Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Σχολή Πολιτικών Μηχανικών

Τομέας Δομοστατικής

Διδακτορική Διατριβή

ΘΕΜΑ:

"Βιοκλιματική προσέγγιση της δράσης του ανέμου στα κτίρια με αναλυτικές μαθηματικές μεθόδους"

Επιμέλεια: **ΙΩΑΝΝΗΣ Κ. ΒΕΝΕΤΗΣ**

Πολ. Μηχ. Ε.Μ.Π.,M.Sc.

«Η έγκριση διδακτορικής διατριβής δεν υποδηλώνει την αποδοχή των γνωμών του συγγραφέα»

Άρθρο 202, παρ. 2, Ν. 5343/1932

Ευχαριστίες

Ο συγγραφέας θεωρεί υποχρέωσή του να εκφράσει ευχαριστίες στα μέλη της τριμελούς συμβουλευτικής επιτροπής κ.κ. Ι. Τζουβαδάκη, (επιβλέπων), Ν. Μαρκάτο και Σ. Καβατζά για την καθοδήγησή τους στην εκπόνηση της παρούσας εργασίας.

Οι ίδιες ευχαριστίες αξίζουν και στα μέλη ΔΕΠ της ΣΕΜΦΕ του Ε.Μ.Π., κ.κ. Θ. Ρασσιά (Τομέα Μαθηματικών) και Α. Σιδερίδη (Τομέα Μηχανικής)

Επίσης θερμές ευχαριστίες οφείλω να εκφράσω στον μεταπτυχιακό φοιτητή του Τμήματος Μαθηματικών του ΕΚΠΑ, κ. Ν. Ψυχογιό, για την άριστη συνεργασία μας στα πλαίσια της εκπόνησης της παρούσας εργασίας, συγκεκριμένα σε ζητήματα ψηφιακής τυπογραφίας πολύγλωσσου μαθηματικού κειμένου και παράλληλα στην καθοριστική συμβολή του στη διαμόρφωση του τελικού αρχείου της παρουσίασης.

Πίνακας περιεχομένων

Πρόλογος……	1
Εισαγωγή……..	1
Κεφάλαιο 1: Ενεργειακή Πολιτική και Βιοκλιματικός Σχεδιασμός……..	2
1.1 Ενέργεια και περιβάλλον ένα παγκόσμιο ζήτημα……	2
1.1.1 Η Σύμβαση Πλαίσιο για την κλιματική αλλαγή και το Πρωτόκολλο του Κιότο……..	2
1.2 Η Ενεργειακή Πολιτική στην Ε.Ε.	3
1.2.1 Η Πράσινη Βίβλος για την Ενέργεια	3
1.2.2 Η Λευκή Βίβλος για την Ενέργεια	3
1.2.3 Ο Ευρωπαϊκός Χάρτης Ενέργειας	3
1.2.4 Ο «Πράσινος Βιτρούβιος» και η ανάγκη Οικολογικού Σχεδιασμού	4
1.2.5 Το πρόγραμμα: SRS NET & EEE	4
1.2.6 Η Οδηγία 2002/91/ΕΚ για την Ενεργειακή Απόδοση των κτιρίων	4
1.3 Τεχνολογία και Οικολογικός Σχεδιασμός	5
1.4 Η Ελληνική Πραγματικότητα	5
1.5 Περιεχόμενο Οδηγίας 2002/91/ΕΚ για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων……	10
1.6 Μια πρόβλεψη για το μέλλον	13
1.7 Κτίριο, Ενέργεια & Περιβάλλον	13
1.7.1 Σκιαγράφηση των στόχων του βιοκλιματικού σχεδιασμού……	13
1.7.2 Γενικές κατηγορίες βιοκλιματικών Συστημάτων……	17
1.7.3 Κατηγορίες ενεργητικών ηλιακών συστημάτων	18
1.7.4 Κατηγορίες παθητικών ηλιακών συστημάτων	18
1.7.5 Σύγκριση ενεργητικών & παθητικών ηλιακών συστημάτων	19
1.7.6 Τα υπέρ και τα κατά των παθητικών ηλιακών συστημάτων	19
1.8 Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας	20
1.9 Η αιολική ενέργεια	22
1.9.1 Σύγκριση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της αιολικής ενέργειας με τις συμβατικές……	23
1.9.2 Εφαρμογές της αιολικής ενέργειας	23
1.10 Διαδικασία σχεδιασμού ενός κτιρίου.	24
1.10.1 Οδηγοί και υπολογιστικά εργαλεία εκπόνησης βιοκλιματικών μελετών.....	28
1.11 Ταξινόμηση των κτιρίων σύμφωνα με τη Ν. Μέθοδο 5000……	29
1.12 Handbooks βιοκλιματικού σχεδιασμού & πίνακες κλιματολογικών δεδομένων……	30
1.13 Software για μελέτες ενεργειακού – βιοκλιματικού σχεδιασμού……	31
1.14 Βιβλιογραφία 1ου Κεφαλαίου……	35
Κεφάλαιο 2: Ο άνεμος ως συνιστώσα του βιοκλιματικού σχεδιασμού .....…… ……	38
2.1 Ο άνεμος ως φυσικό φαινόμενο – Στοιχεία Μικρομετεωρολογίας	38
2.1.1 Εισαγωγικές έννοιες	38
2.1.2 Δημιουργία των ρευμάτων του αέρα	40
2.1.3 Μέτωπα των ρευμάτων του αέρα	42
2.1.4 Δημιουργία των ανέμων και μορφές ροής τους	42
2.1.5 Κοριόλεια απόκλιση των ανέμων	43
2.1.5.1 Γεωστροφικοί άνεμοι	44
2.1.6 Φυγοκεντρική δύναμη του ανέμου.	44
2.1.7 Κατηγορίες ανέμων	44
2.1.8 Βασικά χαρακτηριστικά των ανέμων	45
2.1.9 Ανεμομετρικές κλίμακες	46
2.1.10 Απεικόνιση των ανέμων - Ανεμολόγια συχνότητας	47
2.2 Το Ατμοσφαιρικό Οριακό Στρώμα (ΑΟΣ)	53
2.2.1 Ομογενές ΑΟΣ	53
2.2.2 Μη ομογενές ΑΟΣ	58
2.2.3 Επίδραση της τοπογραφίας μιας περιοχής	59
2.3 Μελέτη του ανέμου σε αστικούς χώρους.....	60
2.3.1 Επίδραση του ανέμου σε οικιστικό επίπεδο	60
2.3.2 Βασικοί παράγοντες που επιδρούν στη ροή του αέρα σε αστικούς χώρους……	63
2.3.3 Κίνηση του αέρα γύρω από το κτίριο	64
2.4 Κυκλοφορία του εξωτερικού αέρα στο κτιριακό περιβάλλον.	67
2.5 Μηχανικός Αερισμός	68
2.6 Αερισμός και ποιότητα αέρα	69
2.7 Ανεξέλεγκτη διείσδυση αέρα	70

	2.8 Αερισμός και Ανεμοστεγανότητα.	71
	2.9 Αερισμός, υγρασία και αναπνοή των υλικών	71
	Βιβλιογραφία 2ου Κεφαλαίου ……	72
Κεφάλαιο 3 Συμβολή του φυσικού αερισμού στην ποιότητα του κτιριακού περιβάλλοντος.....		74
	3.1 Ιδιότητες ατμοσφαιρικού αέρα	74
	3.2 Παθητικός δροσισμός……	77
	3.3 Θερμική άνεση & Θερμική καταπόνηση	79
	3.3.1 Παράμετροι προσδιορισμού του θερμικού κτιριακού περιβάλλοντος	81
	3.3.2 Δείκτες του θερμικού κτιριακού περιβάλλοντος	85
	3.3.3 Μειονεκτήματα του υπάρχοντος κανονισμού θερμομόνωσης	88
	3.4 Επίτευξη θερμικής άνεσης μέσω αερισμού	88
	3.4.1 Μεταβολές της θερμοκρασίας του αέρα	88
	3.4.2 Τεχνικές επίτευξης θερμικής άνεσης	88
	3.4.2 Τεχνικές επίτευξης θερμικής άνεσης	88
	3.5 Θερμική κυκλοφορία στο κτιριακό περιβάλλον	89
	3.6 Στρατηγικές αερισμού.	90
	3.7 Ενεργειακές απώλειες λόγω διείσδυσης αέρα σε θερμαινόμενους χώρους	95
	3.7.1 Απώλειες από μη ελεγχόμενο αερισμό	95
	3.7.2 Απώλειες από εξαερισμό	95
	3.7.3 Απώλειες από διείσδυση αέρα μέσω τοίχων Trombe – Michell & ηλιακών τοίχων.....	96
	3.7.4 Απώλειες από εναλλάκτη αέρα	96
	3.7.5 Απώλειες ενδεικνυόμενου αερισμού.....	96
	3.8 Ο ρόλος του αερισμού στην ποιότητα του εσωτερικού αέρα	96
	Βιβλιογραφία 3ου κεφαλαίου……	97
Κεφάλαιο 4 Πειραματικές μέθοδοι προσδιορισμού του φυσικού αερισμού στα κτίρια……		99
	4.1 Μέτρηση της ογκομετρικής παροχής	99
	4.2 Μέτρηση της ταχύτητας του αέρα	99
	4.3 Προσομοίωση σε σήραγγα αέρα	101
	4.4 Η θεωρία της υδραυλικής αναλογίας	102
	4.5 Μέτρηση της υγρασίας του αέρα	103
	Βιβλιογραφία 4ου κεφαλαίου……	107
Κεφάλαιο 5 Μοριακή θεώρηση του αέρα του κτιριακού περιβάλλοντος		108
	5.1 Κατανομή μορίων του αέρα για σταθερή θερμοκρασία .....…	108
	5.2 Διάχυση – Νόμος του Fick	111
	Βιβλιογραφία 5^{ου} κεφαλαίου……	112
Κεφάλαιο 6 Αρχιτεκτονικός σχεδιασμός των κτιρίων και εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας……		113
	6.1 Χαρακτηριστικά της τυρβώδους ροής του ανέμου κοντά σε κτίρια .....……	113
	6.2 Υπόθεση Taylor ……	114
	6.3 Υπολογισμός της δυναμικής πίεσης του ανέμου	116
	6.4 Υπολογισμός οπισθέλκουσας και ανυψωτικής δύναμης του ανέμου	117
	6.5 Διαδικασία επιλογής της τοπογραφικής θέσης ενός κτιρίου στο οποίο πρόκειται να προσαρτηθεί ανεμοκινητήρας:	121
	Βιβλιογραφία 6^{ο} κεφαλαίου……	127
Κεφάλαιο 7 Συμβολή στη βέλτιστη αρχιτεκτονική μορφή αιολικών κτιρίων ……..		128
	7.1 Διαδικασία επιλογής της τοπογραφικής θέσης και της μορφής ενός κτιρίου (υπάρχον ή υπό κατασκευή) στο οποίο πρόκειται να προσαρτηθεί ανεμοκινητήρας ……	128
	7.2 Συμβολή στην τελική επιλογή βέλτιστης αρχιτεκτονικής μορφής……	129
	Βιβλιογραφία 6^{ο} κεφαλαίου…….	138
Ανακεφαλαίωση **- Επίλογος - Προτάσεις για επιπλέον έρευνα**……..		139
	Πρωτοτυπία και πλεονεκτήματα της συγκεκριμένης αναλυτικής μεθόδου	139
	Μειονεκτήματα της συγκεκριμένης μεθόδου	139
	Επίλογος - Προτάσεις για επιπλέον έρευνα	140
Ενοποιημένη βιβλιογραφία και αναφορές		141
Πίνακας εικόνων		146
Παραρτήματα……		
	1. κατάλογος δημοσιευμένων άρθρων του υποψηφίου	
	2. δημοσιευμένα άρθρα του υποψηφίου σχετιζόμενα με την παρούσα έρευνα	

Πρόλογος

Η παρούσα έρευνα έχει ως αντικείμενο την εύρεση σημείου μέγιστης ταχύτητας του ανέμου, γύρω από αρχιτεκτονικές μορφές σε τυχαίο γεωγραφικό τόπο, αστικό ή υπαίθριο δεδομένης της εκάστοτε εμμονής του ανέμου, όσον αφορά την επικρατέστερη κατεύθυνση και τη μέγιστη μέση ταχύτητα αυτού.
Η εύρεση της εμμονής του ανέμου δεν αποτελεί μέρος της παρούσας έρευνας, αλλά είναι απαραίτητη προϋπόθεση για την εφαρμογή του παρόντος μαθηματικού μοντέλου.
Παρόλα αυτά ο υπολογισμός αυτής είναι πάντα εφικτός, ωστόσο αποτελεί αντικείμενο ξεχωριστής στατιστικής επεξεργασίας και μελέτης μετεωρολογικών δεδομένων, δίνοντας έτσι τη δυνατότητα για επιπλέον έρευνα.
Η παρούσα έρευνα έχει άμεσα οφέλη ενεργειακού, οικονομικού και περιβαλλοντικού χαρακτήρα και η εφαρμογή της σε επίπεδο τελικού χρήστη, μπορεί να γίνει κατόπιν μετάφρασης του συγκεκριμένου μαθηματικού φορμαλισμού σε υπολογιστικό μοντέλο. Το υπολογιστικό αυτό μοντέλο προκύπτει από προγραμματιστικό αλγόριθμο, η ανάπτυξη του οποίου δεν αποτελεί μέρος της παρούσας διατριβής, αλλά δίνει έναυσμα για επιπλέον έρευνα.

Εισαγωγή

Η βιοκλιματική αρχιτεκτονική αφορά στο σχεδιασμό κτιρίων και χώρων ,εσωτερικών και εξωτερικών-υπαίθριων, με βάση το τοπικό κλίμα και με αντικειμενικό με σκοπό την εξασφάλιση συνθηκών θερμικής και οπτικής άνεσης, αξιοποιώντας κατά κύριο λόγο ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αλλά και τα ίδια τα φυσικά φαινόμενα του κλίματος.
Βασικά στοιχεία του βιοκλιματικού σχεδιασμού αποτελούν τα παθητικά συστήματα που ενσωματώνονται στα κτίρια με στόχο την αξιοποίηση των περιβαλλοντικών πηγών για θέρμανση, ψύξη και φωτισμό των κτιρίων.
Ο βιοκλιματικός σχεδιασμός, αν και ουσιαστικά έχει ήδη ενταχθεί στην εκάστοτε αρχιτεκτονική τεχνοτροπία που χαρακτηρίζει τον κάθε τόπο, θεωρείται από αρκετούς ως μία καινοτόμος «θεώρηση» στην αρχιτεκτονική ή οποία σχετίζεται μάλλον με την Οικολογία, παρά με την ορθολογική χρήση της ενέργειας καθώς επίσης και την εξοικονόμηση της οποίας δύναται να επιφέρει.
Παρά ταύτα όμως, η βιοκλιματική αρχιτεκτονική έχει αποτελέσει σε παγκόσμια κλίμακα τις δύο τελευταίες δεκαετίες μια βασική προσέγγιση στην κατασκευή κτιρίων, ενώ στα περισσότερα πλέον κράτη αποτελεί πλέον θεμελιώδες κριτήριο σχεδιασμού μικρών και μεγάλων κτιρίων αλλά και οικισμών καθώς λαμβάνεται ισότιμα υπόψη από όλους τους μελετητές.
Από τη δεκαετία του 1970 ήδη λόγω της πρώτης παγκόσμιας ενεργειακής κρίσης, είχε εκδηλωθεί έντονο ενδιαφέρον στη χρήση φυσικών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας ως υποκατάστατα των παραδοσιακών καυσίμων, προκειμένου να καλυφθούν, (σε κάποιο ποσοστό αρχικά), οι ενεργειακές απαιτήσεις των κτιρίων, και έτσι οδηγηθήκαμε στη χρήση της ηλιακής ενέργειας, της γεωθερμίας, του ανέμου κτλ. Αυτό οδήγησε πρώτα στην ανάπτυξη ενεργητικών ηλιακών συστημάτων και αργότερα στην ανάπτυξη παθητικών ηλιακών συστημάτων αλλά και άλλων τεχνικών για την αξιοποίηση των ήπιων μορφών ενέργειας στις κατοικίες. Ο βιοκλιματικός σχεδιασμός κτιρίων αλλά και οικισμών έχει κατά γενική ομολογία 5 εξίσου σημαντικούς στόχους, (3 ενεργειακούς και 2 περιβαλλοντικούς – οικολογικούς):

- Εκμετάλλευση των ΑΠΕ με παθητικό τρόπο (π.χ. δροσισμός μέσω φυσικού αερισμού)
- Εκμετάλλευση των ΑΠΕ με ενεργητικό τρόπο (π.χ. ανεμογεννήτριες)
- Εξοικονόμηση ενέργειας
- Επίτευξη θερμικής άνεσης
- Συμβολή στη βελτιστοποίηση της ποιότητας του κτιριακού αλλά και του αστικού περιβάλλοντος

Ειδικότερα, το ενεργειακό όφελος που προκύπτει από την εφαρμογή του βιοκλιματικού σχεδιασμού αποδίδεται με τους παρακάτω τρόπους:

1) Εξοικονόμηση ενέργειας από την σημαντική μείωση απωλειών λόγω της βελτιωμένης προστασίας του κελύφους και συμπεριφοράς των δομικών στοιχείων,

2) Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω των ηλιακών συστημάτων άμεσου η έμμεσου κέρδους με συμβολή στις θερμικές ανάγκες των χώρων προσάρτησης και μερική κάλυψη των απαιτήσεων θέρμανσης του κτιρίου.

3) Δημιουργία συνθηκών θερμικής άνεσης και μείωση των ενεργειακών απαιτήσεων, όσον αφορά στη ρύθμιση θερμοστάτη (σε χαμηλότερες θερμοκρασίες τον χειμώνα και υψηλότερες το καλοκαίρι.

4) Διατήρηση της θερμοκρασίας εσωτερικού αέρα σε επίπεδα υψηλά τον χειμώνα (και αντίστοιχα χαμηλά το καλοκαίρι), με αποτέλεσμα την μείωση του φορτίου για την κάλυψη των ενεργειακών απαιτήσεων από τα επικουρικά συστήματα κατά την χρήση του κτιρίου.

Η αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας και γενικότερα των περιβαλλοντικών πηγών, όπως προκύπτει από τις αρχές του βιοκλιματικού σχεδιασμού, επιτυγχάνεται στα πλαίσια της συνολικής θερμικής λειτουργίας του κτιρίου και της σχέσης κτιρίου - περιβάλλοντος. Παράλληλα, η θερμική λειτουργία ενός κτιρίου αποτελεί ουσιαστικά ένα δυναμικό σύστημα συνεπιδρώντων και αλληλεπιδρώντων μεταβλητών το οποίο εξαρτάται από τις τοπικές κλιματικές και περιβαλλοντικές παραμέτρους (την ηλιοφάνεια, τη θερμοκρασία εξωτερικού αέρα, τη σχετική υγρασία, τον άνεμο, τη βλάστηση, το σκιασμό από άλλα κτίρια), αλλά και τις συνθήκες χρήσης του κτιρίου (κατοικία, γραφεία, νοσοκομεία κλπ.) και βασίζεται στην αντίστοιχη ενεργειακή συμπεριφορά των δομικών του στοιχείων και (κατ' επέκταση) των ενσωματωμένων παθητικών ηλιακών συστημάτων, αλλά και το ενεργειακό προφίλ που προκύπτει από την λειτουργία του κτιρίου. Η απόδοση του βιοκλιματικού σχεδιασμού εξαρτάται επίσης από πολλές παραμέτρους, γεγονός που τον καθιστά "ευαίσθητο" σε εξωγενείς αστάθμητους παράγοντες.
Για τον λόγο αυτό τα βασικά κριτήρια για την εφαρμογή του βιοκλιματικού σχεδιασμού μπορούν να σκιαγραφηθούν αδρομερώς ως εξής:

1.- απλότητα της χρήσης των εφαρμογών και η αποφυγή πολύπλοκων παθητικών συστημάτων και τεχνικών

2.- μικρή συμβολή του χρήστη του κτιρίου στη λειτουργία των συστημάτων

3.- χρήση ευρέως εφαρμοσμένων συστημάτων

4.- χρήση τεχνικο – οικονομικά αποδοτικών ενεργειακών τεχνολογιών

Ο βαθμός στον οποίον ο βιοκλιματικός σχεδιασμός σήμερα αξιοποιεί το τοπικό κλίμα ποικίλει, γεγονός που παρέχει μία ευελιξία ως προς τους τρόπους αρχιτεκτονικής έκφρασης και δυνατοτήτων εφαρμογής μέσα από πολύ απλές τεχνικές και επεμβάσεις έως και πολύπλοκα παθητικά ηλιακά συστήματα. Είναι δε ενσωματωμένος στην τεχνοτροπία των περισσότερων διακεκριμένων αρχιτεκτόνων και μελετητών διεθνώς – με πιλοτικά έργα που αποτελούν πρότυπες εφαρμογές βιοκλιματικής αρχιτεκτονικής από τις οποίες όχι μόνον μαθαίνουμε σήμερα, αλλά και αποδεικνύουν τα πολλαπλά οφέλη που προκύπτουν από την συμβίωση με το περιβάλλον και το κλίμα.
Όπως προαναφέραμε, η εν λόγω ερευνητική εργασία η οποία ουσιαστικά εστιάζεται σε σχεδιασμό αιολικών κτιρίων, έχει στόχο την εύρεση του σημείου μέγιστης ταχύτητας του ανέμου, γύρω από αρχιτεκτονικές μορφές. Η διαμόρφωση της εκάστοτε βέλτιστης αρχιτεκτονικής μορφής του κτιρίου ώστε να μεγιστοποιείται η ταχύτητα σε βατές θέσεις του πεδίου ροής, (προφανώς πλησίον του κελύφους του κτιρίου), ανάγεται ουσιαστικά στο γενικότερο ανοιχτό πρόβλημα της ασυμπίεστης ιξώδους ροής νευτωνικού ρευστού γύρω από εδρασμένο εμπόδιο τυχαίου γεωμετρικού σχήματος. Ακολουθώνται οι γνωστές από τη βιβλιογραφία παραδοχές του Prandtl για το οριακό στρώμα δυσδιάστατης ιξώδους ασυμπίεστης ροής, κάτι που προφανώς συνεπάγεται την αναγωγή του σχεδιασμού της βέλτιστης αρχιτεκτονικής μορφής, στο σχεδιασμό της αντίστοιχης βέλτιστης διατομής, η οποία προφανώς είναι παράλληλη στον κεντροβαρικό άξονα του κτιρίου.
Η μέθοδος που προτείνουμε για μια προσεγγιστική λύση κλειστής μορφής του συστήματος των εξισώσεων Prandtl με τις αντίστοιχες συνοριακές συνθήκες ως προς την οριζόντια συνιστώσα της ταχύτητας, έχει το πλεονέκτημα σε σχέση με τις διαθέσιμες αντίστοιχες αναλυτικές και αριθμητικές λύσεις ότι έχει εξαχθεί χωρίς την εισαγωγή αδιάστατων μεγεθών και έτσι ο ανυσματικός χαρακτήρας των διαφορικών εξισώσεων Prandtl δεν αλλοιώνεται.

Κεφάλαιο 1 Ενεργειακή Πολιτική και Βιοκλιματικός Σχεδιασμός

1.1 Ενέργεια και περιβάλλον ένα παγκόσμιο ζήτημα

Οι επιπτώσεις του συνόλου των ανθρωπίνων δραστηριοτήτων στο κλίμα του πλανήτη, έχει πλέον αναγνωριστεί ως η μεγαλύτερη παγκόσμιας κλίμακας περιβαλλοντική πρόκληση και απειλή και αφορά όλες τις χώρες του κόσμου. Η αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής απαιτεί άμεσες απαντήσεις από τις κυβερνήσεις, τους οικονομικούς παράγοντες και την κοινωνία. Έχει πλήρως κατανοηθεί, τουλάχιστον θεωρητικά, η αναγκαιότητα της ύπαρξης μιας συνεκτικής παγκόσμιας περιβαλλοντικής πολιτικής και ακόμη περισσότερο, της εφαρμογής της για την επίτευξη στόχων αειφορίας, (sustainability) και προστασίας του περιβάλλοντος. Το νέο σύστημα αξιών βασίζεται απόλυτα στην εξοικονόμηση των φυσικών διαθεσίμων, ως μόνη διέξοδο για την ανάσχεση και αναστροφή της περιβαλλοντικής κρίσης. Στο πλαίσιο αυτό, η στροφή της ενεργειακής πολιτικής προς την εξοικονόμηση ενέργειας και τις ΑΠΕ, φαίνεται πλέον ως αναγκαία συνθήκη για την επίτευξη της αειφορίας.

1.1.1 Η Σύμβαση Πλαίσιο για την κλιματική αλλαγή και το Πρωτόκολλο του Κιότο.

Η αυξανόμενη ανησυχία, τόσο από ειδικούς επιστήμονες όσο και από πολιτικούς φορείς, ότι οι πάσης φύσεως ανθρώπινες δραστηριότητες έχουν αρνητικές επιπτώσεις στο κλίμα του πλανήτη μας, οδήγησε στην υπογραφή της Σύμβασης – Πλαίσιο για την Κλιματική Αλλαγή, στο Ρίο ντε Τζάνερο τον Ιούνιο του 1992. Η Ελλάδα κύρωσε τη Σύμβαση αυτή, κάνοντάς την νόμο του κράτους τον Απρίλιο του 1994 (Ν.2205/94). Ο κατεξοχήν στόχος της σύμβασης του Ρίο, είναι η σταθεροποίηση των συγκεντρώσεων των αερίων του θερμοκηπίου, (greenhouse gases), στην ατμόσφαιρα σε επίπεδα τέτοια ώστε να προβλεφθούν επικίνδυνες επιπτώσεις στο κλίμα από τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Η Σύμβαση αναγνωρίζει ότι οι οικονομικά πιο αναπτυγμένες χώρες πρέπει να αναλάβουν πρώτο ρόλο στην αντιμετώπιση της επικείμενης κλιματικής αλλαγής.
Η κύρωση της Σύμβασης από ένα μεγάλο αριθμό χωρών και η ενεργοποίησή της, υπήρξε αξιοσημείωτα γρήγορη αντικατοπτρίζοντας έτσι τη σημασία που αποδίδεται στην κλιματική αλλαγή από τη διεθνή κοινότητα. Εντούτοις, αναγνωρίστηκε σύντομα η ανεπάρκεια των υποχρεώσεων που προέβλεπε η Σύμβαση του Ρίο, από τα συμμετέχοντα κράτη και επομένως κρίθηκε αναγκαία η ενδυνάμωσή τους. Στην 1^{η} Σύνοδο των Συμβαλλόμενων Μερών της Σύμβασης του Ρίο, που έγινε στο Βερολίνο το 1995, θεμελιώθηκε μια διαπραγματευτική διαδικασία ενδυνάμωσης των υποχρεώσεων της Σύμβασης με την προσθήκη συμπληρωματικών δεσμεύσεων από τις αναπτυγμένες χώρες για την πρώτη δεκαετία του 21^{ου} αιώνα.
Η ανάγκη λήψης συμπληρωματικών δράσεων και ισχυρότερων δεσμεύσεων, ενισχύθηκε από την 2^{η} Έκθεση Εκτίμησης για την κλιματική αλλαγή, του Διακρατικού Οργάνου για την Κλιματική Αλλαγή (Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC), τον Ιούλιο του 1996 [20]. Το συμπέρασμα της έκθεσης αυτής, την οποία συνυπέγραψε η συντριπτική πλειοψηφία της επιστημονικής κοινότητας, έχει ως ακολούθως:

- Σύμφωνα με τις μέχρι τώρα ενδείξεις, υπάρχει μια αισθητή ανθρωπογενής επιρροή στο κλίμα.
- Αν επειγόντως δεν ληφθούν μέτρα, η θερμοκρασία του πλανήτη θα αυξηθεί περίπου κατά 2 ^{o}C μέχρι το 2012, πράγμα που σηματοδοτεί τον μεγαλύτερο μέσο ρυθμό αύξησης της θερμοκρασίας που έχει παρουσιαστεί από τη εποχή των παγετώνων. Η αύξηση αυτή θα έχει ως συνέπεια μεταξύ άλλων και την άνοδο κατά 50 cm περίπου της στάθμης των θαλασσών.

Η 3^{η} Σύνοδος των Συμβαλλομένων Μερών, έλαβε χώρα στο Κιότο, από 1 – 11 Δεκεμβρίου 1997, για να ολοκληρώσει τις διαπραγματεύσεις που άρχισαν στο Βερολίνο το 1995. Το Πρωτόκολλο του Κιότο, εξασφαλίζει μια βάση, σύμφωνα με την οποία μελλοντικές δράσεις προς την Οικολογική κατεύθυνση μπορούν να εντατικοποιηθούν. Είναι πολύ σημαντικό, ότι για πρώτη φορά καθορίζονται *νομικά* δεσμευτικοί στόχοι για τον περιορισμό των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου και επιβεβαιώνεται η ικανότητα

συνεργασίας της διεθνούς κοινότητας σε θέματα που αφορούν σε ένα αποδεδειγμένα σοβαρό περιβαλλοντικό θέμα. Το κεντρικό σημείο του Πρωτοκόλλου είναι οι νομικά κατοχυρωμένες δεσμεύσεις των αναπτυγμένων κρατών να ελαττώσουν μεμονωμένα, ή σε συνεργασία με άλλες χώρες τις εκπομπές 6 αερίων του θερμοκηπίου (CO_2, CH_4, N_2O, HFC, PFC, SF_6), την περίοδο 2008 – 2012 σε επίπεδα κατώτερα αυτών του 1990. Για την επίτευξη του παραπάνω στόχου των αναπτυγμένων κρατών, το Πρωτόκολλο προβλέπει τη χρήση μιας σειράς «εργαλείων» στα οποία περιλαμβάνονται:

1.- Κοινές στρατηγικές και μέτρα.
2.- Ευέλικτοι μηχανισμοί:
- Διαπραγμάτευση δικαιωμάτων εκπομπών (emissions trading).
- Από κοινού εφαρμογή προγραμμάτων (joint implementation).
- Μηχανισμός καθαρής ανάπτυξης (clean development mechanism).

3.- Συνυπολογισμός των απορροφήσεων εκπομπών από τις δασικές εκτάσεις.

Στις αρχές Νοεμβρίου του 1998, Υπουργοί Περιβάλλοντος και εκπρόσωποι από 170 χώρες συγκεντρώθηκαν στο Buenos Aires, στα πλαίσια της 9^{ης} συνάντησης των επικουρικών οργάνων (Subsidiary Body for Scientific and Technological Advice – SBSTA και Subsidiary Body for Implementation – SBI). Τα θέματα που είχαν προταθεί προς συζήτηση αφορούσαν κυρίως στην προώθηση εφαρμογής της σύμβασης του Ρίο και στον καθορισμό του τρόπου εφαρμογής του Πρωτοκόλλου του Κιότο. Το αποτέλεσμα της 4^{ης} συνόδου, ήταν η υιοθέτηση ενός σχεδίου δράσης, διετούς διάρκειας με τον τίτλο: Buenos Aires Plan of Action. Σκοπός του σχεδίου ήταν να επιταχύνει την υλοποίηση των υποχρεώσεων που απορρέουν από τη Σύμβαση του Ρίο και να προετοιμάσει το δρόμο για την ανάληψη δράσεων από αναπτυγμένες χώρες σύμφωνα με το Πρωτόκολλο του Κιότο. Εκτός των μηχανισμών του Πρωτοκόλλου, το σχέδιο προέβλεπε επίσης και χρονοδιάγραμμα για θέματα μη συμμόρφωσης κάποιων χωρών και εφαρμογής πολιτικών μέτρων. Επιπλέον το σχέδιο δράσης του Buenos Aires, προώθησε τη διαδικασία μεταφοράς στις αναπτυσσόμενες χώρες φιλικής προς το περιβάλλον τεχνολογίας και εξέτασε τις επιπτώσεις της λήψης μέτρων περιορισμού για τα αέρια του θερμοκηπίου,
στις οικονομίες διαφόρων αναπτυσσόμενων κρατών. Έγινε μάλιστα η πρόταση ακόμα και πιθανής αποζημίωσης στις πετρελαιοπαραγωγές χώρες.

1.2 Η Ενεργειακή Πολιτική στην Ε.Ε.

Ο πόλεμος του 1973 στην έρημο του Σινά προκάλεσε παγκόσμια αναστάτωση, και μεγάλη ενεργειακή κρίση φέρνοντας κυβερνήσεις και λαούς αντιμέτωπους με το θέμα των φυσικών πόρων. Παράλληλα εκδηλώθηκε ενδιαφέρον στην χρήση φυσικών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας ως υποκατάστατα των παραδοσιακών καυσίμων στα κτίρια, που τελικά κατευθύνθηκε κυρίως στη χρήση ηλιακής ενέργειας για σκοπούς θέρμανσης. Αυτό οδήγησε στην ανάπτυξη ενεργητικών ηλιακών συστημάτων και αργότερα στην ανάπτυξη παθητικών ηλιακών συστημάτων.
Επίσης έγιναν προσπάθειες για την αξιοποίηση και του ανέμου, τόσο για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος τόσο και για το φυσικό δροσισμό των κτιρίων.
Με τη συνθήκη του Μάαστριχτ, το 1992, ετέθησαν από την Ε.Ε. βασικοί στόχοι οι οποίοι καθορίζουν το γενικό πλαίσιο της πολιτικής της. Οι στόχοι αυτοί στους οποίους περιλαμβάνονται **και** οι στόχοι του ενεργειακού τομέα αναφέρονται:

α) Στη δημιουργία μιας «ευρωχώρας» χωρίς σύνορα όπου θα ολοκληρωθεί μια οικονομικά και κοινωνικά ισορροπημένη και ανθεκτική ανάπτυξη με παράλληλη Οικονομική και Νομισματική Ένωση (ΟΝΕ).
β) Στην πρόβλεψη για την προστασία του περιβάλλοντος, η οποία συνδέεται άμεσα με την αειφορία και τη βιωσιμότητα της οικονομικής και κοινωνικής προόδου.
γ) Στη βελτίωση της θέσης της Ε.Ε. σε σχέση με το ανταγωνιστικό περιβάλλον.

Οι παραπάνω στόχοι καταδεικνύουν τη μελλοντική πορεία της Ε.Ε. και επιδρούν στον ενεργειακό τομέα σε σχέση με [19]:

- ✓ Τον ανταγωνισμό
- ✓ Την οικονομική και κοινωνική συνοχή
- ✓ Τη δημιουργία των διευρωπαϊκών δικτύων
- ✓ Της εμπορικής πολιτικής
- ✓ Της συνεργασίας με τρίτες χώρες
- ✓ Την προστασία του περιβάλλοντος
- ✓ Την ανάπτυξη της έρευνας.

1.2.1 Η Πράσινη Βίβλος για την Ενέργεια

Η Ε.Ε. στην προσπάθειά της να διαμορφώσει ένα συγκεκριμένο σχέδιο δράσης για τα ενεργειακά ζητήματα και να καθορίσει συγκεκριμένους στόχος και προοπτικές, εξέδωσε το 1995 την Πράσινη Βίβλο με τίτλο «Μια Ενεργειακή Πολιτική για την Ε.Ε.».

Συνοπτικά, οι γενικοί στόχοι που τίθενται στο εν λόγω βιβλίο αναφέρονται στα εξής: [21]

- ➢ Στην κάλυψη των ενεργειακών αναγκών ατόμων και επιχειρήσεων με το ελάχιστο δυνατό κόστος.
- ➢ Στη μακροχρόνια εξασφάλιση του ομαλού εφοδιασμού των χωρών με ενεργειακά προϊόντα.
- ➢ Στην προστασία του περιβάλλοντος

1.2.2 Η Λευκή Βίβλος για την Ενέργεια

Η Λευκή Βίβλος για την Ενέργεια (1997), ακολούθησε της Πράσινης Βίβλου (1996), αφού συνεκτιμήθηκαν όλες οι απόψεις και οι προβληματισμοί που προέκυψαν από την τελευταία. Σύμφωνα με τη Λευκή Βίβλο, η ενεργειακή πολιτική αποτελεί μέρος των στόχων της οικονομικής πολιτικής της Ε.Ε. και εστιάζεται στα ακόλουθα: [23]

- ➢ Την ολοκλήρωση της ενιαίας αγοράς.
- ➢ Την οικονομική και κοινωνική συνοχή.
- ➢ Τον περιορισμό του δημοσίου τομέα στα απολύτως απαραίτητα για την προστασία του κοινού συμφέροντος και της ευημερίας.
- ➢ Την αειφόρο ή βιώσιμη ανάπτυξη (Sustainable Development)
- ➢ Την προστασία του καταναλωτή.

Στο ζήτημα των ΑΠΕ, η Λευκή Βίβλος έθεσε ως στόχο τον διπλασιασμό της διείσδυσής τους στο ενεργειακό ισοζύγιο της Ε.Ε μέχρι το έτος 2012, καθώς είναι οι μόνες πηγές ενέργειας που δεν επιβαρύνουν το περιβάλλον και μπορούν να στηρίξουν μια συνολική, συγκροτημένη και αξιόπιστη πρόταση, ικανή να αποτελέσει μακροπρόθεσμα το ενεργειακό δόγμα μιας χώρας.

Επιπλέον έχει υπογραμμιστεί η σημασία της βελτίωσης του συντονισμού των προγραμμάτων και των πολιτικών των χωρών μελών της Ε.Ε. σχετικά με τις ΑΠΕ ώστε να δημιουργηθεί ένα ενιαίο και αποδεκτό σύστημα συλλογής και αποτίμησης των στατιστικών δεδομένων καθώς και των συμπερασμάτων από ελέγχους στατιστικών υποθέσεων.

1.2.3 Ο Ευρωπαϊκός Χάρτης Ενέργειας

Την πενταετία 1990-95 θεσπίστηκε το πρόγραμμα SAVE (Specific Actions for Vigorous Energy Efficiency). Το πρόγραμμα είχε ως στόχο την κατάργηση θεσμικών εμποδίων και τη μεταβολή της συμπεριφοράς των καταναλωτών, όπου αυτά δρουν ανασχετικά στην εξοικονόμηση ενέργειας.

Η Ε.Ε. δεσμεύεται από το Πρωτόκολλο του Κιότο να μειώσει τις εκπομπές του CO_2 κατά 8% την περίοδο 2008-2012.

Το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο με το ψήφισμα 8027/2-3-94 καλεί την Επιτροπή της Ένωσης μεταξύ άλλων, «να εκπονήσει τους αναγκαίους κανόνες ώστε στις προσκλήσεις υποβολής προσφορών για την ανέγερση δημοσίων κτιρίων να αναγράφεται υποχρεωτικά η εφαρμογή των αρχών της Βιοκλιματικής Αρχιτεκτονικής».

Με την έκδοση του Ευρωπαϊκού Χάρτη Ενέργειας το 1998, εξειδικεύονται οι στόχοι της ενεργειακής πολιτικής. Εν περιλήψει οι βασικοί του στόχοι είναι οι εξής:

- Η αύξηση της ασφάλειας του ομαλού ενεργειακού εφοδιασμού των χωρών της Ε.Ε. σε μακροχρόνιο επίπεδο.
- Ο εκσυγχρονισμός των ενεργειακών πολιτικών στις ευρισκόμενες σε μεταβατική φάση χώρες και η ώθηση για την αποτελεσματική αξιοποίηση των ενεργειακών πηγών.
- Η προστασία του περιβάλλοντος κατά την παραγωγή, μεταφορά και χρήση των ενεργειακών προϊόντων.
- Η απελευθέρωση της αγοράς ενέργειας και η κατάργηση των περιοριστικών μέτρων σε θεσμικό επίπεδο.
- Η εξασφάλιση της απρόσκοπτης μεταφοράς.
- Η προώθηση των άμεσων επενδύσεων και η λήψη μέτρων για τη διατήρηση ασφάλειας στις ξένες επενδύσεις.

Παρά ταύτα όμως οφείλουμε να τονίσουμε, ότι τα δεδομένα στην Ε.Ε. σχετικά με τη χρήση των ΑΠΕ δεν έχουν ερμηνευτεί και αποτιμηθεί πλήρως καθώς είναι «διάσπαρτα» και στερούνται συνεκτικότητας και εξακρίβωσης.

Επομένως ως προς την αποτελεσματικότητα των μέτρων πολιτικής, την ανάλογη απορρόφηση ανθρώπινου δυναμικού, τα βιομηχανικά ρίσκα, τις επιλογές των επενδυτών και τέλος τις μακροπρόθεσμες περιβαλλοντικές επιπτώσεις, δεν μπορεί να καταστρωθεί ένα επαρκές στοχαστικό μοντέλο πρόβλεψης, ακριβώς επειδή εξ ορισμού η τεχνική λήψης της καλύτερης απόφασης, σε τέτοιου είδους προβλήματα που αφορούν καταστάσεις αβεβαιότητας, συνίσταται στην επιλογή από όλες τις δυνατές ενέργειες, εκείνης που θεωρείται ως η πιο «λογική» αλλά όμως γενικό υπόδειγμα της Θεωρίας Αποφάσεων δεν υπάρχει προς το παρόν.

1.2.4 Ο «Πράσινος Βιτρούβιος» και η ανάγκη Οικολογικού Σχεδιασμού

Ο «Πράσινος Βιτρούβιος» δημοσιεύτηκε το 1998 από το συμβούλιο των αρχιτεκτόνων της Ε.Ε. Σε μια κρίσιμη φάση για τον πλανήτη που σηματοδοτείται από την εμφάνιση του φαινόμενου του θερμοκηπίου και λαμβάνοντας υπόψη την οικολογική κρίση, την καταστροφή του όζοντος, την αυξανόμενη εκπομπή θερμότητας από τα κτίρια και τις γενικότερες κλιματικές αλλαγές το συγκεκριμένο βιβλίο εμφανίζεται ως ένας οδηγός για την αντιμετώπιση προβλημάτων ως προς την κατασκευή κτιρίων με στόχο το συνδυασμό του ενεργειακού και οικολογικού σχεδιασμό κτιρίων και οικισμών [22].
Στο παρελθόν, η έλλειψη πόρων για την κατασκευή και τη συντήρηση κτιρίων, οδηγούσε στη χρησιμοποίηση κατά κανόνα τοπικών υλικών. Σήμερα όμως έχει μειωθεί το κόστος της παραγωγής και της μεταφοράς, βοηθώντας έτσι στη φτηνή παραγωγή και διατήρηση των δομικών υλικών. Η σωστή επιλογή των υλικών για κάθε λειτουργία, συνεπάγεται βέβαια μεγαλύτερη διάρκεια ζωής αλλά και υψηλότερη αισθητική απόδοση.
Σήμερα είναι επιτακτική η ανάγκη για μια διαφορετική χρησιμοποίηση της υπάρχουσας τεχνολογίας και χρησιμοποίηση των ειδικών λύσεων με έναν οικολογικό τρόπο με στόχο τη βιωσιμότητα και την ποιότητα τόσο του περιβάλλοντος εντός των κτιρίων όσο και του εξωτερικού. Επίσης, τα φυσικά στοιχεία του περιβάλλοντος χώρου του κτιρίου, φως, άνεμος, νερό κλπ, μελετώνται πια ως στοιχεία του κτιρίου και έτσι επιτυγχάνεται σε μεγάλο βαθμό η προσαρμογή του κτιρίου στο γενικότερο αρχιτεκτονικό τοπίο με στόχο τη βέλτιστη αισθητική και λειτουργική του απόδοση.

1.2.5 Το πρόγραμμα: SRS NET & EEE

Το πρόγραμμα: «Scientific Reference System for New Energy Technologies and Energy and Use Efficiency», ανέπτυξε ένα σύστημα αναφορών για ΑΠΕ και ενεργειακές τεχνολογίες εν γένει ***σε επίπεδο τελικού χρήστη.***

Ουσιαστικά μέσω του εν λόγω προγράμματος, έγινε μια «σύζευξη» και τελική αποτίμηση όλων των ως τώρα δεδομένων σχετικά τις ΑΠΕ, οι οποίες προέρχονται από την υπάρχουσα τράπεζα πληροφοριών του εκάστοτε κράτους – μέλους της Ε.Ε. [18].

2.2.6 Η Οδηγία 2002/91/ΕΚ για την Ενεργειακή Απόδοση των κτιρίων

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή έκρινε ότι απαιτείται περαιτέρω δραστηριοποίηση στη βάση ισχυρότερου νομικού κειμένου ώστε να αξιοποιηθεί το μεγάλο ανεκμετάλλευτο δυναμικό εξοικονόμησης ενέργειας και να μειωθούν οι μεγάλες διαφορές μεταξύ των επιδόσεων των κρατών μελών στον τομέα αυτό. Ως εκ τούτου δόθηκε ακόμη μεγαλύτερη έμφαση στους τομείς που υπάρχει υστέρηση με τη θέσπιση νεότερων οδηγιών ή την τροποποίηση και βελτίωση υφιστάμενων και με την καθιέρωση υψηλότερων προτύπων ενεργειακής απόδοσης, την εισαγωγή καινοτόμων μηχανισμών παρακολούθησης και ελέγχου (πιστοποίηση, ενεργειακή ταυτότητα, κ.λ.π.) και με παράλληλες εκστρατείες ευρύτερης ενημέρωσης του κοινού ενισχύθηκαν σημαντικά οι πολιτικές ενεργειακής απόδοσης στον τομέα των κτιρίων.

Αποτέλεσμα ήταν η έκδοση της οδηγίας 2002/91/ΕΚ για την "Ενεργειακή Απόδοση των κτιρίων", που θα έπρεπε να είχε μεταφερθεί στο εθνικό δίκαιο των Κ-Μ το αργότερο έως τις 4 Ιανουαρίου του 2006, η οποία ενισχύει τα μέτρα και μέσα που προέβλεπε η οδηγία SAVE 93/76/ΕΟΚ και εκτιμάται ότι θα συμβάλλει τα μέγιστα στην επίτευξη των στόχων του Κιότο και των ανάλογων διεθνών, ευρωπαϊκών και εθνικών προγραμμάτων και δράσεων, καθότι

αναμένεται σημαντική μείωση της κατανάλωσης ενέργειας του κτιριακού τομέα, η οποία αντιστοιχεί στο 40% της συνολικής τελικής ενεργειακής κατανάλωσης σε Ευρωπαϊκό επίπεδο και σε περίπου 50% των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και άλλων αερίων του θερμοκηπίου.

Η εν λόγω οδηγία θα λειτουργήσει παράλληλα με την οδηγία 89/106/ΕΟΚ του Συμβουλίου, της 21ης Δεκεμβρίου 1988, που αφορά στην προσέγγιση των νομοθετικών, κανονιστικών και διοικητικών διατάξεων των κρατών μελών, όσον αφορά στα προϊόντα του τομέα των δομικών κατασκευών και αναμένεται να επηρεάσει θετικά την ποιότητα των κατασκευών (δομικές κατασκευές και εγκαταστάσεις θέρμανσης, ψύξης και αερισμού κατά τρόπο ώστε η απαιτούμενη κατανάλωση ενέργειας κατά τη χρησιμοποίηση του έργου να είναι χαμηλό, ανάλογα με τα κλιματικά δεδομένα του τόπου).

1.3 Τεχνολογία και Οικολογικός Σχεδιασμός

Η τεχνολογία μπορεί να βοηθήσει στην προστασία του περιβάλλοντος και τον οικολογικό σχεδιασμό, μέσω υλοποίησης των παρακάτω στόχων [27]:

- Τεχνολογία «σημείων εκπομπής», πρόκειται για την απομάκρυνση των ανεπιθύμητων εκπομπών, μέσω τεχνολογίας ελέγχου και καταστροφής των αποβλήτων.
- «Καθαρότερες» τεχνολογίες: Συνήθως αφορούν στην ελαχιστοποίηση των αποβλήτων, στην εξάλειψη των επικίνδυνων ενδιάμεσων προϊόντων ή στην αντικατάσταση των επικίνδυνων τελικών προϊόντων.
- Τεχνολογίες επαναχρησιμοποίησης ή ανακύκλωσης: Ανάκτηση υλικών και διάθεσή τους εκ νέου στην αγορά.
- Τεχνικές επεξεργασίας επικίνδυνων αποβλήτων.
- Τεχνικές ανάλυσης και παρακολούθησης της σύνθεσης των εκπομπών και των αποβλήτων, εντοπισμός διαρροών και μέτρηση της ποιότητας του περιβάλλοντος.
- Αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.
- Δημιουργία οικολογικών κατοικιών και οικισμών.

Ως προς την ανακύκλωση των υλικών, θα πρέπει να επισημάνουμε ότι όταν δεν είναι οικονομικά συμφέρουσα, ή όταν οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις είναι αρνητικές, είναι προτιμότερη η χρησιμοποίηση των απορριμμάτων ως πηγή ενέργειας, δηλαδή ως πηγή καυσίμων. Η αποτέφρωση τμημάτων των αποβλήτων που έχουν σημαντική θερμιδική αξία, θα πρέπει να θεωρείται αναπόσπαστο μέρος της ανάλυσης του συστήματος ανακύκλωσης. Για παράδειγμα το «αεριοπνευματούχο», gasohol, που παρασκευάζεται από κρασί και βιομάζα ζαχαροκάλαμου, χρησιμοποιείται ως συμπλήρωμα βενζίνης, σε χώρες όπως η ΗΠΑ και η Βραζιλία [27]. Από οικονομική άποψη, η αποφυγή του κόστους απόρριψης των χρησιμοποιημένων υλικών σε χωματερές παίζει συχνά καθοριστικό ρόλο και στις περισσότερες περιπτώσεις οι διεργασίες που χρησιμοποιούν ανακτημένα υλικά προκαλούν μικρότερη ρύπανση και χρειάζονται λιγότερη ενέργεια από τις αντίστοιχες διεργασίες που χρησιμοποιούν πρώτες ύλες.

1.4 Η Ελληνική Πραγματικότητα

Είναι γνωστή η στροφή της εθνικής ενεργειακής πολιτικής της χώρας μας τα τελευταία χρόνια προς την εξοικονόμηση ενέργειας, την ανακύκλωση υλικών και τη χρήση Α.Π.Ε. (Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας).
Νέοι νόμοι συνθέτουν το κατάλληλο πλαίσιο για την ανάπτυξη νέων προτύπων παραγωγής και κατανάλωσης ενέργειας.
Ο νόμος 2244/94 προωθεί ουσιαστικά τη χρήση Α.Π.Ε., όπως και το Ελληνικό Πρόγραμμα για την Κλιματική Μεταβολή (σταθεροποίηση και περιορισμός των εκπομπών αερίων που συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, όπως CO_2). Εναρμονίζεται έτσι με την Κοινοτική Οδηγία 92/75/22 – 09 – 92 και απαιτεί από τους κατασκευαστές, να τοποθετούν ειδικά αυτοκόλλητα πάνω στις συσκευές όπου αναγράφονται τα βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά για την κατανάλωση ενέργειας, επίπεδα θορύβου κτλ.
Το σχέδιο δράσης του ΥΠΕΧΩΔΕ «Ενέργεια 2001», έχοντας ως κύριους άξονες την εξοικονόμηση ενέργειας και χρήσης Α.Π.Ε. στον οικιστικό τομέα, προώθησε την υλοποίησή τους. Περιλαμβάνει συγκεκριμένα μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας και χρήσης Α.Π.Ε. για τον οικιστικό τομέα, τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης του κελύφους των κτιρίων και των κεντρικών εγκαταστάσεων θέρμανσης, ψύξης, φωτισμού, ζεστού νερού κτλ.
Με βάση τα παραπάνω, εκδόθηκε το 1998 Κοινή Υπουργική Απόφαση Κ.Υ.Α.,(21475/4707/19 – 08 – 1998), που εξειδικεύει μέτρα και τους όρους για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων με στόχο την εξοικονόμηση των συμβατικών μορφών ενέργειας και τον περιορισμό των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα.

Βασικές καινοτομίες της Κ.Υ.Α. είναι η εφαρμογή ενός νέου **Κανονισμού Ορθολογικής Χρήσης και Εξοικονόμησης Ενέργειας** (ΚΟΧΕΕ), που πρόκειται να αντικαταστήσει τον υπάρχοντα κανονισμό θερμομόνωσης.

1. Θέτει υψηλότερες απαιτήσεις για την θερμική προστασία και μόνωση των κτιρίων ανάλογα με τις κλιματικές ζώνες της χώρας
2. Θεσπίζει όρια κατανάλωσης ενέργειας ανά κατηγορία κτιρίου
3. Επιβάλλει την εκπόνηση ενεργειακής μελέτης
4. Εισάγει την έκδοση Δελτίου Ενεργειακής Ταυτότητας (ΔΕΤΑ), το οποίο θα είναι αναπόσπαστο στοιχείο της οικοδομικής άδειας κάθε κτιρίου, και θα είναι απαραίτητο για να είναι οποιαδήποτε δικαιοπραξία.

Ο Κανονισμός αυτός αναμένεται να εκδοθεί σύντομα καθώς η εκπόνησή του βρίσκεται σε προχωρημένο στάδιο.

Το ΔΕΤΑ είναι αποτέλεσμα προκαθορισμένων ποσών καταναλισκόμενης ενέργειας για κτίρια που υπερβαίνουν ένα συγκεκριμένο μέγεθος, και ταξινόμησης σύμφωνα με την ενεργειακή τους απόδοση
Ο ΚΟΧΕΕ συντάσσεται από ειδική επιστημονική επιτροπή από το 1999, υπό την επίβλεψη του Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. και η εκπόνησή του έχει ήδη ολοκληρωθεί.

Στόχος των παραπάνω νόμων είναι να μειωθεί η ενεργειακή κατανάλωση στα υπάρχοντα και στα νέα κτίρια ώστε να είναι πιο φιλικά προς το περιβάλλον και να μην γίνεται σπατάλη ενέργειας, γεγονός που επιβάλλει να σχεδιάσουμε βιοκλιματικά.
Σύμφωνα με την τελευταία τροποποίηση του ΓΟΚ (2000), *Βιοκλιματικά Κτίρια* είναι τα κτίρια που σχεδιάζονται και υλοποιούνται λαμβάνοντας υπόψη την αξιοποίηση των θετικών παραμέτρων του κλίματος και χρησιμοποιούν συνδυασμό παθητικών ή ενεργητικών ηλιακών συστημάτων ή άλλες ΑΠΕ με στόχο την εξοικονόμηση ενέργειας και την προστασία του περιβάλλοντος.
Στα πλαίσια του Επιχειρησιακού προγράμματος SAVE II (2000), εκπονήθηκε μελέτη η οποία αφορά στην αξιολόγηση των κτιρίων ως προς την ενεργειακή και περιβαλλοντική τους συμπεριφορά. Πρόκειται για ένα εργαλείο βαθμονόμησης των κτιρίων, δηλαδή κατάταξής τους σε κατηγορίες. Η εν λόγω μελέτη εκπονήθηκε από το Α.Π.Θ., (με υπεύθυνη την κ. Ε. Ανδρεαδάκη – Χρονάκη), σε συνεργασία με φορείς του εξωτερικού (Regione Piemonte και Provincia Autonoma di Trento της Β. Ιταλίας και το B.R.E. της Αγγλίας) και τη Δανική εταιρεία Cenergia. Στο πρόγραμμα συμμετείχαν το Υπουργείο Ανάπτυξης και το ΥΠΕΧΩΔΕ, τόσο στη χρηματοδότηση όσο και ενεργά [60].
Βοηθητικά δεδομένα για την εκπόνηση του προγράμματος ήταν:

- Η μέθοδος BREAAM, η οποία εφαρμόζεται στην Αγγλία κυρίως για κτίρια γραφείων, αλλά και για κατοικίες και αφορά κυρίως στην αξιοποίηση περιβαλλοντικών παραμέτρων.
- Το ισχύον Μοντέλο Πιστοποίησης στη Δανία που εφαρμόζεται από 1998 και το οποίο πιστοποιεί την κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση, ηλεκτρισμό και νερό οικιακής χρήσης και αφορά κυρίως κατοικίες.

Η προαναφερθείσα μελέτη, η οποία ολοκληρώθηκε τον Ιούλιο του 2000 και έγινε δεκτή από την Ε.Ε., εντάχθηκε πλήρως στην υπάρχουσα ΚΥΑ του 1998 προσφέροντας ένα εργαλείο εύχρηστο και άμεσα εφαρμόσιμο που θα συμβάλλει αποτελεσματικά στην εξοικονόμηση ενέργειας και στην ποιότητα του κτιριακού περιβάλλοντος.
Στα προσεχή χρόνια, για την κατασκευή ενός κτιρίου θα είναι απαραίτητη όπως αναφέραμε *και* η σύνταξη Ενεργειακής - Περιβαλλοντικής Μελέτης δηλαδή μιας μελέτης που θα εξετάζει συνολικά τις απαιτούμενες ενεργειακές ανάγκες του κτιρίου ή και ενός οικιστικού συνόλου γενικότερα, για θέρμανση, ψύξη, αερισμό, φωτισμό κ.τ.λ. ώστε να εξασφαλίζεται θερμική άνεση και ποιότητα του κτιριακού περιβάλλοντος κατά τη διάρκεια του χρόνου.
Έτσι θα υποδεικνύονται οι βέλτιστες κατά περίπτωση λύσεις για την εξασφάλιση των παραπάνω συνθηκών μέσω τεχνικών και συστημάτων ορθολογικής χρήσης και εξοικονόμησης ενέργειας, ή μέσω της χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.
Παράλληλα, σε τακτά χρονικά διαστήματα θα γίνεται Ενεργειακή Επιθεώρηση των κτιρίων, δηλαδή μια διαδικασία αποτίμησης και καταγραφής των πραγματικών καταναλώσεων ενέργειας, των παραγόντων που τις επηρεάζουν καθώς και των δυνατοτήτων για εξοικονόμηση ενέργειας σε ένα κτίριο ή κτιριακό συγκρότημα, με την υπόδειξη προτάσεων για τη βελτίωση της ενεργειακής επίδοσης των κτιρίων.
Βάσει λοιπόν των παραπάνω διαδικασιών θα συντάσσεται το Δελτίο Ενεργειακής Ταυτότητας ενός κτιρίου.
Παράλληλα σε ήδη υπάρχοντα κτίρια θα εφαρμόζονται συστηματικά μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας ώστε να ελαχιστοποιούνται οι ενεργειακές απώλειες και να μεγιστοποιούνται τα ενεργειακά οφέλη.
Η ενεργειακή και περιβαλλοντική πιστοποίηση κτιρίων, εμπεριέχει τους εξής στόχους [60]:

- Την εξοικονόμηση συμβατικής ενέργειας, πετρελαίου και ηλεκτρικού ρεύματος, για θέρμανση – ψύξη των κτιρίων και παραγωγή ζεστού νερού χρήσης.
- Τη μείωση των εκπομπών CO_2 για την προστασία του περιβάλλοντος.

- Την προώθηση των ΑΠΕ και την εφαρμογή τεχνικών και συστημάτων, τέτοιον ώστε να καλύπτεται μέρος των ενεργειακών αναγκών του κτιρίου και συνεπώς να περιορίζεται η ρύπανση της ατμόσφαιρας με CO_2.
- Τη βελτίωση των συνθηκών ζωής στο εσωτερικό των κτιρίων, οι οποίες εξειδικεύονται σε θερμική άνεση, ποιότητα εσωτερικού αέρα, φυσικό φωτισμό, μείωση θορύβου και περιορισμό επιβλαβών για την υγεία υλικών.
- Τη μείωση των συνθηκών του άμεσου περιβάλλοντος του κτιρίου, οι οποίες αναφέρονται στο μικροκλίμα.
- Την εξοικονόμηση πόσιμου νερού, ιδιαίτερα στις κατοικίες.

Οι ενεργειακές ανάγκες του κελύφους του κτιρίου, στα πλαίσια της ενεργειακής επιθεώρησης, εξειδικεύονται στους ακόλουθους ελέγχους:

- Στις ενεργειακές ανάγκες του κτιρίου για θέρμανση, ψύξη, αερισμό και παραγωγή ζεστού νερού οικιακής χρήσης. Ο επιθεωρητής ελέγχει και καταγράφει σε φύλλα ελέγχου, υπό μορφή ερωτηματολογίου, την κατασκευή των δομικών στοιχείων του κελύφους και υπολογίζει τις ενεργειακές ανάγκες, βασιζόμενος στο υπολογιστικό μοντέλο που αναφέρεται στον ΚΟΧΕΕ. Οι υπολογισμοί γίνονται για συγκεκριμένο θερμοκρασιακό καθεστώς, ίδιο για κτίρια όμοιας χρήσης, επομένως ο παράγοντας της χρήσης του κτιρίου από τους ενοίκους δεν υπεισέρχεται.
- Στην παραγόμενη ποσότητα CO_2 με βάση της προκύπτουσες από τον υπολογισμό ενεργειακές ανάγκες του κτιρίου, το καύσιμο που χρησιμοποιείται (πετρέλαιο, φυσικό αέριο ή και ηλεκτρικό ρεύμα) και το βαθμό απόδοσης των εγκαταστάσεων, οι οποίες μετατρέπονται σε πρωτογενή ενέργεια και εν συνεχεία σε εκπομπές CO_2.
- Την εφαρμογή και χρήση ΑΠΕ με συστήματα παθητικά ή και ενεργητικά για τη θέρμανση και την ψύξη του κτιρίου, τη θέρμανση του νερού και την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος, τα οποία συμβάλλουν στη μείωση των εκπομπών CO_2.
- Στην καταγραφή των βασικών υλικών, τα οποία έχουν χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή του κτιρίου και την προκύπτουσα ενσωματωμένη ενέργεια για την παραγωγή και την εγκατάστασή τους στην οικοδομή με τρόπο όμως συγκριτικό. Αυτό σημαίνει ότι, λόγω έλλειψης δεδομένων, δεν γίνεται ποσοτικοποίηση της ενσωματωμένης ενέργειας, παρά μόνο συγκριτική εκτίμηση. Έτσι δεν γίνεται μετατροπή σε εκπομπές CO_2.

Στον πίνακα που ακολουθεί φαίνονται ορισμένα από τα κυριότερα μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας που εφαρμόζονται σε ήδη υπάρχουσες κατοικίες: [37].

1.- Κτίριο	**Πριν**	**Μετά**
1.1 Θερμαινόμενη επιφάνεια δαπέδων m^2		
1.2 Θερμαινόμενος όγκος κτιρίου m^3		
1.3 Επιφάνεια εξωτ. τοίχων (πλην παραθύρων) m^2		
1.4 Επιφάνεια οροφής m^2		
1.5 Επιφάνεια δαπέδου m^2		
1.6 Επιφάνεια παραθύρων m^2		
1.7 Γυάλινα ανοίγματα οροφής m^2		
2.- Θέση και Κλίμα		
2.1 Γεωγραφικό πλάτος		
2.2 Ύψος πάνω απ' την επιφάνεια της θάλασσας		
2.3 Θερμοκρασία περιβάλλοντος		
2.4 Βαθμοημέρες θέρμανσης (D.D)		
2.5 Ηλιοφάνεια τον Ιανουάριο		
2.6 Ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο τον (Ιαν.)		
3.- Θερμοκήπιο		
3.1 Όγκος m^3		
3.2 Επιφάνεια δαπέδου m^2		
3.3 Επιφάνεια εξωτερικού υαλοστασίου m^2		
3.4 Επιφάνεια εξωτερικών αδιαφανών στοιχείων m^2		
4.- Τοίχος Trombe – Mitchel		
4.1 Επιφάνεια m^2		

5.- Ηλιακοί Συλλέκτες		
5.1 Επιφάνεια m^2		
6.- Φωτοβολταϊκά Στοιχεία		
6.1 Επιφάνεια m^2		
7.- Θερμικά χαρακτηριστικά κελύφους & κτιρίου		
7.1 Τιμή K εξωτερικών τοίχων $W/m^2 * {}^0C$		
7.2 Τιμή K οροφής $W/m^2 * {}^0C$		
7.3 Τιμή K δαπέδου $W/m^2 * {}^0C$		
7.4 Τιμή K παραθύρου (μονού) $W/m^2 * {}^0C$		
7.5 Τιμή K παραθύρου (διπλού) $W/m^2 * {}^0C$		
7.6 Μέσος μέγιστος επιτρεπόμενος συντελ. K_m max		
7.7 Μέσος συντελεστής K_m του κτιρίου $W/m^2 * {}^0C$		
7.8 Διείσδυση αέρα (αλλαγές αέρα / ώρα) (A.C.H)		
7.9 Επιθυμητή εσωτερική θερμοκρασία ${}^0C$		
7.10 Θερμικές απώλειες κτιρίου W		
7.11 Ειδικές θερμικές απώλειες (S.H.L)		
7.12 Ετήσιο φορτίο θέρμανσης χωρίς κέρδη [ΣQτ]		
7.13 Ετήσια ηλιακά κέρδη (KWh / year)		
7.14 Ετήσια εσωτερικά κέρδη (KWh / year)		
7.15 Ενεργειακός Ισολογισμός [$ΣQ_τ – ΣQ_{ωφέλιμα}$]		

Εικ. 1 μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας που μπορούν να εφαρμοστούν σε ήδη υπάρχουσες κατοικίες πηγή [37]

Επιχειρησιακό Πρόγραμμα ΕΝΕΡΓΕΙΑ (2001-2006): Επιδότηση 45% για ενεργειακές επενδύσεις σε υφιστάμενες Επιχειρήσεις - Επιδότηση 40% για Ενσωμάτωση Παθητικών Ηλιακών Συστημάτων

Επιχειρησιακό Πρόγραμμα ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΟΤΗΤΑ (2000-2006)
Επιδότηση 40% για επεμβάσεις ενεργειακής απόδοσης σε υφιστάμενες Επιχειρήσεις - Επιδότηση 40% για Παθητικά Ηλιακά Συστήματα

Επιχειρησιακό Πρόγραμμα ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ: (σε εξέλιξη)
Αναπλάσεις υποβαθμισμένων αστικών Περιοχών - Αναπαλαίωση κτιρίων – Διαμόρφωση ελεύθερων δημόσιων χώρων

Αναπτυξιακός Νόμος: Επιδοτήσεις σε επενδύσεις ενεργειακής απόδοσης κατά την ανακατασκευή μεγάλων κτιρίων & οικιστικών συγκροτημάτων.

Φοροαπαλλαγές: εκπτώσεις από το φορολογητέο εισόδημα για τα έξοδα αγοράς & εγκατάστασης τεχνικών & συστημάτων εξοικονόμησης ενέργειας

Τροποποίηση ΓΟΚ: νέες διατάξεις για ενθάρρυνση χρήσης τεχνικών & συστημάτων ΕΕ & ΑΠΕ

Έκδοση Π.Δ., σε εφαρμογή άρθρου 6 Ν. 1612/1986, σχετικά με «Κίνητρα για Εξοικονόμηση ενέργειας στα κτίρια»
Επιπρόσθετα οικονομικά κίνητρα για_Αναπλάσεις & ενεργό Ο.Τ.

- Δωρεάν παροχή συμβουλών
- Επιβράβευση αρχιτεκτόνων & ιδιοκτητών
- Αρχιτεκτονικοί διαγωνισμοί

Παράλληλα μπορούμε να αναφέρουμε τα εξής: [59]
Η παγκόσμια κοινότητα συμφώνησε:

- Στροφή προς βιώσιμα πρότυπα παραγωγής και κατανάλωσης
- Καταπολέμηση φτώχιας: Πρόσβαση σε καθαρό νερό, υγιεινές και άνετες συνθήκες διαβίωσης και ποιότητα ζωής
- Προστασία του φυσικού και πολιτιστικού περιβάλλοντος
- Σεβασμός ανθρώπινων δικαιωμάτων,
- Ανάσχεση απώλειας βιοποικιλότητας: βιολογική γεωργία, περιορισμός υπεραλίευσης.
- Βιοασφάλεια
- Ορθολογική χρήση και εξοικονόμηση φυσικών πόρων (νερού, ενέργειας)

- Στροφή στην καθαρή ενέργεια και στη μεγαλύτερη δυνατή διείσδυση των Α.Π.Ε.
- Βιωσιμότητα οικονομίας.
- Νέες θέσεις εργασίας – Κοινωνική συνοχή

Οι περιβαλλοντικές συνθήκες μέσα στο κτίριο και τον άμεσο περίγυρό του, περιλαμβάνουν τα εξής:

1.- Τον έλεγχο όλων εκείνων των παραμέτρων που καθορίζουν τις συνθήκες άνεσης στο εσωτερικό του κτιρίου. Πιο συγκεκριμένα ελέγχονται οι ακόλουθες παράμετροι:

a) Θερμική άνεση: συνθήκες θερμοκρασίας, σχετικής υγρασίας, συστήματα ελέγχου και ρυθμίσεων.
b) Οπτική άνεση: επάρκεια και ποιότητα φυσικού φωτισμού (αποφυγή θάμβωσης) και κατανομή φωτισμού.
c) Ποιότητα εσωτερικού αέρα: συγκέντρωση αέριων ρύπων, τεχνολογίες απορρύπανσης.
d) Προστασία από εξωτερικό θόρυβο.
e) Δομικά υλικά επιβλαβή για την υγεία.

2.- Τον έλεγχο του άμεσου εξωτερικού περιβάλλοντος του κτιρίου, δηλαδή:

- Το μικροκλίμα: παρουσία πρασίνου, δέντρων ή βλάστησης, υγρού στοιχείου.
- Τη σκίαση των εξωτερικών χώρων.
- Την προστασία από τους ψυχρούς ανέμους.

Σύμφωνα με την ΚΥΑ και τις προθέσεις του ΥΠΕΧΩΔΕ, η εφαρμογή του σχήματος πιστοποίησης των κτιρίων προβλέπεται να γίνεται ως εξής:

Η πιστοποίηση θα εφαρμοστεί υποχρεωτικά σε κτίρια του Δημοσίου και πρωτίστως σε κτίρια της κεντρικής Διοίκησης. Επίσης η εφαρμογή θα είναι υποχρεωτική σε νέα κτίρια, για τα οποία θα ισχύσει ο νέος ΚΟΧΕΕ.
Η πιστοποίηση θα εφαρμοστεί εθελοντικά για τα ιδιωτικά κτίρια, τα χτισμένα πριν τη θεσμοθέτηση του ΚΟΧΕΕ.
Η πιστοποίηση καθίσταται υποχρεωτική για όλα τα κτίρια μετά το 2007, εφόσον στο ενδιάμεσο χρονικό διάστημα ληφθούν μέτρα για την εξοικονόμηση ενέργειας και μείωση των εκπομπών CO_2, καθώς και κίνητρα για την προώθηση των μέτρων. Εξαιρέσεις προβλέπονται για κτίρια μικρής κλίμακας, αγροτικά, μικρές μονοκατοικίες, (εμβαδού μικρότερου από 80 m^2), ή προσθήκες.

1975: Ν.40/75 για «Λήψη Μέτρων Εξοικονόμησης Ενέργειας»

1979 : Π.Δ. 1979 «Κανονισμός Θερμομόνωσης»

1983 : Οικιστικός Νόμος 1337/83

1985 : Άρθρο 26 του ΓΟΚ

1986 : Άρθρο 6 του Ν. 1612/86 «Κίνητρα για Εξοικονόμηση Ενέργειας στα κτίρια»

1989 : Κτιριοδομικός Κανονισμός (ΥΑ 3046/304 όπως τροποποιήθηκε)

1992 : Ν. 2052/92 περί «Μέτρων καταπολέμησης αστικού νέφους»

1989: Οδηγία 89/106/ΕΟΚ για τα δομικά - κατασκευαστικά προϊόντα

1993 : Οδηγία SAVE: 93/76/ΕΟΚ «Περιορισμός εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα μέσω ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων»

1996 : «Ενέργεια 2001»: Σχέδιο Δράσης Εξοικονόμησης Ενέργειας στα Κτίρια»

1998 : Κοινή Υπουργική Απόφαση 21475/4707 (ΦΕΚ 880Β/19-08-98) μεταφορά στο εθνικό δίκαιο της οδηγίας 93/76/ΕΟΚ

2002 : Οδηγία 2002/91/ΕΚ για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων» (θα πρέπει να έχει μεταφερθεί στο εθνικό δίκαιο και να εφαρμοσθεί από τις 4-01-2006)
Η εν λόγω οδηγία θα λειτουργήσει παράλληλα με την οδηγία 89/106/ΕΟΚ του Συμβουλίου, της 21ης Δεκεμβρίου 1988, που αφορά στην προσέγγιση των νομοθετικών, κανονιστικών και διοικητικών διατάξεων των κρατών μελών, όσον αφορά στα προϊόντα του τομέα των δομικών κατασκευών και αναμένεται να επηρεάσει θετικά την ποιότητα

των κατασκευών (δομικές κατασκευές και εγκαταστάσεις θέρμανσης, ψύξης και αερισμού κατά τρόπο ώστε η απαιτούμενη κατανάλωση ενέργειας κατά τη χρησιμοποίηση του έργου να είναι χαμηλό, ανάλογα με τα κλιματικά δεδομένα του τόπου).

1.5 Περιεχόμενο Οδηγίας 2002/91/ΕΚ για την Ενεργειακή Απόδοση των κτιρίων:

Οδηγία για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων (2002/91/ΕΚ)

- *Θέτει ελάχιστες ενεργειακές απαιτήσεις για τα νέα κτίρια, καθώς και για την ανακατασκευή παλαιών κτιρίων μεγάλης επιφάνειας*

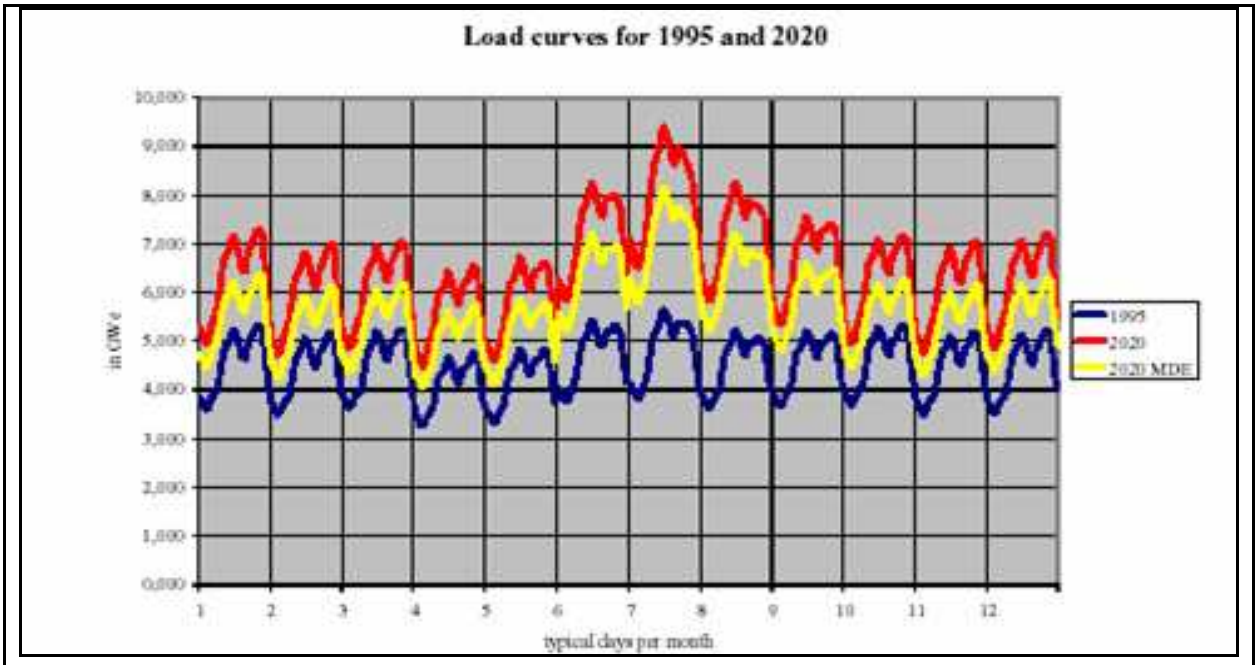
- *Ορίζει την υποχρέωση για ενεργειακή σήμανση των κτιρίων με έμφαση στο δημόσιο τομέα.*

- *Επιβάλλει ελέγχους της απόδοσης των καυστήρων και της θερμομόνωσης των κτιρίων.*

- *Επιβάλλει στους ιδιοκτήτες μεγάλων ακινήτων (συνολικής επιφάνειας άνω των 1.000 τ.μ.) που ανακατασκευάζουν τα κτίριά τους, την υποχρέωση να προχωρήσουν σε εφαρμογή μέτρων εξοικονόμησης όταν το κόστος της ανακατασκευής ξεπερνά το 25% της αξίας του ακινήτου.*

- Ενθαρρύνει τη χρήση ηλιακών συστημάτων και άλλων εφαρμογών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ), καθώς και την προώθηση της συμπαραγωγής και συστημάτων τηλεθέρμανσης-τηλεψύξης.

- *Ισχύει από 4/1/2006*



Εικ. 2 πηγή [66] Ειδικό κόστος του κτιρίου, (κόστος ανηγμένο στη μονάδα όγκου), στο ενεργειακό σύστημα – φορτίο αιχμής

Βασικοί ορισμοί που αναφέρονται στην ΟΔΗΓΙΑ 2002/91/ΕΚ :

«κτίριο»: στεγασμένη κατασκευή με τοίχους για την οποία χρησιμοποιείται ενέργεια προς ρύθμιση των εσωτερικών κλιματικών συνθηκών· ο όρος κτίριο δύναται να αφορά στο κτίριο στο σύνολό του ή σε τμήματα του κτιρίου τα οποία έχουν μελετηθεί ή έχουν τροποποιηθεί για να χρησιμοποιούνται χωριστά·

«ενεργειακή απόδοση κτιρίου»: η ποσότητα ενέργειας που πράγματι καταναλώνεται ή εκτιμάται ότι ικανοποιεί τις διάφορες ανάγκες που συνδέονται με την συνήθη χρήση του κτιρίου, οι οποίες μπορούν να περιλαμβάνουν, μεταξύ άλλων, τη θέρμανση, την παραγωγή ζεστού νερού, την ψύξη, τον εξαερισμό και το φωτισμό. Η ποσότητα αυτή εκφράζεται με έναν ή περισσότερους αριθμητικούς δείκτες οι οποίοι έχουν υπολογιστεί λαμβάνοντας υπόψη τη μόνωση, τα τεχνικά χαρακτηριστικά και τα χαρακτηριστικά της εγκατάστασης, το σχεδιασμό και τη σχέση σε σχέση με κλιματολογικούς παράγοντες, την έκθεση στον ήλιο και την επίδραση γειτονικών κατασκευών, την παραγωγή ενέργειας του ιδίου του κτιρίου και άλλους παράγοντες που επηρεάζουν την ενεργειακή ζήτηση, στους οποίους περιλαμβάνονται και οι κλιματικές συνθήκες στο εσωτερικό του κτιρίου.

«πιστοποιητικό ενεργειακής απόδοσης κτιρίου»: πιστοποιητικό αναγνωρισμένο από το κράτος μέλος ή νομικό πρόσωπο που αυτό καθορίζει, το οποίο περιλαμβάνει την ενεργειακή απόδοση ενός κτιρίου υπολογιζόμενη

σύμφωνα με μεθοδολογία βασιζόμενη στο γενικό πλαίσιο που παρατίθεται στο παράρτημα.

«ΣΠΗΘ (συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας)»: η ταυτόχρονη μετατροπή πρωτογενών καυσίμων σε μηχανική ή ηλεκτρική ενέργεια και θερμότητα, υπό ορισμένα ποιοτικά κριτήρια ενεργειακής απόδοσης·

«σύστημα κλιματισμού»: συνδυασμός όλων των απαιτούμενων κατασκευαστικών στοιχείων για την παροχή μιας μορφής επεξεργασίας του αέρος κατά την οποία ελέγχεται ή μπορεί να ελαττωθεί η θερμοκρασία, ενδεχομένως σε συνδυασμό με τον έλεγχο του αερισμού, της υγρασίας και της καθαρότητας του αέρος.

«λέβητας»: ο συνδυασμός σώματος λέβητα και μονάδας καυστήρα που είναι σχεδιασμένος για να μεταβιβάζει στο νερό τη θερμότητα που παράγεται από την καύση.

«ωφέλιμη ονομαστική ισχύς (εκφραζόμενη σε Kw)»: η μέγιστη θερμική ισχύς την οποία αναφέρει και εγγυάται ο κατασκευαστής ως παρεχόμενη κατά τη συνεχή λειτουργία με ταυτόχρονη τήρηση της ωφέλιμης απόδοσης που προσδιορίζεται από τον κατασκευαστή·

«αντλία θέρμανσης»: συσκευή ή εγκατάσταση που εξάγει θερμότητα σε χαμηλή θερμοκρασία από τον αέρα, το ύδωρ ή τη γη και την εισάγει στο κτίριο.

Η εν λόγω Οδηγία επιτάσσει τη λήψη μέτρων για την περαιτέρω βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων, λαμβάνοντας υπόψη τόσο τις κλιματολογικές, όσο και τις τοπικές συνθήκες, καθώς και τις κλιματικές συνθήκες στο εσωτερικό του κτιρίου και την σχέση κόστους / οφέλους, παράλληλα με άλλες βασικές απαιτήσεις για τα κτίρια, όπως η ευχέρεια πρόσβασης στην αρχή της προφύλαξης και η χρήση για την οποία προορίζεται το κτίριο.

Η ενεργειακή απόδοση των κτιρίων θα υπολογίζεται με βάση μεθοδολογία που μπορεί να διαφοροποιείται σε περιφερειακό επίπεδο και η οποία περιέχει, εκτός της θερμομόνωσης και άλλους παράγοντες, που διαδραματίζουν ολοένα και περισσότερο σημαντικό ρόλο, όπως π.χ. οι εγκαταστάσεις θέρμανσης /κλιματισμού ή εφαρμογής ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και τον σχεδιασμό του κτιρίου. Η κοινή προσέγγιση στη διαδικασία αυτή, που θα εκτελείται από εξειδικευμένους ή/και διαπιστευμένους εμπειρογνώμονες, των οποίων η ανεξαρτησία θα πρέπει να εξασφαλίζεται βάσει αντικειμενικών κριτηρίων, θα συμβάλλει στη δημιουργία ισότιμων όρων σε ότι αφορά στις προσπάθειες που καταβάλλονται στα κράτη μέλη για εξοικονόμηση ενέργειας στον κτιριακό τομέα και θα εισάγει διαφάνεια για τους υποψήφιους ιδιοκτήτες, και χρήστες αναφορικά με την ενεργειακή απόδοση στην κοινοτική αγορά ακινήτων.

Συνοπτικά η μέθοδος υπολογισμού της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων πρέπει τουλάχιστον να περιλαμβάνει τους ακόλουθους παράγοντες:

α) θερμικά χαρακτηριστικά του κτιρίου (κέλυφος και εσωτερικά χωρίσματα, κ.λπ.). Τα χαρακτηριστικά αυτά μπορούν να περιλαμβάνουν και την αεροστεγανότητα
β) εγκατάσταση θέρμανσης και τροφοδοσία θερμού νερού, συμπεριλαμβανομένων των χαρακτηριστικών των μονώσεών τους
γ) εγκατάσταση κλιματισμού
δ) αερισμό
ε) ενσωματωμένη εγκατάσταση φωτισμού (κυρίως στον τομέα που δεν αφορά την κατοικία)
στ) θέση και προσανατολισμό των κτιρίων, περιλαμβανομένων και των εσωτερικών κλιματικών συνθηκών
ζ) παθητικά ηλιακά συστήματα και ηλιακή προστασία
η) φυσικό αερισμό
θ) εσωτερικές κλιματικές συνθήκες στις οποίες περιλαμβάνονται οι επιδιωκόμενες εσωτερικές κλιματικές συνθήκες.

Για το σκοπό αυτού του υπολογισμού, τα κτίρια κατατάσσονται σε κατηγορίες όπως:

α) οικογενειακές κατοικίες διαφόρων τύπων
β) συγκροτήματα διαμερισμάτων
γ) γραφεία
δ) εκπαιδευτικά κτίρια
ε) νοσοκομεία
στ) ξενοδοχεία και εστιατόρια
ζ) αθλητικές εγκαταστάσεις
η) κτίρια υπηρεσιών χονδρικού και λιανικού εμπορίου
θ) άλλα είδη κτιρίων που καταναλώνουν ενέργεια.

Τα νέα κτίρια θα πρέπει να ικανοποιούν τις ελάχιστες απαιτήσεις ενεργειακής απόδοσης προσαρμοσμένες στο τοπικό κλίμα. Οι μεγάλης κλίμακας ανακαινίσεις υφιστάμενων κτιρίων, μεγαλύτερων από ένα συγκεκριμένο μέγεθος θεωρούνται ευκαιρία για τη λήψη οικονομικά αποδοτικών μέτρων για τη βελτίωση της ενεργειακής τους απόδοσης (ανακαινίσεις στο κέλυφος του κτιρίου ή/και τις εγκαταστάσεις, όπως θέρμανση, παροχή θερμού ύδατος, κλιματισμός, αερισμός και φωτισμός) όπου το κόστος θα υπερβαίνει το 25 % της αξίας του κτιρίου, μη συνυπολογιζόμενης της αξίας του οικοπέδου ή όπου ανακαινίζεται άνω του 25 % του κελύφους.

Ειδικότερα, η οδηγία προβλέπει ότι για τα νεόδμητα κτίρια, συνολικής ωφέλιμης επιφάνειας άνω των 1 000 m2, τα κράτη μέλη θα εξασφαλίζουν, πριν από την έναρξη της ανέγερσης, την τεχνική, περιβαλλοντική και οικονομική σκοπιμότητα εγκατάστασης εναλλακτικών συστημάτων, όπως, αποκεντρωμένων συστημάτων παροχής ενέργειας, που βασίζονται σε ανανεώσιμες πηγές, συμπαραγωγή ηλεκτρισμού-θερμότητας (ΣΠΗΘ), συστημάτων θέρμανσης, ψύξης σε κλίμακα περιοχής/οικοδομικού τετραγώνου, εάν υπάρχουν, αντλιών θέρμανσης.

Τα υφιστάμενα κτίρια, συνολικής ωφέλιμης επιφάνειας άνω των 1000 m2 θα υφίστανται ριζική ανακαίνιση, η ενεργειακή απόδοσή τους αναβαθμίζεται, ώστε να πληρούνται οι ελάχιστες απαιτήσεις, στο βαθμό που αυτό είναι τεχνικά, λειτουργικά και οικονομικά εφικτό.

Θεσπίστηκε η ενεργειακή πιστοποίηση (που υποστηρίζεται από προγράμματα για τη διευκόλυνση της ισότιμης πρόσβασης στην βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης και βασίζεται σε συμφωνία μεταξύ οργανώσεων των ενδιαφερομένων και σωματίων οριζόμενων από το κράτος μέλος) που θα μπορεί να διενεργείται και από εταιρείες παροχής υπηρεσιών ενέργειας, οι οποίες θα συμφωνούν να αναλάβουν τις απαραίτητες επενδύσεις, ενώ τα σχέδια θα εποπτεύονται και θα ελέγχονται από τα κράτη μέλη, τα οποία θα πρέπει επίσης να διευκολύνουν τη χρήση κινήτρων. Στο μέγιστο δυνατό βαθμό, το πιστοποιητικό θα πρέπει να περιγράφει την τρέχουσα ενεργειακή απόδοση του κτιρίου και μπορεί να αναθεωρείται αναλόγως.

Τα δημόσια κτίρια και τα κτίρια τα οποία επισκέπτεται συχνά το κοινό θα πρέπει να αποτελέσουν το παράδειγμα στα περιβαλλοντικά και ενεργειακά ζητήματα, και, κατά συνέπεια, θα πρέπει να υπόκεινται σε τακτική ενεργειακή πιστοποίηση. Ειδικότερα, σε κτίρια συνολικής ωφέλιμης επιφανείας άνω των 1000 m^2 τα οποία χρησιμοποιούνται από δημόσιες αρχές και από ιδρύματα που παρέχουν δημόσιες υπηρεσίες σε μεγάλο αριθμό ατόμων και που ως εκ τούτου δέχονται συχνά τις επισκέψεις των ατόμων αυτών, να τοποθετείται σε θέση ευδιάκριτη από το κοινό πιστοποιητικό ενεργειακής απόδοσης, όχι παλαιότερο των δέκα ετών. Επιπλέον, για τα παραπάνω κτίρια μπορεί επίσης να αναγράφεται ευκρινώς η κλίμακα των θερμοκρασιών που συνιστώνται και αυτών που σημειώνονται στο εσωτερικό τους και, όπου απαιτείται, άλλοι σχετικοί κλιματικοί παράγοντες. Απαραίτητη θα είναι και η δημοσίευση των πληροφοριών σχετικά με την ενεργειακή απόδοση. εσωτερικού περιβάλλοντος (θερμοκρασιακή άνεση) σε σχέση με την εξωτερική θερμοκρασία.

Θεσπίστηκαν επίσης διατάξεις για την τακτική συντήρηση των λεβήτων και των εγκαταστάσεων κλιματισμού από ειδικευμένο προσωπικό, που θα συμβάλλει στη διατήρηση της σωστής τους ρύθμισης σύμφωνα με τα πρότυπα του προϊόντος και θα διασφαλίζει τη βέλτιστη απόδοση από την άποψη του περιβάλλοντος, της ασφάλειας και της ενέργειας.

Η οδηγία δίνει κατευθύνσεις για μια μεθοδολογία υπολογισμού, καθώς και για τη δυνατότητα ταχείας προσαρμογής της και τακτικής αναθεώρησης, εκ μέρους των κρατών μελών, στη βάση ελάχιστων απαιτήσεων στον τομέα της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων, έχοντας υπόψη την τεχνική πρόοδο και τις μελλοντικές εξελίξεις στην τυποποίηση.

Πιστοποιητικό Ενεργειακής Απόδοσης

Κατά την κατασκευή, την πώληση ή την εκμίσθωση κτιρίων θα διατίθεται πιστοποιητικό ενεργειακής απόδοσης στον ιδιοκτήτη και από τον ιδιοκτήτη στον υποψήφιο αγοραστή ή μισθωτή. Το πιστοποιητικό θα είναι δεκαετούς ισχύος κατ' ανώτατο όριο. Η πιστοποίηση διαμερισμάτων ή μονάδων, που σχεδιάζονται για χωριστή χρήση σε συγκροτήματα μπορεί να βασίζεται είτε σε κοινή πιστοποίηση ολόκληρου του κτιρίου για συγκροτήματα με κοινόχρηστο σύστημα θέρμανσης ή στην αξιολόγηση άλλου αντιπροσωπευτικού διαμερίσματος του ιδίου συγκροτήματος. Το πιστοποιητικό ενεργειακής απόδοσης κτιρίων περιλαμβάνει τιμή αναφοράς, όπως ισχύουσες νομικές απαιτήσεις και κριτήρια συγκριτικής αξιολόγησης, ώστε να επιτρέπει στους καταναλωτές να συγκρίνουν και να αξιολογούν την ενεργειακή απόδοση του κτιρίου. Το πιστοποιητικό συνοδεύεται από συστάσεις για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης σε σχέση με το κόστος. Ο σκοπός των πιστοποιητικών περιορίζεται στην παροχή πληροφοριών και οι πιθανές συνέπειες των πιστοποιητικών αυτών όσον αφορά νομικές άλλες διαδικασίες αποφασίζονται σύμφωνα με τους εθνικούς κανόνες. Αυτό πάντως που δεν έχει αποσαφηνιστεί είναι αν οι δείκτες της ενεργειακής πιστοποίησης θα εφαρμόζονται με βάση τα τετραγωνικά ή τα κυβικά μέτρα ενός κτιρίου. Όπως εύκολα μπορεί να καταλάβει κάποιος σε κτίρια με μεγάλο ύψος ο όγκος είναι καθοριστικός επομένως αν εφαρμοστεί η Οδηγία με βάση τα τετραγωνικά μέτρα, κάποια κτίρια θα αδικούνται και θα εξυπηρετούνται τα συμφέροντα μεγάλων κτιρίων, π.χ. βιομηχανιών.

Εξαιρέσεις

Τα κράτη μέλη δύνανται να μην καθορίσουν ή να μην εφαρμόσουν τις απαιτήσεις για κτίρια και μνημεία επισήμως προστατευόμενα λόγω της ιδιαίτερης αρχιτεκτονικής, ιστορικής τους αξίας, εφόσον η συμμόρφωση προς τις απαιτήσεις θα αλλοίωνε απαράδεκτα τον χαρακτήρα και την εμφάνισή τους, κτίρια χρησιμοποιούμενα ως χώροι λατρείας, θρησκευτικών δραστηριοτήτων, προσωρινά κτίρια με, εκ σχεδιασμού, προβλεπόμενη διάρκεια χρήσης το πολύ δύο ετών, βιομηχανικές εγκαταστάσεις, εργαστήρια, αγροτικά κτίρια, πλην κατοικιών με χαμηλές ενεργειακές απαιτήσεις και αγροτικά κτίρια, πλην κατοικιών, τα οποία χρησιμοποιούνται από τομέα καλυπτόμενο από εθνικοτομεακή συμφωνία για την ενεργειακή απόδοση, κτίρια κατοικιών, τα οποία προβλέπεται να χρησιμοποιούνται λιγότερο από τέσσερις μήνες το χρόνο και μεμονωμένα κτίρια με συνολική ωφέλιμη επιφάνεια κάτω των 50 m^2.

1.6 Μια πρόβλεψη για το μέλλον

Με τη συνεχή πρόοδο της επιστήμης και της τεχνολογίας, η δημόσια πολιτική θα αποκτήσει πολύ περισσότερα εφόδια. Καθώς η Επιστήμη της Οικολογίας θα γίνεται όλο και πιο αξιόπιστη και τα ευρήματά της περισσότερα το πιθανότερο είναι ότι η επίδρασή της στη διαμόρφωση της πολιτικής θα αυξηθεί. Η συνεργασία της οποιασδήποτε κυβέρνησης με τις επιχειρήσεις, θα αποκτήσει σταδιακά μεγαλύτερη σπουδαιότητα από την μέχρι τώρα αντιπαράθεση, συμβάλλοντας έτσι σε μια καλύτερη σύνδεση της δημόσιας περιβαλλοντικής πολιτικής με άλλους τομείς της κοινωνικής δραστηριότητας. Παράλληλα, σε επίπεδο δευτεροβάθμιας και τριτοβάθμιας εκπαίδευσης θα πρέπει να γίνει ουσιαστική διαθεματική σύνδεση των θετικών – φυσικών επιστημών με την περιβαλλοντική εκπαίδευση. Οι στόχοι της περιβαλλοντικής εκπαίδευσης, όπως είχαν παρουσιαστεί στη Χάρτα του Βελιγραδίου από το 1975, είναι οι ακόλουθοι [36]:

- Συνειδοποίηση των πολιτών
- Γνώση
- Στάσεις
- Δεξιότητες
- Ικανότητα αξιολόγησης περιβαλλοντικών προβλημάτων
- Συμμετοχικότητα

Αποδέκτης της περιβαλλοντικής εκπαίδευσης είναι το σύνολο του πληθυσμού του πλανήτη. Μέσα στο παγκόσμιο πλαίσιο οι κύριες κατηγορίες πληθυσμού είναι:

1. Ο τομέας της τυπικής εκπαίδευσης που περιλαμβάνει την προσχολική, στοιχειώδη, δευτεροβάθμια και ανώτατη εκπαίδευση, καθώς και την εκπαίδευση και μετεκπαίδευση των εκπαιδευτικών και των επαγγελματικών ομάδων που έχουν αντικείμενο το περιβάλλον
2. Ο τομέας της μη τυπικής εκπαίδευσης που περιλαμβάνει τους νέους και τους ενήλικες, ατομικά ή συλλογικά, από όλα τα τμήματα του πληθυσμού, όπως οικογένειες, εργάτες, διευθυντές και άτομα που συμμετέχουν στη λήψη αποφάσεων είτε ειδικά είτε γενικότερα με το περιβάλλον.

Οι κατευθυντήριες αρχές της περιβαλλοντικής εκπαίδευσης είναι [36]:

1. Η περιβαλλοντική εκπαίδευση πρέπει να εξετάζει το περιβάλλον στην ολότητά του φυσικό και ανθρωπογενές, οικολογικό, πολιτικό, οικονομικό, τεχνολογικό, κοινωνικό, νομικό, πολιτιστικό και αισθητικό.
2. Η περιβαλλοντική εκπαίδευση πρέπει να είναι μία διαρκής, δια βίου διαδικασία, σε όλα τα επίπεδα τυπικής και μη τυπικής εκπαίδευσης,
3. Η περιβαλλοντική εκπαίδευση πρέπει να υιοθετεί διεπιστημονική προσέγγιση στα προγράμματά της.
4. Η περιβαλλοντική εκπαίδευση πρέπει να δίνει έμφαση στην ενεργό συμμετοχή για την πρόληψη και επίλυση περιβαλλοντικών προβλημάτων.
5. Η περιβαλλοντική εκπαίδευση πρέπει να εξετάζει τα κύρια περιβαλλοντικά ζητήματα από, μια παγκόσμια σκοπιά, ενώ παράλληλα θα λαμβάνει υπόψη τις τοπικές ιδιαιτερότητες.
6. Η περιβαλλοντική εκπαίδευση πρέπει να εστιάζει την προσοχή της στην παρούσα και τη μελλοντική κατάσταση του περιβάλλοντος.
7. Η περιβαλλοντική εκπαίδευση πρέπει να εξετάζει τα σχέδια ανάπτυξης και της οικονομικής μεγέθυνσης από μια περιβαλλοντική σκοπιά .
8. Η περιβαλλοντική εκπαίδευση πρέπει να αναδεικνύει την αξία και την αναγκαιότητα της συνεργασίας σε επίπεδο τοπικό και παγκόσμιο για την επίλυση των περιβαλλοντικών προβλημάτων.

Η περιβαλλοντική εκπαίδευση λοιπόν, θα πρέπει να καταστεί μια δια βίου διαδικασία, που να συνεχίζεται σε όλα τα στάδια της τυπικής και άτυπης εκπαίδευσης.
Ως συνέπεια όλων των παραπάνω, ο Οικολογικός - Βιοκλιματικός Σχεδιασμός δεν επιτάσσεται μόνο από την ανάγκη για απλή εξοικονόμηση ενέργειας και βελτιστοποίηση των ενεργειακών κερδών και η Βιοκλιματική Αρχιτεκτονική δεν έγκειται μόνο στην αντιμετώπιση υψηλών λογαριασμών ρεύματος και λοιπών ενεργειακών απαιτήσεων, είναι μια Αρχιτεκτονική προορισμένη να εξυπηρετήσει ανησυχίες και οράματα για ένα καλύτερο μέλλον.
Το ζήτημα τελικά δεν είναι μόνο η οικονομικότερη και πιο άνετη διαβίωση, αλλά αυτή καθ' αυτή η ανάγκη για επιβίωση του είδους εν όψει και της υπάρχουσας οικολογικής και οικονομικής κρίσης.

1.7 Κτίριο, Ενέργεια & Περιβάλλον

1.7.1 Σκιαγράφηση των στόχων του βιοκλιματικού σχεδιασμού

Οι παραινέσεις της Ιστορίας, της Γεωγραφίας (Αστικής και Περιφερειακής), καθώς επίσης και της Οικολογίας, σε συνάρτηση με την υπάρχουσα ενεργειακή κρίση συνέβαλαν στην ανάγκη να δούμε ότι

πολύ συχνά, στα περισσότερα κτιριακά έργα αλλά και στη δημιουργία πολεοδομικών ιστών, αγνοείται μια βασική παράμετρος: η *ενέργεια.*
Η ανάγκη λοιπόν μιας διαφορετικής διαχείρισης της ενέργειας παράλληλα με την επιδείνωση των περιβαλλοντικών συνθηκών πολλών αστικών κέντρων, έφεραν στο προσκήνιο αρκετές συζητήσεις για μια επικείμενη αλλαγή στην τεχνολογία δόμησης.
Από τη δεκαετία του 1970 ήδη, εκδηλώθηκε έντονο ενδιαφέρον στη χρήση φυσικών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας ως υποκατάστατα των παραδοσιακών καυσίμων, προκειμένου να καλυφθούν, (σε κάποιο ποσοστό αρχικά), οι ενεργειακές απαιτήσεις των κτιρίων, και έτσι οδηγηθήκαμε στη χρήση της ηλιακής ενέργειας, της γεωθερμίας, του ανέμου κτλ. Αυτό οδήγησε πρώτα στην ανάπτυξη ενεργητικών ηλιακών συστημάτων και αργότερα στην ανάπτυξη παθητικών ηλιακών συστημάτων αλλά και άλλων τεχνικών για την αξιοποίηση των ήπιων μορφών ενέργειας στις κατοικίες.

Ο Βιοκλιματικός Σχεδιασμός κτιρίων & οικισμών έχει κατά γενική ομολογία 5 εξίσου σημαντικούς στόχους, (3 ενεργειακούς και 2 περιβαλλοντικούς – οικολογικούς) :

- Εκμετάλλευση των ΑΠΕ με παθητικό τρόπο (π.χ. δροσισμός μέσω φυσικού αερισμού).
- Εκμετάλλευση των ΑΠΕ με ενεργητικό τρόπο (π.χ. ανεμογεννήτριες).
- Εξοικονόμηση ενέργειας
- Επίτευξη θερμικής άνεσης.
- Συμβολή στη βελτιστοποίηση της ποιότητας του κτιριακού αλλά και του αστικού περιβάλλοντος.

Οι δυνατότητες και το εύρος εφαρμογής του βιοκλιματικού σχεδιασμού συνοψίζονται αδρομερώς ως εξής:

- εκμετάλλευση του δυναμικού ηλιακής ενέργειας, ανέμων και μορφολογίας της περιοχής
- εκμετάλλευση και προστασία από τους τοπικούς επικρατούντες ανέμους
- μέθοδοι σκιασμού και ηλιοπροστασίας
- μέθοδοι προστασίας από ακουστικές οχλήσεις
- χρήση υλικών και χρωματισμοί αυτών
- επιλογή κατάλληλης βλάστησης
- ορθή οργάνωση του χώρου με βάση το τοπικό κλίμα, (ορθή χωροθέτηση)
- σωστή διάταξη των λειτουργιών του χώρων σε συνδυασμό με τη χρήση των κατάλληλων υλικών και φύτευσης

Για τουλάχιστον δύο δεκαετίες, η βιοκλιματική θεώρηση έμεινε στο περιθώριο, λόγω του ασύμφορου της σχέσης κόστους – απόδοσης. Η θεώρηση λοιπόν του κλίματος ως κυρίας αρχιτεκτονικής παραμέτρου, παρέμεινε παροπλισμένη, παρόλο που η ίδια η παραδοσιακή αρχιτεκτονική μας κληρονομιά, είχε ενσωματώσει τις αρχές του βιοκλιματικού σχεδιασμού, έτσι όπως διαμορφώθηκαν όχι μόνο από το κλίμα αλλά και από τα διαθέσιμα υλικά.
Η έννοια της αειφορίας ή βιωσιμότητας (sustainability), και του οικολογικού σχεδιασμού τόσο των κτιρίων όσο και των πόλεων, προβάλλονται σ' ένα μέλλον που μας αφορά όλους. Οι νέες προσεγγίσεις δεν αντιμετωπίσουν πια την ενέργεια ως ένα παράγοντα εξωτερικό, αλλά την κάνουν μέρος της δομής του κτιρίου.
Ο 21ος αιώνας σηματοδότησε την απαρχή της εξέλιξης ενός νέου τύπου ανάπτυξης, της αειφόρου, που συνίσταται στην ικανοποίηση των αναγκών των ανθρώπινων κοινωνιών, χωρίς ωστόσο να βασίζεται στην εντατική εκμετάλλευση των φυσικών πόρων, αλλά στην ορθολογική χρήση και εξοικονόμηση αυτών, ώστε να έχουν και οι μελλοντικές γενιές ίδιες ευκαιρίες ευημερίας. Οι νέοι στόχοι πολιτικής, οι δράσεις, αλλά και οι πρακτικές, που ήδη ακολουθούνται σε πλανητικό και κυρίως σε ευρωπαϊκό επίπεδο, στοχεύουν στη βελτίωση της ποιότητας σε όλους τους τομείς της ζωής και ιδιαίτερα στη βελτίωση της περιβαλλοντικής απόδοσης των πόλεων και οικισμών, στη βάση μιας νέας αντίληψης για την πολεοδομία και την αρχιτεκτονική, που φωτίζονται από την οικολογική σκέψη και πρακτική. Η «παθητική» ηλιακή αρχιτεκτονική, ξαναφέρνει στην επικαιρότητα τη λαϊκή παράδοση με το αίθριο και τις πολλαπλές εκδοχές της μορφής του κελύφους. Ήδη έχουμε παρατηρήσει τα πρώτα δείγματα αυτής της αλλαγής. Όχι τόσο στο επίπεδο των μεγάλων αστικών οικιστικών συνόλων αλλά στο επίπεδο των μεμονωμένων κυρίως εφαρμογών. Η πρόκληση όμως του μέλλοντος, είναι να περάσουμε από τη μικρή στη μεγάλη κλίμακα, δηλαδή από τη σημειακή παρέμβαση στην ενεργό πολεοδομία των αναπλάσεων και των νέων οικισμών. Οι πόλεις του μέλλοντος οφείλουν να είναι βιώσιμες και αυτό φυσικά δεν μπορεί να είναι ανεξάρτητο από την ποιότητα των κατασκευών. Η οικολογική δόμηση είναι απόρροια μιας πολύπλοκης σύνθεσης που λαμβάνει υπόψη πλήθος παραμέτρων: την τοπογραφία των οικοπέδων, το έδαφος, το μικροκλίμα, τον προσανατολισμό του κτιρίου, τη σωστή επιλογή των ανοιγμάτων, τη μελέτη του κελύφους, την επιλογή των κατάλληλων υλικών κλπ.

