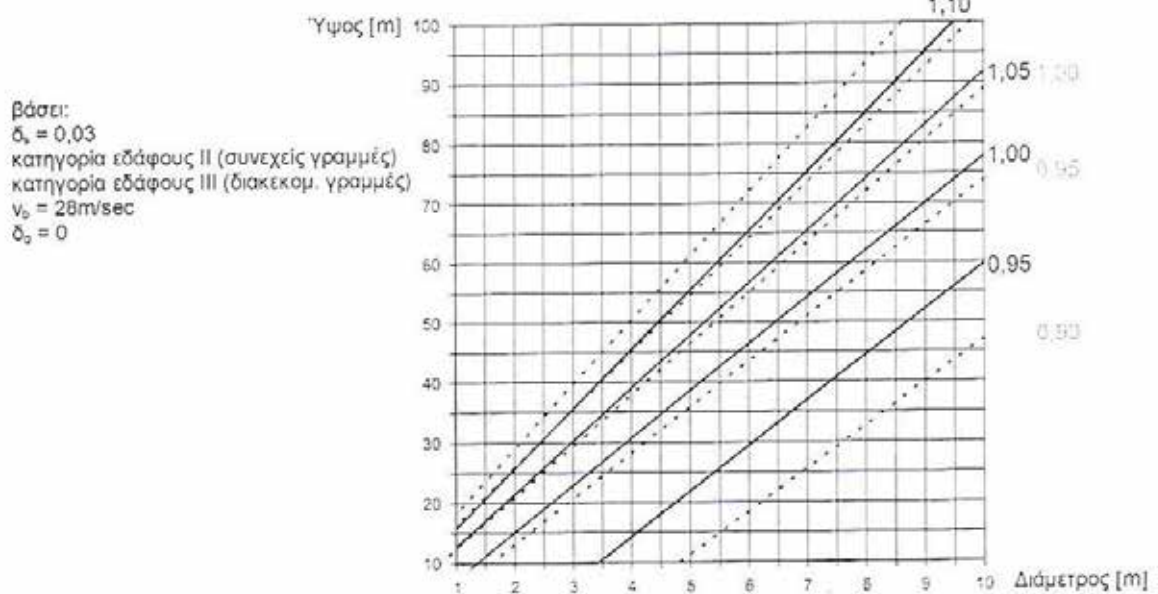
Σχήμα 4.8 $c_s c_a$ για πολυώροφα κτίρια από σκυρόδεμα.

$C_s C_d$ για χαλύβδινες καπνοδόχους χωρίς επένδυση



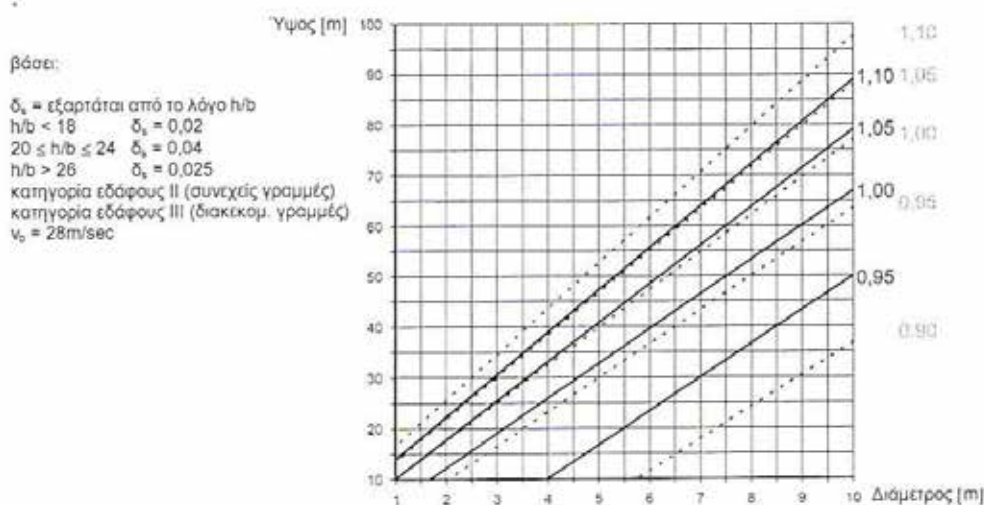
Σχήμα 4.9 $C_s C_d$ για χαλύβδινες καπνοδόχους χωρίς επένδυση.

$C_s C_d$ για καπνοδόχους από σκυρόδεμα χωρίς επένδυση



Σχήμα 4.10 $C_s C_d$ για καπνοδόχους από σκυρόδεμα χωρίς επένδυση.

$C_s C_d$ για χαλύβδινες καπνοδόχους με επένδυση



Σχήμα 4.11 $C_s C_d$ για χαλύβδινες καπνοδόχους με επένδυση.

4.5.2 Υπολογισμός $C_s C_d$

Για τις περιπτώσεις όπου απαιτείται ο υπολογισμός του δυναμικού συντελεστή, χρησιμοποιείται η εξής σχέση :

$$C_s C_d = \frac{1 + 2 * k_p * l_v(z_e) * \sqrt{(B^2 + R^2)}}{1 + 7 * l_v(z_e)}$$

όπου:

k_p = ο συντελεστής αιχμής και ορίζεται ως ο λόγος της μέγιστης τιμής του κυμαινόμενου μέρους της απόκρισης προς την τυπική του απόκλιση.

l_v = η ένταση στροβιλισμού.

z_e = το ύψος αναφοράς, βλ. σχ.4.6. Σε περιπτώσεις που αυτό δεν εφαρμόζεται, το z_e λαμβάνεται ίσο με το ύψος της κατασκευής.

B^2 = ο συντελεστής υποβάθρου ο οποίος λαμβάνει υπόψη την έλλειψη πλήρους συσχέτισης των πιέσεων στην επιφάνεια κατασκευής.

R^2 = ο συντελεστής απόκρισης συντονισμού ο οποίος λαμβάνει υπόψη το στροβιλισμό σε συντονισμό με την ιδιομορφή ταλάντωσης της κατασκευής.

Σημειώνεται ότι η σχέση αυτή χρησιμοποιείται μόνο εάν η κατασκευή αντιστοιχεί σε μία εκ των γενικών μορφών που απεικονίζονται στο σχ. 4.6 και εάν η ταλάντωση κατά την διεύθυνση του ανέμου βάσει της θεμελιώδους ιδιομορφής είναι σημαντική και αυτή η ιδιομορφή έχει σταθερό πρόσημο.

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, ο συντελεστής $C_s C_d$ αποτελείται από δύο επιμέρους παραμέτρους οι οποίοι, αν χρειαστεί να υπολογιστούν ξεχωριστά, υπολογίζονται από τις σχέσεις :

$$c_s = [1+7*\ell_v(z_e)\sqrt{B^2}] / [1+7*\ell_v(z_e)]$$

$$c_d = [1+2*k_p*\ell_v(z_e)*\sqrt{(B^2+R^2)}] / [1+7*\ell_v(z_e)*\sqrt{B^2}]$$

Η ένταση στροβιλισμού ℓ_v υπολογίζεται σύμφωνα με την §4.2.5.

Ο συντελεστής υποβάθρου B^2 μπορεί να λαμβάνεται ίσος με 1,00 αλλά μπορεί και να υπολογιστεί από την σχέση :

$$B^2 = \frac{1}{1+0,9* \left[\frac{b+h}{L(z_e)} \right]^{0,63}}$$

όπου:

b = το πλάτος της κατασκευής

h = το ύψος της κατασκευής

$L(z_e)$ = το μήκος στροβιλισμού σε ύψος αναφοράς z_e , όπως αυτό ορίζεται στο σχήμα 4.6.

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

$$\text{Για } z \geq z_{\min} \quad \text{P} \quad L(z) = L_t * (z/z_t)^\alpha$$

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

Όπου:

L_t = μήκος αναφοράς που ισούται με 300m

z_t = ύψος αναφοράς που ισούται με 200m

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

z_{\min} = το ελάχιστο ύψος που δίνεται στον πίνακα 4.1

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

$$R^2 = (\pi/2\delta) * S_L(z_e, n_{1,x}) * R_h(\eta_h) * R_b(\eta_b)$$

Όπου:

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

S_L = η αδιάστατη συνάρτηση φάσματος πυκνότητας και προκύπτει από την σχέση :

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

και:

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

$$f_L = \frac{n * L(z)}{v_m(z)}$$

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

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

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

για:

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

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

Ο συντελεστής αιχμής k_p υπολογίζεται από την σχέση :

$$k_p = \max \{ \sqrt{[2 * \ln(v * T)] + 0,6} / [\sqrt{2 * \ln(v * T)}], 3 \}$$

όπου:

T = η μέση διάρκεια της μέσης ταχύτητας ανέμου και ισούται με
 $T = 600s$.

v = η συχνότητα που ισούται με :

$$v = n_{1,x} \sqrt{[R^2 / (B^2 + R^2)]}, \quad v \geq 0,08 \text{ Hz}$$

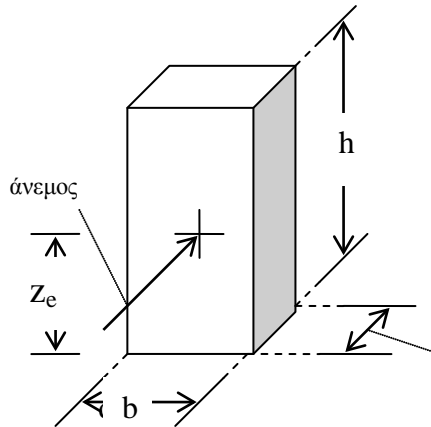
με :

$n_{1,x}$ = η ιδιοσυχνότητα της κατασκευής που υπολογίζεται από το Παράρτημα F του preren 1991-1-4.

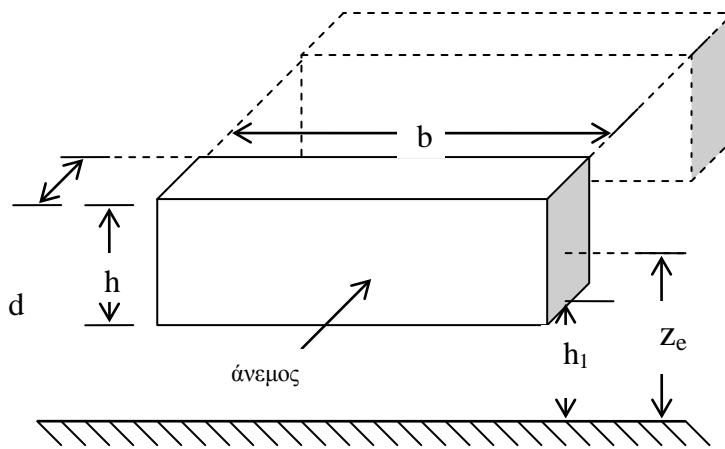
Σημειώνεται ότι ο περιορισμός του $v \geq 0,08 \text{ Hz}$ ισχύει για συντελεστή αιχμής $k_p = 3,0$.

Σημειώνεται ότι, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ο στροβιλισμός που δημιουργείται σε γειτονικές κατασκευές, όπως κτίρια με λόγο $h/d > 4$ και καπνοδόχους με λόγο $h/d > 6,5$ που βρίσκονται σε δίδυμη ή ομαδική διάταξη. Αυτό ισχύει μόνο αν η απόσταση μεταξύ των δυο κτιρίων ή καπνοδόχων είναι μεγαλύτερη από το 25πλάσιο της εγκάρσιας, ως προς τον άνεμο, διάστασης του προσήνεμου κτιρίου ή της καπνοδόχου αλλά και αν η ιδιοσυχνότητα του υπήνεμου κτιρίου ή της καπνοδόχου είναι μεγαλύτερη από 1 Hz.

Κατακόρυφες
κατασκευές
π.χ. κτίρια



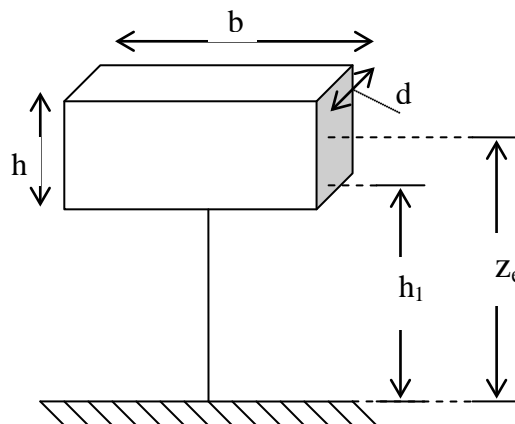
$$z_e = 0.6 \cdot h \geq z_{\min}$$



Παράλληλες κατασκευές
(οριζόντιες) π.χ. δοκοί

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

Σημειακές
κατασκευές
π.χ. πινακίδες
σήμανσης



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

Σχήμα 4.12 Γενικές μορφές κατασκευών που καλύπτονται από τη διαδικασία σχεδιασμού.

4.6 Υπολογισμός αεροδυναμικών συντελεστών πίεσης και δύναμης.

Σε αυτήν την παράγραφο παρουσιάζονται οι αεροδυναμικοί συντελεστές για διάφορες κατασκευές, οι οποίοι εισάγονται στις σχέσεις που αναφέρθηκαν παραπάνω, ώστε να υπολογιστούν οι τελικές πιέσεις επί των επιφανειών των κατασκευών αλλά και οι τελικές δυνάμεις ανέμου σε αυτές.

Ειδικότερα, οι συντελεστές αυτοί αναφέρονται στους παρακάτω τύπους κατασκευών :

- § Κτίρια
- § Στέγαστρα
- § Διαχωριστικοί τοίχοι, φράχτες, πινακίδες
- § Δομικά στοιχεία ορθογωνικής διατομής
- § Δομικά στοιχεία με οξείες ακμές
- § Κυκλικοί κύλινδροι
- § Σφαίρες
- § Δικτυώματα
- § Γέφυρες
- § Σημαίες

4.6.1 Κτίρια

4.6.1.1 Γενικά

Οι συντελεστές εξωτερικής πίεσης c_{pe} , που εφαρμόζονται στα κτίρια, εξαρτώνται από τις διαστάσεις της φορτιζόμενης επιφάνειας A , η οποία μεταφέρει στο εξεταζόμενο στοιχείο της κατασκευής τη δράση της ανεμοπίεσης και προκαλεί την αντίστοιχη καταπόνησή του.

Έτσι λοιπόν έχουμε :

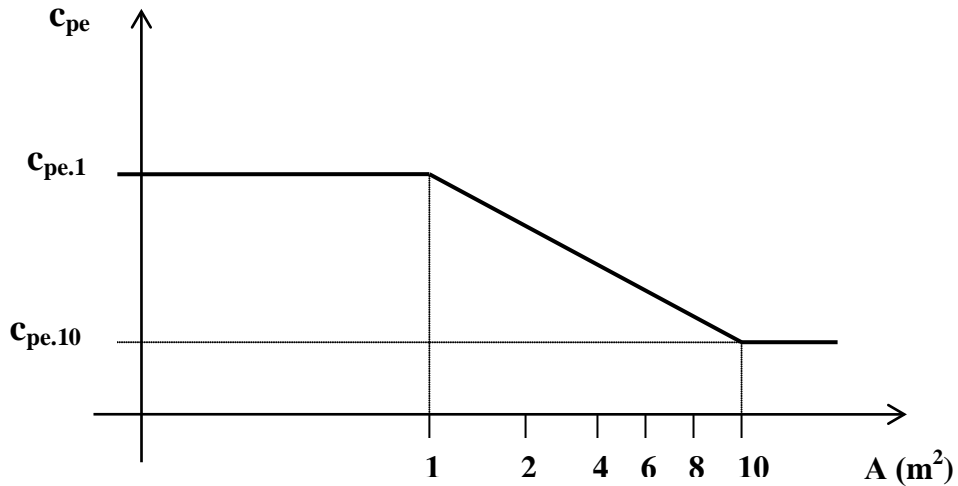
$$\text{Για } A \leq 1\text{m}^2 \quad \text{▷ } c_{pe} = c_{pe.1}$$

$$\text{Για } 1\text{m}^2 < A < 10\text{m}^2 \quad \text{▷ } c_{pe} = c_{pe.1} + (c_{pe.10} - c_{pe.1}) \log_{10} A$$

$$\text{Για } A \geq 10\text{m}^2 \quad \text{▷ } c_{pe} = c_{pe.10}$$

Όπου $c_{pe.1}$ και $c_{pe.10}$ οι συντελεστές για επιφάνεια 1m^2 και 10m^2 αντίστοιχα.

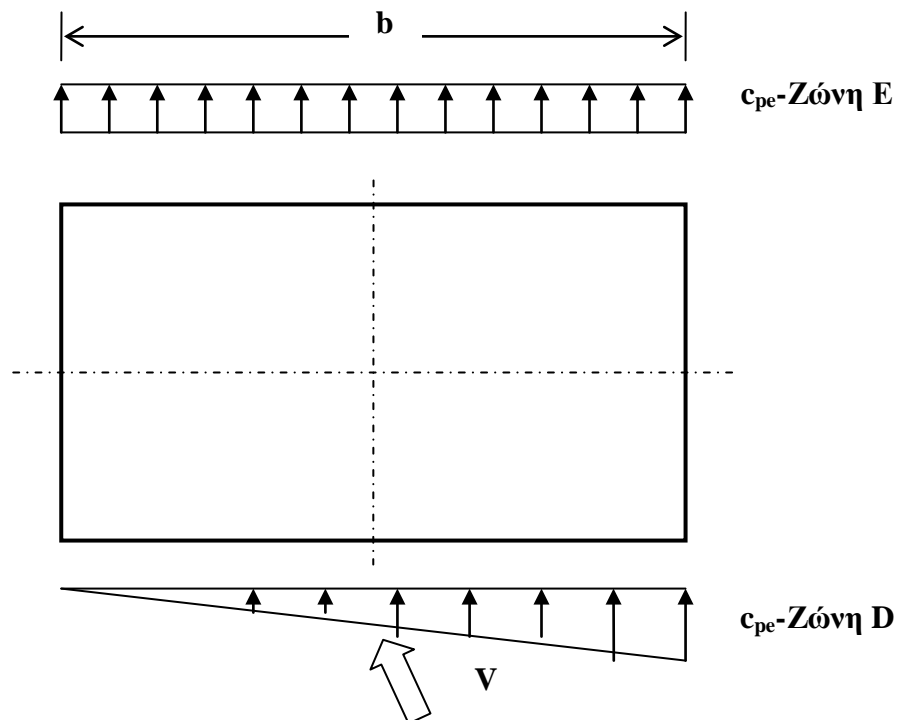
Στο σχήμα 4.7 φαίνεται η γραφική απεικόνιση της μεταβολής της πίεσης c_{pe} συναρτήσει της φορτιζόμενης επιφάνειας.



Σχήμα 4.13 Γραφική απεικόνιση της μεταβολής του συντελεστή εξωτερικής πίεσης σε κτίρια συναρτήσει της φορτιζόμενης επιφάνειας A .

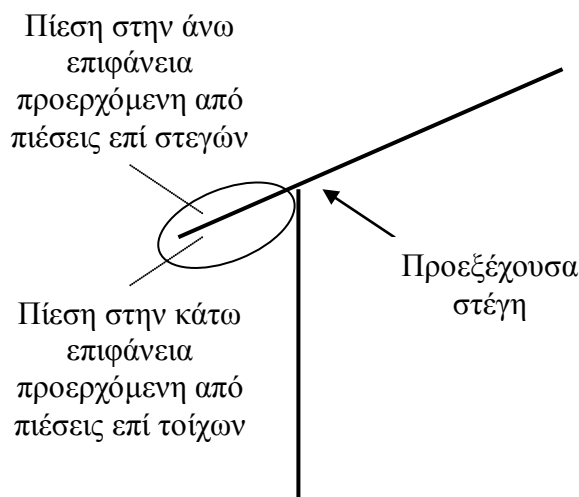
Σημειώνεται ότι, οι πίνακες με τους συντελεστές που θα ακολουθήσουν παρακάτω, αναφέρονται σε διευθύνσεις του ανέμου κατά γωνίες 0° , 90° ή 180° , έχοντας προκύψει για ένα εύρος μεταβολής της γωνίας αυτής κατά $\pm 45^\circ$ ανά διεύθυνση και έτσι αντιπροσωπεύουν τις δυσμενέστερες πιέσεις που μπορεί να εμφανιστούν.

Για ορθογωνικές κατασκευές οι οποίες είναι ευαίσθητες σε στρεπτικές επιδράσεις, εφαρμόζεται η κατανομή των πιέσεων που φαίνεται στο σχήμα 4.8, ώστε να ληφθούν υπόψη οι στρεπτικές επιδράσεις λόγω ύπαρξης ανέμου υπό γωνία ή λόγω έλλειψης συσχέτισης μεταξύ των δυνάμεων του ανέμου που δρουν σε διαφορετικές θέσεις της κατασκευής.



Σχήμα 4.14 Κατανομή πιέσεων για να ληφθούν υπόψη στρεπτικές επιδράσεις.

Σε περίπτωση που έχουμε στέγες με προεξέχουσες γωνίες (βλ. σχήμα 4.9), η πίεση στην κάτω πλευρά της προεξέχουσας στέγης είναι ίση με την πίεση της ζώνης του κατακόρυφου τοίχου, (ο οποίος είναι άμεσα συνδεδεμένος με την στέγη) και η πίεση στην άνω πλευρά της είναι ίση με την πίεση της αντίστοιχης ζώνης της στέγης.



Σχήμα 4.15 Επεξήγηση των σχετικών πιέσεων για προεξέχουσες στέγες.

4.6.1.2 Κατακόρυφοι τοίχοι κτιρίων με ορθογωνική κάτοψη.

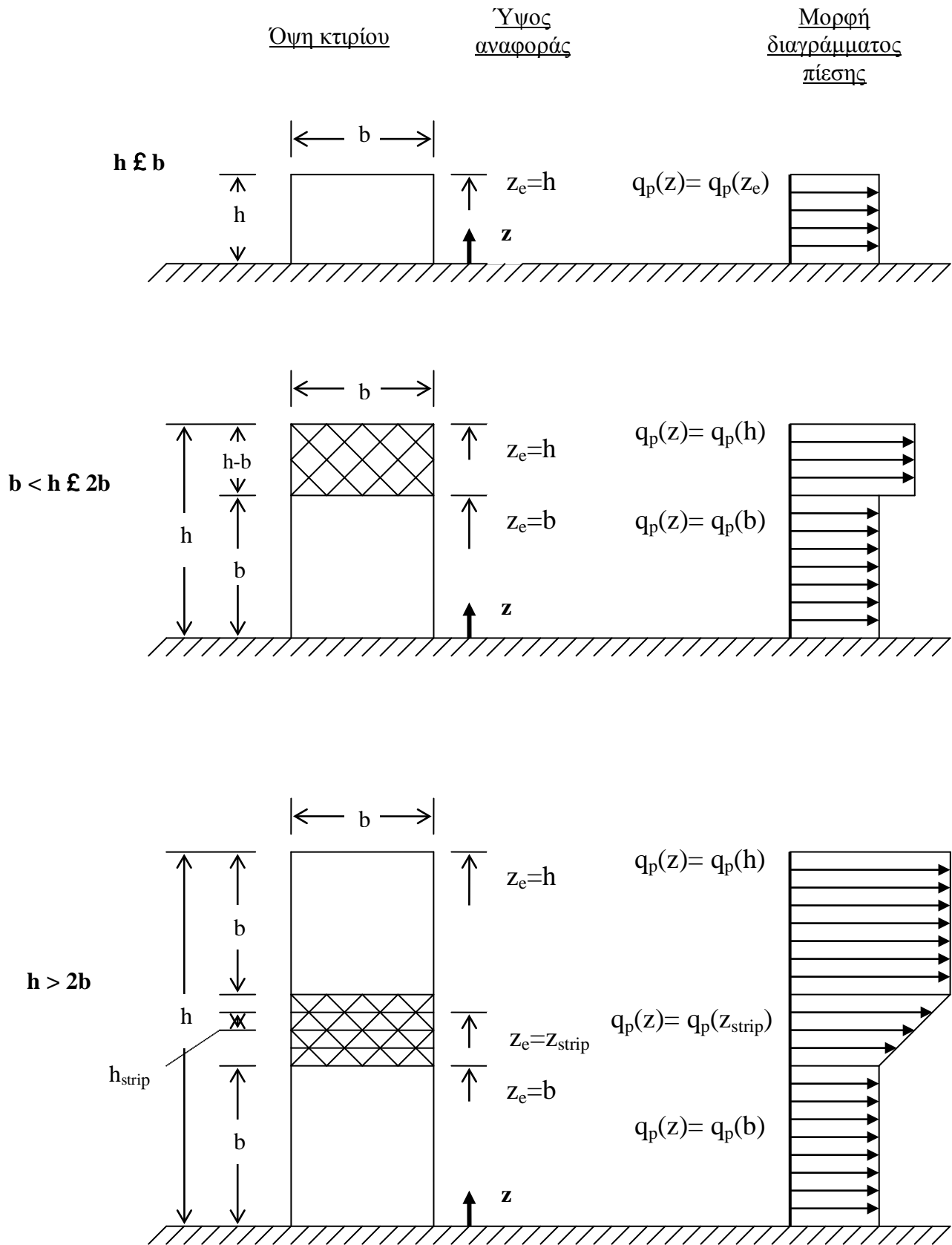
Στο σχήμα 4.10 που ακολουθεί, δίνεται ο τρόπος υπολογισμού του ύψους αναφοράς z_e για τους προσήνεμους κατακόρυφους τοίχους σε σχέση με τον λόγο ύψους / πλάτους (h/b) των τοίχων αυτών.

Έτσι, σύμφωνα με το σχήμα, τα κτίρια διακρίνονται σε τρεις περιπτώσεις:

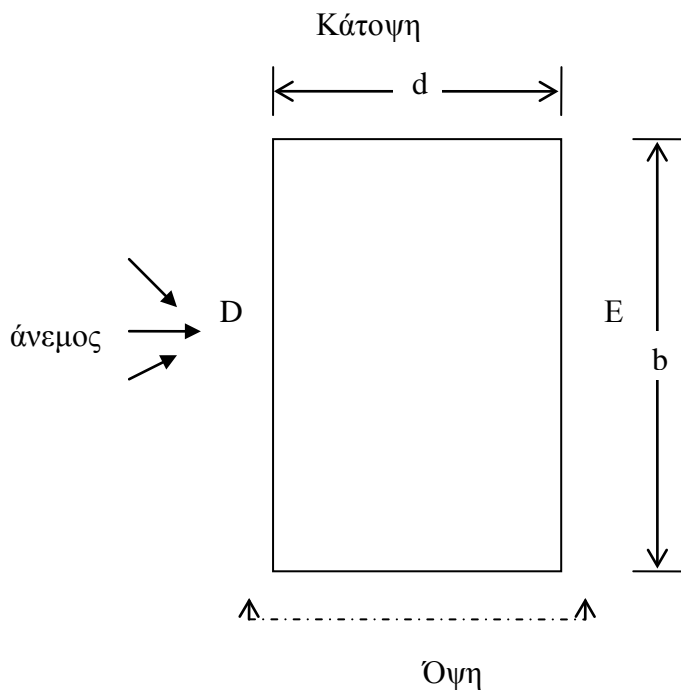
- § Για $h \leq b$ θεωρείται ότι το κτίριο αποτελείται από ένα τμήμα με ύψος $z_e = h$.
- § Για $b < h \leq 2b$ θεωρείται ότι το κτίριο αποτελείται από δύο τμήματα με ύψος $z_e = b$ για το χαμηλότερο και $z_e = h$ για το υπερκείμενο.
- § Για $h > 2b$ θεωρείται ότι το κτίριο αποτελείται από πολλά τμήματα, 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.

Στον πίνακα 4.4 που ακολουθεί δίνονται οι συντελεστές εξωτερικής πίεσης $c_{pe.1}$ και $c_{pe.10}$ για τους κατακόρυφους τοίχους που απεικονίζονται στο σχήμα 4.11.



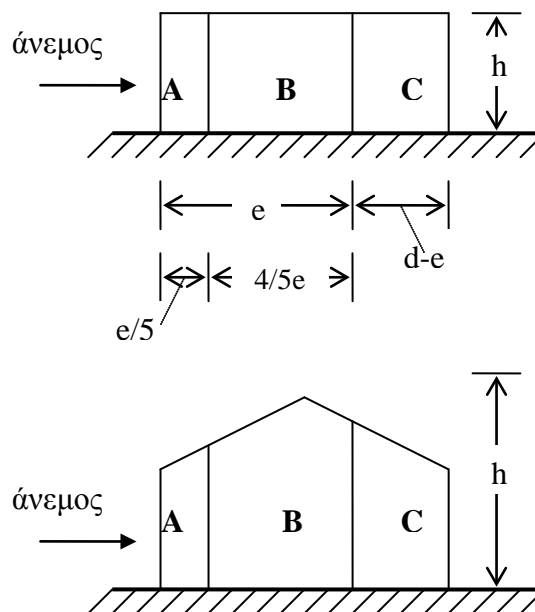
Σχήμα 4.16 Ύψος αναφοράς z_e συναρτήσει των h και b , και κατανομή των πιέσεων.



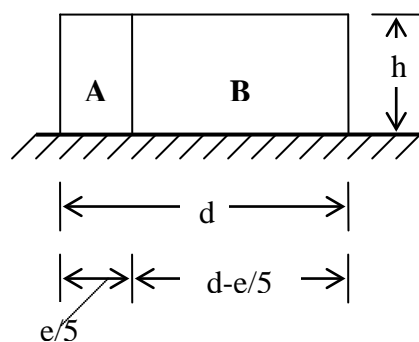
$$e = \min\{b, 2h\}$$

b = διάσταση εγκάρσια στον άνεμο

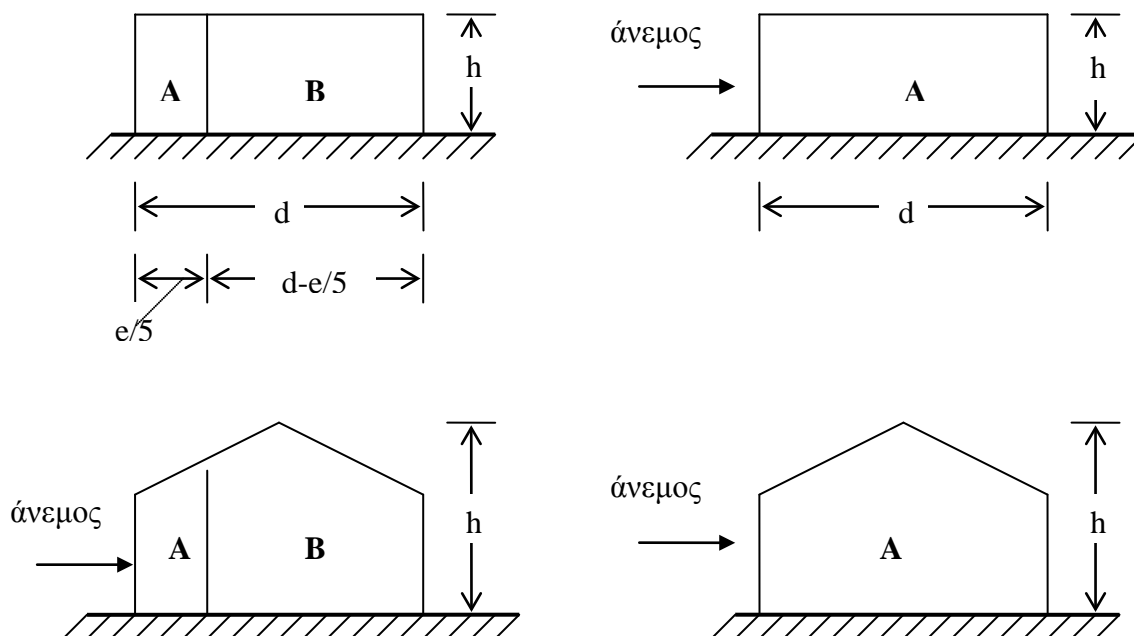
Όψη για $e < d$



Όψη για $e \geq d$



Όψη για $e \geq 5d$



Σχήμα 4.17 Ορισμός ζωνών για κατακόρυφους τοίχους.

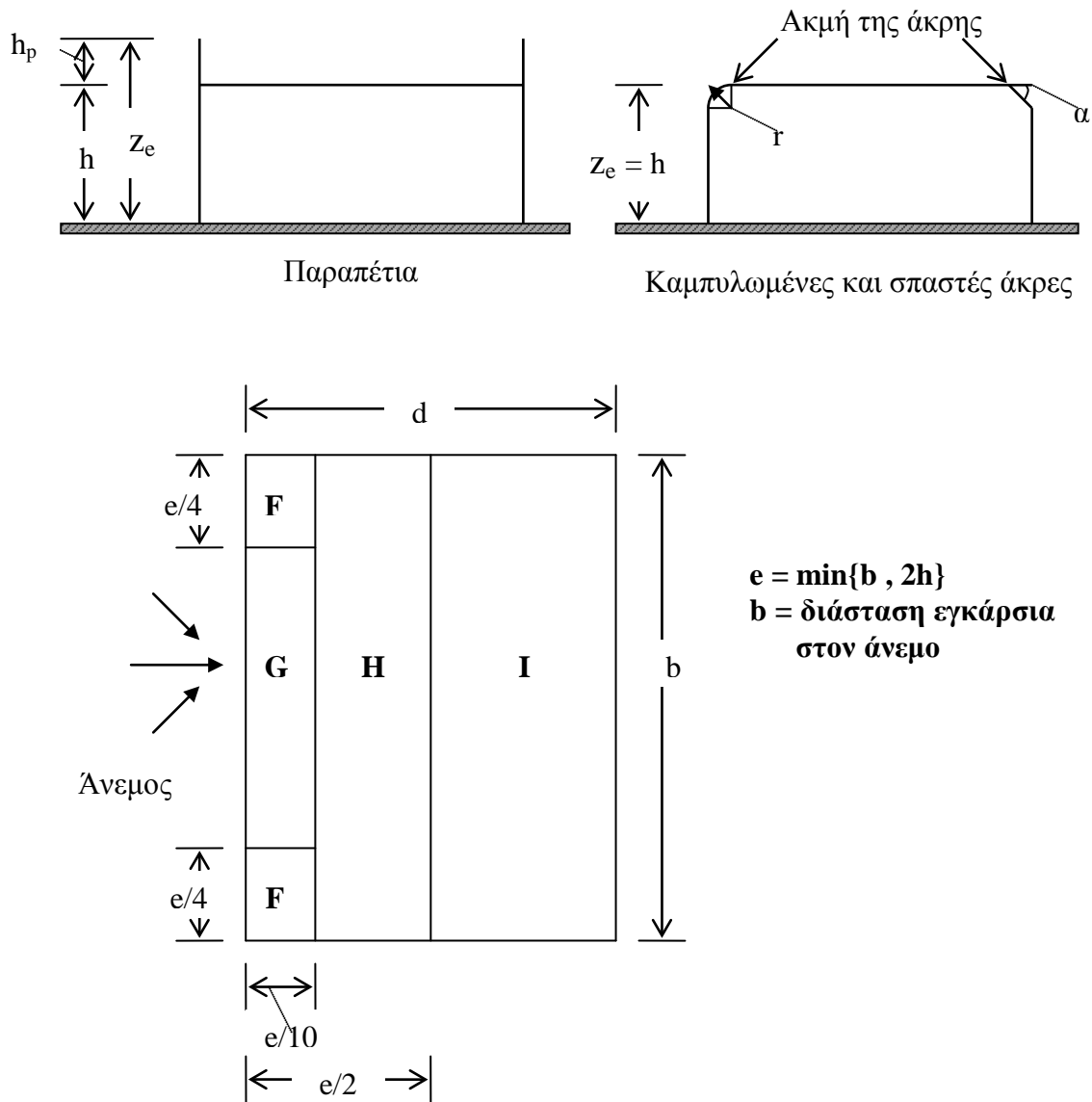
Ζώνη	Α		Β		C		D		E	
	$c_{pe.10}$	$c_{pe.1}$	$c_{pe.10}$	$c_{pe.1}$	$c_{pe.10}$	$c_{pe.1}$	$c_{pe.10}$	$c_{pe.1}$	$c_{pe.10}$	$c_{pe.1}$
5	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,7	
1	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,5	
£0,25	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,7	+1,0	-0,3	
Για ενδιάμεσες τιμές του λόγου h/d χρειάζεται γραμμική παρεμβολή.										

Πίνακας 4.4 Συντελεστές εξωτερικής πίεσης για κατακόρυφους τοίχους κτιρίων με ορθογωνική κάτοψη.

Σημείωση : σε περίπτωση που $h/d \geq 5$, η προκύπτουσα δύναμη πολλαπλασιάζεται με 1 , ενώ στην περίπτωση που $h/d < 1$, η προκύπτουσα δύναμη πολλαπλασιάζεται με 0,85. Για ενδιάμεσες τιμές, χρησιμοποιείται γραμμική παρεμβολή.

4.6.1.3 Επίπεδες στέγες και δώματα.

Επίπεδες στέγες θεωρούνται αυτές των οποίων η κλίση είναι μεταξύ $-5^\circ < \alpha < +5^\circ$ ως προς το οριζόντιο επίπεδο. Στο σχήμα 4.12 δίνεται ο τρόπος διαίρεσής της στέγης σε ζώνες και στον πίνακα 4.5 οι συντελεστές εξωτερικής πίεσης.



Σχήμα 4.18 Ορισμός ζωνών 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	
Καμπύλα 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	$\alpha=30^\circ$	-1,0	-1,5	-1,0	-1,5	-0,3		±0,2	
	$\alpha=45^\circ$	-1,2	-1,8	-1,3	-1,9	-0,4		±0,2	
	$\alpha=60^\circ$	-1,3	-1,9	-1,3	-1,9	-0,5		±0,2	

Πίνακας 4.5 Συντελεστές εξωτερικής πίεσης για επίπεδες στέγες.

