



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΨΥΞΗΣ ΜΕ ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ευτύχιος Ν. Ξηράκης

Επιβλέπων: Χρήστος Τζιβανίδης
Καθηγητής Ε.Μ.Π

Αθήνα, Φεβρουάριος 2010



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΨΥΞΗΣ ΜΕ ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ευτύχιος Ν. Ξηράκης

Επιβλέπων: Χρήστος Τζιβανίδης
Καθηγητής Ε.Μ.Π

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή:

.....
Καθηγητής ΕΜΠ

.....
Κίμων Α. Αντωνόπουλος
Καθηγητής ΕΜΠ

.....
Χρήστος Τζιβανίδης
Καθηγητής Ε.Μ.Π

Αθήνα, Φεβρουάριος 2010

.....
Ευτύχιος Ν. Ξηράκης
Διπλωματούχος Μηχανολόγος Μηχανικός Ε.Μ.Π.

Copyright © Ευτύχιος Ξηράκης , 2010.
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα τελευταία χρόνια οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες έχουν αυξήσει σημαντικά τις συγκεντρώσεις των αερίων των κατώτερων στρωμάτων της ατμόσφαιρας με αποτέλεσμα την αύξηση της απορροφούμενης ακτινοβολίας και την επακόλουθη θερμοκρασιακή μεταβολή. Η μείωση εκπομπής των αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα αποτελεί τη βάση της επίλυσης του προβλήματος. Απαιτείται ανάπτυξη τεχνολογιών που θα βασίζονται λιγότερο ή και θα είναι ανεξάρτητα από καύσιμα υλικά. Οι ανανεώσιμες μορφές ενέργειας (ηλιακή, αιολική, γεωθερμική) μπορούν να βοηθήσουν στην κατεύθυνση αυτή. Οι επιπτώσεις από το φαινόμενο του θερμοκηπίου δεν περιορίζονται στα σύνορα κρατών, αλλά αποτελούν παγκόσμια προβλήματα και απαιτείται διεθνής συνεργασία και χάραξη κοινής πολιτικής από όλα τα κράτη.

Τα τελευταία χρόνια η επιστημονική έρευνα έχει αποδείξει, ότι την κύρια ευθύνη για τη μείωση του στρατοσφαιρικού όζοντος φέρουν τα ανθρωπογενή χημικά. Οι χημικές ενώσεις που καταστρέφουν το όζον περιέχουν διάφορους συνδυασμούς χλωρίου, φθορίου, βρώμιου, άνθρακα και υδρογόνου, που ονομάζονται αλογονάνθρακες. Οι χημικές ενώσεις που περιέχουν μόνο άνθρακα, χλώριο και φθόριο ονομάζονται χλωροφθοράνθρακες (CFCs). Τα CFCs, ο τετραχλωράνθρακας και το μεθυλοχλωροφόρμιο είναι από τους πιο σημαντικούς ανθρωπογενείς καταστροφείς του όζοντος που χρησιμοποιούνται κυρίως στα ψυκτικά και κλιματιστικά μηχανήματα.

Συνεπώς καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η ηλιακή ενέργεια αποτελεί μια σημαντική ελπίδα του ανθρώπου για την κάλυψη των διογκούμενων ενεργειακών του αναγκών χωρίς να σπαταλά τα πεπερασμένα ενεργειακά αποθέματα του πλανήτη και να επιβαρύνει με ρυπογόνες ουσίες το περιβάλλον. Η χρήση ηλιακών ενεργειακών συστημάτων είναι ένας από τους πιο επιτυχημένους τρόπους να χειριζόμαστε τις ανάγκες πολυάριθμων καταναλωτών σε ψύξη.

Στην εργασία αυτή περιγράφεται μια έρευνα για την προοπτική εφαρμογής συστημάτων ψύξης με ηλιακή ενέργεια σε κτιριακές μονάδες. Οι πλέον διαδεδομένες μέθοδοι ηλιακής ψύξης είναι οι εξής: ψύξη με απορρόφηση, ψύξη με προσρόφηση και ψύξη με συστήματα αποξηραντικού μέσου. Στα πλαίσια αυτά η προτεινόμενη πτυχιακή εργασία αναλύει τα χαρακτηριστικά και τις δυνατότητες μίας εγκατάστασης που η βασική της λειτουργία στηρίζεται στα συστήματα αποξηραντικού μέσου. Τα συστήματα αποξηραντικού μέσου αποτελούν τεχνολογία αφύγρανσης και ψύξης που ενεργοποιείται με θερμότητα. Με τις πρόσφατες εξελίξεις σε αυτή την τεχνολογία, τα συστήματα αποξήρανσης μπορούν τώρα να επιτύχουν κύριο συντελεστή απόδοσης (COP) μεταξύ 1,3 και 1,5, με δυνατότητα να ανέβει στο 1,7 ή και ψηλότερα. Εξελίσσεται σε μια από τις σημαντικότερες εναλλακτικές στα συμβατικά συστήματα ψύξης. Ένας αφυγραντήρας αποξηραντικού μέσου σε συνδυασμό με ψύκτες εξάτμισης μπορούν να μειώσουν σημαντικά το λειτουργικό κόστος κλιματισμού εφόσον η ενέργεια που απαιτείται για τη λειτουργία ενός συστήματος ψύξης αποξηραντικού μέσου είναι μικρή και η πηγή αυτής της απαιτούμενης ενέργειας (ηλιακή, απορριπτόμενη θερμότητα, φυσικό αέριο) μπορεί να ποικίλει. Ένα τέτοιου τύπου σύστημα ψύξης αποξηραντικού μέσου με ένα εφεδρικό σύστημα συμπίεσης ατμών, προσομοιώνεται και η απόδοση του συστήματος αξιολογείται για τη μελέτη της πιθανότητας υλοποίησής του. Αυτή η μελέτη περιγράφει τους σχετικούς ψυχομετρικούς υπολογισμούς και αναλύσεις της ζώνης κλιματισμού που απαιτούνται για την προσομοίωση της απόδοσης μετάβασης του συστήματος. Τα αποτελέσματα των σεναρίων αυτών καθώς και τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την επεξεργασία τους παρουσιάζονται στην εργασία αυτή. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκε και εξελίχθηκε υφιστάμενος υπολογιστικός κώδικας, με σκοπό να μελετηθεί η συμπεριφορά κατάλληλων συνδυασμών.

Λέξεις – κλειδιά: αποξηραντικά μέσα, κλιματισμός, ψυχομετρία, προσομοίωση ηλιακής ενέργειας

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα εργασία αποτελεί τη Διπλωματική μου Εργασία στα πλαίσια των σπουδών μου στο τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών του ΕΜΠ υπό την επίβλεψη του καθηγητή του τομέα Θερμότητας Χρήστου Τζιβανίδη, στον οποίο οφείλω ιδιαίτερες ευχαριστίες τόσο για την ανάθεση της εργασίας όσο και για τη γενικότερη συμβολή του στη μελλοντική μου επαγγελματική σταδιοδρομία. Με την ευκαιρία αυτή θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την Μαρία και τον Ισίδωρο , για τη βοήθεια, τις πολύτιμες συμβουλές, την υποστήριξη και την καθοδήγηση που μου παρείχαν καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την Κατερίνα, τους φίλους μου, τους γονείς μου και την αδερφή μου που με στήριζαν και με συμβούλευαν σε κάθε βήμα της φοιτητικής μου ζωής.

Αθήνα, Φεβρουάριος 2010

ΟΝΟΜΑΤΟΛΟΓΙΑ

Λατινικά σύμβολα

| | |
|--------------------|---|
| A_c | εμβαδόν επιφανείας συλλέκτη, m^2 |
| C_m | ειδική θερμότητα του πλέγματος αποξηραντικού |
| C_n | ειδική θερμότητα του νερού, $kJ\ kg^{-1}\ ^\circ C^{-1}$ |
| COP | συντελεστής απόδοσης |
| F_R | συνολικό συντελεστής αποτελεσματικότητας |
| h | ενθαλπία, $kJ\ kg^{-1}$ |
| I_T | συνολική προσπίπτουσα ενέργεια ανά μονάδα |
| M_d | μάζα σιλικάτζέλ στον αφυγραντήρα, kg |
| m | παροχή μάζας, $kg\ h^{-1}$ ή $kg\ s^{-1}$ |
| Q_{ac} | συνολικές ενεργειακές απαιτήσεις για το κλιματιστικό |
| Q_L | φορτίο λανθάνουσας ψύξης, kJ |
| Q_S | φορτίο αισθητής ψύξης, kJ |
| Q_{sol} | συνολική ενέργεια που παρέχεται από τους ηλιακούς |
| Q_T | συνολικό ψυκτικό φορτίο, kJ |
| $Q_{\prime\prime}$ | ρυθμός κέρδους ωφέλιμης ενέργειας από το συλλέκτη, |
| SF | ηλιακό κλάσμα, χωρίς διαστάσεις |
| T | θερμοκρασία, $^\circ C$ |
| $T_{\prime\prime}$ | θερμοκρασία ξηρού βολβού, $^\circ C$ |
| T_{wb} | θερμοκρασία υγρού βολβού, $^\circ C$ |
| U_L | συντελεστής συνολικής απώλειας του συλλέκτη ανά |
| W | λόγος υγρασίας, $kg_{water}\ kg_{dry\ air}^{-1}$ |
| D_s | διαχυτικότητα m^2/s |
| b_s | κλασματική περιοχή της ζώνης απόφυσης |
| n | ταχύτητα περιστροφής του ρότορα του δίσκου rpm |
| d_n | πυκνότητα προσροφητικού kg/m^3 |
| a_i | περιοχή ειδικής επιφάνειας m^2/Kg |
| \dot{q}_{so} | θερμότητα προσρόφησης $kg \cdot kg^{-1}$ |
| S | επιφάνεια του ρότορα σε εγκάρσια τομή m^2 |
| L | πάχος ρότορα m |
| ρb | πυκνότητα ρότορα kg/m^3 |
| C_{pc} | ειδική θερμότητα ρότορα (για silica gel) $\frac{kJ}{kgK}$ |
| C_{pw} | ειδική θερμότητα νερού (υγρού) $\frac{kJ}{kgK}$ |

Ελληνικά σύμβολα

| | |
|----------|-----------------------------------|
| α | απορρόφηση συλλέκτη |
| η_c | απόδοση συλλέκτη, % |
| T | διαπερατότητα καλύμματος συλλέκτη |

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

| | |
|---|----|
| 1.1 Φαινόμενο του θερμοκηπίου..... | 17 |
| 1.2 Τα αέρια του θερμοκηπίου..... | 18 |
| 1.2.1 Υδρατμοί..... | 18 |
| 1.2.2 Διοξείδιο του άνθρακα..... | 18 |
| 1.2.3 Μεθάνιο..... | 19 |
| 1.2.4 Μονοξείδιο του αζώτου..... | 19 |
| 1.2.5 Φθοριούχα αέρια θερμοκηπίου (Φρέον)..... | 20 |
| 1.3 Μέτρηση των αερίων του θερμοκηπίου..... | 20 |
| 1.4 Η Τάση της θέρμανσης..... | 21 |
| 1.5 Δράσεις για τον περιορισμό των αλλαγών..... | 22 |
| 1.5.1 Το Πρωτόκολλο του Κιότο..... | 22 |
| 1.5.2 Δράσεις της Ευρωπαϊκής Ένωσης..... | 24 |
| 1.5.3 Η κατάσταση στην Ελλάδα..... | 26 |

2. Η ΤΡΥΠΑ ΤΟΥ ΟΖΟΝΤΟΣ

| | |
|---|-----|
| 2.1 Ο ρόλος της ατμόσφαιρας..... | 27 |
| 2.2 Το στοιχείο όζον..... | 31 |
| 2.2.1 Το τροποσφαιρικό όζον..... | 33 |
| 2.2.2 Η αύξηση του τροποσφαιρικού όζοντος..... | 40 |
| 2.2.3 Τι προβλήματα προκαλεί στους ανθρώπους το επιφανειακό όζον..... | 43 |
| 2.2.4 Το στρατοσφαιρικό όζον..... | 45 |
| 2.3 Η τρύπα του όζοντος σαν φαινόμενο..... | 57 |
| 2.3.1 Παρατηρούμενες μεταβολές στο όζον..... | 57 |
| 2.3.2 Τί είναι η τρύπα του όζοντος..... | 64 |
| 2.3.3 Γιατί η τρύπα του όζοντος βρίσκεται πάνω από την Ανταρκτική..... | 74 |
| 2.4 Αιτίες που προκαλούν την τρύπα του όζοντος..... | 76 |
| 2.4.1 Αιτίες της καταστροφής του όζοντος της στρατόσφαιρας..... | 76 |
| 2.4.2 Πώς καταστρέφεται το όζον..... | 78 |
| 2.5 Οι επιπτώσεις της τρύπας του όζοντος..... | 101 |
| 2.5.1 Οι μειώσεις του όζοντος στους πόλους, στα μεσαία πλάτη και στους τροπικούς..... | 101 |

| | | |
|-------|---|-----|
| 2.5.2 | Οι συνέπειες της καταστροφής του όζοντος..... | 108 |
| 2.6 | Συμπεράσματα..... | 121 |
| 2.6.1 | Γενικά..... | 121 |
| 2.6.2 | Το στρατοσφαιρικό όζον καταστρέφεται από το χλώριο και το βρώμιο..... | 122 |
| 2.6.3 | Το μεγαλύτερο μέρος του στρατοσφαιρικού χλωρίου προέρχεται απο την ανθρώπινη δραστηριότητα και όχι από φυσικές πηγές..... | 123 |
| 2.6.4 | Γιατί η τρύπα του όζοντος εμφανίστηκε πρώτα στην Ανταρκτική..... | 124 |
| 2.6.5 | Τα CFCs απελευθερώνονται κυρίως στο Βόρειο Ημισφαίριο, ενώ η τρύπα του όζοντος παρατηρείται στην Ανταρκτική..... | 125 |
| 2.6.6 | Η μείωση του όζοντος οδηγεί σε αύξηση της ηλιακής υπεριώδους ακτινοβολίας στο έδαφος..... | 127 |
| 2.6.7 | Πόσο σοβαρή είναι η πρόσφατη μείωση του όζοντος και ποιες είναι οι μελλοντικές εκτιμήσεις..... | 127 |
| 2.6.8 | Το Μέλλον..... | 129 |

3. ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

| | | |
|-----|--|-----|
| 3.1 | Η ηλιακή ακτινοβολία..... | 134 |
| 3.2 | Βασικές θεωρητικές σχέσεις..... | 136 |
| 3.3 | Ηλιακή ακτινοβολία σε κεκλιμένο επίπεδο..... | 142 |
| 3.4 | Μέτρηση ηλιακής ακτινοβολίας..... | 142 |

4. ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΑ ΚΤΙΡΙΑ

| | | |
|------|--|-----|
| 4.1 | Εξοικονόμηση Ενέργειας στον κτιριακό τομέα..... | 144 |
| 4.2 | Ενεργειακή εξοικονόμηση και Ελλάδα..... | 148 |
| 4.3 | Προοπτικές χρήσης ηλιακών συσκευών στην Ελλάδα..... | 149 |
| 4.4 | Ανάλυση αγοράς και προοπτικές..... | 152 |
| 4.5 | Κατασκευαστικές επεμβάσεις στο κτίριο..... | 154 |
| 4.6 | Επεμβάσεις στο σύστημα θέρμανσης..... | 155 |
| 4.7 | Επεμβάσεις στο σύστημα ψύξης..... | 158 |
| 4.8 | Επεμβάσεις στο σύστημα φωτισμού..... | 158 |
| 4.9 | Εγκατάσταση συστημάτων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας..... | 159 |
| 4.10 | Το δυναμικό εξοικονόμησης ενέργειας στον κτιριακό τομέα..... | 159 |
| 4.11 | Οικονομική αξιολόγηση της επέμβασης εξοικονόμηση ενέργειας στα κτίρια..... | 160 |

5. ΨΥΞΗ

- 5.1 Ορισμός ψύξης.....162
- 5.2 Ιστορική αναδρομή.....162
- 5.3 Κλασικός κύκλος ψύξεως, με συμπίεστή.....163
- 5.4 Εναλλακτικές μέθοδοι υλοποίησης του κύκλου ψύξης.....165

6. ΨΥΚΤΙΚΗ ΖΗΤΗΣΗ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

- 6.1 Ελληνικά δεδομένα.....166
- 6.2 Ψυκτική ζήτηση στην Ελλάδα.....166
- 6.3 Συνθήκες στην αγορά για ηλιακά συστήματα ψύξεως.....167
- 6.4 Οικονομική εκτίμηση των ηλιακών συστημάτων ψύξεως στην Ελλάδα.....167

7. ΨΥΞΗ ΜΕ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ – ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ

- 7.1 Εισαγωγή.....173
- 7.2 Τρόπος λειτουργίας κύκλων απορρόφησης.....173
- 7.3 Απόδοση μονοβάθμιας απορροφητικής μηχανής.....175

8. ΨΥΞΗ ΜΕ ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗ – ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ

- 8.1 Εισαγωγή.....177
- 8.2 Ορισμός της προσρόφησης.....178
- 8.3 Ο Μηχανισμός της προσρόφησης.....178
- 8.4 Το μοντέλο της ενέργειας της πιθανότητας προσρόφησης του Polanyi.....179
- 8.5 Μοντέλα ισορροπίας στην προσρόφηση.....179
- 8.6 Μοντέλο Dubinin – Astakhov – Polanyi (D-A).....181
- 8.7 Περιγραφή των μεταβολών.....182

9. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΨΥΞΗΣ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗΣ

- 9.1 Σύγκριση των δύο μεθόδων.....186

10. ΨΥΞΗ ΜΕ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΠΟΞΗΡΑΝΤΙΚΟΥ ΜΕΣΟΥ (DESICCANT SYSTEMS)

- 10.1 Εισαγωγή.....188
- 10.2 Τρόπος λειτουργίας συστημάτων αποξηραντικού μέσου.....191
- 10.3 Ιστορική επισκόπηση.....194
- 10.4 Επιλογές τεχνολογίας – Υλικά και συστήματα.....196
- 10.5 Μελλοντικές ανάγκες έρευνας και ανάπτυξης.....201

11. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΞΗΡΑΝΤΙΚΟΥ ΜΕΣΟΥ

| | |
|---|-----|
| 11.1 Αρχές αφύγρανσης και ψύξης αποξήρανσης DCD (Desiccant Cooling and Dehumidification)..... | 204 |
| 11.2 Πλεονεκτήματα και πιθανοί περιορισμοί συστημάτων DCD..... | 205 |
| 11.3 Εμπορική ανάπτυξη..... | 207 |
| 11.4 Συστήματα αποξηραντικού μέσου ανοικτού κύκλου..... | 208 |
| 11.5 Ολοκληρωμένα συστήματα αποξηραντικού μέσου..... | 209 |
| 11.6 Συστήματα αποξηραντικού μέσου κλειστού κύκλου..... | 210 |
| 11.7 Συστήματα υγρού αποξηραντικού μέσου..... | 210 |

12. ΕΠΙΛΟΓΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

| | |
|---|-----|
| 12.1 Υλικά αποξήρανσης..... | 211 |
| 12.2 Κατηγορίες αποξηραντικών μέσων..... | 212 |
| 12.3 Συστήματα αφύγρανσης και ψύξης αποξηραντικού μέσου (DCD)..... | 216 |
| 12.3.1 Συστήματα στερεού αποξηραντικού μέσου ανοικτού κύκλου..... | 216 |
| 12.3.2 Συστήματα στερεού αποξηραντικού μέσου κλειστού κύκλου..... | 218 |
| 12.3.2.1 Συστήματα κλειστού κύκλου παροδικής προσρόφησης..... | 218 |
| 12.3.2.2 Συστήματα αναγέννησης κλειστού κύκλου προσρόφησης..... | 219 |
| 12.3.3 Συστήματα υγρού αποξηραντικού μέσου ανοικτού κύκλου..... | 221 |
| 12.3.4 Συστήματα υγρού αποξηραντικού μέσου κλειστού κύκλου..... | 222 |

13. ΣΥΝΟΨΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

| | |
|--|-----|
| 13.1 Συστήματα..... | 224 |
| 13.1.1 Συστήματα ανοικτού κύκλου..... | 224 |
| 13.1.2 Συστήματα κλειστού κύκλου..... | 226 |
| 13.2 Συστατικά μέρη..... | 229 |
| 13.3 Υλικά αποξήρανσης..... | 231 |
| 13.4 Υπολογιστικά μοντέλα..... | 232 |

14. ΣΥΝΟΨΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

| | |
|--|-----|
| 14.1 Εισαγωγή..... | 236 |
| 14.2 Οικιακή ψύξη..... | 236 |
| 14.3 Εμπορική ψύξη..... | 238 |
| 14.4 Βιομηχανική αφύγρανση και ξήρανση..... | 240 |
| 14.5 Συμπέρασμα..... | 241 |

| | |
|--|------------|
| 15. ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΣΤΕΡΕΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΠΟΞΗΡΑΝΣΗΣ | |
| 15.1 Εισαγωγή..... | 242 |
| 15.2 Σπουδαιότητα των ιδιοτήτων υλικών αποξηράνσης..... | 242 |
| 15.3 Ιδιότητες ρόφησης των αποξηραντικών μέσων..... | 244 |
| 15.4 Ιδιότητες ενέργειας προσρόφησης των αποξηραντικών μέσων..... | 246 |
| 15.5 Περιγραφή των επιθυμητών ιδιοτήτων..... | 247 |
| 15.5.1 Σχήματα ισόθερμων..... | 247 |
| 15.5.2 Ενέργεια προσρόφησης..... | 248 |
| 15.5.3 Μέγιστη αναρρόφηση..... | 249 |
| 15.5.4 Χημική και φυσική σταθερότητα..... | 250 |
| 15.6 Ελλείμματα στα υλικά αποξηραντικού μέσου και συστατικών μερών..... | 250 |
| 16. ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ | |
| 16.1 Σύνοψη..... | 252 |
| 16.2 Αρχή λειτουργίας συστήματος ψύξης στερεού αποξηραντικού μέσου..... | 253 |
| 16.3 Περιβαλλοντικός κύκλος του Muntz (MEC)..... | 253 |
| 16.4 Σχεδιασμός συστήματος..... | 258 |
| 16.5 Υπολογισμοί των αρχικών δεδομένων της μοντελοποίησης..... | 260 |
| 16.6 Ψυχομετρική ανάλυση..... | 262 |
| 16.7 Υπολογιστικός κώδικας της μοντελοποίησης..... | 271 |
| 16.8 Περιγραφή του προγράμματος εκτέλεσης των ψυχομετρικών υπολογισμών.... | 279 |
| 16.9 Διαγράμματα-Συμπεράσματα..... | 289 |
| 17. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ..... | 308 |

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

- Σχήμα 1.1 Εκπομπές CO₂ (ανά χώρα) από την παραγωγή ενέργειας
- Σχήμα 2.4 Διαχρονική μεταβολή των τιμών του όζοντος
- Σχήμα 2.5 Η μηνιαία μεταβολή των τιμών του όζοντος
- Σχήμα 2.6 Μονάδες μέτρησης του όζοντος (DOBSON UNITS)
- Σχήμα 2.7 Η απελευθέρωση των δύο πιο ευρέως χρησιμοποιούμενων CFCs
- Σχήμα 2.8 Κατακόρυφα προφίλ όζοντος στην SYOWA
- Σχήμα 2.11 Οι ολικές αποκλίσεις του όζοντος
- Σχήμα 2.12 Ο μηνιαίος παγκόσμιος μέσος όρος τιμών του όζοντος
- Σχήμα 2.14 Η μερική πίεση του όζοντος στο στρώμα 19-21 Km
- Σχήμα 2.15 Οι επιφανειακές (κοντά στο έδαφος) τιμές όζοντος
- Σχήμα 2.18 Η δραματική μείωση του όζοντος πάνω από την Ανταρκτική
- Σχήμα 2.24 Μετρήσεις συγκέντρωσης ClO και όζοντος
- Σχήμα 2.32 Απορρόφηση του O₃ στα Hartley Bands και Continuum
- Σχήμα 2.33 Απορρόφηση του όζοντος στα Chappuis bands
- Σχήμα 2.34 Μετρήσεις της UV-B ακτινοβολίας
- Σχήμα 2.36 Ο δείκτης UV
- Σχήμα 2.40 Καθημερινές εκτιμήσεις της έκτασης της τρύπας του όζοντος
- Σχήμα 2.41 Οι μετρούμενες ισοδύναμες συγκεντρώσεις χλωρίου
- Σχήμα 3.1 Φασματική κατανομή ηλιακής ακτινοβολίας
- Σχήμα 3.3 Διορθωτικός συντελεστής λόγω εκκεντρότητας της γης
- Σχήμα 3.4 Μεταβολή ηλιακής απόκλισης συναρτήσει ημέρας χρόνου
- Σχήμα 3.5 Εξίσωση χρόνου συναρτήσει της ημέρας του έτους
- Σχήμα 3.6 Γεωμετρικές παράμετροι θέσης ήλιου/κεκλιμένης επιφάνειας
- Σχήμα 3.7 Τυπική ημερήσια πορεία του ήλιου
- Σχήμα 3.8 Προσδιορισμός γωνιών κλίσης/πρόσπτωσης
- Σχήμα 5.1 Διάγραμμα T-s ψύξεως με μονοβάθμια μηχανική συμπίεση
- Σχήμα 5.2 Διάταξη υλοποίησης ψυκτικού κύκλου
- Σχήμα 6.1 Αύξηση των πωλήσεων mini-split σε μια 4ετία
- Σχήμα 6.2 (Χρόνος αποπληρωμής - LiBr)
- Σχήμα 6.3 (Χρόνος αποπληρωμής - Προσροφητικό σύστημα)
- Σχήμα 6.4 (Καθαρή παρούσα αξία – Περίπτωση 3)
- Σχήμα 6.5 (Καθαρή παρούσα αξία – Περίπτωση 4)
- Σχήμα 7.1 Διάταξη μηχανής Βρωμιούχου Λιθίου / Νερού

Σχήμα 7.2 Απόδοση μονοβάθμιας απορροφητικής μηχανής

Σχήμα 8.1 COP ενεργού άνθρακα και διάφορων προσροφούμενων

Σχήμα 8.2 Βασικός κύκλος ψύξεως με προσρόφηση με είσοδο ηλιακής ενέργειας

Σχήμα 8.3 Λειτουργική διάταξη βασικού κύκλου

Σχήμα 10.1 Ετήσια μείωση ενέργειας εξαιτίας της χρήσης κλιματισμού με αποξηραντικό μέσο

Σχήμα 10.2 Τυπικό σύστημα στερεού αποξηραντικού μέσου ανοικτού κύκλου

Σχήμα 10.3 Τυπικό σύστημα υγρού αποξηραντικού μέσου ανοικτού κύκλου

Σχήμα 10.4 Διαμορφώσεις συστήματος αποξηραντικού μέσου και τεχνολογικές επιπτώσεις

Σχήμα 10.5 Κύρια στοιχεία κόστους εγκατεστημένων συστημάτων αποξηραντικού μέσου

Σχήμα 11.1 Σχηματικό ενός τύπου συστήματος ψύξης αποξηραντικού μέσου ανοικτού κύκλου

Σχήμα 11.2 Ψυχομετρική αναπαράσταση του συστήματος που παρουσιάζεται στο Σχήμα 11.1

Σχήμα 12.1 Ισοστερή που παρουσιάζουν τον 13x κύκλο προσρόφησης νερού - ζεόλιθου

Σχήμα 12.2 Αναγεννητικό σύστημα προσρόφησης, όταν οι βαλβίδες βρίσκονται στη θέση 1, το δοχείο 1 πραγματοποιεί εκρόφηση και το δοχείο 2 απορρόφηση

Σχήμα 12.3 Φάση αναγέννησης – τα τοιχώματα του δοχείου λειτουργούν ως συμπυκνωτής

Σχήμα 13.1 Υβριδικό σύστημα κλιματισμού χώρου

Σχήμα 13.2 Σύστημα VAV ψυχρού αέρα ενσωματωμένου αφυγραντήρα αποξηραντικού μέσου

Σχήμα 13.3 Σύστημα ψύξης αποξηραντικού μέσου κλειστού κύκλου

Σχήμα 13.4 Φάση αναγέννησης: τα τοιχώματα του δοχείου δρουν ως συμπυκνωτής

Σχήμα 13.5 Φάση προσρόφησης τα τοιχώματα του δοχείου δρουν ως εξατμιστής

Σχήμα 13.6 Βασικό σύστημα προσρόφησης στερεού/ατμού

Σχήμα 13.7 Σύστημα προσρόφησης θερμικού κύματος στερεού/ατμού

Σχήμα 15.1 Συνθήκες αέρα εξόδου

Σχήμα 15.2 Ισόθερμες Brunauer τύπων 1 και 3 συγκρινόμενες με μια γραμμική ισόθερμη ρόφησης

Σχήμα 15.3 Ισόθερμη τύπου 2 Brunauer

Σχήμα 15.4 Ισόθερμη τύπου 4 Brunauer

Σχήμα 15.5 Ισόθερμη τύπου 5 Brunauer

Σχήμα 15.6 Ισόθερμες προσρόφησης τυπικών αποξηραντικών μέσων

Σχήμα 15.7 Ιδανική ισόθερμη για εφαρμογές ψύξης αποξηραντικής

Σχήμα 15.8 Ισόθερμη τύπου 1M

Σχήμα 15.9 Προσομοιωμένες ισόθερμες για διάφορους τύπους αποξηραντικών μέσων

Σχήμα 16.1 Σχηματικό κλιματιστικού αποξηραντικού μέσου κύκλου MEC με σερπαντίνα ψύξης

Σχήμα 16.2 Αναπαράσταση κύκλου MEC σε ψυχομετρικό διάγραμμα

Σχήμα 16.3 Σύστημα ψύξης αποξηραντικού μέσου με υποβοήθηση ηλιακής ενέργειας

Σχήμα 16.4 Αναπαράσταση κύκλου MEC σε ψυχομετρικό διάγραμμα

Σχήμα 16.5 Η επίδραση της θερμοκρασίας αναγέννησης στον συντελεστή θερμικής απόδοσης

Σχήμα 16.6 Ο συντελεστής θερμικής απόδοσης σε διαφορετικές εξωτερικές συνθήκες

Σχήμα 16.7 Η επίδραση του λόγου υγρασίας στην αφυγραντική ικανότητα του ρότορα

Σχήμα 16.8 Η επίδραση της θερμοκρασίας εξωτερικού περιβάλλοντος στην αφυγραντική ικανότητα

Σχήμα 16.9 Η επίδραση της αποτελεσματικότητας των εξαρτημάτων της εγκατάστασης στον συντελεστή θερμικής απόδοσης του συστήματος

Σχήμα 16.10 Σύστημα ψύξης αποξηραντικού μέσου και το κλειστό σύστημα νερού της δεξαμενής αποθήκευσης

Σχήμα 16.11 Μεταβολή του COP για διαφορετικό μήνα με σταθερά $t_{db8} = 80^{\circ}\text{C}$ και $Q_t = 50\text{kW}$

Σχήμα 16.12 Μεταβολή του COP για διαφορετικό μήνα και διαφορετικό t_{db}

Σχήμα 16.13 Μεταβολή του COP για διαφορετικό μήνα και διαφορετικό t_{wb}

Σχήμα 16.14 Μεταβολή του COP για 21 Ιουνίου και διαφορετικό t_{db}

Σχήμα 16.15 Μεταβολή του COP για 21 Ιουλίου και διαφορετικό t_{db}

Σχήμα 16.16 Μεταβολή του COP για 21 Αυγούστου και διαφορετικό t_{db}

Σχήμα 16.17 Μεταβολή του COP για 21 Σεπτεμβρίου και διαφορετικό t_{db}

Σχήμα 16.18 Μεταβολή του COP συναρτήσει του χρόνου για διαφορετικούς μήνες

Σχήμα 16.19 Διάγραμμα μεταβολής της θερμοκρασίας t_{dh} συναρτήσει της θερμοκρασίας

Σχήμα 16.20 Διάγραμμα μεταβολής της θερμοκρασίας t_{dh8} συναρτήσει του COP

Σχήμα 16.21 Μεταβολή της θερμοκρασίας t_{dh} για όλα τα σημεία συναρτήσει του COP

Σχήμα 16.22 Μεταβολή της θερμοκρασίας t_{wh} για όλα τα σημεία συναρτήσει του COP

Σχήμα 16.23 Διάγραμμα μεταβολής της ενθαλπίας h για όλα τα σημεία συναρτήσει του COP

Σχήμα 16.24 Διάγραμμα μεταβολής του W για όλα τα σημεία συναρτήσει του COP

Σχήμα 16.25 Διάγραμμα μεταβολής του Φ για όλα τα σημεία συναρτήσει του COP

Σχήμα 16.26 Διάγραμμα μεταβολής της θερμοκρασίας t_{wb} συναρτήσει της θερμοκρασίας

Σχήμα 16.27 Μεταβολή της θερμοκρασίας της δεξαμενής αποθήκευσης συναρτήσει της ώρας της ημέρας καθώς και του μήνα

Σχήμα 16.28 Διάγραμμα μεταβολής της θερμοκρασίας του αέρα προσαγωγής συναρτήσει της ώρας της ημέρας καθώς και του μήνα

Σχήμα 16.29 Μεταβολή της ηλ. ακτινοβολίας συναρτήσει της ώρας της ημέρας και του μήνα

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

- Πίνακας 2.1 Μονάδες μέτρησης του όζοντος (DOBSON UNITS)
- Πίνακας 2.2 Μείωση του όζοντος
- Πίνακας 2.3 Τα χαρακτηριστικά του τετραχλωράνθρακα
- Πίνακας 2.4 Τα χαρακτηριστικά του τριχλωροαιθανίου
- Πίνακας 6.1 Στοιχεία θερμικών φορτίων, συλλεκτών κ.τ.λ σε Αθήνα και Κρήτη
- Πίνακας 6.2 Αποτελέσματα έρευνας
- Πίνακας 8.1 Χαρακτηριστικές τιμές μεταβλητών E, n, x_0
- Πίνακας 14.1 Εκτίμηση ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιείται για οικιακή ψύξη
- Πίνακας 14.2 Εκτίμηση ενεργειακού αντίκτυπου συστημάτων ψύξης αποξηραντικού μέσου
- Πίνακας 14.3 Εκτίμηση ενεργειακού αντίκτυπου συστημάτων ψύξης αποξηραντικού μέσου
- Πίνακας 14.4 Εκτίμηση ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιείται για εμπορική ψύξη
- Πίνακας 14.5 Εκτίμηση ενεργειακού αντίκτυπου συστημάτων ψύξης αποξηραντικού μέσου
- Πίνακας 14.6 Εκτίμηση ενεργειακού αντίκτυπου συστημάτων ψύξης αποξηραντικού μέσου
- Πίνακας 16.1 Θερμοδυναμική κατάσταση του αέρα διεργασίας

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

- Εικόνα 2.1 Α: Ισορροπία ακτινοβολίας στην ατμόσφαιρα
- Εικόνα 2.2 Η μοριακή δομή του όζοντος
- Εικόνα 2.3 Σχηματισμός όζοντος
- Εικόνα 2.9 Σχηματική περιγραφή της καταστροφής του όζοντος
- Εικόνα 2.10 Περιμετρικός χάρτης όζοντος
- Εικόνα 2.13 Διαφορές ανάμεσα στις μέσες τιμές συγκέντρωσης του όζοντος
- Εικόνα 2.16 Φυσικός σχηματισμός και καταστροφή όζοντος
- Εικόνα 2.17 Ανθρωπογενής καταστροφή όζοντος
- Εικόνα 2.19 Πολικά Στρατοσφαιρικά Νέφη Πάγου, PSC
- Εικόνα 2.20 Η τρύπα του όζοντος πάνω από την Ανταρκτική
- Εικόνα 2.21 Μοριακή δομή των CFCs
- Εικόνα 2.22 Οι συνεισφορές στο συνολικό φορτίο χλωρίου της ατμόσφαιρας
- Εικόνα 2.23 Συγκέντρωση των αεροζόλ στη γήινη ατμόσφαιρα
- Εικόνα 2.25 Αύξηση του ClO – Μείωση της συγκέντρωσης του όζοντος
- Εικόνα 2.26 Ημερήσιες τιμές της συγκέντρωσης του όζοντος

Εικόνα 2.27 Η απώλεια του πολικού όζοντος

Εικόνα 2.28 Ημερήσιες τιμές της συγκέντρωσης του όζοντος

Εικόνα 2.29 Πολυπληθή χημικά είδη στην ατμόσφαιρα

Εικόνα 2.30 Η υπεριώδης ακτινοβολία

Εικόνα 2.31 Διεισδύση της UVA στο δέρμα

Εικόνα 2.35 Κλίμακες περιστατικών δύο μορφών καρκίνου

Εικόνα 2.37 Όζον και υπεριώδης ακτινοβολία

Εικόνα 2.38 Καταστροφή του στρατοσφαιρικού όζοντος από χλώριο- βρώμιο

Εικόνα 2.39 Η μεταβολή της ποσοτικής στήλης του όζοντος

Εικόνα 3.2 Ελλειπτική τροχιά της γης γύρω από τον ήλιο

Εικόνα 4.1 Ηλιακό σύστημα παραγωγής θερμού νερού (Ηλιόθερμο)

Εικόνα 4.2 Σύστημα γεωθερμικής αντλίας θερμότητας

Εικόνα 4.3 Ηλιακοί συλλέκτες στην οροφή του κτιρίου για τη θέρμανση χώρου

Εικόνα 16.1 Το περιβάλλον του προγράμματος υπολογισμού των σημείων του συστήματος ψύξης

Εικόνα 16.2 Το περιβάλλον του προγράμματος υπολογισμού της ημερήσιας διακύμανσης του COP μετά την εκτέλεσή του

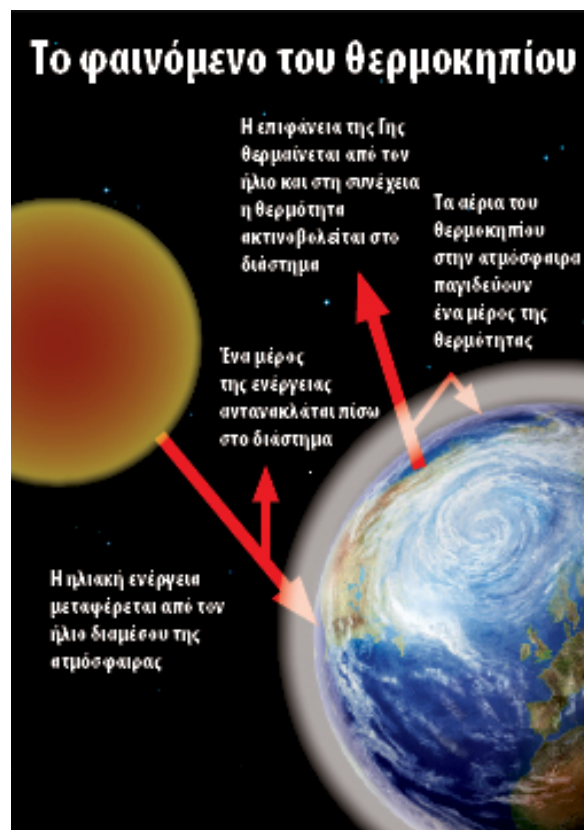
1. ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

1.1 Φαινόμενο του Θερμοκηπίου

Η κλιματική αλλαγή απο τελεί αυτή τη στιγμή το νο ήμερο ένα πρό βλημα το υ πλανήτη με καταστροφικές συνέπειες. Ο όρος «κλίμα», δε σημαίνει όμως καιρός. Πρόκειται για το μέσο όρο των καιρικών συνθηκών που επικρατούν σε μια ορισμένη περιοχή για μεγάλη χρονική περίοδο.

Η ενέργεια του ήλιου θερμαίνει την επιφάνεια της γης και, καθώς η θερμοκρασία αυξάνεται, η θερμότητα αντανακλάται στην ατμόσφαιρα ως ενέργεια υπεριώδους ακτινοβολίας. Ένα μέρος της ενέργειας απορροφάται στην ατμόσφαιρα από τα λεγόμενα «αέρια του θερμοκηπίου».

Πιο συγκεκριμένα, η ατμόσφαιρα λειτουργεί όπως τα τοιχώματα ενός θερμοκηπίου, αφήνοντας το ορατό ηλιακό φως να εισέλθει και απορροφώντας την εξερχόμενη ενέργεια υπεριώδους ακτινοβολίας, διατηρώντας ζεστό το εσωτερικό του. Αυτή η φυσική διαδικασία ονομάζεται "φαινόμενο του θερμοκηπίου". Χωρίς αυτό, η μέση θερμοκρασία στη γη θα ήταν -18°C , ενώ αυτή τη στιγμή φθάνει τους $+15^{\circ}\text{C}$.



Το κλίμα παρουσίαζε, και θα παρουσιάζει για πάντα, αποκλίσεις που οφείλονται σε φυσικά αίτια. Οι φυσικές αυτές αιτίες συμπεριλαμβάνουν τις ανεπαίσθητες μεταβολές της ηλιακής ακτινοβολίας, τις ηφαιστειακές εκρήξεις, οι οποίες μπορούν να καλύψουν τη γη με σκόνη που αντανακλά την ηλιακή θερμότητα στο διάστημα, καθώς και τις φυσικές αποκλίσεις του ίδιου του κλιματικού συστήματος.

Εντούτοις, οι φυσικές αιτίες μπορούν να εξηγήσουν μόνο ένα μικρό μέρος αυτής της θέρμανσης. Οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες συντελούν στην αύξηση της συγκέντρωσης στην ατμόσφαιρα αερίων του θερμοκηπίου, ιδιαίτερα διοξειδίου του άνθρακα (CO₂), μεθανίου και πρωτοξειδίου του αζώτου, τα οποία ενισχύουν το φυσικό φαινόμενο του θερμοκηπίου και αυξάνουν τη θερμοκρασία. Η βασική ανθρώπινη δραστηριότητα που εντείνει το πρόβλημα είναι η καύση ορυκτών καυσίμων που αυξάνει το ποσό του CO₂ και άλλων αερίων στην ατμόσφαιρα, οι υδρατμοί των οποίων σχηματίζουν ένα φυσικό διαχωριστικό στρώμα γύρω από τη Γη. Αυτό το στρώμα εμποδίζει ένα ποσοστό μεγαλύτερο από το φυσιολογικό (30%) της ανακλώμενης στην επιφάνεια της Γης ηλιακής ακτινοβολίας να επιστρέψει στο διάστημα και το παγιδεύει στην ατμόσφαιρα με αποτέλεσμα την υπερθέρμανση του πλανήτη. Αυτή η υπερθέρμανση που προκαλεί ο ανθρώπινος παράγοντας ονομάζεται "ενισχυμένο" φαινόμενο του θερμοκηπίου.

1.2 Τα αέρια του θερμοκηπίου

1.2.1 Υδρατμοί

Το κυριότερο αέριο του θερμοκηπίου είναι οι υδρατμοί (H₂O), οι οποίοι ευθύνονται για περίπου τα 2/3 του φυσικού φαινομένου του θερμοκηπίου. Στην ατμόσφαιρα, τα μόρια του νερού δεσμεύουν τη θερμότητα που εκπέμπει η γη και έπειτα εκπέμπουν εκ νέου προς όλες τις κατευθύνσεις, θερμαίνοντας έτσι την επιφάνεια της γης πριν επιστρέψουν τελικά στο διάστημα. Οι υδρατμοί της ατμόσφαιρας αποτελούν τμήμα του υδρολογικού κύκλου, ενός κλειστού συστήματος κυκλοφορίας του νερού από τους ωκεανούς και το έδαφος στην ατμόσφαιρα και από εκεί πίσω στο έδαφος μέσω της εξάτμισης και της διαπνοής, της συμπύκνωσης και της κατακρήμνισης. Οι ανθρώπινες δραστηριότητες δεν αυξάνουν τους υδρατμούς στην ατμόσφαιρα. Ωστόσο, ο θερμότερος αέρας μπορεί να κατακρατήσει πολύ περισσότερη υγρασία και συνεπώς, οι αυξημένες θερμοκρασίες εντείνουν περαιτέρω τις κλιματικές αλλαγές.

1.2.2 Διοξείδιο του άνθρακα

Ο κυριότερος συντελεστής του «ενισχυμένου» φαινομένου του θερμοκηπίου είναι το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂). Ευθύνεται παγκοσμίως για τουλάχιστον το 60% του φαινομένου. Στις βιομηχανικές χώρες, αποτελεί το 80% των εκπομπών αερίου του θερμοκηπίου. Στη γη υπάρχουν πεπερασμένες ποσότητες άνθρακα, οι οποίες, όπως και το νερό, ανακυκλώνονται με τον κύκλο του άνθρακα. Πρόκειται για ένα ιδιαίτερα πολύπλοκο σύστημα στο οποίο ο άνθρακας κινείται μεταξύ της ατμόσφαιρας, της επίγειας βιόσφαιρας και των ωκεανών. Τα φυτά απορροφούν CO₂ από την ατμόσφαιρα κατά τη φωτοσύνθεση. Χρησιμοποιούν τον άνθρακα για να συνθέσουν τους ιστούς τους και τον απελευθερώνουν στην ατμόσφαιρα όταν ξεραίνονται και αποσυντίθενται. Ο οργανισμός των ζώων και των ανθρώπων περιέχει και αυτός άνθρακα τον οποίο λαμβάνει από τα βρώσιμα φυτά ή από τα ζώα που καταναλώνουν αυτά τα φυτά. Ο άνθρακας απελευθερώνεται ως CO₂ με την αναπνοή, καθώς και με το θάνατο και την αποσύνθεση. Τα ορυκτά καύσιμα είναι τα απολιθωμένα υπολείμματα νεκρών ζώων και φυτών τα οποία συντίθενται υπό συγκεκριμένες συνθήκες σε διάστημα εκατομμυρίων ετών και συνεπώς έχουν μεγάλη περιεκτικότητα σε άνθρακα. Με την ευρεία έννοια, το κάρβουνο δεν είναι παρά υπολείμματα καμένων δασών, ενώ το πετρέλαιο προέρχεται από τη χλωρίδα των ωκεανών. (Οι ωκεανοί απορροφούν CO₂, που χρησιμοποιείται σε διαλυμένη μορφή για τη φωτοσύνθεση της θαλάσσιας χλωρίδας.)

Πολλά δισεκατομμύρια τόνοι άνθρακα ανταλλάσσονται με φυσικό τρόπο κάθε χρόνο μεταξύ της ατμόσφαιρας, των ωκεανών και της επίγειας χλωρίδας. Τα επίπεδα διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα παρουσιάζουν αποκλίσεις μικρότερες από 10% κατά τη διάρκεια των 10000 χρόνων που προηγήθηκαν της βιομηχανικής επανάστασης. Ωστόσο, από το 1800 η συγκέντρωσή του έχει αυξηθεί κατά περίπου 30%, καθώς τεράστιες ποσότητες ορυκτών καυσίμων καίγονται για να παραχθεί ενέργεια, κυρίως στις αναπτυγμένες χώρες. Σήμερα εκπέμπουμε στην ατμόσφαιρα τουλάχιστον 25 δισεκατομμύρια τόνους CO₂ το χρόνο. Πρόσφατα, Ευρωπαίοι ερευνητές

ανακάλυψαν ότι οι τρέχουσες συγκεντρώσεις CO₂ στην ατμόσφαιρα είναι τώρα υψηλότερες από ποτέ τα τελευταία 650000 χρόνια. Πραγματοποιήθηκε πυρηνοληψία πάγου σε βάθος άνω των 3 χιλιομέτρων στους πάγους της Ανταρκτικής οι οποίοι διαμορφώθηκαν εκατοντάδες χιλιάδες χρόνια πριν. Ο πάγος περιέχει φυσαλίδες αέρα, οι οποίες μας δίνουν πληροφορίες για την ατμοσφαιρική σύσταση σε διάφορες εποχές της ιστορίας του πλανήτη. Το CO₂ μπορεί να παραμείνει στην ατμόσφαιρα για 50-200 χρόνια, ανάλογα με τον τρόπο ανακύκλωσης και επιστροφής του στο έδαφος και τους ωκεανούς.

Εκτός από το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), του οποίου η περιεκτικότητα στην ατμόσφαιρα παίζει καταλυτικό χαρακτήρα για την απορρόφηση θερμότητας και επομένως αύξησης της θερμοκρασίας και μεγάλη συμβολή στο «φαινόμενο του θερμοκηπίου», υπάρχουν και άλλα αέρια των οποίων το μόριο έχει ανάλογες ιδιότητες απορρόφησης και συγκράτησης της υπέρυθρης ακτινοβολίας και σημαντικής συμβολής στο φαινόμενο. Τέτοια είναι το μεθάνιο (CH₄), τα οξείδια του Αζώτου (NO_x) και το "Φρέον" (Χλωριωμένοι Υδρογονάνθρακες), με πολλαπλάσια ως προς το διοξείδιο του άνθρακα ικανότητα απορρόφησης της θερμότητας, η οποία ξεκινά από 25 φορές για το μεθάνιο, ανέρχεται σε 230 για τα οξείδια του Αζώτου και φθάνει μέχρι 15.000 για το Φρέον.

1.2.3 Μεθάνιο

Το δεύτερο σημαντικότερο αέριο που ευθύνεται για το ενισχυμένο φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι το μεθάνιο (CH₄). Από τις απαρχές της βιομηχανικής επανάστασης, οι ατμοσφαιρικές συγκεντρώσεις μεθανίου έχουν διπλασιαστεί και συμβάλλουν κατά περίπου 20% στην ενίσχυση του φαινομένου. Στις βιομηχανικές χώρες, το μεθάνιο αποτελεί συνήθως το 15% των εκπομπών αερίου του θερμοκηπίου. Το μεθάνιο συντίθεται κατά κύριο λόγο από βακτήρια που ενισχύονται με οργανικές ύλες ελλείψει οξυγόνου. Συνεπώς εκπέμπεται από διάφορες φυσικές πηγές και πηγές που επηρεάζονται από την ανθρώπινη δραστηριότητα, με κυριότερες τις τελευταίες. Οι φυσικές πηγές περιλαμβάνουν υγροτόπους, τερμίτες και ωκεανούς. Οι πηγές που επηρεάζονται από την ανθρώπινη δραστηριότητα περιλαμβάνουν την εξόρυξη και την καύση ορυκτών καυσίμων, την κτηνοτροφία (τα βοοειδή καταναλώνουν φυτά, τα οποία ζυμώνονται στο πεπτικό τους σύστημα και τα οποία εκπέμπουν μεθάνιο μέσω της εκπνοής και των περιττωμάτων τους), τις ρυζοκαλλιέργειες (οι ορυζώνες παράγουν μεθάνιο καθώς οι οργανικές ύλες του εδάφους αποσυντίθενται χωρίς αρκετό οξυγόνο) και τους χώρους ταφής (κι εδώ τα οργανικά απόβλητα αποσυντίθενται χωρίς αρκετό οξυγόνο). Το μεθάνιο στην ατμόσφαιρα δεσμεύει 23 φορές πιο αποτελεσματικά το CO₂. Ωστόσο, η διάρκεια ζωής του είναι μικρότερη και κυμαίνεται από 10 έως 15 χρόνια.

1.2.4 Μονοξείδιο του αζώτου

Το μονοξείδιο του αζώτου (N₂O) απελευθερώνεται με φυσικό τρόπο από τους ωκεανούς και τα παρθένα δάση, καθώς και από τα βακτήρια του εδάφους. Οι πηγές που επηρεάζονται από την ανθρώπινη δραστηριότητα περιλαμβάνουν τα αζωτούχα λιπάσματα, την καύση ορυκτών καυσίμων και τη βιομηχανική χημική παραγωγή με χρήση αζώτου, όπως είναι η επεξεργασία λυμάτων. Στις βιομηχανικές χώρες, το N₂O αποτελεί το 6% των εκπομπών αερίου του θερμοκηπίου. Όπως το CO₂ και το μεθάνιο, έτσι και το μονοξείδιο του αζώτου είναι ένα αέριο του θερμοκηπίου, του οποίου τα μόρια απορροφούν θερμότητα που προσπαθεί να διαφύγει στο διάστημα. Το N₂O είναι 310 φορές πιο αποτελεσματικό από το CO₂ στην απορρόφηση της θερμότητας. Από τις απαρχές της βιομηχανικής επανάστασης, οι συγκεντρώσεις υποξειδίου του αζώτου στην ατμόσφαιρα έχουν αυξηθεί κατά περίπου 16% και συμβάλλουν κατά 4 – 6 % στην ενίσχυση του φαινομένου του θερμοκηπίου.

1.2.5 Φθοριούχα αέρια θερμοκηπίου (Φρέον)

Είναι τα μόνα αέρια θερμοκηπίου που δεν έχουν συντεθεί με φυσικό τρόπο, αλλά έχουν δημιουργηθεί από τον άνθρωπο για βιομηχανικούς σκοπούς. Το μερίδιό τους στις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου από τις βιομηχανικές χώρες είναι περίπου 1,5%. Όμως, είναι εξαιρετικά ισχυρά αφού μπορούν να δεσμεύσουν θερμότητα 22000 φορές πιο αποτελεσματικά από το CO₂ και παραμένουν στην ατμόσφαιρα για χιλιάδες χρόνια. Τα φθοριούχα αέρια θερμοκηπίου περιλαμβάνουν τους υδροφθοράνθρακες (HFCs) που χρησιμοποιούνται για την ψύξη και την κατάψυξη συμπεριλαμβανομένων των συστημάτων κλιματισμού, το εξαφθοριούχο θείο (SF₆) που χρησιμοποιείται για παράδειγμα στην ηλεκτρονική βιομηχανία και τους υπερφθοράνθρακες (PFC) που εκπέμπονται κατά την παραγωγή αλουμινίου και χρησιμοποιούνται στην ηλεκτρονική βιομηχανία. Αδιαμφισβήτητα, τα γνωστότερα από αυτά τα αέρια είναι οι χλωροφθοράνθρακες (CFCs) που δεν είναι μόνον φθοριούχα αέρια θερμοκηπίου, αλλά καταστρέφουν και το στρώμα του όζοντος. Αποσύρονται σταδιακά από την κυκλοφορία σύμφωνα με το Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ του 1987 για τις ουσίες που καταστρέφουν το στρώμα του όζοντος.

1.3 Μέτρηση των αερίων του θερμοκηπίου

Οι συγκεντρώσεις αερίων στην ατμόσφαιρα μπορούν να εκφραστούν σε μέρη ανά εκατομμύριο (ppm) ή δισεκατομμύριο (ppb). Το ppm αντιστοιχεί σε 1 κυβικό εκατοστό αερίου ανά κυβικό μέτρο αέρα. Επίσης, 1 ppm σημαίνει ότι υπάρχει ένα μόριο του εν λόγω αερίου ανά 1.000.000όρια όλων των αερίων που περιέχονται στον αέρα.

Ωστόσο, ορισμένα αέρια θερμοκηπίου απορροφούν ραδιενέργεια πιο αποτελεσματικά από άλλα, καθώς απορροφούν ραδιενέργεια σε διαφορετικά μήκη κύματος και άλλα αλληλοκαλύπτονται μεταξύ τους. Για να εξηγηθούν οι διαφορές απορρόφησης, έχει υιοθετηθεί η έννοια του δυναμικού πλανητικής υπερθέρμανσης, όπου όλα τα αέρια συγκρίνονται με το CO₂, του οποίου το δυναμικό υπερθέρμανσης ισούται με 1. Για παράδειγμα, για μια περίοδο 100 ετών το δυναμικό υπερθέρμανσης του μεθανίου είναι 23 φορές μεγαλύτερο του δυναμικού του CO₂. Το πρωτοξείδιο του αζώτου είναι 296 φορές πιο αποτελεσματικό στην απορρόφηση από το CO₂ και το δυναμικό υπερθέρμανσης του SF₆ είναι τουλάχιστον 22.000 φορές μεγαλύτερο από αυτό του CO₂.

Είναι σημαντικό το δυναμικό υπερθέρμανσης να ορίζεται για συγκεκριμένη χρονική περίοδο εφόσον η ατμοσφαιρική διάρκεια ζωής των αερίων θερμοκηπίου παρουσιάζει σημαντικές αποκλίσεις. Το CO₂ μπορεί να παραμείνει στην ατμόσφαιρα για 50-200 έτη, ανάλογα με τον τρόπο ανακύκλωσής του στην ξηρά ή στους ωκεανούς, το μεθάνιο έχει διάρκεια ζωής στην ατμόσφαιρα 10-15 έτη, ενώ ορισμένα από τα φθοριούχα αέρια του θερμοκηπίου έχουν διάρκεια ζωής αρκετών χιλιάδων ετών.

Από τη βιομηχανική επανάσταση και έπειτα η συγκέντρωση αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα έχει αυξηθεί κατά τουλάχιστον 50%, από 280 σε 360 ppm μόνο για το CO₂. Σε αυτό προστίθεται αύξηση άλλων αερίων θερμοκηπίου, η οποία εκφράζεται σε ισοδύναμα του CO₂ και φθάνει σήμερα τα 425 μέρη ισοδύναμων του CO₂ ανά εκατομμύριο.

Οι συγκεντρώσεις των παραπάνω αερίων στην ατμόσφαιρα λοιπόν είναι: α) Διοξείδιο του Άνθρακα 351,3 ppm (μέρη στο εκατομμύριο), β) Μεθάνιο 1,675 ppm, γ) Οξείδια του Αζώτου 0,31 ppm, και δ) Φρέον 0,000225 ppm.

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, ο βαθμός απορρόφησης θερμικής ακτινοβολίας για το καθένα είναι διαφορετικός, ώστε η σχετική συνεισφορά τους στο «φαινόμενο του θερμοκηπίου» να έχει ως ακολούθως: α) Διοξείδιο του Άνθρακα 57%, β) Μεθάνιο 12%, γ) Οξείδια του Αζώτου 6%, και δ) Φρέον 25%.

Από τα παραπάνω παρατηρείται μια δυσανάλογη, σχετικά με τη συγκέντρωσή τους, συνεισφορά τους στο «φαινόμενο του θερμοκηπίου», πράγμα που υπαγορεύει την ήδη σε εξέλιξη ευρισκόμενη στρατηγική άμεσης μείωσής τους. Η τύχη όμως των παραπάνω αερίων είναι διαφορετική για το καθένα.

Το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), έπειτα από ένα μέσο χρόνο παραμονής 4 ετών στην ατμόσφαιρα απορροφάται από τα φυτά για να εξυπηρετήσει τις διαδικασίες της φωτοσύνθεσης ή αντιδρά με την αλκαλικότητα της θάλασσας παρέχοντας όξινα ανθρακικά, που καταλήγουν σε αναδιάλυση των ιζημάτων ανθρακικού ασβεστίου. Η συνολική ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα που εισήλθε κατά το 1998 στην ατμόσφαιρα ανερχόταν σε 24 δισεκατομμύρια τόνους περίπου, από τα οποία τα 3 δισεκατομμύρια κατακρατήθηκαν τελικώς από τους ωκεανούς, άλλα 18 δισεκατομμύρια απορροφήθηκαν από επίγειες βιολογικές διεργασίες (κυρίως φωτοσύνθεση), ενώ τα υπόλοιπα 3 δισεκατομμύρια συσσωρεύτηκαν στην ατμόσφαιρα.

Το μεθάνιο (CH_4), που προέρχεται κυρίως από βιολογικές διεργασίες αποδόμησης οργανικών ουσιών καθώς και διαρροές φυσικού αερίου, κατευθύνεται προς την στρατόσφαιρα, όπου συνεισφέρει στο «στρατοσφαιρικό φαινόμενο του θερμοκηπίου». Το μεθάνιο αποτελεί «τελικό προϊόν» βιολογικών διεργασιών και κατά συνέπεια δεν μπορεί να καταναλωθεί από καμία βιολογική διεργασία, όπως συμβαίνει με το διοξείδιο του άνθρακα. Ο μέσος χρόνος παραμονής του στην ατμόσφαιρα ανέρχεται σε 11 χρόνια, οι δε 3,5 δισεκατομμύρια τόνοι που είναι συσσωρευμένοι στην ατμόσφαιρα υφίστανται κάθε χρόνο μια προσθήκη 300 εκατομμυρίων τόνων, από την οποία το μεγαλύτερο μέρος (90% περίπου) καταστρέφεται, επιτρέποντας μια συσσώρευση στην ατμόσφαιρα ίσης με 30-40 εκατομμύρια τόνους ή 1% περίπου ετησίως.

Τα Οξειδία του Αζώτου (NO_x), τα οποία προέρχονται από κάθε είδους καύση και από ορισμένες βιολογικές δραστηριότητες (π.χ. αποσύνθεση λιπασμάτων), εισέρχονται στην ατμόσφαιρα συνεισφέροντας τόσο στο «φαινόμενο θερμοκηπίου» όσο και στη δημιουργία της «τρύπας του όζοντος». Τα Οξειδία του Αζώτου αποδομούνται με ένα βραδύτατο ρυθμό (0,7% το έτος) προς νιτρικά άλατα ή προς Άζωτο και Οξυγόνο, δημιουργώντας έτσι μια συγκέντρωση στην ατμόσφαιρα του ύψους των 700 εκατομμυρίων τόνων. Ο ρυθμός συσσώρευσης τους είναι 0,2%, δηλαδή κάτι τι μικρότερος από εκείνου του διοξειδίου του άνθρακα. Από πλευράς δε στρατηγικής μείωσης τους ακολουθούνται περίπου αυτόματα τα μέτρα που θα ληφθούν και για το διοξείδιο του άνθρακα.

Τέλος, οι Χλωριωμένοι Υδρογονάνθρακες, προέρχονται αποκλειστικά από τις «μοντέρνες» λειτουργίες του πολιτισμού (σπρέι, χημικοί διαλύτες, ηλεκτρικά ψυγεία, αirkοντίσιον, κ.ά.) και κατευθύνονται ταχύτατα στη στρατόσφαιρα, δημιουργώντας τόσο το «στρατοσφαιρικό φαινόμενο του θερμοκηπίου», όσο και τη γνωστή «τρύπα του όζοντος». Σήμερα εκπέμπονται ετησίως άνω των 30.000 τόνων πάσης φύσεως αέρια τύπου Φρέον, τα οποία έχουν συσσωρεύσει μέχρι στιγμής στην ατμόσφαιρα ποσότητα άνω των 500.000 τόνων. Από αυτούς, καταστρέφονται οι 5.000 τόνοι περίπου το χρόνο ενώ οι υπόλοιποι 25.000 εξακολουθούν να συσσωρεύονται.

Το φαινόμενο του θερμοκηπίου, δημιουργείται από τα αέρια του θερμοκηπίου ως εξής. Αυτά επιτρέπουν τη δίοδο της ακτινοβολίας του Ηλίου προς τη Γη, αλλά δεν επιτρέπουν την ακτινοβολία θερμότητας από τη Γη προς το διάστημα. Η εισερχόμενη ακτινοβολία έχει μικρό μήκος κύματος και περνάει, ενώ η εξερχόμενη έχει μεγάλο μήκος κύματος και δεν περνάει, όπως σε ένα θερμοκήπιο με τζάμια ή πλαστικό, στο οποίο οφείλεται και το όνομα του φαινομένου.

1.4 Η Τάση της θέρμανσης

Τα τελευταία 100 χρόνια, η μέση ατμοσφαιρική θερμοκρασία στην επιφάνεια του πλανήτη αυξήθηκε κατά 0,74 °C παγκοσμίως και κατά σχεδόν 1 °C στην Ευρώπη, γεγονός που συνιστά ασυνήθιστα ταχεία θέρμανση. Πράγματι, ο 20ός αιώνας ήταν ο θερμότερος αιώνας και η δεκαετία του 1990 ήταν η θερμότερη δεκαετία των τελευταίων 1.000 ετών. Αυτή η τάση υπερθέρμανσης συνεχίζεται: τα έντεκα θερμότερα έτη έχουν καταγραφεί την τελευταία δωδεκαετία. Η Διεθνής Ομάδα για την Αλλαγή του Κλίματος (IPCC), ένας οργανισμός του Ο.Η.Ε. που αποτελεί σημείο συνάντησης εκατοντάδων ειδικών επί του κλίματος από ολόκληρο τον κόσμο, προβλέπει ότι μέχρι το 2100 η μέση παγκόσμια θερμοκρασία είναι πολύ πιθανό να αυξηθεί περαιτέρω κατά 1,8°C έως 4°C – και στη χειρότερη περίπτωση έως 6,4°C – εκτός αν οι άνθρωποι αναλάβουν δράση για τον περιορισμό των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Αν και με την πρώτη ματιά η διαφορά δεν μοιάζει σημαντική, στη διάρκεια της τελευταίας εποχής των πάγων, πριν από 11.500 χρόνια, η

μέση θερμοκρασία στον πλανήτη ήταν μόνο κατά 5°C χαμηλότερη από τη σημερινή, και παρόλα αυτά το μεγαλύτερο μέρος της Ευρώπης ήταν καλυμμένο από ένα χοντρό στρώμα πάγου. Ενδεικτικά της υπερθέρμανσης του πλανήτη είναι τα παρακάτω γεγονότα. Το 2005 καταγράφηκε επίσημα ως το πιο θερμό έτος των τελευταίων εκατό ετών. Έως το 2005, το πιο θερμό έτος ήταν το 1987. Τον 20ο αιώνα η μέση θερμοκρασία αυξήθηκε κατά 0,4 – 0,8 βαθμούς Κελσίου κατατάσσοντας τον αιώνα ως τον θερμότερο των τελευταίων χιλίων ετών. Η Διακυβερνητική Επιτροπή για τις Κλιματικές Αλλαγές προβλέπει ότι αν συνεχίσει η εξάρτηση του πλανήτη από τα ορυκτά καύσιμα, τότε η μέση πλανητική θερμοκρασία θα αυξηθεί κατά 1,4 – 5,8 βαθμούς Κελσίου. Η μέση πλανητική θερμοκρασία έχει αυξηθεί σήμερα κατά 0,7 βαθμούς Κελσίου. Πιθανή αύξηση της θερμοκρασίας κατά 3 βαθμούς Κελσίου θα προκαλέσει την αύξηση της στάθμης της θάλασσας κατά 1 μέτρο. Η μέση στάθμη της θάλασσας έχει αυξηθεί κατά 20 εκατοστά τον 20ο αιώνα. Οι συγκεντρώσεις αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα είναι οι υψηλότερες των τελευταίων 420.000 ετών. Η δεκαετία του 1990 ήταν η θερμότερη της χιλιετίας για το Βόρειο ημισφαίριο. Τα οχτώ πιο θερμά έτη που έχουν καταγραφεί στην ιστορία, εμφανίζονται μετά το 1983.



1.5 Δράσεις για τον περιορισμό των αλλαγών

Η αλλαγή του κλίματος έχει ήδη εμφανή αποτελέσματα, που εκτείνονται από την αύξηση της θερμοκρασίας έως την άνοδο της στάθμης της θάλασσας σαν αποτέλεσμα της τήξης των πολικών παγετών, καθώς και τη συχνότερη εμφάνιση καταιγίδων και πλημμύρων. Εάν δεν αναλάβουμε δράση, η αλλαγή του κλίματος θα προκαλεί όλο και περισσότερο δαπανηρές ζημιές και θα διαταράσσει τη λειτουργία του φυσικού περιβάλλοντός μας, το οποίο μας παρέχει τροφή, πρώτες ύλες και άλλους ζωτικούς φυσικούς πόρους. Αυτό θα επιδράσει αρνητικά στις οικονομίες μας και θα μπορούσε να αποσταθεροποιήσει τις κοινωνίες σε ολόκληρο τον κόσμο. Το 2005 μόνο, η ασφαλιστική βιομηχανία δαπάνησε 60 δισεκατομμύρια δολάρια για να καλύψουν ζημιές που σχετίζονται με ακραία καιρικά φαινόμενα.

1.5.1 Το Πρωτόκολλο του Κιότο

Η ένταση του φαινομένου του θερμοκηπίου τα τελευταία χρόνια οδήγησε σε μια νομική δέσμευση των αναπτυγμένων χωρών για μείωση των εκπομπών αερίων, το Πρωτόκολλο του Κιότο. Σύμφωνα με αυτό, τα κράτη που το έχουν συνυπογράψει δεσμεύονται να ελαττώσουν τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου την πρώτη περίοδο ανάληψης υποχρεώσεων (2008-2012) τουλάχιστον κατά 5% σε σχέση με τις εκπομπές του 1990 (ή του 1995 για ορισμένα αέρια) και κατά παραπάνω για συγκεκριμένες χώρες (7% για τις Η.Π.Α. και 8% για την Ε.Ε.) ενώ οι αναπτυσσόμενες χώρες δεν έχουν ποσοτικοποιημένους στόχους.

Αυτό επιχειρείται να γίνει με τον πιο οικονομικά αποδοτικό τρόπο, ώστε να μην επιβαρυνθεί η παγκόσμια οικονομία. Έτσι, το Πρωτόκολλο του Κιότο περιλαμβάνει τρεις ευέλικτους μηχανισμούς:

- την Εμπορία Δικαιωμάτων Εκπομπών (ΕΔΕ)
- τα Προγράμματα από Κοινού (ΠΚ)
- το Μηχανισμό Καθαρής Ανάπτυξης (ΜΚΑ)

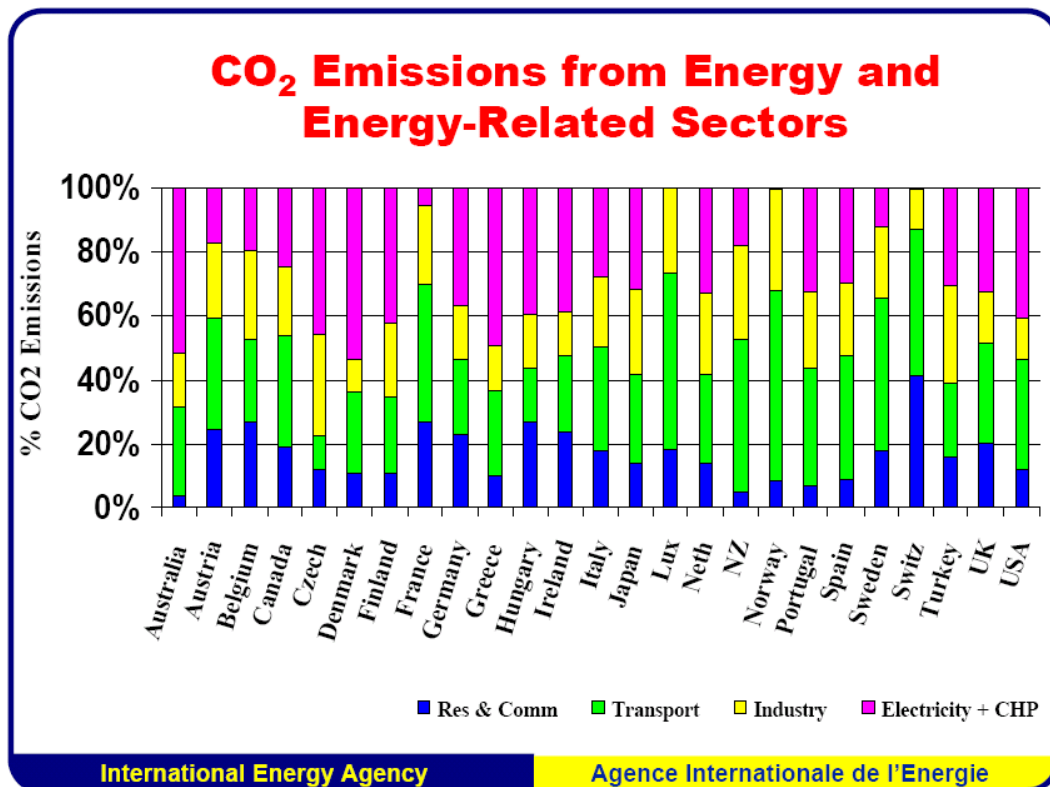
Ο πρώτος μηχανισμός προβλέπει την αγοραπωλησία δικαιωμάτων εκπομπών μεταξύ των ενδιαφερόμενων μερών (χωρών) για να επιτύχουν τις δεσμεύσεις του Κιότο. Αποτελεί εργαλείο της αγοράς που χρησιμοποιείται για την περιβαλλοντική προστασία ώστε να ενισχύσει την αποδοτικότητα της αγοράς αναφορικά με τη μείωση των εκπομπών του αερίου του θερμοκηπίου. Ένα βέλτιστο σύστημα ΕΔΕ ελαχιστοποιεί τα συνολικά κόστη συμμόρφωσης προς τις απαιτήσεις του Πρωτοκόλλου, εξασφαλίζοντας ότι οι μειώσεις των εκπομπών λαμβάνουν χώρα όπου τα οριακά κόστη ελαχιστοποιούνται. Επιτρέπει στις χώρες να συναλλάσσουν μέρος των δεσμεύσεων εκπομπών και να ανακατανέμουν πρακτικά τις επιτρεπόμενες εκπομπές μεταξύ τους. Αυτό γίνεται αγοράζοντας τα δικαιώματα εκπομπής αερίων του θερμοκηπίου από άλλες χώρες του, που έχουν μειώσει τις εκπομπές τους κάτω από τις δεσμεύσεις τους. Επιτρέπει επίσης τη διακυβερνητική εμπορία δικαιωμάτων εκπομπών.

Ο δεύτερος, τα Προγράμματα από Κοινού (ΠΚ), προβλέπει την πραγματοποίηση έργων από μια χώρα για μείωση των εκπομπών σε κάποια άλλη χώρα. Αυτές οι δράσεις δίνουν στην πρώτη χώρα Μονάδες Μείωσης Εκπομπών αερίων θερμοκηπίου (ΜΜΕ). Ο μηχανισμός αυτός όμως παρουσιάζει κάποιες δυσκολίες όπως τη δημιουργία τεχνητών μειώσεων εκπομπών και γι αυτό προτιμάται συνήθως ο τρίτος μηχανισμός.

Ο Μηχανισμός Καθαρής Ανάπτυξης προβλέπει την επένδυση από χώρες σε χώρες αναπτυσσόμενες για την πραγματοποίηση έργων μείωσης εκπομπών. Οι μονάδες μείωσης εκπομπών που προκύπτουν σε ένα έργο ΜΚΑ ονομάζονται Βεβαιωμένες Μειώσεις Εκπομπών αερίων θερμοκηπίου (ΒΜΕ). Όταν μια χώρα επενδύει σε έργα σε κάποια άλλη χώρα κερδίζει μονάδες ΒΜΕ, τις οποίες μπορούν να χρησιμοποιήσουν για τη συμμόρφωση με τις δικές τους δεσμεύσεις. Στόχος του Μηχανισμού Καθαρής Ανάπτυξης είναι να βοηθήσει τα μη μέλη του να επιτύχουν βιώσιμη ανάπτυξη συμβάλλοντας ταυτόχρονα στο στόχο του Κιότο και βοηθάει τα μέλη του να συμμορφωθούν στα όρια εκπομπών με σημαντική μείωση του κόστους. Επίσης συμβάλλει στην προώθηση της χρήσης καθαρών τεχνολογιών στις αναπτυσσόμενες χώρες.

Τα αέρια που πραγματεύεται το Πρωτόκολλο του Κιότο είναι έξι:

- διοξείδιο του άνθρακα CO₂ [10] (που αποτελεί το σημαντικότερο αέριο)
- μεθάνιο CH₄
- υποξείδιο του αζώτου N₂O
- υδροφθοράνθρακες HFC
- πλήρως φθοριωμένοι υδρογονάνθρακες ή υπερφθοράνθρακες PFC
- εξαφθοριούχο θείο SF₆



Σχήμα 1.1: Εκπομπές CO₂ (ανά χώρα) από την παραγωγή ενέργειας και σχετικούς με αυτή τομείς (όπως οικιακός και εμπορικός τομέας, τομέας συγκοινωνιών, βιομηχανικός τομέας, ηλεκτρισμός και συμπαραγωγή)

Το Πρωτόκολλο του Κιότο δεν έχει επικυρωθεί από τις ΗΠΑ, αν και μια από τις προεκλογικές διακηρύξεις του νυν Προέδρου των Η.Π.Α. Μπαράκ Ομπάμα ήταν η επικύρωσή του. Επιπλέον, δεν προβλέπει δεσμεύσεις μείωσης των αερίων του θερμοκηπίου για τις αναπτυσσόμενες χώρες, με κυριότερες την Κίνα και την Ινδία.

1.5.2 Δράσεις της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Ένα από τα σημαντικότερα μέτρα που έχει λάβει η Ε.Ε. για την αντιμετώπιση των κλιματικών αλλαγών είναι η υιοθέτηση του Πρωτοκόλλου του Κιότο ενώ παράλληλα ενθαρρύνει τα κράτη μέλη να εφαρμόσουν τις πρωτοβουλίες σε εθνικό επίπεδο. Προκειμένου να επιτύχει τους στόχους μείωσης της εκπομπής αερίων που έχουν τεθεί από το Πρωτόκολλο του Κιότο, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή έθεσε σε εφαρμογή το Μάρτιο του 2000 το Ευρωπαϊκό Πρόγραμμα για την Αλλαγή του Κλίματος (European Climate Change Program - ECCP). Σύμφωνα με την Επιτροπή όλες οι χώρες, παγκοσμίως, θα πρέπει να προσπαθήσουν να επιτύχουν δύο στόχους.

Πρώτον, να περιορίσουν την αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη στους δύο βαθμούς Κελσίου και δεύτερον, να μειώσουν τις βλαβερές για το περιβάλλον εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα κατά 30% ως το 2020 (σ.σ. σύμφωνα με επιστημονικές εκτιμήσεις αν δεν ληφθούν μέτρα, η μέση θερμοκρασία του πλανήτη θα αυξηθεί τον 21ο αιώνα κατά 5 βαθμούς Κελσίου). Στο πλαίσιο του προγράμματος, η Επιτροπή συνεργάζεται με βιομηχανίες, περιβαλλοντικές οργανώσεις και άλλους ενδιαφερόμενους φορείς, για να προσδιοριστούν μέτρα μείωσης των εκπομπών με χαμηλό κόστος. Περισσότερα από 30 μέτρα έχουν ήδη τεθεί σε εφαρμογή. Μια θεμελιώδους σημασίας πολιτική της Ε.Ε. όσον αφορά την αλλαγή του κλίματος είναι το Σύστημα Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπών της Ε.Ε., που ξεκίνησε τον Ιανουάριο του 2005. Οι κυβερνήσεις της Ε.Ε. έχουν θέσει όρια στις ποσότητες CO₂, που μπορούν να εκπέμπουν ετησίως περίπου 10.500 μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και ενεργοβόρα εργοστάσια. Αυτές οι βιομηχανικές μονάδες

ευθύνονται για σχεδόν το ήμισυ των εκπομπών CO₂ στην Ε.Ε. Οι μονάδες, οι οποίες εκπέμπουν λιγότερο CO₂ από το επιτρεπόμενο, μπορούν να πωλήσουν τα αναξιοποίητα μερίδια εκπομπών σε άλλα εργοστάσια που δεν τα καταφέρνουν εξίσου καλά. Έτσι, υπάρχει και ένα οικονομικό κίνητρο να μειώσουν τις εκπομπές.

Επιπλέον, το σύστημα εξασφαλίζει ότι θα υπάρχουν αγοραστές για τα δικαιώματα εκπομπής, δηλαδή εταιρείες που υπερβαίνουν τα επιτρεπόμενα όρια εκπομπών και θα ήταν υποχρεωμένες να καταβάλλουν υψηλά πρόστιμα, εάν δεν αγόραζαν δικαιώματα εκπομπών από άλλους. Το Σύστημα Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπών διασφαλίζει τη μείωση των εκπομπών εκεί όπου αυτό είναι οικονομικά συμφέρον και περιορίζει το συνολικό κόστος μείωσης των εκπομπών.

Άλλα μέτρα στο πλαίσιο του ECCP αποσκοπούν στη βελτίωση της απόδοσης των καυσίμων των αυτοκινήτων και της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων (η καλύτερη μόνωση μπορεί να μειώσει το κόστος θέρμανσης κατά 90%!), την αυξανόμενη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως είναι η αιολική, η ηλιακή, η παλιρροϊκή, η βιομάζα (οργανικές ύλες, όπως ξύλο, υποπροϊόντα άλεσης, φυτά, ζωικά περιττώματα κ.λπ.) και η γεωθερμική ενέργεια (θέρμανση από τις θερμές πηγές ή τα ηφαιστεια), και τη μείωση των εκπομπών μεθανίου από τις χωματερές.

Η δεύτερη φάση του ECCP ξεκίνησε τον Οκτώβριο του 2005, με στόχο το σχεδιασμό περαιτέρω ανάπτυξης μέτρων μείωσης των εκπομπών με χαμηλό κόστος. Η φάση αυτή εστιάζει στην ανάπτυξη προτάσεων με σκοπό την ενίσχυση του Συστήματος Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπών της Ε.Ε., την αντιμετώπιση των εκπομπών των επιβατικών αεροπορικών και οδικών μεταφορών, την ανάπτυξη τεχνολογιών δέσμευσης και αποθήκευσης του άνθρακα και το σχεδιασμό μέτρων προσαρμογής στις αναπόδραστες συνέπειες των κλιματικών μεταβολών. Βάσει των εργασιών αυτών, η Επιτροπή πρότεινε πρόσφατα νόμους για την εισαγωγή των αεροπορικών εταιρειών στο Σύστημα Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπών της Ε.Ε. και τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από τα οδικά καύσιμα. Έχει επίσης ανακοινώσει ότι θα προωθήσει νομοθεσία για τη μείωση των εκπομπών CO₂ από τα καινούρια αυτοκίνητα.

Συγκεκριμένα, για να περιοριστεί η αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη στους δύο βαθμούς Κελσίου η Επιτροπή πιστεύει πως θα πρέπει να γίνουν οι εξής προσπάθειες:

- Να περιοριστούν οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα ως το 2020 κατά 30% παγκοσμίως και ως το 2050 οι εκπομπές άνθρακα θα πρέπει να μειωθούν κατά 50% (σ.σ. με έτος αναφοράς το 1990).
- Η ΕΕ θα πρέπει να συνεχίσει τις αυτόνομες προσπάθειές της για μείωση των εκπομπών άνθρακα ως το 2020, τουλάχιστον κατά 20%.
- Πέρα από τις αναπτυγμένες χώρες οι οποίες θα πρέπει να συνεχίσουν να στηρίζουν το μεγαλύτερο μέρος της παγκόσμιας προσπάθειας για μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, χρειάζεται δράση και από την πλευρά των αναπτυσσόμενων χωρών, οι οποίες θα πρέπει να αρχίσουν να περιορίζουν τις αυξανόμενες εκπομπές τους σε διοξείδιο του άνθρακα.
- Να σταματήσει η αποψίλωση τροπικών δασών, στην οποία φιλέται το 20% της υπερθέρμανσης του πλανήτη, ποσοστό υψηλότερο από αυτό που προκαλεί ο τομέας των μεταφορών.
- Η εφαρμογή ενός Σχεδίου Κατανομής Δικαιωμάτων Εκπομπών Ρύπων σε όλες τις αναπτυγμένες χώρες, όπως αυτό που εφαρμόζεται στην ΕΕ, θα βοηθήσει στην περαιτέρω μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα.

Σε ό,τι αφορά τη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα στην ΕΕ η Επιτροπή προτείνει τα εξής:

- Βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας της ΕΕ κατά 20% μέχρι το 2020
- Αύξηση της χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας κατά 20% μέχρι το 2020
- Ενίσχυση του Ευρωπαϊκού Συστήματος Κατανομής Δικαιωμάτων Εκπομπών για τις βιομηχανίες
- Περιορισμός των ρύπων που προέρχονται από τον τομέα των μεταφορών και κυρίως από τα ιδιωτικά Ι.Χ. και τις αεροπορικές εταιρείες

- Μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα που προέρχονται από την καθημερινή χρήση ενέργειας που κάνουν τα νοικοκυριά, τα εμπορικά κτίρια κτλ.
- Σημαντική αύξηση του ευρωπαϊκού προϋπολογισμού, μετά το 2013, για δράσεις που θα αφορούν το περιβάλλον, την ενέργεια και την έρευνα κυρίως στον τομέα των μεταφορών.

Δεδομένου ότι οι στόχοι του Κιότο εκπνέουν το 2012, η Ευρωπαϊκή Ένωση ασκεί πιέσεις για τη σύναψη νέας διεθνούς συμφωνίας, προκειμένου να διασφαλιστεί η αναχαίτιση της παγκόσμιας θέρμανσης, πριν ξεπεράσει τους 2°C, σε σχέση με τα επίπεδα θερμοκρασίας της προ-βιομηχανικής εποχής. Οι επιστήμονες θεωρούν τους 2°C ως το όριο, πέραν του οποίου, οι κλιματικές αλλαγές θα μπορούσαν να πυροδοτήσουν μη ανατρέψιμες και πιθανότατα καταστροφικές αλλαγές στον πλανήτη.

Έχοντας υπ' όψιν αυτό το όριο θερμοκρασίας, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή πρότεινε τον Ιανουάριο του 2007 μια στρατηγική για το κλίμα και την ενέργεια, η οποία συνίσταται σε μια σειρά φιλόδοξων στόχων και μέτρων, τα οποία επικυρώθηκαν από τους ηγέτες της Ε.Ε. δύο μήνες αργότερα.

Η Ε.Ε. έχει πλέον δεσμευτεί να μειώσει τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου τουλάχιστον κατά 20% σε σχέση με τα επίπεδα του 1990 έως το 2020 και σε περαιτέρω μείωση έως το 30%, εφόσον και οι άλλες βιομηχανοποιημένες χώρες συμφωνήσουν να πράξουν το ίδιο και αναλάβουν δράση και οι αναπτυσσόμενες χώρες. Για πετύχουν τη μείωση κατά 20% τουλάχιστον, τα ήδη υφιστάμενα μέτρα, όπως το Σύστημα ETS, θα πρέπει να συμπληρωθούν με νέα μέτρα, που θα αποσκοπούν ειδικά στην ενίσχυση της ενεργειακής απόδοσης κατά 20% έως το 2020, την αύξηση του μεριδίου των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο 20% έως το 2020 και τον εξοπλισμό των νέων εργοστασίων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με τεχνολογία δέσμευσης και αποθήκευσης άνθρακα.

1.5.3 Η κατάσταση στην Ελλάδα

Η Ελλάδα πιο συγκεκριμένα είναι από τις ελάχιστες αναπτυγμένες χώρες που έχουν το δικαίωμα να αυξήσουν τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου βάσει του Πρωτοκόλλου του Κιότο (+25%). Το 2005, είχε ήδη αυξήσει τις εκπομπές της κατά 28% σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990. Τα επίσημα στοιχεία προβλέπουν αύξηση κατά 38,4% έως το 2010 και 58,4% έως το 2020. Μόλις το 3% της ηλεκτροπαραγωγής της χώρας καλύπτεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Το 9% καλύπτεται από μεγάλα υδροηλεκτρικά φράγματα και το υπόλοιπο 88% από ορυκτά καύσιμα με κυριότερο το λιγνίτη(55%). Τα σημαντικότερα κοιτάσματα λιγνίτη στην Ελλάδα (Πτολεμαΐδα, Κοζάνη, Μεγαλόπολη) θα εξαντληθούν μέσα στα επόμενα 30 χρόνια, ακόμα και αν συνεχίσουμε να τα εκμεταλλευόμαστε με τον ίδιο ρυθμό. Τα τελευταία 40 χρόνια οι βροχοπτώσεις μειώθηκαν κατά 10 – 30% στη χώρα μας και η μέση μέγιστη θερμοκρασία αναμένεται να αυξηθεί κατά 8 βαθμούς Κελσίου έως το τέλος του αιώνα (από 33 σε 41 βαθμούς Κελσίου). Τέλος, οι πιο ευάλωτες περιοχές στις κλιματικές αλλαγές είναι οι Κυκλάδες, η Θεσσαλία, η Κρήτη και η Θεσσαλονίκη.

2. Η ΤΡΥΠΑ ΤΟΥ ΟΖΟΝΤΟΣ

2.1 Ο ρόλος της ατμόσφαιρας

Ατμόσφαιρα γήινη

Συχνά θεωρείται δεδομένη η ύπαρξη της ατμόσφαιρας. Η ατμόσφαιρα, βασική προϋπόθεση για όλες τις μορφές ζωής πάνω στη Γη, είναι το σύνολο των στρωμάτων των αερίων, των ατμών και των υγρών και στερεών σωματιδίων που εκτείνονται από τη γήινη επιφάνεια μέχρι τα όρια του διαπλανητικού διαστήματος. Η ατμόσφαιρα αποτελεί ένα περίβλημα της Γης, απομονώνοντας την επιφάνεια της, μη αφήνοντας τη θερμότητα να διαφεύγει και διατηρώντας τη θερμοκρασία σε ανεκτά επίπεδα.

Η ατμόσφαιρα φιλτράρει τις επιβλαβείς ηλιακές ακτινοβολίες ή αναχαιτίζει τους μετεωρίτες πριν πέσουν στη γήινη επιφάνεια. Αποτελεί επίσης απαραίτητη προϋπόθεση για τις ραδιοεπικοινωνίες, γιατί μερικά στρώματα της ατμόσφαιρας αντανακλούν και ξαναστέλλουν στη γήινη επιφάνεια τα ραδιοκύματα.

Τα διάφορα στρώματα της ατμόσφαιρας διακρίνονται μεταξύ τους ανάλογα με τη χημική τους σύσταση, τη θερμοκρασία, το ύψος, τις ηλεκτρικές ιδιότητες και την ένταση της τυρβώδους κίνησης του αέρα σ' αυτά. Το πάχος των στρωμάτων αυτών μεταβάλλεται ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες, την περίοδο του έτους και της ημέρας. Ο αέρας στην κατώτερη ατμόσφαιρα αποτελείται από ένα σταθερό συνήθως μίγμα αερίων, μοριακών στοιχείων και ιχνοστοιχείων, εκτός από τους υδρατμούς, των οποίων η ποσότητα είναι μεταβλητή.

Οι κατακόρυφες μετατοπίσεις των αερίων της ατμόσφαιρας, όταν θερμαίνονται ή ψύχονται, και οι οριζόντιες, που οφείλονται σε μεταβολές των βαρομετρικών πιέσεων, προκαλούν τη μετακίνηση μαζών αέρα, οι οποίες με τη σειρά τους προσδιορίζουν τις μεταβολές των καιρικών συνθηκών.

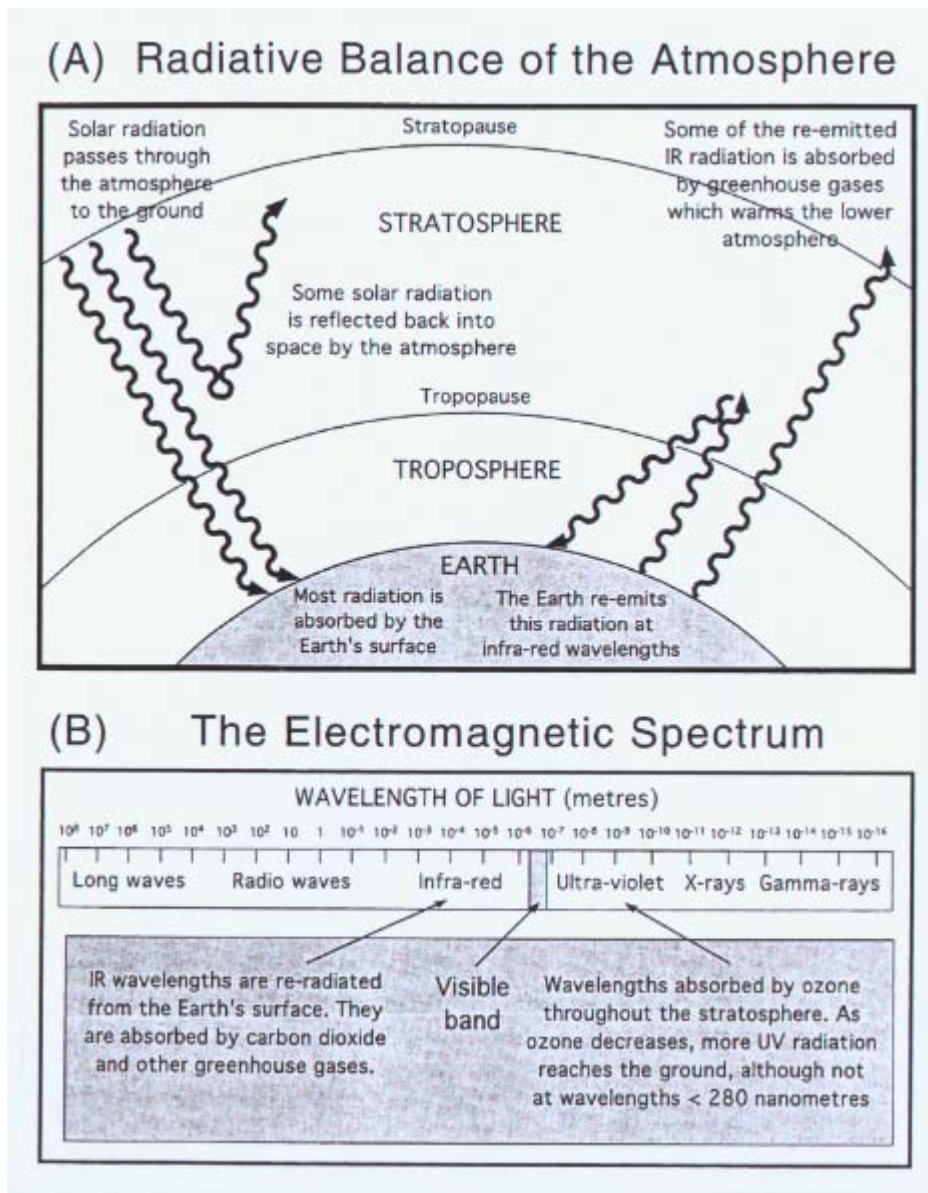
Η στρατόσφαιρα εκτείνεται από το ανώτερο όριο της τροπόσφαιρας μέχρι 48 χιλιόμετρα πάνω από την επιφάνεια της Γης. Διακρίνεται από την τροπόσφαιρα από την έλλειψη υδρατμών, από τη χαμηλή πυκνότητα της και από τις μεταβολές της θερμοκρασίας. Ενώ στην τροπόσφαιρα η θερμοκρασία μειώνεται με την αύξηση του ύψους, στη στρατόσφαιρα συμβαίνει το αντίθετο. Η τάση αυτή αντιστρέφεται ξανά στη μεσόσφαιρα, όπου η θερμοκρασία μειώνεται σταδιακά ενώ πλησιάζουμε τα ανώτερα όρια της, σε ύψος 88 χιλιομέτρων. Οι διάφοροι αυτοί τύποι μεταβολών της θερμοκρασίας είναι σημαντικοί, γιατί συντελούν στο σαφή διαχωρισμό των στρωμάτων της ατμόσφαιρας.

Ένα χαρακτηριστικό της κατώτερης ατμόσφαιρας είναι το στρώμα του όζοντος, ένα λεπτό περίβλημα που βρίσκεται σε ύψος 50 χιλιομέτρων περίπου από την επιφάνεια της Γης. Τα μόρια

του οξυγόνου (O_2) διασπώνται από την ενέργεια των φωτεινών κυμάτων χαμηλής συχνότητας, που προέρχονται από τον Ήλιο, σε απλά άτομα οξυγόνου· η διαδικασία αυτή ονομάζεται φωτοδιάσπαση. Τα άτομα αυτά συγκρούονται με άλλα μόρια οξυγόνου σχηματίζοντας μόρια όζοντος (O_3). Το όζον έχει την πολύ σημαντική αποστολή να απορροφά πολλές υπεριώδεις ακτίνες που προέρχονται από τον Ήλιο, θερμαίνοντας τη στρατόσφαιρα και προφυλάσσοντας τη Γη από επικίνδυνες ακτινοβολίες. Χωρίς το όζον στην ατμόσφαιρα, καμιά μορφή ζωής δεν θα μπορούσε να αναπτυχθεί στη Γη. Διασπασμένα από τις υπεριώδεις ακτίνες τα μόρια του όζοντος συνεχίζουν να συμμετέχουν σε σημαντικές για την ατμόσφαιρα χημικές αντιδράσεις.

Σε απόσταση 100 χιλιομέτρων περίπου από την επιφάνεια της Γης βρίσκεται ανώτερη ατμόσφαιρα, η οποία αποτελείται με τη σειρά της από τη θερμόσφαιρά και την εξώσφαιρα. Ο αέρας είναι πιο αραιός και η θερμοκρασία αυξάνεται με το ύψος. Στα εξωτερικά όρια της εξώσφαιρας (περίπου 1.000 χλμ. από τη Γη) οι φυσικές ιδιότητες της ατμόσφαιρας είναι όμοιες με εκείνες του διαστήματος.

Δύο περιοχές της ατμόσφαιρας διακρίνονται για τις ηλεκτρικές τους ιδιότητες. Η ιονόσφαιρα, η οποία επικαλύπτει την ανώτερη ατμόσφαιρα και ένα μέρος της κατώτερης (από 60 έως 600 χλμ.), αποτελείται από ιόντα υψηλού ηλεκτρικού φορτίου και ελεύθερα ηλεκτρόνια. Τα σωματίδια αυτά λειτουργούν σαν ατμοσφαιρικός αναμεταδότης, αντανακλώντας τα ραδιοσήματα από το ένα πλευρό της Γης στο άλλο και καθιστώντας δυνατές τις επικοινωνίες παρά το σφαιρικό σχήμα του πλανήτη. Ξεκινώντας από ύψος 400 χιλιομέτρων και φτάνοντας μέχρι και 60.000 χιλιόμετρα βρίσκεται ένας χώρος από ηλεκτρικά φορτισμένα σωματίδια, οι λεγόμενες ζώνες ακτινοβολίας Βαν Άλεν. Παρά την τεραστία απόσταση, οι ζώνες αυτές θεωρούνται μέρος της ατμόσφαιρας, επειδή φαίνεται ότι τα σωματίδια που τις απαρτίζουν υπόκεινται στις μαγνητικές δυνάμεις της Γης. Η περιοχή την οποία καταλαμβάνουν αυτά τα σωματίδια ονομάζεται μαγνητόσφαιρα. Οι ζώνες ακτινοβολίας Βαν Άλεν αποτελούνται από ρεύματα ηλεκτρικά φορτισμένων σωματιδίων, που προέρχονται από τον Ήλιο (γνωστά γενικά ως ηλιακός άνεμος) και ταξιδεύουν κατά μήκος των μαγνητικών γραμμών του γήινου μαγνητικού πεδίου.



ΕΙΚΟΝΑ 2.1 Α: ΙΣΟΡΡΟΠΙΑ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ, Β:ΤΟ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΦΑΣΜΑ

Ατμόσφαιρας εξελικτική πορεία

Η ιστορία της γήινης ατμόσφαιρας είναι η ιστορία των αερίων της: πώς προήλθαν, πώς αλληλεπιδρούν και πώς προσαρμόζονται στις μεταβαλλόμενες συνθήκες. Η ατμόσφαιρα της Γης, όπως και ο ίδιος ο πλανήτης, βρίσκεται σε μια κατάσταση συνεχούς αλλαγής, αλλά υπάρχουν ελάχιστες άμεσες μαρτυρίες για την προέλευση της.

Οι επιστήμονες συμφωνούν ότι η ατμόσφαιρα αποτελεί μέρος ενός πολύπλοκου συστήματος αλληλεπιδράσεων ανάμεσα στη βιόσφαιρα (τον έμβιο κόσμο των φυτών και των ζώων του πλανήτη), στη λιθόσφαιρα (το φλοιό της Γης) και στην υδρόσφαιρα (το συνολικό ποσό νερού στη Γη, με τους ωκεανούς, τους πολικούς πάγους και τους υδρατμούς). Όταν η Γη άρχισε να σχηματίζεται, περίπου 4.600 εκατομμύρια χρόνια πριν, δεν υπήρχαν ωκεανοί, φυτά ή ζώα αλλά ούτε και

ατμόσφαιρα. Σύμφωνα με την περισσότερο αποδεκτή θεωρία, η ατμόσφαιρα προήλθε μάλλον από ηφαιστειακή δραστηριότητα.

Οι επιστήμονες πιστεύουν ότι θύλακες αερίων παγιδεύτηκαν μέσα σε στερεά ύλη κατά τη διάρκεια του σχηματισμού του πλανήτη, προερχόμενοι από «μη καθαρές χιονόσφαιρες», τα παγωμένα σωματίδια του μεσοαστρικού χώρου. Αυτές οι πτητικές ουσίες, γνωστές ως «νεαρά αέρια», παγιδεύτηκαν βαθιά μέσα σε πετρώματα και μεταφέρθηκαν στο έδαφος με τη μορφή λάβας, θερμικών υδάτων, ατμών από ηφαιστειακά ανοίγματα και άλλων προϊόντων της διαφυγής αερίων. Ανάμεσα στα αέρια που θεωρούνται νεαρά είναι οι υδρατμοί, το υδρογόνο, το υδροχλώριο, η αμμωνία, το ήλιο, το υδρόθειο, το αργό, το θείο, το μεθάνιο, το φθόριο και ίσως το διοξείδιο του άνθρακα. (Υπάρχει κάποια διαφωνία αναφορικά με το αν το μονοξείδιο του άνθρακα και το άζωτο μπορούν να χαρακτηριστούν νεαρά αέρια ή αν είναι προϊόντα υπέργειων χημικών αντιδράσεων). Μετά την έκρηξη τα αέρια αυτά διατηρήθηκαν κοντά στην επιφάνεια της Γης από τη βαρύτητα.

Η πρώιμη ηφαιστειακή δραστηριότητα στη Γη απελευθέρωσε τεράστιες ποσότητες ατμού, δημιουργώντας, όπως πιστεύεται, τα πρώτα σύννεφα, τις πρώτες βροχοπτώσεις και επομένως τους πρώτους όγκους νερού στη Γη — δηλαδή την υδρόσφαιρα. Η παρουσία του νερού ήταν αποφασιστική για την τελική παραγωγή του οξυγόνου, που είναι απαραίτητο για τη ζωή.

Δύο είναι οι φυσικές διαδικασίες παραγωγής οξυγόνου στη γήινη ατμόσφαιρα. Η μία πηγή οξυγόνου είναι η φωτολυτική αποσύνθεση, κατά την οποία υπεριώδεις ακτίνες από τον Ήλιο διασπών μόρια υδρατμού (H_2O) σε απλά μόρια οξυγόνου και υδρογόνου. Η άλλη και κυριότερη πηγή είναι η βιόσφαιρα, απ' όπου προέρχεται ως υποπροϊόν της φωτοσύνθεσης.

Διάφορες μαρτυρίες οδηγούν στην υπόθεση ότι, κατά τη διάρκεια μιας περιόδου που εκτείνεται από 3.600 μέχρι 1.900 εκατομμύρια χρόνια πριν, δεν υπήρχε ελεύθερο οξυγόνο στη Γη. Η απουσία ατμοσφαιρικού οξυγόνου (δηλαδή η ύπαρξη αναερόβιου περιβάλλοντος) ήταν απολύτως απαραίτητη για το ξεκίνημα της ζωής. Πιστεύεται ότι οι πρώτοι μονοκύτταροι υδρόβιοι οργανισμοί άρχισαν να αναπτύσσονται περίπου πριν 3.600 εκατομμύρια χρόνια. Αν υπήρχε οξυγόνο, ο πρωταρχικός του ρόλος σε ορισμένες χημικές αντιδράσεις θα είχε αποτρέψει το σχηματισμό αμινοξέων, πρωτεϊνών, νουκλεϊκών οξέων και άλλων οργανικών μορίων, τα οποία αποτελούν τα δομικά υλικά της ζωής.

Η πρώτη φυτική ζωή εμφανίστηκε στο νερό, πιθανώς πλέοντας στα ρηχά νερά κάτω από την επιφάνεια. Το βάθος των νερών αυτών ήταν καθοριστικής σημασίας. Πολύ κοντά στην επιφάνεια, οι ευαίσθητοι οργανισμοί θα ήταν εκτεθειμένοι στη θανατηφόρα υπεριώδη ακτινοβολία: πολύ κάτω από την επιφάνεια, τα φωτοσυνθετικά κύτταρα δεν θα μπορούσαν να δεχτούν ικανές ποσότητες ηλιακού φωτός. Καθώς αυτή η υδρόβια ζωή άρχισε να παρέχει οξυγόνο στο περιβάλλον, ένα αέριο με μόρια που αποτελούνται από τρία άτομα οξυγόνου, το όζον (O_3), εμφανίστηκε στην ατμόσφαιρα

φιλτράροντας τις δολοφονικές υπεριώδεις ακτίνες. Έτσι δημιουργήθηκαν οργανισμοί που χρησιμοποιούσαν οξυγόνο (πρωτόγονα ζώα) και εξαπλώθηκαν τελικά στην ξηρά.

Η ποσότητα οξυγόνου και διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα ρυθμίζεται σήμερα από πολύπλοκες χημικές αντιδράσεις, στις οποίες συμμετέχουν μικροσκοπικοί υδρόβιοι οργανισμοί, τα τρηματοφόρα, καθώς και ορισμένα πετρώματα της λιθόσφαιρας. Τα τρηματοφόρα αποσπών διοξείδιο του άνθρακα από την ατμόσφαιρα για να σχηματίσουν ενώσεις με άνθρακα (ανθρακικό ασβέστιο, το οποίο συγκεντρώνεται στα κελύφη των τρηματοφόρων και συμπιέζεται αργότερα σε ασβεστόλιθο). Ως αποτέλεσμα του ανθρακικού σχηματισμού, ιόντα υδρογόνου «διατρέχουν» το φλοιό της Γης και συλλαμβάνουν άτομα οξυγόνου από μεταλλικές ενώσεις, τα οξείδια. Αυτές οι ενώσεις πρέπει να αποσπάσουν άτομα οξυγόνου από την ατμόσφαιρα για να διατηρήσουν τη χημική τους κατάσταση.

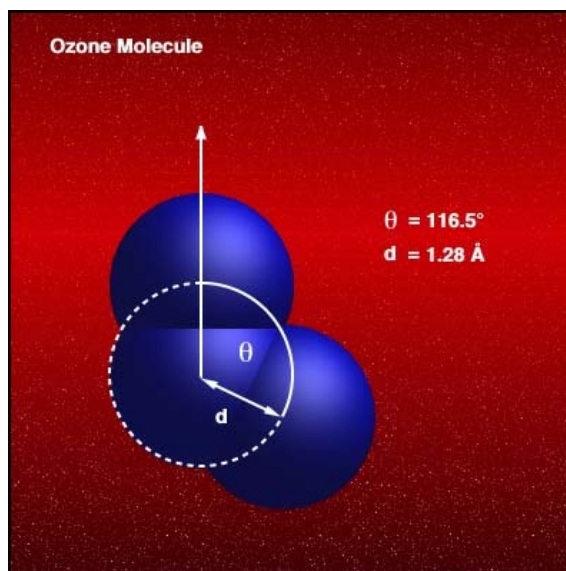
Η αποτελεσματικότητα αυτού του συστήματος γίνεται φανερή από το γεγονός ότι μόνο το 10% όλου του οξυγόνου που έχει παραχθεί από φωτοσύνθεση βρίσκεται στην επιφάνεια της Γης. Το υπόλοιπο — απορροφημένο στους ωκεανούς και στο έδαφος— πιστοποιεί την αόρατη διαδικασία η οποία έχει διαμορφώσει τη σύνθεση της ατμόσφαιρας της Γης.

2.2 Το στοιχείο όζον

Μια άλλη μορφή του οξυγόνου στην ατμόσφαιρα είναι το όζον (O_3) που κατά 90% περιέχεται στη Στρατόσφαιρα (σε υψόμετρο από 19 έως 48 χιλιόμετρα, από την επιφάνεια της Γης) και κατά 10% στην Τροπόσφαιρα. Ο φυσικός ρόλος του όζοντος στη Στρατόσφαιρα είναι διττός:

- α) Θερμαίνει την περιοχή απορροφώντας μέρος της ηλιακής υπεριώδους ακτινοβολίας και
- β) Δεσμεύει το μέρος της υπεριώδους ακτινοβολίας που, εάν έφτανε στο έδαφος, θα κατέστρεφε το οικοσύστημα.

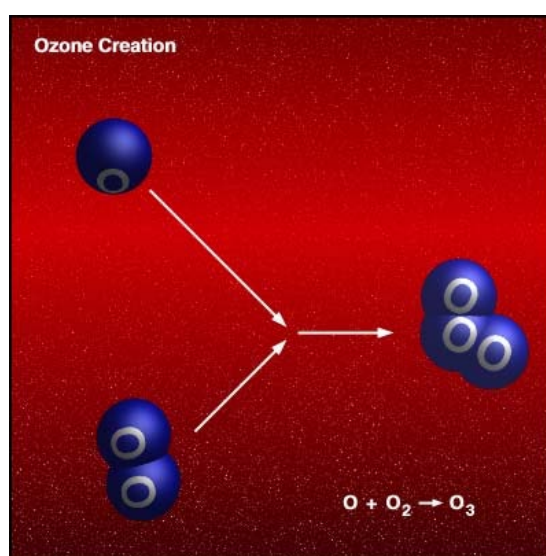
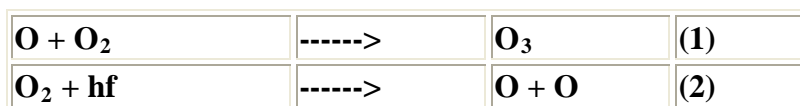
Το όζον, άγνωστο πριν το 1839, είναι ένα αέριο στοιχείο ασταθές, κατ' άλλους ιδιαίτερα, κατ' άλλους σχετικά, που το μόριο του αποτελείται από τρία άτομα οξυγόνου και του οποίου ο χημικός τύπος είναι O_3 . Η ονομασία αυτού του τύπου οξυγόνου προέρχεται από το ρήμα όζω και ήδη από το 1850 είναι γνωστό πως αποτελεί "φυσικό συστατικό της ατμόσφαιρας".



ΕΙΚΟΝΑ 2.2 Η ΜΟΡΙΑΚΗ ΔΟΜΗ ΤΟΥ ΟΖΟΝΤΟΣ

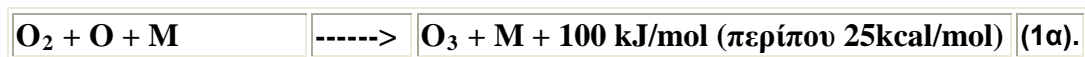
Όπως είναι γνωστό, η ατμόσφαιρα αποτελείται από την τροπόσφαιρα, το στρώμα δηλαδή εκείνο που βρίσκεται πιο κοντά στη γη, από τη στρατόσφαιρα, από τη μεσόσφαιρα, από τη θερμόσφαιρα και την εξώσφαιρα. Από τα 70 χλμ. και πάνω διακρίνουμε δύο ατμοσφαιρικά στρώματα, την ιοντόσφαιρα και τη μαγνητόσφαιρα. Συγκεντρώσεις όζοντος απαντώνται τόσο στην τροπόσφαιρα όσο και στη στρατόσφαιρα.

Το όζον σε γενικές γραμμές φτιάχνεται από το μοριακό οξυγόνο με την προσθήκη ενός ακόμη ατόμου οξυγόνου, που δημιουργείται από τη δράση της υπεριώδους ακτινοβολίας.

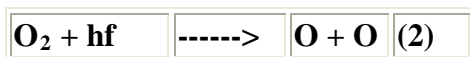


ΕΙΚΟΝΑ 2.3 ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΟΖΟΝΤΟΣ

Η αντίδραση (1), που είναι γραμμένη σε όλα τα σχολικά βιβλία, δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί σε ελεύθερη περιοχή, μόνο με τη συμμετοχή του ατομικού και μοριακού οξυγόνου, επειδή ελευθερώνεται ενέργεια την οποία χρησιμοποιεί το όζον για να διασπασθεί εκ νέου. Αυτό συμβαίνει γιατί το όζον δεν έχει αρκετούς βαθμούς ελευθερίας, ώστε να καταναίμει ολόκληρη την ελευθερούμενη ενέργεια, εσωτερικά. Επομένως η διαδικασία του σχηματισμού του όζοντος είναι δυνατή μόνο με τον εξής τρόπο. Να συμμετάσχει και μία τρίτη ενδιάμεση χημική ένωση M σαν καταλύτης:



Στην αντίδραση (1α) η ένωση M είναι ένα μόριο που βγαίνει αμετάβλητο από την αντίδραση, αλλά απομακρύνει την "πλεονάζουσα" ενέργεια (100 kJ/mol), για να μην την πάρει εκ νέου το όζον και διασπασθεί. Αυτή η ενέργεια μοιράζεται σαν κινητική ενέργεια στο μόριο M. Το ατμοσφαιρικό N₂ άζωτο είναι συχνά η τρίτη ενδιάμεσος ένωση M, η οποία βρίσκεται σε τεράστιες ποσότητες, περίπου το 79% στον αέρα είναι N₂. Κατά συνέπεια ο θεωρητικός αριθμός των μορίων του όζοντος που μπορεί να παράγεται ανά cm³ και ανά δευτερόλεπτο με την βοήθεια της αντίδρασης (1α) στην στρατόσφαιρα είναι 5*10¹⁰. Με αυτήν την πυκνότητα του όζοντος που αναφέρθηκε πιο πάνω, θα μπορούσε να αναπτυχθεί όλο το στρώμα του όζοντος μέσα σε 100 δευτερόλεπτα. Αλλά αυτό δεν συμβαίνει, εξ'αιτίας της αργής αντίδρασης (2), η οποία δεν μπορεί να παράγει γρήγορα τα αναγκαία ατομικά οξυγόνα για την δημιουργία του όζοντος. Ενώ το O₂ φθάνει στην ατμόσφαιρα από την φωτοσύνθεση στα φυτά και εκτός από το μοριακό άζωτο, πρέπει να παραχθούν για το σχηματισμό του όζοντος μέσα στη στρατόσφαιρα και τα απαραίτητα άτομα O, κατα συνεχή τρόπο και σε μικρές ποσότητες. Αυτή διαδικασία γίνεται μέσω της ενέργειας της υπεριώδους (UV) ακτινοβολίας του ήλιου, η οποία είναι σε θέση να διαχωρίσει το μοριακό O₂ σε άτομα.



2.2.1 Το τροποσφαιρικό όζον

Το τροποσφαιρικό όζον είναι ένα αναπόσπαστο τμήμα του ελέγχου της οξειδωτικής ικανότητας της τροπόσφαιρας, καθώς η απορρόφηση ακτινοβολίας στην περιοχή του εγγύς υπεριώδους (290-310 nm) ενεργοποιεί μια αλυσίδα αντιδράσεων παραγωγής ελεύθερων ριζών, οι οποίες ευθύνονται για την οξείδωση πολλών αερίων ενώσεων, όπως το μονοξείδιο του άνθρακα, το μεθάνιο, οι μη μεθανικοί υδρογονάνθρακες, που διαφορετικά θα δρούσαν ως πολύ ισχυρά αέρια του θερμοκηπίου. Το υδροξύλιο το πιο δραστικό οξειδωτικό σώμα κατά τη διάρκεια της ημέρας στην τροπόσφαιρα

και υπεύθυνο για την οξειδωση των περισσότερων ατμοσφαιρικών αερίων - παράγεται παρουσία υδρατμών κυρίως από τη φωτόλυση του όζοντος.

Επομένως αλλαγές στο όζον μπορούν να επηρεάσουν τις συγκεντρώσεις του υδροξυλίου που με τη σειρά του μπορεί να επηρεάσει τις συγκεντρώσεις πολλών αερίων που οξειδώνονται από αυτό. Είναι αξιοσημείωτο ότι αν και το τροποσφαιρικό όζον είναι περίπου το 10% του ολικού όζοντος της ατμόσφαιρας, είναι πάρα πολύ σημαντικό στον καθορισμό της οξειδωτικής ικανότητας της τροπόσφαιρας. Όμως και το όζον είναι από μόνο του ένα οξειδωτικό αέριο, και εμφανίζει ιδιαίτερα ισχυρή οξειδωτική δράση όταν βρίσκεται σε συγκεντρώσεις πάνω από 40 ppb κοντά στο έδαφος.

Στην ανώτερη τροπόσφαιρα το όζον εμφανίζεται ως πολύ σημαντικό αέριο του θερμοκηπίου, αφού απορροφά τη γήινη θερμική ακτινοβολία με μήκος κύματος 10 μm περίπου, και παίζει έτσι σημαντικό ρόλο στο ενεργειακό ισοζύγιο της τροπόσφαιρας. Μια αύξηση του τροποσφαιρικού όζοντος μπορεί να οδηγήσει σε θέρμανση του συστήματος τροπόσφαιρα-επιφάνεια μέσω της αύξησης της απορρόφησης και της ηλιακής αλλά και της γήινης (θερμικής) ακτινοβολίας.

Οι μεταβολές του όζοντος τις τελευταίες δύο δεκαετίες υπολογίστηκε ότι έχουν σημαντική επίδραση στο ισοζύγιο της ακτινοβολίας στη Γη. Αυτοί οι υπολογισμοί δίνουν μια εκτίμηση της αύξησης της απορροφούμενης ακτινοβολίας της τάξης του 0,2 +/-0.15 Watt ανά τετ. μέτρο για την αύξηση του τροποσφαιρικού όζοντος από την προβιομηχανική εποχή μέχρι σήμερα.

Η προέλευση του τροποσφαιρικού όζοντος

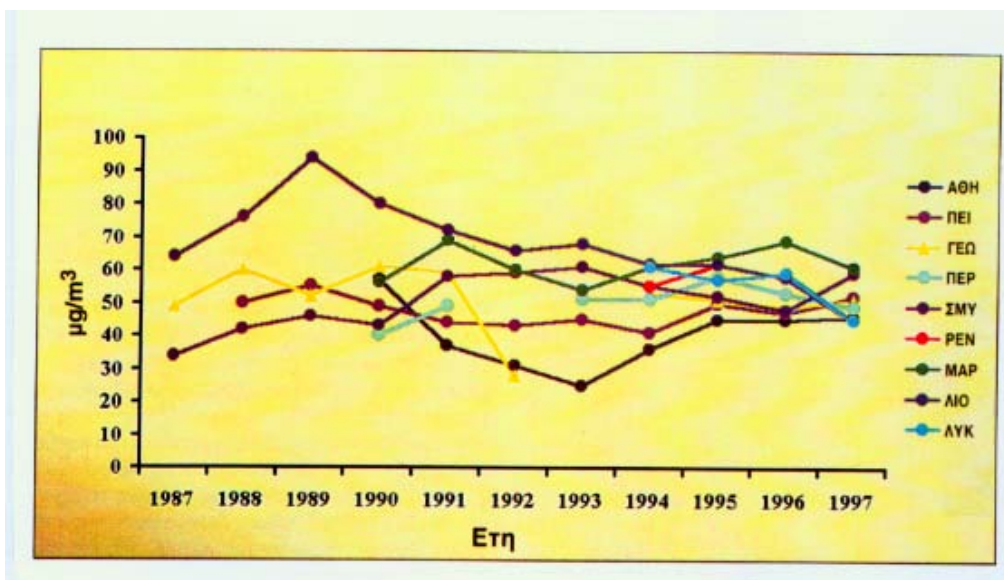
Το τροποσφαιρικό όζον προέρχεται κατά ένα μέρος από φωτοχημική παραγωγή στην τροπόσφαιρα και κατά ένα άλλο μέρος από μεταφορά αέρα από την στρατόσφαιρα, που είναι πλούσια σε όζον. Έτσι το ολικό ισοζύγιο του όζοντος στην τροπόσφαιρα συνίσταται από μεταφορά από τη στρατόσφαιρα, τοπική φωτοχημική παραγωγή, απόθεση στην επιφάνεια της Γης και τοπική φωτοχημική καταστροφή.

Για μεγάλο χρονικό διάστημα η δέσμευση του όζοντος μέσω απόθεσης στην επιφάνεια της Γης θεωρείτο ως η μόνη διαδικασία καταστροφής του όζοντος στην τροπόσφαιρα και μάλιστα παρόμοιας τάξης μεγέθους με την εισροή όζοντος από την στρατόσφαιρα. Νεώτεροι υπολογισμοί δείχνουν ότι η καταστροφή του όζοντος από την απόθεση στην επιφάνεια της Γης είναι 2 - 5 φορές μεγαλύτερη από την εισροή του από την στρατοσφαιρα, και ότι η εξισορρόπηση του ισοζυγίου του όζοντος καλύπτεται από φωτοχημική παραγωγή, που περιλαμβάνει τον σχηματισμό του όζοντος τόσο στην ελεύθερη τροπόσφαιρα όσο και στο ατμοσφαιρικό οριακό στρώμα.

Ήδη από τις δεκαετίες του '70 και '80 συζητείτο έντονα ποιο από τα φαινόμενα, στρατοσφαιρική εισροή ή φωτοχημεία, είναι η πιο σημαντική πηγή του τροποσφαιρικού όζοντος. Στην αρχή, όπως αναφέρθηκε, θεωρήθηκε ότι το όζον προέρχεται από τη στρατόσφαιρα και

καταστρέφεται στην επιφάνεια της Γης, θεωρώντας ότι το όζον δρα ως αδρανές αέριο στην τροπόσφαιρα και ότι δεν λαμβάνει μέρος σε καμιά χημική αντίδραση. Με βάση αυτές τις ιδέες, ο παρατηρούμενος εποχικός κύκλος του όζοντος - με ένα ευκρινές μέγιστο την άνοιξη στην ελεύθερη τροπόσφαιρα και σε άλλες αρρύπαντες περιοχές - αποδόθηκε στη δραστηριότητα των στρατοσφαιρικών εισροών που είναι πολύ πιο έντονη κατά τον χειμώνα και την αρχή της άνοιξης. Αυτή η θεωρία, όμως, δεν μπορούσε να εξηγήσει την παρατηρούμενη αύξηση του όζοντος στην τροπόσφαιρα του βορείου ημισφαιρίου τον τελευταίο αιώνα.

Μερικοί ερευνητές πρότειναν, τότε, ότι ο σχηματισμός όζοντος από την οξειδωση του μεθανίου και του μονοξειδίου του άνθρακα, παρουσία αρκετής ποσότητας οξειδίων του αζώτου, θα μπορούσε να είναι μια σημαντική πηγή τροποσφαιρικού όζοντος. Μια τέτοια χημική θεωρία θα ήταν δυνατό να εξηγήσει την αύξηση του όζοντος εξαιτίας της αυξανόμενης αέριας ρύπανσης. Σύντομα αναπτύχθηκαν αρκετές χημικές θεωρίες που να εξηγούν το παρατηρούμενο μέγιστο του όζοντος την άνοιξη στην ελεύθερη τροπόσφαιρα. Αυτές οι θεωρίες βασίστηκαν σε ανάλυση μετρήσεων του νιτρικού υπεροξυακετυλίου (επειδή είναι ένας πολύ καλός ανιχνευτής της φωτοχημικής δραστηριότητας) που παρουσίαζαν μεγάλη αύξηση στο υπόβαθρο του βορείου ημισφαιρίου κατά τη διάρκεια της άνοιξης. Επιπλέον, λεπτομερείς παρατηρήσεις ενός πλήθους μη μεθανικών υδρογονανθράκων πάνω από τον βόρειο Ατλαντικό Ωκεανό παρουσίαζαν μέγιστες συγκεντρώσεις τον χειμώνα και ελάχιστες το καλοκαίρι. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί με τον παρακάτω τρόπο: οι πρόδρομες ενώσεις του όζοντος συσσωρεύονται στην τροπόσφαιρα σε περιόδους χαμηλής φωτοχημικής δραστηριότητας (χειμερινό μέγιστο μη μεθανικών υδρογονανθράκων) και έπειτα αρχίζουν να καταστρέφονται κατά τη διάρκεια της άνοιξης που το περιβάλλον είναι πιο δραστικό από φωτοχημική άποψη, συνεισφέροντας με αυτό τον τρόπο στο παρατηρούμενο εαρινό μέγιστο του όζοντος (σχήμα 2.5). Παρατηρούμε ότι εμφανίζεται μια τάση σταθεροποίησης των τιμών του όζοντος τα τελευταία χρόνια σε όλη την ευρύτερη περιοχή των Αθηνών. (σχήμα 2.4)



ΣΧΗΜΑ 2.4 ΔΙΑΧΡΟΝΙΚΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΩΝ ΤΙΜΩΝ ΤΟΥ ΟΖΟΝΤΟΣ ΣΕ 10 ΣΤΑΘΜΟΥΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΤΟΥ ΥΠΕΧΩΔΕ (ΠΑΤΗΣΙΩΝ, ΑΘΗΝΑΣ, ΠΕΙΡΑΙΑΣ, ΓΕΩΠΟΝΙΚΗ, Ν.ΣΜΥΡΝΗ, ΠΕΡΙΣΤΕΡΙ, ΛΙΟΣΙΑ, ΜΑΡΟΥΣΙ, ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΟΥΣ, ΛΥΚΟΒΡΥΣΗ)

Ο ρόλος της μεταφοράς όζοντος από την στρατόσφαιρα στην τροπόσφαιρα

Οι μέγιστες συγκεντρώσεις του όζοντος στην ατμόσφαιρα βρίσκονται στη στρατόσφαιρα σε ύψος μεταξύ 20 και 30 Km. Η φωτοχημική πηγή του στρατοσφαιρικού όζοντος εντοπίζεται στη στρατόσφαιρα των τροπικών περιοχών, από όπου και μεταφέρεται όζον στις περιοχές εκτός των τροπικών. Μια σημαντική φυσική πηγή του τροποσφαιρικού όζοντος είναι η κατακόρυφη μεταφορά στρατοσφαιρικού αέρα διαμέσου της τροπόπαυσης. Έτσι η στρατοσφαιρική-τροποσφαιρική ανταλλαγή σχετίζεται με μεγάλης κλίμακας μεσημβρινή κυκλοφορία στη στρατόσφαιρα και με μεταφορά και ανάμιξη στρατοσφαιρικών αέριων μαζών στην τροπόσφαιρα κατά μήκος ισημερινικών καταρρεύσεων της τροπόπαυσης κοντά στο πολικό μέτωπο και τον υποτροπικό αεροχείμαρρο.

Αν και η συνεισφορά της στρατοσφαιρικής-τροποσφαιρικής ανταλλαγής στο ισοζύγιο του τροποσφαιρικού όζοντος έχει ήδη μελετηθεί εδώ και τέσσερις δεκαετίες, υπάρχουν ακόμα αββαιότητες σχετικά με το μέγεθος της μέσης εγκάρσιας ροής όζοντος στην τροπόσφαιρα και με την εποχιακή της μεταβολή. Το ιδιαίτερο πρόβλημα με έναν δευτερογενή ρύπο, όπως το όζον, είναι ότι δεν υπάρχει σαφής διαχωρισμός της επίδρασης των φαινομένων της μεταφοράς και της χημείας στις συγκεντρώσεις του στις διάφορες τοποθεσίες.

Έτσι, παρόλο που η επικρατέστερη άποψη είναι ότι η επιτόπου φωτοχημική παραγωγή του όζοντος είναι η κυριότερη αιτία που συνεισφέρει στα παρατηρούμενα υψηλά επίπεδα όζοντος, το όζον που προέρχεται από τη στρατόσφαιρα πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη, ειδικά σε περιοχές της ελεύτερης τροπόσφαιρας.

Ανταλλαγή όζοντος μεταξύ ελεύθερης τροπόσφαιρας και οριακού στρώματος

Το 90% της ολικής μάζας της ατμόσφαιρας της Γης βρίσκεται στην τροπόσφαιρα. Υπάρχουν δύο διακριτά τμήματα της τροπόσφαιρας: Το ατμοσφαιρικό οριακό στρώμα που εκτείνεται μέχρι τα 0,5 -2 Km και η ελεύθερη τροπόσφαιρα που βρίσκεται πάνω από το ατμοσφαιρικό οριακό στρώμα. Το οριακό στρώμα χαρακτηρίζεται από υψηλό βαθμό τυρβώδους ανάμιξης και στην πραγματικότητα είναι εκείνο το τμήμα της τροπόσφαιρας που επηρεάζεται άμεσα από την επιφάνεια της Γης και αντιδρά στις επιδράσεις της με μια χρονική υστέρηση της τάξης της μιας ώρας ή και λιγότερο. Η ελεύθερη τροπόσφαιρα, που σε αναλογία ατμοσφαιρικής μάζας είναι το μεγαλύτερο μέρος, σε αντίθεση με το οριακό στρώμα, δεν επηρεάζεται άμεσα από την επιφάνεια της Γης. Έτσι ένα ιδιαίτερο χαρακτηριστικό του όζοντος της ελεύθερης τροπόσφαιρας είναι ότι η συγκέντρωση του παραδοσιακά θεωρείται ως η συγκέντρωση του υποβάθρου. Όμως η ανθρωπογενής επίδραση στην ελεύθερη τροπόσφαιρα δεν μπορεί να αγνοηθεί επειδή το οριακό στρώμα μπορεί να καταρρεύσει εξαιτίας ανοδικών κινήσεων και μηχανικής δραστηριότητας που προκαλείται από τον άνεμο. Τυπικά, σε θέρμα γεωγραφικά πλάτη, το οριακό στρώμα καταρρέει κάθε 2-4 ημέρες, εξαιτίας μεγάλης κλίμακας θερμικής αστάθειας, ισχυρών κατακόρυφων δραστηριοτήτων σε ορεινές περιοχές, μετωπικών δραστηριοτήτων καθώς και εξαιτίας της εγγενούς μεταβολής του ύψους του οριακού στρώματος κατά τη διάρκεια της ημέρας. Επομένως, οι πρόδρομες ενώσεις για την παραγωγή του όζοντος μπορούν να εισέλθουν στην ελεύθερη τροπόσφαιρα και να υποστούν συνολικής ή τοπικής κλίμακας μεταφορικές κινήσεις, που εξαρτώνται από τον χρόνο ζωής τους και από την ικανότητα τους να μετατραπούν σε άλλες ενώσεις (εφεδρικές ενώσεις, reservoir species) με μεγαλύτερο χρόνο ζωής.

Ο φωτοχημικός χρόνος ζωής του όζοντος καθορίζεται από την ταχύτητα των φωτοχημικών φαινομένων καταστροφής του. Από μελέτες με τη χρήση μαθηματικών προτύπων (μοντέλα) έχει βρεθεί ότι ο φωτοχημικός χρόνος ζωής του όζοντος μεταβάλλεται από λίγα λεπτά στις αστικές περιοχές (εξαιτίας των συγκεντρώσεων του μονοξειδίου του αζώτου), σε μερικές ημέρες στο καθαρό οριακό στρώμα (εξαιτίας της φωτόλυσης) και μέχρι μερικούς μήνες στην ελεύθερη τροπόσφαιρα (επειδή οι φωτοχημικοί μετασχηματισμοί είναι αργοί εξαιτίας της χαμηλής συγκέντρωσης των υδρατμών). Εποχιακά μεταβάλλεται από λίγες ημέρες το καλοκαίρι στο επίπεδο της θάλασσας για τα μέσα γεωγραφικά πλάτη μέχρι και μερικούς μήνες τον χειμώνα, και εξαρτάται πολύ από την κατανομή των οξειδίων του αζώτου - καθώς αύξηση τους προκαλεί μείωση του χρόνου ζωής του όζοντος. Επειδή καθώς ανερχόμαστε σε μεγαλύτερα ύψη από το επίπεδο της θάλασσας στην τροπόσφαιρα ο χρόνος ζωής του όζοντος γίνεται μεγαλύτερος (μικρότερες συγκεντρώσεις οξειδίων του αζώτου και άλλων ενώσεων), το όζον στην ελεύθερη τροπόσφαιρα υπόκειται κυρίως σε φαινόμενα μεταφοράς.

Η μεταφορά των αέριων μαζών, και άρα και όζοντος, μεταξύ του οριακού στρώματος και της ελεύθερης τροπόσφαιρας πραγματοποιείται με έναν μεγάλο αριθμό μετεωρολογικών φαινομένων, όπως είναι οι μεγάλης κλίμακας καθοδικές κινήσεις των αντικυκλωνικών συστημάτων και οι ανοδικές κινήσεις των κυκλωνικών συστημάτων, η διαδικασία ανάπτυξης και κατάρρευσης του οριακού στρώματος, τα μετωπικά συστήματα, η ανάπτυξη νεφών, η απόπλυση λόγω βροχής, η καθοδική ροή από τη στρατόσφαιρα, τα ορεογραφικά φαινόμενα, η θαλάσσια και η απόγειος αύρα, και τα φαινόμενα αστικής νησίδας θερμότητας. Η ανταλλαγή αέριων μαζών μεταξύ της ελεύθερης τροπόσφαιρας και του οριακού στρώματος είναι ένα επεισοδιακό φαινόμενο και έτσι είναι πολύ δύσκολο να συμπεριληφθεί στους υπολογισμούς (στα μοντέλα).

Φωτοχημική παραγωγή του όζοντος στην τροπόσφαιρα

Το τροποσφαιρικό όζον είναι ένα δευτερογενές συστατικό που σχηματίζεται από χημικές αντιδράσεις στην ατμόσφαιρα, οι οποίες περιλαμβάνουν αρκετές πρόδρομες ενώσεις του (οξειδία του αζώτου, υδρογονάνθρακες και μονοξείδιο του άνθρακα). Οι συγκεντρώσεις αυτών των προδρόμων ενώσεων καθορίζονται από τις διαδικασίες οξείδωσης τους με τις ρίζες του υδροξυλίου και του υπεροξειδίου του υδρογόνου.

Το όζον παράγεται φωτοχημικά στην τροπόσφαιρα, με τη φωτόλυση του διοξειδίου του αζώτου, το οποίο σχηματίζεται από την οξείδωση του μονοξειδίου του αζώτου μέσω των υπεροξειδικών ριζών. Το υπεροξείδιο του υδρογόνου και τα οργανικά υπεροξείδια παράγονται από την αντίδραση του υδροξυλίου με το μονοξείδιο του άνθρακα ή με άλλες οργανικές ενώσεις (υδρογονάνθρακες).

Η πιθανή καθαρή παραγωγή ή καταστροφή του όζοντος στην τροπόσφαιρα είναι πολύ ευαίσθητη στον ανταγωνισμό μεταξύ των αντιδράσεων των υπεροξειδικών ριζών μεταξύ τους και με το μονοξείδιο του αζώτου, και κατά συνέπεια στις τοπικές συγκεντρώσεις των οξειδίων του αζώτου και των υπεροξειδικών ριζών. Για παράδειγμα, ο κύκλος οξείδωσης του μονοξειδίου του άνθρακα μπορεί να οδηγήσει σε καθαρή παραγωγή ή καταστροφή όζοντος ανάλογα με τις διαθέσιμες συγκεντρώσεις των οξειδίων του αζώτου, και παρουσία αρκετών οξειδίων του αζώτου οδηγεί σε καθαρή παραγωγή όζοντος. Παρόμοια, ένας άλλος κύκλος οξείδωσης μιας πιο πολύπλοκης οργανικής ένωσης μπορεί να οδηγήσει σε καθαρή καταστροφή όζοντος παρουσία χαμηλών συγκεντρώσεων οξειδίων του αζώτου. Μόνο στις πολύ ρυπασμένες περιοχές, τα επίπεδα του όζοντος εξαρτώνται από τις συγκεντρώσεις των πτητικών υδρογονανθράκων.

Το καθαρό χημικό ισοζύγιο του όζοντος είναι ένα μη γραμμικό φαινόμενο που εξαρτάται από τις συγκεντρώσεις των οξειδίων του αζώτου, των πτητικών υδρογονανθράκων, των υδρατμών, του όζοντος καθώς και από τη ροή της υπεριώδους ακτινοβολίας. Σε ηπειρωτικές περιοχές η ξηρή α-

πόθεση παίζει σημαντικό ρόλο στο ισοζύγιο του όζοντος όπως και η οριζόντια και η κατακόρυφη μεταφορά του.

Το όζον καταστρέφεται είτε από τη φωτόλυση, είτε αντιδρώντας με ορισμένους υδρογονάνθρακες, είτε αντιδρώντας με το μονοξειδίο του αζώτου. Επομένως, καθαρή παραγωγή όζοντος είναι δυνατή μόνο όταν το μονοξειδίο του αζώτου μετατρέπεται σε διοξείδιο αντιδρώντας με άλλες ενώσεις εκτός του όζοντος.

Τα επεισόδια εμφάνισης υψηλών τιμών όζοντος, στις ρυπασμένες περιοχές, ρυθμίζονται κυρίως από τις εκπομπές των πτητικών υδρογονανθράκων αλλά οι εκπομπές των οξειδίων του αζώτου είναι επίσης πολύ σημαντικές. Όμως ο ποσοτικός ρόλος των διαφόρων συστατικών, ειδικά των πτητικών υδρογονανθράκων, δεν έχει ακόμη καθοριστεί καλά. Επειδή οι συγκεντρώσεις του όζοντος δεν αποκρίνονται γραμμικά στις τιμές των αρχικών συγκεντρώσεων των προδρόμων ενώσεων, η επίδραση των διαφόρων φαινομένων στην παραγωγή του όζοντος, και των άλλων δευτερογενών ρύπων, μπορεί να μελετηθεί μόνο με συνδυασμό μετρήσεων, καταγραφής των εκπομπών και υπολογισμών με μοντέλα.

Ιστορική ανασκόπηση των επιπέδων του όζοντος

Μια ποσοτική μέθοδος μέτρησης του όζοντος χρησιμοποιείτο ήδη συνεχώς από το 1876 μέχρι το 1891 στο Observatoire de Montsouris στο Παρίσι. Οι μέσες ημερήσιες τιμές της συγκέντρωσης του όζοντος ήταν γύρω στα 10 ρrb, περίπου 3-4 φορές μικρότερες από τις τιμές που παρατηρούνται σήμερα σε πολλές περιοχές της Ευρώπης και της Βόρειας Αμερικής. Επίσης ανάλυση από μετρήσεις στο Schoenbein οδηγούν σε παρόμοια συμπεράσματα για τις συγκεντρώσεις του όζοντος κατά την προβιομηχανική εποχή. Έτσι θα μπορούσαμε να πούμε ότι οι τροποσφαιρικές συγκεντρώσεις υποβάθρου του όζοντος ήταν 10 ρrb και στα δύο ημισφαίρια καθώς και στην ελεύθερη τροπόσφαιρα πάνω από την Ευρώπη. Μετά το 1910 πραγματοποιήθηκαν ελάχιστες και σποραδικές μετρήσεις του τροποσφαιρικού όζοντος.

Οι σύγχρονες μετρήσεις του όζοντος βασίζονται κυρίως στην απορρόφηση της υπεριώδους ακτινοβολίας και έχουν ξεκινήσει από το 1970 σε μερικές απομακρυσμένες παράκτιες και ορεινές περιοχές. Όλες οι τοποθεσίες που βρίσκονται σε μεγαλύτερα από 20 μοίρες βόρεια γεωγραφικά πλάτη παρουσιάζουν μια στατιστικά σημαντική αύξηση των επιπέδων του όζοντος. Η ανάλυση πρόσφατων και παλαιότερων μετρήσεων και η μεταξύ τους σύγκριση έχει δείξει ότι οι συγκεντρώσεις του όζοντος τη δεκαετία 1980 ήταν υψηλότερες από τις αντίστοιχες στην αρχή του 20ού αιώνα και ότι η φωτοχημική δράση είναι μια πολύ πιθανή αιτία. Από την άλλη πλευρά παρατηρήθηκε μια στατιστικά σημαντική μείωση περίπου 7% ανά δεκαετία των επιπέδων του όζοντος στον Νότιο Πόλο.

2.2.2 Η αύξηση του τροποσφαιρικού όζοντος

Οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες έχουν αλλάξει τη χημική σύσταση της ατμόσφαιρας. Είναι γενικά αποδεκτό ότι το τροποσφαιρικό όζον έχει αυξηθεί σημαντικά μετά τη βιομηχανική επανάσταση ως αποτέλεσμα της φωτοχημικής μετατροπής των εκπεμπόμενων προδρόμων ενώσεων του όζοντος. Αναλύσεις μετρήσεων από το τελευταίο μισό του περασμένου αιώνα (19ου) αποκάλυψαν ότι οι συγκεντρώσεις του όζοντος στην Ευρώπη ήταν περίπου 10-15 ρρb. Σήμερα οι συγκεντρώσεις του όζοντος είναι περίπου 20-50 ρρb. Αυτό δείχνει ότι οι ανθρώπινες δραστηριότητες έχουν αυξήσει το όζον στο οριακό στρώμα κατά έναν παράγοντα ίσο με δύο ή και μεγαλύτερο, ιδιαίτερα μετά το 1950, τουλάχιστον στην Ευρώπη. Ταυτόχρονα, φαινόμενα μεταφοράς προκαλούν ανταλλαγή αέριων μαζών μεταξύ του οριακού στρώματος και της ελεύθερης τροπόσφαιρας μεταφέροντας όζον και πρόδρομες ενώσεις του σε μεγαλύτερα ύψη.

Σύμφωνα με μελέτες, οι συγκεντρώσεις του όζοντος στην Ευρώπη και τη Βόρεια Αμερική αυξήθηκαν κατά 1% ανά έτος κατά τη διάρκεια των δεκαετιών '70 και '80, ενώ από άλλες μελέτες, που βασίζονται σε επίγειες μετρήσεις σε τοποθεσίες με μεγάλο υψόμετρο, βρέθηκαν παρόμοιες μεταβολές και στη συγκέντρωση του όζοντος της ελεύθερης τροπόσφαιρας: στη Mauna Loa (Χαβάη) αυξήθηκε κατά 1,37% ανά έτος μεταξύ 1973 και 1984 ενώ στο Zugspitze (Ελβετία) αυξήθηκε κατά 0,8% ανά έτος την περίοδο 1978-1991. Μετρήσεις με οζοντοβολίδες δείχνουν ότι η αύξηση του όζοντος στο ανώτερο στρώμα της ελεύθερης τροπόσφαιρας είναι πιο μικρή από ότι στο κατώτερο τμήμα της. Αυτό σημαίνει ότι η ατμοσφαιρική ρύπανση είναι πιο διαδεδομένη από ό,τι πιστεύεται. Πρέπει να σημειωθεί ότι η αύξηση του όζοντος στην ελεύθερη τροπόσφαιρα είναι πάρα πολύ μικρή την τελευταία δεκαετία ('90). Όλες αυτές οι θετικές τιμές στη μεταβολή του όζοντος της ελεύθερης τροπόσφαιρας του βόρειου ημισφαιρίου δείχνουν ότι το πρόβλημα της αύξησης του τροποσφαιρικού όζοντος δεν είναι ένα πρόβλημα τοπικής ή περιφερειακής κλίμακας αλλά ένα γενικό φαινόμενο του βόρειου ημισφαιρίου.

Αν και η αύξηση του τροποσφαιρικού όζοντος έχει επαληθευθεί σε μεγάλο βαθμό, υπάρχει ακόμα μεγάλη αβεβαιότητα σχετικά με το μέγεθος της και τις πιθανές αιτίες της, κυρίως λόγω της έλλειψης αρκετών δεδομένων μετρήσεων.

Οι ανοδικές τάσεις που παρατηρήθηκαν στις συγκεντρώσεις του όζοντος στο βόρειο ημισφαίριο οφείλονται σε μεγάλο βαθμό στη σχετικά γρήγορη αύξηση του όζοντος που παρατηρήθηκε τη δεκαετία του '70. Την τελευταία δεκαετία ('90) δεν έχουν παρατηρηθεί σημαντικές μεταβολές στη συγκέντρωση του όζοντος, μάλιστα σε μερικές περιοχές του οριακού στρώματος στην Ευρώπη έχει παρατηρηθεί και μείωση. Για τα περισσότερα μέρη η τάση του τροποσφαιρικού όζοντος μεταβάλλεται από -7% ανά δεκαετία στον Νότιο Πόλο μέχρι +7% ανά δεκαετία στις 70 μοίρες βόρειου γεωγραφικού πλάτους. Έχουν παρατηρηθεί επίσης και μεγαλύτερες τάσεις στη Βόρεια

Γερμανία οι οποίες μάλλον σχετίζονται με τοπική επίδραση στην γενική τάση των συγκεντρώσεων του όζοντος.

