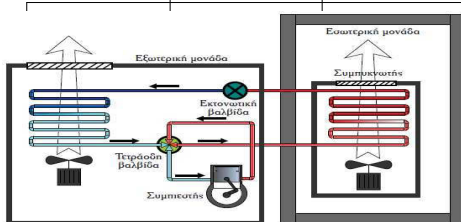
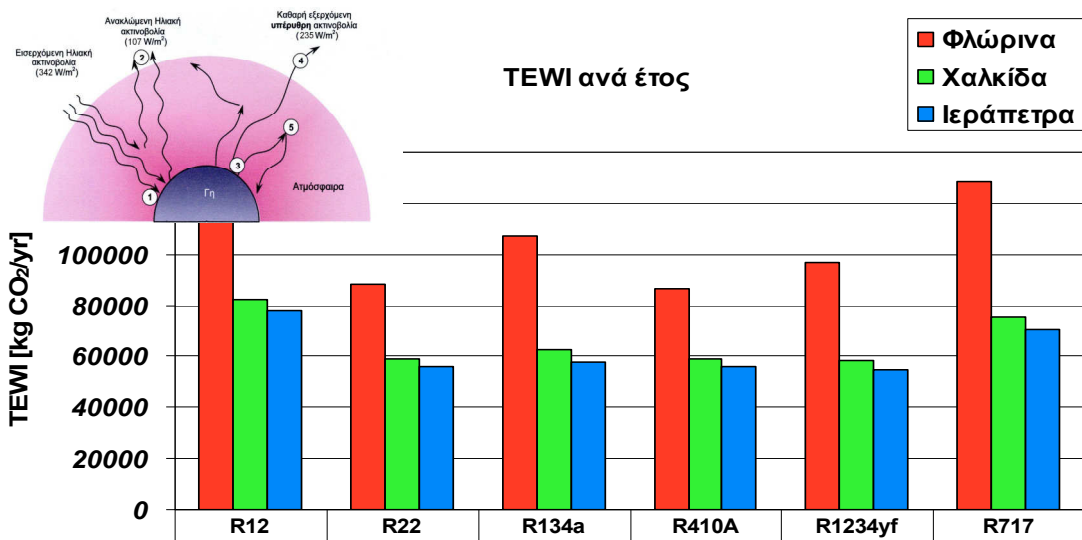


**ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ ΔΕΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΗΧ/ΚΗΣ**  
**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ**  
**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ :**  
**ΔΕΙΟΠΟΙΗΣΗ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΓΕΩΡΓΙΚΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ**  
**ΕΙΔΙΚΕΥΣΗ : ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ~ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ**  
**ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ**



**Μεταπτυχιακή Διατριβή**

**«ΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟ ΑΠΟΤΥΠΩΜΑ ΑΝΤΛΙΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ**  
**ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΧΡΗΣΗΣ : ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΓΙΑ**  
**ΕΛΛΗΝΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ»**



106929,6  
 62507,42  
 58089,58



Ψυκ

**Δημήτριος Α. Αναστασίου**

**Επιβλέπων : καθ. Γρηγόριος Λαμπρινός**

**ΑΘΗΝΑ 2012**

**Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών  
Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων & Γεωργικής Μηχ/κής  
Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας  
Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών :  
Αξιοποίηση Φυσικών Πόρων & Γεωργική Μηχανική  
Ειδίκευση : Ενεργειακά Συστήματα ~ Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας**

**Μεταπτυχιακή Διατριβή**

**«Το Περιβαλλοντικό Αποτύπωμα Αντλίας Θερμότητας Γεωργικής Χρήσης :  
Μεθοδολογία και Εκτίμηση για Ελληνικές Συνθήκες»**

**Δημήτριος Α. Αναστασίου**

**Επιβλέπων : καθ. Γρηγόριος Λαμπρινός**

**Αθήνα 2012**

## Μεταπτυχιακή Διατριβή

«Το Περιβαλλοντικό Αποτύπωμα Αντλίας Θερμότητας Γεωργικής Χρήσης :  
Μεθοδολογία και Εκτίμηση για Ελληνικές Συνθήκες»

Δημήτριος Α. Αναστασίου

Επιβλέπων : καθ. Γρηγόριος Λαμπρινός

### **Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής :**

Γρηγόριος Λαμπρινός - Καθηγητής

Χρήστος Καραβίτης - Επίκουρος Καθηγητής

Γεώργιος Ξανθόπουλος - Επίκουρος Καθηγητής

## Περίληψη

Αντικείμενο της παρούσας διατριβής αποτελεί ο υπολογισμός και η σύγκριση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος από τη χρήση αντλίας θερμότητας στον Ελλαδικό αγροτικό χώρο και συγκεκριμένα σε μια χοιροτροφική εκμετάλλευση, η οποία μελετάται σε τρεις διαφορετικές κλιματολογικά περιοχές της χώρας.

Η ανάπτυξη του συγκεκριμένου θέματος γίνεται με σκοπό να διερευνηθεί το αν οι λύσεις που παρέχει η χρήση αντλιών θερμότητας στον τομέα της κτηνοτροφίας και της στέγασης αγροτικών ζώων, σε εφαρμογές τόσο οικιστικές όσο και σε βιομηχανικές, είναι και ενεργειακά αποδοτικές αλλά και περιβαλλοντικά αποδεκτές. Έτσι, γίνεται μια προσπάθεια για την αποκάλυψη των ασθενών σημείων-εάν υπάρχουν-του εγχειρήματος αυτού, καθώς και τη βελτίωση των χρησιμοποιούμενων τεχνολογιών και των περιβαλλοντικών τους ιδιοτήτων που εμπλέκονται σε αυτό, προτείνοντας κατά κάποιο τρόπο στους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων να εξετάζουν και να ενθαρρύνουν τέτοιου είδους πρωτοβουλίες οι οποίες συμβάλουν στην ελαχιστοποίηση των συνολικών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου.

Η διατριβή αποτελείται από δύο μέρη : το γενικό και το ερευνητικό.

Γενικό μέρος : Στο μέρος αυτό παρατίθεται το απαραίτητο γνωστικό υπόβαθρο για την κατανόηση του θέματος που πραγματεύεται η διατριβή. Έτσι, ξεκινώντας από το θέμα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, το οποίο απασχολεί αρκετά τα τελευταία χρόνια την ανθρωπότητα, εξετάζονται δύο από τα παγκόσμια κλίμακα περιβαλλοντικά προβλήματα που αυτή προκαλεί, κυρίως λόγω της ανθρωπογενούς παρέμβασης : η ελάττωση των συγκεντρώσεων του στρατοσφαιρικού όζοντος (πρόβλημα γνωστό και ως Τρύπα του Όζοντος) και η ενίσχυση του Φαινομένου του Θερμοκηπίου. Εκτός όμως από την εξέταση των δύο αυτών προβλημάτων, γίνεται και μια αναφορά των ενεργειών στις οποίες έχει προβεί η ανθρωπότητα για να τα ελέγξει και να τα περιορίσει. Στη συνέχεια εξετάζονται τόσο το φαινόμενο της ψύξης, όσο και οι μηχανές και οι διεργασίες μέσω των οποίων αυτή επιτυγχάνεται. Η συζήτηση επικεντρώνεται στις αντλίες θερμότητας μηχανικής συμπίεσης ατμών και επεκτείνεται στα εργαζόμενα ρευστά των μηχανών αυτών, τα ψυκτικά ρευστά, πολλά εκ των οποίων αποτελούν αέρια του θερμοκηπίου. Τέλος, επιχειρείται ο ορισμός του **‘περιβαλλοντικού αποτυπώματος’**, ενώ γίνεται και η γνωριμία με το δείκτη μέσω του οποίου εκφράζεται το μέτρο του, για τις μηχανολογικές εφαρμογές του τομέα ψύξης και κλιματισμού που χρησιμοποιούν τεχνολογίες ψυκτικού ρευστού. Μέσω αυτού του δείκτη είναι εφικτός τόσο ο υπολογισμός του περιβαλλοντικού αποτυπώματος μιας τέτοιας τεχνολογίας, όσο και η σύγκρισή του με άλλες, αντίστοιχες ή και άλλου είδους, τεχνολογίες.

Ερευνητικό μέρος : Στο ερευνητικό μέρος αναλύεται η μεθοδολογία που ακολουθείται για τον υπολογισμό του περιβαλλοντικού αποτυπώματος της αντλίας θερμότητας, δηλαδή του άμεσου και έμμεσου τρόπου με τον οποίο αυτή συμβάλλει στην ενίσχυση του Φαινομένου του Θερμοκηπίου, λειτουργώντας σε ένα χοροστάσιο-αναφορά βιομηχανικού τύπου με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά. Η χοιροτροφική αυτή εκμετάλλευση θεωρείται ότι εγκαθίσταται σε τρεις περιοχές της Ελλάδας, οι οποίες ανήκουν σε διαφορετικές κλιματικές ζώνες και χαρακτηρίζουν το εύρος των συνθηκών που μπορούν να απαντηθούν ανά την Ελληνική επικράτεια. Οι περιοχές αυτές είναι η Φλώρινα, η Χαλκίδα και η Ιεράπετρα, όπου εξετάζεται το πώς το αποτύπωμα επηρεάζεται πρωτίστως από τις θερμοκρασίες που επικρατούν εποχιακά σε αυτές και δευτερευόντως της τεχνολογίας ψυκτικού ρευστού που χρησιμοποιεί η αντλία θερμότητας. Η παρουσία της τελευταίας στο χοροστάσιο έχει ως σκοπό την κάλυψη των αναγκών σε θέρμανση/δροσισμό που απαιτούν τα, ευαίσθητα σε αυτή την ηλικία, νεαρά χοιρίδια που στεγάζονται στο κτήριο πρώτης ανάπτυξης. Αφού καθοριστούν οι δυσμενέστερες κλιματικές συνθήκες μέσα και έξω από το χοροστάσιο, στη συνέχεια υπολογίζονται οι ενεργειακές απαιτήσεις κατά το χειμώνα και το θέρος οι οποίες είναι απαραίτητες προκειμένου να υπολογιστεί η έμμεση συμβολή, ενώ παράλληλα υπολογίζεται και η άμεση συμβολή από τις διαρροές των ψυκτικών ρευστών στην ατμόσφαιρα. Το άθροισμα της άμεσης και της έμμεσης συμβολής αποτελεί τον περιβαλλοντικό δείκτη της ‘Συνολικής Ισοδύναμης Επίδρασης στην Παγκόσμια Θέρμανση’ ΣΙΕΠΘ (Total Equivalent Warming Impact, **TEWI**) και εκφράζει το μέτρο του περιβαλλοντικού αποτυπώματος της αντλίας θερμότητας. Από τη σύγκριση του TEWI για κάθε περιοχή, εποχή και ψυκτικό ρευστό, εξάγονται εκείνα τα συμπεράσματα που θα οδηγήσουν στην εκλογή της καταλληλότερης τεχνολογικής επιλογής σε κάθε μία περίπτωση.

*Λέξεις & φράσεις κλειδιά* : Ατμοσφαιρική ρύπανση, Κλιματική Αλλαγή, όζον, Φαινόμενο του Θερμοκηπίου, αέρια του θερμοκηπίου, αντλία θερμότητας, ψυκτικά ρευστά, Συνολική Ισοδύναμη Επίδραση στην Παγκόσμια Θέρμανση (TEWI), χοιροστάσιο.

# **The Environmental Footprint of a Heat Pump for Agricultural Use : Methodology & Estimation for Greek Climate Conditions**

## **Summary**

This thesis concerns the estimation and comparison of the environmental footprint resulting from the study of a heat pump operating in the Greek agricultural sector and in particular in a piggery house, located in three different climatic regions as far as the environmental conditions concerns.

In this study is investigated the potential use and the offered solutions of heat pumps, operating in the field of animal husbandry and livestock housing. The technology of heat pumps for residential and industrial applications for controlling in-house environment is quite promising as far as the energy efficiency and the environmental impact concerns. So, an undergoing effort to uncover the limitations, if there are any, of this enterprise is taking place with aim of improving the employing technologies and their environmental properties, suggesting a decision making plan which could encourage such initiatives and minimizes the total greenhouse gas emissions.

The present thesis is divided in two sections : the general and the research section.

*General Section* : In this section is outlined the essential scientific background for understanding the technical merit of this thesis. Thus, initially is discussed the problem of air pollution, which has raised global awareness the last decades, and then discussion is focused on two global environmental problems caused from human activity and are the Ozone Hole and the Greenhouse Effect. Apart from the examination of these two problems, is also discussed the counteraction to control and mitigate those two problems. The analysis in this thesis is focused on the mechanical driven vapor compression heat pumps and their working fluids, known as refrigerants, many of which are greenhouse gases. Finally, a definition of the term '**environmental footprint**' is given which is an index expressing the measure of the footprint, used in engineering applications of Refrigeration and Air Conditioning (RAC). With this index is possible to estimate both the environmental footprint of this group of technologies and compare it with the respective of other technologies.

*Research Section* : In this section is discussed the employed methodology to calculate the environmental footprint of a heat pump, implementing a direct and an indirect approach with which the heat pump contributes to the enhancement of the greenhouse effect. The analyzed heat pump operates in an industrial type standard swine farm of specific characteristics. The examined swine farm is considered to be located in three Greek regions corresponding to different climatic zones, representing the range of environmental conditions that are encountered in the country (a cold northern area, a mild-climate central area and a warm southern area). The regions in which the footprint of the heat pump is evaluated are Florina, Chalkida and Ierapetra. The simulation process is influenced primarily by the seasonal temperatures met in these regions and secondary from the refrigerant technology that heat pump employs. Selection of the heat pump for air conditioning of the swine farm is based on the need for heating/cooling during the heat sensitive age of the piglets which are housed in the first growth building. Once the climatic conditions range inside and outside the swine farm are defined, the calculations of the energy requirements in winter and summer are followed, since they are necessary for calculations of the indirect effect to global warming and the direct effect due to refrigerant leakages in atmosphere. The sum of the direct and indirect effects forms the environmental index '**Total Equivalent Warming Impact**' (TEWI) and reflects the extent of the heat pump's environmental footprint. Finally, comparison of the TEWI index for each region, season and refrigerant is carried out, which leads to the selection of the most suitable technology choice for each case.

*Key words & phrases* : Air pollution, Climate Change, ozone, Greenhouse Effect (or Global Warming), Greenhouse Gases (GHGs), heat pump, refrigerants, Total Equivalent Warming Impact (TEWI), swine farm.

## **Ευχαριστίες**

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω τον εισηγητή και επιβλέποντα Καθηγητή μου κ. Γρηγόριο Λαμπρινό, για την πολύτιμη υποστήριξή του τόσο κατά τη διάρκεια των μεταπτυχιακών σπουδών μου όσο και κατά τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας διατριβής.

Επιπρόσθετα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Επίκουρο Καθηγητή κ. Χρήστο Καραβίτη και τον Επίκουρο Καθηγητή κ. Γεώργιο Ξανθόπουλο για τις εύστοχες παρατηρήσεις και τα εποικοδομητικά τους σχόλια.

## **Αφιέρωσεις**

*Στην Οικογένειά μου και στη Μαρία*

## Περιεχόμενα

Περίληψη .....	iv
Summary .....	v
ΜΕΡΟΣ 1 <sup>ο</sup> : ΓΕΝΙΚΟ	
1.1 ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ .....	2
1.2 ΤΟ ΟΖΟΝ (O <sub>3</sub> ) ΚΑΙ Η ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ .....	9
1.2.1 Η καταστροφή του στρατοσφαιρικού όζοντος και οι επιπτώσεις της .....	11
1.3 ΤΟ (ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΟ) ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ .....	16
1.3.1 Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα και η ηλιακή ακτινοβολία .....	16
1.3.2 Το ενεργειακό ισοζύγιο του συστήματος ατμόσφαιρα-Γη και ο μηχανισμός του (φυσικού) Φαινομένου του Θερμοκηπίου .....	17
1.3.3 Η ενίσχυση του φαινομένου και τα αέρια του θερμοκηπίου .....	21
1.3.4 Επιπτώσεις του ενισχυμένου Φαινομένου του Θερμοκηπίου .....	25
1.4 ΣΥΜΒΑΣΕΙΣ-ΔΙΕΘΝΗ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ & ΔΡΑΣΕΙΣ .....	26
1.4.1 Ιστορική αναδρομή .....	26
1.4.2 Οι σημαντικότερες Διεθνείς Συμβάσεις .....	28
1.4.2.1 Το Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ .....	28
1.4.2.2 Η Σύμβαση-Πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή .....	28
1.4.2.3 Το Πρωτόκολλο του Κιότο .....	30
1.4.2.4 Η ευρωπαϊκή οδηγία ‘20-20-20’ και η κατάσταση στην Ελλάδα .....	33
1.5 ΨΥΚΤΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ .....	36
1.5.1 Ψύξη : Βασικές έννοιες, ορισμός & μέθοδοι παραγωγής .....	36
1.5.2 Η Ψυκτική Μηχανή Συμπύεσης Ατμών .....	38
1.5.3 Η Αντλία Θερμότητας (ΑΘ) και ο τρόπος λειτουργίας της .....	47
1.5.3.1 Οι πηγές άντλησης και αποβολής θερμότητας των ΑΘ .....	49
1.5.3.2 Κατηγορίες ΑΘ .....	50
1.5.3.3 Εφαρμογές ΑΘ σε αγροτικές χρήσεις .....	51
1.5.4 Ψυκτικά Ρευστά .....	52
1.5.4.1 Κατηγορίες Ψυκτικών Ρευστών .....	53
1.5.4.2 GWP και Ψυκτικά Ρευστά .....	55
1.5.4.3 Κριτήρια επιλογής .....	58
1.6 ΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟ ΑΠΟΤΥΠΩΜΑ .....	62
1.6.1 Προσεγγίσεις-μέθοδοι υπολογισμού των περιβαλλοντικών επιδράσεων βάσει διεθνών συστημάτων περιβαλλοντικής προσέγγισης .....	63
1.6.2 TEWI .....	66
1.6.2.1 Άμεση Συμβολή (Direct Effect, DE) .....	68
1.6.2.2 Έμμεση Συμβολή (Indirect Effect, IE) .....	70
1.6.2.3 Η συνδυασμένη επίδραση άμεσης και έμμεσης συμβολής (υπολογισμός TEWI) .....	71
ΜΕΡΟΣ 2 <sup>ο</sup> : ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ	
2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ-ΣΚΟΠΟΣ .....	73
2.2 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ-ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ-ΥΛΙΚΑ .....	76
2.2.1 Μεθοδολογία .....	76

2.2.2 Παραδοχές .....	78
2.2.3 Υλικά .....	79
2.2.3.1 Κατασκευή και οργάνωση του υπό μελέτη χοιροστασίου και φορτία θέρμανσης/δροσισμού .....	79
2.2.3.2 Κλιματολογικά δεδομένα και συνθήκες περιβάλλοντος .....	83
2.2.3.3 Ψυκτικά Ρευστά .....	85
2.2.3.4 Λογισμικό Η/Υ (PC Software) .....	86
2.2.3.5 Αναλυτικοί Ενεργειακοί υπολογισμοί .....	86
2.2.3.6 Αναλυτικοί Περιβαλλοντικοί υπολογισμοί.....	89
2.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑ .....	93
2.3.1 Κλιματολογικά δεδομένα και συνθήκες εσωτερικού περιβάλλοντος.....	93
2.3.2 Ενεργειακοί υπολογισμοί.....	94
2.3.3 Περιβαλλοντικοί υπολογισμοί .....	109
2.4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	120
 Βιβλιογραφία .....	 122
 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	 134



## Ευρετήριο Σχημάτων

### ΜΕΡΟΣ 1<sup>ο</sup> : ΓΕΝΙΚΟ

Σχήμα 1.1. Οι ζώνες της ατμόσφαιρας ως προς το ύψος και οι αντίστοιχες επικρατούσες θερμοκρασίες και πιέσεις .....	3
Σχήμα 1.2. Το όζον στην ατμόσφαιρα της Γης .....	10
Σχήμα 1.3. Η μεταβολή της ολικής στήλης όζοντος πάνω από το Νότιο Πόλο (Ανταρκτική) κατά το έτος 2008. Τα σημεία αναπαριστούν τη διακύμανση, ενώ η μπλέ γραμμή τις μέσες τιμές .....	11
Σχήμα 1.4. Αλληλουχία εικόνων της εξέλιξης του φαινομένου της Τρύπας του Όζοντος επάνω από την Ανταρκτική από το 1957 έως το 2000 κατά την 11 <sup>η</sup> Σεπτεμβρίου κάθε έτους .....	12
Σχήμα 1.5. Κατανομή της συγκέντρωσης του όζοντος στην Ανταρκτική το 2008. Η κλίμακα κάτω από το σχήμα είναι ενδεικτική της ολικής στήλης όζοντος σε μονάδες DU για την ανάγνωση της εικόνας .....	13
Σχήμα 1.6. Μέτωπα των συγκεντρώσεων του στρατοσφαιρικού όζοντος και των ριζών ClO σε ύψος 18km πάνω από την Ανταρκτική .....	14
Σχήμα 1.7. Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα .....	16
Σχήμα 1.8. Εκτίμηση του μέσου παγκόσμιου και ετήσιου ενεργειακού ισοζυγίου του συστήματος ατμόσφαιρας-Γης .....	18
Σχήμα 1.9. Το φυσικό Φαινόμενο του Θερμοκηπίου .....	20
Σχήμα 1.10. Αύξηση των συγκεντρώσεων CO <sub>2</sub> σε μέρη ανά εκατομμύριο (ppm) στην ατμόσφαιρα, από το Μάρτιο του 1958 μέχρι τον Ιούνιο του 2012 (σύμφωνα με στοιχεία Αυγούστου 2012) στο Μάουνα Λόα στη Χαβάη. Η κόκκινη καμπύλη αναπαριστά την εποχιακή διακύμανση, ενώ η μαύρη τη διόρθωσή της .....	23
Σχήμα 1.11. Αύξηση των συγκεντρώσεων CO <sub>2</sub> σε μέρη ανά εκατομμύριο (ppm) στην ατμόσφαιρα, από τον Ιανουάριο του 2008 μέχρι τον Ιούνιο του 2012 (σύμφωνα με στοιχεία Αυγούστου 2012) στο Μάουνα Λόα στη Χαβάη .....	23
Σχήμα 1.12. Σχηματική παρουσίαση του τρόπου λειτουργίας μιας ψυκτικής μηχανής .....	38
Σχήμα 1.13. Ο σκοπός ενός Ψυγείου (α) είναι η αφαίρεση θερμότητας (Q <sub>ψ</sub> ) από ένα ψυχοδοχείο, ενώ ο σκοπός μιας Αντλίας Θερμότητας (β) είναι η προμήθευση θερμότητας (Q <sub>θ</sub> ) σ' ένα θερμοδοχείο .....	40
Σχήμα 1.14. Ο αντίστροφος κύκλος Carnot .....	42
Σχήμα 1.15. Τα κύρια μέρη μιας ψυκτικής μηχανής .....	43
Σχήμα 1.16. (α) Μορφή διαγράμματος P-h και (β) ο θεωρητικός κύκλος μιας ψυκτικής μηχανής συμπίεσης ατμών .....	44
Σχήμα 1.17. Διάγραμμα P-h για τον υπολογισμό μιας όχι τόσο τέλει ψυκτικής μηχανής .....	46
Σχήμα 1.18. Κύκλος της θεωρητικής ψυκτικής μηχανής (1-2-3-4) και κύκλος της πραγματικής ψυκτικής μηχανής (1'-2'-3'-4'-5'-6') .....	46
Σχήμα 1.19. Η βαλβίδα αντιστροφής ή τεσσάρων διευθύνσεων .....	47
Σχήμα 1.20. Η αντλία θερμότητας (ΑΘ) : (α) λειτουργία δροσισμού και (β) λειτουργία θέρμανσης .....	48
Σχήμα 1.21. Συνολική απεικόνιση του τρόπου λειτουργίας μιας ΑΘ .....	49
Σχήμα 1.22. Η ιστορική εξέλιξη των ψυκτικών ρευστών .....	53
Σχήμα 1.23. Υποθετική εναλλαγή της συμπεριφοράς ενός ψυκτικού ρευστού καθώς αλλάζει η σύστασή του σε χλώριο, φθόριο και υδρογόνο .....	59
Σχήμα 1.24. Επιπτώσεις της διαρροής ψυκτικού ρευστού .....	61

Σχήμα 1.25. Τα τέσσερα στάδια μιας LCA .....	64
Σχήμα 1.26. Διαφορές μεταξύ TEWI, LCCP και LCA .....	65
Σχήμα 1.27. Παράγοντες που λαμβάνονται υπόψη σε μια ολοκληρωμένη προσέγγιση, προκειμένου να επιλεγεί η βέλτιστη λύση για μια δεδομένη απαίτηση ψύξης ή κλιματισμού .....	67

## ΜΕΡΟΣ 2<sup>ο</sup> : ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ

Σχήμα 2.1. Διαρρύθμιση κτηρίου πρώτης ανάπτυξης .....	80
Σχήμα 2.2. Μεταβολή του βάρους των χοιριδίων κατά την παραμονή τους στους θαλάμους πρώτης ανάπτυξης .....	81
Σχήμα 2.3. Συνολικά φορτία θέρμανσης/δροσισμού (ψύξης) του κτηρίου ανάπτυξης των χοιριδίων για κάθε περιοχή .....	83
Σχήμα 2.4. Θερμοκρασίες εξωτερικού και εσωτερικού περιβάλλοντος ( $\theta_{out}$ , $\theta_{in}$ ) και θερμοκρασίες εξάτμισης/συμπύκνωσης ( $\theta_e$ , $\theta_c$ ) για την περιοχή της Φλώρινας (α) το χειμώνα (θέρμανση) και (β) το θέρος (δροσισμός) .....	84
Σχήμα 2.5. Θερμοκρασίες εξωτερικού και εσωτερικού περιβάλλοντος ( $\theta_{out}$ , $\theta_{in}$ ) και θερμοκρασίες εξάτμισης/συμπύκνωσης ( $\theta_e$ , $\theta_c$ ) για την περιοχή της Χαλκίδας (α) το χειμώνα (θέρμανση) και (β) το θέρος (δροσισμός) .....	84
Σχήμα 2.6. Θερμοκρασίες εξωτερικού και εσωτερικού περιβάλλοντος ( $\theta_{out}$ , $\theta_{in}$ ) και θερμοκρασίες εξάτμισης/συμπύκνωσης ( $\theta_e$ , $\theta_c$ ) για την περιοχή της Ιεράπετρας (α) το χειμώνα (θέρμανση) και (β) το θέρος (δροσισμός) .....	85
Σχήμα 2.7. Ο ψυκτικός κύκλος με υπερθέρμανση και υπόψυξη που χρησιμοποιεί το λογισμικό CoolPack σε διάγραμμα P-h .....	86
Σχήμα 2.8. Διάγραμμα ροής ψυκτικού μέσου στην εγκατάσταση .....	87
Σχήμα 2.9. Οι περιβαλλοντικές επιδράσεις της ΑΘ (άμεση-έμμεση συμβολή) που εξετάζει ο δείκτης TEWI .....	89
Σχήμα 2.10. Ψυκτικός κύκλος σε διάγραμμα P-h του R22 για τις τρεις περιοχές κατά το χειμώνα (θέρμανση) .....	97
Σχήμα 2.11. Ψυκτικός κύκλος σε διάγραμμα P-h του R22 για τις τρεις περιοχές κατά το θέρος (δροσισμός) .....	97
Σχήμα 2.12. Ψυκτικός κύκλος σε διάγραμμα P-h του R134a για τις τρεις περιοχές κατά το χειμώνα (θέρμανση) .....	98
Σχήμα 2.13. Ψυκτικός κύκλος σε διάγραμμα P-h του R134a για τις τρεις περιοχές κατά το θέρος (δροσισμός) .....	98
Σχήμα 2.14. Ψυκτικός κύκλος σε διάγραμμα P-h του R1234yf για τις τρεις περιοχές κατά το χειμώνα (θέρμανση) .....	99
Σχήμα 2.15. Ψυκτικός κύκλος σε διάγραμμα P-h του R1234yf για τις τρεις περιοχές κατά το θέρος (δροσισμός) .....	99
Σχήμα 2.16. Συντελεστής θέρμανσης ( $COP_{\theta}^{real}$ ) ανά ψυκτικό ρευστό και περιοχή .....	103
Σχήμα 2.17. Συντελεστής ψύξης (δροσισμού) ( $COP_{\psi}^{real}$ ) ανά ψυκτικό ρευστό και περιοχή .....	104
Σχήμα 2.18. Θεωρητική παροχή όγκου ψυκτικού ρευστού στο συμπιεστή ανά ρευστό και περιοχή κατά τη θέρμανση (χειμώνας) .....	105
Σχήμα 2.19. Θεωρητική παροχή όγκου ψυκτικού ρευστού στο συμπιεστή ανά ρευστό και περιοχή κατά το δροσισμό (θέρος) .....	106
Σχήμα 2.20. Άμεση Ετήσια Συμβολή ( $DE_A$ ) για τις τρεις περιοχές .....	110
Σχήμα 2.21. Έμμεση Ετήσια Συμβολή το χειμώνα ( $IE_{AX}$ ) για τις τρεις περιοχές ..	111
Σχήμα 2.22. Έμμεση Ετήσια Συμβολή το θέρος ( $IE_{A\theta}$ ) για τις τρεις περιοχές .....	112
Σχήμα 2.23. Συνολική Έμμεση Ετήσια Συμβολή ( $IE_A$ ) για τις τρεις περιοχές .....	113
Σχήμα 2.24. Ετήσια αναλυτική τιμή του TEWI ( $TEWI_A$ ) για τις τρεις περιοχές ...	114

Σχήμα 2.25. Ετήσια τιμή του TEWI ( $TEWI_A$ ) για τις τρεις περιοχές .....	115
Σχήμα 2.26. Σύγκριση της Ετήσιας τιμής του TEWI ( $TEWI_A$ ) ανά ψυκτικό ρευστό και περιοχή .....	116
Σχήμα 2.27. Σύγκριση της Συνολικής τιμής του TEWI, ανά ψυκτικό ρευστό και περιοχή .....	117

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Σχήμα Π.1. Ψυκτικός κύκλος σε διάγραμμα P-h του R12 για τις τρεις περιοχές κατά το χειμώνα (θέρμανση) .....	137
Σχήμα Π.2. Ψυκτικός κύκλος σε διάγραμμα P-h του R12 για τις τρεις περιοχές κατά το θέρος (δροσισμός) .....	137
Σχήμα Π.3. Ψυκτικός κύκλος σε διάγραμμα P-h του R410A για τις τρεις περιοχές κατά το χειμώνα (θέρμανση) .....	138
Σχήμα Π.4. Ψυκτικός κύκλος σε διάγραμμα P-h του R410A για τις τρεις περιοχές κατά το θέρος (δροσισμός) .....	138
Σχήμα Π.5. Ψυκτικός κύκλος σε διάγραμμα P-h του R717 (αμμωνία) για τις τρεις περιοχές κατά το χειμώνα (θέρμανση) .....	139
Σχήμα Π.6. Ψυκτικός κύκλος σε διάγραμμα P-h του R717 (αμμωνία) για τις τρεις περιοχές κατά το θέρος (δροσισμός) .....	139
Σχήμα Π.7. Διαγράμματα P-h για το R12 ανά περιοχή και εποχή .....	140
Σχήμα Π.8. Διαγράμματα P-h για το R22 ανά περιοχή και εποχή .....	141
Σχήμα Π.9. Διαγράμματα P-h για το R134a ανά περιοχή και εποχή .....	142
Σχήμα Π.10. Διαγράμματα P-h για το R410A ανά περιοχή και εποχή .....	143
Σχήμα Π.11. Διαγράμματα P-h για το R717 (αμμωνία) ανά περιοχή και εποχή ....	144

## Ευρετήριο Πινάκων

### ΜΕΡΟΣ 1<sup>ο</sup> : ΓΕΝΙΚΟ

Πίνακας 1.1. CFCs και HCFCs ευρείας χρήσεως και τα δυναμικά ελάττωσης όζοντος (Ozone Depletion Potential, ODP) που παρουσιάζουν .....	15
Πίνακας 1.2. Συνολικά ετήσια δικαιώματα και πιστοποιημένες εκπομπές για την Ελλάδα .....	35
Πίνακας 1.3. Τιμές GWP, ODP και διάρκειας ζωής $\tau_{atm}$ για τα κυριότερα ψυκτικά ρευστά .....	57
Πίνακας 1.4. Ομάδες ασφαλείας των ψυκτικών ρευστών, αναλόγως της τοξικότητας και της ευφλεκτότητάς τους .....	60

### ΜΕΡΟΣ 2<sup>ο</sup> : ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ

Πίνακας 2.1. Θερμοκρασία και επιθυμητή σχετική υγρασία για κάθε θάλαμο .....	79
Πίνακας 2.2. Σχηματική αναπαράσταση συνδυασμών εναλλαγής θερμοκρασιών στους θαλάμους του χοιροστασίου .....	80
Πίνακας 2.3. Θερμοκρασίες $\theta_{out}$ , $\theta_{in}$ και ανάλογες θερμοκρασίες $\theta_e$ , $\theta_c$ (σε °C) για κάθε περιοχή το χειμώνα (θέρμανση) .....	93
Πίνακας 2.4. Θερμοκρασίες $\theta_{in}$ , $\theta_{out}$ και ανάλογες θερμοκρασίες $\theta_e$ , $\theta_c$ (σε °C) για κάθε περιοχή το θέρος (δροσισμός) .....	93
Πίνακας 2.5. Ζεύγη τιμών Πίεσης-Ειδικής Ενθαλπίας για το Ψυκτικό Ρευστό R22 ανά περιοχή και ανά εποχή (χειμώνας-θέρμανση, θέρος-δροσισμός). Η πίεση (P) μετράται σε bar και η ειδική ενθαλπία (h) σε kJ/kg .....	95
Πίνακας 2.6. Ζεύγη τιμών Πίεσης-Ειδικής Ενθαλπίας για το Ψυκτικό Ρευστό R134a ανά περιοχή και ανά εποχή (χειμώνας-θέρμανση, θέρος-δροσισμός). Η πίεση (P) μετράται σε bar και η ειδική ενθαλπία (h) σε kJ/kg .....	95
Πίνακας 2.7. Ζεύγη τιμών Πίεσης-Ειδικής Ενθαλπίας για το Ψυκτικό Ρευστό R1234yf ανά περιοχή και ανά εποχή (χειμώνας-θέρμανση, θέρος-δροσισμός). Η πίεση (P) μετράται σε bar και η ειδική ενθαλπία (h) σε kJ/kg .....	96
Πίνακας 2.8. Θερμοδυναμικά μεγέθη και ενεργειακοί υπολογισμοί για κάθε ψυκτικό ρευστό και εποχή στη Φλώρινα .....	100
Πίνακας 2.9. Θερμοδυναμικά μεγέθη και ενεργειακοί υπολογισμοί για κάθε ψυκτικό ρευστό και εποχή στη Χαλκίδα .....	101
Πίνακας 2.10. Θερμοδυναμικά μεγέθη και ενεργειακοί υπολογισμοί για κάθε ψυκτικό ρευστό και εποχή στην Ιεράπετρα .....	102
Πίνακας 2.11. Λόγος $\theta_2/\theta_{cr}$ για κάθε ψυκτικό ρευστό ανά περιοχή και εποχή .....	107
Πίνακας 2.12. Διαστασιολόγηση συμπιεστή για κάθε ψυκτικό ρευστό και περιοχή .....	108
Πίνακας 2.13. Μάζα κάθε ψυκτικού ρευστού στη Φλώρινα .....	109
Πίνακας 2.14. Μάζα κάθε ψυκτικού ρευστού στη Χαλκίδα .....	109
Πίνακας 2.15. Μάζα κάθε ψυκτικού ρευστού στην Ιεράπετρα .....	109
Πίνακας 2.16. Ποσοστά (%) ετήσιας άμεσης-έμμεσης συμβολής ( $DE_A$ , $IE_A$ ) στην ετήσια τιμή του TEWI ( $TEWI_A$ ) .....	118
Πίνακας 2.17. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα ενεργειακών και περιβαλλοντικών υπολογισμών ανά περιοχή, εποχή και ψυκτικό ρευστό .....	119

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Πίνακας Π.1. Ζεύγη τιμών Πίεσης-Ειδικής Ενθαλπίας για το Ψυκτικό Ρευστό R12 ανά περιοχή και ανά εποχή (χειμώνας-θέρμανση, θέρος-δροσισμός). Η πίεση (P) μετράται σε bar και η ειδική ενθαλπία (h) σε kJ/kg .....	135
Πίνακας Π.2. Ζεύγη τιμών Πίεσης-Ειδικής Ενθαλπίας για το Ψυκτικό Ρευστό R410A ανά περιοχή και ανά εποχή (χειμώνας-θέρμανση, θέρος-δροσισμός). Η πίεση (P) μετράται σε bar και η ειδική ενθαλπία (h) σε kJ/kg .....	135
Πίνακας Π.3. Ζεύγη τιμών Πίεσης-Ειδικής Ενθαλπίας για το Ψυκτικό Ρευστό R717 ανά περιοχή και ανά εποχή (χειμώνας-θέρμανση, θέρος-δροσισμός). Η πίεση (P) μετράται σε bar και η ειδική ενθαλπία (h) σε kJ/kg .....	136
Πίνακας Π.4. Υπολογισμός της ετήσιας τιμής του TEWI για την περιοχή της Φλώρινας. Αυτή ( $TEWI_A$ ) προκύπτει από το άθροισμα της άμεσης ετήσιας συμβολής ( $DE_A$ ) και της έμμεσης ετήσιας συμβολής ( $IE_A$ ). Η τελευταία υπολογίζεται από το άθροισμα της έμμεσης ετήσιας συμβολής το χειμώνα ( $IE_{AX}$ ) και της έμμεσης ετήσιας συμβολής το θέρος ( $IE_{A\theta}$ ) .....	145
Πίνακας Π.5. Υπολογισμός της ετήσιας τιμής του TEWI για την περιοχή της Χαλκίδας. Αυτή ( $TEWI_A$ ) προκύπτει από το άθροισμα της άμεσης ετήσιας συμβολής ( $DE_A$ ) και της έμμεσης ετήσιας συμβολής ( $IE_A$ ). Η τελευταία υπολογίζεται από το άθροισμα της έμμεσης ετήσιας συμβολής το χειμώνα ( $IE_{AX}$ ) και της έμμεσης ετήσιας συμβολής το θέρος ( $IE_{A\theta}$ ) .....	146
Πίνακας Π.6. Υπολογισμός της ετήσιας τιμής του TEWI για την περιοχή της Ιεράπετρας. Αυτή ( $TEWI_A$ ) προκύπτει από το άθροισμα της άμεσης ετήσιας συμβολής ( $DE_A$ ) και της έμμεσης ετήσιας συμβολής ( $IE_A$ ). Η τελευταία υπολογίζεται από το άθροισμα της έμμεσης ετήσιας συμβολής το χειμώνα ( $IE_{AX}$ ) και της έμμεσης ετήσιας συμβολής το θέρος ( $IE_{A\theta}$ ) .....	147
Πίνακας Π.7. Υπολογισμός του TEWI της αντλίας θερμότητας κατά τη συνολική διάρκεια λειτουργίας της και τον παροπλισμό της για την περιοχή της Φλώρινας. Η άμεση συμβολή (DE) ισούται με το άθροισμα των άμεσων εκπομπών κατά τη 12ετία (OR) και των άμεσων εκπομπών κατά των παροπλισμό (DR). Η τιμή TEWI προκύπτει από το άθροισμα της DE, της έμμεσης συμβολής το χειμώνα ( $IE_X$ ) και της έμμεσης συμβολής το θέρος ( $IE_\theta$ ). Το άθροισμα $IE_X$ και $IE_\theta$ δίνει την έμμεση συμβολή (IE) κατά τη 12ετία .....	148
Πίνακας Π.8. Υπολογισμός του TEWI της αντλίας θερμότητας κατά τη συνολική διάρκεια λειτουργίας της και τον παροπλισμό της για την περιοχή της Χαλκίδας. Η άμεση συμβολή (DE) ισούται με το άθροισμα των άμεσων εκπομπών κατά τη 12ετία (OR) και των άμεσων εκπομπών κατά των παροπλισμό (DR). Η τιμή TEWI προκύπτει από το άθροισμα της DE, της έμμεσης συμβολής το χειμώνα ( $IE_X$ ) και της έμμεσης συμβολής το θέρος ( $IE_\theta$ ). Το άθροισμα $IE_X$ και $IE_\theta$ δίνει την έμμεση συμβολή (IE) κατά τη 12ετία .....	149
Πίνακας Π.9. Υπολογισμός του TEWI της αντλίας θερμότητας κατά τη συνολική διάρκεια λειτουργίας της και τον παροπλισμό της για την περιοχή της Ιεράπετρας. Η άμεση συμβολή (DE) ισούται με το άθροισμα των άμεσων εκπομπών κατά τη 12ετία (OR) και των άμεσων εκπομπών κατά των παροπλισμό (DR). Η τιμή TEWI προκύπτει από το άθροισμα της DE, της έμμεσης συμβολής το χειμώνα ( $IE_X$ ) και της έμμεσης συμβολής το θέρος ( $IE_\theta$ ). Το άθροισμα $IE_X$ και $IE_\theta$ δίνει την έμμεση συμβολή (IE) κατά τη 12ετία .....	150



## **ΜΕΡΟΣ 1<sup>ο</sup> : ΓΕΝΙΚΟ**

## 1.1 ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ

Η καταστροφή του περιβάλλοντος αποτελεί την πιο ουσιώδη έκφραση της ανθρώπινης φύσης. Η διάθεση και το πείσμα του ανθρώπου για όλο και καλύτερο τρόπο διαβίωσης, νέες, γρηγορότερες και πιο ασφαλείς τεχνολογίες, επιτεύγματα που ανταγωνίζονται ή υπερβαίνουν τα όρια της φύσης, σε συνδυασμό με την ανθρώπινη απληστία, δηλαδή την επίτευξη ολοένα και μεγαλύτερου κέρδους από τα παραπάνω, δημιούργησαν έναν ασφυκτικό κλοιό γύρω από το φυσικό περιβάλλον του πλανήτη (Δημητριάδης, 2011). Με τον όρο φυσικό περιβάλλον εννοείται το σύνολο των ζωντανών οργανισμών και της άβιας ύλης που βρίσκονται με φυσικό τρόπο πάνω στη Γη. Το φυσικό περιβάλλον δεν είναι αποτέλεσμα ανθρώπινων δραστηριοτήτων και διαφοροποιείται από το δομημένο περιβάλλον, στο οποίο συγκαταλέγονται οι γεωγραφικές περιοχές που δέχονται σημαντική επιρροή από τον άνθρωπο (Ανώνυμος, 2012α). Το σύνολο του φυσικού και του δομημένου περιβάλλοντος αποτελούν αυτό που με μια λέξη απλά ονομάζεται περιβάλλον (ή αλλιώς γήινο περιβάλλον).

Μέρος του περιβάλλοντος αποτελεί το κλιματικό σύστημα, το οποίο είναι ένα ιδιαίτερα πολυσύνθετο σύστημα αποτελούμενο από πέντε βασικά συστατικά : την ατμόσφαιρα, την υδρόσφαιρα, την κρυόσφαιρα, την επιφάνεια του εδάφους, τη βιόσφαιρα, καθώς και τις μεταξύ τους αλληλεπιδράσεις. Το κλιματικό σύστημα μεταβάλλεται σε σχέση με το χρόνο, υπό την επήρεια του δικού του εσωτερικού δυναμικού, αλλά και λόγω εξωτερικών καταναγκασμών-παρεμβάσεων. Οι παρεμβάσεις αυτές μπορούν να είναι κάποιες φυσικές διεργασίες, όπως οι ηφαιστειακές εκρήξεις ή η ηλιακή δραστηριότητα, καθώς και διάφορες ανθρωπογενείς δραστηριότητες, όπως η αλλαγή χρήσης γης και η μεταβολή της σύνθεσης της ατμόσφαιρας (IPCC, 2007a).

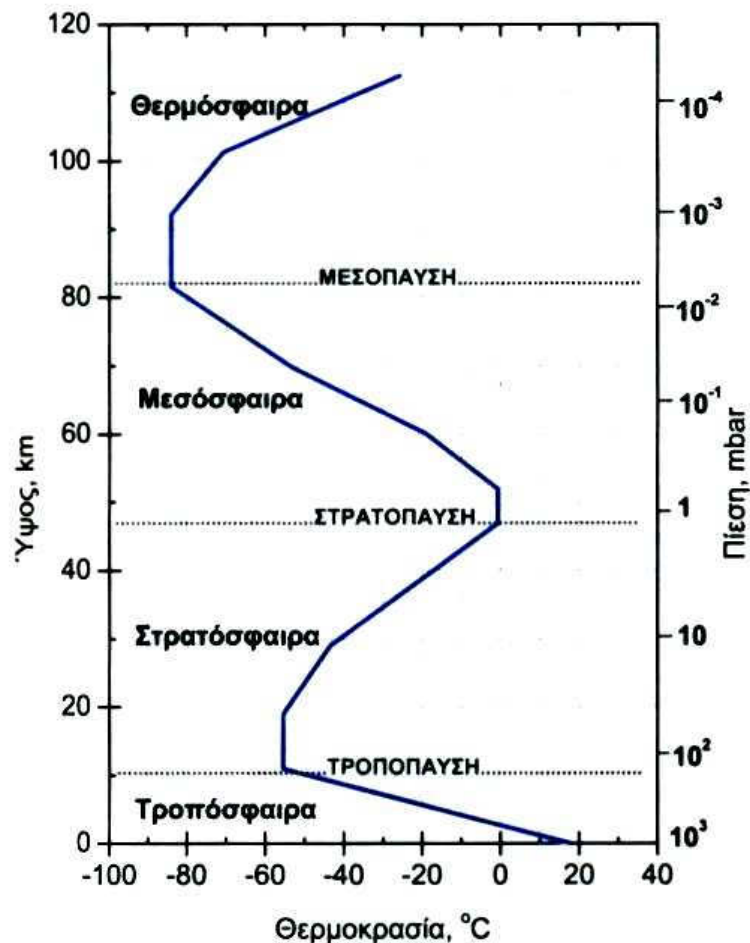
Η Γη περιβάλλεται από ένα στρώμα αέρα το οποίο ονομάζεται ατμόσφαιρα και συμμετέχει στις κινήσεις της (Ανώνυμος, 2012β). Στην ουσία πρόκειται για ένα φλοιό ακτίνας περίπου 150km και μάζας 500 δισεκατομμυρίων τόνων αέρα που την περιβάλλουν. Παρατηρώντας μακροσκοπικά την ατμόσφαιρα (Σχήμα 1.1), βλέπουμε τη θερμοκρασία και την πυκνότητά της να μεταβάλλονται με το ύψος, γεγονός που οδήγησε τους επιστήμονες στη διάκριση κάποιων 'ζωνών' μέσα σ' αυτήν. Έτσι, ο αέρας γενικά έχει προοδευτικά μικρότερη πυκνότητα καθώς κινούμαστε προς τα επάνω, από την τροπόσφαιρα (troposphere) στη στρατόσφαιρα (stratosphere), στη μεσόσφαιρα (mesosphere), στη θερμοσφαιρα (thermosphere) και τέλος στην εξώσφαιρα (exosphere), ενώ οι αντίστοιχες επικρατούσες θερμοκρασίες και πιέσεις απεικονίζονται στο Σχήμα 1.1 (Γεντεκάκης, 2010).

Μέσα στην ατμόσφαιρα συμβαίνουν πολλά φυσικά φαινόμενα τα οποία ονομάζονται μετεωρολογικά φαινόμενα. Η ονομασία προήλθε από την αρχαία ελληνική λέξη 'μετέωρα' που σημαίνει 'οτιδήποτε βρίσκεται στον ουρανό', ενώ ο κλάδος της επιστήμης που ασχολείται με τα φαινόμενα αυτά ονομάζεται Μετεωρολογία (Ανώνυμος, 2012β). Τα κυριότερα μετεωρολογικά φαινόμενα που αποτελούν αντικείμενο έρευνας και σπουδής είναι η ατμοσφαιρική πίεση, η θερμοκρασία της ατμόσφαιρας, η υγρασία της ατμόσφαιρας, η δρόσος, η πάχνη, η νέφωση, η αχλή, η ομίχλη, η ορατότητα, η ηλιοφάνεια, ο άνεμος, ο νετός (δηλ. η βροχή και όλα τα είδη αυτής, το χιόνι, το χιονόνερο και το χαλάζι), κ.α. Θα πρέπει να σημειωθεί εδώ ότι όλα τα μετεωρολογικά φαινόμενα συμβαίνουν στην τροπόσφαιρα (Ανώνυμος, 2011α). Η ηλιακή ακτινοβολία παρέχει την ενέργεια η οποία δημιουργεί και κινεί (μέσα στην ατμόσφαιρα και άρα εντός του κλιματικού συστήματος) τα διάφορα μετεωρολογικά φαινόμενα και διαμορφώνει εντέλει τον καιρό και το κλίμα, έννοιες οι οποίες δεν θα πρέπει να συγχέονται μεταξύ τους



(Μελάς κ.α., 2000α). Θεωρητικά, η ηλιακή ακτινοβολία σε έναν τόπο ακολουθεί την ετήσια πορεία της απόκλισης του Ήλιου. Γι' αυτό άλλωστε και ο όρος 'κλίμα' προέρχεται από το ρήμα κλίνω, υποδηλώνοντας τη σχέση της θερμοκρασίας του αέρα της ατμόσφαιρας με την κλίση των ακτίνων του Ήλιου. Στο βόρειο ημισφαίριο η μέγιστη τιμή της κλίσης παρατηρείται την ημέρα του θερινού ηλιοστασίου (21 Ιουνίου) και η ελάχιστη τιμή της κατά το χειμερινό ηλιοστάσιο (21 Δεκεμβρίου) (ΕΜΕΚΑ, 2011).

Με τον όρο 'καιρός' εννοούμε την κατάσταση της ατμόσφαιρας κάποια συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Ο καιρός αναφέρεται στις βραχυχρόνιες μεταβολές της ατμόσφαιρας, οι οποίες συμβαίνουν σε χρονικές κλίμακες από λίγα λεπτά έως λίγες εβδομάδες. Η μέτρηση των μετεωρολογικών φαινομένων μας βοηθά στο να ορίσουμε τον καιρό που επικρατεί κάποια συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Όταν οι μετρήσεις συνεχίζονται για μεγάλο χρονικό διάστημα, τότε μπορούμε να αναλύσουμε στατιστικά το πειραματικό υλικό και να υπολογίσουμε το κλίμα της περιοχής των μετρήσεων. Το κλίμα δηλαδή αποτελεί τη σύνθεση του καιρού σε μια περιοχή, το μέσο καιρό. Ορίζεται από το σύνολο των στατιστικών πληροφοριών, οι οποίες περιγράφουν τις μεταβολές του καιρού σε μια περιοχή για κάποιο μεγάλο χρονικό διάστημα το οποίο ονομάζεται κλιματική περίοδος. Τυπικά, οι κλιματικές περίοδοι οι οποίες χρησιμοποιούνται για να ορίσουμε το κλίμα μιας περιοχής εκτείνονται σε τριάντα χρόνια (Μελάς κ.α., 2000α). Το κλίμα, υπό μια ευρύτερη έννοια, μπορεί να οριστεί σαν η κατάσταση στην οποία βρίσκεται το κλιματικό σύστημα, συμπεριλαμβανομένης μιας στατιστικής περιγραφής (IPCC, 2007a).



Σχήμα 1.1. Οι ζώνες της ατμόσφαιρας ως προς το ύψος και οι αντίστοιχες επικρατούσες θερμοκρασίες και πιέσεις (Πηγή : Γεντεκάκης, 2010).

Συνοπτικά, το κλίμα διαμορφώνεται από εξωτερικούς και εσωτερικούς παράγοντες. Στους εξωτερικούς παράγοντες περιλαμβάνονται, εκτός από την ηλιακή ακτινοβολία, η οποία είναι βέβαια αποτέλεσμα της ηλιακής δραστηριότητας, οι τροχιακές παράμετροι Γης-Ήλιου, ήτοι η εκκεντρότητα της τροχιάς (eccentricity), η κλίση του άξονα περιστροφής της Γης (obliquity), καθώς και η μετάπτωση των ισημεριών (precession). Στους εσωτερικούς παράγοντες περιλαμβάνονται η ηφαιστειακή δραστηριότητα, οι διεργασίες ανάδρασης του κλιματικού συστήματος, οι διακυμάνσεις του όγκου των παγετώνων, οι μεταβολές της ταχύτητας και του τρόπου κυκλοφορίας των θαλάσσιων ρευμάτων, οι μεταβολές των αερίων του θερμοκηπίου της ατμόσφαιρας (το Φαινόμενο του Θερμοκηπίου μελετάται σε επόμενο Κεφάλαιο) και η επίδρασή τους στην εισερχόμενη και εξερχόμενη θερμική ακτινοβολία, καθώς και οι διάφορες ανθρωπογενείς επιδράσεις (Bradley, 1999 ; Alverson et al., 2003).

Η λέξη ‘ρύπος’ (pollutant) σημαίνει ακαθαρσία, βρωμιά και προέρχεται από το αρχαίο ρήμα ‘ρυπαίνω’, το οποίο σημαίνει μολύνω, βρωμίζω, ασχημίζω (Μπαμπινιώτης, 2010). Κατ’ ανάλογο τρόπο, ο όρος ‘ρύπανση’ αναφέρεται στη διαδικασία εισροής-προσθήκης ρύπων μέσα σε ένα χώρο, ένα σύστημα. Η ατμοσφαιρική ρύπανση (δηλαδή η ρύπανση της ατμόσφαιρας, air pollution) έχει οριστεί με πολλούς διαφορετικούς τρόπους. Κατά μια έννοια, είναι η προσθήκη κάθε υλικού, μοριακής ή σωματιδιακής φύσης, στην ατμόσφαιρα που περιβάλλει τη Γη, η οποία θα έχει σαν αποτέλεσμα τη βραχυπρόθεσμη ή μακροπρόθεσμη δηλητηρίαση της ζωής πάνω στον πλανήτη. Το υλικό αυτό μπορεί να είναι ένα τοξικό αέριο με κάποια μακροχρόνια αποτελέσματα σε έναν οργανισμό, που δεν είναι κατ’ ανάγκη άμεσα αντιληπτά. Μπορεί ακόμη να είναι ένα μη ορατό ραδιενεργό, το οποίο έχει καταστρεπτικά αποτελέσματα στην εξέλιξη της ζωής. Ατμοσφαιρικοί ρύποι (ή απλά ρύποι, για συντομία) επίσης θεωρούνται οποιαδήποτε υλικά είναι δυνατόν να εισέλθουν στην ατμόσφαιρα, είτε εσκεμμένα είτε διαμέσου κάποιας φυσικής διαδικασίας, τα οποία έχουν έστω και έμμεσα αποτελέσματα, όπως για παράδειγμα μείωση του οξυγόνου της ατμόσφαιρας ή κάποια άλλη αλλαγή της σύστασης του αέρα. Ένας ρύπος δεν είναι απαραίτητα ανθυγιεινός, με την έννοια ότι προκαλεί άμεσα αποτελέσματα στους ζώντες οργανισμούς (Γεντεκάκης, 2010). Επίσης, η ρύπανση της ατμόσφαιρας επηρεάζεται από τη ρύπανση της υδρόσφαιρας, της κρυόσφαιρας και της επιφάνειας του εδάφους, καθώς και τη ρύπανση που προκαλεί η βιόσφαιρα, λόγω των μεταξύ τους αλληλεπιδράσεων.

Η ατμόσφαιρα είναι απαραίτητη για την ανάπτυξη της ζωής. Σε κάθε περίπτωση, επηρεάζει την οπτική και ακουστική επαφή και συνεπώς είναι καθοριστική και για την ανθρώπινη ζωή. Αν και ο άνθρωπος μπορεί να μετακινηθεί μέσα στο ατμοσφαιρικό περιβάλλον για χιλιάδες χιλιόμετρα σε οριζόντια απόσταση, σε ύψη πάνω από 1500m αρχίζει και παρουσιάζει αναπνευστικά προβλήματα. Επίσης, μπορεί να επιζήσει χωρίς τροφή για μερικές εβδομάδες και χωρίς νερό για μερικές ημέρες, ενώ χωρίς αέρα μόνο για μερικά λεπτά της ώρας (Κατσαφάδος & Μαυροματίδης, 2010). Ο άνθρωπος εισπνέει καθημερινά 20m<sup>3</sup> αέρα. Η αναπνοή αποτελεί τον κυριότερο τρόπο έκθεσής του σε επικίνδυνες ουσίες. Η φύση της έκθεσης σε ατμοσφαιρικούς ρύπους και το μέγεθος του πληθυσμού που εκτίθεται, δημιουργεί ιδιαίτερο ενδιαφέρον για την κατανόηση των διεργασιών που προκαλούν ρύπανση της ατμόσφαιρας (Καλλία & Σαμαρά, 2007).

Όταν ασχολούμαστε με την ατμοσφαιρική ρύπανση, αναφερόμαστε σε επτά βασικές ομάδες ρύπων, εκτός κι αν αναφερόμαστε σε ειδικές συνθήκες ρύπανσης που επικρατούν σε μια μεμονωμένη περιοχή (Γεντεκάκης, 2010) :

- Ενώσεις που περιέχουν άνθρακα (carbon-containing compounds), όπως το διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>), το μονοξείδιο του άνθρακα (CO), καθώς και οι

υδρογονάνθρακες (HydroCarbons, HCs) με τα παράγωγά τους, με κυριότερο εκπρόσωπό τους το μεθάνιο ( $\text{CH}_4$ ), αλλά και τις υπόλοιπες πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCs, Volatile Organic Compounds).

- Ενώσεις που περιέχουν άζωτο (nitrogen-containing compounds), όπως το υποξείδιο του αζώτου ( $\text{N}_2\text{O}$ ), το οξείδιο και διοξείδιο του αζώτου ( $\text{NO}$  και  $\text{NO}_2$  αντίστοιχα, τα οποία αναφέρονται συχνά ως  $\text{NO}_x$ ), η αμμωνία ( $\text{NH}_3$ ) και το δραστικό άζωτο ( $\text{NO}_y$ ). Ως δραστικό άζωτο εννοείται το άθροισμα των δύο οξειδίων του αζώτου ( $\text{NO} + \text{NO}_2 = \text{NO}_x$ ), καθώς και όλων των ενώσεων που είναι προϊόντα ατμοσφαιρικών οξειδώσεων των  $\text{NO}_x$  (στον όρο  $\text{NO}_y$  δε συμπεριλαμβάνονται τα  $\text{N}_2\text{O}$  &  $\text{NH}_3$ ).
- Ενώσεις που περιέχουν θείο (sulfur-containing compounds), όπως τα οξείδια του θείου ( $\text{SO}_x$ ) και κυρίως το διοξείδιο του θείου ( $\text{SO}_2$ ), το υδρόθειο ( $\text{H}_2\text{S}$ ), το καρβονυλοσουλφίδιο (Carbonyl Sulfide, OCS), το διμεθυλοσουλφίδιο (Dimethyl Sulfide, DMS), κ.α.
- Αλογονούχες ενώσεις (halogen-containing compounds), όπου εκτός από τα γνωστά αέρια αλογόνα ( $\text{Cl}_2$ ,  $\text{Br}_2$ ,  $\text{F}_2$ ) και τα υδραλογόνα ( $\text{HCl}$ ,  $\text{HBr}$ ,  $\text{HF}$ ) συμπεριλαμβάνονται και οι αλογονομένοι υδρογονάνθρακες, οι οποίοι αποτελούν τη βάση των ψυκτικών ρευστών (refrigerants ή freons), των εντομοκτόνων και ζιζανιοκτόνων, καθώς και των πυροσβεστικών, των προωθητικών (sprays) και των διαλυτικών μέσων για καθαρισμό και απολύμανση. Οι ενώσεις αυτές αναφέρονται γενικότερα ως αλογονάνθρακες (halocarbons), με κύριες κατηγορίες αυτές των χλωροφθορανθράκων (ChloroFluoroCarbons, CFCs), των υδρογονοχλωροφθορανθράκων (HydroChloroFluoroCarbons, HCFCs), των υδρογονοφθορανθράκων (HydroFluoroCarbons, HFCs), των υπεραλογονομένων αλογονανθράκων (perhalocarbons, υδρογονάνθρακες κορεσμένοι σε κάθε διαθέσιμο δεσμό άνθρακα με άτομο αλογόνου με πιο γνωστούς τους υπερφθοράνθρακες, PFCs) και τέλος των αλογονο-βρωμανθράκων (halons-bromine-halocarbons), οι οποίοι είναι αλογονάνθρακες που περιέχουν επιπλέον στο μόριό τους και βρώμιο.
- Φωτοχημικά οξειδωτικά (photochemical oxidants), που προκύπτουν από μια σειρά πολύπλοκων ατμοσφαιρικών αντιδράσεων, οι οποίες λαμβάνουν χώρα όταν ενεργές οργανικές ουσίες και οξείδια του αζώτου ( $\text{NO}_x$ ) συσσωρεύονται στην ατμόσφαιρα και εκτίθενται στο ηλιακό φως. Από τις αντιδράσεις αυτές παράγονται διάφορες ουσίες με σημαντικότερη αυτών το όζον (ozone,  $\text{O}_3$ ).
- Σωματιδιακοί ρύποι, αερολύματα (particulate pollutants, aerosols). Τα σωματίδια είναι συνδυασμοί πολλών μορίων, μερικές φορές παρομοίων άλλες φορές διαφορετικών μεταξύ τους. Περιλαμβάνουν ιόντα, συμπλέγματα μορίων, κρυστάλλους πάγου, σκόνη, σωματίδια καπνού, σταγόνες βροχής, γύρη κ.τ.λ., ενώ δημιουργούνται και μετεξελίσσονται στον αέρα μέσω διαφόρων μηχανισμών και διαδικασιών. Οι κυριότεροι σωματιδιακοί ρύποι είναι οι διάφορες κόνεις (dusts), ο καπνός (smoke), η ιπτάμενη τέφρα (fly ash), η κάπνα (fume), η ομίχλη (fog) και η αχλή (mist). Από την άλλη, με τον όρο αερολύματα ονομάζουμε τα διάφορα σωματίδια και σταγονίδια που βρίσκονται σε διασπορά στην αέρια φάση της ατμόσφαιρας (Καλλία & Σαμαρά, 2007).
- Επικίνδυνοι & τοξικοί ρύποι (hazardous air pollutants, air toxic), όπως το εξαχλωροβενζόλιο (hexachlorobenzene), ο υδράργυρος (mercury), ο μόλυβδος (lead), κ.α., οι οποίοι θέτουν εν δυνάμει σε επικινδυνότητα την ανθρώπινη υγεία γενικότερα.

Τα σημεία, τις περιοχές, κ.λ.π., από τα οποία εκπέμπονται ρύποι τα ονομάζουμε πηγές (sources). Υπάρχουν φυσικές (natural) όπως και ανθρωπογενείς (anthropogenic) πηγές (Γεντεκάκης, 2010). Φυσικές πηγές είναι αυτές που δεν οφείλονται στην ανθρώπινη δραστηριότητα (Ζάνης, 2008). Παρόλα αυτά, οι ανθρωπογενείς εκπομπές είναι κυρίως υπεύθυνες για τα μεγάλα περιβαλλοντικά προβλήματα που εμφανίστηκαν. Αυτό οφείλεται βεβαίως στην ανατροπή της φυσικής ισορροπίας, αλλά επίσης και στη μεγάλη πυκνότητα των εκπομπών από ανθρωπογενείς πηγές οι οποίες συγκεντρώνονται σε μικρές γεωγραφικές περιοχές (κυρίως αστικές περιοχές και βιομηχανικές ζώνες). Αντίθετα, η καλή διασπορά των φυσικών πηγών ανά την υφήλιο, προσφέρει τη δυνατότητα καλύτερης ανάμιξης των ρύπων με τον καθαρό αέρα. Κατά συνέπεια, με κάποιες μικρές εξαιρέσεις, οι εκπομπές ρύπων από φυσικές πηγές από μόνες τους δεν οδηγούν σε υψηλές συγκεντρώσεις. Αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ότι, όταν αναφερόμαστε πλέον στην ατμοσφαιρική ρύπανση, θα εννοούμε την ατμοσφαιρική ρύπανση που προέρχεται από ανθρωπογενείς πηγές ή δραστηριότητες και μόνο.

Οι σημαντικότερες φυσικές πηγές είναι τα ηφαίστεια, οι πυρκαγιές των δασών, οι ωκεανοί (και γενικότερα οι θαλάσσιες εκτάσεις), η βιολογική αποσύνθεση φυτών και ζώων, η αποσάθρωση του εδάφους, καθώς και τα φυτά και τα δέντρα (Ζάνης, 2008). Από την άλλη, ως κύριες πηγές ατμοσφαιρικής ρύπανσης που οφείλεται σε ανθρώπινες δραστηριότητες μπορούμε να θεωρήσουμε τα μέσα μεταφοράς, τις διεργασίες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, την οικιακή θέρμανση, τις ανεπιθύμητες καύσεις και τις βιομηχανικές καύσεις καυσίμων (και γενικότερα τις υπόλοιπες βιομηχανικές εκπομπές), μαζί και με τις πυρκαγιές των δασών λόγω ανθρώπινης υπαιτιότητας (εμπρησμοί) (Γεντεκάκης, 2010).

Οι ρύποι που εκπέμπονται απευθείας από την πηγή στην ατμόσφαιρα ονομάζονται πρωτογενείς ρύποι (primary pollutants). Σε αυτούς συγκαταλέγονται το μονοξείδιο του άνθρακα (CO), τα οξείδια του αζώτου (NO<sub>x</sub>), τα οξείδια του θείου (SO<sub>x</sub>), με κυριότερο το διοξείδιο (SO<sub>2</sub>), οι πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCs) κ.α. Υπάρχουν όμως και ρύποι οι οποίοι δεν εκπέμπονται απευθείας από κάποια πηγή, αλλά σχηματίζονται στην ατμόσφαιρα σαν αποτέλεσμα χημικού μετασχηματισμού πρωτογενών ρύπων (π.χ. το SO<sub>3</sub> σχηματίζεται στην ατμόσφαιρα με οξείδωση του πρωτογενούς εκπεμπόμενου SO<sub>2</sub>) ή σαν προϊόντα διαφόρων αντιδράσεων (π.χ. όζον, νιτρικό υπεροξυ-ακετύλιο, θειικό αμμώνιο κ.α.). Οι ρύποι αυτοί ονομάζονται δευτερογενείς (secondary pollutants) και ο σχηματισμός τους μπορεί να λάβει χώρα σε χρόνο και τόπο διαφορετικό από το χρόνο και τόπο εκπομπής των πρόδρομων ουσιών (precursors) από τις οποίες προέρχονται. Εκτός όμως από τις διεργασίες που οδηγούν σε εκπομπή ή δευτερογενή σχηματισμό ρύπων, στην ατμόσφαιρα λαμβάνουν χώρα και διεργασίες απομάκρυνσης. Η ατμόσφαιρα, δηλαδή, αποτελεί ένα δυναμικό σύστημα, στο οποίο κάθε ρύπος έχει ορισμένο χρόνο παραμονής-διάρκεια ζωής (residence time/atmospheric lifetime), ο οποίος μπορεί να κυμαίνεται από μερικά λεπτά της ώρας μέχρι αρκετές δεκαετίες. Οι κυριότερες διεργασίες απομάκρυνσης ρύπων από την ατμόσφαιρα είναι : α) οι χημικές αντιδράσεις των ατμοσφαιρικών ρύπων με άλλα συστατικά της ατμόσφαιρας, β) η ξηρή απόθεση, δηλαδή η απευθείας μεταφορά ενός ρύπου στην επιφάνεια του εδάφους και την υδατόσφαιρα (ποτάμια, λίμνες, ωκεανοί) και γ) η υγρή απόθεση, δηλαδή η μεταφορά ρύπων στην επιφάνεια του εδάφους και την υδατόσφαιρα μέσω της βροχής (Καλλία & Σαμαρά, 2007).

Όπως είναι ήδη γνωστό, η ρύπανση που προκαλείται στην ατμόσφαιρα, έχει σαν αποτέλεσμα την εμφάνιση διαφόρων φαινομένων ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Από αυτά τα κυριότερα είναι το **Φαινόμενο του Θερμοκηπίου**, λόγω της (ανθρωπογενούς) αύξησης της συγκέντρωσης των αερίων του θερμοκηπίου, η

**Τρύπα του Όζοντος**, λόγω της καταστροφής των συγκεντρώσεων αυτού που βρίσκεται στη στρατόσφαιρα, η **όξινη βροχή**, καθώς και οι δύο κατηγορίες στις οποίες διακρίνονται τα νέφη, το **νέφος καπνομίχλης** και το **φωτοχημικό νέφος**. Ανάλογα με την έκταση επιρροής ενός φαινομένου ατμοσφαιρικής ρύπανσης, αποδίδεται μια διαβάθμιση σε πέντε διαφορετικές κλίμακες (Γεντεκάκης, 2010) :

1. την τοπική κλίμακα (local scale), με ακτίνα επιρροής περίπου 5km,
2. την αστική κλίμακα (urban scale), με ακτίνα επιρροής περίπου 50km,
3. την περιφερειακή κλίμακα (regional scale), με ακτίνα επιρροής από 50km έως 500km,
4. τη διηπειρωτική (bi-continental scale), με ακτίνα επιρροής από 500km έως αρκετές χιλιάδες χιλιόμετρα και τέλος,
5. την παγκόσμια κλίμακα (global scale), με έκταση επιρροής όλο τον πλανήτη.

Στην παγκόσμια κλίμακα ανήκουν τόσο το (ενισχυμένο) Φαινόμενο του Θερμοκηπίου όσο και η Τρύπα του Όζοντος.

Όσον αφορά τώρα τις επιπτώσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, αυτές είναι αρκετές και δυσμενείς με κύριους αποδέκτες την ανθρώπινη υγεία (καρκινογένεσεις, καρδιακά και αναπνευστικά προβλήματα, ερεθισμοί στα μάτια κ.α.), την πανίδα (ελάττωση του πληθυσμού, πλήρης εξαφάνιση άγριων ζώων και πουλιών κ.α.), τη χλωρίδα (μετατόπιση εύκρατων ζωνών, περίοδοι παρατεταμένης ξηρασίας, έντονες καταστροφικές βροχοπτώσεις κ.α.), καθώς και το (παγκόσμιο) κλίμα, το οποίο υφίσταται αλλαγές προς το χειρότερο.

Με τον όρο **Κλιματική Αλλαγή** εννοούμε την πιθανή μεταβολή του παγκόσμιου κλίματος και ειδικότερα τις μεταβολές των μετεωρολογικών συνθηκών που εκτείνονται σε μεγάλη χρονική κλίμακα. Τέτοιου τύπου μεταβολές περιλαμβάνουν στατιστικά σημαντικές διακυμάνσεις ως προς τη μέση κατάσταση του κλίματος ή τη μεταβλητότητά του, που εκτείνονται σε βάθος χρόνου δεκαετιών ή και περισσότερο. Βάσει όσων προαναφέρθηκαν, εξάγεται το συμπέρασμα ότι η Κλιματική Αλλαγή μπορεί να οφείλεται τόσο σε φυσικές εσωτερικές διεργασίες ή εξωτερικές παρεμβάσεις όσο και σε επίμονες ανθρωπογενείς δραστηριότητες, με επιπτώσεις στο κλίμα, όπως είναι η τροποποίηση της σύνθεσης της ατμόσφαιρας (εξαιτίας της ατμοσφαιρικής ρύπανσης) ή η χρήση γης. Στη Σύμβαση-Πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή (United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC), η Κλιματική Αλλαγή ορίζεται ειδικότερα ως η μεταβολή στο κλίμα που οφείλεται άμεσα ή έμμεσα σε ανθρώπινες δραστηριότητες, διακρίνοντας τον όρο από τη φυσική μεταβλητότητα, η οποία έχει φυσικά αίτια (IPCC, 2007a ; Δημητριάδης, 2011).

Η κύρια επίπτωση της Κλιματικής Αλλαγής στον πλανήτη είναι αναμφίβολα η τάση αύξησης της μέσης παγκόσμιας θερμοκρασίας, η οποία οφείλεται, όπως αναφέρθηκε, κυρίως στην ανθρωπογενή αύξηση της συγκέντρωσης των αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα και ειδικότερα του διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>). Έκθεση του Geological Society of London το Νοέμβριο του 2010, αναφέρει χαρακτηριστικά ότι (EMEKA, 2011) το γεωλογικό αρχείο προσφέρει αποδείξεις οι οποίες συμφωνούν με νόμους της φυσικής, που δείχνουν ότι, όταν προστίθενται μεγάλες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα, προκαλείται αύξηση της θερμοκρασίας (σύμφωνα πάντα με το μηχανισμό του Φαινομένου του Θερμοκηπίου), η οποία με τη σειρά της συμβάλλει στην αύξηση της στάθμης της θάλασσας, σε τροποποιημένα πρότυπα βροχόπτωσης (Alverson et al., 2003), σε αύξηση της οξύτητας των ωκεανών (Barker & Elderfield, 2002 ; Caldeira & Wickett, 2003) και στην υποχώρηση του επιπέδου του διαλυμένου οξυγόνου στα ύδατα (Keeling et al., 2010). Η σημερινή πιθανολογούμενη Κλιματική Αλλαγή εκτιμάται ότι ισοδυναμεί με αύξηση περίπου 1°C (θερμοκρασία εδάφους) τα τελευταία 500

χρόνια (Huang et al., 2000 ; Pollack & Smerdon, 2004) και, σύμφωνα με την IPCC, 0.76°C τα τελευταία 100 χρόνια. Εκτιμάται μάλιστα ότι, τα τελευταία 50 χρόνια εμφανίζονται πιθανότατα ως τα θερμότερα από οποιαδήποτε άλλη 50ετή περίοδο στα τελευταία 500 χρόνια, αλλά πιθανόν και στα τελευταία 1300 χρόνια (ΕΜΕΚΑ, 2011).

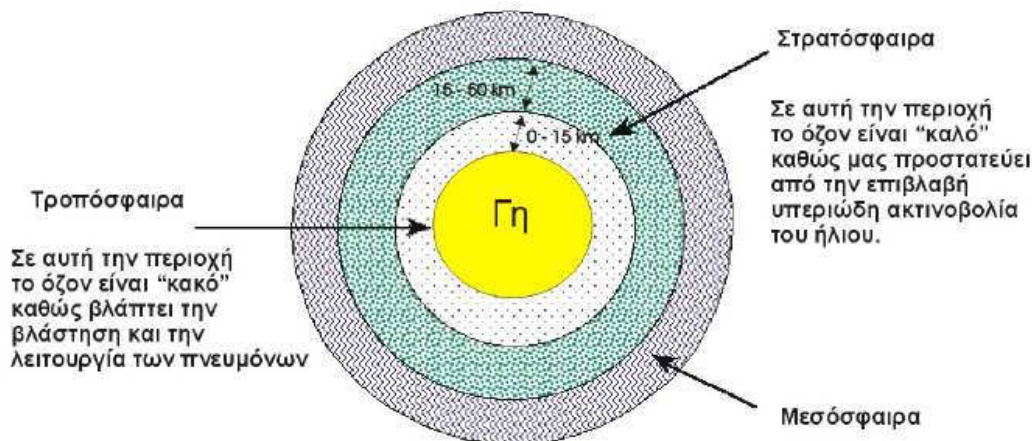
Η ατμοσφαιρική ρύπανση ενοχοποιείται σήμερα, γεγονός που αποδεικνύεται και με αδιάψευστα στοιχεία, ως υπεύθυνη για εκτεταμένες, πλανητικής εμβέλειας επιδράσεις, όπως είναι η Κλιματική Αλλαγή και η επακόλουθη άνοδος της θερμοκρασίας, οι οποίες έχουν σοβαρές επιπτώσεις στην εξέλιξη της ζωής στον πλανήτη. Η Τρύπα του Οζοντος και το (ενισχυμένο) Φαινόμενο του Θερμοκηπίου αποτελούν τα δύο βασικότερα, παγκόσμιας κλίμακας, φαινόμενα ατμοσφαιρικής ρύπανσης, τα οποία και αναλύονται στα επόμενα κεφάλαια.

## 1.2 ΤΟ ΟΖΟΝ (O<sub>3</sub>) ΚΑΙ Η ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ

Το όζον αποτελεί μια αλλοτροπική (αλλότροπα στοιχεία ονομάζονται όλα εκείνα τα στοιχεία, τα οποία εμφανίζονται με περισσότερες της μιας φυσικές μορφές, αφού τα άτομά τους συνδυάζονται με ποικίλους τρόπους) τριατομική μορφή (O<sub>3</sub>) του οξυγόνου (O<sub>2</sub>). Ήταν η πρώτη αλλοτροπική μορφή στοιχείου που περιγράφηκε από την επιστήμη και ανακαλύφθηκε από τον Σένμπαϊν (Schönbein) το 1840, κατά τη διάρκεια εκτέλεσης πειραμάτων αργής οξειδωσης φωσφόρου και ηλεκτρόλυσης νερού. Το ονόμασε έτσι με βάση την αντίστοιχη ελληνική λέξη για τη μυρωδιά (όζειν), από τη μυρωδιά του η οποία γίνεται κυρίως αντιληπτή τις νύχτες με καταιγίδες και αστραπές. Είναι αέριο ασταθές, ισχυρά οξειδωτικό, ισχυρά τοξικό με χαρακτηριστική οσμή και κυανό χρώμα. Είναι λίγο διαλυτό στο νερό και, σαν ασταθές που είναι, διασπάται εύκολα και δεν αφήνει υπολείμματα (Ανώνυμος, 2012γ). Πλέον, το συναντούμε στα πιο γνωστά προβλήματα ατμοσφαιρικής ρύπανσης, από την αστική έως την παγκόσμια κλίμακα, όπως είναι το φωτοχημικό νέφος, η αύξηση του τροποσφαιρικού και η μείωση του στρατοσφαιρικού όζοντος (που δημιουργεί την Τρύπα του Όζοντος), καθώς και το (ενισχυμένο) Φαινόμενο του Θερμοκηπίου.

Περίπου το 90% του συνολικού όζοντος της ατμόσφαιρας της Γης βρίσκεται στη στρατόσφαιρα (15-50km), κυρίως με τη μορφή στιβάδας. Το στρατοσφαιρικό όζον είναι το λεγόμενο ‘καλό’ όζον, διότι δρα ως φίλτρο και απορροφά έντονα την υπεριώδη ηλιακή ακτινοβολία, προστατεύοντας έτσι τους ζωντανούς οργανισμούς της Γης από την έκθεσή τους στην καταστρεπτική αυτή ακτινοβολία (Ζάνης, 2008), η οποία αποτελεί το 10% της συνολικής ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στη Γη. Χωρίζεται σε τρία είδη, τη UV-A, τη UV-B και την πιο επικίνδυνη, τη UV-C, η οποία απορροφάται από μόρια όζοντος αλλά και οξυγόνου στη στρατόσφαιρα. Από την άλλη πλευρά, ένα μέρος της UV-A και, σε μικρότερο βαθμό, της UV-B μπορεί να διεισδύσει μέχρι το έδαφος (Μελάς κ.α., 2000β ; Ανώνυμος, 2012δ). Το πάχος της στιβάδας του στρατοσφαιρικού όζοντος είναι μεταβλητό και εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος, τις μετεωρολογικές συνθήκες και παρουσιάζει εποχική διακύμανση. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι, εάν συμπιεζόταν μόνο το όζον, που βρίσκεται σε μια στήλη αέρα, σε κανονικές συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης, τότε αυτό το στρώμα θα είχε πάχος μόλις 3-5mm (Παπαγιάννης, 2003). Το υπόλοιπο του 10% του όζοντος της ατμόσφαιρας βρίσκεται στο χαμηλότερο στρώμα της, την τροπόσφαιρα (0-15km), όπου εκεί το όζον χαρακτηρίζεται ως ο σημαντικότερος δευτερογενής ρύπος του στρώματος αυτού και αποτελεί το κυριότερο συστατικό του φωτοχημικού νέφους σε αστικά κέντρα και γύρω από αυτά, όπου μπορεί να προκαλέσει ποικίλα προβλήματα στον άνθρωπο (κυρίως αναπνευστικά) και στη φύση (κυρίως στη βλάστηση), όταν ξεπεραστούν κάποιες οριακές τιμές. Η αναγνώριση του όζοντος ως ρύπου της ατμόσφαιρας των αστικών κυρίως περιοχών έγινε στα τέλη της δεκαετίας του 1940, όταν παρατηρήθηκαν ασυνήθιστα υψηλές συγκεντρώσεις του κατά τη διάρκεια επεισοδίου ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο Λος Άντζελες (Καλλία & Σαμαρά, 2007). Το τροποσφαιρικό όζον έχει πολλαπλή σημασία για την ατμόσφαιρα της Γης, εκτός των αρνητικών του επιδράσεων στον άνθρωπο και τη φύση. Καταρχήν, κατέχει κεντρικό ρόλο στη χημεία της τροπόσφαιρας, καθώς αποτελεί τη βασική πηγή του πιο σημαντικού οξειδωτικού μέσου σε αυτή, της ρίζας του υδροξυλίου (OH). Με πιο απλά λόγια, το OH αποτελεί το ισχυρότερο ‘απορρυπαντικό’ της ατμόσφαιρας, που την καθαρίζει από μια σειρά οργανικών και ανόργανων ενώσεων που εκπέμπονται από φυσικές ή ανθρωπογενείς πηγές. Κατά δεύτερο ρόλο, το τροποσφαιρικό όζον που βρίσκεται στα υψηλότερα στρώματα της τροπόσφαιρας, είναι από μόνο του ένα θερμοκηπιακό

αέριο, πράγμα που σημαίνει ότι δρα και αυτό επικουρικά στο Φαινόμενο του Θερμοκηπίου, αφού απορροφά τη γήινη υπέρυθη ακτινοβολία. Επίσης, σαν ισχυρά οξειδωτικό, επιδρά αρνητικά στα διάφορα οργανικά υλικά (οργανικά χρώματα ζωγραφικής, εξωτερικές διακοσμήσεις κτηρίων, σύνθετα ελαστικά υλικά από κυτταρίνη όπως π.χ. το χαρτί, διάφορα εκθέματα μουσείων, ειδικά φυσικής ιστορίας, όπως φτερά, δέρμα ζώων, πάπυροι, κ.α.) αλλοιώνοντας ή και καταστρέφοντας αυτά. Για όλους αυτούς τους λόγους, οι οποίοι στην πλειοψηφία τους έχουν αρνητικές επιδράσεις, έχει επικρατήσει να αποκαλούμε το τροποσφαιρικό όζον ως το ‘κακό’ όζον. Είναι χαρακτηριστική η φράση ‘good up high, bad nearby’ που χρησιμοποιείται για το όζον της ατμόσφαιρας, που σημαίνει ‘καλό εκεί ψηλά, κακό εδώ γύρω’ (Ζάνης, 2008) (Σχήμα 1.2).



Σχήμα 1.2. Το όζον στην ατμόσφαιρα της Γης (Πηγή : Ζάνης, 2008).

Το τροποσφαιρικό όζον δημιουργείται και φυσικά, λόγω ποσοτήτων που έρχονται από τη στρατόσφαιρα, αλλά και δευτερογενώς από πρωτογενείς ρύπους της βιομηχανίας και των αυτοκινήτων, αποτελεί δε κύριο συστατικό του φωτοχημικού νέφους, με τη συμβολή και της ηλιακής ακτινοβολίας (Μελάς κ.α., 2000β ; IPCC, 2007a ; Γεντεκάκης, 2010). Από την άλλη πλευρά, το στρατοσφαιρικό όζον βρίσκεται σε διαρκή δυναμική ισορροπία μεταξύ της αντίδρασης σχηματισμού του και της διάσπασής του. Οι κύριοι παράγοντες αυτής της ισορροπίας είναι η υπεριώδης (UltraViolet, UV) ηλιακή ακτινοβολία και τα μόρια και άτομα οξυγόνου, τα οποία αλληλεπιδρούν σύμφωνα με τις αντιδράσεις :



όπου  $h\nu$  είναι ένα φωτόνιο με ενέργεια που εξαρτάται από τη συχνότητα ( $\nu$ ) του φωτός και  $\text{M}$  είναι ένα μόριο αζώτου ή και οξυγόνου που δρα ως καταλύτης.

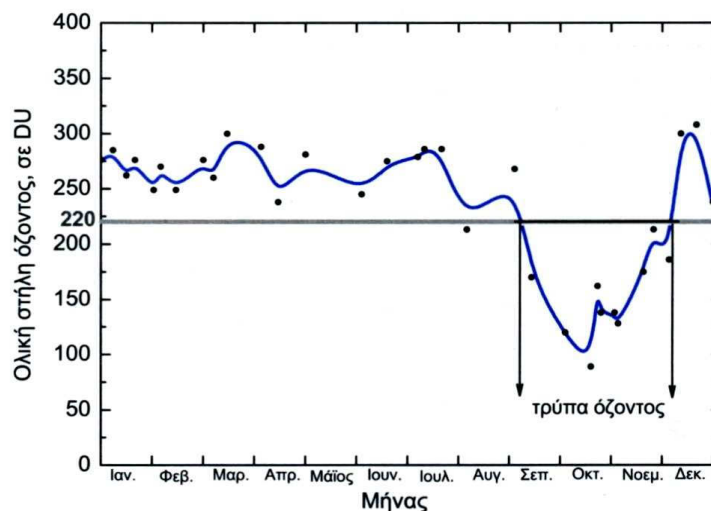
Ο κύκλος των παραπάνω τριών αντιδράσεων ξεκινά, σύμφωνα με την αντίδραση (1.1), με τη φωτοδιάσπαση του μοριακού οξυγόνου, που σχηματίζει ατομικό οξυγόνο. Τα άτομα αυτά αντιδρούν με μοριακό οξυγόνο παρουσία ενός τρίτου μορίου  $\text{M}$ , σύμφωνα με την αντίδραση (1.2), για να σχηματίσουν όζον. Τέλος, το σχηματισμένο όζον απορροφά την υπεριώδη ακτινοβολία και διασπάται, σύμφωνα με την αντίδραση (1.3), για να συμπληρωθεί με αυτόν τον τρόπο ο κύκλος



του σχηματισμού και της διάσπασης του όζοντος. Σε δεδομένο υψόμετρο και γεωγραφικό πλάτος, αποκαθίσταται μια δυναμική ισορροπία του συστήματος των τριών αυτών αντιδράσεων, που οδηγεί σε μια συγκεκριμένη, για το σημείο, συγκέντρωση μόνιμης κατάστασης. Η παραπάνω περιγραφείσα επίδραση της υπεριώδους ακτινοβολίας στο όζον και το οξυγόνο της στρατόσφαιρας αποτελεί το μηχανισμό παρεμπόδισης της UV ακτινοβολίας (και ειδικότερα, όπως προαναφέρθηκε, της πιο επικίνδυνης, UV-C) για να φτάσει στην επιφάνεια της Γης, περιορίζοντας έτσι τις επιβλαβείς συνέπειες στη ζωή. Με άλλα λόγια, το στρατοσφαιρικό όζον αποτελεί όντως μια ‘προστατευτική ασπίδα’ για τον άνθρωπο, αλλά και για κάθε βιολογική διεργασία στον πλανήτη (Γεντεκάκης, 2010).