Δηλαδή το κτίριο δεν είναι απλά ένα άθροισμα ετερόκλητων στοιχείων, αλλά ένα ολοκληρωμένο κύτταρο για τον άνθρωπο και την πόλη [49].
Τα κτίρια προσφέρουν στέγη και ιδιωτική ζωή στους ανθρώπους και ρυθμίζουν σε μεγάλο βαθμό την ποιότητα ζωής τους. Όπως είπε χαρακτηριστικά ο Winston Churchill : «Ο άνθρωπος σχεδιάζει και ρυθμίζει τα κτίρια και αυτά στη συνέχεια ρυθμίζουν τη ζωή του» [49].

Ο τομέας των κτιρίων αποτελεί έναν από τους πλέον σημαντικούς οικονομικούς τομείς. Ο κύκλος εργασιών των κτιρίων αγγίζει τα 3000 δις $ και αντιπροσωπεύει περίπου το 10 % της παγκόσμιας οικονομίας.
Περίπου το 30 % των εργασιών πραγματοποιείται στην Ευρώπη, 22 % στις ΗΠΑ, 21 % στην Ιαπωνία, 23 % στις υπό ανάπτυξη χώρες, και 4 % στον υπόλοιπο κόσμο [51].
Παράλληλα, τα κτίρια αντιπροσωπεύουν το 50 % των παγκοσμίων επενδύσεων. Ο κλάδος χρησιμοποιεί περισσοτέρους από 111 εκατομμύρια εργαζομένους και αντιπροσωπεύει το 7 % της παγκόσμιας αγοράς εργασίας, και 28 % της παγκόσμιας βιομηχανικής εργασίας.
Δεδομένου ότι κάθε θέση εργασίας στον τομέα των κατασκευών δημιουργεί 2 νέες θέσεις εργασίας στην παγκόσμια οικονομία, μπορεί να διατυπωθεί ο ισχυρισμός ότι τα κτίρια δημιουργούν άμεσα η έμμεσα το 20 % της παγκόσμιας εργασίας [51].
Τόσο τα κτίρια, όσο και οι πόλεις που συγκροτούνται από αυτά περιγράφονται ουσιαστικά από μία οικοδομική άδεια, που το περιεχόμενό της είναι σε γενικές γραμμές το ίδιο για πολλές δεκαετίες (στην Ελλάδα τουλάχιστον).
Το κόστος λειτουργίας τους δεν εξετάζεται κατά τον σχεδιασμό τους, ούτε ορίζεται από κριτήρια του ΓΟΚ, όπως σε άλλα κράτη.
Τα κτίρια, καθ' όλα τα στάδια της ζωής τους, (από την κατασκευή, τη χρήση, τη συντήρηση, την ανακαίνιση, ακόμα και την κατεδάφισή τους), έχουν σημαντικές επιπτώσεις στο περιβάλλον και παίζουν καθοριστικό ρόλο στην ποιότητα ζωής και την υγεία, αυτών που τα κατοικούν καθώς επίσης και των περίοικων. Η θέρμανση, ο κλιματισμός, η παραγωγή ζεστού νερού, ο τεχνητός φωτισμός, απαιτούν μεγάλες ποσότητες ενέργειας και συνεπάγονται εκπομπές ρύπων, καθώς και διοξειδίου του άνθρακα. Η ρύπανση του αέρα από τις ενεργειακές εκπομπές ενός κτιρίου έχει επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία (σε τοπικό επίπεδο) και επιδεινώνει ορισμένα αρνητικά φαινόμενα όπως είναι η όξινη βροχή (σε περιφερειακό επίπεδο), και η αλλαγή του κλίματος που οφείλεται στην αύξηση των συγκεντρώσεων στην ατμόσφαιρα των αερίων του Θερμοκηπίου με κυριότερο το διοξείδιο του άνθρακα (σε πλανητικό επίπεδο) [7].
Βέβαια, οι αρνητικές επιπτώσεις από την κατασκευή ενός κτιρίου, (και η συνεπαγόμενη επέκταση του δομημένου έναντι του φυσικού περιβάλλοντος), δεν είναι δυνατόν να εξαλειφθούν πλήρως, είναι όμως πραγματικά μέσα στα πλαίσια των δυνατοτήτων μας να τις περιορίσουμε εξαιρετικά, αν δράσουμε με τον κατάλληλο σχεδιασμό και την κατάλληλη επιλογή ενεργειακών συστημάτων.
Ο άνθρωπος ζει σε ένα περιβάλλον, που αποτελεί σύνολο του φυσικού και του δομημένου περιβάλλοντος. Έχει λοιπόν χρέος να ελέγξει την επερχόμενη όσμωση μεταξύ των φυσικών ισορροπιών, προκειμένου να οδηγηθεί σε μια ασφαλή διέξοδο από τη σημερινή οικολογική κρίση.
Μόνη η βελτίωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των ενεργειακών λειτουργιών των κτιρίων, μολονότι ιδιαίτερα επιθυμητή, δεν επαρκεί για να επιλύσει το γενικότερο πρόβλημα της δυσλειτουργίας του αστικού χώρου. Απαιτούνται επιπροσθέτως επεμβάσεις, σε ευρύτερη κλίμακα και συνδυασμένες πολιτικές που να ανταποκρίνονται παράλληλα στο αίτημα της επάρκειας και της ποιότητας τόσο των ιδιωτικών όσο και των δημόσιων χώρων.
Βιοκλιματικό κτίριο ονομάζεται το κτίριο εκείνο που έχει σχεδιαστεί και κατασκευαστεί λαμβάνοντας υπόψη αξιοποιήσιμες κλιματικές παραμέτρους και λειτουργεί με χρήση παθητικών και ενεργητικών συστημάτων που καταναλώνουν ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές (ηλιακή, αιολική κλπ).
Βιοκλιματικό - Οικολογικό κτίριο είναι το κτίριο εκείνο που πληροί όλες τις βιοκλιματικές απαιτήσεις και παράλληλα δε δημιουργεί ρύπανση τόσο στο εσωτερικό όσο και στο εξωτερικό περιβάλλον κατά τη φάση της κατασκευής και της λειτουργίας του. Το βιοκλιματικό κτίριο:

- Μειώνει δραστικά το ενεργειακό κόστος λειτουργίας των κτιρίων. Η υψηλότερη επένδυση αποσβένεται σε λίγα χρόνια
- Εντάσσει αρμονικά το κτίριο στο περιβάλλον, χωρίς να δημιουργεί ρύπους (φυσικούς, οπτικούς) ή άλλες πιέσεις
- Δημιουργεί μια αποδοτική, οικονομική μονάδα στον σημαντικότερο κλάδο της οικονομίας: την οικιστική βιομηχανία

Στην Ελλάδα σήμερα, υπάρχουν περίπου 180 καταγεγραμμένες εφαρμογές βιοκλιματικών κτιρίων ή συγκροτημάτων, εκ των οποίων οι δύο αποτελούν ολόκληρα οικιστικά σύνολα [35]. Από αυτά ο μεγαλύτερος αριθμός των κτιρίων βρίσκεται στην περιοχή της Αττικής, (58 περιπτώσεις συμπεριλαμβανομένου και του Ηλιακού Χωριού), και στη Μακεδονία (41 περιπτώσεις κτιρίων). Με ένα μέσο αριθμό εφαρμογών, έχουν καταγραφεί βιοκλιματικά κτίρια στην υπόλοιπη Στερεά Ελλάδα (17), στην Κρήτη (17) και στην Πελοπόννησο (14) και μικρότερο στις υπόλοιπες περιοχές. Από τα ήδη καταγεγραμμένα κτίρια, το 74% αφορά κτίρια κατοικίας. Ακόμα όμως και αν κάποιο κτίριο δεν κατασκευάστηκε εξ αρχής με βιοκλιματικά – ενεργειακά κριτήρια, οι δυνατότητες εξοικονόμησης ενέργειας για τις διάφορες λειτουργίες του είναι μεγάλες καθώς τα περισσότερα κτίρια είναι ενεργειακά εξαρτημένα κυρίως από τα ορυκτά καύσιμα. Παράλληλα, από τις αρχές της δεκαετίας του 1980, άρχισαν να κατασκευάζονται υψηλά κτίρια, χωρίς να γίνουν εξειδικευμένες μελέτες εξοικονόμησης ενέργειας, οι οποίες θα λάμβαναν υπόψη το γεγονός, ότι με την αύξηση του ύψους του κτιρίου, η μέση ταχύτητα του ανέμου, λόγω δημιουργίας οριακού στρώματος, παρουσιάζει εκθετική αύξηση και συνεπώς συντελεί στην αύξηση των θερμικών απωλειών του κτιρίου κατά τη χειμερινή περίοδο. Προκειμένου να έχει κάποιος μια πρώτη εικόνα της κατάστασης αυτής, αρκεί να λάβει υπόψη τα ακόλουθα:

1.- Μόνο το 51% έχουν μόνωση εξωτερικών τοίχων, αφού μόνο το 6.7% χτίστηκε μετά το 1981, όπου άρχισε να ισχύει ο Κανονισμός Θερμομόνωσης, τα μειονεκτήματα του οποίου θα αναφέρουμε στο κεφάλαιο 3.
2.- Μόνο το 2,1% έχουν διπλά τζάμια ή τζάμια triplex.
3.- Μόνο το 30,4% έχουν μόνωση δώματος.
4.- Μόνο το 12,7% έχουν μόνωση pilotis.
5.- Μόνο το 1,5% έχουν μόνωση δαπέδου.
6.- Μόνο το 4,2% έχουν μόνωση σωληνώσεων στην εγκατάσταση θέρμανσης.

Στην Ελλάδα, ο κτιριακός τομέας, υπολογίζεται να είναι υπεύθυνος για το 40% περίπου της Ενεργειακής Κατανάλωσης. Στον πίνακα που ακολουθεί δίνεται συνοπτικά η ολική αλλά και η μερική κατανάλωση κτιρίων στην Ελλάδα, όπως καταγράφτηκε κατά τη διάρκεια εκτεταμένης έρευνας σε 1200 περίπου κτίρια σε όλη την Ελληνική επικράτεια, από την Ομάδα Φυσικής Κτιριακού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Αθηνών. Στα πλαίσια της ίδιας μελέτης, μελετήθηκε και η δυνατότητα εξοικονόμησης ενέργειας, για τη θέρμανση κτιρίων [46].

Τύπος Κτιρίου	Θέρμανση (k Wh/m ^{2})	Δροσισμός (k Wh/m ^{2})	Φωτισμός (k Wh/m ^{2})	Ηλεκτρικές Συσκευές	Σύνολο (k Wh/m ^{2})
Γραφεία	95	24	20	48	187
Εμπορικά	74	18	19	41	152
Σχολεία	66	2	16	8	92
Νοσοκομεία	299	3	52	53	407
Ξενοδοχεία	198	11	24	40	273

Εικ. 3 ενεργειακή κατανάλωση κτιρίων στην Ελλάδα πηγή [46]

Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται το ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας, μετά την εφαρμογή τεχνικών και συστημάτων εξοικονόμησης ενέργειας [35]:

Τύπος Κτιρίου	Ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας με επιπλέον μόνωση	Ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας με διπλά παράθυρα	Ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας με αύξηση του συστήματος θέρμανσης 10%
Γραφεία	17%	5%	9%
Εμπορικά	38%	4%	17%
Σχολεία	44%	6%	6%
Νοσοκομεία	37%	7%	15%
Ξενοδοχεία	48%	6%	13%

Εικ. 4 ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας μετά την εφαρμογή ανάλογων τεχνικών πηγή [35]

Η επισκευή και ανακαίνιση μιας πολυκατοικίας προσφέρει πολλές ευκαιρίες για συνδυασμένες επεμβάσεις εξοικονόμησης ενέργειας, η οποία μπορεί να γίνει με σωστή λειτουργία και συντήρηση των εγκαταστάσεων, με κατάλληλες επεμβάσεις στο κτίριο και με αντικατάσταση του παλαιού εξοπλισμού και των συσκευών.
Το δυναμικό για εξοικονόμηση θερμικής ενέργειας είναι:

- 21 – 42 % για θερμομόνωση εξωτερικών τοίχων.
- 10 – 30 % για τοποθέτηση θερμοστατικών βαλβίδων στο καλοριφέρ.
- 18% για αντικατάσταση του παλαιού λέβητα.
- 4 – 28% για θερμομόνωση δαπέδου κτιρίου.
- 7 – 18% για μείωση της διείσδυσης αέρα.
- 4 – 15% για διπλά τζάμια.
- 1 – 7% για θερμομόνωση οροφής.

Εικ. 5 αριθμός νεόδμητων βιοκλιματικών κτιρίων στο νότιο Αιγαίο πηγή [46]

Υπάρχουν δύο είδη εξοικονόμησης ενέργειας [37]:

1.- Η εξοικονόμηση συμπεριφοράς που προέρχεται από μεταβολές της συμπεριφοράς των τελικών καταναλωτών.
Διακρίνονται δύο κατηγορίες:
α) Μείωση της χρήσιμης ενέργειας που καταναλίσκεται ως τελικό προϊόν, (πχ μείωση της θερμοκρασίας των εσωτερικών χώρων) και β) Μείωση της ενέργειας που καταναλίσκεται ως ενδιάμεσο προϊόν, (πχ επιλογή θέρμανσης με φωταέριο και όχι με ηλεκτρικό ρεύμα).

2.- Η τεχνολογική εξοικονόμηση είναι εκείνη που προέρχεται από βελτιώσεις των ενεργειακών βαθμών απόδοσης των συστημάτων παραγωγής, μεταφοράς διανομής και αξιοποίησης της ενέργειας. Έτσι στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται τα κελύφη των κτηρίων, η βελτίωση του βαθμού απόδοσης βενζινοκινητήρων, καυστήρων και λοιπών συσκευών, η χρησιμοποίηση πλέον αξιόπιστων συστημάτων αυτοματισμού, η αλλαγή μεθόδων παραγωγικής διαδικασίας κλπ. Σε έκθεση του Διεθνούς Οργανισμού Ενέργειας (Δ.Ο.Ε) που γίνεται μια κριτική αξιολόγηση των προγραμμάτων εξοικονόμησης ενέργειας των 21 χωρών μελών του, υπάρχουν οι εξής διαπιστώσεις:
α) Μέσα στην περίοδο 1975 – 1985 οι χώρες του Δ.Ο.Ε πέτυχαν κατά μέσο όρο εξοικονόμηση ενέργειας της τάξης του 20%. Πρέπει βέβαια να σημειωθεί ότι το μέγεθος που μετράει εδώ ο Δ.Ο.Ε είναι η «ενεργειακή ένταση» και εκφράζει τη σχέση κατανάλωσης ενέργειας προς Α.Ε.Π.
β) Υπάρχουν ακόμη στις χώρες του Δ.Ο.Ε σοβαρά περιθώρια εξοικονόμησης ενέργειας που θα μπορούσαν να αποδώσουν μια περαιτέρω βελτίωση της «ενεργειακής έντασης» κατά 20% ή και περισσότερο, εφ' όσον υπάρξουν στο άμεσο μέλλον, σοβαρές τεχνολογικές εξελίξεις στον τομέα της εξοικονόμησης ενέργειας.
γ) Γενικά, οι επενδύσεις για εξοικονόμηση ενέργειας, έχουν συνήθως πολύ καλύτερη απόδοση από τις αντίστοιχες επενδύσεις για παραγωγή ενέργειας.
δ) Οι διεθνείς τιμές ενέργειας είναι πολλές φορές κακός σύμβουλος για τη λήψη αποφάσεων, γιατί δεν δίνουν σωστά μηνύματα στους καταναλωτές.
Η τόνωση της εφαρμοσμένης έρευνας με σκοπό την ανάπτυξη ελληνικής ενεργειακής τεχνολογίας είναι από τις πιο μακροπρόθεσμες αλλά και τις πιο αποτελεσματικές πρωτοβουλίες ενός κρατικού προγράμματος.
Είναι πάρα πολύ οι τομείς που θα μπορούσαμε να προωθήσουμε ως χώρα γιατί είμαστε πολύ πίσω σε τεχνολογίες που αφορούν εξοικονόμηση ενέργειας τις οποίες στο μεγαλύτερο μέρος εισάγουμε από το εξωτερικό. Με ένα επιστημονικό πρόγραμμα εξοικονόμησης ενέργειας θα μπορούσαμε μέχρι το 2050 να εξοικονομήσουμε ενέργεια με μικρές σχετικά επενδύσεις ισοδύναμη με αυτή που θα μας έδιναν δύο πυρηνικοί σταθμοί των 600 MW ο καθένας συνολικού κόστους άνω των 4 δις $. [50]. Αρχίζουμε από απλές και μικρού κόστους επεμβάσεις και ρυθμίσεις, που μπορεί να αποδώσουν σημαντικά οφέλη. Για τη σωστή επιλογή εκτεταμένων
επεμβάσεων εξοικονόμησης ενέργειας, θα πρέπει να προηγηθεί εξειδικευμένη μελέτη και να αξιολογηθούν οι επεμβάσεις ιεραρχώντας τις, εν σχέσει με την αποτελεσματικότητα τους καθώς επίσης και με την οικονομική τους βιωσιμότητα.
Ο Ενεργειακός Βιοκλιματικός Σχεδιασμός όμως δεν επιτάσσεται μόνο από την ανάγκη για απλή εξοικονόμηση ενέργειας και βελτιστοποίηση των ενεργειακών κερδών.

Η Βιοκλιματική Αρχιτεκτονική δεν έγκειται μόνο στην αντιμετώπιση υψηλών λογαριασμών ρεύματος και λοιπών ενεργειακών απαιτήσεων, είναι μια Αρχιτεκτονική προορισμένη να εξυπηρετήσει ανησυχίες και οράματα για ένα καλύτερο μέλλον. Το ζήτημα δεν είναι μόνο η οικονομικότερη και πιο άνετη διαβίωση, αλλά σε τελική ανάλυση, αυτή καθ' αυτή η ανάγκη για επιβίωση του είδους εν όψει και της υπάρχουσας οικολογικής κρίσης [47].

1.7.2 Γενικές Κατηγορίες Βιοκλιματικών Συστημάτων

Η αξιοποιήσιμη ηλιακή ενέργεια, δεν είναι μόνο η ακτινοβολία, αλλά και η θερμότητα που βρίσκεται στον αέρα ή αποθηκεύεται στο έδαφος και στο νερό και που οφείλεται άμεσα ή έμμεσα στην ηλιακή ακτινοβολία.
Στα «ενεργητικά» συστήματα, η ακτινοβολία συγκεντρώνεται με τη βοήθεια συλλεκτών, ενώ η θερμότητα του αέρα του νερού και του εδάφους με αντλίες.
Ο όρος «παθητικό σύστημα», υποδηλώνει απλή τεχνολογία και σημαίνει εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας που υπάρχει εν δυνάμει στο συγκεκριμένο τόπο, χωρίς κατανάλωση άλλης μορφής ενέργειας και χωρίς ιδιαίτερο μηχανολογικό εξοπλισμό.
Τα παθητικά συστήματα αξιοποίησης ενέργειας, στοχεύουν στην εκμετάλλευση της ενέργειας που υπάρχει διάχυτη στο περιβάλλον, με τη μορφή θερμότητας και που αποθηκεύεται στο σώμα του κτιρίου με ελάχιστη κατά το δυνατόν χρήση τεχνολογικών μέσων αλλά, κυρίως με συγκεκριμένη πρόβλεψη στον σχεδιασμό του.

Είναι επομένως οι αρχιτεκτονικές συνιστώσες που επιτρέπουν την βέλτιστη αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας. Έτσι η τελευταία, εισέρχεται από τα παράθυρα, τους φωταγωγούς ή τους φεγγίτες και στη συνέχεια απορροφάται από τις εσωτερικές επιφάνειες.
Η χρήση των παθητικών συστημάτων εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας στα βιοκλιματικά κτίρια στην Ελλάδα, αξιοποιείται κατά τη χειμερινή περίοδο κυρίως για εξοικονόμηση ενέργειας και βελτίωση των συνθηκών άνεσης, ενώ για τη θερινή περίοδο κυρίως για την εξασφάλιση θερμικής άνεσης (αφού αφορά κατά πλειοψηφία μη κλιματιζόμενα κτίρια), μέσω απλών μεθόδων και συστημάτων φυσικού δροσισμού.
Η χρήση των παθητικών συστημάτων εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας, θέτει όμως ορισμένους περιορισμούς στο σχεδιασμό των κτιρίων.
Συγκεκριμένα το κτίριο θα πρέπει να είναι ακριβώς προσανατολισμένο προς το Νότο και η εσωτερική του διαρρύθμιση να είναι κατάλληλη, ώστε να ευνοείται η ευχερής μετάδοση της συλλεγμένης και αποθηκευόμενης ηλιακής ενέργειας.
Αντιθέτως, στα ενεργητικά συστήματα δεν είναι υποχρεωτικοί οι παραπάνω περιορισμοί, επειδή οι ηλιακοί συλλέκτες ανεξαρτήτως του είδους τους, μπορούν να τοποθετηθούν στην οροφή, να συναρμολογηθούν στους τοίχους, ή ακόμα και να εγκατασταθούν μακριά από το κτίριο.
Επίσης, μπορούμε να έχουμε και συνδυασμό των δύο παραπάνω συστημάτων, δηλαδή τα λεγόμενα «Υβριδικά Συστήματα».
Στα εν λόγω συστήματα, η «παθητική» συγκέντρωση της θερμότητας συνδυάζεται με κάποια τεχνολογικά μέσα δανεισμένα από τα ενεργητικά βιοκλιματικά συστήματα (π.χ. ανεμιστήρες κλπ).

1.7.3 Κατηγορίες ενεργητικών ηλιακών συστημάτων

Η ταξινόμησή τους κατά ISO/DIS 9488 είναι η ακόλουθη:

Α. Αυτόνομα συστήματα, χωρίς βοηθητική θερμαντική πηγή.
Β. Συστήματα προθέρμανσης. Χρησιμοποιούνται για την προθέρμανση νερού και στη συνέχεια τροφοδοτούν άλλα συμβατικά συστήματα θέρμανσης.
Γ. Υβριδικά συστήματα. Χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό ηλιακά και συμβατικά συστήματα, έτσι ώστε να καλύπτουν τις θερμαντικές ανάγκες ανεξάρτητα από τη διαθεσιμότητα της ηλιακής ενέργειας.
Όλα τα παραπάνω συστήματα κατασκευάζονται σε ποικιλία μεγεθών, ώστε να καλύπτουν όχι μόνο τις ανάγκες ενός μικρού κτιρίου, αλλά και τις ανάγκες ενός ολόκληρου οικισμού.
Τα σημαντικότερα όμως προβλήματα που εμποδίζουν την ευρεία χρήση των ενεργητικών ηλιακών συστημάτων είναι τα ακόλουθα:

- Ο σκιασμός των ηλιακών συλλεκτών από τα γειτονικά κτίρια.
- Ο προσανατολισμός και το πλάτος των δρόμων
- Ο τρόπος κατασκευής των κτιρίων και η διαθεσιμότητα του χώρου για την εγκατάσταση των ενεργητικών ηλιακών συστημάτων.
- Η ρύπανση του αέρα που προκαλεί επικαθήσεις στα καλύμματα των συλλεκτών.
- Η πυκνότητα της δόμησης.

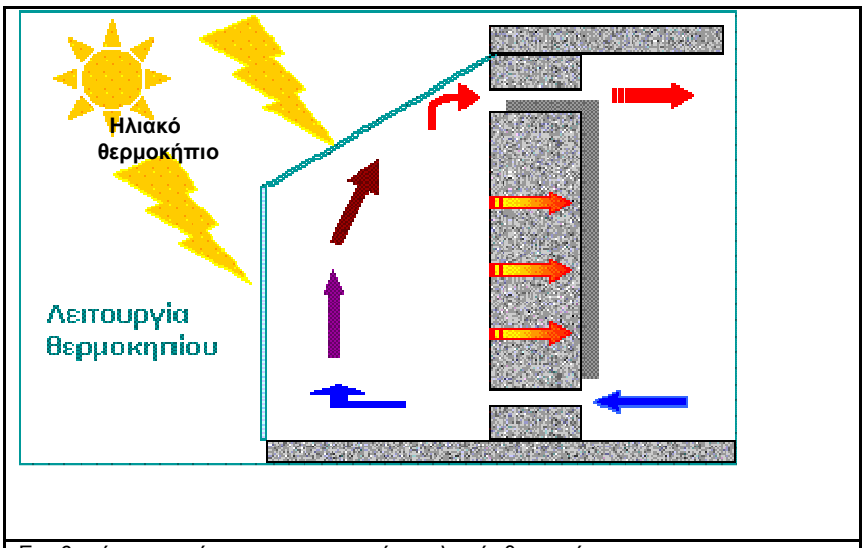
Έτσι τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα είναι ευρέως διαδεδομένα, κυρίως σε κτίρια του ημιαστικού και του αγροτικού περιβάλλοντος, ιδιαιτέρως σε χώρες με μεγάλη ηλιοφάνεια, όπως είναι και η Ελλάδα.

1.7.4 Κατηγορίες παθητικών ηλιακών συστημάτων

Τα παθητικά ηλιακά συστήματα, ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας τους, από θερμική άποψη μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις μεγάλες ενότητες:
Α. Σε συστήματα με άμεσο ή απ' ευθείας ηλιακό κέρδος.
Β. Σε συστήματα με έμμεσο ηλιακό κέρδος, τα οποία με τη σειρά τους διακρίνονται:

1.- Σε συστήματα που χρησιμοποιούν τους τοίχους «συλλέκτες» ή θερμικής αποθήκευσης (π.χ. τοίχος Trombe – Mitchell).
2.- Σε συστήματα πουν χρησιμοποιούν τα θερμοκήπια, τα προσαρτημένα συνήθως στη νότια πλευρά του τοίχου.

Γ. Σε παθητικά συστήματα δροσισμού, που βασίζονται στην απαγωγή της πλεονάζουσας θερμότητας σε περιβαλλοντικές δεξαμενές, όπως ο αέρας, το νερό και το έδαφος.
Υπάρχει όμως και μια τέταρτη κατηγορία, σύμφωνα με κάποιους συγγραφείς τα συστήματα απομονωμένου ηλιακού κέρδους, όπου η συλλέκτρια επιφάνεια της ηλιακής ενέργειας διαχωρίζεται από το χώρο της θερμικής αποθήκευσης. Για τη μεταφορά της θερμότητας, χρησιμοποιούνται κάποια απλά μηχανικά μέσα, όπως ανεμιστήρες. Τα μικτά αυτά συστήματα λέγονται και υβριδικά και βασίζονται στη φυσική ροή κάποιου υγρού, αέρα ή νερού. Η κατηγορία όμως αυτή χωρίς να στερείται πολλών αξιόλογων πλεονεκτημάτων δεν θεωρείται αμιγώς παθητικό σύστημα.



Εικ. 6 τμήμα κατοικίας με προσαρτημένο ηλιακό θερμοκήπιο

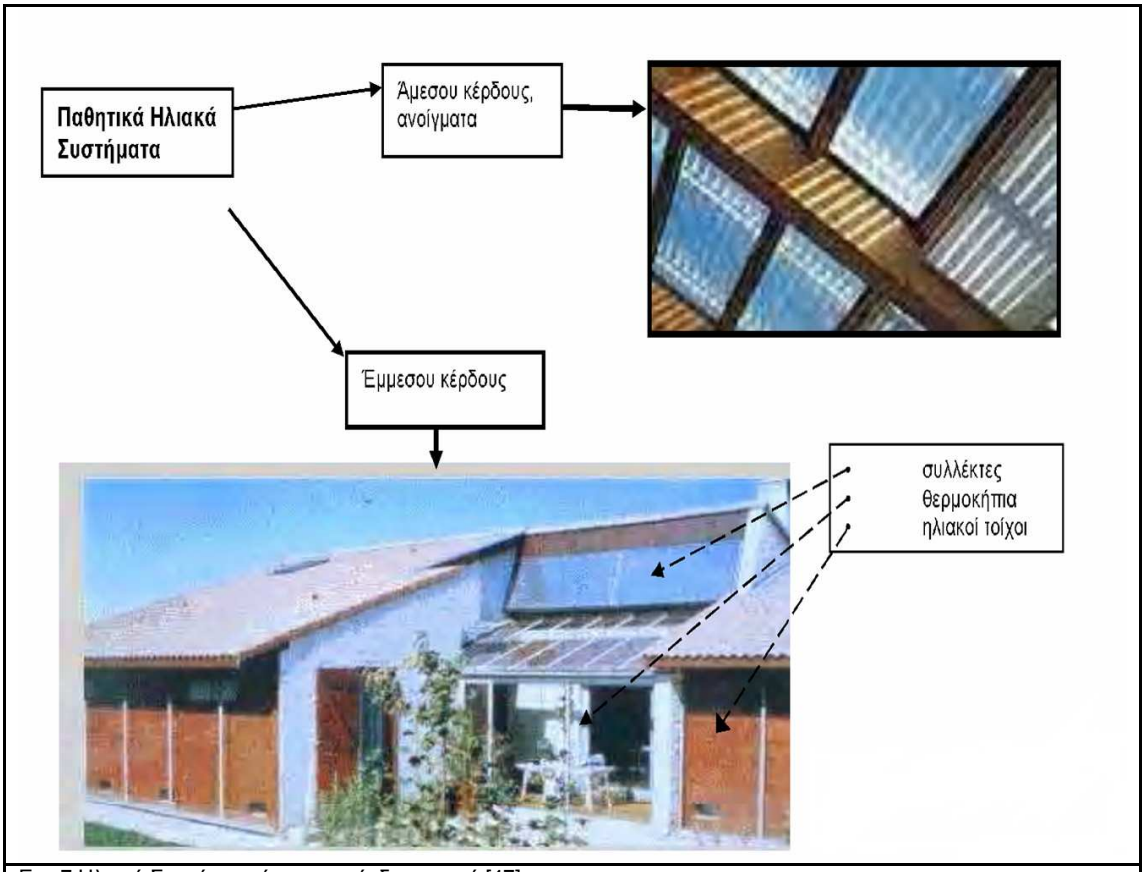
1.7.5 Σύγκριση ενεργητικών & παθητικών ηλιακών συστημάτων

Οι μέθοδοι παθητικής αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας, αγνοούνται συνήθως από τις μεγάλες εταιρείες οι οποίες προωθούν πολυπλοκότερα συστήματα θέρμανσης με ηλιακή ενέργεια (ενεργητικά συστήματα).
Ο συνηθέστερος λόγος βέβαια, είναι οικονομικός. τα παθητικά συστήματα είναι έτσι προσανατολισμένα, ώστε να ενσωματωθούν απ' ευθείας στο κέλυφος του κτιρίου. Κατά την ανέγερση ενός κτιρίου, το κόστος για τα παθητικά συστήματα θέρμανσης, είναι πάντα μικρότερο, διότι οι απαραίτητες εργασίες εντάσσονται στο γενικότερο πλαίσιο των οικοδομικών εργασιών που απαιτούνται για την αποπεράτωση του κτιρίου.
Εκτός αυτού, ο χρήστης μιας κατοικίας που έχει συνηθίσει την εύκολη λύση των ενεργητικών συστημάτων που έχουν συμβατική λειτουργία σε χειρισμούς και ρυθμίσεις, πιθανότατα αναγκάζεται να αναθεωρήσει κάποια στοιχεία του τρόπου ζωής του. Οι κάτοικοι σπιτιών με παθητικά συστήματα, θα πρέπει να είναι περισσότερο συνδεδεμένοι με την κατοικία τους. Με την πάροδο του χρόνου, απολαμβάνουν όλο και πιο πολύ τα πλεονεκτήματα του συστήματος αυτού, ενώ ταυτόχρονα, αποκτούν επίγνωση της δυνατότητας αξιοποίησης των στοιχείων της ίδιας της φύσης.
Μιλώντας με πιο απλά λόγια, οι κάτοικοι γνωρίζουν τα στοιχεία του συστήματος και τα χειρίζονται, μαθαίνουν πότε πρέπει να ανοίγουν και να κλείνουν τις πόρτες, τους εξαεριστήρες κλπ, να τοποθετούν αντανακλαστικά στοιχεία, να κλείνουν κουρτίνες ή στόρια, μαθαίνουν να ανέχονται τις σχετικά μεγάλες θερμοκρασιακές διαφορές κλπ. Αλλά το να ζει κανείς πιο κοντά στους ρυθμούς της φύσης και να στρέφεται προς τον ήλιο είναι μια θετική γνώση και όχι μια αρνητική στάση απέναντι στο πρόβλημα της υπερκατανάλωσης ενέργειας.

1.7.6 Τα υπέρ και τα κατά των παθητικών ηλιακών συστημάτων

Η ηλιακή ενέργεια έχει δύο σημαντικά μειονεκτήματα και τέσσερα εξίσου σημαντικά πλεονεκτήματα. [37]
Τα μειονεκτήματα είναι ότι: α) Είναι διάχυτη σε όλη την επιφάνεια της γης και για να συγκεντρωθούν αξιόλογες ποσότητες χρειάζονται δαπανηρές εγκαταστάσεις και β) δεν είναι πάντα διαθέσιμη όταν χρειάζεται.
Τα πλεονεκτήματα είναι ότι:

α) Είναι απεριόριστη σε ποσότητα, β) έχει μηδαμινά έξοδα λειτουργίας, γ) δεν υπάρχει κίνδυνος μόλυνσης από την εκμετάλλευσή της και δ) είναι ισοκατανεμημένη σε χώρες με το ίδιο γεωγραφικό πλάτος. Το ποσόν της εκπεμπομένης ηλιακής ενέργειας εκτιμάται περίπου σε $1{,}5 \cdot 10^{18} KWH/\acute{\varepsilon}\tau o\varsigma$, και είναι 25.000 φορές μεγαλύτερο από τη συνολική παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας που ανέρχεται σε $60 \cdot 10^{12} KWH/\acute{\varepsilon}\tau o\varsigma$. Από το συνολικό ποσό της εκπεμπομένης ηλιακής ενέργειας ένα ποσοστό 30% περίπου αντανακλάται κατευθείαν και μένει στο διάστημα, ένα 47% πηγαίνει για θέρμανση της γης, της θάλασσας και της ατμόσφαιρας του πλανήτη μας και το υπόλοιπο 23% χρησιμεύει για τον υδρολογικό κύκλο. Είναι πάντως βέβαιο πως η ηλιακή ενέργεια έχει ένα «κόστος συλλογής», που καθορίζει τα όρια εφαρμογής της, με τα σημερινά δεδομένα κόστους θερμικής ενέργειας και προδιαγράφει το μελλοντικό πεδίο εφαρμογής της.



Εικ. 7 Ηλιακά Συστήματα έμμεσου κέρδους πηγή [47]

Χαρακτηριστικά των αειφόρων κτιρίων:

1.- Ελαχιστοποίηση κατανάλωσης ενέργειας
2.- Χρησιμοποίηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας
3.- Ελαχιστοποίηση κατανάλωσης νερού
4.- Επαναχρησιμοποίηση ανακυκλώσιμων υλικών
5.- χρησιμοποίηση υλικών που δεν εκπέμπουν βλαπτικά αέρια
6.- περιορισμός του όγκου αποβλήτων κατά την κατασκευή
7.- περιορισμός της υποβάθμισης της γύρω περιοχής
8.- χρησιμοποίηση ντόπιων υλικών
9. Αποτίμηση του κύκλου ζωής των υλικών

1.8 Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

Μετά το 1970 και την πρώτη πετρελαϊκή κρίση, ο κίνδυνος αισθητής μείωσης των πετρελαϊκών κοιτασμάτων σε συνάρτηση με την περιβαλλοντική ευαισθησία στον ορατό πλέον κίνδυνο για σημαντική ρύπανση και υποβάθμιση του περιβάλλοντος, είχε ως αποτέλεσμα την εκδήλωση έντονου ενδιαφέροντος για την εφαρμογή ήπιων μορφών ενέργειας, οι οποίες είναι ως επί το πλείστον ανεξάντλητες. Οι πηγές αυτές είναι η ηλιακή ενέργεια που ήδη την έχουμε αναπτύξει, η αιολική ενέργεια, που θα αναφερθούμε εκτενέστερα παρακάτω, η γεωθερμία, η βιομάζα[1], η υδραυλική ενέργεια κ.α.

Τα κύρια πλεονεκτήματα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι τα παρακάτω [50]:

- ✓ Είναι πρακτικά ανεξάντλητες πηγές ενέργειας και συμβάλουν στη μείωση της εξάρτησης από εξαντλήσιμους συμβατικούς ενεργειακούς πόρους.
- ✓ Είναι εγχώριες πηγές ενέργειας και συνεισφέρουν στην ενίσχυση της ενεργειακής ανεξαρτητοποίησης και της ασφάλειας του ενεργειακού ανεφοδιασμού σε εθνικό επίπεδο.
- ✓ Είναι διάσπαρτες γεωγραφικά και οδηγούν στην αποκέντρωση του ενεργειακού συστήματος, μειώνοντας τις απώλειες από τη μεταφορά ενέργειας και συμβάλλοντας στην ανάπτυξη της περιφέρειας.
- ✓ Προσφέρουν τη δυνατότητας ορθολογικής αξιοποίησης των ενεργειακών πόρων, καλύπτοντας ένα ευρύ φάσμα ενεργειακών αναγκών των χρηστών.

[1] Βιομάζα, είναι ό,τι άμεσα ή έμμεσα προέρχεται από το φυτικό κόσμο. Ειδικότερα βιομάζα είναι: υλικά, υποπροϊόντα και κατάλοιπα της φυτικής ζωής, δασικής και αλιευτικής παραγωγής, τα υποπροϊόντα από τη βιομηχανική επεξεργασία αυτών τα αστικά λύματα και σκουπίδια καθώς και οι φυσικές ύλες από οικοσυστήματα ή ενεργειακές καλλιέργειες [32]

- ✓ Έχουν συνήθως χαμηλό λειτουργικό κόστος, που δεν επηρεάζονται από τις διακυμάνσεις της διεθνούς οικονομίας και ειδικότερα των τιμών των συμβατικών καυσίμων.
- ✓ Οι εγκαταστάσεις εκμετάλλευσής τους έχουν συνήθως μικρή διάρκεια κατασκευής, επιτρέποντας έτσι τη γρήγορη ανταπόκριση της προσφοράς ενέργειας σε σχέση με τη ζήτηση.
- ✓ Η παροχή τους είναι δεδομένη και δεν μπορεί να ελεγχθεί από πολιτικά και οικονομικά συμφέροντα.
- ✓ Είναι φιλικές προς τον άνθρωπο και το περιβάλλον και η αξιοποίησή τους είναι γενικά αποδεκτή από το κοινό.

Τα προβλήματα που αποτελούν τροχοπέδη στη γρήγορη προώθηση των ΑΠΕ στη χώρα μας είναι κυρίως τα ακόλουθα:

- ➢ Η έλλειψη συνολικού και ολοκληρωμένου ενεργειακού σχεδιασμού και μιας στρατηγικής για τις ΑΠΕ.
- ➢ Η έλλειψη συνδυασμένων δράσεων (έρευνας και ανάπτυξης, εφαρμογής, αξιολόγησης, διάδοσης).
- ➢ Το θεωρούμενο από πολλούς ως υψηλό, κόστος της παραγωγής ενέργειας από ΑΠΕ.
- ➢ Η έλλειψη ανταγωνισμού στο χώρο της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και το μονοπωλιακό καθεστώς.
- ➢ Το γεγονός ότι οι συμβατικές μορφές ενέργειας, (πετρέλαιο και φυσικό αέριο) θεωρείται πως έχουν χαμηλό κόστος, λόγω των παραδοσιακών τεχνολογιών οι οποίες θεωρούνται εσφαλμένα ως αξιόπιστες.
- ➢ Η επιστημονική και τεχνολογική πρόοδος στον τομέα τον ΑΠΕ τα τελευταία χρόνια, δεν είναι γνωστή στο ευρύ κοινό, λόγω μικρής προβολής της από τα ΜΜΕ.
- ➢ Τα διαδικαστικά και χρονοβόρα προβλήματα που αντιμετωπίζουν οι επενδυτές ΑΠΕ, από την έκδοση άδειας εγκατάστασης μέχρι την έκδοση άδειας λειτουργίας.
- ➢ Η έλλειψη «ενεργειακής συνείδησης» σε όλα τα επίπεδα.

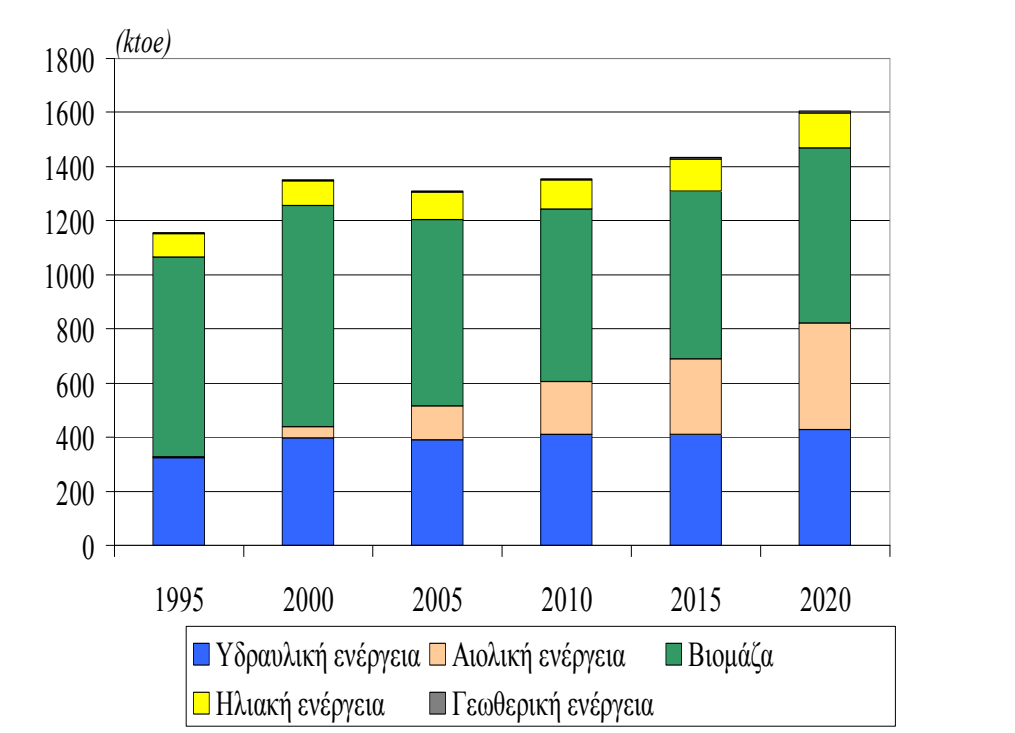
Η αντιμετώπιση των παραπάνω προβλημάτων, προϋποθέτει έναν ολοκληρωμένο σχεδιασμό στρατηγικής και συντονισμένες δράσεις σε όλα τα επίπεδα όπως:

- Συντονισμό δραστηριοτήτων μεταξύ των εμπλεκομένων με την προώθηση των ΑΠΕ φορέων και των εργαλείων προώθησης, (νομοθετικά, κανονιστικά μέτρα, οικονομικά κίνητρα, επιχειρησιακά προγράμματα κτλ), ώστε κάθε φορέας να εκτελεί έργο στα πλαίσια των αρμοδιοτήτων του και να παρέχεται η δυνατότητα αξιοποίησης των αποτελεσμάτων της κάθε δράσης.
- Προώθηση του θεσμικού πλαισίου για την οργάνωση και λειτουργία της χρηματοδότησης από τρίτους και προώθηση εταιριών ενεργειακών υπηρεσιών (ESCO). Έτσι, αμβλύνονται τα εμπόδια αρχικής επένδυσης με τον επιμερισμό του οικονομικού κινδύνου, ανάμεσα στον επενδυτή και σε έναν τρίτο φορέα χρηματοδότη.
- Λήψη μέτρων ενίσχυσης της αξιοπιστίας των εφαρμογών που έχουν υλοποιηθεί (ανάπτυξη προτύπων κανονισμών, ενεργειακή επιθεώρηση, μέτρηση ενεργειακής απόδοσης κτλ).
- Καταγραφή των περιβαλλοντικών επιπτώσεων τόσο κατά την κατασκευή όσο και κατά τη λειτουργία κάθε μονάδας ΑΠΕ.
- Ενθάρρυνση και ενίσχυση της εγχώριας βιομηχανίας για παραγωγή συστημάτων ΑΠΕ, με προφανή θετικά πολλαπλασιαστικά αποτελέσματα για την Εθνική οικονομία, συμπεριλαμβανομένης και της δημιουργίας πολλών νέων θέσεων εργασίας.

Το **Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ)** είναι το Εθνικό Κέντρο για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ), την Ορθολογική Χρήση Ενέργειας (ΟΧΕ) & την Εξοικονόμηση Ενέργειας (ΕΕ). Με το Νόμο 2244/94, ("Ρύθμισης θεμάτων ηλεκτροπαραγωγής από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας"), και το Νόμο 2702/99 το ΚΑΠΕ ορίστηκε ως Εθνικό Συντονιστικό Κέντρο στους τομείς της δραστηριότητάς του.
Το ΚΑΠΕ ιδρύθηκε το Σεπτέμβριο του 1987, είναι ΝΠΙΔ, εποπτεύεται από το ΥΠΑΝ - ΓΓΕΤ, και έχει οικονομική και διοικητική αυτοτέλεια. Κύριος σκοπός του είναι η προώθηση των εφαρμογών ΑΠΕ/ΟΧΕ/ΕΕ σε εθνικό και διεθνές επίπεδο καθώς και η κάθε είδους υποστήριξη δραστηριοτήτων στους παραπάνω τομείς συνυπολογίζοντας τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις καθώς επίσης και ανάπτυξη δραστηριοτήτων για το δομημένο περιβάλλον σε θέματα:

- Βιοκλιματικού και ενεργειακού σχεδιασμού κτιρίων και περιβάλλοντα χώρου
- Ανάπτυξης ενεργειακά αποδοτικών τεχνολογιών και ένταξης συστημάτων Α.Π.Ε στο δομημένο περιβάλλον
- Ενεργειακής πολιτικής για τη βελτίωση του εθνικού θεσμικού πλαισίου και την εναρμόνισή του με τις νέες κατευθύνσεις της Ε.Ε.
- Ενημέρωσης και εξοικείωσης των πολιτών/χρηστών σε θέματα ΑΠΕ, ΟΧΕ και ΕΞ.Ε.
- Ενημέρωσης, Κινητοποίησης και Υποστήριξης της Τοπικής Αυτοδιοίκησης, του Ιδιωτικού Τομέα και της Βιομηχανίας σε θέματα Α.Π.Ε., Ο.Χ.Ε. και ΕΞ.Ε.

Σύμφωνα με τα πλέον πρόσφατα σενάρια αναμενόμενης εξέλιξης στο ζήτημα της εγχώριας πρωτογενούς ενέργειας από ΑΠΕ, για τη χρονική περίοδο 1995 - 2020 έχει προκύψει το παρακάτω διάγραμμα σε ktoe/έτος. Θυμίζουμε ότι η χρησιμοποιούμενη στη βιομηχανία μονάδα **(ktoe)** σημαίνει: Καθαρή παραγωγή ηλεκτρισμού ανά καύσιμο.



Εικ.8 παραγωγή πρωτογενούς ενέργειας από ΑΠΕ στην Ελλάδα πηγή [66]

Επειδή το αντικείμενο της συγκεκριμένης διατριβής αφορά στη συμβολή του ανέμου στο βιοκλιματικό σχεδιασμό, θα αναφερθούμε παρακάτω εκτενώς στην αιολική ενέργεια.

1.9 Η αιολική ενέργεια

Όπως ξέρουμε ο άνεμος είναι μια αέναη και ανεξάντλητη πηγή ενέργειας. Η αιολική ενέργεια έχει μια αξιοσημείωτη ανάπτυξη τα τελευταία χρόνια, το κόστος της είναι παραπλήσιο με τις συμβατικές μορφές ενέργειας και φορολογείται με 68.42 € / MWh ή 0.88 € / KW [33].
Ωστόσο, μέχρι στιγμής καλύπτει ένα πολύ μικρό ποσοστό της συνολικής παραγόμενης ενέργειας, καθώς η εγκατάσταση αιολικών πάρκων στα πλαίσια του δομημένου περιβάλλοντος είναι ακόμα σε εμβρυακή κατάσταση. Στις ΗΠΑ τα εγκατεστημένα αιολικά πάρκα έφτασαν τα 1700 MW περίπου, η συντριπτική πλειοψηφία των οποίων ήταν στην Καλιφόρνια. Ο στόχος της Αμερικανικής Ένωσης Αιολικής Ενέργειας είναι τα 12000 MW για το έτος 2010, η υλοποίηση του όμως δεν είναι δυνατόν να επιβεβαιωθεί εκ των προτέρων λόγω των συνθηκών έντονου ανταγωνισμού που επικρατούν στην Αμερικανική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας.
Στην Ε.Ε. η εγκατεστημένη ισχύς το τέλος του 1994, έφτασε τα 1450 MW, αλλά ήδη έχει ξεπεράσει τις ΗΠΑ, με πλέον δραστηριοποιημένη χώρα τη Δανία. Για το έτος 2000, η εγκατεστημένη ισχύς ήταν 4000 MW. Η χώρα μας με τα αιολικά πάρκα που εγκατέστησε η ΔΕΗ τα τελευταία χρόνια κατέχει την 5^{η} θέση στον Ευρωπαϊκό χώρο με 28.6 MW [16].
Όλες οι αναλύσεις όμως που βασίζονται στην κλασσική θεώρηση της σχέσης κόστους – οφέλους συστημάτων παραγωγής ενέργειας, έχουν από την αρχή μια μεροληπτική στάση υπέρ των συμβατικών και κατά των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ).
Σύμφωνα με πολλούς ειδικούς επιστήμονες, προκειμένου να επιτευχθεί ουσιαστική ανάπτυξη του αιολικού δυναμικού της χώρας μας, είναι αναγκαία η λήψη των ακόλουθων μέτρων:

✓ Οι επενδύσεις που αποσκοπούν στην ανάπτυξη αιολικής εγχώριας τεχνολογίας (π.χ. εργοστάσια κατασκευής Α/Γ, πτερυγίων, κιβωτίων κτλ), θα πρέπει να ενισχυθούν με ειδικά μέτρα ώστε να δοθούν κίνητρα για την μαζική ανάπτυξη θέσεων εργασίας.

✓ Η έρευνα, η εξέλιξη, καθώς και η ανάπτυξη των υποδομών υποστήριξης στο χώρο της αιολικής τεχνολογίας θα πρέπει να ενισχυθούν μέσω ερευνητικών προγραμμάτων από τις Ανώτατες Σχολές, και μάλιστα ιδιαίτερα αυτή την εποχή, που υπάρχει ήδη στην αγορά εργασίας ένας ικανός αριθμός επιστημονικού και τεχνολογικού ανθρωπίνου δυναμικού.

✓ Θα πρέπει να χρηματοδοτηθούν έργα ανάπτυξης των υποδομών πρόσβασης στα ενδιαφέροντα αιολικά πεδία, ώστε να πάει το δίκτυο στα σημεία που υπάρχει αιολικό δυναμικό και όχι το αιολικό δυναμικό στο δίκτυο, ακριβώς όπως έγινε και με τις μεγάλες μονάδες της ΔΕΗ (Πτολεμαΐδα, Μεγαλόπολη κτλ) για τις οποίες κατασκευάστηκε δίκτυο μεταφοράς και διανομής της παραγωγής τους.

1.9.1 Σύγκριση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της αιολικής ενέργειας με τις συμβατικές:

Σε αντίθεση με τις συμβατικές μορφές ενέργειας, οι ΑΠΕ και κατά κύριο λόγο η αιολική ενέργεια δεν προκαλούν καμιά σχεδόν επιβάρυνση στο περιβάλλον. Προβλήματα όπως η κατάληψη της γης οι διαταραχές στις τηλεπικοινωνίες και η ηχητική ρύπανση που συχνά αποδίδονται στις ανεμογεννήτριες είναι στην πραγματικότητα ασήμαντα σε σχέση με την περιβαλλοντική επιβάρυνση που επιβάλλει η χρήση θερμοηλεκτρικών ή πυρηνικών σταθμών.
Στην πραγματικότητα η έκταση που καταλαμβάνει ένα αιολικό πάρκο μερικών απόδοσης μερικών MW είναι πρακτικά ασήμαντη, αν μάλιστα ληφθεί υπόψη και το απομακρυσμένο των περιοχών που συνήθως εγκαθίστανται οι ανεμογεννήτριες. Επίσης, η τοπική επίδραση που έχουν τα περιστρεφόμενα πτερύγια μιας ανεμογεννήτριας πάνω στα ηλεκτρομαγνητικά κύματα εξαφανίζεται με τη χρήση συνθετικών πτερυγίων. Τέλος, μετρήσεις στάθμης θορύβου έδειξαν ότι ο προκαλούμενος θόρυβος από τη λειτουργία ανεμογεννήτριας μεσαίου μεγέθους σε απόσταση 50 μέτρων από την εγκατάσταση είναι όχι μόνο ανεκτός από τον άνθρωπο αλλά σαφώς μικρότερος από το θόρυβο που επιβάλλει η συνεχής κυκλοφορία οχημάτων σε κεντρική λεωφόρο και σε αντίστοιχη απόσταση [33]. Επίσης, στο θέμα του θορύβου, με τη σημερινή τεχνολογία των 500 kW, οι ανεμογεννήτριες εκπέμπουν περίπου 95 – 100 dB(A) και σε απόσταση 120 m 45 dB(A). Ο θόρυβος αυτός όμως αντιπροσωπεύει συνήθη επίπεδα θορύβου εντός των κατοικημένων περιοχών επομένως δεν υφίσταται θέμα αφού οι ανεμογεννήτριες εγκαθίστανται αρκετά μακριά από τις κατοικίες. Τέλος το ζήτημα αισθητικής που έχει τεθεί από πολλούς, είναι ένα ζήτημα καθαρά υποκειμενικό, αφού σε ένα μέρος του πληθυσμού αρέσει ο συνδυασμός των ανεμογεννητριών στο τοπίο ενώ σε άλλους όχι.
Με την πολιτική και οικονομική στήριξη λοιπόν της Ε.Ε., μπορούν να γίνουν σημαντικά βήματα για την ανάπτυξη των ΑΠΕ και στην προκειμένη περίπτωση της αιολικής ενέργειας. Στο Architect's Council of Europe (1998) με τίτλο «The Green Vitrouvious» δόθηκε ιδιαίτερη έμφαση στην αξιοποίηση του ανέμου ως συνιστώσα του οικολογικού σχεδιασμού κτιρίων και οικισμών [22]. Επίσης, θα πρέπει να αναφέρουμε ότι η πολιτική της Ε.Ε. είναι να γίνει χρηματοδότηση για την εγκατάσταση 10000 MW στις ευρωπαϊκές χώρες μέχρι το 2010.

1.9.2 Εφαρμογές της αιολικής ενέργειας

Η χώρα μας και κυρίως τα νησιά του Αιγαίου έχουν το υψηλότερο ίσως αιολικό δυναμικό στην Ευρώπη, με εξαίρεση τα νησιωτικά συμπλέγματα βορειοδυτικά της Σκωτίας. Εξάλλου, η ύπαρξη μεγάλου αριθμού μικρών οικισμών και μεμονωμένων αγροκτημάτων, παρέχει τη δυνατότητα εγκατάστασης ανεμογεννητριών μικρού και μεσαίου μεγέθους για την κάλυψη των ενεργειακών τους αναγκών. Η πρώτες μετρήσεις του αιολικού δυναμικού στην Ελλάδα, έγιναν από τη ΔΕΗ – ΔΕΜΕ το έτος 1975 και ο στόχος του Εθνικού Προγράμματος Ανάπτυξης Αιολικής Ενέργειας (ΚΑΠΕ,2000) ήταν μέχρι το έτος 2010 να παράγονται 6.46 TW h ανά έτος, με παράλληλη συμβολή στη μείωση των εκπομπών CO_2 κατά 8.4% ανά έτος. Η παραπάνω τιμή της αιολικής ενέργειας προέκυψε από μετρήσεις του ΚΑΠΕ και αφορά το σύνολο του γνωστού εκμεταλλεύσιμου αιολικού δυναμικού της χώρας. Τα στοιχεία φαίνονται αναλυτικά στον παρακάτω πίνακα:

Περιοχή	Αιολική Ενέργεια (TW h / έτος)
Κυκλάδες	3.15
Κρήτη	0.74
Εύβοια	0.96
Ηπειρωτική Χώρα	1.61
Σύνολο	6.46

Εικ. 9 αιολικό δυναμικό στην Ελλάδα Πηγή [34]

Για να επιτευχθεί αυτή η απόδοση, θα πρέπει να εγκατασταθούν περίπου 2400 MW ανεμογεννητριών και θεωρώντας μέσω μέγεθος 500 kW ανά ανεμογεννήτρια, χρειάζονται περίπου 4800 Α/Γ. Προφανώς ο αριθμός αυτός αντιπροσωπεύει μια μεγάλη αγορά και θα πρέπει η εγχώρια βιομηχανία με την κατάλληλη υποστήριξη να μπορέσει να καλύψει αυτές τις ανάγκες. Έχει γίνει η εκτίμηση ότι υπάρχει η δυνατότητα μέχρι το 2010, να καλυφθεί από την αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας το 15% των ηλεκτρικών ενεργειακών αναγκών της χώρας μας.
Σε πρώτη φάση η αιολική ενέργεια μπορεί να καλύψει σημαντικό τμήμα των αναγκών των νησιωτικών και παράκτιων περιοχών σε παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος.
Η ταυτόχρονη σύνδεση ανεμογεννητριών με τα ηλεκτρικά δίκτυα μεγάλου μεγέθους, μπορεί να εξασφαλίσει τη συνέχεια της ενεργειακής παροχής από τους θερμοηλεκτρικούς σταθμούς παραγωγής κατά τις περιόδους πνοής ασθενών ανέμων.

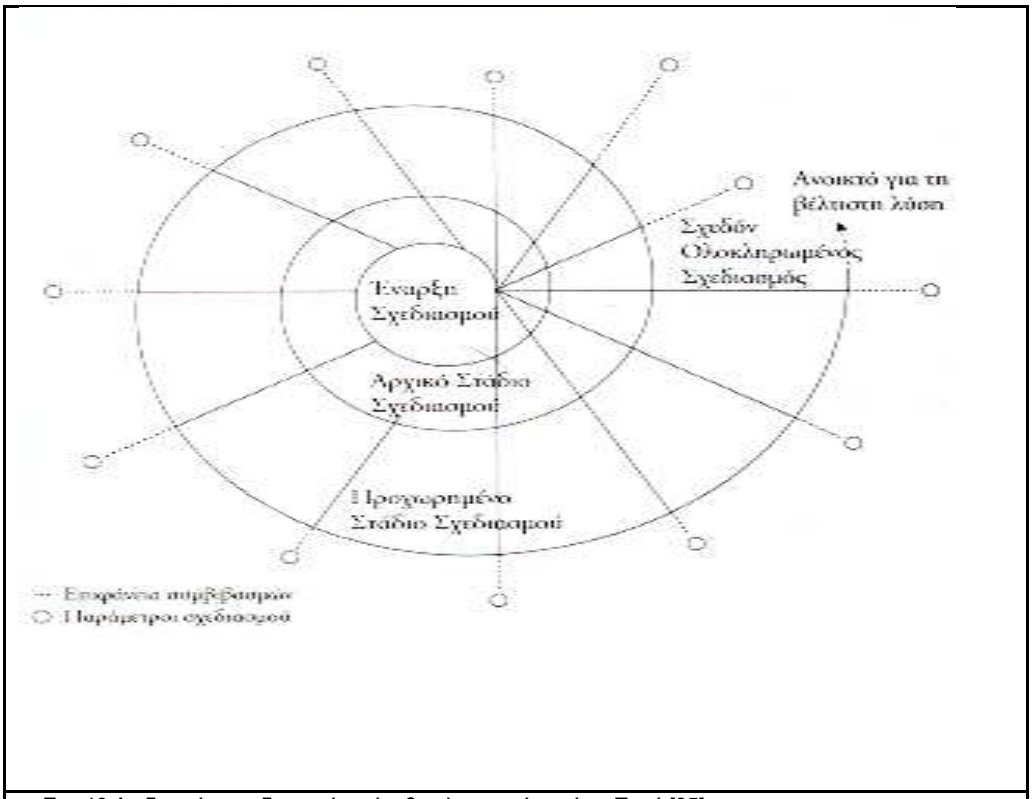
Η μεθοδολογία για την επιλογή της θέσης μιας ανεμογεννήτριας ή μιας ομάδας Α/Γ, συνοψίζεται στα ακόλουθα βήματα με σειρά προτεραιότητας:

- Καταγραφή για ικανοποιητικό χρονικό διάστημα του αιολικού δυναμικού της εν λόγω περιοχής.
- Καταγραφή της τοπογραφίας της περιοχής.
- Εξέταση των παραμέτρων των χρήσεων γης και του ιδιοκτησιακού καθεστώτος.
- Εξέταση της μορφολογίας του εδάφους.
- Εξέταση της απόστασης του αιολικού πάρκου από κατοικημένες περιοχές – υπάρχοντες δρόμοι.
- Πορεία υλοποίησης των αναγκαίων έργων υποδομής.
- Αρχική επιλογή Α/Γ και διερεύνηση των προβλημάτων κατά τη ζεύξη και απόζευξη.
- Οριστική επιλογή μεγέθους και αριθμού Α/Γ.
- Χωροταξική κατανομή των Α/Γ.

Κατά τη φάση λειτουργίας μιας Α/Γ, μέσω ενός μηχανικού, υδραυλικού ή ηλεκτρικού μετατροπέα (turn converter), η αιολική ενέργεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική - θερμική.
Η ετήσια παραγωγή αιολικής ενέργειας ανά KW ονομαστικής ισχύος είναι περίπου 3.000 KW ενώ σε αρκετά επιλεγμένα σημεία του Αιγαίου μπορεί να ξεπεράσει τις 5.000 KW ετησίως [33]. Επίσης, εξετάζεται και η υλοποίηση υβριδικών συστημάτων σε νησιώτικα συμπλέγματα, τα οποία θα αποτελούνται από συμβατικούς σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας καθώς επίσης και από συστήματα μετατροπής του αιολικού δυναμικού σε ηλεκτρική ενέργεια κατά το πλείστον.
Με την αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας μπορούμε να αποκομίσουμε ποικίλα οφέλη σε πολλούς τομείς όπως άντληση νερού, αφαλάτωση νερού, θαλάσσιες μεταφορές κλπ.
Η Ευρώπη στο τέλος του 2001 είχε εγκαταστημένη αιολική ισχύ 17319 MW. Η πρόσφατη έκθεση WIND FORCE 12 που εκπονήθηκε με συνεργασία της EWEA και της GREEN PEACE αναθεωρεί το σενάριο του 2000 και στοιχειοθετεί τη δυνατότητα τεχνική και οικονομική για κάλυψη του 12% της παγκόσμιας ηλεκτροπαραγωγής με αιολική ενέργεια κατά το 2020.
Η Ελλάδα θα πρέπει να καλύψει το 20,1 % της ηλεκτροπαραγωγής για το 2010 με ΑΠΕ και κυρίως με αιολική ενέργεια.
Σήμερα η εγκαταστημένη ισχύς είναι 276 MW και θα πρέπει να φτάσει τα 2500 MW το 2010.
Η ΕΛΕΤΑΕΝ θεωρεί ότι ο στόχος είναι δύσκολος αλλά εφικτός.
Οι τοπικές κοινωνίες κατά κανόνα μακριά από τα οικονομικά κέντρα θα απολαύσουν θέσεις εργασίας και σημαντικά έσοδα που προφανώς θα πρέπει να αξιοποιηθούν σε απαραίτητες υποδομές.
Οι ιδιωτικοί επενδυτές αλλά και η ΔΕΗ, με συνετή πολιτική θα μπορούσαν να αποκομίσουν σημαντικά οφέλη.

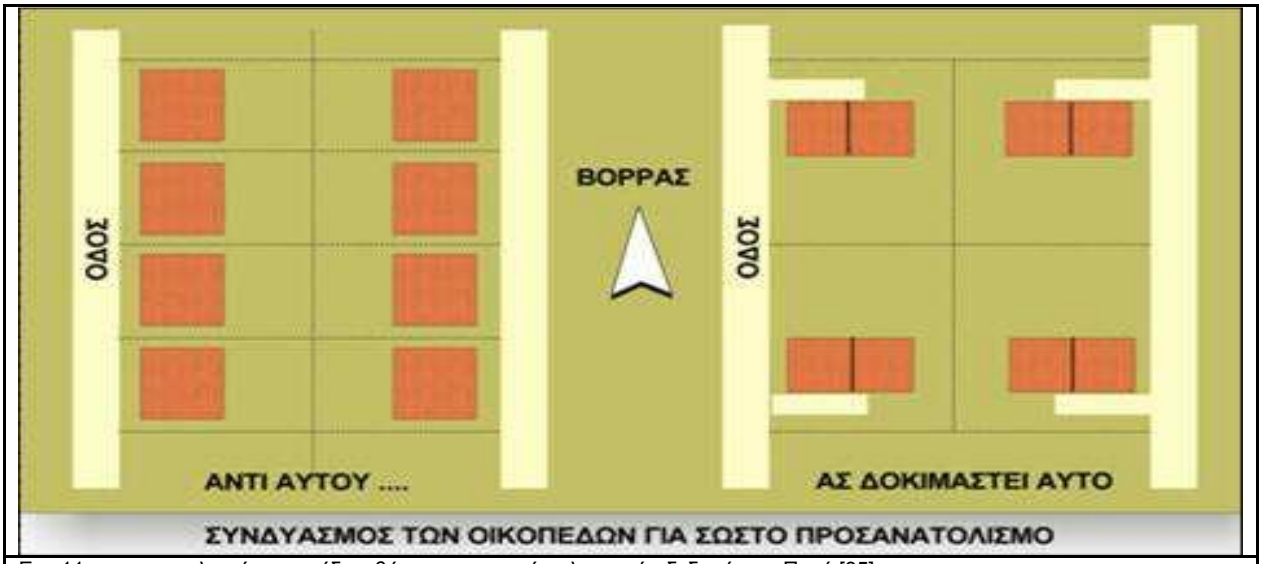
1.10 Διαδικασία σχεδιασμού ενός κτιρίου.

Για να επανέλθουμε όμως στα ζητήματα του κτιριακού σχεδιασμού, η εγκατάσταση μηχανικών συστημάτων θέρμανσης επιβαρύνει αρκετά τον προϋπολογισμό κατασκευής του κτιρίου. Με την προϋπόθεση ότι έχουν διασφαλιστεί όλα τα μέτρα για την μείωση θερμικών απωλειών και κυρίως ο νότιος προσανατολισμός και οι ισχυρές μονώσεις στο κέλυφος του κτιρίου, η κατασκευή ειδικών συστημάτων μπορεί να οδηγήσει σε υψηλή εκμετάλλευση των ηλιακών και αιολικών κερδών.
Για παράδειγμα, μια στέγη με νότιο προσανατολισμό και οι τοίχοι ενός κτιρίου 100 m^2, απορροφούν κάθε μέρα κατά μέσο όρο 3 KWH/ m^2.
Στο ανεγειρόμενο κτίριο, το κόστος για τα παθητικά συστήματα θέρμανσης είναι πάντα μικρότερο, διότι οι συγκεκριμένες εργασίες εντάσσονται στο γενικότερο πλαίσιο οικοδομικών εργασιών που απαιτούνται για την αποπεράτωση του έργου.
Σε ορισμένες περιπτώσεις όμως, η αυξημένη γυάλινη επιφάνεια, χαρακτηριστικό των παθητικών ηλιακών συστημάτων, λόγω των μεγάλων νυχτερινών απωλειών θερμότητας σε περιοχές με ψυχρές νύχτες, συντελεί στην αύξηση του φορτίου θέρμανσης του κτιρίου. Το φαινόμενο αυτό μπορεί να περιοριστεί με τη χρήση κατάλληλης μόνωσης.
Ένα άλλο μειονέκτημα των παθητικών συστημάτων είναι το γεγονός πως συχνά οδηγούν σε μεγάλες θερμοκρασιακές διαφορές εξαιτίας της αργής θέρμανσης του χώρου κάποια κρύα πρωινά, (γι' αυτό το λόγο κιόλας οι κατοικίες είναι εφοδιασμένες και με θερμαντικά σώματα), ή της υπερθέρμανσης σε μέρες μεγάλης ηλιοφάνειας. Τα προβλήματα αυτά αντιμετωπίζονται με την επιλογή κατάλληλης μόνωσης και με διευκόλυνση της κατανομής θερμότητας με χρήση ανεμιστήρων.
Κατά το σχεδιασμό ενός κτιρίου, θεμελιώδη σημασία έχει για το μελετητή η ιεράρχηση των στόχων απόδοσης [35]. Αυτό βέβαια πρέπει να γίνει σε αρχικό στάδιο. Μετά θα πρέπει να προσδιοριστούν οι βασικές διαδικασίες που σχετίζονται με τη χρήση ενέργειας και που μπορεί να βοηθήσουν στην επίτευξη των στόχων. Ο μελετητής χρειάζεται να λάβει υπόψη τις απαιτήσεις του κτιρίου για θέρμανση, ψύξη, αερισμό, φωτισμό κλπ. Προκειμένου να οδηγηθεί στη βέλτιστη λύση, αναθεωρεί και επαναπροσδιορίζει τα δεδομένα καθ' όλη τη διαδικασία του σχεδιασμού.



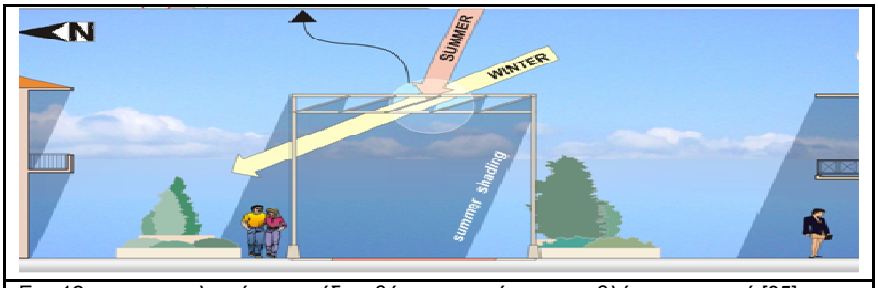
Εικ. 10 Διαδικασία σχεδιασμού ενός βιοκλιματικού κτιρίου, Πηγή [35]

Οι στόχοι αυτοί επηρεάζονται εξάλλου όχι μόνο από τις υποχρεωτικές απαιτήσεις αλλά και από άλλες εξωτερικές επιδράσεις που προέρχονται κυρίως από τους ίδιους τους ιδιοκτήτες της εν λόγω κατοικίας. Η σχετική σοβαρότητα κάθε στόχου για ένα κτίριο προσδιορίζεται κυρίως από το μελετητή. Όσο πιο υψηλοί είναι οι στόχοι σχεδιασμού ή όσο πιο σύνθετο είναι ένα κτίριο, τόσο απαιτείται πλέον εξειδικευμένη γνώση και πληροφορίες από ένα σύνολο διαφορετικών πεδίων που πρέπει να ενσωματώνονται στη μελέτη.
Σε μια περιβαλλοντική προσέγγιση, ο μελετητής έχει να επιλέξει τον τρόπο που θα χρησιμοποιήσει τις οικολογικές ευαίσθητες αρχές και να τις συνδυάσει με τους άλλους εξίσου σημαντικούς παράγοντες που αφορούν το κτίριο. Οι καλύτερες ευκαιρίες για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου, δίνονται στην αρχή που καθορίζει η τοποθεσία, ο προσανατολισμός του κτιρίου, η διαμόρφωση του εδάφους, και παθητικές ηλιακές στρατηγικές. Όσο ο μελετητής προχωρεί σε μεταγενέστερα στάδια σχεδιασμού, προκειμένου να βελτιστοποιήσει την εξοικονόμηση ενέργειας, τόσο απαιτούνται περισσότερο εξειδικευμένα συστήματα. Το πρώτο πράγμα που θα απασχολήσει τον μελετητή, είναι η ιδανική τοποθέτηση του κτιρίου στο οικόπεδο. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται τα κλιματικά δεδομένα και στοιχεία για τον ηλιασμό και αερισμό της συγκεκριμένης τοποθεσίας.



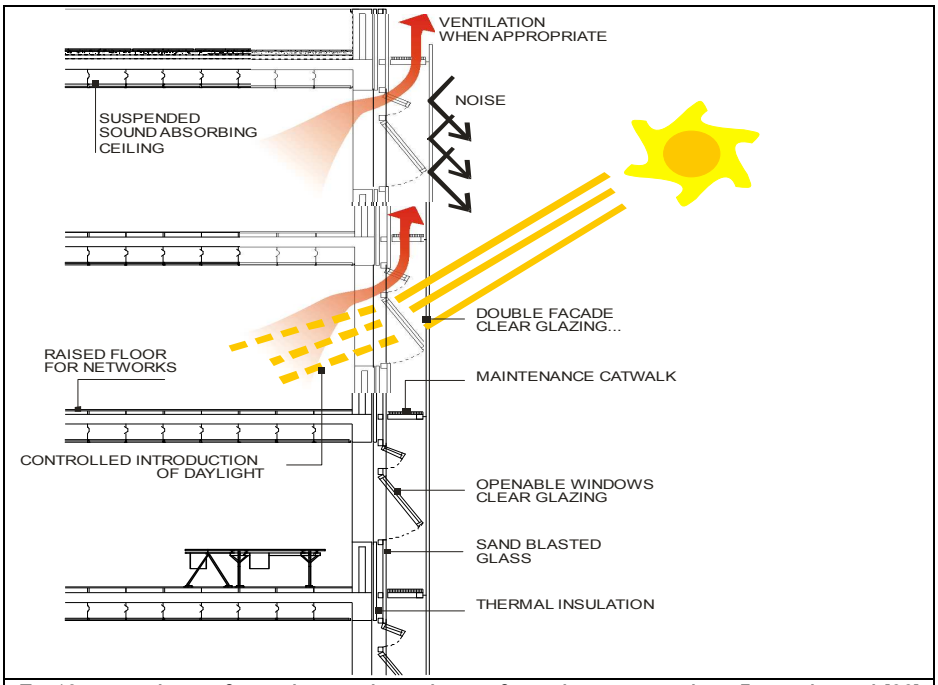
Εικ. 11 προσανατολισμός οικοπέδων βάσει των τοπικών κλιματικών δεδομένων, Πηγή [35]

Καλό είναι να λαμβάνονται η μελλοντική κατασκευή κτιρίων και η ανάπτυξη ή η φύτευση δέντρων στην τοποθεσία ή γύρω απ' αυτή.



Εικ. 12 προσανατολισμός οικοπέδων βάσει της υπάρχουσας βλάστησης πηγή [35]

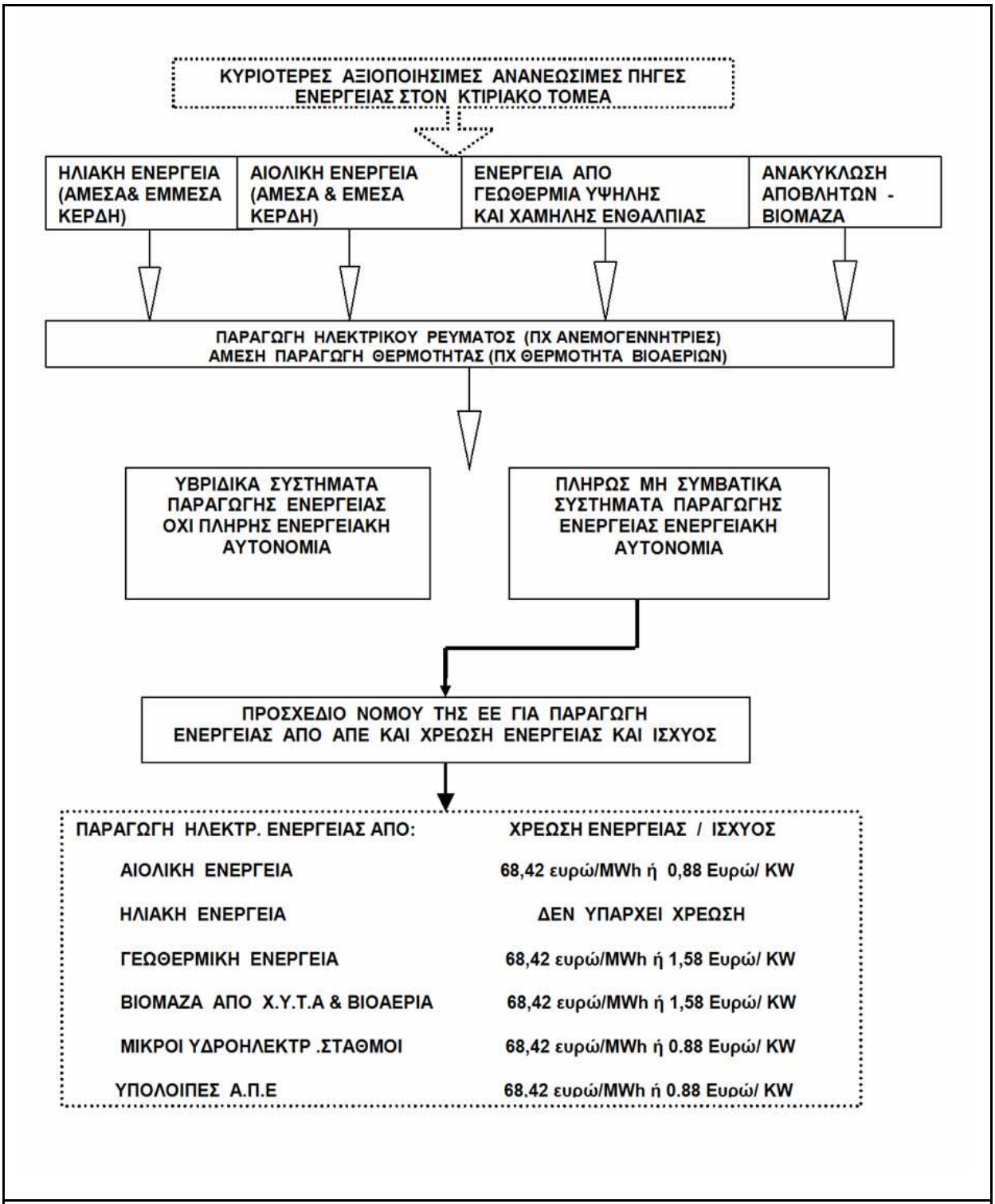
Αν ο μελετητής είναι ελεύθερος να επιλέξει τη θέση του κτιρίου στο οικόπεδο, τότε θα αναζητήσει τις ήρεμες ζώνες ή θα χρησιμοποιήσει φυτεύσεις για να τις δημιουργήσει. Θα πρέπει βέβαια να αποφεύγονται τα πολύ επίπεδα εδάφη ή τα μικρά κοιλώματα όπου υπάρχει κίνδυνος να λιμνάζουν τα νερά. Ένα ιδεώδες οικόπεδο, παρουσιάζει κλίση 2% έως 4%.
Όταν αποφασιστεί η θέση, ο προσανατολισμός και το σχήμα του κτιρίου, προχωρά ο μελετητής στη διαρρύθμιση του εσωτερικού χώρου.
Οι χώροι με μεγαλύτερη ανάγκη θέρμανσης, φωτισμού και μεγαλύτερης χρήσης, καλό είναι να διαταχθούν κατά μήκος της νότιας όψης.
Οι χώροι με τη λιγότερη χρήση, όπως οι ντουλάπες, αποθηκευτικοί χώροι, γκαράζ κλπ, θα διαταχθούν κατά μήκος της βόρειας όψης, χρησιμεύοντας παράλληλα ως διάφραγμα μεταξύ των χώρων διαμονής και της ψυχρής βόρειας πλευράς του κτιρίου.
Στη δυτική πλευρά, δεν θα πρέπει να διαταχθούν υπνοδωμάτια, εκτός αν είναι δυνατό να προβλεφθεί κατάλληλος νυχτερινός αερισμός.
Τα λουτρά, οι χώροι εργασίας, ακόμα και οι κουζίνες μπορούν να διαρρυθμιστούν μεταξύ του θερμού δυτικού τοίχου, των ζωνών διαμονής ή των υπνοδωματίων.
Κανόνας είναι πως όταν ο σχεδιασμός έχει προτεραιότητα τις φυσικές – οικολογικές λύσεις έναντι μηχανολογικών – τεχνικών μέσων, προξενούνται λιγότερες περιβαλλοντικές φθορές. Προκειμένου να επιτύχει ο μελετητής τη βέλτιστη εξοικονόμηση ενέργειας, μπορεί να προχωρήσει στο σχεδιασμό κατάλληλων παθητικών συστημάτων. Συνοπτικά μπορούμε να πούμε, πως η κατανόηση του κλίματος και της σχέσης κτιρίου – τοποθεσίας, καθώς και των απαιτήσεων άνεσης των ενοίκων, βοηθά στην επιλογή της καλύτερης θέσης για την ανέγερση της οικοδομής και οργάνωσης του κτιρίου. Όταν έχει ακολουθηθεί αυτή η μεθοδολογία επιτυγχάνεται η προσεκτική ετοιμασία του τόπου, η σωστή οργάνωση του κτιρίου και η κατάλληλη επιλογή υλικών, με αποτέλεσμα να περιορίζονται τα θερμικά φορτία τα οποία θα χρειαστεί να αντιμετωπιστούν με τη βοήθεια κατάλληλων παθητικών συστημάτων.
Συνεπώς διευκολύνεται η επίτευξη του στόχου ενός παθητικού ενεργειακού σχεδιασμού:



Εικ.13 αντιμετώπιση θερμικών φορτίων μέσω παθητικού ενεργειακού σχεδιασμού πηγή [66]

Σ' αυτό το σημείο είναι πολύ σημαντικό να επαναλάβουμε, ότι ο παθητικός ενεργειακός σχεδιασμός των κτιρίων, κύριο στόχο έχει να αξιοποιήσει τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ), προς όφελος των ενοίκων του κτιρίου με γνώμονα πάντα το σεβασμό στο περιβάλλον.

Παρακάτω, φαίνονται σχηματικά οι κυριότερες αξιοποιήσιμες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στον κτιριακό τομέα καθώς επίσης και η φορολογία τους σύμφωνα με την τρέχουσα νομοθεσία της Ε.Ε. [23]



Εικ.14 κυριότερες αξιοποιήσιμες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στον κτιριακό τομέα πηγή [66]

1.10.1 Οδηγοί και υπολογιστικά εργαλεία εκπόνησης βιοκλιματικών μελετών

Για να επιτευχθεί η βέλτιστη ενεργειακή απόδοση ενός κτιρίου και να εξασφαλισθεί ταυτόχρονα υψηλή ποιότητα εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος, απαιτείται η αξιολόγηση εναλλακτικών λύσεων κατά τη φάση του σχεδιασμού του κτιρίου και των ενεργειακών του συστημάτων.

Η ενεργειακή συμπεριφορά ενός κτιρίου είναι ωστόσο τόσο πολύπλοκη, ώστε η βελτιστοποίηση όλων των παραμέτρων να μην είναι δυνατή χωρίς τη χρήση εξειδικευμένων υπολογιστικών μεθόδων.

Τα εργαλεία υπολογισμού της θερμικής και ενεργειακής συμπεριφοράς των κτιρίων, ταξινομούνται σε δύο μεγάλες κατηγορίες: α) ειδικά υπολογιστικά εργαλεία και β) γενικά υπολογιστικά εργαλεία.

Τα ειδικά υπολογιστικά εργαλεία βασίζονται σε αλγορίθμους και μοντέλα σχεδιασμού και υπολογισμού της απόδοσης και της θερμικής συμπεριφοράς συγκεκριμένων στοιχείων του κτιριακού κελύφους (π.χ. των θερμογεφυρών), συγκεκριμένων τεχνικών (π.χ. του νυχτερινού αερισμού) ή μέρους του δομημένου περιβάλλοντος (π.χ. του φαινόμενου της αστικής χαράδρας).

Τα γενικά υπολογιστικά εργαλεία στοχεύουν στην ενσωμάτωση όλων των αλγορίθμων που περιγράφουν τις φυσικές διεργασίες και επιτρέπουν την αξιολόγηση της συνολικής ενεργειακής συμπεριφοράς ενός κτιρίου και των συνθηκών του εσωτερικού περιβάλλοντος.

Στις δύο παραπάνω κατηγορίες πρέπει να προστεθούν τα απλοποιημένα υπολογιστικά εργαλεία. Πρόκειται για μοντέλα που βασίζονται σε εμπειρικούς (πειραματικούς) και στατιστικούς αλγορίθμους, οι οποίοι ισχύουν υπό συγκεκριμένες οριακές συνθήκες

Τα εξειδικευμένα υπολογιστικά εργαλεία επιτρέπουν στον μελετητή τη διαστασιολόγηση στοιχείων και συστημάτων για την σωστή λειτουργία τους υπό καθορισμένες συνθήκες. Στη κατηγορία αυτή, προκειμένου για τον υπολογισμό της απόδοσης συστημάτων παθητικής θέρμανσης κυρίαρχη θέση κατέχει η **μέθοδος 5000.**

Η Μέθοδος 5000 αναπτύχθηκε αρχικά το 1982 στη Γαλλία για τον αρχιτεκτονικό διαγωνισμό «5000 Maisons Solaires». Συγγραφείς ήταν οι P. Claux, J.P.Franca, R.Gilles, A. Pesso, A. Pouger και M. Raoust. Ο G. Lefevre χρησιμοποιώντας τα αποτελέσματα της διδακτορικής του διατριβής αναθεώρησε το 1990 τη μέθοδο για να λάβει υπόψη μια σταθερά χρόνου που υπολογίζει τη θέρμανση με διακοπή λειτουργίας και την πολυζωνικότητα. Ο M. Raoust επιμελήθηκε την αγγλική έκδοση που περιλαμβάνεται στην Προκαταρτική Έκδοση του Ευρωπαϊκού Εγχειριδίου για τα Παθητικά Ηλιακά Κτίρια. Στην παρούσα αναθεώρηση της Μεθόδου 5000 περιλαμβάνονται οι προσθήκες του G. Lefevre, που είναι και στην έκδοση της Μεθόδου με τη μορφή προγράμματος υπολογιστή.
Η Μέθοδος 5000 βασίζεται στη μέση μηνιαία εσωτερική θερμοκρασία των κτιρίων, χωρίς συμβατική θέρμανση. 'Εχει καλή επιστημονική υποστήριξη και είναι καλά προσαρμοσμένη στον παθητικό ηλιακό σχεδιασμό, ιδιαίτερα στα άμεσα κέρδη, στα θερμοκήπια και στους τοίχους Michel-Trombe.
Παρέχει καλή αντιμετώπιση της σκίασης του κτιρίου και επιτρέπει την εξέταση της προθέρμανσης του αερισμού με χρήση θερμοκηπίων. Κατά τη μέθοδο αυτή υπολογίζεται η μηνιαία ζήτηση θέρμανσης μιας κατοικίας που είναι η διαφορά μεταξύ του φορτίου θέρμανσης χωρίς κέρδη, και του συνολικού ποσού των ωφέλιμων κερδών. Πηγή των ωφέλιμων κερδών είναι τα παθητικά ηλιακά συστήματα, οι ένοικοι και οι οικιακές συσκευές. Από αυτό το ισοζύγιο αποφασίζεται, σύμφωνα με τα κριτήρια θερμικής άνεσης, είτε η συμπληρωματική θέρμανση του κτιρίου (βοηθητικό φορτίο θέρμανσης), είτε η αποδοχή των συνθηκών που επικρατούν στο εσωτερικό του, είτε ο συμπληρωματικός δροσισμός.

Η Εξέλιξη της Μεθόδου 5000 – Νέα Μέθοδος 5000

α) Η NM5000 κάνει μια διαφοροποίηση των υπολογιστικών παραμέτρων κατά τη διάρκεια της ημέρας και της νύχτας. Συγκεκριμένα για τις ιδιότητες μεμονωμένων οικοδομικών υλικών ή και στοιχείων του κτιρίου, όπως υαλοστάσια, τοίχοι μάζας κλπ οι οποίες ενδέχεται να ρυθμίζονται διαφορετικά κατά τη διάρκεια της ημέρας και της νύχτας, καθώς και στη θερμοκρασία ρύθμισης του θερμοστάτη.

β) Η NM5000 μπορεί να λάβει υπόψη της τη διακοπτόμενη θέρμανση. Ρυθμίζοντας σε χαμηλότερα επίπεδα τη θερμοκρασία του θερμοστάτη κατά τη διάρκεια ορισμένων ωρών του 24ώρου, πετυχαίνουμε μείωση της βοηθητικής θέρμανσης.

γ) Η NM5000 έχει επεκτείνει τη χρήση της σε πολυζωνικό κτίριο, δηλ. κτίριο στο οποίο διάφορες ζώνες έχουν πολύ διαφορετική θερμοκρασιακή συμπεριφορά. Στην τρέχουσα έκδοση είναι διαθέσιμη μόνο η ρύθμιση προσαρμογής της στη διζωνικότητα. Η μέθοδος όμως μπορεί εύκολα να γενικευτεί για n-ζωνικά κτίρια, όπου το υπολογιστικό μέρος εκτελείται με τη βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή [47].

1.11 Ταξινόμηση των κτιρίων σύμφωνα με τη Ν. Μέθοδο 5000

Τα κτίρια διακρίνονται σε δύο τύπους ανάλογα με τα παθητικά τους συστήματα, συγκεκριμένα με τον τρόπο λειτουργίας τους από θερμική άποψη.
Α. Κτίρια με παθητικά συστήματα μόνο άμεσου ή απευθείας ηλιακού κέρδους
Β. Κτίρια που έχουν διάφορα πρόσθετα παθητικά ηλιακά χαρακτηριστικά έμμεσου κέρδους. Τα συστήματα αυτά είτε χρησιμοποιούν τοίχους συλλέκτες (τοίχοι θερμικής αποθήκευσης) είτε θερμοκήπια, προσαρτημένα συνήθως σε νότιο τοίχο.

Για κάθε υποομάδα πρέπει να διευκρινιστούν ορισμένα ζητήματα. Για παράδειγμα αν οι θερμομονωτικές ικανότητες του κτιρίου είναι ίδιες την ημέρα όπως και τη νύχτα , αν η ρύθμιση του θερμοστάτη είναι ίδια την ημέρα όπως και τη νύχτα, αν η θέρμανση γίνεται με διακόπτες και αν ο χώρος που θερμαίνεται αποτελείται από μια ή περισσότερες ζώνες (που καθορίζονται με διαφορετικές ρυθμίσεις του θερμοστάτη). Ιδιαίτερα στην περίπτωση Β τίθεται το ζήτημα ποιες συσκευές ηλιακού κέρδους θα χρησιμοποιηθούν, μόνες ή σε συνδυασμό με άλλες από την ευρεία ποικιλία δυνατοτήτων. Είναι πρακτικά σπάνιο ένα κτίριο να χρησιμοποιεί όλες τις δυνατές ηλιακές συσκευές.

Η εφαρμογή της μεθόδου μπορεί να αναλυθεί σε πέντε διαδοχικά στάδια (στάδια 1 έως 5). Παρ` όλα αυτά το κείμενο έχει διαταχθεί σε τομείς για να διευκολύνεται η συζήτηση από τις διάφορες παθητικές ηλιακές δυνατότητες, σε αυτές τις περιπτώσεις που έχουν να κάνουν με τα κτίρια τα οποία έχουν μόνο άμεσο ηλιακό κέρδος. Ως αποτέλεσμα οι διάφορες ενέργειες ονομάζονται σύμφωνα με τις επικεφαλίδες των τμημάτων και τις υποδιαιρέσεις τους και όχι σύμφωνα με την αρίθμηση των ενεργειών. Η σχέση μπορεί να παρασταθεί με ένα διάγραμμα ροής. Η ονομασία των υποδειγμάτων (Β1, Β2 κτλ) δεν έχει αλλάξει από την έκδοση του 1986 [47].

Εφαρμογή της μεθόδου

Οι διαδικασίες της μεθόδου ακολουθούν τα επόμενα στάδια [45]:

Φάση Ι και ΙΙ: Απώλειες Θερμότητας και κέρδη για όλες τις περιπτώσεις κτιρίων

Στάδιο 1
Υπολογισμός του μεγέθους της απώλειας θερμότητας για το χώρο που θερμαίνεται (kWh/μήνα).

Στάδιο 2
Υπολογισμός του μεγέθους του χοντρικού κέρδους θερμότητας (kWh/μήνα).

Φάση ΙΙ: Καθαρό φορτίο θερμότητας

Στάδιο 3
Υπολογισμός των ωφέλιμων θερμικών κερδών (kWh/μήνα).

Στάδιο 4
Υπολογισμός της βοηθητικής θερμότητας που απαιτείται (kWh/μήνα).

Στάδιο 5
Έλεγχος των συνθηκών άνεσης.

Αναλυτικότερα:

Φάση Ι -Περιλαμβάνει τις θερμικές απώλειες (Στάδιο1) και τα άμεσα κέρδη (Στάδιο 2). Εφαρμόζεται δηλαδή και στους δύο τύπους κτιρίων που προαναφέραμε (Τύπου Α, Β).

Φάση ΙΙ – Περιλαμβάνει τον υπολογισμό έμμεσων ηλιακών κερδών, εφαρμόζεται δηλαδή μόνο σε κτίρια τύπου Β.

Φάση ΙΙΙ – Περιλαμβάνει το φορτίο βοηθητικής θέρμανσης και αποτελείται από τα τελευταία τρία στάδια. Φυσικά εφαρμόζεται και στους δύο τύπους κτιρίων (Τύπου Α, Β).

Σημειώνεται ότι η ΝΜ5000 όπως παρουσιάζεται στο Ευρωπαϊκό εγχειρίδιο «Ενέργεια στην Αρχιτεκτονική-Το Ευρωπαϊκό Εγχειρίδιο για τα Παθητικά Ηλιακά Κτίρια» δεν συμπεριλαμβάνει ηλιακά κέρδη στο θερμοκήπιο από τοίχο Trombe. Στη βιβλιογραφική πηγή «Ενεργειακός-Βιοκλιματικός σχεδιασμός κτιρίων και οικισμών» του καθηγητή Γ. Κοντορούπη, γίνεται κατάλληλη προσαρμογή της ΝΜ5000 για την περίπτωση τοίχου Trombe που παρεμβάλλεται μεταξύ του ηλιακού και του θερμαινόμενου χώρου.

1.12 Handbooks βιοκλιματικού σχεδιασμού & πίνακες κλιματολογικών δεδομένων:

i) Αγγλικά

1. - Design for Energy Conservation in Skylights. American Architecture Manufacturers Association 2700 River Rd., Des Plaines, IL 60018, USA. Οδηγός 20 σελίδων για τη βελτιστοποίηση του σχεδιασμού με θολωτά διαφανή στοιχεία οροφής. Προσδιορίζει τις κύριες παραμέτρους του σχεδιασμού. Περιγράφονται τεχνικές του ενεργειακού ισοζυγίου.

2. - Passive Solar Construction Handbook. Steven Winter Associates Inc.,1981. Εκπονήθηκε για το Southern Solar Energy Center, Atlanta, Georgia, US – DOE, Washington DC. Μεγάλος τόμος που δίνει έμφαση σε μεθόδους προσαρμογής των τυποποιημένων πρακτικών κανόνων για τα κτίρια σε παθητικές ηλιακές εφαρμογές.

3.- European Solar Radiation Atlas, Vol.1, Global Radiation on Horizontal Surfaces. Ralz W. (editor),C.E.C. Karsten F. et al (compilers). Verlag Tuv Rheinland for C.E.C. (ref. EUR 9344) Koln 1984. ISBN 3 – 88585 – 194 – 6. Οδηγός βιοκλιματικών μελετών με επισυναπτόμενους πίνακες κλιματικών δεδομένων, βασισμένος στα αποτελέσματα ερευνητικού προγράμματος του πανεπιστημίου του Hambourg σε συνεργασία με το Institute Meteorologique de Belgique.

4.- European Solar Radiation Atlas, Vol. 2, Global and Diffuse Radiation on Vertical and Inclined Surfaces. Ralz W. (editor), C.E.C. Karsten F. et al (compilers). Verlag Tuv Rheinland for C.E.C. (ref. EUR 9345). ISBN 3 – 88585 – 194 – 6.

5.- European Wind Atlas Ralz W. (editor), C.E.C., Orders to Dept. of Meteorology & Wind Energy, Riso National Laboratory, P.O. Box 49, DK – 4000, Roskilde, Denmark 1988. Περιέχει μια άποψη του αιολικού δυναμικού των χωρών της Ε.Ε. και συμπληρώνει πληροφορίες που περιλαμβάνονται σε άλλες εθνικές εκδόσεις.

6.- Energy i Architechturen (Ενέργεια στην Αρχιτεκτονική), Denmark 1990, ISBN 87 – 7756 – 073 – 06
Πρόκειται για εικονογραφημένη έκδοση που εισάγει τον αναγνώστη στον ενεργειακό σχεδιασμό κτιρίου κατά τα σκανδιναβικά πρότυπα και πρακτικές. Τα κεφάλαια του εν λόγω handbook, περιλαμβάνουν 10 βασικές αρχές ενεργειακού σχεδιασμού: Γεωμετρία κτιρίου, κλιματικές ζώνες, μόνωση, παράθυρα, θερμοκήπια, σκίαση, εξαερισμό, παθητική αποθήκευση θερμότητας, ενεργητικές και παθητικές πηγές θέρμανσης.

7.- Design Guide for Naturally Ventilated Courtrooms, UK 1990. Πραγματοποιήθηκε για την εταιρεία Cambridge Architectural Research Ltd, για το Property Services Agency (PSA). Είναι φυλλάδιο με σαφείς και περιεκτικές οδηγίες για το σχεδιασμό των φυσικών και υβριδικών συστημάτων αερισμού για αίθουσες δικαστηρίων ή θεάτρων για τις κλιματικές συνθήκες της Αγγλίας. Διατίθεται και σε μορφή Hypercard για υπολογιστή Macintosh.

8.- Utilization of Building Design for Climatic Control in Glazed Spaces: A Parametric Study. (Swedish Council for Building Research), Sweden 1991. Εργασία που περιλαμβάνει υπολογισμούς για συνθήκες σταθερής κατάστασης και υπολογισμούς με το πρόγραμμα Η/Υ DEROB – LTH για το κλίμα και για διάφορα πρότυπα προσαρτημένων θερμοκηπίων. Εξετάζονται διάφορες συνθέσεις παραμέτρων που περιλαμβάνουν διπλά τζάμια, εμβαδό υαλοστασίου, θερμική αδράνεια και αριθμό εναλλαγών αέρα. ISBN 91 – 540 – 5265 – 3.

ii) Γαλλικά

1.- Architecture – Climats and Energie: Outils et dewmarches pedagogiques. COFEDES, 3 Rue h. Heine 75116, Paris 1986. Λογισμικό που αναπτύχθηκε στο πρόγραμμα Habitats Climatiques, παρουσιάζεται σε περιπτώσεις μελετών. Το πρώτο μέρος ασχολείται με τη διδασκαλία πάνω σε ενεργειακά και αρχιτεκτονικά θέματα, ενώ το δεύτερο ασχολείται με θέματα θερμότητας σε ψυχρά κλίματα.

2.- Analyse et Reduction Modales d' un Module de Comportement Thermique du Batiment. Lefebure G., Ecole des Mines de Paris, 60 B, St. Michell 75272 Paris, CEDEX 06, 1987. Παρουσίαση της μεθόδου κόμβων που εφαρμόζεται στη μεταφορά θερμότητας στα κτίρια για τους υπολογισμούς των θερμικών φορτίων.

3.- Bioclimatisme en Zone Tropicale. Ministere de la Cooperation – Programme REX – COOP. Κατασκευές με τη μέθοδο CLIMAT. Φάκελος: Τεχνολογίες και ανάπτυξη: Υπουργείο Συνεργασίας, πρόγραμμα REX – COOP.

ιιι) Ιταλικά

1.- Simulazione Oraria del Comportaneo Termico – Energetico degli Edifici. CNR – PFE, Via Nizza128, 00186 Roma, 1982. Κώδικας προσομοίωσης θερμικής συμπεριφοράς των κτιρίων MORE.

2.- Un Algoritmo per il Calcolo dell' Illuminamento Diretto e Riflesso. Pelliteri G., Publ. L' Industria delle Constuzzioonio (Journal), 1987. Edilstampa, Via Guattani 24, 00161 Roma, 1987. Αλγόριθμος αξιολόγησης της άμεσης ακτινοβολίας και της αντανακλώμενης. Τεύχος 186 / Απρίλιος 1987

ιν) Ελληνικά

1.- Πίνακες Ηλιακών και Ενεργειακών Συντελεστών, ΕΛΚΕΠΑ[2]. Σειρά πινάκων που δίνουν σύντομες απαντήσεις στα ακόλουθα θέματα: Προσπίπτουσας ακτινοβολίας ηλιακής ακτινοβολίας σε επίπεδο με οποιαδήποτε κλίση και προσανατολισμό, μεθόδων σκίασης που χρησιμοποιούνται στην Ελλάδα και ηλιακής ακτινοβολίας και θερμικών κερδών σε τυπικές ελληνικές κατοικίες.

