

3. Ψυκτικά φορτία και κτίρια

The west-facing shutters were latched three-quarters closed. On the sill of the open windows stood a wet *kanati*, the porous jug the Greeks put there to cool both air and water. A small bowl of jasmine and plumbago flowers, creamy white and pale blue, sat on top of the *cassone*. A nice, simple, welcoming little scene.

John Fowles
(The Magus)

3.1 Σύντομη ιστορία του δροσισμού κτιρίων

Η αναζήτηση της δροσιάς σε ζεστά κλίματα απασχολεί τους ανθρώπους για χιλιάδες χρόνια. Από την αρχαιότητα ακόμη διάφορες αρχιτεκτονικές και κατασκευαστικές πρακτικές (τοίχοι μεγάλης θερμικής μάζας, μεγάλα ύψη δωματίων, σκιασμός, στρατηγικές αερισμού, αίθρια) έχουν υιοθετηθεί για να προσαρμόσουν τις κατοικίες στις τοπικές κλιματολογικές συνθήκες. Οι τεχνικές φυσικού (ή παθητικού) δροσισμού διατηρήθηκαν για πολλά χρόνια και χρησιμοποιήθηκαν στα κτίρια στη διάρκεια των αιώνων σε αρκετές παραλλαγές.

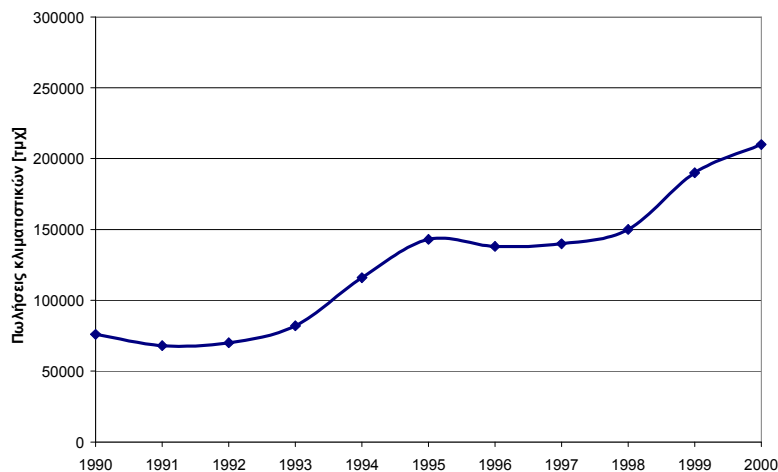
Ο τεχνητός κλιματισμός εμφανίζεται μόλις τον 19^ο αιώνα, ωστόσο συγκεκριμένη ημερομηνία δεν έχει συνδεθεί με την εμφάνισή του, καθώς όπως γλαφυρά διατύπωσε ο Willis Carrier «η ανάπτυξη του υπήρξε φυσική εξέλιξη πολυάσχολων, ευφυών ανθρώπων που στόχευαν στην πρόοδο» (Will, 1998).

Ωστόσο, δεν είναι παρά μετά τον Β' Παγκόσμιο Πόλεμο που ο μηχανικός δροσισμός αρχίζει να εγκαθίσταται ευρύτατα σε κτίρια στις ΗΠΑ. Ακολουθώντας την ηλεκτροδότηση του Αμερικάνικου Νότου ο τεχνητός κλιματισμός εφαρμόστηκε αρχικά σε θεατρικές και κινηματογραφικές αίθουσες, στη συνέχεια σε βιομηχανικά κτίρια, κατοικίες, γραφεία και τελικά και στα αυτοκίνητα. Ως τα μέσα της δεκαετίας του 1950 η αξιοπιστία των κλιματιστικών μηχανημάτων, η ανάπτυξη των λαμπτήρων φθορισμού (που εκμηδένισε την αναγκαιότητα του φυσικού φωτισμού) και οι σταθερά πτωτικές τιμές της ηλεκτρικής ενέργειας επέτρεψαν στους αρχιτέκτονες να εγκαταλείψουν τις αρχαίες τεχνικές του κλιματολογικά προσαρμοσμένου σχεδιασμού για να εστιάσουν στην καλλιτεχνική ή άλλες λειτουργικές πλευρές της δουλειάς τους (Stetiu, 1998).

Σήμερα, όπου ακόμη και υπαίθριες εγκαταστάσεις κλιματίζονται ο τεχνητός κλιματισμός συνιστά την κανονικότητα (που τείνει να εξελιχθεί σε επιτακτική ανάγκη) στα κτίρια στον ανεπτυγμένο κόσμο.

3.2 Η αυξανόμενη ζήτηση κλιματισμού στα κτίρια

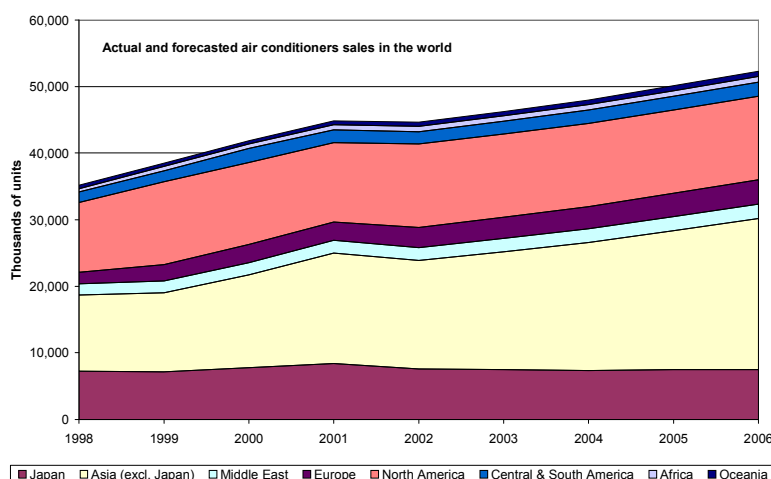
Η αυξανόμενη ζήτηση κλιματισμού στο αστικό περιβάλλον όπως αποτυπώνεται στις πωλήσεις των κλιματιστικών συστημάτων (εικόνα 3.1) και την αύξηση της ζήτησης και κατανάλωσης ηλεκτρικής



Εικόνα 3.1: Εξέλιξη πωλήσεων κλιματιστικών διαιρούμενου τύπου στην Ελλάδα την προηγούμενη δεκαετία (Τα Νέα, 1999; Τα Νέα 2000)

ενέργειας οφείλεται σε πολλούς λόγους. Το καλοκαίρι του 1987, λόγω του έντονου κύματος καύσωνα, οι πωλήσεις κλιματιστικών ανήλθαν σε 20,000 τεμάχια, ενώ το 2004 ξεπέρασαν τις 250,000 μονάδες (Τα Νέα, 1999; Ελευθεροτυπία, 2007). Είναι ενδεικτικό πως το εξαιρετικά ζεστό καλοκαίρι του 2007 κατά τη διάρκεια μόνο του Ιουνίου οι πωλήσεις ανήλθαν σε 119,000 μονάδες (Η Καθημερινή, 2007).

Σε όλο τον κόσμο το 2002 οι εγκατεστημένες κλιματιστικές μονάδες ανέρχονταν σε 240 εκατομμύρια, καθώς και 110 εκατομμύρια αντλίες θερμότητας, που το αθροιστικό τους μερίδιο στην συνολική παγκόσμια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας εκτιμάται ότι κυμαινόταν στο 15% (IIR, 2002).

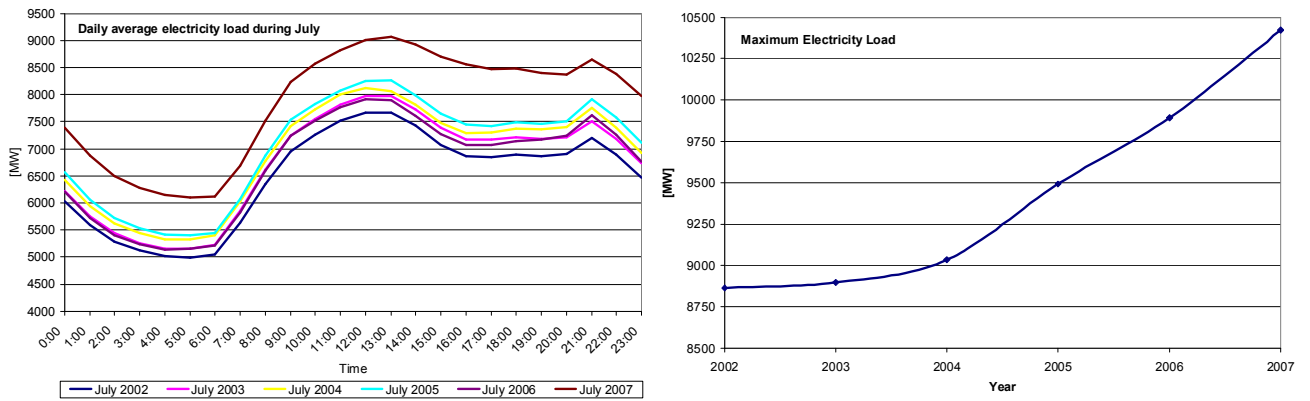


Εικόνα 3.2: Εξέλιξη πωλήσεων κλιματιστικών στον κόσμο (JARN, 2002)

Στο διάγραμμα της εικόνας 3.2 παρουσιάζονται οι πωλήσεις κλιματιστικών μονάδων κατά την περίοδο 1998 – 2006 (οι τιμές μετά το 2002 αφορούν προβλέψεις).

Εξαιρετικά ενδιαφέροντα είναι και τα διαγράμματα της εικόνας 3.3 που αποτυπώνουν την εξέλιξη του ηλεκτρικού φορτίου στο Ελληνικό διασυνδεδεμένο σύστημα την τελευταία εξαετία. Είναι ενδεικτικό

πως το μέσο ημερήσιο ηλεκτρικό φορτίο κατά το μήνα Ιούλιο αυξήθηκε κατά περίπου 1500 W στη διάρκεια των ετών 2002 – 2007. Επιπρόσθετα, το μέγιστο ηλεκτρικό φορτίο στο ίδιο χρονικό διάστημα έχει αυξηθεί επίσης κατά 1500 W που αντιστοιχεί σε ποσοστιαία αύξηση 17.5%. Βέβαια,



Εικόνα 3.3: Εξέλιξη του μέσου ημερήσιου – κατά το μήνα Ιούλιο – (αριστερά) και του μέγιστου ηλεκτρικού φορτίου (δεξιά) (ΔΕΣΜΗΕ, 2008)

το μέγιστο ηλεκτρικό φορτίο του προηγούμενου έτους είναι αρκετά μικρότερο από την αντίστοιχη ζήτηση αφού κατά τις ώρες της μέγιστης αιχμής λόγω προβλημάτων στο δίκτυο (black outs) ή εκούσιας διακοπής της παροχής ηλεκτρικού ρεύματος αυτή δεν καλύφθηκε πλήρως.

Τέσσερις διαφορετικές κατηγορίες αιτιών μπορούν να διακριθούν που έχουν συμβάλει στην



Εικόνα 3.4: Αιτίες αύξησης των φορτίων δροσισμού στα κτίρια

ραγδαία εξάπλωση του μηχανικού δροσισμού στα κτίρια, όπως παρουσιάζονται στην εικόνα 3.4.

Στις παραγράφους που ακολουθούν περιγράφονται αναλυτικά πως αυτές οι αιτίες επηρεάζουν την απαίτηση για τεχνητό δροσισμό στα κτίρια των αστικών περιοχών.