Χωρική κατανομή του όζοντος

Ο σχηματισμός, η μεταφορά και η απόθεση των φωτοοξειδωτικών ενώσεων ρυθμίζεται από διαδικασίες μη γραμμικής αλληλεπίδρασης ενός μεγάλου αριθμού χημικών, φυσικών και μετεωρολογικών φαινομένων. Επομένως η σημασία των διάφορων φαινομένων που ελέγχουν τη χρονική και τη χωρική κατανομή των ατμοσφαιρικών συστατικών ποικίλλει πολύ στον χρόνο και στον χώρο και εξαρτάται από τις μετεωρολογικές συνθήκες και τις εκπομπές. Αυτό οδηγεί σε ιδιαίτερα τοπικά χαρακτηριστικά της χωρικής κατανομής του όζοντος.

Στην κεντρική και βόρεια Ευρώπη υπάρχουν πολλοί σταθμοί μέτρησης της ρύπανσης των αγροτικών περιοχών, παρέχοντας μια ικανοποιητική εικόνα της χωρικής κατανομής των συγκεντρώσεων του επιφανειακού όζοντος. Όμως πολύ λίγες συστηματικές μετρήσεις υπάρχουν στη λεκάνη της Μεσογείου και ειδικά στην ανατολική Μεσόγειο. Τα υψηλά επίπεδα ηλιακής ακτινοβολίας που παρατηρούνται στη Μεσόγειο, σε συνδυασμό με τις ανθρωπογενείς και βιογενείς εκπομπές ευνοούν την πλούσια φωτοχημική παραγωγή όζοντος. Στην πραγματικότητα, μετρήσεις που διεξήχθησαν στη δυτική Μεσόγειο, στην Ισπανία, παρουσίασαν αυξημένες τιμές όζοντος στην επιφάνεια και στο οριακό στρώμα. Υψηλές τιμές όζοντος μετρήθηκαν και στην κεντρική Μεσόγειο, στην Ιταλία. Στην ανατολική πλευρά της λεκάνης της Μεσογείου, μετρήσεις που διεξήχθησαν στην Ελλάδα στα πλαίσια διεθνών επιστημονικών ερευνών (PAUR I) κατέγραψαν σημαντικά υψηλές τιμές επιφανειακού και τροποσφαιρικού όζοντος, σε συμφωνία με τις μέχρι τώρα μετρήσεις διεθνώς.

Στην Κεντρική Ευρώπη κατά τη διάρκεια του χειμώνα, αλλά και κατά τις μεταβατικές περιόδους (φθινόπωρο και άνοιξη) οι συγκεντρώσεις του όζοντος στο οριακό στρώμα των ηπειρωτικών περιοχών είναι μικρότερες από ότι στους παράκτιους σταθμούς μέτρησης, κοντά στα δυτικά όρια της Ευρώπης. Το καλοκαίρι, όμως, οι μέσες συγκεντρώσεις του όζοντος στο οριακό στρώμα των ηπειρωτικών περιοχών (ανατολικό τμήμα της κεντρικής Ευρώπης) ξεπερνούν τα επίπεδα που παρατηρούνται στους σταθμούς των δυτικών περιοχών. Αυτό απεικονίζει την κυριαρχία των μηχανισμών καταστροφής του όζοντος τον χειμώνα και της φωτοχημικής παραγωγής του όζοντος το καλοκαίρι. Οι συγκεντρώσεις του όζοντος της χειμερινής περιόδου στο οριακό στρώμα στις ηπειρωτικές περιοχές κυμαίνονται από 19 έως 27 ρρb, συγκριτικά με τα περίπου 32 ρρb στο δυτικό άκρο. Τη θερινή περίοδο οι τιμές του όζοντος στα ηπειρωτικά κυμαίνονται μεταξύ 39 και 56 ρρb, ενώ οι συγκεντρώσεις του πάνω από τον ωκεανό είναι γύρω στα 37 ρρb. Δηλαδή το καλοκαίρι υπάρχει περισσότερο όζον στο οριακό στρώμα της κεντρικής Ευρώπης ενώ το χειμώνα παρατηρείται μια μείωση.

Σε αντίθεση με την ελεύθερη τροπόσφαιρα, δεν υπάρχει καμία ένδειξη ομοιόμορφης τάσης στις συγκεντρώσεις του όζοντος στο οριακό στρώμα της Ευρώπης. Οι τάσεις που έχουν υπολογιστεί σε διάφορες περιοχές διαφέρουν όχι μόνο ως προς το μέγεθος της ετήσιας μεταβολής αλλά και ως προς το πρόσημο της.

Οζοντοβολίσεις, επίγειες μετρήσεις και μετρήσεις με αεροπλάνο κατά τη διάρκεια της έρευνας PAUR I έδειξαν ότι τα υψηλά επίπεδα συγκεντρώσεων του επιφανειακού όζοντος πάνω από την Ελλάδα διατηρούνται και πάνω από όλη τη νοτιοανατολική Μεσόγειο.

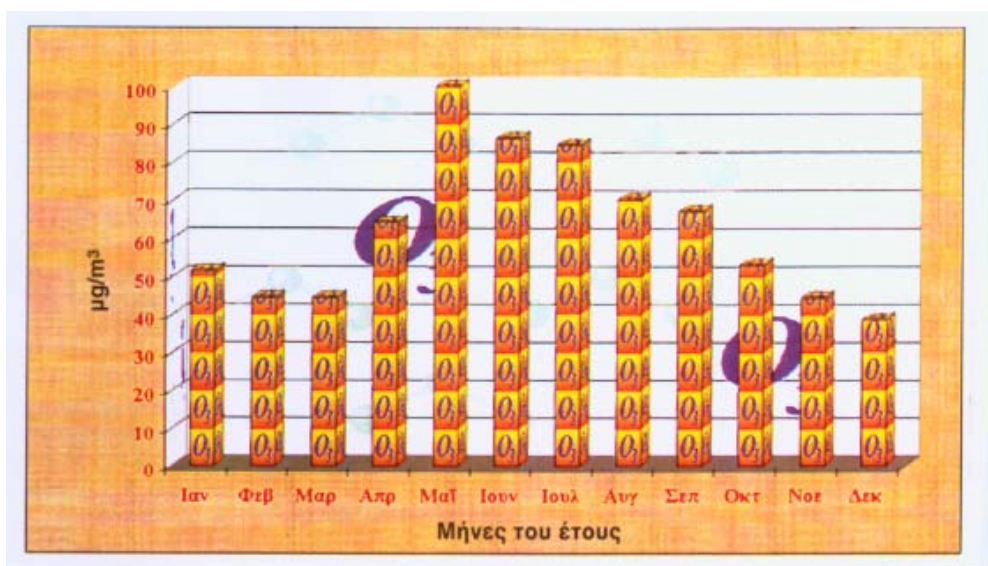
Εποχιακή μεταβολή του όζοντος στο οριακό στρώμα και στην ελεύθερη τροπόσφαιρα

Συγκρίσεις των τιμών του τροποσφαιρικού όζοντος του περασμένου αιώνα με πρόσφατες μετρήσεις δείχνουν ότι όχι μόνο οι συγκεντρώσεις του όζοντος έχουν διπλασιαστεί αλλά και η εποχιακή του μεταβολή άλλαξε, από ένα ευκρινές λεπτό μέγιστο την άνοιξη, σε ένα ευρύ μέγιστο την άνοιξη-καλοκαίρι. Αν και η εποχιακή συμπεριφορά του όζοντος είναι καλά τεκμηριωμένη, δεν έχει ακόμα κατανοηθεί σε όλες τις λεπτομέρειες της. Για παράδειγμα, το εαρινό μέγιστο παρατηρείται κυρίως σε συνθήκες υποβάθρου στο οριακό στρώμα και στην κατώτερη ελεύθερη τροπόσφαιρα αλλά σε μικρότερη έκταση στην ελεύθερη τροπόσφαιρα και καθόλου στην ανώτερη τροπόσφαιρα.

Μετρήσεις του νιτρικού υπεροξυακετυλίου, των οξειδίων του αζώτου και του όζοντος σε σταθμούς με μεγάλο υψόμετρο στο βόρειο ημισφαίριο δείχνουν ότι η διάσπαση του νιτρικού υπεροξυακετυλίου αποτελεί μια σημαντική πηγή των οξειδίων του αζώτου στα ανώτερα στρώματα της τροπόσφαιρας συνεισφέροντας έτσι στο παρατηρούμενο εαρινό μέγιστο του επιφανειακού όζοντος. Η παραγωγή του όζοντος κατά τη χειμερινή περίοδο κυριαρχείται από την ανθρωπογενή επίδραση αφού οι φυσικές πηγές των οξειδίων του αζώτου είναι μικρότερες από τις αντίστοιχες ανθρωπογενείς. Ο μεγάλος χρόνος ζωής του όζοντος τον χειμώνα (περίπου 200 ημέρες) επιτρέπει στο ανθρωπογενώς παραγόμενο όζον να συσσωρεύεται και να οδηγεί στο παρατηρούμενο ανοιξιάτικο μέγιστο. Επιπλέον αυτό το ανθρωπογενές όζον μπορεί να μεταφερθεί σε άλλες περιοχές δίνοντας μια πιθανή εξήγηση του παρατηρούμενου υψηλού ρυθμού αύξησης του κατά τη διάρκεια του χειμώνα και της άνοιξης σε τοποθεσίες με μεγάλο υψόμετρο, όπως στη Mauna Loa.

Από τη μηνιαία μεταβολή του όζοντος της περιοχής των Αθηνών (μετρήσεις του ΥΠΕΧΩΔΕ για το 1997), είναι φανερό ότι το όζον παρουσιάζει μεγαλύτερες τιμές τους καλοκαιρινούς μήνες. Οι αυξημένες τιμές της συγκέντρωσης του όζοντος τους καλοκαιρινούς μήνες οφείλονται στην αυξημένη ηλιοφάνεια των μηνών αυτών, δεδομένου ότι το όζον σχηματίζεται από φωτοχημικές αντιδράσεις στις οποίες καθοριστικό ρόλο παίζει η ηλιακή ακτινοβολία. Κατά τη διάρκεια της ημέρας, οι μέγιστες τιμές του όζοντος εμφανίζονται τις πρώτες μεταμεσημβρινές ώρες, οπότε και η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας παρουσιάζει μέγιστη τιμή. Από το σχήμα 2.5 είναι φανερό ότι το όζον παρουσιάζει μεγαλύτερες τιμές τους καλοκαιρινούς μήνες, που οφείλονται στην αυξημένη

ηλιοφάνεια των μηνών αυτών, δεδομένου ότι το όζον σχηματίζεται από φωτοχημικές αντιδράσεις στις οποίες καθοριστικό ρόλο παίζει η ηλιακή ακτινοβολία.



ΣΧΗΜΑ 2.5 Η ΜΗΝΙΑΙΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΩΝ ΤΙΜΩΝ ΤΟΥ ΟΖΟΝΤΟΣ ΣΤΟΝ ΣΤΑΘΜΟ ΤΟΥ ΑΜΑΡΟΥΣΙΟΥ ΓΙΑ ΤΟ 1997 (ΥΠΕΧΩΔΕ)

2.2.3 Τι προβλήματα προκαλεί στους ανθρώπους το επιφανειακό όζον

Οι πιθανές επιδράσεις του επιφανειακού όζοντος εξαρτώνται από το μέγεθος της έκθεσης σε αυτό. Κατά τη βραχεία έκθεση σε υψηλές συγκεντρώσεις μπορεί να προκληθεί ερεθισμός της μύτης, του λάρυγγα, βήχας, επίπονη αναπνοή, και εξασθένηση των λειτουργιών των πνευμόνων. Σε άτομα που ασκούνται αργά το απόγευμα και νωρίς το πρωί - τις ώρες της ημέρας που συνήθως εμφανίζονται οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις των ρύπων - μπορεί να εμφανιστεί πόνος κατά την αναπνοή, το πιο σύνηθες σύμπτωμα της έκθεσης στο όζον. Γενικά η βραχυχρόνια έκθεση (1-2 ώρες) στο όζον μπορεί να οδηγήσει σε ερεθισμό των πνευμόνων, μείωση της ικανότητας για αναπνοή προκαλώντας δύσπνοια, μείωση της απόδοσης των αθλητών, πόνο κατά τη βαθιά αναπνοή, βήχα, σφίξιμο στο στήθος και δυσφορία, αύξηση της ευαισθησίας σε ασθένειες του πνευμονικού συστήματος, όπως πνευμονία και βρογχίτιδα, αύξηση της ευαισθησίας στις αλλεργίες, όξυνση ασθενειών του πνευμονικού συστήματος όπως είναι το άσθμα και το εμφύσημα.

Μακροχρόνια έκθεση στο όζον σε χαμηλές συγκεντρώσεις μπορεί να επηρεάσει την ελαστικότητα των πνευμόνων και την ικανότητα τους να ανθίστανται στις ασθένειες, προκαλώντας πρόωρη γήρανση τους. Τα παιδιά, οι ηλικιωμένοι, οι ασθματικοί, και όσοι πάσχουν από χρόνια πνευμονικά προβλήματα είναι περισσότερο ευάλωτοι από τον υπόλοιπο πληθυσμό στην επίδραση του όζοντος. Η μακροχρόνια έκθεση μπορεί να οδηγήσει σε υψηλό κίνδυνο εμφάνισης πνευμονικών νόσων, πρόωρη γήρανση και μείωση της ικανότητας των πνευμόνων.

Όταν το όζον εισέρχεται στους πνεύμονες, μεταβάλλει τη δομή των κυττάρων των τοιχωμάτων των πνευμόνων. Αυτό επιτρέπει στα λευκά αιμοσφαίρια να εισέλθουν από το αίμα στους

πνεύμονες. Τα λευκά αιμοσφαίρια εκκρίνουν ουσίες που αντιδρούν με τα τοιχώματα των πνευμόνων και προκαλούν ερεθισμό ή οίδημα σε όλο το αναπνευστικό σύστημα, συμπεριλαμβανομένης και της μύτης. Αυτή η φλεγμονώδης αντίδραση μειώνει τον όγκο των διόδων των πνευμόνων προκαλώντας μείωση της πνευμονικής λειτουργίας, που προκαλεί τα τυπικά συμπτώματα της έκθεσης στο όζον: βήχα, σφίξιμο του στήθους, δυσφορία, πόνο κατά τη βαθιά αναπνοή, και δύσπνοια. Σε υψηλές συγκεντρώσεις εμφανίζονται μη πνευμονικά συμπτώματα όπως ναυτία, ερεθισμός των ματιών και πονοκέφαλος.

Ομάδες υψηλού κινδύνου

Αν και υπάρχει μεγάλο εύρος της ευαισθησίας στην έκθεση στο όζον μεταξύ του γενικού πληθυσμού, εντούτοις μέχρι και το 5-20% των υγείων ατόμων παρουσιάζουν ευαισθησία στο όζον. Ορισμένες ομάδες ατόμων παραμένουν όμως ιδιαίτερα ευαίσθητες. Τα παιδιά εισπνέουν την ίδια ποσότητα αέρα όπως και οι ενήλικες παρά το μικρότερο μέγεθος των πνευμόνων τους και παρουσιάζουν μεγαλύτερη δραστηριότητα εκτός σπιτιού το καλοκαίρι. Τα άτομα με πνευμονικά προβλήματα, άσθμα ή εμφύσημα, είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα στο όζον, επειδή αυτό οξύνει επιπλέον την αντίδραση των πνευμόνων τους. Η άσκηση επίσης αυξάνει τις επιπτώσεις του όζοντος. Εισπνέονται μεγάλες ποσότητες αέρα και μεταφέρονται μεγαλύτερα ποσά ρύπων στους πνεύμονες. Το όζον μπορεί να, σχηματιστεί μόνο κατά τις ώρες της ημέρας και μάλιστα όταν υπάρχει έντονη ηλιακή ακτινοβολία. Έτσι ο καλύτερος χρόνος για άσκηση είναι όταν οι συγκεντρώσεις του όζοντος είναι χαμηλότερες, δηλαδή νωρίς το πρωί.

Επιδράσεις του τροποσφαιρικού όζοντος στα ζώα και στα φυτά

Η επίδραση του όζοντος στα ζώα είναι παρόμοια με αυτή στους ανθρώπους, δηλαδή μειωμένη ικανότητα και ελαστικότητα των πνευμόνων. Στα φυτά το όζον βλάπτει τους ιστούς των φύλλων και επηρεάζει την ικανότητα τους να αναπτυχθούν κανονικά. Οι ορατές βλάβες στους ιστούς των φύλλων περιλαμβάνουν αποχρωματισμό, άσπρες και μαύρες κηλίδες, εξασθένιση του φύλλου, μέχρι και απώλειες τμημάτων του. Το όζον μπορεί να οδηγήσει και σε μείωση 10-40% της ανάπτυξης του φυτού καθώς και σε πρόωρη γήρανση. Οι βλάβες αυτές μπορούν να μειώσουν τη συγκομιδή μέχρι και 20% σε μερικές περιπτώσεις, ενώ συγκεντρώσεις 100 ppb μπορούν να μειώσουν τη φωτοσυνθετική ικανότητα κατά 50%.

Επιδράσεις του τροποσφαιρικού όζοντος στα υλικά και τις κατασκευές

Το επιφανειακό όζον έχει σοβαρές επιπτώσεις σε πολλά υλικά που παράγονται από τον άνθρωπο. Ιδιαίτερα μπορεί να βλάψει ή και να καταστρέψει πολλά από τα συνθετικά υλικά. Έκθεση σε χαμηλές συγκεντρώσεις όζοντος μόνο για λίγους μήνες μπορεί να προκαλέσει ρωγμές στα ελαστικά και τα συνθετικά υλικά. Σε συνεχόμενες εκθέσεις μπορεί να προκληθεί ολική

αποσύνθεση. Το όζον καταστρέφει το βαμβάκι, το νάιλον, τον πολυεστέρα καθώς και άλλα υφάσματα, αποχρωματίζει τα υλικά, τις χρωστικές ύλες και τις εικόνες.

2.2.4 Το στρατοσφαιρικό όζον

Γενικά

Το όζον παίζει ένα πολλαπλό ρόλο στην ατμόσφαιρα της γης, που το καθιστά ένα από τα πιο σημαντικά αέρια. Στη στρατόσφαιρα το όζον παίζει τον ρόλο του φίλτρου. Η ισχυρή απορρόφηση της ακτινοβολίας από το στρατοσφαιρικό όζον στην περιοχή των 200 έως 300 nm του ηλιακού φάσματος εμποδίζει την υπεριώδη ακτινοβολία, που είναι επικίνδυνη για το οικοσύστημα, να φθάσει στη Γη. Ταυτόχρονα η απορροφούμενη ακτινοβολία έχει μια πρωταρχικής σημασίας επίδραση στη θερμοκρασία της στρατόσφαιρας. Η απορρόφηση της υπεριώδους ακτινοβολίας από το όζον αποτελεί τη μεγαλύτερη πηγή θέρμανσης της στρατόσφαιρας, που οδηγεί σε θετική τιμή της θερμοβαθμίδας της και επομένως στη δυναμική της ευστάθεια.

Το όζον που μας ενδιαφέρει βρίσκεται στο δεύτερο στρώμα της γήινης ατμόσφαιρας, δηλαδή στη στρατόσφαιρα. Αυτή περιβάλλει τη γη σε μια ζώνη μεταξύ 10 και 50 χλμ. από την επιφάνεια της· οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις όζοντος, δηλαδή γύρω στο 90% του συνόλου του ατμοσφαιρικού όζοντος παρατηρούνται μεταξύ 19 και 40 χλμ, αλλά και σ' αυτή την περιοχή μόνο 1 μόριο στα 100.000 είναι όζον.

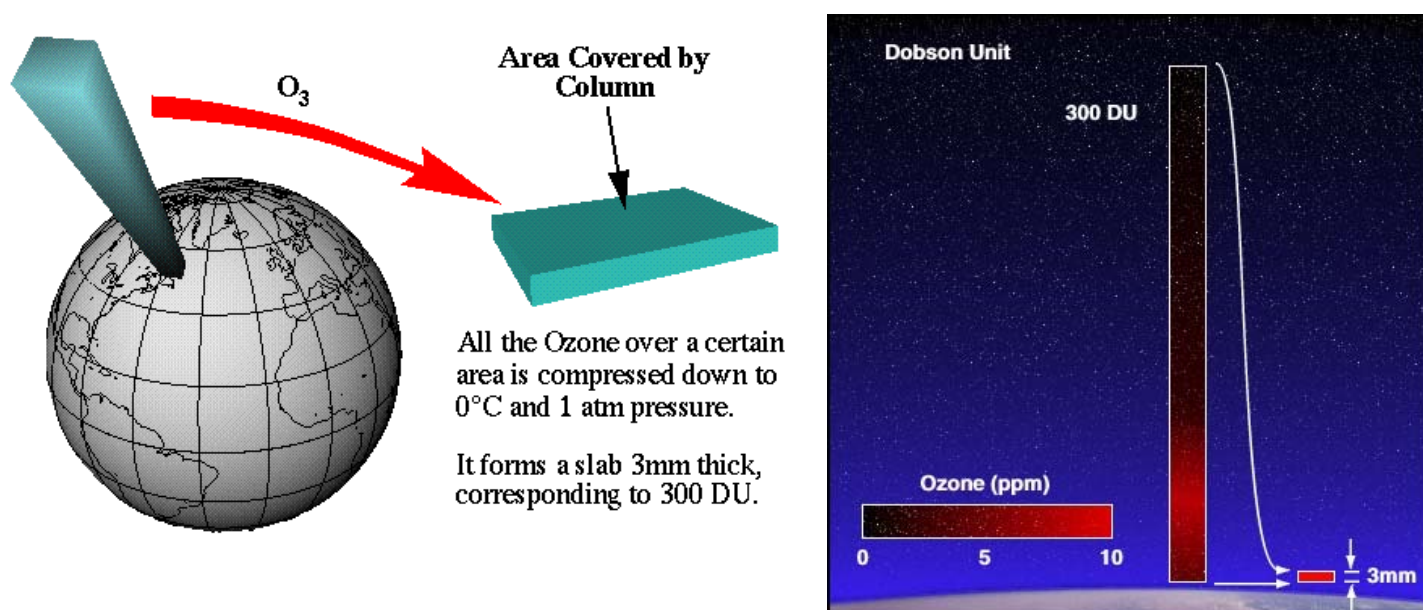
Βέβαια, διάσπαρτα μόρια όζοντος απαντώνται μέχρι και σε ύψος 100 χλμ. από την επιφάνεια της γης, ο δε μέσος όρος περιεκτικότητας της ατμόσφαιρας σε όζον είναι 3 μόρια όζοντος ανά 10.000.000 μόρια αέρα. Πάντως, για να δοθεί ένα μέτρο, πρέπει να σημειωθεί ότι εάν υπήρχε η δυνατότητα να συμπιεστεί όλο το όζον που υπάρχει στην ατμόσφαιρα με την πίεση που έχουμε στην επιφάνεια της γης, τότε το πάχος του στρώματος που θα σχηματιζόταν δε θα ξεπερνούσε τα 3 mm. Η παραγωγή του όζοντος γίνεται στη στρατόσφαιρα πάνω από τη ζώνη του ισημερινού, που είναι η περιοχή που δέχεται την περισσότερη ηλιακή ακτινοβολία, σε ύψος πάνω από τα 25 χλμ. μέχρι περίπου 40. Στη συνέχεια όμως μεταφέρεται από τους ανέμους, τόσο κάθετα όσο και οριζόντια, και απλώνεται από τον ισημερινό προς τα μεσαία πλάτη και τους πόλους, η δε κατανομή του εξαρτάται από το ύψος της άνω περιοχής της τροπόσφαιρας, που λέγεται τροπόπαυση και η οποία φτάνει στο μεγαλύτερο ύψος της στη ζώνη του ισημερινού (17-18 χλμ.) και χαμηλώνει προς τα μεσαία (10-12 χλμ.) και μεγάλα πλάτη (8-10 χλμ.). Έτσι, το στρώμα του όζοντος είναι λεπτότερο στον ισημερινό και πιο παχύ προς τα μεσαία πλάτη και τους πόλους.

Ο παγκόσμιος μέσος όρος είναι 300 μονάδες (για τις οποίες θα μιλήσουμε αμέσως παρακάτω) ποικίλλει όμως από 230 μονάδες κοντά στον ισημερινό έως και 500 στα μεγάλα πλάτη του βορείου ημισφαιρίου. Επιπλέον, οι συγκεντρώσεις του όζοντος επηρεάζονται και από την εποχή. Για παράδειγμα, στην εύκρατη ζώνη του βορείου ημισφαιρίου οι μέγιστες συγκεντρώσεις σημειώνονται

κατά το δίμηνο Οκτωβρίου-Νοεμβρίου. Η μονάδα μέτρησης που χρησιμοποιείται συχνότερα είναι η μονάδα Dobson, η οποία ισούται με ένα (1) mili-atmosphere cm. Η μονάδα αυτή μετρά το πάχος που θα είχε το στρώμα του όζοντος σε 0°C στο επίπεδο της θάλασσας. Αν συντρέχουν αυτές οι συνθήκες τότε 1 μονάδα Dobson ισούται με 1/1000 του εκατοστού όζοντος. Η μονάδα αυτή ονομάστηκε έτσι προς τιμήν του G.M.B. Dobson, ενός Βρετανού επιστήμονα, στον οποίο οφείλεται και το πρώτο όργανο παρατήρησης και μέτρησης του όζοντος.

Η συλλογή δεδομένων σχετικών με την ποσότητα του όζοντος στην ατμόσφαιρα έχει ξεκινήσει από τη δεκαετία του '20 και σήμερα πλέον γίνεται με δύο τρόπους:

- Με όργανα που βρίσκονται εγκατεστημένα σε επίγειους σταθμούς
- Με όργανα που βρίσκονται σε δορυφορικούς σταθμούς.



ΣΧΗΜΑ 2.6 ΜΟΝΑΔΕΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΤΟΥ ΟΖΟΝΤΟΣ (DOBSON UNITS)

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.1

ΜΟΝΑΔΕΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΤΟΥ ΟΖΟΝΤΟΣ (DOBSON UNITS)

Η μονάδα DOBSON είναι η βασική μονάδα μέτρησης του στρατοσφαιρικού όζοντος, που χρησιμοποιείται από τους ερευνητές. Πήρε το όνομά της από τον G.M.B. DOBSON, έναν από τους πρώτους επιστήμονες που ασχολήθηκαν με το ατμοσφαιρικό όζον (1920-1960). Ήταν ο επιστήμονας που σχεδίασε το "φασματόμετρο DOBSON", το όργανο που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση του όζοντος από το έδαφος.

Ας θεωρήσουμε όλη την ποσότητα όζοντος πάνω από μία συγκεκριμένη περιοχή. Η ποσότητα αυτή του όζοντος θα σχημάτιζε μία στήλη με μεγάλο ύψος. Αν τώρα θεωρήσουμε ότι η ατμοσφαιρική πίεση είναι 1 atm και η θερμοκρασία 0 βαθμοί Κελσίου (κανονικές συνθήκες), τότε όλη αυτή η στήλη του όζοντος θα συμπιεστεί και θα σχηματίσει μία "πλάκα" πάχους περίπου 3mm την οποία την ορίσαμε ότι αντιστοιχεί σε 300 D.U.

Ορίζουμε λοιπόν ως 1 μονάδα DOBSON (1 D.U.) το πάχος της πλάκας του όζοντος που σε κανονικές συνθήκες είναι 0.01 mm.

*Για να μετατρέψουμε λοιπόν τις D.U. σε mm διαιρούμε δια 100. Δηλαδή:
245 D.U. αντιστοιχούν σε 2,45mm.*

Η λειτουργία και η σημασία του όζοντος στη στρατόσφαιρα

Η βασική λειτουργία του όζοντος στη στρατόσφαιρα είναι η απορρόφηση μεγάλων ποσοτήτων ηλιακής ακτινοβολίας, κατά τη διαδικασία δημιουργίας-καταστροφής του. Συγκεκριμένα, απορροφά την υπεριώδη ακτινοβολία (UV), δηλ:

- Την UV -A εν μέρει.
- Την UV -B ως επί το πλείστον.
- Την UV -C στο σύνολο της.

Με αυτή τη λειτουργία το όζον παίζει το ρόλο, όπως χαρακτηριστικά αναφέρεται της ασπίδας για την προστασία της ζωής πάνω στη γη, τουλάχιστον με τη μορφή που έχει σήμερα. Επιπλέον, το όζον, απορροφώντας υπεριώδη και υπέρυθη ακτινοβολία παίζει καθοριστικό ρόλο στη διατήρηση της θερμοκρασίας της στρατόσφαιρας και κατ' επέκταση και στη διατήρηση της θερμοκρασίας στην επιφάνεια της γης στα επίπεδα που γνωρίζουμε, καθώς και στη διατήρηση του κλίματος. Είναι δεδομένο ότι, καθώς το όζον μειώνεται, η θερμοκρασιακή δομή της στρατόσφαιρας ανατρέπεται και η στρατόσφαιρα αποσταθεροποιείται.

Το Όζον της Στρατόσφαιρας

Η καταστροφή της στιβάδας του όζοντος στην ανώτερη ατμόσφαιρα, από την ανθρώπινη δραστηριότητα, είναι ένα γεγονός πολύπλοκο, απόκρυφο και εντελώς άορατο σε οποιονδήποτε, εκτός βέβαια από τους επιστήμονες που μελετούν το πρόβλημα. Τώρα, όμως, σ' ολόκληρο τον κόσμο, άνθρωποι που πριν είκοσι χρόνια δεν είχαν ακούσει ποτέ ούτε τη λέξη όζον, ανησυχούν για την εξαφάνισή του. Η παρουσία του όζοντος είναι καθοριστικός παράγοντας τόσο για τα έμβια όντα, όσο και για τη δομή της ατμόσφαιρας. Όταν η ισχυρή ηλιακή ακτινοβολία φθάνει στην ανώτερη ατμόσφαιρα διασπά το μόριο του οξυγόνου σε δύο άτομα. Από τα άτομα αυτά, τα περισσότερα ενώνονται ξανά, με τη διαφορά ότι δεν σχηματίζεται κοινό οξυγόνο, αλλά όζον, του οποίου το μόριο αποτελείται από τρία άτομα οξυγόνου. Το όζον καταστρέφεται για να μετατραπεί πάλι σε οξυγόνο ακολουθώντας διαφορετική σειρά αντιδράσεων. Η δομή του μορίου του όζοντος του επιτρέπει να απορροφά ένα ορισμένο είδος υπεριώδους ακτινοβολίας που, διαφορετικά, θα έφθανε στην επιφάνεια της Γης επηρεάζοντας τα έμβια όντα. Η ακτινοβολία με το μεγαλύτερο ενδιαφέρον ονομάζεται UV-B που είναι "φως", με μήκος κύματος μεταξύ των 280 και 320 νανομέτρων. Τα μεγαλύτερα μήκη κύματος φθάνουν σε χαμηλότερα στρώματα της ατμόσφαιρας, αλλά η δράση τους είναι περιορισμένη σ' ό,τι αφορά την πρόκληση βιολογικών αλλαγών. Τα μικρότερα μήκη κύματος απορροφώνται σχεδόν εντελώς από την ατμόσφαιρα, επομένως έχουν μικρή βιολογική επίδραση. Γι' αυτόν το λόγο, οι μελέτες της αλληλεπίδρασης της υπεριώδους ακτινοβολίας και της οργανικής ύλης επικεντρώνονται στην UV-B. Αυτή η ακτινοβολία μπορεί να

προκαλέσει ηλιακά εγκαύματα και ορισμένα είδη καρκίνου του δέρματος, να ελαττώσει την παραγωγή της σόγιας, και να βλάψει τα αφρόψαρα. Το γεγονός ότι αυτή η ακτινοβολία συμβάλλει αποτελεσματικά στις αλλαγές του βιολογικού υλικού δείχνει ότι σχεδόν κάθε ζωντανός ιστός που εκτίθεται σ' αυτήν υφίσταται κάποια επίδραση.

Πέρα από την προστασία από την UV-B, το όζον έχει και μια άλλη σημαντική αποστολή στην ανώτερη ατμόσφαιρα: απορροφώντας την υπεριώδη ακτινοβολία, αποθηκεύει τη θερμική ενέργεια που μεταφέρει αυτό το είδος φωτός σ' εκείνο το επίπεδο της ατμόσφαιρας, δημιουργώντας έτσι μια στιβάδα πολύ θερμότερη από τις αμέσως κατώτερες. Η σταθερή περιοχή που δημιουργήθηκε έτσι λέγεται στρατόσφαιρα. Είναι ακριβώς η στιβάδα στην οποία συμβαίνουν οι ενοχλητικές αλλαγές. Με την πρόοδο όμως της επιστημονικής γνώσης σχετικά με τις χημικές αντιδράσεις που δημιουργούν και καταστρέφουν το όζον, έγινε σαφές ότι μικρές σχετικά ποσότητες κάποιων ουσιών μπορούν να μεταβάλλουν αυτές τις αντιδράσεις, επομένως και την ποσότητα του όζοντος στην στρατόσφαιρα, υπό τον όρο ότι αυτές οι ουσίες εναποτίθενται στην ανώτερη ατμόσφαιρα. Έτσι, μια απ' αυτές, το χλώριο, ένας δραστικός χημικός καταλύτης, μπορεί να μετατρέψει το όζον σε φυσικό οξυγόνο. Το χλώριο εμφανίζεται σε γρήγορα αυξανόμενες συγκεντρώσεις στην στρατόσφαιρα τα τελευταία χρόνια.

Μερικές χημικές αντιδράσεις απαιτούν έναν καταλύτη. Ο καταλύτης δεν καταναλώνεται στη διάρκεια της αντίδρασης, αλλά είναι μια ουσία απαραίτητη για τη γρήγορη πορεία της. Οι καταλύτες αφθονούν στη σύγχρονη βιομηχανική χημεία. Σήμερα, πολλά αυτοκίνητα κατασκευάζονται με "καταλυτικούς μετατροπείς" στις εξατμίσεις για να προκαλούν τη μετατροπή του μονοξειδίου του άνθρακα, ή των λίγων τελευταίων άκαυστων υδρογονανθράκων, σε διοξείδιο του άνθρακα και νερό. Ο καταλύτης, σ' αυτή την περίπτωση, είναι ένα κόσκινο που περιέχει πολύτιμα μέταλλα, στην επιφάνεια του οποίου η αντίδραση προχωρά πολύ γρηγορότερα απ' όσο θα γινόταν διαφορετικά. Οι καταλύτες μπορούν να είναι πάρα πολύ αποτελεσματικοί. Συμβαίνει συχνά στην πρακτική της σύγχρονης χημικής μηχανικής, κάποιο άτομο ή μόριο ενός καταλύτη να διέρχεται από την αντίδραση δέκα ή και εκατό χιλιάδες φορές, πριν αυτό απομακρυνθεί μόνιμα από τη διαδικασία της χημικής αντίδρασης.

Το όζον δημιουργείται όταν υπάρχει ηλιοφάνεια, από αντιδράσεις που κατευθύνονται από την έντονη ηλιακή ακτινοβολία. Καθημερινά, ένα κλάσμα του συνολικού όζοντος της στρατόσφαιρας καταστρέφεται αντιδρώντας με χημικές ουσίες που υπάρχουν σ' αυτήν. Η ποσότητα που δημιουργείται είναι, λίγο ή πολύ, καθορισμένη, ενώ αυτή που καταστρέφεται αυξάνεται όσο αυξάνει το συνολικό ποσό του όζοντος. Η ποσότητα του όζοντος αυξάνεται μέχρι να εξισωθεί μ' αυτήν που καταστρέφεται. Έτσι αποκαθίσταται μια σχετική ισορροπία.

Αν, όμως, εισαγάγουμε στη στρατόσφαιρα μια νέα ουσία -όπως το χλώριο, το οποίο καταλύει τη φθορά του όζοντος και όχι τη δημιουργία του θα πρέπει ν' αποκατασταθεί μια νέα ισορροπία με

μικρότερη ποσότητα όζοντος από όση υπήρχε πριν. Κι αν η νέα ουσία είναι ένας πολύ ισχυρός καταλύτης, όπως το χλώριο, τότε μια πολύ μικρή ποσότητα του μπορεί να προκαλέσει σημαντικές αλλαγές στη στιβάδα του όζοντος.

Η ισορροπία ανάμεσα στη δημιουργία και την καταστροφή του όζοντος είναι ένα συνηθισμένο φαινόμενο στη γεωφυσική, παρ' όλ' αυτά όμως προβληματίζει πολλούς που δεν είναι επιστήμονες. Ένα ανάλογο παράδειγμα μπορεί να εξηγήσει και να ξεκαθαρίσει ίσως τη σύγχυση.

Ας υποθέσουμε ότι έχουμε ένα άδειο χαλύβδινο βαρέλι που στη μια πλευρά του έχει μια σειρά μικρές τρύπες μεγέθους μύτης της καρφίτσας. Αν αρχίσουμε να γεμίζουμε το βαρέλι με νερό, με ρυθμό ένα λίτρο ανά λεπτό, θα δούμε ότι ρίχνοντας το πρώτο λίτρο νερού, η τρύπα που βρίσκεται στο πιο χαμηλό σημείο του βαρελιού θ' αρχίσει να τρέχει. Η διαρροή όμως είναι πολύ μικρή για να αδειάσει ένα ολόκληρο λίτρο πριν προσθέσουμε την επόμενη δόση νερού. Μ' αυτό τον τρόπο, το επίπεδο του νερού στο βαρέλι θα αυξάνεται με κάθε νέα προσθήκη. Αλλά καθώς αυξάνεται το επίπεδο του νερού, οι διαρροές γίνονται μεγαλύτερες γιατί πρώτον, υπάρχουν περισσότερες τρύπες από όπου έχουμε διαρροή και δεύτερον η πίεση του νερού στις χαμηλότερες τρύπες γίνεται μεγαλύτερη. Τελικά φθάνει κάποια στιγμή όπου ο ρυθμός της διαρροής είναι ένα λίτρο το λεπτό. Εκείνη τη στιγμή, το επίπεδο του νερού στο βαρέλι σταματά να αυξάνεται. Αυτό σημαίνει ότι η ισορροπία έχει αποκατασταθεί αφού η ποσότητα που εισέρχεται είναι ίση μ' αυτήν που διαρρέει. Αυτή η ισορροπία διαρκεί όσο συνεχίζουμε να γεμίζουμε το βαρέλι με ρυθμό ενός λίτρου το λεπτό και δεν αλλάζουμε τίποτα στις τρύπες.

Υπάρχουν δύο χαρακτηριστικά σ' αυτό το παράδειγμα που μοιάζουν με τις καταστάσεις στην ατμόσφαιρα. Το ένα είναι η σταθερή εισροή του νερού στο βαρέλι -ένα λίτρο το λεπτό- και το άλλο, η διαρροή που εξαρτάται από την ποσότητα του νερού που έχει συσσωρευθεί και που αυξάνεται με την άνοδο του επιπέδου του νερού. Το όζον της στρατόσφαιρας έχει και τα δύο αυτά γνωρίσματα. Η ποσότητα του όζοντος που εισέρχεται στη στρατόσφαιρα καθημερινά είναι σταθερή, εξαρτάται σχεδόν ολοκληρωτικά από την έντονη ηλιακή ακτινοβολία και δεν αλλάζει σημαντικά από μέρα σε μέρα. Έτσι η απώλεια του όζοντος, εξαρτάται από την ποσότητα που είναι διαθέσιμη να συμμετάσχει στις διάφορες αντιδράσεις που το καταστρέφουν. Μ' αυτόν τον τρόπο αποκαθίσταται ισορροπία. Για να βοηθήσουμε να κατανοηθεί περισσότερο ο συσχετισμός ανάμεσα στο βαρέλι και στη στρατόσφαιρα, μπορούμε να πούμε ότι η προσθήκη χημικών καταλυτών σ' αυτήν είναι σαν να προσθέτουμε λίγες ακόμη τρύπες στο βαρέλι, ενώ συνεχίζουμε να το γεμίζουμε με τον ίδιο ακριβώς ρυθμό, ένα λίτρο στο λεπτό. Το νερό στο βαρέλι τότε θα κατέβει σε μια χαμηλότερη στάθμη και θα αποκατασταθεί μια νέα ισορροπία, στην οποία οι διαρροές είναι επίσης μόλις ένα λίτρο το λεπτό. Έτσι συμβαίνει και με την προσθήκη των καταλυτών στη στρατόσφαιρα, που θα ελαττώσει τη συνολική ποσότητα όζοντος.

Τώρα έχουμε τους τρεις κρίκους μιας μακριάς λογικής ακολουθίας. Το χλώριο στη στρατόσφαιρα ελαττώνει την ποσότητα του όζοντος σ' αυτήν. Λιγότερο όζον στη στρατόσφαιρα σημαίνει ότι περισσότερη υπεριώδης ακτινοβολία διαπερνά την ατμόσφαιρα. Αυξήσεις της υπεριώδους ακτινοβολίας προκαλούν μεγαλύτερη βλάβη στους ζωντανούς οργανισμούς της γήινης επιφάνειας. Έχει όμως δοθεί λιγότερη σημασία από τους επιστήμονες σε μια άλλη διαδικασία αλληλεπίδρασης που αφορά το ρόλο του όζοντος στον καθορισμό της στρατόσφαιρας. Το χλώριο στην στρατόσφαιρα καταστρέφει το όζον, περισσότερο σε ορισμένα υψόμετρα απ' όσο σε άλλα. Μια αλλαγή στην κατανομή του όζοντος στη στρατόσφαιρα επηρεάζει τα νέφη πάνω από τον τόπο που η στρατόσφαιρα θερμαίνεται έντονα από την απορροφούμενη ακτινοβολία. Οι αλλαγές στη θέρμανση της στρατόσφαιρας τροποποιούν τους ανέμους που φυσούν σ' αυτά τα υψόμετρα, μεταβάλλοντας το κλίμα της στρατόσφαιρας και την κατανομή του όζοντος σ' αυτήν.

Συνήθως υπάρχει πολύ λίγο χλώριο στην στρατόσφαιρα. Το αέριο χλώριο εκλύεται μερικές φορές σε βιομηχανίες, ή διαφεύγει από πλοία, αλλά αντιδρά έντονα έστω και με μια σταγόνα νερού και με κάθε σωματίδιο που έρχεται σε επαφή -έτσι εξαντλείται πολύ πριν διαχυθεί προς τα πάνω. Μερικά αλατισμένα σταγονίδια που προέρχονται από τα κύματα των ωκεανών εξατμίζονται αφήνοντας σωματίδια άλατος στον αέρα. Μολονότι αυτά τα σωματίδια περιέχουν χλώριο, η πιθανότητα να ανέλθει ένα απ' αυτά τόσο ψηλά στην ατμόσφαιρα -εκεί που βρίσκεται η στιβάδα του όζοντος - είναι μικρή, αφού το άλας είναι πολύ διαλυτό και αυτά τα σωματίδια παρασύρονται εύκολα στον αέρα από τη βροχή. Μερικά βιολογικά συστήματα εκπέμπουν μεθυλοχλωρίδιο, ένα αέριο που περιέχει χλώριο. Αλλά αυτό το αέριο αντιδρά αρκετά γρήγορα με άλλες ουσίες, οπότε το μεγαλύτερο μέρος του εξαφανίζεται πριν διαχυθεί στη στρατόσφαιρα. Συνεπώς, το χλώριο εμποδίζεται να φθάσει ψηλά στην ατμόσφαιρα, εκτός αν οι άνθρωποι επινοήσουν κάποια μέθοδο εναπόθεσης του.

Αν θέλαμε, για κάποιο λόγο, να μετακινηθεί το χλώριο από την επιφάνεια της Γης στη στρατόσφαιρα, θα έπρεπε, πρώτον να ρυθμίσουμε την εκπομπή ενός αερίου, που περιέχει χλώριο, και δεύτερον να βρούμε ένα αέριο που δεν αντιδρά εύκολα με οτιδήποτε, που δεν είναι πολύ διαλυτό και που, αφού φθάσει στην στρατόσφαιρα, μπορεί να διασπαστεί μόνο με την επίδραση της έντονης υπεριώδους ακτινοβολίας για να ελευθερώσει αέριο χλώριο. (Αν γινόταν η διάσπαση πολύ σύντομα, από την ηλιακή ακτινοβολία που διεισδύει στα χαμηλά της ατμόσφαιρας το ελεύθερο χλώριο θα αντιδρούσε και θα απομακρυνόταν). Οι ιδιότητες που μόλις περιγράφησαν, θα έκαναν αυτό το αέριο ιδιαίτερα χρήσιμο στην επιφάνεια της Γης - και σ' αυτό οφείλεται η επίπονη προσπάθεια του ανθρώπου για τη δημιουργία μιας τέτοιας ουσίας.

Αν ένα αέριο δεν αντιδρά με άλλες ουσίες, υπάρχει μικρότερη πιθανότητα να είναι τοξικό για τους ανθρώπους όταν το αναπνεύσουν, και ίσως να μην διαβρώνει τους σωλήνες ή τα σκεύη μέσα στα οποία μεταφέρεται ή αποθηκεύεται. Ένα τέτοιο αέριο θα μπορούσε να έχει πολλαπλές

εφαρμογές. Για παράδειγμα, ως συμπιεσμένο προωθητικό αέριο (το γνωστό σπρέϋ ψεκασμού), χωρίς να αλλοιώνει το περιεχόμενο τους, ως συστατικό σε αφρώδες μονωτικό υλικό χωρίς να αντιδρά με το πλαστικό ή να βλάπτει τους ανθρώπους που το χρησιμοποιούν, ή απλά να συμπιεστεί και να χρησιμοποιηθεί προκειμένου να απομακρύνει τη σκόνη από φωτογραφικούς φακούς και άλλα ευπαθή ηλεκτρονικά εξαρτήματα χωρίς να χαράσσει το αντικείμενο και χωρίς να διακινδυνεύει ο χρήστης. Αν, επιπλέον, μπορούσαμε να υγροποιήσουμε το αέριο σε λογικές πιέσεις και θερμοκρασίες, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για να μεταφέρει θερμότητα από το εσωτερικό των ψυγείων και των συσκευών κλιματισμού διαχέοντας την προς το περιβάλλον χωρίς πιθανότητα διάβρωσης των συγκεκριμένων συσκευών και χωρίς να κινδυνεύσουν οι άνθρωποι στην περίπτωση διαρροής του αερίου στο δωμάτιο, ή στο αυτοκίνητο.

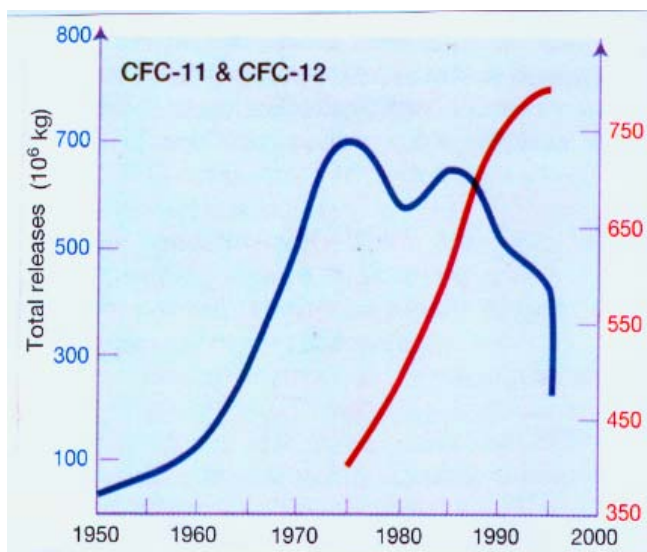
Οι χημικοί στα εργαστήρια παρασκεύασαν ουσίες με τις παραπάνω ιδιότητες πριν από δεκαετίες. Ονομάστηκαν χλωριοφθοριομένοι υδρογονάνθρακες, επειδή περιέχουν άνθρακα, χλώριο, φθόριο και μερικές φορές υδρογόνο. Η ονομασία τους συναντιέται συντεταγμένη ως CFC. Για το καθένα συγκεκριμένο CFC χρησιμοποιείται και ένα αριθμητικό σύμβολο που καθορίζει από πόσα άτομα κάθε στοιχείου αποτελείται το μόριο. Στο μόριο του CFC-12, για παράδειγμα, περιέχεται ένα άτομο άνθρακα, κανένα άτομο υδρογόνου και δύο άτομα φθορίου (επομένως, δύο άτομα χλωρίου).

Δύο απ' αυτές τις ουσίες, το CFC-11 και το CFC-12, έχουν αποδειχθεί τόσο πολύτιμες σε μεγάλο αριθμό εφαρμογών, ώστε έχουν παραχθεί περισσότεροι από 20 εκατομμύρια τόνοι σ' ολόκληρο τον κόσμο. Το μεγαλύτερο μέρος τους υπάρχει ακόμη, και, είτε έχει διαρρεύσει στην ατμόσφαιρα, είτε θα διαρρεύσει. Στον αέρα, αυτές οι ουσίες αναμιγνύονται και διαχέονται, φθάνοντας σ' όλα τα στρώματα της ατμόσφαιρας. Τα μόρια CFC που βρίσκονται στη στρατόσφαιρα υποβάλλονται στην έντονη υπεριώδη ακτινοβολία και διασπώνται σε μικρότερα κλάσματα, ελευθερώνοντας χλώριο. Τότε, το χλώριο παίζοντας έναν καινούργιο ρόλο γίνεται καταλύτης στις αντιδράσεις που καταστρέφουν το όζον.

Αυτή η σύντομη περιγραφή φανερώνει ότι υπάρχει λόγος ανησυχίας, αλλά δεν αποδεικνύει ότι υπάρχει και πρόβλημα. Αυτή η απόδειξη στηρίζεται σε συγκεκριμένα στοιχεία: πόση ποσότητα CFC ελευθερώνεται, πόση φθάνει στη στρατόσφαιρα, πόσο όζον εξαντλείται απ' αυτό το CFC και πόση ζημία θα προκαλέσει η επιπλέον εισερχόμενη UV-B και πού.

Το πρώτο ερώτημα μπορεί να απαντηθεί εύκολα. Το σχήμα 2.7 αναπαριστά μια σειρά μετρήσεων των συγκεντρώσεων των CFC-11 και των CFC-12 στην ατμόσφαιρα. Από αυτούς τους αριθμούς, μπορούμε να υπολογίσουμε πόση ποσότητα χλωρίου υπάρχει στη στρατόσφαιρα σήμερα και πόση πιθανώς θα υπάρχει στο άμεσο μέλλον. Οι γραφικές παραστάσεις δείχνουν ότι οι συγκεντρώσεις αυτών των δύο ουσιών αυξάνονται πολύ γρήγορα, σε ποσοστό μεγαλύτερο από 5% ετησίως (Για λόγους σύγκρισης, 5% ετησίως σημαίνει τριπλάσια αύξηση απ' αυτήν της παγκόσμιας

"πληθυσμιακής έκρηξης"). Η ποσότητα του τετραχλωράνθρακα στον αέρα που αυξάνεται περίπου κατά 1 % ετησίως, μπορεί να φτάσει μέχρι τη στρατόσφαιρα και να παράγει εκεί ελεύθερο χλώριο.



ΣΧΗΜΑ 2.7 Η ΑΠΕΛΕΥΘΕΡΩΣΗ ΤΩΝ ΔΥΟ ΠΙΟ ΕΥΡΕΩΣ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΜΕΝΩΝ CFCs, CFC-11 ΚΑΙ CFC-12 ΑΥΞΗΘΗΚΕ ΑΠΟ ΑΜΕΛΗΤΕΕΣ ΠΟΣΟΤΗΤΕΣ ΤΗ ΔΕΚΑΕΤΙΑ ΤΟΥ 1950', ΣΕ ΠΕΡΙΣΣΟΤΕΡΟΥΣ ΑΠΟ 700.000 ΤΟΝΟΥΣ ΤΟ ΧΡΟΝΟ ΣΤΙΣ ΑΡΧΕΣ ΤΗΣ ΔΕΚΑΕΤΙΑΣ ΤΟΥ 1970'. Η ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΟΜΩΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΣΥΝΕΧΙΖΕΙ ΝΑ ΑΥΞΑΝΕΤΑΙ (ΚΟΚΚΙΝΗ ΚΑΜΠΥΛΗ) ΥΠΟΔΕΙΚΝΥΟΝΤΑΣ ΤΗΝ ΜΕΓΑΛΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΖΩΗΣ ΑΥΤΩΝ ΤΩΝ ΣΥΣΤΑΤΙΚΩΝ

Οι χημικοί συνειδητοποίησαν επίσης ότι το χλώριο δεν ήταν η μοναδική ουσία που μπορεί να καταλύει την καταστροφή του όζοντος: το βρώμιο είναι ακόμη περισσότερο αποτελεσματικό και αρχίζει να ανιχνεύεται στον αέρα σαν μέρος μιας ομάδας ουσιών, που καλούνται αλογόνα και χρησιμοποιούνται ευρέως στους πυροσβεστήρες.

Τα άλλα ερωτήματα είναι δυσκολότερο να απαντηθούν, επειδή οι αλλαγές της στρατόσφαιρας δεν είναι μόνο χημικές. Για παράδειγμα, το όζον βρίσκεται πάνω από τους πόλους της Γης στη διάρκεια της μεγάλης πολικής νύχτας, ανεξάρτητα από την απουσία ηλιακού φωτός, επειδή οι άνεμοι της στρατόσφαιρας το μεταφέρουν εκεί. Επιπλέον - όπως είδαμε στη δεύτερη "λογική ακολουθία της πιθανής ζημιάς" - όταν ένα τμήμα της στρατόσφαιρας φωτίζεται από την ηλιακή ακτινοβολία, το όζον απορροφά το μεγαλύτερο τμήμα αυτής της ενέργειας, γεγονός που συμβάλλει στη θέρμανση της στρατόσφαιρας και στην "καθοδήγηση" των ανέμων. Γι' αυτό, είναι αναγκαίο να κατανοήσουμε τη σχέση ανάμεσα στο όζον, την ηλιακή ακτινοβολία, τους ανέμους, και τις χημικές ουσίες που βρίσκονταν πάντα εκεί κι αυτές που προστίθενται τώρα στην στρατόσφαιρα από τις ανθρώπινες δραστηριότητες.

Ο δρόμος για την καλύτερη κατανόηση αυτών των πολύπλοκων αλληλεπιδράσεων οδηγεί σ' ένα σύμπλεγμα δραστηριοτήτων, που είναι τυπικές στην επιστημονική έρευνα σήμερα: τις μετρήσεις στην ατμόσφαιρα (πού βρίσκεται το κάθε άτομο, σε ποιες ποσότητες και πώς κινείται;), στο εργαστήριο (πόσο γρήγορα αντιδρά το A με το B και ποιου είδους ακτινοβολία απορροφά το B) και την ανάπτυξη κάποιων τεχνικών μεθόδων για να μπορεί να γίνεται συσχέτιση θεωρίας και μετρήσεων. Όπως και στις μελέτες της μεταφοράς του θείου και της όξινης βροχής, η τεχνική που απαιτείται για να συσχετιστούν όσα ξέρουμε για τη χημεία στη στρατόσφαιρα είναι τα μαθηματικά μοντέλα.

Για να υπολογίσει ένας επιστήμονας την ποσότητα του όζοντος που θα καταστραφεί από ορισμένο ποσό χλωρίου στη στρατόσφαιρα, θα έπαιρνε απλώς τα αποτελέσματα των μετρήσεων ενός εργαστηρίου με την καταλυτική απόδοση του χλωρίου, θα τα συνδύαζε με τις μετρήσεις της ποσότητας του χλωρίου στη στρατόσφαιρα και θα έβρισκε την απώλεια του όζοντος. Η απάντηση όμως που θα έπαιρνε δεν θα απείχε πολύ από χρησμό, αφού ένας τέτοιος υπολογισμός θα απέκλειε άλλες σημαντικές διαδικασίες. Για παράδειγμα: αν κάποια ποσότητα όζοντος καταστρέφεται, περισσότερη UV-B ακτινοβολία μπορεί να φθάσει χαμηλότερα στην ατμόσφαιρα. Εκεί θα προκαλέσει χημικές αντιδράσεις, μερικές από τις οποίες δημιουργούν νέο όζον. Ποια όμως ποσότητα θα είναι μεγαλύτερη; Αυτή που καταστρέφεται, ή αυτή που δημιουργείται; Ένα άλλο παράδειγμα: το πόσες φορές ένα άτομο χλωρίου μπορεί να χρησιμεύσει στην κατάλυση της καταστροφής του όζοντος εξαρτάται από άλλες ουσίες της στρατόσφαιρας που απομακρύνουν το χλώριο - το νερό και οι ενώσεις του αζώτου - και, όπως το όζον, μετακινούνται από τους ανέμους της στρατόσφαιρας. Άλλο ερώτημα: ποια ποσότητα καθεμιάς απ' αυτές τις ουσίες θα βρίσκεται πάνω από κάθε συγκεκριμένο μέρος σε διάφορα υψόμετρα; Εκτιμώντας την επίδραση καθεμιάς απ' αυτές τις διαδικασίες και πολλών άλλων ακόμη, σύντομα οδηγούμαστε σε μια πολυπλοκότητα που φέρνει σύγχυση, αφού κάθε διαδικασία εκτός του ό,τι είναι αφ' εαυτής πολύπλοκη, πρέπει να υπολογιστεί σε σχέση με τις άλλες. Η λύση σ' αυτές τις δυσκολίες είναι να χρησιμοποιήσουμε μνήμες μεγάλης χωρητικότητας και τις ταχύτητες των σύγχρονων υπολογιστών. Χωρίς τα μαθηματικά μοντέλα, ελάχιστες ελπίδες θα είχαμε ότι θα μπορέσουμε να υπολογίσουμε με βεβαιότητα τις επιδράσεις των CFC στο όζον της στρατόσφαιρας.

Οι επιστήμονες έχουν σχεδιάσει τέτοια μοντέλα και αύξησαν σταδιακά την πολυπλοκότητα τους, καθώς ανακαλύπτονται νέα χαρακτηριστικά στο πρόβλημα του όζοντος. Και οι αριθμητικές τιμές που χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν κάθε διαδικασία έχουν επίσης βελτιωθεί από εργαστηριακές μετρήσεις. Το επίπεδο κατανόησης και σχεδιασμού των μαθηματικών αυτών μο νέλων δηλώνει ό τ, αν η παρασκευή και η ελευθέρωση των CFC συνεχιστούν με τους σημερινούς ρυθμούς, το συνολικό όζον στη στρατόσφαιρα θα ελαττωθεί αρκετά. Επίσης, έχει υπολογιστεί ότι η μείωση κατά 1 % του όζοντος, θα προκαλέσει 2% περισσότερη UV-B

ακτινοβολία στην επιφάνεια της Γης και παράλληλη αύξηση κατά 4% των κρουσμάτων καρκίνου του δέρματος.

Η πολυπλοκότητα αυτή, η οποία οδήγησε στα μοντέλα της στρατόσφαιρας και στους υπολογισμούς της πιθανής ζημιάς, διαφαίνεται ακόμη και στις απλούστερες μετρήσεις του όζοντος. Καθημερινές μετρήσεις της ποσότητας του όζοντος στη στρατόσφαιρα πάνω από συγκεκριμένες τοποθεσίες (σ' αυτή την περίπτωση πάνω από την κορυφή ενός βουνού της Ελβετίας), αποτελούν ένα σχετικό παράδειγμα. Το πρώτο που παρατηρούμε εδώ είναι ότι η ποσότητα του όζοντος ποικίλλει αρκετά (στη διάρκεια ενός μηνός φαίνεται ότι μεταβάλλεται μέχρι και 17%), επομένως μια μικρή μείωση του ποσοστού στον ετήσιο μέσο όρο είναι μάλλον δύσκολο να καθοριστεί. Η μελέτη αυτών των μετρήσεων μας οδηγεί και σε μια άλλη σκέψη: τα φυτά και τα ζώα συνεχίζουν να επιβιώνουν στην Ελβετία. Δηλαδή, κατορθώνουν να επιζήσουν ακόμη και τις ημέρες κατά τις οποίες η ποσότητα του όζοντος βρίσκεται σε χαμηλά επίπεδα και ο μέσος όρος της UV-B ακτινοβολίας σε υψηλά. Αφού μια μικρή αλλαγή στη συγκέντρωση του όζοντος μπορεί να υποσκελιστεί από μεγαλύτερες φυσικές αλλαγές και αφού οι ζωντανοί οργανισμοί μπορούν να επιβιώσουν σε μεγάλες διακυμάνσεις της ποσότητας του όζοντος, μπαίνει το ερώτημα: γιατί να ανησυχούμε για λίγη επιπλέον UV-B ακτινοβολία;

Ακόμη και για μέτριες διακυμάνσεις της ποσότητας του όζοντος, μια αύξηση του μέσου όρου της υπεριώδους ακτινοβολίας στην επιφάνεια της Γης, θα μπορούσε να βλάψει τους ζωντανούς οργανισμούς, σε δύο τουλάχιστον περιπτώσεις: πρώτον, όταν οι βιολογικές αντιδράσεις συμβαίνουν υπό την επήρεια χαμηλών δόσεων ακτινοβολίας - από τις οποίες όμως αθροιστικά προκύπτει μια υψηλή δόση - και, δεύτερον, όταν οι οργανισμοί υποβληθούν σε υπερβολική δόση ακτινοβολίας. Οι άνθρωποι που περνούν πολύ χρόνο στην ύπαιθρο, για παράδειγμα, παθαίνουν καρκίνο του δέρματος συχνότερα από τους εργαζόμενους σε κλειστούς χώρους - και ο καρκίνος αυτός εμφανίζεται σε μέρη του σώματος που εκτίθενται για μεγάλο διάστημα στον Ήλιο, όπως το πρόσωπο. Αυτό εξηγείται: το δέρμα υφίσταται μια σταθερή δόση ηλιακής ακτινοβολίας, ίσως για πολλά χρόνια, πριν προκληθεί ο καρκίνος. Αν είναι σωστή αυτή η εξήγηση, τότε μια αύξηση στη μέση ποσότητα της υπεριώδους ακτινοβολίας που φθάνει στην γήινη επιφάνεια, ακόμη κι αν είναι μικρότερη από τις συνηθισμένες διακυμάνσεις, θα ελαττώσει το χρόνο που απαιτείται για να συσσωρευτεί στον οργανισμό η δόση ακτινοβολίας με την κρίσιμη τιμή, επομένως, θα συντομεύσει την εμφάνιση του καρκίνου του δέρματος.

Είναι, παραλλήλως, πιθανόν ο καρκίνος του δέρματος να εμφανίζεται όταν το δέρμα εκτίθεται για μικρό χρονικό διάστημα, αλλά σε περίοδο έντονης υπεριώδους ακτινοβολίας που φθάνει όταν το όζον έχει τις χαμηλότερες τιμές συγκέντρωσης. Μια μείωση στη μέση ποσότητα όζοντος (ακόμη κι αν η αλλαγή είναι μικρότερη από τις κανονικές διακυμάνσεις) μπορεί να συμβάλλει δραματικά στην πιθανότητα δημιουργίας μιας ακραίας κατάστασης, στην οποία η υπεριώδης ακτινοβολία είναι

ισχυρότερη από όσο συνήθως. Ενώ αλλάζει κατά ένα μικρό ποσό η μέση ποσότητα όζοντος - επομένως και η ένταση της UV-B - το πλήθος των κατώτερων σημείων που τέμνουν το "επίπεδο προσβολής" της UV-B αυξάνεται πολύ. (Αυτό σημαίνει αύξηση της πιθανότητας για βλάβες από την UV-B).

Η άμεση επίδραση αυτής της θεωρητικής αύξησης στη μέση ποσότητα της UV-B ακτινοβολίας δε μπορεί να υπολογιστεί, οι επιστήμονες αδυνατούν να προσδιορίσουν την ανθρώπινη συμπεριφορά. Τον χειμώνα, οι άνθρωποι φορούν ζεστά πανωφόρια για να προστατευτούν από το κρύο - ίσως στο μέλλον να φορούν καπέλα, γυαλιά ηλίου και γάντια για να προστατεύονται από την UV-B ακτινοβολία. Ακόμη και οι δευτερογενείς επιδράσεις θα μπορούσαν να τροποποιηθούν από την ανθρώπινη δραστηριότητα. Ας υποθέσουμε ότι η ποσότητα της UV-B που φθάνει στη Γη ως το 2030 είναι τόσο μεγάλη, ώστε καθιστά ασύμφορη την παραγωγή της σόγιας. Η ιστορία της αγροτικής δραστηριότητας χαρακτηρίζεται από συνεχείς αλλαγές των προϊόντων παραγωγής, ανάλογα με τις κλιματολογικές και οικονομικές συνθήκες. Γι' αυτό, η επίδραση της UV-B στη γεωργία, μπορεί να είναι μικρότερη απ' αυτήν που θα μπορούσαμε να μαντέψουμε. Η κύρια ζημιά θα προκληθεί στη βιόσφαιρα που δεν διαχειρίζεται ο άνθρωπος δάση και βοσκότοποι, φυτοπλαγκτόν και ψάρια που ζουν στην επιφάνεια της θάλασσας. Καθένα απ' αυτά τα οικοσυστήματα έχει εξελιχθεί με τέτοιο τρόπο, ώστε να ανέχεται τις ιστορικά σταθερές ποσότητες της UV-B. Μια αύξηση αυτής της ποσότητας πιθανό να προκαλεί τις εξής αλλαγές: να αντικατασταθούν τα ευαίσθητα είδη με ανθεκτικότερα, να ελαττωθεί ο ρυθμός ανάπτυξης του συνόλου των ειδών και να αλλάξει η συμπεριφορά των ευμετάβλητων ειδών. Οι γεωλογικές μελέτες αποδεικνύουν ότι σε μερικές χιλιάδες, πιθανώς και εκατομμύρια, χρόνια, θα εξελιχθούν νέα είδη και θα αναπτυχθούν νέα οικοσυστήματα για να αποκαταστήσουν τη γονιμότητα της βιόσφαιρας, ανεξάρτητα από την πρόσθετη UV-B. Αλλά με την αλλαγή συνθηκών, που αναμένεται στις επόμενες δεκαετίες, η εξέλιξη δεν μπορεί να βοηθήσει και το βάρος της προσαρμογής στο νέο περιβάλλον πέφτει στους ανθρώπους και τις κυβερνήσεις τους. Αν πετύχουν αυτόν τον στόχο, ο ρυθμός με τον οποίο συμβαίνουν οι αλλαγές θα ελαττωθεί.

Ένα ξεκίνημα έχει ήδη γίνει. Αντιπρόσωποι από τις περισσότερες χώρες που παράγουν CFC, συμφώνησαν το 1985 ότι οι χλωριοφθοράνθρακες μπορεί να είναι επιβλαβείς και ότι θα αντάλλαζαν στοιχεία και πληροφορίες και θα ενθάρρυναν την έρευνα. Αυτή η συμφωνία ήταν το αποκορύφωμα προσπαθειών αρκετών χρόνων από το προσωπικό του περιβαλλοντικού προγράμματος των Ηνωμένων Εθνών για να καθορίσουν κάποια όρια στην παραγωγή των χημικών ουσιών που βλάπτουν τη στιβάδα του όζοντος. Αυτή η συμφωνία δεν καθόρισε όρια, αλλά τουλάχιστον άνοιξε δρόμους επικοινωνίας ανάμεσα στα έθνη. Έπειτα, ήρθε μια δραματική αποκάλυψη: στη διάρκεια ενός μηνός κάθε χρόνου, αρχίζοντας από τα τέλη της δεκαετίας του 1970, η συνολική ποσότητα όζοντος στη στρατόσφαιρα πάνω από την Ανταρκτική μειωνόταν

απότομα και σε μεγαλύτερο ποσό κάθε χρόνο. Χρειάστηκε κάποιος χρόνος για την αναγνώριση αυτού του φαινομένου, αλλά το 1987 αποδείχθηκε τελικά η ύπαρξη του. Η συνολική ποσότητα όζοντος πάνω από ορισμένες τοποθεσίες είχε ελαττωθεί κατά 60% στη διάρκεια της άνοιξης στο Νότιο Ημισφαίριο, ενώ σε κάποια υψόμετρα το όζον είχε καταστραφεί σχεδόν ολοκληρωτικά.

Αυτή η μείωση στη διάρκεια της άνοιξης στην Ανταρκτική, είχε παρατηρηθεί από τους επιστήμονες ενός τοπικού σταθμού εδάφους, όπου μετρούσαν τη συνολική ποσότητα όζοντος καθ' ύψος. Μια εξέταση των παρατηρήσεων με δορυφόρους που τέθηκαν σε τροχιά όχι μόνο επιβεβαίωσαν το ποσό της μείωσης, αλλά και έδειξαν ότι επρόκειτο για παγκόσμιο φαινόμενο κι όχι για τοπικό συμβάν. Την ίδια εποχή, αφού συζητήθηκε πλατύτερα η εξάντληση του όζοντος από τους CFC, αυτές οι ουσίες κατηγορήθηκαν ότι προκαλούν την "τρύπα" του όζοντος και οι επιστήμονες πείστηκαν για να επιβεβαιώσουν, ή να απορρίψουν την άποψη ότι αυτή ήταν η κατάσταση. Η επιστημονική κοινότητα ενθουσιάστηκε από την ευκαιρία που της δόθηκε, να μελετήσει ξανά την στρατόσφαιρα, αλλά εμφανίστηκαν δυσάρεστα μηνύματα για την κατάσταση. Παρά το γεγονός ότι πολλοί υπολογισμοί και μοντέλα προσομειώσεων έδειχναν ότι το όζον θα μειωνόταν καθώς οι CFC αυξάνονταν, κανένα μοντέλο δεν μπόρεσε να αιτιολογήσει τη μεγαλύτερη μείωση πάνω από το Νότιο Πόλο. Κανένα δεν μπόρεσε να περιγράψει το γεγονός ότι η μείωση εμφανίζεται σαν ένα έντονο φαινόμενο που συμβαίνει μόνο ένα μήνα το χρόνο. Κανένα δεν εμφάνισε μια μείωση τόσο μεγάλη, όσο εκείνες που παρατηρήθηκαν. Ήταν φανερό ότι έπρεπε να ερευνηθεί παραπέρα το θέμα. Χρειάστηκε να σταλούν δύο αποστολές στις Ανταρκτικές περιοχές με μεγάλο υψόμετρο, να γίνουν μετρήσεις από αεροσκάφη, αερόστατα, δορυφόρους και από το έδαφος, και ακόμη να επανεξετασθούν στις λεπτομέρειες τους οι αλληλεπιδράσεις της στρατόσφαιρας. Και όλα αυτά, για να εξηγηθούν τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της περιοχής γύρω από το Νότιο Πόλο, που μεγάλωναν την ικανότητα του χλωρίου να καταστρέφει το όζον.

2.3 Η τρύπα του όζοντος σαν φαινόμενο

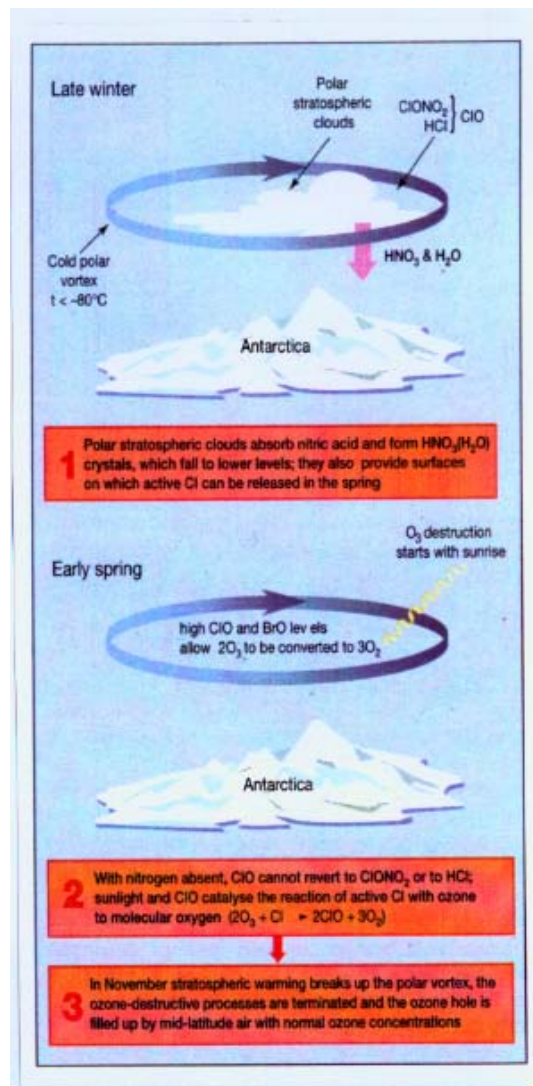
2.3.1 Παρατηρούμενες μεταβολές στο όζον

Τον Οκτώβριο του 1987, οι συγκεντρώσεις όζοντος πάνω από την ανταρκτική έπεσαν στο μισό από το κανονικό τους επίπεδο (1957-1978) και η τρύπα επεκτάθηκε σε μια περιοχή του μεγέθους της Ευρώπης. Από τότε η μείωση επιταχύνθηκε και έφτασε σε ακραίες τιμές κατά την διάρκεια των τριών τελευταίων ετών: μια τιμή ρεκόρ της χαμηλής τιμής του όζοντος, λιγότερο από 100 m atm cm (70 % μείωση) για πολλές ημέρες, περίπου 24 εκατομμύρια Km³, και μια εποχική μείωση του όζοντος κατά την άνοιξη μεγαλύτερη του 40% (Η μεγαλύτερη τρύπα του όζοντος).

Η καταστροφή του όζοντος είναι εντονότερη στην κατώτερη στρατόσφαιρα. Κατά την διάρκεια των τελευταίων ημερών του Σεπτεμβρίου και Οκτωβρίου των τριών τελευταίων ετών, το όζον στην Ανταρκτική είχε ουσιαστικά εξαφανιστεί μεταξύ 13 και 20 Km, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.8.

ΣΧΗΜΑ 2.8 ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΑ ΠΡΟΦΙΛ ΟΖΟΝΤΟΣ ΣΤΗΝ SYOWA (69°S) ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΟΥ ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ ΤΟΥ 1992 ΠΟΥ ΑΝΑΠΑΡΙΣΤΟΥΝ ΤΗΝ ΟΛΟΚΛΗΡΩΤΙΚΗ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΗ ΤΟΥ ΟΖΟΝΤΟΣ ΣΤΗΝ ΚΑΤΩΤΕΡΗ ΣΤΡΑΤΟΣΦΑΙΡΑ. ΦΑΙΝΕΤΑΙ ΕΠΙΣΗΣ ΤΟ ΜΕΣΟ ΠΡΟΦΙΛ ΟΖΟΝΤΟΣ ΤΗΣ ΠΡΟ -ΤΡΥΠΑ ΤΟΥ ΟΖΟΝΤΟΣ- ΕΠΟΧΗΣ (1967-1980)

Η μείωση του όζοντος την άνοιξη, όταν η στρατόσφαιρα στην Ανταρκτική είναι απομονωμένη και ιδιαίτερα ψυχρή, είναι κατά πολύ μεγαλύτερη από την μείωση κατά την θερινή περίοδο (βλ.εικόνα 2.9).



ΕΙΚΟΝΑ 2.9 ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΗΣ ΤΟΥ ΟΖΟΝΤΟΣ ΠΑΝΩ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΝΤΑΡΚΤΙΚΗ

Η τρύπα του όζοντος σχηματίζεται μόνο πάνω από την Ανταρκτική, λόγω του μοναδικού συνδυασμού των καιρικών συνθηκών που ευνοούν τις καταστρεπτικές για το όζον αντιδράσεις με την παρουσία του ηλιακού φωτός κατά την άνοιξη. Στην εικόνα 2.10 φαίνεται η έκταση της τρύπας του όζοντος στις 17 Οκτωβρίου 1994, που απλώθηκε πάνω από το νότιο τμήμα της νοτίου Αμερικής.

Από το 1988, πραγματοποιήθηκαν εντατικές μετρήσεις στην βόρεια πολική περιοχή, οι οποίες περιελάμβαναν πολλές μετρήσεις από αεροσκάφη, μπαλόνια και εξειδικευμένους δορυφόρους. Οι μετρήσεις αυτές καθώς και εκείνες από διεθνείς αποστολές εδάφους, αποκάλυψαν, ότι την περίοδο χειμώνα-άνοιξης η στρατόσφαιρα στην Ανταρκτική έχει τον ίδιο τύπο διαταραγμένης χημικής σύνθεσης, με υψηλές συγκεντρώσεις καταστρεπτικών ενώσεων του χλωρίου και βρώμιου, η οποία προκαλεί τα προβλήματα στην Ανταρκτική. Παρόλα αυτά, η καταστροφή του όζοντος πάνω από την Αρκτική, δεν είναι τόσο έντονη για δύο λόγους: οι θερμοκρασίες στη στρατόσφαιρα είναι

περίπου κάτω από -80°C , λόγω των συχνών εκτεταμένων ανταλλαγών αερίων μαζών με τα μέσα γεωγραφικά πλάτη και δεύτερον διότι ο στρόβιλος στην Αρκτική υπό κανονικές συνθήκες διαλύεται αργά μέσα στο χειμώνα, προτού το ηλιακό φως να προκαλέσει ευρείας κλίμακας καταστροφή του όζοντος. Παράλληλα με στοιχεία για την μείωση του πολικού όζοντος, οι επιστήμονες έστρεψαν την ερευνά τους στη σφαιρική διάβρωση του στρώματος του όζοντος.

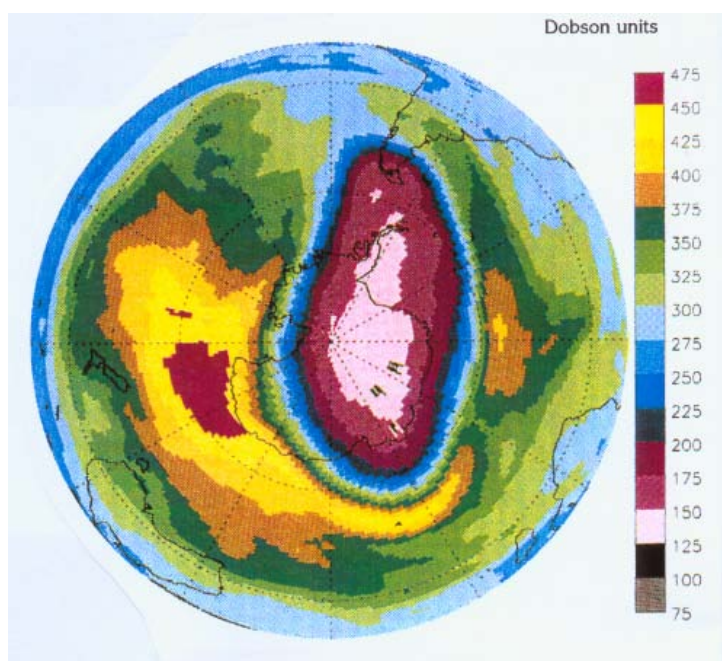
Κατά την διάρκεια του 1987-1988, η Διεθνής Ομάδα Τάσεων του Όζοντος διερεύνησε πρόσφατες μελέτες και μετρήσεις, που πραγματοποιήθηκαν από δορυφόρους και από όργανα εδάφους σε ολόκληρο τον κόσμο. Στην Αναφορά Όζοντος του WMO Νο 18(1988) τα συμπεράσματα ήταν:

Τα ολικά επίπεδα του όζοντος είχαν μειωθεί κατά πολύ τα προηγούμενα 17 χρόνια κυρίως κατά την περίοδο χειμώνα-άνοιξη πάνω από τα μέσα και τα πολικά γεωγραφικά πλάτη.

Οι φυσικές διεργασίες δεν ήταν δυνατό να εξηγήσουν ολόκληρη την απώλεια όζοντος - τα στοιχεία έδειχναν ότι η αιτία ήταν οι ανθρωπογενείς αλογονάνθρακες.

Στην Αναφορά Εκτίμησης του Όζοντος που πραγματοποιήθηκε το 1991 τα νέα ήταν ακόμα χειρότερα : οι τιμές του όζοντος είχαν μειωθεί σημαντικά όχι μόνο κατά την περίοδο χειμώνα-άνοιξη αλλά και το καλοκαίρι.

Εφ' όσον οι άνθρωποι περνούν πολύ περισσότερο χρόνο σε εξωτερικούς χώρους και η UV-B έχει την πιο υψηλή τιμή κατά την θερινή περίοδο, η απώλεια όζοντος αυτή την περίοδο του χρόνου αποτελεί μια πολύ μεγαλύτερη απειλή για την ανθρώπινη υγεία.



ΕΙΚΟΝΑ 2.10 ΠΕΡΙΜΕΤΡΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΟΖΟΝΤΟΣ ΒΑΣΙΣΜΕΝΟΣ ΣΕ TOMS (DATA ΤΟΥ Meteor 3). ΑΠΕΙΚΟΝΙΖΕΙ ΤΗΝ ΕΠΙΜΗΚΥΝΣΗ ΤΗΣ ΤΡΥΠΙΑΣ ΤΟΥ ΟΖΟΝΤΟΣ ΝΑ ΦΤΑΝΕΙ ΠΑΝΩ ΑΠΟ ΤΟ ΝΟΤΙΟ ΚΩΝΟ ΤΗΣ ΝΟΤΙΑΣ ΑΜΕΡΙΚΗΣ ΣΤΙΣ 17-10-1994

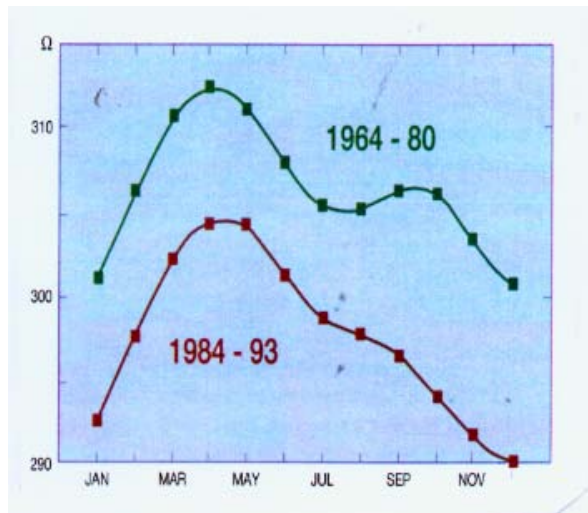
Η συνεχιζόμενη μείωση της ολικής τιμής του όζοντος από το 1970 είναι στατιστικά σημαντική κατά την διάρκεια όλου του έτους, παντού εκτός πάνω από την ζώνη του ισημερινού. Τα ποιοτικά ελεγχόμενα δεδομένα GO_3OS , συμπεριλαμβανόμενων δορυφορικών δεδομένων δείχνουν, ότι η αθροιστική μείωση του όζοντος πάνω από τα μέσα και πολικά γεωγραφικά πλάτη είναι κοντά στο 10%. Λαμβάνοντας υπ'όψη την γνωστή φυσική διακύμανση, η μείωση και στα δύο ημισφαίρια είναι ιδιαίτερος έντονη κατά τη διάρκεια της περιόδου χειμώνα-άνοιξη (πάνω από 6-7% ανά δεκαετία). Είναι η μισή απ' ό,τι κατά την διάρκεια της περιόδου καλοκαίρι-φθινόπωρο. Λεπτομερείς μελέτες δείχνουν μια στατιστικά σημαντική αύξηση του ρυθμού μείωσης του όζοντος της τάξης περίπου 1.5-2.0 % κατά την περίοδο 1981-1991, σε σύγκριση με την περίοδο 1970-1980. Αριθμητικές εκφράσεις των τάσεων όζοντος πάνω από τα μέσα γεωγραφικά πλάτη και ολόκληρο το βόρειο και νότιο ημισφαίριο φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Τα αριθμητικά αυτά δεδομένα μας παρέχουν ακόμη πιο σημαντική επιβεβαίωση της ολικής μείωσης του όζοντος. Μια μείωση του όζοντος περίπου 10 % φαίνεται καθαρά στην γραφική παράσταση των μακροπρόθεσμων τιμών όζοντος πάνω από την Ευρώπη και την Βόρεια Αμερική (βλ.σχήμα 2.11).

ΣΧΗΜΑ 2.11 ΟΙ ΟΛΙΚΕΣ ΑΠΟΚΛΙΣΕΙΣ ΤΟΥ ΟΖΟΝΤΟΣ ΑΠΟ ΤΟ ΜΕΣΟ ΟΡΟ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ 1964-1980 (ΓΙΑ ΕΥΡΩΠΗ ΚΑΙ ΒΟΡΕΙΑ ΑΜΕΡΙΚΗ) ΔΕΙΧΝΟΥΝ ΜΙΑ ΜΕΓΙΣΤΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ ΑΠΟ ΤΙΣ ΑΡΧΕΣ ΤΟΥ 1970'

Οι βασικές από έτος σε έτος διακυμάνσεις σχετίζονται κυρίως με τις μεταβολές στην μεταφορά αέρα μέσα στην στρατόσφαιρα και με τις μεταβολές της φάσης της Σχεδόν Διετούς Κύμανσης (QBO) στην ισημερινή στρατόσφαιρα. Παρ'όλα αυτά, η ολική μείωση συναγωνίζεται τη σχετιζόμενη με το χλώριο και βρώμιο καταστροφή του όζοντος, που προβλέπεται από τα μοντέλα.

Κατά την διάρκεια των δέκα τελευταίων ετών (1984-1993) η μέση τιμή του ολικού όζοντος έχει πέσει στα 297 m atm cm από 306 κατά το 1964-1980 (περίπου 3%) όπως φαίνεται στο σχήμα 2.12

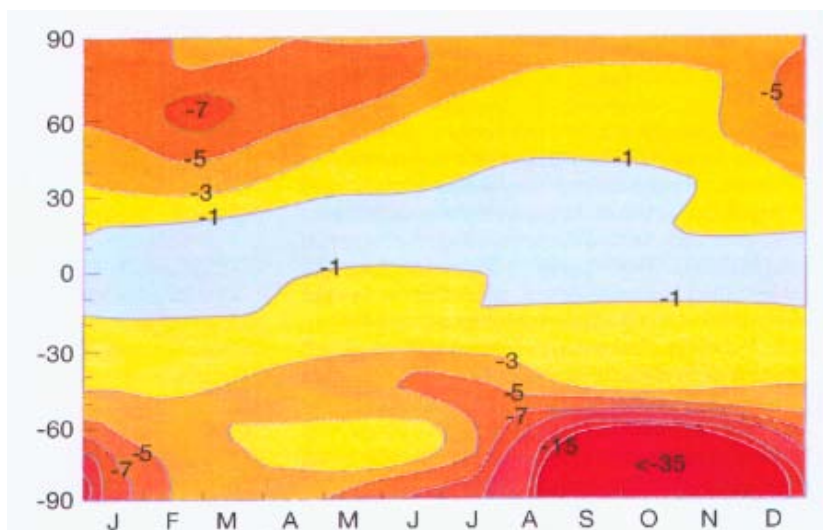


ΣΧΗΜΑ 2.12 Ο ΜΗΝΙΑΙΟΣ ΠΑΓΚΟΣΜΙΟΣ ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΤΙΜΩΝ ΤΟΥ ΟΖΟΝΤΟΣ ΔΕΙΧΝΕΙ ΜΙΑ ΟΥΣΙΑΣΤΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ 1984-1993 ΚΥΡΙΩΣ ΣΤΟ ΔΙΑΣΤΗΜΑ ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ-ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ, ΣΥΓΚΡΙΝΟΜΕΝΗ ΜΕ ΤΑ ΕΠΙΠΕΔΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ 1964-1980

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.2 ΜΕΙΩΣΗ ΤΟΥ ΟΖΟΝΤΟΣ (ΕΠΙ ΤΟΙΣ ΕΚΑΤΟ ΤΗ ΔΕΚΑΕΤΙΑ $\pm 2\sigma$) ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ GO₃OS ΔΕΔΟΜΕΝΑ, ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ 1964 ΜΕΧΡΙ ΤΟ ΜΑΡΤΙΟ 1994

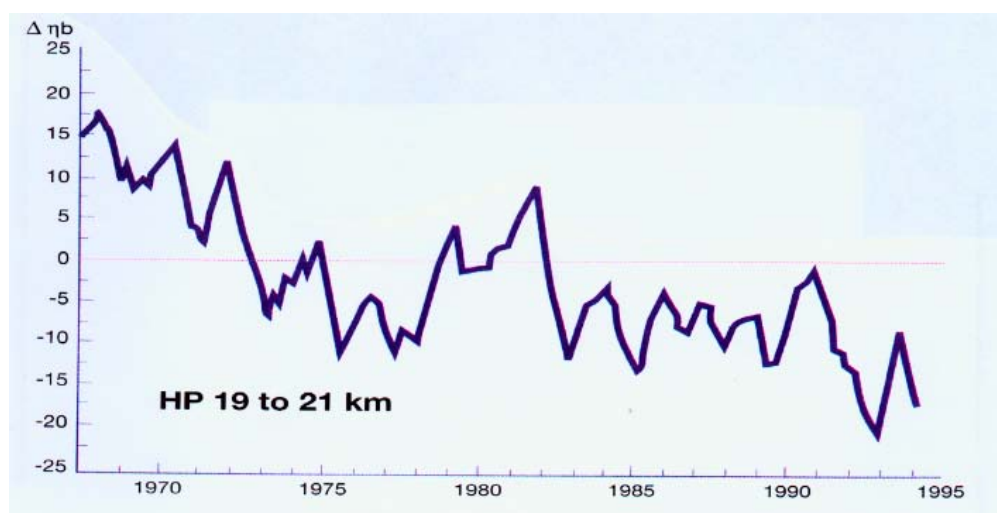
| Περιοχή | Δεκ., Ιαν., | Μάιος, Ιούνιος | Σεπτ., Οκτ., | Έτος |
|---------------|-------------|----------------|--------------|---------|
| | Φεβ., Μαρ. | Ιουλ., Αύγ. | Νοεμ. | |
| 35°-65°N | 5.8±1.7 | 2.6±1.5 | 2.5±1.0 | 3.8±1.2 |
| B. Ημισφαίριο | 4.0±1.1 | 1.9±1.1 | 1.6±0.9 | 2.6±0.9 |
| N. Ημισφαίριο | 2.7±1.0 | 3.4 ±0.8 | 6.6±1.5 | 3.9±0.8 |
| 35°-65°S | 3.6±1.2 | 4.9±1.3 | 7.3 ± 2.0 | 5.0±1.0 |

Παρ'όλα αυτά, αν εξαιρούσαμε την περιοχή του ισημερινού όπου δεν παρατηρούνται σημαντικές μεταβολές, η μείωση του όζοντος πάνω από τα μέσα και πολικά γεωγραφικά πλάτη είναι περισσότερο από δύο φορές μεγαλύτερη. Μερικές ηπειρωτικού εύρους περιοχές εμφανίζουν ακόμη μεγαλύτερη προσθετική μείωση. Η εικόνα 2.13 δείχνει τις διαφορές κατά την διάρκεια του έτους ανάμεσα στις μέσες τιμές συγκέντρωσης του όζοντος για τις περιόδους 1964-1980 και 1984-1993, αντίστοιχα. Το διάγραμμα δείχνει καθαρά τη διακύμανση από πόλο σε πόλο. Δείχνει επίσης τη δραστική μείωση (πάνω από 35% τον Οκτώβριο), που πραγματοποιήθηκε πάνω από την νότια πολική περιοχή. Στα μέσα, βόρεια και πολικά γεωγραφικά πλάτη, η βασική ελάττωση εμφανίζεται κατά την περίοδο χειμώνα-άνοιξη, όπου η διαφορά ανάμεσα στις περιόδους 1964-1980 και 1984-1993 είναι κοντά στο 7%. Δεν έχει υπάρξει καμιά αξιοσημείωτη μεταβολή μέσα στην ζώνη του ισημερινού.



ΕΙΚΟΝΑ 2.13 ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΟΥ ΕΤΟΥΣ ΑΝΑΜΕΣΑ ΣΤΙΣ ΜΕΣΕΣ ΤΙΜΕΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΤΟΥ ΟΖΟΝΤΟΣ ΓΙΑ ΤΙΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥΣ 1964-1980 ΚΑΙ 1984-1993, ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΑ

Κατακόρυφα, η μείωση του όζοντος είναι μέγιστη στην κατώτερη στρατόσφαιρα. Οι οζοντοβολήσεις στο Hohenpeissenberg (κοντά στο Μόναχο) δείχνουν, ότι η μερική πίεση του όζοντος στο στρώμα 19-21 Km έχει μειωθεί κατά περίπου 30 nb αντιπροσωπεύοντας περίπου 20% των προηγούμενων 25 ετών (βλ.σχήμα 2.14).



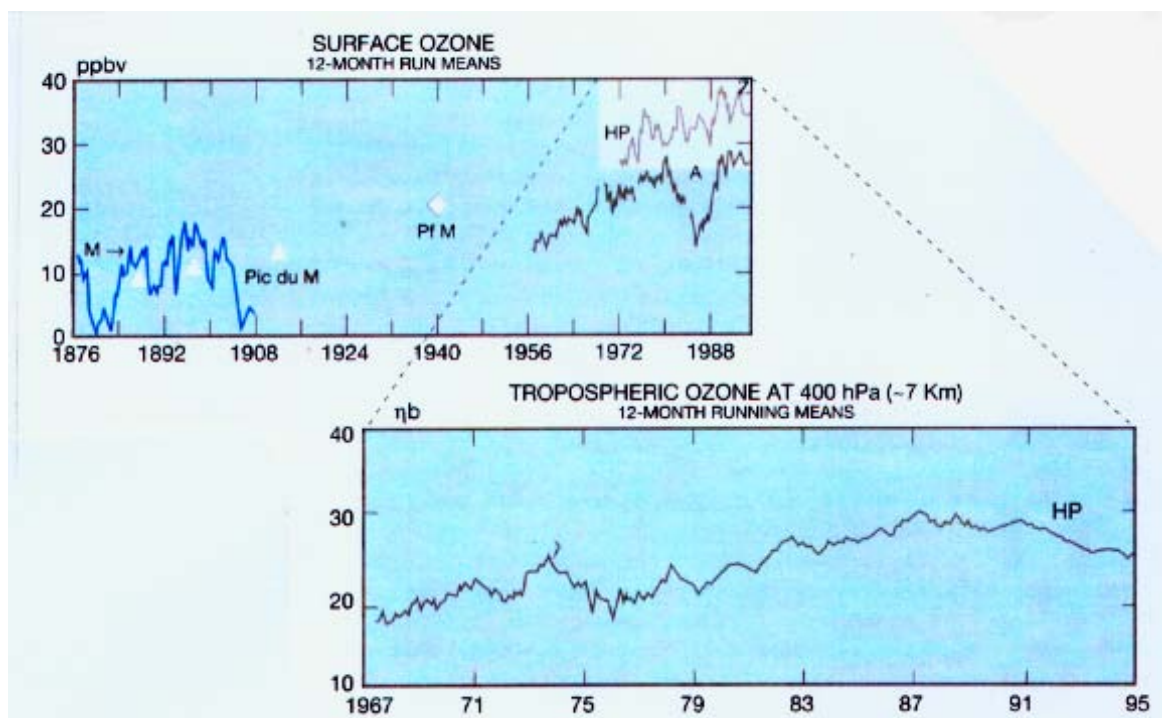
ΣΧΗΜΑ 2.14 Η ΜΕΡΙΚΗ ΠΙΕΣΗ ΤΟΥ ΟΖΟΝΤΟΣ ΣΤΟ ΣΤΡΩΜΑ 19-21 Km ΕΧΕΙ ΜΕΙΩΘΕΙ ΚΑΤΑ ΠΕΡΙΠΟΥ 30 nb ΑΝΤΙΠΡΟΣΩΠΕΥΟΝΤΑΣ ΠΕΡΙΠΟΥ 20% ΤΩΝ ΠΡΟΗΓΟΥΜΕΝΩΝ 25 ΕΤΩΝ (ΗΟΗΕΝΡΕΙΣΣΕΝΒΕΡΓ ΚΟΝΤΑ ΣΤΟ ΜΟΝΑΧΟ)

Ενώ το όζον της στρατόσφαιρας μειώνεται, το όζον της τροπόσφαιρας, τουλάχιστο στο βόρειο ημισφαίριο, αυξάνεται κατά περίπου 10% ανά δεκαετία. Επίσης, παρατηρείται μια αύξηση του όζοντος πάνω από τις περιοχές της σαβάνας στους τροπικούς. Αυτή η αύξηση του όζοντος της

τροπόσφαιρας, είναι βασικά συνέπεια της επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας σε συγκεκριμένους ατμοσφαιρικούς ρυπαντές, κυρίως οξείδια του αζώτου από εκπομπές εδάφους, αεροσκάφη και εξατμίσεις αυτοκινήτων, σε συνδυασμό με τις αυξημένες συγκεντρώσεις άλλων υποκατάστατων, όπως το μεθάνιο και το μονοξείδιο του άνθρακα.

Κατά τα τελευταία 100 χρόνια οι συγκεντρώσεις όζοντος κοντά στο έδαφος στα βόρεια μέσα γεωγραφικά πλάτη έχουν υπερδιπλασιαστεί. Πολλές πηγές υποστηρίζουν μια αύξηση του όζοντος της κατώτερης τροπόσφαιρας μεγαλύτερη από 1% ανά έτος από το τέλος του 19ου αιώνα. Περιλαμβάνουν: αναλυτικές χημικές μετρήσεις στο Montsouris (Παρίσι) και ένα ευρύ δίκτυο, που χρησιμοποιεί την ποιοτική μέθοδο Schoenbein, περιστασιακές μετρήσεις από αεροσκάφη το 1940 και συνεχή παρακολούθηση στο Pic du Midi (Γαλλία) και στη Νότια Γερμανία.

Κατά τη διάρκεια των τελευταίων λίγων δεκαετιών το όζον, το οποίο βρίσκεται πάνω από το έδαφος, μέσα στη μέση και ανώτερη τροπόσφαιρα, έχει σημαντικά αυξηθεί, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.15.



ΣΧΗΜΑ 2.15 ΟΙ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΕΣ (ΚΟΝΤΑ ΣΤΟ ΈΔΑΦΟΣ) ΤΙΜΕΣ ΟΖΟΝΤΟΣ ΑΠΟ ΤΟ MONTSOURIS (M) ΚΑΙ ΤΟ PIC DU MIDI (Δ), ΓΙΑ ΤΟ ΔΕΥΤΕΡΟ ΜΙΣΟ ΤΟΥ ΤΕΛΕΥΤΑΙΟΥ ΑΙΩΝΑ, ΕΙΝΑΙ ΜΙΚΡΟΤΕΡΕΣ ΑΠΟ ΤΙΣ ΜΙΣΕΣ ΤΩΝ ΤΙΜΩΝ ΤΩΝ ΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΛΙΓΩΝ ΔΕΚΑΕΤΙΩΝ, ΜΕΤΡΗΜΕΝΕΣ ΣΤΟ ΗΟΗΕΝΡΕΙΣΣΕΝΒΕΡΓ (HP),ΣΤΗΝ ΑΡΚΟΝΑ (Α),ΣΤΟ ΖΥΓΣΠΙΤΖΕ (Ζ) ΚΑΙ ΣΤΟ PIC DU MIDI (Δ). ΟΖΟΝΤΟΒΟΛΗΣΕΙΣ ΠΟΥ ΕΓΙΝΑΝ ΣΤΟ ΗΟΗΕΝΡΕΙΣΣΕΝΒΕΡΓ ΕΔΩΣΑΝ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΠΟΥ ΠΡΟΣΦΕΡΟΥΝ ΑΠΟΔΕΙΚΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΟΤΙ ΤΟ ΤΡΟΠΟΣΦΑΙΡΙΚΟ ΟΖΟΝ ΑΥΞΗΘΗΚΕ ΣΤΟ ΒΟΡΕΙΟ ΗΜΙΣΦΑΙΡΙΟ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΔΕΚΑΕΤΙΑ ΤΟΥ 1980'(ΣΕ ΥΨΟΣ 7.2 Km,400 hPa)

Η αύξηση του όζοντος μέσα στην τροπόσφαιρα, παρ'όλα αυτά, δεν μπορεί να αντισταθμίσει την πολύ σοβαρότερη μείωση μέσα στην στρατόσφαιρα. Η αύξηση του όζοντος κοντά στο έδαφος θέτει μερικές απειλές για την ανθρώπινη υγεία (π.χ. οφθαλμικού και βρογχικού ερεθισμού). Επιπλέον, λόγω του ότι, το όζον αντιδρά έντονα με άλλα μόρια και τα οξειδώνει, είναι δυνατό να καταστρέψει τον ζωντανό ιστό των φυτών και των ζώων. Το όζον που βρίσκεται κοντά στο έδαφος είναι ένα συστατικό-κλειδί του νέφους, που δημιουργείται κατά την διάρκεια των καλοκαιρινών ημερών χωρίς νέφωση πάνω από μεγάλες πόλεις σε όλο το κόσμο. Οι κυβερνήσεις προσπαθούν να μειώσουν τα επίπεδα αυτού του όζοντος με διακανονιστικά μέτρα, που περιορίζουν τις πηγές του. Κάποιες επιτυχίες προς αυτή την κατεύθυνση έχουν παρατηρηθεί στην Ευρώπη και την Βόρεια Αμερική κατά τα τελευταία χρόνια.

2.3.2 Τί είναι η τρύπα του όζοντος

Μηχανισμός απορρόφησης της υπεριώδους ακτινοβολίας από το όζον - Κύκλος καταστροφής αναγέννησης του όζοντος

Πριν από την εκβιομηχάνιση το όζον της στρατόσφαιρας διατηρούνταν σε κάποια σχεδόν σταθερή τιμή και το πάχος του στρώματος του είχε ελάχιστες διακυμάνσεις. Μόνο που σήμερα η ισορροπία που διατηρούνταν έχει διαταραχθεί, επειδή με την εκβιομηχάνιση αποβάλλονται στην ατμόσφαιρα και φθάνουν τελικά στην στρατόσφαιρα διάφορες χημικές ενώσεις που δεν υπήρχαν στο παρελθόν. Πρόκειται κυρίως για ορισμένες ενώσεις του αζώτου του υδρογόνου και των χλωρίου, βρώμιου, ιωδίου. Τη μεγαλύτερη ζημιά την κάνουν οι ρίζες NO, H, OH, Cl, Br, I, ClO, BrO, IO, που προέρχονται από τις παραπάνω κατηγορίες ενώσεων και καταστρέφουν μεγάλες ποσότητες όζοντος.

Οι ρίζες(=Radikale) είναι μονατομικά ή πολυατομικά συγκροτήματα που έχουν ένα τουλάχιστον ασύζευκτο ηλεκτρόνιο. Αυτό σημαίνει ότι το ηλεκτρόνιο αυτό είναι πανέτοιμο να δεσμεύσει ανά πάσα στιγμή ταχύτατα άλλα ελεύθερα άτομα ή να αποσπάσει άτομα από διάφορες χημικές ενώσεις.

Κατηγορίες αντιδράσεων

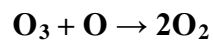
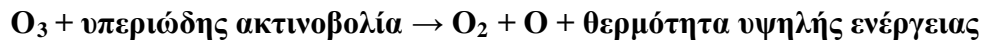
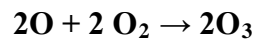
Οι φυσικοχημικές αντιδράσεις που συνέβαιναν και που συνεχίζουν να συμβαίνουν και σήμερα ανήκουν σε δύο βασικές κατηγορίες.

Κατηγορία 1

Όπως γνωρίζουμε, κάθε μόριο οξυγόνου αποτελείται από δύο άτομα. Τα μόρια του οξυγόνου (O₂) της στρατόσφαιρας απορροφούν την ενέργεια που μεταφέρει η υπεριώδης ακτινοβολία και τη μετατρέπουν σε υπέρυθη ακτινοβολία δηλαδή σε θερμότητα. Κατά τη διαδικασία αυτή στα μόρια του οξυγόνου διαταράσσεται η σύνδεση των δύο ατόμων και έτσι αποχωρίζονται. Τα άτομα που προκύπτουν αντιδρούν με άλλα μόρια οξυγόνου και σχηματίζουν όζον. Τα μόρια του όζοντος (O₃) δέχονται και αυτά την ενέργεια της υπεριώδους ακτινοβολίας. Η σύνδεση των ατόμων

διαταράσσεται με αποτέλεσμα να αποχωρίζεται ένα από τα τρία άτομα του όζοντος. Κατά τη διαδικασία αυτή η υπεριώδης ακτινοβολία μετατρέπεται σε υπέρυθρη δηλαδή θερμότητα. Έτσι από το όζον με την επίδραση της υπεριώδους ακτινοβολίας προέρχονται ένα ατομικό οξυγόνο και ένα μόριο οξυγόνου. Η διαδικασία αυτή αρχίζει από την αρχή με αποτέλεσμα να καταναλώνεται η υπεριώδης ακτινοβολία (εκτός από ένα μικρό μέρος της) και να μη φθάνει στη γη.

Για όσους έχουν γνώσεις Χημείας παραθέτουμε τις αντιδράσεις που περιγράψαμε:



Ο κύκλος επαναλαμβάνεται με αποτέλεσμα να διατηρείται το στρώμα του όζοντος χωρίς σοβαρές μεταβολές. Στην εικόνα 2.16 απεικονίζεται αναλυτικά η παραπάνω διαδικασία.

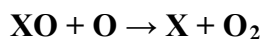
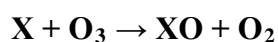
Κατηγορία 2

Στην κατηγορία αυτή ανήκουν οι ενώσεις μεθάνιο (CH₄), υποξείδιο του αζώτου (N₂O), το μεθυλοχλωρίδιο (CH₃Cl), το μεθυλοβρωμίδιο (CH₃Br) κ.ά. Οι ενώσεις αυτές προέρχονται από φυσικές πηγές στην επιφάνεια της γης, στους βάλτους, στους ωκεανούς κ.λ.π. Καταλήγουν στην τροπόσφαιρα και στη συνέχεια με ανοδικά ρεύματα στη στρατόσφαιρα. Οι περισσότερες από αυτές παράγονται και από τον άνθρωπο είτε ως προϊόντα για διάφορες χρήσεις είτε ως παραπροϊόντα και καταλήγουν τελικά στην ατμόσφαιρα. Αυτά που συμβαίνουν στην τροπόσφαιρα έχουν ήδη σε προηγούμενα κεφάλαια αναλυθεί.

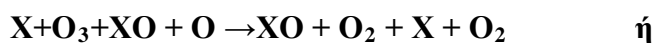
Στη στρατόσφαιρα σχηματίζουν με φωτόλυση τις ρίζες NO, NO₂, H, OH, Cl, Br, I, ClO, BrO, κ.λ.π. οι οποίες δρουν καταλυτικά, διασπών το όζον και σχηματίζουν μόρια οξυγόνου. Με φωτόλυση και μετά από κάποιες αντιδράσεις σχηματίζονται επίσης ενώσεις όπως π.χ. HNO₃, N₂O₅, ClONO₂ που, όπως θα δούμε παρακάτω, παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στην καταστροφή του όζοντος.

Για όσους έχουν γνώσεις Χημείας παραθέτουμε ένα μέρος από τις αντιδράσεις που περιγράψαμε:

Εάν ονομάσουμε X τις ρίζες H, Cl και Br και με XO τις ρίζες που περιέχουν και οξυγόνο π.χ. NO, OH, ClO κ.λ.π. έχουμε:

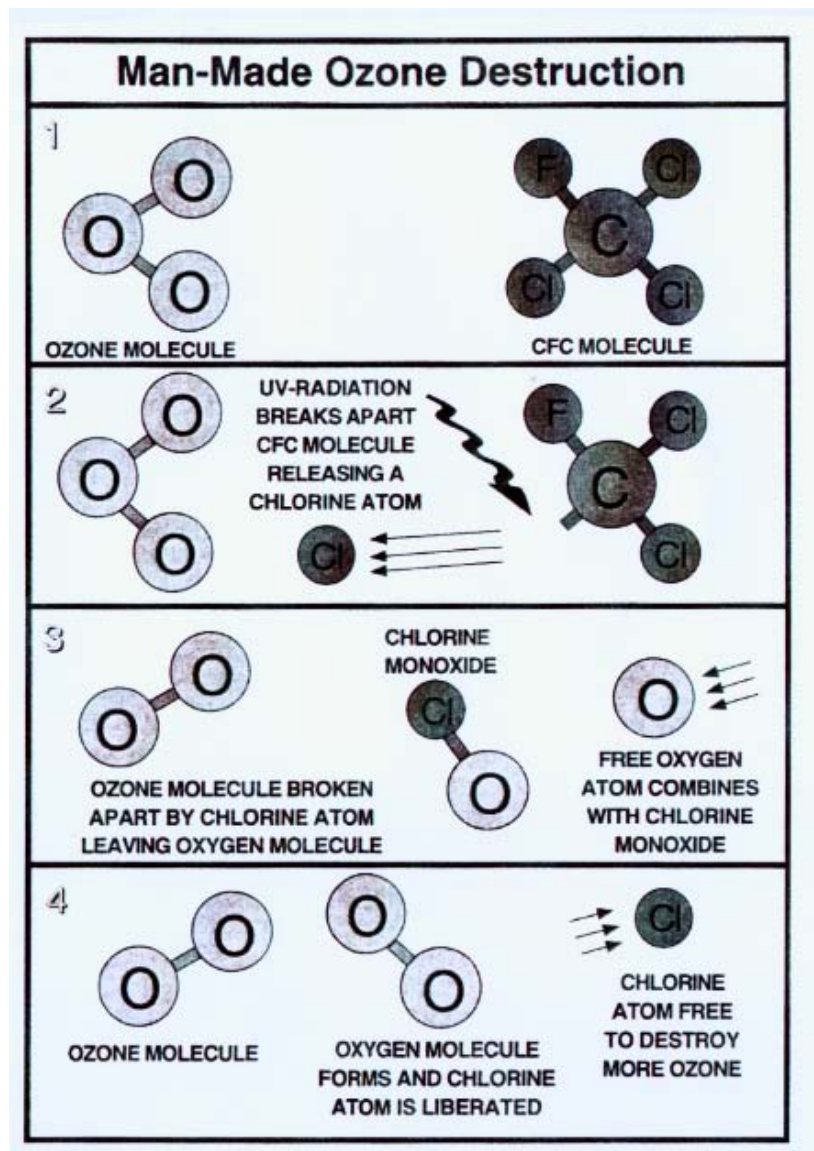


Προσθέτοντας κατά μέλη και μετά την απαλοιφή των κοινών προσθετέων του A και B μέρους έχουμε:



Βέβαια ένα μέρος από αυτό το μοριακό οξυγόνο δεχόμενο την υπεριώδη ακτινοβολία συμπεριφέρεται όπως περιγράψαμε στην κατηγορία 1. Παρ' όλα αυτά η στάθμη του όζοντος της στρατόσφαιρας διατηρείται σε χαμηλότερα επίπεδα σε σχέση με τη στάθμη που θα διατηρούνταν εάν δεν παράγονταν οι ενώσεις αυτές τόσο από τον άνθρωπο όσο και από την ίδια τη φύση.

Ο καταλυτικός ρόλος των ριζών φαίνεται από το γεγονός ότι ενώ λαμβάνουν μέρος στις αρχικές αντιδράσεις δεν εμφανίζονται στο τελικό αποτέλεσμα. Με τον τρόπο αυτό συνεχίζουν να αντιδρούν με άλλα μόρια όζοντος και να τα καταστρέφουν (βλ. εικόνα 2.17)



ΕΙΚΟΝΑ 2.17 ΑΝΘΡΩΠΟΓΕΝΗΣ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΗ ΟΖΟΝΤΟΣ

Κατηγορία 3

Η απώλεια του όζοντος είναι ιδιαίτερα έντονη πάνω από την παγωμένη ήπειρο της ανταρκτικής, διότι ο χειμερινός πολικός στρόβιλος της στρατόσφαιρας αποτρέπει εντατικές ανταλλαγές αερίων μαζών με τα μέσα γεωγραφικά πλάτη. Το γεγονός αυτό προκαλεί πολύ χαμηλές θερμοκρασίες (κάτω από -80°C), οι οποίες ευνοούν την γέννηση πολικών στρατοσφαιρικών νεφών (PSC) από τμήματα πάγου (βλ. εικόνα 2.19). Τα μόρια πάγου έλκουν τους υδρατμούς και απορροφούν τις ενώσεις αζώτου, στη συνέχεια κατέρχονται μαζί με αυτές σε κατώτερα επίπεδα της ατμόσφαιρας, απαλλάσσοντας τον αέρα μέσα στη στρατόσφαιρα από υγρασία και άζωτο (απονιτροποίηση). Με την επανεμφάνιση του ηλιακού φωτός νωρίς την άνοιξη, αυτές οι χημικές ενώσεις μετατρέπονται σε ενεργές ενώσεις χλωρίου και βρώμιου στην επιφάνεια των νεφών PSC. Οι ουσίες αυτές έχουν την ικανότητα να διασπούν τα μόρια του όζοντος με εκπληκτική αποτελεσματικότητα

Μηχανισμός δημιουργίας της τρύπας του όζοντος στη στρατόσφαιρα της ανταρκτικής

Τους μήνες Σεπτέμβριο και Οκτώβριο που αντιστοιχούν στην άνοιξη του νότιου ημισφαιρίου παρατηρείται κάθε χρόνο (τα τελευταία 23 χρόνια) στη στρατόσφαιρα πάνω από την ανταρκτική μείωση της ποσότητας του όζοντος που ξεπερνά το ποσοστό 60% με αντίστοιχη βέβαια μείωση του πάχους του στρώματος (βλ.σχήμα 2.18). Σε μερικές μάλιστα περιοχές της ανταρκτικής, σε ύψη κάτω από 20 χιλιόμετρα, η μείωση φθάνει και το 100%. Η μεγάλη αυτή μείωση του όζοντος έχει ονομασθεί από τους ειδικούς τρύπα του όζοντος. Το φαινόμενο συμβαίνει στην κάτω στρατόσφαιρα που, όπως ήδη γνωρίζουμε, βρίσκονται και οι μεγαλύτερες ποσότητες του όζοντος.

Όπως έχει προαναφερθεί η τρύπα του όζοντος ανακαλύφθηκε για πρώτη φορά το έτος 1985. Οι επιστήμονες που ασχολούνται με τα θέματα αυτά έχουν προσδιορίσει ότι η τρύπα του όζοντος πρωτοεμφανίστηκε το έτος 1977.

ΣΧΗΜΑ 2.18 ΣΤΟ ΣΧΗΜΑ ΠΑΡΟΥΣΙΑΖΕΤΑΙ Η ΔΡΑΜΑΤΙΚΗ ΜΕΙΩΣΗ ΤΟΥ ΟΖΟΝΤΟΣ ΠΑΝΩ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΝΤΑΡΚΤΙΚΗ. ΟΙ ΤΙΜΕΣ ΤΟΥ ΟΖΟΝΤΟΣ ΕΙΝΑΙ ΟΙ ΜΕΣΕΣ ΤΙΜΕΣ ΚΑΤΑ ΤΟ ΜΗΝΑ ΟΚΤΩΒΡΙΟ. ΠΑΡΑΤΗΡΟΥΜΕ ΤΗΝ ΑΙΦΝΙΔΙΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΚΑΜΠΥΛΗΣ ΜΕΤΑ ΤΟ 1975. ΤΟ 1994 ΤΟ ΠΟΣΟΝ ΤΟΥ ΟΖΟΝΤΟΣ ΗΤΑΝ ΤΟ ΜΙΣΟ ΑΥΤΟΥ ΤΟΥ 1974

Τι είναι όμως αυτό που μέσα σε μικρό σχετικά διάστημα (τους δύο ανοιξιάτικους μήνες του νότιου ημισφαιρίου) προκαλεί τη μεγάλη αυτή καταστροφή; Η απάντηση δίνεται στην επόμενη παράγραφο.

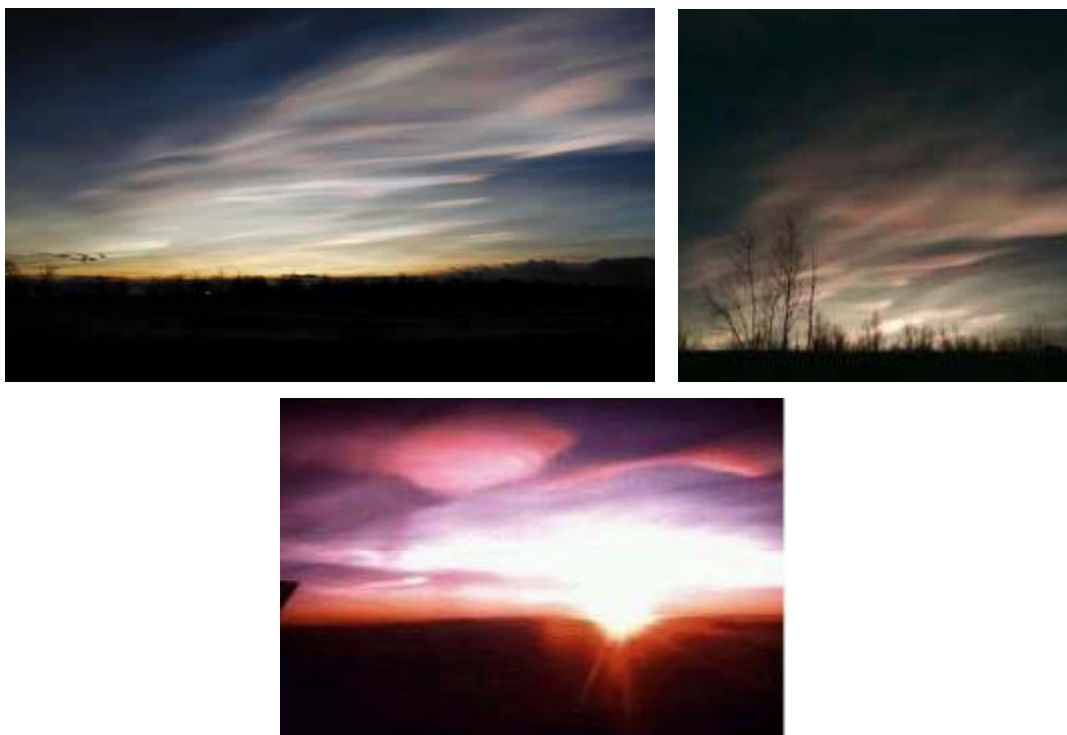
Για να μπορέσουμε να δώσουμε κατανοητή εξήγηση του φαινομένου της δημιουργίας της τρύπας του όζοντος πρέπει να επαναλάβουμε κάποια φαινόμενα στα οποία έχουμε ήδη αναφερθεί και να περιγράψουμε κάποια νέα που θα μας χρησιμεύσουν προς την κατεύθυνση αυτή. Όπως λοιπόν γνωρίζουμε, το όζον της στρατόσφαιρας καταστρέφεται και δημιουργείται συνεχώς με τη βοήθεια υπεριώδους ακτινοβολίας υψηλής ενέργειας (UV - B). Με τον τρόπο αυτό διατηρείται η ποσότητα του όζοντος στη στρατόσφαιρα σε κάποια στάθμη. Η στάθμη αυτή επηρεάζεται από τις ποσότητες των επιβλαβών για το όζον ενώσεων που επιβαρύνουν την στρατόσφαιρα με αποτέλεσμα η στάθμη αυτή να κατεβαίνει πολύ χαμηλότερα και να λεπταίνει το στρώμα του όζοντος.

Στη στρατόσφαιρα των τροπικών περιοχών η υπεριώδης ακτινοβολία είναι η ισχυρότερη από όλα τα σημεία της υπόλοιπης στρατόσφαιρας με αποτέλεσμα να έχουμε στο τμήμα αυτό τη μεγαλύτερη παραγωγή όζοντος. Το ύψος (πάχος) όμως του στρώματος του όζοντος των τροπικών περιοχών δεν είναι το μεγαλύτερο. Είναι απεναντίας το μικρότερο. Αυτό συμβαίνει επειδή γίνεται μεταφορά όζοντος από τη στρατόσφαιρα των τροπικών περιοχών προς τις περιοχές μεγαλύτερου γεωγραφικού πλάτους. Το φαινόμενο αυτό εξηγείται με την μεγάλη αύξηση της θερμοκρασίας που υφίσταται ο αέρας στις τροπικές περιοχές που έχει σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία ισχυρών ανοδικών ρευμάτων που μεταφέρουν μεγάλες αέριες μάζες, πλούσιες σε όζον. Τα ρεύματα αυτά ανεβαίνουν στη στρατόσφαιρα και διαχωρίζονται στα κατώτερα στρώματα της σε δύο κλάδους. Ο ένας κλάδος κατευθύνεται προς τα υψηλότερα στρώματα της αλλάζοντας καθ' οδόν σιγά σιγά την κατεύθυνση του προς την πολική περιοχή του ημισφαιρίου που έχει χειμώνα. Ο άλλος κλάδος αφού ξεπεράσει ολόκληρη τη στρατόσφαιρα μπαίνει στη μεσόσφαιρα που βρίσκεται πάνω από τη στρατόσφαιρα και από εκεί ακολουθεί την ίδια κατεύθυνση, όπως και ο πρώτος. Με τον τρόπο αυτό επηρεάζεται το πάχος του στρώματος του όζοντος γύρω από τον πλανήτη. Εξαίρεση αυτού του κανόνα αποτελεί η τρύπα του όζοντος. Στους πόλους η κίνηση των αερίων μαζών είναι καθοδική, επειδή οι αέριες μάζες ψύχονται κατά την πολική νύχτα.

Στη στρατόσφαιρα των πολικών περιοχών η υπεριώδης ακτινοβολία είναι η ασθενέστερη από όλα τα άλλα σημεία της στρατόσφαιρας του πλανήτη με αποτέλεσμα η παραγόμενη ποσότητα του όζοντος να είναι μικρή και η ισορροπία παραγωγής - καταστροφής πολύ ευαίσθητη.

Όπως είναι γνωστό κατά τους χειμερινούς μήνες επικρατεί στους πόλους η πολική νύχτα όπου σχεδόν για 6 μήνες ο ήλιος δε βγαίνει πάνω από τον ορίζοντα. Οι θερμοκρασίες στη στρατόσφαιρα των πόλων κατεβαίνουν σε πολύ χαμηλά επίπεδα. Αναπτύσσεται τότε ένα ισχυρό κυκλικό ρεύμα αέρα γύρω από τους πόλους στη μέση και κατώτερη στρατόσφαιρα, γνωστό με το όνομα «πολικός στρόβιλος». Αυτός ο στρόβιλος έχει ως αποτέλεσμα την απομόνωση της πολικής περιοχής από τη γύρω περιοχή που είναι θερμότερη. Επειδή δεν υπάρχει καθόλου ηλιακό φως, ο αέρας μέσα στον πολικό στρόβιλο παραμένει παγωμένος

Όταν οι θερμοκρασίες αυτές κατεβούν κάτω από τους -78 έως -80°C τότε σχηματίζονται τα Πολικά Στρατοσφαιρικά Νέφη Πάγου PSC (Polar Stratospheric Clouds). Τα σωματίδια πάγου (κρύσταλλοι) αυτών των νεφών δεν αποτελούνται μόνο από καθαρό νερό αλλά σχηματίζονται από τρία μόρια νερού και ένα μόριο νιτρικού οξέος (HNO_3). Μπορούν να πάρουν επίσης μικρή ποσότητα θειικού οξέος (H_2SO_4) και υδροχλωρίου (HCl). Ο σχηματισμός των PSC εξαρτάται πολύ από την θερμοκρασία. Εάν δεν κατεβούν οι θερμοκρασίες στα επίπεδα που προαναφέραμε δε σχηματίζονται PSC.



ΕΙΚΟΝΑ 2.19 ΠΟΛΙΚΑ ΣΤΡΑΤΟΣΦΑΙΡΙΚΑ ΝΕΦΗ ΠΑΓΟΥ PSC (POLAR STRATOSPHERIC CLOUDS)

Για να κατεβούν οι θερμοκρασίες σ' αυτά τα επίπεδα εκτός από την πολική νύχτα σπουδαίο ρόλο παίζουν και τα βαρομετρικά χαμηλά των πολικών περιοχών. Όσο πιο βαθύ είναι ένα βαρομετρικό χαμηλό τόσο χαμηλότερα πέφτουν οι θερμοκρασίες. Τα βαρομετρικά χαμηλά στις περιοχές του βόρειου πόλου (αρκτικής) δεν είναι τόσο βαθιά όσο τα χαμηλά των περιοχών του νότιου πόλου (ανταρκτικής). Επίσης δεν είναι τόσο μεγάλης διάρκειας και σταθερότητας όπως του νότιου πόλου. Στη διαμόρφωση των θερμοκρασιών σημαντικό ρόλο παίζει επίσης η μετακίνηση αερίων μαζών προς τους πόλους που παρενοχλούν τα βαρομετρικά χαμηλά. Οι αέριες μάζες που μετακινούνται προς το βόρειο πόλο προέρχονται από την ξηρά και είναι θερμότερες (η ξηρά στο βόρειο ημισφαίριο είναι πολύ κοντά στις πολικές περιοχές) ενώ στο νότιο ημισφαίριο η ξηρά είναι αρκετά μακριά και οι αέριες μάζες προέρχονται από τη θάλασσα. Έτσι στη στρατόσφαιρα των βόρειων πολικών περιοχών οι θερμοκρασίες δεν πέφτουν συχνά τόσο χαμηλά και ο σχηματισμός

Στρατοσφαιρικών Νεφών Πάγου είναι σπανιότερος μέχρι ανύπαρκτος τουλάχιστο μέχρι σήμερα. Απεναντίας στη στρατόσφαιρα των νότιων πολικών περιοχών κάθε χρόνο οι θερμοκρασίες πέφτουν στα χαμηλά επίπεδα που απαιτούνται για το σχηματισμό αυτών των νεφών.

Στα σωματίδια πάγου των νεφών αποθηκεύονται και άλλα αέρια τα οποία παγώνουν στην επιφάνεια τους. Τα αέρια αυτά είναι τα αποθηκευτικά (Reservoirgase) (αναφερόμαστε αργότερα) και άλλα ιχναέρια. Τα αποθηκευτικά αέρια του χλωρίου είναι κυρίως το ClONO_2 (Chlornitrat), το HCl υδροχλώριο κ.ά. Αντίστοιχα είναι τα αέρια του βρώμιου και του ιωδίου.

Κατά τη διάρκεια του πολικού χειμώνα τα αέρια αυτά διασπώνται μετά από διάφορες αντιδράσεις που συμβαίνουν στην επιφάνεια των σωματιδίων πάγου και ελευθερώνεται χλώριο, βρώμιο και ιώδιο, τα οποία στην φάση αυτή δεν αποτελούν κίνδυνο για το όζον, διότι είναι σε μοριακή μορφή. Όπως αναφέρθηκε, το χλώριο όπως ελευθερώνεται από την επιφάνεια των παγοκρυστάλλων των στρατοσφαιρικών νεφών βρίσκεται σε μοριακή μορφή και δεν μπορεί να καταστρέψει το όζον. Απαιτείται η επίδραση της υπεριώδους ηλιακής ακτινοβολίας που δεν είναι διαθέσιμη κατά τη διάρκεια του χειμώνα. Έτσι η συγκέντρωση του αυξάνεται μέχρι να εμφανιστεί ο ήλιος την άνοιξη. Όταν την άνοιξη βγαίνει πάλι ο ήλιος πάνω από τον ορίζοντα τα μόρια αυτών των στοιχείων διασπώνται υπό την επίδραση της υπεριώδους ακτινοβολίας πολύ γρήγορα σε ρίζες. Οι ρίζες αυτές αντιδρούν με το όζον της στρατόσφαιρας πάνω από τον πόλο με αποτέλεσμα να το καταστρέφουν σε μικρό χρονικό διάστημα. Το μοριακό χλώριο μετατρέπεται σε δραστικό ατομικό χλώριο οπότε καταστρέφεται περίπου το 70% του όζοντος σε διάστημα μόνο λίγων εβδομάδων.

Οι ίδιες διαδικασίες που οδηγούν στην τρύπα του όζοντος στο νότιο ημισφαίριο λαμβάνουν χώρα και στο βόρειο ημισφαίριο, αλλά σε μικρότερο βαθμό και έκταση. Επιπλέον την περίοδο αυτή το όζον στον πόλο δε βρίσκεται σε υψηλά επίπεδα, επειδή κατά τη διάρκεια του πολικού χειμώνα δεν είναι δυνατό να σχηματισθεί. Η διαδικασία που περιγράψαμε αποτελεί την *τρίτη κατηγορία* αντιδράσεων που είναι υπαίτιες για την τρύπα του όζοντος.

Δε θα προχωρήσουμε σε περισσότερες λεπτομέρειες που έχουν σχέση με τις διάφορες χημικές αντιδράσεις που συμβαίνουν στην επιφάνεια των σωματιδίων πάγου, ούτε θα επεκταθούμε σε άλλα φυσικοχημικά φαινόμενα όπως π.χ με το τι συμβαίνει με το μεθάνιο και διάφορα άλλα ιχναέρια, επειδή οι μηχανισμοί είναι σχεδόν παρόμοιοι και αλληλένδετοι και δεν πρόκειται να μας προσφέρουν κάτι ουσιαστικό στο όλο θέμα του όζοντος. Οι ενώσεις όμως του θείου έχουν κάποια ιδιαιτερότητα που θεωρούμε σκόπιμο ότι πρέπει να περιγραφεί. Σχηματίζουν θειϊκά aerosol που είναι σταγονίδια από θειώδες οξύ διαλυμένο σε νερό. Τα θειϊκά aerosol τα συναντούμε στην κάτω στρατόσφαιρα. Σχηματίζονται από την οξείδωση (αντίδραση με οξυγόνο) του θειούχου καρβονυλίου το οποίο είναι ένα φυσικό συστατικό της ατμόσφαιρας. Επειδή η χημική ένωση αυτή είναι αρκετά σταθερή, έχει αρκετά μεγάλη διάρκεια ζωής, και έτσι, με τον ίδιο τρόπο όπως και οι άλλες αέριες ενώσεις, φθάνει στη στρατόσφαιρα. Τα θειϊκά aerosol επιταχύνουν την απελευθέρωση

από τα αποθηκευτικά αέρια (Reservoirgase) του χλωρίου, του βρώμιου και του ιωδίου ως και διαφόρων ριζών που περιέχουν χλώριο, βρώμιο και ιώδιο και μειώνουν το NOx που χρησιμεύει στη δημιουργία των αποθηκευτικών αερίων (Reservoirgase). Με τον τρόπο αυτό συμμετέχουν στην καταστροφή του όζοντος. Πάντως το μέγεθος της καταστροφής που προκαλούν εξαρτάται από τη θερμοκρασία. Έντονες χημικές αντιδράσεις με τη βοήθεια των aerosol είναι δυνατόν να συμβούν μόνο σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες παρόμοιες με αυτές που απαιτούνται και για τη δημιουργία Στρατοσφαιρικών Νεφών Πάγου. Σε θερμοκρασίες όχι τόσο χαμηλές η ζημιά που προκαλούν στο όζον δεν είναι υπερβολική, θεϊκά aerosol σχηματίζονται στη στρατόσφαιρα και από το διοξείδιο του θείου (SO₂) το οποίο φθάνει εκεί από μεγάλες εκρήξεις ηφαιστειών αλλά και από τα καυσαέρια των αεροπλάνων που πετούν πολύ ψηλά. Στις περιπτώσεις μάλιστα των μεγάλων εκρήξεων των ηφαιστειών η ζημιά που γίνεται στο όζον είναι σημαντική. Για τη δημιουργία της τρύπας του όζοντος τα βασικότερα που πρέπει να συγκρατήσουμε, είναι η δημιουργία των νεφών πάγου στις πολικές περιοχές του νότιου ημισφαιρίου και η επανεμφάνιση στα νέφη αυτά των ριζών των αερίων που είχαν δεσμευθεί με τη δημιουργία των αποθηκευτικών αερίων (Reservoirgase) φαινόμενο που μας δίνει τη δυνατότητα να κατανοήσουμε το μηχανισμό της δημιουργίας της τρύπας του όζοντος και να επιβεβαιώσουμε ακόμα μια φορά την καταστροφικότητα των διαφόρων ιχναερίων και ιδίως των χλωροφθορανθράκων.

Η εξήγηση του φαινομένου της τρύπας του όζοντος που δώσαμε έχει ένα κενό που μας δημιουργεί το εύλογο ερώτημα: Γιατί οι πλούσιες σε όζον αέριες μάζες που μεταφέρονται από τις τροπικές περιοχές προς τα μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη και τους πόλους δεν κλείνουν την τρύπα του όζοντος;

Η απάντηση δεν είναι απλή, επειδή πρόκειται για πολύπλοκο φαινόμενο, αλλά θα προσπαθήσουμε να την απλοποιήσουμε. Τα βαρομετρικά χαμηλά που επικρατούν κατά τους χειμερινούς μήνες στους πόλους και παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στη δημιουργία των Στρατοσφαιρικών Νεφών Πάγου δημιουργούνται από την περιστροφική κίνηση (περιδίνηση) των αερίων μαζών των πόλων (κυκλική ή ελλειπτική) με αποτέλεσμα να μειώνεται η πυκνότητα του αέρα στο εσωτερικό τους και να αυξάνεται προς τα εξωτερικά όρια τους. Κάτι παρόμοιο με αυτό συμβαίνει στον κάδο του πλυντηρίου, όταν στίβει τα ρούχα, όπου αυτά μαζεύονται στα εξωτερικά τοιχώματα του κάδου ενώ το εσωτερικό του μένει κενό. Η πρόκληση της περιστροφικής κίνησης των αερίων μαζών γύρω από τους πόλους έχει σχέση κυρίως με την περιστροφική κίνηση της γης. Δε θα προχωρήσουμε όμως στην εξήγηση του φαινομένου επειδή δε μας ενδιαφέρει για την απάντηση του ερωτήματος που θέσαμε.

Έτσι οι πλούσιες σε όζον μάζες που προέρχονται από τις τροπικές περιοχές, όταν συναντήσουν τις πυκνές περιστρεφόμενες μάζες του εξωτερικού ορίου του χαμηλού, παρασύρονται σε περιστροφική κίνηση και δεν μπορούν να εισέλθουν στο χαμηλό. Αυτό ισχύει κυρίως για το νότιο

ημισφαίριο που δημιουργείται και η τρύπα του όζοντος. Στο βόρειο ημισφαίριο ισχύει το ίδιο αλλά οι λοιπές συνθήκες είναι κάπως διαφορετικές, επειδή εκεί τα βαρομετρικά χαμηλά δεν είναι τόσο βαθιά, η διάρκεια τους πολύ μικρότερη, οι θερμοκρασίες δεν πέφτουν τόσο χαμηλά και ως εκ τούτου τουλάχιστο προς το παρόν οι πιθανότητες δημιουργίας PSC είναι πολύ μικρές. Εξίσου μικρές είναι και οι πιθανότητες για δημιουργία τρύπας του όζοντος.

Η εξήγηση της κατάστασης αυτής που επικρατεί στις βόρειες πολικές περιοχές δόθηκε παραπάνω. Βέβαια παρατηρείται επίσης μείωση του όζοντος στις βόρειες πολικές περιοχές αλλά όχι ακόμα σε τέτοιο βαθμό που να δημιουργείται τρύπα. Την άνοιξη του 1990 η μείωση αυτή ήταν περίπου 20%. Η χειρότερη χρονιά ήταν το 1997 που η τιμή του όζοντος το μήνα Μάρτιο ήταν 21% κάτω από την τιμή του 1990. Βάσει των στοιχείων αυτών και δεδομένου ότι παρ' όλα τα μέτρα που υποτίθεται ότι λαμβάνονται (θα αναφερθούμε παρακάτω) το όζον της αρκτικής μειώνεται, υπάρχει κίνδυνος σύντομα να έχουμε και στην αρκτική τρύπα του όζοντος. Η τρύπα του όζοντος της ανταρκτικής το 1997 ήταν περίπου 36 εκατομμύρια τετρ. χιλιόμετρα και η τάση που υπάρχει είναι αυξητική. Η μεγάλη αύξηση της υπεριώδους ακτινοβολίας που προέρχεται από την τρύπα του όζοντος επηρεάζει δυσμενώς μεγάλες περιοχές της Ν. Ζηλανδίας, της Αυστραλίας, της Αργεντινής, της Χιλής και φυσικά του νότιου πόλου. Εκείνο που επίσης ανησυχεί τα τελευταία χρόνια είναι η μείωση του στρώματος του όζοντος και σε μεσαία γεωγραφικά πλάτη. Η μείωση αυτή παρατηρείται και στα δύο ημισφαίρια. Αυτή η απώλεια συμβαίνει στα κατώτερα στρώματα της στρατόσφαιρας στην οποία παρατηρούνται τοπικές μειώσεις όζοντος μέχρι και 10% ανά δεκαετία. Βάσει των μοντέλων που υπάρχουν τα φαινόμενα αυτά μπορούν μερικώς να εξηγηθούν και οφείλονται κατά πάσα πιθανότητα στη μεταφορά φτωχών σε όζον αερίων μαζών από τις πολικές περιοχές. Δε φαίνεται όμως ότι είναι η μοναδική αιτία.

Τα πορίσματα του περιβαλλοντολογικού προγράμματος του ΟΗΕ δίνουν την πολύ ανησυχητική πληροφορία βάσει της οποίας η μείωση του όζοντος κατά 20% συνεπάγεται αύξηση της υπεριώδους ακτινοβολίας στην επιφάνεια της γης κατά 40%. Από αυτή την αύξηση μπορεί κανείς να βγάλει τα συμπεράσματα του. Η χώρα μας έχει υποστεί και αυτή τις συνέπειες, οι οποίες είναι προς το παρόν λιγότερο τραγικές απ' ό,τι στις βορειότερες χώρες. Τα τελευταία 8 χρόνια το όζον της στρατόσφαιρας στη χώρα μας έχει μειωθεί περίπου κατά 10% και η υπεριώδης ακτινοβολία στην επιφάνεια της γης αυξήθηκε περίπου 17%. Δεν πρόκειται βέβαια για μόνιμη κατάσταση, επειδή υπάρχουν διακυμάνσεις ανάλογα με τις συνθήκες που επικρατούν κάθε χρόνο. Η κατάσταση είναι όμως πολύ ανησυχητική.

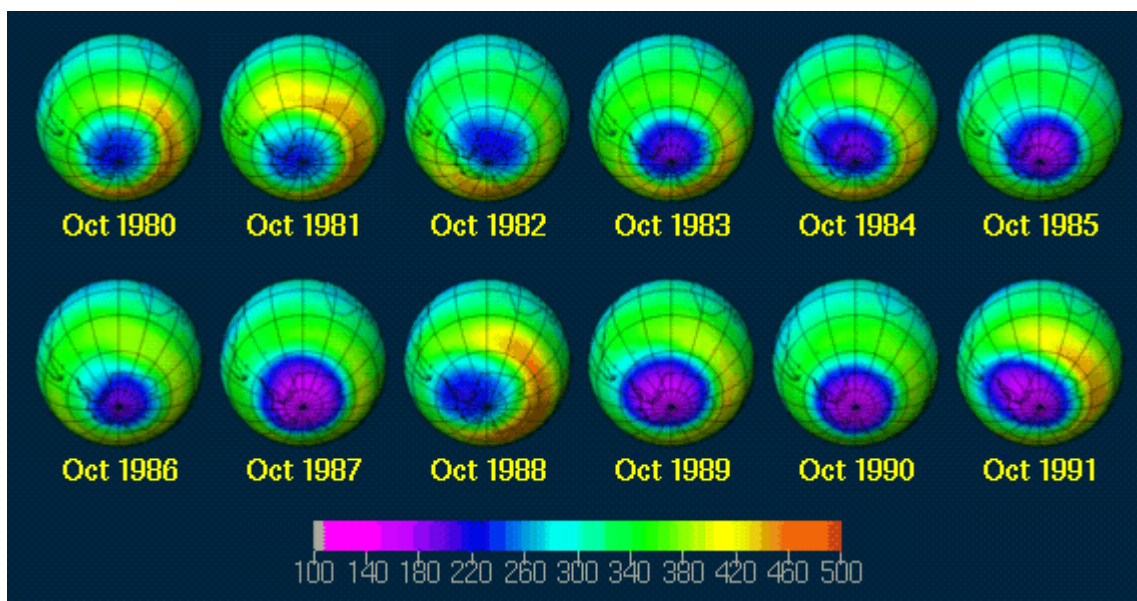
Το θέμα του όζοντος είναι από τα πιο πολύπλοκα και τα πιο σοβαρά απ' όλα τα θέματα που απασχολούν το περιβάλλον. Αυτά που συμβαίνουν με το όζον στη στρατόσφαιρα είναι σύνθετα φυσικοχημικά φαινόμενα τα οποία επηρεάζονται από πολλούς παράγοντες όπως είναι η μεταφορά των αερίων μαζών, οι φυσικές και οι ανθρωπογενείς εκπομπές αερίων ρύπων, οι χαμηλές

θερμοκρασίες, οι χαμηλές βαρομετρικές πιέσεις και βέβαια η υπεριώδης ακτινοβολία. Τα φαινόμενα που περιγράψαμε είναι τα βασικότερα που ήταν απαραίτητα για να κατανοήσουμε του μηχανισμούς και τα προβλήματα και είναι ένα μικρό μέρος από τα διαδραματιζόμενα στη στρατόσφαιρα.

2.3.3 Γιατί η τρύπα του όζοντος βρίσκεται πάνω από την Ανταρκτική

Η τρύπα του όζοντος ανακαλύφθηκε πρώτα στη στρατόσφαιρα πάνω από την Ανταρκτική. Αν και η μείωση στα μέσα πλάτη και στην Αρκτική έχει ήδη παρατηρηθεί, η μείωση του όζοντος είναι πολύ δραματική στην κατώτερη στρατόσφαιρα πάνω από την ήπειρο της Ανταρκτικής, όπου σχεδόν όλο το όζον καταστρέφεται.

Στο σχήμα 2.18 και στην εικόνα 2.20 φαίνεται η δραματική μείωση του όζοντος πάνω από την Ανταρκτική. Οι τιμές του όζοντος είναι οι μέσες τιμές κατά τον μήνα Οκτώβριο. Παρατηρούμε πολύ εύκολα την αιφνίδια μεταβολή της καμπύλης μετά το 1975. Το 1994 το ποσόν του όζοντος ήταν το μισό αυτού του 1974, 20 χρόνια νωρίτερα. Αυτή η δραματική μείωση του όζοντος οφείλεται στη χρήση των CFC. Τα CFC μεταφέρονται στη στρατοσφαιρα οπου η πολύ ισχυρή υπεριώδης ηλιακή ακτινοβολία τα διασπά στα συστατικά τους απελευθερώνοντας τα πολύ δραστικά άτομα των αλογόνων (χλώριο και βρώμιο) που περιέχουν, και τα οποία με τις κατάλληλες συνθήκες μπορούν να καταστρέψουν το όζον. Η μείωση του όζοντος παρατηρείται περισσότερο κατά την άνοιξη του νοτίου ημισφαιρίου γύρω από τον μήνα Οκτώβριο.



ΕΙΚΟΝΑ 2.20 ΜΕΤΑ ΤΟ 1985 Η ΤΡΥΠΑ ΤΟΥ ΟΖΟΝΤΟΣ ΠΑΝΩ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΝΤΑΡΚΤΙΚΗ ΠΗΡΕ ΔΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ. ΣΤΟ ΣΧΗΜΑ ΠΑΡΟΥΣΙΑΖΟΝΤΑΙ ΟΙ ΜΕΣΕΣ ΜΗΝΙΑΙΕΣ ΤΙΜΕΣ ΤΟΥ ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ ΑΠΟ ΤΟ 1980 ΜΕΧΡΙ ΤΟ 1991

Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι η ατμόσφαιρα συμπεριφέρεται διαφορετικά από έτος σε έτος. Ακόμα και τα ίδια φαινόμενα που οδηγούν στη μείωση του όζοντος έχουν κάθε χρόνο διαφορετική ένταση και η επίδραση τους μεταβάλλεται ανάλογα με τις μετεωρολογικές συνθήκες της ατμοσφαιράς. Αυτό είναι γνωστό ως διακύμανση της ατμοσφαιράς. Αυτή η διακύμανση οδηγεί σε αλλαγές στο ποσοστό της μείωσης του όζοντος και στις ημερομηνίες κατά τις οποίες αρχίζει και τελειώνει το φαινόμενο της τρυπιάς του όζοντος.