1.13 Software για μελέτες ενεργειακού – βιοκλιματικού σχεδιασμού:

1.- Software για τον Ενεργειακό & Περιβαλλοντικό Σχεδιασμό Κτιρίων:

α) Solar Gains

Εικ.15 επιφάνεια εργασίας του λογισμικού Solar Gains Πηγή [47]

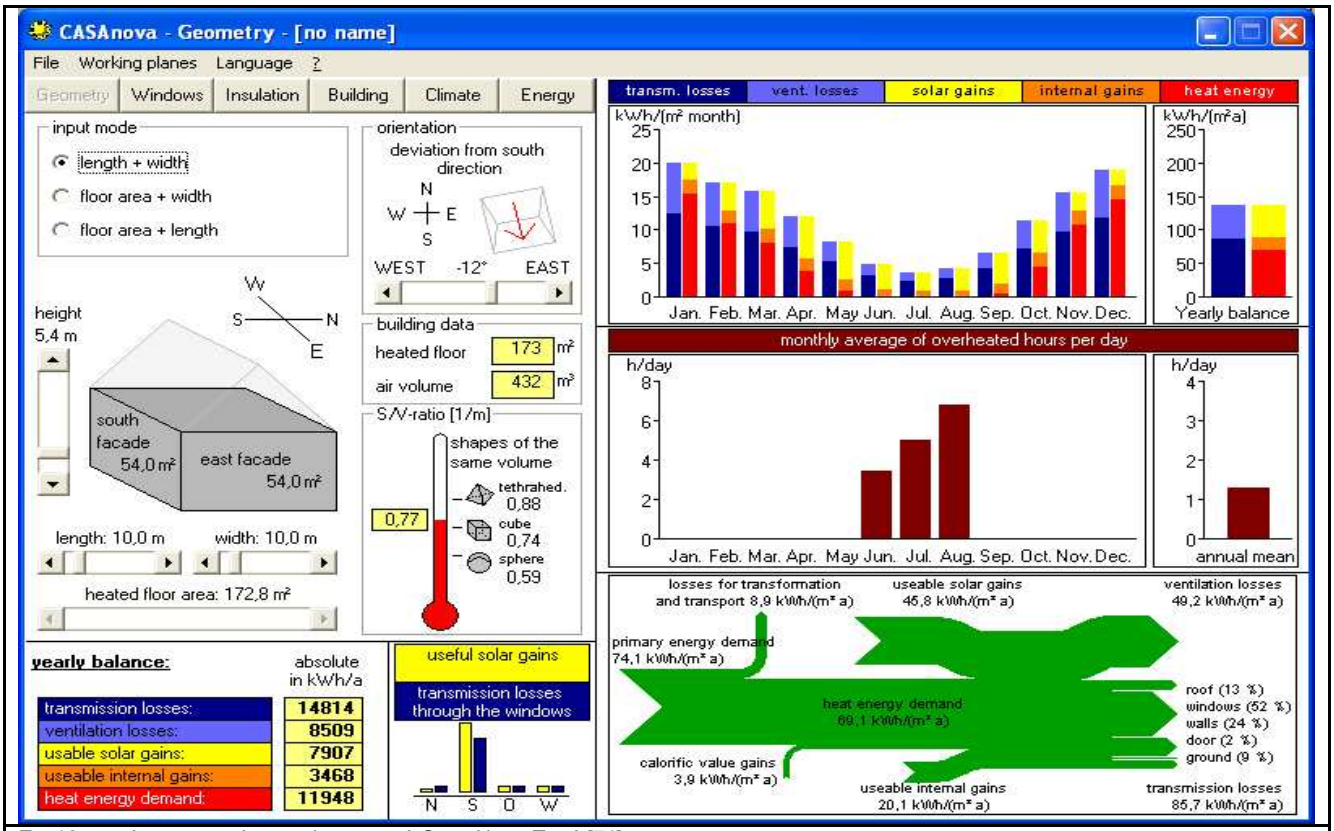
Το πρόγραμμα Solar Gains υπολογίζει ηλιακά κέρδη σε κατοικίες.
Το πρόγραμμα αυτό είναι αναβαθμισμένο σε σύγκριση με ότι κυκλοφορεί στην αγορά παρέχοντας τη δυνατότητα στο χρήστη να μπορεί να επέμβει κάνοντας μετατροπές στη βάση κλιματολογικών δεδομένων που είναι ενσωματωμένη σε αυτό.
Το πρόγραμμα Solar Gains αποτελεί τη συνέχεια του προγράμματος «Θερμικές απώλειες» των φοιτητών Β.Κωστόπουλου - Π. Παπακαμμένου που έγινε κατά τη διάρκεια του ακαδημαϊκού έτους 2002-03 υπό την επίβλεψη του Επ. Καθηγητή Ε.Μ.Π. Ι.Τζουβαδάκη.
Προκειμένου να μπορεί ο χρήστης να αξιοποιήσει τα προγράμματα αυτά στο πλαίσιο μιας ολοκληρωμένης βιοκλιματικής μελέτης πραγματοποιήθηκε μια προσπάθεια συνένωσης αυτών σε μια κεντρική σελίδα, που αποτελεί συνδετήριο κρίκο μεταξύ αυτών. Τα επιμέρους προγράμματα διατηρούν την αυτονομία τους, έχοντας προς το παρόν μόνο κοινή αρχή. Οι διαφορές που έχουν στον τρόπο παρουσίασης και εκτέλεσης υπολογισμών, είναι αναμενόμενες, αφού έχουν συνταχθεί από διαφορετικές ομάδες φοιτητών ανάλογα με τις προτεραιότητές τους έτσι όπως τις αξιολόγησαν.

[2] Το Ελληνικό Κέντρο Παραγωγικότητας (ΕΛΚΕΠΑ) απορροφήθηκε το 1998 από τον Οργανισμό Απασχόλησης Εργατικού Δυναμικού (ΟΑΕΔ). Όλο το έντυπο υλικό του, πέρασε στη διαχείριση του ΟΑΕΔ και λόγω της δικαστικής διαμάχης του τελευταίου με το ΥΠΕΠΘ ήταν για 2 χρόνια μη προσβάσιμο κάτι που ισχύει μέχρι και σήμερα με την ιδιωτικοποίηση του ΟΑΕΔ [45].

Τα κουμπιά εντολών ακολουθούν μια προγραμματισμένη αλληλουχία ενεργειών, όπως καθορίζεται από τη λογική της NM5000. Επομένως το πρόγραμμα Solar Gains θα επιλεγεί αφού έχουν υπολογισθεί οι θερμικές απώλειες. ο μελετητής δεν έχει παρά να πατήσει το κουμπί-εντολή «Κέρδη»
Η επιλογή «Θερμική Άνεση» στην φόρμα αυτή αφορά το πρόγραμμα Tempo Clim της Χ.Μ. Μώρου που υπολογίζει τις θερμικές επιπτώσεις των αρχιτεκτονικών επιλογών σε σχέση με των περιβάλλοντα χώρο και ορισμένους δείκτες θερμικής άνεσης σε περιβάλλον MS Excel [45].
Το πρόγραμμα Solar Gains υπολογίζει τα ηλιακά κέρδη και δείχνει ποιο στοιχείο συνεισφέρει περισσότερο. Με το Solar Gains μπορούν να φανούν ποσοτικά και γραφικά τα κέρδη της κατοικίας (μεμονωμένα αλλά και ως σύνολο), να αποθηκεύονται, να ξαναεπεξεργάζονται και να εκτυπώνονται τα αποτελέσματά του.

β) CASAnova: http://nesa1.uni-siegen.de/softlab/casanova.htm

Το πρόγραμμα αυτό έχει στοιχεία επαγγελματισμού που εντυπωσιάζουν το χρήστη. *Εξετάζει την κατοικία ως ένα ανοιχτό θερμοδυναμικό σύστημα και τα ανοίγματα ως σύνολο σε κάθε πλευρά και όχι αναλυτικά, το κάθε ένα χωριστά.* Σε κάποια σημεία παρουσιάζει μεγάλη ακρίβεια ως προς την εισαγωγή των δεδομένων (π.χ. προσανατολισμός) ενώ σε άλλα σημεία κάνει απλοποιημένες προσεγγίσεις. Αυτό προφανώς γίνεται γιατί *δεν χρησιμοποιεί τη ΝΜ 5000* αλλά κάποια άλλη προσεγγιστική μέθοδο. Όλες οι φόρμες έχουν κάποιες αρχικές τιμές που αυξομειώνονται. Με την οποιαδήποτε αλλαγή ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να δει γραφικά τις συνέπειες των επιλογών του στα γραφήματα στο δεξιό μέρος της σελίδας. Είναι ενδιαφέρουσα η πρότασή τους για ταυτόχρονη παρουσίαση των απωλειών και των κερδών καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, καθώς και η ταυτόχρονη παρουσίαση των ηλιακών κερδών και των απωλειών από το σύνολο των παραθύρων κάθε πλευράς. Ταυτόχρονα όμως ο χρήστης κουράζεται από την πολύ φορτωμένη φόρμα και δεν μπορεί να ελέγξει εύκολα τα δεδομένα που έχει εισάγει και μπορεί να προβληματιστεί από την επιλογή που θα πρέπει να κάνει σε κάποια σημεία, λόγου του περιορισμένου εύρους επιλογών. Είναι δύσκολο να εντοπίσει ο χρήστης ποιες παράμετροι επηρεάζονται από την εισαγωγή νέων δεδομένων αλλά και κατά πόσο μεταβάλλονται. Ίσως η παρουσίαση αυτή απλά προβληματίζει κάποιον που δεν έχει εξοικειωθεί με τη μέθοδο υπολογισμού και τις αρχές πάνω στις οποίες στηρίζεται.



Εικ.16 επιφάνεια εργασίας του λογισμικού Casa Nova Πηγή [71]

γ) BREEAM, Environmental Assessment for New Office Design. ECD Partnership, BRE. 1990.
Μέθοδος αξιολόγησης της περιβαλλοντικής ανάλυσης των κτιρίων (Domestic Energy Model) σύμφωνα με μια διαδικασία που εκπονήθηκε στο BRE (Building Research Establishment), UK. Λαμβάνει υπόψη τα περιβαλλοντικά στοιχεία σε 3 στάθμες: Ολική, γειτονίας και εσωτερική.

2.- Software Εξομοίωσης Κτιριακού Περιβάλλοντος:

α) TRNSYS – Transient System Simulation
www.transsolar.com

β) ESP-r- Environmental Simulation programme
www.ersu.strath.ac.uk/ESP-r

γ) TAS – Environmental Design Solutions Limited, EDSL
www.ourworld.compuserve.com/homepages/edsl

3.- Software Εξομοίωσης Θερμικής Άνεσης:

α) LESO – COMFORT
www.leso.epfl.ch

4.- Software Εξομοίωσης Φυσικού & Τεχνητού Φωτισμού:

α) Radiance – Synthetic Imaging System, Εξομοίωση Φυσικού Φωτισμού
www.radsite.ibl.gov/radiance/HOME.html
www.ise.fhg.de/radiance

β) DiaLux, Εξομοίωση Τεχνητού Φωτισμού
www.aeglichttechnic.com/german/corporatedialux.html

γ) Adeline – Advanced Daylihgting and Electric Lighting Integrated New Environment
www.ibp.fhg.de/wt/adeline.htm

5.- Software για τη μελέτη της κίνησης του αέρα γύρω από το κτίριο και εντός του κτιριακού περιβάλλοντος.

α) BREEZE: Πρόγραμμα για τον υπολογισμό του αερισμού και της ροής του αέρα σε πολυκυψελικά – πολυζωνικά κτίρια. Έχει αναλυθεί στο τεύχος του Ιουλίου 1985 του CIBSE Bulding Society Journal.

β) LESOCOOL (Εξομοίωση αερισμού και ψύξης) www.leso.ephf.ch

Τα παρακάτω προγράμματα χρησιμοποιούνε μεθόδους της Υπολογιστικής Ρευστοδυναμικής (CFD) και είναι γενικής χρήσης. Μπορούνε όμως να φανούνε ιδιαίτερα χρήσιμα σε προσομοίωση της ροής του αέρα γύρω από το κτίριο και μέσα σ' αυτό, τόσο για ζητήματα εξοικονόμησης ενέργειας, όσο και για την ποιότητα του κτιριακού περιβάλλοντος.

γ) CFX (Computational Fluid Dynamics) www.aeat.com/cfx

δ) Phoenix (Computational Fluid Dynamics) www.cham.co.uk

ε) FLUENT www.fluent.de

Συμπερασματικά θα μπορούσαμε να αναφέρουμε κωδικοποιημένες τις ακόλουθες πληροφορίες, οι οποίες μέσω των παραπάνω λογισμικών έχουν προφανώς αποδελτιωθεί ψηφιακά σε επίπεδο τελικού χρήστη:

Παράμετροι επηρεασμού του βιοκλιματικού σχεδιασμού

1. Τοπικό μικροκλίμα
   Διεύθυνση ανέμων
   Γεωμορφολογία (επηρεασμός προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας)
   Ενδεχόμενες παρακείμενες πηγές ηχητικής όχλησης

2. Γεωγραφική θέση
   Σύνδεση με οδικό δίκτυο (μεταφορά αγαθών & εργαζομένων)
   Σύνδεση με δίκτυα υποδομών

3. Κτιριολογικό πρόγραμμα
   Είδος επέμβασης

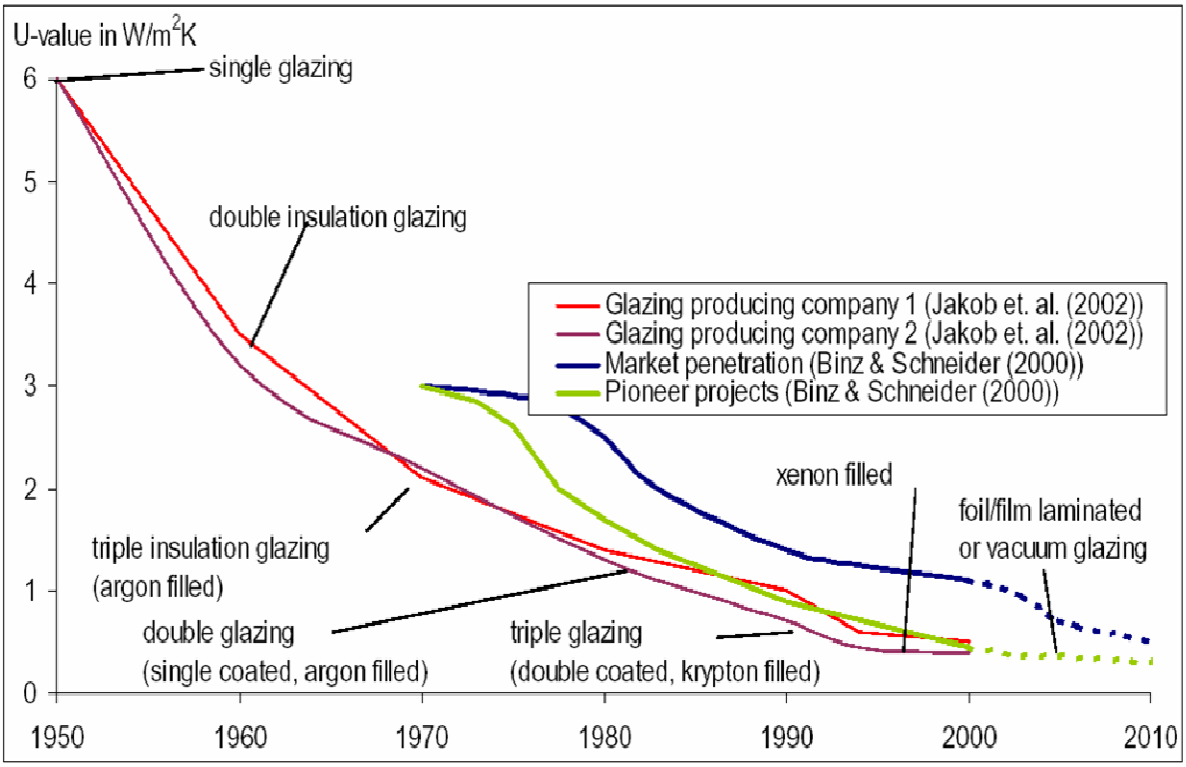
Χρήση
Διάταξη λειτουργιών
Μέγεθος

Στόχοι βιοκλιματικού σχεδιασμού:

1. Προστασία του περιβάλλοντος
2. Εκμετάλλευση των ΑΠΕ
3. Εξασφάλιση συνθηκών άνεσης: { Ηχητική άνεση / Θερμική άνεση / Οπτική άνεση }

Συσχέτιση με το λειτουργικό κόστος:

- Τα κτίρια δημιουργούν σημαντικό κόστος στο περιβάλλον, όπως και το περιβάλλον δημιουργεί και αυξάνει το αρχικό και λειτουργικό κόστος των κτιρίων
- Το ενεργειακό και οικονομικό κόστος των ελληνικών νοικοκυριών είναι εξαιρετικά μεγάλο και ενδέχεται να μειωθεί σημαντικά
- Οι οικονομικοί παράμετροι που πρέπει να υπολογίζονται στην όποια επιλογή πρέπει να συμπεριλαμβάνουν το αρχικό, λειτουργικό καθώς και το κόστος συντήρησης ενός κτιρίου
- Η επιλογή των τεχνικών και των συστημάτων που θα χρησιμοποιηθούν μεταβάλλονται ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του κτιρίου και τις επιμέρους ανάγκες του.
- Υπάρχουν μέτρα που μπορούν να επιφέρουν εύκολα και με μικρό κόστος ενεργειακό νοικοκύρεμα και εξοικονόμηση περί το 30-40 % με χρόνο απόσβεσης περί τα 2-4 χρόνια. Ο ενεργειακός εκσυγχρονισμός του κτιρίου μπορεί να επιφέρει εξοικονόμηση έως και 70 % άλλα με χρόνο απόσβεσης άνω των 7-8 χρόνων.



Εικ.17 παρουσίαση λειτουργικού κόστους κτιρίων μετά την εφαρμογή μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας Πηγή [51]

Βιβλιογραφία 1ου Κεφαλαίου

1.- Αγγελίδης Μ. «Χωροταξικός Σχεδιασμός και Βιώσιμη Ανάπτυξη» εκδ. Συμμετρία 2000

2.- Ανδρεαδάκη – Χρονάκη Ε: «Βιοκλιματική Αρχιτεκτονική – Παθητικά Ηλιακά Συστήματα εκδ. University Studio Press, Θεσσαλονίκη 2000

3.- Ανδρεαδάκης Α. et al. «Περιβαλλοντική Τεχνολογία» εκδ. ΕΜΠ 2003

4.- Αντωνόπουλος Κ. «Θερμικά Ηλιακά Συστήματα» εκδ. ΕΜΠ 2004

5.- Αραβαντινός Α et al. «Πολεοδομικός Σχεδιασμός» εκδ. Συμμετρία 1997

6.- Architect's Council of Europe, «A Green Vitrouvious: Sustainable Architectural Design», 27/02/1998

7.- Βαβίζος Μ. Μερτζάνης Δ. «Περιβάλλον» εκδ. Παπασωτηρίου 2002

8.- Βιτρούβιος «Περί Αρχιτεκτονικής», βιβλία Ι – V , Εκδόσεις Πλέθρον 1998

9.- Brown L. «Building a Sustainable Society» W.W. Norton Co. New York 1981

10.- Γεωργουλής Δ. et al. «Συγκριτικές προσεγγίσεις στη θεωρία και τη φιλοσοφία του αστικού σχεδιασμού» εκδ. Παπαζήση 2006

11.- Γενικός Οικοδομικός Κανονισμός: Άρθρο 26 (Κανονισμός για την Ορθολογική Χρήση και Εξοικονόμηση Ενέργειας) ΦΕΚ 880/Β 19/8/1998

12.- Γιαουτζή Μ. « Ζητήματα σχεδιασμού του χώρου» εκδ. ΕΜΠ 2001

13. - Calvin W.H. «A brain for all seasons: Human Evolution and Abrupt Climate Change» University of Chicago Press, 2002

14.- Cassedy E.S., Grossman P.Z. «Introduction to Energy Resources, Technology and Safety» Cambridge University Press, 1990

15.- Chauvet G. «The mathematical Nature of the Living World: The Power of Integration», World Scientific N.J., 2004

16.- ΔΕΗ: «Φυσικές λύσεις για τον άνθρωπο και το περιβάλλον» Έντυπο Δ/νσης Επικοινωνίας ΔΕΗ, Αθήνα 2001

17.- Διϋπουργική Ομάδα Σχεδιασμού Αναπτυξιακού Προγράμματος 2000 – 2006: «Συνοπτικό Σχέδιο Περιφερειακής Ανάπτυξης 2000 – 2006, Τελική Έκδοση, 1998

18. Doukas H. et al «Energy Research and Technology Development. Data collection strategies: The case of Greece» Renewable and Sustainable Energy Reviews Vol. 3 Issue 3 April 2009

19.- European Comission «A Handbook on Environmental Assessment of Regional Development Plans and EU Structural Funds Programmes » DG XI, 1998

20.- European Comission «Caring for our future», Brussels 1999

21.- European Comission «Guidelines for Assessment of Indirect and Cumulative Impacts as well as Impact Interactions» DG XI, 1999

22.- European Comission «Revision of the EU Guidance Documents on EIA – First Interim Report» DG XI, 2000

23.- European Comission «Energy Research. Why Energy Research? » DG XI, 2007

24.- European Union Expert Group on the Urban Environment: «Draft Report Sustainable Cities Progect», April 1994

25.- Ευρωπαϊκή Επιτροπή: «Πράσινη Βίβλος της Ευρωπαϊκής Επιτροπής – Για μια Ενεργειακή Πολιτική της Ε.Ε.» Βρυξέλλες 1995

26.- Ευρωπαϊκή Επιτροπή: «Λευκή Βίβλος της Ευρωπαϊκής Επιτροπής – Ενεργειακή Πολιτική της Ε.Ε.» Βρυξέλλες 1996

27.- Gerstenfeld M. «Environment an Confusion - An Introduction to a Messy Subject, Interteam UK 1994»

28.- Goulding R. et al. «Ενέργεια στην Αρχιτεκτονική, Το ευρωπαϊκό εγχειρίδιο για τα παθητικά ηλιακά κτίρια. εκδ. Μαλλιάρης παιδεία, Θεσσαλονίκη 1996

29.- Goulding R. et al. «Ενεργειακός Σχεδιασμός, εισαγωγή για αρχιτέκτονες εκδ. Μαλλιάρης παιδεία, Θεσσαλονίκη 1996

30.- Hawkes D. «The Environmental Tradition, E & FN SPON, London 1996

31.- IPCC, «The Science of Climate Change», Report of the IPCC Working Group I, 1996

32.- Jason C. «World Agriculture and the Environment: A Common by Common Guide to Impacts and Practices», Island Press, 2003

33.- Καλδέλλης Ι. «Διαχείριση της Αιολικής Ενέργειας» εκδ. Σταμούλη Αθήνα 2006

34.- Κ.Α.Π.Ε. «Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας σε οικιστικά σύνολα»
35.- Καραβασίλη Μ. «Κτίρια για έναν πράσινο κόσμο» εκδ. π – systems, Αθήνα1999 εκδ. Ειδική Εκδοτική, Αθήνα 2002
36.- Κόκκοτας Π. «Διδακτική των Φυσικών Επιστημών, αυτοέκδοση Αθήνα 2002»

37.- Κοντορούπης Γ. «Ενεργειακός Βιοκλιματικός Σχεδιασμός Κτιρίων & Οικισμών» εκδ. ΕΜΠ 2001
38.- Κοντορούπης Γ. «Ενεργειακός Σχεδιασμός Κτιρίων» εκδ. ΕΜΠ 1984
39.- Lichtfouse E., Schwarzbauer J., Didier R. «Environmental Chemistry and Pollutants in Ecosystems», Springer Berlin – London, 2005
40.- Μαραβέλιας Θ. «Βιοκλιματικός Σχεδιασμός Κτιρίων» Επιστημονική Διημερίδα Τεχνολογίας Κατασκευών – Αντοχή & Ενέργεια Αθήνα 2001
42.- Meggiolaro F. «Latest Developments in the Move Towards International Electricity Market» European Commission, Brussels 1996
43.- Mitsch W.J., Jorgensen S.E. «Ecological Engineerig: An Introduction to Ecotechnology», John Wiley and Sons, 1989
44.- Μητούλα Ρ. «Η αναγκαιότητα χρήσης εγχώριων φυσικών ενεργειακών πόρων από τη ΔΕΗ» περιοδ. Επιστημονικά Χρονικά, Φεβρουάριος 2001
45.- Μώρου Χ.Μ. «Εγχειρίδιο χρήσης του προγράμματος TempoClim», Διπλωματική Εργασία, ΕΜΠ 2002
46.- Ομάδα Μελετών Κτιριακού Περιβάλλοντος ΕΚΠΑ: «Έρευνα για την αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο Ν. Αιγαίο» Αθήνα, Σεπτέμβριος 2003
47.- Παρασκευοπούλου Π., Ρούσση Π. « Βιοκλιματική Αρχιτεκτονική – Προγραμματίζοντας με τη ΝΜ5000», Διπλωματική Εργασία, ΕΜΠ 2004
48.- Ρόκκος Κ. «Φυσικά Διαθέσιμα και Ολοκληρωμένες Αποδόσεις» εκδ. ΕΜΠ 1990
49.- Σανταμούρης Μ. « Ενέργεια και Περιβάλλον» εκδ. ΕΚΠΑ 2003
50.- Σανταμούρης Μ. «Ήπιες Μορφές Ενέργειας» εκδ. ΕΚΠΑ 2001
51.- Σανταμούρης Μ. «Οικονομικοί παράμετροι στο δομημένο περιβάλλον» Σειρά διαλέξεων για τη Βιοκλιματική Αρχιτεκτονική Ελληνική Εταιρία για την Προστασία του Περιβάλλοντος και της Πολιτιστικής Κληρονομιάς Αθήνα 2007
52.- Στεφάνου Ι., Τσουδερός Ι. «Ο Περιβαλλοντικός Σχεδιασμός των πόλεων και η Ευρωπαϊκή του διάσταση» εκδ. ΕΜΠ 2001
53.- Τσίγκας Ε. «Ηλιακοί Τοίχοι και Παράθυρα» περιοδ. Κτίριο τεύχος 118, Θεσσαλονίκη
54.- Τσίπηρας Θ. «Βιοκλιματικός Σχεδιασμός Κτιρίων» εκδ. π – systems Αθήνα 2000
55.- Τσίπηρας Θ. «Το Οικολογικό Σπίτι» εκδ. Νέα Σύνορα 2000
56.- Φραγκούλης Α.Ν. «Πρόταση Εθνικού Προγράμματος Ανάπτυξης Αιολικής Ενέργειας», ΚΑΠΕ, 2000
57.- Χατζημπίρος Κ. «Οικολογία – Οικοσυστήματα και Περιβάλλον» εκδ. Συμμετρία 2003
58.- Χριστούλας Δ. «Ενέργεια και Περιβάλλον», Αθήνα 1987

59.- Χονδρού-Καραβασίλη Μαργαρίτα, Εύα Αθανασάκου, Νιόβη Χρυσομαλλίδου, Ελένη Ανδρεαδάκη - Χρονάκη, Σωτήρης Χατζηδάκης, Σχέδιο Δράσης «Ενέργεια 2001»: Εξοικονόμηση Ενέργειας και Χρήση ΑΠΕ στον Οικιστικό Τομέα, ΥΠΕΧΩΔΕ - ΚΑΠΕ, Τεχνική Έκθεση, Μάρτιος 1995.
60.- Χρυσομαλλίδου Ν. « Βιοκλιματικός Σχεδιασμός Κτιρίων», περιοδ. Κτίριο τεύχος 136

Πηγές Διαδικτύου

61.- http:// www.alpha.cres.gr
62.- http:// www.architecture.about.com
63.- http://www.architecturemag.com
64.- http://www.bbc.co.uk
65.- http:// www.cnn.com
66.- http://www.ellet.gr
67.- http://www.findarticles.com
68.- http:// www.geocities.com
69.- http:// www.greenpeace.gr
70.- http:// www.ktirio.gr
71.- http:// www.mit.com

72.- http://monteralgazette.com./news
73.- http://nesa1.uni-siegen.de/softlab/casanova.htm
74.- http://www.newscientist.com
75.- http:// www.solarserver.de
76.- http:// www.spitia.gr
77.- http:// www.smarthome.gr
78.- http:// www.tsipiras.gr

Κεφάλαιο 2 Ο άνεμος ως συνιστώσα του βιοκλιματικού σχεδιασμού

2.1 Ο άνεμος ως φυσικό φαινόμενο – Στοιχεία Μικρομετεωρολογίας

2.1.1 Εισαγωγικές έννοιες

Η μικρομετεωρολογία είναι ένα κομμάτι της μετεωρολογίας που ασχολείται με τα ατμοσφαιρικά φαινόμενα και τις διεργασίες (processes), στο χαμηλότερο άκρο του φάσματος των ατμοσφαιρικών κλιμάκων, που χαρακτηρίζονται ως μικροκλίμακες (microscales). Οι διεργασίες αυτές, ονομάζονται διεργασίες μικρής ή τοπικής κλίμακας (small scale ή local scale processes). Το εύρος της μικρομετεωρολογίας περιορίζεται μονάχα σε εκείνα τα φαινόμενα που λαμβάνουν χώρα στο κατώτερο στρώμα του ατμοσφαιρικού αέρα συνήθως στα πρώτα 500 έως 1500 m που ονομάζεται ατμοσφαιρικό ή πλανητικό οριακό στρώμα (atmospheric ή planetary boundary layer).
Υπάρχουν πολλές δυνατότητες για την διαίρεση της ατμόσφαιρας καθ' ύψος, η κυριότερη όμως είναι εκείνη η οποία υπολογίζει και χρησιμοποιεί τις κατακόρυφες διαφορές της θερμοκρασίας που μετρώνται με ραδιοκύματα ή γυροστατικούς δορυφόρους.
Βάσει της παραπάνω μεθόδου, που η λεπτομερής της περιγραφή ξεφεύγει τους σκοπούς του παρόντος, προκύπτει η ακόλουθη καθ' ύψος διαίρεση της ατμόσφαιρας:

α) Τροπόσφαιρα

β) Στρατόσφαιρα

γ) Μεσόσφαιρα

δ) Θερμόσφαιρα

ε) Εξώσφαιρα

Η τροπόσφαιρα περιέχει το 75% της γήινης ατμόσφαιρας καθώς επίσης και σχεδόν όλους τους υδρατμούς (H_2O_g). Στην τροπόσφαιρα λαμβάνουν χώρα και εξελίσσονται όλα τα φαινόμενα μεταφοράς θερμότητας και μάζας που απασχολούν τους μετεωρολόγους.
Το κύριο γνώρισμα της τροπόσφαιρας είναι η ελάττωση της θερμοκρασίας με το υψόμετρο που κατά μέσο όρο είναι 0.65 ^{0}C ανά 100 m και τη διαφορά αυτή την ονομάζουμε ***κατακόρυφη θερμοβαθμίδα:*** $gradT\big|_{x=ct \wedge y=ct}$

Η τελευταία προφανώς ως κατευθυνόμενη παράγωγος, είναι συνάρτηση του υψομέτρου και ανάλογα με το εύρος των τιμών της οδηγεί στην ακόλουθη διαίρεση της τροπόσφαιρας.

Κατώτερη τροπόσφαιρα από έδαφος μέχρι ύψους 1 – 1.5κm

$$gradT\big|_{x=ct \wedge y=ct} \in (0.3,0.4)^0 \mathrm{C}/100\,\mathrm{m}$$

Μεσαία τροπόσφαιρα: 1.5 – 5 κm

$$gradT\big|_{x=ct \wedge y=ct} \in (0.5,0.6)^0 \mathrm{C}/100\,\mathrm{m}$$

Ανώτερη τροπόσφαιρα 6 – 8.5 κm

$$gradT\big|_{x=ct \wedge y=ct} \in (0.65,0.75)^0 \mathrm{C}/100\,\mathrm{m}$$

Στο ανώτατο σημείο της τροπόσφαιρας, υπάρχει μια επιφάνεια αναστροφής ποικιλόμορφου πάχους 9 – 12 κm, που ονομάζεται τροπόπαυση και ισχύει εκεί: $gradT\big|_{x=ct \wedge y=ct} \in (0.2,0.5)^0 \mathrm{C}/100\,\mathrm{m} : gradT \downarrow$ (φθίνουσα συνάρτηση ως προς το υψόμετρο).

Η τροπόπαυση βρίσκεται σε γεωγραφικό ύψος:

17 – 18 κm Ισημερινή ζώνη

11 – 12 κm Εύκρατη ζώνη

7 – 8 κm Πολική ζώνη

Άνεμοι ή ρεύματα αέρα, λέγονται οι αέριες μάζες της ατμόσφαιρας που βρίσκονται σε κίνηση. Πιο συγκεκριμένα, όταν οι μάζες αυτές κινούνται παράλληλα προς την επιφάνεια της γης λέγονται άνεμοι, <u>ενώ σε κάθε άλλη περίπτωση λέγονται ρεύματα αέρα</u>. Η διάκριση αυτή, από τη σκοπιά της Μετεωρολογίας,

είναι καθαρά τεχνητή, γιατί οι ίδιες αέριες μάζες, μπορούν να είναι, ανάλογα με την κίνησή τους, είτε άνεμοι είτε ρεύματα αέρα. Στην παρούσα εργασία, με τη λέξη *άνεμος*, εννοούμε **και** τις δύο περιπτώσεις.
Οι άνεμοι, σε συνδυασμό με τη θερμοκρασία, την πίεση, την υγρασία και τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία της ατμόσφαιρας, αποτελούν τα μετεωρολογικά στοιχεία, των οποίων οι μέσες τιμές καθορίζουν το κλίμα μιας περιοχής. Αντίθετα, οι στιγμιαίες τιμές των στοιχείων αυτών, καθορίζουν τον καιρό μιας περιοχής [22].
Οι μεταβολές των τιμών των μετεωρολογικών στοιχείων, οφείλονται στην ακτινοβολία του ήλιου, στη σχετική κίνηση της γης και του ήλιου, στην ατμόσφαιρα της γης και τέλος στην ανομοιομορφία της σύστασης του εδάφους (θάλασσες, ήπειροι, βουνά, πεδιάδες κτλ).
Οι άνεμοι σε παγκόσμια κλίμακα είναι κινήσεις μεγάλων ποσοτήτων αερίων μαζών στην ατμόσφαιρα που οφείλονται κυρίως στις θερμοκρασιακές διαφορές της ατμόσφαιρας λόγω των τοπικών διαφορών στην προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία. Οφείλονται όμως ακόμη και στις αδρανειακές δυνάμεις, (φυγόκεντρες και Coriolis), που αναπτύσσονται λόγω της περιστροφής της γης.
Στο κατώτερο μέρος της ατμόσφαιρας οι κινήσεις του ανέμου επηρεάζονται από την τραχύτητα της επιφάνειας του εδάφους και τα εμπόδια που συναντούν στην επιφάνεια της γης (ανθρώπινες κατασκευές). Οι κατακόρυφες κινήσεις του ανέμου συμβαίνουν λόγω στροβιλισμών που οφείλονται σε μηχανικά ή θερμικά αίτια.

Εκτίμηση επιφανειακού ανέμου

Ο κινούμενος ατμοσφαιρικός αέρας παράλληλα προς την επιφάνεια της γης, προσδιορίζεται από 2 στοιχεία:

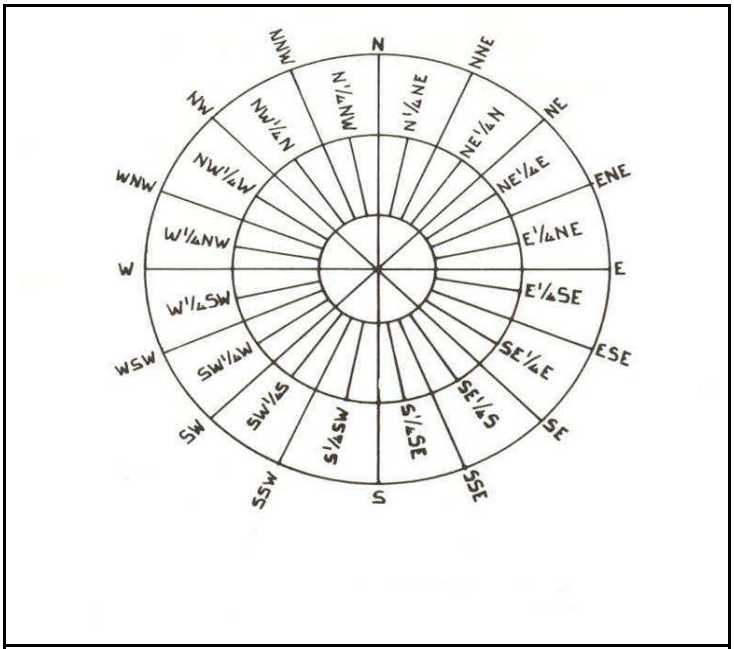
1) Κατεύθυνση (διεύθυνση και φορά)

2) Ένταση

Κατεύθυνση, είναι το σημείο παρατήρησης του γεωγραφικού ορίζοντα εκείνο, <u>*από*</u> το οποίο έρχεται (πνέει) ο άνεμος.

Ένταση, είναι το μέτρο της ταχύτητας του ανέμου και προφανώς είναι μονόμετρο μέγεθος.

Η διεύθυνση του ανέμου είναι συνάρτηση του αληθούς Βορρά. Μετριέται δε κατά τη φορά των δεικτών του ρολογιού, σε τιμές που αντιστοιχούν σε ολόκληρο κυκλικό τομέα, 8, 16 ή 32 τιμές ανάλογα με την εκάστοτε επιθυμητή ακρίβεια.



Εικ.1 διεθνές ανεμολόγιο πηγή [26]

Προσδιορισμός έντασης

α) Κόμβος (Knot) ή ναυτικό μίλι ανά ώρα

β) m/sec

γ) km/h

δ) mile h^{-1}

ε) ft/sec

Κόμβος Knot	m/sec	km/h	mile h^{-1}	ft/sec
1	0.515	1.152	1.853	1.689
1.943	1	2.237	3.600	3.281
0.868	0.447	1	1.609	1.467
0.540	0.278	0.621	1	0.911
0.592	0.305	0.682	1.097	1

Εικ. 2 μονάδες μέτρησης της έντασης του ανέμου πηγή [6]

Η μέση ένταση αναφέρεται στη μέση τιμή του χρονικού διαστήματος 10 min γύρω από την ακέραια τιμή της χρονικής στιγμής της παρατήρησης.

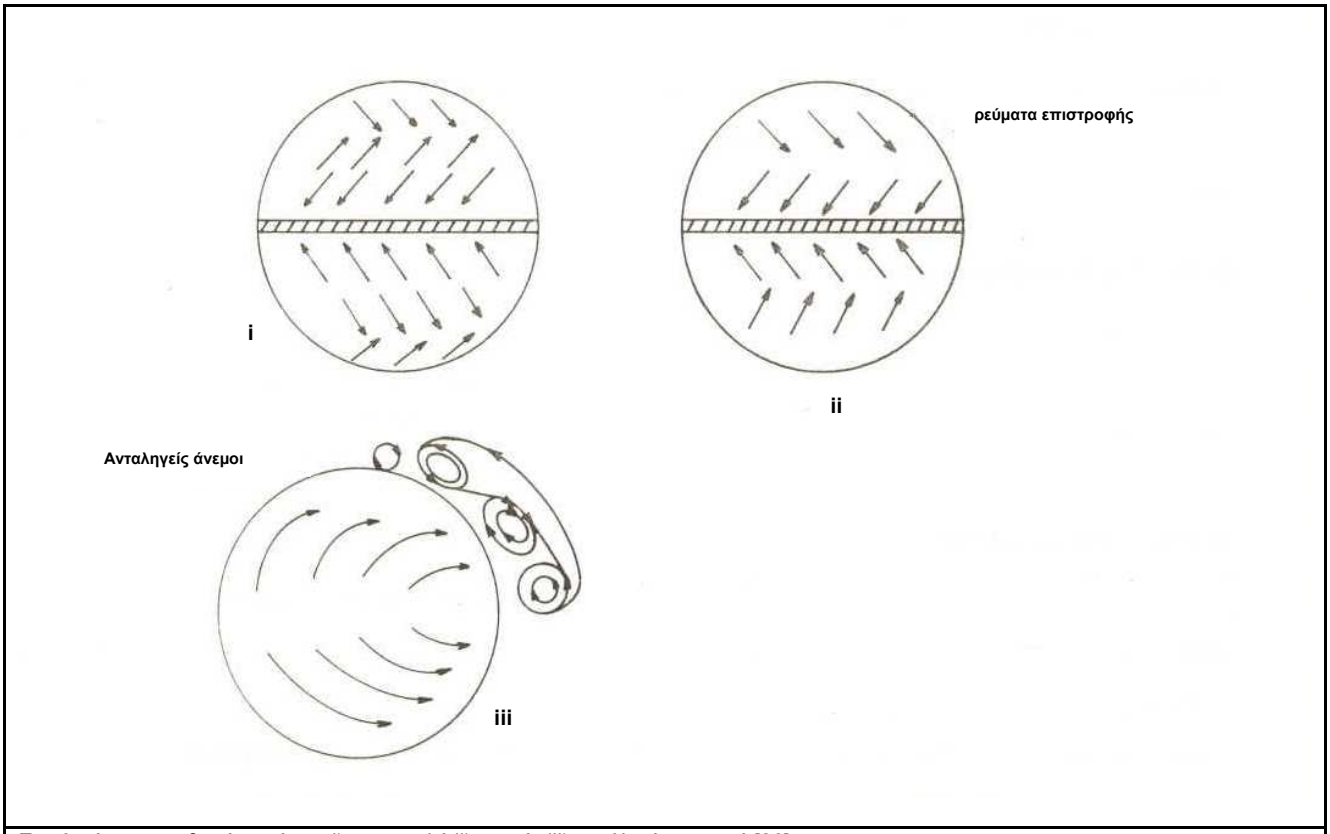
2.1.2 Δημιουργία των ρευμάτων του αέρα

Επειδή γενικά το πρόβλημα της δημιουργίας των ρευμάτων του αέρα, από τη σκοπιά της Ρευστοδυναμικής, είναι ιδιαίτερα σύνθετο, μπορούμε αρχικά να κάνουμε την απλούστερη παραδοχή ότι η γη είναι ακίνητη. Από τη θερμική ακτινοβολία που η γη λαμβάνει από τον ήλιο, το 40% επιστρέφει προς το διάστημα, ενώ το υπόλοιπο, απορροφάται από την επιφάνειά της και την ατμόσφαιρα, και πιο συγκεκριμένα από το κατώτερο τμήμα της, την τροπόσφαιρα (ή οποία είναι και η περιοχή μελέτης των κλιματικών μεταβολών) [12]. Η ακτινοβολία που απορροφάται από τη γη, μετατρέπεται σε θερμότητα και έπειτα εκπέμπεται προς την ατμόσφαιρα όπου απορροφάται στα μεν χαμηλότερα στρώματα από τους υδρατμούς, στα δε ψηλότερα από το όζον. Αν όμως δεχτούμε ότι η μέση θερμοκρασία της γης μένει εν γένει σταθερή, σε μια μεγάλη χρονική κλίμακα, τότε η ενέργεια που ακτινοβολείται από τη γη, ισοσταθμίζεται από την ενέργεια που απορροφάται. Κατά συνέπεια η ατμόσφαιρα, ενώ εκπέμπει θερμότητα και προς τη γη και προς το διάστημα, (στο τελευταίο μόνο με τη μορφή ακτινοβολίας), απορροφά από το έδαφος συγκριτικά μικρή ποσότητα ενέργειας, μέρος της οποίας επιστρέφει και πάλι στη γη. Αυτό σημαίνει ότι η θερμοκρασία της ατμόσφαιρας είναι χαμηλότερη από εκείνη της επιφάνειας του εδάφους. Εξάλλου η διαφορετική θερμοκρασία της επιφάνειας στα διάφορα γεωγραφικά πλάτη, προκαλεί διαφορετική αύξηση της θερμοκρασίας της τροπόσφαιρας. Εδώ οφείλουμε να επισημάνουμε ότι, αντίθετα προς την πυκνότητα των υγρών, η πυκνότητα των αερίων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη βαρομετρική πίεση και τη θερμοκρασία. Συγκεκριμένα για τα τέλεια αέρια η εξάρτηση αυτή δίνεται από την καταστατική εξίσωση: $P = \tilde{n} R^{*} T$, όπου P είναι η βαρομετρική πίεση, $\tilde{n}$ η πυκνότητα, T η απόλυτη θερμοκρασία και R^{*} η ειδική σταθερά του αερίου. Όπως αποδεικνύεται, ειδικά στα τέλεια αέρια το μέτρο συμπιεστότητας είναι αριθμητικά και διαστατικά ίσο με το αντίστροφο της πίεσης και ο συντελεστής κυβικής διαστολής (η διαστολικό ιξώδες) είναι αριθμητικά και διαστατικά ίσος με το αντίστροφο της θερμοκρασίας.
Ο ατμοσφαιρικός αέρας αν θεωρηθεί ως καθαρό ρευστό, ακολουθεί ικανοποιητικά την καταστατική εξίσωση των τέλειων αερίων όταν βρίσκεται σε χαμηλές πιέσεις και υψηλές θερμοκρασίες.
Σε συνθήκες όπου δεν ισχύει το μοντέλο των τέλειων αερίων για τον υπολογισμό της πυκνότητας των αερίων ισχύει η γνωστή καταστατική εξίσωση $P = z \tilde{n} R^{*} T$, όπου η παράμετρος z δίνεται από νομογράφημα [33]. Από την παραπάνω εξίσωση προκύπτει:

$$\frac{P}{\rho \cdot T} = z \cdot R^{*} = ct \qquad \textbf{(2.1)}$$

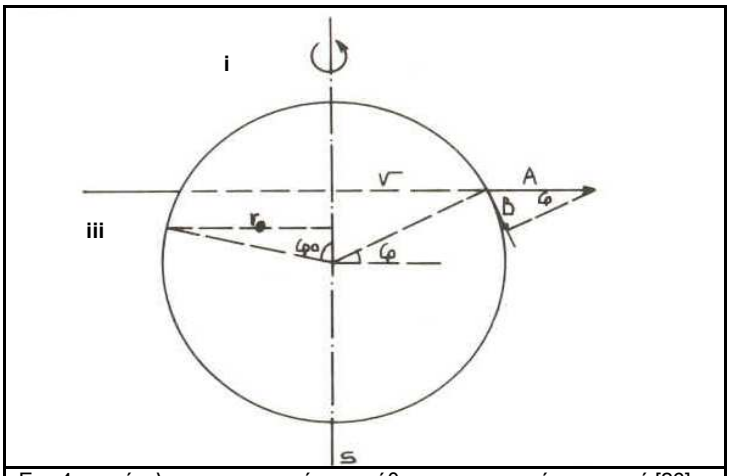
Η τελευταία σχέση φανερώνει ότι σε κάθε θερμοδυναμική μεταβολή και γενικότερα σε κάθε θερμοφυσική και χημική διεργασία, πλην των πυρηνικών διεργασιών προφανώς, το πηλίκο: $\frac{P}{\rho \cdot T}$ οφείλει να έχει σταθερή τιμή.

Με την αύξηση λοιπόν της θερμοκρασίας, ο αέρας όχι μόνο διαστέλλεται, αλλά γίνεται και ελαφρύτερος, γι' αυτό το λόγω κινείται προς τα πάνω. Λόγω του φαινόμενου αυτού δημιουργείται ένα κλειστό κύκλωμα κυκλοφορίας των αερίων μαζών της ατμόσφαιρας μέσα στο οποίο οι μάζες αυτές ανέρχονται στην περιοχή του ισημερινού προς τα πάνω και μέχρι τη στρατόσφαιρα, όπου εκεί συγκλίνουν παράλληλα προς τη γη με κατεύθυνση προς τους πόλους. Στους πόλους, στρέφονται προς τα κάτω μέχρι την επιφάνεια και πνέουν παράλληλα προς αυτή με κατεύθυνση προς τον ισημερινό. Οι παραπάνω άνεμοι οι οποίοι όπως αναφέραμε, αναπτύσσονται και κινούνται παράλληλα και κοντά στην επιφάνεια της γης με κατεύθυνση από τους πόλους προς τον ισημερινό, λέγονται αληγείς.
Αντίθετα, οι άνεμοι που κινούνται στο χώρο της στρατόσφαιρας με κατεύθυνση από τον ισημερινό προς τους πόλους, λέγονται ανταληγείς [26].



Εικ. 3 κίνηση σταθερών ανέμων i) σε χαμηλά ii) μεσαία iii) μεγάλα ύψη πηγή [26]

Σε όσα αναφέραμε παραπάνω, κάναμε την αρχική παραδοχή ότι η γη είναι ακίνητη. Αν τώρα συνυπολογίσουμε και την περιστροφή της, παρατηρούμε πως η διεύθυνση των παραπάνω ανέμων μεταβάλλεται. Στο βόρειο ημισφαίριο και σε γεωγραφικά πλάτη 0 – 30°, γίνονται βορειοανατολικοί, ενώ στο νότιο ημισφαίριο και σε γεωγραφικά πλάτη 30 - 60°, γίνονται νοτιοδυτικοί. Αν τώρα λάβουμε υπόψη ότι η γραμμική ταχύτητα περιστροφής της γης στον ισημερινό είναι 460 m / sec και σε γεωγραφικό πλάτος 60°, είναι 230 m / sec, τότε η σχετική κατεύθυνση των ανέμων παρεκλείνει όπως φαίνεται στην εικόνα [26].



Εικ. 4 παρέκκλιση της σχετικής κατεύθυνσης των ανέμων πηγή [26]

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι θα πρέπει ορισμένα σημεία και μάλιστα σε γεωγραφικό πλάτος 30° να παρουσιάζουν υψηλές πιέσεις γύρω από τις οποίες αναπτύσσονται οι ονομαζόμενοι αντικυκλώνες, ενώ άλλα σημεία στην περιφέρεια του πολικού κύκλου σε γεωγραφικό πλάτος 60° παρουσιάζουν χαμηλές πιέσεις γύρω από τις οποίες αναπτύσσονται αντικυκλώνες. Εδώ βέβαια θα πρέπει να τονίσουμε ότι οι τιμές των παραπάνω γεωγραφικών πλατών δεν είναι ακριβείς λόγω του ότι στην επιφάνεια της γήινης σφαίρας, γεωγραφική κατανομή των θαλασσών και των ηπείρων είναι ανομοιόμορφη.
Παράλληλα, λόγω της συνεχούς ανάμιξης του νερού των θαλασσών, οι υγρές επιφάνειες απορροφούν μεγαλύτερες ποσότητες θερμότητας και λόγω της μεγάλης τους ειδικής θερμοχωρητικότητας, διατηρούν τη θερμοκρασία σε σταθερότερα επίπεδα σε σχέση με τις χερσαίες επιφάνειες.

2.1.3 Μέτωπα των ρευμάτων του αέρα

Μέτωπο ενός ρεύματος αέρα, ονομάζεται γενικά η συνοριακή επιφάνεια μεταξύ των μαζών του αέρα διαφορετικής θερμοκρασίας. Συνήθως θεωρείται ως μέτωπο το σημείο ασυνέχειας της πυκνότητας των μαζών του αέρα, το οποίο ταυτίζεται με το σημείο ασυνέχειας της θερμοκρασίας, γιατί αμελούνται οι διαφορές της πυκνότητας που οφείλονται στην περιεκτικότητα του αέρα σε υδρατμούς. Επομένως η πυκνότητα είναι συνάρτηση **μόνο** της θερμοκρασίας. Η διαμόρφωση των μετώπων και η μελέτη τους, αποτελούν σημαντικά στοιχεία της μετεωρολογίας. Για τη δημιουργία ενός μετώπου, θα πρέπει να ισχύουν οι ακόλουθες δύο συνθήκες [26]:

- Οι μάζες των δύο ρευμάτων θα πρέπει να έχουν διαφορετικές πυκνότητες.
- Οι επικρατούντες άνεμοι θα πρέπει να οδηγήσουν τις μάζες των δύο ρευμάτων σε απέναντι θέσεις.

Η μαθηματική έκφραση της δημιουργίας ενός μετώπου δίνεται από την ακόλουθη ανυσματική εξίσωση:

$$\vec{f} = -\left|\frac{\partial \mathrm{T}}{\partial \vec{n}}\right| \cdot \left|\frac{\partial \vec{V}}{\partial \vec{n}}\right| \qquad \textbf{(2.2)}$$

όπου $\vec{f} = f(\mathrm{T}, \vec{V})$, είναι η συνάρτηση δημιουργίας ενός μετώπου.

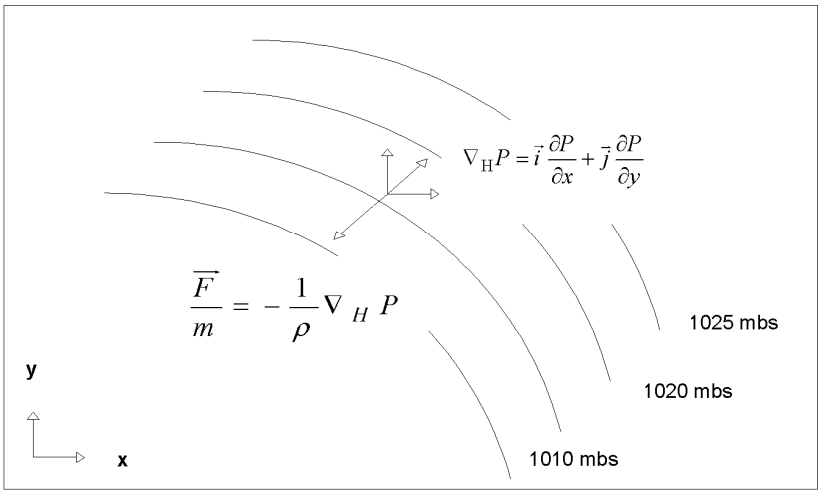
Το μοναδιαίο άνυσμα $\vec{n}$ είναι κάθετο στις ισοθερμικές καμπύλες του εκάστοτε μετεωρολογικού χάρτη. Επομένως, για να υπάρχει μέτωπο, πρέπει το ρεύμα του αέρα να έχει μια συνιστώσα κάθετη προς τις ισοθερμικές καμπύλες, η οποία να ελαττώνεται κατά μήκος της διεύθυνσής του, προς τα κατάντι της ροής. Εδώ όμως θα πρέπει να σημειώσουμε ότι στα κινούμενα στρώματα του αέρα, εμφανίζονται διάφορα φαινόμενα γνωστά από τη Ρευστοδυναμική, όπως ανάπτυξη διαφορετικών ταχυτήτων σε παράλληλα στρώματα του αέρα λόγω των ιξωδών διατμητικών τάσεων, ανάπτυξη δινών και άλλων φαινόμενων τυρβώδους ροής. Η θεωρητική έρευνα των προβλημάτων αυτών είναι γενικά δύσκολη, γιατί οι ροές των ρευμάτων είναι τρισδιάστατες και δεν μπορούν να αναχθούν σε επίπεδο διατομής, όπως συμβαίνει λόγου χάριν στα συνήθη προβλήματα υδραυλικής. Εάν ένα μέτωπο περιέχει μια συνιστώσα του ρεύματος αέρα κάθετη σε αυτό, κινείται με τη διεύθυνση και την ταχύτητα της συνιστώσας αυτής. Τα μέτωπα, στα κινούμενα ρεύματα του αέρα, λειτουργούν ως διαχωριστικοί τοίχοι, διαμέσου των οποίων δεν διεισδύουν τα μόρια του αέρα, αλλά κινούνται κάθετα προς την επιφάνειά τους. Όταν ένα μέτωπο κινείται έτσι, ώστε ο ψυχρός αέρας να καταλαμβάνει μια περιοχή που προηγουμένως υπήρχε θερμός, λέγεται ψυχρό μέτωπο, ενώ αν συμβαίνει το αντίθετο, λέγεται θερμό μέτωπο.

2.1.4 Δημιουργία των ανέμων και μορφές ροής τους

Όπως ξέρουμε, το κύριο αίτιο της ροής των μορίων της ατμόσφαιρας, είναι η μεταβολή της βαρομετρικής πίεσης η οποία κατά κύριο λόγο οφείλεται στις μεταβολές της θερμοκρασίας. Οι κυριότερες δυνάμεις που προκαλούν την κίνηση των μορίων της ατμόσφαιρας, είναι οι δυνάμεις που προκύπτουν από τη βαθμίδα της πίεσης και οι δυνάμεις λόγω περιστροφής της γης.

α) Δυνάμεις λόγω μεταβολής της πίεσης:

Η μεταβολή της πίεσης, χαρακτηρίζεται από την κλίση της πιεζομετρικής γραμμής, η οποία προκύπτει από την απόσταση των ισοβαρών καμπύλων όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Εικ.5 δίκτυο ισοβαρών καμπύλων Πηγή [6]

Η δύναμη $\vec{F}$ λόγω μεταβολής της πίεσης, (δύναμη βαροβαθμίδας), έχει τις ακόλουθες συνιστώσες σε καρτεσιανές συντεταγμένες:

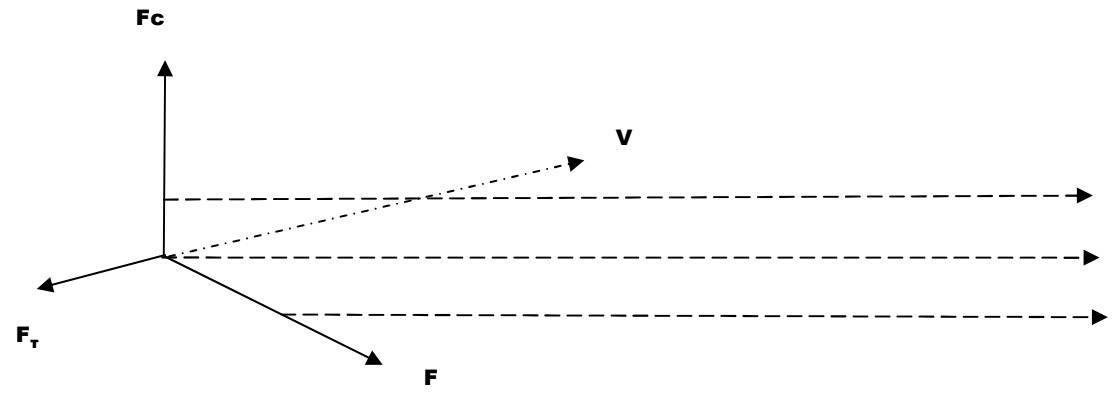
$$F_x = -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial P}{\partial x}$$

$$\wedge \qquad \textbf{(2.3)}$$

$$F_y = -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial P}{\partial y}$$

β) Δυνάμεις λόγω περιστροφής της γης

Όταν ένας στοιχειώδης αδρανειακός όγκος ελέγχου του αέριου μίγματος που χαρακτηρίζουμε με τον όρο ατμόσφαιρα, είναι ακίνητο κοντά στην επιφάνεια της γης, τότε θα περιστρέφεται μαζί της ενώ η προς τους πόλους συνιστώσα της γήινης έλξης, θα ισορροπείται από τη συνιστώσα της φυγόκεντρης, (αδρανειακής), δύναμης που διευθύνεται προς τον ισημερινό όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Εικ.6 ισορροπία αδρανειακού όγκου ελέγχου πηγή [6]

Αν τώρα υποθέσουμε, χωρίς βλάβη της γενικότητας, ότι ο εν λόγω όγκος ελέγχου βρίσκεται στο βόρειο γεωγραφικό πλάτος φ^o και εκτελεί σχετική κυκλική κίνηση ως προς τη γη με γραμμική ταχύτητα $\vec{V}$ από δύση προς ανατολή, τότε η ταχύτητα αυτή δίνεται από τη σχέση:

$$\vec{V} = r \cdot \vec{\Omega} \qquad \textbf{(2.4)}$$

όπου $\vec{\Omega}$ Το άνυσμα γωνιακής περιστροφής της γης, μέτρου $\left|\vec{\Omega}\right| = 0.729 \cdot 10^{-4}\ \sec^{-1}$

Η δύναμη λόγω περιστροφής της γης, δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$\vec{F}' = \frac{2 \cdot \left|\vec{V}\right|^2}{r} \cdot \sin\phi = \left|\vec{V}\right| \cdot 2 \cdot \left|\vec{\Omega}\right| \cdot \sin\phi \qquad \textbf{(2.5)}$$

όπου ο όρος $2 \cdot \left|\vec{\Omega}\right| \cdot \sin\phi$ ονομάζεται παράμετρος Coriolis και συχνά συμβολίζεται με το γράμμα f.

Είναι μια συνάρτηση που μεταβάλλεται αργά με το γεωγραφικό πλάτος με τιμές που είναι μηδέν στον ισημερινό και $\pm 1.46 \cdot 10^{-4}\ \sec^{-1}$ στους πόλους $\pm 1.46 \cdot 10^{-4}\ \sec^{-1}$. Σε μέσα γεωγραφικά πλάτη ισχύει: $f = \pm 10^{-4}\ \sec^{-1}$.

Η τιμή της εν λόγω παραμέτρου είναι θετική στο βόρειο ημισφαίριο και αρνητική στο νότιο.

2.1.5 Κοριόλεια απόκλιση των ανέμων

Όπως έχουμε ήδη αναφέρει, οι άνεμοι οφείλονται στην ανισότητα της βαρομετρικής πίεσης πλησίον της γήινης επιφάνειας και τείνουν να πνέουν από περιοχές υψηλότερης πίεσης σε περιοχές χαμηλότερης, κατά την κατεύθυνση της ισχυρότερης αρνητικής κλίσης του βαρομετρικού πεδίου, δηλαδή κάθετα στις ισοβαρείς καμπύλες. Η κατεύθυνσή τους όμως επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες εκ των οποίων ένας πολύ σημαντικός είναι η κοριόλεια επιτάχυνση λόγω της περιστροφής της γης. Από τη σκοπιά της Ρευστοδυναμικής, η πρόβλεψη της έντασης και της κατεύθυνσης του ανέμου είναι ένα εξαιρετικά δυσχερές

πρόβλημα δυναμικής συμπιεστού ρευστού, με μεικτές συνοριακές συνθήκες και πολύπλοκες θερμοδυναμικές μεταβολές. Χαρακτηριστική είναι η ανομοιότητα των βαρομετρικών κατανομών σε διάφορα υψόμετρα π.χ. η οριζόντια μετάθεση του κέντρου μιας βαρομετρικής ύφεσης σε υψόμετρο μερικών χιλιομέτρων από την επιφάνεια της γης.

Το άνυσμα της δύναμης Coriolis με το ίδιο σημείο εφαρμογής, προκύπτει από την ακόλουθη σχέση:

$$\overrightarrow{F_C} = 2 \cdot \vec{\Omega} \times \vec{V} \cdot \sin \phi \qquad \textbf{(2.6)}$$

Προφανώς η δύναμη $\overrightarrow{F_C}$ είναι κάθετη στο επίπεδο των ανυσμάτων $\vec{\Omega}$ και $\vec{V}$.

Για τις συνηθισμένες ταχύτητες ανέμου, η κατακόρυφη συνιστώσα της επιτάχυνσης Coriolis είναι μικρότερη από το 1/100 της επιτάχυνσης της βαρύτητας της γης και μπορεί να παραλειφθεί.

2.1.5.1 Γεωστροφικοί άνεμοι

Οι άνεμοι οι οποίοι «δημιουργούνται» από την ανυσματική διαφορά των δυνάμεων πίεσης και των αδρανειακών δυνάμεων, (φυγόκεντρων δυνάμεων), ονομάζονται γεωστροφικοί άνεμοι.
Οι γεωστροφικοί άνεμοι είναι προφανώς ισχυρότεροι, στα σημεία εκείνα που οι ισοβαρείς καμπύλες της εικόνας 4 είναι πιο πυκνές.
Το άνυσμα της ταχύτητας των γεωστροφικών ανέμων σε καρτεσιανές συντεταγμένες, υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση:

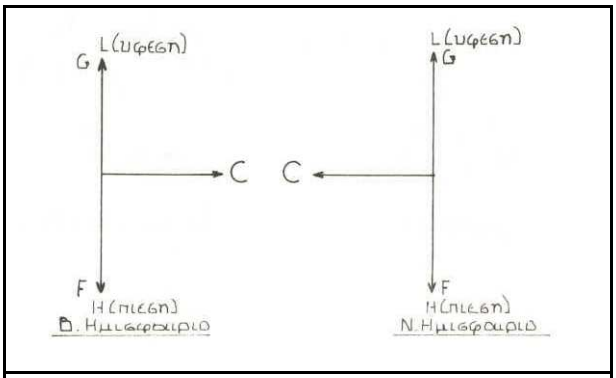
$$\vec{V} = \frac{1}{\rho \cdot (2 \cdot |\vec{\Omega}|) \cdot \sin \phi} \cdot \vec{g}_k \times gradP \qquad \textbf{(2.7A)}$$

όπου $\vec{g}_k$ είναι η φαινόμενη επιτάχυνση της βαρύτητας.

Επίσης σε ισοβαρικές συντεταγμένες, το άνυσμα της ταχύτητας των γεωστροφικών ανέμων υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$\vec{V} = \frac{1}{(2 \cdot |\vec{\Omega}|) \cdot \sin \phi} \cdot \vec{g}_k \times gradz \qquad \textbf{(2.7B)}$$

Από τις δύο τελευταίες σχέσεις προκύπτει ότι εφ' όσον το άνυσμα της ταχύτητας του ανέμου σε καρτεσιανές συντεταγμένες εξαρτάται από την πυκνότητα του αέρα η οποία προφανώς μεταβάλλεται με το ύψος, δεν εξαρτάται από την πυκνότητα των ισοβαρών για δεδομένο γεωγραφικό πλάτος.



Εικ.7 κατεύθυνση γεωστροφικών ανέμων πηγή [9]

2.1.6 Φυγοκεντρική δύναμη του ανέμου.

Κατά την περιδίνηση του ανέμου που οφείλεται στις δυνάμεις λόγω μεταβολής των πιέσεων και στις δυνάμεις λόγω περιστροφής της γης, αναπτύσσεται στα μόρια του αέρα κεντρομόλος δύναμη, η μελέτη της οποίας, από τη σκοπιά της Μετεωρολογίας, μπορεί να γίνει μέσω της φυγοκεντρικής (αδρανειακής δύναμης). Ο συνδυασμός των δυνάμεων πίεσης, των δυνάμεων λόγω περιστροφής της γης και των φυγοκεντρικών δυνάμεων, καθορίζουν την κίνηση του ατμοσφαιρικού αέρα.

2.1.7 Κατηγορίες ανέμων

Οι άνεμοι ταξινομούνται ανάλογα με τα χαρακτηριστικά στοιχεία τους στις παρακάτω ομάδες:

α) **Σταθεροί άνεμοι:** Οι άνεμοι αυτοί οφείλονται κυρίως στα αίτια κίνησης που έχουμε αναφέρει και δεν επηρεάζονται από τοπικές ή εποχιακές συνθήκες. Στους σταθερούς ανέμους ανήκουν οι αληγείς και ανταληγείς άνεμοι.

β) **Περιοδικοί άνεμοι:** Οι περιοδικοί άνεμοι, έχουν επαναλαμβανόμενο χρονικά χαρακτήρα και είναι αύρες που οφείλονται στη διαφορά θερμοκρασίας της ξηράς και της θάλασσας.

γ) **Τοπικοί άνεμοι:** Οι τοπικοί άνεμοι είναι μικρότερης έκτασης των περιοδικών μεγάλης γεωγραφικής έκτασης και οφείλονται σε τοπικά αίτια. Μεταξύ αυτών, περιλαμβάνονται οι ακόλουθοι:

- **Άνεμοι Bora και Mistral:** Οι άνεμοι αυτοί προέρχονται από ένα ψυχρό αντικυκλωνικό ρεύμα και παρουσιάζουν πολύ μεγάλη μέση ταχύτητα μέχρι και 50 m/sec.
- **Άνεμος Σιμούν:** Ο συγκεκριμένος άνεμος, σχηματίζεται στη νοτιοανατολική πλευρά της μεσογείου και προέρχεται από τη βόρεια Αφρική. Είναι πολύ ξηρός και θερμός άνεμος με μέση θερμοκρασία μέχρι και 50 ^{o}C.
- **Άνεμος Σιρόκος:** Ο συγκεκριμένος άνεμος σχηματίζεται στη δυτική μεσόγειο. Είναι θερμός άνεμος με μεγάλη περιεκτικότητα σε υγρασία.
- **Μελτέμια:** Τα μελτέμια παίζουν ιδιαίτερο ρόλο στις βιοκλιματικές μελέτες στον Ελλαδικό χώρο. Πνέουν με κατεύθυνση Β έως ΒΑ στο Αιγαίο και ΒΔ στο Ιόνιο από τα τέλη Μαΐου έως τα τέλη Οκτωβρίου. Γενικά η ταχύτητά τους κυμαίνεται από 5 έως 12 m/sec. Πολλές φορές όμως μπορεί να φτάσει και τα 20 m/sec και τότε εξελίσσονται σε πραγματική θύελλα.

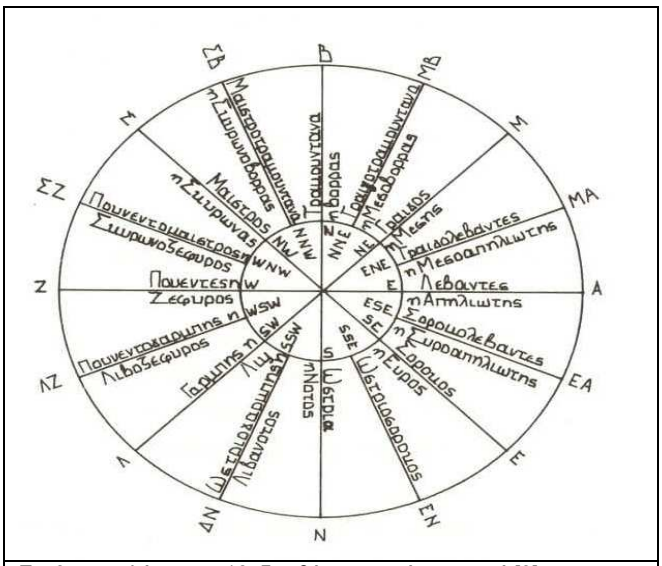
Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται η ταξινόμηση των ανέμων ανάλογα με τα χαρακτηριστικά στοιχεία τους:

α/α	Συμβολισμός		Ονομασία άνεμου	
	Διεθνής	Ελληνικός	Διεθνής	Ελληνική
1.	N. ¼ NE		Nord.¼ Nord-Est	
2.	NNE	ΒΒΑ	Nord. Nord-Est	Υποβορειοανατολικός
3.	NE ¼ N		Nord.Est ¼-Nord	
4.	NE	ΒΑ	Nord - Est	Βορειοανατολικός (Μέσης ή Γρεγος)
5.	NE ¼ E		Nord.Est.¼ Est	
6.	ENE	ΒΒΑ	Est.Nord.Est	Υπερβορειοανατολικός
7.	E ¼ NE		Est.¼ Nord.Est	
8.	E	Α	Est	Ανατολικός (Λεβάντες ή Απηλιώτης)
9.	E ¼ SE		Est.¼ South.Est	
10.	ESE	ΑΝΑ	Est.South.Est	Υπονοτιοανατολικός
11.	SE ¼ E		South.Est.¼ Est	
12.	SE	ΝΑ	South.Est	Νοτιοανατολικός (Σιρόκος ή Εύρος)
13.	SE ¼ S		South.Est.¼ South	
14.	SSE	ΝΝΑ	South.South.Est	Υπερνοτιοανατολικός
15.	S ¼ SE		South.¼ South.Est	
16.	S	Ν	South	Νότιος (Ύστρια)
17.	S ¼ SW		South.¼ South.West	
18.	SSW	ΝΝΔ	South.South.West.	Υπονοτιοδυτικός
19.	SW ¼ S		South.West.¼ South	
20.	SW	ΝΔ	South. West	Νοτιοδυτικός (Λίβας ή Γαρμπής)
21.	SW¼ W		South.West.¼ West	
22.	WSW	ΔΝΔ	West.South.West	Υπερνοτιοδυτικός
23.	W¼ SW		West.¼ South.West	
24.	W	Δ	West	Δυτικός (Ζέφυρος ή Πουνέντες)
25.	W¼ NW		West.¼ Nord-West	
26.	WNW	ΔΒΔ	West.Nord.West	Υποβορειοδυτικός
27.	NW¼ W		Nord.West.¼ West	
28.	NW	ΒΔ	Nord.West	Βορειοδυτικός (Μάϊστρος ή Σπίρων)
29.	NW¼ N		Nord.West.¼ Nord	
30.	NNW	ΒΒΔ	Nord.Nord.West	Υπερβορειοδυτικός
31.	N¼ NW		Nord.¼ Nord.West	
32.	N	Β	Nord	Βόρειος (Τραμουντάνα)

Εικ.8 ταξινόμηση των ανέμων ανάλογα με τα χαρακτηριστικά στοιχεία τους πηγή [9]

2.1.8 Βασικά χαρακτηριστικά των ανέμων

Τα κύρια στοιχεία που χαρακτηρίζουν έναν άνεμο είναι η διεύθυνσή του, ή ένταση και η ταχύτητα αυτού. Η διεύθυνση ορίζεται από τη μέση τροχιά της κίνησης των μαζών του αέρα, από τον τομέα του ορίζοντα που προέρχονται και όχι από εκείνον που κατευθύνονται. Στη μετεωρολογία, ο καθορισμός της διεύθυνσης του ανέμου, δίνεται από τη γωνία που σχηματίζει με το γεωγραφικό βορρά. Η ονοματολογία των διευθύνσεων του ανέμου, αποτυπωμένη σε χάρτη, αποτελεί το **ανεμολόγιο** από το οποίο καθορίζεται στην πράξη η διεύθυνση του ανέμου. Στην Ελλάδα, χρησιμοποιείται το ανεμολόγιο με 16 διευθύνσεις ανέμων, στο οποίο αναγράφονται και οι ονομασίες τους.



Εικ.9 ανεμολόγιο με 16 διευθύνσεις ανέμων πηγή [9]

Η διεύθυνση του ανέμου μετράται με όργανα που λέγονται ανεμοδείκτες, ενώ η ένταση μετράται με βάση τις ανεμομετρικές κλίμακες, στις οποίες θα αναφερθούμε ευθύς αμέσως. Η μέση ταχύτητα, μετράται με όργανα που λέγονται ανεμόμετρα ή ανεμογράφοι. Γι' αυτά θα μιλήσουμε αναλυτικά στο 4^{ο} κεφάλαιο.

2.1.9 Ανεμομετρικές κλίμακες

Οι ανεμομετρικές κλίμακες, είναι πίνακες εκτίμησης της έντασης των ανέμων. Μέχρι το 1926, χρησιμοποιούνταν πολλές ανεμομετρικές κλίμακες, έκτοτε όμως η Διεθνής Επιτροπή της Ναυτικής Μετεωρολογίας έκανε δεκτή την ανεμομετρική κλίμακα Beaufort. Η συγκεκριμένη κλίμακα δημιουργήθηκε από το ναύαρχο και αρχηγό της Υδρογραφικής Υπηρεσίας της Αγγλίας Francis Beaufort το 1905 [16]. Η κλίμακα αυτή, είχε αρχικά 13 βαθμίδες από το 0 έως το 12 όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα.
Το 1947, η Διεθνής Μετεωρολογική Οργάνωση συμπλήρωσε την κλίμακα Beaufort, προσθέτοντας ακόμα 4 βαθμίδες και έτσι η ανώτερη κλίμακα είναι η 17^{η} .

Βαθμίδα της κλίμακας Beaufort B	Ονοματολογία			Όρια ταχυτήτων			Πίεση άνέμου καί άντίστοιχη ταχύτητα					Ένδείξεις άνέμων
	Αστεροσκοπείου	Πολ. Ναυτικοῦ Ἑλλάδος	Ἀγγλιστί	ml/h	Κόμβοι (Knots)	m/sec	Kg/cm²	lb/ft²	mb/cm²	Αντίστοιχη ταχύτητα ml/h	Αντίστοιχη ταχύτητα Km/h	
0.	Νηνεμία	Ἄπνοια	Calme	<1	<1	0÷0,2	0,1	0	0	0	0	Πλήρης ἄπνοια.
1.	Ὑποπνέων	Ὑποπνέων	Light air	1÷3	1÷3	0,3÷1,5	0,2	0,01	0,01	2	3	Ὁ καπνός ὑψώνεται σχεδόν κατακόρυφα.
2.	Ἀσθενής	Λεπτός	Light Breeze	4÷7	4÷6	1,6÷3,3	0,7	0,08	0,04	5	8	Μόλις αἰσθητός.
3.	Λεπτός	Ὀλίγος	Gentle Breeze	8÷12	7÷10	3,4÷5,4	1,6	0,28	0,13	10	16	Κουνᾶ ἐλαφρά τίς σημαῖες καί τά φύλλα τῶν δένδρων.
4.	Μέτριος	Μέτριος	Moderate "	13÷18	11÷16	5,5÷7,9	3,1	0,67	0,32	15	24	Κυματίζει τίς σημαῖες καί τραντάζει τά μικρά κλαδιά τῶν δένδρων.
5.	Λαμπρός	Λαμπρός	Fresh Breeze	19÷24	17÷21	8,0÷10,7	5,6	1,31	0,62	21	34	Κουνᾶ τούς μεγάλους κλάδους τῶν δένδρων καί αἰσθητά δυσάρεστος.
6.	Ἰσχυρός	Ἰσχυρός	Stroug Breeze	25÷31	22÷27	10,8÷13,8	7,9	2,30	1,10	27	44	Προσβάλλει τίς οἰκίες, μόνιμα ἀντικείμενα, καί τραντάζει χονδρούς κλάδους τῶν δένδρων.
7.	Σφοδρός	Σφοδρός	Moderate Gale	32÷38	28÷33	13,9÷17,1	11,6	3,60	1,70	35	56	Κουνᾶ τούς λεπτούς κορμούς τῶν δένδρων καί προκαλεῖ ζωηρούς κυματισμούς τῆς θάλασσας.
8.	Θυελλώδης	Σκληρός	Fresh Gale	39÷46	34÷40	17,2÷20,7	17,6	5,40	2,60	42	68	Κουνᾶ ὅλα τά δένδρα καί ὁ ἄνθρωπος δύσκολα προχωρεῖ ἀντίθετα.
9.	Θύελλα	Καταιγίζων	Strong Gale	47÷54	41÷47	20,8÷24,4	23,2	7,70	3,70	50	81	Ἀποσπᾶ μόνιμα ἀντικείμενα ἀπό τίς θέσεις τους.
10.	Ἰσχυρά θύελλα	Καταιγίς	Whole Gale	55÷63	48÷55	24,5÷28,4	30,8	10,50	5,00	59	96	Ρίχνει κάτω δένδρα.
11.	Σφοδρά θύελλα	Βιαία καταιγ.	Strong	64÷75	56÷63	28,5÷32,6	55,0	14,00	6,70	68	110	Προκαλεῖ σοβαρές καταστροφές
12.	Τυφών	Τυφών	Hurricane	>75	64÷71	32,7÷36,9	>55	>17,00	>8,10	>75	>120	Καταστροφές ἐξαιρετικά σοβαρές.
13.					72÷80	37,0÷41,4						
14.					81÷89	41,5÷46,1						
15.					90÷99	46,2÷50,9						
16.					100÷108	51,0÷56,0						
17.					109÷118	56,1÷61,2						

Εικ. 10 τυπική ανεμομετρική κλίμακα Beaufort πηγή [6]

Όταν ο άνεμος κυμαίνεται από 0 μέχρι 12 βαθμούς της κλίμακας Beaufort, η μέση ταχύτητά του, σύμφωνα με την Αγγλική Μετεωρολογική Υπηρεσία, δίνεται από την ακόλουθη εμπειρική σχέση:

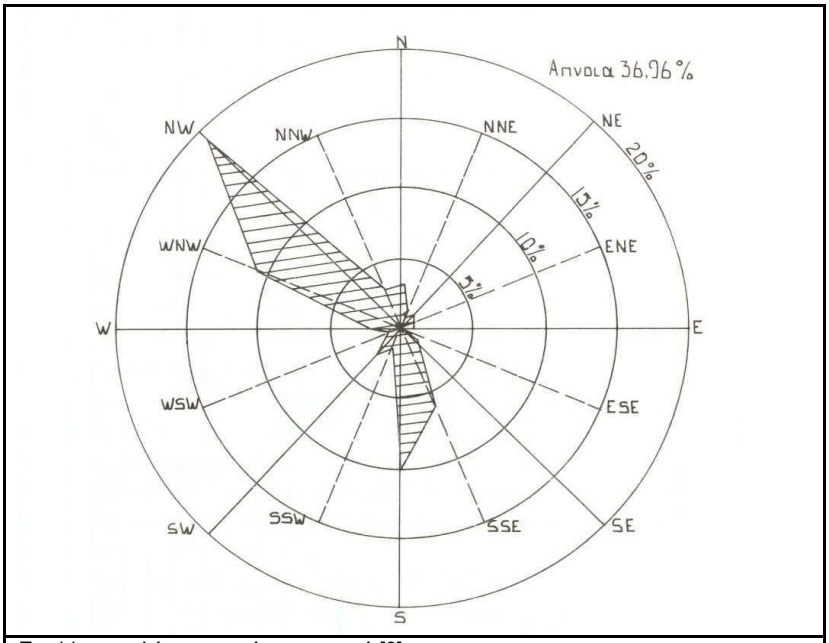
$$\overline{V} = 1.87\sqrt{\mathrm{B}^3} \qquad \textbf{(2.8)}$$

όπου $\overline{V}$: η μέση ταχύτητα του ανέμου σε μίλια ξηράς ανά ώρα (ml/h)
και B: η βαθμίδα της κλίμακας Beaufort.

Η ταχύτητα του ανέμου, όπως έχουμε αναφέρει, εξαρτάται από τη διαφορά πιέσεων των υπό μελέτη περιοχών και από την απόστασή τους. Οι πιέσεις αυτές αποτυπώνονται στους μετεωρολογικούς χάρτες με τις ισοβαρείς καμπύλες. Η διαφορά των πιέσεων μεταξύ δύο ισοβαρών καμπύλων, διαιρούμενη με την απόστασή τους, λέγεται βαρομετρική κλίση ή βαρομετρική βαθμίδα. Ως μονάδα μέτρησης της κλίσης αυτής, λαμβάνεται η πτώση ενός mm στήλης υδραργύρου (mmHg), ανά μονάδα μήκους. (Θυμίζουμε ότι $1\,mmHg = 1.3332 \cdot 10^2\,Pa$). Ως μονάδα μήκους λαμβάνεται το μήκος μιας μοίρας τόξου μεσημβρινού. Σύμφωνα με το ελλειψοειδές του Clarke, το μήκος μιας μοίρας μεσημβρινού σε γεωγραφικό μήκος 45°, είναι 111,131 km [1]. Για βαρομετρική κλίση μικρότερη του 1, πνέουν ασθενείς άνεμοι, ενώ για βαρομετρική κλίση μεγαλύτερη του 4 δημιουργούνται θύελλες.

2.1.10 Απεικόνιση των ανέμων - Ανεμολόγια συχνότητας

Απεικόνιση των ανέμων λέγεται η αποτύπωση, με κατάλληλη κλίμακα, σε ανεμολόγιο των τιμών των χαρακτηριστικών εκείνων στοιχείων που προσδιορίζουν τους ανέμους, οι οποίοι προσβάλλουν από διάφορες διευθύνσεις την υπό μελέτη περιοχή, είτε μόνιμα είτε περιοδικά. Τα στοιχεία αυτά γενικά είναι η διεύθυνση, η συχνότητα και η ένταση του ανέμου. Η απεικόνιση μπορεί να αναφέρεται, είτε σε στιγμιαίες καταγραφές των στοιχείων είτε σε καταγραφές μιας ορισμένης χρονικής περιόδου. Βάσει των στιγμιαίων καταγραφών, συντάσσονται στιγμιαία μετεωρολογικά διαγράμματα και χάρτες. Η σαφέστερη εικόνα όμως των ανεμολογικών δεδομένων μιας περιοχής, γίνεται με την αποτύπωση των μέσων τιμών των στοιχείων για μια ικανοποιητικά μεγάλη χρονική περίοδο. Αν η αποτύπωση αφορά την καταγραφή των διευθύνσεων και το σύνολο των συχνοτήτων των ανέμων διαφόρων διευθύνσεων, τότε η απεικόνιση που προκύπτει λέγεται **ανεμολόγιο συχνότητας** και το αντίστοιχο διάγραμμα, **διάγραμμα επικρατούντων ανέμων** της περιοχής. Ως επικρατούντες ονομάζονται οι άνεμοι που έχουν τη μικρότερη περίοδο επαναφοράς.

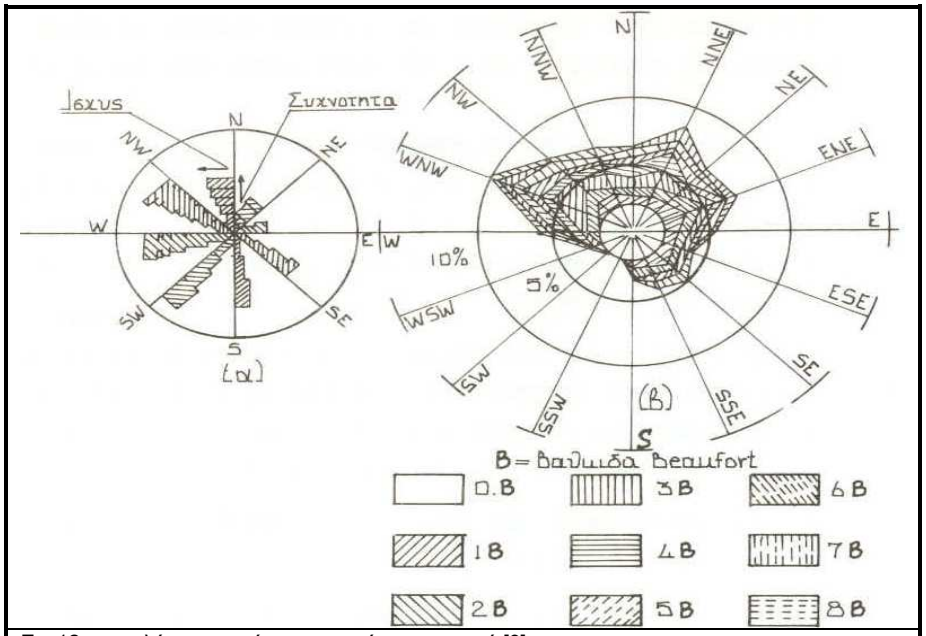


Εικ.11 ανεμολόγιο συχνότητας πηγή [9]

Για τη σύνταξη ενός ανεμολογίου συχνότητας, π.χ. για μια 5ετία, πρέπει να είναι διαθέσιμες σε αριθμό επαναλήψεων οι καταγραφές των διευθύνσεων όλων των ανέμων που πλήττουν τη συγκεκριμένη περιοχή.

Οι επικρατούντες άνεμοι μιας περιοχής δεν είναι απαραίτητα και οι ισχυρότεροι, οι οποίοι μπορεί να έχουν πολύ μεγαλύτερη περίοδο επαναφοράς. Οι ισχυρότεροι άνεμοι που πνέουν σε μια περιοχή ονομάζονται δεσπόζοντες άνεμοι.

Αν στο ανεμολόγιο συχνότητας, αποτυπωθεί και η ένταση των ανέμων όλων των διευθύνσεων, τότε ονομάζεται ανεμολόγιο συχνότητας και έντασης.



Εικ.12 ανεμολόγιο συχνότητας και έντασης πηγή [9]

Τα αποτελέσματα που προέρχονται από τη στατιστική επεξεργασία των ανεμολογικών παραμέτρων, παρουσιάζονται εν γένει με τη μορφή χαρτών χωρικής κατανομής, για τα δεδομένα που προέρχονται από αριθμητική προσομοίωση και με τη μορφή δυσδιάστατων ιστογραμμάτων συχνότητας εμφάνισης για τα δεδομένα που προέρχονται τόσο από αριθμητική προσομοίωση, όσο από σημειακές μετρήσεις.

Οι ισοσταθμικές καμπύλες των μέσων ταχυτήτων ανέμου είναι προφανώς ο γεωμετρικός τόπος των σημείων της ατμόσφαιρας, η οποία απεικονίζεται σε καρτεσιανό επίπεδο συντεταγμένων γεωγραφικού μήκους και πλάτους, όπου η εποχιακή μέση τιμή της ταχύτητας του ανέμου είναι σταθερή.

Επίσης στους χάρτες κατευθυντικότητας ανέμου, (charts of wind directionability), με 24 εξεταζόμενες διευθύνσεις, τα βέλη δείχνουν την κατεύθυνση από την οποία πνέει ένας άνεμος.

Το μήκος τους αντιστοιχεί στη συχνότητα εμφάνισης ανέμων σε ποσοστό %, που πνέουν από την αντίστοιχη κατεύθυνση. Εν γένει λαμβάνονται υπόψη ταχύτητες ανέμου πάνω από 6 m/sec.

Επίσης στους χάρτες τιμών σχεδιασμού ταχύτητας ανέμου, (charts of design values of wind speed), η εξεταζόμενη παράμετρος είναι εν γένει η ταχύτητα ανέμου στα 10 m από το έδαφος.

Οι ισοσταθμικές καμπύλες των τιμών σχεδιασμού ταχύτητας ανέμου είναι προφανώς ο γεωμετρικός τόπος των σημείων της ατμόσφαιρας, η οποία απεικονίζεται σε καρτεσιανό επίπεδο συντεταγμένων γεωγραφικού μήκους και πλάτους, όπου η τιμή σχεδιασμού ταχύτητας ανέμου είναι σταθερή.

Παράλληλα στα ιστογράμματα ταχύτητας – κατεύθυνσης ανέμου από προσομοίωση, (Hindcast wind speed – wind direction histograms), οι εξεταζόμενες παράμετροι είναι εν γένει η ταχύτητα και η κατεύθυνση ανέμου στα 10 m από το έδαφος. Κάθε στοιχείο ενός δυσδιάστατου ιστογράμματος δηλώνει τον αριθμό των παρατηρήσεων ανηγμένο ως προς 1000 στο αντίστοιχο κελί ταχύτητας – κατεύθυνσης ανέμου.

Στον παρακάτω πίνακα παραθέτουμε ένα παράδειγμα καταγραφής των ανεμολογικών στοιχείων μιας τυχαίας περιοχής του Ελλαδικού χώρου:

Δ/ση	Συνολική συχνότητα ανέμου κατά διεύθυνση σέ		Συχνότητα ανέμου ανά βαθμίδα έντασης τής κλίμακας BEAUFORT καί κατά διεύθυνση																			
			0		1		2		3		4		5		6		7		8		>9	
	Α.Ε.*	%	Α.Ε.	%	Α.Ε.	%	Α.Ε.	%	Α.Ε.	%	Α.Ε.	%	Α.Ε.	%	Α.Ε.	%	Α.Ε.	%	Α.Ε.	%	Α.Ε.	
N	108	3,672			32	1,088	25	0,850	20	0,680	10	0,340	7	0,238	12	0,408	2	0,068	-	-	-	-
NNE	6	0,204			3	0,102	2	0,068	1	0,034	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
NE	40	1,360			22	0,748	8	0,272	5	0,170	4	0,136	1	0,034	-	-	-	-	-	-	-	-
ENE	21	0,714			15	0,510	3	0,102	2	0,068	1	0,034	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
E	21	0,714			18	0,612	2	0,068	1	0,034	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ESE	4	0,136			-	-	-	-	2	0,068	1	0,034	1	0,034	-	-	-	-	-	-	-	-
SE	37	1,258			15	0,510	11	0,374	4	0,136	4	0,136	3	0,102	-	-	-	-	-	-	-	-
SSE	177	6,018			76	2,584	53	1,802	25	0,850	14	0,476	6	0,204	2	0,068	1	0,034	-	-	-	-
S	285	9,691			89	3,027	71	2,414	61	2,074	33	1,122	25	0,850	5	0,170	1	0,034	-	-	-	-
SSW	43	1,461			19	0,646	12	0,408	8	0,272	2	0,068	2	0,068	-	-	-	-	-	-	-	-
SW	82	2,788			30	1,020	25	0,850	15	0,510	8	0,272	2	0,068	2	0,068	-	-	-	-	-	-
WSW	22	0,748			12	0,408	8	0,272	1	0,034	1	0,034	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
W	59	2,006			42	1,428	13	0,442	4	0,136	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
WNW	301	10,235			69	2,346	31	1,054	4	0,136	166	5,645	31	1,054	-	-	-	-	-	-	-	-
NW	565	19,212			163	5,544	102	3,468	88	2,992	112	3,808	74	2,516	18	0,612	6	0,204	1	0,034	1	0,034
NNW	83	2,822			25	0,850	22	0,748	11	0,374	8	0,272	14	0,476	3	0,102	-	-	-	-	-	-
ΑΠΝΟΙΑ	1087	36,960	1087	36,960	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ΣΥΝΟΛΟ	2941	100,000	1087	36,960	630	21,423	388	13,192	252	8,568	364	12377	165	5,644	42	1,428	10	0,340	1	0,340	1	0,034

* Α.Ε. ἀριθμός ἐπαναλήψεων τῆς μέτρησης τῶν στοιχείων σέ ἕνα καθορισμένο χρόνο (π.χ. σέ 1 ἡμέρα, 1 μῆνα, 1 χρόνο κ.λ.π.).

—— Μέγιστα συχνότητας.

Εικ. 13 καταγραφή των ανεμολογικών στοιχείων αεροδρομίου Ηρακλείου πηγή [6]

Σε πολλές περιπτώσεις, χρήσιμοι είναι και οι χάρτες ισοπληθών ταχύτητας ανέμου, (charts of wind isopleths), όπου η εξεταζόμενες παράμετροι είναι η ταχύτητα ανέμου V_W σε συγκεκριμένο υψόμετρο πάνω από την επιφάνεια της γης και οι τιμή κατωφλίου $V_{W\,threshold}$. Οι ισοπληθείς καμπύλες της ταχύτητας ανέμου είναι ο γεωμετρικός τόπος των σημείων όπου η συχνότητα εμφάνισης τιμών της V_W ώστε $V_W < V_{W\,threshold}$ ή $V_W > V_{W\,threshold}$ να έχει σταθερή τιμή. Αυτή η σταθερή τιμή σε ποσοστό %, απεικονίζεται προφανώς σε κάθε καμπύλη του δικτύου ισοπληθών.
Όπως είναι φανερό από τα παραπάνω, κατά την εκπόνησή μιας βιοκλιματικής μελέτης που μπορεί να έχει ως στόχο είτε την εξοικονόμηση ενέργειας είτε την επίτευξη θερμικής άνεσης και ποιότητας του κτιριακού περιβάλλοντος μέσω φυσικού αερισμού, είναι απαραίτητη η γνώση των ανεμολογικών δεδομένων της εν λόγω περιοχής καθώς βάσει αυτών θα γίνουν οι πρώτες εκτιμήσεις των βιοκλιματικών παραμέτρων.
Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται το δίκτυο των μετεωρολογικών σταθμών της ΕΜΥ που μετρούν τον άνεμο.

α/α	WMO	Θέση	Έτη	α/α	WMO	Θέση	Έτη
1	600	Ορεστιάδα	75-82	72	698	Παιανία	74-83
2	606	Σέρρες	71-	73	699	Τανάγρα	57-
3	607	Δράμα	75-	74	700	Ανάβρυτα	75-86
4	608	Καβάλα (πόλη)	86-	75	701	Ν. Φιλαδέλφεια	55-
5	609	Ξάνθη	75-	76	702	Αθήνα(πόλη)	56-82
6	610	Κομοτινή	55-83	77	703	Κάρυστος	75-93
7	611	Σουφλί	73-	78	7	Χίος (πόλη)	55-73
8	613	Φλώρινα	61-	79	705	Ζάκυνθος (πόλη)	56-82
9	614	Καστοριά	80-	80	706	Χίος	73-
10	616	Πτολεμαίδα	75-97	81	707	Πύργος	75-
11	618	Έδεσσα	75-00	82	708	Μέγαρα	75-91
12	619	Τρίκ. Ημαθείας	80-	83	709	Βυτίνα	74-78
13	620	Σεδες	55-72	84	710	Τρίπολη	57-
14	622	Μακεδονία(Μικρα)	59-	85	711	Στεφάνιο	75-
15	624	Χρυσούπολη	84-	86	712	Κόρινθος	70-84
16	625	Καβάλα(Αμ/νας)	56-84	87	713	Ναύπλιο	75-88
17	626	Θάσος	75-99	88	714	Αστερ/πείο	76-91
18	627	Αλεξανδρούπολη	51-	89	715	Τατόι	56-
19	628	Κόνιτσα	75-	90	716	Ελληνικό	55-
20	632	Κοζάνη	55-	91	717	Πειραιάς	56-
21	637	Πολύγυρος	79-92	92	718	Ελευσίνα	58-
22	638	Ποτίδαια	77-	93	719	Ζάκυνθος	82-
23	640	Αυλιώτες	75-91	94	720	Ικαρία(πόλη)	80-95
24	641	Κέρκυρα	55-	95	721	Σάμος (πόλη)	55-78
25	642	Ιωάννινα	56-	96	723	Σάμος	78-
26	643	Ακτιο(Πρέβεζα)	71-	97	724	Άργος(πυργέλα)	80-
27	644	Καλαμπάκα	74-03	98	725	Σπάρτη	74-
28	645	Τρικ. Θεσσαλίας	73-	99	726	Καλαμάτα	56-
29	646	Σκοτίνα	83-03	100	727	Λεωνίδιο	81-
30	647	Καρδίτσα	88-91	101	729	Σπέτσες	74-
31	648	Λάρισα	55-	102	730	Σύρος(πολη)	70-96
32	650	Λήμνος	74-	103	731	Πάρος(πολη)	75-95
33	651	Λήμνος (Μυρινα)	56-73	104	732	Νάξος	55-
34	654	Άρτα(Φιλοθέη)	76-	105	733	Τύρινθα	75-91
35	655	Άστρος	74-	106	734	Μεθώνη	56-
36	656	Άρτα (πόλη)	61-95	107	735	Ραφήνα	72-83
37	657	Δομοκός	75-02	108	736	Αίγινα	74-
38	659	Φάρσαλα	75-92	109	737	Γύθειο	79-
39	660	Σκιάθος	86-	110	738	Μήλος	55-
40	661	Βόλος	56-88	111	739	Αστυπάλαια	77-
41	662	Σκόπελος	56-	112	740	Κως (πόλη)	61-81
42	665	Αγχίαλος	56-	113	741	Σπάτα(Βενιζελος)	74-
43	666	Αράχωβα	76-	114	742	Κως	81-
44	667	Μυτιλήνη	55-	115	743	Κύθηρα	55-
45	669	Λευκάδα(νησι)	75-97	116	744	Θήρα	74-
46	670	Σικυώνα	81-87	117	745	Βάμος	75-97
47	671	Βέλο(Κορ/θιας)	87-	118	746	Σούδα	58-
48	672	Αγρίνιο	56-	119	747	Χανιά	61-
49	673	Ναύπακτος	77-	120	748	Κάρπαθος(πόλη)	71-95
50	674	Αλίαρτος	67-01	121	749	Ρόδος	55-
51	675	Λαμία	70-	122	750	Μύκονος	89-
52	676	Λευκάδα (Φθ/δας)	74-90	123	751	Παλαιόχωρα	74-03

53	677	Λιδωρίκι	75-95	124	752	Ανώγεια	75-
54	678	Καρπενήσσι	81-90	125	753	Γόρτυς	75-
55	679	Ωρεοί	79-89	126	754	Ηράκλειο	55-
56	680	Μαραθώνας	86-03	127	755	Φουρνή	74-
57	681	Αιδηψός	74-01	128	756	Ιεράπετρα	55-
58	682	Ανδραβίδα	59-	129	757	Σητεία	60-
59	683	Κύμη	56-90	130	758	Ρέθυμνο	57-
60	684	Σκύρος	55-	131	759	Τυμπάκι	59-
61	685	Αργοστόλι	70-	132	760	Καστέλλι	76-
62	686	Μεσολλόγγι	82-	133	761	Ζαρός	76-
63	687	Άραξος	55-	134	763	Τζερμιάδες	75-94
64	688	Διαβολίτσι	74-	135	765	Κάρπαθος(Α/Δ)	90-
65	689	Πάτρα	55-03	136	766	Πάρος (Α/Δ)	87-
66	690	Πλάτανος(Ναυπ/ιας)	81-84	137	768	Λέρος	86-
67	692	Αίγιο	74-	138	770	Κάσος (Α/Δ)	89-
68	693	Δεσφίνα	61-	139	774	Σύρος(Α/Δ)	91-
69	694	Καλάβρυτα	75-99	140	779	Ικαρία(Α/Δ)	95-
70	695	Φύχτια	75-86	141	799	Ασπρόπυργος	84-89
71	697	Χαλκίδα	74-94				

Εικ. 14 Δίκτυο μετεωρολογικών σταθμών της ΕΜΥ που μετρούν τον άνεμο πηγή [55]

Επίσης, στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι μέσες ταχύτητες ανέμου (m/sec) για 36 αντιπροσωπευτικές περιοχές του Ελλαδικού χώρου, όπως έχουν καταγραφεί στα αρχεία της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού:

STATION	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEPT	OCT	NOE	DEC
Αθήνα	5.2	1.6	3	2.6	2.4	2.3	2.3	2.3	2.1	2.6	2.1	2.8
Αλίαρτος	3.2	3	3.2	3	2.6	2.8	3	2.8	2.3	2.6	2.6	3.2
Άραξος	5.4	5.2	5.4	4.8	4	3.2	2.6	2.8	3.4	3.8	4.2	4.8
Αργοστόλι	3.8	4	4	3.4	2.3	3	4	4	3.4	3.2	3	4
Άρτα	2.1	2.2	2	1.9	1.8	2	2.1	2	1.8	1.6	1.6	1.9
Ηράκλειο	3.8	3.6	4	3.4	2.6	3.6	4.8	5	4.2	3.6	2.8	3.8
Θεσσαλονίκη	0.9	1	1.2	1.2	1	1	1.2	1	0.9	1	0.7	0.7
Ιεράπετρα	1.8	1.8	1.8	1.6	1.3	1.6	1.8	1.6	1.2	1.2	1.2	1.6
Ιωάννινα	2	2.3	2	1.6	1.5	1.6	1.6	1.8	1	1.3	2.3	2.1
Καλαμάτα	3	2.8	4.4	2.8	2.4	2.6	3.2	3.2	3	3.2	2	2.6
Κέρκυρα		0	0	0	0	0	0	0	0			
Κομοτηνή	2.4	2.4	2.6	2.6	2.4	2.8	2.8	2.6	2.3	2.4	2.1	2.1
Κόνιτσα	5.7	5.7	5.7	5.2	4	4	3.8	4.2	4.6	5.7	4.8	5.9
Κόρινθος	1.6	1.8	1.8	2	2	2.3	2.1	2.1	1.6	1.6	1.5	1.5
Κύθηρα	6.7	6.4	6.1	5.2	4.2	4.2	5.2	5.2	5.2	5.9	5.7	6.4
Λαμία	6.3	7	6.1	6.1	6.1	5.9	6.5	5.7	5.2	5.2	5.9	6.3
Λήμνος	6.1	5.7	5.7	4.6	3.4	3.4	4.6	4.6	4.6	5	4.6	5.9
Μεθώνη	4.8	5	4.6	3.8	3.2	3.2	4.4	4	4	3.6	3.6	4.8
Μήλος	7	7	7	6.1	5	5.2	6.7	6.7	7	6.7	5	6.7
Μυτιλήνη	4.4	4.6	4.2	3.4	2.1	2.4	2.8	3	3	3.2	3.2	4.4
Νάξος	2.6	2.3	2.3	2.3	2	2	2	1.8	2	2	2.1	2.3
Σητεία	3	3.6	3.4	3.6	3.2	3.4	3	2.6	2.4	2.4	2.3	1.8
Σκύρος	5.2	5	5.2	4.4	3.6	4.2	5.7	5.4	5.4	5.4	4.4	5.2
Σούδα	2.1	2.4	3	2.4	2	2.6	4	3.4	2.6	1.8	1.2	2.1
Σύρος	3.2	2.8	3	2.6	2.3	2.3	2.3	2.1	2.1	2	2	2.6
Τυμπάκιο	4.4	4.4	4.2	3.4	3	3.6	4.6	4.6	4.2	3.8	3.6	4.4
Χανιά	11.9	12.2	13.5	16.4	20.4	24.7	26.9	26.7	23.6	20	16.9	13.6

Χίος	10.6	10.8	12.2	16.1	20.8	25.5	27	26.7	23.1	18.8	15.5	12.1
Λάρισα	5.3	7	9.5	14.4	19.9	25.3	28	27.4	22.6	16.8	11.7	6.8

Εικ. 15 μέσες ταχύτητες ανέμου για 36 αντιπροσωπευτικές περιοχές του Ελλαδικού χώρου πηγή [6]

Σύμφωνα με τα αρχεία της ίδιας Υπηρεσίας, έχουν προκύψει και δεδομένα για τις μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες του αέρα καθώς επίσης και για τις κύριες διευθύνσεις του ανέμου για τον Ελλαδικό χώρο:

STATION	JAN	FEB	MAR	April	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
Αθήνα	9.4	10.3	11.7	15.8	20.6	25.2	27.9	27.8	23.9	18.7	15	11.4
Αλίαρτος	5.5	7.9	9.7	13.9	19.3	23.7	25.1	24	21.1	16.1	11.4	7.7
Άραξος	10.3	10.7	12.2	15.5	19.9	24.1	26.7	27.1	23.8	19.2	15.1	11.9
Αργοστόλι	11.4	11.5	13	15.9	19.9	24.1	26.6	26.5	23.6	19.8	16.1	13
Άρτα	9	10	12.2	15.7	20.1	24.6	27.5	27	23.4	19	14.4	10.4
Ηράκλειο	12.3	12.5	13.8	16.8	20.4	24.4	26.4	26.4	23.6	20.3	17.2	13.9
Θεσσαλονίκη	5.5	7	9.9	14.6	19.7	24.1	26.7	16.3	22.2	16.7	11.9	7.4
Ιεράπετρα	13	13.3	14.7	17.3	21	25.8	28.3	28.1	25.1	21.7	18.3	14.8
Ιωάννινα	5.2	6.3	9	13	17.5	22.2	25.5	25	20.6	15.3	10.4	6.7
Καλαμάτα	11.2	11.6	13.1	16.2	20	24.3	27.1	27.1	24.1	20	16.2	12.8
Κέρκυρα	10.1	10.4	12.1	15.3	19.7	24	26.6	26.5	22.9	18.7	14.9	11
Κομοτηνή	5.3	6	8.3	13.4	18.6	23.1	26.1	25.8	21.2	15.6	11	7.3
Κόνιτσα	5.2	6.3	8.8	12.9	17.2	21.4	24.6	24.5	20.5	15.5	11	7
Κόρινθος	10	10.7	12.1	15.8	20.6	25	27.8	27.8	24.2	19.2	15	11.7
Κύθηρα	11.3	11.3	12.2	14.9	18.9	23.3	26	26	23.1	19.5	16.4	13
Λαμία	7.6	8.8	11.2	15.8	20.6	25.2	27.8	27.5	23	18	13.7	9.3
Λάρισα	5.3	7	9.5	14.4	19.9	25.3	28	27.4	22.6	16.8	11.7	6.8
Λήμνος	8.5	9.1	10.5	14.7	19.2	23.6	26.2	26.1	22.5	17.7	14	10.5
Μεθώνη	11.6	12	13.1	16	19.5	23.2	25.4	26.3	24.1	20.2	16.5	13.2
Μήλος	11	11.2	12.3	15.5	19.6	23.5	25.4	25.4	22.6	19.3	16	12.7
Μυτιλήνη	9.6	10.4	11.7	15.8	20.3	24.8	27.1	26.5	23	18.7	14.6	11.3
Νάξος	12.4	12.5	13.4	16.3	19.6	23.2	24.8	25	22.7	19.9	16.9	14.1
Πάρος	11.5	12.1	13.1	16.4	20.3	24	25.5	25.5	22.9	19.1	16.5	13.5
Πάτρα	9.8	10.4	12.1	15.8	19.9	23.9	26.5	26.7	23.4	19	14.7	11.2
Πύργος	10.5	11	12.6	15.8	19.9	24.2	26.9	27.1	24	19.6	15.4	11.9
Ρέθυμνο	12.9	13.2	14.4	17	20.7	24.9	26.8	27	24.4	20.9	17.9	14.9
Ρόδος	11.4	11.9	13.4	16.9	20.6	25	27.2	27.5	24.8	20.4	16.2	13
Σάμος	10.9	11.2	12.8	16.3	20.4	24.4	26.5	26.4	23.8	19.7	16.1	12.8
Σέρρες	4	6.2	9.4	14.5	19.7	24.1	26.8	24.4	21.7	16.2	10.6	5.6
Σητεία	12.8	13	14.1	17.1	20.9	24.6	26.4	26.5	24.2	20.9	17.8	14.5
Σκύρος	9.9	10.3	11.4	15	19.4	23.5	25.6	25.3	22	18.5	15	11.6
Σούδα	10.8	11.1	12.7	15.7	20.1	24.3	26.3	26	22.9	19	15.9	12.8
Σύρος	11.5	11.9	12.8	16	19.6	24.2	26.5	26.2	23.5	20	16.4	13.2
Τυμπάκιο	11.8	12.2	13.7	16.6	20.7	25	27.6	27.3	24.3	20.1	16.5	13.4
Χανιά	11.9	12.2	13.5	16.4	20.4	24.7	26.9	26.7	23.6	20	16.9	13.6
Χίος	10.6	10.8	12.2	16.1	20.8	25.5	27	26.7	23.1	18.8	15.5	12.1

Εικ. 16 μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες του αέρα πηγή [6]

Station	Jan	Feb	Mar	Apr	May	June	July	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Αθήνα	N	N	N	S	SW	S	N	N	N	N	NE	N
Άραξος	NE	NE	NE	NE	SW	SW	W	W	NE	NE	E	NE
Αργοστόλι	NE	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	S	SW
Άρτα	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E
Ηράκλειο	S	S	NW	NW	N	NW	NW	NW	NW	NW	S	S
Θεσσαλονίκη	NW	NW	NW	NW	S	S	S	S	NW	NW	NW	NW
Ιεράπετρα	N	SW	N	NE	N	N	N	N	N	N	N	N
Ιωάννινα	SE	SE	SE	SE	W	N	W	NW	E	SE	SE	SE
Καλαμάτα	N	N	S	S	S	S	S	S	S	S	N	N
Κέρκυρα	SE	SE	SE	SE	SW	NW	NW	NW	SW	SW	SE	SE
Κομοτηνή	NE	NE	NE	SW	SW	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
Κόρινθος	S	S	S	NW	NW	NW	NW	NW	NW	S	S	S
Κύθηρα	NE	NE	NE	NE	NE	NE	W	NE	NE	NE	NE	NE
Λαμία	W	W	W	E	E	E	E	E	E	W	W	W
Λάρισα	NE	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E
Μεθώνη	N	NW	NW	W	W	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW
Μήλος	NE	SW	N	N	N	N	N	N	N	N	N	SW
Μυτιλήνη	S	S	NE	N	N	N	NW	NW	N	N	S	S
Νάξος	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Πάρος	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Πάτρα	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW
Πύργος	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW
Ρέθυμνο	S	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	S
Ρόδος	SE	NW	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W
Σάμος	NW	SE	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	SE
Σέρρες	S	SE	SE	SE	SE	S	S	SE	SE	SE	S	SE
Σητεία	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW
Σκύρος	NE	NE	NE	N	NW	NW	NW	NW	N	NE	NE	NE
Σούδα	N	W	W	W	W	NW	NW	NW	NW	NE	W	W
Σύρος	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Τυμπάκιο	N	W	N	W	W	W	N	N	N	N	W	W
Χανιά	SE	SW	SW	SW	NW	NW	NW	N	N	SW	SW	SW
Χίος	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Λήμνος	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE

Εικ. 17 κύριες διευθύνσεις του ανέμου για τον Ελλαδικό χώρο πηγή [6]

Παράλληλα, σύμφωνα με το σκεπτικό και την μεθοδολογία των Ευρωκωδίκων για την περιγραφή της επίδρασης του ανέμου σε μια τυπική κατασκευή απαιτούνται οι μέγιστες ταχύτητες του ανέμου οι οποίες έχουν περίοδο επαναφοράς 50 έτη.