3.2.1 Κλιματικές αιτίες

Οι σύγχρονες κλιματικές συνθήκες όπως έχουν επηρεαστεί τοπικά ή παγκόσμια από τις ανθρώπινες

παρεμβάσεις διαμορφώνουν ένα δυσμενές εξωτερικό περιβάλλον στα κτίρια των αστικών περιοχών με συνέπεια να μην είναι δυνατή η κλιματική προσέγγιση στον (ενεργειακό) σχεδιασμό τους και παράλληλα, να καθίσταται εξαιρετικά ενεργοβόρα η παροχή συνθηκών θερμικής άνεσης στο εσωτερικό τους.

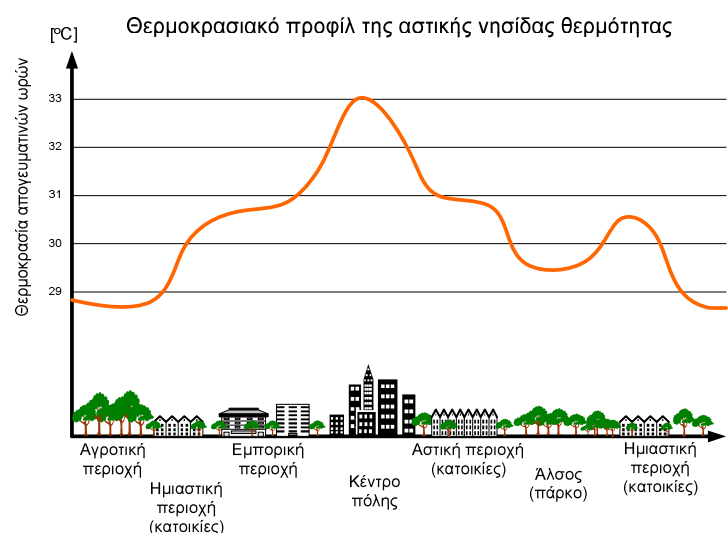
Συγκεκριμένα, τρία φαινόμενα μπορούν να αναγνωριστούν που συντελούν στην εμφάνιση αυτής της κατάστασης:

- Η αστική νησίδα θερμότητας (Urban Heat Island – UHI)
- Το αστικό μικροκλίμα συνολικά
- Η παγκόσμια θέρμανση ή κλιματική αλλαγή (Global Heating, Climate Change)

Ο τρόπος με τον οποίο τα τρία αυτά φαινόμενα επηρεάζουν τους διάφορους κλιματικούς παράγοντες και συνακόλουθα την ενεργειακή συμπεριφορά (ειδικότερα σε ότι αφορά την κάλυψη φορτίων δροσισμού) των κτιρίων περιγράφεται παρακάτω. Όπου είναι δυνατό η ποσοτικοποίηση της επίδρασής τους παρατίθεται.

3.2.1.1 Η αστική νησίδα θερμότητας

Μια αστική περιοχή αποτελεί ένα ξεχωριστό δυναμικό γεωγραφικό μόρφωμα που χαρακτηρίζεται από μια έντονη περιφερειακή και τοπική συγκέντρωση ανθρώπων, πρώτων υλών, παραγωγικών δραστηριοτήτων και κατανάλωση ενέργειας, που προκαλούν αισθητές αλλοιώσεις στο τοπικό



Εικόνα 3.5: Το θερμοκρασιακό προφίλ της αστικής νησίδας θερμότητας (Levinson and Akbari, 1995)

μικροκλίμα. Το πιο χαρακτηριστικό αποτέλεσμα αυτών των αλλοιώσεων είναι οι υψηλότερες θερμοκρασίες αέρα που επικρατούν στις αστικές περιοχές, ένα φαινόμενο που έχει χαρακτηριστεί ως αστική νησίδα θερμότητας. Η αστική νησίδα θερμότητας εμφανίζεται όταν η θερμοκρασία μέσα σε μια πόλη είναι υψηλότερη από την επικρατούσα θερμοκρασία στα περίχωρα της πόλης (εικόνα 3.5).

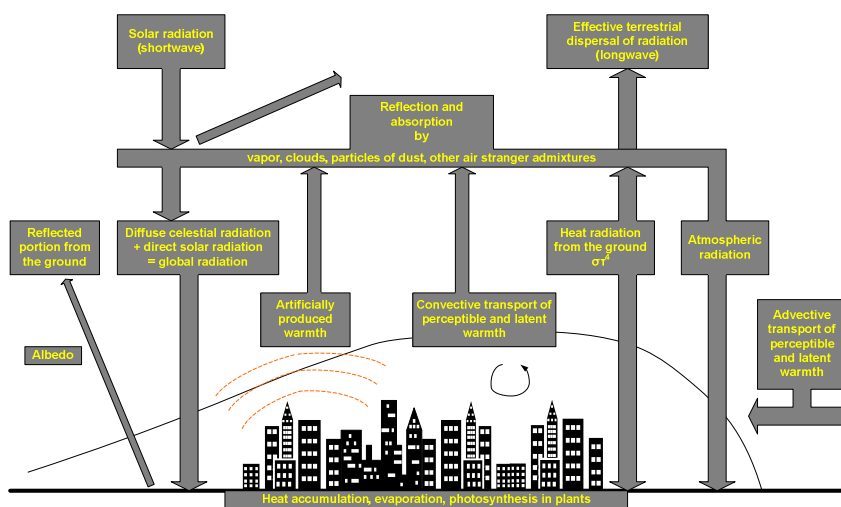
Η αστική νησίδα θερμότητας συνιστά μια από τις πιο γνωστές και αποδεδειγμένες αλλοιώσεις του κλίματος που οφείλεται στην ανθρώπινη δραστηριότητα σε τοπικό επίπεδο. Αποτελεί επίσης την

εμφανεστερη κλιματική σφραγίδα της αστικοποίησης.

Η εμφάνιση του φαινομένου της θερμικής νησίδας θερμότητας οφείλεται στους παρακάτω λόγους (Streutker, 2003) που σχετίζονται με το ενεργειακό ισοζύγιο μιας πόλης (εικόνα 3.6):

- Η τοπογραφία τύπου αστικής χαράδρας (street canyon), συντελεί στην αποτελεσματικότερη απορρόφηση της ακτινοβολίας μικρού μήκους κύματος, καθώς επιτρέπει πολλαπλές αντανάκλασεις της ηλιακής ακτινοβολίας. Επιπλέον, η ποικιλία στη γεωμετρία επιτρέπει τη μεγαλύτερη απορρόφηση του ηλιακού φωτός κατά τη διάρκεια των περιόδων υψηλής ηλιακής μέγιστης γωνίας, όπως και κατά τη διάρκεια της ανατολής και της δύσης του ήλιου
- Η γεωμετρία των αστικών χαράδρων μειώνει την αποδοτικότητα με την οποία η αστική περιοχή μπορεί να ακτινοβολήσει τη μεγάλη μήκους κύματος θερμική ακτινοβολία στην ατμόσφαιρα και έξω στο διάστημα. Οι πολλαπλές επιφάνειες επιτρέπουν την επαναρρόφηση της ακτινοβολίας μεγάλου μήκους κύματος, ελαχιστοποιώντας την απώλεια θερμότητας μέσω της ψύξης με ακτινοβολία
- Οι αστικές περιοχές παρουσιάζουν αυξανόμενη τραχύτητα επιφάνειας, η οποία επιβραδύνει τους ανέμους πάνω από αυτήν. Το γεγονός αυτό μειώνει την απώλεια αισθητής θερμότητας από την αστική επιφάνεια μέσω της ατμοσφαιρικής μεταφοράς της
- Η ατμόσφαιρα των αστικών περιοχών έχει χαρακτηριστικά υψηλότερα επίπεδα ρύπανσης από αυτά των περιβάλλοντων αγροτικών περιοχών. Η ρύπανση, μπορεί να δημιουργήσει μια επίδραση ψευδοφαινομένου του θερμοκηπίου, που απορροφώντας και επανακτινοβολώντας την ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος, εμποδίζει την ψύξη με ακτινοβολία στην επιφάνεια
- Οι αστικές περιοχές παράγουν περισσότερη θερμότητα από ανθρωπογενείς παράγοντες σε σύγκριση με τις αγροτικές περιοχές, λόγω της αυξανόμενης πυκνότητας του πληθυσμού. Οι πηγές ανθρωπογενούς θερμότητας περιλαμβάνουν τα αυτοκίνητα, τις μονάδες κλιματισμού και τις απώλειες θερμότητας από τα κτίρια
- Οι ιδιότητες ακτινοβολίας (μικρή ανακλαστικότητα) και οι θερμικές ιδιότητες (μεγάλη θερμοχωρητικότητα) των υλικών που χρησιμοποιούνται στις αστικές δομές και στην κάλυψη των αστικών επιφανειών ποικίλλουν σημαντικά από εκείνες των υλικών που βρίσκονται φυσικά, στις αγροτικές περιοχές
- Η έλλειψη βλάστησης στο αστικό περιβάλλον μειώνει την εξατμισοδιαπνοή ως πηγή λανθάνουσας απώλειας θερμότητας. Η εκτενής χρήση αδιαπέραστων επιφανειών και η καλύτερη αποξήρανση ενεργούν επίσης στη γρήγορη μεταφορά του νερού της επιφάνειας έξω από την αστική περιοχή, γεγονός που μειώνει την απώλεια λανθάνουσας θερμότητας μέσω της εξάτμισης.

Η αστική νησίδα θερμότητας έχει αναγνωριστεί και μελετηθεί στις περισσότερες μεγάλες πόλεις του ανεπτυγμένου και όχι μόνο κόσμου. Ωστόσο, τελευταία το φαινόμενο ανιχνεύεται και αποτελεί αντικείμενο σπουδής και σε μικρότερες πόλεις. Στη βιβλιογραφία είναι διαθέσιμος ευρύς αριθμός μελετών που υπολογίζουν την ένταση (διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ αστικού και περιαστικού περιβάλλοντος) της αστικής νησίδας θερμότητας σε διάφορες πόλεις. Αυτή εκτιμάται ότι μπορεί να αγγίξει ως και τους 15°C. Για την Ελλάδα σύμφωνα με τους Santamouri et al (2001), που επεξεργάστηκαν τα πολυετή δεδομένα ενός εκτενούς δικτύου μετεωρολογικών σταθμών, η διαφοροποίηση της θερμοκρασίας αέρα στην ευρύτερη περιοχή της Αθήνας μεταξύ αστικών και



Εικόνα 3.6: Το ενεργειακό ισοζύγιο του αστικού περιβάλλοντος (Baumüller, 2004)

αποτελεί αντικείμενο έντονης ερευνητικής δραστηριότητας την τελευταία δεκαετία. Οι αυξημένες θερμοκρασίες που επικρατούν στα κέντρα των πόλεων αυξάνουν σημαντικά τα ψυκτικά φορτία των κτιρίων και ο υπολογισμός αυτής της αύξησης συνιστά το κύριο μέρος της ερευνητικής δραστηριότητας.

Στην περιοχή της Αθήνας η κατανάλωση ενέργειας για δροσισμό σε ένα κτίριο αναφοράς υπολογίστηκε ότι είναι διπλάσια στο κέντρο της πόλης από ότι στα προάστια (Santamouris et al, 2001). Το μέγιστο ψυκτικό φορτίο για ένα τυπικό κτίριο γραφείων υπολογίστηκε (μέσω προσομοιώσεων) σε 27.5 kW στο κέντρο της πόλης και σε 13.7 kW σε μια περιαστική περιοχή για εσωτερική θερμοκρασία 26°C. Όταν η εσωτερική θερμοκρασία ανέρχεται σε 28°C η διαφορά είναι ακόμη πιο έντονη με το ψυκτικό φορτίο να ανέρχεται σε 23.5 kW στο κέντρο και 7.3 kW στην περιαστική περιοχή.