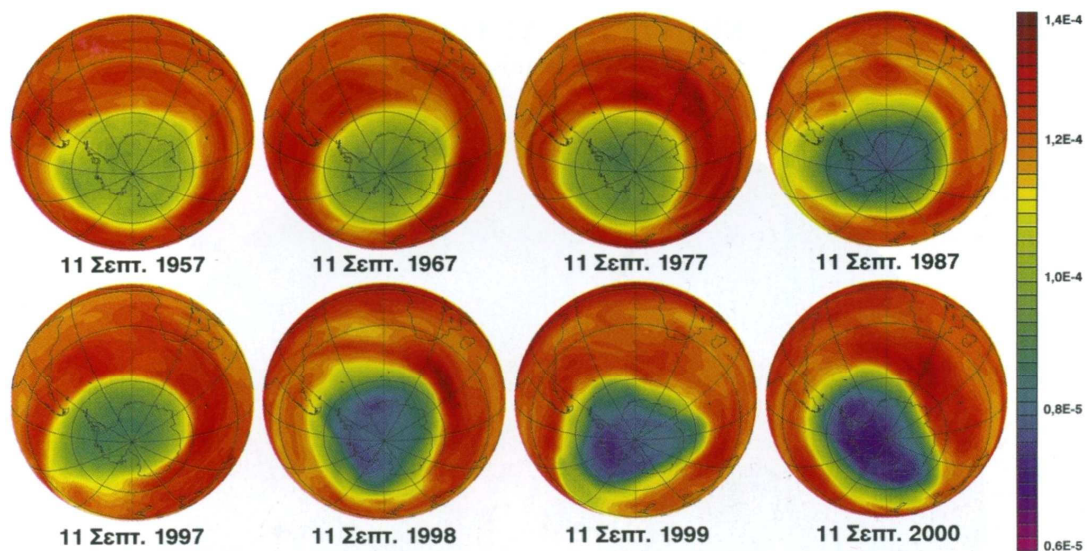
### 1.2.1 Η καταστροφή του στρατοσφαιρικού όζοντος και οι επιπτώσεις της

Από τα μέσα της δεκαετίας του 1980, οι επιστήμονες άρχισαν να παρατηρούν μια, έντονη και μεγάλη σε έκταση, μείωση του στρώματος της στιβάδας του όζοντος της στρατόσφαιρας πάνω από την Ανταρκτική, φαινόμενο που, σε γενικές γραμμές, ακολουθεί μια ετήσια περιοδικότητα όμοια με αυτή που παρουσιάζεται για το 2008 στο Σχήμα 1.3, όπου διακρίνεται μια χαρακτηριστική ‘επιδείνωση’ μεταξύ των μηνών Σεπτεμβρίου-Νοεμβρίου. Το φαινόμενο επικράτησε με την ονομασία ‘Τρύπα του Όζοντος’ (Ozone Hole). Η εξέλιξη του σημαντικού αυτού φαινομένου για μια περίοδο σαράντα περίπου ετών (από το 1957 έως το 2000) παρουσιάζεται στην αλληλουχία των εικόνων του Σχήματος 1.4, κατά την 11<sup>η</sup> Σεπτεμβρίου κάθε έτους που περιλαμβάνεται στην αλληλουχία. Στις τελευταίες εικόνες, η μεγάλη έξαρση του φαινομένου είναι έκδηλη και πραγματικά τρομακτική.



Σχήμα 1.3. Η μεταβολή της ολικής στήλης όζοντος πάνω από το Νότιο Πόλο (Ανταρκτική) κατά το έτος 2008. Τα σημεία αναπαριστούν τη διακύμανση, ενώ η μπλέ γραμμή τις μέσες τιμές (Πηγή : Γεντεκάκης, 2010).

Για να ακριβολογούμε, ως Τρύπα του Όζοντος ορίζεται η γεωγραφική εκείνη έκταση στην οποία η ολική ποσότητα του (στρατοσφαιρικού) όζοντος είναι μικρότερη των 220 μονάδων Ντόμπσον. Η μονάδα Ντόμπσον (Dobson Unit, DU) είναι μια καθιερωμένη πλέον μονάδα μέτρησης της ποσότητας (πάχους) του στρώματος του στρατοσφαιρικού όζοντος, σε μια κλίμακα που φέρει το όνομα ολική στήλη όζοντος (total column ozone). Συγκεκριμένα, 100DU ισοδυναμούν με ένα στρώμα όζοντος πάχους 1mm, εάν αυτό εξαπλωθεί απευθείας πάνω στην επιφάνεια της Γης (Γεντεκάκης, 2010).



Σχήμα 1.4. Αλληλουχία εικόνων της εξέλιξης του φαινομένου της Τρύπας του Οζοντος επάνω από την Ανταρκτική από το 1957 έως το 1997 κατά την 11<sup>η</sup> Σεπτεμβρίου κάθε έτους (Πηγή : Γεντεκάκης, 2010).

Το φαινόμενο έχει λάβει ανησυχητικές διαστάσεις, καθώς σημαντική μείωση του στρώματος του στρατοσφαιρικού όζοντος παρατηρείται ενίοτε και πάνω από κατοικημένες περιοχές του πλανήτη και όχι μόνο στην Ανταρκτική, η οποία συνεχίζει να διακρίνεται από την εντονότερη εμφάνιση του φαινομένου, όπως φαίνεται από μια πιο πρόσφατη εικόνα (2008) της επικρατούσας κατάστασης στο Σχήμα 1.5.

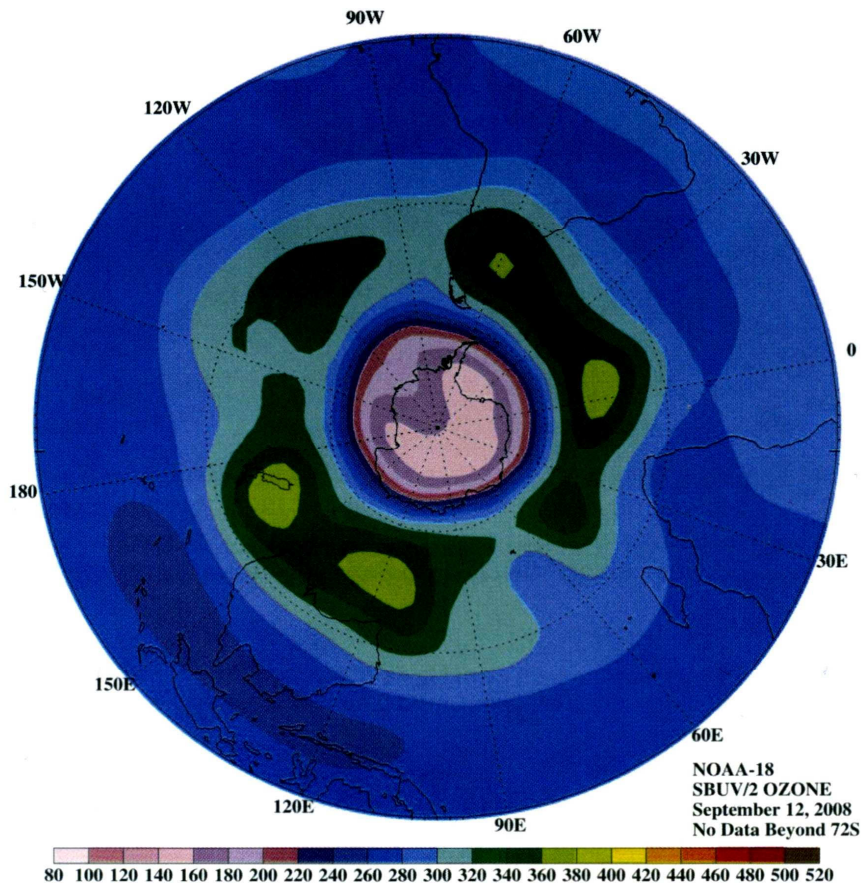
Το 1974, οι Rowland και Molina απέδειξαν πως οι ενώσεις του άνθρακα με χλώριο και φθόριο, οι γνωστοί μας χλωροφθοράνθρακες (CFCs) και υδρογονοχλωροφθοράνθρακες (HCFCs), μπορούν να διαταράξουν τη μόνιμη κατάσταση της συγκέντρωσης του όζοντος στη στρατόσφαιρα. Μάλιστα, για τις έρευνές τους αυτές τιμήθηκαν μαζί με τον Crutzen με το Νόμπελ Χημείας το 1995. Οι CFCs και οι HCFCs είναι πολύ σταθερές, χημικά, ενώσεις και χρησιμοποιήθηκαν (αλλά και χρησιμοποιούνται) από τον άνθρωπο για πάνω από 50 χρόνια, κυρίως ως ψυκτικά ρευστά, ως προωθητικά αέρια (αεροζόλ), καθαριστικά, μέσα πυρόσβεσης και διαλυτικά. Εξαιτίας της σταθερότητας που εμφανίζουν στην τροπόσφαιρα, παραμένουν σε αυτήν για μεγάλα χρονικά διαστήματα, βρίσκοντας έτσι την ευκαιρία να διαχυθούν στη στρατόσφαιρα και να έρθουν σε αλληλεπίδραση με το όζον. Διαπιστώθηκε λοιπόν η άποψη πως οι CFCs και οι HCFCs στην τροπόσφαιρα διαταράζουν την ισορροπία των αντιδράσεων (1.2) και (1.3).

Στη στρατόσφαιρα, οι CFCs (παίρνουμε αυτούς ως παράδειγμα) εκτίθενται στην υπεριώδη ακτινοβολία και φωτοδιασπώνται, ελευθερώνοντας χλώριο το οποίο επιδρά στην ισορροπία του όζοντος με τον ακόλουθο τρόπο :



συνολικά :





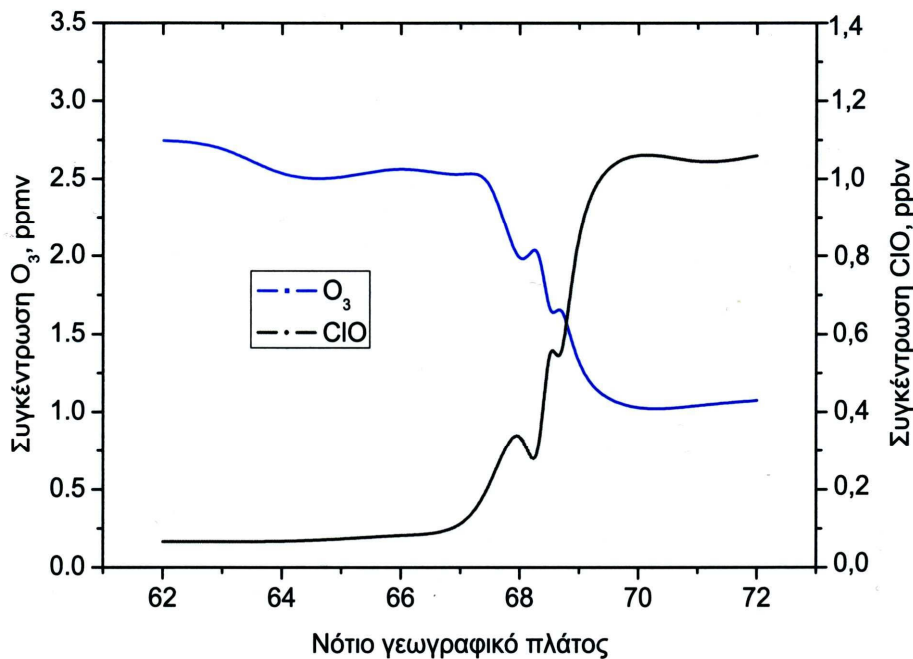
Σχήμα 1.5. Κατανομή της συγκέντρωσης του όζοντος στην Ανταρκτική το 2008. Η κλίμακα κάτω από το σχήμα είναι ενδεικτική της ολικής στήλης όζοντος σε μονάδες DU για την ανάγνωση της εικόνας (Πηγή : Γεντεκάκης, 2010).

Τα παραγόμενα άτομα χλωρίου από την αντίδραση (1.4) διευκολύνουν τη διάσπαση του όζοντος στην αντίδραση (1.5), μειώνοντας έτσι τη συγκέντρωσή του. Εξαιτίας της αυτό-καταλυτικής φύσης των αντιδράσεων (1.5) και (1.6), ένα άτομο χλωρίου διασπά πάρα πολλά μόρια όζοντος (Γεντεκάκης, 2010). Ενδεικτικά, ένα (διατομικό) μόριο χλωρίου καταστρέφει μέχρι και  $10^5$  μόρια όζοντος πριν την αδρανοποίησή του (Ανώνυμος, 2012δ).

Η ανακάλυψη της Τρύπας του Όζοντος στα μέσα της δεκαετίας του 1980 πάνω από την Ανταρκτική ήρθε να επιβεβαιώσει όλα τα παραπάνω. Η ατμόσφαιρα πάνω από του πόλους είναι αρκετά περίπλοκη εξαιτίας της μεγάλης διάρκειας της ημέρας και της νύχτας, αλλά και εξαιτίας των πολικών νεφών της στρατόσφαιρας και των πολικών στροβίλων. Παρόλα αυτά, οι ερευνητές κατόρθωσαν να συλλέξουν στοιχεία που αποδεικνύουν τον ρόλο του ClO στον κύκλο των αντιδράσεων καταστροφής του στρατοσφαιρικού όζοντος. Στο Σχήμα 1.6 παρουσιάζονται σε αντιπαράθεση τα μέτωπα (προφίλ) του όζοντος και του ClO, που μετρήθηκαν σε υψόμετρο 18km στις 22 Σεπτεμβρίου 1987, από ένα αεροσκάφος που πέταξε από τη Νότια Χιλή με κατεύθυνση προς το Νότιο Πόλο. Ένα μήνα πριν (23 Αυγούστου), τα επίπεδα του όζοντος ήταν ομοιόμορφα, περίπου στα 2ppmv (parts per million by volume, κατ' όγκο μέρη στο εκατομμύριο). Αξίζει να παρατηρηθεί πως η συγκέντρωση του μονοξειδίου του χλωρίου είναι σε ppbv (parts per billion by volume, κατ' όγκο μέρη στο δισεκατομμύριο).

Ερευνητές ανακάλυψαν την ύπαρξη και άλλης τρύπας του όζοντος πάνω από την Αρκτική ζώνη του πλανήτη, η οποία, ευτυχώς, είναι λιγότερο έντονη, ενώ πρόσφατες μετρήσεις δείχνουν επίσης σημαντική μείωση των επιπέδων του όζοντος

πάνω και από τη βόρεια εύκρατη ζώνη της Γης. Οι τρύπες του όζοντος θεωρούνται από πολλούς ως ο προάγγελος μιας επερχόμενης μόνιμης βλάβης της ατμόσφαιρας του πλανήτη. Κι αυτό διότι, ακόμη και να πάψουμε εντελώς να εκπέμπουμε στην ατμόσφαιρα CFCs και HCFCs (πράγμα που ούτως ή άλλως δεν είναι εφικτό), το καταστροφικό έργο αυτών των ρύπων θα παραμείνει εν δράσει για πολλά ακόμη χρόνια, εξαιτίας της χημικής τους σταθερότητας (διάρκεια ζωής 65-110 χρόνια). Εκτιμήσεις ερευνητών της NOAA (National Oceanic & Atmospheric Administration, U.S. Department of Commerce), δείχνουν ότι ακόμα και μετά από πλήρη εξάλειψη των ανθρωπογενών παραγόντων που καταστρέφουν το στρατοσφαιρικό όζον, θα παρέλθουν περί τα 100 χρόνια για να επανακτήσει το στρώμα του στρατοσφαιρικού όζοντος το αρχικό του πάχος, θα το προσεγγίσει δε ικανοποιητικά μετά τα μέσα του αιώνα που διανύουμε (Γεντεκάκης, 2010).



Σχήμα 1.6. Μέτωπα των συγκεντρώσεων του στρατοσφαιρικού όζοντος και των ριζών ClO σε ύψος 18km πάνω από την Ανταρκτική (Πηγή : Anderson et al., 1989).

Μια λίστα από τους πλέον συνηθισμένους χλωροφθοράνθρακες (CFCs) και υδρογονοχλωροφθοράνθρακες (HCFCs) παρουσιάζεται στον Πίνακα 1.1. Στον πίνακα παρουσιάζεται επίσης και το δυναμικό ελάττωσης του όζοντος (Ozone Depletion Potential, ODP) που παρουσιάζουν αυτές οι ενώσεις. Ως δυναμικό ελάττωσης του όζοντος ορίζουμε το λόγο της επίδρασης ενός χημικού είδους με το όζον, σε σύγκριση με την επίδραση που έχει μια ίση σε βάρος ποσότητα του CFC-11. Δηλαδή, εξ' ορισμού ο CFC-11 έχει ODP = 1. Άλλοι CFCs ή HCFCs έχουν ODP μεταξύ 0,01 και 1, ενώ φθοράνθρακες που περιέχουν βρώμιο εμφανίζουν πολύ υψηλό ODP που φτάνει μέχρι και 10 (Γεντεκάκης, 2010). Από το 1991 άρχισε η παραγωγή υποκατάστατων των CFCs. Οι νέες αυτές χημικές ουσίες είναι οι υδρογονοφθοράνθρακες (HFCs), οι οποίοι στο μόριό τους δεν περιέχουν άτομο χλωρίου αλλά άτομο υδρογόνου. Οι ενώσεις αυτές θεωρούνται ακίνδυνες για το στρατοσφαιρικό όζον, επειδή ο δεσμός C-H (81 kcal/mol) θραύεται ευκολότερα από το δεσμό C-Cl (93 kcal/mol), με αποτέλεσμα την καταστροφή τους όσο βρίσκονται ακόμη στην τροπόσφαιρα. Παρόλο όμως που οι HFCs είναι ακίνδυνοι για το όζον, έχουν μεγάλο δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη, συμβάλλοντας έτσι σημαντικά στο (ενισχυμένο) Φαινόμενο του Θερμοκηπίου, το οποίο και αναλύεται στο αμέσως

επόμενο Κεφάλαιο. Εναλλακτικά υποκατάστατα των CFCs και HCFCs που δεν επηρεάζουν ούτε το όζον ούτε το κλίμα, είναι η αμμωνία και οι υδρογονάνθρακες (κυρίως το προπάνιο και το βουτάνιο). Υπάρχουν όμως ορισμένα μειονεκτήματα (π.χ. η αμμωνία είναι τοξική, ενώ το προπάνιο είναι εύφλεκτο και δημιουργεί κίνδυνο έκρηξης όταν χρησιμοποιείται σε κλιματιστικά και σπρέι), ενώ, επίσης, το κόστος για μια νέα αντικατάσταση των ψυκτικών ρευστών και των προωθητικών σπρέι είναι υψηλό (Καλλία & Σαμαρά, 2007).

Πίνακας 1.1. CFCs και HCFCs ευρείας χρήσεως και τα δυναμικά ελάττωσης όζοντος (Ozone Depletion Potential, ODP) που παρουσιάζουν (Πηγή : Γεντεκάκης, 2010).

<b>Κωδικός ένωσης</b>	<b>Χημική ονοματολογία και τύπος</b>	<b>ODP</b>	<b>Χρόνος ζωής</b>
CFC-11	Τριχλωροφθορομεθάνιο (CFCl <sub>3</sub> )	1	50±5
CFC-12	Διχλωροφθορομεθάνιο (CF <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> )	1	102
Halon 1301	Βρωμοτριφθορομεθάνιο (CF <sub>3</sub> Br)	10	65
Halon 2402	Διβρωμοτετραφθοροαιθάνιο (CF <sub>3</sub> CFBr <sub>2</sub> )	6	-
HCFC-22	Χλωροδιφθορομεθάνιο (CF <sub>2</sub> HCl)	0,05	13,3
HCFC-123	2,2-διχλωρο-1,1,1-τριφθοροαιθάνιο (C <sub>2</sub> F <sub>3</sub> HCl <sub>2</sub> )	0,02	1,4
HCFC-124	2-χλωρο-1,1,1,2-τετραφθοροαιθάνιο (C <sub>2</sub> F <sub>4</sub> HCl)	0,02	5,9
HCFC-141b	1,1-διχλωρο-1-φθοροαιθάνιο (C <sub>2</sub> FH <sub>3</sub> Cl <sub>2</sub> )	0,1	9,4
HCFC-142b	1-χλωρο-1,1-διφθοροαιθάνιο (C <sub>2</sub> F <sub>2</sub> H <sub>3</sub> Cl)	0,06	19,5

Αξίζει επίσης να αναφερθεί ότι, εκτός από το χλώριο, στην καταστροφή του στρατοσφαιρικού όζοντος συμβάλλει και το μονοξείδιο του αζώτου (NO). Το NO της στρατόσφαιρας προέρχεται εν μέρει από τη φωτόλυση του N<sub>2</sub>O, το οποίο παράγεται από φυσικές πηγές (απονιτροποιητικά βακτήρια του εδάφους) στην τροπόσφαιρα. Ωστόσο, μεγάλες ποσότητες NO εκπέμπονται απευθείας στη στρατόσφαιρα από υπερηχητικά αεροπλάνα που εκτελούν στρατοσφαιρικές πτήσεις.

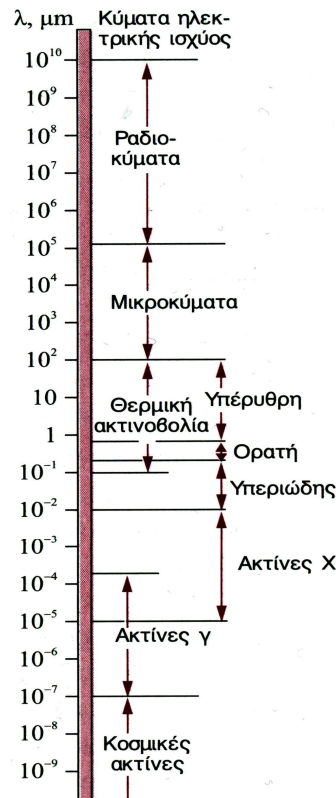
Οι επιπτώσεις της Τρύπας του Όζοντος είναι δύσκολο να εκτιμηθούν. Υπολογίζεται ότι μείωση της συγκέντρωσης όζοντος της τάξης του 1% μπορεί να προκαλέσει (Καλλία & Σαμαρά, 2007) :

- αύξηση των περιστατικών καρκίνου του δέρματος και περισσότερες παθήσεις μελανώματος,
- πολλαπλασιασμό των οφθαλμικών παθήσεων (π.χ. καταρράκτης) και τυφλώσεις,
- εξασθένηση του ανοσοποιητικού συστήματος και εξάπλωση των μολυσματικών ασθενειών &
- κλιματικές αλλαγές (ήπιοι και ξηροί χειμώνες, καύσωνες τα καλοκαίρια, οξείες και απρόβλεπτες καιρικές αλλαγές, αλλά και πλημμύρες, τυφώνες κ.α.).

## 1.3 ΤΟ (ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΟ) ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

### 1.3.1 Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα και η ηλιακή ακτινοβολία

Ο Ήλιος εκπέμπει ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία προς τη Γη, η οποία είναι γνωστή ως ηλιακή ακτινοβολία, αλλά αναφέρεται επίσης και ως ακτινοβολία μικρού μήκους κύματος. Έχει ένα χαρακτηριστικό εύρος μήκους κύματος στο ηλεκτρομαγνητικό φάσμα (Σχήμα 1.7), το οποίο καθορίζεται από τη θερμοκρασία του Ήλιου και κυμαίνεται από 0.3-3 $\mu\text{m}$  (Cengel, 2005 ; IPCC, 2007a).



Σχήμα 1.7. Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα (Πηγή : Cengel, 2005).

Το είδος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που σχετίζεται με τη μεταφορά θερμότητας αποτελεί τη θερμική ακτινοβολία, η οποία εκπέμπεται λόγω των δονητικών και των περιστροφικών κινήσεων των μορίων, των ατόμων και των ηλεκτρονίων ενός υλικού μέσου ή ουσίας. Η θερμοκρασία αποτελεί μέτρο της δύναμης αυτών των ενεργειών σε μικροσκοπικό επίπεδο (εσωτερική ενέργεια) και ο ρυθμός εκπομπής της θερμικής ακτινοβολίας αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας αφού, σύμφωνα με το νόμο Stefan-Boltzmann, ο ρυθμός εκπομπής ακτινοβολίας ενός σώματος είναι ανάλογος προς την τέταρτη δύναμη της θερμοκρασίας της εξωτερικής του επιφάνειας. Η θερμική ακτινοβολία εκπέμπεται διαρκώς από οποιαδήποτε μορφή ύλης, της οποίας η θερμοκρασία είναι πάνω από το απόλυτο μηδέν και ορίζεται ως το τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος που εκτείνεται από τα 0.1 $\mu\text{m}$  έως τα 100 $\mu\text{m}$ , όπως φαίνεται και στο Σχήμα 1.7. Επομένως, περιλαμβάνει ολόκληρη την υπέρυθη (InfraRed, IR) και την ορατή ακτινοβολία, καθώς και ένα μέρος της υπεριώδους (UV). Από τα παραπάνω, εύκολα συμπεραίνεται ότι η ηλιακή ακτινοβολία είναι η θερμική ενέργεια (θερμότητα) που εκπέμπει ο Ήλιος προς τη Γη με ακτινοβολία, η οποία αποτελεί έναν τρόπο μεταφοράς της θερμότητας που, σε αντίθεση με την αγωγή και τη συναγωγή, μπορεί

να εμφανιστεί στο κενό. Το φως είναι απλώς το ορατό τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, το οποίο δε διαφέρει σημαντικά από τις άλλες ηλεκτρομαγνητικές ακτινοβολίες, εκτός του ότι τυχαίνει να ερεθίζει την όραση του ανθρώπινου ματιού και κυμαίνεται από 0.40-0.76μm. Η υπεριώδης ακτινοβολία (UV) καταλαμβάνει το τμήμα του φάσματος που κυμαίνεται από 0.01-0.40μm, ενώ η υπέρυθη (IR) κυμαίνεται από 0.76-100μm. Σχεδόν η μισή ηλιακή ακτινοβολία αποτελεί φως (ανήκει δηλαδή στις τιμές ορατού φωτός), ενώ η υπόλοιπη είναι υπεριώδης (περίπου 10% και εκπέμποντας στα 0.3-0.4μm) και υπέρυθη (το υπόλοιπο περίπου 40% και εκπέμποντας στα 0.76-3μm) (Cengel, 2005).

Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα μεταφέρουν ενέργεια όπως ακριβώς και τα άλλα κύματα, ταξιδεύουν όλα με την ταχύτητα του φωτός και χαρακτηρίζονται από τη συχνότητα  $\nu$  (δηλαδή το πλήθος των περιόδων στη μονάδα του χρόνου) και το μήκος κύματος  $\lambda$  (δηλ. την απόσταση που διανύει το κύμα σε μια περίοδο). Οι δύο αυτές ιδιότητες σε ένα μέσο διάδοσης συσχετίζονται ως εξής, σύμφωνα με την εξ.(1.1) :

$$\lambda = c / \nu \quad (1.1)$$

όπου  $c$  είναι η ταχύτητα του φωτός στο συγκεκριμένο μέσο, το οποίο, για τη συγκεκριμένη περίπτωση που μελετάται, είναι το κενό και, όπως είναι γνωστό, ισχύει  $c = c_0 = 2.99 \cdot 10^8 \text{m/s}$ . Στις μελέτες που έχουν γίνει για την ακτινοβολία, αποδείχθηκε ιδιαίτερα χρήσιμη η θεώρηση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας ως η διάδοση μιας σειράς διακριτών ‘πακέτων’ ενέργειας, τα οποία ονομάστηκαν φωτόνια ή κβάντα από τον Max Planck το 1900, σε συνδυασμό με την κβαντική θεωρία του. Από αυτή την άποψη, κάθε φωτόνιο με συχνότητα  $\nu$  θεωρείται ότι έχει ενέργεια :

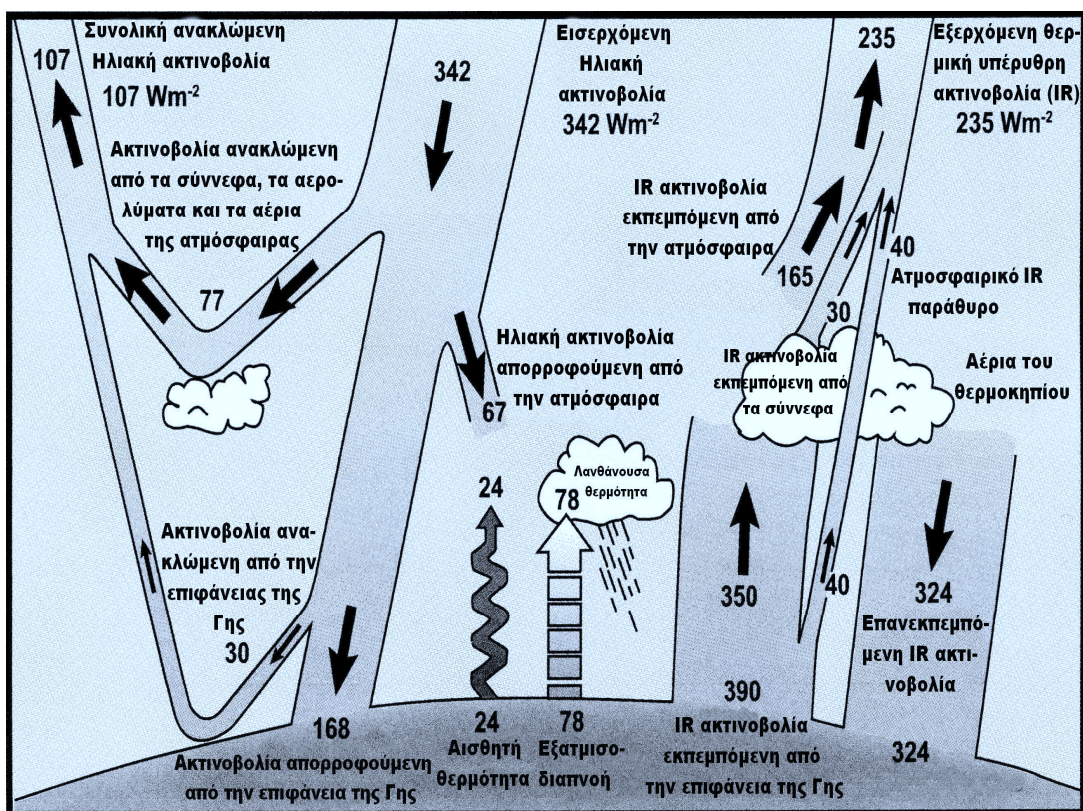
$$e = h \nu = h c / \lambda \quad (1.2)$$

όπου με  $h = 6.625 \cdot 10^{-34} \text{Js}$ , παριστάνεται η σταθερά Planck. Θα πρέπει να σημειωθεί, με βάση το δεύτερο μέρος της εξ.(1.2), ότι τα  $h$  και  $c$  αποτελούν σταθερές και, επομένως, η ενέργεια ενός φωτονίου είναι αντιστρόφως ανάλογη προς το μήκος κύματός του. Άρα, η ακτινοβολία μικρότερου μήκους κύματος διαθέτει μεγαλύτερες ενέργειες φωτονίων. Αυτό σημαίνει ότι η πηγή η οποία εκπέμπει αυτή την ακτινοβολία διαθέτει μεγάλα ποσά εσωτερικής ενέργειας. Ως γνωστό, η εσωτερική ενέργεια εξαρτάται σημαντικά από τη θερμοκρασία. Από τον παραπάνω συλλογισμό, σε συνδυασμό και με το νόμο Stefan-Boltzmann, εξάγεται το συμπέρασμα πως όσο πιο μεγάλη είναι η θερμοκρασία στην οποία βρίσκεται η πηγή που εκπέμπει ακτινοβολία τόσο πιο μικρό είναι το μήκος κύματος στο οποίο αυτή εκπέμπεται. Αυτός είναι και τελικά ο λόγος για τον οποίο ο Ήλιος εκπέμπει (ηλιακή) ακτινοβολία σε μικρά μήκη κύματος, ενώ, αντίθετα, η Γη εκπέμπει (υπέρυθη) ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος (3-80μm) : η μεταξύ τους μεγάλη θερμοκρασιακή διαφορά (Cengel, 2005 ; IPCC, 2007a ; Γεντεκάκης, 2010).

### 1.3.2 Το ενεργειακό ισοζύγιο του συστήματος ατμόσφαιρα-Γη και ο μηχανισμός του (φυσικού) Φαινομένου του Θερμοκηπίου

Με τον όρο ενεργειακό ισοζύγιο του συστήματος ατμόσφαιρα-Γη (δηλαδή στην ουσία του κλιματικού συστήματος), εννοούμε τη διαφορά μεταξύ της συνολικής εισερχόμενης ενέργειας (με τη μορφή ηλιακής ακτινοβολίας) και της συνολικής εξερχόμενης (με τη μορφή θερμικής υπέρυθρης ακτινοβολίας) σε αυτό. Αν είναι θετική, τότε έχουμε θέρμανση, ενώ, αντίστοιχα, αν είναι αρνητική, έχουμε

ψύξη. Κατά μέσο όρο, σε όλη την επιφάνεια της υδρογείου και για χρονικά διαστήματα μεγάλης διάρκειας, η διαφορά αυτή θα πρέπει να είναι μηδέν. Επειδή το σύστημα αυτό αντλεί το σύνολο της ενέργειας που χρειάζεται από τον Ήλιο, μηδενικό υπόλοιπο σημαίνει ότι, σε όλες τις περιοχές ανά την υφήλιο, το ποσό της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας θα πρέπει κατά μέσο όρο να ισούται με το άθροισμα των ποσοτήτων της εξερχόμενης ανακλώμενης ηλιακής ακτινοβολίας και της εξερχόμενης θερμικής υπέρυθρης ακτινοβολίας, η οποία εκπέμπεται από το σύστημα (IPCC, 2007a). Στο Σχήμα 1.8 απεικονίζεται το ισοζύγιο του συστήματος. Θα πρέπει να τονιστεί ότι η μονάδα μέτρησης αυτών των ποσοτήτων ακτινοβολίας είναι το  $Wm^{-2}$  (ισχύς ανά μονάδα επιφάνειας). Επίσης, δε θα πρέπει να συγχέονται οι έννοιες της ‘μέσης εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας στα όρια της ατμόσφαιρας’ (Solar Insolation,  $S_i = 342Wm^{-2}$ ) και της ‘ηλιακής σταθεράς’ (Solar Constant,  $S_c = 1,368Wm^{-2}$ ), η οποία εκφράζει το ρυθμό με τον οποίο η ηλιακή ακτινοβολία (ενέργεια) προσπίπτει σε μια επιφάνεια κάθετη στις ηλιακές ακτίνες στο εξωτερικό άκρο (όριο) της ατμόσφαιρας, όταν η Γη βρίσκεται στη μέση απόστασή της από τον Ήλιο. Εφόσον η επιφάνεια με την οποία η Γη παρεμποδίζει (βλέπει) την ηλιακή ακτινοβολία είναι  $\pi R^2$  (όπου R είναι η ακτίνα της Γης) και η ενέργεια που πέφτει σε αυτή την κυκλική επιφάνεια απλώνεται πάνω στην επιφάνεια της γήινης σφαίρας, που είναι  $4\pi R^2$ , το ποσοστό της ηλιακής σταθεράς που στην πράξη θα λαμβάνεται ανά μονάδα επιφάνειας της Γης θα είναι το  $\pi R^2 / 4\pi R^2 = 1/4$  αυτής, ήτοι  $S_i = 342Wm^{-2}$ . Από τη στιγμή που η Γη εκπέμπει ακτινοβολία σε όλη της την επιφάνεια ( $4\pi R^2$ ), στο ισοζύγιο θα πρέπει, ανάλογα, να ληφθεί υπόψη η μέση ηλιακή ακτινοβολία που αντιστοιχεί σε αυτή την επιφάνεια. Αυτή η μέση ενέργεια φτάνει αρχικά στα ανώτερα όρια της ατμόσφαιρας και εξασθενεί καθώς εισχωρεί σε αυτή, προσεγγίζοντας τη Γη (Cengel, 2005 ; IPCC, 2007a ; Γεντεκάκης, 2010 ; Ανώνυμος, 2010).



Σχήμα 1.8. Εκτίμηση του μέσου παγκόσμιου και ετήσιου ενεργειακού ισοζυγίου του συστήματος ατμόσφαιρας-Γης (Πηγή : IPCC, 2007b).



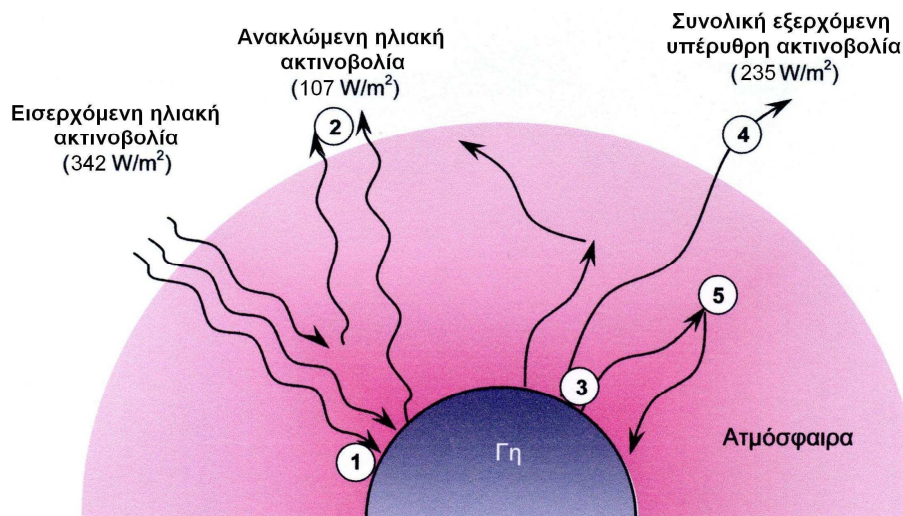
Στο Σχήμα 1.8 παρατηρείται ότι περίπου το 30% της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας ανακλάται άμεσα πίσω στο διάστημα από τα σύννεφα, τα αερολύματα, τα αέρια της ατμόσφαιρας καθώς και από την ίδια τη γήινη επιφάνεια. Το ποσό αυτό είναι επίσης γνωστό με την ονομασία λευκαύγεια (albedo). Αν συνυπολογιστεί ότι περίπου ένα 20% από αυτή την ακτινοβολία απορροφάται από την ίδια την ατμόσφαιρα ( $O_3$ ,  $H_2O$ ) και τα σύννεφα, εξάγεται το συμπέρασμα ότι τελικά περίπου το 50% της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας φτάνει στην επιφάνεια της Γης και απορροφάται από αυτήν. Κατόπιν, η ενέργεια αυτή μεταφέρεται στην ατμόσφαιρα με τη μορφή αισθητής θερμότητας μέσω συναγωγής, δηλαδή με τη βοήθεια των ανοδικών ρευμάτων του αέρα, με τη μορφή λανθάνουσας θερμότητας λόγω της εξατμισοδιαπνοής, καθώς και με τη μορφή ακτινοβολίας μεγάλου μήκους κύματος (Παπαγιάννης, 2005 ; IPCC, 2007b).

Παρατηρήθηκε λοιπόν ότι το ποσό της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας που δεν ανακλάται πίσω στο διάστημα, απορροφάται από την επιφάνεια της Γης και την ατμόσφαιρα και ισούται με περίπου  $235Wm^{-2}$  (Σχήμα 1.8). Για την εξισορρόπηση της εισερχόμενης αυτής ενέργειας, το ίδιο το σύστημα (και κυρίως η Γη) πρέπει να εκπέμπει πίσω στο διάστημα, κατά μέσο όρο, το ίδιο ποσό ενέργειας με τη μορφή ακτινοβολίας (IPCC, 2007b). Το είδος αυτό ακτινοβολίας είναι η θερμική υπέρυθη ακτινοβολία (thermal infrared radiation ή απλώς, για συντομία, IR, αφού ολόκληρη η υπέρυθη ακτινοβολία περιλαμβάνεται στο τμήμα της θερμικής ακτινοβολίας), την οποία εκπέμπει κυρίως η επιφάνεια της Γης (λόγω της χαμηλής της θερμοκρασίας) και ακολούθως η ατμόσφαιρα και τα σύννεφα, η οποία είναι γνωστή και ως ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος ή γήινη ακτινοβολία (IPCC, 2007a). Όμως, για να εκπέμπει μια επιφάνεια περίπου  $235Wm^{-2}$ , θα πρέπει αυτή να βρίσκεται σε θερμοκρασία που να κυμαίνεται περίπου στους  $-19^{\circ}C$ . Η θερμοκρασία αυτή είναι κατά πολύ χαμηλότερη από τη μέση παγκόσμια θερμοκρασία που στην πραγματικότητα επικρατεί στην επιφάνεια της Γης και κυμαίνεται στους  $+14^{\circ}C$ . Αντ' αυτού, η απαραίτητη θερμοκρασία των  $-19^{\circ}C$  βρίσκεται σε ένα υψόμετρο περίπου 5km πάνω από την επιφάνεια της Γης, περίπου στο μέσο της τροπόσφαιρας (IPCC, 2007b).

Ο λόγος για τον οποίο η επιφάνεια της Γης είναι τόσο ζεστή είναι η παρουσία κάποιων αερίων στην ατμόσφαιρα, ειδικότερα στην τροπόσφαιρα, τα οποία δρουν κατ' ανάλογο τρόπο με τον οποίο η γυάλινη ή/και πλαστική επένδυση στα θερμοκήπια επιτρέπει τη διέλευση της ηλιακής ακτινοβολίας, αλλά δεν επιτρέπει τη διαφυγή της υπέρυθρης ακτινοβολίας μέσα από αυτά, αυξάνοντας έτσι τη θερμοκρασία του αέρα στο εσωτερικό τους. Έτσι και τα αέρια αυτά, απορροφούν-συμπεριλαμβανομένων και των σύννεφων-το μεγαλύτερο μέρος της θερμικής υπέρυθρης ακτινοβολίας που εκπέμπεται τόσο από την επιφάνεια της Γης (δηλαδή από τη χερσαία επιφάνεια και τους ωκεανούς) όσο και από την ίδια της την ατμόσφαιρα, η ροή της οποίας μετράται από το σύστημα ERBE στον δορυφόρο ERBS της NASA, επανεκπέμποντας την προς όλες τις πλευρές (κατευθύνσεις), συμπεριλαμβανομένων τόσο αυτής προς το διάστημα (εξισορροπώντας το ισοζύγιο και φανερώνοντας το υψόμετρο στο οποίο αυτά βρίσκονται, δηλαδή γύρω στα 5km), όσο και αυτής της καθοδικής προς την επιφάνεια της Γης, με αποτέλεσμα να τη θερμαίνουν. Επιπρόσθετα, παρόμοια με την επένδυση ενός θερμοκηπίου, τα αέρια αυτά επιτρέπουν τη διέλευση της ηλιακής ακτινοβολίας στην ατμόσφαιρα. Για αυτό, τα αέρια αυτά ονομάζονται αέρια του θερμοκηπίου ή θερμοκηπιακά αέρια (GreenHouse Gases, GHGs), αφού δρουν κι αυτά ως ένα μερικό κάλυμμα, διαφανές (δηλαδή διαπερατό) στην ηλιακή αλλά ημιδιαφανές (δηλαδή σχεδόν αδιαπέραστο) στην υπέρυθη ακτινοβολία, ενώ η διαδικασία αυτή θέρμανσης του πλανήτη είναι γνωστή ως (φυσικό) Φαινόμενο του Θερμοκηπίου (Greenhouse Effect ή Global

Warming), το οποίο αναφέρθηκε αρχικά από τον Joseph Fourier το 1824. Χωρίς αυτό, η μέση θερμοκρασία στην επιφάνεια της Γης θα βρισκόταν κάτω από το σημείο πήξης του νερού. Αντ' αυτού, ο φυσικός αυτός μηχανισμός θέρμανσης της Γης, κατά  $\Delta T \approx 33^\circ\text{C}$  περισσότερο, είναι υπεύθυνος για την ύπαρξη της ζωής και των διαφόρων διεργασιών πάνω στον πλανήτη, με τον τρόπο με τον οποίο γνωρίζουμε (Παπαγιάννης, 2005 ; IPCC, 2007a ; IPCC, 2007b ; Γεντεκάκης, 2010). Στο σημείο αυτό θα πρέπει να τονιστεί και η εξέχουσα σημασία της ύπαρξης του υπέρυθρου ατμοσφαιρικού παραθύρου (Σχήμα 1.8). Με τον όρο αυτό, εννοούμε το τμήμα εκείνο του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος (μεταξύ 8-14 $\mu\text{m}$ ), στο οποίο τα αέρια του θερμοκηπίου και τα σύννεφα δεν απορροφούν τη θερμική υπέρυθη ακτινοβολία που εκπέμπεται από την επιφάνεια της Γης, επιτρέποντας έτσι τη διέλευση αυτής της ποσότητας ακτινοβολίας απευθείας στο διάστημα. Χωρίς το υπέρυθρο ατμοσφαιρικό παράθυρο, η Γη θα γινόταν πάρα πολύ θερμή (τόσο επειδή το ισοζύγιο θα γινόταν θετικό όσο και επειδή η ποσότητα αυτή θα επανεκπεμποταν-κυρίως-προς τα πίσω) ώστε να υποστηρίξει τη ζωή και, ενδεχομένως, ακόμη θερμότερη σε βαθμό να εξατμιστούν όλα τα υδάτινά της αποθέματα (γεγονός που στην Αφροδίτη, για παράδειγμα, συνέβη αρκετά νωρίς, σύμφωνα με την ιστορία του ηλιακού συστήματος). Έτσι, η ύπαρξη ενός υπέρυθρου ατμοσφαιρικού παραθύρου είναι σημαντική ώστε να παραμείνει η Γη ένας κατοικήσιμος πλανήτης (Ανώνυμος, 2012ε).

Στο Σχήμα 1.9 παρουσιάζεται μια αρκετά πιο απλοποιημένη προσέγγιση του ενεργειακού ισοζυγίου ατμόσφαιρας-Γης, η οποία επικεντρώνεται στο μηχανισμό του φυσικού Φαινομένου του Θερμοκηπίου (οι τιμές που αναφέρονται είναι οι μέσες φαινόμενες).



Σχήμα 1.9. Το φυσικό Φαινόμενο του Θερμοκηπίου (Πηγή : Γεντεκάκης, 2010).

Σύμφωνα με το παραπάνω σχήμα, η διαδικασία που οδηγεί στο φυσικό Φαινόμενο του Θερμοκηπίου είναι η εξής : Μεγάλο ποσοστό της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας απορροφάται από τη γήινη επιφάνεια, θερμαίνοντας την (1). Κάποια ποσότητα αυτής της ακτινοβολίας ( $107\text{Wm}^{-2}$ ) ανακλάται άμεσα από την επιφάνεια της Γης και την ατμόσφαιρα (2). Υπέρυθη ακτινοβολία εκπέμπεται από την επιφάνεια της Γης (3). Συνολική εξερχόμενη υπέρυθη ακτινοβολία που εκπέμπεται στο διάστημα (4). Μερικό ποσοστό της υπέρυθρης ακτινοβολίας της Γης απορροφάται από τα αέρια του θερμοκηπίου και επανεκπέμπεται προς όλες τις κατευθύνσεις (συμπεριλαμβανομένης και της καθοδικής), θερμαίνοντας έτσι την επιφάνεια της (5) (Γεντεκάκης, 2010).

### 1.3.3 Η ενίσχυση του φαινομένου και τα αέρια του θερμοκηπίου

Από όσα αναφέρθηκαν παραπάνω, γίνεται εύκολα κατανοητό το γεγονός ότι το Φαινόμενο του Θερμοκηπίου, αυτό καθ' αυτό, δεν είναι επιβλαβές. Εξάλλου, υφίστατο ανέκαθεν. Αντίθετα, είναι ουσιώδες και απαραίτητο για την ύπαρξη, τη διατήρηση και την εξέλιξη της ζωής στον πλανήτη υπό τη μορφή που τη γνωρίζουμε. Το ανησυχητικό είναι η 'ενίσχυση' του φαινομένου-και μάλιστα με ραγδαίο ρυθμό-ως αποτέλεσμα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης (Γεντεκάκης, 2010). Οι ανθρωπογενείς εκπομπές θερμοκηπιακών αερίων αυξάνουν την υπέρυθη ακτινοβολία που παγιδεύεται από την ατμόσφαιρα, επιδρώντας έτσι στο κλίμα της Γης. Επομένως, το φυσικό επακόλουθο της αύξησης των εκπομπών θερμοκηπιακών αερίων από τον άνθρωπο είναι η ενίσχυση του Φαινομένου του Θερμοκηπίου και συνεπώς η αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη (Μελάς κ.α., 2000α). Όπως είναι λογικό, οι εκπομπές αυτές είναι αποτέλεσμα των ανθρώπινων δραστηριοτήτων, με κυρίαρχες την καύση των ορυκτών καυσίμων και τη συνεχή και εκτεταμένη καταστροφή των, τροπικών κυρίως, δασών. Πιο συγκεκριμένα, τα δάση, μέσω της φωτοσύνθεσης, δεσμεύουν το διοξείδιο του άνθρακα και παράγουν οξυγόνο, ενώ, επιπρόσθετα, τα τροπικά δάση ρυθμίζουν τις ποσότητες των υδρατμών στην ατμόσφαιρα των τροπικών πλατών και κατά προέκταση και ολόκληρης της Γης (Μελάς κ.α., 2000α ; IPCC, 2007b).

Όπως είναι ήδη γνωστό, η Γη δέχεται συνεχώς ενέργεια από τον Ήλιο υπό μορφή ακτινοβολίας και ταυτόχρονα επανεκπέμπει μέρος αυτής προς το διάστημα, με αποτέλεσμα να υφίσταται μια καθαρή (net) διαφορά (ισοζύγιο) ακτινοβολούμενης ενέργειας στην τροπόπαυση (μετρούμενη πάντα σε  $Wm^{-2}$ ). Εάν διαταράξουμε τη συγκέντρωση ενός αερίου του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα, αναμένεται μια μεταβολή σε αυτή την καθαρή διαφορά εισερχόμενης-εξερχόμενης ακτινοβολίας, λόγω της ικανότητας που εμφανίζει το αέριο αυτό να απορροφά και να επανεκπέμπει προς όλες τις κατευθύνσεις (άρα και επιστρέφουσα προς τη Γη) ακτινοβολία. Αυτή η επαγόμενη μεταβολή στην τροπόπαυση, θεωρώντας ότι οι θερμοκρασίες της ατμόσφαιρας αναπροσαρμόζονται στη νέα ενεργειακή ισορροπία, ενώ η θερμοκρασία της επιφάνειας της Γης και της τροπόσφαιρας παραμένουν αμετάβλητες, ονομάζεται 'ακτινοβολούμενη ένταση' (Radiative Forcing, RF) του συστήματος γήινης επιφάνειας-τροπόσφαιρας (Γεντεκάκης, 2010). Ο παράγοντας RF μπορεί να εμφανιστεί στα ελληνικά και ως 'κατακράτηση ακτινοβολίας' (Δάλλας, 2010) ή ως 'κλιματικός εξαναγκασμός λόγω μεταβολής της ακτινοβολίας' (Δότσα, 2011). Αποτελεί μέτρο της επίδρασης των διαφόρων (αερίων) ενώσεων και διεργασιών, όταν σε αυτά διαταραχθεί η συγκέντρωσή τους λόγω διαφόρων ανθρωπογενών (κυρίως) και φυσικών παραμέτρων, στο ισοζύγιο ακτινοβολίας ατμόσφαιρας-Γης, ενώ, παράλληλα, αποτελεί και ένα δείκτη της σπουδαιότητας αυτών των αερίων ενώσεων και των διεργασιών ως ένα δυναμικό μηχανισμό αλλαγής του κλίματος. Θετική τιμή του RF σημαίνει θέρμανση της επιφάνειας (ή, γενικά, της ατμόσφαιρας) που μεταφράζεται σε ενίσχυση του Φαινομένου του Θερμοκηπίου, ενώ η αρνητική τιμή του υποδηλώνει την ψύξη της. Θετική τιμή παρουσιάζουν κυρίως τα αέρια του θερμοκηπίου και το τροποσφαιρικό όζον, ενώ αρνητική τα αερολύματα, η χρήση γης και το στρατοσφαιρικό όζον. Σύμφωνα με τα στοιχεία που δίνει η IPCC για τη μέση παγκόσμια τιμή του RF, σε σχέση με την προβιομηχανική περίοδο, το  $CO_2$  είναι το θερμοκηπιακό αέριο που συμμετέχει κυρίως στο σύνολο της ενίσχυσης του Φαινομένου του Θερμοκηπίου (κατά 60% περίπου), ενώ το αμέσως επόμενο είναι το  $CH_4$  (συμμετέχοντας με ένα ποσοστό της τάξης του 20% περίπου). Επίσης, το συνολικό, λόγω των ανθρωπογενών παραμέτρων, ισοζύγιο, παρουσιάζει μια μέση τιμή της τάξης των  $1.6Wm^{-2}$ , με το εύρος αβεβαιότητας να εκτιμάται ότι κυμαίνεται από  $0.6Wm^{-2}$  έως  $2.4Wm^{-2}$ , γεγονός που αποδεικνύει την

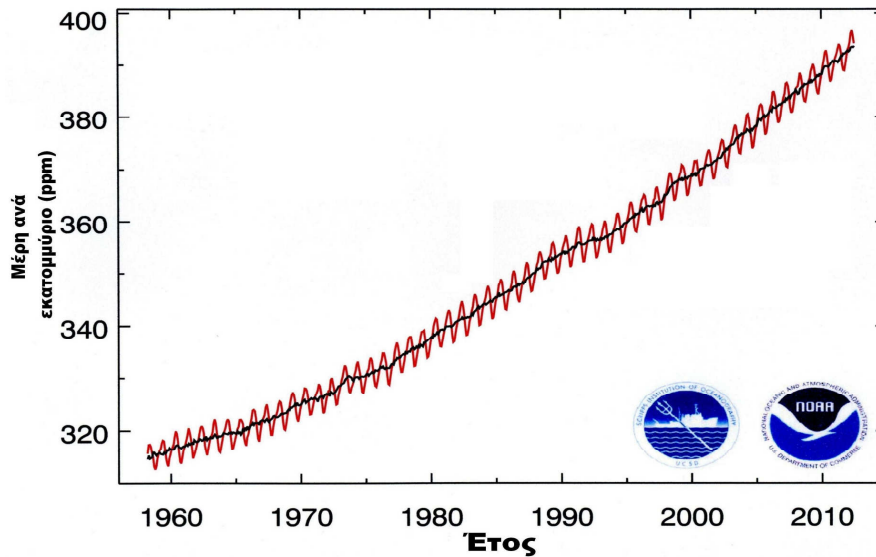
τάση ενίσχυσης του φαινομένου, κυρίως λόγω των ανθρώπινων δραστηριοτήτων (IPCC, 2007c ; Ζάνης, 2008).

Βάσει των παραπάνω, αναπτύχθηκε μια κλίμακα κατάταξης για τα αέρια του θερμοκηπίου, ανάλογα με την ανά μονάδα μάζας επίδραση που έχουν στον παράγοντα RF. Αυτή η κατάταξη επηρεάζεται από κάποια χαρακτηριστικά του αερίου, τα οποία είναι α) η ένταση με την οποία το αέριο απορροφά την υπέρυθη (IR) ακτινοβολία, β) το μήκος κύματος αυτής της ακτινοβολίας και γ) η διάρκεια ζωής του αερίου στην ατμόσφαιρα. Κατόπιν των ανωτέρω, ορίζεται ως ‘δυναμικό συμβολής ενός αερίου στο Φαινόμενο του Θερμοκηπίου (ή, αλλιώς, στην Παγκόσμια Υπερθέρμανση) (Global Warming Potential, GWP)’, η δυναμικότητα που εμφανίζει 1kg από το αέριο να συνεισφέρει στον παράγοντα RF, σε σχέση με εκείνη που εμφανίζει 1kg ενός άλλου αερίου αναφοράς, που καθιερώθηκε να είναι το CO<sub>2</sub>, αφού αποτελεί, όπως ήδη αναφέρθηκε, το αέριο του θερμοκηπίου με τη μεγαλύτερη συμμετοχή στην ενίσχυση του φαινομένου (Γεντεκάκης, 2010). Ο δείκτης GWP αποτελεί ένα χρήσιμο εργαλείο για τη σύγκριση των ενδεχόμενων αρνητικών επιπτώσεων στο κλίμα των διαφόρων αερίων του θερμοκηπίου (IPCC, 2007c), ενώ, όπως αναλύεται σε επόμενο Κεφάλαιο, συμβάλλει καθοριστικά στον υπολογισμό του περιβαλλοντικού αποτυπώματος εφαρμογών που χρησιμοποιεί ο άνθρωπος, στις οποίες περιλαμβάνονται και ενώσεις που κατατάσσονται στα αέρια του θερμοκηπίου.

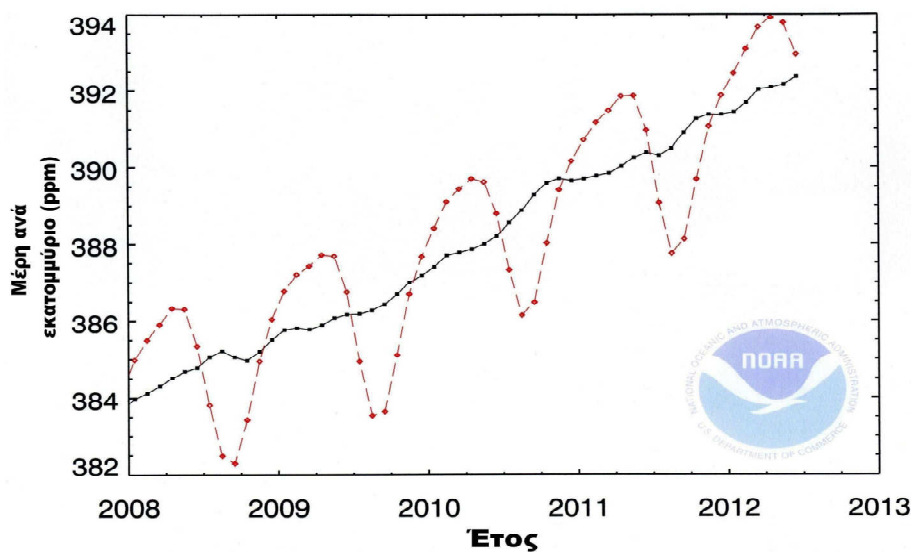
Ποια είναι όμως τα αέρια του θερμοκηπίου; Παρόλο που το άζωτο (N<sub>2</sub>) και το οξυγόνο (O<sub>2</sub>) αποτελούν τα δύο αέρια με την περισσότερη αφθονία στην ατμόσφαιρα, σε ποσοστά (ξηρής ατμόσφαιρας) 78% και 21% αντίστοιχα, δεν ασκούν σχεδόν καμία επίδραση στο Φαινόμενο του Θερμοκηπίου. Αντ’ αυτών, η εμφάνιση του προέρχεται από μόρια τα οποία είναι περισσότερο πολύπλοκα και λιγότερο συνηθισμένα (IPCC, 2007b). Οι υδρατμοί (H<sub>2</sub>O), το διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>), το μεθάνιο (CH<sub>4</sub>), το υποξείδιο του αζώτου (N<sub>2</sub>O) και το όζον (O<sub>3</sub>) είναι τα κύρια αέρια του θερμοκηπίου. Επιπλέον αυτών όμως, υπάρχει και μια σειρά τεχνητών (εξ’ ολοκλήρου δηλαδή κατασκευασμένων από τον άνθρωπο) αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα της Γης, όπως οι αλογονάνθρακες καθώς και κάποιες ουσίες που περιέχουν χλώριο και βρώμιο, οι οποίες ελέγχονται από το Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ (IPCC, 2007a). Οι υδρατμοί έχουν τη μεγαλύτερη συνεισφορά στο φυσικό Φαινόμενο του Θερμοκηπίου. Παρ’ όλα αυτά, η παρουσία τους στην ατμόσφαιρα επηρεάζεται σε μικρότερο βαθμό από τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Για το λόγο αυτό, η εστίαση του προβλήματος (δηλαδή η ενίσχυση του φαινομένου), περιορίζεται στα αέρια των οποίων οι συγκεντρώσεις στην ατμόσφαιρα αυξάνονται σημαντικά λόγω της ανθρώπινης παρέμβασης, με κυρίαρχο αυτών το CO<sub>2</sub> (Μελάς κ.α., 2000α). Το Πρωτόκολλο του Κιότο είναι αυτό που ελέγχει τις εκπομπές αυτών των αερίων, στα οποία, εκτός των ήδη προαναφερθέντων CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> και N<sub>2</sub>O, συμπεριλαμβάνονται δύο κατηγορίες αλογονανθράκων, οι υδρογονοφθορανθρακες (HFCs) και οι υπερφθορανθρακες (PFCs), καθώς και το εξαφθοριούχο θείο (SF<sub>6</sub>) (IPCC, 2007a).

Το σημαντικότερο αέριο του θερμοκηπίου είναι το CO<sub>2</sub> και η συνεισφορά του καταλυτική, αφού συμμετέχει στην ενίσχυση του φαινομένου κατά το μεγαλύτερο ποσοστό, τόσο άμεσα από τη χρήση ορυκτών καυσίμων όσο και έμμεσα από την εκχέρσωση δασικών εκτάσεων. Τα επίπεδα του CO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα εκτιμάται ότι αυξάνονται κατά 3-4% κάθε δεκαετία και κατά 0.4-0.5% περίπου κάθε χρόνο. Σύμφωνα με εκτιμήσεις, αν συνεχίσει ο ίδιος ρυθμός αύξησης των καύσεων πάνω στον πλανήτη, η συγκέντρωση του CO<sub>2</sub> το έτος 2030 θα έχει διπλασιαστεί. Μια τέτοια αύξηση της συγκέντρωσης του CO<sub>2</sub> πιθανολογείται ότι θα προκαλέσει αύξηση της θερμοκρασίας κατά 3-5°C. Όμως, ακόμη κι αν σταματήσει η

αυξανόμενη εκπομπή του, η αποκατάστασή του στα επιθυμητά επίπεδα θα καθυστερήσει πολύ, αν συνυπολογιστεί και η μεγάλη ατμοσφαιρική διάρκεια ζωής του. Οι συγκεντρώσεις του CO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα μετρούνται με ακρίβεια από το 1958 σε δύο ερευνητικούς σταθμούς στον κόσμο, αλλά με βάση μετρήσεις στον πάγο και των ισοτόπων του άνθρακα στους δακτυλίους των δέντρων έχουν υπολογιστεί και για τις τελευταίες χιλιετίες. Οι σταθμοί αυτοί βρίσκονται ο ένας στο Μάουνα Λόα (Mauna Loa) στη Χαβάη, ενώ ο δεύτερος στο Νότιο Πόλο (Μελάς, 2007). Στο Σχήμα 1.10 απεικονίζεται η αύξηση της συγκέντρωσης του CO<sub>2</sub> από το Μάρτιο του 1958 έως σήμερα, ενώ στο Σχήμα 1.11 από τον Ιανουάριο του 2008 μέχρι σήμερα (Ανώνυμος, 2012ζ).



Σχήμα 1.10. Αύξηση των συγκεντρώσεων CO<sub>2</sub> σε μέρη ανά εκατομμύριο (ppm) στην ατμόσφαιρα, από το Μάρτιο του 1958 μέχρι τον Ιούνιο του 2012 (σύμφωνα με στοιχεία Αυγούστου 2012) στο Μάουνα Λόα στη Χαβάη. Η κόκκινη καμπύλη αναπαριστά την εποχιακή διακύμανση, ενώ η μαύρη τη διόρθωσή της (Πηγή : Ανώνυμος, 2012ζ).



Σχήμα 1.11. Αύξηση των συγκεντρώσεων CO<sub>2</sub> σε μέρη ανά εκατομμύριο (ppm) στην ατμόσφαιρα, από τον Ιανουάριο του 2008 μέχρι τον Ιούνιο του 2012 (σύμφωνα με στοιχεία Αυγούστου 2012) στο Μάουνα Λόα στη Χαβάη (Πηγή : Ανώνυμος, 2012ζ).

Στα Σχήματα 1.10-1.11 η κόκκινη καμπύλη, η οποία απεικονίζει τη συγκέντρωση του CO<sub>2</sub>, ονομάζεται καμπύλη Κίλινγκ (Keeling curve), ως φόρος τιμής στον C. David Keeling του Ινστιτούτου Ωκεανογραφίας Scripps, ο οποίος άρχισε τις μετρήσεις το Μάρτιο του 1958 για να τις συνεχίσει η NOAA τον Μάιο του 1974. Η μαύρη καμπύλη αντιπροσωπεύει τα εποχιακά διορθωμένα δεδομένα (Ανώνυμος, 2012ζ). Παρατηρώντας την καμπύλη Κίλινγκ, είναι εμφανές ότι αυτή ανεβαίνει απότομα αλλά και πέφτει εξίσου απότομα μια φορά κάθε χρόνο. Αυτό οφείλεται στο ότι το μεγαλύτερο τμήμα ξηράς στον πλανήτη βρίσκεται βόρεια του Ισημερινού, γεγονός που σημαίνει ότι και το αντίστοιχο τμήμα βλάστησης του πλανήτη βρίσκεται στο βόρειο ημισφαίριο. Ως αποτέλεσμα, όταν το βόρειο ημισφαίριο κλίνει προς τον Ήλιο, κατά τη διάρκεια της άνοιξης και του καλοκαιριού, τα φύλλα βλασταίνουν και 'εισπνέουν' CO<sub>2</sub>, μειώνοντας έτσι τις συγκεντρώσεις του σε όλο τον πλανήτη. Όταν το βόρειο ημισφαίριο απομακρύνεται από τον Ήλιο, το φθινόπωρο και το χειμώνα, τα φύλλα πέφτουν και, καθώς εκλύουν CO<sub>2</sub>, οι ποσότητες του στην ατμόσφαιρα αυξάνονται και πάλι. Οι συγκεντρώσεις CO<sub>2</sub> πριν τη Βιομηχανική Επανάσταση ήταν περίπου 280ppm. Σήμερα (Ιούλιος 2012), πάνω από το Μάουνα Λόα, βρίσκεται στα 394.29ppm (Γκορ, 2007 ; Ανώνυμος, 2012ζ).

Το κατά πόσο μπορεί να προβλεφθεί η μελλοντική εξέλιξη των συγκεντρώσεων του CO<sub>2</sub>, εξαρτάται από την ικανότητα εκτίμησης της ποσότητας των ορυκτών καυσίμων που θα καταναλωθούν κατά τα επόμενα έτη, καθώς επίσης και του ποσοστού του εκπεμπόμενου CO<sub>2</sub> που θα παραμείνει στην ατμόσφαιρα. Συγχρόνως όμως, αναμένεται μια ελάττωση της χρήσης των ορυκτών καυσίμων σαν συνέπεια της αυξανόμενης χρήσης των ήπιων μορφών ενέργειας. Επίσης, δεν θα πρέπει να λησμονήσουμε τη σημαντική συνεισφορά των ωκεανών στα επίπεδα του CO<sub>2</sub>. Οι ωκεανοί λειτουργούν σαν μια τεράστια αποθήκη CO<sub>2</sub>, το οποίο δεσμεύεται από το φυτοπλαγκτόν κατά τη διάρκεια της φωτοσύνθεσης. Με το θάνατο των φυτοπλαγκτονικών οργανισμών, ένα μεγάλο ποσοστό του παραμένει κάτω από την επιφάνεια των ωκεανών. Μια αύξηση της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας (λόγω του ενισχυμένου Φαινομένου του Θερμοκηπίου), ενδέχεται να οδηγήσει σε άνθηση του φυτοπλαγκτού και κατά συνέπεια σε αύξηση της δέσμευσης του ατμοσφαιρικού CO<sub>2</sub>. Παρόλα αυτά, δεν αναμένεται ο ρυθμός αύξησης του CO<sub>2</sub> να γίνει μικρότερος από 2% τη δεκαετία, για τις πρώτες δεκαετίες του 21<sup>ου</sup> αιώνα (Μελάς, 2007). Αξίζει να σημειωθεί, με βάση όλα τα παραπάνω, ότι αν και το CO<sub>2</sub> που υπάρχει στην ατμόσφαιρα αποτελεί μόλις το 1/30 του 1% του ατμοσφαιρικού αέρα, μαζί με τους υδρατμούς και τα υπόλοιπα αέρια (όπως το CH<sub>4</sub> και οι αλογονάθρακες, που έχουν πολύ μικρότερες συγκεντρώσεις και γι' αυτό το λόγο ονομάζονται ιχνοαέρια ή αέριοι ιχνηθέντες, trace gases) παίζει σημαντικότατο ρόλο στον καθορισμό του κλίματος της Γης (Σκορδούλης & Σωτηράκου, 2005 ; Παπαγιάννης, 2005).

Τέλος, το όζον (O<sub>3</sub>) εμφανίζει μια ιδιαιτερότητα σε σχέση με το Φαινόμενο του Θερμοκηπίου, η οποία αξίζει να σημειωθεί : είναι ένας σπουδαίος απορροφητής τόσο της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας (στην περιοχή συχνοτήτων της υπεριώδους, UV), όσο και της επανεκπεμπόμενης υπέρυθρης (IR) από τη Γη. Έτσι, μια όποια αύξηση της συγκέντρωσης του όζοντος στα χαμηλά στρώματα της ατμόσφαιρας (τροπόσφαιρα), όπως και μια μείωση του στρατοσφαιρικού όζοντος θα οδηγούν σε αύξηση της θερμοκρασίας της Γης. Τονίζεται ότι η ρύπανση της ατμόσφαιρας προκαλεί τόσο τη μείωση του στρατοσφαιρικού όσο και την αύξηση του τροποσφαιρικού όζοντος (τα οποία προκαλούν αντίστοιχα ψύξη και θέρμανση στην ατμόσφαιρα). Αν και, όπως ήδη έχει αναφερθεί, το τροποσφαιρικό όζον αποτελεί μόλις το 10% της συνολικής ποσότητας του όζοντος που περιέχεται στην ατμόσφαιρα, το ποσοστό αυτό έχει σημαντικά μεγαλύτερη επίδραση στη θερμοκρασία της Γης (μέση τιμή RF = 0.35Wm<sup>-2</sup>, με εύρος αβεβαιότητας 0.25-

$0.65\text{Wm}^{-2}$ ) από αυτή που έχει το στρατοσφαιρικό όζον (μέση τιμή  $\text{RF} = -0.05\text{Wm}^{-2}$ , με εύρος αβεβαιότητας από  $-0.15\text{Wm}^{-2}$  έως  $0.05\text{Wm}^{-2}$ ) (IPCC, 2007c ; Γεντεκάκης, 2010).

### 1.3.4 Επιπτώσεις του ενισχυμένου Φαινομένου του Θερμοκηπίου

Οι συνέπειες του ενισχυμένου Φαινομένου του Θερμοκηπίου είναι δύσκολο να εκτιμηθούν, εξαιτίας του γεγονότος ότι η άνοδος της θερμοκρασίας συνδέεται με παράγοντες των οποίων ο ρόλος δεν έχει αποσαφηνιστεί πλήρως όπως, για παράδειγμα, αυτός των ωκεανών, στους οποίους έγινε αναφορά στο προηγούμενο υποκεφάλαιο (1.3.3), καθώς και των νεφώσεων, οι οποίες αποτελούν σημαντικούς επιπρόσθετους μηχανισμούς ανατροφοδότησης (feedback mechanisms) και μια αλλαγή σχεδόν σε οποιοδήποτε χαρακτηριστικό τους όπως το είδος τους, η θέση τους, η περιεκτικότητά τους σε νερό, το υψόμετρο στο οποίο βρίσκονται, το μέγεθος και το σχήμα των σωματιδίων που τα αποτελούν ή η διάρκεια ζωής τους, επηρεάζουν το βαθμό στον οποίο θερμαίνουν ή ψύχουν τη Γη, δίνοντας έτσι πληροφορίες για το ρόλο που διαδραματίζουν, τόσο στο φυσικό φαινόμενο, όσο και στην ενίσχυσή του (Σκορδούλης & Σωτηράκου, 2005 ; Καλλία & Σαμαρά, 2007 ; IPCC, 2007b). Μερικές από τις σημαντικότερες πιθανολογούμενες επιπτώσεις είναι (Σκορδούλης & Σωτηράκου, 2005 ; Καλλία & Σαμαρά, 2007) :

- Ασφαλώς, η σπουδαιότερη επίπτωση θα είναι η αύξηση της μέσης παγκόσμιας θερμοκρασίας. Μια αύξηση της πάνω από  $1^{\circ}\text{C}$ , θα μπορούσε να είναι καταστροφική για τα οικοσυστήματα, αφού θα μπορούσε να μεταβάλλει τις κλιματικές συνθήκες πολύ πιο γρήγορα από τη δυνατότητα προσαρμογής ή μετανάστευσης κάποιων ειδών. Παράλληλα, θα μπορούσε να προκαλέσει θέρμανση του επιφανειακού στρώματος της θάλασσας με αποτέλεσμα την παρεμπόδιση των κατακόρυφων κινήσεων του νερού, οι οποίες διαμορφώνουν την ποιότητα  $\text{O}_2$  που υπάρχει στα μεγάλα βάθη. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται 'ασφυξία της θάλασσας' και παρατηρείται σε κλειστές θάλασσες, με νερό χαμηλής αλατότητας.
- Αύξηση της συχνότητας των φαινομένων ξηρασίας και υποβάθμισης του εδάφους, καθώς και των ακραίων καιρικών φαινομένων και των πλημμυρών.
- Τήξη των πάγων των Πόλων, με αποτέλεσμα την άνοδο της στάθμης των θαλασσών (κατά 50cm περίπου). Έτσι, περιοχές που σήμερα βρίσκονται χαμηλότερα από το επίπεδο της θάλασσας (π.χ. Ολλανδία, Βενετία κ.α.) ή λίγο υψηλότερα θα πλημμυρίσουν, ενώ τα δέλτα των ποταμών (π.χ. το Δέλτα του Νείλου) και μεγάλες καλλιεργήσιμες εκτάσεις ίσως πληγούν ανεπανόρθωτα.
- Αλλαγή του κλίματος της Γης με μετακίνηση των ζωνών βροχοπτώσεων από τον Ισημερινό προς βορρά, καθώς και ερημοποίηση του κάτω τμήματος της εύκρατης ζώνης ανάμεσα στον  $20^{\circ}$  και  $40^{\circ}$  παράλληλο, με αποτέλεσμα τη διαφοροποίηση της γήινης χλωρίδας και πανίδας και τη νέα ανακατανομή των μεγάλων οικοσυστημάτων του πλανήτη, ενώ, παράλληλα, θα ασκηθεί πίεση στους υδάτινους πόρους αρκετών περιοχών, γεγονός το οποίο θα επηρεάσει τόσο τα αποθέματα νερού, όσο και την άρδευση.
- Αύξηση εντόμων και παρασίτων, γεγονός που βοηθά στην εξάπλωση μολυσματικών ασθενειών.

Ωστόσο, διατυπώνονται και σενάρια κατά τα οποία η άνοδος της θερμοκρασίας θα έχει και ευνοϊκές για τη Γη επιπτώσεις, αφού θα προκαλέσει μείωση της κατανάλωσης καυσίμων και αύξηση της αγροτικής παραγωγής.

## 1.4 ΣΥΜΒΑΣΕΙΣ-ΔΙΕΘΝΗ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ & ΔΡΑΣΕΙΣ

### 1.4.1 Ιστορική αναδρομή

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, το 1824 ο Fourier περιέγραψε αυτό που είναι γνωστό σήμερα σαν Φαινόμενο του Θερμοκηπίου. Με βάση τη θεωρία αυτή ο John Tyndall το 1859 θα μιλούσε, για πρώτη φορά, για τα αέρια του θερμοκηπίου. Οι μελέτες του τον βοήθησαν να διατυπώσει με σιγουριά πως δύο από αυτά τα αέρια δεν ήταν το οξυγόνο και το άζωτο, ενώ συμπλήρωσε ακόμη πως οι υδρατμοί και το διοξείδιο του άνθρακα εμπόδιζαν αποτελεσματικά την ηλιακή ακτινοβολία. Στη συνέχεια, λίγο πριν την εκπονή του 19<sup>ου</sup> αιώνα, ο Arrhenius υπολόγισε πως αν η ποσότητα του CO<sub>2</sub> της ατμόσφαιρας μειωνόταν στο μισό, η παγκόσμια θερμοκρασία θα μπορούσε να μειωθεί κατά μερικούς βαθμούς Κελσίου, ενώ, αντίθετα, αν διπλασιαζόταν θα επέφερε την αύξηση μερικών βαθμών στην παγκόσμια θερμοκρασία. Το 1938 ο Callendar συμπέρανε ότι κατά τη διάρκεια των προηγούμενων 100 ετών, η παγκόσμια συγκέντρωση του CO<sub>2</sub> είχε αυξηθεί κατά περίπου 10% και τρία χρόνια αργότερα, το 1941, ο Milankovitch δημοσίευσε μια μελέτη όπου περιέγραφε τις διάφορες θερμοκρασιακές αλλαγές του πλανήτη.

Ο Β' Παγκόσμιος Πόλεμος προκάλεσε, εκτός των άλλων, τεράστια περιβαλλοντικά προβλήματα. Η έξαρση των πολεμικών μηχανών και η χρήση τους κατά εκατοντάδες χιλιάδες, η καταστροφή μεγάλων εκτάσεων φυσικού πλούτου και η μόλυνση των υδάτων σε παγκόσμια κλίμακα δημιούργησε ένα εκρηκτικό μείγμα για το περιβάλλον, το οποίο οδήγησε στον πολλαπλασιασμό των επιστημόνων που θα ασχολούνταν με τα περιβαλλοντικά ζητήματα, καθώς οι επιπτώσεις του πολέμου θα επαλήθευαν πανηγυρικά τις απόψεις των πρώτων επιστημόνων. Στην προσπάθειά τους μάλιστα αυτή για εύρεση λύσεων, οι υπολογισμοί τους γίνονται με μεγαλύτερη ακρίβεια. Το 1956 ο Plass επισήμανε, προεκτείνοντας τον υπολογισμό του Arrhenius, πως όσο περισσότερη ποσότητα CO<sub>2</sub> υπάρχει στην ατμόσφαιρα, τόσο μεγαλύτερη θα είναι η αύξηση της θερμοκρασίας της επιφάνειας της Γης. Επίσης, σύμφωνα με δικούς του υπολογισμούς, υποστήριξε ότι αν η παγκόσμια συγκέντρωση CO<sub>2</sub> διπλασιαστεί, η θερμοκρασία του πλανήτη θα αυξανόταν κατά 3.6°C. Αντιθέτως, αν η συγκέντρωση μειωθεί κατά το ήμισυ, η θερμοκρασία θα μειωνόταν κατά 3.8°C. Μέχρι το 1957 επικρατούσε η άποψη πως οποιαδήποτε υπερβολική αύξηση της συγκέντρωσης του CO<sub>2</sub> που προέρχεται από ανθρωπογενείς δραστηριότητες, θα μπορούσε να απορροφηθεί από την τεράστια μάζα των ωκεανών. Εκείνη τη χρονιά οι Revelle και Suess κατέρριψαν αυτή την άποψη, όταν διαπίστωσαν πως λόγω της ιδιαίτερης χημείας του νερού των θαλασσών, η διαδικασία απορρόφησης του CO<sub>2</sub> επιβραδύνεται. Το 1958 ο Keeling μέτρησε ακριβώς το CO<sub>2</sub> στη γήινη ατμόσφαιρα και ανήγγειλε ότι ήταν υψηλότερο από κάθε άλλη χρονιά (Δημητριάδης, 2011).

Οι δεκαετίες του 1960 και 1970 στιγματίστηκαν από την έντονη ενασχόληση των επιστημόνων με το διάστημα, ενώ με τη βοήθεια των υπολογιστών μπορούσαν να γίνουν μελέτες εις βάθος του διαπλανητικού μας συστήματος (και όχι μόνο), καθώς πολλοί επιστήμονες υποστήριζαν πως η μελέτη και η παρατήρηση άλλων πλανητών-με τη βοήθεια των τεχνητών δορυφόρων-θα έδινε απαντήσεις στα περιβαλλοντικά ζητήματα της Γης. Έτσι, παρατήρησαν ότι ο Άρης και η Αφροδίτη αν και είναι πλανήτες που μοιάζουν πολύ στη Γη, έχουν πολύ διαφορετικές ατμόσφαιρες. Στην ουσία, το Φαινόμενο του Θερμοκηπίου είχε κάνει την Αφροδίτη ένα 'φούρνο', ενώ η απουσία ατμόσφαιρας στον Άρη τον είχε 'κλειδώσει' σε μια βαθιά παγωνιά. Αυτά τα στοιχεία έδειξαν ότι το κλίμα θα μπορούσε να είναι μια λεπτή ισορροπία συγκράτησης ή όχι αερίων του θερμοκηπίου από την ατμόσφαιρα. Το 1960 ο Suess έκανε μελέτες σχετικά με τον άνθρακα-14 και διαπίστωσε πως ο



προστιθέμενος άνθρακας, που δημιουργεί την αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη, προήλθε από τα ορυκτά καύσιμα. Το 1965 ο Lorenz, στη διάσκεψη-ορόσημο που πραγματοποιήθηκε για τις ‘Αιτίες της Αλλαγής του Κλίματος’, συζήτησε μαζί με άλλους επιστήμονες τη χαοτική φύση του κλιματικού συστήματος και την πιθανότητα κάποιας ξαφνικής μετατόπισης της πορείας της Γης. Εξήγησε μάλιστα ότι μια μικρή τυχαία αλλαγή των ‘αρχικών περιβαλλοντικών όρων’, μπορεί να επιφέρει μια τεράστια αλλαγή του κλίματος στο μέλλον. Το 1969 στέφθηκε με επιτυχία η πρώτη προσπάθεια δορυφορικής μέτρησης της θερμοκρασίας και της υγρασίας μέσω του δορυφόρου Nimbus 3, γεγονός που θα οδηγούσε τους μετεωρολόγους σε πιο γρήγορες και ακριβείς παρατηρήσεις και προβλέψεις.

Το 1970 ο τότε πρόεδρος των Η.Π.Α. Richard Nixon ιδρύει τη NOAA και στη Βόννη της Δ. Γερμανίας οι εμπειρογνώμονες που συμμετείχαν στο συνέδριο για το κλίμα, συμπέραναν ότι η αλλαγή του κλίματος αποτελεί αυστηρή απειλή για τη γεωργία που μπορεί να οδηγήσει στην καταστροφή των συγκομιδών, η οποία με τη σειρά της θα μπορούσε να οδηγήσει ακόμη και σε μαζικό λιμό. Το 1975 η παγκόσμια κοινότητα αντιλαμβάνεται ότι οι χλωροφθοράνθρακες εκτός από το ότι καταστρέφουν το στρατοσφαιρικό όζον επηρεάζουν παράλληλα και το παγκόσμιο κλίμα, ενώ το 1979 ειδικοί από όλο τον κόσμο συγκαλούν συνέδριο στο οποίο θα εξέταζαν τη δημιουργία ενός προγράμματος για το παγκόσμιο κλίμα. Την ίδια χρονιά, η Εθνική Ακαδημία των Η.Π.Α. με έκθεσή της υποστήριζε πως ο διπλασιασμός της ποσότητας του CO<sub>2</sub> θα προκαλούσε αύξηση της θερμοκρασίας 1.5-4.1°C. Το 1983 μια ακόμη έκθεση της εν λόγω Ακαδημίας έκρουε τον κώδωνα του κινδύνου, τη στιγμή που ο επιστημονικός σύμβουλος του τότε προέδρου Ronald Reagan, επέκρινε μια άλλη έκθεση από την Υπηρεσία Προστασίας του Περιβάλλοντος αποκαλώντας την αδικαιολόγητη και ότι κινδυνολογούσε χωρίς λόγο. Το 1985, στη Βίλλα της Αυστρίας, επιστήμονες από 29 έθνη συμφώνησαν ότι το CO<sub>2</sub> σε συνδυασμό με άλλα αέρια θα οδηγήσουν σε μεγάλα προβλήματα την ανθρωπότητα και κατέληξαν στο ότι πρέπει να πειστούν οι κυβερνήσεις τους ώστε να δημιουργήσουν σχέδια αποφυγής τους (Δημητριάδης, 2011).

Τη διάσκεψη του Μόντρεαλ, που κατέληξε σε συμφωνία και υπογραφή του Πρωτοκόλλου του Μόντρεαλ το 1987, διαδέχτηκε η διάσκεψη του Τορόντο του Καναδά το 1988. Την ίδια χρονιά ιδρύεται η Διακυβερνητική Επιτροπή για την Αλλαγή του Κλίματος (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC), ένα διεπιστημονικό και διακυβερνητικό σώμα στο οποίο ανατέθηκε η αξιολόγηση, μέσω ειδικών εκθέσεων (Assessment Reports, AR), των κινδύνων της αλλαγής του κλίματος που προκαλούνται από τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Μάλιστα, η 4<sup>η</sup> Έκθεση Αξιολόγησης (AR4), βραβεύτηκε με το βραβείο Νόμπελ Ειρήνης το 2007. Το 1992 δημιουργείται η UNFCCC, η οποία προήλθε από τις εργασίες ενός συνεδρίου των Ηνωμένων Εθνών (United Nations, UN) νωρίτερα την ίδια χρονιά και οι οποίες είχαν σαν βάση τους την πρώτη έκθεση της IPCC (1990), η εφαρμογή της οποίας οδήγησε στην υπογραφή του Πρωτοκόλλου του Κιότο το 1997. Τέλος, από το 1995 και κάθε χρόνο μέχρι τη διάσκεψη της Κοπεγχάγης το 2009 (γνωστή και ως COP15), τη σύνοδο του ΟΗΕ στο Κανκούν το 2010 (COP16) και τη COP17 στο Ντέρμπαν της Νοτίου Αφρικής το Δεκέμβριο του 2011, διεξάγεται η διάσκεψη (Conference Of Parties, COP) για την Κλιματική Αλλαγή, κατά την οποία συζητούνται οι εξελίξεις και οι προοπτικές του εν λόγω φαινομένου (Δημητριάδης, 2011). Η επόμενη διάσκεψη (COP18) θα φιλοξενηθεί στη Ντόχα, στο Κατάρ, στο τέλος του 2012 (Ανώνυμος, 2012η).

## **1.4.2 Οι σημαντικότερες Διεθνείς Συμβάσεις**

### **1.4.2.1 Το Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ**

Το 1987 αποτελεί μια από τις χρονιές ορόσημο για το περιβάλλον. Συγκεκριμένα, στις 16 Σεπτεμβρίου του 1987 υπογράφηκε το Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ (Ανώνυμος, 2012θ), η πρώτη συγκροτημένη προσπάθεια πολλών κρατών για την προστασία του περιβάλλοντος, με διοργανωτή τον ΟΗΕ. Η διάσκεψη του Μόντρεαλ υπήρξε αποτέλεσμα της ανακάλυψης της Τρύπας του Όζοντος στην Ανταρκτική το 1985. Οι κυβερνήσεις που συμμετείχαν, αναγνώρισαν την ανάγκη λήψης μέτρων για την περιστολή της παραγωγής και της κατανάλωσης ενός αριθμού ουσιών που μειώνουν τη στιβάδα του όζοντος, όπως είναι οι CFCs και οι υπόλοιποι αλογονομένοι υδρογονάνθρακες. Το πρωτόκολλο σχεδιάστηκε με τέτοιο τρόπο, ώστε το χρονοδιάγραμμα εξάλειψης να μπορεί να αναθεωρείται επί τη βάση περιοδικών επιστημονικών και τεχνολογικών εξελίξεων. Σαν συνέπεια αυτού, το πρωτόκολλο τροποποιήθηκε-με σκοπό να επιταχυνθούν τα προγράμματα εξάλειψης-στο Λονδίνο το 1990, στην Κοπεγχάγη το 1992, στη Βιέννη το 1995 και στο Μόντρεαλ το 1997. Επίσης, έγιναν και κάποιες συμπληρώσεις με σκοπό την εισαγωγή πρόσθετων μέτρων ελέγχου (τα οποία βασίζονται σε μια ολοκληρωμένη αξιολόγηση της επιστήμης, των οικονομικών επιπτώσεων και της τεχνολογίας), καθώς και την προσθήκη νέων ελεγχόμενων ουσιών. Οι περισσότερες χώρες έχουν επικυρώσει το Πρωτόκολλο.

Για τις αναπτυγμένες χώρες (οι οποίες ορίζονται σύμφωνα με το άρθρο 2 του πρωτοκόλλου), τα προγράμματα εξάλειψης προέβλεπαν : α) εξάλειψη των Halons μέχρι το 1994, β) εξάλειψη των CFCs, του τετραχλωράνθρακα και του χλωροφθορίου μέχρι το 1996 και γ) μείωση του βρωμιούχου μεθυλίου 25% μέχρι το 1999, 50% μέχρι το 2001, 70% μέχρι το 2003 και εξάλειψη μέχρι το 2005.