Αφού το μεγαλύτερο ποσοστό των ενώσεων που μπορούν να καταστρέψουν το όζον ελευθερώνονται στο βόρειο ημισφαίριο, είναι εύλογη η ερώτηση, γιατί να εμφανίζεται η τρυπιά του όζοντος πάνω από τον νότιο πόλο. Η απάντηση δεν είναι τόσο απλή. Επειδή αυτές οι ενώσεις είναι πολύ βαρύτερες από τον αέρα, ανεξάρτητα από το που έχουν ελευθερωθεί, αναμιγνύονται στην τροπόσφαιρα σε περισσότερο από ένα χρόνο, και στη συνέχεια στη στρατόσφαιρα σε 2-5 χρονιά. Υπάρχει λοιπόν πολύ καλή ανάμιξη των ενώσεων αυτών στην ατμόσφαιρα που οδηγεί σε μια ομοιογενή κατανομή των συγκεντρώσεων τους ανεξάρτητα από το που εκλύονται. Οι διαδικασίες που οδηγούν στην τρυπιά του όζοντος στους πόλους των δυο ημισφαιρίων είναι ίδιες, αλλά έχουν διαφορετική ένταση. Η Ανταρκτική είναι πιο ψυχρή από την Αρκτική, με αποτέλεσμα να σχηματίζονται περισσότεροι παγοκρύσταλλοι και να απελευθερώνεται περισσότερο χλώριο που οδηγεί στην καταστροφή μεγαλύτερης ποσότητας όζοντος.

Η μείωση του όζοντος στα χαμηλότερα γεωγραφικά πλάτη, εκτός της περιοχής της τρυπιάς του όζοντος, έχει μάλλον δυναμικά παρά χημικά αίτια, αν και έχουν διατυπωθεί θεωρίες που υποστηρίζουν ότι μπορούν να σχηματιστούν τοπικά πολικά στρατοσφαιρικά νέφη και εκτός της περιοχής των πόλων και να έχουμε έτσι καταστροφή του όζοντος σε τοπικό επίπεδο παρόμοια με αυτή της τρυπιάς του όζοντος. Όταν επιστρέφει, λοιπόν, το ηλιακό φως στην περιοχή των πόλων, ο πολικός στρόβιλος καταστρέφεται και επιτρέπεται έτσι η είσοδος στην πολική περιοχή αερίων μαζών πλουσίων σε όζον. Οι περιοχές γύρω από τους πόλους αναμιγνύονται με τις πτωχότερες σε όζον πολικές αέριες μάζες με αποτέλεσμα, να εξαφανίζεται η τρυπιά του όζοντος αλλά και να μειώνεται επίσης το όζον των γύρω περιοχών.

Το καθαρό αποτέλεσμα των αιτιών που δημιουργούν την τρυπιά του όζοντος είναι ένα εύκολα μετρήσιμο, και καλά καθορισμένο εποχιακό φαινόμενο. Το μέγεθος της μείωσης του όζοντος, η περιοχή, και ο ακριβής χρόνος εμφάνισης και λήξης του φαινομένου μεταβάλλεται από έτος σε έτος. Η τρυπιά του όζοντος στο νότιο ημισφαίριο γενικά διαρκεί από τον Σεπτέμβριο μέχρι τον Δεκέμβριο, αν και η ακριβής χρονική διάρκεια δεν είναι σταθερή.

Η τρυπιά του όζοντος είναι το πιο φανερό αποτέλεσμα της απελευθέρωσης στην ατμόσφαιρα των ενώσεων που καταστρέφουν το όζον, και επίσης το πιο ακραίο παράδειγμα της καταστροφής του όζοντος. Όμως, η μεγάλης κλίμακας καθοδική τάση των επιπέδων του όζοντος σε ολόκληρη τη γη είναι πολύ σημαντικό φαινόμενο. Οι περιοχές του ισημερινού δεν δέχονται καμιά επίδραση από

τη μειωτική πορεία του όζοντος στα άλλα σημεία του πλανήτη. Για να είμαστε πιο ακριβείς, όσο μετακινούμαστε προς τον ισημερινό, το φαινόμενο της μείωσης του όζοντος εξαφανίζεται, παραμένουν μόνο οι φυσικές διακυμάνσεις των τιμών του. Στην πραγματικότητα δεν παρατηρείται καμιά σημαντική μείωση στο στρώμα του όζοντος σε γεωγραφικά πλάτη μικρότερα από 40 μοίρες, ενώ το φαινόμενο είναι εντονότερο προς τους πόλους.

2.4 Αιτίες που προκαλούν την τρύπα του όζοντος

2.4.1 Αιτίες της καταστροφής του όζοντος της στρατόσφαιρας

Όσο η παραγωγή αυτών των ενώσεων μεθάνιο (CH_4), υποξείδιο του αζώτου (N_2O), το μεθυλοχλωρίδιο (CH_3Cl), το μεθυλοβρωμίδιο (CH_3Br) κ.ά. προέρχονταν μόνο από φυσικές πηγές χωρίς την ανθρώπινη παρέμβαση, διατηρούνταν η ισορροπία στην ποσότητα του όζοντος της στρατόσφαιρας. Σήμερα οι ποσότητες αυτών των ενώσεων έχουν αυξηθεί από τις ανθρώπινες δραστηριότητες και ως εκ τούτου έχει διαταραχθεί η ισορροπία με αποτέλεσμα η ποσότητα του όζοντος να διατηρείται σε χαμηλότερα επίπεδα. Στην αρνητική αυτή κατάσταση προστέθηκαν και πολλές άλλες χημικές ενώσεις που δεν υπήρχαν στο παρελθόν (πριν από την εκβιομηχάνιση).

Οι ενώσεις αυτές είναι διάφορα χημικά προϊόντα που χρησιμοποιούνται σε διάφορες δραστηριότητες ή παράγονται ως παραπροϊόντα από τη βιομηχανία, από την κυκλοφορία των οχημάτων, των πλοίων, των αεροπλάνων, από τη γεωργία, την κτηνοτροφία κ.ά. Καταλήγουν τελικά στην ατμόσφαιρα και λόγω της μεγάλης διάρκειας ζωής τους και των δυναμικών φαινομένων (μετακινήσεις αερίων μαζών με ανοδικά ρεύματα) φθάνουν μέχρι τη στρατόσφαιρα που υπάρχει το στρώμα του όζοντος.

Οι βασικότερες από τις ενώσεις αυτές είναι οι πλήρως αλογονωμένοι και οι μερικώς αλογονωμένοι χλωροφθοράνθρακες (CFC) και (HCFC) που χρησιμοποιούνται από τη 10ετία του 1930 (General Motors). Η χρήση τους έγινε εντατικότερη τη δεκαετία του 1950. Χρησιμοποιούνται ως ψυκτικά μέσα στα οικιακά ψυγεία και στις ψυκτικές εγκαταστάσεις (συστήματα ψύξης), στα κλιματιστικά, ως προωθητικό αέριο στα σπρέι, ως διαλύτες για τον καθαρισμό ηλεκτρονικών στοιχείων, στην παραγωγή των αφρωδών πλαστικών, καθώς και στην παραγωγή ορισμένων υλικών περιτυλίγματος (Αντίθετα, τα οξείδια του αζώτου είναι ένα παραπροϊόν των διαδικασιών καύσης που περιέχεται π.χ στα καυσαέρια των αεροσκαφών). Τα CFC παρήχθησαν στο τέλος της δεκαετίας του 1920 και στην αρχή του 1930 λόγω της ανάγκης εύρεσης εναλλακτικών ασφαλών ενώσεων για τη χρήση τους στα ψυγεία, αντί του διοξειδίου του θείου και της αμμωνίας, που χρησιμοποιούντο εκείνο τον καιρό. Τα CFC χρησιμοποιήθηκαν για την ασφάλεια που προσέφεραν και τις ιδιαίτερες

χημικές ιδιότητες τους Αυτές οι ενώσεις έχουν χαμηλή τοξικότητα, δεν αναφλέγονται, είναι μη διαβρωτικές, χημικά αδρανείς και έχουν την επιθυμητή θερμική αγωγιμότητα και σημείο βρασμού.

Είναι επίσης οι συγγενείς ενώσεις, τα βρωμοφθορομεθάνια ή Halon π.χ. H-1211 (CBrClF₂), H-1301 (CBrF₃), H-2402 (CBr₂F₄) - χρησιμοποιούνται κυρίως για πυρόσβεση - διάφορα καθαριστικά, διαλυτικά, προωθητικά των spray, οι διάφοροι πτητικοί υδρογονάνθρακες, τα οξείδια του αζώτου NO_x, το μονοξείδιο του άνθρακα CO, τα οξείδια του θείου (SO₂, SO₃), κ.λ.π.(μερικές από αυτές δρουν και στην τροπόσφαιρα, σχηματίζουν το όζον της τροπόσφαιρας και δημιουργούν εκεί τα προβλήματα που έχουμε ήδη περιγράψει.)

Οι ενώσεις αυτές έχουν δημιουργήσει μεγάλη ανωμαλία στη στρατόσφαιρα. Είναι τόσο πολλά και πολύπλοκα τα φαινόμενα που εκτυλίσσονται και τόσο πολλές οι ενώσεις που συμμετέχουν που είναι αδύνατο να συμπεριληφθούν σ' αυτή την εργασία. Εκτός αυτού πολλά από τα φαινόμενα δεν έχουν ακόμα πλήρως ερευνηθεί και αφορούν περισσότερο τους ειδικούς. Οι χημικές και φυσικοχημικές αντιδράσεις που γίνονται είναι πολλές. Αυτό που έχει μεγάλη σημασία είναι το γεγονός ότι οι χλωροφθοράνθρακες και τα Halon (ενώσεις του βρώμιου) δεν υφίστανται καμία αλλοίωση στην τροπόσφαιρα, μεταφέρονται από τα ανοδικά ρεύματα στη στρατόσφαιρα μαζί με τις άλλες από τις παραπάνω ενώσεις που δεν έχουν δράσει ή εξουδετερωθεί στην τροπόσφαιρα και υφίστανται διάσπαση του μορίου τους από την υπεριώδη ακτινοβολία υψηλής ενέργειας UV-B που συναντούν εκεί. Έτσι ελευθερώνονται διάφορες δραστικές ρίζες (π.χ. από τους χλωροφθοράνθρακες και τα Halon ρίζες χλωρίου και βρώμιου) που αντιδρούν καταλυτικά με το όζον, όπως περιγράψαμε στην κατηγορία 2, με αποτέλεσμα μία και μόνο ρίζα χλωρίου να μπορεί να καταστρέψει περίπου 100.000 μόρια όζοντος. (Η πληροφορία αυτή αναφέρεται στο ένθετο εγχειρίδιο της εφημερίδας. Καθημερινή της 28 - 06 - 1992 με τον τίτλο "εγχειρίδιο της καθημερινής οικολογίας"). Οι ρίζες του βρώμιου είναι 30-120 φορές δραστικότερες από αυτές του χλωρίου. Αυτό σημαίνει ότι, εάν π.χ. μια ρίζα χλωρίου καταστρέψει ένα μόριο όζοντος, μία ρίζα βρώμιου θα καταστρέψει 30-120. Κατά τη διάσπαση των μορίων των χλωροφθορανθράκων και των άλλων ενώσεων απελευθερώνονται επίσης ρίζες φθορίου και μικρός αριθμός ριζών ιωδίου από ενώσεις που στα μόρια τους στη θέση του χλωρίου ή του βρώμιου έχουν αυτά τα στοιχεία. Οι ρίζες του φθορίου δεσμεύονται αμέσως σε σταθερές ενώσεις και δεν προκαλούν ζημιά ενώ οι ρίζες του ιωδίου, αν και είναι δραστικές, λόγω του μικρού τους αριθμού δεν προκαλούν μεγάλη ζημιά.

Οι μεγάλες ποσότητες των χλωροφθορανθράκων και των άλλων ενώσεων που αποβάλλονται στην ατμόσφαιρα έχουν μειώσει και μειώνουν σε επικίνδυνο βαθμό το στρώμα του όζοντος της στρατόσφαιρας. Αποτέλεσμα αυτής της μείωσης είναι η μείωση της απορρόφησης - εξουδετέρωσης της υπεριώδους ακτινοβολίας. Όταν η ακτινοβολία δεν απορροφάται από το όζον της στρατόσφαιρας, διαπερνά την τροπόσφαιρα, καταλήγει στη γη και επειδή είναι αυξημένη έχει δυσμενείς επιπτώσεις στην υγεία των ζώντων φυτών (παρουσιάζουν μειωμένη ανάπτυξη) και των

ανθρώπων με γνωστότερες απ' όλες την αύξηση του καρκίνου του δέρματος και του καταρράκτη των ματιών. Όταν η υπεριώδης ακτινοβολία φθάνει στη γη μετατρέπεται σε υπέρυθρη, δηλαδή θερμότητα, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η θερμοκρασία. Έτσι η αύξηση της υπεριώδους ακτινοβολίας, λόγω της καταστροφής του όζοντος της στρατόσφαιρας, επιδρά έμμεσα και στο φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Η μείωση του όζοντος στη στρατόσφαιρα συνεπάγεται και μείωση της θερμοκρασίας της, επειδή λόγω της μικρότερης ποσότητας του όζοντος γίνεται μικρότερη απορρόφηση υπεριώδους ακτινοβολίας και έτσι απελευθερώνονται μικρότερες ποσότητες θερμότητας.

Η θερμοκρασία της στρατόσφαιρας κατεβαίνει ακόμα περισσότερο και εξαιτίας του φαινομένου του θερμοκηπίου το οποίο παρεμποδίζει τη θερμότητα της γης να διαφύγει προς τα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας, επομένως και προς τη στρατόσφαιρα.

Αν και η ζημιά που προαλείται στο στρώμα του οζόντος (μείωση) από τους χλωροφθοράνθρακες, το Halon και τις άλλες ενώσεις είναι μεγάλη και οι συνέπειες, όπως τις περιγράψαμε, ανησυχητικές, δεν υπάρχει τέτοια δυναμικότητα στις ενώσεις αυτές που να μπορεί να προκαλέσει τέτοια καταστροφή στο στρώμα του όζοντος ώστε να δημιουργηθεί η ονομαζόμενη τρύπα του όζοντος. Η έλλειψη αυτής της δυναμικότητας οφείλεται στο γεγονός ότι οι διάφορες ρίζες μετά από κάποια δραστηριότητα (αφού καταστρέψουν μεγάλο αριθμό μορίων όζοντος) δημιουργούν σταθερές ενώσεις και έτσι σταματά η συνέχιση της καταστροφής του όζοντος. Με τις σταθερές ενώσεις που δημιουργούνται αποθηκεύονται κατά κάποιο τρόπο οι ρίζες των αλογόνων (όπως θα δούμε παρακάτω θα απελευθερωθούν αργότερα σε άλλα σημεία της στρατόσφαιρας για να συνεχίσουν το έργο της καταστροφής του όζοντος) και για το λόγο αυτό ονομάζονται αέρια αποθήκευσης ή αέρια αποθήκης (Reservoirgase). Τέτοιες ενώσεις είναι π.χ. το HNO_3 , το HCl , το ClONO_2 , το N_2O_5 και άλλες. Τα αέρια αυτά μαζί με άλλα φαινόμενα που συμβαίνουν στη στρατόσφαιρα των πόλων της γης είναι υπαίτια για το σχηματισμό της τρύπας του όζοντος.

2.4.2 Πώς καταστρέφεται το όζον

α. Εισαγωγή

Το όζον είναι, όπως είδαμε, ένα αέριο ασταθές που καταστρέφεται με την επίδραση είτε της ηλιακής ακτινοβολίας είτε άλλων χημικών ενώσεων, οι οποίες προέρχονται τόσο από φυσικές διεργασίες όσο και από ανθρώπινες δραστηριότητες. Επιγραμματικά μπορούμε να παρουσιάσουμε τη χημεία της στρατόσφαιρας σε σχέση με το όζον ως εξής:

- Η χημεία της ηλιακής ακτινοβολίας ή φωτοχημεία
- Η χημεία του υδρογόνου
- Η χημεία του αζώτου

- Η χημεία του μονοξειδίου του άνθρακα
- Η χημεία του χλωρίου
- Η χημεία του βρώμιου

Επικίνδυνες για το όζον οργανικές ενώσεις χλωρίου

Εισαγωγικά

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι, αν και η επικεφαλίδα μας αναφέρεται σε οργανικές ενώσεις χλωρίου, όμως για λόγους πληρέστερης ανάπτυξης και για να γίνει ευκολότερα κατανοητό το όλο πρόβλημα θα αναφερθούμε κατ' εξαίρεση και σε μία κατηγορία ενώσεων που στη σύστασή τους δεν περιλαμβάνεται το χλώριο, δηλαδή στους υδροφθοράνθρακες (HFCs).

Οι χλωροφθοράνθρακες (CFCs)

Είναι πλήρως αλογονομένες ενώσεις, δηλαδή στη σύστασή τους δεν υπάρχει υδρογόνο, αλλά χλώριο, φθόριο και άνθρακας. Οι κυριότερες απ' αυτές (CFC_{11,12,113}) ευθύνονται για το 57% του συνόλου του χλωρίου που εισέρχεται στη στρατόσφαιρα και για το 64% του ανθρωπογενούς.

ΕΙΚΟΝΑ 2.21 ΜΟΡΙΑΚΗ ΔΟΜΗ ΤΩΝ CFCs

Οι υδροχλωροφθοράνθρακες (HCFCs)

Είναι μερικώς αλογονομένες ενώσεις, δηλαδή στη σύστασή τους υπάρχει υδρογόνο καθώς και χλώριο, φθόριο και άνθρακας. Η βασικότερη απ' αυτές (HCFC₂₂) ευθύνεται για το 3% του χλωρίου που εισέρχεται στη στρατόσφαιρα.

Οι υδροφθοράνθρακες (HFCs)

Είναι η κατηγορία των ενώσεων στην οποία αναφερθήκαμε στην εισαγωγή της ενότητας. Οι ενώσεις αυτές είναι μερικώς αλογονομένες, αλλά δεν περιέχουν χλώριο. Περιέχουν υδρογόνο, φθόριο και άνθρακα. Όλες οι ενώσεις που αναφέραμε ως εδώ είναι ανθρωπογενείς.

Ο τετραχλωράνθρακας (CCl₄)

Πρόκειται για πλήρως αλογονομένη ένωση που ευθύνεται για το 12% του συνόλου του χλωρίου που εκλύεται στη στρατόσφαιρα και για το 16-17% του ανθρωπογενούς.

Το μεθυλικό χλωροφόρμιο (CH₃CCl₃) ή τριχλωροαιθάνιο

Πρόκειται για μερικώς αλογονομένη ένωση που ευθύνεται για το 10% του συνόλου του χλωρίου που εκλύεται στη στρατόσφαιρα και για το 16-17% του ανθρωπογενούς.

Το χλωριούχο μεθύλιο (CH₃Cl) ή χλωρομεθάνιο

Είναι μια ένωση μερικώς αλογονομένη και είναι η μόνη από τις οργανικές ενώσεις χλωρίου που έχει κυρίως φυσική προέλευση. Ευθύνεται για το 15% του συνόλου του χλωρίου που εισέρχεται στη στρατόσφαιρα. Οι επικίνδυνες για το όζον οργανικές ενώσεις χλωρίου που προαναφέραμε καθώς και το ποσοστό παραγωγής τους από τον άνθρωπο και τη φύση φαίνονται στην εικόνα 2.22

**ΕΙΚΟΝΑ 2.22 ΟΙ ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΕΣ ΣΤΟ ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ ΧΛΩΡΙΟΥ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ
ΕΙΝΑΙ ΚΥΡΙΩΣ ΑΝΘΡΩΠΟΓΕΝΕΙΣ (82%) ΚΑΙ ΜΟΝΟ 18% ΑΠΟ ΦΥΣΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ**

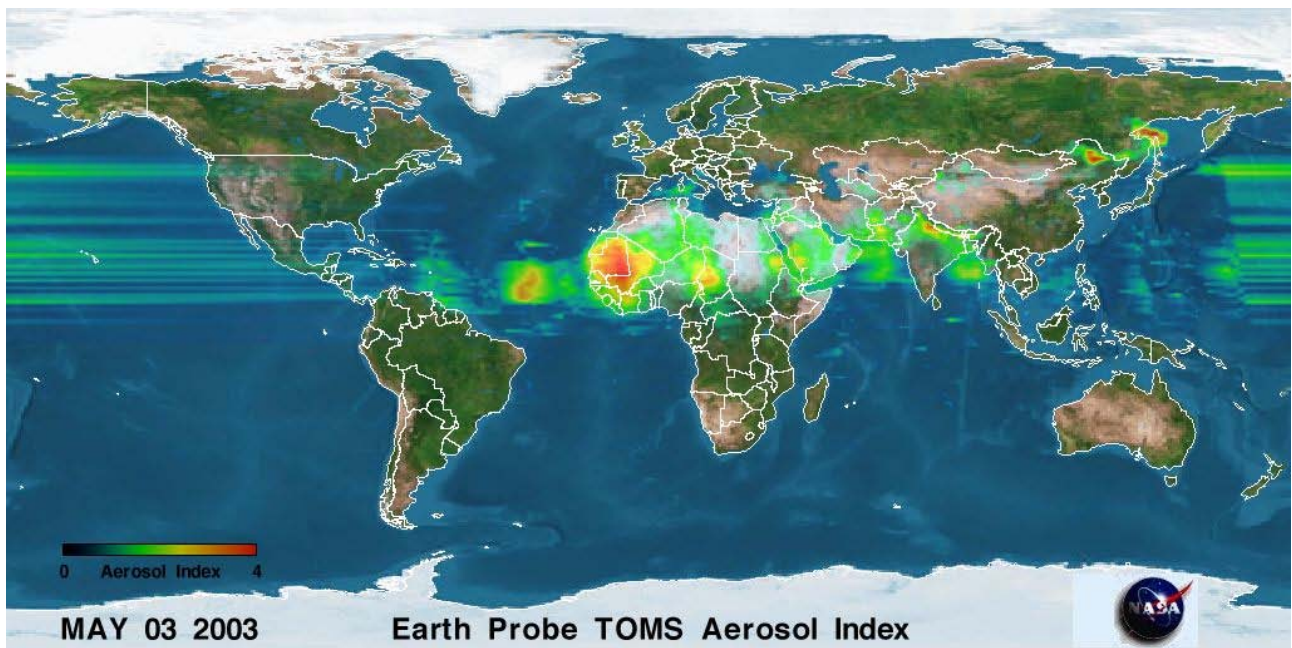
Οι χλωροφθοράνθρακες

Θα ξεκινήσουμε απο την πρώτη κατηγορία, δηλαδή τους χλωροφθοράνθρακες, που θα τους αποκαλούμε , στο εξής, CFCs και οι οποίοι δημιούργησαν και το μείζον πρόβλημα στο όζον της στρατόσφαιρας.

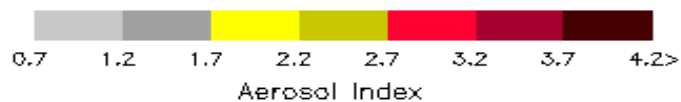
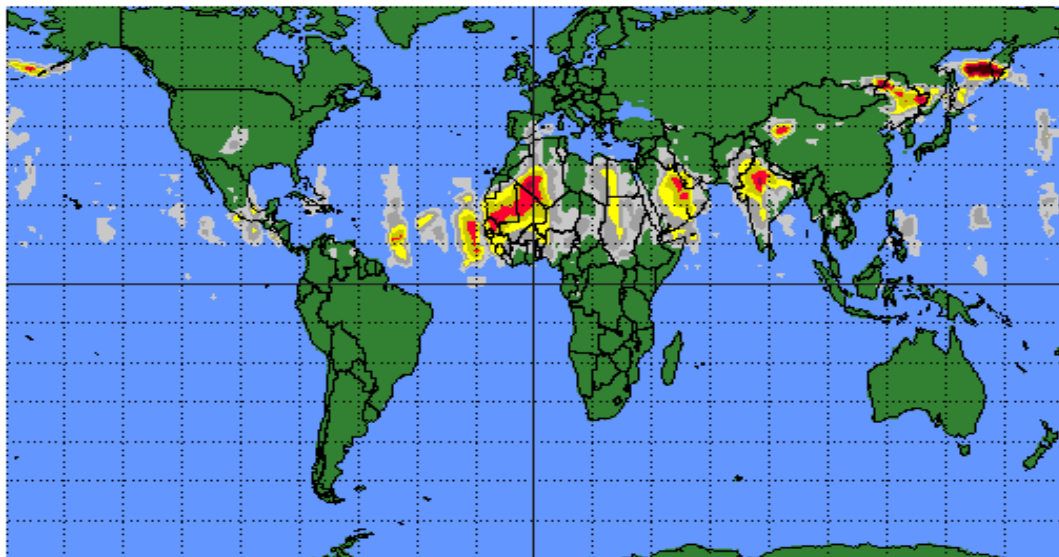
Ιστορική αναδρομή

Τα CFCs είναι, όπως ήδη είπαμε, αποκλειστικώς προϊόντα της χημείας. Παρήχθησαν για πρώτη φορά στο εργαστήριο στα τέλη του προηγούμενου αιώνα στο Βέλγιο, όμως στα τέλη της δεκαετίας του '20 ο χημικός Thomas Midgeley ανακάλυψε πρώτος για λογαριασμό της General Motors τη δυνατότητα των CFCs να χρησιμοποιηθούν ως ψυκτικές ουσίες και να απαντήσουν έτσι στο πρόβλημα της παραγωγής ασφαλών ψυγείων που μέχρι τότε ήταν ιδιαίτερα έντονο.

Αποκαλύφθηκε λοιπόν μια από τις πολλαπλές δυνατότητες χρήσης των CFCs και ο Midgeley θεωρήθηκε ο πατέρας των CFCs. Καθώς η εταιρεία G.M. και η χημική βιομηχανία Du Pont de Nemours είχαν στενούς δεσμούς αρχίζει η βιομηχανική παραγωγή των ενώσεων αυτών στη δεκαετία του '30. Έτσι γρήγορα η Du Pont διαθέτει στην αγορά το πρώτο CFC, το CFC₁₂ με την εμπορική ονομασία Φρέον. Στα τέλη της δεκαετίας του '40 τα CFCs έχουν κυριαρχήσει ως ψυκτικές ουσίες και από εκεί και μετά ξεκινά μια καινούργια εποχή στην παραγωγή πλήθους προϊόντων εφόσον γρήγορα έγινε αντιληπτό ότι αυτή η οικογένεια χημικών ενώσεων μπορεί να τύχει πολλών εφαρμογών πέρα από τον χώρο της παραγωγής ψυγείων και γενικώς ψυκτικών μηχανημάτων. Έτσι από τη δεκαετία του '50 αρχίζουν να χρησιμοποιούνται ως προωθητικά στη βιομηχανία των αεροζόλ, επίσης ως διογκωτικά στην παραγωγή μονωτικών στη δεκαετία του '70 αρχίζουν να χρησιμοποιούνται ως καθαριστικά στη βιομηχανία ηλεκτρονικών και μέχρι τη δεκαετία του '80 τα CFCs είχαν πλέον διαδοθεί ευρύτατα



Earth Probe TOMS Aerosol Index on May 04, 2003



Goddard Space Flight Center

ΕΙΚΟΝΑ 2.23 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΤΩΝ ΑΕΡΟΖΟΛ ΣΤΗ ΓΗΙΝΗ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ, ΟΠΩΣ ΜΕΤΡΑΤΑΙ ΚΑΘΗΜΕΡΙΝΑ ΑΠΟ ΤΟ ΔΟΡΥΦΟΡΟ Ε.Ρ.ΤΟΜΣ

Χαρακτηριστικά - ιδιότητες

Τα CFCs είναι αέρια με μοναδικά χαρακτηριστικά.

Χημικά χαρακτηριστικά: Είναι εξαιρετικά σταθερά, είναι αέρια σε θερμοκρασία δωματίου, δεν είναι εύφλεκτα, έχουν χαμηλή διαβρωτικότητα, έχουν χαμηλή τοξικότητα χωρίς όμως αυτό να είναι βέβαιο, είναι αδρανή δηλαδή δεν επηρεάζονται από τις διαδικασίες με τις οποίες καταστρέφονται οι

περισσότερες χημικές ενώσεις στην τροπόσφαιρα. Αυτό σημαίνει ότι δεν παρασύρονται από τη βροχή αφού δεν διαλύονται στο νερό, δεν αντιδρούν με το χιόνι, δεν καταστρέφονται από την ηλιακή ακτινοβολία και δεν οξειδώνονται. Αυτή ακριβώς η ιδιότητα της αδράνειας είναι που "ευθύνεται" για την καταστροφικότητά τους, όπως θα δούμε στη συνέχεια.

Φυσικές ιδιότητες: Μετατρέπονται εύκολα, υπό χαμηλή πίεση, από υγρά σε αέρια, ιδιότητα που τα έκανε πολύτιμα για την ψύξη και τον κλιματισμό, επίσης έχουν πολύ καλή θερμοδυναμική συμπεριφορά.

Οικονομικά Χαρακτηριστικά: Παράγονται με εύκολο τρόπο και με κοινές χημικές ουσίες όπως είναι ο τετραχλωράνθρακας (CCl_4), το υδροφθορικό οξύ (HF) και το χλωροφόρμιο (ή τριχλωρομεθάνιο $CHCl_3$), γι' αυτό το λόγο έχουν χαμηλό κόστος παραγωγής.

Άλλες ιδιότητες: Είναι άοσμα, δεν προκαλούν καρκινογένεσεις και γι' αυτό δεν δημιουργούν προβλήματα στους εργαζομένους στις βιομηχανίες εκείνες που παράγουν ή χρησιμοποιούν τα CFCs.

Χρήσεις των επικίνδυνων για το όζον ουσιών

Εισαγωγή

Τα CFCs έχουν περίπου 3.500 εφαρμογές, χρησιμοποιούνται όμως κυρίως ως:

- Ψυκτικές ουσίες
- Προωθητικές ουσίες
- Διογκωτικές ουσίες
- Καθαριστικές-διαλυτικές ουσίες
- Απολυμαντικές - Ποικίλες χρήσεις

Υπάρχει ένα πλήθος πινάκων με στοιχεία, άλλοτε για την παραγωγή και άλλοτε για την κατανάλωση των CFCs τις τελευταίες δεκαετίες. Οι πηγές των στοιχείων είναι διάφορες, τα περισσότερα όμως προέρχονται από το UNEP και, όπως και το ίδιο ομολογεί, διαμορφώνονται κατά κύριο λόγο από αναφορές κυρίως των δυτικών αναπτυγμένων χωρών. Τα στοιχεία από τις αναπτυσσόμενες χώρες, αλλά και από τις χώρες της ανατολικής Ευρώπης, "δεν έχω ακόμη συγκεντρωθεί με ακρίβεια". Καθώς λοιπόν τα στοιχεία αφορούν την κατανάλωση κυρίως σε δυτικές χώρες δεν μας δίνουν πλήρη εικόνα του τι πραγματικά συμβαίνει παγκοσμίως, καθώς η κατανάλωση προσδιορίζεται από την παραγωγή συν τις εισαγωγές μείον τις εξαγωγές. Είναι όμως ευνόητο ότι ένα μεγάλο μέρος της παραγωγής των δυτικών χωρών εξάγεται σε χώρες από τις οποίες δεν έχουμε επαρκή στοιχεία. Για παράδειγμα, για το έτος 1986 για τα CFC_{11} και CFC_{12} έχουμε στοιχεία για παγκόσμια παραγωγή 825,8 χιλιάδων τόνων και για παγκόσμια κατανάλωση 898 χιλιάδων τόνων.

Μ' αυτό το σκεπτικό λοιπόν, θα πρέπει να εκτιμήσουμε και τα στοιχεία της αναφοράς του UNEP 1991, που μιλούν για "εκτιμώμενη" (estimated) κατανάλωση CFCs 747 χιλιάδων τόνων, και τα στοιχεία που δημοσιεύθηκαν στους Times της Ν.Υ. το 1990 και αναφέρουν παγκόσμια παραγωγή περίπου δύο εκατομμυρίων rounds (δηλαδή 908 χιλιάδων τόνων). Βέβαιο είναι το γεγονός ότι από τη δεκαετία του '30 και μέχρι το 1974 η παγκόσμια παραγωγή των βασικών CFCs, δηλαδή των 11 και 12, γνωρίζει αλματώδη αύξηση.

Από το 1974 έως και το 1982 υπάρχει μια διαρκής μείωση, ενώ στη συνέχεια υπάρχει μια βέβαιη αυξητική τάση ως το 1988. Από τα πρακτικά της παγκόσμιας συνδιάσκεψης για το όζον που έγινε το 1993 στην Bangkok αντλούμε την πληροφορία ότι, βάσει των στοιχείων που οι χώρες υποβάλλουν, έχουμε μια μείωση της κατανάλωσης των CFCs στις αναπτυγμένες χώρες της τάξης του 45%, και της παραγωγής το ίδιο. Για τις αναπτυσσόμενες χώρες (του άρθρου 5) έχουμε μια αύξηση της κατανάλωσης κατά 54%. Οι χώρες αυτές κατανάλωναν το 1991 το 20% της παγκόσμιας κατανάλωσης, ενώ το 1986 το 10%.

Πάντως από άλλη πηγή έχουμε το στοιχείο ότι η συνολική μείωση στη χρήση των CFCs ήταν 40% στο τέλος του 1991, πάντα σε σχέση με το 1986, ενώ για το 1992 προβλεπόταν μείωση κατά 50% σε σχέση με το 1986.

Εξάλλου, εκτός από τα παραπάνω στοιχεία που είναι "αισιόδοξα", αν και με επιφυλάξεις ως προς την πληρότητα τους, ένα ακόμα "αισιόδοξο" στοιχείο μας έρχεται από την τελευταία έκδοση του Παγκοσμίου Οργανισμού Μετεωρολογίας για το όζον, που μας πληροφορεί ότι "από το 1988 έως και το 1992 οι ετήσιες εκπομπές CFCs στην ατμόσφαιρα μειώθηκαν περίπου κατά 34%. Εδώ θα πρέπει να επισημανθεί το γεγονός ότι ανάμεσα στην παραγωγή και τις εκπομπές στην ατμόσφαιρα των CFCs δεν υπάρχει μια σχέση "κλειστή", διότι δεν θα πρέπει να μας διαφεύγει το γεγονός ότι πολλές ποσότητες CFCs υπάρχουν ήδη "αποθηκευμένες" σε προϊόντα που είτε κυκλοφορούν είτε είναι διαθέσιμα για χρήση. Αυτές συμβάλλουν ή μπορούν να συμβάλλουν στο μέλλον στις εκπομπές CFCs στην ατμόσφαιρα. Ενδιαφέρον είναι επίσης να δούμε κάποια οικονομικά μεγέθη της παραγωγής και χρήσης των CFCs.

Ο παγκόσμιος τζίρος της βιομηχανίας παραγωγής και χρήσης των CFCs είναι της τάξης των 30 δισ. δολαρίων, μόνο δε στις ΗΠΑ απασχολεί 715.000 εργαζόμενους. Η Du Pont κερδίζει ετησίως 600 εκατ. δολάρια από την παραγωγή των CFCs, ποσό που αντιπροσωπεύει το 2% των ακαθαρίστων εσόδων της.

Αναλυτικά

- Χρήση για ψύξη-κλιματισμό

Χρησιμοποιούνται κυρίως τα CFC₁₁, CFC₁₂, CFC₁₁₃, CFC₁₁₅ και οι βασικότεροι τομείς είναι:

- Ψυγεία για οικιακή χρήση
- Ψυγεία για βιομηχανική χρήση
- Ψυγεία για μεταφορές
- Κλιματιστικά για οικιακή χρήση
- Κλιματιστικά αυτοκινήτων

- Χρήση για παραγωγή sprays

Στη βιομηχανία παραγωγής αεροζόλ καταναλώθηκαν CFCs ως εξής: 1986(300 χιλιάδες τόνοι), 1989(180 χιλ. τόνοι), 1991(115 χιλ. τόνοι). Πάντως στις αναπτυσσόμενες χώρες (εκτός των χωρών της Ανατολικής Ευρώπης) έχει πλέον σταματήσει η χρήση CFCs ως προωθητικών ουσιών στην παραγωγή αεροζόλ, εκτός από αυτά που προορίζονται για φαρμακευτική χρήση. Όμως εξακολουθούν να χρησιμοποιούνται σε σημαντικές ποσότητες στις αναπτυσσόμενες χώρες και στην Ανατολική Ευρώπη. Τα CFCs χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία των αεροζόλ όχι μόνο ως προωθητικές ουσίες, αλλά και ως διαλυτικά, και για τον περιορισμό της ευφλεκτότητας του ενεργού συστατικού του αεροζόλ ή ορισμένες φορές και ως ενεργό συστατικό· είναι δε τα CFC₁₁, CFC₁₂, CFC₁₁₃, CFC₁₁₄. Τα αεροζόλ στα οποία χρησιμοποιούνται CFCs, διακρίνονται σε:

- Φαρμακευτικά-ιατρικά
- Μη φαρμακευτικά

- Χρήση για διόγκωση

Χρησιμοποιούνται τα CFC₁₁, CFC₁₂, CFC₁₁₃, CFC₁₁₄. Τα προϊόντα αυτού του τομέα, δηλαδή οι αφροί, είναι διαφόρων τύπων: έχουμε την πολυουρεθάνη, την πολυστερίνη, την πολυολεφίνη και τη φαινόλη. Οι εφαρμογές τους είναι πάρα πολλές. Το 1986 τα CFCs που καταναλώθηκαν από τη βιομηχανία αφρωδών πλαστικών ήταν 267.000 τόνοι, ενώ το 1990 ήταν 174.000 τόνοι

πολυουρεθάνη →πληρωτικό υλικό καναπέδων, στρωμάτων,

- καθίσματα αυτοκινήτων,
- μόνωση ορόφων-τοιχών,
- μόνωση κτιρίων-σωληνώσεων,
- μόνωση ψυγείων μεταφορών.

πολυστερίνη →συσκευασίες τροφίμων, ποτών, αυγοθήκες

- μόνωση κτιρίων

πολυολεφίνη →συσκευασίες

- προστατευτικά συσκευασιών, σωσίβια

φαινόλη →μόνωση κτιρίων, μόνωση σωλήνων

- Χρήση για καθαρισμό (και στέγνωμα μετά τον καθαρισμό)

- Χρήση ως διαλυτικών. Χρησιμοποιείται το CFC₁₁₃
- Στη βιομηχανία ηλεκτρονικών
- Στη βιομηχανία οπτικών

- Χρήση για αποστείρωση

Χρησιμοποιείται το CFC₁₂ σε ανάμειξη με το ethylene oxide για την αποστείρωση ιατρικού εξοπλισμού, σε αναλογία 88% CFC₁₂ και 12% e.o., γι' αυτό το προϊόν είναι γνωστό ως 12/88. Το 1991 καταναλώθηκαν 18.000-20.000 τόνοι ενώ το 1992/93 10.000-12.000 τόνοι.

- Διάφορες χρήσεις

Χρησιμοποιούνται CFC_{11,12,113} κυρίως στη βιομηχανία κατεψυγμένων τροφίμων.

Οι υδροχλωροφθοράνθρακες (HCFCs/HFCs)

Είναι μερικώς αλογονομένες ενώσεις που έχουν μια πολύ ουσιώδη διαφορά από τους χλωροφθοράνθρακες (CFCs): οι ενώσεις της πρώτης ομάδας περιέχουν στη σύνθεσή τους άτομα υδρογόνου, στην ύπαρξη των οποίων οφείλεται το γεγονός ότι, λόγω της χημείας της τροπόσφαιρας (όπως θα εξηγηθεί παρακάτω), οι ενώσεις αυτές διασπώνται σε μεγάλο βαθμό στο πρώτο στρώμα της ατμόσφαιρας.

Όμως, και οι υδροχλωροφθοράνθρακες χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: στους HCFCs και στους HFCs(υδροφθοράνθρακες), με μια πολύ ουσιώδη διαφορά επίσης. Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει ενώσεις που στη σύνθεσή τους περιέχουν άτομα χλωρίου (HCFCs), ενώ η δεύτερη όχι (HFCs).

Ιστορική αναδρομή

Ήδη από τη δεκαετία του '30, μετά την παραγωγή των πρώτων CFCs, δημιουργήθηκε και ο πρώτος υδροχλωροφθοράνθρακας, το HCFC₂₂ που μάλιστα χρησιμοποιήθηκε στην παραγωγή τεφλόν.

Προφανώς όμως τα CFCs επικράτησαν ακριβώς λόγω των "καλύτερων" ιδιοτήτων τους σε σχέση με τα HCFCs και τα HFCs όπως, π.χ., το γεγονός ότι δεν διασπώνται στην τροπόσφαιρα, ιδιότητα που είχε ως αποτέλεσμα να θεωρηθούν ασφαλή και αβλαβή για τον άνθρωπο και το περιβάλλον.

Στο προσκήνιο επανέρχονται στη δεκαετία του '80, όταν προκύπτει η ανάγκη περιορισμού και κατάργησης της χρήσης των CFCs, οπότε προβάλλουν ως υποκατάστατα. Ήδη από το 1978, όταν

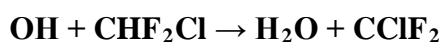
άρχισε η απαγόρευση των CFCs στα αεροζόλ σε διάφορες χώρες, οι βιομηχανίες στράφηκαν στα HCFCs. Αλλά καθώς η αβεβαιότητα των επιστημόνων σχετικά με την καταστροφικότητα των CFCs συνεχιζόταν, η βιομηχανία κέρδιζε χρόνο. Έτσι ατόνησε το ενδιαφέρον της για τα HCFCs, για τα οποία είχε εξάλλου διαπιστωθεί ότι ήταν ακριβότερα από τα ήδη χρησιμοποιούμενα CFCs. Όταν όμως στα μέσα της δεκαετίας του 1980 ανέκυψε το υπαρκτό πρόβλημα της "τρύπας" του όζοντος στην Ανταρκτική και η σχέση της με τα CFCs, η βιομηχανία εσπευσμένα αναζήτησε εναλλακτικές λύσεις· και βέβαια η ευκολότερη λύση ήταν οι ήδη οικείες ουσίες των HCFCs και HFCs. Αυτές, επιπλέον, λόγω και των ομοιοτήτων τους με τα CFCs δεν θα καθιστούσαν ιδιαίτερα χρονοβόρα και απαιτητική την υποκατάσταση και άρα δεν θα ανέβαζαν το κόστος της.

Γρήγορα λοιπόν οι μεγάλες βιομηχανίες στρέφονται στις ουσίες αυτές για να έχουν επιπλέον και το προβάδισμα στο πατεντάρισμα και την παραγωγή των νέων ουσιών, ώστε ο κύκλος των παραγωγών να παραμείνει κλειστός, όπως και στην περίπτωση των CFCs.

Έτσι, χωρίς να έχει γίνει πλήρης καθορισμός των κριτηρίων επιλογής των νέων ουσιών, αλλά και χωρίς να έχουν ελεγχθεί διεξοδικά, βαφτίστηκαν ως οι «επιλογές που ήταν πιθανότερο να πετύχουν» και προωθούνται από τις χημικές βιομηχανίες. Το 1989 ήταν διαθέσιμα στο εμπόριο, εκτός από το HCFC₂₂, το HCFC_{142b} & και το HFC_{152a}

Χαρακτηριστικά

Αν τα συγκρίνουμε με τα CFCs και σύμφωνα με πρόσφατες έρευνες και δοκιμές, μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι στις φυσικές και χημικές ιδιότητες υπάρχουν διαφορές. Συγκεκριμένα: τα HCFCs /HFCs δεν είναι αδρανή, είναι ασταθή στην ατμόσφαιρα, έχουν, μικρότερη διαλυτική ικανότητα και λιπαρότητα, συνεργάζονται πιο δύσκολα με διάφορα υλικά με τα οποία πρέπει να συνυπάρξουν, όπως π.χ. ελαστομερή και πλαστικά, παρουσιάζουν μεγαλύτερη διαβρωτική ικανότητα και ορισμένα είναι πιο εύφλεκτα. Όπως αναφέρθηκε, τα HCFCs και τα HFCs δεν είναι αδρανείς ενώσεις, δηλαδή διασπώνται στην τροπόσφαιρα. Αυτός είναι και ο τρόπος με τον οποίο κατά κύριο λόγο απομακρύνονται από την ατμόσφαιρα. Ο υπεύθυνος για τη διάσπαση παράγοντας είναι η ρίζα του υδροξυλίου (OH) που επιτίθεται στο μόριο ενός HCFC ή ενός HFC και σπάει τον δεσμό μεταξύ άνθρακα και υδρογόνου. Αν πάρουμε για παράδειγμα το HCFC₂₂ με χημικό τύπο CHF₂Cl θα έχουμε την εξής αντίδραση:



Αυτή η διαδικασία λέγεται οξείδωση.

Αντιστρόφως ανάλογος προς την ευαισθησία του κάθε HCFC και HFC στο υδροξύλιο είναι ο χρόνος ζωής της ένωσης στην τροπόσφαιρα. Όσο πιο μεγάλη είναι η ευαισθησία τόσο πιο γρήγορα θα καταστραφεί, άρα τόσο πιο μικρός θα είναι ο χρόνος ζωής της.

Για τα HCFCs που χρησιμοποιούνται σήμερα έχει υπολογιστεί ότι ο χρόνος ζωής τους στην τροπόσφαιρα κυμαίνεται από 1,7 έως 22,4 χρόνια. Στη διάρκεια λοιπόν αυτών των χρόνων, τα HCFCs εκείνα που δεν καταστρέφονται στην τροπόσφαιρα μεταφέρονται στη στρατόσφαιρα όπου διασπώνται αντιδρώντας είτε με τη ρίζα (OH), είτε με ενεργά άτομα οξυγόνου, είτε με φωτόλυση. Απελευθερώνουν έτσι τα άτομα του χλωρίου που περιέχουν και συμμετέχουν στην καταστροφή του όζοντος. Για παράδειγμα, το 7% του HCFC₂₂ και το 10% του HCFC_{141b} καταστρέφονται στη στρατόσφαιρα.

Σ' αυτό το σημείο πρέπει να επισημανθεί ότι κάθε αλλαγή στη χημεία της τροπόσφαιρας που μπορεί να επηρεάσει τους αριθμούς των ριζών υδροξυλίου που βρίσκονται σ' αυτή, θα επηρεάσει τη διαδικασία και την ταχύτητα απομάκρυνσης των HCFCs και HFCs από την τροπόσφαιρα και άρα θα αυξήσει την πιθανότητα αυτά να καταλήγουν πιο εύκολα στη στρατόσφαιρα. Επιπλέον, ορισμένα από τα προϊόντα που προέρχονται από τη διάσπαση των HCFCs και HFCs στην τροπόσφαιρα έχουν, όταν μεταφερθούν στη στρατόσφαιρα, αρνητική επίδραση στη χημεία της στρατόσφαιρας για το όζον. Παρά τις διαφορές που οι ενώσεις αυτές έχουν με τα CFCs, όμως παρουσιάζουν και σημαντικές ομοιότητες έτσι, μπορούν εύκολα να χρησιμοποιηθούν στους τομείς της ψύξης, του κλιματισμού και της μόνωσης με ικανοποιητικά αποτελέσματα.

Ο βαθμός επικινδυνότητας των HCFCs και HFCs για τον άνθρωπο και το περιβάλλον άρχισε να μελετάται από το 1987, όταν οι μεγαλύτερες χημικές βιομηχανίες στον κόσμο αποφάσισαν να διεξάγουν από κοινού μελέτες για τις ενώσεις αυτές. Έτσι, το 1988 προέκυψε το AFEAS (Alternative Fluorocarbons Environmental Acceptability Study), ενώ ήδη από το 1987 είχε ξεκινήσει το πρώτο PAFT (Programme for Alternative Fluorocarbon Toxicity Testing). Τα μέχρι τώρα αποτελέσματα των PAFT, χαρακτηρίζουν ως ασφαλείς τις ουσίες που ελέγχονται ως προς την τοξικότητα τους. Από άλλες όμως πηγές τα νέα είναι λιγότερο καθησυχαστικά. Η τοξικότητα τους λοιπόν μελετάται ακόμη χωρίς να μπορεί να αποκλεισθεί. Επιπλέον, συμβάλλουν και στο φαινόμενο της όξινης βροχής. Πρέπει να σημειωθεί ότι οι HFCs (υδροφθοράνθρακες), είναι 11.700 φορές πιο καταστροφικοί για το κλίμα από το διοξείδιο του άνθρακα.

Ορισμένα βασικά συμπεράσματα

Από όσα αναφέρθηκαν ήδη για τα HCFs και τα HFCs μπορούμε να καταλήξουμε σε ορισμένα βασικά συμπεράσματα. Τα μεν HCFCs μπορούν να συμβάλουν τόσο στην καταστροφή του όζοντος όσο ίσως και στην επίταση του φαινομένου του θερμοκηπίου, ενώ τα HFCs, μην περιέχοντας χλώριο δεν συμμετέχουν στην καταστροφή του όζοντος, έχουν όμως μεγαλύτερη συμμετοχή από τα HCFCs στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Σύμφωνα με στοιχεία του 1990, τα CFCs συμμετέχουν στο φαινόμενο της ανόδου της θερμοκρασίας κατά 15-25% σε σχέση με τα άλλα αέρια που έχουν

ανάλογες επιπτώσεις, τα δε HCFCs και HFCs συμμετέχουν στο ίδιο φαινόμενο κατά το 1/3 έως 2/3 της συμβολής των CFCs.

Για να μην πελαγοδρομούμε, θα πρέπει συνοψίζοντας να τονίσουμε ότι στην αξιολόγηση των HCFCs και HFCs θα πρέπει να λάβουμε υπόψη μας όλους τους δείκτες σε συνδυασμό, καθώς και τον εκτιμώμενο χρόνο ζωής αυτών των ενώσεων. Κάνοντας αυτό θα παρατηρήσουμε ότι οι συγκεκριμένες ενώσεις επιβαρύνουν σαφώς λιγότερο τη στρατόσφαιρα με χλώριο· άρα η καταστροφικότητά τους για το όζον είναι περιορισμένη. Όμως η, έστω και περιορισμένη, συμβολή τους στην καταστροφή δεν μπορεί καθόλου να αγνοηθεί, ιδιαίτερα κατά την περίοδο αιχμής του φαινομένου. Επιπλέον, δεν μπορεί να αγνοηθεί η σημαντική συμβολή των ουσιών αυτών στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Βεβαίως οι παραπάνω επιπτώσεις είναι συνάρτηση των ποσοτήτων που θα απελευθερωθούν στην ατμόσφαιρα.

Συνεκτιμώντας λοιπόν όλα τα παραπάνω, μπορούμε να πούμε ότι η παγκόσμια κοινότητα θα πρέπει να επιμείνει ιδιαίτερα στην αναζήτηση και στη γενικευμένη χρήση ουσιών και μεθόδων που να συγκεντρώνουν λιγότερα μειονεκτήματα απ' αυτά των HCFCs και HFCs. Βεβαίως, η χρήση τους ως υποκατάστατων έχει θετικές επιπτώσεις για το όζον, όπως επίσης διευκολύνει και τη βιομηχανία, θα πρέπει όμως με όλα τα μέσα να αναζητηθούν λύσεις πιο ανώδυνες για το περιβάλλον.

Ο τετραχλωράνθρακας (CCl₄)

Τι είναι - χαρακτηριστικά

Ο τετραχλωράνθρακας είναι μια ένωση αδρανής και με εξαιρετική διαλυτική ικανότητα, αλλά επίσης τοξική και καρκινογόνα. Η κατανάλωση του το 1986 ήταν 1.116.000 τόνοι, ενώ το 1989 παρήχθησαν 750.000 και σύμφωνα με τις αναφορές, κυρίως όμως δυτικών χωρών, η παραγωγή και κατανάλωση του, σ' αυτές τουλάχιστον, μειώνεται διαρκώς· πράγμα που συνδέεται εξάλλου με το γεγονός ότι στις χώρες αυτές το σύνολο σχεδόν του χρησιμοποιούμενου CCl₄ αναλώνεται ως πρώτη ύλη για την παραγωγή CFCs. Τα στοιχεία όμως για το τι ακριβώς συμβαίνει σε αναπτυσσόμενες χώρες καθώς και σε χώρες της ανατολικής Ευρώπης είναι ελλιπή. Ο έλεγχος του πάντως είναι δύσκολος γιατί παράγεται εύκολα και με χαμηλό κόστος.

Τα χαρακτηριστικά του τετραχλωράνθρακα φαίνονται στον πίνακα 2.3 που ακολουθεί.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.3 ΤΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΤΕΤΡΑΧΛΩΡΑΝΘΡΑΚΑ

| Δ.Κ.Ο. | Δ.Ε.Χ. | Δ.Α.Θ. | Δ.Α.Θ. (ως προς CFC ₁₁) | | | | | Χρόνος ζωής |
|--------|--------|-----------|-------------------------------------|------|------|-----|-----|-------------|
| | | | 20 | 50 | 100 | 200 | 500 | |
| 1,1 | 1 | 0,34-0,35 | 1800 | 1600 | 1300 | 860 | 480 | 42 |

Επίσης έχει κόστος αγοράς- 0,25 δολ./pound.

Χρήσεις

Χρησιμοποιείται ως διαλυτικό στην παραγωγή χλωριωμένου λάστιχου ή χλωριωμένου πολυαιθυλενίου που είναι συστατικά χρωμάτων, κολλητικών ουσιών, μελάνης, αδιάβροχων υφασμάτων. Παρόλο που η χρήση αυτή είναι η δεύτερη μεγαλύτερη, όμως ένα μεγάλο ποσοστό του CCl_4 μπορεί να ανακυκλωθεί και να ξαναχρησιμοποιηθεί γι' αυτή τη χρήση. Παλιότερα χρησιμοποιείτο σε μεγάλη έκταση ως καθαριστικό για στεγνό καθάρισμα, με αποτέλεσμα το μεγαλύτερο μέρος του να εκλύεται στην ατμόσφαιρα, αλλά σήμερα η χρήση αυτή έχει απαγορευτεί σχεδόν σε όλες τις δυτικές χώρες. Εξακολουθεί όμως, παρόλο ότι υπάρχει πλήθος εναλλακτικών ουσιών, σε ορισμένες αναπτυσσόμενες αλλά και χώρες της Ανατολικής Ευρώπης, όπου κυκλοφορεί στο εμπόριο σκέτος ως διαλυτικό. Σε χώρες του τρίτου κόσμου δεν αποτελούν ασυνήθιστο θέαμα ανοιχτά βαρέλια που περιέχουν CCl_4 .

Ο CCl_4 χρησιμοποιείται κυρίως ως πρώτη ύλη για την παραγωγή CFC_{11} και CFC_{12} , χρήση που θα εκλείψει με την κατάργηση αυτών των ουσιών και ενώ κατ' αρχήν θεωρείται ότι σ' αυτή τη διαδικασία ο CCl_4 είτε καταστρέφεται είτε αλλάζει χημική μορφή, όμως υπάρχει υποψία ότι και σ' αυτή την περίπτωση εκλύεται τετραχλωράνθρακας στην ατμόσφαιρα. Μια περιορισμένη χρήση του CCl_4 είναι και πάλι ως πρώτη ύλη στην παραγωγή φαρμακευτικών και γεωργικών φαρμάκων, καθώς και η χρήση του ως καταλύτη για το ραφινάρισμα πετρελαιοειδών. Πάντως και σ' αυτές τις χρήσεις ο CCl_4 καταστρέφεται.

Τέλος μια ποσότητα τετραχλωράνθρακα παράγεται ως υποπροϊόν κατά την παραγωγή χλωριωμένων διαλυτικών και χλωριούχου βινυλίου. Αν και το μεγαλύτερο μέρος του είτε καταστρέφεται στη διαδικασία είτε ανακυκλώνεται, όμως υπάρχει ένα μικρό ποσοστό που παραμένει στο τελικό προϊόν.

Το τριχλωροαιθάνιο ή μεθυλικό χλωροφόρμιο

Τι είναι – χαρακτηριστικά

Το τριχλωροαιθάνιο είναι μια ουσία με αξιοσημείωτες ιδιότητες: δεν είναι εύφλεκτη, δεν εκρήγνυται υπό κανονικές συνθήκες, έχει χαμηλή τοξικότητα και δεν προκαλεί καρκινογενέσεις. Επιπλέον είναι σε μεγάλο ποσοστό δυνατή η επαναχρησιμοποίηση του μέσα από διαδικασίες ανακύκλωσης. Ακόμα, είναι μια ουσία ιδιαίτερα διαδεδομένη λόγω της υψηλής διαλυτικής και απολιπαντικής της ικανότητας, καθώς και της χαμηλής ζώης της. Το τριχλωροαιθάνιο δεν είναι αδρανές διότι περιέχει υδρογόνο και γι' αυτό το μεγαλύτερο μέρος απ' αυτό που εκλύεται στην ατμόσφαιρα οξειδώνεται στην τροπόσφαιρα μετά από "επίθεση" που δέχεται από τις ρίζες του υδροξυλίου (OH). Επίσης, ένα μέρος του $\text{C}_2\text{H}_3\text{Cl}_3$ "χάνεται" στον ωκεανό. Ένα μικρό ποσοστό όμως που διαφεύγει απ' αυτές τις διαδικασίες καταστροφής ανέρχεται στη στρατόσφαιρα και λόγω του χλωρίου που περιέχει συμβάλλει στη μείωση του όζοντος. Παρόλο που το

ποσοστό αυτό είναι μικρό, η συμβολή του στην καταστροφή του όζοντος δεν είναι ανάλογη, λόγω των πολύ μεγάλων ποσοτήτων τριχλωροαιθανίου που εκλύονται στην ατμόσφαιρα. Για παράδειγμα, το 1986 καταναλώθηκαν 609 χιλ. τόνοι ενώ το 1990, 726 χιλ. τόνοι. Είναι λοιπόν η δεύτερη σε ποσότητα παραγόμενη ουσία που καταστρέφει το όζον μετά τα CFCs και αν το συγκρίνουμε με κάθε CFC χωριστά, τότε είναι η πρώτη σε ποσότητα. Βέβαια η συμμετοχή του στην καταστροφή του όζοντος δεν είναι το ίδιο μεγάλη, όμως είναι η τρίτη σε καταστροφικότητα ουσία για το όζον μετά τα CFCs και τα Halons. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι δεν υπάρχουν αποθηκευμένες (banked) ποσότητες τριχλωροαιθανίου, διότι η ουσία αυτή είτε χρησιμοποιείται στην επεξεργασία ή παραγωγή διαφόρων προϊόντων ή ενώσεων είτε εκλύεται αμέσως στην ατμόσφαιρα.

Τα χαρακτηριστικά του τριχλωροαιθανίου φαίνονται στον πίνακα 2.4 που ακολουθεί.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.4 ΤΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΤΡΙΧΛΩΡΟΑΙΘΑΝΙΟΥ

| Δ.Κ.Ο. | Χρόνος ζώης | Δ.Α.Θ (ως προς CFC ₁₁) | Δ.Α.Θ. (ως προς CO ₂) | | | | |
|--------|-------------|------------------------------------|-----------------------------------|--------|---------|---------|---------|
| | | | 20 χρ. | 50 χρ. | 100 χρ. | 200 χρ. | 500 χρ. |
| 0,15 | 6,1 | 0,22-0,26 | 360 | 170 | 160 | 62 | 34 |

Χρήσεις

Το τριχλωροαιθάνιο χρησιμοποιείται στο μεγαλύτερο ποσοστό του από τη βιομηχανία (π.χ. ηλεκτρονικών υπολογιστών, αεροσκαφών, ηλεκτρικών ειδών), ως καθαριστικό κυρίως μετάλλων και ηλεκτρονικών μερών διαφόρων προϊόντων. Υπολογίζεται ότι το 65% του παραγόμενου παγκοσμίως C₂H₃Cl₃ χρησιμοποιείται για καθαρισμό μετάλλων από σκόνη και λιπαντικές ουσίες. Στη βιομηχανία ηλεκτρονικών χρησιμοποιείται για απομάκρυνση λιπαντικών ουσιών, δακτυλ. αποτυπωμάτων ή σκόνης, από τυπωμένα κυκλώματα, και τρανζίστορς. Ακόμη, το τριχλωροαιθάνιο χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις που απαιτείται καθαρισμός υψηλού επιπέδου και μεγάλης ακριβείας, λόγω των ιδιοτήτων και της ευαισθησίας του προϊόντος που καθαρίζεται, όπως π.χ. ο σκληρός δίσκος των ηλεκτρονικών υπολογιστών, όργανα ακριβείας, οπτικά όργανα, υδραυλικά συστήματα ελέγχου. Τέλος, ένα μικρό ποσοστό χρησιμοποιείται για το στεγνό καθάρισμα υφασμάτων.

Το τριχλωροαιθάνιο χρησιμοποιείται ως συστατικό ενός πλήθους καταναλωτικών προϊόντων, όπως π.χ. καθαριστικών, γυαλιστικών, λιπαντικών, κολλητικών ουσιών κ.λπ..

Πάντως, σύμφωνα με τις ανακοινώσεις των μεγάλων βιομηχανιών ηλεκτρονικών, αεροσκαφών, οπτικών κ.λπ., η χρήση του περιορίζεται σε μεγάλο βαθμό. Είναι χαρακτηριστικό ότι οι εκπομπές του μεθυλικού χλωροφορμίου μειώθηκαν από το 1992 στο 1993 κατά 50%

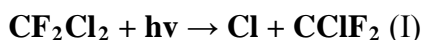
Ποια είναι η χημεία του χλωρίου στη στρατόσφαιρα

Οι ενώσεις που παρουσιάστηκαν σ' αυτή την ενότητα (εκτός από τα HFCs) έχουν ένα κοινό χαρακτηριστικό: περιέχουν όλες χλώριο και, άλλες στο σύνολο τους άλλες σε μικρότερα ποσοστά, ανέρχονται στη στρατόσφαιρα όπου και ξεκινά μια αλυσίδα χημικών αντιδράσεων με καταλυτική τη δράση του χλωρίου.

Θα πρέπει να διευκρινιστεί ότι αν και τα CFCs είναι ενώσεις βαρύτερες από τον αέρα, όμως ανέρχονται τη στρατόσφαιρα εξαιτίας των ανέμων οι οποίοι "αναμειγνύουν την ατμόσφαιρα σε ύψη πολύ πάνω από την κορυφή της στρατόσφαιρας, πολύ γρηγορότερα από όσα τα μόρια των CFCs κινούνται προς τα κάτω λόγω του βάρους τους".

Ο κύριος όγκος φυσικής παραγωγής και καταστροφής του όζοντος συμβαίνει πάνω από τα 25 έως τα 40 χλμ. (Το όζον το οποίο παράγεται εκεί στη συνέχεια μετακινείται λίγο χαμηλότερα και γ' αυτό οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις όζοντος παρατηρούνται μεταξύ 19 και 23 χλμ.). Ακριβώς σ' αυτά τα ύψη (γύρω στα 30 χλμ.) στη μέση στρατόσφαιρα τα αδρανή CFCs αρχίζουν να ενεργοποιούνται με την επίδραση της υπεριώδους ακτινοβολίας.

Ας πάρουμε για παράδειγμα ένα μόριο της ουσίας CFC₁₂ που είχε τον χημικό τύπο CF₂Cl₂ και ας δούμε τι συμβαίνει:



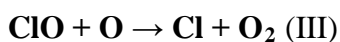
δηλαδή το μόριο του CFC₁₂ διασπάστηκε από την υπεριώδη ακτινοβολία και μας έδωσε ένα άτομο χλωρίου και μια ένωση άνθρακα χλωρίου. Αυτό το φαινόμενο της διάσπασης μιας ένωσης από την υπεριώδη ακτινοβολία ονομάζεται φωτόλυση.

Στη συνέχεια αυτό το ελεύθερο άτομο χλωρίου "επιτίθεται" σε ένα μόριο όζοντος και το διασπά:



Από τη διάσπαση προκύπτει ένα μόριο μονοξειδίου του χλωρίου και ένα μόριο οξυγόνου.

Όμως η διαδικασία δεν σταματά εδώ. Το μόριο του μονοξειδίου του χλωρίου αντιδρά με ένα άτομο οξυγόνου, από τα πολλά που αφθονούν σ' αυτά τα ύψη στη στρατόσφαιρα, και έχουμε:

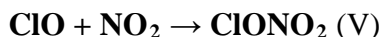


Έτσι έχουμε και πάλι ένα άτομο χλωρίου ελεύθερο, έτοιμο να επιτεθεί σε ένα μόριο όζοντος και να το διασπάσει. Επιπλέον, το άτομο του χλωρίου που έμεινε δεσμευμένο στην ένωση που μας προέκυψε από την πρώτη αντίδραση (I), θα απελευθερωθεί επίσης με μια σειρά από χημικές αντιδράσεις και θα διαγράψει την ίδια καταστροφική πορεία για το όζον. Αυτή η αλυσιδωτή διαδικασία που περιγράψαμε επαναλαμβάνεται περίπου χίλιες φορές, έως ότου το ελεύθερο άτομο του χλωρίου να αντιδράσει με μια άλλη ουσία (συνήθως μεθάνιο) οπότε έχουμε:

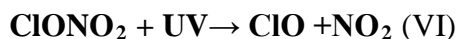


Έτσι το άτομο του χλωρίου δεσμεύεται σε μια ένωση, το υδροχλώριο, και η αλυσιδωτή διαδικασία διακόπτεται.

Ένας άλλος τρόπος να διακοπεί η αλυσίδα είναι ο εξής: Μετά την αντίδραση (II) να έχουμε:



δηλαδή το μονοξείδιο του χλωρίου αντιδρά με το οξείδιο του αζώτου και δεσμεύεται σχηματίζοντας μαζί του μια νέα ένωση. Η νέα όμως αυτή ένωση αντιδρώντας με την υπεριώδη ακτινοβολία διασπάται στα αρχικά συστατικά της: δηλαδή:



Αν στη συνέχεια το ClO αντιδράσει με ένα άτομο οξυγόνου επανερχόμαστε στην αντίδραση (III) και η αλυσίδα μας έχει επανασυνδεθεί. Επίσης το μόριο του υδροχλωρίου (HCl) της αντίδρασης IV είναι δυνατόν να αντιδράσει με μια ρίζα υδροξυλίου και να έχουμε:

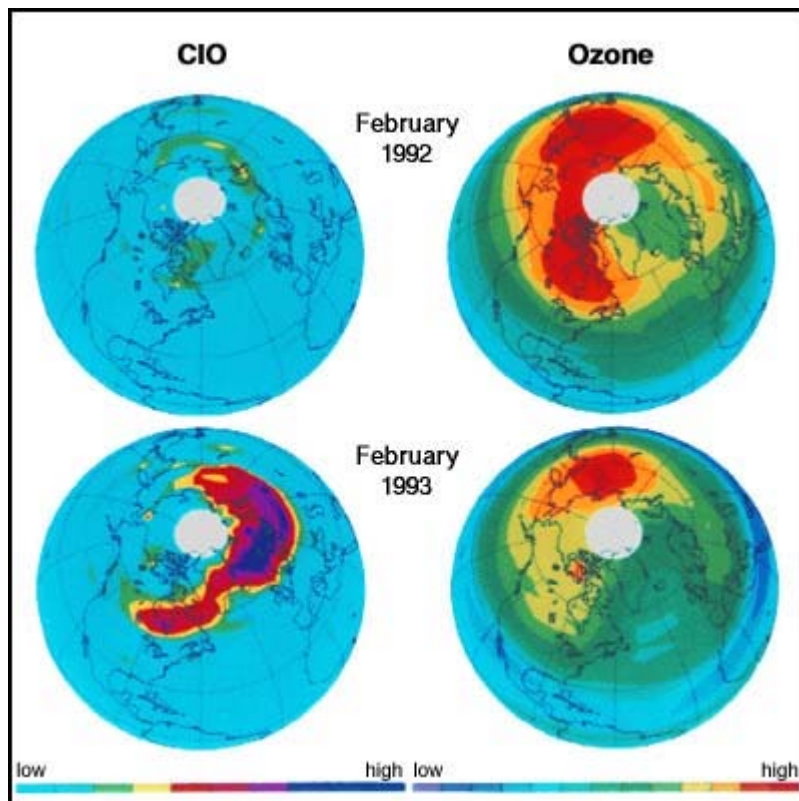


Έτσι επανακάμπει ένα άτομο χλωρίου και η αλυσίδα μας έχει επίσης επανασυνδεθεί.

Αυτές οι διακοπές-επανασυνδέσεις της αλυσίδας μπορούν να επαναληφθούν από 50 έως 200 φορές και κάθε φορά να καταστρέφονται περίπου 1000 μόρια όζοντος. Έχει λοιπόν, σύμφωνα με τα παραπάνω, υπολογιστεί ότι ένα άτομο χλωρίου (Cl) μπορεί να καταστρέψει περίπου 100.000 μόρια όζοντος. Στα σχήματα 2.24 και 2.25 φαίνεται καθαρά η καταστροφή του όζοντος που προαναφέρεται.

ΣΧΗΜΑ 2.24 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ClO ΚΑΙ ΟΖΟΝΤΟΣ ΑΠΟ ΑΕΡΟΣΚΑΦΟΣ (NASA,1987). ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΤΕ ΤΗ ΡΑΓΔΑΙΑ ΑΥΞΗΣΗ ΤΟΥ ClO ΚΑΘΩΣ ΤΟ ΑΕΡΟΣΚΑΦΟΣ ΕΙΣΕΡΧΕΤΑΙ ΣΤΗΝ ΠΟΛΙΚΗ ΔΙΝΗ ΑΕΡΟΣ ΚΑΙ ΣΤΗΝ ΑΝΤΑΡΚΤΙΚΗ ΤΡΥΠΑ ΤΟΥ ΟΖΟΝΤΟΣ (ΠΕΡΙΠΟΥ 67°S) ΚΑΙ ΤΗΝ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΤΟΥ ClO ΜΕ ΤΗΝ ΑΠΟΚΛΙΣΗ ΤΟΥ ΟΖΟΝΤΟΣ

Ο κύκλος της καταστροφής διακόπτεται τελειωτικά μόνο αν το άτομο του χλωρίου δεσμευμένο σε ένωση υδροχλωρίου δεν απελευθερωθεί και πάλι, αλλά μετακινηθεί σιγά-σιγά προς την τροπόσφαιρα και ξεπλυθεί με τη βροχή στη γη. Αυτός ο κύκλος διαρκεί συνήθως 1 έως 2 χρόνια.



ΕΙΚΟΝΑ 2.25 ΜΕ ΤΗΝ ΑΥΞΗΣΗ ΤΗΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΤΟΥ CIO ΠΑΡΑΤΗΡΕΙΤΑΙ ΜΙΑ ΑΙΣΘΗΤΗ ΜΕΙΩΣΗ ΤΗΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΤΟΥ ΟΖΟΝΤΟΣ

VI. Η χημεία των βρώμιου

Εισαγωγή

Σ' αυτή την περίπτωση ο καταλύτης είναι το βρώμιο (Br), το οποίο συνεπώς δρα στη στρατόσφαιρα ιδιαίτερος καταστροφικά για το όζον. Υπάρχουν ένα πλήθος ενώσεων βρώμιου που είτε έχουν φυσική προέλευση είτε είναι ανθρωπογενείς. Πριν λοιπόν ασχοληθούμε με τη χημική συμπεριφορά του βρώμιου στη στρατόσφαιρα θα παρουσιάσουμε ορισμένες ενώσεις απ' τις οποίες προέρχεται ένα μέρος του βρώμιου της στρατόσφαιρας.

Επικίνδυνες για το όζον ενώσεις βρωμίου.

Εισαγωγικά

- Τα halons ή βρωμοφθοράνθρακες (BFCs)
- Το βρωμιούχο μεθύλιο

- Οι υδροβρωμοφθοράνθρακες (HBFCs)

Αναλυτικά

Τα halons

Τα halons είναι πολυαλογονίδια, δηλαδή είναι πολυαλογονισμένα παράγωγα των κεκορεσμένων υδρογονθράκων στα οποία δύο ή περισσότερα άτομα υδρογόνου έχουν αντικατασταθεί με άτομα αλογόνου, απ' τα οποία ένα είναι οπωσδήποτε βρώμιο.

Αυτά που μας ενδιαφέρουν είναι τα halons 1211, 1301, 2402, τα οποία δεν περιέχουν καθόλου υδρογόνο.

Ιστορική αναδρομή

Τα halons που αναφέρονται παραπάνω γεννήθηκαν στη δεκαετία του 1940 και μαζί με το halon 1202 επιλέχθηκαν ανάμεσα σε 60 ουσίες για να χρησιμοποιηθούν για πυρόσβεση.

Απ' αυτά, τα halons 1202 και 2402 είναι τα πιο τοξικά και γι' αυτό η χρήση τους παρέμεινε πάντα περιορισμένη, ενώ τα halons 1301 και 1211 χρησιμοποιήθηκαν έκτοτε ευρέως.

Χαρακτηριστικά

Τα halons είναι αδρανείς χημικές ενώσεις, δεν είναι τοξικά σε μικρές αναλογίες, δεν είναι διαβρωτικά, είναι κακοί αγωγοί του ηλεκτρισμού, δεν εκρήγνυνται, δεν αφήνουν κατάλοιπα, είναι αποτελεσματικά στην κατάσβεση πυρκαϊών σε μικρές ποσότητες, διεισδύουν εύκολα ακόμα και σε σημεία που είναι απρόσιτα.

Ποια είναι τα halons

| <u>Ουσία</u> | <u>Χημικός τύπος</u> | <u>Δ. Κ. Ο</u> | <u>Χρόνος ζωής</u> |
|--------------|---|----------------|--------------------|
| halon 1211 | CF ₂ ClBr | 4 | (10-40) |
| halon 1301 | CF ₃ Br | 16 | (69-88) |
| halon 2402 | C ₂ F ₄ Br ₂ | 7 | n.a |

Η αρίθμηση των halons μας δείχνει τη σύνθεση της ουσίας. Ο πρώτος αριθμός αντιστοιχεί στα άτομα του άνθρακα, ο δεύτερος στα άτομα του φθορίου, ο τρίτος του χλωρίου και ο τέταρτος του βρώμιου. Τα halons παρουσιάζουν μεγάλο ενδιαφέρον από πλευράς χημικής συμπεριφοράς στην ατμόσφαιρα και γι' αυτό υπάρχουν αρκετές διακυμάνσεις στον υπολογιζόμενο χρόνο ζωής τους. Για παράδειγμα το halon 1211 εμφανίζει ως προς το χρόνο ζωής του ένα εύρος από τα 10 έως τα 40 χρόνια γιατί ενώ είναι αδρανές, όμως παρουσιάζει μεγάλη ευαισθησία στην υπεριώδη ακτινοβολία με μήκος κύματος 280-400 nm που απαντάται στην χαμηλότερη στρατόσφαιρα και στην ανώτερη τροπόσφαιρα, και έτσι το μεγαλύτερο μέρος του διασπάται, λόγω φωτόλυσης, σ' αυτή την περιοχή. Αν όμως ξεπεράσει αυτό το ύψος τότε ο χρόνος της ζωής του επιμηκύνεται γιατί διαφοροποιείται η διαδικασία καταστροφής του.

Ακόμη, οι δείκτες καταστροφικότητας των halons εξαρτώνται από την ποσότητα του χλωρίου στην ατμόσφαιρα. Όσο πιο άφθονο είναι το χλώριο τόσο μεγαλώνουν οι Δ. Κ. Ο. των halons. Οι Δ.Κ.Ο. που παρατίθενται εδώ, έχουν υπολογιστεί με χλώριο .

Χρήσεις

Τα halons χρησιμοποιήθηκαν ευρύτατα μόνο ως παράγοντες καταστολής της φωτιάς λόγω των ιδιοτήτων τους που είδαμε παραπάνω. Οι χρήσεις χωρίζονται στις εξής κατηγορίες:

Μονίμως εγκατεστημένα συστήματα πυρόσβεστης και συστήματα καταπολέμησης μικροεκρήξεων (κυρίως halon 1301)

Σ' αυτή την περίπτωση, είτε με τη μέθοδο της απελευθέρωσης του αερίου μέσα στον προστατευόμενο χώρο, είτε με τη μέθοδο της κατευθείαν εκτόξευσης της ουσίας πάνω σε εύφλεκτα υλικά, προστατεύονται από φωτιά διάφοροι χώροι ακόμα και αν περιέχουν ευαίσθητα ή πολύτιμα υλικά ή αντικείμενα. Ακόμη, χώροι με συστήματα τηλεπικοινωνίας καθώς και ηλεκτρονικά συστήματα ή υπολογιστές, βιβλιοθήκες, αίθουσες αρχείων, χώροι στάθμευσης οχημάτων και αεροσκαφών.

Φορητά συστήματα πυρόσβεστης (κυρίως halon 1211)

Σήμερα υπάρχουν εναλλακτικές ουσίες για πυρόσβεση σε όλες σχεδόν τις περιπτώσεις χρήσης των halons, γι' αυτό εξάλλου και η τεχνική επιτροπή για τα halons δεν βρήκε δικαιολογημένη καμιά εξαίρεση για παραγωγή halons το 1994, απόφαση με την οποία συμφώνησε και το Panel Τεχνολογικής και Οικονομικής Εκτίμησης (Technology and Economic Assessment). Εξάλλου οι ποσότητες των halons που υπάρχουν αποθηκευμένες ή μπορούν να ανακυκλωθούν, αρκούν για να καλύψουν τη ζήτηση σε περιπτώσεις που δεν υπάρχουν υποκατάστατα.

Το βρωμιούχο μεθύλιο (CH₃Br)

Είναι μονοαλογονομένο παράγωγο των κεκορεσμένων υδρογονθράκων. Αυτό σημαίνει ότι ένα άτομο υδρογόνου έχει αντικατασταθεί από ένα άτομο αλογόνου, στην περίπτωση μας βρώμιου. Το βρωμιούχο μεθύλιο είναι εκείνη η ένωση βρώμιου που αφθονεί περισσότερο στην ατμόσφαιρα και η μεγαλύτερη πηγή βρώμιου στη στρατόσφαιρα, προέρχεται δε τόσο από φυσικές όσο και από ανθρωπογενείς διαδικασίες.

Η μεγαλύτερη πηγή του CH₃Br είναι φυσική και είναι οι ωκεανοί. Οι άλλες πηγές είναι ανθρωπογενείς, με σημαντικότερες τη γεωργική χρήση, την καύση της βιομάζας και τις εξατμίσεις των αυτοκινήτων που χρησιμοποιούν αμόλυβδη βενζίνη. Το 40% έχει ανθρωπογενή προέλευση. Οι συγκεντρώσεις CH₃Br στην ατμόσφαιρα είναι 9-13 pptv και εμφανίζονται πιο αυξημένες στο βόρειο ημισφαίριο, πράγμα που πολύ πιθανόν να οφείλεται σε ανθρωπογενείς διαδικασίες.

Ιστορική αναδρομή

Το CH_3Br πήρε άδεια κυκλοφορίας στη δεκαετία του '60· σύμφωνα όμως με άλλη πηγή χρησιμοποιείται ως ζιζανιοκτόνο και εντομοκτόνο εδώ και 60 χρόνια. Όπως και να έχει πάντως το πράγμα, η ένωση αυτή εμφανίστηκε ανησυχητικά στο προσκήνιο σχετικά πρόσφατα, στη δεκαετία του '90, ως ΟΚΟ (ουσία καταστροφική για το όζον) και αποτελεί αντικείμενο διεξοδικής έρευνας αλλά και "πονοκέφαλο" για τους λαμβάνοντες τις αποφάσεις, καθώς τα δεδομένα που υπήρχαν όταν πρωτοεμφανίστηκε το πρόβλημα δεν ήταν αρκετά. Οι ενδείξεις όμως ήταν ιδιαίτερα ανησυχητικές. Επιπλέον, υπήρχε και υπάρχει έντονη πίεση από την πλευρά της βιομηχανίας.

Χαρακτηριστικά

Το CH_3Br δεν είναι αδρανές αέριο, δηλαδή είναι ευάλωτο σε χημικές διαδικασίες που συμβαίνουν στην τροπόσφαιρα. Είναι άχρωμο, σχεδόν άοσμο, με σημαντική διαλυτότητα, υψηλή διαβρωτικότητα, πτητικότητα και τοξικότητα τόσο για τα έντομα και τα φυτά όσο και για τους ανθρώπους, και μέσω της μόλυνσης των υδάτων αλλά και μέσω της μόλυνσης του αέρα. Είναι επίσης οικονομικώς συμφέρον. Οι βασικοί τρόποι με τους οποίους το CH_3Br απομακρύνεται από την ατμόσφαιρα, απ' όσο γνωρίζουμε, είναι: (α) η οξείδωση στην τροπόσφαιρα, δηλαδή η αντίδραση του CH_3Br με τις ρίζες του υδροξυλίου (OH), (β) η φωτόλυση στη στρατόσφαιρα για το μικρό μέρος των μορίων του CH_3Br που θα φθάσουν ως εκεί και, (γ) διαδικασίες που συμβαίνουν στην επιφάνεια της γης. Όμως αυτές πρέπει να μελετηθούν για να διαπιστωθεί η σημασία τους για τον χρόνο ζωής και κατ' επέκταση τον Δ.Κ.Ο. του CH_3Br , (δ) διαδικασίες που συμβαίνουν στους ωκεανούς οι οποίοι αποτελούν ένα σημαντικό μέσο φυσικής απομάκρυνσης του βρωμιούχου μεθυλίου από την τροπόσφαιρα.

Σύμφωνα με τα πιο πρόσφατα δεδομένα, αν το βρωμιούχο μεθύλιο απομακρυνόταν από την ατμόσφαιρα μόνο με τις διαδικασίες που συμβαίνουν σ' αυτή, τότε ο χρόνος ζωής του θα ήταν περίπου 2 χρόνια ($\pm 0,5$). Αν λάβουμε όμως υπόψη μας και την απομάκρυνση του μέσω των ωκεανών, τότε ο συνολικός χρόνος ζωής του μειώνεται στα 1,3 χρόνια (με εύρος από 0,8 έως 1,7 χρόνια) με Δ.Κ.Ο. 0,6 σταθερό. Ο στρατοσφαιρικός χρόνος ζωής του είναι 30-40 χρόνια. Είναι γνωστό ότι ενώσεις με περιορισμένο συνολικό χρόνο ζωής είναι πολύ πιο καταστροφικές για το όζον βραχυπρόθεσμα, πράγμα που μας ενδιαφέρει ιδιαίτερα. Έτσι συμβαίνει και με το βρωμιούχο μεθύλιο. Για παράδειγμα, σε χρονικό ορίζοντα 5 χρόνων το ΔΚΟ του CH_3Br είναι σε κάθε περίπτωση πάνω από 10 (αριθμός που είναι πολύ μεγάλος) και δικαιολογεί την άποψη ότι "η διακοπή των εκπομπών του CH_3Br θα έχει ταχύτατη επίπτωση στην έκταση της απώλειας στρατοσφαιρικού όζοντος. Επιπλέον, στην περίπτωση των ενώσεων του βρώμιου το αυξημένο βραχυπρόθεσμα Δ.Κ.Ο εξαρτάται και από τις συγκεντρώσεις χλωρίου στη στρατόσφαιρα που επίσης θα είναι αυξημένος μέχρι το 2003.

Χρήσεις

Απολύμανση του εδάφους

Σύμφωνα με στοιχεία του 1992 το μεγαλύτερο ποσοστό του βρωμιούχου μεθυλίου που χρησιμοποιήθηκε, αναλώθηκε για γεωργική χρήση και συγκεκριμένα για απολύμανση του εδάφους πριν τη σπορά. Υπολογίζεται δε ότι κατά μέσο όρο το 50% του χρησιμοποιούμενου CH_3Br σ' αυτή τη χρήση εκλύεται στην ατμόσφαιρα.

Η χρήση αυτή γνωρίζει θεαματική αύξηση αν λάβουμε υπόψη μας ότι το 1984 χρησιμοποιήθηκαν 30,6 χιλ.τόνοι και το 1988 45,1 χιλ.τόνοι. Το μεγαλύτερο δε ποσοστό του CH_3Br γι'αυτή τη χρήση αναλώνεται στις αναπτυγμένες χώρες. Το CH_3Br χρησιμοποιείται τόσο στο ύπαιθρο όσο και στα θερμοκήπια για την εξόντωση όλων των εντόμων, των ζωυφίων και των ζιζανίων στο έδαφος, κυρίως πριν από τη φύτευση λαχανικών, ορισμένων φρούτων και λουλουδιών, απ' αυτά που χαρακτηρίζονται ως υψηλής αξίας (ντομάτες, φράουλες, σταφύλια, πεπόνια, πιπεριές, αγκινάρες, γαρίφαλα, τριαντάφυλλα, βολβοί).

Οι περιοχές όπου κυρίως χρησιμοποιείται το CH_3Br για απολύμανση του εδάφους είναι η Καλιφόρνια και η Φλόριντα, οι χώρες του ευρωπαϊκού νότου, το Ισραήλ και η Αίγυπτος. Άλλες χώρες όπως η Ολλανδία, που χρησιμοποιούσε σε μεγάλη έκταση το βρωμιούχο μεθύλιο από την δεκαετία του '60 για απολύμανση εδάφους, έχει ήδη πάψει να το χρησιμοποιεί σ' αυτή την περίπτωση από τον Ιανουάριο του '92. Η Γερμανία και η Ελβετία, ήδη από την ίδια χρονιά, είχαν σχεδόν εξαλείψει τη χρήση του για απολύμανση εδάφους εκτός από τις καλλιέργειες λουλουδιών (Ελβετία).

Το βρωμιούχο μεθύλιο είναι εντομοκτόνο, ζιζανιοκτόνο ευρέως φάσματος και μπορεί έτσι να εξασφαλίσει τους παραγωγούς απέναντι σε πλήθος εντόμων κ.λπ., ακόμα και απέναντι σ' αυτά που τους είναι άγνωστα. Όμως εκτός από τα ήδη μνημονευθέντα μειονεκτήματα και προβλήματα, με τη χρήση του ως απολυμαντικού εδάφους το CH_3Br καθιστά το έδαφος ανίκανο να αντιμετωπίσει με φυσικό τρόπο τα έντομα κ.λπ. και ταυτόχρονα δεσμεύει τους παραγωγούς σ' ένα φαύλο κύκλο διαρκούς χρήσης του ίδιου (ή ανάλογων εντομοκτόνων).

Απολύμανση προϊόντων μετά τη συγκομιδή

Σ' αυτή τη δεύτερη περίπτωση κατανάλωσης CH_3Br για γεωργική χρήση ο στόχος είναι:

- Να εμποδιστεί η απώλεια ενός μέρους της συγκομιδής στη διάρκεια της αποθήκευσης και της μεταφοράς, από την ανάπτυξη εντόμων. Αυτό επιτυγχάνεται εφόσον τα έντομα δεν πολλαπλασιαστούν υπέρμετρα αλλά ελεγχθούν χωρίς να είναι απαραίτητη η συνολική εξόντωση τους.
- Να αποφευχθεί η μετανάστευση εντόμων, ζωυφίων, παρασίτων κλπ. από χώρα σε χώρα ή από περιοχή σε περιοχή. Σ' αυτή την περίπτωση απαιτείται πλήρης εξόντωση τους. Το ποσοστό του

CH₃Br που χρησιμοποιείται για αυτές τις χρήσεις είναι το 15% του συνόλου και απ' αυτό το 80% εκλύεται στην ατμόσφαιρα. Το 1984 χρησιμοποιήθηκαν 9 χιλ. τόνοι, το 1988 χρησιμοποιήθηκαν 8 χιλ. τόνοι και το 1992 χρησιμοποιήθηκαν 9,6 χιλ. τόνοι.

Απολύμανση κτιρίων, πλοίων, αεροσκαφών

Σ' αυτή την περίπτωση το CH₃Br χρησιμοποιείται για την απολύμανση χώρων όπου αποθηκεύονται ή μέσω των οποίων διακινούνται τρόφιμα, καθώς και για εξόντωση ζουφίων μέσα σε κτίρια. Το ποσοστό γι' αυτή την χρήση είναι το 5% επί του συνόλου και το 80% εκλύεται στην ατμόσφαιρα.

Σύμφωνα λοιπόν με τα στοιχεία που υπάρχουν η ετήσια παραγωγή και οι πωλήσεις του CH₃Br ήταν: το 1984> 45,6 χιλ.τόνοι, το 1988> 60,5 και το 1992> 71,6 χιλ. τόνοι. Θα πρέπει όμως να σημειώσουμε ότι τα παραπάνω μεγέθη προέρχονται από δεδομένα βιομηχανιών της Δ. Ευρώπης, των ΗΠΑ και της Ιαπωνίας. Σ' αυτά θα πρέπει να προσεθώ ο ι 2 , 5χιλ. τόνοι από τις αναπτυσσόμενες χώρες και η παραγωγή του Ισραήλ που εκτιμάται ότι δεν είναι διόλου ευκαταφρόνητη, αλλά για την οποία δεν υπάρχουν στοιχεία.

Ποια είναι η χημεία του βρώμιου στη στρατόσφαιρα

Έχει ήδη επισημανθεί ότι οι ενώσεις βρώμιου έχουν μεγάλους Δ.Κ.Ο. πράγμα το οποίο οφείλεται ακριβώς στην ιδιαίτερη χημική συμπεριφορά των ενώσεων αυτών στην ατμόσφαιρα σε σχέση μ' αυτές του χλωρίου. Κατ' αρχήν έχει μεγάλη σημασία το ύψος στο οποίο διασπώνται οι ενώσεις βρώμιου στη στρατόσφαιρα, οπότε και απελευθερώνουν τα άτομα βρώμιου που καταστρέφουν το όζον. Η διάσπαση αυτή γίνεται στην κατώτερη στρατόσφαιρα όπου απαντώνται και οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις όζοντος.

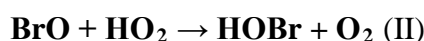
Η χημική διαδικασία είναι η εξής:



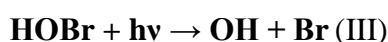
Το άτομο του βρώμιου που απελευθερώνεται ξεκινά μια αλυσίδα καταστροφής του όζοντος δρώντας ως καταλύτης, δηλαδή:



Στη συνέχεια το μόριο του μονοξειδίου του βρώμιου (BrO) που προκύπτει από την αντίδραση (I) μπορεί να ακολουθήσει την εξής πορεία:



Παρατηρούμε λοιπόν ότι το άτομο βρώμιου βρίσκεται δεσμευμένο στο HOBr (που είναι "αποθήκη" βρώμιου). Όμως το HOBr δεν είναι σταθερή ένωση αλλά διασπάται από την ηλιακή ακτινοβολία. Έτσι έχουμε:

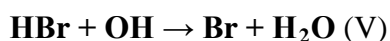


δηλαδή ένα άτομο βρώμιου είναι και πάλι ελεύθερο αλλά επίσης η αρχική μας αλυσίδα δεν έχει ακόμα κλείσει:

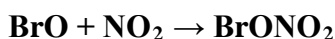


Η δύναμη αυτής της αλυσίδας, άρα και η καταστροφικότητά της, μπορούν να περιοριστούν αν το BrO ακολουθήσει μια διαφορετική πορεία μετά την αντίδραση (I), αν δηλαδή αντιδράσει με το HO₂ και παράγει ένα μόριο υδροβρωμίου (HBr) που είναι πιο σταθερή ένωση ή αν αντιδράσει με μια ρίζα υδροξυλίου (OH) και μας δώσει πάλι HBr.

Όμως θα πρέπει να σημειωθεί ότι η δέσμευση του Br στο HBr δεν σημαίνει οπωσδήποτε ότι ο κύκλος έχει κλείσει, διότι μπορεί να έχουμε την εξής αντίδραση:



οπότε ο κύκλος ξαναρχίζει, εκτός αν το μόριο HBr μετακινηθεί από τη στρατόσφαιρα χωρίς να "εμπλακεί" σε καμιά αντίδραση και φτάσει στην τροπόσφαιρα. Άλλοι καταλυτικοί κύκλοι (αλυσίδες) εκτός απ' αυτή που περιγράψαμε παραπάνω είναι:



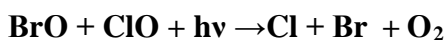
Όμως το μόριο του BrONO₂ δεν είναι σταθερό, διασπάται από την ηλιακή ακτινοβολία οπότε απελευθερώνεται και πάλι ένα άτομο βρώμιου. Αν παρατηρήσουμε τις παραπάνω αντιδράσεις, θα διαπιστώσουμε ότι έχουμε πολύ συχνά βρώμιο σε διεγερμένη μορφή, δηλαδή είτε άτομα Br είτε μόρια BrO. Αυτό επιβεβαιώνεται από τις μέχρι τώρα παρατηρήσεις, που οδηγούν στο συμπέρασμα ότι περίπου το 50% του βρώμιου στην κατώτερη στρατόσφαιρα είναι σ' αυτές τις μορφές. Σε αντίθεση με το χλώριο, που το ποσοστό των διεγερμένων μορφών του (ClO) είναι πολύ μικρότερο.

Έχουμε ήδη επισημάνει ότι η καταστροφικότητα των ενώσεων του βρώμιου εξαρτάται από την ύπαρξη χλωρίου στη στρατόσφαιρα, με το οποίο το βρώμιο σχηματίζει μια αλυσίδα καταστροφής.

Ας δούμε τις αντιδράσεις:



Τα δύο μόρια του υδροβρωμίου και του υδροχλωρίου με τη συμμετοχή και της ηλιακής ακτινοβολίας αντιδρούν και έχουμε:



Από την αντίδραση αυτή λοιπόν απελευθερώνεται ένα άτομο βρώμιου και ένα άτομο χλωρίου που καταστρέφουν το όζον. Έτσι, στην κατώτερη στρατόσφαιρα, έχουμε δύο αλυσίδες καταστροφής του όζοντος από το βρώμιο: μία μέσω της απελευθέρωσης ατόμων βρώμιου λόγω φωτόλυσης των ενώσεων του βρώμιου, και μία λόγω αντίδρασης του BrO με το ClO που επίσης απελευθερώνει τόσο άτομα βρώμιου όσο και χλωρίου.

Εδώ θα πρέπει να επισημανθεί ότι η δεύτερη αυτή αλυσίδα καταστροφής, δηλαδή η BrO - ClO, περιορίζεται ως προς την καταστροφικότητά της όσο μεγαλύτερες είναι οι συγκεντρώσεις ClO στη στρατόσφαιρα. Αυτό κατ' αρχήν φαίνεται ανακόλουθο. Κανονικά, η αλυσίδα μας θα έπρεπε να

ενισχύεται. Όμως, όταν οι συγκεντρώσεις ClO είναι μεγάλες, η χημεία της στρατόσφαιρας είναι διαφορετική και υπερισχύει η καταλυτική δράση του ClO με μια σειρά από αντιδράσεις, ενώ η αλυσίδα BrO + ClO περιορίζεται.

Οι συγκεντρώσεις ClO είναι πιο αυξημένες σε λίγο μεγαλύτερα ύψη (30-50 χλμ.) απ' ό,τι οι συγκεντρώσεις βρώμιου. Έτσι λοιπόν, σε συνδυασμό με το γεγονός ότι στην κατώτερη ατμόσφαιρα οι συγκεντρώσεις όζοντος είναι μεγαλύτερες, η καταστροφικότητά των ενώσεων βρώμιου είναι πολύ μεγάλη σε σχέση με τα CFCs και κυριαρχεί στην κατώτερη στρατόσφαιρα. Η σχέση της καταστροφικής δύναμης του Br μ' αυτή του Cl ορίζεται ως α . Ο παράγοντας α μας δείχνει πόσο καταστροφικό είναι ένα άτομο βρώμιου σε σχέση μ' αυτό του χλωρίου.

Σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν παραπάνω, ο παράγοντας α εξαρτάται από την αφθονία των μορίων του BrO στη στρατόσφαιρα και από τον σχηματισμό και τη σταθερότητα των μορίων-αποθηκών του βρώμιου, δηλαδή την HBr (κυρίως) αλλά και BrONO₂. Επίσης, εξαρτάται από την αφθονία του χλωρίου (στη μορφή ClO) στη στρατόσφαιρα. Από τις μέχρι σήμερα μετρήσεις και από τους υπολογισμούς μέσω μοντέλων, ο παράγοντας α μπορεί να παρουσιάσει εύρος από 10 έως 80 ή και περισσότερο. Αυτό σημαίνει ότι ένα άτομο βρώμιου μπορεί να είναι από 10 έως 80 (ή και περισσότερες) φορές καταστροφικότερο από ένα άτομο χλωρίου. Στην κατώτερη στρατόσφαιρα θεωρείται ότι το βρώμιο είναι 40 φορές πιο καταστροφικό. Βέβαια, η συνολική ζημία που προξενείται στο όζον εξαρτάται επίσης από τον χρόνο ζωής αλλά και από τις ποσότητες των ενώσεων με βρώμιο που εκλύονται στην ατμόσφαιρα. Για παράδειγμα, τα Halons αποτελούν μόνο το 1,8% των ΟΚΟ (ODS) που καταναλώθηκαν, ενώ τα CFCs αποτελούν το 54,4%. Βέβαια στην καταστροφή του όζοντος συμμετείχαν κατά 15% και 73,7% αντίστοιχα. Ειδικά για το CH₃Br, στο οποίο οφείλεται και το μεγαλύτερο ποσοστό των συγκεντρώσεων του βρώμιου στην κατώτερη στρατόσφαιρα, πρέπει να σημειωθεί ότι, αν οι εκπομπές του από τις ανθρωπογενείς πηγές αυξάνονται κατά 5-6% το χρόνο μέχρι το 2003, τότε, σύμφωνα με τους υπολογισμούς, θα συμβάλει κατά 15% στη συνολική καταστροφή του όζοντος. Αν αντίθετα μειωθεί κατά 10%, τότε το κέρδος θα ισοδυναμεί μ' αυτό που θα έχουμε αν επιταχύνουμε την εξάλειψη όλων των CFCs για 3 χρόνια απ' όταν έχει ήδη προγραμματιστεί.

2.5 Οι επιπτώσεις της τρύπας του όζοντος

2.5.1 Οι μειώσεις του όζοντος στους πόλους, στα μεσαία πλάτη και στους τροπικούς

Εισαγωγή

Πριν αναφερθούμε αναλυτικά στις συνέπειες της τρύπας του όζοντος, επισημαίνουμε τον βαθμό καταστροφής του όζοντος σε κάθε ευρύτερη περιοχή του πλανήτη. Όπως έχουμε ήδη πει, το

μεγαλύτερο μέρος της παραγωγής και καταστροφής του όζοντος, παρατηρείται στα ύψη από 20-40 χλμ., δηλαδή στη μέση στρατόσφαιρα. Σ' αυτά τα ύψη είναι που διασπώνται κυρίως οι ενώσεις χλωρίου και βρώμιου στη στρατόσφαιρα με τις καταλυτικές επιδράσεις τους στο όζον.

Ειδικότερα, είπαμε ότι το όζον της μέσης στρατόσφαιρας καταστρέφεται κυρίως από την αλυσίδα του χλωρίου, ενώ το όζον της κατώτερης στρατόσφαιρας, όπου έχουμε και τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις, δηλαδή κάτω από τα 20-25 χλμ., καταστρέφεται κυρίως από την αλυσίδα του βρώμιου και την αλυσίδα ClO-BrO. Οι μεγαλύτερες απώλειες όζοντος έχουν μετρηθεί σε συγκεκριμένες χρονικές περιόδους του έτους, στην κατώτερη στρατόσφαιρα (12-24 χλμ) πάνω από την Ανταρκτική. Συγκεκριμένα, στη διάρκεια της πολικής άνοιξης (Σεπτ.-Οκτ.-Νοεμ.) έχουν παρατηρηθεί απώλειες μέχρι και 98%. Πάντως, κατά μέσο όρο η συνολική μείωση είναι 60%, πάνω από σχεδόν ολόκληρη την Ανταρκτική κατά τους μήνες Σεπτ. και Οκτ., σε σχέση με τα επίπεδα των μέσων της δεκαετίας του '70. Αντίθετα σε μεγαλύτερα ύψη, πάνω από 40 χλμ., παρατηρείται μια σταθερή απώλεια γύρω στο 5-10% μέσα σε δεκαπέντε χρόνια. Αλλά και στην κατώτερη στρατόσφαιρα (κάτω από 25 χλμ.) γενικά η σταθερή απώλεια υπολογίζεται στο 10% ανά δεκαετία. Τελικά, η μέση παγκόσμια μείωση υπολογίζεται στο 5% την τελευταία δεκαπενταετία. Αν όμως εξαιρέσουμε τους τροπικούς (όπου οι μειώσεις είναι πολύ μικρές) τότε για την ίδια περίοδο η συνολική μείωση ήταν 6,5% για το βόρειο ημισφαίριο και 9,5% για το νότιο.

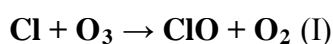
Νότιος Πόλος - Ανταρκτική

Όπως αναφέρθηκε στην εισαγωγή, η στρατόσφαιρα πάνω από την Ανταρκτική είναι ένας χώρος όπου παρατηρείται ένα μοναδικό φαινόμενο, που έχει γίνει γνωστό στο ευρύ κοινό ως η τρύπα του όζοντος. Κατ' αρχήν το φαινόμενο της τρύπας χαρακτηρίζεται: (1) την κατώτερη στρατόσφαιρα (2) κυρίως πάνω από τον Νότιο Πόλο (Ανταρκτική), (3) σε συγκεκριμένη εποχή, δηλαδή στη διάρκεια της πολικής άνοιξης (4) και συνδέεται με τις ιδιαίτερες δυναμικές και χημικές διεργασίες εκεί. Ποιες είναι όμως οι ιδιαιτερότητες της κατώτερης στρατόσφαιρας πάνω από το Νότιο Πόλο;

Μια πολύ σημαντική ιδιαιτερότητα είναι ο σχηματισμός του πολικού στρόβιλου και των PSC (τα οποία αναφέρονται στο κεφάλαιο Η Τρύπα του Όζοντος), κατά τη διάρκεια του πολικού χειμώνα, στη στρατόσφαιρα πάνω από τον Νότιο Πόλο. Έτσι πιο αναλυτικά συμβαίνουν τα παρακάτω:

Ο στρόβιλος αυτός αποτελείται από αέριες μάζες οι οποίες περιδινίζονται, αποκλείοντας έτσι τη μετακίνηση τους από τον στρόβιλο αλλά και την είσοδο άλλων αερίων μαζών μέσα σ' αυτόν. Συνεπώς, ο στρόβιλος αυτός λειτουργεί ως μια παγίδα μεγάλης μάζας αέρα στο απόλυτο σκοτάδι για όλους τους χειμερινούς μήνες. Αυτό σημαίνει ότι οι μάζες αυτές δεν δέχονται καθόλου ηλιακή ακτινοβολία, σχεδόν από την αρχή του πολικού φθινοπώρου δηλαδή από τον Μάρτιο μέχρι το

τέλος του χειμώνα δηλαδή τον Αύγουστο, ενώ ταυτόχρονα εκπέμπουν ακτινοβολία (υπέρυθρη) με αποτέλεσμα διαρκώς να ψύχονται και τελικά να σχηματίζονται στρατοσφαιρικά σύννεφα που συνίστανται σε σωματίδια πάγου. Η σύνθεση όμως των σωματιδίων πάγου είναι συνοπτικά η εξής: κρύσταλλοι νιτρικού οξέος (HNO₃). Το ίδιο συμβαίνει και με το νερό που μετατρέπεται σε κρυστάλλους και συσσωρεύεται στα σύννεφα. Αυτό το φαινόμενο ονομάζεται αφυδάτωση (dehydration). Συνεπώς, ο αέρας στη στρατόσφαιρα πάνω από την Ανταρκτική είναι, κατ' αυτή την περίοδο, αφυδατωμένος και χωρίς άζωτο. Στο εσωτερικό όμως του στρόβιλου υπάρχει "εγκλωβισμένο" ενεργό χλώριο στη μορφή οξειδίου του χλωρίου (Cl₂O₂), υποχλωρικού οξέος (HOCl) και μορίων χλωρίου (Cl₂). Με το τέλος του πολικού χειμώνα και καθώς το πρώτο ηλιακό φως φτάνει στο εσωτερικό του στρόβιλου, αντιδρά με τις ενώσεις και τα μόρια χλωρίου (που αναφέραμε παραπάνω). Έτσι μια μεγάλη ποσότητα ατόμων χλωρίου απελευθερώνεται και ακολουθεί η γνωστή αντίδραση:

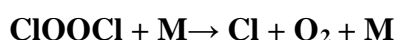


Μετά από αυτή την αντίδραση, καθώς η αλυσίδα της καταστροφής έχει ήδη αρχίσει, γνωρίζουμε ότι θα έπρεπε να ακολουθήσει:

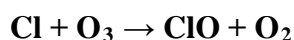


Όμως στην προκειμένη περίπτωση, τόσο τα ελεύθερα μόρια μονοατομικού οξυγόνου σπανίζουν, όσο και το NO₂ έχει μετατραπεί σε κρυστάλλους νιτρικού οξέος (HNO₃).

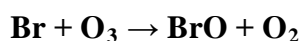
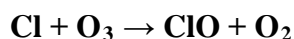
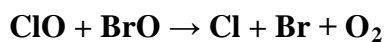
Έτσι στη στρατόσφαιρα πάνω από τον νότιο πόλο η συνέχεια, μετά την αντίδραση (I), είναι διαφορετική. Τα μόρια του ClO αντιδρούν μεταξύ τους και έχουμε:



Συνεπώς έχουμε δύο ελεύθερα άτομα χλωρίου με τη γνωστή καταστροφική για το όζον ικανότητα:



Εκτός από τη διαδικασία που περιγράψαμε παραπάνω έχουμε και τη σειρά των αντιδράσεων του ClO με το BrO:



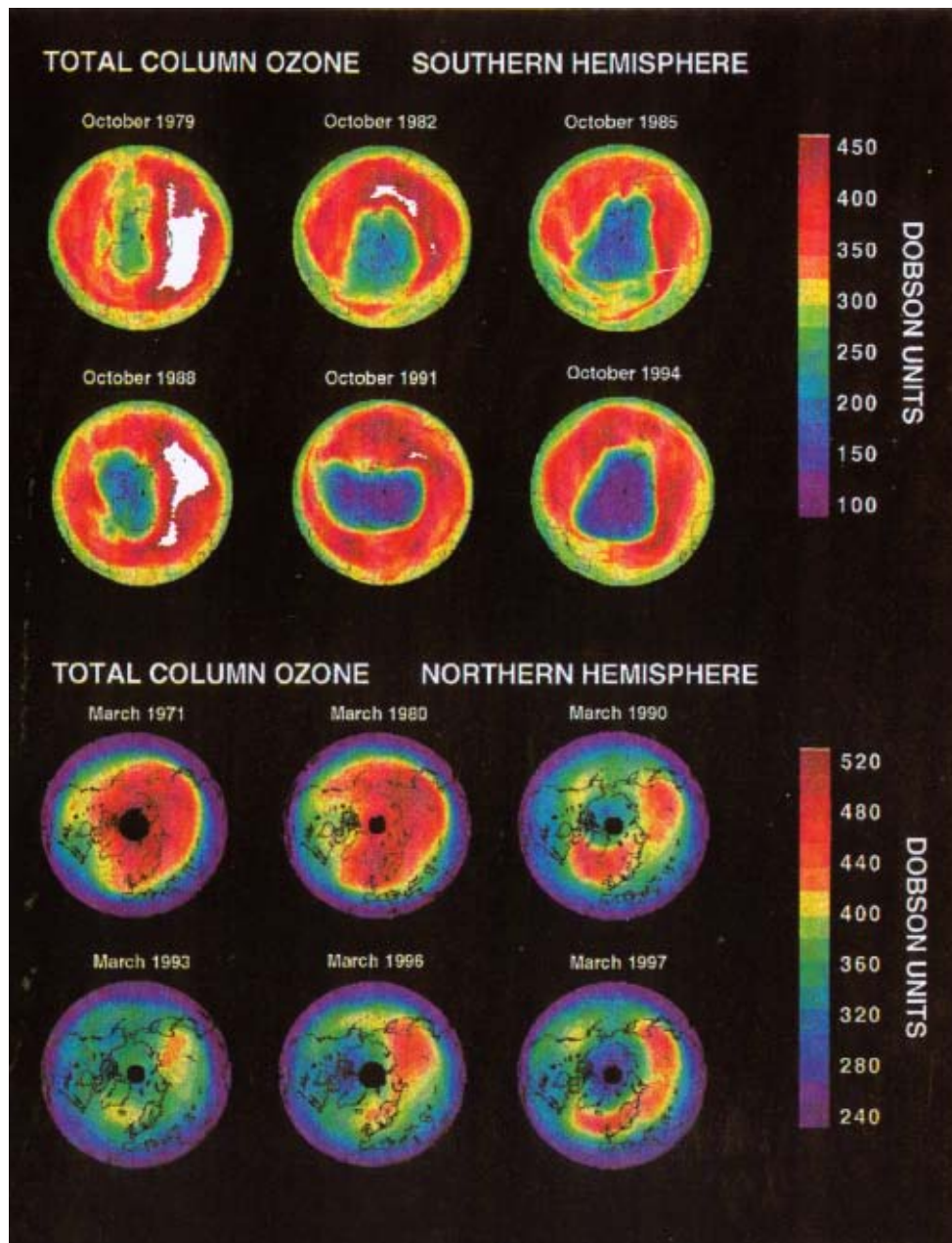
καθώς και τη σειρά των αντιδράσεων του ClO με το HO₂. Οι καταλυτικές αντιδράσεις που αναφέρθηκαν συνεχίζονται χωρίς εμπόδια για 5 έως 6 εβδομάδες, μέχρι να διαλυθούν τα στρατοσφαιρικά σύννεφα με την άνοδο της θερμοκρασίας, να απελευθερωθούν μόρια οξειδίου του αζώτου (NO₂) και να τερματιστεί η αλυσίδα της καταστροφής. Οι επιστημονικές παρατηρήσεις και μετρήσεις που με κάθε μέσο έχουν γίνει, τόσο από σταθμούς εδάφους όσο και αέρα επιβεβαιώνουν

την υπόθεση ότι οι μειώσεις του όζοντος στην Ανταρκτική συνδέονται με τη φωτοχημεία του χλωρίου και του βρώμιου, που φθάνει ως εκεί από ανθρώπινες δραστηριότητες (αποτελούν δε και την απόδειξη ότι το όζον στη στρατόσφαιρα καταστρέφεται από το χλώριο και το βρώμιο).

Τα στοιχεία αυτά προκαλούν ιδιόμορφες χημικές αντιδράσεις λόγω της επίσης ιδιόμορφης σύστασης αλλά και των ιδιόμορφων μετεωρολογικών συνθηκών που επικρατούν στη στρατόσφαιρα πάνω από τον Νότιο Πόλο.

ΕΙΚΟΝΑ 2.26 ΗΜΕΡΗΣΙΕΣ ΤΙΜΕΣ ΤΗΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΤΟΥ ΟΖΟΝΤΟΣ ΠΑΝΩ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΝΤΑΡΚΤΙΚΗ, ΟΠΩΣ ΚΑΤΑΓΡΑΦΟΝΤΑΙ ΑΠΟ ΔΟΡΥΦΟΡΟ (EP/TOMS) ΤΗΣ NASA

Ακόμη, θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι εξαιρετικά χαμηλές συγκεντρώσεις όζοντος που παρατηρήθηκαν πάνω από την Ανταρκτική το 1992, 1993 και 1994 θεωρείται πιθανόν ότι οφείλονται και στα θειούχα αέρια που εκλύθηκαν στην τροπόσφαιρα από τις εκρήξεις του ηφαιστείου Pinatubo το 1991 και εισήλθαν στη στρατόσφαιρα ενισχύοντας (με τη χημική τους συμπεριφορά) τον καταλυτικό ρόλο του χλωρίου και του βρώμιου στη στρατόσφαιρα της Ανταρκτικής. Ειδικότερα μάλιστα η επίδραση των θειούχων ενώσεων είναι πιο έντονη στην περιφέρεια ή στην περιοχή ακριβώς έξω από τα όρια του πολικού στροβίλου. Αυτό σημαίνει ότι το χλώριο και το βρώμιο σ' αυτές τις περιοχές ενεργοποιούνται περισσότερο απ' ό,τι αν δεν υπήρχαν οι θειούχες ενώσεις και άρα η καταστροφή του όζοντος εντείνεται και επεκτείνεται και σε περιοχές στις οποίες δεν θα ήταν τόσο έντονη.



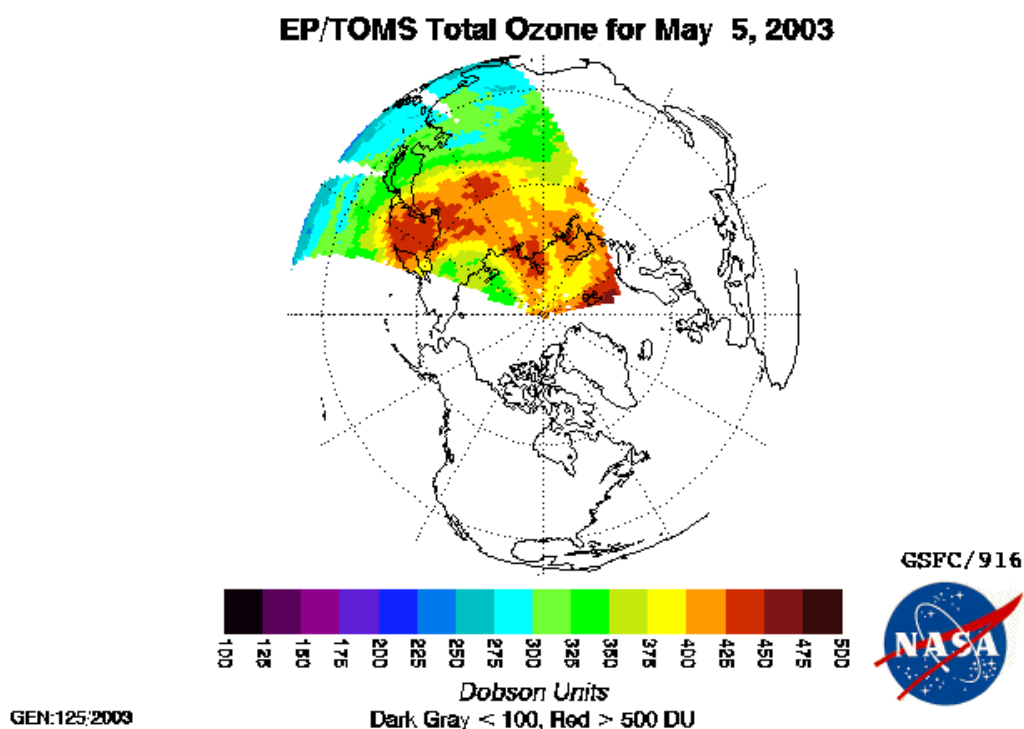
ΕΙΚΟΝΑ 2.27 Η ΑΠΩΛΕΙΑ ΤΟΥ ΠΟΛΙΚΟΥ ΟΖΟΝΤΟΣ ΟΠΩΣ ΦΑΙΝΕΤΑΙ ΑΠΟ ΔΟΡΥΦΟΡΟΥΣ ΣΕ ΤΡΟΧΙΑ. ΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΑΠΟ ΕΝΑ ΤΥΠΟ ΟΡΓΑΝΟΥ ΠΟΥ ΟΝΟΜΑΖΕΤΑΙ ΤΟΜΣ (TOTAL OZONE MEASURING SPECTROMETER) ΤΑ ΟΠΟΙΑ ΕΧΟΥΝ ΤΟΠΟΘΕΤΗΘΕΙ ΣΕ ΠΟΛΛΟΥΣ ΔΟΡΥΦΟΡΟΥΣ ΑΠΟ ΤΟ 1970, ΔΕΙΧΝΕΙ ΟΤΙ Η ΣΤΗΛΗ ΤΟΥ ΟΖΟΝΤΟΣ ΕΧΕΙ ΜΕΙΩΘΕΙ, ΟΧΙ ΜΟΝΟ ΠΑΝΩ ΑΠΟ ΤΙΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΤΟΥ ΝΟΤΙΟΥ ΠΟΛΟΥ ΜΕΤΑΞΥ 1979 ΚΑΙ 1994, ΑΛΛΑ ΚΑΙ ΠΑΝΩ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΡΚΤΙΚΗ, ΟΠΟΥ Η ΑΠΩΛΕΙΑ ΠΡΩΤΟΠΑΡΑΤΗΡΗΘΗΚΕ ΤΟ 1990. ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΤΕ ΟΤΙ Η ΧΡΩΜΑΤΙΣΤΗ ΚΛΙΜΑΚΑ ΓΙΑ ΤΟ ΝΟΤΙΟ ΗΜΙΣΦΑΙΡΙΟ, ΕΙΝΑΙ ΜΕΤΑΞΥ 100 ΚΑΙ 450 DU, ΕΝΩ ΓΙΑ ΤΟ ΝΟΤΙΟ ΗΜΙΣΦΑΙΡΙΟ ΕΙΝΑΙ ΜΕΤΑΞΥ 240 ΚΑΙ 520 DU. ΠΑΝΤΑ ΥΠΗΡΧΕ ΠΕΡΙΣΣΟΤΕΡΟ ΟΖΟΝ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΑΡΚΤΙΚΗ ΑΝΟΙΞΗ ΠΑΡΑ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΑΝΤΑΡΚΤΙΚΗ, ΛΟΓΩ ΤΗΣ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΗΣ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ ΣΕ ΚΑΘΕ ΗΜΙΣΦΑΙΡΙΟ

Βόρειος Πόλος – Αρκτική

Στη διάρκεια του Αρκτικού χειμώνα (Δεκ.-Ιαν,-Φεβρ.), στη στρατόσφαιρα πάνω από την Αρκτική, σε ύψος από 16 έως 20 χλμ., παρατηρούνται φαινόμενα παρόμοια μ' αυτό που περιγράψαμε παραπάνω, δηλαδή σχηματισμός πολικού στρόβιλου, αέριες μάζες παγιδευμένες στο σκοτάδι και πτώση της θερμοκρασίας. Επισημαίνονται όμως ορισμένες σημαντικές διαφορές που έχουν ως συνέπεια να μη μπορούμε να μιλάμε για "τρύπα" εκεί, τουλάχιστον προς το παρόν.

Ο στρόβιλος δεν είναι τόσο συνεκτικός όσο ο στρόβιλος πάνω από την Ανταρκτική· αυτό σημαίνει ότι οι αέριες μάζες δεν μένουν παγιδευμένες στο απόλυτο σκοτάδι σε όλη τη διάρκεια του χειμώνα, αλλά υπάρχει σχετική κυκλοφορία αέρα.

Η θερμοκρασία στο εσωτερικό του στρόβιλου δεν πέφτει, κατά συνέπεια, τόσο πολύ όσο στον στρόβιλο της Ανταρκτικής και άρα δεν μετατρέπονται όλα τα οξείδια του αζώτου σε κρυστάλλους νιτρικού οξέος-με άλλα λόγια, το φαινόμενο της denitrification, αλλά και της αφυδάτωσης είναι πιο περιορισμένα.

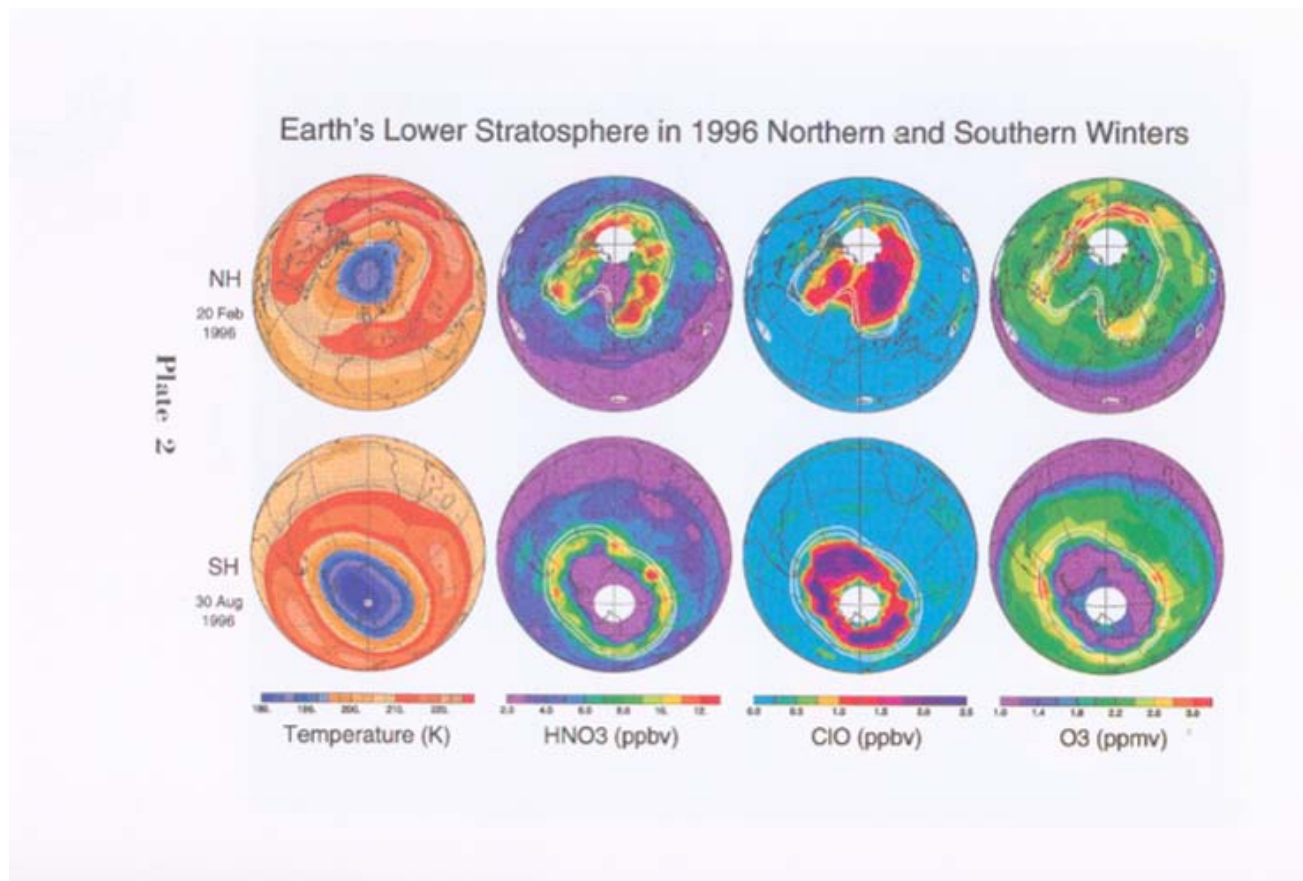


ΕΙΚΟΝΑ 2.28 ΗΜΕΡΗΣΙΕΣ ΤΙΜΕΣ ΤΗΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΤΟΥ ΟΖΟΝΤΟΣ ΠΑΝΩ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΡΚΤΙΚΗ, ΟΠΩΣ ΚΑΤΑΓΡΑΦΟΝΤΑΙ ΑΠΟ ΔΟΡΥΦΟΡΟ (EP/TOMS) ΤΗΣ NASA

Ο στρόβιλος της Αρκτικής "σπάει" νωρίτερα από τον στρόβιλο της Ανταρκτικής και άρα οι διεργασίες καταστροφής του όζοντος διαρκούν λιγότερο. (βλ.εικόνα 2.28)

Πρέπει να σημειωθεί εδώ ότι οι θερμοκρασιακές διαφορές και οι διαφορές στους ανέμους που επικρατούν το χειμώνα στην Αρκτική σε σχέση με την Ανταρκτική είναι φυσικές. Σ' αυτές εξάλλου

οφείλεται το γεγονός ότι και πριν από την ύπαρξη των CFCs και των Halons, οι συγκεντρώσεις του όζοντος στην Ανταρκτική έφθαναν, κατά την περίοδο της άνοιξης, γύρω στα 2/3 των αντίστοιχων της Αρκτικής. Εξάλλου, αυτές οι σημαντικές αποκλίσεις στις συγκεντρώσεις όζοντος μεταξύ άνοιξης και καλοκαιριού στην Ανταρκτική παρατηρούνταν και πριν την εμφάνιση της τρύπας.



ΕΙΚΟΝΑ 2.29 ΟΙ ΔΟΡΥΦΟΡΟΙ ΕΙΝΑΙ ΠΛΕΟΝ ΙΚΑΝΟΙ ΝΑ ΜΕΤΡΑΝΕ ΠΟΛΥΠΛΗΘΗ ΧΗΜΙΚΑ ΕΙΔΗ ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ ΚΑΙ ΝΑ ΠΑΡΕΧΟΥΝ ΕΠΙΠΡΟΣΘΕΤΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΤΟ ΣΤΡΩΜΑ ΤΟΥ ΟΖΟΝΤΟΣ. ΟΠΩΣ Η ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ, ΕΤΣΙ ΚΑΙ Η ΣΤΗΛΗ ΠΟΣΟΤΗΤΩΝ, ΤΟΥ HNO_3 (ΣΗΜΑΝΤΙΚΟ ΕΝΔΙΑΜΕΣΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ ΣΤΗΝ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΗΣ ΤΟΥ ΟΖΟΝΤΟΣ), ΤΟΥ ClO ΚΑΙ ΤΟΥ O_3 ΕΙΝΑΙ ΚΑΤΑΓΕΓΡΑΜΜΕΝΕΣ ΤΑΥΤΟΧΡΟΝΑ ΚΑΙ ΣΤΟ ΒΟΡΕΙΟ ΚΑΙ ΣΤΟ ΝΟΤΙΟ ΗΜΙΣΦΑΙΡΙΟ. ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΤΕ ΠΩΣ ΟΙ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΧΑΜΗΛΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ, HNO_3 ΚΑΙ O_3 , ΑΝΤΑΠΟΚΡΙΝΟΝΤΑΙ ΚΟΝΤΑ ΣΕ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΠΟΥ ΑΠΑΣΧΟΛΟΥΝΤΑΙ ΑΠΟ ΥΨΗΛΕΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ ClO

Μεσαία Πλάτη – Τροπικοί

Για το βόρειο ημισφαίριο, στα μεσαία πλάτη (30° - 60° N), οι μειώσεις του όζοντος ανέρχονται στο 6% ανά δεκαετία για το χειμώνα και την άνοιξη σύμφωνα με τις μετρήσεις που έγιναν την περίοδο 1979-1994. Αναμένεται δε να αυξηθούν κατά την περίοδο αιχμής του χλωρίου-

βρωμίου στη στρατόσφαιρα ως τα τέλη του αιώνα. Για το βόρειο ημισφαίριο, στα μεσαία πλάτη, οι μειώσεις κυμαίνονται στο 3% για την ίδια χρονική περίοδο, στη διάρκεια του καλοκαιριού και του φθινοπώρου. Αναμένεται δε και σ' αυτή την περίπτωση αύξηση στην περίοδο αιχμής. Για το νότιο ημισφαίριο, στα μεσαία πλάτη (30°-60° S), η συνολική μείωση για όλες τις εποχές υπολογίζεται στο 4-5%. Για τους τροπικούς (20°N-20°S) οι αλλαγές που έχουν παρατηρηθεί δεν είναι σημαντικές. Οι παραπάνω μειώσεις και η ανοδική τους τάση μέχρι το τέλος του αιώνα μπορεί να επηρεαστούν ιδιαίτερος αρνητικά αν έχουμε μια έκρηξη ηφαιστείου ανάλογη μ' αυτή του Pinatubo ή αν έχουμε έναν εξαιρετικά δριμύ και μακρύ χειμώνα στην Αρκτική. Επιπλέον, θα πρέπει να σημειωθεί ότι δεν έχει ακόμα μετρηθεί και αξιολογηθεί πλήρως η επίδραση που πιθανόν ασκούν οι μεταφορές αερίων μαζών, πολύ φτωχών σε όζον, από τους πολικούς στροβίλους (μετά τη διάλυση τους) προς τα μεσαία πλάτη, στις συγκεντρώσεις όζοντος εκεί.

2.5.2 Οι συνέπειες της καταστροφής του όζοντος

Εισαγωγή

Όπως έχει ήδη αναφερθεί η μείωση του όζοντος στη στρατόσφαιρα έχει δύο βασικές συνέπειες:

- α) συμβολή στην αύξηση της υπεριώδους ακτινοβολίας που φθάνει στην επιφάνεια της γης και
- β) συμβολή στη μεταβολή της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας και κατ' επέκταση στη μεταβολή του κλίματος· όμως η δυνατότητα ακριβούς εκτίμησης της επίδρασης που έχει η μείωση του όζοντος στο κλίμα είναι περιορισμένη.

Καθώς το φαινόμενο της μεταβολής του κλίματος είναι πολύ σύνθετο και δεν συνδέεται μόνο με τη μείωση του όζοντος στη στρατόσφαιρα και καθώς πολλές παράμετροι του εξακολουθούν να μην είναι απολύτως κατανοητές, δεν θα επιχειρηθεί η λεπτομερής ανάλυση του σ' αυτή την εργασία. Η προσοχή λοιπόν θα επικεντρωθεί στην πρώτη και σημαντικότερη συνέπεια που επιφέρει αλυσιδωτές επιμέρους επιπτώσεις.

Ο ήλιος είναι ένας αληθινός σταθμός παραγωγής ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Παράγει ένα ευρύ φάσμα, από την κοσμική ακτινοβολία μέχρι τα ραδιο-ηλεκτρικά κύματα. Οι ακτινοβολίες που επηρεάζουν το δέρμα μας, είναι ένα μόνο μικρό τμήμα του ηλιακού φάσματος. Οι ακτινοβολίες αυτές είναι οι :

- Υπέρυθρη ακτινοβολία (InfraRed)
- Ορατό φως (Visible Light)
- Υπεριώδης ακτινοβολία (UltraViolet)

Η Υπεριώδης ακτινοβολία υποδιαιρείται σε 3 τύπους :

1. UVA με μήκος κύματος 400 - 320 nanometers (nm).

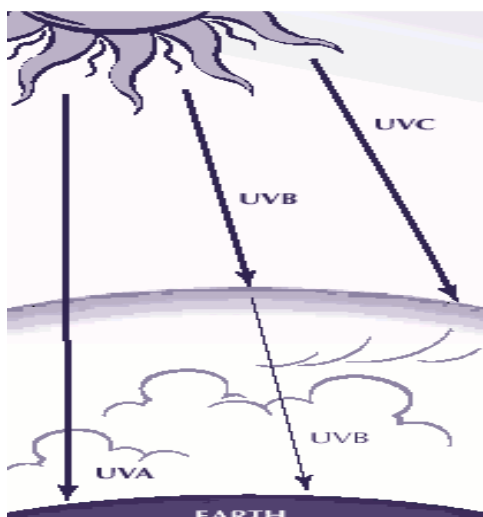
Η UVA (320 - 400 nm) είναι η μεγαλύτερη πηγή ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια της γης και διεισδύει κάτω από τις επιφανειακές στοιβάδες του δέρματος(βλ.εικόνα 5.6).

2. UVB (320 - 290 nm).

Η UVB (280 - 320 nm) φτάνει σε μικρότερα ποσά λόγω της απορρόφησης μεγάλου μέρους της από τη στοιβάδα του όζοντος. Και πάλι όμως αρκεί για να προκαλέσει ζημιά.

3. UVC (290 - 200 nm).

Η UVC (190 - 280 nm) είναι εξαιρετικά βλαβερή για το δέρμα, αλλά απορροφείται τελείως από το όζον της στρατόσφαιρας και έτσι δεν φτάνει στην επιφάνεια της γης. Από τις ορατές και αόρατες ακτινοβολίες που εκπέμπει ο ήλιος, οι αόρατες υπεριώδεις (UVA & UVB), φτάνουν στην επιφάνεια της γης και προκαλούν τα πιο πολλά προβλήματα. Η υπεριώδης ακτινοβολία διεισδύει στο δέρμα και τους οφθαλμούς και συχετίζεται με την εμφάνιση σοβαρών νοσημάτων, όπως ο καρκίνος του δέρματος και ο καταρράκτης. Δεν υπάρχει "ασφαλής" υπεριώδης ακτινοβολία.



ΕΙΚΟΝΑ 2.30 Η ΥΠΕΡΙΩΔΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΥΠΟΔΙΑΙΡΕΙΤΑΙ ΣΕ 3 ΤΥΠΟΥΣ

ΜΕΡΙΚΕΣ ΔΙΑΦΟΡΕΣ UVA – UVB

ο Οι εξωτερικές στοιβάδες του δέρματος, λαμβάνουν περίπου 18 φορές πιο πολύ ενέργεια από την UVA παρά από την UVB.

ο Η UVA παίζει δραστικότερο ρόλο στη διατήρηση του μαυρίσματος.

ο Η UVA όμως είναι 1000 φορές λιγότερο ερυθματογόνος από την UVB.

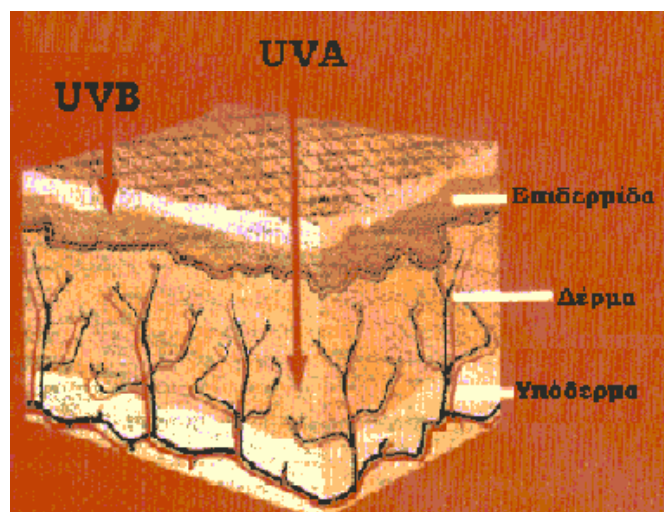
ο Αν και οι δύο έχουν την μεγαλύτερη ένταση το μεσημέρι, μεγάλο μέρος της UVA "εκτείνεται" και στις πρωινές και στις απογευματινές ώρες.

οΕνώ το 72% της ετήσιας δόσης UVB λαμβάνεται κατά το καλοκαίρι και το 28% λαμβάνεται κατά τον υπόλοιπο χρόνο, μόνο το 48% της ετήσιας δόσης UVA λαμβάνεται κατά το καλοκαίρι και το 52% κατά τον υπόλοιπο χρόνο.

οΗ UVA (σε αντίθεση με την UVB), δεν φιλτράρεται από τα τζάμια των παραθύρων.

οΗ UVA είναι σχετικά ανεπηρέαστη από το υψόμετρο και τις ατμοσφαιρικές συνθήκες.

οΗ UVA διεισδύει κι αυτή στο δέρμα, φτάνοντας σε βάθος όπου πολλές διαδικασίες φωτογήρανσης λαμβάνουν χώρα.



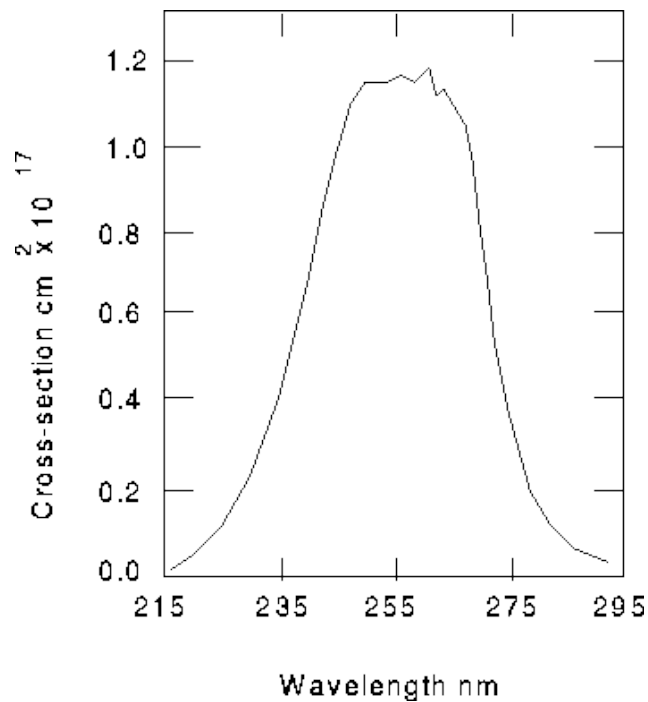
ΕΙΚΟΝΑ 2.31 Η UVA ΔΙΕΙΣΔΥΕΙ ΚΙ ΑΥΤΗ ΣΤΟ ΔΕΡΜΑ, ΦΤΑΝΟΝΤΑΣ ΣΕ ΒΑΘΟΣ ΟΠΟΥ ΠΟΛΛΕΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΦΩΤΟ-ΓΗΡΑΝΣΗΣ ΛΑΜΒΑΝΟΥΝ ΧΩΡΑ

"ΦΙΛΤΡΑΡΙΣΜΑ" ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

Το ηλιακό φως φιλτράρεται καθώς περνά μέσα από την ατμόσφαιρα (από το όζον, τα σωματίδια της σκόνης, τον καπνό, τους υδρατμούς), ενώ ταυτόχρονα εμποδίζεται και η διέλευση των επικίνδυνων μηκών κύματος (κοσμική ακτινοβολία, ακτίνες γάμα, ακτίνες X και ακτινοβολία UVC). Η εναπομείνουσα ακτινοβολία διεισδύει στο δέρμα, όπου και προκαλεί διάφορα βιολογικά και μεταβολικά αποτελέσματα. Από το σύνολο της ηλιακής ενέργειας που φτάνει στην επιδερμίδα, μόνο το 10% αποτελείται από UV ακτινοβολία, αλλά τα βραχεία αυτά μήκη κύματος είναι πολύ ενεργητικά και πολύ δραστικά από βιολογικής άποψης.

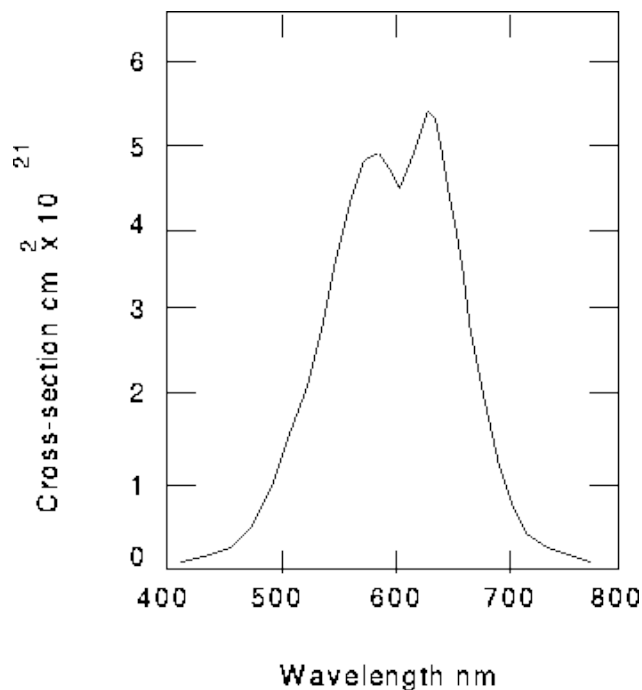
Ταινίες απορρόφησης στο ορατό και υπεριώδης

Το όζον απορροφά ισχυρά στην υπεριώδη περιοχή του φάσματος μεταξύ 0,2-0,3 μ, περιοχή που λέγεται Hartley bands και continuum.



ΣΧΗΜΑ 2.32 ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ ΤΟΥ O₃ ΣΤΑ HARTLEY BANDS ΚΑΙ CONTINUUM

Απορροφά επίσης και σε $\lambda < 0,2 \mu$ αλλά στην περιοχή αυτή απορροφά έντονα το οξυγόνο στις ταινίες που λέγονται Schuman Runge bands (0,175- 0,200 μ) και Herzberg Continuum (0,185- 0,242 μ). Αυτή την ακτινοβολία απορροφά το οξυγόνο που βρίσκεται στην οζονόσφαιρα. Το όζον απορροφά και μεταξύ 0,300-0,350 μ , και η περιοχή αυτή λέγεται περιοχή των Huggins bands. Το όζον απορροφά και στην ορατή περιοχή, μεταξύ 0,45-0,85 μ (Chappuis bands). Σ' αυτή την περιοχή είναι το 45 % της ηλιακής ακτινοβολίας.



ΣΧΗΜΑ 2.33 ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ ΤΟΥ ΟΖΟΝΤΟΣ ΣΤΑ CHAPPUIS BANDS

Οι επιπτώσεις από την αύξηση της UV ακτινοβολίας

Εισαγωγή

Ο προστατευτικός για τη ζωή ρόλος του όζοντος της ατμόσφαιρας προέρχεται από την ικανότητα του να απορροφά μέρη της επικίνδυνης υπεριώδους ακτινοβολίας με μήκη κύματος μικρότερα από 320 nm. Η μικρή ποσότητα της UV-B η οποία καταφέρνει να εισχωρήσει μέσα από το προστατευτικό στρώμα του όζοντος, θα μπορούσε να προκαλέσει αξιοσημείωτες βλάβες στην ανθρώπινη υγεία, συμπεριλαμβανομένων των: καταρράκτη των οφθαλμών, αύξηση του μη-μελανωματικού καρκίνου του δέρματος, βλάβη στο γενετικό υλικό του DNA και εξασθένιση του ανοσοποιητικού συστήματος. Για την περίοδο 1979-1993 έχουν μετρηθεί σημαντικές αυξήσεις της UV-B σε μεγάλα και μεσαία πλάτη και στα δύο ημισφαίρια.

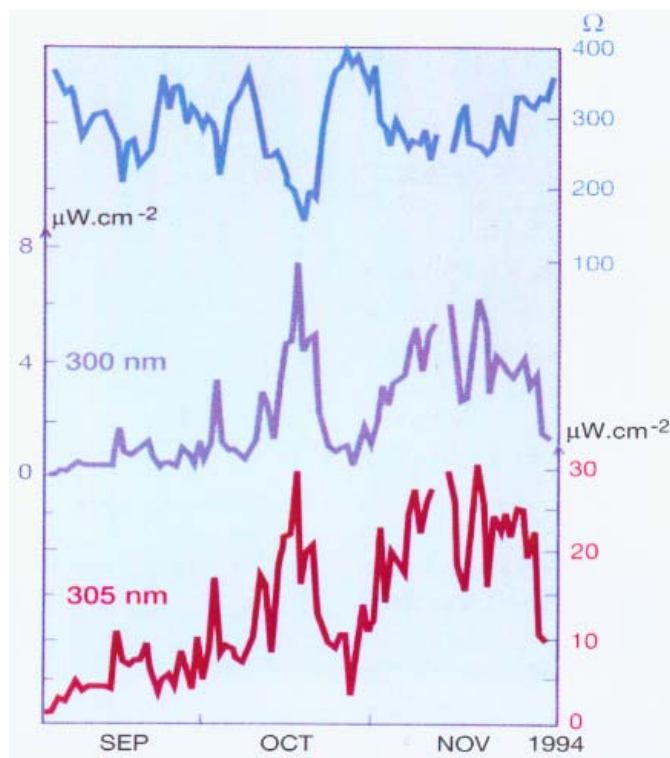
Υπό συνθήκες ανέφελου(αίθριου) ουρανού, κάθε μείωση του 1% στο όζον, έχει ως αποτέλεσμα μια αύξηση της τάξης περίπου του 1.3% στην UV-B, η οποία προσβάλλει τον ιστό του δέρματος, καθώς φτάνει στην επιφάνεια της γης. Η μείωση του ολικού όζοντος μέχρι στιγμής έχει καταλήξει σε μια μικρή αύξηση της UV-B (280 μέχρι 320 nm), η οποία φτάνει στο έδαφος εκτός από την περιοχή πάνω από τη ζώνη της τροπόσφαιρας. Περαιτέρω ελάττωση του όζοντος θα μπορούσε να έχει σημαντικές επιβλαβείς συνέπειες, όχι μόνο για τους ανθρώπους, αλλά και για άλλες μορφές ζωής καθώς και για τη χημεία της τροπόσφαιρας. Το υδρόβιο οικοσύστημα που περιλαμβάνει το πλαγκτόν του ωκεανού, θα μπορούσε να καταστραφεί με αποτέλεσμα, να έχουμε απρόβλεπτες μέχρι σήμερα συνέπειες. Ορισμένες επιδράσεις είναι ευρείας κλίμακας, ενώ άλλες αγγίζουν ένα προσθετικό κατώφλι. Μια Ομάδα Εκτίμησης των Επιδράσεων εκτίμησε πρόσφατα, ότι μια ελάττωση 1 % στην τιμή του ολικού όζοντος θα έχει ως αποτέλεσμα μια αύξηση κατά περίπου 2% του μη-μελανωματικού καρκίνου του δέρματος.