Πέρα βέβαια από την σημαντική αύξηση στα ψυκτικά φορτία οι αυξημένες θερμοκρασίες των πόλεων μειώνουν και την απόδοση των συσκευών που καλούνται να τα καλύψουν. Συγκεκριμένα, οι συμβατικές τεχνολογίες ψύξης, είτε ηλεκτρικά είτε θερμικά καθοδηγούμενες, απορρίπτουν υψηλές ποσότητες θερμότητας στο αστικό περιβάλλον ενισχύοντας το φαινόμενο της αστικής

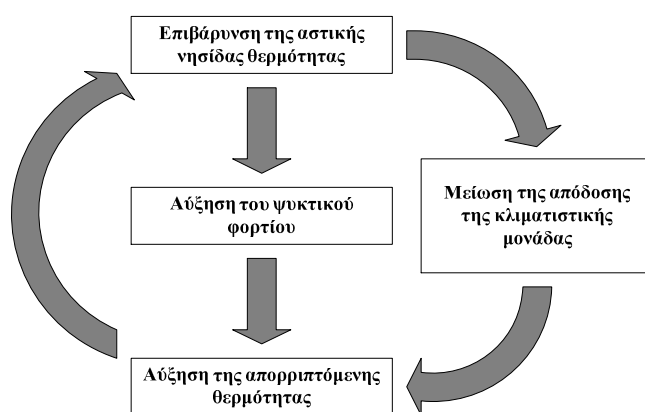
περιαστικών περιοχών κυμαίνεται από 5°C ως 15°C. Στη Θεσσαλονίκη, χρησιμοποιώντας στοιχεία από εναέριες μετρήσεις οι Papadopoulos and Kalognomou (2001), υπολόγισαν την ένταση της αστικής νησίδας θερμότητας σε 8°C.

Η επιρροή της αστικής νησίδας θερμότητας στην ενεργειακή συμπεριφορά των κτιρίων

νησίδας, με συνέπεια την παραπέρα αύξηση των ψυκτικών φορτίων των κτιρίων λόγω κύρια τριών καταστάσεων:

- Περαιτέρω αύξηση θερμοκρασίας
- Περαιτέρω αύξηση υγρασίας
- Μείωση του βαθμού απόδοσης (COP) των κλιματιστικών

Η χρήση κλιματιστικών, λόγω της απορριπτόμενης θερμότητας από τους συμπυκνωτές, συμβάλλει στο φαινόμενο της αστικής νησίδας θερμότητας. Παράλληλα, η αύξηση τοπικά της εξωτερικής θερμοκρασίας μειώνει την απόδοση των συσκευών, αφού δυσχεραίνεται η αποβολή θερμότητας



Εικόνα 3.7: Ο φαύλος κύκλος λειτουργίας των κλιματιστικών συσκευών σε αστικές περιοχές

από τους συμπυκνωτές. Ιδιαίτερα, όταν οι συσκευές είναι τοποθετημένες σε κτίρια που σχηματίζουν στενές αστικές χαράδρες η αύξηση της θερμοκρασίας είναι τοπικά πολύ έντονη και προκαλεί τη δυσφορία ακόμη και των πεζών που κινούνται στο δρόμο.

Στην εικόνα 3.7 αποτυπώνεται ο θερμικός κύκλος μιας τέτοιας συσκευής σε αστική περιοχή. Είναι φανερό ότι το αστικό

μικροκλίμα επηρεάζει το ψυκτικό φορτίο των κτιρίων, ενώ ο φαύλος κύκλος από τη χρήση των κλιματιστικών επιδεινώνει την ενεργειακή απόδοση και συμπεριφορά των συστημάτων του.

Σύμφωνα με τον Papadopoulos (2001), που μελέτησε τα θερμοκρασιακά πεδία σε μια τυπική περίπτωση αστικής χαράδρας, που συναντάται συχνά στα κέντρα των ελληνικών πόλεων, στη Θεσσαλονίκη η διαφορά θερμοκρασίας του αέρα της χαράδρας όταν τα κτίρια που την αποτελούν κλιματίζονται και όταν δεν κλιματίζονται μπορεί να ξεπερνά τους 6°C με ότι αυτό συνεπάγεται στην απόδοση των κλιματιστικών συσκευών.

Στην μελέτη των Santamouri et al (2001), που αναφέρθηκε προηγούμενα, υπολογίστηκε ότι η επίδραση της αστικής νησίδας θερμότητας μπορεί να μειώσει ως και 25% την απόδοση των κλιματιστικών συστημάτων.

3.2.1.2 Άλλοι παράμετροι του αστικού μικροκλίματος

Η αυξημένη θερμοκρασία του ατμοσφαιρικού αέρα αποτελεί αναμφίβολα την πιο εμφανή αλλοίωση του μικροκλίματος στις αστικές περιοχές. Ωστόσο, οι αιτίες που δημιουργούν αυτό το

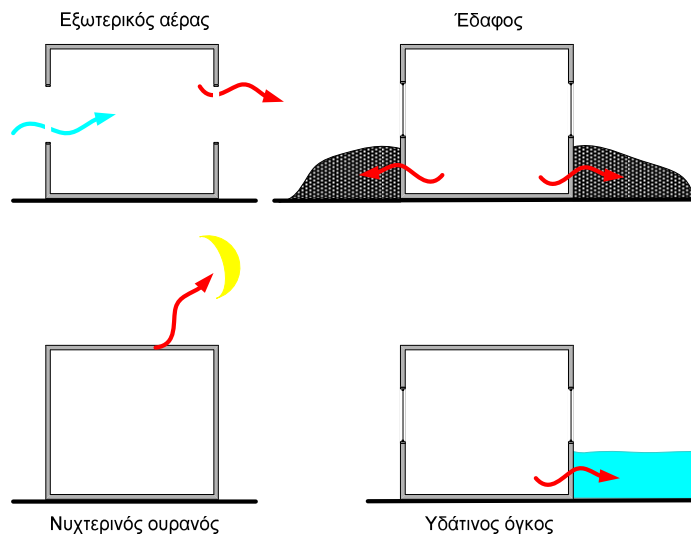
φαινόμενο επηρεάζουν πλην της θερμοκρασίας και μια σειρά άλλων κλιματικών παραμέτρων που είναι επίσης σημαντικές στην ενεργειακή συμπεριφορά των κτιρίων. Επιπρόσθετα, το γεγονός της θερμοκρασιακής διαφοράς μεταξύ της πόλης και των περιαστικών περιοχών προκαλεί μια σειρά μετεωρολογικών φαινομένων που επίσης αλλοιώνουν τα κλιματολογικά χαρακτηριστικά των πόλεων. Συνοπτικά, οι κλιματολογικές – και όχι μόνο – αλλοιώσεις που εμφανίζονται στις πόλεις είναι:

- Η ολική ηλιακή ακτινοβολία μειώνεται σημαντικά λόγω αυξημένης διάχυσης και απορρόφησης από ατμοσφαιρικούς ρύπους
- Η ταχύτητα ανέμου στο αστικό περιβάλλον μειώνεται εντυπωσιακά σε σχέση με αυτήν του ανεμώδιστου αέρα και η διεύθυνση της επηρεάζεται επίσης. Το γεγονός αυτό οφείλεται κυρίως στην αυξημένη ειδική τραχύτητα μιας πόλης
- Το αστικό περιβάλλον επηρεάζει τη νέφωση και την υγρασία
- Η αυξημένη ατμοσφαιρική ρύπανση που συναντάται στις αστικές περιοχές αν και δεν αποτελεί άμεσα μια κλιματική παράμετρο επηρεάζει σημαντικά τα φορτία δροσισμού, αφού η διασφάλιση της ποιότητας αέρα του εσωτερικού περιβάλλοντος των κτιρίων επιτυγχάνεται μόνο με την αύξηση του αερισμού που ωστόσο επιβαρύνει την κατανάλωση ενέργειας
- Τα αυξημένα επίπεδα θορύβου που συναντώνται στις πόλεις συντελούν στον περιορισμό του φυσικού (μη μηχανικού) αερισμού των κτιρίων, όταν αυτός είναι δυνατός, μειώνοντας σημαντικά τη θερμοκρασία πάνω από την οποία οι χρήστες των κτιρίων χρησιμοποιούν κλιματισμό, γεγονός που συντελεί επίσης στην αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας για δροσισμό.

Η επίδραση του αστικού μικροκλίματος στα ψυκτικά φορτία των κτιρίων δεν αφορά κυρίως τα ίδια τα φορτία (όπως με την αστική νησίδα θερμότητας), αλλά με τον περιορισμό της δυνατότητας κάλυψής τους με τη χρήση τεχνικών φυσικού ή παθητικού δροσισμού. Αυτές οι τεχνικές μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε:

- Ψύξη με ακτινοβολία
- Ψύξη με εξάτμιση
- Ψύξη με αερισμό
- Ψύξη μέσω του εδάφους.

Οποιαδήποτε από αυτές τις τεχνικές χρησιμοποιούν μια περιβαλλοντική δεξαμενή θερμότητας στην οποία απορρίπτεται η θερμότητα που παράγεται από τα κτίρια (εικόνα 3.8). Αυτές οι



Εικόνα 3.8: Δεξαμενές θερμότητας τεχνικών φυσικού δροσισμού

Η ψύξη με εξάτμιση σε όλες τις μορφές (άμεση ή έμμεση, παθητική ή υβριδική) απαιτεί κατάλληλες συνθήκες εξωτερικού αέρα (υγρασίας και θερμοκρασίας) που δύσκολα συναντώνται στις αστικές περιοχές. Επιπλέον, στην περίπτωση των τεχνικών όπως οι φυτεμένες επιφάνειες ή τα επιφανειακά νερά (πηγές, συντριβάνια) που επηρεάζουν το μικροκλίμα, συνήθως δεν υπάρχει διαθέσιμος χώρος για να ενσωματωθούν.

Στην περίπτωση της ψύξης με αερισμό, όπου η δεξαμενή θερμότητας είναι ο περιβαλλοντικός αέρας, οι υψηλότερες θερμοκρασίες λόγω της αστικής νησίδας θερμότητας και οι χαμηλότερες ταχύτητες αέρα που οφείλονται στο φαινόμενο των αστικών χαράδρων, ελαχιστοποιούν οποιαδήποτε δυνατότητα που μπορεί να έχει αυτή η τεχνική ακόμη και στην περίπτωση του νυχτερινού αερισμού (Geros et al, 2005).

Τέλος, η γεωμετρία των αστικών χαράδρων μειώνει επίσης την αποδοτικότητα με την οποία τα αστικά κτίρια μπορούν να ακτινοβολήσουν θερμότητα (ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος) στην ατμόσφαιρα και έξω στο διάστημα. Οι πολλαπλές επιφάνειες επιτρέπουν την επαναρρόφηση της ακτινοβολίας, μειώνοντας την απώλεια θερμότητας μέσω της ψύξης με ακτινοβολία.