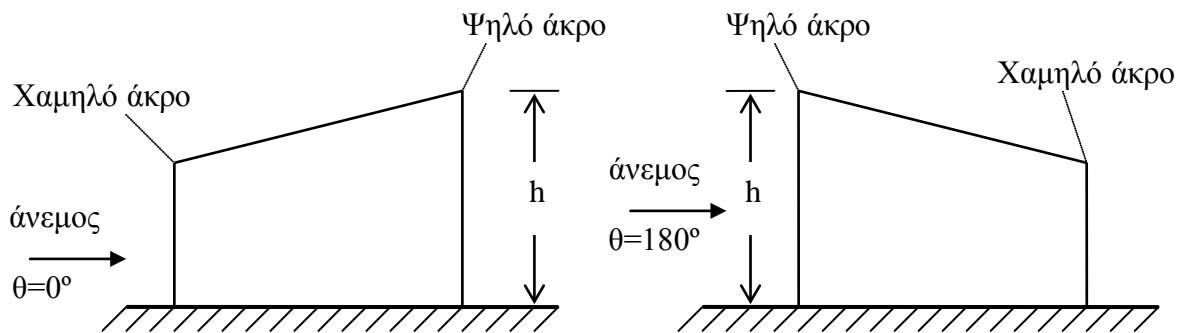
Παρατηρήσεις:

1. Για ενδιάμεσες τιμές των λόγων h_p/h & r/h σε στέγες με στηθαία ή καμπύλα άκρα, μπορεί να εφαρμοστεί γραμμική παρεμβολή.
2. Για ενδιάμεσες τιμές των 30° , 45° & 60° σε στέγες με κεκλιμένα άκρα, μπορεί να εφαρμοστεί γραμμική παρεμβολή. Στην περίπτωση που $\alpha > 60^\circ$, γίνεται γραμμική παρεμβολή μεταξύ των τιμών για $\alpha = 60^\circ$ και των τιμών για αιχμηρά άκρα.
3. Στην ζώνη I της στέγης πρέπει να λαμβάνονται υπόψη και οι δύο τιμές των συντελεστών (θετική και αρνητική).
4. Στην περίπτωση του κεκλιμένου άκρου, η πίεση που ασκείται σε αυτό υπολογίζεται σύμφωνα με την παράγραφο § 4.6.1.5 και τον πίνακα 4.7 για δικλινείς στέγες και ανάλογα με την γωνία κλίσης του.
5. Στην περίπτωση του καμπύλου άκρου, οι συντελεστές εξωτερικής πίεσης προκύπτουν από γραμμική παρεμβολή μεταξύ των τιμών που αντιστοιχούν στον τοίχο και στη στέγη.

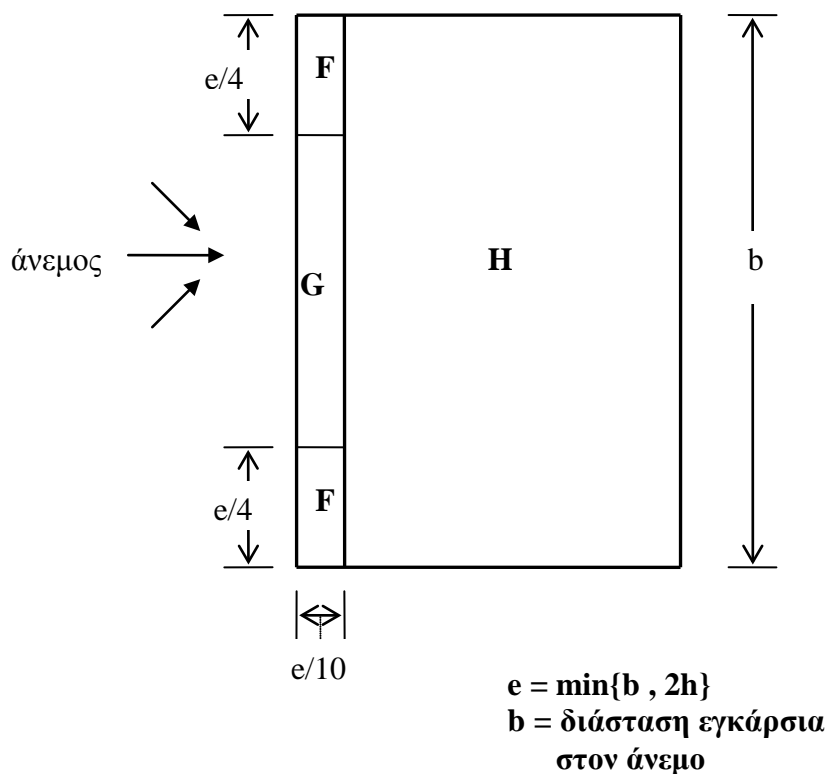
4.6.1.4 Μονοκλινείς στέγες.

Στο σχήμα 4.13 δίνεται ο τρόπος υποδιαίρεσης των μονοκλινών στεγών σε ζώνες, ενώ στον πίνακα 4.6 οι συντελεστές εξωτερικής πίεσης.

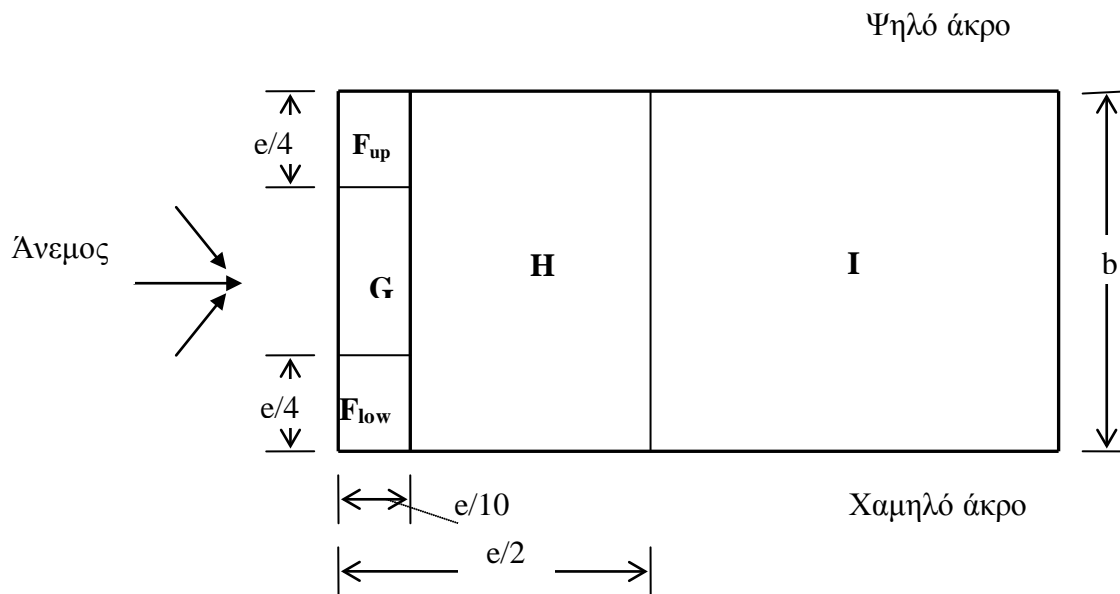
A) Γενικά



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



Γ) Διεύθυνση ανέμου $\theta=90^\circ$



Σχήμα 4.19 Ορισμός ζωνών για μονοκλινείς στέγες.

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	-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	-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	-0,0	-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	+0,7	+0,7	+0,7	-0,5	-1,0	-0,5		-0,5	
75°	+0,8	+0,8	+0,8	+0,8	+0,8	+0,8	-0,5	-1,0	-0,5		-0,5	

Πίνακας 4.6α Συντελεστές εξωτερικής πίεσης για μονοκλινείς στέγες.

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	

Πίνακας 4.6β Συντελεστές εξωτερικής πίεσης για μονοκλινείς στέγες.

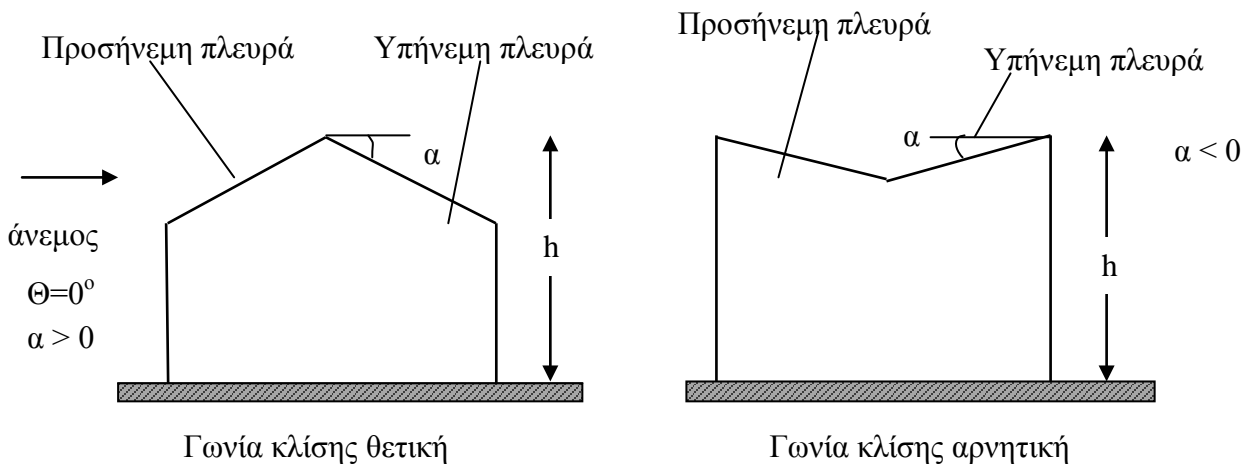
Σημείωση : στην περίπτωση που $\Theta=0^\circ$, δίνονται και οι θετικές και οι αρνητικές τιμές μιας και η πίεση μεταβάλλεται γρήγορα μεταξύ τους για γωνίες κλίσης $\alpha = +5^\circ$ έως $\alpha = +45^\circ$. Για αυτές τις στέγες γίνονται δύο διαφορετικές παραδοχές, μια με τις θετικές τιμές και μία με τις αρνητικές τιμές καθώς η ανάμιξή τους στην ίδια επιφάνεια δεν επιτρέπεται.

Για τις ενδιάμεσες γωνίες κλίσης, μπορεί να εφαρμοστεί γραμμική παρεμβολή μεταξύ τιμών του ίδιου πρόσημου.

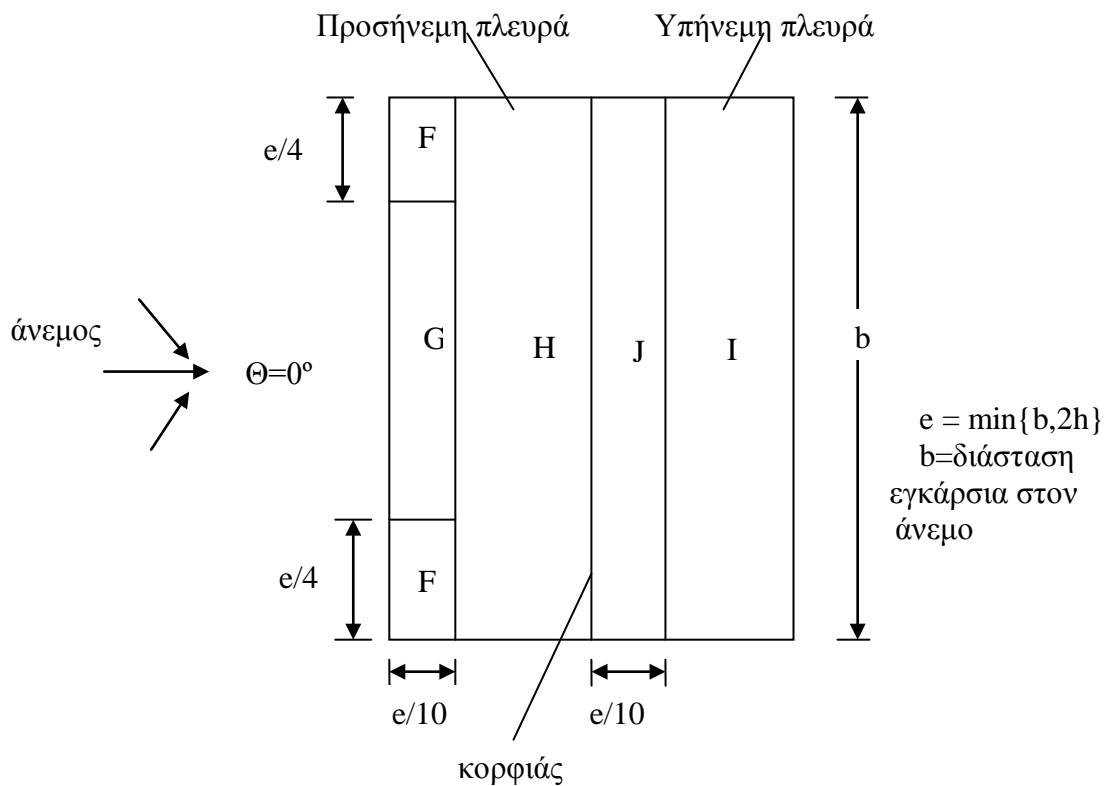
4.6.1.5 Δίκλινες στέγες.

Στο σχήμα 4.14 δίνεται ο τρόπος υποδιαίρεσης των δίκλινων στεγών σε ζώνες, ενώ στους πίνακες 4.7α και 4.7β οι συντελεστές εξωτερικής πίεσης.

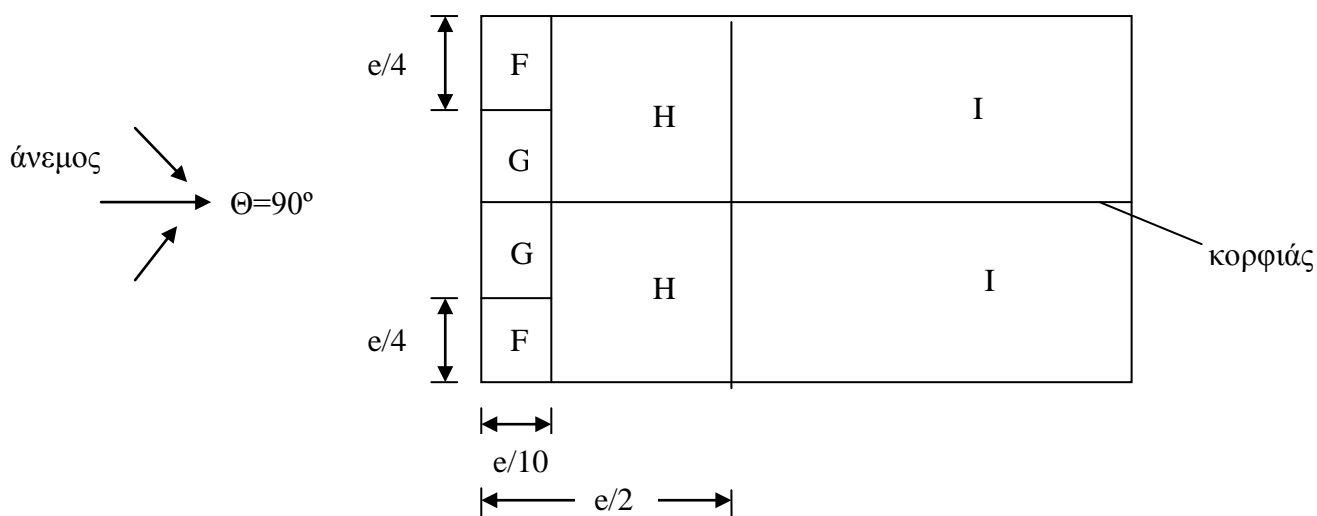
Α) Γενικά



Β) Διεύθυνση ανέμου $\theta = 0^\circ$



Γ) Διεύθυνση ανέμου $\theta = 90^\circ$



Σχήμα 4.20 Ορισμός ζωνών για δικλινείς στέγες.

Γωνία κλίσης α	Ζώνη για διεύθυνση ανέμου $\theta = 0^\circ$									
	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	

Πίνακας 4.7α Συντελεστές εξωτερικής πίεσης για δικλινείς στέγες.

Γωνία Κλίσης α	Ζώνη για διεύθυνση ανέμου $\theta = 90^\circ$							
	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	-0,8	1,0	-0,5	

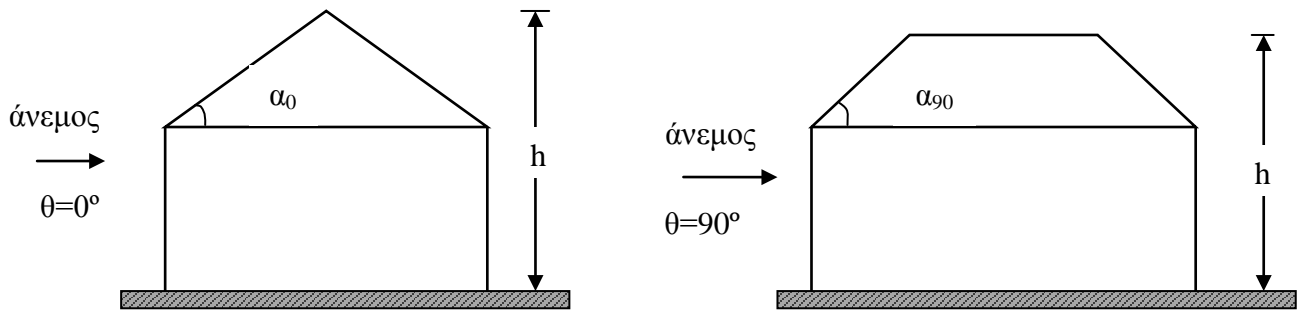
Πίνακας 4.7β Συντελεστές εξωτερικής πίεσης για δικλινείς στέγες.

Σημείωση : στην περίπτωση που $\Theta=0^\circ$, δίνονται και οι θετικές και οι αρνητικές τιμές μιας και η πίεση μεταβάλλεται γρήγορα μεταξύ τους για γωνίες κλίσης $\alpha = -5^\circ$ έως $\alpha = +45^\circ$. Για αυτές τις στέγες γίνονται τέσσερις διαφορετικές παραδοχές, κατά τις οποίες οι μικρότερες ή οι μεγαλύτερες τιμές των επιφανειών F,G και H συνδυάζονται με τις μικρότερες ή τις μεγαλύτερες τιμές των επιφανειών I και J. Η ανάμιξη των θετικών και των αρνητικών τιμών στην ίδια επιφάνεια δεν επιτρέπεται.

Για τις ενδιάμεσες γωνίες κλίσης του ίδιου προσήμου, μπορεί να εφαρμοστεί γραμμική παρεμβολή μεταξύ τιμών του ίδιου πρόσημου αλλά όχι μεταξύ των κλίσεων με γωνίες $\alpha = +5^\circ$ και $\alpha = -5^\circ$ όπου χρησιμοποιούνται οι τιμές για επίπεδες στέγες που δίνονται στην παράγραφο §4.6.1.3.

4.6.1.6 Τετράκλινες στέγες.

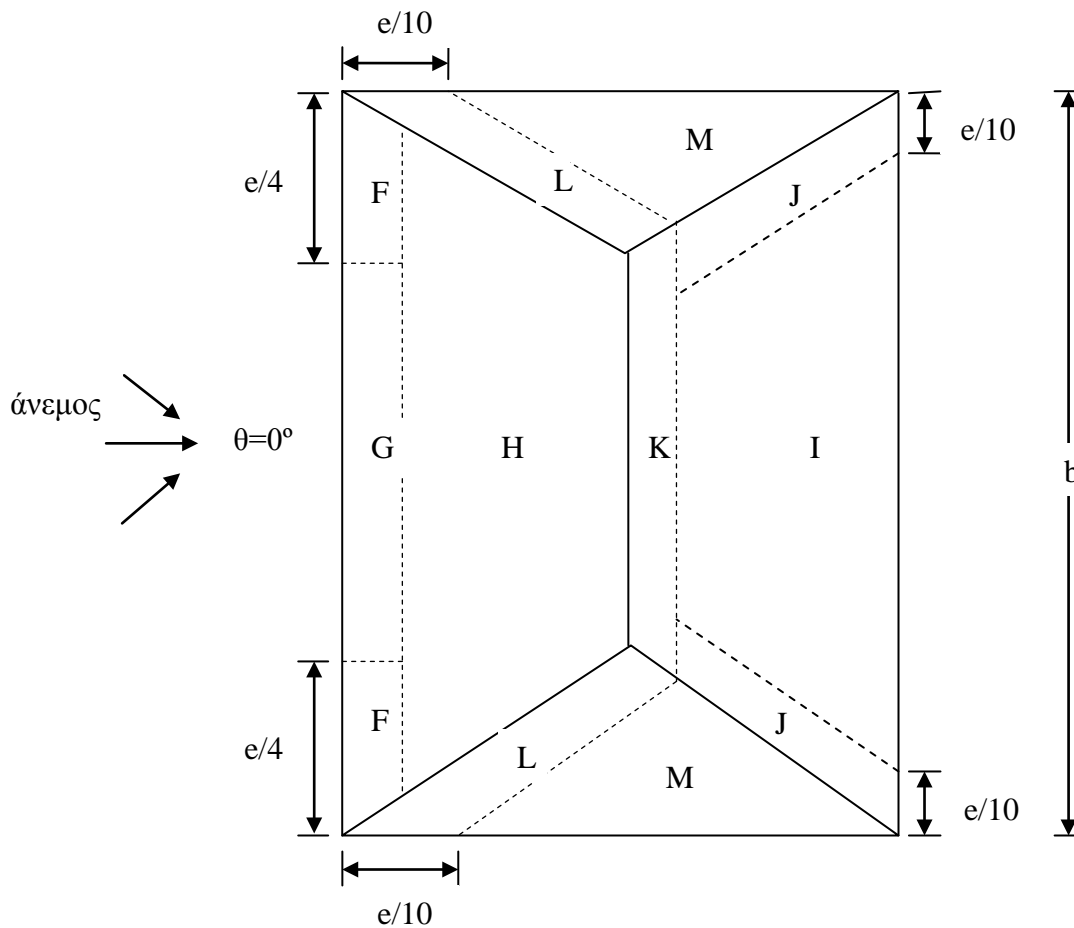
Στο σχήμα 4.15 δίνεται ο τρόπος υποδιαίρεσης των δίκλινων στεγών σε ζώνες, ενώ στον πίνακα 4.8 οι συντελεστές εξωτερικής πίεσης.



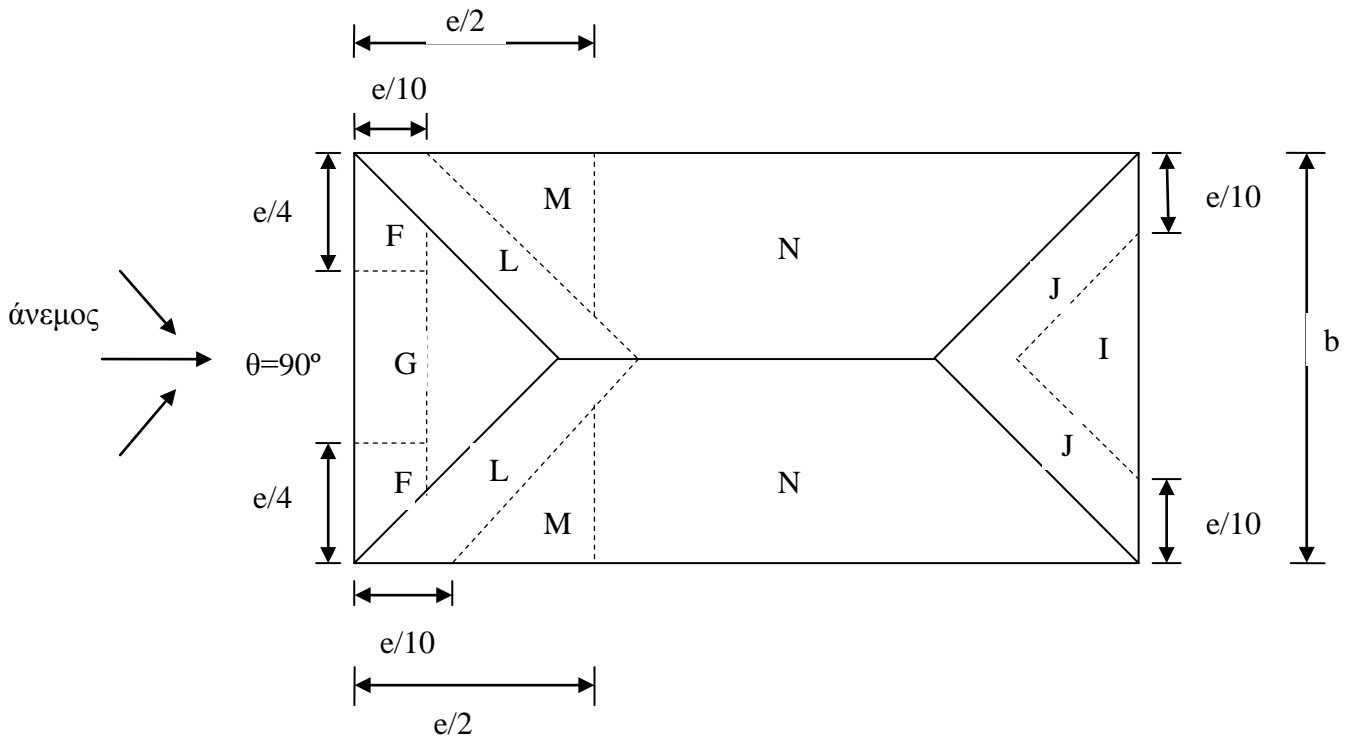
$$e = \min\{b, 2h\}$$

$b = \text{διάσταση εγκάρσια στον άνεμο}$

Α) Διεύθυνση ανέμου $\theta=0^\circ$



Β) Διεύθυνση ανέμου $\theta=90^\circ$



Σχήμα 4.21 Ορισμός ζωνών για τετρακλινείς στέγες.

Γωνία κλίσης	Ζώνη για διεύθυνση ανέμου $\theta=0^\circ$ και $\theta=90^\circ$									
	F		G		H		I		J	
α_0 για $\theta=0^\circ$										
α_{90} για $\theta=90^\circ$	$c_{pe.10}$	$c_{pe.1}$	$c_{pe.10}$	$c_{pe.1}$	$c_{pe.10}$	$c_{pe.1}$	$c_{pe.10}$	$c_{pe.1}$	$c_{pe.10}$	$c_{pe.1}$
5°	-1,7	-2,5	-1,2	-2,0	-0,6	-1,2	-0,3		-0,6	
	+0,0		+0,0		+0,0					
15°	-0,9	-2,0	-0,8	-1,5	-0,3		-0,5		-1,0	-1,5
	+0,2		+0,2		+0,2					
30°	-0,5	-1,5	-0,5	-1,5	-0,2		-0,4		-0,7	-1,2
	+0,5		+0,7		+0,4					
45°	-0,0		-0,0		-0,0		-0,3		-0,6	
	+0,7		+0,7		+0,6					
60°	+0,7		+0,7		+0,7		-0,3		-0,6	
75°	+0,8		+0,8		+0,8		-0,3		-0,6	

Γωνία κλίσης	Ζώνη για διεύθυνση ανέμου $\theta=0^\circ$ και $\theta=90^\circ$							
	K		L		M		N	
α_0 για $\theta=0^\circ$								
α_{90} για $\theta=90^\circ$	$C_{pe.10}$	$C_{pe.1}$	$C_{pe.10}$	$C_{pe.1}$	$C_{pe.10}$	$C_{pe.1}$	$C_{pe.10}$	$C_{pe.1}$
5°	-0,6		-1,2	-2,0	-0,6	-1,2	-0,4	
15°	-1,2	-2,0	-1,4	-2,0	-0,6	-1,2	-0,3	
30°	-0,5		-1,4	-2,0	-0,8	-1,2	-0,2	
45°	-0,3		-1,3	-2,0	-0,8	-1,2	-0,2	
60°	-0,3		-1,2	-2,0	-0,4		-0,2	
75°	-0,3		-1,2	-2,0	-0,4		-0,2	

Πίνακας 4.8 Συντελεστές εξωτερικής πίεσης για τετρακλινείς στέγες.

Σημείωση: όπως και στην περίπτωση των μονοκλινών αλλά και των δικλινών στεγών, για $\theta = 0^\circ$, οι πιέσεις στην προσήνεμη πλευρά και για γωνίες κλίσης από $\alpha=+5^\circ$ έως $\alpha=+45^\circ$, μεταβάλλονται γρήγορα από θετικές σε αρνητικές και γι' αυτό το λόγο δίνονται και οι θετικές και οι αρνητικές τιμές. Σ' αυτές τις περιπτώσεις, θεωρούνται δύο παράμετροι, μια με τις θετικές και μια με τις αρνητικές τιμές καθώς η ανάμιξή τους απαγορεύεται.

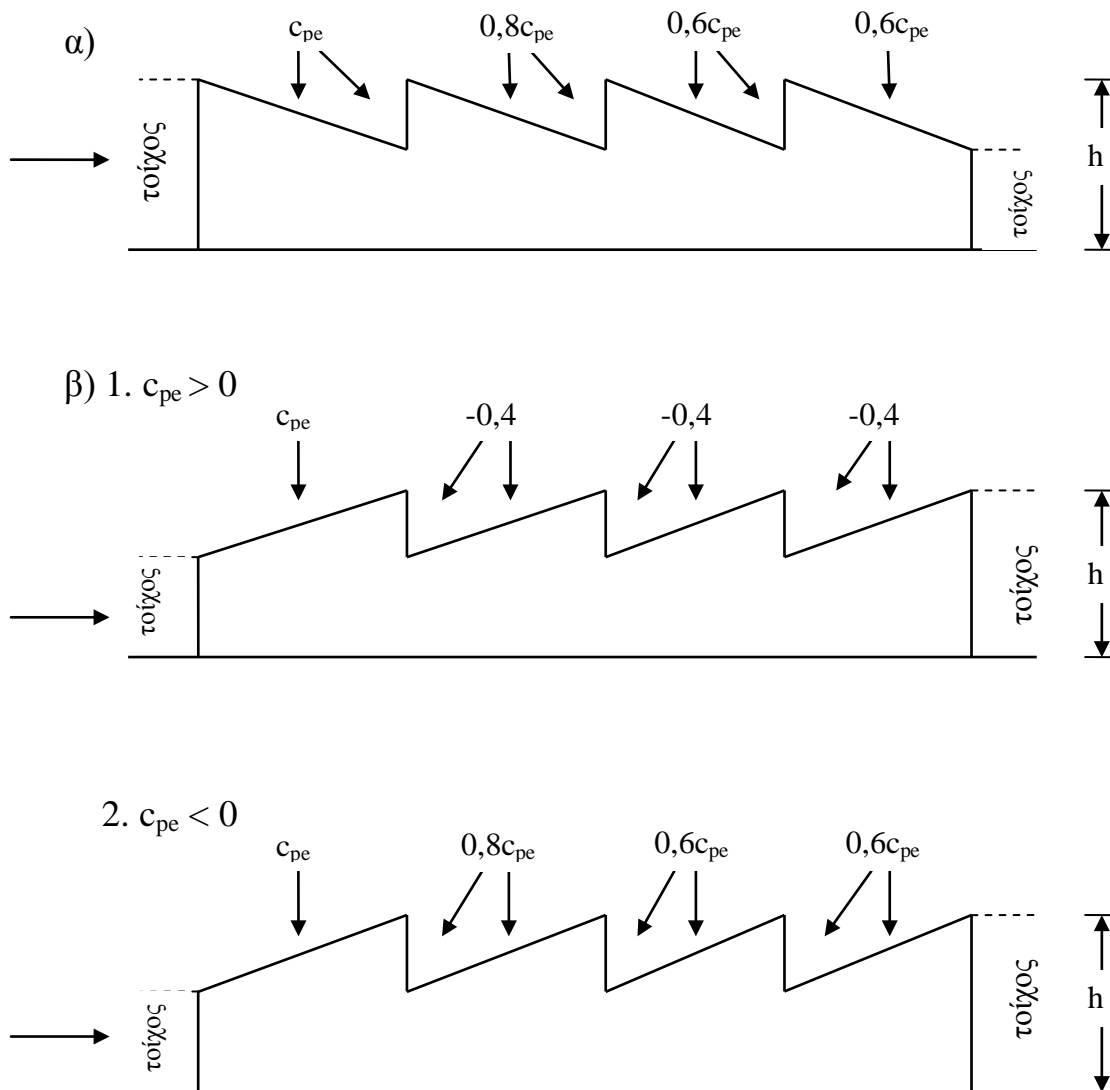
Για ενδιάμεσες γωνίες κλίσης του ίδιου προσήμου και μεταξύ τιμών του ίδιου προσήμου, μπορεί να εφαρμοστεί γραμμική παρεμβολή.

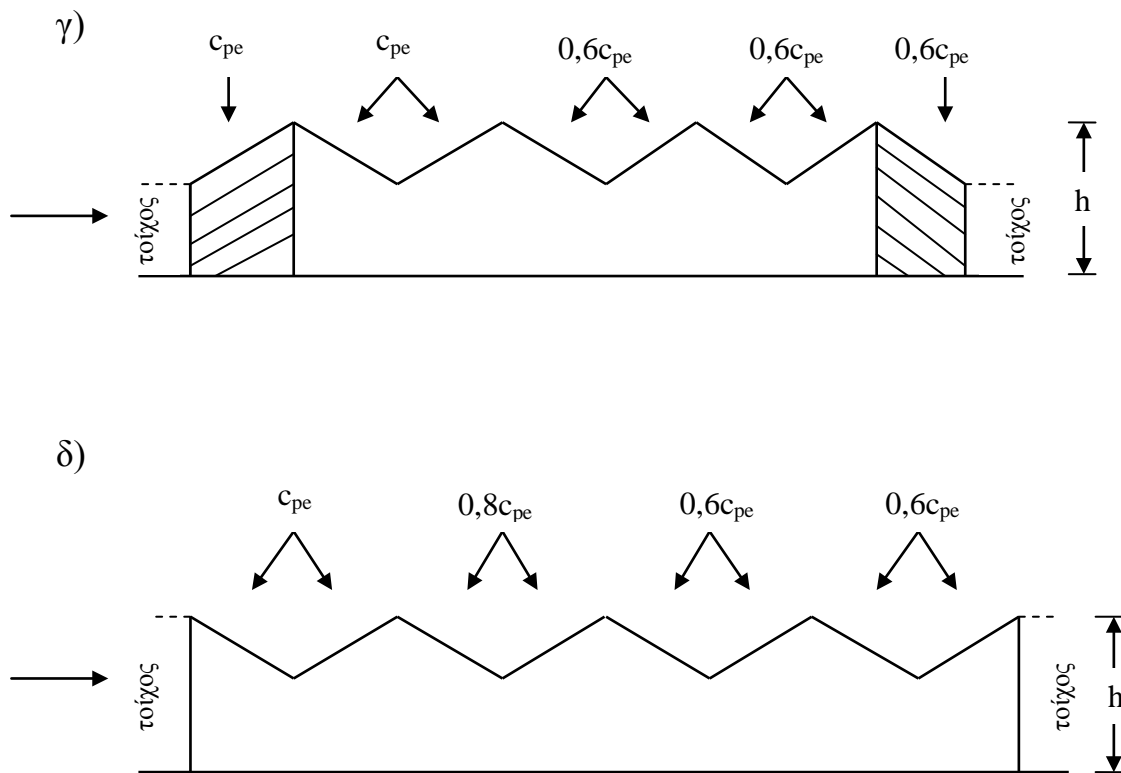
Τέλος, η γωνία κλίσης της προσήνεμης πλευράς καθορίζει πάντα τους συντελεστές πίεσης.

4.6.1.7 Επαναλαμβανόμενες στέγες.

Στις επαναλαμβανόμενες στέγες, οι συντελεστές εξωτερικής πίεσης για κάθε άνοιγμα και για διευθύνσεις ανέμου υπό γωνία 0° , 90° και 180° , θα δίνονται από το συντελεστή πίεσης για την κάθε περίπτωση ανοίγματος.

Ειδικότερα, για διεύθυνση ανέμου υπό γωνία 0° και 180° , θα χρησιμοποιούνται συντελεστές των πιέσεων από την παράγραφο §4.6.1.4 για μονοκλινείς στέγες και τροποποιημένοι ανάλογα με την θέση τους (βλ. σχήμα 4.16α και 4.16β), αλλά και από την παράγραφο §4.6.1.5 για δικλινείς στέγες με $\alpha < 0$ και τροποποιημένοι ανάλογα με την θέση τους (βλ. σχήμα 4.16γ και 4.16δ).





Σχήμα 4.22 Συμβολισμοί για επαναλαμβανόμενες στέγες.

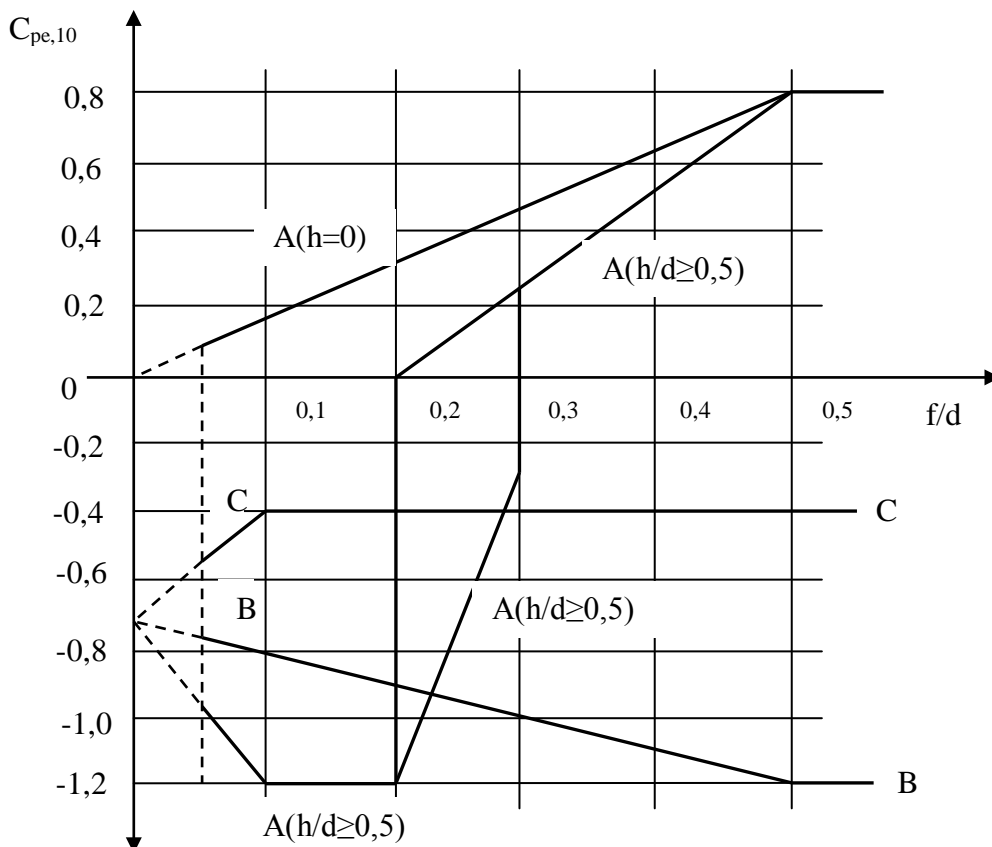
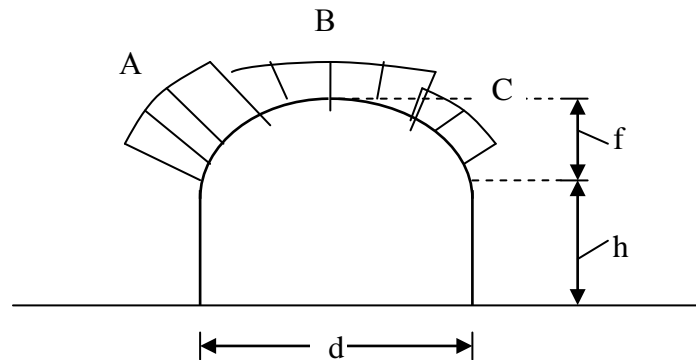
Σημείωση:

- Στο σχήμα 4.16β δίνονται δυο περιπτώσεις, ανάλογα με το πρόσημο του συντελεστή πίεσης στην πρώτη στέγη.
- Στο σχήμα 4.16γ, ο πρώτος συντελεστής πίεσης c_{pe} αφορά μονοκλινή στέγη, ενώ όλα τα επόμενα αφορούν δικλινείς στέγες.
- Το ύψος αναφοράς z_e λαμβάνεται ίσο με h .

