



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Η επίδραση του νέου F-gas regulation και το εργαζόμενο μέσο R-32 ως υποκατάστατο του R-410A»

Του Φοιτητή

Γεώργιου Μασουρίδη

Επιβλέπων

Καρέλλας Σωτήριος, Αναπληρωτής Καθηγητής,
Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών, ΕΜΠ

Περίληψη

Η αδιάκοπη προσπάθεια ανεύρεσης οικονομικά βελτιωμένων, φιλικότερων προς το περιβάλλον και ασφαλέστερων λύσεων σε κάθε κλάδο της βιομηχανίας δεν έχει αφήσει ανεπηρέαστο τον κλάδο των εργαζόμενων μέσων σε εφαρμογές κλιματισμού. Μία σειρά ευρωπαϊκών αλλά και παγκόσμιων κανονισμών απαιτεί την μείωση των αερίων του θερμοκηπίου, και ο νέος F-gas regulation ορίζει κάθε πτυχή των εργαζόμενων αυτών μέσων, οδηγώντας άλλα στην κατάργηση και άλλα στον προσεκτικότερο χειρισμό. Δημιουργείται λοιπόν η ανάγκη για ανάπτυξη και χρήση φιλικότερων προς το περιβάλλον εργαζόμενων μέσων. Η διπλωματική αυτή σκοπό έχει να αποτελέσει έναν οδηγό στις τελευταίες εξελίξεις στον κλάδο των εργαζόμενων μέσων, καθώς και ένα θεωρητικό υπόβαθρο σύγκρισης δύο εργαζόμενων μέσων. Πιο συγκεκριμένα, θα συγκρίνει τη χρήση του R-410A, ένα από τα ευρύτερα χρησιμοποιούμενα εργαζόμενα μέσα στον κλιματισμό, με το R-32, ένα από τα ταχύτερα αναπτυσσόμενα τα τελευταία 4 χρόνια, από την πρώτη του χρήση σε εφαρμογή αντλίας θερμότητας.

Summary

The constant attempt to find economically improved, more environmentally friendly and safer solutions for every application of the global industry has also affected the working fluids industry for air conditioning applications. A series of European and global regulations require the reduction of greenhouse gases, with the new F-gas regulation defining every aspect of the working fluids, leading others in abolition and others to more careful handling. This leads to the need to develop and use working fluids that are environmentally friendlier. This thesis aims to provide a guide to the latest developments in the working fluids industry, as well as a theoretical background in comparing two working fluids. Specifically, it will compare the use of R-410A, one of the most widely used working fluids in air conditioning, with the R-32, one of the fastest developing in the last four years, since its first use in heat pump application.

Περιεχόμενα

Περίληψη	III
Summary	IV
Περιεχόμενα	V
Κατάλογος Σχημάτων	VIII
Κατάλογος Πινάκων	XI
Εισαγωγή	1
1 Εισαγωγή στα εργαζόμενα ρευστά	3
1.1 Βασική κατηγοριοποίηση εργαζόμενων ρευστών	3
1.2 Βασικές ιδιότητες των ευρύτερα χρησιμοποιούμενων εργαζόμενων ρευστών	6
1.3 Μείγματα εργαζόμενων ρευστών	7
1.4 Επισκόπηση των εργαζόμενων ρευστών νέας γενιάς	12
2 Περιβαλλοντικό θεσμικό πλαίσιο για την χρήση οργανικών ρευστών	16
2.1 Καταστροφή της στριβάδας του όζοντος	16
2.2 Δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη-GWP	20
2.3 Europe 2020 Climate & Energy Package	26
2.4 Συνολική Ισοδύναμη Επίδραση στη Θέρμανση του πλανήτη (TEWI)	28
2.5 Life Cycle Climate Performance (LCCP)	29
3 Διεθνή Πρότυπα και Κανονισμοί Ασφαλείας των εργαζόμενων μέσων	31
3.1 Το πρότυπα 15 και 34 της ASHRAE	31
3.2 EN 378 -Συστήματα ψύξης και αντλίες θερμότητας-Ασφάλεια και περιβαλλοντικές απαιτήσεις	34
3.3 ISO 817- Εργαζόμενα μέσα-Ονομασία και κατηγοριοποίηση ασφαλείας 39	
3.4 Καταχώρηση, αξιολόγηση, αδειοδότηση και περιορισμοί των χημικών προϊόντων (REACH)	41
4 Βασικοί Ελληνικοί Κανονισμοί του Κτιριακού τομέα	43
4.1 Γενικά	43
4.2 Νέος Οικοδομικός Κανονισμός (N. 4067/2012)	44

4.3	Κτιριοδομικός Κανονισμός.....	46
4.4	Κ.Εν.Α.Κ. (Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων).....	47
4.5	Πυροπροστασία.....	50
4.5.1	Γενικά.....	50
4.5.2	Κατηγορίες κτηρίων.....	50
4.5.3	Παθητική Πυροπροστασία.....	50
4.5.4	Ενεργητική Πυροπροστασία.....	51
5	Ο νέος F-gas regulation (Ε.Κ. 517/2014).....	52
5.1	Εισαγωγή.....	52
5.2	Βασικά σημεία του κανονισμού.....	54
5.3	Σταδιακή κατάργηση των φθοριούχων αερίων του θερμοκηπίου.....	55
5.4	Το σύστημα των ποσοτώσεων–quotas allocation system.....	57
5.5	Ορισμός μέγιστης επιτρεπόμενης τιμής GWP.....	59
5.6	Χειρισμός των φθοριούχων αερίων του θερμοκηπίου.....	61
6	Αντικατάσταση του R-410A από το R32.....	64
6.1	Εισαγωγή.....	64
6.2	Αντλίες θερμότητας.....	65
6.2.1	Γενικά στοιχεία.....	65
6.2.2	Βασικές παράμετροι λειτουργίας.....	67
6.2.3	Αντλία θερμότητας τύπου VRF/VRV.....	69
6.3	Σύγκριση γενικών χαρακτηριστικών λειτουργίας.....	74
6.4	Θερμοδυναμική ανάλυση.....	79
6.4.1	Βασικές παράμετροι λειτουργίας της αντλίας θερμότητας.....	79
6.4.2	Σύγκριση τυπικού ψυκτικού κύκλου R-410A με R-32.....	79
6.5	Οικονομική ανάλυση.....	87
6.5.1	Γενικά.....	87
6.5.2	Ξενοδοχείο.....	89
6.5.3	Κτίριο γραφείων.....	96
6.6	Περιβαλλοντική μελέτη.....	103
6.6.1	Γενικά.....	103
6.6.2	Σύγκριση πλήρωσης R-410A με R-32.....	103
6.6.3	Ανάλυση εκπομπών στον κύκλο ζωής του συστήματος (LCCP).....	103
6.7	Σύγκριση Ευφλεκτότητας.....	107

Συμπεράσματα.....	109
Ευχαριστίες	110
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι -ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΑ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ R-410A	111
ΚΑΜΠΥΛΗ ΚΟΡΕΣΜΟΥ- SATURATION CURVE S.I. UNITS[50].....	111
ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ-SI UNITS [50].....	113
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ -ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ R-32	114
ΚΑΜΠΥΛΗ ΚΟΡΕΣΜΟΥ- SATURATION CURVE S.I. UNITS [50].....	114
ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ-SI UNITS [50].....	115
Βιβλιογραφία.....	116