Προφανώς, η περίοδος επαναφοράς ορίζει και την πιθανότητα μη υπέρβασης της οριζόμενης μέγιστης τιμής για την διάρκεια ενός έτους: $p = 1 - \frac{1}{T} = 1 - \frac{1}{50} = 0.98$

Νεότερα στοιχεία για τον υπολογισμό της χαρακτηριστικής ταχύτητας του ανέμου, δόθηκαν από τους Trezos & Babiri [43], βασισμένα σε δεδομένα από 31 μετεωρολογικούς σταθμούς της ΕΜΥ με μέση διάρκεια παρατήρησης 40 έτη.

Στην εν λόγω εργασία προτάθηκαν πιθανοθεωρητικά μοντέλα με βάση τις διακριτές κατανομές: Gambell, Log Normal και Weibull η οποία όπως θα δούμε στη συνέχεια είναι και η επικρατέστερη. Προέκυψε δε ο παρακάτω πίνακας:

Α/Α	ΣΤΑΘΜΟΣ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑ (m/sec)	
		V50	V100
1	ΑΓΡΙΝΙΟ	23.2	24.8
2	ΑΓΧΙΑΛΟΣ	26.6	28.4
3	ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥΠΟΛΗ	30.4	32.5
4	ΑΝΔΡΑΒΙΔΑ	22.7	24.1
5	ΑΡΑΞΟΣ	22.9	24.6
6	ΑΡΓΟΣΤΟΛΙ	28.3	30.4
7	ΕΛΕΥΣΙΝΑ	25.0	26.5
8	ΕΛΛΗΝΙΚΟ	25.2	26.6
9	ΗΡΑΚΛΕΙΟ	27.0	28.3
10	ΘΗΡΑ	29.0	30.4
11	ΙΩΑΝΝΙΝΑ	31.4	33.7
12	ΚΑΛΑΜΑΤΑ	23.6	25.2
13	ΚΕΡΚΥΡΑ	30.4	32.3
14	ΚΟΖΑΝΗ	28.7	30.7
15	ΚΥΘΗΡΑ	35.2	36.8
16	ΛΑΜΙΑ	20.7	21.8
17	ΛΑΡΙΣΑ	21.6	23.0
18	ΛΗΜΝΟΣ	29.5	31.2
19	ΜΕΘΩΝΗ	28.7	30.5
20	ΜΙΚΡΑ	34.0	36.4
21	ΝΑΞΟΣ	33.9	35.4
22	ΠΥΡΓΕΛΑ	19.8	21.8
23	ΠΥΡΓΟΣ	29.2	31.3
24	ΡΟΔΟΣ	32.1	34.8
25	ΣΑΜΟΣ	31.5	33.6
26	ΣΟΥΔΑ	29.3	31.6
27	ΣΚΥΡΟΣ	35.7	38.0
28	ΤΑΝΑΓΡΑ	21.4	22.9
29	ΤΑΤΟΙ	28.4	30.3
30	ΤΡΙΠΟΛΗ	22.1	23.7
31	ΧΡΥΣΟΥΠΟΛΗ	27.3	29.5

Εικ. 18 επικρατέστερες τιμές της χαρακτηριστικής ταχύτητας του ανέμου πηγή [43]

2.2 Το Ατμοσφαιρικό Οριακό Στρώμα (ΑΟΣ)

2.2.1 Ομογενές ΑΟΣ

Όπως αναφέραμε στην προηγούμενη παράγραφο το εύρος της μικρομετεωρολογίας περιορίζεται στα φαινόμενα που λαμβάνουν χώρα στο κατώτερο στρώμα του ατμοσφαιρικού αέρα (500 – 1500 m) στο οποίο εμφανίζεται επίδραση της τριβής από την επιφάνεια του εδάφους και είναι γνωστό με το όνομα ατμοσφαιρικό οριακό στρώμα. Γενικά ως οριακό στρώμα, (boundary layer), ενός ρευστού, υγρού ή αερίου, ορίζεται ως το στρώμα εκείνο που επηρεάζεται σημαντικά από την επαφή με μια στερεή επιφάνεια με αποτέλεσμα το προφίλ των εγκάρσιων ταχυτήτων να είναι μεταβαλλόμενο. Το εύρος της περιοχής μεταβολής της ταχύτητας, δηλαδή το πάχος του οριακού στρώματος δεν διατηρείται σταθερό κατά τη διεύθυνση της ροής, αλλά αυξάνεται καθώς μεγαλύτερες ποσότητες ρευστού επιβραδύνονται υπό την επίδραση των διατμητικών τάσεων που αναπτύσσονται εντός του. Επομένως το ατμοσφαιρικό οριακό στρώμα (ΑΟΣ) σχηματίζεται ως συνέπεια της αλληλεπίδρασης της ατμόσφαιρας με την υποκείμενη επιφάνεια (έδαφος ή νερό) για χρονικά διαστήματα που κυμαίνονται από λίγες ώρες, έως περίπου 1 μέρα. Για μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα οι αλληλεπιδράσεις γης – ατμόσφαιρας, διέπουν όλο το εύρος της τροπόσφαιρας (τυπικά 10 km), αλλά ακόμα και τότε, το ΑΟΣ διαδραματίζει σημαντικό ρόλο σ' αυτές τις αλληλεπιδράσεις. Για τις περισσότερες πρακτικές εφαρμογές, το ΑΟΣ είναι συνέχεια τυρβώδες πολύ καλά αναμεμειγμένο και ανταποκρίνεται σχετικά γρήγορα στις αλλαγές που συμβαίνουν στη γήινη επιφάνεια συναρτήσει του χώρου και του χρόνου. Η επίδραση της επιφανειακής τριβής, της θερμότητας κτλ, διαδίδεται ταχύτατα σε όλο το ΑΟΣ μέσω των μηχανισμών μεταφοράς και ανάμειξης. Βάσει των ίδιων μηχανισμών επίσης, μεταφέρονται μέσω του ΑΟΣ στην επιφάνεια της γης, μάζα, ορμή και θερμότητα. Το κύριο χαρακτηριστικό που ξεχωρίζει το ΑΟΣ από τα άλλα στρώματα της ατμόσφαιρας, είναι η τυρβώδης κατάσταση στην οποία βρίσκεται. Επομένως, οι διάφορες μετεωρολογικές παράμετροι, ταχύτητα ανέμου, θερμοκρασία, υγρασία κτλ, έχουν τυχαίες διακυμάνσεις γύρω από τη μέση τιμή τους, συναρτήσει του χώρου και του χρόνου. Οι μηχανισμοί για αυτή την τυρβώδη κατάσταση που επηρεάζονται προφανώς από τη φύση της επιφάνειας του εδάφους, είναι οι ακόλουθοι δύο [18]:

1.- Μηχανική ανάμειξη: Οφείλεται στη δυναμική αστάθεια των μεγάλων βαθμιδών της ταχύτητας του ανέμου στη χαμηλότερη περιοχή του οριακού στρώματος καθώς ο τελευταίος πνέει πάνω από τραχείες εδαφικές επιφάνειες.

2.- Ανάμειξη οφειλόμενη σε ανωστικές δυνάμεις που δημιουργούνται λόγω διαφοράς πυκνότητας (buoyancy). Την ημέρα π.χ. η επιφάνεια του εδάφους θερμαίνεται λόγω ηλιακής ακτινοβολίας, με αποτέλεσμα να θερμαίνονται τα κατώτερα στρώματα του αέρα και να δημιουργούνται έτσι έντονες ανοδικές κινήσεις. Σημαντικότατο ρόλο στο φαινόμενο αυτό παίζει ο αριθμός Grashof[3] της ροής, ο οποίος για την ελεύθερη συναγωγή, παίζει ουσιαστικά τον ίδιο ρόλο που παίζει ο αριθμός Reynolds για την εξαναγκασμένη. Οι θερμές αέριες μάζες ανυψώνονται επειδή είναι λιγότερο πυκνές από τον περιβάλλοντα αέρα. Όμως ανοδικές κινήσεις μπορούν να δημιουργηθούν και όταν τα κατώτερα στρώματα του αέρα περιέχουν περισσότερο ποσοστό υδρατμών από ότι τα ανώτερα. Οι υδρατμοί είναι λιγότερο πυκνοί από τον από τον ξηρό αέρα, με συνέπεια ο ακόρεστος υγρός αέρας να είναι αραιότερος από τον ξηρό αέρα της ίδιας θερμοκρασίας. Το φαινόμενο αυτό εμφανίζεται κατά κύριο λόγο πάνω από υδάτινες επιφάνειες.

Το ΑΟΣ πολλές φορές αναφέρεται και ως στρώμα ανάμειξης (mixed layer), ειδικότερα από τους μετεωρολόγους που ασχολούνται με την ατμοσφαιρική ρύπανση, επειδή η διάχυση γίνεται πολύ πιο γρήγορα στην τυρβώδη ροή από ότι στη στρωτή. Ατμοσφαιρικές ιδιότητες, όπως θερμοκρασία, υγρασία, συγκέντρωση ρυπαντών κτλ, αναμειγνύονται πολύ καλά στο ΑΟΣ. Επειδή το στρώμα ανάμειξης έχει συνήθως και καθορισμένο στρώμα αναστροφής (capping inversion), που επιτρέπει μια σχετικά γρήγορη μεταβίβαση από το τυρβώδες στο στρωτό ΑΟΣ, παρατηρούμε πολύ συχνά με γυμνό μάτι, μια έντονη αντίθεση μεταξύ των αναμεμειγμένων εντός του ΑΟΣ ρυπαντών και του πολύ πιο καθαρού αέρα από πάνω. Παράλληλα, η ανάμειξη των υδρατμών, μπορεί να οδηγήσει στη δημιουργία νεφών curmulus ή stratocumulus, με τις βάσεις τους μέσα αλλά κοντά στην κορυφή του οριακού στρώματος.
Η κίνηση του ατμοσφαιρικού αέρα επιβραδύνεται από την αντίσταση που παρουσιάζουν τα σώματα που καλύπτουν την επιφάνεια της γης, όρη, δέντρα, δομημένο περιβάλλον, με αποτέλεσμα να αναπτύσσονται ισχυρές δυνάμεις μεταξύ εδάφους και κινούμενου αέρα. Σύμφωνα με το δεύτερο νόμο του Newton, η επιφάνεια του εδάφους, μετακινεί ορμή από την ατμόσφαιρα με ρυθμό αριθμητικά ίσο με τις δυνάμεις επιβράδυνσης. Αυτή η επίδραση των επιφανειακών (διατμητικών) τάσεων, που οφείλονται στις δυνάμεις τριβής της εδαφικής επιφάνειας, γίνεται αισθητή σε όλο το πάχος του ΑΟΣ, το οποίο γι' αυτό το λόγο ονομάζεται πολλές φορές και στρώμα επίδρασης τριβής (layer of frictional influence).
Το πάχος του ΑΟΣ, τόσο πάνω από την ξηρά όσο και πάνω από τη θάλασσα είναι μικρότερο στις περιοχές υψηλών βαρομετρικών πιέσεων από ότι στις περιοχές χαμηλών. Στις περιοχές υψηλών πιέσεων πάνω από την ξηρά, το ΑΟΣ έχει μια πολύ καλά καθορισμένη δομή που αναπτύσσεται κατά τη διάρκεια της ημέρας. Το πάχος του κυμαίνεται από μερικές δεκάδες μέτρα έως λίγα χιλιόμετρα και εξαρτάται από το ρυθμό μεταβολής θερμοκρασίας της γήινης επιφάνειας, την ένταση του ανέμου, τα τοπογραφικά χαρακτηριστικά της επιφάνειας, την υγρασία κτλ.
Κατά τη διάρκεια της ημέρας, η συνεχής θέρμανση της επιφάνειας της γης από τον ήλιο και η προαναφερόμενη τυρβώδη ανάμειξη λόγω θερμότητας εντός του ΑΟΣ, έχει ως αποτέλεσμα το πάχος του τελευταίου να αυξάνεται σταδιακά, λαμβάνοντας μια μέγιστη τιμή, εύρους 0.2 – 5 km λίγο πριν τη δύση του ηλίου. Αντίθετα, τις νυχτερινές ώρες η εκπομπή θερμότητας με τη μορφή ακτινοβολίας από τη γήινη επιφάνεια, έχουν ως αποτέλεσμα την εξασθένηση της τυρβώδους ανάμειξης και προφανώς τη συρρίκνωση του πάχους του ΑΟΣ, σε μια τυπική τιμή εύρους 200 – 500 m.
Σε περιοχές πάνω από την ξηρά, το ΑΟΣ αποτελείται από τα ακόλουθα 3 μέρη:

α) Ένα εξαιρετικά τυρβώδες αναμειγμένο στρώμα που ονομάζεται αναμεμειγμένο στρώμα (mixed layer) ή ΑΟΣ κατακόρυφων κινήσεων, (convective baundary layer). Η εξάπλωση της τύρβης εντός του μέρους αυτού, μπορούν να προέλθουν κατά κύριο λόγο είτε από μηχανικές διεργασίες, είτε από ανοδικές κινήσεις λόγω διαφοράς πυκνότητας. Όταν υπερισχύουν οι πρώτες, μιλάμε για εξαναγκασμένη συναγωγή, (forced convection), ενώ στην αντίθετη περίπτωση μιλάμε για ελεύθερη συναγωγή (free convection), που όπως αναφέραμε κύριο ρόλο παίζει ο αριθμός Grashof της ροής.

β) Ένα λιγότερο τυρβώδες υπολειπόμενο στρώμα (residual layer).

γ) Ένα νυχτερινό ευσταθές ΑΟΣ που ονομάζεται stable boundary layer ή noctural boundary layer.

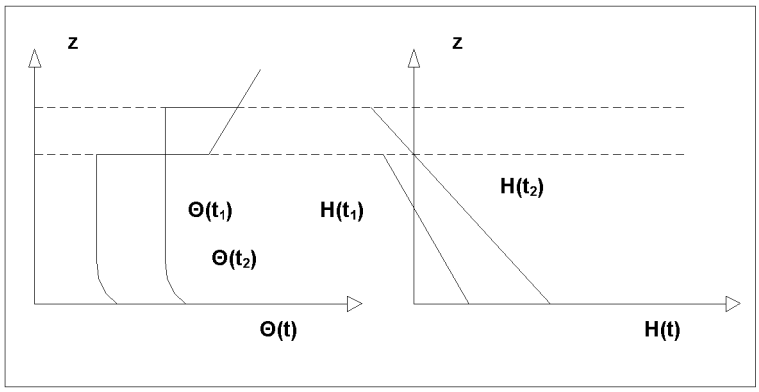
Πιο αναλυτικά, για τα 3 μέρη του ομογενούς ΑΟΣ θα μπορούσαμε να αναφέρουμε τα ακόλουθα:

ι) Αναμεμειγμένο στρώμα:

Η τύρβη στο εν λόγω στρώμα, συνήθως εξαρτάται από τις κινήσεις του αέρα τις οφειλόμενες στις ανωστικές δυνάμεις λόγω διαφοράς πυκνότητας, αν και ένα καλά αναμεμειγμένο στρώμα μπορεί να σχηματίζεται και σε περιοχές που επικρατούν ισχυροί άνεμοι. Η διαφορά πυκνότητας οφείλεται στη μεταφορά θερμότητας από τις θερμές, λόγω ηλιακής ακτινοβολίας, επιφάνειες της γης και την ψύξη λόγω ακτινοβολίας από την κορυφή του στρώματος των νεφών. Στην πρώτη περίπτωση, δημιουργούνται

[3] ο αριθμός Grashof είναι ο λόγος των μέτρων της συνισταμένης των ανωστικών δυνάμεων και της συνισταμένης των ιξωδών δυνάμεων.

τμήματα θερμού αέρα, (thermals), που ανυψώνονται από το έδαφος ενώ στη δεύτερη περίπτωση δημιουργούνται τμήματα ψυχρού αέρα που κατεβαίνουν από την κορυφή των νεφών. Ακόμη και όταν οι ανοδικές κινήσεις λόγω διαφοράς πυκνότητας, είναι ο κύριος μηχανισμός τύρβης, συμμετέχουν στην τελευταία σε κάποιο ποσοστό και οι μεγάλες βαθμίδες της ταχύτητας του ανέμου. Αυτή η κατάσταση συνδέεται με το μηχανισμό που αφορά το «σπάσιμο» των κυμάτων Kelvin – Helmholtz.[4] Κατά τη διάρκεια της ημέρας το αναμεμειγμένο οριακό στρώμα, χαρακτηρίζεται από μια στατικά ασταθή κατάσταση όπου τμήματα θερμού αέρα ανυψώνονται από το έδαφος και φτάνει στο μέγιστο πάχος του λίγο μετά τη δύση του ήλιου. Η αύξηση του ύψους του γίνεται με την εισροή ή την ανάμειξη προς τα κατάντι, του λιγότερο τυρβώδους αέρα που βρίσκεται πάνω από το αναμεμειγμένο στρώμα. Η τύρβη που δημιουργείται, τείνει να αναμείξει θερμότητα, υδρατμούς και ορμή, ενιαία στην κατακόρυφη κατεύθυνση. Η συνήθης μορφή των κατανομών της αντίστοιχης δυνητικής θερμοκρασίας και της μεταφοράς θερμότητας φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Εικ. 19 κατανομή δυνητικής θερμοκρασίας πηγή [18]

Οι κατανομές της αντίστοιχης δυνητικής θερμοκρασίας είναι σχεδόν αδιαβατικές στο μισό του αναμεμειγμένου στρώματος. Ένα ευσταθές στρώμα στην κορυφή του αναμεμειγμένου στρώματος λειτουργεί ως κέλυφος που εμποδίζει την περαιτέρω ανύψωση των τμημάτων θερμού αέρα και επομένως περιορίζει την επικράτηση της τύρβης στα ανάντι. Το τελευταίο ονομάζεται ζώνη εισροής (entrainment zone), επειδή εκεί λαμβάνει χώρα η εισροή στο αναμεμειγμένο στρώμα από τα ανάντη. Μερικές φορές αυτή η ευσταθής ζώνη, που λειτουργεί περιοριστικά για την τύρβη, ονομάζεται και στρώμα θερμοκρασιακής αναστροφής (thermal inversion layer). Εδώ θα πρέπει να αναφέρουμε πως οι περισσότερες πηγές ρυπαντών είναι κοντά στην επιφάνεια του εδάφους και οι τελευταίοι μεταφέρονται στο αναμεμειγμένο στρώμα μέσω στροβίλων, που ωστόσο δεν μπορούν να εισχωρήσουν σε μεγάλη απόσταση μέσα στο ευσταθές στρώμα
Οι ταχύτητες του ανέμου είναι υπογεωστροφικές σε όλο το αναμεμειγμένο στρώμα και οι διευθύνσεις τους, τέμνουν τις ισοβαρείς καμπύλες με μικρή γωνία προς την πλευρά των χαμηλών πιέσεων. Το ήμισυ του αναμεμειγμένου στρώματος έχει σχεδόν σταθερή ταχύτητα ανέμου κατά μέτρο και διεύθυνση. Ως γνωστό, λόγω της συνθήκης μη ολίσθησης, οι ταχύτητες του ανέμου ελαττώνεται πλησιάζοντας στο έδαφος και οριακά γίνονται μηδέν. Οι διευθύνσεις του ανέμου πλησιάζοντας στο έδαφος, τέμνουν τις ισοβαρείς με όλο και μεγαλύτερες γωνίες, οριακά 45° [41].

ii) Υπολειπόμενο στρώμα

Το υπολειπόμενο στρώμα είναι ουδέτερα στρωματωμένο με μια τύρβη που είναι ίσης έντασης σε όλες τις διευθύνσεις. Σαν αποτέλεσμα, οι φλέβες καπνού, (smoke plumes), που εκπέμπονται στο υπολειπόμενο στρώμα τείνουν να διασπαρθούν με ίδιους ρυθμούς στην κατακόρυφη ή την οριζόντια διεύθυνση δημιουργώντας κωνικές φλέβες. Η αντίστοιχη δυνητική θερμοκρασία συνήθως ελαττώνεται τη νύχτα με ρυθμό ψύξης περίπου ομοιόμορφο σε όλο το πάχος του υπολειπόμενου στρώματος, επιτρέποντας έτσι στην κατανομή της να παραμένει σχεδόν αδιαβατική. Το υπολειπόμενο στρώμα δεν έχει απ' ευθείας επαφή με το έδαφος. Τις νυχτερινές ώρες, το ευσταθές νυχτερινό στρώμα αυξάνει σταδιακά το πάχος του, μεταβάλλοντας έτσι τον πυθμένα του υπολειπόμενου στρώματος, έτσι το τελευταίο δεν επηρεάζεται από τα τυρβώδη φαινόμενα μεταφοράς που λαμβάνουν χώρα κοντά στη γήινη επιφάνεια [41].

---

[4] Γενικά η θραύση των κυματισμών προκαλεί έντονη ανάμειξη της ροής στην περιοχή αυτή αυξάνοντας το πάχος του στρώματος ανάμειξης (mixing layer depth), καθώς και γενικότερες αλλαγές στη συμπεριφορά της ροής εκατέρωθεν της διεπιφάνειας, επιφέροντας αλλαγές σε συνακόλουθες με τη ροή θερμοφυσικές ή χημικές διεγασίες.
Η θραύση των κυμάτων είναι φαινόμενο με διαλείποντα χρονικό χαρακτήρα (intermittent nature), χαρακτηρίζεται δε από τη διάρκεια θραύσης (braking duration) και την περίοδο επανάληψης (braking period)

iii) Ευσταθές νυχτερινό στρώμα

Με την πάροδο των νυχτερινών ωρών ο πυθμένας του υπολειπόμενου στρώματος, λόγω της κατακόρυφης εκπομπής θερμότητας από το έδαφος, μετασχηματίζεται σε ένα ευσταθές οριακό στρώμα. Αυτό χαρακτηρίζεται από εξαιρετικά ασθενέστερη τύρβη σε σχέση με τα άλλα στρώματα. Στο ευσταθές νυχτερινό στρώμα συμβαίνουν πολύ συχνά και κυματικές κινήσεις. Ένα πολύ ευσταθές νυχτερινό στρώμα όχι μόνο είναι ευνοϊκό για τα κύματα βαρύτητας αλλά μπορεί και να παγιδεύσει πολλά από τα κύματα υψηλότερης συχνότητας κοντά στο έδαφος. Ευσταθή οριακά στρώματα όμως, μπορούν να σχηματιστούν και κατά τη διάρκεια της ημέρας όταν η υποκείμενη επιφάνεια, δηλαδή η επιφάνεια της γης είναι πιο ψυχρή από τον αέρα.
Η περιοχή στο κάτω μέρος του ΑΟΣ είτε αυτό είναι αναμειγμένο είτε είναι ευσταθές, ονομάζεται επιφανειακό στρώμα (surface layer). Περιλαμβάνει τα πρώτα 20 έως 50 m και είναι γνωστό ως ως στρώμα σταθερής ροής (flux layer) ή ως λογαριθμικό στρώμα (logarithmic layer). Στο στρώμα αυτό οι τυρβώδεις ταχύτητες και οι τάσεις Raynolds, μεταβάλλονται λιγότερο από 10% της μέσης τιμής τους. Τέλος, αμέσως πάνω από την επιφάνεια του εδάφους, ξεχωρίζει ένα πολύ λεπτό στρώμα που ονομάζεται μοριακό στρώμα (molecular boundary layer), όπου δεν έχει αναπτυχθεί τύρβη. Το πάχος του τελευταίου δεν είναι μεγαλύτερο από λίγα εκατοστά και αναφέρεται ακόμα ως μικρόστρωμα (microlayer) ή στρώμα διαχωριστικών επιφανειών (interface layer).
Αν θεωρήσουμε μια τυπική τιμή ημέρας για το ΑΟΣ περίπου 1000 m και μια κλίμακα μέσης ταχύτητας της τάξης των 10 m/sec τότε, με δεδομένη τιμή για το κινηματικό ιξώδες του ατμοσφαιρικού αέρα σε πίεση 1atm και θερμοκρασία 25^0C $\nu = 1.5\ m^2 * sec^{-1}$ ισχύει:

$$\mathrm{Re} = \frac{V \cdot L}{\nu} = \frac{10 \cdot 10^{3}}{1.5 \cdot 10^{-5}} = 7 \cdot 10^{8} \qquad \textbf{(2.9)}$$

Η τιμή αυτή του αριθμού Re χαρακτηρίζει την πλήρως αναπτυγμένη τύρβη [41].
Κύριο ρόλο στη δομή της ατμόσφαιρας όμως διαδραματίζει ο αριθμός Richardson ο οποίος εκφράζει το λόγο των δυνάμεων άνωσης προς τις δυνάμεις αδράνειας και αποτελεί τη βασική παράμετρο ευστάθειας στρωματωμένων ροών. Ισχύει η παρακάτω σχέση:

$$R_i = -\left(\frac{g}{\rho}\right) \cdot \left(\frac{d\rho}{dz}\right) \cdot \left(\frac{\partial V}{\partial z}\right)^{-2} \qquad \textbf{(2.10)}$$

Οι τιμές του αριθμού Richardson πάνω από μια κρίσιμη τιμή θεωρητικά ίση με τη μονάδα, πρακτικά στο διάστημα 0.25 – 0.50 χαρακτηρίζουν ευσταθή στρωμάτωση με απουσία τύρβης.
Για το ΑΟΣ το οποίο είναι πάντοτε τυρβώδες, μπορούμε να επισημάνουμε τα ακόλουθα χαρακτηριστικά [41]:

i. Η τύρβη είναι περιστροφική και 3 διαστάσεων καθώς η επέκταση ενός στροβίλου μπορεί να γίνει *μόνο* στην τρισδιάστατη τύρβη. Στη διεργασία της επέκτασης, (vortex stretching), η στροφορμή του στροβίλου διατηρείται, καθώς θεωρούμε ότι η συνισταμένη των ροπών των εξωτερικών δυνάμεων, (βαρύτητας και αδράνειας), είναι μηδέν, ενώ η γωνιακή και η γραμμική του ταχύτητα αυξάνουν.

ii. Υπάρχει συνεχής μεταβίβαση ενέργειας από τις μεγάλες κλίμακες τύρβης στις μικρές.

iii. Η τύρβη είναι καταναλωτική. Λόγω των τυρβωδών ιξωδών τάσεων ένα μέρος της κινητικής ενέργειας μετατρέπεται σε εσωτερική.

Σε ύψος μέχρι 200 m από την επιφάνεια της γης, μπορούμε να κάνουμε τις ακόλουθες παραδοχές:

α) Η δύναμη Coriolis είναι αμελητέα.

β) Δεν αναπτύσσεται κατακόρυφη ροή θερμότητας. Επομένως, η βαθμίδα της μέσης ταχύτητας του ανέμου $\frac{\partial \overline{V}}{\partial z}$ εξαρτάται από την τιμή της τοπικής διατμητικής τάσης στο στερεό όριο τ_W, την πυκνότητα του αέρα και το ύψος z από την επιφάνεια του εδάφους.

Ισχύει συνεπώς η παρακάτω σχέση:

$$\frac{\partial \overline{V}}{\partial z} = f\left(\tau_W\ ,\ \rho\ ,\ z\right) \qquad \textbf{(2.11)}$$

Σε όλες όμως τις μορφές κατανομής της ταχύτητας σε τυρβώδη οριακά στρώματα εμφανίζεται πάντα μια παράμετρος που έχει διαστάσεις ταχύτητας και ονομάζεται ταχύτητα τριβής, (frictional velocity), ή διατμητική ταχύτητα, η οποία ισούται εξ ορισμού με:

$$V_* = \sqrt{\frac{\tau_W}{\rho}} \qquad \textbf{(2.12)}$$

όπου η τ_w όπως είπαμε είναι η τοπική διατμητική τάση στην επιφάνεια του εδάφους και γενικότερα ενός στερεού σώματος και έχει βρεθεί πειραματικά ότι

$$\tau_w = C_f \cdot \frac{\rho \cdot V_\infty}{2} \qquad \textbf{(2.13)}$$

Επομένως η σχέση **(2.11)**, προκειμένου να ευσταθεί διαστατικά θα πρέπει προφανώς να έχει την ακόλουθη μορφή:

$$\frac{\partial \overline{V}}{\partial z} = \frac{1}{K} \cdot \frac{V_*}{z} \qquad \textbf{(2.14)}$$

όπου K η παράμετρος Von Karman που είναι αδιάστατος αριθμός με τιμή που κυμαίνεται από 0.35 έως 0.42. Με ολοκλήρωση της τελευταίας σχέσης ως προς z προκύπτει:

$$\overline{V} = \frac{V_*}{K} \cdot \ln(z) + C(x, y) \qquad \textbf{(2.15)}$$

Αν όμως δεχτούμε ότι η μέση ταχύτητα είναι συνάρτηση μόνο του ύψους z από την επιφάνεια του εδάφους τότε ισχύει $C(x, y) = ct$ άρα $\exists\, z_0 \in (0, +\infty) : C = -\ln(z_0)$

Επομένως $\overline{V} = \frac{V_*}{K} \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)$ **(2.16)**

(για z = z_0 προφανώς $\overline{V} = 0$)

Η σχέση **(2.16)** όμως, έχει επαληθευτεί πειραματικά μόνο για επίπεδες επιφάνειες και για ουδέτερες συνθήκες. Επομένως για το ΑΟΣ πάνω από δομημένο περιβάλλον, χρησιμοποιείται αντ' αυτής ή παρακάτω σχέση:

$$\frac{\overline{V}(z)}{\overline{V}(h)} = \ln\left(\frac{(z/z_0)}{(h/z_0)}\right) \qquad \textbf{(2.16α)}$$

Η τιμή z_0 ονομάζεται μήκος τραχύτητας (roughness length) και ποικίλλει ανάλογα με το είδος της επιφάνειας όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

Περιγραφή επιφάνειας	**Z_0 (cm)**
Αμμώδης επιφάνεια	0.05 – 0.1
χιόνι	0.005 – 0.5
γρασίδι	0.5 – 4
υψηλή βλάστηση	4 - 10
προάστια πόλης	100 – 200
θάλασσα	0.001 – 0.5

Εικ. 20 τυπικές τιμές του μήκους τραχύτητας πηγή [28]

Με βάση τον παραπάνω πίνακα για z_0 μέχρι 10 cm, ο λόγος $\frac{\overline{V}(z)}{\overline{V}(h)}$ παίρνει τιμές από 1.12 μέχρι 1.3. Για μικρότερες τιμές του z_0 μπορούμε να κάνουμε την παραδοχή ότι όλη η μεταβολή της στιγμιαίας ταχύτητας έχει πραγματοποιηθεί στα πρώτα 10m από τη στάθμη αναφοράς.

Ωστόσο όπως θα δούμε πιο αναλυτικά στο κεφάλαιο 7, για το αστικό περιβάλλον χρησιμοποιείται και η ακόλουθη εμπειρική σχέση εκθετικής μορφής:

$$\overline{V} = V_* \cdot \left(\frac{z}{z_0}\right)^\alpha \quad \text{ή} \quad \frac{\overline{V}(z)}{\overline{V}(h)} = \left(\frac{(z/z_0)}{(h/z_0)}\right)^\alpha \qquad \textbf{(2.16β)}$$

όπου 0.25 < α <0.35

Μεταξύ των z_0 και α ισχύει η εμπειρική σχέση: $z_0 = 15.25\, EXP\left(-\frac{1}{a}\right)$ από 10 έως 30 m

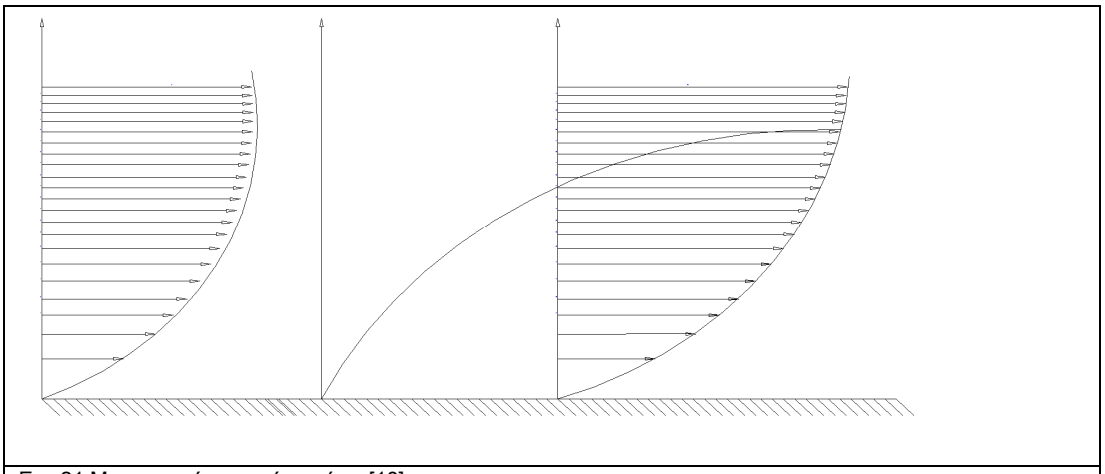
Η επίδραση του ανέμου μπορεί γενικά να αναλυθεί σε 4 συνιστώσες, όπως φαίνεται στην παρακάτω εξίσωση [32]:

$$V(t) = V_B(t) + V_G(t) + V_R(t) + V_N(t) \qquad \textbf{(2.17)}$$

μέση ταχύτητα — **ταχύτητα λόγω ριπής** — **ταχύτητα λόγω γραμμικής αύξησης της μεταφοράς μάζας του ανέμου** — **ταχύτητα λόγω τυχαίων μεταβολών**

2.2.2 Μη ομογενές ΑΟΣ

Σε περίπτωση που στη γήινη επιφάνεια υπάρχουν ανομοιογένειες, πράγμα που βέβαια είναι και το πιο σύνηθες, αλλά παρουσιάζει εξαιρετικά πιο δύσκολο μαθηματικό φορμαλισμό, τότε το μήκος τραχύτητας προφανώς δεν είναι σταθερό και μιλάμε τότε για μη ομογενές ΑΟΣ. Με τη μεταβολή της τραχύτητας μεταβάλλεται και η ταχύτητα τριβής, με αποτέλεσμα να διαφοροποιείται το εγκάρσιο προφίλ της ταχύτητας. Η αλλαγή αυτή στην κατανομή σε συνδυασμό με την αλλαγή και στην ένταση της τύρβης ορίζουν ένα νέο οριακό στρώμα το λεγόμενο εσωτερικό οριακό στρώμα το οποίου το πάχος αυξάνεται ανάλογα με την απόσταση από τη διαχωριστική γραμμή όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Εικ. 21 Μη ομογενές οριακό στρώμα [18]

Σύμφωνα με πειραματικές μετρήσεις για το πάχος του εσωτερικού οριακού στρώματος, το τελευταίο ακολουθεί την παρακάτω εμπειρική σχέση [11]:

$$\frac{h_i}{z_0} = \alpha_i \cdot \left(\frac{x}{z_0}\right)^{0.8} \qquad \textbf{(2.18)}$$

όπου η παράμετρος α_i παίρνει τιμές από 0.35 έως 0.75.

Σε περίπτωση που υπάρχουν διαδοχικές αλλαγές στην επιφανειακή τραχύτητα, η τελική κατανομή της μέσης ταχύτητας του ανέμου θα προκύπτει από ένα συνδυασμένο εσωτερικό οριακό στρώμα το οποίο πιθανόν να παρουσιάζει ασυνέχειες στα αντίστοιχα ύψη που χαρακτηρίζουν τα επιμέρους στρώματα.

Προφανώς στο ΑΟΣ, οι όροι της επιτάχυνσης θεωρούνται αμελητέοι σε σχέση με τους όρους βαροβαθμίδας και Coriolis. Επομένως, σε μια πρώτη προσέγγιση οι εξισώσεις του ΑΟΣ, εκφράζουν ουσιαστικά την ισορροπία μεταξύ των τριών δυνάμεων: Coriolis, βαροβαθμίδας και τριβής.

$$-f \cdot V_x = -\frac{1}{\rho}\frac{\partial P}{\partial x} + \frac{1}{\rho} - \frac{\partial}{\partial z}\left(A_z \frac{\partial V_y}{\partial z}\right) \qquad \textbf{(2.19α)}$$

$\wedge$

$$-f \cdot V_y = -\frac{1}{\rho}\frac{\partial P}{\partial y} + \frac{1}{\rho} - \frac{\partial}{\partial z}\left(A_z \frac{\partial V_x}{\partial z}\right) \qquad \textbf{(2.19β)}$$

Με συνοριακή συνθήκη: $\lim_{z \to +\infty} (V_x, V_y) = (0,0)$

Ο συντελεστής A_z ονομάζεται στροβιλικός συντελεστής και εξαρτάται από το ύψος z. Τυπικές τιμές του εν λόγω συντελεστή για την ατμόσφαιρα είναι της τάξης των $10 kgr/m \cdot \sec$

Τονίζουμε εδώ ότι όλες οι μεταβλητές στις παραπάνω εξισώσεις, αφορούν μέσες τις τιμές των εμπλεκόμενων φυσικών μεγεθών.

Θεωρώντας τον συντελεστή A_z σταθερό προκύπτουν οι παρακάτω απλοποιημένες εξισώσεις:

$$f \cdot V_x = \frac{1}{\rho_0}\frac{\partial P}{\partial x} - K_m \frac{\partial^2 V_y}{\partial z^2} \qquad \textbf{(2.20α)}$$

$\wedge$

$$f \cdot V_y = \frac{1}{\rho_0}\frac{\partial P}{\partial y} - K_m \frac{\partial^2 V_x}{\partial z^2} \qquad \textbf{(2.20β)}$$

Με συνοριακή συνθήκη: $\lim\limits_{z \to +\infty} (V_x, V_y) = (0,0)$

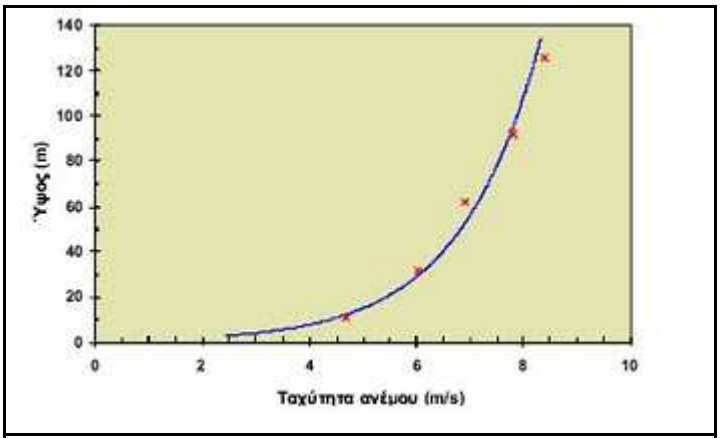
όπου ό όρος $K_m = \frac{A_z}{\rho}$ είναι ένας συντελεστής ανάλογος προς το κινηματικό ιξώδες της στρωτής ροής μπορεί να προκύψει μέσω της θεωρίας μήκους ανάμειξης του Prandtl.

Για τις τελευταίες εξισώσεις έχουν δοθεί λύσεις κλειστής μορφής, μέσω μεθόδων σύμμορφης απεικόνισης και άλλων αναλυτικών μεθόδων και αριθμητικών μεθόδων [40].

2.2.3 Επίδραση της τοπογραφίας μιας περιοχής

Η τοπογραφία μιας περιοχής μπορεί να επηρεάσει διάφορες μετεωρολογικές παραμέτρους δημιουργώντας τοπικά ή και μεγαλύτερης έκτασης φαινόμενα με ημερήσιο κύκλο. Χαρακτηριστικό παράδειγμα τέτοιου φαινόμενου είναι οι άνεμοι που δημιουργούνται κατά μήκος των πρανών (slope winds). Η αιτία αυτού του φαινόμενου είναι η διαφορική θέρμανση του αέρα που βρίσκεται σε επαφή με το πρανές σε σχέση με τον αέρα που βρίσκεται στο ίδιο επίπεδο αλλά μακριά από το πρανές. Την ημέρα, το έδαφος θερμαίνεται από την ηλιακή θερμότητα πολύ περισσότερο από ότι ο αέρας λόγω της σημαντικής διαφοράς της ειδικής τους θερμοχωρητικότητας. Το στρώμα του αέρα που βρίσκεται σε επαφή με το πρανές θερμαίνεται περισσότερο από τον αέρα που βρίσκεται πιο μακριά με αποτέλεσμα την άνοδό του προς την κορυφή του πρανούς, σχηματίζοντας έτσι τους αναβάτες ανέμους (anabatic winds). Τις νυχτερινές ώρες προφανώς η κατάσταση αντιστρέφεται και έτσι δημιουργείται καταβατική ροή αέρα. Η ένταση της θερμοκρασιακής αναστροφής ποικίλλει μεταξύ 1 έως 10 ^{0}C και αυξάνεται με την κάθοδο του ανέμου στην πλαγιά. Οι παραπάνω περιπτώσεις όμως, αναφέρονται σε απλό εδαφικό ανάγλυφο. Το σύνθετο ανάγλυφο δυσχεραίνει εξαιρετικά τη μοντελοποίηση της κίνησης του ανέμου. Η τραχύτητα του εδάφους επιδρά στη διάτμηση του ανέμου καθορίζοντας το πόσο επιβραδύνεται ο άνεμος κοντά το έδαφος. Σε περιοχές με υψηλό βαθμό τραχύτητας, όπως τα δάση ή οι πόλεις, οι ταχύτητες του ανέμου κοντά στην επιφάνεια τείνουν να είναι μικρές και η διάτμηση του ανέμου μεγάλη, ενώ το αντίστροφο ισχύει σε περιοχές με μικρή τραχύτητα, όπως είναι οι επίπεδοι, ανοικτοί αγροί. Η διάτμηση του ανέμου μπορεί να ελαττωθεί πολύ ή να εξαλειφθεί όπου υπάρχει μια απότομη αλλαγή στο ύψος του πεδίου, όπως μια απότομη ακρογιαλιά ή κορυφογραμμή.

Στο παρακάτω σχήμα, παρουσιάζεται μια τυπική μορφή του οριακού στρώματος της ταχύτητας του ανέμου.



Εικ.22 Τυπική καθ' ύψος κατανομή της ταχύτητας του ανέμου πηγή [18]

Μια συνηθισμένη προσέγγιση για την καθ' ύψος κατανομή της ταχύτητας του ανέμου είναι η λογαριθμική:

$$V = \frac{V_*}{\kappa} \ln(h/z_0) \qquad \textbf{(2.21α)}$$

όπου V είναι η ταχύτητα του ανέμου σε ύψος h, $V_{\hat{o}}$, η ταχύτητα τριβής, κ η σταθερά von Karman (ίση με 0,4), και z_0 το μήκος τραχύτητας, το οποίο σχετίζεται με την κάλυψη βλάστησης της περιοχής (από διάφορες πηγές διατίθενται πίνακες για τις τιμές του μήκους της τραχύτητας). Μερικές φορές χρησιμοποιείται ένας εκθετικός νόμος για την περιγραφή της κατανομής του ανέμου:

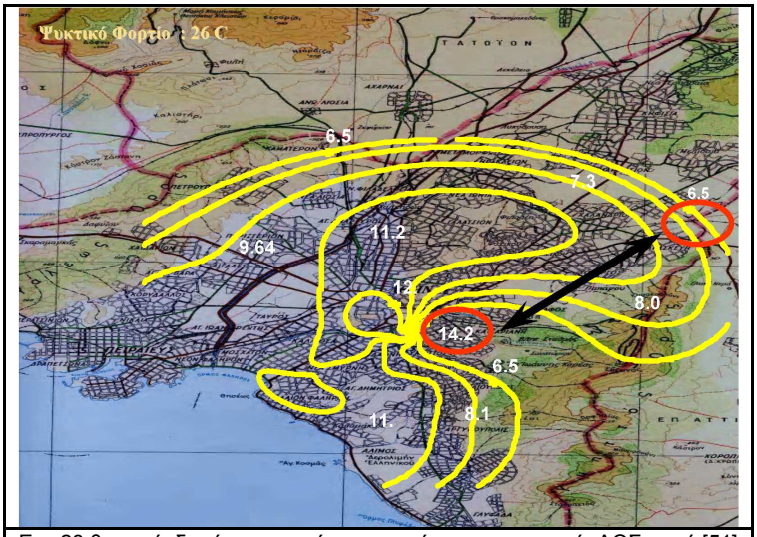
$$V = V_0 \left(h/h_0\right)^{\acute{a}} \qquad \textbf{(2.21β)}$$

όπου V_0 είναι η ταχύτητα του ανέμου στο ύψος αναφοράς h_0. Ο εκθέτης α, εξαρτάται από τα στοιχεία τραχύτητας του εδάφους και συχνά λαμβάνει την τιμή 1/7.

2.3 Μελέτη του ανέμου σε αστικούς χώρους

2.3.1 Επίδραση του ανέμου σε οικιστικό επίπεδο

Οι περισσότερες πόλεις είναι πηγές θερμότητας και ρύπανσης με αποτέλεσμα η θερμική δομή της ατμόσφαιρας πάνω από αυτές να χαρακτηρίζεται από το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας (heat island effect). Εάν χαράξουμε τις ισόθερμες καμπύλες πάνω από μια αστική περιοχή καθώς επίσης και από την υπαίθρια περιοχή που την περιβάλλει τότε θα παρατηρήσουμε ότι δημιουργείται μια εικόνα παραπλήσια με αυτή που θα έδιναν οι ισόθερμες καμπύλες σε μικρά νησιά μέσα στον ωκεανό. Η μεγαλύτερη θερμοκρασιακή διαφορά παρατηρείται κατά τη διάρκεια της νύχτας, αφού το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας οφείλεται περισσότερο στην ψύξη παρά στην θέρμανση. Η αέρια ρύπανση επηρεάζει επίσης το κλίμα της πόλης αφού τα σωματίδια που διαχέονται στην ατμόσφαιρα ανακλούν την ηλιακή ακτινοβολία ή λειτουργούν ως πυρήνες συμπύκνωσης υδρατμών με αποτέλεσμα αύξηση της συχνότητας εμφάνισης ομίχλης. Το φαινόμενο της θερμικής νησίδας οδηγεί σε μεταβολή της θερμικής δομής στο κατώτερο στρώμα του αστικού ΑΟΣ όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα [51]:

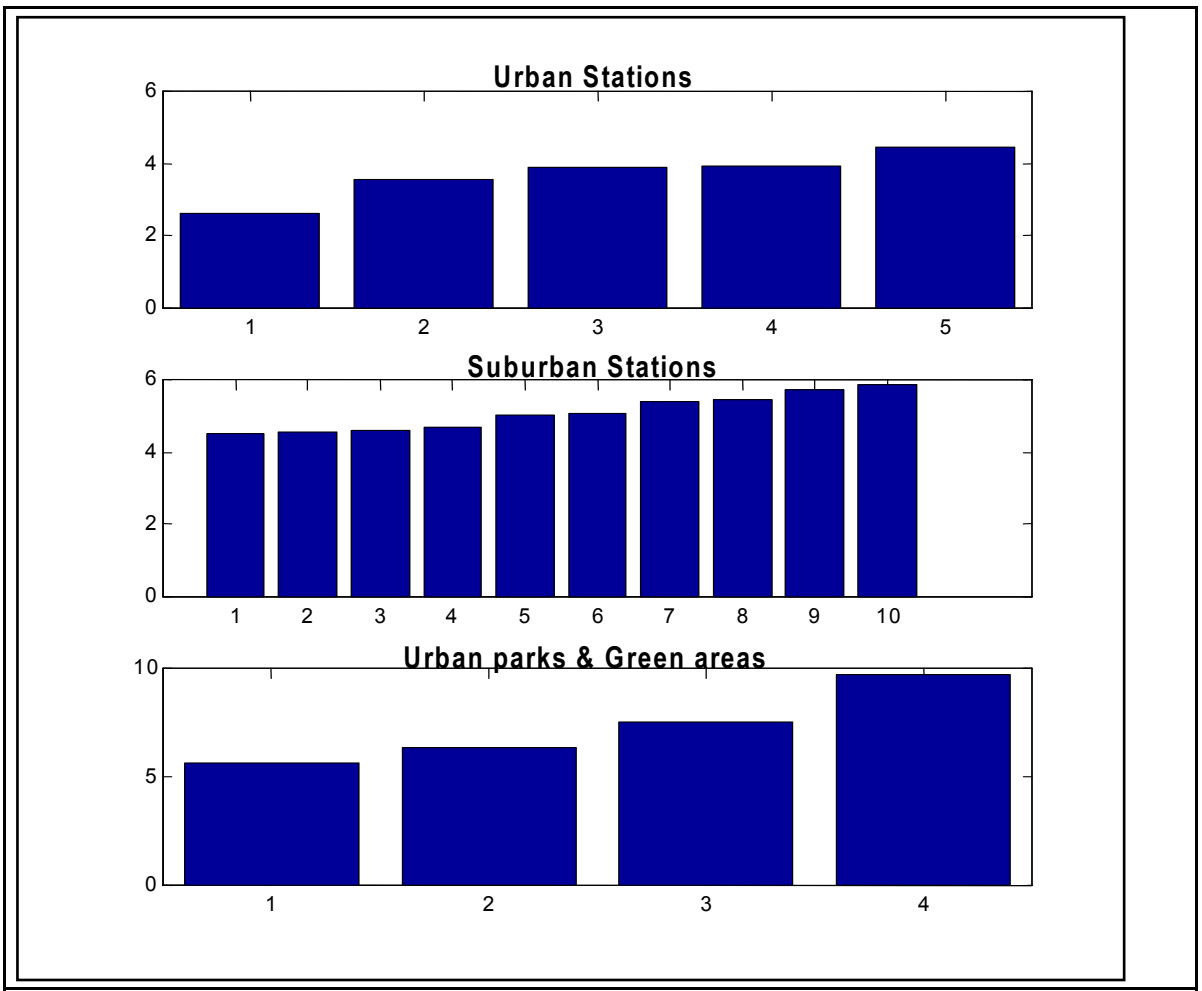


Εικ. 23 θερμική δομή στο κατώτερο στρώμα του αστικού ΑΟΣ πηγή [51]

Το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας εκτός από τις μεταβολές στην επιφανειακή θερμοκρασία, επιδρά και στην κατακόρυφη δομή του αστικού ΑΟΣ. Κατά τη διάρκεια της ημέρας και για περίπτωση αίθριου καιρού το αστικό ΑΟΣ αναπτύσσεται σε μεγάλο ύψος εξαρτώμενο από την επιφανειακή ροή της θερμότητας και την ευστάθεια της ατμόσφαιρας. Το ύψος του συγκρινόμενο με το αντίστοιχο του ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος μιας μη αστικής περιοχής είναι κατά πολύ μεγαλύτερο.
Τη νύχτα, εξ αιτίας της καλά αναπτυγμένης θερμονησίδας, η πόλη διατηρεί ένα επιφανειακό στρώμα ανάμειξης σε αντίθεση με τα γύρω προάστια. Επομένως η συχνότητα εμφάνισης νυχτερινών θερμοκρασιακών αναστροφών σε μια πόλη είναι πολύ μικρότερη από ότι σε ένα προάστιο. Σε αυτό συντείνουν και οι ακόλουθοι παράγοντες:

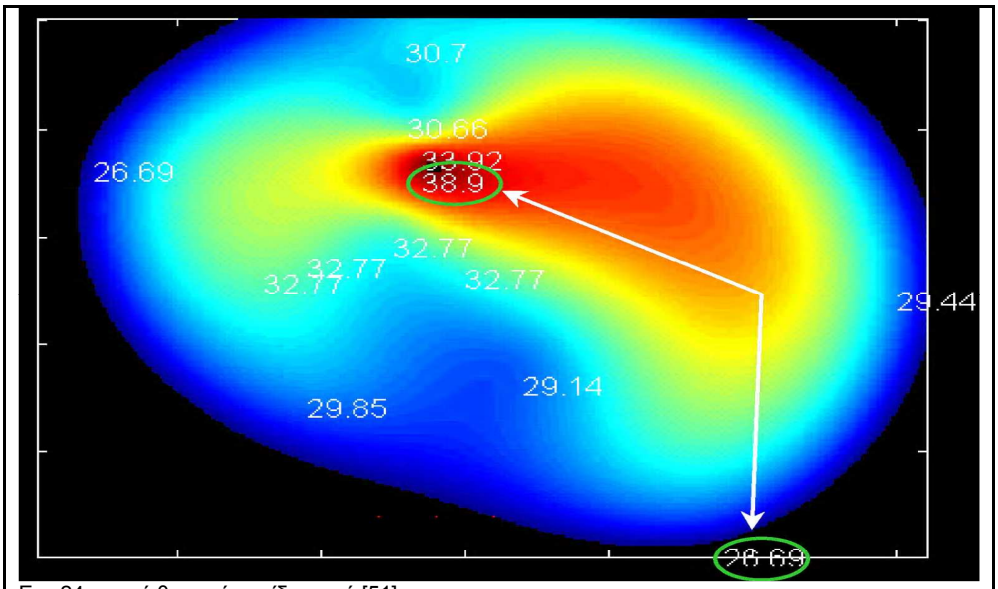
- Η ύπαρξη βιομηχανίας, μεταφορών και κεντρικής θέρμανσης στα κτίρια
- Η ύπαρξη υλικών μεγάλης ειδικής θερμοχωρητικότητας που απορροφούν θερμότητα την ημέρα και την απελευθερώνουν βαθμιαία τη νύχτα.
- Η ύπαρξη τοπικής κυκλοφορίας αέρα μεταξύ κέντρου και περιφέρειας που δημιουργείται σε περιπτώσεις άπνοιας.

Τα χαρακτηριστικά του αστικού ΑΟΣ οφείλονται αφενός στην επίδραση του φαινόμενου της θερμικής νησίδας και αφετέρου στην επίδραση της αυξημένης ταχύτητας που εμφανίζει η αστική περιοχή. Λόγω της τελευταίας ελαττώνεται η ταχύτητα του ανέμου κοντά στο έδαφος σε ένα ποσοστό 20 – 30% σε σχέση με τις αγροτικές περιοχές.



Εικ. 24 διαφοροποίηση της ταχύτητας του ανέμου σε αστικές και ημιαστικές περιοχές πηγή [53]

Η ομάδα του εργαστηρίου Φυσικής κτιριακού περιβάλλοντος του ΕΚΠΑ, με χρήση του λογισμικού Phoenics, έδωσε τις ακόλουθες χαρακτηριστικές τιμές θερμοκρασίας για το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας σε μια τυπική καλοκαιρινή μέρα [51].



Εικ. 24 αστική θερμική νησίδα πηγή [51]

Τα οφέλη του βιοκλιματικού σχεδιασμού των αστικών αλλά και των υπαίθριων χώρων είναι σε γενικές γραμμές τα ακόλουθα:

α) Οικονομικά και πολιτιστικά

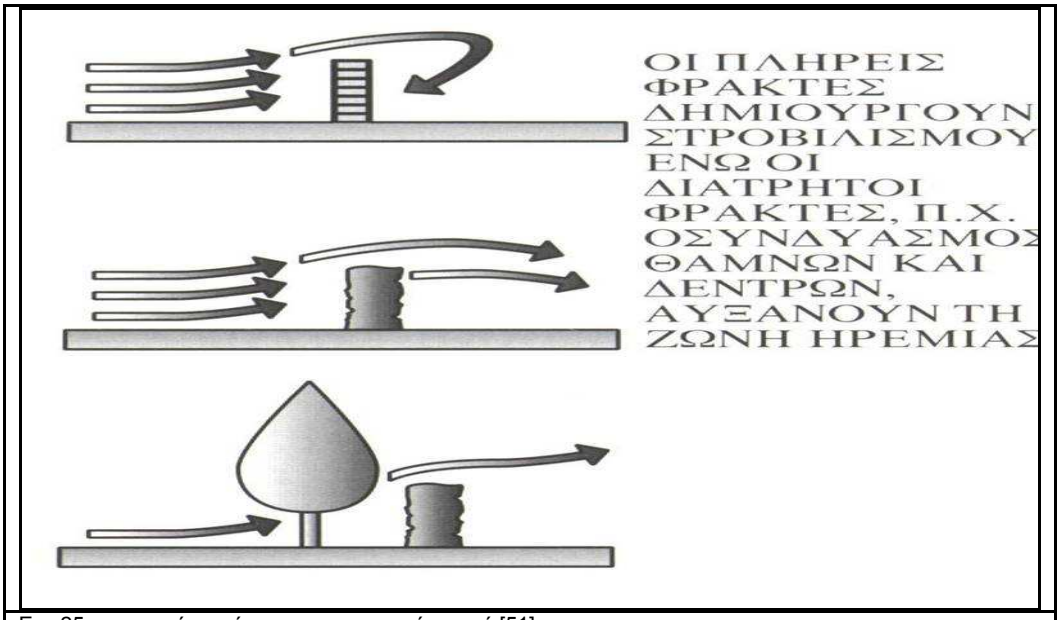
Αναβάθμιση του πολιτιστικού και οικονομικού επιπέδου της ευρύτερης περιοχής, καθώς ο πολίτης τοποθετείται κοντά στο φυσικό του περιβάλλον και στις ανθρώπινες αξίες. Τα θερμικά κέρδη περιορίζονται, οι εξωτερικές θερμοκρασίες διατηρούνται σε χαμηλότερο επίπεδο, τα γύρω κτίρια «ανακουφίζονται» και επηρεάζεται η ενεργειακή τους συμπεριφορά.

β) Κοινωνικά

Αναβάθμιση της ποιότητας ζωής, με έμφαση στις βασικές ανθρώπινες λειτουργίες επικοινωνίας, κίνησης, άνεσης. Εξοικείωση και ενημέρωση σε θέματα περιβάλλοντος και αειφόρου (βιώσιμης) ανάπτυξης.

γ) Περιβαλλοντικά

Δημιουργία ευνοϊκού μικροκλίματος, με βελτιωμένες συνθήκες άνεσης (θερμικής, οπτικής και ακουστικής) στους υπαίθριους χώρους, αλλά και στο ευρύτερο δομημένο περιβάλλον παράλληλα επιτυγχάνεται βελτίωση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα στον αστικό ιστό ως βασική προτεραιότητα για την υγεία των πολιτών.
Γνωρίζουμε ότι τα κτίρια λειτουργούν ως εμπόδια στον άνεμο και σε κάποιο βαθμό ως ένα είδος ανεμοπροστασίας για τους εξωτερικούς χώρους. Αποτέλεσμα τούτου, είναι ότι οι μέσες ταχύτητες του ανέμου στις πόλεις είναι γενικά μικρότερες από ότι στην ανοιχτή ύπαιθρο. Αυτό μειώνει τη διάχυση του θερμικού πλεονάσματος, εντείνοντας έτσι την αστική θερμική νησίδα. Έχει επίσης επιπτώσεις και στην κατανομή των ρυπαντών και συνεπώς στην ποιότητα του κτιριακού περιβάλλοντος.
Ο τρόπος με τον οποίο κινείται ο αέρας σε έναν οικισμό, είναι συνάρτηση της δόμησης του αστικού ιστού. Όταν οι δρόμοι είναι παράλληλοι προς την κατεύθυνση του ανέμου, η κίνηση του τελευταίου είναι σε μεγάλο βαθμό απρόσκοπτη. Επίσης όσο μεγαλύτερο είναι το πλάτος των δρόμων, τόσο μικρότερη είναι η αντίσταση στην κίνηση του αέρα. Όταν η διεύθυνση του ανέμου σχηματίζει οξεία γωνία με το δρόμο, τότε η κίνησή του κατά μία έννοια «διασπάται» και μόνο το ένα τμήμα ακολουθεί τη διεύθυνση του δρόμου. Οι ακάλυπτοι χώροι των οικοδομικών τετραγώνων παραμένουν συνήθως έξω από την πνοή του ανέμου. Κατά την πρόσκρουση του ανέμου σε ένα κτίριο, δημιουργούνται δίνες και στρόβιλοι με πολλές συνέπειες στους γύρω χώρους. Με δόμηση εν σειρά, η ευθυγράμμιση των δρόμων σύμφωνα με την κατεύθυνση του ανέμου επιτυγχάνει τον αποτελεσματικότερο αερισμό.
Με πανταχόθεν ελεύθερα κτίρια, καλύτερο αποτέλεσμα επιτυγχάνεται όταν ο άνεμος πνέει υπό γωνία 45° προς τη διεύθυνση του δρόμου. Ένα γενικό κριτήριο είναι η μέση ταχύτητα του ανέμου να μην υπερβαίνει τα 5 m / sec. Πάνω από το όριο αυτό ο άνεμος προκαλεί όχληση και πάνω από 10 m / sec, γίνεται ιδιαίτερα δυσάρεστος. Ιδίως σε ψυχρά κλίματα, η ανεμοπροστασία είναι ένας από τους στόχους του περιβαλλοντικού πολεοδομικού σχεδιασμού. Η προτεινόμενη συνήθως λύση είναι αυτή των ανεμοφρακτών.



Εικ. 25 σχηματική παράσταση ανεμφρακτών πηγή [51]

2.3.2 Βασικοί παράγοντες που επιδρούν στη ροή του αέρα σε αστικούς χώρους

α) Το μέγεθος του χώρου: Σε μεγάλους χώρους, η ροή του αέρα αναμένεται να είναι πιο πολύπλοκη, λόγω των εντονότερων στροβιλισμών, δινών και λοιπών χαρακτηριστικών της τυρβώδους ροής. Επομένως είναι αδύνατο να μοντελοποιηθεί ως δυσδιάστατη ροή στο επίπεδο.

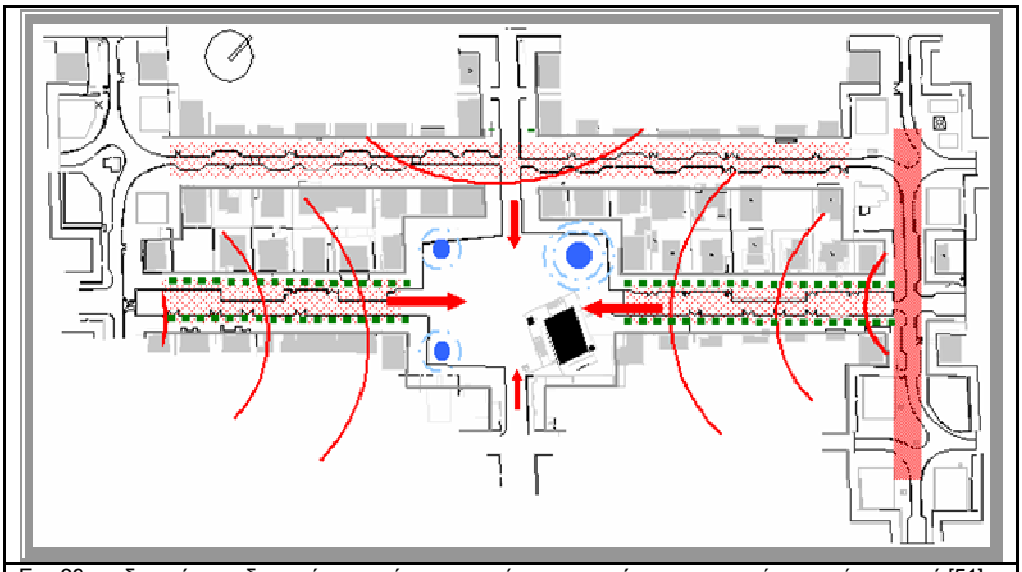
Εικ. 26 πολεοδομικός σχεδιασμός με γνώμονα τη ροή του επικρατούντος ανέμου πηγή [51]

Ακολουθούμε επομένως τον Eulerian φορμαλισμό, θεωρώντας το άνυσμα της στιγμιαίας ταχύτητας του ρευστού μεταβάλλεται **και** ως προς τις 3 χωρικές συντεταγμένες x,y,z (σε καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων) και ενδεχομένως και ως προς το χρόνο, για μη μόνιμη ροή. Γενικά πάντως, το αν μια ροή γύρω από ένα «βυθισμένο σώμα», π.χ. ροή του αέρα γύρω από ένα κτίριο, θα χαρακτηρίζεται δυσδιάστατη ή τρισδιάστατη, εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις γεωμετρικές διαστάσεις του σώματος. Για παράδειγμα οξείες ακμές στα άκρα του σώματος προκαλούν τοπικά μεγάλες βαθμίδες πίεσης με αποτέλεσμα την αποκόλληση του οριακού στρώματος. Επομένως η γεωμετρία του πεδίου ροής επηρεάζεται σημαντικά. Το αν επηρεάζεται λοιπόν η γεωμετρία του πεδίου ροής από τη ροής στα άκρα ενός σώματος αποτελεί το κριτήριο για το αν η ροή γύρω από ένα σώμα είναι δυσδιάστατο ή τρισδιάστατο.

β) Το ύψος των περιμετρικών κτιρίων. Όσο μεγαλύτερα είναι τα γειτονικά κτίρια τόσο ευρύτερη είναι προφανώς και η κλίμακα της τύρβης.

Εικ. 27 κτιριοδομικός σχεδιασμός με γνώμονα τη ροή του επικρατούντος ανέμου πηγή [51]

γ) Το πλάτος και η θέση των προσήνεμων ανοιγμάτων του κτιρίου. Ανοίγματα πλησίον των γωνιών της τοιχοποιίας του κτιρίου, προκαλούν μεγαλύτερο στροβιλισμό από ότι τα ανοίγματα στο μέσον του. Γενικά είναι ενδεικνυόμενο, ο βασικός άξονας του κτιρίου να είναι κάθετος στην κατεύθυνση του επικρατούντος ανέμου, εκτός αν ο τελευταίος είναι πολύ ισχυρός.



Εικ. 28 σχεδιασμός οικοδομικού τετραγώνου με γνώμονα τη ροή του επικρατούντος ανέμου πηγή [51]

Παράλληλα, η επίτευξη της ανεμοπροστασίας των κτιρίων στο αστικό περιβάλλον, μπορεί να γίνει με είτε με χρήση δομημένων είτε με χρήση «φυσικών» στοιχείων. Σε γενικές γραμμές μπορούμε να αναφέρουμε τα εξής:

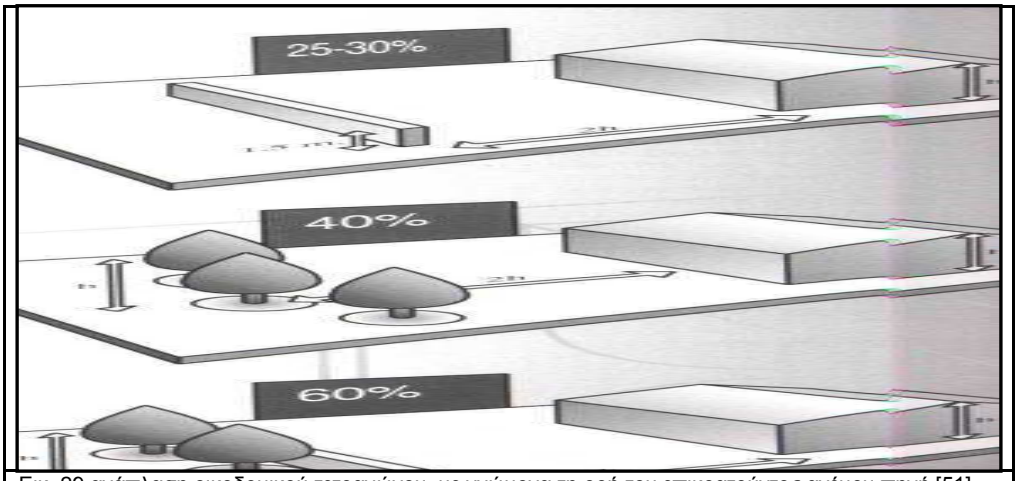
- ανεμοφράχτες για την προστασία από βορινούς ψυχρούς ανέμους. (είτε φυσικοί όπως η δενδροφύτευση, είτε τεχνητοί, όπως οι ίδιοι οι όγκοι των κτιρίων, ακόμη και ένας σχετικά ογκώδης εξοπλισμός του περιβάλλοντος χώρου (περίπτερα, κλπ.), με γνώμονα βέβαια και την μη αισθητική υποβάθμιση.

- διατάξεις ανακατεύθυνσης του ανέμου. (για προστασία επικείμενων ζωνών, εφόσον και η ειδική χρήση του χώρου το επιβάλλει. Συνίσταται η χρησιμοποίηση «διαπερατών» ανεμοφραχτών, όπως η δενδροφύτευση, εφόσον η τοποθέτηση στερεών μη διαπερατών ανεμοφρακτών μπορεί να επηρεάσει το άμεσο περιβάλλον με στροβιλισμούς).

- χρήση τραχέων υλικών για την αύξηση της αντίστασης του αέρα, λόγω αύξησης των τιμών των τάσεων τριβής .

2.3.3 Κίνηση του αέρα γύρω από το κτίριο

Στον «Πράσινο Βιτρούβιο», ο παράγοντας άνεμος αναγνωρίζεται ως πολύ σημαντικός παράγοντας για τον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό του κτιρίου [2].
Προτείνεται η αρχική μελέτη της κατεύθυνσής του, η τακτικότητα της εμφάνισής του και ταυτόχρονα η τοπογραφία της περιοχής, η υπάρχουσα δόμηση και βλάστηση εφόσον οι τελευταίοι παράγοντες καθορίζουν τη φορά του ή αποδυναμώνουν την ισχύ του.
Οι παραπάνω μελέτες θα επιτρέψουν τη μείωση των ενεργειακών απαιτήσεων για θέρμανση το χειμώνα και για ψύξη το καλοκαίρι αντίστοιχα.
Ο αέρας που πλήττει ένα κτίριο, επηρεάζεται από πολλές παραμέτρους όπως τις κλιματικές συνθήκες της εκάστοτε περιοχής, τη μορφολογία του εδάφους και το ήδη υπάρχον δομημένο περιβάλλον.



Εικ. 29 ανάπλαση οικοδομικού τετραγώνου με γνώμονα τη ροή του επικρατούντος ανέμου πηγή [51]

Η μορφολογία του εδάφους επηρεάζει τον άνεμο σε απόσταση πολλών χιλιομέτρων από την τοποθεσία του κτιρίου και δημιουργεί ένα προφίλ ανέμου που περιλαμβάνει δίνες και στροβίλους μέσα στο οριακό στρώμα [25]. Θυμίζουμε και πάλι, ότι οριακό στρώμα ονομάζεται η περιοχή του ρευστού εντός της οποίας πραγματοποιείται μεταβολή της ταχύτητας. Το πάχος του οριακού στρώματος (boundary layer) αυξάνεται συνεχώς κατά τη διεύθυνση της ροής. Πολύ μεγάλη σημασία έχει το γεγονός ότι η ανάπτυξη οριακού στρώματος συνεπάγεται και την παρουσία διατμητικών τάσεων, λόγω της ανομοιόμορφης κατανομής της ταχύτητας του ρευστού εντός του οριακού στρώματος [15]. Αντίθετα, έξω από το οριακό στρώμα, η ροή δεν επηρεάζεται από το ιξώδες και ελέγχεται μόνο από τις δυνάμεις αδράνειας και τις δυνάμεις πίεσης, επομένως μπορεί να θεωρηθεί ουσιαστικά άτριβη (inviscid flow). Επομένως εκεί, η κατανομή της ταχύτητας του ρευστού είναι ομοιόμορφη και δεν αναπτύσσονται ιξώδεις διατμητικές τάσεις (viscous shear stresses).
Επομένως στην προκειμένη περίπτωση, ο αέρας πάνω από αυτό το όριο, που κάποιες φορές μπορεί να είναι εκατοντάδες μέτρα από την επιφάνεια του εδάφους, κινείται ομοιόμορφα και μένει ανεπηρέαστος από τα χαρακτηριστικά της εδαφικής επιφάνειας.
Στην τυρβώδη ροή γύρω από ένα σώμα αποδεικνύεται ότι η συνισταμένη δύναμη λόγω του ανέμου δεν οφείλεται μόνο στις διαστάσεις του σώματος αλλά και στο σχήμα του κυρίως στη μορφή του πίσω μέρους του. Το μέτρο της μέσης τιμής της δύναμης αυτής, δίνεται γενικά από μια σχέση της ακόλουθης μορφής :

$$F = C_D \cdot S_f \cdot \frac{\rho}{2} \cdot V_\infty \qquad \textbf{(2.22)}$$

όπου S_f είναι το εμβαδό της μετωπικής επιφάνειας του σώματος, δηλαδή η μέγιστη επιφάνεια που «προβάλλει» το σώμα κάθετη στη ροή του ανέμου.
Ο συντελεστής C_D εξαρτάται κυρίως από τη μορφή του πίσω μέρους του σώματος και όχι τόσο από τη μορφή του εμπρός μέρους του. Αν προσπαθήσουμε να αναζητήσουμε την αιτία αυτής της αντίστασης μπορούμε να συμπεράνουμε ότι στις περιοχές των στροβίλων οι ταχύτητες είναι μεγάλες άρα σύμφωνα με το νόμο του Bernoulli η συνολική πίεση (βαρομετρική και μανομετρική) είναι μικρότερη σε αυτά τα σημεία από τα αντιδιαμετρικά τους. Πειραματικά μπορούμε να διαπιστώσουμε ότι η τυρβώδης ροή, κατά μία έννοια, έλκει από πίσω το σώμα. Εντός του οριακού στρώματος, η συνισταμένη δύναμη του ανέμου που πλήττει το κτίριο (και που οφείλεται στις ιξώδεις δυνάμεις και τις δυνάμεις λόγω στατικής και δυναμικής πίεσης) μπορεί να αναλυθεί σε δύο συνιστώσες την οπισθέλκουσα δύναμη (drag force) F_D, που είναι παράλληλη στη διεύθυνση της μέσης κίνησης και την ανυψωτική δύναμη (uplift force) F_L, που είναι κάθετη στη μέση κίνηση και συνεπώς παράλληλη στον κεντροβαρικό άξονα του κτιρίου.
Ισχύουν οι παρακάτω σχέσεις:

$$F_D = \oiint_A P \cdot \cos\theta \; dA + \oiint_A \tau_w \cdot \sin\theta \; dA \qquad \textbf{(2.23)}$$

$$F_L = -\oiint_A P \cdot \sin\theta \; dA + \oiint_A \tau_w \cdot \cos\theta \; dA \qquad \textbf{(2.24)}$$

Όπου P είναι η απόλυτη πίεση του ρευστού, δηλαδή το αλγεβρικό άθροισμα της βαρομετρικής (στατικής πίεσης) και της μανομετρικής (υπερπίεσης ή υποπίεσης), τ_w είναι όπως ξέρουμε η τιμή της τοπικής διατμητικής τάσης στο στερεό όριο ($\tau_w = C_f \cdot \frac{\rho \cdot V_\infty}{2}$), Α μια στοιχειώδης επιφάνεια της διατομής του στερεού, εν προκειμένω του κτιρίου, αν η μελέτη της ροής του αέρα γύρω από αυτό μπορεί να αναχθεί σε επίπεδο διατομής και θ η γωνία μεταξύ του ορίζοντα και της ακμής του στερεού σώματος στο σημείο πρόσπτωσης του ρευστού. Σε ορισμένες περιπτώσεις εκτός από τις δύο συνιστώσες που αναφέραμε είναι δυνατόν να υπάρχει και μια πλευρική δύναμη (lateral force) η οποία να είναι κάθετη στο επίπεδο των F_D και F_L. Ο θεωρητικός υπολογισμός των δυνάμεων F_D και F_L είναι εφικτός μόνο για ροές γύρω από σώματα κανονικών διαστάσεων (δίσκοι, σφαίρες, κύλινδροι) και για μικρές ταχύτητες [26]. Έχει βρεθεί πειραματικά [26] ότι ισχύουν οι ακόλουθες σχέσεις, κατ' αναλογία με τη σχέση **(3.8)**.

$$F_D = C_D \cdot \frac{\rho \cdot V_\infty}{2} \cdot A_0 \qquad \textbf{(2.25)}$$

$$F_L = C_L \cdot \frac{\rho \cdot V_\infty}{2} \cdot A_0 \qquad \textbf{(2.26)}$$

όπου
A_0 το εμβαδό της επιφάνειας
C_D συντελεστής που εξαρτάται από το σχήμα του στερεού τον αριθμό Reynolds και τη σχετική τραχύτητα της επιφάνειας

Δεδομένου ότι η ταχύτητα του ανέμου μεταβάλλεται με το χρόνο και κατά μέγεθος και κατά διεύθυνση, χρησιμοποιούμε για τη σύγκριση διαφόρων εναλλακτικών θέσεων τη μέση ταχύτητα του ανέμου σε μια χρονική περίοδο Τ που ορίζεται ως εξής:

$$\overline{V} = \frac{1}{T}\int_0^T V(t)\,dt \qquad \textbf{(2.27)}$$

Οι ταχύτητες του ανέμου που μετρήθηκαν, μπορούν να κατανεμηθούν στατιστικά με τη χρήση ζωνών ταχύτητας, ώστε να βρεθεί η σχετική συχνότητα εμφάνισης των τιμών που περιλαμβάνονται σε διαφορετικές ζώνες της ταχύτητας ανέμου. Αυτό μπορεί να γίνει με τη χρήση ανέμων που παρατηρήθηκαν από έναν συγκεκριμένο τομέα ή από τον άνεμο σε όλες τις διευθύνσεις.
Στην πράξη έχει διαπιστωθεί ότι η πιο πιθανή ταχύτητα σε μια θέση είναι λίγο χαμηλότερη από τη μέση ετήσια τιμή και ότι η πιθανολογική κατανομή της ταχύτητας του ανέμου σε μια θέση στις περιοχές της εύκρατης ζώνης και για ύψος μέχρι 100 m από το έδαφος, ακολουθεί συνήθως μια παραμετρική κατανομή που ονομάζεται *διπαραμετρική κατανομή Weibull* με συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας:

$$P(u) = \left(\frac{k}{c}\right)\cdot\left(\frac{u}{c}\right)^{k-1}\cdot EXP\left(-\left(\frac{u}{c}\right)^{k}\right) \qquad \textbf{(2.28)}$$

και που μπορεί να προσαρμοστεί στα δεδομένα κάθε θέσης.

Όπου $P(u)$ είναι η συχνότητα εμφάνισης της ταχύτητας του ανέμου u σε m/sec, c είναι μια παράμετρος γνωστή ως παράμετρος κλίμακας, (m/sec) και k είναι μια αδιάστατη παράμετρος γνωστή ως παράμετρος σχήματος. Οι παράμετροι c,k της κατανομής *Weibull* είναι δυνατόν να υπολογιστούν αν υπάρχουν μετεωρολογικές μετρήσεις στην περιοχή ή στον πλησιέστερο Μετεωρολογικό Σταθμό προσαρμόζοντας με τη Μέθοδο των Ελάχιστων Τετραγώνων την αναλυτική σχέση στα πειραματικά δεδομένα.
Η παράμετρος c της εξίσωσης **(2.28)** συνδέεται με τη μέση ταχύτητα $\overline{V}$ βάσει της παρακάτω σχέσης:

$$\overline{V} = c\cdot\Gamma\left(1+\frac{1}{\kappa}\right) \qquad \textbf{(2.29)}$$

Όπου $\Gamma(p) = \int_0^{+\infty} x^{p-1}\,EXP(-x)\,dx$: p>0

Για p=1 προκύπτει προφανώς η εκθετική κατανομή.
Για τη συνάρτηση Γ ισχύουν ως γνωστό οι παρακάτω συναρτησιακές ταυτότητες:

$$\Gamma(p+1) \equiv p\cdot\Gamma(p) \qquad \textbf{(2.30)}$$

και

$$\Gamma\left(n+\frac{1}{2}\right) \equiv \frac{\prod_1^n (2n-1)}{2^n}\cdot\sqrt{\pi} \qquad \textbf{(2.31)}$$

Εναλλακτική κατανομή είναι η κατανομή Rayleigh:

$$P(V) = \frac{\pi\cdot V}{2\cdot\overline{V}^2}\cdot EXP\left(-\frac{\pi\cdot V^2}{4\cdot\overline{V}^2}\right) \qquad \textbf{(2.32)}$$

Η τελευταία προκύπτει ως μια ειδική μορφή της κατανομής *Weibull* , αν η παράμετρος μορφής κ ληφθεί ίση με 2.
Εκτός από τη μέση τιμή της ταχύτητας του ανέμου που είναι πολύ χρήσιμη για τους ενεργειακούς υπολογισμούς, ένα άλλο χαρακτηριστικό μέγεθος της ταχύτητας του ανέμου είναι η ονομαζόμενη τύρβη του ανέμου.
Ως τύρβη μιας χρονικής στιγμής, ονομάζουμε τη διαφορά των αλγεβρικών τιμών, της στιγμιαίας ταχύτητας $V(t)$ από τη μέση τιμή της ταχύτητας μέσα στη χρονική περίοδο ολοκλήρωσης, δηλαδή:

$$u(t) = V(t) - \bar{V} \qquad \textbf{(2.33)}$$

Επομένως η ταχύτητα σε κάθε σημείο του τυρβώδους πεδίου ροής μπορεί να θεωρηθεί ότι αποτελείται από μια μέση τιμή,(time averaging terms), η οποία μπορεί να μεταβάλλεται στην μακροκλίμακα του χρόνου, στην οποία υπερτίθενται οι διακυμάνσεις της ταχύτητας, (time fluctuating terms), οι οποίες μπορεί να

θεωρηθούν ότι προέρχονται από στοιχειώδεις δίνες αντίστοιχης συχνότητας (γωνιακές ταχύτητες περιστροφής) [13].
Η ένταση της τύρβης εκφράζει το σχετικό μέγεθος των τοπικών διακυμάνσεων της ταχύτητας του ρευστού ως προς κάποια ταχύτητα αναφοράς, συνήθως ως προς τη μέση χρονική ταχύτητα κατά την κύρια διεύθυνση ροής και ορίζεται από τη σχέση:

$$u^2 = \frac{1}{T} \cdot \int_0^T \left[V(t) - \overline{V} \right]^2 dt \qquad \textbf{(2.34)}$$

Το κύριο χαρακτηριστικό γνώρισμα της τύρβης είναι ότι η ταχύτητα, ή πίεση και όλες οι άλλες ιδιότητες του αέρα (πυκνότητα, θερμοκρασία κλπ) σε τυχαίο σημείο του πεδίου ροής παρουσιάζουν συνεχείς ακανόνιστες διακυμάνσεις, μεγάλης συχνότητας. Η συχνότητα των διακυμάνσεων αυτών μπορεί να υπερβεί ακόμα και τα 10 KHz [12]. Η ακανόνιστη και τυχαία διακύμανση των ιδιοτήτων του ρευστού καθιστά αδύνατη την αναλυτική έκφραση του πεδίου ροής ως συνάρτηση του χώρου και του χρόνου.
Ένα ακόμα χαρακτηριστικό γνώρισμα της τύρβης είναι η μεταφορά ενέργειας προς τις μικρότερες χωρικές κλίμακες κατά μήκος ενός συνεχούς φάσματος μήκους κύματος, δηλαδή μια τρισδιάστατη μη γραμμική διεργασία [19].
Στην τυρβώδη ροή, η αποκόλληση του οριακού στρώματος και οι ρυθμοί μεταφοράς θερμότητας και μάζας, εξαρτώνται από την ένταση της τύρβης. Για τη μέτρηση της τύρβης του ανέμου χρησιμοποιούνται ειδικά, υπερευαίσθητα όργανα, με ποιο σημαντικά το ανεμόμετρο θερμαινόμενου σύρματος (hot wire) και το ανεμόμετρο laser – doppler, τη λειτουργία των οποίων θα δούμε στο κεφάλαιο 5. Το τμήμα του οριακού στρώματος στο οποίο η τυρβώδης ροή είναι πλήρως αναπτυγμένη ονομάζεται τυρβώδες οριακό στρώμα και το πάχος του αυξάνεται πολύ πιο γρήγορα από το πάχος του στρωτού οριακού στρώματος [15].

2.4 Κυκλοφορία του εξωτερικού αέρα στο κτιριακό περιβάλλον.

Η φυσική κυκλοφορία του εξωτερικού αέρα στο εσωτερικό του κτιρίου γίνεται με την κατάλληλη εκμετάλλευση της διαφοράς πίεσης που δημιουργεί η ροή του ανέμου γύρω από το κτίριο.
Για τον επιτυχή σχεδιασμό ενός φυσικά αεριζόμενου κτιρίου απαιτείται όπως είπαμε ήδη γνώση του μοντέλου ροής του ανέμου γύρω από το κτίριο λαμβάνοντας υπόψη την επίδραση του όγκου των γειτονικών κτιρίων και πολλές φορές και την υπάρχουσα βλάστηση. Η πίεση του αέρα στην προσήνεμη πλευρά του κτιρίου είναι θετική, ενώ κατά μήκος των δύο πλευρών του και στην περιοχή πίσω από την υπήνεμη πλευρά του η ροή του αέρα είναι τυρβώδης και δημιουργούνται αρνητικές πιέσεις.
Η πιο διαδεδομένη μέθοδος φυσικού αερισμού είναι ο διαμπερής αερισμός, όπου τα ανοίγματα του κτιρίου βρίσκονται στην προσήνεμη και στην υπήνεμη πλευρά του κτιρίου.
Επίσης υπάρχει ο μονόπλευρος αερισμός με ανοίγματα σε ένα ύψος και στην ίδια πλευρά και αερισμός με ανοίγματα σε διαφορετικά ύψη.
Εδώ θα πρέπει να τονιστεί πως όταν η είσοδος και η έξοδος ενός χώρου είναι ευθυγραμμισμένες αντιδιαμετρικά, τότε η ροή του εισερχόμενου αέρα κατά κάποιο τρόπο «βραχυκυκλώνεται». Αντίθετα, όταν ο άνεμος είναι πλάγιος προς το άνοιγμα, η ροή του αέρα, διαχέεται σε μεγαλύτερο μέρος του χώρου. Αν πάλι έχουμε ροή, παράλληλη σε κάποιο άνοιγμα, δεν δημιουργείται αξιόλογη κίνηση αέρα μέσα στο χώρο.
Ο διαμπερής αερισμός μπορεί να αυξηθεί περαιτέρω με τοποθέτηση δύο εξόδων στους πλευρικούς τοίχους του κτιρίου.
Αυτή η εκδοχή σχεδιασμού αξιοποιεί και τις συχνές μεταβολές της διεύθυνσης του ανέμου.
Η θέση των ανοιγμάτων εισόδου κυριαρχεί στη διαμόρφωση της ροής μέσα στους εσωτερικούς χώρους, ενώ αντίθετα η θέση των ανοιγμάτων εξόδου είναι δευτερεύουσας σημασίας. [10]
Ως προς τον αερισμό του κάθε δωματίου ή ολόκληρου του ορόφου μπορούμε να αναφέρουμε ότι ο καλύτερος αερισμός επιτυγχάνεται όταν το άνοιγμα εισόδου, (εισαγωγής του αέρα), είναι μικρότερο από το άνοιγμα εξόδου.
Αυτό το επιδιώκουμε για να έχουμε τη μέγιστη ταχύτητα στην είσοδο παρά στην έξοδο γιατί τότε δημιουργείται ανεπιθύμητη τύρβη στην ευρύτερη περιοχή λίγο πριν το άνοιγμα.
Μια άλλη τεχνική παθητικού αερισμού και δροσισμού αποτελεί ο *αερισμός με ηλιακή καμινάδα*, η οποία αξιοποιεί το φαινόμενο της ανύψωσης του αέρα που παρατηρείται μέσα σε μια καμινάδα.
ο φαινόμενο καμινάδας παρατηρείται όταν η μείωση της θερμοκρασίας από το κατώτερο προς τα ανώτερα επίπεδα ενός κτηρίου και το ψυχρότερο εξωτερικό περιβάλλον προκαλεί την ανοδική ροή του θερμού αέρα και την έξοδό του από ανοίγματα στην οροφή με ταυτόχρονη εισροή ψυχρότερου αέρα από τα πλευρικά ανοίγματα σε κάθε επίπεδο. Το φαινόμενο της καμινάδας παρατηρείται σε υψηλά κτήρια, και ιδιαίτερα σε θέσεις με κατακόρυφα ανοίγματα όπως οι ανελκυστήρες ή οι σκάλες. Ιδιαίτερα ευνοεί την εμφάνιση του φαινόμενου της καμινάδας η παρουσία αίθριου στο κτίριο
Ενδιαφέρον παρουσιάζει και η περίπτωση του *πύργου ανέμου*. Πρόκειται για καμινάδες που είναι τοποθετημένες στην προσήνεμη πλευρά του κτιρίου και από τις οποίες διοχετεύεται ψυχρός αέρας στο κτίριο και είναι ιδιαίτερα χρήσιμες όταν δεν μπορούν να κατασκευαστούν ανοίγματα στην προσήνεμη πλευρά.
Εξάλλου σε πολλές βιοκλιματικές κατοικίες χρησιμοποιείται τελευταία και ο *συλλέκτης αέρα ανοιχτού βρόχου,* που είναι μια παθητική ηλιακή συσκευή που τοποθετείται συνήθως στη στέγη. Η λειτουργία του έχει ως εξής:

Την ημέρα, όταν ο ήλιος προσπίπτει στον υαλοπίνακα του συλλέκτη, ο εισερχόμενος αέρας από την κάτω εξωτερική θυρίδα που βρίσκεται ανάμεσα στο τζάμι και τη στέγη θερμαίνεται. Ο θερμός αέρας στη συνέχεια, διοχετεύεται στο χώρο μέσω ανοίγματος που ελέγχεται από ειδικό μηχανισμό. Τη νύχτα η θυρίδα εισόδου κλείνει, ώστε να εμποδιστεί η αντίστροφη λειτουργία.
Τέλος, αποτελεσματικοί παράγοντες για να είναι αποτελεσματικός ο φυσικός δροσισμός μέσω αερισμού αποτελούν η χαμηλότερη θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα, η ταχύτητά του και το ποσοστό υγρασίας, τα οποία δεν θα πρέπει να υπερβαίνουν κάποιες ανεκτές τιμές γιατί διαφορετικά θα έχουμε αρνητική επίδραση στη θερμική άνεση του κτιριακού περιβάλλοντος [11].
Συνοπτικά οι προτεινόμενες λύσεις για τη βελτιστοποίηση του φυσικού αερισμού είναι οι ακόλουθες:

- Κατά τη θερινή περίοδο να γίνεται ευκαιριακή χρήση αερισμού για να παρέχεται παθητική ψύξη με τον κατάλληλο σχεδιασμό της κυκλοφορίας φυσικού αέρα μέσα και γύρω από το κτίριο και με τη χρήση αέρα που έχει προψυχθεί.
  Επίσης θα πρέπει να παρέχεται επαρκής αερισμός ώστε να απομακρύνεται η περίσσεια θερμότητας από τον εσωτερικό αέρα και το περίβλημα του κτιρίου, χωρίς όμως να προκαλείται περισσότερη από την αναγκαία ψύξη ώστε να μην υπάρχει διαφορά από τη μέγιστη θερμοκρασία θερμικής άνεσης για το κτίριο.
- Κατά τη χειμερινή περίοδο να γίνεται μείωση των εναλλαγών αέρα ανά ώρα στο ελάχιστο που απαιτείται (0.7 – 1 φορά / ώρα) και να εξασφαλίζεται ότι όλα τα ανοίγματα είναι αεροστεγανά. Υψηλότερος αριθμός εναλλαγών αέρα απαιτείται όταν υπάρχουν πηγές μόλυνσης σε ένα κτίριο, όπως στις περιπτώσεις πολλών ενοίκων, σκόνης καπνού, οσμών από τα υλικά κατασκευής ή την επίπλωση κτλ.
- Να γίνεται δημιουργία χώρων ανάσχεσης στις εξωτερικές εισόδους που χρησιμοποιούνται συχνά και να υπάρχει προστασία αυτών από τους επικρατούντες ανέμους.
- Να τοποθετούνται όλα τα στόμια εισόδου και εξόδου του αέρα εκεί που μπορεί να μεγιστοποιηθεί η χρήση της πίεσης του αέρα και τις στρωμάτωσης.
- Να τοποθετούνται αν είναι εφικτό οι είσοδοι στην προσήνεμη πλευρά του κτιρίου σε χαμηλή στάθμη και αντίστοιχα στην υπήνεμη πλευρά σε υψηλή στάθμη. Σε κτίρια με αίθριο ή με άλλη μορφή φωτισμού από την οροφή, το φαινόμενο στρωμάτωσης θα μπορεί να αυξηθεί με τη χρήση εσωτερικών περσίδων κάτω από τα τζάμια ώστε να σχηματίζεται κατακόρυφη ροή.
- Να μεγιστοποιηθεί ο φυσικός αερισμός με τη χρήση περσίδων ή πανό και με μόνιμους οδηγούς όπως τοίχους ή λεπτά δομικά πτερύγια που να κατευθύνουν τη ροή του αέρα προς τους χώρους που πρέπει να αεριστούν.

2.5 Μηχανικός Αερισμός

Σε κτίρια κατοικιών, εκτός από λίγες περιστάσεις κανονικά δεν απαιτείται μηχανικός αερισμός. Όταν ο τελευταίος κρίνεται απαραίτητος θα πρέπει να καθοριστούν τα μηχανικά συστήματα εκείνα που ελαχιστοποιούν τη κατανάλωση ενέργειας.
Από τις αρχές του 19^{ου} αιώνα που πραγματοποιήθηκε μια ραγδαία πρόοδος της βιομηχανίας με τη σύγχρονη εκμετάλλευση της δύναμης του ατμού, άρχισαν να χρησιμοποιούνται στην Ευρώπη μηχανικά μέσα αερισμού αποτελούμενα από ανεμιστήρες, κυρίως για σήραγγες μεταλλείων, χαμηλής βέβαια απόδοσης με τα σημερινά δεδομένα.
Ανεμιστήρες ονομάζονται τα μηχανικά μέσα με τα οποία εξασφαλίζεται η ανεμπόδιστη διακίνηση αερίων. Η διακίνηση του αερίου επιτυγχάνεται με τη δημιουργία διαφοράς πίεσης στις δύο πλευρές του κινούμενου στοιχείου, (πτερωτή του ανεμιστήρα). Οι πιέσεις που αναπτύσσουν οι ανεμιστήρες είναι μικρές και κυμαίνονται συνήθως από 1 μέχρι 30 KPa. Οι ανεμιστήρες ταξινομούνται σε δύο βασικές κατηγορίες, του φυγόκεντρους ανεμιστήρες (centrifugal fans) και στους ανεμιστήρες αξονικής ροής (brake fans) [23].
Στους πρώτους, ο αέρας εισέρχεται παράλληλα προς τον άξονα του ανεμιστήρα και μετά ωθούμενο από την πτερωτή κινείται προς την περιφέρεια του κελύφους κάθετα προς τον άξονα. Στους αξονικούς ανεμιστήρες, ο αέρας παράλληλα προς τον άξονα και μετά κατά την ώθησή του από την πτερωτή συνεχίζει να κινείται κατά την ίδια διεύθυνση.
Πριν από μερικές δεκαετίες η ισχύς των ανεμιστήρων δεν υπερέβαινε τους 200 HP, προοδευτικά όμως κατασκευάστηκαν και εγκαταστάθηκαν ανεμιστήρες με ισχύ 500, 1500 και 3000 HP [20].
Εντούτοις τα συστήματα μηχανικού αερισμού παρουσιάζουν ορισμένα σημαντικά μειονεκτήματα, τόσο οικονομικής φύσεως όπως το αυξημένο κόστος εγκατάστασης και η ανάγκη συντήρησης αλλά και υγιεινής όπως η δημιουργία μικροοργανισμών στα εξαρτήματά τους λόγω ελλιπούς συντήρησης, η δημιουργία ενοχλητικών μικρορευμάτων αέρα, θορύβου κτλ.
Οι συνθήκες λόγω των οποίων απαιτούνται ενδεχομένως σε ένα κτίριο συστήματα μηχανικού αερισμού είναι οι ακόλουθες:

- Παροχή καθαρού αέρα σε εσωτερικά μπάνια, τουαλέτες, κουζίνες.
- Προστασία από δυσμενείς εξωτερικές συνθήκες όπως ατμοσφαιρική και ηχητική ρύπανση.
- Χρήση του πιο οικονομικού σε κατανάλωση ενέργειας εξοπλισμού με ρύθμιση που να διαθέτει εναλλάκτη θερμότητας και χειριστήριο και να λειτουργεί με βάση τις μεταβολές της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας.