Σε κάθε περίπτωση το φαινόμενο της αστικής νησίδας θερμότητας αυξάνει σημαντικά τα ψυκτικά φορτία και σε συνδυασμό με τις χαμηλές ταχύτητες αέρα στις αστικές χαράδρες οποιαδήποτε παραχθείσα ψύξη από τις τεχνικές φυσικού δροσισμού είναι μάλλον περιορισμένη και μη επαρκής για να καλύψει το σύνολο των ψυκτικών φορτίων. Επομένως, βοηθητικά συμβατικά συστήματα πρέπει να ενσωματωθούν στο κτίριο. Τα βοηθητικά συστήματα, όμως, κατά τη διάρκεια της περιόδου μέγιστης απαίτησης σε ψύξη, όπου οι δυνατότητες φυσικού δροσισμού εκμηδενίζονται, πρέπει να καλύψουν ολόκληρο το φορτίο σχεδιασμού, κατά συνέπεια το μέγεθος τους θα είναι το ίδιο, όπως και χωρίς την παθητική τεχνολογία δροσισμού (Alvarez and Molina, 2003), οπότε και η

περιβαλλοντικές δεξαμενές θερμότητας είναι πολύ δύσκολο να βρεθούν στις αστικές περιοχές.

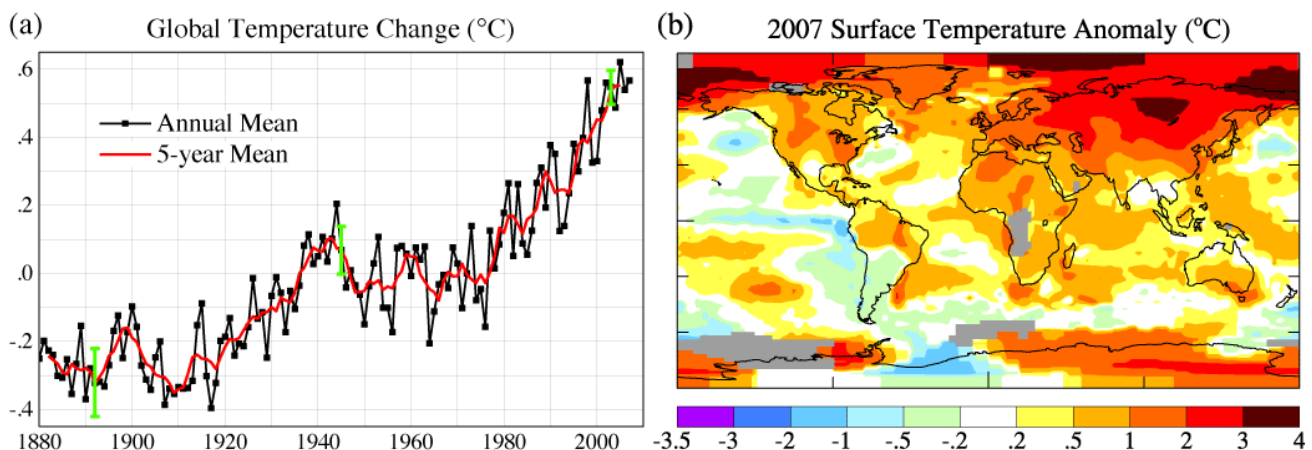
Η ψύξη μέσω του εδάφους απαιτεί διαθέσιμο χώρο, που όμως δεν υπάρχει σε έντονα δομημένες περιοχές, όπως τις αστικές. Επίσης, και η θερμοκρασία του εδάφους επιφανειακά ως σε μικρό βάθος είναι σχετικά υψηλότερη λόγω των ιδιοτήτων των υλικών (θερμοχωρητικότητας και ακτινοβολίας) που χρησιμοποιούνται στις πόλεις.

οικονομική σκοπιμότητα τέτοιων λύσεων είναι υπό αίρεση.

Συνοψίζοντας, η ιδέα ενός φυσικά δροσιζόμενου κτιρίου, τοποθετημένου στο πυκνά δομημένο αστικό περιβάλλον μπορεί να φαίνεται ελκυστική, αλλά είναι μετά βίας ρεαλιστική. Αυτό οφείλεται κύρια στους περιορισμούς που επιβάλλονται από το αστικό δομημένο περιβάλλον, από την ενιαία αρχιτεκτονική της οικοδόμησης και τα ευρύτερα χαρακτηριστικά της αστικής πολεοδομίας και χωροταξίας.

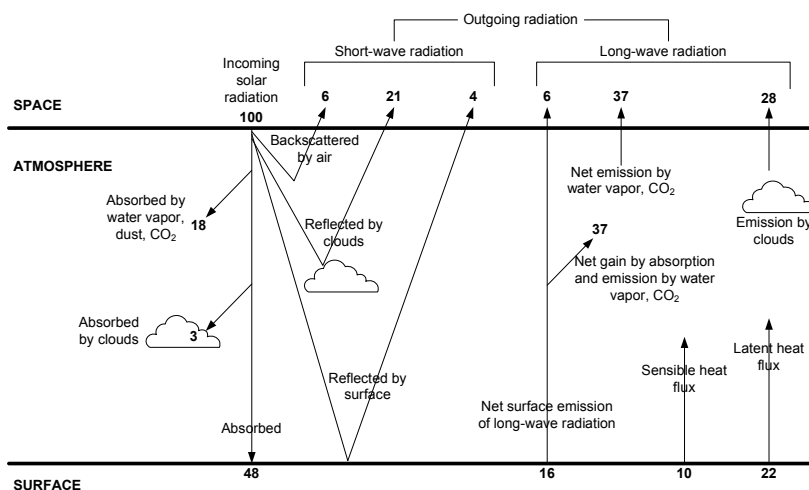
3.2.1.3 Η αλλαγή του κλίματος και η παγκόσμια θέρμανση

Ο όρος παγκόσμια θέρμανση ή κλιματική αλλαγή χρησιμοποιείται για να χαρακτηρίσει το φαινόμενο της αύξησης της μέσης παγκόσμιας θερμοκρασίας τον τελευταίο ενάμιση περίπου αιώνα. Στο διάγραμμα της εικόνας 3.9 παρουσιάζεται διαγραμματικά αυτή η αύξηση ως τη διαφορά



Εικόνα 3.9: Διαφορά της παγκόσμιας θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια των τελευταίων 125 ετών (αριστερά) και κατά το έτος 2007 (δεξιά) από τη μέση παγκόσμια κατά την τριαντακονταετία 1951-1980 (GISS, 2008)

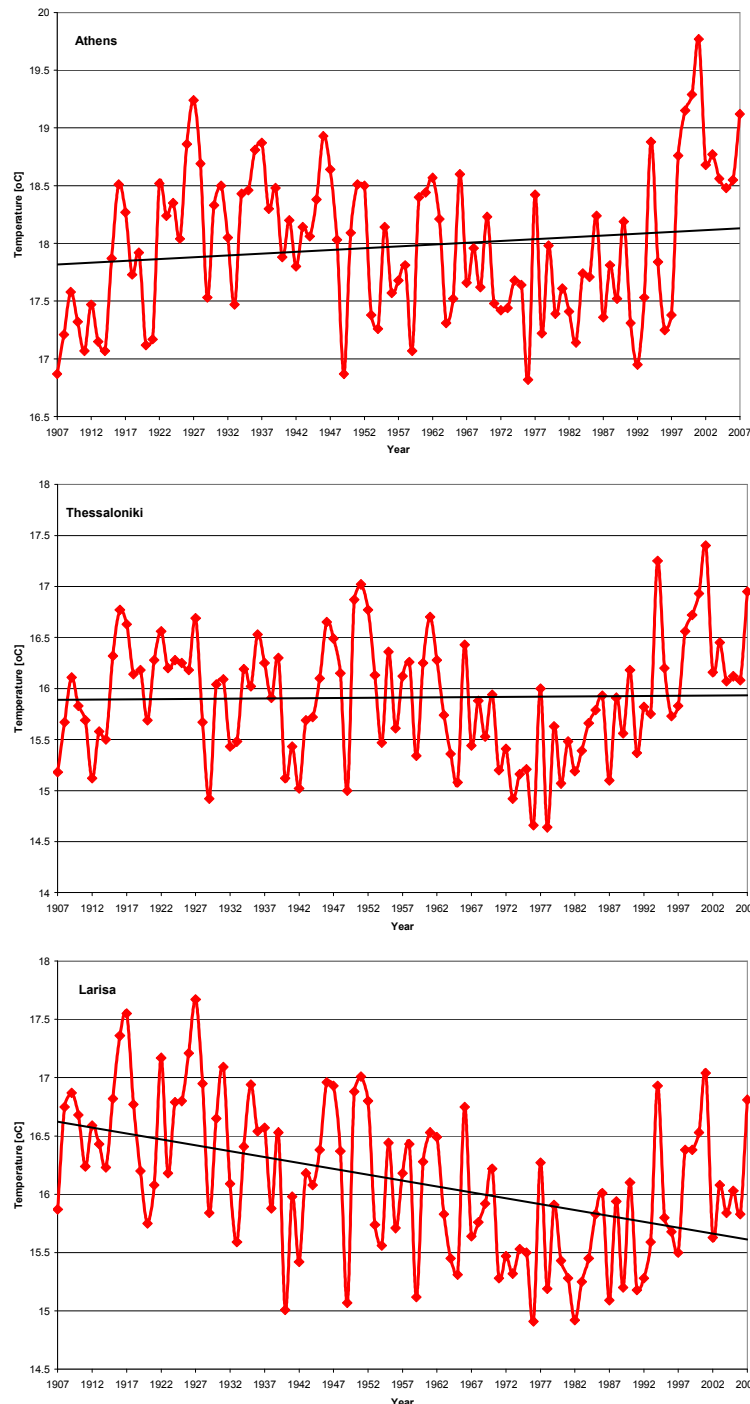
της παγκόσμιας θερμοκρασίας από τη μέση παγκόσμια θερμοκρασία κατά την τριαντακονταετία 1951 – 1980.



Εικόνα 3.10: Το ενεργειακό ισοζύγιο της γης (Asimakopoulos, 2001)

Το φαινόμενο του θερμοκηπίου που μεταβάλλει το ενεργειακό ισοζύγιο της γης (εικόνα 3.10) συνιστά έναν από τους πιθανούς λόγους αύξησης της παγκόσμιας θερμοκρασίας. Η ηλιακή ακτινοβολία που διαπερνά την ατμόσφαιρα, φτάνει στην επιφάνεια του εδάφους και επανεκπέμπεται ως μεγάλου

μήκους κύματος υπέρυθη ακτινοβολία. Ένα μέρος ωστόσο αυτής απορροφάται από τα κατώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας, κύρια από υδρατμούς και διοξείδιο του άνθρακα, και επανεκπέμπεται στην επιφάνεια του εδάφους θερμαίνοντας παραπέρα τη γη. Το φαινόμενο αυτό, που επιτρέπει τη διέλευση της μικρού μήκους κύματος ακτινοβολίας και εγκλωβίζει τη μεγάλου μήκους κύματος, μοιάζει με τη λειτουργία ενός θερμοκηπίου. Η ακτινοβολία αυτή που θα έφευγε στο διάστημα απορροφάται από διάφορα αέρια τα οποία παράγονται από τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Τα τελευταία είναι γνωστά ως αέρια του θερμοκηπίου.



Εικόνα 3.11: Εξέλιξη μέσης ετήσιας θερμοκρασίας στην Αθήνα (πάνω), τη Θεσσαλονίκη (μέση) και τη Λάρισα (κάτω) (GISS, 2008)

απορροφάται από διάφορα αέρια τα οποία παράγονται από τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Τα τελευταία είναι γνωστά ως αέρια του θερμοκηπίου.