4.6.1.8 Κυλινδρικές στέγες και θόλοι.

Για τις κυλινδρικές στέγες και τους θόλους, οι συντελεστές εξωτερικής πίεσης δίνονται στο σχήμα 4.17.

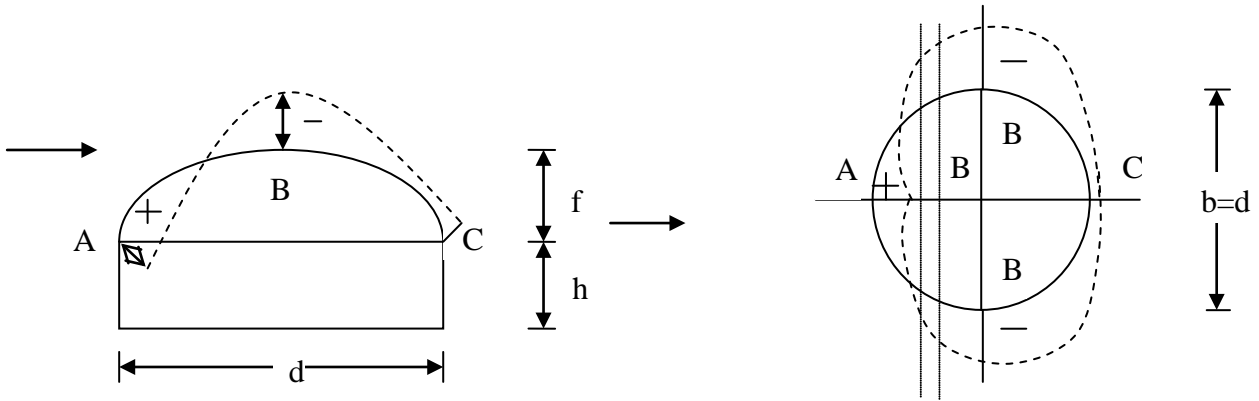
Σημειώνεται ότι το ύψος αναφοράς z_e είναι ίσο με $z_e = h + f$, όπως φαίνεται και στο σχήμα, και οι συντελεστές των κατακόρυφων τοίχων δίνονται στην παράγραφο §4.6.1.2.



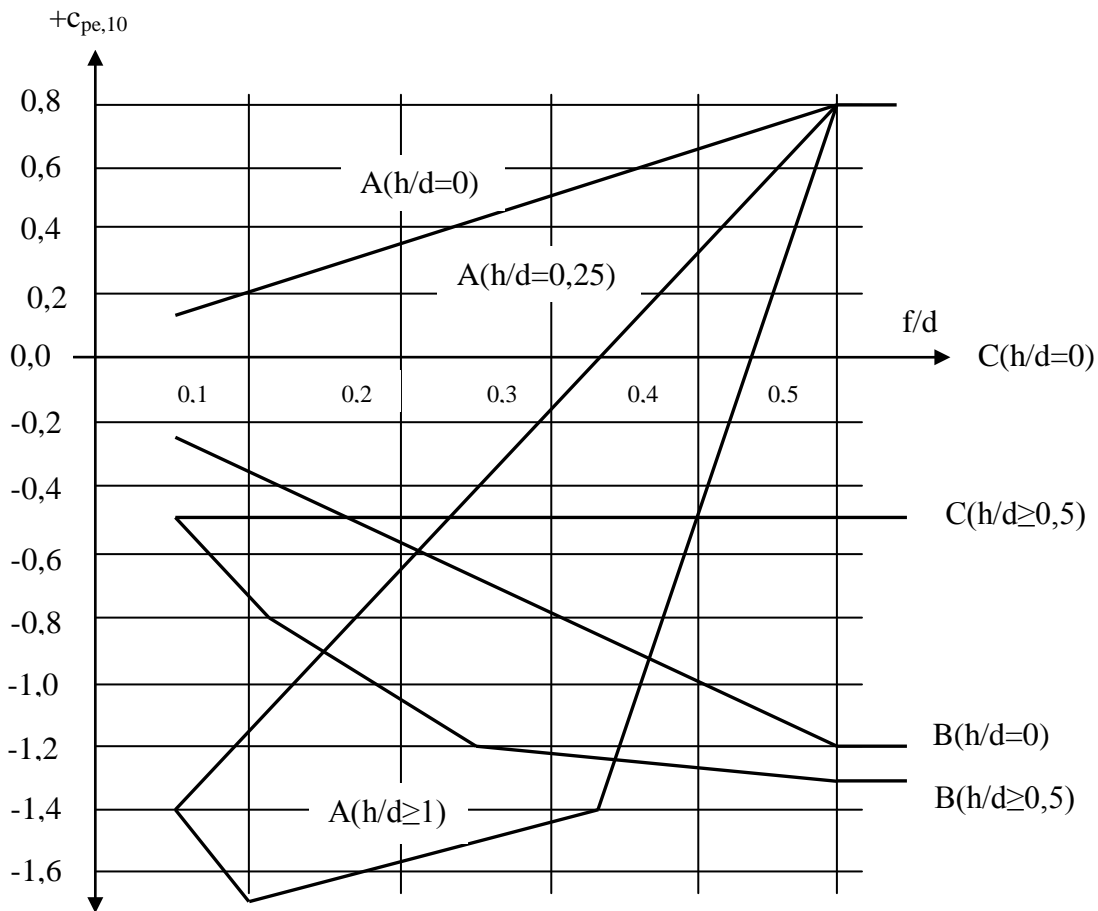
Σχήμα 4.23 Συντελεστές εξωτερικής πίεσης $c_{pe,10}$ για θόλους με ορθογωνική βάση.

Σημείωση:

- Για $0 < h/d < 0,5$ το $c_{pe,10}$ προκύπτει έπειτα από γραμμική παρεμβολή.
- Για $0,2 \leq f/d \leq 0,3$ και $h/d \geq 0,5$ θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη δύο τιμές του $c_{pe,10}$.
- Το διάγραμμα αυτό δεν έχει εφαρμογή σε επίπεδες στέγες.



$c_{pe,10}$ = σταθερή σε κάθε επίπεδο.



Σχήμα 4.24 Συντελεστές εξωτερικής πίεσης $c_{pe,10}$ για θόλους με κυκλική βάση.

Σημείωση: το $c_{pe,10}$ είναι σταθερό κατά μήκος των κυκλικών τόξων αλληλοτομίας της σφαιράς και επιπέδων κάθετων προς τον άνεμο και μπορεί να προσδιοριστεί προσεγγιστικά με γραμμική παρεμβολή μεταξύ των τιμών στα A, B και C κατά μήκος των τόξων των κύκλων, παράλληλα προς τον άνεμο.

Ομοίως, οι τιμές του $c_{pe,10}$ στο A για $0 < h/d < 1$ και στα B ή C για $0 < h/d < 0,5$ υπολογίζονται με γραμμική παρεμβολή στο σχήμα 4.18 .

4.6.1.9 Εσωτερική πίεση

Η εσωτερική πίεση δρα στις κατασκευές ταυτόχρονα με την εξωτερική και πρέπει να υπολογίζεται για κάθε συνδυασμό δυνατών ανοιγμάτων.

Ο συντελεστής εσωτερικής πίεσης c_{pi} εξαρτάται από το μέγεθος των ανοιγμάτων αλλά και την κατανομή τους στην συνολική επιφάνεια του κτιρίου.

Σε περίπτωση που σε δύο τουλάχιστον πλευρές του κτιρίου η συνολική επιφάνεια των ανοιγμάτων κάθε πλευράς είναι μεγαλύτερη από το 30% της επιφάνειας αυτής της πλευράς, ο υπολογισμός των δράσεων της κατασκευής γίνεται όπως και για τα στέγαστρα ή για τα στηθαία, τους φράχτες κλπ. (βλ. §4.6.2 & 4.6.3).

Ακόμα, όταν ένα καθοριστικό εξωτερικό άνοιγμα θεωρείται κλειστό κατά την οριακή κατάσταση αστοχίας, αν κατά την διάρκεια ανεμοθύελλας ανοίξει, τότε η κατάσταση με αυτό ανοιχτό θεωρείται τυχηματική.

Καθοριστική πλευρά ενός κτιρίου ονομάζεται η πλευρά της οποίας η επιφάνεια των ανοιγμάτων της είναι τουλάχιστον διπλάσια της συνολικής επιφάνειας των ανοιγμάτων και λοιπών σημείων διαρροής των υπόλοιπων πλευρών του κτιρίου.

Όταν ένα κτίριο έχει μια καθοριστική πλευρά, η εσωτερική πίεση υπολογίζεται από ένα κλάσμα της εξωτερικής πίεσης στα ανοίγματα της καθοριστικής πλευράς με τις τιμές που δίνονται στις σχέσεις που ακολουθούν:

- Αν η επιφάνεια των ανοιγμάτων της καθοριστικής πλευράς είναι διπλάσια από την επιφάνεια των ανοιγμάτων των υπόλοιπων πλευρών, τότε :

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

- Αν η επιφάνεια των ανοιγμάτων της καθοριστικής πλευράς είναι τουλάχιστον τριπλάσια από την επιφάνεια των ανοιγμάτων των υπόλοιπων πλευρών, τότε :

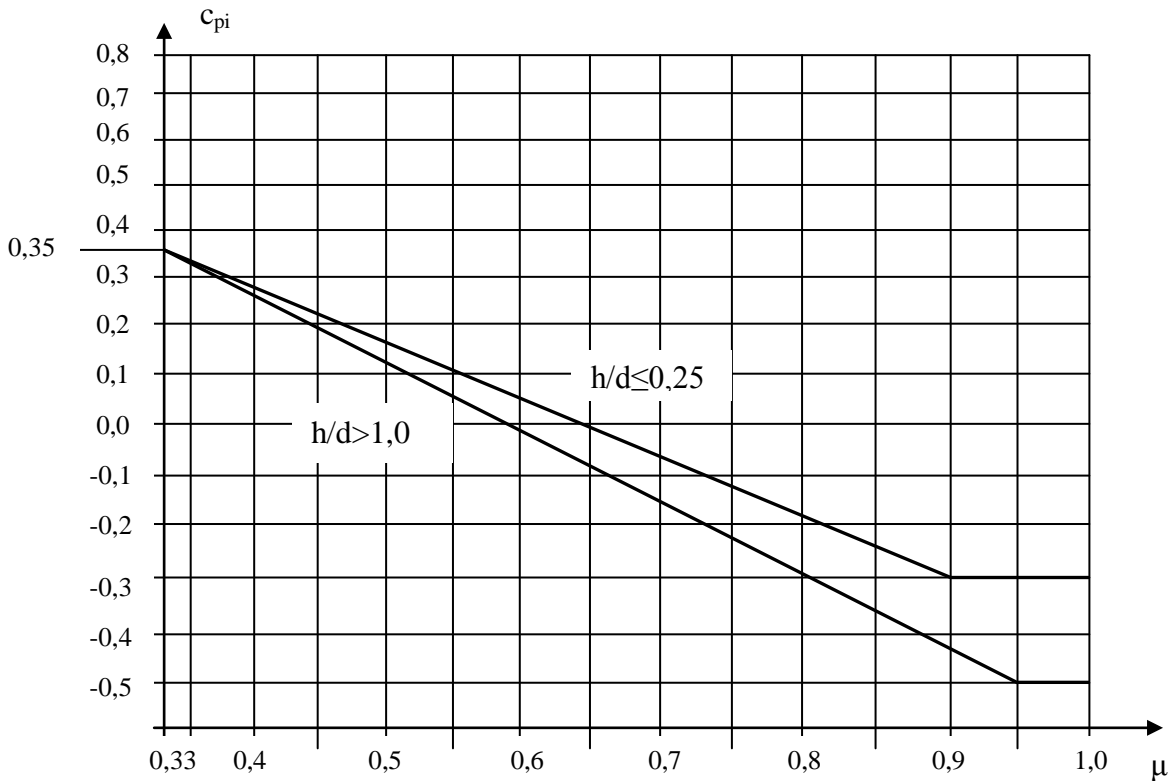
$$c_{pi} = 0,90c_{pe}$$

- Αν η επιφάνεια των ανοιγμάτων της καθοριστικής πλευράς είναι μεταξύ του διπλάσιου και του τριπλάσιου της επιφάνειας των ανοιγμάτων των υπόλοιπων πλευρών, τότε χρησιμοποιείται γραμμική παρεμβολή.

Σε περίπτωση κτιρίων χωρίς καθοριστική πλευρά, ο συντελεστής εσωτερικής πίεσης υπολογίζεται από το σχήμα 4.19 συναρτήσει του λόγου του ύψους προς το βάθος του κτιρίου h/d και του λόγου των ανοιγμάτων μ για κάθε διεύθυνση θ του ανέμου και δίνεται από την σχέση:

$$\mu = \frac{\Sigma \text{ επιφάνεια ανοιγμάτων όπου το } c_{pe} \text{ είναι αρνητικό ή μηδέν}}{\Sigma \text{ επιφάνεια όλων των ανοιγμάτων}}$$

Η σχέση αυτή εφαρμόζεται στις πλευρές και στην οροφή κτιρίων με ή χωρίς εσωτερικά διαχωριστικά. Όπου δεν μπορεί να εκτιμηθεί σωστά το μ , τότε ο συντελεστής εσωτερικής πίεσης c_{pi} πρέπει να λαμβάνεται ως το πλέον δυσμενές από τα +0,2 & -0,3.



Σχήμα 4.25 Συντελεστές εσωτερικής πίεσης για ομοιόμορφα κατανομημένα ανοίγματα.

Σημειώνεται ότι, στις πλευρές οι οποίες με τα ανοίγματά 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 .

Τέλος, ο συντελεστής εσωτερικής πίεσης c_{pi} ανοιχτών σιλό και καπνοδόχων δίνεται από την σχέση:

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

και για δεξαμενές με μικρά ανοίγματα από την σχέση:

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

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

4.6.2 Στέγαστρα

4.6.2.1 Γενικά

Με τον όρο στέγαστρα θεωρούνται οι στέγες κατασκευών οι οποίες δεν έχουν μόνιμους τοίχους, όπως π.χ. αποθήκες, πρατήρια υγρών καυσίμων, αχυρώνες ανοικτοί περιμετρικά κλπ.

Σε κενά στέγαστρα η ροή του ανέμου είναι συνεχής εν αντιθέσει με τα στέγαστρα τα οποία περιέχουν αποθηκευμένα αγαθά τα οποία παρεμποδίζουν την ροή του αέρα.

Ο βαθμός κωλύματος (παρεμπόδισης) κάτω από ένα στέγαστρο εξαρτάται από το λόγο πληρότητας 'φ', ο οποίος ισούται με την επιφάνεια των ορατών πραγματικών εμποδίων κάτω από το στέγαστρο προς την συνολική επιφάνεια κάτω από το στέγαστρο. Και οι δύο αυτές επιφάνειες λαμβάνονται κάθετες προς την διεύθυνση του ανέμου.

Για ένα άδειο στέγαστρο, ο λόγος πληρότητας ισούται με μηδέν ενώ για ένα στέγαστρο φραγμένο πλήρως μόνο στην υπήνεμη πλευρά του, ισούται με ένα.

Ο καθολικός συντελεστής δύναμης c_f αντιπροσωπεύει τη συνισταμένη δύναμη, ενώ ο συντελεστής τελικής πίεσης $c_{p,net}$ αντιπροσωπεύει τη μέγιστη τοπική πίεση για όλες τις διευθύνσεις του ανέμου και πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά τον σχεδιασμό στοιχείων στέγης και στερεώσεων.

Οι καθολικοί συντελεστές δύναμης c_f , αλλά και οι συντελεστές τελικής πίεσης $c_{p,net}$ δίνονται στους πίνακες 4.9 & 4.10 και λαμβάνουν υπόψη την συνδυασμένη δράση του ανέμου που δρα και στις πάνω και στις κάτω επιφάνειες του στεγαστρου, για όλες τις διευθύνσεις του ανέμου. Για ενδιάμεσες τιμές μπορεί να εφαρμοστεί γραμμική παρεμβολή.

Σημειώνεται ότι, αν το εμπόδιο βρίσκεται στην προσήνεμη πλευρά του στεγαστρου, πρέπει να χρησιμοποιούνται οι τιμές του $c_{p,net}$ για $\varphi=0$.

Κάθε στέγαστρο πρέπει να μπορεί να αναλάβει τις εξής περιπτώσεις φόρτισης:

- Για τα μονοκλινή στέγαστρα το κέντρο πίεσης λαμβάνεται σε απόσταση $d/4$ από το προσήνεμο άκρο, με d η διάσταση κατά την διεύθυνση του ανέμου (βλ. Πίνακα 4.9 & Σχήμα 4.20).
- Για τα δίκλινα στέγαστρα το κέντρο πίεσης λαμβάνεται στο κέντρο κάθε κεκλιμένου τμήματος (βλ. Πίνακα 4.10 & Σχήμα 4.21). Ακόμα, πρέπει να μπορεί να αναλάβει το μέγιστο ή το ελάχιστο φορτίο στο ένα κεκλιμένο τμήμα του ενώ το άλλο παραμένει αφόρτιστο.
- Για τα επαναλαμβανόμενα δίκλινα στέγαστρα, το φορτίο που εφαρμόζεται σε κάθε φάτνωμα προσδιορίζεται εφαρμόζοντας τους μειωτικούς συντελεστές που δίνονται στον Πίνακα 4.11 στις τιμές του $c_{p,net}$ που δίνονται στον Πίνακα 4.10.

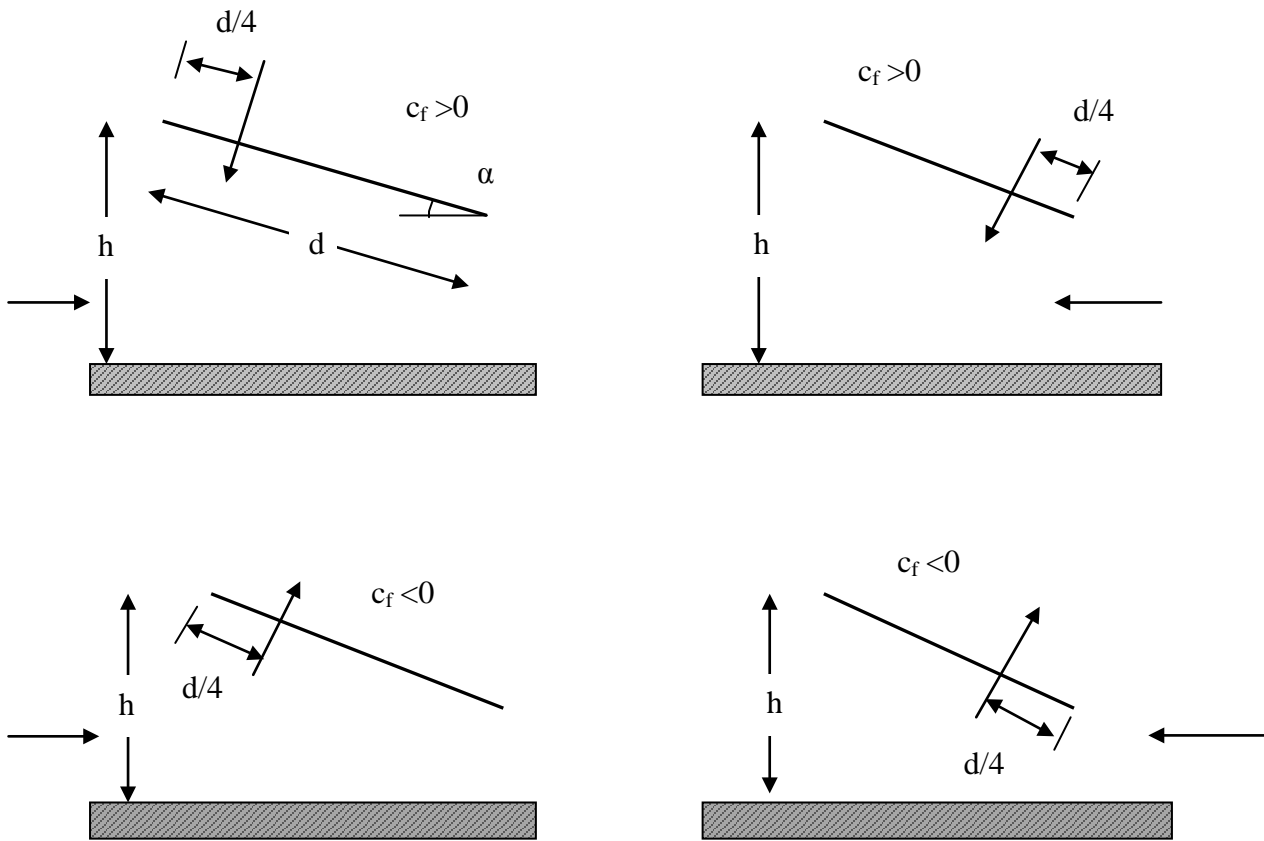
Τέλος, το ύψος αναφοράς z_e ισούται με h .

4.6.2.2 Μονόκλινα στέγαστρα

Συντελεστές τελικής πίεσης $c_{p,net}$					
Γωνία κλίσης στέγης α	Βαθμός πληρότητας φ	Καθολικοί συντελεστές δύναμης c_f	Ζώνη Α	Ζώνη Β	Ζώνη C
0°	Maximum all φ Minimum $\varphi=0$ Minimum $\varphi=1$	+0,2 -0,5 -1,3	+0,5 -0,6 -1,5	+1,8 -1,3 -1,8	+1,1 -1,4 -2,2
5°	Maximum all φ Minimum $\varphi=0$ Minimum $\varphi=1$	+0,4 -0,7 -1,4	+0,8 -1,1 -1,6	+2,1 -1,7 -2,2	+1,3 -1,8 -2,5
10°	Maximum all φ Minimum $\varphi=0$ Minimum $\varphi=1$	+0,5 -0,9 -1,4	+1,2 -1,5 -2,1	+2,4 -2,0 -2,6	+1,6 -2,1 -2,7
15°	Maximum all φ Minimum $\varphi=0$ Minimum $\varphi=1$	+0,7 -1,1 -1,4	+1,4 -1,8 -1,6	+2,7 -2,4 -2,9	+1,8 -2,5 -3,0
20°	Maximum all φ Minimum $\varphi=0$ Minimum $\varphi=1$	+0,8 -1,3 -1,4	+1,7 -2,2 -1,6	+2,9 -2,8 -2,9	+2,1 -2,9 -3,0
25°	Maximum all φ Minimum $\varphi=0$ Minimum $\varphi=1$	+1,0 -1,6 -1,4	+2,0 -2,6 -1,5	+3,1 -3,2 -2,5	+2,3 -3,2 -2,8
30°	Maximum all φ Minimum $\varphi=0$ Minimum $\varphi=1$	+1,2 -1,8 -1,4	+2,2 -3,0 -1,5	+3,2 -3,8 -2,2	+2,4 -3,6 -2,7

Πίνακας 4.9 Τιμές των $c_{p,net}$ και c_f για μονοκλινή στέγαστρα.

Σημείωση: οι τιμές με (+) υποδηλώνουν δράση του ανέμου με φορά προς τα κάτω, ενώ οι τιμές με (-) δράση του ανέμου με φορά προς τα πάνω.



Σχήμα 4.26 Θέση του κέντρου δύναμης για μονοκλινή στέγαστρα.

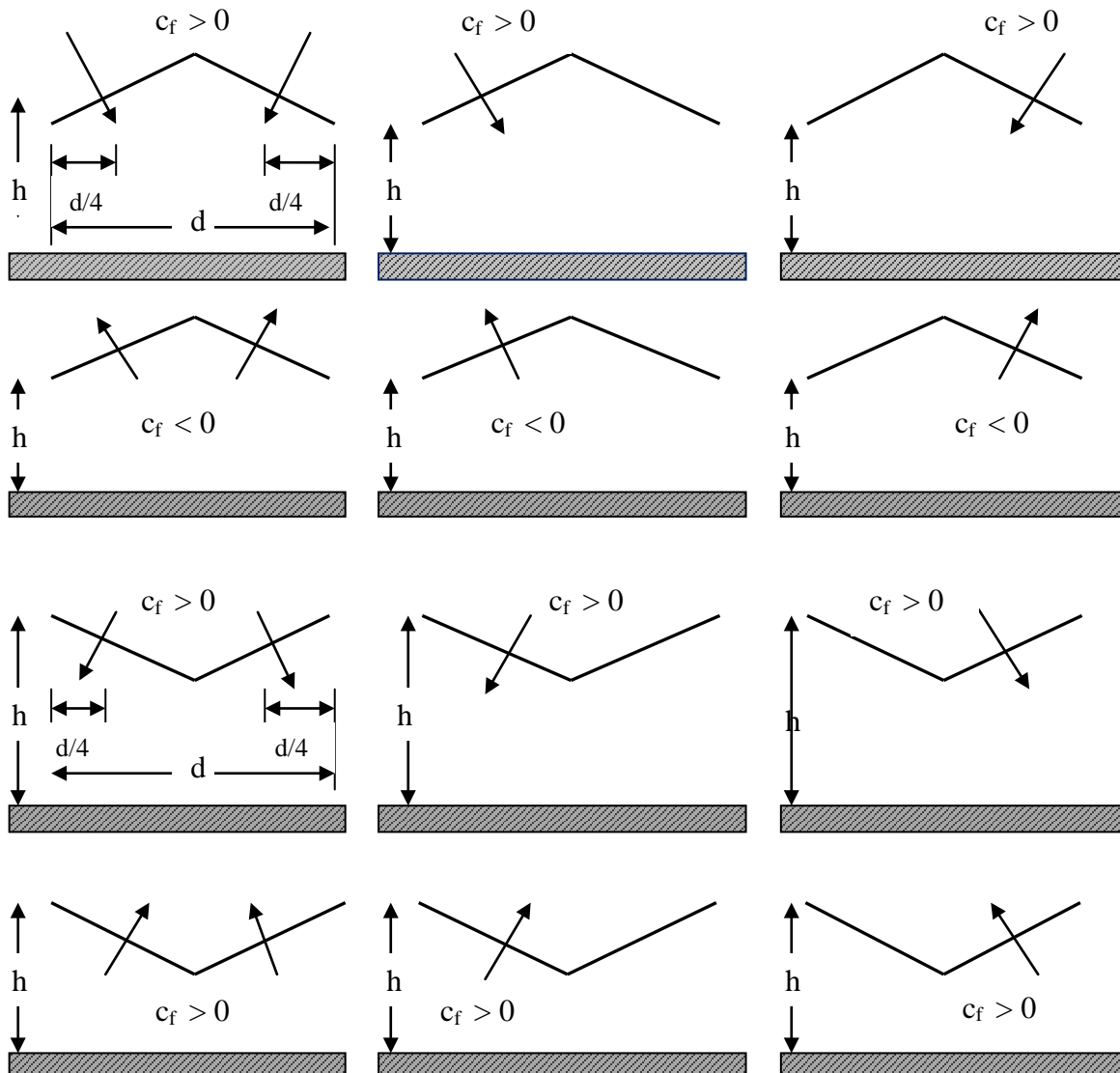
4.6.2.3 Δίκλινα στέγαστρα

Συντελεστές τελικής πίεσης $c_{p,net}$						
Γωνία κλίσης στέγης α	Βαθμός πληρότητας φ	Καθολικοί συντελεστές δύναμης c_f	Ζώνη A	Ζώνη B	Ζώνη C	Ζώνη D
-20°	Maximum all φ Minimum $\varphi=0$ Minimum $\varphi=1$	+0,7 -0,7 -1,3	+0,8 -0,9 -1,5	+1,6 -1,3 -2,4	+0,6 -1,6 -2,4	+1,7 -0,6 -0,6
-15°	Maximum all φ Minimum $\varphi=0$ Minimum $\varphi=1$	+0,5 -0,6 -1,4	+0,6 -0,8 -1,6	+1,5 -1,3 -2,7	+0,7 -1,6 -2,6	+1,4 -0,6 -0,6
-10°	Maximum all φ Minimum $\varphi=0$ Minimum $\varphi=1$	+0,4 -0,6 -1,4	+0,6 -0,8 -1,6	+1,4 -1,3 -2,7	+0,8 -1,5 -2,6	+1,1 -0,6 -0,6
-5°	Maximum all φ Minimum $\varphi=0$ Minimum $\varphi=1$	+0,3 -0,5 -1,3	+0,5 -0,7 -1,5	+1,5 -1,3 -2,4	+0,8 -1,6 -2,4	+0,8 -0,6 -0,6
+5°	Maximum all φ Minimum $\varphi=0$ Minimum $\varphi=1$	+0,3 -0,6 -1,3	+0,6 -0,6 -1,3	+1,8 -1,4 -2,0	+1,3 -1,4 -1,8	+0,4 -1,1 -1,5
+10°	Maximum all φ Minimum $\varphi=0$ Minimum $\varphi=1$	+0,4 -0,7 -1,3	+0,7 -0,7 -1,3	+1,8 -1,5 -2,0	+1,4 -1,4 -1,8	+0,4 -1,4 -1,8
+15°	Maximum all φ Minimum $\varphi=0$ Minimum $\varphi=1$	+0,4 -0,8 -1,3	+0,9 -0,9 -1,3	+1,9 -1,7 -2,2	+1,4 -1,4 -1,6	+0,4 -1,8 -2,1

+20°	Maximum all φ	+0,6	+1,1	+1,9	+1,5	+0,4
	Minimum $\varphi=0$	-0,9	-1,2	-1,8	-1,4	-2,0
	Minimum $\varphi=1$	-1,3	-1,4	-2,2	-1,6	-2,1
+25°	Maximum all φ	+0,7	+1,2	+1,9	+1,6	+0,5
	Minimum $\varphi=0$	-1,0	-1,4	-1,9	-1,4	-2,0
	Minimum $\varphi=1$	-1,3	-1,4	-2,0	-1,5	-2,0
+30°	Maximum all φ	+0,9	+1,3	+1,9	+1,6	+0,7
	Minimum $\varphi=0$	-1,0	-1,4	-1,9	-1,4	-2,0
	Minimum $\varphi=1$	-1,3	-1,4	-1,8	-1,4	-2,0

Πίνακας 4.10 Τιμές των $c_{p,net}$ και c_f για δίκλινα στέγαστρα.

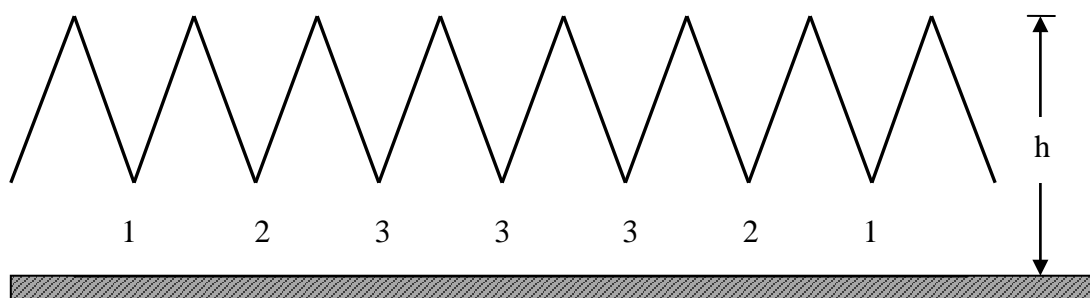
Σημείωση: οι τιμές με (+) υποδηλώνουν δράση του ανέμου με φορά προς τα κάτω, ενώ οι τιμές με (-) δράση του ανέμου με φορά προς τα πάνω.



Σχήμα 4.27 Διάταξη φορτίων που προκύπτουν από συντελεστές δύναμης σε δίκλινα στέγαστρα.

4.6.2.4 Επαναλαμβανόμενα στέγαστρα

Όπως αναφέραμε και παραπάνω, για επαναλαμβανόμενο δίκλινο στέγαστρο (βλ. σχ.4.22), τα φορτία σε κάθε κλίση του υπολογίζονται εφαρμόζοντας τους συντελεστές που δίνονται στον πίνακα που ακολουθεί (Πίν. 4.11), στους καθολικούς συντελεστές δύναμης και συντελεστές τελικής πίεσης για μεμονωμένα δίκλινα στέγαστρα.



Σχήμα 4.28 Επαναλαμβανόμενα στέγαστρα.

Φάτνωμα	Θέση	Συντελεστές για όλα τα φ	
		Μέγιστοι (προς τα κάτω) συντελεστές δύναμης και πίεσης	Ελάχιστοι (προς τα πάνω) συντελεστές δύναμης και πίεσης
1	Ακραίο φάτνωμα	1,0	0,8
2	2 ^ο φάτνωμα	0,9	0,7
3	3 ^ο & διαδοχικά φάτνωμα	0,7	0,7

Πίνακας 4.11 Μειωτικοί συντελεστές για επαναλαμβανόμενα στέγαστρα.

4.6.3 Ελεύθερα ιστάμενοι τοίχοι, στηθαία, φράχτες και πινακίδες σήμανσης.

Για τους ελεύθερα ιστάμενους τοίχους και τα στηθαία, οι συντελεστές τελικής πίεσης $c_{p,net}$ εξαρτώνται από το λόγο πληρότητας φ .

Για συμπαγείς τοίχους ο λόγος πληρότητας ισούται με $\varphi=1$, ενώ για τοίχους που είναι συμπαγείς σε ποσοστό 80% και ανοικτοί σε ποσοστό 20%, ο λόγος πληρότητας ισούται με $\varphi=0,8$. Και στις δύο περιπτώσεις ως επιφάνεια αναφοράς θεωρείται η συνολική επιφάνεια.

Για τοίχους με πληρότητα που βρίσκεται μεταξύ των τιμών $0,8 < \varphi < 1,0$ μπορεί να εφαρμοστεί γραμμική παρεμβολή.

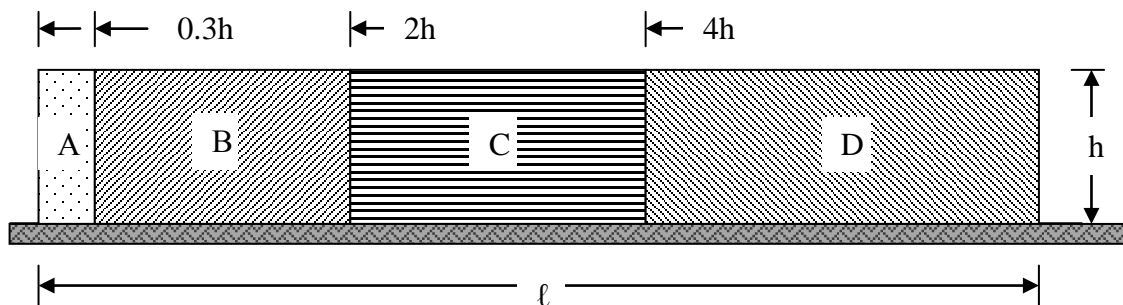
Σε περίπτωση που έχουμε πορώδους τοίχους και φράχτες με λόγο πληρότητας $\varphi \leq 0,8$, οι συντελεστές υπολογίζονται όπως και για τα επίπεδα δικτυώματα.

4.6.3.1 Ελεύθερα ιστάμενοι τοίχοι και στηθαία.

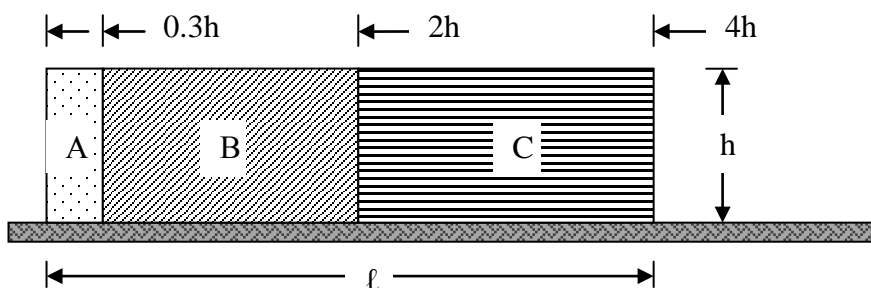
Η υποδιαίρεση των τοίχων και των στηθαίων σε ζώνες δίνονται στο σχήμα 4.23, ενώ στον πίνακα 4.12 δίνονται οι τιμές των συντελεστών τελικής πίεσης $c_{p,net}$ για τις περιπτώσεις με ή χωρίς εγκάρσια επέκταση στις γωνίες και για δύο τιμές του λόγου πληρότητας φ .

Το ύψος αναφοράς z_e θεωρείται ίσο με το ύψος h .