Επιπλέον το θαλάσσιο φυτοπλαγκτόν, αποτελεί μια βασική καταβόθρα του CO₂ και οποιαδήποτε επίδραση της UV-B σε αυτό θα μπορούσε να διαδραματίσει κάποιο ρόλο μελλοντικά για την τάση του CO₂ και κατά συνέπεια στο κλίμα. Η αύξηση της UV-B θα έχει ως αποτέλεσμα μεγαλύτερους βαθμούς φωτοδιάσπασης των αερίων "κλειδιά", τα οποία ελέγχουν τις χημικές διεργασίες μέσα στην τροπόσφαιρα.

Με δεδομένο το γεγονός, ότι οι μακροπρόθεσμες ακριβείς μετρήσεις της UV-B είναι ανεπαρκείς, και ότι η ένταση της μετρούμενης ακτινοβολίας στο έδαφος εξαρτάται από τη νεφοκάλυψη, τη λευκαύγεια, τα αερολύματα και την παρουσία του SO₂, η αντίστροφη συσχέτιση μεταξύ της έντασης της UV-B και της ποσότητας συνολικού όζοντος, καθορίζεται ικανοποιητικά. Πάνω από τα τμήματα αυτά του πλανήτη, όπου οι μεταβολές του όζοντος είναι πιο έντονες, η αύξηση της UV-B είναι καλά τεκμηριωμένη. Τα μέγιστα επίπεδα της UV-B στο Νότιο Πόλο εμφανίζονται τον Οκτώβριο - πολύ πριν από το θερινό ηλιοστάσιο- και η καταστρεπτική για το

DNA ακτινοβολία στο σταθμό Πάλμερ (64°S) κατά τη διάρκεια του Οκτωβρίου μπορεί να ξεπεράσει τις μέγιστες τιμές του καλοκαιριού, που μετρούνται στο Σαν Ντιέγκο (32° N).

Στα μέσα γεωγραφικά πλάτη η αύξηση της UV-B είναι μικρότερη αλλά αρκετά εμφανής κατά τις περιόδους, όπου η τιμή του όζοντος είναι χαμηλή. Για παράδειγμα, η μείωση του όζοντος κατά 15% περίπου, που παρατηρήθηκε στο νότιο τμήμα της Νοτίου Αμερικής κατά τη διάρκεια του Οκτωβρίου, για τα προηγούμενα 15 χρόνια, προκάλεσε μια μέση αύξηση της UV-B περίπου κατά 35% στα 305 nm, περίπου. Ενδεικτική είναι η μέτρηση που καταγράφηκε το φθινόπωρο του 1994 στο νότιο ημισφαίριο σε πλάτος 55°S, όταν η τρύπα του όζοντος είχε βγει έξω από τα όρια της Ανταρκτικής. Στις 17 Οκτωβρίου 1994 λοιπόν, όταν η τρύπα βρισκόταν πάνω από την Ushuaia και το όζον ήταν μειωμένο κατά 60%, η ένταση των μικρών μηκών κύματος της UV-B γύρω στα 300 nm, αυξήθηκε πέντε φορές και στα 305 nm δύο φορές, σε σύγκριση με τις "φυσιολογικές" τιμές όζοντος (βλ. σχήμα 2.34). Το φαινόμενο λοιπόν της αύξησης της UV-B ακτινοβολίας θα εντείνεται και θα κορυφωθεί μαζί με τη συγκέντρωση χλωρίου και βρώμιου στην ατμόσφαιρα και τη συνεπακόλουθη μείωση του όζοντος ως τις αρχές του επόμενου αιώνα. Ήταν, σε μεγάλο βαθμό, οι προοπτικές εκείνες για συνεχή αύξηση της UV-B, οι οποίες παρακίνησαν τη διεθνή κοινότητα, να λάβει ρυθμιστική δράση στα 1980.



ΣΧΗΜΑ 2.34 ΜΕΤΑΞΥ ΤΟΥ ΣΕΠΤΕΜΒΡΗ ΚΑΙ ΤΟΥ ΝΟΕΜΒΡΗ ΤΟΥ 1994, Η ΤΡΥΠΙΑ ΤΟΥ ΟΖΟΝΤΟΣ ΤΗΣ ΑΝΤΑΡΚΤΙΚΗΣ, ΕΠΕΚΤΑΘΗΚΕ ΚΑΙ ΕΦΤΑΣΕ ΜΕΧΡΙ ΤΗΝ USHUAIA (55°S). ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΤΗΣ UV-B ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΠΟΥ ΦΤΑΝΟΥΝ ΣΤΟ ΕΔΑΦΟΣ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΟΥΝ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΑ ΜΕ ΤΑ ΕΠΙΠΕΔΑ ΟΖΟΝΤΟΣ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ. ΣΤΑ ΜΕΣΑ ΤΟΥ ΟΚΤΩΒΡΗ, ΟΤΑΝ Η ΤΡΥΠΙΑ ΕΠΕΚΤΑΘΗΚΕ ΠΑΝΩ ΑΠΟ ΤΗΝ USHUAIA ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΣ ΜΙΑ ΚΑΤΑ 60% ΕΛΛΕΙΨΗ (ΜΟΝΟ 151 m atm cm) ΣΤΙΣ 17 ΤΟΥ ΟΚΤΩΒΡΗ, Η ΑΥΞΗΣΗ ΤΗΣ UV-B ΣΤΑ 300 ΚΑΙ ΣΤΑ 305 nm ΗΤΑΝ ΔΡΑΜΑΤΙΚΗ

Αναλυτικά

Με τη μείωση της συνολικής ποσότητας του όζοντος που υπάρχει στη στρατόσφαιρα αυξάνεται κυρίως η ποσότητα της UV-B (280-315 nm) ακτινοβολίας που φτάνει στην επιφάνεια της γης. Η ακτινοβολία με μικρότερο μήκος κύματος (UV-C) εξακολουθεί να απορροφάται και από μικρότερες ποσότητες όζοντος καθώς και από το O₂.

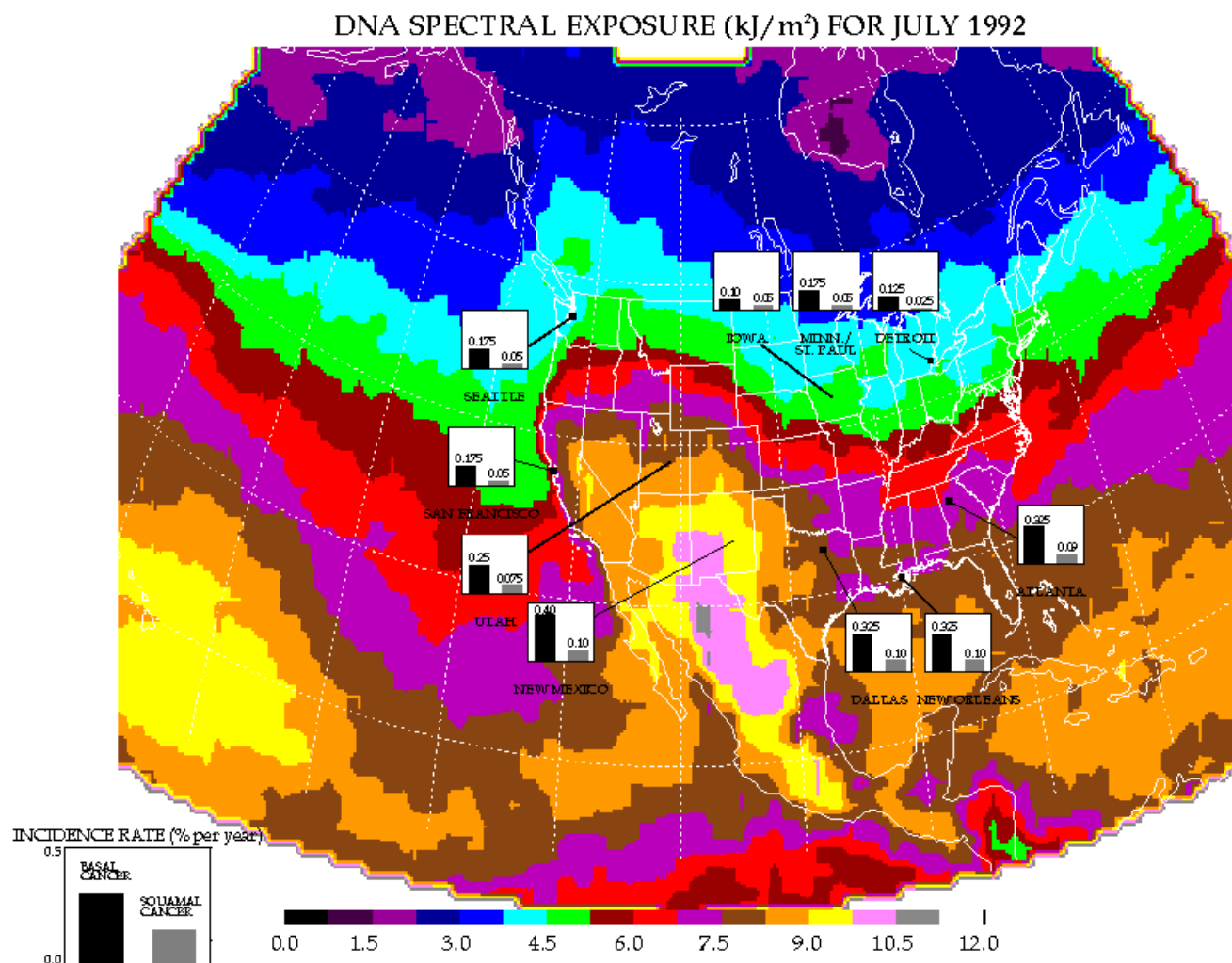
Το γεγονός της αύξησης της UV-B έχει σοβαρότατες συνέπειες:

- Στην υγεία των ανθρώπων και των ζώων
- Στο φυτικό κόσμο
- Στα υδάτινα οικοσυστήματα
- Στους βιοχημικούς κύκλους της γης
- Στην ποιότητα του αέρα
- Σε πολλά από τα υλικά ευρείας χρήσης

Επίδραση στην υγεία των ανθρώπων και των ζώων

Η μείωση του όζοντος, που συνεπάγεται την αύξηση της UV που φθάνει στη γη, θεωρείται ότι επιδρά αρνητικά στην υγεία των ανθρώπων και των ζώων αυξάνοντας τις πιθανότητες εμφάνισης:

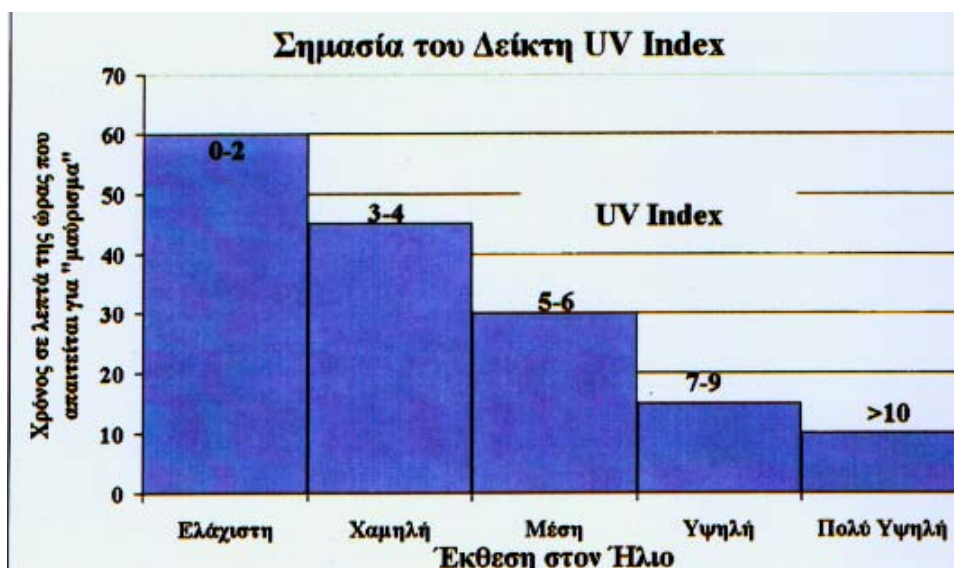
- Καρκίνου του δέρματος (βλ.σχήμα 2.31)
- Παθήσεων των ματιών
- Μολυσματικών ασθενειών
- Βλαβών στο γενετικό κώδικα DNA



ΕΙΚΟΝΑ 2.35 ΚΛΙΜΑΚΕΣ ΠΕΡΙΣΤΑΤΙΚΩΝ ΔΥΟ ΜΟΡΦΩΝ ΚΑΡΚΙΝΟΥ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΠΟΛΙΤΕΙΕΣ ΤΩΝ Η.Π.Α

Σύμφωνα με τα μέχρι σήμερα δεδομένα, μπορούμε να πούμε ότι μια μείωση του όζοντος της τάξης του 1% συνεπάγεται: αύξηση κατά 2-3% των περιπτώσεων καρκίνου του δέρματος και κατά 0,5% των περιπτώσεων καταρράκτη σε παγκόσμια κλίμακα. Μελέτες έχουν δείξει επίσης ότι η έκθεση σε UV-B καταστέλλει το ανοσοποιητικό σύστημα και μπορεί ακόμη να προκαλέσει κάποιες μεταλλάξεις στη λειτουργία του, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει στην αύξηση του κινδύνου μολυσματικών ασθενειών. Όμως, για την περίπτωση αυτή δεν υπάρχουν προς το

παρόν ποσοτικά δεδομένα. Αυτό που πάντως πρέπει να επισημανθεί είναι ότι τα μέχρι σήμερα δεδομένα και οι μετρήσεις που αφορούν τις διακυμάνσεις της UV ακτινοβολίας θεωρούνται ακόμη περιορισμένα. Επιπλέον είναι εμφανής η αναγκαιότητα να μελετηθούν ακόμη περισσότερο οι παράμετροι εκείνες που επίσης επηρεάζουν τον τρόπο διάδοσης της ηλιακής UV (και κατ' επέκταση την ποσότητα) που φθάνει στην επιφάνεια της γης, δηλαδή των νεφών, της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, της συνολικής ακτινοβολίας του ηλίου, άλλων αερίων που υπάρχουν στην ατμόσφαιρα κ.λπ. καθώς και των αιωρούμενων σωματιδίων.



ΣΧΗΜΑ 2.36 Ο ΔΕΙΚΤΗΣ UV ΠΑΡΕΧΕΙ ΜΙΑ ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΤΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΤΗΣ ΥΠΕΡΕΚΘΕΣΗΣ ΣΤΟΝ ΗΛΙΟ. ΒΑΣΙΖΕΤΑΙ ΣΕ ΜΙΑ ΚΛΙΜΑΚΑ ΤΙΜΩΝ ΑΠΟ 0 ΕΩΣ 10 ΚΑΙ ΔΗΛΩΝΕΙ ΤΟΝ ΒΑΘΜΟ ΤΗΣ ΠΡΟΣΟΧΗΣ ΠΟΥ ΠΡΕΠΕΙ ΝΑ ΔΩΣΟΥΜΕ ΟΤΑΝ ΕΚΤΙΘΕΜΕΘΑ ΣΤΟΝ ΗΛΙΟ. ΤΟ 10 ΔΗΛΩΝΕΙ ΠΟΛΥ ΥΨΗΛΟ ΚΙΝΔΥΝΟ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΚΘΕΣΗ ΣΤΗ UV ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

Επίδραση στα φυτά

Η UV-B ακτινοβολία επιδρά με πολλαπλό τρόπο στα φυτά, επηρεάζοντας τόσο τη δράση των γονιδίων στα μόρια των φυτών όσο και τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης αλλά και τον μεταβολισμό των φυτών, με τελική επίδραση στη συνολική ανάπτυξη των φυτών. Επιδρά επίσης στην παθογονία των φυτών καθώς και στη βιοποικιλότητα (άρα στην ισορροπία του οικοσυστήματος). Τα φυτά εκείνα που είναι πιο ευαίσθητα στην UV-B ακτινοβολία θα εξαφανιστούν, ενώ θα πολλαπλασιαστούν εκείνα που θα αναπτύξουν καλύτερους μηχανισμούς αντοχής και προσαρμογής στην αυξημένη UV-B. Γι' αυτό το λόγο, στον τομέα της γεωργίας θα πρέπει να υπάρξει στροφή στα πιο ανθεκτικά φυτά· επίσης, θα πρέπει να παραχθούν και νέα ανθεκτικότερα υβρίδια. Εφόσον πάντως η αύξηση της UV-B επηρεάζει τόσο την ανάπτυξη όσο και την αντοχή των φυτών, αυτό σημαίνει ότι τα καλλιεργούμενα είδη θα αποδίδουν λιγότερο. Έρευνες

και δοκιμές που έχουν ήδη γίνει σε 300 είδη φυτών (παραγωγικών και άλλων) έδειξαν ότι τα περισσότερα είναι ευάλωτα στις μεταβολές της ακτινοβολίας.

Επίδραση στα υδάτινα οικοσυστήματα

Ο ρόλος των υδάτινων οικοσυστημάτων είναι διττός:

- αφενός αποτελούν μια σημαντική πηγή τροφής για τον άνθρωπο
- αφετέρου αποτελούν έναν σημαντικό παράγοντα της διατήρησης του κλίματος

Ξεκινώντας από το πρώτο θα πρέπει να διακρίνουμε ανάμεσα στο φυτοπλαγκτόν και στο ζωοπλαγκτόν.

Το φυτοπλαγκτόν αποτελείται κυρίως από μονοκύτταρους φυτικούς οργανισμούς που είναι η βάση της αλυσίδας διατροφής των υδάτινων οικοσυστημάτων. Οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις του παρατηρούνται στα μεγάλα πλάτη κοντά στην επιφάνεια των υδάτων για να μπορεί να γίνεται η φωτοσύνθεση· άρα δεν είναι δυνατόν να μην εκτίθεται στην ηλιακή ακτινοβολία.

Το ζωοπλαγκτόν είναι τα αυγά και οι νεαροί γόνιμοι διαφόρων ειδών των υδάτινων οικοσυστημάτων οι οποίοι τρέφονται με φυτοπλαγκτόν. Λαμβάνοντας υπόψη ότι τα υδάτινα οικοσυστήματα αποτελούν βασική δεξαμενή τροφής για τον άνθρωπο καταλαβαίνουμε ότι κάθε διαταραχή στους πρώτους κρίκους της τροφικής αλυσίδας, δηλαδή στο φυτοπλαγκτόν, θα έχει σημαντικές επιπτώσεις στον τελευταίο. Πολύ χαρακτηριστικό είναι το εξής ποσοτικό παράδειγμα: "η κατά 16% μείωση του όζοντος θα μπορούσε να έχει ως αποτέλεσμα την κατά 5% απώλεια σε φυτοπλαγκτόν, που ισούται με απώλεια 7 εκατ. τόνων ψαριών το χρόνο". Ερευνες που έχουν γίνει στα υδάτινα οικοσυστήματα της Ανταρκτικής κάτω από την τρύπα του όζοντος έχουν δείξει μια άμεση μείωση στην παραγωγή φυτοπλαγκτόν που οφείλεται στη, σχετική με το όζον, αύξηση της UV-B ακτινοβολίας.

Εξάλλου, όπως και την περίπτωση των φυτών, και τα υδάτινα οικοσυστήματα θα διαταραχθούν και είναι πιθανόν κάποια είδη να εξαφανιστούν λόγω των διαταραχών της τροφικής αλυσίδας αλλά και λόγω των άμεσων βλαπτικών συνεπειών της UV-B στα καβούρια, γαρίδες, ψάρια, αμφίβια κατά τα πρώτα στάδια της ανάπτυξης τους.

Όσον αφορά την επίδραση των υδάτινων οικοσυστημάτων στο κλίμα πρέπει να επισημανθεί ότι το φυτοπλαγκτόν αποτελεί τη μεγαλύτερη αποθήκη διοξειδίου του άνθρακα στον πλανήτη. Κάθε μείωση του λοιπόν θα συνεπάγεται αύξηση του CO₂ στην ατμόσφαιρα, άρα επίταση του φαινομένου του θερμοκηπίου.

Επίδραση στους βιοχημικούς κύκλους των οικοσυστημάτων

"Ο όρος βιοχημικοί κύκλοι σημαίνει την αλληλεπίδραση βιολογικών, χημικών και φυσικών διαδικασιών που ελέγχουν την ανταλλαγή και την ανακύκλωση ύλης και ενέργειας κοντά στην

επιφάνεια της γης". Οι μεταβολές στην UV-B ακτινοβολία που φθάνει στη γη επηρεάζουν τους βιοχημικούς κύκλους τόσο των επίγειων όσο και των υδάτινων οικοσυστημάτων. Αυτό σημαίνει ότι, καθώς αυτά τα οικοσυστήματα αποτελούν πηγές και αποθήκες των σημαντικότερων στη σύνθεση της ατμόσφαιρας, αερίων, κάθε μεταβολή τους διαφοροποιεί και τις ποσότητες αυτών των αερίων στην ατμόσφαιρα.

Επίδραση στη φωτοχημεία της τροπόσφαιρας

Με την αύξηση της UV-B που φθάνει στην τροπόσφαιρα μεταβάλλεται η φωτοχημεία της και αυξάνεται το τροποσφαιρικό όζον (στις περιοχές με περισσότερη ρύπανση) που αποτελεί βασικό συστατικό του φωτοχημικού νέφους. Επίσης αυξάνεται και το H₂O₂ (hydrogen peroxide) που είναι "πρόδρομος" της όξινης βροχής και με αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία ανθρώπων και ζώων, στον φυτικό κόσμο και σε διάφορα υλικά. Ακόμη μπορεί να προκληθούν αλλαγές στις συγκεντρώσεις υδροξυλίου (OH) στην ατμόσφαιρα. Αν το (OH) αυξηθεί τότε θα μειωθεί αντίστοιχα το μεθάνιο (CH₄) και τα HCFCs και HFCs. Από την άλλη πλευρά, υπολογισμοί που έγιναν έχουν δείξει ότι αν αυξηθούν οι συγκεντρώσεις μεθανίου στην ατμόσφαιρα, τότε θα αυξηθεί το τροποσφαιρικό όζον.

Τόσο το όζον όσο και οι αλογονάνθρακες αποτελούν αέρια του "φαινομένου του θερμοκηπίου". Όπως το CO₂, σταματούν και ανακλούν μέρος της ακτινοβολίας της γης, βοηθώντας έτσι στη θέρμανση της κατώτερης ατμόσφαιρας. Παρ'όλα αυτά, ούτε το όζον ούτε οι μεταβολές του διαταράσσονται ολικά. Έτσι η ενίσχυση της ακτινοβολίας είναι πιο περίπλοκη από εκείνες των άλλων βασικών αερίων του φαινομένου του θερμοκηπίου, τα οποία έχουν ένα μεγάλο χρόνο ζωής επιτρέποντας ακόμα και την ανάμιξη. Γενικά, η πρόσθεση όζοντος μέσα στην τροπόσφαιρα, ιδιαίτερα κοντά στη τροπόπαυση προκαλεί θέρμανση, ενώ η μείωση του όζοντος μέσα στη στρατόσφαιρα προκαλεί ψύξη.

Μια ακριβής εκτίμηση της επίδρασης της ακτινοβολίας, λόγω των μεταβολών του όζοντος, περιορίζεται από την έλλειψη λεπτομερών πληροφοριών σχετικά με τη διακύμανση της κατακόρυφης κατανομής του όζοντος με το γεωγραφικό μήκος και πλάτος. Παρ'όλα αυτά, οι πρόσφατοι υπολογισμοί υποστηρίζουν παλιότερα συμπεράσματα, ότι δηλαδή, η μείωση του όζοντος της κατώτερης στρατόσφαιρας σε προηγούμενες δεκαετίες έχει ως αποτέλεσμα μια αρνητική ενίσχυση της ακτινοβολίας (π.χ. ψυχρότερο κλίμα) και έχει απόκλιση περίπου 15-20%, της θετικής ενίσχυσης του φαινομένου του θερμοκηπίου, λόγω των αυξημένων υπολοίπων αερίων.

Η αύξηση του όζοντος της τροπόσφαιρας είναι δυνατό να έχει ενισχύσει την ολική ένταση του φαινομένου του θερμοκηπίου κατά 20%. Παρόμοιες αλλαγές θα μπορούσαν να έχουν μια επίδραση στο ισοζύγιο ακτινοβολίας του συστήματος "γης- ατμόσφαιρας" καθώς και στη θερμική δομή της ατμόσφαιρας και κατά συνέπεια να προκαλέσουν απρόβλεπτες μέχρι τώρα μεταβολές στα μοντέλα ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας. Παρόλο που οι μέχρι σήμερα γνώσεις δεν είναι επαρκείς για να

ισχυριστούμε ότι είναι απολύτως κατανοητές οι διεργασίες που συμβαίνουν στην ατμόσφαιρα, όμως αυτό που φαίνεται σαφές είναι το γεγονός ότι η μεταβολή ενός παράγοντα μπορεί να επιφέρει αλυσιδωτές επιπτώσεις, καθώς οι αλληλεξαρτήσεις και οι ανατροφοδοτήσεις είναι μηχανισμοί της λειτουργίας της ατμόσφαιρας. Έτσι γίνεται καλύτερα αντιληπτή η πολύπλοκη συσχέτιση ανάμεσα στο όζον της στρατόσφαιρας, στη χημεία της τροπόσφαιρας και στο κλίμα.

Επίδραση στα συνθετικά υλικά

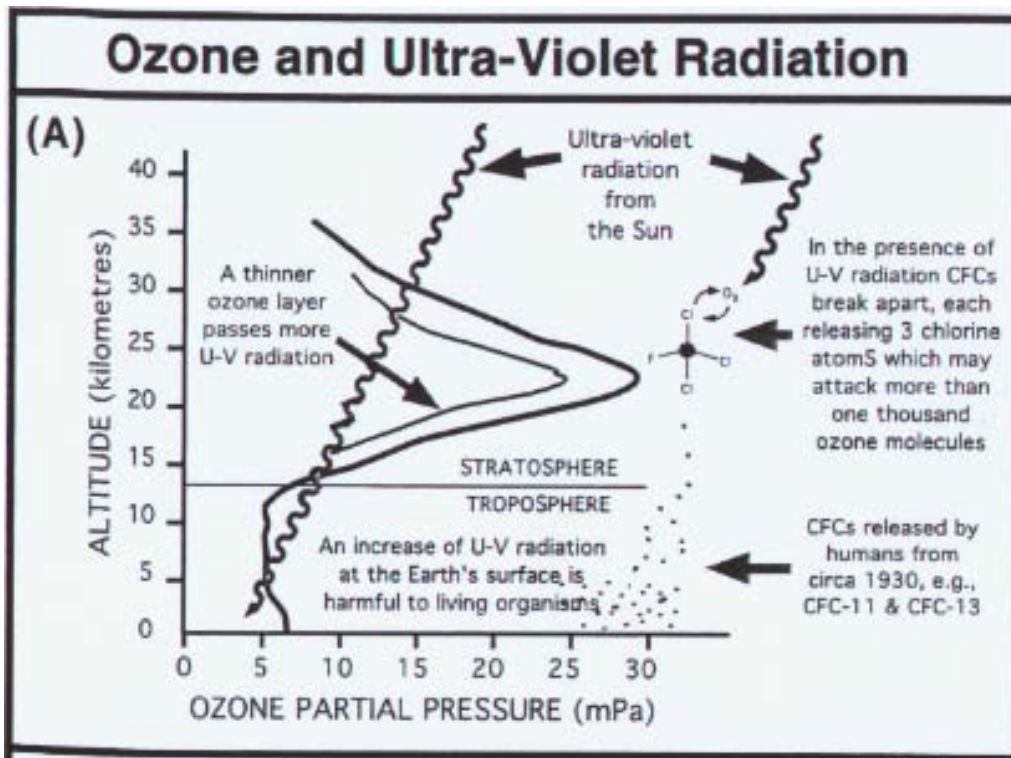
Τα πλέον ευάλωτα στην UV-B ακτινοβολία υλικά είναι τα συνθετικά υλικά, κυρίως τα πλαστικά και ιδιαιτέρως αυτά τα οποία χρησιμοποιούνται στο ύπαιθρο. Οι επιπτώσεις της έκθεσης στην ακτινοβολία UV-B ξεκινούν από τον αποχρωματισμό μέχρι την αποσύνθεση. Καθώς η χρήση των πλαστικών υλικών είναι ευρύτατη και βαίνει διαρκώς διευρυνόμενη έχει μεγάλη σημασία να περιοριστούν οι καταστροφικές επιπτώσεις, εφόσον μια αύξηση της UV-B ακτινοβολίας λόγω μείωσης του όζοντος θα συρρικνώσει ακόμη περισσότερο την αντοχή άρα και τον χρόνο ζωής των υλικών αυτών, με σημαντικότερες οικονομικές απώλειες. Πάντως, προς το παρόν οι έρευνες στρέφονται προς δύο κατευθύνσεις:

- Στην παραγωγή και χρήση σταθεροποιητών ως συστατικών των συνθετικών πολυμερών υλικών (synthetic polymers) που να καθιστούν ταυτικά αυτά πιο ανθεκτικά στην UV-B ακτινοβολία
- Στην παραγωγή και χρήση πλαστικών άλλης σύνθεσης που να είναι πιο ανθεκτικά στην ηλιακή ακτινοβολία και που να αντικαταστήσουν τα synthetic polymers.

Σε κάθε περίπτωση, βεβαίως, το οικονομικό κόστος προβάλλει ως σημαντική παράμετρος στην αντιμετώπιση του προβλήματος.

Επίδραση στους ηλεκτρονικούς υπολογιστές

Η καταστροφή του στρώματος του όζοντος στα υψηλά στρώματα της ατμόσφαιρας, ενδέχεται να έχει ιδιαίτερα βλαβερές συνέπειες στην λειτουργία των υπολογιστών. Το στρώμα του όζοντος αποτελεί πράγματι για τη Γη μια ασπίδα προστασίας ως προς την κοσμική ακτινοβολία. Σύμφωνα όμως με τα συμπεράσματα μελέτης που διενεργήθηκε πρόσφατα από τον κ. Τζέιμς Ζίγκλερ στο ερευνητικό κέντρο της εταιρείας IBM στη Νέα Υόρκη, η κοσμική ακτινοβολία που φθάνει ως την επιφάνεια της Γης είναι υπεύθυνη για την παρουσία περίπου 200 από τους «ιούς» που πλήττουν κάθε χρόνο τους ηλεκτρονικούς υπολογιστές. Οι «ιοί» δεν είναι τίποτε άλλο από αλλοιώσεις του λογισμικού με το οποίο λειτουργούν οι υπολογιστές. Τέτοιες αλλοιώσεις μπορεί να συμβούν από τη διάδραση των ιδιαίτερα ενεργητικών σωματιδίων των κοσμικών ακτίνων με τα άτομα του μικροεπεξεργαστή. Επί παραδείγματι, μια αλυσίδα δυαδικών πληροφοριών του τύπου 0001100111 μπορεί με αυτόν τον τρόπο να μεταβληθεί σε 00110101, ανατρέποντας έτσι ολόκληρη τη λειτουργία του υπολογιστή.



ΕΙΚΟΝΑ 2.37 ΟΖΟΝ ΚΑΙ ΥΠΕΡΙΩΔΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

Οι τάσεις του όζοντος με βάση τα τελευταία δεδομένα - Το μέλλον

Από τα μέχρι σήμερα δεδομένα και παρά το γεγονός ότι το έτος αιχμής για τη συγκέντρωση ανθρωπογενών ενώσεων χλωρίου και βρώμιου στην τροπόσφαιρα έχει ήδη περάσει, πράγμα που σημαίνει ότι από το 1994 οι συγκεντρώσεις χλωρίου και βρώμιου στην τροπόσφαιρα άρχισαν να μειώνονται, όμως, το έτος αιχμής για τη στρατόσφαιρα υπολογίζεται πως θα είναι μάλλον στις αρχές του 20ου αιώνα. Αυτό σημαίνει ότι έως το τέλος περίπου του αιώνα οι συγκεντρώσεις των καταστροφικών για το όζον ενώσεων στη στρατόσφαιρα θα αυξάνονται και, κατά συνέπεια, οι απώλειες όζοντος έως τότε θα αυξάνονται επίσης. Στη διάρκεια του 1996 καταγράφηκαν από τις χαμηλότερες συγκεντρώσεις όζοντος στο Β.Ημισφαίριο (ιδίως πάνω από την Σκανδιναβία) και στο Ν.Ημισφαίριο (ιδίως από τις 65°N έως τον Ν.Πόλο). Αλλά και η "τρύπα" στην Ανταρκτική ήταν του ίδιου μεγέθους και διάρκειας όπως και τα προηγούμενα τέσσερα χρόνια, δηλαδή από τις μεγαλύτερες που καταγράφηκαν μέχρι σήμερα. Η ανάκαμψη και η επάνοδος του όζοντος στα προ της δεκαετίας του '70 επίπεδα, θα συμβεί σταδιακά μέχρι τα μέσα, ή και αργότερα, του επόμενου αιώνα. Πάντως, και τον επόμενο αιώνα θα εξακολουθούν, έστω μειούμενες, να υπάρχουν στη στρατόσφαιρα CFCs, Halons και άλλες καταστροφικές για το όζον ουσίες, ανάλογα με το χρόνο ζωής τους. Είναι βεβαίως αυτονόητο ότι, προϋπόθεση για τις παραπάνω εξελίξεις είναι η εφαρμογή από την παγκόσμια κοινότητα των συμφωνιών για την προστασία του στρώματος του όζοντος.

2.6 Συμπεράσματα

2.6.1 Γενικά

- Το όζον είναι εξαιρετικά λίγο στην ατμόσφαιρα του πλανήτη μας, αφού σε κάθε 10 εκατομμύρια μόρια αέρα περιέχονται κατά μέσο όρο μόνο 3 μόρια όζοντος. Παρ' όλα αυτά το ατμοσφαιρικό όζον παίζει καθοριστικό ρόλο για τη ζωή στον πλανήτη και όχι μόνο.

- Το σπάνιο αυτό αέριο συναντάται κύρια σε δύο ατμοσφαιρικές περιοχές, αφού το 90% της συνολικής ποσότητας του βρίσκεται στο ατμοσφαιρικό στρώμα ανάμεσα στο 10ο και 50ο Km από τη γήινη επιφάνεια, τη στρατόσφαιρα, και το υπόλοιπο 10% στην κατώτερη ατμοσφαιρική περιοχή, την τροπόσφαιρα, που εκτείνεται από τη γήινη επιφάνεια μέχρι τα 10 Km ύψους από αυτήν.

- Το στρατοσφαιρικό όζον παίζει ένα προνομιακό ρόλο, επειδή απορροφά το μεγαλύτερο μέρος της βιολογικά καταστρεπτικής ηλιακής υπεριώδους ακτινοβολίας (UV-B), επιτρέποντας μόνο μικρές ποσότητες της να φτάσουν στη γήινη επιφάνεια. Η απορρόφηση αυτή δημιουργεί μια θερμική πηγή, που σχηματίζει τη στρατόσφαιρα, στην οποία η θερμοκρασία κατά κανόνα αυξάνεται με το ύψος. Έτσι, το όζον παίζει επίσης ένα θερμικό ρόλο στη θερμική δομή της γήινης ατμόσφαιρας.

- Ο προνομιακός χαρακτήρας του όζοντος να εξασθενίζει τη UV-B ακτινοβολία, που σε μεγάλες δόσεις προκαλεί αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία του φυτικού και ζωικού βασιλείου, έρχεται σε αντιπαράθεση με την καταστρεπτική του φύση όταν έρχεται σε άμεση επαφή με ζωικούς οργανισμούς. Επειδή το όζον αντιδρά άμεσα με άλλα μόρια, σε μεγάλες ποσότητες είναι τοξικό για τους ζώντες οργανισμούς, προκαλώντας σοβαρές καταστροφές στην υγεία τους.

- Ο διττός χαρακτήρας του όζοντος οδηγεί σε δύο ξεχωριστά περιβαλλοντικά προβλήματα. Στην τροπόσφαιρα υπάρχει το πρόβλημα της αύξησης του όζοντος, το οποίο στα κατώτερα τμήματα της είναι βασική συνιστώσα του φωτοχημικού νέφους και είναι συνήθως πρόβλημα των μεγαλουπόλεων ανά τον κόσμο. Πάντως οι συγκεντρώσεις του επιφανειακού όζοντος ακόμα και στις πιο ρυπασμένες μεγαλουπόλεις είναι πάρα πολύ μικρότερες των συγκεντρώσεων του στην στρατόσφαιρα.

- Δορυφορικά και επίγεια όργανα έχουν μετρήσει μειώσεις του ποσού του στρατοσφαιρικού όζοντος που σε μερικές τοποθεσίες, όπως στην Ανταρκτική, φτάνει το 60% κατά την περίοδο Σεπτεμβρίου-Οκτωβρίου (βλ.εικόνα 2.39). Το φαινόμενο αυτό των ισχυρών απωλειών του όζοντος είναι κοινά γνωστό σαν "τρύπα του όζοντος". Μικρότερες αλλά σημαντικές μειώσεις του στρατοσφαιρικού όζοντος έχουν παρατηρηθεί και σε άλλες περιοχές του πλανήτη, που συνδυάζονται με ταυτόχρονες αυξήσεις της επιφανειακής UV-B ακτινοβολίας.

- Τα τελευταία χρόνια η επιστημονική έρευνα έχει αποδείξει, ότι την κύρια ευθύνη για τη μείωση του στρατοσφαιρικού όζοντος φέρουν τα ανθρωπογενή χημικά. Οι χημικές ενώσεις που

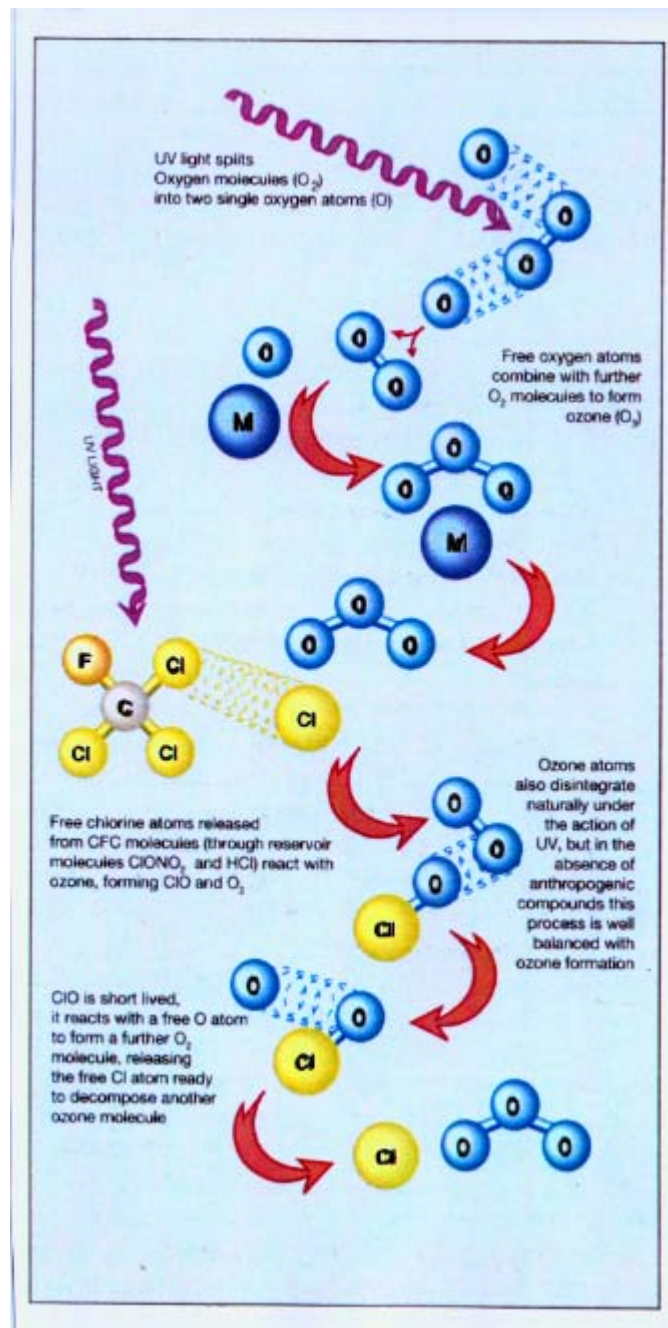
κατα-στρέφουν το όζον περιέχουν διάφορους συνδυασμούς χλωρίου, φθορίου, βρώμιου, άνθρακα και υδρογόνου, που ονομάζονται αλογονάνθρακες. Οι χημικές ενώσεις που περιέχουν μόνο άνθρακα, χλώριο και φθόριο ονομάζονται χλωροφθοράνθρακες (CFCs). Τα CFCs ο τετραχλωράνθρακας και το μεθυλοχλωροφόρμιο είναι από τους πιο σημαντικούς ανθρωπογενείς καταστροφείς του όζοντος και χρησιμοποιούνται στα ψυκτικά και κλιματιστικά μηχανήματα, στα βαφεία, στα καθαριστικά ηλεκτρονικών στοιχείων και στα διαλυτικά. Μία άλλη πολύ σημαντική ομάδα ανθρωπογενών αλογονανθράκων είναι τα Halons που περιέχουν άνθρακα, βρώμιο, φθόριο, και σε μερικές περιπτώσεις χλώριο και χρησιμοποιούνται κυρίως στους πυροσβεστήρες.

- Επειδή το όζον αντιδρά ισχυρά με άλλα μόρια είναι πολύ ασταθές, ώστε να παρασκευαστεί κάπου (πχ. σε μεγάλες πόλεις, με το μηχανισμό της φωτοχημικής αιθαλομίχλης) και να μεταφερθεί αλλού (πχ. στη στρατόσφαιρα). Σύμφωνα με το Πλαίσιο του Πρωτοκόλλου του Μόντρεαλ, αποτελεί αναγκαιότητα, όχι μόνο ο περιορισμός της παραγωγής, αλλά και της χρήσης των CFCs και των άλλων βλαπτικών ουσιών για το όζον μέσα στα επόμενα μερικά χρόνια. Έτσι, αναμένεται αποκατάσταση της στοιβάδας του όζοντος τα επόμενα χρόνια.

2.6.2 Το στρατοσφαιρικό όζον καταστρέφεται από το χλώριο και το βρώμιο

- Εργαστηρικές μελέτες δείχνουν ότι το χλώριο αντιδρά πολύ γρήγορα με το όζον. Μάλιστα πρόκειται για μια αλυσιδωτή αντίδραση, επειδή το παραγόμενο ClO με διάφορες διεργασίες επαναφέρει το αρχικό χλώριο, επιτρέποντας στην ακολουθία των αντιδράσεων αυτών να επαναληφθεί πολλές φορές. Το ίδιο ακριβώς συμβαίνει και στην αντίδραση του βρώμιου με το όζον. Το γεγονός, ότι ουδέποτε στη στρατόσφαιρα δε μετρήθηκαν μαζί ποσότητες χλωρίου ή βρώμιου και όζοντος μαρτυρούν, ότι τα παραπάνω εργαστηριακά αποτελέσματα συμβαίνουν στην πραγματικότητα στην ατμόσφαιρα.

- Δορυφορικές, επίγειες, επιτόπιες (με μπαλόνια, αεροπλάνα) στρατοσφαιρικές μετρήσεις δείχνουν ότι υψηλές συγκεντρώσεις ενεργού χλωρίου σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες (-80°C) και με τη βοήθεια του ηλιακού φωτός καταστρέφουν το όζον.



ΕΙΚΟΝΑ 2.38 ΤΟ ΣΤΡΑΤΟΣΦΑΙΡΙΚΟ ΟΖΟΝ ΚΑΤΑΣΤΡΕΦΕΤΑΙ ΑΠΟ ΤΟ ΧΛΩΡΙΟ ΚΑΙ ΤΟ ΒΡΩΜΙΟ

2.6.3 Το μεγαλύτερο μέρος του στρατοσφαιρικού χλωρίου προέρχεται από την ανθρώπινη δραστηριότητα και όχι από φυσικές πηγές.

- Πολλές ενώσεις που περιέχουν χλώριο στη στρατόσφαιρα απελευθερώνονται από το έδαφος, εκτός βέβαια από εκείνες που διαλύονται στο νερό, και δεν μπορούν να φτάσουν στα στρατοσφαιρικά ύψη. Μεγάλες ποσότητες χλωρίου απελευθερώνονται, για παράδειγμα, από την εξάτμιση των ωκεανών με τη μορφή θαλασσινού άλατος ($NaCl$). Όμως, το αλάτι αυτό διαλύεται στο νερό οπότε απορροφάται γρήγορα από τα νέφη, τον πάγο ή από τις σταγόνες της βροχής, οπότε

δεν μπορούν να φτάσουν στη στρατόσφαιρα. Μια άλλη πηγή χλωρίου είναι οι πισίνες. Όταν αυτό το χλώριο απελευθερωθεί, μετασχηματίζεται σύντομα σε ενώσεις διαλυτές στο νερό, οπότε αυτές ποτέ δεν φτάνουν στη στρατόσφαιρα. Επίσης, τα ηφαίστεια εκπέμπουν μεγάλες ποσότητες υδροχλωρίου, το οποίο όμως γρήγορα μετατρέπεται σε υδροχλωρικό οξύ στο βρόχινο νερό και έτσι δεν φτάνει στην στρατόσφαιρα.

- Αντίθετα, οι ανθρωπογενούς προέλευσης αλογονάνθρακες, όπως τα CFCs, ο τετραχλωράνθρακας και το μεθυλοχλωροφόρμιο δε διαλύονται στο νερό.

2.6.4 Γιατί η τρύπα του όζοντος εμφανίστηκε πρώτα στην Ανταρκτική

- Η ολική στήλη του όζοντος στην Ανταρκτική μετριέται από το 1957 στο σταθμό Halley Bay (76°S) της «Βρετανικής Ανταρκτικής Αποστολής». Η πρώτη σοβαρή μείωση του όζοντος παρουσιάστηκε τα πρώτα χρόνια της δεκαετίας του 1980. Εκτοτε κάθε έτος κατά την περίοδο της άνοιξης του νοτίου ημισφαιρίου (Σεπτέμβριος και Οκτώβριος) εμφανίζεται η τρύπα του όζοντος που της μέρες της φτάνει σε μείωση του όζοντος κατά 60%. Παρόμοιο φαινόμενο καταγράφεται και από της της τρεις σταθμούς της Ανταρκτικής που λειτουργούν εδώ και της δεκαετίες.

- Έχει δειχθεί ότι η τρύπα του όζοντος είναι αποτέλεσμα της τηςστροφής του στρατοσφαιρικού όζοντος από αέρια που περιέχουν χλώριο και βρώμιο, των οποίων οι πηγές είναι οι ανθρωπογενείς αλογονάνθρακες.

- Πρίν από την επίδραση του ανθρωπογενούς χλωρίου και βρώμιου, τα επίπεδα του όζοντος στην Ανταρκτική κατά την άνοιξη του νότιου ημισφαιρίου ήταν 30-40% χαμηλότερα από τα επίπεδα του όζοντος στην Αρκτική κατά την άνοιξη του βορείου ημισφαιρίου. Αυτή η φυσική διαφορά ανάμεσα στην Αρκτική και Ανταρκτική παρατηρήθηκε για πρώτη φορά το 1950 από το Dobson και αποδίδεται τόσο της εξαιρετικά χαμηλές θερμοκρασίες, όσο και στο διαφορετικό χειμερινό πεδίο του ανέμου στην Ανταρκτική στρατόσφαιρα συγκριτικά με την Αρκτική.

- Η ερμηνεία της τρύπας του όζοντος δεν μπορεί να δοθεί με τη θεώρηση αλλαγών στη στρατοσφαιρική μετεωρολογία και αυτό γιατί οι χειμερινές στρατοσφαιρικές θερμοκρασίες στην Ανταρκτική της τελευταίες δεκαετίες δεν έχουν μεταβληθεί συγκριτικά με εκείνες πριν την εμφάνιση της τρύπας του όζοντος. Αντίθετα, δορυφορικές, επίγειες και μετρήσεις με την βοήθεια αεροσκαφών έχουν καταδείξει τη σπουδαιότητα της χημείας του χλωρίου και βρώμιου στη μείωση του όζοντος που πηγάζουν από ανθρωπογενείς χημικές ενώσεις.

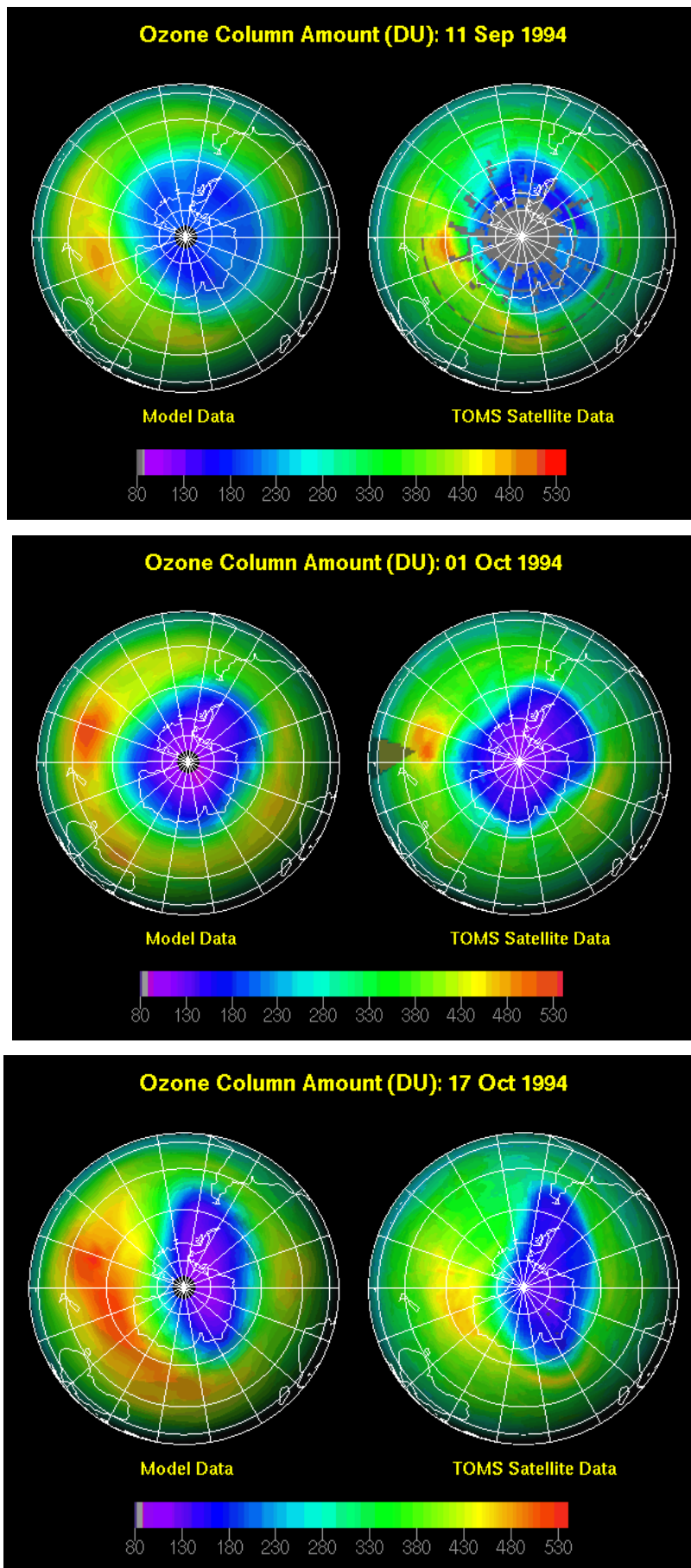
2.6.5 Τα CFCs απελευθερώνονται κυρίως στο Βόρειο Ημισφαίριο, ενώ η τρύπα του όζοντος παρατηρείται στην Ανταρκτική

Το 90% των ανθρωπογενών εκπομπών των CFCs γίνεται στην Ευρώπη, Ρωσία, Ιαπωνία και Β. Αμερική. Τα αέρια αυτά που είναι αδιάλυτα στο νερό και σχετικά χημικά αδρανή, αναμιγνύονται μέσα σε ένα ή δύο χρόνια με ολόκληρη την κατώτερη ατμόσφαιρα (τροπόσφαιρα). Στη συνέχεια ανέρχονται στην στρατόσφαιρα και μάλιστα με μεγαλύτερο ρυθμό στην τροπική ζώνη. Εκεί ο μεσημβρινός άνεμος τα μεταφέρει προς τους δύο πόλους, με συνέπεια ολόκληρη η στρατόσφαιρα (βόρεια και νότια) να περιέχει ίσες ποσότητες χλωρίου. Όμως η μετεωρολογία των δύο πολικών περιοχών είναι πολύ διαφορετική λόγω των μεγάλων διαφορών στη γήινη επιφάνεια.

Ο Νότιος Πόλος είναι ένα μέρος ξηράς (Ανταρκτική), η οποία περιβάλλεται εξ' ολοκλήρου από τον ωκεανό. Οι συνθήκες αυτές προκαλούν πολύ χαμηλές στρατοσφαιρικές θερμοκρασίες, οι οποίες ευνοούν τη δημιουργία νεφών (πολικά στρατοσφαιρικά νέφη). Τα νέφη αυτά προξενούν χημικές μεταβολές που ευνοούν την ταχεία απώλεια όζοντος κάθε Σεπτέμβριο-Οκτώβριο κάθε έτους δημιουργώντας την τρύπα του όζοντος (βλ.εικόνα 2.39).

Αντίθετα, στη βόρεια πολική περιοχή η γήινη επιφάνεια δεν παρατηρείται η συμμετρία ξηράς-θάλασσας. Έτσι, η Αρκτική στρατόσφαιρα είναι πολύ θερμότερη από την Ανταρκτική, όπου εκεί δημιουργούνται μόνο λίγα στρατοσφαιρικά νέφη. Οπότε, η μείωση του όζοντος στην Αρκτική είναι πολύ μικρότερη απ' ότι στην Ανταρκτική.

Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται μία αντιπροσωπευτική εποχιακή μεταβολή της τρύπας του όζοντος πάνω από την ανταρκτική.



ΕΙΚΟΝΑ 2.39 Η ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΠΟΣΟΤΙΚΗΣ ΣΤΗΛΗΣ ΤΟΥ ΟΖΟΝΤΟΣ ΠΑΝΩ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΝΤΑΡΚΤΙΚΗ

2.6.6 Η μείωση του όζοντος οδηγεί σε αύξηση της ηλιακής υπεριώδους ακτινοβολίας στο έδαφος

- Ο ήλιος εκπέμπει φως σε μεγάλο εύρος ενεργειών. Περίπου 2% του φωτός αυτού είναι υψηλής ενέργειας υπεριώδους ακτινοβολία (UV), μέρος της οποίας είναι πολύ ενεργό για αρνητικές επιπτώσεις στους ζώντες οργανισμούς (UV-B). Η δόση της UV που φτάνει σε κάθε τόπο της γης εξαρτάται από τη θέση του ήλιου πάνω στον ορίζοντα, το ποσό του όζοντος της ατμόσφαιρας και την τοπική νεφοκάλυψη και ρύπανση. Είναι κοινή επιστημονική πίστη ότι η ελάττωση του ατμοσφαιρικού όζοντος οδηγεί σε αύξηση της UV ακτινοβολίας του ήλιου.

- Στην Ανταρκτική, όπου παρατηρείται η τρύπα του όζοντος κάθε Σεπτέμβρη και Οκτώβρη, οι μετρήσεις της UV έδειξαν αυξητική τάση.

- Σε περιοχές όπου η μείωση του όζοντος είναι μικρή, η ανίχνευση της τάσης της UV είναι δύσκολη και γίνεται ακόμη δυσκολότερη λόγω των μεταβολών της νεφοκάλυψης και της ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

2.6.7 Πόσο σοβαρή είναι η πρόσφατη μείωση του όζοντος και ποιες είναι οι μελλοντικές εκτιμήσεις

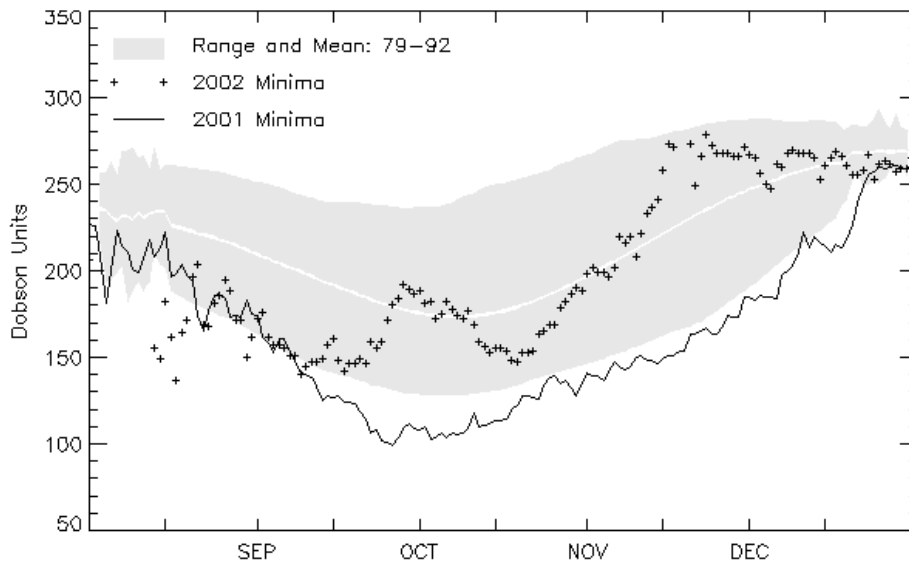
- Τα ερευνητικά αποτελέσματα φανερώνουν ότι η μείωση του στρατοσφαιρικού όζοντος από τα ανθρωπογενή CFCs συνεχίζεται. Η μεγάλη αύξηση των συγκεντρώσεων των ανθρωπογενών ενώσεων χλωρίου και βρώμιου στην ατμόσφαιρα είναι υπεύθυνη τόσο για την τρύπα του όζοντος στην Ανταρκτική, όσο και για τη μείωση του όζοντος στα μέσα γεωγραφικά πλάτη.

- Η μείωση του όζοντος έφθασε σε τιμές ρεκόρ κατά τη διάρκεια του 1992 και του 1993 σε πολλές περιοχές του πλανήτη. Για παράδειγμα, οι μειώσεις αυτές έφθασαν κατά τη διάρκεια της άνοιξης στα μέσα γεωγραφικά πλάτη του βόρειου ημισφαιρίου το 20% ενώ στην Αρκτική οι μειώσεις ήταν οι ισχυρότερες που παρατηρήθηκαν ποτέ. Μέγιστο στη μείωση του όζοντος παρατηρήθηκε το 1995.

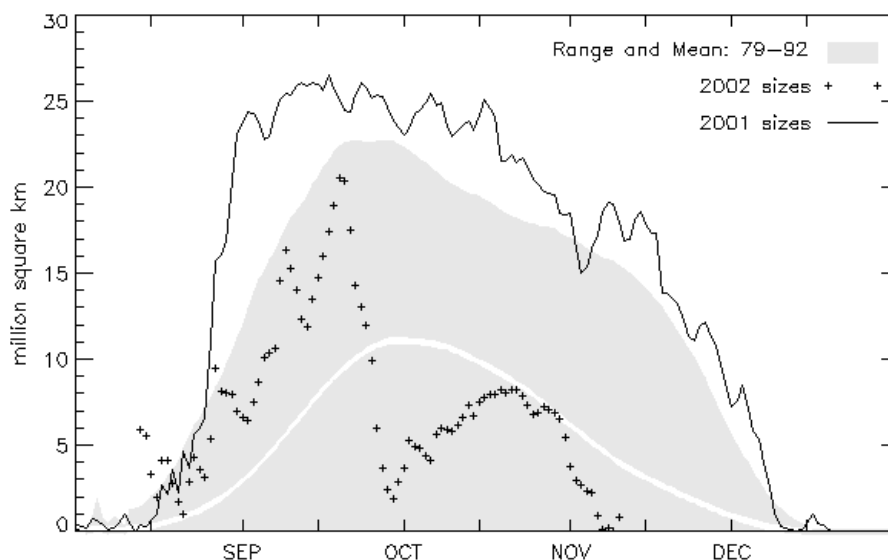
- Το 1987 η αναγνώριση του δυναμικού του χλωρίου και του βρώμιου να καταστρέφουν το στρατοσφαιρικό όζον οδήγησε σε μια Διεθνή Συμφωνία (το Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ των Ηνωμένων Εθνών για τις ουσίες που καταστρέφουν το όζον) για τη μείωση της παγκόσμιας παραγωγής των ουσιών που καταστρέφουν το όζον. Έκτοτε, οι νέες μειώσεις του στρατοσφαιρικού όζοντος οδήγησαν σε τροποποιήσεις του Πρωτοκόλλου του Μόντρεαλ. Το 1992 στην Κοπεγχάγη συμφωνήθηκε να σταματήσει η παραγωγή των βλαπτικών για το όζον ουσιών μέχρι το 1996. Χωρίς τις Διεθνείς αυτές συμφωνίες η συνεχιζόμενη ανθρώπινη δραστηριότητα θα τριπλασίαζε τις καταστροφικές για το όζον ουσίες μέχρι το 2050. Έτσι, η σημερινά μετρούμενη

μείωση του όζοντος θα ήταν πολύ ισχυρότερη. Παρ' όλα αυτά αναμένεται ότι στα επόμενα 9-10 χρόνια οι ποσότητες των ενώσεων χλωρίου και βρώμιου στη στρατόσφαιρα θα φθάσουν σε μέγιστες τιμές και έπειτα θα αρχίσουν να μειώνονται. Η ανάκαμψη του όζοντος θα αργήσει πολύ να γίνει (ίσως στο τέλος του επόμενου αιώνα), επειδή τα εκπεμπόμενα CFCs στην ατμόσφαιρα έχουν μεγάλο χρόνο ζωής.

Daily Minima in Southern Hemisphere



Daily Estimates of Ozone Hole Area



ΣΧΗΜΑ 2.40 ΟΙ ΗΜΕΡΗΣΙΕΣ ΕΛΑΧΙΣΤΕΣ ΤΙΜΕΣ ΤΟΥ ΝΟΤΙΟΥ ΗΜΙΣΦΑΙΡΙΟΥ ΚΑΙ ΟΙ ΚΑΘΗΜΕΡΙΝΕΣ ΕΚΤΙΜΗΣΕΙΣ ΤΗΣ ΕΚΤΑΣΗΣ ΤΗΣ ΤΡΥΠΙΑΣ ΤΟΥ ΟΖΟΝΤΟΣ

2.6.8 Το Μέλλον

Ενώ αυτό το ανανεωμένο ενδιαφέρον για την στρατόσφαιρα έδωσε το έναυσμα για πολλαπλές μετρήσεις και έντονες θεωρητικές συζητήσεις μεταξύ των επιστημόνων, κάποια άλλα γεγονότα που βρίσκονταν υπό εξέλιξη, οδήγησαν σε ένα δραματικό συμπέρασμα. Η προηγούμενη συμφωνία να ενθαρρύνουν την έρευνα και να ανταλλάξουν στοιχεία για το όζον της στρατόσφαιρας περιελάμβανε επίσης δεσμεύσεις για παραπέρα διαπραγματεύσεις, για να εξετάσουν πώς θα μπορούσαν να περιορίσουν τις εκπομπές των CFC στον αέρα. Οι επανειλημμένες διαπραγματεύσεις εξελίσσονταν καθώς θεμελιωνόταν ο επιστημονικός ενθουσιασμός για την ανακάλυψη της τρύπας του όζοντος. Μολονότι αυτοί που διαπραγματεύονταν ήξεραν ότι πολύ λίγα ήταν γνωστά για το πρόβλημα της Ανταρκτικής ώστε να το συμπεριλάβουν στις συζητήσεις τους, η δημοσιότητα για την τρύπα του όζοντος εντάθηκε.

Κάποιοι επιστήμονες ζήτησαν την απαγόρευση της χρήσης των προϊόντων που περιέχουν CFC αλλά - το σημαντικότερο - οι αμερικανικές εταιρίες που κατασκεύαζαν αυτές τις ουσίες άρχισαν να πιστεύουν πως είναι δυνατή μια ενδεχόμενη σταδιακή απόσυρση της χρήσης των CFC και υποστήριξαν μια συμφωνία για να γίνει μια τέτοια κίνηση. Με τη συναίνεση των βιομηχανιών να μελετηθούν κάποια όρια και με την τρύπα του όζοντος στην επικαιρότητα, οι ενδιαφερόμενοι κατόρθωσαν να συνάψουν αμέσως μια συμφωνία - το Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ - για να σταθεροποιηθεί η παραγωγή εκείνων των CFC και των αλογόνων που είχαν τη δυνατότητα να καταστρέψουν το όζον της στρατόσφαιρας.

Οι λεπτομέρειες αυτής της συμφωνίας αποκαλύπτουν πόσα εμπόδια έπρεπε να υπερνικηθούν για να επιτευχθεί ομοφωνία. Κάθε βιομηχανική χώρα εισερχόταν στις διαβουλεύσεις με δύο επιθυμίες: να ελαττωθούν οι CFC στον αέρα, αρκετά ώστε να αποφευχθεί η καταστροφή αλλά και να μείνει μετά τις διαπραγματεύσεις η δική της παραγωγή CFC όσο γίνεται πιο ανέπαφη, επειδή η παραγωγή και η χρήση των CFC είναι προσοδοφόρες επιχειρήσεις. Κάθε αναπτυσσόμενη χώρα συμμετείχε στις διαπραγματεύσεις με μια επιθυμία: να αποφευχθεί μια τραγωδία, αλλά και με έντονη την αίσθηση ότι θα ήταν άδικο να περιορίσουν ή να απαγορέψουν μια κερδοφόρα δραστηριότητα, πριν ο Τρίτος Κόσμος προλάβει να συμμετάσχει σ' αυτή. Επιπλέον, κάθε κυβέρνηση που διαπραγματευόταν είχε κάποια δέσμευση απέναντι στις βιομηχανίες των CFC μέσα στα σύνορα της. Ταυτόχρονα, αρκετές χώρες ήταν μέλη μεγαλύτερων διεθνών σχηματισμών, όπως η Ευρωπαϊκή Κοινότητα, η οποία διατύπωσε και τις θέσεις της σχετικά με τους ελέγχους. Γι' αυτούς τους λόγους η συμφωνία που προέκυψε είναι ένας πολύπλοκος συμβιβασμός. Γίνεται διαχωρισμός μεταξύ αναπτυγμένων και αναπτυσσόμενων χωρών, και επιτρέπονται κάποιες διαφοροποιήσεις μεταξύ μερικών αναπτυγμένων χωρών, ο ρυθμός όμως της σταδιακής μείωσης του όζοντος είναι χαμηλότερος απ' αυτόν στον οποίον ήλπιζαν οι ειδικοί στα θέματα της στρα-

τόσφαιρας. Η συνθήκη τέθηκε σε ισχύ την 1η Ιανουαρίου του 1989, και την υπέγραψε το μεγαλύτερο μέρος των βιομηχανικών χωρών, δεν την υπέγραψαν όμως δύο μεγάλες αναπτυσσόμενες χώρες, η Ινδία και η Κίνα.

Δεν μπορούμε να ξέρουμε ποιο θα είναι ακριβώς το αποτέλεσμα αυτής της συνθήκης. Οι αισιοδοξότεροι υπολογισμοί προέρχονται από εκείνους που θυμούνται ότι η χρήση των CFC σε συσκευασίες ψεκασμού των αερολυμάτων, στις ΗΠΑ ελαττώθηκε απότομα στη δεκαετία του 1970, πριν υπάρξει κάποια ρύθμιση που να απαιτεί τη σταδιακή απόσυρση των συσκευών ψεκασμού. Η βιομηχανία όμως δεν ενθουσιάζεται με προϊόντα, των οποίων οι πωλήσεις πρέπει να ελαττωθούν. Έτσι, μόλις εμφανίστηκε μια πιθανή σταδιακή απόσυρση, η αντικατάσταση των συσκευών ψεκασμού με CFC, εμφανίστηκε στις διαφημίσεις όχι μόνο γρήγορα, αλλά και με πολλή έμφαση σαν "νέα" και "βελτιωμένη". Από την άλλη πλευρά, οι αναλυτές, που έχουν μελετήσει το πρωτόκολλο της συμφωνίας και τους όρους του, υπολογίζουν ότι η παγκόσμια παραγωγή των CFC μέχρι το έτος 2009, όταν θα έχουν γίνει όλες οι περικοπές, θα κυμανθεί από το 0,5% ως 20% παραπάνω από το επίπεδο του 1986, γεγονός που εξαρτάται από τον αριθμό των χωρών που θα προχωρήσουν τελικά στη συμφωνία και από το πώς ερμηνεύτηκαν ορισμένοι όροι της — που σκόπιμα άφησαν ασάφειες για να διασφαλίσουν την πλατύτερη συναίνεση. Με την παγκόσμια παραγωγή σε τέτοια διακύμανση, η συγκέντρωση βλαβερών αποβλήτων στον αέρα θα συνεχίσει να αυξάνεται για πολλά χρόνια και πρέπει να περιμένουμε άλλα δραματικά επεισόδια, όπως την "τρύπα του όζοντος". Η σκληρή πραγματικότητα είναι ότι η σημερινή συγκέντρωση των CFC στον αέρα προκαλεί ανησυχία -είναι περισσότερο ορατή πάνω από την Ανταρκτική, αλλά υπάρχει παντού- και κάθε αύξηση της συγκέντρωσης αυτής θα αυξήσει τα προβλήματα που αντιμετωπίζουμε.

Ακόμη κι αν η παγκόσμια συγκέντρωση των CFC σταματούσε σήμερα, η ατμοσφαιρική συγκέντρωση θα συνέχιζε να αυξάνει, καθώς θα διέρρεαν συνεχώς στον αέρα τα αποθηκευμένα αέρια στους αφρούς και τα ψυγεία. Έπειτα, μετά τα επόμενα εκατό χρόνια, η συγκέντρωση θα ελαττωνόταν αργά -στο μισό περίπου της μέγιστης τιμής της- καθώς τα CFC, θα διαλύονταν στη στρατόσφαιρα. Το όζον θα συνέχιζε να καταστρέφεται από το χλώριο που ελευθερώνεται σ' αυτή τη διαδικασία και θα έπρεπε να περιμένουμε αρκετές δεκαετίες για να εξισωθούν, ή και να αυξηθούν, τα σημερινά, ήδη συμπίεσμα, επίπεδα όζοντος. Το ακαριαίο σταμάτημα της παραγωγής θα ήταν η πιο γρήγορη θεραπεία που θα μπορούσαμε να φανταστούμε για το πρόβλημα του στρατοσφαιρικού όζοντος, παρόλο που σε καμιά περίπτωση δεν θα μπορούσε να τεθεί ρεαλιστικά σε εφαρμογή, επειδή η ψύξη εξαρτάται ολοκληρωτικά από τους CFC. Αν η βιομηχανία δεν κινηθεί γρήγορα για να χρησιμοποιήσει καινούρια υλικά στις εφαρμογές, οι οποίες χρησιμοποιούν τώρα CFC, θα υπάρξει πιθανώς πίεση από ορισμένες κυβερνήσεις, με επίκληση της διάταξης του Πρωτοκόλλου του Μόντρεαλ, η οποία επιτρέπει αναθεώρηση του ρυθμού σταδιακής

απόσυρσης, αν χειροτερέψουν οι συνθήκες. Μια τέτοια αναθεώρηση θα κέρδιζε την υποστήριξη άλλων κρατών για τη γρηγορότερη μείωση της παραγωγής, αλλά και ενός χαμηλότερου τελικού επιπέδου των CFC.

Ανεξάρτητα από τις ζοφερές προγνώσεις, είναι αξιοσημείωτο το γεγονός ότι τα κράτη συμφώνησαν να πάρουν μέτρα, πριν υπάρξει κάποια αποδεδειγμένη και αξιοσημείωτη ζημιά στον ανθρώπινο, ή σε άλλους ζωντανούς οργανισμούς. Οι επιστήμονες έχουν κιόλας βρει, εδώ και μερικές δεκαετίες, αριθμητικά μοντέλα που είναι χρήσιμα εργαλεία για τις έρευνες του πολύπλοκου κόσμου μας. Είναι όμως δύσκολο να πεισθούν οι εθνικοί ηγέτες και οι κυβερνήσεις να πάρουν κάποιες δυσάρεστες αποφάσεις με τους σχεδιασμούς των παραπάνω μοντέλων. Και αυτό γιατί ένα μαθηματικό μοντέλο που προκύπτει μόνο από επιστημονικούς υπολογισμούς, δεν επηρεάζει τους παράγοντες που παίρνουν τις διάφορες πολιτικές αποφάσεις. Ο επιστήμονας που παρουσιάζει τη μελέτη προσπαθεί να δώσει έμφαση στους περιορισμούς που πρέπει να ληφθούν σ' αυτή την ιδιαίτερη πρόταση, στη φύση των προσεγγίσεων που έγιναν και την πιθανότητα να μην έχει ορθά συμπεριληφθεί κάποια σημαντική διαδικασία. Έτσι, αυτοί που βρέθηκαν αμέσως σε μειονεκτική θέση από τις προτεινόμενες ενέργειες χαρακτήρισαν τους σχεδιασμούς σαν "ένα απλό μοντέλο" ή "μια απλή θεωρία" και απαιτούν παραπέρα έρευνες. Ίσως η "τρύπα του όζοντος" βοηθήσει στο να γίνει μια στροφή προς το καλύτερο, δηλαδή η εφαρμογή των επιστημονικών προγραμμάτων να γίνει διεθνής κυβερνητική πολιτική. Η πραγματική δοκιμασία όμως θα γίνει από τις δικές μας αντιδράσεις για την αύξηση της θερμοκρασίας του κλίματος.

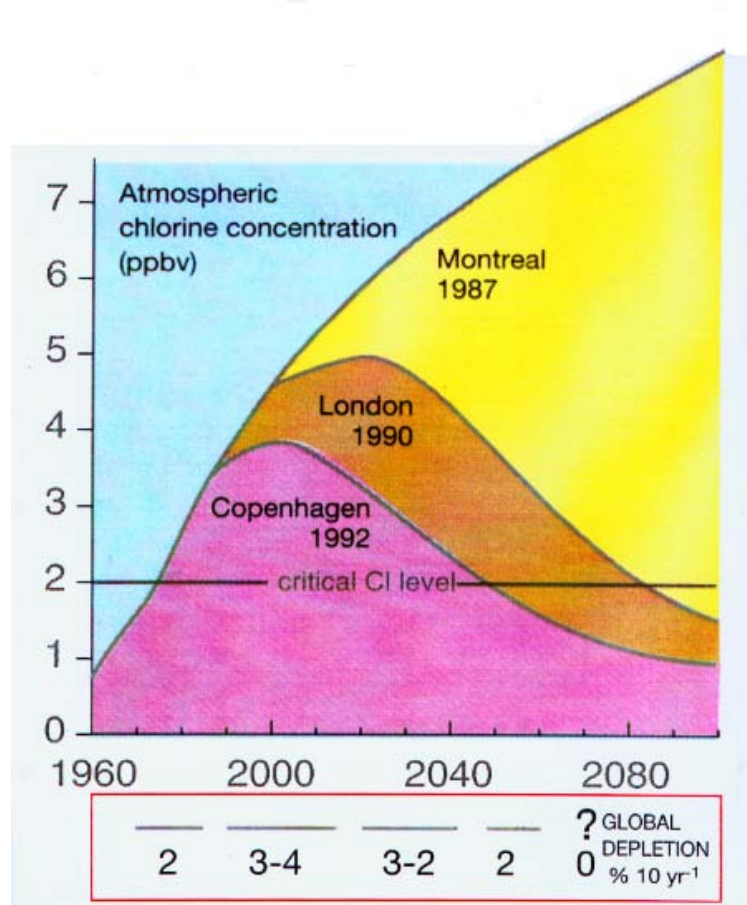
Ο WMO έχει διαδραματίσει ένα βασικό ρόλο για τη διαπίστωση και γνωστοποίηση του προβλήματος της μείωσης του όζοντος. Εξόπλισε με έγκυρα επιστημονικά στοιχεία την υποστήριξη των διεθνών συζητήσεων της UNEP, οι οποίες οδήγησαν στη Συμβασή της Βιέννης, στο Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ και τις τροποποιήσεις που ακολούθησαν. Παρόλη τη διεθνή συγκατάθεση με τις υπάρχουσες συμφωνίες, έχει εκτιμηθεί, ότι οι συγκεντρώσεις του χλωρίου και του βρώμιου μέσα στη στρατόσφαιρα θα συνεχίσουν να αυξάνονται μέχρι το τέλος του αιώνα. Κατά τα επόμενα 10 χρόνια αναμένεται να εμφανιστούν μέγιστες απώλειες όζοντος σε ποσοστό 3-4%, προτού ο ρυθμός αυτός μείωσης του όζοντος αρχίσει να ελαττώνεται.

Είναι πολύ δύσκολο να προβλέψει κανείς με βεβαιότητα, πότε είναι δυνατό να ξανασηματιστεί το στρώμα του όζοντος. Τα επιστημονικά στοιχεία που διαθέτουμε δείχνουν, ότι συγκεντρώσεις χλωρίου 2 μερών ανά δισεκατομμύριο όγκου (ppbv) στη στρατόσφαιρα, που ίσχυαν μέχρι το τέλος του 1970 αποτελούν ένα επικίνδυνο κατώφλι για τη μείωση του όζοντος.

Προς το παρόν, οι συγκεντρώσεις του χλωρίου ξεπερνούν τα 3.7 ppbv και αναμένεται να αυξηθούν στα επόμενα 3-5 χρόνια. Χωρίς το Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ, η συνεχής χρήση των CFC και άλλων καταστρεπτικών για το όζον χημικών ενώσεων, θα είχαν τριπλασιάσει την παρούσα συγκέντρωση της στρατόσφαιρας σε χλώριο και βρώμιο μέχρι τα μέσα του επόμενου αιώ-

να. Τέτοιες αυξήσεις θα είχαν οδηγήσει σε πολύ μεγαλύτερη μείωση του όζοντος, από αυτή που παρατηρείται σήμερα.

Μόνο αν συμμορφωθούμε με το Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ, την τροποποίηση του Λονδίνου και τις μεταρρυθμίσεις στην Κοπεγχάγη, θα αποτρέψουμε το γεγονός να ξεπεράσουν τα επίπεδα του χλωρίου τα 4 ppbv και θα διασφαλίσουμε τη σταδιακή μείωση του τ στα 2 ppbv στα μέσα του επόμενου αιώνα, θα πρέπει να τονίσουμε, ότι ο αναμενόμενος επανασχηματισμός του όζοντος δεν θα ήταν εφικτός χωρίς το Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ και τις τροποποιήσεις του (βλ.σχήμα 2.41).



ΣΧΗΜΑ 2.41 ΟΙ ΜΕΤΡΟΥΜΕΝΕΣ ΙΣΟΔΥΝΑΜΕΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ ΧΛΩΡΙΟΥ ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ (ΑΠΟ ΤΟ 1960) ΚΑΙ ΟΙ ΠΡΟΒΟΛΕΣ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΑ ΔΙΑΦΟΡΑ ΜΕΤΡΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟ ΤΩΝ CFCs ΚΑΙ ΑΛΛΩΝ ΥΠΟΚΑΤΑΣΤΑΤΩΝ ΠΟΥ ΜΕΙΩΝΟΥΝ ΤΟ ΟΖΟΝ. ΟΙ ΑΡΙΘΜΟΙ ΣΤΗΝ ΚΑΤΩ ΓΡΑΜΜΗ ΥΠΟΔΕΙΚΝΟΥΟΥΝ ΤΗΝ ΠΡΟΒΛΕΠΟΜΕΝΗ ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΜΕΙΩΣΗ ΤΟΥ ΟΖΟΝΤΟΣ ΑΝΑ ΔΕΚΑΕΤΙΑ ΑΝ ΟΙ ΟΡΟΙ ΤΟΥ ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΟΥ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟΥ ΤΟΥ ΜΟΝΤΡΕΑΛ ΛΗΦΘΟΥΝ ΥΠΟΨΗ.

Όσοι λαμβάνουν τις σχετικές αποφάσεις, θα πρέπει να είναι έγκυρα πληροφορημένοι σχετικά με την κατάσταση του στρώματος του όζοντος. Για να παρέχουμε τις πληροφορίες αυτές θα πρέπει

το GO₃OS να διατηρηθεί και να βελτιωθεί κατά πολύ στον επόμενο αιώνα. Το ίδιο ισχύει και για ολόκληρο το Global Atmosphere Watch (GAW), το οποίο ελέγχει άλλα χημικά συστατικά της ατμόσφαιρας τόσο από το έδαφος όσο και από το διάστημα. Μόνο οι κοινές προσπάθειες των Εθνικών Μετεωρολογικών Υπηρεσιών και των Περιβαλλοντικών Οργανισμών, συντονισμένες από τον WMO και την UNEP, είναι δυνατό να προμηθεύσουν τους επιστήμονες με τα απαραίτητα δεδομένα. Έπειτα αυτοί μπορούν να προχωρήσουν σε πιο ακριβείς εκτιμήσεις και προβλέψεις, που είναι απαραίτητες, ώστε να ληφθούν τα απαραίτητα μέτρα για την προστασία του περιβάλλοντος σε ολόκληρο τον πλανήτη. Όπως η UNEP καλείται να συντονίσει τις διεθνείς διαπραγματεύσεις για την προστασία του περιβάλλοντος, έτσι και ο WMO καλείται να ανταπεξέλθει στις αυξημένες υποχρεώσεις, που αφορούν στον έλεγχο και στη μελέτη του όζοντος και άλλων ρυπαντών της ατμόσφαιρας. Για να αντιμετωπιστούν αυτές οι προκλήσεις, ο WMO και η UNEP θα χρειαστεί να συνεργαστούν ακόμη πιο στενά μεταξύ τους αλλά και με τα Μέλη τους και άλλους Εθνικούς και Διεθνείς Οργανισμούς. Μέσω αυτής της συνεργασίας ο WMO και η UNEP θα μπορέσουν να ανταπεξέλθουν στις υποχρεώσεις τους και να παρέχουν τη βάση για συντονισμένη Διεθνή Δράση για την προστασία της ατμόσφαιρας. Αξιολογώντας και προβλέποντας την έκταση των ανθρώπινων επιβλαβών επιδράσεων, θα μπορέσουν να προειδοποιήσουν για τον κίνδυνο. Όπως ήδη αναφέραμε, είναι απαραίτητη η συνεργασία μεταξύ των επιστημόνων, των κυβερνήσεων και της βιομηχανίας για την αποτελεσματική προστασία του στρώματος του όζοντος.

3. Η ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

3.1 Η ηλιακή ακτινοβολία

Η ηλιακή ακτινοβολία αποτελεί μια αστείρευτη ενεργειακή πηγή του πλανήτη μας, καθώς ανά πάσα χρονική στιγμή περίπου 173.000 TW ηλιακής ισχύος διασχίζουν τα όρια της γήινης ατμόσφαιρας. Παράλληλα, η ηλιακή ενέργεια είναι η πλέον αξιοποιούμενη από τις Ήπιες Μορφές Ενέργειας στον τομέα κάλυψης των θερμικών αναγκών, ενώ η αντίστοιχη τεχνολογία εξελίσσεται συνεχώς επιδιώκοντας να καταστεί πλήρως ανταγωνιστική των συμβατικών πηγών ενέργειας.

Για τη μελέτη και αποδοτική λειτουργία ενός οποιουδήποτε ηλιακού συστήματος είναι απαραίτητη η γνώση της διαδικασίας μέτρησης και υπολογισμού της διαθέσιμης ηλιακής ενέργειας, μέσω του προσδιορισμού της προσπίπτουσας σε μια επιφάνεια ακτινοβολίας, συνυπολογίζοντας την κλίση και τον προσανατολισμό αυτής καθώς και το χρόνο και τον τόπο της μελέτης. Το θέμα του προσδιορισμού της διαθέσιμης ηλιακής ενέργειας είναι άκρως επίκαιρο για την περίπτωση της χώρας μας, η οποία εμφανίζει υψηλή ηλιοφάνεια σε όλη τη διάρκεια του έτους, καθιστώντας τις εφαρμογές της ηλιακής ενέργειας ιδιαίτερα αποδοτικές και οικονομικά συμφέρουσες.

Η ηλιακή ενέργεια μεταφέρεται με την ηλιακή ακτινοβολία από τον ήλιο, ο οποίος βρίσκεται σε μια μέση απόσταση $149,6 \cdot 10^6$ km (το μήκος αυτό αντιστοιχεί σε μία αστρονομική μονάδα, 1AU) από τη γη. Η ετήσια μεταβολή της απόστασης ήλιου-γης, λόγω της ελλειπτικής μορφής της τροχιάς της γης γύρω από τον ήλιο είναι $\pm 1,7\%$ και επαναλαμβάνεται με μικρές μεταβολές από χρόνο σε χρόνο. Η αντίστοιχη διακύμανση της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στην επιφάνεια του πλανήτη μας εκτιμάται στα επίπεδα του $\pm 3,4\%$.

Από υφιστάμενες αναλύσεις υπολογίζεται ότι ο ήλιος εκπέμπει ενέργεια (ανά μονάδα χρόνου) υπό μορφή ακτινοβολίας ισχύος $3,72 \cdot 10^{23}$ kW. Η ποσότητα εκπεμπόμενης ενέργειας, ανά μονάδα χρόνου, που φτάνει σε μια μοναδιαία επιφάνεια κάθετη στη διεύθυνση της ακτινοβολίας, στη μέση ετήσια απόσταση γης-ήλιου, ονομάζεται ηλιακή σταθερά, " G_{sc} " και ισούται με 1367 W/m^2 . Η ηλιακή ακτινοβολία κατανέμεται σε ένα ευρύ φάσμα μήκους κύματος, δηλαδή από 2500 έως 40000 Angstrom (ενώ ισχύει $1 \text{ Angstrom} = 10^{-10} \text{ m}$). Η φασματική κατανομή της ηλιακής ακτινοβολίας έξω από την ατμόσφαιρα παρουσιάζεται στο σχήμα [3.1].

Σύμφωνα με τις πλέον σύγχρονες αναλύσεις, το μεγαλύτερο μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας βρίσκεται στα μικρά μήκη κύματος, δηλαδή έως τα 3 με 4 μm . Συνεπώς, ακτινοβολία μεγαλύτερη των 4 μm ονομάζεται ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος. Από τα διαθέσιμα στοιχεία προκύπτει ότι το 99% της ηλιακής ενέργειας περιλαμβάνεται σε μήκη κύματος από 0.25 έως 4 μm . Στο ορατό τμήμα της ακτινοβολίας (0.39÷0.77 μm) περιέχεται το 46.41% της ενέργειας, ενώ στο υπεριώδες (μήκος κύματος <0.4 μm) περιέχεται το 8.03%. Τέλος η φασματική περιοχή του ηλιακού φωτός με μήκος κύματος >0.77 μm περιέχει το υπόλοιπο 45.56% της ενέργειας της προσπίπτουσας ακτινοβολίας.

Η ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στην επιφάνεια της γης, χωρίζεται σε **άμεση** και **διάχυτη**, ενώ το άθροισμα αυτών είναι η **ολική** ακτινοβολία. Η ηλιακή ακτινοβολία συμβολίζεται με " G " σε (W/m^2) όταν έχουμε στιγμιαία ένταση. Αντίστοιχα με " I " σε (J/m^2) περιγράφεται η ωριαία ποσότητα ηλιακής ενέργειας, ενώ με " H " σε (J/m^2) συμβολίζεται η ημερήσια ή μηνιαία ηλιακή ενέργεια.

Άμεση ακτινοβολία καλείται η ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει κατ' ευθείαν στην επιφάνεια της γης χωρίς σκέδαση κατά τη διαδρομή της μέσα στην ατμόσφαιρα και συμβολίζεται με το δείκτη " b ", (π.χ. " G_b " ή " I_b ," κ.λπ.). Από τις υφιστάμενες αναλύσεις η αριθμητική τιμή της άμεσης ακτινοβολίας εξαρτάται από την απόσταση ήλιου-γης, την ηλιακή απόκλιση " δ ", το ηλιακό ύψος " α ", το γεωγραφικό πλάτος του τόπου " ϕ ", το υψόμετρο του τόπου " Z ", την κλίση του εδάφους καθώς και την απορρόφηση και διάχυση της ηλιακής ακτινοβολίας μέσα στην ατμόσφαιρα.

Διάχυτη ακτινοβολία καλείται η ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στην επιφάνεια της γης αφού έχει αλλάξει η διεύθυνση της λόγω ανάκλασης ή σκέδασης μέσα στην ατμόσφαιρα. Το τμήμα αυτό της διάχυτης ακτινοβολίας συμβολίζεται με δείκτη " s ", π.χ. " I_s " σε (J/m^2). Το υπόλοιπο της διάχυτης ακτινοβολίας προέρχεται από ανάκλαση στην επιφάνεια της γης και συμβολίζεται με δείκτη " r ", π.χ. " I_r " σε (J/m^2) κ.λπ. Η συνολική διάχυτη ακτινοβολία, είναι το άθροισμα των επιμέρους " I_s " και " I_r " και περιγράφεται με το δείκτη " d " (π.χ. " G_d ή " I_d " κ.λπ.). Η διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία εξαρτάται από το ηλιακό ύψος, το υψόμετρο του τόπου, τη λευκαύγεια του εδάφους, το ποσό και το είδος των νεφών, καθώς και από την παρουσία των σωματιδίων και αερίων που υπάρχουν στην ατμόσφαιρα.

Τέλος, η **ολική** ακτινοβολία είναι το άθροισμα της άμεσης και της διάχυτης ακτινοβολίας και συμβολίζεται με "G" ή "I" ή "H". Για παράδειγμα σε μια οριζόντια επιφάνεια η ωριαία ηλιακή ακτινοβολία θα δίνεται από τη σχέση:

$$I = I_b + I_d, \quad (3.1)$$

Αντίστοιχες εξισώσεις ισχύουν για στιγμιαίες ή ημερήσιες τιμές.

ΕΙΚΟΝΑ 3.2 ΕΛΛΕΙΠΤΙΚΗ ΤΡΟΧΙΑ ΤΗΣ ΓΗΣ ΓΥΡΩ ΑΠΟ ΤΟΝ ΗΛΙΟ

Από την υφιστάμενη εμπειρία είναι γνωστό ότι όσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση που διανύει μια ηλιακή ακτίνα μέσα στην ατμόσφαιρα τόσο μικρότερο είναι το ποσό της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στην επιφάνεια της γης. Αντίστοιχα όσο πιο κάθετα προσπίπτει η ηλιακή ακτινοβολία πάνω σε μια επιφάνεια τόσο μεγαλύτερη είναι η ένταση της.

3.2 Βασικές θεωρητικές σχέσεις

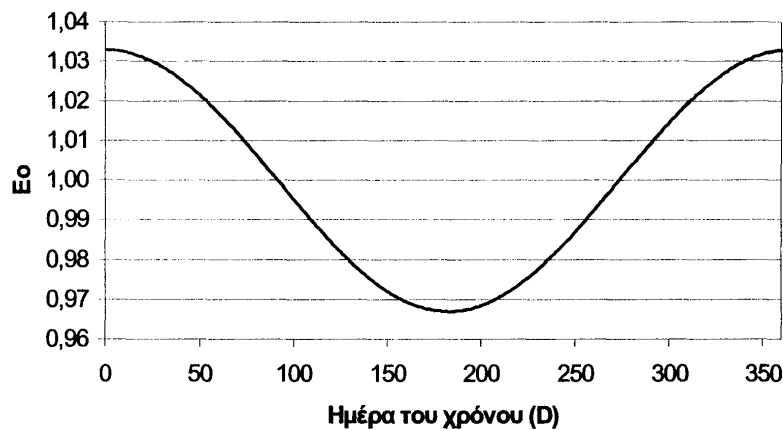
Η τροχιά περιστροφής της γης γύρω από τον ήλιο είναι ελλειπτική με μικρή εκκεντρότητα, όπως φαίνεται στο σχήμα [3.2]. Το αποτέλεσμα της μεταβολής της απόστασης ήλιου-γης είναι όπως προαναφέρθηκε η διακύμανση της ποσότητας της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει ετησίως στην επιφάνεια της γης κατά $\pm 3.4\%$.

Λόγω εκκεντρότητας της γης ορίζεται ο διορθωτικός συντελεστής "E_o" ο οποίος υπολογίζεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$E_o = 1 + 0.033 \cdot \sin(360 \cdot D / 365) \quad (3.2)$$

όπου "D" είναι η Ιουλιανή μέρα του χρόνου.

Στο σχήμα [3.3] παρουσιάζεται η μεταβολή του διορθωτικού συντελεστή "E_o" λόγω της εκκεντρότητας της γης σε συνάρτηση με την ημέρα του χρόνου D, μετά από την εφαρμογή της εξίσωσης (3.2).



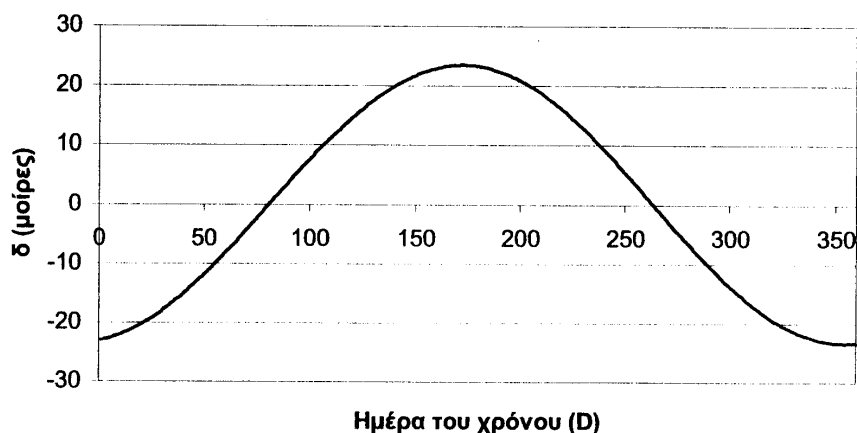
ΣΧΗΜΑ 3.3 ΔΙΟΡΘΩΤΙΚΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΛΟΓΩ ΕΚΚΕΝΤΡΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΓΗΣ

Οι εποχιακές αλλαγές της ηλιακής ακτινοβολίας οφείλονται στη γωνία που σχηματίζει ο άξονας της γης με τον κάθετο στην ελλειπτική τροχιά της άξονα. Αν και η γωνία είναι σταθερή, η περιστροφή της γης γύρω από τον ήλιο δημιουργεί μεταβολή στη γωνία που σχηματίζεται μεταξύ της ευθείας που ενώνει τα κέντρα της γης-ήλιου με το ελλειπτικό επίπεδο, μεταβάλλοντας τη γωνιακή θέση του ήλιου σε σχέση με το επίπεδο του ισημερινού κατά το ηλιακό μεσημέρι. Η γωνία αυτή καλείται ηλιακή απόκλιση, συμβολίζεται με "δ" και μεταβάλλεται από 23.5° (θερινό ηλιοστάσιο) μέχρι -23.5° (χειμερινό ηλιοστάσιο).

Στην παρούσα εφαρμογή ο υπολογισμός της ηλιακής απόκλισης βασίζεται στην ανάλυση του "Cooper", δηλαδή:

$$\delta = 23.45 \cdot \eta\mu[360 \cdot (D+284)/365] \quad (3.3)$$

Στο σχήμα [3.4] παρουσιάζεται η μεταβολή της ηλιακής απόκλισης σε συνάρτηση με την ημέρα του χρόνου "D", όπως προκύπτει από την εξίσωση (3.3).



ΣΧΗΜΑ 3.4 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΠΟΚΛΙΣΗΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΗΜΕΡΑΣ ΧΡΟΝΟΥ

Λόγω της περιστροφής της γης κατά 15° την ώρα γύρω από τον άξονα της, προκαλούνται ημερήσιες μεταβολές στα επίπεδα τιμών της ηλιακής ακτινοβολίας. Για τους απαραίτητους υπολογισμούς των γεωμετρικών παραμέτρων που σχετίζονται με την ηλιακή ακτινοβολία, χρησιμοποιείται ο πραγματικός **ηλιακός χρόνος**. Ο τοπικός χρόνος κάθε περιοχής βασίζεται σε σταθερό μεσημβρινό. Για το λόγο αυτό, ο ηλιακός χρόνος δε συμπίπτει πάντοτε με τον τοπικό χρόνο, υπολογίζεται δε από τη σχέση:

$$HX = TX \pm 4 \cdot (L_{\sigma\tau} - L_{\tau}) + E_t \quad (3.4)$$

όπου το (+) αναφέρεται στο δυτικό ημισφαίριο και (-) στο ανατολικό ημισφαίριο, " $L_{\sigma\tau}$ " είναι ο μεσημβρινός στον οποίο αναφέρεται η τοπική ώρα και " L_{τ} " είναι ο τοπικός μεσημβρινός.

Επειδή η πλήρης περιστροφή της γης δεν πραγματοποιείται ακριβώς σε 24 ώρες εξαρτώμενη από την εποχή του έτους, η απαραίτητη διορθωτική εξίσωση του χρόνου E_t υπολογίζεται (σε min) από τη σχέση του "Watt":

$$E_t = 9.87 \cdot \eta\mu(2B) - 7.53 \cdot \sigma\upsilon\nu(B) - 1.5 \cdot \eta\mu(B) \quad (3.5)$$

$$\text{όπου: } B = [360 \cdot (D - 81) / 364] \quad (3.6)$$

βλέπε και σχήμα [3.5]. Τέλος είναι σκόπιμο να ληφθεί υπόψιν και η χρησιμοποίηση ή μη της θερινής-χειμερινής ώρας.

ΣΧΗΜΑ 3.5 ΕΞΙΣΩΣΗ ΧΡΟΝΟΥ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΤΗΣ ΗΜΕΡΑΣ ΤΟΥ ΕΤΟΥΣ

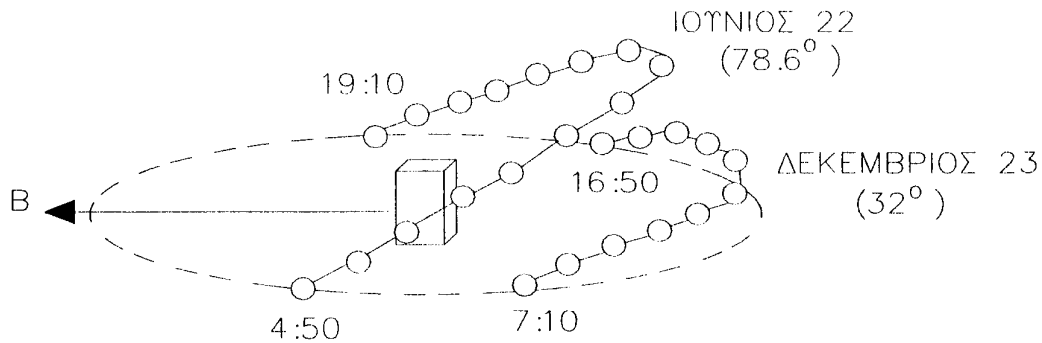
Ο νοητός άξονας που τέμνει κάθετα τον ορίζοντα μιας περιοχής και που εκτείνεται μέχρι τον ουράνιο θόλο, ονομάζεται τοπικό **ζενίθ**. Η γωνία μεταξύ του τοπικού ζενίθ και της ευθείας που ενώνει τη θέση του παρατηρητή ή μιας επιφάνειας με τον ήλιο καλείται **ζενιθιακή γωνία " θ_z "**, σχήμα [3.6]. Η γωνία αυτή παίρνει τιμές μεταξύ 0° - 90° .

Το **ηλιακό ύψος " α "**, είναι η γωνία που σχηματίζει ο ορίζοντας με την ευθεία που ενώνει τον ήλιο με τον παρατηρητή ή μια επιφάνεια. Η γωνία " α " είναι συμπληρωματική της ζενιθιακής γωνίας και ως εκ τούτου παίρνει τιμές μεταξύ 0° και 90° . Όπως είναι φυσικό οι τιμές του ηλιακού ύψους μεταβάλλονται κατά τη διάρκεια του έτους. Πιο συγκεκριμένα, κατά τη διάρκεια του

καλοκαιριού ο ήλιος εμφανίζεται να έχει μεγαλύτερο ύψος σε σχέση με τον ορίζοντα, οπότε και η τιμή της παραμέτρου " α " είναι σχετικά υψηλή ($\approx 70^\circ$), σχήμα [3.7]. Αντίστοιχα, κατά το χειμώνα η ημερήσια πορεία του ήλιου σε σχέση με τον ορίζοντα είναι χαμηλή, οπότε και οι τιμές του ηλιακού ύψους είναι σχετικά μικρές ($\approx 35^\circ$). Η εξήγηση των διαφορετικών αυτών τιμών αποδίδεται στη μετατόπιση του άξονα περιστροφής της γης σε σχέση με το επίπεδο πάνω στο οποίο αυτή περιστρέφεται γύρω από τον ήλιο, δηλαδή την ηλιακή απόκλιση (βλέπε και σχήμα [3.2]). Στο σχήμα [3.7] παρουσιάζεται η "ημερήσια πορεία" του ήλιου σε σχέση με τη γη για δύο τυπικές ημέρες του χειμώνα και του καλοκαιριού στο βόρειο ημισφαίριο και σε γεωγραφικό πλάτος ανάλογο αυτού της χώρας μας ($\approx 37^\circ$).

Η αζιμούθια γωνία " γ ", είναι η γωνία μεταξύ του τοπικού μεσημβρινού (νότος) και της προβολής της καθέτου ευθείας μιας επιφάνειας πάνω στον ορίζοντα. Η αζιμούθια γωνία μιας επιφάνειας καθορίζει τον προσανατολισμό της. Αντίστοιχα η **ηλιακή αζιμούθια γωνία " γ_s "**, είναι η γωνία μεταξύ του επιπέδου του μεσημβρινού (νότος) του παρατηρητή και του επιπέδου, που ορίζεται από τον κύκλο που περνάει από το τοπικό ζενίθ και τον ήλιο. Οι τιμές των αζιμούθιων γωνιών είναι 0° - 180° , με αρνητικές τιμές στα ανατολικά, θετικές τιμές στα δυτικά και σημείο αναφοράς των μετρήσεων το νότο, σχήμα [3.6].

ΣΧΗΜΑ 3.6 ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΘΕΣΗΣ ΗΛΙΟΥ-ΚΕΚΛΙΜΕΝΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ



ΣΧΗΜΑ 3.7 ΤΥΠΙΚΗ ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΠΟΡΕΙΑ ΤΟΥ ΗΛΙΟΥ

Η ωριαία γωνία απόκλισης του ήλιου " ω ", μετριέται στους πόλους του θόλου μεταξύ του τοπικού μεσημβρινού (νότος) του παρατηρητή και του ηλιακού μεσημβρινού. Η γωνιαία απόκλιση του ήλιου ανατολικά ή δυτικά του τοπικού μεσημβρινού, εξ' αιτίας της περιστροφής της γης εκφράζεται με την ωριαία γωνία " ω ". Η γωνία αυτή μεταβάλλεται κατά 15° ανά ώρα, με αρνητικές τιμές το πρωί, θετικές το απόγευμα και μηδέν κατά τη μεσημβρία.

Στη συνέχεια συγκεντρώνονται οι μαθηματικές σχέσεις που συνδέουν όλες τις γεωμετρικές παραμέτρους για μια δοσμένη οριζόντια επιφάνεια. Αξίζει να διευκρινισθεί ότι " ϕ " είναι το γεωγραφικό πλάτος της εκάστοτε περιοχής, με θετικές τιμές για τις περιοχές του βόρειου ημισφαιρίου.

$$\omega = 15^\circ \cdot (\text{HX} - 12:00) \quad (3.7)$$

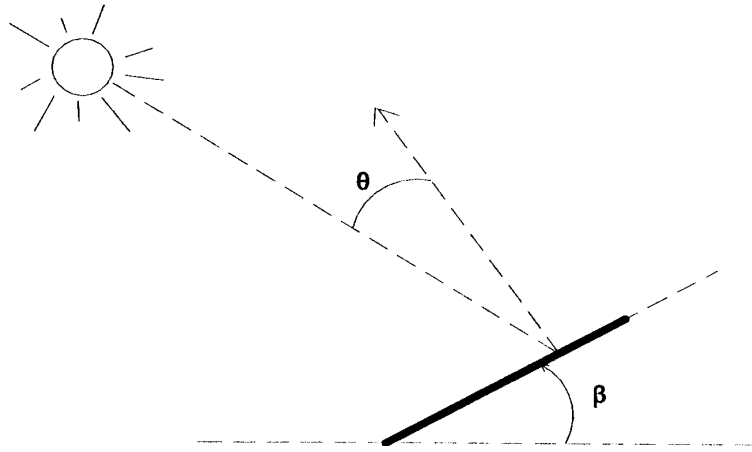
$$\sin \theta_z = (\eta \mu \delta \cdot \eta \mu \phi) + (\sin \delta \cdot \sin \phi \cdot \sin \omega) = \eta \mu \alpha \quad (3.8)$$

$$\sin \gamma = (\eta \mu \alpha \cdot \eta \mu \phi - \eta \mu \delta) / (\sin \alpha \cdot \sin \phi) \quad (3.9)$$

$$\eta \mu \gamma = (\sin \delta \cdot \eta \mu \omega) / \sin \alpha \quad (3.10)$$

Η γωνία κλίσης " β " μιας επιφάνειας σε σχέση με τον ορίζοντα, είναι μια ακόμα σημαντική παράμετρος για τους υπολογισμούς της ηλιακής ακτινοβολίας, σχήμα [3.6].

Η γωνία πρόσπτωσης " θ ", είναι η γωνία που σχηματίζεται από την ευθεία που ενώνει ένα σημείο μιας κεκλιμένης επιφάνειας με τον ήλιο και από την κάθετη ευθεία στην κεκλιμένη επιφάνεια, σχήμα [3.8]. Η αντίστοιχη γωνία πρόσπτωσης για μια οριζόντια επιφάνεια είναι η ζενιθιακή γωνία.



ΣΧΗΜΑ 3.8 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΓΩΝΙΩΝ ΚΛΙΣΗΣ-ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ

Για κεκλιμένες επιφάνειες με νότιο προσανατολισμό, δηλαδή " $\gamma=0$ " και με κλίση επιφάνειας " β ", η γωνία πρόσπτωσης υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$\text{συν}\theta = (\text{συν}\delta \cdot \text{συν}\omega \cdot \text{συν}(\varphi - \beta)) + (\eta\mu\delta \cdot \eta\mu(\varphi - \beta)) \quad (3.11)$$

Στη γενικότερη περίπτωση, για κεκλιμένες επιφάνειες με τυχαίο προσανατολισμό γ (ή και με κλίση επιφάνειας " β "), ισχύει η ακόλουθη εξίσωση:

$$\begin{aligned} \text{συν}\theta = & \eta\mu\delta \cdot \eta\mu\varphi \cdot \text{συν}\beta - \eta\mu\delta \cdot \text{συν}\varphi \cdot \eta\mu\beta \cdot \text{συν}\gamma + \\ & + \text{συν}\delta \cdot \text{συν}\varphi \cdot \text{συν}\beta \cdot \text{συν}\omega + \text{συν}\delta \cdot \eta\mu\varphi \cdot \eta\mu\beta \cdot \text{συν}\gamma \cdot \text{συν}\omega + \\ & + \text{συν}\delta \cdot \eta\mu\beta \cdot \eta\mu\gamma \cdot \eta\mu\omega \end{aligned} \quad (3.12)$$

Η ηλιακή ακτινοβολία " G_{on} " (W/m^2) που δέχεται μια επιφάνεια κάθετη στις ηλιακές ακτίνες στο όριο της ατμόσφαιρας, εξαρτάται από την απόσταση γης-ήλιου και υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$G_{\text{on}} = G_{\text{sc}} \cdot E_0 \quad (3.13)$$

όπου " G_{sc} " η ηλιακή σταθερά ίση με $1367 \text{ W}/\text{m}^2$ και " E_0 " ο διορθωτικός συντελεστής απόστασης γης-ήλιου που δίνεται από την εξίσωση (3.2) και το σχήμα [3.3].

Η αντίστοιχη εξίσωση ηλιακής ακτινοβολίας " G_0 " σε (W/m^2) για μια οριζόντια επιφάνεια στα όρια της ατμόσφαιρας, δίνεται από την εξίσωση:

$$G_0 = G_{\text{sc}} \cdot E_0 \cdot \text{συν}\theta_z = G_{\text{sc}} \cdot E_0 \cdot ((\eta\mu\varphi \cdot \eta\mu\delta) + (\text{συν}\varphi \cdot \text{συν}\delta \cdot \text{συν}\omega)) \quad (3.14)$$

Ολοκληρώνοντας τις στιγμιαίες τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας " G_0 " για μια ορισμένη χρονική περίοδο (π.χ. από την ανατολή έως τη δύση του ηλίου), υπολογίζεται η κατάλληλη (π.χ. ημερήσια) τιμή της ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο στο όριο της ατμόσφαιρας. Για τον προσδιορισμό της αντίστοιχης τιμής σε κεκλιμένο επίπεδο χρησιμοποιούνται οι γεωμετρικές παράμετροι που συνδέονται με την κλίση και τον προσανατολισμό της επιφάνειας.

3.3 Ηλιακή ακτινοβολία σε κεκλιμένο επίπεδο

Η άμεση ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο " I_b " συνδέεται με την αντίστοιχη ακτινοβολία σε κεκλιμένο επίπεδο " $I_{b,\beta}$ ", μέσω του **γεωμετρικού παράγοντα " r_b "**, που δίνεται από την εξίσωση:

$$r_b = I_{b,\beta} / I_b = I_{bn} \cdot \text{συν}\theta / I_{bn} \cdot \text{συν}\theta_z = \text{συν}\theta / \text{συν}\theta_z \quad (3.15)$$

Για κεκλιμένη επιφάνεια με νότιο προσανατολισμό το " r_b " δίνεται από την εξίσωση (3.16)

$$r_b = [(\text{συν}(\varphi-\beta) \cdot \text{συν}\delta \cdot \text{συν}\omega) + (\eta\mu(\varphi-\beta) \cdot \eta\mu\delta)] / [(\text{συν}\varphi \cdot \text{συν}\delta \cdot \text{συν}\omega) + (\eta\mu\varphi \cdot \eta\mu\delta)] \quad (3.16)$$

Ομοίως για κεκλιμένες επιφάνειες με τυχαίο προσανατολισμό χρησιμοποιείται η εξίσωση (3.12).

Ακολουθώντας για τον προσδιορισμό της διάχυτης ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο βάσει των τιμών της διάχυτης και ολικής στο οριζόντιο επίπεδο, χρησιμοποιείται το **ισοτροπικό μοντέλο**.

Πιο συγκεκριμένα, η ανακλώμενη από το έδαφος ακτινοβολία υπολογίζεται βάσει του ισοτροπικού μοντέλου υποθέτοντας ότι η διάχυτη ακτινοβολία είναι ισοτροπική. Η ανακλώμενη διάχυτη ακτινοβολία " I_r " υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$I_r = 0.5 \cdot I_p \cdot (1 - \text{συν}\beta) \quad (3.17)$$

όπου " ρ " είναι η αντανάκλαστικότητα του εδάφους (π.χ. $\rho=0.2$ για έδαφος και $\rho=0.7$ για χιόνι).

Για τη διάχυτη συνιστώσα της ακτινοβολίας " I_s ", που προέρχεται από τον ουράνιο θόλο, το ισοτροπικό μοντέλο θεωρεί ότι προέρχεται ομοιόμορφα από τον ουράνιο θόλο και υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$I_s = 0.5 \cdot I_d \cdot (1 + \text{συν}\beta) \quad (3.18)$$

Συνεπώς η συνολική διάχυτη ακτινοβολία σε μια κεκλιμένη επιφάνεια, " $I_{d,\beta}$ " είναι το άθροισμα των επιμέρους συνιστωσών και υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$I_{d,\beta} = I_s + I_r \quad (3.19)$$

Συμπερασματικά, η ολική ακτινοβολία σε κεκλιμένο επίπεδο υπολογίζεται κατά προσέγγιση από την εξίσωση:

$$I_\beta = I_{b,\beta} + I_{s,\beta} + I_{r,\beta} = I_b \cdot r_b + 0.5 \cdot I_d \cdot (1 + \text{συν}\beta) + 0.5 \cdot I_p \cdot (1 - \text{συν}\beta) \quad (3.20)$$

3.4 Μέτρηση ηλιακής ακτινοβολίας

Η πλέον αξιόπιστη εκτίμηση των τιμών της ηλιακής ακτινοβολίας σε μια περιοχή βασίζεται σε πειραματικές μετρήσεις μέσω κατάλληλων οργάνων. Για τη μέτρηση της άμεσης ακτινοβολίας I_{bn} χρησιμοποιείται το **πυρηλιόμετρο**. Το πυρηλιόμετρο προσο-μοιώνει ένα σύστημα περιορισμένης δέσμης και διαθέτει έναν αισθητήρα που βρίσκεται στο βάθος κατάλληλου σωλήνα με άνοιγμα περίπου 5° στο ένα άκρο του. Ο σωλήνας αυτός επιτρέπει τη διέλευση μόνο της άμεσης

ακτινοβολίας στον αισθητήρα. Το πυρηλιόμετρο μετακινείται με τη βοήθεια μιας ηλεκτρονικής βάσης, η οποία παρέχει τη δυνατότητα προσαρμογής της θέσης του σωλήνα στην τροχιά του ήλιου, με αποτέλεσμα ο ηλιακός δίσκος να είναι πάντοτε ορατός μέσα από το σωλήνα. Ο σωλήνας είναι βαμμένος εσωτερικά με μαύρο χρώμα ώστε να απορροφάται η τυχούσα διάχυτη ακτινοβολία πριν αυτή φτάσει στη βάση του σωλήνα.

Αντίστοιχα, η ολική και η διάχυτη ακτινοβολία μετρώνται με τη χρήση του **πυρανομέτρου**. Ένα πυρανόμετρο μετράει την ολική ηλιακή ακτινοβολία του ημισφαιρίου γύρω από το όργανο (ουράνιος θόλος), πάνω από μια οριζόντια ή κεκλιμένη επιφάνεια περιλαμβάνοντας και την ανακλώμενη ηλιακή ακτινοβολία. Το ίδιο όργανο έχει τη δυνατότητα μέτρησης και της διάχυτης ακτινοβολίας αφού σκιαστεί με κατάλληλο δακτύλιο που δεν επιτρέπει την πρόπτωση της άμεσης ακτινοβολίας στον αισθητήρα. Ο δακτύλιος σκίασης πρέπει περιοδικά να ρυθμίζεται ανάλογα με το εκάστοτε ηλιακό ύψος.

4. ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ

ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΑ ΚΤΙΡΙΑ

4.1 Εξοικονόμηση Ενέργειας στον κτιριακό τομέα

Ο οικιακός και τριτογενής τομέας, αποτελούν το μεγαλύτερο καταναλωτή τελικής ενέργειας χρήσης με ποσοστό 39% στην ΕΕ (στοιχεία της Eurostat για το Δεκ. 2008) και με συνεχή αυξητική τάση, η οποία αναμένεται να οδηγήσει σε αυξημένη κατανάλωση ενέργειας στο μέλλον και κατά συνέπεια αυξημένες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα.

Στην Ελλάδα η συμμετοχή του οικιακού και τριτογενή τομέα στη συνολική κατανάλωση τελικής ενέργειας ανέρχεται περίπου στο 24% (στοιχεία Υπουργείου Ανάπτυξης, 2007). Παράλληλα, οι ανάγκες για θέρμανση των κατοικιών ανέρχονται περίπου στο 70% της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης ενώ η κατανάλωση ενέργειας για τις οικιακές συσκευές, το φωτισμό και τον κλιματισμό ανέρχεται στο 18% του συνολικού ενεργειακού ισοζυγίου. Η κατανάλωση ενέργειας στα κτίρια παρουσιάζει αυξητική τάση, λόγω της αύξησης της χρήσης κλιματιστικών και μικροσυσκευών. Παρά τη σημαντική βελτίωση που έχει επιτευχθεί στην ενεργειακή αποδοτικότητα των συσκευών, του εξοπλισμού θέρμανσης-ψύξης και του φωτισμού, τα τελευταία 10 χρόνια, η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας στον οικιακό και στον τριτογενή τομέα αυξάνεται κατά 2% και 3% κάθε έτος, αντιστοίχως.

Ορισμένοι από τους λόγους της αύξησης σχετίζονται με την απαίτηση για βελτιωμένες συνθήκες άνεσης, τη ζήτηση μεγαλύτερων φορτίων για κλιματισμό, υπολογιστές, οπτικοακουστικό εξοπλισμό, μηχανές γραφείου, κτλ. καθώς και στην έλλειψη γνώσης, πληροφόρησης και ενεργειακής συνείδησης.

Η εξοικονόμηση ενέργειας στα κτίρια αποτελεί επιτακτικό στόχο τόσο της Ευρωπαϊκής Ένωσης όσο και κάθε κράτους-μέλους της και δίνεται σαφής προτεραιότητα για την επίτευξή της. Εκτιμάται ότι, σε Ευρωπαϊκό επίπεδο, ως το 2010 μπορεί να επιτευχθεί εξοικονόμηση της τάξης του 22% στην ενέργεια που χρησιμοποιείται για θέρμανση, κλιματισμό, ζεστό νερό και φωτισμό. Η χρήση της ενέργειας για κλιματισμό αναμένεται να διπλασιαστεί ως το 2020, μπορεί όμως να επιτευχθεί 25% εξοικονόμηση από τη χρήση ενεργειακά αποδοτικών συστημάτων κλιματισμού. Ο φωτισμός καταναλώνει το 14% της συνολικής ενέργειας του κτιριακού τομέα. Με τη χρήση πιο αποδοτικών εξαρτημάτων και συστημάτων ελέγχου και με την ενσωμάτωση τεχνικών φυσικού φωτισμού και άλλων τεχνολογιών μπορεί να έχουμε εξοικονόμηση 30-50%. Ο βιοκλιματικός σχεδιασμός, τα

παθητικά και ενεργητικά ηλιακά συστήματα, ο φυσικός φωτισμός και ο φυσικός δροσισμός μπορούν να μειώσουν την ενεργειακή κατανάλωση κατά 60% σε ένα μέσο κτίριο.

Παράλληλα, 10 εκατομμύρια οικιακοί λέβητες στην ΕΕ είναι παλαιότεροι των 20 ετών. Η αντικατάστασή τους μπορεί να εξοικονομήσει 5-10% της ενέργειας θέρμανσης. Τέλος, οι τοπικά διαθέσιμες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, η συμπαραγωγή θερμότητας/ηλεκτρισμού, η τηλεθέρμανση και οι αντλίες θερμότητας έχουν επιπρόσθετο δυναμικό εξοικονόμησης.

Στην Ελλάδα η εξοικονόμηση ενέργειας είναι σημαντική παράμετρος στη διαμόρφωση της εθνικής ενεργειακής πολιτικής, η οποία περιλαμβάνει ως στόχο, μεταξύ άλλων, και τη μείωση των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα από τον κτιριακό τομέα. Σε αυτή την κατεύθυνση έχουν ήδη ληφθεί θεσμικά μέτρα, με πιο πρόσφατο, το Νόμο 3661/2008 (ΦΕΚ 89 Α'), ο οποίος μεταφέρει την Οδηγία 2002/91/EC του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου στο εθνικό δίκαιο. Σκοπός του Νόμου είναι η λήψη μέτρων για τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων. Στο πλαίσιο αυτό προβλέπονται μέτρα και διαδικασίες για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης υφιστάμενων και νεοαναγειρόμενων κτιρίων, ενώ θεσπίζεται και η εφαρμογή του Κανονισμού Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (KENAK).

Στη συνέχεια παρουσιάζονται συνοπτικά οι παρεμβάσεις που εφαρμόζονται στα κτίρια με στόχο την εξοικονόμηση ενέργειας και τη βελτίωση της αποδοτικότητας αυτών, ανάλογα με την μορφή της καταναλισκόμενης ενέργειας.

Ηλεκτρισμός

Θέρμανση/Κλιματισμός

Βιοκλιματικός Σχεδιασμός

Θερμομόνωση κτιριακού κελύφους

Ηλιασμός

Παθητικά Ηλιακά Συστήματα Θέρμανσης

Φυσικός δροσισμός

Ορθολογική Χρήση Ενέργειας

Εξοπλισμός: Σύστημα κλιματισμού μεταβλητού όγκου αέρα (Variable Air Volume – VAV)

Φωτισμός

Φυσικός Φωτισμός

Τεχνητός Φωτισμός

Ηλεκτρικές Συσκευές

Ενεργειακή Διαχείριση

Συνολικές Επεμβάσεις

Συμβατικά καύσιμα

Θέρμανση

Βιοκλιματικός Σχεδιασμός

Θερμομόνωση κτιριακού κελύφους

Ηλιασμός

Παθητικά Ηλιακά Συστήματα

Ορθολογική Χρήση Ενέργειας

Εξοπλισμός: Αντλίες Θερμότητας

Ενεργειακή Διαχείριση Κτιρίων

Επεμβάσεις σε υφιστάμενα κτίρια

Σημαντική αναμένεται να είναι η συμβολή της ηλιακής ενέργειας ως προς τον στόχο της Ελλάδας για την κάλυψη του 12% της συνολικής ενέργειας από ΑΠΕ το 2010. Εκτιμάται ότι για την επίτευξη του στόχου αυτού θα πρέπει να εγκατασταθούν περί τα 11 εκατ. m² θερμικοί συλλέκτες και τουλάχιστον 15 MW φωτοβολταϊκά. Εκτιμώντας την ενεργειακή πολιτική της χώρας μας, οι κρατικές προτεραιότητες διοχετεύουν τις κρατικές επενδύσεις σε άλλες - εκτός των ηλιακών - τεχνολογίες παραγωγής ενέργειας. Έτσι, έχει ενδιαφέρον η στροφή του καταναλωτικού ενδιαφέροντος στις συσκευές αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας και ιδιαίτερα στα φωτοβολταϊκά, τη στιγμή μάλιστα που παρατηρείται και μείωση του κόστους επένδυσής των σε σχέση με την βελτίωση της ποιότητας κατασκευής τους. Επί πλέον, η τιμή του πετρελαίου διαρκώς αυξάνεται, ζήτημα που καθιστά την αγορά της kWh όλο και ακριβότερη, έτσι ώστε το βασικότερο ανταγωνιστικό πλεονέκτημα της φθηνής πετρελαϊκής kWh, έναντι της ηλιακής kWh, να περιορίζεται σημαντικά. Επιπρόσθετα, έχουν τεθεί σε ισχύ νέες Κοινοτικές Οδηγίες σχετικά με την υποχρέωση ενεργειακής εξοικονόμησης στα νεόδμητα κτίρια. Στις 22 Ιουνίου 2005, παρουσιάστηκε από την Ευρωπαϊκή Ένωση η Πράσινη Βίβλος «για την ενεργειακή απόδοση ή πώς να καταναλώνει κανείς καλύτερα με λιγότερα», η οποία σε συνδυασμό με την Πράσινη Βίβλο του 2000 περί της ασφάλειας ενεργειακού εφοδιασμού, θέτουν τις βάσεις για μια νέα ενεργειακή πολιτική εκ μέρους της Ευρωπαϊκής Ένωσης η οποία «απαντά» στους στόχους της “agenda” της Λισσαβόνας και στις ανησυχίες των φιλοπεριβαλλοντικών διεθνών Πρωτοκόλλων και Συμβάσεων.

ΠΡΑΣΙΝΗ ΒΙΒΛΟΣ ΚΑΙ ΕΥΡΩΠΑΪΚΕΣ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΕΙΣ

Η νέα Πράσινη Βίβλος για την Ενεργειακή Απόδοση αποτελεί την έναρξη της προσπάθειας της Ευρωπαϊκής Ένωσης για μια νέα ευρωπαϊκή πολιτική σχετική με τη βελτιστοποίηση της ενεργειακής απόδοσης, την κατά το δυνατόν εξοικονόμηση ενέργειας και τον προσανατολισμό της κατανάλωσης ενεργειακών προϊόντων περιβαλλοντικά φιλικών, στην κατεύθυνση της αειφόρου ανάπτυξης που ορίζουν οι διεθνείς συμβάσεις και πρωτόκολλα.

Η Πράσινη Βίβλος υιοθετεί ένα μοντέλο ενεργειακής ανάπτυξης το οποίο μέλλει να αλλάξει άρδην το ενεργειακό σκηνικό ίσως όλου του πλανήτη, δεδομένου ότι μακροπρόθεσμος στόχος της Ένωσης είναι όχι μόνο η μεταστροφή της νοοτροπίας των Ευρωπαίων πολιτών από την ενεργοβόρο κατανάλωση που διέπει τις δράσεις τους σε μια φιλοπεριβαλλοντική δραστηριοποίηση με έμφαση στις τεχνολογίες και στις δράσεις εξοικονόμησης ενέργειας, αλλά επίσης η έναρξη ενός διεθνούς διαλόγου επί του θέματος των «οικονομιών ενέργειας». Μέσω της συγκεκριμένης Βίβλου ειδικότερα, η Ένωση έθεσε στις 22 Ιουνίου 2005 τις πρώτες βάσεις σχετικού προβληματισμού, καθώς επίσης και 25 ερωτήματα προς Δημόσια Διαβούλευση. Η Διαβούλευση θα παραμείνει ανοιχτή έως τις 31 Μαρτίου 2006 και τα αποτελέσματά της θα επεξεργασθούν εμπειρογνώμονες για τη διαμόρφωση του ακόλουθου Σχεδίου Δράσης και την επικείμενη εφαρμογή του.

Με στόχο η Ευρωπαϊκή Ένωση να αποτελέσει έως το έτος 2020, την οικονομία τη λιγότερο εξαρτημένη από συμβατικά καύσιμα και ταυτόχρονα την πλέον ενεργειακά αποτελεσματική, τον Οκτώβριο του 2005, το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, κάλεσε τους Ευρωπαίους πολίτες και φορείς αποφάσεων να διαφοροποιήσουν τις δυνατότητές τους για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και να προωθήσουν τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, λαμβάνοντας υπ' όψιν την υψηλή τιμή του πετρελαίου και τις επιπτώσεις αυτής της ανόδου στο επιχειρηματικό και ιδιωτικό πεδίο. Η ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, συνδύαζεται με τις δράσεις εξοικονόμησης ενέργειας και αποτελεσματικότητας σ' έναν κόσμο αλματώδους ζήτησης ενέργειας εξαιτίας των ταχύρυθμων εξελίξεων στις οικονομίες της Κίνας και της Ινδίας.

Σύμφωνα με τις εξαγγελίες του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου, έμφαση θα πρέπει να δοθεί στον τομέα των μεταφορών ο οποίος και καταναλώνει το 70% περίπου της συνολικής Ευρωπαϊκής ενεργειακής προσφοράς πετρελαίου, στην προώθηση της πλήρους ενσωμάτωσης της Οδηγίας για τα Κτίρια και στην πίεση των Κρατών Μελών να ανταποκριθούν στις υποχρεώσεις τους σε ό,τι αφορά τους στόχους της Οδηγίας 2001/77/ΕΚ. Σύμφωνα με την Επιτροπή, στα Κράτη-Μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης, υπό την προϋπόθεση της πλήρους εφαρμογής των οδηγιών της Βίβλου, η ενεργειακή κατανάλωση θα μπορούσε να μειωθεί κατά 20% έως το 2020 (ποσοστό ισοδύναμο με την εξοικονόμηση 60 δις €/χρόνο, με συνέπεια την ενίσχυση της ανταγωνιστικότητας σύμφωνα με τις επιταγές της Agenda της Λισσαβόνας και την κάλυψη των υποχρεώσεων περί μείωσης του

διοξειδίου του άνθρακα που απορρέουν από το Πρωτόκολλο του Κυότο. Σε άλλη περίπτωση, η ενεργειακή κατανάλωση της Ευρώπης θα αυξηθεί κατά 10% κατά τα επόμενα 15 χρόνια.

Στο ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας θα μπορούσε να προστεθεί και ένα επιπρόσθετο 10%, για την περίπτωση που η ευρωπαϊκή νομοθεσία εφαρμοσθεί πλήρως στην ενεργειακή εξοικονόμηση στα κτίρια και στις μεταφορές. Το μακροχρόνιο Σχέδιο Δράσης που θα εκπονηθεί από την Επιτροπή μετά την ολοκλήρωση της σχετικής Δημόσιας Διαβούλευσης, θα δώσει το έναυσμα για την έναρξη σχετικών εθνικών πρωτοβουλιών. Σε κάθε περίπτωση, το ευκτέο ποσοστό δεν θα μπορέσει να επιτευχθεί εάν δεν δημιουργηθεί το κατάλληλο νομοθετικό πλαίσιο, δεν υιοθετηθεί μια νέου είδους νοοτροπία από τους εμπλεκόμενους φορείς αποφάσεων και από κάθε Ευρωπαίο πολίτη χωριστά, και δεν υπάρξει συνδυασμένη δράση ενεργειακών δραστηριοτήτων (συμπεριλαμβανομένης της ανάπτυξης των ΑΠΕ) σε όλα τα επιχειρηματικά και οικονομικά πεδία.

4.2 Ενεργειακή εξοικονόμηση και Ελλάδα

Σε ότι αφορά την Ελλάδα, το ενεργειακό πρόβλημα είναι έντονο δεδομένου ότι η εξάρτησή της από το εισαγόμενο πετρέλαιο έχει ανέλθει σε ποσοστό 65% σε σχέση με το αντίστοιχο ποσοστό της Ε.Ε. που είναι 33% για την Ευρώπη των 15. Παγκόσμια, οι τιμές πετρελαίου αυξήθηκαν κατά 44% στη διάρκεια του έτους 2005, για λόγους που σχετίζονται με τη ραγδαία οικονομική ανάπτυξη της Κίνας, το ασταθές γεωπολιτικό κλίμα στο Ιράκ και την ύπαρξη των λίγων πετρελαϊκών διυλιστηρίων. Φυσικές καταστροφές (όπως η παρουσία ισχυρών τυφώνων), έφτασαν να αυξάνουν τις εξαγωγές πετρελαίου του ΟΠΕΚ κατά 2 εκατομμύρια βαρέλια την ημέρα για 3 μήνες. Επιπρόσθετα, η θερινή αύξηση της ενεργειακής ζήτησης οι αιχμές φορτίου που αυτή προκαλεί σε μια χώρα έντονης τουριστικής ανάπτυξης όπως είναι η Ελλάδα, θέτει ως κατεπείγουσα ανάγκη για τους Κρατικούς φορείς αποφάσεων την ένταξη δραστηριοτήτων ενεργειακής απόδοσης στη γενικότερη ενεργειακή τους πολιτική και την επίτευξη αποδοτικότερης οικονομικά προσφοράς ενέργειας, λαμβάνοντας ταυτόχρονα υπ' όψιν και τους παράγοντες ασφάλειας (ενεργειακής προσφοράς), περιβαλλοντικής & κοινωνικής αποδοχής, καθώς και τη σχέση κόστους/οφέλους.

Προς αυτήν την κατεύθυνση και πέραν της ολοκλήρωσης της λειτουργικότητας της εσωτερικής αγοράς ενέργειας, η Ελληνική ενεργειακή πολιτική θα πρέπει να ενσωματώσει δραστηριότητες ενεργειακής απόδοσης, ενώ σχετικό νομοθετικό πλαίσιο θα πρέπει να προταθεί επικουρικά προς το νομοθετικό πλαίσιο το οποίο ενισχύει την ανάπτυξη των ΑΠΕ (προσχέδιο ρύθμισης του οποίου τέθηκε σε δημόσια διαβούλευση στις 16 Ιανουαρίου 2006) με την ανάπτυξη τεχνολογιών και εφαρμογών εξοικονόμησης και αποτελεσματικότητας ενέργειας, με γνώμονα πάντα την διατήρηση (αν όχι τη βελτίωση) του επιπέδου διαβίωσης των Ελλήνων πολιτών. Σχετική προσπάθεια πραγματοποιεί ήδη η Αυστριακή Κυβέρνηση. Δειγματοληπτικά, σχετικές δραστηριότητες ενεργειακής απόδοσης, θα μπορούσαν να αποτελέσουν οι παρακάτω:

Θέση των ερωτημάτων της Πράσινης Βίβλου σε Εθνική Δημόσια Διαβούλευση

Ενημέρωση των ενδιαφερόμενων μερών για τα αποτελέσματα της Διαβούλευσης και χάραξη σχετικής εθνικής πολιτικής

Κοινοποίηση των αποτελεσμάτων της καμπάνιας που απορρέει από το Πρόγραμμα Sustainable Energy Europe 2005-2008.

Ετήσια κατάρτιση και εισήγηση του Εθνικού Προγράμματος Δράσης (National Action Plan) με συγκεκριμένα μέτρα & στόχους και με γνώμονα την Κοινοτική Νομοθεσία, αλλά και ίδιες πρωτοβουλίες.

Επιβολή υποχρεωτικών ελέγχων σε τρεις νευραλγικούς τομείς εντάσεως ενέργειας

Εκπαίδευση επί σχετικών μηχανισμών, μεθόδων, εργαλείων και τεχνολογιών

Επιδίωξη περαιτέρω οικονομικής υποστήριξης από Κοινοτικά Προγράμματα

Αύξηση προϊόντων για τα οποία καθίσταται υποχρεωτική η πληροφόρηση του κοινού σχετικά με την εξασφαλισμένη ενεργειακή απόδοση.

Προτάσεις & προώθηση μέτρων στις τοπικές Κοινωνίες για αειφόρο δόμηση του πολεοδομικού τους ιστού με έμφαση την ενεργειακή απόδοση στα κτίρια.

Μελέτη των πρακτικών χρηματοδότησης ΕΑ στα Κράτη-Μέλη και αξιολόγησή τους με στόχο τη βέλτιστη εφαρμογή αντίστοιχων μέτρων για τα ελληνικά δεδομένα.

Ενίσχυση της συνεργασίας των Ελληνικών εθνικών φορέων αποφάσεων με Κοινοτικούς και Διεθνείς Οργανισμούς και ενίσχυση ερευνητικών και επιχειρηματικών συνεργασιών σε θέματα εξοικονόμησης ενέργειας.

Ενημέρωση σχετικά με τις βέλτιστες πρακτικές & τεχνολογίες ενεργειακής απόδοσης που τυχόν ήδη εφαρμόζονται στα άλλα Κράτη-Μέλη και τέλος,

Περαιτέρω προώθηση των ήδη υφιστάμενων τεχνολογιών και μεθόδων εξοικονόμησης ενέργειας.

Απ'όλο το φάσμα των τεχνολογιών αυτών, η ενισχυμένη χρήση των ηλιακών συστημάτων φαίνεται να είναι η πιο σημαντική προς την κατεύθυνση αυτή, δεδομένου ότι τα συστήματα αυτά έχουν εφαρμογή σε όλους τους καίριους τομείς εξοικονόμησης ενέργειας (στους οποίους η Επιτροπή αποδίδει έμφαση, δηλαδή στον τομέα των μεταφορών, των κτιρίων και της βιομηχανίας και δεδομένου ότι ειδικά για τους τομείς αυτούς, η Επιτροπή σκοπεύει να προβεί σε ενθάρρυνση περαιτέρω δραστηριοποίησης στην κατεύθυνση της αειφορίας και της ενεργειακής εξοικονόμησης.

4.3 Προοπτικές χρήσης ηλιακών συσκευών στην Ελλάδα

Η σημερινή κατάσταση εφαρμογής της ηλιακής ενέργειας στη χώρα μας είναι συνοπτικά η εξής: 200 περίπου κτίρια με βιοκλιματικό σχεδιασμό, 3.5 εκατ. m² θερμικών ηλιακών συλλεκτών και 3.5 MWP φωτοβολταϊκά. Λαμβάνοντας υπ'όψιν τον στόχο της χώρας για το 2010, που είναι 11 εκατ.

m² θερμικών συλλεκτών και τουλάχιστον 15 MWP σε φβ, είναι αναγκαία η αύξηση των ρυθμών νέων εγκαταστάσεων σε αριθμούς που εκτιμώνται στο 30% για τα θερμικά και στο 50% τουλάχιστον για τα φβ. Σήμερα στην Ελλάδα υπάρχουν γύρω στα 4 εκατ. κτίρια που κατανέμονται σε 2 εκατ. σε αστικές και ημιαστικές περιοχές και 2 εκατ. σε αγροτικές περιοχές.

Μέχρι το 2010 αναμένεται να έχουν κτιστεί 500 χιλ. νέα κτίρια. Από πλευράς τύπου τα κτίρια των αστικών και ημιαστικών περιοχών είναι στην πλειοψηφία τους μονοκατοικίες (περί τα 1.4 εκατ.) με λιγότερα τα κτίρια των δύο ορόφων (περί τις 400 χιλ.) και ακόμη λιγότερα τα κτίρια με περισσότερους από 3 ορόφους (περί τις 300 χιλ.). Στις αγροτικές περιοχές τα κτίρια είναι συνήθως μονοκατοικίες, ενώ γενικά τα υπόλοιπα κτίρια στη χώρα μας είναι περίπου 200 χιλ. και είναι κυρίως καταστήματα, γραφεία, εργαστήρια/εργοστάσια και ακόμη λιγότερα είναι τα σχολικά κτίρια, τα ξενοδοχεία, τα νοσοκομεία, κλπ. Αν εφαρμοσθούν ηλιακές συσκευές στα 2/3 των κτιρίων εκτιμάται πως ο στόχος του 2010 μπορεί να επιτευχθεί. Πρέπει να σημειωθεί πως στην Κύπρο το ποσοστό χρήσης ηλιακών συλλεκτών είναι πάνω από το 90% στις κατοικίες και στο Ισραήλ γύρω στο 60%. Στην Ελλάδα σήμερα το ποσοστό εγκατεστημένων συλλεκτών σε κτίρια είναι περί το 30% με περαιτέρω περιθώρια αύξησης.

Εξετάζοντας ένα πιθανό σενάριο διευρυμένης εφαρμογής των ηλιακών συσκευών, θεωρούμε ρεαλιστική την εφαρμογή μονάδων θερμικών συλλεκτών, τουλάχιστον των 2 m² καθεμία, σε 2 εκατ. μονοκατοικίες - κυρίως των αγροτικών περιοχών - που σημαίνει συνολικά 4 εκατ. m² θερμικών συλλεκτών. Επίσης εκτιμάται ότι είναι εφικτή η εγκατάσταση διατάξεων θερμικών συλλεκτών επιφάνειας τουλάχιστον 50 m² σε 40 χιλ. κτίρια κατοικιών από 3 ορόφους και άνω, δηλαδή περί τα 2 εκατ. m². Με την εφαρμογή εξάλλου τέτοιων διατάξεων (50 m²) σε τουλάχιστον άλλα 20 χιλ. κτίρια (ξενοδοχεία, νοσοκομεία, αθλητικά κέντρα, βιομηχανίες), επιτυγχάνεται μια επιπλέον επιφάνεια 1 εκατ. m². Έτσι, η πρόσθετη επιφάνεια 7 εκατ. m² μαζί με τα υφιστάμενα 3.5 εκατ. m² οδηγεί αθροιστικά στην υλοποίηση του στόχου των 11 εκ. m² για το 2010. Με ανάλογους υπολογισμούς, αλλά σε πιο περιορισμένη κλίμακα, μπορεί να εκτιμηθεί και η εγκατάσταση των φβ, χρησιμοποιώντας μονάδες κατ'ελάχιστον των 200 W σε 100 χιλ. κτίρια, γεγονός που θα προσφέρει τελικά γύρω στα 20 επιπρόσθετα MW.

Ενδιαφέρον μεταξύ των ενεργητικών συστημάτων ΑΠΕ για τον κτιριακό τομέα έχουν επίσης και τα συστήματα αιολικής ενέργειας. Οι αιολικές συσκευές δεν έχουν εφαρμοστεί ακόμη στον κτιριακό τομέα και η εφαρμογή μικρών ανεμογεννητριών (Α/Γ) στα κτίρια μπορεί να επιτευχθεί αρχικά σε περιοχές με υψηλό αιολικό δυναμικό και στη συνέχεια να επεκταθεί και σε άλλες περιπτώσεις, όπως π.χ. στον ευρύτερο αστικό τομέα καθώς και στον αγροτικό τομέα. Στην κατεύθυνση ευρύτερης διάδοσης συστημάτων ηλιακής ενέργειας τα οποία να είναι πιο αποδοτικά, φθηνά και λειτουργικά είναι συνοπτικά οι εξής:

Ολοκληρωμένες συσκευές συλλέκτη-αποθήκης θερμού νερού

Η θέρμανση νερού με ολοκληρωμένες συσκευές συλλέκτη-αποθήκης (συσκευές ICS) είναι πιο οικονομική σε σχέση με τη χρήση των συνήθων θερμοσιφωνικών συσκευών. Οι συσκευές αυτές είναι αισθητικά προσαρμοσμένες στην αρχιτεκτονική των κτιρίων και μπορούν να αποτελέσουν εναλλακτική λύση για τα επόμενα χρόνια. Έχουν προκύψει βελτιωμένοι τύποι συσκευών, οι οποίες βασίζονται στον αποδοτικό συνδυασμό οριζόντιων κυλινδρικών δοχείων και ακίνητων κατόπτρων CPC, που επιτυγχάνουν αποδοτική ανύψωση της θερμοκρασίας του νερού και ικανοποιητική διατήρηση της θερμότητας και μπορούν επιπλέον να συνδεθούν σε σειρά με ξεχωριστή θερμομονωμένη δεξαμενή εντός του κτιρίου για την μείωση των θερμικών απωλειών την νύχτα.

Ηλιακοί συλλέκτες με χρωματιστό απορροφητή

Σε μια εκτεταμένη χρήση της ηλιακής ενέργειας και για την αποφυγή της μονοτονίας του μαύρου χρώματος μελετήθηκαν ηλιακοί συλλέκτες με άλλου χρώματος απορροφητή (μπλε, κεραμιδί, πράσινο, κλπ), που αν και παρουσιάζουν λίγο μικρότερη απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας (περίπου 20%), η χρήση τους προσδίδει ενδιαφέρουσα χρωματική αίσθηση στις εξωτερικές επιφάνειες των κτιρίων. Οι χρωματιστοί ηλιακοί συλλέκτες μπορούν να συμβάλλουν στην διεύρυνση της χρήσης των ηλιακών συστημάτων σε παραδοσιακά και μοντέρνα κτίρια και να ευαισθητοποιήσουν/παρακινήσουν τους αρχιτέκτονες για μια δημιουργική και ενδιαφέρουσα ενσωμάτωσή τους στο κέλυφος των κτιρίων.

Χρήση ενισχυτικών κατόπτρων

Στις εγκαταστάσεις οριζόντιας οροφής έχει μελετηθεί η τοποθέτηση επίπεδου κατόπτρου μεταξύ των σειρών των συλλεκτών, για την αξιοποίηση της ηλιακής ακτινοβολίας στα διάκενα μεταξύ των σειρών των συλλεκτών. Τα κάτοπτρα είναι ακίνητα και η συμβολή τους εξαρτάται από την θέση του ήλιου. Στην περίπτωση συνδυασμού θερμοσιφωνικής συσκευής θέρμανσης νερού με κάτοπτρο, υπάρχει η δυνατότητα ρύθμισης της κλίσης του κατόπτρου και έτσι η λειτουργία του ανακλαστήρα συμβάλλει κατ'ελάχιστον σε μια προσαύξηση της αποδιδόμενης θερμότητας κατά 20%-50%, ανάλογα με την εποχή του έτους.