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 1.1: Ισορροπία υγρής και αέριας φάσης για διάφορες συστάσεις του μείγματος Chloroform-Methanol και εμφάνιση αζεοτροπικής σύστασης σε συγκεκριμένες συνθήκες περιβάλλοντος. [3]	7
Σχήμα 1.2: Ισορροπία της υγρής και της αέριας φάσης για διάφορες συστάσεις του μείγματος 2-Butanol/2-Propanol και συγκεκριμένη σταθερή πίεση. [4]	8
Σχήμα 1.3: Η σημασία πλήρωσης σε υγρή μορφή για ζεοτροπικά μείγματα εργαζόμενων ρευστών. [5]	9
Σχήμα 1.4: Το διάγραμμα πίεσης ενθαλπίας του ζεοτροπικού ρευστού R-407C. [7]	10
Σχήμα 1.5 : Το μόριο του HFO-1234yf εργαζόμενου μέσου [8]	12
Σχήμα 1.6: Το μόριο του εργαζόμενου μέσου 1,1 διφθοροαιθάνιο-R-152a [9]	13
Σχήμα 1.7: Το μόριο του διφθορομεθάνιου-R-32. [10]	13
Σχήμα 1.8: Παράδειγμα διακρίσιμου ψυκτικού κύκλου CO ₂ – R-744 [11]	14
Σχήμα 1.9: Χρήση του CO ₂ σε πολυβάθμιο σύστημα ψύξης [12]	15
Σχήμα 2.1: Η μεγαλύτερη τρύπα του όζοντος που καταγράφηκε ποτέ , πάνω από τον Νότιο Πόλο (Σεπτέμβριος 2006) [16]	17
Σχήμα 2.2: Σύγκριση του χρόνου ζωής και του δυναμικού καταστροφής της στοιβάδας του όζοντος για διάφορα εργαζόμενα μέσα που ελέγχονται από το Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ [17]	18
Σχήμα 2.3: Η μέση απόκλιση στην θερμοκρασία παγκοσμίως στην δεκαετία 2005-2014 εν συγκρίσει με την παγκόσμια θερμοκρασία στα έτη 1951-1980 [19]	20
Σχήμα 2.4: Πρόβλεψη της μεταβολής των επιπέδων βροχόπτωσης σύμφωνα με μοντέλο της NOAA/GFDL για το τέλος του 21 ^{ου} αιώνα. [20]	21
Σχήμα 2.5: Η αύξηση της στάθμης της θάλασσας από το 1993 έως το 2016 [21]	22
Σχήμα 2.6: Η έκταση των πάγων στον Αρκτικό Ωκεανό από καταγραφή δορυφόρου [22] ...	22
Σχήμα 3.1: Οι κατηγορίες ασφαλείας με βάση τον ASHRAE 34/2013 [32]	32
Σχήμα 3.2: Η μέγιστη επιτρεπόμενη πλήρωση εργαζόμενου μέσου σύμφωνα με τον EN 378 για τα κυριότερα χρησιμοποιούμενα εργαζόμενα μέσα	37
Σχήμα 3.3: Κατηγοριοποίηση εργαζόμενων μέσων με βάση τον ISO 817 [34]	39
Σχήμα 5.1: Η σταδιακή κατάργηση των φθοριούχων αερίων του θερμοκηπίου λόγω του ΕΕ 517/2014 [43]	55
Σχήμα 5.2: Η κατανάλωση εργαζόμενων μέσων κατά το 2010 [46]	56
Σχήμα 5.3: Τυπική ετικέτα σε εξοπλισμό που φέρει HFC εργαζόμενα μέσα με βάση το Α. 12 του Ε.Κ. 517/2014 [42]	63
Σχήμα 6.1: Ο ψυκτικός κύκλος της αντλίας θερμότητας σε διάγραμμα Πίεσης-Ειδικής ενθαλπίας	65
Σχήμα 6.2: Τυπικό ψυκτικό κύκλωμα αντλίας θερμότητας αέρα/αέρα[50]	67
Σχήμα 6.3: Σχηματική απεικόνιση συστήματος VRF [51]	70
Σχήμα 6.4: Τυπική συνδεσμολογία συστήματος αντλίας θερμότητας τύπου VRF [52]	70
Σχήμα 6.5: Σχηματική απεικόνιση συστήματος ανάκτησης θερμότητας [51]	71
Σχήμα 6.6: Τυπική συνδεσμολογία συστήματος αντλίας θερμότητας VRF με δυνατότητα ανάκτησης θερμότητας . [52]	71
Σχήμα 6.7: Σύγκριση της πυκνότητας σε υγρή μορφή του R-32 ως προς το R-410A για διάφορες θερμοκρασίες περιβάλλοντος [βλ. Παράρτημα I & II]	77

Σχήμα 6.8: Σύγκριση της πυκνότητας σε αέρια μορφή του R-32 ως προς το R-410A για διάφορες θερμοκρασίες περιβάλλοντος [βλ. Παράρτημα I & II]	77
Σχήμα 6.9: Σύγκριση της ογκομετρικής θερμοχωρητικότητας για διάφορες θερμοκρασίες εξάτμισης του R-32 ως προς το R-410A. [47]	78
Σχήμα 6.10: P-h διάγραμμα για τα R-32 και R-410A .[βλ. Παράρτημα I & II]	79
Σχήμα 6.11: Σχεδιασμός του εν λόγω ψυκτικού κύκλου σε διάγραμμα P-h για το κάθε εργαζόμενο μέσο.....	80
Σχήμα 6.12: Σύγκριση της αποδιδόμενης ισχύος και του βαθμού απόδοσης σε ψύξη του R-32 ως προς το R-410A με σταθερή $T_c=43\text{ }^\circ\text{C}$	82
Σχήμα 6.13: Σύγκριση της αποδιδόμενης ισχύος και του βαθμού απόδοσης σε θέρμανση του R-32 ως προς το R-410A με σταθερή $T_e=5\text{ }^\circ\text{C}$	83
Σχήμα 6.14: Σύγκριση των βαθμών απόδοσης σε θέρμανση και ψύξη για διάφορες τιμές του $\Delta T=T_c-T_e$, του R-32 ως προς το R-410A	84
Σχήμα 6.15: Σύγκριση των θερμοκρασιών καταθλιψής για διάφορες τιμές του $\Delta T=T_c-T_e$ του R-32 ως προς το R-410A.	85
Σχήμα 6.16: Η θερμοκρασία περιβάλλοντος στην περιοχή της Αθήνας για το έτος [49].....	87
Σχήμα 6.17: Η απόλυτη συχνότητα εμφάνισης της κάθε θερμοκρασίας περιβάλλοντος στην περιοχή της Αθήνας για το έτος.....	88
Σχήμα 6.18: Η σχετική συχνότητα εμφάνισης της κάθε θερμοκρασίας στην οποία απαιτείται ψύξη ή θέρμανση χώρου	88
Σχήμα 6.19: Η απαιτούμενη ισχύς σε ψύξη και θέρμανση ως προς τη θερμοκρασία περιβάλλοντος.....	89
Σχήμα 6.20: Συνολική απαίτηση ισχύος ξενοδοχείου ως συνάρτηση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος.....	91
Σχήμα 6.21: Συνολική ετήσια απαίτηση ενέργειας ξενοδοχείου ως προς τη θερμοκρασία περιβάλλοντος.....	92
Σχήμα 6.22: Σύγκριση συνολικής ετήσιας κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας ξενοδοχείου του R-32 ως προς το R-410A και ποσόστωση ως προς την συνολική.....	94
Σχήμα 6.23: Σύγκριση συνολικού ετήσιου κόστους ηλεκτρικής ενέργειας ξενοδοχείου για το R-32 ως προς το R-410A	95
Σχήμα 6.24: Η απόλυτη συχνότητα εμφάνισης της κάθε θερμοκρασίας περιβάλλοντος στην περιοχή της Αθήνας για το έτος για τις ώρες λειτουργίας του γραφείου.....	97
Σχήμα 6.25: Συνολική απαίτηση ισχύος κτιρίου γραφείων ως συνάρτηση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος.....	98
Σχήμα 6.26: Συνολική ετήσια απαίτηση ενέργειας κτιρίου γραφείων ως προς τη θερμοκρασία περιβάλλοντος.....	98
Σχήμα 6.27: Σύγκριση συνολικής ετήσιας κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας κτιρίου γραφείων του R-32 ως προς το R-410A και ποσόστωση ως προς την συνολική.....	101
Σχήμα 6.28: Σύγκριση συνολικού ετήσιου κόστους ηλεκτρικής ενέργειας κτιρίου γραφείων για το R-32 ως προς το R-410A.....	101
Σχήμα 6.29: Σύγκριση άμεσων και έμμεσων εκπομπών για τα δύο ψυκτικά μέσα για τις δύο μελέτες περιπτώσεων	105
Σχήμα 6.30: Αριθμητική προσομοίωση για τη περίπτωση διαρροής σε σύστημα VRF [58]	108