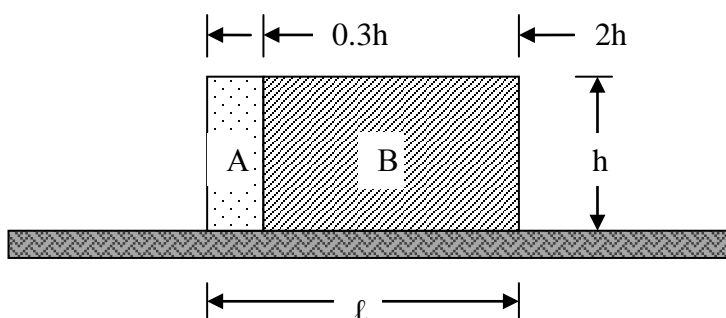
A) Υπόμνημα καθορισμού ζωνών ($z_e = h$) για $\ell > 4h$



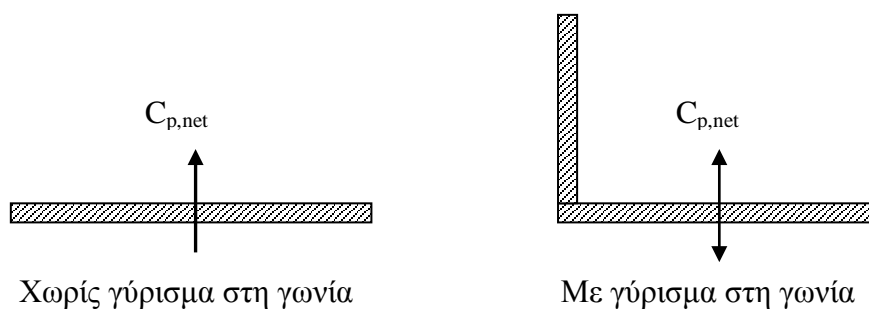
για $\ell \leq 4h$



για $\ell \leq 2h$



B) Υπόμνημα για την γωνία ανέμου



Σχήμα 4.29 Ορισμός ζωνών διαχωριστικών τοίχων.

Πληρότητα	Ζώνη		A	B	C	D
$\varphi = 1$	Χωρίς γύρισμα στις γωνίες	$\ell/h \leq 3$	2,3	1,4	1,2	1,2
		$\ell/h = 5$	2,9	1,8	1,4	1,2
		$\ell/h \geq 10$	3,4	2,1	1,7	1,2
	Με γύρισμα στις γωνίες μήκους $\geq h^{a,b}$		$\pm 2,1$	$\pm 1,8$	$\pm 1,4$	$\pm 1,2$
$\varphi = 0,8$			$\pm 1,2$	$\pm 1,2$	$\pm 1,2$	$\pm 1,2$

^a γραμμική παρεμβολή μπορεί να εφαρμοστεί για μήκη γυρίσματος στις γωνίες μεταξύ 0,0 και h.

^b απαγορεύεται η ταυτόχρονη χρήση θετικών και αρνητικών τιμών.

Πίνακας 4.12 Συντελεστές ολικής πίεσης για ελεύθερα ιστάμενους τοίχους και στηθαία.

Σημείωση:

- Το ύψος αναφοράς για ελεύθερα ιστάμενους τοίχους ισούται με $z_e = h$
- Το ύψος αναφοράς για στηθαία σε κτίρια ισούται με $z_e = (h + h_p)$ [βλ. σχ. 4.12]

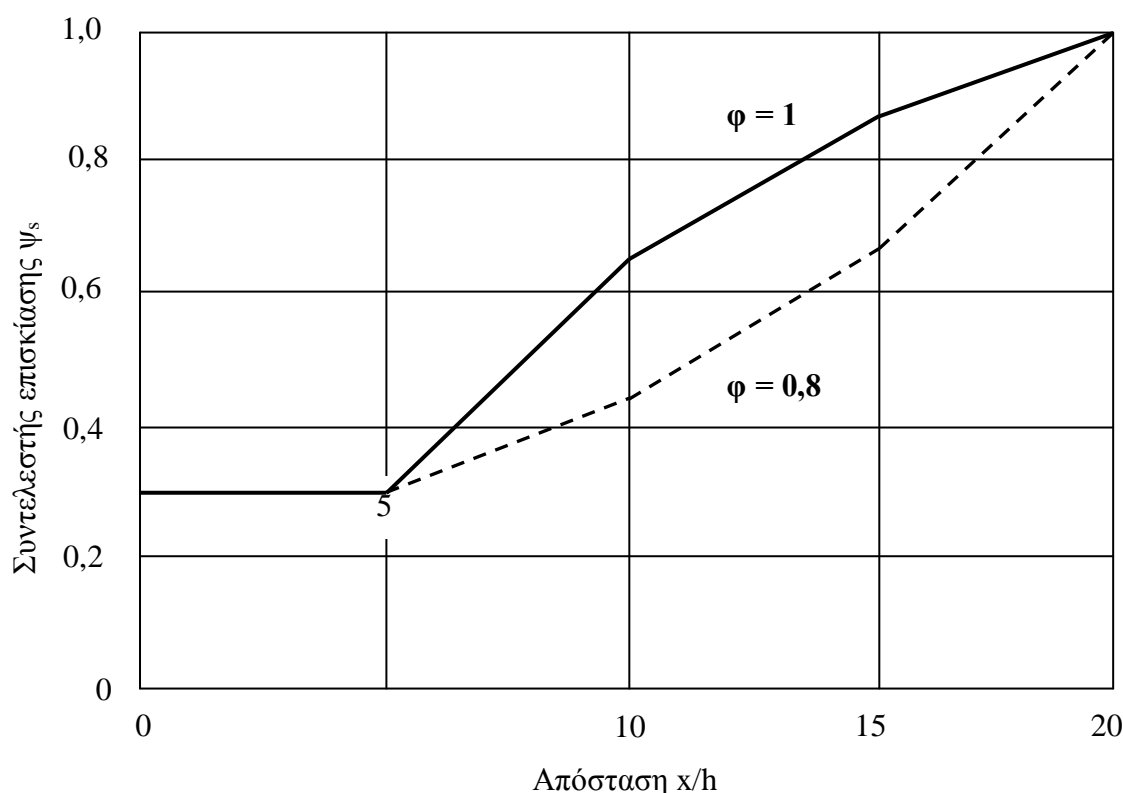
Για την περίπτωση που υπάρχουν άλλοι τοίχοι ή φράχτες, ιδίου ή και μεγαλύτερου ύψους από τον υπό εξέταση τοίχο ή φράχτη στην διεύθυνση του ανέμου, χρησιμοποιείται ένας συντελεστής προστασίας ψ_s μαζί με τους αντίστοιχους συντελεστές τελικής πίεσης, ο οποίος εξαρτάται από την απόσταση x μεταξύ των τοίχων ή φραχτών και από τον συντελεστή πληρότητας ϕ του προσήνεμου τοίχου ή φράχτη.

Έτσι, ο συντελεστής τελικής πίεσης $c_{p,net,s}$ του προστατευόμενου τοίχου υπολογίζεται από την σχέση:

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

Σημειώνεται ότι αυτός ο συντελεστής δεν μπορεί να εφαρμοστεί στις ακραίες ζώνες σε απόσταση h από το ελεύθερο άκρο του τοίχου.

Οι τιμές του συντελεστή προστασίας ψ_s δίνονται στο Σχήμα 4.24 .



Σχήμα 4.30 Συντελεστής προστασίας ψ_s για τοίχους και φράχτες.

4.6.3.2 Πινακίδες σήμανσης

Για τον υπολογισμό του συντελεστή δύναμης για πινακίδες σήμανσης που απέχουν από το έδαφος ύψος $z_g > h/4$ (βλ. Σχήμα 4.25), χρησιμοποιείται η σχέση:

$$c_f = 1,80 \quad (1)$$

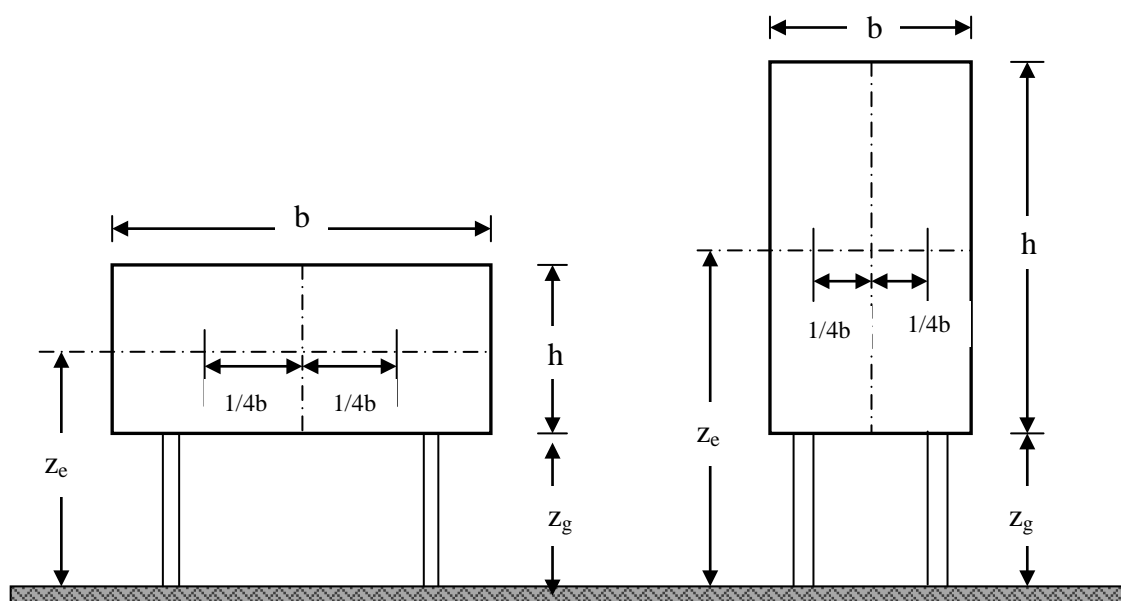
Οι πινακίδες σήμανσης που απέχουν από το έδαφος ύψος $z_g < h/4$ και έχουν λόγο πλάτους ύψους $b/h > 1$, αντιμετωπίζονται ως τοίχοι.

Αν όμως ισχύει $z_g > h/4$ αλλά $b/h \leq 1$, τότε μπορεί να εφαρμοστεί η σχέση (1).

Η κάθετη προς την πινακίδα συνισταμένη δύναμη θεωρείται ότι δρα στο ύψος του κέντρου της πινακίδας με οριζόντια εκκεντρότητα

$$e = \pm b/4$$

Τέλος, το ύψος αναφοράς ισούται με $z_c = z_g + h/2$ και η επιφάνεια αναφοράς με $A_{ref} = b \cdot h$.



Σχήμα 4.31 Συμβολισμοί για πινακίδες σήμανσης.

4.6.4 Κατασκευαστικά στοιχεία ορθογωνικής διατομής.

Για τον υπολογισμό του συντελεστή δύναμης για δομικά στοιχεία με ορθογωνική διατομή και θεωρώντας ότι ο άνεμος δρα κάθετα σε μία από τις όψεις τους, χρησιμοποιείται η σχέση:

$$c_f = c_{f,0} * \psi_r * \psi_\lambda$$

όπου:

$c_{f,0}$ = συντελεστής δύναμης ορθογωνικών διατομών με αιχμηρές γωνίες και χωρίς ροή ελεύθερων άκρων.

ψ_r = μειωτικός συντελεστής για τετραγωνικές διατομές με στρογγυλεμένες γωνίες.

ψ_λ = μειωτικός συντελεστής για στοιχεία με πεπερασμένο λόγο λυγηρότητας λ .

Το ύψος αναφοράς z_e ισούται με το μέγιστο ύψος της διατομής πάνω από το έδαφος και η επιφάνεια αναφοράς ισούται με:

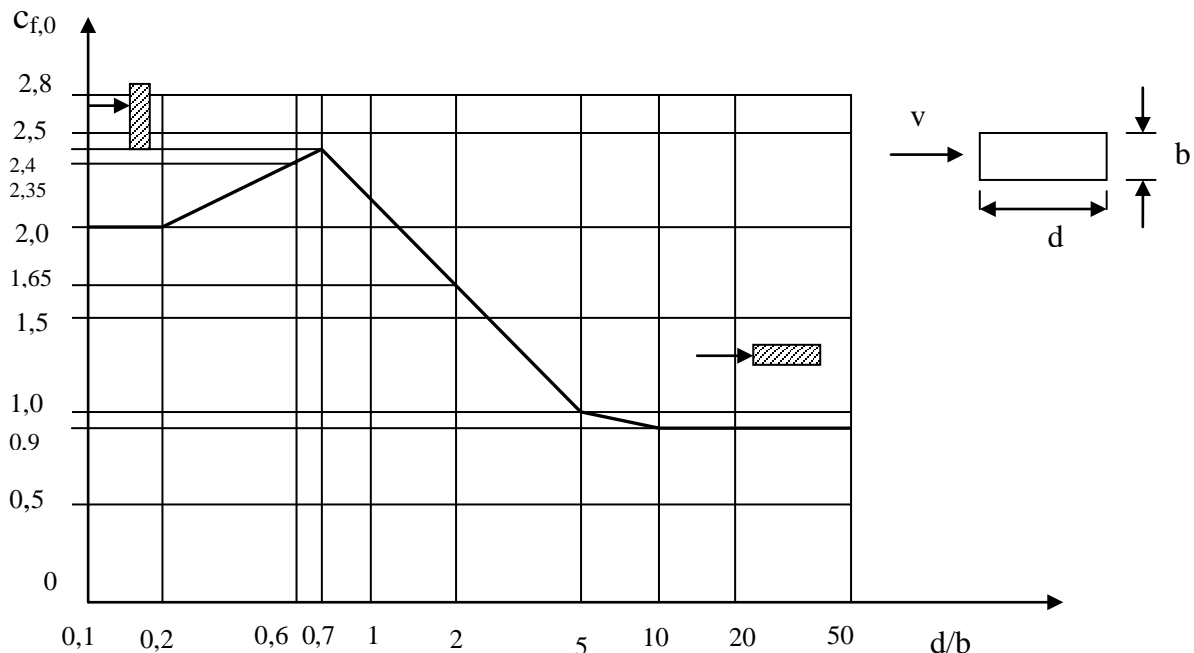
$$A_{ref} = \ell * b$$

όπου:

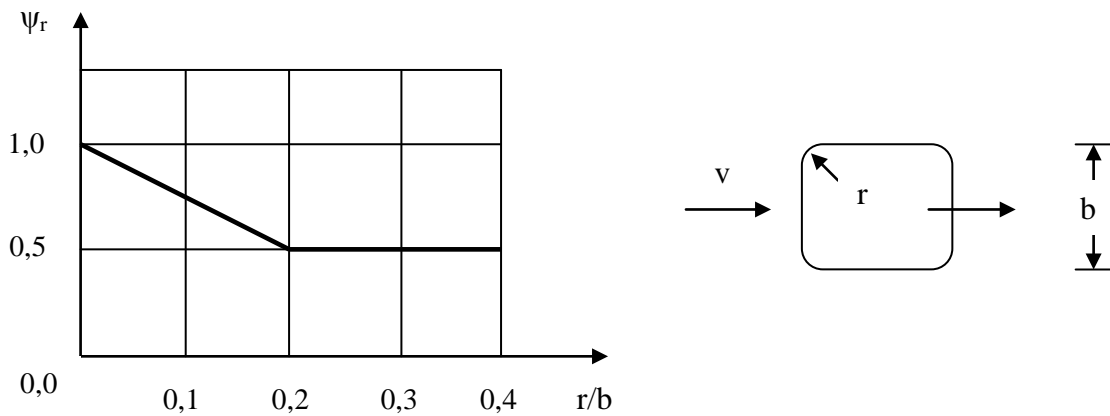
ℓ = μήκος του στοιχείου

b = πλάτος του στοιχείου

Για την περίπτωση πλακοειδών διατομών (με $d/b < 0,2$) υπάρχει η πιθανότητα οι δυνάμεις ανύψωσης να αυξήσουν τις τιμές του συντελεστή c_f έως και 25% για συγκεκριμένες γωνίες πρόπτωσης του ανέμου.



Σχήμα 4.32 Συντελεστές δύναμης c ορθογωνικών διατομών με αιχμηρές άκρες και χωρίς ροή ελευθέρων άκρων.



Σχήμα 4.33 Μειωτικός συντελεστής ψ_r για τετραγωνική διατομή με στρογγυλεμένες ακμές.

4.6.5 Κατασκευαστικά στοιχεία με αιχμηρές ακμές.

Για τον υπολογισμό του συντελεστή δύναμης για την περίπτωση κατασκευαστικών στοιχείων με αιχμηρές ακμές, χρησιμοποιείται η σχέση:

$$c_f = c_{f,0} * \psi_\lambda$$

όπου:

$c_{f,0}$ = συντελεστής δύναμης κατασκευαστικών στοιχείων με αιχμηρές ακμές και χωρίς ροή ελευθέρων άκρων και ισούται με $c_{f,0} = 2,0$.

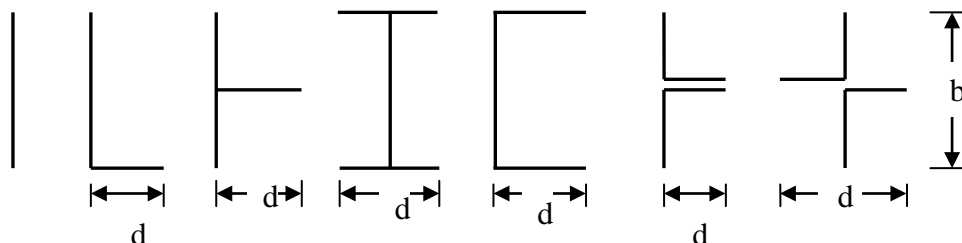
ψ_λ = συντελεστής επίδρασης άκρων.

Το ύψος αναφοράς ισούται με το ύψος της διατομής πάνω από το έδαφος και οι επιφάνειες αναφοράς είναι ίσες με:

$$A_{ref} = l * b \quad \text{στη διεύθυνση } x$$

$$A_{ref} = l * d \quad \text{στη διεύθυνση } \psi$$

Σχήμα 4.34 Διατομές με αιχμηρά άκρα.



4.6.6 Κατασκευαστικά στοιχεία διατομής κανονικού πολυγώνου.

Για τον υπολογισμό του συντελεστή δύναμης για κατασκευαστικά στοιχεία πολυγωνικής διατομής, χρησιμοποιείται η σχέση:

$$c_f = c_{f,0} * \psi_\lambda$$

όπου:

$c_{f,0}$ = συντελεστής δύναμης για κατασκευαστικά στοιχεία με αιχμηρές γωνίες και χωρίς ροή ελεύθερων άκρων (με $\lambda = l/b$ όπου l =μήκος και b =διάμετρος του περιγεγραμμένου κύκλου).

ψ_λ = συντελεστής επίδρασης άκρων.

Το ύψος αναφοράς ισούται με το μέγιστο ύψος του υπό εξέταση στοιχείου πάνω από το έδαφος και η επιφάνεια αναφοράς ισούται με:

$$A_{ref} = l * b$$

Διατομή	Αριθμός πλευρών	Τελείωμα επιφάνειας & ακμών	Αριθμός Reynolds(Re)	$c_{f,0}$		
Πεντάγωνο	5	Όλες	Όλες	1,80		
Εξάγωνο	6	Όλες	Όλες	1,60		
Οκτάγωνο	8	Λεία επιφάνεια $r/b < 0,075$	$Re \leq 2,4 * 10^5$	1,45		
			$Re \geq 3 * 10^5$	1,30		
Δεκάγωνο	10	Όλες	Λεία επιφάνεια $r/b < 0,075$	$Re \leq 2 * 10^5$	1,30	
				$Re \leq 7 * 10^5$	1,10	
				Όλες	Όλες	1,30
Δωδεκάγωνο	12	Λεία επιφάνεια με στρογγυλεμένες ακμές	$2 * 10^5 < Re < 1,2 * 10^6$	0,90		
				Όλες οι υπόλοιπες	$Re < 4 * 10^5$	1,30
					$Re > 4 * 10^5$	1,10
Δεκαεξάγωνο	16-18	Λεία επιφάνεια με στρογγυλεμένες ακμές	$Re < 2 * 10^5$	Αντιμετωπίζεται ως κυκλικός κύλινδρος		
				$2 * 10^5 < Re < 1,2 * 10^6$	0,70	

Πίνακας 4.13 Συντελεστής δύναμης για διατομές κανονικού πολυγώνου.

4.6.7 Κυκλικοί κύλινδροι και σφαίρες.

4.6.7.1 Κυκλικοί κύλινδροι

Οι συντελεστές πίεσης των κυκλικών διατομών εξαρτώνται από τον αριθμό Reynolds που ισούται με:

$$Re = \frac{b * v(z_e)}{v}$$

Όπου:

b = η διάμετρος του κυλίνδρου

v = το κινηματικό ιξώδες του αέρα που ισούται με $v = 15 * 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

$v(z_e)$ = η ταχύτητα του ανέμου σε ύψος z_e .

Για τον υπολογισμό των συντελεστών εξωτερικής πίεσης c_{pe} των κυκλικών κυλίνδρων, χρησιμοποιείται η σχέση:

$$c_{pe} = c_{p,0} * \psi_{\lambda\alpha}$$

όπου:

$c_{p,0}$ = ο συντελεστής εξωτερικής πίεσης χωρίς ροή ελευθέρων άκρων και δίνεται στο σχήμα 4.28 συναρτήσει της γωνίας α και για διάφορους αριθμούς Reynolds.

$\psi_{\lambda\alpha}$ = ο συντελεστής επίδρασης άκρων και δίνεται από τις σχέσεις:

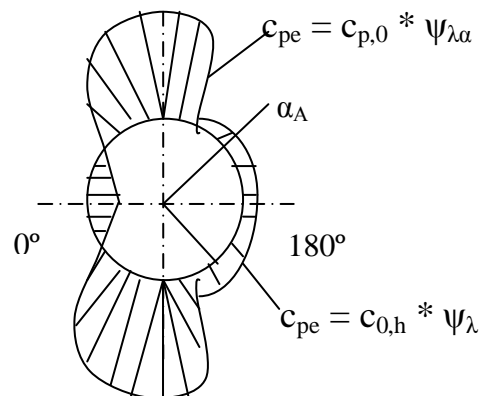
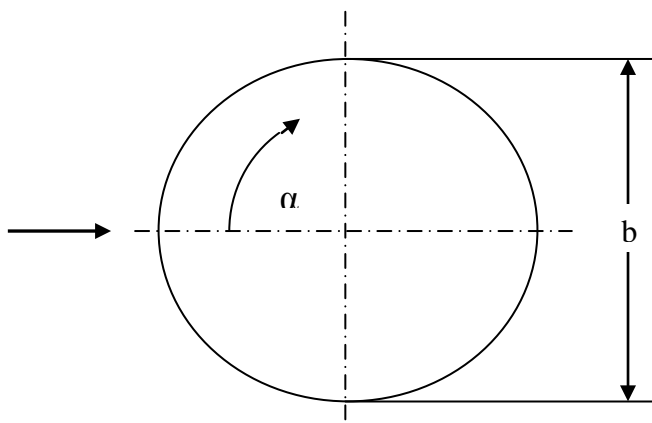
$$\psi_{\lambda\alpha} = 1$$

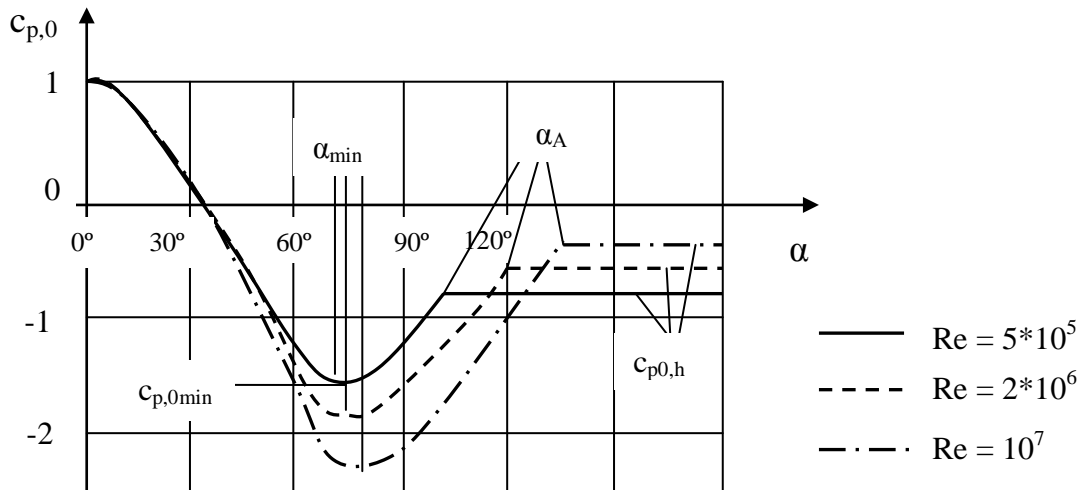
$$\text{για } 0^\circ \leq \alpha \leq \alpha_{\min}$$

$$\psi_{\lambda\alpha} = \psi_\lambda + (1 - \psi_\lambda) * \cos \left[\frac{\pi}{2} \left[\frac{\alpha - \alpha_{\min}}{\alpha_A - \alpha_{\min}} \right] \right] \quad \text{για } \alpha_{\min} < \alpha < \alpha_A$$

$$\psi_{\lambda\alpha} = \psi_\lambda$$

$$\text{για } \alpha_A \leq \alpha \leq 180^\circ$$





Σχήμα 4.35 Κατανομή πιέσεων σε κυκλικούς κυλίνδρους για διάφορους αριθμούς Reynolds χωρίς επίδραση άκρων.

Σημείωση:

- α_A είναι η θέση του διαχωρισμού ροής
- ψ_λ είναι ο συντελεστής επίδρασης των άκρων
- Για ενδιάμεσες τιμές μπορεί να εφαρμοστεί γραμμική παρεμβολή
- Στον πίνακα που ακολουθεί (Πίν. 4.15), δίνονται οι τυπικές τιμές για το παραπάνω σχήμα. Το σχήμα και ο πίνακας βασίζονται στον αριθμό Reynolds με:

$$v = \sqrt{\frac{2 a_b}{\rho}}$$

- Το παραπάνω σχήμα αναφέρεται σε μια τραχύτητα $k/b < 5 \cdot 10^{-4}$.

Re	α_{min}	$C_{p0,min}$	α_A	$C_{p0,h}$
$5 \cdot 10^5$	85	-2,2	135	-0,4
$2 \cdot 10^6$	80	-1,9	120	-0,7
10^7	75	-1,5	105	-0,8

Πίνακας 4.14 Τυπικές τιμές κατανομής πίεσης κυκλικών κυλίνδρων για διάφορους αριθμούς Reynolds ωρίς επίδραση άκρων.

Όπου:

- α_{min} = η θέση της ελάχιστης πίεσης σε (°)
- $C_{p0,min}$ = η τιμή του ελάχιστου συντελεστή πίεσης
- α_A = η θέση του διαχωρισμού ροής σε (°)
- $C_{p0,h}$ = ο συντελεστής της βασικής πίεσης

Τύπος επιφάνειας	Ισοδύναμη τραχύτητα k (mm)	Τύπος επιφάνειας	Ισοδύναμη τραχύτητα k (mm)
Γυαλί	0,0015	Λείο σκυρόδεμα	0,2
Στιλβωμένο μέταλλο	0,002	Πλανισμένο ξύλο	0,5
Λεπτή βαφή	0,006	Τραχύ σκυρόδεμα	1,0
Βαφή με ψεκασμό	0,02	Τραχύ προιονισμένο ξύλο	2,0
Στιλπνός χάλυβας	0,05	Σκουριά	2,0
Χυτοσίδηρος	0,2	Οπτοπλινθοδομή	3,0
Γαλβανισμένος χάλυβας	0,2		

Πίνακας 4.15 Ισοδύναμη τραχύτητα k επιφάνειας.

Η επιφάνεια αναφοράς ισούται με:

$$A_{\text{ref}} = \ell * b$$

Όπου:

ℓ = το μήκος του στοιχείου

b = το πλάτος του στοιχείου

Το ύψος αναφοράς z_e θεωρείται ίσο με το ύψος της διατομής πάνω από το έδαφος.

Για τον υπολογισμό του συντελεστή δύναμης για την περίπτωση των κυκλικών κυλίνδρων πεπερασμένου μήκους, χρησιμοποιείται η σχέση:

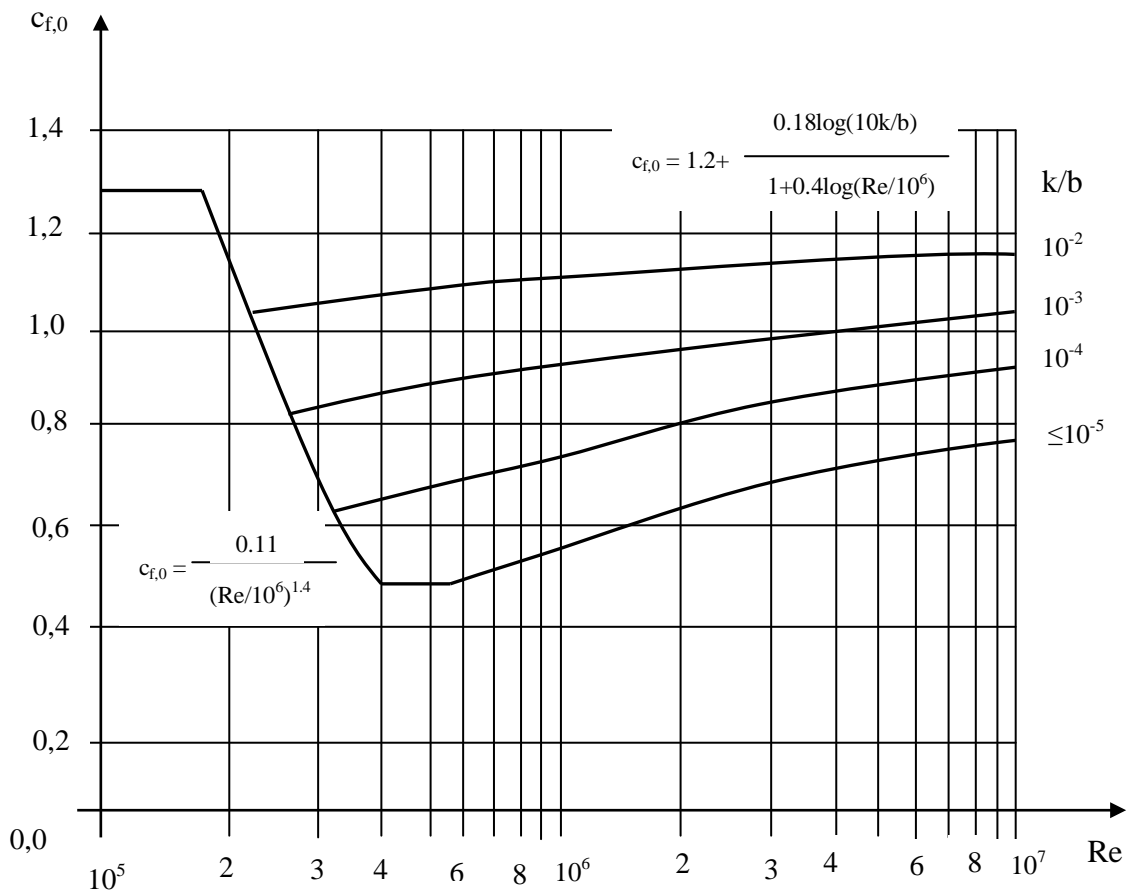
$$c_f = c_{f,0} * \psi_\lambda$$

όπου:

$c_{f,0}$ = ο συντελεστής δύναμης των κυλίνδρων χωρίς ροή ελευθέρων άκρων και δίνεται στο διάγραμμα του σχήματος 4.30

ψ_λ = ο συντελεστής επίδρασης άκρων

Στην περίπτωση των καλωδίων με νήματα η τιμή του συντελεστή $c_{f,0}$ ισούται με 1,20 για όλες τις τιμές του αριθμού Reynolds.



Σχήμα 4.36 Συντελεστής δύναμης για κυκλικούς κυλίνδρους χωρίς ροή ελευθέρων άκρων και για διάφορες τιμές της ισοδύναμης τραχύτητας k/b .

Για την περίπτωση κυλίνδρων που βρίσκονται κοντά σε επίπεδη επιφάνεια με λόγο απόστασης $z_g/b < 1,5$, απαιτείται συμβουλή ειδικού.

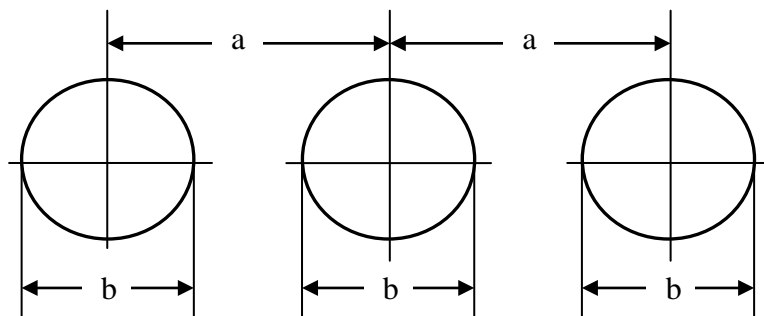
Για την περίπτωση κυκλικών κυλίνδρων με διάταξη εν σειρά, ο συντελεστής δύναμης $c_{f,0}$ εξαρτάται από την διεύθυνση του ανέμου σε σχέση με τον άξονα της σειράς και από το λόγο της απόστασης a και της διαμέτρου b (βλ. Σχήμα 4.31).

Έτσι, ο συντελεστής δύναμης c_f για κάθε κύλινδρο δίνεται από την σχέση:

$$c_f = c_{f,0} * \psi_\lambda * \kappa$$

όπου:

κ = ο συντελεστής που δίνεται στον πίνακα 4.16 για την δυσμενέστερη διεύθυνση του ανέμου.



Σχήμα 4.37 Κυκλικοί κύλινδροι σε διάταξη εν σειρά.

a/b	κ
a/b < 3,5	1,15
3,5 < a/b < 30	$\frac{210 - (a/b)}{180}$
a/b > 30	1,00

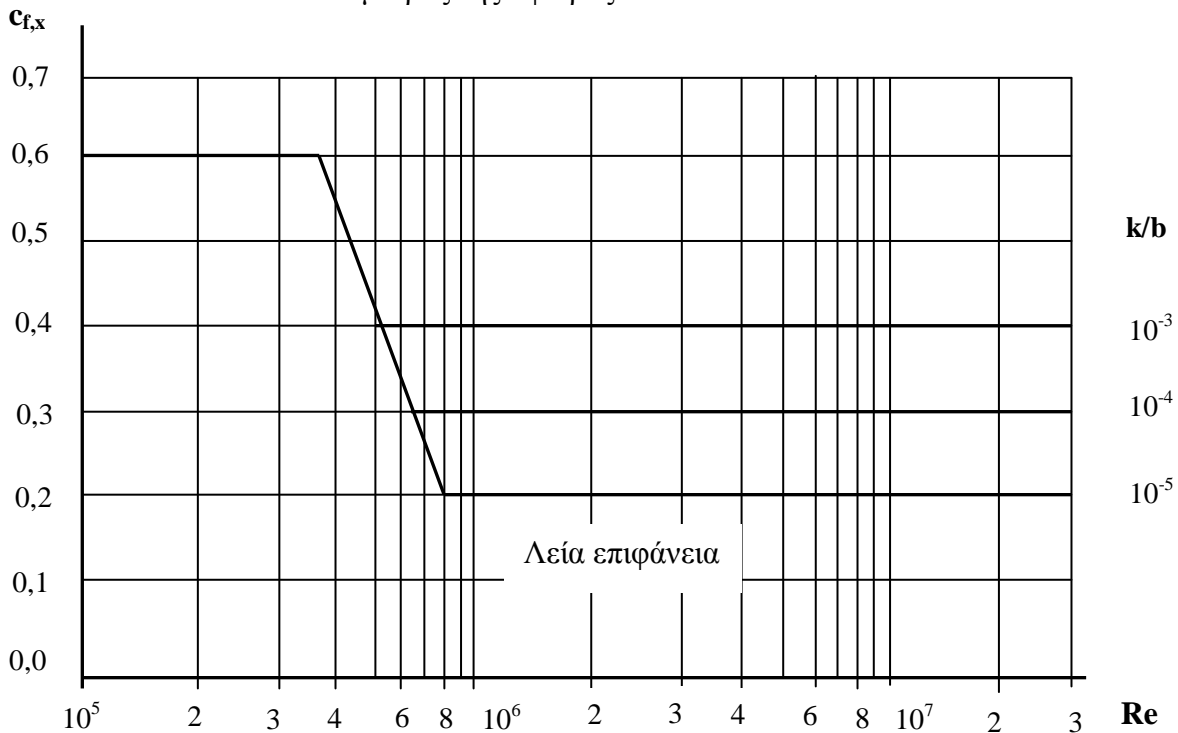
Πίνακας 4.16 Συντελεστής κ για κατακόρυφους κυλίνδρους σε διάταξη εν σειρά.

4.6.7.2 Σφαίρες

Για τον υπολογισμό του συντελεστή δύναμης $c_{f,x}$ κατά την διεύθυνση του ανέμου, για την περίπτωση των σφαιρών με $z_g > b/2$, χρησιμοποιείται το Σχήμα 4.32 στο οποίο δίνεται ο συντελεστής δύναμης συναρτήσει του αριθμού Reynolds και της ισοδύναμης τραχύτητας k/b . Όταν $z_g < b/2$, ο συντελεστής δύναμης $c_{f,x}$ πολλαπλασιάζεται με 1,6.

Σημείωση:

- z_g = απόσταση της σφαίρας από καθαρή επιφάνεια
- b = διάμετρος της σφαίρας



Σχήμα 4.38 Συντελεστής δύναμης σφαίρας στην διεύθυνση του ανέμου.

Για τον υπολογισμό συντελεστή κατακόρυφης δύναμης $c_{f,z}$ χρησιμοποιούνται οι σχέσεις:

$$c_{f,z} = 0 \quad \text{για} \quad z_g > b/2$$

$$c_{f,z} = +0,6 \quad \text{για} \quad z_g < b/2$$

και στις δύο περιπτώσεις το ύψος και η επιφάνεια αναφοράς δίνονται από τις σχέσεις:

$$z_e = z_g + b/2 \quad \& \quad A_{ref} = \pi * b^2/4$$

4.6.8 Δικτυωτές κατασκευές και ικριώματα

Για τον υπολογισμό του συντελεστή δύναμης c_f για την περίπτωση των δικτυωτών κατασκευών και των ικριωμάτων, χρησιμοποιείται η σχέση:

$$c_f = c_{f,0} * \psi_\lambda$$

όπου:

$c_{f,0}$ = ο συντελεστής δύναμης χωρίς επίδραση άκρων (βλ. Σχ. 4.34 & 4.35).