Ο μηχανικός αερισμός στα κτίρια θα πρέπει να ελέγχεται ώστε να εξασφαλίζεται ότι μόνο οι χώροι που έχουν πολλά άτομα καθώς επίσης και οι χώροι με προβλήματα ποιότητας αέρα, να αερίζονται το διάστημα που είναι αναγκαίο.

2.6 Αερισμός και ποιότητα αέρα

Έχει διαπιστωθεί πως, τουλάχιστον σε χώρες της Ε.Ε. και των ΗΠΑ, το μέγιστο ποσοστό του πληθυσμού βρίσκεται το 80 – 90 % του χρόνου του σε κλειστούς χώρους (κατοικία, χώρος εργασίας κλπ) [14]. Επομένως θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη μέριμνα στην εξασφάλιση της ποιότητας του αέρα του κτιριακού περιβάλλοντος.
Οι αιτίες υποβάθμισης της ποιότητας του εσωτερικού αέρα μπορούν να είναι πολλές.
Αναφέρουμε την ύπαρξη διοξειδίου του άνθρακα (CO_2), μονοξειδίου του άνθρακα (CO), οξείδια του αζώτου (NO_x), φορμαλδεΰδης (HCHO), ραδιενεργού ραδονίου 222 (Rn 222 και τα παράγωγά του Po 218, Rb 214 Bi 214), υγρασία και συμπύκνωση υδρατμών, καπνούς από τσιγάρο (κυρίως λόγω της υψηλής τους περιεκτικότητας σε βενζοπυρένιο), βιολογικών ρύπων κ.τ.λ.
Οι ουσίες αυτές είναι σε μεγάλο ποσοστό υπεύθυνες για το λεγόμενο «σύνδρομο του αρρωστημένου κτιρίου», (sick building syndrom) που ευθύνεται για πολλές μικροενοχλήσεις στην υγεία των ενοίκων μεγάλων κεντρικών κτιρίων σε μεγάλες πόλεις [23].
Στη δεκαετία του 1970 πολύς κόσμος αντιμετώπισε το πρόβλημα της ενεργειακής κρίσης μονώνοντας τα σπίτια του με αφρώδη φορμαλδεΰδη. Έχουν όμως μετρηθεί συγκεντρώσεις αυτής της ουσίας σε αέρια μορφή μέχρι και 0.5 ppm Ακόμα όμως και στο 0.1 ppm έχουν καταγραφεί περιστατικά ερεθισμών τόσο του ανώτερου όσο και του κατώτερου αναπνευστικού συστήματος, ακόμα και για άτομα που δεν πάσχουν από χρόνιο άσθμα.
Ο πυράντοχος αμίαντος που είναι άλλο ένα διαδεδομένο μονωτικό υλικό, έχει επίσης αναγνωριστεί τα τελευταία χρόνια ως μια σοβαρή απειλή για την υγεία. Η ινώδης σκόνη του εισπνέεται εύκολα και φτάνει στους πνεύμονες όπου οι κρύσταλλοί του προκαλούν την ανάπτυξη ενός ινώδους ιστού.
Επίσης θα πρέπει να αναφέρουμε ότι το έδαφος και τα οικοδομικά υλικά όπως ο γρανίτης τα τούβλα το τσιμέντο και το οπλισμένο σκυρόδεμα μπορεί από τη φύση τους να έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε ραδιενεργό ραδόνιο και τα παράγωγά του. Το παράδοξο είναι ότι τα εν λόγω οικοδομικά υλικά προτιμώνται για παθητικά ηλιακά σπίτια οικονομικά σε κατανάλωση ενέργειας. Τα σπίτια όμως αυτού του είδους είναι δυνατόν να λειτουργήσουν ως κλειστές γυάλες παγιδεύοντας το ραδόνιο και προκαλώντας αυξημένη συγκέντρωση του. Κλασσική είναι η περίπτωση των μετρήσεων σε ηλιακές κατοικίες στο Mount Airy του Maryland, μια περιοχή με υψηλή συγκέντρωση αέριου ραδονίου, όπου μετρήθηκε 8 φορές υψηλότερη τιμή ραδιενέργειας από το όριο που προβλέπουν οι αμερικανικές προδιαγραφές.
Επίσης, τα συγκολλημένα προϊόντα ξύλου (μοριοσανίδες, ινοσανίδες, επικολλητά, κ.ά.) παράγονται όπως ξέρουμε με χρήση θερμοσκληρυνόμενων ρητινών (συγκολλητικών ουσιών), όπως λ.χ. ουρίας-φορμαλδεΰδης, μελαμίνης-φορμαλδεΰδης, κ.ά. και εκλύουν τόσο κατά την παραγωγή τους, όσο και κατά τη διάρκεια χρησιμοποίησή τους ως τελικά προϊόντα, διάφορες ποσότητες ελεύθερης φορμαλδεΰδης. Η φορμαλδεΰδη (HCHO) χημικά είναι η πιο απλή και εμπορικά η πιο διαδεδομένη αλιφατική αλδεΰδη. Χαρακτηρίζεται από την υψηλή δραστικότητά της και το σχετικά χαμηλό κόστος της. Ωστόσο, είναι ουσία επικίνδυνη για το περιβάλλον και αποτελεί έναν από τους πιο κοινούς ρυπαντές της ατμόσφαιρας

Επιπροσθέτως, η έκλυση φορμαλδεΰδης επηρεάζει από άποψη υγείας και τον άνθρωπο και αυτό αποτέλεσε και αποτελεί ένα πρόβλημα για τη βιομηχανία συγκολλημένων προϊόντων ξύλου σε παγκόσμιο επίπεδο.

Σύμφωνα με τον Αμερικανικό φορέα American Federation of State - Country and Municipal Employees (AFSCME 1993), η φορμαλδεΰδη μπορεί να προκαλέσει τόσο άμεσες, όσο και χρόνιες αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου. Οι άμεσες επιπτώσεις είναι οι ακόλουθες:

Σε χαμηλά επίπεδα έκθεσης (0,1-5,0 ppm): Κνησμός οφθαλμών, δακρυροΐα, ερεθισμός δέρματος.

Σε μέτρια επίπεδα έκθεσης (10-20 ppm): Κάψιμο οφθαλμών, μύτης και φάρυγγα, έντονος βήχας, έντονη δύσπνοια, δακρύρροια.

Σε υψηλά επίπεδα έκθεσης (50-100 ppm): Θωρακικό άλγος, ταχυκαρδία, αρρυθμία, έντονος πονοκέφαλος, πνευμονικό οίδημα, ακόμη και θάνατος.
Οι αρνητικές επιπτώσεις των παραπάνω, αλλά και πολλών άλλων ρυπαντών σε αέρια μορφή είτε σε μορφή κονιορτού, μπορούν να ελαχιστοποιηθούν αν ληφθούν μέτρα για την έγκαιρη και συχνή απαγωγή τους μέσω του αερισμού.
Ο αερισμός με φυσικό τρόπο, παρέχει νέες μάζες αέρα με χαμηλότερη θερμοκρασία και μικρότερη κατανομή ρυπαντών, αν βέβαια το εξωτερικό περιβάλλον είναι καθαρότερο από το εσωτερικό.

Πολλοί ερευνητές υποστηρίζουν ότι θα ήταν ικανοποιητικό να ανανεώνεται ο αέρας με ρυθμό 30 – 60 m^3/ ώρα / ανά άτομο, αποφεύγοντας πολύ υψηλές τιμές που θα μπορούσαν να επηρεάσουν τις συνθήκες θερμικής άνεσης και να προξενήσουν ενοχλήσεις [4].
Για την πρόβλεψη ενός τέτοιου φαινόμενου, θα μπορούσε να αποβεί εξαιρετικά αξιόπιστη, κυρίως σε κτίρια κατοικίας και γραφείων, η χρήση των θερμοδυναμικών μοντέλων **«άπειρης αραίωσης»** [42].

Η συνάρτηση κατανομής του ρυπαντή έχει γενικά την ακόλουθη μορφή:

$$\ln a = \ln\left(\frac{\phi_1}{x_1}\right) + \left(1 - \frac{\phi_1}{x_1}\right) \qquad \textbf{(2.35)}$$

όπου

$$\phi_1 = \frac{x_1 \cdot V_1}{x_1 \cdot V_1 + x_2 \cdot V_2} \qquad \textbf{(2.36)}$$

και

$$x_1 + x_2 = 1 \qquad \textbf{(2.37)}$$

Προφανώς όταν: $x_1 \to 0 \Rightarrow x_2 \to 1$
Επομένως, με στοιχειώδη Απειροστικό Λογισμό, προκύπτει ότι:

$$\lim_{x_1 \to 0_+}(\ln a) = \lim_{x_1 \to 0_+}\left(\ln\left(\frac{\left(\frac{x_1 \cdot V_1}{x_1 \cdot V_1 + x_2 \cdot V_2}\right)}{x_1}\right) + \left(1 - \frac{\left(\frac{x_1 \cdot V_1}{x_1 \cdot V_1 + x_2 \cdot V_2}\right)}{x_1}\right)\right) = \ln\left(\frac{V_1}{V_2}\right) + 1 - \frac{V_1}{V_2} \qquad \textbf{(2.38)}$$

Στην αντίθετη περίπτωση, εκτεταμένος αερισμός, θα μπορούσε να οδηγήσει σε απώλειες θερμότητας ή ψύξης και να προκαλέσει αύξηση της εσωτερικής υγρασίας, αν ο εξωτερικός αέρας έχει πάνω από 85% σχετική υγρασία.
Η απόλυτη και η σχετική υγρασία του εσωτερικού αέρα μπορούν να προσδιοριστούν όπως θα δούμε στο κεφάλαιο 4, είτε πειραματικά, είτε τις εξισώσεις της Ψυχρομετρίας, είτε με υπολογιστικούς αλγορίθμους που στοχεύουν στην αριθμητική επίλυση διαφόρων καταστατικών εξισώσεων της Θερμοδυναμικής.

2.7 Ανεξέλεγκτη διείσδυση αέρα

Ο βασικός στόχος στην προκειμένη περίπτωση είναι να παρέχεται ικανοποιητική στάθμη ελεγχόμενου αερισμού. Οι συνηθέστερες προτεινόμενες λύσεις είναι:

- Περιορισμός της ανεξέλεγκτης διείσδυσης αέρα με κατάλληλο σχεδιασμό καλή κατασκευή, σφράγισμα των ρωγμών καθώς και των οπών για τα καλώδια και τις σωληνώσεις με επιλογή όπου είναι δυνατό συνεχών τελειωμάτων αντί για επικαλύψεις με ενώσεις.
  Χρησιμοποίηση χώρων ανάσχεσης σε όλες τις θύρες εισόδου. Οι είσοδοι να βρίσκονται μακριά από γωνίες όπου η υψηλή ταχύτητα του αέρα και οι διακυμάνσεις της πίεσης μεγαλώνουν τις απώλειες θερμότητας προκαλώντας ενίοτε έλλειψη άνεσης.
- Εκπαίδευση των ενοίκων έτσι ώστε να αναπτύσσουν συνήθειες αερισμού με στόχο την εξοικονόμηση ενέργειας. Για παράδειγμα, το άνοιγμα για λίγο ολόκληρου του παραθύρου αερίζει το χώρο πολύ καλύτερα από το περιορισμένο άνοιγμα για περισσότερη ώρα.
- Εγκατάσταση συστήματος αερισμού με σύστημα εναλλάκτη θερμότητας αέρα – αέρα.
  ανεμοφράχτες για την προστασία από βορινούς ψυχρούς ανέμους, (είτε φυσικοί, όπως η δενδροφύτευση, είτε τεχνητοί, όπως οι όγκοι των κτιρίων, ακόμη και σχετικά ογκώδης εξοπλισμός του χώρου (περίπτερα, κλπ).
- διατάξεις ανακατεύθυνσης του ανέμου. (για προστασία επικείμενων ζωνών, εφόσον και η ειδική χρήση του χώρου το επιβάλλει. Συνίσταται η χρησιμοποίηση «διαπερατών» ανεμοφραχτών, όπως η δενδροφύτευση, εφόσον η τοποθέτηση στερεών ανεμοφρακτών μπορεί να επηρεάσουν το άμεσο περιβάλλον με στροβιλισμούς).
- χρήση τραχέων υλικών για την αύξηση της αντίστασης του αέρα.
- ενδεχόμενη εγκατάσταση συστημάτων ψηφιακού αυτοματισμού

2.8 Αερισμός και Ανεμοστεγανότητα.

Ουσιαστικά πρόκειται για δύο αντικρουόμενες παραμέτρους που η μια εξαρτά τη λειτουργία της από την άλλη.
Ο αερισμός από διείσδυση έχει ως κύρια αίτια τα ακόλουθα:

- Την ύπαρξη χαραμάδων στα κουφώματα θυρών και παραθύρων
- Την ατελή, από κατασκευής, μόνωση αυτών
- Την ύπαρξη ρωγμών στο περίβλημα του κτιρίου, στο σοβά γύρω από το κούφωμα, λόγω γήρανσης των υλικών κτλ
- Το συχνό άνοιγμα της κύριας εισόδου. Σε Δημόσια κτίρια, κτίρια γραφείων, καταστημάτων κτλ, οι ενεργειακές απώλειες λόγω αθέλητου αερισμού είναι ιδιαίτερα αυξημένες.

Ο φυσικός αερισμός ως διαδικασία που γίνεται κυρίως από τα ανοίγματα του κτιρίου με την είσοδο και έξοδο αερίων μαζών απαιτεί πλήρη ανεμοστεγανότητα από όλα τα υπόλοιπα στοιχεία για την αποφυγή εκτεταμένου και ανεξέλεγκτου αερισμού. Ο αερισμός όμως που γίνεται από τις ειδικές οπές επικοινωνίας των κουφωμάτων και τα ελαστικά παρεμβύσματα, έρχεται σε πλήρη αντίθεση με την αεροστεγανότητά τους καθώς η διαρκής απαγωγή των υδρατμών και των φαινομένων συμπύκνωσης κρίνεται σημαντική για την υγιεινή των χώρων. Το τελευταίο γίνεται με την αναπνοή των υλικών που θα εξετάσουμε παρακάτω.

2.9 Αερισμός, υγρασία και αναπνοή των υλικών

Λόγω του πνεύματος εξοικονόμησης ενέργειας που επικράτησε σε πολλές δυτικές χώρες, κυρίως μετά την ενεργειακή κρίση του 1973, οι θερμάνσεις των κτιρίων που αποτελούν μεγάλο ποσοστό ενεργειακών απωλειών, ρυθμίστηκαν σε χαμηλότερα επίπεδα και τα παράθυρα αντικαταστάθηκαν από άλλα πιο αεροστεγή με συνέπεια να μειωθούν οι δυνατότητες φυσικού αερισμού. Εκτός όμως από τις επιπτώσεις της αύξησης της υγρασίας στην υγεία των ενοίκων, εμφανίστηκαν και προβλήματα σχηματισμού υπερβολικού δρόσου και μούχλας στις εσωτερικές επιφάνειες του οργανισμού πληρώσεως.
Είναι λοιπόν σκόπιμη μια εξέταση του προβλήματος του αερισμού, με γνώμονα κυρίως την απομάκρυνση της υγρασίας από τους εσωτερικούς χώρους. Οι ποσότητες ανανεωμένου αέρα για την αποφυγή υπερβολικού φορτίου υδρατμών, δύσκολα μπορούν να εξασφαλιστούν στα σημερινά κτίρια στις μεγάλες και πυκνοκατοικημένες πόλεις.
Κρίσιμο σημείο για τον ικανό φυσικό αερισμό ενός χώρου, είναι ο συνδυασμός του αερισμού των παραθύρων αλλά και η διέλευση του αέρα μέσω της αναπνοής των υλικών τους.
Συγκεκριμένα για τα κουφώματα, τα οποία αποτελούν το σημαντικότερο παράγοντα αερισμού ενός κτιρίου, η αύξηση της διαπερατότητας των αρμών μεταξύ φύλλου και κάσας και αντίστοιχα η μείωση της ανεμοστεγανότητας είναι θεμιτή, εφόσον αποσκοπεί στην αποκατάσταση της ισορροπίας μεταξύ υγρασίας και αέρα σε μια κατοικία.
Η είσοδος του ανανεωμένου αέρα από το εξωτερικό περιβάλλον διαμέσου του κουφώματος, γίνεται όπως προαναφέραμε μέσω οπών στα ελαστικά παρεμβύσματα και τα τοιχώματα των θαλάμων των πολυθαλαμικών διατομών αλουμινίου ή PVC.
Ο αέρας στη συνέχεια προθερμαίνεται καθώς κινείται στους θαλάμους ενώ καθαρίζεται από ειδικά φίλτρα τοποθετημένα στη διαδρομή και ανεβαίνει ψηλά ως θερμότερος, μέχρι να απελευθερωθεί από τις οπές και τις σφραγίσεις στο πάνω οριζόντιο τμήμα του κουφώματος.
Μέσω λοιπόν της αναπνοής των υλικών πληρώσεως των ανοιγμάτων μπορεί να μειωθεί σημαντικά η υγρασία και να βελτιωθεί η ποιότητα του κτιριακού περιβάλλοντος.

Βιβλιογραφία 2ου Κεφαλαίου

1.- Αγάντζα – Μπαλοδήμου Α.Μ. – Μπαλοδήμος Δ.Δ. «Εισαγωγή στη Γαιωδαισία» εκδ. ΕΜΠ, 2001
2.- Αθανασιάδης Ν. «Μηχανική των Ρευστών» εκδ. Συμεών 1989
3.- Architect's Council of Europe «A Green Vitrouvious: Sustainable Architectural Design», 27/02/1998
4.- ASHRAE, «Standards for Ventilation Requirements for minimum acceptable indoor air quality» Atlanta, USA, 1999
5.- Boutect T. «Controlling air movement» McGraw Hill Book company, 1997
6.- ΓΕΑ «Σημειώσεις Θερμοδυναμικής της ατμόσφαιρας», 1990.
7.- Γεντεκάκης Ι. «Ατμοσφαιρική Ρύπανση» εκδ. Τζιόλα, Πάτρα 2003
8.- Cohen R., Davis R., Stavenden M. «Natural Ventilation Design for a consert hall», AIVC Conference: Optimum ventilation and air flow control in buildings Vol. 2 pp 468 – 475, 1996
9.- ECMWF-JCSDA «Workshop on Assimilating Satellite Observations of Clouds and Precipitation into NWP Models», 15-17 June 2010
10.- ECMWF «Workshop on Non-hydrostatic Modelling», 8-10 November 2010
11.- ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε. «Άτλαντας Ανέμου και Κύματος των Ελληνικών Θαλασσών» Αθήνα 2007
12- Ευαγγελινός Ε. «Προβλήματα αποκατάστασης στη μικρή κλίμακα του αστικού χώρου» εκδ. Ανοιχτού Πανεπιστημίου, 2001
13.- Fleagle R.G., Busiger J.A. «An Introduction to Atmospheric Physics» 2nd Edition, Academic Press New York 1992
14.- Goulding R. et al. «Ενέργεια στην Αρχιτεκτονική, Το ευρωπαϊκό εγχειρίδιο για τα παθητικά ηλιακά κτίρια. εκδ. Μαλλιάρης παιδεία, Θεσσαλονίκη 1996
15.- Goulding R. et al. «Ενεργειακός Σχεδιασμός, εισαγωγή για αρχιτέκτονες εκδ. Μαλλιάρης παιδεία, Θεσσαλονίκη 1996
16.- Kacmal J.C., Finnigan J.J. «Atmospheric Boundary Layer Flows» Oxford University Press, 1996
17.- Καλκάνη Ε. et al. «Ενεργειακή Τεχνολογία» εκδ. ΕΜΠ 2001
18.- Καρακώστας Θ. «Σημειώσεις Συνοπτικής και Δυναμικής Μετεωρολογίας» ΑΠΘ, Σχολή Θετικών Επιστημών, Τμήμα Γεωλογίας Τομέας Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας Θεσσαλονίκη, 2010
19.- Kijewski Tracy «Shaping the Wind and the face of tomorrow's skyscrapers» http://www./somfoundation.som.com/kijewski_essay.pdf
20.- Κοϊνάκης Χ. «Θεωρητική και πειραματική διερεύνηση του φυσικού αερισμού των κτιρίων στα πλαίσια του ενεργειακού σχεδιασμού τους», διδακτορική διατριβή, ΑΠΘ 1998.
21.- Κοσμάκη Π. et al. «Αρχές Οικολογικού Σχεδιασμού», εκδ. Ανοιχτού Πανεπιστημίου, Πάτρα 2001
22.-Monkhouse F. «Principles of Physical Geography», Longman Press 1988
23.-Muller W. «Αρχιτεκτονική των εσωτερικών χώρων» εκδ. Μ. Γκιούρδας, 1997
24.-Meyer W. «Σύγχρονες μονοκατοικίες» εκδ. Μ. Γκιούρδας, 1998
25.-Μαρκάτος Ν. «Τυρβώδη Φαινόμενα Μεταφοράς» εκδ. ΕΜΠ, 2008
26.- Μεταξάς Δ., Μπαρτζώκας Α., «Εισαγωγή στη Δυναμική Μετεωρολογία», Εκδόσεις Παν/μίου Ιωαννίνων, Ιωάννινα, 1993.
27.- Mellon G.,Yamada T. «Development of a turbulence closure model for geophysical fluid problems» Rev. Geophys. Space Phys., 20, 851 – 875
28.-Μπεργελές Γ. «Ανεμοκινητήρες» εκδ. Συμεών, Αθήνα 2005
29.-Μπεργελές Γ. «Υπολογιστική Ρευστομηχανική» εκδ. Συμεών, Αθήνα 2006
30.-Μυλωνάς Ν. «Μηχανική ΙΙ, Κινηματική – Δυναμική», Αθήνα 1984
31.- Πανουργιάς Χ.- Ζαβαντής Δ. «Πολεοδομική ανάπλαση περιοχών κατοικίας – μικροπολεοδομικά στοιχεία», εκδ. Σταμούλη 2004
32.- Παπαδόπουλος Μ. «Παραγωγή ηλεκρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές» εκδ. ΕΜΠ, Αθήνα 1997
33.- Παπαϊωάννου Α. «Μηχανική των Ρευστών» τόμοι 1 & 2, Αθήνα 2001
34.- Παπαμανώλης Ν. «Θεωρητική και πειραματική διερεύνηση στην κατεύθυνση βέλτιστης αξιοποίησης του φυσικού αερισμού στα πλαίσια του ενεργειακού σχεδιασμού των κτιρίων», διδακτορική διατριβή, ΑΠΘ 1992
35.- Παπαμανώλης Ν. «Η ικανότητα αερισμού ως εργαλείο εκτίμησης της ποιότητας του εσωτερικού αέρα σε κτίρια στην Ελλάδα», περιοδικό Κτίριο, επιστημονική έκδοση, τεύχος Α, 2000
36.- Παπαμανώλης Ν. «Επιπτώσεις της εσωτερικής ρύπανσης του αέρα στην υγεία των κατοίκων», 1ο Περιβαλλοντικό Συνέδριο Μακεδονίας, Μάρτιος 2002

37.- Reynolds A.J. «Turbulent Flows in Engineering», John Wiley & Sons, 1974
38.- Roberson M., Crowe C. « Engineering Fluid Mechanics», Houghston Mifflin Co, Boston, 1990
39.- Sutherland G. «Ποιότητα αέρα στα κτίρια και η επίδρασή της στην υγεία των ενοίκων», ΚΑΠΕ, Αθήνα 1994
40.- Schaefer J. «On the Solution of the Generalized Ekman Equation» National Severe Storms Laboratory, NOAA, Norman Press, 1993
41.- Stull R.B. «An Introduction to Boundary Layer Meteorology» Kluwer Academic Publ. 1989
42. Tasios D. «Εφαρμοσμένη Θερμοδυναμική Χημικής Μηχανικής» Πανεπιστημιακές Εκδόσεις ΕΜΠ Αθήνα 2006
43.- Trezos C. Babiri Z. «New Evidence Concerning Basic Wind Velocity» Tech. Chron. Sci. J. TCG I No.2, 2001
44.- Yeang Ken. «The skyscraper bioclimaticaly considered» N.Y. Academy Editions, 1996

Πηγές Διαδικτύου

45.- http://architecturemag.com
46.- http://askjeeves.com
47.- http://www.cecer.army.mil/td/tips/index.cfm
48.- http://cert.org/research
49.- http://www.citiesofscience.co.uk/go/London/ContentPlace_2543.html
50.- http://www.erdc.usace.army.mil/
51.- http://elet.gr
52.- http://forecast.uoa.gr/greek/about.php
53.- http://geocities.com
54.- http://www.lowcarbonbuildingsphase2.org.uk/index.jsp
55.- http://www.poseidon.hcmr.gr
56.- http://www.renewabledevices.com/swift/index.htm

Κεφάλαιο 3 Συμβολή του φυσικού αερισμού στην ποιότητα του κτιριακού περιβάλλοντος

3.1 Ιδιότητες ατμοσφαιρικού αέρα

Ο αέρας είναι στις περισσότερες τουλάχιστον περιπτώσεις ένα χημικά αδρανές μίγμα αερίων. Όλα τα συστατικά που περιέχονται στον ατμοσφαιρικό αέρα είναι προϊόντα θερμοφυσικών ή χημικών διεργασιών που πραγματοποιούνται στην επιφάνεια της γης. Εξαιρείται μόνο το O_3 του οποίου η παραγωγή γίνεται στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας. Οι ποσότητες των συστατικών της ατμόσφαιρας που σχετίζονται με ανθρώπινες δραστηριότητες, μεταβάλλονται τοπικά και χρονικά.

Η παρουσία του H_2O_g στον ατμοσφαιρικό αέρα έχει μεγάλη πρακτική σημασία, γιατί σχετίζεται τόσο με τις συνθήκες διαβίωσης του ατόμου (ποιότητα μικροκλίματος), όσο και με διάφορες βιομηχανικές διεργασίες για την πραγματοποίηση των οποίων η παρουσία του αέρα είναι απαραίτητη, όπως για παράδειγμα πύργοι ψύξης ή αναπόφευκτη (π.χ. αποθήκευση προϊόντων).

Η μελέτη και ο έλεγχος των συνθηκών υπό τις οποίες ο υδρατμός εμπεριέχεται στον ατμοσφαιρικό αέρα είναι αντικείμενο της υγρομετρίας. Κάτω από το πρίσμα αυτό ο αέρας θεωρείται ως ομοιογενές μείγμα δύο συστατικών: του ξηρού αέρα που παίζει το ρόλο του διαλύτη και των υδρατμών ή υγρασίας που θεωρείται ως η διαλυμένη ουσία. Για τον ξηρό αέρα δεχόμαστε ότι έχει συμπεριφορά τέλειου αερίου σε συνήθεις συνθήκες (δηλαδή αν η μερική πίεσή του είναι μικρότερη ή ίση με 1,013 bar). Επομένως για την περιγραφή της θερμοδυναμικής του κατάστασης μπορεί να χρησιμοποιηθεί η καταστατική εξίσωση υπό την ακόλουθη μορφή:

$$P_a \cdot V = R^*_a \cdot T \qquad \textbf{(3.1)}$$

όπου $R^*_a = \dfrac{R}{M_a} = \dfrac{8.316 J/mole \cdot {}^0K}{28{,}960 \cdot 10^{-3}\, Kg/mole} = 287{,}19\ \dfrac{J}{Kg \cdot {}^0K}$

Η περιεκτικότητα του αέρα σε υδρατμούς είναι συνάρτηση μόνο της θερμοκρασίας και δεν επηρεάζεται από την παρουσία του ξηρού αέρα στο μείγμα. Δηλαδή: $M_{H_2O_g} = M_{H_2O_g}(T)$

Για ορισμένη δηλαδή θερμοκρασία ο αέρας περιέχει τη μεγαλύτερη δυνατή ποσότητα $H2O_g$ όταν βρίσκεται σε κατάσταση κορεσμού.

Η ποσότητα $H2O_g$ που περιέχεται στον αέρα βρίσκεται συνήθως σε θερμοκρασία μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία κορεσμού που αντιστοιχεί στη μερική πίεση των H2Og στο μίγμα. Δηλαδή ή ποσότητα $H2O_g$ βρίσκεται σε υπέρθερμη κατάσταση προσεγγίζοντας σε συνήθεις συνθήκες τη συμπεριφορά τέλειου αερίου. Άρα ισχύει η καταστατική εξίσωση:

$$P_s \cdot V = M_s \cdot R^*_s \cdot T \qquad \textbf{(3.2)}$$

όπου $R^*_s = \dfrac{R}{M_s} = \dfrac{8.316 J/mole \cdot {}^0K}{18 \cdot 10^{-3}\ Kg/mole} = 462{,}05\ J/Kg \cdot {}^0K$

Η χρήση της καταστατικής εξίσωσης για τους υδρατμούς δεν προκαλεί αξιόλογο υπολογιστικό σφάλμα ακόμα και στην περίπτωση εφαρμογής της σε κορεσμένο μείγμα αέρα και $H2O_g$. Στις συνήθεις εφαρμογές το μείγμα αέρα - $H2O_g$ ακολουθεί με ικανοποιητική προσέγγιση το νόμο των Gibbs - Dalton σύμφωνα με τον οποίο η ολική πίεση του μείγματος Ρολ δηλαδή η βαρομετρική πίεση είναι ίση με το άθροισμα των μερικών πιέσεων ξηρού αέρα και $H2O_g$.

3.2 Σχετική και απόλυτη υγρασία

Στην Υγρομετρία, για να εκφράσουμε την περιεκτικότητα του ατμοσφαιρικού αέρα σε $H2O_g$ χρησιμοποιούμε βασικά δύο μεγέθη τη σχετική και την απόλυτη υγρασία.

Ως σχετική υγρασία Φ του ατμοσφαιρικού αέρα ορίζεται ο λόγος της μερικής πίεσης P_s των $H2O_g$ που περιέχονται σε έναν ορισμένο χώρο προς τη μερική πίεση P_κ των H_2O_g που θα έπρεπε να περιέχονται στο χώρο αυτό ώστε να είναι κορεσμένος στη θερμοκρασία T_d του μίγματος δηλαδή:

$$\Phi = \left(\frac{P_W}{P_\kappa}\right)_{T_d} = \left(\frac{P_s}{P_\kappa}\right)_{T_d} \qquad \textbf{(3.3)}$$

Για θερμοκρασίες μικρότερες από 65 0C συνεπώς και για θερμοκρασίες κτιριακού περιβάλλοντος ο λόγος των πιέσεων είναι περίπου ίσος με το λόγο των πυκνοτήτων, δηλαδή $\Phi = \left(\frac{\rho_s}{\rho_\kappa}\right)_{T_d}$ όπου $T_d < 65\ ^0C$

Η κατ' όγκο σύσταση του καθαρού ξηρού και υγρού ατμοσφαιρικού αέρα φαίνεται στον πίνακα που ακολουθεί [4]:

	Ξηρός αέρας	Υγρός αέρας
Συστατικά του αέρα	μονάδα μέτρησης: μg / m^3	μονάδα μέτρησης: μg / m^3
Άζωτο (N_2)	$8.95 * 10^8$	$8.67 * 10^8$
Οξυγόνο (O_2)	$2.74 * 10^8$	$2.65 * 10^8$
Υδρατμοί (H_2O_g)	–	$2.30 * 10^7$
Αργό (Ar)	$1.52 * 10^7$	$1.47 * 10^7$
Διοξείδιο του άνθρακα (CO_2)	$5.67 * 10^5$	$5.49 * 10^5$
Νέο (Ne)	$1.49 * 10^4$	$1.44 * 10^4$
Ήλιο (He)	$8.50 * 10^2$	$8.25 * 10^2$
Μεθάνιο (CH_4)	$7.215 * 10^2$	$6.975 * 10^2$
Κρυπτό (Kr)	$3.43 * 10^3$	$3.32 * 10^3$
N_2O	$9.00 * 10^2$	$8.73 * 10^2$
Υδρογόνο (H_2O)	4.13	4.00
Ξένο (Xe)	$4.29 * 10^2$	$4.17 * 10^2$
Οργανικές ενώσεις (μη ρυπαντές)	–	–

Εικ.1 κατ' όγκο σύσταση του καθαρού ξηρού και υγρού ατμοσφαιρικού αέρα πηγή [3]

Ξηρός ονομάζεται ο αέρας όταν έχουν απομακρυνθεί από αυτόν οι υδρατμοί και οι ρυπαντές. Το μοριακό βάρος του ξηρού αέρα είναι 28.96 και η σταθερά αερίου R_α = 287.1 J / (Kg K).
Ο υγρός αέρας εξετάζεται σαν μίγμα ξηρού αέρα και υδρατμού. Το μοριακό βάρος του νερού είναι 18 και η σταθερά αερίου του υδρατμού. R_w = 8314 / 18 = 461.5 J / (Kg K).
Η σχετική υγρασία είναι ένα πολύ βασικό μέγεθος που φανερώνει πόσο μακριά από την κατάσταση κορεσμού είναι ο ατμοσφαιρικός αέρας. Δεν επηρεάζεται ούτε από την ποσότητα του ξηρού αέρα ούτε και από τη βαρομετρική πίεση Pb.
Ως απόλυτη ή ειδική υγρασία m_s του ατμοσφαιρικού αέρα ορίζεται ο λόγος της μάζας των υδρατμών M H2Og προς τη μάζα του ξηρού αέρα που περιέχεται σε ορισμένο όγκο του μίγματος, δηλαδή:

$$m_s = \frac{M_W}{M_d} \qquad \textbf{(3.4)}$$

Σε συνδυασμό τώρα με τις καταστατικές εξισώσεις που αναφέραμε προκύπτει:

$$m_s = \frac{R^*_a}{R^*_s} \cdot \frac{P_s}{P_a} = 0.622 \Rightarrow$$

$$\frac{P_s}{P_a} = 0.622 \frac{P_s}{P_b - P_s} \qquad \textbf{(3.5)}$$

Ο λόγος της απόλυτης υγρασίας ενός μίγματος αέρα υδρατμού σε ορισμένη θερμοκρασία προς την απόλυτη υγρασία του κορεσμένου μίγματος στην ίδια θερμοκρασία ονομάζεται βαθμός κορεσμού και παριστάνεται με μ, όπου:

$$\mu = \frac{m_s}{m_k} \qquad \textbf{(3.6)}$$

Ισχύει:

$$\Phi = \frac{\mu}{1-(1-\mu)\cdot\frac{P_\kappa}{P_b}} \qquad \textbf{(3.7)}$$

Για τον προσδιορισμό των θερμοδυναμικών ιδιοτήτων του αέρα χρησιμοποιούνται οι ακόλουθες θερμοκρασίες:

1.- Θερμοκρασία σημείου δρόσου (dew point) T_δ:

Είναι η θερμοκρασία εκείνη στην οποία πρέπει να φτάσει μέσω ψύξης, ακόρεστο μείγμα ξηρού αέρα - $H2O_g$ (φ<1) υπό σταθερή απόλυτη υγρασία ώστε να γίνει κορεσμένο (φ=1). Η T_δ είναι προφανώς ίση με τη θερμοκρασία κορεσμού που αντιστοιχεί στη μερική πίεση P_s του υδρατμού στο μίγμα.

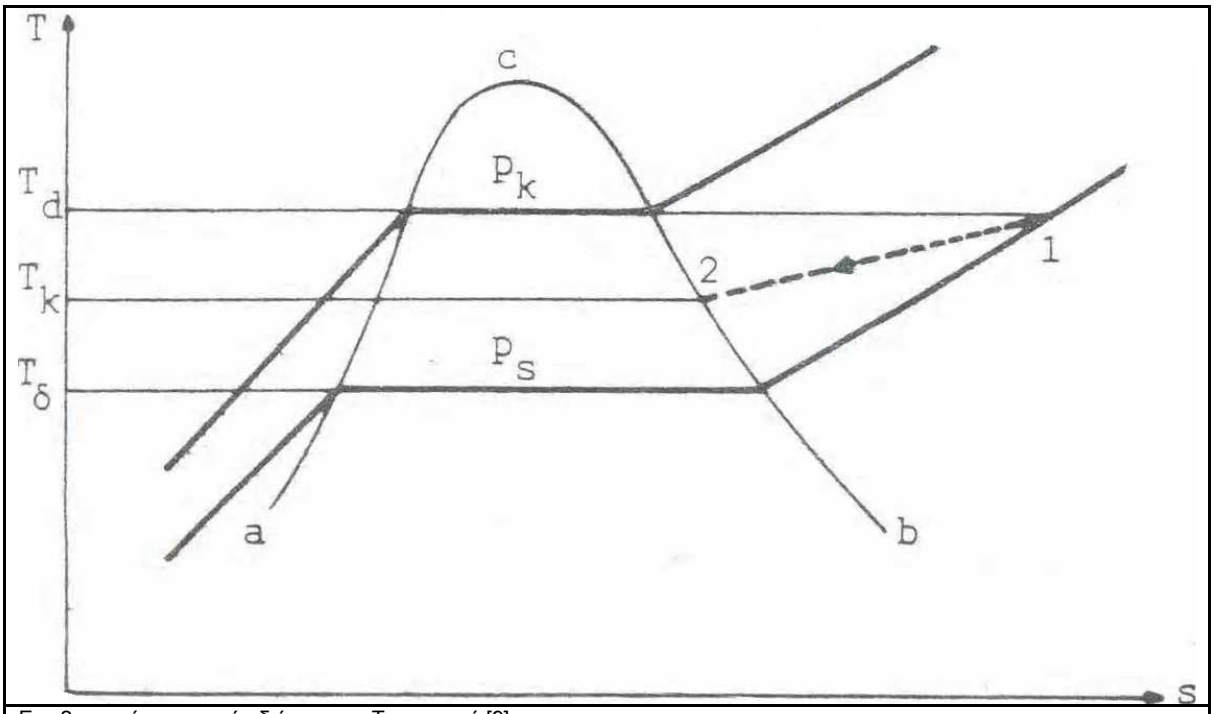
2.- Θερμοκρασία ξηρού θερμομέτρου T_d:

Είναι η θερμοκρασία που θα δείξει οποιοδήποτε θερμόμετρο όταν τοποθετηθεί στο χώρο του μίγματος αέρα - H_2O_g

3.- Θερμοκρασία αδιάθερμου κορεσμού (T_κ)

Είναι η θερμοκρασία την οποία αποκτά τελικά ακόρεστο μίγμα αέρα - $H2O_g$ όταν προστίθεται σ' αυτό νερό από αδιάθερμες συνθήκες. Το περιβάλλον δηλαδή του μίγματος αέρα - $H2O_g$ θεωρείται θερμικά μονωμένο.

Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται σε εντροπικό διάγραμμα T – s οι θερμοκρασίες ξηρού θερμομέτρου Td , σημείου δρόσου T_δ και αδιάθερμου κορεσμού T_κ για ακόρεστο μίγμα αέρα - $H2O_g$



Εικ. 2 τυπικό εντροπικό διάγραμμα T – s πηγή [9]

4.- Θερμοκρασία υγρού θερμομέτρου T_w

Είναι η θερμοκρασία που δείχνει ένα κοινό θερμόμετρο του οποίου ο βολβός καλύπτεται με θρυαλλίδα (φυτίλι). Η θρυαλλίδα αυτή διαποτίζεται συνεχώς με νερό έτσι ώστε να λαμβάνει χώρα εξάτμιση ιδιαίτερα όταν το θερμόμετρο τοποθετείται σε ρεύμα ακόρεστου αέρα μόνιμης ροής.

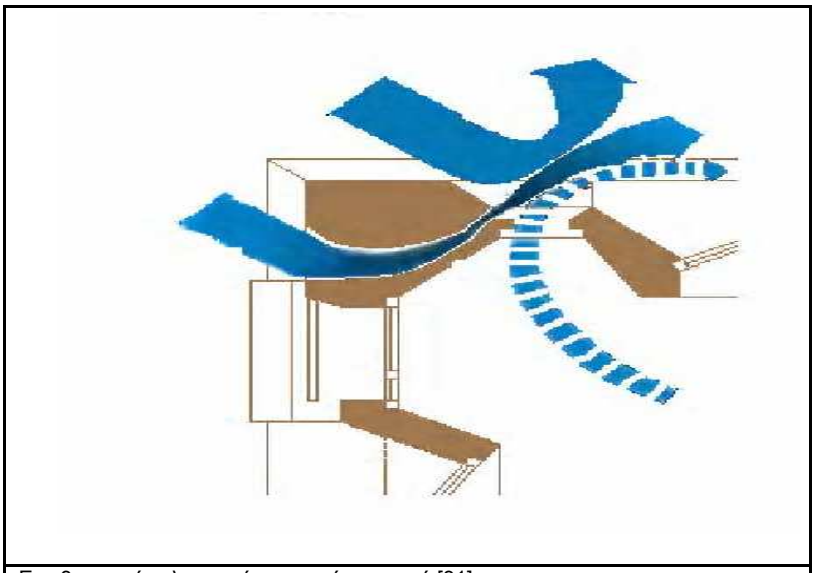
Όπως είναι γνωστό, για την αναπνοή απαιτούνται κατά μέσο όρο 25 lt αέρα ανά λεπτό και ανά άνθρωπο. Ο αέρας της εκπνοής που περιέχει περίπου 16% O_2 και 4% CO_2 διαχέεται στη ατμόσφαιρα του κτιριακού περιβάλλοντος και φυσικά εισπνέεται και από άλλους ανθρώπους. Προκειμένου να μη χάσει ο αέρας περισσότερο από το 1% της περιεκτικότητάς του σε O_2 θα πρέπει να εξασφαλιστούν 4 * 25 = 100 lt αέρα ανά λεπτό σε κάθε άνθρωπο.
Παράλληλα, μεγάλη πρακτική σημασία έχει η παρουσία των υδρατμών στον αέρα επειδή σχετίζεται με τις συνθήκες διαβιώσεως του ανθρώπου.
Επίσης σημαντικά επηρεάζονται από την περιεχόμενη ποσότητα υδρατμών στον αέρα διάφορες βιομηχανικές διεργασίες όπου η παρουσία του αέρα είναι είτε απαραίτητη π.χ. πύργοι ψύξης, είτε αναπόφευκτη π.χ. αποθήκευση προϊόντων.

Η ποσότητα των υδρατμών που περιέχεται στον ατμοσφαιρικό αέρα καλείται υγρασία. Μέτρο της περιεχόμενης υγρασίας στον αέρα αποτελεί η μερική πίεση των υδρατμών P_w.
Η μέγιστη ποσότητα υγρασίας την οποία μπορεί να συγκρατήσει ο αέρας εξαρτάται μόνο από τη θερμοκρασία του. Στην περίπτωση αυτή ο αέρας ονομάζεται κορεσμένος και η μερική πίεση των υδρατμών P_{ws} είναι ίση προς την πίεση κορεσμού των υδρατμών για την ίδια θερμοκρασία ($P_w = P_{ws}$).
Όταν στον κορεσμένο αέρα προστεθεί ποσότητα νερού π.χ. με ψεκασμό, καμία αύξηση της υγρασίας δεν θα παρατηρηθεί ενώ αντιθέτως και μια μόνο μικρή ψύξη του κορεσμένου αέρα θα επιφέρει μείωση της υγρασίας (συμπύκνωση των υδρατμών).
Ο ξηρός αέρας δεν υφίσταται στην πράξη, δηλαδή στις συνήθης ατμόσφαιρες.
Ουσιαστικά πρόκειται για υποθετικό όρο τον οποίο χρησιμοποιούμε στον ποιοτικό έλεγχο του αέρα ή στους ψυχρομετρικούς υπολογισμούς.[15]
Ο μέσος άνθρωπος που βρίσκεται σε ανάπαυση αναπνέει 15 έως 18 φορές το λεπτό, εισπνέοντας 400 – 700 cm^3 σε κάθε εισπνοή, δηλαδή 5 – 13 λίτρα αέρα το λεπτό. Κατ' αυτό τον τρόπο καταναλώνει 300 cm^3 οξυγόνο το λεπτό, ενώ όταν εργάζεται σκληρά οπότε βέβαια αναπνέει με ταχύτερο ρυθμό, μπορεί να καταναλώνει μέχρι και 3000 λίτρα αέρα σε κάθε εισπνοή.

3.2 Παθητικός δροσισμός

Ως προς το ζήτημα του παθητικού δροσισμού, μπορούμε να παρατηρήσουμε πως ακόμα και αν σκιαστεί ένα κτίριο, ώστε να περιοριστούν τα θερμικά κέρδη και η ροή του εξωτερικού αέρα, οι εσωτερικές θερμοκρασίες στα μεσογειακά κλίματα κατά το θέρος, μπορεί να είναι πιο υψηλές από το ύπαιθρο.
Με τον εξαερισμό με ψυχρό δροσερό αέρα, το πρόβλημα μπορεί να διορθωθεί.
Η διαρροή θερμότητας από ένα κτίριο είναι δυνατό να αυξηθεί υπό την επίδραση της πίεσης του ανέμου. Όταν ο άνεμος επιδρά σε ένα κτίριο εμφανίζεται υψηλή πίεση στην εκτεθειμένη πλευρά και χαμηλή πίεση στην αντίθετη προστατευμένη όψη. Συνήθως η ταχύτητα και η κατεύθυνση των τοπικών ανέμων ποικίλλουν. Σε μια συγκεκριμένη τοποθεσία όμως, ένα κτίριο μπορεί συχνά να κατασκευαστεί σε σχέση με τα γειτονικά κτίρια, τη φυτεμένη βλάστηση και άλλα εμπόδια, έτσι ώστε ο άνεμος να επιδρά υπό μόνιμη σταθερή κατεύθυνση και με σχετικά σταθερό ρυθμό. Οι συνθήκες για αερισμό είναι καλύτερες, όταν ο άνεμος πέφτει πάνω στο κτίριο υπό γωνία που να φτάνει τις 45°.
Η κίνηση του ανέμου κατά μήκος μιας περιοχής επιδρά σε ζώνες που κυμαίνονται από υψηλή μέχρι χαμηλή πίεση, δια των ανοιγμάτων του οργανισμού πληρώσεως του κτιρίου.
Το μέγεθος και η θέση των ανοιγμάτων καθορίζουν την ταχύτητα και την κατεύθυνση της κίνησης του αέρα μέσα στο κτίριο. Η ταχύτητα του αέρα είναι μέγιστη, όταν τα ανοίγματα μέσω των οποίων εξέρχεται ο αέρας από το κτίριο, είναι μεγαλύτερα από τα ανοίγματα από όπου ο αέρας εισέρχεται, ωστόσο τα ανοίγματα εισόδου πρέπει να έχουν επαρκή επιφάνεια.
Η καλύτερη διανομή δροσερού αέρα στο κτίριο, επιτυγχάνεται όταν όλα τα ανοίγματα είναι διαγώνια αντίθετα το ένα από το άλλο και η ροή του αέρα δεν εμποδίζεται από μεσοτοιχίες, έπιπλα κλπ.
Ο αερισμός παρέχει ψύξη, χρησιμοποιώντας τον αέρα, για την απομάκρυνση της θερμότητας από το κτίριο και το ανθρώπινο σώμα.
Η κίνηση του αέρα, όπως προαναφέραμε, μπορεί να οφείλεται είτε σε φυσικά αίτια (άνεμος και φαινόμενο της καμινάδας) είτε σε μηχανική δύναμη (ανεμιστήρες). Η μορφή της ροής του αέρα είναι αποτέλεσμα των διαφορών πίεσης που παρατηρούνται γύρω και μέσα στο κτίριο. Ο αέρας κινείται από τις περιοχές υψηλής στις περιοχές χαμηλής πίεσης.
Όταν η εξωτερική θερμοκρασία είναι χαμηλότερη από την εσωτερική ο αερισμός του κτιρίου μπορεί να ανακουφίζει από τα εσωτερικά θερμικά κέρδη ή από τα ηλιακά κέρδη κατά τη διάρκεια της ημέρας και να εφοδιάζει με ψυχρό αέρα το κτίριο κατά τη διάρκεια της νύχτας αν αυτό απαιτείται.
Η κίνηση του εσωτερικού αέρα αυξάνει τη μεταβίβαση θερμότητας από την επιδερμίδα και αυξάνει την εξάτμιση της υγρασίας από αυτό. Η εξάτμιση αποτελεί έναν πολύ σημαντικό μηχανισμό ψύξης που μπορεί να δώσει μεγάλο αίσθημα θερμικής άνεσης στους ενοίκους του κτιρίου.
Για να φέρει αποτέλεσμα ο αέρας του περιβάλλοντος θα πρέπει να έχει σχετική υγρασία κάτω από 85%.
Η τυρβώδης κίνηση του αέρα ευνοεί και τους δύο αυτούς μηχανισμούς απομάκρυνσης της θερμότητας.
Η ροή του αέρα διαμέσου του κτιρίου επηρεάζεται από την τοποθεσία, τις διαστάσεις του κτιρίου και των ανοιγμάτων, το σχήμα του κτιρίου, τη γωνία πρόσπτωσης του ανέμου στο κτίριο κλπ.
Η συνολική ροή του αέρα είναι αποτέλεσμα του συνδυασμού της άνωσης και των διαφορών πίεσης του ανέμου.
Για καλύτερο αερισμό του κάθε δωματίου ή και ολόκληρου του ορόφου, θα πρέπει το άνοιγμα εισόδου να είναι μικρότερο από το άνοιγμα εξόδου. Αυτό το επιδιώκουμε για να έχουμε τη μέγιστη ταχύτητα του αέρα στην είσοδο παρά στην έξοδο, γιατί τότε δημιουργείται ανεπιθύμητη τύρβη στην ευρύτερη περιοχή λίγο πριν το άνοιγμα εξόδου.
Οι εξωτερικοί ανεμοφράκτες μπορούν να ενσωματωθούν κατά το σχεδιασμό του κτιρίου προκειμένου να αλλάζουν την πίεση στα ανοίγματα, έτσι ώστε ορισμένες ενεργειακές ζώνες του να εξασφαλίζουν προνομιακό αερισμό από αέρια ρεύματα που προκαλούνται με ειδικό τρόπο. Σωστή εφαρμογή των ανεμοφρακτών όμως απαιτεί προηγούμενη ανάλυση των τοπικών ανέμων.

Για να προκληθεί κυκλοφορία του αέρα σε συγκεκριμένη κατεύθυνση, μπορεί να χρησιμοποιηθεί επίσης και το φαινόμενο Venturi, το οποίο είναι μια εφαρμογή σε κτιριακό περιβάλλον της πειραματικής διάταξης Venturi [6].
Σύμφωνα με το φαινόμενο αυτό, ο αέρας υποχρεώνεται να κινηθεί από ένα περιορισμένο τμήμα του κτιρίου. Σ' αυτή τη θέση η ταχύτητά του αυξάνεται και μειώνεται ανάλογα η πίεση. Η μειωμένη πίεση δημιουργεί ένα ρεύμα αέρα που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να οδηγήσει το θερμό αέρα έξω από το κτίριο και επομένως να προκαλέσει αερισμό. Όταν δεν είναι δυνατόν να εφαρμοστούν ανοίγματα σε θέσεις κατάλληλες για καλό αερισμό, μπορεί να σχηματιστεί ελκυσμός του ανέμου γύρω από το κτίριο με κατάλληλα διάταξη περιφράξεων, τοίχων, φρακτών και θάμνων.



Εικ. 3 τεχνικές ελκυσμού του ανέμου πηγή [31]

Αυτό όμως προϋποθέτει το κτίριο στο οικόπεδο να είναι πανταχόθεν ελεύθερο.

Σε πυκνοκατοικημένες περιοχές μπορούν να εμφανιστούν διάφορα φαινόμενα που να οφείλονται στον άνεμο και να προκύπτουν από τη σχετική θέση των υφιστάμενων κτιρίων ως προς τη ροή του ανέμου. Ως αποτέλεσμα είναι δυνατόν να κατασκευαστεί ένα νέο κτίριο έτσι ώστε η διέξοδος του ανέμου να προκαλεί ρεύματα που να εξασφαλίζουν καλό αερισμό διαμέσου του κτιρίου προκαλώντας φυσική ψύξη. Όταν όμως εφαρμόζεται αυτό το φαινόμενο πρέπει να καταβάλλεται μεγάλη προσοχή γιατί μπορεί να προκαλέσει κατά το χειμώνα ανεπιθύμητη ψύξη και άλλα δυσάρεστα αποτελέσματα.
Το κυριότερο θέμα στη στρατηγική ψύξης είναι η εξασφάλιση ψύξης με φυσικά μέσα. Οι ταχύτητες αέρα στον εσωτερικό χώρο μπορούν να αυξηθούν έτσι ώστε να μεγιστοποιήσουν την αισθητή ψύξη. Ο αέρας που διαχέεται στο κτίριο από το περιβάλλον, μπορεί να ψυχθεί με εξάτμιση. Η θερμοκρασία του αέρα αερισμού μπορεί να μειωθεί με την ψύξη του εδάφους. Το κτίριο μπορεί να ψυχθεί με φυσικό τρόπο, από την απώλεια θερμότητας που ακτινοβολείται κατά τις νυχτερινές ώρες προς την ατμόσφαιρα και με διασταυρούμενο αερισμό.
Ο ρυθμός της θερμικής απώλειας με μεταφορά από το κτιριακό περίβλημα μπορεί να επιταχυνθεί με τον άνεμο. Με όμοιο τρόπο, δάπεδα και οροφές σε κτίρια μπορούν να παραμείνουν ψυχρά με διασταυρούμενο αερισμό από το υπόγειο και τις σοφίτες. Αυτή η διαδικασία προτείνεται συνήθως για θερμά και υγρά κλίματα.
Στα κλίματα αυτά όπου οι νυχτερινές θερμοκρασίες είναι χαμηλές, ο διασταυρούμενος αερισμός τη νύχτα αποτελεί μια πολύ χρήσιμη μέθοδο φυσικής ψύξης. Ο νυχτερινός αέρας κυκλοφορεί πέρα από τις μάζες μη υψηλή θερμική αδράνεια, έτσι ώστε να αποβάλλεται ένα σημαντικό ποσό θερμότητας που έχει συσσωρευτεί κατά τη διάρκεια της ημέρας.
Με προσεκτική εξέταση της θέσης του κτιρίου στο οικόπεδο και με την πολεοδομική χωροθέτηση των γύρω χώρων, είναι δυνατόν να αξιοποιηθούν οι επιδράσεις της φυσικής ψύξης ώστε αν περιοριστεί η θερμοκρασία του αέρα γύρω από το κτίριο.
Η γεωγραφική θέση της περιοχής, η τοπογραφική της διαμόρφωση και η φυσική ή τεχνητή βλάστηση μπορούν να παγιδεύσουν ψυχρό αέρα κατά τις νυχτερινές ώρες. Η παρουσία του νερού επίσης μπορεί να έχει ψυκτική επίδραση.
Παράλληλα, επειδή ο καθαρός ουρανός τη νύχτα ακόμα και κατά τις θερμές περιόδους του έτους είναι σταθερά ψυχρός, ένα αξιόλογο ποσό θερμότητας η οποία έχει συσσωρευτεί σε ένα κτίριο κατά τη διάρκεια της ημέρας, θα ακτινοβοληθεί προς τον ουρανό κατά τις νυχτερινές ώρες αρκεί βέβαια να μην υπάρχουν σύννεφα. Στο τέλος της νύχτας, το κτίριο θα έχει ψυχθεί σημαντικά. Η επίδραση αυτού του φαινόμενου, είναι λιγότερο έντονη σε υγρά κλίματα, επειδή ο κορεσμένος με υγρασία αέρας είναι λιγότερος διάφανος στην υπέρυθρη ακτινοβολία IR από τον αέρα με χαμηλή υγρασία [5].

3.3 Θερμική άνεση & Θερμική καταπόνηση

Η υγεία και η παραγωγική δραστηριότητα του ανθρώπου επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό από τις κλιματικές συνθήκες που επικρατούν στο άμεσο περιβάλλον του. Ο άνθρωπος προσπαθεί να προσαρμοστεί σ' αυτό, προκειμένου να εξασφαλίσει τη βιολογική και ψυχολογική του ισορροπία. Ορισμένες κλιματικές συνθήκες αναζωογονούν την παραγωγική δραστηριότητα του ατόμου, ενώ άλλες την καταστέλλουν. Όταν ένα άτομο δεν επιθυμεί καμιά κλιματική αλλαγή στο περιβάλλον του, τότε λέμε ότι βρίσκεται σε κατάσταση θερμικής άνεσης. Η θερμική άνεση, συναίσθημα καθαρά υποκειμενικό, μπορεί να οριστεί ως η αίσθηση μιας πλήρους φυσικής ευχάριστης κατάστασης για τον άνθρωπο, μια κατάσταση πλήρους ευεξίας. Ο άνθρωπος, ως ομοιόθερμος οργανισμός, διατηρεί σταθερή τη θερμοκρασία του σώματός του, ακόμα και όταν οι κλιματολογικές συνθήκες δεν τον ευνοούν, και ιδιαίτερα εκείνη του λεγόμενου εσωτερικού πυρήνα, δηλαδή οργάνων όπως ο εγκέφαλος η καρδιά και τα σπλάχνα που δεν επιδέχονται σημαντικές θερμικές μεταβολές για την φυσιολογική λειτουργία τους. Επομένως οποιαδήποτε παραγωγή θερμότητας από το ανθρώπινο σώμα θα πρέπει να διαδοθεί. Το αίσθημα κάθε ατόμου για θερμική άνεση είναι μέγιστο, όταν η παραγωγή εσωτερικής θερμότητας ισούται με τις θερμικές απώλειες του σώματος. Η ισορροπία αυτή εξαρτάται από 8 παράγοντες που αποτελούν τις παραμέτρους προσδιορισμού του θερμικού κτιριακού περιβάλλοντος και που θα εξετάσουμε στην παράγραφο 4.3.1.

Αν εξετάσουμε μικροσκοπικά το ζήτημα της μεταβολής της εσωτερικής θερμοκρασίας του ανθρώπου παρατηρούμε πως ο μεταβολισμός και οι λοιπές δραστηριότητες του ανθρωπίνου σώματος, οδηγούν σχεδόν πάντα σε έκλυση θερμότητας, η οποία θα πρέπει να οδηγηθεί στο περιβάλλον. Έτσι ρυθμίζεται η θερμοκρασία του σώματος μέσα σε επιτρεπτά επίπεδα. Όταν η θερμοκρασία που εκλύεται εσωτερικά δεν απάγεται προς το περιβάλλον με επαρκείς ρυθμούς τότε έχουμε άνοδο της θερμοκρασίας δηλαδή υπερθερμία. Στην περίπτωση που οι θερμικές απώλειες είναι μεγαλύτερες από τις προβλεπόμενες, τότε έχουμε υποθερμία, δηλαδή εσωτερική θερμοκρασία μικρότερη από την κανονική.

Το κέντρο ρύθμισης της θερμοκρασίας που βρίσκεται στον εγκέφαλο είναι στους 36.8 C με απουσία κάθε είδους δραστηριότητας. Για ελαφρύ περπάτημα αυξάνει στους 37.4 C και για τρέξιμο στους 37.9 ^{o}C.

Εσωτερική θερμοκρασία κάτω από 28 ^{o}C μπορεί να οδηγήσει σε σοβαρές καρδιακές αρρυθμίες ενώ πάνω από 42 ^{o}C μπορεί να προκαλέσει σοβαρές εγκεφαλικές βλάβες.

Η θερμοκρασιακή ισορροπία του σώματος, συντελείται μέσω της θερμορύθμισης και είναι αποτέλεσμα δύο μηχανισμών, της θερμογένεσης και της θερμοαποβολής.

Η θερμογένεση χρησιμοποιεί για την παραγωγή θερμότητας διάφορους βιοχημικούς μηχανισμούς και αντιδράσεις που συντελούνται σε επίπεδο ήπατος, ενδοκρινολογικού και μυϊκού συστήματος. Η δραστηριότητα των κυττάρων ενός ζωντανού οργανισμού, συνίσταται στην συνεχή διακίνηση της ύλης, δηλαδή στην παραγωγή έργου. Για την παραγωγή αυτού του έργου, το ποσόν της ενέργειας που καταναλώνεται, προέρχεται από τις διαδικασίες μεταβολισμού των τροφών. Ο μεταβολισμός είναι το σύνολο των βιοχημικών αντιδράσεων που συμβαίνουν στο σώμα. Οι αντιδράσεις αυτές επιταχύνονται από βιολογικούς καταλύτες. Τα ποσά της ενέργειας που απαιτούνται, (ενδόθερμες αντιδράσεις), ή ελευθερώνονται, (εξώθερμες αντιδράσεις), ελαχιστοποιούνται με σκοπό τη σταθερή θερμοκρασία του σώματος από 36,5 – 37 ^{o}C. Επειδή η θερμοκρασία του σώματος είναι συνήθως υψηλότερη από αυτή του χώρου, οι αντιδράσεις μεταβολισμού συμβαίνουν συνεχώς για να αντισταθμίζουν την απώλεια θερμότητας προς το περιβάλλον. Οι μεταβολικοί μηχανισμοί, οξειδώνοντας τους υδατάνθρακες, τις πρωτεΐνες και τα λίπη με το εισπνεόμενο οξυγόνο, μετατρέπουν τη χημική ενέργεια στη λεγόμενη μεταβολική ενέργεια, η οποία χρησιμεύει αφενός μεν στη διατήρηση των ζωτικών λειτουργιών του οργανισμού, αφετέρου δε στην παραγωγή μηχανικού (μυϊκού έργου). Η μεταβολική ενέργεια Μ αναγόμενη στη μονάδα του χρόνου και στη μονάδα επιφάνειας επιδερμίδας, εκφράζεται ως ισχύς W ανά τετραγωνικό μέτρο επιφάνειας, δηλαδή σε W / m^2.

Σε κατάσταση πλήρους ανάπαυσης και σε ένα θερμικά ουδέτερο περιβάλλον, όλη η ενέργεια που χρησιμοποιείται από τον ανθρώπινο οργανισμό, η λεγόμενη ενεργειακή δαπάνη, μετατρέπεται σε θερμότητα, βασική μεταβολική θερμότητα. Για την εκτίμηση της μεταβολικής ενέργειας χρησιμοποιείται η μονάδα μέτρησης Met που αντιστοιχεί σε ενεργειακή δαπάνη 50 Kcal / h, για κάθε m^2 επιφάνειας επιδερμίδας.

Η θερμότητα που παράγεται από κάποιον ενήλικα σε κατάσταση ανάπαυσης είναι περίπου 100W. Επειδή το μεγαλύτερο ποσοστό αυτής της θερμότητας μεταφέρεται προς το περιβάλλον διαμέσου του δέρματος, είναι πολύ συχνά βολικό να χαρακτηρίζουμε αυτή τη μεταβολική δραστηριότητα με όρους παραγωγής θερμότητας ανά μονάδα δέρματος.

Ένας μέσος ενήλικος άνδρας έχει επιφάνεια δέρματος 1.8 m^2 και μια μέση ενήλικη έχει επιφάνεια δέρματος 1.6 m^2. Σ' αυτή την περίπτωση καταλήγουμε σε μεταβολική παραγωγή θερμότητας της τάξης των 58 W/m^2 (1 met) σε κατάσταση ακινησίας. Υψηλότεροι μεταβολικοί ρυθμοί υπολογίζονται σχεδόν πάντα σε σχέση με τη μονάδα met βάσει της αντιστοιχίας: 58 W / m^2 = 1 met [17].

Κατά τη διάρκεια εκτέλεσης μιας φυσικής δραστηριότητας, το 20% της μεταβολικής ενέργειας που καταναλώνεται, μετατρέπεται σε μηχανικό έργο, ενώ το υπόλοιπο 80% αποδίδεται στο ανθρώπινο σώμα ως θερμότητα, (μεταβολική θερμότητα δραστηριότητας). Στη δημιουργία του ολικού ποσού της μεταβολικής θερμότητας Η, συντελούν η βασική μεταβολική θερμότητα, η μεταβολική θερμότητα δραστηριοτήτων καθώς και η θερμότητα που παράγεται από την πέψη των τροφών και τη διαδικασία της θρέψης.

Η μεταβολική θερμότητα Η και η μεταβολική ενέργεια Μ, συνδέονται με την παρακάτω εξίσωση:

$$H = M \cdot (1 - n) \quad (3.8)$$

όπου n ο συντελεστής απόδοσης έργου. Μπορούμε επομένως να παρομοιάσουμε τον άνθρωπο με μια μηχανή η οποία καταναλώνει ενέργεια που παρέρχεται από τον μεταβολισμό των τροφών. Το 20% αυτής της ενέργειας αποδίδεται ως μηχανικό έργο στο εξωτερικό περιβάλλον, ενώ το υπόλοιπο 80% αποδίδεται ως θερμότητα στο ανθρώπινο σώμα. Αυτή την θερμότητα θα πρέπει να την αποβάλλει ο οργανισμός στο περιβάλλον, μέσω της θερμοαποβολής, προκειμένου να διατηρήσει τη θερμική του ισορροπία.
Οι μηχανισμοί με τους οποίους πραγματοποιείται η θερμοαποβολή είναι οι ακόλουθοι:

α) Ακτινοβολία: Με την οποία γίνεται ανταλλαγή θερμικής ενέργειας με τη μορφή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας (στο φάσμα της υπέρυθρης ακτινοβολίας) ανάμεσα στην εξωτερική επιφάνεια του σώματος (ρούχα, επιδερμίδα) και στις διάφορες επιφάνειες και σώματα που το περιβάλλουν. Η ποσότητα της θερμικής ενέργειας που ανταλλάσσεται με το περιβάλλον εξαρτάται από τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του ανθρώπινου σώματος και των αντικειμένων του περιβάλλοντος χώρου. Η θερμική ενέργεια που αποβάλλεται δια μέσου της ακτινοβολίας σε φυσιολογικές συνθήκες, αποτελεί το 40 – 50%, του συνολικού ποσοστού που αποβάλλει στο περιβάλλον το ανθρώπινο σώμα.

β) Αγωγή: Με την οποία γίνεται μεταφορά θερμικής ενέργειας ανάμεσα στον άνθρωπο και τα ακίνητα στερεά ή υγρά σώματα με τα οποία έρχεται σε άμεση επαφή (δάπεδο, καρέκλες κτλ). Το μέγεθος της μεταφερόμενης θερμότητας εξαρτάται από τη διαφορά της θερμοκρασίας μεταξύ του ανθρώπινου σώματος και των άλλων σωμάτων, καθώς και από την έκταση της επιφάνειας επαφής τους. Η θερμική ενέργεια που αποβάλλεται δια μέσου της αγωγής σε φυσιολογικές συνθήκες, αντιστοιχεί στο 2 – 3 % της αποβληθείσας θερμότητας.

γ) Μεταφορά: Με την οποία ο αέρας που έρχεται σε επαφή με την επιδερμίδα, προσδίδει ή αφαιρεί θερμότητα, ανάλογα με την υπάρχουσα διαφορά θερμοκρασίας. Η ποσότητα της θερμικής ενέργειας που μεταφέρεται εξαρτάται από την ταχύτητα του αέρα, τη θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ του ανθρώπινου σώματος και του αέρα του κτιριακού περιβάλλοντος καθώς και από την ένδυση. Η θερμική ενέργεια που αποβάλλεται δια μέσου της μεταφοράς σε φυσιολογικές συνθήκες, αντιστοιχεί στο 25 – 30% της αποβληθείσας θερμότητας.

δ) Η εξάτμιση του ιδρώτα: Αποτελεί το μόνο ενεργό μηχανισμό θερμοαποβολής του οργανισμού και μειώνει τη θερμοκρασία του ανθρωπίνου σώματος αποβάλλοντας θερμότητα στο περιβάλλον. Ένας υγιής οργανισμός μπορεί να παράγει μέχρι και ένα λίτρο ιδρώτα την ώρα που αντιστοιχεί στην αποβολή 675 W θερμικής ενέργειας. Η αποτελεσματικότητα αυτού του μηχανισμού, εξαρτάται από το ποσοστό υγρασίας του περιβάλλοντος αέρα, από την επιφάνεια εξάτμισης, από την ταχύτητα αέρα και τέλος από τον ρουχισμό, δηλαδή από την ικανότητα των ενδυμάτων να επιτρέπουν την εξάτμιση του ιδρώτα. Η θερμική ενέργεια που αποβάλλεται δια μέσου της εξάτμισης του ιδρώτα σε φυσιολογικές συνθήκες, αντιστοιχεί στο 25 – 30% της αποβληθείσας θερμικής ενέργειας.

Η θερμική ισορροπία του σώματος, (θερμορύθμιση), βασίζεται σε ένα πολύπλοκο αυτορυθμιζόμενο σύστημα που ελέγχεται από τον εγκέφαλο.
Το κέντρο ρύθμισης της θερμοκρασίας του σώματος είναι ο υποθάλαμος και βρίσκεται στον εγκέφαλο. Έχει αισθητήρες θερμοκρασίας και βρίσκεται εμβαπτισμένος σε αρτηριακό αίμα. Το τελευταίο λόγω της συνεχούς κυκλοφορίας του, μπορεί να δώσει με ικανοποιητική ακρίβεια μια ενδεικτική τιμή της μέσης θερμοκρασίας του σώματος.
Όταν η εσωτερική θερμοκρασία περάσει το επιτρεπτό άνω όριο αυξάνεται η παροχή του αίματος προς τα επιδερμικά αγγεία με παράλληλη διαστολή αυτών (vasodilation).
Αντίθετα, όταν η εσωτερική θερμοκρασία ελαττωθεί κάτω από το προβλεπόμενο όριο, έχουμε συστολή των επιδερμικών αγγείων (vasoconstriction) και ελάττωση της παροχής αίματος προς αυτά με σκοπό την εξοικονόμηση της εσωτερικής θερμότητας. Αν η θερμοκρασία εξακολουθήσει να πέφτει, τότε πρέπει το

σώμα να παράγει επιπρόσθετη θερμότητα διαμέσου της σύσπασης των μυών, αυτά είναι τα γνωστά ρίγη που νιώθουμε τότε.
Τα ρίγη αυξάνουν την παραγόμενη θερμότητα και η εσωτερική θερμοκρασία του σώματος ανεβαίνει. Γι' αυτό έχουμε πυρετό. Όταν η εσωτερική θερμοκρασία του σώματος ανέβει σε υψηλά επίπεδα χωρίς νοσογόνο αίτιο, τότε έχουμε τη λεγόμενη εφίδρωση που όπως αναφέραμε είναι ο μοναδικός μηχανισμός θερμοαποβολής του σώματος.
Η διαδικασία αυτή αποτελεί ένα χρήσιμο εργαλείο για τη διατήρηση της θερμικής άνεσης σε περιπτώσεις υψηλού μεταβολικού ρυθμού. Αυτός ο μηχανισμός άμυνας του οργανισμού απέναντι σε υψηλές θερμοκρασίες, έχει ως σκοπό να ψύξει την επιφάνεια του δέρματος λόγω της εξάτμισης του ιδρώτα και συνεπώς να αυξήσει τη μεταφορά θερμότητας από το εσωτερικό του σώματος προς το περιβάλλον. Ειδικοί αδένες μεταφέρουν τον ιδρώτα στην επιφάνεια του δέρματος και τον εναποθέτουν για εξάτμιση. Αν η σχετική υγρασία του αέρα δεν είναι σε υψηλά επίπεδα τότε η εξάτμιση θα γίνει άμεσα.
Η αίσθηση της υγρασίας στην επιφάνεια του δέρματος που προέρχεται από την εφίδρωση είναι άμεσα συνδεδεμένη με το αίσθημα της δυσφορίας ή καλύτερα με την μη επίτευξη θερμικής άνεσης.
Πειραματικά αποτελέσματα έχουν δείξει ότι η αίσθηση της άνεσης ελαττώνεται σημαντικά φθάνοντας στα επίπεδα της ενόχλησης, όταν το ποσοστό εφίδρωσης αυξηθεί πέραν του 25% της επιφάνειας του σώματος [17].
Η θερμική ισορροπία του ανθρώπινου σώματος εκφράζεται με το αλγεβρικό άθροισμα του θερμικού ισοζυγίου από την παρακάτω εξίσωση:

$$S = \mathrm{M} - W \pm R \pm C \pm \mathrm{K} - \mathrm{E} \qquad \textbf{(3.9)}$$

όπου S: ο ρυθμός συσσώρευσης θερμότητας στο σώμα.
M: η ποσότητα μεταβολικής ενέργειας παραγόμενη από τον οργανισμό.
W: η ενέργεια που ο άνθρωπος ανταλλάσσει με το περιβάλλον υπό τη μορφή μηχανικού έργου.
R: η ανταλλαγή θερμότητας με ακτινοβολία.
C: η ανταλλαγή θερμότητας με μεταφορά.
K: η ανταλλαγή θερμότητας με αγωγή
E: η αποβολή θερμότητας διαμέσου της εξάτμισης του ιδρώτα.

Όταν ο οργανισμός ενός ενοίκου βρίσκεται σε θερμική ισορροπία με το κτιριακό περιβάλλον, το θερμικό περιεχόμενο του σώματος παραμένει σταθερό, οπότε S =0. Αν S > 0, τότε η θερμοκρασία του ανθρώπινου σώματος αυξάνεται. Αν S < 0, τότε η θερμοκρασία του ανθρωπίνου σώματος μειώνεται. Αν το θερμικό ισοζύγιο διατηρείται σταθερό, χωρίς να καταπονούνται οι μηχανισμοί της θερμορύθμισης, τότε ο ένοικος βρίσκεται σε κατάσταση θερμικής άνεσης. Αν όμως το θερμικό ισοζύγιο διατηρείται σταθερό με καταπόνηση των μηχανισμών θερμορύθμισης, τότε ο ένοικος βρίσκεται σε κατάσταση θερμικής καταπόνησης.
Οι αντιλήψεις των ενοίκων ενός κτιρίου σχετικά με τη θερμική άνεση, επηρεάζονται από ένα μεγάλο αριθμό παραμέτρων. Μερικές από αυτές είναι η θερμοκρασία του αέρα, η μέση ακτινοβολούμενη θερμοκρασία, η σχετική υγρασία, η ταχύτητα και η ποιότητα του αέρα (ποσοστό ρυπαντών), σχετίζονται με το περιβάλλον.
Άλλες παράμετροι επηρεάζονται από τους ενοίκους, και περιλαμβάνουν τη στάθμη δραστηριότητας, την ένδυση και τη θερμοκρασία του σώματος.
Παρόμοια επίπεδα άνεσης μπορούν να επιτευχθούν με διάφορους συνδυασμούς αυτών των παραμέτρων. Μια μετατροπή σε μια ή περισσότερες από αυτές τις παραμέτρους μπορεί να οδηγήσει κατά συνέπεια σε βελτίωση της στάθμης ψύξης που αντιλαμβάνονται οι ένοικοι. Κάτω από ορισμένες περιστάσεις είναι δυνατόν να αλλάξει κάποια από αυτές τις μεταβλητές κατά τέτοιο τρόπο ώστε να βελτιωθεί η άνεση χωρίς βέβαια να επηρεαστεί η ενεργειακή ισορροπία του κτιρίου. Π.χ. μια λογική αύξηση της ταχύτητας του αέρα στο χώρο μπορεί να προκαλέσει ιδιαίτερη θερμική άνεση και απουσία κάθε αίσθησης δυσφορίας λόγω υπερθέρμανσης, δεδομένου ότι η θερμοκρασία του αέρα είναι χαμηλότερη από τη θερμοκρασία της επιδερμίδας του ανθρώπου. Αυτό συμβαίνει γιατί η ροή του αέρα προκαλεί θερμικές απώλειες λόγω αγωγής της θερμότητας.
Η ψύξη που αντιλαμβάνονται τα άτομα λόγω της αύξησης της ταχύτητας του αέρα, μπορεί επίσης να εμφανιστεί με την αύξηση του ρυθμού εξάτμισης του ιδρώτα από την επιφάνεια του δέρματος.

3.3.1 Παράμετροι προσδιορισμού του θερμικού κτιριακού περιβάλλοντος

Όπως αναφέραμε, η κατάσταση της θερμικής καταπόνησης ενός ενοίκου στο κτιριακό περιβάλλον είναι όπως προαναφέραμε ιδιαίτερα σύνθετη και καθορίζαι από πολλούς παράγοντες. Απαιτείται δηλαδή για τη μελέτη της ο προσδιορισμός όχι μόνο των φυσικών παραγόντων όπως η θερμοκρασία χώρου, η σχετική υγρασία, η ταχύτητα του αέρα, οι πηγές θερμικής ακτινοβολίας αλλά και παραμέτρων που σχετίζονται με τον ένοικο όπως ο μεταβολισμός, η ένδυση, η κατάσταση της υγείας του καθώς επίσης και το είδος της εργασίας του, αν το εν λόγω κτιριακό περιβάλλον αποτελεί το χώρο εργασίας του ατόμου.

Οι φυσικές παράμεροι που υπεισέρχονται και συνεκτιμούνται στη μελέτη του θερμικού κτιριακού περιβάλλοντος είναι αναλυτικά οι ακόλουθες:

1.- Θερμοκρασία του αέρα (T_α): Η θερμοκρασία του αέρα έχει άμεση σχέση με τη θερμοαποβολή που διενεργείται διαμέσου της αγωγής και της μεταφοράς. Για τον προσδιορισμό της, στο κτιριακό περιβάλλον χρησιμοποιείται το ξηρό θερμόμετρο εξαναγκασμένου αερισμού, το ξηρό θερμόμετρο με φυσικό αερισμό, το θερμόμετρο με αντιστάσεις και για συνεχείς μετρήσεις το θερμόμετρο με θερμοστοιχείο. Βασική προϋπόθεση για τον ορθό προσδιορισμό της θερμοκρασίας του αέρα, είναι η προστασία του βολβού (κεφαλής) του θερμομέτρου από τη θερμική ακτινοβολία.

2.- Σχετική υγρασία του αέρα (R_h%): Η σχετική υγρασία του αέρα εκφράζει το επί της % ποσοστό του ατμοσφαιρικού αέρα σε υδρατμούς και σχετίζεται με τη θερμοαποβολή που διενεργείται διαμέσου της εξάτμισης του ιδρώτα. Για τον προσδιορισμό της σχετικής υγρασίας στο κτιριακό περιβάλλον, χρησιμοποιείται το «ψυχρόμετρο του Assman», στο οποίο θα αναφερθούμε αναλυτικά στο κεφάλαιο 4.

3.- Ταχύτητα του αέρα: Η ταχύτητα του αέρα σχετίζεται με τη θερμοαποβολή που διενεργείται διαμέσου της μεταφοράς θεμότητας και της εξάτμισης του ιδρώτα και εξαρτάται από πλήθος παραγόντων όπως μετεωρολογικά δεδομένα, τοπογραφία περιοχής, γειτονικά κτίρια, αρχιτεκτονική του κτιρίου κτλ. Για τον υπολογισμό της ταχύτητας του αέρα στο κτιριακό περιβάλλον, τα πιο συνηθισμένα όργανα είναι τα μηχανικά, θερμικά και ηλεκτρονικά ανεμόμετρα στα οποία θα αναφερθούμε λεπτομερώς στο κεφάλαιο 5. Σε περίπτωση που το κτιριακό περιβάλλον αποτελεί το εργασιακό περιβάλλον ενός ατόμου, θα πρέπει να συνυπολογιστεί και η συμβολή της κίνησής του ατόμου στην ταχύτητα του αέρα.

4.- Μέση ακτινοβολούμενη θερμοκρασία (T_R): Αντιστοιχεί στη μέση σταθμισμένη τιμή της θερμοκρασίας του αέρα από την οποία εξαρτάται η ακτινοβολούμενη θερμότητα των επιφανειών και των αντικειμένων του κτιρίου (τοίχοι, έπιπλα, εργαλεία, μηχανές κλπ). Για τον υπολογισμό της εφαρμόζεται η παρακάτω εμπειρική σχέση:

$$T_R = \sqrt[4]{T_g^{\,4} + 1.3 \cdot 10^8 \cdot \left(T_g - T_\alpha\right) \cdot \frac{V^{0.6}}{D^{0.4}}} \qquad \textbf{(3.10)}$$

όπου: T_R η μέση ακτινοβολούμενη θερμοκρασία
T_g η μέση θερμοκρασία του σφαιρικού θερμόμετρου
T_α η θερμοκρασία του αέρα
V η μέση ταχύτητα του αέρα
D η διάμετρος του σφαιρικού θερμόμετρου

5.- Θερμοκρασία του σφαιρικού θερμομέτρου (T_g): Η συγκεκριμένη θερμοκρασία μετράται με το σφαιρικό θερμόμετρο του Vernon, που αποτελείται από μια θαμπή μαύρη χάλκινη σφαίρα πάχους 0.2 mm και διαμέτρου 15 cm, στο κέντρο της οποίας έχει τοποθετηθεί ο βολβός ενός υδραργυρικού θερμομέτρου. Η μεταλλική επιφάνεια της σφαίρας θερμαινόμενη

από την ακτινοβολούμενη θερμότητα, μεταφέρει στον εσωτερικό αέρα της σφαίρας και συνεπώς στο βολβό του υδραργυρικού θερμομέτρου, μια ποσότητα θερμότητας ανάλογη της θερμικής ακτινοβολίας, της θερμοκρασίας και της ταχύτητας του αέρα του κτιριακού περιβάλλοντος.

Εκτός όμως από τις φυσικές παραμέτρους, δηλαδή τα μικροκλιματικά μεγέθη, η θερμική άνεση των ενοίκων ή των εργαζομένων ενός κτιρίου, καθορίζεται όπως αναφέραμε και από τους λεγόμενους ανθρωπογενείς παράγοντες οι οποίοι είναι αναλυτικά οι ακόλουθοι:

1.- Μεταβολισμός: Είναι το σύνολο των βιοχημικών αντιδράσεων που συμβαίνουν στο σώμα. Οι αντιδράσεις αυτές επιταχύνονται από βιολογικούς καταλύτες. Τα ποσά της ενέργειας που απαιτούνται, (ενδόθερμες αντιδράσεις), ή ελευθερώνονται, (εξώθερμες αντιδράσεις), ελαχιστοποιούνται με σκοπό τη σταθερή θερμοκρασία του σώματος από 36,5 – 37 ^{o}C. Επειδή η θερμοκρασία του σώματος είναι συνήθως υψηλότερη από αυτή του χώρου, οι αντιδράσεις μεταβολισμού συμβαίνουν συνεχώς για να αντισταθμίζουν την απώλεια θερμότητας προς το περιβάλλον. Ο μεταβολισμός ενός ατόμου, αν βρίσκεται στο χώρο της εργασίας του καθορίζεται τόσο από τη βαρύτητα της εργασίας όσο και από τον εγκλιματισμό του ατόμου στο συγκεκριμένο εργασιακό περιβάλλον, που ολοκληρώνεται σχετικά γρήγορα, δηλαδή στις πρώτες 5 – 7 ημέρες, αλλά γενικά ποικίλει από άτομο σε άτομο. Εδώ θα πρέπει να σημειωθεί ότι η κατανάλωση O_2 από το άτομο είναι ευθέως ανάλογη του παραγόμενου μυϊκού έργου και δεν επηρεάζεται άμεσα από τις θερμικές συνθήκες του κτιριακού – εργασιακού περιβάλλοντος.
Στον παρακάτω πίνακα, φαίνεται η μέση τιμή και το εύρος του μεταβολικού ρυθμού για διάφορα είδη εργασίας:

Είδος εργασίας		Μέση τιμή (Kcal/min)	Εύρος (Kcal/min)
Εργασία με τα χέρια	ελαφριά βαριά	0.4 0.9	0.2 – 1.2
Εργασία με ένα βραχίονα	ελαφριά βαριά	1.0 1.7	0.7 – 2.5
Εργασία με τους δύο βραχίονες	ελαφριά βαριά	1.5 2.5	1.0 – 3.5
Εργασία με όλο το σώμα	ελαφριά μέτρια βαριά πολύ βαριά	3.5 5.0 7.0 9.0	2.5 – 15.0

Εικ. 4 μέση τιμή και εύρος του μεταβολικού ρυθμού για διάφορα είδη εργασίας πηγή [5]

2.- Ένδυση: Το ποσόν της εναλλασσόμενης θερμότητας μεταξύ του ανθρώπου και του περιβάλλοντος εξαρτάται από τη θερμική αντίσταση της ένδυσης. Η μονάδα που εκφράζει τη μονωτική αξία της ένδυσης είναι ο δείκτης «clo», ο οποίος αντιστοιχεί σε 5.55 kcal / m^2 / h εναλλαγής θερμότητας με ακτινοβολία ή μεταφορά, για κάθε βαθμό ^{o}C θερμοκρασιακής διαφοράς μεταξύ επιδερμίδας και προσαρμοσμένης θερμοκρασίας ξηρού θερμομέτρου (T_{adb}). Η προσαρμοσμένη θερμοκρασία ξηρού θερμομέτρου (T_{adb}) ισούται με το άθροισμα της μέσης τιμής της θερμοκρασίας του ξηρού θερμομέτρου του περιβάλλοντος αέρα και της μέσης ακτινοβολούμενης θερμοκρασίας.
Στον παρακάτω πίνακα αναφέρονται οι τιμές της θερμικής αντίστασης για διάφορες ενδυμασίες:

Τιμές θερμικής αντίστασης της ένδυσης	clo
γυμνός άνθρωπος	0
άνθρωπος με εσώρουχα	0.1
κοντό παντελόνι – ανοιχτό πουκάμισο	0.3
ελαφρά καλοκαιρινά ρούχα	0.5
ελαφρά ρούχα εργασίας	0.8
χειμερινή στολή εργασίας	1
βαριά χειμερινή καθημερινή ένδυση	1.5
ενδυμασία για πολύ κρύο περιβάλλον	3

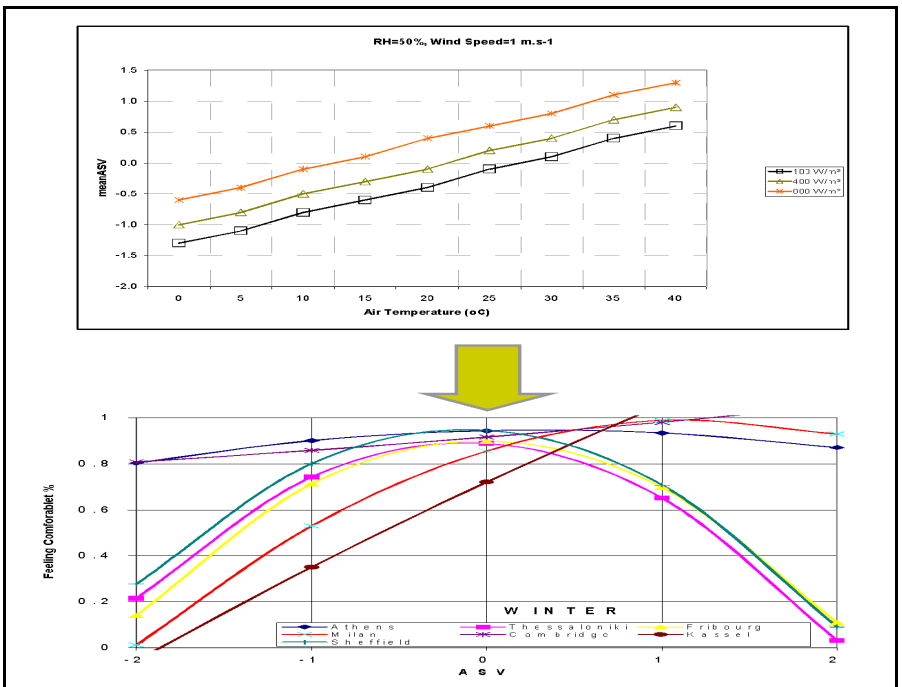
Εικ. 5 τιμές της θερμικής αντίστασης για διάφορες ενδυμασίες πηγή [5]

3.-Κατάσταση της υγείας του ενοίκου: Η κατάσταση της υγείας του ενοίκου επηρεάζει σημαντικά τη διαδικασία θερμορύθμισης και την προσαρμογή του στις θερμικές μεταβολές, τον λεγόμενο εγκλιματισμό. Όσο αυξάνεται η βιολογική ηλικία του ατόμου, γίνονται πιο ανεπαρκείς οι μηχανισμοί θερμορύθμισης. Ιδιαίτερα τα άτομα ηλικίας άνω των 45 ετών εγκλιματίζονται δύσκολα και παρουσιάζουν τα χαρακτηριστικά συμπτώματα της θερμικής καταπόνησης μετά από βραχεία έκθεση σ' ένα επιβαρημένο θερμικό περιβάλλον. Τα άτομα όπως οι καρδιοπαθείς: με στεφανιαία νόσο, βαλβιδοπάθειες, μυοκαρδιοπάθειες κλπ, οι πνευμονοπαθείς: με αναπνευστική ανεπάρκεια, πνευμονικό εμφύσημα, άσθμα κλπ, τα άτομα με σακχαρώδη διαβήτη, χρόνια νεφρική ανεπάρκεια, διαταραχές της ηπατικής λειτουργίας, του θυρεοειδούς και της αρτηριακής πίεσης, με αναιμία, ψυχικά νοσήματα, δερματοπάθειες παχυσαρκία εντάσσονται στις ομάδες υψηλού κινδύνου λόγω της μειωμένης θερμορυθμιστικής ικανότητας του οργανισμού τους και συνίσταται η αποχή τους από θερμικά επιβαρυμένο εργασιακό περιβάλλον. Ο γυναικείος οργανισμός καταπονείται περισσότερο από τον ανδρικό σε συνθήκες δυσμενούς θερμικού περιβάλλοντος και επίσης η εγκυμοσύνη μειώνει την αποτελεσματικότητα των θερμορυθμιστικών μηχανισμών του σώματος.

Κατά τον βιοκλιματικό σχεδιασμό ενός κτιρίου, ως προς το ζήτημα της θερμικής άνεσης, κρίνονται αναγκαία τα ακόλουθα:

- ✓ Να γίνει προσδιορισμός όλων εκείνων των παραμέτρων που επηρεάζουν και καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό τη θερμική άνεση
- ✓ Να γίνει οριοθέτηση της περιοχής ή της ζώνης θερμικής άνεσης, η οποία μπορεί να κυμαίνεται από τις βέλτιστες συνθήκες, μέχρι και τις ελάχιστα αποδεκτές για την υγεία και τη δραστηριότητα του ατόμου.
- ✓ Να γίνει κατάλληλος σχεδιασμός του κελύφους του κτιρίου, προκειμένου το τελευταίο να λειτουργεί κατά μία έννοια «επιλεκτικά» ως προς την επίδραση των μεταβολών του εσωκλίματος, με στόχο την εξασφάλιση συνθηκών θερμικής άνεσης στο κτιριακό περιβάλλον.

Επομένως είναι εύλογο ότι ο βιοκλιματικός σχεδιασμός του κτιρίου οφείλει να προβλέπει τη δημιουργία εσωτερικών χώρων που να προσφέρουν τις απαιτούμενες συνθήκες θερμοκρασίας, υγρασίας, αερισμού, φωτισμού, ηχομόνωσης και ποιότητας αέρα, ώστε οι ένοικοι να ζήσουν και να εργαστούν σε ένα θερμικά άνετο και υγιές περιβάλλον. Ισχυρότερη συσχέτιση παρατηρείται με τις ακόλουθες δύο παραμέτρους:
1) θερμοκρασίας 2) ταχύτητας ανέμου, όπως φαίνεται και στο παρακάτω γράφημα:



Εικ. 6 θερμοκρασία και ταχύτητα ανέμου ως συνεπιδρώντα αίτια πηγή [21]

3.3.2 Δείκτες του θερμικού κτιριακού περιβάλλοντος

Γνωρίζοντας επομένως τις κυριότερες φυσικές και βιολογικές παραμέτρους που καθορίζουν τη θερμική άνεση των ενοίκων ενός κτιρίου, ή των εργαζομένων ενός εργασιακού περιβάλλοντος, το ερώτημα που τίθεται είναι, πώς χρησιμοποιούνται όλα αυτά τα στοιχεία για να καθορίσουν τις συνθήκες που χαρακτηρίζουν την κατάσταση της θερμικής άνεσης;
Η προσπάθεια ενσωμάτωσης των φυσικών και βιολογικών παραμέτρων σε ένα και μοναδικό δείκτη, ικανό να προσδιορίσει τις συνθήκες της θερμικής άνεσης, οδήγησε στην επεξεργασία και την καθιέρωση των μικροκλιματικών δεικτών. Οι μικροκλιματικοί δείκτες, αποτελούν έγκυρα κριτήρια αναφοράς, στην προσπάθεια διερεύνησης των μικροκλιματικών παραμέτρων για τη δημιουργία ενός θερμικά αποδεκτού κτιριακού περιβάλλοντος και οι σημαντικότεροι είναι οι ακόλουθοι:

α) Ο δείκτης **WBGT** (Wet Bulb Globe Temperature ή θερμοκρασία θερμομέτρων υγρού και σφαιρικού): Τον δείκτη WBGT επεξεργάστηκαν οι Yaglou και Minard (1957) για λογαριασμό του Αμερικανικού στρατού. Ο δείκτης αυτός εκφράζει τη θερμική καταπόνηση στην οποία υποβάλλεται ο εργαζόμενος που εκτίθεται σε πολύ θερμό υπαίθριο εργασιακό περιβάλλον Ο δείκτης WBGT προσδιορίζεται από εμπειρική - πειραματική σχέση, αφού πρώτα γίνουν οι μετρήσεις τριών βασικών παραμέτρων του θερμικού εργασιακού περιβάλλοντος. Οι παράμετροι αυτές είναι οι ακολούθες:

- ✓ Η φυσική θερμοκρασία του υγρού θερμομέτρου (T_{nw}), δηλαδή χωρίς εξαναγκασμένο αερισμό και με βολβό (κεφαλή) εκτεθειμένο στον ήλιο).
- ✓ Η θερμοκρασία του σφαιρικού θερμομέτρου (T_g).
- ✓ Η θερμοκρασία του αέρα (T_α), που μετρήθηκε με ένα ξηρό θερμόμετρο, του οποίου ο βολβός (κεφαλή), προστατεύεται από το ηλιακό φορτίο.

Η εμπειρική σχέση των Yaglou και Minard (1957) διατυπώνεται ως εξής [5]:

$$WBGT = 0.7 \cdot T_{nw} + 0.2 \cdot T_g + 0.1 \cdot T_\alpha \ (^0C) \qquad \textbf{(3.11)}$$

Πρέπει να σημειώσουμε εδώ, πως η παραπάνω σχέση χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της θερμικής καταπόνησης ατόμων σε υπαίθριους εργασιακούς χώρους, με υψηλό ηλιακό φορτίο και μικρή σχετικά κίνηση του αέρα. Αργότερα, (1971), ο παραπάνω δείκτης τροποποιήθηκε και προσαρμόστηκε σε συνθήκες κλειστών εργασιακών χώρων, που προστατεύονται από το ηλιακό φορτίο, ή χώρων κατοικίας.

Η εμπειρική σχέση που προέκυψε για κλειστούς χώρους είναι η ακόλουθη:

$$WBGT = 0.7 \cdot T_{nw} + 0.3 \cdot T_g \ (^0C) \qquad \textbf{(3.12)}$$

Ο δείκτης WBGT με την τελική εξίσωση του υπολογισμού του, υιοθετήθηκε από την Αμερικάνικη Εταιρία Κυβερνητικών Υγιεινολόγων Βιομηχανίας (ACGIH), ως έγκυρο σημείο αναφοράς για την εκτίμηση των συνθηκών της θερμικής καταπόνησης στους εργασιακούς χώρους. Για την ορθή εκτίμηση των αποτελεσμάτων, τα δεδομένα που προκύπτουν από την εφαρμογή της εξίσωσης υπολογισμού του δείκτη WBGT, συγκρίνονται με τις Οριακές Τιμές Επιτρεπόμενης Θερμικής Έκθεσης που προτείνει η ACGIH και μεταφέρουμε στον πίνακα που ακολουθεί:

Εργασία	Διακοπή	Κατηγορίες Εργασίας		
		Ελαφριά	Μέτρια	Βαριά
Συνεχής	–	30.0 ^{0}C	26.7 ^{0}C	25.0 ^{0}C
75 %	25%	30.6 ^{0}C	28.0 ^{0}C	25.9 ^{0}C
50 %	50%	31.4 ^{0}C	29.4 ^{0}C	27.9 ^{0}C
25 %	75%	32.2 ^{0}C	31.1 ^{0}C	30.0 ^{0}C

Εικ. 7 Τιμές επιτρεπόμενης θερμικής έκθεσης στο εργασιακό περιβάλλον πηγή [31]

Στον παραπάνω πίνακα τα % ποσοστά εργασία – διακοπή αντιστοιχούν σε κάθε εργάσιμη ώρα. Οι παραπάνω οριακές τιμές, αναφέρονται σε υγιείς εγκλιματιζόμενους εργαζόμενους που είναι ντυμένοι με ελαφριά ρούχα εργασίας και έχουν επαρκή πρόσληψη νερού και ηλεκτρολυτών. Με την αύξηση του φόρτου εργασίας, έχουμε επιδείνωση της θερμικής καταπόνησης για μη εγκλιματισμένους οργανισμούς. Επομένως για τους τελευταίους θα πρέπει η Οριακή Τιμή θερμικής έκθεσης να είναι μειωμένη κατά 2.5 ^{0}C περίπου.

β) Η Πραγματική Θερμοκρασία (Τ.Ε) και η Διορθωμένη Πραγματική Θερμοκρασία (Τ.Ε.C): Η επεξεργασία της Πραγματικής ή Αποτελεσματικής Θερμοκρασίας Τ.Ε βασίστηκε στην παρατήρηση ότι κλειστοί χώροι με διαφορετικές μικροκλιματικές παραμέτρους, όπως είναι η θερμοκρασία του αέρα, η υγρασία του και η ταχύτητά του, μπορούν να δώσουν στους ενοίκους ή στους εργαζόμενους, αν και έχουν διαφορετικούς οργανισμούς, την αίσθηση της θερμικής ομοιότητας. Με βάση αυτές τις προϋποθέσεις αυτές οι Houghten, Yanglu και Mc Connell (1923) είχαν προτείνει έναν μικροκλιματικό δείκτη, την Πραγματική ή Αποτελεσματική Θερμοκρασία, που ενσωματώνει τις τιμές των φυσικών παραμέτρων της θερμοκρασίας του αέρα, της σχετικής υγρασίας και της ταχύτητάς του. Για την εκτίμηση της πραγματικής θερμοκρασίας, χρησιμοποιούνται κατάλληλα νομογραφήματα και οι προτεινόμενες οριακές τιμές έχουν οριστεί στους 19.5 ^{0}C, το χειμώνα και στους 22,0 ^{0}C το καλοκαίρι. Η Πραγματική ή Αποτελεσματική Θερμοκρασία (Τ.Ε.) χρησιμοποιήθηκε αρχικά για την θερμική εκτίμηση εργασιακών χώρων με μέτριο σχετικά θερμικό φορτίο. Προσαρμόστηκε όμως το 1932 από τους Vernon και Warner, για να μπορεί να εφαρμοστεί στην εκτίμηση χώρων με μεγάλο θερμικό φορτίο και ιδιαίτερα εκείνων των εργασιακών χώρων που χαρακτηρίζονται από την παρουσία ακτινοβολούμενης θερμότητας. Η προσαρμογή αυτή βασίστηκε στην αντικατάσταση της τιμής που εκφράζει τη θερμοκρασία του αέρα, με την τιμή που προκύπτει από τη μέτρηση της θερμοκρασίας του σφαιρικού θερμόμετρου. Ο θερμικός δείκτης που προέκυψε ονομάστηκε Διορθωμένη Πραγματική Θερμοκρασία (Τ.Ε.C.). Η Παγκόσμια Οργάνωση Υγείας προτείνει με την «Οδηγία Ν. 412 του 1969», Οριακές Τιμές Διορθωμένης Πραγματικής Θερμοκρασίας που αντιστοιχούν σε 8ωρη επαγγελματική έκθεση σε ένα δυσμενές θερμικά εργασιακό περιβάλλον. Οι τιμές αυτές αναφέρονται στον παρακάτω πίνακα:

Τύπος Εργασίας	Μη εγκλιματισμένοι	Εγκλιματισμένοι
Ελαφριά	30.0 ^{0}C	32.2 ^{0}C
Μέτρια	28.0 ^{0}C	30.0 ^{0}C
Βαριά	26.5 ^{0}C	28.5 ^{0}C

Εικ. 8 Τιμές πραγματικής θερμοκρασίας στο εργασιακό περιβάλλον πηγή [31]

γ) Οι δείκτες του Fanger, Προβλεπόμενη Μέση Ψήφος (PMV) και Προβλεπόμενο Ποσοστό Δυσαρέσκειας (PPD): Σήμερα, για την εκτίμηση των μικροκλιματικών συνθηκών στους κλειστούς χώρους που χαρακτηρίζονται από ένα μέτριο θερμικό φορτίο, χρησιμοποιούνται οι δείκτες που είχε επεξεργαστεί ο Δανός Fanger το 1973, δηλαδή η Προβλεπόμενη Μέση Ψήφος (PMV) και το Προβλεπόμενο Ποσοστό Δυσαρέσκειας (PPD)
Αυτοί οι δείκτες, είναι σε άμεση σχέση μεταξύ τους και επιτρέπουν την εκτίμηση των μικροκλιματικών συνθηκών στη βάση της υποκειμενικής κρίσης που εκφράζουν τα άτομα για τη συγκεκριμένη θερμική κατάσταση στην οποία βρίσκονται (κατάσταση ζέστης ή ψύχους). Σε γενικές γραμμές μπορούμε να υποθέσουμε ότι σε αμετάβλητες θερμικά συνθήκες, η υποκειμενική αίσθηση της θερμικής κατάστασης του ατόμου είναι συνάρτηση των ακολούθων μικροκλιματικών παραμέτρων:

- Του ποσού της θερμικής ισχύος που το άτομο θα αποδώσει στο περιβάλλον
- Της θερμικής αντίστασης της ένδυσης
- Της θερμοκρασίας του ξηρού θερμομέτρου
- Της μέσης ακτινοβολούμενης θερμοκρασίας
- Της ταχύτητας του εισερχόμενου στο κτιριακό περιβάλλον αέρα
- Της σχετικής υγρασίας του κτιριακού περιβάλλοντος

Βασιζόμενος σε πειραματικές μελέτες, ο Fanger κατέληξε στο συμπέρασμα ότι οι τιμές των προαναφερόμενων παραμέτρων μπορούν να εξασφαλίσουν την κατάσταση της θερμικής άνεσης, εφόσον το θερμικό ισοζύγιο παραμένει σταθερό και η θερμοκρασία της επιδερμίδας καθώς και το ποσό της θερμότητας που αποδίδεται στο περιβάλλον με την εξάτμιση του ιδρώτα, μεταβάλλονται εντός συγκεκριμένων ορίων και ανάλογα με το μέγεθος ενεργοποίησης των μηχανισμών της θερμορύθμισης.
Εξάλλου η υποκειμενική αίσθηση του ζεστού ή του κρύου κτιριακού – εργασιακού περιβάλλοντος, εξαρτάται από το θερμικό φορτίο που εκφράζει τη διαφορά μεταξύ της παραγόμενης θερμότητας από τον οργανισμό και εκείνης που θα έπρεπε να μεταδώσει το ανθρώπινο σώμα στο περιβάλλον αν βρισκότανε σε κατάσταση θερμικής άνεσης. Ο δείκτης PMV εκφράζει τη μέση τιμή των κρίσεων ενός μεγάλου αριθμού ατόμων που εκτίθενται στις ίδιες μικροκλιματικές συνθήκες, με την ίδια ένδυση και δαπανούν την ίδια μυϊκή ενέργεια.
Ο υπολογισμός του δείκτη PMV πραγματοποιείται βάσει της ακόλουθης εμπειρικής σχέσης [5]:

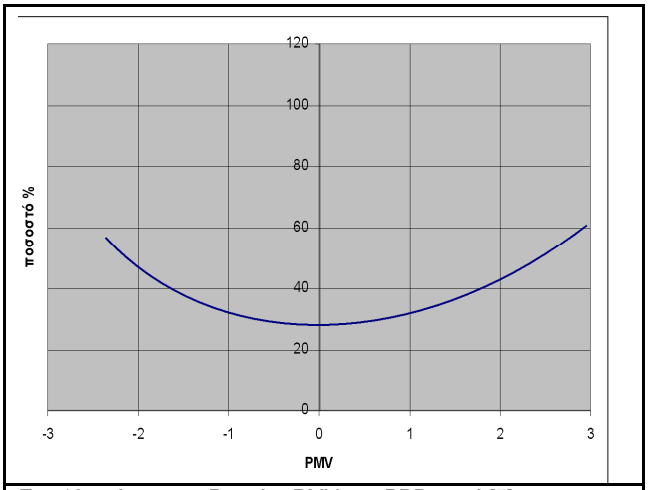
$$PMV = \left(0.303^{-0.036 \cdot M} + 0.0275\right) \cdot L \qquad \textbf{(3.13)}$$

όπου M: το ποσόν μεταβολικής ενέργειας και L το ποσόν θερμικού φορτίου που εξάγεται από το συνδυασμό των παραμέτρων που αναφέραμε στην προηγούμενη σελίδα. Η κλίμακα που κατέληξε ο Fanger σχετικά με τις τιμές του παραπάνω δείκτη, που καθορίζονται από την κρίση της θερμικής αίσθησης μεγάλου αριθμού ατόμων είναι η ακόλουθη:

+3	Πολύ ζέστη
+2	Ζέστη
+1	Λίγη ζέστη
0	Ουδέτερο περιβάλλον
-1	Λίγο κρύο
-2	Κρύο
-3	Πολύ κρύο

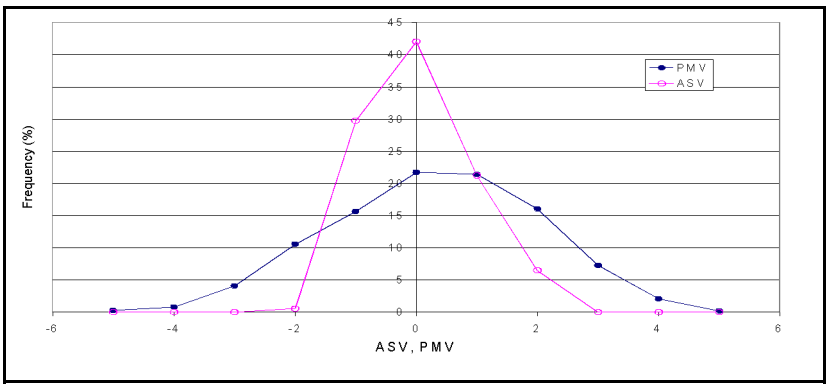
Εικ. 9 κλίμακα δείκτη PMV πηγή [5]

Υποθέτοντας ο Fanger ότι τα άτομα που δεν είναι ικανοποιημένα από τις θερμικές συνθήκες του κτιριακού – εργασιακού περιβάλλοντος στο οποίο βρίσκονται, θα δώσουν τιμές μεγαλύτερες του +1 και μικρότερες του -1 στην κλίμακα της θερμικής αίσθησης, επεξεργάστηκε, βασιζόμενος στην κρίση 1300 ατόμων, τη σχέση μεταξύ του δείκτη PMV και του προβλεπόμενου ποσοστού των θερμικά ανοικανοποίητων. Αυτή τη σχέση εκφράζει ο δείκτης του Προβλεπόμενου Ποσοστού% Δυσαρέσκειας (PPD). Στο παρακάτω γράφημα, φαίνεται η σχέση των δεικτών PMV και PPD.