Για τις αναπτυσσόμενες χώρες (οι οποίες ορίζονται σύμφωνα με το άρθρο 5 του πρωτοκόλλου), προβλεπόταν περίοδος χάριτος προτού άρχιζαν τα χρονοδιαγράμματα μείωσης. Ένα πολυμερές ταμείο εγκαταστάθηκε υπό την εποπτεία του Πρωτοκόλλου του Μόντρεαλ το 1990. Αυτό χρηματοδοτεί τα πρόσθετα κόστη που αναλαμβάνονται για την υλοποίηση προγραμμάτων στις χώρες αυτές, κατά τη διαδικασία περιορισμού της κατανάλωσης ή της παραγωγής των ουσιών που μειώνουν το όζον της στρατόσφαιρας. Το ταμείο αυτό χρηματοδότησε την περίοδο 1991-1999 περί τα 903 εκατομμύρια δολάρια για προγράμματα υλοποιούμενα στις αναπτυσσόμενες χώρες.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση ενσωμάτωσε το Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ στο ρυθμιστικό της πλαίσιο με τους κανονισμούς 541/91 και 3093/94, οι οποίοι προέβλεπαν αυστηρότερα μέτρα από εκείνα του ίδιου του πρωτοκόλλου. Το Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ δεν αποτελεί απλώς μια συμφωνία ορόσημο για τα περιβαλλοντικά ζητήματα, αλλά, έχοντας περάσει 25 χρόνια από την υπογραφή του και 15 χρόνια από την τελική του μορφή, αποτελεί και το πιο επιτυχημένο εγχείρημα. Το 2007 οι στόχοι που είχαν τεθεί από το πρωτόκολλο, όπως αυτό είχε διαμορφωθεί το 1997, είχαν επιτευχθεί κατά το 95%. Αναμφισβήτητα, αποτέλεσε την καλύτερη αρχή για μια σειρά διασκέψεων που ακολούθησαν προκειμένου να βρεθούν λύσεις και για άλλα περιβαλλοντικά προβλήματα (Δημητριάδης, 2011).

### **1.4.2.2 Η Σύμβαση-Πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή**

Η πρώτη διάσκεψη που αφορούσε το πρόβλημα της Κλιματικής Αλλαγής πραγματοποιήθηκε από τα Ηνωμένα Έθνη στη Νέα Υόρκη το 1992 και κατάληξε

στην υπογραφή ενός κειμένου, κατά το ίδιο έτος στο Ρίο από 154 χώρες, που ονομάστηκε Σύμβαση-Πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή (United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC) και άρχισε να ισχύει το 1994 (Ανώνυμος, 2012η ; Ανώνυμος, 2012ι). Η Σύμβαση-Πλαίσιο επικυρώθηκε από την Ευρωπαϊκή Κοινότητα με την απόφαση 94/69/EK της 15<sup>ης</sup> Δεκεμβρίου 1993 (Δημητριάδης, 2011). Η Ελλάδα (Ανώνυμος, 2012ι) επικύρωσε τη σύμβαση με το Νόμο 2205/1994 (ΦΕΚ 60/A/15-A-94).

Η Σύμβαση-Πλαίσιο αποτέλεσε το πρώτο διεθνές μέτρο με το οποίο επιδιώχθηκε να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα της Κλιματικής Αλλαγής. Διέκρινε τις χώρες σε αναπτυγμένες και αναπτυσσόμενες (Ανώνυμος, 2012κ) και με αυτό τον τρόπο αναγνώριζε το γεγονός ότι οι αναπτυγμένες-βιομηχανικές χώρες ευθύνονται για το μεγαλύτερο μέρος των παγκόσμιων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, καθώς και το ότι οι χώρες αυτές διαθέτουν επίσης τη θεσμική και χρηματοοικονομική ικανότητα να τις περιορίσουν. Επέβαλλε σε όλα τα συμβαλλόμενα μέρη την υποχρέωση να θεσπίσουν εθνικά προγράμματα για τον περιορισμό των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου, καθώς και να υποβάλλουν τακτικές εκθέσεις, ενώ απαιτούσε από τις βιομηχανικές συνυπογράφουσες χώρες, σε αντιδιαστολή με τις αναπτυσσόμενες, να επιτύχουν τη σταθεροποίηση των δικών τους εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στα επίπεδα του 1990, μέχρι το έτος 2000. Ωστόσο, ο στόχος αυτός δεν ήταν δεσμευτικός.

Στη UNFCCC οι συνολικά 195 χώρες που αποτελούν τα συμβαλλόμενα μέρη (χωρίς να περιλαμβάνονται οι δύο χώρες παρατηρητές, η Ονδούρα και η Αγία Έδρα, δηλαδή το Βατικανό) (Ανώνυμος, 2012λ) διακρίνονται σε τρεις κύριες ομάδες (Ανώνυμος, 2012κ) :

- Μέρη του Παραρτήματος Ι (Ανώνυμος, 2012μ) : Πρόκειται για 42 χώρες (στην ουσία 41 αφού συμπεριλαμβάνεται και η Ευρωπαϊκή Ένωση σαν σύνολο) οι οποίες θεωρούνται οι αναπτυγμένες χώρες. Σε αυτές συμπεριλαμβάνονται οι σχετικά εύπορες βιομηχανικά χώρες που ήταν πρώην μέλη του Οργανισμού Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης (ΟΟΣΑ) (Organization for Economic Co-operation and Development, OECD), τα κράτη-μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης και χώρες με οικονομίες σε μετάβαση (Economies In Transition, EIT) όπως η Ρωσία, οι Βαλτικές χώρες καθώς και ορισμένα κράτη της Κεντρικής & Ανατολικής Ευρώπης. Επιπρόσθετα, υπάρχει και ένας περιφερειακός οργανισμός οικονομικής ανάπτυξης.
- Μέρη εκτός του Παραρτήματος Ι (Ανώνυμος, 2012ν) : Πρόκειται για τις υπόλοιπες χώρες οι οποίες χαρακτηρίζονται ως αναπτυσσόμενες και δεν περιλαμβάνονται στο Παράρτημα Ι. Σε αυτές περιλαμβάνονται οι χώρες που είναι ευάλωτες, είτε λόγω των αρνητικών επιπτώσεων της Κλιματικής Αλλαγής (π.χ. οι χώρες που θα αντιμετωπίσουν σημαντικά προβλήματα εξαιτίας της ανόδου της στάθμης της θάλασσας ή από την ερημοποίηση και την ξηρασία) είτε λόγω των δυνητικών επιπτώσεων στην οικονομία τους εξαιτίας της λήψης μέτρων κατά της Κλιματικής Αλλαγής από τρίτες χώρες (π.χ. οι χώρες που το εισόδημά τους βασίζεται κυρίως στην παραγωγή και το εμπόριο ορυκτών καυσίμων). Θα πρέπει να τονιστεί ότι η Σύμβαση-Πλαίσιο δίνει ιδιαίτερη προσοχή σε εκείνες τις 49 χώρες που χαρακτηρίζονται από τα Ηνωμένα Έθνη ως λιγότερο αναπτυγμένες (Least Developed Countries, LDCs), εξαιτίας των περιορισμένων δυνατοτήτων τους να αντιδράσουν στην Κλιματική Αλλαγή και να προσαρμοστούν στις αρνητικές επιπτώσεις της. Συγκεκριμένα, θα πρέπει να προβλεφθούν ορισμένα μέτρα (όπως, για

παράδειγμα, η χρηματοδότηση και η μεταφορά τεχνογνωσίας) προκειμένου να καλυφθούν οι ανάγκες τους.

- Μέρη του Παραρτήματος II (Ανώνυμος, 2012κ) : Εκτός από τις δύο προαναφερθείσες ομάδες, υπάρχει και η ομάδα των μερών αυτού του παραρτήματος, η οποία αποτελεί υποσύνολο της ομάδας των μερών του Παραρτήματος I. Συγκεκριμένα, αποτελείται από εκείνα τα μέρη του Παραρτήματος I που είναι μέλη του ΟΟΣΑ (OECD), αλλά η οικονομία τους δε βρίσκεται σε μετάβαση (non-EIT). Τα μέρη του Παραρτήματος II οφείλουν να παρέχουν οικονομικούς πόρους στα αναπτυσσόμενα κράτη, προκειμένου να τα βοηθήσουν να επιτύχουν τους στόχους μείωσης των εκπομπών τους και να προσαρμοστούν στις αρνητικές επιπτώσεις της Κλιματικής Αλλαγής. Επιπροσθέτως, τα μέρη του Παραρτήματος II οφείλουν να παρέχουν την απαραίτητη τεχνογνωσία για την ανάπτυξη φιλικών προς το περιβάλλον τεχνολογιών, τόσο στις χώρες με μεταβατική οικονομία όσο και στις αναπτυσσόμενες χώρες. Η προβλεπόμενη παροχή της οικονομικής βοήθειας πραγματοποιείται μέσω ειδικού ταμείου, όπως αυτό προβλέπεται από τους οικονομικούς μηχανισμούς της Σύμβασης-Πλαισίου.

Το 1994 ήταν ήδη παραδεκτό ότι οι αρχικές δεσμεύσεις βάσει της Σύμβασης-Πλαισίου δεν επρόκειτο να επαρκέσουν για να αναχαιτιστεί η παγκόσμια αύξηση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Έτσι, από το 1995 και έπειτα, ξεκίνησαν διασκέψεις (COPs) με σκοπό τη μελέτη των δεδομένων που θα είχαν στα χέρια τους μέσω των μηχανισμών και των εκθέσεων που θέσπισαν, ώστε να θέσουν νέους, πιο αποτελεσματικούς στόχους. Οι διασκέψεις αυτές οδήγησαν αρχικά στην έγκριση του Πρωτοκόλλου του Κιότο το 1997, καθώς και στη βελτίωση ή αναθεώρηση μέρους αυτού μέχρι και σήμερα.

#### ***1.4.2.3 Το Πρωτόκολλο του Κιότο***

Το Πρωτόκολλο του Κιότο είναι το αποτέλεσμα της 3<sup>ης</sup> διάσκεψης (COP3) των Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή. Το κύριο χαρακτηριστικό του είναι ότι ορίζει δεσμευτικούς στόχους μείωσης των εκπομπών κάποιων αερίων του θερμοκηπίου (εκείνων δηλαδή των οποίων η συγκέντρωσή τους στην ατμόσφαιρα αυξάνει λόγω της ανθρωπογενούς παρέμβασης) για 37 βιομηχανοποιημένες χώρες καθώς και για την Ευρωπαϊκή Ένωση. Αποτελεί έναν 'οδικό χάρτη', στον οποίο περιλαμβάνονται τα απαραίτητα βήματα για τη μακροπρόθεσμη αντιμετώπιση της Κλιματικής Αλλαγής που προκαλείται από τις εκπομπές αυτών των αερίων. Σύμφωνα με αυτό, τα κράτη που το έχουν συνυπογράψει δεσμεύονται να ελαττώσουν τις εκπομπές των θερμοκηπιακών αερίων κατά 5% σε σχέση με τις εκπομπές του 1990 (ή του 1995 για κάποια αέρια), κατά την πρώτη περίοδο ανάληψης υποχρεώσεων (2008-2012). Ακόμη, αναγνωρίζεται ότι κύριοι υπεύθυνοι για τα υψηλά επίπεδα εκπομπών των θερμοκηπιακών αερίων στην ατμόσφαιρα είναι οι αναπτυγμένες χώρες (αποτέλεσμα της βιομηχανικής δραστηριότητας για περισσότερα από 150 χρόνια), λόγος για τον οποίο το Πρωτόκολλο του Κιότο τοποθετεί ένα βαρύτερο φορτίο στα αναπτυγμένα κράτη κάτω από την αρχή 'κοινές αλλά διαφοροποιημένες ευθύνες' (Ανώνυμος, 2012ν). Οι χώρες που έχουν αποδεχθεί το πρωτόκολλο είναι αυτές του Παραρτήματος I της Σύμβασης-Πλαισίου που περιλαμβάνει τις αναπτυγμένες χώρες, καθώς και αυτές του Παραρτήματος Β του ίδιου του Πρωτοκόλλου του Κιότο που είναι δεσμευμένες ως προς αυτό. Για την πρώτη δεσμευτική περίοδο, την ήδη προαναφερθείσα πενταετία 2008-2012, υποχρεώσεις ανέλαβαν μόνο οι χώρες που ανήκουν στο Παράρτημα Β. Στα δύο αυτά

παραρτήματα αναφέρονται και οι δεσμευτικοί στόχοι για την κάθε χώρα (Δημητριάδης, 2011 ; Ανώνυμος, 2012ξ).

Το Πρωτόκολλο του Κιότο υιοθετήθηκε στο Κιότο της Ιαπωνίας στις 11 Δεκεμβρίου 1997. Τέθηκε σε ισχύ στις 16 Φεβρουαρίου 2005 σύμφωνα με το άρθρο 23 του πρωτοκόλλου, 90 ημέρες μετά από την ημερομηνία κατά την οποία 55 μέλη της UNFCCC, συμπεριλαμβανομένων των μελών που ανήκουν στο Παράρτημα Ι της Σύμβασης-Πλαισίου και είναι υπεύθυνες τουλάχιστον για το 55% των συνολικών εκπομπών CO<sub>2</sub> σε σχέση με τα επίπεδα του 1990, κατέθεσαν τα έγγραφα προς επικύρωση, αποδοχή και έγκριση. Άλλωστε, σύμφωνα με το άρθρο 22, το Πρωτόκολλο του Κιότο είναι ένα κείμενο που επικυρώνει, αποδέχεται και εγκρίνει την προσχώρηση των μελών στη συνέλευση των Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή. Τα μέλη της συνέλευσης αυτής που δεν έχουν υπογράψει το πρωτόκολλο, μπορούν να το κάνουν οποιαδήποτε χρονική στιγμή (Ανώνυμος, 2012ο).

Το πρωτόκολλο θεσπίζει τις υποχρεώσεις των κρατών-μελών του και παρέχει οδηγίες μέσω των οποίων θα μπορέσουν οι χώρες να τις υλοποιήσουν. Υποχρεώνει έτσι κάθε χώρα που το έχει υιοθετήσει, να ανταποκριθεί στους ποσοτικοποιημένους περιορισμούς και τις μειώσεις των εκπομπών της, με στόχο την προαγωγή της αειφόρου ανάπτυξης, με τους παρακάτω δύο τρόπους (ΚΡ, 1998) :

Α. Να εφαρμόσει ή/και να αναπτύξει περαιτέρω πολιτικές και μέτρα, σύμφωνα με τις εθνικές συνθήκες, όπως :

1. Βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας σε αντίστοιχους τομείς της εθνικής οικονομίας.
2. Προστασία και ενίσχυση των κατακρατητών (sinks) και των γεωλογικών αποθηκών των αερίων που συμβάλλουν στο (ενισχυμένο) Φαινόμενο του Θερμοκηπίου και δεν ελέγχονται από το Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ, σύμφωνα πάντα με τις υποχρεώσεις που ανέλαβε υιοθετώντας κάποιες διεθνείς συμβάσεις, όπως και προώθηση της αειφόρου ανάπτυξης των δασών, της δάσωσης και της αναδάσωσης.
3. Προώθηση των αειφόρων μορφών γεωργίας, λαμβάνοντας υπόψη ζητήματα που σχετίζονται με την αλλαγή του κλίματος.
4. Προώθηση, έρευνα, ανάπτυξη και αύξηση της χρήσης νέων και ανανεώσιμων μορφών ενέργειας, τεχνολογίες δέσμευσης του CO<sub>2</sub>, καθώς και προηγμένων καινοτόμων και αξιόπιστων τεχνολογιών, οι οποίες θα είναι φιλικές προς το περιβάλλον.
5. Σταδιακή μείωση ή εξάλειψη των ατελειών της αγοράς, των φορολογικών κινήτρων, των φορολογικών και δασμολογικών εξαιρέσεων & επιδοτήσεων σε όλους τους τομείς που εκπέμπουν αέρια, τα οποία συμβάλλουν στο (ενισχυμένο) Φαινόμενο του Θερμοκηπίου, εφόσον αντιτίθενται στο στόχο του πρωτοκόλλου και στην εφαρμογή των μηχανισμών της αγοράς.
6. Ενθάρρυνση των ενδεδειγμένων μεταρρυθμίσεων στους αντίστοιχους τομείς, με σκοπό την προαγωγή πολιτικών και μέτρων που περιορίζουν ή μειώνουν τις εκπομπές αερίων, τα οποία με τη σειρά τους συμβάλλουν στο (ενισχυμένο) Φαινόμενο του Θερμοκηπίου και δεν ελέγχονται από το Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ.
7. Μέτρα στον τομέα των μεταφορών, σχετικά με τη μείωση ή/και τον περιορισμό των εκπομπών θερμοκηπιακών αερίων που και αυτά δεν ελέγχονται από το Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ.
8. Περιορισμός ή/και μείωση των εκπομπών CH<sub>4</sub> μέσω της ανάκτησης και της αξιοποίησης κατά τη διαχείριση των αποβλήτων, καθώς και στη φάση παραγωγής, μεταφοράς και διανομής της ενέργειας.

B. Να συνεργαστεί με άλλα κράτη, ώστε να ενισχύσει τη χωριστή και από κοινού αποτελεσματικότητα εφαρμογής των πολιτικών και των μέτρων που εγκρίνει το ίδιο το πρωτόκολλο. Για τη διαδικασία αυτή, θα πρέπει οι εν λόγω χώρες να λαμβάνουν τα αναγκαία μέτρα, προκειμένου να μοιράζονται την πείρα τους και να ανταλλάσσουν πληροφορίες σχετικά με ανάλογες πολιτικές και μέτρα, τα οποία θα πρέπει να συμπεριλαμβάνουν την ανάπτυξη τρόπων βελτίωσης της συγκρισιμότητας, της διαφάνειας και της αποτελεσματικότητας.

Θα πρέπει να τονιστεί ότι οι λεπτομερείς κανονισμοί για την εφαρμογή του πρωτοκόλλου υιοθετήθηκαν κατά τη διάρκεια της COP7 στο Μαράκες το 2001 και τα οποία γι' αυτό το λόγο ονομάζονται 'Σύμφωνα του Μαράκες' (Ανώνυμος, 2012π). Η μείωση των εκπομπών αναφέρεται στα έξι (ήδη προαναφερθέντα σε προηγούμενο Κεφάλαιο) ακόλουθα αέρια του θερμοκηπίου (Ανώνυμος, 2012ξ) :

- Διοξείδιο του Άνθρακα (CO<sub>2</sub>)
- Μεθάνιο (CH<sub>4</sub>)
- Υποξείδιο του Αζώτου (N<sub>2</sub>O)
- Υδρογονοφθοράνθρακες (HFCs)
- Υπερφθοράνθρακες (PFCs)
- Εξαφθοριούχο Θείο (SF<sub>6</sub>)

Διαπραγματευτές του κλίματος συμφώνησαν να προσθέσουν κι ένα έβδομο θερμοκηπιακό αέριο, το τριφθοριούχο άζωτο (NF<sub>3</sub>), το οποίο, σύμφωνα με στοιχεία που αναρτήθηκαν στην ιστοσελίδα των Ηνωμένων Εθνών, θα συμπεριληφθεί στην παραπάνω λίστα κατά τη διάρκεια της δεύτερης περιόδου ισχύος του πρωτοκόλλου. Το NF<sub>3</sub> χρησιμοποιείται στις κατασκευές της μικροηλεκτρονικής και μπορεί να προκαλέσει ενίσχυση του Φαινομένου του Θερμοκηπίου 17,200 φορές εντονότερα από το CO<sub>2</sub> (ΕΛΕΤΑΕΝ, 2011).

Η Ευρωπαϊκή Ένωση δεσμεύτηκε, βάσει του άρθρου 4 του πρωτοκόλλου, να πετύχει για την ίδια περίοδο, μείωση των ανθρωπογενών εκπομπών των έξι θερμοκηπιακών αερίων κατά 8%, σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990 (Ανώνυμος, 2012ρ). Μέχρι σήμερα, υπάρχουν 192 μέλη του Πρωτοκόλλου του Κιότο της UNFCCC. Το συνολικό ποσοστό των εκπομπών των μελών που ανήκουν στο Παράρτημα I είναι 63.7% (Ανώνυμος, 2012ο).

Αποδίδεται μεγάλη προσοχή όσον αφορά την ανάληψη υποχρεώσεων από κράτη-μέλη που διέρχονται από μεταβατική περίοδο στην οικονομία τους (EIT). Αυτές, μπορούν να δηλώσουν άλλο έτος αναφοράς, εκτός του 1990, αντιμετωπίζοντας έτσι με αρκετή ευελιξία το πρόγραμμά τους. Η βοήθεια προς αυτές τις χώρες από τις ήδη αναπτυγμένες (μέλη του Παραρτήματος II της Σύμβασης-Πλαισίου), θεσπίζεται από το πρωτόκολλο ως ένας 'ευέλικτος μηχανισμός'. Πρόκειται για ένα γεγονός με ουσιαστική σημασία, αφού συμπεριλαμβάνει πάνω απ' όλα, εκτός της οικονομικής και τεχνολογικής βοήθειας, την εμπειρία που απαιτείται σε τέτοια θέματα, την οποία οι συγκεκριμένες χώρες δεν έχουν, αφού ασχολούνται για πρώτη φορά (Δημητριάδης, 2011).

Το Πρωτόκολλο του Κιότο όρισε δεσμευτικές μειώσεις των εκπομπών CO<sub>2</sub> στα κράτη που το υιοθέτησαν, για την επίτευξη των οποίων θέσπισε κάποιους μηχανισμούς. Οι μηχανισμοί αυτοί, που ονομάζονται και ως 'ευέλικτοι' μηχανισμοί του Κιότο και που δημιουργούν αυτό που έχει γίνει γνωστό ως 'αγορά άνθρακα' (carbon market) (αφού το CO<sub>2</sub> είναι το βασικό θερμοκηπιακό αέριο), είναι α) η Εμπορία Δικαιωμάτων Εκπομπών CO<sub>2</sub> (Emission Trading, ET), β) ο Μηχανισμός Καθαρής Ανάπτυξης (Clean Development Mechanism, CDM) και γ) η Κοινή Εφαρμογή (Joint Implementation, JI). Οι μηχανισμοί του Κιότο έχουν ως βασικό στόχο την παρακίνηση των κρατών προς μια δυναμική ανάπτυξη μέσω τεχνολογικών

μέσων και επενδύσεων. Προσπαθούν να ενθαρρύνουν τον ιδιωτικό τομέα και τις ανεπτυγμένες χώρες γενικά, ώστε να συνεισφέρουν στις προσπάθειες μείωσης των εκπομπών. Επίσης, θέλουν να βοηθήσουν τις χώρες να πετύχουν τους στόχους τους, είτε μειώνοντας τις εκπομπές τους είτε μεταθέτοντας άνθρακα προς άλλες χώρες, μέσω ενός οικονομικά αποτελεσματικού τρόπου (Ανώνυμος, 2012σ).

Η 'Εμπορία Δικαιωμάτων Εκπομπών CO<sub>2</sub>' (ΕΤ), όπως αναφέρεται στο άρθρο 17 του Πρωτοκόλλου του Κιότο, επιτρέπει σε χώρες που έχουν περίσσειμα εκπομπών να το πουλήσουν σε χώρες που έχουν υπερβεί τους στόχους τους. Προϋπόθεση και για τις δύο χώρες είναι να ανήκουν στο Παράρτημα Β του πρωτοκόλλου (ΚΡ, 1998). Με τον τρόπο αυτό δημιουργήθηκε ένα νέο προϊόν με τη μορφή των μειώσεων ή μεταθέσεων των εκπομπών. Μάλιστα, επειδή το CO<sub>2</sub> είναι το βασικό θερμοκηπιακό αέριο, η ΕΤ είναι επίσης γνωστή και ως 'εμπόριο άνθρακα'. Ο 'Μηχανισμός Καθαρής Ανάπτυξης' και η 'Κοινή Εφαρμογή' είναι δύο μηχανισμοί που σχεδιάστηκαν προκειμένου να τροφοδοτούν την 'αγορά άνθρακα'. Η 'Κοινή Εφαρμογή' δίνει τη δυνατότητα σε βιομηχανοποιημένες χώρες να εκτελέσουν από κοινού προγράμματα με άλλα αναπτυγμένα κράτη, ενώ ο 'Μηχανισμός Καθαρής Ανάπτυξης' εμπλέκει την επένδυση των αναπτυσσόμενων κρατών σε αναπτυξιακά προγράμματα μείωσης των εκπομπών. Η 'αγορά άνθρακα' αποτελεί ένα εργαλείο-κλειδί για τη μείωση των εκπομπών παγκοσμίως. Η αξία αυτού του 'εργαλείου' το 2006 κυμαινόταν περίπου στα 30 δισεκατομμύρια δολάρια, ποσό που από τότε συνεχώς αυξάνεται.

Τα κράτη που δεσμεύονται από το πρωτόκολλο, πρέπει να παρουσιάζουν πληροφορίες στις εθνικές τους εκθέσεις που να αποδεικνύουν πως οι χρήσεις των μηχανισμών είναι συμπληρωματικές των εγχώριων προσπαθειών για την επίτευξη των στόχων τους. Οι πληροφορίες αυτές εκτιμώνται από τη Συμμορφωτική Επιτροπή (Compliance Committee). Επιπλέον, θα πρέπει να τηρούν κάποιες προϋποθέσεις για να μπορούν να συμμετέχουν στους μηχανισμούς. Αρχικά, μια χώρα θα πρέπει να έχει επικυρώσει το Πρωτόκολλο του Κιότο. Εν συνεχεία, πρέπει να έχουν υπολογισμένες τις ορισμένες ποσότητές τους σε ισοδύναμους τόνους CO<sub>2</sub>. Επιπρόσθετα, πρέπει να έχουν τοποθετήσει ένα εθνικό σύστημα καταμέτρησης των εκπομπών και των μειώσεων των θερμοκηπιακών αερίων στην επικράτειά τους. Τέλος, υποχρεούνται να έχουν δημιουργήσει ένα εθνικό μητρώο όπου θα καταγράφονται και θα παρακολουθούνται η δημιουργία και η κίνηση των δικαιωμάτων, ενώ παράλληλα να παρουσιάζουν ετησίως αυτές τις πληροφορίες στη Γραμματεία (Ανώνυμος, 2012σ).

Τέλος, θα πρέπει να αναφερθεί ότι στις 15 Δεκεμβρίου 2011 ο Καναδάς κοινοποίησε την απόφασή του να αποσυρθεί από το Πρωτόκολλο του Κιότο. Σύμφωνα με το άρθρο 27, η δράση αυτή για τον Καναδά θα τεθεί σε ισχύ στις 15 Δεκεμβρίου 2012, οπότε τα μέλη του πρωτοκόλλου θα μειωθούν κατά ένα λιγότερο (Ανώνυμος, 2012τ).

#### ***1.4.2.4 Η ευρωπαϊκή οδηγία '20-20-20' και η κατάσταση στην Ελλάδα***

Όπως αναφέρθηκε, η Ευρωπαϊκή Ένωση των (τότε) 15, επικύρωσε το Πρωτόκολλο του Κιότο το 2002 και δεσμεύθηκε για συνολική μείωση των αερίων του θερμοκηπίου κατά 8% μέχρι το τέλος της πενταετίας 2008-2012. Ωστόσο, το Δεκέμβριο του 2008, το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο ενέκρινε μια πιο αυστηρή δέσμη μέτρων που πρότεινε η Ευρωπαϊκή Επιτροπή (Ανώνυμος, 2012υ). Το πακέτο προτάσεων που αποκαλείται είτε 'πακέτο ενέργειας-κλίματος' είτε 'οδηγία 20-20-20' είτε 'στόχοι 20-20-20', θέτει στόχους στην Ευρωπαϊκή Ένωση για το έτος 2020 (με έτος βάσης το 1990). Συγκεκριμένα αποφασίζει (Δημητριάδης, 2011) : α) τη

μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου σε σχέση με τα επίπεδα του 1990 κατά 20%, β) την εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας κατά 20% και γ) τη διεύθυνση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας κατά 20%. Η οδηγία λοιπόν αυτή δεσμεύει την Ευρωπαϊκή Ένωση να μειώσει τις εκπομπές της αερίων του θερμοκηπίου κατά 20% έως το 2020, ενώ δεσμεύτηκε, κατά τη διάρκεια της COP16, την περαιτέρω μείωση των εκπομπών της (30% έως το 2030), υπό την προϋπόθεση ότι θα υπάρξουν δεσμεύσεις για σημαντικές μειώσεις των εκπομπών κι από άλλες αναπτυγμένες χώρες, καθώς και ότι αυτές θα συμβάλλουν τόσο οικονομικά όσο και περιβαλλοντικά, ανάλογα με τις υποχρεώσεις και τις δυνατότητές τους.

Πέραν των δεσμευτικών στόχων, η οδηγία 20-20-20 ενσωματώνει και κατάλληλες πολιτικές της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την αντιμετώπιση του κλίματος, τη βιώσιμη ανάπτυξη και τη μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου. Οι πολιτικές αυτές συνοψίζονται στις εξής έξι προτάσεις : 1) βελτίωση του ευρωπαϊκού συστήματος εμπορίας εκπομπών, 2) επιμερισμό της προσπάθειας μείωσης των αερίων του θερμοκηπίου, 3) προώθηση της ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, 4) γεωλογική αποθήκευση του CO<sub>2</sub>, 5) περιορισμό εκπομπών CO<sub>2</sub> από επιβατικά αυτοκίνητα και 6) αυστηρότερες προδιαγραφές για τα καύσιμα (Ανώνυμος, 2011β).

Ειδικά η ιδέα της δέσμευσης, μεταφοράς και γεωλογικής αποθήκευσης του CO<sub>2</sub> (Carbon Capture and Storage, CCS), η οποία αποτελεί μια διαδικασία κατά την οποία δεσμεύεται το CO<sub>2</sub> από τις βιομηχανικές εγκαταστάσεις ή τους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ορυκτά καύσιμα, μεταφέρεται και κατόπιν αποθηκεύεται μόνιμα σε κατάλληλους, υπόγειους κυρίως, γεωλογικούς σχηματισμούς όπως ταμιευτήρες πετρελαίου ή φυσικού αερίου με βελτιωμένη ανάκτηση του κοιτάσματος (Enhanced Oil Recovery) ή/και υποθαλάσσια, θα μπορούσε να αποτελέσει μια λύση για μηδενικές εκπομπές CO<sub>2</sub>. Μέσω της οδηγίας 20-20-20, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή προσπάθησε να μετριάσει τις αρνητικές συνέπειες της CCS στο περιβάλλον και τους τυχόν κινδύνους για τον άνθρωπο και την υγεία του. Στα πλαίσια της οδηγίας, τα κράτη έχουν τη δυνατότητα της επιλογής των κατάλληλων περιοχών αποθήκευσης CO<sub>2</sub> στα όρια της επικράτειας και της υφαλοκρηπίδας τους και στη συνέχεια η Ευρωπαϊκή Επιτροπή, έπειτα από τον απαραίτητο έλεγχο της επιλεχθείσας τοποθεσίας και των διαδικασιών μεταφοράς και αποθήκευσης του CO<sub>2</sub>, παραχωρεί άδεια αποθήκευσης, εφόσον αυτά γίνονται με τέτοιο τρόπο που να διασφαλίζεται η τήρηση των περιβαλλοντικών απαιτήσεων της οδηγίας (Κούκουζας κ.α., 2005 ; Δημητριάδης, 2011).

Η Ελλάδα υπέγραψε το Πρωτόκολλο του Κιότο τον Απρίλιο του 1998 και το επικύρωσε με την απόφαση 2002/358/EK του συμβουλίου της 25<sup>ης</sup> Απριλίου του 2002, η οποία τέθηκε προς έγκριση εξ ονόματος της Ευρωπαϊκής Κοινότητας. (Ανώνυμος, 2012ρ ; Ανώνυμος, 2012φ). Στη συνέχεια, η εφαρμογή του πρωτοκόλλου στην Ελλάδα απέκτησε νομική ισχύ με το νόμο 3017/2002 (Βατάλης, 2010) και από τότε αποτελεί πλήρως συμβαλλόμενο μέρος του.

Η περίοδος προσαρμογής 2005-2007 (Supplementary Program Commitment Period) είχε ένα δοκιμαστικό ρόλο, τόσο σε διεθνές όσο και σε εθνικό επίπεδο. Άλλωστε, το 2005 ήταν το έτος που εφαρμόστηκε για πρώτη φορά το Πρωτόκολλο του Κιότο στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Υπήρξε μια τριετία κατά την οποία δημιουργήθηκε μια μεγάλη βάση δεδομένων στα μητρώα του κάθε κράτους. Αυτή συμπεριελάμβανε τις εταιρείες στις οποίες εκχωρήθηκαν δικαιώματα εκπομπής και τις επικυρωμένες/πιστοποιημένες εκπομπές αυτών, για το παραπάνω χρονικό διάστημα. Μέσω αυτών των δεδομένων, η κάθε αρμόδια αρχή θα μπορούσε να έχει μια 'εικόνα' για τις εκπομπές CO<sub>2</sub> που εκλύονταν από την κάθε εγκατάσταση. Εκτός όμως από την καταγραφή των εκπομπών, η περίοδος αυτή λειτούργησε δοκιμαστικά



για τα διάφορα μητρώα, όσον αφορά τη λειτουργία τους, αλλά και για τις διάφορες αρχές και όργανα που θεσπίστηκαν για να οργανώσουν και να συντονίσουν το Πρωτόκολλο του Κιότο και ειδικότερα το σύστημα εμπορίας δικαιωμάτων CO<sub>2</sub> (Emission Trading System, ETS). Την περίοδο εκείνη, την καταγραφή των εκπομπών των διαφόρων εγκαταστάσεων που ανήκαν στον ελλαδικό χώρο ανέλαβε το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, ενώ τη μερίδα του λέοντος, όσον αφορά τα δικαιώματα, κατείχε ο τομέας της ηλεκτροπαραγωγής, ακολουθούμενος από εκείνους της παραγωγής τσιμέντου και των διυλιστηρίων.

Το χρονικό διάστημα 2008-2012 είναι το πρώτο ουσιαστικά διάστημα εφαρμογής του Πρωτοκόλλου του Κιότο και ονομάζεται χαρακτηριστικά ‘πρώτη δεσμευτική περίοδος’ (First Commitment Period). Φυσιολογικό άλλωστε, αφού σε αυτή την περίοδο καλούνται οι χώρες-μέλη του πρωτοκόλλου να επιτύχουν για πρώτη φορά στοχευμένες μειώσεις των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου με τη βοήθεια των μηχανισμών του Κιότο. Όπως συνέβη και κατά την περίοδο προσαρμογής, ο τομέας της ηλεκτροπαραγωγής ανέλαβε τα περισσότερα δικαιώματα, αφού αποτελεί και τον πιο ρυπογόνο, ενώ ακολουθούν, με πολύ μικρότερο ποσοστό, αυτοί της παραγωγής τσιμέντου και των διυλιστηρίων (Δημητριάδης, 2011). Στον Πίνακα 1.2 παρουσιάζονται για την Ελλάδα τα συνολικά ετήσια δικαιώματα εκπομπών, οι συνολικές ετήσιες πιστοποιημένες εκπομπές, καθώς και η μεταξύ τους απόκλιση.

Πίνακας 1.2. Συνολικά ετήσια δικαιώματα και πιστοποιημένες εκπομπές για την Ελλάδα (Πηγή : Ανώνυμος, 2012χ).

<b>Ελλάδα</b>	<b>Συνολικές ετήσιες πιστοποιημένες εκπομπές (Mt CO<sub>2</sub>)</b>	<b>Συνολικά ετήσια δικαιώματα εκπομπών (Mt CO<sub>2</sub>)</b>	<b>Απόκλιση (%)</b>
<b>2008</b>	<b>69.85</b>	<b>63.69</b>	<b>+9.67</b>
<b>2009</b>	<b>133.52</b>	<b>63.25</b>	<b>+111.1</b>
<b>2010</b>	<b>193.44</b>	<b>64.65</b>	<b>+199.2</b>
<b>2011</b>	<b>252.08</b>	<b>66.01</b>	<b>+281.88</b>
<b>2012</b>	<b>μη διαθέσιμο</b>	<b>65.49</b>	<b>μη διαθέσιμο</b>

Από τον παραπάνω πίνακα γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι, με την πάροδο των χρόνων, η Ελλάδα εκπέμπει ποσότητες οι οποίες είναι πολλαπλάσιες από αυτές που δικαιούται. Κύριος υπεύθυνος για τις περισσότερες εκπομπές CO<sub>2</sub> είναι ο γνωστός τομέας της ηλεκτροπαραγωγής, ο οποίος, σύμφωνα με τα πιο πρόσφατα στοιχεία (έτους 2011), συμμετέχει με ένα ποσοστό 78.8% επί του συνόλου (Ανώνυμος, 2012χ), με τους ΑτμοΗλεκτρικούς Σταθμούς (ΑΗΣ) παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιούν λιγνίτη να αποτελούν τους σημαντικότερους ρυπαντές (Δημητριάδης, 2011).

## 1.5 ΨΥΚΤΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

### 1.5.1 Ψύξη : Βασικές έννοιες, ορισμός & μέθοδοι παραγωγής

Αν σε ένα σώμα δοθεί ένα ποσό θερμότητας (θερμικής ενέργειας), τότε θα αυξηθεί η εσωτερική ενέργεια των μορίων του. Αυτή η αύξηση της εσωτερικής ενέργειας μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας του σώματος ή την αλλαγή της φάσης του. Στην περίπτωση που ένα σώμα με την προσθήκη θερμότητας αλλάζει φάση, τα μόρια απορροφούν την επιπλέον αυτή ενέργεια, υπερνικώντας έτσι τις ελκτικές δυνάμεις. Έτσι, η προσθήκη θερμότητας όταν υπάρχει αλλαγή φάσης δε γίνεται αισθητή με αύξηση της θερμοκρασίας. Αντίθετα, όταν δε μεταβάλλεται η φάση, η επιπλέον ενέργεια αυξάνει το εύρος της ταλαντώσεως ή την ταχύτητα των μορίων του σώματος, οπότε στην περίπτωση αυτή η προσθήκη θερμότητας συνοδεύεται με παράλληλη αύξηση της θερμοκρασίας. Τα αντίθετα φαινόμενα συμβαίνουν στην περίπτωση αφαιρέσεως θερμότητας, οπότε υπάρχει μείωση θερμοκρασίας, όταν δεν υπάρχει αλλαγή φάσης ή σταθερή θερμοκρασία, όταν υπάρχει αλλαγή φάσης. Η θερμότητα η οποία προσδίδεται (ή αφαιρείται) σ' ένα σώμα (ή σύστημα) και αυξάνει (ή ελαττώνει) τη θερμοκρασία του ονομάζεται αισθητή θερμότητα (sensible heat), ενώ η θερμότητα η οποία δίνεται (ή αφαιρείται) και μεταβάλλει τη φάση του ονομάζεται λανθάνουσα θερμότητα (latent heat), κατά την οποία ορίζεται η λανθάνουσα θερμότητα τήξεως που απορροφά το σώμα όταν από στερεό γίνεται υγρό, η οποία ισούται με τη λανθάνουσα θερμότητα πήξεως, την οποία απελευθερώνει το σώμα όταν από υγρό γίνεται στερεό. Επίσης, ορίζεται η λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης, την οποία απορροφά το σώμα όταν από υγρό γίνεται αέριο, η οποία ισούται με τη θερμότητα που εκλύει το σώμα όταν από αέριο μετατρέπεται σε υγρό και η οποία ονομάζεται λανθάνουσα θερμότητα συμπύκνωσης (Cengel & Boles, 2003a ; Κανακάκης, 2011).

Ένα σώμα με σχετικά μεγάλη θερμοχωρητικότητα (μάζα επί ειδική θερμότητα), το οποίο μπορεί να απορρίπτει ή να απορροφά πεπερασμένα ποσά θερμότητας, χωρίς να μεταβάλλεται η θερμοκρασία του, ονομάζεται δεξαμενή θερμικής ενέργειας (θερμότητας). Σαν τέτοια σώματα στην πράξη μπορούν να θεωρηθούν οι μεγάλες μάζες νερού, όπως οι θάλασσες, οι λίμνες και τα ποτάμια, καθώς και ο ατμοσφαιρικός αέρας, εξαιτίας της μεγάλης δυνατότητας που έχουν να αποθηκεύουν ενέργεια ή, με άλλα λόγια, εξαιτίας της μεγάλης θερμικής τους μάζας. Ένα σώμα δεν είναι ανάγκη να έχει μεγάλο μέγεθος προκειμένου να λειτουργεί σαν δεξαμενή θερμότητας. Οποιοδήποτε σώμα, του οποίου η θερμική χωρητικότητα είναι πολύ μεγάλη σε σχέση με τα ποσά θερμότητας που παρέχει ή απορροφά (ενώ η θερμοκρασία του παραμένει πρακτικά πάντα σταθερή), μπορεί να θεωρηθεί σαν δεξαμενή θερμότητας. Για παράδειγμα, ο αέρας που περιέχεται σε ένα δωμάτιο μπορεί να θεωρηθεί ως μια δεξαμενή θερμότητας σε σχέση με τη θερμότητα που εκλύεται από μια τηλεόραση, διότι τα ποσά θερμότητας που μεταφέρονται από την τηλεόραση στον αέρα του δωματίου δεν είναι αρκετά μεγάλα, ώστε να προκαλέσουν αισθητή μεταβολή στη θερμοκρασία του. Πέραν όμως από αυτό τον περιορισμό και σύμφωνα με τα παραπάνω, σαν δεξαμενές θερμικής ενέργειας είναι δυνατό να θεωρηθούν και τα συστήματα δύο φάσεων, διότι μπορούν να απορροφήσουν ή να αποβάλλουν μεγάλες ποσότητες θερμότητας, διατηρώντας τη θερμοκρασία τους σταθερή. Μια δεξαμενή που παρέχει ενέργεια με τη μορφή θερμότητας (και η οποία βρίσκεται φυσικά σε υψηλή θερμοκρασία) ονομάζεται θερμοδοχείο, ενώ μια δεξαμενή που απορροφά ενέργεια με τη μορφή θερμότητας (και η οποία βρίσκεται, αντίστοιχα, σε χαμηλή θερμοκρασία) ονομάζεται ψυχοδοχείο (Cengel & Boles, 2003a).

Όπως είναι γνωστό, η διεργασία μεταφοράς θερμότητας στη φύση πραγματοποιείται προς μια και μόνο κατεύθυνση και η οποία είναι από ένα μέσο που βρίσκεται σε υψηλή θερμοκρασία, προς ένα άλλο που βρίσκεται σε χαμηλότερη θερμοκρασία, γεγονός που εκμεταλλεύονται οι θερμικές μηχανές οι οποίες, λειτουργώντας σε θερμοδυναμικό κύκλο, απορροφούν θερμότητα από ένα θερμοδοχείο, μετατρέπουν ένα μέρος της σε μηχανικό έργο (το οποίο είναι και η αποστολή τους), ενώ αποβάλλουν το υπόλοιπο αυτής σε ένα ψυχοδοχείο. Η αντίστροφη διεργασία, δηλαδή η μεταφορά θερμότητας από ένα μέσο χαμηλής θερμοκρασίας (ψυχοδοχείο) σε ένα μέσο υψηλής θερμοκρασίας (θερμοδοχείο), προκειμένου το μέσο αυτό να διατηρηθεί σε θερμοκρασία μικρότερη από αυτή του θερμότερου περιβάλλοντος, ονομάζεται ψύξη και, σύμφωνα με το δεύτερο θερμοδυναμικό νόμο, είναι αδύνατο να γίνει αυτοδύναμα αλλά απαιτεί για την πραγματοποίησή της τη δαπάνη κάποιας μορφής ενέργειας (θερμότητας ή έργου συνήθως) (Βραχόπουλος, 2000 ; Cengel & Boles, 2003a ; Κανακάκης, 2011).

Παραγωγή ψύξης είναι η απορρόφηση θερμότητας. Είναι εύκολο να ψυχθεί ένα σώμα μέχρι τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Όταν όμως πρόκειται για ψύξη σε χαμηλότερες από το περιβάλλον θερμοκρασίες, είναι απαραίτητο να χρησιμοποιηθεί ένα ενδοθερμικό συνήθως φαινόμενο. Οι κυριότεροι μέθοδοι ψύξης είναι οι εξής (Λαμπρινός, 1990) :

- η διάλυση ορισμένων αλάτων στο νερό,
- η τήξη κάποιου στερεού σώματος (π.χ. πάγος),
- η εξάχνωση κάποιου στερεού σώματος (π.χ. ξηρός άνθρακας),
- η εκτόνωση ενός συμπιεσμένου αερίου (π.χ. αέρας),
- η στροβιλώδης εκτόνωση του αέρα (φαινόμενο Ranque),
- η θερμοηλεκτρική ψύξη (φαινόμενο Peltier) &
- η ατμοποίηση κάποιου υγρού, το οποίο ονομάζεται ψυκτικό ρευστό και παίζει το ρόλο του υλικού φορέα της θερμότητας.

Η παραγωγή ψύξης με ατμοποίηση υγρού αποτελεί μια μέθοδο η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε σε ανοιχτά είτε σε κλειστά συστήματα. Στα ανοιχτά συστήματα το χρησιμοποιούμενο ψυκτικό ρευστό δεν ανακτάται. Έτσι, μπορούμε να έχουμε ψύξη με εξάτμιση αέρα, με αεριοποίηση (ατμοποίηση) υγρού αζώτου, κ.τ.λ.. Στα κλειστά συστήματα το ψυκτικό ρευστό μεταβάλλεται κυκλικά επανερχόμενο στην αρχική του κατάσταση (ψυκτικός κύκλος), οπότε μιλούμε για μια ψυκτική μηχανή ή ψυκτική εγκατάσταση. Οι παραγόμενοι ατμοί απομακρύνονται συνεχώς από τον 'εξατμιστή' (όργανο όπου πραγματοποιείται η ατμοποίηση), για να υγροποιηθούν και πάλι, απορροφώντας και εκλύοντας έτσι μεγάλες ποσότητες λανθάνουσας θερμότητας. Ανάλογα με τον τρόπο απομάκρυνσης των ατμών από τον εξατμιστή διακρίνουμε (Λαμπρινός, 1990) :

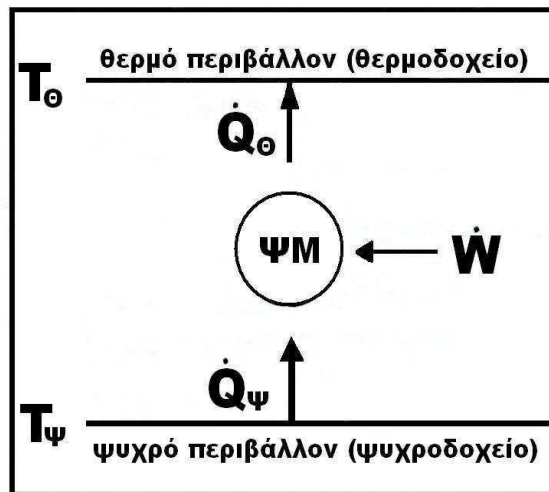
- τις ψυκτικές εγκαταστάσεις με εγχυτήρα, όπου οι ατμοί απορροφώνται από έναν εγχυτήρα-αντλία,
- τις ψυκτικές μηχανές ρόφησης, όπου οι ατμοί απομακρύνονται από τον εξατμιστή χάρις σε μια ενεργό διάλυσή τους σ' έναν υγρό διαλύτη (μηχανές απορρόφησης), ή λόγω μιας ταχείας δέσμευσης από ένα στερεό υλικό (μηχανές προσρόφησης) &
- τις ψυκτικές εγκαταστάσεις με μηχανική συμπίεση ατμών, όπου οι ατμοί απορροφούνται από ένα συμπιεστή.

Οι τελευταίες αποτελούν τις πλέον διαδεδομένες και μελετώνται αμέσως παρακάτω. Σε αυτές προσδίδεται μηχανικό έργο, ενώ στις μηχανές ρόφησης προσδίδεται θερμότητα από μια τρίτη πηγή (δεξαμενή), η οποία βρίσκεται θερμοκρασιακά υψηλότερα τόσο του ψυχοδοχείου όσο και του θερμοδοχείου. Μάλιστα, λόγω της

υπαρξης τριών πηγών, απαντώνται και με την ονομασία ‘τρίθερμες μηχανές’ (Λαμπρινός, 2003). Επίσης, γίνεται αντιληπτό ότι, σε κάποιες εφαρμογές, οι ψυκτικές μηχανές ή εγκαταστάσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για θέρμανση, μέσω της θερμότητας που μεταφέρεται στο θερμοδοχείο (Κανακάκης, 2011).

### 1.5.2 Η Ψυκτική Μηχανή Συμπίεσης Ατμών

Όπως αναφέρθηκε και στα προηγούμενα, η μηχανή αυτή χρησιμοποιείται για την απαγωγή και μεταφορά θερμότητας από ένα μέσο ή ένα χώρο (περιβάλλον) χαμηλής θερμοκρασίας  $T_{\Psi}$  (ψυχροδοχείο), σε ένα άλλο μέσο ή χώρο (περιβάλλον) υψηλότερης θερμοκρασίας  $T_{\Theta}$  (θερμοδοχείο), μέσω της εξάτμισης και της συμπύκνωσης του υλικού φορέα που ονομάζεται ψυκτικό ρευστό. Για να επιτευχθεί η μεταφορά αυτή θερμότητας με αυτή την ψυκτική μηχανή που εκτελεί κλειστό θερμοδυναμικό κύκλο συμπίεσης ατμών, πρέπει να προσδοθεί-προερχόμενη εξωτερικώς του κλειστού συστήματος που την αποτελεί-ενέργεια με τη μορφή μηχανικού έργου (Λαμπρινός, 2006) (Σχήμα 1.12).



Σχήμα 1.12. Σχηματική παρουσίαση του τρόπου λειτουργίας μιας ψυκτικής μηχανής (Πηγή : Λαμπρινός, 2006).

Σύμφωνα με τον πρώτο θερμοδυναμικό νόμο για ένα κλειστό σύστημα, σαν την ψυκτική μηχανή (ΨΜ) του Σχήματος 1.12, θα ισχύει (Λαμπρινός, 2006) :

$$\Delta E_{ολ} = \Delta U + \Delta E_K + \Delta E_{\Delta} = Q - W \text{ (kJ)} \quad (1.3)$$

όπου :

$\Delta E_{ολ}$  : η ολική μεταβολή της ενέργειας,

$\Delta U$  : η μεταβολή της εσωτερικής ενέργειας του συστήματος,

$\Delta E_K$  : η μεταβολή της κινητικής ενέργειας,

$\Delta E_{\Delta}$  : η μεταβολή της δυναμικής ενέργειας,

$Q$  : η ενέργεια που μεταφέρθηκε από ή προς το σύστημα με τη μορφή θερμότητας &

$W$  : η μηχανική ενέργεια (έργο) που μεταφέρθηκε από ή προς το σύστημα.

Επειδή  $\Delta E_K = \Delta E_{\Delta} = 0$ , τότε θα ισχύει :

$$\Delta U + \Delta E_K + \Delta E_{\Delta} = Q - W \quad (1.4)$$

Λαμβάνοντας υπόψη ότι για μια κυκλική μεταβολή ισχύει  $\Delta U = 0$ , τελικά θα ισχύει :

$$0 = (Q_{\Psi} - Q_{\Theta}) - (-W) \text{ δηλ. } Q_{\Theta} - Q_{\Psi} = W \quad (1.5)$$

ή, ως ειδικά μεγέθη :

$$q_{\Theta} - q_{\Psi} = w \quad (1.6)$$

ή, με το μορφή ρυθμών, δηλαδή ανα μονάδα χρόνου (ισχύς) :

$$\dot{Q}_{\Theta} - \dot{Q}_{\Psi} = \dot{W} \quad (1.7)$$

όπου (Λαμπρινός, 1990 ; Λαμπρινός, 2006) :

$Q_{\Theta}$  : η θερμική ενέργεια που απορρίπτεται (ή αποδίδεται) στο θερμοδοχείο (kJ),  
 $Q_{\Psi}$  : η θερμική ενέργεια που απορροφά η ψυκτική μηχανή από το ψυχοδοχείο (kJ),  
 $W$  : το απαιτούμενο μηχανικό έργο, προκειμένου να πραγματοποιηθεί αυτή η διεργασία μεταφοράς θερμότητας από το ψυχοδοχείο στο θερμοδοχείο (kJ),  
 $q_{\Theta}$ ,  $q_{\Psi}$ ,  $w$ : τα ειδικά μεγέθη των  $Q_{\Theta}$ ,  $Q_{\Psi}$ ,  $W$ , τα οποία ονομάζονται ειδική θερμική παραγωγή, ειδική ψυκτική παραγωγή και ειδικό απορροφούμενο έργο αντίστοιχα (kJ/kg),  
 $\dot{Q}_{\Theta}$  : το ποσό θερμότητας που απορρίπτει (ή αποδίδει) η ψυκτική μηχανή στη μονάδα του χρόνου και ονομάζεται ‘θερμική ισχύς’ (kW),  
 $\dot{Q}_{\Psi}$  : το ποσό θερμότητας που απάγει η ψυκτική μηχανή στη μονάδα του χρόνου και ονομάζεται ‘ψυκτική ισχύς’ (kW) &  
 $\dot{W}$  : η μηχανική ισχύς που απορροφά η ψυκτική μηχανή (kW).

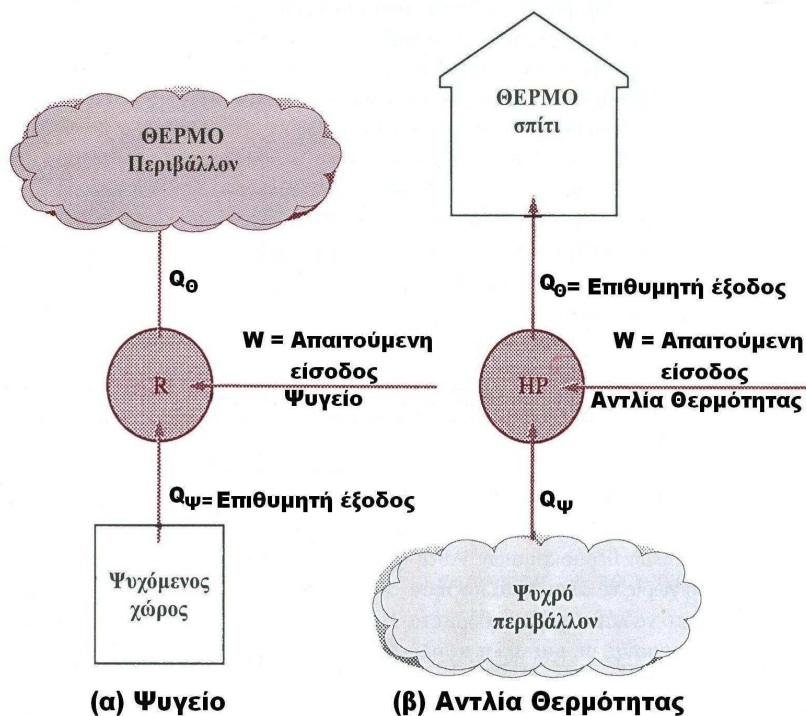
Γενικά, η απόδοση ή, αλλιώς, η επάρκεια ή η αποτελεσματικότητα ενός συστήματος (efficiency), εκφράζεται από το πηλίκο της επιθυμητής εξόδου (δηλαδή των εκροών), η οποία λαμβάνεται από το σύστημα, προς την απαιτούμενη είσοδο (δηλαδή τις εισροές) που προσδίδεται σε αυτό. Για τις ψυκτικές μηχανές, η αποτελεσματικότητά τους εκφράζεται μέσω του συντελεστή λειτουργίας ή απόδοσης (Coefficient Of Performance, COP) (Cengel & Boles, 2003a). Στην περίπτωση της ψυκτικής μηχανής συμπίεσης ατμών, προκειμένου να χαρακτηρίσουμε την απόδοσή της, συγκρίνουμε το χρήσιμο ποσό θερμότητας προς το μηχανικό έργο που δαπανάται. Έτσι, εάν το χρήσιμο ενεργειακό ποσό είναι η ενέργεια θέρμανσης  $Q_{\Theta}$  (δηλαδή η θερμική ενέργεια που αποδίδεται στο θερμοδοχείο, έχοντας ως αποτέλεσμα τη θέρμανσή του), τότε η ψυκτική μηχανή ονομάζεται Αντλία Θερμότητας με μηχανική συμπίεση ατμών (εφεξής, για συντομία, Αντλία Θερμότητας, ΑΘ, Heat Pump, HP), η απόδοσή της αναφέρεται ως συντελεστής απόδοσης θερμικής συμπεριφοράς (εφεξής, για συντομία, συντελεστής θέρμανσης-COP<sub>Θ</sub>) και εκφράζεται από την εξίσωση (Λαμπρινός, 2006) :

$$COP_{\Theta} = Q_{\Theta} / W = \dot{Q}_{\Theta} / \dot{W} = q_{\Theta} / w \quad (1.8)$$

Εάν το χρήσιμο ενεργειακό ποσό είναι η ενέργεια ψύξης  $Q_{\Psi}$  (δηλαδή η θερμική ενέργεια που απάγεται από το ψυχοδοχείο, έχοντας ως αποτέλεσμα την ψύξη του), τότε η ψυκτική μηχανή ονομάζεται Ψυγείο ή Ψύκτης με μηχανική συμπίεση ατμών (εφεξής, για συντομία, Ψυγείο, Refrigerator, R) (Cengel & Boles, 2003b), η απόδοσή του αναφέρεται ως συντελεστής απόδοσης ψυκτικής συμπεριφοράς (εφεξής, για συντομία, συντελεστής ψύξης-COP<sub>Ψ</sub>) και εκφράζεται από την εξίσωση :

$$\text{COP}_\Psi = Q_\Psi / W = \dot{Q}_\Psi / \dot{W} = q_\Psi / w \quad (1.9)$$

Οι αντλίες θερμότητας και τα ψυγεία είναι ουσιαστικά οι ίδιες συσκευές. Αυτό το οποίο τις κάνει να διαφέρουν είναι ο αντικειμενικός τους στόχος. Το ψυγείο έχει σαν αντικειμενικό στόχο να διατηρήσει τον ψυχόμενο χώρο (ψυχοδοχείο) σε χαμηλή θερμοκρασία, αφαιρώντας από αυτόν θερμότητα. Η απόρριψη της θερμότητας αυτής σε ένα μέσο υψηλής θερμοκρασίας (θερμοδοχείο) αποτελεί ένα αναγκαίο τμήμα της διεργασίας, όχι όμως και το στόχο. Αντιθέτως, ο αντικειμενικός στόχος της αντλίας θερμότητας είναι να διατηρήσει ένα χώρο θέρμανσης σε υψηλή θερμοκρασία. Αυτό πραγματοποιείται με απορρόφηση θερμότητας από μια πηγή χαμηλής θερμοκρασίας (ψυχοδοχείο), όπως π.χ. είναι μια πηγή νερού ή ο κρύος εξωτερικός αέρας του χειμώνα, προμηθεύοντας τη θερμότητα αυτή σ' ένα θερμότερο μέσο (θερμοδοχείο), όπως είναι, για παράδειγμα, ένα σπίτι (Σχήμα 1.13) (Cengel & Boles, 2003b).



Σχήμα 1.13. Ο σκοπός ενός Ψυγείου (α) είναι η αφαίρεση θερμότητας ( $Q_\Psi$ ) από ένα ψυχοδοχείο, ενώ ο σκοπός μιας Αντλίας Θερμότητας (β) είναι η προμήθεια θερμότητας ( $Q_\Theta$ ) σ' ένα θερμοδοχείο (Πηγή : Cengel & Boles, 2003b).

Επίσης, υπάρχουν ψυκτικές μηχανές οι οποίες εκμεταλλεύονται τόσο την ενέργεια θέρμανσης  $Q_\Theta$  όσο και την ενέργεια ψύξης  $Q_\Psi$ . Οι μηχανές αυτές ονομάζονται θερμοψυκτικές αντλίες και ο συντελεστής απόδοσης θερμοψυκτικής συμπεριφοράς ( $\text{COP}_{\Theta,\Psi}$ ) εκφράζεται από την εξίσωση (Λαμπρινός, 2006) :

$$\text{COP}_{\Theta,\Psi} = (Q_\Theta + Q_\Psi) / W = (\dot{Q}_\Theta + \dot{Q}_\Psi) / \dot{W} = (q_\Theta + q_\Psi) / w \quad (1.10)$$

Ο  $\text{COP}_\Psi$  παίρνει τιμές μεγαλύτερες ή μικρότερες της μονάδας, ενώ οι  $\text{COP}_\Theta$  και  $\text{COP}_{\Theta,\Psi}$  είναι πάντοτε μεγαλύτεροι της μονάδας :

$$\text{COP}_\Theta = Q_\Theta / W = (Q_\Psi + W) / W = 1 + (Q_\Psi / W) > 1 \quad (1.11)$$

$$\text{COP}_{\Theta,\Psi} = (Q_{\Theta} + Q_{\Psi}) / W = (Q_{\Psi} + Q_{\Psi} + W) / W = 1 + (2Q_{\Psi} / W) > 1 \quad (1.12)$$

Από τις εξισώσεις 1.8 και 1.9 εξάγεται ότι :

$$\text{COP}_{\Theta} = \text{COP}_{\Psi} + 1 \quad (1.13)$$

Στις ΗΠΑ, η απόδοση ενός ψυγείου εκφράζεται συχνά από τον όρο της Εκτίμησης Ενεργειακής Αποδοτικότητας (Energy Efficiency Rating, EER), η οποία ορίζεται σαν το ποσό θερμότητας που απάγεται από τον ψυχόμενο χώρο σε Btu, για κάθε βατώρα (Watt-hour, Wh) κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας (ενώ ο  $\text{COP}_{\Theta}$  αναφέρεται απλά σαν COP). Έχοντας υπόψη τη σχέση μεταξύ Btu και Wh ( $1\text{Wh} = 3.412\text{Btu}$ ), η σχέση που συνδέει EER και  $\text{COP}_{\Psi}$  είναι η ακόλουθη (Cengel & Boles, 2003a) :

$$\text{EER} = 3.412 \text{COP}_{\Psi} \quad (1.14)$$

Όπως είναι γνωστό, ο κύκλος Carnot αποτελεί έναν κύκλο θερμικής μηχανής που αποτελείται από τέσσερις αντιστρεπτές διαδικασίες, δύο ισοθερμοκρασιακές και δύο αδιαβατικές (οι τελευταίες απαντώνται και ως ισεντροπικές, από τη στιγμή που όλες τους είναι αντιστρεπτές). Για συγκεκριμένα θερμοκρασιακά όρια, ο κύκλος αυτός έχει μια μέγιστη θερμική απόδοση και χρησιμοποιείται σα μέτρο σύγκρισης κάθε πραγματικού κύκλου ισχύος. Από τη στιγμή που ο κύκλος είναι αντιστρεπτός, όλες του οι διεργασίες μπορούν να αντιστραφούν. Αυτή η αντιστροφή του (θερμικού) κύκλου θα αντιστρέψει επίσης και την κατεύθυνση των αλληλεπιδράσεων του έργου και της θερμότητας, με αποτέλεσμα να προκύψει ένας (ψυκτικός) κύκλος που λειτουργεί με ανθωρολογιακή κατεύθυνση και ο οποίος ονομάζεται αντίστροφος κύκλος Carnot (Cengel & Boles, 2003b). Από τα παραπάνω εύκολα γίνεται αντιληπτό ότι σε ένα διάγραμμα P-V, όπως και σε ένα διάγραμμα Πίεσης-Ειδικής Ενθαλπίας (P-h) (το οποίο αναφέρεται σε επόμενη παράγραφο), ένας δεξιόστροφος (ωρολογιακός) κύκλος είναι κύκλος λειτουργίας θερμικής μηχανής, ενώ ένας αριστερόστροφος (ανθωρολογιακός) κύκλος αποτελεί κύκλο λειτουργίας ψυκτικής μηχανής (Γομάτος & Λύτρας, 2001). Το ψυγείο και η αντλία θερμότητας που λειτουργούν σύμφωνα με τον αντίστροφο αυτό κύκλο ονομάζονται αντίστοιχα ψυγείο Carnot και αντλία θερμότητας Carnot.

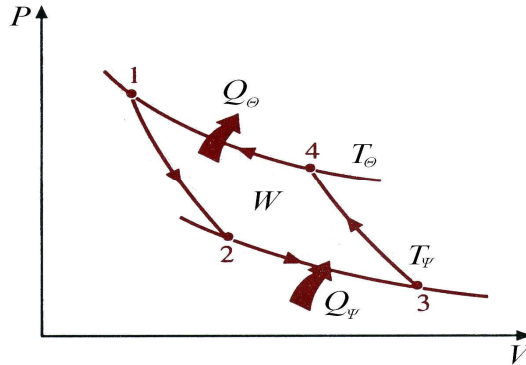
Μια θεωρητική ψυκτική μηχανή Carnot περιλαμβάνει τις ακόλουθες μεταβολές (Σχήμα 1.14) (Λαμπρινός, 2006) : α) μεταβολή 1-2 (αδιαβατική) : εκτόνωση στο στραγγαλιστικό μηχανισμό πίεσης, β) μεταβολή 2-3 (ισοθερμοκρασιακή) : ατμοποίηση στον εξατμιστή, γ) μεταβολή 3-4 (αδιαβατική) : συμπίεση των ατμών στο συμπιεστή και δ) μεταβολή 4-1 (ισοθερμοκρασιακή) : υγροποίηση των συμπιεσμένων ατμών στο συμπυκνωτή. Οι αποδόσεις αυτής της μηχανής για ψύξη και θέρμανση αντίστοιχα εκφράζονται από τις εξισώσεις :

$$\text{COP}_{\Psi}^c = Q_{\Psi} / W = Q_{2-3} / (Q_{4-1} - Q_{2-3}) = Q_{\Psi} / (Q_{\Theta} - Q_{\Psi}) = T_{\Psi} / (T_{\Theta} - T_{\Psi}) \quad (1.15)$$

$$\text{COP}_{\Theta}^c = Q_{\Theta} / W = Q_{4-1} / (Q_{4-1} - Q_{2-3}) = Q_{\Theta} / (Q_{\Theta} - Q_{\Psi}) = T_{\Theta} / (T_{\Theta} - T_{\Psi}) \quad (1.16)$$

Παρατηρείται ότι για την ίδια θερμοκρασιακή διαφορά ( $T_{\Theta} - T_{\Psi}$ ), ο  $\text{COP}_{\Psi}$  βελτιώνεται όσο υψηλότερης στάθμης είναι η θερμοκρασία  $T_{\Psi}$ , ενώ, αντίστοιχα, και ο  $\text{COP}_{\Theta}$  βελτιώνεται όσο υψηλότερης στάθμης είναι η θερμοκρασία  $T_{\Theta}$ . Επίσης, όσο μικρότερη είναι αυτή η διαφορά θερμοκρασιών, τόσο βελτιώνονται οι  $\text{COP}_{\Psi}$  και  $\text{COP}_{\Theta}$  (Βραχόπουλος, 2000). Ο αντίστροφος κύκλος Carnot είναι ο πιο αποδοτικός

ψυκτικός κύκλος που λειτουργεί μεταξύ δύο συγκεκριμένων θερμοκρασιακών επιπέδων. Ως εκ τούτου, θεωρείται φυσιολογικό να γίνεται μια αρχική αναφορά σ' αυτόν, σα να είναι ο αναμενόμενος ιδανικός κύκλος για τα ψυγεία και τις αντλίες θερμότητας, αποτελώντας συγχρόνως και ένα μέτρο σύγκρισης για τους πραγματικούς ψυκτικούς κύκλους (Cengel & Boles, 2003b).



Σχήμα 1.14. Ο αντίστροφος κύκλος Carnot (Πηγή : Cengel & Boles, 2003a ; Λαμπρινός, 2006).

Τα βασικά μέρη για την εξασφάλιση της λειτουργίας μιας ψυκτικής μηχανής με συμπίεση ατμών είναι τα εξής (Σχήμα 1.15) (Λαμπρινός, 2006) :

1. Εξατμιστής ή Ατμοποιητής (Evaporator, E) : Πρόκειται για έναν εναλλάκτη, στον οποίο το ψυκτικό ρευστό εισέρχεται υγρό και ατμοποιείται (βράζει) σε σταθερή χαμηλή πίεση  $P_e$  (πίεση εξάτμισης ή ατμοποίησης) και θερμοκρασία  $\theta_e$  (θερμοκρασία εξάτμισης ή ατμοποίησης), προσλαμβάνοντας έτσι θερμότητα  $Q_\psi$  από τον περιβάλλοντα (ψυχρόμενο) χώρο, ο οποίος βρίσκεται σε θερμοκρασία  $\theta_\psi$  ( $T_\psi$ ). Θα πρέπει να τονιστεί ότι οι όροι εξάτμιση και ατμοποίηση δεν είναι ταυτόσημοι. Όταν κατά τη μετατροπή του ρευστού από την υγρή στην αέρια φάση δεν υπάρχουν άλλα αέρια παρά μόνο ατμοί από την ίδια ουσία, τότε η μετατροπή ονομάζεται ατμοποίηση. Όταν όμως πάνω από την ελεύθερη επιφάνεια του υγρού υπάρχει μείγμα αερίων (το οποίο μπορεί να αποτελείται π.χ. από την αέρια φάση της ουσίας που υφίσταται τη μετατροπή και του ατμοσφαιρικού αέρα), τότε πραγματοποιείται εξάτμιση. Στις ψυκτικές μηχανές χρησιμοποιείται μόνο η ατμοποίηση, αλλά η συσκευή που την πραγματοποιεί μπορεί να απαντηθεί τόσο με την ονομασία ατμοποιητής όσο και με την ονομασία εξατμιστής (Γομάτος & Λύτρας, 2001).

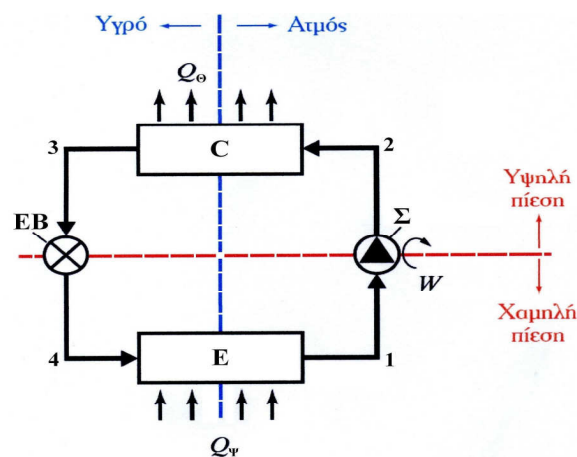
2. Συμπιεστής ατμών (Compressor, Σ) : Αναρροφά τον ατμό χαμηλής πίεσης  $P_e$  και τον συμπιέζει σε υψηλή πίεση  $P_c$  (πίεση συμπύκνωσης) (μέσω μηχανικού έργου  $W$  που του προσδίδεται εξωτερικά) και θερμοκρασία  $\theta_c$  (θερμοκρασία συμπύκνωσης), για να είναι δυνατή η συμπύκνωση σε θερμοκρασία περιβάλλοντος  $\theta_\theta$  ( $T_\theta$ ).

3. Συμπυκνωτής (Condenser, C) : Πρόκειται για έναν εναλλάκτη, στον οποίο ο συμπιεσμένος ατμός, απορρίπτοντας θερμότητα  $Q_\theta$  στο περιβάλλον υπό σταθερή  $P_c$  και  $\theta_c$ , υγροποιείται.

4. Εκτονωτική Βαλβίδα (Expansion Valve, EB) : Εξασφαλίζει το στραγγαλισμό (εκτόνωση) της πίεσης  $P_c$ , με την επακόλουθη αυτής πτώση της θερμοκρασίας  $\theta_c$ , ρυθμίζοντας (πιθανώς) ταυτόχρονα και την παροχή του ψυκτικού ρευστού ( $\dot{m}_R$ ), καθώς αυτό εισέρχεται στον εξατμιστή υπό πίεση  $P_e$  και θερμοκρασία  $\theta_e$ . Μεταξύ συμπυκνωτή και εκτονωτικής βαλβίδας μπορεί να υπάρχει και ο συλλέκτης υγρού, ο οποίος αποτελεί ένα εξάρτημα που έχει ως σκοπό να τροφοδοτεί την EB συνεχώς με υγρό ψυκτικό ρευστό. Επιπλέον, αποθηκεύει το ρευστό, αφού η ποσότητα κυκλοφορίας του στην εγκατάσταση διαφέρει ανάλογα με τις συνθήκες λειτουργίας. (Βραχόπουλος, 2000).



Όπως διακρίνεται και από το Σχήμα 1.15, η ευθεία που ενώνει νοερά το συμπιεστή (Σ) με την εκτονωτική βαλβίδα (EB) χωρίζει την ψυκτική μηχανή στη γραμμή (δηλαδή τη διαδρομή) υψηλής πίεσης και στη γραμμή χαμηλής πίεσης, ενώ η ευθεία που ενώνει νοερά τον εξατμιστή (E) με το συμπυκνωτή (C) τη χωρίζει στη γραμμή ατμού και στη γραμμή υγρού. Η γραμμή υψηλής πίεσης (Σ-C-EB) αποτελείται από τη γραμμή ατμού μεταξύ συμπιεστή και συμπυκνωτή (Σ-C) και τη γραμμή υγρού μεταξύ συμπυκνωτή και εκτονωτικής βαλβίδας (C-EB), ενώ η γραμμή χαμηλής πίεσης (EB-E-Σ) αποτελείται από τη γραμμή υγρού μεταξύ εκτονωτικής βαλβίδας και εξατμιστή (EB-E) και τη γραμμή ατμού μεταξύ εξατμιστή και συμπιεστή (E-Σ). Αντίστοιχα, η γραμμή ατμού (E-Σ-C) αποτελείται από τη γραμμή χαμηλής πίεσης μεταξύ εξατμιστή και συμπιεστή (E-Σ) και τη γραμμή υψηλής πίεσης μεταξύ συμπιεστή και συμπυκνωτή (Σ-C), ενώ η γραμμή υγρού (C-EB-E) αποτελείται από τη γραμμή υψηλής πίεσης μεταξύ συμπυκνωτή και εκτονωτικής βαλβίδας (C-EB) και τη γραμμή χαμηλής πίεσης μεταξύ εκτονωτικής βαλβίδας και εξατμιστή (EB-E) (Κανακάκης, 2011).

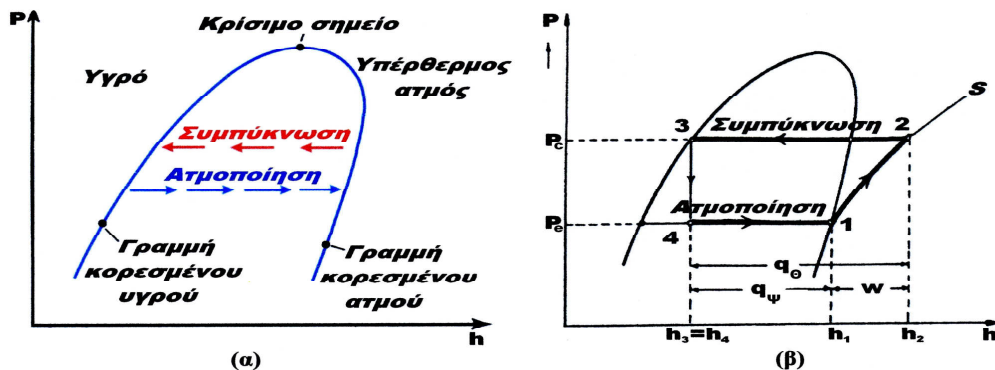


Σχήμα 1.15. Τα κύρια μέρη μιας ψυκτικής μηχανής (Πηγή : Λαμπρινός, 2006 ; Κανακάκης, 2011).

Ο θεωρητικός κύκλος που διαγράφει το ρευστό μέσα στην ψυκτική μηχανή του Σχήματος 1.15 περιγράφεται σχηματικά και παριστάνεται σε διάγραμμα P-h. Στο διάγραμμα αυτό, κάθε ψυκτικό ρευστό έχει μια χαρακτηριστική καμπύλη η οποία ονομάζεται καμπύλη κορεσμού (saturation curve/line), ενώ οι υπόλοιπες περιοχές του και τα τμήματα στα οποία διακρίνεται η καμπύλη φαίνονται στο Σχήμα 1.16(α). Πριν τη χάραξη όμως του ενθαλπικού διαγράμματος, υπάρχουν κάποιες υποθέσεις οι οποίες πρέπει να ληφθούν υπόψη και είναι οι εξής : α) εάν  $\theta_{\psi}$  η θερμοκρασία του ψυχόμενου χώρου και  $\theta_{\theta}$  η θερμοκρασία του αέρα του περιβάλλοντος, υποτίθεται πως η θερμοκρασία χώρου και η αντίστοιχη θερμοκρασία του ψυκτικού ρευστού, όταν αυτό αλλάζει κατάσταση (ατμοποίηση, συμπύκνωση), είναι τελείως γειτονικές ( $\theta_{\psi} + \delta\theta$  και  $\theta_{\theta} + \delta\theta$ ) και αντιστοιχούν στις πιέσεις ατμοποίησης/εξάτμισης ( $P_e$ ) και συμπύκνωσης ( $P_c$ ), β) η κυκλοφορία του ρευστού στο κύκλωμα δε συνοδεύεται από πτώσεις πίεσης, γεγονός που σημαίνει ότι μεταξύ εκτονωτικής βαλβίδας και συμπιεστή υπάρχει σταθερή πίεση εξάτμισης και αναρρόφησης, ίση με  $P_e$  (γραμμή χαμηλής πίεσης), ενώ στη διαδρομή μεταξύ συμπιεστή και εκτονωτικής βαλβίδας υπάρχει σταθερή πίεση κατάθλιψης και συμπύκνωσης, ίση με  $P_c$  (γραμμή υψηλής πίεσης) και γ) ο συμπιεστής λειτουργεί ισεντροπικά, δηλαδή θεωρείται πως η συμπίεση είναι αδιαβατική και εσωτερικά αντιστρεπτή μεταβολή.

Πλέον, μετά από αυτές τις υποθέσεις, εάν είναι γνωστές οι θερμοκρασίες (ή οι πιέσεις) ατμοποίησης και συμπύκνωσης, μπορεί να χαραχτεί το διάγραμμα P-h του

θεωρητικού κύκλου μιας ψυκτικής μηχανής συμπίεσης ατμών ως εξής, έχοντας υπόψη ότι το σημείο 1 παριστάνει την κατάσταση των ατμών στην είσοδο του συμπιεστή (Σχήμα 1.16(β) σε συνδυασμό και με το Σχήμα 1.15) (Λαμπρινός, 1990) :



Σχήμα 1.16. (α) Μορφή διαγράμματος P-h και (β) ο θεωρητικός κύκλος μιας ψυκτικής μηχανής συμπίεσης ατμών (Πηγή : Λαμπρινός, 1990 ; Κανακάκης, 2011).

Από το 1 στο 2 : Το ρευστό (σε κατάσταση ατμών) συμπιέζεται ισεντροπικά από την πίεση  $P_e$  στην πίεση  $P_c$ . Επομένως, το σημείο 2 πρέπει να βρίσκεται στην τομή της ισοβαρούς  $P_c$  και της ισεντροπικής που περνάει από το σημείο 1. Κατά τη συμπίεση, η θερμοκρασία του ρευστού ανέρχεται από  $\theta_1$  σε  $\theta_2$ . Σύμφωνα με τον πρώτο θερμοδυναμικό νόμο για ανοιχτά συστήματα και αφού  $q = 0$ , θα ισχύει για το ειδικό απορροφούμενο έργο  $w$  στο συμπιεστή :

$$\Delta h = q - (-w) \Rightarrow h_2 - h_1 = w \Rightarrow w = h_2 - h_1 \text{ (kJ/kg)} \quad (1.17)$$

Από το 2 στο 3 : Το ψυκτικό αέριο ψύχεται και συμπυκνώνεται σε σταθερή πίεση  $P_c$  αποδίδοντας θερμότητα στο ψυκτικό μέσο. Η συμπύκνωση γίνεται σε θερμοκρασία  $\theta_c$ , γειτονική με αυτή του μέσου (θερμοδοχείο). Το ψυκτικό υγρό εγκαταλείπει το συμπυκνωτή σε κατάσταση υγρού σε κορεσμό, θερμοκρασίας  $\theta_c$  και, επομένως, το σημείο 3 βρίσκεται στην τομή της ισοβαρούς  $P_c$  (ή της ισόθερμης  $\theta_c$ ) και της καμπύλης τίτλου (ή, αλλιώς, ποιότητας)  $x = 0$ . Εδώ, για την ειδική θερμική παραγωγή  $q_\theta$  στο συμπυκνωτή ( $w = 0$ ), θα ισχύει :

$$\Delta h = (-q_\theta) - w \Rightarrow h_3 - h_2 = -q_\theta \Rightarrow q_\theta = h_2 - h_3 \text{ (kJ/kg)} \quad (1.18)$$

Από το 3 στο 4 : Το ρευστό εκτονώνεται από  $P_c$  σε  $P_e$  μέσα στην εκτονωτική βαλβίδα, χωρίς να ανταλλάσσει με το εξωτερικό περιβάλλον ούτε μηχανική ( $w = 0$ ) αλλά ούτε και θερμική ενέργεια ( $q = 0$ ), ενώ η ενθαλπία του ρευστού παραμένει σταθερή (ισενθαλπική εκτόνωση,  $h_3 = h_4$ ). Επομένως, το σημείο 4 βρίσκεται στην τομή της ισενθαλπικής καμπύλης που περνάει από το 3 και της ισοβαρούς  $P_e$ . Στο τέλος της εκτόνωσης, το ρευστό που εισέρχεται στον εξατμιστή έχει έναν τίτλο σε ατμό  $x_4$ , που βρίσκεται από την ισότιτλη καμπύλη που περνάει από το σημείο 4.

Από το 4 στο 1 : Το ψυκτικό υγρό ατμοποιείται σε σταθερή πίεση  $P_e$  στη θερμοκρασία  $\theta_e$ , γειτονική με τη θερμοκρασία του ψυχόμενου χώρου (ψυχοδοχείο), απορροφώντας έτσι θερμότητα από αυτόν. Οι ατμοί αφήνουν τον εξατμιστή ως ξηροί ατμοί. Το σημείο 1 βρίσκεται στην τομή της ισοβαρούς  $P_e$  και της καμπύλης με τίτλο  $x = 1$ . Εδώ, για την ειδική ψυκτική παραγωγή  $q_\psi$  στον εξατμιστή ( $w = 0$ ), θα ισχύει :

$$\Delta h = q_\psi - w \Rightarrow h_1 - h_4 = q_\psi \Rightarrow q_\psi = h_1 - h_4 \text{ (kJ/kg)} \quad (1.19)$$

Εάν γνωρίζουμε τις ολικές ανάγκες σε ψύξη και θέρμανση στη μονάδα του χρόνου, μπορούμε να εκτιμήσουμε τη θεωρητική μηχανική ισχύ που απορροφά ο συμπιεστής, τη θερμότητα που απορροφά ο εξατμιστής, τη θερμότητα που αποδίδει ο συμπυκνωτής, καθώς και τους θεωρητικούς συντελεστές ψύξης και θέρμανσης. Αν  $\dot{Q}_\Psi$ ,  $\dot{Q}_\Theta$  η απαιτούμενη ολική ψυκτική και θερμική ισχύς,  $P_{th}$  ( $\dot{W}$ ) η ολική θεωρητική απορροφούμενη μηχανική ισχύς,  $n_v$  ο ογκομετρικός βαθμός απόδοσης και  $n_m$  ο μηχανικός βαθμός απόδοσης, τότε θα ισχύουν :

Απαιτούμενη παροχή σε μάζα ψυκτικού ρευστού :

$$\dot{m} = \dot{Q}_\Psi / q_\Psi = \dot{Q}_\Theta / q_\Theta \text{ (kg/s)} \quad (1.20)$$

$$\text{Παροχή όγκου στην αναρρόφηση : } \dot{V} = \dot{m} v_1 \text{ (m}^3\text{/s)} \quad (1.21)$$

$$\text{Ολική θεωρ. απορροφούμενη μηχανική ισχύς : } P_{th} = \dot{W} = \dot{m} w \text{ (kW)} \quad (1.22)$$

$$\text{Λόγος συμπίεσης : } \tau = P_c / P_e \quad (1.23)$$

Ενδεικνυόμενος βαθμός απόδοσης ( $n_i \approx n_v$ ) :

$$\text{Τύπος Lorenzen : } n_i = n_v = 1 - 0.05 \tau \quad (1.24)$$

$$\text{Ολικός βαθμός απόδοσης : } n_{tot} = n_i n_m = P_{th} / P_{real} \quad (1.25)$$

$$\text{Πραγματικά απορροφούμενη ισχύς : } P_{real} = P_{th} / n_{tot} \quad (1.26)$$

$$\text{Θεωρητικός συντελεστής ψύξης : } COP_\Psi^{th} = \dot{Q}_\Psi / P_{th} \quad (1.27)$$

$$\text{Θεωρητικός συντελεστής θέρμανσης : } COP_\Theta^{th} = \dot{Q}_\Theta / P_{th} \quad (1.28)$$

$$\text{Πραγματικός συντελεστής ψύξης : } COP_\Psi^{real} = \dot{Q}_\Psi / P_{real} \quad (1.29)$$

$$\text{Πραγματικός συντελεστής θέρμανσης : } COP_\Theta^{real} = \dot{Q}_\Theta / P_{real} \quad (1.30)$$

Διαιρώντας κατά μέλη τις εξ.(1.27) και εξ.(1.29) καθώς και τις εξ.(1.28) και εξ.(1.30), έχοντας ταυτόχρονα υπόψη και την εξ.(1.26), θα ισχύει :

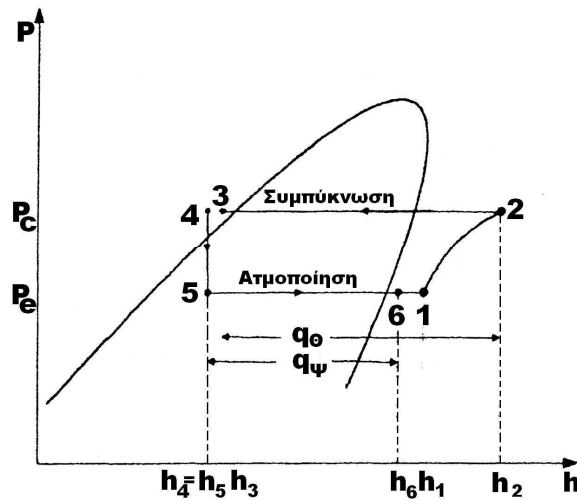
$$COP_\Psi^{real} = n_{tot} COP_\Psi^{th} \quad (1.31)$$

$$COP_\Theta^{real} = n_{tot} COP_\Theta^{th} \quad (1.32)$$

Στο Σχήμα 1.17 απεικονίζεται ο κύκλος που τείνει στην πραγματικότητα, παρουσία υπόψυξης (subcooling) του υγρού μέσα ή μετά το συμπυκνωτή και υπερθέρμανσης (superheat) του ατμού μέσα ή μετά τον εξατμιστή. Συνήθως, αυτό πραγματοποιείται με τη χρήση ενός εναλλάκτη, όπου κυκλοφορούν με αντιστροφή ο ψυχρός ατμός που εξέρχεται από τον εξατμιστή και το θερμό υγρό που εξέρχεται από το συμπιεστή. Στο κύκλωμα αυτό ισχύουν οι εξισώσεις που προαναφέρθηκαν, με διαφοροποίηση μόνο στις ποσότητες  $q_\Psi$  και  $q_\Theta$ , οι οποίες, ως λογικό επακόλουθο, διαφοροποιούν ανάλογα και τις ποσότητες  $\dot{Q}_\Psi$ ,  $\dot{Q}_\Theta$ , και οι οποίες έχουν ως εξής (σύμφωνα με το Σχήμα 1.17) (Λαμπρινός, 2006) :

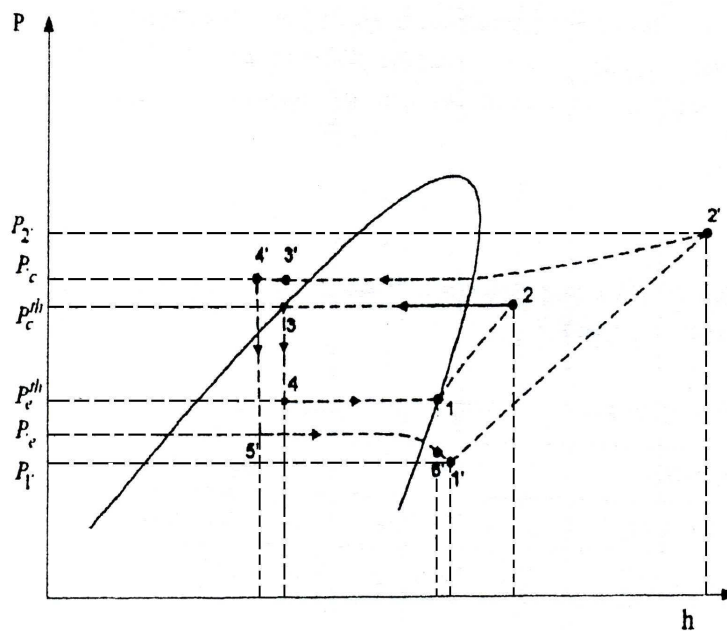
$$\text{Ειδική ψυκτική παραγωγή στον εξατμιστή} : q_{\Psi} = h_6 - h_5 \text{ (kJ/kg)} \quad (1.33)$$

$$\text{Ειδική θερμική παραγωγή στο συμπυκνωτή} : q_{\Theta} = h_2 - h_3 \text{ (kJ/kg)} \quad (1.34)$$



Σχήμα 1.17. Διάγραμμα P-h για τον υπολογισμό μιας όχι τόσο τέλει ψυκτικής μηχανής (Πηγή : Λαμπρινός, 2006).