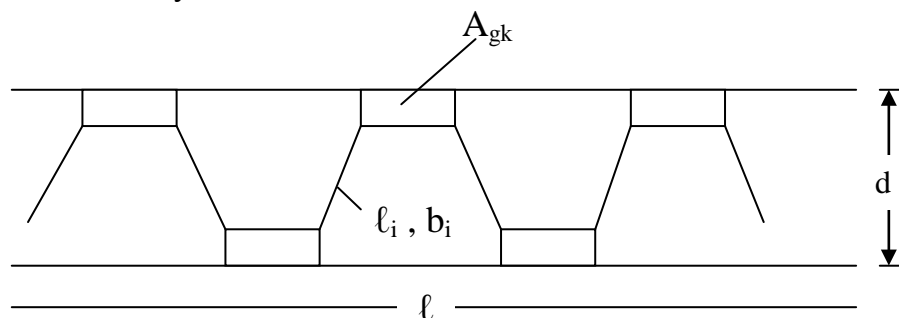
ψ_λ = ο συντελεστής επίδρασης άκρων συναρτήσει της λυγηρότητας λ της κατασκευής με:

$$\lambda = \ell/b$$

όπου:

ℓ = μήκος

b = πλάτος



Σχήμα 4.39 Δικτυωτή κατασκευή ή ικριώμα.

Ο συντελεστής δύναμης για δικτυώματα και ικριώματα εξαρτάται από τον λόγο πληρότητας ϕ και από τον αριθμό Reynolds και δίνεται στα Σχ. 4.34 & 4.35 .

Έτσι, ο λόγος πληρότητας ϕ ισούται με:

$$\phi = \frac{A}{A_c}$$

όπου:

A = το άθροισμα της προβολής της επιφάνειας των μελών και των κομβοελασμάτων κάθετα προς την όψη:

$$A = \sum b_i * \ell_i + \sum A_{gk}$$

Όπου:

ℓ_i = το μήκος του μεμονωμένου μέλους προβαλλόμενου κάθετα στην όψη

b_i = το πλάτος του μεμονωμένου μέλους προβαλλόμενου κάθετα στην όψη
 A_{gk} = η επιφάνεια του κομβοελάσματος k
 A_c = η επιφάνεια που περικλείεται μεταξύ των ακραίων στοιχείων, προβαλλόμενα κάθετα προς την όψη:

$$A_c = d * \ell$$

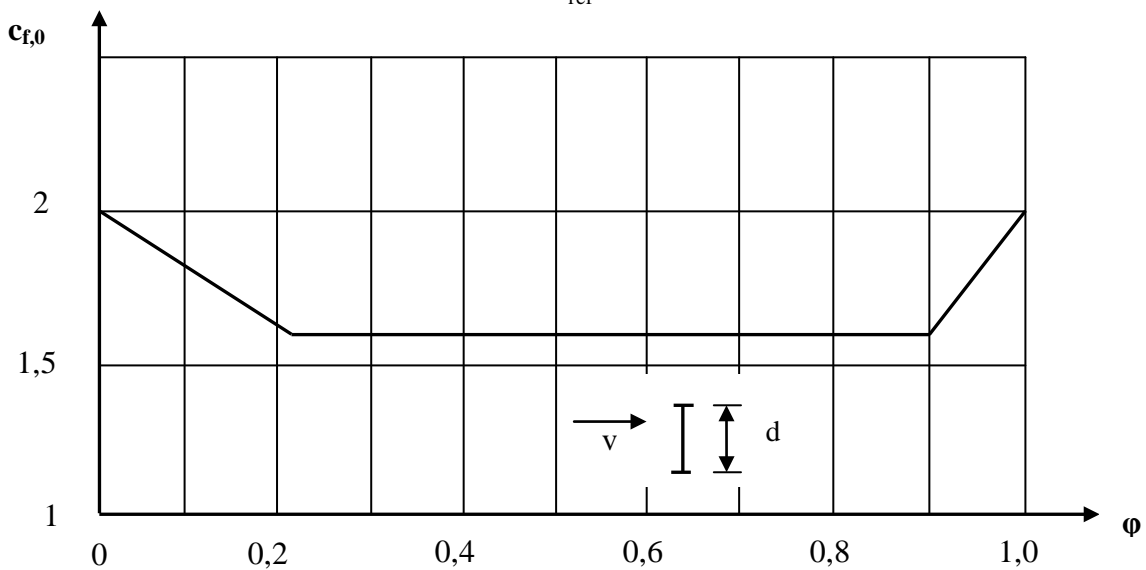
Όπου:

ℓ = το μήκος του δικτυώματος

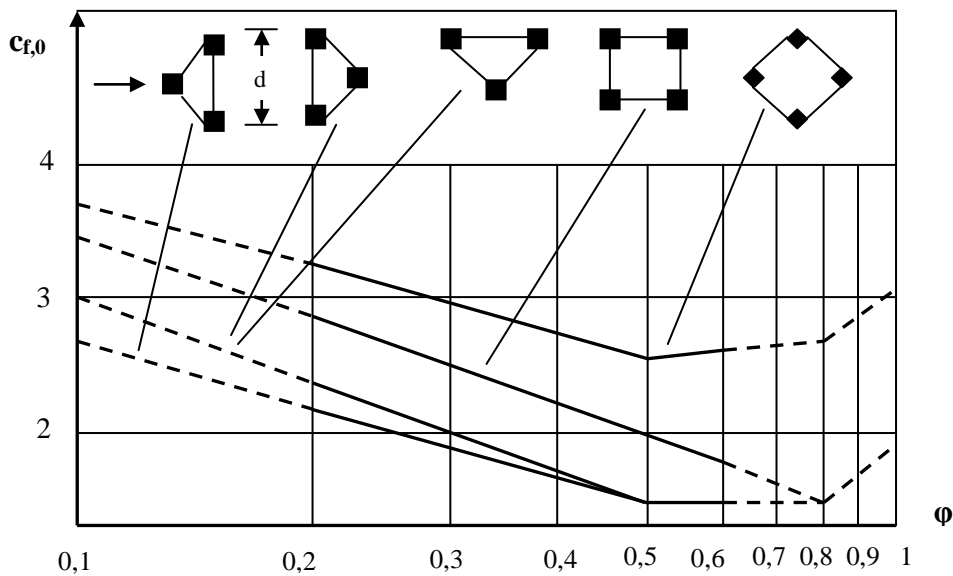
d = το πλάτος του δικτυώματος

Το ύψος αναφοράς z_e ισούται με το ύψος του στοιχείου πάνω από το έδαφος και η επιφάνεια αναφοράς ισούται με:

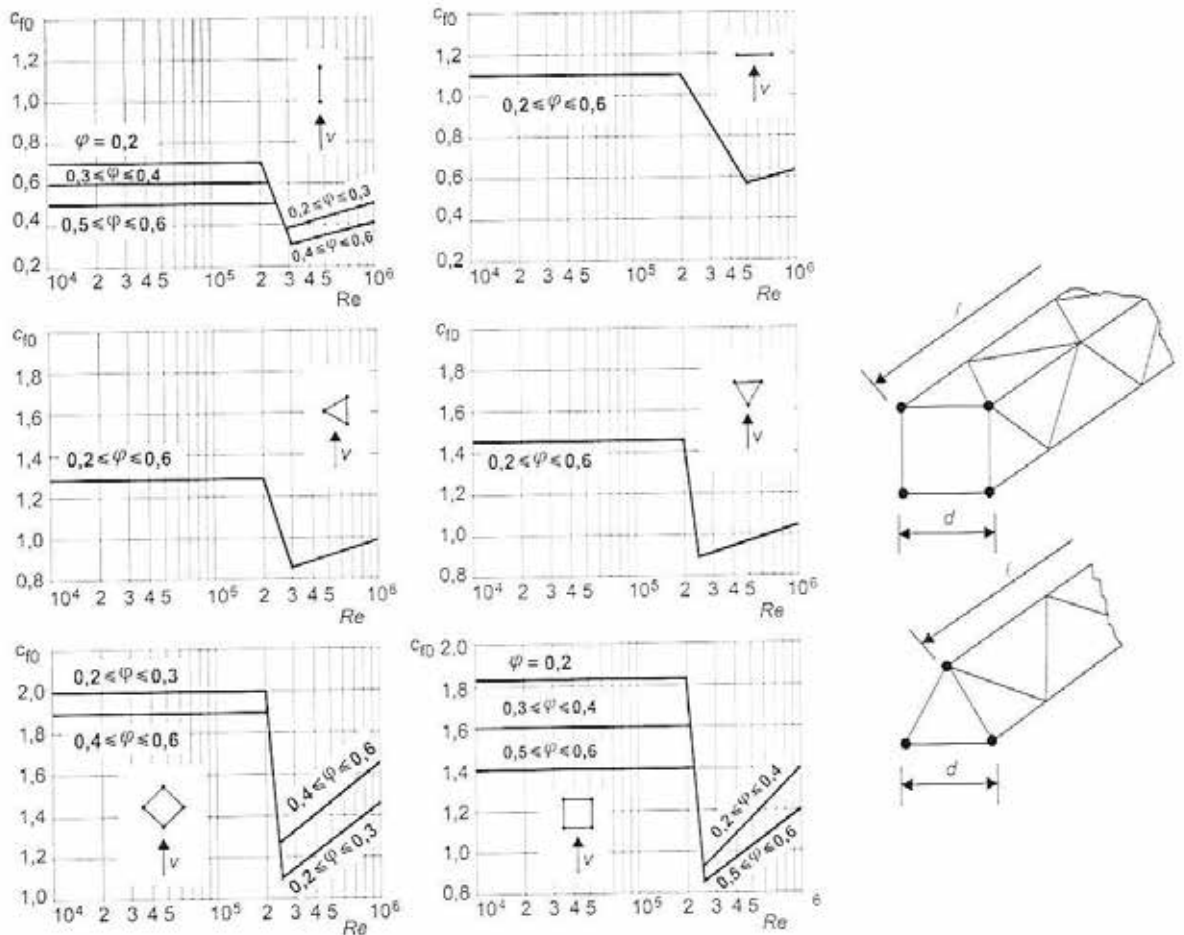
$$A_{ref} = A$$



Σχήμα 4.40 Συντελεστής δύναμης $c_{f,0}$ για επίπεδη δικτυωτή κατασκευή με μέλη από γωνιακά συναρτήσει του λόγου πληρότητας ϕ .



Σχήμα 4.41 Συντελεστής δύναμης $c_{f,0}$ για χωροδικτυωτή κατασκευή με μέλη απογωνιακά, συναρτήσει του λόγου πληρότητας φ .

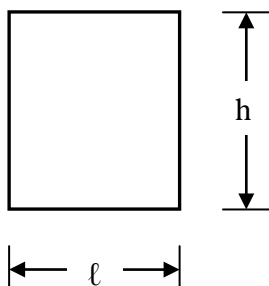


Σχήμα 4.42 Συντελεστής δύναμης $c_{f,0}$ για επίπεδες και χωρικές δικτυωτές κατασκευές με μέλη κυκλικής διατομής.

4.6.9 Σημαίες

Για τον υπολογισμό του συντελεστή δύναμης c_f για σημαίες αλλά και για τις επιφάνειες αναφοράς, χρησιμοποιούνται τα παρακάτω:

- Σταθερές σημαίες

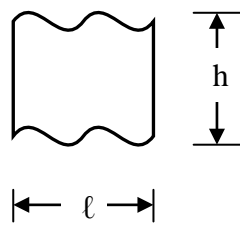


$$A_{\text{ref}} = h * \ell$$

$$c_f = 1,80$$

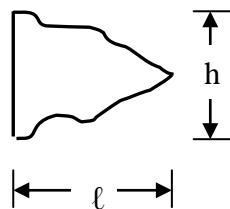
(δύναμη κάθετη στο επίπεδο της σημαίας)

- Ελεύθερες σημαίες



$$A_{\text{ref}} = h * \ell$$

$$c_f = 0,02 + 0,7 \frac{m_f}{\rho * h} \left(\frac{A_{\text{ref}}}{h^2} \right)^{-1.25}$$



$$A_{\text{ref}} = 0,5 h * \ell$$

Όπου:

m_f = μάζα ανά μονάδα επιφάνειας της σημαίας

ρ = πυκνότητα του αέρα

z_e = ύψος της σημαίας πάνω από το έδαφος

Σημειώνεται ότι η εξίσωση για τις ελεύθερες σημαίες περιλαμβάνει δυναμικές δράσεις από την επίδραση του πτερυγισμού της σημαίας.

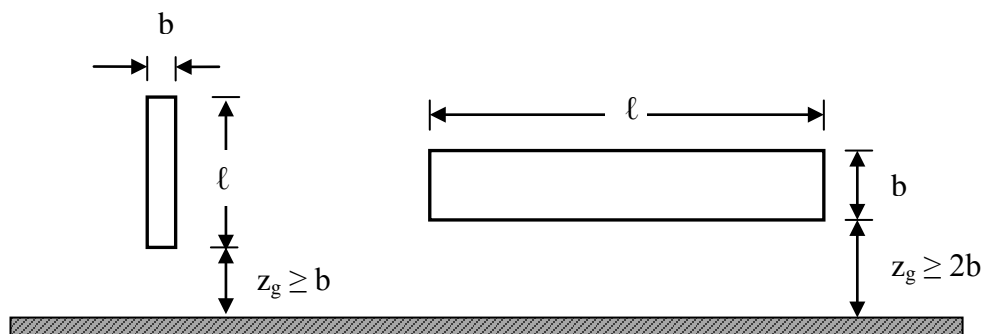
4.6.10 Ενεργός λυγηρότητα λ & συντελεστής επίδρασης άκρων ψ_λ .

Η ενεργός λυγηρότητα λ , ανάλογα με τις διαστάσεις της κατασκευής και τη θέση της, υπολογίζεται ως εξής:

- Διατομές πολυγωνικές, ορθογωνικές και με αιχμηρές γωνίες

$$\text{για } \ell \geq 50\text{m} \implies \lambda = \min\{ 1.4\ell/b, 70 \}$$

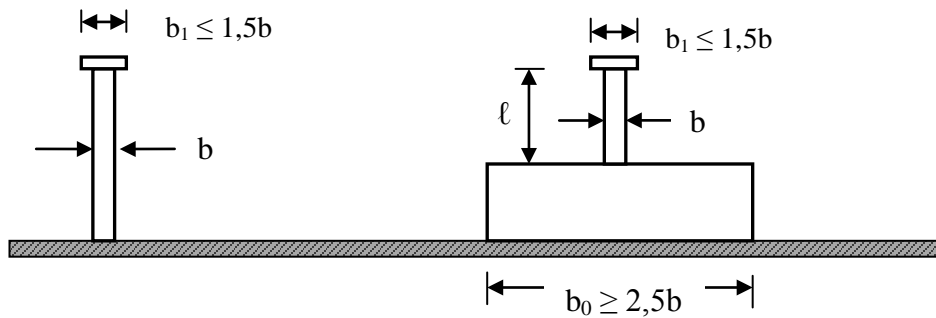
$$\text{για } \ell < 15\text{m} \implies \lambda = \min\{ 2\ell/b, 70 \}$$



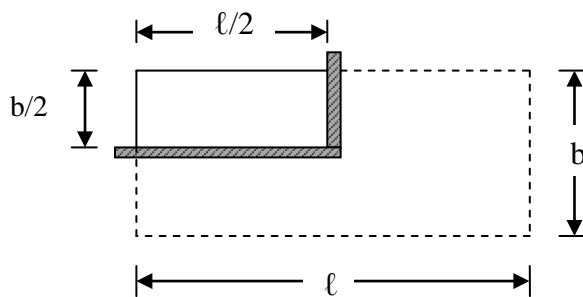
- Κυκλικοί κύλινδροι

$$\text{για } \ell \geq 50\text{m} \implies \lambda = \min\{0.7\ell/b, 70\}$$

$$\text{για } \ell < 15\text{m} \implies \lambda = \min\{\ell/b, 70\}$$



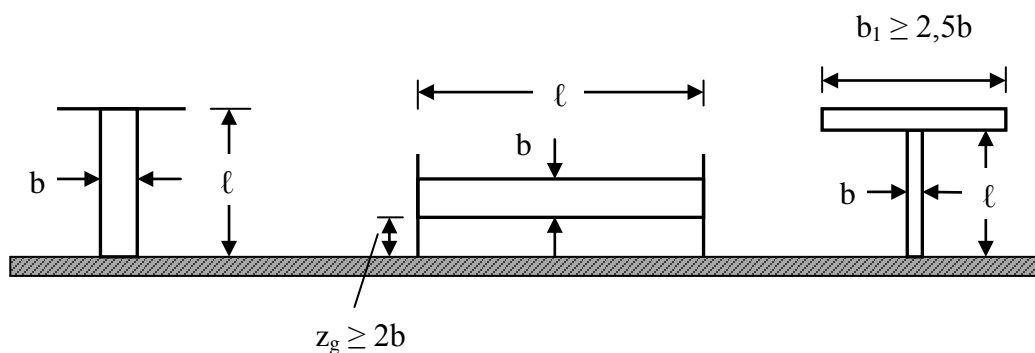
- Για ενδιάμεσες τιμές του ℓ χρησιμοποιείται γραμμική παρεμβολή.



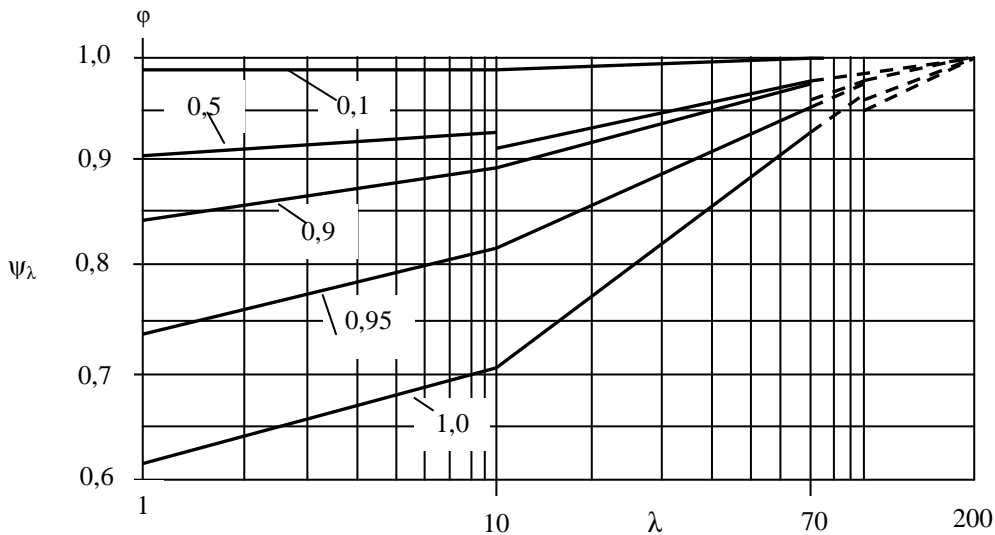
- Για ενδιάμεσες τιμές του ℓ χρησιμοποιείται γραμμική παρεμβολή.

$$\text{για } \ell \geq 50\text{m} \implies \lambda = \max\{0.7\ell/b, 70\}$$

$$\text{για } \ell < 15\text{m} \implies \lambda = \max\{\ell/b, 70\}$$



Στο σχήμα 4.43 δίνεται ο συντελεστής επίδρασης άκρων ψ_λ σαν συνάρτηση της λυγηρότητας λ και του λόγου πληρότητας ϕ .



Σχήμα 4.43
Συντελεστής
επίδρασης
άκρων

Σημειώνεται ότι, οι συντελεστές δύναμης $c_{f,0}$ που χρησιμοποιήθηκαν στις προηγούμενες παραγράφους βασίζονται σε μετρήσεις που έγιναν σε κατασκευές χωρίς ροή ελευθέρων άκρων, μακριά από το έδαφος.

Ο συντελεστής επίδρασης άκρων λαμβάνει υπόψη την μειωμένη αντίσταση της κατασκευής εξαιτίας της ροής του ανέμου γύρω από τα άκρα.

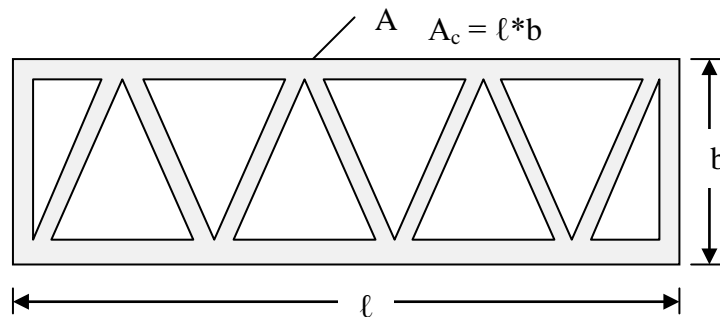
Ο λόγος πληρότητας ϕ δίνεται από την σχέση:

$$\phi = A/A_c$$

όπου:

A = το άθροισμα των προβολών των επιφανειών των μελών

A_c = η συνολική επιφάνεια εντός του περιγράμματος και ισούται με:



Σχήμα 4.44 Ορισμός του λόγου πληρότητας ϕ

4.6.11 Συντελεστές τριβής c_{fr}

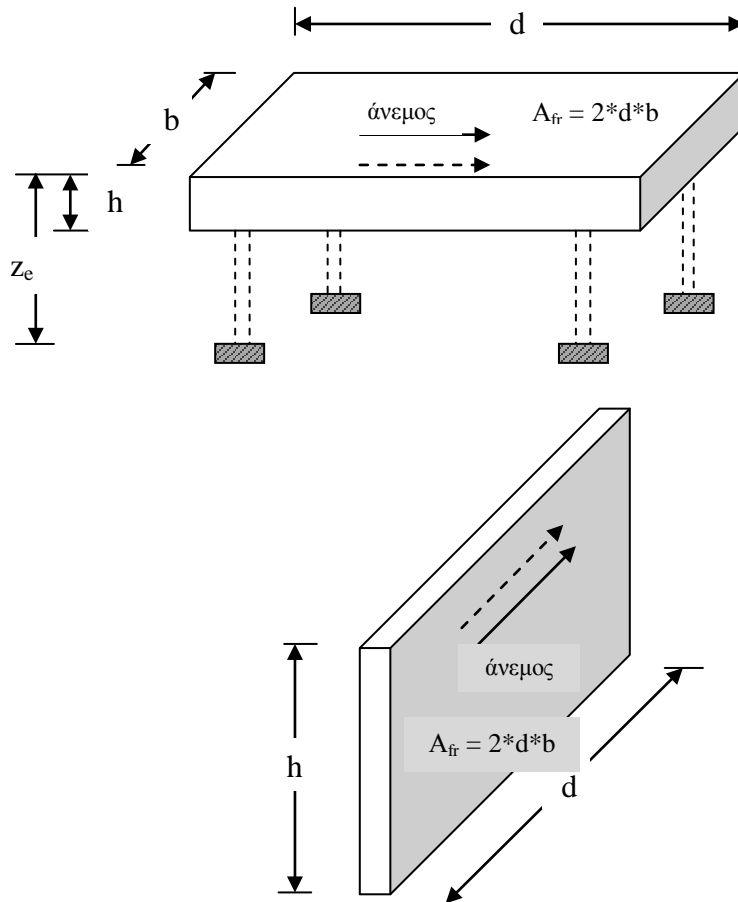
Οι συντελεστές τριβής των επιφανειών και των τοίχων και των στεγών είναι:

Είδος επιφάνειας	Συντελεστής τριβής c_{fr}
Ομαλή (π.χ. λείο σκυρόδεμα, χάλυβας)	0,01
Τραχειά (π.χ. τραχύ σκυρόδεμα)	0,02

Πίνακας 4.16 Συντελεστές τριβής για επιφάνειες.

Η επιφάνεια αναφοράς A_{fr} δίνεται στο σχήμα που ακολουθεί.

Οι δυνάμεις τριβής εφαρμόζονται στο εξωτερικό τμήμα των επιφανειών παράλληλα με τον άνεμο, που βρίσκονται πέραν μιας απόστασης από το προσήνεμο άκρο, η οποία ισούται με την μικρότερη τιμή των $2b$ ή $4h$.



Σχήμα 4.45 Επιφάνεια αναφοράς για τριβή.

4.7 Φορτία ανέμου σε γέφυρες.

Σε αυτό το κεφάλαιο αναφέρονται οι δράσεις του ανέμου που ασκούνται σε γέφυρες σταθερού ύψους και οι οποίες αποτελούνται από ένα μόνο κατάστρωμα και έχουν ένα ή περισσότερα ανοίγματα.

Για γέφυρες άλλου τύπου όπως τοξωτές, αναρτημένες με ευθύγραμμα καλώδια, κρεμαστές, κινητές κλπ οι δράσεις ανέμου ορίζονται στο Εθνικό Προσάρτημα.

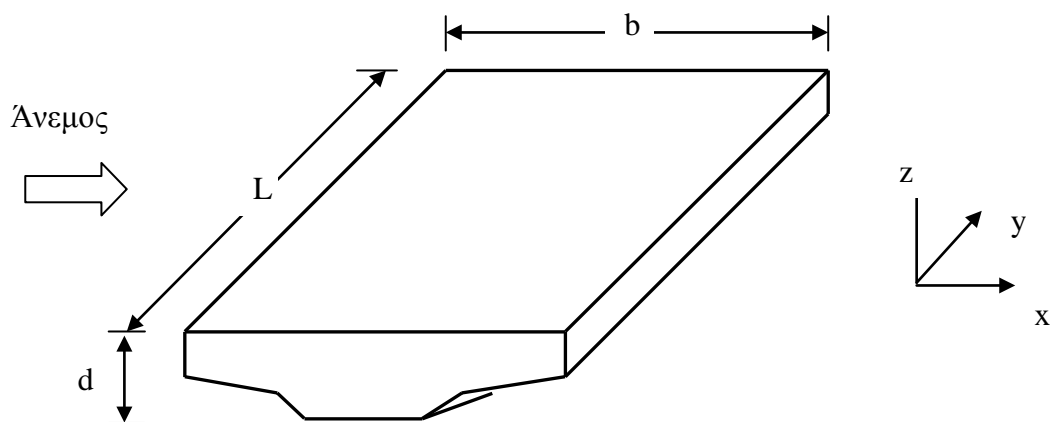
Οι δράσεις του ανέμου στις γέφυρες θεωρούνται σε τρεις διευθύνσεις :

- Διεύθυνση x (δυνάμεις ανέμου)
- Διεύθυνση y (διαμήκειες δυνάμεις ανέμου)
- Διεύθυνση z (εγκάρσιες δυνάμεις ανέμου)

Οι δυνάμεις που προκαλούνται κατά τις διευθύνσεις x και y οφείλονται σε άνεμο που πνέει κατά διαφορετικές διευθύνσεις και δεν είναι ταυτόχρονες.

Οι δυνάμεις που προκαλούνται κατά την διεύθυνση z προκύπτουν από άνεμο που πνέει σε πολλές διευθύνσεις. Στην περίπτωση που είναι δυσμενείς και σημαντικές, λαμβάνονται υπόψη ως ταυτόχρονες με τις δυνάμεις που προκαλούνται σε οποιαδήποτε άλλη διεύθυνση.

Ο δυναμικός συντελεστής c_{s,c_d} ισούται με 1,0, εκτός αν απαιτείται εφαρμογή δυναμικής ανάλυσης. Για συνήθη καταστρώματα οδικών και σιδηροδρομικών γεφυρών και με άνοιγμα μικρότερο από 40m δεν χρειάζεται δυναμική ανάλυση.



Σχήμα 4.46 Διευθύνσεις των δράσεων του ανέμου σε γέφυρες.

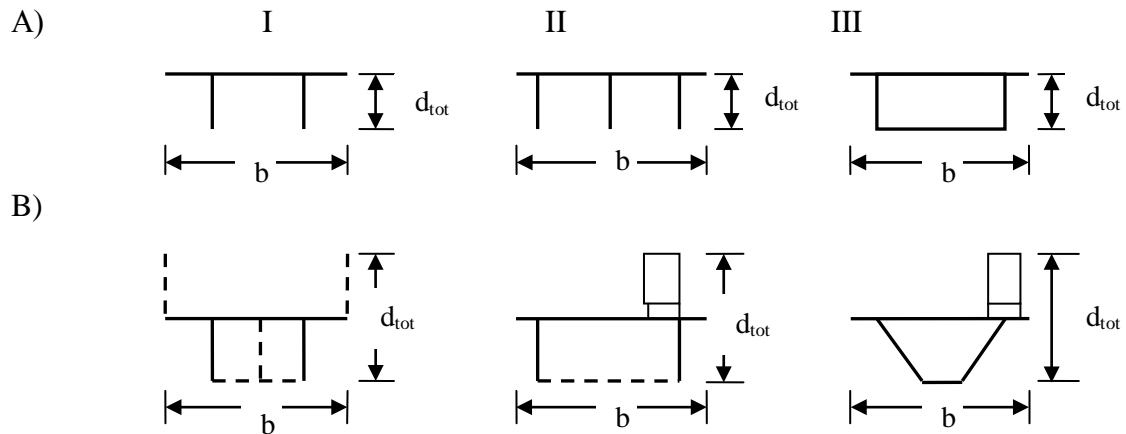
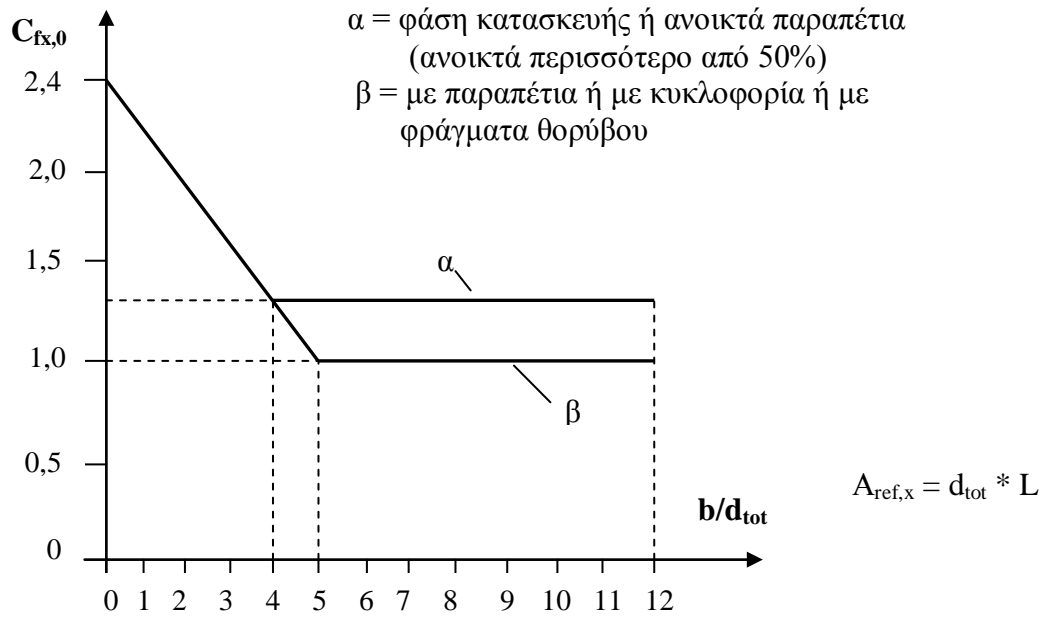
4.7.1 Υπολογισμός του συντελεστή δύναμης του ανέμου στη διεύθυνση x (γενική μέθοδος)

Για τον υπολογισμό του συντελεστή δύναμης για τις δράσεις του ανέμου σε καταστρώματα γεφυρών κατά την διεύθυνση x χρησιμοποιείται η σχέση:

$$c_{f,x} = c_{f_x,0}$$

όπου:

$c_{f_x,0}$ = ο συντελεστής δύναμης χωρίς ροή ελευθέρων άκρων γιατί στις γέφυρες η ροή παρεκκλίνει μόνο κατά μήκος δυο πλευρών (πάνω και κάτω από το κατάστρωμα της γέφυρας). Σε συνήθεις γέφυρες ισούται με 1,3 και για κάθε άλλη περίπτωση γεφυρών χρησιμοποιείται το διάγραμμα του σχήματος 4.41.



Σχήμα 4.47 Συντελεστής δύναμης $c_{fx,0}$ για γέφυρες.

Στην περίπτωση που υπάρχουν δύο παρόμοια καταστρώματα στο ίδιο επίπεδο και τα οποία χωρίζονται εγκάρσια από κενό ίσο ή μικρότερο από 1m, τότε για να υπολογιστεί η δύναμη του ανέμου θεωρούμε την κατασκευή ως ενιαία, διαφορετικά θα πρέπει να λαμβάνουμε υπόψη ειδική θεώρηση για την αλληλεπίδραση του ανέμου με την κατασκευή.

Ακόμα, αν η γωνία κλίσης του ανέμου είναι μεγαλύτερη από 10° , (από κλίση του εδάφους σε σχέση με τον άνεμο), πρέπει να διεξαχθεί ειδική μελέτη.

Σε περίπτωση που η προσήνεμη όψη είναι κεκλιμένη ως προς την κατακόρυφο (βλ. Σχ. 4.41 ΒΙΙΙ) ο συντελεστής δύναμης $c_{fx,0}$ μπορεί να μειωθεί κατά 0,5% ανά μοίρα κλίσης με μέγιστη συνολική μείωση 30%.

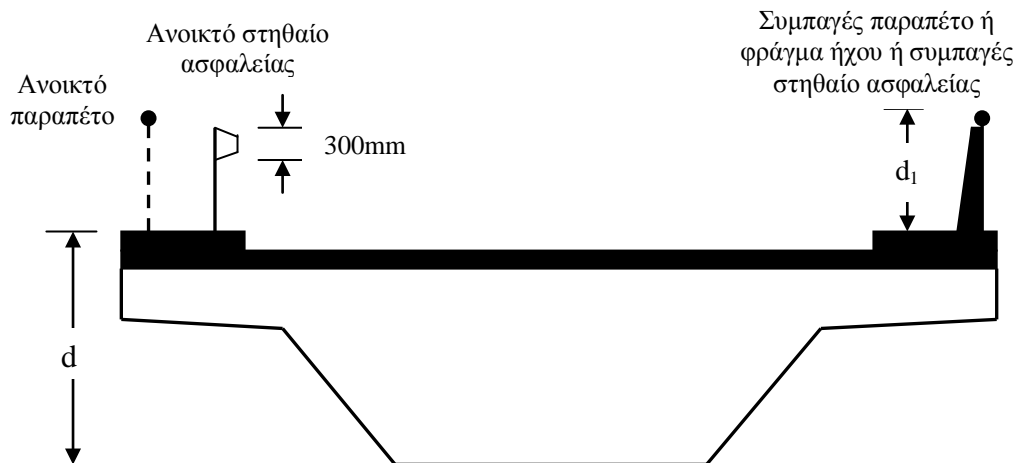
Επίσης, αν το κατάστρωμα μιας γέφυρας έχει κλίση εγκάρσια, ο συντελεστής δύναμης $c_{fx,0}$ πρέπει να αυξηθεί κατά 3% για κάθε μοίρα κλίσης με μέγιστη συνολική αύξηση 25%.

Για τον υπολογισμό της επιφάνειας αναφοράς $A_{ref,x}$ για συνδυασμούς φορτίων, χωρίς όμως φορτία κυκλοφορίας, χρησιμοποιούμε τα εξής:

1. Για την περίπτωση καταστρωμάτων με ολόσωμες δοκούς χρησιμοποιούμε το άθροισμα των:
 - i. Της επιφάνειας της εμπρόσθιας δοκού
 - ii. Της επιφάνειας των τμημάτων των άλλων κύριων δοκών που προεξέχουν κάτω από την εμπρόσθια κύρια δοκό
 - iii. Της επιφάνειας του τμήματος του πεζοδρομίου ή του υποστρώματος της οδού που προεξέχει πάνω από την εμπρόσθια κύρια δοκό
 - iv. Της επιφάνειας των συμπαγών στηθαίων ή των ηχοπετασμάτων πάνω από την επιφάνεια στην οποία αναφέρεται η προηγούμενη περίπτωση. Σε πιθανή απουσία τους 0,3m για κάθε ανοικτό παραπέτο ή κιγκλίδωμα.
2. Για την περίπτωση καταστρωμάτων με δικτυωτές δοκούς χρησιμοποιούμε το άθροισμα των:
 - i. Της επιφάνειας της όψης του πεζοδρομίου ή του υποστρώματος της οδού
 - ii. Των συμπαγών τμημάτων όλων των κύριων δικτυωτών δοκών σε κάθετη προβολή και βρίσκονται πάνω ή κάτω από την επιφάνεια στην οποία αναφέρεται η προηγούμενη περίπτωση.
 - iii. Της επιφάνειας των συμπαγών στηθαίων ή ηχοπετασμάτων πάνω από την επιφάνεια στην οποία αναφέρεται η πρώτη περίπτωση. Σε πιθανή απουσία τους, 0,3m για κάθε ανοικτό παραπέτο ή κιγκλίδωμα.
3. Για την περίπτωση καταστρωμάτων με πολλές κύριες δοκούς κατά την φάση της κατασκευής και πριν από την τοποθέτηση της φέρουσας πλάκας, λαμβάνουμε υπόψη:
 - i. Την επιφάνεια δύο κύριων δοκών

Σύστημα στηθαίου ασφαλείας	Σε μια πλευρά	Και στις δυο πλευρές
Ανοικτό παραπέτο ή ανοικτό στηθαίο ασφαλείας	$d + 0,3m$	$d + 0,6m$
Συμπαγές παραπέτο ή συμπαγές στηθαίο ασφαλείας	$d + d_1$	$d + 2d_1$
Ανοικτό παραπέτο και ανοικτό στηθαίο ασφαλείας	$d + 0,6m$	$d + 1,2m$

Πίνακας 4.17 Το ύψος που χρησιμοποιείται για το $A_{ref,x}$



Σχήμα 4.48 Το ύψος που χρησιμοποιείται για το $A_{ref,x}$

Για τον υπολογισμό της επιφάνειας αναφοράς $A_{ref,x}$ για συνδυασμούς φορτίων που περιλαμβάνουν φορτία κυκλοφορίας, χρησιμοποιούμε τα παραπάνω με τις εξής διαφοροποιήσεις :

Αντί για τις περιπτώσεις που αναφέρονται στο 1)iii και iv αλλά και στο 2)iii, λαμβάνονται υπόψη τα εξής(είναι μεγαλύτερα):

1. Για οδικές γέφυρες
 - i. 2m από το επίπεδο του οδοστρώματος, στο δυσμενέστερο μήκος, ανεξάρτητα από τη θέση των κατακόρυφων φορτίων κυκλοφορίας
2. Για σιδηροδρομικές γέφυρες
 - i. 4m από την άνω στάθμη των σιδηροτροχιών, σε όλο το μήκος της γέφυρας

Το ύψος αναφοράς z_e ισούται με την απόσταση από το χαμηλότερο επίπεδο εδάφους μέχρι το κέντρο του καταστρώματος της γέφυρας αγνοώντας άλλα τμήματα της επιφάνειας αναφοράς (π.χ. παραπέτα).