Στα διαγράμματα της εικόνας 3.11 παρουσιάζονται οι μέσες ετήσιες θερμοκρασίες στην Αθήνα, τη Θεσσαλονίκη και τη Λάρισα τα τελευταία 100 χρόνια. Από τα τρία διαγράμματα ελάχιστα διακρίνεται μια μικρή αύξηση της θερμοκρασίας στον Ελληνικό χώρο στα χρόνια μετά το 1970. Ειδικότερα, για την Αθήνα η αύξηση στη συνολική διάρκεια της περιόδου καταγραφής δεν ξεπερνά τους 0.5°C, στη Θεσσαλονίκη είναι αμελητέα ενώ στη Λάρισα αντίθετα παρατηρείται πτώση της θερμοκρασίας κατά περίπου 1°C. Λαμβάνοντας, υπόψη τις αλλαγές στις χρήσεις γης γύρω από τους σταθμούς (για την Αθήνα το Αστεροσκοπείο: 38.0N, 23.7E, τη Θεσσαλονίκη το αεροδρόμιο: 40.5N, 23.0E και τη Λάρισα: 39.6N, 22.4E) στη Θεσσαλονίκη και την Αθήνα καθώς και την ένταση της αστικής νησίδας θερμότητας στις δύο πόλεις η μικρή αύξηση στη θερμοκρασία των

τελευταίων 100 ετών (και εντονότερη μετά το 1970) μπορεί κάλλιστα να αποδοθεί σε αστικό

θόρυβο.

Ασφαλώς, δεν μπορούν να υπάρξουν μετρήσεις ως προς την επίδραση της παγκόσμιας θέρμανσης στην ενεργειακή συμπεριφορά των κτιρίων μελλοντικά, αφού δεν είναι δυνατή η ακριβής γνώση των κλιματικών παραμέτρων μακροπρόθεσμα. Αντ' αυτού, χρησιμοποιούνται σενάρια – με κριτήριο το εύρος των ανθρωπογενών ισοδύναμων εκπομπών CO₂ στην ατμόσφαιρα – σε προσομοιωτικά προγράμματα, ώστε να εκτιμηθούν τα κλιματικά δεδομένα σε 20, 30, 50 ή 100 χρόνια. Βέβαια, η εγκυρότητα αυτών των μοντέλων δεν είναι διασφαλισμένη, ωστόσο, αποτελούν τη μοναδική οδό απόκτησης αναλυτικών κλιματικών δεδομένων αναγκαίων στους ενεργειακούς υπολογισμούς σε κτίρια.

Από τα αποτελέσματα αυτών των προσομοιωτικών προγραμμάτων μπορούν να παραχθούν κλιματικά δεδομένα σε κατάλληλη μορφή για να χρησιμοποιηθούν σε προγράμματα ενεργειακής προσομοίωσης κτιρίων. Κατά αυτόν τον τρόπο υπολογίζεται η επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην ενεργειακή συμπεριφορά κτιρίων.

Διάφορες τέτοιες έρευνες έχουν δημοσιευτεί. Ειδικά για την Ελλάδα, ενδιαφέρον παρουσιάζει η εργασία των Cartalis et al (2001), που με τη χρήση του μοντέλου ESCAPE (CRU et al, 1992) – προσαρμοσμένο στο Μεσογειακό κλίμα – υπολόγισαν την επίπτωση της κλιματικής αλλαγής στα θερμικά και ψυκτικά φορτία κτιρίων της Ελλάδας το 2030. Συγκεκριμένα, διαμόρφωσαν 5 σενάρια κλιματικής αλλαγής (το Business as Usual σενάριο όπου η εκπομπή CO₂, ακολουθεί τους σύγχρονους ρυθμούς εξέλιξης και τέσσερα σενάρια κλιμακούμενου περιορισμού των εκπομπών σύμφωνα με τις διάφορες διεθνείς συνθήκες) και συνέκριναν τα αποτελέσματά τους ως προς τον αριθμό των βαθμοημερών θέρμανσης και ψύξης με τις αντίστοιχες του έτους 2030 (έτος αναφοράς).

Από τα αποτελέσματά τους προκύπτει ότι η αύξηση των βαθμοημερών ψύξης λόγω της κλιματικής αλλαγής κυμαίνεται από 12% (στο πιο αισιόδοξο σενάριο) ως 25%. Η ποσοστιαία μείωση των βαθμοημερών θέρμανσης είναι πολύ λιγότερο σημαντική, καθώς είναι περίπου η μισή από την περίπτωση της ψύξης.

Αναφορικά με την κατανάλωση ενέργειας ενός τυπικού κτιρίου η αύξηση είναι εξαιρετικά σημαντική, αφού κυμαίνεται από 15% (υπεραισιόδοξο σενάριο) ως 28%. Η μείωση στην κατανάλωση για θέρμανση κυμαίνεται ποσοστιαία στο 1/3 της ψύξης.

3.2.2 Κατασκευαστικές – Αρχιτεκτονικές αιτίες

Η τεχνολογική ανάπτυξη του μηχανικού κλιματισμού σε συνδυασμό με τις χαμηλές τιμές ενέργειας που επικράτησαν μεταπολεμικά διαμόρφωσαν μια τάση για άσκοπη και αλόγιστη χρήση ενέργειας στα κτίρια. Η τάση αυτή επήρασε τόσο τους σχεδιαστές – αρχιτέκτονες και μηχανικούς – όσο και

τους κατασκευαστές και ένοικους κτιρίων.

Τα κτίρια ως και τη δεκαετία που έλαβαν μέρος οι δύο ενεργειακές κρίσεις χτίζονταν χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η ενεργειακή τους συμπεριφορά. Ακόμη και τα χρόνια μετά τις ενεργειακές κρίσεις έμφαση αποδόθηκε στην κατασκευή κτιρίων με χαμηλή ενεργειακή κατανάλωση κατά την περίοδο θέρμανσης, αγνοώντας στην πλειονότητα των περιπτώσεων την επίδραση των επεμβάσεων (μεγιστοποίηση ηλιακών θερμικών κερδών) στα ψυκτικά φορτία του κτιρίου. Δεν είναι παρά τα τελευταία χρόνια που αναζητείται η μείωση των ψυκτικών φορτίων των κτιρίων, καθώς τα προβλήματα από τη χρήση τεχνητού κλιματισμού εντείνονται διαρκώς.

3.2.2.1 Πρακτική αρχιτεκτόνων και μηχανικών

Από τη δεκαετία του 1950 που ο τεχνητός κλιματισμός εφαρμόστηκε ως μια τοπική τεχνολογική λύση έχει εξελιχθεί σε μια παγκόσμια αναγκαιότητα. Μια από τις συνέπειες της διαθεσιμότητας των κλιματιστικών μηχανημάτων είναι η προσαρμογή των αρχιτεκτόνων και μηχανικών σε αυτά, ώστε να αδυνατούν πλέον να σχεδιάσουν και να κατασκευάσουν κλιματολογικά προσαρμοσμένα κτίρια σύμφωνα με τις αρχές του ενεργειακού σχεδιασμού (Stetiu, 1998).

Οι περισσότεροι αρχιτέκτονες ασχολούνται πλέον μόνο με το σχεδιασμό και τη φόρμα του κτιρίου και αδιαφορούν για τη θερμική του συμπεριφορά, αφού γνωρίζουν πως σε κάθε περίπτωση οι απαιτήσεις σε θέρμανση και δροσισμό θα καλυφθούν από κλιματιστικά μηχανήματα. Είναι ενδεικτικό πως σε αρκετές αρχιτεκτονικές σχολές ενεργειακά και περιβαλλοντικά θέματα είτε είναι προαιρετικά είτε διδάσκονται πλημμελώς (CADDET InfoPoint, 2003; Roaf, 2006).

Από την άλλη πλευρά, οι μηχανικοί της θέρμανσης και του κλιματισμού επί δεκατίες προέβαλλαν ως κύρια ασχολία τους την ασφαλή κάλυψη των μέγιστων θερμικών και ψυκτικών φορτίων υπερδιαστασιολογώντας συσκευές και εξοπλισμό, αδιαφορώντας για τη δυναμική συμπεριφορά των συστημάτων και την ενεργειακή τους απόδοση σε μερικό φορτίο κατά τη διάρκεια των ετών.

Καταληκτικά, ακόμη και η συνεργασία μεταξύ αρχιτεκτόνων και μηχανολόγων μηχανικών είναι προβληματική, ακολουθώντας μια σειριακή διαδρομή (ο αρχιτέκτονας παραδίδει τα σχέδια στο μηχανολόγο που διαστασιολογεί μηχανήματα) αντί μιας ενιαίας και ολοκληρωμένης προσέγγισης στο σχεδιασμό των κτιρίων.

3.2.2.2 Σύγχρονα κτίρια

Πέρα από την εξάπλωση του τεχνητού κλιματισμού, η ίδια η τεχνολογική εξέλιξη του κατασκευαστικού κλάδου και η παγκοσμιοποίηση κατασκευαστικών τεχνικών, τεχνολογιών και υλικών αλλοίωσαν τα τοπικά (κλιματολογικά προσαρμοσμένα) χαρακτηριστικά στην ανέγερση κτιρίων. Αυτοί οι παράγοντες σε αλληλεπίδραση με τις οικονομικές παραμέτρους της αγοράς

ακινήτων επέφεραν μια σειρά από μεταβολές στα σύγχρονα κτίρια ανεξάρτητα από το κλιματολογικό χαρακτήρα της τοποθεσίας όπου κατασκευάζονται. Τέτοιες μεταβολές είναι:

- Περισσότερο ελαφριές κατασκευές – κτίρια μικρής θερμοχωρητικότητας
- Χρήση εκτεταμένων γυάλινων επιφανειών – γυάλινα κτίρια
- Κτίρια μεγάλης κάλυψης οικοπέδων – Απουσία φυσικού φωτισμού και αερισμού.

Τα κτίρια μικρής θερμοχωρητικότητας δεν επιτρέπουν την αποθήκευση θερμότητας κατά τις ζεστές ώρες της ημέρας και την επακόλουθη ψύξη τους κατά τις κρύες νυχτερινές ώρες με αποτέλεσμα να απαιτείται η συνεχή τους ψύξη.

Η μεγιστοποίηση των ηλιακών θερμικών κερδών που παρατηρείται σε κτίρια με εκτενείς γυάλινες επιφάνειες μπορεί να λειτουργεί θετικά κατά την περίοδο θέρμανσης, ωστόσο επιβάλλει έντονες ψυκτικές απαιτήσεις κατά την περίοδο δροσισμού (Κωτσίδης, 2006).

Τέλος, σε κτίρια μεγάλου επιφανειακού αποτύπωματος, καθώς απουσιάζει ο φυσικός φωτισμός και αερισμός στον πυρήνα τους γίνεται εκτεταμένη χρήση τεχνητού φωτισμού (που προσθέτει ψυκτικά φορτία στους χώρους) και δροσισμού (αφού ακόμη και σε ενδιάμεσες κλιματικές συνθήκες η φυσική ψύξη των χώρων είναι αδύνατη).