Στην πραγματικότητα όμως, υπάρχουν κάποιοι παράγοντες οι οποίοι διαφοροποιούν το διάγραμμα στο Σχήμα 1.17 και με βάση αυτούς μπορούμε να χαράξουμε τελικά το διάγραμμα της πραγματικής ψυκτικής μηχανής (Σχήμα 1.18). Αυτοί συνίστανται στις ατέλειες που υπάρχουν στους εναλλάκτες, στην πτώση πίεσης του ψυκτικού ρευστού καθώς αυτό κυκλοφορεί μέσα στο κύκλωμα και στον τρόπο με τον οποίο λειτουργεί πραγματικά ο συμπιεστής και όχι θεωρητικά. Επίσης, θα πρέπει να τονιστεί ότι οι παράμετροι που επηρεάζουν άμεσα τη συμπεριφορά μιας ψυκτικής μηχανής είναι η θερμοκρασία εξατμισμού  $\theta_e$ , η θερμοκρασία συμπύκνωσης  $\theta_c$ , καθώς και η υπόψυξη-υπερθέρμανση του ψυκτικού ρευστού, όταν αυτό βρίσκεται αντίστοιχα στην υγρή-αέρια φάση του (Λαμπρινός, 2006).

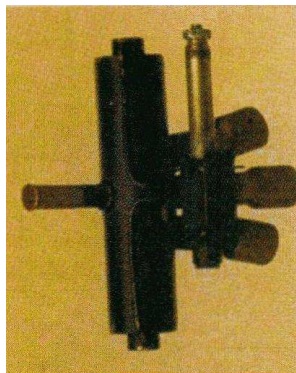


Σχήμα 1.18. Κύκλος της θεωρητικής ψυκτικής μηχανής (1-2-3-4) και κύκλος της πραγματικής ψυκτικής μηχανής (1'-2'-3'-4'-5'-6') (Πηγή : Λαμπρινός, 2006).

### 1.5.3 Η Αντλία Θερμότητας (ΑΘ) και ο τρόπος λειτουργίας της

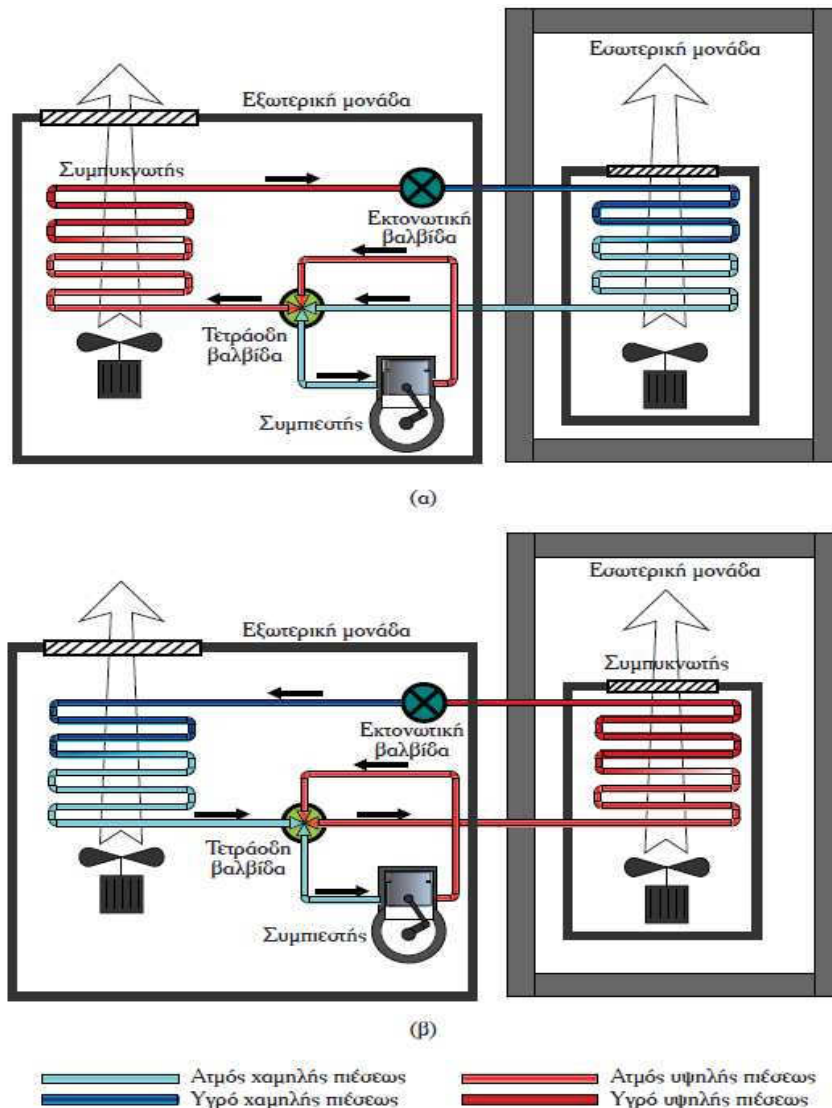
Ο όρος κλιματισμός (Air Conditioning, AC) χρησιμοποιείται συνήθως με περιορισμένη έννοια ώστε να εννοεί την ψύξη γενικώς. Όταν όμως γίνεται αναφορά σε έμβια όντα, είναι προτιμότερο να χρησιμοποιείται ο όρος δροσισμός αντί για ψύξη, αφήνοντας τον όρο αυτό να χρησιμοποιείται για την αποθήκευση και συντήρηση διάφορων προϊόντων (π.χ. τροφίμων, ποτών κ.τ.λ.). Με την ευρύτερη όμως έννοια, κλιματισμός σημαίνει προσαρμογή του αέρα ενός κλειστού χώρου στο επιθυμητό επίπεδο θέρμανσης, δροσισμού (ή ψύξης), ύγρανσης, αφύγρανσης, καθαρισμού και αρωματισμού, ενώ σκοπός ενός κλιματιστικού συστήματος είναι πρωτίστως η πλήρης θερμική άνεση (κάλυψη αναγκών σε θέρμανση-δροσισμό) των εμβίων όντων μέσα σε ένα χώρο. Τα γνωστά σε όλους με τον όρο ‘κλιματιστικά’, αποτελούν κλιματιστικά συστήματα τα οποία, όταν χρησιμοποιούνται για δροσισμό λειτουργούν σαν ψυκτικές μηχανές (ψυγεία), ενώ όταν καλούνται να καλύψουν τις ανάγκες σε θέρμανση, καταναλώνουν αποκλειστικά ηλεκτρική ενέργεια πάνω σε αντιστάσεις. Από την άλλη πλευρά, οι αντλίες θερμότητας αποτελούν ψυκτικές μηχανές οι οποίες, λειτουργώντας ως συστήματα κλιματισμού μπορούν να καλύψουν πρωτίστως τις ανάγκες για θέρμανση (αυτός άλλωστε είναι ο αντικειμενικός τους σκοπός) αλλά, με την προσθήκη ενός επιπλέον εξαρτήματος σε σχέση με τα απλά κλιματιστικά (που δουλεύουν μόνο ως ψυγεία), της βαλβίδας αντιστροφής ή τεσσάρων διευθύνσεων, μπορούν να καλύψουν και τις ανάγκες σε δροσισμό. Έτσι, για αυτά τα συστήματα κλιματισμού, έχει επικρατήσει ο όρος αντλία θερμότητας (ΑΘ) να χρησιμοποιείται για εκείνα τα συστήματα τα οποία καλύπτουν τις ανάγκες για θέρμανση και δροσισμό (ή μόνο για θέρμανση), ενώ με τον όρο κλιματιστικά να εννοούνται τα συστήματα που προσφέρουν μόνο δροσισμό. Μάλιστα, υπό έναν ευρύτερο ορισμό, τα κλιματιστικά και οι ΑΘ συχνά απαντώνται με τον όρο ‘μονάδες κλιματισμού’, ενώ οι εφαρμογές ψύξης και κλιματισμού, για συντομία, συχνά αναφέρονται ως RAC (Refrigeration & Air-Conditioning) (Sand et al., 1997 ; Johnson, 1999 ; Λαμπρινός & Οικονόμου, 2003 ; Cengel, 2005 ; Παπαγεωργίου, 2010).

Μια ΑΘ (η οποία, προς αποφυγή συγχύσεων, λειτουργεί πάντα σε ψυκτικό κύκλο) έχει λοιπόν τη δυνατότητα αφαίρεσης της θερμότητας και από τον εσωτερικό χώρο μιας κατασκευής (π.χ. ενός κτηρίου), αλλά και από τον εξωτερικό αέρα, καθώς και τη δυνατότητα απόδοσης αυτής της θερμότητας σε έναν εξωτερικό χώρο, αλλά και στον εσωτερικό χώρο της κατασκευής. Καταλυτικό ρόλο σε αυτή της τη δυνατότητα παίζει η βαλβίδα αντιστροφής ή βαλβίδα τεσσάρων διευθύνσεων (ή, αλλιώς, τετράοδη βαλβίδα), η οποία στην ουσία αποτελείται από τέσσερις θυρίδες και ένα ηλεκτρομαγνητικό πηνίο (Johnson, 1999 ; Βραχόπουλος, 2000) (Σχήμα 1.19).

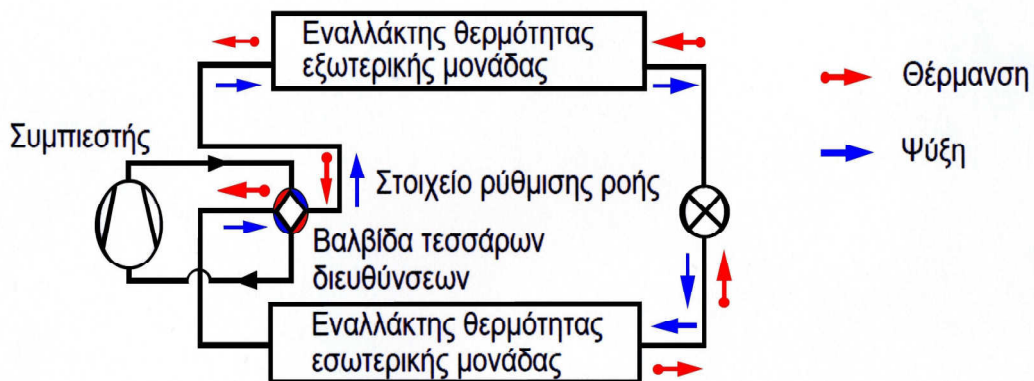


Σχήμα 1.19. Η βαλβίδα αντιστροφής ή τεσσάρων διευθύνσεων (Πηγή : Whitman et al., 2003).

Από τη στιγμή που θα επιλεγεί ένας από τους δύο κύκλους λειτουργίας, π.χ. του δροσισμού, μέσω του θερμοστάτη του συστήματος το ηλεκτρομαγνητικό πηνίο θα επιτρέψει την είσοδο και την έξοδο στο ψυκτικό ρευστό, σε εκείνο το ζεύγος των διόδων (μια διόδος αποτελείται από δύο θυρίδες) της βαλβίδας που θα το οδηγήσουν από τον εσωτερικό εναλλάκτη, που παίζει το ρόλο του εξατμιστή (εβρισκόμενο στη φάση των ατμών του) στην αναρρόφηση του συμπιεστή και από την κατάθλιψη του συμπιεστή στον εξωτερικό εναλλάκτη, που παίζει το ρόλο του συμπυκνωτή. Από εκεί, το ρευστό (εβρισκόμενο πλέον στην υγρή του φάση) θα οδηγηθεί στην εκτονωτική βαλβίδα και ο κύκλος θα ξαναρχίσει από την αρχή (Σχήμα 1.20(α)). Αν επιλεγεί ο κύκλος θέρμανσης, τότε το ψυκτικό ρευστό περνάει μέσω του άλλου ζεύγους διόδων της βαλβίδας, αλλάζοντας του έτσι κατά  $180^\circ$  (αντιδιαμετρικά) την κατεύθυνση κατά την οποία ρέει μέσα στο σύστημα. Πλέον, ο εσωτερικός εναλλάκτης παίζει το ρόλο του συμπυκνωτή και ο εξωτερικός αυτόν του εξατμιστή (Σχήμα 1.20(β)). Αναλόγως φιλοσοφίας του κατασκευαστή, το ηλεκτρομαγνητικό πηνίο μπορεί να ενεργοποιείται είτε κατά τη διάρκεια του κύκλου δροσισμού, είτε κατά τη διάρκεια του κύκλου θέρμανσης (Johnson, 1999). Η λειτουργία μιας ΑΘ απεικονίζεται συνολικά (δροσισμός και θέρμανση), αλλά και πιο απλοποιημένα, στο Σχήμα 1.21.



Σχήμα 1.20. Η αντλία θερμότητας (ΑΘ) : (α) λειτουργία δροσισμού και (β) λειτουργία θέρμανσης (Πηγή : Κανακάκης, 2011).



Σχήμα 1.21. Συνολική απεικόνιση του τρόπου λειτουργίας μιας ΑΘ (Πηγή : Inventor, 2010).

Από το Σχήμα 1.20 παρατηρείται ότι η απομάκρυνση του ψυχρού και του θερμού αέρα γίνεται με τη βοήθεια ανεμιστήρων με εξαναγκασμένη συναγωγή. Ο συνδυασμός ανεμιστήρα και εναλλάκτη (ο οποίος απαντάται και ως ‘στοιχείο’) είναι γνωστός με την ονομασία fan coil (TOTEE, 2010a). Επίσης, η ΑΘ εκτός από τον κύκλο ψύξης και τον κύκλο θέρμανσης περιλαμβάνει και τον κύκλο απόψυξης (αποπάγωσης). Κατά τη διάρκεια αυτού του κύκλου, ο οποίος λαμβάνει χώρα σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες (κάτω των  $0^{\circ}\text{C}$ ) του εξωτερικού περιβάλλοντος (κύκλος θέρμανσης), η μονάδα αρχίζει και λειτουργεί σε κύκλο αποπάγωσης. Για να διατηρηθεί η θερμοκρασία του αέρα μέσα στον κλιματιζόμενο χώρο κατά τη διάρκεια του κύκλου αποπάγωσης, τίθεται σε λειτουργία η βοηθητική θέρμανση. Όταν ολοκληρωθεί ο κύκλος αποπάγωσης, τότε η ΑΘ επανέρχεται στη θέρμανση (Johnson, 1999) (Σημείωση : η ΑΘ του Σχήματος 1.20 που χρησιμοποιείται για την εξήγηση του τρόπου λειτουργίας ανήκει στις ΑΘ αέρα-αέρα).

### 1.5.3.1 Οι πηγές άντλησης και αποβολής θερμότητας των ΑΘ

Υπάρχουν αρκετές πηγές θερμότητας από τις οποίες οι ΑΘ μπορούν να αντλήσουν τον χειμώνα (ή και να αποβάλλουν το θέρος) θερμότητα. Οι σημαντικότερες είναι οι κάτωθι (Βραχόπουλος, 2000) :

Ο αέρας : Το πλεονέκτημα της πηγής αυτής είναι ότι βρίσκεται σε αφθονία στη φύση. Παρουσιάζει όμως πρόβλημα όταν η εξωτερική θερμοκρασία το χειμώνα είναι πολύ χαμηλή γιατί η ΑΘ δεν έχει τη δυνατότητα να αντλήσει θερμότητα από τον αέρα. Στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιείται εφεδρικό συμβατικό σύστημα για την κάλυψη των φορτίων αιχμής. Το εφεδρικό σύστημα μπορεί να είναι λέβητας πετρελαίου ή αερίου, νυχτερινή ή ημερήσια ηλεκτρική ενέργεια κ.λ.π. Σημαντικό πρόβλημα είναι το ‘πάγωμα’ του ατμοποιητή, όταν η θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα είναι μικρότερη από  $0^{\circ}\text{C}$ , οπότε και επέρχεται στερεοποίηση της υγρασίας του ατμοσφαιρικού αέρα. Όσο αυξάνει η ποσότητα του δημιουργούμενου πάγου, τόσο μειώνεται η παροχή του αέρα που διέρχεται από τον ατμοποιητή. Αρχικά το πρόβλημα αυτό λύθηκε με ηλεκτρικές αντιστάσεις με τις οποίες έλιωνε ο πάγος. Σήμερα όμως η πιο γνωστή μέθοδος είναι ο, ήδη προαναφερόμενος, κύκλος αποπάγωσης.

Το νερό : Λόγω του υψηλού κόστους χρήσης νερού από το δημόσιο δίκτυο, σε ανοικτά κυκλώματα συχνά προτιμάται νερό από ιδιωτικές αντλήσεις. Προκύπτουν βέβαια επιπλέον δαπάνες λειτουργίας, όπως είναι η συντήρηση των αντλιών φρεάτων, οι αποχετεύσεις του απορριπτόμενου νερού κ.λ.π. Είναι δυνατή επίσης η

χρησιμοποίηση νερού λίμνης, ποταμού ή ακόμα και θάλασσας (εφαρμόζεται εδώ και χρόνια σε παραθαλάσσια ξενοδοχεία). Στην τελευταία περίπτωση, πρέπει να μελετηθεί με ιδιαίτερη προσοχή ο τρόπος της υδροληψίας, γιατί αφενός μεν οι θαλάσσιοι οργανισμοί κλείνουν συχνά τις εισόδους των σωλήνων, αφετέρου δε η αναρρόφηση της άμμου μαζί με το νερό προκαλεί προβλήματα φθοράς στις αντλίες και στους εναλλάκτες του συστήματος. Μια μέθοδος χρήσης της θαλάσσιας θερμότητας για αποφυγή των προβλημάτων από το βαρύ θαλάσσιο νερό, είναι η χρησιμοποίηση ενδιάμεσου κλειστού κυκλώματος νερού σε θαλάσσιο εναλλάκτη θερμότητας. Ο εναλλάκτης αυτός μπορεί να είναι πλαστικός σωλήνας, ο οποίος τοποθετείται εντός της θάλασσας και εναλλάσσει θερμότητα με το θαλάσσιο νερό.

Το έδαφος (Γεωθερμικές Αντλίες Θερμότητας, ΓΑΘ) : Η πηγή αυτή παρουσιάζει δύο βασικά προβλήματα : α) τη συντήρηση του συστήματος και την αντιμετώπιση της διάβρωσης και των διαρροών του γεωεναλλάκτη και β) την απαιτούμενη μεγάλη έκταση για την παραλαβή και απόρριψη της θερμότητας στο έδαφος. Τα τελευταία χρόνια οι ερευνητές προσπαθούν να αξιοποιήσουν τη μεγάλη θερμοχωρητικότητα που παρουσιάζει το έδαφος και γενικότερα ο χώρος του υπεδάφους, ο οποίος λειτουργεί παράλληλα και σαν φυσικός αποθηκευτικός χώρος θερμικής ενέργειας (κυρίως ηλιογενούς προέλευσης) και φυσικά αυτό δύναται να δημιουργήσει σημαντική βελτίωση του COP μιας αντλίας θερμότητας. Σε συνδυασμό με την ανάγκη για μείωση των ενεργειακών καταναλώσεων, τη μείωση της ρύπανσης του περιβάλλοντος και την παράλληλη εξέλιξη της τεχνολογίας για την αντιμετώπιση των διαβρώσεων και της έκτασης των συστημάτων, εφαρμόζονται παγκοσμίως μέθοδοι εκμετάλλευσης της γεωθερμικής ενέργειας τόσο για τη θέρμανση κτηρίων, όσο και του υπόγειου χώρου για την αποθήκευση θερμότητας από τα κτίρια την περίοδο του θέρους.

Ο Ήλιος : Είναι δυνατή η εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας σε συνδυασμό με αντλίες θερμότητας, με σκοπό τη θέρμανση και δροσισμό/ψύξη κτηρίων. Σε αυτές τις περιπτώσεις χρησιμοποιούνται κυρίως ψυκτικές μηχανές απορρόφησης, οι οποίες χρησιμοποιούν το θερμικό περιεχόμενο της παραπάνω πηγής για την παραγωγή ψύχους ή θέρμανσης (τρίθερμες αντλίες θερμότητας). Τα συστήματα αυτά είναι ευρύτατα διαδεδομένα, κυρίως σε μεγάλες κεντρικές εγκαταστάσεις (εφαρμογές βιομηχανικής ψύξης και κλιματιστικά μηχανήματα τελευταίας γενιάς), ειδικά μετά τα σοβαρότατα περιβαλλοντικά προβλήματα που έχουν δημιουργηθεί από την υπέρμετρη ανάγκη ενέργειας και την αλόγιστη χρήση των συμβατικών και ρυπογόνων καυσίμων τις τελευταίες δεκαετίες, αλλά και σε απομονωμένες περιοχές ανά την υφήλιο, όπου η πρόσβαση στο κοντινότερο δίκτυο παροχής ηλεκτρικής ενέργειας δεν είναι δυνατή.

### **1.5.3.2 Κατηγορίες ΑΘ**

Η κατηγοριοποίηση των ΑΘ γίνεται με βάση τα ακόλουθα στοιχεία (Βραχόπουλος, 2000) :

Ι. Ανάλογα με το μέσο από όπου αντλείται η θερμότητα και το μέσο όπου αυτή αποβάλλεται. Στην κατηγορία αυτή έχουμε τα εξής ζεύγη μέσων :

- Αέρα - Αέρα (Α-Α) (Σχήμα 1.20),
- Αέρα - Νερού (Α-Ν),
- Νερού - Νερού (Ν-Ν),
- Νερού - Αέρα (Ν-Α),
- Εδάφους - Αέρα (Ε-Α) (ΓΑΘ) και
- Εδάφους - Νερού (Ε-Ν) (ΓΑΘ).



- II. Ανάλογα με το είδος της κινητήριας μηχανής διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες :
- ΑΘ με ηλεκτροκίνητους συμπιεστές (δίθερμες ΑΘ),
  - ΑΘ με συμπιεστές κινούμενους από μηχανές εσωτερικής κάυσης (ΜΕΚ) (δίθερμες ΑΘ) και
  - ΑΘ των οποίων η λειτουργία βασίζεται σε τρίτη θερμική πηγή υψηλής θερμοκρασίας, μεγαλύτερης της  $T_0$  (τρίθερμες ΑΘ).
- III. Ανάλογα με τη θέση των διαφόρων μηχανισμών της ΑΘ διακρίνονται σε δύο κατηγορίες :
- Ενιαίες ή αυτόνομες (Compact), όπου όλοι οι μηχανισμοί βρίσκονται, συνήθως εκπαραθυρωμένοι, σε κοινό κέλυφος και
  - Διαιρούμενες ή διμερούς τύπου (Split Units), όπου ο ένας από τους εναλλάκτες είναι ανεξάρτητος του υπόλοιπου συστήματος. Συνήθως αυτός, στις μηχανές συμπίεσης ατμών, είναι ο εσωτερικός (εσωτερική μονάδα), αφού στην προσπάθεια της μείωσης του θορύβου του συμπιεστή, αυτός μαζί με τον εξωτερικό εναλλάκτη τοποθετούνται στον εξωτερικό χώρο (εξωτερική μονάδα) (Σχήμα 1.20).

### **1.5.3.3 Εφαρμογές ΑΘ σε αγροτικές χρήσεις**

Στον αγροτικό τομέα η χρήση αντλιών θερμότητας έχει αποδειχθεί μια πρόσφορη λύση, λόγω του χαμηλού ενεργειακού κόστους. Μερικές ενδεικτικές τους εφαρμογές έχουν ως ακολούθως (Παπαγεωργίου, 2010) :

**1. Θέρμανση/ψύξη θερμοκηπίων :** Σε ορισμένες θερμοκηπιακές εγκαταστάσεις έχει διαπιστωθεί πως με τη χρήση ΑΘ το κόστος θέρμανσης μπορεί να μειωθεί έως και 50% (ειδικά με τη χρήση ΓΑΘ). Αυτό οφείλεται στο σχετικά υψηλό COP, ο οποίος μαζί με το χαμηλό κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας που δίνεται για αγροτικές χρήσεις, αποτελεί έναν οικονομικότατο συνδυασμό.

**2. Διάφορες καλλιέργειες, όπως π.χ. καλλιέργεια μανιταριών :** Στη συγκεκριμένη εφαρμογή, η χρήση μιας αντλίας θερμότητας μπορεί να αποβεί ιδιαίτερα αποδοτική υποβοηθώντας ένα σύστημα θέρμανσης/ψύξης συμβατικού τύπου.

**3. Ιχθυοκαλλιέργειες :** Ως γνωστό, πολλά είδη υδρόβιων οργανισμών όπως χέλια, γαρίδες και φύκια, αναπτύσσονται γρηγορότερα σε αυξημένες θερμοκρασίες. Η χρήση μιας ΑΘ σε αυτές τις περιπτώσεις συμβάλλει στη μείωση του κόστους, αφού αποφεύγονται μεγάλες δαπάνες θερμότητας, εάν αντί αυτής χρησιμοποιούνταν ορυκτά καύσιμα.

**4. Ξήρανση αγροτικών προϊόντων :** Οι αντλίες θερμότητας μπορούν να θερμάνουν αέρα σε θερμοκρασίες κατάλληλες για την ξήρανση σειράς προϊόντων όπως είναι η σόγια, το ρύζι, η ξυλεία, τα λαχανικά και διάφοροι καρποί.

**5. Κτηνοτροφικές μονάδες :** Μερικές κτηνοτροφικές μονάδες στις οποίες μπορούν να αξιοποιηθούν αποτελεσματικά οι αντλίες θερμότητας είναι τα χοιροστάσια και τα πτηνοτροφεία πάχυνσης.

#### 1.5.4 Ψυκτικά Ρευστά

Τα ψυκτικά ρευστά, που ονομάζονται και 'εργαζόμενα ρευστά', αποτελούν τον υλικό φορέα που παραλαμβάνει τη θερμότητα από θέσεις με χαμηλότερη θερμοκρασία και τη μεταφέρει σε θέσεις με υψηλότερη θερμοκρασία, για να την απορρίψει (ψυγείο) ή να την αποδώσει (αντλία θερμότητας) (Λαμπρινός, 1990). Πρόκειται δηλαδή για ουσίες οι οποίες όταν βρίσκονται στην υγρή τους φάση, παρουσιάζουν θερμοκρασία ατμοποίησης χαμηλότερη από αυτή του περιβάλλοντος υπό κανονικές συνθήκες πίεσης, ενώ οι υπόλοιπες τους ιδιότητες είναι τέτοιες, ώστε να μπορεί να καταστεί δυνατή η εκμετάλλευση αυτής τους της ιδιότητας για την παραγωγή ψύξης (Βραχόπουλος, 2000).

Η ιστορική εξέλιξη των ψυκτικών ρευστών περιλαμβάνει τέσσερις γενιές, βάσει του καθορισμού των κριτηρίων επιλογής τους (Σχήμα 1.22), οι οποίες είναι (UNEP, 2011) :

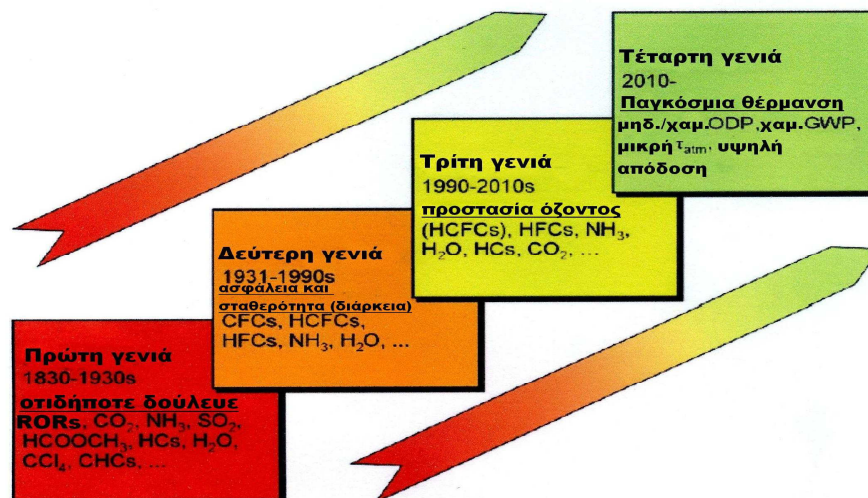
Πρώτη γενιά (δεκαετία 1830 με τέλη δεκαετίας 1930) : Οι πρώτες μηχανές σχεδιασμένες από τους Perkins (1834), Harrison (1856), Carrier (1857) και Tellier (1863) χρησιμοποιούσαν διάφορους αιθέρες, ουσίες που δεν ήταν ούτε ασφαλείς, αλλά και ούτε ιδιαίτερα κατάλληλες για τις εφαρμογές αυτές. Περισσότερο κατάλληλα ρευστά (όπως π.χ. CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>) άρχισαν να χρησιμοποιούνται τη δεκαετία του 1870 και του 1880, μέχρι να κάνουν την εμφάνισή τους οι συνθετικοί αλογονάνθρακες (Λαμπρινός, 2006 ; Λεβέντη, 2008). Αυτά τα πρώτα χρόνια ανάπτυξης η τεχνολογία υποχρεώθηκε να χρησιμοποιήσει αυτές τις ουσίες, διότι δεν υπήρχαν άλλες καλύτερες. Κοινώς, χρησιμοποιούνταν 'ό,τι δούλευε'. Μόνο η αμμωνία ήταν η ουσία που χρησιμοποιήθηκε τόσο νωρίς και συνεχίζει να χρησιμοποιείται σε αρκετές εφαρμογές ακόμη και σήμερα (Βραχόπουλος, 2000).

Δεύτερη γενιά (αρχές δεκαετίας 1930 με αρχές δεκαετίας 1990) : Οι πρώτοι συνθετικοί 'κορεσμένοι' αλογονάνθρακες, οι οποίοι περιείχαν στο μόριό τους άτομα χλωρίου και φθορίου και ήταν πλήρως ή μερικώς αλογονομένοι (CFCs, HCFCs), κατασκευάστηκαν βιομηχανικά και χρησιμοποιήθηκαν στις Η.Π.Α στις αρχές τις δεκαετίας του 1930. Από τότε και μέχρι τις αρχές τις δεκαετίας του 1990 χρησιμοποιήθηκαν ευρύτατα, κυρίως λόγω των θερμοδυναμικών τους ιδιοτήτων, αλλά και επειδή ήταν πιο ασφαλή από τα μέχρι τότε χρησιμοποιούμενα ψυκτικά ρευστά. Όμως, το 1974 οι Rowland και Molina ανακάλυψαν την καταστρεπτική επίδραση στη στιβάδα του όζοντος λόγω των ατόμων χλωρίου που περιείχαν στη σύνθεσή τους, γεγονός που οδήγησε στο Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ το 1987 και τις αναθεωρήσεις του, με αποτέλεσμα τη σταδιακή κατάργηση, σε πρώτη φάση, των CFCs μέχρι τα μέσα της δεκαετίας του 1990 (Βραχόπουλος, 2000 ; Λεβέντη, 2008).

Τρίτη γενιά (αρχές δεκαετίας 1990 με αρχές δεκαετίας 2010) : Κατά την περίοδο αυτή και ενώ οι μερικώς αλογονομένοι (με άτομα χλωρίου στο μόριό τους) συνθετικοί κορεσμένοι αλογονάνθρακες βρίσκονταν στη φάση της σταδιακής κατάργησής τους, προκειμένου να προστατευθεί το όζον της στρατόσφαιρας, μερικώς αλογονομένοι συνθετικοί κορεσμένοι υδρογονάνθρακες έκαναν την εμφάνισή τους, οι οποίοι στο μόριό τους δεν είχαν άτομα χλωρίου (HFCs). Όμως, όπως και όλοι οι αλογονομένοι κορεσμένοι υδρογονάνθρακες που περιέχουν φθόριο, οι ουσίες αυτές αποτελούν ισχυρά αέρια του θερμοκηπίου και σύμφωνα με το Πρωτόκολλο του Κιότο βρίσκονται πλέον όλες τους υπό επιτήρηση (Λεβέντη, 2008). Σαν εναλλακτικές λύσεις χρησιμοποιούνται, εκτός από την πάντοτε παρούσα αμμωνία, κάποιοι υδρογονάνθρακες, το CO<sub>2</sub> και το νερό.

Τέταρτη γενιά (αρχές δεκαετίας 2010-?) : Στη σημερινή εποχή, η επικρατούσα τάση προτάσσει τη χρήση φυσικών ρευστών και την κατασκευή ουσιών οι οποίες να συμβάλουν πρωτίστως, κατά το ελάχιστο που μπορούν, στην περαιτέρω ενίσχυση

του Φαινομένου του Θερμοκηπίου και την επακόλουθη υπερθέρμανση του πλανήτη, ενώ θεωρείται δεδομένη η μη συμμετοχή τους στην ελάττωση των συγκεντρώσεων του όζοντος στη στρατόσφαιρα (μηδενικό ή αμελητέο ODP, χαμηλό GWP). Προκειμένου να επιτευχθούν αυτά είναι επιθυμητή η μικρή ατμοσφαιρική διάρκεια ζωής τους, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι, παρόλες αυτές τις απαιτήσεις, οι ουσίες αυτές δε θα υστερούν όσον αφορά την ενεργειακή τους αποδοτικότητα. Έτσι, έχουν κατασκευαστεί και δοκιμάζονται ουσίες όπως συνθετικοί 'ακόρεστοι' μερικός αλογονομένοι (με φθόριο) υδρογονάνθρακες (HFOs), κορεσμένοι πλήρως αλογονομένοι υδρογονάνθρακες με φθόριο και ιώδιο (FICs), ενώ έχουν κάνει την επανεμφάνισή τους και οι υδρογονάνθρακες. Όπως είναι φυσικό, η χρήση φυσικών ψυκτικών ρευστών όπως της αμμωνίας, του CO<sub>2</sub>, των υδρογονανθράκων και του νερού αποτελεί πρώτη προτεραιότητα.



Σχήμα 1.22. Η ιστορική εξέλιξη των ψυκτικών ρευστών (Πηγή : Calm, 2008).

#### 1.5.4.1 Κατηγορίες Ψυκτικών Ρευστών

Οι ψυκτικές μηχανές συμπίεσης ατμών διαφοροποιούνται, ανάλογα με τον τρόπο που παράγουν ψύξη, σε συστήματα άμεσης και έμμεσης ψύξης. Στα άμεσης ψύξης, ο εξατμιστής ψύχει τον αέρα που κυκλοφορεί στο εσωτερικό του προς δροσισμό (ή ψύξη) χώρου ή τον αέρα του εξωτερικού περιβάλλοντος (όταν έχουμε μια αντλία θερμότητας). Σε κάθε περίπτωση, το ψυκτικό ρευστό ατμοποιείται στον εξατμιστή απορροφώντας άμεσα λανθάνουσα θερμότητα από τον αέρα που τον περιβάλλει (ψύχοντάς τον), ενώ μέσα στις σωληνώσεις της εγκατάστασης ρέει αποκλειστικά ψυκτικό ρευστό και η ψυκτική ή θερμική ισχύς απορρίπτεται ή αποδίδεται στο εξωτερικό περιβάλλον ή στον προς θέρμανση χώρο (πάλι με τη μορφή λανθάνουσας θερμότητας), επίσης άμεσα, μέσω του συμπυκνωτή, θερμαίνοντας έτσι τον αέρα που τον περιβάλλει, αναλόγως την περίπτωση. Το πλεονέκτημα αυτών των συστημάτων είναι η απλή κατασκευή και η καλύτερη απόδοση, ενώ μειονέκτημά τους είναι ότι όταν έχουν σωληνώσεις μεγάλης έκτασης αυξάνεται η πιθανότητα εμφάνισης διαρροών ψυκτικού ρευστού. Στην περίπτωση που αυτό παρουσιάζει και υψηλότερα επίπεδα τοξικότητας, με χαρακτηριστικότερο παράδειγμα την αμμωνία, τότε για την αποφυγή ύπαρξης μεγάλης έκτασης σωληνώσεων η εγκατάσταση μπορεί να είναι έμμεσης ψύξης. Σε αυτού του είδους τα συστήματα, υπάρχει ένα δεύτερο ψυκτικό ρευστό το οποίο ψύχεται ή θερμαίνεται στον εξατμιστή ή τον συμπυκνωτή (ανάλογα με την κάθε περίπτωση) του πρώτου ψυκτικού ρευστού (αμμωνία) με μεταβολή της θερμοκρασίας του και όχι της φάσης

του (αισθητή θερμότητα). Τα συστήματα αυτά παρουσιάζουν αυξημένο κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας (π.χ. στο κύκλωμα που ρέει το δευτερεύον πρέπει να εγκατασταθεί μια αντλία που να το κυκλοφορεί) και γι' αυτό δεν είναι τόσο δημοφιλής όσο τα άμεσης ψύξης. Έτσι, η συναλλαγή θερμότητας μεταξύ του πρώτου ρευστού και του εκάστοτε χώρου που το περιβάλλει γίνεται έμμεσα. Τα ψυκτικά ρευστά που χρησιμοποιούνται στις μηχανές άμεσης ψύξης ή έχουν τον κύριο ρόλο στις μηχανές έμμεσης ψύξης ονομάζονται πρωτεύοντα, ενώ τα ψυκτικά ρευστά που παίζουν δεύτερο ρόλο στις μηχανές έμμεσης ψύξης ονομάζονται δευτερεύοντα. Στα πρωτεύοντα ανήκουν κυρίως οι συνθετικοί αλογονάνθρακες και η αμμωνία, ενώ στα δευτερεύοντα, που ονομάζονται και ψυκτικά διαλύματα, ανήκουν οι άλμες και οι γλυκόλες, οι οποίες στην ουσία αποτελούν διαλύματα νερού με άλατα ή οργανικές ενώσεις αντίστοιχα. Η διάλυση του άλατος ή της οργανικής ένωσης στο νερό είναι απαραίτητη για τη μείωση της πήξης του νερού (Βραχόπουλος, 2000 ; Κανακάκης, 2011).

Τα πρωτεύοντα ψυκτικά ρευστά πολλές φορές συναντώνται με το όνομα Freon, παρόλο που η ονομασία αυτή παραπέμπει στα προϊόντα παρασκευής μιας συγκεκριμένης εταιρείας. Χαρακτηρίζονται από το λατινικό γράμμα R (Refrigerant) και έναν αριθμό ο οποίος αποτελεί μια κωδικοποίηση της χημικής τους σύστασης, ενώ μπορεί να συνοδεύονται και από ένα λατινικό μικρό γράμμα (a, b, c κ.τ.λ.), το οποίο δηλώνει ενώσεις με τον ίδιο μοριακό τύπο αλλά με διαφορετική διάταξη των ατόμων τους στο χώρο, δηλαδή ισομερείς, γεγονός που τους προσδίδει διαφορετικές φυσικοχημικές ιδιότητες. Από τη στιγμή που τα ψυκτικά ρευστά σε θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι αέρια, η μεταφορά και αποθήκευσή τους γίνεται υπό πίεση μέσα σε δοχεία σε υγρή μορφή. Για τη διάκριση των δοχείων, αυτά έχουν ένα συγκεκριμένο χρώμα-κωδικό που φανερώνει την ταυτότητα του ψυκτικού που περιέχουν (Λαμπρινός, 1990 ; Κανακάκης, 2011). Ανάλογα με τον τρόπο που έχουν παραχθεί, τα (πρωτεύοντα) ψυκτικά ρευστά διακρίνονται σε :

1. Συνθετικούς αλογονομένους υδρογονάνθρακες (συνθετικοί αλογονάνθρακες, halocarbons) : Πρόκειται για ουσίες παρασκευασμένες τεχνητά, οι οποίες προέρχονται είτε από τους κορεσμένους υδρογονάνθρακες (Saturated HCs) ή, αλλιώς, παραφίνες ή αλκάνια (paraffins, alkanes), στους οποίους τα άτομα υδρογόνου έχουν αντικατασταθεί πλήρως ή μερικώς από άτομα φθορίου ή/και χλωρίου (οι γνωστοί CFCs, HCFCs, HFCs), είτε από ακόρεστους υδρογονάνθρακες (Unsaturated HCs) και συγκεκριμένα από τις ολεφίνες ή αλκένια (olefins, alkenes), στους οποίους τα άτομα υδρογόνου αντικαθίστανται μερικώς από άτομα φθορίου. Οι τελευταίες ονομάζονται υδρογονοφθοροολεφίνες (HydroFluoroOlefins, HFOs) και είναι κι αυτές HFCs, μόνο που στο μόριό τους μεταξύ δύο εκ των ατόμων άνθρακα που περιέχουν, υπάρχει ένας διπλός δεσμός (Unsaturated HFCs). Οι παραφίνες που χρησιμοποιούνται συνήθως είναι το μεθάνιο ( $\text{CH}_4$ ) και το αιθάνιο ( $\text{C}_2\text{H}_6$ ), ενώ από τις ολεφίνες χρησιμοποιείται κυρίως το προπυλένιο ( $\text{C}_3\text{H}_6$ ) (Λαμπρινός, 1990 ; Κανακάκης, 2011 ; UNEP, 2011). Τελευταία, μια ομάδα ενώσεων που προέρχονται από τις παραφίνες, όπως το μεθάνιο, το αιθάνιο και το προπάνιο ( $\text{C}_3\text{H}_8$ ) με πλήρη αντικατάσταση των ατόμων υδρογόνου με ένα άτομο ιωδίου και τα υπόλοιπα από άτομα φθορίου, αναφέρεται ότι ικανοποιεί τις επιθυμητές εκείνες ιδιότητες που προστάζει η τέταρτη γενιά ψυκτικών ρευστών και οι οποίες ονομάζονται φθοροϊωδοάνθρακες (FluoroIodoCarbons, FICs) (Venkatarathnam & Murthy, 2012). Οι πιο γνωστοί συνθετικοί αλογονάνθρακες είναι : από τους CFCs τα R11, R12 και R114, από τους HCFCs το R22 και το R123, από τους HFCs τα R134a, R143a, R32 και R125, ενώ από τις HFOs τα R1234yf, R1234ze(E), R1234ze(Z) καθώς και κάποια ισομερή του R1225 (Λαμπρινός, 1990 ; Βραχόπουλος, 2000 ; Brown et al., 2010 ; Κανακάκης, 2011).

2. Φυσικά ψυκτικά ρευστά (Natural refrigerants) : Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν ανόργανες και οργανικές ενώσεις, οι οποίες συμμετέχουν στους κύκλους κάποιων ουσιών που παρουσιάζονται στη φύση, ακόμα και χωρίς την ανθρώπινη παρέμβαση. Στις ανόργανες ενώσεις ανήκει η αμμωνία (R717), το CO<sub>2</sub> (R744) και το νερό (R718), ενώ στις οργανικές υδρογονάνθρακες όπως το προπάνιο (R290), το βουτάνιο (R600) και το ισοβουτάνιο (R600a). Πιστεύεται ότι τα φυσικά ψυκτικά ρευστά θα διαδραματίσουν στο μέλλον σημαντικό ρόλο σε πολλές εφαρμογές (Βραχόπουλος, 2000 ; UNEP, 2010 ; Κανακάκης, 2011 ; Ανώνυμος, 2012ψ).

3. Μείγματα ψυκτικών ρευστών (Refrigerant blends) : Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να γίνουν κατανοητοί οι ακόλουθοι ορισμοί (Λεβέντη, 2008) :

*Μείγματα (blends)* : πρόκειται για ψυκτικά ρευστά που προκύπτουν από το συνδυασμό, την ανάμειξη (mixture) δύο ή περισσότερων ψυκτικών ρευστών που συχνά χρησιμοποιούνται ξεχωριστά σε άλλες εφαρμογές.

*Αζεοτροπικά μείγματα (Azeotropic blends)* : μείγματα των οποίων η ογκομετρική σύσταση ή η θερμοκρασία κορεσμού, κατά την εξάτμιση ή τη συμπύκνωση υπό σταθερή πίεση, δεν μεταβάλλονται όταν χρησιμοποιούνται σε ψυκτικούς κύκλους.

*Ζεοτροπικά μείγματα (Zeotropic blends)* : μείγματα των οποίων η ογκομετρική σύσταση ή η θερμοκρασία κορεσμού μεταβάλλεται αρκετά κατά την εξάτμιση ή τη συμπύκνωση σε σταθερή πίεση, όταν χρησιμοποιούνται σε ψυκτικούς κύκλους.

*Ολίσθηση θερμοκρασίας (Temperature glide)* : είναι η διαφορά μεταξύ της τιμής της θερμοκρασίας έναρξης και λήξης μιας διαδικασίας εξάτμισης ή συμπύκνωσης ενός ζεοτροπικού μείγματος σε σταθερή πίεση, εξαιρώντας τις διαδικασίες υπερθέρμανσης και υπόψυξης σε θερμοκρασία μικρότερη των 0°C.

*Σχεδόν Αζεοτροπικά μείγματα (Nearly Azeotropic blends)* : Ένα ζεοτροπικό μείγμα που παρουσιάζει μικρή ολίσθηση θερμοκρασίας και μικρή αλλαγή στη σύσταση κατά την εφαρμογή, οπότε η συμπεριφορά του προσεγγίζει αυτή ενός αζεοτροπικού μείγματος.

*Τμηματοποίηση ή κλασματοποίηση (fractionation)* : μια αλλαγή στη σύσταση ενός μείγματος μέσω της επιθυμητής εξάτμισης των περισσότερο πτητικών συστατικών ή μέσω της συμπύεσης των λιγότερο πτητικών συστατικών.

Τα ψυκτικά μείγματα έχουν δημιουργηθεί με κύριο σκοπό τους να παρέχουν ένα σύνολο ιδιοτήτων που να προέρχεται από το συνδυασμό των επιθυμητών ιδιοτήτων των συστατικών που τα αποτελούν, ώστε να μπορέσουν να αντικαταστήσουν ψυκτικά ρευστά που τελούν υπό σταδιακή κατάργηση ή έχουν καταργηθεί ήδη, καθώς και ψυκτικά ρευστά που δεν έχουν τις επιθυμητές ιδιότητες για την εκάστοτε εφαρμογή (Λεβέντη, 2008 ; UNEP, 2010). Τα περισσότερα εμπορικά διαθέσιμα μείγματα αποτελούνται από δύο έως πέντε συστατικά. Αυτά μπορεί να είναι HCFCs, HFCs (και HFOs) ή/και HCs και PFCs, ενώ και οι FICs μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Τα αζεοτροπικά μείγματα αρχίζουν από 5 (R5xx) με πιο γνωστά τα R500, R502 και R503, ενώ τα ζεοτροπικά αρχίζουν από 4 (R4xx) με πιο γνωστά τα R404A και R407C, ενώ το πιο γνωστό σχεδόν αζεοτροπικό σήμερα είναι το R410A, του οποίου η θερμοκρασία ολίσθησης είναι μηδαμινή (Λεβέντη, 2008 ; UNEP, 2010 ; Yamada et al., 2010 ; Fujitaka et al., 2010 ; Venkatarathnam & Murthy, 2012).

#### **1.5.4.2 GWP και Ψυκτικά Ρευστά**

Όπως ορίστηκε και στο Κεφάλαιο 3, το δυναμικό παγκόσμιας υπερθέρμανσης (GWP) αποτελεί ένα δείκτη της συμβολής των αερίων του θερμοκηπίου στην ενίσχυση του φαινομένου (σε σύγκριση με το βασικό θερμοκηπιακό αέριο, το CO<sub>2</sub>) και εξαρτάται από την ποσότητα εκπομπής τους αλλά και κάποια άλλα

χαρακτηριστικά τους που επιδρούν στον παράγοντα RF, όπως είναι η ατμοσφαιρική διάρκεια ζωής ( $\tau_{\text{atm}}$ ), η ένταση με την οποία απορροφούν υπέρυθη ακτινοβολία, καθώς και το μήκος κύματος αυτής της ακτινοβολίας. Στην ουσία, ο δείκτης αυτός επιτρέπει τη μετατροπή των χημικών εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου σε ισοδύναμες εκπομπές CO<sub>2</sub>, υπάρχοντας έτσι μια κοινή βάση που να επιτρέπει τη σύγκριση της επίδρασης/συμβολής που το καθένα παρουσιάζει μετά την πάροδο ενός διευκρινισμένου χρονικού διαστήματος. Η συγκεκριμένη χρονική αυτή περίοδος καλείται από την IPCC ‘χρονικός ορίζοντας ολοκλήρωσης’ (Integration Time Horizon, ITH) και συνήθως επιλέγεται διάρκεια 20, 100 ή 500 ετών. Η επιλογή του ITH παίζει σημαντικό ρόλο στην τιμή του GWP που προκύπτει για κάθε θερμοκηπιακό αέριο. Στις αρχές τις δεκαετίας του 1990 θεωρούνταν ότι ένας ITH διάρκειας 500 ετών έδινε αντιπροσωπευτικά αποτελέσματα τιμών GWP, από τη στιγμή που το CO<sub>2</sub> έχει μακρά διάρκεια παραμονής στην ατμόσφαιρα (σύμφωνα με το μοντέλο κύκλου του άνθρακα του Bern (IPCC, 2007d) υπολογίζεται σε 1,186 χρόνια), η οποία έχει σαν αποτέλεσμα μια επίδραση στην Κλιματική Αλλαγή που δρα συσσωρευτικά σε μια κλίμακα αιώνων. Επειδή ο υπολογισμός της επίδρασης περικλύπεται από την επιλογή ενός μικρότερου σε διάρκεια ITH, η χρησιμοποίηση των τιμών GWP των αερίων που βασίζονται σε έναν τέτοιο ITH θεωρούνταν ότι μπορεί να δώσει αποτελέσματα που να μην ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα. Αυτό είναι ιδιαίτερα προβληματικό όταν θεωρείται ένας ITH 20 ετών. Περισσότερο από το 90% της επίδρασης του CO<sub>2</sub> βρίσκεται πέρα από αυτό το χρονικό ορίζοντα και έτσι θεωρούνταν ότι οι τιμές που υπολογίζονται χρησιμοποιώντας τον, δεν πληρούσαν τις απαιτήσεις της Σύμβασης-Πλαισίου των Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή, για την ισότητα της αλληλεπίδρασης μεταξύ των γενεών. Ύστερα όμως από κάποια χρόνια, εκτός από τη μεγαλύτερη αβεβαιότητα των τιμών που προέκυπταν από τη θεώρηση ενός ITH 500 ετών (παρά την καλύτερη περιγραφή των μακροπρόθεσμων επιπτώσεων του CO<sub>2</sub>), έγινε αντιληπτό από τη διεθνή επιστημονική κοινότητα και τους διεθνείς-εθνικούς φορείς χάραξης πολιτικής για την παγκόσμια Κλιματική Αλλαγή, εν μέσω διαφωνιών, ότι οι συνεχόμενοι υψηλοί ρυθμοί εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου θα μπορούσαν να επηρεάσουν το βαθμό στον οποίο συντελείται η Κλιματική Αλλαγή σε μερικές από τις επόμενες δεκαετίες, γι’ αυτό και οι αποφάσεις για τη χάραξη της απαιτούμενης πολιτικής θα έπρεπε να βασίζονται σε μικρότερους ITH. Έτσι, επήλθε ένας λογικός συμβιβασμός, καθορίζοντας έναν ITH 100 ετών για τις μελέτες που αφορούν την ενίσχυση του Φαινομένου του Θερμοκηπίου και έκτοτε χρησιμοποιείται κυρίως αυτός. Όπως είναι λογικό, οι υπολογιζόμενες τιμές GWP βασισμένες σε εκατονταετή ITH είναι περίπου τριπλάσιες από αυτές που βασίζονται σε έναν ITH διάρκειας 500 ετών, απλώς λόγω της μειωμένης μακροπρόθεσμης επίδρασης του CO<sub>2</sub> (Fischer et al., 1991 ; Sand et al., 1997).

Κατόπιν λοιπόν όσων έχουν αναφερθεί, το GWP ενός αερίου A στα Φαινόμενο του Θερμοκηπίου θα εκφράζεται από το πηλίκο (Γεντεκάκης, 2010) :

$$GWP_A = \int_0^t \alpha[A(t)]dt / \int_0^t r[R(t)]dt \quad (1.35)$$

όπου t είναι ο χρονικός ορίζοντας αναφοράς, α είναι η ακτινοβολούμενη ένταση που προκαλείται από την αύξηση του αερίου A κατά 1kg, A(t) είναι η συνάρτηση χρονικής μεταβολής της ποσότητας του συστατικού A κατά την παλμική αύξησή του και r, R(t) οι αντίστοιχες παράμετροι για το αέριο αναφοράς (δηλαδή το CO<sub>2</sub>). Ο αριθμητής του παραπάνω κλάσματος ονομάζεται απόλυτο GWP (Absolute Global

Warming Potential, AGWP) και θα μετράται σε  $Wm^{-2}kg^{-1}yr$ , σε αντίθεση με το GWP που είναι αδιάστατο, ως σχετική ποσότητα.

Πολλά από τα χρησιμοποιούμενα ψυκτικά ρευστά αποτελούν ισχυρότατα αέρια του θερμοκηπίου, με πρωταγωνιστές τους συνθετικούς αλογονάνθρακες και ειδικότερα τους HFCs να αποτελούν σήμερα την αιχμή του δόρατος, σε ότι αφορά τα βιομηχανικής προέλευσης θερμοκηπιακά αέρια (Λεβέντη, 2008). Στον Πίνακα 1.3 απεικονίζονται τα κυριότερα ρευστά που αναφέρθηκαν στο προηγούμενο υποκεφάλαιο και οι αντίστοιχες τιμές των GWP, ODP και  $\tau_{atm}$ . Οι τιμές GWP &  $\tau_{atm}$  για τα μείγματα προκύπτουν από το ποσοστό συγκέντρωσης με το οποίο συμμετέχει το κάθε συστατικό του μείγματος επί την τιμή GWP ή την  $\tau_{atm}$  του (UNEP, 2011).

Πίνακας 1.3. Τιμές GWP, ODP και διάρκειας ζωής  $\tau_{atm}$  για τα κυριότερα ψυκτικά ρευστά (Πηγή : IPCC, 2007d ; UNEP, 2011).

Ψυκτικό ρευστό	GWP <sub>100yr</sub>	$\tau_{atm}$ (χρόνια)	ODP
<b>CFCs</b>			
R11	4,750	45	1
R12	10,900	100	0.82
R114	10,000	300	0.58
<b>HCFCs</b>			
R22	1,810	12	0.04
R123	77	1.3	0.01
<b>HFCs</b>			
R134a	1,430	14	0
R143a	4,470	52	0
R32	675	4.9	0
R125	3,500	29	0
<b>HFOs</b>			
R1234yf	4	0.029	0
R1234ze(E)	6	0.045	0
<b>Φυσικά ψυκτικά ρευστά</b>			
R717	0	0.02	0
R744	1	>50	0
R718	0	0	0
R290	20	0.041	0
R600	20	0.018	0
R600a	20	0.016	0
<b>Αζεοτροπικά μείγματα</b>			
R500 (μείγμα CFC & HFC)	8,077	74.2	0.605
R502 (μείγμα HCFC & CFC)	4,657	876.3	0.311
R503 (μείγμα HFC & CFC)	14,560	491.6	0
<b>Ζεοτροπικά μείγματα</b>			
R404A (HFC)	3,922	40.4	0
R407C (HFC)	1,774	15.7	0
<b>Σχεδόν αζεοτροπικό μείγμα</b>			
R410A (HFC)	2,088	17	0

Τέλος, ανάλογα με την τιμή GWP που αυτά παρουσιάζουν, τα θερμοκηπιακά αέρια, ανάμεσά τους και αυτά που χρησιμοποιούνται ως ψυκτικά ρευστά, ταξινομούνται στις κατηγορίες : α) πάρα πολύ χαμηλού GWP ( $GWP < \sim 30$ ), β) πολύ χαμηλού GWP ( $GWP < \sim 100$ ), γ) χαμηλού GWP ( $GWP < \sim 300$ ), δ) μέτριου GWP ( $GWP < \sim 1,000$ ), ε) υψηλού GWP ( $GWP < \sim 3,000$ ), στ) πολύ υψηλού GWP ( $GWP < \sim 10,000$ ) και ζ) πάρα πολύ υψηλού GWP ( $GWP > \sim 10,000$ ) (UNEP, 2011).

#### 1.5.4.3 Κριτήρια επιλογής

Τα κριτήρια επιλογής ταξινομούνται σε βασικές κατηγορίες που είναι τα θερμοδυναμικά, τα κριτήρια ασφαλείας, τα κριτήρια που σχετίζονται με τα φυσικά και τεχνικά χαρακτηριστικά, καθώς επίσης και τα οικονομικά κριτήρια (Λαμπρινός, 1990). Σε αυτά μπορούν να συμπεριληφθούν και τα περιβαλλοντικά κριτήρια, τα οποία στην ουσία απαιτούν μηδενικές τιμές ODP και χαμηλές τιμές GWP.

#### **Θερμοδυναμικά κριτήρια**

Κρίσιμη θερμοκρασία : Για να λειτουργεί η ψυκτική μηχανή αποτελεσματικά, το ψυκτικό μέσο πρέπει να μεταβάλλεται μακριά από την κρίσιμη θερμοκρασία του. Το ψυκτικό ρευστό επιλέγεται πάντοτε έτσι ώστε η κρίσιμη θερμοκρασία του να είναι πολύ υψηλότερη από τη θερμοκρασία συμπύκνωσης  $\theta_{cr} \gg \theta_c$ .

Θερμοκρασία βρασμού : Προτείνεται πάντοτε η θερμοκρασία εξάτμισης του εργαζόμενου μέσου να είναι υψηλότερη από τη θερμοκρασία βρασμού σε κανονική πίεση, γεγονός που σημαίνει ότι όταν  $\theta_e > \theta_b$  θα είναι και  $P_e > P_{atm}$ , οπότε τυχόν διαρροές οδηγούν μόνο σε απώλεια ψυκτικού μέσου. Εάν οι θερμοκρασίες και οι πιέσεις είναι αντίστροφες, υπάρχει κίνδυνος εισόδου υγρασίας στο ψυκτικό κύκλωμα.

Σχέση συμπίεσης : Η σχέση (λόγος) συμπίεσης ( $\tau = P_c/P_e$ ) πρέπει να είναι όσο το δυνατό μικρότερη, καθώς η θέρμανση του ψυκτικού μέσου κατά τη συμπίεση είναι τόσο μεγαλύτερη όσο η σχέση  $\tau$  είναι υψηλότερη (για δεδομένη θερμοκρασία εξάτμισης και θερμοκρασία συμπύκνωσης). Γνωρίζουμε ότι για ένα τέλειο μέσο και για αδιαβατική συμπίεση έχουμε :

$$(T_2/T_1) = (P_c/P_e)^{[(\gamma-1)/\gamma]} = \tau \quad (1.36)$$

Από την εξ.(1.36) συμπεραίνουμε ότι θα πρέπει να προτιμούνται τα ψυκτικά μέσα που έχουν χαμηλό λόγο ειδικών θερμοτήτων (δηλ. ο συντελεστής  $\gamma$ ).

Ειδική κατά όγκο ψυκτική ή θερμική παραγωγή : Χαρακτηρίζεται έτσι η ποσότητα ψύξης ή θέρμανσης που παράγεται ανά μονάδα όγκου ψυκτικού ρευστού (ατμών) που αναρροφάται στο συμπιεστή και δίδεται από τις εξισώσεις :

$$q_\psi / u_1 = (h_1 - h_4) / u_1 \quad (1.37)$$

$$q_\theta / u_1 = (h_2 - h_3) / u_1 \quad (1.38)$$

Για μία δεδομένη ψυκτική ή θερμική ισχύ της μηχανής, η παροχή όγκου του συμπιεστή θα είναι τόσο μικρότερη (άρα και το μέγεθος του συμπιεστή) όσο η ειδική κατά όγκο ψυκτική ή θερμική παραγωγή είναι υψηλότερη. Φυσικά, για να συγκρίνουμε τις ειδικές κατά όγκο ψυκτικές ή θερμικές παραγωγές διαφόρων ψυκτικών ρευστών πρέπει να αναφερόμαστε σε ταυτόσημες συνθήκες λειτουργίας.



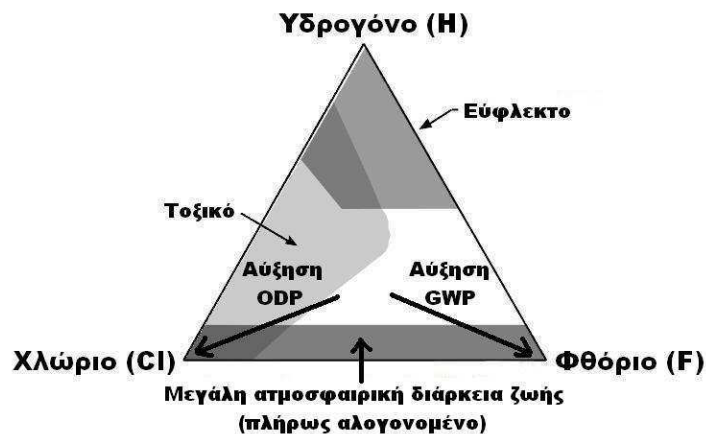
**Συντελεστής λειτουργίας (COP)** : Ο συντελεστής απόδοσης είναι η πιο χρήσιμη παράμετρος για τον προσδιορισμό της απόδοσης και, όπως έχει ήδη οριστεί, είναι ο λόγος του ψυκτικού ή θερμικού αποτελέσματος προς την καταναλισκόμενη ισχύ από το συμπιεστή. Υψηλός συντελεστής λειτουργίας στο ψυκτικό συγκρότημα σημαίνει περισσότερη ψύξη ή θέρμανση για δεδομένη ισχύ λειτουργίας, δηλαδή το σύστημα είναι οικονομικά πιο αποδοτικό. Ο COP δεν εκφράζεται επί τοις εκατό και σπάνια είναι μικρότερος από 1 (μόνο ο COP<sub>ψ</sub>). Για τις περισσότερες βιομηχανικές εφαρμογές ο συντελεστής κυμαίνεται μεταξύ 2 (για συστήματα με θερμοκρασία εξάτμισης γύρω στους -40°C) και 5 (για συστήματα με θερμοκρασία εξάτμισης γύρω στους 0°C). Ο COP μπορεί να μεταβάλλεται αισθητά, αφού εξαρτάται άμεσα από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος και τις απαιτούμενες αλλαγές της παραγωγικής διαδικασίας (Παπαγεωργίου, 2010). Ο ορισμός που δόθηκε πιο πάνω είναι βασικός και από τους πιο διαδεδομένους για υπολογισμούς στη βιομηχανία. Οπωσδήποτε όμως δε θεωρείται και πλήρης για κάθε ψυκτικό σύστημα. Η απαιτούμενη ενέργεια δεν είναι αυτή μόνο του συμπιεστή, αλλά και του υπόλοιπου εξοπλισμού, δηλαδή των ανεμιστήρων και των αντλιών του.

### Κριτήρια ασφαλείας

**Τοξικότητα (toxicity)** : Έχει μεγάλη σημασία η τοξικότητα ενός ψυκτικού ρευστού όταν αυτό διαρρεύσει στο περιβάλλον. Τα αλογονοπαράγωγα δεν είναι τοξικά, σε αντίθεση με ρευστά όπως η αμμωνία.

**Ευφλεκτότητα (flammability)** : Τα αλογονοπαράγωγα δεν καίγονται, ενώ, αντίθετα, ρευστά όπως η αμμωνία καίγονται σε υψηλές περιεκτικότητες στον αέρα.

Στο Σχήμα 1.23 παρατηρείται η υποθετική εναλλαγή της συμπεριφοράς ενός ψυκτικού ρευστού όσον αφορά την τοξικότητά του, την ευφλεκτότητά του και την ατμοσφαιρική διάρκεια ζωής του ( $\tau_{atm}$ ), καθώς αλλάζει η σύστασή του σε χλώριο, φθόριο και υδρογόνο. Προσθέτοντας χλώριο ή βρώμιο αυξάνεται ο δείκτης ODP, ενώ η προσθήκη χλωρίου αυξάνει και το σημείο βρασμού. Προσθέτοντας φθόριο αυξάνεται ο δείκτης GWP, ο οποίος εξαρτάται από την υπέρυθη απορροφητικότητα (δεσμοί άνθρακα-φθορίου) και την  $\tau_{atm}$ . Η αύξηση σε υδρογόνο τείνει να μειώσει την  $\tau_{atm}$ , αλλά παράλληλα αυξάνει την ευφλεκτότητα. Έτσι, για παράδειγμα, οι CFCs, οι οποίοι δεν έχουν υδρογόνο, έχουν μεγάλη  $\tau_{atm}$  και δεν είναι εύφλεκτοι, ενώ οι υδρογονάνθρακες είναι ιδιαίτερα εύφλεκτοι, έχοντας μικρή  $\tau_{atm}$  (Παπαδάκη, 2005).



Σχήμα 1.23. Υποθετική εναλλαγή της συμπεριφοράς ενός ψυκτικού ρευστού καθώς αλλάζει η σύστασή του σε χλώριο, φθόριο και υδρογόνο (Πηγή : Calm & Didion, 1997 ; Παπαδάκη, 2005).

Στον Πίνακα 1.4 απεικονίζονται οι ομάδες στις οποίες χωρίζονται τα ψυκτικά ρευστά αναλόγως της τοξικότητας και της ευφλεκτότητάς τους, σύμφωνα με την Αμερικανική Ένωση Μηχανικών Ψύξης, Θέρμανσης και Κλιματισμού (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, ASHRAE). Τελευταία προστέθηκε και η ομάδα 2L όσον αφορά την ευφλεκτότητα, σαν μια ενδιάμεση κατάσταση μεταξύ της 1 και της 2. Στη βέλτιστη κατηγορία (A1) ανήκουν ρευστά όπως τα R12, R22, R134a και R410A, ενώ το R1234yf ανήκει στην A2L και η αμμωνία στη B2L (UNEP, 2011).

Πίνακας 1.4. Ομάδες ασφαλείας των ψυκτικών ρευστών, αναλόγως της τοξικότητας και της ευφλεκτότητάς τους (Πηγή : ASHRAE, 2010).

		<b>Ομάδα ασφαλείας</b>	
<b>Υψηλότερη ευφλεκτότητα</b>		A3	B3
<b>Χαμηλότερη ευφλεκτότητα</b>		A2	B2
		<u>A2L*</u>	<u>B2L*</u>
<b>Μη διάδοση της φλόγας</b>		A1	B1
		<b>Χαμηλότερη τοξικότητα</b>	<b>Υψηλότερη τοξικότητα</b>

**Κριτήρια που σχετίζονται με τα φυσικά και τα τεχνικά χαρακτηριστικά των ψυκτικών ρευστών**

Χημική σταθερότητα : Εξαρτάται από τις συνθήκες και τη φύση των υλικών που έρχονται σε επαφή με το ψυκτικό ρευστό.

Επίδραση στα μέταλλα : Τα αλογονοπαράγωγα αντιδρούν με το μαγνήσιο σε περιεκτικότητα μεγαλύτερη από 2%, πράγμα που δε συμβαίνει στα κράματα αλουμινίου, ενώ η αμμωνία δεν ανέχεται το χαλκό και τα κράματά του.

Επίδραση του ψυκτικού ρευστού στο καουτσούκ, τις πλαστικές ύλες και τα ελαστομερή : Τα αλογονοπαράγωγα ασκούν στα πλαστικά υλικά διάφορες αλλοιώσεις, που μπορεί να είναι από ένα απλό φούσκωμα μέχρι και μερική διάλυσή τους. Σε τέτοια υλικά, η δράση της αμμωνίας είναι περιορισμένη.

Δράση του ψυκτικού ρευστού στα ψυκτέλαια : Η δράση αυτή μπορεί να είναι είτε φυσική (π.χ. ικανότητα μίξης με το λάδι) είτε χημική (π.χ. αποφεύγεται η χρήση λαδιών που σαπωνοποιούνται με κάποιο ψυκτικό ρευστό).

Συμπεριφορά παρουσία υγρασίας : Τα αλογονοπαράγωγα με παρουσία νερού σχηματίζουν ένδρα άλατα του τύπου  $R_nH_2O$ , που επικάθονται σε στερεή μορφή στα σημεία χαμηλών θερμοκρασιών και μπορούν να προκαλέσουν φράξιμο, κυρίως στις βαλβίδες.

Συμπεριφορά και ανίχνευση διαρροών : Οι διαρροές είναι πιο συχνές στα θερμά κλίματα λόγω των υψηλότερων πιέσεων συμπύκνωσης. Τα αλογονωμένα ψυκτικά ρευστά ανιχνεύονται δυσκολότερα. Η επίβλεψη και ο έλεγχος της στεγανότητας των εγκαταστάσεων πρέπει να είναι συνεχής, αφενός μεν για την καλή λειτουργία τους αφετέρου δε λόγω του κόστους των ψυκτικών ρευστών. Το μοριακό βάρος του ρευστού είναι ένας παράγοντας που επηρεάζει τις διαρροές αφού, όσο πιο μικρό

είναι τόσο πιο εύκολα μπορεί να διαφύγει το ρευστό από τα σημεία διαρροών. Επίσης, και η πτητικότητα, δηλ. η ευκολία με την οποία ένα υγρό μπορεί να εξατμίζεται υπό κανονικές συνθήκες, αποτελεί παράγοντα που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη. Μεγαλύτερη πτητικότητα συνεπάγεται και μεγαλύτερες διαρροές. Στο Σχήμα 1.24 απεικονίζονται με περιεκτικό τρόπο οι αρνητικές συνέπειες της διαρροής ψυκτικού ρευστού από την εγκατάσταση.



Σχήμα.1.24. Επιπτώσεις της διαρροής ψυκτικού ρευστού (Πηγή : Δάλλας, 2010).

### ***Οικονομικά κριτήρια***

**Κόστος** : Πρόκειται για κριτήριο μεγάλης σημασίας. Η αμμωνία είναι το φθηνότερο ψυκτικό ρευστό (Λεβέντη & Λαμπρινός, 2009), ενώ, ενδεικτικά (Ανώνυμος, 2012ω), οι τιμές των R410A, R134a, R407C και R404A κυμαίνονται γύρω στα 11 ευρώ το κιλό.

**Διαθεσιμότητα** : Πλέον, σε όλες τις μεγάλες πόλεις υπάρχει ποικιλία κυκλοφορίας ψυκτικών ρευστών (κυρίως των R410A, R134a και R407C) (Λεβέντη & Λαμπρινός, 2009), ενώ μπορούν να γίνουν έρευνες αγοράς και παραγγελίες μέσω διαδικτύου.

## 1.6 ΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟ ΑΠΟΤΥΠΩΜΑ

Σύμφωνα με έναν περιεκτικό ορισμό, ο όρος περιβάλλον αναφέρεται σε όλα όσα μπορούν να βρισκονται γύρω από έναν οργανισμό ή ένα οικοσύστημα (συμπεριλαμβανομένων και των άλλων οργανισμών, του κλίματος, του εδάφους κ.α.), ενώ ο όρος οικολογία αναφέρεται στη μελέτη των σχέσεων μεταξύ ζωντανών οργανισμών και μεταξύ αυτών και του περιβάλλοντός τους (Χατζημπίρος κ.α., 2007). Από τη στιγμή που οι όροι αυτοί δεν ταυτίζονται, δεν θα πρέπει να υπάρχει σύγχυση μεταξύ των όρων ‘οικολογικό αποτύπωμα’ και ‘περιβαλλοντικό αποτύπωμα’, οι οποίοι αποτελούν κάποιους από τους δείκτες που έχουν δημιουργηθεί και χρησιμοποιούνται προκειμένου να ποσοτικοποιηθεί η πολύπλοκη σχέση που υπάρχει ανάμεσα στην ανθρώπινη κατανάλωση και δραστηριότητα και το φυσικό (κυρίως) περιβάλλον. Οικολογικό αποτύπωμα ονομάζεται η πεπερασμένη εκείνη έκταση (μετρημένη σε εκτάρια, 1 εκτάριο = 10 στρέμματα) της χερσαίας και θαλάσσιας επιφάνειας της Γης, που αναλογεί σε κάθε άνθρωπο, προκειμένου αυτός να εξασφαλίσει τα απαραίτητα για την ύπαρξή του και να απορροφηθούν τα απόβλητα που ο ίδιος δημιουργεί, το οποίο δεν θα πρέπει να ξεπερνά κάποια επιτρεπτά όρια που θα είχαν ως αποτέλεσμα τη διατάραξη της βιοποικιλότητας και την επακόλουθη προβληματική αιεφόρο διαχείριση. Οι κύριες συνιστώσες του είναι βασικά τρεις : α) το αποτύπωμα της τροφής, β) το αποτύπωμα των προϊόντων ξύλου και γ) το αποτύπωμα της υποβαθμισμένης Γης, δηλαδή η επιφάνεια που καλύπτει η κατοικία κάθε ατόμου, καθώς και το τμήμα του οδικού δικτύου που αυτό χρησιμοποιεί. Αποτελεί πολύ σημαντικό δείκτη, κυρίως λόγω της επικοινωνιακής του αξίας, αφού περιέχει σημαντική πληροφορία και ταυτόχρονα είναι εύκολα κατανοητό από το ευρύ κοινό (Μελάς, 2007 ; Χατζημπίρος κ.α., 2007).

Από την άλλη πλευρά, το περιβαλλοντικό αποτύπωμα αποτελεί έναν όρο, μια έννοια, ο οποίος έχει γίνει τα τελευταία χρόνια θέμα δημόσιας συζήτησης και αναφέρεται στην ευθύνη αλλά και τον τρόπο δράσης για τη μείωση της απειλής από την παγκόσμια Κλιματική Αλλαγή, με αποτέλεσμα, τώρα τελευταία, να είναι ένα τσιτάτο το οποίο χρησιμοποιούν ευρέως τα μέσα ενημέρωσης, οι κυβερνήσεις και οι διάφοροι τομείς της επιχειρηματικότητας ανά την υφήλιο. Παρότι όμως ο όρος αυτός είναι πανταχού παρών, φαίνεται να μην υπάρχει ένας σαφής ορισμός του, με αποτέλεσμα να υπάρχει κάποια σύγχυση σχετικά με το τι σημαίνει πραγματικά και ποια μέτρα και σταθμά θα πρέπει να χρησιμοποιούνται για την έκφρασή του. Στις περισσότερες από τις προσπάθειες που έχουν γίνει για τον ορισμό του, ο όρος αυτός αποτελεί γενικά ένα συνώνυμο των εκπομπών CO<sub>2</sub> ή άλλων αερίων του θερμοκηπίου, εκφρασμένες σε ισοδύναμες ποσότητες CO<sub>2</sub>. Σύμφωνα όμως με έναν ευρύτερο ορισμό, το περιβαλλοντικό αποτύπωμα αναφέρεται σαν το μέτρο της επίδρασης των ανθρώπινων (κυρίως) δραστηριοτήτων στο περιβάλλον. Αν οι δραστηριότητες αυτές επιδρούν (είτε θετικά είτε αρνητικά) : α) στην ενίσχυση του Φαινομένου του Θερμοκηπίου, τότε το περιβαλλοντικό αποτύπωμα μπορεί να αναφερθεί ως ‘αποτύπωμα CO<sub>2</sub>’, εκφρασμένο σε ισοδύναμες ποσότητες (συνήθως kg) CO<sub>2</sub>, β) στα επίπεδα συγκέντρωσης του όζοντος στη στρατόσφαιρα (το τροποσφαιρικό όζον αποτελεί αέριο του θερμοκηπίου), θα μπορούσε να αναφέρεται ως ‘αποτύπωμα όζοντος’, εκφρασμένο σε ισοδύναμες ποσότητες CCl<sub>3</sub>F (CFC-11), γ) στην όξινη βροχή, θα μπορούσε να αναφέρεται ως ‘όξινο αποτύπωμα’, εκφρασμένο σε ισοδύναμες ποσότητες H<sup>+</sup>, δ) στο φωτοχημικό νέφος, θα μπορούσε να αναφέρεται ως ‘φωτοχημικό αποτύπωμα’ εκφρασμένο σε ισοδύναμες ποσότητες C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>, κ.ο.κ. Από τα παραπάνω λοιπόν, θα μπορούσε να ειπωθεί πως υπάρχουν ‘είδη περιβαλλοντικού αποτυπώματος’, ανάλογα με το εκάστοτε αποτέλεσμα των ανθρώπινων επιδράσεων στο περιβάλλον, το οποίο έχει επιλεγεί για μελέτη και,

συνήθως, αποτελεί περιβαλλοντικό πρόβλημα. Επειδή όμως το ενισχυμένο Φαινόμενο του Θερμοκηπίου αποτελεί αναμφίβολα σήμερα το μεγαλύτερο από αυτά τα προβλήματα, ο όρος ‘περιβαλλοντικό αποτύπωμα’ έχει επικρατήσει να σημαίνει (ίσως καταχρηστικά), όπως ήδη προαναφέρθηκε, το σύνολο των εκπομπών του CO<sub>2</sub> και των υπολοίπων αερίων του θερμοκηπίου που οφείλονται στην ανθρωπογενή δραστηριότητα, όντας ταυτόσημος με τον όρο ‘αποτύπωμα CO<sub>2</sub>’ (και όχι με τον-λανθασμένα-αρκετά χρησιμοποιούμενο όρο ‘ανθρακικό αποτύπωμα’) (Μάντζου κ.α., 2006 ; Wiedmann & Minx, 2008). Όπως γίνεται αντιληπτό, ο όρος ‘περιβαλλοντική επίδραση’ έχει την ίδια σημασία με αυτή του περιβαλλοντικού αποτυπώματος.

### **1.6.1 Προσεγγίσεις-μέθοδοι υπολογισμού των περιβαλλοντικών επιδράσεων βάσει διεθνών συστημάτων περιβαλλοντικής προσέγγισης**

Σε αυτές τις προσεγγίσεις, ο υπολογισμός και η σύγκριση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος γίνονται συστηματικά με τη χρήση τυποποιημένων διαδικασιών και συντελεστών. Η βέλτιστη χρήση τους εξασφαλίζεται όταν χρησιμοποιούνται για τη διενέργεια συγκρίσεων μεμονωμένων εγκαταστάσεων ή μερών κάποιου συστήματος (π.χ. εξοπλισμός κλιματισμού) και δεν παρέχουν πληροφορίες ‘γενικής χρήσεως’. Υπάρχει μια ιεραρχία μεταξύ των προσεγγίσεων βάσει συστημάτων, η οποία εξαρτάται από το πεδίο εφαρμογής της καθεμιάς, αλλά όλες προσπαθούν να εφαρμόσουν τα δεδομένα που υπάρχουν με τον ίδιο αυστηρό τρόπο. Σε κάθε περίπτωση, το πεδίο ανάλυσης θα πρέπει να ορίζεται και να εξετάζεται με σαφήνεια, λαμβάνοντας υπόψη παράλληλα και τις εκάστοτε απαιτήσεις (IPCC/TEAP, 2005).

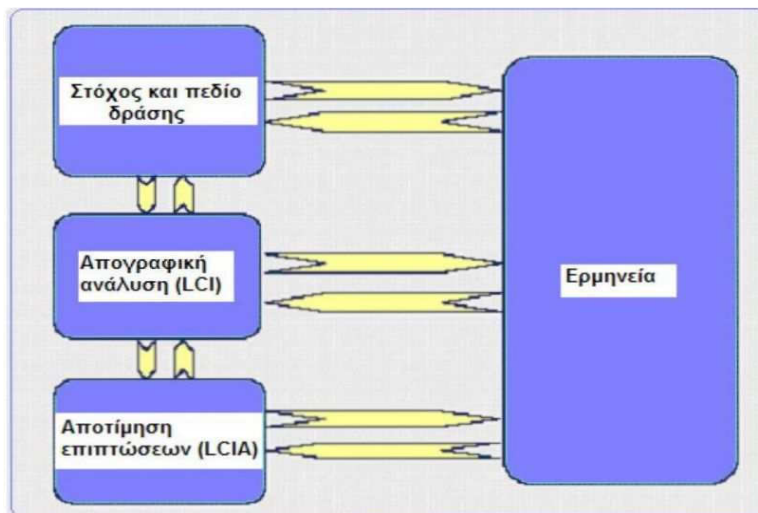
Η ‘Εκτίμηση του Κύκλου Ζωής’ (Life Cycle Assessment, LCA) είναι σαφώς η πιο περιεκτική και επίσημη προσέγγιση για την αξιολόγηση-εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιδράσεων διαφόρων τεχνολογιών. Στο σημείο αυτό πρέπει να γίνει ο ορισμός της τεχνολογίας, η οποία ορίζεται ως η σπουδή (δηλαδή η συστηματική, μεθοδική μελέτη και ενασχόληση), αλλά και η επινόηση των τεχνικών κατασκευής πραγμάτων και εκτέλεσης έργων. Στον ορισμό αυτό περιλαμβάνονται ως αντικείμενα των σχετικών δράσεων-προϊόντα, διαδικασίες και υπηρεσίες που επηρεάζουν τη ζωή και την εργασία του ανθρώπου και, γενικότερα, την ανάπτυξη του κοινωνικού συνόλου. Η LCA μεθοδολογία αναπτύχθηκε και επισημοποιήθηκε από τις σειρές ISO14040 των διεθνών προτύπων. Χαρακτηρίζεται μάλιστα ως μια προσέγγιση ‘από το λίκνο μέχρι τον τάφο’ (from cradle to grave), αφού ξεκινά με τη συγκέντρωση των πρώτων υλών από τη Γη, για τη δημιουργία του προϊόντος ή του εξοπλισμού που χρησιμοποιείται σε μια διαδικασία ή υπηρεσία, ενώ τελειώνει στο σημείο όπου όλα τα υλικά επιστρέφουν στη Γη. Έτσι, καθίσταται δυνατή τόσο η αποτίμηση των συσσωρευτικών περιβαλλοντικών επιδράσεων που απορρέουν από όλα τα στάδια ζωής ενός προϊόντος, μιας διαδικασίας ή μιας υπηρεσίας, όσο και η αποτίμηση όλων αυτών των σταδίων ζωής ως προς την αλληλεξάρτησή τους, γεγονός που σημαίνει ότι η μια λειτουργία οδηγεί στην επόμενη (IPCC/TEAP, 2005 ; Μάντζου κ.α., 2006 ; Λατινόπουλος, 2010). Η LCA μεθοδολογία περιλαμβάνει τέσσερα στάδια, τα οποία είναι τα εξής (Σχήμα 1.25) :

Προσδιορισμός του σκοπού και του στόχου : προσδιορίζεται και περιγράφεται το προϊόν, η διαδικασία ή η υπηρεσία, εγκαθίσταται το πλαίσιο όπου θα διεξαχθεί η μελέτη και καθορίζονται τα όρια και οι περιβαλλοντικές επιδράσεις που πρέπει να διερευνηθούν.

Απογραφική ανάλυση (Life Cycle Inventory, LCI) : προσδιορίζονται και ποσοτικοποιούνται η ενέργεια, τα υλικά που χρησιμοποιούνται, τα απόβλητα, καθώς και οι απελευθερώσεις στο περιβάλλον (π.χ. αέριες εκπομπές, απόθεση στερεών αποβλήτων, απελευθέρωση υγρών αστικών λυμάτων).

Εκτίμηση των επιπτώσεων (Life Cycle Impact Assessment, LCIA) : εκτιμούνται οι επιδράσεις από τη χρήση της ενέργειας, του νερού και των υλικών στον άνθρωπο και την οικολογία, καθώς και από τις εκπομπές στο περιβάλλον, που έχουν προσδιοριστεί κατά το προηγούμενο στάδιο (LCI).

Ερμηνεία των αποτελεσμάτων : αποτίμηση των αποτελεσμάτων της απογραφικής ανάλυσης και της εκτίμησης των επιπτώσεων, προκειμένου να επιλεγεί το κατάλληλο προϊόν, διαδικασία ή υπηρεσία, με σαφή κατανόηση των αβεβαιοτήτων και των υποθέσεων-παραδοχών που χρησιμοποιήθηκαν για την εξαγωγή των συμπερασμάτων.



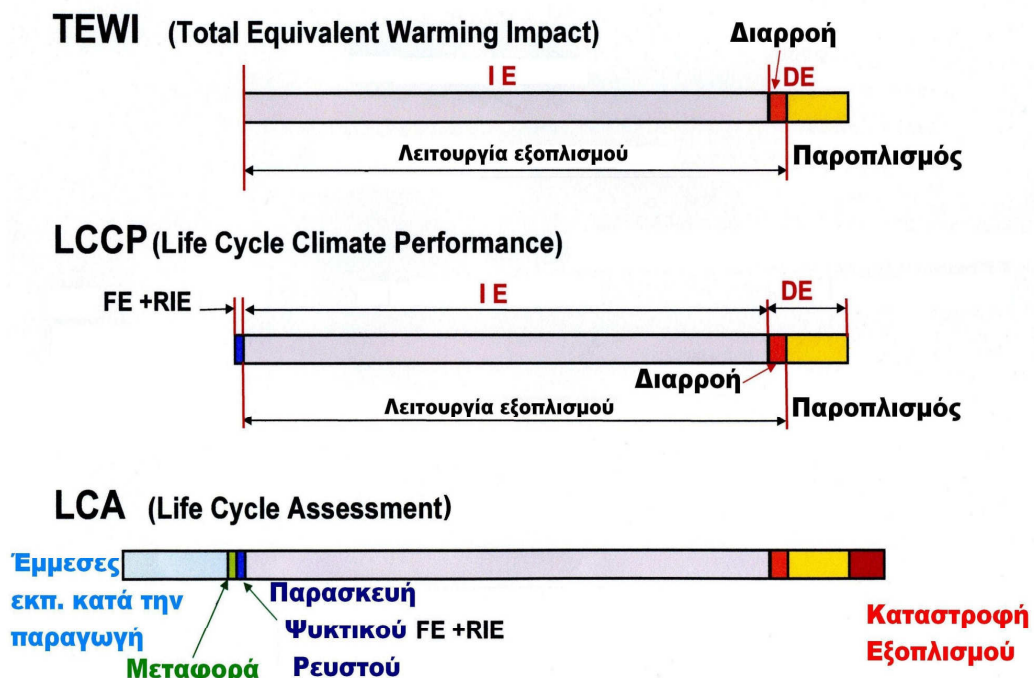
Σχήμα 1.25. Τα τέσσερα στάδια μιας LCA (Πηγή : Καραγιάννης, 2010).

Η LCA είναι η μοναδική προσέγγιση που καλύπτει όλα τα στάδια ζωής, στα οποία περιέχονται όλες οι διαδικασίες και οι περιβαλλοντικές επιδράσεις που διενεργούνται, αποτελώντας ένα χρήσιμο εργαλείο για τη σύγκριση των περιβαλλοντικών επιδράσεων δύο ή περισσότερων εναλλακτικών προϊόντων, διαδικασιών ή υπηρεσιών, βοηθώντας έτσι στην αποκάλυψη των ασθενών σημείων, στη βελτίωση των προϊόντων και των περιβαλλοντικών ιδιοτήτων, στη σύγκριση με άλλα εναλλακτικά πρότυπα και στην ανεύρεση εκείνων των (απαραίτητων) λόγων που θα δικαιολογούν τις συστάσεις δράσεων (Μάντζου κ.α., 2006 ; Καραγιάννης, 2010).