4.7.2 Υπολογισμός της δύναμης του ανέμου κατά την διεύθυνση x (απλοποιητική μέθοδος)

Σε περιπτώσεις που δεν απαιτείται δυναμική ανάλυση, η δύναμη του ανέμου στην διεύθυνση x δίνεται από την σχέση:

$$F_W = \frac{1}{2} * \rho * v_b^2 * C * A_{ref,x}$$

Όπου:

ρ = η πυκνότητα του αέρα

v_b = η βασική ταχύτητα του ανέμου

$A_{ref,x}$ = η επιφάνεια αναφοράς

C = ο συντελεστής φορτίου ανέμου που ισούται με:

$$C = c_e * c_{f,x}$$

Όπου: c_e = ο συντελεστής έκθεσης

Ο πίνακας που ακολουθεί αναφέρεται σε έδαφος κατηγορίας II, $c_o = 1,0$ και $k_I = 1,0$.
Για ενδιάμεσες τιμές του λόγου b/d_{tot} και του ύψους z_e μπορεί να εφαρμοστεί γραμμική παρεμβολή.

b / d_{tot}	$z_e \leq 20m$	$z_e = 50m$
$\leq 0,5$	5,7	7,1
$\geq 4,0$	3,1	3,8

Πίνακας 4.18 Συντελεστής δύναμης C για γέφυρες.

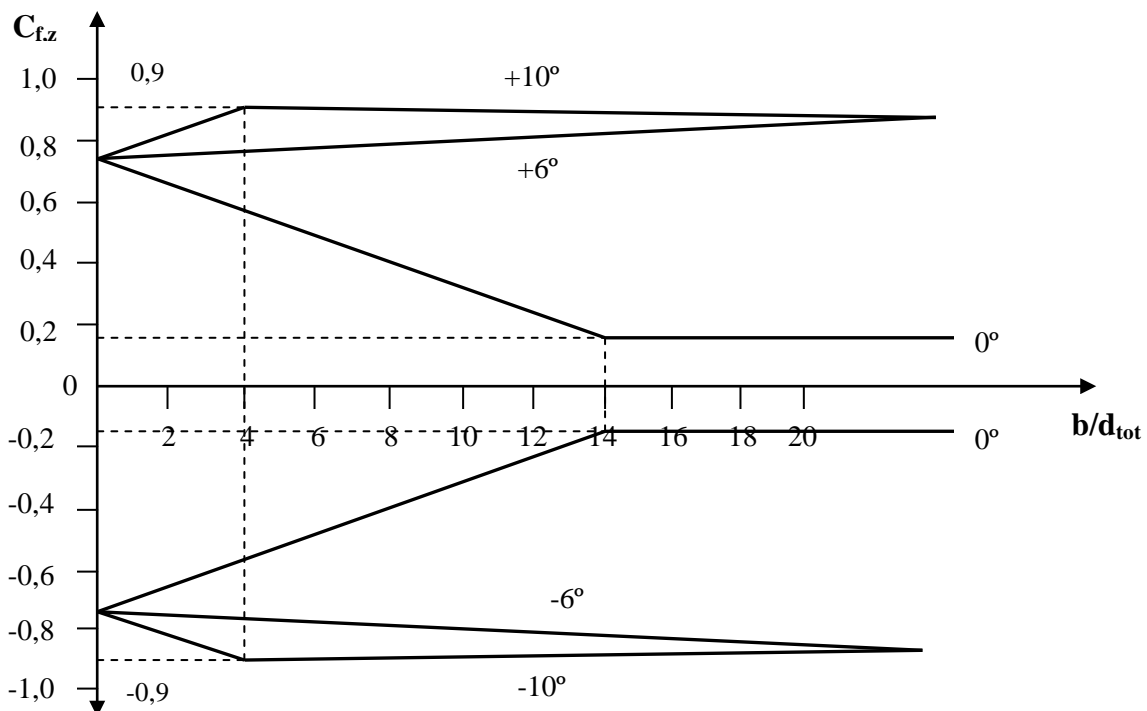
4.7.3 Υπολογισμός της δύναμης του ανέμου κατά την διεύθυνση z

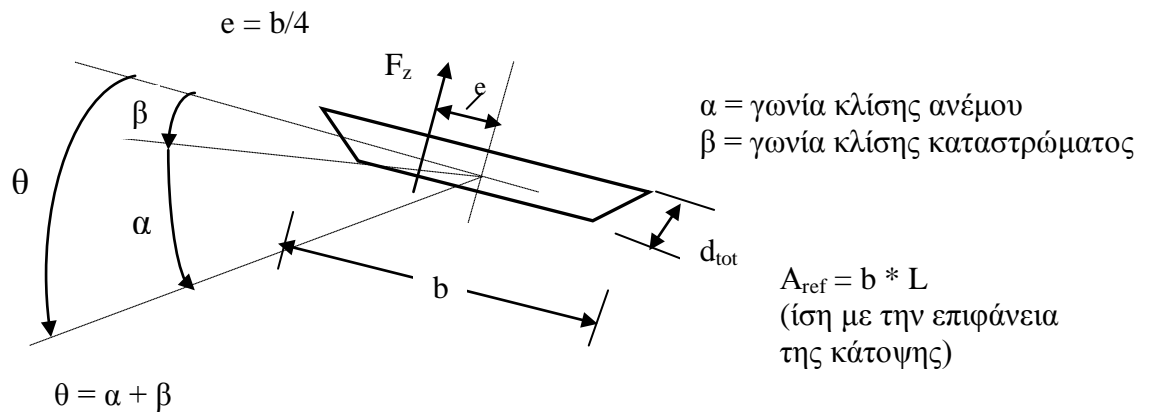
Ο συντελεστής δύναμης $c_{f,z}$ αναφέρεται στη δράση του ανέμου στα καταστρώματα γεφυρών κατά την διεύθυνση z χωρίς όμως να συγγέεται με τον υπολογισμό των ταλαντώσεων.

Σε περίπτωση που δεν γίνονται δοκιμές σε αεροδυναμική σήραγγα, το $c_{f,z}$ ισούται με $\pm 0,9$ συμπεριλαμβάνοντας τις επιρροές κάποιας πιθανής κλίσης του καταστρώματος ή του εδάφους αλλά και τις διαφορές γωνίες διεύθυνσης του ανέμου σε σχέση με το κατάστρωμα λόγω στροβιλισμού.

Σε κάθε άλλη περίπτωση το $c_{f,z}$ δίνεται στο διάγραμμα του σχήματος 4.43 για ύψος d_{tot} ίσο με το ύψος του καταστρώματος μη συμπεριλαμβανομένης της κυκλοφορίας στη γέφυρα αλλά και οποιονδήποτε άλλο εξοπλισμό της.

Ακόμα, για την περίπτωση επίπεδου οριζόντιου εδάφους, η γωνία α του ανέμου ως προς την οριζόντια, δύναται να υπολογιστεί ως $\pm 5^\circ$ εξαιτίας του στροβιλισμού. Με τον ίδιο τρόπο μπορούμε να την υπολογίσουμε για την περίπτωση γέφυρας ύψους τουλάχιστον 30m πάνω από έδαφος με λόφους.





Σχήμα 4.49 Συντελεστής δύναμης $c_{f,z}$ για γέφυρες με εγκάρσια κλίση και άνεμο υπό κλίση.

Το ύψος αναφοράς z_e ισούται με την απόσταση από το χαμηλότερο επίπεδο εδάφους μέχρι το κέντρο του καταστρώματος της γέφυρας αγνοώντας άλλα τμήματα της επιφάνειας αναφοράς (π.χ. παραπέτα).

Σημειώνεται ότι δεν πρέπει να λαμβάνεται υπόψη συντελεστής επίδρασης άκρων.

4.7.4 Υπολογισμός της δύναμης του ανέμου κατά την διεύθυνση y

Για τον υπολογισμό των διαμηκών δυνάμεων του ανέμου, όπου αυτό κρίνεται απαραίτητο, πρέπει να λαμβάνουμε υπόψη τα εξής:

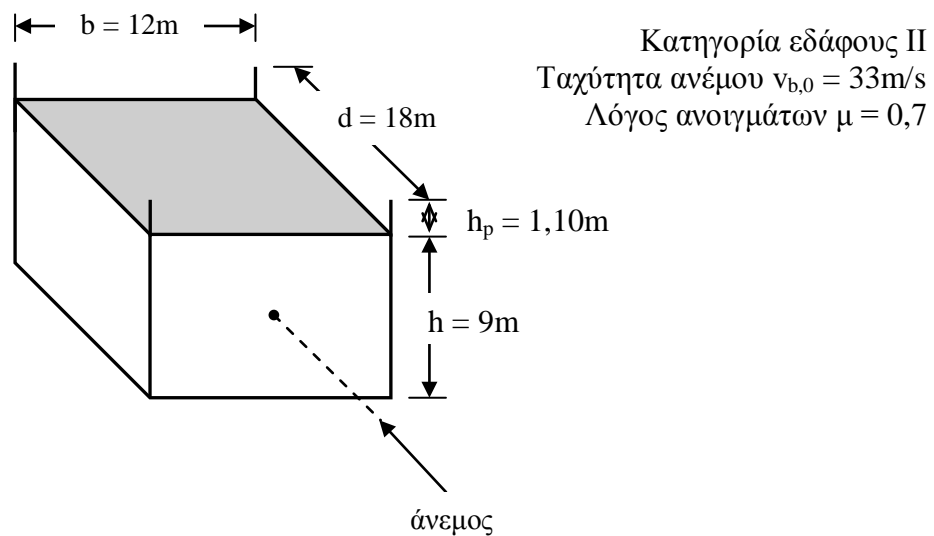
- Για ολόσωμες γέφυρες
25% των δυνάμεων του ανέμου στη διεύθυνση x
- Για δικτυωτές γέφυρες
50% των δυνάμεων του ανέμου στη διεύθυνση x

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΦΟΡΤΙΩΝ ΑΝΕΜΟΥ

Παράδειγμα 1 : Επίπεδη στέγη με στηθαίο

Να υπολογιστούν οι πιέσεις που ασκούνται στην οροφή και στους τοίχους του κτιρίου του σχήματος λόγω ανέμου με διεύθυνση όπως στο σχήμα.



1) Γενικά

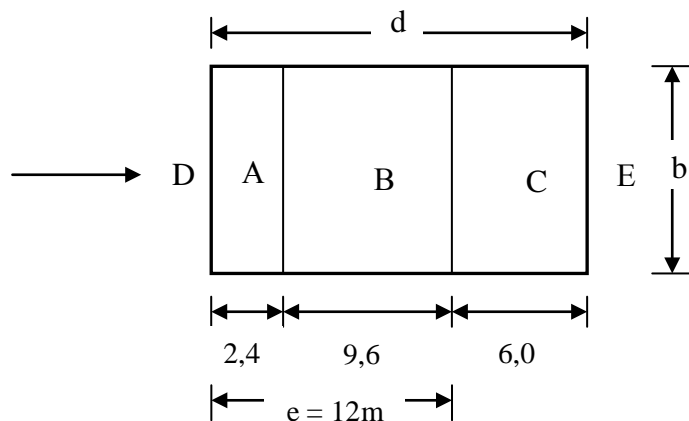
Ύψος κτιρίου : $h_{ολ} = h + h_p = 9 + 1,10 = 10,10\text{m} < 15\text{m}$
 $h_{ολ} = 10,10\text{m} < 15\text{m}$ άρα $c_s c_d = 1,0$
και $h_{ολ} = 10,10\text{m} < b = 12\text{m}$ άρα $z_e = h_{ολ} = 10,10\text{m}$

2) Συντελεστές εξωτερικής πίεσης

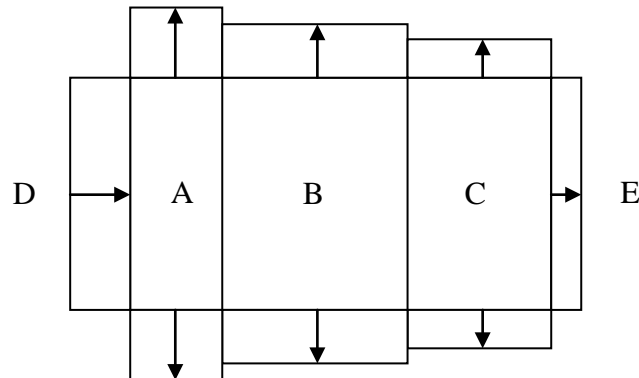
Από το Σχήμα 4.17 προκύπτει:

$$e = \min\{b, 2h_{ολ}\} = \min\{12\text{m}, 2 \cdot 10,10\text{m}\} = \min\{12\text{m}, 20,20\text{m}\} = 12\text{m}$$

Άρα $e = 12\text{m} < d = 18\text{m}$



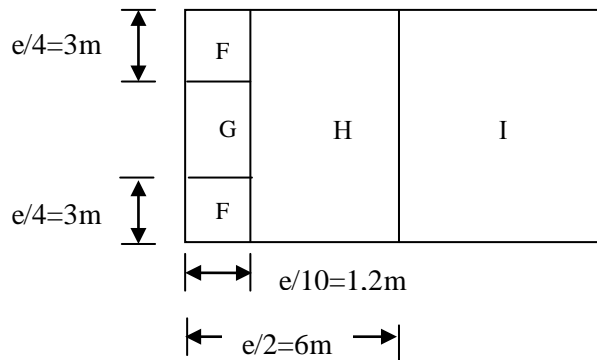
Από τον Πίν. 4.4 για $h_{ολ}/d = 10,10/18 = 0,561$ και με γραμμική παρεμβολή προκύπτουν οι συντελεστές εξωτερικής πίεσης ανά επιφάνεια για τους κατακόρυφους τοίχους και είναι οι εξής:



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	0,742	1,0	0,383	0,383

Πίνακας 5.1.1 Συντελεστές εξωτερικής πίεσης κατακόρυφων τοίχων.

Από τον Πίν. 4.5 για $h_p / h = 1,10/9,0 = 0,122$ και με γραμμική προεκβολή, προκύπτουν οι συντελεστές εξωτερικής πίεσης ανά επιφάνεια για την οριζόντια οροφή και είναι οι εξής:



Ζώνη							
F		G		H		I	
$C_{pe.10}$	$C_{pe.1}$	$C_{pe.10}$	$C_{pe.1}$	$C_{pe.10}$	$C_{pe.1}$	$C_{pe.10}$	$C_{pe.1}$
-1,112	-1,712	-0,756	-1,312	-0,7	-1,2	$\pm 0,2$	$\pm 0,2$

Πίνακας 5.1.2 Συντελεστές εξωτερικής πίεσης οριζόντιας οροφής.

3) Συντελεστές εσωτερικής πίεσης

Από τα δεδομένα της άσκησης έχουμε ότι ο λόγος των ανοιγμάτων ισούται με $\mu = 0,7$ και για $h_{o,d} = 10,10/18 = 0,561$. Επομένως, σύμφωνα με το διάγραμμα του σχήματος 4.25, ο συντελεστής εσωτερικής πίεσης ισούται με:

$$c_{pi} \approx -0,1$$

4) Πίεση ταχύτητας αιχμής

Σύμφωνα με την §4.2.5, η βασική ταχύτητα του ανέμου ισούται με:

$$v_b = c_{dir} * c_{season} * v_{b,0} = 1,0 * 1,0 * 33 = 33 \text{ m/sec}$$

Από τον πίνακα 4.1 και για κατηγορία εδάφους II προκύπτει ότι :

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

$$\Rightarrow \quad z_{min} = 2,0 \text{ m} < z_e = 10,10 \text{ m} < z_{max} = 200 \text{ m}$$

Έτσι ο συντελεστής τραχύτητας δίνεται από τη σχέση :

$$c_r(z) = k_r * \ln(z/z_0)$$

και με συντελεστή εδάφους:

$$k_r = 0,19 * (z_0/z_{0,II})^{0,07} = 0,19 * (0,05/0,05)^{0,07} = 0,19$$

Άρα έχουμε:

$$c_r(z) = k_r * \ln(z/z_0) = 0,19 * \ln(10,10/0,05) = 1,009$$

Ο συντελεστής τοπογραφικής διαμόρφωσης για κοιλάδες, σύμφωνα με την §4.4.2 ισούται με $c_0 = 1$.

Επομένως, η μέση ταχύτητα του ανέμου σε ύψος z πάνω από το έδαφος είναι ίσο με:

$$v_m(z) = c_r(z) * c_0(z) * v_b = 1,009 * 1,0 * 33 = 33,30 \text{ m/sec}$$

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω $z_{min} = 2,0 \text{ m} < z_e = 10,10 \text{ m} < z_{max} = 200 \text{ m}$ άρα η ένταση στροβιλισμού $\ell_v(z)$ σε ύψος z πάνω από το έδαφος είναι:

$$\ell_v(z) = k_i / [c_0(z) * \ln(z/z_0)] = 1,0 / [1,0 * \ln(10,10/0,05)] = 0,188$$

Οπότε η πίεση ταχύτητας αιχμής είναι ίση με:

$$\begin{aligned} q_p(z) &= [1 + 7 * \ell_v(z)] * 1/2 * \rho * v_m^2(z) = \\ &= [1 + 7 * 0,188] * 1/2 * 0,00125 * 33,30^2 = \\ &= 1,61 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

5) Εξωτερικές και εσωτερικές πιέσεις του ανέμου

Από την §4.2.2 , η εξωτερική πίεση ισούται με:

$$w_e = q_p(z_e) * c_{pe} = 1,61 * c_{pe}$$

και σύμφωνα με τους πίνακες 5.1.1 και 5.1.2 για τους συντελεστές εξωτερικής πίεσης των κατακόρυφων τοίχων και της οροφής του κτιρίου έχουμε:

Εξωτερική πίεση	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	0,742	1,0	0,383	0,383
W_e	1,932	2,254	1,288	1,771	0,805	0,805	1,195	1,61	0,617	0,617

Πίνακας 5.1.3 Εξωτερικές πιέσεις λόγω ανέμου στους κατακόρυφους τοίχους του κτιρίου σε kN/m².

Εξωτερική πίεση	F		G		H		I	
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
	-1,112	-1,712	-0,756	-1,312	-0,7	-1,2	±0,2	±0,2
W_e	-1,79	-2,756	-1,217	-2,112	-1,127	-1,932	±0,322	±0,322

Πίνακας 5.1.4 Εξωτερικές πιέσεις λόγω ανέμου στην οροφή του κτιρίου σε kN/m².

Από την §4.2.3 η πίεση που ασκείται κάθετα στις εσωτερικές επιφάνειες των κατακόρυφων τοίχων και της οροφής του κτιρίου ισούται με:

$$w_i = q_p(z_i) * c_{pi} = 1,61 * (-0,1) = -0,161 \text{ kN/m}^2$$

6) Τελικές πιέσεις

Σύμφωνα με την §4.2.4 , οι τελικές πιέσεις προκύπτουν από την διαφορά των εξωτερικών και των εσωτερικών άρα:

	Ζώνη				
	A	B	C	D	E
$c_{pe,10}$	2,093	1,449	0,966	1,356	0,778
$c_{pe,1}$	2,415	1,932	0,966	1,771	0,778

Πίνακας 5.1.5 Τελικές πιέσεις στους κατακόρυφους τοίχους σε kN/m².

	Ζώνη			
	F	G	H	I
C_{pe,10}	-1,629	-1,056	-0,966	+0,483 -0,161
C_{pe,1}	-2,595	-1,951	-1,771	+0,483 -0,161

Πίνακας 5.1.6 Τελικές πιέσεις στην οροφή σε kN/m².

7) Συνολική δύναμη ανέμου F_w

Σύμφωνα με την §4.3.1 , η συνολική δύναμη λόγω ανέμου που δρα στην κατασκευή υπολογίζεται από την σχέση:

$$F_w = c_s c_d * \Sigma w_e * A_{ref} = 1,0 * (1,356 + 0,456) * (10,10 * 12) = 219,61 \text{ kN}$$

Από την §4.6.1.2 και για $h_{o\lambda}/d = 10,10/18 = 0,561 < 1$, η συνολική δύναμη πολλαπλασιάζεται με 0,85 και έτσι έχουμε:

$$F_w * 0,85 = 219,61 * 0,85 = 186,67 \text{ kN}$$

Η δύναμη αυτή ενεργεί σε ύψος $h_{o\lambda}/2 = 10,10/2 = 5,05 \text{ m}$ πάνω από το έδαφος.

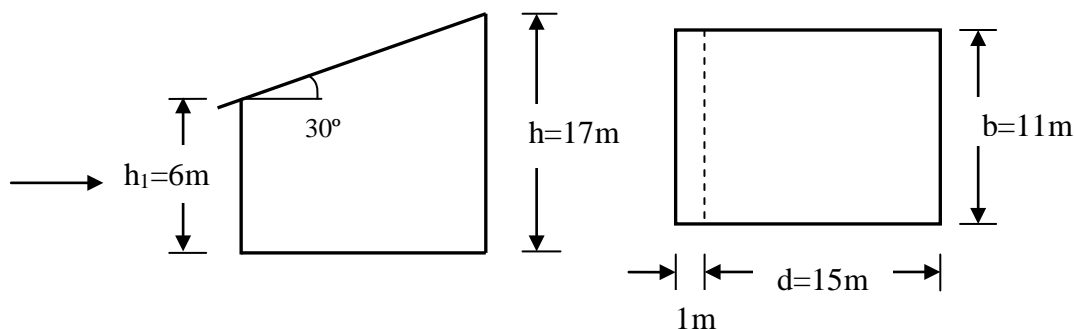
Παράδειγμα 2: Μονόκλινη στέγη

Να υπολογιστούν οι εξωτερικές πιέσεις που ασκούνται στην οροφή και στους τοίχους του κτιρίου από οπλισμένο σκυρόδεμα, λόγω ανέμου με διεύθυνση $\theta=0^\circ$ και $\theta=90^\circ$.

Κατηγορία εδάφους III

Ταχύτητα ανέμου $v_{b,0} = 27\text{m/s}$

Λόγος ανοιγμάτων $\mu = 0,85$



1) Γενικά

Ύψος κτιρίου $h = 17\text{m}$ και πλάτος κτιρίου $b = 11\text{m}$

$h = 17\text{m} > 15\text{m}$ άρα το c_s, c_d δίνεται από το σχήμα 4.8

$$c_s, c_d < 0,90$$

και $z_e = h = 17\text{m}$

2) Διεύθυνση ανέμου $\theta = 0^\circ$

Συντελεστές εξωτερικής πίεσης

Για διεύθυνση ανέμου $\theta=0^\circ$, σύμφωνα με το σχήμα 4.1

$$e = \min\{b, 2h\} = \min\{11\text{m}, 2 \cdot 6\text{m}\} = \min\{11\text{m}, 12\text{m}\} = 11\text{m}$$

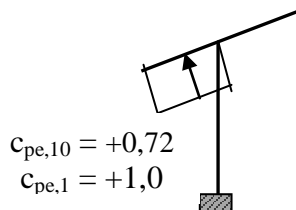
$$e = 11\text{m} < d = 15\text{m}$$

$$h/d = 6/15 = 0,4$$

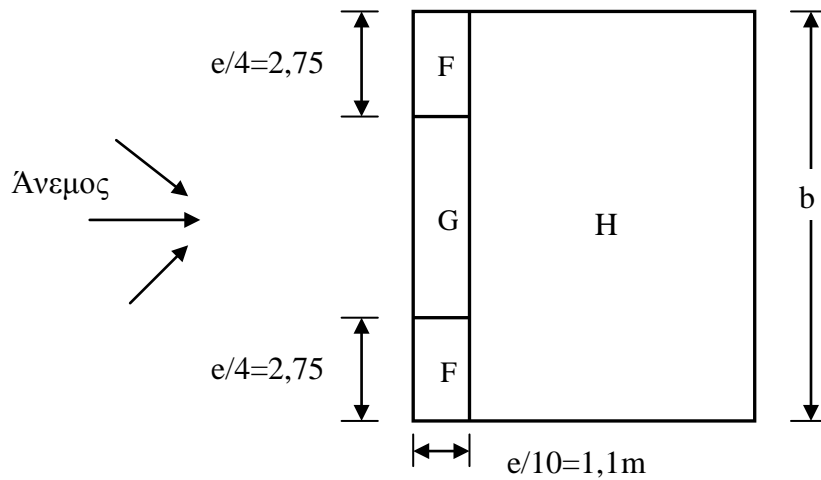
Από το σχήμα 4.17, τον πίνακα 4.4 και έπειτα από γραμμική παρεμβολή, προκύπτει ο συντελεστής εξωτερικής πίεσης για τον προσήνεμο κατακόρυφο τοίχο (πλευρά D).

$$c_{pe,10} = +0,72 \text{ \& } c_{pe,1} = +1,0$$

Σύμφωνα με την §4.6.1.1 και το σχήμα 4.15, ο συντελεστής εξωτερικής πίεσης για τον κατακόρυφο τοίχο εφαρμόζεται και στην κάτω επιφάνεια του προβόλου της στέγης.



Από τον πίνακα 4.6^α και για κλίση στέγης $\alpha=30^\circ$ προκύπτουν οι συντελεστές εξωτερικής πίεσης της στέγης 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

Πίνακας 5.2.1 Συντελεστές εξωτερικής πίεσης μονόκλινης οροφής για διεύθυνση ανέμου $\theta=0^\circ$.

3) Διεύθυνση ανέμου $\theta=90^\circ$

Συντελεστές εξωτερικής πίεσης

$$e = \min\{b, 2h\} = \min\{11m, 2 \cdot 17m\} = \min\{11m, 34m\} = 11m$$

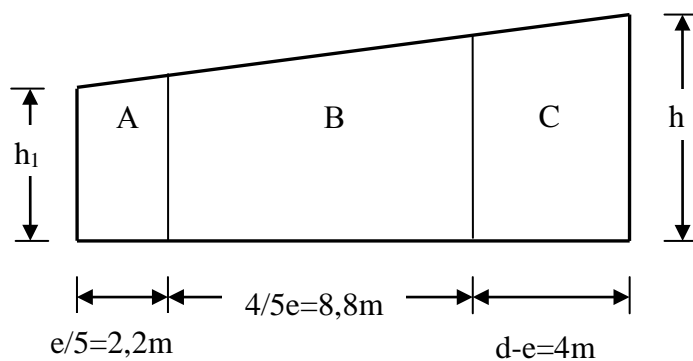
$$e = 11m < d = 15m$$

$$h/d = 17/15 = 1,133$$

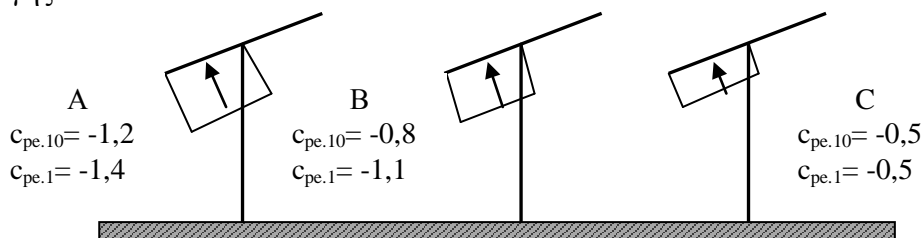
Από το σχήμα 4.17, τον πίνακα 4.4 και έπειτα από γραμμική παρεμβολή, προκύπτει ο συντελεστής εξωτερικής πίεσης για τον προσήνεμο κατακόρυφο τοίχο.

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

Πίνακας 5.2.2 Συντελεστές εξωτερικής πίεσης κατακόρυφων τοίχων για διεύθυνση ανέμου $\theta=90^\circ$.



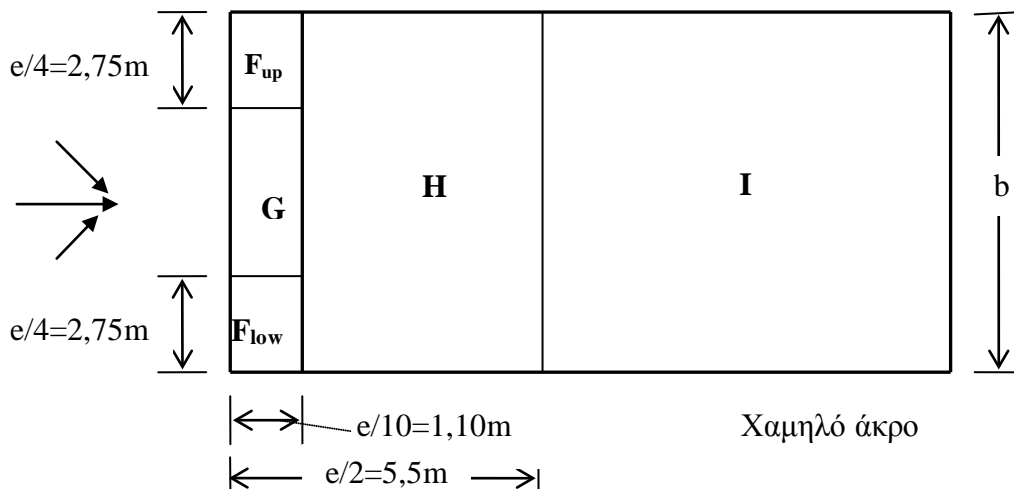
Σύμφωνα με την §4.6.1.1 και το σχήμα 4.15, ο συντελεστής εξωτερικής πίεσης για τον κατακόρυφο τοίχο εφαρμόζεται και στην κάτω επιφάνεια του προβόλου της στέγης.



Από τον πίνακα 4.6^β και για κλίση στέγης $\alpha=30^\circ$ προκύπτουν οι συντελεστές εξωτερικής πίεσης της στέγης για διεύθυνση ανέμου $\theta=90^\circ$.

Ζώνη									
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}
-2,1	-2,9	-1,3	-2,0	-1,5	-2,0	-1,0	-1,3	-0,8	-1,2

Ψηλό άκρο



Χαμηλό άκρο

Πίνακας 5.2.3 Συντελεστές εξωτερικής πίεσης μονόκλινης οροφής για διεύθυνση ανέμου $\theta=90^\circ$.

4) Πίεση ταχύτητας αιχμής

Σύμφωνα με την §4.2.5 ,η βασική ταχύτητα του ανέμου ισούται με:

$$v_b = c_{dir} * c_{season} * v_{b,0} = 1,0 * 1,0 * 27 = 27 \text{m/sec}$$

Από τον πίνακα 4.1 και για κατηγορία εδάφους III προκύπτει ότι :

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

$$\implies z_{min} = 5,0\text{m} < z_e = 17\text{m} < z_{max} = 200\text{m}$$

Έτσι ο συντελεστής τραχύτητας δίνεται από τη σχέση :

$$c_r(z) = k_r * \ln(z/z_0)$$

και με συντελεστή εδάφους:

$$k_r = 0,19 * (z_0/z_{0,II})^{0,07} = 0,19 * (0,3/0,05)^{0,07} = 0,215$$

Άρα έχουμε:

$$c_r(z) = k_r * \ln(z/z_0) = 0,215 * \ln(17/0,3) = 0,868$$

Ο συντελεστής τοπογραφικής διαμόρφωσης για κοιλάδες, σύμφωνα με την §4.4.2 ισούται με $c_0 = 1$.

Επομένως, η μέση ταχύτητα του ανέμου σε ύψος z πάνω από το έδαφος είναι ίσο με:

$$v_m(z) = c_r(z) * c_0(z) * v_b = 0,868 * 1,0 * 27 = 23,44 \text{m/sec}$$

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω $z_{min} = 5,0\text{m} < z_e = 17\text{m} < z_{max} = 200\text{m}$ άρα η ένταση στροβιλισμού $\ell_v(z)$ σε ύψος z πάνω από το έδαφος είναι:

$$\ell_v(z) = k_i / [c_0(z) * \ln(z/z_0)] = 1,0 / [1,0 * \ln(17/0,3)] = 0,248$$

Οπότε η πίεση ταχύτητας αιχμής είναι ίση με:

$$\begin{aligned} q_p(z) &= [1 + 7 * \ell_v(z)] * 1/2 * \rho * v_m^2(z) = \\ &= [1 + 7 * 0,248] * 1/2 * 0,00125 * 23,44^2 = \\ &= 0,94 \text{kN/m}^2 \end{aligned}$$

5) Εξωτερικές πιέσεις

Από την §4.2.2 , η εξωτερική πίεση ισούται με:

$$w_e = q_p(z_e) * c_{pe} = 0,94 * c_{pe}$$

5.1) Διεύθυνση ανέμου $\theta = 0^\circ$

Η εξωτερική πίεση των κατακόρυφων τοίχων αλλά και του τμήματος της στέγης υπό μορφή προβόλου είναι:

$$w_e = q_p(z_e) * c_{pe} = 0,94 * c_{pe} = 0,94 * 0,72 = 0,677 \text{ kN/m}^2$$

Οι εξωτερικές πιέσεις στη στέγη είναι οι εξής:

Εξωτερική πίεση	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	-0,47	-1,41	-0,47	-1,41	-0,188	-0,188

Πίνακας 5.2.4 Εξωτερικές πιέσεις στέγης για διεύθυνση ανέμου $\theta=0^\circ$

5.2) Διεύθυνση ανέμου $\theta = 90^\circ$

Η εξωτερική πίεση των κατακόρυφων τοίχων αλλά και του τμήματος της στέγης υπό μορφή προβόλου είναι:

Εξωτερική πίεση	A		B		C	
	$c_{pe.10}$	$c_{pe.1}$	$c_{pe.10}$	$c_{pe.1}$	$c_{pe.10}$	$c_{pe.1}$
	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5	-0,5
W_e	-1,128	-1,316	-0,752	-1,034	-0,47	-0,47

Πίνακας 5.2.5 Εξωτερικές πιέσεις κατακόρυφων τοίχων για διεύθυνση ανέμου $\theta=90^\circ$.

Εξωτερική πίεση	F_{up}		F_{low}		G		H		I	
	$c_{pe.10}$	$c_{pe.1}$	$c_{pe.10}$	$c_{pe.1}$	$c_{pe.10}$	$c_{pe.1}$	$c_{pe.10}$	$c_{pe.1}$	$c_{pe.10}$	$c_{pe.1}$
	-2,1	-2,9	-1,3	-2,0	-1,5	-2,0	-1,0	-1,3	-0,8	-1,2
W_e	-1,974	-2,726	-1,222	-1,88	-1,41	-1,88	-0,94	-1,222	-0,752	-1,128

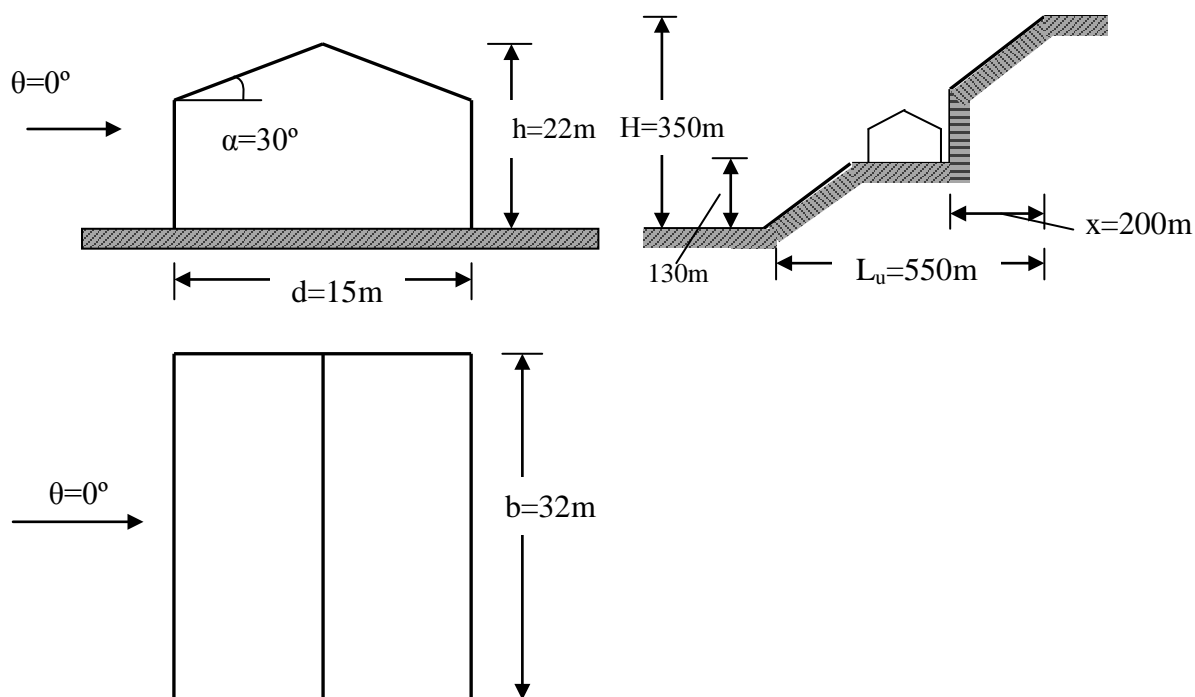
Πίνακας 5.2.6 Εξωτερικές πιέσεις στέγης για διεύθυνση ανέμου $\theta=90^\circ$.

Παράδειγμα 3: Δίκλινη στέγη

Να υπολογιστούν οι εξωτερικές πιέσεις που ασκούνται, λόγω ανέμου με διεύθυνση $\theta = 0^\circ$, στην οροφή και στους τοίχους του κτιρίου από χάλυβα του σχήματος. Το κτίριο βρίσκεται σε περιοχή με τοπογραφική τομή του εδάφους όπως στο σχήμα.