3.2.3 Κοινωνικές αιτίες (χρήση των κτιρίων)

Έναν σημαντικό παράγοντα που επηρεάζει την ενεργειακή συμπεριφορά των κτιρίων αποτελεί ο τρόπος χρήσης τους. Τα συμπεριφορικά πρότυπα των χρηστών και τα εσωτερικά κέρδη από τις διάφορες συσκευές συνιστούν, ιδιαίτερα αναφορικά με το ψυκτικό φορτίο ενός κτιρίου, μια κρίσιμη θερμική παράμετρο. Τα θερμικά κέρδη από χρήστες και συσκευές έχουν αυξηθεί πάρα πολύ τα τελευταία χρόνια, αφού οι άνθρωποι συνηθίζουν πλέον να περνούν περισσότερες ώρες στο εσωτερικό κτιρίων και ο αριθμός των ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συσκευών (και συνακόλουθα η ισχύς τους) έχει αυξηθεί εντυπωσιακά.

Επίσης, οι απαιτήσεις άνεσης των ανθρώπων έχουν αυξηθεί αρκετά όπως πιστοποιείται από την εξέλιξη των διαφόρων διεθνών προτύπων που προδιαγράφουν συνθήκες θερμικής άνεσης και ποιότητας αέρα σε εσωτερικούς χώρους.

3.2.3.1 Ποιοτική και ποσοτική χρήση κτιρίων

Οι άνθρωποι περνούν πλέον πολύ περισσότερο χρόνο στο εσωτερικό κτιρίων από ότι στο παρελθόν. Οι περισσότερες από τις δραστηριότητες του ανθρώπου έχουν σήμερα στεγαστεί με αποτέλεσμα αυτός να απαιτεί κατάλληλες συνθήκες άνεσης διαρκώς σε όλους τους χώρους του. Η

ικανοποίηση αυτών των απαιτήσεων οδηγεί στην αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας για τεχνητό κλιματισμό των χώρων του.

Ένα ενδεικτικό παράδειγμα της αλλαγής των συνθηκών διαβίωσης των ανθρώπων που επιβάρυναν τις ψυκτικές απαιτήσεις των κτιρίων είναι η εγκατάλειψη του απογευματινού διαλείμματος (siesta) στο εργασιακό ωράριο των ανθρώπων σε αρκετές Μεσογειακές χώρες. Το συνεχές ωράριο έχει ως αποτέλεσμα το συγχρονισμό της μέγιστης θερμοκρασίας και έντονης ηλιακής ακτινοβολίας με την πλήρη λειτουργία συσκευών και παρουσία ανθρώπων στα κτίρια γραφείων με συνέπεια την εμφάνιση εξαιρετικά υψηλού ψυκτικού φορτίου στα κτίρια.

Επιπρόσθετα, δεν πρέπει να παραλείπεται η επίδραση του μηχανικού δροσισμού στη μείωση των ανοχών των ανθρώπων στη θερμότητα και την υγρασία. Η συνεχής κατοίκηση σε κτίρια διαρκώς κλιματιζόμενα περιορίζει τα εύρη κλιματικών συνθηκών εντός των οποίων διαβιώνουν οι άνθρωποι με συνέπεια την απώλεια της προσαρμοστικής τους δυνατότητας σε συνθήκες έξω από τα εύρη αυτά. Η παρουσία μηχανικού κλιματισμού στα κτίρια ωθεί τους ενοίκους στη χρήση τους ακόμη και σε ήπιες κλιματικές συνθήκες. Με αυτόν τον τρόπο δημιουργείται ένα φαύλος κύκλος που ανατροφοδοτεί την εξάρτηση των ανθρώπων από το μηχανικό κλιματισμό.

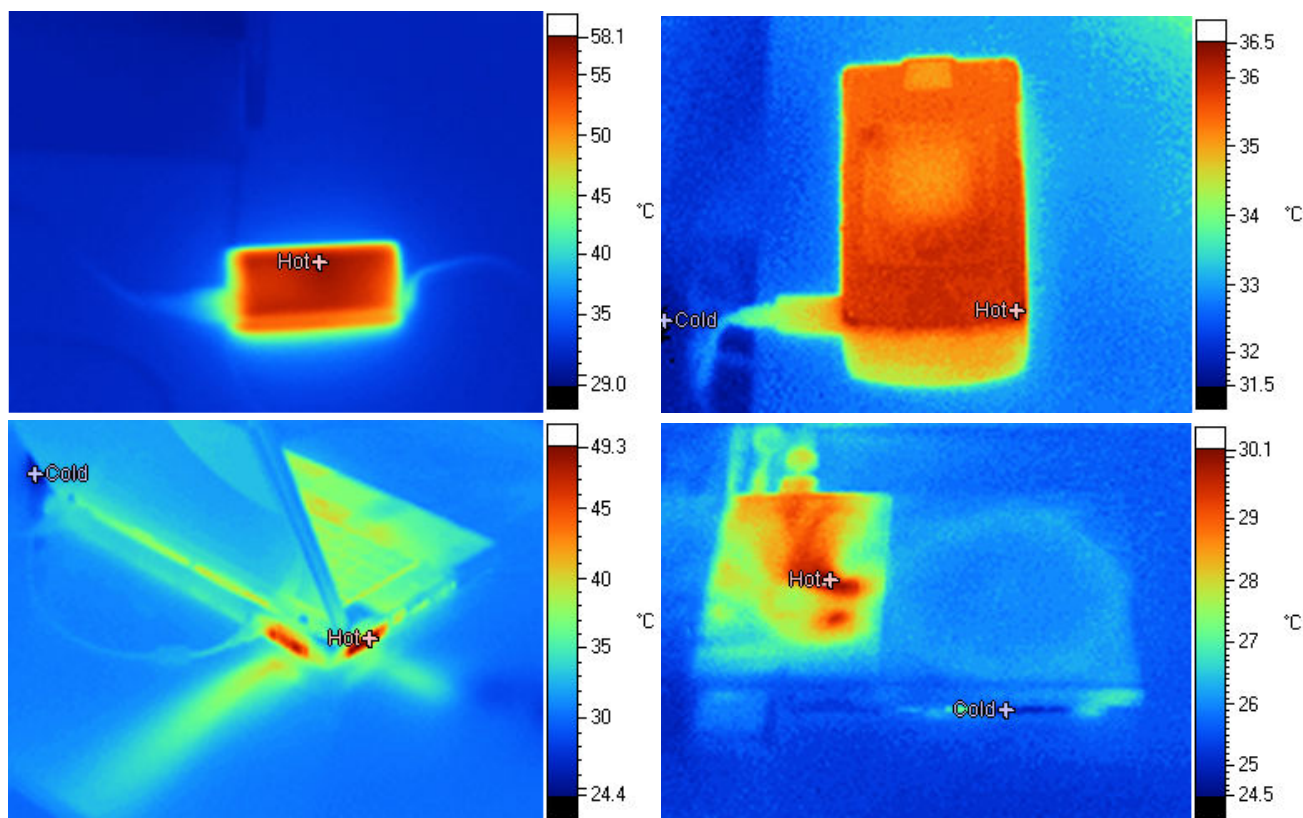
3.2.3.2 Ηλεκτρικός και ηλεκτρονικός εξοπλισμός κτιρίων

Τα τελευταία χρόνια ο αριθμός των ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συσκευών, καθώς επίσης και του γενικότερου οικιακού εξοπλισμού, έχει αυξηθεί σημαντικά συνεισφέροντας στα εσωτερικά θερμικά κέρδη του κτιρίου, μέσω της αποβολής θερμότητας των χρησιμοποιούμενων συσκευών. Κατά συνέπεια το ψυκτικό φορτίο του κτιρίου αυξάνεται περαιτέρω επιβαρύνοντας ακόμα περισσότερο τις ενεργειακές ανάγκες του.

Η εξέλιξη της τεχνολογίας – ειδικότερα στο χώρο της πληροφορικής – άλλαξε ριζικά το τοπίο στο χώρο των οικιακών και ηλεκτρονικών συσκευών. Νέες συσκευές εμφανίστηκαν που δεν υπήρχαν παλιότερα ή είχαν εντελώς άλλη μορφή και χρήση. Στην εικόνα 3.12 καταγράφονται θερμογραφήσεις διαφόρων ηλεκτρονικών συσκευών. Οι ισχείς αυτών των συσκευών μπορεί να είναι μικρές, αλλά η ποσότητα τους και το εύρος της χρήσης τους προσθέτει όχι ασήμαντη θερμότητα στο εσωτερικό των κτιρίων.

Ο εξοπλισμός αυτός είναι μια πηγή θερμότητας μεταβαλλόμενης έντασης που ανάλογα με τις ώρες της ημέρας δημιουργεί σημαντικά ή λιγότερο σημαντικά θερμικά φορτία και που κατά τη διάρκεια της περιόδου δροσισμού πρέπει να απομακρυνθούν με τη χρήση κλιματιστικών συστημάτων.

Σύμφωνα με τον Κατσάκο (2007), που συνέκρινε με τη χρήση προσομοιωτικού προγράμματος δυο σενάρια κτήσης ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού σε μια τυπική πολυκατοικία τριών ορόφων και έξι διαμερισμάτων στη Θεσσαλονίκη, κτίρια εξοπλισμένα μόνο με τον συμβατικό



Εικόνα 3.12: Ενδεικτικές θερμογραφίες ηλεκτρονικών συσκευών (πάνω αριστερά: μετασχηματιστής, πάνω δεξιά: κινητό τηλέφωνο σε φόρτιση, κάτω αριστερά: φορητός Η/Υ, κάτω δεξιά: παιχνιδιομηχανή

αριθμό συσκευών καταναλώνουν μέχρι και 19% λιγότερη (σε σύγκριση με το πλούσια εξοπλισμένο κτίριο) ηλεκτρική ενέργεια με αντίστοιχη μείωση των παραγόμενων ρύπων. Η μέγιστη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας στο υπό εξέταση κτίριο στο σενάριο με τον πλούσιο εξοπλισμό αυξάνεται κατά 5000 W (αύξηση κλιματιστικού φορτίου και φορτίου συσκευών) και οφείλεται αποκλειστικά στη φύση και την έκταση της εγκατεστημένης ισχύος των συσκευών. Η αγνόηση, μάλιστα, των θερμικών κερδών από τις ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές συσκευές σε μία θερμική ζώνη (ένα δωμάτιο) κατέληξε σε μείωση του ψυκτικού φορτίου (φορτίο διαστασιολόγησης των κλιματιστικών συσκευών) έως και 11%.

Ακόμα, διαπιστώθηκε πως στο σενάριο με τις λιγότερες συσκευές τα αντίστοιχα θερμικά κέρδη ήταν μικρότερα κατά 16.6% για ένα διαμέρισμα. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα η κατανάλωση ενέργειας μόνο για κλιματισμό από ένα τυπικό διαμέρισμα να μειωθεί κατά 7.2%.

3.2.3.3 Απαίτηση ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος

Η ποιότητα εσωτερικού περιβάλλοντος συνιστά ένα αρκετά δημοφιλές πεδίο επιστημονικής έρευνας τα τελευταία χρόνια. Διάφοροι διεθνείς και εθνικοί οργανισμοί καθορίζουν επιτρεπτά μέγιστα όρια διάφορων ρύπων σε εσωτερικούς χώρους, ώστε αυτοί να προσφέρουν άνεση και υγιεινή στους ενοίκους τους. Ωστόσο, η επίτευξη χαμηλών συγκεντρώσεων ρύπων σε εσωτερικούς

χώρους μπορεί να πραγματοποιηθεί κύρια με αυξημένο αερισμό τους. Η αύξηση των εναλλαγών αέρα, όμως, προκαλεί και αύξηση του θερμικού και ψυκτικού φορτίου λόγω αερισμού.