Ηλιακοί συλλέκτες χωρίς οπτική όχληση

Ως προς την οπτική όχληση από το ανακλώμενο φως των γυάλινων πλακών των ηλιακών συλλεκτών, ενδείκνυται η χρήση υλικών που διαχέουν το ανακλώμενο φως. Επίσης, είναι ενδιαφέρουσα η χρήση ακάλυπτων συλλεκτών για τις εφαρμογές που απαιτούν χαμηλές θερμοκρασίες ρευστών (κολυμβητικές πισίνες, προθέρμανση νερού, κλπ). Σε μια τέτοια προοπτική μπορεί να γίνει χρήση ακάλυπτων συλλεκτών με χρωματιστό απορροφητή και την ενσωμάτωσή

τους στις οριζόντιες οροφές (όπου μπορεί να συνδυαστούν και με ενισχυτικά κάτοπτρα) και επίσης στις προσόψεις και στις επικλινείς στέγες των κτιρίων.

Υβριδικά φωτοβολταϊκά/θερμικά (φβ/θ) ηλιακά συστήματα

Αναπτύχθηκαν διατάξεις υβριδικών φωτοβολταϊκών/θερμικών (φβ/θ) ηλιακών συσκευών που επιτυγχάνουν μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρισμό και θερμότητα. Από τις δοκιμές των πειραματικών μοντέλων έχει προκύψει ότι η θερμική απόδοση μπορεί να φθάσει και πάνω από 50%. Για την βελτίωση της αποδοτικότητας σε εγκαταστάσεις υβριδικών φβ/θ συστημάτων μελετήθηκε η τοποθέτηση διάχυτων ανακλαστήρων με τους οποίους αυξάνεται η ηλεκτρική και η θερμική αποδιδόμενη ενέργεια. Η προοπτική εφαρμογής υβριδικών φβ/θ συσκευών θα έχει θετική συμβολή στην ευρύτερη αγορά των φβ, κυρίως μέσω της ανάπτυξης και εφαρμογής των ηλιακών θερμαντήρων νερού με χρήση φβ απορροφητή σε κατοικίες, σε πολυκατοικίες, ξενοδοχεία και βιομηχανικές μονάδες.

Συγκεντρωτικές διατάξεις για εφαρμογή σε κτίρια.

Ενδιαφέρον παρουσιάζει η ενσωμάτωση συγκεντρωτικών διατάξεων ηλιακής ενέργειας στα κτίρια με σκοπό τον έλεγχο του φωτισμού και της θερμοκρασίας εσωτερικών χώρων, όπως είναι η πρόταση για τα αίθρια με την εγκατάσταση γραμμικών φακών fresnel που συνδυάζονται με θερμικούς ή φωτοβολταϊκούς (ή και υβριδικούς φβ/θ) απορροφητές. Επίσης, είναι δυνατή η σχεδίαση και ενσωμάτωση στην αρχιτεκτονική των κτιρίων ειδικών διατάξεων ακίνητων ανακλαστήρων τύπου CPC με γραμμική εστίαση για την επίτευξη υψηλότερων θερμοκρασιών και την κάλυψη κυρίως αναγκών σε ψύξη των κτιρίων κατά το θέρος.

Χρήση μικρών ανεμογεννητριών.

Όσον αφορά την αξιοποίηση των αιολικών μηχανών, το ενδιαφέρον επικεντρώνεται στην ένταξη των Α/Γ μικρής ισχύος στο αστικό περιβάλλον (οροφές κτιρίων, δρόμοι, κλπ) και στον αγροτικό τομέα (άντληση νερού, θερμοκήπια, κλπ) με σκοπό την αξιοποίηση του αιολικού δυναμικού σε συνδυασμό και με την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών. Στην κατεύθυνση αυτή αναπτύσσονται νέες σχεδιάσεις ανεμογεννητριών τόσο οριζόντιου όσο και κατακόρυφου άξονα, διατάξεις συγκέντρωσης του ανέμου για βελτίωση της αποδιδόμενης ισχύος, κλπ.

4.4 Ανάλυση αγοράς και προοπτικές

Σύμφωνα με τις προβλέψεις, η ενεργειακή ζήτηση στην Ελλάδα θα τριπλασιαστεί έως το 2025 και με δεδομένο ότι κατά το έτος 2010 η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας θα φθάσει τις 72 TWh,

υπάρχει ανάγκη συμμετοχής σε αυτήν μη συμβατικών ενεργειακών πηγών σε επίπεδο της τάξης των 14 TWh. Ειδικότερα δε ο ενδεικτικός στόχος κάλυψης από ΑΠΕ για την Ελλάδα θα πρέπει να φθάσει κατά το έτος 2010 σε ποσοστό 20.1% της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας. Λαμβάνοντας υπ' όψιν την προτίμηση της ελληνικής ενεργειακής πολιτικής για άλλες τεχνολογίες (πλην των ηλιακών) παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, τη βελτίωση της ποιότητας των ηλιακών συστημάτων και την διαρκώς αυξανόμενη τιμή του πετρελαίου που καθιστά όλο και πιο ανταγωνιστική την ηλιακή kWh, αλλά και την Κοινοτική Οδηγία σχετικά με την υποχρέωση ενεργειακής εξοικονόμησης στα κτίρια, έχει ενδιαφέρον να εξεταστεί η στροφή του καταναλωτικού ενδιαφέροντος στις αποκεντρωμένες μορφές ΑΠΕ, όπως είναι οι θερμικοί συλλέκτες και κυρίως τα φωτοβολταϊκά.

Η ποικιλία των τύπων ηλιακών θερμικών συλλεκτών που κατασκευάζονται και εφαρμόζονται στη χώρα μας είναι μικρή παρά την υψηλή θέση που κατέχουμε από πλευράς εγκατεστημένων m^2 /κάτοικο σε σχέση με τις άλλες ευρωπαϊκές χώρες. Σε σχέση με τα φβ, η ποσότητα που εισάγεται στην ελληνική αγορά είναι περιορισμένη και το δίκτυο πώλησης ασθενές έως ανύπαρκτο. Αντίθετα, σε άλλες χώρες (Γερμανία, Ισπανία, Ολλανδία, Ιαπωνία, ΗΠΑ, κλπ) σημειώνονται πολύ ενδιαφέρουσες εφαρμογές, οι οποίες εάν γίνονταν γνωστές στο ελληνικό καταναλωτικό κοινό, θα προσέλκυαν το ενδιαφέρον του. Από πλευράς όμως κόστους, υπό τις παρούσες συνθήκες, η δαπάνη για τους θερμικούς συλλέκτες αποσβένεται σε 5-10 έτη, ενώ για τα φβ σε βάθος χρόνου κατά πολύ μεγαλύτερο από μια εικοσαετία. Έτσι, οι λόγοι προτίμησης των τεχνολογιών αυτών θα πρέπει επί του παρόντος να βασίζονται σε συγκεκριμένες στυλιστικές επιλογές αρχιτεκτονικής διαμόρφωσης εξωτερικών χώρων με άποψη, ή σε περιβαλλοντικές και κοινωνικές ευαισθησίες.

Χρήσιμος επίσης είναι και ο εντοπισμός των περιοχών της χώρας μας με εξοικειωμένους πολίτες στη χρήση των ηλιακών θερμοσιφώνων, προκειμένου να διευκολυνθεί και να γίνει με ταχύτερους ρυθμούς η διάδοση κυρίως των φβ συστημάτων. Επίσης θα πρέπει να γίνει γνωστή η καταναλωτική συμπεριφορά των αγοραστών θερμικών συλλεκτών και φβ σε σχέση με άλλες παραμέτρους (ενδιαφέροντα, ανάγκες, ανησυχίες κλπ) και σε σχέση με τη διάθεση υποκατάστασης κάποιας άλλης μορφής ενέργειας (π.χ. φυσικού αερίου ή πετρελαίου). Σημασία επίσης πρέπει να αποδοθεί στον αγοραστή που ενδιαφέρεται για τα σχήματα, χρώματα, την τιμή κ.λ.π. των ηλιακών συσκευών σε σχέση με την προστιθέμενη αξία τους, το σύμβολο της «πράσινης ενέργειας» που θα προσδώσει στην επιχείρησή του, κλπ. Σημαντικές είναι οι καταταμίσεις της αγοράς (π.χ. σε καινοτόμους και συντηρητικούς καταναλωτές) και βέβαια η εφαρμοζόμενη διαφημιστική στρατηγική.

Η ανάπτυξη σχετικών θεωριών είναι σημαντική αν θέλουμε να γνωρίζουμε πώς η ατομική λήψη απόφασης επηρεάζει τη διεύθυνση των θερμικών ηλιακών συλλεκτών και ιδίως των φβ στην αγορά. Η διεύθυνση βέβαια αυτή περιορίζεται και από εξωγενείς παράγοντες όπως τις Εθνικές ή Κοινοτικές και Διεθνές πολιτικές ή τον βαθμό απελευθέρωσης της αγοράς, καθώς και τους

εμπλεκόμενους φορείς ως προς το εύρος της ανταλλαγής απόψεων (κυβερνητικοί παράγοντες, αρχιτέκτονες, εταιρείες, σχολεία, πανεπιστήμια, ΤΕΙ, τράπεζες και διάφορες εταιρείες ιδιοχρηματοδότησης). Τελικά, κεντρικά σημεία όμως της εφαρμογής των ΑΠΕ και ειδικότερα των θερμικών συλλεκτών και των φβ εξακολουθούν να είναι η ενσωμάτωσή τους στα κτίρια, η λιγότερη χρήση συμβατικών ενεργειακών πηγών, η έμφαση στις αποκεντρωμένες μορφές ενέργειας, η προώθηση της περιβαλλοντικής συνήδεισης, η κατάλληλη στρατηγική marketing και η προσπάθεια περαιτέρω έρευνας και ανάπτυξης.

4.5 Κατασκευαστικές επεμβάσεις στο κτίριο

-Η μόνωση της οροφής ενός κτιρίου μειώνει τις απώλειες θερμότητας από το κέλυφος του κτιρίου. Διάφορα μονωτικά υλικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μόνωση της οροφής ανάλογα με το αν αυτή είναι επίπεδη η κεκλιμένη.

-Εξωτερική μόνωση μπορεί να τοποθετηθεί στους εξωτερικούς τοίχους του κτιρίου με σκοπό την μείωση των απωλειών θερμότητας από αυτό.

-Εσωτερική μόνωση μπορεί να τοποθετηθεί στους εξωτερικούς τοίχους του κτιρίου και προκατασκευασμένες πλάκες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για το σκοπό αυτό. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται μείωση των θερμικών απωλειών.

-Η μόνωση δαπέδου μειώνει τις θερμικές απώλειες και πραγματοποιείται ανάλογα με τη περίπτωση δηλαδή εάν το δάπεδο βρίσκεται επί του γηπέδου ή επί της πυλωτής ή επί άλλου διαμερίσματος.

-Η χρησιμοποίηση παραθύρων με διπλά τζάμια ή η αντικατάσταση παλιών παραθύρων που έχουν μονά τζάμια με νέα που έχουν διπλά τζάμια, μειώνει σημαντικά τις απώλειες θερμότητας. Τα περισσότερα νέα κτίρια χρησιμοποιούν πλέον παράθυρα με διπλά τζάμια ενώ πολλά ανακαινιζόμενα παλιά κτίρια υποκαθιστούν τα παράθυρα τους με νέα, έχοντας διπλά τζάμια.

-Υπάρχουσες πόρτες εισόδου μπορούν να αντικατασταθούν με νέες οι οποίες είναι καλά μονωμένες, επιτυγχάνοντας έτσι μείωση των θερμικών απωλειών.

-Ο αέρας που διαφεύγει από ανοίγματα από πόρτες και παράθυρα οδηγεί σε θερμικές απώλειες. Οι διαφυγές του αέρα πρέπει να κλείνονται και να ελαχιστοποιούνται οι διαρροές του αέρα από τα όποια ανοίγματα υπάρχουν.

-Η μόνωση της οροφής του κτιρίου μπορεί να επιτευχθεί με την δημιουργία φυτεμένου δώματος, το οποίο εκτός της θερμικής μόνωσης προσφέρει και πολλά άλλα περιβαλλοντικά οφέλη.

-Η φύτευση δέντρων γύρω από το κτίριο μειώνει την επίδραση του αέρα στις θερμικές απώλειες και συμβάλλει στο δροσισμό του κτιρίου το καλοκαίρι.

-Στοιχεία βιοκλιματικής αρχιτεκτονικής μπορούν να ενσωματωθούν σε υπάρχον ή νέο κτίριο όπως π.χ. σταθερά ή κινητά συστήματα σκίασης (τέντες, παντζούρια κ.αλ.), σύστημα θερμοκηπίου στη νότια πλευρά του κτιρίου, κάποιος τοίχος trombe, κ.αλ.

4.6 Επεμβάσεις στο σύστημα θέρμανσης

-Η μόνωση του περιβλήματος του λέβητα και των σωληνώσεων του θερμού νερού στο λεβητοστάσιο συμβάλλει στη μείωση των απωλειών θερμότητας.

-Η αντικατάσταση υπάρχοντος καυστήρα παλαιάς τεχνολογίας με νέο υψηλότερης απόδοσης συμβάλλει στην καλύτερη αξιοποίηση του καυσίμου(υψηλότερος βαθμός απόδοσης) και στη μείωση της ρύπανσης του περιβάλλοντος.

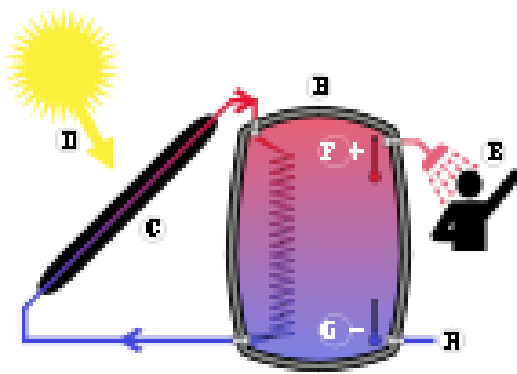
-Η αντικατάσταση του συστήματος θέρμανσης με πετρέλαιο, με σύστημα θέρμανσης με στερεά βιομάζα, οδηγεί στην αντικατάσταση ενός εξαντλήσιμου φυσικού πόρου όπως το πετρέλαιο, με ένα ανανεώσιμο καύσιμο όπως η βιομάζα. Διάφοροι τύποι στερεάς βιομάζας μπορούν να χρησιμοποιηθούν όπως :

Διάφοροι τύποι ξύλων

Ελαιο-πυρηνόξυλο

Πέλετς

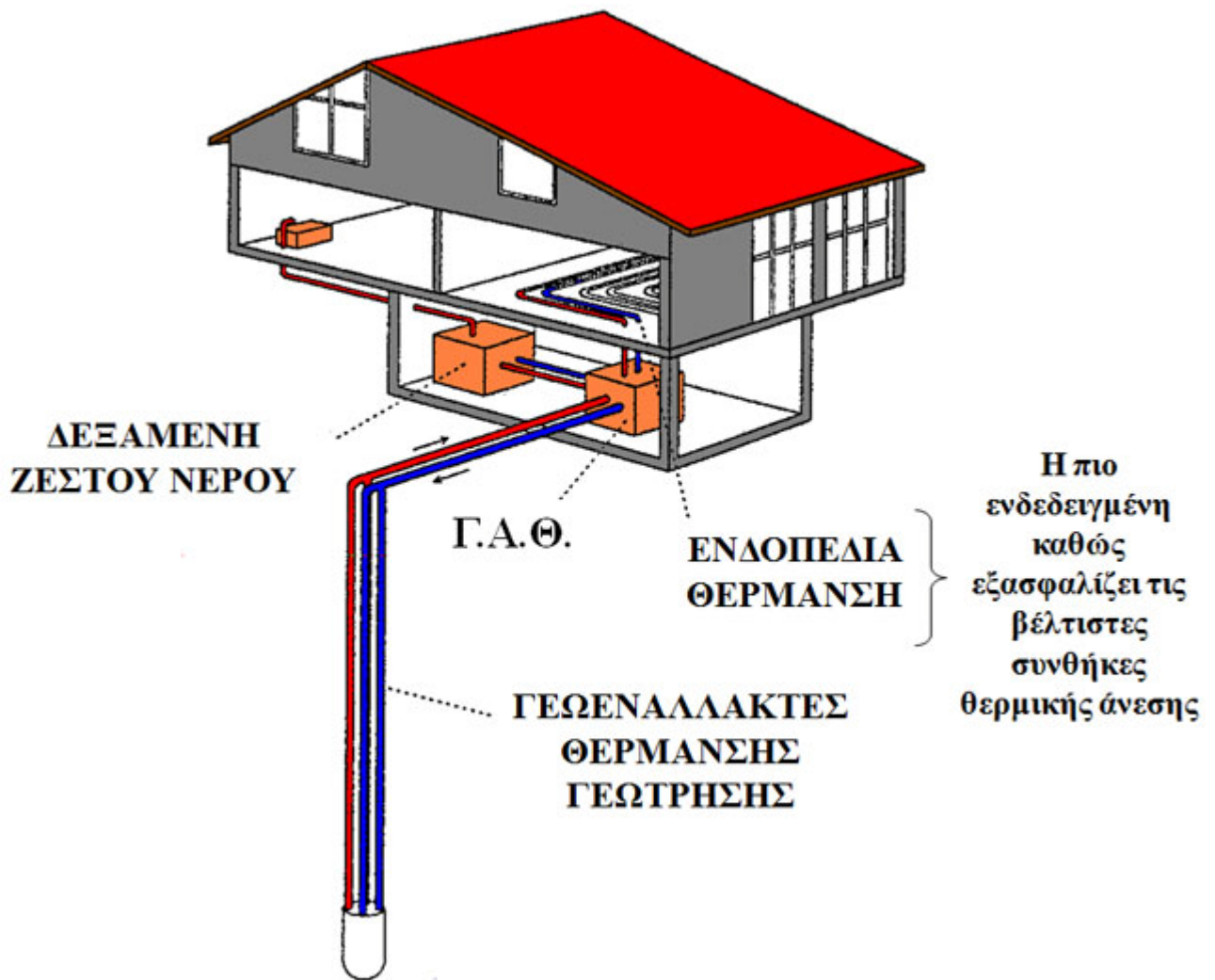
-Η αντικατάσταση του ηλεκτρικού θερμοσίφωνα με ηλιακό θερμοσίφωνα για την παραγωγή θερμού νερού, οδηγεί στη μείωση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας.



ΕΙΚΟΝΑ 4.1: Ηλιακό σύστημα παραγωγής θερμού νερού (Ηλιόθερμο)

-Η εγκατάσταση αντλιών θερμότητας αέρα-αέρα για την θέρμανση χώρου συνεπάγεται την μείωση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας γιατί για κάθε KWh καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας παράγονται 2-3 KWh θερμικής ενέργειας.

-Η εγκατάσταση γεωθερμικών αντλιών θερμότητας εδάφους-αέρα ή εδάφους-νερού συνεπάγεται τη μείωση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας γιατί για κάθε KWh καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας παράγονται 3,5-4,5 KWh θερμικής ενέργειας.



ΕΙΚΟΝΑ 4.2: Σύστημα γεωθερμικής αντλίας θερμότητας

-Η εγκατάσταση ηλιακού συστήματος θέρμανσης χώρου συνεπάγεται την υποκατάσταση πετρελαίου ή ηλεκτρικής ενέργειας με ηλιακή ενέργεια.



ΕΙΚΟΝΑ 4.3: Ηλιακοί συλλέκτες στην οροφή του κτιρίου για τη θέρμανση χώρου

-Ρύθμιση της θερμοκρασίας των δωματίων με τη χρήση θερμοστατών

Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται η ατομική ρύθμιση της θερμοκρασίας κάθε δωματίου με τη θερμοστατική βαλβίδα σε κάθε καλοριφέρ και εξοικονόμηση ενέργειας.

-Σε πολλές περιπτώσεις η επιπλέον μόνωση των σωλήνων κυκλοφορίας ζεστού νερού οδηγεί στην εξοικονόμηση ενέργειας.

4.7 Επεμβάσεις στο σύστημα ψύξης

-Η αντικατάσταση του παλιού συστήματος ψύξης του κτιρίου, με νέο αυξημένου βαθμού απόδοσης (COP) οδηγεί σε εξοικονόμηση ενέργειας.

-Τα συστήματα ηλιακής ψύξης (ψύξη με απορρόφηση) ενδείκνυται για μεγάλα κτίρια και όχι απλές κατοικίες. Δεν οδηγούν σε εξοικονόμηση ενέργειας στα κτίρια αλλά σε αντικατάσταση της ηλεκτρικής ενέργειας (που συνήθως παράγεται με συμβατικά καύσιμα) με ηλιακή ενέργεια και σε μείωση των εκπομπών CO₂ από το κτίριο.

-Στους εσωτερικούς χώρους και στα δωμάτια των κτιρίων , η εγκατάσταση ανεμιστήρων οροφής συμβάλλει στη σημαντική μείωση των απαιτήσεων ψύξης των χώρων. Η λειτουργία των ανεμιστήρων οροφής ενισχύει την εξατμισοδιαπνοή του σώματος και προσφέρει θερμική άνεση σε υψηλότερες θερμοκρασίες περιβάλλοντος.

4.8 Επεμβάσεις στο σύστημα φωτισμού

-Η αντικατάσταση των υπαρχόντων λαμπτήρων πυρακτώσεως με νέους λαμπτήρες εξοικονόμησης ενέργειας οδηγεί σε σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας. Μια λάμπα εξοικονόμησης ενέργειας καταναλώνει περίπου το 20% της ηλεκτρικής ενέργειας της αντίστοιχης λάμπας πυρακτώσεως.

-Οι ανιχνευτές παρουσίας ατόμων μπορούν να εγκατασταθούν σε τμήματα του κτιρίου που δεν είναι πάντα κατειλημμένα και να κλείνουν το φωτισμό όταν δεν ανιχνεύεται παρουσία κάποιου ατόμου.

-Το σύστημα ελέγχου φωτεινότητας ανοίγει και κλείνει τα φώτα αυτομάτως ανάλογα με τη φωτεινότητα του δωματίου, και οδηγεί σε εξοικονόμηση ενέργειας.

4.9 Εγκατάσταση συστημάτων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων σε κτίρια συνεπάγεται τη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ηλιακή. Ένα φωτοβολταϊκό σύστημα σε ένα κτίριο μπορεί είτε να οδηγεί σε ηλεκτρική αυτονομία του κτιρίου, όπου η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια αποθηκεύεται σε μπαταρίες και χρησιμοποιείται τις ώρες που δεν υπάρχει ηλιοφάνεια (οπότε το κτίριο δεν είναι διασυνδεδεμένο με το δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας), είτε να μην οδηγεί σε ηλεκτρική αυτονομία του κτιρίου (και το κτίριο είναι τότε διασυνδεδεμένο με το δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας). Εφόσον παράγεται πλεόνασμα ηλεκτρικής ενέργειας αυτή οδηγείται στο δίκτυο, ενώ τις ώρες μη παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά το κτίριο τροφοδοτείται από το δίκτυο. Η περίσσεια της ηλεκτρικής ενέργειας που τροφοδοτεί το δίκτυο, πωλείται σε προσυμφωνημένη τιμή για αρκετά χρόνια. Η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων στα κτίρια δεν συνεπάγεται εξοικονόμηση ενέργειας αλλά μείωση των εκπομπών CO₂ που προκαλούνται από τη παραγωγή ηλεκτρισμού με συμβατικά καύσιμα.

ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ

Η εγκατάσταση συστήματος συμπαραγωγής θερμότητας και ηλεκτρισμού, δεδομένου του υψηλού βαθμού απόδοσης των συστημάτων αυτών οδηγεί σε μείωση των εκπομπών CO₂, αλλά δεν συνεπάγεται εξοικονόμηση ενέργειας στο κτίριο. Η περίσσεια της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται, οδηγείται στο δίκτυο διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας που πωλείται σε προσυμφωνηθείσα τιμή για αρκετά χρόνια.

4.10 Το δυναμικό εξοικονόμησης ενέργειας στον κτιριακό τομέα

Το δυναμικό για εξοικονόμηση θερμικής ενέργειας είναι :

21-42% για θερμομόνωση εξωτερικών τοίχων

10-30% για τοποθέτηση θερμοστατικών βαλβίδων στα καλοριφέρ

18% για αντικατάσταση του παλιού λέβητα

4-28% για θερμομόνωση δαπέδου κτιρίου

7-18% για μείωση της διείσδυσης αέρα

4-15% για διπλά τζάμια

1-7% για θερμομόνωση οροφής

Η εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας για παραγωγή ζεστού νερού που προκύπτει από την τοποθέτηση ηλιακών συλλεκτών είναι 60-74%.

Το δυναμικό για εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας για δροσισμό του κτιρίου είναι:

57-68% για τοποθέτηση ανεμιστήρων οροφής

7-27% για διπλά τζάμια

6-24% για θερμομόνωση εξωτερικών τοίχων

2-18% για θερμομόνωση οροφής

έως 10% για ηλιοπροστασία

4.11 Οικονομική αξιολόγηση της επέμβασης εξοικονόμηση ενέργειας στα κτίρια

Για την οικονομική αξιολόγηση των διαφόρων δράσεων εξοικονόμησης ενέργειας στα κτίρια μπορεί να χρησιμοποιηθεί η εξής απλή μεθοδολογία.

Υπολογισμός του χρόνου ζωής (α =Ετη)

Υπολογισμός του κόστους επένδυσης (β =Ευρώ)

Υπολογισμός του κόστους ετήσιας συντήρησης (γ =Ευρώ/έτος)

Υπολογισμός της συνολικής επένδυσης που ισούται με το κόστος της αρχικής επένδυσης συν το ετήσιο κόστος συντήρησης πολλαπλασιασμένο επί το χρόνο ζωής (δ =Ευρώ)

$$\delta = \beta + \gamma * \alpha$$

Υπολογισμός της ετήσιας εξοικονόμησης ενέργειας (E =MWh/έτος)

Υπολογισμός της συνολικά εξοικονομούμενης ενέργειας, που ισούται με την ετήσια εξοικονόμηση ενέργειας επί το χρόνο ζωής (ζ =MWh)

$$\zeta = E * \alpha$$

Υπολογισμός του κόστους εξοικονόμησης ενέργειας που είναι το πηλίκο της συνολικής επένδυσης δια της συνολικά εξοικονομούμενης ενέργειας ($\eta = \text{€}/\text{MWh}$)

$$\eta = \delta / \zeta$$

Σύγκριση του κόστους εξοικονόμησης ενέργειας με τη τρέχουσα τιμή της ενέργειας ($\theta = \text{€}/\text{MWh}$)

$$\eta \leq \theta$$

Εάν $\eta < \theta$ τότε η επέμβαση εξοικονόμησης ενέργειας είναι οικονομικά συμφέρουσα

Σημείωση: Θεωρώντας ότι ο πληθωρισμός θα είναι χαμηλός δεν λαμβάνεται υπ' όψη στους υπολογισμούς.

Για την οικονομική αξιολόγηση των δράσεων υποκατάστασης συμβατικών καυσίμων με ανανεώσιμους ενεργειακούς πόρους χρησιμοποιείται η μεθοδολογία της εκτίμησης του απλού χρόνου αποπληρωμής της επένδυσης (payback period) ως εξής:

Υπολογισμός του κόστους της επένδυσης ($\alpha = \text{Ευρώ}$)

Υπολογισμός της διάρκειας της επένδυσης ($\delta = \text{έτη}$)

Υπολογισμός του ετήσιου οφέλους από την αλλαγή του καυσίμου ($\beta' = \text{€}/\text{έτος}$)

$\beta = \text{Ετήσια ποσότητα αρχικού καυσίμου} \times \text{τιμή του αρχικού καυσίμου} - \text{μείον ετήσια ποσότητα του νέου καυσίμου} \times \text{τιμή του νέου καυσίμου}$

Χρόνος αποπληρωμής της επένδυσης σε έτη $\gamma' = \alpha / \beta'$

Η εξοικονόμηση ενέργειας στα κτίρια, και η εφαρμογή συστημάτων ΑΠΕ σε αυτά συνεπάγονται τη μείωση της χρήσης εξαντλήσιμων φυσικών πόρων όπως τα ορυκτά καύσιμα και την μείωση των εκπομπών CO₂ από αυτά. Οι διάφορες τεχνικές και τεχνολογίες που προαναφέρθηκαν μπορούν να βοηθήσουν τον αναγνώστη να επιλέξει εκείνες που είναι κατάλληλες για τη περίπτωση του, είτε αυτή αφορά νέο κτίριο είτε παλαιό και ανακαινιζόμενο. Παράλληλα με την απλή μεθοδολογία που αναφέρεται, ο ενδιαφερόμενος μπορεί να αξιολογήσει οικονομικά την προτεινόμενη επέμβαση στο κτίριο είτε αυτή αφορά εξοικονόμηση ενέργειας είτε υποκατάσταση συμβατικών καυσίμων με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας σε αυτό.

5. ΨΥΞΗ

5.1 Ορισμός ψύξης

Με τον όρο ψύξη εννοούμε την χρήση μηχανών και θερμικά ενεργοποιούμενων μηχανισμών για την απομάκρυνση θερμότητας από έναν γεωμετρικά ορισμένο, πεπερασμένο χώρο ή ουσία την οποία και αποβάλλουμε σε έναν δεύτερο με σκοπό την μείωση της θερμοκρασίας στον πρώτο και στην συνέχεια την διατήρηση της.

Χαρακτηριστικές εκφάνσεις αυτής είναι κυρίως ο κλιματισμός, η κρυογονική, η βαθιά κατάψυξη, η συντήρηση.

5.2 Ιστορική αναδρομή

Η χρήση της ψύξεως έχουμε πληροφορίες ότι ξεκινά από την προϊστορική εποχή ακόμα όπου αντικατοπτριζόταν στην συλλογή πάγου και χιονιού από φυλές όπως οι Κινέζοι, οι Εβραίοι, οι Έλληνες, οι Ρωμαίοι και οι Πέρσες. Τα παραπάνω υλικά αποθηκεύονταν σε σπηλιές και κλειστούς χώρους με σκοπό την διατήρηση των τροφίμων, αυτή η τεχνική με ορισμένες διαφοροποιήσεις έδρασε πολύ καλά μέχρι τον 20^ο αιώνα όπου και έχουμε μια ριζική απομάκρυνση αυτής. Λίγο πιο πριν και συγκεκριμένα τον 16^ο αιώνα η ανακάλυψη του Νιτρικού άλατος του νατρίου (NaNO_3) και του Νιτρικού άλατος του καλίου (KNO_3) έδωσε σημαντική ώθηση προς την κατεύθυνση των τεχνιτών ψυκτικών. Το δε χρονοδιάγραμμα εξέλιξης έχει ως εξής:

- 1748) Ο William Cullen στο πανεπιστήμιο της Γλασκόβης πραγματοποιεί το πρώτο πείραμα με δημιουργία κενού και αιθυλικό αιθέρα που έχει πρακτική εφαρμογή.
- 1805) Ο Oliver Evans σχεδιάζει αλλά ποτέ δεν κατασκευάζει μηχανή βασισμένη στον γνωστό μας κύκλο συμπίεσεως ατμού.
- 1820) Ο Michael Faraday υγροποιεί την αμμωνία και άλλα αέρια χρησιμοποιώντας χαμηλές θερμοκρασίες και μεγάλες πιέσεις.
- 1834) Ο Jacob Perkins κατοχυρώνει την πρώτη πατέντα και κατασκευάζει το πρωτότυπο μηχανισμού συμπίεσεως ατμού.
- 1842) Ο John Gorrie σχεδιάζει σύστημα για ψύξη νερού με σκοπό τη δημιουργία πάγου και παράλληλα συλλαμβάνει την ιδέα του κλιματισμού εσωτερικών χώρων.
- 1850) Ο Alexander Twining πειραματίζεται με τον κύκλο συμπίεσεως ατμού και καταφέρνει μέχρι το 1856 να αρχίσει εμπορικές προσπάθειες στην Αμερική.

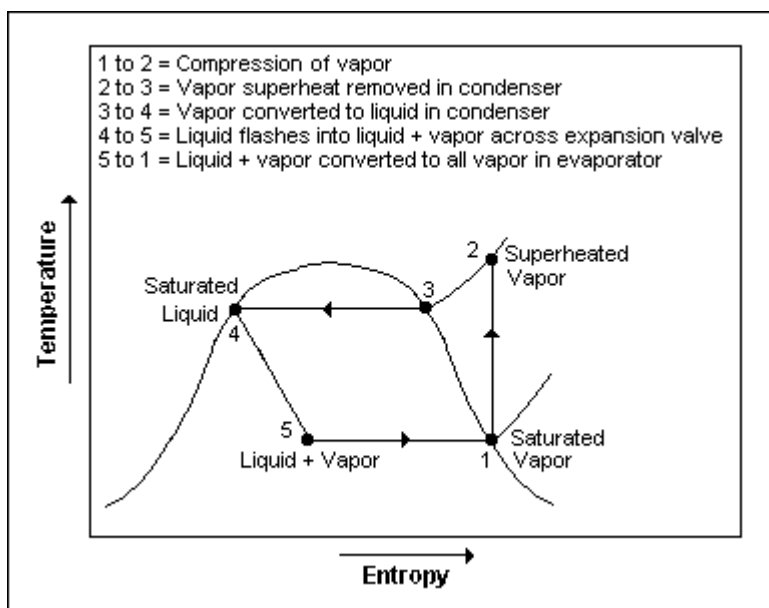
- 1860) Ο Ferdinand Carre εξελίσσει την πρώτη μηχανή απορρόφησης και την πατεντάρει.
- 1861) Ο James Harrison εισάγει την ψύξη με μηχανική συμπίεση ατμού σε επιχειρήσεις.
- 1915) Η Kelvinator κατασκευάζει τις πρώτες μηχανές οικιακής ψύξεως.

5.3 Κλασικός κύκλος ψύξεως, με συμπιεστή

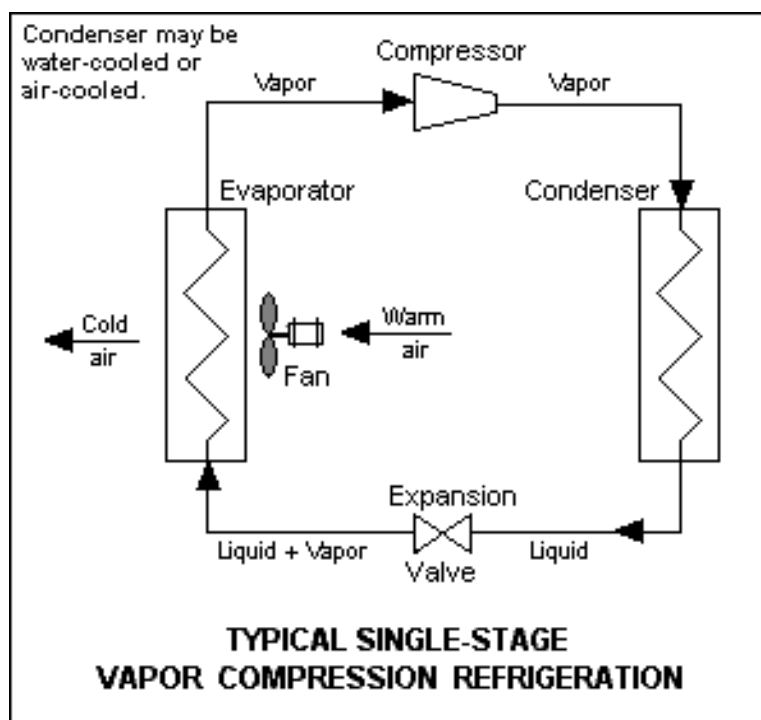
Η απλούστερη και συγχρόνως η πλέον διαδεδομένη μέθοδος παραγωγής ψύξεως βασίζεται στο φαινόμενο της αλλαγής φάσης μιας ουσίας συνήθως πτητικής και στις θερμικές συναλλαγές που την συνοδεύουν. Κατά γενική ομολογία αξιοποιείται η μετάβαση της ουσίας από την υγρή στην αέρια φάση. Αυτή η διαδικασία λαμβάνει χώρα στον ατμοποιητή και λόγω της λανθάνουσας θερμότητας είναι εσώθερμη άρα αποσπά ποσό θερμότητας από τον εκάστοτε χώρο (τον οποίο και ψύχει). Στην συνέχεια ο ατμός μεταφέρεται μέσω μιας μεθόδου συμπίεσης σε μια υψηλότερη πίεση όπου και αποβάλλει την λανθάνουσα θερμότητα στον συμπυκνωτή και επανέρχεται στην υγρή του φάση. Τέλος για την επανέναρξη του κύκλου το υγρό στραγγαλίζεται ισενθαλπικά και άεργα μέσω μιας διάταξης συνήθως βαλβίδας εκτόνωσης. Η κυριότεροι παράμετροι της παραπάνω διαδικασίας είναι:

- Η θερμοκρασία ατμοποίησης. Πρόκειται για την θερμοκρασία εντός του ψυκτικού χώρου-θαλάμου με άλλα λόγια η επιθυμητή θερμοκρασία.
- Η πίεση ατμοποίησης. Πρόκειται για την πίεση στην οποία λαμβάνει χώρα η ατμοποίηση και επιθυμούμε να είναι όσο το δυνατόν χαμηλότερη. Αυτό θα έχει σαν αποτέλεσμα (όπως μπορούμε να δούμε και από ένα διάγραμμα h-s) πολύ μεγαλύτερη λανθάνουσα θερμοκρασία ατμοποίησης άρα μεγαλύτερο ψυκτικό κέρδος με μικρότερη δαπανούμενη ισχύ από μέρους μας. Τα προηγούμενα συνεπάγονται φυσικά αρκετά μεγάλο COP και SCP (Specific Cooling Power).
- Η θερμοκρασία συμπύκνωσης. Πρόκειται για την θερμοκρασία στην οποία θα αποβληθεί η δεσμευμένη θερμότητα από τον ψυκτικό θάλαμο ή χώρο στο περιβάλλον. Για να πραγματοποιηθεί μια τέτοια αποβολή (σύμφωνα με τους βασικούς 1^ο και 2^ο θερμοδυναμικούς νόμους) πρέπει αυτή να είναι μεγαλύτερη της περιβαλλοντικής θερμοκρασίας.
- Η πίεση συμπύκνωσης. Η συγκεκριμένη πίεση επιθυμούμε να είναι όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ώστε να έχουμε μικρή λανθάνουσα θερμότητα συμπύκνωσης και άρα γρηγορότερη μετάβαση στην υγρή φάση σε λιγότερο χρόνο. Βέβαια υπάρχουν φραγμοί στο μέγεθος αυτής λόγω ψυκτικού, ασφάλειας, αντοχής των υλικών κτλ.
- Η μεταβολή από την μικρή πίεση ατμοποίησης στην μεγάλη συμπυκνώσεως πετυχαίνεται με έναν μηχανικό συμπιεστή και αυτό είναι και το πεδίο που θα μας απασχολήσει στην συγκεκριμένη διπλωματική, πως δηλαδή μπορούμε να πετύχουμε την συμπίεση του εργαζόμενου μέσου χωρίς την χρησιμοποίηση μηχανικού συμπιεστή.

Παρακάτω δίνεται και σχηματικά στο Σχήμα1.1 το κλασικό αριστερόστροφο διάγραμμα T-s ψύξεως με μονοβάθμια μηχανική συμπίεση όπου εικονίζονται τα παραπάνω περιγραφείσα σημεία, ενώ στο Σχήμα1.2 δίνεται η διάταξη υλοποίησης του κύκλου.



Σχήμα5.1 Διάγραμμα T-s ψύξεως με μονοβάθμια μηχανική συμπίεση.



Σχήμα5.2 Διάταξη υλοποίησης ψυκτικού κύκλου.

5.4 Εναλλακτικές μέθοδοι υλοποίησης του κύκλου ψύξης

Τα περισσότερα συστήματα ψύξεως χρησιμοποιούν για την πραγματοποίηση της συμπίεσης τον πολύ γνωστό μας πλέον Μηχανικό συμπιεστή, τον οποίο είδαμε και παραπάνω, ο οποίος ανεβάζοντας την πίεση του εργαζόμενου μέσου προκαλεί την κίνηση του.

Το ρευστό στη συνέχεια θα εκτονωθεί στην στραγγαλιστική βαλβίδα όπου θα ξαναρίξει την πίεση του και αφού απορροφήσει θερμότητα από τον ψυκτικό θάλαμο θα επανέλθει στην είσοδο του μηχανικού συμπιεστή ώστε να ξαναρχίσει ο κύκλος.

Με σκοπό όμως την απομάκρυνση του μηχανικού συμπιεστή, που θα μας έδινε σημαντικά οικονομικά οφέλη, σκεφτήκαμε να τον αντικαταστήσουμε με μία από τις παρακάτω διαδικασίες.

Διακρίνουμε την:

A) Ψύξη με Απορρόφηση (Absorption).

B) Ψύξη με Προσρόφηση (Adsorption).

Γ) Ψύξη με Συστήματα Αποξηραντικού μέσου (Desiccant Systems)

Η τρίτη μέθοδος είναι αυτή που θα μας απασχολήσει στην παρούσα διπλωματική εργασία. Αναφορά θα γίνει στις δύο πρώτες μεθόδους και στις διαφορές των δύο μιας και πολύ συχνά συγχέονται.

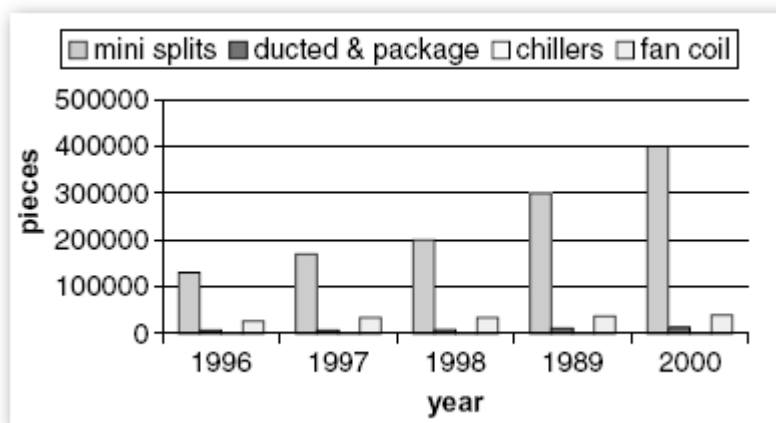
6. ΨΥΚΤΙΚΗ ΖΗΤΗΣΗ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

6.1 Ελληνικά δεδομένα

Στην Ελλάδα κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας αυξάνει κυρίως λόγω της χρήσης κλιματιστικών μηχανών. Αυτή η χρήση είναι μεν λογική αλλά και πηγή πολλών προβλημάτων για την τοπική κοινωνία, την ενεργειακή και οικονομική πολιτική ενός τόπου. Αυτά τα μέγιστα καλύπτονται κυρίως από μονάδες αεριοστροβίλων που η χρήση τους είναι αντιοικονομική και ρυπαρή ενώ και ο χρόνος ζωής τους είναι περιορισμένος με αποτέλεσμα την συχνή αλλαγή τους. Πρέπει να πούμε ότι το πρόβλημα αυτό αυξάνει κατά πολύ τα ξηρά έτη όπου τα υδροηλεκτρικά εργοστάσια παραγωγής ενέργειας θέτονται πολλούς μήνες εκτός λειτουργίας. Αντιλαμβανόμαστε συνεπώς το μεγάλο οικονομικό κόστος που έρχεται να καλύψει ο πολίτης το οποίο και δυσανάλογο θα είναι με την κατανάλωση του και υπερβολικά μεγάλο. Λύση σε αυτό το πρόβλημα μπορούν να δώσουν ηλιακές ψυκτικές μηχανές οι οποίες θα αντικαταστήσουν τα ηλεκτρικά οδηγούμενα κλιματιστικά.

6.2 Ψυκτική ζήτηση στην Ελλάδα

Στη χώρα μας η θερμοκρασία περιβάλλοντος έχει άμεσο αντίκτυπο στην ενεργειακή ζήτηση. Έρευνες έχουν δείξει ότι αυξάνει κατά 3-4% κάθε χρόνο το οποίο αντιστοιχεί σε κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας περίπου 1000GWh και συνεπώς απαιτεί την εγκατάσταση ενός νέου εργοστασίου ηλεκτρικής ενέργειας των 300MW κάθε 18-24 μήνες. Από αυτήν την αύξηση το 7% αντιστοιχεί σε ψύξη και θέρμανση όμως σε αυτό το ποσοστό οφείλεται το 29% των εκπομπών CO₂. Το 1970 οι εκπομπές CO₂ ήταν 22 εκατομμύρια τόνοι ενώ μέχρι το τέλος του 1990 έφτασαν τα 83 εκατομμύρια. Οι πωλήσεις των mini-split μέσα στο διάστημα 96-2000 τριπλασιάστηκαν



Σχήμα 6.1 Αύξηση των πωλήσεων mini-split σε μια 4ετία.

Τα πιο πολλά δε κτιριακά συγκροτήματα ψύχονται από τους κλασσικούς μηχανικούς συμπίεστες συμπίεσεως ατμού. Η δε θερμοκρασία περιβάλλοντος συμβαδίζει με την ζήτηση για ψύξη συνεπώς η φιλοσοφία υιοθέτησης ηλιακών ψυκτικών μηχανών είναι μια πολύ δελεαστική πρόταση.

6.3 Συνθήκες στην αγορά για ηλιακά συστήματα ψύξεως

Προς το παρόν μόνο η μεγάλης κλίμακας απολιθωμένων καυσίμων παραγωγή ενέργειας είναι πιο φθηνή από τις διαθέσιμες ηλιακές εναλλακτικές. Όμως η παραπάνω παραγωγή ενέργειας έχει φτάσει το όριο ωριμότητας της και δεν μπορούμε να αναμένουμε σημαντικές βελτιώσεις άρα και μείωση του κόστους ενέργειας. Τουναντίον λόγω μείωσης των αποθεμάτων των ορυκτών καυσίμων μόνο αύξηση μπορούμε να προσδοκάμε.

Παρόλο έτσι το μεγάλο εμπορικό πεδίο που όπως βλέπουμε μπορούν να προσδοκούν οι ηλιακές μηχανές ψύξεως δεν είναι ακόμα έτοιμες να ανταγωνιστούν κατά μέτωπο τις ηλεκτρικές μηχανές ψύξεως. Το μεγάλο κόστος κτίσης τους σε συνάρτηση με τον μικρό βαθμό απόδοσης τους περιορίζει τις πιθανότητες τους για ευρεία εξάπλωση προς το παρόν. Χαμηλώνοντας το κόστος των επιμέρους εξαρτημάτων και βελτιώνοντας την απόδοσή τους θα άλλαζε δραματικά την κατάσταση υπέρ τους. Έτσι παρόλο που οι στόχοι που πρέπει να επιτευχθούν είναι σταθερά ορισμένοι παραμένει δύσκολο το ερώτημα για το πότε οι μηχανές αυτές θα είναι έτοιμες να εισέλθουν στην αγορά.

6.4 Οικονομική εκτίμηση των ηλιακών συστημάτων ψύξεως στην Ελλάδα

Υπάρχει ακόμα η ανάγκη για επιχορήγηση ώστε να διασφαλιστεί η αποτελεσματική είσοδος των ψυκτικών ηλιακών μηχανών. Κρίσιμη παράγοντες που θα οδηγήσουν στην εξάπλωση των μηχανών αυτών είναι η οικονομική προσβασιμότητα και η τεχνολογική ωρίμανση. Το πρώτο εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως η νομοθεσία, οι κρατικές οδηγίες και η ενεργειακή πολιτική της χώρας. Στην Ελλάδα το οικονομικό πλαίσιο για παρόμοιες επενδύσεις βασίζεται σε:

- Σε οικονομικά κίνητρα για την αγορά ηλιακών συλλεκτών.
- Σε οικονομικά κίνητρα για επενδύσεις σε συστήματα ηλιακής ενέργειας.
- Επιχορηγήσεις για επενδύσεις σε τεχνολογίες εξοικονόμησης ενέργειας.

Γνωστό είναι άλλωστε ότι παρόμοιες επενδύσεις χαρακτηρίζονται από μεγάλη αρχική επένδυση και μικρά λειτουργικά έξοδα. Ως εκτούτου το βασικό οικονομικό πρόβλημα είναι η σύγκριση της αρχικής επένδυσης με τις μελλοντικές αποταμιεύσεις. Κλασσικά κριτήρια για όλες γενικά τις ΑΠΕ

όπως υδροηλεκτρικά έργα, αιολικές μηχανές κ.τ.λ είναι δύο τα οποία θα χρησιμοποιήσουμε και εμείς:

- Ο χρόνος αποπληρωμής (Payback time) εξίσωση (6.1).
- Η καθαρή παρούσα αξία NPV (Net present value) εξίσωση (6.2).

$$PB = \frac{\log\left[\frac{C}{E} \frac{i}{100} + 1\right]}{\log\left(1 + \frac{i}{100}\right)} \quad (6.1)$$

Όπου C το αρχικό κόστος εγκατάστασης, i επιτόκιο, E εξοικονόμηση χρημάτων σε ευρώ ανά χρόνο από την εγκατάσταση σε σχέση με την ηλεκτρική ενέργεια ισούται με το κόστος ηλεκτρικής ενέργειας – κόστος ενέργειας από τα ηλιακά.

$$NPV = Y \cdot \frac{1}{r-i} \cdot \left[1 - \frac{1+i}{1+r}\right]^l - C \quad (6.2)$$

Όπου Y όφελος ανά χρόνο σε ευρώ, l χρόνος ζωής σε έτη, C κόστος εγκατεστημένου εξοπλισμού. Παρακάτω θα θεωρήσουμε δεδομένα για τον Ελλαδικό χώρο ώστε να μπορέσουμε να βγάλουμε συμπεράσματα για την οικονομική τους βιωσιμότητα, έτσι έχουμε:

- Κόστος συντήρησης: 4% για τις συμβατικές μορφές ενέργειας, 0.1% για τα ηλιακά. Ποσοστά επί του αρχικού κεφαλαίου.
- Κόστος λειτουργίας: 80 ευρώ/έτος
- Χρόνος ζωής: 15 έτη.
- Κόστος εγκατάστασης: 12% του αρχικού κεφαλαίου.
- Κόστος ενέργειας: Ηλεκτρικής 0.099 ευρώ/kWh, Αερίου 0.358 ίου 0.358 ευρώ/m³
- Επιτόκιο: 2%
- Έκπτωση του εμπορίου επί του αρχικού κεφαλαίου αγοράς: 3%
- Κόστος επίπεδου ηλιακού συλλέκτη: 171 ευρώ/m²
- Κόστος ψύκτη προσρόφησης: 1000 ευρώ/kW ψυκτικής ισχύος.
- Κρατική επιχορήγηση: 40% του αρχικού κεφαλαίου επένδυσης.

Ελέχθησαν δύο περιοχές, η Αθήνα και η Κρήτη. Τα στοιχεία θερμικών φορτίων, συλλεκτών κ.τ.λ μπορούν να συγκεντρωθούν στον Πίνακα 6.1. Σε αυτές τις δύο περιοχές συγκρίθηκαν τέσσερα σενάρια τα οποία έχουν ως ακολούθως:

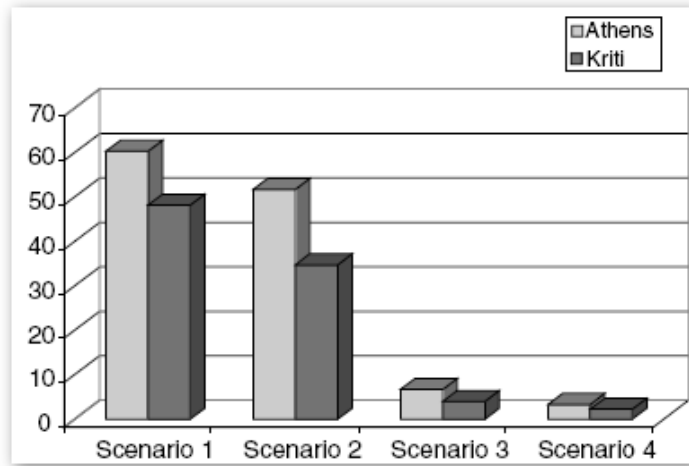
- 1) Εμπορική χρήση των συστημάτων ρόφησης σε περιοχές διασυνδεδεμένες με τον βασικό κορμό του ηλεκτρικού δικτύου.
- 2) Εμπορική χρήση των συστημάτων ρόφησης σε περιοχές διασυνδεδεμένες με τον βασικό κορμό του ηλεκτρικού δικτύου. Φόρος ηλεκτρικής ενέργειας 30%, επιχορήγηση 40%.

- 3) Εμπορική χρήση των συστημάτων ρόφησης σε περιοχές που δεν είναι διασυνδεδεμένες με τον βασικό κορμό του ηλεκτρικού δικτύου πχ νησιά ή πολύ ορεινές περιοχές. Βασική παραγωγή ενέργειας από αέριο.
- 4) Εμπορική χρήση των συστημάτων ρόφησης σε περιοχές που δεν είναι διασυνδεδεμένες με τον βασικό κορμό του ηλεκτρικού δικτύου πχ νησιά ή πολύ ορεινές περιοχές. Βασική παραγωγή ενέργειας από αέριο. Φόρος ηλεκτρικής ενέργειας 30%, επιχορήγηση 40%.

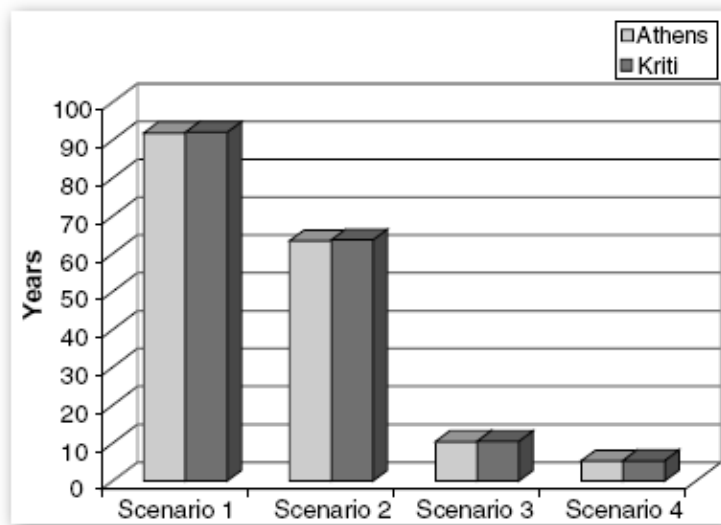
| | | | |
|--|-------|--------------------------|--------------------|
| U_G (W/m ² K): common glass | 5.7 | | |
| a : absorptivity | 0.7 | | |
| k_1 (W/m K)(plaster) | 0.46 | | |
| k_2 (W/m K)(common brick) | 0.42 | | |
| k_3 (W/m K)(concrete) | 0.54 | | |
| I: 24-h solar insolation (W/m ²) | | | |
| Athens | 151.2 | | |
| Crete | 222.6 | | |
| Solar incidence South facing: $I = I_{\theta} \times \cos(37 - \theta)$ | | | |
| North facing roof: $I = I_{\theta} \times \sin(60)$ | | | |
| Number of air changes per hour | 0.5 | | |
| $1/U_w = x_1/k_1 + x_2/k_2 + x_3/k_3$ (m ² K/W) | 0.845 | | |
| $1/U_f = x_1/k_1 + x_3/k_3$ (m ² K/W) | 0.263 | | |
| | | Heat gain in Athens (kW) | Heat gain in Crete |
| Fenestration: $Q_2 = U \times A_f \times \Delta T + Q_3 = a \times A_f \times I$ | 11.96 | | 15.10 |
| Walls: $Q_4 = U_w \times A_w \times \Delta T$ | 10.14 | | 10.11 |
| Floors: $Q_5 = U_f \times A_f \times \Delta T$ | 9.91 | | 9.11 |
| Ventilation: $Q_6 = N \times V \times \rho_{air}(h_i - h_o)$ | 14.15 | | 12.07 |
| Roof radiation: | 34.02 | | 50.12 |
| $Q_7 = (A_R/2 - X) \times a \times I_s + A_R/2 \times a \times I_N$ | | | |
| Photocopy machine | 0.60 | | 0.60 |
| Lighting | 0.62 | | 0.62 |
| People | 9.00 | | 9.00 |
| Total gain | 94.90 | | 168.89 |
| <i>Climatic conditions</i> | | | |
| Lat. (°) | 35.2 | | 37.54 |
| Average of max August T (°C) | 36.0 | | 35.2 |
| Indoors temperature | 26.1 | | 26.1 |

Πίνακας 6.1 Στοιχεία θερμικών φορτίων, συλλεκτών κ.τ.λ σε Αθήνα και Κρήτη.

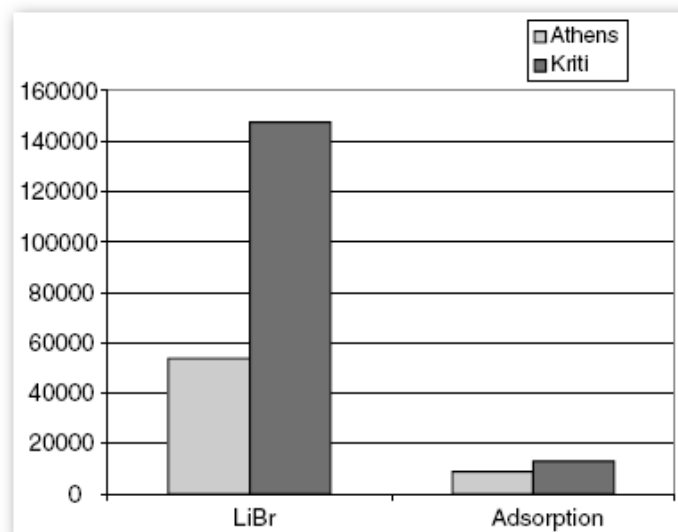
Τα αποτελέσματα που πήραμε μετά την εφαρμογή των παραπάνω εξισώσεων δίνονται στα Σχήματα 6.2,3,4,5. Σημειώνεται ότι έγινε και σύγκριση με σύστημα LiBr.



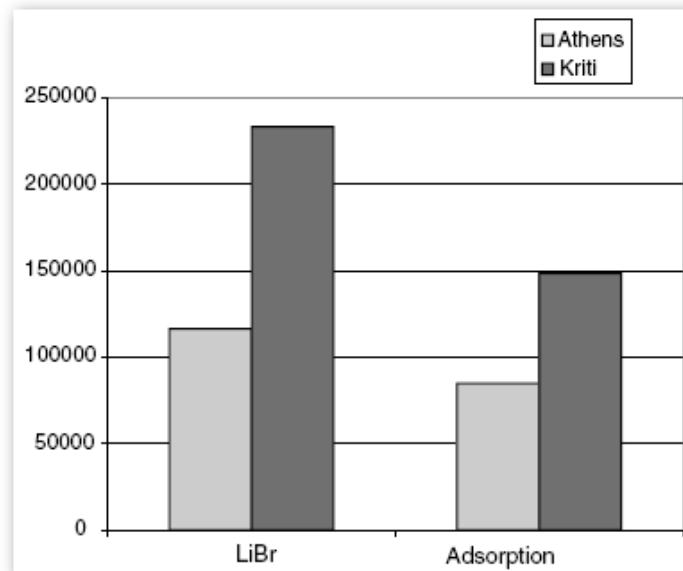
Σχήμα 6.2 (Χρόνος αποπληρωμής - LiBr)



Σχήμα 6.3 (Χρόνος αποπληρωμής - Προσοφητικό σύστημα)



Σχήμα 6.4 (Καθαρή παρούσα αξία - Περίπτωση 3)



Σχήμα 6.5 (Καθαρή παρούσα αξία – Περίπτωση 4)

Τα παραπάνω αποτελέσματα μπορούν να συγκεντρωθούν στον Πίνακα 6.2

| | Attiki | | | | Crete | | | |
|-------------------------------|----------|----------|---------|---------|----------|----------|---------|---------|
| | Scen. 1 | Scen. 2 | Scen. 3 | Scen. 4 | Scen. 1 | Scen. 2 | Scen. 3 | Scen. 4 |
| <i>LiBr absorption system</i> | | | | | | | | |
| Payback period (yr) | 60 | 52 | 7 | 3 | 48 | 35 | 4 | 2 |
| NPV (€) | -43,312 | -41,875 | 53,783 | 116,120 | -51,298 | -37,290 | 147,407 | 23,2947 |
| <i>Adsorption system</i> | | | | | | | | |
| Payback period (yr) | 92 | 63 | 10 | 5 | 92 | 64 | 10 | 5 |
| NPV (€) | -107,899 | -107,899 | 8646 | 84,721 | -19,5152 | -122,768 | 12,845 | 148,262 |

Πίνακας 6.2 Αποτελέσματα έρευνας

Από τα διαγράμματα και από τον παραπάνω πίνακα μπορούν να εξαχθούν κάποια πολύ σημαντικά συμπεράσματα για την βιωσιμότητα και το μέλλον παρόμοιων επενδύσεων. Τα σημαντικότερα αποτελέσματα έχουν ως εξής:

- Όσον αφορά το χρόνο αποπληρωμής είναι σε λογικά πλαίσια μόνο στα σενάρια 3 και 4. Άρα μπορούμε να συμπεράνουμε ότι σε περιοχές εντός του βασικού κορμού του ηλεκτρικού δικτύου παρόμοια επένδυση είναι εντελώς ασύμφορη, μάλιστα σε ορισμένες περιπτώσεις ο χρόνος αποπληρωμής είναι πενταπλάσιος του χρόνου ζωής του ηλιακού συλλέκτη. Από την Αθήνα στην Κρήτη βλέπουμε σημαντικές διαφορές πράγμα το οποίο έγκειται στην πολύ διαφορετική τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας στις δύο πόλεις και στις αρνητικές αυξήσεις των τιμών λόγω απόστασης από την πρωτεύουσα. Συνέπεια βέβαια των παραπάνω είναι και ότι ο χρόνος αποπληρωμής σε πόλεις με αυξημένες τιμές της ηλεκτρικής ενέργειας έχουν μικρότερο χρόνο αποπληρωμής της επένδυσης. Σημαντικό είναι και το γεγονός ότι ακόμα και με επιχορήγηση 40% καθώς και κρατική φορολόγηση της ηλεκτρικής ενέργειας εγκαταστάσεις προσρόφησης είναι αδύνατο να υπάρξουν εμπορικά με την ύπαρξη δικτύου βάσης ηλεκτρικής ενέργειας. Η

επιχορήγηση σε σχέση με την κρατική φορολογία βελτιώνουν κατά πολύ τον χρόνο αποπληρωμής σχεδόν στο μισό του.

- Τα παραπάνω μπορούν και να επαληθευτούν από τον συντελεστή NPV. Οι αρνητικές τιμές του δίνουν μη συμφέρουσα επένδυση, οι μηδενικές οριακή συμφέρουσα και συγκριτικά από δύο θετικές λαμβάνοντας την μεγαλύτερη αυτόματα λαμβάνουμε και την προτιμότερη επένδυση. Όπως βλέπουμε λοιπόν τα σενάρια 1 και 2 είναι ασύμφορα, ενώ το μεγαλύτερο NPV παρουσιάζει πάντα το σενάριο 4. Συγκριτικά οι μηχανές απορρόφησης δίνουν καλύτερο NPV από τις μηχανές προσρόφησης.
- Συνοψίζοντας μπορούμε να πούμε ότι εγκαταστάσεις προσρόφησης είναι αδύνατο να υπάρξουν προς το παρόν σε περιοχές που βρίσκονται στον βασικό ηλεκτρικό κορμό της χώρας και συνεπώς σε μεγάλες πόλεις. Το μειονέκτημα αυτό μπορεί να λυθεί με μαζική παραγωγή ηλιακών συλλεκτών και άρα μείωση του κόστους αγοράς τους. Για τον ίδιο λόγο και η σύγκριση τους με μηχανές απορρόφησης αφήνει τις προσροφητικές μηχανές ψύξεως με ηλιακή ενέργεια ουραγούς.

7. ΨΥΞΗ ΜΕ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ – ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ

7.1 Εισαγωγή

Ο ψυκτικός κύκλος με απορρόφηση είναι μια διαδικασία κατά την οποία το ψυκτικό αποτέλεσμα παράγεται μέσα από την χρήση δύο ρευστών και μιας ποσότητας θερμότητας σαν είσοδο στο σύστημα, αντί ηλεκτρικής ενέργειας που θα τροφοδοτούσε έναν μηχανικό συμπιεστή.

Η βασική διαφορά όμως των παραπάνω δύο (απορρόφηση και μηχανική συμπίεση) είναι ότι στη δεύτερη περίπτωση έχουμε την δημιουργία μιας διαφοράς πίεσης και άρα την κυκλοφορία του εργαζόμενου μέσου, ενώ στην πρώτη έχουμε διάλυση (απορρόφηση) του εργαζόμενου μέσου στο δεύτερο ρευστό, εν συνεχεία την μεταφορά του και τέλος την απομάκρυνση του, δηλαδή μια κυκλοφορία τριών σταδίων αντί ενός. Πιο αναλυτικά ενώ στον μηχανικό συμπιεστή δίνουμε ηλεκτρική ενέργεια για να κυκλοφορήσει το εργαζόμενο μέσο, στον ψυκτικό κύκλο με απορρόφηση χρησιμοποιούμε ένα άλλο ρευστό που θα κάνει αυτήν την εργασία αλλά αναγκαστικά σε τρία στάδια και με την βοήθεια μια μικρής αντλίας ανακυκλοφορίας.

Προφανώς η αντλία καταναλώνει σαφώς λιγότερη ενέργεια από ότι ο συμπιεστής λόγω της φύσης της εργασίας της. Επίσης την απομάκρυνση του εργαζόμενου μέσου από τον απορροφητή (2^ο ρευστό) μπορούμε να την πετύχουμε με μια είσοδο θερμότητας πολύ χαμηλής ποιότητας όπως γεωθερμίας, ηλιακής, από δευτερεύουσες διεργασίες κτλ οι οποίες είναι από δωρεάν έως πάρα πολύ φθηνές. Αντιλαμβανόμαστε το σημαντικό οικονομικό κέρδος που μπορούμε να επιτύχουμε λόγω εξοικονόμησης ηλεκτρικής ενέργειας.

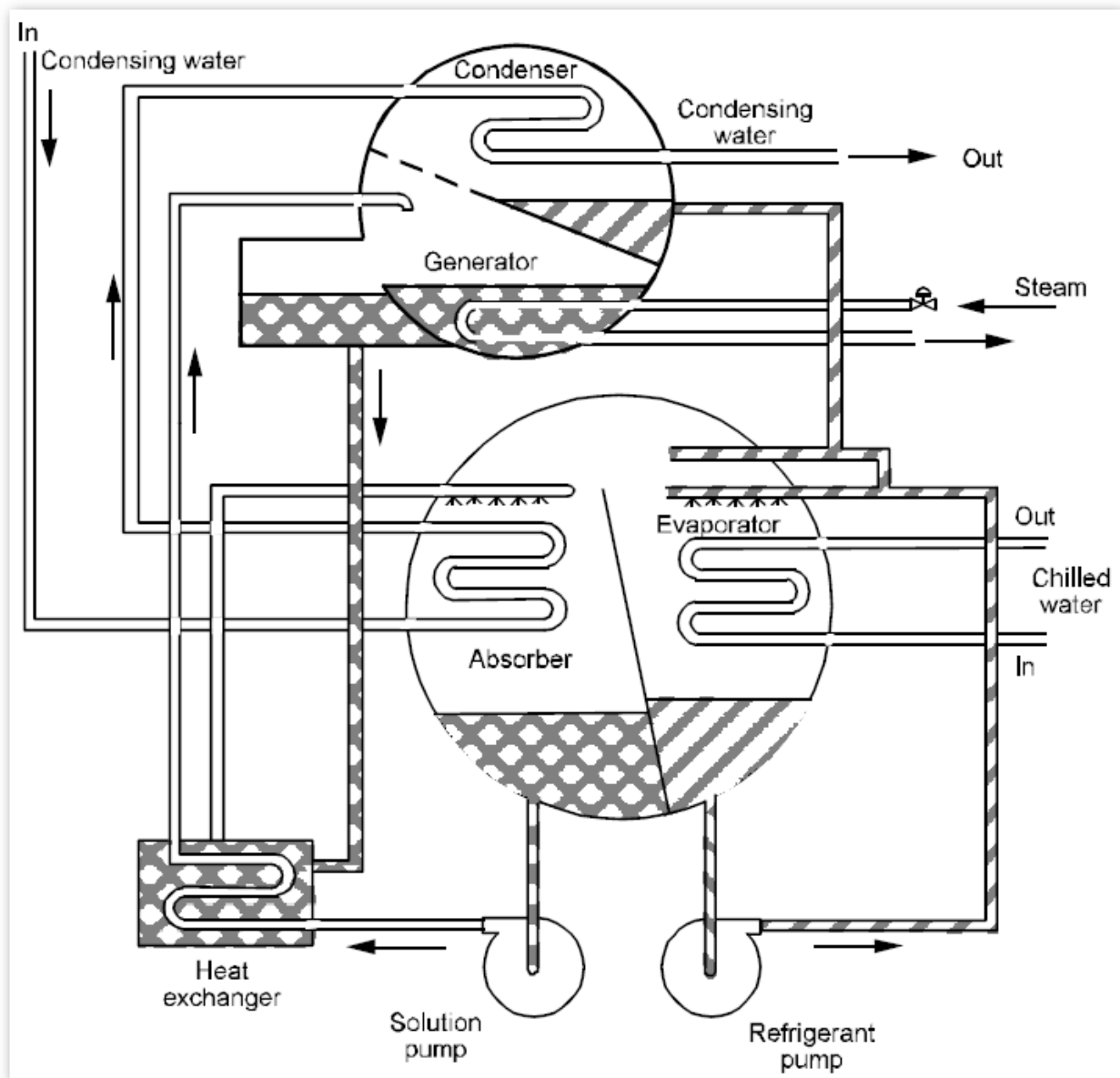
Τέτοιες μηχανές κυκλοφορούν σήμερα και εμπορικά σε δύο βασικούς συνδυασμούς:

- Για εφαρμογές πάνω από 32F δηλ. 0C σαν ζεύγος χρησιμοποιείται Βρωμιούχο Λίθιο (Απορροφητής) / Νερό (Εργαζόμενο μέσο-Ψυκτικό). Χημικός τύπος (LiBr/H₂O).
- Για εφαρμογές κάτω από 0C σαν ζεύγος χρησιμοποιείται Αμμωνία (Απορροφητής) / Νερό (Εργαζόμενο μέσο-Ψυκτικό).

7.2 Τρόπος λειτουργίας κύκλων απορρόφησης

Στο Σχήμα 7.1 μπορούμε να διακρίνουμε ένα κλασικό διάγραμμα μηχανής Βρωμιούχου Λιθίου / Νερού. Η διαδικασία λαμβάνει χώρα σε δύο διαμερίσματα-δοχεία (vessels-shells). Το επάνω διαμέρισμα περιλαμβάνει τον αναγεννητή και τον συμπυκνωτή (generator). Ενώ το κάτω περιλαμβάνει τον απορροφητή και τον ατμοποιητή.

Θερμότητα προσάγεται στον αναγεννητή από μια ηλιακή πηγή, γεωθερμία ή αποβάλλουσα θερμότητα από δευτερεύουσες διεργασίες. Αυτή η θερμότητα ανεβάζει την θερμοκρασία του διαλύματος και αναγκάζει σε βρασμό το ψυκτικό (νερό) το οποίο και περνά από το διαχωριστικό στον συμπυκνωτή όπου και ένα μέσο ψύξης διέρχεται δια του εικονιζόμενου σωλήνα και το συμπυκνώνει με αποτέλεσμα την συλλογή του σε σημείο του συμπυκνωτή.



Σχήμα 7.1 Διάταξη μηχανής Βρωμιούχου Λιθίου / Νερού.

Στη συνέχεια το νερό λόγω βαρύτητας κυλά κάτω προς τον ατμοποιητή όπου και αναμειγνύεται με νερό το οποίο δεν έχει ατμοποιηθεί και ανακυκλοφορεί μέσω μικρής αντλίας και ψεκάζεται επάνω από τους αγωγούς όπου κυκλοφορεί το ρευστό που θέλουμε να ψύξουμε.

Διατηρώντας πολύ μικρή πίεση στο δοχείο του ατμοποιητή το νερό βράζει σε πολύ χαμηλή θερμοκρασία. Αυτός ο βρασμός προκαλεί την απομάκρυνση θερμότητας από το μέσο που θέλουμε να ψήξουμε παράγοντας έτσι το ψυκτικό αποτέλεσμα.

Στη συνέχεια το ατμοποιημένο νερό περνά στην δεξιά περιοχή του κάτω δοχείου όπου εκεί συναντά το ζεύγος απορροφητή (LiBr) και νερού το οποίο βρίσκεται σε υψηλή συγκέντρωση απορροφητή και χαμηλή νερού, αυτή η σύνθεση ονομάζεται ισχυρό διάλυμα. Τότε ο απορροφητής με φυσικές διεργασίες τείνει να απορροφήσει περισσότερο νερό από το ατμοποιηθέν και να εξισορροπήσει το διάλυμα. Αυτή η διαδικασία της απορρόφησης δίνει και στον κύκλο το όνομα της. Αμέσως μετά το αραιό πλέον διάλυμα μεταφέρεται με μια μικρή αντλία στο πάνω δοχείο όπου και ο κύκλος ξαναρχίζει. Όπως μπορεί να φανεί και από το Σχήμα 7.1 υπάρχουν τρία κυκλώματα ροής ρευστού με εξωτερικές συνδέσεις τα οποία και είναι:

- Το θερμό ρεύμα που διαρρέει τον αναγεννητή και προέρχεται από δευτερογενή πηγή θερμότητας όπως ηλιακή ενέργεια. Κύκλωμα 1.
- Το ψυκτικό νερό που διαρρέει τον απορροφητή και τον συμπυκνωτή με σκοπό την απαγωγή θερμότητας και προέρχεται από κάποια εξωτερική πηγή. Κύκλωμα 2.
- Το νερό που προορίζεται για ψύξη (chilled water) και το οποίο προφανώς διαρρέει τον ατμοποιητή. Κύκλωμα 3.

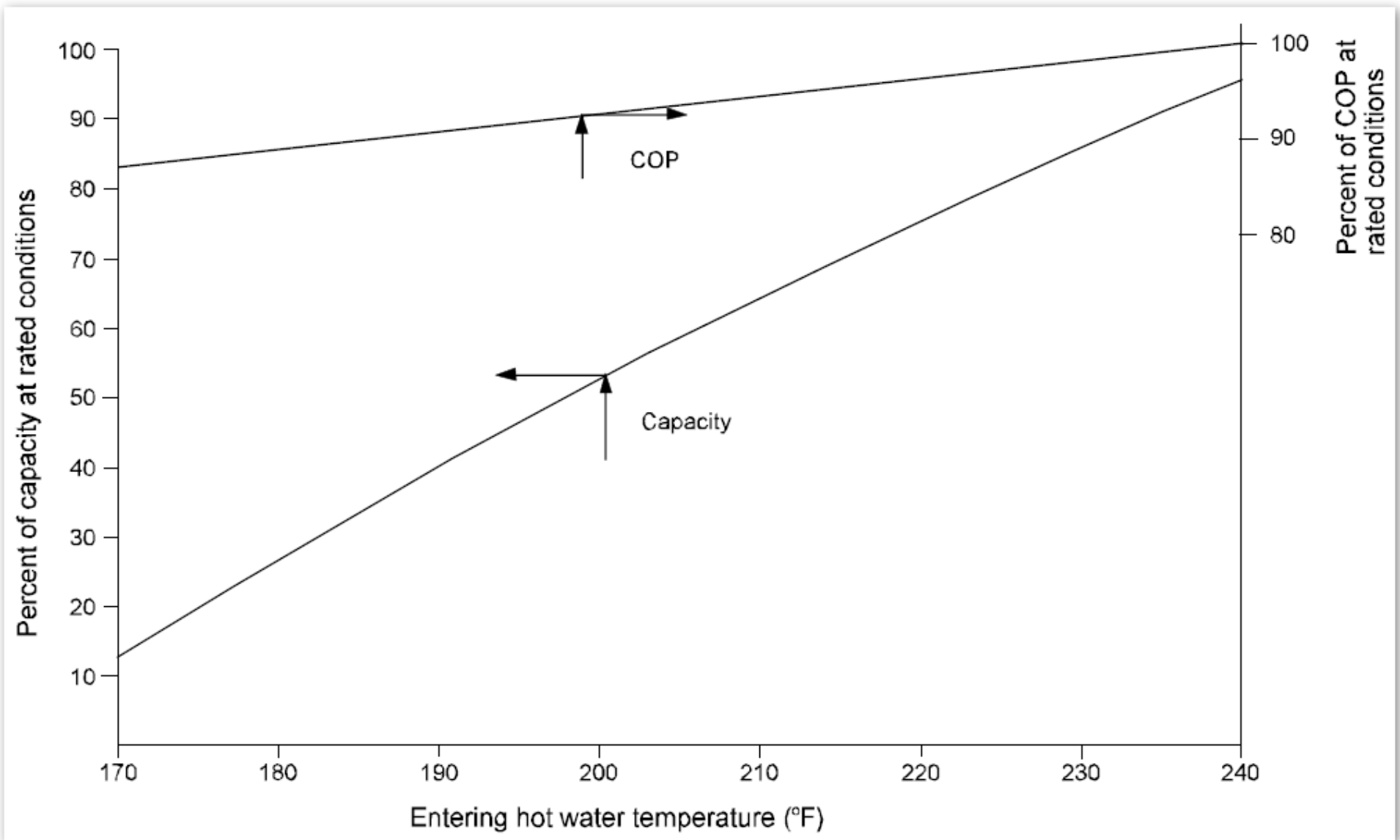
Συνδεδεμένη με κάθε ένα από αυτά τα κυκλώματα είναι μια συγκεκριμένη θερμοκρασία και πίεση πάνω στην οποία η μηχανή είναι βαθμονομημένη. Για μονάδες μιας βαθμίδας όπως η παραπάνω έχουμε τις εξής τιμές:

- 12psi Τυπική τιμή πίεσης θερμού ρεύματος στο κύκλωμα 1.
- 85F 44F Αντίστοιχα είσοδος και έξοδος κυκλώματος 3.

Αυτές είναι τυπικές τιμές οι οποίες προέρχονται από την ASHRAE 1983 και με τις οποίες μπορούμε να πετύχουμε ένα COP από 0.65 μέχρι 0.70

7.3 Απόδοση μονοβάθμιας απορροφητικής μηχανής

Στο Σχήμα 7.2 μπορούμε να παρατηρήσουμε την απόδοση μιας μονοβάθμιας απορροφητικής μηχανής με μεταβλητές το COP (δεξιός άξονας), ψυκτικό αποτέλεσμα (αριστερός άξονας) και την είσοδο του θερμού νερού του κυκλώματος 1 ως μεταβλητή. Παρατηρούμε ότι εάν η θερμοκρασία του είναι μικρότερη των 220F το αποτέλεσμα θα είναι πάρα πολύ μεγάλη μείωση στην απόδοση της μηχανής. Αυτό περιορίζει πάρα πολύ την λειτουργία της όσον αφορά την χρήση της με ηλιακή ενέργεια, γεωθερμία κτλ. και συνεπώς η πτώση αυτή έχει να κάνει πολύ με την φύση της ενέργειας που εισάγουμε. Το αποτέλεσμα είναι ότι πηγές θερμότητας από 180 μέχρι 230F πρέπει να είναι από 400 με 420% υπερδιαστασιοποιημένοι για να έχουμε ένα συγκεκριμένο αποτέλεσμα σε σχέση με μια λίγο μεγαλύτερη θερμότητα εισόδου. Άρα έχουμε άνοδο του αρχικού κεφαλαίου κτήσης της μηχανής, μείωση του χρόνου αποπληρωμής, αύξηση του μεγέθους του ψυκτικού πύργου κτλ. Καταλήγουμε ότι εγκαταστάσεις με πηγές θερμότητας κάτω των 230F ή 356C είναι αντικοινωνικές.



Σχήμα 7.2 Απόδοση μονοβάθμιας απορροφητικής μηχανής με μεταβλητές το COP (δεξιός άξονας), ψυκτικό αποτέλεσμα (αριστερός άξονας) και την είσοδο του θερμού νερού του κυκλώματος 1.

8. ΨΥΞΗ ΜΕ ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗ – ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ.

8.1 Εισαγωγή

Η χρήση στερεών υλικών για την απομάκρυνση ουσιών από αέρια ή υγρή φάση ήταν γνωστή από τις βιβλικές εποχές. Αυτή η διαδικασία γνωστή και ως προσρόφηση περιλαμβάνει την επιλεκτική δέσμευση ποσότητας ουσίας από την αέρια ή την υγρή φάση στην επιφάνεια και μέχρι ένα πεπερασμένο υπόστρωμα της στερεής. Χρησιμοποιήθηκε από τους πρώτους αιώνες κιόλας προσροφητικός άνθρακας κοκάλων για τον αποχρωματισμό της ζάχαρης, ενώ έχουμε χρήση και κατά τον πρώτο παγκόσμιο πόλεμο όπου ενεργός άνθρακας τοποθετήθηκε στο πεδίο της μάχης για την απομάκρυνση των χημικών αερίων.

Στα πρώτα χρόνια του 19^{ου} αιώνα η ψύξη με προσρόφηση ήταν ιδιαίτερα δημοφιλής, αργότερα με την ανακάλυψη των φθινών ηλεκτρικών μηχανικών συμπιεστών που μετά από την μαζική παραγωγή τους έγιναν ιδιαίτερα ελκυστικοί η τεχνολογία αφέθηκε ως ξεπερασμένη. Στο παραπάνω βοήθησε και πάρα πολύ η ανακάλυψη των χλωροφθορανθράκων (CFCs) γύρω στο 1930. Οι μηχανές ρόφησης (sorption) βέβαια έχουν πατενταριστεί και βρίσκονται στην βιβλιογραφία από το 1909 και εμπορικά διατέθηκαν το 1920. Πρώτη φορά από τον Miller έχουμε μια έρευνα πάνω στο θέμα της προσρόφησης με σκοπό την ψύξη με ζεύγος Πηκτώματος πυριτίου / Διοξειδίου του θείου (silica gel / sulfur dioxide) ως προσροφητή / προσροφούμενου.

Το ενδιαφέρον για τα συστήματα προσρόφησης άρχισε να αυξάνει, ξανά κατά την διάρκεια της πετρελαϊκής κρίσης την δεκαετία του 70 όπου και οδήγησε σε ένα ενδιαφέρον για την έλλειψη ενέργειας και αργότερα την δεκαετία του 90 εξαιτίας των οικολογικών προβλημάτων που συνδέθηκαν με την χρήση CFCs και HCFCs. Τέτοια ψυκτικά όταν ελευθερώνονταν στην ατμόσφαιρα κατέστρεφαν το όζον και συνεισφέρανε στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Ακόμα με την αύξηση της ενεργειακής κατανάλωσης παγκοσμίως έγινε ακόμα πιο επιτακτική σήμερα η ανάγκη τέλειας και σωστής διαχείρισης των ενεργειακών αποθεμάτων, όπως και η αξιοποίηση των πράσινων πηγών ενέργειας. Ως εκτούτου μηχανές που μπορούν να ανακτήσουν πηγές θερμότητας πολύ χαμηλού επιπέδου, όπως οι μηχανές προσρόφησης μπορούν να αποτελέσουν ενδιαφέρουσα εναλλακτική για μια σοφότερη ενεργειακή διαχείριση.

8.2 Ορισμός της προσρόφησης

Πολλοί συγγραφείς έχουν εξηγήσει ότι η φυσική προσρόφηση είναι ένα επιφανειακό φαινόμενο που ενεργοποιείται κυρίως από τις δυνάμεις Van Der Waals όπως και από τις ηλεκτροστατικές δυνάμεις μεταξύ των μορίων του προσροφούμενου-ψυκτικού και των ατόμων που απαρτίζουν την επιφάνεια του προσροφητή, τους δεσμούς υδρογόνου του προσροφούμενου και άλλες δυνάμεις συνοχής. Η διαδικασία αυτή είναι πλήρως αντιστρεπτή με τα κατάλληλα ποσά θερμότητας

8.3 Ο Μηχανισμός της προσρόφησης

Ο κλασικός κύκλος προσρόφησης ο οποίος έχει παρουσιασθεί αναλυτικά στην παγκόσμια βιβλιογραφία απαρτίζεται από δύο κύριες φάσεις. Αυτές είναι:

- Ψύξη του προσροφητή (adsorbent), με αποτέλεσμα την προσρόφηση του ψυκτικού μέσου (adsorbate) το οποίο εκείνη την στιγμή προέρχεται από τον ατμοποιητή άρα παράγει το ψυκτικό αποτέλεσμα. Η ψύξη αυτή χρειάζεται γιατί η προσρόφηση είναι μια ενδόθερμη διεργασία και συνεπώς εάν δεν ψυχθεί η τράπεζα (adsorption bed) το φαινόμενο θα έχει πολύ μικρές διαστάσεις. Στη βιβλιογραφία συναντάμε στη συντριπτική πλειοψηφία ψύξη σε μεγάλα χρονικά διαστήματα κατά τις βραδινές ώρες με φυσική ανταλλαγή θερμότητας με το περιβάλλον μέσω του ατμοσφαιρικού αέρα, με νερό που διέρχεται μέσα από θερμικά αγωγίμους αγωγούς και οι οποίοι βρίσκονται εντός του προσροφητή. Φυσικά αυτή θα μπορούσε να γίνει και με πύργους ψύξης ή με άλλες συμβατικές μεθόδους όμως σε αυτές τις περιπτώσεις το πλεονέκτημα μη χρησιμοποίησης ηλεκτρικής συσκευής χάνεται διότι το ελάχιστο που θα χρειαστούμε είναι μια αντλία μεταφοράς του υγρού ψύξης (HTF Heat Transfer Fluid).
- Θέρμανση του προσροφητή, με αποτέλεσμα την απομάκρυνση (desorption) του ψυκτικού από αυτόν το οποίο εκείνη την στιγμή οδεύει στον συμπυκνωτή άρα συμπυκνώνεται. Η θέρμανση αυτή χρειάζεται γιατί η αποβολή του προσροφητικού είναι μια ενδόθερμη διαδικασία και συνεπώς πρέπει με κάποιο τρόπο να προσφέρουμε ενέργεια στο σύστημα. Προέρχεται στην παρούσα διπλωματική από τον ήλιο άμεσα ενώ στην βιβλιογραφία συναντάμε και θέρμανση από γεωθερμία, αποβάλλουσες πηγές θερμότητας όπως εξατμίσεις κτλ.

8.4 Το μοντέλο της ενέργειας της πιθανότητας προσρόφησης του Polanyi

Ο Polanyi (1914) ήταν ο πρώτος που περιέγραψε την προσρόφηση μιας ουσίας σε έναν προσροφητή με μαθηματικές εξισώσεις και έκτοτε η θεωρία του χρησιμοποιείται ως βάση. Χαρακτηριστικό μέγεθος αυτής είναι η ενέργεια πιθανότητας προσρόφησης (adsorption potential energy) και συμβολίζεται με το Ελληνικό γράμμα ε .

Η θεωρία της πιθανότητας προσρόφησης βασίζεται επάνω στην πιθανή ενεργειακή κατανομή στην επιφάνεια του προσροφητή η οποία είναι ένα θεωρητικό μοντέλο που περιγράφει την πολλών στρωμάτων μορίων προσρόφηση. Στο μοντέλο αυτό η θερμοδυναμική σκοπιά υιοθετήθηκε από πολύ νωρίς. Ο Polanyi θεώρησε ότι η παράγωγος της ενέργειας πιθανότητας προσρόφησης ε είναι ανεξάρτητη της θερμοκρασίας υπό σταθερό όγκο δηλ.

$$\left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial T}\right)_{V^s} = 0 \quad (8.1)$$

Θεωρώντας επίσης ότι το προσροφόμενο υλικό δεν είναι συμπιεστό (άρα η ενέργεια που χρειάζεται να σχηματιστεί το υγρό φιλμ παραλείπεται στην επιφάνεια) και ότι το αέριο είναι τέλει μπορούμε να εκφράσουμε την ενέργεια πιθανότητας προσρόφησης σε μια απόσταση l μέσα στον προσροφητή σύμφωνα με την (8.2).

$$\varepsilon_l = R \cdot T \cdot \ln\left(\frac{P_o}{P}\right) \quad (8.2)$$

Όπου P_o είναι η πίεση κορεσμού που αναλογεί στην συγκεκριμένη θερμοκρασία και P είναι η πίεση που ασκεί ο προσροφημένος ατμός του προσροφούμενου. Προφανώς είναι ε_{\max} στην επιφάνεια του προσροφητή και $\varepsilon_{\min} = 0$ σε απόσταση l_{\max} μέσα στο σώμα του προσροφητή. Η (8.2) έδωσε το έναυσμα για τη δημιουργία των μοντέλων ισορροπίας.

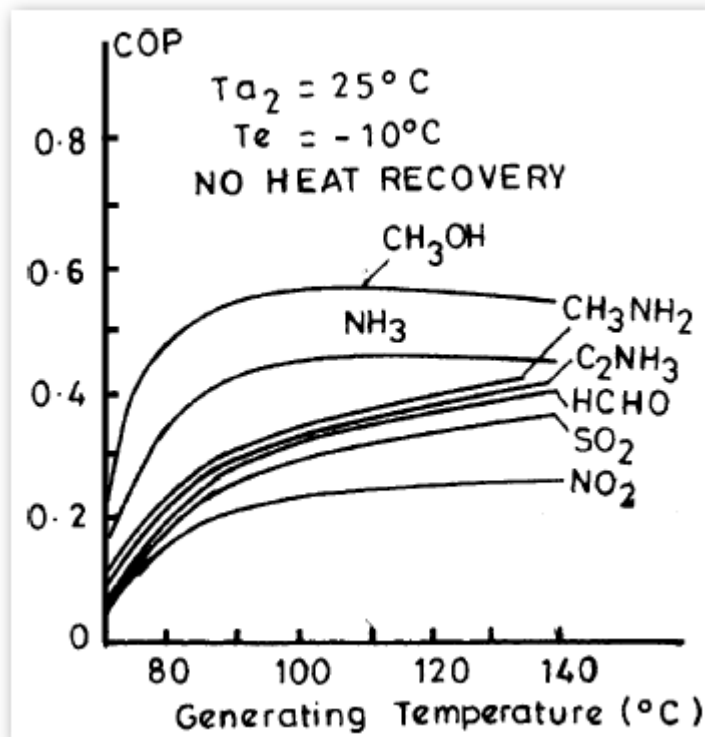
8.5 Μοντέλα ισορροπίας στην προσρόφηση

Καταρχήν πρέπει να κατηγοριοποιήσουμε τους προσροφητές σύμφωνα με τις διαστάσεις των πόρων τους, έτσι διακρίνουμε τρεις κατηγορίες:

- Μικρόποροι (Micropores) προσροφητές: Διάμετρος πόρου $< 15 \text{ \AA}$
- Μεταβατικοί (Transitional) προσροφητές: $15 < \text{Διάμετρος πόρου} < 20 \text{ \AA}$
- Μακρόποροι (Macropores) προσροφητές: $20 \text{ \AA} < \text{Διάμετρος πόρου}$

Για εφαρμογές ψύξης μας ενδιαφέρει η πρώτη κατηγορία προσροφητών την οποία και θα μελετήσουμε εκτενώς στο κεφάλαιο των ενεργών ανθράκων. Σε αυτήν την κατηγορία μπορούμε να εφαρμόσουμε μοντέλα ισοζυγίου που υπάρχουν εδώ και αρκετά χρόνια. Όπως είδαμε άλλωστε στην προηγούμενη παράγραφο υπάρχει μια συνεχής κίνηση από την υγρή στην αέρια φάση και από την αέρια στην υγρή φάση του προσροφούμενου εντός του προσροφητή ανάλογα με το αν θερμαίνουμε ή ψύχουμε. Η συνεχής αυτή κίνηση πρέπει να περιγραφεί με κάποιο μοντέλο που θα μας επιτρέψει να πραγματοποιήσουμε λογαριασμούς και ισοζύγια ώστε να μελετήσουμε αργότερα τους κύκλους που υλοποιούν την ψύξη με προσρόφηση. Βέβαια πολλές προσπάθειες έχουν γίνει με θεωρητικές, ημι-θεωρητικές αλλά και εμπειρικές σχέσεις, αλλά ούτε περιγράφουν και όλες όλα τα ζεύγη το ίδιο καλά ούτε και ισχύουν όλες για οποιαδήποτε συνθήκη πίεσης και θερμοκρασίας. Παρατηρούμε δηλαδή ότι η αναζήτηση του κατάλληλου μοντέλου για μια συγκεκριμένη εφαρμογή και συνθήκες είναι μια πολύ δύσκολη υπόθεση.

Αυτά τα μοντέλα λοιπόν προσφέρουν την αναγκαία ματιά στην συμπεριφορά του προσροφητικού για κάθε ένα προσροφούμενο, αυτό επιτρέπει την αξιολόγηση του εκάστοτε ζεύγους για εφαρμογές ψύξης. Είναι δε συγκεκριμένα αναγκαία για την δημιουργία των διαγραμμάτων P-T-X (Θερμοκρασίας, Πίεσης, Ποσοστού προσροφούμενου ανά μονάδα μάζας προσροφητή) τα οποία είναι απαραίτητα για την εκτίμηση του COP του μελετώμενου κύκλου. Το Σχήμα 8.1 δείχνει τα αποτελέσματα μιας παρόμοιας χρήσης για διάφορα προσροφούμενα με προσροφητή ενεργό άνθρακα.



Σχήμα 8.1 COP ενεργού άνθρακα και διάφορων προσροφούμενων.

Αυτά τα διαγράμματα είναι και το βασικό κριτήριο με το οποίο θα γίνει και η επιλογή του καλύτερου ζεύγους. Επισημαίνεται ότι όσον αφορά την ψύξη ο E.E Anyanwu δηλώνει χαρακτηριστικά ότι τα συγκεκριμένα μοντέλα βρίσκουν σημαντική εφαρμογή στην ηλιακή ψύξη.

Η γενική εξίσωση του ισοζυγίου είναι της μορφής της εξίσωσης (8.3).

$$X = f(P, T) \quad (8.3)$$

με

$$\left(\frac{\partial X}{\partial T}\right)_P < 0 \quad \text{και} \quad \left(\frac{\partial X}{\partial P}\right)_T > 0 \quad (8.4)$$

Η παράμετρος X δίνει την συγκέντρωση του προσροφούμενου μέσα στο προσροφητικό ανά μονάδα μάζας προσροφητικού (kgr adsorbate/kgr adsorbent). Οι δύο παράγωγοι της εξίσωσης (8.4) μας λένε ότι με την αύξηση της θερμοκρασίας η συγκέντρωση του προσροφούμενου φθίνει ενώ με την άνοδο της πίεσης αυξάνει. Η όλη ιδέα συνεπώς βασίζεται στην διατύπωση μιας εξίσωσης του τύπου (8.3) συναρτήσεως της πίεσης και της θερμοκρασίας.

8.6 Μοντέλο Dubinin – Astakhov – Polanyi (D-A)

Το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο μοντέλο είναι η εξίσωση (8.5). Ο Astakhov σκέφτηκε ότι αφαιρώντας την δεύτερη δύναμη και τοποθετώντας μια άλλη θα μπορούσε να περιγράψει καλύτερα την προσρόφηση. Έτσι καταλήγουμε στην εξίσωση (8.5) που δίνει και τα καλύτερα αποτελέσματα από όλες τις προηγούμενες, ενώ οι ερευνητές στην συντριπτική πλειοψηφία τους την χρησιμοποιούν.

$$V = V_o \cdot \exp\left(-D\left(\frac{T}{\beta} \cdot \ln\left(\frac{P_s}{P}\right)\right)^n\right) \quad (8.5)$$

Όπου πλέον το n είναι η χαρακτηριστική εκθετική σταθερά που εξαρτάται όχι μόνο από τον προσροφητή αλλά και από το προσροφούμενο.

Φυσικά βλέπουμε ότι ο Astakhov βελτίωσε τα κύλα αλλά δεν βελτιώθηκε εξίσωση όσον αφορά την απόκλιση της στους μικρούς και μεγάλους λόγους των πιέσεων και συνεπώς έχουμε και πάλι ένα όριο στην χρησιμοποίηση της (8.5) που δίνεται στην ανίσωση (8.6).

$$5 < P_s / P \leq 10 \quad (8.6)$$

Να σημειωθεί ότι υπάρχει αντίστοιχη σχέση της D-A με την (8.3) και η οποία δεν είναι πλέον μια κατανομή Gauss αλλά στην βιβλιογραφία συσχετίζεται με αυτήν της Weibull και είναι η (8.7).

$$x = x_0 \cdot \exp\left(-\left(\frac{\varepsilon}{E}\right)^n\right) \quad (8.7)$$

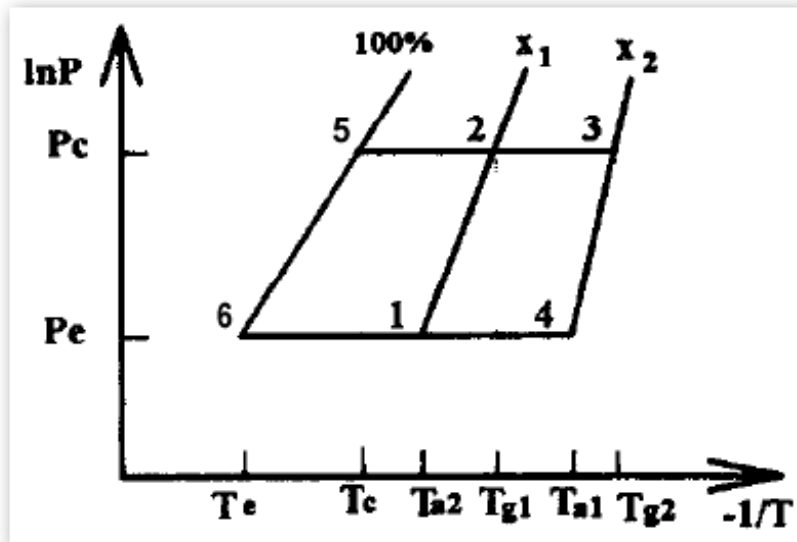
Σε αυτήν αντικαταστήσαμε ακόμα και την σταθερά κ και β2 με μια σταθερά E που στη βιβλιογραφία την συναντάτε ως χαρακτηριστικό έργο προσρόφησης (characteristic adsorption work). Χαρακτηριστικές τιμές της δίνονται στον Πίνακα 8.1

| Adsorption pair | x_0 | $E(\text{kJ/mol})$ | n |
|-----------------|-------|--------------------|-------|
| JAACF-methanol | 0.342 | 6.703 | 1.346 |
| SYACF-methanol | 0.606 | 3.904 | 0.904 |
| NTACF-methanol | 0.602 | 7.674 | 1.272 |

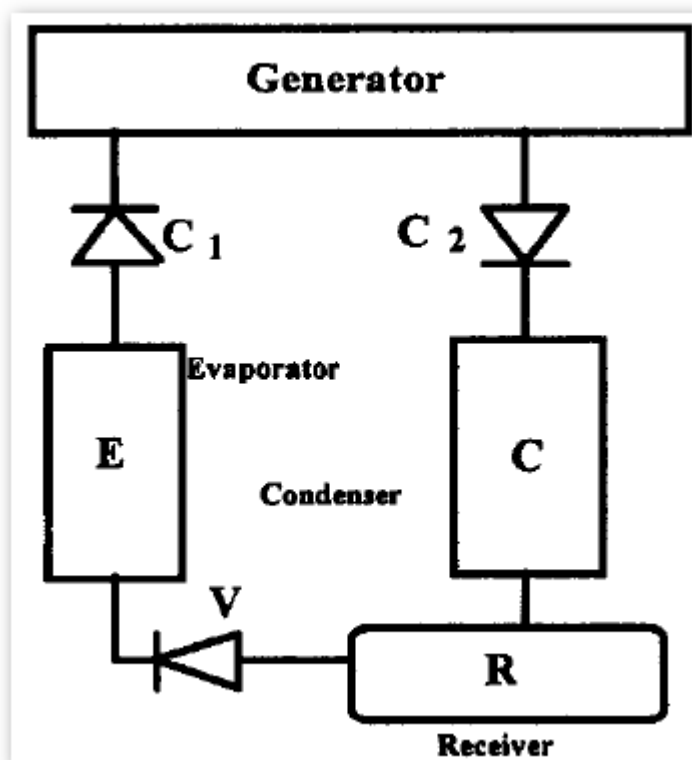
Πίνακας 8.1 Χαρακτηριστικές τιμές μεταβλητών E, n, x_0

8.7 Περιγραφή των μεταβολών

Έχοντας δημιουργήσει την επιθυμητή εξίσωση που μας χρειάζεται για να ορίσουμε τα σημεία του κύκλου μας μπορούμε να περιγράψουμε τον βασικό κύκλο ψύξεως με προσρόφησης με είσοδο ηλιακής ενέργειας. Είθισται οι μεταβολές να παρουσιάζονται σε διάγραμμα P-T-X γιατί αυτό δίνει καλύτερη εποπτεία της μεταβολής. Στο Σχήμα 8.2 βλέπουμε το κλασσικό αυτό διάγραμμα.



Σχήμα 8.2 Βασικός κύκλος ψύξεως με προσρόφηση με είσοδο ηλιακής ενέργειας. Αυτός απαρτίζεται από έναν συμπυκνωτή (condenser), έναν ατμοποιητή (evaporator), μια στραγγαλιστική βαλβίδα (throttle valve) και τον αναγεννητή (generator) τα οποία φαίνονται στο Σχήμα 8.3



Σχήμα 8.3 Λειτουργική διάταξη βασικού κύκλου.

Αποσαφηνίζοντας το Σχήμα 8.2 – 8.3:

- P_c T_c πίεση και θερμοκρασία συμπύκνωσης.
- P_e T_e πίεση και θερμοκρασία ατμοποίησης.
- T_{a1} T_{a2} θερμοκρασίες στην αρχή και στο τέλος της προσρόφησης.
- T_{g1} T_{g2} θερμοκρασίες στην αρχή και στο τέλος της απομάκρυνσης.
- X_1 συγκέντρωση στο τέλος της προσρόφησης και στην αρχή της απομάκρυνσης.
- X_2 συγκέντρωση στο τέλος της απομάκρυνσης και στην αρχή της προσρόφησης $X_2 < X_1$.
- C_1 C_2 βαλβίδες που επιτρέπουν την είσοδο και την έξοδο αντίστοιχα του αέριου ψυκτικού μέσου (μεθανόλης) από και προς τον αναγεννητή.
- V στραγγαλιστική βαλβίδα.
- Receiver δοχείο στο οποίο αποβάλλουμε την θερμότητα από τον συμπυκνωτή, θα μπορούσαμε κάλλιστα να τον παραλείψουμε στο σχήμα και να τον θεωρήσουμε ενσωματωμένο στον συμπυκνωτή.
- Generator ο αναγεννητής ο οποίος περιέχει την τράπεζα προσρόφησης (adsorption bed).

Στη συνέχεια θα περιγράψουμε τις μεταβολές στο Σχήμα 8.2

Κύκλος Αναγεννητή – Τράπεζας προσρόφησης - Προσροφητή

Στάδιο Θέρμανσης

- Μεταβολή 1-2: Έχουμε άνοδο της πίεσης την οποία στα κλασσικά συστήματα ψύξης πετυχαίνουμε με τον μηχανικό συμπιεστή. Εδώ οι βαλβίδες C_1 και C_2 του Σχήματος 8.3 είναι κλειστές και ο αναγεννητής πλούσιος σε προσροφητικό δέχεται θερμότητα που προέρχεται από τους ηλιακούς συλλέκτες. Ως εκ τούτου έχουμε άνοδο της θερμοκρασίας και συνεπώς της πίεσης μέσα στο κλειστό δοχείο. Η μεταβολή είναι προφανώς ισόογκη και συνεχίζεται μέχρι το σημείο 2 κάτω όριο θερμοκρασίας απομάκρυνσης.
- Μεταβολή 2-3: Η βαλβίδα C_2 ανοίγει ενώ συνεχίζεται η θέρμανση του αναγεννητή από τον ηλιακό συλλέκτη. Το αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας είναι η άνοδος της θερμοκρασίας της τράπεζας που από το σημείο 2 και μέχρι το σημείο 3 απομακρύνει προσροφητικό, ενώ η

πίεση παραμένει σταθερή λόγω της C2 και συμβατικά ίση με την πίεση του συμπυκνωτή. Στο σημείο 3 η τράπεζα έχει αποβάλλει όσο προσροφητικό ήταν δυνατό (μια ελάχιστη ποσότητα παραμένει πάντα σε αυτό) και η βαλβίδα C2 ξανακλείνει. Επισημαίνεται ότι η απομάκρυνση είναι ισχυρά ενδόθερμη για αυτό άλλωστε και θερμαίνουμε.

Στάδιο Ψύξης

- Μεταβολή 3-4: Ο αναγεννητής έχοντας πάρα πολύ μικρή συγκέντρωση σε προσροφητικό ψύχεται από μια πηγή χαμηλότερης προφανώς θερμοκρασίας από αυτόν πχ. βραδινός αέρας ή ρεύμα υγρού δεξαμενής, ισόογκα μέχρι το σημείο 4. Στο σημείο 4 έχει πια φθάσει ελάχιστη θερμοκρασία στην οποία μπορεί να αρχίσει η προσρόφηση Ta1. τότε η βαλβίδα C1 ανοίγει.
- Μεταβολή 4-1: Η ψύξη δεν σταματά και λόγω της ανοιχτής C1 η συγκεκριμένη μεταβολή είναι ισόθλιπτη υπό Pe. Η ανοιχτή C1 όμως επιτρέπει και στο υγρό ψυκτικό που υπάρχει στον ατμοποιητή να ατμοποιηθεί, με αποτέλεσμα την παραγωγή του ψυκτικού αποτελέσματος, λόγω της έλξης του από την τράπεζα. Αυτό συμβαίνει διότι η προσρόφηση είναι ισχυρά εξώθερμη. Στο σημείο 1 η ψύξη σταματά και έχουμε την μέγιστη δυνατή προσρόφηση που μπορούμε να επιτύχουμε. Φθάνοντας στο σημείο 1 ο κύκλος ξαναρχίζει από την αρχή.

Κύκλος Προσροφούμενου – Ψυκτικού – Εργαζόμενου μέσου.

- Μεταβολή 2-5: Το εργαζόμενο μέσο σε αυτήν την μεταβολή αποβάλλει την λανθάνουσα θερμότητα του στον συμπυκνωτή μέσω του αποδέκτη receiver και φτάνει στο τελικό σημείο 5 όπου και θεωρούμε σταθερή θερμοκρασία συμπυκνωτή Tc. Εκεί έχουμε 100% υγρό ψυκτικό όπου είναι έτοιμο να εξέλθει προς την στραγγαλιστική βαλβίδα.
- Μεταβολή 5-6: Το εργαζόμενο μέσο εξερχόμενο από τον συμπυκνωτή και διερχόμενο από την στραγγαλιστική βαλβίδα υποβιβάζει την πίεση του από Pc σε Pe.
- Μεταβολή 6-1: Το εργαζόμενο μέσο ανεβάζει την θερμοκρασία του στον ατμοποιητή λαμβάνοντας θερμοκρασία από τον ψυκτικό θάλαμο και ως εκτούτου παράγει το ψυκτικό αποτέλεσμα μέχρι το σημείο 1.

9. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΨΥΞΗΣ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ & ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗΣ

9.1 Σύγκριση των δύο μεθόδων

Σε αυτό το κεφάλαιο θα συγκεντρώσουμε τα αρνητικά και τα θετικά των δύο μεθόδων και θα αναφέρουμε τα πεδία εφαρμογή τους. Παρόλο που οι διαφορές τους είναι πολύ μεγάλες βασίζονται επάνω στις ίδιες αρχές. Η δε σύγκριση που θα ακολουθήσει είναι ένα ουσιαστικό εργαλείο που μας δίνει την άμεση δυνατότητα επιλογής της κατάλληλης διάταξης σε κάθε περίπτωση. Διακρίνουμε λοιπόν τα εξής:

- Μια βασική διαφορά τους έγκειται στην ίδια αρχή λειτουργίας τους. Και οι δύο τρόποι υλοποιούν την διαφορά πίεσης με μια τρίτη ουσία, όμως στην απορρόφηση έχουμε την διάλυση αυτής μέσα στον διαλύτη (απορροφητικό) χαρακτηριστικά σαν το γάλα μέσα στο καφέ, ενώ στην προσρόφηση έχουμε την μετακίνηση αυτής μέσα στον προσροφητή χαρακτηριστικά όπως το νερό μέσα στο σφουγγάρι.
- Στην απορρόφηση και οι δύο ουσίες είναι σε υγρή αρχική φάση, ενώ στην προσρόφηση η μία ουσία είναι στερεή (προσροφητής).
- Για να λειτουργήσει ένας κύκλος απορρόφησης χρειάζεται πηγή θερμότητας άνω των 100-200C ενώ ένας κύκλος προσρόφησης εργάζεται με πηγή θερμότητας άνω των 50C όπως έχει αναφερθεί και στην βιβλιογραφία.
- Αποτέλεσμα της προηγούμενης διαφοράς είναι και μια άλλη σαν επακόλουθο ότι ο κύκλος απορρόφησης είναι σχεδόν αδύνατο να εργαστεί με απλούς επίπεδους ηλιακούς συλλέκτες. Στην βιβλιογραφία αναφέρεται ότι κύκλος απορρόφησης έχει εργαστεί επιτυχώς με συγκεντρωτικούς συλλέκτες. Επακόλουθο του παραπάνω είναι ότι το αρχικό κόστος κτίσης απορροφητικής μηχανής με χρήση ηλιακών συλλεκτών είναι πολύ μεγαλύτερο μιας παρόμοιας μηχανής προσρόφησης.
- Αντίθετα με το κάτω όριο λειτουργίας τα πράγματα είναι διαφορετικά στο άνω όριο. Οι απορροφητικές μηχανές όσο ανεβαίνει η θερμοκρασία εισόδου σε αυτές τόσο μεγαλώνει και η απόδοσή τους. Δεν συμβαίνει όμως το ίδιο και για τις προσροφητικές μηχανές, με την άνοδο της θερμοκρασίας εισόδου πέρα από ένα όριο εμφανίζονται μη αντιστρεπτά και μάλιστα καταστροφικά προβλήματα (βέβαια πάντα υπάρχει εξάρτηση από το ζεύγος). Π.χ ο κύκλος Ενεργού άνθρακα – Μεθανόλης με θερμοκρασία εισόδου πέρα των 120C μετατρέπει την μεθανόλη σε μεθυλ-αιθέρα κτλ με αποτέλεσμα την καταστροφή του ψυκτικού. Ως εκτούτου έχουμε και την δημιουργία ουσιών βλαβερών για τον άνθρωπο και τους επιμέρους μηχανισμούς.

- Οι προσροφητικοί κύκλοι μπορούν να λειτουργήσουν εξολοκλήρου χωρίς ηλεκτρική ενέργεια ενώ οι απορροφητικοί κύκλοι θα χρειαστούν ένα μικρό κομμάτι για τις αντλίες κυκλοφορίας των διαλυμάτων.
- Οι προσροφητικοί κύκλοι δύναται να πραγματοποιήσουν μεγαλύτερες θερμοκρασιακές διαφορές από ότι οι απορροφητικοί κύκλοι.
- Ένα πολύ μεγάλο μειονέκτημα των απορροφητικών κύκλων είναι η ανάγκη ύπαρξης ψυκτικού πύργου ή υγρού ψυκτικού μέσου ενώ κάτι τέτοιο στους προσροφητικούς κύκλους δεν είναι απαραίτητο.
- Οι προσροφητικοί κύκλοι έχουν πολύ μεγαλύτερο κόστος κτήσης και συνήθως μικρότερο λειτουργικό. Με τους απορροφητικούς συμβαίνει το αντίθετο.
- Ένα πολύ μεγάλο μειονέκτημα των προσροφητικών το οποίο είναι και ο βασικός παράγοντας αποκλεισμού τους σήμερα από το εμπόριο είναι ο πολύ χαμηλός βαθμός απόδοσης τους που κυμαίνεται για τους απλούς κύκλους γύρω στο 0.1. Για τους απορροφητικούς κύκλους τα πράγματα είναι σαφώς καλύτερα μιας και βρίσκονται γύρω στο 0.6 πάντα σε γενικές γραμμές.
- Οι απορροφητικές μηχανές είναι πιο ευεπηρεάστες στις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας εισόδου από τις προσροφητικές, όπως και απαιτούν αυστηρή ρύθμιση και τήρηση των πιέσεων λειτουργίας των δοχείων τους.
- Και οι δύο κύκλοι έχουν την δυσκολία της μη εύκολης κατανόησης των κύκλων και των διεργασιών τους, δυνατότητα εισόδου ενέργειας από ΑΠΕ καθώς και από κατάλληλες πηγές που αποβάλλουν θερμότητα και σχεδόν μηδενική ανάγκη ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτό σημαίνει ότι μπορούν να δραστηριοποιηθούν σε χώρες που αναπτύσσονται τεχνολογικά και βιομηχανικά, σε περιοχές που δεν καλύπτονται από ηλεκτρικό δίκτυο και σε περιοχές πολύ ρυπογόνες που δεν μπορούν να αντέξουν περαιτέρω αύξηση των ρύπων όπως μεγάλα αστικά κέντρα. Είναι μηχανές γενικά εύκολες στην κατασκευή - χρήση τους, χρειάζονται ελάχιστη συντήρηση και μπορούν να παραχθούν χωρίς δυσκολία μαζικά. Επίσης κύριο ατού τους είναι η μηδενική εκπομπή CO₂ ενώσεων αζώτου και άλλων βλαβερών ουσιών, ενώ και το εργαζόμενο μέσο τους είναι φιλικό προς το περιβάλλον.

10. ΨΥΞΗ ΜΕ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΠΟΞΗΡΑΝΤΙΚΟΥ ΜΕΣΟΥ (DESICCANT SYSTEMS)

10.1 Εισαγωγή

Τα παραδοσιακά συστήματα ψύξης συμπίεσης αερίου χρησιμοποιούν ηλεκτρική ενέργεια για την ψύξη και αφύγρανση του αέρα. Σε αντίθεση, τα συστήματα αποξηραντικού μέσου χρησιμοποιούν θερμική ενέργεια για την επίτευξη του ίδιου αποτελέσματος. Όταν εφαρμόζονται κατάλληλα, τα συστήματα αποξηραντικού μέσου μπορούν να εξοικονομήσουν ενέργεια σε σύγκριση με παραδοσιακά συστήματα και μπορούν να παρέχουν επίσης και άλλα οφέλη. Για παράδειγμα, τα συστήματα αποξηραντικού μέσου μπορούν να:

- Ελέγξουν την υγρασία του αέρα ανεξάρτητα της θερμοκρασίας του και μπορούν να ελέγξουν την υγρασία σε πολύ χαμηλά επίπεδα.
- Λειτουργήσουν χωρίς τη χρήση Χλωροφθορανθράκων (CFC), που αναγνωρισμένα συμβάλλουν στην καταστροφή της ζώνης του όζοντος.
- Εξισορροπήσουν μεγάλες απαιτήσεις ενέργειας κλιματισμού μεταξύ διαφόρων πηγών καυσίμων — το σύστημα αποξηραντικού μέσου ελέγχει την υγρασία χρησιμοποιώντας θερμική ενέργεια και ένα σύστημα συμπίεσης αερίου ελέγχει την θερμοκρασία κτιρίου.
- Αποφύγουν τις υψηλές τιμές υγρασίας που δημιουργεί προβλήματα ποιότητας στον αέρα εσωτερικών χώρων.
- Αποφύγουν την σπατάλη ενέργειας που χρησιμοποιείται για την αντικατάσταση υλικών που καταστρέφονται από το νερό, την διάβρωση λόγω υγρασίας και μούχλιασμα.

Τα συστήματα αποξηραντικού μέσου αποτελούν τεχνολογία αφύγρανσης και ψύξης που ενεργοποιείται με θερμότητα. Με τις πρόσφατες εξελίξεις σε αυτή την τεχνολογία, τα συστήματα αποξηραντικού μέσου μπορούν τώρα να επιτύχουν κύριο συντελεστή απόδοσης (COP) μεταξύ 1,3 και 1,5, με δυνατότητα να ανέβει στο 1,7 ή και ψηλότερα. Εξελίσσεται σε μια από τις σημαντικότερες εναλλακτικές στα συμβατικά συστήματα ψύξης.

Δύο σημαντικά και πολύ γνωστά πλεονεκτήματα των συστημάτων ψύξης αποξηραντικού μέσου είναι ότι είναι ελεύθερα από CFC και μπορούν να μειώσουν το φορτίο αιχμής ηλεκτρικού. Ακόμα ένα σημαντικό αλλά λιγότερο γνωστό πλεονέκτημα της τεχνολογίας αποξηραντικού μέσου είναι η δυνατότητα διατήρησης της ενέργειας. Η μελέτη επιπτώσεων ενέργειας στην παρούσα αναφορά υποδηλώνει ότι ένα πιθανό 13% εξοικονόμησης ενέργειας σε οικιστικό κλιματισμό και 8% σε εμπορικό κλιματισμό είναι πιθανά. Μεγάλο δυναμικό εξοικονόμησης ενέργειας υπάρχει επίσης στο βιομηχανικό τομέα εάν απορριπτόμενη θερμότητα βιομηχανιών μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την επαναδραστηριοποίηση του αποξηραντικού μέσου.

Η πιο πρόσφατη μελέτη σε ολοκληρωμένα συστήματα αποξηραντικού μέσου για κλιματισμό, εξαερισμό και θέρμανση κτιρίων (HVAC) απέδειξαν ότι το αρχικό κόστος συμβατικού εξοπλισμού ψύξης μειώθηκε αισθητά με τη χρήση τεχνολογίας αποξηραντικού μέσου εξαιτίας των περιορισμένων σε μέγεθος συμπιεστών, ανεμιστήρων και σωληνώσεων. Αυτή η μείωση

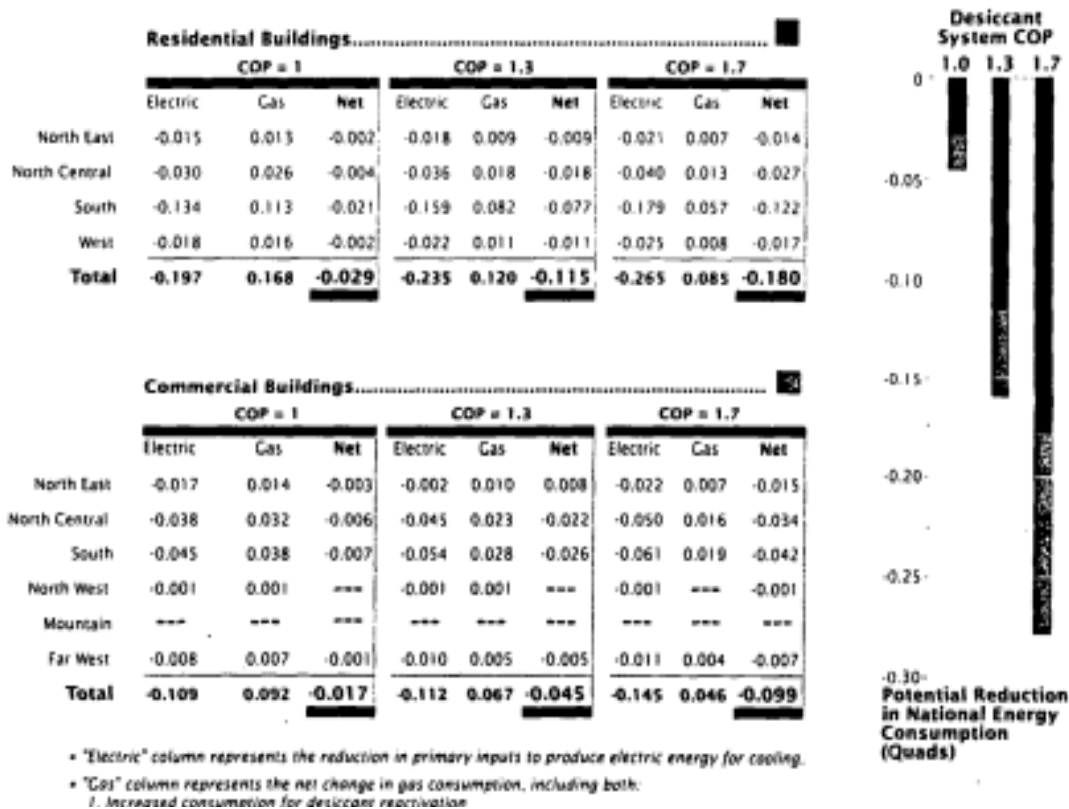
κόστους ήταν παραπάνω από αρκετή για να αντισταθμίσει το κόστος του εξοπλισμού αποξηραντικού μέσου. Εκτός αυτού, το κόστος λειτουργίας του συστήματος μειώθηκε επίσης. Όλα αυτά υποδηλώνουν ότι τα συστήματα αποξήρανσης είναι επίσης οικονομικά αποδοτικά.

Αυτή η μελέτη παρέχει μια ενημερωμένη αξιολόγηση των πιο πρόσφατων εξελίξεων της τεχνολογίας αποξηραντικού μέσου στο πεδίο των υλικών αποξήρανσης, συστημάτων, υπολογιστικών μοντέλων και θεωρητικών αναλύσεων. Από αυτές τις πληροφορίες αποδόθηκαν οι τεχνολογικές επιλογές και οι μελλοντικές ανάγκες έρευνας και ανάπτυξης προσδιορίστηκαν.

Μια ιστορική επισκόπηση παραθέτει σε λίστα τι έχει ήδη πραγματοποιηθεί και ποιος κάνει τι. Αυτές οι πληροφορίες θα μας βοηθήσουν να προβάσουμε το μέλλον αυτής της τεχνολογίας.

Επειδή η τεχνολογία αποξηραντικού μέσου έχει ήδη εφαρμοστεί στον τομέα εμπορικών κτιρίων με πολύ ενθαρρυντικά αποτελέσματα, αναμένεται ότι οι μελλοντικές σημαντικές εξελίξεις στην αγορά θα ξεκινήσουν σε αυτόν τον τομέα. Μια ανάλυση αγοράς για την εφαρμογή εμπορικών κτιρίων περιλαμβάνεται για αυτό το λόγο.

Ενώ αυτή η αναφορά παρουσιάζει ότι ένα μεγάλο μέρος της δουλειάς έχει ήδη επιτευχθεί, υποδηλώνει επίσης ότι απαιτείται πολύ δουλειά ακόμα πριν αυτή η οικονομικά υποσχόμενη και περιβαλλοντικά ασφαλής τεχνολογία καταφέρει να φτάσει στην πλήρη δυναμική της.



Σχήμα 10.1 Δυνητική ετήσια μείωση ενέργειας εξαιτίας της χρήσης κλιματισμού με βάση αποξηραντικό μέσο

■ Η στήλη "Ηλεκτρικό" αντιπροσωπεύει τη μείωση σε κύριες εισόδους για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για ψύξη.

■ Η στήλη "Φυσικό αέριο" αντιπροσωπεύει την καθαρή αλλαγή σε κατανάλωση αερίου συμπεριλαμβανομένων και των δύο:

Αυξημένη κατανάλωση για εκ νέου ενεργοποίηση αποξηραντικού μέσου

Μειωμένη απαίτηση για κύριες εισόδους αερίου για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας

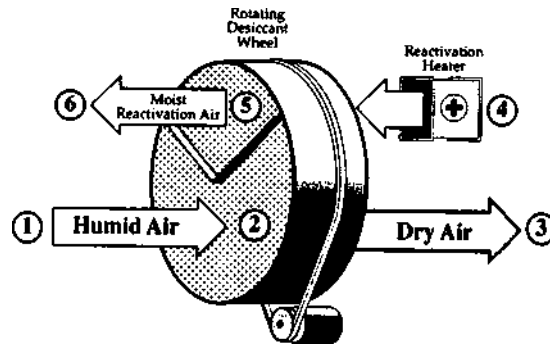
Μέχρι πρόσφατα, η απόδοση των συστημάτων ψύξης αποξηραντικού μέσου βρίσκονταν κάτω από το "νεκρό σημείο". Η ενέργεια που καταναλώνονταν για τη λειτουργία του συστήματος ήταν περισσότερη από την ψυκτική ισχύ σε τυπικές συνθήκες άνεσης αέρα. Η χαμηλή απόδοση περιόριζε τη χρήση συστημάτων αποξηραντικού μέσου σε λίγες αγορές όπου τα οφέλη που περιγράφονται παραπάνω ξεπερνούσαν το κόστος της ενέργειας. Ωστόσο, η τεχνολογική πρόοδος υπόσχονται βελτιωμένους συντελεστές απόδοσης (COP). Αυτά τα πλεονεκτήματα μπορούν να μειώσουν σημαντικά την κατανάλωση ενέργειας σε εθνικό επίπεδο.

10.2 Τρόπος λειτουργίας συστημάτων αποξηραντικού μέσου

Ένα αποξηραντικό μέσο είναι στέρεο ή υγρό που στεγνώνει τον αέρα προσελκύνοντας μόρια νερού στη επιφάνεια του αποξηραντικού μέσου. Ο στεγνός αέρας κατόπιν ψύχεται με άμεση ή έμμεση εξάτμιση και αποστέλλεται στο χώρο κλιματισμού. Αφού το αποξηραντικό μέσο κορεστεί, θερμαίνεται για να απελευθερώσει την υγρασία που προσέλκυσε από τον αέρα. Αυτό ονομάζεται "Επαναδραστηριοποίηση" του αποξηραντικού μέσου. Πολλά υλικά μπορούν να συλλέξουν και απελευθερώσουν υγρασία από τον αέρα με αυτόν τον τρόπο. Για παράδειγμα, ακόμα και το νάιλον μπορεί να συλλέξει 7% του ξηρού βάρους του σε υγρασία. Ωστόσο, υλικά που χρησιμοποιούνται εμπορικά ως αποξηραντικά μέσα διαθέτουν μεγάλη χωρητικότητα για υγρασία (μεταξύ 30 και 1200% του ξηρού βάρους τους). Επίσης, υλικά αποξήρανσης μπορούν να επαναδραστηριοποιηθούν (στεγνώσουν) σε θερμοκρασίες αρκετά χαμηλές ώστε να πραγματοποιείται οικονομική λειτουργία (μεταξύ 120° και 250°F).

Συστήματα στερεού αποξηραντικού μέσου

Σε συστήματα στερεού αποξηραντικού μέσου, ο αέρας ανακυκλώνεται μέσω ενός στρώματος απορροφητικού υλικού όπως σιλικατζέλ ή ζεόλιθο. Καθώς ο υγρός αέρας περνάει μέσω του στρώματος, αποδίδει υδρατμούς στο αποξηραντικό μέσο. κατόπιν θερμαίνεται το κορεσμένο αποξηραντικό. Αυτό απελευθερώνει την υγρασία σε ένα διαφορετικό ρεύμα αέρα, στεγνώνοντας το αποξηραντικό ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί και πάλι. Τυπικά, το αποξηραντικό μέσο είναι φορτωμένο σε ένα περιστροφικό δίσκο ή εμποτισμένο σε έναν κυψελοειδή τροχό, που περιστρέφεται αργά μεταξύ του ρεύματος ξηρού αέρα (διεργασία) και του ρεύματος θερμού αέρα (επαναδραστηριοποίηση). Αυτή η διαρκής επαναδραστηριοποίηση επιτρέπει στον εξοπλισμό να παράσχει ένα συνεχές ρεύμα θερμού αέρα στο χώρο κλιματισμού.



Σχήμα 10.2 Τυπικό σύστημα στερεού αποξηραντικού μέσου ανοικτού κύκλου

1. Υγρός αέρας εισέρχεται στο περιστρεφόμενο στρώμα του ξηρού αποξηραντικού μέσου
2. Καθώς ο αέρας περνάει μέσα από το στρώμα, το αποξηραντικό μέσο ελκύει υγρασία από τον αέρα.
3. Ο αέρας αφήνει το αποξηραντικό στρώμα ζεστό και ξηρό. Η ψύξη επιτυγχάνεται με ξεχωριστά συστατικά μέρη κατόπιν του στρώματος αποξηραντικού μέσου.
4. Ένα μικρό ρεύμα αέρα θερμαίνεται και διοχετεύεται μέσα στο στρώμα αποξηραντικού μέσου για να ανεβάσει τη θερμοκρασία του.
5. Το αποξηραντικό μέσο που έχει θερμανθεί αποβάλλει την υγρασία που έχει συλλέξει στο μικρό ρεύμα θερμού αέρα που προέρχεται από το θερμαντήρα.
6. Το υγρό ρεύμα επαναδραστηριοποίησης αέρα διοχετεύεται στο περιβάλλον, μεταφέροντας την πλεονάζουσα υγρασία μακριά από το κτίριο το οποίο κλιματίζεται.

Συστήματα υγρού αποξηραντικού μέσου

Σε συστήματα υγρού αποξηραντικού μέσου, ο υγρός αέρας διοχετεύεται μέσω του σωληνοειδούς ψυκτικού στοιχείου ή μέσω μιας επιφάνειας επαφής όπως μια διάταξη πύργου ψύξης, που έχει υγρανθεί με υγρό αποξηραντικό μέσο. Το αποξηραντικό μέσο απορροφά την υγρασία του αέρα, που καθιστά αραιότερο το υγρό διάλυμα. Το αραιωμένο υγρό διάλυμα διοχετεύεται μέσω του θερμαντήρα και ψεκάζεται σε ένα μικρό ρεύμα αέρα επαναδραστηριοποίησης. Ο αέρας επαναδραστηριοποίησης απομακρύνει υδρατμούς που παρέχονται από το θερμό αποξηραντικό μέσο, οπότε το διάλυμα που συμπυκνώνεται εκ νέου μπορεί να χρησιμοποιηθεί ξανά για την ξήρανση του αέρα.



Σχήμα 10.3 Τυπικό σύστημα υγρού αποξηραντικού μέσου ανοικτού κύκλου*

*Πηγή: Dehumidification Handbook, εκδόθηκε από Munters Cargoaire, 1990

Στις μονάδες στερεού και υγρού αποξηραντικού μέσου, το ίδιο το υλικό αποξήρανσης είναι αρκετά σταθερό, επιτρέποντας δεκάδες εκατομμύρια κύκλους (αρκετά χρόνια λειτουργίας) πριν να χρειαστεί αλλαγή του αποξηραντικού μέσου.

Βέλτιστη χρήση της τρέχουσας τεχνολογίας αποξηραντικού μέσου

Γενικά, τα συστήματα αποξηραντικού μέσου είναι πλεονεκτικότερα όταν:

1. Η θερμική ενέργεια είναι διαθέσιμη και φθηνή ή όταν η ηλεκτρική ενέργεια είναι περιορισμένη και ακριβή.

Για παράδειγμα, χρήση των συστημάτων αποξηραντικού μέσου όπου οι απαιτήσεις σε ηλεκτρικό ρεύμα είναι υψηλές και η διαθέσιμη ικανότητα είναι χαμηλή ή όπου υπάρχει διαθέσιμη θερμότητα.

2. Η συνιστώσα υγρασίας του φορτίου κλιματισμού είναι υψηλή σε σύγκριση με το λογικό φορτίο θερμότητας. Για παράδειγμα, τα συστήματα κλιματισμού για σούπερ μάρκετ έχουν πολύ χαμηλό θερμικό φορτίο καθώς τα ράφια έκθεσης και τα ψυγεία ψύχουν το κατάστημα. Το φορτίο που απομένει είναι κυρίως υγρασία.

3. Τα χαμηλά επίπεδα ελέγχου υγρασίας είναι πλεονέκτημα. Για παράδειγμα, οι αποθήκες χάλυβα μπορούν να αφυγρανωθούν αντί να θερμανθούν κατά τη διάρκεια του χειμώνα, εξοικονομώντας ενέργεια και αποφεύγοντας τη σκουριά, αλλά το σύστημα αφύγρανσης θα πρέπει να λειτουργεί σε χαμηλό επίπεδο ελέγχου θερμοκρασίας και υγρασίας.

4. Ένα σύστημα κλιματισμού θα πρέπει να λειτουργεί χωρίς υψηλή σχετική υγρασία στο σύστημα αγωγών και χωρίς συμπυκνωμένο νερό σε δοχεία αποστράγγισης. Για παράδειγμα, συστήματα κατανομής αέρα σε κτίρια μπορεί να φιλοξενούν μύκητες που δημιουργούν προβλήματα στην ποιότητα του αέρα σε κλειστούς χώρους. Τα συστήματα αποξηραντικού μέσου διατηρούν τον αέρα ξηρό στο σύστημα αγωγών, εμποδίζοντας την ανάπτυξη μικροβίων.

10.3 Ιστορική επισκόπηση

Τα συστήματα αποξηραντικού μέσου έχουν χρησιμοποιηθεί στις Ηνωμένες Πολιτείες από τις αρχές του '30, κυρίως για βιομηχανικές εφαρμογές όπου υπάρχει ένα οικονομικό όφελος στον έλεγχο της μικρής απόκλισης υγρασίας σε χαμηλά επίπεδα.

Για 60 χρόνια, τα συστήματα αποξηραντικού μέσου είναι επιτυχημένα όπου υπάρχει κίνδυνος για μεγάλα περιουσιακά στοιχεία ή μεγάλα χρηματικά ποσά – κεφάλαια και όπου το κόστος του εξοπλισμού αποξηραντικού μέσου είναι χαμηλό συγκριτικά. Για παράδειγμα, τα κυκλώματα μικροηλεκτρονικών παράγονται σε αίθουσες που κοστίζουν εκατοντάδες χιλιάδες δολάρια την ημέρα για να λειτουργήσουν. Εάν η διαδικασία διακοπεί εξαιτίας της υψηλής υγρασίας, η χαμένη παραγωγή καλύπτει την εγκατάσταση ενός συστήματος αποξηραντικού μέσου εντός λίγων ωρών.

Σε άλλα παραδείγματα, ο κλάδος ζυθοποιίας έχει χρησιμοποιήσει συστήματα αποξηραντικού μέσου σε κελάρια ζύμωσης, διατηρώντας την υγρασία αρκετά χαμηλά για να αποκλείσει τα προβλήματα υγιεινής. Ο φαρμακευτικός κλάδος χρησιμοποιεί παραδοσιακά περιβάλλοντα χαμηλής υγρασίας για την αποφυγή επιμόλυνσης των προϊόντων, επιμήκυνση του κύκλου ζωής και περιορισμό των προβλημάτων κατασκευής. Ο κλάδος της ναυτιλίας έχει χρησιμοποιήσει εξοπλισμό αποξηραντικού μέσου για την αποφυγή συμπύκνωσης και διάβρωσης σε φορτία

πλοίων, και ο στρατός έχει χρησιμοποιήσει τον εξοπλισμό για να διατηρήσει οπλικά συστήματα και εξοπλισμό σε χώρους αποθήκευσης.

Οι εφαρμογές κλιματισμού άνεσης για αποξηραντικά μέσα έχουν οφέλη που σχετίζονται με τον έλεγχο της υγρασίας που είναι δυσκολότερο να ποσοτικοποιηθούν από ότι τα οφέλη που σχετίζονται με βιομηχανικές εφαρμογές. Κατά συνέπεια, οι εγκαταστάσεις σε κτίρια εμπορικής χρήσης δεν ήταν συνηθισμένη μέχρι τα τελευταία δέκα χρόνια.

Οι πρώτες εφαρμογές αποξηραντικού μέσου σε έλεγχο άνεσης περιλάμβαναν εγκαταστάσεις ημι-διεργασίας όπως νοσοκομειακά κτίρια, τα οποία ωφελούνται από τα αποτελέσματα απολύμανσης και καθαρισμού αέρα των συστημάτων υγρών αποξηραντικών μέσων. Αλλά γενικά, οι εφαρμογές που σχετίζονται με την άνεση χρησιμοποιούν κατά βάση τεχνολογία ψύξης συμπίεσης αερίου επειδή μέχρι σήμερα, διαθέτει ορισμένα πλεονεκτήματα σε σχέση με τα αποξηραντικά μέσα σε απόδοση λειτουργίας. Συγκρίνοντας, τα συστήματα κλιματισμού συμπίεσης αερίου μπορούν να λειτουργήσουν με συντελεστές απόδοσης (COP) από 2,5 έως 3,5 στο εύρος άνεσης, ενώ οι τυπικοί COP για τα συστήματα αποξηραντικού μέσου βρίσκονται κάτω από τη μονάδα.

Από το 1985, ωστόσο, τα συστήματα αποξηραντικού μέσου εφαρμόζονται ευρύτερα σε εγκαταστάσεις που σχετίζονται με την άνεση όπως τα σούπερ μάρκετ. Αυτό συμβαίνει εξαιτίας της πρόοδου στην βασική τεχνολογία και αλλαγές στη διαφορά κόστους μεταξύ της ηλεκτρικής και της θερμικής ενέργειας.

Στο μέλλον, το εύρος εφαρμογής των συστημάτων αποξηραντικού μέσου θα επεκταθεί. Οι τάσεις που οδηγούν σε αυτό το συμπέρασμα περιλαμβάνουν:

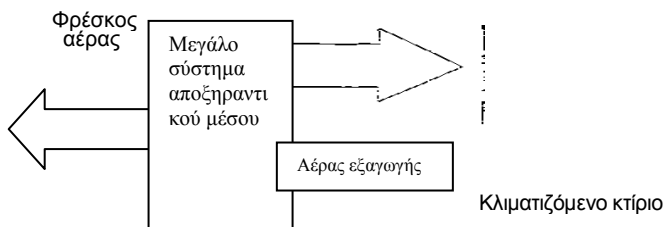
- Αυξημένο ανταγωνισμό μεταξύ των κατασκευαστών αποξηραντικού μέσου.
- Βασική πρόοδος σε υλικά αποξηραντικού μέσου, με αποτέλεσμα τη βελτίωση του COP του συστήματος.
- Η τρέχουσα τάση αύξησης του όγκου φρέσκου αέρα που χρησιμοποιείται στα κτίρια (Που αυξάνει το λανθάνον κλάσμα του συνολικού φορτίου θερμότητας κτιρίου).
- Αναγνώριση από μηχανικούς σχεδιασμού κτιρίων των επιβλαβών επιπτώσεων της υπερβολικής υγρασίας στην ποιότητα του αέρα σε εσωτερικούς χώρους, έπιπλα του κτιρίου και δομικά στοιχεία.

10.4 Επιλογές τεχνολογίας – Υλικά και συστήματα

Επιλογές τεχνολογίας για συστήματα αποξηραντικού μέσου εμπίπτουν σε μια από τις δύο παρακάτω κατηγορίες:

1. Συστήματα αποξηραντικού μέσου μόνο
2. Συστήματα που συνδυάζουν στοιχεία αποξηραντικού μέσου με στοιχεία ψύξης συμπίεσης αερίου

Συστήματα που βασίζονται σε αποξηραντικά μέσα για όλη την ψύξη και αφύγρανση μπορούν να χρησιμοποιούν το πλεονέκτημα της φθηνής, χαμηλής θερμοκρασίας ενέργειας. Ωστόσο, τέτοια συστήματα τείνουν να είναι μεγάλα σε σχέση με συμβατικά συστήματα ψύξης, λόγω της χρήσης μεγαλύτερων ροών αέρα και μικρότερων διαφορών θερμοκρασίας για την ψύξη ενός συγκεκριμένου χώρου. Επίσης, τα συστήματα μόνο αποξηραντικού μέσου βασίζονται σε ψύξη άμεσης ή έμμεσης εξάτμισης για λογικό έλεγχο της θερμοκρασίας και τα θέματα συντήρησης τμήματος νερού μπορεί να αποτελέσουν λειτουργικό μειονέκτημα και μειονέκτημα της εγκατάστασης.

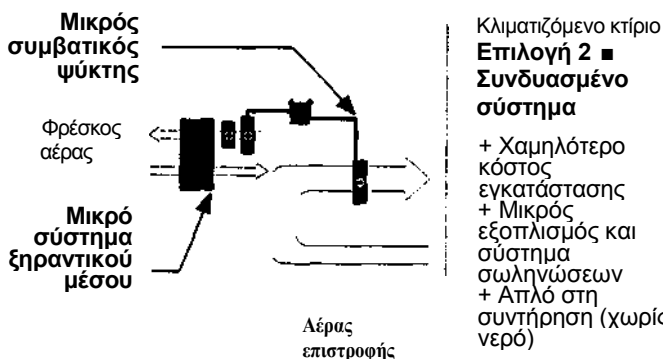


Επιλογή 1 – Όλο αποξηραντικού μέσου

- + Χαμηλότερο λειτουργικό κόστος
- + Αφθονος εξαερισμός
- + Ελάχιστη κατανάλωση ενέργειας

- Υψηλό αρχικό κόστος
- Μεγάλου μεγέθους εξοπλισμός και μεγάλο σύστημα σωληνώσεων
- Απαιτεί νερό (Ψύξη εξάτμισης)

- Ιδανικό αποξηραντικό μέσο επαναδραστηριοποιείται σε χαμηλές θερμοκρασίες
« Η απόδοση του εναλλάκτη θερμότητας είναι κρίσιμη



Επιλογή 2 ■ Συνδυασμένο σύστημα

- + Χαμηλότερο κόστος εγκατάστασης
- + Μικρός εξοπλισμός και σύστημα σωληνώσεων
- + Απλό στη συντήρηση (χωρίς νερό)

- Λίγη περισσότερη ενέργεια
- CFC παραμένουν σε χρήση
- Απαιτείται ενσωμάτωση αποξηραντικού μέσου ψύξης
- Το ιδανικό αποξηραντικό μέσο διαθέτει μεγάλη ικανότητα ξήρανσης προσαρμοστεί σε μεγάλες διαφορές θερμοκρασίας

Σχήμα 10.4 Διαμορφώσεις συστήματος αποξηραντικού μέσου και τεχνολογικές επιπτώσεις

Τα συστήματα που συνδυάζουν συμβατική και αποξηραντικού μέσου ψύξη είναι χαμηλότερου αρχικού κόστους από ότι τα συστήματα μόνο αποξηραντικού μέσου επειδή χρησιμοποιούν μικρότερο εξοπλισμό και μικρότερες ροές αέρα για την ψύξη του χώρου. Ωστόσο, χρησιμοποιούν περισσότερη ενέργεια υψηλού κόστους από ότι τα συστήματα αποξηραντικού μέσου μόνο.

Μέχρι σήμερα, το χαμηλότερο κόστος εγκατάστασης και το χαμηλότερο κόστος και απαιτήσεις συντήρησης των συνδυασμένων συστημάτων τους δίνει το πλεονέκτημα στην αγορά.

Κατάσταση τεχνολογίας

Τα τελευταία δέκα χρόνια, σημαντική πρόοδος έχει πραγματοποιηθεί σε πέντε βασικές συνιστώσες της τεχνολογίας αποξηραντικού μέσου. Αυτές περιλαμβάνουν:

1. Επαφείς αέρα αποξηραντικού μέσου
2. Πηγές ενέργειας επαναδραστηριοποίησης
3. Πηγές ψύξης
4. Αποθήκευση ενέργειας επαναδραστηριοποίησης (ανύψωση αιχμής)
5. Υλικά αποξηραντικού μέσου

Επαφείς αποξηραντικού μέσου

Σε συστήματα αποξηραντικού μέσου, το εξάρτημα που παρουσιάζει το αποξηραντικό μέσο στο ρεύμα αέρα (ο επαφέας αποξηραντικού μέσου) αποτελεί ένα από τα κρίσιμότερα στοιχεία του συστήματος και εκείνο που επηρεάζει περισσότερο την καθαρή κατανάλωση ενέργειας του συστήματος

Ιδανικά, ο επαφέας αποξηραντικού μέσου θα είχε μια απείρως μεγάλη επιφάνεια για την αλληλεπίδραση αέρα-αποξηραντικού μέσου, αλλά απείρως χαμηλή μάζα, ώστε να μην μπορεί να θερμανθεί και ψυχθεί πλεόνασμα υλικού μαζί με το αποξηραντικό μέσο. Επιπλέον, το μέσον επαφής θα πρέπει να είναι ιδιαίτερα ανθεκτικό, καθώς υγραίνεται κατ' επανάληψη και ξηραίνεται καθώς το αποξηραντικό μέσο κινείται μέσω κύκλου ρόφησης-εκρόφησης.