Κατηγορία εδάφους II

Ταχύτητα ανέμου $v_{b,0} = 33\text{m/s}$



1) Γενικά

Ύψος κτιρίου $h = 22\text{m}$ και πλάτος κτιρίου $b = 32\text{m}$

$h = 22\text{m} > 15\text{m}$ άρα το $c_s c_d$ δίνεται από το σχήμα 4.7 :

$$c_s c_d = 0,90$$

$$\text{και } z_e = h = 22\text{m}$$

2) Συντελεστές εξωτερικής πίεσης

Από το Σχήμα 4.17 προκύπτει:

$$e = \min\{b, 2h\} = \min\{32\text{m}, 2 \cdot 22\text{m}\} = \min\{32\text{m}, 44\text{m}\} = 32\text{m}$$

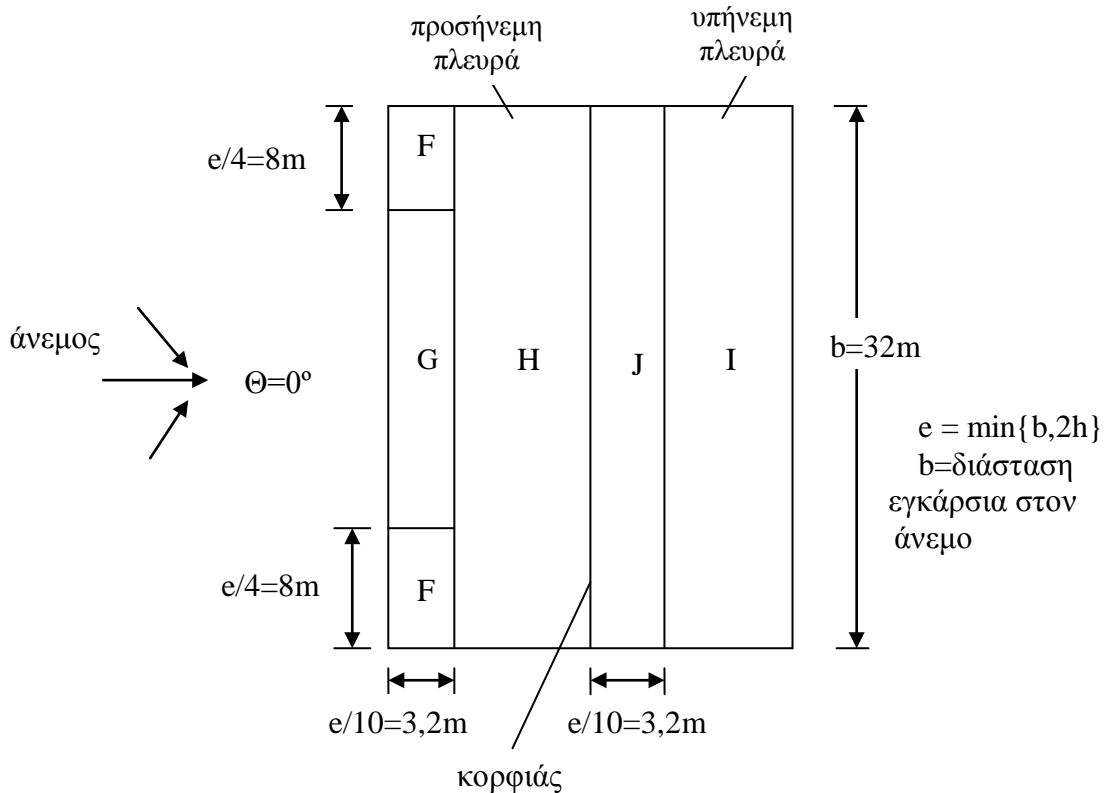
Άρα $e = 32\text{m} > d = 15\text{m}$

$$h/d = 22/15 = 1,467$$

Για τον προσήνεμο κατακόρυφο τοίχο, ο συντελεστής εξωτερικής πίεσης προκύπτει από τον πίνακα 4.4 για την πλευρά D. Με $h/d = 22/15 = 1,467$ έχουμε:

$$c_{pe,10} = +0,8 \quad \& \quad c_{pe,1} = +1,0$$

Για γωνία κλίσης της στέγης $\alpha=30^\circ$ σύμφωνα με τον πίνακα 4.7α προκύπτουν οι συντελεστές εξωτερικής πίεσης για την δίκλινη στέγη.



Ζώνη									
F		G		H		I		J	
$c_{pe.10}$	$c_{pe.1}$	$c_{pe.10}$	$c_{pe.1}$	$c_{pe.10}$	$c_{pe.1}$	$c_{pe.10}$	$c_{pe.1}$	$c_{pe.10}$	$c_{pe.1}$
-0,5	-1,5	-0,5	-1,5	-0,2	-0,2	-0,4	-0,4	-0,5	-0,5
+0,7	+0,7	+0,7	+0,7	+0,4	+0,4	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0

Πίνακας 5.3.1 Συντελεστές εξωτερικής πίεσης δίκλινους στέγης.

3) Συντελεστές εσωτερικής πίεσης

Από τα δεδομένα της άσκησης έχουμε ότι ο λόγος των ανοιγμάτων ισούται με $\mu=0,45$ και για $h/d = 22/15 = 1,467$. Επομένως, σύμφωνα με το διάγραμμα του σχήματος 4.25, ο συντελεστής εσωτερικής πίεσης ισούται με:

$$c_{pi} \approx 0,2$$

4) Πίεση ταχύτητας αιγμής

Σύμφωνα με την §4.2.5 ,η βασική ταχύτητα του ανέμου ισούται με:

$$v_b = c_{dir} * c_{season} * v_{b,0} = 1,0 * 1,0 * 33 = 33 \text{m/sec}$$

Από τον πίνακα 4.1 και για κατηγορία εδάφους II προκύπτει ότι :

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

$$\implies z_{\min} = 2,0\text{m} < z_e = 22\text{m} < z_{\max} = 200\text{m}$$

Έτσι ο συντελεστής τραχύτητας δίνεται από τη σχέση :

$$c_r(z) = k_r * \ln(z/z_0)$$

και με συντελεστή εδάφους:

$$k_r = 0,19 * (z_0/z_{0,II})^{0,07} = 0,19 * (0,05/0,05)^{0,07} = 0,19$$

Άρα έχουμε:

$$c_r(z) = k_r * \ln(z/z_0) = 0,19 * \ln(22/0,05) = 1,156$$

Από την §4.4.2 προκύπτει η προσήνεμη κλίση στη διεύθυνση του ανέμου και η οποία είναι:

$$\Phi = H/L_u = 350/550 = 0,636 > 0,3$$

$$\text{Άρα το ενεργό μήκος } L_e \text{ ισούται με } L_e = H/0,3 = 350/3 = 116,67\text{m}$$

Από το σχήμα 4.5 προκύπτει η τιμή του συντελεστή τοπογραφικής θέσης όπου για:

$$x/L_e = -200/116,67 = -1,71 \ \& \ z/L_e = 22/116,67 = 0,19$$

έχουμε:

$$s = 0,30$$

Έτσι ο συντελεστής αναγλύφου ισούται με:

$$c_0 = 1 + 0,6s = 1 + 0,6 * 0,30 = 1,18$$

Επομένως, η μέση ταχύτητα του ανέμου σε ύψος z πάνω από το έδαφος είναι ίσο με:

$$v_m(z) = c_r(z) * c_0(z) * v_b = 1,156 * 1,18 * 33 = 45,02\text{m/sec}$$

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω $z_{\min} = 2,0\text{m} < z_e = 22\text{m} < z_{\max} = 200\text{m}$ άρα η ένταση στροβιλισμού $\ell_v(z)$ σε ύψος z πάνω από το έδαφος είναι:

$$\ell_v(z) = k_i / [c_0(z) * \ln(z/z_0)] = 1,0 / [1,18 * \ln(22/0,05)] = 0,139$$

Οπότε η πίεση ταχύτητας αιχμής είναι ίση με:

$$\begin{aligned} q_p(z) &= [1 + 7 * \ell_v(z)] * 1/2 * \rho * v_m^2(z) = \\ &= [1 + 7 * 0,139] * 1/2 * 0,00125 * 45,02^2 = \\ &= 2,50\text{kN/m}^2 \end{aligned}$$

5) Εξωτερικές πιέσεις ανέμου

Από την §4.2.2 , η εξωτερική πίεση ισούται με:

$$w_e = q_p(z_e) * c_{pe} = 2,50 * c_{pe}$$

Η εξωτερική πίεση για τον κατακόρυφο τοίχο είναι ίση με:

$$w_e = q_p(z_e) * c_{pe} = 2,50 * c_{pe} = 2,50 * 0,8 = 2,0\text{kN/m}^2.$$

Οι εξωτερικές πιέσεις της στέγης είναι οι εξής:

Εξωτερική πίεση	F		G		H		I		J	
	$c_{pe.10}$	$c_{pe.1}$	$c_{pe.10}$	$c_{pe.1}$	$c_{pe.10}$	$c_{pe.1}$	$c_{pe.10}$	$c_{pe.1}$	$c_{pe.10}$	$c_{pe.1}$
W_e	-1,25	-3,75	-1,25	-3,75	-0,5	-0,5	-1,0	-1,0	-1,25	-1,25
	+1,75	+1,75	+1,75	+1,75	+1,00	+1,00	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0

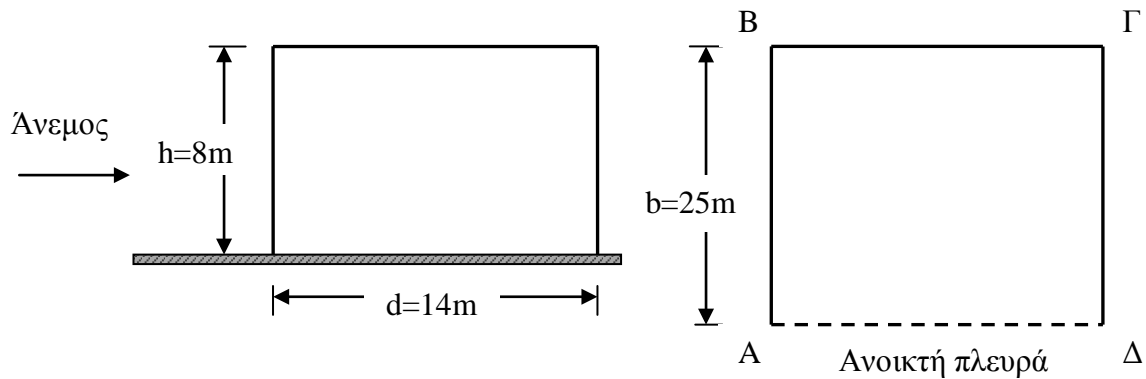
Πίνακας 5.3.2 Εξωτερικές πιέσεις στέγης.

Παράδειγμα 4 : Επίπεδη στέγη με μια ανοιχτή πλευρά

Να υπολογιστούν οι τελικές πιέσεις ανέμου που ασκούνται στους τοίχους και στην οροφή του κτιρίου από χάλυβα. Σημειώνεται ότι η πλευρά ΑΔ είναι ανοιχτή.

Κατηγορία εδάφους I

Ταχύτητα ανέμου $v_{b,0} = 27\text{m/s}$



1) Γενικά

Ύψος κτιρίου $h = 8\text{m}$ και πλάτος κτιρίου $b = 25\text{m}$

$h = 8\text{m} < 15\text{m}$ άρα $c_s c_d = 1,0$

και $z_e = h = 8\text{m}$

2) Συντελεστές εξωτερικής πίεσης

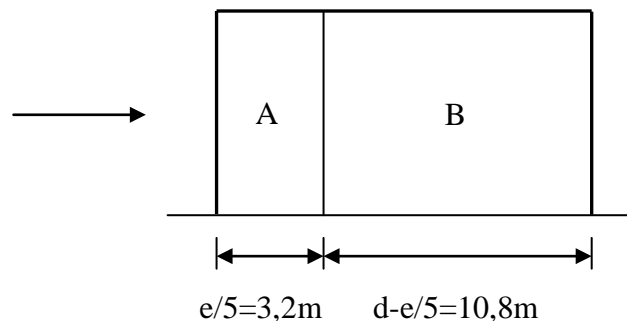
Για διεύθυνση ανέμου $\theta=0^\circ$:

$$e = \min\{b, 2h\} = \min\{25\text{m}, 2 \cdot 8\text{m}\} = \min\{25\text{m}, 16\text{m}\} = 16\text{m}$$

$$e = 16\text{m} > d = 14\text{m}$$

$$h/d = 8/12 = 0,67$$

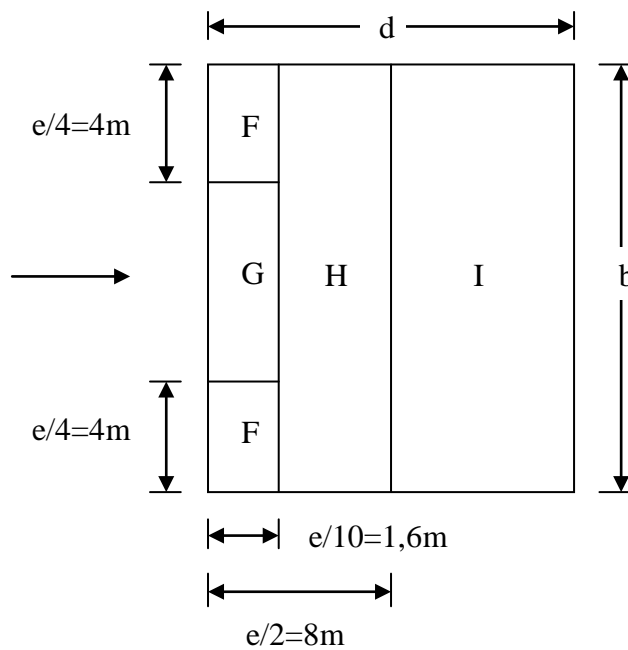
Από το σχήμα 4.17 ,τον πίνακα 4.4 και έπειτα από γραμμική παρεμβολή, προκύπτει ο συντελεστής εξωτερικής πίεσης για τους κατακόρυφους τοίχους:



Ζώνη							
Α		Β		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}
-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	+0,756	+1,0	-0,412	-0,412

Πίνακας 5.4.1 Συντελεστές εξωτερικής πίεσης για τους κατακόρυφους τοίχους για διεύθυνση ανέμου $\theta=0^\circ$.

Οι συντελεστές εξωτερικής πίεσης για την οριζόντια στέγη με αιχμηρά άκρα είναι οι εξής:



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	$\pm 0,2$	$\pm 0,2$

Πίνακας 5.4.2 Συντελεστές εξωτερικής πίεσης στέγης.

3) Συντελεστές εσωτερικής πίεσης

Η πλευρά ΑΔ του κτιρίου είναι καθοριστική μιας και η επιφάνεια του ανοίγματός της είναι τουλάχιστον διπλάσια από την συνολική επιφάνεια των ανοιγμάτων των υπολοίπων πλευρών. Αν, στην συγκεκριμένη περίπτωση, θεωρήσουμε ότι αυτή είναι τριπλάσια τότε ο συντελεστής εσωτερικής πίεσης για όλες τις εσωτερικές επιφάνειες του κτιρίου είναι:

$$c_{pi} = 0,90 * c_{pe}$$

Για τους κατακόρυφους τοίχους:

$$c_{pe,10} = 0,25*(-1,2) + 0,75*(-0,8) = -0,90$$

Για την επίπεδη στέγη:

$$c_{pe,10} = 0,143*(-1,8) + 3*0,143*(-0,7) + 3*0,143*(-0,2) = -0,644$$

$$c_{pe,10} = 0,143*(-1,8) + 3*0,143*(-0,7) + 3*0,143*(+0,2) = -0,472$$

4) Πίεση ταχύτητας αιχμής

Σύμφωνα με την §4.2.5 ,η βασική ταχύτητα του ανέμου ισούται με:

$$v_b = c_{dir} * c_{season} * v_{b,0} = 1,0*1,0*27 = 27\text{m/sec}$$

Από τον πίνακα 4.1 και για κατηγορία εδάφους I προκύπτει ότι :

$$\Rightarrow \begin{aligned} z_0 &= 0,01\text{m} \ \& \ z_{\min} = 1,0\text{m} \\ z_{\min} &= 1,0\text{m} < z_e = 8\text{m} < z_{\max} = 200\text{m} \end{aligned}$$

Έτσι ο συντελεστής τραχύτητας δίνεται από τη σχέση :

$$c_r(z) = k_r * \ln(z/z_0)$$

και με συντελεστή εδάφους:

$$k_r = 0,19 * (z_0/z_{0,II})^{0,07} = 0,19 * (0,01/0,05)^{0,07} = 0,17$$

Άρα έχουμε:

$$c_r(z) = k_r * \ln(z/z_0) = 0,17 * \ln(8/0,01) = 1,14$$

Ο συντελεστής τοπογραφικής διαμόρφωσης για κοιλάδες, σύμφωνα με την §4.4.2 ισούται με $c_0 = 1$.

Επομένως, η μέση ταχύτητα του ανέμου σε ύψος z πάνω από το έδαφος είναι ίσο με:

$$v_m(z) = c_r(z) * c_0(z) * v_b = 1,14 * 1,0 * 27 = 30,78\text{m/sec}$$

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω $z_{\min} = 1,0\text{m} < z_e = 8\text{m} < z_{\max} = 200\text{m}$ άρα η ένταση στροβιλισμού $\ell_v(z)$ σε ύψος z πάνω από το έδαφος είναι:

$$\ell_v(z) = k_i / [c_0(z) * \ln(z/z_0)] = 1,0 / [1,0 * \ln(8/0,01)] = 0,15$$

Οπότε η πίεση ταχύτητας αιχμής είναι ίση με:

$$\begin{aligned} q_p(z) &= [1 + 7 * \ell_v(z)] * 1/2 * \rho * v_m^2(z) = \\ &= [1 + 7 * 0,15] * 1/2 * 0,00125 * 30,78^2 = \\ &= 1,214\text{kN/m}^2 \end{aligned}$$

5) Εξωτερικές και εσωτερικές πιέσεις

Από την §4.2.2 , η εξωτερική πίεση ισούται με:

$$w_e = q_p(z_e) * c_{pe} = 1,214 * c_{pe}$$

και σύμφωνα με τους πίνακες 5.4.1 και 5.4.2 για τους συντελεστές εξωτερικής πίεσης των κατακόρυφων τοίχων και της οροφής του κτιρίου, έχουμε:

Εξωτερική πίεση	A		B		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}
	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	+0,756	+1,0	-0,412	-0,412
W _e	-1,457	-1,70	-0,971	-1,335	0,918	1,124	-0,463	-0,463

Πίνακας 5.4.3 Εξωτερικές πιέσεις κατακόρυφων τοίχων.

Εξωτερική πίεση	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	±0,2
W _e	-2,185	-3,035	-1,457	-2,428	-0,850	-1,457	±0,243	±0,243

Πίνακας 5.4.4 Εξωτερικές πιέσεις στέγης.

Από την §4.2.3 η πίεση που ασκείται κάθετα στις εσωτερικές επιφάνειες των κατακόρυφων τοίχων και στην οροφή του κτιρίου ισούται με:

$$w_i = q_p(z_i) * c_{pi} = 1,214 * 0,90 * c_{pe} = 1,093 * c_{pe} \text{ kN/m}^2$$

Εσωτερική πίεση	A		B		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}
	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	+0,756	+1,0	-0,412	-0,412
W _i	-1,312	-1,530	-0,874	-1,202	+0,826	+1,093	-0,450	-0,450

Πίνακας 5.4.5 Εσωτερικές πιέσεις κατακόρυφων τοίχων.

Εξωτερική πίεση	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	±0,2
W _i	-1,967	-2,732	-1,312	-2,186	-0,765	-1,312	±0,219	±0,219

Πίνακας 5.4.6 Εσωτερικές πιέσεις στέγης.

6) Τελικές πιέσεις

Οι τελικές πιέσεις που ασκούνται στους κατακόρυφους τοίχους και στην οροφή του κτιρίου δίνονται στους πίνακες που ακολουθούν ως η διαφορά των εξωτερικών πιέσεων w_e και των εσωτερικών πιέσεων w_i .

	Ζώνη			
	A	B	D	E
$C_{pe,10}$	-0,145	-0,097	0,092	-0,013
$C_{pe,1}$	-0,17	-0,133	0,031	-0,013

Πίνακας 5.4.7 Τελικές πιέσεις στους κατακόρυφους τοίχους.

	Ζώνη			
	F	G	H	I
$C_{pe,10}$	-0,218	-0,145	-0,085	$\pm 0,024$
$C_{pe,1}$	-0,303	-0,242	-0,145	$\pm 0,024$

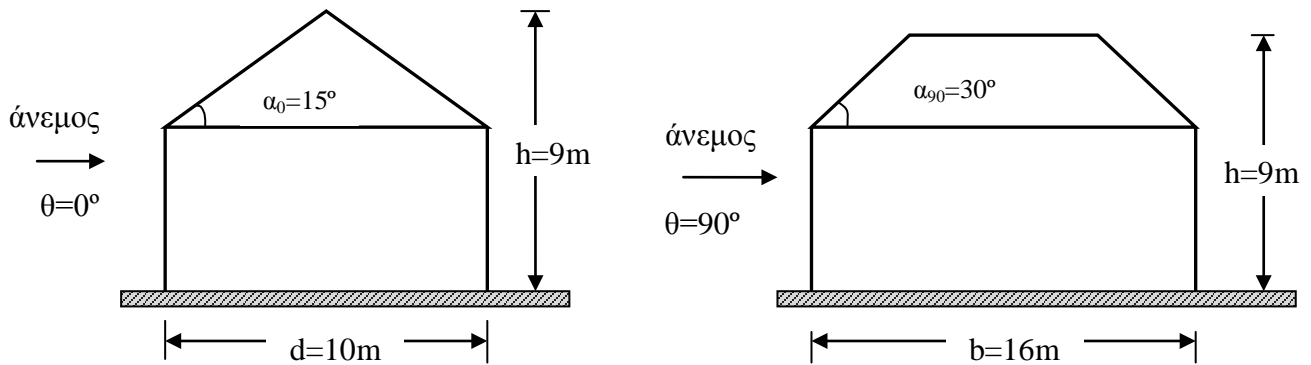
Πίνακας 5.4.8 Τελικές πιέσεις στη στέγη.

Παράδειγμα 5 : Τετράκλινη στέγη

Να υπολογιστούν οι εξωτερικές πιέσεις του κτιρίου από σκυρόδεμα που φαίνεται στο σχήμα.

Κατηγορία εδάφους IV

Ταχύτητα ανέμου $v_{b,0} = 33\text{m/s}$



1) Γενικά

Ύψος κτιρίου $h = 9\text{m}$ και πλάτος κτιρίου $b = 16\text{m}$

$h = 9\text{m} < 15\text{m}$ άρα $c_s c_d = 1,0$

και $z_e = h = 9\text{m}$

2) Διεύθυνση ανέμου $\theta=0^\circ$

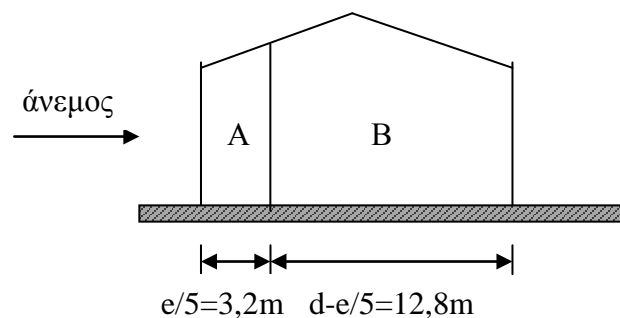
Συντελεστές εξωτερικής πίεσης

$$e = \min\{b, 2h\} = \min\{16\text{m}, 2 \cdot 9\text{m}\} = \min\{16\text{m}, 18\text{m}\} = 16\text{m}$$

$$e = 16\text{m} > d = 10\text{m}$$

$$h/d = 9/10 = 0,90$$

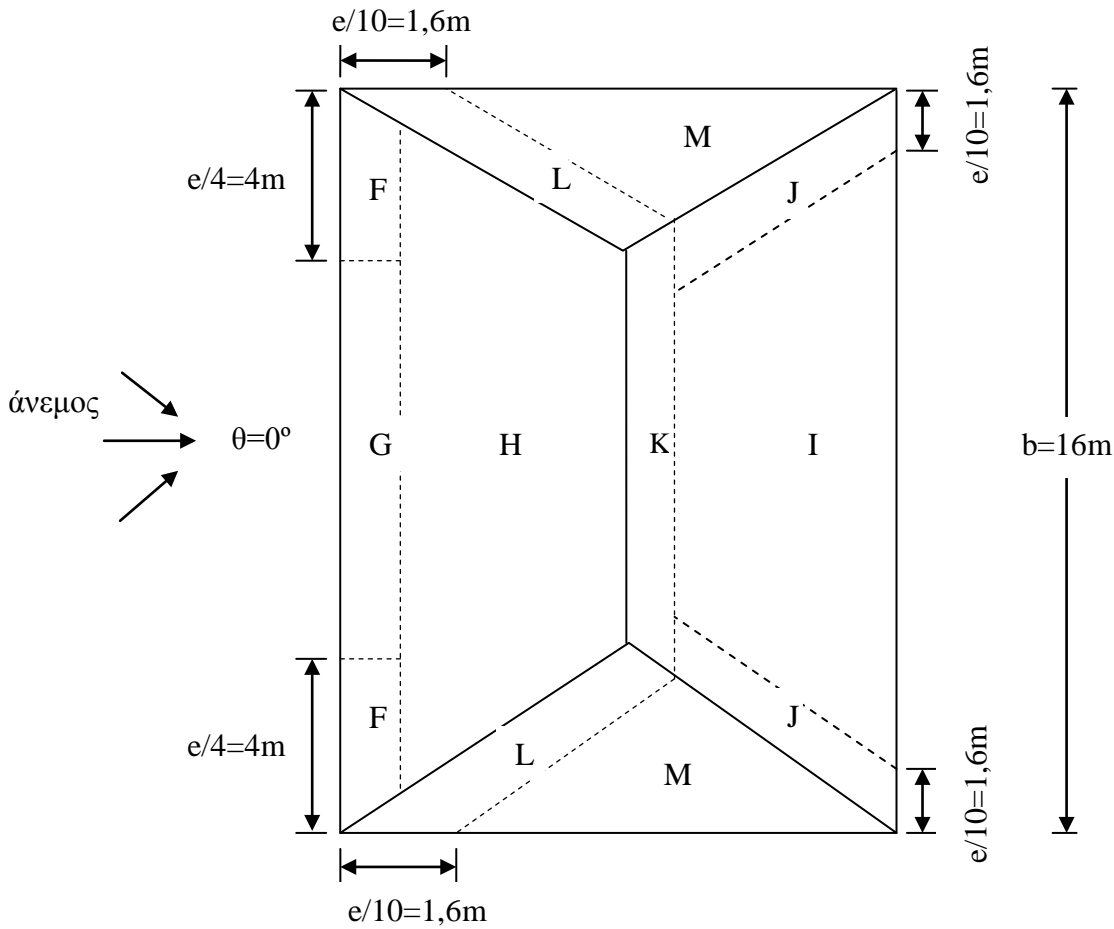
Από το σχήμα 4.17, τον πίνακα 4.4 και έπειτα από γραμμική παρεμβολή, προκύπτει ο συντελεστής εξωτερικής πίεσης για τους κατακόρυφους τοίχους:



Ζώνη							
A		B		D		E	
$C_{pe.10}$	$C_{pe.1}$	$C_{pe.10}$	$C_{pe.1}$	$C_{pe.10}$	$C_{pe.1}$	$C_{pe.10}$	$C_{pe.1}$
-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	+0,787	+1,0	-0,393	-0,393

Πίνακας 5.5.1 Συντελεστές εξωτερικής πίεσης για τους κατακόρυφους τοίχους για διεύθυνση ανέμου $\theta=0^\circ$.

Από τον πίνακα 4.8 προκύπτουν οι συντελεστές εξωτερικής πίεσης για την τετράκλινη στέγη οι οποίοι είναι:



$\alpha_0=15^\circ$	Ζώνη								
	F	G	H	I	J	K	L	M	
$C_{pe.10}$	-0,9 +0,2	-0,8 +0,2	-0,3 +0,2	-0,5	-1,0	-1,2	-1,4	-0,6	
$C_{pe.1}$	-2,0 +0,2	-1,5 +0,2	-0,3 +0,2	-0,5	-1,5	-2,0	-2,0	-1,2	

Πίνακας 5.5.2 Συντελεστές εξωτερικής πίεσης της στέγης για διεύθυνση ανέμου $\theta=0^\circ$.

3) Διεύθυνση ανέμου $\theta=90^\circ$

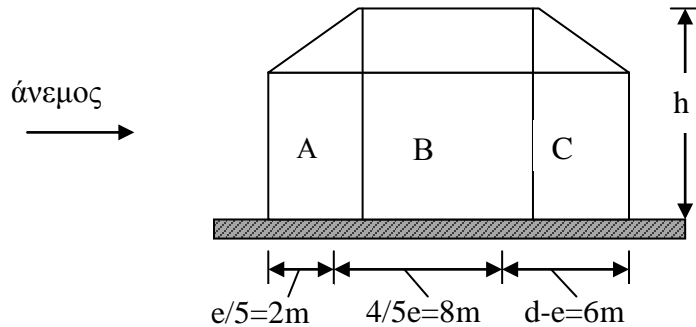
Συντελεστές εξωτερικής πίεσης

$$e = \min\{b, 2h\} = \min\{10\text{m}, 2 \cdot 9\text{m}\} = \min\{10\text{m}, 18\text{m}\} = 10\text{m}$$

$$e = 10\text{m} < d = 16\text{m}$$

$$h/d = 9/16 = 0,563$$

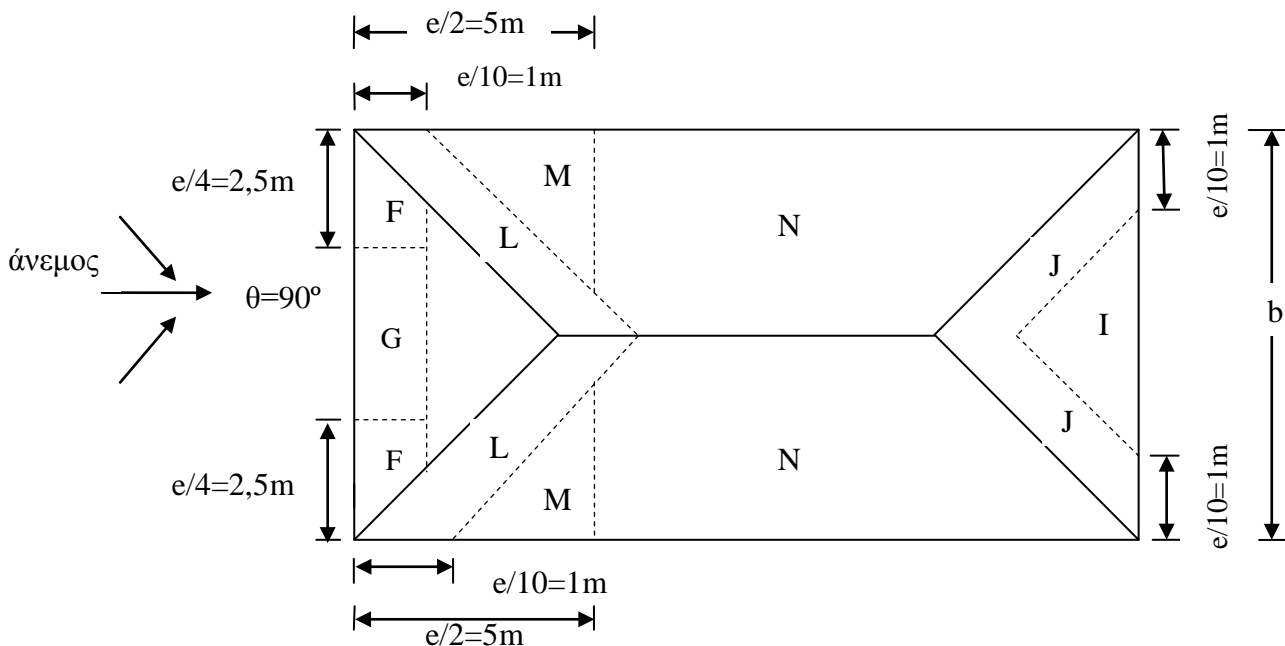
Από το σχήμα 4.17, τον πίνακα 4.4 και έπειτα από γραμμική παρεμβολή, προκύπτει ο συντελεστής εξωτερικής πίεσης για τους κατακόρυφους τοίχους:



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	+0,742	+1,0	-0,384	-0,384

Πίνακας 5.5.3 Συντελεστές εξωτερικής πίεσης για τους κατακόρυφους τοίχους για διεύθυνση ανέμου $\theta=90^\circ$.

Από τον πίνακα 4.8 προκύπτουν οι συντελεστές εξωτερικής πίεσης για την τετράκλινη στέγη οι οποίοι είναι:



$\alpha_0=30^\circ$	Ζώνη								
	F	G	H	I	J	K	L	M	N
$c_{pe.10}$	-0,5 +0,5	-0,5 +0,7	-0,2 +0,4	-0,4	-0,7	-0,5	-1,4	-0,8	-0,2
$c_{pe.1}$	-1,5 +0,5	-1,5 +0,7	-0,2 +0,4	-0,4	-1,2	-0,5	-2,0	-1,2	-0,2

Πίνακας 5.5.4 Συντελεστές εξωτερικής πίεσης της στέγης για διεύθυνση ανέμου $\theta=90^\circ$.

4) Πίεση ταχύτητας αιχμής

Σύμφωνα με την §4.2.5 , η βασική ταχύτητα του ανέμου ισούται με:

$$v_b = c_{dir} * c_{season} * v_{b,0} = 1,0 * 1,0 * 33 = 33 \text{ m/sec}$$

Από τον πίνακα 4.1 και για κατηγορία εδάφους IV προκύπτει ότι :

$$z_0 = 1,0 \text{ m} \ \& \ z_{min} = 10,0 \text{ m}$$

$$\implies z_e = 9 \text{ m} < z_{min} = 10 \text{ m}$$

Έτσι ο συντελεστής τραχύτητας δίνεται από τη σχέση :

$$c_r(z) = k_r * \ln(z_{min}/z_0)$$

και με συντελεστή εδάφους:

$$k_r = 0,19 * (z_0/z_{0,II})^{0,07} = 0,19 * (1,0/0,05)^{0,07} = 0,23$$

Άρα έχουμε:

$$c_r(z) = k_r * \ln(z_{min}/z_0) = 0,23 * \ln(10/1,0) = 0,530$$

Ο συντελεστής αναγλύφου σύμφωνα με την §4.4.2 ισούται με $c_0 = 1$.

Επομένως, η μέση ταχύτητα του ανέμου σε ύψος z πάνω από το έδαφος είναι ίσο με:

$$v_m(z) = c_r(z) * c_0(z) * v_b = 0,530 * 1,0 * 33 = 17,49 \text{ m/sec}$$

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω $z_e = 9 \text{ m} < z_{min} = 10 \text{ m}$ άρα η ένταση στροβιλισμού $\ell_v(z)$ σε ύψος z πάνω από το έδαφος είναι:

$$\ell_v(z) = k_i / [c_0(z) * \ln(z_{min}/z_0)] = 1,0 / [1,0 * \ln(10/0,05)] = 0,189$$

Οπότε η πίεση ταχύτητας αιχμής είναι ίση με:

$$\begin{aligned} q_p(z) &= [1 + 7 * \ell_v(z)] * 1/2 * \rho * v_m^2(z) = \\ &= [1 + 7 * 0,189] * 1/2 * 0,00125 * 17,49^2 = \\ &= 0,444 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

5) Διεύθυνση ανέμου $\theta=0^\circ$
Εξωτερικές πιέσεις ανέμου

Από την §4.2.2 , η εξωτερική πίεση ισούται με:

$$W_e = q_p(z_e) * c_{pe} = 0,444 * c_{pe}$$

και σύμφωνα με τους πίνακες 5.5.1 και 5.5.2 για τους συντελεστές εξωτερικής πίεσης των κατακόρυφων τοίχων και της οροφής του κτιρίου έχουμε:

Εξωτερική πίεση	A		B		D		E	
	$c_{pe.10}$	$c_{pe.1}$	$c_{pe.10}$	$c_{pe.1}$	$c_{pe.10}$	$c_{pe.1}$	$c_{pe.10}$	$c_{pe.1}$
	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	+0,787	+1,0	-0,393	-0,393
W_e	-0,533	-0,622	-0,355	-0,488	0,349	0,444	-0,174	-0,174

Πίνακας 5.5.5 Εξωτερικές πιέσεις κατακόρυφων τοίχων για διεύθυνση ανέμου $\theta=0^\circ$.

$\alpha_0=15^\circ$	Ζώνη							
	F	G	H	I	J	K	L	M
$c_{pe.10}$	-0,9 +0,2	-0,8 +0,2	-0,3 +0,2	-0,5	-1,0	-1,2	-1,4	-0,6
$c_{pe.1}$	-2,0 +0,2	-1,5 +0,2	-0,3 +0,2	-0,5	-1,5	-2,0	-2,0	-1,2
W_e	-0,40 +0,089	-0,355 +0,089	-0,133 +0,089	-0,222	-0,444	-0,533	-0,622	-0,266
	-0,89 +0,089	-0,67 +0,089	-0,133 +0,089	-0,222	-0,67	-0,89	-0,89	-0,533

Πίνακας 5.5.6 Εξωτερικές πιέσεις ανέμου στη στέγη για διεύθυνση ανέμου $\theta=0^\circ$.

6) Διεύθυνση ανέμου $\theta=90^\circ$
Εξωτερικές πιέσεις ανέμου

Εξωτερική πίεση	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	+0,742	+1,0	-0,384	-0,384
W_e	-0,533	-0,622	-0,355	-0,488	-0,222	-0,222	+0,33	0,444	-0,170	-0,170

Πίνακας 5.5.7 Εξωτερικές πιέσεις στους κατακόρυφους τοίχους για διεύθυνση ανέμου $\theta=90^\circ$.

$\alpha_0=30^\circ$	Ζώνη								
	F	G	H	I	J	K	L	M	N
$c_{pe.10}$	-0,5 +0,5	-0,5 +0,7	-0,2 +0,4	-0,4	-0,7	-0,5	-1,4	-0,8	-0,2
$c_{pe.1}$	-1,5 +0,5	-1,5 +0,7	-0,2 +0,4	-0,4	-1,2	-0,5	-2,0	-1,2	-0,2
W_e	-0,222 +0,222	-0,222 +0,311	-0,089 +0,178	-0,178	-0,311	-0,222	-0,622	-0,355	-0,089
	-0,67 +0,222	-0,67 +0,311	-0,089 +0,178	-0,178	-0,533	-0,222	-0,89	-0,533	-0,089

Πίνακας 5.5.8 Εξωτερικές πιέσεις στη στέγη για διεύθυνση ανέμου $\theta=90^\circ$.