Εικ. 10 σχέση των δεικτών PMV και PPD πηγή [5]

Ο Διεθνής Οργανισμός Τυποποίησης με το **ISO/DIS 159 DP 7730**, καθώς και ο ΕΛΟΤ με το **EN 7730/95** έχουν κάνει αποδεκτές τις τιμές του PMV που βρίσκονται μεταξύ - 0.5 και + 0.5 και που αντιστοιχούν βάσει του γραφήματος 1 σε μια τιμή του PPD όχι μεγαλύτερη από 10%.
Η σύγκριση Θεωρητικών Μοντέλων (PMV) και Πραγματικών Συνθηκών θερμικής άνεσης (ASV) φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα:



Εικ. 11 σύγκριση PMV και ASV πηγή [5]

3.3.3 Μειονεκτήματα του υπάρχοντος κανονισμού θερμομόνωσης

Η βέλτιστη θερμομόνωση, μπορεί να συνδυάζει δύο φυσικές διαδικασίες, τον περιορισμό της θερμικής μετάδοσης από το περίβλημα ενός κτιρίου και τη μεγιστοποίηση της ακτινοβολίας μεγάλου μήκους κύματος. Συνήθως λαμβάνεται υπόψη μόνο η πρώτη αρχή.
Σύμφωνα με άρθρα πολλών ερευνητών [19], ο υπάρχων κανονισμός θερμομόνωσης, σε ότι αφορά το εξωτερικό περίβλημα των κτιρίων, *δεν αφορά το κλίμα της χώρας μας*, αλλά πιθανότατα κλιματικές περιοχές γύρω από τον 55° παράλληλο και βορειότερα, ή χώρες με δείκτη αιθριότητας της τάξης του 15% έως 20%. Στην Ελλάδα, ο δείκτης αυτός σε ορισμένες περιοχές υπερβαίνει το 70%. Από πίνακες μετρήσεων του ΚΑΠΕ, που καταρτίστηκαν την τελευταία δεκαετία, παρατηρήθηκαν κατά μέσο όρο, σε σχέση με τις τιμές που προβλέπει ο κανονισμός, 300% θερμικά έσοδα τις θερινές ημέρες και 250% θερμικά έξοδα τις θερινές νύχτες. Κύριος στόχος του κανονισμού είναι ο υπολογισμός του πάχους του θερμομονωτικού υλικού που απαιτείται, για να προκύψει ο απαιτούμενος μέσος συντελεστής θερμοπερατότητας Κ. Ο στόχος όμως αυτός δεν εξασφαλίζει απαραίτητα στους ενοίκους του κτιρίου συνθήκες εσωκλιματικής άνεσης, πράγμα που θα επιδιώξουν ξοδεύοντας αναγκαστικά περισσότερη ενέργεια. Η πιο βασική παράμετρος για την εξασφάλιση συνθηκών θερμικής άνεσης κατά τη χειμερινή περίοδο, είναι η ομοιόμορφη θερμική ακτινοβολία των εσωτερικών επιφανειών των δομικών στοιχείων του περιβλήματος του κτιρίου, *προς τα έσω*, για διακύμανση της θερμοκρασίας από 15 έως 20 ^{o}C.
Οι βασικοί κανόνες για μια επιτυχής θερμομόνωση υπό τη σκοπιά του βιοκλιματικού σχεδιασμού και ανάλογα με την εκάστοτε εποχή του έτους θα μπορούσαν να σκιαγραφηθούν στα ακόλουθα βήματα:

Χειμώνας – πρωί: Καλός ηλιασμός – παράθυρα κλειστά
Αποθήκευση της θερμότητας στη θερμική μάζα του κτιρίου

Χειμώνας – βράδυ: Καλή μόνωση του κτιρίου – παράθυρα κλειστά
Η αποθηκευόμενη θερμότητα επαναποδίδεται στο εσωτερικό του κτιρίου

Καλοκαίρι – πρωί: Καλή ηλιοπροστασία
Αερισμός μέσω ανοιγόμενων φεγγιτών

Στις ενδιάμεσες εποχές: (Άνοιξη & Φθινόπωρο), ο αερισμός του κτιρίου γίνεται ελεύθερα

Καλοκαίρι – βράδυ: Νυκτερινός αερισμός

3.4 Επίτευξη θερμικής άνεσης μέσω αερισμού

3.4.1 Μεταβολές της θερμοκρασίας του αέρα

Η θερμοκρασία του αέρα σε μια τοποθεσία εξαρτάται από δύο βασικούς παράγοντες: Τη μέση θερμοκρασία των αερίων ρευμάτων και τις τοπικές κλιματικές εισροές ενέργειας.
Ο δεύτερος παράγοντας, τροποποιεί τη θερμοκρασία του αέρα σε μεγαλύτερη ή μικρότερη κλίμακα, ανάλογα με την ταχύτητά του. Όταν η τελευταία είναι χαμηλή, τότε διάφοροι τοπικοί παράγοντες όπως η θέρμανση της επιφάνειας του εδάφους από την ηλιακή ακτινοβολία και η νυχτερινή ψύξη, (από την απόδοση μέρους της θερμότητας της γης στην τροπόσφαιρα), ασκούν σημαντική επιρροή στη θερμοκρασία του αέρα κοντά στο έδαφος. Προκειμένου να εξασφαλιστούν συγκρίσιμες μετρήσεις των θερμοκρασιών σε διάφορες τοποθεσίες, τα θερμόμετρα που μετρούν τη θερμοκρασία του αέρα τοποθετούνται σε τυποποιημένο ύψος περίπου 1.20 m πάνω από την επιφάνεια του εδάφους σε θερμομονωμένο και βαμμένο λευκό μετεωρολογικό σταθμό, που επιτρέπει την κυκλοφορία του αέρα. Οι θερμοκρασίες που μετρώνται πιο κοντά στο έδαφος, δείχνουν σε πιο μεγάλη έκταση τις ημερήσιες μεταβολές. Η θερμική επίδραση του εδάφους στον αέρα καθορίζει την κατανομή των θερμοκρασιών στις στάθμες των περισσοτέρων κτιρίων. Σε μια ημερήσια διακύμανση θερμοκρασίας, παρατηρούνται μέγιστες θερμοκρασίες κυρίως το απόγευμα και ελάχιστες αμέσως μετά την ανατολή του ήλιου. Σε νεφελώδη καιρό, η ημερήσια διακύμανση είναι γενικά μικρότερη. Η θερμοκρασία του αέρα επηρεάζεται επίσης και από τη θερμοκρασία ενός υλικού που έρχεται σε επαφή, π.χ. την τοιχοποιία των κτιρίων ή τους τοίχους θερμοσυσσώρευσης, καθώς στη διεπιφάνεια ρευστού – στερεού, η θερμοκρασία είναι κοινή.

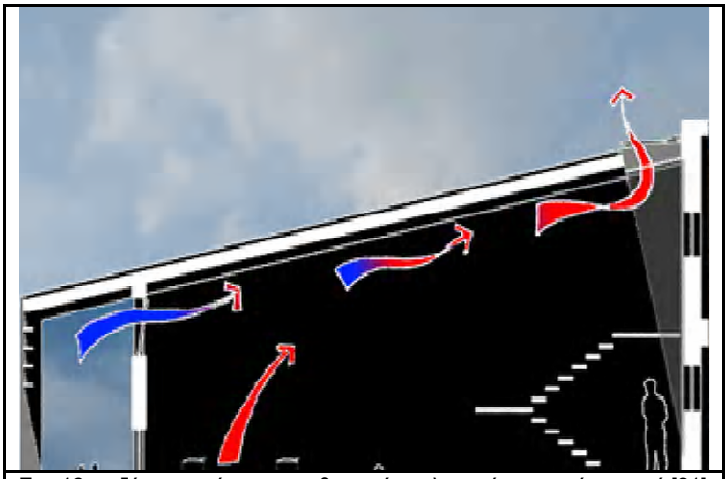
3.4.2 Τεχνικές επίτευξης θερμικής άνεσης

Λόγω της διαρκούς κίνησης των αερίων μαζών μέσα στο κτιριακό περιβάλλον, μπορεί να αποχωρήσει το κορεσμένο με υγρασία στρώμα αέρα που περιβάλλει τους ενοίκους δίνοντας τη θέση του σε μη κορεσμένο αέρα, αυτομάτως λοιπόν το αίσθημα δυσφορίας των ενοίκων ελαττώνεται σημαντικά.
Αυτά μπορούν να επιτευχθούν μέσω του φυσικού αερισμού. Σε περίπτωση όμως που αποτύχει το σύστημα αυτό, μπορούν να χρησιμοποιηθεί κατάλληλο σύστημα ανεμιστήρων.

Παράλληλα, η ελαχιστοποίηση της διείσδυσης ανεπιθύμητου αέρα στο κτίριο, γίνεται με την τοποθέτηση διπλών ή περιστρεφόμενων θυρών και ανεμοθραυστών στις κυρίες εισόδους. Η παραπάνω μέθοδος, ενδείκνυται ιδιαίτερα για κτίρια με σημαντική συχνότητα διελεύσεων στη διάρκεια της ημέρας, όπως γραφεία, καταστήματα, μουσεία, εκθεσιακοί χώροι, δημόσια κτίρια κλπ. Ακόμα θα πρέπει να σημειωθεί πως κατά τη χειμερινή περίοδο, εισέρχεται στο κτίριο μια σημαντική ποσότητα εξωτερικού κρύου αέρα μέσα από μικρορωγμές, ατέλειες στο σοβά γύρω από την κάσα, αλλά και ανάμεσα στην πόρτα και το πλαίσιο. Επίσης, όλες οι χαραμάδες παρουσιάζουν διαρροές εσωτερικού ζεστού αέρα συνεχώς, ενώ με κάθε άνοιγμα της εξώπορτας, συμβαίνει μια απότομη αλλαγή σημαντικής ποσότητας ζεστού – κρύου αέρα. Για μια μικρή κατοικία, οι θερμικές απώλειες της κυρίας εισόδου, λόγω διείσδυσης και μεταφοράς μπορεί να ανέλθουν μέχρι και το 10% των συνολικών απωλειών. [11]. Για μικρά εμπορικά κτίρια, όπως κτίρια γραφείων ή καταστημάτων, το ποσοστό είναι μεγαλύτερο εξ' αιτίας της κίνησης ατόμων προς και από το κτίριο.
Προτεινόμενη λύση από πολλούς μελετητές στη συγκεκριμένη περίπτωση, είναι η μετατροπή της κυρίας εισόδου σε ένα μικρό κλειστό χώρο προθάλαμο (φουαγιέ) που θα εξασφαλίσει ένα τμήμα ακίνητου αέρα ανάμεσα στο κυρίως κτίριο και το εξωτερικό. Άμεσο αποτέλεσμα είναι η σημαντική μείωση στην απώλεια θερμού αέρα το χειμώνα ή δροσερού το καλοκαίρι ανά διέλευση, αλλά και στη διείσδυση γύρω από την εξώπορτα, λόγω του στάσιμου αέρα. Τέλος, καλό είναι ο προσανατολισμός της κυρίας εισόδου να είναι όσο το δυνατόν μακρύτερα από τους επικρατούντες χειμερινούς ανέμους. Συνήθως στο βόρειο ημισφαίριο οι πλέον δυσμενείς είναι ο βορεινός και ο δυτικός[5]. Αν αυτό δεν είναι δυνατό, προτείνεται η κατασκευή ανεμοθραύστη ο οποίος θα μειώνει την κάθετη στην είσοδο ταχύτητα του ανέμου και μπορεί να είναι από αρκετά ψηλή και πυκνή αειθαλή βλάστηση ή συνεχή (χωρίς κενά) φράχτη, ή με κατασκευή πτερυγίων.

3.5 Θερμική κυκλοφορία στο κτιριακό περιβάλλον

Όταν ο αέρας θερμαίνεται, τότε λόγω της μείωσης της πυκνότητάς του, τείνει να κινηθεί προς τα πάνω. Μια κατάλληλη διαρρίθμηση των εσωτερικών χώρων ενός κτιρίου, επιτρέπει την εκμετάλλευση αυτού του φαινόμενου, προκειμένου να διανεμηθεί η θερμότητα και στις ψυχρότερες ζώνες του κτιρίου. Εδώ θα πρέπει να αναφέρουμε ότι ένα κτίριο χαρακτηρίζεται ως *πολυζωνικό*, όταν διάφορα τμήματά του έχουν πολύ διαφορετική θερμοκρασιακή συμπεριφορά π.χ. ένα εστιατόριο, που η θερμοκρασία της τραπεζαρίας είναι πολύ διαφορετική από τη θερμοκρασία του μαγειρείου χαρακτηρίζεται ως πολυζωνικό κτίριο. Γενικά θα μπορούσαμε να πούμε ότι μονοζωνικά κτίρια στην πραγματικότητα δεν υπάρχουν, καθώς η ύπαρξη και μόνο των *οριζόντιων ανοιγμάτων* των κτιρίων (σκάλες, κλιμακοστάσια), που φυσικά έχουν διαφορετική θερμοκρασία από τους εσωτερικούς χώρους, τα καθιστά τουλάχιστον διζωνικά. Η αξιοποίηση των *οριζόντιων ανοιγμάτων* των κτιρίων παίζει σημαντικότατο ρόλο στη θερμική κυκλοφορία του αέρα και γενικότερα στον αερισμό κτιρίων.
Πάνω στο θέμα αυτό γίνεται έντονη έρευνα τα τελευταία χρόνια. Η πρώτη προσέγγιση έγινε από τον Brown [21], που μελέτησε τη ροή του αέρα σε τετραγωνικά οριζόντια ανοίγματα μικρών διαστάσεων. Οι Klobut και Siren [21], πραγματοποίησαν πειράματα πλήρους κλίμακας, με στόχο τη σχέση του αριθμού Grashof [6] της ροής αέρα σε οριζόντια ανοίγματα και της μεταφοράς θερμότητας και μάζας μεταξύ ορόφων.



Εικ. 12 οριζόντια ανοίγματα και θερμική κυκλοφορία του αέρα πηγή [31]

Η Ομάδα Μελετών Κτιριακού Περιβάλλοντος του ΕΚΠΑ μελέτησε πολλές περιπτώσεις διαζωνικών ροών σε πολυόροφα κτίρια και απέδειξε ότι υπάρχει ισχυρή συσχέτιση μεταξύ της ογκομετρικής παροχής του αέρα μεταξύ δύο συνεχόμενων ορόφων και της μεταξύ τους διαφοράς θερμοκρασίας, καθώς επίσης και με τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του οριζόντιου ανοίγματος που διαμορφώνεται από την αρχιτεκτονική της σκάλας [21].

[5] Συνιστάται, ο μελετητής να συμβουλεύεται τα κλιματολογικά – ανεμολογικά δεδομένα της εκάστοτε περιοχής κατά τη διάρκεια εκπόνησης μιας βιοκλιματικής μελέτης
[6] Ο αριθμός Grashof είναι ο λόγος των δυνάμεων άνωσης προς τις δυνάμεις συνεκτικότητας

Η θερμότητα μπορεί επίσης να διανεμηθεί σε ένα κτίριο, όπως αναφέραμε και στο κεφάλαιο 2 με τη χρήση μηχανικών συσκευών, ανεμιστήρες, αντλίες κ.τ.λ, οι οποίοι μέσω εξαναγκασμένης συναγωγής οδηγούν τον αέρα από τους θερμαινόμενους χώρους, στις ψυχρές ζώνες του κτιρίου.

3.6 Στρατηγικές αερισμού.

α) Αερισμός απ' ευθείας από τον άνεμο

Ο αερισμός που προέρχεται απ' ευθείας από τον άνεμο μέσω των ανοιγμάτων, μπορεί να αποτελέσει ιδανική στρατηγική στην περίπτωση που οι άνεμοι έχουν σταθερή διεύθυνση και ένταση μεγαλύτερη από 3 m/sec. τιμή της ροής του ανέμου δια μέσω του κτιρίου επηρεάζεται από την τοποθεσία, τις διαστάσεις και τα χαρακτηριστικά ροής των ανοιγμάτων, τις συνέπειες των εσωτερικών εμποδίων και την επίδραση του σχήματος του κτιρίου σε σχέση με την κατεύθυνση του ανέμου. Στην πραγματικότητα όμως οι άνεμοι είναι εξαιρετικά μεταβαλλόμενοι και για τις περισσότερες περιοχές δεν υπάρχουν έτοιμα μικροκλιματικά στοιχεία.
Η αξιοποίηση λοιπόν των επικρατούντων ανέμων σε ένα πολύπλοκο και συνεχώς μεταβαλλόμενο περιβάλλον, είναι μια δύσκολη υπόθεση για την οποία δυστυχώς δεν υπάρχουν προς το παρόν εποπτικά εργαλεία σχεδιασμού.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ (α) ΤΟΥ ΑΕΡΑ

Θέση επιφανείας	Κατεύθυνση της ροής της θερμότητας	Επιφάνεια ακτινοβολίας: όχι ανακλαστική		Επιφάνεια ακτινοβολίας: ανακλαστική	
		kcal / h · m² · °C	W / m² · k	kcal / h · m² · °C	W / m² · k
A) <u>ακίνητος αέρας</u> εσωτερικές επιφάνειες					
οριζόντια επιφάνεια	προς τα πάνω (ορ.)	7	8,14	3,6	4,20
κεκλιμένη υπό γωνία 45°	προς τα πάνω	7	8,14	3,6	4,20
κάθετη επιφάνεια	οριζόντια	7	8,14	3,6	4,20
κεκλιμένη υπό γωνία 45°	προς τα κάτω	6,40	7,44	2,9	3,37
οριζόντια επιφάνεια	προς τα κάτω (δαπ.)	5	5,80	1,8	2,10
B) <u>κινούμενος αέρας</u> εξωτερικές επιφάνειες					
οποιαδήποτε θέση επιφανείας	οποιαδήποτε κατεύθυνση ροής της θερμότητας				
U = 2 m / sec		20	23,26		
U = 4 m / sec		29	33,72		

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.
<u>ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΘΕΡΜΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ (α) ΔΙΑΚΕΝΟΥ ΑΕΡΑ ΣΕ kcal / h · m² · °C</u>
(το διάκενο αέρα λαμβάνεται υπ' όψη στους υπολογισμούς, μόνο όταν ο αέρας μέσα σ' αυτό, μπορεί να θεωρηθεί επαρκώς ηρεμών)

Θέση διακένου αέρα	Κατεύθυνση της ροής της θερμότητας	Πάχος διακένου αέρα: 2 εκ.	4 εκ.	10 εκ.
οριζόντια	προς τα πάνω	5,85	5,25	5,20
υπό κλίση 45°	προς τα πάνω	5,60	5,50	5,30
κάθετη	οριζόντια	5,20	5,05	5,00
υπό κλίση 45°	προς τα κάτω	4,80	4,75	4,70
οριζόντια	προς τα κάτω	4,80	4,30	3,55

Εικ.13 αξιοποίηση των επικρατούντων ανέμων στο βιοκλιματικό σχεδιασμό πηγή [22]

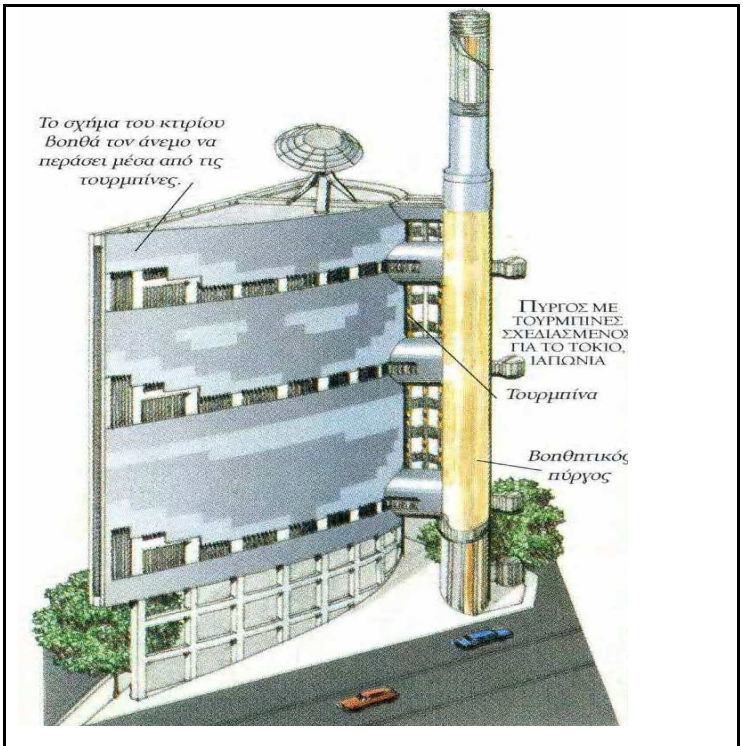
β) Αεροδεξαμενές

Σε πολλές σύγχρονες βιοκλιματικές κατοικίες, κυρίως αγροτικές, πολλοί μελετητές [Στ] έχουν προτείνει την κατασκευή μιας αεροδεξαμενής στη σοφίτα, πλήρως θερμομονωμένης, ώστε να παρεμποδίζεται η θερμοδιαφυγή προς τον εσωτερικό χώρο κατά τη θερινή περίοδο. Ανάλογα με τις θερμικές απαιτήσεις του εσωτερικού χώρου και τις εξωτερικές κλιματικές συνθήκες, ο θερμός αέρας της αεροδεξαμενής, μπορεί να διοχετευτεί στο εσωτερικό του κτιρίου, να επιστρέψει στο περιβάλλον ή να παραμείνει στην αεροδεξαμενή. Η διοχέτευση του θερμού αέρα στο εσωτερικό, μπορεί να γίνει με κατακόρυφους σωλήνες ή ενδοδαπέδιους αεραγωγούς, οι οποίοι καλό είναι να καλύπτονται από ελαφροσκυρόδεμα, το οποίο έχοντας μεγάλη ειδική θερμική αγωγιμότητα (0.326 - 0.516 W / m °K), απορροφά μέρος της θερμότητας του αέρα. Ο αέρας εξέρχεται τελικά στον εσωτερικό χώρο από στόμιο στο δάπεδο ή στην οροφή. Κεντρικό στοιχείο του συγκεκριμένου συστήματος αερισμού είναι το **κιβώτιο ρύθμισης αερισμού** που είναι τοποθετημένο

στην αεροδεξαμενή. Πρόκειται για έναν ανεμιστήρα που ωθεί αέρα από ένα μεταλλικό κιβώτιο σε ένα άλλο κατά την ίδια φορά. Το ένα κιβώτιο συνδέεται με τους ενδοδαπέδιους αεραγωγούς και με το εξωτερικό περιβάλλον ενώ το άλλο με την αεροδεξαμενή και τον εσωτερικό χώρο. Κάθε κιβώτιο διαθέτει διάφραγμα που κινείται σε δύο θέσεις δημιουργώντας έτσι 4 εναλλακτικές διαδρομές αέρα (χειμώνας – καλοκαίρι, ημέρα – νύχτα).

γ) Ανεμόπυργοι

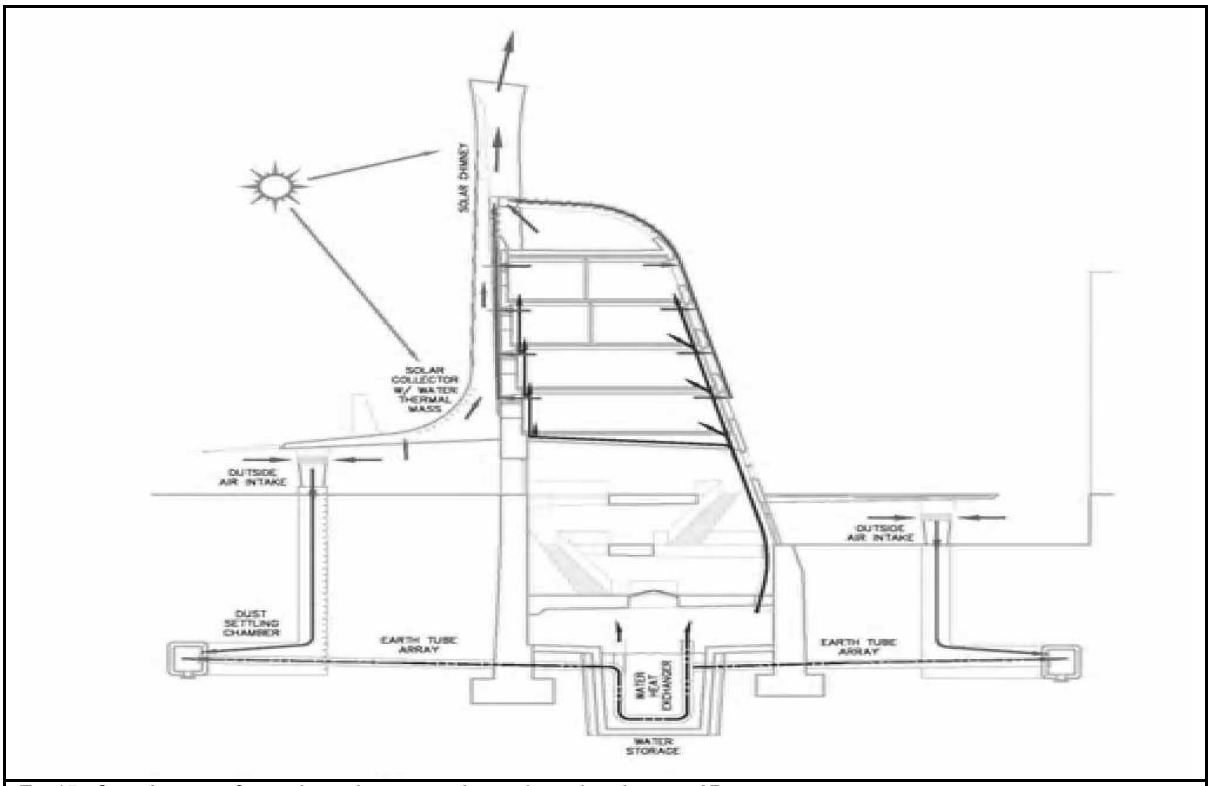
Οι ανεμόπυργοι αξιοποιούν τη μηχανική ισχύ του ανέμου προκειμένου να δημιουργήσουν κίνηση του αέρα στο εσωτερικό του κτιρίου. Υπάρχουν διάφορα συστήματα που βασίζονται σ' αυτήν την αρχή.
Οι είσοδοι προσαγωγής του ανέμου στο πύργο που είναι προσανατολισμένοι προς την ανάντη πλευρά, συλλαμβάνουν τον άνεμο και οδηγούν τον αέρα κάτω διαμέσου της καμινάδας. Ο αέρας εξέρχεται από ανοίγματα στην κατάντη πλευρά του κτηρίου. Η ροή του ανέμου αυξάνεται με τον ψυχρό νυχτερινό αέρα. Εναλλακτικά το σκέπαστρο της καμινάδας μπορεί να είναι σχεδιασμένο έτσι ώστε να δημιουργεί μια περιοχή χαμηλής πίεσης στην κορυφή του πύργου. Η πτώση της πίεσης του αέρα που προκύπτει έχει ως αποτέλεσμα τη ροή αέρα προς τα πάνω στην καμινάδα. Ένα άνοιγμα κατά τη φορά του ανέμου θα πρέπει να συνδυάζεται με ένα σύστημα εισόδου αέρα. Η διαδικασία της ανόδου ευνοείται στην περίπτωση αυτή από την άνωση λόγω του θερμού αέρα στο εσωτερικό. Οι δύο αυτές αρχές μπορούν να συνδυαστούν σε ένα μόνο πύργο, παρέχοντας είσοδο και έξοδο στον αέρα. Έτσι δημιουργείται ένα αυτοτελές σύστημα. Επιπλέον, όταν υπάρχει έντονο ρεύμα γύρω από το κτήριο, το σύστημα μπορεί να λειτουργεί με ανεμιστήρα, ο οποίος ενσωματώνεται στο υψηλότερο τμήμα της καμινάδας, εξασφαλίζοντας συνεχή εναλλαγή του εσωτερικού αέρα. Σε περιοχές με έντονο άνεμο υπάρχει η δυνατότητα εφαρμογής πύργων αερισμού, οι οποίοι προεξέχουν σημαντικά από την οροφή του κτηρίου, φέρουν άνοιγμα προς την σημαντική κατεύθυνση του ανέμου και έχουν τη δυνατότητα να «συλλαμβάνουν» τα ψυχρά ρεύματα αέρα και να τα κατευθύνουν μέσα στο χώρο ,υποβοηθούμενοι από ανεμιστήρα. Η ροή του ανέμου αυξάνει με τον ψυχρό νυχτερινό αέρα. Εναλλακτικά το σκέπαστρο της καμινάδας μπορεί να είναι σχεδιασμένο έτσι ώστε να δημιουργεί μια περιοχή χαμηλής πιέσεως στην κορυφή του ανεμόπυργου. Η πτώση της πίεσης του αέρα που προκύπτει, έχει ως αποτέλεσμα τη ροή του αέρα προς τα πάνω στην καμινάδα. Ένα άνοιγμα κατά τη φορά του ανέμου θα πρέπει να συνδυάζεται με ένα σύστημα εισόδου αέρα. Η διαδικασία της ανόδου ευνοείται στην περίπτωση αυτή από την άνωση λόγω του θερμού αέρα στο εσωτερικό του ανεμόπυργου. Οι δύο αυτές αρχές μπορούν να συνδυαστούν σε ένα μόνο πύργο παρέχοντας είσοδο και έξοδο στον αέρα [31].



Εικ.14 αξιοποίηση της μηχανικής ισχύος του ανέμου μέσω ανεμόπυργου

δ) Ηλιακή καμινάδα και αεροσυλλέκτες

Οι ηλιακές καμινάδες και οι αεροσυλλέκτες χρησιμοποιούν τον ήλιο για να θερμάνουν την εσωτερική επιφάνειά τους.
Οι δυνάμεις άνωσης εξαιτίας της διαφοράς θερμοκρασίας βοηθούν στη δημιουργία ανοδικής ροής κατά μήκος του διαμήκους άξονα τους όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:

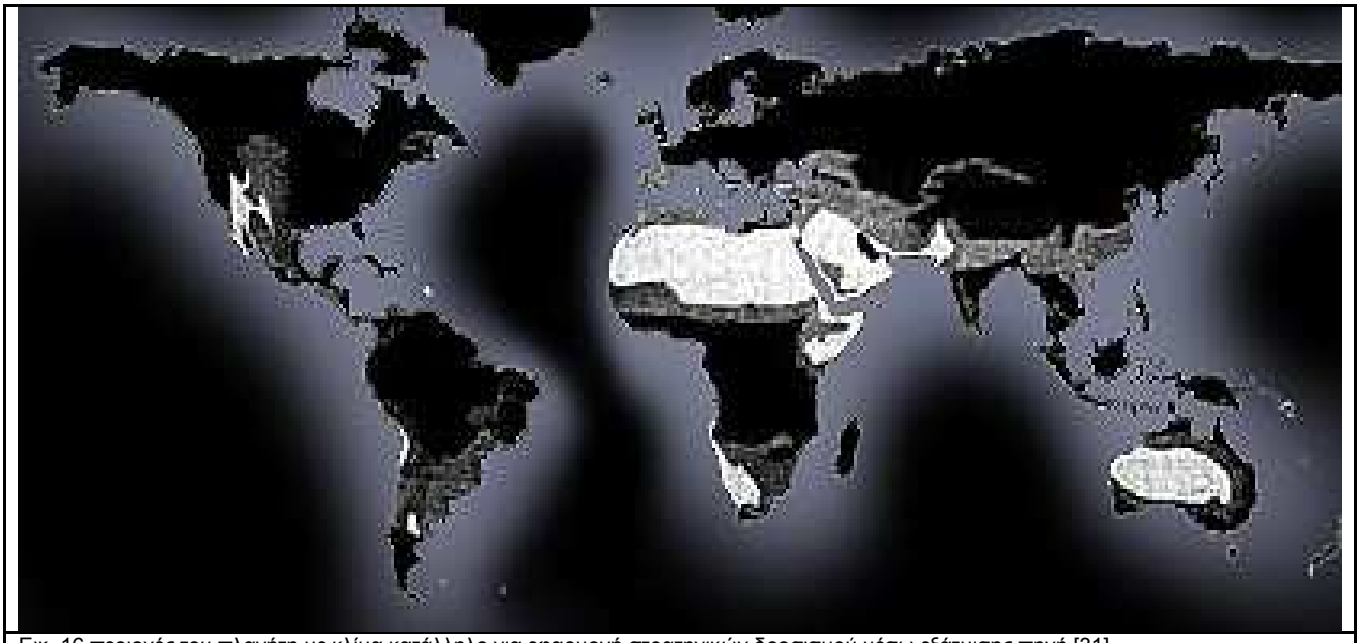


Εικ.15 αξιοποίηση της θερμικής ισχύος του ανέμου μέσω ηλιακής καμινάδας

Το πλάτος της καμινάδας θα πρέπει να είναι περίπου όσο και το πάχος του οριακού στρώματος του αέρα, ώστε να αποφεύγεται η ανάστροφη ροή.

Παραδείγματα χρήσης αεροσυλλεκτών και ανεμόπυργων

Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται οι περιοχές του πλανήτη με κλίμα κατάλληλο (θερμό & ξηρό) για εφαρμογή στρατηγικών δροσισμού μέσω εξάτμισης (direct evaporative cooling)
Επίσης στα σχήματα τα που ακολουθούν φαίνονται διάφοροι χαρακτηριστικοί τύποι αεροσυλλεκτών:



Εικ. 16 περιοχές του πλανήτη με κλίμα κατάλληλο για εφαρμογή στρατηγικών δροσισμού μέσω εξάτμισης πηγή [31]

Εικ.16Α Ανεμοσυλλέκτης – Bluewater mall Θέση: Kent Χώρα: Ηνωμένο Βασίλειο Κλίμα: Θερμό & Ξηρό Πηγή [31]

Εικ.16Β Ανεμοσυλλέκτης – Bluewater mall Θέση: Kent Χώρα: Ηνωμένο Βασίλειο Κλίμα: Θερμό & Ξηρό Πηγή [31]

Εικ.16C Ανεμοσυλλέκτης (Hadawan) Θέση: Hyderabad Sind Χώρα: Πακιστάν Κλίμα: Θερμό & Ξηρό

Εικ.16D Πύργοι δροσισμού στην EXPO 1992 Θέση: Σεβίλλη Χώρα: Ισπανία Κλίμα: Θερμό & Ξηρό

3.7 Ενεργειακές απώλειες λόγω διείσδυσης αέρα σε θερμαινόμενους χώρους

Οι απώλειες αυτές προέρχονται από την εναλλαγή του αέρα των εσωτερικών χώρων με αυτόν του εξωτερικού περιβάλλοντος.
Διακρίνουμε τις παρακάτω περιπτώσεις:

1.- Απώλειες από μη ελεγχόμενο αερισμό
2.- Απώλειες εξαερισμού
3.- Απώλειες από διείσδυση αέρα μέσω τοίχων Trombe – Michell, τοίχων μάζας, ηλιακών τοίχων, ή διά μέσω θερμοκηπίων.
4.- Απώλειες από εναλλάκτη αέρα
5.- Απώλειες ενδεικνυόμενου αερισμού.
Πιο αναλυτικά έχουμε:

3.7.1 Απώλειες από μη ελεγχόμενο αερισμό

Η ποσότητα διείσδυσης αέρα σε ένα κτίριο εξαρτάται άμεσα από την αεροπερατότητα των δομικών στοιχείων του, κυρίως παράθυρα και πόρτες αλλά και στέγες, δάπεδα και τοιχοποιία.

Η αεροπερατότητα ενός δομικού στοιχείου εξαρτάται από:

- ✓ Τον αριθμό, τις διαστάσεις και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των ανοιγμάτων που έχουν προβλεφθεί σ' αυτό, για την εξασφάλιση οπτικής επικοινωνίας, φυσικού αερισμού και φωτισμού των εσωτερικών χώρων.
- ✓ Τον τρόπο κατασκευής των ανοιγμάτων και τις κατασκευαστικές τους ατέλειες.
- ✓ Τη θέση και το ύψος του κτιρίου.
- ✓ Τη διέλευση διαφόρων αγωγών παροχής (ύδρευσης, ηλεκτρισμού κλπ).
- ✓ Τις φθορές λόγω γήρανσης των υλικών, επίδρασης καιρικών φαινομένων και χρήσης των ενοίκων.
- ✓ Της πορώδους υφής των περισσοτέρων δομικών υλικών.
- ✓ Τις προσωπικές συνήθειες των ενοίκων

Από τα παραπάνω, γίνεται άμεσα αντιληπτό ότι δεν είναι εύκολος ο προσδιορισμός της ογκομετρικής παροχής του διεισδύοντα αέρα σε ένα κτίριο, αλλά θα πρέπει κανείς να καταφεύγει σε κωδικοποιημένες παραμέτρους. Ο ασφαλέστερος τρόπος προσδιορισμού της ποσότητας του διεισδύοντα αέρα είναι, όπως θα δούμε και στο επόμενο κεφάλαιο, είναι η εφαρμογή μετρήσεων αεροπερατότητας των κουφωμάτων είτε στο εργαστήριο, είτε επιτόπου, βάσει των οποίων προκύπτουν διάφοροι πίνακες και νομογραφήματα.
Οι απώλειες από τις χαραμάδες των ανοιγμάτων οφείλονται στη διαφορά εσωτερικής και εξωτερικής πίεσης που προκαλεί τη διείσδυση του αέρα. Οι τελευταίες λαμβάνονται υπόψη μόνο αν δεν υπάρχει εξαερισμός στο θερμαινόμενο χώρο.
Οι απώλειες υπολογίζονται από την παρακάτω εμπειρική σχέση [15]:

$$Q_L = \sum Q \cdot \mathrm{A}_i \qquad \textbf{(3.14)}$$

όπου $QA_i = a \cdot (\sum l) \cdot R \cdot H \cdot \Delta t \cdot Z_\Gamma \cdot 1.163$ Watt για κάθε άνοιγμα.

Οι παράμετροι της τελευταίας σχέσης είναι οι εξής:

- α : Συντελεστής διείσδυσης αέρα ανοίγματος που εξαρτάται από το είδος ανοίγματος και το υλικό του και η τιμή του προκύπτει από πίνακες.
- $\sum l$: Συνολικό μήκος χαραμάδων ανοίγματος, συνήθως η περίμετρος του ανοίγματος (m).
- Στα δίφυλλα ανοίγματα λαμβάνουμε υπόψη και τη χαραμάδα μεταξύ των παραθυρόφυλλων.
- Δt : Διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος (^oC).
- R: Συντελεστής διεισδυτικότητας ανοίγματος.
- H: Συντελεστής θέσης και ανεμόπτωσης.
- Z_r: Συντελεστής γωνιακών παραθύρων, παίρνει την τιμή 1,2 όταν έχουμε την περίπτωση γωνιακού παραθύρου αντί της κανονικής τιμής 1 που ισχύει.

3.7.2 Απώλειες από εξαερισμό

Οι απώλειες εξαερισμού προέρχονται από την εναλλαγή αέρα με το εξωτερικό περιβάλλον και υπολογίζονται βάσει της παρακάτω εμπειρικής σχέσης [15]:

$$Q_L = 0.34 \cdot q_L \cdot (t_i - t_\alpha) \text{ (Kcal / h)} \qquad \textbf{(3.15)}$$

Όπου q_L : Η ογκομετρική παροχή του αέρα δια μέσου εξαερισμού στο χώρο (m^3/ h).
($t_i - t_\alpha$) : Η διαφορά εσωτερικής και εξωτερικής θερμοκρασίας σε ^oC.

3.7.3 Απώλειες από διείσδυση αέρα μέσω τοίχων Trombe – Michell & ηλιακών τοίχων.

Αυτές υπολογίζονται βάσει της ακόλουθης εμπειρικής σχέσης [15]:

$$Q_{SW} = 0.34 \cdot q_{SW} \cdot (1 - n_{SW}) \text{ (Kcal / h)} \quad \textbf{(3.16)}$$

Όπου q_{sw} : η ογκομετρική παροχή του αέρα δια μέσου του τοίχου σε m^3/ h.
n_{sw} : η απόδοση του τοίχου, η οποία εξαρτάται από το αν έχουμε μονό ή διπλό υαλοστάσιο καθώς επίσης και από το συντελεστή θερμοπερατότητας U.

3.7.4 Απώλειες από εναλλάκτη αέρα

Οι εναλλάκτες αέρα είναι συσκευές που χρησιμοποιούνται για την ανάκτηση της θερμοκρασίας ή ψύξης ενώ παράλληλα βελτιώνουν σημαντικά και την ποιότητα του αέρα του κτιριακού περιβάλλοντος. Ο υπολογισμός των απωλειών θερμότητας από έναν εναλλάκτη αέρα γίνεται βάσει της παρακάτω σχέσης[15]:

$$Q_e = 0.34 \cdot q_e \cdot (1 - n_e) \text{ Kcal / h} \quad \textbf{(3.17)}$$

όπου q_e : η ογκομετρική παροχή του εναλλάκτη (m^3 /h)
n_e : η απόδοσή του

σημείωση: Ως απόδοση εναλλάκτη αέρα ορίζουμε το πηλίκο της ενέργειας που πραγματικά μεταφέρεται στον εναλλάκτη από το θερμό στο ψυχρό ρεύμα προς το μέγιστο ποσό ενέργειας που θα μπορούσε να μεταφερθεί.

3.7.5 Απώλειες ενδεικνυόμενου αερισμού

Περιλαμβάνουν κάθε είδους ροή του αέρα από και προς το κτίριο που ρυθμίζονται ανάλογα με τις συνήθειες των χρηστών του κτιρίου. Μπορεί να είναι αποτέλεσμα του μηχανικού αερισμού π.χ. ανεμιστήρας ή και απλά ένα άνοιγμα του παραθύρου. Ο ηθελημένος λοιπόν αερισμός, αφορά ένα ελάχιστο ποσό παροχής αέρα, απαραίτητο για τους ενοίκους και συστήνεται από τους αντίστοιχους κανονισμούς κάθε χώρας. Ισχύει η σχέση [15]:

$$Q_{en} = 0.34 \cdot q \cdot a \text{ (Kcal / h)} \quad \textbf{(3.18)}$$

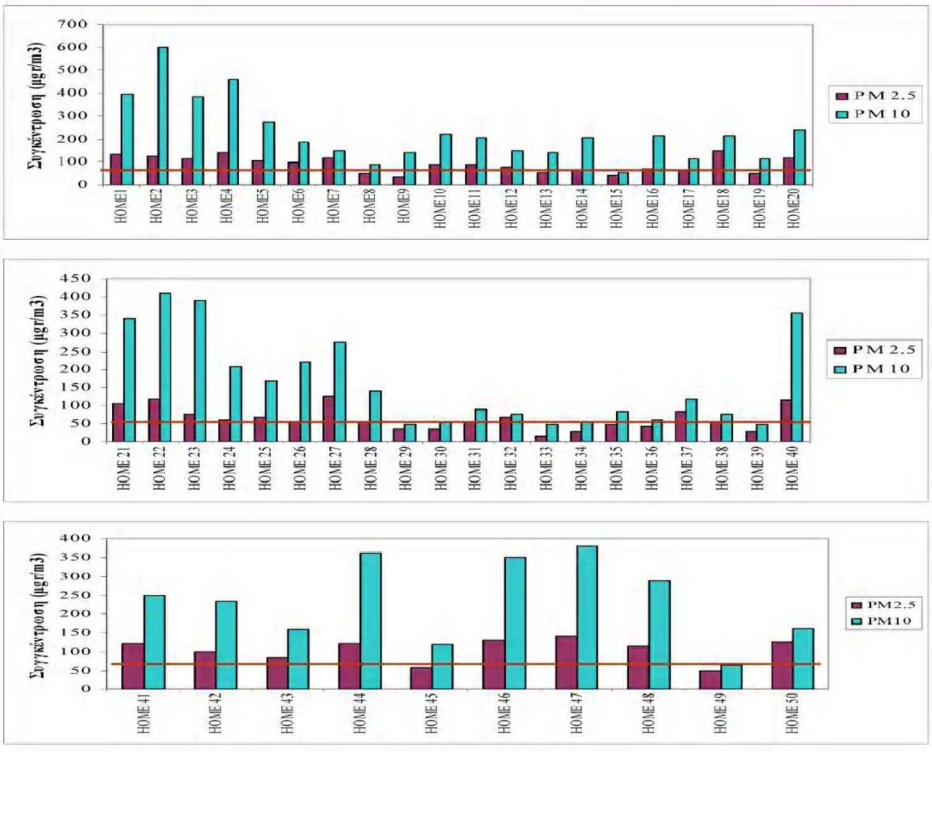
όπου α: ο αριθμός των ενοίκων
q: η συνιστάμενη παροχή αέρα (m^3 / h).

3.8 Ο ρόλος του αερισμού στην ποιότητα του εσωτερικού αέρα

Δυστυχώς υπάρχει πληθώρα αιτιών υποβάθμισης της ποιότητας του εσωτερικού αέρα. Αναφέραμε ήδη στο προηγούμενο κεφάλαιο την ύπαρξη στο κτιριακό περιβάλλον διοξειδίου του άνθρακα (CO2), μονοξειδίου του άνθρακα (CO), οξείδια του αζώτου (NOx), φορμαλδεΰδης (HCHO), πτητικές οργανικές ενώσεις (volatile organic compounds VOCs), ραδονίου 222 (Rn 222), υγρασία και συμπύκνωση υδρατμών, καπνούς από τσιγάρο, βιολογικών ρύπων κ.τ.λ. Βέβαια θα πρέπει να αναφέρουμε ότι η ποιότητα του εσωτερικού αέρα εξαρτάται σε σημαντικότατο βαθμό από την εν γένει ποιότητα του αέρα του αστικού περιβάλλοντος. Πάνω σε αυτό θα μπορούσαμε να αναφέρουμε [14] ότι οι συγκεντρώσεις (μέσος όρος 24 ωρών μετρήσεων TSP[7]) στην Αθήνα που προσδιορίστηκαν στους σταθμούς μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης της οδού Αριστοτέλους καθώς επίσης και στην περιοχή Αγίου Ιωάννη Ρέντη, δείχνουν υπερβάσεις της κατευθυντήριας ανώτατης τιμής (120 mg / m^3) του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (ΟΟΣΑ 2000). Επίσης, ως προς τις συγκεντρώσεις CO στην ατμόσφαιρα της Αθήνας, αναφέρεται [14] ότι οι μέσες συγκεντρώσεις οκτάωρου παρουσιάζουν τάσεις μειώσεις και οι υπερβάσεις των κατευθυντήριων τιμών εμφανίζονται όλο και λιγότερο συχνά. Στο σταθμό μέτρησης της οδού Πατησίων, ο οποίος απεικονίζει καλύτερα τη ρύπανση από την κυκλοφορία, διαπιστώνεται υπέρβαση της οριακής τιμής

[7] Με τον όρο αιωρούμενα σωματίδια ή ανάπιπτα (TSP) χαρακτηρίζονται τα σωματίδια τα οποία λόγω διαστάσεων και βάρους μπορούν να παραμένουν σε αιώρηση για σημαντικό χρονικό διάστημα. Οι επιδράσεις τους είναι σημαντικές για την υγεία μας γιατί μεταξύ τους υπάρχουν και σωματίδια εισπνεύσιμου μεγέθους.

συγκέντρωσης περίπου στο 7% του έτους. Στους περισσότερους από τους άλλους σταθμούς, οι υπερβάσεις διαρκούν περίπου το 1% του χρόνου.
Στη Θεσσαλονίκη οι συγκεντρώσεις CO παρουσιάζουν τάση μείωσης και οι μέσες μηνιαίες συγκεντρώσεις είναι χαμηλότερες σε σχέση με την πρωτεύουσα (ΟΟΣΑ 2000). Πληροφοριακά αναφέρουμε ότι η κύρια ιδιότητα του CO είναι ότι αντιδρά με την αιμοσφαιρίνη του αίματος και μάλιστα η ικανότητα της αιμοσφαιρίνης για αντίδραση με το CO είναι 200 φορές μεγαλύτερη από όσο για την αντίδρασή της με το O_2 Τέλος θα πρέπει να αναφέρουμε ότι σύμφωνα με στοιχεία του ΟΟΣΑ υπάρχει μείωση των τιμών του SO_2 σε Αθήνα και Θεσσαλονίκη τα τελευταία 15 χρόνια περίπου κατά 23% σε σχέση με το 1990. Για λογαριασμό της Ευρωπαϊκής Ένωσης έχουν γίνει πολυάριθμες έρευνες κατά τις οποίες έχουν προταθεί μέτρα υγιεινής και εξαερισμού σε παλαιές αλλά και σύγχρονές κτιριακές εγκαταστάσεις τόσο για την υγεία των χρηστών όσο και για την εξοικονόμηση ενέργειας. Σε πολλές πόλεις αφθονούν πολυόροφα κτίρια κυρίως γραφείων με γυάλινες όψεις κεντρική θέρμανση και αερισμό και ενδιάμεσους γυάλινους τοίχους. Εδώ και αρκετές δεκαετίες, επιστημονικές έρευνες για το σύνδρομο του αρρωστημένου κτιρίου που έχουμε ήδη προαναφέρει, έχουν δείξει ότι οι εργαζόμενοι σε πολυόροφα κτίρια με κεντρική θέρμανση, εξαερισμό και πολλές κλιματιστικές μονάδες, παρουσίαζαν ένα αδιευκρίνιστο σύνδρομο νοσηρότητας. Τα χαρακτηριστικά ήταν κυρίως πονοκέφαλοι, αδιαθεσία, ερεθισμός στα μάτια, συνάχι, ερεθισμός του δέρματος, αναπνευστικά προβλήματα κλπ. Υπολογισμοί στη Σουηδία, τη Δανία και τη Μ. Βρετανία, έδειξαν ότι η μειωμένη απόδοση η απώλεια ημερών εργασίας και τα έξοδα νοσηλείας των εργαζομένων δημιουργούσαν κόστος της τάξης του 0.5 – 1% του ακαθάριστου εθνικού εισοδήματος (ΑΕΠ). Ο αέρας που δεν ανανεώνεται γεμίζει με σωματίδια, μύκητες, αλλεργιογόνες ουσίες και πολλές ενώσεις του άνθρακα. Επίσης εκπέμπονται οξείδια του αζώτου και μονοξείδιο του άνθρακα από μικρές ηλεκτρικές συσκευές, όζον από τα φωτοτυπικά μηχανήματα, ιονισμένα σωματίδια από την ακτινοβολία οθόνων Η/Υ ή από φωτιστικά σώματα και χημικές ουσίες από αποσμητικά, υγρά καθαρισμού, κόλλες, μελάνια, υλικά ηχομόνωσης κλπ. [18]. Για λογαριασμό της Ευρωπαϊκής Ένωσης έχουν γίνει πολυάριθμες έρευνες κατά τις οποίες έχουν προταθεί μέτρα υγιεινής και εξαερισμού σε παλαιές αλλά και σύγχρονές κτιριακές εγκαταστάσεις τόσο για την υγεία των χρηστών όσο και για την εξοικονόμηση ενέργειας. Η ανεπαρκής συντήρηση των κλιματιστικών μηχανημάτων κυρίως σε γυάλινα κτίρια έχει συνήθως σαν αποτέλεσμα την ανάπτυξη ακόμα και θανατηφόρων μικροβίων (legionar's disease) ιδίως στους ψυκτικούς πύργους (cooling towers). Τα μικρόβια αυτά μεταφέρονται μέσω της τύρβης του αέρα σε όλο το κτίριο Επίσης, η κατάσταση αυτή συντελεί και στο φαινόμενο του θερμοκηπίου καθώς από την υπερβολική προσλαμβανόμενη ηλιακή ακτινοβολία αυξάνεται προφανώς η απαιτούμενη ενέργεια για τον δροσισμό του χώρου, δημιουργώντας έτσι ένα εξαιρετικά ενεργοβόρο κτίριο. Η Ομάδα Μελετών του Κτιριακού Περιβάλλοντος του τμήματος Φυσικής του ΕΚΠΑ, στα πλαίσια ερευνητικού προγράμματος, προσδιόρισε την ποιότητα του αέρα σε 50 ελληνικές κατοικίες, τόσο με πειραματικές μεθόδους, όσο και με μεθόδους υπολογιστικής ρευστοδυναμικής. Τα αποτελέσματα φαίνονται στα παρακάτω γραφήματα:



Εικ. 17 προσδιορισμός της ποιότητας του αέρα σε 50 ελληνικές κατοικίες πηγή [21]

Θυμίζουμε ότι 1μg / m^3 = 1ppm * 10^3

Βιβλιογραφία 3ου κεφαλαίου.

1.- Architect's Council of Europe «A Green Vitrouvious: Sustainable Architectural Design», 27/02/1998
2.- Boutect. T «Controlling air movement» McGraw Hill Book company, 1987.
3.- Γεντεκάκης Ι. «Ατμοσφαιρική Ρύπανση» εκδ. Τζιόλα, Πάτρα 2003
4.- Cavallo A.J. et al «Wind Energy Technology and Economics» Island Press Washington,1993
5.- Fanger P. «Thermal comfort» Mc Graw – Hill, New York 1973
6.- Goulding R. et al. «Ενέργεια στην Αρχιτεκτονική, Το ευρωπαϊκό εγχειρίδιο για τα παθητικά ηλιακά κτίρια. εκδ. Μαλλιάρης παιδεία, Θεσσαλονίκη 1996
7.- Goulding R. et al. «Ενεργειακός Σχεδιασμός, εισαγωγή για αρχιτέκτονες εκδ. Μαλλιάρης παιδεία, Θεσσαλονίκη 1996
8.- Griffiths J. «Thermal Comfort in Buildings with Passive Solar Features» Field Study, Final Report to C.E.C., University of Surrey, 1995
9.- Κουμούτσος Ν. «Εφαρμοσμένη Θερμοδυναμική», εκδ. ΕΜΠ 1992
10.- Κουρεμένος Δ. «Θερμοδυναμική Ι, ΙΙ, εκδ. Συμεών 1999
11.- Κοϊνάκης Χ. «Θεωρητική και πειραματική διερεύνηση του φυσικού αερισμού των κτιρίων στα πλαίσια του ενεργειακού σχεδιασμού τους», διδακτορική διατριβή, ΑΠΘ 1998.
12.- Markus T., Morris E. «Buildings, Climate and Energy» Pitman, 1980
13.- Muller W. «Αρχιτεκτονική των εσωτερικών χώρων» εκδ. Μ. Γκιούρδας, 1997
14.- Meyer W. «Σύγχρονες μονοκατοικίες» εκδ. Μ. Γκιούρδας 1998
15.- Μώρου Χ.Μ. «Συμβολή στη Βιοκλιματική Αρχιτεκτονική – Ανάπτυξη του λογισμικού TempoClim, Διπλ. Εργασία ΕΜΠ, 2002
16.-Naufert et al «Οικοδομική και αρχιτεκτονική σύνθεση» εκδ. Μ. Γκιούρδας,1996
17.- Παπαϊωάννου Α. «Μηχανική των Ρευστών Ι,ΙΙ» Αθήνα 1993
18.- Παπαμανώλης Ν. «Θεωρητική και πειραματική διερεύνηση στην κατεύθυνση βέλτιστης αξιοποίησης του φυσικού αερισμού στα πλαίσια του ενεργειακού σχεδιασμού των κτιρίων», διδακτορική διατριβή, ΑΠΘ 1992
19.- Πρακτικά Συνεδρίου «Η εφαρμογή των ΑΠΕ Εθνικές προτεραιότητες και Ευρωπαϊκή στρατηγική» Αθήνα 2002
20.- Ρογδάκης Ε. «Θερμοδυναμική ΙΙ » εκδ. ΕΜΠ 2001
21.- Santamouris M. and Asimakopoulos D. «Passive cooling of buildings» James and James (Science Publishers Ltd.), 2003.
22.- H. Schmitt «Κτιριακές κατασκευές» εκδ. Μ. Γκιούρδας 1997
23.- Τζιβανίδης Γ. «Θερμική άνεση» εκδ. ΕΜΠ 2005

Πηγές Διαδικτύου

24.- http://www.aviewoncities.com/paris/defence.htm
25.- http://www-isl.stanford.edu/%7Egray/sp.html
26.- http://www.thinkquest.com
27.- http://www.askjeeves.com
28.- http://newscientist.com
29.- http://vlib.org/
30.- http://simscience.org
31.- http://ellinikietairia.gr

Κεφάλαιο 4

Πειραματικές μέθοδοι προσδιορισμού του φυσικού αερισμού στα κτίρια

4.1 Μέτρηση της ογκομετρικής παροχής

Η ογκομετρική παροχή, (volumetric flow rate), Q (m^3/sec) αποτελεί την πιο βασική παράμετρο στο σύστημα αερισμού ενός κτιρίου. Ο υπολογισμός της παροχής γίνεται σχεδόν πάντοτε κατά έμμεσο τρόπο και προκύπτει από το γινόμενο της ταχύτητας του αέρα V(m/sec) και της διατομής S του εκάστοτε ανοίγματος στη θέση μέτρησης της ταχύτητας. Επομένως, η ακρίβεια του υπολογισμού της παροχής εξαρτάται πάντοτε από την ακρίβεια του υπολογισμού της ταχύτητας του ρεύματος του αέρα και της διατομής του ανοίγματος.
Μέτρηση της παροχής του αέρα κατά άμεσο σχετικά τρόπο, μπορεί να επιτευχθεί με τη διοχέτευση στο ρεύμα αέρα κατάλληλου αερίου που ανιχνεύεται και μετρείται (αέριος δείκτης). Το αέριο αυτό πρέπει να έχει ορισμένες ιδιότητες και συγκεκριμένα τις ακόλουθες [8]:

- Να μην περιέχεται στην ατμόσφαιρα
- Να μην είναι τοξικό
- Να μπορεί να μετρηθεί με ακρίβεια ακόμη και σε χαμηλές περιεκτικότητες
- Να μην αντιδρά με τα άλλα αέρια του κτιριακού περιβάλλοντος
- Να μην απορροφάται από το κέλυφος του κτιρίου, ή να αντιδρά με αυτό.

Μετά από πολλές δοκιμές, αποδείχθηκε ότι τα πιο κατάλληλα για το σκοπό αέρια είναι το υποξείδιο του αζώτου (N_2O) και το εξαφθοριούχο θείο (SF_6).
Σύμφωνα με τη μεθοδολογία που ακολουθείται, το αέριο το οποίο πρόκειται να ανιχνευτεί και να μετρηθεί διοχετεύεται συνεχώς στο ρεύμα του αέρα υπό γνωστή παροχή q. Σε ορισμένη απόσταση από το σημείο διοχέτευσης του αερίου, εκτελείται αντιπροσωπευτική δειγματοληψία του αέρα, δηλαδή του μείγματος αέρα – αερίου.
Στη συνέχεια, τα δείγματα υποβάλλονται σε ανάλυση προς μέτρηση της κατ' όγκο περιεκτικότητας c του αερίου. Εάν Q είναι η ζητούμενη παροχή αέρα στον εσωτερικό χώρο ισχύει:

$$c = \frac{q}{Q+q} \Leftrightarrow$$

$$Q = \frac{q \cdot (1-c)}{c} \qquad \textbf{(4.1)}$$

Ο ελάχιστος χρόνος που απαιτείται για να επιτευχθεί ομοιογενές μείγμα στη θέση δειγματοληψίας, βρίσκεται από τη σχέση

$$t_c = \frac{2.6 \cdot l}{V} \qquad \textbf{(4.2)}$$

όπου l η απόσταση των θέσεων διοχέτευσης του αέριου δείκτη και η V μέση ταχύτητα του αέρα.
Ο φυσικός αερισμός όμως ενός χώρου επηρεάζεται σημαντικά από τις εξωτερικές μετεωρολογικές συνθήκες. Συνεπώς, η μέθοδος των αερίων δεικτών μπορεί να δίνει διαφορετικά αποτελέσματα εφόσον μεταβάλλονται οι συνθήκες στο εξωτερικό περιβάλλον του κτιρίου (θερμοκρασία, υγρασία, άνεμος κλπ). Γι' αυτό οι μετρήσεις αερισμού στο εωτερικό των κτιρίων δεν πρέπει να γίνονται όταν επικρατούν στην περιοχή ακραία καιρικά φαινόμενα. Παράλληλα, καλό είναι οι μετρήσεις αερισμού να συνοδεύονται και από αντίστοιχες μετεωρολογικές στη θέση του εν λόγω κτιρίου. Οι τελευταίες πρέπει να αφορούν τη θερμοκρασία, τον άνεμο και κατά δεύτερο λόγο την υγρασία και την ατμοσφαιρική πίεση [10].
Σε περίπτωση πάντως που δεν είναι δυνατό να γίνουν μετεωρολογικές μετρήσεις, χρησιμοποιούνται οι παρατηρήσεις του πλησιέστερου μετεωρολογικού σταθμού.
Γενικά, οι μέθοδοι αερίων δεικτών είναι απλές στην εφαρμογή ενώ ο εξοπλισμός που χρειάζεται σε αυτές δεν είναι ιδιαίτερα δαπανηρός. Θα πρέπει να τονίσουμε ότι δίνουν αξιόπιστα αποτελέσματα για χώρους μικρών και μεσαίων διαστάσεων, μονοκατοικίες, αποθήκες διαμερίσματα κλπ [10].

4.2 Μέτρηση της ταχύτητας του αέρα

Οι ταχύτητες των ρευμάτων του αέρα αρχίζουν από λίγα εκατοστά του μέτρου ανά δευτερόλεπτο και φθάνουν μέχρι 50 m/sec.
Τα κυριότερα όργανα που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση της ταχύτητας του αέρα είναι τα ακόλουθα:

1.- καπνογόνο, για τη μέτρηση χαμηλών ταχυτήτων αέρα από 0.1 μέχρι 0.75 m/sec.

Ο απαιτούμενος καπνός, παράγεται ως επί το πλείστον μέσω της οξείδωσης τετραχλωριούχου τιτανίου που περιέχεται σε ειδικές φύσιγγες, ή εναλλακτικά και με θέρμανση κηροζίνης.

Η εκτίμηση της ταχύτητας του αέρα καθώς επίσης και η χάραξη των γραμμών ροής, γίνεται με βάση τη μέτρηση του χρόνου ο οποίος απαιτείται προκειμένου το νέφος του καπνού να διανύσει μια δεδομένη απόσταση.

2.- ανεμόμετρα:

Είναι όργανα με τα οποία μετράμε την ταχύτητα ή και τη δύναμη του ανέμου και μπορεί να είναι φορητά ή μόνιμα εγκατεστημένα σε κατάλληλες θέσεις. Οι σημαντικότερες κατηγορίες ανεμόμετρων είναι οι ακόλουθες:

α) **ανεμόμετρα με πίεση,** τα οποία υποδιαιρούνται σε ανεμόμετρα με εκκρεμές και με κάθετη πλάκα.

β) **ανεμόμετρα περιστροφής,** που υποδιαιρούνται σε εκείνα που έχουν άξονα παράλληλο προς τη διεύθυνση του ανέμου και σε εκείνα που έχουν άξονα κάθετο προς αυτή. Το πιο διαδεδομένο ανεμόμετρο περιστροφής είναι **το ανεμόμετρο με μυλίσκο**, το οποίο χρησιμοποιείται για τη μέτρηση μέσων έως υψηλών ταχυτήτων αέρα 0.75 έως 10 m/sec. Το συγκεκριμένο όργανο, είναι όργανο εύχρηστο που μπορεί να τεθεί σε λειτουργία και εξ αποστάσεως. Μειονεκτεί όμως σε ευαισθησία αν η ταχύτητα του αέρα είναι μικρότερη από 0.2 m/sec.
Ο μυλίσκος των ανεμόμετρων αυτών περιστρέφεται με ταχύτητα ανάλογη με την ταχύτητα του αέρα και η περιστροφική κίνηση μετατρέπεται με κατάλληλο μηχανισμό του οργάνου σε γραμμική η οποία μπορεί να αναγνωστεί εύκολα με απλή ή και ηλεκτρονική ψηφιακή διάταξη.

γ) **ανεμόμετρο με νήμα**, **(hot wire)** συνήθως από λευκόχρυσο ή νικέλιο, το οποίο θερμαίνεται με διοχέτευση ηλεκτρικού ρεύματος σταθερής εντάσεως. Η μεταβολή της θερμοκρασίας του νήματος που οφείλεται στο ρεύμα του αέρα, επιδρά στην ηλεκτρική αντίσταση και η τάση του ρεύματος που αντιστοιχεί, μετατρέπεται στην αντίστοιχη ταχύτητα. Τα ανεμόμετρα αυτά είναι αρκετά ακριβή για ταχύτητες μεταξύ 0.1 έως 3 m/sec.

δ) **καταγραφικό ανεμόμετρο με πηγή φωτός και φωτοκύτταρο** που βασίζεται στη διακοπή της φωτεινής δέσμης που προκαλείται από την περιστροφή των λεπίδων του οργάνου και την παραγωγή παλμών, η συχνότητα των οποίων είναι ανάλογη με την ταχύτητα του αέρα. Ο αριθμός των παλμών μετρείται με τη βοήθεια ηλεκτρονικού κυκλώματος συνδεδεμένου με γαλβανόμετρο ή ένδειξη του οποίου μετατρέπεται σε γραμμική ταχύτητα του αέρα.

ε) **ανεμόμετρο laser – doppler,** είναι νεότερο όργανο και βασίζεται σε κατάλληλα λαμβανόμενη δέσμη laser, η οποία χωρίζεται με πρίσματα σε δύο επί μέρους δέσμες, οι οποίες επανασυγκλίνουν στο πεδίο ροής όπου γίνεται τελικά η μέτρηση της ταχύτητας. Η μια δέσμη (δέσμη αναφοράς), μένει ανεπηρέαστη από τη ροή του αέρα, η άλλη όμως δέσμη προσκρούει στα μεταφερόμενα από τη ροή σωματίδια, τα οποία λειτουργούν κατά τέτοιο τρόπο ώστε να μετατοπίζουν την φωτεινή συχνότητα.
Το συγκεκριμένο φαινόμενο στην σύγχρονη Φυσική, ονομάζεται φαινόμενο Doppler[1]).
Ο συσχετισμός των δύο επί μέρους δεσμών δίνει την ταχύτητα ροής μέσω ειδικού οργάνου (photomultiplier) [6].

3.- σωλήνες Pitot ή Prandtl, οι οποίοι για τιμές της μέσης ταχύτητας άνω των 5 m/sec παρουσιάζουν πολύ μεγάλη ακρίβεια. Αρχικά γίνεται μέτρηση της πίεσης του αέρα στη διατομή εισόδου του σωλήνα και στη συνέχεια προχωρούμε στον υπολογισμό της ταχύτητας του αέρα βάσει της παρακάτω σχέσης:

$$V = \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot \mathrm{P}_{\Delta}}{\delta}} \qquad \textbf{(4.3)}$$

όπου δ: η σταθερά αναλογίας.

[1] Φαινόμενο Doppler: Το φαινόμενο εκείνο κατά το οποίο η συχνότητα ενός κυματικού μεγέθους (ήχου ή ακτινοβολίας) μεταβάλλεται όταν υπάρχει σχετική κίνηση μεταξύ του παρατηρητή και της πηγής του κύματος [5]

Θα πρέπει τέλος να σημειωθεί ότι διατίθενται και σύνθετα όργανα όπως τα ανεμοθερμόμετρα με τα οποία εκτός της ταχύτητας του αέρα μπορεί να μετρηθεί και η στατική πίεση και θερμοκρασία. Η απαιτούμενη ενέργεια για τη λειτουργία των οργάνων αυτών, εξασφαλίζεται με ξηρούς συσσωρευτές.
Η αλματώδης πρόοδος που σημειώθηκε τα τελευταία χρόνια στον τομέα της ηλεκτρονικής, έχει ως αποτέλεσμα την τελειοποίηση και απλούστευση των επιστημονικών οργάνων, ιδιαίτερα όσον αφορά στις δυνατότητες άμεσου αναγνώσεως του ζητούμενου μεγέθους.

4.3 Προσομοίωση σε σήραγγα αέρα

Αυτή τη στιγμή το μεγαλύτερο βάρος της πειραματικής έρευνας για την επίδραση του ανέμου σε ένα κτίριο, τόσο από δομοστατική όσο και από βιοκλιματική σκοπιά δίνεται σε εξομοιώσεις υπό κλίμακα σε σήραγγες αέρα (air tunnels). Οι τελευταίες θεωρούνται ιδιαίτερα ακριβείς και επιτρέπουν, μέσω κατάλληλων ρυθμίσεων του μοντέλου τη λήψη λεπτομερών στοιχείων για τα φορτία, τις τοπικές ταχύτητες ανέμου, τη διασπορά των ρυπαντών κλπ.
Αεροσήραγγες, είναι οι σήραγγες στις οποίες κυκλοφορεί ένα αέριο με ελεγχόμενο τρόπο (π.χ. καπνός από θέρμανση κηροζίνης), ώστε βάσει των νόμων της ομοιότητας να δοκιμαστούν π.χ. αεροδυναμικές κατασκευές. Οι αεροσήραγγες έχουν ιστορία έναν αιώνα, καθώς η πρώτη κατασκευάστηκε το 1909 από το Γάλλο Eifel. Τις αεροσήραγγες μπορούμε να τις κατατάξουμε με διάφορους τρόπους, συνήθως ανάλογα με την ταχύτητα της ροής στο τμήμα δοκιμών. Έτσι έχουμε:

- αεροσήραγγες χαμηλών αριθμών Mach ($0 < M < 0.2$)
- υποηχητικές αεροσήραγγες ($0.2 < M < 0.9$)
- διηχητικές αεροσήραγγες ($0.5 < M < 1.5$)
- υπερηχητικές αεροσήραγγες ($1.2 < M < 5$)
- Υπερ – υπερηχητικές αεροσήραγγες ($M > 5$)

Όσον αφορά τη λειτουργία τους τώρα, οι αεροσήραγγες χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

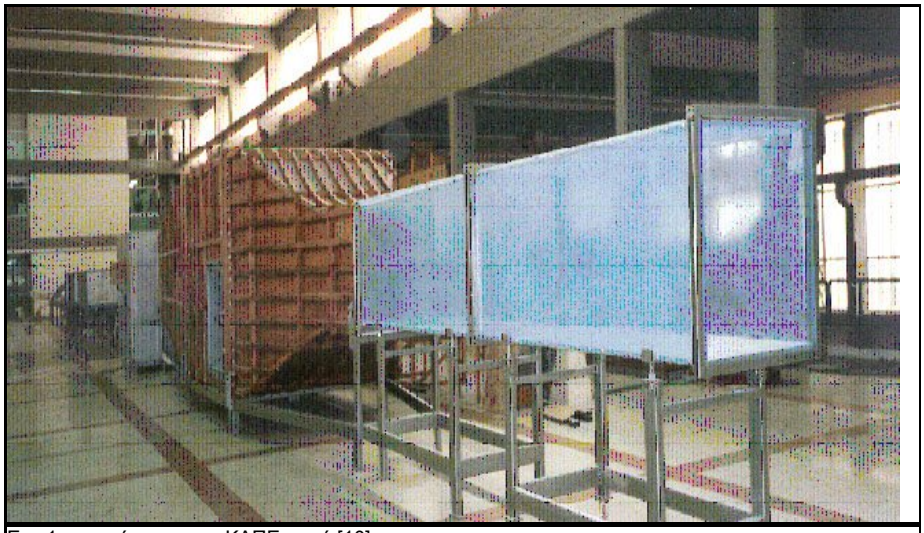
- αεροσήραγγες συνεχούς λειτουργίας
- αεροσήραγγες διακοπτόμενης λειτουργίας

Στις αεροσήραγγες συνεχούς λειτουργίας, έχουμε συνεχή ροή του ρευστού με τη βοήθεια φυσητήρων. Στις αεροσύραγγες διακοπτόμενης λειτουργίας ο συμπιεσμένος σε κάποιο δοχείο αέρας ρέει με το άνοιγμα κάποιας βάνας προς στο περιβάλλον ή προς σε κάποιο άλλο δοχείο μικρότερης πίεσης. Αντίστοιχα, θα μπορούσε να εισρέει αέρας περιβάλλοντος σε κάποιο δοχείο, στο οποίο έχουμε δημιουργήσει κενό αέρα.
Ένας άλλος διαχωρισμός των αεροσηράγγων είναι ο ακόλουθος:

- ✓ Αεροσήραγγες ελεύθερης δέσμης
- ✓ Αεροσήραγγες ανοιχτού κυκλώματος τύπου Eiffel
- ✓ Αεροσήραγγες κλειστού κυκλώματος

Στις αεροσήραγγες ανοιχτού κυκλώματος, ο απαραίτητος αέρας για την διεξαγωγή του πειράματος, λαμβάνεται συνεχώς από την ατμόσφαιρα. Αντίθετα στις αεροσήραγγες κλειστού κυκλώματος, κατά τη διάρκεια του πειράματος, χρησιμοποιείται συνεχώς το ίδιο ρευστό το οποίο κυκλοφορεί σε έναν αγωγό σχήματος απλού ή διπλού δακυλίου.
Το μοντέλο της κατασκευής της οποίας θέλουμε να εξετάσουμε την αεροδυναμική συμπεριφορά, τοποθετείται σε ένα βραχύ τμήμα του κυκλώματος που ονομάζεται θάλαμος δοκιμών. Μέσα σε αυτόν, η ροή του ρευστού υποχρεώνεται να αποκτήσει την επιθυμητή ταχύτητα. Για να μην παρασυρθεί το μοντέλλο από την οπισθέλκουσα δύναμη, συγκρατείται με συνδέσμους (ράβδους ή σκοινιά) οι οποίοι μεταδίδουν σε παρακείμενους αεροδυναμικούς ζυγούς τις δυνάμεις και τις ροπές που πρέπει να μετρηθούν, ανάλογα με τη φύση του προβλήματος.
Μια τυπική υποηχητική αεροσήραγγα είναι αυτή που χρησιμοποιείται στο εργαστήριο αεροδυναμικής της ΣΜΑ τόσο για εκπαιδευτικούς όσο και για ερευνητικούς σκοπούς.
Είναι μια σήραγγα ανοικτού κυκλώματος, χαμηλών υποηχητικών ταχυτήτων μέχρι 80 m/sec. Η ισχύς του κινητήρα είναι 60 ίπποι. Το τμήμα δοκιμών της εν λόγω σήραγγας, έχει μήκος 1m και είναι ορθογωνικής διατομής με διαστάσεις: 60 cm * 46 cm έχει δυνατότητα τοποθέτησης τόσο σταθερού επιπέδου, όσο και περιστρεφόμενης τράπεζας. Η σύραγγα τέλος πλαισιώνεται από ένα σύστημα φωτισμού φωτογράφισης και απεικόνισης της ροής του αέρα.
Επίσης για τον πειραματικό προσδιορισμό του πεδίου ροής γύρω από σώμα, ή καλύτερα γύρω από το ομοίωμα ενός σώματος, μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια αεροσήραγγα που είναι εφοδιασμένη με μια καπνογεννήτρια η οποία παρέχει λεπτά νήματα καπνού ή ατμού, ορατά μέσα στο ρεύμα του αέρα, τα οποία μπορούν με αρκετά καλή προσέγγιση να θεωρηθούν ως ροϊκες γραμμές (stream lines). Ο ατμός μπορεί να παραχθεί π.χ. από θέρμανση κηροζίνης.
Η καπνοσήραγγα (smoke tunnel) που υπάρχει στο εργαστήριο αεροδυναμικής της ΣΜΑ είναι μια μικρή αεροσήραγγα που χρησιμοποιείται για την **οπτική απεικόνιση** της ροής του αέρα γύρω από διαφορα σώματα και

ορισμένα πρότυπα και αεροδυναμικά μοντέλα. Η εκροή του καπνού γίνεται κατά το πλάτος του πεδίου δοκιμών και περιλαμβάνει 23 ροϊκες γραμμές καπνού ανά 7 mm.
Η ροή του αέρα στο τμήμα δοκιμών της εν λόγω συσκευής είναι κατακόρυφη από κάτω προς τα πάνω, καθώς οι βαρυτικές δυνάμεις σε τέτοιες περιπτώσεις είναι αμελητέες και το εύρος των τιμών της ταχύτητας του αέρα κατά τη διεύθυνση της ροής, είναι από 0 μέχρι 5 m / sec. Οι δε διαστάσεις του τμήματος δοκιμών είναι 18cm μήκος 10 cm πλάτος και 24 cm ύψος.
Ωστόσο εδώ οφείλουμε να αναφέρουμε το εξής: Το σημαντικότερο στοιχείο των μελετών της ροής του ανέμου τόσο σε σήραγγες αέρα, όσο και ακολουθώντας τη θεωρία της υδραυλικής αναλογίας που θα δούμε παρακάτω, είναι η μεταφορά των αποτελεσμάτων στην πραγματική κλίμακα. Για να γίνει κάτι τέτοιο και παράλληλα να εξασφαλιστεί η εγκυρότητα του πειράματος, εφαρμόζονται οι αρχές της διαστατικής ανάλυσης (δυναμική ομοιότητα) η οποία θα πρέπει να πούμε ότι δεν αποτελεί στην πραγματικότητα μια νέα μέθοδο για την επίλυση ρευστοδυναμικών προβλημάτων, αλλά μια μέθοδο βελτιστοποίησης της πειραματικής τους μελέτης [13].
Η διαστατική ανάλυση είναι μια μέθοδος με την οποία επιτυγχάνεται η συγκρότηση των φυσικών και γεωμετρικών μεγεθών που επηρεάζουν ένα φυσικό φαινόμενο σε αδιάστατες ομάδες, όπως π.χ. ο αριθμός Reynolds.
Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή δεχόμαστε ότι κάποιες παράμετροι αδιάστατες, έχουν την ίδια βαρύτητα στο συγκεκριμένο μοντέλο, όπως και στην πραγματική κλίμακα.
Στην προκειμένη περίπτωση τέτοιες παράμετροι είναι ο συντελεστής πίεσης στην τοπική επιφάνεια πίεσης, η αναφορική στατική πίεση σε μεγάλο ύψος από το έδαφος, η πυκνότητα του ατμοσφαιρικού αέρα και η βαθμίδα (gradient) της ταχύτητας $\nabla \vec{V}$.
Η αεροσήραγγα του ΚΑΠΕ έχει μήκος 18 m. Περιλαμβάνει δύο τμήματα δοκιμών, ένα χαμηλών ταχυτήτων ροής, έως 3 m.s-1, με διαστάσεις περίπου 2 x 2 x 2 m και ένα μέσων ταχυτήτων ροής, έως 25 m.s-1 με διατομή 0.80 x 0.80 m. Ο εξοπλισμός της αποτελείται από δύο μικρο-μανόμετρα ακριβείας με κλίμακες λειτουργίας ±20/200 Pa και ±200/2000 Pa, σύστημα ταυτόχρονης σάρωσης πιέσεων σε 16 σημεία, τύπου Scanivalve, και σύστημα θερμικής ανεμομετρίας 3D.
Στο τμήμα δοκιμών χαμηλών ταχυτήτων υπάρχει περιστρεφόμενη τράπεζα και φορείο αισθητήρων με δυνατότητα τρισδιάστατης κίνησης. Η αεροσήραγγα θα χρησιμοποιηθεί για την προσομοίωση της ροής του αέρα μέσα και γύρω από κτίρια με χρήση μοντέλων υπό κλίμακα.



Εικ. 1 αεροσήραγγα του ΚΑΠΕ πηγή [10]

4.4 Η θεωρία της υδραυλικής αναλογίας

Με τον όρο υδραυλική αναλογία εννοούμε την αναλογία που υπάρχει κάτω από ορισμένες συνθήκες μεταξύ της δυσδιάστατης ασυμπίεστης ροής ενός συμπιεστού αερίου και της ροής ενός νευτωνικού υγρού συνήθως νερού.
Για τη δημιουργία της αναλογίας αυτής το νερό θα πρέπει να ρέει πάνω σε λεία και οριζόντια επιφάνεια μεταξύ δύο κατακόρυφων τοιχωμάτων τα οποία είναι γεωμετρικά όμοια με τα τοιχώματα που θεωρούμε ότι αποτελούν τις συνοριακές επιφάνειες στη ροή του αερίου.
Η χρησιμότητα της μεθόδου της υδραυλικής αναλογίας έγκειται στο ότι η εκτέλεση πειραμάτων σε ροή νερού είναι ευκολότερη και έχει σημαντικά μικρότερο κόστος από την εκτέλεση πειραμάτων σε αεροσήραγγες.
Επίσης θα πρέπει να αναφέρουμε ότι η εν λόγω μέθοδος χρησιμοποιείται συνήθως για υποηχητικές ροές, δηλαδή για αριθμό Mach $M \leq 0.3$.
Για την εφαρμογή της θεωρίας της υδραυλικής αναλογίας γίνονται οι ακόλουθες παραδοχές:

1.- Η ροή θεωρείται αστρόβιλη, ($rot\vec{V} = 0$)

2.- Οι συνιστώσες της ταχύτητας, που έχουν διεύθυνση κατακόρυφη στην ελεύθερη επιφάνεια του νερού θεωρούνται αμελητέες.

Σημείο αναφοράς στη συγκριτική μελέτη των δύο ρευστών, (αέρα και νερού), είναι η εξίσωση συνέχειας και η εξίσωση Bernoulli. Η μορφή της για το νερό και τον αέρα έχει τις παρακάτω εκφράσεις:

Εξίσωση Συνέχειας στο νερό:

$$\frac{\partial(V_x \cdot d)}{\partial x} + \frac{\partial(V_y \cdot d)}{\partial y} = 0 \qquad \textbf{(4.4)}$$

Εξίσωση Συνέχειας στον αέρα:

$$\frac{\partial(V_x \cdot \rho)}{\partial x} + \frac{\partial(V_y \cdot \rho)}{\partial y} = 0 \qquad \textbf{(4.5)}$$

Εξίσωση Bernoulli στο νερό:

$$V^2 = 2g \cdot (d_0 - d) \qquad \textbf{(4.6)}$$

Εξίσωση Bernoulli στον αέρα:

$$V^2 = 2g \cdot (h_0 - h) = 2g \cdot C_P (T_0 - T) \qquad \textbf{(4.7)}$$

όπου V , η ταχύτητα κατά την διεύθυνση της ροής, δηλαδή: $V = \frac{Q}{A}$

g, η επιτάχυνση της βαρύτητας
d, το βάθος της ροής του νερού
h, η ειδική ενθαλπία (ενθαλπία ανά μονάδα μάζας)
T, η απόλυτη θερμοκρασία (^{0}K).
C_p, η ειδική θερμότητα υπό σταθερή πίεση.

Σημείωση:

Ο δείκτης $_0$ φανερώνει την τιμή της κάθε ιδιότητας της ροής στην περιοχή ανακοπής της, δηλαδή εκεί που στιγμιαία ισχύει $V = 0$.

Η μέγιστη ταχύτητα της ροής τόσο του υγρού όσο και του αερίου υπολογίζεται από τις σχέσεις Bernoulli με μεγιστοποίηση κατ' απόλυτη τιμή των αριστερών τους μελών, δηλαδή ισχύει:
Για το υγρό:

$$V_{\max} = \sqrt{2g \cdot d_0} \qquad \textbf{(4.8)}$$

Για το αέριο:

$$V_{\max} = \sqrt{2g \cdot C_P \cdot T_0} \qquad \textbf{(4.9)}$$

Επομένως η αναλογία της ταχύτητας του αέρα προς την ταχύτητα του υγρού που υπολογίζεται πειραματικά, δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$\frac{V_{\upsilon\gamma\rho o\acute{\upsilon}}}{V_{\alpha\acute{\varepsilon}\rho\alpha}} = \sqrt{\frac{d_0}{C_p \cdot T_0}} \qquad \textbf{(4.10)}$$

4.5 Μέτρηση της υγρασίας του αέρα

α) Βασικά στοιχεία Ψυχρομετρίας:

Οι θερμομετρικές συνθήκες σε έναν τόπο εξαρτώνται από τους παρακάτω παράγοντες:

1.- Την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας

2.- Την αντανακλαστικότητα της επιφάνειας του εδάφους και τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά της

3.- Το ισοζύγιο ακτινοβολιών Γης – Ατμόσφαιρας – Διαστήματος

4.- Τις εναλλαγές θερμότητας και τις αλλαγές φάσης του νερού (H_2O_g) που περιέχεται στην ατμόσφαιρα

5.- Τα υπάρχοντα θαλάσσια ρεύματα

6.- Τη μεταφορά θερμότητας με αναταρακτικές κινήσεις

Από θερμική άποψη, η κατακόρυφη δομή του στρώματος του αέρα μεταξύ του εδάφους και του τοπογραφικού ύψους περίπου 2 m παρουσιάζει:

1.- Έναν ημερήσιο τύπο όπου η θερμοκρασία του εδάφους είναι μεγαλύτερη από αυτήν του αέρα με αποτέλεσμα τη θέρμανση της περιοχής στο κάτω μέρος του ΑΟΣ είτε αυτό είναι αναμειγμένο είτε είναι ευσταθές που ονομάζεται επιφανειακό στρώμα (surface layer). Περιλαμβάνει τα πρώτα 20 έως 50 m και είναι γνωστό ως στρώμα σταθερής ροής (flux layer) ή ως λογαριθμικό στρώμα (logarithmic layer). Στο στρώμα αυτό οι τυρβώδεις ταχύτητες και οι τάσεις Raynolds, μεταβάλλονται λιγότερο από 10% της μέσης τιμής τους. Τέλος, αμέσως πάνω από την επιφάνεια του εδάφους, ξεχωρίζει ένα πολύ λεπτό στρώμα που ονομάζεται μοριακό στρώμα (molecular boundary layer), όπου δεν έχει αναπτυχθεί τύρβη. Το πάχος του τελευταίου δεν είναι μεγαλύτερο από λίγα εκατοστά και αναφέρεται ακόμα ως μικρόστρωμα (microlayer) ή στρώμα διαχωριστικών επιφανειών (interface layer).

Επομένως έχουμε ταχεία ελάττωση της θερμοκρασίας καθ' ύψος όπου η απόλυτη τιμή της κατακόρυφης θερμοβαθμίδας μπορεί να φτάσει σε περίπτωση νήνεμης ατμόσφαιρας την τιμή 1 C0/ m.

2.- Έναν νυχτερινό τύπο όπου λόγω της νυχτερινής ψύξης του εδάφους έχουμε ψύξη του επιφανειακού στρώματος. Επομένως στην κατακόρυφη δομή έχουμε αύξηση της θερμοκρασίας καθ' ύψος.
Για νήνεμη ατμόσφαιρα, η κατακόρυφη διαφορά της θερμοκρασίας του μοριακού οριακού στρώματος και της θέσης υψομέτρου 2m από το έδαφος, μπορεί να φτάσει ακόμα και τους 10 C0.

Η διαφορά μεταξύ μέγιστης και ελάχιστης θερμοκρασίας μιας ημέρας ονομάζεται ημερήσιο θερμικό εύρος, (daily thermal latitude) και εξαρτάται από:

1.- Την εκάστοτε νέφωση, η οποία μετατοπίζει τις συνοριακές τιμές του ημερησίου θερμικού εύρους κατά τέτοιο τρόπο ώστε το τελευταίο να ελαττώνεται σημαντικά.

2.- Το υψόμετρο. Το ημερήσιο θερμικό εύρος είναι εν γένει αντιστρόφως ανάλογο με την τιμή του υψομέτρου.

3.- Το γεωγραφικό πλάτος. Το μέγιστο ημερήσιο θερμικό εύρος παρατηρείται στην ευρύτερη τροπική ζώνη.

4.- Η εποχή. Η μεγαλύτερη επίδραση λαμβάνει χώρα στις εύκρατες ζώνες. Αντίθετα στη ζώνη του Ισημερινού η επίδραση είναι προφανώς αμελητέα.

5.- Η φύση του εδάφους. Λόγω του ότι τα εδάφη της γήινης επιφάνειας, παρουσιάζουν γενικά διαφορετικές τιμές θερμοχωρητικότητας και θερμικής αγωγιμότητας.

6.- Το τοπογραφικό ανάγλυφο. Στα κοίλα τμήματα του τοπογραφικού ανάγλυφου παρατηρούνται μεγαλύτερες τιμές ημερήσιο θερμικό εύρος.

Επίσης παρατηρούμε ότι το ανερχόμενο τμήμα της καμπύλης που συνδέει τις συνοριακές τιμές του ημερησίου θερμικού εύρους, παρουσιάζει ημιτονοειδή μορφή ως προς το χρόνο ενώ αντίθετα το κατερχόμενο τμήμα, είναι εκθετικού τύπου και δεν παρουσιάζει συμμετρία.
Παράλληλα είναι γνωστό ότι ο ατμοσφαιρικός αέρας είναι δυνατόν να περιέχει ορισμένο μόνο ποσοστό υδρατμού (H_2O_g), δεδομένου ότι η μερική πίεση του υδρατμού σε δεδομένη θερμοκρασία δεν μπορεί να υπερβαίνει την ανώτατη τάση ατμού που αντιστοιχεί στη θερμοκρασία αυτή, αλλιώς επέρχεται υγροποίηση και αποβάλλεται ο πλεονάζων υδρατμός μέχρις η τιμή της μερικής του πίεσης φτάσει την πίεση που αντιστοιχεί στις συνθήκες κορεσμού.
Η μέγιστη ποσότητα υδρατμού που μπορεί να περιέχεται ανά μονάδα όγκου αέρα, εξαρτάται επομένως από τη θερμοκρασία και παρατηρείται όταν ο αέρας είναι κορεσμένος. Οι σταθερές κορεσμού και οι αντιστοιχούσες τιμές του βάρους του υδρατμού, ανά μονάδα βάρους ξηρού αέρα δίνονται στον πίνακα που ακολουθεί:

T (^{0}C)	Kg ατμού / Kg αέρα	Μερική πίεση ατμού Kg*/m^2	mmHg	Ειδική Ενθαλπία (Kcal/Kg)
-10	0.00165	26.46	1.95	-1.43
-9	0.00180	28.89	2.13	-1.10
-8	0.00180	28.89	2.32	-0.76
-7	0.00215	34.43	2.53	-0.41
-6	0.00234	37.54	2.76	-0.05
-5	0.00255	40.90	3.01	0.31
-4	0.00278	44.54	3.28	0.69
-3	0.00303	48.48	3.57	1.08
-2	0.00330	52.74	3.88	1.48
-1	0.00359	57.32	4.22	1.89
0	0.00359	62.26	4.58	2.32
1	0.00420	66.97	4.93	2.74
2	0.00451	71.98	5.29	3.08
3	0.00485	77.29	5.69	3.61
4	0.00520	82.95	6.10	4.06
5	0.00558	88.96	6.54	4.50
6	0.00598	95.35	7.01	5.01
7	0.00642	102.15	7.51	5.52
8	0.00688	109.38	8.05	6.04
9	0.00736	117.05	8.61	6.57
10	0.00788	125.20	9.21	7.13
11	0.00844	133.84	9.84	7.70
12	0.00902	143.01	10.52	8.30
13	0.00964	152.69	11.23	8.91
14	0.01030	162.97	11.99	9.56
15	0.01100	173.86	12.79	10.20
16	0.01174	185.37	13.66	10.90
17	0.01254	197.55	14.53	11.60
18	0.01337	210.42	15.48	12.40
19	0.01425	224.02	16.48	13.20
20	0.01519	238.40	17.54	14.00
21	0.01618	253.56	19.83	15.70
22	0.01724	269.56	19.83	15.70
23	0.01833	286.44	21.07	16.60
24	0.01951	304.23	22.38	17.60
25	0.02077	322.98	23.76	18.60
26	0.02209	342.74	25.21	19.60
27	0.02347	363.54	26.74	20.70
28	0.02493	385.43	28.35	21.90
29	0.02649	408.46	30.04	23.10
30	0.02814	432.67	31.82	24.30
31	0.02988	458.11	33.70	25.60
32	0.03169	484.87	35.66	27.00
33	0.03364	512.96	37.73	28.40
34	0.03569	542.45	39.90	29.90
35	0.03790	573.40	42.18	31.50
36	0.04010	605.87	44.56	33.20
37	0.04510	639.91	47.07	43.90
38	0.04510	675.60	49.69	36.70
39	0.04780	712.99	52.44	38.60
40	0.05060	725.18	55.32	40.60
41	0.05360	793.20	58.34	42.70
42	0.05680	836.10	61.50	45.00
43	0.06010	881.00	64.80	47.30
44	0.06370	928.00	68.26	49.80
45	0.06740	977.30	71.88	52.20

Εικ. 2: ψυχρομετρικές σταθερές κορεσμένου αέρα Πηγή [11]

Η συνολική πίεση $\tilde{N}$ που ασκείται από το μείγμα αέρα – υδρατμού ισούται με το άθροισμα των μερικών πιέσεων του αέρα P_α και του υδρατμού P_g , οι οποίες θα εξασκούνταν αν το κάθε συστατικό του μίγματος κατελάμβανε μόνο του τον συνολικό όγκο και επομένως δρούσε ανεξάρτητα.

Η συνολική πίεση του μίγματος $\tilde{N} = P_\alpha + P_g$ είναι η μετρούμενη βαρομετρική πίεση (στατική πίεση).

Ο περιεχόμενος στον αέρα υδρατμός χαρακτηρίζεται ως υγρασία και αποτελεί έναν από τους κυριότερους παράγοντες που διαμορφώνουν το εσωτερικό κλίμα των κτιρίων.

β) Εκτίμηση της υγρομετρικής κατάστασης

Οι κυριότερες παράμετροι που καθορίζουν την υγρομετρική κατάσταση του αέρα είναι η απόλυτη υγρασία, η σχετική υγρασία, ο βαθμός κορεσμού και η θερμοκρασία (σημείο δρόσου).

Απόλυτη υγρασία ή πυκνότητα υδρατμού, d_V, είναι ο λόγος της μάζας του υδρατμού προς το συνολικό όγκο του υγρού αέρα

Σχετική υγρασία ή υγρομετρικός βαθμός ö καλείται ο λόγος της μερικής πιέσης του υδρατμού που περιέχεται στον αέρα προς την πίεση που θα είχε εάν ο αέρας ήταν κορεσμένος στη δεδομένη θερμοκρασία.

Εναλλακτικός ορισμός της σχετικής υγρασίας του αέρα μπορεί να δοθεί με χρήση του ορισμού του γραμμομοριακού κλάσματος [12].

Γραμμομοριακό κλάσμα ή συγκέντρωση του υδρατμού X_w στο μείγμα του υγρού αέρα είναι ο λόγος του αριθμού των γραμμομορίων του υδρατμού n_w που περιέχονται στο μείγμα προς το συνολικό αριθμό γραμμομορίων του μείγματος $n_w + n_á$. Δηλαδή:

$$X_w = \frac{n_w}{n_w + n_\alpha} \qquad \textbf{(4.11)}$$

Επομένως, η σχετική υγρασία μπορεί να οριστεί ως ο λόγος του γραμμομοριακού κλάσματος του υδρατμού X_w σε καθορισμένη ποσότητα υγρού αέρα, προς το γραμμομοριακό κλάσμα του υδρατμού σε κορεσμένο αέρα X_{ws} στην ίδια πίεση και θερμοκρασία, δηλαδή:

$$\phi = \frac{X_w}{X_{ws}}\Big|_{T,P} \qquad \textbf{(4.12)}$$

Βαθμός κορεσμού μ καλείται ο λόγος του βάρους του υδρατμού που αντιστοιχεί στη μονάδα βάρους ξηρού αέρα, προς το βάρος υδρατμού που αντιστοιχεί στη μονάδα βάρους ξηρού αέρα σε κορεσμένο μίγμα στην ίδια θερμοκρασία και πίεση.

Δηλαδή

$$\mu = \frac{M_w}{M_{ws}}\Big|_{T,P}$$

Θερμοκρασία σημείου δρόσου $\hat{O}_d$ είναι όπως αναφέραμε και στο κεφάλαιο **3**, η θερμοκρασία στην οποία πρέπει να ψυχθεί ακόρεστος υγρός αέρας ισόθλιπτα και με σταθερό λόγο υγρασίας ώστε να γίνει κορεσμένος. Επειδή η συνολική πίεση και υγρασία του μίγματος παραμένουν σταθερές, τότε και η μερική πίεση $\tilde{N}_w$ παραμένει σταθερή κατά τη διάρκεια της ψύξης. Επομένως η $\hat{O}_d$ ισούται με τη θερμοκρασία κορεσμού που αντιστοιχεί στη μερική πίεση του υδρατμού στο μίγμα.

Υπάρχουν πολλά όργανα και συσκευές με τη χρήση των οποίων μπορεί να γίνει άμεση μέτρηση των τιμών των παραπάνω παραμέτρων, ωστόσο συνήθως, λόγω ανεπάρκειας της κατάλληλης υλικοτεχνικής και εργαστηριακής υποδομής προτιμούμε στην πράξη να προσδιορίζουμε την υγρομετρική κατάσταση του αέρα κατά έμμεσο τρόπο με ψυχρομετρικούς υπολογισμούς [12].

Το όργανο που χρησιμοποιείται για το σκοπό αυτό είναι το ψυχρόμετρο του Assman που ήδη έχουμε αναφέρει, το οποίο αποτελείται από δύο θερμόμετρα, το κάτω μέρος του ενός από τα οποία έχει περιτυλιχτεί με ύφασμα που διαβρέχεται από νερό. Το θερμόμετρο αυτό καλείται υγρό, σε αντίθεση με το άλλο που καλείται ξηρό και δείχνει θερμοκρασία κατώτερη της θερμοκρασίας του αέρα, όπως αυτή μετρείται με το ξηρό θερμόμετρο και αυτό φυσικά οφείλεται στην εξάτμιση του νερού που διαβρέχει το ύφασμα. Οι προσδιοριζόμενες τιμές από τα δύο θερμόμετρα ονομάζονται: Θερμοκρασία του υγρού θερμομέτρου με εξαναγκασμένο αερισμό $\hat{O}_w$ και θερμοκρασία του ξηρού θερμομέτρου με εξαναγκασμένο αερισμό $\hat{O}_á$.

Θεωρητικά, η θερμοκρασία του υγρού θερμόμετρου αντιστοιχεί στην ενθαλπία του απαγόμενου κορεσμένου αέρα, η οποία είναι το άθροισμα της ενθαλπίας του ακόρεστου ατμοσφαιρικού αέρα του περιβάλλοντος και της απαιτούμενης θερμότητας για την εξάτμιση του νερού με την προϋπόθεση ότι η τελευταία γίνεται αδιαβατικά [15].
Με βάση τις ενδείξεις του υγρού και ξηρού θερμόμετρου και τη βοήθεια σχετικών διαγραμμάτων όπως ο ψυχρομετρικός χάρτης της ASHRAE υπολογίζουμε τις τιμές των υγρομετρικών παραμέτρων με την εφαρμογή των εξισώσεων της ψυχρομετρίας.