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1.1: Οι τύποι των ευρύτερα χρησιμοποιούμενων εργαζόμενων μέσων [1]	3
Πίνακας 1.2: Βασική ονοματολογία των εργαζόμενων ρευστών R-[A][B][C].	5
Πίνακας 2.1: Τιμές δυναμικού υπερθέρμανσης του πλανήτη σε ορίζοντα 100 ετών, σύμφωνα με την 5 ^η έκθεση της IPCC [23]	23
Πίνακας 4.1: Οι κατηγορίες ενεργειακής απόδοσης κτιρίου κατά KENAK.	48
Πίνακας 5.1: Μέγιστη ποσότητα διάθεσης στην αγορά [42]	58
Πίνακας 5.2: Ημερομηνία απαγόρευσης χρήσης των εργαζόμενων μέσων ανά εφαρμογή με βάση τον Ε.Κ. 517/2014 [42]	59
Πίνακας 5.3: Σύνοψη απαγορεύσεων του Ε.Κ. 517/2014 για τα διάφορα εργαζόμενα μέσα [43]	60
Πίνακας 5.4: Συχνότητα απαίτησης ελέγχου διαρροών, ανάλογα με την ποσότητα εργαζόμενου μέσου του εξοπλισμού [44]	62
Πίνακας 5.5: Συχνότητα απαίτησης ελέγχου διαρροών ως προς το εργαζόμενο μέσο [44]..	62
Πίνακας 6.1: Σύγκριση βασικών χαρακτηριστικών R-410A με R-32 [47].....	74
Πίνακας 6.2: Σύγκριση βασικών θερμοδυναμικών χαρακτηριστικών σε θερμοκρασία εξάτμισης $T_e=10^\circ\text{C}$ και θερμοκρασία συμπύκνωσης $T_c=44^\circ\text{C}$ για τα εργαζόμενα μέσα R-32 και R-410A [47].....	76
Πίνακας 6.3: Τα σημεία που απαρτίζουν τον θερμοδυναμικό κύκλο για $T_e=5^\circ\text{C}$ $T_c=43^\circ\text{C}$, $SH=5\text{ K}$, $SC=2\text{ K}$	80
Πίνακας 6.4: Αποδιδόμενη ισχύς, καταναλισκόμενη ισχύς και βαθμοί απόδοσης του βασικού θερμοδυναμικού κύκλου R-410A και R-32.....	81
Πίνακας 6.5: Βαθμοί απόδοσης σε θέρμανση, ψύξη και ZNX για την μελέτη περίπτωσης ξενοδοχείου για R-410A και R-32.....	93
Πίνακας 6.6: Βαθμοί απόδοσης σε θέρμανση, ψύξη και ZNX για την μελέτη περίπτωσης κτιρίου γραφείων για R-410A και R-32	100
Πίνακας 6.7: Βασικοί παράμετροι υπολογισμού άμεσων και έμμεσων εκπομπών.....	104
Πίνακας 6.8: Υπολογισμός άμεσων και έμμεσων εκπομπών για τις δύο μελέτες περιπτώσεων, για τα δύο εργαζόμενα μέσα	104

Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια δύο είναι οι βασικοί άξονες πάνω στους οποίους κινείται η παγκόσμια βιομηχανία. Ο ένας είναι η ενεργειακή βελτιστοποίηση των διεργασιών και των συστημάτων που χρησιμοποιούνται, κάτι που απαιτεί εις βάθος μελέτη των ιδιοτήτων και των απαιτήσεων της κάθε εφαρμογής. Αυτό οδηγεί στην ανάγκη αναλυτικών προσομοιώσεων ενός συστήματος πριν εφαρμοστεί, στην απαίτηση χρήσης νέων συστημάτων, τα οποία μέχρι πρότινος δεν έχουν δοκιμασθεί, καθώς και στην επιμελή λήψη μετρήσεων και παραμέτρων ενώ το σύστημα λειτουργεί, ώστε να γίνει αντιληπτή η κατάσταση του συστήματος υπό πληθώρα συνθηκών. Μόνο τότε είναι δυνατή η βελτιστοποίηση ενός νέου συστήματος.

Ο δεύτερος άξονας, είναι οι νέοι κανονισμοί που καθημερινά δημιουργούνται, οι οποίοι επιβάλλονται από την ανάγκη για προστασία του περιβάλλοντος. Καθώς η ανθρωπότητα αποκτά καλύτερη γνώση του περιβάλλοντος, συνεχώς αναδιαρθρώνει τους κανονισμούς που διέπουν την κάθε διεργασία. Φυσικά, δεν θα μπορούσε να μείνει ανεπηρέαστος ο χώρος του κλιματισμού, ο οποίος ευθύνεται σε αρκετά μεγάλο βαθμό για την καταστροφή της στοιβάδας του όζοντος, και για το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Ενώ το πρώτο ζήτημα έχει σχεδόν εξ ολοκλήρου διευθετηθεί παγκοσμίως, το δεύτερο παραμένει ανοικτό και μείζων σχεδόν περισσότερο από ποτέ, και οδηγεί στην ανάγκη λήψης δραστικών μέτρων.

Τέλος, ο τρίτος και εξίσου σημαντικός άξονας είναι η ασφάλεια. Οποιοδήποτε σύστημα εισάγεται στην αγορά, οφείλει να περνά από τους απαραίτητους ελέγχους ώστε να διασφαλίζεται η τήρηση των απαραίτητων προδιαγραφών ασφαλείας, αφενός από κατασκευαστικής απόψεως, αφετέρου από απόψεως της ίδιας της εφαρμογής. Μόνο έτσι διασφαλίζεται ότι κατά την διάρκεια όλου του κύκλου ζωής του συστήματος, πληρούνται όλες οι απαραίτητες προϋποθέσεις ασφαλείας που θα αποτρέψουν τον οποιοδήποτε κίνδυνο.

Για ευνόητους λόγους, και η επιλογή ενός συστήματος κλιματισμού, ειδικά αν πρόκειται για μεγάλης κλίμακας, απαιτεί μελέτη και στους τρεις παραπάνω άξονες. Φυσικά, ένα τόσο πολυδιάστατο πρόβλημα δεν δύναται να αναλυθεί σε μία διπλωματική εργασία, ωστόσο, σκοπός της διπλωματικής αυτής εργασίας είναι να αποτελέσει μία εισαγωγή στους βασικότερους κανονισμούς που διέπουν την επιλογή και χρήση ενός συστήματος κλιματισμού, ιδίως από την σκοπιά του εργαζόμενου ρευστού. Έτσι, θα αναλυθούν οι βασικότεροι περιβαλλοντικοί κανονισμοί, καθώς και οι βασικότεροι κανονισμοί ασφαλείας που διέπουν την ελληνική αλλά και Ευρωπαϊκή αγορά.

Τέλος, θα γίνει και ένα πρότυπο μελέτης για την εξακρίβωση από ενεργειακής σκοπιάς της σκοπιμότητας ή μη, αντικατάστασης ενός εργαζόμενου ρευστού από ένα άλλο. Συγκεκριμένα θα ληφθεί η περίπτωση ενός συστήματος κεντρικού κλιματισμού κτιρίου τύπου VRF, σε δύο από τις βασικότερες εφαρμογές του, ένα κτίριο ξενοδοχείου και ένα κτίριο γραφείων, και τα δύο στην περιοχή της Αττικής. Συγκεκριμένα, θα αναλυθεί, λαμβάνοντας υπόψη και περιβαλλοντικά δεδομένα για την περιοχή της Αττικής, η συνολική κατανάλωση και απόδοσης ισχύος και θα συγκριθεί η χρήση του βασικότερου εργαζόμενου ρευστού που χρησιμοποιείται αυτήν την στιγμή στην αγορά, του R410A,

με το βασικότερο αυτήν την στιγμή υποψήφιο υποκατάστατό του, το R32, ένα εργαζόμενο μέσο το οποίο έχει ήδη χρησιμοποιηθεί σε εκατομμύρια εγκαταστάσεις κλιματισμού στην Ασία, την Ευρώπη και την Βόρεια Αμερική.