Παράδειγμα 6: Επαναλαμβανόμενη στέγη

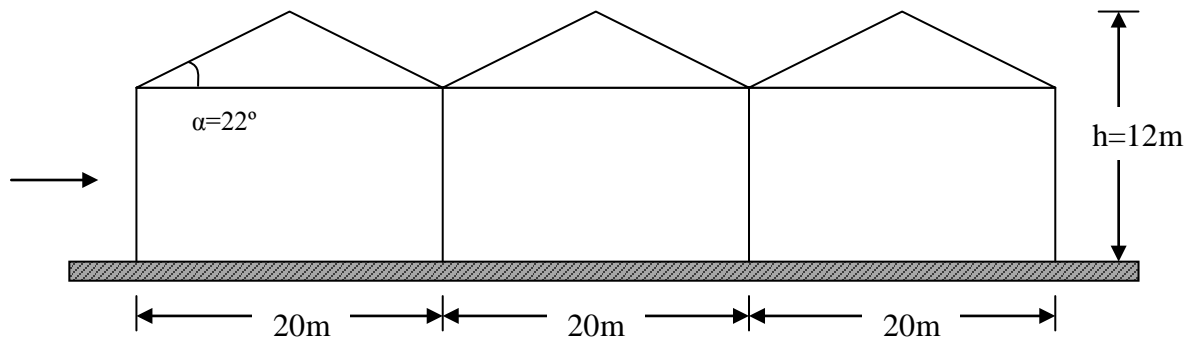
Να υπολογιστούν οι εξωτερικές πιέσεις, λόγω ανέμου, που ασκούνται στους κατακόρυφους τοίχους και στην οροφή του κτιρίου από χάλυβα.

Κατηγορία εδάφους III

Ταχύτητα ανέμου $v_{b,0} = 27\text{m/s}$

Λόγος ανοιγμάτων $\mu = 0,55$

$b=35\text{m}$



1) Γενικά

Ύψος κτιρίου $h = 12\text{m}$ και πλάτος κτιρίου $b = 20\text{m}$

$h = 12\text{m} < 15\text{m}$ άρα $c_s c_d = 1,0$

και $z_e = h = 12\text{m}$

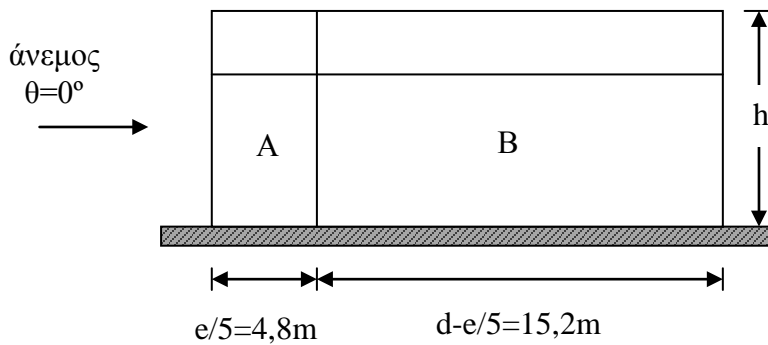
2) Συντελεστές εξωτερικής πίεσης

$$e = \min\{b, 2h\} = \min\{35\text{m}, 2 \cdot 12\text{m}\} = \min\{35\text{m}, 24\text{m}\} = 24\text{m}$$

$$e = 24\text{m} > d = 20\text{m}$$

$$h/d = 12/20 = 0,60$$

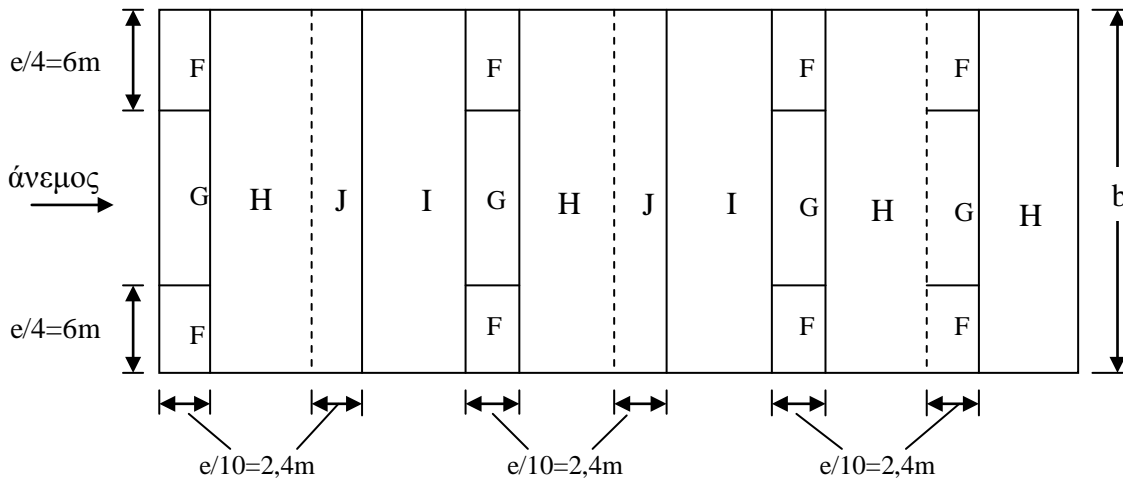
Από το σχήμα 4.17, τον πίνακα 4.4 και έπειτα από γραμμική παρεμβολή, προκύπτει ο συντελεστής εξωτερικής πίεσης για τους κατακόρυφους τοίχους:



Ζώνη							
A		B		D		E	
$C_{pe.10}$	$C_{pe.1}$	$C_{pe.10}$	$C_{pe.1}$	$C_{pe.10}$	$C_{pe.1}$	$C_{pe.10}$	$C_{pe.1}$
-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	+0,747	+1,0	-0,393	-0,393

Πίνακας 5.6.1 Συντελεστές εξωτερικής πίεσης κατακόρυφων τοίχων για διεύθυνση ανέμου $\theta=0^\circ$.

Σύμφωνα με την §4.6.1.7 , ο πρώτος συντελεστής εξωτερικής πίεσης της στέγης αντιστοιχεί στον συντελεστή εξωτερικής πίεσης της μονόκλινης στέγης και όλοι οι επόμενοι σε αυτούς της δίκλινης στέγης. Έτσι έχουμε:



Ζώνη									
F		G		H		I		J	
$C_{pe.10}$	$C_{pe.1}$	$C_{pe.10}$	$C_{pe.1}$	$C_{pe.10}$	$C_{pe.1}$	$C_{pe.10}$	$C_{pe.1}$	$C_{pe.10}$	$C_{pe.1}$
-0,713	-1,767	-0,66	-1,5	-0,253	-0,253	-0,4	-0,4	-0,767	-1,033
+0,433	+0,433	+0,433	+0,433	+0,433	+0,433	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0

Πίνακας 5.6.2 Συντελεστές εξωτερικής πίεσης στέγης για διεύθυνση ανέμου $\theta=0^\circ$ για το πρώτο άνοιγμα.

Ζώνη									
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}
-0,713	-1,767	-0,66	-1,5	-0,253	-0,253	-0,24	-0,24	-0,460	-0,620
+0,433	+0,433	+0,433	+0,433	+0,433	+0,433	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0

Πίνακας 5.6.3 Συντελεστές εξωτερικής πίεσης στέγης για διεύθυνση ανέμου $\theta=0^\circ$ για το δεύτερο άνοιγμα.

Ζώνη											
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}
-0,428	-1,060	-0,396	-0,90	-0,152	-0,152	-1,11	-2,57	-1,067	-1,767	-0,853	-1,013
+0,26	+0,26	+0,26	+0,26	+0,26	+0,26						

Πίνακας 5.6.4 Συντελεστές εξωτερικής πίεσης στέγης για διεύθυνση ανέμου $\theta=0^\circ$ για το τρίτο άνοιγμα.

3) Πίεση ταχύτητας αιχμής

Σύμφωνα με την §4.2.5 ,η βασική ταχύτητα του ανέμου ισούται με:

$$v_b = c_{dir} * c_{season} * v_{b,0} = 1,0 * 1,0 * 27 = 27 \text{m/sec}$$

Από τον πίνακα 4.1 και για κατηγορία εδάφους III προκύπτει ότι :

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

$$\Rightarrow z_{min} = 5,0\text{m} < z_e = 12\text{m} < z_{max} = 200\text{m}$$

Έτσι ο συντελεστής τραχύτητας δίνεται από τη σχέση :

$$c_r(z) = k_r * \ln(z_{min}/z_0)$$

και με συντελεστή εδάφους:

$$k_r = 0,19 * (z_0/z_{0,II})^{0,07} = 0,19 * (0,3/0,05)^{0,07} = 0,215$$

Άρα έχουμε:

$$c_r(z) = k_r * \ln(z_{min}/z_0) = 0,215 * \ln(5,0/0,3) = 0,605$$

Ο συντελεστής αναγλύφου σύμφωνα με την §4.4.2 ισούται με $c_0 = 1$.

Επομένως, η μέση ταχύτητα του ανέμου σε ύψος z πάνω από το έδαφος είναι ίσο με:

$$v_m(z) = c_r(z) * c_0(z) * v_b = 0,605 * 1,0 * 27 = 16,335 \text{m/sec}$$

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω $z_{min} = 5,0\text{m} < z_e = 12\text{m} < z_{max} = 200\text{m}$ άρα η ένταση στροβιλισμού $l_v(z)$ σε ύψος z πάνω από το έδαφος είναι:

$$\ell_v(z) = k_i / [c_o(z) \cdot \ln(z_{\min}/z_0)] = 1,0 / [1,0 \cdot \ln(5,0/0,3)] = 0,35$$

Οπότε η πίεση ταχύτητας αιχμής είναι ίση με:

$$\begin{aligned} q_p(z) &= [1 + 7 \cdot \ell_v(z)] \cdot 1/2 \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = \\ &= [1 + 7 \cdot 0,356] \cdot 1/2 \cdot 0,00125 \cdot 16,33^2 = \\ &= 0,582 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

4) Εξωτερικές πιέσεις ανέμου

Από την §4.2.2 , η εξωτερική πίεση ισούται με:

$$w_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe} = 0,582 \cdot c_{pe}$$

Η εξωτερική πίεση για τον κατακόρυφο τοίχο είναι ίση με:

Εξωτερική πίεση	Ζώνη							
	A		B		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}
w _e	-0,698	-0,815	-0,466	-0,640	+0,435	+0,582	-0,229	-0,229

Πίνακας 5.6.5 Εξωτερική πίεση κατακόρυφων τοίχων.

Οι εξωτερικές πιέσεις της στέγης είναι οι εξής:

Εξωτερική πίεση	Ζώνη									
	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}
w _e	-0,415	-1,028	-0,384	-0,873	-0,147	-0,147	-0,233	-0,233	-0,446	-0,601
	+0,252	+0,252	+0,252	+0,252	+0,252	+0,252	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0

Πίνακας 5.6.6 Εξωτερικές πιέσεις στέγης στο πρώτο άνοιγμα.

Εξωτερική πίεση	Ζώνη									
	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}
w _e	-0,415	-1,028	-0,384	-0,873	-0,147	-0,417	-0,140	-0,140	-0,268	-0,361
	+0,252	+0,252	+0,252	+0,252	+0,252	+0,252	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0

Πίνακας 5.6.7 Εξωτερικές πιέσεις στέγης στο δεύτερο άνοιγμα.

Εξωτερική πίεση	Ζώνη											
	F		G		H		F		G		H	
	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
W_e	-0,25	-0,617	-0,23	-0,524	-0,089	-0,089	-0,646	-1,496	-0,621	-1,028	-0,496	-0,59
	+0,151	+0,151	+0,151	+0,151	+0,151	+0,151						

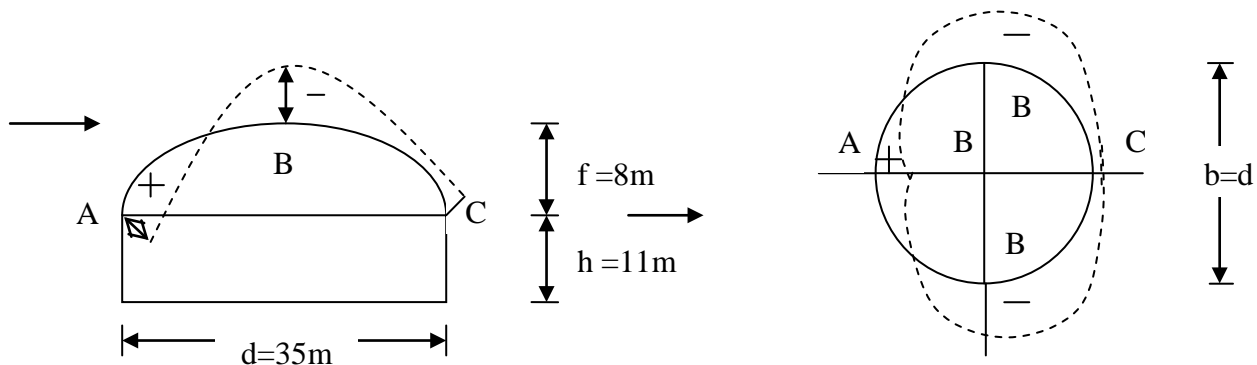
Πίνακας 5.6.8 Εξωτερικές πιέσεις στέγης στο τρίτο άνοιγμα.

Παράδειγμα 7: Θόλος με κυκλική βάση

Να υπολογιστούν οι εξωτερικές πιέσεις, λόγω ανέμου, που ασκούνται στους κατακόρυφους τοίχους και στην οροφή του κτιρίου από χάλυβα.

Κατηγορία εδάφους II

Ταχύτητα ανέμου $v_{b,0} = 33\text{m/s}$



1) Γενικά

Το ύψος αναφοράς ισούται με $z_e = f + h = 8 + 11 = 19\text{m}$

Για κατηγορία εδάφους II, $z_e = 19\text{m}$ και $b = 35\text{m}$, σύμφωνα με τον πίνακα 4.7 προκύπτει το $c_{s,c_d} = 0,90$.

2) Συντελεστές εξωτερικής πίεσης

Σύμφωνα με το Σχ. 4.24 και για $h/d = 11/35 = 0,31$ ($0 < h/d < 0,5$), $f/d = 8/35 = 0,23$ και έπειτα από γραμμική παρεμβολή, έχουμε:

Ζώνη			
$C_{pe,10}$	A	B	C
		-0,21	-0,93

Πίνακας 5.7.1 Συντελεστές εξωτερικής πίεσης θόλου.

3) Πίεση ταχύτητας αιχμής

Σύμφωνα με την §4.2.5 ,η βασική ταχύτητα του ανέμου ισούται με:

$$v_b = c_{dir} * c_{season} * v_{b,0} = 1,0 * 1,0 * 33 = 33 \text{m/sec}$$

Από τον πίνακα 4.1 και για κατηγορία εδάφους III προκύπτει ότι :

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

$$\Rightarrow z_{min} = 2,0\text{m} < z_e = 19\text{m} < z_{max} = 200\text{m}$$

Έτσι ο συντελεστής τραχύτητας δίνεται από τη σχέση :

$$c_r(z) = k_r * \ln(z_{min}/z_0)$$

και με συντελεστή εδάφους:

$$k_r = 0,19 * (z_0/z_{0,II})^{0,07} = 0,19 * (0,05/0,05)^{0,07} = 0,19$$

Άρα έχουμε:

$$c_r(z) = k_r * \ln(z_{min}/z_0) = 0,19 * \ln(2,0/0,05) = 0,7$$

Ο συντελεστής αναγλύφου σύμφωνα με την §4.4.2 ισούται με $c_0 = 1$.

Επομένως, η μέση ταχύτητα του ανέμου σε ύψος z πάνω από το έδαφος είναι ίσο με:

$$v_m(z) = c_r(z) * c_0(z) * v_b = 0,7 * 1,0 * 33 = 23,1 \text{m/sec}$$

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω $z_{min} = 2,0\text{m} < z_e = 19\text{m} < z_{max} = 200\text{m}$ άρα η ένταση στροβιλισμού $\ell_v(z)$ σε ύψος z πάνω από το έδαφος είναι:

$$\ell_v(z) = k_i / [c_0(z) * \ln(z_{min}/z_0)] = 1,0 / [1,0 * \ln(2,0/0,05)] = 0,271$$

Οπότε η πίεση ταχύτητας αιχμής είναι ίση με:

$$\begin{aligned} q_p(z) &= [1 + 7 * \ell_v(z)] * 1/2 * \rho * v_m^2(z) = \\ &= [1 + 7 * 0,271] * 1/2 * 0,00125 * 23,1^2 = \\ &= 0,966 \text{kN/m}^2 \end{aligned}$$

4) Εξωτερική πίεση

Από την §4.2.2 , η εξωτερική πίεση ισούται με:

$$w_e = q_p(z_e) * c_{pe} = 0,966 * c_{pe}$$

άρα έχουμε:

Ζώνη			
Εξωτερική πίεση	A	B	C
	-0,203	-0,898	-0,288

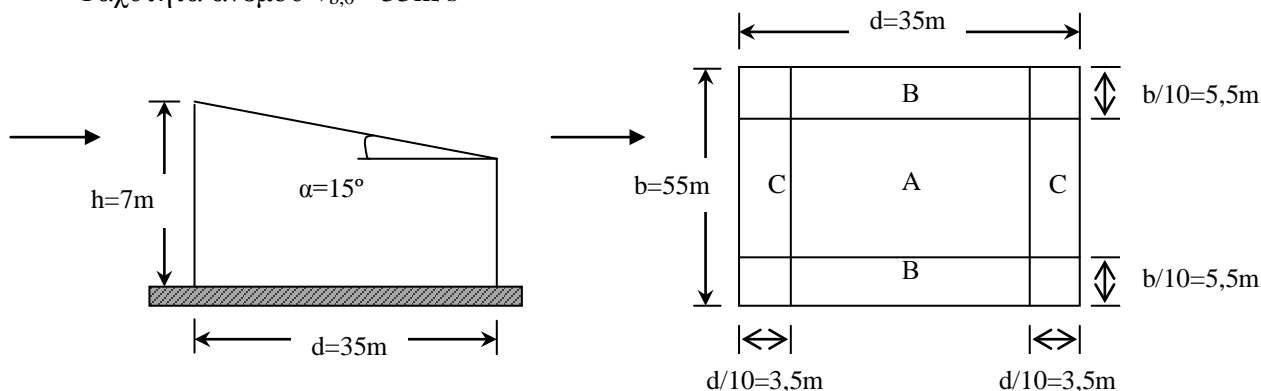
Πίνακας 5.7.2 Εξωτερικές πιέσεις θόλου.

Παράδειγμα 8: Μονόκλινο στέγαστρο

Να υπολογιστούν οι πιέσεις και οι συνολικές δυνάμεις λόγω ανέμου στο μονόκλινο στέγαστρο με λόγο πληρότητας $\phi = 0$.

Κατηγορία εδάφους I

Ταχύτητα ανέμου $v_{b,0} = 33 \text{ m/s}$



1) Γενικά

Το ύψος αναφοράς ισούται με $z_e = h = 7\text{m}$.

2) Συντελεστές πίεσης

Από τον πίνακα 4.9 προκύπτουν οι μέγιστοι και οι ελάχιστοι συντελεστές πίεσης για λόγο πληρότητας $\phi=0$ και γωνία κλίσης της στέγης $\alpha=10^\circ$:

$C_{p.net}$	Ζώνη			Καθολικός Συντελεστής c_f
	A	B	C	
min $C_{p.net}$	-1,5	-2,0	-2,1	-0,9
max $C_{p.net}$	+1,2	+2,4	+1,6	+0,5

Πίνακας 5.8.1 Μέγιστοι και ελάχιστοι συντελεστές πίεσης μονόκλινου στεγάστρου για $\phi=0$ και γωνία κλίσης στέγης $\alpha=10^\circ$.

3) Πίεση ταχύτητας αιχμής

Σύμφωνα με την §4.2.5, η βασική ταχύτητα του ανέμου ισούται με:

$$v_b = c_{dir} * c_{season} * v_{b,0} = 1,0 * 1,0 * 33 = 33 \text{ m/sec}$$

Από τον πίνακα 4.1 και για κατηγορία εδάφους I προκύπτει ότι :

$$\Rightarrow z_0 = 0,01\text{m} \ \& \ z_{min} = 1,0\text{m} \\ z_{min} = 1,0\text{m} < z_e = 7\text{m} < z_{max} = 200\text{m}$$

Έτσι ο συντελεστής τραχύτητας δίνεται από τη σχέση :

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln(z_{\min}/z_0)$$

και με συντελεστή εδάφους:

$$k_r = 0,19 \cdot (z_0/z_{0,\Pi})^{0,07} = 0,19 \cdot (0,01/0,05)^{0,07} = 0,17$$

Άρα έχουμε:

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln(z_{\min}/z_0) = 0,17 \cdot \ln(1,0/0,01) = 0,783$$

Ο συντελεστής αναγλύφου σύμφωνα με την §4.4.2 ισούται με $c_0 = 1$.

Επομένως, η μέση ταχύτητα του ανέμου σε ύψος z πάνω από το έδαφος είναι ίσο με:

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot v_b = 0,783 \cdot 1,0 \cdot 33 = 25,84 \text{ m/sec}$$

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω $z_{\min} = 1,0 \text{ m} < z_e = 7 \text{ m} < z_{\max} = 200 \text{ m}$ άρα η ένταση στροβιλισμού $\ell_v(z)$ σε ύψος z πάνω από το έδαφος είναι:

$$\ell_v(z) = k_i / [c_0(z) \cdot \ln(z_{\min}/z_0)] = 1,0 / [1,0 \cdot \ln(1,0/0,01)] = 0,434$$

Οπότε η πίεση ταχύτητας αιχμής είναι ίση με:

$$\begin{aligned} q_p(z) &= [1 + 7 \cdot \ell_v(z)] \cdot 1/2 \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = \\ &= [1 + 7 \cdot 0,434] \cdot 1/2 \cdot 0,00125 \cdot 25,84^2 = \\ &= 1,68 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

4) Πιέσεις ανέμου

Από την §4.2.2 , η εξωτερική πίεση ισούται με:

$$w_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe} = 1,68 \cdot c_{pe}$$

έτσι έχουμε:

w_e	Ζώνη		
	A	B	C
min	-2,52	-3,36	-3,53
max	+2,02	+4,03	+2,69

Πίνακας 5.8.2 Μέγιστες και ελάχιστες πιέσεις ανέμου.

5) Συνολικές δυνάμεις ανέμου

Βάσει των καθολικών συντελεστών δύναμης που δίνονται στον πίνακα 5.8.1 , προκύπτει η συνολική δύναμη στην κεκλιμένη επιφάνεια :

Για $\min c_f = -0,9$:

$$F = c_f \cdot q_p(z) \cdot A_f = c_f \cdot q_p(z) \cdot b \cdot d = -0,9 \cdot 1,68 \cdot 55 \cdot 35 = -2.911 \text{ kN}$$

Για $\max c_f = +0,5$:

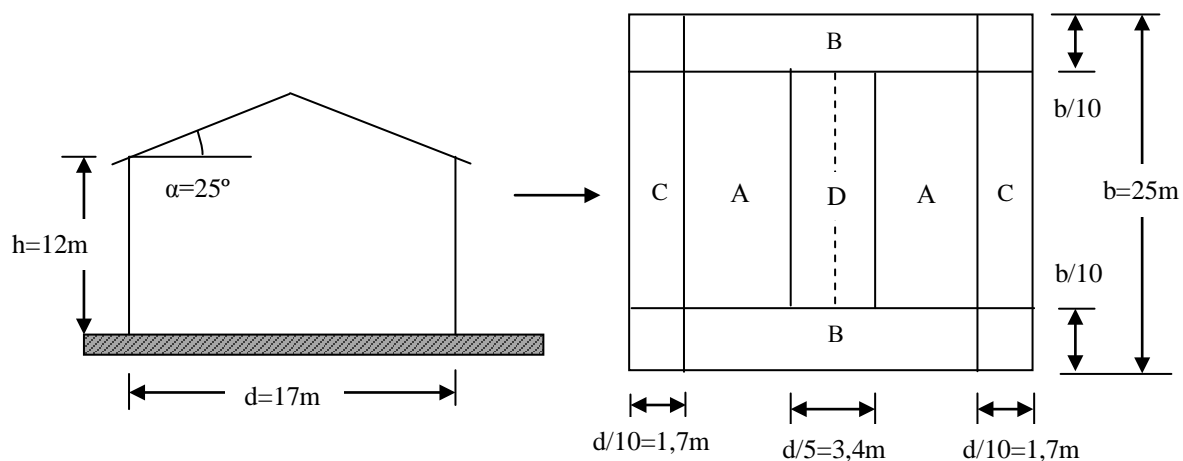
$$F = c_f \cdot q_p(z) \cdot A_f = c_f \cdot q_p(z) \cdot b \cdot d = 0,5 \cdot 1,68 \cdot 55 \cdot 35 = +1.617 \text{ kN}$$

Παράδειγμα 9: Δίκλινο στέγαστρο

Να υπολογιστούν οι πιέσεις και οι συνολικές δυνάμεις λόγω ανέμου στο δίκλινο στέγαστρο με λόγο πληρότητας $\phi = 1$.

Κατηγορία εδάφους II

Ταχύτητα ανέμου $v_{b,0} = 27\text{m/s}$



1) Γενικά

Το ύψος αναφοράς ισούται με $z_e = h = 12\text{m}$.

2) Συντελεστές πίεσης

Από τον πίνακα 4.10 προκύπτουν οι μέγιστοι και οι ελάχιστοι συντελεστές πίεσης για λόγο πληρότητας $\phi = 1$ και γωνία κλίσης της στέγης $\alpha = 25^\circ$:

$C_{p.net}$	Ζώνη				Καθολικός Συντελεστής c_f
	A	B	C	D	
min $C_{p.net}$	-1,4	-2,0	-1,5	-2,0	-1,3
max $C_{p.net}$	+1,2	+1,9	+1,6	+0,5	+0,7

Πίνακας 5.9.1 Μέγιστοι και ελάχιστοι συντελεστές πίεσης δίκλινου στεγάστρου για $\phi = 1$ και γωνία κλίσης στέγης $\alpha = 25^\circ$.

3) Πίεση ταχύτητας αιχμής

Σύμφωνα με την §4.2.5 ,η βασική ταχύτητα του ανέμου ισούται με:

$$v_b = c_{dir} * c_{season} * v_{b,0} = 1,0 * 1,0 * 27 = 27\text{m/sec}$$

Από τον πίνακα 4.1 και για κατηγορία εδάφους II προκύπτει ότι :

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

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

Έτσι ο συντελεστής τραχύτητας δίνεται από τη σχέση :

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln(z_{\min}/z_0)$$

και με συντελεστή εδάφους:

$$k_r = 0,19 \cdot (z_0/z_{0,II})^{0,07} = 0,19 \cdot (0,05/0,05)^{0,07} = 0,19$$

Άρα έχουμε:

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln(z_{\min}/z_0) = 0,19 \cdot \ln(2,0/0,05) = 0,701$$

Ο συντελεστής αναγλύφου σύμφωνα με την §4.4.2 ισούται με $c_0 = 1$.

Επομένως, η μέση ταχύτητα του ανέμου σε ύψος z πάνω από το έδαφος είναι ίσο με:

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot v_b = 0,701 \cdot 1,0 \cdot 27 = 18,93\text{m/sec}$$

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω $z_{\min} = 2,0\text{m} < z_e = 12\text{m} < z_{\max} = 200\text{m}$ άρα η ένταση στροβιλισμού $\ell_v(z)$ σε ύψος z πάνω από το έδαφος είναι:

$$\ell_v(z) = k_i / [c_0(z) \cdot \ln(z_{\min}/z_0)] = 1,0 / [1,0 \cdot \ln(2,0/0,05)] = 0,271$$

Οπότε η πίεση ταχύτητας αιχμής είναι ίση με:

$$\begin{aligned} q_p(z) &= [1 + 7 \cdot \ell_v(z)] \cdot 1/2 \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = \\ &= [1 + 7 \cdot 0,271] \cdot 1/2 \cdot 0,00125 \cdot 18,93^2 = \\ &= 0,649\text{kN/m}^2 \end{aligned}$$

4) Πιέσεις ανέμου

Από την §4.2.2 , η εξωτερική πίεση ισούται με:

$$w_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe} = 0,649 \cdot c_{pe}$$

έτσι έχουμε:

w_e	Ζώνη			
	A	B	C	D
min	-0,909	-1,298	-0,974	-1,298
max	0,779	+1,233	+1,038	+0,324

Πίνακας 5.9.2 Μέγιστες και ελάχιστες πιέσεις ανέμου.

5) Συνολικές δυνάμεις ανέμου

Βάσει των καθολικών συντελεστών δύναμης που δίνονται στον πίνακα 5.8.1 , προκύπτει η συνολική δύναμη στην κεκλιμένη επιφάνεια :

Για $\min c_f = -1,3$:

$$F = c_f \cdot q_p(z) \cdot A_f = c_f \cdot q_p(z) \cdot b \cdot d = -1,3 \cdot 0,649 \cdot 25 \cdot 17 = -358,57\text{kN}$$

Για $\max c_f = +0,7$:

$$F = c_f \cdot q_p(z) \cdot A_f = c_f \cdot q_p(z) \cdot b \cdot d = 0,7 \cdot 0,649 \cdot 25 \cdot 17 = +193,08\text{kN}$$

Παράδειγμα 10: Πινακίδα σήμανσης

Να υπολογιστεί η συνολική δύναμη που ασκείται στην μεταλλική πινακίδα σήμανσης λόγω ανέμου.

Κατηγορία εδάφους IV

Ταχύτητα ανέμου $v_{b,0} = 27\text{m/s}$

1) Γενικά

Σύμφωνα με την §4.6.3.2, για $z_g = 2,5\text{m} > h/4 = 1\text{m}$ ο συντελεστής δύναμης ισούται με $c_f = 1,80$.

Το ύψος αναφοράς ισούται με:

$$z_e = h/2 + z_g = 4/2 + 2,5 = 4,5\text{m}$$

Η επιφάνεια αναφοράς ισούται με:

$$A_{\text{ref}} = b \cdot h = 2 \cdot 4 = 8\text{m}^2$$

2) Πίεση αναφοράς

Όπως αναφέρεται και παραπάνω η ταχύτητα του ανέμου ισούται με:

$$v_{b,0} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 27 = 27\text{m/sec}$$

Από την §4.2.5 η πίεση αναφοράς ισούται με:

$$q_{\text{ref}} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_{b,0}^2 = \frac{1}{2} \cdot 0,00125 \cdot 27^2 = 0,456\text{kN/m}^2$$

3) Συντελεστής έκθεσης

Στο σχήμα 4.2 δίνεται ο συντελεστής έκθεσης $c_e(z_e)$ για ύψος αναφοράς $z_e = 4,5\text{m}$, κατηγορία εδάφους IV και συντελεστή τοπογραφικής διαμόρφωσης $c_0 = 1$ και ισούται με:

$$c_e(z_e) = 1,20$$

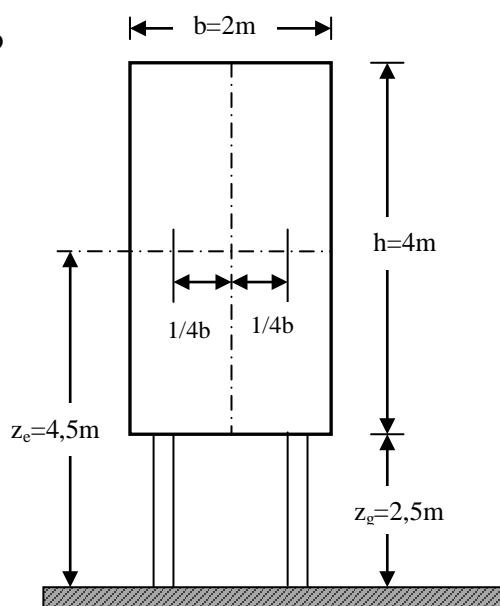
4) Συνολική δύναμη F_W

Σύμφωνα με την §4.3 η συνολική δύναμη F_W ισούται με:

$$F_W = q_{\text{ref}} \cdot c_e(z_e) \cdot c_f \cdot A_{\text{ref}} = 0,456 \cdot 1,20 \cdot 1,80 \cdot 8,0 = 7,88\text{kN}$$

Η οποία δρα στο ύψος του κέντρου της πινακίδας με οριζόντια εκκεντρότητα ίση με:

$$e = \pm b/4 = \pm 2/4 = \pm 0,5\text{m}$$

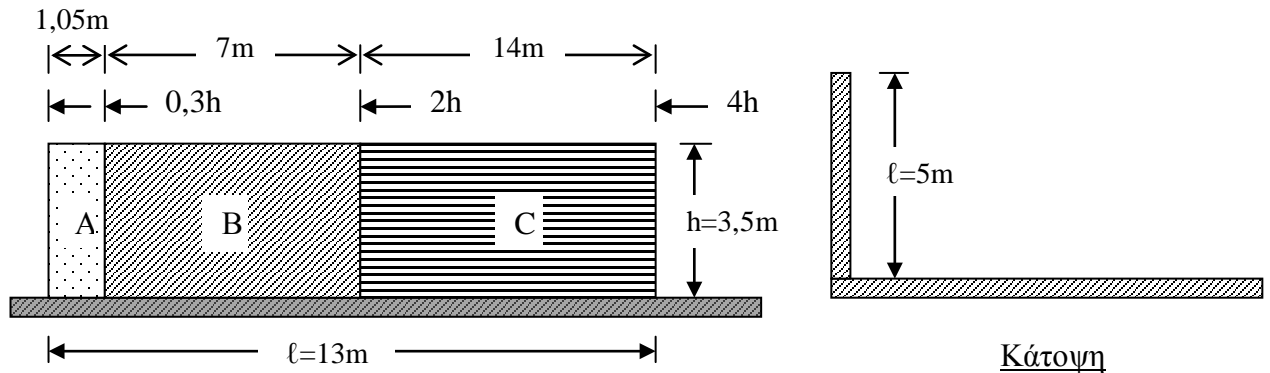


Παράδειγμα 11: Συμπαγής τοίχος

Να υπολογιστούν οι τελικές πιέσεις που ασκούνται στον ελεύθερο, συμπαγή τοίχο από σκυρόδεμα με εγκάρσια προέκταση. Σημειώνεται ότι ο τοίχος δεν προστατεύεται.

Κατηγορία εδάφους III

Ταχύτητα ανέμου $v_{b,0} = 33\text{m/sec}$



1) Γενικά

Σύμφωνα με την §4.6.3.1 για συμπαγείς τοίχους ο λόγος πληρότητας ισούται με $\phi=1$ και για $l \leq 4h = 13 < 4 \cdot 3,5 = 13 < 14$, η διαίρεση του τοίχου σε ζώνες γίνεται όπως φαίνεται στο σχήμα παραπάνω.

Το ύψος αναφοράς ισούται με $z_e = h = 3,5\text{m}$.

2) Συντελεστές πίεσης

Από τον Πίν. 4.12 προκύπτουν οι συντελεστές πίεσης και είναι οι εξής:

$C_{p,net}$	Ζώνη		
	A	B	C
	$\pm 2,1$	$\pm 1,8$	$\pm 1,4$

Πίνακας 5.11.1 Συντελεστές ολικής πίεσης.

2) Πίεση αναφοράς

Όπως αναφέρεται και παραπάνω η ταχύτητα του ανέμου ισούται με:

$$v_{b,0} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 33 = 33\text{m/sec}$$

Από την §4.2.5 η πίεση αναφοράς ισούται με:

$$q_{ref} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_{b,0}^2 = \frac{1}{2} \cdot 0,00125 \cdot 33^2 = 0,681\text{kN/m}^2$$

3) Λυγνρότητα και συντελεστής επίδρασης άκρων

Από την §4.6.10 και έπειτα από γραμμική παρεμβολή προκύπτει η λυγνρότητα η οποία ισούται με:

$$\text{για } \ell \geq 50\text{m} \implies \lambda = \min\{1.4\ell/b, 70\} = \min\{1.4*13/3.5, 70\} = \min\{5.2, 70\} = 5.2$$

$$\text{για } \ell < 15\text{m} \implies \lambda = \min\{2\ell/b, 70\} = \min\{2*13/3.5, 70\} = \min\{7.43, 70\} = 7.43$$

$$\implies \text{Άρα } \lambda = 7,56$$

Στο σχήμα 4.37 δίνεται ο συντελεστής επίδρασης άκρων για λόγο πληρότητας $\phi=1$ και λυγηρότητα $\lambda=7,56$ και ισούται:

$$\psi_\lambda = 0,68$$

4) Συντελεστής έκθεσης

Στο σχήμα 4.2 δίνεται ο συντελεστής έκθεσης $c_e(z_e)$ για ύψος αναφοράς $z_e = 3,5\text{m}$, κατηγορία εδάφους III και συντελεστή τοπογραφικής διαμόρφωσης $c_0 = 1$ και ισούται με:

$$c_e(z_e) = 1,29$$

5) Καθαρές πιέσεις

Οι καθαρές πιέσεις κάθε ζώνης βρίσκονται στον πίνακα που ακολουθεί και προκύπτουν από την σχέση:

$$w_{p,net} = \psi_\lambda * q_{ref} * c_e(z_e) * c_{p,net}$$

$w_{p,net}$ (kN/m^2)	Ζώνη		
	A	B	C
	$\pm 1,254$	$\pm 1,075$	$\pm 0,836$

6) Δυνάμεις τριβής

Σύμφωνα με την §4.6.11 η επιφάνεια αναφοράς ισούται με:

$$A_{fr} = 2*h*d = 2*3,5*13 = 91\text{m}^2$$

και από τον Πίν.4.16 , ο συντελεστής τριβής για τραχύ σκυρόδεμα ισούται με:

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

άρα η δύναμη τριβής που εφαρμόζεται παράλληλα προς τις επιφάνειες του τοίχου είναι:

$$F_w = q_{ref} * c_e(z_e) * c_{fr} * A_{fr} = 0,681*1,29*0,02*91 = 1,60\text{kN}.$$

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Βαδαλούκας Γ.,-Θεοδοροπούλου Π., *Ευρωκώδικας 1 Κανονισμός Φόρτισης*, Προγράμματα Πολιτικού Μηχανικού, 4ΜVΚ ΕΠΕ, Αθήνα χ.χ.
2. Ερμόπουλος Χ. Ιωάννης, *Ευρωκώδικας 1*, β' εκδ., Κλειδάριθμος, Αθήνα 2008.
3. Μαλακάτας Ν.,-Τρέζος Κ., *EN 1991-1-4: Γενικές δράσεις-Δράσεις Ανέμου*, Εκπαιδευτικές σημειώσεις, εκδ. Τ.Ε.Ε., Αθήνα Νοέμβριος 2009.