Από την άλλη πλευρά, η ‘Συνολική Ισοδύναμη Επίδραση στην Παγκόσμια Θέρμανση’, ΣΙΕΠΘ (Total Equivalent Warming Impact, TEWI), αποτελεί μια προσέγγιση η οποία έχει το πιο περιορισμένο πεδίο εφαρμογής, αφού ασχολείται με την επίδραση που ασκούν στην ενίσχυση του Φαινομένου του Θερμοκηπίου ρευστά τα οποία ανήκουν στα αέρια του θερμοκηπίου, μέσα στον εξοπλισμό που εργάζονται ή την διαδικασία στην οποία συμμετέχουν, στα στάδια λειτουργίας και παροπλισμού του εξοπλισμού ή διεξαγωγής μιας διαδικασίας, όπου τα ρευστά αυτά, κατά το στάδιο του παροπλισμού ανακτώνται ή εξαερώνονται, οδεύοντας (εάν ανακτηθούν) προς το στάδιο τελικής τους διάθεσης-είτε ανακύκλωσης και επαναχρησιμοποίησης, είτε απόρριψής τους στο περιβάλλον. Η επίδραση αυτή μπορεί να είναι τόσο άμεση, από την απευθείας απελευθέρωσή τους στην ατμόσφαιρα, όσο και έμμεση, λόγω των διαφόρων ποσοτήτων CO<sub>2</sub> που εκλύονται κατά τη διαδικασία παραγωγής της ενέργειας που τροφοδοτεί τον εξοπλισμό. Παρόλο που είναι κατάλληλη για τα περισσότερα κοινά συστήματα, δεν εξετάζει την περιβαλλοντική επίδραση κατά την παρασκευή του ρευστού ή/και την κατασκευή του εξοπλισμού, κατά την οποία υπάρχουν ανεξέλεγκτες εκπομπές (fugitive emissions) και δαπανάται ενέργεια, η

οποία ονομάζεται ενσωματωμένη ενέργεια (embodied energy) του ρευστού και του εξοπλισμού, την οποία και απορρόφησαν προκειμένου να δημιουργηθούν. Οι ανεξέλεγκτες εκπομπές αφορούν τα ρευστά και περιλαμβάνουν τις άμεσες εκπομπές τους (διαφυγές) κατά την παρασκευή τους, την αποθήκευσή τους, αλλά και τη διαδικασία πλήρωσής τους στον εξοπλισμό κατά την κατασκευή αυτού, ενώ η ενσωματωμένη ενέργεια προκαλεί έμμεσες εκπομπές, λόγω των διαφόρων ποσοτήτων CO<sub>2</sub> που μπορεί να εκλύονται κατά την παραγωγή της. Σε κάποιες των περιπτώσεων, οι ποσότητες αυτής της ενέργειας μπορεί να είναι σημαντικές, όπως και οι ανεξέλεγκτες εκπομπές, γεγονός που οδήγησε στην προσέγγιση της ‘Κλιματικής Απόδοσης στον Κύκλο Ζωής’ (Life Cycle Climate Performance, LCCP).

Στην LCCP μπορεί να υπολογιστεί μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα της επίδρασης, για παράδειγμα, του ρευστού, αφού περιλαμβάνει τις μερικές επιδράσεις από την παρασκευή του, την αποθήκευσή του, την πρώτη πλήρωσή του στον εξοπλισμό, τη λειτουργία και τις εργασίες συντήρησης και επισκευής του εξοπλισμού μέσα στον οποίο αυτό περιέχεται, καθώς και από την ανάκτηση ή εξαέρωσή του μετά το τέλος της χρήσιμης διάρκειας ζωής του εξοπλισμού (παροπλισμός). Ωστόσο, τόσο η προσέγγιση TEWI όσο και η LCCP εξετάζουν μόνο την κλιματική επίδραση. Αυτό είναι λογικό για τις περιπτώσεις όπου η κύρια περιβαλλοντική επίδραση επηρεάζει το κλίμα. Όπως ήδη αναφέρθηκε, η LCA προσέγγιση είναι και η πιο ευρύτερη, αφού περιλαμβάνει τις περιβαλλοντικές επιδράσεις και των υπολοίπων εισροών-εκροών του συστήματος, επιπλέον εκείνων που συνδέονται με την ενέργεια. Στο Σχήμα 1.26 απεικονίζονται οι διαφορές μεταξύ TEWI, LCCP & LCA ενός ρευστού και του εξοπλισμού στο οποίο αυτό περιέχεται (π.χ. μια αντλία θερμότητας), όπου το στάδιο της πιθανής καταστροφής του ρευστού αγνοείται από τη στιγμή που η αποτελεσματικότητά της κυμαίνεται από 99-99.99%, γεγονός που συνεπάγεται αμελητέες εκπομπές. Οι έμμεσες εκπομπές κατά την παραγωγή που εξετάζει η LCA, σχετίζονται με τις πρώτες ύλες για την παρασκευή του ρευστού και την κατασκευή του εξοπλισμού. Έτσι, IE είναι οι άμεσες εκπομπές (η αλλιώς άμεση συμβολή), DE οι έμμεσες εκπομπές (έμμεση συμβολή), FE οι ανεξέλεγκτες εκπομπές και RIE οι εκπομπές της ενσωματωμένης ενέργειας.



Σχήμα 1.26. Διαφορές μεταξύ TEWI, LCCP και LCA (Πηγή : Onishi et al., 2004).

Η προσέγγιση LCCP μπορεί να θεωρηθεί σαν μια υπομέθοδος της LCA, ενώ η TEWI σαν μια υπομέθοδος της LCCP. Η προσέγγιση που επιλέγεται κάθε φορά εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το πλαίσιο μέσα στο οποίο γίνεται, δηλαδή τα όρια του συστήματος που έχει επιλεγεί για μελέτη. Εάν οι απαιτούμενες πληροφορίες σχετίζονται με τις επιδράσεις στο κλίμα ενός αριθμού εναλλακτικών προσεγγίσεων, προκειμένου να επιτευχθεί κάτι για το κοινωνικό καλό, τότε οι LCCP και TEWI προσεγγίσεις είναι ικανές να παρέχουν επαρκή πληροφόρηση. Ωστόσο, με τη χρήση αυτών των προσεγγίσεων θα αγνοηθούν όλες οι υπόλοιπες περιβαλλοντικές επιδράσεις τις οποίες εξετάζει η LCA, υποθέτοντας ότι αυτές θα είναι παρόμοιες για όλες τις εναλλακτικές τεχνολογίες. Το ίδιο συμβαίνει και μεταξύ των LCCP και TEWI : όταν επιλέγεται η TEWI αγνοούνται οι επιδράσεις της LCCP, είτε επειδή είναι παρόμοιες (κατά τη σύγκριση μεταξύ τεχνολογιών) ή/και αρκετά μικρές (σε σχέση με αυτές που εξετάζει η TEWI) είτε επειδή τα όρια του συστήματος καλύπτονται πλήρως από την TEWI (IPCC/TEAP, 2005).

### 1.6.2 TEWI

Οι συνθετικοί αλογονάθρακες (CFCs, HCFCs, HFCs) αποτελούν ενώσεις που χρησιμοποιούνται σε μια πληθώρα εφαρμογών, οι οποίες δεν ανήκουν μόνο στον τομέα της ψύξης και του κλιματισμού (όπου εκεί χρησιμοποιούνται ως ψυκτικά ρευστά), αλλά και στους τομείς μόνωσης (ως μέσα διόγκωσης), καθαρισμού μέσω διαλυτών και ως προωθητικά αέρια. Σύμφωνα λοιπόν τόσο με το Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ όσο και του Κιότο, οι αναφερθέντες τρεις τομείς θα πρέπει να ελέγχονται και από τα δύο, μιας και χρησιμοποιούν CFCs και HCFCs. Όμως, όσον αφορά τον τομέα ψύξης και κλιματισμού, από τη στιγμή που τα CFCs έχουν καταργηθεί και τα HCFCs βρίσκονται σε περίοδο σταδιακής τους κατάργησης, ο χώρος αυτός ελέγχεται μόνο από το Πρωτόκολλο του Κιότο, αφού τα HFCs αποτελούν ισχυρά αέρια του θερμοκηπίου-χωρίς αυτό να σημαίνει ότι τα CFCs και τα HCFCs δεν αποτελούν, αλλά απλά δεν χρησιμοποιούνται πλέον ή αποφεύγεται η χρήση τους (Fischer et al., 1991).

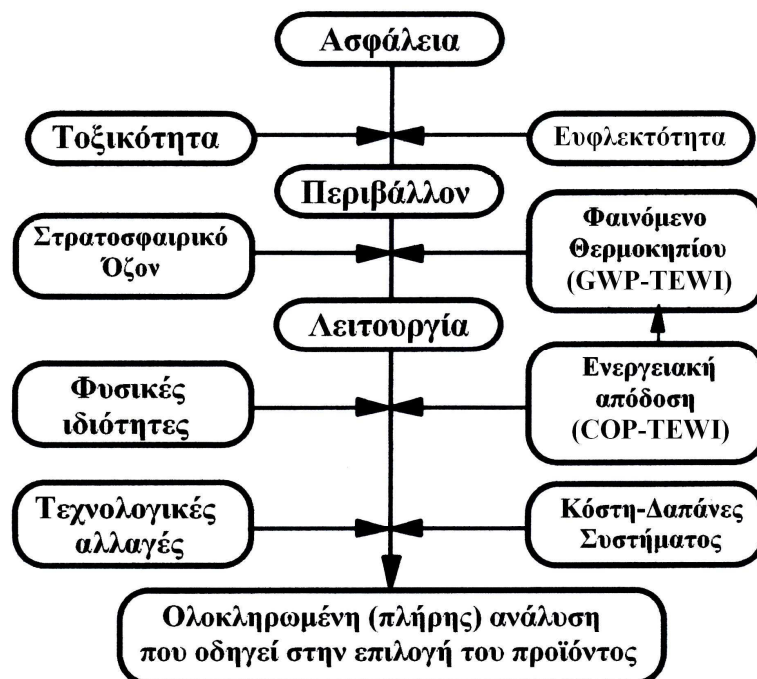
Προκειμένου λοιπόν να υπολογιστεί το περιβαλλοντικό αποτύπωμα εξοπλισμού που περιέχει και χρησιμοποιεί για τη λειτουργία του συνθετικούς αλογονάθρακες (ιδίως φθοράνθρακες-HFCs και HFOs) χρησιμοποιώντας τους ως ψυκτικά ρευστά, όπως είναι π.χ. οι μονάδες κλιματισμού (κλιματιστικά-αντλίες θερμότητας με μηχανική συμπίεση ατμών), πρέπει να υπολογιστούν η **άμεση συμβολή** τους στην παγκόσμια θέρμανση, λόγω της έκλυσης στην ατμόσφαιρα των ψυκτικών ρευστών που περιέχουν κατά το στάδιο της χρήσιμης διάρκειας ζωής τους και το στάδιο παροπλισμού τους, αλλά και η **έμμεση συμβολή**, μέσω του CO<sub>2</sub> που απελευθερώνεται-εκπέμπεται για την παραγωγή της απαιτούμενης ηλεκτρικής ενέργειας που τροφοδοτεί τα παραπάνω συστήματα κατά το στάδιο της χρήσιμης διάρκειας ζωής τους, αυτό δηλαδή κατά το οποίο λειτουργούν, προκειμένου να εκπληρώσουν την αποστολή για την οποία κατασκευάστηκαν (Sand et al., 1997). Προκειμένου οι δύο αυτές συμβολές να συνδυάζονται με ευκολία, η άμεση συμβολή εκφράζεται σε ισοδύναμες ποσότητες CO<sub>2</sub>, σε συνέπεια με την προσέγγιση μέσω του δείκτη GWP που έχει υιοθετήσει η IPCC. Τότε, εύκολα μπορεί να συνδυαστεί με την έμμεση από τις εκπομπές CO<sub>2</sub>, με αποτέλεσμα η συνδυασμένη ή συνολική συμβολή-επίδρασή τους να ονομάζεται 'Συνολική Ισοδύναμη Επίδραση στην Παγκόσμια Θέρμανση' (TEWI) (Fischer et al., 1991), αποτελώντας στην ουσία ένα δείκτη που εκφράζει το μέτρο του περιβαλλοντικού αποτυπώματος ουσιών που αποτελούν αέρια του θερμοκηπίου και χρησιμοποιούνται από ένα προϊόν, μια διαδικασία ή μια υπηρεσία (δηλ. μια τεχνολογία), βοηθώντας έτσι στην προσπάθεια ποσοτικοποίησης



του περιβαλλοντικού αποτυπώματος τους και έχοντας παράλληλα ως στόχο την τυποποίηση του υπολογισμού του (IPCC/TEAP, 2005).

Ο περιβαλλοντικός δείκτης TEWI είναι ένα χρήσιμο εργαλείο για την αξιολόγηση και τη σύγκριση διαφόρων τεχνολογιών, κάποιες εκ των οποίων μπορεί να μην χρησιμοποιούν φθοράνθρακες, οι οποίες ονομάζονται χαρακτηριστικά ως 'τεχνολογίες άλλου είδους' (Not In Kind technologies, NIK) (Fischer et al., 1994). Σε αυτές ανήκουν-όσον αφορά τις εφαρμογές ψύξης και κλιματισμού-οι ψυκτικές μηχανές συμπίεσης ατμών φυσικών ψυκτικών ρευστών (αμμωνία, υδρογονάνθρακες, διοξείδιο του άνθρακα, κ.λ.π.), οι ψυκτικές μηχανές ρόφησης, ο εξατμιστικός δροσισμός, η θερμοηλεκτρική ψύξη, κ.α. Ακόμη, μπορούν να συγκριθούν και τεχνολογίες που χρησιμοποιούν συμβατικές ενεργειακές πηγές όπως το πετρέλαιο, το φυσικό αέριο, τον άνθρακα κ.ο.κ. Σε αυτές τις περιπτώσεις, οι τεχνολογίες αυτές παρουσιάζουν μηδενική άμεση συμβολή και αυτό που κατ' ουσία συγκρίνεται είναι η έμμεση συμβολή τους (με τον ενδεδειγμένο για την κάθε μια τρόπο υπολογισμού της), με την τιμή του δείκτη TEWI των φθορανθρακικών τεχνολογιών (SEPEMO, 2011). Επίσης, ο δείκτης TEWI μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ελαχιστοποίηση των κλιματικών επιπτώσεων που παρουσιάζουν οι ήδη υπάρχουσες ή εγκατεστημένες τεχνολογίες, ενώ μια ιδιαίτερα πολύτιμη εφαρμογή του είναι κατά την κατασκευή ή ανακαίνιση κτηρίων, όπου μπορεί να διευκολύνει στην επιλογή του τρόπου θέρμανσης-δροσισμού τους (IPCC/TEAP, 2005).

Εν τούτοις, ο δείκτης TEWI αποτελεί μόνο ένα από τα κριτήρια που πρέπει να ληφθούν υπόψη, όπως διευκρινίζεται και στο Σχήμα 1.27, για μια δεδομένη απαίτηση ψύξης ή κλιματισμού. Η ασφάλεια, η υγεία, διάφορα περιβαλλοντικά μελήματα, αρχικά κόστη και λειτουργικές δαπάνες των συστημάτων, τοπικές, περιφερειακές ή και εθνικές ενεργειακές εκτιμήσεις, καθώς και η ευκολία συντήρησης είναι σημαντικοί παράγοντες που θα πρέπει να ληφθούν σοβαρά υπόψη, όσον αφορά την επιλογή της καλύτερης τεχνολογίας για οποιαδήποτε δεδομένη εφαρμογή (Sand et al., 1997).



Σχήμα 1.27. Παράγοντες που λαμβάνονται υπόψη σε μια ολοκληρωμένη προσέγγιση, προκειμένου να επιλεγεί η βέλτιστη λύση για μια δεδομένη απαίτηση ψύξης ή κλιματισμού (Πηγή : Sand et al., 1997).

Από όλα τα παραπάνω, γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι για τον εξοπλισμό του τομέα ψύξης και κλιματισμού που χρησιμοποιεί ουσίες (ρευστά) που αποτελούν θερμοκηπιακά αέρια κατά τα στάδια λειτουργίας και παροπλισμού του, η τιμή TEWI εξαρτάται από τις τιμές GWP του ρευστού (άμεση συμβολή), του συντελεστή ψύξης ή θέρμανσης ( $COP_{\psi}$ ,  $COP_{\theta}$ ), καθώς και από το μείγμα καυσίμου που χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε μια δεδομένη περιοχή (έμμεση συμβολή). Ως εκ τούτου, θα πρέπει να εξετάζεται μάλλον συγκριτικά, παρά απόλυτα, αφού και οι τρεις αυτοί παράγοντες εμπεριέχουν μεγάλο βαθμό αβεβαιότητας (Sand et al., 1997 ; IPCC/TEAP, 2005). Θα πρέπει να σημειωθεί ότι ο δείκτης TEWI χρησιμοποιείται, όπως ειπώθηκε, και για τους τομείς των μονώσεων, των διαλυτών και των προωθητικών αερίων, οι οποίοι όμως δεν εμπίπτουν στο αντικείμενο που ερευνάται στην παρούσα διατριβή και γι' αυτό αγνοούνται. Εφεξής, οποιαδήποτε αναφορά σε αυτόν, θα σχετίζεται με τη χρήση του αποκλειστικά και μόνο στον τομέα ψύξης και κλιματισμού.

#### **1.6.2.1 Άμεση Συμβολή (Direct Effect, DE)**

Το στάδιο λειτουργίας του εξοπλισμού κατά τη διάρκεια ζωής του τείνει να εμφανίζει τη μεγαλύτερη άμεση συμβολή για τις περισσότερες εφαρμογές ψύξης και κλιματισμού, ενώ μπορούν να ποικίλουν σημαντικά, ανάλογα με τις πρακτικές υπηρεσιών διάθεσης και τους άλλους επιχειρησιακούς και περιβαλλοντικούς παράγοντες που δεν είναι εγγενείς με την τεχνολογία. Οι εκπομπές προέρχονται γενικά από αστοχίες των εξαρτημάτων του συστήματος ή από τη διαχείριση του ψυκτικού ρευστού κατά τη διάρκεια των εργασιών συντήρησης και επισκευής, με το μέγεθος και τη συχνότητα των διαρροών να εξαρτώνται από διάφορους παράγοντες. Οι εξωτερικοί παράγοντες περιλαμβάνουν τους τρόπους χρήσης, τη συχνότητα μετεγκατάστασης του εξοπλισμού, τις καιρικές συνθήκες και τα μη φιλικά περιβάλλοντα, την ποιότητα των επισκευών και τη συχνότητα της προληπτικής συντήρησης. Στους εσωτερικούς, ραγδαίες διακυμάνσεις της θερμοκρασίας ή της πίεσης και πέραν του επιτρεπτού κραδασμοί των σωληνώσεων των συνδέσμων τους κ.ο.κ., λόγω του κινητήρα του συμπιεστή και των ανεμιστήρων ή άλλων εξωτερικών πηγών, αποτελούν τις κύριες αιτίες διαρροών κατά τη χρήση. Άλλες πτυχές του προβλήματος των διαρροών συνδέονται αναπόσπαστα με το σχεδιασμό και την κατασκευή του εξοπλισμού. Η ποιότητα σχεδιασμού του εξοπλισμού και η χρήση των κατάλληλων συστατικών μερών του έχουν σημαντικό αντίκτυπο στα ποσοστά διαρροής. Τα συστήματα ελέγχου είναι επίσης υπεύθυνα για εκπομπές, όπως π.χ. οι συσκευές εκτόνωσης της πίεσης.

Ενώ η ποιότητα της συντήρησης και των επισκευών του εξοπλισμού επηρεάζει τη διαρροή κατά τη διάρκεια της λειτουργίας, η πραγματική διαχείριση του ψυκτικού ρευστού κατά το στάδιο αυτό μπορεί επίσης να οδηγήσει σε σημαντικές εκπομπές όπως, για παράδειγμα, η αφαίρεση του υγρού από το σύστημα και η επακόλουθη αναπλήρωσή του. Ο βαθμός διαρροής εξαρτάται κυρίως από τις ενέργειες του προσωπικού και τα εργαλεία που αυτό χρησιμοποιεί και θα κυμαίνονται από τον ελάχιστο (ο οποίος σχετίζεται με το αέριο που έχει μείνει στο σύστημα και τις σωληνώσεις του) έως τον μέγιστο, όπου εκεί οι ποσότητες μπορεί να υπερβαίνουν αυτές με τις οποίες πληρώνεται το σύστημα. Παρά τη νομοθεσία που υπάρχει κατά του εξαερισμού σε ορισμένες χώρες, συχνά επικρατούν πρακτικές κατά τις οποίες το όλο σύστημα αερίζεται, εξετάζεται για διαρροές μέσω του ίδιου του ρευστού (πιθανώς αρκετές φορές, μέχρι να επιδιορθωθούν όλες οι διαρροές) και ξεπλένεται με το ρευστό πριν την τελική επαναπλήρωση. Εξαρτήματα και σωληνώσεις που δεν έχουν συνδεθεί καλά, καθώς και η ύπαρξη εξοπλισμού

ανάκτησης χαμηλής ποιότητας, μπορούν να συμβάλλουν σημαντικά σε υψηλές τιμές εκπομπών. Η διαρροή ψυκτικού ρευστού εκτός από το προφανές (άμεση συμβολή), επηρεάζει, όπως με περιεκτικό τρόπο απεικονίστηκε στο Σχήμα 1.24 (Κεφάλαιο 1.5), και την έμμεση συμβολή, αφού η παρουσία της αυξάνει έμμεσα την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας (IPCC/TEAP, 2005). Προκειμένου να υπολογιστεί η άμεση συμβολή κατά τη χρήση (λειτουργία) του εξοπλισμού στα συστήματα ψύξης και κλιματισμού, χρησιμοποιείται η εξίσωση (Fischer et al., 1991) :

$$OR = m_R GWP_R O_{LR} t \quad (\text{kgCO}_2\text{-eq}) \quad (1.39)$$

όπου :

OR : οι ισοδύναμες άμεσες εκπομπές CO<sub>2</sub> κατά τη χρήση (Operational Releases) (kgCO<sub>2</sub>-eq),

m<sub>R</sub> : η μάζα του ψυκτικού ρευστού που περιέχεται στον εξοπλισμό (kg),

GWP<sub>R</sub> : το δυναμικό παγκόσμιας υπερθέρμανσης του ψυκτ. ρευστού (kgCO<sub>2</sub>-eq/kg),

O<sub>LR</sub> : οι ετήσιες απώλειες ψυκτ. ρευστού σε ποσοστό επί τοις εκατό (Operational Loss Rate) (%/yr) &

t : η συνολική διάρκεια του σταδίου χρήσης του εξοπλισμού σε έτη (yr).

Κατά τον παροπλισμό (decommissioning) του εξοπλισμού (όταν δηλαδή σταματήσει αυτός να λειτουργεί-τέλος του σταδίου χρήσιμης διάρκειας ζωής), τα ψυκτικά ρευστά θα πρέπει να εξαερωθούν ή να ανακτηθούν. Τα τελευταία χρόνια, η τιμή των εξοπλισμών ανάκτησης έχει μειωθεί σημαντικά με αποτέλεσμα την ανάλογη σημαντική αύξηση των πωλήσεων αυτών των συσκευών, κάτι που υποδεικνύει ότι η ανάκτηση έχει γίνει πολύ πιο διαδεδομένη, σε σχέση με αυτό που συνέβαινε κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1980 και του 1990. Για τα ψυκτικά ρευστά, οι πηγές των εκπομπών που σχετίζονται με την αφαίρεσή τους από τον εξοπλισμό, είναι οι ίδιες με αυτές που σχετίζονται με το συνήθη χειρισμό του κατά τη διάρκεια λειτουργίας του και οι οποίες συζητήθηκαν προηγουμένως. Παλαιότερα, συνηθιζόταν το ρευστό να εξαερίζεται όταν ο εξοπλισμός παροπλιζόταν, αλλά όπου έχει θεσπιστεί η ανάλογη νομοθεσία, η αναμενόμενη τακτική είναι να ανακτηθεί το ρευστό. Αν αυτό ανακτηθεί, τότε μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί (με την ανακτηθείσα μορφή του πλέον), να ανακυκλωθεί (χρησιμοποιώντας μηχανήματα που πραγματοποιούν τη συγκεκριμένη διεργασία επιτόπου) ή να επιστραφεί πίσω στον προμηθευτή ή κάποιο κέντρο ανακύκλωσης για τον καθαρισμό (και επαναχρησιμοποίηση) ή την απόρριψή του. Ρευστά που δεν έχουν υποστεί παράλλαξη μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν κανονικά, ενώ το αν ένα ρευστό μπορεί να καθαριστεί επιτόπου ή πρέπει να επιστραφεί στον προμηθευτή, εξαρτάται από τον τύπο και το βαθμό παράλλαξης, καθώς και τη διαδικασία που απαιτείται προκειμένου το ρευστό να επανέλθει στην κατάσταση στην οποία βρισκόταν πριν από την πρώτη χρήση.

Προκειμένου να υπολογιστεί η άμεση συμβολή κατά τον παροπλισμό του εξοπλισμού στα συστήματα ψύξης και κλιματισμού, χρησιμοποιείται η εξίσωση (Fischer et al., 1991) :

$$DR = m_R GWP_R D_L \quad (\text{kgCO}_2\text{-eq}) \quad (1.40)$$

όπου :

DR : οι ισοδύναμες άμεσες εκπομπές CO<sub>2</sub> κατά τον παροπλισμό (Decommissioning Releases) (kgCO<sub>2</sub>-eq) και

$D_L$  : οι απώλειες ψυκτ. ρευστού κατά τον παροπλισμό σε ποσοστό επί τοις εκατό (Decommissioning Losses) (%).

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι η άμεση συμβολή (Direct Effect, DE) μιας εφαρμογής ψύξης και κλιματισμού, καθόλη τη χρήσιμη διάρκεια ζωής και τον παροπλισμό του χρησιμοποιούμενου εξοπλισμού θα ισούται με :

$$DE = OR + DR = (m_R \text{ GWP}_R O_{LR} t) + (m_R \text{ GWP}_R D_L) \quad (\text{kgCO}_2\text{-eq}) \quad (1.41)$$

Επίσης, η άμεση ετήσια συμβολή (Annual Direct Effect,  $DE_A$ ) θα υπολογίζεται από την εξίσωση :

$$\begin{aligned} DE_A &= OR_A + DR_A = OR_A + (DR/t), \text{ δηλαδή} \\ DE_A &= (m_R \text{ GWP}_R O_{LR}) + (m_R \text{ GWP}_R D_L / t) \quad (\text{kgCO}_2\text{-eq/yr}) \end{aligned} \quad (1.42)$$

όπου :

$OR_A$  : η άμεση ετήσια συμβολή λειτουργίας του εξοπλισμού (Annual Operational Releases) ( $\text{kgCO}_2\text{-eq/yr}$ ) και

$DR_A$  : η άμεση συμβολή κατά τον παροπλισμό του εξοπλισμού που αναλογεί σε κάθε έτος που αυτός λειτουργεί (Annual Decommissioning Releases) ( $\text{kgCO}_2\text{-eq/yr}$ ).

### 1.6.2.2 Έμμεση Συμβολή (Indirect Effect, IE)

Από τη στιγμή που ο εξοπλισμός παροπλίζεται, λογικό είναι ότι οι έμμεσες εκπομπές (κυρίως του  $\text{CO}_2$ ) θα προέρχονται από το στάδιο λειτουργίας του και θα αποτελούνται από εκείνες που προκύπτουν λόγω της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία στη συνέχεια καταναλώνεται στα μέρη του συστήματος (κυρίως στο συμπιεστή π.χ. ενός κτηριακού συστήματος κλιματισμού), καθώς και από εκείνες που προκύπτουν από τη χρήση οποιουδήποτε άλλου είδους καυσίμου απευθείας από το σύστημα (π.χ. η βενζίνη των κινητήρων εσωτερικής καύσης που μπορεί να χρησιμοποιεί ο συμπιεστής για τη λειτουργία του όταν υπάρχει ανάγκη) (IPCC/TEAP, 2005). Η συνολική έμμεση συμβολή (Indirect Effect, IE) κατά το στάδιο της χρήσιμης λειτουργίας μιας εφαρμογής ψύξης και κλιματισμού, λόγω των απαιτήσεων αυτής σε ενέργεια, θα εκφράζεται από την εξίσωση :

$$IE = (E_A \text{ EF } t) + \sum(E_{Amisc} \text{ EF}_{misc} t) \quad (\text{kgCO}_2) \quad (1.43)$$

όπου :

$E_A$  : η ετήσια κατανάλωση ηλ. ενέργειας του εξοπλισμού (Annual Energy) ( $\text{kWh/yr}$ ),

$\text{EF}$  : ο συντελεστής εκπομπών  $\text{CO}_2$  για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (Emission Factor) ( $\text{kgCO}_2/\text{kWh}$ ),

$t$  : η συνολική διάρκεια του σταδίου χρήσης του εξοπλισμού σε έτη ( $\text{yr}$ ),

$E_{Amisc}$  : η ετήσια κατανάλωση άλλου είδους ενέργειας εκτός της ηλεκτρικής από τον εξοπλισμό (Miscellaneous Annual Energy) ( $\text{kWh/yr}$ ) &

$\text{EF}_{misc}$  : ο συντελεστής εκπομπών  $\text{CO}_2$  των διαφόρων καυσίμων (Miscellaneous Emission Factor) ( $\text{kgCO}_2/\text{kWh}$ ).

Στη συνηθέστερη περίπτωση, ο εξοπλισμός τροφοδοτείται με ηλεκτρική ενέργεια από το δίκτυο και έτσι η εξ.(1.43) γίνεται :

$$IE = E_A \text{ EF } t \quad (\text{kgCO}_2) \quad (1.44)$$

Στην περίπτωση που τροφοδοτείται με ηλεκτρική ενέργεια παραγόμενη μόνο από ΑΠΕ (αυτόνομο σύστημα), τότε η έμμεση συμβολή μηδενίζεται (αφού  $EF = 0$ ), ενώ, στην περίπτωση διασυνδεδεμένου συστήματος, ο συντελεστής εκπομπών πολλαπλασιάζεται με το ποσοστό κατά το οποίο το δίκτυο συμμετέχει στην παροχή ηλεκτρικής ενέργειας. Επίσης, η ετήσια έμμεση συμβολή της πιο συνηθισμένης περίπτωσης-εξ.(1.44)-θα ισούται με (και ανάλογα θα υπολογίζονται και οι υπόλοιπες περιπτώσεις) :

$$IE_A = E_A EF \quad (\text{kgCO}_2/\text{yr}) \quad (1.45)$$

Οι εκπομπές  $\text{CO}_2$  που συνδέονται με την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ποικίλλουν κυρίως μεταξύ των χωρών, αφού εξαρτώνται από το συγκεκριμένο μείγμα καυσίμου (π.χ. άνθρακα, φυσικό αέριο, υδροηλεκτρικά, ΑΠΕ κ.τ.λ.) και τις τεχνολογίες παραγωγής που χρησιμοποιεί η κάθε χώρα. Αύξηση της περιπλοκότητας των υπολογισμών θα μπορούσε να υπάρξει, στην προσπάθεια να καθοριστεί και η πιο μικρή λεπτομέρεια που έχει να κάνει με τις ενεργειακώς σχετιζόμενες εκπομπές του  $\text{CO}_2$  και των άλλων αερίων του θερμοκηπίου. Ωστόσο, για τη γενική προσέγγιση, θεωρείται ότι οι πιο σημαντικές εκπομπές είναι αυτές του  $\text{CO}_2$  και ότι οι μέθοδοι που χρησιμοποιεί ο Διεθνής Οργανισμός Ενέργειας (International Energy Agency, IEA) είναι αυτές που θα δίνουν διεθνώς τις πιο έγκυρες εκτιμήσεις. Οι τιμές για τους συντελεστές αυτούς προκύπτουν από το λόγο των εθνικών εκπομπών  $\text{CO}_2$  για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας προς τη συνολική εθνικά χρησιμοποιούμενη ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας. Στα στατιστικά της στοιχεία η IEA λαμβάνει υπόψη της και το εμπόριο ηλεκτρικής ενέργειας μεταξύ των χωρών, με τη μορφή της μέσης ετήσιας ποσότητας (IPCC/TEAP, 2005).

### **1.6.2.3 Η συνδυασμένη επίδραση άμεσης και έμμεσης συμβολής (υπολογισμός TEWI)**

Σύμφωνα με τα όσα έχουν αναφερθεί, η τιμή του TEWI για συστήματα ψύξης και κλιματισμού (θεωρώντας ότι η τροφοδοσία με ηλεκτρική ενέργεια προέρχεται από το δίκτυο) θα ισούται με :

$$TEWI = DE + IE = OR + DR + IE \Rightarrow$$

$$TEWI = (m_R GWP_R O_{LR} t) + (m_R GWP_R D_L) + (E_A EF t) \quad (\text{kgCO}_2) \quad (1.46)$$

ενώ η ετήσια τιμή του (Annual TEWI,  $TEWI_A$ ) θα εκφράζεται ως :

$$TEWI_A = DE_A + IE_A = OR_A + DR_A + IE_A = OR_A + (DR/t) + IE_A \Rightarrow$$

$$TEWI_A = (m_R GWP_R O_{LR}) + (m_R GWP_R D_L / t) + (E_A EF) \quad (\text{kgCO}_2/\text{yr}) \quad (1.47)$$

## **ΜΕΡΟΣ 2<sup>ο</sup> : ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ**

## 2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ-ΣΚΟΠΟΣ

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες, με κυρίαρχες εκείνες τις διεργασίες που λαμβάνουν χώρα για την παραγωγή (ηλεκτρικής κυρίως) ενέργειας μέσω της καύσης ορυκτών καυσίμων προκειμένου ο άνθρωπος να καλύψει τις ανάγκες του, καθώς και η χρήση ουσιών όπως οι CFCs και οι HCFCs, έχουν ως αποτέλεσμα τόσο την εξάντληση των ορυκτών πόρων όσο και τη ρύπανση της ατμόσφαιρας, η οποία μάλιστα συνοδεύεται και από την εμφάνιση μεγάλων περιβαλλοντικών προβλημάτων, δύο εκ των οποίων είναι η Τρύπα του Όζοντος και η ενίσχυση του Φαινομένου του Θερμοκηπίου.

Έτσι, αυτό που ενδιαφέρει την ανθρωπότητα δεν είναι μόνο η εξοικονόμηση ενέργειας, η οποία βοηθά στη διατήρηση του ορυκτού πλούτου και στη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που ανακύπτουν κατά τη χρήση συμβατικών τρόπων για την παραγωγή της (οι οποίες μειώνονται ακόμη περισσότερο όταν στο εμπομαζόμενο 'μείγμα καυσίμου' εισέρχονται π.χ. οι ΑΠΕ, τα υδροηλεκτρικά, το φυσικό αέριο κ.α.), αλλά και η ταυτόχρονη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που δημιουργούνται από την κατανάλωση αυτής της ενέργειας στις διάφορες μηχανολογικές εφαρμογές, χωρίς αυτό να επηρεάζει την απόδοσή τους.

Πιο συγκεκριμένα, στον τομέα της θέρμανσης και του δροσισμού κλειστών χώρων, η αντλία θερμότητας (ΑΘ) με συμπίεση ατμών ψυκτικού ρευστού αποτελεί ένα μηχανικό σύστημα ψύξης (δηλαδή μια ψυκτική μηχανή), το οποίο είναι το πλέον χρησιμοποιούμενο είδος αντλίας θερμότητας και για να λειτουργήσει καταναλώνει ηλεκτρική ενέργεια (συγκεκριμένα ο συμπιεστής), ενώ είναι άκρως ανταγωνιστικό σε σχέση με τα συμβατικά συστήματα που έχουν την ίδια ακριβώς αποστολή και καταναλώνουν κι αυτά ηλεκτρική ενέργεια, αφού μπορούν να εξοικονομήσουν τουλάχιστον το 50% της ενέργειας για θέρμανση ( $COP_{\theta} \geq 2$ ) και το 75% της ενέργειας για δροσισμό ( $COP_{\psi} \geq 4$ ) που αυτά θα απαιτούσαν, προκειμένου να καλύψουν τις ίδιες ανάγκες. Από τη στιγμή που χρησιμοποιούνται (μέσα στο σύστημα που εμείς έχουμε ορίσει για μελέτη, το οποίο στην παρούσα διατριβή είναι η αντλία θερμότητας μέσα σε ένα χοιροστάσιο-αναφορά, καθόλη τη διάρκεια ζωής λειτουργίας της, αλλά και κατά το στάδιο του παροπλισμού της) ουσίες όπως οι HFCs που ανήκουν στα ανθρωπογενή αέρια του θερμοκηπίου, το σύστημα (δηλαδή η αντλία θερμότητας) συμβάλλει όχι μόνο έμμεσα (γεγονός που το πράττουν όλα τα συστήματα, συμβατικά ή μη, που καταναλώνουν ηλεκτρική ενέργεια η οποία για να παραχθεί προκάλεσε την εκπομπή θερμοκηπιακών αερίων στην ατμόσφαιρα, με κυρίαρχο το CO<sub>2</sub>) αλλά και άμεσα στην ενίσχυση του Φαινομένου του Θερμοκηπίου. Επομένως, το περιβαλλοντικό της αποτύπωμα θα εκφράζεται μέσω του δείκτη 'Συνολικής Ισοδύναμης Επίδρασης στην Παγκόσμια Θέρμανση' ΣΙΕΠΘ (Total Equivalent Warming Impact, TEWI, ο οποίος αναλύθηκε στο Κεφάλαιο 1.6 του γενικού μέρους), από τον υπολογισμό του οποίου εύκολα γίνεται αντιληπτό ότι το περιβαλλοντικό αποτύπωμα και το ενεργειακό αποτύπωμα σχετίζονται μεταξύ τους, με το πρώτο να εξαρτάται από το δεύτερο. Θα πρέπει να τονιστεί ότι σήμερα οι ουσίες που προτείνονται για χρήση ως ψυκτικά ρευστά σε συστήματα όπως οι αντλίες θερμότητας, στη συντριπτική τους πλειοψηφία δεν είναι επιβλαβείς για το όζον (Ozone Depletion Substances, ODSs), αφού έχουν μηδενικό ODP. Σε αυτές συμπεριλαμβάνονται οι HFCs καθώς και φυσικά ψυκτικά ρευστά όπως οι HCs, η αμμωνία (NH<sub>3</sub>), κ.α.

Η έννοια του περιβαλλοντικού δείκτη TEWI ήταν αποτέλεσμα της ερευνητικής δραστηριότητας συνεργασίας μεταξύ του Αμερικανικού Υπουργείου Ενέργειας (U.S. Department Of Energy, DOE) και μιας διεθνούς κοινοπραξίας, την οποία συγκροτούσαν μερικοί από τους μεγαλύτερους κατασκευαστές χημικών ουσιών,

στους οποίους συμπεριλαμβάνονταν και οι φθοράνθρακες, με την ονομασία ‘Περιβαλλοντική Ερευνητική Μελέτη Αποδοχής Εναλλακτικών Φθορανθράκων’ (Alternative Fluorocarbons Environmental Acceptability Study, AFEAS). Οι δυο παραπάνω φορείς συγχρηματοδότησαν τρεις μελέτες, οι οποίες διεκπεραιώθηκαν μέσω της χρήσης συστημάτων προσέγγισης, για τον προσδιορισμό της συνολικής συνεισφοράς-συμβολής των υποκατάστατων των CFCs στην παγκόσμια (υπερ)θέρμανση (Ανώνυμος, 2006).

Η πρώτη μελέτη (Fischer et al., 1991), η οποία διεξήχθη στις αρχές της δεκαετίας του 1990, επικεντρώθηκε σε εκείνες τις τεχνολογικές επιλογές που θα μπορούσαν να εφαρμοστούν από το έτος 2000 (δηλαδή θα είχαν εμπορευματοποιηθεί μέχρι τότε) σε κάθε μια από τις σημαντικότερες περιοχές εφαρμογής των CFCs όπως είναι η ψύξη και ο κλιματισμός, οι μονώσεις και ο καθαρισμός μέσω διαλυτών. Το χρονικό αυτό διάστημα ορίστηκε με βάση το χρονοδιάγραμμα που όριζε η έκδοση του Πρωτοκόλλου του Μόντρεαλ για το έτος 1990, όσον αφορά τη σταδιακή κατάργηση των CFCs. Η δεύτερη μελέτη (Fischer et al., 1994), η οποία πραγματοποιήθηκε τα έτη 1993/1994, αξιολόγησε τις ενεργειακές αλλά και τις περιβαλλοντικές (όσον αφορά την παγκόσμια θέρμανση) επιπτώσεις της επόμενης γενιάς φθορανθράκων αλλά και των, διαφορετικού είδους (Not-In-Kind, NIK), μη φθορανθρακικών τεχνολογιών που θα μπορούσαν να δημιουργηθούν ή να βελτιωθούν, προκειμένου να αντικαταστήσουν τόσο τους CFCs όσο και τους HCFCs. Μια τρίτη μελέτη (Sand et al., 1997), η οποία ξεκίνησε το 1996 και ολοκληρώθηκε το 1997, επικεντρώθηκε στις τεχνολογίες που θα μπορούσαν να εμπορευματοποιηθούν, κυρίως στις εφαρμογές ψύξης και κλιματισμού αλλά και στις μονώσεις, κατά τη διάρκεια της σταδιακής κατάργησης των HCFCs, όπως είναι οι HFCs, όσον αφορά τις φθορανθρακικές τεχνολογίες, καθώς και διάφορες NIK (δηλαδή μη φθορανθρακικές) τεχνολογίες (Ανώνυμος, 2006).

Εκτός όμως από τις παραπάνω τρεις ερευνητικές μελέτες, οι οποίες ουσιαστικά δημιούργησαν (κυρίως η πρώτη) τον όρο ή, αλλιώς, την έννοια του δείκτη TEWI, καθιερώνοντας τον ως ένα χρήσιμο εργαλείο για τον υπολογισμό του περιβαλλοντικού αποτυπώματος μηχανικών συστημάτων ψύξης & κλιματισμού, ιδιαίτερη μνεία θα μπορούσε να γίνει στις προσπάθειες και άλλων φορέων και οργανισμών. Σε αυτούς συγκαταλέγονται η ‘Βρετανική Εταιρία Ψύξης’ (British Refrigeration Association, BRA) (BRA, 1996), η ‘Ιαπωνική Βιομηχανική Ένωση Ψύξης και Κλιματισμού’ (Japan Refrigeration and Air conditioning Industry Association, JRAIA) (Onishi et al., 2004), η ‘IPCC’ (IPCC/TEAP, 2005), η ‘Σουηδική Εταιρεία Αντλιών Θερμότητας’ (Swedish Heat Pump Association, SVEP) (SVEP, 2005) που αποτελεί μέλος της ‘Ευρωπαϊκής Εταιρείας Αντλιών Θερμότητας’ (European Heat Pump Association, EHPA), η Ευρωπαϊκή Ένωση (EU) μέσω του προγράμματος ‘Εξυπνη Ενέργεια-Ευρώπη’ (Intelligent Energy-Europe, IEE) (SEPEMO, 2011), καθώς και το ‘Αυστραλιανό Ινστιτούτο Ψύξης, Κλιματισμού και Θέρμανσης’ (Australian Institute of Refrigeration, Air conditioning and Heating, AIRAH) (AIRAH, 2011 ; AIRAH, 2012), το οποίο μέχρι στιγμής έχει παρουσιάσει και την πιο πρόσφατη προσπάθεια (Ιούνιος 2012). Επίσης, αξίζει να αναφερθεί και το, ανα τακτά χρονικά διαστήματα, περιβαλλοντικό έργο (κατά το οποίο γίνονται υπολογισμοί του TEWI) που συμπεριλαμβάνεται στις ερευνητικές δραστηριότητες του ‘Κέντρου Αντλιών Θερμότητας’ (Heat Pump Centre, HPC), το οποίο αποτελεί την κεντρική πηγή πληροφόρησης του ‘Προγράμματος για τις Αντλίες Θερμότητας’ (Heat Pump Programme, HPP), το οποίο, με τη σειρά του, αποτελεί εφαρμογή της συμφωνίας στα πλαίσια του ‘Δικτύου Ενεργειακών Τεχνολογιών’ (Energy Technology Network, ETC) του ‘Διεθνούς Οργανισμού Ενέργειας’ (International Energy Agency, IEA) (Ανώνυμος, 2012α).



Σε επίπεδο ατομικό/ακαδημαϊκό υπάρχουν αρκετές εργασίες που αναφέρουν το δείκτη TEWI στο περιβαλλοντικό τους κομμάτι, αποτελώντας συνήθως ένα από τα κριτήρια για την επιλογή μιας τεχνολογίας. Από αυτές (ενδεικτική αναφορά), άλλες αναφέρονται αποκλειστικά στο δείκτη TEWI (Fischer, 1993 ; Sand et al., 1999) ή στην Εκτίμηση Κύκλου Ζωής (LCA), της οποίας ο δείκτης TEWI αποτελεί υπομέθοδο (McCulloch, 1994), άλλες εστιάζουν στα ψυκτικά ρευστά (Beeton et al., 2008 ; Pham & Sachs, 2010 ; Aprea & Maiorino, 2011 ; Messineo et al., 2012) ή ακόμη και τις διαρροές τους (Cowan et al., 2011 ; Koronaki et al., 2011), ενώ άλλες επικεντρώνονται στους διάφορους τομείς εφαρμογών των ψυκτικών μηχανών, όπως είναι ο κλιματισμός οχημάτων (Sand & Fischer, 1997 ; Hill et al., 2006 ; Papasavva & Andersen, 2008 ; Monforte, 2008), η εμπορική και η βιομηχανική ψύξη (Havelský, 2000 ; Davies & Caretta, 2004 ; Campbell et al., 2006) και ο κλιματισμός χώρων, κύριος τομέας εφαρμογής των αντλιών θερμότητας (Barnes & Bullard, 2000 ; Florides et al., 2002 ; Barbouchi & Ritz, 2006 ; Horie et al., 2010 ; Johnson, 2011).

Στην ελληνική βιβλιογραφία υπάρχουν αναφορές για το δείκτη TEWI σε εργασίες της Παπαδάκη (2005), της Λεβέντη (2008), του Δάλλα (2010) και στο βιβλίο του Κανακάκη (2011).

Σκοπός της παρούσας διατριβής είναι ο υπολογισμός και η σύγκριση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος (TEWI) μιας αντλίας θερμότητας κύκλου συμπίεσης ατμών, πάντα μέσω της ενδεικνυόμενης μεθοδολογίας, της χρήσης των απαραίτητων υλικών και της υιοθέτησης των προβλεπόμενων παραδοχών, ώστε να εξαχθούν συμπεράσματα για την καταλληλότερη τεχνολογική επιλογή ψυκτικού ρευστού, από κλιματολογικής, ενεργειακής και περιβαλλοντικής απόψεως.

## 2.2 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ-ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ-ΥΛΙΚΑ

### 2.2.1 Μεθοδολογία

Η μέθοδος που ακολουθείται για τον υπολογισμό του TEWI της αντλίας θερμότητας αναφοράς στην παρούσα διατριβή, για μια συγκεκριμένου τύπου και μεγέθους χοιροτροφική μονάδα εγκατεστημένη σε τρεις διαφορετικές κλιματικά περιοχές της Ελλάδας (Φλώρινα-Χαλκίδα-Ιεράπετρα), όπως αυτή αναφέρεται και αναλύεται από τον Παπαγεωργίου (Παπαγεωργίου, 2010 ; Παπαγεωργίου & Λαμπρινός, 2011α ; Παπαγεωργίου & Λαμπρινός 2011β), περιλαμβάνει τρία βασικά στάδια :

1. Διερεύνηση κλιματικών συνθηκών/δεδομένων : Στο στάδιο αυτό εξετάζονται τα κλιματικά δεδομένα των τριών περιοχών που έχουν επιλεγεί ως υποψήφια για την εγκατάσταση της χοιροτροφικής μονάδας (ή, αλλιώς, χοιροστασίου). Συγκεκριμένα, προσδιορίζονται οι μέσες μηνιαίες ελάχιστες/μέγιστες θερμοκρασίες χειμώνα/θέρος αντίστοιχα (δυσμενέστερες συνθήκες εξωτερικού περιβάλλοντος), καθώς και οι μέσες θερμοκρασίες που απαιτούνται για τη θερμική άνεση των χοιριδίων το χειμώνα (για θέρμανση) και το θέρος (για δροσισμό) στο εσωτερικό περιβάλλον (μικροπεριβάλλον), δηλαδή τους θαλάμους του χοιροστασίου, με βάση την οργάνωση αλλά και τις ανάγκες του.
2. Ενεργειακοί υπολογισμοί : Στο στάδιο αυτό ποσοτικοποιούνται όλα εκείνα τα μεγέθη που οδηγούν στον υπολογισμό των πραγματικών συντελεστών απόδοσης λειτουργίας για θέρμανση το χειμώνα ( $COP_{\theta}^{real}$ ) και για δροσισμό το θέρος ( $COP_{\psi}^{real}$ ), καθώς και των αντίστοιχων θεωρητικών παροχών όγκου στην αναρρόφηση του συμπιεστή, η οποία βοηθά στη διαστασιολόγησή του, για κάθε περιοχή και για κάθε υποψήφιο ψυκτικό ρευστό. Τα ποσά της μέγιστης θερμικής ισχύος το χειμώνα ( $\dot{Q}_{\theta}$ ) και της μέγιστης ψυκτικής ισχύος το θέρος ( $\dot{Q}_{\psi}$ ) είναι αυτά που αναφέρει ο Παπαγεωργίου (2010, 2011α) με βάση τους υπολογισμούς του, για τα αντίστοιχα φορτία και τις ώρες που λειτουργεί η αντλία θερμότητας. Τα βήματα που ακολουθούνται σε αυτό το στάδιο για κάθε ψυκτικό ρευστό, για κάθε εποχή και για κάθε περιοχή είναι :
  - Με βάση τις θερμοκρασίες εξωτερικού και εσωτερικού περιβάλλοντος, προσδιορίζονται οι αντίστοιχες θερμοκρασίες εξάτμισης και συμπύκνωσης, οι οποίες, με τη σειρά τους ορίζουν τις πιέσεις εξάτμισης και συμπύκνωσης. Λαμβάνοντας υπόψη τις παραδοχές για τις πτώσεις πίεσης στα μέρη της διάταξης, τον ισεντροπικό βαθμό απόδοσης του συμπιεστή και τις θερμοκρασίες υπερθέρμανσης-υπόψυξης, σχεδιάζεται ο ψυκτικός κύκλος της αντλίας θερμότητας στο διάγραμμα πίεσης-ειδικής ενθαλπίας που παρουσιάζει το κάθε ψυκτικό ρευστό, για κάθε εποχή και για κάθε περιοχή, μέσω κατάλληλου λογισμικού για ηλεκτρονικό υπολογιστή.
  - Από το παραπάνω διάγραμμα υπολογίζονται η ειδική θερμική παραγωγή ( $q_{\theta}$ ), η ειδική ψυκτική παραγωγή ( $q_{\psi}$ ), το ειδικό απορροφούμενο έργο ( $w$ ), ο λόγος συμπίεσης ( $\tau$ ), καθώς και ο ειδικός όγκος στην είσοδο (αναρρόφηση) του συμπιεστή ( $v_1$ ).
  - Τα παραπάνω μεγέθη μαζί τις υιοθετημένες παραδοχές για τη μηχανική απόδοση του συστήματος και τη θερμική-ψυκτική ισχύ της μονάδας, πινακοποιούνται και, με τη βοήθεια του κατάλληλου λογισμικού, υπολογίζονται κάποιες επιπλέον ιδιότητες, όπως ο

συνολικός βαθμός απόδοσης της διάταξης ( $\eta_{tot}$ ) και η παροχή μάζας ψυκτικού ρευστού, είτε για θέρμανση είτε για ψύξη/δροσισμό ( $\dot{m}_{R\Theta}$ ,  $\dot{m}_{R\Psi}$  αντίστοιχα), οι οποίες οδηγούν τελικά στον υπολογισμό των  $COP_{\Theta}^{real}$ ,  $COP_{\Psi}^{real}$  καθώς και των αντίστοιχων τιμών θεωρητικής παροχής όγκου ψυκτικού ρευστού ανά ρευστό και περιοχή.

3. Περιβαλλοντικοί υπολογισμοί : Σε αυτό το στάδιο γίνεται ο υπολογισμός του TEWI της αντλίας θερμότητας ετησίως αλλά και κατά τη συνολική διάρκεια ζωής λειτουργίας της και του παροπλισμού της, ανα ψυκτικό ρευστό, εποχή και περιοχή. Τα βήματα που εκτελούνται στο στάδιο αυτό είναι τα εξής :

- Υπολογισμός της άμεσης συμβολής της αντλίας θερμότητας στην παγκόσμια θέρμανση. Για να γίνει όμως αυτό το βήμα, πρέπει πρώτα να υπολογιστεί η ποσότητα του ψυκτικού ρευστού που υπάρχει σε όλη την εγκατάσταση. Γνωρίζοντας το μήκος και τη διάμετρο των σωληνώσεων, τόσο της γραμμής αερίου όσο και της γραμμής υγρού, την πυκνότητα του κάθε ψυκτικού μέσου στα σημεία 1 (ατμός) και 4 (υγρό), καθώς και τη χωρητικότητα του συλλέκτη, υπολογίζεται η ποσότητα του κάθε ψυκτικού ρευστού κατά το θέρος, η οποία είναι λίγο μεγαλύτερη από αυτή του χειμώνα, προφανώς για κάθε περιοχή. Γνωρίζοντας πλέον τη μάζα και την τιμή GWP κάθε ψυκτικού ρευστού και υιοθετώντας τις απαραίτητες και ενδεδειγμένες παραδοχές-υποθέσεις (ποσοστά διαρροών κατά την ετήσια λειτουργία αλλά και κατά τον παροπλισμό, καθώς και τα έτη λειτουργίας της αντλίας θερμότητας), υπολογίζεται η άμεση συμβολή ετησίως και συνολικά ανά ψυκτικό ρευστό και περιοχή. Θα πρέπει να τονιστεί ότι κατά τον υπολογισμό της άμεσης ετήσιας συμβολής συνυπολογίζεται και η συμβολή κατά τον παροπλισμό διαιρεμένη με τα έτη λειτουργίας της αντλίας θερμότητας.
- Υπολογισμός της έμμεσης συμβολής της αντλίας θερμότητας στην παγκόσμια θέρμανση. Αυτός προκύπτει από το άθροισμα της έμμεσης συμβολής κατά το χειμώνα και της έμμεσης συμβολής κατά το θέρος. Γνωρίζοντας, από το προηγούμενο στάδιο, τις τιμές των πραγματικών συντελεστών απόδοσης για θέρμανση/δροσισμό κάθε ψυκτικού ρευστού και την θερμική/ψυκτική ισχύ που απαιτεί η χοιροτροφική μονάδα ανά περιοχή, υπολογίζεται πρωτίστως το μηχανικό έργο που πρέπει να αποδοθεί στο συμπιεστή, δηλαδή η ηλεκτρική ενέργεια που πρέπει να καταναλωθεί για τη λειτουργία της αντλίας θερμότητας. Λαμβάνοντας υπόψη και τις κατάλληλες παραδοχές (ώρες λειτουργίας την ημέρα, αριθμός ημερών λειτουργίας κατά τη διάρκεια του έτους, σύνολο ετών λειτουργίας της αντλίας θερμότητας, καθώς και το συντελεστή εκπομπών CO<sub>2</sub> ανά παραγόμενη kWh<sub>e</sub>), υπολογίζονται οι έμμεσες συμβολές κατά το χειμώνα και το θέρος, το άθροισμα των οποίων (ετήσιο ή συνολικό) είναι η έμμεση συμβολή ανά ψυκτικό ρευστό και περιοχή, η οποία αντίστοιχα μπορεί να είναι η ετήσια ή η συνολική.
- Τέλος, από το συνδυασμένο άθροισμα της άμεσης και έμμεσης συμβολής προκύπτει η τιμή του TEWI, η οποία μπορεί να είναι είτε η ετήσια είτε η συνολική, ανά ψυκτικό ρευστό και περιοχή. Θα πρέπει να τονιστεί ότι όλα τα μεγέθη αυτού του σταδίου πινακοποιούνται και ο υπολογισμός τους γίνεται με τη χρήση κατάλληλου λογισμικού, όπως αντίστοιχα και στους ενεργειακούς υπολογισμούς, ενώ,

επιπρόσθετα, μέσω του ίδιου λογισμικού, γίνεται και απεικόνιση των τιμών του TEWI μέσω γραφημάτων, ώστε να γίνονται ευκολότερα αντιληπτές οι διαφορές κατά τη μεταξύ τους σύγκριση.

## 2.2.2 Παραδοχές

Για την εκπόνηση του ερευνητικού μέρους λήφθηκαν υπόψη μια σειρά παραδοχών, οι οποίες και παραθέτονται ως κατωτέρω :

1. Όσον αφορά τα κλιματικά δεδομένα και τις συνθήκες εσωτερικού περιβάλλοντος : Οι δυσμενέστερες κλιματικά συνθήκες, κατά τη διάρκεια του έτους, περιλαμβάνουν τη μέση ελάχιστη μηνιαία θερμοκρασία που επικρατεί το χειμώνα, καθώς και τη μέση μέγιστη μηνιαία θερμοκρασία που επικρατεί το θέρος, για τις τρεις περιοχές αντίστοιχα και οι οποίες είναι (TOTEE, 2010β) :

- για τη Φλώρινα :  $\theta_{out} = -3.5^{\circ}\text{C}$  (χειμώνας),  $\theta_{out} = 29.0^{\circ}\text{C}$  (θέρος),
- για τη Χαλκίδα :  $\theta_{out} = 5.1^{\circ}\text{C}$  (χειμώνας),  $\theta_{out} = 31.0^{\circ}\text{C}$  (θέρος) &
- για την Ιεράπετρα :  $\theta_{out} = 8.5^{\circ}\text{C}$  (χειμώνας),  $\theta_{out} = 32.0^{\circ}\text{C}$  (θέρος).

Από την άλλη πλευρά, οι μέσες θερμοκρασίες εσωτερικού περιβάλλοντος θα είναι οι εξής (Παπαγεωργίου, 2010 ; Παπαγεωργίου & Λαμπρινός, 2011α ; Παπαγεωργίου & Λαμπρινός, 2011β) :

- για το χειμώνα :  $\theta_{in} = 33^{\circ}\text{C}$  &
- για το θέρος :  $\theta_{in} = 24^{\circ}\text{C}$ .

2. Όσον αφορά την αντλία θερμότητας και τους ενεργειακούς υπολογισμούς : Εδώ, γίνονται οι εξής παραδοχές :

- το μέγεθος της αντλίας θερμότητας, με βάση τις τιμές θερμικής-ψυκτικής ισχύος για κάθε περιοχή (Παπαγεωργίου & Λαμπρινός, 2011α), είναι της τάξης των 125kW,
- ο μηχανικός βαθμός απόδοσης του συμπιεστή είναι  $\eta_m = 0.9$ ,
- ο ισεντροπικός βαθμός απόδοσης του συμπιεστή είναι  $\eta_{is} = 0.8$ ,
- το θερμοκρασιακό εύρος υπερθέρμανσης-υπόψυξης είναι  $10^{\circ}\text{C}$ ,
- οι πτώσεις πίεσης είναι : στη γραμμή αναρρόφησης 0.5bar, στη γραμμή κατάθλιψης 0.3bar, στο συμπυκνωτή & στον εξαμιστή 0.3bar και στη γραμμή υγρού 0.2bar και οι οποίες προκύπτουν από τις χρησιμοποιούμενες σωληνώσεις που αναφέρονται στις αμέσως παρακάτω παραδοχές.

3. Όσον αφορά το δείκτη TEWI και τους περιβαλλοντικούς υπολογισμούς :

Για την **άμεση** συμβολή γίνονται οι εξής παραδοχές :

- μήκος σωληνώσεων γραμμής υγρού :  $L_{υγρού} = 74\text{m}$  ( $L_{\text{NH}_3} = 10\text{m}$ ),
- μήκος σωληνώσεων γραμμής ατμού :  $L_{ατμού} = 74\text{m}$  ( $L_{\text{NH}_3} = 10\text{m}$ ),
- διάμετρος σωληνώσεων γραμμής υγρού :  $D_{υγρού} = 0.5\text{inch}$ ,
- διάμετρος σωληνώσεων γραμμής ατμού :  $D_{ατμού} = 1\text{inch}$ ,
- χωρητικότητα συλλέκτη :  $m_{\text{συλλέκτη}} = 6\text{kg}$ ,
- τιμές GWP σύμφωνα με την AR4 (IPCC, 2007d), ειδικά για το R1234yf λαμβάνονται υπόψη οι τιμές που δίνουν οι κατασκευαστές και αποδέχεται το UNEP (UNEP, 2011),
- σύνολο ετών λειτουργίας της αντλίας θερμότητας :  $t = 12$  έτη,
- ποσοστό ετήσιων διαρροών ψυκτικού ρευστού ( $O_{LR}$ ) : 4%,
- ποσοστό διαρροών από την ανάκτηση του ψυκτικού ρευστού κατά τον παροπλισμό της αντλίας θερμότητας ( $D_L$ ) : 20%.

Για την έμμεση συμβολή γίνονται οι εξής παραδοχές :

- ώρες λειτουργίας της αντλίας θερμότητας, τόσο για θέρμανση το χειμώνα όσο και για δροσισμό το θέρος :  $t_{1X} = t_{1\theta} = 18h$ ,
- ημέρες λειτουργίας της αντλίας θερμότητας, τόσο για θέρμανση το χειμώνα όσο και για δροσισμό το θέρος :  $t_{2X} = t_{2\theta} = 120d$  &
- συντελεστής εκπομπών (Emission Factor, EF) CO<sub>2</sub> ανά παραγόμενη κιλοβατώρα :  $EF = 0.722kgCO_2/kWh_e$  (IEA, 2011).

### 2.2.3 Υλικά

#### 2.2.3.1 Κατασκευή και οργάνωση του υπό μελέτη χοιροστασίου και φορτία θέρμανσης/δροσισμού

Το **χοιροστάσιο-αναφορά** για την εφαρμογή της αντλίας θερμότητας είναι μεγέθους 350 χοιρομητέρων και παραγωγής 5,000 χοιριδίων ετησίως, σε τρεις διαφορετικές, όσον αφορά τα κλιματικά δεδομένα, περιοχές της Ελλάδας. Ο ρυθμός παραγωγής είναι 100 χοιρίδια ανά εβδομάδα. Η διάταξη των χώρων στέγασης των αναπτυσσόμενων χοιριδίων περιλαμβάνει 5 θάλαμους, με δυνατότητα στέγασης 100 χοιριδίων ανά θάλαμο. Στους θάλαμους υπάρχει σταδιακή εναλλαγή θερμοκρασίας, ξεκινώντας από τους 30°C, όταν εισάγονται τα χοιρίδια, και κατεβαίνοντας ανά 2°C την εβδομάδα μέχρι τους 22°C, όταν τα χοιρίδια εξέρχονται για να οδηγηθούν στα επόμενα στάδια πάχυνσης. Σε ότι αφορά τη σχετική υγρασία, αυτή ρυθμίζεται ώστε να κινείται σε μια μέση τιμή της τάξεως του 55% (Παπαγεωργίου, 2010). Πιο συγκεκριμένα, οι ρυθμίσεις της σχετικής υγρασίας, με βάση τη θερμοκρασία κάθε θάλαμου, έχουν ως εξής (Πίνακας 2.1) :

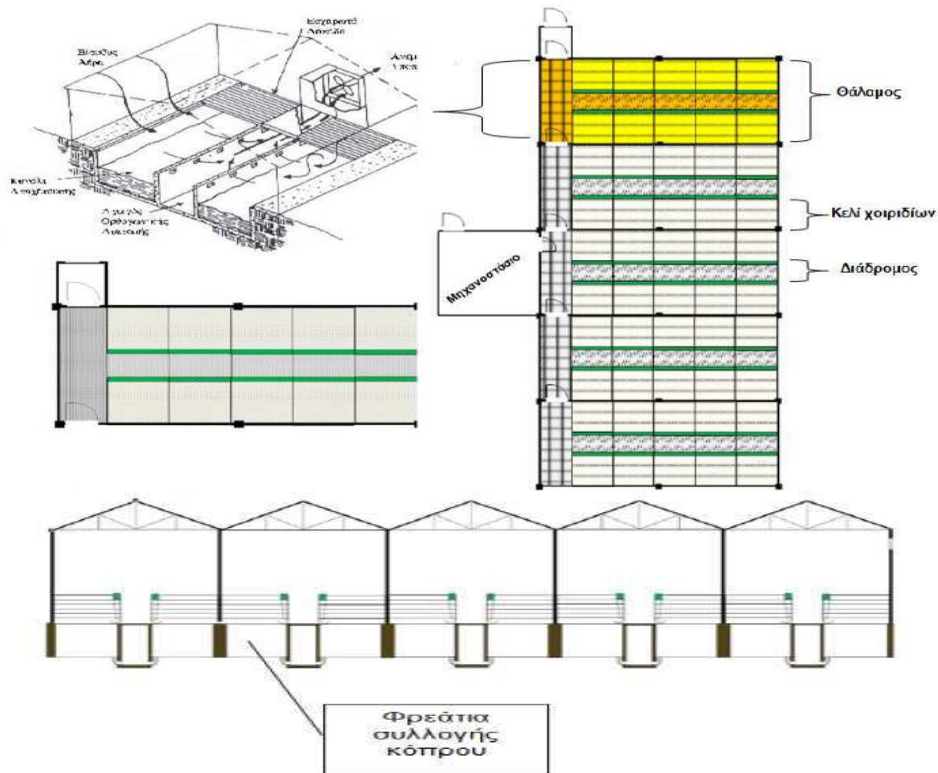
Πίνακας 2.1. Θερμοκρασία και επιθυμητή σχετική υγρασία για κάθε θάλαμο  
(Πηγή : Παπαγεωργίου, 2010).

<b>Θερμοκρασία θαλάμου</b>	<b>Επιθυμητή σχετική υγρασία</b>
<b>30°C</b>	<b>50%</b>
<b>28°C</b>	<b>52%</b>
<b>26°C</b>	<b>54%</b>
<b>24°C</b>	<b>56%</b>
<b>22°C</b>	<b>58%</b>

Αναλυτικότερα, η λειτουργία του κτηρίου που στεγάζει το χοιροστάσιο έχει ως εξής :

1. Εκατό (100) χοιρίδια εισάγονται στον 1<sup>ο</sup> θάλαμο με βάρος 7kg έκαστο.
2. Η θερμοκρασία του θαλάμου ρυθμίζεται στους 30°C, ενώ η σχετική υγρασία στο 50%. Οι ρυθμίσεις αυτές διατηρούνται σταθερές για τις επόμενες 7 ημερολογιακές ημέρες.
3. Μετά το πέρας της 7<sup>ης</sup> ημέρας, η θερμοκρασία ρυθμίζεται στους 28°C και η σχετική υγρασία στο 52%. Οι ρυθμίσεις θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας διατηρούνται σταθερές, στις προαναφερόμενες τιμές, για τις επόμενες 7 ημερολογιακές ημέρες. Με τον ίδιο ρυθμό, μειώνοντας δηλαδή τη θερμοκρασία ανά 2°C κάθε 7 ημέρες μέχρι τους 22°C και αυξάνοντας τη σχετική υγρασία ανά 2% μέχρι το 58%, φθάνουμε μέχρι την 35<sup>η</sup> ημέρα, όπου και τελειώνει η παραμονή των χοιριδίων μέσα στο θάλαμο. Στο συγκεκριμένο στάδιο της ανάπτυξής τους, τα χοιρίδια, τα οποία πρέπει να έχουν βάρος 30kg έκαστο, εξέρχονται από το θάλαμο και οδηγούνται στο επόμενο στάδιο. Τότε, ο κύκλος που περιγράφηκε σε αυτή την παράγραφο (1-3) ξεκινά πάλι από την αρχή.

Για να μπορέσει να επιτευχθεί η παραγωγή 100 χοιριδίων ανά εβδομάδα θα πρέπει, αφού τοποθετήσουμε τα 100 πρώτα χοιρίδια στον 1<sup>ο</sup> θάλαμο, 7 ημέρες αργότερα να τοποθετήσουμε τα επόμενα 100 χοιρίδια στον 2<sup>ο</sup> θάλαμο. Κατ' αντιστοιχία, 7 ημέρες μετά την τοποθέτηση της δεύτερης 100άδας χοιριδίων στον 2<sup>ο</sup> θάλαμο, τοποθετούνται τα επόμενα 100 στον 3<sup>ο</sup>, φτάνοντας έτσι μέχρι τον 5<sup>ο</sup> θάλαμο. Με τον τρόπο αυτό το κτήριο θα περιέχει, σε συνεχή βάση, 500 χοιρίδια. Η συνολική

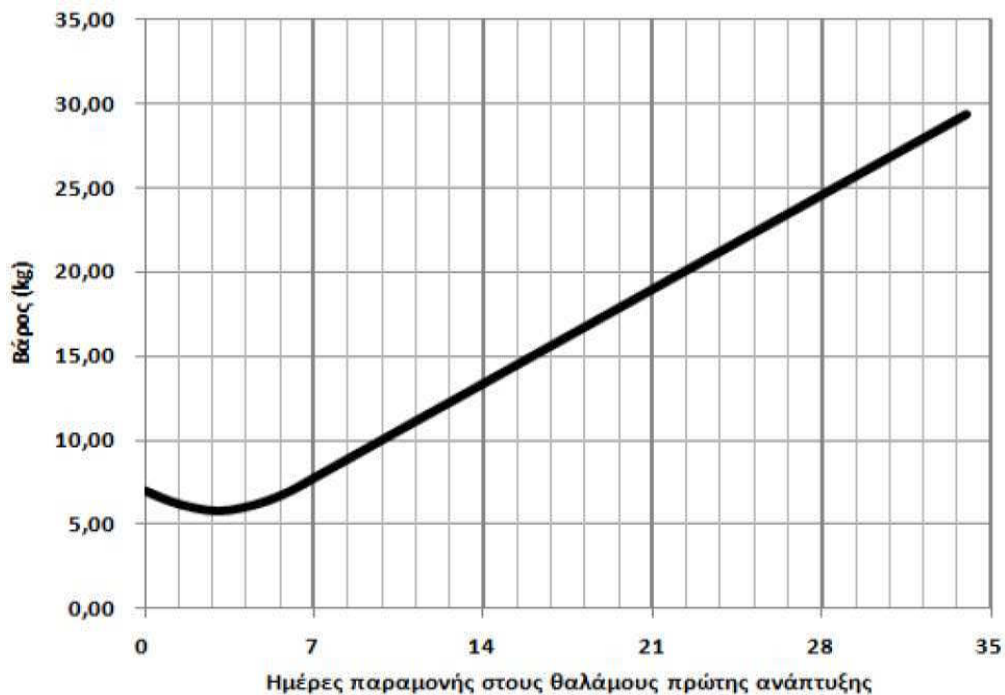


Σχήμα 2.1. Διαρρύθμιση κτηρίου πρώτης ανάπτυξης (Πηγή : Παπαγεωργίου, 2010).

παραμονή κάθε σειράς 100 χοιριδίων στον κάθε θάλαμο θα είναι 5 εβδομάδες. Κάθε 5 εβδομάδες θα αδειάζει ένας θάλαμος ο οποίος, μετά τις σχετικές εργασίες καθαρισμού, θα είναι έτοιμος να δεχτεί τα επόμενα 100 χοιρίδια. Η εναλλαγή των θαλάμων με βάση τη θερμοκρασία δίνεται στον Πίνακα 2.2. Παράλληλα, στο Σχήμα 2.1 φαίνεται η διαρρύθμιση του κτηρίου πρώτης ανάπτυξης, ενώ στο Σχήμα 2.2 παρατίθεται το διάγραμμα που απεικονίζει την επιθυμητή μεταβολή του βάρους των χοιριδίων κατά το διάστημα της 35ήμερης παραμονής τους στους θαλάμους του χοιροστασίου, συναρτήσει των θερμοκών απωλειών που αυτά παρουσιάζουν ( $q_s$ ).

Πίνακας 2.2. Σχηματική αναπαράσταση συνδυασμών εναλλαγής θερμοκρασιών στους θαλάμους του χοιροστασίου (Πηγή : Παπαγεωργίου, 2010).

Αριθμός θαλάμου	Συνδυασμοί εναλλαγής θερμοκρασιών στους θαλάμους				
	1 <sup>ος</sup>	2 <sup>ος</sup>	3 <sup>ος</sup>	4 <sup>ος</sup>	5 <sup>ος</sup>
Αριθμός θαλάμου	1 <sup>η</sup> Εβδομάδα	2 <sup>η</sup> Εβδομάδα	3 <sup>η</sup> Εβδομάδα	4 <sup>η</sup> Εβδομάδα	5 <sup>η</sup> Εβδομάδα
1	30°C	28°C	26°C	24°C	22°C
2	28°C	26°C	24°C	22°C	30°C
3	26°C	24°C	22°C	30°C	28°C
4	24°C	22°C	30°C	28°C	26°C
5	22°C	30°C	28°C	26°C	24°C



Σχήμα 2.2. Μεταβολή του βάρους των χοιριδίων κατά την παραμονή τους στους θαλάμους πρώτης ανάπτυξης (Πηγή : Παπαγεωργίου, 2010).

Επίσης, θεωρείται ότι ο φέρων οργανισμός του κτηρίου αποτελείται από σιδηροδοκούς, ενώ οι τοιχοποιίες από πάνελ πολυουρεθάνης. Τα τελευταία αποτελούν μια εξαιρετικά αποτελεσματική λύση από πλευράς κόστους, χρόνου κατασκευής, ευκολίας καθαρισμού και, κυρίως, θερμομόνωσης (Παπαγεωργίου, 2010 ; Παπαγεωργίου & Λαμπρινός, 2011α).

Από τη στιγμή που έχει επιλεγεί υλικό κατασκευής με συγκεκριμένες θερμοφυσικές ιδιότητες, τα θερμικά κέρδη και απώλειες των θαλάμων του κτηρίου, με βάση τη θερμοκρασία του αέρα του περιβάλλοντος, υπολογίζονται από την εξίσωση (Παπαγεωργίου, 2010) :

$$\dot{q}_b = \sum A_i U_j (\Delta\theta)_k \quad (W) \quad (2.1)$$

όπου :

$\dot{q}_b$  : ο ρυθμός μεταφοράς αισθητής θερμότητας που ανταλλάσσεται (απομακρύνεται ή εισέρχεται) στο θάλαμο (W),

$A_i$  : η επιφάνεια του i-οστού δομικού στοιχείου ( $m^2$ ),

$U_j$  : ο συντελεστής θερμοπερατότητας του j-οστού δομικού στοιχείου ( $W/m^2\text{ }^\circ\text{C}$ ),

$(\Delta\theta)_k$  : η θερμοκρασιακή διαφορά που υπάρχει μεταξύ εσωτερικού ( $\theta_{in}$ ) και εξωτερικού ( $\theta_{out}$ ) περιβάλλοντος του k-οστού δομικού στοιχείου ( $^\circ\text{C}$ ).

Για τη διαστασιολόγηση μέχρι και των εναλλακτών της αντλίας θερμότητας, είναι απαραίτητος ο υπολογισμός του ενεργειακού ισοζυγίου κάθε θαλάμου, με βάση τις δυσμενέστερες κλιματολογικά συνθήκες που μπορεί να εμφανιστούν σε κάθε περιοχή. Εκτός από τις κλιματολογικές συνθήκες, σημαντικό ρόλο παίζει και το στάδιο ανάπτυξης στο οποίο βρίσκονται τα χοιρίδια, καθώς, λόγω αυτού, εμφανίζονται σε κάθε θάλαμο εναλλαγές μάζας και ενέργειας οι οποίες επιδρούν ριζικά στο συνολικό ενεργειακό ισοζύγιο, το οποίο εκφράζεται από την εξίσωση :

$$q_{vo} + q_s + q_e \pm q_b - q_f - q_{vi} = 0 \quad (W) \quad (2.2)$$

όπου :

$q_{vo}$  : η αισθητή θερμότητα που παράγεται/περιέχεται στον εισερχόμενο αέρα (W),  
 $q_s$  : τα αισθητά φορτία θερμότητας που παράγονται από τα χοιρίδια (W),  
 $q_e$  : η αισθητή θερμότητα που παράγεται από το μηχανολογικό εξοπλισμό (W),  
 $q_b$  : η αισθητή θερμότητα που ανταλλάσσεται (εισέρχεται ή απομακρύνεται) μέσω του κτηριακού κελύφους, η οποία υπολογίζεται από την εξ.(2.1) (W),  
 $q_f$  : η αισθητή θερμότητα που απομακρύνεται από το δάπεδο προς το έδαφος και τα κανάλια αποθήκευσης (W),  
 $q_{vi}$  : η αισθητή θερμότητα που περιέχεται στον εξερχόμενο αέρα (W).

Το ποσό  $q_e$  θεωρείται αμελητέο, οπότε η εξ.(2.2) μετασχηματίζεται ως εξής :

$$q_{vi} - q_{vo} = + q_s \pm q_b - q_f \quad (W) \quad (2.3)$$

Ο υπολογισμός του μεγέθους  $q_s$  γίνεται με τη μέθοδο που αναφέρει ο Π. Παναγάκης, ενώ το μέγεθος  $q_f$  λαμβάνεται ίσο με το 10% επί των συνολικών απωλειών (Παπαγεωργίου, 2010). Με βάση τα παραπάνω και με τα απαραίτητα ψυχομετρικά δεδομένα των δυσμενέστερων περιόδων για κάθε περιοχή, προκύπτουν μέσω υπολογισμών τα εξής μεγέθη :

- α) η διαφορά  $+ q_s \pm q_b - q_f$ ,
- β) η παροχή όγκου αέρα που απαιτείται για την απομάκρυνση της αισθητής θερμότητας,
- γ) η παροχή όγκου αέρα που απαιτείται για τη διατήρηση της σχετική υγρασίας στα επιθυμητά επίπεδα κάθε θαλάμου και
- δ) η παροχή όγκου αέρα που απαιτείται για την απομάκρυνση του παραγόμενου CO<sub>2</sub> από τα αγροτικά ζώα.

Η θερμότητα που πρέπει να προστεθεί ή να αφαιρεθεί από τον κάθε θάλαμο δίνεται από τις σχέσεις :

$$q_{ap} = \dot{V}_{CO_2} [(h_{εσωτ.αέρα}/V_{εσωτ.αέρα}) - (h_{εξωτ.αέρα}/V_{εξωτ.αέρα})] \quad (W) \quad (2.4)$$

για την περίπτωση του χειμώνα, όπου υπάρχουν απώλειες θερμότητας από το κτήριο προς το περιβάλλον και

$$q_{πρ} = \dot{V}_{CO_2} [(h_{εξωτ.αέρα}/V_{εξωτ.αέρα}) - (h_{εσωτ.αέρα}/V_{εσωτ.αέρα})] \quad (W) \quad (2.5)$$

για την περίπτωση του θέρους, όπου υπάρχει προσθήκη θερμότητας από το εξωτερικό περιβάλλον προς το κτήριο,

όπου :

$q_{ap/πρ}$  : η απώλεια ή, αντίστοιχα, η προσθήκη θερμότητας από/στους θαλάμους ανά μονάδα χρόνου που οφείλεται στην προσθήκη κρύου αέρα (χειμώνας) και ζεστού αέρα (θέρος), μέσω των απαιτούμενων εναλλαγών (W),

$\dot{V}_{CO_2}$  : Η παροχή όγκου αέρα που απαιτείται για την απομάκρυνση του παραγόμενου CO<sub>2</sub> από τα χοιρίδια (m<sup>3</sup>/s),

$h_{εσωτ.αέρα}$  : η ειδική ενθαλπία του εσωτερικού αέρα (kJ/kg),

$h_{εξωτ.αέρα}$  : η ειδική ενθαλπία του εξωτερικού αέρα (kJ/kg),

$V_{εσωτ.αέρα}$  : ο ειδικός όγκος του αέρα στο εσωτερικό του κάθε θαλάμου (m<sup>3</sup>/kg) &

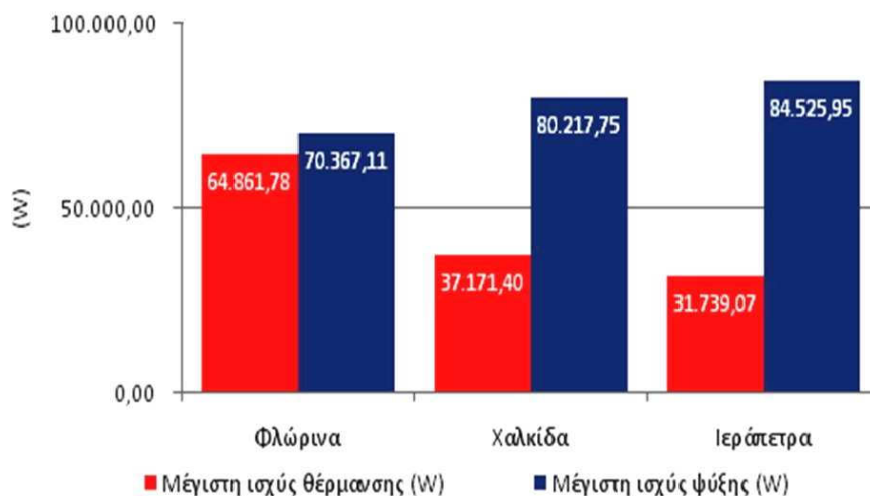
$V_{εξωτ.αέρα}$  : ο ειδικός όγκος του εξωτερικού αέρα (m<sup>3</sup>/kg).



Η προσθήκη (θέρμανση) ή, αντίστοιχα, η αφαίρεση (δροσισμός) θερμότητας που απαιτείται για κάθε θάλαμο υπολογίζεται από την εξίσωση :

$$Q_{sup} = Q_b - Q_s \pm Q_{ap/\pi p} \quad (W) \quad (2.6)$$

Με βάση λοιπόν τα όσα προαναφέρθηκαν, υπολογίζονται για το σύνολο των πέντε θαλάμων που αποτελούν το κτήριο πρώτης ανάπτυξης, τα φορτία θέρμανσης (δηλαδή οι μέγιστες ποσότητες θερμότητας που πρέπει να προσφερθούν στους θαλάμους) καθώς και τα φορτία δροσισμού (δηλαδή οι μέγιστες ποσότητες θερμότητας που πρέπει να αφαιρεθούν από τους θαλάμους) για κάθε περιοχή και για τη δυσμενέστερη περίπτωση, τα οποία απεικονίζονται στο Σχήμα 2.3 (Παπαγεωργίου, 2010 ; Παπαγεωργίου & Λαμπρινός, 2011α).

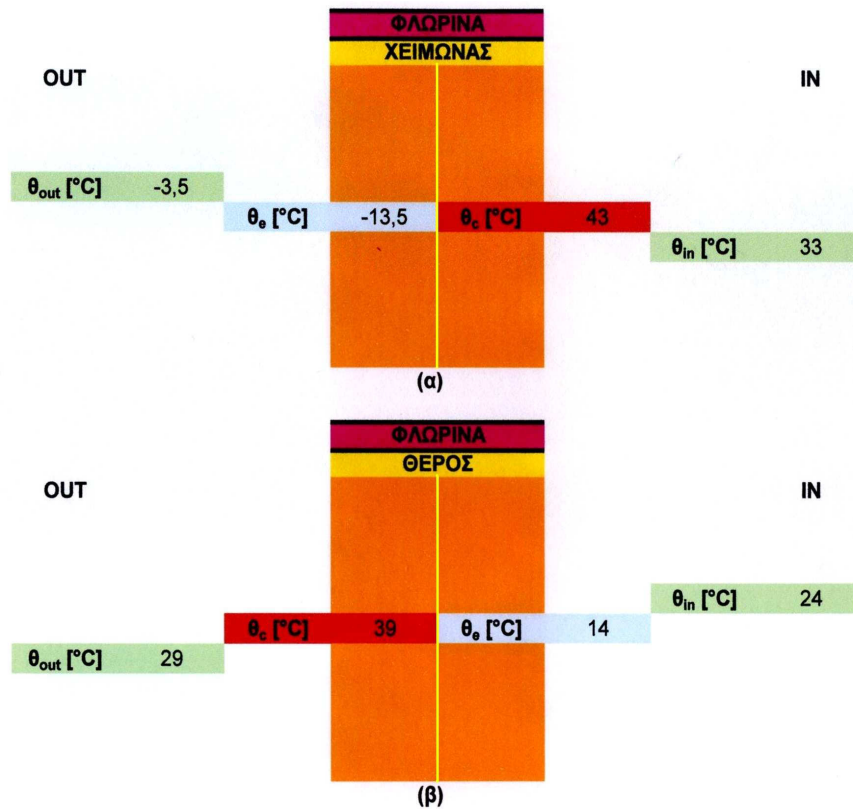


Σχήμα 2.3. Συνολικά φορτία θέρμανσης/δροσισμού (ψύξης) του κτηρίου ανάπτυξης των χοιριδίων για κάθε περιοχή (Πηγή : Παπαγεωργίου & Λαμπρινός, 2011α).

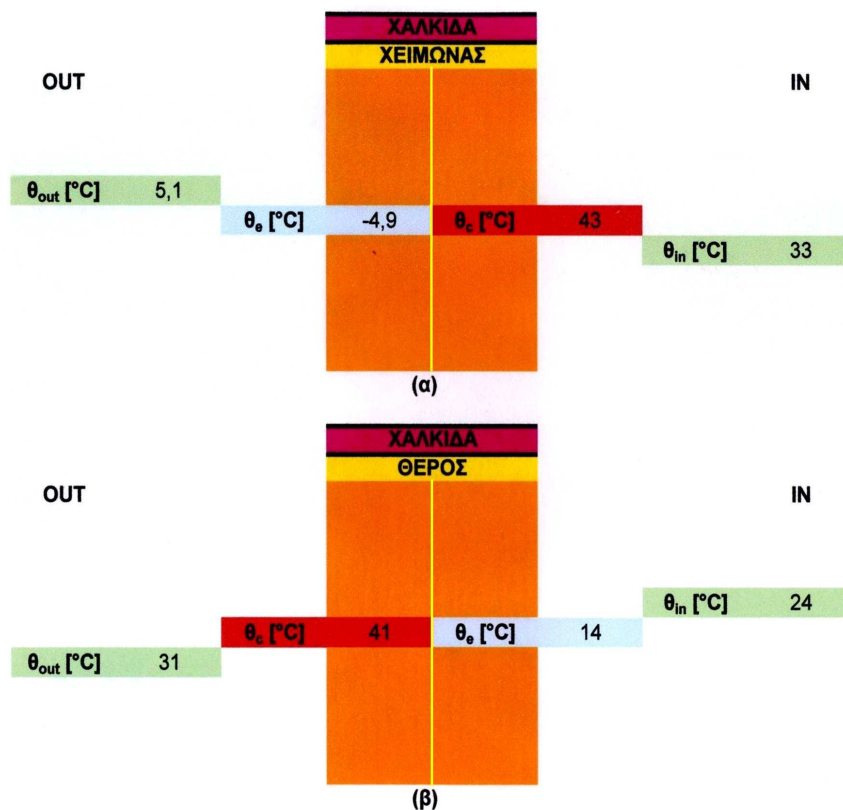
### 2.2.3.2 Κλιματολογικά δεδομένα και συνθήκες περιβάλλοντος

Σε όλες τις περιπτώσεις, εκτός από την αμμωνία, η ΑΘ ανήκει στην κατηγορία αέρα-αέρα (Α-Α), ενώ για την αμμωνία θεωρείται ΑΘ αέρα-νερού (Α-Ν), αφού ο εσωτερικός εναλλάκτης απορροφά ή αποδίδει θερμότητα μέσω κυκλώματος έμμεσης ψύξης (νερό), λόγω της τοξικότητας που εμφανίζει το ψυκτικό αυτό ρευστό. Όταν το μέσο μεταφοράς θερμότητας είναι ο αέρας, τότε θεωρείται ότι για να γίνει αποτελεσματικά η μεταφορά θα πρέπει να υπάρχει μια θερμοκρασιακή διαφορά περίπου 10°C μεταξύ ρευστού και μέσου (αέρα) στον εναλλάκτη, ενώ όταν είναι υγρό (νερό), αυτή θα πρέπει να κυμαίνεται γύρω στους 7°C. Άρα, η θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ του εσωτερικού περιβάλλοντος και εξατμιστή ή συμπυκνωτή ανάλογα με την εποχή θα φτάνει τους 17°C περίπου στην περίπτωση της αμμωνίας (R717).