Κεφάλαιο 1

1 Εισαγωγή στα εργαζόμενα ρευστά

1.1 Βασική κατηγοριοποίηση εργαζόμενων ρευστών

Τα εργαζόμενα ρευστά λαμβάνουν αρκετές κατηγοριοποιήσεις. Η συνηθέστερη και πιο πολυχρησιμοποιημένη είναι η κατηγοριοποίηση στους Χλωροφθοράνθρακες (CFC) , στους Υδροχλωροφθοράνθρακες (HCFC) και στους Υδροφθοράνθρακες (HFC) . Η βασικότερη ομοιότητα μεταξύ των τριών αυτών κατηγοριών είναι η ύπαρξη φθορίου και άνθρακα στο μόριό τους, και η βασικότερη διαφορά η ύπαρξη ή μη χλωρίου και υδρογόνου. Οι τρεις αυτές κατηγορίες έχουν απασχολήσει αρκετά την βιομηχανία του κλιματισμού, καθώς το μεγαλύτερο κομμάτι των εφαρμογών στηρίζεται σε τέτοιου είδους εργαζόμενα μέσα, ενώ η σταδιακή απόσυρση από την αγορά των CFC λόγω της δυναμικού εξάντλησης της τρύπας του όζοντος έχει οδηγήσει στην αντικατάστασή του από τις άλλες δύο κατηγορίες. Πέρα τούτου, υπάρχουν κι άλλες κατηγορίες , όχι τόσο ευρέως χρησιμοποιούμενες, όπως τα φυσικά εργαζόμενα ρευστά (π.χ. H₂O) και οι υδροφθορολεφίνες (HFOs).

Type	Meaning	Atoms in the Molecule
CFC	Chlorofluorocarbon	Cl, F, C
CFO	Chlorofluoroolefin	
HCFC	Hydrochlorofluorocarbon	H, Cl, F, C
HCFO	Hydrochlorofluoroolefin	
HFC	Hydrofluorocarbon	H, F, C
HFO	Hydrofluoroolefin	
HCC	Hydrochlorocarbon	H, Cl, C
HCO	Hydrochloroolefin	
HC	Hydrocarbon	H, C
HO	Hydroolefin (Alkene)	
PFC	Perfluorocarbon	F, C
PFO	Perfluoroolefin	
PCC	Perchlorocarbon	Cl, C
PCO	Perchloroolefin	
H	Halon/Haloalkane	Br, F, H ,C

Πίνακας 1.1: Οι τύποι των ευρύτερα χρησιμοποιούμενων εργαζόμενων μέσων [1]

Πέρα αυτής της βασικής κατηγοριοποίησης, επίσης πολύ σημαντικό είναι αν ένα εργαζόμενο ρευστό αποτελεί μείγμα συστατικών ή αποτελείται από μία και μόνο ουσία. Και ακόμη πληρέστερα , στην περίπτωση που είναι μείγμα δύο ή περισσότερων ουσιών, αν αποτελεί ζεοτροπικό, ή αζεοτροπικό μείγμα. Το τι ακριβώς σημαίνουν οι δύο αυτοί

όροι θα αναλυθεί σε επόμενο κεφάλαιο. Τα ζεοτροπικά εργαζόμενα μέσα ονομάζονται ως R-400 ενώ τα αζεοτροπικά ως R-500.

Τέλος, μία άλλη βασική κατηγοριοποίηση, είναι ο αριθμός των ατόμων άνθρακα που αποτελούν ένα οργανικό εργαζόμενο μέσο, κάτι το οποίο αποτυπώνεται επίσης στην ονομασία του εργαζόμενου μέσου.

Πρακτικά, το όνομα ενός εργαζόμενου ρευστού φέρει αρκετές πληροφορίες για το ίδιο το ρευστό.

Συγκεκριμένα, τα εργαζόμενα ρευστά χρησιμοποιούν την ονοματολογία R(A)(B)(C) όπου το πρώτο ψηφίο A λαμβάνει τις ακόλουθες τιμές.

Τιμή A

- 0 μεθάνιο – 1 άτομο άνθρακα
- 1 αιθάνιο – 2 άτομα άνθρακα
- 2 προπάνιο- 3 άτομα άνθρακα
- 3 κυκλικά οργανικά άτομα
- 4 ζεοτροπικά μείγματα
- 5 αζεοτροπικά μείγματα
- 6 άλλα οργανικά μέσα
- 7 ανόργανα μέσα

Κατόπιν, ανάλογα με το A, δηλαδή αν το εργαζόμενο μέσο είναι οργανικό, ανόργανο, αζεοτροπικό, ή ζεοτροπικό, τα ψηφία B και C έχουν άλλη σημασία.

Οργανικά A=0, 1, 2, 3 B Αριθμός ατόμων υδρογόνου C αριθμός ατόμων φθορίου
π.χ. το R134 είναι μόριο με 2 άτομα C, 3 άτομα H και 4 άτομα F.

Ανόργανα A=7 και BC=Molecular Weight

π.χ. R744 (CO₂) και R718 (H₂O)

Αζεοτροπικά A=5 και BC= Registration Order

Ζεοτροπικά A=4 και BC=Registration Order.

Άλλες οργανικές ενώσεις A=6 B τύπος χημικής ένωσης (B=0 υδρογονάνθρακες B=1 ενώσεις με οξυγόνο B=2 ενώσεις θείου B=3 ενώσεις αζώτου κ.ο.κ.) C αριθμός καταχώρησης ένωσης

Τέλος, η προσθήκη ενός μικρού γράμματος στο τέλος του κωδικού, όπως a, b, c, υποδεικνύει ότι υπάρχει ασυμμετρία ως προς την χημική δομή του μορίου του εργαζόμενου μέσου, και συγκεκριμένα, το b υποδεικνύει μεγαλύτερη ασυμμετρία από το a κ.ο.κ. Έτσι, π.χ., το R134 είναι συμμετρικό μόριο, ενώ το R134a είναι ασύμμετρο μόριο.

Η προσθήκη ενός κεφαλαίου γράμματος σε μείγματα, είναι η σειρά καταχώρησης του εργαζόμενου μέσου με την συγκεκριμένη σύνθεση, αλλά με διαφορετική σύσταση. π.χ. R410A, καταχωρήθηκε πρώτο από το R410B.

Παρακάτω παρατίθεται ένας βασικός πίνακας ονοματολογίας των εργαζόμενων ρευστών.

Τιμή A	A	B	C
0			
1	Αριθμός ατόμων	Αριθμός ατόμων υδρογόνου -1	Αριθμός ατόμων φθορίου
2	άνθρακα+1		
3	Κυκλική ένωση		
4	Ζεοτροπικό μείγμα	Αριθμός καταχώρησης μείγματος	
5	Αζεοτροπικό μείγμα		
6	Άλλες οργανικές ενώσεις	Κατηγορία χημικής ένωσης (π.χ. υδρογονάνθρακες , ενώσεις οξυγόνου, ενώσεις αζώτου κλπ.)	Αριθμός καταχώρησης μείγματος
7	Ανόργανες ενώσεις	Μοριακό βάρος	

Πίνακας 1.2: Βασική ονοματολογία των εργαζόμενων ρευστών R-[A][B][C].
 Ανάλογα με την τιμή του [A] , αλλάζει η σημασία των 3 γραμμάτων

1.2 Βασικές ιδιότητες των ευρύτερα χρησιμοποιούμενων εργαζόμενων ρευστών

Για να χρησιμοποιείται αποδοτικά ένα ρευστό ως εργαζόμενο μέσο, οφείλει να πληροί ορισμένες προδιαγραφές. Οι βασικότερες από αυτές είναι (βλ. Κεφάλαιο 6.3)