Σε περιστρεφόμενα, συστήματα ξηρού αποξηραντικού μέσου κυψελοειδούς μορφής, ο κορυφαίος τεχνολογίας επαφέας είναι ένα στροφέιο (ρότορας) εμποτισμένος με σιλικατζέλ που αποτελείται κυρίως από χαρτί ενισχυμένο με υαλόνημα με συνδετικό υλικό πυριτίου. Αυτοί οι "τροχοί σιλικατζέλ" είναι καταλληλότεροι για συστήματα αποξηραντικού μέσου οικιακής και εμπορικής χρήσης από ότι ρότορες που χρησιμοποιούν χλωρίδιο λιθίου ως το βασικό αποξηραντικό μέσο. Το σιλικατζέλ είναι περισσότερο ανθεκτικό στις βλάβες ότι το χλωρίδιο του λιθίου.

Σε συστήματα αποξηραντικού μέσου τύπου περιστρεφόμενου δίσκου, οι κατασκευαστές πρόσφατα ανέπτυξαν σχέδια κατατετηγμένου στρώματος για τους περιστρεφόμενους δίσκους που υποστηρίζουν το κοκκώδες αποξηραντικό μέσο. Χωρίσματα εντός του στρώματος αποξηραντικού, μειώνουν τη διαρροή αέρα, που με τη σειρά της επιτρέπει στα ρεύματα αέρα επεξεργασίας και επαναδραστηριοποίησης να εναρμονιστούν για μεταφορά μάζας και θερμότητας αντίθετης ροής. Αυτή η διάταξη αντίθετης ροής έχει μειώσει την ενέργεια που καταναλώνεται από μονάδες περιστρεφόμενου δίσκου κατά 50%, μια σημαντική βελτίωση στην

τεχνολογία. Τα σχέδια κατατεταγμένου στρώματος είναι τώρα ενεργειακά ανταγωνιστικά προς τις περιστροφικές μονάδες κυψελοειδούς μορφής.

Σε συστήματα υγρών, ο κορυφαίος τεχνολογίας επαφείας αποτελείται από μια κυματοειδή εκτεταμένη επιφάνεια που μοιάζει με το μέσο επαφής σε ένα πύργο ψύξης. Πρόσφατες δραστηριότητες έρευνας και ανάπτυξης έχουν επικεντρωθεί στην προσθήκη εσωτερικής ψύξης

χαμηλής ενέργειας στην επιφάνεια επαφής. Σε αυτή τη διάταξη, το υγρό αποξηραντικό μέσο ψεκάζεται στη μια πλευρά του εναλλάκτη θερμότητας αέρα - αέρα τύπου πλάκας, όπου απορροφά υγρασία από τον αέρα διεργασίας. Στη δεύτερη πλευρά του εναλλάκτη θερμότητας, ψεκασμός με νερό ψύχει την επιφάνεια, αφαιρώντας τη θερμότητα απορρόφησης από το αποξηραντικό μέσο που ρέει κατά μήκος της αντίθετης πλευράς του εναλλάκτη θερμότητας αέρα - αέρα. Αυτή η συσκευή, που ονομάζεται "εναλλάκτης θερμότητας τριών κατευθύνσεων" υπόσχεται πολλά για την ανύψωση του COP των συστημάτων υγρού πάνω από τη μονάδα.

Πηγές ενέργειας επαναδραστηριοποίησης

Το μεγαλύτερο ποσό κατανάλωσης ενέργειας σε ένα σύστημα αποξηραντικού μέσου είναι η θερμότητα που χρησιμοποιείται για την επαναδραστηριοποίηση του κορεσμένου αποξηραντικού μέσου. Σημαντική προσπάθεια έχει καταβληθεί για τη μείωση του ποσού και του κόστους αυτής της ενέργειας, επικεντρώνοντας κυρίως στη χρήση της απορριπτόμενης ενέργειας που υπάρχει συνήθως εντός των συστημάτων κλιματισμού κτιρίων.

Σε συστήματα, που χρησιμοποιούν αποξηραντικά μέσα ως συστατικό μέρος σε ένα με μεγαλύτερο σύστημα ψύξης συμπίεσης αερίου, η απορριπτόμενη θερμότητα από τους συμπυκνωτές ψυκτικού χρησιμοποιείται για την επαναδραστηριοποίηση του αποξηραντικού μέσου. Επιπρόσθετα της παροχής θερμότητας επαναδραστηριοποίησης χαμηλού κόστους, η επιπλέον επιφάνεια εναλλαγής θερμότητας στο συμπυκνωτή ψύξης έχει ευεργετική επίπτωση στο COP του συστήματος ψύξης.

Οι κατασκευαστές έχουν επίσης παρουσιάσει συστήματα αποξηραντικού μέσου που περιλαμβάνουν συστατικά μέρη συμπαραγωγής καθώς και συστήματα ψύξης συμπίεσης αερίου. Σε αυτά τα σχέδια, η απορριπτόμενη θερμότητα από την ηλεκτρική γεννήτρια παρέχει ενέργεια επαναδραστηριοποίησης χαμηλού κόστους.

Η πρόοδος στους επαφείς αποξηραντικού μέσου για συστήματα ξηρού αποξηραντικού μέσου περιστρεφόμενης κυψελοειδούς μορφής έχει επιτρέψει σημαντικές μειώσεις στην ενέργεια επαναδραστηριοποίησης όταν το φυσικό αέριο χρησιμοποιείται ως πηγή θερμότητας. Σε αντίθεση με το χλωρίδιο του λιθίου, το σιλικάτζέλ δεν είναι ευαίσθητο στην καύση του φυσικού αερίου. Όπου στροφείς χλωριδίου του λιθίου χρειάζεται να χρησιμοποιήσουν έμμεσους θερμαντήρες αερίου, οι στροφείς σιλικάτζέλ μπορούν να χρησιμοποιήσουν καυστήρες άμεσης καύσης, επιτρέποντας 20 έως 30% αύξηση στην χρησιμοποίηση της ενέργειας.

Τέλος, "Σταδιακή επαναδραστηριοποίηση" χρησιμοποιείται από πολλούς κατασκευαστές για τη μείωση του μεγέθους της μονάδας αποξηραντικού μέσου χρησιμοποιώντας ταυτόχρονα πηγές θερμότητας χαμηλού κόστους για επαναδραστηριοποίηση. Η απορριπτόμενη θερμότητα χαμηλής θερμοκρασίας μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνη της για επαναδραστηριοποίηση, αλλά απαιτεί τη χρήση μεγαλύτερου, ακριβότερου υλικού αποξήρανσης. Ουσιαστικά, η επιφάνεια αυξάνεται για να αποζημιώσει τη μικρότερη κινητήρια δύναμη της θερμότητας χαμηλής θερμοκρασίας. Οι κατασκευαστές έχουν αναγνωρίσει και μειώσει αυτό το πρόβλημα αναπτύσσοντας κυκλώματα επαναδραστηριοποίησης δύο σταδίων. Θερμότητα χαμηλής θερμοκρασίας χρησιμοποιείται για την προθέρμανση του αποξηραντικού μέσου και ένα πολύ μικρότερο ποσό θερμότητας υψηλής θερμοκρασίας χρησιμοποιείται για την ξήρανση σε μεγαλύτερη έκταση του

αποξηραντικού μέσου. Αυτά τα δύο στάδια επαναδραστηριοποίησης παρέχουν την απαραίτητη ικανότητα για να επιτρέψουν τη χρήση μικρότερου, φθινότερου εξοπλισμού.

Πηγές ψύξης

Η συνετή ψύξη ευθύνεται για τη δεύτερη μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας σε ένα σύστημα αποξηραντικού μέσου. Η θερμότητα θα πρέπει να απομακρυνθεί από το αποξηραντικό μέσο και από τον αέρα.

Στα συστήματα υγρού και στερεού, οι κατασκευαστές έχουν επικεντρώσει τις προσπάθειες τους στους τρόπους ψύξης του αέρα διεργασίας με τη μετακίνηση της θερμότητας του στο κύκλωμα επαναδραστηριοποίησης. Αυτό μειώνει και το κόστος της ψύξης και το κόστος της θερμότητας επαναδραστηριοποίησης.

Σε συστήματα στερεού, εναλλάκτες θερμότητας αέρα-αέρα χρησιμοποιούνται τώρα για την ψύξη του θερμού αέρα που αφήνει τον τομέα διεργασίας της μονάδας και προθερμαίνουν τον αέρα που εισάγεται στην επαναδραστηριοποίηση. Είτε θερμοσωλήνες είτε εναλλάκτες θερμότητας τύπου πλάκας χρησιμοποιούνται για αυτό το σκοπό. Μια τέτοια διάταξη μειώνει τις απαιτήσεις ψύξης περισσότερο από 30% και μειώνει την ενέργεια επαναδραστηριοποίησης περισσότερο από 20% σε τυπικές εφαρμογές κλιματισμού άνεσης. Σε συστήματα υγρού, το ζεστό αποξηραντικό μέσο που εγκαταλείπει τη γεννήτρια ψύχεται από το αραιό αποξηραντικό μέσο που προέρχεται από το κλιματιστικό πολυσωληνοειδούς ή πλάκας-πλαισίου εναλλάκτη θερμότητας. Όπως και στα συστήματα στερεού, ένας τέτοιος "ενδιάμεσος εναλλάκτης θερμότητας" μειώνει την ενέργεια και στην ψύξη και στην επαναδραστηριοποίηση του αποξηραντικού μέσου.

Επιπρόσθετα, ο εναλλάκτης θερμότητας τριών δρόμων που περιγράφηκε νωρίτερα ως μέσο βελτίωσης ενός επαφά υγρού αποξηραντικού μέσου βελτιώνει επίσης την οικονομία της ψύξης ενός συστήματος υγρού αποξηραντικού μέσου. Ως αποτέλεσμα, οι κατασκευαστές και τα ιδρύματα ερευνών έχουν αφιερώσει μεγάλα ποσά και προσπάθεια στη μείωση του κόστους και τη βελτίωση της αξιοπιστίας αυτού του συστατικού μέρους για συστήματα υγρού.

Αποθήκευση ενέργειας

Όπως και στα παραδοσιακά συστήματα ψύξης, το φορτίο αιχμής καθορίζει την ικανότητα και το κόστος του συστήματος. Ωστόσο, το φορτίο αιχμής αφορά μόνο για το 2% των ωρών μέσα στο έτος. Το σύστημα μπορεί να χρειαστεί περίπου 50% εφεδρική χωρητικότητα για να μπορέσει να ψύξει το κτίριο σε μια ημέρα φορτίου αιχμής.

Προκειμένου να μειωθεί το μέγεθος του συστήματος αποξηραντικού μέσου και κατά συνέπεια να μειωθεί το αρχικό κόστος και το λειτουργικό κόστος, η έρευνα έχει επικεντρωθεί στην επαναδραστηριοποίηση του αποξηραντικού μέσου κατά τη διάρκεια των ωρών εκτός αιχμής και αποθήκευσης αυτού για χρήση κατά τις ώρες αιχμής.

Σε ένα σύστημα υγρού, αυτό επιτυγχάνεται εύκολα προσθέτοντας δοχεία αποθήκευσης αποξηραντικού μέσου στο σύστημα. Αυτά συγκρατούν συμπυκνωμένο αποξηραντικό για χρήση κατά τη διάρκεια περιόδου αιχμής. Η μεγαλύτερη πρόκληση είναι η οικονομική. Επί του παρόντος, το κόστος πρόσθετου αποξηραντικού με τους ελέγχους, δοχεία και σωληνώσεις είναι μεγαλύτερο από το κόστος ενός συστήματος με αρκετή βασική ικανότητα να καλύψει το φορτίο αιχμής.

Σε ένα σύστημα στερεού, ο μεγάλος όγκος ξηρού αποξηραντικού μέσου που απαιτείται για αποθήκευση καθιστά αυτή τη στρατηγική μη πρακτική.

Ωστόσο, αρκετή βασική έρευνα έχει επενδυθεί για τον προσδιορισμό της ικανότητας ρόφησης και της δυναμικής των ίδιων των κτιριακών κατασκευών. Γύψος, χαλιά και υφάσματα μπορούν να προσελκύσουν και να κρατήσουν υδρατμούς. Στο μέλλον, μπορεί να είναι δυνατή η εκμετάλλευση αυτού του φαινομένου στεγνώνοντας ελαφρά το κτίριο όταν η ενέργεια επαναδραστηριοποίησης είναι διαθέσιμη σε χαμηλό κόστος. Αυτό χρησιμοποιεί αποτελεσματικά ολόκληρη την υγρασκοπική μάζα κτιρίου ως μέσο για την αποθήκευση ενέργειας.

Αυτή η πολλά υποσχόμενη ιδέα περιορίζεται επί του παρόντος από υφιστάμενα, παλαιότερης γενιάς προγράμματα προσομοίωσης ενέργειας κτιρίων, τα οποία δεν μπορούν να λάβουν υπόψη τους το φαινόμενο ρόφησης-εκρόφησης των συστατικών μερών του κτιρίου στην κατανάλωση ενέργειας συστήματος.

Υλικά αποξήρανσης

Η συμπεριφορά όλων των συστατικών μερών αποξηραντικού μέσου επηρεάζεται καθαρά από τα χαρακτηριστικά λειτουργίας των υλικών αποξηραντικού μέσου που περιέχουν. Αναγνωρίζοντας αυτό το γεγονός, τα ινστιτούτα έρευνας και οι κατασκευαστές έχουν επικεντρωθεί στην επιστήμη των υλικών για την ανάπτυξη αποξηραντικών μέσων τα οποία είναι ιδιαίτερα κατάλληλα για εφαρμογές κλιματισμού.

Αυτές οι προσπάθειες έχουν δύο κύριους στόχους. Την ανάπτυξη αποξηραντικών μέσων τα οποία:

1. Χρησιμοποιούν λιγότερη ενέργεια για επαναδραστηριοποίηση απαιτώντας με αυτόν τον τρόπο λιγότερη ενέργεια για ψύξη.
2. Είναι περισσότερο σταθερά και ανθεκτικά απαιτώντας έτσι λιγότερη συντήρηση.
3. Έρευνα που υποστηρίζεται από το Gas Research Institute έχει αναγνωρίσει τα χαρακτηριστικά ρόφησης που είναι καταλληλότερα για την ελαχιστοποίηση του κόστους των συστημάτων κλιματισμού αποξηραντικού μέσου σε τυπικά εμπορικά και οικιστικά κτίρια. Αυτά τα χαρακτηριστικά περιγράφονται από τον όρο συμπεριφορά αποξηραντικού μέσου "Τύπος 1M".

Το όνομα προέρχεται από το σύστημα κατηγοριοποίησης για χαρακτηριστικά αποξηραντικού μέσου που καθιερώθηκε από τον Stephen Brunauer το 1945. Το σύστημα κατηγοριοποιεί τη συμπεριφορά υλικού σύμφωνα με το σχήμα της ισοθερμικής ρόφησης. Υλικά με συμπεριφορά τύπου 1 απορροφούν υγρασία πολύ γρήγορα πάνω από μια συγκεκριμένη σχετική υγρασία και αποβάλλουν την υγρασία άμεσα όταν ο περιβάλλον αέρας πέφτει κάτω από ένα όριο σχετικής υγρασίας.

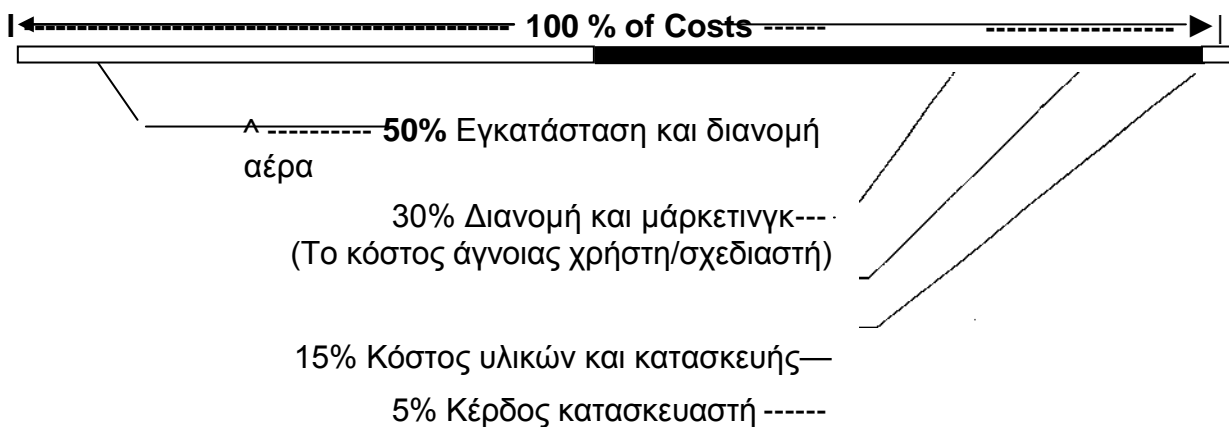
Τα περισσότερα υλικά τύπου (Type) 1 απορροφούν υγρασία εύκολα σε σχετικές υγρασίες κάτω από 5%. Ωστόσο, το ιδανικό αποξηραντικό μέσο για εφαρμογές κλιματισμού θα απορροφά και θα αποβάλει υγρασία μεταξύ των ορίων εύρους 35 και 55% σχετικής υγρασίας. Έτσι, το υλικό περιγράφεται ως έχον συμπεριφορά "Type 1 - Modified" ("Τύπος 1 - Τροποποιημένο"), ή συντομότερα, "Type 1M".

Ενώ έχει σημειωθεί κάποια πρόοδος από τους κατασκευαστές, μέχρι τώρα δεν έχει υπάρξει υλικό αποξήρανσης Type 1M εμπορικά διαθέσιμο. Ένα ανθεκτικό, χαμηλού κόστους υλικό Type 1M θα προσφέρει σημαντικές βελτιώσεις στο κόστος και την κατανάλωση ενέργειας συστημάτων αποξηραντικού μέσου.

10.5 Μελλοντικές ανάγκες έρευνας και ανάπτυξης

Οι εναλλακτικές έργου έρευνας μπορούν να κριθούν βάση ενός απλού προτύπου. Σε τι εύρος και πόσο γρήγορα θα συνεισφέρουν στην πραγματοποίηση εξοικονόμησης ενέργειας μέσω της υιοθέτησης κλιματισμού αποξηραντικού μέσου στα κτίρια;

Η πιο παραγωγική έρευνα θα επικεντρωθεί στη βελτίωση του λόγου κόστους-κέρδους του εξοπλισμού από ξήρανσης. Επί του παρόντος, το κόστος τέτοιων συστημάτων είναι συνήθως πολύ υψηλό για να ισοσκελιστεί από "Διετή απόσβεση". Το κριτήριο υιοθετείται συνήθως από τους ιδιοκτήτες κτιρίων για να κρίνουν την ελκυστικότητα μιας νέας τεχνολογίας. Αυτός ο λόγος μπορεί να βελτιωθεί με έρευνα που χαμηλώνει τα κόστη της τεχνολογίας αποξηραντικού μέσου και από έργα που αυξάνουν τα κέρδη.



Σχήμα 10.5 Κύρια στοιχεία κόστους εγκατεστημένων συστημάτων αποξηραντικού μέσου

Μείωση κόστους

Το μεγαλύτερο κόστος που σχετίζεται με τεχνολογία αποξηραντικού μέσου είναι η εγκατάσταση και η διανομή. Έργα έρευνας και ανάπτυξης συμβάλλουν στη μείωση αυτού του κόστους:

1. Μείωση του κόστους άγνοιας αυξάνοντας τη μεταφορά τεχνολογίας (δεδομένα έρευνας στον κατασκευαστή).

Τα αποτελέσματα δεκάδων εκατομμυρίων δολαρίων σε έρευνα αποξηραντικού μέσου δεν διανέμονται ευρέως σε κατασκευαστές εξοπλισμού. Στην πραγματικότητα, οι περισσότεροι κατασκευαστές εξοπλισμού κλιματισμού δεν γνωρίζουν καν τις προσφερόμενες δυνατότητες και τα αποτελέσματα αυτών των προσπαθειών. Έργα για την ευρεία διάδοση των αποτελεσμάτων της έρευνας θα είναι ακόμα πιο παραγωγικά από έργα για την επιπλέον εξέλιξη της ίδιας της τεχνολογίας.

2. Μείωση του κόστους άγνοιας αυξάνοντας τη μεταφορά τεχνολογίας (δεδομένα έρευνας στον κατασκευαστή/τελικό χρήστη).

Ενώ πολλά κτίρια μπορούν να κερδίσουν από την τεχνολογία αποξηραντικού μέσου, η βάση σχεδιαστή/χρήστη είναι γενικά αδαής σχετικά με τα πιθανά οφέλη αλλά και δεν έχει εξοικειωθεί αρκετά με την τεχνολογία ώστε να καταρτίσει μια ενημερωμένη αξιολόγηση που να τα αφορά. Έργα για την ανάπτυξη εργαλείων για πρόσβαση στην τεχνολογία και για την επεξήγηση του κόστους και των πλεονεκτημάτων θα μειώσει ξεκάθαρα το μεγαλύτερο κόστος των αποξηραντικών μέσων τη διανομή και την εγκατάσταση. Η άγνοια σχεδιαστή/χρήστη είναι η μεγαλύτερη συνιστώσα του τρέχοντος κόστους του εξοπλισμού αποξήρανσης.

3. Βελτίωση αξιοπιστίας εξοπλισμού και απλοποίηση της συντήρησης.

Η τεχνολογία αποξηραντικού μέσου δεν επωφελείται μιας πλήρους ανεπτυγμένης βάσης υποστήριξης. Κατά συνέπεια, το κόστος εξυπηρέτησης είναι συγκριτικά υψηλό. Ερευνητικά έργα που αυξάνουν την αξιοπιστία και την ικανότητα για συντήρηση υλικών αποξήρανσης, συστατικών μερών (εξαρτημάτων) και συστημάτων θα μειώσει αισθητά το τρέχον κόστος της τεχνολογίας.

Αύξηση των πλεονεκτημάτων

Το κέρδος διατήρησης της ενέργειας της τεχνολογίας αποξηραντικού μέσου μπορεί επίσης να βελτιωθεί μέσω της έρευνας και της ανάπτυξης:

1. Βελτίωση της ενσωμάτωσης συστατικών μερών αποξήρανσης με συμβατική ψύξη.

Τα συστήματα αποξηραντικού μέσου χρησιμοποιούν τη θερμότητα παραγωγικά και χρειάζονται λογική ψύξη. Τα συστήματα ψύξης με συμπίεση αερίου παρέχουν απορριπτόμενη θερμότητα και επίσης οικονομική λογική ψύξη. Έργα για τη βελτίωση της ενσωμάτωσης υποσυστημάτων αποξήρανσης σε συστήματα κλιματισμού συμβατικών κτιρίων θα βελτιώσει τα οφέλη που παρέχονται και από τις δύο τεχνολογίες.

2. Βελτίωση COP ψύξης για συστήματα αποξηραντικού μέσου.

Κορυφαίας τεχνολογίας συστήματα αποξηραντικής ουσίας συχνά διαθέτουν συντελεστές απόδοσης κάτω της μονάδας. Για την αύξηση των πλεονεκτημάτων που προσφέρονται από αυτή την τεχνολογία, η λειτουργική απόδοση θα πρέπει να βελτιωθεί. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με ερευνητικά έργα για την ανάπτυξη: υλικών με συμπεριφορά Type 1M, συστατικά μέρη

(εξαρτήματα) για την αποτελεσματικότερη ψύξη του αέρα εντός του συστήματος, καλύτερες μεθόδους για τη λειτουργία του συστήματος ελέγχου και χαμηλότερο κόστος μεθόδων επαναδραστηριοποίησης.

Άλλα σημαντικά πλεονεκτήματα του συστήματος αποξηραντικού μέσου συμπεριλαμβάνουν βελτιώσεις στην ποιότητα του αέρα σε εσωτερικούς χώρους. Τα αποξηραντικά παρέχουν τη χαμηλή υγρασία που απαιτείται για την απαλοιφή της ανάπτυξης μικροοργανισμών στο σύστημα σωληνώσεων, μεταλλικές κατασκευές και στην επίπλωση. Τα υλικά μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για την απορρόφηση πολλών οργανικών πτητικών ουσιών (ΠΟΕ). Η έρευνα και η ανάπτυξη μπορούν να βοηθήσουν στη βελτίωση αυτών των πλεονεκτημάτων, προς όφελος του τελικού χρήστη:

1. Βελτίωση της ποιότητας αέρα εσωτερικού χώρου μέσω μειωμένης ανάπτυξης μικροβίων.

Ο ξηρός αέρας είναι γνωστό ότι μειώνει την ανάπτυξη μικροοργανισμών στον αέρα και σε υγρά υλικά.

Ωστόσο, η φύση και η ποσοτική διάσταση αυτού του φαινομένου δεν είναι επαρκώς κατανοητά. Η έρευνα σε αυτή την περιοχή μπορεί να έχει σημαντικά οφέλη παραγωγικότητας για τους εργαζομένους και τη δημόσια υγεία που μπορούν να υπερβούν τα ενεργειακά οφέλη των συστημάτων αποξηραντικού μέσου.

2. Βελτίωση της ποιότητας του αέρα εσωτερικού χώρου αφαιρώντας ρυπαντικές ουσίες του αέρα με αποξηραντικά μέσα.

Τα υλικά αποξήρανσης μπορούν να συλλέξουν περισσότερα από απλούς υδρατμούς από τον αέρα. Στη βιομηχανία, τα αποξηραντικά μέσα χρησιμοποιούνται ευρέως για την τέλεση διαχωρισμών από σύνθετα μείγματα οργανικών και ανόργανων ενώσεων. Ερευνητικά έργα για τον προσδιορισμό των επιπτώσεων αφαίρεσης ρυπαντικών ουσιών και για την παγίωση μιας ισχυρής θεωρητικής βάσης για την κατανόηση αυτών των φαινομένων θα αυξήσει σημαντικά το όφελος των συστατικών μερών αποξήρανσης σε συστήματα κλιματισμού κτιρίων.

3. Βελτίωση χρήσιμης ζωής των κτιρίων, υλικών και προϊόντων μέσω της τεχνολογίας ξηρού αέρα.

Κτίρια και προϊόντα υποφέρουν από τις επιπτώσεις της υπερβολικής υγρασίας. Η αμερικανική ένωση ξενοδοχείων και μοτέλ υπολογίζει ότι 8.000 από τις 45.000 κατασκευές φιλοξενίας στις ΗΠΑ ξοδεύουν περισσότερα από \$68 εκατ. κάθε χρόνο εξαιτίας φθορών που προκαλούνται από μούχλα που δημιουργείται εξαιτίας της υπερβολικής υγρασίας. Ο εθνικός οργανισμός μηχανικών διάβρωσης (National Association of Corrosion Engineers) υπολογίζει ότι η διάβρωση μετάλλων κοστίζει στην οικονομία των ΗΠΑ περισσότερα από \$220 δισεκατομμύρια το χρόνο. Οι απώλειες σε καλλιέργειες εξαιτίας υπερβολικής υγρασίας υπερβαίνει τα \$300 δισεκατομμύρια ετησίως. Όλα αυτά τα δαπανηρά προβλήματα μπορούν να μειωθούν σημαντικά με τη χρήση τεχνολογίας ξηρού αέρα. Ερευνητικά έργα που προσδιορίζουν την ποσότητα των πραγματικών πλεονεκτημάτων και ορίζουν τις κατευθυντήριες γραμμές μηχανικού για τη χρήση ξηρού αέρα θα παράσχουν σημαντικά οφέλη για την εθνική οικονομία.

Συμπέρασμα

Η τεχνολογία αποξήρανσης έχει τη δυνατότητα να συνεισφέρει σημαντικά στη διατήρηση της ενέργειας, να βελτιώσει την ποιότητα αέρα εσωτερικών χώρων και να μειώσει το κόστος ζημιών από υγρασία σε κτίρια και προϊόντα. Ωστόσο, υλικά, συστατικά μέρη και συστήματα προηγμένης τεχνολογίας δεν είναι ευρέως κατανοητά ή σε χρήση στη βιομηχανία κτιρίων. Καλά συντονισμένες προσπάθειες έρευνας και ανάπτυξης της βιομηχανίας, κρατικών και ερευνητικών ιδρυμάτων θα χρειαστεί για την πλήρη υλοποίηση των πλεονεκτημάτων αυτής της καθιερωμένης, αλλά υπο-εφαρμοζόμενης τεχνολογίας.

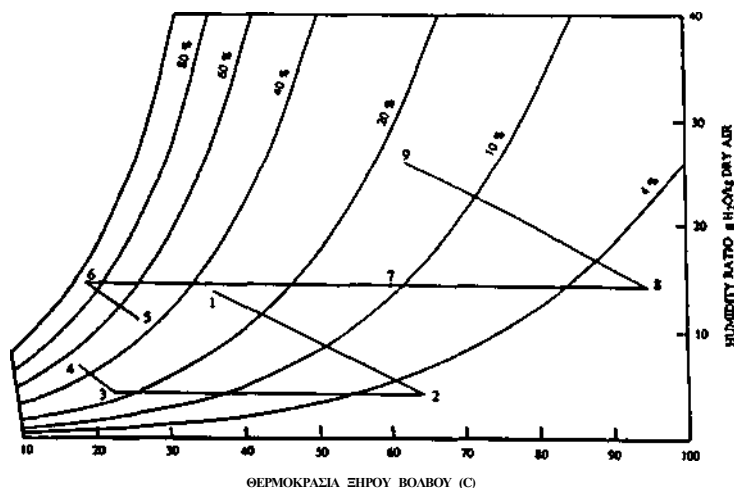
11. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΩΝ **ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΞΗΡΑΝΤΙΚΟΥ ΜΕΣΟΥ**

11.1 Αρχές αφύγρανσης και ψύξης αποξήρανσης DCD (Desiccant Cooling and Dehumidification)

Η ψύξη και η θέρμανση αποξήρανσης βασίζεται στη φυσική διαδικασία κατά την οποία υδρατμοί συλλέγονται και απελευθερώνονται (ρόφηση και εκρόφηση) από υλικά αποξήρανσης, τα οποία μπορεί να είναι είτε στερεά ή υγρά. Ατμοποίηση του νερού παρέχει την ψυκτική ισχύ και η συμπύκνωσή του παράγει τη θερμότητα.

Η διεργασία εκρόφησης και κατά συνέπεια ο κύκλος αποξήρανσης, διαμορφώνονται από τη θερμότητα. Όταν τα υλικά αποξήρανσης είναι θερμά, αποβάλλουν υγρασία. Ο έλεγχος, ικανότητα, απόδοση και οικονομικά των συστημάτων DCD βασίζονται σε μεγάλο βαθμό στη θερμική ενέργεια εντός του συστήματος. Τα συστήματα DCD μπορούν να λειτουργήσουν σε κλειστούς και ανοικτούς κύκλους. Η βασική διαφορά είναι ότι οι ανοικτοί κύκλοι λειτουργούν κοντά σε ατμοσφαιρική πίεση, ενώ οι κλειστοί κύκλοι συνήθως λειτουργούν είτε ψηλότερα ή χαμηλότερα από την ατμοσφαιρική πίεση.

Σχήμα 11.1 Σχηματικό ενός τύπου συστήματος ψύξης αποξηραντικού μέσου ανοικτού κύκλου



Σχήμα 11.2 Ψυχομετρική αναπαράσταση του συστήματος που παρουσιάζεται στο Σχήμα 11.1

Το σχήμα 11.1 παρουσιάζει ένα σύστημα DCD ανοικτού κύκλου με φρέσκο αέρα 100%. Αυτό είναι το πιο κοινό σύστημα DCD. Ο αέρας περιβάλλοντος, σημείο 1, ρέει μέσω του αφυγραντήρα αποξήρανσης, θερμαίνεται και στεγνώνει, σημείο 2. Αυτός ο αέρας κατόπιν ρέει μέσω του εναλλάκτη αισθητής θερμότητας για να ψυχθεί, σημείο 3. Ο ξηρός, ψυχρότερος αέρας κατόπιν ρέει μέσω του ψύκτη εξάτμισης για να ψυχθεί προς τη θερμοκρασία υγρού βολβού και αποδίδεται στο σπίτι, σημείο 4. Ο αέρας εξαγωγής από το σπίτι στο σημείο 5 ρέει μέσω εξατμιστή για να ψυχθεί στο σημείο 6. Κατόπιν ρέει μέσω του εναλλάκτη αισθητής θερμότητας για ανταλλαγή θερμότητας με τον επεξεργασμένο αέρα. Ο αέρας εξαγωγής από τον εναλλάκτη θερμότητας, σημείο 7, ρέει μέσω μιας πηγής θερμότητας για να ανυψώσει τη θερμοκρασία του στο σημείο 8. Αυτός ο θερμός αέρας εξαγωγής χρησιμοποιείται για την επαναδραστηριοποίηση του αφυγραντήρα αποξηραντικού μέσου. Το σχήμα 11.2 παρουσιάζει το ίδιο σημείο κατάστασης στο ψυχομετρικό διάγραμμα. Το σύστημα λειτουργεί σε κατάσταση ανακύκλωσης εάν ο αέρας εσωτερικού χώρου χρησιμοποιηθεί στο σημείο 1. Μια τέτοια ξήρανση επαναδραστηριοποίησης του αέρα από αποξηραντικά μέσα έχει εκτενείς εμπορικές και βιομηχανικές εφαρμογές. Για συστήματα ανοικτού κύκλου, η θερμοκρασία επεξεργασμένου αέρα συνήθως περιορίζεται σε 10°C (50°F) ή υψηλότερα επειδή νερό εμπλέκεται στη διαδικασία ψύξης. Για συστήματα κλειστού κύκλου (βλέπε ενότητα τεχνικής επιλογής) κανένα τέτοιο όριο δεν εφαρμόζεται επειδή συνηθισμένα ψυκτικά μέσα μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Είναι δυνατή η λειτουργία ενός συστήματος κλειστού κύκλου για ψύξη.

11.2 Πλεονεκτήματα και πιθανοί περιορισμοί συστημάτων DCD

Υπάρχουν πολλά πλεονεκτήματα στα συστήματα DCD. Ορισμένα σχετίζονται με το περιβάλλον, ορισμένα με την μετατροπή ενέργειας και ορισμένα με το μειωμένο αρχικό κόστος εξοπλισμού και λειτουργικό κόστος. Αυτά πλεονεκτήματα αναλύονται παρακάτω.

- Δεν χρησιμοποιούνται ψυκτικά CFC. Επειδή η πλειοψηφία των συστημάτων DCD θα είναι συστήματα ανοικτού κύκλου, το νερό και ο αέρας είναι τα μόνα υγρά που χρησιμοποιούνται. Τα συστήματα DCD είναι εναλλακτικά περιβαλλοντικά αποδεκτά των συστημάτων ψύξης συμπίεσης αερίου.
- Τα σχήματα 11.1 και 11.2 απεικονίζουν ότι τα συστήματα DCD είναι συσκευές ψύξης που ενεργοποιούνται με θερμότητα, οι οποίες χρειάζονται μόνο ένα μικρό ποσό παρασιτικής ηλεκτρικής ενέργειας για τη λειτουργία του συστήματος. Τα συστήματα DCD θα μειώνουν έτσι την κατανάλωση ηλεκτρικού. Αυτό είναι σημαντικό επειδή μειώνει και το φορτίο αιχμής.
- Το DCD μπορεί να λειτουργήσει με θερμότητα χαμηλής θερμοκρασίας. Εάν θερμότητα απόρριψης είναι διαθέσιμη για επαναδραστηριοποίηση του υλικού αποξήρανσης, η απόδοση ενός τέτοιου συστήματος θα είναι πολύ υψηλή. Εάν δεν χρησιμοποιείται κύριο

καύσιμο στην επαναδραστηριοποίηση του υλικού αποξήρανσης, εκτός της εξοικονόμησης ενέργειας, το DCD μειώνει επίσης την εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα.

- Όταν ένα σύστημα DCD ενσωματώνεται σε ένα συμβατικό σύστημα ψύξης για την αφαίρεση του λανθάνοντος φορτίου, επιτρέπει στο συμβατικό σύστημα να χειριστεί αισθητό θερμικό φορτίο μόνο. Αυτή η απομάκρυνση του λανθάνοντος φορτίου θα μειώσει το μέγεθος των συμπιεστών, ανεμιστήρων, σωληνώσεων κτλ. Θα μειώσει με αυτό τον τρόπο το κόστος αρχικού εξοπλισμού, συνήθως περισσότερο από ότι χρειάζεται για την αντιστάθμιση του κόστους του εξοπλισμού αποξήρανσης.
- Με πρόσθετο υλικό, όπως ενεργό άνθρακα, που έχει προστεθεί σε αφυγραντήρες αποξήρανσης, μπορούν επίσης να απορροφήσουν ανεπιθύμητες οσμές και σωματίδια βελτιώνοντας με αυτόν τον τρόπο την ποιότητα του εσωτερικού αέρα.
- Επειδή η λειτουργία DCD (ανοικτός κύκλος) είναι κοντά στην ατμοσφαιρική, η κατασκευή και η συντήρηση απλοποιούνται.
- Τα συστήματα DCD χρησιμοποιούν ένα ελάχιστο αριθμό κινούμενων μερών ο οποίος μειώνει επίσης το κόστος συντήρησης και λειτουργίας.
- Τα συστήματα DCD είναι πολύ αποτελεσματικά για των κλιματισμό χώρων με μεγάλο λανθάνον φορτίο όταν απαιτείται 100% φρέσκος αέρας και για εφαρμογές ευαίσθητες στην υγρασία.
- Για συστήματα κλειστού κύκλου, υψηλός COP συστήματος μπορεί να επιτευχθεί όταν η έννοια της αναγέννησης θερμότητας χρησιμοποιείται και έντονα θερμικά κύματα διατηρούμαι.
- Για συστήματα DCD κλειστού κύκλου, η απόδοση του συστήματος είναι πρακτικά ανεξάρτητη από τη θερμοκρασία συμπυκνωτή.
- Με συστήματα κλειστού κύκλου, χαμηλές θερμοκρασίες ψύξης μπορούν να επιτευχθούν.
- Για DCD υγρού, η αποθήκευση ενέργειας είναι βολική καθώς η ενέργεια αποθηκεύεται ως χημική αντί για θερμική.

Οι πιθανοί περιορισμοί όλων των συστημάτων αποξηραντικής ουσίας είναι το σχετικά υψηλό κόστος εγκατάστασης και η έλλειψη μιας μεγάλης, σε εθνικό επίπεδο βάσης καταρτισμένου τεχνικού προσωπικού.

Για συστήματα DCD υγρού, η αποξηραντική ουσία που χρησιμοποιείται είναι ορισμένες φορές διαβρωτική και μπορεί να προκαλέσει ζημιά στα συστήματα ή τα βοηθητικά συστατικά μέρη (εξαρτήματα). Τα συστήματα στερεού μπορούν να υποστούν έμφραξη ή φθορά αποξηραντικού μέσου και το κόστος των τροχών περιστροφής αποξηραντικού μέσου, όπως το κόστος αντικατάστασης του συμπιεστή ψύξης, να είναι συγκριτικά υψηλό.

Πρόσφατες εξελίξεις στα DCD συμπεριλαμβάνουν συστήματα δύο σταδίων για κτίρια γραφείων, συστήματα κλειστού κύκλου για ψύξη ή αποθήκευση ενέργειας, μια στρατηγική λειτουργίας σύλληψης κυμάτων θερμότητας, αποξηραντικά μέσα πολυμερών πλαστικών, μια νεότερη προσέγγιση στη δημιουργία κύκλων αποξηραντικού μέσου, κτλ. Όλες αυτές οι εξελίξεις στα DCD υποδηλώνουν ότι η τεχνολογία αποξηραντικού μέσου βρίσκεται στο δρόμο για να καταστεί μια οικονομικά βιώσιμη εναλλακτική λύση ψύξης στα συμβατικά συστήματα συμπίεσης αερίου.

11.3 Εμπορική ανάπτυξη

Η τεχνολογία κλιματισμού αποξηραντικού μέσου αναπτύχθηκε στις ΗΠΑ πριν την επέλαση του κλιματισμού συμπίεσης αερίου. Το σύστημα αποξηραντικού μέσου υγρού Kathabar, που παρουσιάστηκε το 1910, υπήρξε η πρώτη χρήση στον κλιματισμό μιας τεχνολογίας που χρησιμοποιούνταν προηγουμένως σε μεγάλο βαθμό σε λειτουργίες χημικών διεργασιών και διύλισης πετρελαίου. Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του '30 η Niagara Blower Company άρχισε να χρησιμοποιεί τη λύση αποξηραντικού μέσου τριαθυλενογλυκόλη (Triethylene Glycol) ως μέσο απομάκρυνσης του παγετού από πηνία εξατμιστήρα σε συστήματα ψύξης. Το σύστημα διέθετε αφύγρανση καθώς και δυνατότητες απόψυξης και συνεχίζει να βρίσκεται σε χρήση και σήμερα.

Παράλληλα με την ανάπτυξη των συστημάτων υγρού, τα συστήματα στερεού αποξηραντικού μέσου τέθηκαν σε χρήση από την Lectrodryer Company με τη μορφή ενός μεγάλων, διπλού πύργου και άλλων κατασκευών στατικών στρωμάτων. Στα μέσα της δεκαετίας του '30, η Lectrodryer, σε συνεργασία με ένα τμήμα της Bryant Heater Company (τόρα BRY-AIR) και την Cargocaire Engineering Corporation (τόρα Munters Cargocaire), κατασκεύασε διάφορους τύπους συστημάτων αποξήρανσης σταθερού στρώματος, κατά κύριο λόγο για εφαρμογές στη βιομηχανία.

Το 1940, ωστόσο, ένα άρθρο στην Cleveland Press (22 Ιαν., 1940, "Today's Business - Bryant's New Product") υποδηλώνει ότι οι κατασκευαστές εξοπλισμού αποξηραντικού μέσου διατηρούσαν ένα ενδιαφέρον για τις αγορές κλιματισμού άνεσης. Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του '50, η Kathabar εφάρμοσε με επιτυχία το σύστημα υγρού αποξηραντικού μέσου τους σε συστήματα εξαερισμού νοσοκομείων. Αυτή η εφαρμογή εκμεταλλεύεται τα χαρακτηριστικά βακτηριοκτόνου του χλωριδίου του λιθίου για να καθαρίσει τον αέρα από μικροοργανισμούς μαζί με την αφαίρεση πλεονάζουσας υγρασίας και την απόδοση αέρα σε ελεγχόμενη θερμοκρασία.

Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του '50, οι κατασκευαστές συστημάτων στερεού αποξηραντικού μέσου που μεταλλάχθηκαν σε κατασκευές περιστρεφόμενου στρώματος, εξαιτίας των σημαντικών θερμικών πλεονεκτημάτων και πλεονεκτημάτων κόστους σε σχέση με κατασκευές σταθερού στρώματος σε εφαρμογές θερμοκρασίας περιβάλλοντος. Επιπρόσθετα σε σχέδια που αναπτύχθηκαν στην Bryant Company, η Airflow Company εισήγαγε μια γραμμή αντίστροφης ροής, μηχανές τμηματικών στρωμάτων που προσέφεραν σημαντικές βελτιώσεις στα οικονομικά λειτουργίας των συστημάτων ξηρού μέσου αποξήρανσης.

Το 1960, η Munters Cargocaire Corporation εισήγαγε ένα αφυγραντήρα ξηρού αποξηραντικού μέσου βασισμένο στις πατέντες των Neil Pennington, ενός αμερικανού εφευρέτη και του Carl Munters, του σουηδού εφευρέτη του συστήματος ψύξης απορρόφησης. Η βασική σχεδιαστική αντίληψη, που χρησιμοποιεί ένα τροχό κυψελοειδούς μορφής εμποτισμένου με αποξηραντικό μέσο, παραμένει η κορυφή της τεχνολογίας σε συστήματα ξηρού αποξηραντικού μέσου.

Σε συστήματα υγρού, επιπλέον βελτιώσεις πραγματοποιήθηκαν στο σύστημα Kathabar κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του '70, μειώνοντας την πτώση μάζας και πίεσης των μέσων επαφής για το αποξηραντικό μέσο. Πρόσφατες μελέτες έρευνας και ανάπτυξης σε συστήματα υγρού έχουν επικεντρωθεί στη μείωση του κόστους και βελτίωση της απόδοσης των συστατικών μερών εναλλαγής θερμότητας που αφαιρούν τη θερμότητα απορρόφησης από το υγρό αποξηραντικό μέσο.

Σε συστήματα στερεού, σημαντικές ερευνητικές μελέτες έχουν επενδυθεί στην ανάπτυξη μονάδων περιστρεφόμενων κοκκωδών στρωμάτων που δεν διαρρέουν αέρα από τη διεργασία στην επαναδραστηριοποίηση. Αυτές οι προσπάθειες συντέλεσαν στην εισαγωγή του σχεδίου πολλαπλών κάθετων στρωμάτων από την BRY-AIR στις αρχές της δεκαετίας του '80. Σε περιστρεφόμενους κυψελοειδούς μορφής τροχούς αποξηραντικού μέσου, η έρευνα από τους κατασκευαστές έχει επικεντρωθεί στη μείωση του κόστους και αύξηση της μακροβιότητας της δομής του τροχού. Ενώ το κόστος παραμένει ένα σημαντικό θέμα, η ανθεκτικότητα έχει βελτιωθεί από τη χρήση σιλικατζέλ ως αποξηραντικό μέσο, αντικαθιστώντας το χλωρίδιο του λιθίου, το οποίο μπορεί να απορροφήσει υγρασία σε πολλές εφαρμογές.

Επιπρόσθετα στις εξελίξεις στη μηχανική πλευρά της τεχνολογίας ξηρού αποξηραντικού μέσου, η έρευνα επικεντρώθηκε στην ανάπτυξη υλικών αποξήρανσης ειδικά κατασκευασμένα για εφαρμογές κλιματισμού άνεσης. Αυτά τα υλικά θα εισέλθουν στην αγορά το 1991 και 1992 και θα αλλάξουν τα οικονομικά λειτουργίας των συστημάτων ξηρού αποξηραντικού μέσου με θεμελιώδη και θετικό τρόπο.

Ταυτόχρονα με αυτές τις εμπορικές εξελίξεις, η έρευνα από κρατικά και ιδιωτικά ινστιτούτα προχωράει σε πολλές μορφές και διαφορετικές παραμέτρους των συστημάτων αποξηραντικού μέσου.

11.4 Συστήματα αποξηραντικού μέσου ανοικτού κύκλου

Σε σχέση με τον κλιματισμό ξηρού αποξηραντικού μέσου, ένας περιστροφικός εναλλάκτης έχει περιγραφεί από τους Pennington και Dunkle. Οι Bullock και Threlkeld έλυσαν μαθηματικά το πρόβλημα αδιαβατικής προσρόφησης σιλικατζέλ. Η προσέγγισή τους δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα μόνο όταν ολόκληρο το στρώμα βρίσκεται σε ισορροπία με το υγρό εισόδου στο τέλος του κάθε κύκλου. Οι Bank, Close, Maclaine-cross και Dunkle δημοσίευσαν μια σειρά διατριβών για να αναλύσουν την απόδοση του αφυγραντήρα σιλικατζέλ. Αποσύνδεσαν τις εξισώσεις ισορροπίας συζευγμένης ενέργειας και μάζας. Οι αποσυνδεδεμένες εξισώσεις έχουν τη μορφή εξισώσεων μετάδοσης θερμότητας που επιλύθηκαν από τον Nusselt. Κατόπιν συνέκριναν τις αναλυτικές λύσεις με αριθμητικά αποτελέσματα και ισχυρίστηκε ότι η διαφορά βρίσκεται εντός του αποδεκτού εύρους. Ο Lunde δημοσίευσε μια σειρά μελετών που αφορούσαν ένα περιστροφικό αφυγραντήρα σιλικαντζέλ. Χρησιμοποιώντας μια προσομοίωση υπολογιστή για να προβλέψει την κυκλική απόδοση της μονάδας, προέβλεψε ένα συντελεστή απόδοσης (COP) περίπου 0,6. Ο Nelson χρησιμοποίησε τις υποθέσεις του Bank για αποσύνδεση των συζευγμένων εξισώσεων ισορροπίας ενέργειας και μάζας. Σε αυτή την έρευνα, αναπτύχθηκαν τα αριθμητικά μοντέλα των συστατικών μερών μηχανής ανοικτού κύκλου. Η ανάλυσή του απέδειξε ότι η πραγματική απόδοση συστήματος ήταν σημαντικά χαμηλότερη από την ιδανική απόδοση. Οι Roy και and Gidaspow ανέλυσαν θεωρητικά ένα πρόβλημα αφυγραντήρα αποξήρανσης διασταυρωμένης ψύξης. Οι συναρτήσεις του Green και η τεχνική ολοκληρωτικής εξίσωσης χρησιμοποιήθηκαν για την επίλυση ενός συνόλου συζευγμένων, μη γραμμικών μερικών διαφορικών εξισώσεων. Τα αποτελέσματά τους δείχνουν ότι ένας αφυγραντήρας υβριδικής ψύξης θα πρέπει να δουλεύει πολύ καλά. Ο Mathiprakasham μελέτησε τη θεωρητική απόδοση των συστημάτων κλιματισμού αποξηραντικού μέσου φύλλου σιλικατζέλ με την υπόθεση ότι η κλίση της υγρασίας υπήρχε κατά μήκος του πάχους των φύλλων σιλικατζέλ αντιπροσωπεύοντας την αντίσταση μεταφοράς μάζας. Οι Worek και Lavan και οι Mei και Lavan εφάρμοσαν την ίδια υπόθεση για τον αριθμητικό υπολογισμό της απόδοσης αφυγραντήρα αποξήρανσης υβριδικής ψύξης και κατόπιν απέδειξαν πειραματικά τη θεωρία τους. Στο πείραμά τους, φύλλα σιλικατζέλ σχηματίστηκαν με ένα πλέγμα από τεφλόν. Ένα σύστημα ψύξης αποξηραντικού μέσου δύο τόνων με χρήση αφυγραντήρων υβριδικής ψύξης, κατασκευάστηκε και δοκιμάστηκε από τον Monnier. Το σύστημα αποτελείται από δύο σταθερά στρώματα. Οι Grolmes και Epstein πρότειναν ότι η προσθήκη ικανότητας αδρανούς θερμότητας στο αποξηραντικό μέσο θα βελτίωνε την απόδοση του συστήματος.

Ο Rousseau ανέπτυξε ένα ηλιακό αφυγραντήρα αποξηραντικού μέσου. το στρώμα αποξηραντικού μέσου ήταν τύμπανο συμπαγούς κοκκώδους σιλικατζέλ. Το σύστημά του έχει χωρητικότητα 1,35 τόνους με COP στο 0,6. Ο Schlepp κατασκεύασε ένα μοντέλο τροχού σιλικατζέλ με σιλικατζέλ συνδεδεμένο σε ταινία ευαίσθητη στην πίεση. Ο τροχός χρησιμοποιήθηκε για να επικυρώσει τους θεωρητικούς υπολογισμούς. Οι Pesaran και Mills δημιούργησαν ένα μοντέλο μεταφοράς μάζας και θερμότητας σε ένα στερεό στρώμα σωματιδίων αποξηραντικού μέσου. Το μοντέλο ήταν υπεύθυνο για επιφανειακή διάχυση εντός των σωματιδίων. Οι Pesaran και Zangrando δημιούργησαν μια μονάδα δοκιμών για υλικά αποξήρανσης. Τα πειράματα προσρόφησης και εκρόφησης που χρησιμοποιούν ισοθερμικές συνθήκες μπορούν να εκτελεστούν στην μονάδα τους. Ο Schlepp et al. σχεδίασε μια μονάδα για κυκλική δοκιμή των

αφυγραντήρων αποξηραντικού μέσου. το Ινστιτούτο τεχνολογίας αερίων (IGT) κατασκεύασε ένα τροχό αποξήρανσης μοριακού κόσκινου. Η μονάδα είχε καλή απόδοση εκτός από το ότι η θερμοκρασία επαναδραστηριοποίησης ήταν υψηλή. Ο Munters Cargocaire ανέπτυξε με επιτυχία εμπορικά συστήματα αποξήρανσης για σούπερ μάρκετ HVAC (Heating, Ventilating, and Air Conditioning).

Στα 1984, η American Solar King Company εισήγαγε και προώθησε συστήματα κλιματισμού στερεού αποξηραντικού μέσου (χλωρίδιο του λιθίου) για οικιακή χρήση. Η Bry-Air, Inc., κατασκευάζει προϊόντα αποξήρανσης αέρα για βιομηχανικές εφαρμογές για πολλά χρόνια.

Η Niagara Blower Company χρησιμοποίησε ένα διάλυμα αιθυλενογλυκόλης για μονάδες ψύξης χωρίς παγοποίηση και κλιματιστικά με μεγάλη επιτυχία. Η Cohen et al. υπέβαλλε έκθεση για τη μελέτη συστημάτων κλιματισμού χώρου με βάση αποξηραντικό μέσο για εφαρμογές σε σούπερ μάρκετ. Η Cohen et al. σύγκρινε πειραματικά διαφορετικούς τύπους τροχών αποξηραντικού μέσου. Η Bartz et al. μελέτησε ολοκληρωμένα συστήματα ψύξης συμπίεσης αερίου και αφύγρανσης αποξηραντικού μέσου αερίου καύσης. Η LaRoche Chemical αναπτύσσει επί του παρόντος τροχούς αποξηραντικού μέσου μέσω ενός συμβολαίου με το Gas Research Institute (GRI) (Ινστιτούτο έρευνας αερίων). Αυτοί οι τροχοί θα ενσωματώνουν τροποποιημένα αποξηραντικά μέσα για την παραχώρηση βέλτιστης απόδοσης και αναμένεται ότι θα επιτευχθεί παραγωγή τροχών χαμηλού κόστους.

Οι Scalabrin και Scaltriti σύγκριναν θεωρητικά την αφύγρανση χρησιμοποιώντας το σύστημα αντλίας θερμότητας αέρα-αέρα με εκείνο που χρησιμοποιεί ένα σύστημα υγρού αποξηραντικού μέσου. Κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι το σύστημα αποξηραντικού μέσου μπορεί να εξοικονομήσει 1,0 έως 1,75 kW/kg του νερού που αφαιρείται. Ο Calton περιέγραψε χρησιμοποιώντας ένα σύστημα ψύξης αποξηραντικού μέσου χλωριδίου του λιθίου για ένα σούπερ μάρκετ με θετικά αποτελέσματα. Η Burns et al. ανέλυσε τα υβριδικά συστήματα ψύξης αποξηραντικού μέσου σε εφαρμογές σούπερ μάρκετ. Κατέληξαν ότι σημαντική εξοικονόμηση στο κόστος κλιματισμού ήταν πιθανό. Οι Collier και Collier et al. επανεισήγαγε την έννοια της βαθμιαίας επαναδραστηριοποίησης, στην οποία αέρας από ένα εναλλάκτη αισθητής θερμότητας χρησιμοποιείται για το πρώτο κλάσμα του τροχού αφυγραντήρα και ζεστός αέρας χρησιμοποιείται για το κλάσμα που απομένει. Αυτή η επινόηση κατοχυρώθηκε με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας πρώτα από τον Glan, αλλά δεν τέθηκε σε εφαρμογή μέχρι πρόσφατα.

11.5 Ολοκληρωμένα συστήματα αποξηραντικού μέσου

Αυτά τα συστήματα συνδυάζουν αφυγραντήρες αποξήρανσης με συμβατικούς ψύκτες. Ο ψύκτης μπορεί να είναι τύπου συμπίεσης αερίου ή τύπου απορρόφησης. Ο αφυγραντήρας παρέχει το λανθάνον φορτίο ψύξης και ο ψύκτης παρέχει το αισθητή φορτίο ψύξης. Σε όλες τις περιπτώσεις, τουλάχιστον μέρος της θερμότητας που απαιτείται για την επαναδραστηριοποίηση του αποξηραντικού μέσου λαμβάνεται από τον ψύκτη. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα μειωμένη κατανάλωση ενέργειας, μικρότερο εξοπλισμό και μέγεθος αγωγών, μειωμένο όγκο κυκλοφορίας ψυχρού αέρα και μειωμένα προβλήματα μούχλας εφόσον κυκλοφορεί ξηρότερος αέρας. Επιπρόσθετα, ανεξάρτητος έλεγχος της θερμοκρασίας και της υγρασίας είναι πιθανός. Ο Curren έδωσε αρκετά παραδείγματα πιθανής ενσωμάτωσης συστημάτων αποξηραντικού μέσου με συμβατικούς ψύκτες. Ο Maclaine-cross πρότεινε τη χρήση ενός συστήματος αποξηραντικού μέσου με ένα ψύκτη που λειτουργεί με μηχανή αερίου. Απορριπτόμενη θερμότητα σχετικά υψηλής θερμοκρασίας από τη μηχανή αερίου μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την επαναδραστηριοποίηση αποξηραντικού μέσου. Ο M. Meckler σχολίασε τα ολοκληρωμένα συστήματα διανομής ψυχρού αέρα αποξηραντικού μέσου για εμπορικά κτίρια. Κατέληξε στο συμπέρασμα ότι το κόστος του αρχικού εξοπλισμού HVAC και κατανάλωσης ενέργειας μπορεί να μειωθεί. Ο G. Meckler πρότεινε ένα σύστημα αφύγρανσης αποξηραντικού μέσου δύο σταδίων ενσωματωμένο σε ένα σύστημα HVAC εμπορικού κτιρίου, που θα αυξήσει αισθητά το θερμικό COP του συστήματος και θα χαμηλώσει το αρχικό κόστος εξοπλισμού.

11.6 Συστήματα αποξηραντικού μέσου κλειστού κύκλου

Οι Tchernev και Emerson σχεδίασαν, κατασκεύασαν και δοκίμασαν ένα σύστημα ψύξης αναγεννητικού αποξηραντικού μέσου κλειστού κύκλου (ζεόλιθος). Ισχυρίστηκαν ότι πέτυχαν COP εποχικής ψύξης στο 1,2 και COP θέρμανσης στο 1,8, αλλά το κόστος αρχικού εξοπλισμού ήταν συγκρίσιμο με εκείνο την ηλεκτρικών αντλιών θερμότητας. Ο Shelton et al. ανέλυσε το τετραγωνικό κύμα της αντλίας θερμότητας προσρόφησης στερεού-αερίου. Οι υπολογισμοί του έδειξαν COP θέρμανσης στο 1,75 με ένα ζεύγος προσρόφησης αμμωνίας/ζεόλιθου. Ο Meunier μελέτησε συστήματα DCD κλειστού κύκλου στη Γαλλία.

11.7 Συστήματα υγρού αποξηραντικού μέσου

Δύο συστήματα αφύγρανσης ψύξης υγρού μέσου αποξήρανσης διατίθενται εμπορικά στις Ηνωμένες Πολιτείες. Το ένα είναι το σύστημα "Hygrol" που έχει κατασκευαστεί από την Niagara Blower Company, και το άλλο είναι το σύστημα Kathabar System που έχει κατασκευαστεί από την Midland-Ross Corporation. Το σύστημα της Niagara αποτελείται από ένα τμήμα απορροφητή και ένα τμήμα συμπύκνωσης (αναγεννητής). Το διάλυμα αποξηραντικού μέσου, τριαυθυλενογλυκόλη, ψεκάζεται μέσα στον απορροφητή και το διάλυμα ψύχεται από νερό που ψύχεται εξωτερικά. Η υγρασία του επεξεργασμένου αέρα που διέρχεται από τον απορροφητή ελέγχεται από τη συμπύκνωση υγρού και η θερμοκρασία ξηρού βολβού ελέγχεται από ένα σωληνοειδές ψυκτικό στοιχείο που ψύχεται από νερό που έχει ψυχθεί εξωτερικά. Το ασθενές διάλυμα που αφήνει τον απορροφητή ψεκάζεται σε ένα ρεύμα αέρα στον αναγεννητή ενώ ένα θερμαντικό σπείρωμα βελτιώνει την εξάτμιση του νερού. Το σύστημα Kathabar χρησιμοποιεί "Kathene," που είναι ένα διάλυμα νερού με χλωρίδιο του λιθίου. Το σύστημα είναι παρόμοιο με εκείνο του συστήματος Hygrol. Αυτά τα δύο εμπορικά συστήματα υγρού αποξηραντικού μέσου είναι διαθέσιμα εδώ και αρκετό καιρό. Θα πρέπει να ανακληθεί στη μνήμη ότι χρησιμοποιούν πηγή εξωτερική ψύξης για να παράσχουν κρύο νερό για τον απορροφητή. Ο Kakabaev et al. ερεύνησε πειραματικά την έννοια ενός ανοικτού αναγεννητή που αποτελείται από ένα φιλμ υγρού που ρέει πάνω σε μια κεκλιμένη, μαυρισμένη επιφάνεια. Ο Robison κατασκεύασε ένα σύστημα υγρού αποξηραντικού μέσου με νερό φρέατος για αισθητό φορτίο και διάλυμα τριαυθυλενο γλυκόλης για λανθάνον φορτίο. Ο Lof μελέτησε διάφορες παραλλαγές διατάξεων συστήματος ψύξης υγρού αποξηραντικού μέσου. Ένα εντατικό ερευνητικό πρόγραμμα μελέτης της μεταφοράς μάζας και μετάδοσης θερμότητας από διμερή πτωτικά φιλμ βρίσκεται σε εξέλιξη στο Arizona State University. Οι μελέτες είναι πειραματικές και αναλυτικές και περιλαμβάνουν ανοικτά καθώς και στυλβωμένα φιλμ. Η επίδραση της παρουσίας μη αναρροφούμενου αερίου λαμβάνεται επίσης υπόψη.

12. ΕΠΙΛΟΓΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

Ανάμεσα στις τρέχουσες επιλογές τεχνολογίας, υπάρχουν διάφοροι τύποι αποξηραντικών μέσων και πολλοί διαφορετικοί τύποι συστημάτων που χρησιμοποιούν αυτά τα αποξηραντικά μέσα για την ψύξη ή/και αφύγρανση του αέρα. Αυτό το κεφάλαιο ασχολείται με αυτές τις επιλογές και προτείνει επιπλέον πηγές πληροφόρησης για ακόμα πιο λεπτομερή έρευνα

12.1 Υλικά αποξήρανσης

Πρακτικά όλα τα υλικά έχουν κάποια συγγένεια για υδρατμό. Αυτό τα καθιστά τεχνικά αποξηραντικά μέσα.

Ωστόσο, υπάρχουν συγκεκριμένες ιδιότητες σε εμπορικά βιώσιμα υλικά αποξήρανσης που τα διαχωρίζουν από τα άλλα. Αυτές οι ιδιότητες είναι:

- Χημική και φυσική σταθερότητα για πολλούς κύκλους
- Ικανότητα κράτησης κλασμάτων νερού μεγάλου βάρους.
- Ικανότητα διαχωρισμού υδρατμών από άλλα συστατικά
- Ικανότητα προσέλκυσης υδρατμών σε επιθυμητές μερικές πιέσεις.

Πολλά από τα υλικά που έχουν τη δυνατότητα προσέλκυσης υδρατμών δεν παραμένουν σταθερά κατά τη διάρκεια της διαδικασίας ρόφησης. Εάν η δομή του υλικού αλλοιωθεί από τη διαδικασία ρόφησης, είναι πολύ πιθανό οι ιδιότητες ρόφησης του να μην παραμείνουν σταθερές με την περιοδική επανάληψη. Πολλά από τα υλικά αργίλου εμπίπτουν σε αυτή την κατηγορία. Εμπορικά βιώσιμα υλικά θα πρέπει προφανώς να μπορούν να μεταφέρουν περιοδικά το νερό εντός και εκτός του υλικού αναστρεφόμενα πολλές φορές.

Ο όρος "κλάσματα μεγάλου βάρους" μπορεί να είναι παραπλανητικός. Το χλωρίδιο του λιθίου, για παράδειγμα, μπορεί να απορροφήσει πολλές φορές το βάρος του σε νερό, ενώ ένα μοριακό κόσκινο μπορεί να απορροφήσει μόνο περίπου 25% του βάρους του. Αυτό δεν καθιστά απαραίτητα το χλωρίδιο του λιθίου ένα καλύτερο υλικό αποξήρανσης. Άλλοι παράγοντες επηρεάζουν κατά τη διάρκεια αυτής της κρίσης. Ο όρος "μεγάλο" είναι σχετικός με το ποσό του νερού που μπορούν να κρατήσουν τα κοινά υλικά.

Σχεδόν όλα τα υλικά θα κρατήσουν αυτό που αποκαλείται μονομοριακή στρώση νερού. Μια μονομοριακή στρώση είναι ένα στρώμα επιφανείας με πάχος ένα μόριο. Εάν το ποσό της επιφανείας ανά μονάδα όγκου για το υλικό δεν είναι μεγάλο, τότε η ποσότητα του νερού που συλλαμβάνεται θα είναι της τάξης του 1 με 2%. Αυτή η ποσότητα νερού δεν θεωρείται επαρκής για να καταστήσει το αποξηραντικό μέσο ένα υλικό βιώσιμο.

Πολλές φορές, ο σκοπός του αποξηραντικού μέσου είναι ο διαχωρισμός υδρατμών από άλλα συστατικά. Σε αυτές τις περιπτώσεις, η επιλεκτικότητα του αποξηραντικού μέσου θα είναι σημαντικός παράγοντας επιλογής. Από το προηγούμενο παράδειγμά μας, αν και χλωρίδιο του λιθίου κρατά περισσότερο νερό ανά μονάδα μάζας από μονομοριακή στρώση, το υλικό κόσκινο θα είναι πολύ περισσότερο επιλεκτικό στα είδη που απορροφώνται από ότι το χλωρίδιο του λιθίου.

Πολλά κοινά υλικά έχουν την ικανότητα να προσελκύουν και να κρατούν μεγάλες ποσότητες υδρατμών.

Το μαλλί και το χαρτί είναι δύο υλικά που έχουν σημαντική συμπάθεια προς τους υδρατμούς αλλά μόνο για πίεση ατμών κοντά στην πίεση κορεσμού αέρα. Για πολλές εφαρμογές, η συμπάθεια για υδρατμούς θα πρέπει να λαμβάνει χώρα σε πολύ χαμηλότερες πιέσεις ατμών προκειμένου να πληροί τις ανάγκες της εφαρμογής.

12.2 Κατηγορίες αποξηραντικών μέσων

Υπάρχουν πολλοί τρόποι κατηγοριοποίησης υλικών αποξήρανσης. Ένας προφανής τρόπος είναι υγρό έναντι στερεών. Ένας άλλος τρόπος που δεν είναι τόσο προφανής είναι κατά μηχανισμό ρόφησης. Η απορρόφηση αναφέρεται στη διαδικασία με την οποία το νερό δένει εντός της μοριακής δομής του υλικού. Η προσρόφηση αναφέρεται στη διαδικασία με την οποία το νερό δένει με την επιφάνεια του υλικού. Αν και είναι κατά βάση σωστό να υποθέσουμε ότι όλες οι αντιδράσεις υγρού αποξηραντικού μέσου είναι απορρόφησης και όλες οι αντιδράσεις στερεού αποξηραντικού μέσου είναι προσρόφησης, υπάρχει μια βασική εξαίρεση. Πολλά ένυδρα μεταλλικά άλατα είναι στερεά, αλλά παρόλα αυτά αποξηραίνονται με απορρόφηση.

Μια άλλη κατηγοριοποίηση που χρησιμοποιείται από φυσικούς χημικούς είναι η έννοια της φυσιορόφησης έναντι της χημειορόφησης. Αυτός είναι ένας τυχαίος προσδιορισμός που αντικατοπτρίζει τη δύναμη του δεσμού μεταξύ των προσροφημένων ειδών (προσρόφημα) και της επιφανείας προσρόφησης (προσροφητής). Για πρακτικούς λόγους, η κλάση των αντιδράσεων προσρόφησης που σχετίζεται με την αφαίρεση υγρασίας από τον αέρα θα θεωρείται πάντα φυσιορόφηση και οι αντιδράσεις αυτές θα έχουν χαμηλή ισχύ δεσμών. Η ισχύς του δεσμού στην ρόφηση υγρασίας θα πρέπει να είναι χαμηλή προκειμένου η ενεργειακή απόδοση μιας κυκλικής λειτουργίας να είναι υψηλή.

Τα σιλικάτζέλ είναι στερεά αποξηραντικά και προσροφητικά μέσα που περιέχουν πολλούς πόρους και τριχοειδή στα οποία νερό συμπυκνώνεται και περιορίζεται. Το σιλικάτζέλ έχει μεγάλη ικανότητα απορρόφησης υγρασίας και κατόπιν απελευθέρωσής της σε υψηλότερη θερμοκρασία. Είναι χαμηλό σε κόστος και διαθέσιμο σε μεγέθη από 3/16 της ίντσας σβώλους μέχρι κόκκους στο μέγεθος πούδρας. Το χλωρίδιο του λιθίου (LiCl) είναι ένα απορροφητικό μέσο και βρίσκεται σε ξηρά μορφή όταν το κάθε μόριο LiCl συγκρατεί δύο μόρια νερού. Εάν το κάθε μόριο LiCl συγκρατεί περισσότερα από δύο μόρια νερού, το προηγούμενο γίνεται υγρό και συνεχίζει να απορροφά υγρασία. Το χλωρίδιο του λιθίου έχει μεγάλη ικανότητα απορρόφησης και συγκράτησης υγρασίας και χρησιμοποιείται ευρέως σε αφυγραντήρες περιστρεφόμενου τροχού. Τα μοριακά κόσκινα είναι συνθετικοί ζεόλιθοι, ένα στερεό αποξηραντικό μέσο και ένα απορροφητικό μέσο με τη μορφή αργιλοπυριτικών κρυστάλλων που παράγονται από τη θερμική διεργασία. Τα μοριακά κόσκινα παρουσιάζουν φυσική σταθερότητα και υψηλή ικανότητα απελευθέρωσης υγρασίας σε μεγάλες θερμοκρασίες αναγέννησης από 120 έως 200°C και συστήνονται για χρήση σε εφαρμογές άμεσης λειτουργίας με αέριο. Μεταξύ των παραπάνω, το σιλικάτζέλ και το χλωρίδιο του λιθίου είναι τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα υλικά αποξήρανσης σε συστήματα ψύξης αποξηραντικού μέσου.

Εντός της γενικής κατηγορίας των στερεών αποξηραντικών μέσων υπάρχουν αρκετές υποκατηγορίες υλικών:

1. Πυρίτια
2. Αλουμίνες
3. Ζεόλιθοι
4. Ενυδατούμενα άλατα
5. Μίγματα
6. Υγρά αποξηραντικά μέσα
7. Πολυμερή

Ενεργοί άνθρακες έχουν παραμείνει επίτηδες εκτός της λίστας των τυπικών υλικών. Αν και οι ενεργοί άνθρακες θα απορροφήσουν νερό σε πιέσεις αερίου μικρότερες από την πίεση κορεσμού, η επιφάνεια είναι στην πραγματικότητα υδρόφοβη. Εξαιτίας του πολύ υψηλού λόγου επιφανείας-όγκου, οι πόροι ενεργού άνθρακα θα γεμίσουν με νερό εξαιτίας των τριχοειδών δυνάμεων. Ωστόσο, ο άνθρακας εξαιρείται από αυτή τη λίστα επειδή θα απορροφήσει κατά προτίμηση οποιοδήποτε άλλο είδος χημικού πριν απορροφήσει νερό. Αυτός είναι και ο λόγος που οι ενεργοί άνθρακες αποτελούν άριστα φίλτρα νερού. Η απεικόνιση ισόθερμων για ενεργό άνθρακα και νερό μετρήθηκαν με "καθαρό" υλικό. Μετά από σημαντική έκθεση στην ατμόσφαιρα, η χωρητικότητα του άνθρακα για νερό θα υποβαθμιστεί σοβαρά, χάνοντας τέλος οποιαδήποτε σημαντική χωρητικότητα διέθετε.

Πυρίτια

Τα υλικά πυριτίου είναι αναφέρονται ευρέως ως "τζελ". Έχουν κατασκευαστεί για να επιτυγχάνουν υψηλούς λόγους επιφανείας-όγκου και έχει γίνει επεξεργασία της επιφανείας τους για να παρέχουν μεγάλη φιλικότητα προς το νερό. Τέτοια τζελ δημιουργούνται με τη συμπύκνωση διαλυτών πυριτικών από διαλύματα νερού ή άλλων διαλυτών. Έχουν το πλεονέκτημα έχουν σχετικά χαμηλό κόστος και να είναι εύκολα προσαρμόσιμα σε ότι αφορά το μέγεθος και την κατανομή των πόρων τους.

Αλουμίνες

Οι αλουμίνες αναφέρονται επίσης ως "τζελ" για τους ίδιους λόγους με τα πυριτικά. Χημικά είναι υδρίδια και οξειδία του αργιλίου και κατασκευάζονται με παρόμοιο τρόπο με το σιλικάτζελ. Σε γενικές γραμμές, οι αλουμίνες δεν διαθέτουν την τέλεια ικανότητα ρόφησης των πυριτίων, αλλά είναι πυρίμαχα από τη φύση τους και κατά συνέπεια μπορούν να αντέξουν περιβάλλοντα υψηλών θερμοκρασιών χωρίς να υποστούν φθορά.

Ζεόλιθοι

Οι ζεόλιθοι εμπίπτουν σε δύο κατηγορίες, φυσικούς και συνθετικούς. Οι φυσικοί ζεόλιθοι είναι ορυκτά που συλλέγονται με τρόπο παρόμοιο με εκείνο της συλλογής άλατος. Τα στρώματα ιζημάτων αρχαίων σωμάτων νερού είναι οι συνηθέστερες τοποθεσίες για αυτές τις αποθέσεις. Οι συνθετικοί ζεόλιθοι, όπως δηλώνει και το όνομα, κατασκευασμένα υλικά. Τα χαρακτηριστικά που συνδέουν τα φυσικά και συνθετικά υλικά είναι οι χημικές και δομικές ομοιότητές τους.

Ζεόλιθοι και αργιλοπυριτικά υλικά. Η κρυσταλλική δομή τους είναι σαν κλωβός. Η δομή κλωβού τους δημιουργεί τις προϋποθέσεις για προνομακή ρόφηση νερού. Είναι αυτή η συγκεκριμένη δομή που επίσης δημιουργεί τη βάση για τους υπόλοιπους χαρακτηρισμούς των ζεόλιθων, που είναι ο όρος "κόσκινο". Τα γνωστά και ως μοριακά κόσκινα είναι συνθετικοί ζεόλιθοι που έχουν κατασκευαστεί για να φέρουν μια συγκεκριμένη διάσταση του κλωβού. Όταν αυτή η διάσταση ελέγχεται, συγκεκριμένα μόρια θα χωρούν και άλλα θα είναι πολύ μεγάλα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τον αποτελεσματικό διαχωρισμό των διαφορετικών ειδών αερίων.

Ενυδατούμενα άλατα

Τα ενυδατούμενα άλατα αποτελούν μια ειδική κατηγορία στερεών αποξηραντικών μέσων. Γενικά αλογονίδια μετάλλου, αυτά τα υλικά τυπικά υποβάλλονται σε με μετάβαση μεταξύ στερεής και υγρής φάσης. Τα άλατα που διαθέτουν διαλυτά ένυδρα άλατα ονομάζονται όμοια άλατα. Εάν το επιθυμητό υλικό αποξήρανσης είναι στερεό, τότε το παράταιρο άλας θα είναι επιθυμητό. Ενυδατούμενα άλατα, που υπάρχουν ως στερεά, χρησιμοποιούνται ευρέως σε εφαρμογές όπου μια πίεση υδρατμών που είναι χαμηλότερη από ότι είναι δυνατή με τη χρήση υγρού είναι επιθυμητή. Το άλας θα μεταβεί μεταξύ της άνυδρης κατάστασης και της κατάστασης πολλαπλών ένυδρων. Το χλωρίδιο του λιθίου είναι το πιο συνηθισμένο ενυδατούμενο άλας που χρησιμοποιείται. Άλλα ενυδατούμενα άλατα είναι αλουμίνιο και θειικός χαλκός, χλωριούχο ασβέστιο και βρωμιούχο λίθιο.

Μίγματα

Η χρήση μιγμάτων αποξηραντικών μέσων είναι μια άλλη κοινή μέθοδος ανάπτυξης υλικών αποξήρανσης που διαθέτουν τις επιθυμητές ιδιότητες ρόφησης. Για παράδειγμα, ορισμένα αποξηραντικά μέσα διαθέτουν μεγάλες εισαγωγές για υγρασία αλλά δεν είναι ικανά να επιτύχουν πολύ χαμηλά επίπεδα υγρασίας. Άλλα υλικά μπορεί να έχουν οριακή αποδοχή υγρασίας αλλά να είναι ικανά να επιτύχουν εξαιρετικά χαμηλά επίπεδα υγρασίας. Για παράδειγμα, το χλωρίδιο του λιθίου έχει μια ασύγκριτη ικανότητα απορρόφησης υγρασίας σε υψηλές σχετικές υγρασίες αλλά κάτω από 10% σχετικής υγρασίας, η απορρόφηση υγρασίας είναι αμελητέα. Ο συνδυασμός αυτού του αποξηραντικού μέσου με σιλικατζέλ, που διαθέτει μεγαλύτερη ικανότητα σε χαμηλότερες υγρασίες, μπορεί να παράσχει επαρκή υδατοϊκανότητα σε ένα μεγάλο εύρος συνθηκών λειτουργίας. Για καλύτερη απόδοση, τα μίγματα αποξήρανσης επιλέγονται έτσι ώστε και τα δύο αποξηραντικά μέσα να μπορούν να επαναδραστηριοποιηθούν σε παρόμοιες θερμοκρασίες.

Υγρά αποξηραντικά μέσα

Για τα νέα κτίρια γραφείων νε συστήματα HVAC στα οποία έχει ενσωματωθεί τεχνολογία ψύξης αποξηραντικού μέσου, χλωρίδιο του λιθίου χρησιμοποιήθηκε σχεδόν αποκλειστικά ως το υλικό αποξήρανσης. Η Somerset Technologies Inc., διαθέτει μία σειρά προϊόντων αφύγρανσης με διάλυμα χλωριδίου του λιθίου ως αποξηραντικό μέσο. Ο κατάλογός τους παρέχει μια λεπτομερή περιγραφή των ιδιοτήτων του διαλύματος χλωριδίου του λιθίου. Διάλυμα χλωριούχου ασβεστίου και διάλυμα χλωριούχου νατρίου μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν ως υγρά αποξηραντικά μέσα ή ακόμα και να θεωρηθούν δευτερεύοντα ψυκτικά. Διαλύματα αιθυλενογλυκόλης έχουν χρησιμοποιηθεί από την Niagara Blower Co., για πολλά χρόνια για εμπορική ψύξη σε μονάδες χωρίς παραγωγή. Χρησιμοποιήθηκαν επίσης σε κλιματιστικά. Τα αποτελέσματα των δοκιμών έδειξαν ότι η αντιβακτηριδιακή αποτελεσματικότητα των διαλυμάτων γλυκόλης είναι άριστη.

Πολυμερή αποξηραντικά μέσα

Για να θεωρηθούν τα πλαστικά πολυμερή ως προηγμένα υλικά αποξήρανσης, τα ίδια γενικά κριτήρια όπως και για οποιαδήποτε αποξηραντικά μέσα θα πρέπει να ικανοποιούνται. Θα πρέπει να έχουν καλό λόγο κόστους/απόδοσης, παρέχουν ικανοποιητική απόδοση και να διαθέτουν διάρκεια ζωής οικονομικά αποδοτική. Η Czanderna προχώρησε στην ακόλουθη αξιολόγηση των διαθέσιμων πολυμερών αποξήρανσης:

- Τα πολυμερή έχουν τη δυνατότητα τροποποίησης ώστε οι ισόθερμες ρόφησης του επιθυμητού σχήματος και θερμοτήτων προσρόφησης περίπου 2508 kJ/kg να επιτυγχάνονται.
- Τα πολυμερή έχουν τη δυνατότητα απορρόφησης νερού από 5% μέχρι και περισσότερο του 80% του βάρους τους.
- Τα πολυμερή έχουν τη δυνατότητα να κατασκευάζονται απευθείας στα απαιτούμενα σχήματα για αφυγραντήρες αποξήρανσης.
- Οι δομές πολυμερών έχουν τη δυνατότητα να συντεθούν για την παροχή μεγάλης ικανότητας διάχυσης υδρατμού μέσω του υλικού.
- Τα πολυμερή έχουν την ικανότητα να αναγεννιούνται πλήρως σε θερμοκρασίες κάτω των 176°F.
- Τα πολυμερή έχουν την ικανότητα διατήρησης μακροχρόνιας σταθερότητας στη διάρκεια πολλών χιλιάδων κύκλων ρόφησης-εκρόφησης.
- Τα εμπορικά πολυμερή είναι διαθέσιμα για λιγότερα των \$2.00/lb, σε σύγκριση με το κόστος των εμπορικών διαθέσιμων σιλικάτςζέλ.

Αντίστοιχα, τα πολυμερή υλικά δεν εξυπηρετούν μόνο ως αποξηραντικό μέσο και δομή υποστήριξης σε ένα τροχό αποξήρανσης αλλά επίσης μπορούν να αντικατασταθούν εύκολα και οικονομικά. Η Czanderna ανέπτυξε σε λίστα τα δεδομένα ισόθερμης για 22 εν δυνάμει πολυμερή υλικά αποξήρανσης.

Πρόσφατες δραστηριότητες έρευνας και ανάπτυξης

Πρόσφατα, πολύ εργασία στην έρευνα και ανάπτυξη έχει επικεντρωθεί στην αναζήτηση για την κατασκευή και δοκιμή αποξηραντικών μέσων "Type 1M" (Τύπου 1M). Το "Type 1M" αναφέρεται στο σχήμα της ισόθερμης ρόφησης αποξηραντικού μέσου, που συγκρίνει το βάρος του νερού που απορροφάται από το μέσο αποξήρανσης με τη σχετική υγρασία του αέρα που το περιβάλλει. Πολυμερή, πορώδες γυαλί, νανοσυνθετικά υλικά, υδροξείδια διπλού μετάλλου, κτλ., έχουν αναγνωριστεί ως πιθανά αποξηραντικά μέσα Τύπου 1M.

12.3 Συστήματα αφύγρανσης και ψύξης αποξηραντικού μέσου (DCD)

Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι συστημάτων αποξήρανσης, που περιγράφονται ως "κλειστό" και "ανοικτό". Αυτές οι περιγραφές αναφέρονται στο κατά πόσο το αποξηραντικό μέσο έρχεται σε άμεση επαφή με τον αέρα που ψύχεται ή αφυγραίνεται (ανοικτό) ή εάν αυτό δεν συμβαίνει (κλειστό).

12.3.1 Συστήματα στερεού αποξηραντικού μέσου ανοικτού κύκλου

Η έννοια της ψύξης αποξήρανσης εισήχθη πρώτα από τον Hausen το 1935 (Pesaran et al., 1992). Με βάση αυτό, πολλοί εφευρέτες όπως οι Shipman (1936), Fleisher (1939), Larriva (1941) και Altenkirch (1941, 1944) προσπάθησαν στα χρόνια που ακολούθησαν να αναπτύξουν εμπορικά συστήματα ψύξης αποξηραντικού μέσου αλλά χωρίς επιτυχία. Ωστόσο οι Miller και Fonda (1933) εφεύραν τον πρώτο περιστροφικό ψύκτη αποξήρανσης σιλικατζέλ, αλλά λόγω έλλειψης κατανόησης, η δυνατότητα των αφυγραντήρων αποξηραντικού μέσου δεν έγιναν κατανοητές.

Ο Pennington έλαβε δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για το πρώτο κύκλο ψύξης αποξηραντικού μέσου που είναι γνωστός ευρέως ως κύκλος εξαερισμού (Pesaran et al., 1992). Ένας περιστροφικός εναλλάκτης θερμότητας είναι κορεσμένος με ένα στερεό αποξηραντικό μέσο, μετατρέποντας τον εναλλάκτη θερμότητας σε ένα αδιαβατικό αφυγραντήρα αναγέννησης, που λαμβάνει αέρα από το περιβάλλον και απορροφά την υγρασία του. Αυτός ο αέρας ψύχεται με εξάτμιση αισθητά και επαναλαμβάνονται πριν εισαχθεί στον κλιματιζόμενο χώρο. Ο αέρας επιστροφής ψύχεται πρώτα με εξάτμιση και διέρχεται από ένα εναλλάκτη αισθητής θερμότητας για ανάκτηση της θερμότητας προσρόφησης από τον αέρα παροχής. Κατόπιν θερμαίνεται με μια πηγή θερμική ενέργειας χαμηλής ποιότητας και χρησιμοποιείται για την αναγέννηση του αποξηραντικού μέσου. Τιμές συντελεστή απόδοσης (COP) περίπου 0,8—1,0 είναι αναμενόμενες για αυτόν τον κύκλο (Kettleborough, 1980 και Lof et al., 1988).

Ο κύκλος Pennington βελτιώθηκε από τον Munters το 1968 με την εισαγωγή παράλληλων περασμάτων (Pesaran et al., 1992). Ο Maclaine-Cross (1988) πρότειναν ένα σύστημα με την ονομασία Απλοποιημένος Προηγμένος κύκλος στερεού αποξηραντικού μέσου το οποίο απέδιδε τιμές COP πάνω από 2. Οι Rush και Macriss (1969) και οι Macriss και Zawacki (1982) κατασκεύασαν ένα αριθμό πρωτότυπων συστημάτων με χρήση αερίου και ηλιακής ενέργειας. Τα πρωτότυπα ηλιακής ενέργειας κατασκευάστηκαν επίσης από ιδιωτικές εταιρείες όπως Rousseau, Airesearch και Exxon το 1982 (Pesaran et al., 1992). Αλλά αυτή η πρώτη προσπάθεια απέτυχε εξαιτίας της έλλειψης καλών αναλυτικών μεθόδων για την πρόγνωση της απόδοσης των αφυγραντήρων αναγέννησης. Οι διαθέσιμες μέθοδοι που ήταν διαθέσιμες τότε, μπορούσαν να προβλέψουν την απόδοση σε ταχύτητες περιστροφής τόσο χαμηλές που ολόκληρο το πλέγμα βρίσκονταν σε ισορροπία με τα ρεύματα αέρα αναγέννησης και διεργασίας (Bullock και Threlkeld, 1966). Από τότε, ένας αριθμός αναλυτικών μεθόδων έχει αναπτυχθεί προκειμένου να γίνει κατανοητή και να αναλυθεί η απόδοση αφυγραντήρων αποξηραντικού μέσου και των συστημάτων ψύξης αποξηραντικού μέσου. Σημαντικές ανάμεσά τους υπήρξαν η 'Μέθοδος αναλογιών' του Banks (1972), η 'Μέθοδος πεπερασμένων διαφορών' του Maclaine-Cross (1988), το 'Μοντέλο ψευδοσταθερής κατάστασης' του Barlow (1982) και η 'Μέθοδος πεπερασμένων διαφορών για αφυγραντήρες διασταύρωσης ψύξης' των Worek και Lavan (1982).

Με βάση τα μοντέλα του Maclaine-Cross (1988) και Barlow (1982), ο Collier ανέπτυξε ένα μοντέλο το 1988, που είναι επί του παρόντος ευρέως χρησιμοποιούμενο από άλλους ερευνητές (βλέπε Pesaran et al., 1992). Αυτά τα μοντέλα δεν βοήθησαν μόνο τους ερευνητές στην κατανόηση και ανάλυση των παραγόντων και φυσικών ιδιοτήτων που επηρεάζουν την απόδοση των συστημάτων ψύξης αποξηραντικού μέσου, αλλά βοήθησαν επίσης και στην κατανόηση των νέων υλικών αποξήρανσης και κύκλων ψύξης.

Σε ένα σύστημα DCD ανοικτού κύκλου, το λανθάνον φορτίο επιτυγχάνεται αφαιρώντας την υγρασία από τον αέρα μέσω της ρόφησης από ένα αφυγραντήρα αποξηραντικού μέσου. Ο αφυγραντήρας μπορεί να λειτουργήσει αδιαβατικά ή μπορεί να σχεδιαστεί ώστε το πλέγμα αποξηραντικού μέσου να ψύχεται ενώ ο αέρας επεξεργασίας αφυγραίνεται. Η αισθητή ψύξη επιτυγχάνεται με την ενσωμάτωση άμεσων ή έμμεσων ψυκτών εξάτμισης μετά από τη μονάδα αποξήρανσης στο ρεύμα ξηρού αέρα.

Ενώ τα στρώματα κοκκώδους αποξηραντικού μέσου χρησιμοποιούνται περιστασιακά σε αυτά τα συστήματα, το πιο κοινό κεντρικό συστατικό μέρος αυτών των συστημάτων είναι ο τροχός αποξηραντικού μέσου. Ιδανικά, θα πρέπει να καλύπτει τα ακόλουθα κριτήρια:

- Το πλέγμα τροχού δεν θα πρέπει να καρκινογόνο ή εύφλεκτο. Θα πρέπει να είναι ανθεκτικό ώστε να μπορεί να αντέξει τυπικές εμπορικές/οικιστικές συνθήκες λειτουργίας HVAC – ανεπίβλεπτη λειτουργία για το ελάχιστο πέντε έτη συνεχούς λειτουργίας. Ιδανικά, το μέσο τροχού και το αποξηραντικό μέσο θα πρέπει να έχει τη δυνατότητα πλυσίματος χωρίς να μειώνεται η απόδοσή του.
- Το αποξηραντικό μέσο θα πρέπει να είναι σταθερό για 262.000 κύκλους ρόφησης/εκρόφησης (πέντε έτη λειτουργίας σε 6 gph) και να διαθέτει καλά χαρακτηριστικά ισόθερμης και αναρρόφησης.
- Το αποξηραντικό μέσο θα πρέπει να είναι καλά δεμένο στο πλέγμα ώστε η πούδρα αποξηραντικού μέσου να μην εισέρχεται στην περιοχή κατοικίας.
- Το αποξηραντικό μέσο δεν θα πρέπει να υγροποιείται ακόμα και σε 100% σχετική υγρασία.
- Τα κανάλια ροής αέρα θα πρέπει να είναι ομοιόμορφα και ιδανικού μεγέθους για την ελαχιστοποίηση της πτώσης πίεσης και της συνεπαγόμενης κατανάλωσης ενέργειας ανεμιστήρα.
- Η αντίσταση στη μετάδοση θερμότητας και μεταφορά μάζας εντός του στερεού αποξηραντικού μέσου και της δομής υποστήριξής του θα πρέπει να ελαχιστοποιείται.
- Θα πρέπει να υπάρχει μια ελάχιστη διαρροή μεταξύ των ρευμάτων προσρόφησης και εκρόφησης και εντός της δομής τροχού και στις στεγανοποιήσεις που διαχωρίζουν το ρεύμα αέρα διεργασίας από εκείνο της επαναδραστηριοποίησης στις προσόψεις του τροχού.

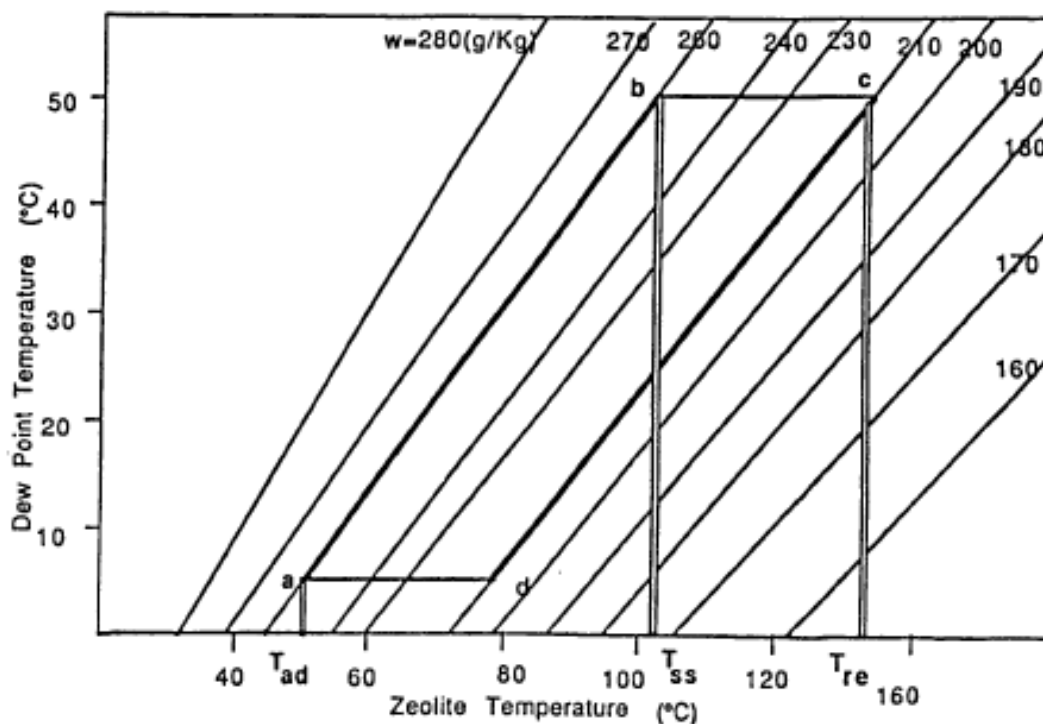
Επιπρόσθετα, η απόδοση του εναλλάκτη θερμότητας που μεταφέρει αισθητή θερμότητα από τον αέρα διεργασίας στον αέρα επαναδραστηριοποίησης θα πρέπει να είναι πολύ υψηλή (0,83 ή μεγαλύτερη).

12.3.2 Συστήματα στερεού αποξηραντικού μέσου κλειστού κύκλου

Υπάρχουν δύο τύποι κλειστών συστημάτων όπου το αποξηραντικό μέσο δεν έρχεται άμεσα σε επαφή με το ρεύμα αέρα που έχει αφυδατωθεί. Εκείνος στον οποίο το αποξηραντικό μέσο αναγεννιέται συνεχώς και άλλοι όπου το αποξηραντικό μέσο αναγεννιέται παροδικά. Η παροδική αναγέννηση είναι καταλληλότερη για εφαρμογές όπου το φορτίο υγρασίας/ψύξης είναι είτε πολύ χαμηλό ή παροδικό ή στην περίπτωση που η πηγή ενέργειας για αναγέννηση είναι η ίδια παροδική, όπως η ηλιακή θερμότητα.

12.3.2.1 Συστήματα κλειστού κύκλου παροδικής προσρόφησης

Η αρχή ενός κλειστού κύκλου παροδικής προσρόφησης απλής δράσης μπορεί εύκολα να γίνει κατανοητή όταν αναπαριστάται σε ένα διάγραμμα "T,TS" όπως αυτό του σχήματος 12.1.



Σχήμα 12.1 Ισοστερή που παρουσιάζουν τον 13x κύκλο προσρόφησης νερού - ζεόλιθου

Το T είναι η θερμοκρασία απορροφητικής ουσίας και το TS είναι η θερμοκρασία κορεσμού που αντιστοιχεί στην πίεση της αέριας φάσης. Σε ένα τέτοιο διάγραμμα, τα ισοστερή (γραμμές σταθερού λόγου προσροφημένης ουσίας) είναι σχεδόν ευθείες γραμμές. Το σχήμα 12.1 είναι το διάγραμμα για το ζεύγος Ζεόλιθος 13X-νερό στο ποίο ένα κύκλος ψύξης αναπαριστάται από τα σημεία a-b-c-d-a. Αυτός ο κύκλος αποτελείται από δύο καταστάσεις λειτουργίας, την κατάσταση λειτουργίας αναγέννησης και την κατάσταση λειτουργίας προσρόφησης.

- Κατάσταση λειτουργίας αναγέννησης.

Στο τέλος της προσρόφησης (σημείο a), η απορροφητική ουσία βρίσκεται στη χαμηλότερη θερμοκρασία T_{ad} και η αέρια προσροφούμενη ουσία βρίσκεται σε πίεση P_{ev} του εξατμιστή. Καθώς η απορροφητική ουσία θερμαίνεται, η εκρόφηση αρχίζει και η πίεση της αέριας φάσης αυξάνει. Όταν η πίεση συμπυκνωτή P_{co} επιτυγχάνεται (σημείο b), η συμπύκνωση των ειδών εκρόφησης αρχίζει και η εκρόφηση συνεχίζει μέχρι η απορροφητική ουσία βρεθεί στη μέγιστη θερμοκρασία T_{re} (σημείο c).

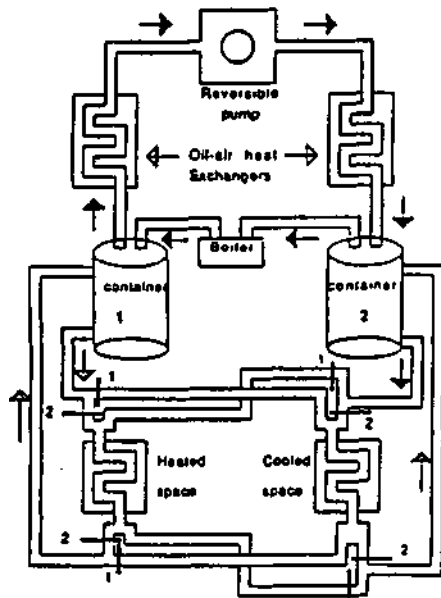
- Κατάσταση λειτουργίας προσρόφησης.

Όταν το προσροφητικό μέσο ψύχεται, η προσρόφηση αρχίζει και η θερμοκρασία της αέρας προσροφούμενης ουσίας μειώνεται. Όταν η πίεση φτάνει στην τιμή P_{ev} , η εξατμίσση αρχίζει (σημείο d). Αυτή η φάση παραγωγής ψύξης συνεχίζεται μέχρι το μέσο προσρόφησης να βρεθεί στην ελάχιστη θερμοκρασία, T_{ad} (σημείο a).

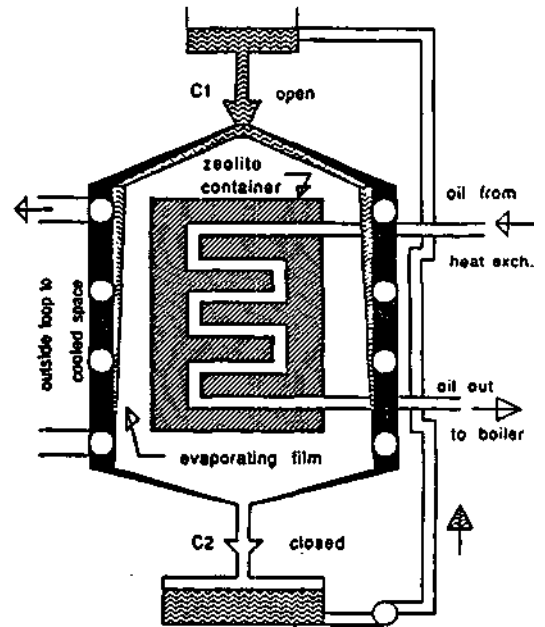
Τέτοια συστήματα ονομάζονται παροδικά επειδή το επιθυμητό αποτέλεσμα ψύξης ή θέρμανσης παράγεται κατά τη διάρκεια ενός εκ των δύο καταστάσεων λειτουργίας και μόνο.

12.3.2.2 Συστήματα αναγέννησης κλειστού κύκλου προσρόφησης

Ένα σύστημα προσρόφησης διπλού αντιδραστήρα μπορεί να έχει σημαντικά βελτιωμένη απόδοση από εκείνη του συστήματος παροδικής αναγέννησης, μονού αντιδραστήρα. Τα συστήματα διπλού αντιδραστήρα ανακτούν τη θερμότητα που παράγεται κατά τη διάρκεια της φάσης προσρόφησης και η αισθητή θερμότητα αποθηκεύεται στο δοχείο απορροφητικής ουσίας ως μέσο για την αύξηση του COP. Τέτοια συστήματα αναπτύχθηκαν στις ΗΠΑ από τους Tchernev και Shelton. Το σύστημα του Tchernev, που απεικονίζεται στο σχήμα 12.2, αναπτύσσεται εδώ. Αποτελείται από δύο δοχεία στερεού αποξηραντικού μέσου, ένα λέβητα, μια αντλία δύο κατευθύνσεων και δύο εναλλάκτες θερμότητας υγρού-αέρα. Το υγρό μπορεί να είναι λάδι ή άλλο κατάλληλο ασφαλές υγρό. Τα αποτελέσματα ψύξης και θέρμανσης επιτυγχάνονται από την εξατμίσση και συμπύκνωση του ψυκτικού μέσου στα τοιχώματα των δοχείων αποξηραντικού μέσου. Τα δύο δοχεία αποξηραντικού μέσου ενεργού εναλλασσόμενα ως εξατμιστής και συμπυκνωτής. Κάθε ένα από τα δοχεία διαθέτει ένα εσωτερικό εναλλάκτη θερμότητας υγρού αποξηραντικού μέσου, που εντοπίζεται στο κέντρο (βλέπε λεπτομέρειες στα σχήματα 12.2 και 12.3) και σπειρώματα που είναι ενσωματωμένα στα εξωτερικά τοιχώματα. Η ενέργεια παρέχεται στο σύστημα με τη μορφή της θερμότητας από το λέβητα. Η αντλία δύο κατευθύνσεων χρησιμοποιείται για την κυκλοφορία του υγρού σε ένα κλειστό βρόγχο από το λέβητα μέσω των εναλλακτών θερμότητας αποξηραντικού μέσου-υγρού και των εναλλακτών θερμότητας υγρού-αέρα. Οι εναλλάκτες θερμότητας αέρα-υγρού χρησιμοποιούνται για την ψύξη του υγρού σε θερμοκρασίες εξωτερικού χώρου ή ψυχρού συλλέκτη πριν το υγρό εισέλθει στο δοχείο όπου λαμβάνει χώρα η προσρόφηση.



Σχήμα 12.2 Αναγεννητικό σύστημα προσρόφησης, όταν οι βαλβίδες βρίσκονται στη θέση 1, το δοχείο 1 πραγματοποιεί εκρόφιση και το δοχείο 2 απορρόφηση



Σχήμα 12.3 Φάση αναγέννησης – τα τοιχώματα του δοχείου λειτουργούν ως συμπυκνωτής

Προκειμένου να διασφαλιστεί αποτελεσματική απόδοση, θα πρέπει να δοθεί προσοχή στα ακόλουθα σημεία:

- Το θερμικό κύμα θα πρέπει να διαθέτει αιχμηρό μέτωπο: μετάδοση θερμότητας στην ακτινική κατεύθυνση θα πρέπει να είναι σημαντικά ταχύτερη από ότι στη διαμήκη κατεύθυνση.
- Η επιλογή του ζεύγους μέσου προσρόφησης/προσροφούμενης ουσίας θα πρέπει να είναι κατάλληλο για τη συγκεκριμένη λειτουργία.
- Το σχέδιο θα πρέπει να διασφαλίζει γρήγορη μεταφορά μάζας και μετάδοση θερμότητας (γρήγορη προσέγγιση στην ισορροπία προσρόφησης)

12.3.3 Συστήματα υγρού αποξηραντικού μέσου ανοικτού κύκλου

Σε συστήματα υγρού αποξηραντικού μέσου, ο αέρας αφυγραίνεται ερχόμενος σε επαφή με ένα δυνατό διάλυμα υγρού αποξηραντικού μέσου. Όταν το διάλυμα εξασθενεί από την απορρόφηση της υγρασίας, κατευθύνεται στο δοχείο αναγέννησης όπου η θερμότητα αφαιρεί την υγρασία και το ενδυναμωμένο διάλυμα επιστρέφει στον αφυγραντήρα. Για την παροχή αισθητής ψύξης πλέον της αφύγρανσης, είτε ένα εξωτερικά ψυχόμενο κρύο υγρό παρέχεται στον αφυγραντήρα ή υγρασία προστίθεται στον αέρα που εξέρχεται του αφυγραντήρα προκειμένου να χαμηλώσει τη θερμοκρασία του με αδιαβατικό κορεσμό πριν αυτό εισέλθει στο χώρο που πρόκειται να κλιματιστεί. Τα βασικά πλεονεκτήματα αυτών των συστημάτων είναι ότι η ενέργεια μπορεί να αποθηκευτεί με τη μορφή χημικής ενέργειας (κλειστός κύκλος) αντί θερμικής ενέργειας και ότι η γεωμετρία των συστατικών μερών είναι απλή.

Υπάρχουν τρεις βασικές διαμορφώσεις ενός δοχείου αφυγραντήρα υγρού αποξηραντικού μέσου. Μπορεί να είναι ένας θάλαμος ψεκασμού, πύργος με σταθερό πληρωτικό μέσο ή διάταξη σερπαντίνας ψεκασμού. Σε ένα δοχείο ψεκασμού, το υγρό αποξηραντικό μέσο ψεκάζεται στο ρεύμα αέρα με τη χρήση ακροφυσίων μεγάλης πίεσης. Σε ένα πύργο με σταθερό πληρωτικό μέσο, ένα φιλμ υγρού ρέει προς τα κάτω πάνω στην επιφάνεια του μέσου πλήρωσης ενώ ο αέρας διέρχεται από την αντίθετη κατεύθυνση μέσω αυτού. Ο ξηρός αέρας που εξέρχεται από το θάλαμο ψεκασμού ή τον πύργο κατόπιν ψύχεται από ένα εναλλάκτη αισθητής θερμότητας για την αφαίρεση της θερμότητας ρόφησης. Σε αντίθεση, ένας αφυγραντήρας ψεκασμένης σερπαντίνας συνδυάζει αφύγρανση και αισθητή ψύξη σε ένα κομμάτι εξοπλισμού. Το υγρό αποξηραντικό μέσο ψεκάζεται πάνω σε σερπαντίνες με πτερύγια που μεταφέρουν νερό που παρέχεται από ένα πύργο ψύξης ή άλλο μέσο.

Η διαδικασία αναγέννησης μπορεί επίσης να αξιοποιήσει ένα δοχείο ψεκασμού ή μια διάταξη ψεκασμένης σερπαντίνας ανάλογης με τα αντίστοιχα συστατικά μέρη στον αφυγραντήρα. Σε όλες τις περιπτώσεις, η θερμότητα θα πρέπει να παρέχεται για αναγέννηση. Επιπρόσθετα, η αναγέννηση μπορεί να επιτευχθεί με την έκθεση ενός φιλμ διαλύματος υγρού που πέφτει σε ηλιακή ακτινοβολία και στο περιβάλλον. Ένα διαφανές κάλυμμα μπορεί να τοποθετηθεί πάνω στο φιλμ υγρού για να σχηματίσει ένα ορθογώνιο κανάλι για ροή αέρα. Αυτό αυξάνει τη θερμοκρασία υγρού, αλλά η υγρασία αέρα στο κανάλι είναι υψηλότερη από εκείνη του αέρα περιβάλλοντος.

Η επιλογή του κατάλληλου υγρού αποξηραντικού μέσου είναι ζωτικής σημασίας. Οι ακόλουθες οδηγίες θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά την επιλογή υγρών αποξηραντικών μέσων:

- Θα πρέπει να διαθέτουν κατάλληλες πιέσεις υδρατμών για απορρόφηση και εκρόφηση για όλο το αναμενόμενο εύρος συνθηκών λειτουργίας του ρεύματος αέρα διεργασίας.
- Θα πρέπει να είναι μη τοξικά, μη διαβρωτικά, μη εύφλεκτα και άοσμα.
- Τα διαλύματά τους δεν θα πρέπει να κρυσταλλώνονται εντός των ορίων λειτουργίας.
- Θα πρέπει να διαθέτουν καλές ιδιότητες μετάδοσης θερμότητας και μεταφοράς μάζας και χαμηλό ιξώδες.
- Η πίεση ατμών αποξηραντικού μέσου θα πρέπει να είναι χαμηλή για την αποφυγή απωλειών κατά τη διάρκεια της αναγέννησης.

12.3.4 Συστήματα υγρού αποξηραντικού μέσου κλειστού κύκλου

Τα συστήματα υγρού αποξηραντικού μέσου κλειστού κύκλου είναι ευρέως γνωστά ως ψύκτες απορρόφησης. Σε τέτοια συστήματα, το υγρό αποξηραντικό μέσο, συνήθως βρωμιούχο λίθιο, εκτελεί ένα ρόλο παρόμοιο με εκείνο ενός συμπιεστή σε ένα συμβατικό σύστημα ψύξης συμπίεσης αερίου.

Συγκεντρωμένο υγρό αποξηραντικό μέσο εντός ενός κλειστού συστήματος ελκύει ατμούς νερού που εξατμίζεται εντός κλειστών σωλήνων με τον ίδιο τρόπο που συμβατικό ψυκτικό αλογονοποιημένου υδρογονάνθρακα εξατμίζεται εντός ενός συστήματος συμπίεσης ατμού. Το εξατμιζόμενο νερό αφαιρεί τη θερμότητα από το υγρό, που κυκλοφορεί σε σερπαντίνες ψύξης, ψύχοντας τον αέρα που κινείται σε όλο το κτίριο.

Εντός ενός κλειστού συστήματος, η θερμότητα χρησιμοποιείται για την αφαίρεση της υγρασίας από το αποξηραντικό μέσο σε ένα συμπυκνωτή, όπου υδρατμοί συμπυκνώνονται σε υγρό, επιστρέφοντας στον εξατμιστή για να απορροφήσει περισσότερη θερμότητα από το υγρό κυκλοφορίας.

Τα τελευταία χρόνια, έχει σημειωθεί μεγάλη πρόοδος στην ψύξη απορρόφησης και σε σχέση με τις τεχνικές βελτιώσεις αλλά και μειώσεις στο μέγεθος και το κόστος τέτοιων συστημάτων. Μια πλήρης μελέτη αυτών των εξελίξεων και της βασικής τεχνολογίας είναι εκτός του σκοπού αυτής της αναφοράς. Βασικές πληροφορίες σχετικά με την ψύξη απορρόφησης μπορούν να βρεθούν στο Κεφάλαιο 13 του 1988 ASHRAE Handbook of HVAC Equipment.

Υβριδικά συστήματα ψύξης αποξηραντικού μέσου

Η αφαίρεση υγρασίας επιτυγχάνεται σε ένα συμβατικό σύστημα συμπίεσης ατμών με συμπύκνωση. Σε περιοχές με υψηλή υγρασία όπως το Νοτιοανατολικό τμήμα των ΗΠΑ, αυτή η μέθοδος μπορεί να αποδειχτεί πολύ αναποτελεσματική καθώς περιλαμβάνει συνήθως την αναθέρμανση του αέρα μετά από την αφύγρανση. Τα συστήματα συμπίεσης ατμού είναι αποτελεσματικά στην αισθητή ψύξη, ενώ οι αφυγραντήρες αποξηραντικού μέσου είναι αποτελεσματικοί στο χειρισμό των λανθανόντων φορτίων. Τα υβριδικά συστήματα, που ενσωματώνουν αφυγραντήρες αποξηραντικού μέσου με συμβατικά συστήματα ψύξης έχει αποδειχτεί ότι παρέχουν σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας.

Ο Maclaine-Cross (1988) ανακάλυψαν ότι το ενεργειακό κόστος μειώθηκε στο μισό με τη χρήση του υβριδικού συστήματος. Το σύστημα αποτελούνταν από ένα αφυγραντήρα αναγέννησης, ένα ψύκτη εξατμισμού, σερπαντίνες θέρμανσης και ανεμιστήρες, για την παροχή του λανθάνοντος και τμήματος του αισθητού φορτίου, καθώς και ένα ψύκτη με μηχανή αερίου που χρησιμοποιείται επίσης για την ανάληψη του αισθητού φορτίου που απομένει. Αυτό αφήνει να εννοηθεί ότι τα συστήματα ψύξης αποξηραντικού μέσου μπορεί να αποδειχτούν ανταγωνιστικά σε σχέση με τα συμβατικά συστήματα όταν οι μονάδες αποξήρανσης καταστούν εμπορικά διαθέσιμες.

Ο Parsons et al. (1988) μελέτησε επί της ουσίας τη σύζευξη ενός υποσυστήματος αφύγρανσης αποξήρανσης σιλικάτζέλ με ένα σύστημα συμπίεσης ατμών με λειτουργία μέσω μηχανής αερίου. Ένα βελτιωμένο κλιματιστικό αποξήρανσης (DEAC) κατοχυρώθηκε με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας από τον Cromer (1988). Αυτό το σύστημα είναι ικανό να βελτιώσει την απόδοση ενός κλιματιστικού συμπίεσης ατμού προσθέτοντας ένα αφυγραντήρα αποξήρανσης. Σε αυτό το κλιματιστικό, ένας αφυγραντήρας αποξήρανσης αφαιρεί την υγρασία από τον κορεσμένο κρύο αέρα αφήνοντας τη σερπαντίνα εξατμιστή, χαμηλώνοντας με αυτό τον τρόπο την υγρασία και αυξάνοντας τη θερμοκρασία με την προσθήκη της θερμότητας ρόφησης, απαλείφοντας με αυτόν τον τρόπο την ανάγκη για αναθέρμανση.

Μια νέα ιδέα παθητικής ηλιακής ψύξης με τη χρήση υλικού αποξήρανσης αναπτύχθηκε από τον Faurey et al (1986) και τον Swami et al. (1990). Αυτή η έννοια, που ονομάζεται a βελτιωμένη

νυχτερινή ακτινοβολία αποξηραντικού μέσου (DESRAD), χρησιμοποιεί ένα στρώμα αποξηραντικού μέσου ενσωματωμένο στη στέγη μαζί με ένα συμβατικό σύστημα συμπίεσης ατμών για την επίτευξη λανθάνουσας και αισθητής ψύξης σε θερμά και υγρά κλίματα. Σε αυτό το σύστημα, η αισθητή ψύξη παρέχεται κατά τη διάρκεια της νύχτας και η αναγέννηση του αποξηραντικού μέσου γίνεται κατά τη διάρκεια της ημέρας με ηλιακή θερμότητα. Αυτό το σύστημα, λειτουργεί σε δύο καταστάσεις λειτουργίας:

η κατάσταση λειτουργίας νυχτερινής προσρόφησης και την κατάσταση λειτουργίας εκρόφησης κατά τη διάρκεια της ημέρας. Κατά τη διάρκεια της νύχτας, αέρας δωματίου κυκλοφορεί στο στρώμα αποξηραντικού μέσου στη στέγη όπου η υγρασία αφαιρείται. Η θερμότητα ρόφησης μεταφέρεται στην ατμόσφαιρα. Μετά ο αέρας περνάει μέσω του στρώματος αποξηραντικού μέσου, διέρχεται από ένα ψύκτη εξάτμισης για την αύξηση του επιπέδου υγρασίας και για την επιπλέον ψύξη του αέρα. Ο αέρας κατόπιν περνάει στη ζώνη κλιματισμού όπου απορροφά τη θερμότητα και την υγρασία από το χώρο. Κατά τη διάρκεια της ημέρας, το σύστημα αποξηραντικού μέσου αποσυνδέεται από το σπίτι και το αποξηραντικό μέσο αναγεννάτε με εξαερισμό σε αέρα περιβάλλοντος, που θερμαίνεται από την μεταλλική στέγη με δυνατότητα απορρόφησης ηλιακής θερμότητας. Η θερμότητα που ανταλλάσσεται μεταξύ της μεταλλικής στέγης και του αποξηραντικού μέσου με το ζεστό αέρα αναγεννά το στρώμα, με τη χρήση ως εφεδρικού, ενός συμβατικού συστήματος κλιματισμού. Ο Swami et al. (1990) μελέτησε ένα σύστημα DESRAD ενσωματωμένο σε κτίριο και ανακάλυψε 79, 81 και 75% μειώσεις στα συνολικά, λανθάνοντα και αισθητά φορτία, αντίστοιχα.

13. ΣΥΝΟΨΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

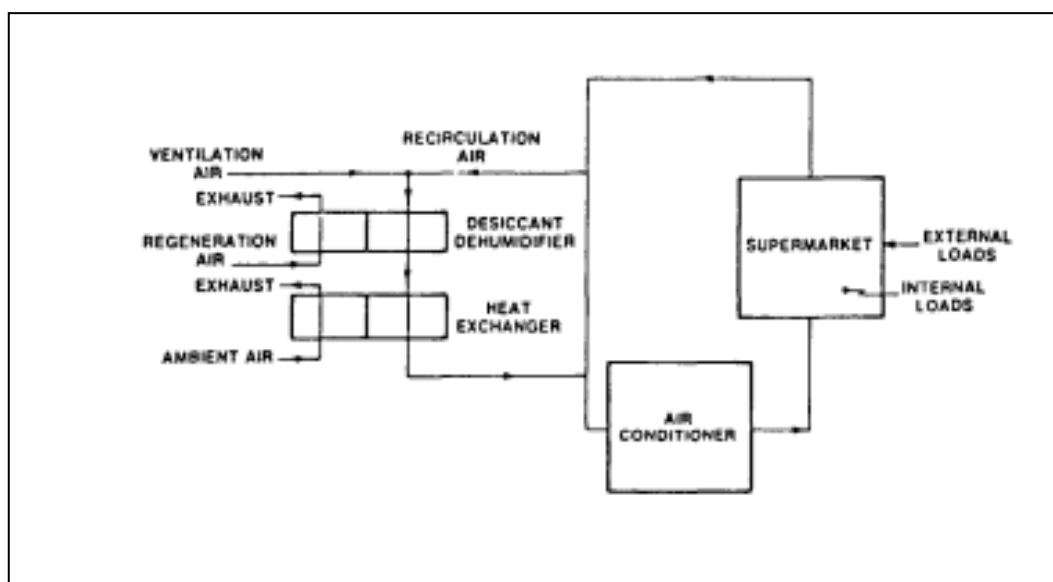
Η προηγμένη τεχνολογία αφύγρανσης και ψύξης αποξηραντικού μέσου έχει συζητηθεί χαλαρά στις τελευταίες τρεις ενότητες. Αυτή η ενότητα παρέχει μια σε βάθος σύνοψη των τελευταίων εξελίξεων. Η σύνοψη χωρίζεται σε συστήματα, συστατικά μέρη, υλικά αποξήρανσης και μοντέλα.

13.1 Συστήματα

13.1.1 Συστήματα ανοικτού κύκλου

Σχεδόν όλες οι εμπορικές και βιομηχανικές εφαρμογές αφύγρανσης αποξηραντικού μέσου χρησιμοποιούν συστήματα ανοικτού κύκλου. Τα συστήματα ανοικτού κύκλου μπορούν να υποδιαιρεθούν σε κατάσταση λειτουργίας εξαερισμού και κατάσταση λειτουργίας ανακύκλωσης. Η κατάσταση λειτουργίας εξαερισμού χρησιμοποιεί 100% αέρα περιβάλλοντος, που είναι κατάλληλος για εκείνες τις περιοχές όπου μεγάλα ποσά φρέσκου αέρα είναι απαραίτητα, όπως νοσοκομεία. Στα συστήματα ανοικτού κύκλου, είτε στερεά ή υγρά αποξηραντικά μέσα μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Για στερεά αποξηραντικά μέσα, δεν θα συμμετέχει κανένα διαβρωτικό υγρό στη λειτουργία του συστήματος. Τα υγρά αποξηραντικά μέσα, από την άλλη πλευρά, είναι εύκολο να αντληθούν στις επιθυμητές τοποθεσίες.

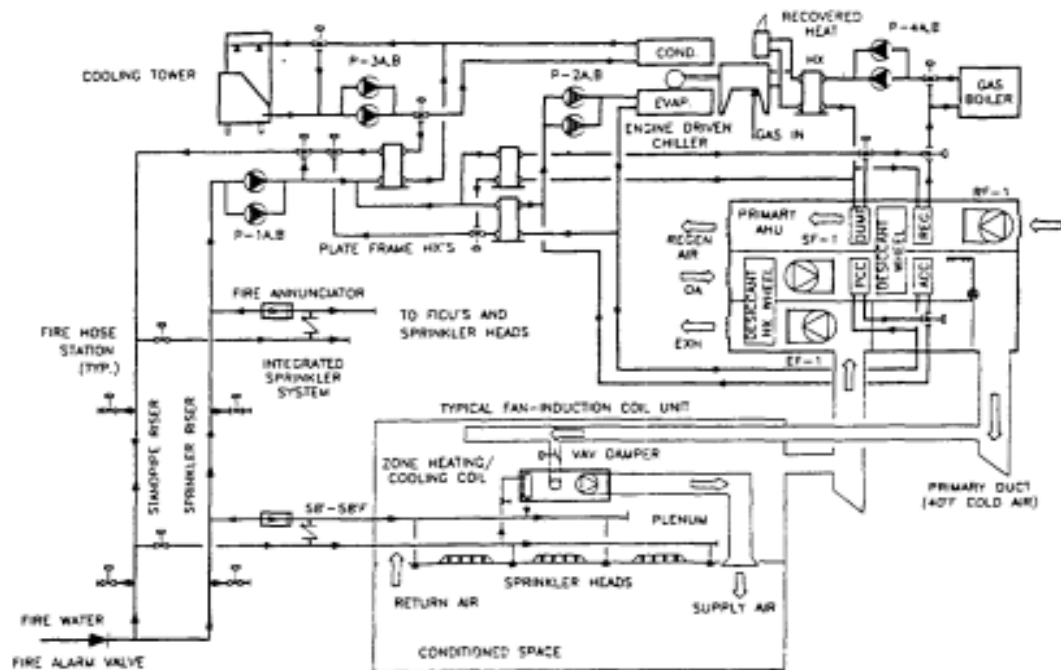
Το σχήμα 13.1 παρουσιάζει το σχηματικό ενός συστήματος ενσωματωμένου αποξηραντικού μέσου ενός σταδίου για σούπερ μάρκετ, υποδηλώνει ότι σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας μπορεί να επιτευχθεί με αυτόν τον τύπο υβριδικού συστήματος.



Σχήμα 13.1 Υβριδικό σύστημα κλιματισμού χώρου*

♦Πηγή: Επανεκτύπωση κατόπιν αδείας του American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers from ASHRAE Trans. 1985 91 (pt. 1B). Οι απόψεις των συγγραφέων δεν είναι απαραίτητα ίδιες με εκείνες του Σωματείου, ούτε η έκδοσή τους υπονοεί σύσταση ή προσυπογραφή του Σωματείου.

Το σχήμα 13.2 παρουσιάζει το σχέδιο ενός συστήματος HVAC ενσωματωμένου αποξηραντικού μέσου δύο σταδίων. Ο πρώτος τροχός αποξηραντικού μέσου ονομάζεται εναλλάκτης ενθαλπίας. Χειρίζεται 30% με 50% της αφύγρανσης του κτιρίου με μια εξωτερική πηγή θερμότητας για αναγέννηση. Αυτός ο τροχός απορροφά θερμότητα και υγρασία από το εισερχόμενο ρεύμα αέρα και τα μεταφέρει σε ένα ξηρότερο ρεύμα αέρα εξαγωγής. Επειδή το λανθάνον φορτίο είναι μειωμένο, ο δεύτερος τροχός χρειάζεται να χειριστεί μόνο 50% με 70% της αφύγρανσης και απαιτεί 30% με 50% λιγότερη εξωτερική θερμότητα για αναγέννηση τροχού. Ο COP του συστήματος δύο τροχών είναι 1,2 έως 1,5 σε συνθήκες σχεδιασμού. Το αποξηραντικό μέσο που χρησιμοποιείται στο πρώτο στάδιο μπορεί να είναι σιλικατζέλ ή μοριακό κόσκινο. Το αποξηραντικό μέσο για τον τροχό δύο σταδίων μπορεί να είναι σιλικατζέλ, μοριακό κόσκινο ή γλωρίδιο του λιθίου ή ένας συνδυασμός και των δύο.

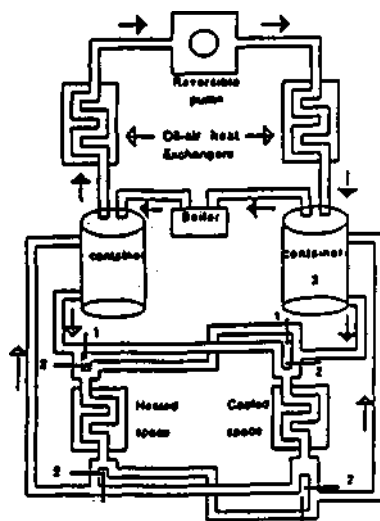


Σχήμα 13.2 Σύστημα VAV ψυχρού αέρα ενσωματωμένου αφυγραντήρα αποξηραντικού μέσου δύο σταδίων

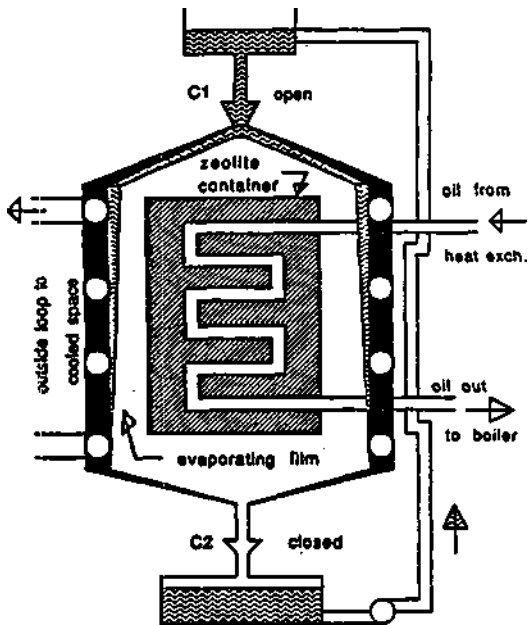
Ένα σύστημα αποξηραντικού μέσου δύο τροχών διαθέτει ακόμα ένα πλεονέκτημα απόδοσης σε σχέση με το σύστημα μονού τροχού, πλέον της υψηλότερης θερμικής απόδοσης: βροχή ή πολύ υγρές εξωτερικές συνθήκες δεν προκαλούν υπερκορεσμό στο δεύτερο τροχό, ενώ σε ένα σύστημα μονού τροχού, ένας τέτοιος κορεσμός μπορεί να βλάψει την απόδοση και απαιτεί η θερμότητα αναγέννησης να βρίσκεται σε πολύ υψηλότερη θερμοκρασία. Μελετάται επίσης η μονάδα ψυχρού αέρα αποξηρανσης, υποβοηθούμενη από σωλίνες θερμότητας ενεργοποιημένου αερίου δύο σταδίων για μικρά εμπορικά κτίρια όπως εστιατόρια φαστ φουντ και η μονάδα συμπαραγωγής και ενεργοποιημένου με αέριο αποξηραντικού μέσου δύο σταδίων για σούπερ μάρκετ.

13.1.2 Συστήματα κλειστού κύκλου

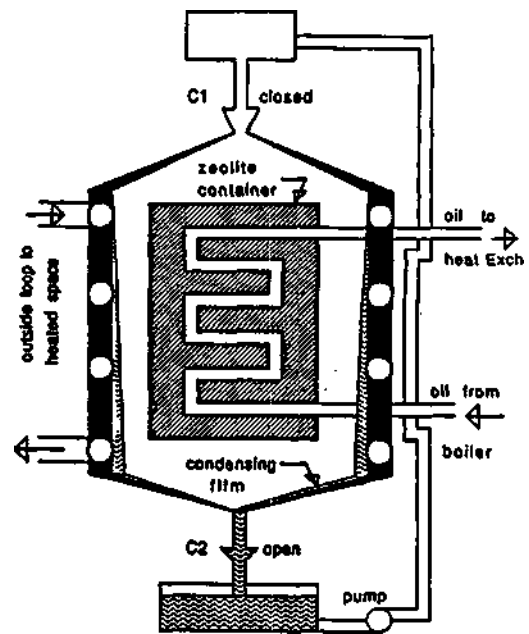
Ένα σύστημα κλειστού κύκλου μπορεί να λειτουργήσει σε ανυψωμένη πίεση ή σε μερικό κενό. Μπορεί να επιτύχει μια θερμοκρασία ψύξης αρκετά χαμηλή για ψύξη. Το σχήμα 13.3 απεικονίζει ένα σύστημα κλειστού κύκλου με ζεόλιθο ως αποξηραντικό μέσο. Όπως φαίνεται και στο σχήμα 13.3, ο ζεόλιθος διαχωρίζεται σε τουλάχιστον δύο ξεχωριστά σφραγισμένα δοχεία ώστε το ένα να βρίσκεται πάντα στο κομμάτι εκρόφησης του κύκλου ενώ το άλλο τμήμα να βρίσκεται στον κύκλο προσρόφησης. Στη διαδικασία αναγέννησης (Σχήμα 13.4), λάδι από το λέβητα αντλείται στο δοχείο ζεόλιθου για να εξατμίσει την υγρασία έξω. Όταν ο ατμός έρχεται σε επαφή με το ψυχρό τοίχωμα, συμπυκνώνεται και αποστραγγίζεται στο δοχείο στο κάτω μέρος. Για τη διαδικασία προσρόφησης (Σχήμα 13.5), η κατεύθυνση ροής του λαδιού αναστρέφεται. Η συμπυκνωμένη υγρασία αντλείται στην κορυφή του δοχείου και ρέει προς τα κάτω κατά μήκος του τοιχώματος της δεξαμενής. Όταν ο ζεόλιθος αρχίζει να απορροφά υγρασία, δημιουργεί χαμηλή πίεση στο δοχείο και κατά συνέπεια χαμηλώνει τη θερμοκρασία του συμπυκνώματος επειδή τμήμα του συμπυκνώματος εξατμίζεται. Αυτό το σύστημα έχει θεωρητικά αναλυθεί. Ο Tchernev ισχυρίστηκε ότι σε μια περίοδο λειτουργίας 10 μηνών, μια πρωτότυπη μονάδα πέτυχε COP ψύξης στο 1,2 και COP θέρμανσης στο 1,8.



Σχήμα 13.3 Σύστημα ψύξης αποξηραντικού μέσου κλειστού κύκλου

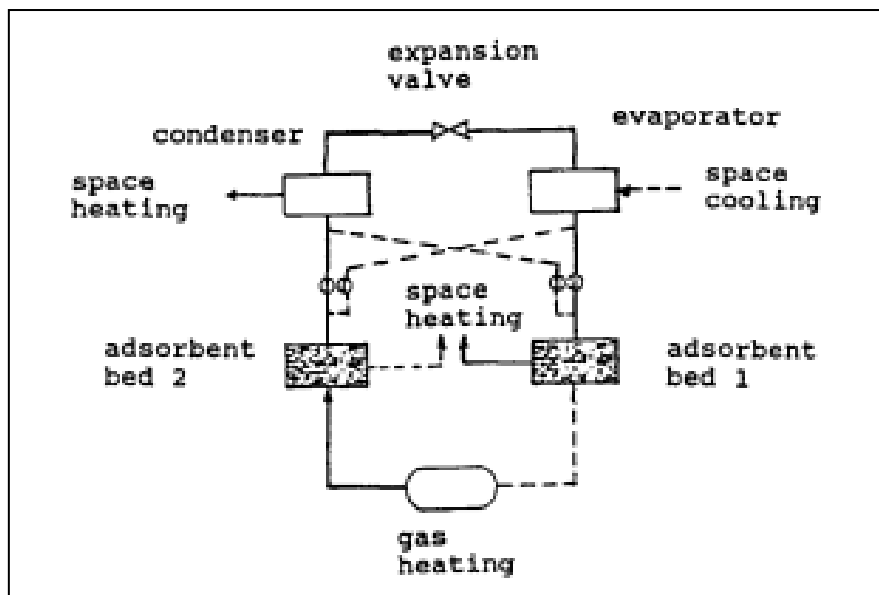


Σχήμα 13.4 Φάση αναγέννησης: τα τοιχώματα του δοχείου δρουν ως συμπυκνωτής

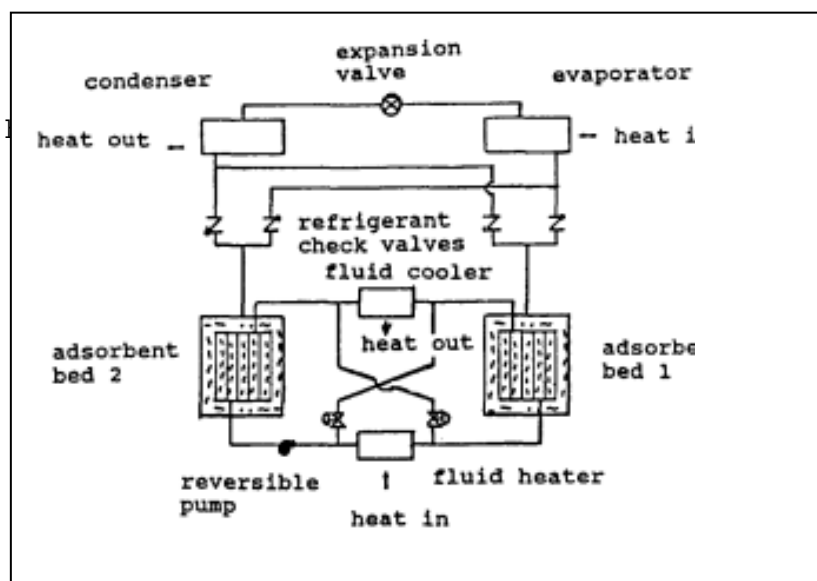


Σχήμα 13.5 Φάση προσρόφησης: τα τοιχώματα του δοχείου δρουν ως εξατμιστής

Το σχήμα 13.6 απεικονίζει το σχηματικό ενός βασικού συστήματος κλειστού κύκλου που αναπτύχθηκε από τον Sheltonetal.. Αμμωνία/ζεόλιθος χρησιμοποιήθηκαν ως το ζεύγος προσρόφησης. Η βασική αρχή είναι απλή, χωρίς κινούμενα μέρη εκτός των χειριστηρίων ελέγχου. Όταν το σύστημα κατασκευάστηκε και δοκιμάστηκε πραγματικά, ο COP ψύξης ήταν περίπου 0,4. Οι ερευνητές σκέφτηκαν ότι ένα μεγάλο ποσό θερμότητας πήγαινε χαμένο, κάτι που συνεπαγόταν τον χαμηλό COP. Ένας τροποποιημένος κύκλος, όπως φαίνεται στο σχήμα 13.7, δημιουργήθηκε για την αποτελεσματικότερη χρήση της θερμότητας. Η ανάλυσή τους έδειξε ότι ένας τροποποιημένος κύκλος μπορεί να έχει COP θέρμανσης στο 1,75 και COP ψύξης στο 0,75 για τη βασική μελέτη της περίπτωσης. Επίσης δήλωσαν ότι η απόδοση του συστήματός τους δεν επηρεάζονταν από τις θερμοκρασίες εισόδου και εξόδου θερμότητας του κύκλου. Άλλα ζεύγη προσρόφησης έχουν επίσης αναφερθεί στην τεκμηρίωση, όπως ζεόλιθος/νερό, μεθανόλη/ενεργός άνθρακας, αιθανόλη/ενεργός άνθρακας και σιλικατζέλ/νερό. Ο Meunier ανέλυσε διάφορους συνδυασμούς συστημάτων κλιμακωτού στερεού/μέσου προσρόφησης.



Σχήμα 13.6 Βασικό σύστημα προσρόφησης στερεού/ατμού*



Σχήμα 13.7 Σύστημα προσρόφησης θερμικού κύματος στερεού/ατμού*

*Πηγή: Shelton, S.V., και Wepfer, WJ. "Ramp Wave Analysis of the Solid/Vapor Heat Pump," J. Energy Res. Technol. 112(1), 69-78, 1990

13.2 Συστατικά μέρη

Το σημαντικότερο συστατικό μέρος του συστήματος ψύξης αποξηραντικού μέσου είναι τα στρώματα αποξηραντικού μέσου. Η δομική διαμόρφωσή τους, θερμική ικανότητα και χαρακτηριστικά ρόφησης ελέγχουν σε μεγάλο βαθμό τα οικονομικά της λειτουργίας της συσκευής αποξήρανσης. Ιδανικά, το στρώμα θα πρέπει να έχει άπειρα χαμηλή μάζα και άπειρα μεγάλο εμβαδό επιφάνειας. Η χαμηλή μάζα ελαχιστοποιεί το ποσό της ενέργειας που χάνεται σε θέρμανση και ψύξη του αποξηραντικού μέσου και το μεγάλο εμβαδό επιφάνειας μεγιστοποιεί την αλληλεπίδραση μεταξύ του αποξηραντικού μέσου και του αέρα που το περιβάλλει. Οι εξελίξεις στην τεχνολογία αποξηραντικού μέσου έχουν επικεντρωθεί στην αναζήτηση χαμηλότερου κόστους, υψηλότερης απόδοσης και ανθεκτικότερων διαμορφώσεων στρώματος αποξηραντικού μέσου.

Σε συστήματα στερεού αποξηραντικού μέσου, υπάρχουν τρεις βασικές διαμορφώσεις στρώματος. Στατικά κοκκώδη στρώματα, περιστρεφόμενα κοκκώδη στρώματα και περιστρεφόμενα δομημένα μέσα. Τα στατικά κοκκώδη στρώματα είναι διατεταγμένα όπως υποδηλώνει και το όνομά τους. Δοχεία γεμάτα με κοκκώδες στερεό αποξηραντικό μέσο, ξηρό αέρα και κατόπιν γίνεται αναγέννηση από ένα δεύτερο ρεύμα αέρα. Τα περιστρεφόμενα κοκκώδη στρώματα μετακινούν το αποξηραντικό μέσο μεταξύ των ρευμάτων αέρα διεργασίας και επαναδραστηριοποίησης συνεχώς. Τα περιστρεφόμενα δομημένα μέσα μοιάζουν με κυματοειδές χαρτόνι τυλιγμένο μέσα σε ένα τύμπανο, ώστε ο αέρας να μπορεί να περάσει κατά μήκος κάτω στις αυλακώσεις, που είναι επενδυμένες με αποξηραντική ουσία. Όπως και το περιστρεφόμενο κοκκώδες στρώμα, το δομημένο μέσο περιστρέφεται συνεχώς μεταξύ των ρευμάτων αέρα διεργασίας και επαναδραστηριοποίησης συνεχώς. Ο Harriman περιγράφει αυτούς τους διαφορετικούς τύπους στρωμάτων για τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματά τους σε βάθος.

Τα στρώματα τύπου δομημένου μέσου έγιναν γνωστά στις ΗΠΑ από την Munters Cargocaire στις αρχές της δεκαετίας του '60. Έχουν σημαντικά πλεονεκτήματα απόδοσης αντί άλλων τύπων διαμορφώσεων στρωμάτων. Τα πλεονεκτήματά τους είναι υψηλού κόστους και έχουν περιορισμένη αντοχή. Εφόσον ορισμένα από τα γνήσια διπλώματα ευρεσιτεχνίας που προστατεύουν αυτό το σχέδιο έχουν τώρα λήξει, άλλοι οργανισμοί εργάζονται στη μείωση του κόστους και τη βελτίωση της αντοχής τέτοιων στρωμάτων αποξηραντικού μέσου.

Ο Barlow περιέγραψε διάφορα σχέδια αφυγραντήρα αποξήρανσης:

1. Το σχέδιο AiResearch έχει πέντε κύρια συστατικά μέρη: δύο ψύκτες εξάτμισης, μια περιστροφική θερμική γεννήτρια, ένα ηλιακό θερμαντήρα και ένα περιστροφικό τύμπανο αποξηραντικού μέσου γεμάτου με σιλικατζέλ.

- Πλεονεκτήματα: Ένα γεμάτο τύμπανο παρέχει μεγάλο εμβαδό επιφάνειας ανά μονάδα όγκου και ένα μεγάλο λόγο αποξηραντικής ουσίας στο πλέγμα αφυγραντήρα.
- Μειονεκτήματα: Μεγάλη πτώση πίεσης αέρα και μεγάλη αντίσταση μεταφοράς μάζας από πλευράς στερεού. Η χρήση μεγάλων σωματιδίων αποξηραντικού μέσου θα μειώσει την πτώση πίεσης αλλά θα αυξήσει την αντίσταση μεταφοράς μάζας από την πλευρά του στερεού.

2. Το σχέδιο των Institute of Gas Technology (IGT) Solar-MEC είναι ένας κεντρικά υποστηριζόμενος τροχός ενός υλικού κυματοειδών ινών εμποτισμένο με σωματίδια μοριακού κόσκινου.

- Πλεονεκτήματα: Ο κυματοειδής τροχός είναι συμπαγής. Διαθέτει ένα μεγάλο λόγο εμβαδού επιφάνειας ανά μονάδα όγκου, που με τη σειρά του παράγει σχετικά μεγάλο NTU μετάδοσης θερμότητας (αριθμός μονάδας μετάδοσης). Διαθέτει χαμηλή πτώση πίεσης και υψηλή ικανότητα ειδικής ψύξης.
- Μειονεκτήματα: Τα δεδομένα στα χαρακτηριστικά μεταφοράς μάζας του αφυγραντήρα δεν είναι διαθέσιμα. Με βάση τον υψηλό NTU αλλά χαμηλό COP, η αντίσταση μεταφοράς μάζας θα πρέπει να είναι πολύ μεγάλη. Η μονάδα χρειάζεται επίσης υψηλή θερμοκρασία αναγέννησης (πάνω από 400°F) για να είναι αποτελεσματική.

3. Ο αφυγραντήρας διασταύρωσης ψύξης αποξηραντικού μέσου Illinois Institute of Technology (IIT) (Ινστιτούτο Τεχνολογίας του Illinois) διαθέτει δύο σταθερά στρώματα αποξηραντικού μέσου. Φύλλα σιλικάτζέλ προστέθηκαν στα τοιχώματα του καναλιού των στρωμάτων. Τα δύο στρώματα δουλεύουν περιοδικά: το ένα αφυγραίνει τον αέρα διεργασίας και το άλλο αναγεννιέται από θερμασμένο αέρα.

- Πλεονεκτήματα: Είναι ένα σύστημα σταθερού στρώματος με δυνατότητα διασταύρωσης ψύξης (το αποξηραντικό μέσο ψύχεται ενώ βρίσκεται στη διαδικασία προσρόφησης). Διαθέτει πολύ χαμηλή θερμοκρασία αναγέννησης σχεδιασμού και υψηλό COP.
- Μειονεκτήματα: Το σύστημα χρειάζεται δύο ογκώδη στρώματα αποξηραντικού μέσου. Ο έλεγχος του συστήματος IIT είναι ιδιαίτερα πολύπλοκο. NTU μεταφοράς μάζας και μετάδοσης θερμότητας είναι σχετικά μικρά.

4. Το σχέδιο του πανεπιστημίου UCLA χρησιμοποίησε λεπτούς κόκκους σιλικάτζέλ (μέσου μεγέθους: 0,12 και 0,25 mm) ενοποιημένους στη μια πλευρά πλαστικών φύλλων Lexan πάχους 0,76-mm χρησιμοποιώντας ένα λεπτό στρώμα συγκόλλησης ελαστικού σιλικόνης για την απόδοση επιφάνειας με υφή σμυριδόχαρτου. Τα επικαλυμμένα φύλλα συσσωρεύτηκαν και αποστάτες χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία καναλιών παράλληλων τοιχωμάτων, στρωτής ροής.

- Πλεονεκτήματα: Η μονάδα του UCLA διαθέτει χαμηλή πτώση πίεσης και μεγάλο ρυθμό μετάδοσης θερμότητας. Η αντίσταση μεταφοράς μάζας μειώνεται εξαιτίας των μικρών σωματιδίων αποξηραντικού μέσου.
- Μειονεκτήματα: Χρησιμοποιήθηκαν χοντρά πλαστικά φύλλα. Η μονάδα έχει επίσης ένα δομικό πρόβλημα.

5. Το σχέδιο τροχού της Solar Energy Research Institute (SERI) συνδυάζει την ιδέα του UCLA μιας επικάλυψης σιλικάτζέλ με υφή σμυριδόχαρτου και την ιδέα κατασκευής εναλλάκτη θερμότητας που αναπτύχθηκε από την Dunkle. Τυλίγει μια συνεχή λεπτή ταινία πολυεστέρα με σιλικάτζέλ πάνω σε ένα τροχό.

- Πλεονεκτήματα: Έχει υψηλό λόγο αριθμού Stanton προς συντελεστή τριβής (0,49) και χαμηλή αντίσταση από την πλευρά του στερεού στη μεταφορά μάζας. Είναι σχετικά συμπαγές αλλά ταυτόχρονα διαθέτει μικρή πτώση πίεσης.

- Μειονεκτήματα: Η πλαστική ταινία ξεδιπλώνεται όταν θερμαίνεται χάνοντας με αυτό τον τρόπο την δομική ακαμψία της. Πρόσφατα έχουν υπάρξει και άλλα σχέδια. Δύο από αυτά περιγράφονται παρακάτω.