Είναι ενδεικτικό ότι οι προδιαγραφές αερισμού που ισχύουν σήμερα απαιτούν πολύ περισσότερες εναλλαγές αέρα από ότι τα προηγούμενα χρόνια. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν οι προδιαγραφές της ASHRAE για τα κτίρια γραφείων που το 1990 έθετε ως ελάχιστο όριο αερισμού τα 33.88 m³/h κατά άτομο όταν το 1970 ο αερισμός ανέρχονταν σε 8.47 m³/h κατά άτομο (Χατζηδημούλα, 2004).

Στην περίπτωση μάλιστα αστικών κτιρίων, όπου και ο εξωτερικός αέρας είναι περισσότερο επιβαρυνμένος με ρύπους, οι εναλλαγές αέρα πρέπει να είναι ακόμη μεγαλύτερες.

3.2.4 Εμπορικοί – Οικονομικοί λόγοι

Η βιομηχανία συστημάτων θέρμανσης, κλιματισμού και ψύξης συνιστά την τέταρτη ισχυρότερη βιομηχανία στον κόσμο μετά τη Χρηματοπιστωτική, την Ασφαλιστική και την Αυτοκινητοβιομηχανία (Roaf, 2006) με τον κύκλο εργασιών της σχετικής αγοράς να ανέρχεται το 2006 σε 66 δισεκατομμύρια δολάρια (JARN, 2007). Το μέγεθός της και μόνο καθιστά σαφείς τις δυνατότητες διαμόρφωσης συνθηκών αγοράς που διαθέτει. Χαρακτηριστικά αποτελέσματα αυτών των δυνατοτήτων αποτελούν η σημερινή διαθεσιμότητα των κλιματιστικών συστημάτων και οι χαμηλές τιμές με τις οποίες προσφέρονται.

3.2.4.1 Διαθεσιμότητα συστημάτων κλιματισμού

Στην αύξηση των πωλήσεων των κλιματιστικών διαιρούμενου τύπου ιδιαίτερη ώθηση έδωσε η υψηλή διαθεσιμότητα που παρουσιάζουν, ιδιαίτερα τα τελευταία χρόνια. Ειδικά τα κλιματιστικά δωματίου (διαιρούμενου τύπου) διαθέτουν το πλεονέκτημα της εύκολης προσαρμογής και εγκατάστασης ακόμη και σε υφιστάμενα κτίρια με αποτέλεσμα να μην απαιτείται ιδιαίτερα εξειδικευμένο προσωπικό ή σημαντικό κόστος και χρονοβόρες ή περίπλοκες διαδικασίες για την εγκατάστασή τους. Οι παράγοντες αυτοί, μεταξύ άλλων, οδήγησαν στο να μην πωλούνται μόνο από τις αντίστοιχες εξειδικευμένες εταιρίες όπως παλαιότερα, αλλά να βρίσκονται ακόμα και σε ράφια πώλησης αλυσίδων super market.

Επιπλέον, εμφανίζεται διαρκώς μεγαλύτερη ποικιλία μοντέλων και εταιριών. Στον πίνακα 3.1 καταγράφεται η αύξηση των εταιριών και τύπων κλιματιστικών που πιστοποιήθηκαν με το σήμα EnergyStar της Environmental Protection Agency (EPA) από το 2000 ως το 2003.

Αν στα στοιχεία του πίνακα συνυπολογιστεί και η πλημμυρίδα των φθηνών μη ενεργειακά πιστοποιημένων μηχανημάτων που έχει κατακλύσει την αγορά – ελληνική και διεθνή – προερχόμενα κύρια από την Κίνα, καθίσταται σαφές πως το εύρος των μοντέλων στη διάθεση του

καταναλωτή είναι τεράστιο.

Πίνακας 3.1: Τύποι και κατασκευαστές πιστοποιημένων κλιματιστικών στις ΗΠΑ (Dethman, 2004)

	2000	2001	2002	2003	Μεταβολή 2000-2003
Τύποι	32	83	223	329	+297
Κατασκευαστές	11	14	27	27	+16

3.2.4.2 Τιμές κλιματιστικών

Η εμφάνιση και διείσδυση στις δυτικές αγορές κινέζικων προϊόντων – περιλαμβανομένων και λευκών ηλεκτρικών συσκευών – ανάγκασε πολλές από τις επώνυμες εταιρείες να χαμηλώσουν τις τιμές τους, ώστε να γίνουν πιο ανταγωνιστικές. Ο τελευταίος λόγος, σε συνδυασμό με την εξέλιξη και ανάπτυξη της σχετικής τεχνολογίας, είναι μια από τις κύριες αιτίες για τη ραγδαία υποχώρηση των τιμών στον χώρο των κλιματιστικών. Μεταξύ 2000 και 2004 η πτώση στις πιο αναγνωρίσιμες μάρκες στην Ελληνική αγορά φτάνει το 50%, ενώ στις όχι και τόσο γνωστές αγγίζει το 80% (Τα Νέα, 2004a).

Αυτή η τάση μείωσης έχει ουσιαστικά σήμερα οδηγήσει τις τιμές των κλιματιστικών σε εξαιρετικά χαμηλά επίπεδα, καθιστώντας την αγορά τους εφικτή για οποιαδήποτε νοικοκυριό. Στον πίνακα 3.2 παρουσιάζεται το κοστολόγιο λιανικής διάφορων τύπων κλιματιστικών διαιρούμενου τύπου στην Ελληνική αγορά το 2005.

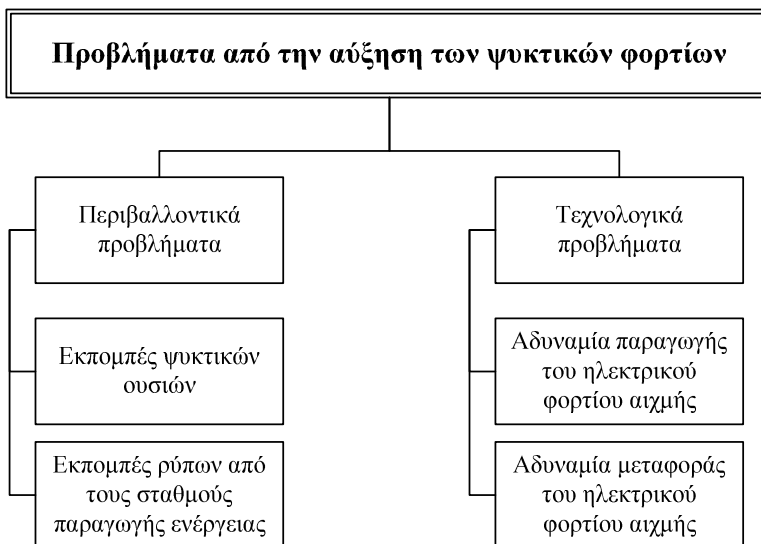
Μια ακόμα σημαντική πτυχή της υψηλής διαθεσιμότητας των κλιματιστικών είναι πως προσφέρονται σε ένα μεγάλο εύρος βαθμού απόδοσης με τιμές ιδιαίτερα προσεγγίσιμες για χαμηλές τιμές του τελευταίου.

Πίνακας 3.2: Εξέλιξη τιμών κλιματιστικών (Τα Νέα, 2004a; Τα Νέα, 2004b; Τα Νέα, 2004c)

Ισχύς [BTU]	9000 – 10000	12000 – 14000	17000 – 18000	9000 Inverter
2000	350 – 930			
2003	190 – 590	300 – 670	700 – 1050	660 – 980
2004	200 – 600	300 – 700	600 – 750	550 –
2005	160 – 480	260 – 530	620 – 750	600 – 700

3.3 Προβλήματα από τη χρήση συστημάτων δροσισμού

Η αύξηση της ζήτησης για δροσισμό στο αστικό περιβάλλον επέφερε μια σειρά από περιβαλλοντικά, οικονομικά και ενεργειακά προβλήματα. Γενικά, μπορούν να διακριθούν δύο



Εικόνα 6.13: Προβλήματα από την αύξηση των ψυκτικών φορτίων

κατηγορίες προβλημάτων που σχετίζονται με τη χρήση συστημάτων δροσισμού στα κτίρια (εικόνα 3.13). Η πρώτη αφορά στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, ενώ η δεύτερη στις τεχνολογικές. Ασφαλώς, η αντιμετώπιση και των δύο κατηγοριών προβλημάτων – ιδιαίτερα της δεύτερης – δυσχεραίνεται και από τις οικονομικές διαστάσεις τους.

Τα περιβαλλοντικά προβλήματα από τη χρήση συστημάτων

δροσισμού σχετίζονται με τις εκπομπές (διαρροές) ψυκτικών ουσιών και τις εκπομπές ρύπων από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνεται κατά τη λειτουργία των συστημάτων ψύξης.

Τα κυριότερα τεχνολογικά προβλήματα που οφείλονται στη χρήση των συμβατικών κλιματιστικών συστημάτων, κατά την ψύξη των κτιρίων, αφορούν στην αδυναμία παραγωγής και μεταφοράς της απαιτούμενης ηλεκτρικής ενέργειας κατά τη διάρκεια των μέγιστων φορτίων.

3.3.1 Περιβαλλοντικά προβλήματα

Οι αυξημένες εκπομπές ρύπων, όπως αυτές προκύπτουν από την αυξημένη κατανάλωση ενέργειας για τη λειτουργία των κλιματιστικών, είναι αναμφισβήτητη η κυριότερη περιβαλλοντική επίπτωση των τελευταίων. Ωστόσο, σε αυτήν προστίθεται και η δυσμενής επίπτωση των ψυκτικών μέσων που χρησιμοποιούν τα κλιματιστικά τόσο στην αραίωση της στοιβάδας του όζοντος όσο και στην παγκόσμια θέρμανση.

3.3.1.1 Εκπομπές ψυκτικών ουσιών

Πριν από το πρωτόκολλο του Μόντρεαλ, που υιοθετήθηκε το 1987, στην αγορά κλιματισμού και ψύξης πρωταγωνιστούσαν τα ψυκτικά μέσα CFCs και HCFCs. Οι συγκεκριμένες, όμως, ουσίες έχουν ιδιαίτερα αρνητική επίδραση τόσο στην τρύπα του όζοντος όσο και στο φαινόμενο του θερμοκηπίου με αποτέλεσμα τον προγραμματισμό της σταδιακής κατάργησής τους. Έτσι, ξεκίνησε η μερική αντικατάστασή τους, κυρίως από HCFs, που συμβάλλουν λιγότερο σε αυτά τα προβλήματα όπως αποτυπώνεται και στον πίνακα 3.3.

Πίνακας 3.3: Η επίδραση στη μείωση του όζοντος (Ozone Depletion Potential – ODP) και στο φαινόμενο του θερμοκηπίου (Global Warming Impact – GWP) μερικών ψυκτικών μέσων (Asthana et al, 2004)

Ψυκτικό μέσο	Χημική φόρμουλα	ODP	100 χρόνια GWP
CFC-12	CCL_2F_2	1	8500
HCFC-22	CHCLF_2	0.055	1700
HFC-134a	CH_2FCF_3	0	1300
HC-600a	$\text{CH}(\text{CH}_3)_2\text{CH}_3$	0	3
HC-290	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_3$	0	3

Από το 1990 έχει υπάρξει μια σημαντική αύξηση της αγοράς για HFCs που παρέχουν αποτελεσματικές εναλλακτικές λύσεις στα CFC και HCFC. Οι ευνοϊκές ιδιότητες της μηδενικής ευφλεξιμότητας και της χαμηλής τοξικότητας, που επιδεικνύονται από τα περισσότερα HFCs, τα καθιστούν μια δημοφιλή εναλλακτική λύση στα υπάρχοντα και νέα συστήματα. Από την άλλη πλευρά, όμως, τα HFCs έχουν μια σημαντική συνεισφορά στο φαινόμενο του θερμοκηπίου (GWP) και συμπεριλαμβάνονται, ως ένα από τα έξι θερμοκηπικά αέρια, στο πρωτόκολλο του Κυότο.