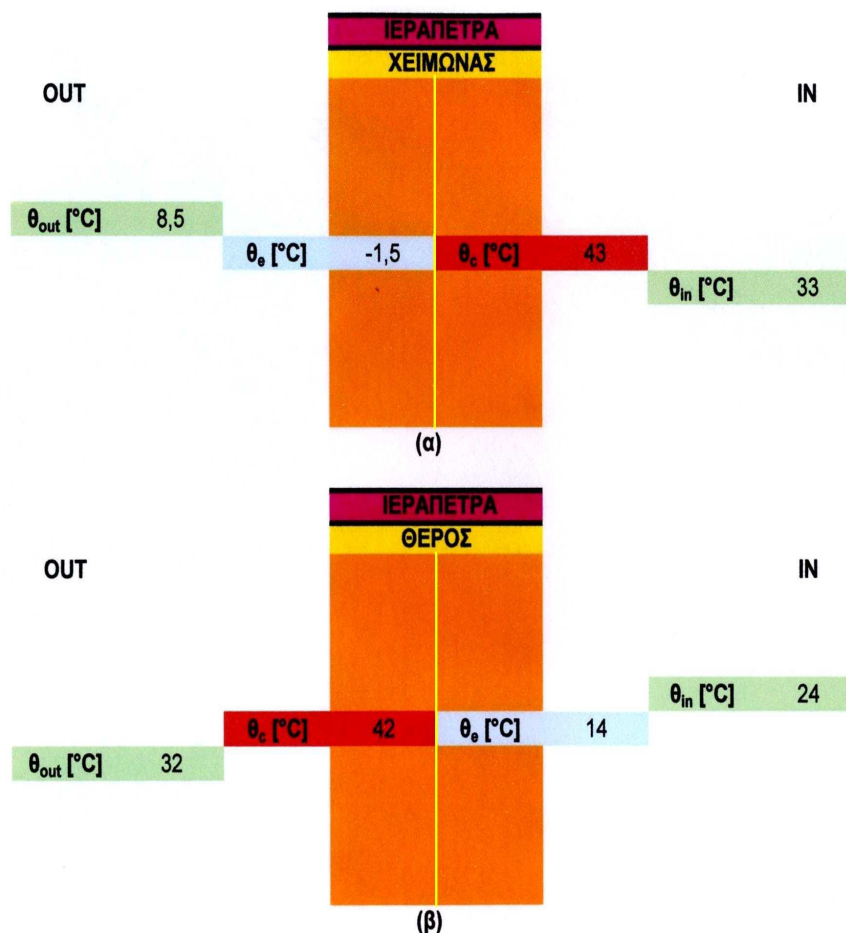
Στα Σχήματα 2.4, 2.5 και 2.6 παρουσιάζονται αναλυτικά οι θερμοκρασίες  $\theta_{out}$ ,  $\theta_{in}$  από τις οποίες προκύπτουν οι θερμοκρασίες εξάτμισης  $\theta_e$  και συμπύκνωσης  $\theta_c$ , προκειμένου να γίνει αντιληπτός ο τρόπος μεταφοράς της θερμότητας και η λειτουργία για κάθε περιοχή και εποχή όπου χρησιμοποιείται αντλία θερμότητας αέρα-αέρα (ΑΘ Α-Α) για όλα τα ψυκτικά ρευστά, εκτός της αμμωνίας. Για την περίπτωση της αμμωνίας (ΑΘ Α-Ν), οι απαιτούμενες κάθε εποχή θερμοκρασίες εξάτμισης/συμπύκνωσης έχουν μια θερμοκρασιακή διαφορά περίπου 17°C (10+7) από τη θερμοκρασία του εσωτερικού περιβάλλοντος.



Σχήμα 2.4. Θερμοκρασίες εξωτερικού και εσωτερικού περιβάλλοντος ( $\theta_{out}$ ,  $\theta_{in}$ ) και θερμοκρασίες εξάτμισης/συμπύκνωσης ( $\theta_e$ ,  $\theta_c$ ) για την περιοχή της Φλώρινας (α) το χειμώνα (θέρμανση) και (β) το θέρος (δροσισμός) (Πηγή : TOTEE, 2010β).



Σχήμα 2.5. Θερμοκρασίες εξωτερικού και εσωτερικού περιβάλλοντος ( $\theta_{out}$ ,  $\theta_{in}$ ) και θερμοκρασίες εξάτμισης/συμπύκνωσης ( $\theta_e$ ,  $\theta_c$ ) για την περιοχή της Χαλκίδας (α) το χειμώνα (θέρμανση) και (β) το θέρος (δροσισμός) (Πηγή : TOTEE, 2010β).



Σχήμα 2.6. Θερμοκρασίες εξωτερικού και εσωτερικού περιβάλλοντος ( $\theta_{out}$ ,  $\theta_{in}$ ) και θερμοκρασίες εξάτμισης/συμπύκνωσης ( $\theta_e$ ,  $\theta_c$ ) για την περιοχή της Ιεράπετρας (α) το χειμώνα (θέρμανση) και (β) το θέρος (δροσισμός) (Πηγή : TOTEE, 2010β).

### 2.2.3.3 Ψυκτικά Ρευστά

Όσον αφορά τα ψυκτικά ρευστά, τα οποία στην ουσία αποτελούν τις τεχνολογίες σύγκρισης, αυτά έχουν επιλεγεί κατάλληλα ώστε να εκπροσωπείται σχεδόν κάθε κατηγορία συνθετικών αλογονανθράκων, καθώς και τα φυσικά ψυκτικά ρευστά. Έτσι, οι CFCs εκπροσωπούνται από το R12, οι HCFCs από το R22, οι κορεσμένοι HFCs από τα R134a και R410A, οι ακόρεστοι HFCs (HFOs) από το R1234yf, ενώ τα φυσικά ψυκτικά ρευστά εκπροσωπούνται από την αμμωνία (R717). Για τις μονάδες κλιματισμού, το R410A αποτελεί σήμερα το κυρίαρχο ψυκτικό ρευστό, ως αντικαταστάτης του R22 (UNEP, 2012a), ενώ το R1234yf βρίσκεται στο τελικό στάδιο δοκιμών, προτού καταστεί κι αυτό εμπορικά διαθέσιμο (UNEP, 2012b). Θα πρέπει να αναφερθεί ότι το R12 έχει καταργηθεί, ενώ το R22 έχει μπει, βάσει διεθνών συνθηκών σε καθεστώς σταδιακής κατάργησης και χρησιμοποιείται (όπου αυτό πλέον επιτρέπεται) μόνο σε ήδη υπάρχουσες εγκαταστάσεις (Ανώνυμος, 2012ψ). Γι' αυτό το λόγο στην παρούσα διατριβή εξετάζονται για λόγους σύγκρισης. Παρόλα αυτά, σύμφωνα με νέες πληροφορίες (UNEP, 2012a), το 2012 το 75% (κατά προσέγγιση) του πληθυσμού μονάδων κλιματισμού χρησιμοποιεί ακόμη το R22, με την παγκόσμια ζήτηση για HFCs να αντιπροσωπεύεται με ένα ποσοστό της τάξης του 20% σε σχέση με τη συνολική ζήτηση. Επίσης, τα υπόλοιπα υπό εξέταση ψυκτικά ρευστά προορίζονται αποκλειστικά και μόνο για νέες εγκαταστάσεις (UNEP, 2012b).

### 2.2.3.4 Λογισμικό H/Y (PC Software)

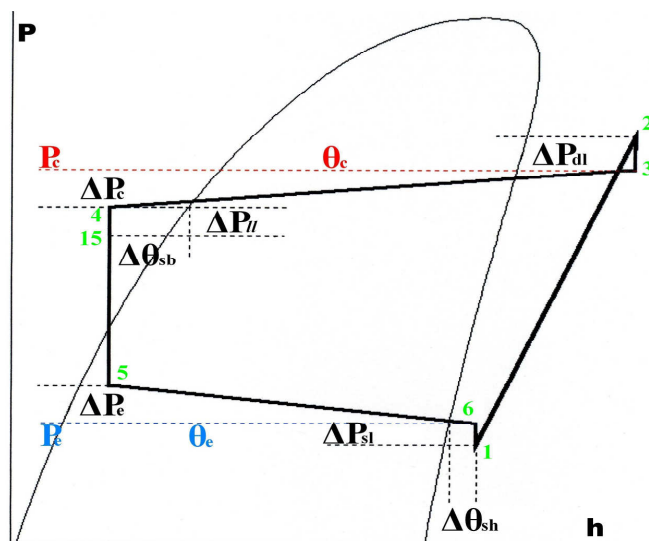
Για την εκπόνηση του ερευνητικού μέρους χρησιμοποιήθηκαν τα παρακάτω λογισμικά/υπολογιστικά πακέτα :

1. MS Excel 2003 : Το σύνολο των αλγεβρικών υπολογισμών έγινε μέσω της χρήσης υπολογιστικών φύλλων του MS Excel, καθώς και η κατασκευή των γραφημάτων που παρουσιάζονται στη διατριβή.
2. CoolPack Version 1,50 (2000-2012) : Χρησιμοποιήθηκε για τη χάραξη και την επεξεργασία των διαγραμμάτων των ψυκτικών ρευστών που χρησιμοποιεί η ΑΘ (CoolPack, 2012).
3. REFPROP Version 9.0 (2010) : Χρησιμοποιήθηκε για τη χάραξη και την επεξεργασία των διαγραμμάτων των ψυκτικών ρευστών που χρησιμοποιεί η ΑΘ. Μάλιστα, για το R1234yf έχουν γίνει οι υπολογισμοί με βάση την πιο πρόσφατη αναβάθμιση, που αφορά αυτό το ψυκτικό ρευστό (Ιούνιος 2012) (Refprop, 2010 ; Ανώνυμος, 2012αβ).

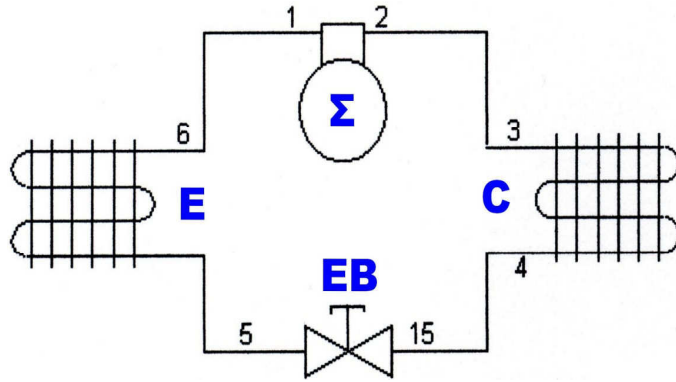
### 2.2.3.5 Αναλυτικοί Ενεργειακοί υπολογισμοί

Αν και ο πραγματικός ψυκτικός κύκλος με υπερθέρμανση και υπόψυξη είναι αυτός που αναφέρθηκε στο Κεφάλαιο 1.5, ο κύκλος που απεικονίζεται στο Σχήμα 2.7 είναι αυτός που χρησιμοποιεί το λογισμικό CoolPack για τους ενεργειακούς υπολογισμούς μέσω διαγραμμάτων P-h, ενώ το αντίστοιχο διάγραμμα ροής του ψυκτικού μέσου στην εγκατάσταση παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.8 (CoolPack, 2012). Με βάση τα Σχήματα 2.7 και 2.8 οι μεταβολές που περιγράφονται είναι :

- 1-2 Συμπίεση ( $\Sigma$ )
- 2-3 Πτώση πίεσης στη γραμμή κατάθλιψης ( $\Delta P$  discharge line,  $\Delta P_{dl}$ )
- 3-4 Συμπύκνωση (C) με πτώση πίεσης ( $\Delta P$  condenser,  $\Delta P_c$ ) και υπόψυξη ( $\Delta\theta$  subcooling,  $\Delta\theta_{sb}$ )
- 4-15 Πτώση πίεσης στη γραμμή υγρού ( $\Delta P$  liquid line,  $\Delta P_{ll}$ )
- 15-5 Εκτόνωση (EB)
- 5-6 Εξάτμιση με πτώση πίεσης ( $\Delta P$  evaporator,  $\Delta P_e$ ) και υπερθέρμανση ( $\Delta\theta$  superheat,  $\Delta\theta_{sh}$ )
- 6-1 Πτώση πίεσης στη γραμμή αναρρόφησης ( $\Delta P$  suction line,  $\Delta P_{sl}$ ).



Σχήμα 2.7. Ο ψυκτικός κύκλος με υπερθέρμανση και υπόψυξη που χρησιμοποιεί το λογισμικό CoolPack σε διάγραμμα P-h (Πηγή : CoolPack, 2012).



Σχήμα 2.8. Διάγραμμα ροής ψυκτικού μέσου στην εγκατάσταση (Πηγή : CoolPack, 2012).

Προκειμένου λοιπόν να σχεδιαστεί το διάγραμμα κάθε ψυκτικού ρευστού για κάθε περιοχή και εποχή, πρέπει να οριστούν τα απαραίτητα για τη χάραξη του σημεία 1,2,3,4,5, και 6. Η διαδικασία που απαιτείται περιλαμβάνει τα εξής :

Υπολογισμός των πιέσεων  $P_1$  έως  $P_6$  : Από τη στιγμή που είναι γνωστές οι θερμοκρασίες  $\theta_e$  και  $\theta_c$ , με τη βοήθεια του Refprop (Refprop, 2010) υπολογίζονται οι αντίστοιχες πιέσεις στα σημεία κορεσμού, από τα οποία εξάγεται ότι  $P_e = P_6$  και  $P_c = P_3$ . Έτσι, όλες οι πιέσεις (και με βάση τις παραδοχές) θα υπολογίζονται από τις εξισώσεις :

$$P_1 = P_e - \Delta P_{sl} \Rightarrow P_1 = P_6 - 0.5 \text{ (bar)} \quad (2.7)$$

$$P_2 = P_c + \Delta P_{dl} \Rightarrow P_2 = P_3 + 0.3 \text{ (bar)} \quad (2.8)$$

$$P_3 = P_c \text{ (bar)} \quad (2.9)$$

$$P_4 = P_c - \Delta P_c \Rightarrow P_4 = P_3 - 0.3 \text{ (bar)} \quad (2.10)$$

$$P_5 = P_e + \Delta P_e \Rightarrow P_5 = P_6 + 0.3 \text{ (bar)} \quad (2.11)$$

$$P_6 = P_e \text{ (bar)} \quad (2.12)$$

Υπολογισμός των ειδικών ενθαλπιών  $h_1$  έως  $h_6$  : Εδώ, για το κάθε σημείο θα ισχύει :

Σημείο 1 : Εφόσον είναι γνωστές η  $\theta_e$  και η  $\Delta\theta_{sh}$ , θα ισχύει (με βάση και τις παραδοχές) :

$$\theta_1 = \theta_6 = \theta_e + \Delta\theta_{sh} = \theta_e + 10 \text{ (}^\circ\text{C)} \quad (2.13)$$

Γνωρίζοντας λοιπόν τα  $\theta_1$ ,  $P_1$ , μέσω του Refprop υπολογίζονται τα  $h_1$ ,  $s_1$  και  $v_1$ .

Σημείο 2 : Η ισεντροπική που περνάει από το Σημείο 1 τέμνει την ισοβαρή  $P_2$  στο σημείο 2s. Άρα,  $s_1 = s_{2s}$  και με γνωστή την  $P_2$ , υπολογίζεται μέσω του Refprop η ενθαλπία  $h_{2s}$ . Με βάση την παραδοχή για τον ισεντροπικό βαθμό απόδοσης και τη σχέση που τον εκφράζει (Αλέξης, 2007), θα ισχύει :

$$n_{is} = w_{th} / w_{real} = (h_{2s} - h_1) / (h_2 - h_1) \Rightarrow h_2 = [(h_{2s} - h_1) / n_{is}] + h_1 \text{ (kJ/kg)} \quad (2.14)$$

Σημείο 3 : Για το σημείο αυτό ισχύει  $h_2 = h_3$ .

*Σημείο 4* : Μέσω του Refprop, υπολογίζεται η θερμοκρασία του σημείου που αποτελεί την τομή της ισοβαρούς P<sub>4</sub> με την καμπύλη κορεσμού από την πλευρά του υγρού, η οποία είναι κατά μεγάλη προσέγγιση ίση με τη θερμοκρασία του σημείου κατά το οποίο η διεργασία 3-4 τέμνει την καμπύλη κορεσμού από την πλευρά του υγρού, η οποία ορίζεται ως θ'. Έτσι θα ισχύει (με βάση τις παραδοχές) :

$$\theta_4 = \theta' - \Delta\theta_{sb} = \theta' - 10 \text{ (}^\circ\text{C)} \quad (2.15)$$

Γνωρίζοντας λοιπόν τα θ<sub>4</sub>, P<sub>4</sub>, μέσω του Refprop υπολογίζεται το h<sub>4</sub>.

*Σημείο 5* : Για το σημείο αυτό ισχύει h<sub>5</sub> = h<sub>4</sub>.

*Σημείο 6* : Για το σημείο αυτό ισχύει h<sub>6</sub> = h<sub>1</sub>.

Γνωρίζοντας πλέον τις συντεταγμένες των σημείων 1 έως 6, μπορούν να χαραχθούν τα διαγράμματα (P-h) και να υπολογιστούν όλες εκείνες οι ιδιότητες οι οποίες, μαζί με τα υπάρχοντα δεδομένα και παραδοχές, οδηγούν τελικά στον υπολογισμό των πραγματικών συντελεστών θέρμανσης-δροσισμού (COP<sub>θ</sub><sup>real</sup> & COP<sub>ψ</sub><sup>real</sup>). Τα μεγέθη q<sub>θ</sub>, q<sub>ψ</sub>, w καθώς και ο λόγος συμπίεσης τ δίνονται από τις εξισώσεις :

$$q_\theta = h_2 - h_4 \text{ (kJ/kg)} \quad (2.16)$$

$$q_\psi = h_1 - h_5 \text{ (kJ/kg)} \quad (2.17)$$

$$w = h_2 - h_1 \text{ (kJ/kg)} \quad (2.18)$$

$$\tau = P_2 / P_1 \quad (2.19)$$

Η διαστασιολόγηση των συμπιεστών δίνεται από τις εξισώσεις :

$$\dot{V}_{real} = \dot{m}_{R\theta} v_1 \text{ (θέρμανση)} \text{ ή } \dot{V}_{real} = \dot{m}_{R\psi} v_1 \text{ (δροσισμός)} \text{ (m}^3\text{/s)} \quad (2.20)$$

$$\dot{V}_{th} = \dot{V}_{real} / n_v \text{ (με } n_v \approx n_i) \Rightarrow \dot{V}_{th} = \dot{V}_{real} / n_i \text{ (m}^3\text{/s)} \quad (2.21)$$

όπου :

$\dot{V}_{real}$  : η πραγματική παροχή όγκου στο συμπιεστή (m<sup>3</sup>/s),

$\dot{V}_{th}$  : η θεωρητική παροχή όγκου στο συμπιεστή (m<sup>3</sup>/s),

n<sub>v</sub> : ο ογκομετρικός βαθμός απόδοσης και

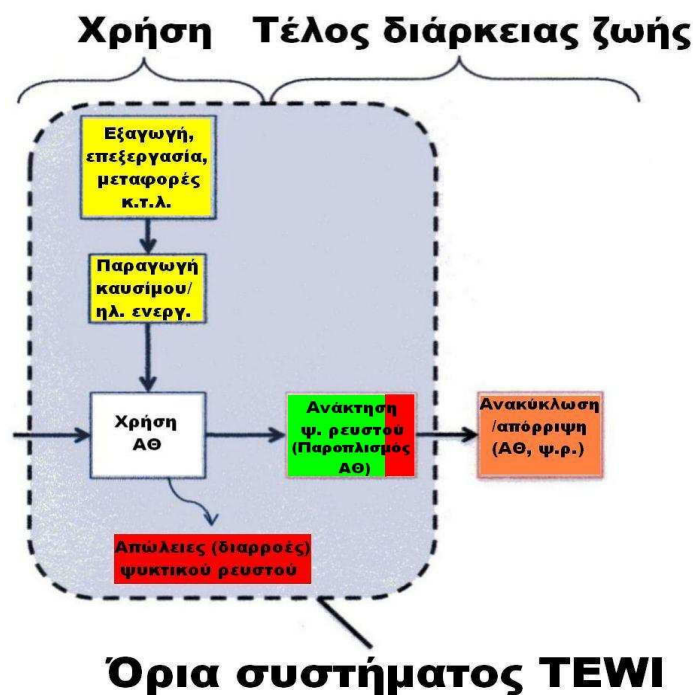
n<sub>i</sub> : ο ειδικός όγκος στην είσοδο (αναρρόφηση) του συμπιεστή (m<sup>3</sup>/kg).

ενώ τα υπόλοιπα χρησιμοποιούμενα μεγέθη και εξισώσεις έχουν ήδη οριστεί και αναφερθεί αντίστοιχα, στο Κεφάλαιο 1.5 του γενικού μέρους.

Τόσο το CoolPack όσο και το Refprop, εκτός από το ότι συνεργάζονται μεταξύ τους σαν λογισμικά, χρησιμοποιούν και τα δύο ως κατάσταση αναφοράς αυτή που προτείνει το Διεθνές Ινστιτούτο Ψύξης (International Institute of Refrigeration, IIR), σύμφωνα με την οποία, για κορεσμένο υγρό σε θερμοκρασία 0°C η ειδική ενθαλπία και εντροπία λαμβάνουν τιμές 200kJ/kg και 1kJ/kgK. Αυτό σημαίνει ότι τα διαγράμματα που σχεδιάζονται και από τα δύο λογισμικά είναι πανομοιότυπα με ελάχιστες αποκλίσεις.

### 2.2.3.6 Αναλυτικοί Περιβαλλοντικοί υπολογισμοί

Για την περίπτωση της αντλίας θερμότητας που μελετάται, ο δείκτης TEWI είναι η καταλληλότερη επιλογή προκειμένου να υπολογιστεί το περιβαλλοντικό της αποτύπωμα. Κι αυτό διότι τα όρια του προς μελέτη συστήματος καλύπτονται πλήρως από τις επιδράσεις που αυτός εξετάζει και ανταποκρίνονται στο αντικείμενο έρευνας της παρούσας διατριβής. Στο Σχήμα 2.9 απεικονίζονται τα όρια του συστήματος μέσα στα οποία δρα ο δείκτης TEWI. Έτσι, κατά το στάδιο της χρήσης στο χοιροστάσιο, η έμμεση συμβολή (κίτρινα πλαίσια) προέρχεται από τις εκπομπές CO<sub>2</sub> που προκλήθηκαν κατά την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας (εξαγωγή-επεξεργασία-μεταφορές πρώτων υλών) και οι οποίες εκφράζονται από το συντελεστή εκπομπών. Στη συνέχεια η ενέργεια αυτή καταναλώνεται, απορροφούμενη από το συμπιεστή της ΑΘ κατά το χρονικό διάστημα που αυτή λειτουργεί. Από την άλλη πλευρά, η άμεση συμβολή (κόκκινα πλαίσια) προέρχεται από τις διαρροές ψυκτικού ρευστού κατά τη διάρκεια που η ΑΘ βρίσκεται στο χοιροστάσιο και χρησιμοποιείται καθώς και τις απώλειες κατά το τέλος της χρήσιμης διάρκειας ζωής της (παροπλισμός), όπου το ψυκτικό ρευστό εξάγεται από αυτή, προκειμένου να αφαιρεθεί από το χοιροστάσιο. Από τη στιγμή που η ΑΘ είναι η ίδια και για τις τρεις περιοχές, οι οποιοσδήποτε είδους έμμεσες εκπομπές κατά την κατασκευή της, τη μεταφορά της, την εγκατάσταση της στο χοιροστάσιο και την απομάκρυνσή της από αυτό, εκτός από το ότι είναι πολύ μικρές σε σχέση με αυτές κατά τη χρήση, είναι ακριβώς οι ίδιες. Αντίστοιχα, όσον αφορά τα ψυκτικά ρευστά, τα ίδια ισχύουν και για τις οποιοσδήποτε άμεσες και έμμεσες εκπομπές πέρα από αυτές που εξετάζει ο δείκτης TEWI. Ειδικά για τις διαφορές των εκπομπών παρασκευής μεταξύ διαφορετικών ρευστών αυτές είναι αρκετά μικρές, γεγονός που τις ωθεί να θεωρηθούν αμελητέες, από τη στιγμή που οι εκπομπές των ρευστών είναι πάρα πολύ μικρές κατά την παρασκευή τους, σε σχέση με αυτές που παράγονται όταν αυτά χρησιμοποιούνται ή ανακτώνται από τον εξοπλισμό μέσα στον οποίο περιέχονται (ΑΘ) (IPCC/TEAP, 2005).



Σχήμα 2.9. Οι περιβαλλοντικές επιδράσεις της ΑΘ (άμεση-έμμεση συμβολή) που εξετάζει ο δείκτης TEWI (Πηγή : SEPEMO, 2011).

Όπως έχει ήδη αναφερθεί στο γενικό μέρος, ο δείκτης TEWI για τις εφαρμογές ψύξης και κλιματισμού υπολογίζεται από τις εξισώσεις (συνολικά και ετήσια) :

$$TEWI = (m_R GWP_R O_{LR} t) + (m_R GWP_R D_L) + (E_A EF t) \quad (\text{kgCO}_2) \quad (1.46)$$

και

$$TEWI_A = (m_R GWP_R O_{LR}) + (m_R GWP_R D_L / t) + (E_A EF) \quad (\text{kgCO}_2/\text{yr}) \quad (1.47)$$

Στην περίπτωση όμως μιας αντλίας θερμότητας που χρησιμοποιείται τόσο για ψύξη όσο και για θέρμανση, η ποσότητα της ετήσιας κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας ( $E_A$ ) διαφοροποιείται. Αυτό συμβαίνει διότι το ποσό ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνεται σε μια περιοχή για θέρμανση το χειμώνα δεν είναι το ίδιο με αυτό που καταναλώνεται για δροσισμό το θέρος, προφανώς λόγω εποχής (και ανάλογων αναγκών-φορτίων) καθώς και του εκάστοτε χρησιμοποιούμενου ψυκτικού ρευστού, με τις θερμοδυναμικές ιδιότητες που αυτό έχει και τους επακόλουθους συντελεστές απόδοσης που παρουσιάζει. Έτσι, η έμμεση συμβολή κατά τη διάρκεια του έτους (Annual Indirect Effect,  $IE_A$ ) θα αποτελείται από την έμμεση συμβολή το **χειμώνα** και την έμμεση συμβολή το **θέρος**. Η ετήσια κατανάλωση ενέργειας το χειμώνα ( $E_{AX}$ ) και το θέρος ( $E_{A\theta}$ ) θα εκφράζεται από τις εξισώσεις (Fischer et al., 1991) :

$$E_{AX} = t_{1X} t_{2X} \dot{W}_\theta = t_{1X} t_{2X} \dot{Q}_\theta / COP_\theta^{real} \quad (\text{kWh/yr}) \quad (2.22)$$

και

$$E_{A\theta} = t_{1\theta} t_{2\theta} \dot{W}_\psi = t_{1\theta} t_{2\theta} \dot{Q}_\psi / COP_\psi^{real} \quad (\text{kWh/yr}) \quad (2.23)$$

όπου :

$t_{1X}, t_{1\theta}$  : οι ώρες λειτουργίας της ΑΘ ημερησίως το χειμώνα και το θέρος αντίστοιχα (h/day),

$t_{2X}, t_{2\theta}$  : οι ημέρες λειτουργίας της ΑΘ το χειμώνα και το θέρος αντίστοιχα κατά τη διάρκεια του έτους (days/yr),

$\dot{W}_\theta, \dot{W}_\psi$  : η ισχύς που απορροφά ο συμπιεστής για τη λειτουργία του κατά το χειμώνα (για θέρμανση) και το θέρος (για δροσισμό) αντίστοιχα (kW),

$\dot{Q}_\theta, \dot{Q}_\psi$  : η θερμική και η ψυκτική ισχύς της ΑΘ (kW) και

$COP_\theta^{real}, COP_\psi^{real}$  : οι πραγματικοί συντελεστές θέρμανσης-ψύξης.

Η συνολική και η ετήσια έμμεση συμβολή κατά το χειμώνα θα δίνονται από τις εξισώσεις :

$$IE_X = E_{AX} EF t \quad (\text{kgCO}_2) \quad (2.24)$$

και

$$IE_{AX} = E_{AX} EF \quad (\text{kgCO}_2/\text{yr}) \quad (2.25)$$

ενώ η συνολική και η ετήσια έμμεση συμβολή κατά το θέρος από τις :

$$IE_\theta = E_{A\theta} EF t \quad (\text{kgCO}_2) \quad (2.26)$$



και

$$IE_{A\theta} = E_{A\theta} EF \quad (\text{kgCO}_2/\text{yr}) \quad (2.27)$$

Επομένως, θα ισχύει :

$$IE = IE_X + IE_{\theta} \quad (\text{kgCO}_2) \quad (2.28)$$

και

$$IE_A = IE_{AX} + IE_{A\theta} \quad (\text{kgCO}_2/\text{yr}) \quad (2.29)$$

Με αυτές πλέον τις διαφοροποιήσεις, οι εξισώσεις υπολογισμού του δείκτη TEWI για την ΑΘ (συνολικά και ετήσια) μορφοποιούνται ως εξής :

$$TEWI = DE + IE = OR + DR + IE_X + IE_{\theta} \Rightarrow$$

$$TEWI = (m_R GWP_R O_{LR} t) + (m_R GWP_R D_L) + (t_{1X} t_{2X} \dot{W}_{\theta} EF t) + (t_{1\theta} t_{2\theta} \dot{W}_{\psi} EF t) \quad (\text{kgCO}_2) \quad (2.30)$$

και

$$TEWI_A = DE_A + IE_A = OR_A + DR_A + IE_{AX} + IE_{A\theta} = OR_A + (DR/t) + IE_{AX} + IE_{A\theta} \Rightarrow$$

$$TEWI_A = (m_R GWP_R O_{LR}) + (m_R GWP_R D_L / t) + (t_{1X} t_{2X} \dot{W}_{\theta} EF) + (t_{1\theta} t_{2\theta} \dot{W}_{\psi} EF) \quad (\text{kgCO}_2/\text{yr}) \quad (2.31)$$

Όπως φαίνεται και από τις εξισώσεις που αφορούν γενικά την άμεση συμβολή, η συνολική μάζα του ψυκτικού ρευστού ( $m_R$ ) που περιέχεται στην εγκατάσταση της ΑΘ, το οποίο την καθιστά έτσι έναν ταμιευτήρα ψυκτικού ρευστού (refrigerant bank) (UNEP, 2012b), είναι από τους παράγοντες που πρέπει να υπολογιστούν, προκειμένου να γίνει στη συνέχεια ο υπολογισμός της άμεσης συμβολής. Αυτή ισούται με το άθροισμα της μάζας του ψυκτικού ρευστού στη γραμμή υγρού, στη γραμμή ατμού και στο συλλέκτη κατά το θέρους (το θέρους η ποσότητα αυτή είναι λίγο μεγαλύτερη από αυτή του χειμώνα) :

$$m_R = m_{\text{υγρού}} + m_{\text{ατμού}} + m_{\text{συλλέκτη}} \quad (\text{kg}) \quad (2.32)$$

Όσον αφορά τις  $m_{\text{υγρού}}$ ,  $m_{\text{ατμού}}$ , αυτές υπολογίζονται ως εξής :

$$m_{\text{υγρού}} = L_{\text{υγρού}} S_{\text{υγρού}} \rho_{\text{υγρού}} \quad (\text{kg}) \quad (2.33)$$

και

$$m_{\text{ατμού}} = L_{\text{ατμού}} S_{\text{ατμού}} \rho_{\text{ατμού}} \quad (\text{kg}) \quad (2.34)$$

όπου :

$L_{\text{υγρού}}$ ,  $L_{\text{ατμού}}$  : το μήκος των σωληνώσεων της γραμμής υγρού/ατμού (m),

$S_{\text{υγρού}}$ ,  $S_{\text{ατμού}}$  : η επιφάνεια διατομής της γραμμής υγρού/ατμού ( $\text{m}^2$ ),

$D_{\text{υγρού}}$ ,  $D_{\text{ατμού}}$  : η διάμετρος (κυκλικής) σωλήνωσης της γραμμής υγρού/ατμού (m)

$\rho_{υγρ\omicron\upsilon\varsigma}$ ,  $\rho_{\alpha\tau\mu\omicron\upsilon}$  : η πυκνότητα του ψυκτικού ρευστού στη γραμμή υγρού/ατμού ( $\text{kg/m}^3$ ), η τιμή της οποίας λαμβάνεται με τη βοήθεια του Refprop από το σημείο 4 για την  $\rho_{υγρ\omicron\upsilon\varsigma}$  και από το σημείο 1 για την  $\rho_{\alpha\tau\mu\omicron\upsilon}$  του διαγράμματος P-h για κάθε ψυκτικό ρευστό.

Θα πρέπει να τονιστεί ότι το μήκος των σωληνώσεων για την αμμωνία είναι διαφορετικό και αρκετά μικρότερο από τις άλλες περιπτώσεις, λόγω του κυκλώματος έμμεσης ψύξης που απαιτεί η χρήση της. Επίσης, οι παραδοχές που έχουν υιοθετηθεί για τις άμεσες εκπομπές βρίσκονται μέσα στο εύρος που προτείνει η IPCC για αντλίες θερμότητας (IPCC, 2000) και συμφωνούν με αυτές που προτείνουν και άλλοι ερευνητές (Sand et al., 1997 ; SEPAMO, 2011), δηλαδή :

- η τιμή του  $O_{LR}$  είναι 4% (IPCC :  $1\% \leq O_{LR} \leq 5\%$ ),
- η τιμή του  $D_L$  είναι 20% (IPCC :  $20\% \leq D_L \leq 30\%$ ),
- τα έτη της λειτουργίας της αντλίας θερμότητας ανέρχονται στη δωδεκαετία ( $t=12$ ) (IPCC :  $10 \leq t \leq 15$ ) και
- η μάζα των ψυκτικών ρευστών εμπίπτει στα όρια που προτείνονται από την IPCC ( $5\text{kg} \leq m_R \leq 100\text{kg}$ ).

Πλέον, γνωρίζοντας και τη μάζα του ψυκτικού ρευστού, μαζί και με τα υπόλοιπα δεδομένα και παραδοχές, μπορούν να υπολογιστούν και να συγκριθούν οι ετήσιες και συνολικές συμβολές για κάθε περιοχή, εποχή (οι έμμεσες) και ψυκτικό ρευστό, καθώς και η τιμή του δείκτη TEWI. Οι τιμές GWP είναι από την τέταρτη έκθεση αξιολόγησης της IPCC (AR4) (IPCC, 2007d), ενώ ο συντελεστής εκπομπών EF είναι αυτός που δίνει η IEA (IEA, 2011).

## 2.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑ

Προκειμένου να βρεθεί το περιβαλλοντικό αποτύπωμα της αντλίας θερμότητας, θα πρέπει να αναγνωριστούν εκείνοι οι παράγοντες που παίζουν καθοριστικό ρόλο στη διαδικασία υπολογισμού του περιβαλλοντικού δείκτη TEWI. Ο ένας παράγοντας είναι το κλίμα, ο οποίος συνίσταται από τα κλιματολογικά δεδομένα του εξωτερικού περιβάλλοντος κάθε περιοχής, καθώς και τις κλιματικές συνθήκες που είναι επιθυμητό να επικρατούν στο εσωτερικό περιβάλλον των θαλάμων του χοιροστασίου αναφοράς (μικροπεριβάλλον/μικροκλίμα). Επιλέγοντας από τη μια τις δυσμενέστερες συνθήκες για κάθε περιοχή, τουτέστιν τη μέση ελάχιστη θερμοκρασία κατά τη θέρμανση και τη μέση μέγιστη κατά το δροσισμό κατά τη διάρκεια του έτους, ενώ έχουν καθοριστεί και εκείνες οι θερμοκρασίες του μικροκλίματος που προσφέρουν θερμική άνεση ανάλογα κατά τη θέρμανση και το δροσισμό, καθορίζονται τα θερμοκρασιακά εκείνα όρια στα οποία θα λειτουργεί η ΑΘ, αναλόγως της περιοχής και των αναγκών για θέρμανση/δροσισμό, δηλαδή της εποχής (χειμώνας ή θέρος) στη χειρότερη δυνατή περίπτωση, καλύπτοντας έτσι όλες τις υπόλοιπες. Ο άλλος παράγοντας είναι το ψυκτικό ρευστό που χρησιμοποιείται στην εγκατάσταση. Καθένα από αυτά έχει διαφορετικές θερμοδυναμικές ιδιότητες, ενώ και ο περιβαλλοντικός τους αντίκτυπος είναι διαφορετικός. Έτσι, εξετάζοντας το κάθε ψυκτικό ρευστό, από τα έξι κατάλληλα επιλεγμένα, για κάθε κλίμα (στην ουσία δηλαδή τις εξωτερικές συνθήκες, αφού οι εσωτερικές είναι οι ίδιες και για τις τρεις περιοχές) και τις ανάγκες που αυτό απαιτεί ανά εποχή, θα προκύψει εκείνη η τεχνολογική επιλογή που θα κριθεί ως η καταλληλότερη για χρήση, αφού θα είναι και ενεργειακώς αποδοτική αλλά και περιβαλλοντικώς αποδεκτή.

### 2.3.1 Κλιματολογικά δεδομένα και συνθήκες εσωτερικού περιβάλλοντος

Στους Πίνακες 2.3 και 2.4 δίνονται οι θερμοκρασίες εξωτερικού-εσωτερικού περιβάλλοντος ( $\theta_{out}$ ,  $\theta_{in}$ ), καθώς και οι θερμοκρασίες εξάτμισης-συμπύκνωσης ( $\theta_e$ ,  $\theta_c$ ) για κάθε περιοχή και εποχή (ανάγκες δηλαδή σε θέρμανση/δροσισμό).

Πίνακας 2.3. Θερμοκρασίες  $\theta_{out}$ ,  $\theta_{in}$  και ανάλογες θερμοκρασίες  $\theta_e$ ,  $\theta_c$  (σε °C) για κάθε περιοχή το χειμώνα (θέρμανση).

ΧΕΙΜΩΝΑΣ	$\theta_{out}$	$\theta_e$	$\theta_c$	$\theta_{in}$
Φλώρινα (RX)	-3.5	-13.5	<b>43</b>	<b>33</b>
Φλώρινα (R717)	-3.5	-13.5	<b>50</b>	<b>33</b>
Χαλκίδα (RX)	5.1	-4.9	<b>43</b>	<b>33</b>
Χαλκίδα (R717)	5.1	-4.9	<b>50</b>	<b>33</b>
Ιεράπετρα (RX)	8.5	-1.5	<b>43</b>	<b>33</b>
Ιεράπετρα (R717)	8.5	-1.5	<b>50</b>	<b>33</b>

Πίνακας 2.4. Θερμοκρασίες  $\theta_{in}$ ,  $\theta_{out}$  και ανάλογες θερμοκρασίες  $\theta_e$ ,  $\theta_c$  (σε °C) για κάθε περιοχή το θέρος (δροσισμός).

ΘΕΡΟΣ	$\theta_{in}$	$\theta_e$	$\theta_c$	$\theta_{out}$
Φλώρινα (RX)	<b>24</b>	<b>14</b>	39	29
Φλώρινα (R717)	<b>24</b>	<b>7</b>	39	29
Χαλκίδα (RX)	<b>24</b>	<b>14</b>	41	31
Χαλκίδα (R717)	<b>24</b>	<b>7</b>	41	31
Ιεράπετρα (RX)	<b>24</b>	<b>14</b>	42	32
Ιεράπετρα (R717)	<b>24</b>	<b>7</b>	42	32

Από τις θερμοκρασίες εξωτερικού περιβάλλοντος ( $\theta_{out}$ ) παρατηρείται ότι η εκλογή των περιοχών, καλύπτει και δίνει μια γενική εικόνα για το κλίμα της Ελλάδας και το θερμοκρασιακό εύρος που μπορεί να απαντηθεί στην επικράτεια, από τα πιο ψυχρά κλίματα (Φλώρινα-Βόρεια Ελλάδα) μέχρι τα πιο θερμά (Ιεράπετρα-Νότια Ελλάδα), με την παρουσία και των ενδιάμεσων περιπτώσεων (Χαλκίδα-Κεντρική Ηπειρωτική Ελλάδα). Από την άλλη πλευρά, λαμβάνοντας υπόψη και την κρισιμότητα που έχει το στάδιο πρώτης ανάπτυξης (στο οποίο τα χοιρίδια χαρακτηρίζονται από μεγάλη ευπάθεια λόγω του νεαρού της ηλικίας τους), οι επιλεγθείσες θερμοκρασίες εσωτερικού περιβάλλοντος ( $\theta_{in}$ ) είναι αυτές που θα τους προσφέρουν την απαραίτητη θερμική άνεση, ώστε να μην επηρεάζεται αρνητικά τόσο η παραγωγικότητα όσο και η ευζωία τους. Τα προβλήματα που εμφανίζονται πιο συχνά στα νεαρά χοιρίδια κατά το χειμώνα στον Ελλαδικό χώρο, και κυρίως η θνησιμότητα, οφείλονται στις χαμηλές θερμοκρασίες, στα ρεύματα αέρα και στις μεγάλες ημερήσιες διακυμάνσεις της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος. Για τις θερινές συνθήκες της χώρας, τα νεαρά χοιρίδια εμφανίζουν έντονα προβλήματα θερμικής καταπόνησης, με αποτέλεσμα την ελαττωμένη κατανάλωση τροφής και το μικρότερο ρυθμό ανάπτυξης (Παπαγεωργίου, 2010 ; Παναγάκης, 2010). Έτσι, η προσεκτική ρύθμιση της θερμοκρασίας μικροπεριβάλλοντος είναι καθοριστική και με τη χρήση αντλίας θερμότητας μπορεί και γίνεται πραγματοποιήσιμη στα επιθυμητά κάθε φορά επίπεδα.

### 2.3.2 Ενεργειακοί υπολογισμοί

Σύμφωνα με πρόσφατες εκτιμήσεις (UNEP, 2012b), στον τομέα ψύξης και κλιματισμού ο κύκλος συμπίεσης ατμών ψυκτικού ρευστού είναι αυτός που θα κυριαρχεί και τις επόμενες δεκαετίες, αφού οι άλλου είδους (ΝΙΚ) τεχνολογίες παρουσιάζουν μέτρια προς καλή απόδοση (μαγνητική ψύξη, συστήματα ψύξης αποξηραντικού μέσου) ή φτωχή απόδοση (κύκλοι ρόφησης, θερμοηλεκτρική και θερμοακουστική ψύξη), σε σχέση με αυτόν. Γι' αυτό άλλωστε η ΑΘ που μελετάται ανήκει σε αυτή την κατηγορία ψυκτικών μηχανών που λειτουργούν ως συστήματα/μονάδες κλιματισμού.

Στους Πίνακες 2.5, 2.6 και 2.7 δίνονται τα ζεύγη τιμών πίεσης-ειδικής ενθαλπίας των ψυκτικών ρευστών R22, R134a και R1234yf ανά περιοχή και εποχή (χειμώνας-θέρμανση, θέρος-δροσισμός) που υπολογίστηκαν προκειμένου να χαραχθούν στα αντίστοιχα διαγράμματα P-h των ψυκτικών τους κύκλων (Σχήματα 2.10 έως 2.15), ενώ για τα υπόλοιπα ψυκτικά ρευστά (R12, R410A και R717) οι αντίστοιχοι πίνακες (Πίνακες Π.1, Π.2 και Π.3) και διαγράμματα (Σχήματα Π.1 έως Π.6) δίνονται στο Παράρτημα, μαζί με τα διαγράμματα των ψυκτικών κύκλων που υποστηρίζει το λογισμικό CoolPack (Σχήματα Π.7 έως Π.11). Στους Πίνακες 2.8, 2.9 και 2.10 δίνονται τα θερμοδυναμικά μεγέθη και οι ενεργειακοί υπολογισμοί για όλα τα ψυκτικά ρευστά, μέσω των οποίων υπολογίστηκαν οι συντελεστές θέρμανσης-δροσισμού ( $COP_{\theta}^{real}$ ,  $COP_{\psi}^{real}$ ), καθώς και η θεωρητική παροχή όγκου στο συμπιεστή ( $\dot{V}_{thX}$ ,  $\dot{V}_{th\theta}$ ) για κάθε εποχή και περιοχή, μεγέθη τα οποία απεικονίζονται στα γραφήματα στήλης των Σχημάτων 2.16, 2.17 και 2.18, 2.19 αντίστοιχα.

Πίνακας 2.5. Ζεύγη τιμών Πίεσης-Ειδικής Ενθαλπίας για το Ψυκτικό Ρευστό R22 ανά περιοχή και ανά εποχή (χειμώνας-θέρμανση, θέρος-δροσισμός). Η πίεση (P) μετράται σε bar και η ειδική ενθαλπία (h) σε kJ/kg.

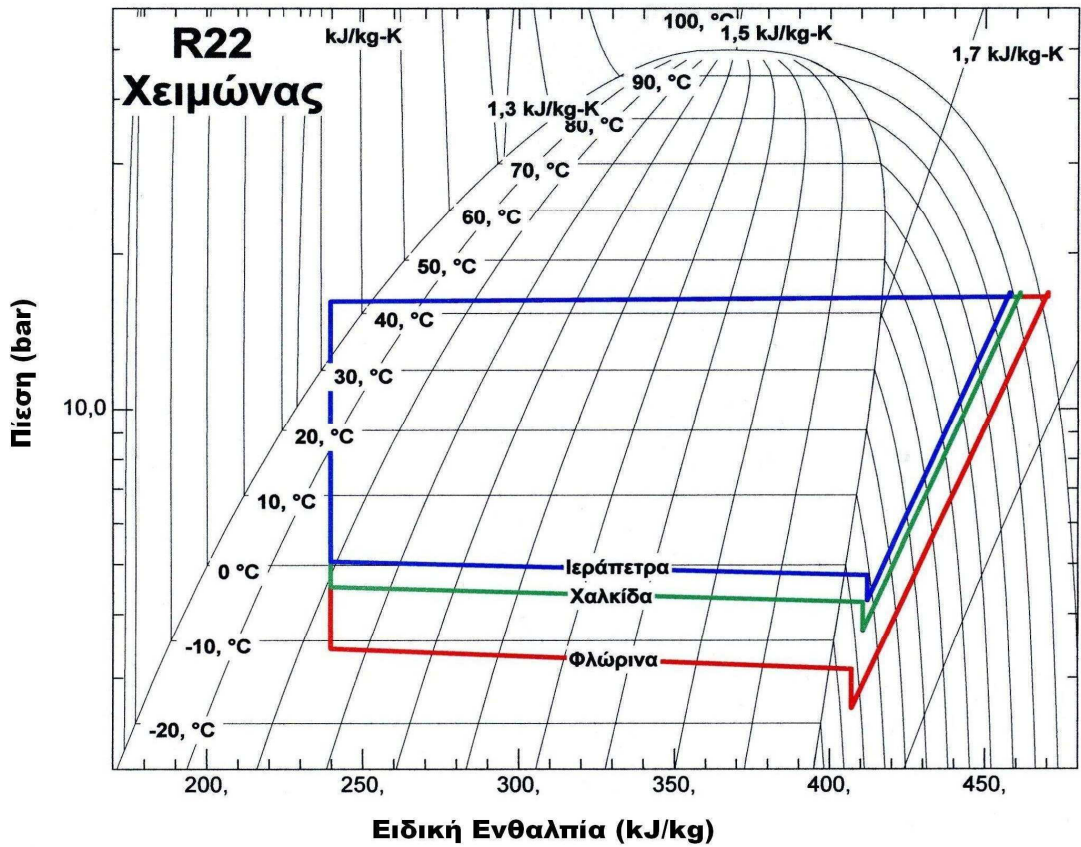
R22							
Φλώρινα							
Χειμώνας				Θέρος			
P <sub>1</sub>	2.6	h <sub>1</sub>	406.9	P <sub>1</sub>	7.2	h <sub>1</sub>	417.9
P <sub>2</sub>	16.8	h <sub>2</sub>	470.2	P <sub>2</sub>	15.2	h <sub>2</sub>	442.4
P <sub>3</sub>	16.5	h <sub>3</sub>	470.2	P <sub>3</sub>	14.9	h <sub>3</sub>	442.4
P <sub>4</sub>	16.2	h <sub>4</sub>	239.5	P <sub>4</sub>	14.6	h <sub>4</sub>	234.1
P <sub>5</sub>	3.4	h <sub>5</sub>	239.5	P <sub>5</sub>	8.0	h <sub>5</sub>	234.1
P <sub>6</sub>	3.1	h <sub>6</sub>	406.9	P <sub>6</sub>	7.7	h <sub>6</sub>	417.9
Χαλκίδα							
Χειμώνας				Θέρος			
P <sub>1</sub>	3.7	h <sub>1</sub>	410.6	P <sub>1</sub>	7.2	h <sub>1</sub>	417.9
P <sub>2</sub>	16.8	h <sub>2</sub>	461.2	P <sub>2</sub>	15.9	h <sub>2</sub>	443.9
P <sub>3</sub>	16.5	h <sub>3</sub>	461.2	P <sub>3</sub>	15.6	h <sub>3</sub>	443.9
P <sub>4</sub>	16.2	h <sub>4</sub>	239.5	P <sub>4</sub>	15.3	h <sub>4</sub>	236.5
P <sub>5</sub>	4.5	h <sub>5</sub>	239.5	P <sub>5</sub>	8.0	h <sub>5</sub>	236.5
P <sub>6</sub>	4.2	h <sub>6</sub>	410.6	P <sub>6</sub>	7.7	h <sub>6</sub>	417.9
Ιεράπετρα							
Χειμώνας				Θέρος			
P <sub>1</sub>	4.3	h <sub>1</sub>	412.1	P <sub>1</sub>	7.2	h <sub>1</sub>	417.9
P <sub>2</sub>	16.8	h <sub>2</sub>	457.9	P <sub>2</sub>	16.3	h <sub>2</sub>	444.8
P <sub>3</sub>	16.5	h <sub>3</sub>	457.9	P <sub>3</sub>	16.0	h <sub>3</sub>	444.8
P <sub>4</sub>	16.2	h <sub>4</sub>	239.5	P <sub>4</sub>	15.7	h <sub>4</sub>	238.0
P <sub>5</sub>	5.1	h <sub>5</sub>	239.5	P <sub>5</sub>	8.0	h <sub>5</sub>	238.0
P <sub>6</sub>	4.8	h <sub>6</sub>	412.1	P <sub>6</sub>	7.7	h <sub>6</sub>	417.9

Πίνακας 2.6. Ζεύγη τιμών Πίεσης-Ειδικής Ενθαλπίας για το Ψυκτικό Ρευστό R134a ανά περιοχή και ανά εποχή (χειμώνας-θέρμανση, θέρος-δροσισμός). Η πίεση (P) μετράται σε bar και η ειδική ενθαλπία (h) σε kJ/kg.

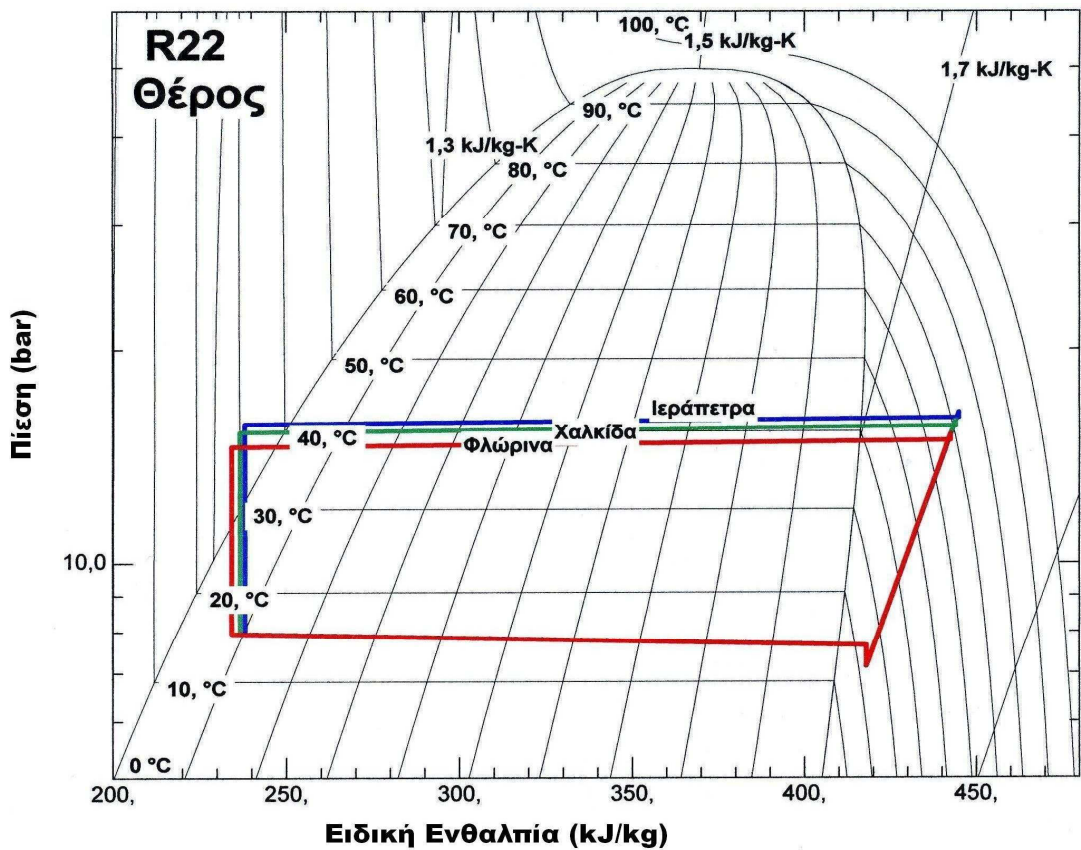
R134a							
Φλώρινα							
Χειμώνας				Θέρος			
P <sub>1</sub>	1.2	h <sub>1</sub>	397.8	P <sub>1</sub>	4.2	h <sub>1</sub>	415.0
P <sub>2</sub>	11.3	h <sub>2</sub>	459.8	P <sub>2</sub>	10.1	h <sub>2</sub>	439.1
P <sub>3</sub>	11.0	h <sub>3</sub>	459.8	P <sub>3</sub>	9.8	h <sub>3</sub>	439.1
P <sub>4</sub>	10.7	h <sub>4</sub>	244.3	P <sub>4</sub>	9.5	h <sub>4</sub>	238.1
P <sub>5</sub>	2.0	h <sub>5</sub>	244.3	P <sub>5</sub>	5.0	h <sub>5</sub>	238.1
P <sub>6</sub>	1.7	h <sub>6</sub>	397.8	P <sub>6</sub>	4.7	h <sub>6</sub>	415.0
Χαλκίδα							
Χειμώνας				Θέρος			
P <sub>1</sub>	1.9	h <sub>1</sub>	403.3	P <sub>1</sub>	4.2	h <sub>1</sub>	415.0
P <sub>2</sub>	11.3	h <sub>2</sub>	452.4	P <sub>2</sub>	10.7	h <sub>2</sub>	440.5
P <sub>3</sub>	11.0	h <sub>3</sub>	452.4	P <sub>3</sub>	10.4	h <sub>3</sub>	440.5
P <sub>4</sub>	10.7	h <sub>4</sub>	244.3	P <sub>4</sub>	10.1	h <sub>4</sub>	240.9
P <sub>5</sub>	2.7	h <sub>5</sub>	244.3	P <sub>5</sub>	5.0	h <sub>5</sub>	240.9
P <sub>6</sub>	2.4	h <sub>6</sub>	403.3	P <sub>6</sub>	4.7	h <sub>6</sub>	415.0
Ιεράπετρα							
Χειμώνας				Θέρος			
P <sub>1</sub>	2.3	h <sub>1</sub>	405.6	P <sub>1</sub>	4.2	h <sub>1</sub>	415.0
P <sub>2</sub>	11.3	h <sub>2</sub>	449.9	P <sub>2</sub>	11.0	h <sub>2</sub>	441.2
P <sub>3</sub>	11.0	h <sub>3</sub>	449.9	P <sub>3</sub>	10.7	h <sub>3</sub>	441.2
P <sub>4</sub>	10.7	h <sub>4</sub>	244.3	P <sub>4</sub>	10.4	h <sub>4</sub>	242.5
P <sub>5</sub>	3.1	h <sub>5</sub>	244.3	P <sub>5</sub>	5.0	h <sub>5</sub>	242.5
P <sub>6</sub>	2.8	h <sub>6</sub>	405.6	P <sub>6</sub>	4.7	h <sub>6</sub>	415.0

Πίνακας 2.7. Ζεύγη τιμών Πίεσης-Ειδικής Ενθαλπίας για το Ψυκτικό Ρευστό R1234yf ανά περιοχή και ανά εποχή (χειμώνας-θέρμανση, θέρος-δροσισμός). Η πίεση (P) μετράται σε bar και η ειδική ενθαλπία (h) σε kJ/kg.

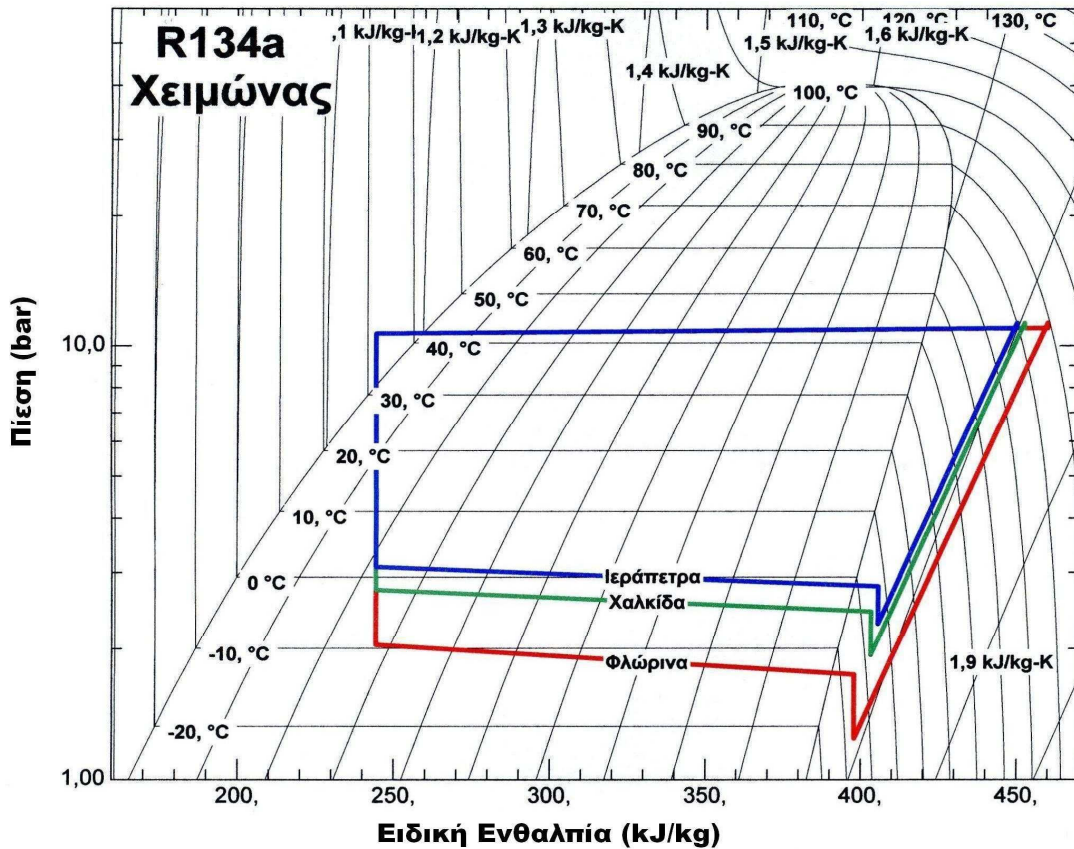
R1234yf							
Φλώρινα							
Χειμώνας				Θέρος			
P <sub>1</sub>	1.4	h <sub>1</sub>	364.4	P <sub>1</sub>	4.5	h <sub>1</sub>	383.2
P <sub>2</sub>	11.3	h <sub>2</sub>	414.2	P <sub>2</sub>	10.2	h <sub>2</sub>	403.1
P <sub>3</sub>	11.0	h <sub>3</sub>	414.2	P <sub>3</sub>	9.9	h <sub>3</sub>	403.1
P <sub>4</sub>	10.7	h <sub>4</sub>	243.2	P <sub>4</sub>	9.6	h <sub>4</sub>	237.1
P <sub>5</sub>	2.2	h <sub>5</sub>	243.2	P <sub>5</sub>	5.3	h <sub>5</sub>	237.1
P <sub>6</sub>	1.9	h <sub>6</sub>	364.4	P <sub>6</sub>	5.0	h <sub>6</sub>	383.2
Χαλκίδα							
Χειμώνας				Θέρος			
P <sub>1</sub>	2.2	h <sub>1</sub>	370.3	P <sub>1</sub>	4.5	h <sub>1</sub>	383.2
P <sub>2</sub>	11.3	h <sub>2</sub>	410.2	P <sub>2</sub>	10.7	h <sub>2</sub>	404.2
P <sub>3</sub>	11.0	h <sub>3</sub>	410.2	P <sub>3</sub>	10.4	h <sub>3</sub>	404.2
P <sub>4</sub>	10.7	h <sub>4</sub>	243.2	P <sub>4</sub>	10.1	h <sub>4</sub>	239.8
P <sub>5</sub>	3.0	h <sub>5</sub>	243.2	P <sub>5</sub>	5.3	h <sub>5</sub>	239.8
P <sub>6</sub>	2.7	h <sub>6</sub>	370.3	P <sub>6</sub>	5.0	h <sub>6</sub>	383.2
Ιεράπετρα							
Χειμώνας				Θέρος			
P <sub>1</sub>	2.5	h <sub>1</sub>	372.8	P <sub>1</sub>	4.5	h <sub>1</sub>	383.2
P <sub>2</sub>	11.3	h <sub>2</sub>	409.0	P <sub>2</sub>	11.0	h <sub>2</sub>	404.9
P <sub>3</sub>	11.0	h <sub>3</sub>	409.0	P <sub>3</sub>	10.7	h <sub>3</sub>	404.9
P <sub>4</sub>	10.7	h <sub>4</sub>	243.2	P <sub>4</sub>	10.4	h <sub>4</sub>	241.5
P <sub>5</sub>	3.3	h <sub>5</sub>	243.2	P <sub>5</sub>	5.3	h <sub>5</sub>	241.5
P <sub>6</sub>	3.0	h <sub>6</sub>	372.8	P <sub>6</sub>	5.0	h <sub>6</sub>	383.2



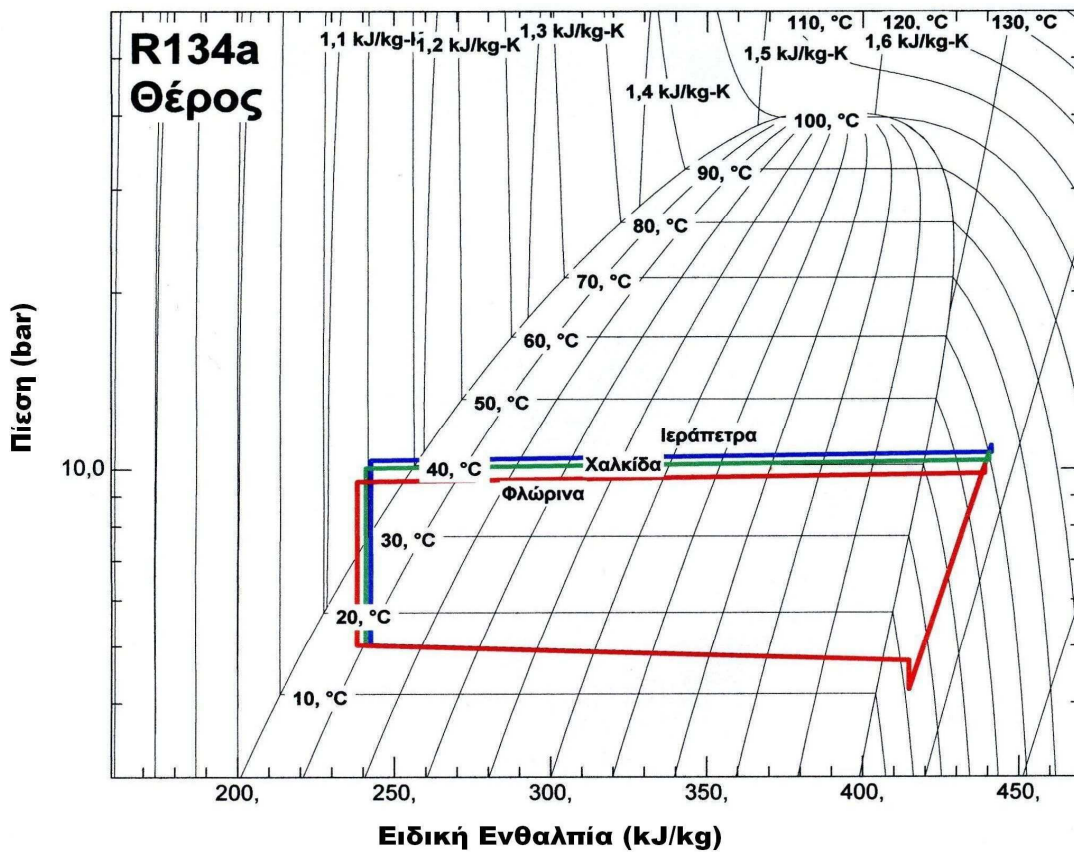
Σχήμα 2.10. Ψυκτικός κύκλος σε διάγραμμα P-h του R22 για τις τρεις περιοχές κατά το χειμώνα (θέρμανση).



Σχήμα 2.11. Ψυκτικός κύκλος σε διάγραμμα P-h του R22 για τις τρεις περιοχές κατά το θέρος (δροσισμός).

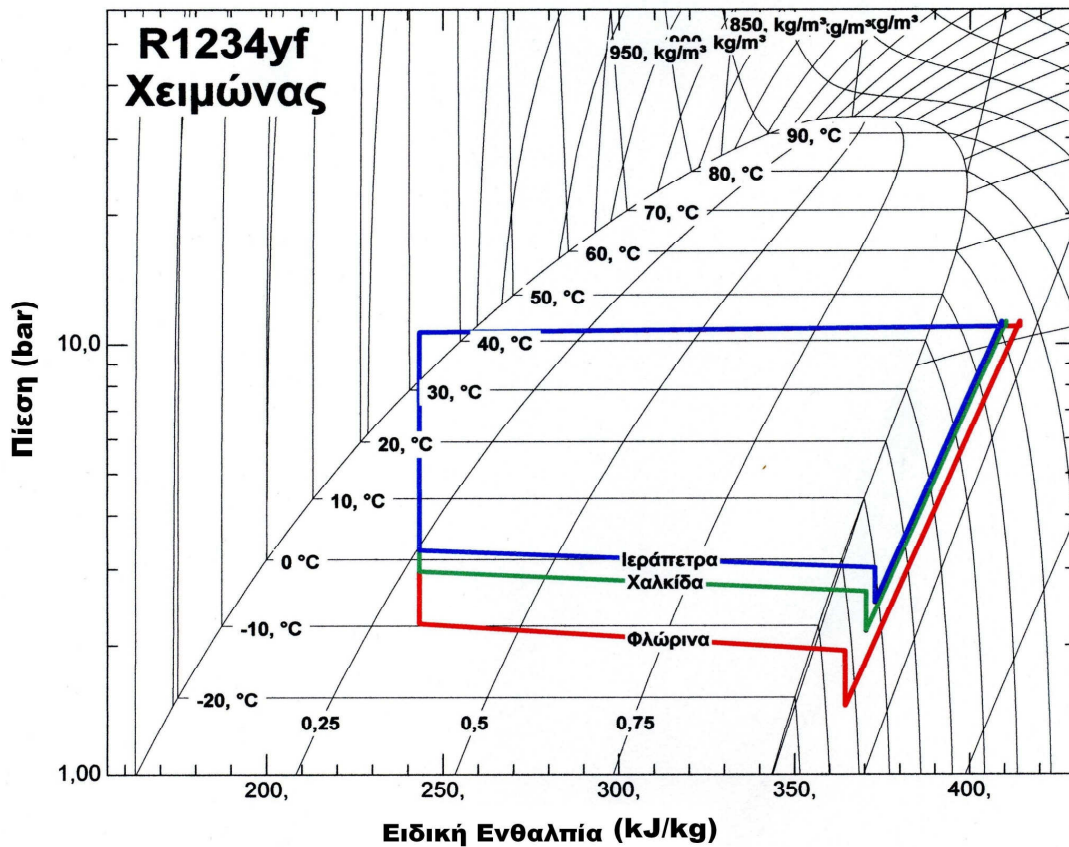


Σχήμα 2.12. Ψυκτικός κύκλος σε διάγραμμα P-h του R134a για τις τρεις περιοχές κατά το χειμώνα (θέρμανση).

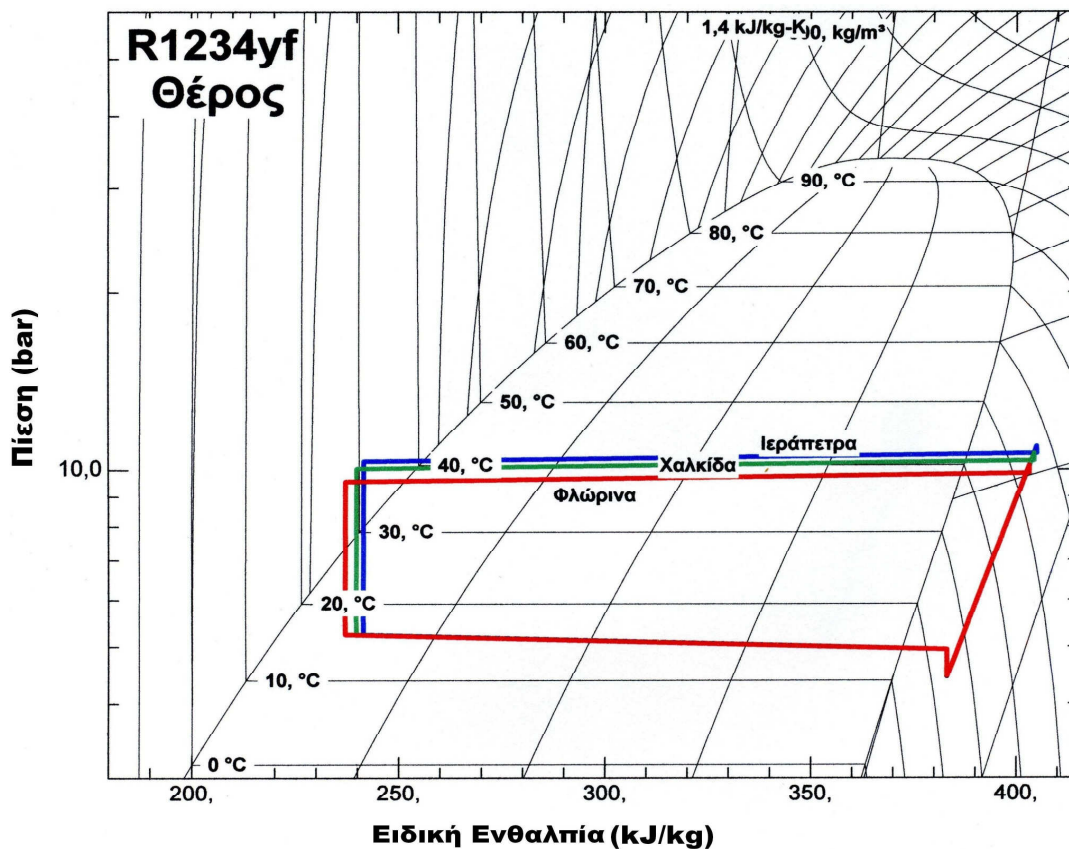


Σχήμα 2.13. Ψυκτικός κύκλος σε διάγραμμα P-h του R134a για τις τρεις περιοχές κατά το θέρος (δροσισμός).





Σχήμα 2.14. Ψυκτικός κύκλος σε διάγραμμα P-h του R1234yf για τις τρεις περιοχές κατά το χειμώνα (θέρμανση).



Σχήμα 2.15. Ψυκτικός κύκλος σε διάγραμμα P-h του R1234yf για τις τρεις περιοχές κατά το θέρος (δροσισμός).

Πίνακας 2.8. Θερμοδυναμικά μεγέθη και ενεργειακοί υπολογισμοί για κάθε ψυκτικό ρευστό και εποχή στη Φλώρινα.

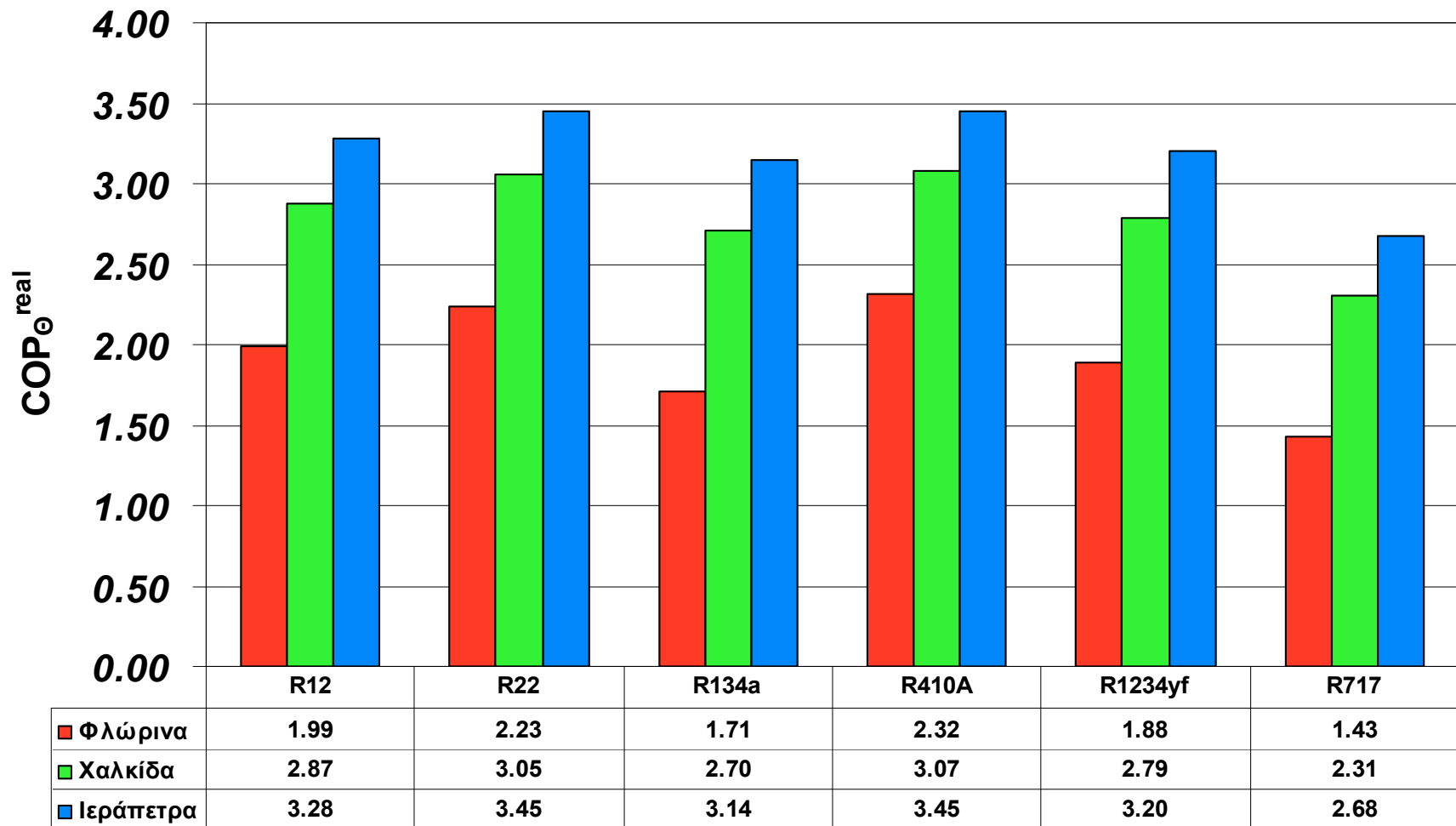
ΦΛΩΡΙΝΑ	R12-X	R12-Θ	R22-X	R22-Θ	R134a-X	R134a-Θ	R410A-X	R410A-Θ	R1234yf-X	R1234yf-Θ	R717-X	R717-Θ
$q_{\phi}$ [kJ/kg]	169.6	157.3	230.7	208.3	215.5	201.0	237.5	217.0	171.0	166.0	1566.8	1373.1
$q_{\psi}$ [kJ/kg]	121.4	138.1	167.4	183.8	153.5	176.9	171.3	191.6	121.2	146.0	1085.8	1164.8
$w$ [kJ/kg]	48.2	19.2	63.3	24.5	62.0	24.1	66.2	25.4	49.8	20.0	481.0	208.2
$COP_{\phi}^{th}$	3.52		3.64		3.47		3.59		3.43		3.26	
$COP_{\psi}^{th}$		7.21		7.51		7.34		7.53		7.32		5.59
$\tau$ (λόγος συμπίεσης)	7.44	2.25	6.40	2.12	9.08	2.40	5.66	2.03	7.80	2.29	10.23	3.04
$\Phi$ [BTH/h]	221,318	240,102	221,318	240,102	221,318	240,102	221,318	240,102	221,318	240,102	221,318	240,102
$\Phi$ [kW]	64.86	70.37	64.86	70.37	64.86	70.37	64.86	70.37	64.86	70.37	64.86	70.37
$T$ [h]	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
$Q_{\phi}$ [BTH/h]	295,091		295,091		295,091		295,091		295,091		295,091	
$Q_{\phi}$ [kW]	86.48		86.48		86.48		86.48		86.48		86.48	
$Q_{\psi}$ [BTH/h]		320,136		320,136		320,136		320,136		320,136		320,136
$Q_{\psi}$ [kW]		93.82		93.82		93.82		93.82		93.82		93.82
$m_{R\phi}$ [kg/s]	0.510		0.375		0.401		0.364		0.506		0.055	
$m_{R\psi}$ [kg/s]		0.679		0.510		0.530		0.490		0.642		0.081
$COP_{\phi}^{real}$	1.99		2.23		1.71		2.32		1.88		1.43	
$COP_{\psi}^{real}$		5.76		6.04		5.81		6.09		5.83		4.27
$v_1$ [m <sup>3</sup> /kg]	0.123	0.043	0.093	0.035	0.168	0.051	0.061	0.024	0.13	0.043	0.625	0.262
$V_{real}$ [m <sup>3</sup> /s]	0.063	0.029	0.035	0.018	0.067	0.027	0.022	0.012	0.066	0.028	0.034	0.021
$V_{th}$ [m <sup>3</sup> /s]	0.100	0.033	0.051	0.020	0.123	0.031	0.031	0.013	0.108	0.031	0.071	0.025
$n_m$	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
$n_i$	0.63	0.89	0.68	0.89	0.55	0.88	0.72	0.90	0.61	0.89	0.49	0.85
$n_{tot}$	0.57	0.80	0.61	0.80	0.49	0.79	0.65	0.81	0.55	0.80	0.44	0.76

Πίνακας 2.9. Θερμοδυναμικά μεγέθη και ενεργειακοί υπολογισμοί για κάθε ψυκτικό ρευστό και εποχή στη Χαλκίδα.

ΧΑΛΚΙΔΑ	R12-X	R12-Θ	R22-X	R22-Θ	R134a-X	R134a-Θ	R410A-X	R410A-Θ	R1234yf-X	R1234yf-Θ	R717-X	R717-Θ
$q_e$ [kJ/kg]	163.9	156.5	221.7	207.4	208.1	199.6	228.8	215.1	167.0	164.4	1479.7	1374.9
$q_\psi$ [kJ/kg]	125.4	136.2	171.1	181.4	159.0	174.1	175.6	188.0	127.1	143.4	1097.1	1155.7
$w$ [kJ/kg]	38.5	20.2	50.6	26.0	49.1	25.5	53.2	27.1	39.9	21.1	382.6	219.2
$COP_e^{th}$	4.26		4.38		4.24		4.30		4.19		3.87	
$COP_\psi^{th}$		6.73		6.97		6.83		6.94		6.80		5.27
$\tau$ (λόγος συμπίεσης)	5.02	2.36	4.50	2.22	5.82	2.52	4.12	2.12	5.21	2.40	6.74	3.21
$\Phi$ [BTH/h]	126,833	273,715	126,833	273,715	126,833	273,715	126,833	273,715	126,833	273,715	126,833	273,715
$\Phi$ [kW]	37.17	80.22	37.17	80.22	37.17	80.22	37.17	80.22	37.17	80.22	37.17	80.22
$T$ [h]	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
$Q_e^\circ$ [BTH/h]	169,110		169,110		169,110		169,110		169,110		169,110	
$Q_e^\circ$ [kW]	49.56		49.56		49.56		49.56		49.56		49.56	
$Q_\psi^\circ$ [BTH/h]		364,953		364,953		364,953		364,953		364,953		364,953
$Q_\psi^\circ$ [kW]		106.96		106.96		106.96		106.96		106.96		106.96
$m_{R\theta}^\circ$ [kg/s]	0.302		0.224		0.238		0.217		0.297		0.033	
$m_{R\psi}^\circ$ [kg/s]		0.785		0.590		0.614		0.569		0.746		0.093
$COP_e^{real}$	2.87		3.05		2.70		3.07		2.79		2.31	
$COP_\psi^{real}$		5.34		5.58		5.38		5.58		5.39		3.98
$v_1$ [m <sup>3</sup> /kg]	0.085	0.043	0.066	0.035	0.109	0.051	0.045	0.024	0.088	0.043	0.420	0.262
$V_{real}^\circ$ [m <sup>3</sup> /s]	0.026	0.034	0.015	0.021	0.026	0.031	0.010	0.014	0.026	0.032	0.014	0.024
$V_{th}^\circ$ [m <sup>3</sup> /s]	0.034	0.038	0.019	0.023	0.037	0.036	0.012	0.015	0.035	0.036	0.021	0.029
$\eta_m$	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
$\eta_i$	0.75	0.88	0.77	0.89	0.71	0.87	0.79	0.89	0.74	0.88	0.66	0.84
$\eta_{tot}$	0.67	0.79	0.70	0.80	0.64	0.79	0.71	0.80	0.67	0.79	0.60	0.76

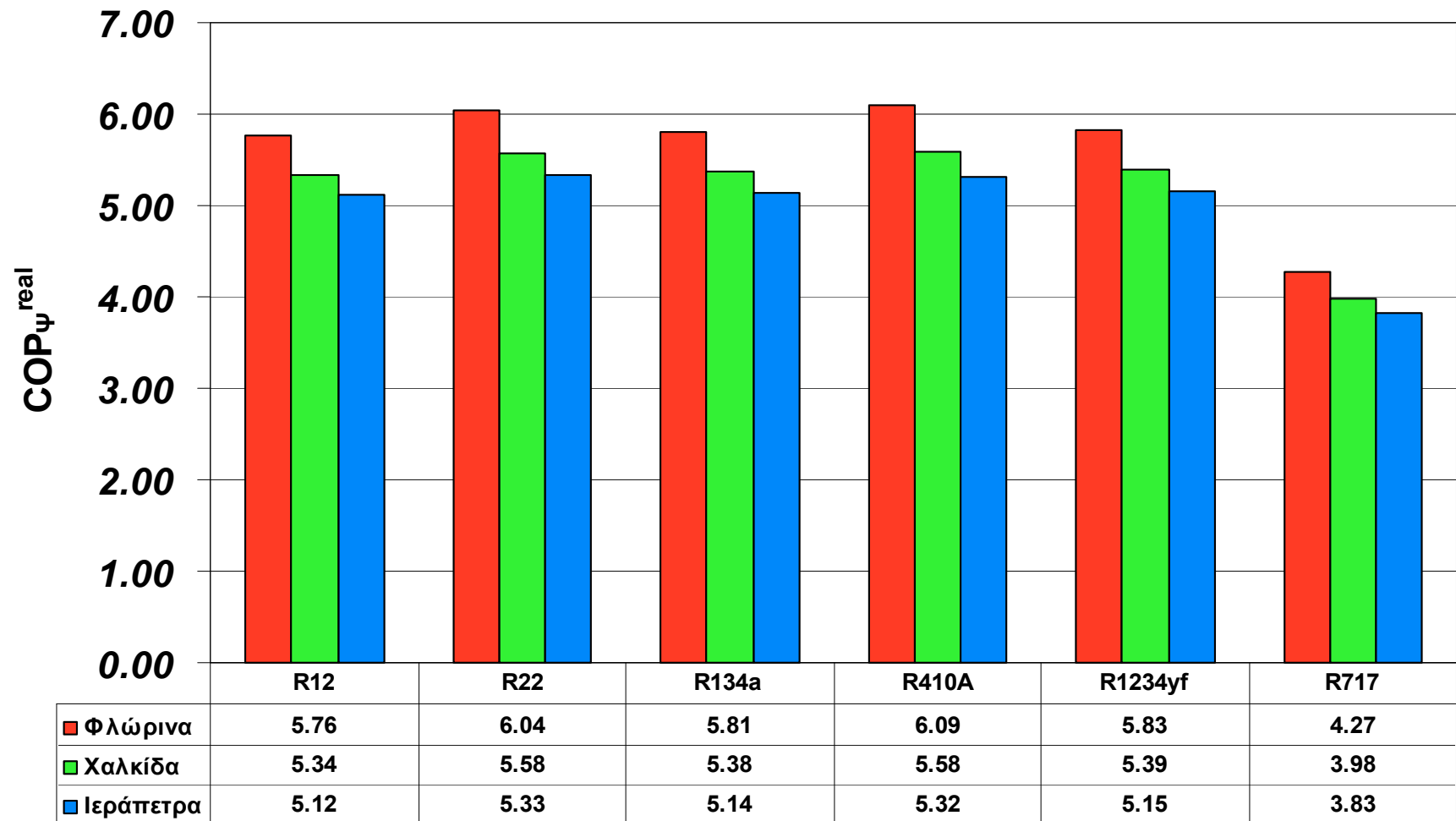
Πίνακας 2.10. Θερμοδυναμικά μεγέθη και ενεργειακοί υπολογισμοί για κάθε ψυκτικό ρευστό και εποχή στην Ιεράπετρα.

ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	R12-X	R12-Θ	R22-X	R22-Θ	R134a-X	R134a-Θ	R410A-X	R410A-Θ	R1234yf-X	R1234yf-Θ	R717-X	R717-Θ
$q_{\theta}$ [kJ/kg]	161.9	156.0	218.4	206.9	205.6	198.7	225.5	213.9	165.8	163.4	1448.2	1376.0
$q_{\psi}$ [kJ/kg]	127.1	135.1	172.5	180.0	161.3	172.5	177.3	185.9	129.6	141.7	1101.6	1150.5
$w$ [kJ/kg]	34.9	20.9	45.8	26.9	44.4	26.3	48.2	28.0	36.2	21.7	346.7	225.5
$COP_{\theta}^{th}$	4.64		4.77		4.63		4.68		4.58		4.18	
$COP_{\psi}^{th}$		6.47		6.69		6.57		6.63		6.52		5.10
$\tau$ (Λόγος συμπίεσης)	4.33	2.42	3.93	2.28	4.93	2.59	3.64	2.18	4.47	2.46	5.75	3.30
$\Phi$ [BTH/h]	108,298	288,415	108,298	288,415	108,298	288,415	108,298	288,415	108,298	288,415	108,298	288,415
$\Phi$ [kW]	31.74	84.53	31.74	84.53	31.74	84.53	31.74	84.53	31.74	84.53	31.74	84.53
$T$ [h]	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
$Q_{\theta}$ [BTH/h]	144,397		144,397		144,397		144,397		144,397		144,397	
$Q_{\theta}$ [kW]	42.32		42.32		42.32		42.32		42.32		42.32	
$Q_{\psi}$ [BTH/h]		384,553		384,553		384,553		384,553		384,553		384,553
$Q_{\psi}$ [kW]		112.70		112.70		112.70		112.70		112.70		112.70
$m_{R\theta}$ [kg/s]	0.261		0.194		0.206		0.188		0.255		0.029	
$m_{R\psi}$ [kg/s]		0.834		0.626		0.653		0.606		0.796		0.098
$COP_{\theta}^{real}$	3.28		3.45		3.14		3.45		3.20		2.68	
$COP_{\psi}^{real}$		5.12		5.33		5.14		5.32		5.15		3.83
$v_1$ [m <sup>3</sup> /kg]	0.073	0.043	0.058	0.035	0.093	0.051	0.040	0.024	0.076	0.043	0.361	0.262
$V_{real}$ [m <sup>3</sup> /s]	0.019	0.036	0.011	0.022	0.019	0.033	0.008	0.015	0.019	0.034	0.011	0.026
$V_{th}$ [m <sup>3</sup> /s]	0.024	0.041	0.014	0.025	0.025	0.038	0.009	0.016	0.025	0.039	0.015	0.031
$n_m$	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
$n_i$	0.78	0.88	0.80	0.89	0.75	0.87	0.82	0.89	0.78	0.88	0.71	0.83
$n_{tot}$	0.71	0.79	0.72	0.80	0.68	0.78	0.74	0.80	0.70	0.79	0.64	0.75



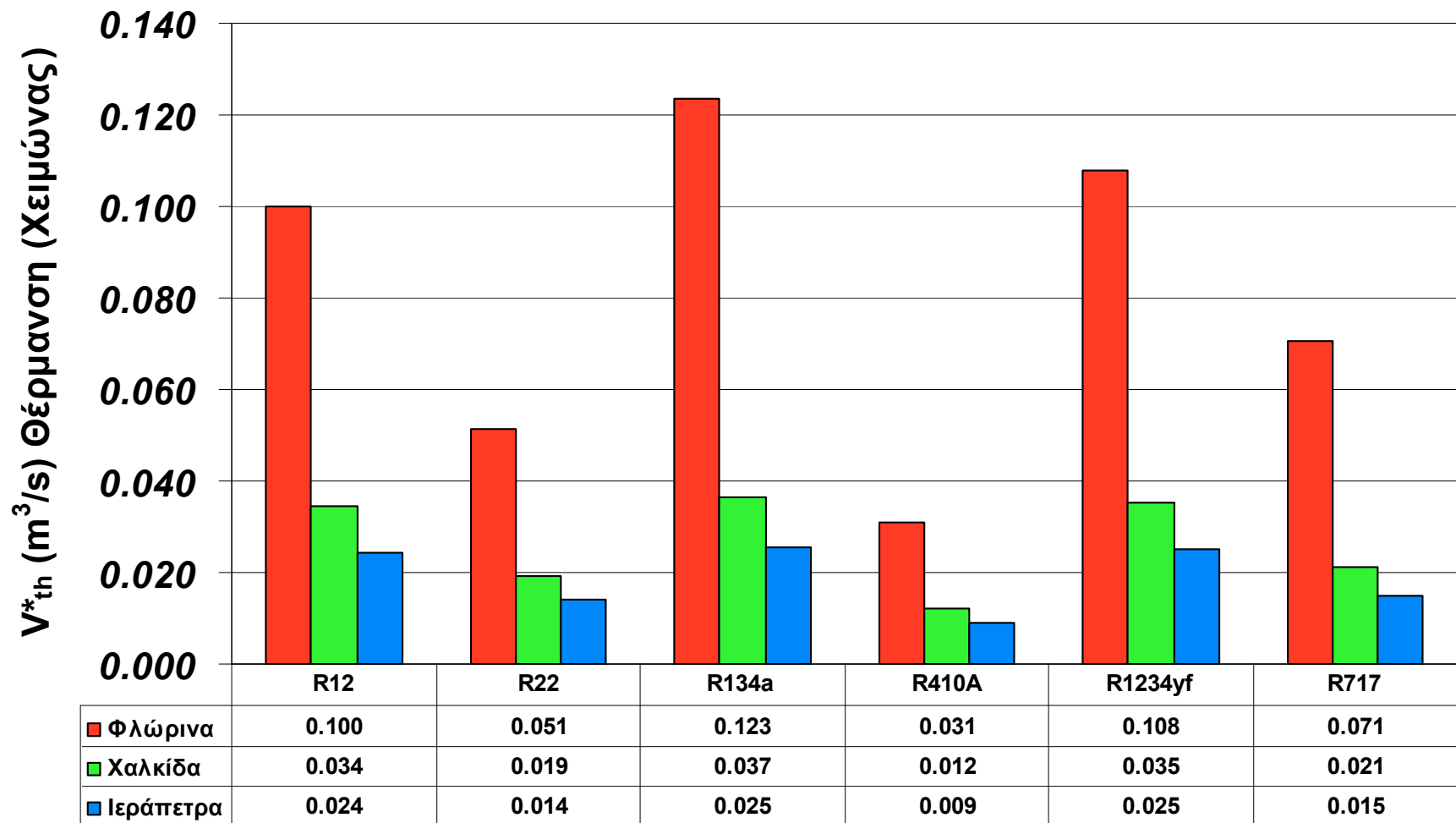
### ΨΥΚΤΙΚΑ ΡΕΥΣΤΑ

Σχήμα 2.16. Συντελεστής θέρμανσης ( $COP_{\theta}^{real}$ ) ανά ψυκτικό ρευστό και περιοχή.



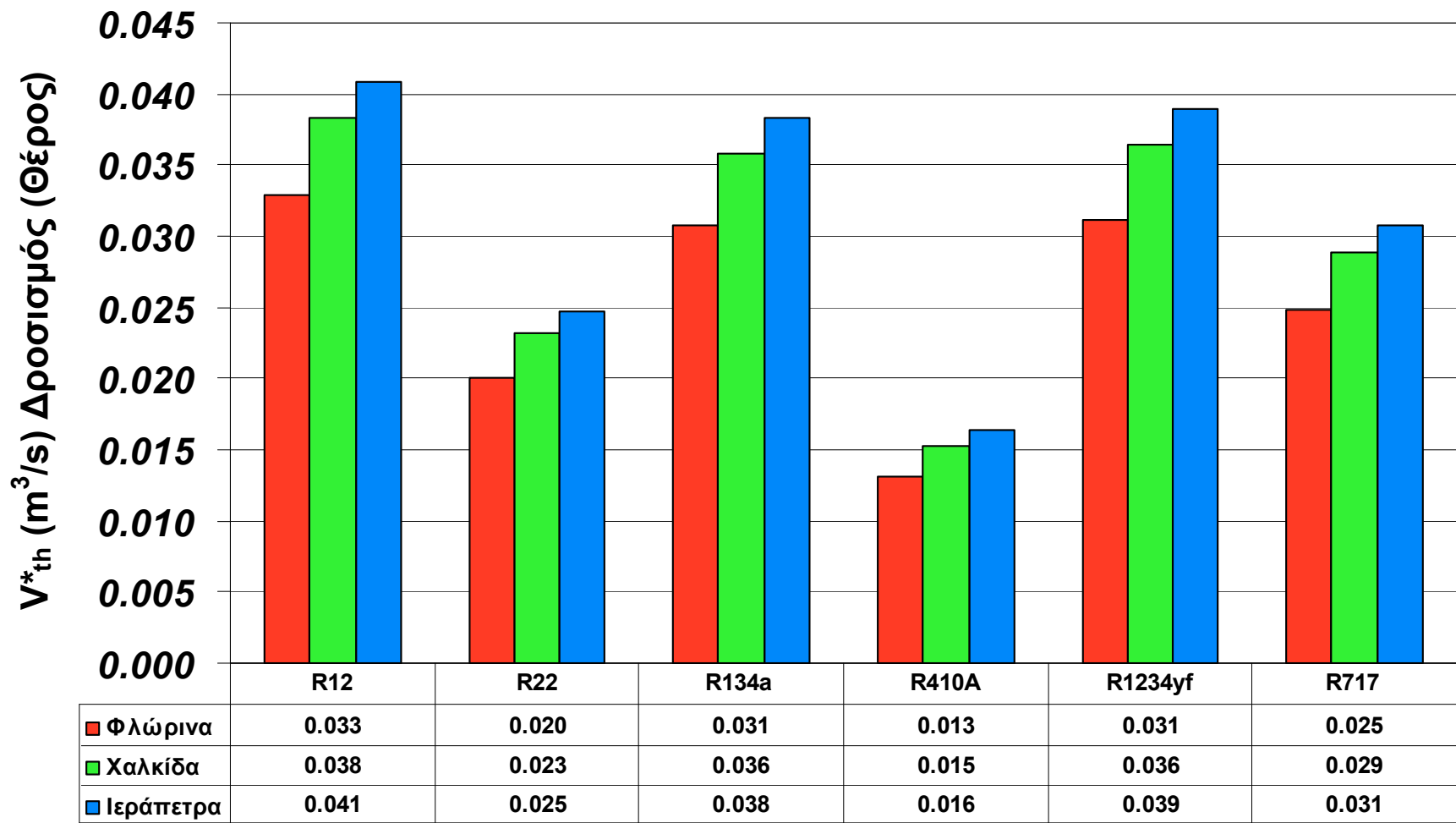
### ΨΥΚΤΙΚΑ ΡΕΥΣΤΑ

Σχήμα 2.17. Συντελεστής ψύξης (δροσισμού) ( $COP_{\psi}^{real}$ ) ανά ψυκτικό ρευστό και περιοχή.



### Ψυκτικά Ρευστά

Σχήμα 2.18. Θεωρητική παροχή όγκου ψυκτικού ρευστού στο συμπιεστή ανά ρευστό και περιοχή κατά τη θέρμανση (χειμώνας).



### Ψυκτικά Ρευστά

Σχήμα 2.19. Θεωρητική παροχή όγκου ψυκτικού ρευστού στο συμπιεστή ανά ρευστό και περιοχή κατά το δροσισμό (θέρος).



Από τα εν λόγω Σχήματα και Πίνακες, αυτό που παρατηρείται πρωτίστως είναι ότι όλα τα ψυκτικά ρευστά παρουσιάζουν μεγαλύτερο συντελεστή θερμικής συμπεριφοράς ( $COP_{\Theta}^{real}$ ) στα θερμότερα κλίματα (Ιεράπετρα), ενώ, αντίστοιχα, ο συντελεστής ψυκτικής συμπεριφοράς ( $COP_{\Psi}^{real}$ ) είναι μεγαλύτερος στα ψυχρότερα κλίματα (Φλώρινα), καθώς και ότι τα R410A, R717 και R22 δουλεύουν σε υψηλότερες πιέσεις από ότι τα R12, R134a και R1234yf. Η ανάλυση των συντελεστών  $COP_{\Theta}^{real}$  και  $COP_{\Psi}^{real}$  συνεχίζεται και στο επόμενο υποκεφάλαιο (2.3.3), προκειμένου να γίνει οπτικά ευκολότερος ο συσχετισμός τους με τον περιβαλλοντικό δείκτη TEWI. Όσον αφορά δε τις κρίσιμες θερμοκρασίες (Refprop, 2010) και τη σχέση τους με τη μέγιστη θερμοκρασία του κύκλου που καλείται να εργαστεί το κάθε ψυκτικό ρευστό (θερμοκρασία στο σημείο 2 του διαγράμματος P-h), αυτή απεικονίζεται χαρακτηριστικά από το λόγο  $\theta_2/\theta_{cr}$  των δύο θερμοκρασιών, δηλ. της θερμοκρασίας κατάθλιψης  $\theta_2$  και της κρίσιμης θερμοκρασίας του ρευστού  $\theta_{cr}$  στον Πίνακα 2.11. Ανεπιθύμητη είναι η κατάσταση στην οποία ο λόγος αυτός πλησιάζει σημαντικά ή και υπερβαίνει την τιμή 0.90 (Λεβέντη & Λαμπρινός, 2009).

Πίνακας 2.11. Λόγος  $\theta_2/\theta_{cr}$  για κάθε ψυκτικό ρευστό ανά περιοχή και εποχή.

Ψυκτικό Ρευστό	Περιοχή	Χειμώνας	Θέρος
R12	Φλώρινα	0.76	0.55
	Χαλκίδα	0.69	0.57
	Ιεράπετρα	0.67	0.58
R22	Φλώρινα	1.08	0.71
	Χαλκίδα	0.96	0.74
	Ιεράπετρα	0.92	0.76
R134a	Φλώρινα	0.78	0.58
	Χαλκίδα	0.71	0.60
	Ιεράπετρα	0.69	0.61
R410A	Φλώρινα	1.35	0.94
	Χαλκίδα	1.24	0.98
	Ιεράπετρα	1.20	1.01
R1234yf	Φλώρινα	0.69	0.56
	Χαλκίδα	0.66	0.59
	Ιεράπετρα	0.65	0.60
R717	Φλώρινα	1.62	0.86
	Χαλκίδα	1.37	0.90
	Ιεράπετρα	1.27	0.92

Έτσι, οι χειρότερες περιπτώσεις απαντώνται και στις τρεις περιοχές, τόσο για το χειμώνα όσο και για το θέρος, κατά σειρά για τα R717, R410A και R22 με τις περιπτώσεις των R717, R410A ειδικά να ξεπερνούν κατά πολύ τη μονάδα το χειμώνα. Αντιθέτως, οι καλύτερες περιπτώσεις είναι αυτές που παρουσιάζουν τα υπόλοιπα ψυκτικά ρευστά (κατά σειρά τα R1234yf, R12 και R134a το χειμώνα και R12, R1234yf και R134a το θέρος), των οποίων ο λόγος κυμαίνεται μέσα στο ίδιο περίπου εύρος. Από τη στιγμή που το R12 μελετάται μόνο για λόγους σύγκρισης, τα υπόλοιπα δύο αποτελούν τις καταλληλότερες επιλογές. Όπως ήταν αναμενόμενο, ο λόγος που παρουσιάζουν όλα τα ρευστά το χειμώνα είναι μεγαλύτερος από αυτόν του θέρους, αφού ο συμπιεστής καλείται να ανταπεξέλθει σε δυσμενέστερες κλιματικές συνθήκες, οι οποίες δημιουργούν μεγαλύτερες θερμοκρασιακές διαφορές.

Η θεωρητική παροχή όγκου είναι ένα μέγεθος σημαντικό, αφού καθορίζει το μέγεθος του συμπιεστή και, περαιτέρω, της διάταξης. Στον Πίνακα 2.12

απεικονίζονται συγκεντρωτικά οι τιμές της για κάθε ψυκτικό ρευστό και περιοχή, τόσο το χειμώνα όσο και το θέρος (Σχήματα 2.18 και 2.19). Για κάθε περίπτωση, η διαστασιολόγηση γίνεται με την επιλογή της μεγαλύτερης τιμής μεταξύ χειμώνα ( $\dot{V}_{thX}$ ) και θέρους ( $\dot{V}_{th\theta}$ ), έτσι ώστε να καλύπτεται και η μικρότερη. Από τη σύγκριση προκύπτει ότι η καλύτερη επιλογή είναι το R410A και για τις τρεις περιοχές, καθώς η χειρότερη για τη Φλώρινα είναι το R134a ενώ για τη Χαλκίδα και την Ιεράπετρα είναι το R12. Όμως, από τη στιγμή που λόγω κρίσιμων συνθηκών (Πίνακας 2.11) δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί, καθώς και τα R22, R12 & R717, καλύτερη επιλογή αποτελούν τα R1234yf & R134a.

Πίνακας 2.12. Διαστασιολόγηση συμπιεστή για κάθε ψυκτικό ρευστό και περιοχή.

Περιοχή	Ψυκτικό Ρευστό	$\dot{V}_{thX}$	$\dot{V}_{th\theta}$	Διαστασιολόγηση συμπιεστή με βάση το
Φλώρινα	R12	0.100	0.033	Χειμώνα
	R22	0.051	0.020	Χειμώνα
	R134a	0.123	0.031	Χειμώνα
	R410A	0.031	0.013	Χειμώνα
	R1234yf	0.108	0.031	Χειμώνα
	R717	0.071	0.025	Χειμώνα
Χαλκίδα	R12	0.034	0.038	Θέρος
	R22	0.019	0.023	Θέρος
	R134a	0.037	0.036	Χειμώνα
	R410A	0.012	0.015	Θέρος
	R1234yf	0.035	0.036	Θέρος
	R717	0.021	0.029	Θέρος
Ιεράπετρα	R12	0.024	0.041	Θέρος
	R22	0.014	0.025	Θέρος
	R134a	0.025	0.038	Θέρος
	R410A	0.009	0.016	Θέρος
	R1234yf	0.025	0.039	Θέρος
	R717	0.015	0.031	Θέρος

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να γίνει μια ιδιαίτερη μνεία στην αμμωνία. Πρόκειται, όπως είναι ήδη γνωστό, για ένα από τα παλαιότερα ψυκτικά ρευστά, το οποίο, σε σχέση με τα υπόλοιπα ψυκτικά ρευστά, παρουσιάζει τα εξής πλεονεκτήματα (Cengel & Boles, 2003b) :

- έχει χαμηλό κόστος,
- παρουσιάζει την καλύτερη ογκομετρούμενη ειδική θερμική και ψυκτική παραγωγή (Λεβέντη & Λαμπρινός, 2009), γεγονός που οδηγεί σε υψηλότερους συντελεστές θέρμανσης/ψύξης (δρoσιισμού)-όταν μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συστήματα άμεσης ψύξης ή κλιματισμού-και συνεπώς σε χαμηλότερο ενεργειακό κόστος, καθώς και μικρότερους (και άρα φθηνότερους) συμπιεστές και εναλλάκτες,
- διαθέτει ευνοϊκότερες θερμοδυναμικές ιδιότητες,
- σε περίπτωση διαρροής ανιχνεύεται ευκολότερα και, σαν φυσικό ψυκτικό ρευστό, δεν επηρεάζει το στρώμα του όζοντος (ODP = 0).

Από την άλλη πλευρά όμως, τα δύο μεγάλα της μειονεκτήματα είναι η διαβρωτικότητα και, κυρίως, η τοξικότητα (κατηγορία B2L κατά ASHRAE), γεγονός που αναγκάζει τη χρήση της, σε εφαρμογές όπως το χοιροστάσιο-αναφορά, μόνο μέσω κυκλώματος έμμεσης ψύξης το οποίο μειώνει σημαντικά την απόδοσή της, καθιστώντας την έτσι εφαρμόσιμη μόνο για μεγάλες εγκαταστάσεις, σε βιομηχανικές περιοχές, και, εν πάσει περιπτώσει, εκτός κατοικημένων περιοχών.

### 2.3.3 Περιβαλλοντικοί υπολογισμοί

Σύμφωνα με τα όσα ειπώθηκαν στο υποκεφάλαιο 2.2.3.6, για να υπολογιστεί η άμεση συμβολή της αντλίας θερμότητας, είναι απαραίτητο να υπολογιστεί η μάζα του κάθε ψυκτικού ρευστού ( $m_R$ ). Τα αποτελέσματα αυτών των υπολογισμών παρουσιάζονται στους Πίνακες 2.13, 2.14 και 2.15, για κάθε ρευστό και περιοχή με βάση το θέρος. Ως εκ τούτου, όλα τα απαραίτητα δεδομένα είναι γνωστά πλέον και τα αποτελέσματα των περιβαλλοντικών υπολογισμών απεικονίζονται στα Σχήματα 2.20 έως 2.27.

Πίνακας 2.13. Μάζα κάθε ψυκτικού ρευστού στη Φλώρινα.

Φλώρινα	Ψυκτικά Ρευστά					
	R12	R22	R134a	R410A	R1234yf	R717
$L_{υγρού}$ [m]	74	74	74	74	74	10
$S_{υγρού}$ [m <sup>2</sup> ]	3.E-04	3.E-04	3.E-04	3.E-04	3.E-04	3.E-04
$\rho_{υγρού}$ [kg/m <sup>3</sup> ]	1303.3	1181.0	1198.1	1047.3	1084.1	598.5
$m_{υγρού}$ [kg]	30.3	27.5	27.9	24.3	25.2	1.9
$L_{ατμού}$ [m]	74	74	74	74	74	10
$S_{ατμού}$ [m <sup>2</sup> ]	1.E-03	1.E-03	1.E-03	1.E-03	1.E-03	1.E-03
$\rho_{ατμού}$ [kg/m <sup>3</sup> ]	23.0	28.5	19.4	41.6	23.0	3.8
$m_{ατμού}$ [kg]	2.1	2.7	1.8	3.9	2.1	0.0
$m_{σουλέκτη}$ [kg]	6	6	6	6	6	6
$m_R$ [kg]	38.4	36.1	35.7	34.2	33.3	7.9
Κατά προσέγγιση	38.5	36	35.5	34	33	8

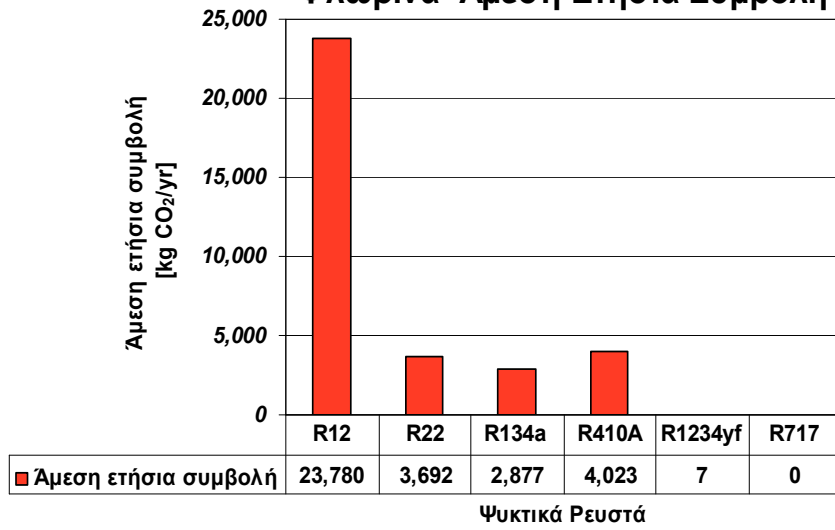
Πίνακας 2.14. Μάζα κάθε ψυκτικού ρευστού στη Χαλκίδα.

Χαλκίδα	Ψυκτικά Ρευστά					
	R12	R22	R134a	R410A	R1234yf	R717
$L_{υγρού}$ [m]	74	74	74	74	74	10
$S_{υγρού}$ [m <sup>2</sup> ]	3.E-04	3.E-04	3.E-04	3.E-04	3.E-04	3.E-04
$\rho_{υγρού}$ [kg/m <sup>3</sup> ]	1296.2	1173.5	1190.6	1037.7	1077.1	595.6
$m_{υγρού}$ [kg]	30.1	27.3	27.7	24.1	25.0	1.9
$L_{ατμού}$ [m]	74	74	74	74	74	10
$S_{ατμού}$ [m <sup>2</sup> ]	1.E-03	1.E-03	1.E-03	1.E-03	1.E-03	1.E-03
$\rho_{ατμού}$ [kg/m <sup>3</sup> ]	23.0	28.5	19.4	41.6	23.0	3.8
$m_{ατμού}$ [kg]	2.1	2.7	1.8	3.9	2.1	0.0
$m_{σουλέκτη}$ [kg]	6	6	6	6	6	6
$m_R$ [kg]	38.3	35.9	35.5	34.0	33.2	7.9
Κατά προσέγγιση	38.5	36	35.5	34	33	8

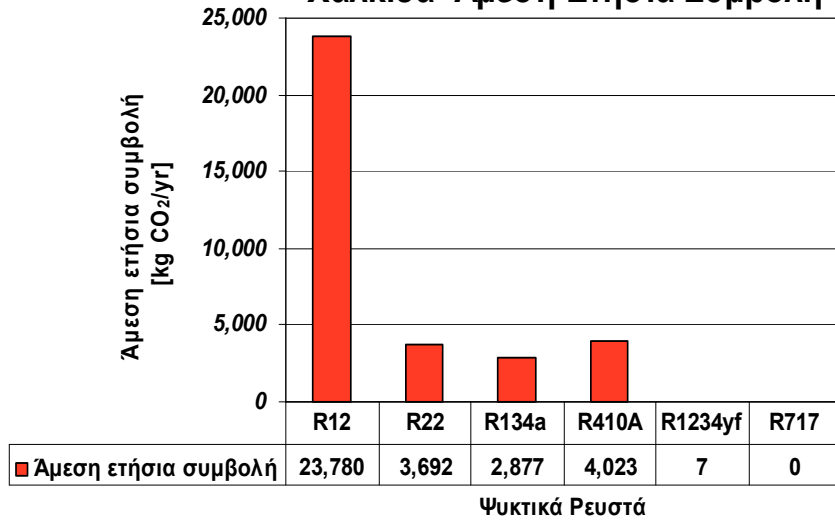
Πίνακας 2.15. Μάζα κάθε ψυκτικού ρευστού στην Ιεράπετρα.

Ιεράπετρα	Ψυκτικά Ρευστά					
	R12	R22	R134a	R410A	R1234yf	R717
$L_{υγρού}$ [m]	74	74	74	74	74	10
$S_{υγρού}$ [m <sup>2</sup> ]	3.E-04	3.E-04	3.E-04	3.E-04	3.E-04	3.E-04
$\rho_{υγρού}$ [kg/m <sup>3</sup> ]	1292.1	1169.0	1186.3	1032.0	1072.6	593.9
$m_{υγρού}$ [kg]	30.0	27.2	27.6	24.0	24.9	1.9
$L_{ατμού}$ [m]	74	74	74	74	74	10
$S_{ατμού}$ [m <sup>2</sup> ]	1.E-03	1.E-03	1.E-03	1.E-03	1.E-03	1.E-03
$\rho_{ατμού}$ [kg/m <sup>3</sup> ]	23.0	28.5	19.4	41.6	23.0	3.8
$m_{ατμού}$ [kg]	2.1	2.7	1.8	3.9	2.1	0.0
$m_{σουλέκτη}$ [kg]	6	6	6	6	6	6
$m_R$ [kg]	38.2	35.8	35.4	33.9	33.1	7.9
Κατά προσέγγιση	38	36	35.5	34	33	8

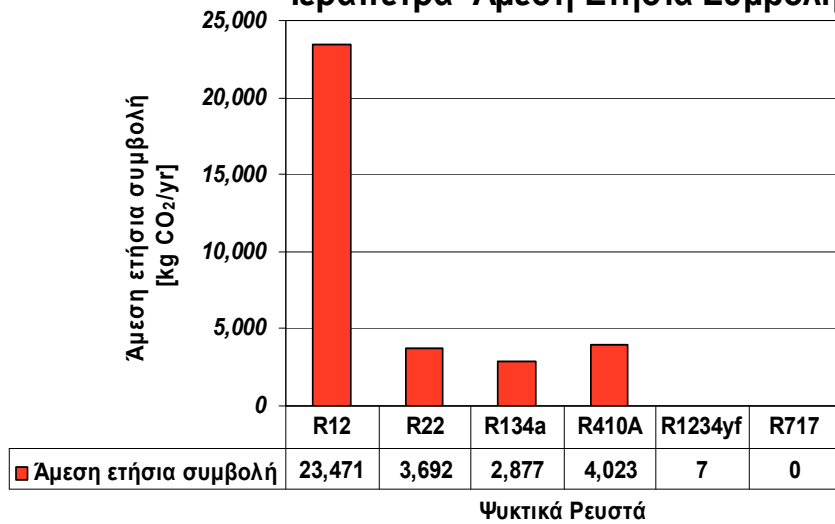
### Φλώρινα-'Άμεση Ετήσια Συμβολή



### Χαλκίδα-'Άμεση Ετήσια Συμβολή

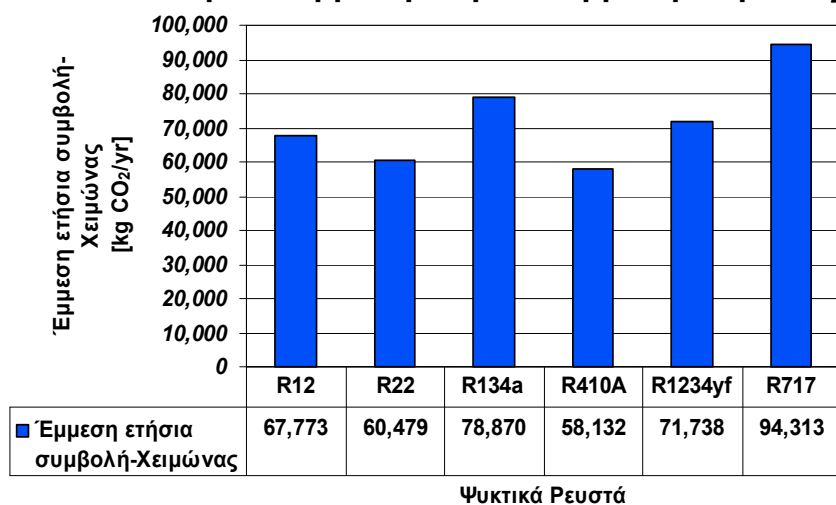


### Ιεράπετρα-'Άμεση Ετήσια Συμβολή

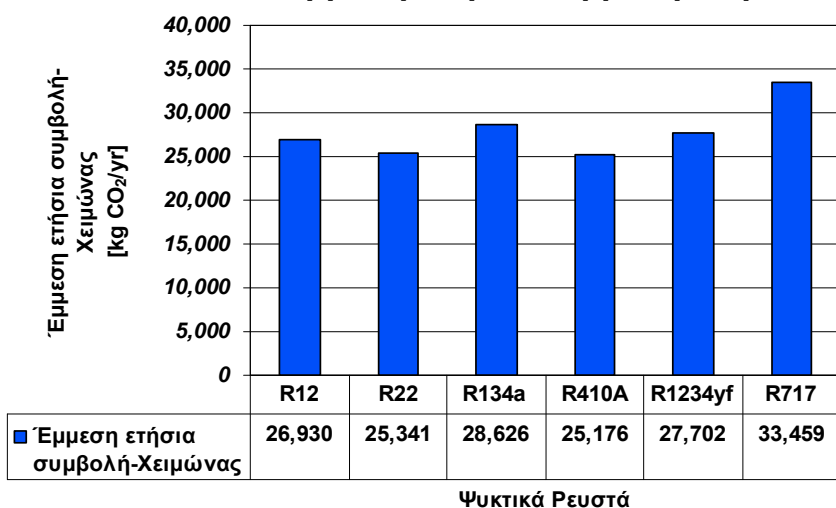


Σχήμα 2.20. Άμεση Ετήσια Συμβολή (DE<sub>A</sub>) για τις τρεις περιοχές.

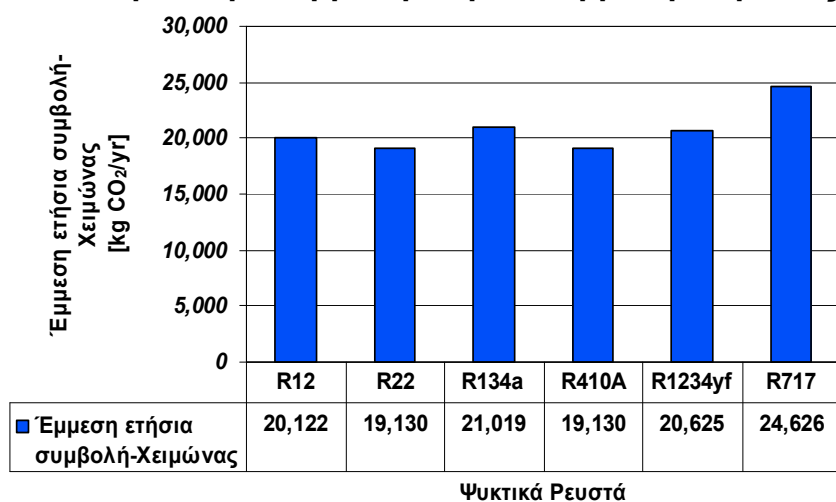
### Φλώρινα-'Εμμεση Ετήσια Συμβολή-Χειμώνας



### Χαλκίδα-'Εμμεση Ετήσια Συμβολή-Χειμώνας

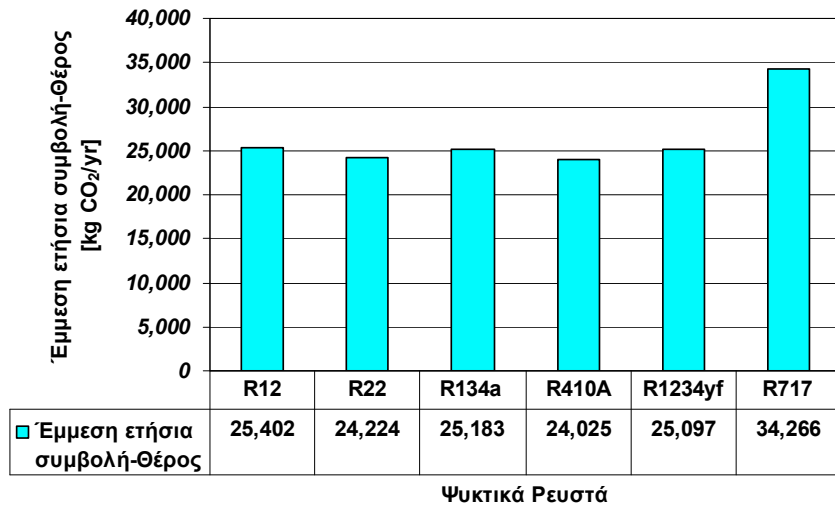


### Ιεράπετρα-'Εμμεση Ετήσια Συμβολή-Χειμώνας

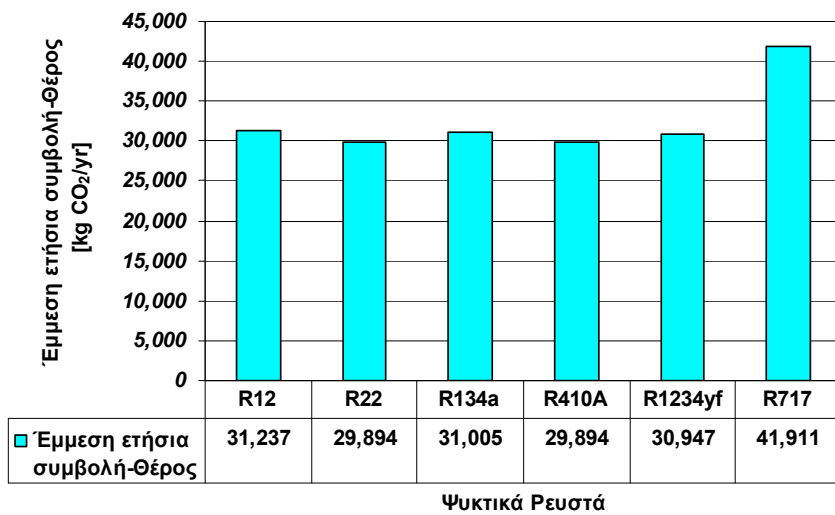


Σχήμα 2.21. Έμμεση Ετήσια Συμβολή το χειμώνα (IE<sub>ΔX</sub>) για τις τρεις περιοχές.

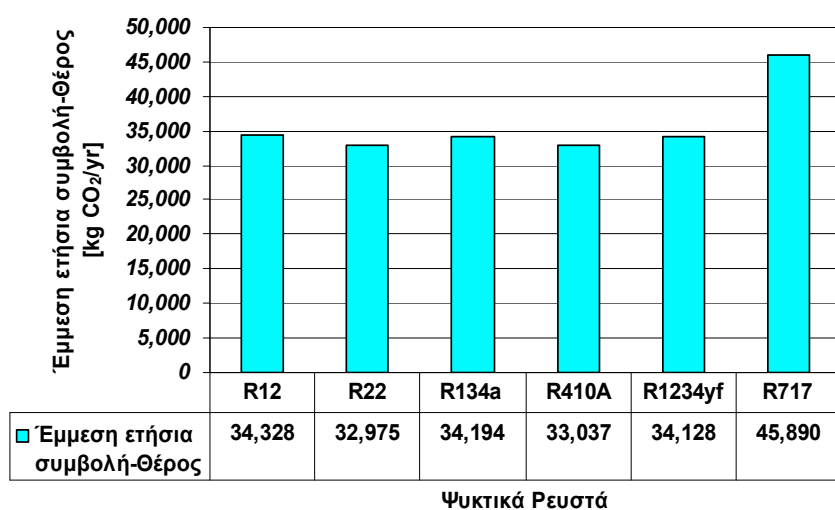
### Φλώρινα-Έμμεση Ετήσια Συμβολή-Θέρος



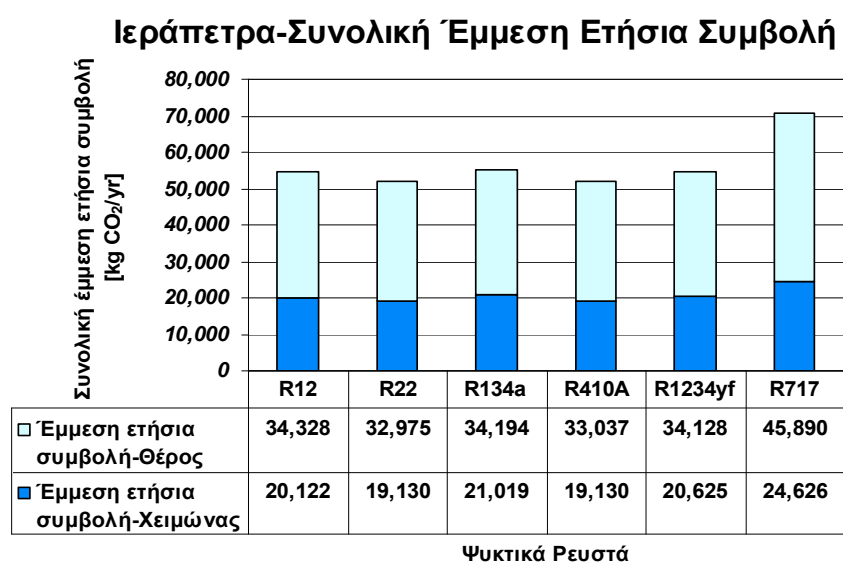
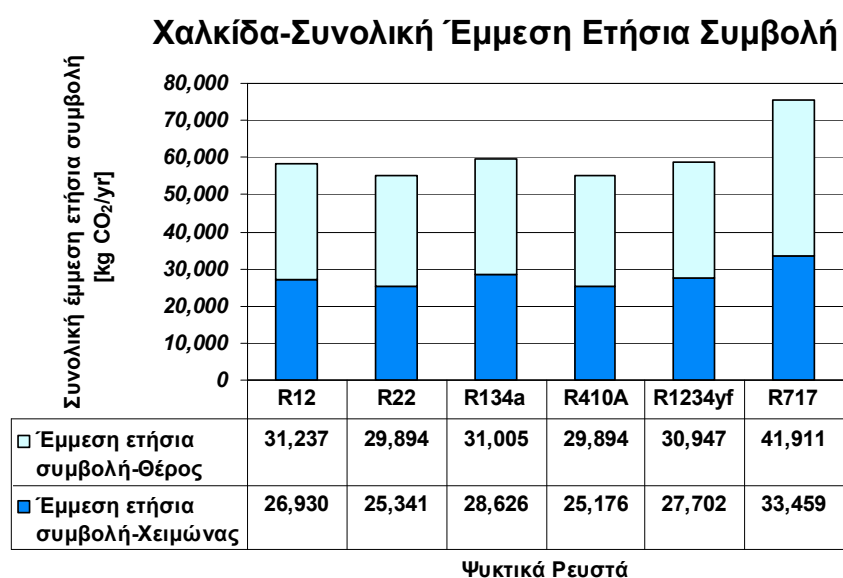
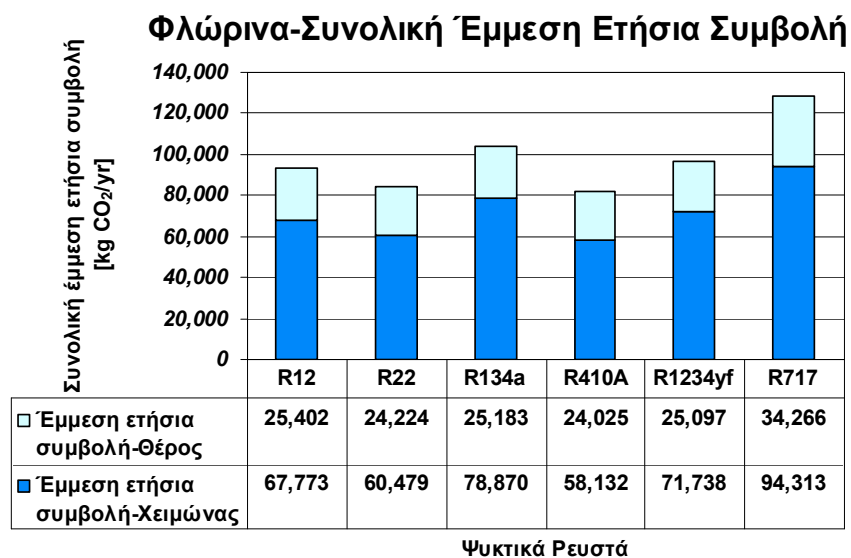
### Χαλκίδα-Έμμεση Ετήσια Συμβολή-Θέρος



### Ιεράπετρα-Έμμεση Ετήσια Συμβολή-Θέρος

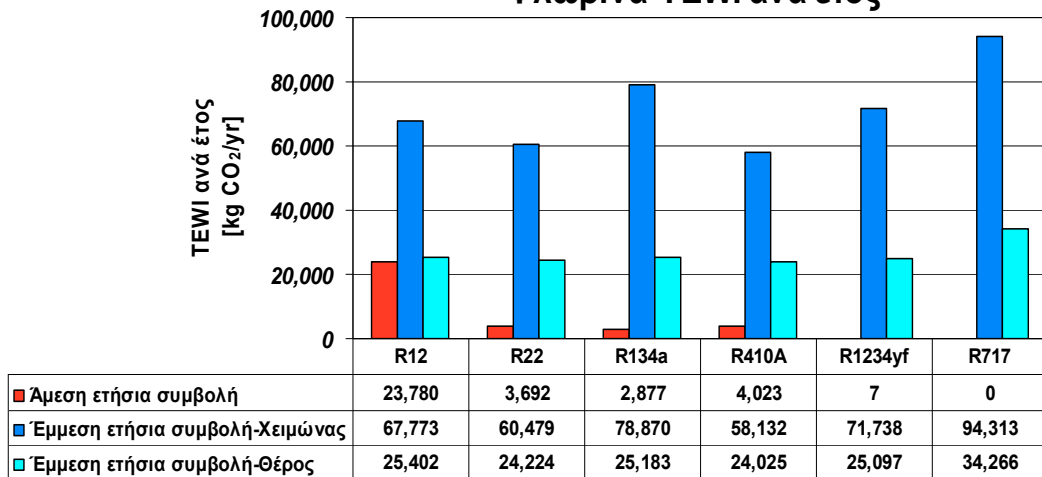


Σχήμα 2.22. Έμμεση Ετήσια Συμβολή το θέρος (IE<sub>AO</sub>) για τις τρεις περιοχές.



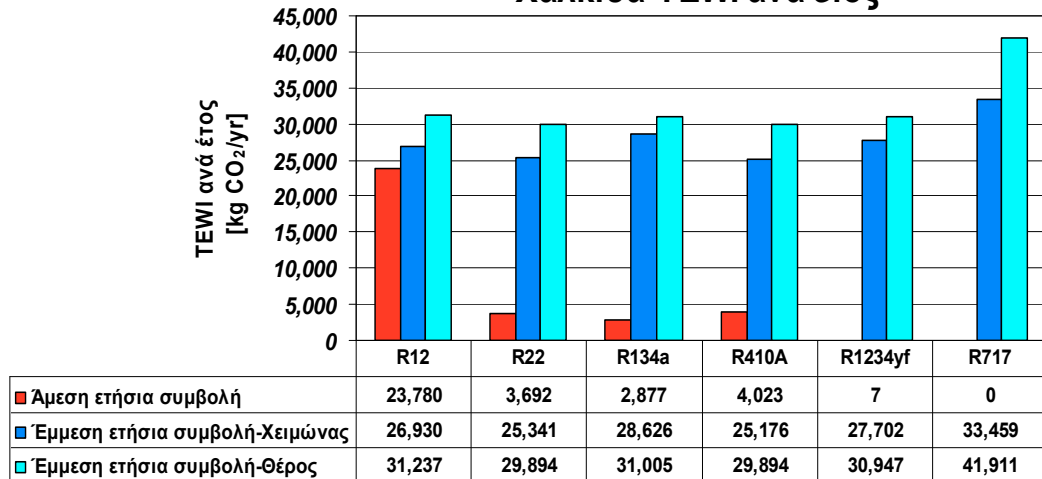
Σχήμα 2.23. Συνολική Έμμεση Ετήσια Συμβολή (IE<sub>A</sub>) για τις τρεις περιοχές.

### Φλώρινα-TEWI ανά έτος



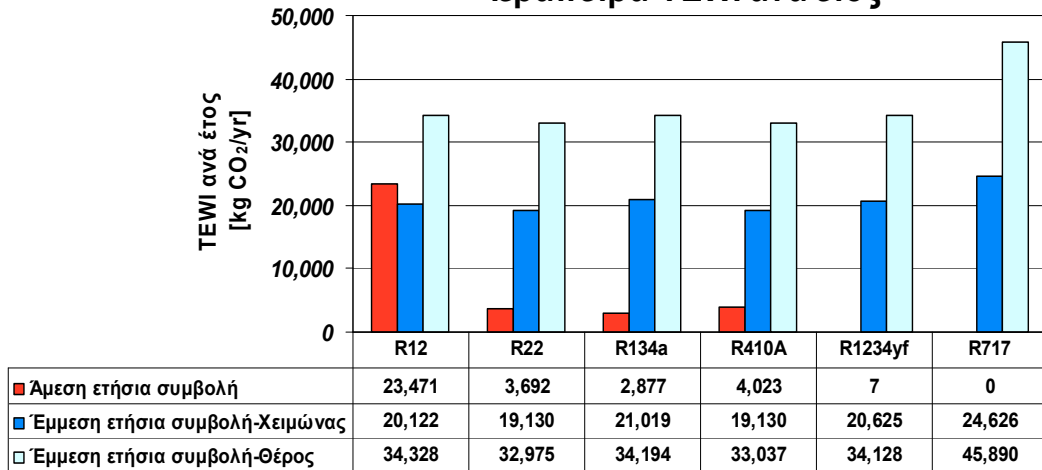
Ψυκτικά Ρευστά

### Χαλκίδα-TEWI ανά έτος



Ψυκτικά Ρευστά

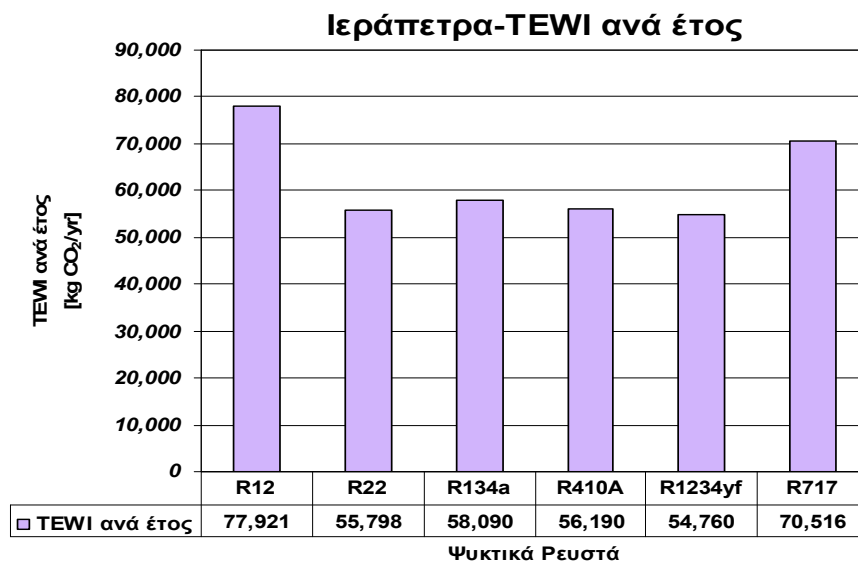
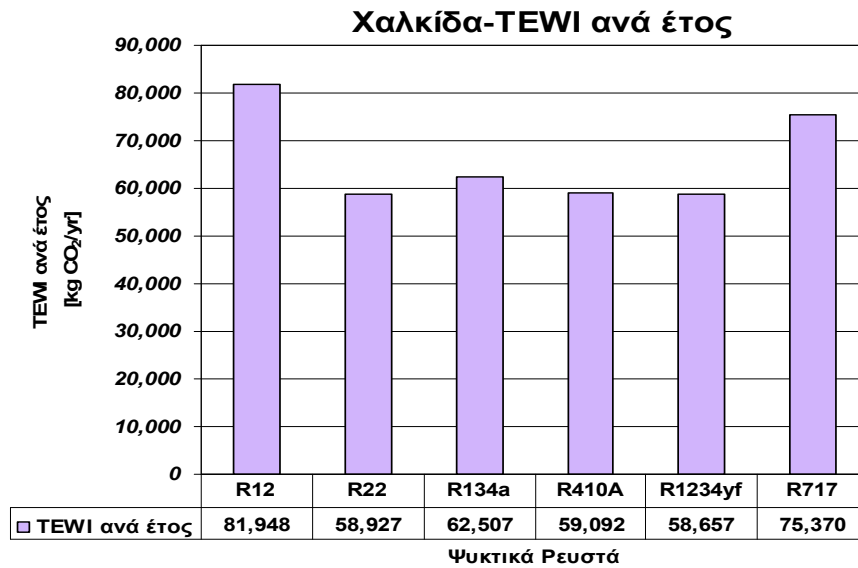
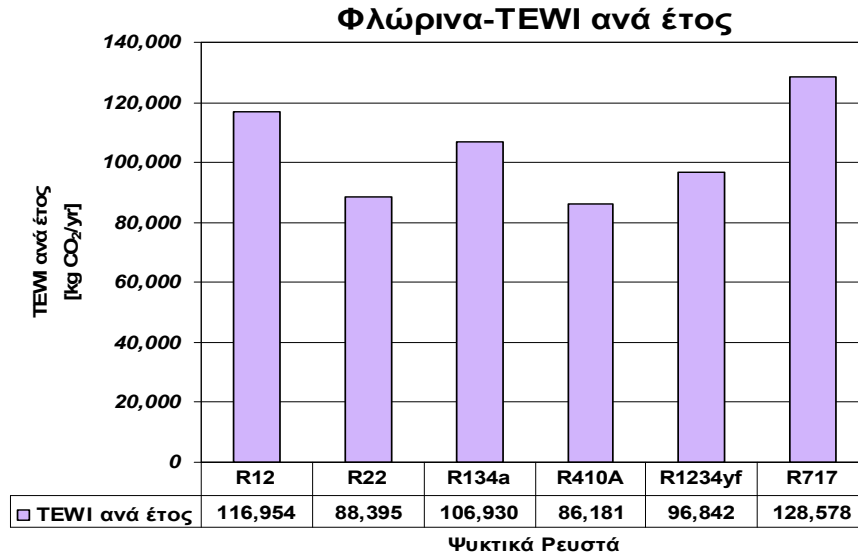
### Ιεράπετρα-TEWI ανά έτος



Ψυκτικά Ρευστά

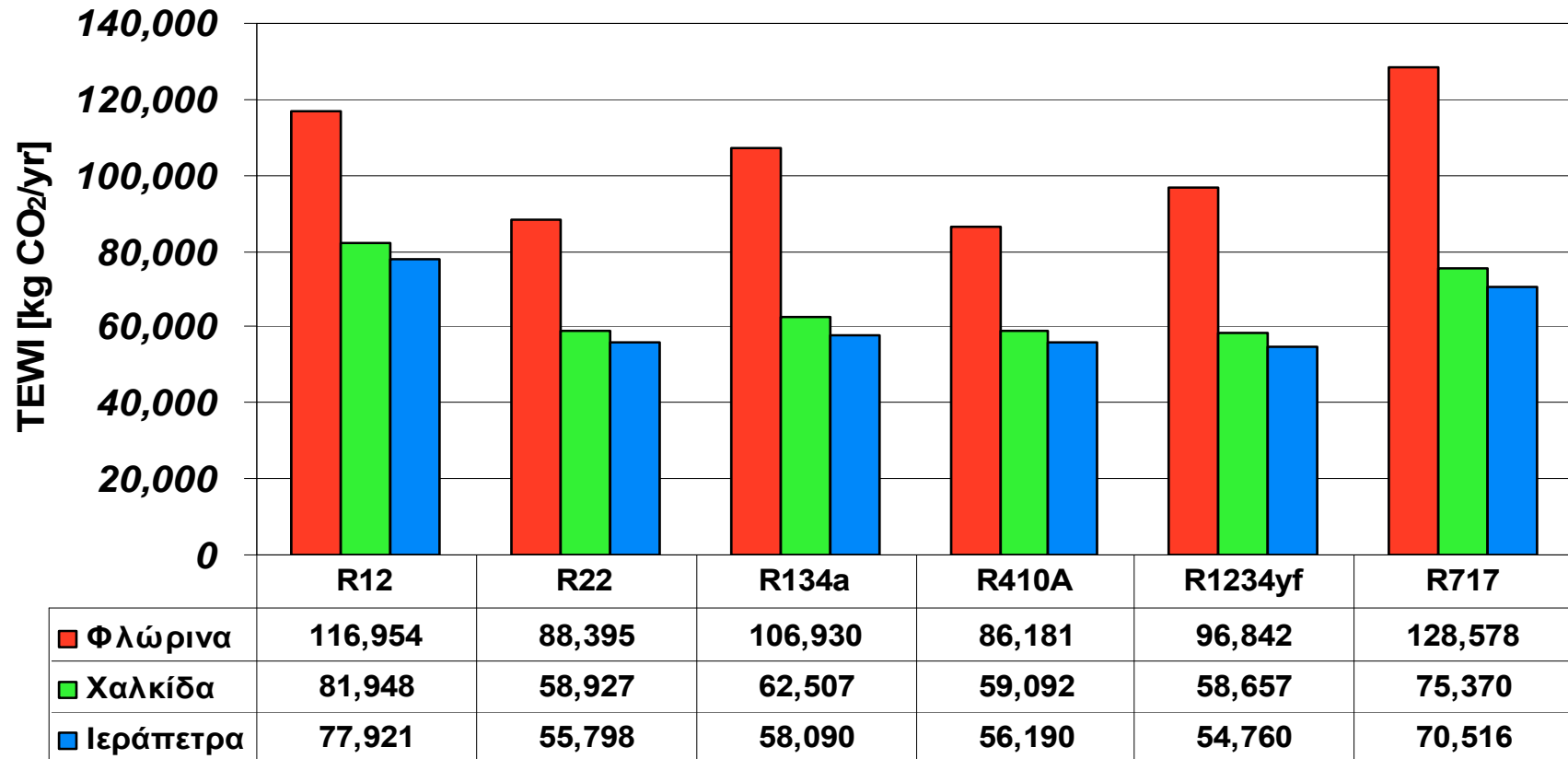
Σχήμα 2.24. Ετήσια αναλυτική τιμή του TEWI (TEWI<sub>A</sub>) για τις τρεις περιοχές.





Σχήμα 2.25. Ετήσια τιμή του TEWI (TEWI<sub>A</sub>) για τις τρεις περιοχές.

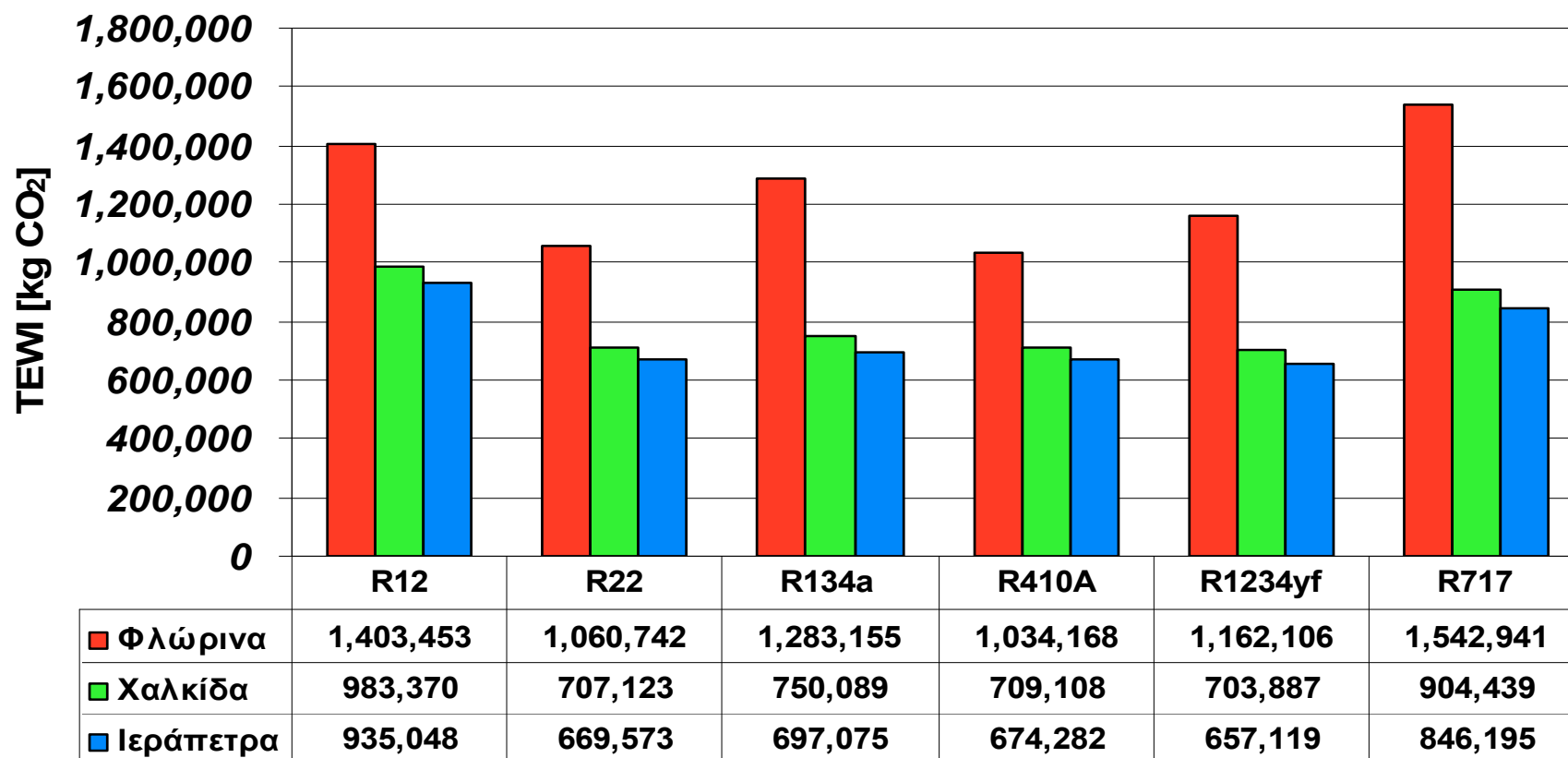
## TEWI ανά έτος



## Ψυκτικά Ρευστά

Σχήμα 2.26. Σύγκριση της Ετήσιας τιμής του TEWI ( $TEWI_A$ ) ανά ψυκτικό ρευστό και περιοχή.

## TEWI



### Ψυκτικά Ρευστά

Σχήμα 2.27. Σύγκριση της Συνολικής τιμής του TEWI, ανά ψυκτικό ρευστό και περιοχή.

Η συντριπτική πλειονότητα των υπολογισμών αφορούν τις ετήσιες τιμές της άμεσης συμβολής ( $DE_A$ ), της έμμεσης συμβολής ( $IE_A$ ) και, επομένως του ετήσιου TEWI ( $TEWI_A$ ). Αυτό γίνεται αφενός μεν για να υπάρχει μια πιο σαφής και συγκρίσιμη εικόνα, πράγμα που δεν απεικονίζεται ξεκάθαρα υπολογίζοντας τα αντίστοιχα μεγέθη κατά τη συνολική διάρκεια λειτουργίας της αντλίας θερμότητας (12 έτη), αφετέρου δε είναι καλύτερο να είναι γνωστές οι ετήσιες τιμές, αφού διάφοροι λόγοι μπορούν να διαφοροποιήσουν τη συνολική τιμή TEWI, όπως είναι π.χ. η αντικατάσταση της αντλίας θερμότητας λόγω ζημιών ή λόγω της ύπαρξης μιας άλλης, ανταγωνιστικότερης, τεχνολογίας κατά τη διάρκεια της 12ετίας, η διαφαινόμενη αλλαγή των κλιματικών συνθηκών κατά την πάροδο αυτών των ετών, η μείωση της θερμομονωτικής ικανότητας των υλικών κατασκευής, η πτώση της ποιότητας των ψυκτικών ρευστών εάν δεν γίνονται συχνές, τουλάχιστον ετήσιες, επιθεωρήσεις και επισκευές, κ.τ.λ. Άλλωστε, εάν υπάρχει ανάγκη για τον υπολογισμό των μεγεθών αυτών για τη συνολική διάρκεια λειτουργίας ή για οποιαδήποτε άλλη χρονική περίοδο μέσα σε αυτή, αυτός προκύπτει εύκολα από το γινόμενο των ετήσιων τιμών με την εκάστοτε επιλεγμένη χρονική περίοδο. Οι πίνακες υπολογισμού από τους οποίους προήλθαν τα γραφήματα στήλης των Σχημάτων 2.20 έως 2.27 (στους οποίους περιλαμβάνονται και οι πίνακες υπολογισμού κατά τη 12ετία) παρατίθενται στο Παράρτημα (Πίνακες Π.4 έως Π.9).

Αυτό που παρατηρείται πρωτίστως, είναι ότι σε γενικές γραμμές η άμεση συμβολή είναι κατά πολύ μικρότερη από την έμμεση, εκτός και αν το ψυκτικό ρευστό διαθέτει πολύ μεγάλη τιμή GWP (όπως, π.χ., το R12 με  $GWP = 10,900$ ), οπότε και θα συμμετέχει με αρκετά μεγαλύτερο ποσοστό στην τιμή του TEWI. Στον Πίνακα 2.16 απεικονίζονται τα ποσοστά ετήσιας άμεσης-έμμεσης συμβολής στην, αναλόγως, ετήσια τιμή του TEWI για κάθε ψυκτικό ρευστό και περιοχή.

Πίνακας 2.16. Ποσοστά (%) ετήσιας άμεσης-έμμεσης συμβολής ( $DE_A$ ,  $IE_A$ ) στην ετήσια τιμή του TEWI ( $TEWI_A$ ).

Ψ. Ρ.	Φλώρινα		Χαλκίδα		Ιεράπετρα	
	$DE_A$	$IE_A$	$DE_A$	$IE_A$	$DE_A$	$IE_A$
<b>R12</b>	20.3	79.7	29	71	30	70
<b>R22</b>	4	96	6	94	6.5	93.5
<b>R134a</b>	2.5	97.5	4.5	95.5	5	95
<b>R410A</b>	4.5	95.5	7	93	7	93
<b>R1234yf</b>	0.007	99.993	0.012	99.988	0.013	99.987
<b>R717</b>	0	100	0	100	0	100

Το μεγαλύτερο ποσοστό άμεσης συμβολής για όλα τα ψυκτικά ρευστά είναι στην Ιεράπετρα (μπλε επισήμανση στον Πίνακα 2.16) με το R12 να υπερτερεί κατά πολύ των υπολοίπων, ενώ το μεγαλύτερο ποσοστό έμμεσης συμβολής παρατηρείται στη Φλώρινα (κόκκινη επισήμανση στον Πίνακα 2.16) με το R1234yf να παρουσιάζει το μεγαλύτερο ποσοστό έναντι των υπολοίπων. Αντίστοιχα, η μικρότερη άμεση συμβολή παρατηρείται στη Φλώρινα, ενώ η μικρότερη έμμεση στην Ιεράπετρα.

Στον Πίνακα 2.17 δίνονται τα συγκεντρωτικά ετήσια αποτελέσματα των περιβαλλοντικών υπολογισμών αλλά και των συντελεστών  $COP_{\theta}^{real}$ ,  $COP_{\psi}^{real}$ , που προέκυψαν από τους ενεργειακούς υπολογισμούς ανά περιοχή, εποχή (δηλαδή ανάγκες για θέρμανση το χειμώνα και δροσισμό το θέρος) και ψυκτικό ρευστό, όπου :

$DE_A$  : η άμεση ετήσια συμβολή ( $kgCO_2/yr$ ),

$IE_{AX}$  : η έμμεση ετήσια συμβολή το χειμώνα (θέρμανση) (kgCO<sub>2</sub>/yr),  
 $IE_{A\Theta}$  : η έμμεση ετήσια συμβολή το θέρος (δροσισμός) (kgCO<sub>2</sub>/yr),  
 $IE_A$  : η συνολική έμμεση ετήσια συμβολή (kgCO<sub>2</sub>/yr),  
 $TEWI_A$  : η ετήσια τιμή που λαμβάνει ο δείκτης TEWI (kgCO<sub>2</sub>/yr),  
 $COP_{\Theta}^{real}$  : ο συντελεστής θερμικής συμπεριφοράς (συντόμευση για το  $COP_{\Theta}^{real}$ ) &  
 $COP_{\Psi}^{real}$  : ο συντελεστής ψ. συμπεριφοράς (δροσισμός) (συντόμευση για το  $COP_{\Psi}^{real}$ ).

Πίνακας 2.17. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα ενεργειακών και περιβαλλοντικών υπολογισμών ανά περιοχή, εποχή και ψυκτικό ρευστό.

Ψ.Ρ.	Περιοχή	DE <sub>A</sub>	IE <sub>AX</sub>	IE <sub>AΘ</sub>	IE <sub>A</sub>	TEWI <sub>A</sub>	COP <sub>Θ</sub> <sup>r</sup>	COP <sub>Ψ</sub> <sup>r</sup>
R12	Φλώρινα	23,780	67,773	25,402	93,175	116,955	1.99	5.76
	Χαλκίδα	23,780	26,930	31,237	58,167	81,947	2.87	5.34
	Ιεράπετρα	23,471	20,122	34,328	54,450	77,921	3.28	5.12
R22	Φλώρινα	3,692	60,479	24,224	84,703	88,395	2.23	6.04
	Χαλκίδα	3,692	25,341	29,894	55,235	58,927	3.05	5.58
	Ιεράπετρα	3,692	19,130	32,975	52,105	55,797	3.45	5.33
R134a	Φλώρινα	2,877	78,870	25,183	104,053	106,930	1.71	5.81
	Χαλκίδα	2,877	28,626	31,005	59,631	62,508	2.70	5.38
	Ιεράπετρα	2,877	21,019	34,194	55,213	58,090	3.14	5.14
R410A	Φλώρινα	4,023	58,132	24,025	82,157	86,180	2.32	6.09
	Χαλκίδα	4,023	25,176	29,894	55,070	59,093	3.07	5.58
	Ιεράπετρα	4,023	19,130	33,037	52,167	56,190	3.45	5.32
R1234yf	Φλώρινα	7	71,738	25,097	96,835	96,842	1.88	5.83
	Χαλκίδα	7	27,702	30,947	58,649	58,656	2.79	5.39
	Ιεράπετρα	7	20,625	34,128	54,753	54,760	3.20	5.15
R717	Φλώρινα	0	94,313	34,266	128,579	128,579	1.43	4.27
	Χαλκίδα	0	33,459	41,911	75,370	75,370	2.31	3.98
	Ιεράπετρα	0	24,626	45,890	70,516	70,516	2.68	3.83

Όσο μεγαλύτεροι είναι οι  $COP_{\Theta}^{real}$  και  $COP_{\Psi}^{real}$ , τόσο μικρότερη είναι η ισχύς λειτουργίας του συμπιεστή, με αποτέλεσμα να είναι μικρότερη και η έμμεση συμβολή. Επίσης, ο ρόλος της άμεσης συμβολής φαίνεται από την τιμή του  $TEWI_A$  για τις περιπτώσεις του R1234yf στη Χαλκίδα και την Ιεράπετρα, όπου, λόγω της πολύ μικρής τιμής GWP που παρουσιάζει, καταφέρνει να υπερτερεί του κυρίαρχου R410A, το οποίο παρουσιάζει τους καλύτερους  $COP_{\Theta}^{real}$  και  $COP_{\Psi}^{real}$  (σε αντίθεση με την αμμωνία που παρουσιάζει τους χειρότερους). Για τον ίδιο λόγο, το R22 παρουσιάζεται να έχει μικρότερη άμεση συμβολή από το R410A, ενώ στην περίπτωση του R12 στην Ιεράπετρα, η άμεση συμβολή υπερτερεί της έμμεσης κατά το χειμώνα. Όσον αφορά την έμμεση συμβολή το χειμώνα, αυτή είναι μεγαλύτερη στα πιο ψυχρά κλίματα, ενώ η έμμεση συμβολή το θέρος υπερτερεί, αντίστοιχα, στα πιο θερμά κλίματα. Όμως, από τη στιγμή που το R410A δουλεύει σε υπερκρίσιμες συνθήκες, ενώ το R22 τις προσεγγίζει αρκετά και παράλληλα έχει μη μηδενική τιμή ODP (τελώντας υπό καθεστώς σταδιακής κατάργησης), η καταλληλότερη επιλογή τελικά είναι το R1234yf, ακολουθούμενο από το R134a.

Για να γίνει πιο κατανοητός ο περιβαλλοντικός αντίκτυπος της AΘ, αρκεί να αναλογιστεί κανείς το εξής : σήμερα, ο μέσος όρος εκπομπών CO<sub>2</sub> των πιο πολλών αυτοκινήτων κυμαίνεται στα 100g/km, δηλαδή στο 1kg ανά 10km. Έτσι, με βάση τον Πίνακα 2.17, η αμμωνία (R717) στη Φλώρινα, που αποτελεί περιβαλλοντικά τη χειρότερη περίπτωση, προκαλεί ετησίως εκπομπές ( $TEWI_A$ ) που αντιστοιχούν στις εκπομπές ενός αυτοκινήτου που έχει διανύσει 1,285,790km, ενώ, η καλύτερη επιλογή, το R1234yf στην Ιεράπετρα, προκαλεί ετήσιες εκπομπές που αντιστοιχούν σε αυτές που έχουν παραχθεί από ένα αυτοκίνητο το οποίο έχει διανύσει 547,600km.

## 2.4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τους υπολογισμούς που διεξήχθησαν προέκυψαν αποτελέσματα που οδήγησαν, για την κάθε περίπτωση, στα εξής συμπεράσματα :

### 1. Ενεργειακοί υπολογισμοί

1.1 Τα ψυκτικά ρευστά R717 και R410A (τα R12 & R22 συμμετέχουν μόνο για σύγκριση) αποκλείονται από τη συγκεκριμένη εφαρμογή, διότι η αντλία θερμότητας λειτουργεί το χειμώνα σε υπερκρίσιμες συνθήκες.

1.2 Τα ψυκτικά ρευστά R1234yf και R134a παρουσιάζουν  $COP_{\Theta}$  από 1.7 (Φλώρινα) έως 3.2 (Ιεράπετρα) και  $COP_{\Psi}$  από 5.1 (Ιεράπετρα) έως 5.8 (Φλώρινα).

1.3 Ο ολικός βαθμός απόδοσης ( $\eta_{tot}$ ) ενώ παρουσιάζει σχετική ομοιομορφία σε συνθήκες Ιεράπετρας (χειμώνα-θέρος) με τιμές από 0.64 έως 0.80, παρουσιάζει μεγάλη διακύμανση σε συνθήκες Φλώρινας, κυμαινόμενος από 0.44 έως 0.81.

1.4 Όσον αφορά τη θεωρητική παροχή όγκου  $\dot{V}_{th}$  (μέγεθος συμπιεστή), βάσει της οποίας γίνεται η διαστασιολόγησή του, ισχύουν για την κάθε περιοχή τα εξής :

1.4.1 Στη Φλώρινα η διαστασιολόγηση γίνεται με βάση τη θεωρητική παροχή όγκου του χειμώνα ( $\dot{V}_{thX}$ ) για όλα τα ψυκτικά ρευστά. Το R1234yf αποτελεί την καλύτερη επιλογή, ενώ ακολουθεί το R134a.

1.4.2 Στη Χαλκίδα η διαστασιολόγηση γίνεται με βάση τη θεωρητική παροχή όγκου του θέρους ( $\dot{V}_{th\Theta}$ ) για όλα τα ψυκτικά ρευστά εκτός από το R134a, του οποίου η  $\dot{V}_{thX}$  είναι ελάχιστη μεγαλύτερη από τη  $\dot{V}_{th\Theta}$ . Το R1234yf αποτελεί την καλύτερη επιλογή, ενώ ακολουθεί το R134a.

1.4.3 Στην Ιεράπετρα η διαστασιολόγηση γίνεται με βάση τη θεωρητική παροχή όγκου του θέρους ( $\dot{V}_{th\Theta}$ ) για όλα τα ψυκτικά ρευστά. Το R134a αποτελεί την καλύτερη επιλογή, ενώ ακολουθεί το R1234yf.

1.4.4 Το μέγεθος του συμπιεστή μεταξύ Φλώρινας και Ιεράπετρας μπορεί να είναι υπερτριπλάσιο.

### 2. Περιβαλλοντικοί υπολογισμοί

2.1 Όσον αφορά και την άμεση ετήσια συμβολή ( $DE_A$ ) και την έμμεση ετήσια συμβολή ( $IE_A$ ), δηλαδή την ετήσια τιμή του TEWI ( $TEWI_A$ ), η καλύτερη επιλογή είναι το R1234yf, ακολουθούμενο από το R134a.

2.2 Η έμμεση συμβολή στην καταστροφή του περιβάλλοντος είναι 6 και πλέον φορές μεγαλύτερη από την άμεση (όταν αυτή υπάρχει).

2.3 Η έμμεση συμβολή στην καταστροφή του περιβάλλοντος στη Φλώρινα είναι διπλάσια απ' ότι στην Ιεράπετρα.

### 3. Προοπτικές

Σε ότι αφορά τις προοπτικές περαιτέρω έρευνας του θέματος, επειδή ο χώρος αυτός είναι καινούριος, κρίνεται σκόπιμη η μελλοντική λεπτομερής μελέτη :

- A. της Άμεσης Συμβολής σε διάφορους τεχνολογικούς χώρους, όπου αυτή υπάρχει,
- B. της Έμμεσης Συμβολής στους αντίστοιχους χώρους, η οποία παρουσιάζει και το μεγαλύτερο ενδιαφέρον, και
- Γ. της Αναλυτικής Εκτίμησης του περιβαλλοντικού δείκτη ‘Συνολικής Ισοδύναμης Επίδρασης στην Παγκόσμια Θέρμανση’ ΣΙΕΠΘ (TEWI).

## Βιβλιογραφία

### Ξενόγλωσση

AIRAH, 2011 : Australian Institute of Refrigeration, Air conditioning and Heating. *AIRAH Guide-Methods of calculating TEWI, Draft v1.1*. AIRAH Publications, 26 p.

AIRAH, 2012 : Australian Institute of Refrigeration, Air conditioning and Heating. *Best Practice Guidelines-Methods of calculating Total Equivalent Warming Impact (TEWI) 2012*. AIRAH Publications, 22 p.

Alverson, K.D., Bradley, R.S. and Pedersen, T.F., 2003. *Paleoclimate, Global Change and the Future*. The IGBP Series, Springer-Verlag, New York, 220 p.

Anderson, J.G., Brune, W.H. and Proffitt, M.H., 1989. *Ozone destruction by chlorine radicals within the Antarctic vortex : The spatial and temporal evolution of ClO-O<sub>3</sub> anticorrelation based on in situ ER-2 data*. J. Geophys. Res., 94 (D9), 11, 465-11, 479, doi:10.1029/JD094iD09p11465.

Apréa, C. and Maiorino, A., 2011. *An experimental investigation of the global environmental impact of the R22 retrofit with R422D*. Energy, 36(2011) : 1161-1170.

ASHRAE, 2010. *Designation and Safety Classification of Refrigerants*. ANSI/ASHRAE Addendum ak to ANSI/ASHRAE Standard 34-2007, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), Atlanta, GA, USA, 2 p.

Barbouchi, S. and Ritz, J., 2006. *High-temperature heat pump for the retrofit market in France*. IEA Heat Pump Centre Newsletter, 24(4) : 28-32.

Barker, S. and Elderfield, H., 2002. *Foraminiferal calcification response to Glacial-Interglacial changes in atmospheric CO<sub>2</sub>*. Science, 297 : 833-836.

Barnes, P.R. and Bullard, C.W., 2000. *Minimizing TEWI by Charge Reduction in a Compact Chiller*. Air Conditioning and Refrigeration Center, University of Illinois, Mechanical & Industrial Engineering Dept., Urbana, IL, USA, 61 p.

Beeton, W., Buynacek, B. and Monnier, K., 2008. *Refrigerants for Residential and Commercial Air Conditioning Applications*. Emerson Climate Technologies, Sidney, Ohio, USA, 30 p.

BRA, 1996 : British Refrigeration Association. *Guideline Methods of calculating TEWI (BRA Specification)*. BRA Publications, UK, 26 p. ; Republished 2006 (Issue 2).

Bradley, R.S., 1999. *Paleoclimatology : Reconstructing Climates of the Quaternary, 2<sup>nd</sup> Revised Edition*. (International Geophysics #68), Academic Press, San Diego, CA, 613 p.

Brown, J.S., Zilio, C. and Cavallini, A., 2010. *Thermodynamic properties of eight fluorinated olefins*. International Journal of Refrigeration, 33(2010) : 235-241.



Caldeira, K. and Wickett, M.E., 2003. *Anthropogenic Carbon and ocean ph.* Nature, 425 : 365.

Calm, J.M., 2008. *The Next Generation of Refrigerants-Historical Review, Considerations, and Outlook.* International Journal of Refrigeration, 31(2008) : 1123-1133.

Calm, J.M. and Didion, D.A., 1997. *Trade-Offs in Refrigerant Selections : Past, Present, and Future~Refrigerants for the 21<sup>st</sup> Century.* (proceedings of the ASHRAE-NIST Conference, Gaithersburg, MD, USA), American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), Atlanta, GA, USA, pp. 6-19 ; republished 1998. International Journal of Refrigeration, 21(4) : 308-321.

Campbell, A., Maidment, G.G. and Missenden, J.F., 2006. *A Natural Refrigeration System for Supermarkets using CO<sub>2</sub> as a Refrigerant.* Proceedings of the Chartered Institution of Building Services Engineers (CIBSE) National Conference, 21-22 March 2006, pp. 1-16.

CoolPack, 2012 : Skovrup M.J., Jakobsen A., Rasmussen, B.D. and Andersen, S.E. *CoolPack~Version 1,50.* Technical University of Denmark, Department of Energy Engineering, Building 402, DK-2800 Lyngby.

Cowan, D., Beermann, K., Chaer, I., Gontarz, G., Kaar, K., Koronaki, I., Maidment, G. and Reulens, W., 2011. *Improving F-Gas containment in the EU-Results from the Real Skills Europe Project.* Proceedings of the 23<sup>rd</sup> IIR International Congress of Refrigeration, 21-26 August 2011, Prague, Czech Republic, ID : 285 (pp. 1-8).

Davies, T.W. and Caretta, O., 2004. *A low carbon, low TEWI refrigeration system design.* Applied Thermal Engineering, 24(2004) : 1119-1128.

Fischer, S.K., 1993. *Total equivalent warming impact : a measure of the global warming impact of CFC alternatives in refrigerating equipment.* Rev. Int. Froid 1993, 16(6) : 423-428.

Fischer, S.K., Hughes, P.J., Fairchild, P.D. (Oak Ridge National Laboratory), Kusik, C.L., Dieckmann, J.T., McMahon, E.M. and Hobday, N. (Arthur D. Little, Inc.), 1991. *Energy and Global Warming Impacts of CFC Alternative Technologies.* Sponsored by : Alternative Fluorocarbons Environmental Acceptability Study (AFEAS) & U.S. Department of Energy (DOE), Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee, USA, 520 p.

Fischer, S.K., Tomlinson, J.J. and Hughes, P.J., 1994. *Energy and Global Warming Impacts of Not-In-Kind and Next-Generation CFC and HCFC Alternatives.* Sponsored by : Alternative Fluorocarbons Environmental Acceptability Study (AFEAS) & U.S. Department of Energy (DOE), Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee, USA, 224 p.

Florides, G.A., Kalogirou, S.A., Tassou, S.A. and Wrobel, L.C., 2002. *Modelling, simulation and warming impact assessment of a domestic-size absorption solar cooling system.* Applied Thermal Engineering, 22(12) : 1313-1325.

Fujitaka, A., Shimizu, T., Sato, S. and Kawabe, Y., 2010. *Application of Low Global Warming Potential Refrigerants for Room Air Conditioner*. Proceedings of 2010 International Symposium on Next-generation Air Conditioning and Refrigeration Technology, 17-19 February 2010, Tokyo, Japan, pp. 1-8.

Havelský, V., 2000. *Investigation of refrigerating system with R12 refrigerant replacements*. Applied Thermal Engineering, 20(2000) : 133-140.

Hill, W., Papasavva, S., Kikuchi, K., Ikegami, T. and Satoshi, O., 2006. *Proposal for Alternative Refrigerant Life Cycle Climate Performance [LCCP] Harmonization*. SAE 7<sup>th</sup> Alternate Refrigerant System Symposium, 26-29 June 2006, Scottsdale, Arizona, USA, pp. 1-50.

Horie, H., Kamiaka, T., Dang, C. and Hihara, E., 2010. *Study on Cycle Property and LCCP Evaluation of Heat Pump using HFO-1234yf, HFC-32 and HFC-410A as Refrigerant*. Proceedings of 2010 International Symposium on Next-generation Air Conditioning and Refrigeration Technology, 17-19 February 2010, Tokyo, Japan, pp. 1-8.

Huang, S.P., Pollack, H.N. and Shen, P.Y., 2000. *Temperature trends over the past five centuries reconstructed from borehole temperatures*. Nature, 403 : 756-758.

IEA, 2011 : International Energy Agency. *CO<sub>2</sub> Emissions from Fuel Combustion Highlights-2011 Edition.*, IEA Statistics, France, 134 p.

Inventor, 2010. *Owner's Manual* for Ducted Unit Models HTBI/HTBO-120, 32 p.

IPCC, 2000 : Penman, J., Kruger, D., Galbally, I., Hiraishi, T., Nyenzi, B., Emmanul, S., Buendia, L., Hoppaus, R., Martinsen, T., Meijer, J., Miwa, K., and Tanabe, K., (Eds). *Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories, Chapter 3 : Industrial Processes*. Published for the IPCC by the Institute for Global Environmental Strategies, Japan, 131 p.

IPCC, 2007a : *Climate Change 2007 : Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, Pachauri, R.K. and Reisinger, A. (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 104 p.

IPCC, 2007b : Le Treut, H., R. Somerville, U. Cubasch, Y. Ding, C. Mauritzen, A. Mokssit, T. Peterson and M. Prather, 2007 : *Historical Overview of Climate Change Science*. In : *Climate Change 2007 : The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

IPCC, 2007c : Solomon, S., D. Qin, M. Manning, R.B. Alley, T. Berntsen, N.L. Bindoff, Z. Chen, A. Chidthaisong, J.M. Gregory, G.C. Hegerl, M. Heimann, B. Hewitson, B.J. Hoskins, F. Joos, J. Jouzel, V. Kattsov, U. Lohmann, T. Matsuno, M. Molina, N. Nicholls, J. Overpeck, G. Raga, V. Ramaswamy, J. Ren, M. Rusticucci, R. Somerville, T.F. Stocker, P. Whetton, R.A. Wood and D. Wratt, 2007 : *Technical*

Summary. In : *Climate Change 2007 : The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

IPCC, 2007d : Forster, P., V. Ramaswamy, P. Artaxo, T. Berntsen, R. Betts, D.W. Fahey, J. Haywood, J. Lean, D.C. Lowe, G. Myhre, J. Nganga, R. Prinn, G. Raga, M. Schulz and R. Van Dorland, 2007 : Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing. In : *Climate Change 2007 : The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

IPCC/TEAP, 2005 : Metz, B., Kuijpers, L., Solomon, S., Andersen, S.O., Davidson, O., Pons, J., Jager, D., Kestin, T., Manning, M. and Meyer, L., (Eds). *Safeguarding the Ozone Layer and the Global Climate System : Issues Related to Hydrofluorocarbons and Perfluorocarbons*. Cambridge University Press, UK, 478 p.

Johnson, E.P., 2011. *Air-source heat pump carbon footprints : HFC impacts and comparison to other heat sources*. Energy Policy, 39(2011) : 1369-1381.

Keeling, R.F., Kortzinger, A. and Gruber, N., 2010. *Ocean Deoxygenation in a Warming World*. Annual Review of Marine Science, 2 : 199-229.

Koronaki, I., Beerman, K., Chaer, I., Cowan, D., Gontarz, G., Kaar, K., Maidment, G., Reulens, W. and Christodoulaki, R., 2011. *Refrigerant emissions and leakage prevention across Europe-Results from the REAL SKILLS EUROPE project*. Proceedings of ECOS 2011, 4-7 July 2011, Novi Sad, Serbia, pp. 2756-2768.

KP, 1998 : *Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change*. United Nations (UN), New York, NY, USA, 20 p.

McCulloch, A., 1994. *Life Cycle Analysis to minimize Global Warming Impact*. Renewable Energy, 5(II) : 1262-1269.

Messineo, A., La Rocca, V. and Panno, G., 2012. *On-site Experimental Study of HCFC-22 Substitution with HFCs Refrigerants*. Energy Procedia, 14(2012) : 32-38.

Monforte, R., 2008. *Assessment of the Environmental Impact of MACS and Investigation of its reduction drivers-LCCP analysis of MACS*. Proceedings of the VDA Alternative Refrigerant Winter Meeting, 13-14 February 2008, Saalfelden, Austria, pp. 1-18.

Onishi, H., Yajima, R. and Ito, S., 2004. *LCCP of Some HVAC & R Applications in Japan*. Proceedings of the 15<sup>th</sup> Annual Earth Technologies Forum, 13-15 April 2004, Washington D.C., USA, 18 pp.

Papasavva, S. and Andersen, S.O., 2008. *GREEN-MAC-LCCP : The Metric for MAC Environmental Superiority*. Presentation prepared for the 2008 MAC Summit, Scottsdale, Arizona, pp. 1-23.

Pham, H. and Sachs, H., 2010. *Next Generation Refrigerants : Standards and Climate Policy Implications of Engineering Constraints*. Proceedings of 2010 ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings, 1 : 282-294.

Pollack, H.N. and Smerdon, J.E., 2004. *Borehole climate reconstructions : Spatial Structure and hemispheric averages*. J. Geophys. Res., 109, D11106, doi : 10.1029/2003JD004163.

Refprop, 2010 : Lemmon, E.W., Huber, M.L. and McLinden, M.O. *NIST Standard Reference Database 23 : Reference Fluid Thermodynamic and Transport Properties-REFPROP, Version 9.0*. National Institute of Standards and Technology, Standard Reference Data Program, Gaithersburg, USA, 2010.

Sand, J.R. and Fischer, S., 1997. *Total Environmental Warming Impact (TEWI) Calculations for Alternative Automotive Air-Conditioning Systems*. SAE Technical Paper 970526, 1997, doi:10.4271/970526.

Sand, J.R., Fischer, S.K. and Baxter, V.D., 1997. *Energy and Global Warming Impacts of HFC Refrigerants and Emerging Technologies*. Sponsored by : Alternative Fluorocarbons Environmental Acceptability Study (AFEAS) & U.S. Department of Energy (DOE), Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee, USA, 215 p.

Sand, J.R., Fischer, S.K. and Baxter, V.D., 1999. *TEWI Analysis : Its Utility, Its Shortcomings, and Its Results*. Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee, USA, 18 p.

SEPEMO, 2011 : SEASONAL PERFORMANCE factor and MONITORING for heat pump systems in the building sector (SEPEMO-build). Zottl, A., Lindahl, M., Nordman, R., Riviere, P. and Miara, M. *Evaluation method for comparison of heat pump systems with conventional heating systems-D4.3 Concept for evaluation of CO<sub>2</sub>-reduction potential*. Supported by the 'Intelligent Energy-Europe' (IEE) Programme, European Commission, 21 p.

SVEP, 2005 : Forsen, M. *Heat Pumps-Technology and Environmental Impact~July 2005 : Part 1*. Swedish Heat Pump Association (SVEP), Member of the European Heat Pump Association (EHPA), 80 p.

UNEP, 2010. *Manual for Refrigeration Servicing Technicians*. United Nations Environment Programme, Division of Technology Industry and Economics (UNEP DTIE), OzonAction Branch, France, 150 p.

UNEP, 2011. *2010 Report of the Refrigeration, Air Conditioning and Heat Pumps Technical Options Committee*. United Nations Environment Programme (UNEP), Ozone Secretariat, Nairobi, Kenya, 195 p.