6. Το Seibu Zeolite Ceramic Desiccant Rotor (Ιαπωνία): Ο τροχός αποτελείται από φύλλα συνθετικού ζεόλιθου/σιλικατζέλ. Η Seibu ισχυρίστηκε ότι το σχέδιό τους βελτίωσε την απόδοση του τροχού στο εύρος χαμηλής υγρασίας. Ωστόσο, ο τροχός είναι πολύ ακριβός.

7. Το σχέδιο τροχού αποξηραντικού μέσου της Energy & Resource Laboratory (Ταϊβάν): Κεραμικό χαρτί χρησιμοποιήθηκε στον τροχό. Το χαρτί κατόπιν κάηκε, αφήνοντας μόνο γραμμές κεραμικού. Κατόπιν χρησιμοποιήθηκε υδρύαλος για τον χημικό σχηματισμό σιλικατζέλ στη δομή κεραμικής γραμμής. Ο τροχός διαθέτει υψηλό δομικό δείκτη σιλικατζέλ προς τροχό, χαμηλή πτώση πίεσης και σχετικά συμπαγές σχήμα. Τα αποτελέσματα των δοκιμών έδειξαν COP μονού σταδίου κοντά στη μονάδα. Η διαδικασία κατασκευής τροχού είναι ιδιαίτερα πολύπλοκη και μπορεί να είναι ακριβή.

8. Ο Cohen et al. σύγκρινε πειραματικά τροχούς αποξηραντικού μέσου διαφόρων κατασκευαστών. Ένα σύνολο δώδεκα τροχών με τέσσερα αποξηραντικά μέσα - σιλικατζέλ, χλωρίδιο του λιθίου, μοριακό κόσκινο και ενεργό άνθρακα – δοκιμάστηκαν για την απόδοση αφαίρεσης υγρασίας.

9. Η SEMCO, βάση συμβολαίου με την GRI, αναπτύσσει επί του παρόντος ένα χαμηλού κόστους εναλλάκτη θερμότητας και περιστροφικό αφυγραντήρα στερεού αποξηραντικού μέσου.

Σε συστήματα υγρού αποξηραντικού μέσου, υπάρχουν δύο τύποι στρωμάτων αποξηραντικού μέσου. Εκείνα με εσωτερική ψύξη και εκείνα όπου το αποξηραντικό μέσο απλά ψεκάζεται σε μια εκτεταμένη επιφάνεια που έχει κοινά γνωρίσματα με υλικό πλήρωσης πύργων ψύξης.

Ο τομέας Kathabar της Somerset Technologies κατασκευάζει μονάδες και των δύο τύπων με χλωρίδιο του λιθίου ως το κύριο αποξηραντικό μέσο. Τα τελευταία χρόνια η εταιρεία έχει πετύχει βελτιώσεις στο υλικό πλήρωσης, λειώνοντας τη μάζα του, αυξάνοντας το εμβαδό επιφανείας και μειώνοντας την αντίσταση στη ροή αέρα.

Η Niagara Blower Co. χρησιμοποιεί τριαιθυλενογλυκόλη ως υγρό αποξηραντικό μέσο. Ψεκάζεται συνεχώς στη σερπαντίνα εξατμιστή για τη δημιουργία μιας μονάδας χωρίς παγοποίηση και για τον καθαρισμό του αέρα διεργασίας. Το εξασθενημένο αποξηραντικό μέσο αντλείται έξω και αναγεννιέται.

13.3 Υλικά αποξήρανσης

Πρόσφατα, τα αποξηραντικά μέσα με βέλτιστες ιδιότητες για εφαρμογές κλιματισμού έχουν παραχθεί ή δοκιμαστεί ή βρίσκονται υπό ανάπτυξη. Η LaRoche Chemicals έχει αναπτύξει ένα αποξηραντικό μέσο Type 1M (τύπου 1M) που βασίζεται σε ενυδατούμενα άλατα και είναι ικανό για απευθείας, αναγέννηση αερίου. Επί του παρόντος αναπτύσσουν ένα προηγμένο πλέγμα αποξηραντικού μέσου. Η Eaton Corp. αναπτύσσει ένα Type 1M αποξηραντικό μέσο που βασίζεται σε πολυμερή ιονικού πηκτώματος. Ξεκίνησαν τη μελέτη πολυμερών ως υγρών αποξηραντικών μέσων. Το Michigan Technical University αναπτύσσει ένα αποξηραντικό μέσο Type 1M που βασίζεται σε πορώδες γυαλί. Το πολιτειακό πανεπιστήμιο της Pennsylvania μελετά τις δυνατότητες των νανοσυνθετικών υλικών για να χρησιμοποιηθούν ως αποτελεσματικά αποξηραντικά μέσα. Έχουν αναγνωρίσει συνθετικά τύπου 1M. Το πανεπιστήμιο του Pittsburgh μελετά τις δυνατότητες στρωματοποιημένων υδροξειδίων διπλού μετάλλου για τη

χρησιμοποιήσής τους ως αποτελεσματικών αποξηραντικών μέσων. Επίσης προσδιόρισαν υλικά τύπου IM.

13.4 Υπολογιστικά μοντέλα

Καθώς τα συστήματα αποξηραντικού μέσου αποτελούν το αντικείμενο εκτεταμένων ερευνών τα τελευταία χρόνια, έχει δημιουργηθεί ένας μεγάλος αριθμός υπολογιστικών μοντέλων για να βοηθήσουν στην καλύτερη κατανόηση της δυναμικής λειτουργίας των συστημάτων αποξηραντικού μέσου. Αυτά τα μοντέλα εμπίπτουν σε τέσσερις βασικές κατηγορίες:

- Λύσεις πεπερασμένων διαφορών στις διαφορικές εξισώσεις που διέπουν τη μεταφορά μάζας και διάδοση θερμότητας σε ένα στρώμα αποξηραντικού μέσου
- Λύσεις πεπερασμένων διαφορών και μέθοδοι αναλογιών
- Προσεγγίσεις απόδοσης εμπορικού εξοπλισμού

Από τις προσεγγίσεις πεπερασμένων αναλογιών, οι τρεις πιο ευρέως χρησιμοποιούμενοι

υπολογιστικοί κώδικες είναι:

1. MOSHMX (I. Maclaine-cross)
2. University of Illinois at Chicago (UIC) (W. Worek)
3. Illinois Institute of Technology (IIT) (Z. Lavan)

Επιπρόσθετα, ένας αριθμός διδακτορικών διατριβών έχει συνταχθεί με θέμα τη μεταφορά μάζας και μετάδοση θερμότητας σε κατασκευές αποξήρανσης. Τα υπολογιστικά μοντέλα συνήθως αναπτύσσονται ως τμήμα της εργασίας. Τα περισσότερα από αυτά τα υπολογιστικά μοντέλα εμπίπτουν στην κατηγορία πεπερασμένων διαφορών. Η μεγάλη πλειοψηφία αυτών των μοντέλων δεν υποστηρίζονται και δεν μπορούν να αναπαραχθούν χωρίς μεγάλη δυσκολία.

Μόνο μια λύση πεπερασμένων διαφορών χρησιμοποιείται τώρα, το υπολογιστικό μοντέλο της Florida Solar Energy Center (FSEC), το FEMALP. Αυτό το μοντέλο χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο για την πρόβλεψη της μεταφοράς υγρασίας σε κτιριακές δομές, επιπλώσεις και συστήματα HVAC αντί για την πρόβλεψη της απόδοσης του εξοπλισμού αποξήρανσης.

Από τις μεθόδους αναλογιών, υπάρχουν δύο σε χρήση επί του παρόντος. Αυτές περιλαμβάνουν:

- Μέθοδος αναλογιών (Maclaine-cross and Banks)
- Enerscope, Inc. - (K. Collier)

Η μέθοδος που χρησιμοποιείται από την Maclaine-cross and Banks είναι μια λύση αναλογίας εναλλάκτη θερμότητας σε ολόκληρη τη διαδικασία αποξήρανσης. Το μοντέλο Enerscope είναι μια αναλογία εναλλάκτη μάζας και θερμότητας στις μεμονωμένες διαδικασίες αποξηραντικής ουσίας/νερού εντός του πλέγματος αποξηραντικού μέσου.

Οι προσεγγίσεις απόδοσης εξοπλισμού χρησιμοποιούνται κυρίως για την προσομοίωση της απόδοσης του εξοπλισμού αποξηραντικού μέσου σε συστήματα HVAC εμπορικών κτιρίων, αναλύοντας την χρήση ενέργειάς τους για ένα ολόκληρο έτος. Κατά τη διάρκεια του 1991, δύο κύρια προγράμματα βασισμένα σε μικροϋπολογιστές για την προσομοίωση ενέργειας κτιρίων αναθεωρήθηκαν ώστε να συμπεριλάβουν μοντελοποίηση εξοπλισμού αποξήρανσης:

- TRACE Έκδοση 11.05 (Trane Commercial Systems Group)
- DOE 2.1e (Lawrence Berkeley Laboratory Applied Science Division)

Τα δύο αυτά προγράμματα χρησιμοποιούν παρόμοιους αλγόριθμους. Για εξοπλισμό στερεού αποξηραντικού μέσου, τα χαρακτηριστικά απόδοσης βασίζονται σε ένα προηγμένο αφυγραντήρα περιστρεφόμενου τροχού αποξηραντικού μέσου όπως διαμορφώθηκε για εμπορικά κτίρια. Το μοντέλο απόδοσης προϋποθέτει ένα εμπορικά διαθέσιμο πλέγμα σύνθετου αποξηραντικού μέσου, που αποτελείται από χλωρίδιο του λιθίου και σιλικατζέλ. Το μοντέλο εξοπλισμού αποξήρανσης βασίζεται σε αφυγραντήρα ψεκασμού μέσου που χρησιμοποιεί χλωρίδιο του λιθίου ως αποξηραντικό μέσο.

Αυτές οι τρεις γενικές κατηγορίες υπολογιστικών μοντέλων μπορούν να διαχωριστούν επιπλέον κατά τον τρόπο με τον οποίο αντιμετωπίζεται η μεταφορά υγρασίας εντός του σωματιδίου αποξηραντικού μέσου. Υπάρχουν δύο προσεγγίσεις στο πρόβλημα της μεταφοράς μάζας εντός του σωματιδίου αποξηραντικού μέσου. Είναι η αναλογία Lewis Number κι η λύση των εξισώσεων διάχυσης εντός του αποξηραντικού μέσου.

Η αναλογία Lewis Number συγκεντρώνει την αντίσταση μεταφοράς μάζας εντός του σωματιδίου αποξηραντικού μέσου με την αντίσταση μεταφοράς μάζας μεταξύ του αέρα και του αποξηραντικού μέσου. Αυτή η μονή αντίσταση μεταφοράς μάζας χρησιμοποιείται υπολογιστικά σαν όλη η αντίσταση να υπάρχει εντός της αέριας φάσης. Τα μοντέλα Maclaine-cross, UIC και Eperscope χρησιμοποιούν όλα αυτή την προσέγγιση.

Η επίλυση των εξισώσεων διάχυσης εντός του μέσου αποξήρανσης είναι η ακριβέστερη προσέγγιση στο πρόβλημα. Τα υπολογιστικά μοντέλα IIT και FSEC χρησιμοποιούν αυτή την προσέγγιση. Τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της κάθε προσέγγισης είναι:

- Η επίλυση των εξισώσεων διάχυσης είναι ακριβέστερη, αλλά τα δεδομένα για τις σταθερές εσωτερικής διάχυσης είναι δύσκολο να αποσπαστούν. Αυτό περιορίζει την ακρίβεια των αποτελεσμάτων. Αυτή η μέθοδος απαιτεί μεγάλα ποσά χρόνου υπολογισμού.
- Η αναλογία Lewis Number μπορεί να δώσει ακριβή αποτελέσματα εάν ο συντελεστής αντίστασης αλλάξει για μεταβαλλόμενες συνθήκες. Είναι δύσκολο να προσδιοριστεί ο σωστός συντελεστής αντίστασης α πριόρι, αλλά απαιτεί περιορισμένους υπολογιστικού χρόνου.
- Οι περισσότερες πρακτικές εφαρμογές των αποξηραντικών μέσων απαιτούν η αντίσταση εσωτερικής μεταφοράς μάζας του αποξηραντικού μέσου να είναι μικρή. Συνεπώς, η ανάγκη για μια ακριβή αναπαράσταση αυτού του φαινομένου είναι ελάχιστη για αυτές τις περιπτώσεις. Μπορεί να υπάρξουν νέες εφαρμογές, ωστόσο, για τις οποίες αυτό το συμπέρασμα δεν είναι αληθές. Θα πρέπει να αξιολογηθούν κατά περίπτωση.

Ένας αριθμός συγκρίσεων έχει εκτελεστεί σε μεγάλο μέρος αυτών των διαφορετικών υπολογιστικών μοντέλων. Γενικά, όλα τα μοντέλα συμφωνούν μεταξύ τους όταν εμπλέκεται αντίσταση μεταφοράς μάζας από την πλευρά του αερίου. Αποκλίσεις προκύπτουν μόνο όταν η αντίσταση μεταφοράς μάζας εντός των σωματιδίων αποξηραντικού μέσου είναι σημαντική. Η προσπάθεια προσδιορισμού του ακριβέστερου μοντέλου είναι πολύ δύσκολο εξαιτίας της έλλειψης αξιόπιστων πειραματικών δεδομένων και την αβεβαιότητα των παραμέτρων εσωτερικής διάχυσης μάζας. Κάθε φορά που η μεταφορά εσωτερικής μάζας είναι αμελητέα, όλα τα μοντέλα θα συμφωνήσουν απόλυτα με τα διαθέσιμα πειραματικά δεδομένα. Κάθε φορά που η μεταφορά εσωτερικής μάζας δεν είναι αμελητέα, όλα τα μοντέλα θα χρειαστούν τροποποίηση για να συμφωνήσουν με τα διαθέσιμα πειραματικά δεδομένα.

Το μεγαλύτερο μέρος της δυνατότητας βελτίωσης στην απόδοση του συστήματος ψύξης αποξηραντικού μέσου βασίζεται στον αφυγραντήρα. Λεπτομερή μοντέλα των διεργασιών μεταφοράς μάζας και μετάδοσης θερμότητας που προκύπτουν σε ένα αφυγραντήρα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να κριθούν τα εν δυνάμει οφέλη διαφόρων υλικών και γεωμετριών πλέγματος. Η βελτιστοποίηση της απόδοσης με όρους λόγων ρυθμού ροής, ταχύτητας

περιστροφής και θερμοδυναμικών ιδιοτήτων πλέγματος / αποξηραντικού μέσου επιτυγχάνονται εύκολα με αυτά τα μοντέλα.

Το MOSHMX, ένα πρόγραμμα ηλεκτρονικού υπολογιστή που εφαρμόζει πεπερασμένες διαφορές, αναπτύχθηκε από τον Maclaine-Cross (1988), βασίζεται σε μια λεπτομερή αριθμητική ανάλυση και παρέκταση σε ένα μέγεθος μηδενικού πλέγματος χρησιμοποιώντας τέσσερα προσεκτικά μεγέθη πλέγματος. Ο Jurinak et al. (1984) χρησιμοποίησε το MOSHMX για τη μελέτη των επιπτώσεων του σχήματος ισόθερμης, μέγιστης περιεκτικότητας νερού, θερμότητας προσρόφησης, θερμική χωρητικότητα πλέγματος αναγέννησης, διάχυση υγρασίας πλέγματος και υστέρηση προσρόφηση στην απόδοση του αφυγραντήρα. Το MOSHMX χρησιμοποιήθηκε εκτενώς για την προσομοίωση λειτουργιών αφυγραντήρα όπως μεταβατική απόδοση (Brandemuehl και Beckman, 1979), καθαρισμό (Jurinak et al., 1984) και επιπτώσεις στις ιδιότητες αποξηραντικού μέσου (Collier και Cohen, 1991 και Jurinak et al., 1984). Τεχνικές πεπερασμένων διαφορών έχουν χρησιμοποιηθεί από πολλούς ερευνητές για την επίτευξη λεπτομερών μοντέλων αφυγραντήρων (Pla-Barby, 1978; Holmberg, 1979; Barker και Kettleborough, 1980; Mathiprakasam και Lavan, 1980; Pesaran και Mills, 1984). Το πρόγραμμα DESSIM αναπτύχθηκε από τον Barlow (1982) όπου το πλέγμα έγινε διακριτό και ο κάθε κόμβος αντιμετωπίστηκε ως εναλλάκτης μάζας και θερμότητας αντίστροφης ροής όπου η μετάδοση θερμότητας και μεταφορά μάζας θεωρήθηκαν μη συζευγμένες. Οι Collier και Cohen (1991) ανέπτυξαν ένα μοντέλο με βάση το πρόγραμμα DESSIM. Αυτό ο κώδικας, ET/DESSIM, ενσωματώνει διάφορες βελτιώσεις σε σχέση με το πρόγραμμα DESSIM. Σε άλλη έρευνα, ο Collier πρόσθεσε την προσέγγιση του MOSHMX για την επίλυση της μετάδοσης θερμότητας και μεταφοράς μάζας σε ένα κόμβο αφυγραντήρα στο πρόγραμμα ET/DESSIM. Αυτός ο κώδικας, με το όνομα DCSSMX, είναι ακριβέστερος από ότι ο ET/DESSIM και είναι ευρέως αποδεκτός και χρησιμοποιείται για τη μοντελοποίηση περιστροφικών αφυγραντήρων στερεού. Αυτοί οι κώδικες (MOSHMX, DESSIM και DCSSMX) έχουν επικυρωθεί, με διάφορους βαθμούς ακριβείας, με πειραματικά δεδομένα (Barlow, 1982, Schultz et al., 1987). Πρόσφατα οι Kang και Maclaine-Cross (1989) τροποποίησαν το MOSHMX για την μοντελοποίηση της απόδοσης ενός αφυγραντήρα στρωματοποιημένου αποξηραντικού μέσου σιλικατζέλ/ζεόλιθου. Ένας κύκλος εξαερισμού που χρησιμοποιεί αυτό τον αφυγραντήρα λειτουργεί ελαφρώς καλύτερα από ότι ένας κύκλος με αφυγραντήρα σιλικατζέλ.

Ο Van den Bulck et al. (1985a, b) έλυσε τις εξισώσεις διατήρησης για ένα αφυγραντήρα ισορροπίας χρησιμοποιώντας ανάλυση κυμάτων που συμπεριλαμβάνει τις επιπτώσεις των 'κλονισμών' (μη αναστρέψιμο ακόνισμα στα μέτωπα κυμάτων). Μια αναλυτική έκφραση της απόδοσης αφυγραντήρα έχει ως αποτέλεσμα είτε την πλήρη αναγέννηση ή τον πλήρη κορεσμό κατά τη διάρκεια της προσρόφησης. Οι ενδιάμεσες περιπτώσεις βρέθηκαν με παρεμβολή. Το μοντέλο υιοθετεί συσχετισμούς ιδιοτήτων για ένα διαβαθμισμένο αφυγραντήρα σιλικατζέλ.

Το GARD της Chamberlain National σε συνεργασία με το εργαστήριο Lawrence Berkeley Laboratory και υπό τη χρηματοδότηση της GRI (Gas Research Institute), ενσωμάτωσαν μοντέλα συστημάτων ψύξης αποξηραντικού μέσου στον κώδικα υπολογιστή φορτίου κτιρίου 'DOE 2.1' και το πρόγραμμα προσομοίωσης HVAC. Σε μια παρόμοια προσπάθεια, η S.E.I. Associates of Boudler στο Κολοράντο, ενσωμάτωσαν διάφορα συστήματα αφύγρανσης αποξηραντικού μέσου στο πρόγραμμα TRACE (TRane Air Conditioning Economics) της Trane..

Μοντέλα συστήματος ψύξης αποξηραντικού μέσου μπορούν να αναπτυχθούν με την κατάλληλη σύνδεση των διάφορων μοντέλων συστατικών μερών. Προσομοιώσεις μπορούν να εκτελεστούν λειτουργώντας το σύστημα με συναρτήσεις εξαναγκασμού εξαρτημένου χρόνου όπως καιρικά δεδομένα. Το πρόγραμμα TRNSYS (Klein et al., 1991) παρέχει μια πολύ ευέλικτη δομή για την πραγματοποίησή του. Το TRNSYS περιλαμβάνει μοντέλα για συστήματα συλλογής/αποθήκευσης ηλιακής ενέργειας και φορτία ψύξης κτιρίων μαζί με ρουτίνες για την ανάγνωση των καιρικών δεδομένων και σύννοψη των αποτελεσμάτων. Η δομοστοιχειωτή φύση του TRNSYS το καθιστά κατάλληλο για τη θεώρηση πλήθους διατάξεων συστατικών μερών ή αντικατάσταση ενός μοντέλου συστατικού μέρους με ένα άλλο. Η ώρα με την ώρα φύση της

προσομοίωσης επιτρέπει έρευνες στρατηγικών ελέγχου για απόκριση σε αλλαγές συνθηκών και του εν δυνάμει αντίκτυπου στις χρήσεις ισχύος.

Ο Jurinak et al. (1984) χρησιμοποίησε το TRNSYS για την προσομοίωση της απόδοσης ενός κύκλου εξαερισμού με τη βοήθεια ηλιακής ενέργειας για οικιακές εφαρμογές. Ο Howe (1983) χρησιμοποίησε το TRNSYS ως ένα εργαλείο προσομοίωσης για να μοντελοποιήσει ένα υβριδικό σύστημα συμπίεσης ατμού/αποξηραντικού μέσου για ένα εμπορικό κτίριο. Χρησιμοποίησε την απλή μέθοδο αναλογίας για τη μοντελοποίηση του αφυγραντήρα. Ο Burns (1985) προσομοίωσε το υβριδικό σύστημα για ένα σούπερ μάρκετ Jewel στο Σικάγο. Οι Smith και Hwang (1992) πραγματοποίησαν μια προσομοίωση ενός συστήματος ψύξης αποξηραντικού μέσου ως μοντέλο απόδειξης της έννοιας για να δείξουν ότι το μοντέλο τροχού αφυγραντήρα που ανέπτυξαν μπορούσε να χρησιμοποιηθεί στο TRNSYS. Ο Burns (1985) και οι Smith και Hwang (1992) ανέπτυξαν το μοντέλο αφυγραντήρα χρησιμοποιώντας συσχετισμούς αποτελεσματικότητας του Van den Bulck (Van den Bulck, et al., 1985a, b) και την απλή μέθοδο της αναλογίας του Bank (1972).

Η παρούσα εργασία χρησιμοποιεί το μοντέλο αφυγραντήρα και την υπορουτίνα TRNSYS απόδειξης της έννοιας συστήματος ψύξης αποξηραντικού μέσου που αναπτύχθηκε από τους Smith και Hwang (1992) για την προσομοίωση και βελτιστοποίηση ενός συστήματος κλιματισμού με τη βοήθεια ηλιακής ενέργειας με μια εφεδρική σερπαντίνα ψύξης και τη διενέργεια μιας οικονομικής ανάλυσης του συστήματος της προσομοίωσης. Το κύριο θέμα είναι η βελτιστοποίηση του συστήματος με βάση τη θερμική απόδοση σύμφωνα με μεταβλητές παραμέτρους σχεδίασης. Η οικονομική ανάλυση θα πρέπει να αποδίδει παραμέτρους όπως την εξοικονόμηση κύκλου ζωής, κόστος κύκλου ζωής και περιόδους αποπληρωμής ως συναρτήσεις του προεξοφλητικού επιτοκίου αγοράς, κόστος καυσίμου, ποσοστό πληθωρισμού καυσίμου και γενικό ποσοστό πληθωρισμού για μια σειρά μεγεθών ηλιακού υποσυστήματος.

14. ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ **ΨΥΞΗΣ ΑΠΟΞΗΡΑΝΤΙΚΟΥ ΜΕΣΟΥ**

14.1 Εισαγωγή

Δύο σημαντικά και πολύ γνωστά πλεονεκτήματα των συστημάτων ψύξης αποξηραντικού μέσου είναι ότι είναι ελεύθερα από CFC και μπορούν να μειώσουν το φορτίο αιχμής ηλεκτρικού. Ακόμα ένα σημαντικό αλλά λιγότερο γνωστό πλεονέκτημα της τεχνολογίας αποξηραντικού μέσου είναι η δυνατότητα διατήρησης της ενέργειας.

Τα συστήματα αποξηραντικού μέσου είναι τεχνολογία ψύξης με ενεργοποίηση θερμότητας με ηλεκτρισμό για τη λειτουργία των κινητήρων. Με τις πρόσφατες εξελίξεις στην τεχνολογία αποξήρανσης, τα συστήματα αποξήρανσης μπορούν τώρα να επιτύχουν κύριο συντελεστή (COP) ενέργειας μεταξύ 1,3 και 1,5, με δυνατότητα να ανέβει στο 1,7 ή και ψηλότερα. Εξελίσσεται σε μια από τις σημαντικότερες εναλλακτικές στα συμβατικά συστήματα ψύξης. Σε αυτή την ενότητα, οι μελέτες ενεργειακών επιπτώσεων εστιάζουν κυρίως στους εμπορικούς και οικιστικούς τομείς. Το δυναμικό εξοικονόμησης ενέργειας για τον βιομηχανικό τομέα επίσης αναλύεται. Συγκρίσεις της κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας συστημάτων ψύξης αποξηραντικής ουσίας και συστήματα συμβατικής ψύξης βασίζεται στις ακόλουθες υποθέσεις:

- Οι COP συμβατικών συστημάτων ψύξης είναι μεταξύ 2,0 και 3,0, που προτάθηκε από τον Blue et al..
- Η διείσδυση στην αγορά των συστημάτων αποξηραντικού μέσου είναι 30%.
- Τα συστήματα αποξηραντικού μέσου καταναλώνουν 77,5% πρωτογενή ενέργεια και 22,5% ηλεκτρική ενέργεια.
- Η κατανάλωση ενέργειας εμπορικής και οικιακής ψύξης είναι αυτή που υπάρχει σε δημοσιευμένα δεδομένα.
- Για σύγκριση, οι COP συστήματος αποξηραντικού μέσου είναι 1,0, 1,3 και 1,7.
- Ο συντελεστής μετατροπής της πρωτογενούς ενέργειας σε ηλεκτρική ενέργεια είναι 3.
- Το φυσικό αέριο είναι η εναλλακτική πηγή ενέργειας για ψύξη αποξηραντικού μέσου.

14.2 Οικιακή ψύξη

Ένα σύνολο 0,4 quad ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιείται για οικιακή ψύξη, που είναι περισσότερο από 1,2 quad κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας. Μια μελέτη ενεργειακού αντίκτυπου που συγκρίνει τα συστήματα συμβατικής ψύξης και εκείνα αποξήρανσης μπορεί να δηλώσει τις συνθήκες υπό τις οποίες τα συστήματα ψύξης αποξηραντικού μέσου μπορούν να είναι ανταγωνιστικά με τα συμβατικά συστήματα και το πιο σημαντικό, πόση ενέργεια, εάν ισχύει, μπορεί να εξοικονομηθεί. Ο Πίνακας 14.1 παρουσιάζει την εκτίμηση ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιείται για οικιακή ψύξη σε διαφορετικές περιοχές των ΗΠΑ. Χωρίς να προκαλεί έκπληξη, ο νότος έχει το υψηλότερο φορτίο ψύξης.

Πίνακας 14.1 Εκτίμηση ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιείται για οικιακή ψύξη

| Περιοχή | Πρωτογενής ενέργεια | Ηλεκτρική ενέργεια |
|-----------------|---------------------|--------------------|
| | (quads) | (quad) |
| Βορειοανατολικά | 0.093 | 0.031 |
| Βόρεια Κεντρικά | 0.183 | 0.061 |
| Νότος | 0.810 | 0.270 |
| Δύση | 0.114 | 0.038 |
| ΣΥΝΟΛΟ | 1.200 | 0.400 |

Οι πίνακες 14.2 και 14.3 παρουσιάζουν τον ενεργειακό αντίκτυπο των συστημάτων ψύξης αποξηραντικού μέσου εάν 30% των συμβατικών συστημάτων, με COP 2,0 και 3,0, αντίστοιχα, αντικατασταθούν από συστήματα ψύξης αποξηραντικού μέσου.

Πίνακας 14.2 Εκτίμηση ενεργειακού αντίκτυπου συστημάτων ψύξης αποξηραντικού μέσου (σε quad) για τον οικιακό τομέα λαμβάνοντας υπόψη το COP συστήματος συμβατικής ψύξης στο 2.0.

| Περιοχή | COP συστημάτων αποξήρανσης | | | | | | | | |
|-----------------|----------------------------|--------------|--------|-----------|--------------|--------|-----------|--------------|--------|
| | COP = 1,0 | | | COP = 1,3 | | | COP = 1,7 | | |
| | Ηλεκτρ. | Φυσικό αέριο | Καθαρό | Ηλεκτρ. | Φυσικό αέριο | Καθαρό | Ηλεκτρ. | Φυσικό αέριο | Καθαρό |
| Βορ./ανατολικά | -0.015 | 0.013 | -0.001 | -0.018 | 0.009 | -0.007 | -0.021 | 0.007 | -0.012 |
| Βόρεια κεντρικά | -0.030 | 0.026 | -0.002 | -0.036 | 0.018 | -0.014 | -0.040 | 0.013 | -0.024 |
| Νότος | -0.134 | 0.113 | -0.008 | -0.159 | 0.082 | -0.062 | -0.179 | 0.057 | -0.105 |
| Δύση | -0.018 | 0.016 | -0.001 | -0.022 | 0.011 | -0.009 | -0.025 | 0.008 | -0.015 |
| ΣΥΝΟΛΟ | -0.198 | 0.167 | -0.012 | -0.830 | 0.620 | -0.110 | -0.930 | 0.430 | -0.190 |

Ηλεκτρ.: η αλλαγή σε εισόδους πρωτογενούς ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Φυσικό αέριο: Η καθαρή αλλαγή στην κατανάλωση φυσικού αερίου, συμπεριλαμβανομένων και των αυξημένων απαιτήσεων για συστήματα ψύξης αποξηραντικού μέσου

και τη μειωμένη απαίτηση για εισόδους πρωτογενούς φυσικού αερίου για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Καθαρό: η καθαρή αλλαγή στη συνολική κατανάλωση ενέργειας.

Πίνακας 14.3 Εκτίμηση ενεργειακού αντίκτυπου συστημάτων ψύξης αποξηραντικού μέσου (σε quad) για τον οικιακό τομέα λαμβάνοντας υπόψη το COP συστήματος συμβατικής ψύξης στο 3,0.

| Περιοχή | Συστήματα αποξήρανσης | | | | | | | | |
|-----------------|-----------------------|---------------|---------|-----------|---------------|---------|-----------|---------------|--------|
| | COP = 1,0 | | | COP = 1,3 | | | COP = 1,7 | | |
| | Ηλεκτ ρ. | Φυσικ ό αέριο | Καθα ρό | Ηλεκτ ρ. | Φυσικ ό αέριο | Καθα ρό | Ηλεκτ ρ. | Φυσικ ό αέριο | Καθαρό |
| Βορ./ανατολικά | -0.009 | 0.021 | 0.013 | -0.013 | 0.015 | 0.003 | -0.017 | 0.011 | -0.004 |
| Βόρεια κεντρικά | -0.018 | 0.041 | 0.025 | -0.026 | 0.030 | 0.006 | -0.033 | 0.022 | -0.008 |
| Νότος | -0.079 | 0.181 | 0.109 | -0.117 | 0.134 | 0.028 | -0.147 | 0.097 | -0.036 |
| Δύση | -0.011 | 0.025 | 0.015 | -0.016 | 0.019 | 0.004 | -0.021 | 0.014 | -0.005 |
| ΣΥΝΟΛΟ | -0.117 | 0.268 | 0.162 | -0.173 | 0.198 | 0.042 | -0.217 | 0.144 | -0.053 |

Ο πίνακας 14.2 παρουσιάζει το δυναμικό εξοικονόμησης ενέργειας του συστήματος αποξηραντικού μέσου εάν το COP συμβατικού ηλεκτρικού συστήματος είναι 2,0. Ο COP πρωτογενούς ενέργειας συστήματος αποξήρανσης 1,0 μπορεί τώρα να επιτευχθεί πολύ εύκολα. Ακόμα και σε αυτό το σχετικά χαμηλό COP, τα συστήματα αποξήρανσης μπορούν να μειώσουν την κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας κατά 0,012 quad, που αντιπροσωπεύει εξοικονόμηση 1,0%. Όταν ο COP συστήματος αποξήρανσης αυξάνεται σε 1,3 και κατόπιν σε 1,7, η εξοικονόμηση ενέργειας αυξάνει σε 7,7% και 13,0%, αντίστοιχα.

Όταν ο COP συμβατικού συστήματος ψύξης ηλεκτρικής ενέργειας είναι 3,0, ωστόσο, το σύστημα αποξηραντικού μέσου θα έχει μια καθαρή αύξηση στην κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας όταν ο COP πρωτογενούς ενέργειας συστήματος είναι 1,0 ή 1,3. Όταν ο COP αυξάνεται σε 1,7, ωστόσο, επιτυγχάνεται εξοικονόμηση ενέργειας 4,4%.

Επειδή τα υπάρχοντα συμβατικά συστήματα οικιακής ψύξης έχουν COP περίπου στο 2,0, τα συστήματα αποξηραντικού μέσου μπορεί να είναι πολύ ανταγωνιστικά σε ότι αφορά την θερμική απόδοση. Οι λόγοι που η τεχνολογία αποξήρανσης δεν έχει διεισδύσει στην αγορά για κατοικίες είναι ότι οι μονάδες αποξήρανσης είναι πολύ μεγάλες σε μέγεθος και τα χειριστήρια ελέγχου τους πολύπλοκα.

14.3 Εμπορική ψύξη

Ένα σύνολο 0,368 quad ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιείται για εμπορική ψύξη, που μεταφράζεται σε 1,102 quad κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας, όπως φαίνεται στον πίνακα 14.4. Ωστόσο, για εμπορικές εφαρμογές, το σύστημα αποξηραντικού μέσου είναι πιθανότερο να είναι ένα ενσωματωμένο κομμάτι του όλου συστήματος HVAC για λανθάνον φορτίο μόνο. Δεν υφίσταται άμεσος ανταγωνισμός με τα υπάρχοντα εμπορικά συστήματα στις περισσότερες περιπτώσεις. Η ακόλουθη σύγκριση είναι, κατά συνέπεια, μόνο για σκοπούς αναφοράς. Σωστότερα, η 30% διείσδυση στην αγορά μπορεί να μεταφραστεί ως 30% του λανθάνοντος φορτίου ψύξης το οποίο διαχειρίζονται τα συστήματα αποξηραντικού μέσου.

Πίνακας 14.4 Εκτίμηση ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιείται για εμπορική ψύξη

| Περιοχή | Πρωτογενής ενέργεια (quad) | Ηλεκτρική ενέργεια (quad) |
|-----------------|----------------------------|---------------------------|
| Βορειοανατολικά | 0.160 | 0.053 |
| Βόρεια Κεντρικά | 0.338 | 0.113 |
| Νότος | 0.458 | 0.153 |
| Βορειοδυτικά | 0.026 | 0.009 |
| Βουνό | 0.010 | 0.003 |
| Δυτική ακτή | 0.110 | 0.037 |
| ΣΥΝΟΛΟ | 1.102 | 0.368 |

Οι πίνακες 14.5 και 14.6 παρουσιάζουν τον ενεργειακό αντίκτυπο των συστημάτων ψύξης αποξηραντικού μέσου εάν 30% των συμβατικών συστημάτων, με COP 2,0 και 3,0, αντίστοιχα, αντικατασταθούν από συστήματα ψύξης αποξηραντικού μέσου.

Πίνακας 14.5 Εκτίμηση ενεργειακού αντίκτυπου συστημάτων ψύξης αποξηραντικού μέσου (σε quad) για τον εμπορικό τομέα λαμβάνοντας υπόψη το COP συστήματος συμβατικής ψύξης στο 2.0

| Περιοχή | COP συστημάτων αποξήρανσης | | | | | | | | |
|-----------------|----------------------------|-------|--------|-----------|-------|--------|-----------|-------|--------|
| | COP = 1,0 | | | COP = 1,3 | | | COP = 1,7 | | |
| | Ηλεκτ | Φυσικ | Καθα | Ηλεκτ | Φυσικ | Καθα | Ηλεκτ | Φυσικ | Καθαρό |
| Βορειοανατολικά | -0.017 | 0.014 | -0.001 | -0.002 | 0.010 | -0.008 | -0.022 | 0.007 | -0.013 |
| Βόρεια κεντρικά | -0.038 | 0.032 | -0.002 | -0.045 | 0.023 | -0.018 | -0.050 | 0.016 | -0.036 |
| Νότος | -0.045 | 0.038 | -0.003 | -0.054 | 0.028 | -0.021 | -0.061 | 0.019 | -0.036 |
| Βορειοδυτικά | -0.001 | 0.001 | 0.000 | -0.001 | 0.001 | 0.000 | -0.001 | 0.000 | -0.001 |
| Βουνό | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Δύση | -0.008 | 0.007 | 0.001 | -0.010 | 0.005 | -0.004 | -0.011 | 0.004 | -0.006 |
| ΣΥΝΟΛΟ | -0.109 | 0.092 | -0.007 | -0.130 | 0.067 | -0.051 | -0.146 | 0.047 | -0.086 |

Πίνακας 14.6 Εκτίμηση ενεργειακού αντίκτυπου συστημάτων ψύξης αποξηραντικού μέσου (σε quad) για τον εμπορικό τομέα λαμβάνοντας υπόψη το COP συστήματος συμβατικής ψύξης στο 3,0

| Περιοχή | COP συστημάτων αποξήρανσης | | | | | | | | |
|-----------------|----------------------------|-------|-------|-----------|-------|-------|-----------|--------|--------|
| | COP = 1,0 | | | COP = 1,3 | | | COP = 1,7 | | |
| | Ηλεκτ | Φυσι | Καθα | Ηλεκτ | Φυσικ | Καθα | Ηλεκτρ | Φυσικό | Καθαρό |
| Βορειοανατολική | -0.010 | 0.023 | 0.014 | -0.015 | 0.017 | 0.004 | -0.019 | 0.012 | -0.005 |
| Βόρεια κεντρικά | -0.022 | 0.051 | 0.031 | -0.033 | 0.038 | 0.008 | -0.041 | 0.027 | -0.010 |
| Νότος | -0.027 | 0.061 | 0.037 | -0.040 | 0.045 | 0.010 | -0.050 | 0.033 | -0.012 |
| Βορειοδυτικά | -0.001 | 0.001 | 0.000 | -0.001 | 0.001 | 0.000 | -0.001 | 0.000 | -0.001 |
| Βουνό | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Δύση | -0.005 | 0.011 | 0.007 | -0.007 | 0.008 | 0.002 | -0.009 | 0.006 | -0.002 |
| ΣΥΝΟΛΟ | -0.064 | 0.147 | 0.089 | -0.095 | 0.109 | 0.023 | -0.420 | 0.410 | -0.040 |

Όπως φαίνεται στους παραπάνω πίνακες, η εξοικονόμηση ενέργειας είναι μόνο 8% το μέγιστο για συστήματα αποξηραντικού μέσου. Υπάρχει ωστόσο κρυφή εξοικονόμηση. Υπάρχει πάντα μείωση στη χρήση ηλεκτρικού ρεύματος, που σημαίνει ότι το λειτουργικό κόστος των συστημάτων αποξηραντικού μέσου θα είναι χαμηλότερο εξαιτίας της διαφοράς τιμής μεταξύ της ηλεκτρικής ενέργειας και του φυσικού αερίου. Επίσης, ο εξοπλισμός για συμβατικά συστήματα μπορεί να μικρύνει σε μέγεθος επειδή ο χειρισμός του λανθάνοντος φορτίου γίνεται τώρα από το σύστημα αποξηραντικού μέσου. Επειδή δεν υπάρχει απευθείας ανταγωνισμός με τα συμβατικά συστήματα HVAC και η τεχνολογία σε αυτόν τον τομέα είναι σχετικά ώριμη, η μελλοντική ανάπτυξη της αγοράς συστημάτων αποξήρανσης θα πραγματοποιηθεί πιθανότητα πρώτα στον εμπορικό τομέα.

14.4 Βιομηχανική αφύγρανση και ξήρανση

Στο παρελθόν, η τεχνολογία αποξηραντικού μέσου εφαρμόστηκε στη βιομηχανία όταν η απαιτούμενη υγρασία δεν μπορούσε να επιτευχθεί οικονομικά με συμβατικά συστήματα. Το υψηλό αρχικό κόστος και σχετικά χαμηλές θερμικές αποδόσεις έχουν εμποδίσει της ευρεία αποδοχή τους. Επειδή αυτός είναι ένας εξειδικευμένος μικρός τομέας της αγοράς, δεν υπάρχει μαζική παραγωγή αυτού του εξοπλισμού, ούτε υπάρχει κάποιο κίνητρο για τους λίγους κατασκευαστές που εμπλέκονται για μια αλλαγή της κατάστασης.

Τα συστήματα αποξηραντικού μέσου μπορεί να είναι άριστοι εξοικονομητές ενέργειας για βιομηχανική αφύγρανση και ψύξη, ωστόσο, εάν η απορριπτόμενη θερμότητα μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Το 1980, τα ρεύματα απορριπτόμενης θερμότητας από τη βιομηχανία υπολογίστηκαν συνολικά στα 6,7 quad, από τα οποία περίπου 5 quad είναι σε θερμοκρασίες των 500° F ή κάτω. Αυτή η θερμοκρασία είναι ιδανική για αναγέννηση αποξηραντικού μέσου. Εντυπωσιακή εξοικονόμηση ενέργειας θα ήταν το αποτέλεσμα εάν τα συστήματα αποξηραντικού μέσου συνδυάζονταν με αυτή την απορριπτόμενη θερμότητα.

Επιπρόσθετα, μεγάλη εξοικονόμηση ενέργειας μπορεί να επιτευχθεί χρησιμοποιώντας τεχνολογία αποξήρανσης για:

- Αποτροπή φθοράς των κτιρίων από τη μούχλα (Δαπάνη ενέργειας για την κατασκευή υλικών αντικατάστασης).
- Αποτροπή φθοράς αποθηκευμένης σοδιάς και προϊόντων μετάλλου (Επένδυση ενέργειας για την αύξηση παραγωγής για αντιστάθμιση των απωλειών αποθήκευσης, που μπορεί να υπερβεί το 10 με 20% σε πολλές περιπτώσεις).
- Μείωση ενέργειας που δαπανάται για τη θέρμανση αποθηκών το χειμώνα για έλεγχο της υγρασίας (Ευρωπαίοι κατασκευαστές και αποθήκες μειώνουν τη θερμοκρασία σε χώρους αποθήκευσης στους 45°F, χρησιμοποιώντας αφυγραντήρες αποξηραντικού μέσου για τη διασφάλιση ελέγχου υγρασίας σε κλάσμα του ενεργειακού κόστους για θέρμανση στους 60 ή 65°F).
- Μείωση κατανάλωση ενέργειας για την ψύξη κατεψυγμένων χώρων αποθήκευσης με τη χρήση μονάδας αποξηραντικού μέσου για την αφαίρεση του λανθάνοντος φορτίου στη φάση ατμού αποτελεσματικότερα από ότι μπορεί να αφαιρεθεί σε περιοδικούς κύκλους απόψυξης.

14.5 Συμπέρασμα

Εκτός του ότι είναι περιβαλλοντικά ασφαλές και ικανό να μειώσει το φορτίο αιχμής ηλεκτρικού ρεύματος, οι μελέτες ενεργειακού αντίκτυπου των συστημάτων αποξηραντικού μέσου σε εμπορικές και οικιστικές αγορές έδειξε ότι εξοικονόμηση ενέργειας μέχρι 13% στο τομέα κατοικίας και μέχρι 8% στον εμπορικό τομέα είναι δυνατή. Για το βιομηχανικό τομέα, η μεγάλη δυνατότητα εξοικονόμησης ενέργειας είναι στο συνδυασμό της απορριπτόμενης θερμότητας με συστήματα αποξηραντικού μέσου. Ορισμένα κρυφά οικονομικά οφέλη θα πρέπει να αναφερθούν, όπως η μείωση του λειτουργικού κόστους και η μείωση του μεγέθους του συμβατικού εξοπλισμού HVAC.

15. ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΣΤΕΡΕΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΠΟΞΗΡΑΝΣΗΣ

15.1 Εισαγωγή

Υπάρχει μεγάλη ποικιλία στερεών υλικών αποξήρανσης. Πολλά περισσότερα βρίσκονται υπό εξέλιξη. Για να προσδιοριστεί πια από αυτά τα υλικά είναι πιθανό να φανούν χρήσιμα για μια δεδομένη εφαρμογή, είναι σημαντικό να γίνει κατανοητή η επίδραση των ιδιοτήτων του υλικού στην απόδοση του συστήματος αποξήρανσης. Τα υλικά αποξήρανσης που μπορεί να είναι ιδανικά βιομηχανικές εφαρμογές βαθιάς ξήρανσης μπορεί να έχουν περιορισμένη χρησιμότητα για έλεγχο υγρασίας και εξοπλισμό ψύξης που λειτουργεί στη ζώνη άνεσης ανθρώπου.

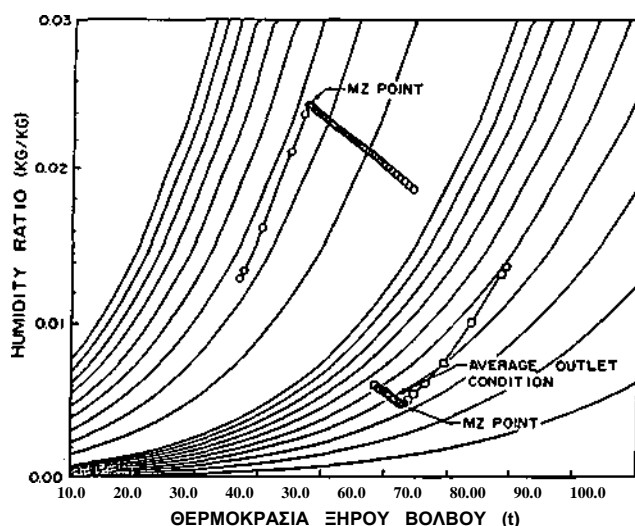
Τρεις βασικοί στόχοι για την απόδοση αποξηραντικών μέσων στην εφαρμογή ψύξης, περιλαμβάνουν:

- Μεγιστοποίηση της αφαίρεση υγρασίας δεδομένων των περιορισμών των δύο επόμενων στόχων,
- Χρήση του μικρότερου ποσού (και χαμηλότερου κόστους) θερμικής ενέργειας για αναγέννηση του αποξηραντικού μέσου και
- Χρήση τις μεθόδου μικρότερου κόστους ψύξης για αφαίρεση της αισθητής θερμότητας που έχει προκύπτει από τη διαδικασία αφύγρανσης.

Αυτό το κεφάλαιο ασχολείται με αυτά τα θέματα, αναπτύσσοντας τις επιπτώσεις διαφορετικών χαρακτηριστικών ρόφησης-εκρόφησης αποξηραντικών μέσων στην απόδοση συστήματος.

15.2 Σπουδαιότητα των ιδιοτήτων υλικών αποξήρανσης

Η επίδραση που έχουν οι ιδιότητες υλικού αποξήρανσης στη συνολική απόδοση του συστήματος των συστημάτων αφύγρανσης αποξηραντικού μέσου μπορεί να γίνει καλύτερα κατανοητός με τη ψυχομετρική εξέταση των διεργασιών που προκύπτουν εντός του αφυγραντήρα. Για τις διεργασίες αναγέννησης και αφύγρανσης, υπάρχουν δύο θεμελιώδη μέτωπα κύματος που προκύπτουν. Το πρώτο και ταχύτερο κύμα είναι κατά κύριο λόγο ένα θερμικό μέτωπο που επηρεάζεται περισσότερο από το συνολικό ποσό χωρητικότητας θερμικής ενέργειας που



Σχήμα 15.1 Συνθήκες αέρα εξόδου

σχετίζεται με τον αφυγραντήρα. Το δεύτερο και βραδύτερο κύμα είναι το μέτωπο κύματος κύριας συγκέντρωσης με ισχυρά σχετιζόμενες θερμικές επιπτώσεις.

Οι συνθήκες αέρα εξόδου που σχετίζονται με αυτά τα δύο κύματα παρουσιάζονται στο ψυχομετρικό διάγραμμα στο σχήμα 15.1. Ο τόπος σημείων εμφανίζει τις χρονικά εξαρτώμενες συνθήκες αέρα εξόδου για τις διαδικασίες αναγέννησης και αφύγρανσης. Ένας σταθερός διαρρευσας χρόνος υπάρχει μεταξύ του κάθε σημείου χάραξης.

Για τη διαδικασία αφύγρανσης, το πρώτο κύμα αναπαριστάται από τον τόπο των σημείων μεταξύ της κατάστασης αναγέννησης και μιας θέσης ελάχιστης απόλυτης υγρασίας. Ο αέρας εξόδου παραμένει κοντά ή στην κατάσταση αυτή για αρκετό χρόνο και κατόπιν υπόκειται στη βαθμιαία διέλευση του κύριου κύματος συγκέντρωσης, που δημιουργεί ένα τόπο σημείων που συνδέει αυτό το σημείο ελάχιστης απόλυτης υγρασίας με τις συνθήκες αέρα εισαγωγής. Αυτό το σημείο στο ψυχομετρικό διάγραμμα έχει ονομαστεί MZ ή συνθήκη κεντρικής ζώνης που υπάρχει μεταξύ των δύο διερχόμενων μετώπων κυμάτων.

Μια κατάσταση όμοια με εκείνη της διεργασίας αφύγρανσης υπάρχει για τη διαδικασία αναγέννησης. Το πρώτο και ταχύτερο μέτωπο κύματος δημιουργεί ένα τόπο σημείων που ξεκινά στις συνθήκες εισαγωγής αφυγραντήρα και επεκτείνεται γρήγορα σε ένα σημείο μέγιστης υγρασίας εξαγωγής. Ο αέρας παραμένει σε αυτή την κατάσταση για μια χρονική περίοδο και κατόπιν υφίσταται τη διέλευση του κύριου μετώπου συγκέντρωσης με τις συνθήκες εξαγωγής να πλησιάζουν βαθμιαία τις συνθήκες αναγέννησης αέρα εισαγωγής και μεταβαίνει γρήγορα σε ένα σημείο μέγιστης υγρασίας εξαγωγής. Ο αέρας παραμένει σε αυτή την κατάσταση για μια χρονική περίοδο και κατόπιν υφίσταται τη διέλευση του κύριου μετώπου συγκέντρωσης με τις συνθήκες εξαγωγής να πλησιάζουν βαθμιαία τις συνθήκες αναγέννησης αέρα εισαγωγής.

Είναι σημαντικό να επισημανθεί ότι η απόδοση του συστήματος βασίζεται στις μέσες συνθήκες αέρα εξαγωγής που αναπαριστούν τις επιπτώσεις μέσου χρόνου ή θέσης του πρώτου και του δεύτερου κύματος που σχετίζονται με τη μεταφορά μάζας και μετάδοση θερμότητας εντός του πλέγματος αποξηραντικού μέσου. Όπως θα δείξουμε αργότερα, οι πλεονεκτικότερες θερμοδυναμικά συνθήκες για βέλτιστη λειτουργία κύκλου είναι τα δύο σημεία MZ που σχετίζονται με τις διαδικασίες αναγέννησης και αφύγρανσης.

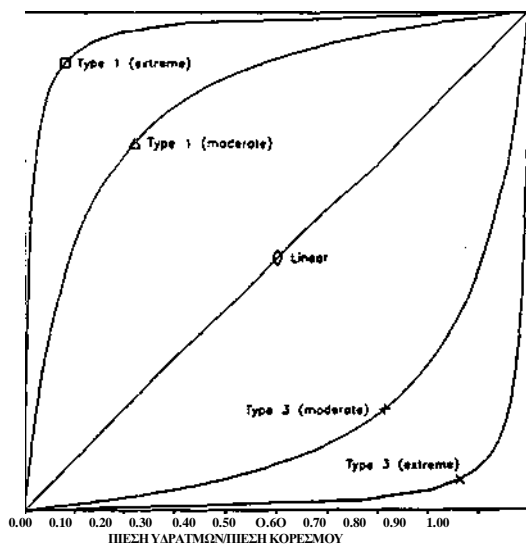
Στην πλευρά της αφύγρανσης, η θέση της κατάστασης αέρα εξαγωγής στο ψυχομετρικό διάγραμμα είναι κρίσιμη για τον καθορισμό της βέλτιστης απόδοσης του συστήματος. Όσο χαμηλότερη είναι η απόλυτη υγρασία, τόσο υψηλότερη είναι η ικανότητα αφύγρανσης του συστήματος. Όσο υψηλότερη είναι η θερμοκρασία, τόσο υψηλότερη θα είναι η θερμοκρασία προθέρμανσης του αέρα αναγέννησης. Αυτό μειώνει το ποσό της απαιτούμενης εξωτερικής θερμικής ενέργειας που απαιτείται για την αναγέννηση του αποξηραντικού μέσου και κατά συνέπεια αυξάνει το θερμικό COP. Η επίδραση του πρώτου κύματος είναι να αυξήσει τη μέση υγρασία εξαγωγής και τη μέση θερμοκρασία εξαγωγής. Η επίδραση του δεύτερου κύματος είναι να αυξήσει τη μέση υγρασία εξαγωγής και να μειώσει τη μέση θερμοκρασία εξαγωγής. Προκειμένου να επιτευχθεί η μέγιστη δυνατή απόδοση, είναι απαραίτητη η αποφυγή σημαντικών διελεύσεων του δεύτερου μετώπου κύματος και η αύξηση της ταχύτητας του πρώτου μετώπου κύματος. Τότε η μέση συνθήκη αέρα εξαγωγής θα είναι όσο το δυνατόν πλησιέστερα στο σημείο MZ (θερμοδυναμικά βέλτιστο).

Στην πλευρά της αναγέννησης ισχύει μια παρόμοια κατάσταση, αν και οι επιπτώσεις των μέσων συνθηκών αέρα εξαγωγής για απόδοση συστήματος δεν εκτιμώνται ευρέως. Η μέση συνθήκη αέρα εξαγωγής για τη διαδικασία αναγέννησης αναπαριστά υποθετικά την ελάχιστη θερμοδυναμική διαθεσιμότητα που είναι συνεπής με τα όρια Clausius-Clapeyron του κύκλου. Η συνθήκη αέρα που είναι συνεπής με αυτή την υπόθεση είναι το σημείο MZ για αναγέννηση, δηλώνοντας ξανά ότι η αποφυγή διέλευσης μετώπου κύματος συγκέντρωσης είναι σημαντική για την επίτευξη της μέγιστης απόδοσης.

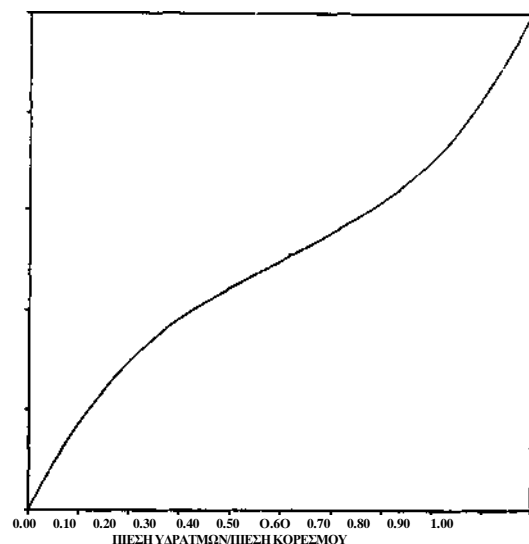
Η συζήτηση που προηγήθηκε προσπάθησε να παρουσιάσει ότι η κύρια λειτουργία του υλικού αποξηράνσης είναι μια διαδικασία αποξηράνσης σε μια διαδικασία αφύγρανσης υψηλής ενεργειακής απόδοσης θα πρέπει να είναι η παραγωγή των αιχμηρότερων μετώπων κύματος συγκέντρωσης για τις διαδικασίες αναγέννησης και αφύγρανσης. Το πόσο αιχμηρά θα είναι αυτά τα μέτωπα κύματος θα καθοριστεί από το μέγιστο επιτρεπτό πάχος του πλέγματος αποξηραντικού μέσου. Δυσκολίες που σχετίζονται με το βάρος, κατασκευή και πτώση πίεσης περιορίζουν όλες το μέγιστο δυνατό μήκος του στρώματος αποξηραντικού μέσου. Μια άλλη σημαντική πτυχή είναι η γεωμετρία που χρησιμοποιείται για την κατάλληλη τοποθέτηση αποξηραντικού μέσου εντός του πλέγματος. Για παράδειγμα, ένα πληρωμένο στρώμα σφαιρικών ή σχεδόν σφαιρικών σωματιδίων αποξηραντικού μέσου θα είναι η φθηνότερη διαμόρφωση προς κατασκευή. Ωστόσο, εξαιτίας του ορίου της επιτρεπόμενης πτώσης πίεσης εντός του συστήματος, αυτή η διαμόρφωση μπορεί να είναι μόνο περίπου 2 ίντσες σε μήκος. Από την άλλη πλευρά, οι γεωμετρίες καναλιού γραμμικής ροής με τοιχώματα φορτωμένα με αποξηραντικό μέσο μπορεί να είναι μέχρι και δύο πόδια σε μήκος χωρίς να υποφέρει από υπερβολικές απώλειες πίεσης και την συνεπακόλουθη απώλεια στο λόγο ενεργειακής απόδοσης (EER). Αυτά τα σχέδια υποφέρουν περισσότερο από κατασκευαστικούς περιορισμούς παρά από το όριο πτώσης πίεσης. Η κατασκευή φαίνεται να περιορίζει το μήκος του στρώματος σε οχτώ ή δέκα ίντσες. Αυτοί οι περιορισμοί υπαγορεύουν την κλίση μετώπου κύματος που απαιτείται για την επίτευξη του επιθυμητού στόχου.

15.3 Ιδιότητες ρόφησης των αποξηραντικών μέσων

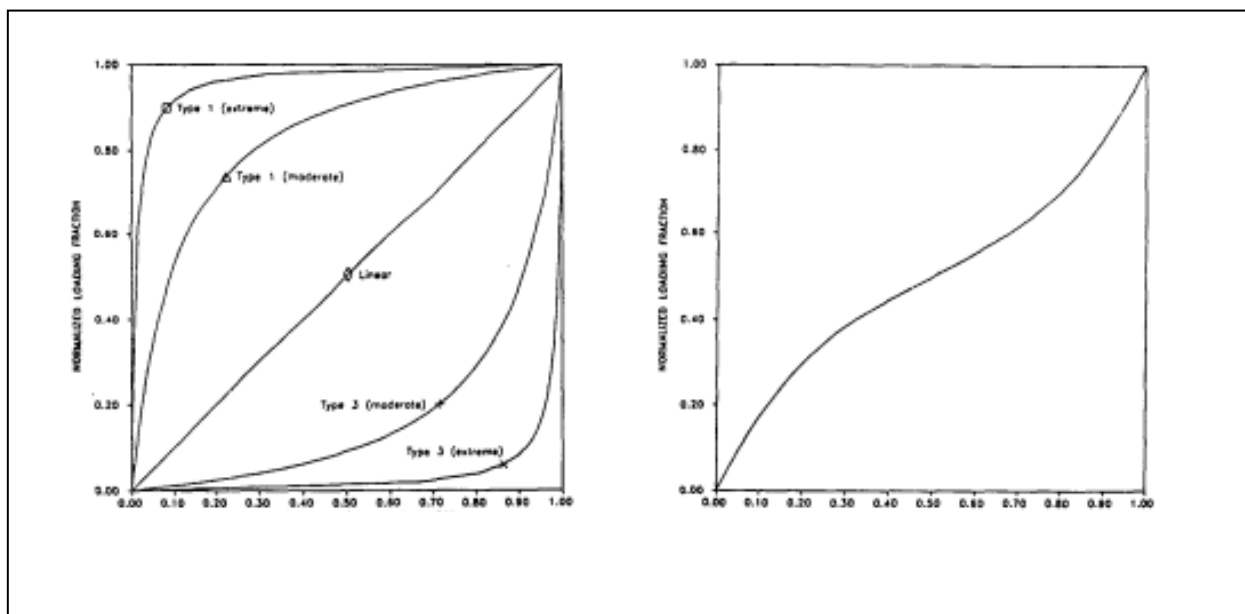
Οι ιδιότητες ρόφησης των αποξηραντικών μέσων γενικά καθορίζουν τα υλικά που θα χρησιμοποιηθούν. Αυτές οι ιδιότητες ρόφησης συνήθως απεικονίζονται από ένα γράφημα που ονομάζεται ισόθερμη. Οι ισόθερμες είναι γενικά γραφήματα κλασματικής φόρτωσης (βάρος νερού ανά μονάδα βάρους αποξηραντικής ουσίας) συναρτήσεως του βαθμού κορεσμού (δηλ., σχετική υγρασία). Οι ισόθερμες ρόφησης έχουν κατηγοριοποιηθεί από τον Brunauer και τους συνεργάτες του ανάλογα με τους μηχανισμούς ρόφησης που υφίστανται. Οι μηχανισμοί ρόφησης ορίζονται ως τύποι από 1 μέχρι 5. Αυτοί οι γενικοί τύποι Brunauer παρουσιάζονται στα σχήματα 15.2 μέχρι 15.5. Ορισμένα εμπορικά διαθέσιμα υλικά εμφανίζονται στο σχήμα 15.6. Μιλώντας γενικά, τα μοριακά κόσκινα θεωρούνται τύπου 1 υλικά, τα σιλικάτζέλ θεωρούνται τύπου 2 υλικά και το μαλλί θεωρείται τύπου 3 υλικό. Τα ενυδατούμενα άλατα ποικίλουν μεταξύ του τύπου 2 και τύπου 3.



Σχήμα 15.2 Ισόθερμες Brunauer τύπων 1 και 3 συγκρινόμενες με μια γραμμική ισόθερμη ρόφησης

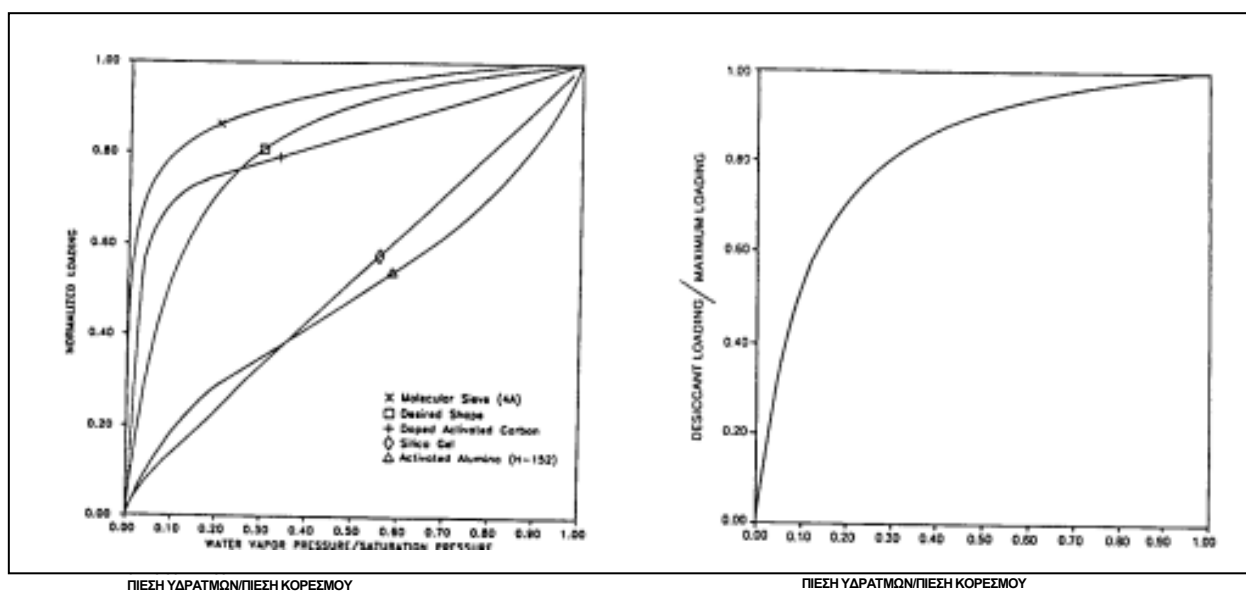


Σχήμα 15.3 Ισόθερμη τύπου 2 Brunauer



Σχήμα 15.4 Ισόθερμη τύπου 4 Brunauer

Σχήμα 15.5 Ισόθερμη τύπου 5 Brunauer



Σχήμα 15.6 Ισόθερμες προσρόφησης τυπικών αποξηραντικών μέσων

Σχήμα 15.7 Ιδανική ισόθερμη για εφαρμογές ψύξης αποξήρανσης

15.4 Ιδιότητες ενέργειας προσρόφησης των αποξηραντικών μέσων

Η ενέργεια προσρόφησης είναι η θερμότητα που απελευθερώνεται ή απορροφάται κατά τη διάρκεια της διαδικασίας προσρόφησης/εκρόφησης. Είναι μια πολύ σημαντική ιδιότητα του υλικού της οποίας ο ρόλος έχει παρουσιαστεί εσφαλμένα στα περισσότερα συγγράμματα που αφορούν κύκλους αφύγρανσης αποξηραντικού μέσου. Είναι πολύ σημαντικό να κατανοηθεί ότι η εξάρτηση θερμοκρασίας του σχήματος ισόθερμης και η ενέργεια προσρόφησης δεν είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους. Αυτό σημαίνει, οποιοδήποτε σχήμα ισόθερμης με οποιαδήποτε ενέργεια προσρόφησης μπορεί υποθεθεί σε οποιαδήποτε δεδομένη θερμοκρασία. Ωστόσο, για οποιαδήποτε άλλη θερμοκρασία, το σχήμα της ισόθερμης θα καθορίζεται μοναδικά από τη θερμότητα προσρόφησης στη συγκεκριμένη θερμοκρασία και φόρτωση. Η φυσική που συνδέει αυτές τις ιδιότητες καθορίζεται από τη σχέση Clausius-Clapeyron, που αποτελεί συνέπεια του Δεύτερου Νόμου της Θερμοδυναμικής.

Η φύση της διαδικασίας προσρόφησης επιβάλλει ότι η θερμότητα προσρόφησης δεν είναι σταθερή σε όλο το εύρος φόρτωσης αποξηραντικού μέσου. Τα πρώτα μόρια που προσαρτώνται στην επιφάνεια του αποξηραντικού μέσου συνδέονται με τις ισχυρότερες διαθέσιμες δυνάμεις στο σύστημα. Συνεπώς, οι υψηλότερες ενέργειες προσρόφησης (ισχυρότεροι δεσμοί) θα σχετίζονται με αυτά τα μόρια. Καθώς οι διαθέσιμοι χώροι για δημιουργία δεσμών καλύπτονται, δηλ., η φόρτωση αποξηραντικού μέσου αυξάνει, οι λιγότερο ενεργητικοί χώροι καταλαμβάνονται. Καθώς το αποξηραντικό μέσο προσεγγίζει τις συνθήκες κορεσμού, οι ενέργειες δεσμών πλησιάζουν την απλή συμπίκνωση. Οι θερμότητες προσρόφησης θα είναι τότε μέγιστες σε μηδενική φόρτωση νερού και ελάχιστες (δηλ. θερμότητα συμπίκνωσης για νερό) στη μέγιστη φόρτωση νερού. Ο ρυθμός με τον οποίο αλλάζει αυτή η ενέργεια με τη φόρτωση νερού θα διαφέρει ανάλογα με το υλικό.

Η επίδραση που έχει η ενέργεια προσρόφησης στο σχήμα της ισόθερμης παρουσιάζεται στο σχήμα 15.8 Το σχήμα ισόθερμης αναφοράς είναι στους 80° F. Το υλικό αναφοράς έχει μέγιστη θερμότητα προσρόφησης ίση με 1,5 φορές τη θερμότητα εξάτμισης/συμπύκνωσης του νερού. Οι άλλες ισόθερμες εμφανίζουν την τελική συμπεριφορά για το ίδιο υλικό μόνο στους 175°F. Σε μια περίπτωση, η ενέργεια προσρόφησης μειώνεται γρήγορα από τη μέγιστη στην ελάχιστη τιμή. Παρατηρήστε ότι η επίπτωση της ενέργειας προσρόφησης είναι να μειώσει το βαθμό συμπεριφοράς τύπου 1 της ισόθερμης καθώς η θερμοκρασία αυξάνει. Αυτή είναι μια γενική συνέπεια του Δεύτερου Νόμου της Θερμοδυναμικής. Τα σχήματα των ισόθερμων των υλικών αποξήρανσης με ενέργειες προσρόφησης υψηλότερες από τη θερμότητα συμπίκνωσης για νερό προσεγγίζουν εκείνα ενός υλικού τύπου 3 καθώς η θερμοκρασία αυξάνει. Από την άλλη πλευρά, καθώς η θερμοκρασία μειώνεται, τα σχήματα των ισόθερμων προσεγγίζουν εκείνα του τύπου 1.

Τα περισσότερα από τα κοινά υλικά αποξήρανσης έχουν σχετικά χαμηλές θερμότητες προσρόφησης που μειώνονται γρήγορα με τη φόρτωση. Η συμπεριφορά τους θα είναι παρόμοια με εκείνη που παρουσιάζεται από την καμπύλη στο σχήμα 15.8 με ονομασία "ταχεία σύγκλιση". Παρατηρείστε ότι το σχήμα της ισόθερμης δεν άλλαξε δραματικά με τη θερμοκρασία. Αυτός είναι και ο λόγος που η εξάρτηση από τη θερμοκρασία δεν αναγνωρίζεται γενικά στις περισσότερες ισόθερμες.

15.5 Περιγραφή των επιθυμητών ιδιοτήτων

Οι ιδιότητες του υλικού αποξηρανσης που επηρεάζουν περισσότερο την ικανότητα επίτευξης αποτελεσματικής κυκλικής αφύγρανσης του αέρα είναι:

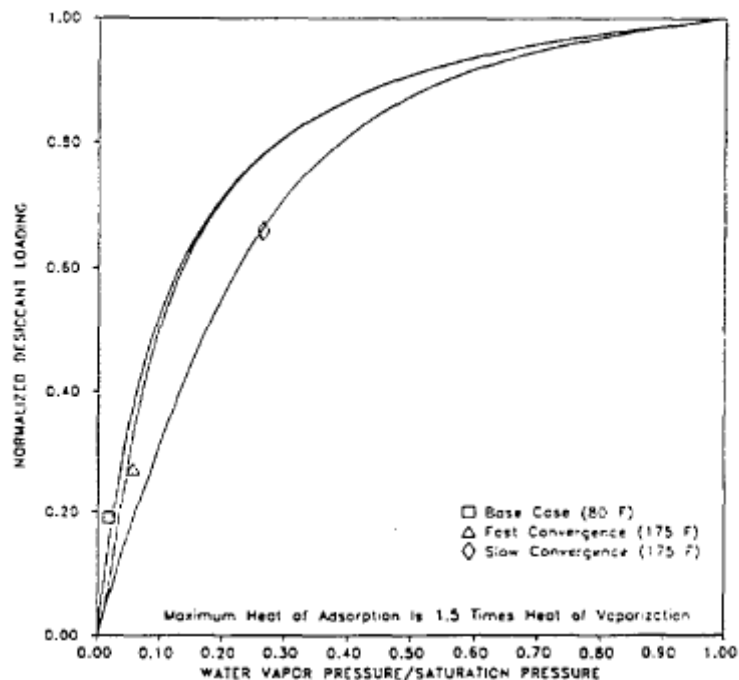
- Σχήμα ισόθερμης
- Ενέργεια προσρόφησης
- Μέγιστη αναρρόφηση
- Χημική και φυσική σταθερότητα.

15.5.1 Σχήματα ισόθερμων

Το σχήμα ισόθερμης αποξηραντικού μέσου είναι σημαντικότερος μεμονωμένος παράγοντας για τον καθορισμό των σχημάτων μετώπου κύματος εντός του πλέγματος αποξηραντικού μέσου. Ένα σχήμα ισόθερμης που θα έχει ως αποτέλεσμα τα απότομα μέτωπα κυμάτων που απαιτούνται εντός του μήκους 3,8 με 3,10 της ίντσας του πλέγματος αφυγραντήρα εμφανίζεται στο σχήμα 15.8. Αυτή η ισόθερμη χαρακτηρίζεται από τη την εξίσωση συντελεστή σταθερού διαχωρισμού:

$$SC = FC / (R + FC - R * FC),$$

όπου SC = σχετική συγκέντρωση στερεού,
FC = σχετική συγκέντρωση υγρού,
R = συντελεστής διαχωρισμού.



Σχήμα 15.8 Ισόθερμη τύπου 1M, συμπεριλαμβανομένων των επιπτώσεων της θερμότητας προσρόφησης

Ο συντελεστής διαχωρισμού που χρησιμοποιήθηκε στην ισόθερμη στο σχήμα 15.8 είναι 0,1. Αναπαριστά μια συμβιβαστική λύση μεταξύ των συμπεριφορών μετώπου κύματος συγκέντρωσης των διαδικασιών αναγέννησης και αφύγρανσης.

Συντελεστές διαχωρισμού μικρότεροι του 0,1 καθιστούν τα μέτωπα κύματος πιο απότομα κατά τη διάρκεια της διαδικασίας αφύγρανσης αλλά διευρύνουν τα μέτωπα κυμάτων κατά τη διάρκεια της διαδικασίας αναγέννησης. Για συντελεστές διαχωρισμού μεγαλύτερους από 0,1 συμβαίνει το αντίθετο: Μέτωπα κύματος φαρδαινουν κατά τη διάρκεια της διαδικασίας αφύγρανσης αλλά γίνονται πιο απότομα κατά τη διάρκεια της διαδικασίας αναγέννησης.

Η θερμοκρασία αναγέννησης παίζει σημαντικό ρόλο στον καθορισμό του συμβιβαστικού σχήματος ισόθερμης. Οι υψηλές θερμοκρασίες αναγέννησης καθιστούν πιο απότομα τα μέτωπα κυμάτων αναγέννησης καθώς η τιμή του συντελεστή διαχωρισμού μειώνεται και διευρύνει τα μέτωπα κυμάτων αναγέννησης καθώς η τιμή του συντελεστή διαχωρισμού αυξάνεται. Από την άλλη πλευρά, οι χαμηλές θερμοκρασίες αναγέννησης καθιστούν διευρύνουν τα μέτωπα κυμάτων αναγέννησης καθώς η τιμή του συντελεστή διαχωρισμού μειώνεται και καθιστά πιο απότομα τα μέτωπα κυμάτων αναγέννησης καθώς η τιμή του συντελεστή διαχωρισμού αυξάνεται.

Είναι σημαντικό να γίνει κατανοητό ότι η αποκαλούμενη "γραμμική" ισόθερμη ($R=1$) δεν παράγει συμμετρικά μέτωπα κυμάτων μεταξύ της αφύγρανσης και της αναγέννησης επειδή η διαδικασία είναι αδιαβατική.

Η επίδραση που η θερμοκρασία αναγέννησης έχει επί της απόδοσης του συστήματος είναι πολύ σημαντική για τον καθορισμό του κατάλληλου σχήματος ισόθερμης για το αποξηραντικό μέσο. Το δυναμικό αφύγρανσης του συστήματος αυξάνει με την αύξηση της θερμοκρασίας αναγέννησης. Υπάρχει ωστόσο ένα "σημείο μειώσιμων επιστροφών", επειδή η υγρασία στον αέρα πηγαίνει στο μηδέν ασυμπτωτικά.

Το καθαρό αποτέλεσμα είναι ότι επιθυμούμε την υψηλότερη δυνατή θερμοκρασία αναγέννησης που είναι συνεπής με την αποτελεσματική μετάδοση θερμότητας στο ρεύμα αέρα αναγέννησης και τη χημική και φυσική σταθερότητα του πλέγματος αποξηραντικού μέσου. Όσο υψηλότερη είναι αυτή η θερμοκρασία αναγέννησης, τόσο χαμηλότερη είναι η τιμή του συντελεστή διαχωρισμού που αποδίδει βέλτιστη απόδοση συστήματος.

15.5.2 Ενέργεια προσρόφησης

Η δεύτερη πιο σημαντική ιδιότητα του αποξηραντικού μέσου είναι η ενέργεια προσρόφησης. Υπάρχουν δύο πλευρές της ενέργειας προσρόφησης που είναι σημαντικές:

- Η μέγιστη τιμή ενέργειας προσρόφησης που προκύπτει σε μηδενική φόρτωση.
- Ο ρυθμός που η ενέργεια προσρόφησης μειώνεται για να γίνει η θερμότητα ατμοποίησης για το νερό σε υψηλότερες φορτώσεις.

Η επίδραση των υψηλών ενεργειών προσρόφησης είναι γενικά κακή και από την πλευρά του συστήματος και από την πλευρά του μετώπου κύματος. Από τη σκοπιά του συστήματος, οι υψηλές ενέργειες προσρόφησης μειώνουν την υγρασία εξόδου για μια δεδομένη θερμοκρασία αναγέννησης. Από τη σκοπιά του μετώπου κύματος, οι υψηλές ενέργειες προσρόφησης μειώνουν την ισχύουσα τιμή του συντελεστή διαχωρισμού για χαμηλές θερμοκρασίες και τον αυξάνει για υψηλές θερμοκρασίες.

Το αποτέλεσμα της υψηλής ενέργειας προσρόφησης είναι ότι τα μέτωπα κύματος αφύγρανσης και αναγέννησης διευρύνονται. Το μέτωπο κύματος αναγέννησης επηρεάζεται περισσότερο όταν η ενέργεια προσρόφησης μειώνεται γρήγορα με τη φόρτωση. Το μέτωπο κύματος αφύγρανσης

επιηρεάζεται περισσότερο όταν η ενέργεια προσρόφησης μειώνεται αργά με τη φόρτωση. Μιλώντας γενικά, η βέλτιστη τιμή του συντελεστή διαχωρισμού θα μειωθεί (θα γίνει σαν εκείνη του τύπου 1) καθώς αυξάνει η ενέργεια προσρόφησης. Αν και η απόδοση του συστήματος μειώνεται, η μείωση μπορεί να ελαχιστοποιηθεί με μικρή τροποποίηση του σχήματος της ισόθερμης. Επίσης είναι καλύτερο η μείωση της ενέργειας προσρόφησης το ταχύτερο δυνατό με τη φόρτωση. Αυτό θα επιτρέψει τα μέτωπα κύματος αναγέννησης να γίνουν πιο απότομα αυξάνοντας τη θερμοκρασία αναγέννησης.

Η ισόθερμη τύπου 1 που απεικονίζεται στο σχήμα 15.8 δεν είναι το μόνο δυνατό σχήμα ισόθερμης που μπορεί να παράγει τα απότομα μέτωπα κύματος που απαιτούνται. Πολλές εφαρμογές αφύγρανσης αποξηραντικού μέσου θα εκθέσουν σπάνια το αποξηραντικό μέσο σε σχετικές υγρασίες πάνω από 60% και όταν το κάνουν, η έκθεση μπορεί να είναι για μια σύντομη χρονική περίοδο, ώστε η απώλεια στην απόδοση του συστήματος που προκαλείται από ένα ακατάλληλο σχήμα ισόθερμης να μην επηρεάζει σημαντικά την εποχική απόδοση. Μια ισόθερμη τύπου 2 και τύπου 4 μπορεί τότε να είναι κατάλληλη εφόσον η δεύτερη παράγωγος της ισόθερμης είναι επαρκώς αρνητική για ένα εύρος σχετικών υγρασιών που συναντώνται περισσότερο από το σύστημα. Στη λέξη "επαρκώς" πρέπει να δοθεί έμφαση. Τα μέτωπα κύματος αφύγρανσης θα διευρυνθούν γρήγορα εάν η δεύτερη παράγωγος δεν είναι επαρκώς αρνητική. Μπορεί να δηλωθεί με σιγουριά ότι οι γραμμικές, τύπου 3 και τύπου 5 ισόθερμες δεν θα ικανοποιήσουν τις επιβαλλόμενες συνθήκες σχεδιασμού.

15.5.3 Μέγιστη αναρρόφηση

Η ιδιότητα αποξηραντικού μέσου έχει ιστορικά θεωρηθεί μια από τις σημαντικότερες. Αυτή η συμπεριφορά ήταν ενδεχομένως μια μεταφορά από εφαρμογές μεγάλου, στατικού πύργου πλήρωσης όπου οι διαφορές στη μέγιστη αναρρόφηση του υλικού αποξηραντικού μπορούσε να εξοικονομήσει εκατοντάδες ή ακόμα και χιλιάδες δολάρια σε κόστος υλικών. Το ποσό του αποξηραντικού μέσου σε ένα περιστρεφόμενο σύστημα είναι συγκριτικά αμελητέο.

Οι διαφορές στην ταχύτητα κύματος (η χρόνο διέλευσης) που προκαλείται από διαφορές στην αναρρόφηση του αποξηραντικού μέσου αντιμετωπίζονται με μια απλή αλλαγή στην ταχύτητα περιστροφής του πλέγματος αποξηραντικού μέσου. Δεν υπάρχουν καθόλου εγγενή πλεονεκτήματα στη συμπεριφορά μετώπου κύματος συγκέντρωσης που να σχετίζεται με τις χαμηλότερες ταχύτητες κύματος των αποξηραντικών μέσων με μεγάλες μέγιστες αναρροφήσεις.

Μπορεί ωστόσο να υπάρξει πρόβλημα, ωστόσο, με το μέτωπο θερμικού κύματος που σχετίζεται με την θερμική χωρητικότητα του συστήματος. Για ένα δεδομένο ποσό θερμικής χωρητικότητας, η ταχύτητα και το μέγεθος του πρώτου θερμικού μετώπου κύματος θα είναι σχεδόν ανεξάρτητο από τη μέγιστη αναρρόφηση του αποξηραντικού μέσου. Ωστόσο, η ταχύτητα και το μέγεθος του κύριου κύματος συγκέντρωσης θα επηρεαστεί σημαντικά από τη μέγιστη αναρρόφηση του αποξηραντικού μέσου. Το αποτέλεσμα είναι ότι οι συνθήκες αέρα εξόδου που σχετίζονται με το πρώτο κύμα σχηματίζουν ένα μεγαλύτερο κλάσμα των συνθηκών αέρα εξόδου του συνολικού κύκλου καθώς η μέγιστη αναρρόφηση του αποξηραντικού μέσου μειώνεται.

Αυτό προκαλεί την επιπλέον απόκλιση των μέσων συνθηκών αέρα εξόδου του κύκλου από τις συνθήκες MZ (θερμοδυναμικά βέλτιστο), με τη συνεπακόλουθη μείωση στην απόδοση του συστήματος. Μια υποτυπώδης αύξηση στο ποσό του αποξηραντικού μέσου ανά μονάδα όγκου πλέγματος δεν αποτελεί λύση, επειδή το ποσό της θερμικής χωρητικότητας θα αυξηθεί επίσης. Αυτή η αύξηση στη θερμική χωρητικότητα θα επιβραδύνει το πρώτο κύμα, διατηρώντας το ποσοστό του συνολικού χρόνου κύκλου σχεδόν το ίδιο.

Προσομοιώσεις υπολογιστή έχουν δείξει ότι η υποβάθμιση της απόδοσης συστήματος ψύξης που σχετίζεται με την θερμική χωρητικότητα υλικών αποξηραντικής (περίπου 0,2 Btu/lbm/°F) και μέγιστη αναρρόφηση αποξηραντικού μέσου 0,4 lbm νερού/lbm είναι πολύ μικρή.

Ωστόσο, για την ίδια αναρρόφηση, η αύξηση της θερμικής χωρητικότητας σε Btu/lbm/°F προκαλεί σημαντική απώλεια απόδοσης. Η θερμική χωρητικότητα ενός πλέγματος αποξηραντικού μέσου δεν σχετίζεται εξ ολοκλήρου με το ίδιο το υλικό αποξήρανσης. Πολλά σχέδια απαιτούν μια δομή υποστήριξης για να διατηρείται το αποξηραντικό μέσο στη θέση του. Η θερμική χωρητικότητα αυτής της δομής υποστήριξης προστίθεται στη θερμική χωρητικότητα του αποξηραντικού μέσου για να καταλήξει σε ορισμένες περιπτώσεις σε πολύ μεγάλες συνολικές θερμικές χωρητικότητες σε σύγκριση με εκείνες του ίδιου του όγκου αποξηραντικού μέσου. Είναι πιθανό, συνεπώς, ένας πίνακας αφυγραντήρα κατασκευασμένος εξ ολοκλήρου από αυτουποστηριζόμενο υλικό αποξήρανσης με σχετικά χαμηλή μέγιστη αναρρόφηση να αποφέρει μεγαλύτερη απόδοση συστήματος από ότι ένα αποξηραντικό μέσο με μια σχετικά μεγάλη αναρρόφηση που χρειάστηκε μια σημαντική δομή υποστήριξης για να αναπτυχθεί.

15.5.4 Χημική και φυσική σταθερότητα.

Είναι προφανές ότι η χημική και φυσική σταθερότητα είναι ιδιότητες τις οποίες θα πρέπει να κατέχει οποιοδήποτε αποξηραντικό μέσο. Υπάρχουν ωστόσο, δύο σημαντικές παράμετροι σε αυτή τη σταθερότητα που αξίζουν ιδιαίτερης προσοχής:

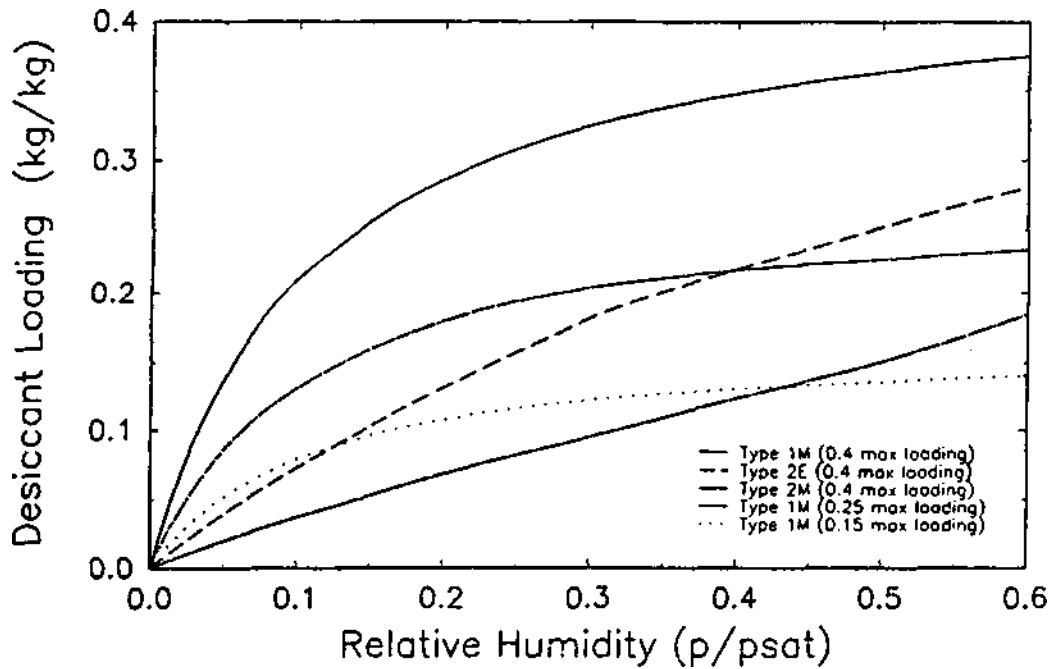
- η ικανότητα αντοχής μεγάλων θερμοκρασιών αναγέννησης και
- η ικανότητα αξιόπιστης αναγέννησης από αέρα περιβάλλοντος.

Πολλά αποξηραντικά μέσα βασίζονται σε δομές μοριακού κόσκινου που δεν είναι σταθερές σε υψηλές θερμοκρασίες. Οι απαιτήσεις για κύκλους αφύγρανσης αποξηραντικού μέσου υπαγορεύουν ότι οι ιδιότητες ρόφησης αποξηραντικού μέσου θα πρέπει να είναι σταθερές σε θερμοκρασίες μεταξύ των 300° F και 400° F. Ορισμένα αποξηραντικά μέσα βλάπτονται από την παρουσία συγκεκριμένων μορίων που έχουν μεγαλύτερη έλξη για τους ενεργούς χώρους από ότι οι υδρατμοί.

Άλλα αλλάζουν τη χημική τους σύνθεση παρουσία συγκεκριμένων ενώσεων που αλλάζουν τα χαρακτηριστικά ρόφησης νερού του αποξηραντικού μέσου. Επιμολύνσεις και ρύποι βρίσκονται στον αέρα που χρησιμοποιείται για επεξεργασία, καθώς και υπο-προϊόντα από την καύση του φυσικού αερίου (οξείδια του άνθρακα, αζώτου και θείου, αιωρούμενα σωματίδια, κτλ.). Έκθεση σε αυτές τις ουσίες δεν θα πρέπει να παρεμποδίζει ή να αλλάζει τα χαρακτηριστικά ρόφησης νερού του υλικού αποξήρανσης.

15.6 Ελλείμματα στα τρέχοντα υλικά αποξηραντικού μέσου και συστατικών μερών

Δεν είναι ξεκάθαρο αν κάποια από τα εμπορικά διαθέσιμα υλικά αποξήρανσης αναπτύχθηκαν για το συγκεκριμένο σκοπό της παροχής αφύγρανσης για κτίρια. Στις περισσότερες σημερινές εφαρμογές, η αναγκαιότητα επίτευξης αποτελεσματικής; αναγέννησης καθώς και η επίτευξη βαθιάς ξήρανσης του αέρα δεν έχουν ληφθεί υπόψη. Η απαίτηση για επίτευξη των πολύ αιχμηρών μετώπων κυμάτων προσρόφησης που σχετίζεται με τα μοριακά κόσκινα, μαζί με περισσότερο αποτελεσματικά χαρακτηριστικά αναγέννησης των σιλικατζέλ, καθιστά αυτή την εφαρμογή πραγματικά μοναδική εμπορικά. Δεν αποτελεί έκπληξη, ότι κανένα από τα εμπορικά διαθέσιμα αποξηραντικά μέσα δεν πληροί τις απαιτούμενες ιδιότητες.



Σχήμα 15.9 Προσομοιωμένες ισόθερμες για διάφορους τύπους αποξηραντικών μέσων

Οι προσομοιωμένες ισόθερμες διάφορων εμπορικών και εργαστηριακά ανεπτυγμένων αποξηραντικών μέσων παρουσιάζεται στο Σχήμα 15.9. Η τάση είναι να βλέπουμε γραμμικές ή σχεδόν γραμμικές (τύπου 2) ισόθερμες ή ισόθερμες ακραίου τύπου 1. Οι ισόθερμες ακραίου τύπου 1 σχεδόν πάντα σχετίζονται με πολύ μεγάλες ενέργειες προσρόφησης. Αυτό συμβαίνει επειδή η συμπεριφορά τύπου 1 συχνά επιτυγχάνεται με τη χρήση ιόντων νόθευσης. Αυτοί οι νοθευτές αποτελούν ένα περιορισμένο αριθμό ευνοϊκών, υψηλής ενέργειας θέσεων προσρόφησης. Μετά από την πλήρωση αυτών των θέσεων, συμπληρώνονται οι λιγότερο ενεργητικές θέσεις γονικού υλικού, με μια συνεπακόλουθη αλλαγή στο σχήμα της ισόθερμης.

16. ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ

16.1 Σύνοψη

Η υπολογιστική προσομοίωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποσκοπεί στην μελέτη ενός ηλιακού συστήματος κλιματισμού αποξηραντικού μέσου και στην ψυχομετρική ανάλυση της συμπεριφοράς του.

Ένας αφυγραντήρας αποξηραντικού μέσου σε συνδυασμό με ψύκτες εξάτμισης μπορούν να μειώσουν σημαντικά το λειτουργικό κόστος κλιματισμού εφόσον η ενέργεια που απαιτείται για τη λειτουργία ενός συστήματος ψύξης αποξηραντικού μέσου είναι μικρή και η πηγή αυτής της απαιτούμενης ενέργειας (ηλιακή, απορριπτόμενη θερμότητα, φυσικό αέριο) μπορεί να ποικίλει. Ένα τέτοιου τύπου σύστημα ψύξης αποξηραντικού μέσου με ένα εφεδρικό σύστημα συμπίεσης ατμών, προσομοιώνεται και η απόδοση του συστήματος αξιολογείται για τη μελέτη της πιθανότητας υλοποίησής του. Αυτή η μελέτη περιγράφει τους σχετικούς ψυχομετρικούς υπολογισμούς και αναλύσεις της ζώνης κλιματισμού που απαιτούνται για την προσομοίωση της απόδοσης μετάβασης του συστήματος.

Τα αποξηραντικά μέσα (ουσίες) είναι χημικά με μεγάλη έλξη προς την υγρασία. Απορροφούν (ή απελευθερώνουν) υγρασία εξαιτίας της διαφοράς στην πίεση ατμού μεταξύ της επιφάνειας του αποξηραντικού μέσου και του αέρα που το περιβάλλει. Η αφύγρανση λέγεται ότι προκύπτει όταν η πίεση ατμού της επιφάνειας του αποξηραντικού μέσου είναι μικρότερη από εκείνη του αέρα που το περιβάλλει. Η αφύγρανση συνεχίζεται μέχρι το υλικό αποξηραντικής να έρθει σε ισορροπία με τον αέρα που το περιβάλλει. Η αναγέννηση αυτού του αποξηραντικού μέσου λέγεται ότι προκύπτει όταν η πίεση ατμού του αποξηραντικού μέσου είναι μεγαλύτερη από εκείνη του περιβάλλοντος αέρα, που συνήθως επιτυγχάνεται με τη θέρμανση του αποξηραντικού μέσου στη θερμοκρασία αναγέννησής του και εκθέτοντας αυτό σε ένα ρεύμα αέρα.

Τα αποξηραντικά μέσα μπορούν να κατηγοριοποιηθούν είτε ως προσροφητικά μέσα, που απορροφούν υγρασία χωρίς συνεπακόλουθες φυσικές και χημικές αλλαγές ή απορροφητικά, που απορροφούν υγρασία με συνεπακόλουθες φυσικές και χημικές αλλαγές. Τα αποξηραντικά μέσα μπορεί να είναι υγρά ή στερεά και μπορούν να κρατούν υγρασία με προσρόφηση ή απορρόφηση όπως περιγράφεται νωρίτερα. Τα περισσότερα απορροφητικά μέσα είναι υγρά και τα περισσότερα μέσα προσρόφησης είναι στερεά..

16.2 Αρχή λειτουργίας συστήματος ψύξης στερεού αποξηραντικού μέσου

Τα στερεά αποξηραντικά μέσα είναι εμποτισμένα σε ένα στρώμα αφυγραντήρα, συνήθως ένα περιστροφικό δίσκο που περιστρέφεται αργά μεταξύ των ρευμάτων αέρα αναγέννησης και διεργασίας. Καθώς ο ζεστός και υγρός αέρας διεργασίας διέρχεται μέσω του τροχού αποξηραντικού μέσου, η υγρασία απομακρύνεται από το αποξηραντικό μέσο και η θερμοκρασία του αυξάνεται. Η θερμοκρασία αυτού του αέρα διεργασίας, που είναι τώρα θερμότερος και ξηρότερος, μειώνεται στις επιθυμητές συνθήκες άνεσης μέσω ψυκτών αισθητής ψύξης (π.χ. περιστροφικούς εναλλάκτες θερμότητας, ψύκτες εξάτμισης και σερπαντίνες ψύξης). Ο θερμός και υγρός αέρας επιστροφής από τον χώρο κλιματισμού θερμαίνεται επιπλέον στην επιθυμητή θερμοκρασία αναγέννησης του αποξηραντικού μέσου και αυτό το ρεύμα αναγέννησης του αέρα περνάει μέσα από τον τροχό αποξηραντικού μέσου για αφαίρεση της υγρασίας από το αποξηραντικό μέσο.

Τα πλεονεκτήματα χρήσης συστημάτων ψύξης αποξηραντικού μέσου περιλαμβάνουν τα παρακάτω:

(1) καταναλώνεται μικρό ποσό ηλεκτρικής ενέργειας και οι πηγές για την θερμική ενέργεια αναγέννησης μπορούν να είναι διαφορετικές (π.χ. ηλιακή ενέργεια, απορριπτόμενη θερμότητα, φυσικό αέριο)

(2) ένα σύστημα αποξηραντικού μέσου μπορεί να εξαλείψει ή μειώσει τη χρήση καταστροφικών για το όζον CFC (ανάλογα με το εάν χρησιμοποιείται ψύξη αποξηραντικού μέσου σε συνδυασμό με ψύκτες εξάτμισης ή συστήματα συμπίεσης ατμών, αντίστοιχα)

(3) έλεγχος της υγρασίας μπορεί να επιτευχθεί καλύτερα από ότι στις περιπτώσεις που χρησιμοποιούνται συστήματα συμπίεσης ατμών εφόσον αισθητή και λανθάνουσα ψύξη προκύπτουν ξεχωριστά και,

(4) βελτίωση στην ποιότητα αέρα εσωτερικού μπορεί να προκύψει εξαιτίας του υψηλού εξαερισμού και μεγάλων ροών αέρα που υιοθετούνται. Επίσης, τα συστήματα αποξηραντικού μέσου έχουν την ικανότητα αφαίρεσης αιωρούμενων επιμολύνσεων.

16.3 Περιβαλλοντικός κύκλος του Munters (MEC)

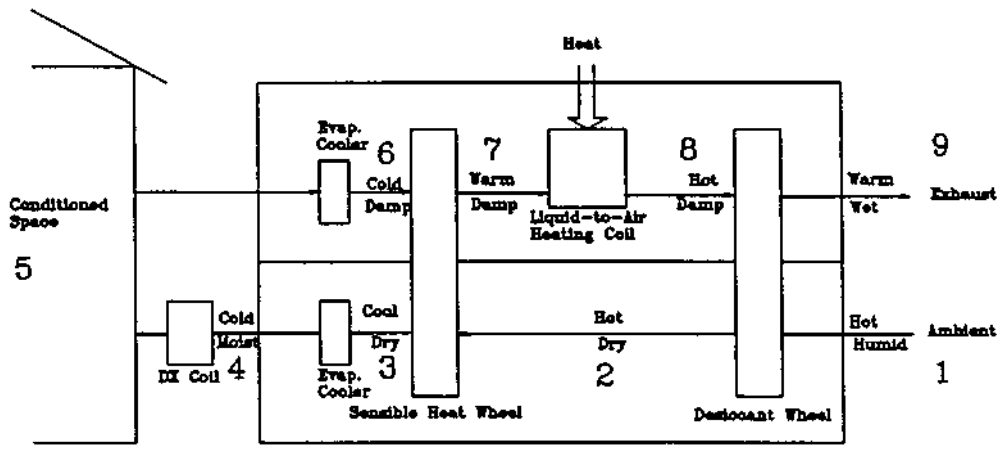
Το 1955, ο Pennington προκάλεσε κορεσμό σε ένα πλέγμα περιστροφικού εναλλάκτη θερμότητας με ένα διάλυμα αποξηραντικού μέσου πραγματοποιώντας ένα αδιαβατικό αφυγραντήρα αναγέννησης και συνδύασε αυτόν τον αφυγραντήρα με μια πηγή θερμότητας σε ένα ψύκτη εξάτμισης διπλής αναγέννησης (Pesaran et al., 1992). Ο περιβαλλοντικός κύκλος του Munters δεν είναι τίποτα άλλο παρά μια βελτίωση του διασημότερου κύκλου

(εξαερισμού) Pennington. Το 1968, ο Munters βελτίωσε τον κύκλο του Pennington εισάγοντας παράλληλα περάσματα. Το εφεδρικό σύστημα συμπίεσης ατμών παρασχέθηκε για να διαχειριστεί την ψύξη σε περίπτωση που ο κύκλος αποξηρανσης δεν είχε την ικανότητα να καλύψει τις απαιτήσεις ψύξης. Τα αποτελέσματα έδειξαν καθαρά ότι δεν υπήρχε ανάγκη για μια τέτοια εφεδρεία εφόσον το ίδιο το σύστημα ψύξης αποξηραντικού μέσου μπορούσε να καλύψει τις απαιτήσεις ψύξης και κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης, το σύστημα συμπίεσης ατμών δεν λειτούργησε σε καμία περίπτωση.

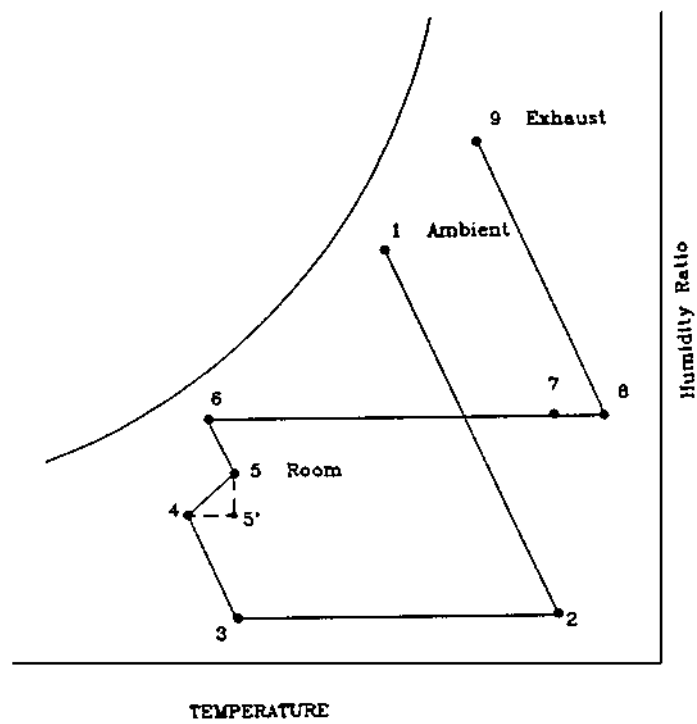
Το σχήμα 16.1 απεικονίζει ένα σχηματικό περιβαλλοντικού κύκλου ψύξης αποξηραντικού μέσου του Munter μαζί με μια εφεδρική σερπαντίνα ψύξης άμεσης εκτόνωσης (DX), ενώ το σχήμα 16.2 απεικονίζει τις αντίστοιχες ψυχομετρικές διεργασίες. Το σχήμα 16.3 δίνει ένα πλήρες σχηματικό διάγραμμα ενός συστήματος κλιματισμού αποξηραντικού μέσου ηλιακής υποβοήθησης που αποτελείται από δύο πλήρως διαχωρισμένα περάσματα, με το ένα να εξυπηρετεί το ρεύμα αέρα διεργασίας που κατευθύνεται άμεσα προς το χώρο κλιματισμού και το δεύτερο να εξυπηρετεί το ρεύμα αέρα αναγέννησης που κατευθύνεται προς την πλευρά εξαγωγής.

Ο κύκλος ψύξης αποξηραντικού μέσου με ηλιακή υποβοήθηση αποτελείται από τις ακόλουθες κύριες παραμέτρους προκειμένου να φέρει τον αέρα διεργασίας στις επιθυμητές συνθήκες άνεσης:

- (1) ένα περιστρεφόμενο τροχό εμποτισμένο με ένα πλέγμα διαβαθμισμένου σιλικατζέλ, που περιστρέφεται συνεχώς μεταξύ των ρευμάτων αέρα αναγέννησης και διεργασίας,
- (2) ένα τροχό αισθητής θερμότητας (περιστρεφόμενη γεννήτρια) που επίσης περιστρέφεται μεταξύ των ρευμάτων αέρα αναγέννησης και διεργασίας (ο τροχός μεταφέρει θερμότητα από την πλευρά επεξεργασίας στην πλευρά αναγέννησης)
- (3) ψύκτες αέρα εξάτμισης πλευράς διεργασίας και αναγέννησης
- (4) ένα υποσύστημα αποθήκευσης συλλέκτη ηλιακής ενέργειας για την παροχή της απαιτούμενης θερμικής ενέργειας για ψύξη,



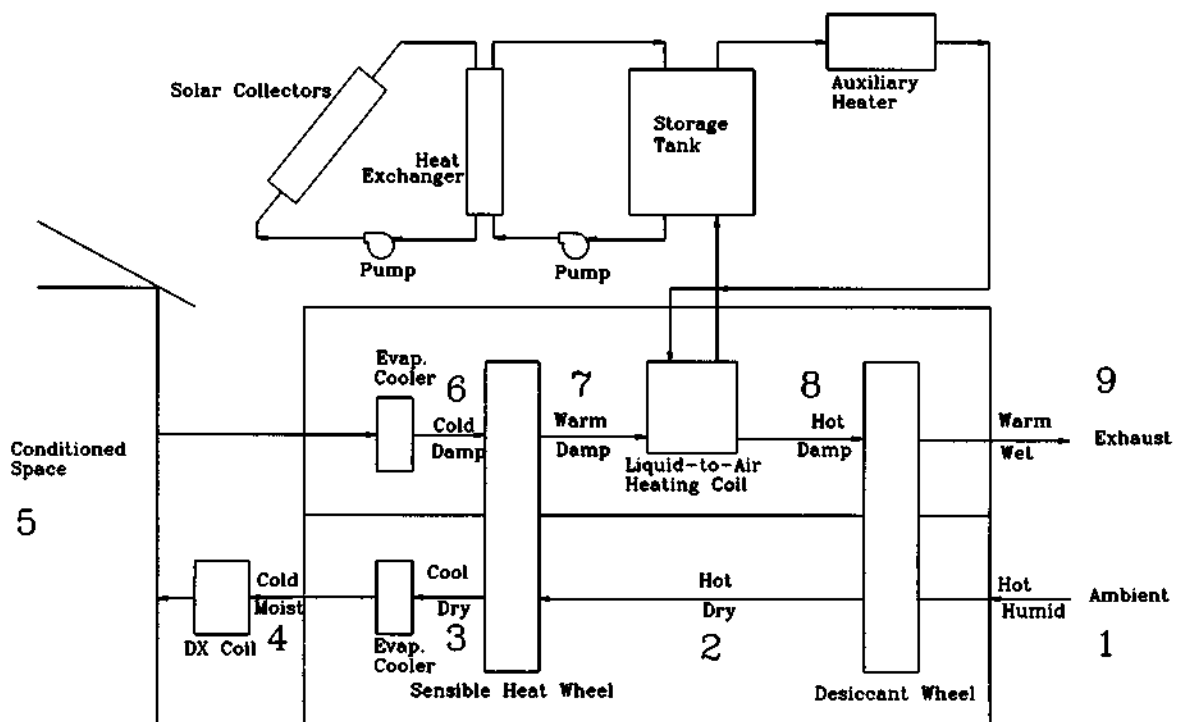
Σχήμα 16.1 Σχηματικό κλιματιστικού αποξηραντικού μέσου κύκλου MEC με σερπαντίνα ψύξης



Σχήμα 16.2 Αναπαράσταση κύκλου MEC σε ψυχομετρικό διάγραμμα

- (5) βοηθητικός θερμαντήρας που λειτουργεί με αέριο ως εφεδρεία για το ηλιακό υποσύστημα,
- (6) μια σερπαντίνα εναλλάκτη θερμότητας υγρού σε αέρα και,
- (7) δύο θερμοστάτες, ένα για την ενεργοποίηση του συστήματος αποξήρανσης και τον άλλο για την ενεργοποίηση του συστήματος συμπίεσης ατμού.

Αναφορικά με το σχήμα 16.2, θερμός και υγρός αέρας περιβάλλοντος εισάγεται στο αέρα επεξεργασίας στην **κατάσταση 1**. Αυτός ο αέρας διεργασίας ξηραίνεται ενώ διέρχεται πάνω από το αποξηραντικό μέσο, με αποτέλεσμα ζεστό, ξηρό αέρα καθώς εξέρχεται του αφυγραντήρα στην **κατάσταση 2**. Αυτή η αύξηση της θερμότητας οφείλεται στην απελευθέρωση θερμότητας συμπύκνωσης των υδρατμών όταν αφαιρείται υγρασία από το υλικό αποξήρανσης. Αυτός ο ζεστός και ξηρός αέρας κατόπιν ψύχεται αισθητά καθώς διέρχεται από τον περιστροφικό αναγεννητή και μεταφέρει μεγάλο μέρος της θερμότητας στο ρεύμα αέρα επιστροφής.



Σχήμα 16.3 Σχηματικό συστήματος ψύξης αποξηραντικού μέσου με υποβοήθηση ηλιακής ενέργειας

Ο ψυχρός και ξηρός αέρας διεργασίας στην **κατάσταση 3** ψύχεται επιπλέον με εξάτμιση και υγραίνεται από τον ψύκτη εξάτμισης πλευράς διεργασίας στην **κατάσταση 4** και κατόπιν εισάγεται στο χώρο κλιματισμού μέσω αγωγού παροχής. Αυτός ο ψυχρός αέρας παρέχει τη συνθήκη άνεσης που είναι απαραίτητη για την κάλυψη των αναγκών ψύξης του κτιρίου. Μετά από την αφαίρεση του αισθητού και λανθάνοντος φορτίου ψύξης του κτιρίου, ο αέρας

επιστρέφει στο κλιματιστικό αποξηραντικού μέσου μέσω των αγωγών επιστροφής και ψύχεται με εξάτμιση στο **στάδιο 6** από όπου διέρχεται από τον περιστροφικό αναγεννητή και αφαιρεί θερμότητα από τον αέρα διεργασίας για την επίτευξη του θερμού και υγρού **σταδίου 7**. Ο αέρας περνάει πάνω από τη σερπαντίνα ζεστού νερού, που ανακυκλώνει ζεστό νερό που λαμβάνεται από το συνδυασμό ηλιακού- βοηθητικού θερμαντήρα. Με αυτόν τον τρόπο ο αέρας θερμαίνεται μέχρι την απαιτούμενη θερμοκρασία αναγέννησης του υλικού αποξήρανσης και κατά συνέπεια πολύ ζεστός και σχετικά υγρός αέρας εξέρχεται στο **στάδιο 8**. Αυτός ο αέρας περνάει από τον τροχό αποξήρανσης προκειμένου να αναγεννήσει το αποξηραντικό μέσο. Αν και ο αέρας είναι υγρός, είναι επαρκώς θερμός για την αναγέννηση του αποξηραντικού μέσου στο περιστρεφόμενο πλέγμα αφυγραντήρα. Τέλος, ζεστός και πολύ υγρός αέρας εξέρχεται στο **στάδιο 9** όπου και αποβάλλεται στην ατμόσφαιρα.

Η θερμοκρασία του αέρα επιστροφής στο στάδιο 8 που απαιτείται για την αναγέννηση του αποξηραντικού μέσου είναι μια συνάρτηση του τύπου υλικού αποξήρανσης που χρησιμοποιείται και του ποσού αφύγρανσης που απαιτείται στη διεργασία από το 1 στο 2. Οι Smith και Hwang (1992) ανέπτυξαν ένα μοντέλο αφυγραντήρα που συσχετίζει τις καταστάσεις εισόδου και εξόδου του αφυγραντήρα. Η κύρια είσοδος ενέργειας σε ένα τέτοιο σύστημα χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο για την αναγέννηση του αποξηραντικού μέσου. Η απαραίτητη ενέργεια μπορεί να παρασχεθεί από πηγές θερμότητας χαμηλής θερμοκρασίας για την αναγέννηση, εάν το περιστροφικό πλέγμα αφυγραντήρα είναι κατάλληλα κατασκευασμένο και πραγματοποιηθούν οι σωστές επιλογές για τον τύπο του αποξηραντικού μέσου. Η θερμική ενέργεια σε αυτή την περίπτωση, όπως περιγράφεται προηγούμενα, παρέχεται από ένα συνδυασμό μιας διάταξης επίπεδων συλλεκτών ηλιακής ενέργειας και φυσικό αέριο. Άλλες πηγές μπορεί να είναι συστήματα ανάκτησης απορριπτόμενης θερμότητας και η γεωθερμική ενέργεια (όπως θερμοσωλήνες ή θερμότητα νερού συμπυκνωτή). Μόνο ένα μικρό ποσό ηλεκτρικής ενέργειας απαιτείται για την περιστροφή του αφυγραντήρα και του τροχού αισθητής θερμότητας (περιστροφικός αναγεννητής) μαζί με τους φυσητήρες και ελέγχους πλευράς εξάτμισης και διεργασιών. Η κατανάλωση νερού από τους δύο ψύκτες εξάτμισης είναι αρκετά χαμηλή και κατά συνέπεια η κανονική πίεση παροχής νερού σε μια πολυκατοικία είναι επαρκής για τη διατήρηση της συνεχούς παροχής.

16.4 Σχεδιασμός συστήματος

Σύστημα αποθήκευσης ηλιακού συλλέκτη

Το υποσύστημα παρέχει την απαιτούμενη ενέργεια για την αναγέννηση του αποξηραντικού μέσου. Το σχήμα 16.3 παρουσιάζει ένα σχηματικό της διαμόρφωσης συστατικών μερών συστήματος που έχει επιλεγεί. Το σύστημα αποτελείται από μια διάταξη ηλιακών συλλεκτών με ένα διάλυμα 50% προπυλενογλυκόλης / νερού ως το ψυκτικό υγρό, που μεταφέρει την ενέργεια στο νερό μέσω του εναλλάκτη θερμότητας. Αυτό το ζεστό νερό αποθηκεύεται σε ένα δοχείο (δεξαμενή) αποθήκευσης. Ένας βοηθητικός θερμαντήρας με χρήση φυσικού αερίου παρέχεται σε σειρά με τη δεξαμενή αποθήκευσης. Ο βοηθητικός θερμαντήρας βοηθά στην παροχή του ζεστού νερού στην απαιτούμενη παρούσα θερμοκρασία αναγέννησης, πριν αυτό ρεύσει στη σερπαντίνα θέρμανσης αέρα μέσα στο κλιματιστικό αποξηραντικού μέσου.

Συλλέκτης

Το υγρό συλλέκτη (ψυκτικό υγρό) είναι ένα διάλυμα 50% προπυλενογλυκόλης / νερού. Η επιφάνεια της διάταξης συλλέκτη έχει επιλεγεί στα 50 m². Οι προτεινόμενοι ρυθμοί ροής των βρόχων ψυκτικού υγρού και του νερού είναι 0,01 - 0,02 kg s⁻¹ m⁻² της επιφάνειας συλλέκτη (Duffie και Beckman, 1991). Κατά συνέπεια μια μέση τιμή 0,015 kg s⁻¹ m⁻² επιλέγεται. Αυτό δίνει ρυθμό ροής 0,75 kg s⁻¹ ή 2700 kg h⁻¹. Επίσης, συμβατική σχεδίαση ενός όγκου δεξαμενής αποθήκευσης απαιτεί περίπου 50-100 λίτρα / m² επιφάνειας συλλέκτη (Duffie και Beckman, 1991). Κατά συνέπεια μια μέση τιμή 75 λίτρων (0,075 m³ m⁻² επιφάνειας συλλέκτη) επιλέγεται. Αυτό υπονοεί όγκο δεξαμενής αποθήκευσης των 3,75m³. Η απόδοση οποιουδήποτε επίπεδου ηλιακού συλλέκτη μπορεί να καθοριστεί από δύο ποσότητες που λαμβάνονται από δοκιμές που πραγματοποιούνται σύμφωνα με το πρότυπο ASHRAE 93-77.

Η εξίσωση Hottle-Whillier δίνει μια γενική έκφραση για την αποδοτικότητα συλλεκτών (Klein et al., 1991)

$$\eta_c = \frac{Q_u}{A_c - I_T} = F_R(T_\alpha) - F_R(T_i - T_o) \quad (1)$$

όπου, η_c είναι η απόδοση συλλέκτη, το Q_u ο ρυθμός ωφέλιμου ενεργειακού κέρδους από το συλλέκτη, A_c το εμβαδό επιφανείας του συλλέκτη, I_T η συνολική προσπίπτουσα ενέργεια ανά μονάδα επιφανείας συλλέκτη, F_R ο συνολικός παράγοντας απόδοσης αφαίρεσης θερμότητας συλλέκτη, τ ο βαθμός διαπερατότητας του καλύμματος συλλέκτη, α ο συντελεστής απορρόφησης

συλλέκτη, T_a η θερμοκρασία περιβάλλοντος, T_i η θερμοκρασία εισόδου του υγρού του συλλέκτη, και U_L ο συντελεστής συνολικής απώλειας του συλλέκτη ανά μονάδα επιφανείας ανοίγματος. Το Q_u μπορεί να εκφραστεί θεωρώντας το ενεργειακό ισοζύγιο του συλλέκτη

$$Q_u = F_R A_c [I_T(\tau\alpha)] - F_R U_L A_c (T_i - T_a) \quad (2)$$

Η ποσότητα $I_T(\tau\alpha)$ είναι η ενέργεια που απορροφάται από το συλλέκτη και ο συντελεστής $(\tau\alpha)$ συχνά αποκαλείται συντελεστής ή προϊόν διαπερατότητας-απορροφητικότητας. Η εξίσωση (2) είναι η βάση για τις δοκιμές συλλεκτών που περιγράφονται στο πρότυπο ASHRAE 93-77 (Duffie και Beckman, 1991). Οι δοκιμές συλλεκτών κατόπιν εκτελούνται και παρουσιάζονται ως ευθείες γραμμές του η έναντι $(T_i - T_a)/I_T$ με σημείο τομής $F_R(\tau\alpha)$ και αρνητικό της κλίσης $(F_R U_L)$. [Ανατρέξτε στην εξίσωση (1)].

Για το συγκεκριμένο συλλέκτη, η βέλτιστη γραμμή που διέρχεται από αυτά τα χαραγμένα σημεία υποδηλώνει την απόδοση υπό μεταβλητές συνθήκες λειτουργίας. Στη συνέχεια καθιερώνονται και ορίζονται δύο ποσότητες. Η πρώτη είναι το σημείο τομής $F_R(\tau\alpha)$ και η δεύτερη είναι το αρνητικό της κλίσης $(F_R U_L)$. Για το συλλέκτη που χρησιμοποιείται σε αυτό το υποσύστημα, $F_R(\tau\alpha) = 0,777$ και $(F_R U_L) = 15,8424 \text{ W m}^{-2}$.

Εναλλάκτης θερμότητας

Ο εναλλάκτης θερμότητας που χρησιμοποιείται είναι τύπου σταθερής αποτελεσματικότητας κατάστασης λειτουργίας παράλληλης ροής. Για αυτό, η μέγιστη δυνατή μετάδοση θερμότητας υπολογίζεται με βάση το υγρό ελάχιστου βαθμού δυναμικού και τις θερμοκρασίες εισόδου κρύας και ζεστής πλευράς υγρού.

Δοχείο αποθήκευσης

Το δοχείο αποθήκευσης που χρησιμοποιείται είναι τύπου πλήρους ανάμειξης (χωρίς στρωματοποίηση). Η ροή φορτίου εισέρχεται στον πυθμένα του δοχείου και το ρεύμα ζεστής πηγής εισέρχεται στην κορυφή του δοχείου. Το δοχείο είναι καλά μονωμένο με μια τιμή $UTANK$ των $1,5 \text{ kW m}^{-2} \text{ K}^{-1}$ και ένα λόγο ύψους δοχείου προς διάμετρο δοχείου στο 1,5. Ο αποθηκευτικός όγκος του δοχείου εξαρτάται από την επιφάνεια συλλέκτη (Duffie και Beckman, 1991).

Αντλίες και ανακουφιστική βαλβίδα.

Οι αντλίες μοντελοποιήθηκαν για λειτουργία σε σταθερό ρυθμό ροής (παροχή). Η αντλία της ζεστής πλευράς λειτουργεί μόνο όταν δέχεται εντολή από τον ελεγκτή της αντλίας. Ο ελεγκτής δίνει εντολή στην αντλία να λειτουργήσει όταν η θερμοκρασία του υγρού που επιστρέφει από το

δοχείο αποθήκευσης πέφτει κάτω από την επιθυμητή θερμοκρασία. Μια ανακουφιστική βαλβίδα παρέχεται για την απόρριψη ενέργειας από το ρεύμα του υγρού στους σωλήνες κάθε φορά που η θερμοκρασία του υγρού υπερβαίνει τους 100°C. Θεωρήθηκε ότι η απώλεια μάζας είναι αμελητέα όταν η βαλβίδα είναι ανοικτή και οι ρυθμοί ροής εισόδου και εξόδου είναι ίσοι.

16.5 Υπολογισμοί των αρχικών δεδομένων της μοντελοποίησης

Το σχέδιο του συστήματος κλιματισμού ελέγχεται από πολλές συνθήκες λειτουργίας. Ανατρέχοντας στα σχήματα 1 και 2, οι ακόλουθες παράμετροι μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως βάση για τη σχεδίαση του συστήματος: συνθήκες περιβάλλοντος, συνθήκες εσωτερικού χώρου (δωμάτιο), θερμοκρασία αέρα αναγέννησης πριν από τον αφυγραντήρα, ρυθμοί ροής αέρα επιστροφής και τροφοδοσίας και αισθητό και λανθάνον φορτίο ψύξης σχεδίου.

Συνθήκες περιβάλλοντος.

Οι τιμές αυτές είναι:

$T_1(\text{db}) = 35^\circ\text{C}$ and $T_1(\text{wb}) = 24^\circ\text{C}$ (ARI Standard 1060 , 2005).

Συνθήκες εσωτερικού (δωματίου).

Προτεινόμενες τυπικές συνθήκες σχεδίασης για ένα οικιακό κλιματιστικό είναι:

$T_5(\text{db}) = 26,7^\circ\text{C}$ και $\text{RH}_5 = 50\%$ (ARI Standard 1060 , 2005).

Θερμοκρασία αέρα αναγέννησης.

Ο αέρας που εξέρχεται από το χώρο κλιματισμού υποβάλλεται σε διαφορετικές διεργασίες ψύξης και κατόπιν θέρμανσης ανάλογα με τις απαιτήσεις ψύξης και θέρμανσης του αέρα διεργασίας. Συνεπώς, ο καθορισμός της τελικής κατάστασης του αέρα για τη διαδικασία αναγέννησης θα δώσει μια καλύτερη εικόνα για το πώς επηρεάζει αυτός ο περιορισμός τον κύκλο. Σε αυτή τη μελέτη, αυτή καθορίστηκε στους 80°C (Smith και Hwang , 1992). Ακόμη αυτή η θερμοκρασία αποδείχτηκε ότι είναι αποδεκτή σύμφωνα με τις μελέτες που εκτελέστηκαν σε ένα περιστροφικό αφυγραντήρα (Jurinak et al., 1984; Nelson και Beckman, 1978).

Ρυθμοί ροής αέρα επιστροφής και τροφοδοσίας.

Μια από τις υποθέσεις που έγιναν κατά την μοντελοποίηση του αφυγραντήρα είναι ότι τα ρεύματα αέρα διεργασίας και αναγέννησης που έχουν τους ίδιους ρυθμούς ροής επηρεάζουν το σχεδιαστή ώστε να υποθέσει το ίδιο για τους ρυθμούς ροής αέρα επιστροφής και τροφοδοσίας. Αυτή η υπόθεση παρατηρήθηκε να για να παράγει μια ικανοποιητική απόδοση για το σύστημα. Για αυτό

τον κύκλο, ένας συμβατικός ρυθμός ροής περίπου **4536 kg h⁻¹** ή **1,26 kg s⁻¹** λαμβάνεται υπόψη (Kodama's model και ASHRAE,1993).

Αισθητά και λανθάνοντα ψυκτικά φορτία.

Για την αποτίμηση της απόδοσης αυτού του προσομοιωμένου συστήματος ψύξης, είναι πρώτα απαραίτητο να προσομοιωθούν οι πληροφορίες θερμικής απόκρισης που απαιτούνται για την παροχή των φορτίων. Για αυτό το σκοπό, η μέθοδος CLTD έχει χρησιμοποιηθεί για όλη αυτή τη μελέτη για τον υπολογισμό του ψυκτικού φορτίου. Όλα τα υποθετικά δεδομένα βασίστηκαν σε πληροφορίες που βρέθηκαν στο ASHRAE (1993).

Το συνολικό αισθητό ψυκτικό φορτίο συνεπώς είναι 27,8 kW. Θεωρώντας 10% του φορτίου να αντιστοιχεί στις απώλειες των αγωγών και υπολογίζοντας ένα φορτίο διείσδυσης εξωτερικού χώρου στα 2,25 kW (Davanagere, 1994), επιτυγχάνεται ένα συνολικό φορτίο των 32,8 kW. Ένας λανθάνον συντελεστής (LF) στα 1,3 αντιστοιχεί στην απόδοση για τυπικά συστήματα ψύξης συμπίεσης ατμών για οικιακή χρήση. Μια σερπαντίνα που έχει σχεδιαστεί με συγκεκριμένη λανθάνουσα χωρητικότητα γενικά μεταφέρει περισσότερη αισθητή θερμότητα με την απουσία υγρασίας στον αέρα, αλλά όχι με το ίδιο ποσό όπως του σχεδίου ικανότητας μετάδοσης λανθάνουσας θερμότητας (ASHRAE,1993). Κατά συνέπεια το συνολικό φορτίο ψύξης είναι 42,7 kW. Για να διασφαλιστεί ότι η μονάδα είναι αρκετά μεγάλη, μια διαβαθμισμένη μονάδα με μέγεθος χωρητικότητας 50 kW επιλέγεται (η μονάδα είναι υπερμεγέθης λιγότερο του 25%). Είναι απόλυτα προφανές γιατί επιλέχθηκε μια μονάδα των 50 kW στη διαδικασία σχεδίασης. Αυτή η μονάδα είναι ελαφρά υπερμεγέθης για να μπορεί να γίνει χειρισμός του μέγιστου φορτίου από το σύστημα ψύξης.

Με βάση λοιπόν τους υπολογισμούς ψυκτικού φορτίου κτιρίου, λαμβάνεται υπόψη μια μονάδα βαθμονομημένη στα **50 kW**. Συνήθως 77% της ονομαστικής χωρητικότητας προσφέρεται για αισθητή ψύξη ενώ 23% προσφέρεται για λανθάνουσα ψύξη (ASHRAE, 1993). Με βάση αυτό, ο υπολογισμός σχεδίασης ικανότητας αισθητής ψύξης επιλέχθηκε στα **38,5 kW**, ενώ εκείνη της ικανότητας λανθάνουσας ψύξης επιλέχθηκε στα **11,5 kW**.

16.6 Ψυχομετρική ανάλυση

Δεδομένα:

- Κατάσταση 1

Είναι οι συνθήκες περιβάλλοντος που βασίζονται στο ARI Standard 1060 (2005)

$$T_1 \text{ (DB)} = 35 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_1 \text{ (WB)} = 24 \text{ }^\circ\text{C}$$

- Κατάσταση 5

Είναι οι συνθήκες δωματίου που βασίζονται στο ARI Standard 1060 (2005)

$$T_5 \text{ (DB)} = 26,7 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\text{RH}_5 = \Phi_5 = 50\%$$

- Θερμοκρασία αναγέννησης αέρα π.χ. 70, 80, 90, 100 °C

Εδώ έχουμε 80 °C (Smith και Hwang, 1992) άρα:

$$T_8 = 80 \text{ }^\circ\text{C} \quad \text{αλλαγή από } 60 \sim 140 \text{ }^\circ\text{C} \quad (\text{Kodama 's model})$$

- Παροχή μάζας αέρα (Kodama 's model)

$$m_{\text{air}} = 4536 \text{ kg/h}$$

$$= 1,26 \text{ kg/s}$$

- Συνολικό ψυκτικό φορτίο

Έστω ότι από τη μελέτη κλιματισμού για ένα κτίριο υπολογίσαμε με μέθοδο CLTD

$$Q_t = 50 \text{ kW} \quad \text{αλλαγή από } 10 \sim 80 \text{ kW}$$

σύμφωνα με (ASHRAE, 1993):

αισθητό ψυκτικό φορτίο \rightarrow 77% του Q_t

$$Q_s = 38,5 \text{ kW}$$

λανθάνον ψυκτικό φορτίο \rightarrow 23% του Q_t

$$Q_l = 11,5 \text{ kW}$$

ΠΙΝΑΚΑΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΑΕΡΑ

| Σειρά Υπολογισμού | ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΕΡΑ | TDB | T _{wB} | h | w | Φ |
|----------------------|-------------------|------|-----------------|-------|--------|------|
| 1 | 1 | 35 | 24 | 72 | 0,014 | 40 |
| 6 | 2 | 44,4 | 22,3 | 64,8 | 0,0078 | 13,5 |
| 7 | 3 | 24,1 | 15,8 | 44 | 0,0078 | 41,6 |
| 8 | 4 | 17 | 15,8 | 44,3 | 0,0108 | 88,6 |
| 2 | 5 | 26,7 | 19,3 | 55 | 0,011 | 50 |
| 3 | 5' | 26,7 | 16,5 | 46 | 0,0075 | 35 |
| 4 | 6 | 20,5 | 19,3 | 55 | 0,0135 | 89 |
| 9 | 7 | 41 | 25 | 76 | 0,0135 | 27,5 |
| 5 | 8 | 80 | 33,37 | 116,3 | 0,0135 | 4,5 |
| 6 | 9 | 71,3 | 34,5 | 123,5 | 0,0196 | 9,4 |

(°C) (°C) $\left(\frac{kJ}{kg\xi.a.}\right)$ $\left(\frac{kgυδρατμού}{kg\xi.a.}\right)$ (%)

Πίνακας 16.1 Θερμοδυναμική κατάσταση του αέρα διεργασίας

Εύρεση σημείων στον ψυχομετρικό χάρτη

- Κατάσταση 1

| | |
|--|---|
| από δεδομένα $T_{1DB} = 35\text{ }^{\circ}\text{C}$ $T_{1WB} = 24\text{ }^{\circ}\text{C}$ | \rightarrow από ψυχομετρικό χάρτη $W_1 = 0,014$ $\frac{kgυδρατμού}{kg\xi.a.}$ $\Phi_1 = 40\%$ $h_1 = 72\text{ kJ/kg } \xi.a.$ |
|--|---|

- Κατάσταση 5

| | |
|---|--|
| από δεδομένα $T_{5DB} = 26,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ $\Phi_5 = 50\%$ | \rightarrow από ψυχομετρικό χάρτη $W_5 = 0,011$ $\frac{kgυδρατμού}{kg\xi.a.}$ $T_{5WB} = 19,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ $h_5 = 55\text{ kJ/kg } \xi.a.$ |
|---|--|

- Κατάσταση 5'

$Q_1 = \dot{m}_{air} (h_5 - h_{5'})$ όπου:

Q_1 από δεδομένα $Q_1 = 11,5\text{ kw}$

\dot{m}_{air} από δεδομένα $\dot{m}_{air} = 1,26\text{ kg/s}$

h_5 από κατάσταση 5 $h_5 = 55 \text{ kJ/kg ζ.α.}$

$$\text{άρα } h_{5'} = h_5 - \frac{Ql}{mair} = 55 - \frac{11,5}{1,26}$$

| | | |
|---|-----------------------------|---|
| $h_{5'} = 46 \text{ kJ/kg ζ.α.}$ όμως $T_{5'DB} = T_5 = 26,7 \text{ }^\circ\text{C}$ | $\rightarrow \text{χάρτης}$ | $W_{5'} = 0,0075 \frac{\text{kgυδρατιμού}}{\text{kgζ.α.}}$ $T_{5'WB} = 16,5 \text{ }^\circ\text{C}$ $\varphi_{5'} = 35\%$ |
|---|-----------------------------|---|

• Κατάσταση 6

λόγω του ψύκτη εξάτμισης

με δεδομένη αποτελεσματικότητα εξάτμισης 85%

έχουμε

$$e_{\text{evap}} = \frac{T_5 - T_6}{T_5 - T_{5(WB)}} \Rightarrow$$

$$T_6 = T_5 - e_{\text{evap}} \cdot (T_5 - T_{5(WB)})$$

$$T_6 = 26,7 - 0,85 \cdot (26,7 - 19,3)$$

$$T_{6DB} = 20,5 \text{ }^\circ\text{C}$$

η διεργασία 5-6 είναι διεργασία σταθερής ενθαλπίας

άρα $h_6 = h_5 = 55 \text{ kJ/kg ζ.α.}$

| | | |
|--|-----------------------------|--|
| Οπότε $T_{6(DB)} = 20,5 \text{ }^\circ\text{C}$ $h_6 = 55 \text{ kJ/kg ζ.α.}$ | $\rightarrow \text{χάρτης}$ | $W_6 = 0,0135 \frac{\text{kgυδρατιμού}}{\text{kgζ.α.}}$ $T_{6(WB)} = 19,3 \text{ }^\circ\text{C}$ $\varphi_6 = 89\%$ |
|--|-----------------------------|--|

• Κατάσταση 8

από δεδομένα:

| | | |
|---|-----------------------------|---|
| $T_{8(DB)} = 80 \text{ }^\circ\text{C}$ από κατάσταση 6: $w_8 = w_6 = 0,0135 \left(\frac{\text{kgυδρατιμού}}{\text{kgζ.α.}} \right)$ | $\rightarrow \text{χάρτης}$ | $T_{8(WB)} = 33,37 \text{ }^\circ\text{C}$ $h_8 = 116,3 \text{ kJ/kg ζ.α.}$ $\varphi_8 = 4,5\%$ |
|---|-----------------------------|---|

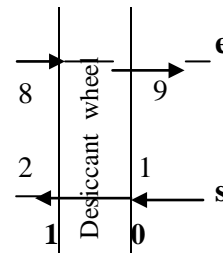
- Εύρεση κατάστασης 2 και κατάστασης 9 με την βοήθεια του **Kodama's model**

e: regeneration step

s: process step

0: inlet

1: outlet



$s_0 \rightarrow$ κατάσταση 1 και $s_1 \rightarrow$ κατάσταση 2

$e_1 \rightarrow$ κατάσταση 8 και $e_0 \rightarrow$ κατάσταση 9

- Υπολογισμός του \dot{q}_s

$$\dot{q}_s = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \cdot \sqrt{D_s} \cdot \sqrt{3600 \cdot b_s} \cdot \sqrt{n} \cdot dp \cdot a_1 \cdot \dot{q}_{so} \cdot S \cdot L \cdot Pb$$

όπου:

$D_s =$ διαχυτικότητα = $1,155 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$

$b_s =$ κλασματική περιοχή της ζώνης απόφυσης = 0,465

$n =$ ταχύτητα περιστροφής του ρότορα του δίσκου = 15 rph

$d_p =$ πυκνότητα προσροφητικού = $2027 \text{ kg}/\text{m}^3$

$a_1 =$ περιοχή ειδικής επιφάνειας = $0,450 \text{ m}^2/\text{Kg}$

$\dot{q}_{so} =$ θερμότητα προσρόφησης στην κατάσταση 1

Γενικά:

$$q^* = 0,24 \cdot RH^{0,66}$$

Άρα

$$\dot{q}_{so} = \dot{q}_1 = 0,24 \cdot \varphi_1^{0,66} = 0,24 \cdot 0,40^{0,66} = 0,131 \text{ kg} \cdot \text{kg}^{-1}$$

$S =$ επιφάνεια του ρότορα σε εγκάρσια τομή = $0,08 \text{ m}^2$

$L =$ πάχος ρότορα = 0,2 m

$Pb =$ πυκνότητα ρότορα = $240 \text{ kg}/\text{m}^3$

$$\dot{q}_s = 27,89 \text{ kg H}_2\text{O}/\text{h}$$

- Υπολογισμός του \dot{H}

$$\dot{H} = S \cdot L \cdot \rho_b \cdot n \cdot [(C_{pc} + \dot{q}_{e1} \cdot C_{pw}) \cdot T_{e1} - [C_{pc} + (\dot{q}_{e1} + q_s) \cdot C_{pw}] \cdot T_{so}]$$

όπου:

$$q_s = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \cdot \sqrt{D_s} \cdot \sqrt{t_s} \cdot \rho_p \cdot \partial_1 \cdot q_{s0}^* = 0,484 \text{ kg} \cdot \text{kg}^{-1}$$

$$t_s = (3600 \cdot b_s) / n \cdot s = 111,6 \text{ sec (δίνεται)}$$

ή

$$\dot{q}_s = q_s \cdot S \cdot L \cdot \rho_b \cdot n \Rightarrow q_s = \frac{\dot{q}_s^*}{S \cdot L \cdot \rho_b \cdot n} = 0,484 \text{ kg} \cdot \text{kg}^{-1}$$

$$S = 0,08 \text{ m}^2$$

$$L = 0,2 \text{ m}$$

$$\rho_b = 240 \text{ kg} / \text{m}^3$$

$$n = 15 \text{ rph}$$

$$C_{pc} = \text{ειδική θερμότητα ρότορα (για silica gel)} = 1,13 \text{ kJ} / \text{kgK}$$

$$C_{pw} = \text{ειδική θερμότητα νερού (υγρού)} = 4,1813 \text{ kJ} / \text{kgK}$$

q_{e1}^* = θερμότητα προσρόφησης στην κατάσταση 8

$$q_{e1}^* = q_8^* = 0,24 \cdot \phi_8^{0,66} = 0,24 \cdot 0,045^{0,66} = 0,031 \text{ kg} \cdot \text{kg}^{-1}$$

$$T_{e1} = T_{8(DB)} = 80^\circ \text{C} = 273 + 80 = 353 \text{ K (αλλάζει από } 70 \div 140^\circ \text{C)}$$

$$T_{so} = T_{1(DB)} = 35^\circ \text{C} = 273 + 35 = 308 \text{ K}$$

Άρα:

$$\dot{H} = 57,6 \cdot [444,65 - 1011,28]$$

$$\dot{H} = -32637,89 \text{ kJ} / \text{h}$$

- Κατάσταση 2 (Δίνεται $\dot{m}_s = \dot{m}_e = 4536 \text{ kg}^{air} / \text{h}$)

$$W_2 = W_1 - \frac{\dot{q}_s}{\dot{m}_s}$$

$$W_2 = 0,014 - \frac{27,89}{4536} \frac{\frac{\text{kg}(H_2O)}{\text{h}}}{\frac{\text{kg}(air)}{\text{h}}} = 0,014 - 0,006149$$

$$W_2 = 0,007851 \text{ kg}\nu\delta\rho / \text{kg}\xi.\alpha.$$

$$h_2 = h_1 + \frac{\dot{H}}{\dot{m}_s}$$

$$h_2 = 72 + \frac{-32637,89}{4536} \frac{\frac{\text{kJ}}{\text{h}}}{\frac{\text{kgair}}{\text{h}}} = 72 - 7,1953$$

$$h_2 = 64,8 \text{ kJ} / \text{kg}\xi.\alpha.$$

Έτσι:

$$\left. \begin{array}{l} W_2 = 0,0078 \\ h_2 = 64,8 \end{array} \right\} \Rightarrow \text{χάρτης}$$

$$\begin{array}{l} T_{2DB} = 44,4^\circ C \\ T_{2WB} = 22,3^\circ C \\ \phi_2 = 13,5\% \end{array}$$

- Κατάσταση 9 (Δίνεται $\dot{m}_s = \dot{m}_e = 4536 \text{ kg}^{air} / \text{h}$)

$$W_9 = W_8 + \frac{\dot{q}_s}{\dot{m}_e}$$

$$W_9 = 0,0135 + \frac{27,89}{4536} = 0,0135 + 0,006149$$

$$W_9 = 0,01965 \text{ kg}\nu\delta\rho / \text{kg}\xi.\alpha. \quad (\text{στον PC} \rightarrow \text{στο psychrometric chart σε } \frac{\text{g}\nu\delta\rho}{\text{kg}\xi.\alpha.})$$

$$\downarrow \\ 19,65$$

$$h_9 = h_8 - \frac{\dot{H}}{\dot{m}_e}$$

$$h_9 = 116,3 - \frac{-32637,89}{4536} = 116,3 + 7,1953$$

$$h_9 = 123,5 \text{ kJ/kgair}$$

Έτσι:

$$\left. \begin{array}{l} W_9 = 0,01965 \\ h_9 = 123,5 \end{array} \right\} \Rightarrow \text{χάρτης} \quad \begin{array}{l} T_{9,DB} = 71,3^\circ C \\ T_{9,WB} = 34,5^\circ C \\ \phi_9 = 9,4\% \end{array}$$

- Κατάσταση 3

Σύμφωνα με τη σχέση του αναγεννητή (για τον τροχό αναγέννησης) με δεδομένη αποτελεσματικότητα αναγεννητή 85% έχουμε:

$$e_{rhe} = \frac{T_2 - T_3}{T_2 - T_6} \Rightarrow$$

$$T_3 = T_2 - e_{rhe} \cdot (T_2 - T_6)$$

$$T_3 = 44,4 - 0,85 \cdot (44,4 - 20,5)$$

$$\left. \begin{array}{l} T_{3,DB} = 24,1^\circ C \\ \text{και} \\ W_3 = W_2 = 0,0078 \text{ kgυδρ/kgξ.α.} \end{array} \right\} \Rightarrow \text{χάρτης} \quad \begin{array}{l} T_{3,WB} = 15,8^\circ C \\ h_3 = 44 \text{ kJ/kgξ.α.} \\ \phi_3 = 41,6\% \end{array}$$

- Κατάσταση 4

Λόγω του ψύκτη εξάτμισης με δεδομένη αποτελεσματικότητα εξάτμισης 85% θα έχουμε:

$$e_{evap} = \frac{T_3 - T_4}{T_3 - T_{3,WB}}$$

$$T_4 = T_3 - e_{evap} \cdot (T_3 - T_{3,WB})$$

$$T_4 = 24,1 - 0,85 \cdot (24,1 - 15,8)$$

$$T_4 = 17^\circ C$$

Ακόμη, η διεργασία 3→4 θεωρείται αδιαβατική σε σταθερή T_{WB} (εξατμιστική ψύξη).

(G. Panaras, E. Mathioulakis, V. Belessiotis, NCSR “DEMOKRITOS”)

Δηλαδή,

$$T_{4WB} = T_{3WB} = 15,8^\circ C$$

άρα

$$\left. \begin{array}{l} T_{4WB} = 15,8^\circ C \\ T_{4DB} = 17^\circ C \\ \text{και} \\ T_{4WB} = T_{3WB} = 15,8^\circ C \end{array} \right\} \Rightarrow \text{χάρτης} \quad \begin{array}{l} W_4 = 0,0108 \\ h_4 = 44,3 \text{ kJ/kg} \\ \phi_4 = 88,6\% \end{array}$$

• Κατάσταση 7

Σύμφωνα με τη σχέση του αναγεννητή (τροχός αναγέννησης) με δεδομένη αποτελεσματικότητα αναγεννητή 85% έχουμε

$$e_{rhe} = \frac{T_7 - T_6}{T_2 - T_6} \Rightarrow$$

$$T_7 = T_6 + e_{rhe} \cdot (T_2 - T_6)$$

$$T_7 = 20,5 + 0,85 \cdot (44,4 - 20,5)$$

$$\left. \begin{array}{l} T_7 = 41^\circ C \\ \text{και} \\ W_7 = W_6 = 0,0135 \text{ kgvdρ/kgξ.α.} \end{array} \right\} \Rightarrow \text{χάρτης} \quad \begin{array}{l} T_{7WB} = 25,^\circ C \\ h_7 = 76 \text{ kJ/kg} \\ \phi_7 = 27,5\% \end{array}$$

- Εισερχόμενη θερμότητα (Q_{input})

$$Q_{input} = \dot{m}_{air} \cdot (h_8 - h_7)$$

$$= 1,26 \cdot \frac{kg}{s} \cdot (116,3 - 76) \frac{kJ}{kg \cdot \xi \cdot \alpha}$$

$$= 50,78 kW$$

- Cooling Capacity (CC)

$$CC = \dot{m}_{air} \cdot (h_5 - h_4)$$

$$= 1,26 \cdot (55 - 44,3)$$

$$= 13,48 \text{ kw}$$

- Συντελεστής Συμπεριφοράς (COP)

$$COP = \frac{CC}{Q_{input}} = \frac{h_5 - h_4}{h_8 - h_7} \quad \text{ή} \quad \frac{h_5 - h_3}{h_8 - h_7} \quad (h_3 \cong h_4)$$

$$\text{ή} \quad COP = \frac{h_1 - h_4}{h_8 - h_7} = \frac{72 - 44,3}{116,3 - 76} = 0,69$$

Σημείωση:

Το COP στα desiccants κυμαίνεται συνήθως σε τιμές $0,7 \approx 1$

Στο παρελθόν είχαμε COP:

$$0,5 \approx 0,62 \text{ για source temp } 60 \approx 130 \text{ } ^\circ C$$

σήμερα:

$$0,6 \approx 0,8 \text{ για solar heat supply } 70 \approx 80 \text{ } ^\circ C$$

16.7 Υπολογιστικός κώδικας της μοντελοποίησης

Στο κεφάλαιο αυτό παραθέτουμε το υπολογιστικό μοντέλο του προηγούμενου κεφαλαίου (16.6 Ψυχομετρική ανάλυση) σε γλώσσα προγραμματισμού FORTRAN 77.