- **χαμηλή πίεση στον συμπυκνωτή**- όσο μεγαλύτερη η πίεση λειτουργίας, τόσο μεγαλύτερες οι απαιτήσεις από τα εργαζόμενα μέρη
- **χαμηλή θερμοκρασία κατάθλιψης**- εξασφαλίζει μεγαλύτερη διάρκεια ζωής του συμπιεστή
- χαμηλό σημείο βρασμού για ατμοσφαιρικές πιέσεις- διευκολύνεται το έργο του εξατμιστή
- **υψηλή λανθάνουσα θερμότητα**- αυξάνει η δυνατότητα απόδοσης ψύξης ή θέρμανσης
- **χαμηλή ειδική θερμότητα** - ελαχιστοποιείται η αύξηση εντροπίας κατά την φάση της κατάθλιψης
- υψηλοί βαθμοί απόδοσης στις συγκεκριμένες συνθήκες σχεδιασμού
- **υψηλή θερμική αγωγιμότητα**- εξασφαλίζει την μετάδοση της θερμότητας
- **χαμηλή συνεκτικότητα** - μειώνονται οι πτώσεις πίεσης στις σωληνώσεις και στους εναλλάκτες θερμότητας

Επίσης, το εργαζόμενο ρευστό οφείλει να είναι

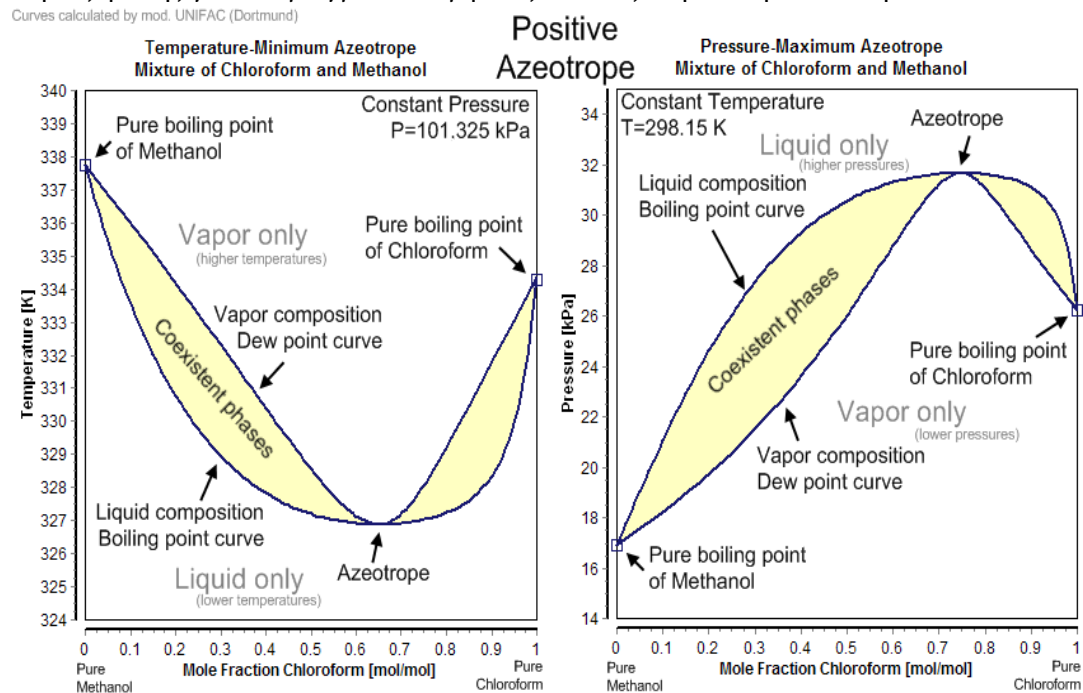
- άοσμο
- μη τοξικό
- μη εκρηκτικό
- μη εύφλεκτο
- χημικά σταθερό
- **φιλικό προς το περιβάλλον**- μέσω των παραμέτρων GWP (δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη) και ODP(δυναμικό καταστροφής της στοιβάδας του όζοντος) (βλ. Κεφ. 2)
- φθηνό και άμεσα διαθέσιμο
- εύκολο στην χρήση τη μεταφορά και την αποθήκευση

Αυστηροί περιβαλλοντικοί κανονισμοί έχουν οδηγήσει στην απόσυρση κάποια ευρύτατα χρησιμοποιούμενα εργαζόμενα ρευστά (τα CFCs και τα HCFCs). Αυτό το γεγονός κάνει τον ήδη δύσκολο συνδυασμό όλων των παραπάνω ιδιοτήτων ακόμα πιο δύσκολο. [2]

1.3 Μείγματα εργαζόμενων ρευστών

Μεγάλη εφαρμογή έχουν τα μείγματα (mixtures) εργαζόμενων ρευστών . Επιτυγχάνουν τις επιθυμητές ιδιότητες ως μείγματα δύο ή περισσότερων εργαζόμενων μέσων ενός συστατικού και όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 1.1, έχουν κωδική ονομασία που ξεκινάει από R-4 ή R-5 ανάλογα αν αποτελούν ζεotropικό ή αζεotropικό μείγμα .

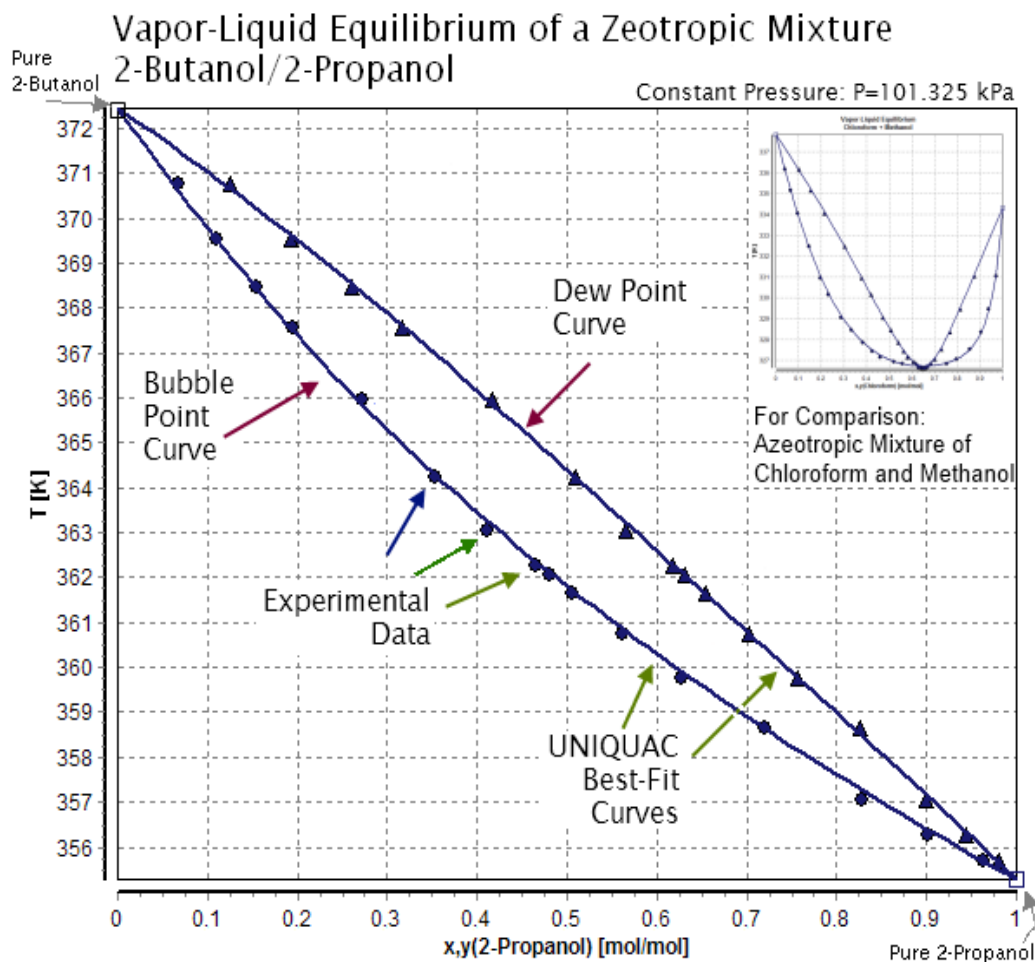
Τα αζεotropικά μείγματα για την συγκεκριμένη αναλογία κατά βάρος και τις συγκεκριμένες συνθήκες, εμφανίζουν ένα και μόνο σημείο βρασμού, προσομοιώνοντας έτσι στην λειτουργία τους και στην διαχείρισή τους ένα εργαζόμενο ρευστό ενός συστατικού. Χαρακτηριστικά , παρατίθεται στο Σχήμα 1.1 , η ισορροπία υγρής και αέριας φάσης για ένα μείγμα που εμφανίζει και αζεotropική σύσταση.