3.3.1.2 Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας

Εκτός από τις ψυκτικές τους ουσίες, τα κλιματιστικά συστήματα επιβαρύνουν το περιβάλλον και μέσω της αύξησης των εκπομπών ρύπων κατά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας που απαιτείται για τη λειτουργία τους. Ιδιαίτερης σημασίας είναι η τεχνολογία των σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιούνται για να καλύψουν τα φορτία αιχμών κατά την περίοδο δροσισμού, αφού το κυριότερο μέρος των τελευταίων προέρχεται από τα κλιματιστικά φορτία. Όταν οι μονάδες αιχμής αποτελούν συστήματα ορυκτών καυσίμων χαμηλής απόδοσης η περιβαλλοντική τους επίπτωση είναι εξαιρετικά έντονη και μπορεί να συσχετιστεί άμεσα με την κάλυψη των ψυκτικών φορτίων.

3.3.2 Τεχνολογικά προβλήματα

Το ενεργειακό κόστος από τη λειτουργία των κλιματιστικών εξελίσσεται σε μείζον πρόβλημα κατά τους θερινούς μήνες, κύρια εξαιτίας του μεγέθους, της ποιότητας και των χαρακτηριστικών της ισχύος που απορροφούν τα κλιματιστικά σε συνδυασμό με την συγχρονισμένη απαίτησή της. Τα πολλά και συνεχόμενα blackouts σε αρκετές χώρες του κόσμου κατά τη διάρκεια θερμών καλοκαιριών καθιστούν φανερό ότι το αυξημένο θερινό φορτίο αιχμής δεν μπορεί να καλυφθεί από την υπάρχουσα εγκατεστημένη ισχύ των σταθμών ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ πολλά προβλήματα εμφανίζονται και κατά τη διαδικασία μεταφοράς και διανομής της.

3.3.2.1 Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας

Η προκύπτουσα ετήσια αύξηση στη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας που συγκεντρώνεται στους δύο ή τρεις θερινούς μήνες, είναι ένα συχνό φαινόμενο, ειδικά στις χώρες της Νότιας Ευρώπης. Η πρόσθετη ισχύς που απαιτείται για την κάλυψη αυτών των αιχμών συνήθως αποτελείται είτε από ακριβές εγκαταστάσεις παραγωγής με χαμηλό παράγοντα χρησιμοποίησης, όπως τις υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις και τις εγκαταστάσεις αεριοστοβίλων είτε από εισαγωγές ηλεκτρικής ενέργειας από τις γειτονικές χώρες.

Είναι προφανές ότι τέτοιες αιχμές, που εμφανίζονται μόνο για μερικές εβδομάδες ετήσια, δεν μπορούν να καλυφθούν με λογικό κόστος, αφού οι επενδύσεις που απαιτούνται στην υποδομή δεν μπορούν να αποπληρωθούν σε εύλογο χρονικό ορίζοντα.

Γενικά, παρατηρείται καθυστερημένη εγκατάσταση νέων σταθμών με αποτέλεσμα ο ρυθμός αύξησης της ζήτησης να είναι μεγαλύτερος από το ρυθμό αύξησης της εγκατεστημένης ισχύος. Συνεπώς, αυτή η στρέβλωση που παρατηρείται στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας ως αποτέλεσμα της διαρκούς αύξησης της ζήτησης ηλεκτρισμού – λόγω των διαρκώς αυξανόμενων ψυκτικών φορτίων – δεν μπορεί να έχει λύση από την πλευρά της παραγωγής.

3.3.2.2 Μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας

Η κάλυψη των ηλεκτρικών φορτίων αιχμής δεν αποτελεί μια απλή εξίσωσης προσφοράς – ζήτησης, αλλά εξαρτάται και από την ποιότητα και τα χαρακτηριστικά της ισχύος που καλείται να ικανοποιήσει και να μεταφέρει το ηλεκτρικό σύστημα. Τα ηλεκτρικά δίκτυα μεταφοράς και διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας συνιστούν ένα κρίσιμο παράγοντα στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας.

Το ηλεκτρικό δίκτυο των περισσότερων χωρών βασίζεται κατά μεγάλο μέρος του σε τεχνολογία που έχει αναπτυχθεί στη δεκαετία του '50 και η οποία έχει εγκατασταθεί κατά τα τελευταία 30-50 έτη. Και ενώ τις περασμένες δεκαετίες δαπανώντουσαν μεγάλα χρηματικά ποσά, οι επενδύσεις σταδιακά για την επέκταση και συντήρηση του δικτύου άρχισαν να μειώνονται αισθητά, ενώ οι αιχμές των φορτίων ακολουθούσαν ιδιαίτερα αυξητική τάση.

Επιπρόσθετα, οι γραμμές μεταφοράς είχαν σχεδιαστεί με τρόπο ώστε να ικανοποιούν τις τοπικές ανάγκες μιας περιοχής. Με τον καιρό όμως οι γραμμές αυτές διασυνδέθηκαν με άλλα τοπικά δίκτυα, ώστε να επιτραπεί η μεταφορά ενέργειας από τη μια περιφέρεια στις γειτονικές της αρχικά και ακόμα πιο μακριά αργότερα. Οι αλληπάλληλες αυτές συνδέσεις όμως είχαν ως συνέπεια να μην ακολουθούνται οι αρχικές συνθήκες σχεδίασης, με αποτέλεσμα την εμφάνιση ανωμαλιών (π.χ πτώση τάσης) λόγω ανεπάρκειας στην υποδομή. Το γεγονός αυτό, σε συνδυασμό με το ότι ο αρχικός σχεδιασμός των συστημάτων ήταν βασισμένος σε κάθετα οργανωμένες επιχειρήσεις που

εξυπηρετούσαν συγκεκριμένες περιοχές από την παραγωγή ως και τη διανομή στον τελευταίο πελάτη, χωρίς να υπάρχει ανταλλαγή μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας μεταξύ περιοχών, συνέβαλε σταδιακά στη δημιουργία σημείων συμφόρησης, τα οποία προκαλούν με τη σειρά τους υπερφορτίσεις στο σύστημα μεταφοράς.

Σε αρκετά δίκτυα, όπως και το ελληνικό της ηπειρωτικής περιοχής, εμφανίζεται ετεροβαρής τοπολογία παραγωγής και κατανάλωσης οπότε κατά τη μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας σε μεγάλη απόσταση δημιουργούνται αρκετά προβλήματα τάσεων ειδικά στην περίπτωση της άεργου ισχύος. Επίσης, τέτοια διαμόρφωση συστημάτων διαθέτει και βραδύτερο ρυθμό ανταπόκρισης.

Η επαγωγική συνιστώσα του φορτίου λόγω των κινητήρων επαγωγής των κλιματιστικών αποτελεί μια σημαντική παράμετρο του δροσισμού κτιρίων που επιβαρύνει τα δίκτυα μεταφοράς ηλεκτρισμού. Μια γραμμή μεταφοράς παράγει και καταναλώνει άεργο ισχύ με την παραγόμενη να είναι ανάλογη της φαινόμενης αντίστασης του δικτύου, ενώ η καταναλισκόμενη ανάλογη του τετραγώνου της άεργου συνιστώσας του ρεύματος. Κατά συνέπεια, όταν γίνεται προσπάθεια να μεταφερθεί μεγάλη ποσότητα άεργου ισχύος, αυξάνονται εκθετικά οι απώλειες, για αυτό και κύριο χαρακτηριστικό της είναι ότι δε μεταφέρεται εύκολα. Έτσι, εάν μια περιοχή χρειαστεί άεργο ισχύ, μια ανάγκη που μπορεί να προκύψει μετά από ταυτόχρονη χρήση πολλών κλιματιστικών τότε θα χρειαστεί να υπάρχει διαθέσιμη πολλαπλάσιου μεγέθους άεργος ισχύς σε κάποιο άλλο γεωγραφικό διαμέρισμα, ώστε αυτή μεταφερόμενη στην περιοχή ανάγκης, μετά τις απώλειες δικτύου, να φτάσει περίπου σε κλάσμα της αρχικής ισχύος.

3.4 Εναλλακτικές τεχνολογίες ψύξης

Από τις διάφορες εναλλακτικές – στους συμβατικούς ηλεκτροκίνητους ψύκτες συμπίεσης ατμών – μεθόδους και τεχνολογίες ψύξης που είναι διαθέσιμες δεν εμφανίζουν όλες την ίδια αποτελεσματικότητα στην μείωση ή την κάλυψη των ψυκτικών φορτίων. Ιδιαίτερα, όταν πραγματεύεται το φορτίο θερινού κλιματισμού σε αστικά κτίρια, αρκετές από αυτές δεν διαθέτουν σημαντικές δυνατότητες εξοικονόμησης ενέργειας ή μείωσης φορτίου ή και σε αρκετές περιπτώσεις και δυνατότητα εφαρμογής.

Τα κριτήρια αξιολόγησης όλων των τεχνολογιών ψύξης αποτελούν οι δυνατότητες αντιμετώπισης των προβλημάτων που προκύπτουν από την αυξανόμενη ζήτηση για δροσισμό και την κάλυψή της με τα συμβατικά συστήματα. Συγκεκριμένα, αυτά τα προβλήματα αφορούν σε:

- Περιβαλλοντικά προβλήματα λόγω:
 - Αυξανόμενης κατανάλωσης ενέργειας
 - Χρήσης ψυκτικών μέσων που αποτελούν αέρια του θερμοκηπίου

- Προβλήματα λόγω της αύξησης του ηλεκτρικού φορτίου αιχμής
- Προβλήματα από την επιβάρυνση του τοπικού μικροκλίματος.

Στον πίνακα 3.4 παρουσιάζεται η επιρροή των σημαντικότερων εναλλακτικών τεχνολογιών στα παραπάνω προβλήματα. Αν και ο πίνακας δεν περιλαμβάνει το εύρος της αντιμετώπισης ή επιβάρυνσης της κάθε τεχνολογίας στο αντίστοιχο πρόβλημα είναι ενδεικτικός της δυνατότητας αυτών να ανταγωνιστούν τις συμβατικές τεχνολογίες, αλλά και να συναγωνιστούν μεταξύ τους (ως προς τα συγκεκριμένα προβλήματα και χωρίς να συνυπολογίζεται το κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας).

Πίνακας 3.4: Εναλλακτικές τεχνολογίες ψύξης και προβλήματα από τα ψυκτικά φορτία

Προβλήματα Τεχνολογίες ψύξης		Περιβαλλοντικά προβλήματα		Ηλεκτρικό φορτίο αιχμής	Τοπικό μικροκλίμα
		Κατανάλωση ενέργειας	Ψυκτικά μέσα		
Αποθήκευση ψυκτικής ενέργειας		X	X	√	X
Τοπική συμπαραγωγή		√	*	√	X
Αντλίες θερμότητας εδάφους		√	X	√	√
Ψύξη με φυσικό αέριο	Απορρόφηση	X	√	√	X
	ΜΕΚ	√	X	√	X
Ψύξη με ηλιακή ενέργεια		√	√	√	X
Τηλεψύξη		X	*	√	√

* Εξαρτάται από την τεχνολογία ψύξης