Οι υπολογισμοί πραγματοποιήθηκαν σύμφωνα με τις σχέσεις που υπάρχουν στο επίσημο έγγραφο της ASHRAE, «2001 ASHRAE Fundamentals Handbook (SI)» και συγκεκριμένα στο *CHAPTER 1 PSYCHROMETRICS* το οποίο παρουσιάζεται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ της εργασίας αυτής.

ΚΩΔΙΚΑΣ

```
import fl.controls.Slider;
import fl.events.SliderEvent;

// Psychrometric Calculation Functions [2001 ASHRAE Fundamentals Handbook (SI)]

// Barometric pressure for psychrometric calculations
var P:Number=101.325;// Barometric pressure [kPa]

// Water vapor saturation pressure (from given temperature tdb or twb [oC])
function pwsFun(t:Number):Number {
    var C8:Number=-5.8002206*Math.pow(10,3);// Constant
    var C9:Number=1.3914993;// Constant
    var C10:Number=-4.8640239/Math.pow(10,2);// Constant
    var C11:Number=4.1764768/Math.pow(10,5);// Constant
    var C12:Number=-1.4452093/Math.pow(10,8);// Constant
    var C13:Number=6.5459673;// Constant
    var T=t+273.15;// Absolute temperature [K]
    var
    lnPws=C8/T+C9+C10*T+C11*Math.pow(T,2)+C12*Math.pow(T,3)+C13*Math.log(T);
    var pws:Number=Math.exp(lnPws);// Saturation pressure [Pa]
    return pws/1000;// Returns the saturation pressure in [kPa]
}

// Saturation humidity ratio (from given temperature tdb or twb [oC])
function WsFun(t:Number):Number {
    var pws=pwsFun(t);
    var Ws = 0.62198*pws/(P-pws);// Saturation humidity ratio [kgw/kgda]
    return Ws;
}

// Humidity ratio (from given temperatures tdb and twb [oC])
function WFun1(tdb:Number,twb:Number):Number {
    var Wswb:Number=WsFun(twb);
    var W:Number = ((2501-2.381*twb)*Wswb-1.006*(tdb-twb))/(2501+1.805*tdb-
4.186*twb);// Humidity ratio [kgw/kgda]
    return (W);
}
```

```

// Humidity ratio (from given temperature tdb [oC] and enthalpy [kJ/kgda])
function WFun2(tdb:Number,h:Number):Number {
    var W:Number = (h-1.006*tdb)/(2501+1.805*tdb);// Humidity ratio [kgw/kgda]
    return (W);
}

//// Degree of saturation (from given humidity ratios W and Ws(t))
//function mFun1(W:Number,Ws:Number):Number{
//var m:Number = W/Ws; // Degree of saturation
//return m;
//}

// Degree of saturation (from given relative humidity RH and humidity ratio Ws(t))
function mFun(RH:Number,Ws:Number):Number {
    var m:Number = RH/(1+(1-RH)*Ws/0.62198);// Degree of saturation
    return m;
}

// Relative humidity (from given degree of saturation and Water vapor saturation pressure [kPa]
function RHFun(m:Number,pws:Number):Number {
    var RH:Number = m/(1-(1-m)*(pws/P));//Relative humidity
    return RH;
}

// Enthalpy (from given tdb [oC] and W [kgw/kgda])
function hFun(tdb:Number,W:Number):Number {
    var h:Number = 1.006*tdb+W*(2501+1.805*tdb);// Enthalpy [kJ/kgda]
    return (h);
}

// Wet bulb temperature (given tdb [oC] and W [kgw/kgda])
function twbFun(tdb:Number, W:Number):Number {
    var twb=tdb;// Wet bulb temperature [oC]
    while (WFun1(tdb,twb)-W>0 && WFun1(tdb,twb)-W>W/100) {
        twb-=0.1;
    }
    if (Math.abs(WFun1(tdb,twb)%W)>Math.abs(WFun1(tdb,twb-0.1)%W)) {
        twb-=0.1;
    }
    return (twb);
}

// Dry bulb temperature (given h [kJ/kgda] and W [kgw/kgda])
function tdbFun(h:Number, W:Number):Number {
    var tdb:Number = (h-W*2501)/(1.006+W*1.805);// Dry bulb temperature [oC]
    return (tdb);
}

tdb8Slider.value=Number(tdb8InTxt.text);
tdb8Slider.addEventListener(SliderEvent.CHANGE, settdb8TextFun);
function settdb8TextFun(evt:SliderEvent):void {
    tdb8InTxt.text=String(tdb8Slider.value);// = evt.target.value
}

```



```

}
tdb8InTxt.addEventListener(KeyboardEvent.KEY_UP, settdb8SliderFun);
function settdb8SliderFun(evt:KeyboardEvent):void {
    tdb8Slider.value=Number(tdb8InTxt.text);
}

QtSlider.value=Number(QtInTxt.text);
QtSlider.addEventListener(SliderEvent.CHANGE, setQtTextFun);
function setQtTextFun(evt:SliderEvent):void {
    QtInTxt.text=String(QtSlider.value);// = evt.target.value
}
QtInTxt.addEventListener(KeyboardEvent.KEY_UP, setQtSliderFun);
function setQtSliderFun(evt:KeyboardEvent):void {
    QtSlider.value=Number(QtInTxt.text);
}

// Calculation of the Psychrometric values for the circle
// Condition point 1
TInTxt.text="";
for (var i:uint=0; i<24; i++) {
    TInTxt.appendText(String(i)+"\n");
}
var tdb1:Array=new Array ;
var twb1:Array=new Array ;

ioun_btn.addEventListener(MouseEvent.CLICK, iounDataFun);
ioul_btn.addEventListener(MouseEvent.CLICK, ioulDataFun);
aug_btn.addEventListener(MouseEvent.CLICK, augDataFun);
sep_btn.addEventListener(MouseEvent.CLICK, sepDataFun);

function iounDataFun(event:MouseEvent):void {
    tdb1 = [25.80, 25.30, 24.80, 24.40, 24.10, 24.20, 24.70, 25.60,
    26.90, 28.40, 30.10, 31.70, 32.90, 33.70, 34.00, 33.70,
    33.00, 31.90, 30.60, 29.30, 28.20, 27.20, 26.40, 25.80];// Dry bulb temperature 1 21 Jun[oC]

    twb1 = [17.90, 17.70, 17.50, 17.40, 17.30, 17.30, 17.30, 17.50,
    17.80, 18.20, 18.70, 19.30, 19.70, 20.10, 20.30, 20.40,
    20.30, 20.10, 19.80, 19.40, 19.00, 18.70, 18.30, 18.10];// Wet bulb temperature 1 21 Jun[oC]

    applyDataFun()
}

function ioulDataFun(event:MouseEvent):void {
    tdb1 = [27.80, 27.30, 26.80, 26.40, 26.10, 26.00, 26.20, 26.70,
    27.60, 28.90, 30.40, 32.10, 33.70, 34.90, 35.70, 36.00,
    35.70, 35.00, 33.90, 32.60, 31.30, 30.20, 29.20, 28.40];// Dry bulb temperature 1 21 Jul[oC]

    twb1 = [19.40, 19.30, 19.10, 19.00, 18.90, 18.90, 18.90, 19.10,
    19.40, 19.80, 20.20, 20.70, 21.20, 21.50, 21.70, 21.80,
    21.70, 21.50, 21.20, 20.80, 20.50, 20.20, 19.80, 19.60];// Wet bulb temperature 1 21 Jul[oC]

    applyDataFun()
}

```

```

}

function augDataFun(event:MouseEvent):void {
    tdb1 = [26.80, 26.30, 25.80, 25.40, 25.10, 25.00, 25.20, 25.70,
    26.60, 27.90, 29.40, 31.10, 32.70, 33.90, 34.70, 35.00,
    34.70, 34.00, 32.90, 31.60, 30.30, 29.20, 28.20, 27.40];// Dry bulb temperature 1 21
Aug[oC]

    twb1 = [21.60, 21.50, 21.30, 21.20, 21.10, 21.10, 21.10, 21.30,
    21.50, 21.90, 22.30, 22.80, 23.20, 23.50, 23.70, 23.80,
    23.70, 23.60, 23.30, 22.60, 22.30, 22.00, 21.80, 21.60];// Wet bulb temperature 1 21
Aug[oC]

    applyDataFun()
}

function sepDataFun(event:MouseEvent):void {
    tdb1 = [23.80, 23.30, 22.80, 22.40, 22.10, 22.00, 22.20, 22.70,
    23.60, 24.90, 26.40, 28.10, 29.70, 30.90, 31.70, 32.00,
    31.70, 31.00, 29.90, 28.60, 27.30, 26.20, 25.20, 24.40];// Dry bulb temperature 1 21 Sep[oC]

    twb1 = [19.10, 18.90, 18.70, 18.60, 18.50, 18.50, 18.50, 18.70,
    19.00, 19.40, 19.90, 20.40, 20.80, 21.20, 21.40, 21.50,
    21.40, 21.20, 20.90, 20.50, 20.10, 19.80, 19.50, 19.20];// Wet bulb temperature 1 21
Sep[oC]

    applyDataFun()
}

function applyDataFun():void {
    tdb1InTxt.text="";
    twb1InTxt.text="";
    for (var i:uint=0; i<24; i++) {
        tdb1InTxt.appendText(String(tdb1[i].toFixed(2))+"\n");
        twb1InTxt.appendText(String(twb1[i].toFixed(2))+"\n");
    }
}

red_btn.addEventListener(MouseEvent.CLICK, pointCalcFun);
function pointCalcFun(evt:MouseEvent):void {

    // Initiate COP array
    COPOutTxt.text="";
    var COP:Array = new Array();

    // Given data

    // Condition point 1
    var pattern:RegExp=/\d*\.\d*/g;
    tdb1=tdb1InTxt.text.match(pattern);
    for (var j:uint = 0; j<tdb1.length; j++) {
        tdb1[j]=Number(tdb1[j]);
    }
}

```

```

}
twb1=twb1InTxt.text.match(pattern);
for (j = 0; j<twb1.length; j++) {
    twb1[j]=Number(twb1[j]);
}

// Condition point 5
var tdb5:Number=26.7;// Dry bulb temperature 5 [oC]
var RH5:Number=0.50;// Relative Humidity

// Condition point 8
var tdb8:Number=Number(tdb8InTxt.text);// Dry bulb temperature 8 (60~140)[oC]
//tdb8Slider.value=tdb8;
if (tdb8<60) {
    tdb8=60;
    warningTxt.text="min tdb8 = 60 oC";
    tdb8InTxt.text="60";
} else if (tdb8>140) {
    tdb8=140;
    warningTxt.text="max tdb8 = 140 oC";
    tdb8InTxt.text="140";
} else {
    warningTxt.text="";
}

// Air mass flow
var mair:Number=4536;// Air mass flow [kg/h]

// Cooling loads
var Qt:Number=Number(QtInTxt.text);// Total cooling load (10~80)[kW]
//QtSlider.value=Qt;
if (Qt<10) {
    Qt=10;
    warningTxt.appendText("\rmin Qt = 10 kW");
    QtInTxt.text="10";
} else if (Qt>80) {
    Qt=80;
    warningTxt.appendText("\rmax Qt = 80 kW");
    QtInTxt.text="80";
} else {
    warningTxt.appendText("\r");
}
var Qs:Number=Qt*0.77;// Sensible cooling load [kW]
var Ql:Number=Qt*0.23;// Latent cooling load [kW]

// Evaporation and regeneration efficiency
var eevap:Number=0.85;
var erhe:Number=0.85;

for (var hr:uint = 0; hr<24; hr++) {

```

```

// Point 1
var W1:Number=WFun1(tdb1[hr],twb1[hr]);
var h1:Number=hFun(tdb1[hr],W1);
var Wsdb1:Number=WsFun(tdb1[hr]);
var m1:Number=W1/Wsdb1;
var pwsdb1:Number=pwsFun(tdb1[hr]);
var RH1:Number=RHFun(m1,pwsdb1);

//trace(tdb1,twb1,h1,W1,RH1);

// Point 5
var Wsdb5:Number=WsFun(tdb5);
var m5:Number=mFun(RH5,Wsdb5);
var W5:Number=Wsdb5*m5;
var h5:Number=hFun(tdb5,W5);
var twb5:Number=twbFun(tdb5,W5);

//trace(tdb5,twb5,h5,W5,RH5);

// Point 5'
var tdb_5:Number=tdb5;
var h_5:Number = h5-Q1/(mair/3600);
var W_5:Number=WFun2(tdb_5,h_5);
var twb_5:Number=twbFun(tdb_5,W_5);
var pwsdb_5:Number=pwsFun(tdb_5);
var Wsdb_5:Number=WsFun(tdb_5);
var m_5:Number=W_5/Wsdb_5;
var RH_5:Number=RHFun(m_5,pwsdb_5);

//trace(tdb_5,twb_5,h_5,W_5,RH_5);

// Point 6
var tdb6 = tdb5-eevap*(tdb5-twb5);
var h6=h5;
var W6:Number=WFun2(tdb6,h6);
var twb6:Number=twbFun(tdb6,W6);
var pwsdb6:Number=pwsFun(tdb6);
var Wsdb6:Number=WsFun(tdb6);
var m6:Number=W6/Wsdb6;
var RH6:Number=RHFun(m6,pwsdb6);

//trace(tdb6,twb6,h6,W6,RH6);

// Point 8
var W8:Number=W6;
var twb8:Number=twbFun(tdb8,W8);
var h8:Number=hFun(tdb8,W8);
var pwsdb8:Number=pwsFun(tdb8);
var Wsdb8:Number=WsFun(tdb8);
var m8:Number=W8/Wsdb8;
var RH8:Number=RHFun(m8,pwsdb8);

```

```
//trace(tdb8,twb8,h8,W8,RH8);
```

```
var
```

```
qs:Number=2*Math.sqrt(1.155/Math.pow(10,7))*Math.sqrt(3600*0.465)*Math.sqrt(15)*2027*0.45  
0*0.24*Math.pow(RH1,0.66)*0.08*0.2*240/Math.sqrt(Math.PI);
```

```
var H:Number =
```

```
0.08*0.2*240*15*((1.13+0.24*Math.pow(RH8,0.66)*4.1813)*(tdb8+273.15)-  
(1.13+(0.24*Math.pow(RH8,0.66)+qs/(0.08*0.2*240*15))*4.1813)*(tdb1[hr]+273.15));
```

```
// Point 2
```

```
var W2:Number=W1-qs/mair;
```

```
var h2:Number=h1+H/mair;
```

```
var tdb2:Number=tdbFun(h2,W2);
```

```
var twb2:Number=twbFun(tdb2,W2);
```

```
var pwsdb2:Number=pwsFun(tdb2);
```

```
var Wsdb2:Number=WsFun(tdb2);
```

```
var m2:Number=W2/Wsdb2;
```

```
var RH2:Number=RHFun(m2,pwsdb2);
```

```
//trace(tdb2,twb2,h2,W2,RH2);
```

```
// Point 9
```

```
var W9:Number=W8+qs/mair;
```

```
var h9:Number=h8-H/mair;
```

```
var tdb9:Number=tdbFun(h9,W9);
```

```
var twb9:Number=twbFun(tdb9,W9);
```

```
var pwsdb9:Number=pwsFun(tdb9);
```

```
var Wsdb9:Number=WsFun(tdb9);
```

```
var m9:Number=W9/Wsdb9;
```

```
var RH9:Number=RHFun(m9,pwsdb9);
```

```
//trace(tdb9,twb9,h9,W9,RH9);
```

```
// Point 3
```

```
var tdb3:Number = tdb2-erhe*(tdb2-tdb6);
```

```
var W3:Number=W2;
```

```
var twb3:Number=twbFun(tdb3,W3);
```

```
var h3:Number=hFun(tdb3,W3);
```

```
var pwsdb3:Number=pwsFun(tdb3);
```

```
var Wsdb3:Number=WsFun(tdb3);
```

```
var m3:Number=W3/Wsdb3;
```

```
var RH3:Number=RHFun(m3,pwsdb3);
```

```
//trace(tdb3,twb3,h3,W3,RH3);
```

```
// Point 4
```

```
var tdb4:Number = tdb3-eevap*(tdb3-twb3);
```

```
var twb4:Number=twb3;
```

```
var W4:Number=WFun1(tdb4,twb4);
```

```
var h4:Number=hFun(tdb4,W4);
```

```
var Wsdb4:Number=WsFun(tdb4);
```

```
var m4:Number=W4/Wsdb4;
```

```

var pwsdb4:Number=pwsFun(tdb4);
var RH4:Number=RHFun(m4,pwsdb4);

//trace(tdb4,twb4,h4,W4,RH4);

// Point 7
var tdb7:Number = tdb6+erhe*(tdb2-tdb6);
var W7:Number=W6;
var twb7:Number=twbFun(tdb7,W7);
var h7:Number=hFun(tdb7,W7);
var pwsdb7:Number=pwsFun(tdb7);
var Wsdb7:Number=WsFun(tdb7);
var m7:Number=W7/Wsdb7;
var RH7:Number=RHFun(m7,pwsdb7);

//trace(tdb7,twb7,h7,W7,RH7);

// Required heat
var Qinput:Number = (mair/3600)*(h8-h7);// [kW]

// Cooling capacity
var CC:Number = (mair/3600)*(h5-h4);// [kW]

// Coefficient Of Performance
COP[hr] = (h1-h4)/(h8-h7);
COPOutTxt.appendText(String(COP[hr].toFixed(3))+"\n");
}

var xhmax:Number=23;
var xhmin:Number=0;
var Dhx:Number=xhmax-xhmin;

function minMaxFun(points:Array):Array {
    var max:Number=points[0];
    var min:Number=points[0];
    for (i=0; i<points.length; i++) {
        if (max<points[i]) {
            max=points[i];
        }
        if (min>points[i]) {
            min=points[i];
        }
    }
    return [min, max];
}

function graphFun(X:Number, Y:Number, points:Array):void {
    var ymin:Number=minMaxFun(points)[0];
    var ymax:Number=minMaxFun(points)[1];
    var Dy:Number=ymax-ymin;
    //var Dx:Number=23;

```

```

red_btn.addEventListener(MouseEvent.CLICK, clearGraphFun);
function clearGraphFun(evt:MouseEvent):void {
    removeChild(graph);
}

var graph:Shape = new Shape();
graph.graphics.lineStyle(1);
graph.graphics.moveTo(X,Y);

for (i=0; i<points.length; i++) {
    graph.graphics.lineTo(X+287.5/Dhx*i,Y-150/Dy*(points[i]-ymin));
}
addChild(graph);
}

graphFun(475, 305.4, tdb1);
ytminTxt.text=String(minMaxFun(tdb1)[0].toFixed(2));
ytmaxTxt.text=String(minMaxFun(tdb1)[1].toFixed(2));
graphFun(475, 567.5, COP);
ycminTxt.text=String(minMaxFun(COP)[0].toFixed(2));
ycmaxTxt.text=String(minMaxFun(COP)[1].toFixed(2));
}

```

16.8 Περιγραφή του προγράμματος εκτέλεσης των ψυχομετρικών υπολογισμών

Σκοπός του προγράμματος αυτού είναι η εκτέλεση των ψυχομετρικών υπολογισμών του ψυκτικού κύκλου ενός συστήματος ψύξης με αποξηραντικό μέσο. Χωρίζεται σε δύο μέρη.

α) Στην εύρεση και υπολογισμό των σημείων του κύκλου αυτού με συγκεκριμένες παραδοχές ως προς τις συνθήκες περιβάλλοντος (σημείο 1), τις συνθήκες του χώρου που θέλουμε να κλιματίσουμε (σημείο 5) και τις συνθήκες αναγέννησης του αέρα (σημείο 8).

β) Στον υπολογισμό της συμπεριφοράς και απόδοσης ενός τέτοιου συστήματος καθ' όλη τη διάρκεια μιας τυπικής καλοκαιρινής μέρας.

Για τη δημιουργία του προγράμματος αυτού επιλέχτηκε το περιβάλλον του Flash της Adobe και η Action Script 3.0 ως γλώσσα προγραμματισμού.

Περίληψη λειτουργίας προγράμματος

Όπως αναλύθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, στο μοντέλο που χρησιμοποιούμε, εννέα σημεία ορίζουν την κατάσταση του αέρα στις διάφορες φάσεις του ψυκτικού κύκλου. Για την απεικόνιση του κάθε σημείου στον ψυχομετρικό χάρτη και κατ' επέκταση για την εύρεση των ψυχομετρικών του ιδιοτήτων απαιτούνται τουλάχιστον δύο σημεία. Από τα δεδομένα των παραδοχών μας και από τις εξισώσεις προτεινόμενων μοντέλων της ASHRAE (Fundamentals 2009) βρίσκουμε το σύνολο των ψυχομετρικών ιδιοτήτων του αρχικού σημείου (θερμοκρασία ξηρού και υγρού βολβού, ενθαλπία υγρού αέρος, λόγος υγρασία αέρος και σχετική υγρασία αέρος). Από τη φύση τις εκάστοτε διεργασίας βρίσκουμε δύο τιμές για επόμενο σημείο για το οποίο και υπολογίζουμε τα λοιπά του στοιχεία. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται μέχρι να οριστούν και τα εννέα σημεία που μας ενδιαφέρουν. Τέλος έχοντας όλα τα σημεία της διεργασίας μπορούμε να υπολογίσουμε τα ποιοτικά στοιχεία του συστήματος όπως η απαιτούμενη προδιδόμενη θερμότητα για (Q_{input}), την ψυκτική ικανότητα (Cooling Capacity - CC) και τον συντελεστή συμπεριφοράς του (COP).

Για το δεύτερο σκέλος του προγράμματος, έχοντας ως δεδομένα την εικοσιτετράωρη διακύμανση της θερμοκρασίας σε χαρακτηριστικές ημέρες καλοκαιρινών μηνών υπολογίζουμε, με συνεχείς επαναλήψεις της παραπάνω διαδικασίας, την συμπεριφορά του συστήματος αυτού καθ' όλη τη διάρκεια μιας ημέρας.

Αναλυτική παρουσίαση του προγράμματος

Για την εύρεση των ψυχομετρικών ιδιοτήτων του αέρα στις εννέα καταστάσεις που περιγράφουν τη διεργασία του συστήματός μας θα χρησιμοποιηθούν οι εξισώσεις που προτείνει η ASHRAE [2009 Fundamentals Handbook (SI) – Psychometrics]. Οι ιδιότητες που θα υπολογίζουμε είναι: α) θερμοκρασία ξηρού βολβού t_{db} , β) θερμοκρασία υγρού βολβού t_{wb} , γ) ενθαλπία υγρού αέρα h , δ) λόγος υγρασία αέρα W και ε) σχετική υγρασία αέρα ϕ ή RH. Όπου είναι απαραίτητο υπολογίζονται τρεις ακόμα ιδιότητες του αέρα σαν ενδιάμεσα βήματα στους υπολογισμούς. Αυτές είναι α) η πίεση κορεσμού του υδρατμού p_{ws} σε συγκεκριμένη θερμοκρασία t (ξηρού ή υγρού βολβού) β) ο λόγος υγρασίας κορεσμού W_s και γ) ο βαθμός κορεσμού μ . Κατά την επίλυση των εξισώσεων για τον καθορισμό των τιμών αυτών γίνεται η παραδοχή ότι η βαρομετρική πίεση είναι σταθερή και ίση με $p = 101.325$ kPa. Απαιτούνται λοιπόν δύο ακόμα ιδιότητες για κάθε σημείο για την εύρεση των υπολοίπων.

Από την ανάλυση του προβλήματος οι πιθανοί συνδυασμοί που προκύπτουν για κάθε σημείο να είναι γνωστά ένα από τα παρακάτω πέντε ζευγάρια:

- α) t_{db} και t_{wb}
- β) t_{db} και ϕ
- γ) t_{db} και h
- δ) t_{db} και W
- ε) W και h

Στη συνέχεια παραθέτουμε τις εξισώσεις και την αλληλουχία των υπολογισμών για την επίλυση των παραπάνω πέντε περιπτώσεων και τις αντίστοιχες διαδικασίες (functions) που καλούνται στο πρόγραμμά μας για την διεκπεραίωση τους.

Περίπτωση α.

- Υπολογισμός πίεσης κορεσμού p_{ws}^* για θερμοκρασία t_{wb} [function pwsFun]

$$\ln(p_{ws}) = C_8/T + C_9 + C_{10} T + C_{11} T^2 + C_{12} T^3 + C_{13}\ln(T) \quad (1)$$

Όπου: $C_8 = -5.8002206 \text{ E}+03$

$C_9 = -5.5162560 \text{ E}+00$

$C_{10} = -4.8640239 \text{ E}-02$

$C_{11} = 4.1764768 \text{ E}-05$

$C_{12} = -1.4452093 \text{ E}-08$

$C_{13} = 6.5459673$

p_{ws}^* σε kPa

$T =$ απόλυτη θερμοκρασία σε $K = ^\circ C + 273.15$

Ο αστερίσκος * υποδηλώνει ότι η επίλυση της εξίσωσης έγινε χρησιμοποιώντας σαν θερμοκρασία αυτή του υγρού βολβού $t = t_{wb}$.

- Υπολογισμός του λόγου υγρασίας κορεσμού W_s^* για θερμοκρασία t_{wb} [function WsFun].

$$W_s = 0.62198 \frac{p_{ws}}{p - p_{ws}} \quad (2)$$

Όπου: $p = 101.325$ kPa

p_{ws} η πίεση κορεσμού από την εξίσωση (1) για θερμοκρασία $t = t_{wb}$.

W_s σε kg νερού / kg αέρα.

Ο αστερίσκος * υποδηλώνει ότι η επίλυση της εξίσωσης έγινε χρησιμοποιώντας σαν θερμοκρασία αυτή του υγρού βολβού $t = t_{wb}$.

- Υπολογισμός λόγου υγρασίας αέρα W [function WFun1].

$$W = \frac{(2501 - 2381 t_{wb}) W_s^* - 1.006 (t_{db} - t_{wb})}{2501 + 1.805 t_{db} - 4.186 t_{wb}} \quad (3)$$

Όπου ο αστερίσκος * υποδηλώνει ότι ο υπολογισμός της ποσότητας αυτής έγινε για θερμοκρασία υγρού βολβού $t = t_{wb}$.

W σε kg νερού / kg ξηρού αέρα

- Υπολογισμός ενθαλπίας h [function hFun].

$$h = 1.006 t_{db} + W (2501 + 1.805 t_{db}) \text{σε (kJ / kg)} \quad (4)$$

- Υπολογισμός πίεσης κορεσμού p_{ws} για θερμοκρασία t_{db} [function pwsFun] από την εξίσωση (1) χρησιμοποιώντας αυτή τη φορά σαν θερμοκρασία τη θερμοκρασία ξηρού βολβού t_{db} .

- Υπολογισμός του λόγου υγρασίας κορεσμού W_s για θερμοκρασία t_{db} [function WsFun] από την εξίσωση (2) χρησιμοποιώντας αυτή τη φορά σαν θερμοκρασία τη θερμοκρασία ξηρού βολβού t_{db} .

- Υπολογισμός του βαθμού κορεσμού μ

$$\mu = \frac{W}{W_s} \quad (5)$$

- Υπολογισμός σχετικής υγρασίας ϕ [function RHFun]

$$\phi = \frac{\mu}{1 - (1 - \mu) \left(\frac{p_{ws}}{p} \right)} \quad (6)$$

Περίπτωση β.

- Υπολογισμός πίεσης κορεσμού p_{ws} για θερμοκρασία t_{db} [function $pwsFun$] από την εξίσωση (1) χρησιμοποιώντας αυτή τη φορά σαν θερμοκρασία τη θερμοκρασία ξηρού βολβού t_{db} .
- Υπολογισμός του λόγου υγρασίας κορεσμού W_s για θερμοκρασία t_{db} [function $WsFun$] από την εξίσωση (2) χρησιμοποιώντας αυτή τη φορά σαν θερμοκρασία τη θερμοκρασία ξηρού βολβού t_{db} .
- Υπολογισμός του βαθμού κορεσμού μ [function $mFun$]

$$\mu = \frac{\varphi}{1 + (1 - \varphi)W_s / 0.62198} \quad (7)$$

- Υπολογισμός λόγου υγρασίας αέρα W από την εξίσωση (5) λύνοντας ως προς W .

$$W = W_s \mu \quad (8)$$

- Υπολογισμός ενθαλπίας h [function $hFun$] από την εξίσωση (4)
- Υπολογισμός της θερμοκρασίας υγρού βολβού t_{wb} [function $twbFun$].

Ο υπολογισμός αυτός γίνεται με δοκιμές από τις εξισώσεις (1), (2) και (3) με δεδομένη την τιμή του W από την εξίσωση (8). Θεωρούμε μια αρχική τιμή $t_{wb} = t_{db}$ η οποία είναι και η μέγιστη δυνατή θερμοκρασία υγρού βολβού που μπορεί να έχει ο αέρας για δεδομένη θερμοκρασία ξηρού βολβού. Θέτοντας την τιμή αυτή στις εξισώσεις (1), (2) και (3) υπολογίζουμε διαδοχικά τις τιμές p_{ws}^* , W_s^* και W . Στη συνέχεια συγκρίνουμε την τιμή του νέου αυτού W με αυτήν που έχουμε ήδη βρει από την εξίσωση (8). Αν αυτές είναι ίσες (από το πρόγραμμα θεωρείται ότι η προσέγγιση είναι πολύ καλή και συνεπώς ίσες αν η νέα τιμή έχει έως 1% διαφορά από την αρχική) τότε σταματάει η διεργασία. Αν όχι τότε ελαττώνεται η τιμή του t_{wb} κατά 0.1 °C και επαναλαμβάνεται ο έλεγχος μέχρι να έχουμε σύγκλιση των W .

Περίπτωση γ.

- Υπολογισμός λόγου υγρασίας αέρα W [function $WFun2$]

$$h = 1.006 t_{db} + W (2501 + 1.805 t_{db}) \Rightarrow \quad (9)$$

$$W = \frac{h - 1.006 t_{db}}{(2501 + 1.805 t_{db})} \quad (10)$$

- Υπολογισμός της θερμοκρασίας υγρού βολβού t_{wb} με την επαναληπτική διαδικασία που περιγράψαμε πιο πάνω [function twbFun].
- Υπολογισμός πίεσης κορεσμού p_{ws} για θερμοκρασία t_{db} [function pwsFun] από την εξίσωση (1) χρησιμοποιώντας αυτή τη φορά σαν θερμοκρασία τη θερμοκρασία ξηρού βολβού t_{db} .
- Υπολογισμός του λόγου υγρασίας κορεσμού W_s για θερμοκρασία t_{db} [function WsFun] από την εξίσωση (2) χρησιμοποιώντας αυτή τη φορά σαν θερμοκρασία τη θερμοκρασία ξηρού βολβού t_{db} .
- Υπολογισμός του βαθμού κορεσμού μ από την εξίσωση (5).
- Υπολογισμός σχετικής υγρασίας ϕ [function RHFun] από την εξίσωση (6).

Περίπτωση δ.

- Υπολογισμός της θερμοκρασίας υγρού βολβού t_{wb} με την επαναληπτική διαδικασία που περιγράψαμε πιο πάνω [function twbFun].
- Υπολογισμός ενθαλπίας h [function hFun] από την εξίσωση (4)
- Υπολογισμός πίεσης κορεσμού p_{ws} για θερμοκρασία t_{db} [function pwsFun] από την εξίσωση (1) χρησιμοποιώντας αυτή τη φορά σαν θερμοκρασία τη θερμοκρασία ξηρού βολβού t_{db} .
- Υπολογισμός του λόγου υγρασίας κορεσμού W_s για θερμοκρασία t_{db} [function WsFun] από την εξίσωση (2) χρησιμοποιώντας αυτή τη φορά σαν θερμοκρασία τη θερμοκρασία ξηρού βολβού t_{db} .
- Υπολογισμός του βαθμού κορεσμού μ από την εξίσωση (5).
- Υπολογισμός σχετικής υγρασίας ϕ [function RHFun] από την εξίσωση (6).

Περίπτωση ε.

- Υπολογισμός της θερμοκρασίας ξηρού βολβού t_{db} [function tdbFun] από την εξίσωση (9) λύνοντας ως προς t_{db} .

$$t_{db} = \frac{h - 2501 W}{1.006 + 1.805 W} \quad (11)$$

- Υπολογισμός της θερμοκρασίας υγρού βολβού t_{wb} με την επαναληπτική διαδικασία που περιγράψαμε πιο πάνω [function twbFun].
- Υπολογισμός πίεσης κορεσμού p_{ws} για θερμοκρασία t_{db} [function pwsFun] από την εξίσωση (1) χρησιμοποιώντας αυτή τη φορά σαν θερμοκρασία τη θερμοκρασία ξηρού βολβού t_{db} .
- Υπολογισμός του λόγου υγρασίας κορεσμού W_s για θερμοκρασία t_{db} [function WsFun] από την εξίσωση (2) χρησιμοποιώντας αυτή τη φορά σαν θερμοκρασία τη θερμοκρασία ξηρού βολβού t_{db} .
- Υπολογισμός του βαθμού κορεσμού μ από την εξίσωση (5).
- Υπολογισμός σχετικής υγρασίας ϕ [function RHFun] από την εξίσωση (6).

Η εύρεση τώρα των τιμών των αρχικών δύο ιδιοτήτων του κάθε σημείου γίνεται είτε από τα δεδομένα του προβλήματος είτε από τη φύση της διεργασίας του ψυκτικού κύκλου και τη σχέση που υπάρχει μεταξύ δύο καταστάσεων της διεργασίας αυτής.

Στην συνέχεια παρατίθεται ο τρόπος εύρεσης των τιμών αυτών και σημειώνεται η περίπτωση στην οποία εμπίπτει το κάθε σημείο. Οι σχέσεις που συνδέουν δύο σημεία μεταξύ τους δεν αφορούν πάντα δύο διαδοχικά σημεία. Έτσι και ο υπολογισμός των καταστάσεων του αέρα δεν ακολουθεί την σειρά της φυσικής διεργασίας.

Κατάσταση 1.

Για τις συνθήκες του εξωτερικού αέρα από τα δεδομένα έχουμε τις τιμές t_{db1} και t_{wb1} . Η εύρεση λοιπόν των υπόλοιπων ιδιοτήτων του αέρα στην κατάσταση 1 εμπίπτει στην περίπτωση α).

Κατάσταση 5.

Για τις συνθήκες του δωματίου βάσει του ARI Standard 1060 (2005) παίρνουμε ως δεδομένες τις τιμές t_{db5} και ϕ_5 . Η εύρεση λοιπόν των υπόλοιπων ιδιοτήτων του αέρα στην κατάσταση 5 εμπίπτει στην περίπτωση β).

Κατάσταση 5'.

Έχουμε:

$$tdb5' = tdb5 \quad (12)$$

$$Q_1 = m_{air} (h_5 - h_{5'}) \Rightarrow \quad (13)$$

$$h_{5'} = h_5 - \frac{Q_1}{m_{air}} \quad (14)$$

Όπου:

m_{air} η παροχή μαζας αέρα σε kg/sec την οποία παίρνουμε ως δεδομένο από το μοντέλο του Kodama

Q_1 το λανθάνον ψυκτικό φορτίο σε kW του χώρου που θα κλιματίσουμε.
 Η τιμή του λαμβάνεται ως δεδομένο και ίση με το 23% του ολικού φορτίου του χώρου Q_t .
 Έχοντας τις τιμές από τις εξισώσεις (12) και (14) η εύρεση των υπόλοιπων ιδιοτήτων του αέρα στην κατάσταση 5' εμπίπτει στην περίπτωση γ).

Κατάσταση 6.

Λόγω του ψύκτη εξάτμισης έχουμε:

$$e_{\text{evap}} = \frac{t_{\text{db5}} - t_{\text{db6}}}{t_{\text{db5}} - t_{\text{wb5}}} \Rightarrow \quad (15)$$

$$t_{\text{db6}} = t_{\text{db5}} - e_{\text{evap}} (t_{\text{db5}} - t_{\text{wb5}}) \quad (16)$$

Όπου:

e_{evap} ο βαθμός απόδοσης της εξάτμισης τον οποίο λαμβάνουμε ως δεδομένο.

Ακόμα η διεργασία 5 – 6 είναι ισενθαλπική οπότε:

$$h_6 = h_5 \quad (17)$$

Έχοντας τις τιμές από τις εξισώσεις (16) και (17) η εύρεση των υπόλοιπων ιδιοτήτων του αέρα στην κατάσταση 6 εμπίπτει στην περίπτωση γ).

Κατάσταση 8.

Από τα δεδομένα μας έχουμε την τιμή για τη θερμοκρασία αναγέννησης του αέρα t_{db8} .

Επίσης ισχύει πως $W_8 = W_6$ (18). Η εύρεση των υπόλοιπων ιδιοτήτων του αέρα στην κατάσταση 8 εμπίπτει στην περίπτωση δ).

Κατάσταση 2.

Στην κατάσταση 2 ισχύουν οι εξισώσεις:

$$W_2 = W_1 - \frac{q'_s}{H} \quad (19)$$

$$h_2 = h_1 + m_{\text{air}} \quad (20)$$

Όπου:

q'_s η ποσότητα των υδρατμών που απορροφάται από τον περιστρεφόμενο δίσκο του αποξηραντικού μέσου σε kg νερού / hr.

H το αισθητό φορτίο που μεταφέρεται από τον αέρα αναγέννησης στον κλιματιζόμενο αέρα σε kJ/hr.

Η εύρεση λοιπόν των υπόλοιπων ιδιοτήτων του αέρα στην κατάσταση 2 εμπίπτει στην περίπτωση ε).

Κατάσταση 9.

Στην κατάσταση 9 ισχύουν οι εξισώσεις:

$$W_9 = W_8 - \frac{q'_s}{H} \quad (21)$$

$$h_9 = h_8 + m_{\text{air}} \quad (22)$$

Η εύρεση λοιπόν των υπόλοιπων ιδιοτήτων του αέρα στην κατάσταση 9 εμπίπτει στην περίπτωση ε).

Κατάσταση 3.

Σύμφωνα με τη σχέση του αναγεννητή με δεδομένο το βαθμό απόδοσης της αναγέννησης e_{rhe} ισχύει:

$$e_{rhe} = \frac{t_{db2} - t_{db3}}{t_{db2} - t_{db6}} \Rightarrow \quad (23)$$

$$t_{db3} = t_{db2} - e_{rhe} (t_{db2} - t_{db6}) \quad (24)$$

Ακόμα στη διεργασία 2 –3 ο λόγος υγρασίας αέρα W παραμένει σταθερός:

$$W_3 = W_2 \quad (25)$$

Έχοντας τις τιμές από τις εξισώσεις (24) και (25) η εύρεση των υπόλοιπων ιδιοτήτων του αέρα στην κατάσταση 3 εμπίπτει στην περίπτωση δ).

Κατάσταση 4.

Λόγω του ψύκτη εξάτμισης έχουμε:

$$e_{evap} = \frac{t_{db3} - t_{db4}}{t_{db3} - t_{wb3}} \Rightarrow \quad (26)$$

$$t_{db4} = t_{db3} - e_{evap} (t_{db3} - t_{wb3}) \quad (27)$$

Όπου:

e_{evap} ο βαθμός απόδοσης της εξάτμισης τον οποίο λαμβάνουμε ως δεδομένο.

Ακόμα η διεργασία 3 – 4 είναι αδιαβατική οπότε:

$$t_{wb4} = t_{wb3} \quad (28)$$

Έχοντας τις τιμές από τις εξισώσεις (26) και (27) η εύρεση των υπόλοιπων ιδιοτήτων του αέρα στην κατάσταση 4 εμπίπτει στην περίπτωση α).

Κατάσταση 7.

Σύμφωνα με τη σχέση του αναγεννητή με δεδομένο το βαθμό απόδοσης της αναγέννησης e_{rhe} ισχύει:

$$e_{rhe} = \frac{t_{db7} - t_{db6}}{t_{db7} - t_{db6}} \Rightarrow \quad (29)$$

$$t_{db7} = t_{db6} - e_{rhe} (t_{db7} - t_{db6}) \quad (30)$$

Ακόμα στη διεργασία 6 –7 ο λόγος υγρασίας αέρα W παραμένει σταθερός:

$$W_7 = W_6 \quad (31)$$

Έχοντας τις τιμές από τις εξισώσεις (30) και (31) η εύρεση των υπόλοιπων ιδιοτήτων του αέρα στην κατάσταση 7 εμπίπτει στην περίπτωση δ).

Έχοντας υπολογίσει τα ψυχομετρικά χαρακτηριστικά όλων των καταστάσεων των διεργασιών του συστήματος ψύξης μπορούμε πια να υπολογίσουμε και κάποια ποιοτικά στοιχεία αυτού.

Υπολογίζουμε λοιπόν:

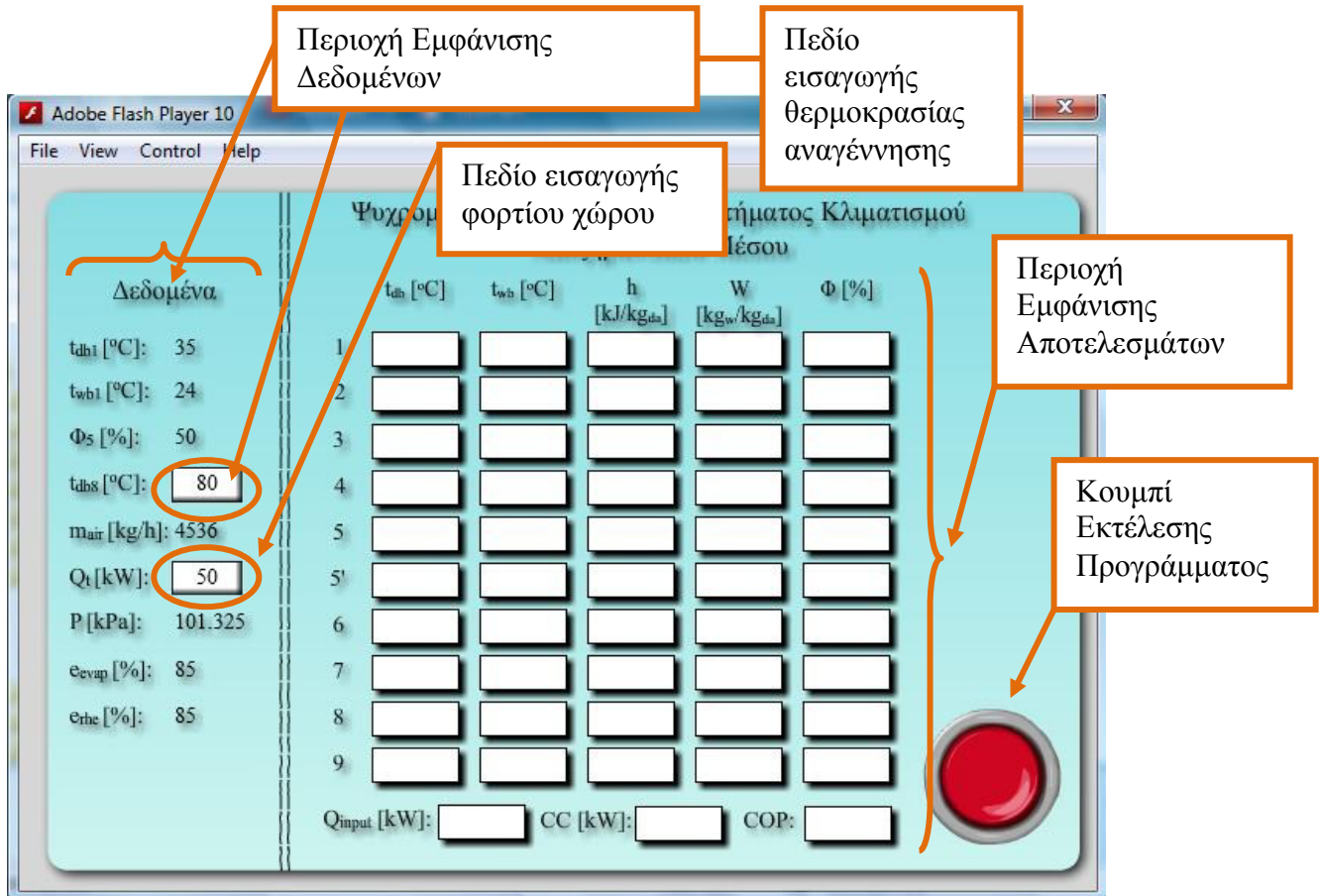
$$\text{Την εισερχόμενη θερμότητα στο σύστημα } Q_{input} = m_{air} (h_8 - h_7) \quad (32)$$

$$\text{Την ψυκτική ικανότητα του συστήματος (Cooling Capacity) } CC = m_{air} (h_5 - h_4) \quad (33)$$

Τον συντελεστή συμπεριφοράς του συστήματος $COP = \frac{h_2 - h_4}{h_8 - h_7}$ (34)
Περιβάλλον λειτουργίας του προγράμματος

Στη συνέχεια γίνεται μια σύντομη παρουσίαση για τη λειτουργία του προγράμματος.

1. Ψυχομετρικός υπολογισμός των σημείων της διεργασίας ψύξης



Εικόνα 16.1 Το περιβάλλον του προγράμματος υπολογισμού των σημείων του συστήματος ψύξης

Το περιβάλλον του προγράμματος χωρίζεται σε δύο βασικές περιοχές:

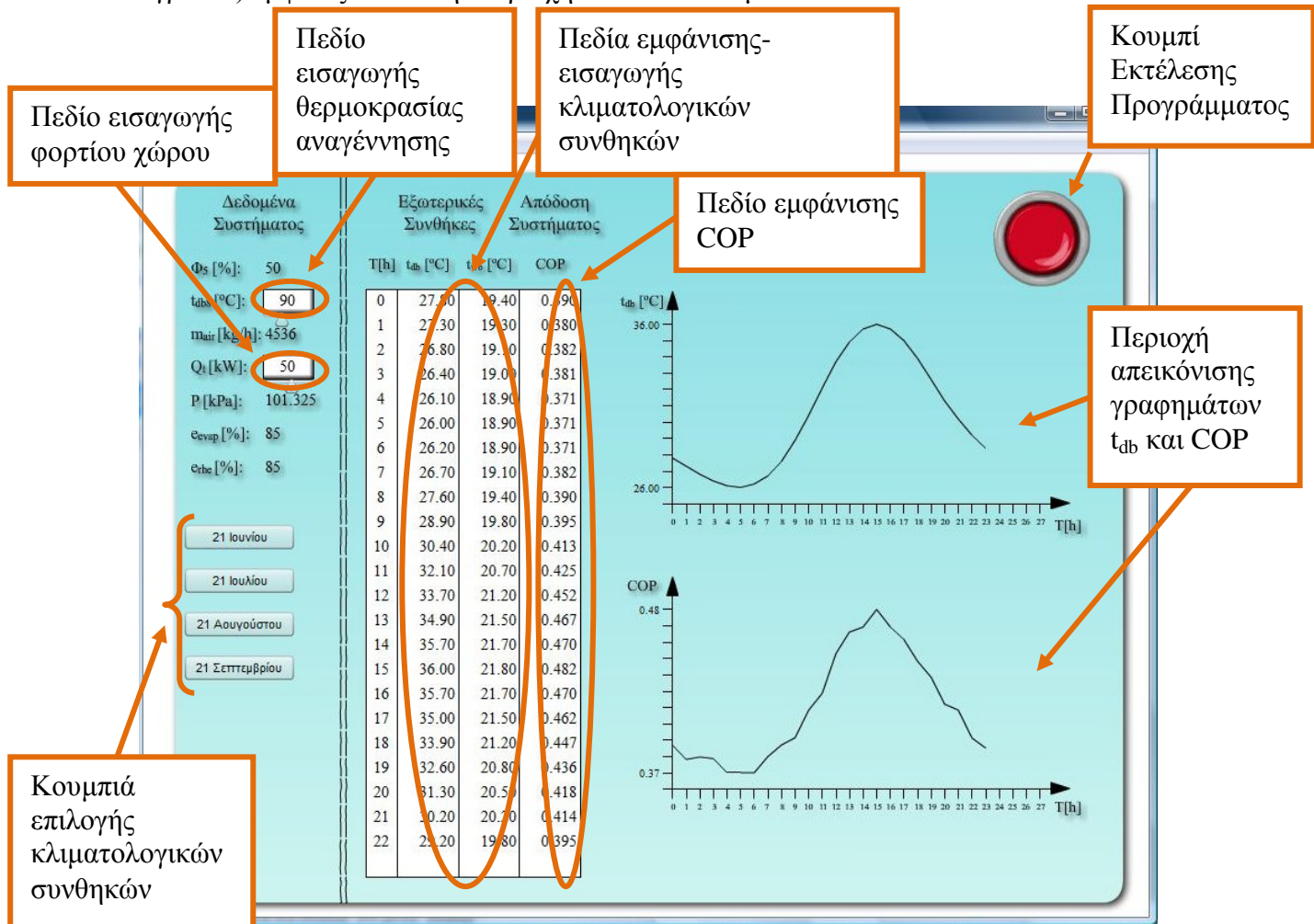
α) Στην περιοχή των δεδομένων. Εκεί αναφέρονται οι τιμές που θα χρησιμοποιηθούν σαν δεδομένα στους υπολογισμούς των σημείων. Επίσης δίνεται η δυνατότητα στον χρήστη να εισάγει διαφορετικές τιμές στα πεδία t_{db8} και Q_i και να δει πως αυτά επιδρούν στα αποτελέσματα.

β) Στην περιοχή των αποτελεσμάτων. Εκεί μετά την εκτέλεση του προγράμματος αναγράφονται στα αντίστοιχα πεδία οι τιμές των ψυχομετρικών ιδιοτήτων του κάθε σημείου του κύκλου. Στην περιοχή αυτή βρίσκεται και το κουμπί εκτέλεσης του προγράμματος.

2. Βαθμός απόδοσης του συστήματος κατά τη διάρκεια μιας ημέρας

Το περιβάλλον του προγράμματος χωρίζεται και πάλι σε δύο περιοχές:

α) Στην περιοχή των δεδομένων. Εκεί αναφέρονται οι τιμές που θα χρησιμοποιηθούν σαν δεδομένα στους υπολογισμούς του βαθμού απόδοσης του συστήματος. Επίσης δίνεται η δυνατότητα στον χρήστη να εισάγει διαφορετικές τιμές στα πεδία t_{db8} και Q_t καθώς και να επιλέξει τα κλιματολογικά στοιχεία του περιβάλλοντος μεταξύ τεσσάρων τυπικών επιλογών. Τα κλιματολογικά στοιχεία αυτά (ημερήσια διακύμανση θερμοκρασίας ξηρού βολβού και σχετική υγρασία) εμφανίζονται στην περιοχή των αποτελεσμάτων.



Εικόνα 16.2 Το περιβάλλον του προγράμματος υπολογισμού της ημερήσιας διακύμανσης του COP μετά την εκτέλεσή του

β) Στην περιοχή των αποτελεσμάτων. Εκεί εμφανίζονται τα κλιματολογικά στοιχεία για την ημέρα που έχουμε επιλέξει βάσει των οποίων μετά την εκτέλεση του προγράμματος θα πάρουμε τους αντίστοιχους βαθμούς απόδοσης COP του συστήματος. Πέραν των προεπιλεγμένων τιμών οι εξωτερικές συνθήκες μπορούν να εισαχθούν στα πεδία αυτά και χειροκίνητα.

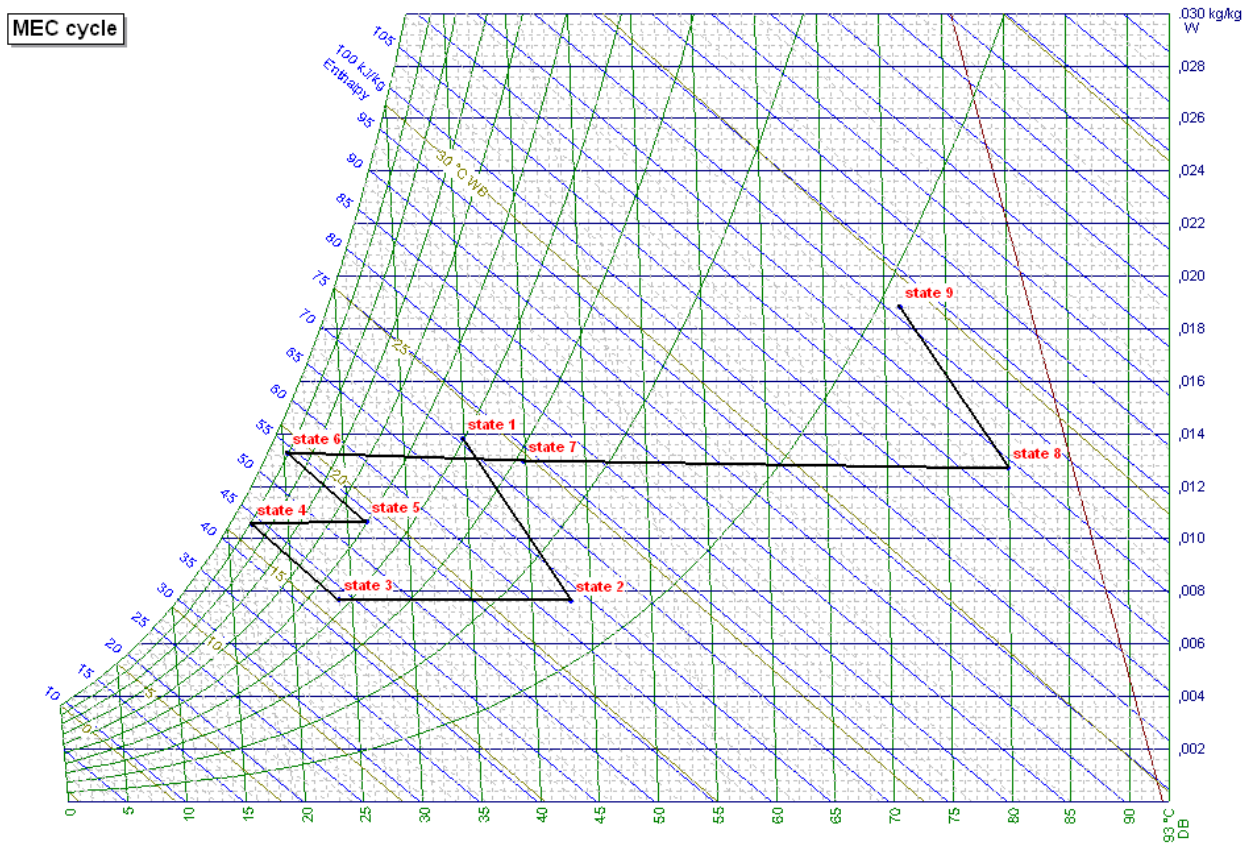
Τέλος το πρόγραμμα σχεδιάζει τις γραφικές παραστάσεις της ωριαίας διακύμανσης της εξωτερικής θερμοκρασίας και του COP για ευκολότερη εποπτεία.

Τα δεδομένα και αποτελέσματα που παρουσιάζονται στα αντίστοιχα πεδία του προγράμματος μπορούν να εξαχθούν και να επεξεργαστούν περαιτέρω με άλλα προγράμματα (π.χ. Excel).

16.9 Διαγράμματα-Συμπεράσματα

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από τα αποτελέσματα της παραπάνω ανάλυσης συνοδεύονται από τα απαραίτητα διαγράμματα που βοηθούν στην περιγραφή του εξεταζόμενου κύκλου.

- Περιβαλλοντικός κύκλος του Muntter (MEC)

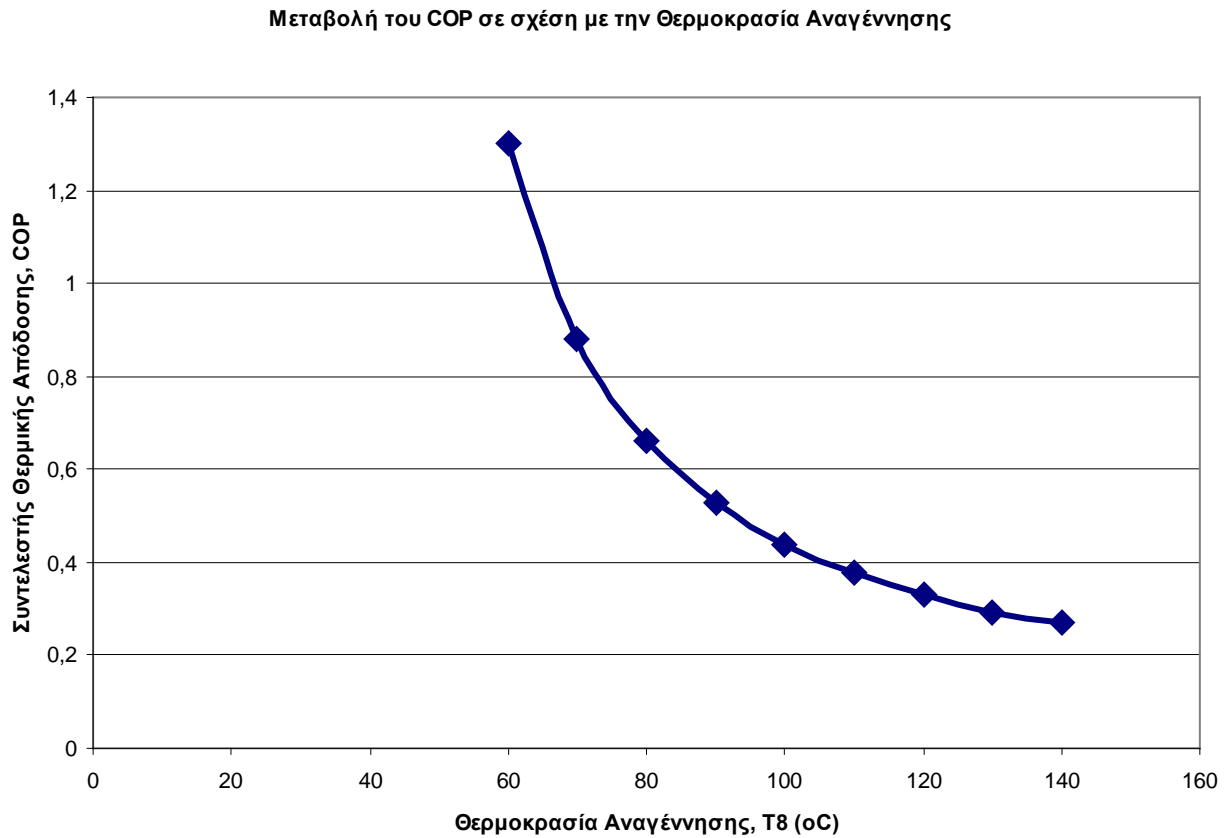


Σχήμα 16.4 Αναπαράσταση κύκλου MEC σε ψυχομετρικό διάγραμμα με τα δεδομένα του κεφαλαίου 16.6 και θερμοκρασία αναγέννησης $T_{db8}=80^{\circ}\text{C}$

Σύμφωνα με το σχήμα 16.4 ζεστός και υγρός αέρας περιβάλλοντος εισάγεται στον αέρα διεργασίας στην κατάσταση 1. Αυτός ο αέρας διεργασίας καθώς περνάει μέσα από το αποξηραντικό μέσο αλλάζει κατάσταση σε ζεστό και ξηρό αέρα, βγαίνοντας από τον αφυγραντή της κατάστασης 2. Αυτή η αύξηση της θερμοκρασίας οφείλεται στην απελευθέρωση της θερμότητας συμπύκνωσης του ατμού του νερού όταν η υγρασία αφαιρείται με την βοήθεια του αποξηραντικού υλικού.

Ο παραπάνω ψυχομετρικός κύκλος του σχήματος 16.4 που προέκυψε μετά την μοντελοποίηση της παρούσας εργασίας ακολουθεί πιστά το μοντέλο του περιβαλλοντικού κύκλου του Munters που έχουμε περιγράψει στο κεφάλαιο 16.3 (βλέπε σχήμα 16.2).

- Η επίδραση της θερμοκρασίας αναγέννησης στον συντελεστή θερμικής απόδοσης



Σχήμα 16.5 Η επίδραση της θερμοκρασίας αναγέννησης στον συντελεστή θερμικής απόδοσης

Σύμφωνα με το διάγραμμα αυτό παρατηρούμε ότι ο συντελεστής θερμικής απόδοσης μειώνεται καθώς αυξάνουμε την θερμοκρασία αναγέννησης. Είναι μία αναμενόμενη συμπεριφορά του συστήματος εφόσον αυξάνεται το ποσό της προσδιδόμενης ενέργειας στο σύστημα (η ενέργεια αυτή όμως παρέχεται από ένα συνδυασμό μιας διάταξης επίπεδων συλλεκτών ηλιακής ενέργειας).

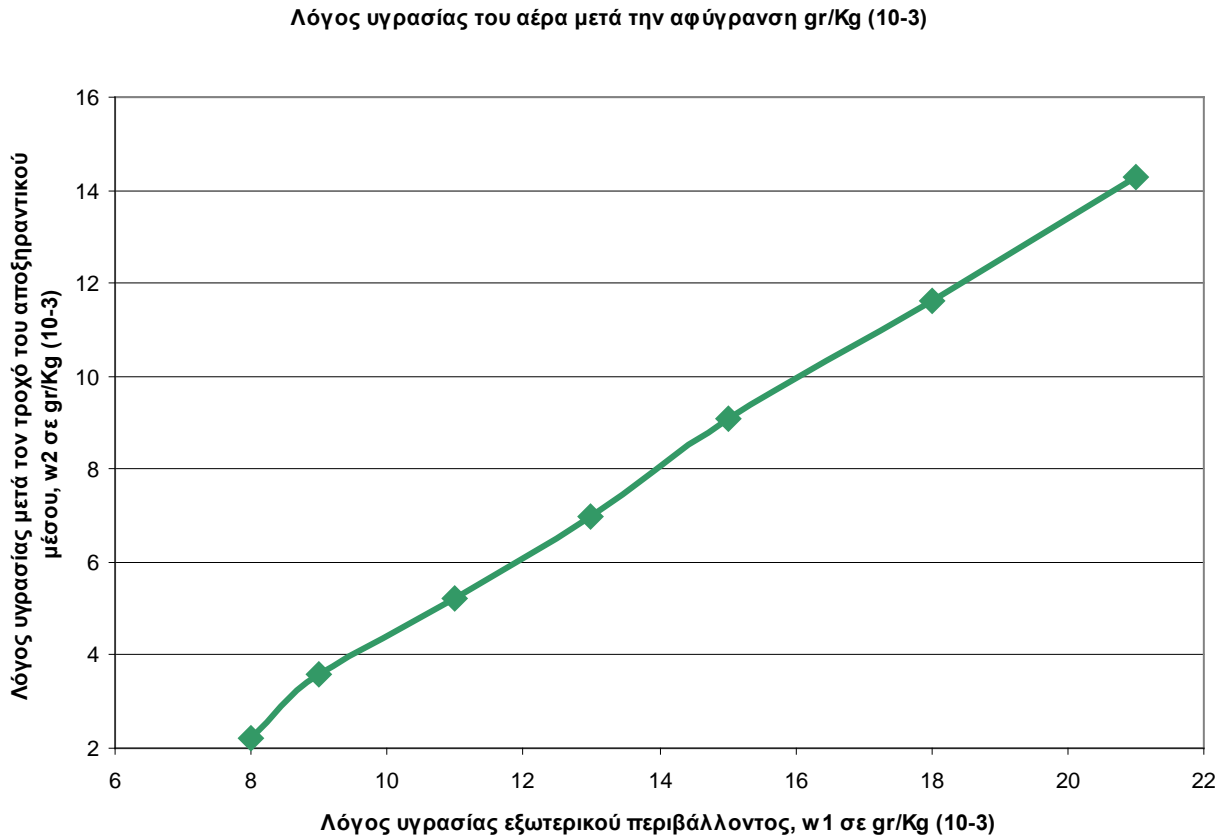
- Ο συντελεστής θερμικής απόδοσης σε διαφορετικές εξωτερικές συνθήκες περιβάλλοντος



Σχήμα 16.6 Ο συντελεστής θερμικής απόδοσης σε διαφορετικές εξωτερικές συνθήκες περιβάλλοντος

Όταν αυξάνεται η θερμοκρασία του αέρα του εξωτερικού περιβάλλοντος τότε αυξάνεται και η ψυκτική ικανότητα καί ο συντελεστής θερμικής απόδοσης του συστήματος.

- Η επίδραση του λόγου υγρασίας εξωτερικού περιβάλλοντος στην αφυγραντική ικανότητα του ρότορα αποξηραντικού μέσου

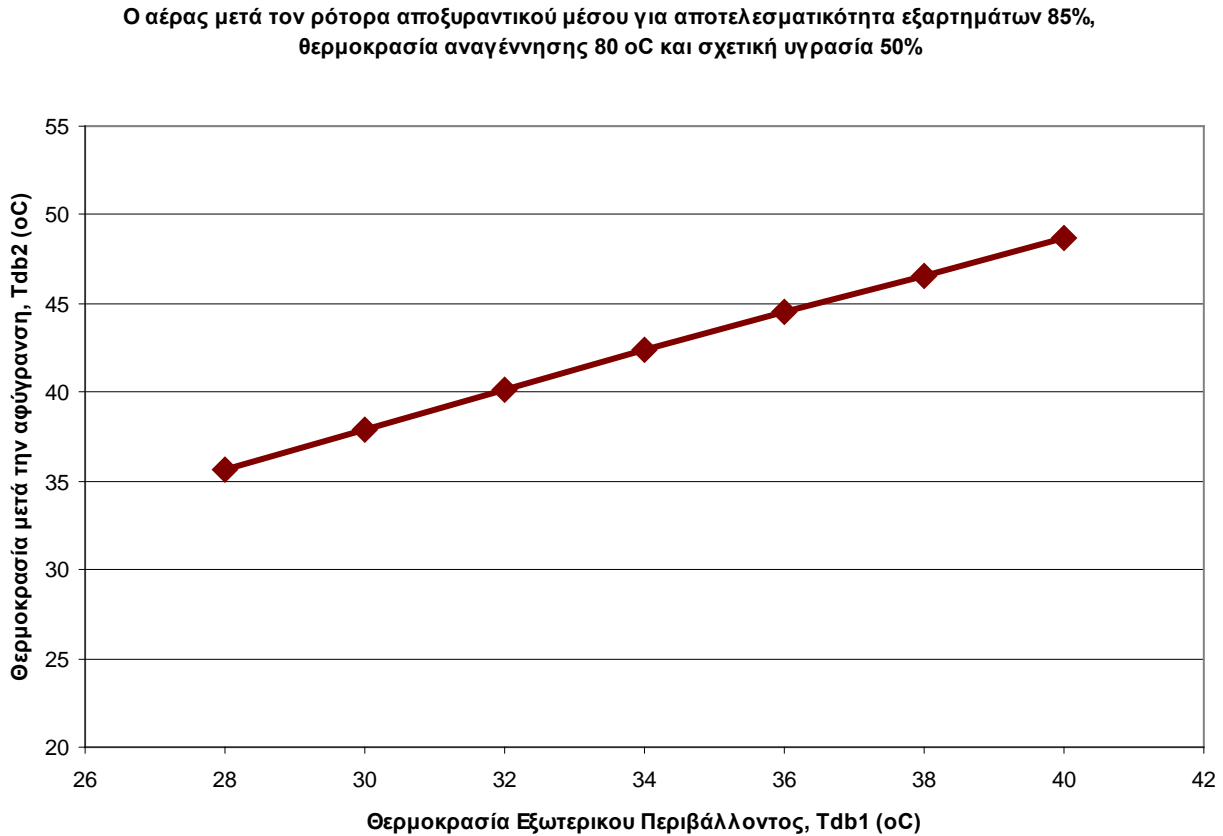


Σχήμα 16.7 Η επίδραση του λόγου υγρασίας εξωτερικού περιβάλλοντος στην αφυγραντική ικανότητα του ρότορα αποξηραντικού μέσου

Το σχήμα 16.7 παρουσιάζει την επίδραση της αύξησης της υγρασίας του αέρα εξωτερικού περιβάλλοντος. Από αυτό συμπεραίνουμε ότι καθώς αυξάνεται η υγρασία του αέρα εξωτερικού περιβάλλοντος, τότε το ρεύμα αέρα αφύγρανσης γίνεται πιο υγρό και θερμότερο.

Όσο μεγαλώνει η τάση αυτή αύξησης της υγρασίας του αέρα εξωτερικού περιβάλλοντος έχουμε σαν αποτέλεσμα μεγαλύτερο συντελεστή θερμικής απόδοσης για όλο το κύκλο.

- Η επίδραση της θερμοκρασίας εξωτερικού περιβάλλοντος στην αφυγραντική ικανότητα του κύκλου

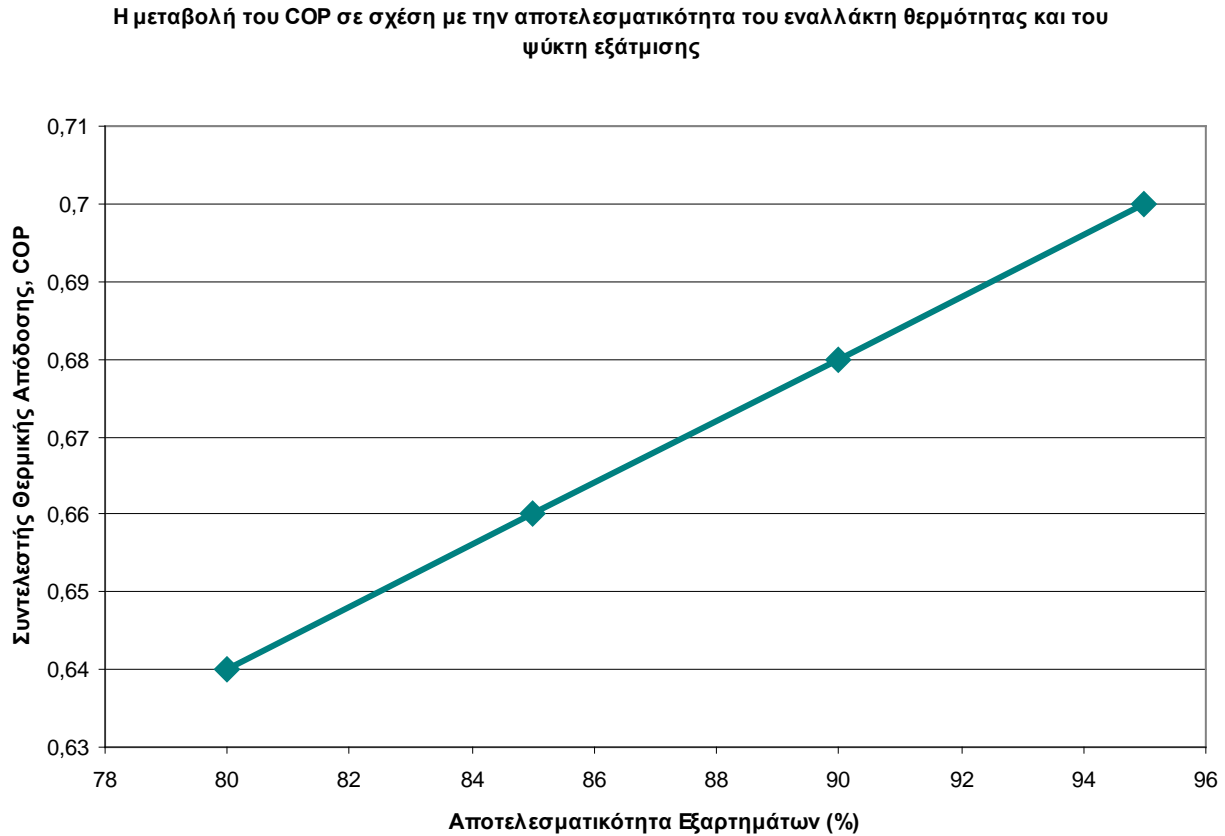


Σχήμα 16.8 Η επίδραση της θερμοκρασίας εξωτερικού περιβάλλοντος στην αφυγραντική ικανότητα του κύκλου

Λόγω του γεγονότος ότι ο κύκλος αερισμού είναι ένας ανοιχτός κύκλος (τα εργαζόμενα ρευστά είναι εκτεθειμένα στην ατμόσφαιρα), η συμπεριφορά του θα εξαρτάται από την θερμοδυναμική κατάσταση του αέρα της διεργασίας. Το σχήμα 16.8 παρουσιάζει την επίδραση της μείωσης της θερμοκρασίας του αέρα εξωτερικού περιβάλλοντος.

Από αυτό καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι καθώς η θερμοκρασία του αέρα εξωτερικού περιβάλλοντος πέφτει, τότε το ρεύμα αέρα αφύγρανσης γίνεται ψυχρότερο.

- Η επίδραση της αποτελεσματικότητας των εξαρτημάτων της εγκατάστασης στον συντελεστή θερμικής απόδοσης του συστήματος για θερμοκρασία αναγέννησης $T_{db_8}=80^{\circ}\text{C}$



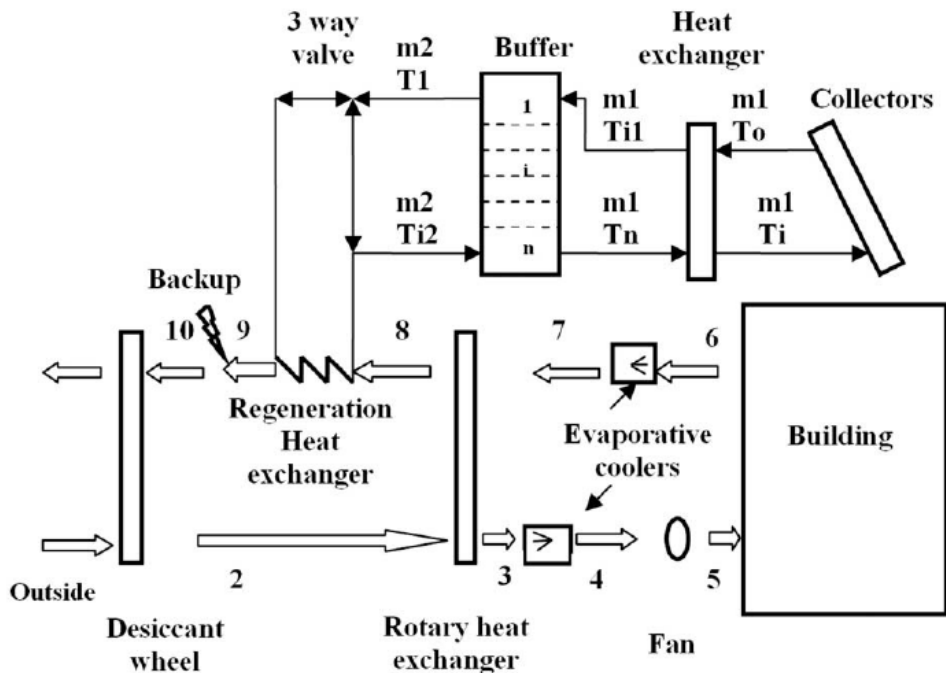
Σχήμα 16.9 Η επίδραση της αποτελεσματικότητας των εξαρτημάτων της εγκατάστασης στον συντελεστή θερμικής απόδοσης του συστήματος για θερμοκρασία αναγέννησης $T_{db_8}=80^{\circ}\text{C}$

Το σχήμα 16.9 παρουσιάζει την επίδραση της αποτελεσματικότητας (βαθμού απόδοσης), του ψύκτη εξάτμισης και του εναλλάκτη θερμότητας στην συμπεριφορά του συστήματος ψύξεως αποξηραντικού μέσου.

Μειώνοντας την αποτελεσματικότητα του ψύκτη εξάτμισης και του εναλλάκτη θερμότητας, μειώνεται η ψυκτική ικανότητα και συνεπώς και ο συντελεστή θερμικής απόδοσης του συστήματος σε ολόκληρο το φάσμα της μεταβολής της θερμοκρασίας αναγέννησης (αλλαγή από $60 \sim 140^{\circ}\text{C}$ σύμφωνα Kodama 's model).

Μάλιστα το φαινόμενο αυτό είναι εντονότερο σε υψηλές θερμοκρασίες αναγέννησης.

- Διάγραμμα COP – Υπολογισμός COP σε ωριαία βάση για μέση ημέρα καλοκαιρινού μήνα



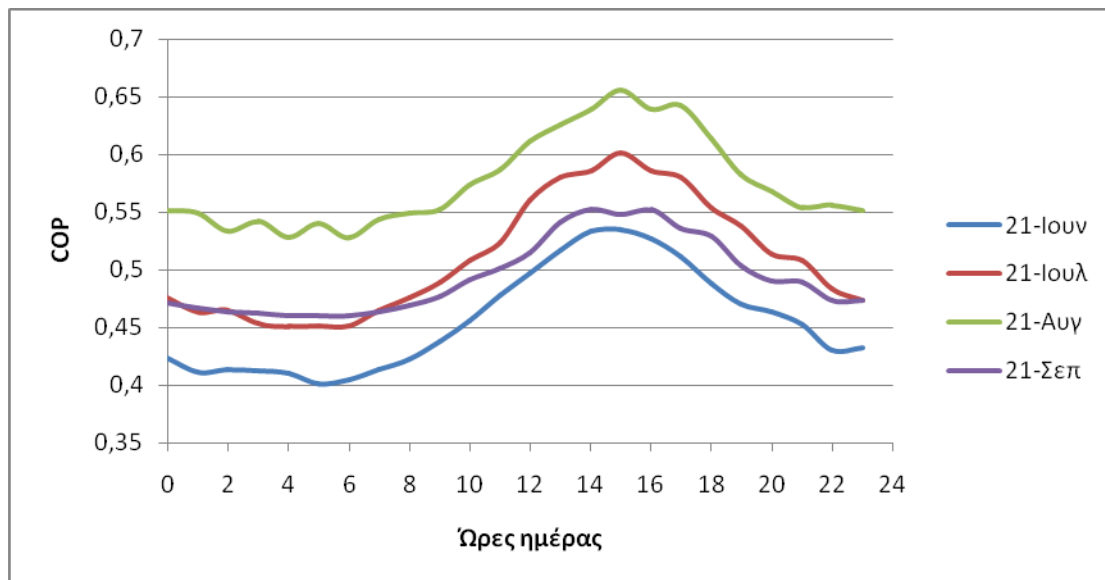
Σχήμα 16.10 Σχηματικό συστήματος ψύξης αποξηραντικού μέσου με υποβοήθηση ηλιακής ενέργειας και το κλειστό σύστημα νερού των ηλιακών συλλεκτών, του εναλλάκτη θερμότητας και της δεξαμενής αποθήκευσης

Για τον υπολογισμό του COP απαιτούνται όπως φαίνεται και από τον παρακάτω τύπο οι τιμές των ενθαλπιών στα σημεία 4, 5, 7, και 8. Οι τιμές αυτές βρίσκονται συναρτήσει της σχέσης (4) που αναφέρθηκε ήδη παραπάνω ($h = 1.006 t_{db} + W (2501 + 1.805 t_{db})$ σε (kJ / kg)), με τη βοήθεια του λόγου υγρασίας w και της θερμοκρασίας t_{db} . Άρα μεταβάλλοντας τη θερμοκρασία t_{db} μπορούμε να υπολογίσουμε το COP για τη διάρκεια μιας μέρας. Τις θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια της ημέρας για 21 Ιουνίου, 21 Ιουλίου, 21 Αυγούστου και 21 Σεπτεμβρίου τις βρίσκουμε από το βιβλίο της κ. Ε. Κορωνάκη, για Αθήνα. Η θερμοκρασία υγρού και ξηρού βολβού χρησιμοποιείται μόνο στον λόγο υγρασίας αέρα W , ενώ η ενθαλπία υπολογίζεται μόνο μέσω του t_{db} .

Ο τύπος για το COP δίνεται από τη σχέση:

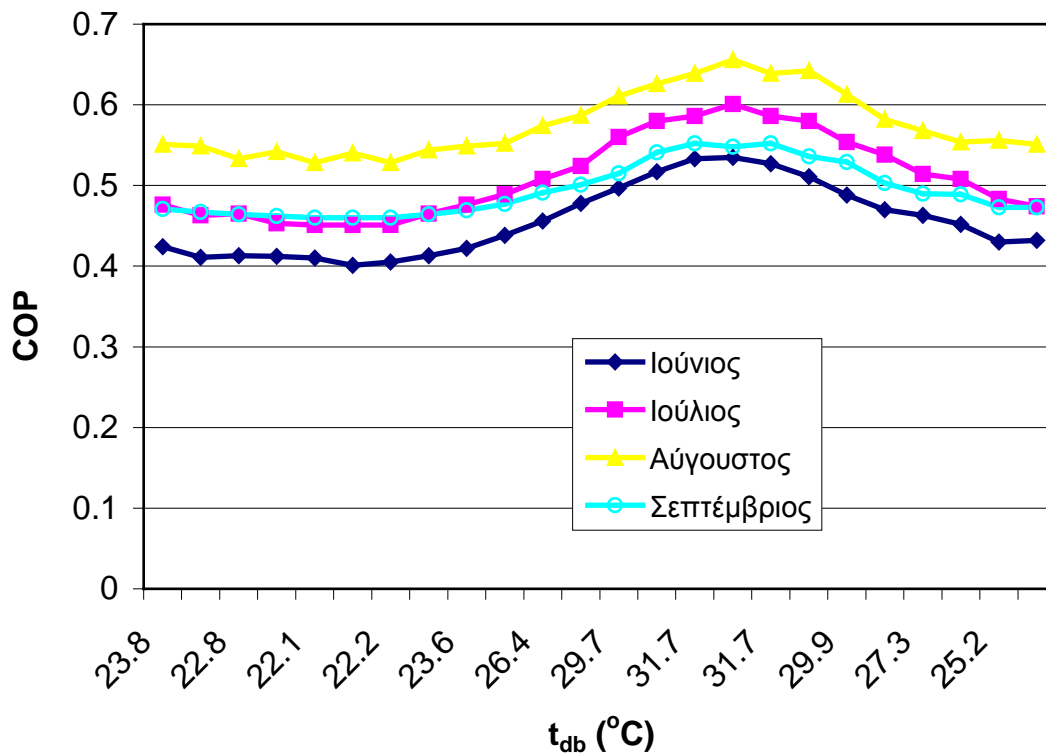
$$COP = \frac{m_{a\text{sup}}(h_5 - h_4)}{m_{a\text{ret}}(h_8 - h_7)}$$

όπου h_4, h_5, h_7, h_8 οι ενθαλπίες σε όλες αυτές τις θέσεις και $m_{a\text{sup}}$ και $m_{a\text{ret}}$ οι παροχές μάζας τροφοδότησης και επιστροφής.

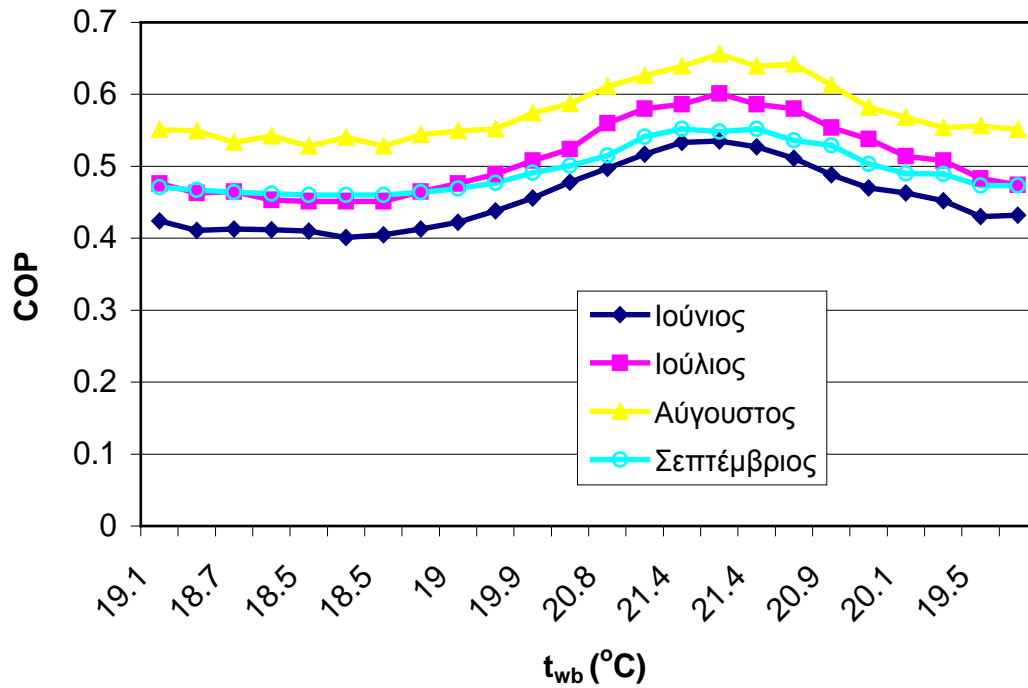


Σχήμα 16.11 Μεταβολή του COP για διαφορετικό μήνα με σταθερά $t_{db8} = 80^{\circ}\text{C}$ και $Q_t = 50\text{kW}$

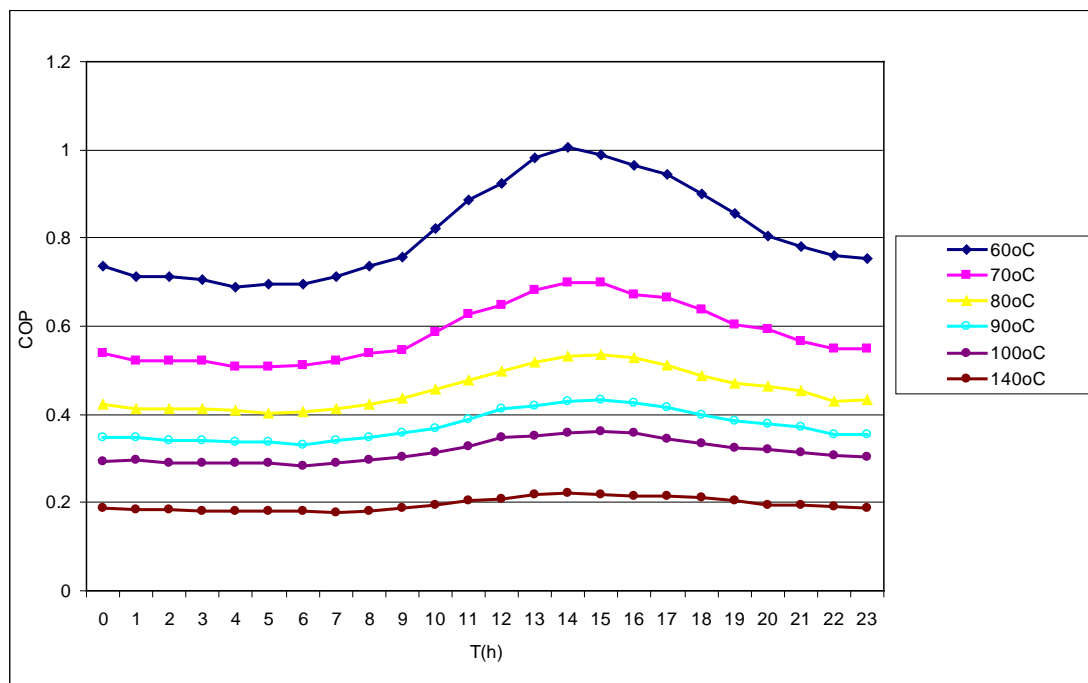
Από το παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε ότι το μεγαλύτερο COP μεταξύ των καλοκαιρινών μηνών παρουσιάζει ο Αύγουστος που είναι και ο ζεστότερος μήνας με τις υψηλότερες θερμοκρασίες. Επίσης παρατηρείται ότι όλες οι καμπύλες εμφανίζουν μέγιστο COP κατά την 3^η μεσημερινή ώρα, καθώς και ότι όλες οι καμπύλες εμφανίζουν ανεξάρτητα από μήνα την ίδια επαναλήψιμη καμπύλη.



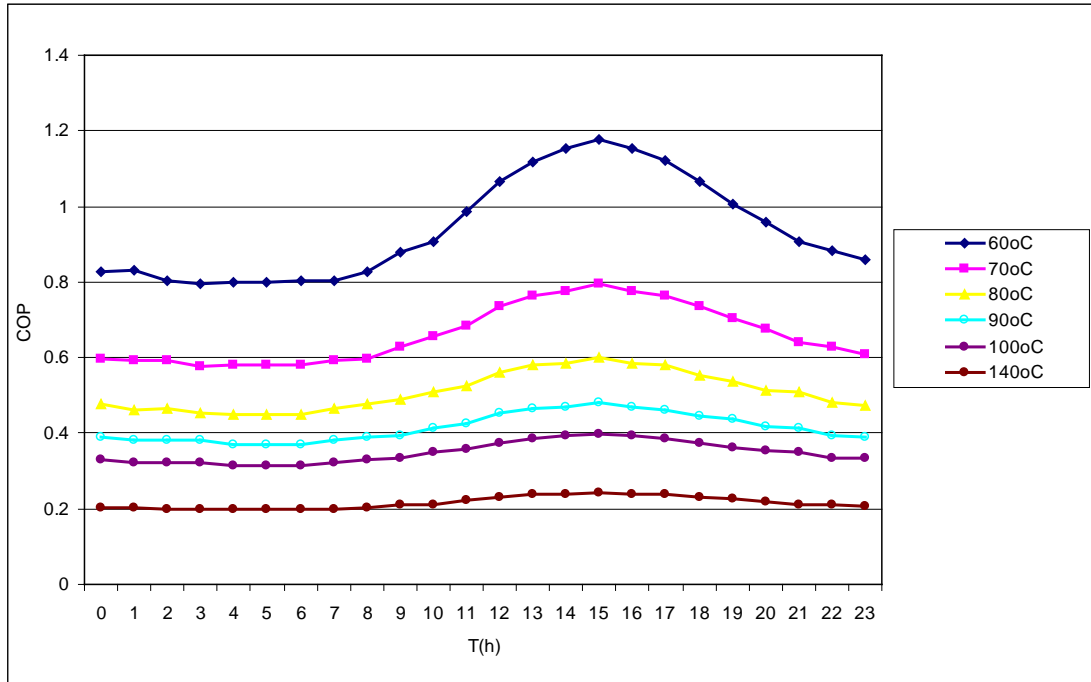
Σχήμα 16.12 Μεταβολή του COP για διαφορετικό μήνα και διαφορετικό t_{db}



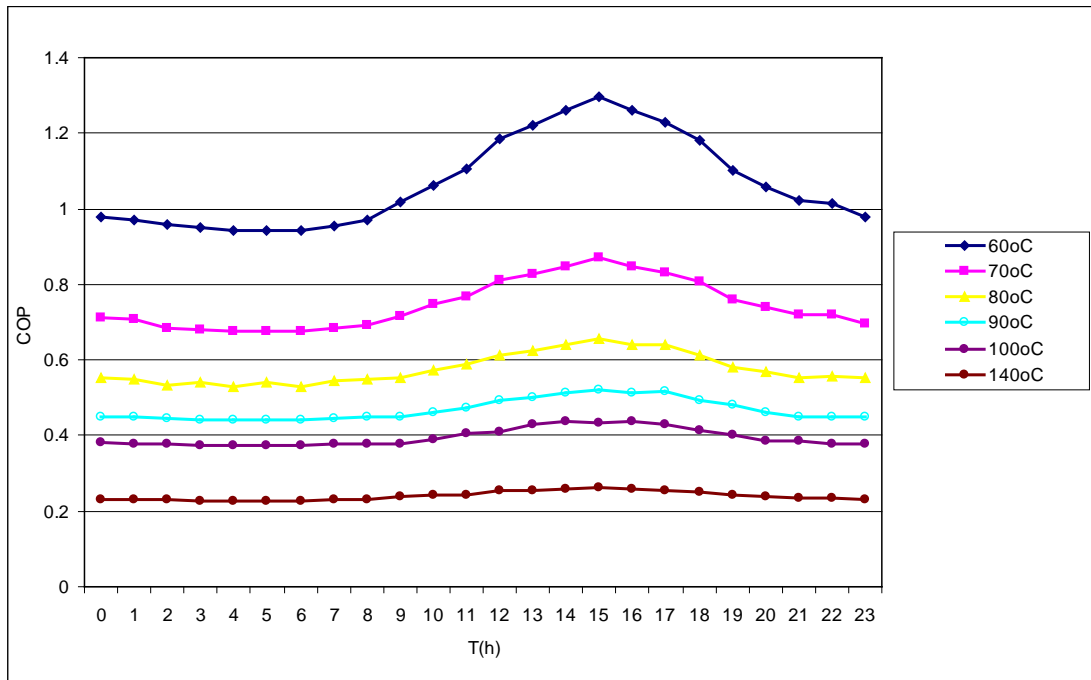
Σχήμα 16.13 Μεταβολή του COP για διαφορετικό μήνα και διαφορετικό t_{wb}



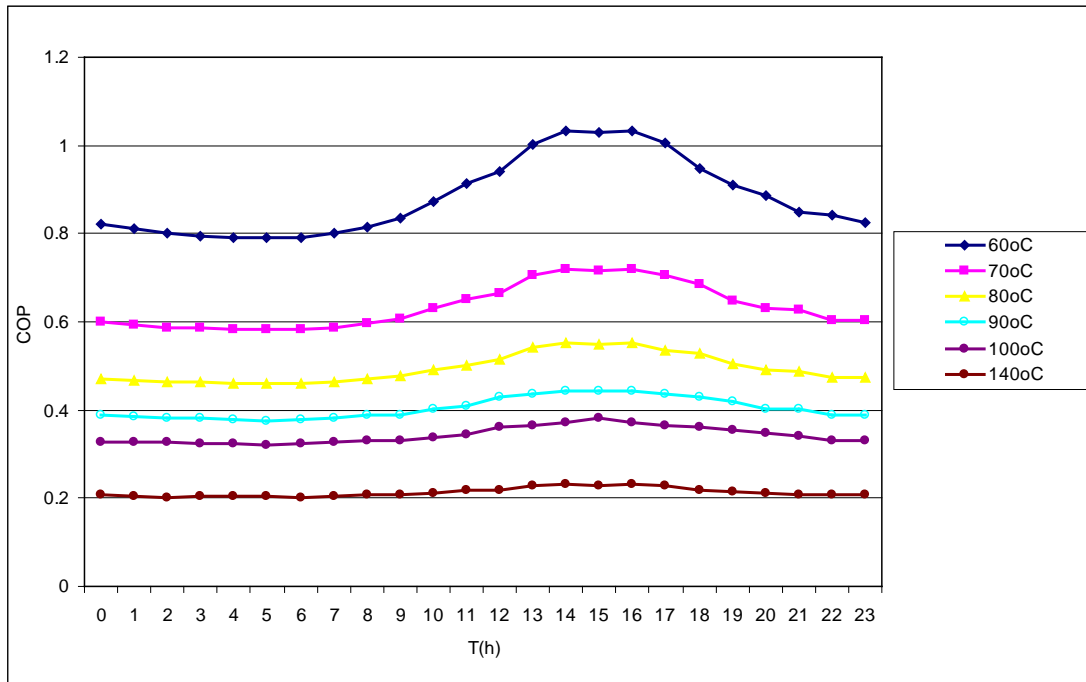
Σχήμα 16.14 Μεταβολή του COP για 21 Ιουνίου και διαφορετικό t_{db8}



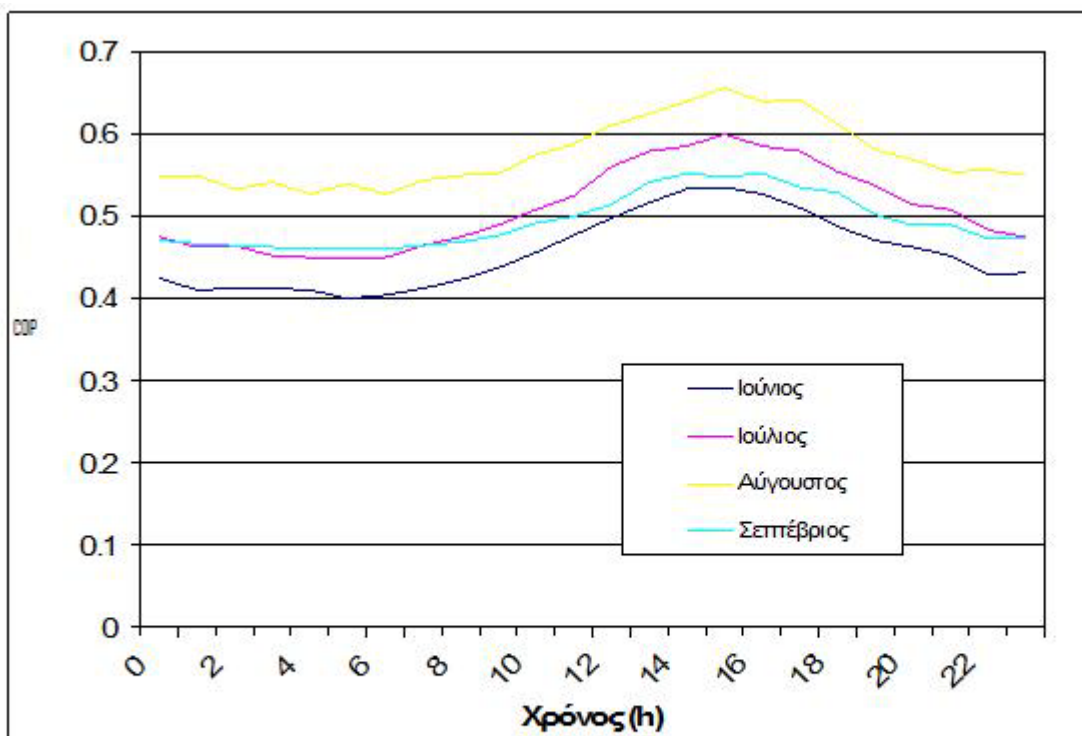
Σχήμα 16.15 Μεταβολή του COP για 21 Ιουλίου και διαφορετικό t_{db8}



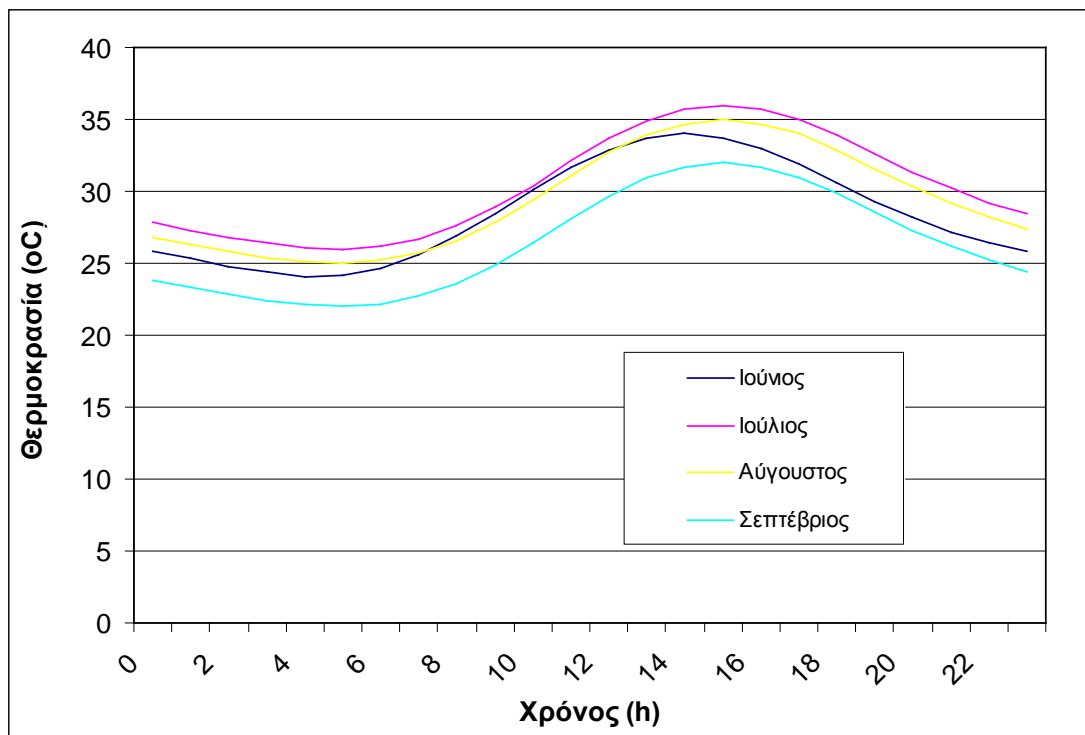
Σχήμα 16.16 Μεταβολή του COP για 21 Αυγούστου και διαφορετικό t_{db8}



Σχήμα 16.17 Μεταβολή του COP για 21 Σεπτεμβρίου και διαφορετικό t_{db8}

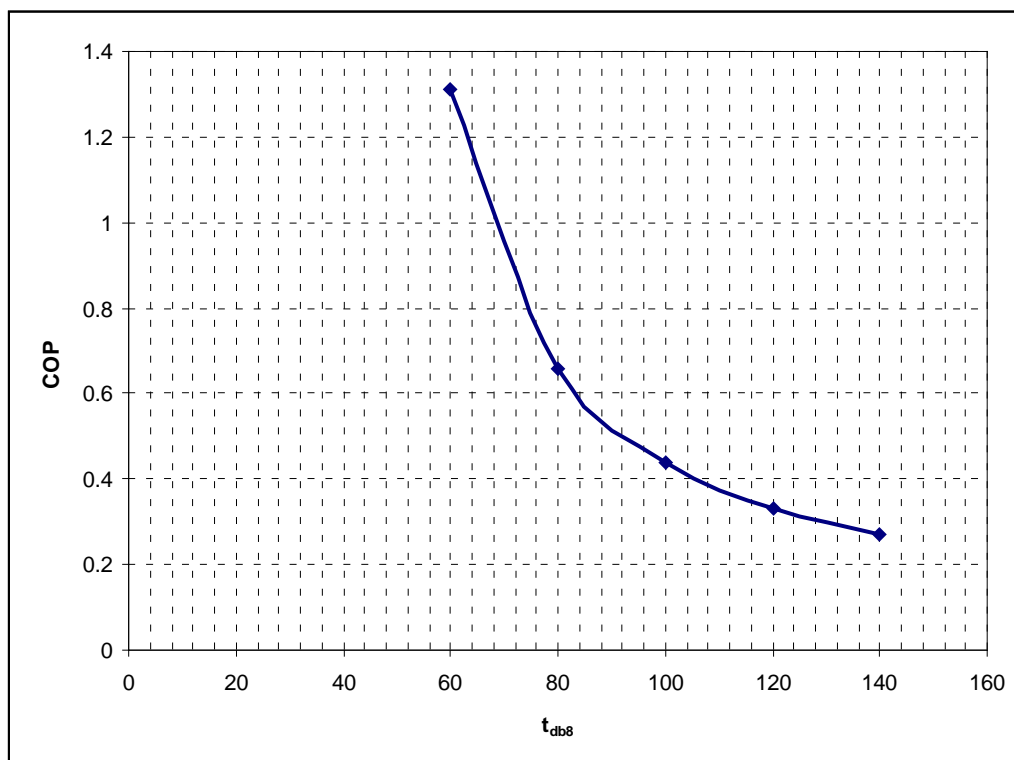


Σχήμα 16.18 Διάγραμμα μεταβολής του COP συναρτήσει του χρόνου για διαφορετικούς μήνες



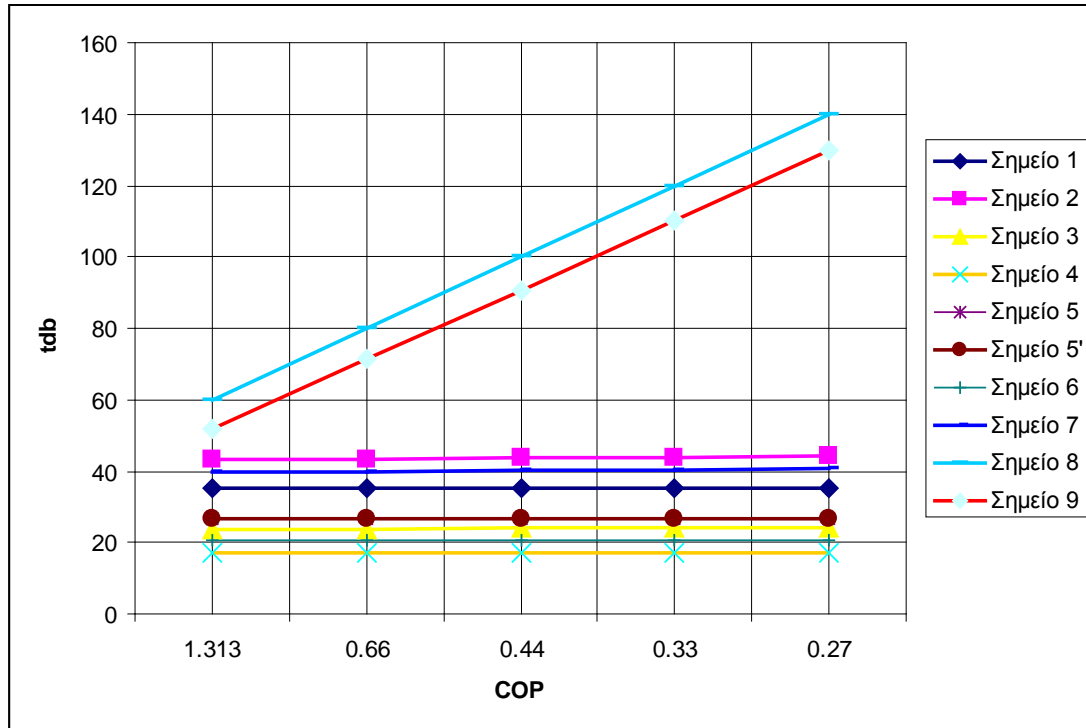
Σχήμα 16.19 Διάγραμμα μεταβολής της θερμοκρασίας t_{db} συναρτήσει της θερμοκρασίας

Στα σχήματα 16.12 έως 16.19 η θερμοκρασία ξηρού ή υγρού βολβού αναφέρεται στις συνθήκες του περιβάλλοντος και αντιστοιχεί στο σημείο 1 του κύκλου. Μεταβάλλοντας αυτό, με εκτέλεση του προγράμματος υπολογίζονται όλα τα σημεία του κύκλου.

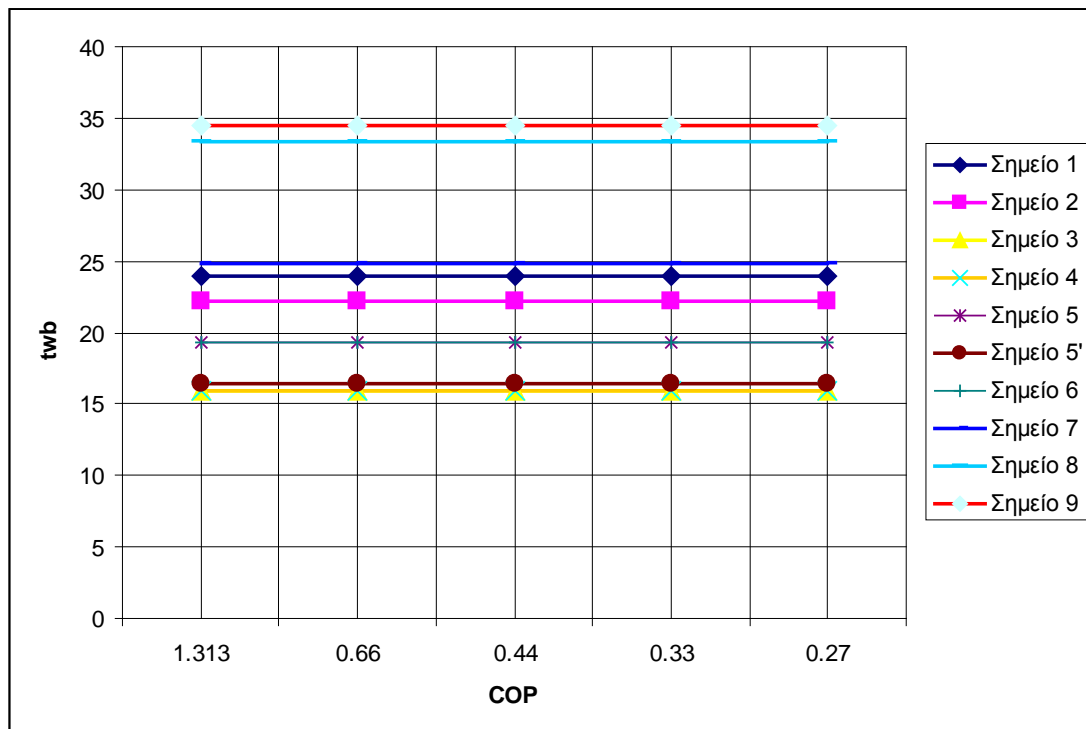


Σχήμα 16.20 Διάγραμμα μεταβολής της θερμοκρασίας t_{db8} συναρτήσει του COP

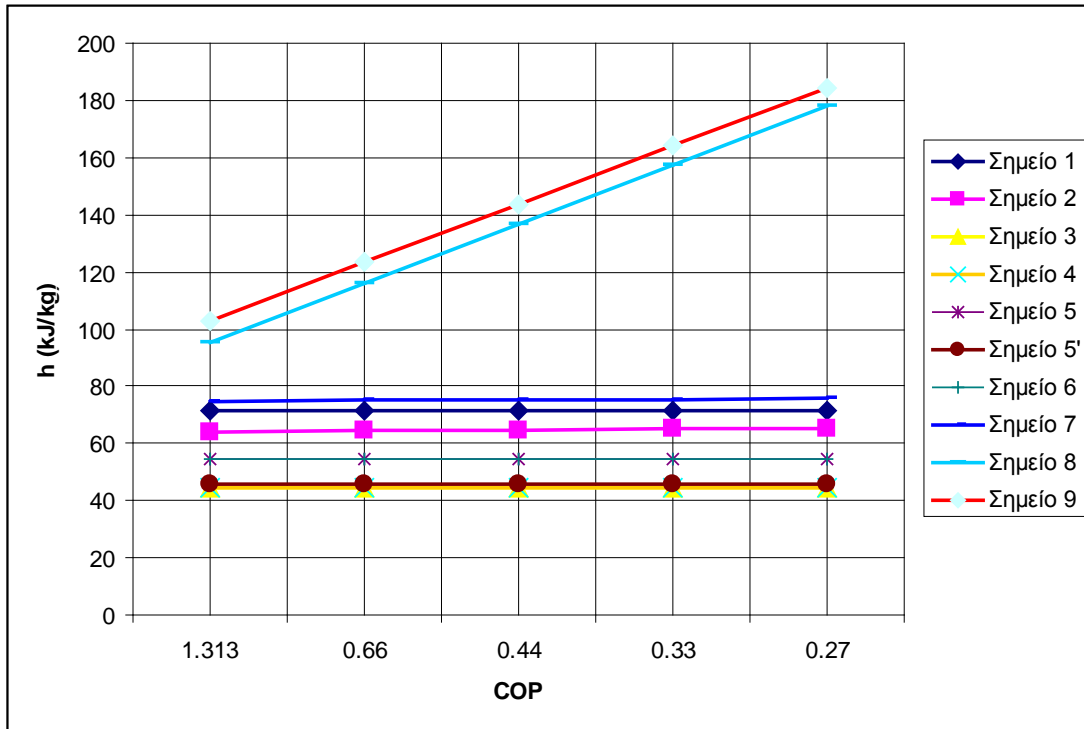
Όπως φαίνεται και από το σχήμα 16.20 η θερμοκρασία t_{db8} αυξάνεται με την πτώση του συντελεστή COP. Επίσης στα σχήματα 16.21 έως 16.25 σχεδιάζονται όλα τα μεγέθη που μας ενδιαφέρουν για όλα τα σημεία της μεταβολής. Έτσι φαίνεται ότι μόνο στα σημεία 8 και 9 υπάρχει αύξηση της θερμοκρασίας με τη μείωση του COP και συνεπώς και αύξηση της ενθαλπίας. Όλα τα άλλα διαγράμματα του λόγου υγρασίας κορεσμού W_s , της σχετικής υγρασίας κλπ παραμένουν σταθερά για όλα τα σημεία.



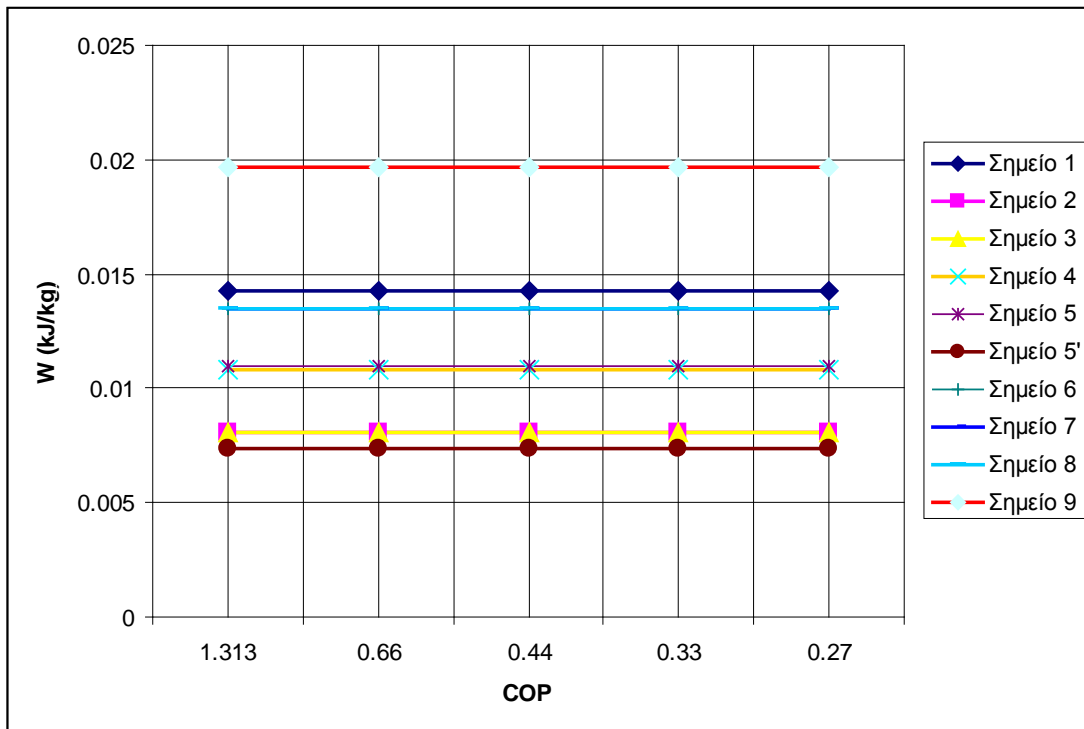
Σχήμα 16.21 Διάγραμμα μεταβολής της θερμοκρασίας t_{db} για όλα τα σημεία συναρτήσει του COP



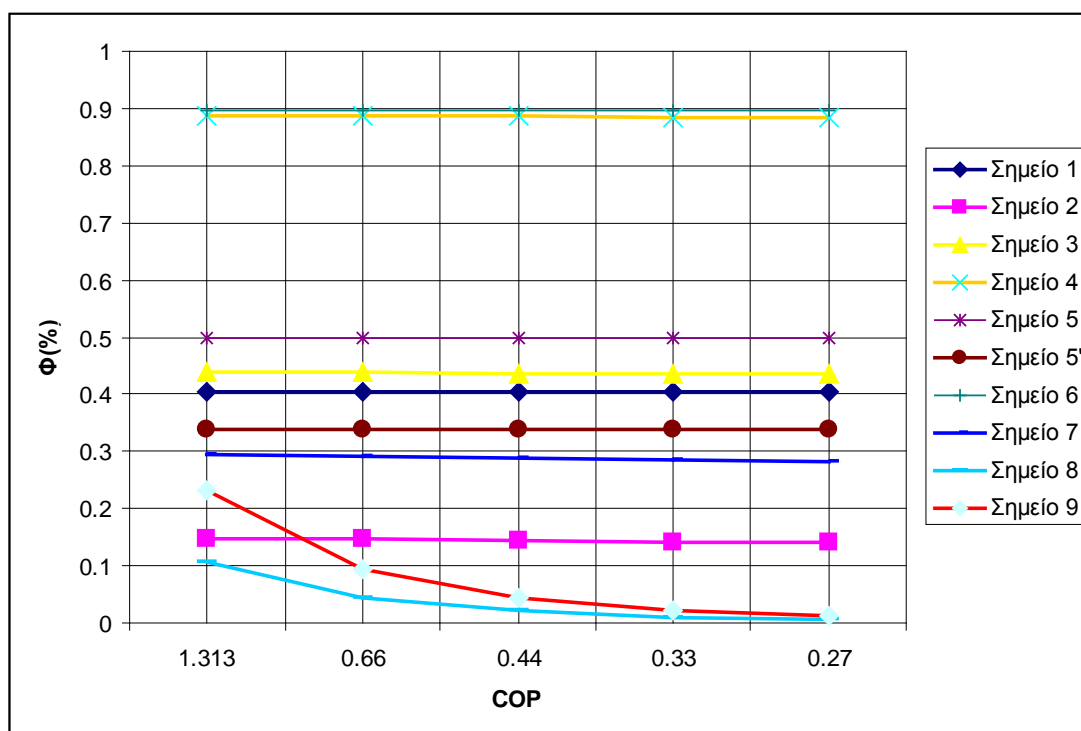
Σχήμα 16.22 Διάγραμμα μεταβολής της θερμοκρασίας t_{wb} για όλα τα σημεία συναρτήσει του COP



Σχήμα 16.23 Διάγραμμα μεταβολής της ενθαλπίας h (kJ/kg) για όλα τα σημεία συναρτήσει του COP



Σχήμα 16.24 Διάγραμμα μεταβολής του W για όλα τα σημεία συναρτήσει του COP



Σχήμα 16.25 Διάγραμμα μεταβολής του Φ για όλα τα σημεία συναρτήσει του COP

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Παρατηρείται λοιπόν από τα διαγράμματα ότι με την αύξηση της θερμοκρασίας tdb έχουμε μείωση του συντελεστή COP και τη μεγαλύτερη τιμή το COP την εμφανίζει για τις υψηλές θερμοκρασίες του Αυγούστου και ιδίως για το χρονικό διάστημα μεταξύ της 3-4 ώρα το απόγευμα οπότε και αναπτύσσονται οι πιο μεγάλες θερμοκρασίες. Επίσης παρατηρείται ότι ο Ιούλιος και ο Σεπτέμβριος εμφανίζουν τουλάχιστον τις πρωινές και μέχρι τις 12 το μεσημέρι παραπλήσιες τιμές του COP, χωρίς μεγάλες μεταβολές.

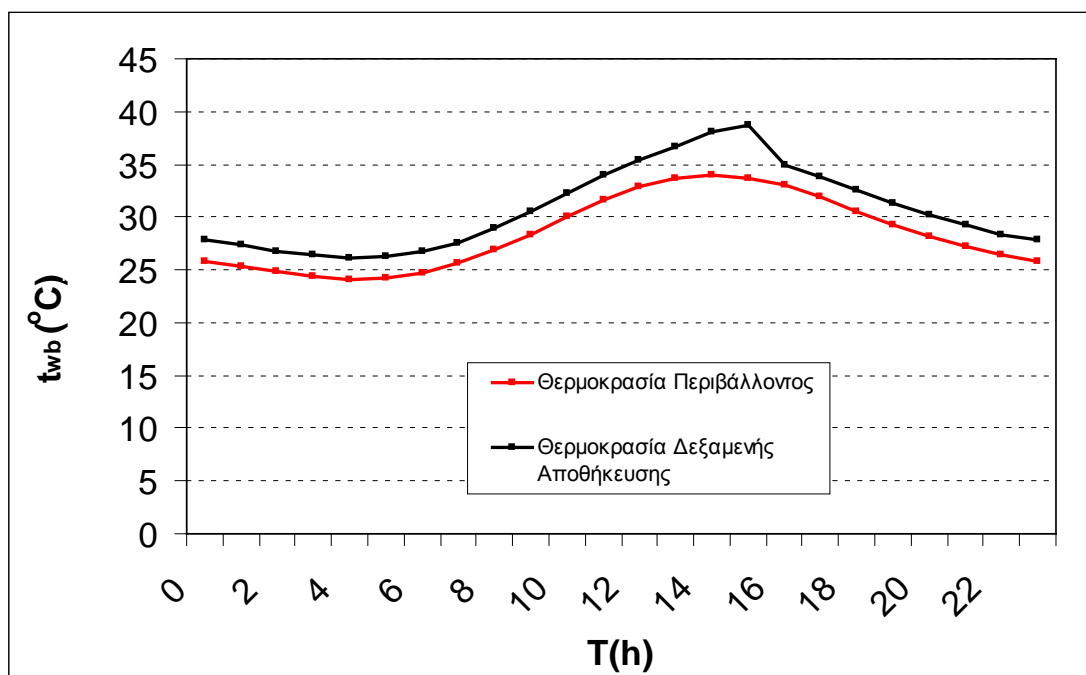
- Διάγραμμα μέσης θερμοκρασίας δεξαμενής αποθήκευσης σε ωριαία βάση για μέση ημέρα και μήνα

Για τον υπολογισμό της θερμοκρασίας της δεξαμενής αποθήκευσης επιλύοντας το σύστημα των παρακάτω εξισώσεων (βλ. σχήμα 16.10):

$$F_1 = \frac{2865}{T^{1.49}} + 4.344W^{0.8624}$$

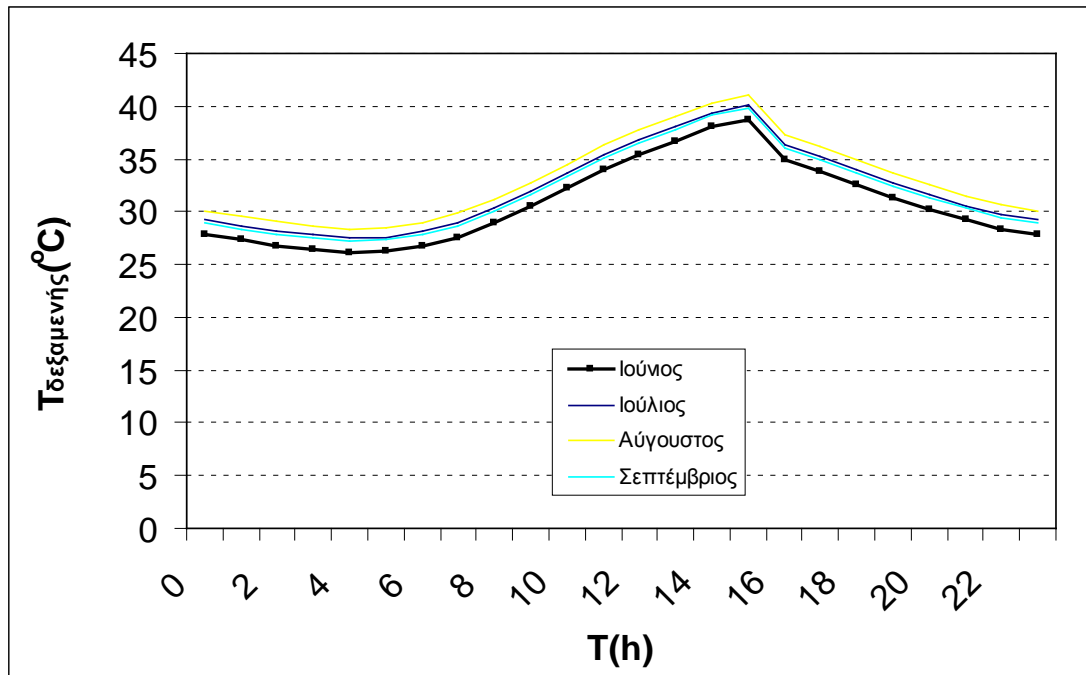
$$F_1 = \frac{T^{1.49}}{6360} - 1.127W^{0.07969}$$

Στο παρακάτω διάγραμμα σχεδιάζουμε τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος σε συσχέτιση με την αναπτυσσόμενη θερμοκρασία στη δεξαμενή αποθήκευσης.



Σχήμα 16.26 Διάγραμμα μεταβολής της θερμοκρασίας t_{wb} συναρτήσει της θερμοκρασίας

Όπως φαίνεται στο παραπάνω διάγραμμα η θερμοκρασία της δεξαμενής είναι κατάντη μεγαλύτερη της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος, προφανώς λόγω της στατικότητας της κατασκευής, λόγω της κλειστής κατασκευής και λόγω της μη δυνατότητας απόψυξής της. Κατά τις 15:00 η καμπύλη της δεξαμενής αποθήκευσης εμφανίζει ένα απότομο ανέβασμα ίσως λόγω της τοπικά αύξησης της θερμοκρασίας.



Σχήμα 16.27 Διάγραμμα μεταβολής της θερμοκρασίας της δεξαμενής αποθήκευσης συναρτήσει της ώρας της ημέρας καθώς και του μήνα

Επίσης από το σχήμα 16.27 παρατηρούμε ότι τη μεγαλύτερη θερμοκρασία την εμφανίζει η δεξαμενή τον Αύγουστο λόγω των υψηλών αναπτυσσόμενων θερμοκρασιών, καθώς και λόγω της άμεσης αναλογίας που υπάρχει μεταξύ της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος και της θερμοκρασίας της δεξαμενής.

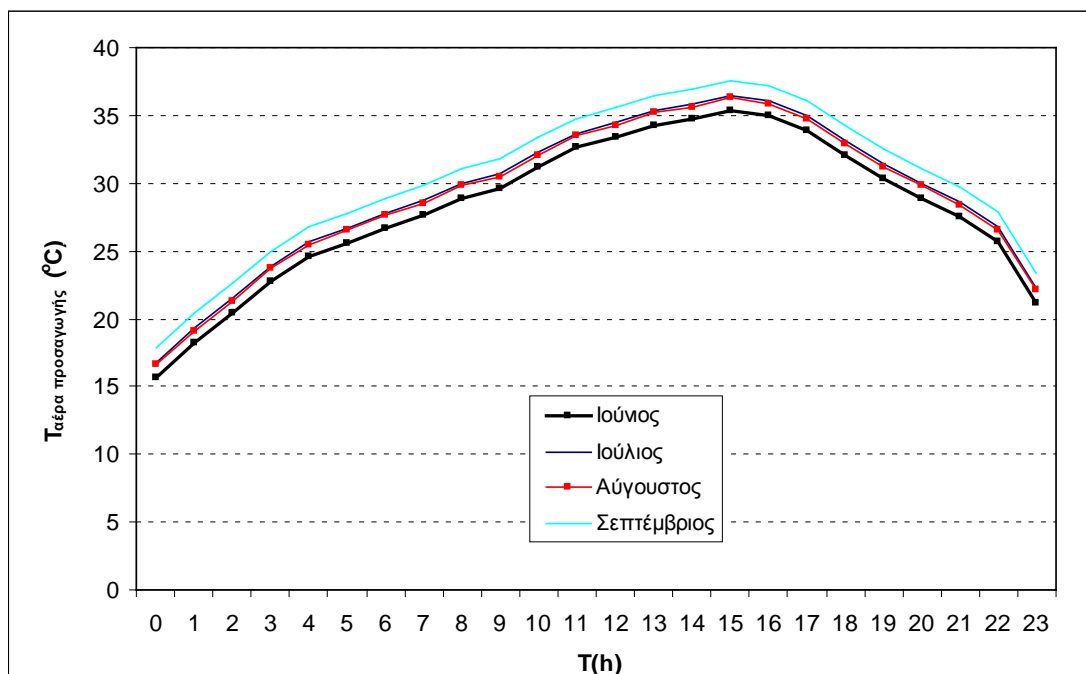
- Διάγραμμα θερμοκρασίας αέρα προσαγωγής σε ωριαία βάση για μέση ημέρα και μήνα

Ο αέρας ψύχεται διερχόμενος από έναν εναλλάκτη. Η κατάσταση του αέρα προσαγωγής μπορεί να υπολογιστεί από τον τύπο:

$$T_{p,o} = T_{p,i} + \eta_{hx} (T_{w,i} - T_{p,i})$$

Η θερμοκρασία εισόδου στον εναλλάκτη του νερού ψύξης θεωρείται ίση με 3°C μεγαλύτερη της θερμοκρασίας των περιβάλλοντος. Ο βαθμός απόδοσης θεωρήθηκε 0,85.

Με πράξεις λαμβάνουμε το παρακάτω διάγραμμα της θερμοκρασίας του αέρα προσαγωγής σε ωριαία βάση για τους τέσσερις μήνες που μελετάμε.



Σχήμα 16.28 Διάγραμμα μεταβολής της θερμοκρασίας του αέρα προσαγωγής συναρτήσει της ώρας της ημέρας καθώς και του μήνα

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ο αέρας προσαγωγής εμφανίζει σημαντικές τιμές και τις μεγαλύτερες την περίοδο του Σεπτεμβρίου και στη συνέχεια οι τιμές της καμπύλης πέφτουν για τη περίοδο του Ιουλίου-Αυγούστου. Οι διαφορές γενικά είναι μικρές και παρατηρούμε ότι από Σεπτέμβριο σε Αύγουστο η απόκλιση στην θερμοκρασία για τη βέλτιστη περιοχή των ωρών από 13:00 έως 16:00 είναι της τάξης των 2°C.

- Η επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας και του εξωτερικού περιβάλλοντος κάτω από πραγματικές συνθήκες

Η επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας στη θερμοκρασία δίνεται μέσω των παρακάτω εξισώσεων:

Το θερμικό φορτίο X υπολογίζεται από τη σχέση:

$$X = AF_R U_L (T_{ref} - \bar{T}_a) \Delta t / L_T$$

και το απορροφώμενο φορτίο:

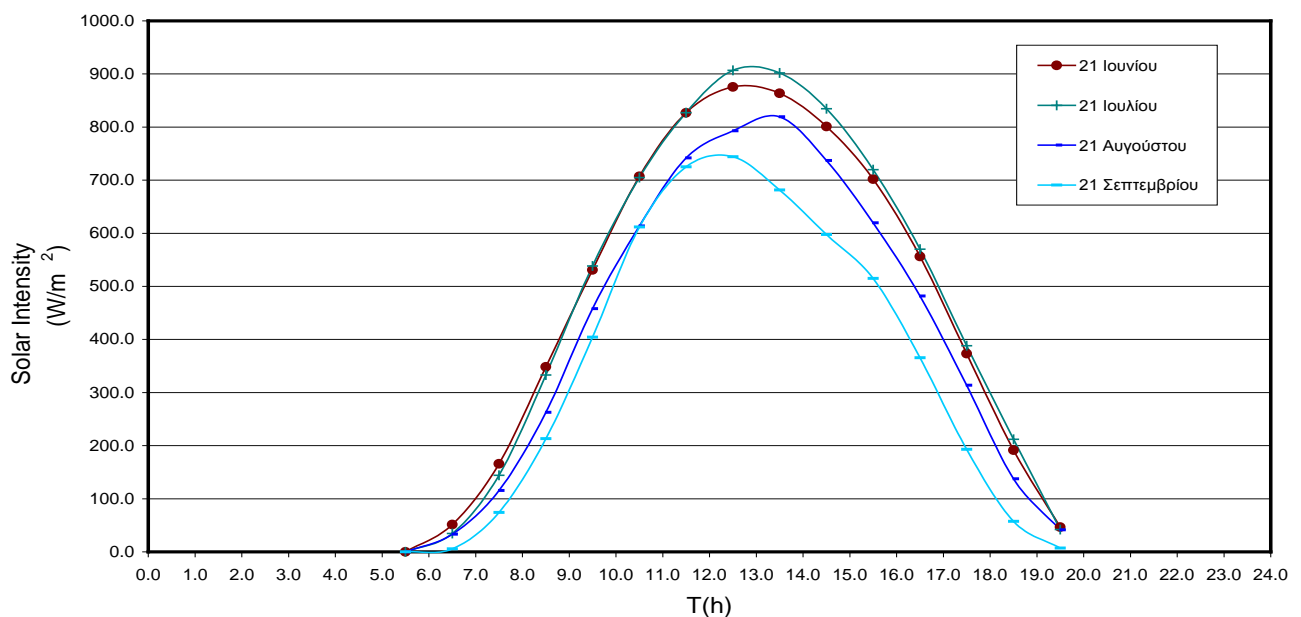
$$Y = AF_R (\tau \alpha) I_T N / L_T$$

Η συσχέτιση των δύο φορτίων γίνεται μέσω της σχέσης:

$$f = 1.04Y - 0.065X - 0.159Y^2 + 0.0018X^2 - 0.0095Y^3$$

Επομένως η θερμοκρασία θα δίνεται από τον τύπο:

$$\bar{T}_b = \frac{\sum T_b}{24}$$



Σχήμα 16.29 Διάγραμμα μεταβολής της ηλιακής ακτινοβολίας συναρτήσει της ώρας της ημέρας καθώς και του μήνα.

Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε ότι τη μεγαλύτερη ηλιακή ακτινοβολία εμφανίζεται το μήνα του Ιουλίου και στη συνέχεια του Ιουνίου. Αυτό σημαίνει ότι η ηλιακή ακτινοβολία είναι μεγαλύτερη τους μήνες Ιούνιο-Ιούλιο τη στιγμή που το COP και η θερμοκρασία της δεξαμενής αποθήκευσης είναι μεγαλύτερη τον Αύγουστο. Αυτό οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι υψηλές θερμοκρασίες έχουμε για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα τον Αύγουστο, με αποτέλεσμα μεγαλύτερο ποσό θερμότητας να μεταφέρεται στη δεξαμενή ή στην επιφάνεια της γης και να αυξάνει υπερβολικά τις θερμοκρασίες και τον συντελεστή COP.

17. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Βιβλία

- Χ. Σ. ΣΑΧΜΑΝΟΓΛΟΥ-Τ. Ι. ΜΑΚΡΟΓΙΑΝΝΗΣ, 1998, Γενική Μετεωρολογία, Εκδόσεις ΖΗΤΗ, Θεσσαλονίκη
- R. D. BOJKOV-W.M.O.-U.N.E.P., 1995, The changing ozone layer, ISBN : 92-63-10828-5, Έκδοση WMO-UNEP, Ε.Ε.
- Κ. ΒΑΡΩΤΣΟΣ-Κ. ΚΟΝΔΡΑΤΥΕΥ, 1996, Φυσικόχημεία Περιβάλλοντος, Τόμος Ι : Ακτινοβολία-Θερμοκήπιο-Κλιματική Αλλαγή, Εκδόσεις Π. Τρανζός- Ε. Κωσταράκη
- Θερμικά Ηλιακά Συστήματα – Κίμωνας Αντωνόπουλος - Εκδόσεις ΕΜΠ.
- JOHN GRIBBIN, 1987, Το Όζον και η Ανθρώπινη Απειλή, Εκδόσεις Ωρόρα, Αθήνα
- Σημειώσεις Ψύξης Ι και ΙΙ – Σ. Χατζηδάκης - Εκδόσεις ΕΜΠ.
- ΙΩΑΝΝΗΣ Κ. ΚΑΛΔΕΛΛΗΣ, 1999, Περιβαλλοντική Τεχνολογία και Εφαρμοσμένη Αεροδυναμική, Πειραιάς
- Εγχειρίδια ASHRAE.

Δικτυακοί τόποι

- <http://www.wikipedia.org/>
- <http://www.nrel.gov> - National Renewable Energy Laboratory
- <http://www.wbdg.org/resources/der>.
- http://www.ypan.gr/ape/sith_greece.html
- http://ec.europa.eu/environment/climat/campaign/pdf/gases_el.pdf
- <http://www.metapress.com>
- <http://www.sciencedirect.com>
- <http://www.ebscohost.com>
- <http://www.swetswice.com>
- http://www.atm.ch.cam.ac.uk/tour/anim_tcat.html
- http://www.physics.auth.gr/gr/sect_e.html
- <http://jwocky.gsfc.nasa.gov/eptoms/epsat.html>
- <http://tech.flash.gr/news/science/2001/3/30/3851id/>
- <http://www.saintpaul.gr/ozone/introduction.html>
- http://jwocky.gsfc.nasa.gov/teacher/ozone_overhead.html

- http://toms.gsfc.nasa.gov/adeos/A1TOMS_V7_Ovp/OVP293.a1t22.
- <http://ap.physics.uoc.gr/theory/ch4/node4.html23>.
- http://daac.gsfc.nasa.gov/CAMPAIGN_DOCS/ATM_CHEM/image_index.html
- <http://www.iatronet.gr/HTMLpages/MainPages/YgiaNosoi/NosoiDermatos/IliosDerma2.asp>

Δημοσιεύσεις

- Περισκόπιο, «Τροποσφαιρικό Όζον», Τεύχος 254, σελ.40-51, ISBN : 9771105712006, Έκδοση Περισκόπιο, Αθήνα
- Περισκόπιο, «Στρατοσφαιρικό Όζον», Τεύχος 248, σελ.78-88, ISBN : 9771105712006, Έκδοση Περισκόπιο, Αθήνα
- S. J. REID, 1999, Ozone and Climate Change, A Beginner's Guide, ISBN : 90-5699-233-3(sc), Εκδόσεις Gordon and Breach Science Publishers
- Σ. ΠΑΤΣΙΟΥΡΑ, 1997, Το Διεθνές Νομικό Καθεστώς για την Προστασία του Στρώματος του Όζοντος, Διδακτορική Διατριβή, Α.Π.Θ. Νομικής Σχολής-Τομέας Διεθνών Σπουδών, Θεσσαλονίκη
- Γ. ΧΡΟΝΟΠΟΥΛΟΣ, 1997, Δυναμική του Ατμοσφαιρικού Όζοντος, Μελέτη των Διακυ-μάνσεων του Ατμοσφαιρικού Όζοντος στην Ελλάδα, Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα
- ΕΥΗ ΕΛΕΥΘΕΡΙΑΔΟΥ, 1996, Αναζητώντας το «καλό» όζον, «Τα Νέα», Τρίτη 11 Ιουνίου 1996, Αθήνα
- Κ. ΚΑΤΣΑΒΟΥ, 1996, Όζον : sos για τον εφιάλτη, «Ελεύθερος Τύπος», Κυριακή 17 Μαρτίου, Αθήνα
- Critoph RE. Performance limitations of adsorption cycles for solar cooling. Sol Energy 1988;41(1):21–31.
- Luo L, Feidt M. Thermodynamics of adsorption cycles: a theoretical study. Heat Transfer Eng 1992;13(4):19–31.
- Teng Y, Wang RZ, Wu JY. Study of the fundamentals of adsorption systems. Appl Therm Eng 1997;17(4):327–38.
- Lew Harriman, Applications engineering manual for desiccant systems
- V. C. Mei and F. C. Chen, Energy Division, Z. Lavan, Illinois Institute of Technology, R. K. Collier, Jr., Collier Engineering Services, and G. Meckler Gershon Meckler Associates, P.C.
- AN ASSESSMENT OF DESICCANT COOLING AND DEHUMIDIFICATION TECHNOLOGY
- Benjamin Marcus Jones, Field Evaluation and Anaysis of a Liquid Desiccant Air Handling System

- B. S. DAVANAGERE, S. A. SHERIF, AND D. Y. GOSWAMI,
- A FEASIBILITY STUDY OF A SOLAR DESICCANT AIR-CONDITIONING SYSTEM PART I: PSYCHROMETRICS AND ANALYSIS OF THE CONDITIONED ZONE
- Philippe Marechal, Françoise Burgun & François Boudéhenn, Solar Desiccant Cooling
- JAGDEEP SINGH, DESICCANT COOLING :DESICCANT VENTILATION COMES OF AGE EMERGING OPPORTUNITIES AND DESICCANT COOLING SYSTEMS
- Marco Beccali, Pietro Finocchiaro, Massimiliano Luna, Bettina Nocke, MONITORING OF A SOLAR DESICCANT COOLING SYSTEM
- Gerrit Höfker, Ursula Eicker, Kevin Lomas, Herbert Eppel, Desiccant Cooling with Solar Energy
- Dr. Hans-Martin Henning, Air Conditioning with Solar Energy
- Mario Motta, Hans-Martin Henning, Volker Kallwellis, PERFORMANCE ANALYSIS OF A NOVEL DESICCANT AND EVAPORATIVE COOLING CYCLE
- Ahmad A. Pesaran, Desikan Bharathan, Benjamin Shelpuk, Evaluation of Thermally Activated HeatPump/Desiccant Air Conditioning Systems and Components
- I. KORONAKI, E. ROGDAKIS, T. KAKATSIU, OPTIMIZATION OF EVAPORATIVE AND DESICCANT SYSTEMS FOR AIR-CONDITIONING IN MEDITERRANEAN AREAS
- Guilleminot JJ. From pellet to composite adsorbent bed: evolutions of adsorber technologies. In: Proceedings of fundamentals of adsorption (FOA6), France, 1998.
- Oliveira RG, TamainotTelto Z, Silveira Jr. V. Equilibrium characterisation of carbon C119-ammonia and carbon C119-dimethyl ether pairs and application in adsorption refrigeration design. In: Proceedings of the XVI Brazilian congress of mechanical engineering (COBEM 2001), Brazil
- Cho SH, Kim JN. Modeling of a silica gel/water adsorption- cooling system. Energy 1992;17(9):829–39.
- Hu EJ. A study of thermal decomposition of methanol in solar powered adsorption refrigeration systems. Sol Energy 1998;62(5):325–9.
- Liu YL, Wang RZ, Xia ZZ. Experimental study on a continuous adsorption water chiller with novel design. Int J Refrig 2005;28(2):218–30.
- Ismail MZ, Angus DE, Thorpe GR. The performance of a solar-regenerated open-cycle desiccant bed grain cooling system. Sol Energy 1991;46(2):63–70.
- Thoruwa TFN, Grant AD, Smith JE, Johnstone CM. A solar-regenerated desiccant dehumidifier for the aeration of stored grain in the humid tropics. J Agric Eng Res 1998; 71(3):257–62.
- Henning HM, Erpenbeck T, Hindenburg C, Santamaria IS. The potential of solar energy use in desiccant cooling cycles. Int J Refrig 2001;24:220–9.

- Lu SM, Yan WJ. Development and experimental validation of a full-scale solar desiccant enhanced radiative cooling. *Renew Energy* 1995;6(7):821–7.
- Maranthan A. Optimization of integrated microturbine and absorption chiller systems in CHP for buildings applications [Ph.D.] Maryland: University of Maryland; 2002. 130p.
- Dunne S. Carousel heat exchanger for sorption cooling process. USA patent 5.503.222, 1996.
- Meunier F, Kaushik SC, Neveu P, Poyelle F. A comparative thermodynamic study of sorption systems: second law analysis. *Int J Refrig* 1996;19(6):414–21.
- Δρ. Ε. Μαθιουλάκης, Θερμική Ηλιακή Ενέργεια - Παρούσα κατάσταση και προοπτικές
- Κ.Α. Μπαλαράς, Ηλιακός Κλιματισμός
- Παναράς Γεώργιος, Ηλιακή ψύξη με αφύγρανση
- Garrett Jones, Kasey Smith, Michael Thornton, Johanna Torres, Meredith Williams, Desiccant Wheel HVAC System
- XIANGYANG GONG, INVESTIGATION OF A RADIANTLY HEATED AND COOLED OFFICE WITH AN INTEGRATED DESICCANT VENTILATION UNIT
- Ε. Μιχάλαινα και Ι. Τρυπαναγνωστόπουλος, ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ
- G. Panaras, E. Mathioulakis, V. Belessiotis, Achievable working range for solid all-desiccant air-conditioning systems under specific space comfort requirements
- P. Bourdoukan, E. Wurtz, P. Joubert, M. Sperandio, Potential of solar heat pipe vacuum collectors in the desiccant cooling process: Modelling and experimental results
- P. Bourdoukan, E. Wurtz, P. Joubert, Experimental investigation of a solar desiccant cooling installation
- S.P. Halliday, C.B. Beggs, P.A. Sleigh, The use of solar desiccant cooling in the UK: a feasibility study