Βιβλιογραφία 4ου κεφαλαίου:

1.- Abbot M.M., Van Ness C.H. «Thermodynamics», Mc Graw – Hill, New York, 1975
2.-ASHRAE: Fundamentals Handbook Chapt. 23, Infiltration and Ventilation, 1989.
3.-ASTM: «Standard Test Method for Determining Air Leakage Rate by Fan Pressurization», E 779 – 81, 1981.
4.- ASTM, Standard Test Method for Determining Air Leakage Rate by Tracer Dilution, E 741 – 83, 1983.
5.- Βουδούρης Γ. «Λεξικό Φυσικών Επιστημών», Αθήνα 1982
6.- Δημητρίου Ι. et al: «Λεξιλόγιο όρων Περιβαλλοντικής Ρευστομηχανικής» εκδ. ΤΕΕ 1998
7.- Κοϊνάκης Χ. «Θεωρητική και πειραματική διερεύνηση του φυσικού αερισμού των κτιρίων στα πλαίσια του ενεργειακού σχεδιασμού τους», διδακτορική διατριβή, ΑΠΘ 1998.
8.- Ower E., Pankhurst R.C. «The measurement of air flow» Pergamon Press 1977
9.- Παπαμανώλης Ν. «Θεωρητική και πειραματική διερεύνηση στην κατεύθυνση βέλτιστης αξιοποίησης του φυσικού αερισμού στα πλαίσια του ενεργειακού σχεδιασμού των κτιρίων», διδακτορική διατριβή, ΑΠΘ 1992

10.-Παπαμανώλης Ν. «Μέθοδοι αέριων δεικτών στον υπολογισμό αερισμού κτιρίων» Τεχν. Χρον. Α 1995, Τομ. 10, Τεύχος 4
11.-Reid R.C. et al «The properties of gases and liquids» Mc Graw – Hill, New York 1987
12.- Ρογδάκης Ε. «Θερμοδυναμική ΙΙ», εκδ. ΕΜΠ 2001
13.- Schuring D. «Scale Models in Engineering» Pergamon Press 1977
14.-Serway R. «Physics for Scientists & Engineers with Modern Physics Volume III Thermodynamics» Saunders College Publishing, London 1990
15.-Tassios D. «Εφαρμοσμένη Θερμοδυναμική Χημικής Μηχανικής» Πανεπιστημιακές εκδόσεις ΕΜΠ, 2001
16.- Τσαγγάρης Σ. «Μηχανική των Ρευστών» εκδ. Συμεών 2005
17.- Whillier A. «Psychrometric Charts for all barometric pressures», Mc Graw Hill 1971

Κεφάλαιο 5

Μοριακή θεώρηση του αέρα του κτιριακού περιβάλλοντος

5.1 Κατανομή μορίων του αέρα για σταθερή θερμοκρασία

Όπως γνωρίζουμε, το κυριότερο πρόβλημα της Στατιστικής Μηχανικής είναι η εύρεση της πιο πιθανής διαμέρισης ή κατανομής των σωματιδίων για κάθε κατάστασή ενός ανοιχτού ή κλειστού θερμοδυναμικού συστήματος (P – V – T).
Θεωρούμε το κτιριακό περιβάλλον ως χρονική επαλληλία κλειστών θερμοδυναμικών συστημάτων και εξετάζουμε το πρόβλημα της κυκλοφορίας του αέρα από τη σκοπιά της Στατιστικής Μηχανικής.
Για την εύρεση του νόμου κατανομής ενός θερμοδυναμικού συστήματος, λαμβάνονται αρχικά οι παράμετροι P – V – T και στη συνέχεια διατυπώνονται διάφορες υποθέσεις και δίνονται διάφορα μαθηματικά μοντέλα των μικροσκοπικών κατανομών και κυρίως αυτών που αναφέρονται στις καταστάσεις της ταχύτητας του μέσου πλάτους ταλάντωσης των σωματιδίων της μέσης ελεύθερης διαδρομής, της κινητικής ενέργειας κτλ. Στη συνέχεια εξετάζεται, αν και κατά πόσο τα εν λόγω μοντέλα προβλέπουν τις ίδιες τιμές των μακροσκοπικών παραμέτρων P – V – T.
Αν υπάρχει σύμπτωση, με κάποια ανοχή βέβαια, (bias), των πειραματικών μετρήσεων με το μοντέλο πρόβλεψης τότε το τελευταίο μπορεί να θεωρηθεί αξιόπιστο. Το εκάστοτε μοντέλο μπορεί να χρησιμοποιηθεί παράλληλα και ως εργαλείο για την πρόβλεψη **και** των μικροσκοπικών παραμέτρων που αναφέραμε.
Ο αέρας του κτιριακού περιβάλλοντος, μπορεί ουσιαστικά να μοντελοποιηθεί ως μια χρονική διαδοχή κλειστών θερμοδυναμικών συστημάτων που το κάθε ένα από αυτά προφανώς αντιστοιχεί αμφιμονοσήμαντα σε μια μοναδική διακριτή τιμή της μεταβλητής του χρόνου.

Όπως γνωρίζουμε, η θεμελιώδης ιδέα ενός πιθανοθεωρητικού μοντέλου στη Στατιστική Μηχανική είναι η θεώρηση ενός διακριτού δυναμικού συστήματος αποτελούμενο από **κ** τον αριθμό διακεκριμένα σωματίδια.
Κάθε σωματίδιο στοιχειώδους μάζας m, που ανήκει στον εν λόγω σύστημα, χαρακτηρίζεται ως γνωστό από τις συντεταγμένες της θέσης του στον καρτεσιανό χώρο: $(\mathrm{x},\mathrm{y},\mathrm{z})$ καθώς επίσης και από τις συντεταγμένες της ορμής του: $(m\cdot V_x, m\cdot V_y, m\cdot V_z)$
Επομένως από τη σκοπιά της Αναλυτικής Δυναμικής, ο Φυσικός Χώρος που ορίζεται εδώ, που δεν μπορεί να ταυτιστεί με κάποιον αντίστοιχο μορφικό χώρο λόγω της ύπαρξης ανολόνομων συνδέσμων, (σύνορο του κλειστού θερμοδυναμικού συστήματος) και που στον οποίο προφανώς λαμβάνουν χώρα τα εκάστοτε φυσικά φαινόμενα που μελετούμε, αποτελείται συνολικά από 6 διαστάσεις: $(\mathrm{x},\mathrm{y},\mathrm{z}, m\cdot V_x, m\cdot V_y, m\cdot V_z)$
Ο χώρος αυτός υποδιαιρείται σε ένα μεγάλο αριθμό **n** στοιχειωδών περιοχών ή κελιών, που προφανώς η κάθε μια έχει επίσης 6 διαστάσεις, έτσι ώστε κάθε σωματίδιο ανάλογα με τις συντεταγμένες του να τοποθετείται σε ένα κελί.
Σύμφωνα με τις εκάστοτε υποθέσεις που ακολουθούμε ως προς τη φύση των διακριτών σωματιδίων, (διακεκριμένα ή ταυτόσημα), (περιορισμένης ή απεριόριστης χωρητικότητας), κτλ, μπορούμε να δημιουργήσουμε διάφορα μοντέλα.

Τα βασικότερα μοντέλα είναι τα ακόλουθα:

1.- Maxwell - Boltzman

Υποθέτουμε ότι: τα **κ** στοιχειώδη σωματίδια και οι **n** στοιχειώδεις περιοχές ή κελιά είναι μεταξύ τους διακεκριμένα. Επομένως το πλήθος των δυνατών κατανομών των σωματιδίων στα κελιά είναι: n^{κ}
Παράλληλα γίνεται η παραδοχή, ότι αυτές οι κατανομές είναι ισοπίθανες πράγμα που μπορεί να επιτευχθεί με κατάλληλη χωροθέτηση των κελιών και επομένως κάθε μία έχει πιθανότητα: $\frac{1}{n^{\kappa}}$

Η πιθανότητα να υπάρχουν r_j διακεκριμένα σωματίδια στο τυχαίο j κελί δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$p(r_1, r_2, ..., r_n, \kappa) = \frac{\kappa}{r_1! r_2! ... r_n!} \cdot \left(\frac{1}{n}\right)^{\kappa} \qquad \textbf{(5.1)}$$

Πρέπει όμως εδώ να τονιστεί, ότι στη σύγχρονη Μοριακή Φυσική έχει αποδειχτεί ότι το παραπάνω μοντέλο δεν περιγράφει συμπεριφορά γνωστών σωματιδίων.

2.- Bose – Einstein

Ως προς τα σωματίδια, υποθέτουμε ότι όλα είναι μεταξύ τους ταυτόσημα. Επομένως το πλήθος των δυνατών κατανομών είναι: $\binom{n+\kappa-1}{\kappa}$. Παράλληλα, όπως και στο προηγούμενο μοντέλο γίνεται η παραδοχή ότι αυτές οι κατανομές είναι ισοπίθανες επομένως κάθε μία έχει πιθανότητα: $\dfrac{1}{\binom{n+\kappa-1}{\kappa}}$

Η πιθανότητα να υπάρχουν r τον αριθμό διακεκριμένα σωματίδια στο τυχαίο κελί δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$p(r,n,\kappa) = \frac{\binom{n+\kappa-r-2}{\kappa-r}}{\binom{n+\kappa-1}{\kappa}} \qquad \textbf{(5.2)}$$

3.- Fermi – Dirac

Ως προς τα σωματίδια, υποθέτουμε ότι όλα είναι μεταξύ τους ταυτόσημα και επίσης κάθε κελί μπορεί να δεχτεί ένα και μόνο ένα σωματίδιο.

Ο αριθμός των δυνατών κατανομών είναι: $\binom{n}{k}$

Παράλληλα, όπως και στα προηγούμενα μοντέλα γίνεται η παραδοχή ότι αυτές οι κατανομές είναι ισοπίθανες επομένως κάθε μία έχει πιθανότητα: $\dfrac{1}{\binom{n}{k}}$

Η πιθανότητα να υπάρχει μια ομάδα διακεκριμένων σωματιδίων πλήθους s στο τυχαίο κελί δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$p(r,s,n,\kappa) = \frac{\binom{s}{r}\cdot\binom{n-s}{\kappa-r}}{\binom{n}{\kappa}} \qquad \textbf{(5.3)}$$

Θυμίζουμε ότι από στοιχειώδη Συνδυαστική, προφανώς ισχύει: $\binom{n}{k} = \dfrac{n!}{k!\cdot(n-k)!}$

Ως προς την έκφραση της κατανομής Maxwell – Boltzman, μπορούμε να δώσουμε την παρακάτω μορφή που είναι καταλληλότερη για υπολογισμούς, καθώς συμμετέχει και η στατιστική έκφραση της ολικής ταχύτητας των μορίων V :

$$f(V) = K_1 V^2\, EXP\left(-K_2\cdot V^2\right) \qquad \textbf{(5.4)}$$

Αποδεικνύεται εύκολα με υπολογισμό πρώτης και δεύτερης παραγώγου, μέσω στοιχειώδους Απειροστικού Λογισμού, ότι η παραπάνω συνάρτηση παρουσιάζει ολικό μέγιστο στο στάσιμο σημείο (stationary point): $V = \dfrac{1}{\sqrt{K_2}}$, το οποίο προφανώς αντιστοιχεί στην πιο πιθανή ταχύτητα των μορίων.

Όμως έχουμε ήδη αναφέρει, ότι επειδή 1 atm = 1.033 bar, μπορούμε να θεωρήσουμε τον αέρα του κτιριακού περιβάλλοντος ως ιδανικό αέριο, με σχετική μοριακή μάζα ίση με 29, για το οποίο ισχύει προφανώς η γνωστή καταστατική εξίσωση των ιδανικών αερίων:

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T \qquad \textbf{(5.5)}$$

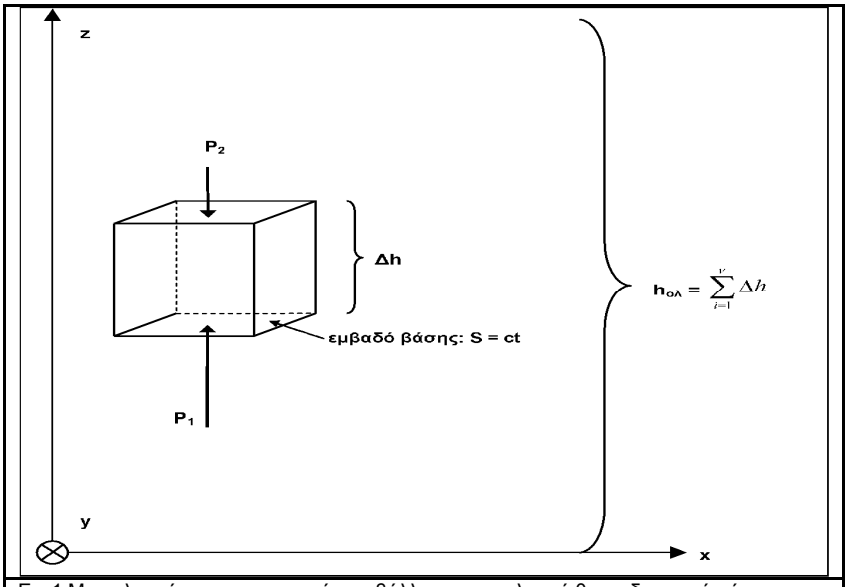
Αν επιχειρήσουμε να μελετήσουμε την κατανομή των μορίων του αέρα στο κτιριακό περιβάλλον, θεωρώντας ότι το τελευταίο είναι συνάρτηση του ύψους h από τη στάθμη έδαφος ή γενικότερα τη στάθμη αναφοράς, και παράλληλα ότι ο όγκος του κλειστού θερμοδυναμικού συστήματος ταυτίζεται με τον όγκο του κτιριακού περιβάλλοντος, (επομένως είναι σταθερός), τότε η καταστατική εξίσωση **(5.5)**, γράφεται ισοδύναμα ως εξής:

$$P = \frac{n(h)}{V} \cdot R \cdot T \qquad \textbf{(5.6)}$$

Εν συνεχεία, όπως φαίνεται και στο παρακάτω ενδεικτικό σχήμα, εάν διαμερίσουμε το εκάστοτε κτιριακό περιβάλλον, σε στοιχειώδη, (**όχι απειροστά**), ορθογώνια παραλληλεπίπεδα **σταθερής** όμως και προφανώς **πεπερασμένης** βάσης S, όπου το κάθε ένα έχει στοιχειώδες ύψος Δh, υποθέτοντας παράλληλα ότι σε καθένα από αυτά η κατανομή των μορίων του αέρα παραμένει σταθερή, τότε για το καθένα από τα εν λόγω στοιχειώδη ορθογώνια η παραπάνω σχέση γράφεται ως εξής:

$$\Delta P \cdot S = n(h) \cdot S \cdot \Delta h \cdot m \cdot g \qquad \textbf{(5.7)}$$

όπου m η μάζα ενός μορίου του αέρα.



Εικ.1 Μοντελοποίηση του κτιριακού περιβάλλοντος ως κλειστό θερμοδυναμικό σύστημα

Οι πλευρικές πιέσεις που ασκούνται σε καθένα από αυτά τα ορθογώνια παραλληλεπίπεδα, μπορούμε να θεωρήσουμε πως είναι ίσες μεταξύ τους, ενώ η διαφορά $\Delta P = P_2 - P_1$ στις βάσεις του καθενός ορθογωνίου είναι το ουσιαστικά το αίτιο που «συγκρατεί» τα μόρια εντός του συγκεκριμένου πεπερασμένου όγκου.
Επομένως ισχύει:

$$\Delta P = P_1 - P_2 = n(h) \cdot R \cdot T - n(h + \Delta h) \cdot R \cdot T \qquad \textbf{(5.8)}$$

Από τις δύο τελευταίες σχέσεις προκύπτει ότι:

$$\frac{n(h+\Delta h) - n(h)}{\Delta h} = -n(h) \cdot \frac{m \cdot g}{R \cdot T} \qquad \textbf{(5.9)}$$

Αν υποθέσουμε ότι κάθε μόριο του αέρα έχει στοιχειώδη μάζα m, τότε για $\Delta h \to 0$, προκύπτει η παρακάτω συνήθης διαφορική εξίσωση:

$$\frac{d}{dh}(n(h)) = -n\,(h) \cdot \frac{m \cdot g}{R \cdot T} \qquad \textbf{(5.10)}$$

όπου g η επιτάχυνση της βαρύτητας.

Δεχόμενοι επίσης ότι η θερμοκρασία του κτιριακού περιβάλλοντος παραμένει σε εκείνη τη φάση σταθερή, η παραπάνω συνήθης διαφορική εξίσωση γίνεται προφανώς ολοκληρώσιμη μέσω της μεθόδου μεταβολής των παραμέτρων, (Μέθοδος Lagrange) και η λύση της είναι:

$$n\,(h) = n_0 \cdot EXP\left(-\frac{(\sum_{i=1}^{N} m_i) \cdot g}{R \cdot T} \cdot h\right) \qquad \textbf{(5.11)}$$

όπου N ο αριθμός Avogadro = $6.023 \cdot 10^{23}$
και n_0 = n για h=0.

Άρα η στατική πίεση για ιδανικό αέριο είναι:

$$\mathrm{P} = \rho \cdot R^* \cdot T = n_0 \cdot EXP\left(-\frac{(\sum_{i=1}^{N} m_i) \cdot g}{R \cdot T} \cdot h\right) \cdot R^* \cdot T \qquad \textbf{(5.12)}$$

Επομένως βάσει της παραπάνω απλοποιητικής αναλυτικής μεθόδου μπορούμε να υπολογίσουμε τον αριθμό των moles του αέρα του κτιριακού περιβάλλοντος και μάλιστα μέσω έκφρασης κλειστής μορφής, θεωρώντας το τελευταίο ως **κλειστό θερμοδυναμικό σύστημα**.

5.2 Διάχυση – Νόμος του Fick

Με τον όρο διάχυση, καλούμε γενικά την τάση που υπάρχει στη φύση για ομογενοποίηση. Δηλαδή την τάση για εξίσωση της πυκνότητας, κάθε συστατικού ενός μίγματος σε όλο το χώρο που αυτό καταλαμβάνει. Επομένως προκύπτει το συμπέρασμα ότι απαραίτητη προϋπόθεση για να συμβεί διάχυση, είναι η χωρική κατανομή των μορίων του υλικού να μην είναι ομοιογενής. Η τάση λοιπόν για ομογενοποίηση εκφράζεται πολύ συγκεκριμένα σε συστήματα πολλών σωματίων με τη μετακίνηση αυτών από περιοχές με μεγάλη συγκέντρωση σε περιοχές με μικρότερη, ώστε τελικά να επέρχεται ομογενοποίηση.
Ονομάζουμε συγκέντρωση C τον αριθμό των σωματίων dn που περιέχονται σε έναν όγκο dV, δια του όγκου αυτού, δηλαδή:

$$C = \frac{dn}{dV} \qquad \textbf{(5.13)}$$

Επίσης, ονομάζουμε πυκνότητα ρεύματος σωματίων J, τον καθαρό αριθμό των σωματίων που περνά από μια επιφάνεια κάθετη στη διεύθυνση της διάχυσης και σε χρόνο dt, δηλαδή

$$J = \frac{dn}{d\,S \cdot dt} \qquad \textbf{(5.14)}$$

όπου S το εμβαδό της επιφάνειας.
Σε ομοιογενή περιοχή, προφανώς η πυκνότητα ρεύματος των σωματίων είναι μηδέν. Αν όμως η κατανομή των μορίων δεν είναι ομοιογενής, τότε η συγκέντρωση ποικίλλει από σημείο σε σημείο. Έχει διαπιστωθεί πειραματικά ότι η πυκνότητα ρεύματος σωματίων J είναι ανάλογος της βαθμίδας συγκέντρωσης $\frac{d\,C}{dx}$.
Επομένως ο νόμος του Fick διατυπώνεται ως εξής:

$$J = -D \cdot \frac{dC}{dx} \qquad \textbf{(5.15)}$$

όπου D είναι ο συντελεστής διάχυσης και εξαρτάται από την ουσία που διαχέεται.
Το αρνητικό πρόσημο δηλώνει ότι η καθαρή ροή γίνεται προς τα εκεί που ελαττώνεται η συγκέντρωση.

Η βασική όμως δομή της τύρβης στερεού σώματος, αποτελείται από δίνες και στροβίλους ενός μεγάλου φάσματος μεγεθών. Μέσα σε μια δίνη οι μοριακές επιδράσεις του δυναμικού ιξώδους είναι όντως σημαντικές αλλά η αλληλεπίδραση όλων αυτών των δινών καλύπτει τις μοριακές επιδράσεις σχεδόν απόλυτα από την άποψη τουλάχιστον ενός ακίνητου παρατηρητή.
Υπάρχει όμως ειδοποιός διαφορά στις **τάξεις μεγέθους** των συγκρινόμενων τυρβωδών και μοριακών ποσοτήτων που μπορεί να τελικά να εξηγήσει το *γιατί* οι στατιστικές μέθοδοι που είναι όπως ξέρουμε εξαιρετικά επιτυχημένες για τη μοριακή θεώρηση των ρευστών δεν έχουν ανάλογη επιτυχία όταν εφαρμοστούν στην τύρβη.
Για παράδειγμα, για αέρα κινούμενο με μέση ταχύτητα περίπου 100 m / sec, οι δίνες (eddies) έχουν τυπική διάσταση περίπου 1mm. Αυτή η διάσταση μπορεί πολύ εύκολα να είναι του ίδιου μεγέθους με μια σημαντική διάσταση του συστήματος ροής π.χ. το πάχος του οριακού στρώματος. Είναι λοιπόν πολύ πιθανόν ότι οι «ενεργές ιδιότητες» της τυρβώδους ροής θα επηρεάζονται ισχυρά από το σύστημα, δηλαδή οι ενεργές ιδιότητες του ρευστού δεν είναι μόνο ιδιότητες του ρευστού αλλά όλου του συστήματος.
Επομένως οι φαινομενολογικές προσεγγίσεις της τύρβης κρίνονται ως οι καταλληλότερες.

Βιβλιογραφία 5ου κεφαλαίου

1.- Dwass M. «Probalitity and Statistics», W.A. Benjamin, inc. New York, 1970
2.-Fiesz M. «Probalitity Theory Mathematical Statistics» 3rd edition Wiley New York, 1963
3.- Santamouris M. and Asimakopoulos D. «Passive cooling of buildings» James and James (Science Publishers Ltd.), 1996.

4.-Serway R. «Physics for Scientists & Engineers with Modern Physics Volume III Thermodynamics» Saunders College Publishing, London 1990

5.-Tassios D. «Εφαρμοσμένη Θερμοδυναμική Χημικής Μηχανικής» Πανεπιστημιακές εκδόσεις ΕΜΠ, 2001

Πηγές Διαδικτύου

6. - http://www.jersey.uoregon.edu/vlab/
7. - http://www.cord.edu/dept/physics/drphysics/surf.html
8. - http://www.mip.berkeley.edu/physics/physics.htm
9. - http://www.ase.org.uk/physics.html
10.- http://www.home.hockaday.org/Hockaday/Net/academic/physics/
11.- http://www.rubitherm.com
12.- http://www.climator.com
13.- http://www.cristopia.com

Κεφάλαιο 6 Αρχιτεκτονικός σχεδιασμός των κτιρίων και εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας

6.1 Χαρακτηριστικά της τυρβώδους ροής του ανέμου κοντά σε κτίρια.

Όπως γνωρίζουμε, η κίνηση των σωματιδίων του ρευστού κατά την τυρβώδη ροή, μοιάζει σε μεγάλο βαθμό με τη θερμική κίνηση των μορίων, (κίνηση Brown). Έτσι κατά την τυρβώδη ροή, εκτός από μοριακή ανάμειξη συμβαίνει και μακροσκοπική ανάμειξη των γειτονικών στρωμάτων του ρευστού, η οποία είναι πολύ πιο έντονη από την πρώτη. Το κύριο λοιπόν γνώρισμα της τυρβώδους ροής, είναι ότι οι ιδιότητες του ρευστού σε τυχόν σημείο του πεδίου διακυμαίνονται συνεχώς και κατά εντελώς τυχαίο τρόπο.
Έτσι, ενώ στη στρωτή ροή η τοπική ταχύτητα δεν μεταβάλλεται με την πάροδο του χρόνου, στην τυρβώδη ροή η τοπική ταχύτητα του ρευστού παρουσιάζει ακανόνιστη συνεχή διακύμανση μεγάλης συχνότητας.
Η τυχαία διακύμανση των ιδιοτήτων του ρευστού, καθιστά ουσιαστικά αδύνατη την πλήρως αναλυτική περιγραφή της τυρβώδους ροής, σε αντίθεση με τη στρωτή ροή η οποία μπορεί να περιγραφεί θεωρητικά πλήρως.
Η τυχαία διακύμανση των ιδιοτήτων του ρευστού στην τυρβώδη ροή, θεωρείται ότι μπορεί να περιγραφεί αναλυτικά με τη χρήση στατιστικών μέσων όρων.
Γενικά η τύρβη εμφανίζεται σε ροές όπου κυριαρχούν οι ιξώδεις διατμητικές τάσεις οι οποίες οφείλονται *είτε σε μεγάλες τιμές των βαθμιδών της ταχύτητας* $\nabla \vec{V}$ *, είτε και σε ασυνέχειες της ταχύτητας* (θυμίζουμε ότι η βαθμίδα της ταχύτητας είναι συμμετρικός τανυστής δεύτερης τάξης).
Στην πρώτη περίπτωση η τύρβη ονομάζεται τύρβη στερεού σώματος, ενώ στη δεύτερη ελεύθερη τύρβη.
Η περίπτωση της τύρβης του ανέμου κοντά σε κτίρια, θεωρείται προφανώς τύρβη στερεού σώματος, (wall - turbulence), επομένως είναι αναμενόμενες μεγάλες βαθμίδες ταχύτητας.
Βασικό χαρακτηριστικό της τύρβης στερεού σώματος είναι ότι είναι αυτοδιατηρούμενη, (self – preserving), με την πάροδο του χρόνου, δηλαδή μακροσκοπικά το φαινόμενο μπορεί να θεωρηθεί ως στάσιμο πλησίον του στερεού σώματος. Γι' αυτό όπως θα δούμε και παρακάτω μπορούμε να δεχτούμε την υπόθεση Taylor για τη μελέτη της ροής του ανέμου γύρω από εδρασμένο εμπόδιο.
Όπως γνωρίζουμε, η βασική δομή της τύρβης στο ατμοσφαιρικό οριακό στρώμα αποτελείται από δίνες και στροβίλους ενός μεγάλου φάσματος μεγεθών. Μέσα σε μια δίνη οι μοριακές επιδράσεις του δυναμικού ιξώδους είναι όντως σημαντικές αλλά η αλληλεπίδραση όλων αυτών των δινών καλύπτει τις μοριακές επιδράσεις σχεδόν απόλυτα από την άποψη τουλάχιστον ενός παρατηρητή. Υπάρχει όμως ουσιαστική διαφορά στις **τάξεις μεγέθους** των διαφόρων τυρβωδών και μοριακών ποσοτήτων που μπορεί να εξηγήσει *γιατί* οι στατιστικές μέθοδοι που είναι όπως ξέρουμε εξαιρετικά επιτυχημένες για τη μοριακή θεώρηση των ρευστών δεν έχουν ανάλογη επιτυχία όταν εφαρμοστούν στην τύρβη.
Για παράδειγμα, για αέρα κινούμενο με μέση ταχύτητα περίπου 100 m / sec, οι δίνες, (eddies), έχουν τυπική διάσταση περίπου 1mm. Αυτή η διάσταση μπορεί πολύ εύκολα να είναι του ίδιου μεγέθους με μια σημαντική διάσταση του συστήματος ροής π.χ. το πάχος του οριακού στρώματος. Είναι λοιπόν πολύ πιθανόν ότι οι «ενεργές ιδιότητες» της τυρβώδους ροής θα επηρεάζονται ισχυρά από το σύστημα, δηλαδή οι ενεργές ιδιότητες του ρευστού δεν είναι μόνο ιδιότητες του ρευστού αλλά όλου του συστήματος.
Εν τούτοις, οι μη μόνιμης κατάστασης, (non steady – state motion), εξισώσεις συνέχειας και Navier – Stokes περιγράφουν ακριβώς την τυρβώδη ροή, επειδή οι δίνες είναι πολύ μεγαλύτερες από τη μέση μοριακή ελεύθερη διαδρομή και οι τυρβώδεις διακυμάνσεις δεν είναι υπερβολικά γρήγορες.
Άρα η τύρβη μπορεί να προσομοιωθεί μαθηματικά και έτσι μπορεί να γίνει διαχωρισμός μεταξύ των επιρροών της τύρβης και του συστήματος. Βάσει των παραπάνω, οδηγούμαστε στο συμπέρασμα ότι οι φαινομενολογικές προσεγγίσεις τις τύρβης, (υπόθεση Taylor, μοντέλα τύρβης κτλ), υπερέχουν έναντι των προσεγγίσεων μέσω στατιστικών μεθόδων.
Κατά την τυρβώδη ροή εκτός από μοριακή ανάμειξη συμβαίνει και μακροσκοπική ανάμειξη των γειτονικών στρωμάτων του ρευστού.
Επίσης στην τυρβώδη ροή αντίθετα με τη στρωτή όπου το μέσο πεδίο ταχύτητας είναι μονοδιάστατο, δεν υπάρχει αντίστοιχη σχέση που συνδέει τη διατμητική τάση με την βαθμίδα της ταχύτητας. Επομένως λαμβάνουν χώρα τυχαίες τρισδιάστατες διακυμάνσεις της ταχύτητας που μεταφέρουν ορμή διαμέσου των ροϊκών γραμμών της μέσης κίνησης, με αποτέλεσμα την αύξηση της ενεργού διατμητικής τάσης, η οποία όπως θα δούμε παρακάτω εξαρτάται από το ενεργό ιξώδες: μ_{eff} και υπολογίζεται με χρήση μοντέλων τύρβης.
Η συνάρτηση που μας δίνει το ποσόν της τυρβώδους κινητικής ενέργειας για διάφορα μήκη κύματος καλείται φάσμα της τύρβης.
Έχει διαπιστωθεί πειραματικά, ότι οι αντιστάσεις που αναπτύσσονται κατά την ιξώδη ροή ρευστών, αυξάνονται σημαντικά όταν η ροή μετατρέπεται από στρωτή σε τυρβώδη. Για να είναι δυνατόν αυτό, στην τυρβώδη ροή, πρέπει να αναπτύσσονται εκτός από τις τάσεις που οφείλονται στην μοριακή κίνηση του ρευστού και τάσεις που οφείλονται στην τυρβώδη κίνηση των σωματιδίων του. Οι τάσεις αυτές είναι γνωστές ως τυρβώδεις τάσεις ή τάσεις Reynolds και συμμετέχουν στην εξίσωση διατήρησης ορμής.

6.2 Υπόθεση Taylor

Είναι συνηθισμένο να αναφέρεται κανείς σε στροβίλους (eddies) όταν περιγράφει ποιοτικά την τύρβη. Ένας στρόβιλος δεν είναι μια καθορισμένη δομή ή χαρακτήρας της ροής που να μπορεί να απομονωθεί και να τον ακολουθήσει κανείς προκειμένου να μελετήσει τη συμπεριφορά του. Βάσει της στατιστικής ανάλυσης και των ευρύτερα αποδεκτών μαθηματικών μοντέλων, θεωρείται ότι η τύρβη αποτελείται από μια ιεραρχία στροβίλων ενός ευρέως φάσματος μεγεθών (κλιμάκων μήκους) που ξεκινά από τους μικρότερους που μπορούν να υπάρξουν παρά την καταναλωτική δράση του έργου των ιξωδών τάσεων, μέχρι τους μεγαλύτερους που επιτρέπουν οι γεωμετρικοί περιορισμοί της ροής. Για το ατμοσφαιρικό οριακό στρώμα το εύρος των μεγεθών των στροβίλων είναι από 10^{-3} έως 10^{3} m. Από το μεγάλο και συνεχές εύρος των κλιμάκων στην τυρβώδη ροή, λίγες ωστόσο έχουν ειδική σημασία και χρησιμοποιούνται για το χαρακτηρισμό της φύσης της ροής. Η μία είναι η χαρακτηριστική κλίμακα των μεγάλων στροβίλων (large eddy scale or macroscale) της τύρβης, που αντιπροσωπεύει το μήκος l ή την χρονική κλίμακα των στροβίλων που παίρνουν την περισσότερη ενέργεια από τη μέση ροή. Η άλλη είναι η χαρακτηριστική κλίμακα των μικρών στροβίλων, (small eddy scale or microscale), της τύρβης που αντιπροσωπεύει το μήκος n ή τη χρονική κλίμακα των περισσότερο καταναλωτικών στροβίλων. Ο λόγος $\frac{l}{n}$ είναι ανάλογος της ποσότητας $\mathrm{Re}^{3/4}$ και για το ατμοσφαιρικό οριακό στρώμα δεχόμαστε ότι είναι περίπου 10^5, δηλαδή:

$$\frac{l}{n} \sim \left(\frac{\rho \cdot V^2 / L}{\mu \cdot U / L^2} \right)^{3/4} \qquad \textbf{(6.1)}$$

Η μακροκλίμακα της τύρβης, είναι γενικά συγκρίσιμη σε τάξη μεγέθους σε σχέση με τη χαρακτηριστική κλίμακα της μέσης ροής και δεν εξαρτάται από τις μοριακές ιδιότητες του ρευστού.
Αντίθετα η μικροκλίμακα εξαρτάται από το κινηματικό ιξώδες και το ρυθμό απορρόφησης ενέργειας του ρευστού. Ο G. Taylor εισηγούμενος την ακόλουθη φαινομενολογική θεώρηση, είχε προτείνει σε κάποιες περιπτώσεις η τύρβη *να θεωρείται αμετάβλητη, δηλαδή ισότροπη,* καθώς διέρχεται μπροστά από όργανα μέτρησης ταχύτητας, (π.χ. ανεμόμετρα lazer – doopler), μετακινούμενη από τη μέση ροή. Έτσι η ταχύτητα του ανέμου είναι δυνατόν να χρησιμοποιείται για να μετασχηματίζονται μετρήσεις της τύρβης σαν συνάρτηση του χρόνου από τις αντίστοιχες μετρήσεις στο χώρο. Αυτή η απλοποίηση του παγωμένου πεδίου, (frozen field), μπορεί να χρησιμοποιείται μόνο στις περιπτώσεις που οι τυρβώδεις στρόβιλοι εξελίσσονται σε μια κλίμακα χρόνου μεγαλύτερη από χρονικό διάστημα που χρειάζεται ο στρόβιλος για να διέλθει μπροστά από το όργανο μέτρησης.
Θεωρούμε μια εγκάρσια διανομή της μέσης ροής του ανέμου, (wind distribution), με συνιστώσες της ταχύτητας αδιατάρακτης ροής: V_x, V_y. Προφανώς το μέτρο της ταχύτητας είναι:

$$\left| \vec{V} \right| = \sqrt{V_x^2 + V_y^2} \qquad \textbf{(6.2)}$$

Κάνουμε τη βασική παραδοχή ότι ο στρόβιλος, (ο οποίος έστω έχει μέση διάμετρο d), μεταφέρεται στο επίπεδο των συνιστωσών V_x, V_y με μέση ταχύτητα μέτρου:

$$\left| \vec{V} \right| = \sqrt{V_x^2 + V_y^2} \qquad \textbf{(6.3)}$$

Προφανώς η χρονική περίοδος προκειμένου να περάσει ο στρόβιλος μπροστά από τον αισθητήρα είναι:

$$\mathrm{T} = \frac{d}{\left| \vec{V} \right|} \qquad \textbf{(6.4)}$$

Από την παραπάνω σχέση είναι προφανές ότι οι μικροί στρόβιλοι έχουν μικρότερη χρονική περίοδο από ότι οι μεγάλοι στρόβιλοι. Κατά τη χρονική περίοδο αυτή δεχόμαστε ότι οι ιδιότητες τόσο του αέρα όσο και της ροής εντός του στροβίλου, μένουν αμετάβλητες κατά τη δυσδιάστατη μετακίνηση[1] του στροβίλου
Η τοπική μεταβολή της ολικής πίεσης (βαρομετρικής και μανομετρικής) που ασκεί ο άνεμος δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$\frac{\partial P}{\partial t} = -\sqrt{V_x^2 + V_y^2 + V_z^2} \cdot \frac{\partial P}{\partial x} \qquad \textbf{(6.5)}$$

[1] Η εν λόγω κίνηση του στροβίλου θεωρείται επαλληλία μεταφορικής και περιστροφικής κίνησης απολύτως στερεού σώματος (rigid body). Προφανώς η στροφορμή διατηρείται σε όλες τις κλίμακες στροβίλων κατά μήκος της διεύθυνσης της μεταφορικής κίνησης

Η τελευταία σχέση προφανώς ευσταθεί και διαστατικά.

Σε περίπτωση που η τύρβη είναι ισότροπη ισχύει:

$$\overline{\widetilde{V}_x^{\,2}} = \overline{\widetilde{V}_y^{\,2}} = \overline{\widetilde{V}_z^{\,2}} \qquad \textbf{(6.6)}$$

Η ένταση της τύρβης στους άξονες x,y,z δίνεται από τη σχέση:

$$I_i = \frac{\sqrt{\overline{\widetilde{V}_i^{\,2}}}}{\overline{V}_i} \qquad \textbf{(6.7)}$$

όπου i = x,y,z

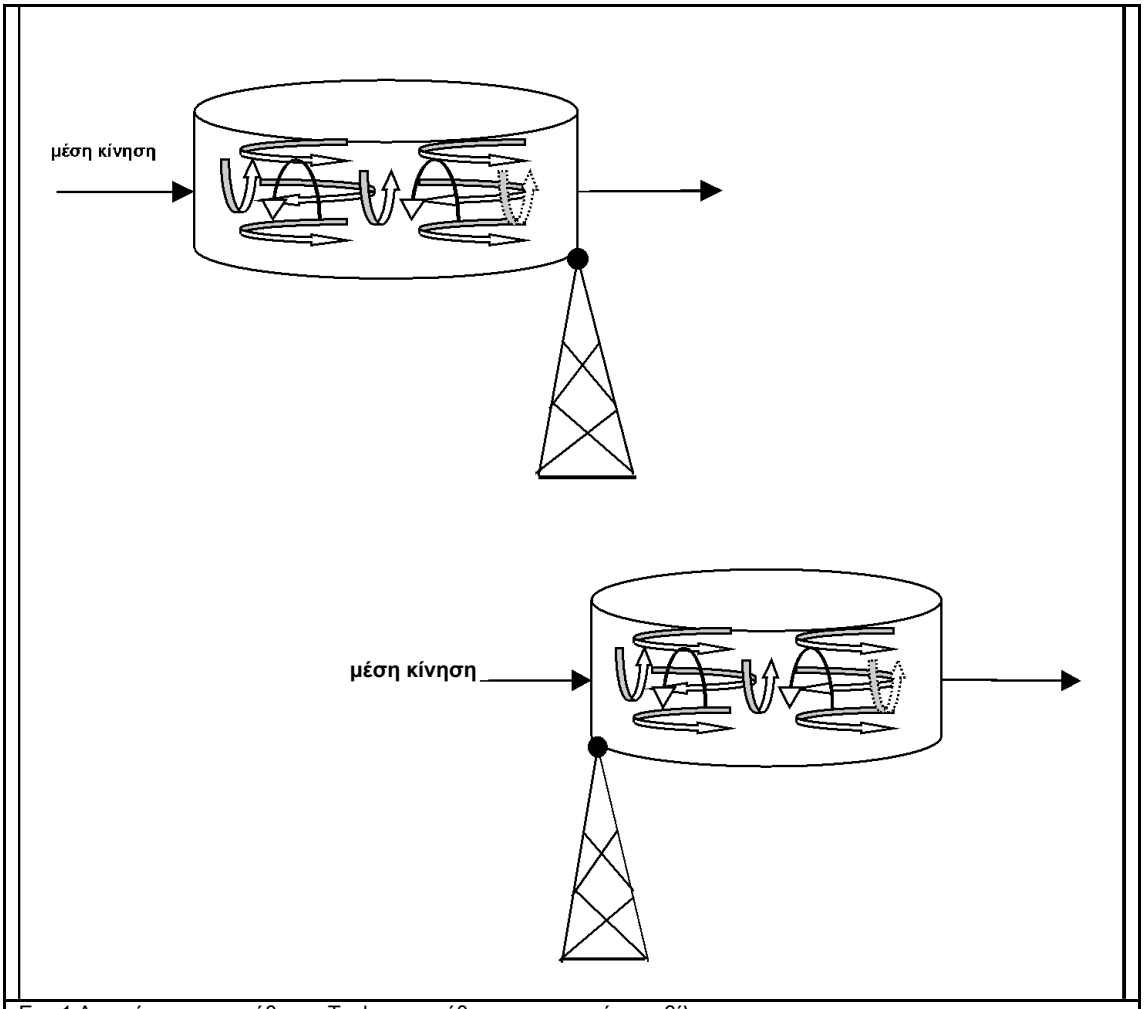
Επίσης, για ισότροπη τύρβη ισχύει:

$$I = \frac{\sqrt{\overline{\widetilde{V}_x^{\,2}}}}{\overline{V}_x} = I_x = I_y = I_z \qquad \textbf{(6.8)}$$

Για κάθε ιδιότητα ξ που χαρακτηρίζει ένα πεδίο τυρβώδους ροής, η υπόθεση Taylor συνεπάγεται ότι η τύρβη παραμένει αμετάβλητη αν και μόνο αν ισχύει η παρακάτω σχέση:

$$\frac{d\xi}{dt} = 0 \Leftrightarrow$$

$$\frac{\partial \xi}{\partial t} = -V_x \frac{\partial \xi}{\partial x} - V_y \frac{\partial \xi}{\partial y} - V_z \frac{\partial \xi}{\partial z} \qquad \textbf{(6.9)}$$



Εικ. 1 Απεικόνιση της υπόθεσης Taylor για ισόθερμη μεταφορά στροβίλου

6.3 Υπολογισμός της δυναμικής πίεσης του ανέμου

Οι βασικοί τρόποι μοντελοποίησης του ανέμου που πλήττει μια κατασκευή είναι οι ακόλουθοι τρεις:

1.- Μοντελοποίηση του ρευστού ως συνεχούς μέσου, με χρήση των μεθόδων υπολογιστικής ρευστομηχανικής ή ακόμα και αναλυτικών μεθόδων π.χ. σύμμορφη απεικόνιση. Στη μέθοδο αυτή θα αναφερθούμε ιδιαίτερα, στο κεφάλαιο 8.

2.- Διαστατική ανάλυση της ροής, αναγωγή πειραματικών μοντέλων σε πλήρη κλίμακα και στατιστική επεξεργασία.

Παράλληλα σύμφωνα με το Ευρωπαϊκό Πρότυπο EN1991 – 1 – 4 προκειμένου να απλοποιηθεί η διαδικασία της εισαγωγής των δράσεων λόγω ανέμου στις κατασκευές, που είναι εξαιρετικά περίπλοκη όπως αναφέραμε, λόγω της ανάπτυξης έντονων τυρβωδών φαινομένων μεταφοράς, που εξαρτώνται από τους προαναφερθέντες παράγοντες και η μοντελοποίησή τους είναι δυσχερέστατη. Θα μπορούσαμε να χαρακτηρίσουμε λοιπόν την ταχύτητα του ανέμου ως τυχαία μεταβλητή (random variable).
Η βασική ταχύτητα του ανέμου αναφέρεται και στο EN 1991 – 1 – 4 ως η ταχύτητα αναφοράς του ανέμου και αντιστοιχεί στην μέση ταχύτητα στα 10 m πάνω από επίπεδο γυμνό έδαφος, λαμβάνοντας το μέσο όρο για μια περίοδο 10 min με περίοδο επαναφοράς 50 ετών.
Σύμφωνα με τους Γερμανικούς Κανονισμούς DIN 1055 – 4 (2004) ισχύει η ακόλουθη προσεγγιστική σχέση, που προέκυψε από διαστατική ανάλυση της ροής του ανέμου και στατιστική επεξεργασία:

$$V_N \approx V_{50} \cdot \frac{1 + 0.12 \cdot \ln N}{1.47} \qquad \textbf{(6.10)}$$

όπου N είναι ο αριθμός των ετών από τη στιγμή λειτουργίας της εν λόγω κατασκευής.

Με διαστατική ανάλυση και στατιστική επεξεργασία προκύπτει η ακόλουθη έκφραση για τη δύναμη του ανέμου:

$$F = C \cdot q \cdot A \qquad \textbf{(6.11)}$$

όπου

F : Γενικευμένη δύναμη ανέμου (μέση τιμή) λαμβάνει χώρα εν γένει σε μορφικό χώρο (configuration space)

q : velocity pressure

A : επιφάνεια (μέτωπο) προσβολής (wind attack area)

Όπως έχουμε αναφέρει και στο κεφάλαιο **2**, η εγκάρσια διανομή των ταχυτήτων εντός του ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος, προσεγγίζει την εκθετική μορφή $\overline{V} = C \cdot h^{a}$ όπου οι σταθερές **C** και **α** εξαρτώνται από την τραχύτητα του εδάφους και τις διάφορες προεξοχές του κυρίως στο δομημένο περιβάλλον.
Αν επομένως είναι γνωστή η τιμή της μέσης ταχύτητας για μια τιμή του υψομέτρου y, με στάθμη αναφοράς την επιφάνεια της θάλασσας, τότε η παραπάνω σχέση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό της ταχύτητας (π.χ. σε μια εξαόροφη πολυκατοικία).

$$\frac{\overline{V}_2}{\overline{V}_1} = \frac{h_2^{\alpha}}{h_1^{\alpha}} \qquad \textbf{(6.12)}$$

όπου α= 0.28 για περιοχές χαμηλής δόμησης και α = 0.40 για περιοχές υψηλής δόμησης.

Επομένως η δυναμική πίεση καθ' ύψος λόγω του ανέμου, με εφαρμογή της εξίσωσης Bernoulli, δίνεται από τη σχέση: $P_2 = \frac{1}{2}\rho \cdot V_2^{\,2} \Leftrightarrow$

$$P_2 = \frac{1}{2}\rho \left(\frac{h_2}{h_1}\right)^{\alpha} \cdot \overline{V}_1 \qquad \textbf{(6.13)}$$

όπου στην προκειμένη περίπτωση το υψόμετρο αναφοράς h_1 και η ταχύτητα $\overline{V}_1$ θεωρούνται γνωστά μεγέθη.

Παράλληλα σε εργασία του Davenport [10], η μορφή της εξίσωσης του παραπάνω γενικού εκθετικού νόμου συγκεκριμενοποιείται ανάλογα με το εκάστοτε τοπογραφικό ανάγλυφο ως εξής:

$$\overline{V}(z) = \beta \cdot V_{m,II,10} \cdot \left(\frac{z}{10}\right)^{\alpha} \qquad \textbf{(6.13A)}$$

Επίσης, όπως αναφέραμε και στο κεφ. 2, σύμφωνα με το πνεύμα των Ευρωκωδίκων, για την περιγραφή της δράσης του ανέμου σε μια κατασκευή απαιτούνται οι μέγιστες ταχύτητες του ανέμου που έχουν περίοδο επαναφοράς 50 έτη.

Προφανώς η περίοδος επαναφοράς ορίζει και την πιθανότητα μη υπέρβασης της οριζόμενης μέγιστης τιμής της ταχύτητας του ανέμου, για την διάρκεια ενός έτους: $p = 1 - \frac{1}{T} = 1 - \frac{1}{50} = 0.98$

Σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 3 (ENV 1993 – 1 – 1), η μέση ταχύτητα μεταβάλλεται καθ' ύψος σύμφωνα με την ακόλουθη σχέση:

$$\overline{V}(z) = k_t \cdot V_{m,II,10} \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \quad \text{για } z_{min} < z < 200 \text{ m} \qquad \textbf{(6.14A)}$$

$$\overline{V}(z) = k_t \cdot V_{m,II,10} \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \quad \text{για } z_{min} > z \qquad \textbf{(6.14B)}$$

Ωστόσο για την περιγραφή της βιοκλιματικής συμπεριφοράς του ανέμου, αντίθετα με το σκεπτικό των Ευρωκωδίκων, μας ενδιαφέρουν περισσότερο οι ενδιάμεσες τιμές της ταχύτητάς του, καθώς η μέγιστη τιμή θα μπορούσε απλά να χαρακτηριστεί απλά ως ένα ακραίο καιρικό φαινόμενο στο οποίο δεν μπορούμε να βασιζόμαστε για μόνιμη συμβολή στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

6.4 Υπολογισμός οπισθέλκουσας και ανυψωτικής δύναμης του ανέμου

Όπως ήδη έχουμε αναφέρει στο κεφ. 2, η συνισταμένη δύναμη του ανέμου που πλήττει ένα κτίριο (και που οφείλεται στις ιξώδεις δυνάμεις και τις δυνάμεις λόγω πίεσης) μπορεί να αναλυθεί σε δύο συνιστώσες την οπισθέλκουσα δύναμη (drag force) F_D, που είναι παράλληλη στη διεύθυνση της μέσης κίνησης και την ανυψωτική δύναμη (uplift force) F_L, που είναι κάθετη στη μέση κίνηση και συνεπώς παράλληλη στον κεντροβαρικό άξονα του κτιρίου. Ισχύουν οι παρακάτω σχέσεις:

$$F_D = \oiint_A P \cdot \cos\theta \; dA + \oiint_A \tau_w \cdot \sin\theta \; dA \qquad \textbf{(6.15A)}$$

$$F_L = -\oiint_A P \cdot \sin\theta \; dA + \oiint_A \tau_w \cdot \cos\theta \; dA \qquad \textbf{(6.15B)}$$

όπου P είναι η απόλυτη πίεση του ρευστού, δηλαδή το αλγεβρικό άθροισμα της βαρομετρικής (στατικής πίεσης) και της μανομετρικής (υπερπίεσης ή υποπίεσης), η οποία σύμφωνα με την υπόθεση Taylor θεωρείται ότι μεταβάλλεται γραμμικά σε σχέση με τη βαθμίδα της ταχύτητας

τ_w: είναι όπως ξέρουμε η τιμή της τοπικής διατμητικής τάσης στο στερεό όριο ($\tau_w = \mu \cdot \frac{dV_x}{dy}\Big|_{y=0}$),

ή πειραματικά (με διαστατική ανάλυση): $\tau_w = C_f \cdot \frac{\rho \cdot V_\infty}{2}$

A: μια στοιχειώδης επιφάνεια της διατομής του στερεού, εν προκειμένω του κτιρίου, *αν η μελέτη της ροής του αέρα γύρω από αυτό μπορεί να αναχθεί σε επίπεδο της καθ' ύψους διατομής*.

θ: η γωνία μεταξύ του ορίζοντα και της ακμής του στερεού σώματος στο σημείο πρόσπτωσης του ρευστού

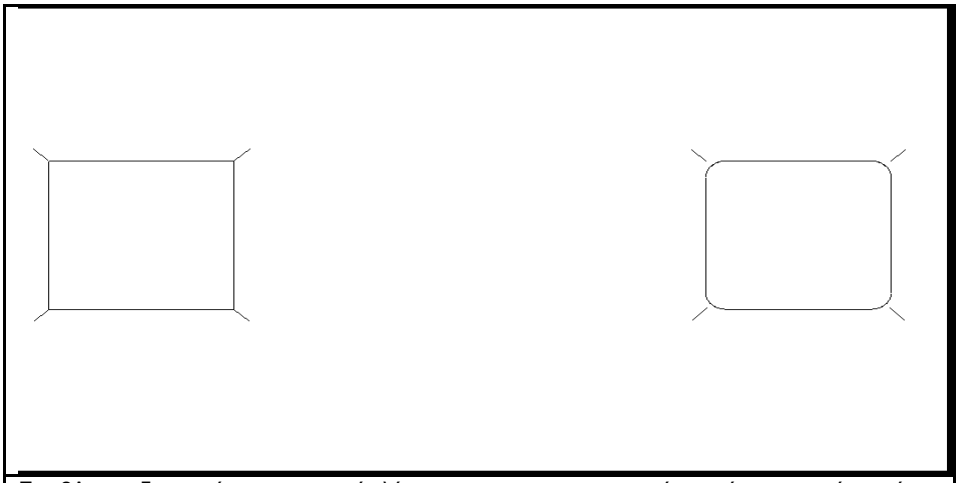
Ωστόσο η σύγκλιση των ροϊκών γραμμών σε τρισδιάστατο πεδίο ροής γύρω από εδρασμένο εμπόδιο, παρουσιάζει σημαντικές διαφοροποιήσεις από το αντίστοιχο δυσδιάστατο πεδίο, επομένως η μελέτη της ροής του αέρα γύρω από αυτό είναι εν γένει προτιμότερο να μελετηθεί στον χώρο με σχεδίαση ισομετρικής προβολής.
Επίσης, σε ορισμένες περιπτώσεις εκτός από τις δύο συνιστώσες που αναφέραμε είναι δυνατόν να υπάρχει και μια πλευρική δύναμη (lateral force) η οποία να είναι κάθετη στο επίπεδο των F_D και F_L
Ο θεωρητικός υπολογισμός των δυνάμεων F_D και F_L είναι εφικτός μόνο για ροές γύρω από σώματα κανονικών διαστάσεων (δίσκοι, σφαίρες, κύλινδροι) και για μικρές ταχύτητες, <u>αν είναι γνωστό το πεδίο πιέσεων και το πεδίο των τάσεων τριβής</u> τ_W .

Έχει βρεθεί πειραματικά, ότι ισχύουν οι ακόλουθες σχέσεις, κατ' αναλογία με τις αντίστοιχες προηγούμενες [26].

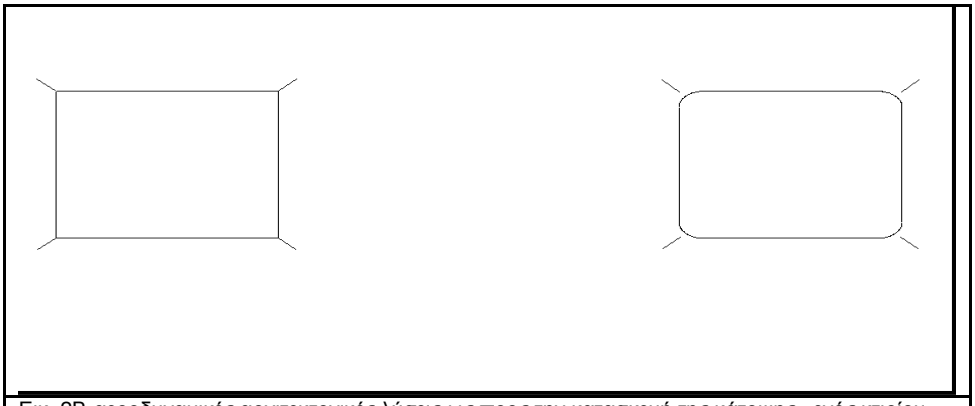
$$F_D = C_D \cdot \frac{\rho \cdot V_\infty}{2} \cdot A_0 \qquad \textbf{(6.16A)}$$

$$F_L = C_L \cdot \frac{\rho \cdot V_\infty}{2} \cdot A_0 \qquad \textbf{(6.16B)}$$

Όπου A_0 είναι το εμβαδό της επιφάνειας και οι συντελεστές C_D C_L εξαρτώνται από το σχήμα του στερεού τον αριθμό Reynolds και τη σχετική τραχύτητα της επιφάνειας.
Βάσει των παραπάνω μπορούμε να συμπληρώσουμε ότι οι αεροδυναμικές αρχιτεκτονικές λύσεις ως προς την κατασκευή της <u>κάτοψης</u> ενός κτιρίου, μπορούν να περιλαμβάνουν γενικά αυξομειώσεις της κάτοψης σε σχέση με το ύψος του κτιρίου, δηλαδή κλιμακωτές καθ' ύψος κατασκευές, και αναφορικά με την <u>όψη</u> ενός κτιρίου περιλαμβάνουν κατασκευή λοξοτομημένων και καθοδικών γωνιών (με αυλακώσεις ή χωρίς), πτερύγια και σμιλευμένες κορυφές, όπως φαίνεται στα παρακάτω σχήματα:



Εικ. 2Α αεροδυναμικές αρχιτεκτονικές λύσεις ως προς την κατασκευή της κάτοψης ενός κτιρίου



Εικ. 2Β αεροδυναμικές αρχιτεκτονικές λύσεις ως προς την κατασκευή της κάτοψης ενός κτιρίου

Όλα τα παραπάνω γίνονται πρωτίστως υπέρ της ασφάλειας, με στόχο τη μείωση της οπισθέλκουσας δύναμης και την παράλληλη αύξηση της ανυψωτικής. Ωστόσο η επιφάνεια του κελύφους ενός κτιρίου δεν μπορεί να θεωρηθεί ως ιδανική μαθηματική επιφάνεια και θα πρέπει να ληφθεί υπόψη και η τραχύτητά της.
Στην τυρβώδη ροή όπως ήδη αναφέραμε στο κεφάλαιο 3, έχει τεκμηριωθεί πειραματικά ότι η οπισθέλκουσα αλλά και η ανυψωτική δύναμη δεν οφείλονται μόνο στις διαστάσεις του σώματος αλλά *και* στο σχήμα του κυρίως στη μορφή του πίσω μέρους του.
Ισχύει λοιπόν η εμπειρική σχέση:

$$F = C_D \cdot S_f \cdot \frac{\rho}{2} \cdot V_\infty \qquad \textbf{(6.17)}$$

όπου S_f ορίζεται ως η μετωπική επιφάνεια του σώματος, δηλαδή η μέγιστη επιφάνεια που «προβάλλει» το σώμα κάθετα στη μέση ροή του ανέμου.
Ο συντελεστής C_D εξαρτάται κυρίως από τη μορφή του πίσω μέρους του σώματος και όχι τόσο από τη μορφή του εμπρός μέρους του.
Αν προσπαθήσουμε να αναζητήσουμε την αιτία αυτής της αντίστασης μπορούμε να συμπεράνουμε ότι στις περιοχές των στροβίλων οι ταχύτητες είναι μεγάλες άρα σύμφωνα με το νόμο του Bernoulli η συνολική πίεση (βαρομετρική και μανομετρική) είναι μικρότερη σε αυτά τα σημεία από τα αντιδιαμετρικά τους. Πειραματικά έχουμε διαπιστώσει ότι η τυρβώδης ροή έλκει από πίσω το σώμα, επομένως θα πρέπει η *υπήνεμη* πλευρά του κτιρίου να έχει το πιο έντονο αεροδυναμικό σχήμα.
Η αεροδυναμική σχεδίαση επομένως, απαιτεί το ουραίο τμήμα ενός σώματος και εν προκειμένω του κτιρίου, να γίνεται όσο το δυνατόν πιο αιχμηρό όπως εκείνο της διατομής της πτέρυγας ενός αεροσκάφους.
Θυμίζουμε όμως ότι όταν το ουραίο τμήμα ενός σώματος επιμηκύνεται ώστε να αποκτήσει το σώμα αεροδυναμικό σχήμα, *ναι μεν η οπισθέλκουσα πίεσης ελαττώνεται αλλά προφανώς, λόγω της αύξησης της συνολικής επιφάνειας του σώματος, η οπισθέλκουσα τριβής αυξάνεται*. Επομένως ο σωστός αεροδυναμικός σχεδιασμός θα πρέπει να στοχεύει στην ελαχιστοποίηση της συνολικής οπισθέλκουσας δύναμης, με παράλληλη μεγιστοποίηση, όπως θα δούμε παρακάτω, της ανωστικής δύναμης.
Η πιο σημαντική παράμετρος για τον προσδιορισμό των δράσεων του ανέμου σε μια κατασκευή οποιασδήποτε γεωμετρίας είναι η ταχύτητα του ανέμου. Η βάση του αντιανεμικού σχεδιασμού μιας κατασκευής είναι η μέγιστη ταχύτητα, ριπή ανέμου, που προβλέπεται για διάρκεια σχεδιασμού της κατασκευής.
Οι παράγοντες που επηρεάζουν το μέγεθος του μέτρου της ταχύτητας, αλλά και της δυναμικής πίεσης είναι γενικά οι ακόλουθοι:

- Η γεωγραφική θέση του κτιρίου
- Η φυσική θέση (αστικό δομημένο περιβάλλον, γειτονικά κτίρια, κτλ)
- Οι διαστάσεις του κτιρίου
- Η αρχιτεκτονική μορφή του
- Η μορφή και η κλίση της στέγης του
- Η μέση ταχύτητα και η επικρατούσα διεύθυνση του ανέμου στην εν λόγω περιοχή

Ωστόσο η υπήνεμη πλευρά μιας στέγης δεν προσφέρεται εν γένει για τοποθέτηση ενός ανεμοκινητήρα καθώς δημιουργούνται έντονες ζώνες ανακυκλοφορίας, με συνεπαγόμενη τη μείωση της ταχύτητας της μέσης κίνησης.
Γενικά πάντως περίβλημα του κτιρίου καλείται να ανταποκριθεί σε μια σειρά κλιματικών συνθηκών που περιλαμβάνουν ακραίες τιμές θερμοκρασίας, ηλιακής ακτινοβολίας, κατακρημνισμάτων και ανέμου. Το περίβλημα μπορεί σε διάφορες περιόδους να είναι ανάγκη να δρα ως στοιχείο ανάσχεσης, φίλτρο ή συλλέκτης. Η θερμική και ηλιακή μετάδοση μπορεί να ελέγχεται με την κατάλληλη επιλογή και το χειρισμό των υλικών της επιφάνειας.
Προφανώς βέβαια, ο χρήστης θα πρέπει ενίοτε να επιλέξει μεταξύ των αναγκών σε φυσικό φωτισμό, ροή του αέρα, ηλιακή προστασία και τη λειτουργία του κτιρίου με καθολικό αντικειμενικό στόχο την ελαχιστοποίηση των αθέλητων ηλιακών κερδών δια του περιβλήματος, ιδιαίτερα από τα υαλοστάσια.
Οι στρατηγικές μελέτης για το περίβλημα του κτιρίου οφείλουν να περιλαμβάνουν τα ακόλουθα:

-Μελέτη ανοιγμάτων
-Ηλιακό έλεγχο και συστήματα σκίασης
-Θερμομόνωση
-Θερμική μάζα
-Αεροστεγανότητα

Για τη θερμομόνωση και την αεροστεγανότητα έχουμε ήδη αναφερθεί εκτενώς στα κεφάλαια 2 και 3. Ως προς το σχεδιασμό των ανοιγμάτων τώρα μπορούμε να επισημάνουμε τα εξής:

Η ισορροπία μεταξύ θέρμανσης, ψύξης και φυσικού φωτισμού αποτελεί μια κρίσιμη θεώρηση για την επιλογή του προσανατολισμού και του μεγέθους των ανοιγμάτων. Η μελέτη των ανοιγμάτων εξαρτάται συνήθως από τον τύπο

του κτιρίου και μπορεί να επηρεάζεται από τους οικοδομικούς κανονισμούς σε σχέση με τις μέγιστες ή ελάχιστες επιφάνειες υαλοστασίων. Η χρήση πρόσθετων διατάξεων, όπως είναι τα προστεγάσματα και τα παντζούρια, ίσως επιτρέπουν στο μελετητή κάποια προοπτική διόρθωσης ή περιορισμού μη ευνοϊκών προσανατολισμών ή μεγάλων επιφανειών υαλοστασίου.

Η στρατηγική μελέτης του περιβλήματος του κτιρίου περιλαμβάνει συνθήκες χειμώνα και θέρους έτσι ώστε, για παράδειγμα, να μπορούν να ελέγχονται τα υπερβολικά ηλιακά κέρδη κατά το θέρος, ενώ θα είναι διαθέσιμος ο φυσικός φωτισμός στη διάρκεια όλου του έτους, με αποφυγή της ανάγκης χρήσης τεχνητού φωτισμού στη διάρκεια της ημέρας με τα επακόλουθα φορτία ψύξης.

Ο καθορισμός του μεγέθους των βορεινών παραθύρων επηρεάζεται λιγότερο από τις εποχιακές διακυμάνσεις και ίσως να προσδιορίζεται σε μεγάλο ποσοστό από τις απαιτήσεις για φυσικό φωτισμό και τις ανάγκες σε διαμπερή αερισμό. Τα ανοίγματα που βλέπουν στο βορρά μπορούν να αποτελέσουν μια πηγή σχεδόν ομοιόμορφου φωτισμού.

Ο αποτελεσματικός διαμπερής αερισμός τυπικά απαιτεί μεγάλα ανοίγματα μοιρασμένα κατά μήκος των απέναντι όψεων, με ελαχιστοποιημένες εσωτερικές φραγές για να εμποδίζουν τη ροή του αέρα που απαιτείται για ψύξη. Για αερισμό από τη μια μόνο πλευρά, το σχήμα των ανοιγμάτων καθίσταται σημαντικό. Τα οριζόντια σχήματα είναι πιο αποτελεσματικά διεγείροντας τις ταχύτητες του εσωτερικού αέρα.

Η μελέτη των ανοιγμάτων πρέπει να πραγματοποιείται σε συνδυασμό με τη συνολική στρατηγική του ηλιακού ελέγχου.

Επανερχόμενοι στο ζήτημα της αρχιτεκτονικής μορφής τώρα συμπληρώνουμε ότι στην περίπτωση που η σχετική ταχύτητα του ανέμου γύρω το εδρασμένο εμπόδιο είναι πολύ μεγάλη, (αυτό εξακριβώνεται από το μέτρο της ταχύτητας ελεύθερου ρεύματος), τότε οι συντελεστές C_D και C_L εξαρτώνται εκτός από τον αριθμό Reynolds *και* από τον αριθμό Mach της ροής.

Ο αριθμός Mach M ορίζεται από τη σχέση:

$$M = \frac{u}{a} \qquad \textbf{(6.18)}$$

όπου u είναι η τοπική ταχύτητα του ρευστού, (external local velocity), και α η αντίστοιχη ταχύτητα του διάδοσης του ήχου στο εν λόγω ρευστό.

Στην πράξη ως ασυμπίεστη ροή χαρακτηρίζεται κάθε ροή στην οποία ο αριθμός Mach είναι μικρότερος ή το πολύ ίσος με 0.3.

Για τις ροές αέρα που αντιμετωπίζουμε στην πράξη, η συνθήκη ασυμπίεστης ροής ικανοποιείται για ταχύτητες μικρότερες των 100 m / sec, αφού στις συνήθεις συνθήκες η ταχύτητα του ήχου στον αέρα είναι 340 m / sec.

Ένα σημείο το οποίο πρέπει να προσεχθεί ιδιαίτερα είναι το εξής:

Όταν πρόκειται να χαρακτηρίσουμε μια ορισμένη ροή ως συμπιεστή ή ασυμπίεστη εκείνο που πρέπει να εξετάζουμε, είναι αν **η συγκεκριμένη ροή μπορεί να θεωρηθεί ασυμπίεστη και όχι αν το συγκεκριμένο ρευστό είναι γενικά ασυμπίεστο ή όχι.**

Ακόμα, θα πρέπει να τονίσουμε ότι στην περίπτωση υπερηχητικής ροής οι συντελεστές C_D και C_L εξαρτώνται μόνο από τον αριθμό Mach της ροής και ειδικά η τιμή του συντελεστή C_D αυξάνεται δραματικά λόγω της παρουσίας κρουστικών κυμάτων τα οποία δημιουργούν με τη σειρά τους πρόσθετο μηχανισμό ανάπτυξης οπισθέλκουσας δύναμης.

Θυμίζουμε ότι τα κρουστικά κύματα είναι ηχητικά κύματα μεγάλου πλάτους τα μέτωπα των οποίων είναι κάθετα στη διεύθυνση της ροής.

Λόγω της επίδρασης των κρουστικών κυμάτων η ροή μετατρέπεται από υπερηχητική σε υποηχητική με παράλληλη αύξηση της οπισθέλκουσας δύναμης.

Η ανωστική ροή του ανέμου οφείλεται στην ανομοιομορφία της πυκνότητας του ρευστού λόγω διαφοράς στατικής πίεσης. Προφανώς εδώ, το περιβάλλον του κτιρίου δηλαδή ο αέρας, θεωρείται ως *ανοιχτό* θερμοδυναμικό σύστημα P – V – T .

Ισχύει η σχέση:

$$\Delta F_L = \rho g (V_{solid} + \Delta V) - \rho g V_{solid} = \rho g \Delta V \qquad \textbf{(6.19)}$$

Λόγω της παραπάνω δύναμης δημιουργείται κατακόρυφη επιτάχυνση που είναι ίση με:

$$b = g \cdot \beta \Delta \mathrm{T} \qquad \textbf{(6.20)}$$

όπου β το διαστολικό ιξώδες, (bulk viscosity), του αέρα, το οποίο με τη σειρά του δίνεται από τη σχέση:

$$\beta = -\frac{1}{\rho}\left(\frac{\partial \rho}{\partial \mathrm{T}}\right)_P \qquad \textbf{(6.21)}$$

Αν μάλιστα ο αέρας της ατμόσφαιρας θεωρηθεί ως τέλειο αέριο, δηλαδή η ποσότητα $\frac{PV}{T} = ct$, τότε το διαστολικό ιξώδες υπολογίζεται ως εξής:

$$\beta = \frac{\left(\frac{\rho_\infty}{\rho}\right) - 1}{\mathrm{T} - \mathrm{T}_\infty} = \frac{\left(\frac{\mathrm{T}}{\mathrm{T}_\infty}\right) - 1}{\mathrm{T} - \mathrm{T}_\infty} = \frac{1}{\mathrm{T}_\infty} \qquad \textbf{(6.22)}$$

όπου T_∞ είναι η θερμοκρασία του ρευστού στην περίπτωση της αδιατάρακτης ροής, δηλαδή μακριά από το στερεό σύνορο.

Οι σύγχρονοι ανεμοκινητήρες κινούνται χάρη στις ανωστικές δυνάμεις (uplift forces) του αέρα οι οποίες προκαλούν τις τάσεις τριβής τ_w στα πτερύγιά τους, όπου η τ_w όπως είπαμε είναι γενικά η τοπική διατμητική τάση στο σύνορο ενός στερεού σώματος.

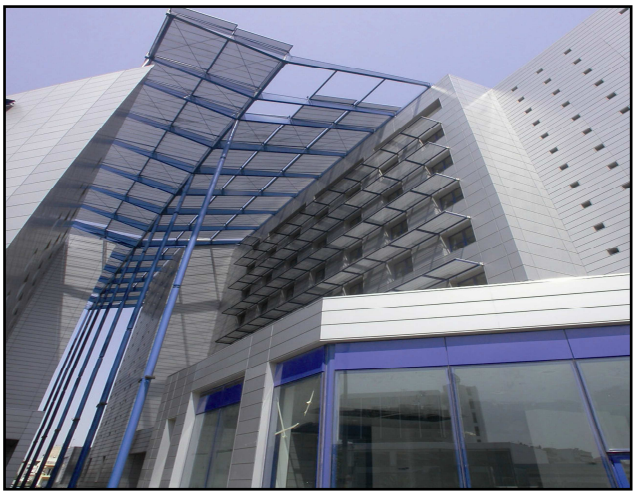
Η θέση της μέγιστης ανυψωτικής δύναμης του ανέμου πλησίον στερεών σωμάτων έχει προσδιοριστεί σε αρκετά προβλήματα σχεδιασμού αεροτομών, με τη μέθοδο των αναλυτικών μιγαδικών συναρτήσεων και της σύμμορφης απεικόνισης, για θεώρηση όμως της ροής του ανέμου ως άτριβης, (inviscid flow), δηλαδή ο άνεμος να θεωρείται μη συνεκτικό ρευστό, καθώς δημιουργείται κυκλοφορία (circulation) λόγω της ύπαρξης ακμής φυγής. Η κυκλοφορία δείχνει το μέγεθος της περιστροφικής τάσης του ρευστού μέσα στην περιοχή του πεδίου ροής που περικλείεται από την κλειστή καμπύλη C. Πιθανόν η θεώρηση της ροής ως τυρβώδους να μην έχει ιδιαίτερη διαφοροποίηση από τεχνική άποψη για την περίπτωση του κελύφους ενός κτιρίου.

Ωστόσο για την περίπτωση μιας κεκλιμένης πλάκας, που πλήττεται από τυρβώδη ροή ανέμου, έχει δοθεί και νομογράφημα υπολογισμού των συντελεστών C_D $\kappa\alpha\iota$ C_L [1].

Στο νομογράφημα αυτό φαίνεται η τιμή της γωνίας της πλάκας ως προς το οριζόντιο επίπεδο για την οποία η τιμή του συντελεστή C_L γίνεται μέγιστη.

Εφαρμογή του εν λόγω νομογραφήματος μπορεί να γίνει σε κατασκευή μεταλλικού στεγάστρου σε κτιριακό συγκρότημα γραφείων με στόχο την εκμετάλλευση της ανωστικής ροής του ανέμου.

Εικ. 4 μεταλλικό στεγάστρο σε κτιριακό συγκρότημα γραφείων



Εικ. 5 μεταλλικό στεγάστρο σε κτιριακό συγκρότημα γραφείων

6.5 Διαδικασία επιλογής της τοπογραφικής θέσης ενός κτιρίου στο οποίο πρόκειται να προσαρτηθεί ανεμοκινητήρας

Α) Ως προς τη διαμόρφωση του αστικού ιστού (στο μέτρο του δυνατού)

- Προσανατολισμός και χωροθέτηση κτιριακών συνόλων, καθώς και διάταξη και πλάτος των οδικών και άλλων αξόνων (μορφολογία εδάφους, ηλιασμός και σκιασμός κτιρίων και ανοιχτών χώρων, κλπ)
- Διαμόρφωση περιβάλλοντος χώρου και επιλογή βλάστησης για τον ανάλογα με την εποχή ηλιασμό ή ηλιοπροστασία και αντίστοιχα έκθεση στον άνεμο ή ανεμοπροστασία του πολεοδομικού συνόλου
- Υλικά σε κτίρια, δρόμους, πεζοδρόμια, αστικό εξοπλισμό (συμπεριλαμβανομένων υφής και χρωματισμού)

- Επανασχεδιασμός του αστικού ιστού;
- Κατεδάφιση οικοδομικών τετραγώνων σε κάθε πυκνό αστικό ιστό;

Αναβάθμιση υπαίθριων αστικών χώρων, σχεδιαστικές αναπλάσεις και παρεμβάσεις σε διαφορετικές κλίμακες στους υπαίθριους χώρους, κοινόχρηστους ή ιδιωτικούς

Αναβάθμιση Υπαίθριων Αστικών Χώρων

- αξιοποίηση των τοπικών μικροκλιματικών χαρακτηριστικών
- προτεραιότητα στην εξασφάλιση συνθηκών άνεσης των χρηστών
- υποστήριξη μιας σειράς ανθρωπίνων αναγκών στους υπαίθριους χώρους
- δημιουργία χώρων λειτουργικά άρτιων, περιβαλλοντικά βιώσιμων και αισθητικά αναβαθμισμένων

Μελέτη και αξιοποίηση τοπικών κλιματικών δεδομένων:

- θερμοκρασία αέρα
- ταχύτητα και διεύθυνση του ανέμου,
- διάρκεια και η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας,
- υγρασία του αέρα

Ανάλυση των τοπικών χαρακτηριστικών - περιβάλλων χώρος, δομημένο και μη περιβάλλον, (προσανατολισμός, τοπογραφία, γεωμετρία κτιρίων, λόγος ύψους/πλάτους, χαράξεις δρόμων, χρήσεις και χαρακτηριστικά κτιρίων - υλικών και χρωματισμών, κάλυψη εδάφους, κλπ) μελέτη αστικού μετώπου (πολεοδομικό σύνολο, χαρακτήρας και δομή ευρύτερης περιοχής)
Οι βασικοί παράγοντες που περιγράφουν τη δομή του αστικού χώρου είναι οι παρακάτω:

- το μέγεθος του χώρου: σε μεγάλους χώρους, η ροή του αέρα αναμένεται να είναι πιο μεγάλη και πιο στροβιλώδης.
- το ύψος των περιμετρικών κτιρίων: όσο ψηλότερα είναι τα κτίρια που περιβάλλουν το χώρο σε σχέση με τα γειτονικά, τόσο μεγαλύτερη η ταχύτητα του ανέμου και ο στροβιλισμός μέσα στο χώρο.
- το πλάτος και η θέση των «ανοιγμάτων» του χώρου: ανοίγματα στις γωνίες του χώρου προκαλούν μεγαλύτερο στροβιλισμό απ' όσο τα ανοίγματα στο μέσον του χώρου. Ο βασικός άξονας του χώρου ενδείκνυται να είναι κάθετος στην κυρίαρχη κατεύθυνση ανέμου.
- η μέλλουσα χρήση του χώρου: τα κριτήρια άνεσης και οι ανάγκες διαφέρουν ανάλογα με το χαρακτήρα και τη διάρκεια χρήσης του χώρου.

Επίτευξη των παραπάνω στόχων με δομημένα και μη στοιχεία:

ανεμοφράχτες για την προστασία από βορινούς ψυχρούς ανέμους. (είτε φυσικοί, όπως η δενδροφύτευση, είτε τεχνητοί, όπως οι όγκοι των κτιρίων, ακόμη και σχετικά ογκώδης εξοπλισμός του χώρου (περίπτερα, κλπ), διατάξεις ανακατεύθυνσης του ανέμου. Για προστασία επικείμενων ζωνών, εφόσον και η ειδική χρήση του χώρου το επιβάλλει, συνιστάται η χρησιμοποίηση διαπερατών ανεμοφραχτών, όπως η δενδροφύτευση, εφόσον η τοποθέτηση στερεών ανεμοφρακτών μπορεί να επηρεάσουν το άμεσο περιβάλλον με στροβιλισμούς και παράλληλα συνιστάται χρήση τραχέων υλικών για την αύξηση της αντίστασης του αέρα.
Για αστικούς χώρους και πιο συγκεκριμένα για την πόλη του Λονδίνου, έχει αναφερθεί πως οι μικρές ανεμογεννήτριες για χρήση σε κατοικίες δεν αποδίδουν σε πραγματικές συνθήκες την προβλεπόμενη ισχύ και σε ορισμένες περιπτώσεις αδυνατούν να τροφοδοτήσουν ακόμα και τα δικά τους ηλεκτρονικά εξαρτήματα.
Σύμφωνα με έρευνα της βρετανικής εταιρείας Encraft το εν λόγω πρόβλημα οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι η τοποθέτηση της ανεμογεννήτριας γίνεται σε ακατάλληλα σημεία του κελύφους του κτιρίου [13].
Η έρευνα κάλυψε 4 αγροτικές, 10 προαστιακές και 12 αστικές τοποθεσίες για χρονικό διάστημα ενός έτους και πραγματοποιήθηκε για λογαριασμό της βρετανικής κυβέρνησης και της βρετανικής ένωσης αιολικής ενέργειας η οποία όμως χαρακτήρισε τον δειγματικό χώρο ανεπαρκή [13].

Η εν λόγω έρευνα όμως, καταδεικνύει επίσης ένα πολύ σημαντικό πρόβλημα που προκύπτει από τον συμψηφισμό δύο παραγόντων που συχνά είναι αντικρουόμενοι:

1.- Καταλληλότερη θέση από κατασκευαστική και ενίοτε στατική άποψη (αυτός ο παράγοντας καθορίζει και το μέγεθος της ανεμογεννήτριας)

2.- Καταλληλότερη θέση από άποψη απόδοσης δηλαδή μέγιστος ρυθμός μεταφοράς μάζας αέρα που «πλήττει» την ανεμογενήτρια.

Εδώ όμως οφείλουμε να αναφέρουμε το γεγονός ότι το μέσο αστικό σπίτι, στις Ελληνικές τουλάχιστον πόλεις, έχει σε μεγάλο ποσοστό μία τουλάχιστον μεσοτοιχία και υπάρχουν πολλά εμπόδια στον περίγυρό του όπως γειτονικές κατοικίες και δέντρα. Θα πρέπει λοιπόν να γίνει μια γενικότερη έρευνα στην εκάστοτε αστική περιοχή και να προσδιοριστεί τουλάχιστον ποιοτικά ελλείψει άλλων δεδομένων η πυκνότητα της αστικής δόμησης.
Όπως γνωρίζουμε, η πυκνότητα της αστικής δόμησης ακολουθεί ομαλή πτώση καθώς αυξάνεται η απόσταση από τους πόλους έλξης του πληθυσμού, δηλαδή τα κέντρα των οικιστικών μονάδων, τους μεγάλους οδικούς άξονες, τις ακτές κτλ.

Παράλληλα, οι βασικοί κανόνες προκειμένου να επιτευχθεί μια λογική κατανομή πυκνότητας δόμησης είναι οι ακόλουθοι:

- Μείωση των συντελεστών εκμετάλλευσης των οικοπέδων στις ήδη αναπτυγμένες περιοχές με παράλληλη εισαγωγή λογικών συντελεστών εκμετάλλευσης στις νέες περιοχές έτσι που η οριακή χρησιμοποίησή τους να μην οδηγεί στην αύξηση της συνολικής χωρητικότητας των διαφόρων κοινοτήτων ενός οικισμού πέρα από τα μέγιστα επιθυμητά πληθυσμιακά και οικοδομικά μεγέθη.

- Περιορισμός των υψών των κτιρίων που προορίζονται για κατοικία σε λογικά όρια από άποψη λειτουργίας και επιθυμίας των οικογενειών που θα διαβιούν σε αυτά. Επομένως θα είναι εφικτή η προσάρτηση ανεμοκινητήρα σε δημόσιο ή και ιδιωτικό κτίριο, αρκεί το όλο σύστημα, **να μπορεί να θεωρηθεί ως μη οχλούσα βιομηχανία, δηλαδή η κινητήρια ισχύς του να μην υπερβαίνει τα 4 KW και η θερμική ισχύς του τα 8 KW, όπως προβλέπει ο ν. 3325/2005.**

- Απαγόρευση της αύξησης του επιτρεπόμενου ύψους των κτιρίων κατοικίας μιας περιοχής χωρίς τη σύμφωνη γνώμη των κατοίκων της αντίστοιχης κοινότητας.

Η μεθοδολογία για την επιλογή της τοπογραφικής θέσης μπορεί να βασιστεί στα ακόλουθα συμπεράσματα του ερευνητικού προγράμματος «ΠΡΟΓΝΩΣΙΣ» [16].
Η πρόγνωση της ενεργειακής παραγωγής αιολικών πάρκων σε βραχείας κλίμακας χρονικούς ορίζοντες είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την πρόβλεψη του πεδίου ροής σε μικρές χωρικές κλίμακες.
Η αριθμητική περιγραφή των συνοπτικών μετεωρολογικών συστημάτων είναι καθοριστική για την εκτίμηση των μεταβολών των ατμοσφαιρικών παραμέτρων για περιόδους μεγαλύτερες των 12 ωρών, ενώ η συνύπαρξη πολλαπλών χωρικών και χρονικών κλιμάκων περιπλέκει περισσότερο το ζητούμενο.
Η ανάπτυξη ενός εργαλείου πρόγνωσης ενεργειακής παραγωγής αιολικών πάρκων στον Ελλαδικό χώρο απαιτεί κατάλληλη αντιμετώπιση των ιδιαιτεροτήτων που σχετίζονται με το τοπογραφικό ανάγλυφο που επικρατεί στην εν λόγω περιοχή.
Ένα τέτοιο σύστημα λοιπόν αναπτύσσεται στα πλαίσια του ερευνητικού project «ΠΡΟΓΝΩΣΙΣ».
Το τελευταίο χαρακτηρίζεται από το τρίπτυχο: «Σύνθετη Τοπογραφία – Πολλαπλές Χρονικές και Χωρικές κλίμακες – Επιχειρησιακή χρήση»
Στο πλαίσιο αυτό η δημιουργία του κατάλληλου υπόβαθρου για τη σύζευξη μετεωρολογικού προτύπου μεσοκλίμακας και μικροκλιματικού CFD προτύπου, είναι κρίσιμης σημασίας για την ενίσχυση της αξιοπιστίας του τελικού συστήματος πρόγνωσης.

Διαδικασία σύζευξης

Κατ' αρχάς απαιτείται ένα NWP (Numerical Weather Prediction) μοντέλο για τη συνοπτική πρόγνωση των ατμοσφαιρικών παραμέτρων.

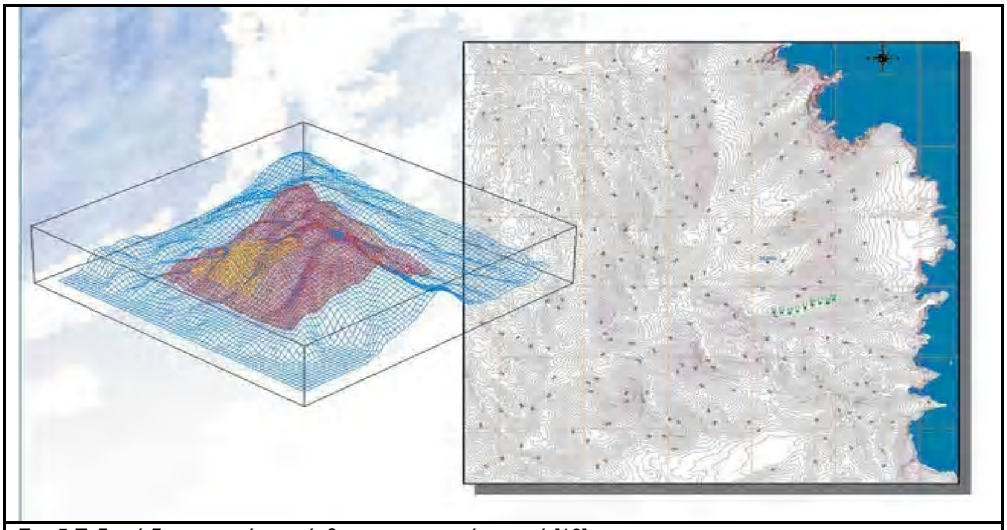
Εξετάστηκε το μοντέλο COAMPS (Coupled Ocean / Atmospheric Mesoscale Prediction System)

- Αναπτύχθηκε στο US Naval Research Laboratory (NRL)
- Είναι τρισδιάστατο μη υδροστατικό μοντέλο
- Χρησιμοποιείται επιχειρησιακά από το 1996
- Επιτυγχάνει πρόγνωση ατμοσφαιρικών μεγεθών τόσο σε ιδανικές όσο και σε πραγματικές συνθήκες
- Πολλαπλά ένθετα πλέγματα χωρίς υπερακόντιση του υπολογιστικού κόστους
- Το εύρος ενός πλέγματος μπορεί να μεταβάλλεται από 100μ μέχρι και μερικές εκατοντάδες μέτρα.

Προφανώς απαιτείται μετάφραση της πρόγνωσης του NWP μοντέλου για τον καθορισμό των συνθηκών αναφοράς στην περιοχή ενός αιολικού πάρκου
Ενσωμάτωση κατάλληλων τεχνικών συσχέτισης για τον καθορισμό των συνθηκών αναφοράς σύμφωνα με τις οποίες διεξάγεται η μικροκλιματική ανάλυση
Η προσομοίωση της ροής ανέμου απαιτεί ανάλυση (μακροσκοπική ή διαφορική) σε χωρικές κλίμακες πολύ μικρότερες από αυτές των μετεωρολογικών προτύπων ειδικά σε περιπτώσεις σύνθετου τοπογραφικού ανάγλυφου, ώστε να απεικονίζονται καλύτερα τοπικές μεταβολές ταχύτητας καθώς και ιδιομορφίες της ροής όπως φαινόμενα ανακυκλοφορίας ή και αποκόλλησης του οριακού στρώματος.

Ως γνωστό, οι μέθοδοι άμεσης αριθμητικής προσομοίωσης (direct numerical simulation) απαιτούν:

- Εξειδικευμένο CFD εργαλείο προσομοίωσης του πεδίου ροής σε περιοχές σύνθετης τοπογραφίας
- Ιδιαίτερα υψηλή χωρική ανάλυση στην περιοχή τοποθέτηση της ανεμογεννήτριας
- Τεχνική τηλεσκοπικής πύκνωσης για την ακριβέστερη ανάλυση περιοχών ειδικού ενδιαφέροντος.
- Κατάλληλες τροποποιήσεις των προτύπων τύρβης για περιπτώσεις έντονων παραμορφώσεων των ρευστοστοιχείων ή για περιπτώσεις όπου στο πεδίο ταχυτήτων επιδρούν μηχανισμοί μεγάλης κλίμακας.
- Συνυπολογισμός της τραχύτητας υπό την τοπική έννοια



Εικ. 5 Πεδιακή διακριτοποίηση σύνθετης τοπογραφίας πηγή [16]

Σε περιοχές σύνθετης τοπογραφίας οι κατατομές ταχύτητας ποικίλλουν αισθητά ακόμα και για μικρές αποστάσεις μεταξύ των εξεταζόμενων θέσεων
Η εφαρμογή λοιπόν ημιεμπειρικών νόμων ή εξαιρετικά απλοποιημένων μοντέλων εισάγει σημαντικές αβεβαιότητες
Η μικροκλιματική ανάλυση παρέχει την δυνατότητα αναγνώρισης ιδιομορφιών της ροής και επομένως συμβάλλει στην λήψη ορθότερων αποφάσεων σχετικά με τη διαδικασία ολοκλήρωσης του συστήματος πρόβλεψης (π.χ. επιλογή θέσης αναφοράς)
Τέτοια πληροφορία δεν θα μπορούσε να προκύψει μόνο με ένα μετεωρολογικό πρότυπο.
Οι μεταβολές της ροής είναι εντονότερες σε χαμηλά ύψη κάτι που θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη μιας και οι τεχνικές πρόγνωσης πάντα εμπλέκουν σημειακούς υπολογισμούς σε χαμηλά ύψη είτε αυτά αφορούν στην ίδια την πρόγνωση είτε στις μετρήσεις στο σημείο αναφοράς.

Η διαθέσιμη πληροφορία για την εκτίμηση των μακροχρόνιων χαρακτηριστικών του ανέμου δεν είναι πάντοτε επαρκής με αποτέλεσμα στις ενεργειακές μετρήσεις να ελλοχεύει ανασφάλεια
Ειδικά σε περιοχές σύνθετης τοπογραφίας με μέτριο αιολικό δυναμικό η ανασφάλεια αυτή εντείνεται λόγω του ότι εκεί η ακρίβεια των ενεργειακών επενδύσεων έχει πολύ μεγαλύτερη σημασία για τη βιωσιμότητα της επένδυσης Η μικροκλιματική ανάλυση μέσω direct numerical simulation μπορεί να συνεισφέρει σημαντικά.

Κατασκευή Αριθμητικού Ανεμολογικού Άτλαντα

Συστηματικοί τρισδιάστατοι υπολογισμοί του πεδίου ροής διεξήχθησαν με το εξειδικευμένο υπολογιστικό εργαλείο VANE για 3 περιοχές μέτριου αιολικού δυναμικού των νομών Βοιωτίας και Φθιώτιδας όπου παρουσιάζεται έντονο επιχειρηματικό ενδιαφέρον. Οι υπολογισμοί περιλαμβάνουν το σύνολο των πιθανών μετεωρολογικών καταστάσεων που απασχολούν τεχνολογικά ως προς το εύρος λειτουργίας των ανεμογεννητριών. Συγκεκριμένα εκτελέστηκαν

μικροκλιματικοί υπολογισμοί για τις 8 βασικές διευθύνσεις και παράλληλα έγινε ομαδοποίηση των παρατηρήσεων για 10 κλάσεις ταχύτητας ανέμου στο εύρος των 4 έως 22 m/sec.
Προφανώς οι σχετικές συχνότητες δεν αναφέρονται σε μεμονωμένους αριθμούς αλλά στις κλάσεις.
Αποτέλεσμα της ανάλυσης και επεξεργασίας των αποτελεσμάτων είναι η κατασκευή του Αριθμητικού Ανεμολογικού Άτλαντα κάθε περιοχής, στα πλαίσια του ερευνητικού Project «ΠΝΟΗ»[1]
Οι κατάλληλες αναπαραστάσεις των προλεγόμενων πεδίων ροής σε μορφή εύχρηστων χαρτών συνιστούν μια αξιόπιστη βάση δεδομένων που μπορεί να αποβεί εξαιρετικά χρήσιμη.
Το ευρύτερο γνωστικό αντικείμενο στο οποίο υπάγεται μια τέτοια διαδικασία από τη σκοπιά των Διακριτών Μαθηματικών και ειδικότερα της Θεωρίας Γραφημάτων είναι, ο σχεδιασμός μη επίπεδων εμφυτεύσιμων γραφημάτων, αποφεύγοντας όμως έναν τριγωνισμό που θα οδηγούσε στη δημιουργία **εκφυλισμένου δικτυώματος**.
Το τελευταίο απαιτεί πολύ καλή γνώση μαθηματικής θεωρίας γραφημάτων και γενικότερα θεωρίας συνόλων, καθώς θα πρέπει να εξετάζεται οπωσδήποτε η ισχύς των ακόλουθων δύο συνθηκών:
Δεδομένου ότι μία διαμέριση ενός συνόλου A, ονομάζεται Σύνολο Πηλίκο του A: A/f και προκύπτει ***πάντοτε*** από μία διμελής σχέση ισοδυναμίας, (binary relation of equivalence): f

i) Θα πρέπει να ελέγχεται πρωτίστως η ισχύς της σύζευξης των παρακάτω τριών μαθηματικών προτάσεων, οι οποίες εξασφαλίζουν αντίστοιχα, ότι η εν λόγω διμελής σχέση f είναι: αυτοπαθής, συμμετρική, μεταβατική, δηλαδή σχέση ισοδυναμίας.

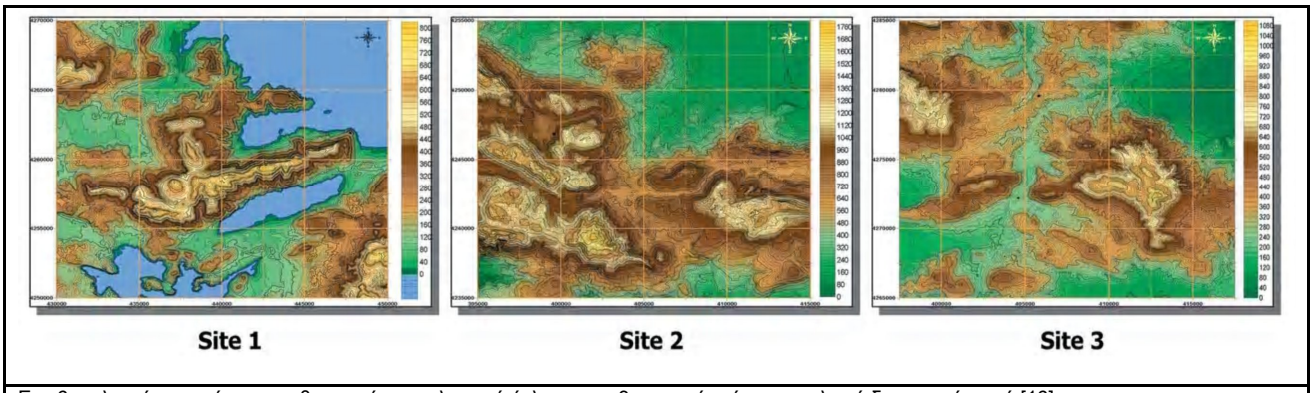
$$A \subseteq D(\mathrm{f}) \ \wedge \ D(\mathrm{f}) = R(\mathrm{f}) \ \wedge \ D(\mathrm{f} \circ \mathrm{f}) \subseteq D(\mathrm{f})$$

ii) Θα πρέπει επιπλέον, οποιοσδήποτε τριγωνισμός Delaunay να αντιστοιχεί αμφιμονοσήμαντα σε ένα διάγραμμα Voronoi.

Περιπτώσεις εφαρμογής:

Συστηματικοί υπολογισμοί διεξήχθησαν για 3 διαφορετικές περιοχές:

Site 1: χωρίο έκτασης 20 * 20 km^2 στα όρια των νομών Βοιωτίας και Φθιώτιδας
Site 2: χωρίο έκτασης 20 * 20 km^2 στο νομό Βοιωτίας
Site 3: χωρίο έκτασης 20 * 20 km^2 στο νομό Φθιώτιδας



Εικ. 6 επιλεγμένα χωρία του αριθμητικού ανεμολογικού άτλαντα για 3 περιοχές μέτριου αιολικού δυναμικού πηγή [16]

Οι Αριθμητικοί Ανεμολογικοί Άτλαντες περιλαμβάνουν τα πεδία ροής για τις 8 βασικές διευθύνσεις:
(Β, ΒΑ, Α, ΝΑ, Ν, ΝΔ, Δ και ΒΔ) και για εντάσεις ανέμου που κυμαίνονται στο διάστημα 4-22 m/sec:
Η ομαδοποίηση των παραπάνω παρατηρήσεων σε υποδιαστήματα, (κλάσεις), σταθερού εύρους έχει ως ακολούθως: (4, 5, 6, 8, 8, 10, 12, 15, 18 και 22) m/sec.

Έτσι, κάθε Αριθμητικός Ανεμολογικός Άτλαντας συντίθεται από 80 μικροκλιματικούς υπολογισμούς για καθένα από τα τρία εξεταζόμενα χωρία. Οι συνθήκες ανέμου αναφέρονται στα 10m a.g.i. σε σημείο μακριά και ανάντι της ευρύτερης περιοχής ενδιαφέροντος.

Η προσομοίωση των πεδίων ροής βασίστηκε σε σύγχρονες υπολογιστικές τεχνικές με τα εξής κύρια χαρακτηριστικά:

[1] Το συγκεκριμένο έργο υλοποιήθηκε στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος «ΠΝΟΗ» ΠΒΝ192, το οποίο χρηματοδοτήθηκε από τη ΓΓΕΤ και την ΕΕ (2004 – 2007)

- Τηλεσκοπική πύκνωση γιο την ακριβέστερη ανάλυση των περιοχών ειδικού ενδιαφέροντος.
- RNG παραλλαγή του γνωστού μοντέλου τύρβης k – ε, για περιπτώσεις όπου αναπτύσσονται ισχυρά φαινόμενα ανακυκλοφορίας ή και αποκόλλησης του οριακού στρώματος.
- Ενσωμάτωση της τραχύτητας υπό την τοπική έννοια.

Ανάλυση & Ερμηνεία των Αποτελεσμάτων

Οι προλέξεις αντιπροσωπευτικών περιπτώσεων από κάθε **Αριθμητικό Ανεμολογικό Άτλαντα** οπτικοποιήθηκαν με στόχο την καλύτερη ερμηνεία της υπολογιστικής διαδικασίας.

Οι παραγόμενοι χάρτες περιλαμβάνουν:

- Οπτικοποίηση της οριζόντιας συνιστώσας της ταχύτητας σε διάφορα καθ' ύψος επίπεδα (από 10 έως 100 m) από την επιφάνεια εδάφους.
- Οπτικοποίηση των γραμμών ροής σε οριζόντιο επίπεδο 100 m από την επιφάνεια εδάφους, από κοινού με την αναπαράσταση της τοπογραφίας ή της οριζόντιας συνιστώσας της ταχύτητας.
- Τρισδιάστατη απεικόνιση της τοπογραφίας από κοινού με την οριζόντια συνιστώσα της ταχύτητας ανέμου στα l00 m από το έδαφος.

Επικείμενες δυσκολίες στην εφαρμογή των συγκεκριμένων μεθόδων

- Αδυναμία εφαρμογής των μεθόδων πεδιακής διακριτοποίησης σε ετήσιο επίπεδο, λόγω της απαιτούμενης τεράστιας υπολογιστικής ισχύος. Ανάγκη προσαρμογής πολλαπλών ένθετων πλεγμάτων, με αναγκαστική υπερακόντιση του υπολογιστικού κόστους.

- Αδυναμία σύζευξης μοντέλων μεταφοράς θερμότητας και μεταφοράς μάζας

- Συνύπαρξη πολλαπλών χωρικών και χρονικών κλιμάκων ιδιαίτερα σε περιοχές σύνθετης τοπογραφίας

- Απαίτηση λεπτομερειακής περιγραφής του τοπογραφικού ανάγλυφου (Αριθμητικού Ανεμολογικού Άτλαντα) και περιγραφή μεγάλου αριθμού στιγμιότυπων της ροής

- RNG παραλλαγή του γνωστού μοντέλου τύρβης k - ε για περιπτώσεις όπου αναπτύσσονται ισχυρά φαινόμενα ανακυκλοφορίας ή και αποκόλλησης του οριακού στρώματος.

- Ιδιαίτερα υψηλή χωρική ανάλυση στην περιοχή τοποθέτηση της ανεμογεννήτριας

- Τεχνική τηλεσκοπικής πύκνωσης, (εμπλουτισμός τύπου -h ή τύπου –p και έλεγχος συρραφής), για την ακριβέστερη ανάλυση περιοχών ειδικού ενδιαφέροντος.

Τεχνολογικά οφέλη

- Η κατάλληλη χρήση της μικροκλιματικής ανάλυσης μπορεί να ενισχύσει την αξιοπιστία των ενεργειακών εκτιμήσεων λειτουργώντας συμπληρωματικά στις ευρέως χρησιμοποιούμενες τεχνικές και μεθόδους.

- Στα αρχικά στάδια υλοποίησης των αιολικών πάρκων, οι συστηματικοί μικροκλιματικοί υπολογισμοί μπορούν να συνεισφέρουν σημαντικά στον καλύτερο προγραμματισμό και βελτιστοποίηση των μετρήσεων. Επίσης, μαζί με το υφιστάμενο μετρητικό δίκτυο, οι προλέξεις μπορεί να εμπλουτίσουν την καταγεγραμμένη πληροφορία αφού παρέχουν τη δυνατότητα αναπαραγωγής μετρήσεων σε οποιαδήποτε επιθυμητή θέση.

- Η χρήση εξειδικευμένων υπολογιστικών εργαλείων για την ενεργειακή εκτίμηση ενός υποψήφιου αιολικού πάρκου συμβάλει σημαντικά τόσο στην επιτάχυνση των διαδικασιών αδειοδότησης όσο και στην μείωση του επενδυτικού ρίσκου.