Σχήμα 1.1: Ισορροπία υγρής και αέριας φάσης για διάφορες συστάσεις του μείγματος Chloroform-Methanol και εμφάνιση αζεotropικής σύστασης σε συγκεκριμένες συνθήκες περιβάλλοντος. [3]

Όπως φαίνεται, ανάλογα με τις συνθήκες περιβάλλοντος, υπάρχει συγκεκριμένη σύσταση του μείγματος, όπου το μείγμα εμφανίζει μοναδικό σημείο βρασμού, εμφανίζοντας έτσι αζεotropική συμπεριφορά

Αντίθετα, τα ζεotropικά, τα οποία εμφανίζουν διαφορετικό σημείο βρασμού για κάθε συστατικό στις συγκεκριμένες συνθήκες και αναλογίες. Αυτό οδηγεί στην αλλαγή της σύστασης του εργαζόμενου μέσου καθώς υφίσταται αλλαγή φάσης. Ενδεικτικά στο παρατίθεται στο Σχήμα 1.2 η ισορροπίας υγρής και αέριας φάσης για ένα ζεotropικό μείγμα .



Experimental Data from Dortmund Data Bank

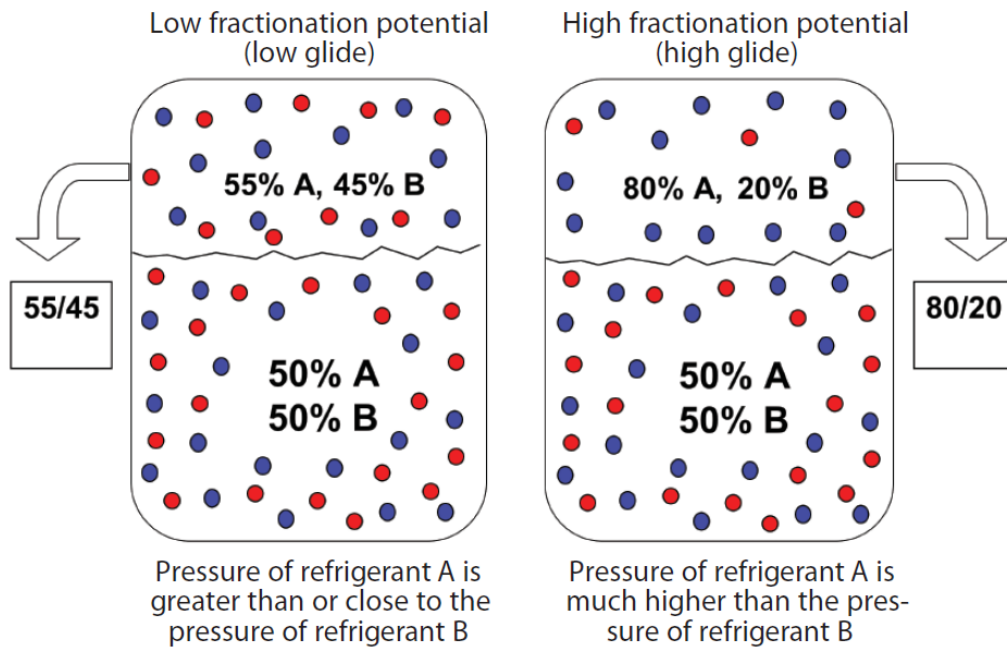
Original Source: Tamir A., Wisniak J., J.Chem.Eng.Data, 20(4), 391-392, 1975

Σχήμα 1.2: Ισορροπία της υγρής και της αέριας φάσης για διάφορες συστάσεις του μείγματος 2-Butanol/2-Propanol και συγκεκριμένη σταθερή πίεση. [4]

Για συγκεκριμένη σύσταση του μείγματος, καθώς το αέριο θα είναι σε διφασική κατάσταση, θα αλλάξει η σύστασή του ως προς τα δύο στοιχεία του.

Η παραπάνω συμπεριφορά του ζεotropικού μείγματος οδηγεί σε αλλαγή της σύστασης του υπολειπόμενου μείγματος (fractionate) σε περίπτωση διαρροής, απαιτώντας συχνά την ανάκτηση και εκ νέου πλήρωση με εργαζόμενο μέσο, ώστε να διασφαλιστεί η επιθυμητή του σύσταση.

Επίσης, απαιτεί την πλήρωσή του σε υγρή μορφή, καθώς προβλέπεται να εξατμιστεί πρώτο το αέριο από το μείγμα που έχει την τάση να εξατμιστεί, αλλάζοντας έτσι την προβλεπόμενη σύσταση του μέσου. Παρατίθεται το Σχήμα 1.3, το οποίο υποδεικνύει την σημασία της πλήρωσης σε υγρή μορφή, καθότι πλήρωση σε αέρια μορφή θα αλλάξει την σύσταση του μείγματος.