UNEP, 2012a. *May 2012 Report of the Technology and Economic Assessment Panel (TEAP), Volume 1 : Progress Report*. United Nations Environment Programme (UNEP), Ozone Secretariat, Nairobi, Kenya, 222 p.

UNEP, 2012b. *May 2012 Report of the Technology and Economic Assessment Panel (TEAP), Volume 2 : Decision XXIII/9 Task Force Report-Additional Information on Alternatives to Ozone-Depleting Substances*. United Nations Environment Programme (UNEP), Ozone Secretariat, Nairobi, Kenya, 96 p.

Venkatarathnam, G. and Murthy, S.S., 2012. *Refrigerants for Vapour Compression Refrigeration Systems*. Resonance, 17(2) : 139-162.

Wiedmann, T. and Minx, J., 2008. *A Definition of 'Carbon Footprint'*. In : C. C. Pertsova, Ecological Economics Research Trends : Chapter 1, pp. 1-11, Nova Science Publishers, Hauppauge NY, USA.

Yamada, Y., Tsuchiya, T. and Shibanuma, T., 2010. *Environmentally friendly non-flammable refrigerants*. Proceedings of 2010 International Symposium on Next-generation Air Conditioning and Refrigeration Technology, 17-19 February 2010, Tokyo, Japan, pp. 1-7.

### **Ελληνόγλωσση**

Αλέξης, Γ.Κ., 2007. *Η Τεχνολογία της Ψύξης : Θεωρία & Ασκήσεις*. Εκδόσεις Αθ. Σταμούλη, Αθήνα, σ. 412.

Βατάλης, Κ.Π., 2010. *Συλλογή νομοθεσίας για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ)*. Εκδόσεις Σάκκουλα, Αθήνα-Θεσσαλονίκη, σ. 1171.

Βραχόπουλος, Μ.Γ., 2000. *Ψυκτικές Διατάξεις*. Εκδόσεις Ίων, Αθήνα, σ. 616.

Γεντεκάκης, Ι., 2010. *Ατμοσφαιρική Ρύπανση : Επιπτώσεις, έλεγχος & εναλλακτικές τεχνολογίες, 2<sup>η</sup> έκδοση*. Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα, σ. 784.

Γκορ, Α., 2007. *Μια Ενοχλητική Αλήθεια-Το Παγκόσμιο Πρόβλημα της Υπερθέρμανσης του Πλανήτη και τι μπορούμε να κάνουμε για αυτό* (Μ. Ντάνου, Μτφρ.). Έκδοση της Καθημερινής, Αθήνα, σ. 327.

Γομάτος, Λ. και Λύτρας, Κ., 2001. *Ψύξη-Κλιματισμός*. (τέως) Υπουργείο Εθνικής Παιδείας και Θρησκευμάτων (ΥΠ.Ε.Π.Θ.), Εκδόσεις Παιδαγωγικού Ινστιτούτου, Αθήνα, σ. 389.

Cengel, Y.A., 2005. *Μεταφορά Θερμότητας-Μια Πρακτική Προσέγγιση* (Π.Ε. Τσιακάρας, Μτφρ.). Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη, σ. 1349.

Cengel, Y.A. and Boles, M.A., 2003a. *Θερμοδυναμική για Μηχανικούς, 3<sup>η</sup> Έκδοση, Τόμος Α* (Π.Ε. Τσιακάρας, Μτφρ.). Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη, σ. 684.

Cengel, Y.A. and Boles, M.A., 2003b. *Θερμοδυναμική για Μηχανικούς, 3<sup>η</sup> Έκδοση, Τόμος Β* (Π.Ε. Τσιακάρας, Μτφρ.). Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη, σ. 673.

Δάλλας, Φ., 2010. *Διαρροές Ψυκτικών Μέσων : Νομοθεσία και τρόποι αντιμετώπισης με Περιβαλλοντικά και Ενεργειακά Κριτήρια*. Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Τομέας Θερμότητας, σ. 174.

Δημητριάδης, Χ., 2011. *Κλιματική Αλλαγή, Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και Ελλάδα*. Διπλωματική Εργασία, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Πολυτεχνική Σχολή, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Εργαστήριο Μετάδοσης Θερμότητας & Περιβαλλοντικής Μηχανικής, σ. 129.

Δότσας, Μ., 2011. *Κλίμα και Κλιματική Αλλαγή*. Πτυχιακή Εργασία, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Φυσικής, Κατεύθυνση : Φυσικής Ατμόσφαιρας και Περιβάλλοντος, σ. 37.

ΕΜΕΚΑ (Επιτροπή Μελέτης Επιπτώσεων Κλιματικής Αλλαγής), 2011. *Οι Περιβαλλοντικές, Οικονομικές και Κοινωνικές Επιπτώσεις της Κλιματικής Αλλαγής στην Ελλάδα*. Ίδρυμα Εκτύπωσης Τραπεζογραμματίων και Αξιών της Τράπεζας της Ελλάδος, Αθήνα, σ. 520.

ΕΛΕΤΑΕΝ, 2011 : Ελληνική Εταιρεία Αιολικής Ενέργειας. *Απεσταλμένοι των Ηνωμένων εθνών, υπεύθυνοι για το κλίμα, προσθέτουν και έβδομο αέριο θερμοκηπίου στη λίστα του Πρωτοκόλλου του Κιότο*. ΑΝΕΜΟλόγια, περιοδική έκδοση της ΕΛΕΤΑΕΝ, 70(2011) : 47.

Ζάνης, Π., 2008. *Σημειώσεις για τη Ρύπανση και Χημεία της Ατμόσφαιρας*. Δημοσίευτες Ηλεκτρονικές Σημειώσεις, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Γεωλογίας, Τομέας Μετεωρολογίας-Κλιματολογίας, σ. 116.

Johnson, C., 1999. *Πρακτικές Εφαρμογές Αντλιών Θερμότητας*. (Κ. Χαρακλιάς, Μτφρ.). Εκδόσεις Ίων, Αθήνα, σ. 126.

Καλλία, Α. και Σαμαρά, Κ., 2007. *Ατμοσφαιρική Ρύπανση και Κλιματική Αλλαγή : Πηγές-Επιπτώσεις-Νομικό Πλαίσιο*. Εκδόσεις Αντ. Ν. Σάκκουλα, Αθήνα-Κομοτηνή, σ. 190.

Κανακάκης, Ε.Γ., 2011. *Ψυκτικές και Κλιματιστικές Εγκαταστάσεις*. Εκδόσεις Ιδρύματος Ευγενίδου, Αθήνα, σ. 454.

Καραγιάννης, Ι.Χρ., 2010. *Οικονομική και περιβαλλοντική αξιολόγηση συστημάτων αφαλάτωσης νερού με χρήση ανανεώσιμων και μη πηγών ενέργειας. Εναλλακτικές στρατηγικές στον ελληνικό νησιωτικό χώρο*. Διδακτορική Διατριβή, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Αγροτικής Οικονομίας και Ανάπτυξης, σ. 157.

Κατσαφάδος, Π. και Μαυροματίδης, Η., 2010. *Αρχές Μετεωρολογίας-Κλιματολογίας*. Δημοσίευτες Ηλεκτρονικές Σημειώσεις, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Τμήμα Γεωγραφίας, σ. 106.

Κούκουζας, Ν., Στογιάννης, Π., Κλήμαντος, Π. και Κακαράς, Εμ., 2005. *Αποθήκευση Διοξειδίου του Άνθρακα σε Υπόγειους Γεωλογικούς Ταμιευτήρες*. Πρακτικά της Δημερίδας του ΤΕΕ 'Λιγνίτης και Φυσικό Αέριο στην Ηλεκτροπαραγωγή της Χώρας', 9-10 Ιουνίου 2005, Αθήνα, σ. 10.

Λαμπρινός, Γρ., 1990. *Εφαρμογή της Ψύξης στη Γεωργία*. Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Παραδόσεις Γ.Π.Α., σ. 299.

Λαμπρινός, Γρ., 2003. *Ορθολογική Χρήση Ενέργειας*. Αδημοσίευτες Σημειώσεις από τις παραδόσεις του ομώνυμου μαθήματος, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων & Γεωργικής Μηχανικής, Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας, σ. 56.

Λαμπρινός, Γρ., 2006. *Θερμικές και Ψυκτικές Μηχανές-Μέρος II : Ψυκτικές Μηχανές*. Αδημοσίευτες Ηλεκτρονικές Σημειώσεις, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων & Γεωργικής Μηχανικής, Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας, σ. 41.

Λαμπρινός, Γρ. και Οικονόμου, Ν., 2003. *Διερεύνηση της δυνατότητας χρήσης της Αντλίας Θερμότητας στο Χοιροστάσιο*. Πρακτικά 3ου Εθνικού Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής, 29-31 Μαΐου 2003, Θεσσαλονίκη, σ. 421-428.

Λατινόπουλος, Π., 2010. *Τα πρώτα βήματα στην έρευνα-Ένας χρηστικός οδηγός για νέους ερευνητές*. Εκδόσεις Κριτική, Αθήνα, σ. 364.

Λεβέντη, Α., 2008. *Μεθοδολογία εκλογής κατάλληλου Ψυκτικού Ρευστού για Αντλία Θερμότητας*. Μεταπτυχιακή Διατριβή, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων & Γεωργικής Μηχανικής, Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας, σ. 67.

Λεβέντη, Α. και Λαμπρινός, Γρ., 2009. *Νέα κριτήρια και μέθοδος επιλογής Ψυκτικών Ρευστών για Κλιματισμό*. Πρακτικά 6ου Εθνικού Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής, 8-10 Οκτωβρίου 2009, Θεσσαλονίκη, σ. 729-736.

Μάντζου, Γ., Μπενέτου, Π. και Χαρίτου Α.Η., 2006. *Εκτίμηση Κύκλου Ζωής (LCA)*. Μεταπτυχιακή Εργασία, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Χημείας, Διαπανεπιστημιακό Διατμηματικό Π.Μ.Σ., ΔιΧηNET, σ. 82.

Μελάς, Δ., Ασωνίτης, Γ. και Αμοιρίδης, Β., 2000α. *Κλιματική Αλλαγή (Οδηγός εκπαιδευτικών)*. (τέως) Υπουργείο Εθνικής Παιδείας και Θρησκευμάτων (ΥΠ.Ε.Π.Θ.), Διεύθυνση Σπουδών Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης, Υποέργο ΕΠΕΑΕΚ 1.1.ΣΤ.1.Γ2, Ανάπτυξη εκπαιδευτικού υλικού για την Περιβαλλοντική Εκπαίδευση, Ανάδοχος φορέας : Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Αθήνα, σ. 41.

Μελάς, Δ., Αλεξανδροπούλου, Α., Αμοιρίδης, Β., Κακαρίδου, Μ. και Σουλακέλλης, Ν., 2000β. *Ατμοσφαιρική Ρύπανση (Οδηγός εκπαιδευτικών)*. (τέως) Υπουργείο Εθνικής Παιδείας και Θρησκευμάτων (ΥΠ.Ε.Π.Θ.), Διεύθυνση Σπουδών Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης, Υποέργο ΕΠΕΑΕΚ 1.1.ΣΤ.1.Γ2, Ανάπτυξη εκπαιδευτικού υλικού για την Περιβαλλοντική Εκπαίδευση, Ανάδοχος φορέας : Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Αθήνα, σ. 53.

Μελάς, Δ., 2007. *Φυσική Ατμοσφαιρικού Περιβάλλοντος*. Αδημοσίευτες Ηλεκτρονικές Σημειώσεις, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Φυσικής, Εργαστήριο Φυσικής Ατμόσφαιρας, σ. 165.

Μπαμπινιώτης, Γ.Δ., 2010. *Ετυμολογικό Λεξικό της Νέας Ελληνικής Γλώσσας*. Α' Έκδοση : 2009, Α' Ανατύπωση : 2010. Εκδόσεις Κέντρου Λεξικολογίας, Αθήνα, σ. 1720.

Παναγάκης, Π., 2010. *ΧΟΙΡΟΣΤΑΣΙΑ : Τεχνητό Περιβάλλον-Σχεδιασμός & Οργάνωση Χώρων-Κατασκευές & Εξοπλισμός*. Δημοσίευτες Ηλεκτρονικές Σημειώσεις, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων & Γεωργικής Μηχανικής, Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών, σ. 149.

Παπαγεωργίου, Ι.Φ., 2010. *Χρήση Αντλίας Θερμότητας για Κλιματισμό Χοιροστασίου αξιοποιώντας τη Γεωθερμία*. Μεταπτυχιακή Διατριβή, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων & Γεωργικής Μηχανικής, Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας, σ. 127.

Παπαγεωργίου, Ι.Φ. και Λαμπρινός, Γ., 2011α. *Κλιματισμός Χοιροστασίου με Γεωβοηθούμενη Αντλία Θερμότητας*. Πρακτικά 7ου Εθνικού Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής, 24-27 Νοεμβρίου 2011, Αθηνά (Γ.Π.Α.), Κωδικός εργασίας : 4.3.

Παπαγεωργίου, Ι.Φ. και Λαμπρινός, Γ., 2011β. *Σχεδιασμός, διαστασιολόγηση και κοστολόγηση Γεωεναλλάκτη Αντλίας Θερμότητας για Κλιματισμό Αγροτικών Κτηρίων*. Πρακτικά 7ου Εθνικού Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής, 24-27 Νοεμβρίου 2011, Αθηνά (Γ.Π.Α.), Κωδικός εργασίας : 4.4.

Παπαγιάννης, Α., 2003. *Lasers και Εφαρμογές τους στο Περιβάλλον, Κεφάλαιο 3 : Ατμοσφαιρικό Όζον-Υπεριώδης ηλιακή ακτινοβολία*. Δημοσίευτες Ηλεκτρονικές Σημειώσεις, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σ.Ε.Μ.Φ.Ε., Τομέας Φυσικής, σ. 6.

Παπαγιάννης, Α., 2005. *Φυσική Ατμοσφαιρικού Περιβάλλοντος*. Δημοσίευτες Ηλεκτρονικές Σημειώσεις, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σ.Ε.Μ.Φ.Ε., Τομέας Φυσικής, σ. 60.

Παπαδάκη, Δ.Α., 2005. *Εξεργειακή Ανάλυση Αντλιών Θερμότητας*. Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών, Τομέας Θερμότητας, σ. 224.

Σκορδούλης, Κ. και Σωτηράκου, Μ., 2005. *Περιβάλλον, Επιστήμη και Εκπαίδευση*. Εκδόσεις Leader Books, Αθήνα, σ. 303.

ΤΟΤΕΕ, 2010α : *Τεχνική Οδηγία Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας 20701-4/2010. Οδηγίες και έντυπα Ενεργειακών Επιθεωρήσεων Κτιρίων, Λεβήτων & Εγκαταστάσεων Θέρμανσης και Εγκαταστάσεων Κλιματισμού*. Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής (Υ.Π.Ε.Κ.Α.), Ειδική Γραμματεία Επιθεώρησης Περιβάλλοντος και Ενέργειας, Ειδική Υπηρεσία Επιθεωρητών Ενέργειας, Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, Αθήνα, σ. 160.

ΤΟΤΕΕ, 2010β : *Τεχνική Οδηγία Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας 20701-3/2010. Κλιματικά Δεδομένα Ελληνικών Περιοχών*. Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής, (Υ.Π.Ε.Κ.Α.), Ειδική Γραμματεία Επιθεώρησης Περιβάλλοντος και Ενέργειας, Ειδική Υπηρεσία Επιθεωρητών Ενέργειας, Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, Αθήνα, σ. 78.



Whitman, W.C., Johnson, W.M. and Tomczyk, J.A., 2003. *Εγκαταστάσεις Κλιματισμού II, 4<sup>η</sup> Έκδοση* (Κ. Χαρακλιάς, Μτφρ.). Εκδόσεις Ίων, Αθήνα, σ. 199.

Χατζημπίρος, Κ., Παναγιωτίδης, Π. και Καρακατσάνη, Ρ., 2007. *Λεξικό Οικολογικών & Περιβαλλοντικών Όρων*. Εκδόσεις Σταφυλίδη, Αθήνα, σ. 400.

### ***Πηγές από το Διαδίκτυο (Internet)***

Ανώνυμος, 2006.  
<http://www.afeas.org/tewi.html>

Ανώνυμος, 2010.  
<http://scienceofdoom.com/2010/02/06/the-earths-energy-budget-part-one/>

Ανώνυμος, 2011α.  
[http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9C%CE%B5%CF%84%CE%B5%CF%89%CF%81%CE%BF%CE%BB%CE%BF%CE%B3%CE%B9%CE%BA%CE%AC\\_%CF%86%CE%B1%CE%B9%CE%BD%CF%8C%CE%BC%CE%B5%CE%BD%CE%B1](http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9C%CE%B5%CF%84%CE%B5%CF%89%CF%81%CE%BF%CE%BB%CE%BF%CE%B3%CE%B9%CE%BA%CE%AC_%CF%86%CE%B1%CE%B9%CE%BD%CF%8C%CE%BC%CE%B5%CE%BD%CE%B1)

Ανώνυμος, 2011β.  
<http://europedia.moussis.eu/discus/discus-1230747802-321327-28435.tkl?lang=gr>

Ανώνυμος, 2012α.  
[http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A6%CF%85%CF%83%CE%B9%CE%BA%CF%8C\\_%CF%80%CE%B5%CF%81%CE%B9%CE%B2%CE%AC%CE%BB%CE%BB%CE%BF%CE%BD](http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A6%CF%85%CF%83%CE%B9%CE%BA%CF%8C_%CF%80%CE%B5%CF%81%CE%B9%CE%B2%CE%AC%CE%BB%CE%BB%CE%BF%CE%BD)

Ανώνυμος, 2012β.  
[http://www.hnms.gr/hnms/greek/meteorology/full\\_story\\_html?dr\\_url=%2Fhnms%2Fdocrep%2Fdocs%2Fmisc%2FArxaia](http://www.hnms.gr/hnms/greek/meteorology/full_story_html?dr_url=%2Fhnms%2Fdocrep%2Fdocs%2Fmisc%2FArxaia)

Ανώνυμος, 2012γ.  
<http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%8C%CE%B6%CE%BF%CE%BD>

Ανώνυμος, 2012δ.  
[http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A4%CF%81%CF%8D%CF%80%CE%B1\\_%CF%84%CE%BF%CF%85\\_%CF%8C%CE%B6%CE%BF%CE%BD%CF%84%CE%BF%CF%82](http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A4%CF%81%CF%8D%CF%80%CE%B1_%CF%84%CE%BF%CF%85_%CF%8C%CE%B6%CE%BF%CE%BD%CF%84%CE%BF%CF%82)

Ανώνυμος, 2012ε.  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Infrared\\_window](http://en.wikipedia.org/wiki/Infrared_window)

Ανώνυμος, 2012ζ.  
<http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/>

Ανώνυμος, 2012η.  
[http://unfccc.int/essential\\_background/basic\\_facts\\_figures/items/6246.php#convention](http://unfccc.int/essential_background/basic_facts_figures/items/6246.php#convention)

Ανώνυμος, 2012θ.

<http://www.theozonehole.com/montreal.htm>

Ανώνυμος, 2012ι.

<http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=442&language=el-GR>

Ανώνυμος, 2012κ.

[http://unfccc.int/parties\\_and\\_observers/items/2704.php](http://unfccc.int/parties_and_observers/items/2704.php)

Ανώνυμος, 2012λ.

[http://unfccc.int/parties\\_and\\_observers/parties/items/2352.php](http://unfccc.int/parties_and_observers/parties/items/2352.php)

Ανώνυμος, 2012μ.

[http://unfccc.int/parties\\_and\\_observers/parties/annex\\_i/items/2774.php](http://unfccc.int/parties_and_observers/parties/annex_i/items/2774.php)

Ανώνυμος, 2012ν.

[http://unfccc.int/parties\\_and\\_observers/parties/non\\_annex\\_i/items/2833.php](http://unfccc.int/parties_and_observers/parties/non_annex_i/items/2833.php)

Ανώνυμος, 2012ξ.

[http://unfccc.int/kyoto\\_protocol/items/3145.php](http://unfccc.int/kyoto_protocol/items/3145.php)

Ανώνυμος, 2012ο.

[http://unfccc.int/kyoto\\_protocol/status\\_of\\_ratification/items/2613.php](http://unfccc.int/kyoto_protocol/status_of_ratification/items/2613.php)

Ανώνυμος, 2012π.

[http://unfccc.int/kyoto\\_protocol/items/2830.php](http://unfccc.int/kyoto_protocol/items/2830.php)

Ανώνυμος, 2012ρ.

<http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=443&language=el-GR>

Ανώνυμος, 2012σ.

[http://unfccc.int/kyoto\\_protocol/mechanisms/items/1673.php](http://unfccc.int/kyoto_protocol/mechanisms/items/1673.php)

Ανώνυμος, 2012τ.

[http://unfccc.int/kyoto\\_protocol/background/items/6603.php](http://unfccc.int/kyoto_protocol/background/items/6603.php)

Ανώνυμος, 2012υ.

<http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=446>

Ανώνυμος, 2012φ.

<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32002D0358:EL:HTML>

Ανώνυμος, 2012χ.

<http://ec.europa.eu/environment/ets/allocationCompliance.do?languageCode=en&registryCode=GR&periodCode=1&search=Search&currentSortSettings=>

Ανώνυμος, 2012ψ.

<http://www.heatpumpcentre.org/en/aboutheatpumps/heatpumpworkingfluids/Sidor/default.aspx>

Ανώνυμος, 2012ω.

[http://www.frigohellas.gr/product\\_catalog.jsp?catId=0702&extLang](http://www.frigohellas.gr/product_catalog.jsp?catId=0702&extLang)

Ανώνυμος, 2012αα.

<http://www.heatpumpcentre.org/en/Sidor/default.aspx>

Ανώνυμος, 2012αβ.

[http://www.boulder.nist.gov/div838/theory/refprop/Frequently\\_asked\\_questions.htm#Updates](http://www.boulder.nist.gov/div838/theory/refprop/Frequently_asked_questions.htm#Updates)

## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ**

Πίνακας Π.1. Ζεύγη τιμών Πίεσης-Ειδικής Ενθαλπίας για το Ψυκτικό Ρευστό R12 ανά περιοχή και ανά εποχή (χειμώνας-θέρμανση, θέρος-δροσισμός). Η πίεση (P) μετράται σε bar και η ειδική ενθαλπία (h) σε kJ/kg.

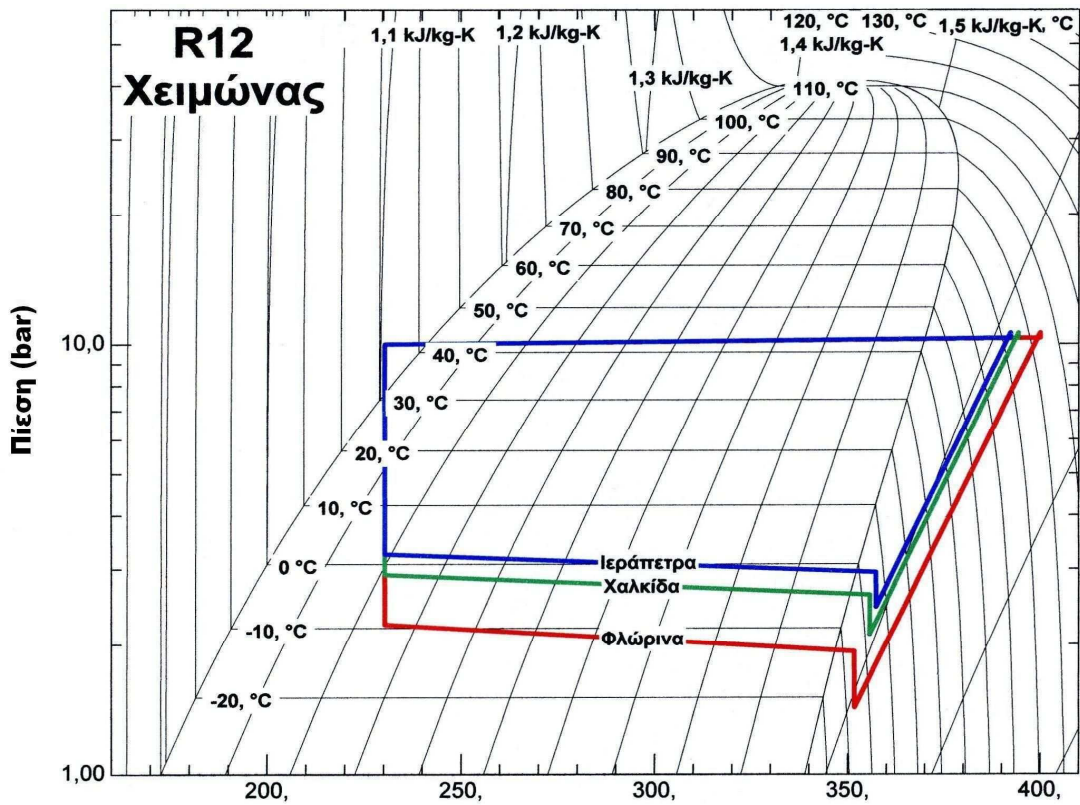
R12							
Φλώρινα							
Χειμώνας				Θέρος			
P <sub>1</sub>	1.4	h <sub>1</sub>	351.7	P <sub>1</sub>	4.3	h <sub>1</sub>	364.2
P <sub>2</sub>	10.6	h <sub>2</sub>	399.9	P <sub>2</sub>	9.6	h <sub>2</sub>	383.4
P <sub>3</sub>	10.3	h <sub>3</sub>	399.9	P <sub>3</sub>	9.3	h <sub>3</sub>	383.4
P <sub>4</sub>	10.0	h <sub>4</sub>	230.3	P <sub>4</sub>	9.0	h <sub>4</sub>	226.1
P <sub>5</sub>	2.2	h <sub>5</sub>	230.3	P <sub>5</sub>	5.1	h <sub>5</sub>	226.1
P <sub>6</sub>	1.9	h <sub>6</sub>	351.7	P <sub>6</sub>	4.8	h <sub>6</sub>	364.2
Χαλκίδα							
Χειμώνας				Θέρος			
P <sub>1</sub>	2.1	h <sub>1</sub>	355.7	P <sub>1</sub>	4.3	h <sub>1</sub>	364.2
P <sub>2</sub>	10.6	h <sub>2</sub>	394.2	P <sub>2</sub>	10.1	h <sub>2</sub>	384.4
P <sub>3</sub>	10.3	h <sub>3</sub>	394.2	P <sub>3</sub>	9.8	h <sub>3</sub>	384.4
P <sub>4</sub>	10.0	h <sub>4</sub>	230.3	P <sub>4</sub>	9.5	h <sub>4</sub>	228.0
P <sub>5</sub>	2.9	h <sub>5</sub>	230.3	P <sub>5</sub>	5.1	h <sub>5</sub>	228.0
P <sub>6</sub>	2.6	h <sub>6</sub>	355.7	P <sub>6</sub>	4.8	h <sub>6</sub>	364.2
Ιεράπετρα							
Χειμώνας				Θέρος			
P <sub>1</sub>	2.5	h <sub>1</sub>	357.4	P <sub>1</sub>	4.3	h <sub>1</sub>	364.2
P <sub>2</sub>	10.6	h <sub>2</sub>	392.2	P <sub>2</sub>	10.3	h <sub>2</sub>	385.1
P <sub>3</sub>	10.3	h <sub>3</sub>	392.2	P <sub>3</sub>	10.0	h <sub>3</sub>	385.1
P <sub>4</sub>	10.0	h <sub>4</sub>	230.3	P <sub>4</sub>	9.7	h <sub>4</sub>	229.1
P <sub>5</sub>	3.3	h <sub>5</sub>	230.3	P <sub>5</sub>	5.1	h <sub>5</sub>	229.1
P <sub>6</sub>	3.0	h <sub>6</sub>	357.4	P <sub>6</sub>	4.8	h <sub>6</sub>	364.2

Πίνακας Π.2. Ζεύγη τιμών Πίεσης-Ειδικής Ενθαλπίας για το Ψυκτικό Ρευστό R410A ανά περιοχή και ανά εποχή (χειμώνας-θέρμανση, θέρος-δροσισμός). Η πίεση (P) μετράται σε bar και η ειδική ενθαλπία (h) σε kJ/kg.

R410A							
Φλώρινα							
Χειμώνας				Θέρος			
P <sub>1</sub>	4.6	h <sub>1</sub>	426.7	P <sub>1</sub>	11.6	h <sub>1</sub>	439.0
P <sub>2</sub>	26.1	h <sub>2</sub>	492.9	P <sub>2</sub>	23.6	h <sub>2</sub>	464.4
P <sub>3</sub>	25.8	h <sub>3</sub>	492.9	P <sub>3</sub>	23.3	h <sub>3</sub>	464.4
P <sub>4</sub>	25.5	h <sub>4</sub>	255.4	P <sub>4</sub>	23.0	h <sub>4</sub>	247.5
P <sub>5</sub>	5.4	h <sub>5</sub>	255.4	P <sub>5</sub>	12.4	h <sub>5</sub>	247.5
P <sub>6</sub>	5.1	h <sub>6</sub>	426.7	P <sub>6</sub>	12.1	h <sub>6</sub>	439.0
Χαλκίδα							
Χειμώνας				Θέρος			
P <sub>1</sub>	6.3	h <sub>1</sub>	431.1	P <sub>1</sub>	11.6	h <sub>1</sub>	439.0
P <sub>2</sub>	26.1	h <sub>2</sub>	484.2	P <sub>2</sub>	24.7	h <sub>2</sub>	466.1
P <sub>3</sub>	25.8	h <sub>3</sub>	484.2	P <sub>3</sub>	24.4	h <sub>3</sub>	466.1
P <sub>4</sub>	25.5	h <sub>4</sub>	255.4	P <sub>4</sub>	24.1	h <sub>4</sub>	251.0
P <sub>5</sub>	7.1	h <sub>5</sub>	255.4	P <sub>5</sub>	12.4	h <sub>5</sub>	251.0
P <sub>6</sub>	6.8	h <sub>6</sub>	431.1	P <sub>6</sub>	12.1	h <sub>6</sub>	439.0
Ιεράπετρα							
Χειμώνας				Θέρος			
P <sub>1</sub>	7.2	h <sub>1</sub>	432.7	P <sub>1</sub>	11.6	h <sub>1</sub>	439.0
P <sub>2</sub>	26.1	h <sub>2</sub>	480.9	P <sub>2</sub>	25.3	h <sub>2</sub>	467.0
P <sub>3</sub>	25.8	h <sub>3</sub>	480.9	P <sub>3</sub>	25.0	h <sub>3</sub>	467.0
P <sub>4</sub>	25.5	h <sub>4</sub>	255.4	P <sub>4</sub>	24.7	h <sub>4</sub>	253.1
P <sub>5</sub>	8.0	h <sub>5</sub>	255.4	P <sub>5</sub>	12.4	h <sub>5</sub>	253.1
P <sub>6</sub>	7.7	h <sub>6</sub>	432.7	P <sub>6</sub>	12.1	h <sub>6</sub>	439.0

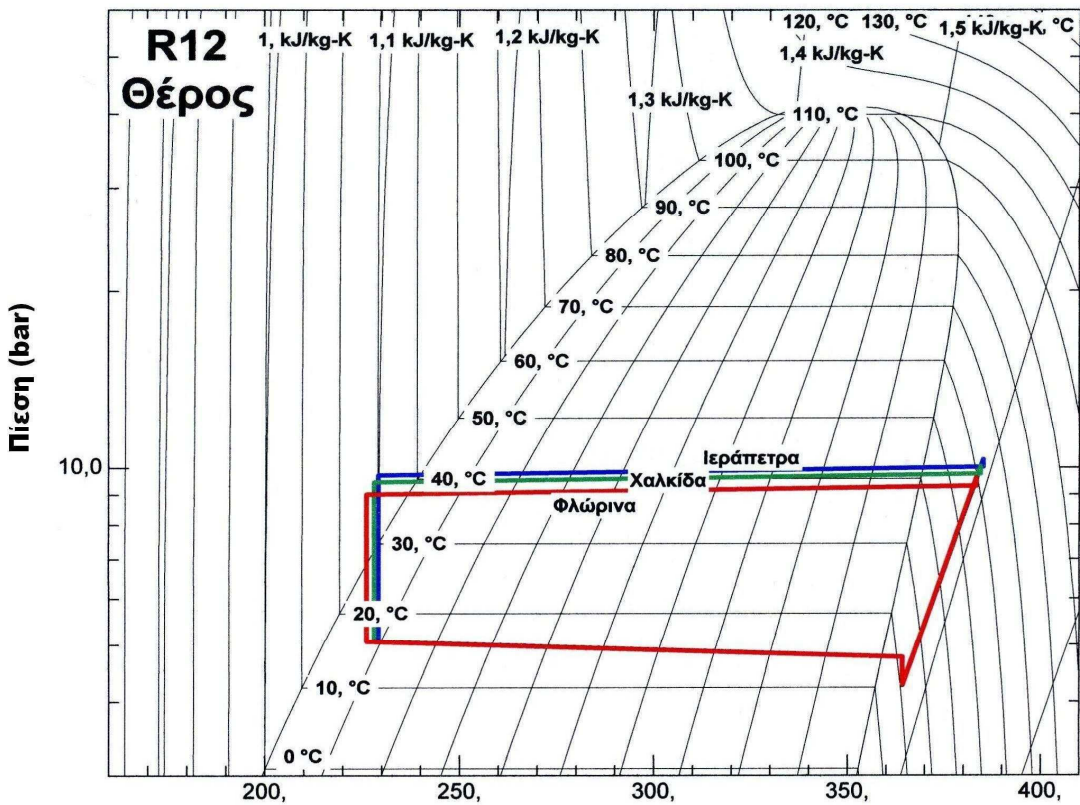
Πίνακας Π.3. Ζεύγη τιμών Πίεσης-Ειδικής Ενθαλπίας για το Ψυκτικό Ρευστό R717 ανά περιοχή και ανά εποχή (χειμώνας-θέρμανση, θέρος-δροσισμός). Η πίεση (P) μετράται σε bar και η ειδική ενθαλπία (h) σε kJ/kg.

R717							
Φλώρινα							
Χειμώνας				Θέρος			
P <sub>1</sub>	2.0	h <sub>1</sub>	1469.5	P <sub>1</sub>	5.0	h <sub>1</sub>	1494.8
P <sub>2</sub>	20.6	h <sub>2</sub>	1950.5	P <sub>2</sub>	15.3	h <sub>2</sub>	1703.0
P <sub>3</sub>	20.3	h <sub>3</sub>	1950.5	P <sub>3</sub>	15.0	h <sub>3</sub>	1703.0
P <sub>4</sub>	20.0	h <sub>4</sub>	383.7	P <sub>4</sub>	14.7	h <sub>4</sub>	330.0
P <sub>5</sub>	2.8	h <sub>5</sub>	383.7	P <sub>5</sub>	5.8	h <sub>5</sub>	330.0
P <sub>6</sub>	2.5	h <sub>6</sub>	1469.5	P <sub>6</sub>	5.5	h <sub>6</sub>	1494.8
Χαλκίδα							
Χειμώνας				Θέρος			
P <sub>1</sub>	3.1	h <sub>1</sub>	1480.8	P <sub>1</sub>	5.0	h <sub>1</sub>	1494.8
P <sub>2</sub>	20.6	h <sub>2</sub>	1863.4	P <sub>2</sub>	16.2	h <sub>2</sub>	1714.0
P <sub>3</sub>	20.3	h <sub>3</sub>	1863.4	P <sub>3</sub>	15.9	h <sub>3</sub>	1714.0
P <sub>4</sub>	20.0	h <sub>4</sub>	383.7	P <sub>4</sub>	15.6	h <sub>4</sub>	339.1
P <sub>5</sub>	3.9	h <sub>5</sub>	383.7	P <sub>5</sub>	5.8	h <sub>5</sub>	339.1
P <sub>6</sub>	3.6	h <sub>6</sub>	1480.8	P <sub>6</sub>	5.5	h <sub>6</sub>	1494.8
Ιεράπετρα							
Χειμώνας				Θέρος			
P <sub>1</sub>	3.6	h <sub>1</sub>	1485.2	P <sub>1</sub>	5.0	h <sub>1</sub>	1494.8
P <sub>2</sub>	20.6	h <sub>2</sub>	1831.9	P <sub>2</sub>	16.6	h <sub>2</sub>	1720.3
P <sub>3</sub>	20.3	h <sub>3</sub>	1831.9	P <sub>3</sub>	16.3	h <sub>3</sub>	1720.3
P <sub>4</sub>	20.0	h <sub>4</sub>	383.7	P <sub>4</sub>	16.0	h <sub>4</sub>	344.3
P <sub>5</sub>	4.4	h <sub>5</sub>	383.7	P <sub>5</sub>	5.8	h <sub>5</sub>	344.3
P <sub>6</sub>	4.1	h <sub>6</sub>	1485.2	P <sub>6</sub>	5.5	h <sub>6</sub>	1494.8



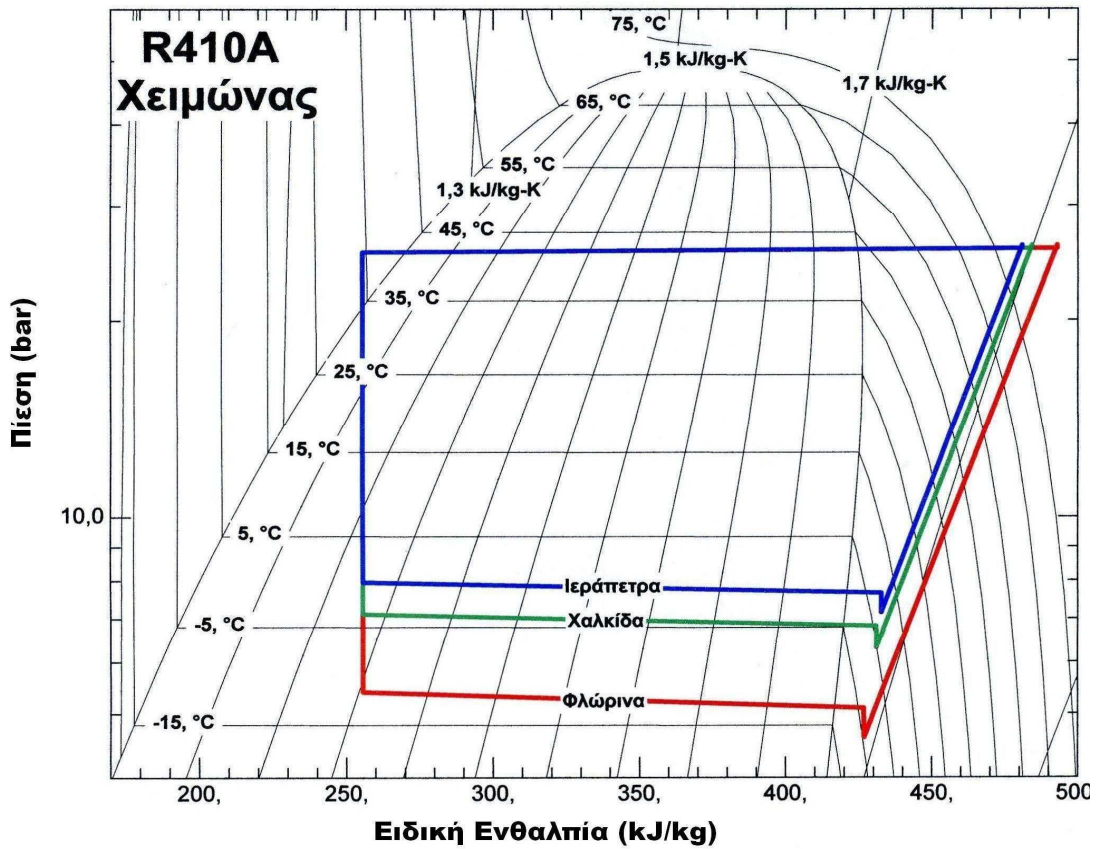
**Ειδική Ενθαλπία (kJ/kg)**

Σχήμα Π.1. Ψυκτικός κύκλος σε διάγραμμα P-h του R12 για τις τρεις περιοχές κατά το χειμώνα (θέρμανση).

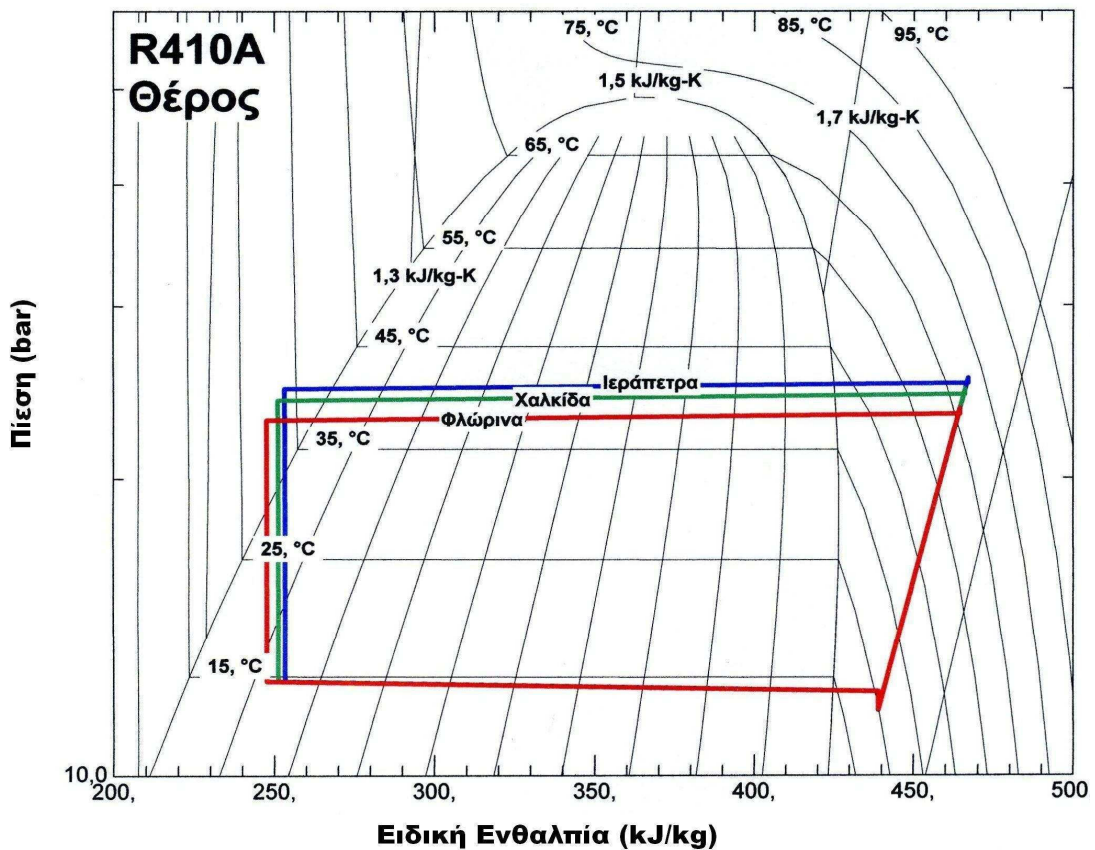


**Ειδική Ενθαλπία (kJ/kg)**

Σχήμα Π.2. Ψυκτικός κύκλος σε διάγραμμα P-h του R12 για τις τρεις περιοχές κατά το θέρος (δροσισμός).

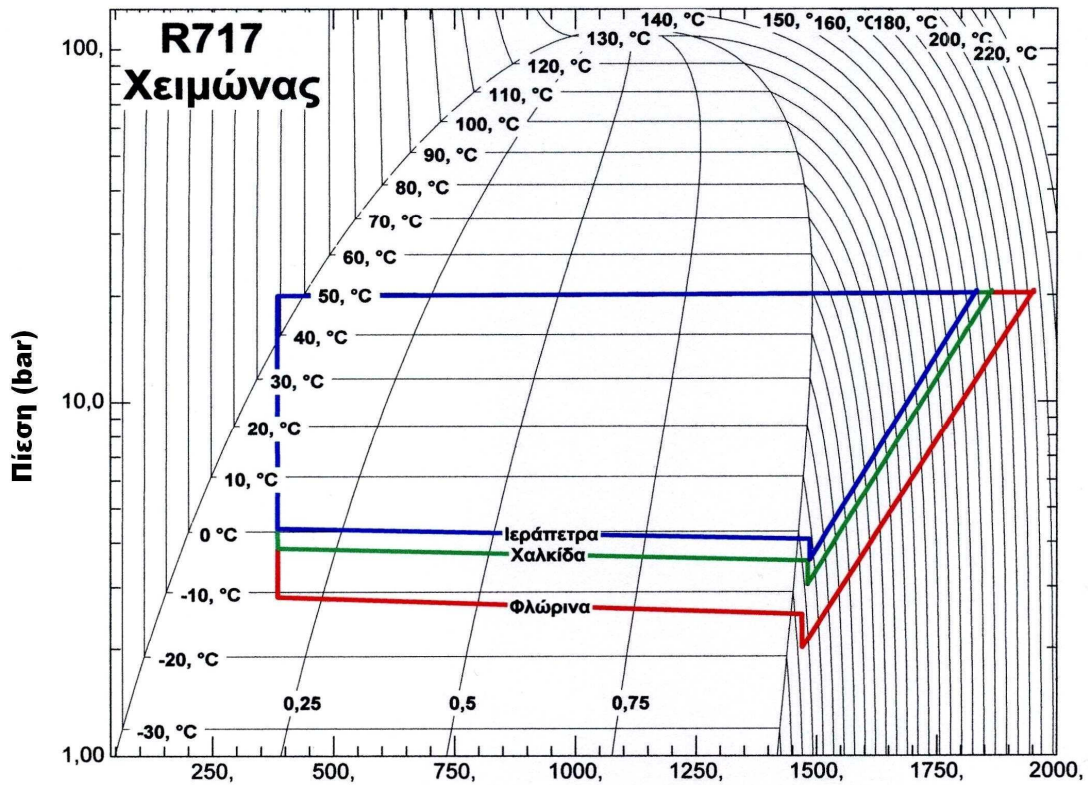


Σχήμα Π.3. Ψυκτικός κύκλος σε διάγραμμα P-h του R410A για τις τρεις περιοχές κατά το χειμώνα (θέρμανση).



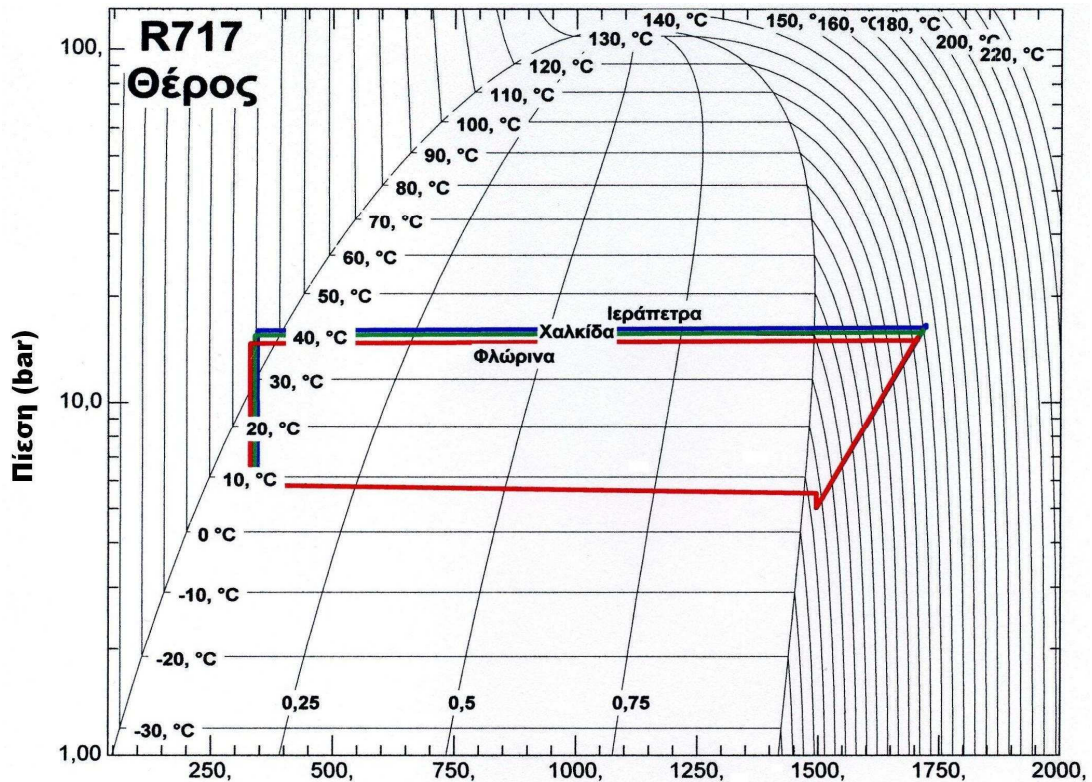
Σχήμα Π.4. Ψυκτικός κύκλος σε διάγραμμα P-h του R410A για τις τρεις περιοχές κατά το θέρος (δροσισμός).





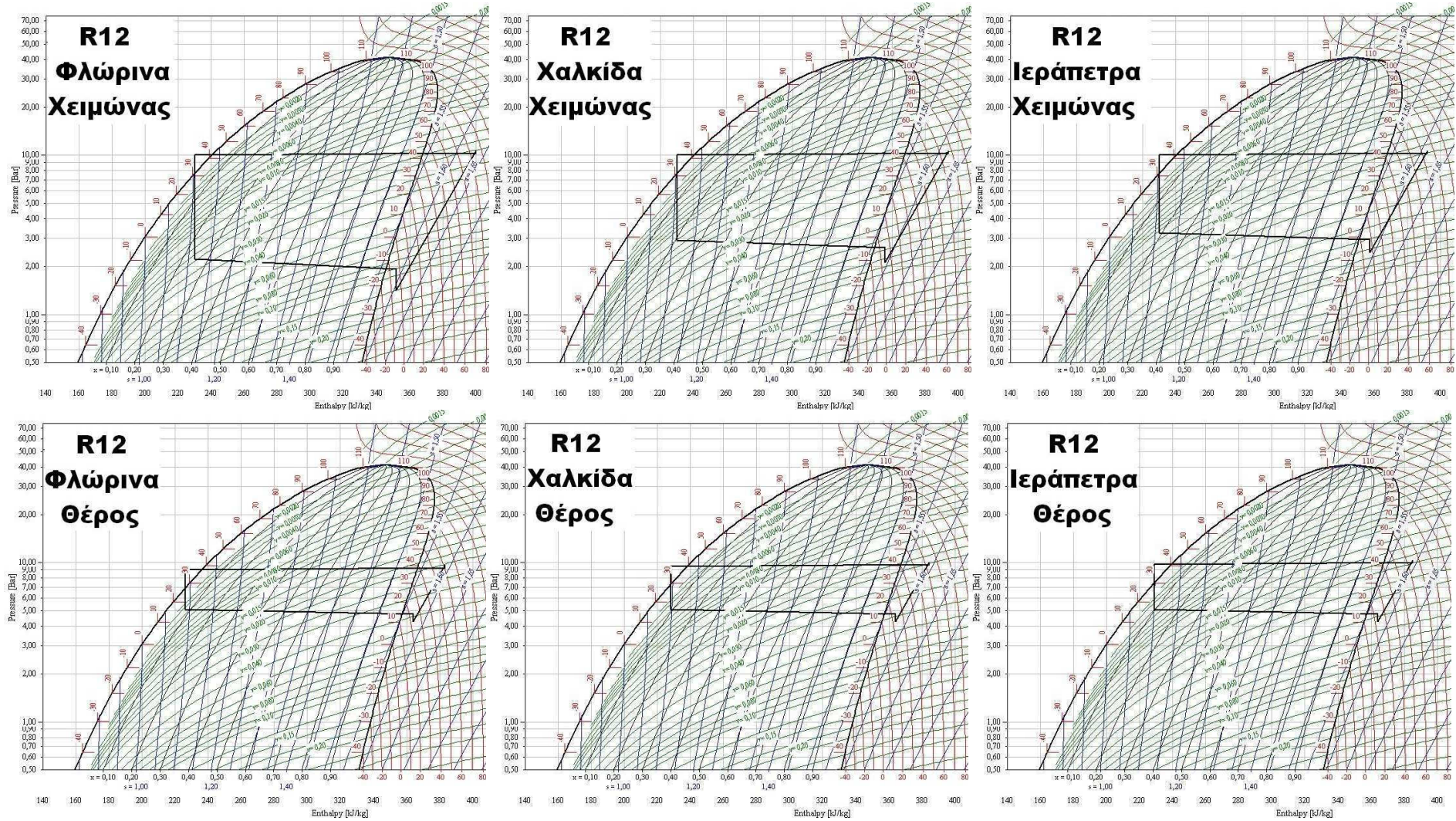
**Ειδική Ενθαλπία (kJ/kg)**

Σχήμα Π.5. Ψυκτικός κύκλος σε διάγραμμα P-h του R717 (αμμωνία) για τις τρεις περιοχές κατά το χειμώνα (θέρμανση).

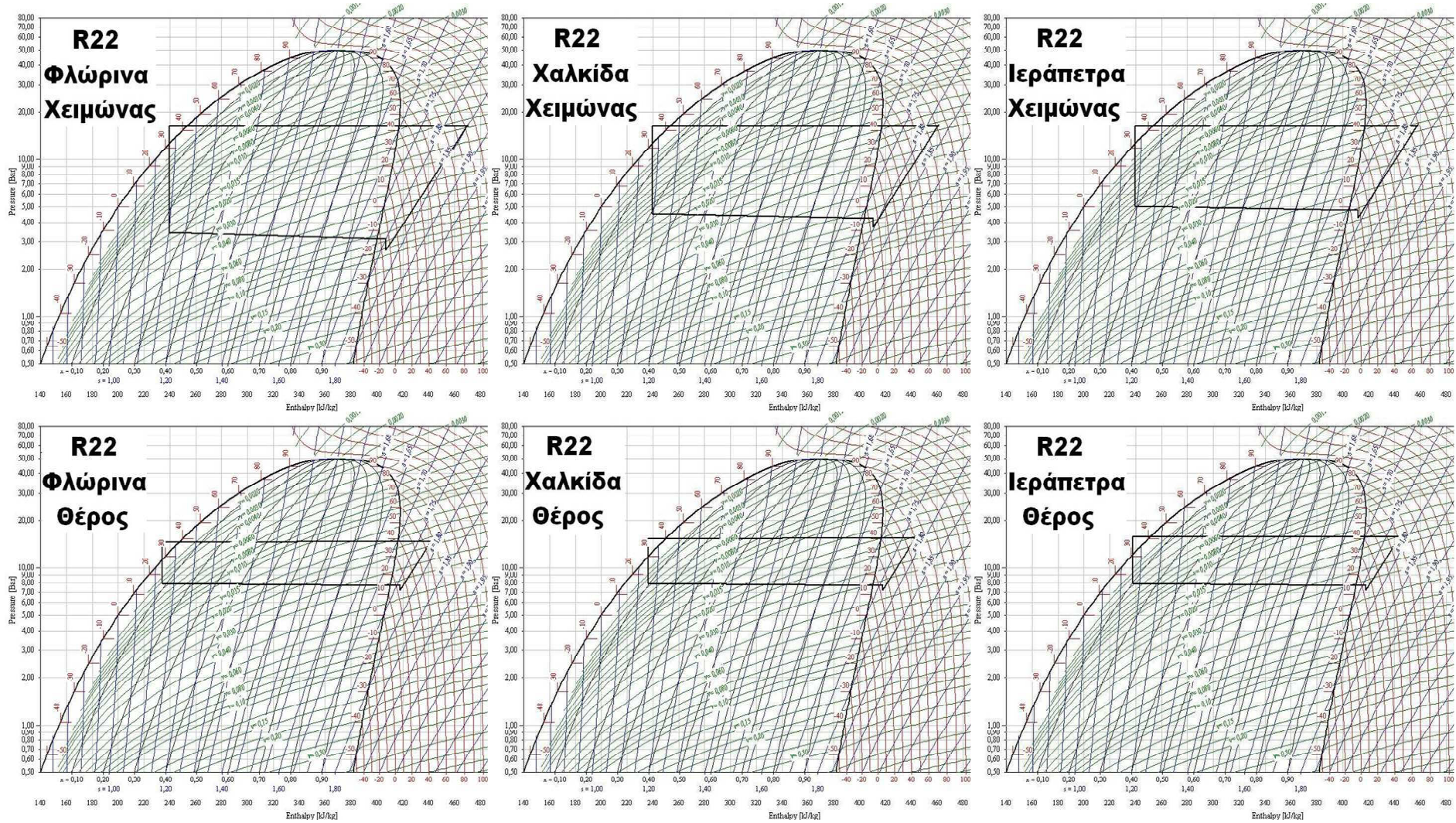


**Ειδική Ενθαλπία (kJ/kg)**

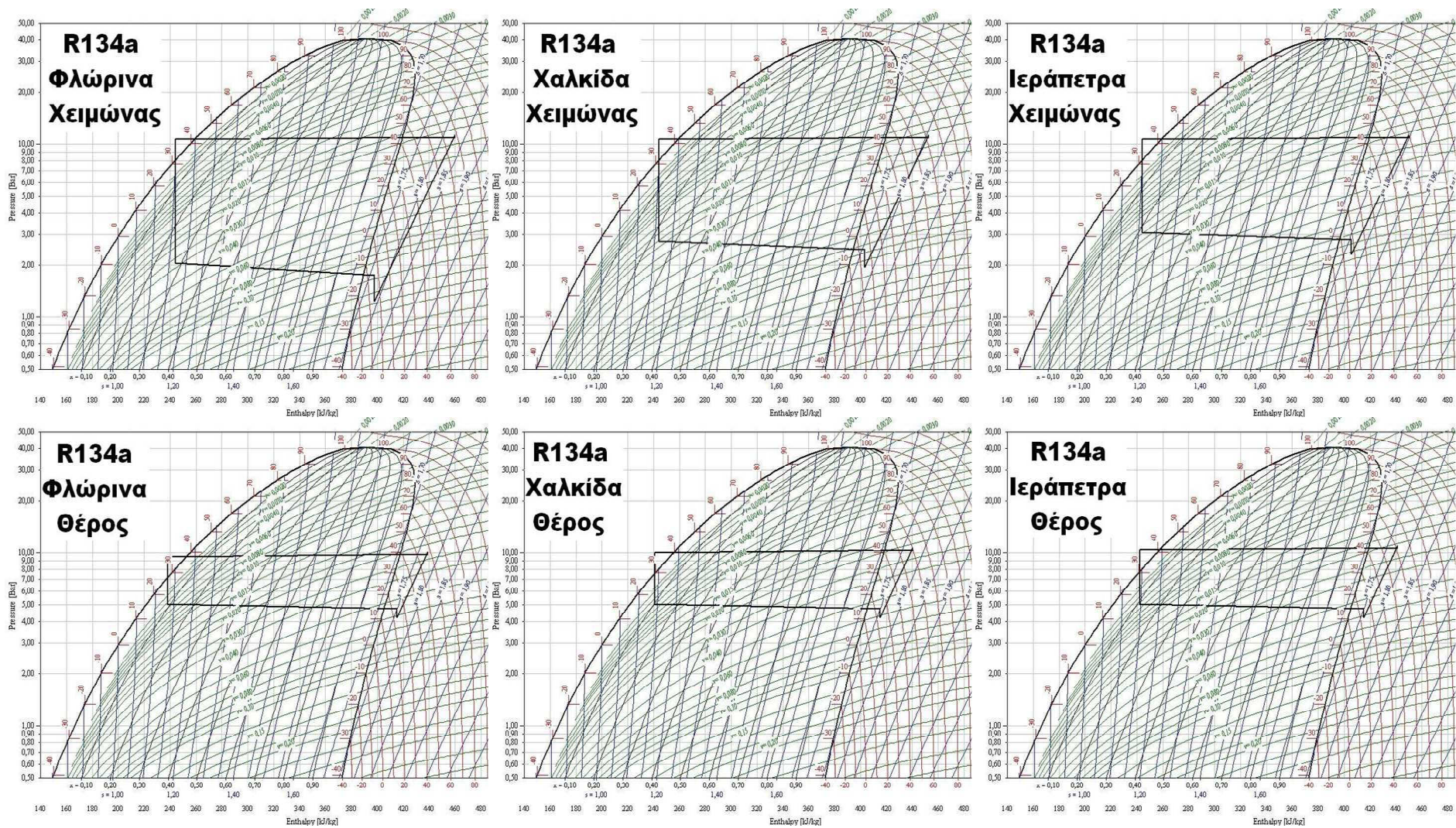
Σχήμα Π.6. Ψυκτικός κύκλος σε διάγραμμα P-h του R717 (αμμωνία) για τις τρεις περιοχές κατά το θέρος (δροσισμός).



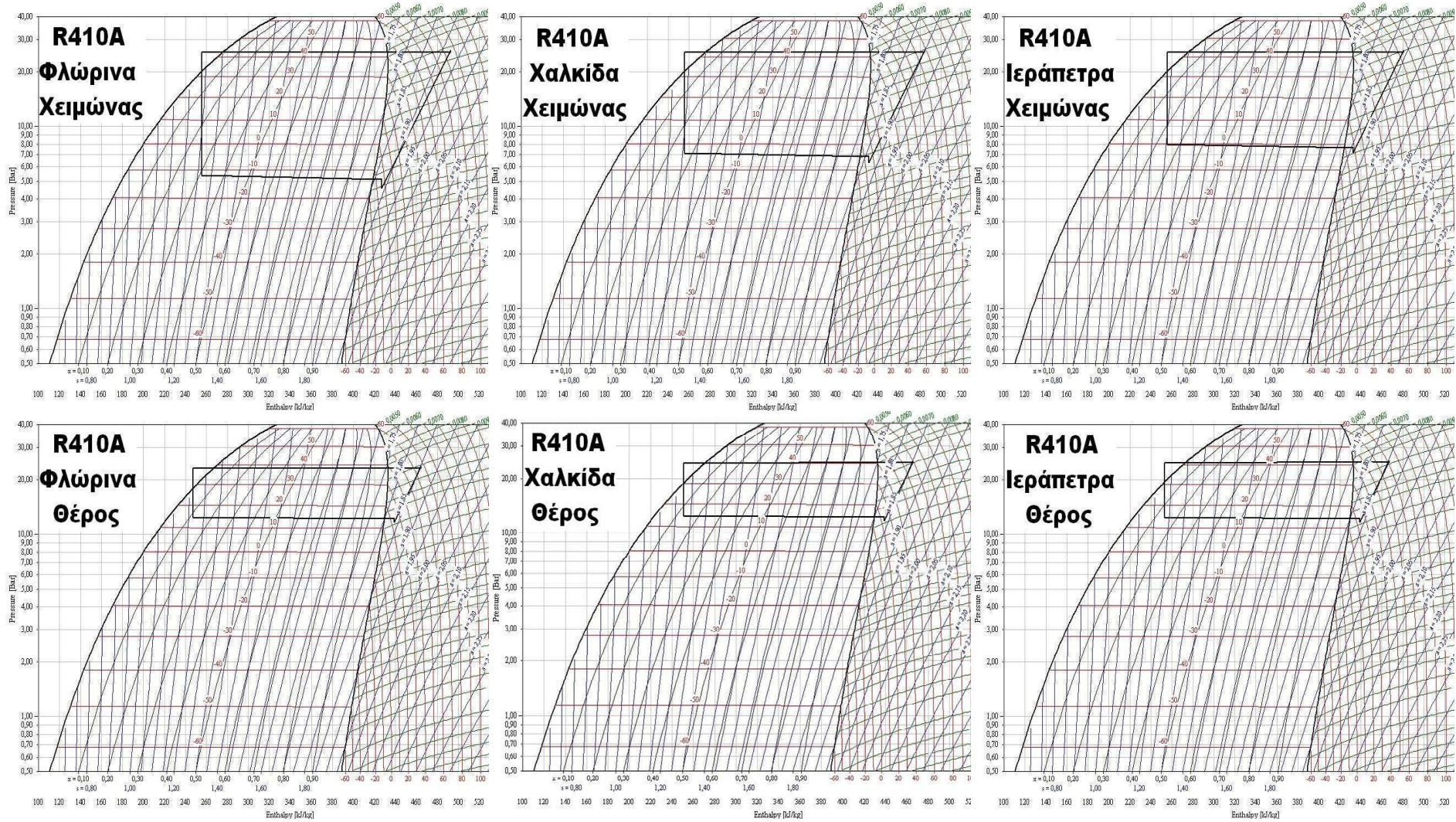
Σχήμα Π.7. Διαγράμματα P-h για το R12 ανά περιοχή και εποχή.



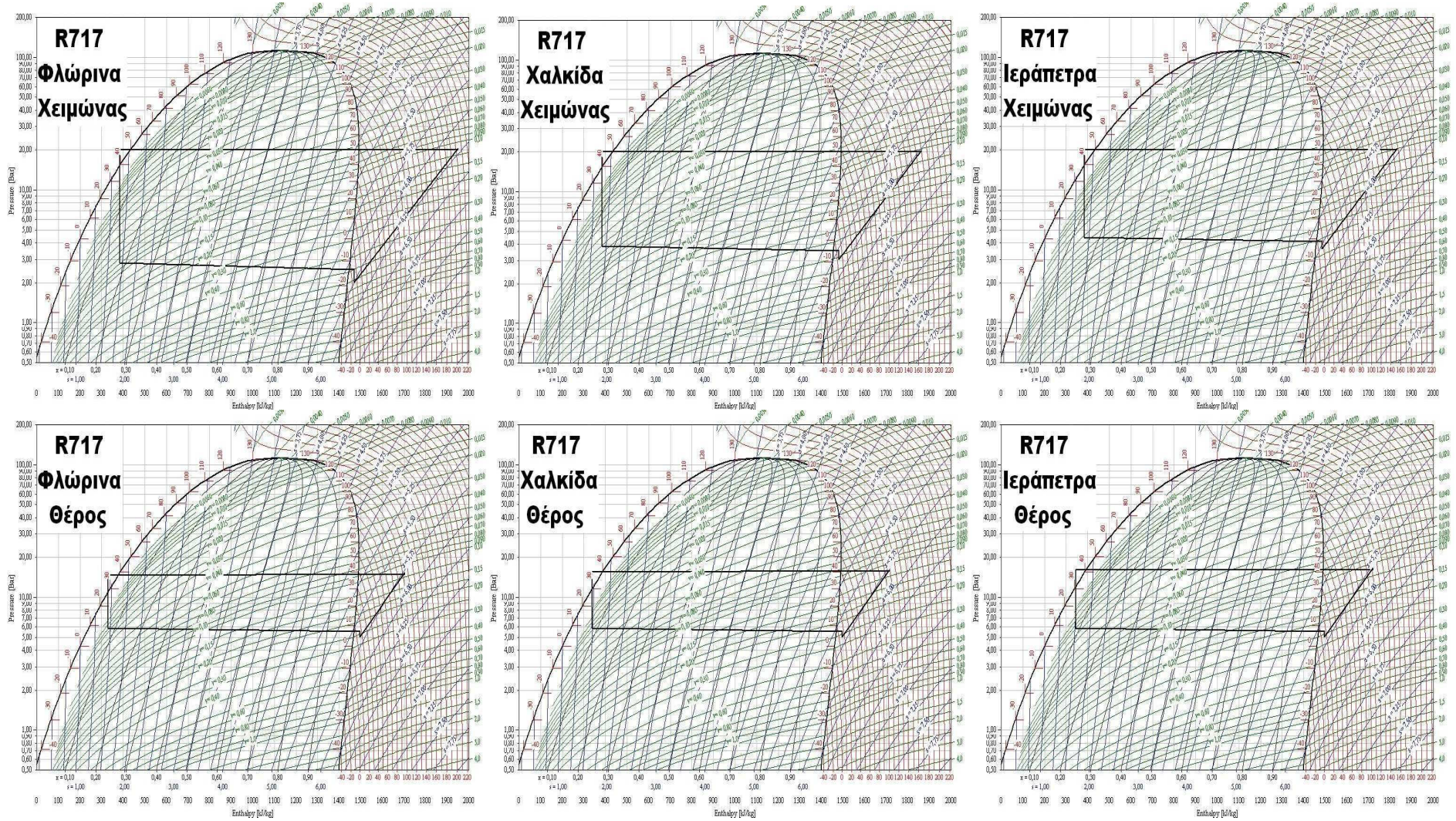
Σχήμα Π.8. Διαγράμματα P-h για το R22 ανά περιοχή και εποχή.



Σχήμα Π.9. Διαγράμματα P-h για το R134a ανά περιοχή και εποχή.



Σχήμα Π.10. Διαγράμματα P-h για το R410A ανά περιοχή και εποχή.



Σχήμα Π.11. Διαγράμματα P-h για το R717 (αμμωνία) ανά περιοχή και εποχή.

Πίνακας Π.4. Υπολογισμός της ετήσιας τιμής του TEWI για την περιοχή της Φλώρινας. Αυτή ( $TEWI_A$ ) προκύπτει από το άθροισμα της άμεσης ετήσιας συμβολής ( $DE_A$ ) και της έμμεσης ετήσιας συμβολής ( $IE_A$ ). Η τελευταία υπολογίζεται από το άθροισμα της έμμεσης ετήσιας συμβολής το χειμώνα ( $IE_{AX}$ ) και της έμμεσης ετήσιας συμβολής το θέρος ( $IE_{AO}$ ).

Άμεση ετήσια συμβολή						
Φλώρινα	Ψυκτικά Ρευστά					
	R12	R22	R134a	R410A	R1234yf	R717
$m_R$ [kg]	38.5	36	35.5	34	33	8
$O_{LR}$ [%/yr]	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
$GWP_R$ [kgCO <sub>2</sub> /kg]	10,900	1,810	1,430	2,088	4	0
$DR_A$ [kgCO <sub>2</sub> /yr]	6,994	1,086	846	1,183	2	0
$DE_A$ [kgCO <sub>2</sub> /yr]	23,780	3,692	2,877	4,023	7	0
Έμμεση ετήσια συμβολή-Χειμώνας						
Φλώρινα	Ψυκτικά Ρευστά					
	R12	R22	R134a	R410A	R1234yf	R717
$Q_o$ [kW]	86.48	86.48	86.48	86.48	86.48	86.48
$COP_o^{real}$	1.99	2.23	1.71	2.32	1.88	1.43
$W_o$ [kW]	43.46	38.78	50.57	37.28	46.00	60.48
$t_{1X}$ [h/day]	18	18	18	18	18	18
$t_{2X}$ [days/yr]	120	120	120	120	120	120
EF [kgCO <sub>2</sub> /kWh]	0.722	0.722	0.722	0.722	0.722	0.722
$IE_{AX}$ [kgCO <sub>2</sub> /yr]	67,773	60,479	78,870	58,132	71,738	94,313
Έμμεση ετήσια συμβολή-Θέρος						
Φλώρινα	Ψυκτικά Ρευστά					
	R12	R22	R134a	R410A	R1234yf	R717
$Q_\psi$ [kW]	93.82	93.82	93.82	93.82	93.82	93.82
$COP_\psi^{real}$	5.76	6.04	5.81	6.09	5.83	4.27
$W_\psi$ [kW]	16.29	15.53	16.15	15.41	16.09	21.97
$t_{1O}$ [h/day]	18	18	18	18	18	18
$t_{2O}$ [days/yr]	120	120	120	120	120	120
EF [kgCO <sub>2</sub> /kWh]	0.722	0.722	0.722	0.722	0.722	0.722
$IE_{AO}$ [kgCO <sub>2</sub> /yr]	25,402	24,224	25,183	24,025	25,097	34,266
TEWI ανά έτος						
Φλώρινα	Ψυκτικά Ρευστά					
	R12	R22	R134a	R410A	R1234yf	R717
$TEWI_A$ [kgCO <sub>2</sub> /yr]	116,954	88,395	106,930	86,181	96,842	128,578

Πίνακας Π.5. Υπολογισμός της ετήσιας τιμής του TEWI για την περιοχή της Χαλκίδας. Αυτή ( $TEWI_A$ ) προκύπτει από το άθροισμα της άμεσης ετήσιας συμβολής ( $DE_A$ ) και της έμμεσης ετήσιας συμβολής ( $IE_A$ ). Η τελευταία υπολογίζεται από το άθροισμα της έμμεσης ετήσιας συμβολής το χειμώνα ( $IE_{AX}$ ) και της έμμεσης ετήσιας συμβολής το θέρους ( $IE_{AO}$ ).

Άμεση ετήσια συμβολή						
Χαλκίδα	Ψυκτικά Ρευστά					
	R12	R22	R134a	R410A	R1234yf	R717
$m_R$ [kg]	38.5	36	35.5	34	33	8
$O_{LR}$ [%/yr]	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
$GWP_R$ [kgCO <sub>2</sub> /kg]	10,900	1,810	1,430	2,088	4	0
$DR_A$ [kgCO <sub>2</sub> /yr]	6,994	1,086	846	1,183	2	0
$DE_A$ [kgCO <sub>2</sub> /yr]	23,780	3,692	2,877	4,023	7	0
Έμμεση ετήσια συμβολή-Χειμώνας						
Χαλκίδα	Ψυκτικά Ρευστά					
	R12	R22	R134a	R410A	R1234yf	R717
$Q_{\theta}$ [kW]	49.56	49.56	49.56	49.56	49.56	49.56
$COP_{\theta}^{real}$	2.87	3.05	2.70	3.07	2.79	2.31
$W_{\theta}$ [kW]	17.27	16.25	18.36	16.14	17.76	21.45
$t_{1X}$ [h/day]	18	18	18	18	18	18
$t_{2X}$ [days/yr]	120	120	120	120	120	120
EF [kgCO <sub>2</sub> /kWh]	0.722	0.722	0.722	0.722	0.722	0.722
$IE_{AX}$ [kgCO <sub>2</sub> /yr]	26,930	25,341	28,626	25,176	27,702	33,459
Έμμεση ετήσια συμβολή-Θέρος						
Χαλκίδα	Ψυκτικά Ρευστά					
	R12	R22	R134a	R410A	R1234yf	R717
$Q_{\psi}$ [kW]	106.96	106.96	106.96	106.96	106.96	106.96
$COP_{\psi}^{real}$	5.34	5.58	5.38	5.58	5.39	3.98
$W_{\psi}$ [kW]	20.03	19.17	19.88	19.17	19.84	26.87
$t_{1\theta}$ [h/day]	18	18	18	18	18	18
$t_{2\theta}$ [days/yr]	120	120	120	120	120	120
EF [kgCO <sub>2</sub> /kWh]	0.722	0.722	0.722	0.722	0.722	0.722
$IE_{AO}$ [kgCO <sub>2</sub> /yr]	31,237	29,894	31,005	29,894	30,947	41,911
TEWI ανά έτος						
Χαλκίδα	Ψυκτικά Ρευστά					
	R12	R22	R134a	R410A	R1234yf	R717
$TEWI_A$ [kgCO <sub>2</sub> /yr]	81,948	58,927	62,507	59,092	58,657	75,370



Πίνακας Π.6. Υπολογισμός της ετήσιας τιμής του TEWI για την περιοχή της Ιεράπετρας. Αυτή ( $TEWI_A$ ) προκύπτει από το άθροισμα της άμεσης ετήσιας συμβολής ( $DE_A$ ) και της έμμεσης ετήσιας συμβολής ( $IE_A$ ). Η τελευταία υπολογίζεται από το άθροισμα της έμμεσης ετήσιας συμβολής το χειμώνα ( $IE_{AX}$ ) και της έμμεσης ετήσιας συμβολής το θέρος ( $IE_{AO}$ ).

Άμεση ετήσια συμβολή						
Ιεράπετρα	Ψυκτικά Ρευστά					
	R12	R22	R134a	R410A	R1234yf	R717
$m_R$ [kg]	38	36	35.5	34	33	8
$O_{LR}$ [%/yr]	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
$GWP_R$ [kgCO <sub>2</sub> /kg]	10,900	1,810	1,430	2,088	4	0
$DR_A$ [kgCO <sub>2</sub> /yr]	6,903	1,086	846	1,183	2	0
$DE_A$ [kgCO <sub>2</sub> /yr]	23,471	3,692	2,877	4,023	7	0
Έμμεση ετήσια συμβολή-Χειμώνας						
Ιεράπετρα	Ψυκτικά Ρευστά					
	R12	R22	R134a	R410A	R1234yf	R717
$Q_{\theta}$ [kW]	42.32	42.32	42.32	42.32	42.32	42.32
$COP_{\theta}^{real}$	3.28	3.45	3.14	3.45	3.20	2.68
$W_{\theta}$ [kW]	12.90	12.27	13.48	12.27	13.23	15.79
$t_{1X}$ [h/day]	18	18	18	18	18	18
$t_{2X}$ [days/yr]	120	120	120	120	120	120
EF [kgCO <sub>2</sub> /kWh]	0.722	0.722	0.722	0.722	0.722	0.722
$IE_{AX}$ [kgCO <sub>2</sub> /yr]	20,122	19,130	21,019	19,130	20,625	24,626
Έμμεση ετήσια συμβολή-Θέρος						
Ιεράπετρα	Ψυκτικά Ρευστά					
	R12	R22	R134a	R410A	R1234yf	R717
$Q_{\psi}$ [kW]	112.70	112.70	112.70	112.70	112.70	112.70
$COP_{\psi}^{real}$	5.12	5.33	5.14	5.32	5.15	3.83
$W_{\psi}$ [kW]	22.01	21.14	21.93	21.18	21.88	29.43
$t_{1\theta}$ [h/day]	18	18	18	18	18	18
$t_{2\theta}$ [days/yr]	120	120	120	120	120	120
EF [kgCO <sub>2</sub> /kWh]	0.722	0.722	0.722	0.722	0.722	0.722
$IE_{AO}$ [kgCO <sub>2</sub> /yr]	34,328	32,975	34,194	33,037	34,128	45,890
TEWI ανά έτος						
Ιεράπετρα	Ψυκτικά Ρευστά					
	R12	R22	R134a	R410A	R1234yf	R717
$TEWI_A$ [kgCO <sub>2</sub> /yr]	77,921	55,798	58,090	56,190	54,760	70,516

Πίνακας Π.7. Υπολογισμός του TEWI της αντλίας θερμότητας κατά τη συνολική διάρκεια λειτουργίας της και τον παροπλισμό της για την περιοχή της Φλώρινας. Η άμεση συμβολή (DE) ισούται με το άθροισμα των άμεσων εκπομπών κατά τη 12ετία (OR) και των άμεσων εκπομπών κατά των παροπλισμό (DR). Η τιμή TEWI προκύπτει από το άθροισμα της DE, της έμμεσης συμβολής το χειμώνα (IE<sub>X</sub>) και της έμμεσης συμβολής το θέρος (IE<sub>Θ</sub>). Το άθροισμα IE<sub>X</sub> και IE<sub>Θ</sub> δίνει την έμμεση συμβολή (IE) κατά τη 12ετία.

Φλώρινα	Ψυκτικά Ρευστά					
	R12	R22	R134a	R410A	R1234yf	R717
<b>Άμεση συμβολή</b>						
m <sub>R</sub> [kg]	38.5	36	35.5	34	33	8
O <sub>LR</sub> [%/yr]	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
t [yr]	12	12	12	12	12	12
GWP <sub>R</sub> [kgCO <sub>2</sub> /kg]	10,900	1,810	1,430	2,088	4	0
OR [kgCO <sub>2</sub> ]	201432	31276.8	24367.2	34076.16	63.36	0
D <sub>L</sub> [%]	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
m <sub>R</sub> [kg]	38.5	36	35.5	34	33	8
GWP <sub>R</sub> [kgCO <sub>2</sub> /kg]	10,900	1,810	1,430	2,088	4	0
DR [kgCO <sub>2</sub> ]	83,930	13,032	10,153	14,198	26	0
DE [kgCO <sub>2</sub> ]	285,362	44,309	34,520	48,275	90	0
<b>Έμμεση συμβολή-Χειμώνας</b>						
Q <sub>Θ</sub> [kW]	86.48	86.48	86.48	86.48	86.48	86.48
COP <sub>Θ</sub> <sup>real</sup>	1.99	2.23	1.71	2.32	1.88	1.43
W <sub>Θ</sub> [kW]	43.46	38.78	50.57	37.28	46.00	60.48
t <sub>1X</sub> [h/day]	18	18	18	18	18	18
t <sub>2X</sub> [days/yr]	120	120	120	120	120	120
t [yr]	12	12	12	12	12	12
EF [kgCO <sub>2</sub> /kWh]	0.722	0.722	0.722	0.722	0.722	0.722
IE <sub>X</sub> [kgCO <sub>2</sub> ]	813,270	725,743	946,437	697,589	860,855	1,131,753
<b>Έμμεση συμβολή-Θέρος</b>						
Q <sub>Ψ</sub> [kW]	93.82	93.82	93.82	93.82	93.82	93.82
COP <sub>Ψ</sub> <sup>real</sup>	5.76	6.04	5.81	6.09	5.83	4.27
W <sub>Ψ</sub> [kW]	16.29	15.53	16.15	15.41	16.09	21.97
t <sub>1Θ</sub> [h/day]	18	18	18	18	18	18
t <sub>2Θ</sub> [days/yr]	120	120	120	120	120	120
t [yr]	12	12	12	12	12	12
EF [kgCO <sub>2</sub> /kWh]	0.722	0.722	0.722	0.722	0.722	0.722
IE <sub>Θ</sub> [kgCO <sub>2</sub> ]	304,821	290,690	302,198	288,304	301,161	411,187
TEWI [kgCO <sub>2</sub> ]	1,403,453	1,060,742	1,283,155	1,034,168	1,162,106	1,542,941

Πίνακας Π.8. Υπολογισμός του TEWI της αντλίας θερμότητας κατά τη συνολική διάρκεια λειτουργίας της και τον παροπλισμό της για την περιοχή της Χαλκίδας. Η άμεση συμβολή (DE) ισούται με το άθροισμα των άμεσων εκπομπών κατά τη 12ετία (OR) και των άμεσων εκπομπών κατά των παροπλισμό (DR). Η τιμή TEWI προκύπτει από το άθροισμα της DE, της έμμεσης συμβολής το χειμώνα (IE<sub>X</sub>) και της έμμεσης συμβολής το θέρος (IE<sub>Θ</sub>). Το άθροισμα IE<sub>X</sub> και IE<sub>Θ</sub> δίνει την έμμεση συμβολή (IE) κατά τη 12ετία.

Χαλκίδα	Ψυκτικά Ρευστά					
	R12	R22	R134a	R410A	R1234yf	R717
<b>Άμεση συμβολή</b>						
m <sub>R</sub> [kg]	38.5	36	35.5	34	33	8
O <sub>LR</sub> [%/yr]	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
t [yr]	12	12	12	12	12	12
GWP <sub>R</sub> [kgCO <sub>2</sub> /kg]	10,900	1,810	1,430	2,088	4	0
OR [kgCO <sub>2</sub> ]	201,432	31,277	24,367	34,076	63	0
D <sub>L</sub> [%]	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
m <sub>R</sub> [kg]	38.5	36	35.5	34	33	8
GWP <sub>R</sub> [kgCO <sub>2</sub> /kg]	10,900	1,810	1,430	2,088	4	0
DR [kgCO <sub>2</sub> ]	83,930	13,032	10,153	14,198	26	0
DE [kgCO <sub>2</sub> ]	285,362	44,309	34,520	48,275	90	0
<b>Έμμεση συμβολή-Χειμώνας</b>						
Q <sub>Θ</sub> [kW]	49.56	49.56	49.56	49.56	49.56	49.56
COP <sub>Θ</sub> <sup>real</sup>	2.87	3.05	2.70	3.07	2.79	2.31
W <sub>Θ</sub> [kW]	17.27	16.25	18.36	16.14	17.76	21.45
t <sub>1X</sub> [h/day]	18	18	18	18	18	18
t <sub>2X</sub> [days/yr]	120	120	120	120	120	120
t [yr]	12	12	12	12	12	12
EF [kgCO <sub>2</sub> /kWh]	0.722	0.722	0.722	0.722	0.722	0.722
IE <sub>X</sub> [kgCO <sub>2</sub> ]	323,163	304,091	343,510	302,110	332,429	401,506
<b>Έμμεση συμβολή-Θέρος</b>						
Q <sub>Ψ</sub> [kW]	106.96	106.96	106.96	106.96	106.96	106.96
COP <sub>Ψ</sub> <sup>real</sup>	5.34	5.58	5.38	5.58	5.39	3.98
W <sub>Ψ</sub> [kW]	20.03	19.17	19.88	19.17	19.84	26.87
t <sub>1Θ</sub> [h/day]	18	18	18	18	18	18
t <sub>2Θ</sub> [days/yr]	120	120	120	120	120	120
t [yr]	12	12	12	12	12	12
EF [kgCO <sub>2</sub> /kWh]	0.722	0.722	0.722	0.722	0.722	0.722
IE <sub>Θ</sub> [kgCO <sub>2</sub> ]	374,846	358,723	372,059	358,723	371,368	502,933
TEWI [kgCO <sub>2</sub> ]	983,370	707,123	750,089	709,108	703,887	904,439

Πίνακας Π.9. Υπολογισμός του TEWI της αντλίας θερμότητας κατά τη συνολική διάρκεια λειτουργίας της και τον παροπλισμό της για την περιοχή της Ιεράπετρας. Η άμεση συμβολή (DE) ισούται με το άθροισμα των άμεσων εκπομπών κατά τη 12ετία (OR) και των άμεσων εκπομπών κατά των παροπλισμό (DR). Η τιμή TEWI προκύπτει από το άθροισμα της DE, της έμμεσης συμβολής το χειμώνα (IE<sub>X</sub>) και της έμμεσης συμβολής το θέρος (IE<sub>Θ</sub>). Το άθροισμα IE<sub>X</sub> και IE<sub>Θ</sub> δίνει την έμμεση συμβολή (IE) κατά τη 12ετία.

Ιεράπετρα	Ψυκτικά Ρευστά					
	R12	R22	R134a	R410A	R1234yf	R717
<b>Άμεση συμβολή</b>						
m <sub>R</sub> [kg]	38	36	35.5	34	33	8
O <sub>LR</sub> [%/yr]	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
t [yr]	12	12	12	12	12	12
GWP <sub>R</sub> [kgCO <sub>2</sub> /kg]	10,900	1,810	1,430	2,088	4	0
OR [kgCO <sub>2</sub> ]	198,816	31,277	24,367	34,076	63	0
D <sub>L</sub> [%]	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
m <sub>R</sub> [kg]	38	36	35.5	34	33	8
GWP <sub>R</sub> [kgCO <sub>2</sub> /kg]	10,900	1,810	1,430	2,088	4	0
DR [kgCO <sub>2</sub> ]	82,840	13,032	10,153	14,198	26	0
DE [kgCO <sub>2</sub> ]	281,656	44,309	34,520	48,275	90	0
<b>Έμμεση συμβολή-Χειμώνας</b>						
Q <sub>Θ</sub> [kW]	42.32	42.32	42.32	42.32	42.32	42.32
COP <sub>Θ</sub> <sup>real</sup>	3.28	3.45	3.14	3.45	3.20	2.68
W <sub>Θ</sub> [kW]	12.90	12.27	13.48	12.27	13.23	15.79
t <sub>1X</sub> [h/day]	18	18	18	18	18	18
t <sub>2X</sub> [days/yr]	120	120	120	120	120	120
t [yr]	12	12	12	12	12	12
EF [kgCO <sub>2</sub> /kWh]	0.722	0.722	0.722	0.722	0.722	0.722
IE <sub>X</sub> [kgCO <sub>2</sub> ]	241,459	229,561	252,225	229,561	247,496	295,517
<b>Έμμεση συμβολή-Θέρος</b>						
Q <sub>Ψ</sub> [kW]	112.70	112.70	112.70	112.70	112.70	112.70
COP <sub>Ψ</sub> <sup>real</sup>	5.12	5.33	5.14	5.32	5.15	3.83
W <sub>Ψ</sub> [kW]	22.01	21.14	21.93	21.18	21.88	29.43
t <sub>1Θ</sub> [h/day]	18	18	18	18	18	18
t <sub>2Θ</sub> [days/yr]	120	120	120	120	120	120
t [yr]	12	12	12	12	12	12
EF [kgCO <sub>2</sub> /kWh]	0.722	0.722	0.722	0.722	0.722	0.722
IE <sub>Θ</sub> [kgCO <sub>2</sub> ]	411,933	395,703	410,330	396,446	409,533	550,678
TEWI [kgCO <sub>2</sub> ]	935,048	669,573	697,075	674,282	657,119	846,195