Βιβλιογραφία 6^{ο} κεφαλαίου

1.- Γούλας Α. «Μηχανική των Ρευστών» εκδ. Γιαχούδη Θεσσαλονίκη 1998
2.- Ferzinger J.H.,Peric M. «Computational Methods for Fluid Dynamics» Springer & Verlag, Berlin 1996

3.- Kacmal J.C., Finnigan J.J. «Atmospheric Boundary Layer Flow » Oxford Unvercity Press, 1994

4.- Kijewski Tracy «Shaping the Wind and the face of tomorrow's skyscrapers» http://www./somfoundation.som.com/kijewski_essay.pdf

5.- Καλδέλλης Ι. Αρριανάς Λ. et al «Αξιολόγηση Αεροδυναμικής Συμπεριφοράς Αιολικών Μηχανών» 5^{ο} Εθνικό Συνέδριο για τις Ήπιες Μορφές Ενέργειας Αθήνα1996

6.- Ladyzhenskaya. O.A. «The mathematical theory of viscous incompessible flow» Second English edition. Translated from the Russian by R.A. Silverman and J. Chu. Gordon and Breach Science Publishers New York 1969

7.- Lions P.L. «Mathematical topics in fluid mechanics Vol. 1 Incopressible models» Oxford Lecture Series in Mathematics and its Applications 3 Oxford University press 1996

8.- Lions P.L. «Mathematical topics in fluid mechanics Vol. 2 Copressible models» Oxford Lecture Series in Mathematics and its Applications 10 Oxford University press 1998

9.- Schlichting H. «Boundary Layer Theory», Mc Graw Hill, New York, 1968

10.- Temam R. «Navier – Stokes Equations, Theory and Numerical Analysis» Reprint of the 1984 edition. AMS Chelsea Publishing Providence UK 2001

11.- Trezos C. Babiri Z. «New Evidence Concerning Basic Wind Velocity» Tech. Chron. Sci. J. TCG I No.2, 2001

Πηγές Διαδικτύου

12.- http://www.renewabledevices.com/swift/index.htm
13.- http://www.lowcarbonbuildingsphase2.org.uk/index.jsp
14.- http://www.citiesofscience.co.uk/go/London/ContentPlace_2543.html
15.- http://www.in.com/newsroom_essay.pdf
16.- www.pnoe-project.gr

Κεφάλαιο 7 Συμβολή στη βέλτιστη αρχιτεκτονική μορφή αιολικών κτιρίων

7.1 Διαδικασία επιλογής της τοπογραφικής θέσης και της μορφής ενός κτιρίου (υπάρχον ή υπό κατασκευή) στο οποίο πρόκειται να προσαρτηθεί ανεμοκινητήρας:

Ως προς τη θέση και τη μορφή του κτιρίου μπορούμε να αναφέρουμε τα ακόλουθα:

Είναι γνωστό, ότι το γενικό πλαίσιο της περιβαλλοντικής προστασίας και αειφόρου ανάπτυξης έχει σε κάθε περίπτωση τρεις διαστάσεις:

1.- Νομική

2.- Τεχνολογική

3.- Οικονομική

Η μεθοδολογία λοιπόν για την επιλογή της τοπογραφικής θέσης και της αρχιτεκτονικής μορφής του κτιρίου στο οποίο πρόκειται να προσαρτηθεί ανεμοκινητήρας, θα πρέπει να περιλαμβάνει *και* τις τρεις παραπάνω συνιστώσες επομένως συνοψίζεται στα ακόλουθα βήματα με σειρά προτεραιότητας:

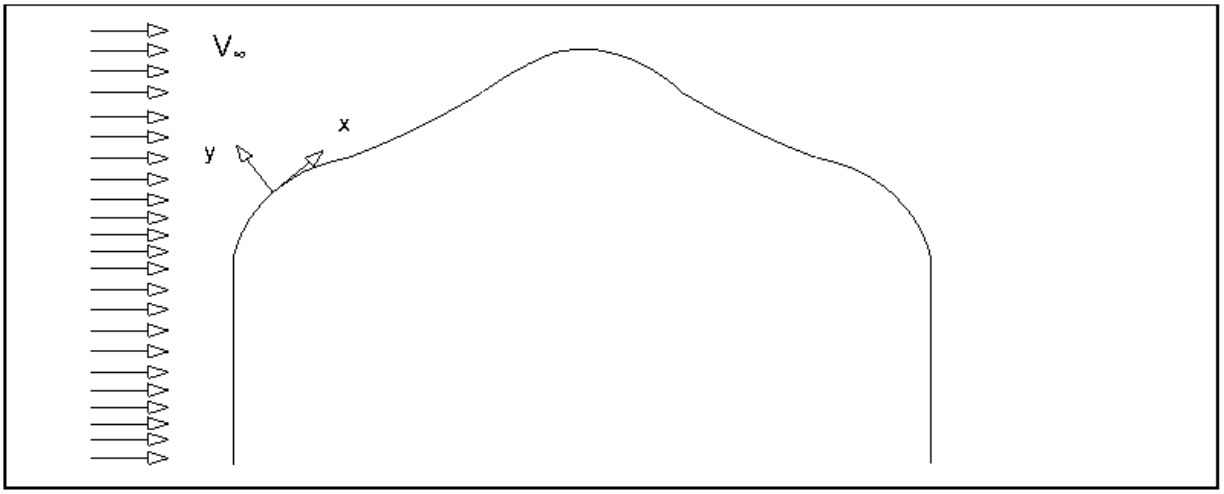
- Καταγραφή για ικανοποιητικό χρονικό διάστημα του αιολικού δυναμικού, (διάγραμμα επικρατούντων ανέμων της περιοχής και δεσπόζοντες άνεμοι), της εν λόγω περιοχής ή του πλησιέστερου σταθμού της ΕΜΥ για μια 5ετία τουλάχιστον καθώς επίσης και λήψη των σχετικών πληροφοριών από τη ΓΥΣ.
- Αποτύπωση της τοπογραφίας της περιοχής καθώς επίσης και των θέσεων και διαστάσεων των γειτονικών κτιρίων .
- Εξέταση των παραμέτρων των χρήσεων γης, του ΓΟΚ καθώς επίσης και του ιδιοκτησιακού καθεστώτος, (αν το εν λόγω κτίριο δεν έχει ακόμα κατασκευαστεί).
- Εξέταση της μορφολογίας του εδάφους (στρωματογραφικό προφίλ) και των εδαφομηχανικών παραμέτρων.
- Εξέταση της απόστασης του εν λόγω κτιρίου από κατοικημένες περιοχές (αν ο ανεμοκινητήρας που θα προσαρτηθεί είναι μεγάλων διαστάσεων και ενδεχομένως προκαλεί όχληση των περιοίκων και αισθητική υποβάθμιση της περιοχής). Η παράμετρος αυτή αφορά μόνο βιομηχανικά κτίρια ή συγκροτήματα εργατικών πολυκατοικιών.
- Αρχική επιλογή αρχιτεκτονικής μορφής του κτιρίου με βάση προσχεδίου κτιριολογικού προγράμματος.
- Αρχική επιλογή ανεμοκινητήρων και διερεύνηση των προβλημάτων κατά τη ζεύξη και απόζευξη τους (ζήτημα ηλεκτρομηχανολογικής φύσης – συνεργασία με μελετητές Η/Μ εγκαταστάσεων). Εκτίμηση του αριθμού και του μεγέθους τους με βάση το διαθέσιμο αιολικό δυναμικό παράλληλα με την αναμενόμενη ζήτηση της ηλεκτρικής ενέργειας. Η τελική επιλογή τους βασίζεται σε πολυκριτηριακή ανάλυση των εμπορικότερων ευρωπαϊκών μοντέλων.
- Διαμόρφωση της βέλτιστης αρχιτεκτονικής - αεροδυναμικής μορφής του κτιρίου ώστε να μεγιστοποιείται η η ταχύτητα σε βατές θέσεις του ροϊκού πεδίου με παράλληλη διατήρηση της οπισθέλκουσας δύναμης σε ανεκτά όρια
- Οριστική επιλογή μεγέθους και αριθμού ανεμοκινητήρων προσαρτημένων στο κτίριο.
- Έλεγχος στατικής επάρκειας της συνολικής κατασκευής, (συνεργασία με δομοστατικούς)
- Έλεγχος συνολικού κόστους της κατασκευής.
- Έλεγχος κέρδους (αριθμός Kwh ανά έτος). Πόσο σύντομα γίνεται απόσβεση του επιπλέον κόστους της κατασκευής;
- Επιλογή της βέλτιστης χωροταξικής κατανομής κτιρίων με προσαρτημένους ανεμοκινητήρες, (συνεργασία με πολεοδόμους – χωροτάκτες το τελευταίο θα μπορούσε να αποτελέσει αντικείμενο περαιτέρω έρευνας στο αντικείμενο του πολεοδομικού σχεδιασμού).

Εδώ όμως οφείλουμε να αναφέρουμε το γεγονός ότι το μέσο αστικό σπίτι, στις Ελληνικές τουλάχιστον πόλεις, έχει σε μεγάλο ποσοστό μία τουλάχιστον μεσοτοιχία και υπάρχουν πολλά εμπόδια στον περίγυρό του όπως γειτονικές κατοικίες και δέντρα. Θα πρέπει λοιπόν να γίνει μια γενικότερη έρευνα στην εκάστοτε αστική περιοχή και να προσδιοριστεί τουλάχιστον ποιοτικά ελλείψει άλλων δεδομένων η πυκνότητα της αστικής δόμησης.
Όπως γνωρίζουμε, η πυκνότητα της αστικής δόμησης ακολουθεί ομαλή πτώση καθώς αυξάνεται η απόσταση από τους πόλους έλξης του πληθυσμού, δηλαδή τα κέντρα των οικιστικών μονάδων, τους μεγάλους οδικούς άξονες, τις ακτές κτλ.

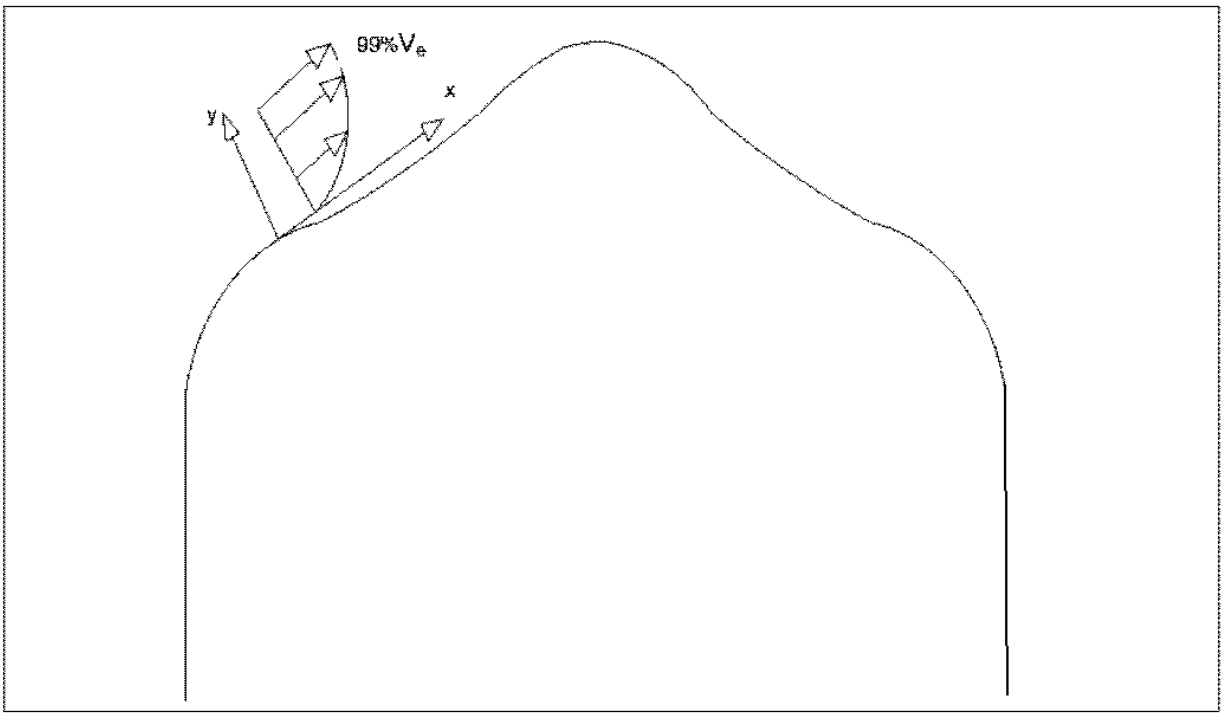
7.2 Συμβολή στην τελική επιλογή βέλτιστης αρχιτεκτονικής μορφής

Η διαμόρφωση της εκάστοτε βέλτιστης αρχιτεκτονικής μορφής του κτιρίου ώστε να μεγιστοποιείται η ταχύτητα σε βατές θέσεις του πεδίου ροής, (προφανώς πλησίον του κελύφους του κτιρίου), ανάγεται ουσιαστικά στο γενικότερο ανοιχτό πρόβλημα της ασυμπίεστης ιξώδους ροής νευτωνικού ρευστού γύρω από εδρασμένο εμπόδιο τυχαίου γεωμετρικού σχήματος.

Ακολουθούμε τις παραδοχές του Prandtl για το οριακό στρώμα, σύμφωνα με τις οποίες η ταχύτητα κατά την κύρια διεύθυνση της ροής, έχει αμελητέα μεταβολή ως προς την διαμήκη διεύθυνση του στερεού σώματος σε σχέση με την μεταβολή της ως προς την εγκάρσια διεύθυνση. Συνεπώς, όλες οι κατανομές της ταχύτητας κατά μήκος του οριακού στρώματος είναι μεταξύ τους όμοιες και διαφέρουν μόνο ως προς την κλίμακα μεγέθους κατά την κάθετη στο οριακό στρώμα διεύθυνση.
Παράλληλα, για δεδομένη τιμή της εφαπτομενικής μετατόπισης η πίεση κατά την εγκάρσια διεύθυνση είναι πρακτικά σταθερή, επομένως η πίεση ουσιαστικά μεταβάλλεται μόνο κατά μήκος του οριακού στρώματος.
Οι παραπάνω παραδοχές ισχύουν για μεγάλους αριθμούς Raynolds όπου το οριακό στρώμα έχει μικρές εγκάρσιες και μεγάλες διαμήκεις διαστάσεις. Εξαιρείται μόνο το τμήμα στην αρχή του στερεού σώματος, (leading edge), το οποίο όμως πρακτικά είναι ασήμαντο.
Βάσει των παραπάνω παραδοχών, μπορούμε να θεωρήσουμε την μετατόπιση κατά τη διαμήκη διεύθυνση ως παράμετρο. Θεωρούμε επομένως διαδοχικά προφίλ της ταχύτητας κατά μήκος του οριακού στρώματος, κάτι που προφανώς συνεπάγεται την υιοθέτηση ενός κινούμενου συστήματος συντεταγμένων κατά μήκος της διατομής της υποψήφιας αρχιτεκτονικής μορφής.



Εικ. 1 κινούμενο σύστημα συντεταγμένων



Εικ. 2 διαδοχικά προφίλ της ταχύτητας κατά μήκος του οριακού στρώματος

Οι παρακάτω εξισώσεις ισχύουν για ιξώδεις ασυμπίεστες ροές γύρω από εδρασμένο εμπόδιο καμπύλου σχήματος:

$$\frac{\partial V_x}{\partial x} + \frac{\partial V_y}{\partial y} = 0 \qquad \textbf{(7.1)}$$

$\wedge$

$$V_x \frac{\partial V_x}{\partial x} + V_y \frac{\partial V_x}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{dP}{dx} + \frac{\mu}{\rho} \cdot \frac{\partial^2 V_x}{\partial y^2} \qquad \textbf{(7.2)}$$

Οι οριακές συνθήκες που συμπληρώνουν αυτές τις εξισώσεις είναι οι εξής:

$(x, y) = (0,0) \Rightarrow$

$$V_x = 0 \qquad \textbf{(7.3A)}$$

$\wedge$

$$V_y = 0 \qquad \textbf{(7.3B)}$$

και $y \to +\infty \Rightarrow$

$$\lim_{y \to +\infty} V_x(x, y) = V_e(x) \qquad \textbf{(7.4)}$$

όπου ο όρος V_e δηλώνει την τοπική εξωτερική ταχύτητα, η οποία προκύπτει μέσω της θεωρίας άτριβης ροής.
Για το πεδίο πιέσεων, ακολουθούμε επίσης την παραδοχή του Prandtl για το οριακό στρώμα σύμφωνα με την οποία το πεδίο πιέσεων ικανοποιεί το παρακάτω σύστημα:

$$P = P(x) \qquad \textbf{(7.5A)}$$

$\wedge$

$$\frac{dP(x)}{dx} = \mu \frac{\partial^2 V_x(x, y)}{\partial y^2}\Big|_{y=0} \qquad \textbf{(7.5B)}$$

$\wedge$

$$\frac{\partial^2 V_x(x, y)}{\partial y^2}\Big|_{y \to +\infty} < 0 \qquad \textbf{(7.5C)}$$

Η μέθοδος που προτείνουμε για μια κλειστή λύση του παραπάνω συστήματος ως προς την οριζόντια συνιστώσα της ταχύτητας, έχει το πλεονέκτημα σε σχέση με τις διαθέσιμες αντίστοιχες αναλυτικές και αριθμητικές λύσεις ότι έχει εξαχθεί χωρίς την εισαγωγή αδιάστατων μεγεθών και έτσι ο διανυσματικός χαρακτήρας των εξισώσεων **(7.1)** και **(7.2)** δεν αλλοιώνεται.

Το μειονέκτημα βέβαια είναι ότι στη συγκεκριμένη κλειστή λύση που θα παρουσιάσουμε, υπεισέρχονται τρεις αυθαίρετες συνεχείς συναρτήσεις, εκ των οποίων η μία, όπως θα δείξουμε, ικανοποιεί ασυμπτωτικά μια συναρτησιακή εξίσωση.
Από τις εξισώσεις **(7.1)** και **(7.2)** προκύπτει:

$$V_y \frac{\partial V_x}{\partial y} - V_x \frac{\partial V_y}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{dP}{dx} + \frac{\mu}{\rho} \cdot \frac{\partial^2 V_x}{\partial y^2} \qquad \textbf{(7.6)}$$

Παράλληλα, από στοιχειώδη Λογισμό πολλών μεταβλητών, η παρακάτω ισότητα ισχύει ταυτοτικά:

$$\frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{V_x}{V_y}\right) \equiv \frac{V_y \cdot \frac{\partial V_x}{\partial y} - V_x \cdot \frac{\partial V_y}{\partial y}}{V_y^{\,2}}$$

Επομένως προκύπτει:

$$V_y^{\,2} \cdot \frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{V_x}{V_y}\right) - \frac{\mu}{\rho} \cdot \frac{\partial^2 V_x}{\partial y^2} \equiv -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{dP}{dx} \qquad \textbf{(7.7)}$$

Η γενική μορφή της εξίσωσης **(7.7)** είναι:

$$V_y^{\,2} \cdot \frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{V_x}{V_y}\right) - B \cdot \frac{\partial^2 V_x}{\partial y^2} = f(x) \qquad \textbf{(7.8)}$$

Η τελευταία εξίσωση, είναι προφανώς ισοδύναμη με το παρακάτω σύστημα:

$$B \cdot \frac{\partial^2 V_x}{\partial y^2} = h\,(x) + G(x,y) \qquad \textbf{(7.8A)}$$

$\wedge$

$$V_y^{\,2} \cdot \frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{V_x}{V_y}\right) = M\,(x) + G(x,y) \qquad \textbf{(7.8B)}$$

όπου η συνεχής συνάρτηση $G(x,y)$ είναι προφανώς αυθαίρετη και επίσης οι συνεχείς συναρτήσεις $h\,(x)$, $M\,(x)$ πρέπει να έχουν άθροισμα εκ ταυτότητας ίσο με τον όρο $-\frac{1}{\rho}\frac{dP}{dx}$.

Με ολοκλήρωση της εξίσωσης **(7.8A)** ως προς y προκύπτει:

$$B \cdot \frac{\partial V_x}{\partial y} = h\,(x) \cdot y + N_1(x) + G_1(x,y) + N_2(x) + C_1\,, \quad C_1 \in R$$

όπου η συνεχής συνάρτηση $N_1(x)$ είναι προφανώς αυθαίρετη και επίσης ο όρος $G_1(x,y) + N_2(x) + C_1$ δηλώνει το σύνολο των αντιπαραγώγων της συνάρτησης $G(x,y)$ ως προς τη μεταβλητή y.

Με δεύτερη ολοκλήρωση ως προς y προκύπτει η παρακάτω σχέση:

$$B \cdot V_x(x,y) = h\,(x) \cdot \frac{y^2}{2} + N_1(x) \cdot y + \Phi_1(x) + G_2(x,y) + N_2(x) \cdot y + C_1 \cdot y + C_2, \quad C_2 \in R$$

Λόγω των συνοριακών συνθηκών **(7.3A)** και **(7.3B)** η τελευταία σχέση γράφεται ισοδύναμα:

$$V_x(x,y) = \frac{h(x)}{B} \cdot \frac{y^2}{2} + \frac{N(x) \cdot y}{B} + \frac{G_2(x,y)}{B} + \frac{C_1 \cdot y}{B} + \frac{C_3}{B} - \frac{G_2(x,0)}{B} \qquad \textbf{(7.9)}$$

όπου

$$C_3 = \Phi_1(x) + G_2(x,0) = ct$$
$$N(x) = N_1(x) + N_2(x)$$

Ακολουθούμε την ίδια ακριβώς διαδικασία για την εξίσωση **(7.8B)**:

Μετά από δύο διαδοχικές παραγοντικές ολοκληρώσεις, προκύπτει η ακόλουθη σχέση:

$$-V_x \cdot V_y + 2 \cdot \int V_y \cdot \frac{\partial}{\partial y}(V_x)\, dy = M(x) \cdot y + \Phi_2(x) + G_1(x,y) + N_2(x) + C_1 \qquad \textbf{(7.10)}$$

όπου η συνεχής συνάρτηση $\Phi_2(x)$ είναι προφανώς αυθαίρετη και επίσης ο όρος $G_1(x,y) + N_2(x) + C_1$,δηλώνει όπως ήδη έχουμε αναφέρει, το σύνολο των αντιπαραγώγων της συνάρτησης $G(x,y)$ ως προς τη μεταβλητή y .

Λόγω των συνοριακών συνθηκών **(7.3A)** και **(7.3B)**, η σχέση **(7.10)** γράφεται ισοδύναμα:

$$-V_x \cdot V_y + 2 \cdot \int V_y \cdot \frac{\partial}{\partial y}(V_x)\, dy = M(x) \cdot y + G_1(x,y) - G_1(x,0) + C_4 \qquad \textbf{(7.11)}$$

Στη συνέχεια εφαρμόζουμε τη συνοριακή συνθήκη **(7.4)** στις εξισώσεις **(7.9)** και **(7.11)**.

Για το σκοπό αυτό διαιρούμε την εξίσωση **(7.9)** με y^2 και την **(7.11)** με y .

Έτσι έχουμε αντίστοιχα:

$$V_x(x,y)\frac{1}{y^2} = \frac{h(x)}{B} \cdot \frac{y^2}{2y^2} + \frac{N(x) \cdot y}{By^2} + \frac{G_2(x,y)}{By^2} + \frac{C_1 \cdot y}{By^2} + \frac{C_3}{By^2} - \frac{G_2(x,0)}{By^2} \qquad \textbf{(7.9*)}$$

και

$$\frac{-V_x \cdot V_y}{y} + \frac{2 \cdot \int V_y \cdot \frac{\partial}{\partial y}(V_x)\, dy}{y} = M(x) + \frac{G_2(x,y)}{y} - \frac{G_1(x,0)}{y} + \frac{C_4}{y} \qquad \textbf{(7.11*)}$$

Από την εξίσωση **(7.9*)** σε συνδυασμό με τη συνοριακή συνθήκη **(7.4)** προκύπτει:

$$\lim_{y \to +\infty} \left(\frac{G_2(x,y)}{y^2 \cdot B} + \frac{h(x)}{2 \cdot B} \right) = 0 \Rightarrow$$

$$\lim_{y \to +\infty} \frac{G_2(x,y)}{y^2} = -\frac{h(x)}{2} \qquad \textbf{(7.12)}$$

Από την εξίσωση **(7.11*)** σε συνδυασμό με τη συνοριακή συνθήκη **(7.4)**, προκύπτουν σε πρώτη φάση τα ακόλουθα δύο συμπεράσματα:

1) Όταν η μεταβλητή yx τείνει στο άπειρο, η συνιστώσα V_x σύμφωνα με τη θεωρία του οριακού στρώματος είναι μόνο συνάρτηση της μεταβλητής x , επομένως ισχύει:

$$\frac{\partial V_x}{\partial y} = 0 \qquad \textbf{(7.13)}$$

2) Όταν η μεταβλητή y τείνει στο άπειρο, ο όρος $\int V_y \frac{\partial V_x}{\partial y}\, dy$ προφανώς ταυτίζεται με το γενικευμένο ολοκλήρωμα $\int_0^{+\infty} \left(V_y \frac{\partial V_x}{\partial y}\, dy \right)$

Λόγω της σχέσης **(7.13)**, καθώς επίσης και λόγω του ότι οι συνιστώσες της ταχύτητας δεν μπορούν προφανώς να απειρίζονται, εξαιτίας της φύσης του φαινόμενου που εξετάζουμε, προκύπτει:

$$\lim_{y \to +\infty} \frac{\left(V_y \cdot \frac{\partial V_x}{\partial y} dy \right)}{\cos(y)^2} = 0 \qquad \textbf{(7.14)}$$

Προφανώς έχουμε ήδη λάβει υπόψη, ότι η ποσότητα $\cos(y^2)$ είναι πάντοτε φραγμένη διότι ανήκει στο κλειστό διάστημα $[-1,1]$.

Επομένως, η σχέση **(7.14)** γράφεται ισοδύναμα ως εξής:

$$\frac{\int_0^{+\infty} \left(V_y \frac{\partial V_x}{\partial y} dy \right)}{\int_0^{+\infty} \cos(y^2)} = 0 \qquad \textbf{(7.14*)}$$

Όμως από στοιχειώδη Απειροστικό Λογισμό ξέρουμε επίσης ότι ο όρος $\int_0^{+\infty} \cos(y^2)$ που ονομάζεται ολοκλήρωμα Fresnel συγκλίνει στην τιμή $\frac{\sqrt{2}}{4}$.

Επομένως **και** ο όρος $\int_0^{+\infty} \left(V_y \frac{\partial V_x}{\partial y} dy \right)$, ή ισοδύναμα ο όρος $\lim_{y \to +\infty} \int V_y \cdot \frac{\partial V_x}{\partial y} dy$ **πρέπει να συγκλίνει**.

Συνεπώς βάσει των παραπάνω συμπερασμάτων, η σχέση **(7.11*)** καταλήγει στη μορφή:

$$M(x) + \lim_{y \to +\infty} \left(\frac{G_1(x,y)}{y} \right) - \lim_{y \to +\infty} \left(\frac{G_1(x,0)}{y} \right) = ct \Leftrightarrow$$

$$\lim_{y \to +\infty} \left(\frac{G_1(x,y)}{y} \right) + M(x) = ct \qquad \textbf{(7.15)}$$

Επειδή έχουμε θεωρήσει την μετατόπιση κατά τη διαμήκη διεύθυνση ως παράμετρο, οι σχέσεις **(7.12)** και **(7.15)** είναι προφανώς ισοδύναμες μεταξύ τους. Συγκεκριμένα, η σχέση **(7.15)** προκύπτει από την **(7.12)** μέσω του κανόνα L' Hospital.

Επανερχόμενοι λοιπόν στην εξίσωση **(7.9)**, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι η γενική λύση του συστήματος **(7.1)** και **(7.2)** με τις συνοριακές συνθήκες **(7.3A)**, **(7.3B)** και **(7.4)** είναι η ακόλουθη:

$$V_x(x,y) = \frac{h(x)}{B} \cdot \frac{y^2}{2} + \frac{N(x) \cdot y}{B} + \frac{G_2(x,y)}{B} + \frac{C_1 \cdot y}{B} - \frac{G_2(x,0)}{B} \qquad \textbf{(7.16)}$$

όπου η συνάρτηση G_2 είναι προφανώς συνεχής και ικανοποιεί την παρακάτω σχέση:

$$\lim_{y \to +\infty} \frac{G_2(x,y)}{y^2} = a, a \in R \qquad \textbf{(7.17)}$$

Έχοντας θεωρήσει την μετατόπιση κατά τη διαμήκη διεύθυνση ως παράμετρο, η τελευταία σχέση γράφεται:

$$\lim_{y \to +\infty} \frac{G_2(y)}{y^2} = a \qquad \textbf{(7.18)}$$

Έστω $\varepsilon > 0$. Σύμφωνα τότε με τον ορισμό του ορίου μιας πραγματικής συνάρτησης κατά Cauchy προκύπτει ότι:

$$\forall \varepsilon > 0 \exists \delta > 0 : -\varepsilon < \frac{G_2(y)}{y^2} - a < \varepsilon \Leftrightarrow$$

$$-\varepsilon y^2 < G_2(y) - ay^2 < \varepsilon y^2 \qquad \textbf{(7.19)}$$

Στην τελευταία ανίσωση, θέτουμε όπου $y \leftrightarrow y-1$
Επομένως συνεπάγεται ότι:

$$-\varepsilon(y-1)^2 < G_2(y-1) - a(y-1)^2 < \varepsilon(y-1)^2 \Leftrightarrow$$

$$-\varepsilon(y^2 - 2y + 1) < G_2(y-1) - a(y^2 - 2y + 1) < \varepsilon(y^2 - 2y + 1) \Leftrightarrow$$

$$-\varepsilon y^2 + \varepsilon(2y-1) < G_2(y-1) - ay^2 + a(2y-1) < \varepsilon y^2 - \varepsilon(2y-1) \qquad \textbf{(7.20)}$$

Με αφαίρεση κατά μέλη των ανισώσεων **(7.19)** και **(7.20)** προκύπτει η παρακάτω συναρτησιακή εξίσωση:

$$-\varepsilon(2y-1) < G_2(y) - G(y-1) - a(2y-1) < \varepsilon(2y-1) \quad \overset{2y-1>0}{\Leftrightarrow}$$

$$-\varepsilon < G_2(y) - G(y-1) - a < \varepsilon \Leftrightarrow$$

$$\lim_{y \to +\infty} \left| \left(\frac{G_2(y) - G_2(y-1)}{2y-1} - a \right) \right| = 0 \Leftrightarrow$$

$$\lim_{y \to +\infty} \left(\frac{G_2(y) - G_2(y-1)}{2y-1} \right) = a \qquad \textbf{(7.21)}$$

Παράλληλα, από τη σχέση **(7.18)** σε συνδυασμό τον ορισμό του ορίου συνάρτησης κατά Heine προκύπτει:

$$\forall y_n, n \in N : \lim_{n \to +\infty} y_n = +\infty \Rightarrow \lim_{y \to +\infty} \frac{G_2(y_n)}{{y_n}^2} = a \qquad \textbf{(7.22)}$$

ή ισοδύναμα: $$\lim_{y \to +\infty} \left(\frac{G_2(y_n) - G_2(y_n - 1)}{2y_n - 1} \right) = a \qquad \textbf{(7.23)}$$

Εύρεση προσεγγιστικής λύσης της συναρτησιακής εξίσωσης (7.23):

Θεωρούμε την ακολουθία: $\theta_n : N \to R : \theta_n \equiv (G_2 \circ y)(n) \equiv G_2(y_n)$ την οποία προσεγγίζουμε με τη βοήθεια τριών πολυωνυμικών συναρτήσεων $A(n), D(n), Q(n)$ $\forall n \in N$ μέσω της παρακάτω αναδρομικής σχέσης:

$$A(n)\cdot\theta(n)-D(n)\cdot\theta(n-1)=Q(n)\quad\forall n\in N \tag{7.24}$$

ή ισοδύναμα:

$$\theta(n)-\frac{D(n)}{A(n)}\cdot\theta(n-1)=\frac{Q(n)}{A(n)} \tag{7.25}$$

Σχηματίζουμε το παρακάτω γινόμενο:

$$\prod_{n=1}^{n}\frac{D(n)}{A(n)}=\frac{D(1)}{A(1)}\cdot\frac{D(2)}{A(2)}\cdot\ldots\cdot\frac{D(n)}{A(n)}=\frac{\prod_{n=1}^{n}D(n)}{\prod_{n=1}^{n}A(n)} \tag{7.26}$$

Επομένως για $\dfrac{\prod_{n=1}^{n}D(n)}{\prod_{n=1}^{n}A(n)}\neq 0$ προκύπτει η ακόλουθη σχέση:

$$\frac{\theta(n)}{\prod_{n=1}^{n}\frac{D(n)}{A(n)}}-\frac{\theta(n-1)}{\prod_{n=1}^{n-1}\frac{D(n)}{A(n)}}=\frac{Q(n)}{A(n)\cdot\prod_{n=1}^{n-1}\frac{D(n)}{A(n)}} \tag{7.27}$$

Αν γράψουμε τις αντίστοιχες εκφράσεις της παραπάνω σχέσης για $n=1,2,3,\ldots,n$ και προσθέσουμε κατά μέλη προκύπτει:

$$\frac{\theta(n)}{\prod_{n=1}^{n}\frac{D(n)}{A(n)}}-\frac{\theta(0)}{\frac{D(1)}{A(1)}}=\sum_{n=1}^{n}\left(\frac{Q(n)}{A(n)\cdot\prod_{n=1}^{n}\frac{D(n)}{A(n)}}\right)\Leftrightarrow$$

$$\theta(n)=\left(\sum_{n=1}^{n}\left(\frac{Q(n)}{A(n)}\cdot\prod_{n=1}^{n}\frac{A(n)}{D(n)}\right)+\frac{G_2(0)}{\frac{D(1)}{A(1)}}\right)\cdot\prod_{n=1}^{n}\frac{D(n)}{A(n)}\Leftrightarrow$$

$$\theta(n)=\left(\sum_{n=1}^{n}\left(\frac{Q(n)}{A(n)\cdot\prod_{n=1}^{n}\frac{D(n)}{A(n)}}\right)+\frac{G_2(0)}{\frac{D(1)}{A(1)}}\right)\cdot\prod_{n=1}^{n}\frac{D(n)}{A(n)}\Leftrightarrow$$

$$\theta(n)=\prod_{n=1}^{n}\frac{D(n)}{A(n)}\cdot\left(\sum_{n=1}^{n}\left(\frac{Q(n)}{D(n)}\cdot\prod_{n=1}^{n-1}\frac{A(n)}{D(n)}\right)\right)+\frac{G_2(0)}{\frac{D(1)}{A(1)}}\cdot\prod_{n=1}^{n}\frac{D(n)}{A(n)}\Leftrightarrow$$

$$\theta(n)=\prod_{n=1}^{n}\frac{D(n)}{A(n)}\cdot\sum_{n=1}^{n}\left(\frac{Q(n)}{D(n)}\cdot\prod_{n=1}^{n-1}\frac{A(n)}{D(n)}\right)+G_2(0)\cdot\prod_{n=2}^{n}\frac{D(n)}{A(n)} \tag{7.28}$$

Άρα η συνάρτηση $G_2(y_n)$ υπολογίζεται προσεγγιστικά από τη σχέση:

$$G_2(y_n)=\prod_{n=1}^{n}\frac{D(n)}{A(n)}\cdot\sum_{n=1}^{n}\left(\frac{Q(n)}{D(n)}\cdot\prod_{n=1}^{n-1}\frac{A(n)}{D(n)}\right)+G_2(0)\cdot\prod_{n=2}^{n}\frac{D(n)}{A(n)} \tag{7.29}$$

Στη συνέχεια προχωρούμε στην εύρεση περιορισμών για το βαθμό των πολυωνύμων, μέσω των οποίων έχουμε προσεγγίσει τη συνάρτηση:

$$\theta_n \equiv (G_2 \circ y)(n) \equiv G_2(y_n)$$

Από τη σχέση **(7.25)**,προκύπτει:

$$\theta(n) - \frac{D(n)}{A(n)} \cdot \theta(n-1) = \frac{Q(n)}{A(n)} \Leftrightarrow$$

$$\theta(n) - \theta(n-1) = \frac{Q(n)}{A(n)} + \frac{D(n)}{A(n)} \cdot \theta(n-1) - \theta(n-1) \Leftrightarrow$$

$$\theta(n) - \theta(n-1) = \theta(n-1)\left(\frac{D(n)}{A(n)} - 1\right) + \frac{Q(n)}{A(n)} \Leftrightarrow$$

$$\frac{\theta(n) - \theta(n-1)}{2n-1} = \frac{\theta(n-1)}{2n-1} \cdot \left(\frac{D(n)}{A(n)} - 1\right) + \frac{Q(n)}{(2n-1) \cdot A(n)} \qquad \textbf{(7.30)}$$

Για $n \to +\infty$ έχουμε:

$$\lim_{n \to +\infty}\left(\frac{\theta(n) - \theta(n-1)}{2n-1}\right) = \lim_{n \to +\infty}\left(\left(\frac{\theta(n-1)}{2n-1}\right) \cdot \left(\frac{D(n)}{A(n)} - 1\right)\right) + \lim_{n \to +\infty}\frac{Q(n)}{(2n-1) \cdot A(n)} = a \Leftrightarrow$$

$$\lim_{n \to +\infty}\frac{\theta(n) - \theta(n-1)}{2n-1} = \lim_{n \to +\infty}\left(\left(\frac{\theta(n-1)}{(n-1)^2}\right) \cdot \frac{(n-1)^2}{2n-1}\left(\frac{D(n)}{A(n)} - 1\right)\right) + \lim_{n \to +\infty}\frac{Q(n)}{(2n-1) \cdot A(n)} = a \Leftrightarrow$$

$$\lim_{n \to +\infty}\left(\frac{\theta(n-1)}{(n-1)^2}\right) \cdot \lim_{n \to +\infty}\left(\left(\frac{(n-1)^2}{2n-1}\right)\left(\frac{D(n)}{A(n)} - 1\right)\right) + \lim_{n \to +\infty}\frac{Q(n)}{(2n-1) \cdot A(n)} = a \qquad \textbf{(7.31)}$$

Παρατηρούμε ότι η ακολουθία $\left(\frac{\theta(n-1)}{(n-1)^2}\right)$ είναι προφανώς υπακολουθία της $\left(\frac{\theta(n)}{n^2}\right)$, επομένως έχει το ίδιο όριο για $n \to +\infty$

Άρα προκύπτει:

$$a \cdot \left(\left(\frac{(n-1)^2}{2n-1}\right)\left(\frac{D(n)}{A(n)} - 1\right)\right) + \lim \frac{Q(n)}{(2n-1) \cdot A(n)} = a \Leftrightarrow$$

$$\lim_{n \to +\infty}\left(\frac{(n-1)^2}{2n-1}\right) \cdot \lim_{n \to +\infty}\left(\frac{D(n)}{A(n)}\right) + \frac{1}{a} \cdot \lim_{n \to +\infty}\left(\frac{Q(n)}{(2n-1) \cdot A(n)}\right) = 2 \qquad \textbf{(7.32A)}$$

όπου $a \in R - \{+\infty, -\infty\}$

Επίσης είναι γνωστό από στοιχειώδη Απειροστικό Λογισμό ότι κάθε γινόμενο της μορφής $\prod_{n=1}^{+\infty}(1 + a_n)$ συγκλίνει αν και μόνο αν η σειρά $\sum_{n=1}^{+\infty} a_n$ συγκλίνει.

Επομένως μπορούμε να γράψουμε το γινόμενο $\prod_{n=1}^{n} \frac{D(n)}{A(n)}$ στη μορφή:

$$\prod_{n=1}^{n}\left(1+ \frac{D(n)-A(n)}{A(n)} \right)$$

Στη συνέχεια εξετάζουμε ως προς τη σύγκλιση τη σειρά:

$$\sum_{n=1}^{n}\left(\frac{D(n)-A(n)}{A(n)} \right)$$

Από Απειροστικό Λογισμό ξέρουμε επίσης, ότι μια σειρά της μορφής: $\sum_{n=1}^{n}\left(\frac{F(n)}{G(n)} \right)$, όπου οι συναρτήσεις $F(n), G(n)$ είναι πολυώνυμα, συγκλίνει αν και μόνο αν:

$$\deg G(n) > 1 + \deg F(n)$$

Επομένως στην περίπτωσή μας ισχύει:

$$\deg A(n) > 1 + \deg\big(D(n)-A(n)\big) \qquad \textbf{(7.32B)}$$

Η γενική λύση του συστήματος **(7.1)** και **(7.2)** με τις συνοριακές συνθήκες **(7.3A)** , **(7.3A)** και **(7.4)** είναι που δώσαμε ισχύει όπως είπαμε για κινούμενο σύστημα συντεταγμένων θεωρώντας τη μεταβλητή x ως παράμετρο.

Αν είχαμε θεωρήσει ένα ακίνητο σύστημα συντεταγμένων στην αρχή της διατομής της επιφάνειας, τότε θα μπορούσαμε να ακολουθήσουμε την ίδια διαδικασία εξαγωγής της σχέσης **(7.16)** γράφοντας τις συνοριακές συνθήκες **(7.3A)** και **(7.3B)** στη μορφή: $(x,y) = (a,b) \Rightarrow \begin{matrix} V_x = 0 \\ \wedge \\ V_y = 0 \end{matrix}$

όπου το σημείο με συντεταγμένες (a,b) είναι αυθαίρετο σημείο πάνω στην εγκάρσια διατομή της επιφάνειας του εδρασμένου εμποδίου.

Επομένως προκύπτει η παρακάτω αντίστοιχη σχέση υπολογισμού της συνιστώσας της ταχύτητας κατά την κύρια διεύθυνση ροής $V_x(x,y)$.

$$V_x(x,y) = h(x)\cdot \frac{y^2}{2B} + \frac{N_1(x)\cdot y}{B} + \frac{\Phi_1(x)}{B} + \frac{G_2(x,y)}{B} + \frac{N_2(x)}{B}\cdot y + \frac{C_1}{B}\cdot y - \left(\frac{h(b)\cdot \frac{b^2}{2} + N_1(a)\cdot b + \Phi_1(a) + G_2(a,b) + N_2(a)\cdot b + C_1\cdot b}{B} \right) \qquad \textbf{(7.33)}$$

όπου και πάλι προφανώς ισχύει:

$$\lim_{y\to+\infty} \frac{G_2(x,y)}{y^2} = a, a \in R$$

ή ισοδύναμα

$$\lim_{y\to+\infty} \left(\frac{G_2(x,y) - G_2(x,y-1)}{2y-1} \right) = a$$

Βιβλιογραφία

1. - Arfken G. «Mathematical Methods for Physicists» Second edition Academic Press New York 1970

2. - Henrici P. «Discrete variable methods in ordinary differential equations»Wiley, New York 1962

3. - Hilbebrandt F. «Advanced Calculus for Applications» second edition Prentice – Hall, New Jersey 1976

4. - Ladyzhenskaya. O.A. «The mathematical theory of viscous incompressible flow» Second English edition. Translated from the Russian by R.A. Silverman and J. Chu. Gordon and Breach Science Publishers New York 1969 (reprint 1975)

5. - Lions P.L. «Mathematical topics in fluid mechanics Vol. 1 Incompressible models» Oxford Lecture Series in Mathematics and its Applications 3 Oxford University press 1996

6.- Powell M.J. «Approximation Theory and Methods» Cambridge U.P. Cambridge 1981

7. - Prandtl L. «The Mechanics of Viscous Fluids. In: W.F. ,D. (ed.) Aerodynamic Theory III. Berlin, Springer 1955

8.- Schlichting H. «Boundary Layer Theory», Mc Graw Hill, New York 1968 (reprint 1977)

9.- Stull R. «An Introduction to Boundary Layer Meteorology» Kluwer Academic Publ. 1989

10.- Temam R. «Navier-Stokes Equations», Theory and Numerical Analysis» Reprint of the 1984 edition. AMS Chelsea Publishing Providence UK 2001

11.- Trinh K. «A Theory of Turbulence Part I: Towards Solutions of the Navier Stokes Equations» arXiv.org [physics.fludyn.] [Online]. Available: http://arxiv.org/abs/0910.2072

12.- Trinh K. A «On the Blasius correlation for friction factors» arXiv.org [physics.fludyn.] [Online]. Available: http://arxiv.org/abs/1007.0605

13.- Venetis J., Sideridis E. «Approximate analytical specification of the wind distribution at the windward side of a building shell, whose cross-section shapes an inclined segment,via direct integration» Journal of Applied Mathematics and Fluid Mechanics Volume 3, Number 2 (2011), pp. 173 – 193

14.- J. Venetis, E. Sideridis «Contribution to the quality investigation of steady two – dimensional boundary layer homentropic compressible flows with variable viscosity» International Journal of Applied Mathematics & Engineering Sciences Vol. 6, No. 1, January-June 2012, pp. 29-44

15.- Whittaker E. Watson G. «A Course of Modern Analysis», fourth edition Cambridge University Press London 1963

8. - Ανακεφαλαίωση, Συμπεράσματα και προτάσεις – Επίλογος

Πρωτοτυπία και πλεονεκτήματα της συγκεκριμένης αναλυτικής μεθόδου

- Η μέθοδος που έχουμε προτείνει για λύση κλειστής μορφής του συστήματος των εξισώσεων Prandtl ως προς την οριζόντια συνιστώσα της ταχύτητας, που οδήγησε στις σχέσεις **(7.16)** και **(7.33)**, έχει το πλεονέκτημα σε σχέση με τις αντίστοιχες αναλυτικές ή και αριθμητικές λύσεις ότι έχει εξαχθεί χωρίς την εισαγωγή αδιάστατων μεγεθών και συνεπώς ο διανυσματικός χαρακτήρας των διαφορικών εξισώσεων Prandtl δεν αλλοιώνεται.

- Άρα για a priori καθορισμένες ιδιότητες του προφίλ της εγκάρσιας διανομής της ταχύτητας, η εν λόγω σχέση μπορεί να περιγράψει σε παραμετρική μορφή με μεταβλητές τις a,b και παραμέτρους τις x,y όλες της αντίστοιχες υποψήφιες διατομές του εδρασμένου εμποδίου.
  Για παράδειγμα, η απόσταση του σημείου καμπής του γραφήματος της συνάρτησης $V_x = V_x(y)$ από το στερεό όριο εξαρτάται προφανώς από την ένταση της ανασχετικής βαθμίδας πίεσης και την εμφάνιση του φαινόμενου της αποκόλλησης του οριακού στρώματος.
  Στην οριακή περίπτωση ροής με μηδενική βαθμίδα πίεσης το σημείο καμπής βρίσκεται πάνω στην επιφάνεια του στερεού ορίου.
  Επομένως αν μας ενδιαφέρει το σημείο αποκόλλησης της ροής να βρίσκεται σε μία συγκεκριμένη θέση, ή να περιοριστεί σε μία συγκεκριμένη περιοχή πάνω στη στερεή επιφάνεια μπορούμε να αντικαταστήσουμε την έκφραση **(7.33)** στην παρακάτω γνωστή από τη θεωρία οριακού στρώματος, σχέση:

$$\frac{\partial V_x(x,y)}{\partial y}\Big|_{y=b} = 0 \qquad \textbf{(8.1)}$$

  και στη συνέχεια να προσδιορίσουμε ποιοτικά σε παραμετρική μορφή, τις αντίστοιχες οικογένειες καμπύλων, (δηλαδή τις υποψήφιες διατομές της αρχιτεκτονικής μορφής, (παράλληλες στον κεντροβαρικό άξονα του κτιρίου), που θα προκύψουν.

- Παράλληλα, σύμφωνα με το 1° Θεώρημα Reyleigh, για μεγάλους αριθμούς Reynolds η ικανή και αναγκαία συνθήκη για να ενισχυθεί μια διαταραχή είναι η ύπαρξη τουλάχιστον ενός σημείου καμπής στην εγκάρσια διανομή της ταχύτητας, δηλαδή όταν ισχύει η σχέση:

$$\frac{d^2V_x(y)}{dy^2} = 0 \qquad \textbf{(8.2)}$$

  Εάν δεν υπάρχει σημείο καμπής στο γράφημα της συνάρτησης $V_x = V_x(y)$ τότε η όποια αστάθεια στη ροή μπορεί να δημιουργηθεί μόνο μέσω της επενέργειας του ιξώδους και μάλιστα με πολύ βραδύτερο ρυθμό.
  Επομένως μπορούμε μέσω της σχέσης **(7.33)** να διερευνήσουμε την περίπτωση διατομών επιφανειών με αυτήν την ιδιότητα.

Μειονεκτήματα της συγκεκριμένης μεθόδου

- ✓ Το πρώτο μειονέκτημα είναι, όπως ήδη αναφέραμε, ότι στη συγκεκριμένη κλειστή λύση που παρουσιάσαμε, εισέρχονται τρεις αυθαίρετες συνεχείς συναρτήσεις, εκ των οποίων η μία ικανοποιεί ασυμπτωτικά μια συναρτησιακή εξίσωση, την οποία λύσαμε προσεγγιστικά, (μέσω πολυωνυμικής παρεμβολής). Το μέγιστο σύνολο λύσεων της παραπάνω εξίσωσης, αποτελεί προφανώς αντικείμενο περαιτέρω έρευνας.

- ✓ Ο προσδιορισμός της εκάστοτε αρχιτεκτονικής μορφής ανάγεται ουσιαστικά στον προσδιορισμό μιας διατομής παράλληλης στον κεντροβαρικό άξονα του κτιρίου. Επομένως η αναγωγή του αρχιτεκτονικού σχεδιασμού στις τρεις διαστάσεις δεν μπορεί πάντοτε να γίνεται άμεσα, καθώς υπάρχουν εν γένει διαφοροποιήσεις ως προς τις περιοχές σύγκλισης των γραμμών ροής, (stream lines), και των γραμμών στροβιλότητας, (vortex lines), του πεδίου ροής πλησίον του εδρασμένου εμποδίου.
  Παράλληλα, κατά την αναγωγή του προσδιορισμού της αντίστοιχης αρχιτεκτονικής μορφής στις τρεις διαστάσεις, θα πρέπει οπωσδήποτε να τονιστεί ότι οι μη κυρτές τρισδιάστατες υλικές επιφάνειες δεν μπορούν εν γένει να οριστούν μονοσήμαντα, ως επαλληλία των διατομών τους οι οποίες είναι παράλληλες στον κεντροβαρικό τους άξονα.

- ✓ Επίσης, η επιφάνεια του εδρασμένου εμποδίου θεωρείται λεία επιφάνεια τόσο από τη σκοπιά της Ρευστοδυναμικής όσο από τη σκοπιά της Διαφορικής Γεωμετρίας.
  Δεν εξετάστηκε δηλαδή, η έννοια της τραχύτητας μιας επιφάνειας από τη σκοπιά της Ρευστοδυναμικής.

- ✓ Τέλος, δεν έχει εξακριβωθεί η άμεση χρηστικότητα της μεθόδου. Δηλαδή η πιθανή εισαγωγή των παραπάνω συμπερασμάτων, (που είναι εκπεφρασμένα μέσω καθαρών μαθηματικών), σε κάποια αλγοριθμική διαδικασία επιπέδου τελικού χρήστη, (προφανώς εκπεφρασμένη με διακριτά μαθηματικά), κατά πόσο θα διαφοροποιήσει το σύνολο αλήθειας τους και αν αυτό τελικά συμφέρει από υπολογιστική άποψη ή οδηγεί σε υπερακόντιση του υπολογιστικού κόστους.

Επίλογος

Στη συγκεκριμένη εργασία επιχειρήθηκε η συμβολή στην επιλογή βέλτιστης αρχιτεκτονικής μορφής κτιρίου ούτως ώστε να μεγιστοποιείται η ταχύτητα της ροής του ανέμου σε βατές θέσεις πλησίον του κτιρίου. Το εν λόγω τεχνικό πρόβλημα αντιμετωπίστηκε θεωρητικά μέσω της αναγωγής του στο γενικότερο ανοιχτό πρόβλημα της Ρευστοδυναμικής που αφορά ασυμπίεστη ροή γύρω από εδρασμένο εμπόδιο τυχαίου γεωμετρικού σχήματος. Η αρχιτεκτονική μορφή του εκάστοτε κτιρίου ουσιαστικά θεωρήθηκε ως προς το πεδίο ορισμού του διανύσματος θέσης, (x,y,z).
Στη συνέχεια έγινε αναγωγή του προβλήματος της επιλογής της αρχιτεκτονικής μορφής, σε επίπεδο διατομής σε συνδυασμό με τη Θεωρία Οριακού Στρώματος και δόθηκε προσεγγιστική κλειστή λύση του συστήματος των διαφορικών εξισώσεων Prandtl με τις γνωστές συνοριακές συνθήκες από τη Διαφορική Ανάλυση του Οριακού Στρώματος.
Για ένα δεδομένο λοιπόν σενάριο ενός δυσδιάστατου ροϊκού πεδίου έχοντας στη διάθεσή μας **κλειστή λύση** του συστήματος των διαφορικών εξισώσεων Prandtl, συμβιβαστή με τις εκάστοτε συνοριακές συνθήκες, μπορούμε να καταλήξουμε σε μια οικογένεια πεπλεγμένων διμελών σχέσεων, (implicit binary relations), της μορφής: $\mathrm{F(x,y)=0}$. Τα γραφήματα που προκύπτουν από αυτές τις σχέσεις, λόγω της παραδοχής του Συνεχούς Μέσου είναι προφανώς **<u>απλώς κλειστά γραφήματα</u>** και συνιστούν ουσιαστικά τα υποψήφια γεωμετρικά σχήματα της διατομής μιας αρχιτεκτονικής μορφής πάνω από την οποία λαμβάνει χώρα το εκάστοτε δεδομένο σενάριο ενός δυσδιάστατου ροϊκού πεδίου.
Ως προς το conceptual design μιας κατασκευής τώρα, που προφανώς είναι συγκερασμός τόσο της γεωμετρίας των δομικών μελών όσο και της επιλογής υλικών, η απαίτηση της ισχύος του παραπάνω συμπεράσματος, μπορεί εν γένει να συμβάλει στην τελική επιλογή της γεωμετρίας μιας αρχιτεκτονικής μορφής, με την προϋπόθεση ότι τα συμπεράσματα που δόθηκαν υπό μορφή καθαρών μαθηματικών, μπορούν να εισαχθούν, π.χ. ως εμβόλιμη υπορουτίνα, στον πηγαίο κώδικα ενός λογισμικού, (προφανώς εκπεφρασμένο με διακριτά μαθηματικά), ή σε μια βάση δεδομένων **επιπέδου τελικού χρήστη** και τελικά να έρθουν στα χέρια όσων ασχολούνται με την εφαρμοσμένη έρευνα ή το conceptual design.

Προτάσεις για επιπλέον έρευνα

Α) Διερεύνηση της λύσης της συναρτησιακής εξίσωσης $\lim_{y \to +\infty} \left(\frac{G_2(x,y) - G_2(x,y-1)}{2y-1} \right) = a, a \in R$ και εντοπισμός της μέγιστης οικογένειας συνεχών συναρτήσεων που την ικανοποιούν.
Εισαγωγή των αποτελεσμάτων στις σχέσεις **(7.16)** και **(7.33)**.

Β) Τα πολυώνυμα $A(n)$, $D(n)$, $Q(n)$ που υπεισέρχονται στη σχέση **(7.29)** στη θα μπορούσαν να επιλεχθούν από συγκεκριμένες οικογένειες πολυωνύμων π.χ. Bernstein, Legendre όπου ισχύουν οι ακόλουθες αναδρομικές σχέσεις:

i) πολυώνυμα Bernstein

Η παράγωγος ενός πολυωνύμου Bernstein μπορεί πάντοτε να γραφεί ως γραμμικός συνδυασμός δύο πολυωνύμων κατώτερου βαθμού.

$$b'_{\nu,\kappa}(n) = b_{\nu-1,\kappa-1}(n) - b_{\nu,\kappa-1}(n) \qquad \textbf{(8.3)}$$

Ένα πολυώνυμο Bernstein μπορεί πάντοτε να γραφεί ως γραμμικός συνδυασμός δύο πολυωνύμων ανώτερου βαθμού.

$$b_{\nu,\kappa-1}(n) = \frac{\kappa-\nu}{\kappa} b_{\nu,\kappa}(n) + \frac{\nu+1}{\nu} b_{\nu+1,\kappa}(n) \quad \textbf{(8.4)}$$

ii) πολυώνυμα Legendre

$$l'_{\nu}(n) = nl'_{\nu-1}(n) + nl_{\nu-1}(n) \quad \textbf{(8.5)}$$

$$l_{\nu}(n) = nl_{\nu-1}(n) + \frac{n^2-1}{n} l'_{\nu-1}(n) \quad \textbf{(8.6)}$$

$$(\nu+1)l_{\nu+1}(n) = (2\nu+1)x\, l_{\nu}(n) - \nu l_{\nu-1}(n) \quad \textbf{(8.7)}$$

Προφανώς οι παραπάνω σχέσεις θα πρέπει να συνδυαστούν με τις σχέσεις που έχουμε ήδη αποδείξει ότι ισχύουν για τα πολυώνυμα αυτά, σχέσεις **(7.32A)** και **(7.32B)**.

Γ) Παράλληλα, μπορούμε να θεωρήσουμε την τραχύτητα μιας επιφάνειας, σε επίπεδο εγκάρσιας διατομής, ως την πολυγωνική προσέγγιση του μήκους του γραφήματος μιας συνάρτησης **φραγμένης κύμανσης** (of bounded variation).

Επομένως αν περιοριστούμε σε κυρτές συναρτήσεις, οι οποίες προφανώς είναι πάντοτε φραγμένης κύμανσης, μέσω των σχέσεων **(7.33)** και **(8.2)** προκύπτει για την περιοχή πλησίον του σημείου καμπής του γραφήματος της συνάρτησης $V_x(y)$:

$$\frac{d^2V_x(y)}{dy^2} = \frac{1}{B}\frac{\partial^2 G_2(x,y)}{\partial^2 y} = 0 \Leftrightarrow$$

$$G_2(x,y) = A_1(x)y + A_2(x) + \kappa \quad \textbf{(8.8)}$$

Στη συνέχεια προκειμένου να βρούμε την περιοχή για την οποία η παραπάνω συνάρτηση είναι φραγμένης κύμανσης και συνεπώς ορίζεται η πολυγωνική της προσέγγιση, θέτουμε στην τελευταία $y \leftrightarrow [y]$,όπου $[y]$ είναι το ακέραιο μέρος της πραγματικής μεταβλητής y, και στη συνέχεια υπολογίζουμε την ακτίνα σύγκλισης της παρακάτω δυναμοσειράς για τις εκάστοτε συνεχείς συναρτήσεις $A_1(x)$ και $A_2(x)$:

$$\sum_{[y]=1}^{+\infty} \left| G_2([y]-1) - G_2([y]) \right| \quad \textbf{(8.9)}$$

Παράρτημα

Ενοποιημένη βιβλιογραφία και αναφορές

1	Αγάντζα – Μπαλοδήμου Α.Μ. – Μπαλοδήμος Δ.Δ.	Εισαγωγή στη Γαιωδαισία	εκδ. ΕΜΠ, 2001
2	Αγγελίδης Μ.	Χωροταξικός Σχεδιασμός και Βιώσιμη Ανάπτυξη	εκδ. Συμμετρία Αθήνα 2000
3	Αθανασιάδης Ν.	Μηχανική των Ρευστών	εκδ. Συμεών 1989
4	Ανδρεαδάκη – Χρονάκη Ε.	Βιοκλιματική Αρχιτεκτονική – Παθητικά Ηλιακά Συστήματα	εκδ. University Studio Press Θεσσαλονίκη 2000
5	Ανδρεαδάκης Α. et al.	Περιβαλλοντική Τεχνολογία	εκδ. ΕΜΠ 2003
6	Αντωνόπουλος Κ.	Θερμικά Ηλιακά Συστήματα	εκδ. ΕΜΠ 2004
7	Αραβαντινός Α. et al.	Πολεοδομικός Σχεδιασμός	εκδ. Συμμετρία 1997
8	Architect's Council of Europe	A Green Vitrouvious: Sustainable Architectural Design	E.C. 27/02/1998
9	Arfken G.	Mathematical Methods for Physicists	Second edition Academic Press New York 1970
10	ASHRAE	Standards for Ventilation Requirements for minimum acceptable indoor air quality	Atlanta, USA, 1999
11	ASHRAE	Fundamentals Handbook Chapt. 23, Infiltration and Ventilation	USA 1989
12	ASTM	Standard Test Method for Determining Air Leakage Rate by Fan Pressurization	E 779 – 81, 1981
13	ASTM	Standard Test Method for Determining Air Leakage Rate by Tracer Dilution	E 741 – 83, 1983.
14	Βουδούρης Γ.	Λεξικό Φυσικών Επιστημών	Αθήνα 1982
15	Βαβίζος Μ. Μερτζάνης Δ.	Περιβάλλον	εκδ. Παπασωτηρίου 2002
16	Βιτρούβιος	Περί Αρχιτεκτονικής, I - V	εκδ. Πλέθρον 1998
17	Boutect T.	Controlling air movement	McGraw Hill Book company, 1997
18	Brown L.	Building a Sustainable Society	W.W. Norton Co. New York 1981
19	ΓΕΑ	Σημειώσεις Θερμοδυναμικής της ατμόσφαιρας	εκδ. ΓΕΑ 1990
20	Γεντεκάκης Ι.	Ατμοσφαιρική Ρύπανση	εκδ. Τζιόλα, Πάτρα 2003
21	Γεωργουλής Δ. et al.	Συγκριτικές προσεγγίσεις στη θεωρία και τη φιλοσοφία του αστικού σχεδιασμού	εκδ. Παπαζήση 2006
22	Γενικός Οικοδομικός Κανονισμός Άρθρο 26	Κανονισμός για την Ορθολογική Χρήση και Εξοικονόμηση Ενέργειας	ΦΕΚ 880/Β 19/8/1998
24	Γιαουτζή Μ.	Ζητήματα σχεδιασμού του χώρου	εκδ. ΕΜΠ 2001
25	Γούλας Α.	Μηχανική των Ρευστών	εκδ. Γιαχούδη Θεσσαλονίκη 1998
26	Calvin W.H.	A brain for all seasons: Human Evolution and Abrupt Climate Change	University of Chicago Press, 2002
27	Cassedy E.S., Grossman P.Z.	Introduction to Energy Resources, Technology and Safety	Cambridge University Press, 1990
28	Cavallo A.J. et al	Wind Energy Technology and Economics	Island Press Washington,1993
23	Chauvet G.	The mathematical Nature of the Living World: The Power of Integration	World Scientific N.J., 2004
24	Cohen R., Davis R., Stavenden M.	Natural Ventilation Design for a consert hall	AIVC Conference: Optimum ventilation and air flow control in buildings Vol. 2 pp 468 – 475, 1996
28	ΔΕΗ	Φυσικές λύσεις για τον άνθρωπο και το περιβάλλον	Έντυπο Δ/νσης Επικοινωνίας ΔΕΗ, Αθήνα 2001
29	Δημητρίου Ι. et al	Λεξιλόγιο όρων Περιβαλλοντικής Ρευστομηχανικής	εκδ. ΤΕΕ 1998
30	Διϋπουργική Ομάδα Σχεδιασμού Αναπτυξιακού Προγράμματος 2000- 2006	Συνοπτικό Σχέδιο Περιφερειακής Ανάπτυξης 2000 - 2006	Τελική Έκδοση, 1998
31	Dwass M. W.A.	Probalitity and Statistics,	Benjamin, inc. New York, 1970
32	Doukas H. et al	Energy Research and Technology Development. Data collection strategies: The case of Greece	Energy Reviews Vol. 3 Issue 3 April 2009
33	ECMWF – JCSDA	Workshop on Assimilating Satellite Observations of Clouds	15-17 June 2010

		and Precipitation into NWP Models	
34	ECMWF	Workshop on Non-hydrostatic Modelling	8-10 November 2010
35	ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε.	Άτλαντας Ανέμου και Κύματος των Ελληνικών Θαλασσών	ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε. Αθήνα2007
36	Ευαγγελινός Ε.	Προβλήματα αποκατάστασης στη μικρή κλίμακα του αστικού χώρου	εκδ. Ανοιχτού Πανεπιστημίου, 2001
37	European Comission	A Handbook on Environmental Assessment of Regional Development Plans and EU Structural Funds Programmes	DG XI, 1998
38	European Comission	Caring for our future	Brussels 1999
39	European Comission	Guidelines for Assessment of Indirect and Cumulative Impacts as well as Impact Interactions	DG XI, 1999
40	European Comission	Revision of the EU Guidance Documents on EIA – First Interim Report	DG XI, 2000
41	European Comission	Energy Research. Why Energy Research?	DG XI, 2007
42	European Union Expert Group on the Urban Environment	Draft Report	Sustainable Cities Progect», April 1994
43	Ευρωπαϊκή Επιτροπή	Πράσινη Βίβλος της Ευρωπαϊκής Επιτροπής – Για μια Ενεργειακή Πολιτική της Ε.Ε.	Βρυξέλλες 1995
44	Ευρωπαϊκή Επιτροπή	Λευκή Βίβλος της Ευρωπαϊκής Επιτροπής – Ενεργειακή Πολιτική της Ε.Ε.	Βρυξέλλες 1996
45	Fanger P.	Thermal comfort	Mc Graw – Hill, New York 1973
46	Ferzinger J.H.,Peric M.	Computational Methods for Fluid Dynamics	Springer & Verlag, Berlin 1996
47	Fiesz M.	Probalitity Theory Mathematical Statistics	3rd edition Wiley New York, 1963
48	Fleagle R.G., Busiger J.A.	An Introduction to Atmospheric Physics	2nd Edition, Academic Press New York 1992
49	Gerstenfeld M. Interteam	Environment an Confusion - An Introduction to a Messy Subject	UK 1994
50	Goulding R. et al.	Ενέργεια στην Αρχιτεκτονική, Το ευρωπαϊκό εγχειρίδιο για τα παθητικά ηλιακά κτίρια.	εκδ. Μαλλιάρης παιδεία, Θεσσαλονίκη 1996
51	Goulding R. et al.	Ενεργειακός Σχεδιασμός, εισαγωγή για αρχιτέκτονες	εκδ. Μαλλιάρης παιδεία, Θεσσαλονίκη 1996
52	Griffiths J.	Thermal Comfort in Buildings with Passive Solar Features Field Study	Final Report to C.E.C. University of Surrey, 1995
53	Hawkes D.	The Environmental Tradition	E & FN SPON, London 1996
54	Henrici P.	Discrete variable methods in ordinary differential equations	Wiley, New York 1962
55	Hilbebrandt F.	Advanced Calculus for Applications	second edition Prentice – Hall, New Jersey 1976
56	IPCC	The Science of Climate Change	Report of the IPCC Working Group I, 1996
57	Jason C.	World Agriculture and the Environment: A Common by Common Guide to Impacts and Practices	Island Press, 2003
58	Kacmal J.C., Finnigan J.J.	Atmospheric Boundary Layer Flows	Oxford University Press, 1996
59	Καλδέλλης Ι.	Διαχείριση της Αιολικής Ενέργειας	εκδ. Σταμούλη Αθήνα 2006
60	Καλδέλλης Ι. Αρριανάς Λ. et al	Αξιολόγηση Αεροδυναμικής Συμπεριφοράς Αιολικών Μηχανών	5ο Εθνικό Συνέδριο για τις Ήπιες Μορφές Ενέργειας Αθήνα1996
61	Καλκάνη Ε. et al.	Ενεργειακή Τεχνολογία	εκδ. ΕΜΠ 2001
62	Κ.Α.Π.Ε.	Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας σε οικιστικά σύνολα	εκδ. Κ.Α.Π.Ε. 2000
63	Καραβασίλη Μ.	Κτίρια για έναν πράσινο κόσμο	εκδ. π – systems, Αθήνα1999
	Καρακώστας Θ.	Σημειώσεις Συνοπτικής και Δυναμικής Μετεωρολογίας	ΑΠΘ, Σχολή Θετικών Επιστημών, Τμήμα Γεωλογίας Τομέας Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας Θεσσαλονίκη, 2010
64	Kijewski Tracy	Shaping the Wind and the face of tomorrow's skyscrapers	http://www./somfoundation.som.com/kijewski_essay.pdf
65	Κοϊνάκης Χ.	Θεωρητική και πειραματική διερεύνηση του φυσικού	διδακτορική διατριβή, ΑΠΘ 1998.

		αερισμού των κτιρίων στα πλαίσια του ενεργειακού σχεδιασμού τους	
66	Κοντορούπης Γ.	Ενεργειακός Βιοκλιματικός Σχεδιασμός Κτιρίων & Οικισμών	εκδ. ΕΜΠ 2001
67	Κοντορούπης Γ.	Ενεργειακός Σχεδιασμός Κτιρίων	εκδ. ΕΜΠ 1984
68	Κουμούτσος Ν.	Εφαρμοσμένη Θερμοδυναμική	εκδ. ΕΜΠ 1992
69	Κουρεμένος Δ.	Θερμοδυναμική I & II	εκδ. Συμεών 1999
70	Ladyzhenskaya. O.A.	The mathematical theory of viscous incompessible flow	Second English edition. Translated from the Russian by R.A. Silverman and J. Chu. Gordon and Breach Science Publishers New York 1969
71	Lichtfouse E., Schwarzbauer J., Didier R.	Environmental Chemistry and Pollutants in Ecosystems	Springer Berlin – London, 2005
72	Lions P.L.	Mathematical topics in fluid mechanics Vol. 1 Incopressible models	Oxford Lecture Series in Mathematics and its Applications 3 Oxford University press 1996
73	Lions P.L.	Mathematical topics in fluid mechanics Vol. 2 Copressible models	Oxford Lecture Series in Mathematics and its Applications 10 Oxford University press 1998
74	Markus T., Morris E.	Buildings, Climate and Energy	Pitman 1980
75	Μαραβέλιας Θ.	Βιοκλιματικός Σχεδιασμός Κτιρίων	Επιστημονική Διημερίδα Τεχνολογίας Κατασκευών – Αντοχή & Ενέργεια Αθήνα 2001
76	Μαρκάτος Ν.	Τυρβώδη Φαινόμενα Μεταφοράς	εκδ. ΕΜΠ, 2008
77	Μαρμαράς Ε.	Η Πόλη στο Καλειδοσκόπιο	Εκδόσεις Ε.Π.Ι.Ε.Ε. Ηράκλειο, 2009
78	Meggiolaro F.	Latest Developments in the Move Towards International Electricity Market	European Commission, Brussels 1996
79	Μεταξάς Δ., Μπαρτζώκας Α.,	Εισαγωγή στη Δυναμική Μετεωρολογία	Εκδόσεις Παν/μίου Ιωαννίνων Ιωάννινα, 1993
80	Mellon G.,Yamada T.	Development of a turbulence closure model for geophysical fluid problems	Rev. Geophys. Space Phys., 20, 851 – 875 1982
81	Meyer W.	Σύγχρονες μονοκατοικίες	εκδ. Μ. Γκιούρδας, 1998
82	Mitsch W.J., Jorgensen S.E.	Ecological Engineerig: An Introduction to Ecotechnology,	John Wiley and Sons, 1989
83	Μητούλα Ρ.	Η αναγκαιότητα χρήσης εγχώριων φυσικών ενεργειακών πόρων από τη ΔΕΗ	περιοδ. Επιστημονικά Χρονικά, Φεβρουάριος 2001
84	Monkhouse F.	Principles of Physical Geography	Longman Press 1988
85	Μπεργελές Γ.	Ανεμοκινητήρες	εκδ. Συμεών, Αθήνα 2005
86	Μπεργελές Γ.	Υπολογιστική Ρευστομηχανική	εκδ. Συμεών, Αθήνα 2006
87	Muller W.	Αρχιτεκτονική των εσωτερικών χώρων	εκδ. Μ. Γκιούρδας, 1997
88	Μυλωνάς Ν.	Μηχανική II, Κινηματική – Δυναμική	Αθήνα 1984
89	Μώρου Χ.Μ.	Εγχειρίδιο χρήσης του προγράμματος TempoClim	Διπλωματική Εργασία, ΕΜΠ 2002
90	Naufert et al	Οικοδομική και αρχιτεκτονική σύνθεση	εκδ. Μ. Γκιούρδας,1996
91	Ομάδα Μελετών Κτιριακού Περιβάλλοντος ΕΚΠΑ	Έρευνα για την αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο Ν. Αιγαίο	Αθήνα, Σεπτέμβριος 2003
92	Ower E., Pankhurst R.C.	The measurement of air flow	Pergamon Press 1977
93	Πανουργιάς Χ.- Ζαβαντής Δ.	Πολεοδομική ανάπλαση περιοχών κατοικίας – μικροπολεοδομικά στοιχεία	εκδ. Σταμούλη 2004
94	Παπαδόπουλος Μ.	Παραγωγή ηλεκρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές	εκδ. ΕΜΠ Αθήνα 1997
95	Παπαϊωάννου Α.	Μηχανική των Ρευστών τόμοι 1 & 2	Αθήνα 2001
96	Παπαμανώλης Ν.	Θεωρητική και πειραματική διερεύνηση στην κατεύθυνση βέλτιστης αξιοποίησης του φυσικού αερισμού στα πλαίσια του ενεργειακού σχεδιασμού των κτιρίων	διδακτορική διατριβή, ΑΠΘ 1992
97	Παπαμανώλης Ν.	Η ικανότητα αερισμού ως εργαλείο εκτίμησης της ποιότητας του εσωτερικού αέρα σε κτίρια στην Ελλάδα	περιοδικό Κτίριο, επιστημονική έκδοση, τεύχος Α, 2000
98	Παπαμανώλης Ν.	Επιπτώσεις της εσωτερικής ρύπανσης του αέρα στην υγεία των κατοίκων	1ο Περιβαλλοντικό Συνέδριο Μακεδονίας, Μάρτιος 2002
99	Παπαμανώλης Ν.	Μέθοδοι αέριων δεικτών στον	Τεχν. Χρον. Α 1995, Τομ. 10, Τεύχος 4

		υπολογισμό αερισμού κτιρίων	
100	Παρασκευοπούλου Π.,Ρούσση Π.	Βιοκλιματική Αρχιτεκτονική – Προγραμματίζοντας με τη NM5000	Διπλωματική Εργασία, ΕΜΠ 2004
101	Πρακτικά Συνεδρίου	Η εφαρμογή των ΑΠΕ Εθνικές προτεραιότητες και Ευρωπαϊκή στρατηγική	Αθήνα 2002
102	Powell M.J.	Approximation Theory and Methods	Cambridge U.P. Cambridge 1981
103	Prandtl L.	The Mechanics of Viscous Fluids. In: W.F. , D. (ed.) Aerodynamic Theory III.	Berlin, Springer 1955
104	Reid R.C. et al	The properties of gases and liquids	Mc Graw – Hill, New York 1987
105	Reynolds A.J.	Turbulent Flows in Engineering	John Wiley & Sons, 1974
106	Ρογδάκης Ε.	Θερμοδυναμική ΙΙ	εκδ. ΕΜΠ 2001
107	Ρόκκος Κ.	Φυσικά Διαθέσιμα και Ολοκληρωμένες Αποδόσεις	εκδ. ΕΜΠ 1990
108	Roberson M., Crowe C.	Engineering Fluid Mechanics	Houghston Mifflin Co, Boston, 1990
109	Σανταμούρης Μ.	Ενέργεια και Περιβάλλον	εκδ. ΕΚΠΑ 2003
110	Σανταμούρης Μ.	Ήπιες Μορφές Ενέργειας	εκδ. ΕΚΠΑ 2001
111	Σανταμούρης Μ.	Οικονομικοί παράμετροι στο δομημένο περιβάλλον	Σειρά διαλέξεων για τη Βιοκλιματική Αρχιτεκτονική ΕλληνικήΕταιρία για την Προστασία του Περιβάλλοντος και της Πολιτιστικής Κληρονομιάς, Αθήνα 2007
112	Santamouris M., Asimakopoulos D.	Passive cooling of buildings	James and James, Science Publishers Ltd., 2003.
113	Schaefer J.	On the Solution of the Generalized Ekman Equation	National Severe Storms Laboratory, NOAA, Norman Press, 1993
114	Schmitt H.	Κτιριακές κατασκευές	εκδ. Μ. Γκιούρδας 1997
115	Schlichting H.	Boundary Layer Theory	Mc Graw Hill, New York, 1968
118	Schuring D.	Scale Models in Engineering	Pergamon Press 1977
119	Serway R.	Physics for Scientists & Engineers with Modern Physics Volume III Thermodynamics	Saunders College Publishing, London 1990
120	Στεφάνου Ι., Τσουδερός Ι.	Ο Περιβαλλοντικός Σχεδιασμός των πόλεων και η Ευρωπαϊκή του διάσταση	εκδ. ΕΜΠ 2001
121	Stull R.B.	An Introduction to Boundary Layer Meteorology	Kluwer Academic Publ. 1989
122	Tasios D.	Εφαρμοσμένη Θερμοδυναμική Χημικής Μηχανικής	Πανεπιστημιακές Εκδόσεις ΕΜΠ Αθήνα 2006
123	Temam R.	Navier – Stokes Equations, Theory and Numerical Analysis	Reprint of the 1984 edition AMS Chelsea Publishing Providence UK 2001
124	Τζιβανίδης Γ.	Θερμική άνεση	εκδ. ΕΜΠ 2005
125	Trezos C. Babiri Z.	New Evidence Concerning Basic Wind Velocity	Tech. Chron. Sci. J. TCG I No.2, 2001
126	Τσαγγάρης Σ.	Μηχανική των Ρευστών	εκδ. Συμεών 2005
127	Τσίγκας Ε.	Ηλιακοί Τοίχοι και Παράθυρα	περιοδ. Κτίριο τεύχος 118, Θεσσαλονίκη 2000
128	Τσίπηρας Θ.	Βιοκλιματικός Σχεδιασμός Κτιρίων	εκδ. π – systems Αθήνα 2000
129	Τσίπηρας Θ.	Το Οικολογικό Σπίτι	εκδ. Νέα Σύνορα 2000
130	Trinh K. A	Theory of Turbulence Part I: Towards Solutions of the Navier Stokes Equations	arXiv.org [physics.fludyn.] [Online]. Available: http://arxiv.org/abs/0910.2072
131	Trinh K. A	On the Blasius correlation for friction factors	arXiv.org [physics.fludyn.] [Online]. Available: http://arxiv.org/abs/1007.0605
132	Φραγκούλης Α.Ν.	Πρόταση Εθνικού Προγράμματος Ανάπτυξης Αιολικής Ενέργειας	ΚΑΠΕ, 2000
133	Venetis J., Sideridis E.	Approximate analytical specification of the wind distribution at the windward side of a building shell, whose cross-section shapes an inclined segment, via direct integration	Journal of Applied Mathematics and Fluid Mechanics Volume 3, Number 2 (2011), pp. 173 – 193
134	Venetis J., Sideridis E.	Contribution to the quality investigation of steady two – dimensional boundary layer homentropic compressible flows with variable viscosity	International Journal of Applied Mathematics & Engineering Sciences No.1 Jan — June 2012 (In Press)
135	Whillier A.	Psychrometric Charts for all barometric pressures	Mc Graw Hill 1971
136	Whittaker E. Watson G.	A Course of Modern Analysis	fourth edition Cambridge University Press London 1963
137	Χατζημπίρος Κ.	Οικολογία – Οικοσυστήματα και Περιβάλλον	εκδ. Συμμετρία 2003

138	Χριστούλας Δ.	Ενέργεια και Περιβάλλον	Αθήνα 1987
139	Χονδρού – Καραβασίλη Μαργαρίτα, Εύα Αθανασάκου, Νιόβη Χρυσομαλλίδου, Ελένη Ανδρεαδάκη - Χρονάκη, Σωτήρης Χατζηδάκης	Σχέδιο Δράσης «Ενέργεια 2001»: Εξοικονόμηση Ενέργειας και Χρήση ΑΠΕ στον Οικιστικό Τομέα	ΥΠΕΧΩΔΕ - ΚΑΠΕ, Τεχνική Έκθεση, Μάρτιος 1995.
140	Χρυσομαλλίδου Ν.	Βιοκλιματικός Σχεδιασμός Κτιρίων	περιοδ. Κτίριο τεύχος 136
141	Yeang Ken	The skyscraper bioclimaticaly considered	N.Y. Academy Editions, 1996

Πηγές Διαδικτύου	
1	http:// www.alpha.cres.gr
2	http:// www.architecture.about.com
3	http://www.architecturemag.com
4	http://www.bbc.co.uk
5	http:// www.cnn.com
6	http://www.ellet.gr
7	http://www.findarticles.com
8	http:// www.geocities.com
9	http:// www.greenpeace.gr
10	http:// www.ktirio.gr
11	http:// www.mit.com
12	http://architecturemag.com
13	http://askjeeves.com
14	http://www.cecer.army.mil/td/tips/index.cfm
15	http://cert.org/research
16	http://www.erdc.usace.army.mil/
17	http://forecast.uoa.gr/greek/about.php
18	http://www.citiesofscience.co.uk/go/London/ContentPlace_2543.html
19	http://geocities.com
20	http://www.lowcarbonbuildingsphase2.org.uk/index.jsp
21	http://www.poseidon.hcmr.gr
22	http://www.renewabledevices.com/swift/index.htm
23	http://www.aviewoncities.com/paris/defence.htm
24	http://www-isl.stanford.edu/%7Egray/sp.html
25	http://www.thinkquest.com
26	http://www.askjeeves.com
27	http://newscientist.com
28	http://vlib.org/
29	http://simscience.org
30	http://www.jersey.uoregon.edu/vlab/
31	http://www.cord.edu/dept/physics/drphysics/surf.html
32	http://www.mip.berkeley.edu/physics/physics.htm
33	http://www.ase.org.uk/physics.html
34	http://www.home.hockaday.org/Hockaday/Net/academic/physics/
35	http://www.rubitherm.com
36	http://www.climator.com
37	http://www.cristopia.com
38	www.pnoe-project.gr

Πίνακας Εικόνων

Κεφάλαιο 1

α/α	Τίτλος Εικόνας	σελ.
Εικ. 1	μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας που μπορούν να εφαρμοστούν σε ήδη υπάρχουσες κατοικίες πηγή [37]	8
Εικ. 2	πηγή [66] Ειδικό κόστος του κτιρίου, (κόστος ανηγμένο στη μονάδα όγκου), στο ενεργειακό σύστημα – φορτίο αιχμής	10
Εικ. 3	ενεργειακή κατανάλωση κτιρίων στην Ελλάδα πηγή [46]	16
Εικ. 4	ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας μετά την εφαρμογή ανάλογων τεχνικών πηγή [35]	16
Εικ. 5	αριθμός νεόδμητων βιοκλιματικών κτιρίων στο νότιο Αιγαίο πηγή [46]	16
Εικ. 6	τμήμα κατοικίας με προσαρτημένο ηλιακό θερμοκήπιο	19
Εικ. 7	Ηλιακά Συστήματα έμμεσου κέρδους πηγή [47]	20
Εικ.8	παραγωγή πρωτογενούς ενέργειας από ΑΠΕ στην Ελλάδα πηγή [66]	22
Εικ. 9	αιολικό δυναμικό στην Ελλάδα Πηγή [34]	23
Εικ. 10	Διαδικασία σχεδιασμού ενός βιοκλιματικού κτιρίου, Πηγή [35]	25
Εικ. 11	προσανατολισμός οικοπέδων βάσει των τοπικών κλιματικών δεδομένων, Πηγή [35]	25
Εικ. 12	προσανατολισμός οικοπέδων βάσει της υπάρχουσας βλάστησης πηγή [35]	26
Εικ.13	αντιμετώπιση θερμικών φορτίων μέσω παθητικού ενεργειακού σχεδιασμού πηγή [66]	26
Εικ.14	κυριότερες αξιοποιήσιμες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στον κτιριακό τομέα πηγή [66]	27
Εικ.15	επιφάνεια εργασίας του λογισμικού Solar Gains Πηγή [47]	31
Εικ.16	επιφάνεια εργασίας του λογισμικού Casa Nova Πηγή [71]	32
Εικ.17	παρουσίαση λειτουργικού κόστους κτιρίων μετά την εφαρμογή μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας Πηγή [51]	32
	Κεφάλαιο 2	
Εικ.1	διεθνές ανεμολόγιο πηγή [26]	39
Εικ. 2	μονάδες μέτρησης της έντασης του ανέμου πηγή [6]	40
Εικ. 3	κίνηση σταθερών ανέμων i) σε χαμηλά ii) μεσαία iii) μεγάλα ύψη πηγή [26]	41
Εικ. 4	παρέκκλιση της σχετικής κατεύθυνσης των ανέμων πηγή [26]	41
Εικ.5	δίκτυο ισοβαρών καμπύλων Πηγή [6]	42
Εικ.6	ισορροπία αδρανειακού όγκου ελέγχου πηγή [6]	43
Εικ.7	κατεύθυνση γεωστροφικών ανέμων πηγή [9]	44
Εικ.8	ταξινόμηση των ανέμων ανάλογα με τα χαρακτηριστικά στοιχεία τους πηγή [9]	45
Εικ.9	ανεμολόγιο με 16 διευθύνσεις ανέμων πηγή [9]	46
Εικ. 10	τυπική ανεμομετρική κλίμακα Beaufort πηγή [6]	46
Εικ.11	ανεμολόγιο συχνότητας πηγή [9]	47
Εικ.12	ανεμολόγιο συχνότητας και έντασης πηγή [9]	48
Εικ. 13	καταγραφή των ανεμολογικών στοιχείων αεροδρομίου Ηρακλείου πηγή [6]	48
Εικ. 14	Δίκτυο μετεωρολογικών σταθμών της ΕΜΥ που μετρούν τον άνεμο πηγή [55]	50
Εικ. 15	μέσες ταχύτητες ανέμου για 36 αντιπροσωπευτικές περιοχές του Ελλαδικού χώρου πηγή [6]	51
Εικ. 17	κύριες διευθύνσεις του ανέμου για τον Ελλαδικό χώρο πηγή [6]	52
Εικ. 18	επικρατέστερες τιμές της χαρακτηριστικής ταχύτητας του ανέμου πηγή [43]	53
Εικ. 19	κατανομή δυνητικής θερμοκρασίας πηγή [18]	55
Εικ. 20	τυπικές τιμές του μήκους τραχύτητας πηγή [28]	57
Εικ. 21	Μη ομογενές οριακό στρώμα [18]	58
Εικ.22	Τυπική καθ' ύψος κατανομή της ταχύτητας του ανέμου πηγή [18]	59
Εικ. 23	θερμική δομή στο κατώτερο στρώμα του αστικού ΑΟΣ πηγή [51]	60
Εικ. 24	διαφοροποίηση της ταχύτητας του ανέμου σε αστικές και ημιαστικές περιοχές πηγή [53]	61
Εικ. 24	αστική θερμική νησίδα πηγή [51]	61
Εικ. 25	σχηματική παράσταση ανεμφρακτών πηγή [51]	62
Εικ. 26	πολεοδομικός σχεδιασμός με γνώμονα τη ροή του επικρατούντος ανέμου πηγή [51]	63
Εικ. 27	κτιριοδομικός σχεδιασμός με γνώμονα τη ροή του επικρατούντος ανέμου πηγή [51]	63
Εικ. 28	σχεδιασμός οικοδομικού τετραγώνου με γνώμονα τη ροή του επικρατούντος ανέμου πηγή [51]	64
Εικ. 29	ανάπλαση οικοδομικού τετραγώνου με γνώμονα τη ροή του επικρατούντος ανέμου πηγή [51]	64
	Κεφάλαιο 3	
Εικ.1	κατ' όγκο σύσταση του καθαρού ξηρού και υγρού ατμοσφαιρικού αέρα πηγή [3]	75
Εικ. 2	τυπικό εντροπικό διάγραμμα T – s πηγή [9]	76
Εικ. 3	τεχνικές ελκυσμού του ανέμου πηγή [31]	78

Εικ. 4 μέση τιμή και εύρος του μεταβολικού ρυθμού για διάφορα είδη εργασίας πηγή [5]	83
Εικ. 5 τιμές της θερμικής αντίστασης για διάφορες ενδυμασίες πηγή [5]	83
Εικ. 6 θερμοκρασία και ταχύτητα ανέμου ως συνεπιδρώντα αίτια πηγή [21]	84
Εικ. 7 Τιμές επιτρεπόμενης θερμικής έκθεσης στο εργασιακό περιβάλλον πηγή [31]	85
Εικ. 8 Τιμές πραγματικής θερμοκρασίας στο εργασιακό περιβάλλον πηγή [31]	86
Εικ. 10 σχέση των δεικτών PMV και PPD πηγή [5]	87
Εικ. 11 σύγκριση PMV και ASV πηγή [5]	87
Εικ. 12 οριζόντια ανοίγματα και θερμική κυκλοφορία του αέρα πηγή [31]	89
Εικ.13 αξιοποίηση των επικρατούντων ανέμων στο βιοκλιματικό σχεδιασμό πηγή [22]	90
Εικ.14 αξιοποίηση της μηχανικής ισχύος του ανέμου μέσω ανεμόπυργου	91
Εικ.15 αξιοποίηση της θερμικής ισχύος του ανέμου μέσω ηλιακής καμινάδας	92
Εικ. 16 περιοχές του πλανήτη με κλίμα κατάλληλο για εφαρμογή στρατηγικών δροσισμού μέσω εξάτμισης πηγή [31]	92
Εικ.16A Ανεμοσυλλέκτης – Bluewater mall Θέση: Kent Χώρα: Ηνωμένο Βασίλειο Κλίμα: Θερμό & Ξηρό Πηγή [31]	93
Εικ.16B Ανεμοσυλλέκτης – Bluewater mall Θέση: Kent Χώρα: Ηνωμένο Βασίλειο Κλίμα: Θερμό & Ξηρό Πηγή [31]	93
Εικ.16C Ανεμοσυλλέκτης (Hadawan) Θέση: Hyderabad Sind Χώρα: Πακιστάν Κλίμα: Θερμό & Ξηρό	94
Εικ.16D Πύργοι δροσισμού στην EXPO 1992 Θέση: Σεβίλλη Χώρα: Ισπανία Κλίμα: Θερμό & Ξηρό	94
Εικ. 17 προσδιορισμός της ποιότητας του αέρα σε 50 ελληνικές κατοικίες πηγή [21]	97
Κεφάλαιο 4	
Εικ. 1 αεροσήραγγα του ΚΑΠΕ πηγή [10]	102
Εικ. 2: ψυχρομετρικές σταθερές κορεσμένου αέρα Πηγή [11]	105
Κεφάλαιο 5	
Εικ.1 Μοντελοποίηση του κτιριακού περιβάλλοντος ως κλειστό θερμοδυναμικό σύστημα	110
Κεφάλαιο 6	
Εικ. 1 Απεικόνιση της υπόθεσης Taylor για ισόθερμη μεταφορά στροβίλου	115
Εικ. 2α αεροδυναμικές αρχιτεκτονικές λύσεις ως προς την κατασκευή της κάτοψης ενός κτιρίου	118
Εικ. 2b αεροδυναμικές αρχιτεκτονικές λύσεις ως προς την κατασκευή της κάτοψης ενός κτιρίου	118
Εικ. 3 μεταλλικό στεγάστρου σε κτιριακό συγκρότημα γραφείων	121
Εικ. 4 μεταλλικό στεγάστρου σε κτιριακό συγκρότημα γραφείων	121
Εικ. 5 Πεδιακή διακριτοποίηση σύνθετης τοπογραφίας πηγή [16]	124
Εικ. 6 επιλεγμένα χωρία του αριθμητικού ανεμολογικού άτλαντα για 3 περιοχές μέτριου αιολικού δυναμικού πηγή	125
Κεφάλαιο 7	
Εικ. 1 κινούμενο σύστημα συντεταγμένων	129
Εικ.2 διαδοχικά προφίλ της ταχύτητας κατά μήκος του οριακού στρώματος	129

Κατάλογος δημοσιευμένων και υποβεβλημένων ερευνητικών άρθρων

1.- **"Approximate Analytical Evaluation of Wind Distribution at the Windward Side of a Curved Building Shell, in an "Adjacent" Region of Curve's Inflection Point"** J. Venetis, I. Tzouvadakis, E. Sideridis

Int. J. Nonlinear Anal. Appl.
ISSN: 2008-6822 (electronic)
http://www.ijnaa.com
Στο εν λόγω άρθρο οι συγγραφείς ερευνούν την περίπτωση δυσδιάστατης μόνιμης ασυμπίεστης ιξώδους ροής νευτωνικού ρευστού γύρω από εδρασμένο εμπόδιο καμπύλου γεωμετρικού σχήματος.
Ακολουθούνται οι παραδοχές του Prandtl, βάσει των οποίων προκύπτει ότι όλες οι κατανομές της ταχύτητας κατά μήκος του οριακού στρώματος είναι μεταξύ τους όμοιες και διαφέρουν μόνο ως προς την κλίμακα μεγέθους κατά μήκος της κάθετης διεύθυνσης στην επιφάνεια του εδρασμένου εμποδίου.
Στη συνέχεια οι συγγραφείς εστιάζουν στη γειτονιά πλησίον του σημείου καμπής της καμπύλης στην προσήνεμη πλευρά του εμποδίου το οποίο στην εν λόγω περιοχή υποτίθεται μοναδικό, και υπολογίζουν τη γραμμική προσέγγιση της καμπύλης.
Κατόπιν μέσω των εξισώσεων Prandtl, καταλήγουν σε προσεγγιστική έκφραση του προφίλ της ταχύτητας στην περιοχή αυτή και παράλληλα κάνουν ποιοτική εκτίμηση του λόγου μεταβολής του ως προς την κάθετη απόσταση από την επιφάνεια του.
Τέλος, εξετάζουν την ευστάθεια της εν λόγω προσεγγιστικής λύσης μέσω του κριτηρίου Lyapunov.

2.- **"Some Quality Information of an linternal Incompressible Flux Field Through Two Vent -Holes for the cooling of buildings"** J. Venetis, I. Tzouvadakis, A. Stamos

PALENC 2010 5th European Conference on Energy Performance & Indoor Climate in Buildings (EPIC 2010). and. 1st Cool Roofs Conference. 29 September - 1 October 2010

Στο εν λόγω άρθρο οι συγγραφείς ερευνούν τη γενικότερη δυνατή περίπτωση ασυμπίεστης εσωτερικής ροής νευτωνικού ρευστού διαμέσω ενός αγωγού τυχαίου γεωμετρικού σχήματος.
Δεν γίνεται χρήση διαστατικής ανάλυσης και επομένως δεν αλλοιώνεται ο διανυσματικός χαρακτήρας των εξισώσεων διατήρησης όπως συμβαίνει μέσω της διαδικασίας αδιαστατοποίησης.
Βασική υπόθεση είναι ύπαρξη ενός άτριβου πυρήνα όπου οι διατμητικές τάσεις είναι αμελητέες.
Ο σχεδιασμός του αγωγού ανάγεται χάριν απλότητας σε επίπεδο διατομής και η έκφραση για την καμπυλότητα των γραμμών ροής που έδωσαν οι H.P. Irwin, P.A.Smith για δεισδιάστη ροή συνδυάζεται με την αντίστοιχη έκφραση για την τοπική καμπυλότητα της επιφάνειας του συνόρου, από στοιχειώδη Διαφορική Γεωμετρία καθώς επίσης και με την τοπική καπυλότητα των γραμμών ροής εντός του άτριβου πυρήνα, που υπολογίζεται μέσω της θεωρίας των ιδανικών ρευστών. Στο επόμενο άρθρο, που αποτελεί συνέχεια του παρόντος, γίνεται μια πιο εμπεριστατωμένη προσέγγιση του εν λόγω προβλήματος.

3.- **"Some Quality Information of an Internal Incompressible Flux Field Through Two Vent -Holes OF A Typical Building Shell"** J. Venetis, I. Tzouvadakis, E. Sideridis

Int. J. Nonlinear Anal. Appl.
ISSN: 2008-6822 (electronic)
http://www.ijnaa.com

Στο εν λόγω άρθρο οι συγγραφείς ερευνούν τη γενικότερη δυνατή περίπτωση ασυμπίεστης εσωτερικής ροής άτριβης και ιξώδους νευτωνικού ρευστού εντός ενός αγωγού τυχαίου γεωμετρικού σχήματος.
Δεν γίνεται χρήση διαστατικής ανάλυσης και επομένως δεν αλλοιώνεται ο διανυσματικός χαρακτήρας των εξισώσεων διατήρησης όπως συμβαίνει μέσω της διαδικασίας αδιαστατοποίησης.
Όταν η ροή εντός του αγωγού δεν είναι πλήρως αναπτυγμένη, αυτό συνεπάγεται την ύπαρξη ενός άτριβου πυρήνα όπου οι διατμητικές τάσεις είναι αμελητέες.
Λόγω της τυχαίας γεωμετρίας του αγωγού, οι συγγραφείς βασιζόμενοι στον φορμαλισμό Lagrange για την περιγραφή της κίνησης ρευστού σωματιδίου, προτείνουν ένα νέο κριτήριο ποιοτικού χαρακτήρα, μέσω του οποίου μπορεί να διερευνηθεί εάν οι κατανομές της μέσης ταχύτητας παραμένουν αμετάβλητες κατά μήκος της διεύθυνσης της ροής.
Στη συνέχεια, οι συγγραφείς ερευνούν τη γενικότερη δυνατή οικογένεια λείων μαθηματικών επιφανειών που μπορούν να αποτελούν σύνορο για ιξώδεις ασυμπίεστες ροές και θεωρώντας τις τρεις προβολές μιας τυχαίας επιφάνειας στα αντίστοιχα επίπεδα ενός τρισορθογωνίου καρτεσιανού συστήματος υπολογίζουν σε κλειστή μορφή την έκφραση της περιβάλλουσας των ασυμπτωτικών γραμμών των παραπάνω προβολών, δεδομένου ότι σε κάθε σημείο μιας ασυμπτωτικήςγραμμής, το εγγύτατο επίπεδο συμπίπτει με το εφαπτόμενο επίπεδο της επιφάνειας στο εν λόγω σημείο.
Τέλος οι συγγραφείς βασιζόμενοι πάλι στον φορμαλισμό Lagrange για την περιγραφή της κίνησης ρευστού

σωματιδίου καταλήγουν σε μια γενική ποιοτική έκφραση που αφορά το δίκτυο των ροϊκών γραμμών για οποιοδήποτε πεδίο ασυμπίεστης ροής.
Μέσω αυτής της έκφρασης, η μελέτη του λόγου μεταβολής ενός πεδιακού μεγέθους, της ταχύτητας ροής, ανάγεται ουσιαστικά στην μελέτη του λόγου μεταβολής ενός σημειακού μεγέθους, της αλγεβρικής τιμής του μήκους τόξου της αντίστοιχης ροϊκής γραμμής.

4.- **"Approximate Analytical Specification of the Wind Distribution at the Windward Side of a Building Shell, whose Cross-Section Shapes an Inclined Segment, Via Direct Integration"**
J. Venetis. E. Sideridis
Journal of Applied Mathematics and Fluid Mechanics (JAMFM), Volume 3, Number 2 (2011), PP.173-193

Στο εν λόγω άρθρο οι συγγραφείς ερευνούν την περίπτωση δυσδιάστατης μόνιμης ασυμπίεστης ιξώδους ροής νευτωνικού ρευστού γύρω από κεκλιμένο εδρασμένο εμπόδιο ευθύγραμμου γεωμετρικού σχήματος.
Ακολουθούνται οι παραδοχές του Prandtl, βάσει των οποίων προκύπτει ότι όλες οι κατανομές της ταχύτητας κατά μήκος του οριακού στρώματος είναι μεταξύ τους όμοιες και διαφέρουν μόνο ως προς την κλίμακα μεγέθους κατά μήκος της κάθετης διεύθυνσης στην επιφάνεια του εδρασμένου εμποδίου.
Οι συγγραφείς καταλήγουν σε έκφραση κλειστής μορφής της οριζόντιας συνιστώσας της ταχύτητας, χωρίς να έχει γίνει χρήση αδιάστατων μεγεθών και επομένως δεν αλλοιώνεται ο διανυσματικός χαρακτήρας των εξισώσεων διατήρησης όπως συμβαίνει μέσω της διαδικασίας αδιαστατοποίησης.
Περαιτέρω ανάλυση του συγκεκριμένου θέματος έχει ήδη γίνει από τους συγγραφείς και έχει υποβληθεί στο περιοδικό International Journal of Fluid Mechanics Research .

5.- **"Contribution to quality investigation of steady two - dimensional boundary layer homentropic compressible flows with variable viscosity"**
J. Venetis., E. Sideridis
International Journal of Applied Mathematics & Engineering Sciences," No.1 Jan–June 2012. **In Press**

Στο εν λόγω άρθρο οι συγγραφείς εξετάζουν τη γενική περίπτωση δυσδιάστατης ιξώδους συμπιεστής ροής οριακού στρώματος. Ακολουθώντας τις γνωστές από τη βιβλιογραφία παραδοχές του Prandtl, εξάγουν ποιοτικές πληροφορίες για τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των δυνατών αδιαβατικών διαδρομών των ρευστών σωματιδίων εντός του πεδίου ροής.

6.- **"Contribution to the assessment and geometrical interpretation of D' Alembert solution for the one dimensional Cauchy initial value problem"** J. Venetis. E. Sideridis,
Advances in Theoretical and Applied Mathematics

(**Accepted for publication** On April 19th 2012 – **συνημμένη αποδοχή**)

Στο συγκεκριμένο άρθρο, γίνεται μια μεταφορά της πρότυπης λύσης D' Alembert που αφορά το μονοδιάστατο πρόβλημα αρχικών τιμών του Cauchy, σε μορφικό χώρο γενικευμένων συντεταγμένων. Στη συνέχεια τα εξαγόμενα συμπεράσματα αποτιμώνται στον καρτεσιανό χώρο των τριών διαστάσεων.

"Some quality information from similitude functional notations for an external compressible flux field past a random shaped rigid body, via a multi – valued Calculus formalistic approach" J. Venetis. E. Sideridis
International Journal of Applied Mathematics and Physics Editor in Chief: Adel A. Megahed
(Accepted for publication On April 30th 2012 – **συνημμένη αποδοχή**)

Στο συγκεκριμένο άρθρο, εξετάζονται οι γνωστές από τη βιβλιογραφία εκφράσεις των συντελεστών αντίστασης και άνωσης ενός σώματος που παρεμβάλλεται σε συμπιεστή, δυσδιάστατη ροή νευτωνικού ρευστού, ως συναρτήσεις των αδιάστατων παραμέτρων ομοιότητας Re και M, όπως αυτές καθορίζονται από το θεώρημα Buckingham.
Θεωρώντας τον λόγο των δύο προαναφερθέντων συντελεστών ως παράμετρο, οι συγγραφείς εξάγουν ποιοτικές πληροφορίες για το γεωμετρικό σχήμα του σώματος που παρεμβάλλεται στη ροή.

Επίσης έχουν υποβληθεί για δημοσίευση οι παρακάτω εργασίες

Some contribution to the quality investigation of equations of conservation for two – dimensional incompressible flow patterns via a Complex Analysis approach J. Venetis. E. Sideridis,
International Journal of Fluid Mechanics Research - Editor-in-Chiefs: Rama S. R. Gorla, Victor Grinchenko SUBMITTED Manuscript ID: FMR-3602.
Ο στόχος της παρούσας εργασίας, είναι η συμβολή στη διερεύνηση των εξισώσεων διατήρησης για την περίπτωση δυσδιάστατης ασυμπίεστης ιξώδους ροής μέσω της θεωρίας των Ολόμορφων Συναρτήσεων.
Εξετάζεται η ειδική περίπτωση των εξισώσεων διατήρησης μάζας και ορμής, στην οποία υπεισέρχεται η ροική συνάρτηση συνάρτηση Ψ καθώς και οι μερικές της παράγωγοι ως προς τις χωρικές συντεταγμένες, για την οποία τελικά παρουσιάζεται προσεγγιστική λύση κλειστής μορφής.

"**On a closed form solution of Prandtl's system of equations",** J. Venetis. E. Sideridis,
International Journal of Fluid Mechanics Research - Editor-in-Chiefs: Rama S.R. Gorla, Victor Grinchenko, SUBMITTED Manuscript ID: FMR-4963.
Στο συγκεκριμένο άρθρο παρουσιάζεται μια γενικότερη προσεγγιστική λύση κλειστής μορφής του συστήματος των εξισώσεων Prandtl, βάσει της θεωρίας οριακού στρώματος. Οι συγγραφείς καταλήγουν σε έκφραση κλειστής μορφής της οριζόντιας συνιστώσας της ταχύτητας, χωρίς να έχει γίνει χρήση αδιάστατων μεγεθών και επομένως δεν αλλοιώνεται ο διανυσματικός χαρακτήρας των εξισώσεων διατήρησης όπως συμβαίνει μέσω της διαδικασίας αδιαστατοποίησης.

"Some contribution to approximate analytical evaluation of Fourier series via an Applied Analysis stand point. An application in turbulence spectrum of eddies", J. Venetis. E. Sideridis,
International Journal of NonLinear Analysis and Applications. SUBMITTED 12 August 2011.

Στο συγκεκριμένο άρθρο, οι συγγραφείς παρουσιάζουν μια εναλλακτική μορφή του αναπτύγματος Fourier για τη μέγιστη δυνατή κλάση αναλυτικών συναρτήσεων που ικανοποιούν τις συνθήκες Dirichlet.
Στη συνέχεια, εφαρμόζουν αυτή την έκφραση στη μοντελοποίηση του φάσματος δινών Von Karman, σε συνδυασμό με την πρότυπη λύση που έχει δοθεί από τους Karniadakis et al.

"Η χρηστικότητα της μαθηματικής εκπαίδευσης στη σημερινή φύση των κλασσικών ελληνικών πολυτεχνειακών σχολών (προβλήματα & προοπτικές)"
Ι. Βενέτης
Μαθηματική Επιθεώρηση της ΕΜΕ, ΥΠΟΒΛΗΘΗΚΕ: 21-04-2011
Στο συγκεκριμένο άρθρο, γίνεται μια προσπάθεια διερεύνησης του ρόλου της μαθηματικής εκπαίδευσης στη φύση των σπουδών των κλασσικών ελληνικών πολυτεχνικών σχολών. Αναφέρονται σκέψεις, θέσεις και προτάσεις του συγγραφέα για το συγκεκριμένο θέμα.

"On a modified form of Navier Stokes Equations for three dimensional flows", Journal of the American Mathematical Society, SUBMITTED Mar 30 2012. J. Venetis. E. Sideridis

Στο συγκεκριμένο άρθρο, οι συγγραφείς προτείνουν μια γεωμετρική μέθοδο για την απαλοιφή των μη γραμμικών όρων στις εξισώσεις Navier – Stokes για τη γενικότερη δυνατή περίπτωση ασυμπίεστης ιξώδους ροής νευτωνικού ρευστού. Τελικά το σύστημα των εξισώσεων διατήρησης μάζας και ορμής γράφεται ισοδύναμα ως σύζευξη τριών ημι – γραμμικών διαφορικών εξισώσεων πρώτης τάξης.
Στη συνέχεια παρουσιάζεται η γενική μορφή ασθενών λύσεων αυτού του συστήματος και εξετάζονται οι προϋποθέσεις εφαρμογής της συνθήκης Rankine – Hugoniot.
Αξίζει να σημειωθεί ότι και πάλι δεν έχει γίνει χρήση αδιάστατων μεγεθών και επομένως δεν αλλοιώνεται ο διανυσματικός χαρακτήρας των εξισώσεων διατήρησης.