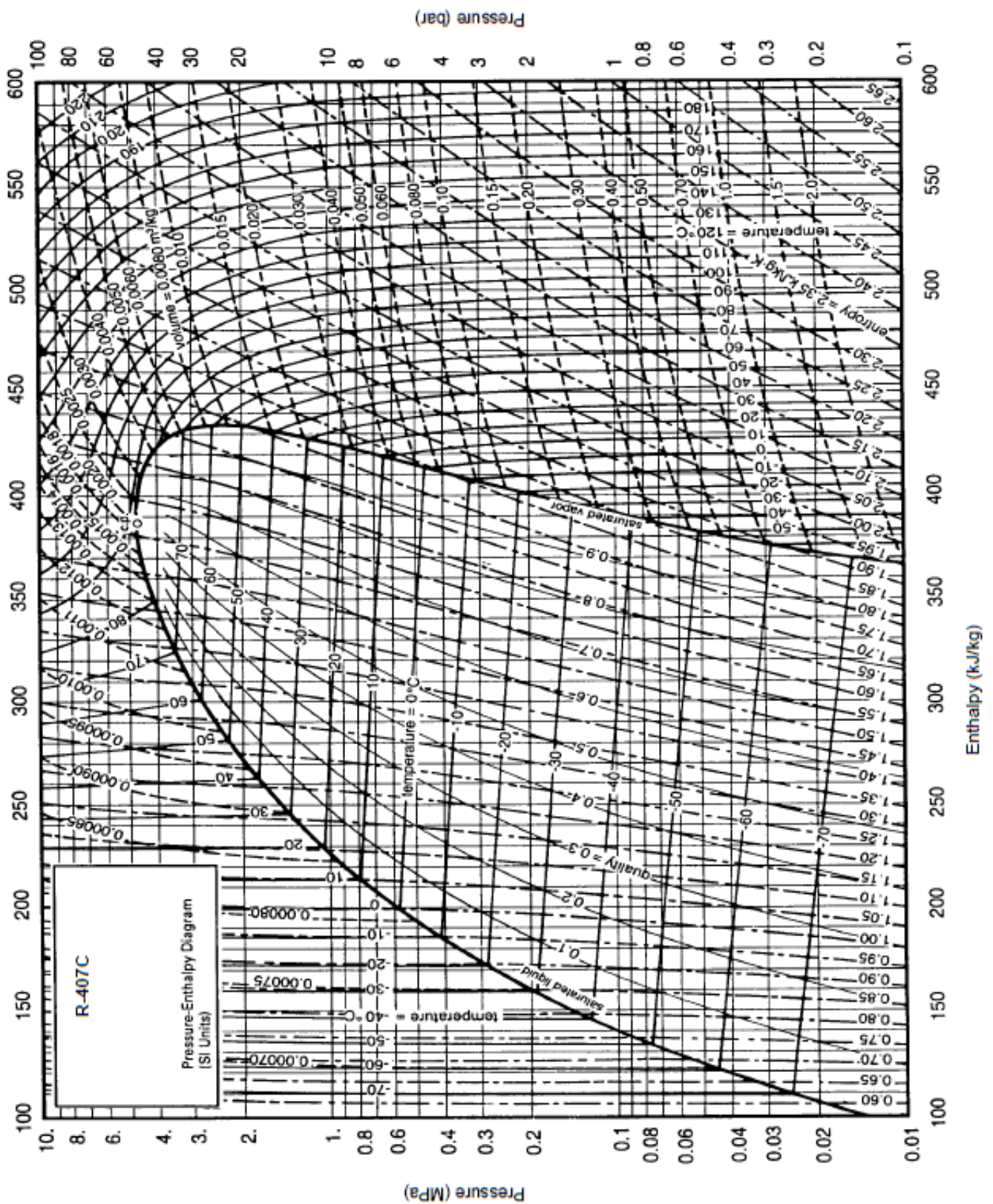


Σχήμα 1.3: Η σημασία πλήρωσης σε υγρή μορφή για ζεοτροπικά μείγματα εργαζόμενων ρευστών. [5]

Ανάλογα με την μερική πίεση των δύο (ή και περισσότερων) συστατικών του μείγματος στην αέρια μορφή τους, η πλήρωση σε αέρια μορφή μπορεί να επιφέρει μεγάλη απόκλιση σε σχέση με το επιθυμητό αποτέλεσμα. Αριστερά, οι μερικές πιέσεις των δύο συστατικών είναι σχεδόν ίδιες, το ρευστό θα χαρακτηριζόταν ως σχεδόν αζεοτροπικό (near-azeotropic). Σε κάθε περίπτωση, απαραίτητη η πλήρωση σε αέρια μορφή

Επίσης, από μελέτη πάνω στο φαινόμενο του fractionation, θεωρείται καλή πρακτική να πληρώνεται το 90% του κυλίνδρου, καθότι η σύσταση του επιπλέον εργαζόμενου μέσου προβλέπεται να αλλάξει. [6]

Ένα άλλο αξιοσημείωτο φαινόμενο που εμφανίζεται στα ζεοτροπικά ρευστά είναι η θερμοκρασιακή διολίσθηση (temperature glide). Πρακτικά, στη διφασική κατάσταση του ρευστού στον ψυκτικό κύκλο, δηλαδή στον εξατμιστή και στον συμπυκνωτή, παρότι η πίεση θεωρείται αμετάβλητη, η θερμοκρασία μεταβάλλεται, δημιουργώντας ένα $\Delta T = |T_{in} - T_{out}|$. Έτσι, για συγκεκριμένη πίεση, δίνονται δύο θερμοκρασίες κορεσμού, μία υγρής κατάστασης και μία αέριας κατάστασης. Ένα παράδειγμα ζεοτροπικού ρευστού με σημαντικό temperature glide ($\Delta T \sim 5 \text{ K}$) δίνεται στο Σχήμα 1.4.



Σχήμα 1.4: Το διάγραμμα πίεσης ενθαλπίας του ζεotropικού ρευστού R-407C. [7]

Στη διφασική κατάσταση, μέσα στην «καμπάνα», είναι εμφανής η κλίση μεταξύ των οριζόντιων (ισοβαρείς καμπύλες) και των ισοθερμοκρασιακών

Όσον αφορά την ιστορία των μειγμάτων, σε μεγάλο βαθμό αναπτύχθηκαν τις τελευταίες δύο δεκαετίες ως υποκατάστατα του R-12 και του R-502 (π.χ. το R-404A για εφαρμογές ψύξης) και κατόπιν, μία δεκαετία πριν, αναπτύχθηκαν περισσότερα μείγματα ως υποκατάστατα του R-22 εμφανίζοντας παρόμοιες με αυτό ιδιότητες, αλλά με ODP=0, όπως το R-422D, το R-407C και το R-417A.

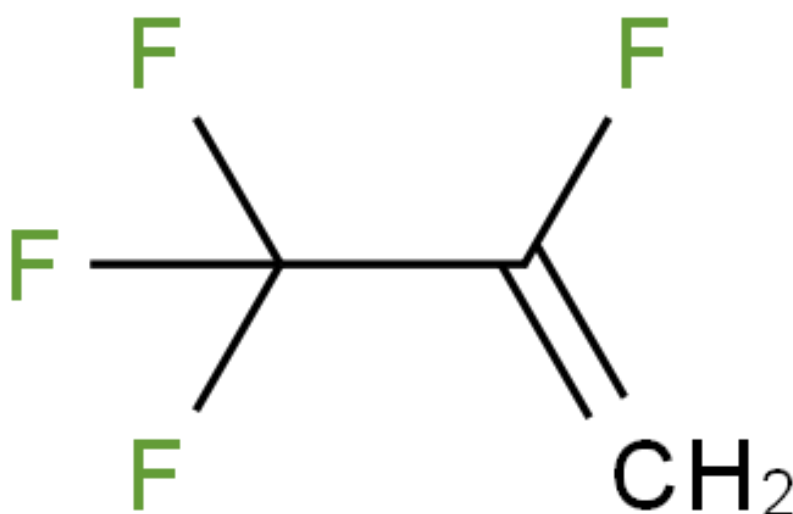
Επίσης μείγμα με ευρύτατη εφαρμογή είναι το R-410A, το οποίο χρησιμοποιείται σε πληθώρα εφαρμογών κλιματισμού, από οικιακά συστήματα, μέχρι συστήματα VRF και ψυκτών. Το συγκεκριμένο, θεωρείται ως σχεδόν αζεοτροπικό ρευστό (near-azeotropic), προσομοιάζοντας στην λειτουργία ένα εργαζόμενο μέσο ενός συστατικού, παρότι απαιτεί πλήρωση σε υγρή μορφή.

Τέλος, ευρέως χρησιμοποιούμενα αζεοτροπικά ρευστά είναι τα R-507 και R-508B, κυρίως για εφαρμογές ψύξης.

1.4 Επισκόπηση των εργαζόμενων ρευστών νέας γενιάς

Την στιγμή που ορισμένα εργαζόμενα ρευστά οδηγούνται ή έχουν ήδη οδηγηθεί στην απόσυρση, ορισμένα άλλα εργαζόμενα ρευστά εδραιώνονται σταδιακά στη θέση τους, χάρη στις ιδιότητές τους.

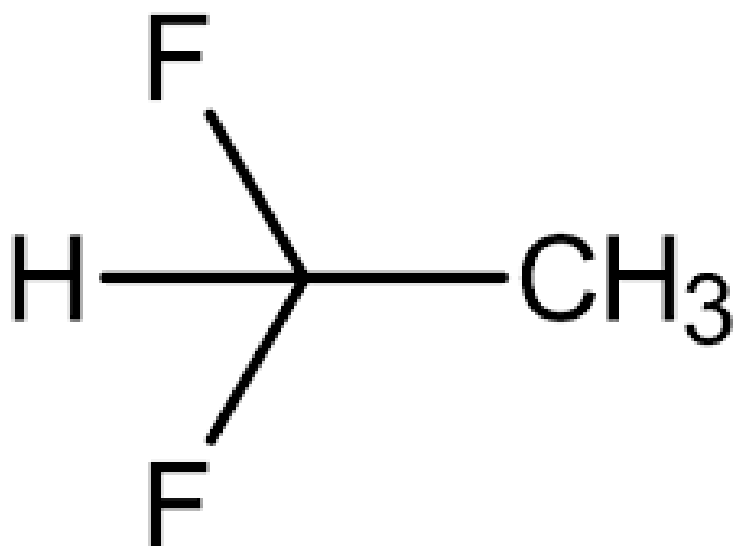
Μία ενδιαφέρουσα κατηγορία εργαζόμενων ρευστών είναι τα HFOs, δηλαδή χημικές ενώσεις που αποτελούνται από υδρογόνο, φθόριο και άνθρακα. Διακρίνονται ωστόσο από τα HFC, καθώς είναι παράγωγα αλκενίων και όχι αλκανίων. Πρακτικά αυτό σημαίνει ότι περιέχουν έναν ακόρεστο δεσμό μεταξύ δύο ατόμων άνθρακα στο μόριό τους. Παρακάτω παρατίθεται το μόριο ενός από τα πιο υποσχόμενα εργαζόμενα μέσα τύπου HFO, το 2,3,3,3-tetrafluoropropene (**HFO-1234yf**).



Σχήμα 1.5 : Το μόριο του HFO-1234yf εργαζόμενου μέσου [8]

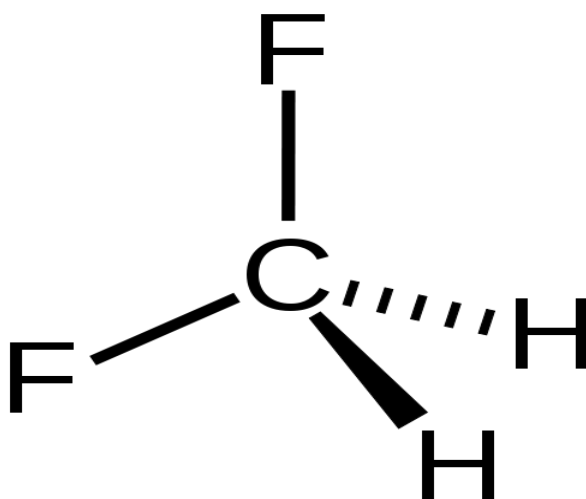
Το συγκεκριμένο εργαζόμενο μέσο έχει δημιουργηθεί ώστε να πληρεί τις προδιαγραφές της Ευρωπαϊκής οδηγίας 2006/40/EC και σχεδιάζεται ως αντικατάστατο χωρίς άλλες μετατροπές (drop-in replacement) του R-134a για εφαρμογές κλιματισμού σε αυτοκίνητα. Εμφανίζει εξαιρετικά χαμηλό δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη (GWP=4) και πολύ μικρή διάρκεια ζωής όταν εκτεθεί στην ατμόσφαιρα. Επίσης εμφανίζει παρόμοια θερμοδυναμικά χαρακτηριστικά με το R-134a. Ένα ζήτημα το οποίο εξετάζεται είναι οι εύφλεκτες ιδιότητές του που αποτελούν εμπόδιο στην πιο άμεση εισαγωγή του στην αγορά. [8]

Το εργαζόμενο ρευστό που αντί του HFO-1234yf, παρότι και το ίδιο έχει εύφλεκτες ιδιότητες, αντικαθιστά το R134a σε εφαρμογές κλιματισμού αυτοκινήτων είναι το 1,1 διφθοροαιθάνιο-1,1 difluoroethane- R-152a, το οποίο εμφανίζει ODP=0 και GWP=140 εν συγκρίσει με το R-134a το οποίο εμφανίζει GWP=1300.



Σχήμα 1.6: Το μόριο του εργαζόμενου μέσου 1,1 διφθοροαιθάνιο-R-152a [9]

Ένα άλλο εργαζόμενο ρευστό που απασχολεί κατά κόρον την βιομηχανία του κλιματισμού είναι το **διφθορομεθάνιο- difluoromethane R-32**. Το συγκεκριμένο εργαζόμενο ρευστό αποτελεί σε ποσοστό 50% την σύσταση του εργαζόμενου μέσου R-410A. Ήδη χρησιμοποιείται σε οικιακές και μικρές επαγγελματικές εφαρμογές. Θεωρείται επίσης ότι μπορεί να αντικαταστήσει υπάρχοντα συστήματα κεντρικού κλιματισμού με R-410A χωρίς μεγάλες διαφοροποιήσεις στο σύστημα και με ενδεχομένως μεγαλύτερη ψυκτική ικανότητα και καλύτερους βαθμούς απόδοσης. Επίσης, αποτελεί εργαζόμενο μέσο ενός συστατικού, γεγονός που του προσδίδει πλεονεκτήματα έναντι του R-410A, το οποίο αποτελεί ζεotropικό μείγμα, καθώς απαιτεί απλούστερους χειρισμούς.



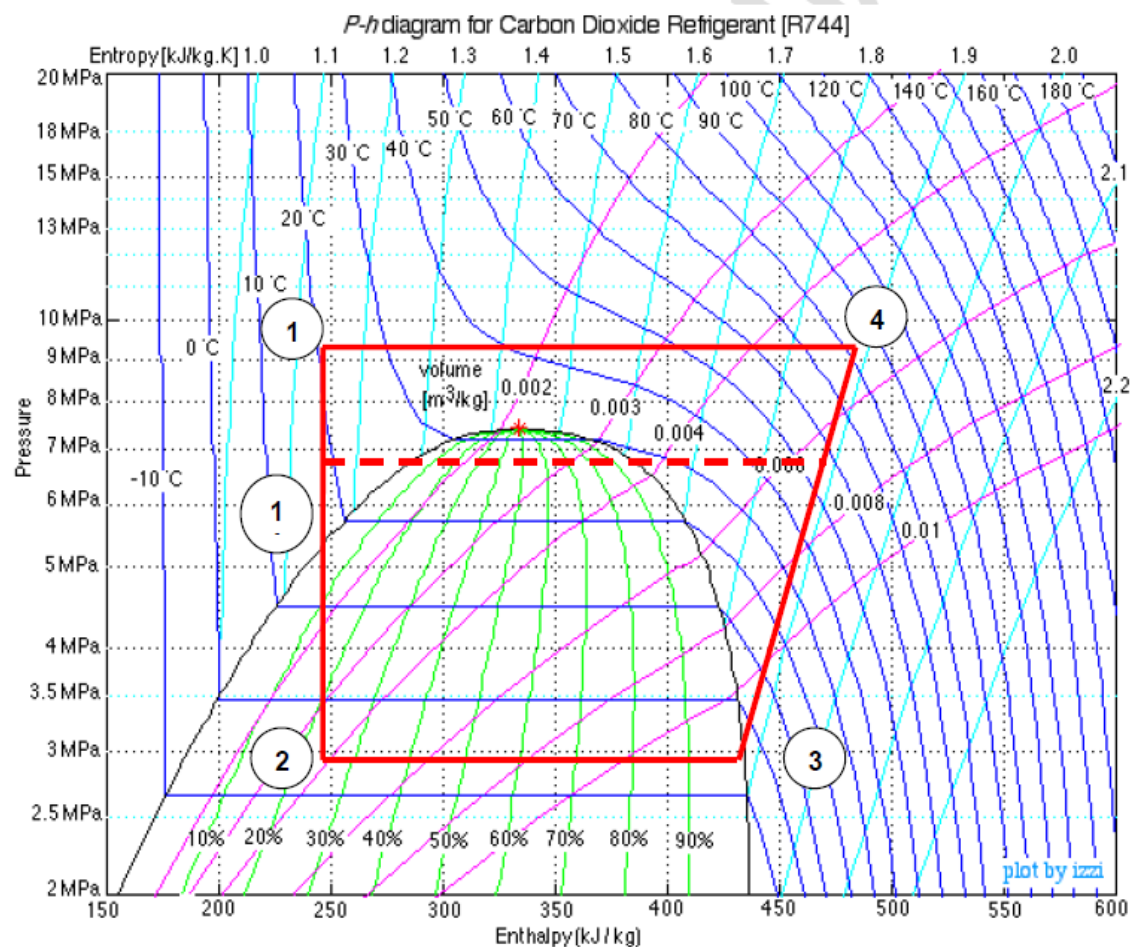
Σχήμα 1.7: Το μόριο του διφθορομεθάνιου-R-32. [10]

Τέλος, πολλά υποσχόμενο εργαζόμενο μέσο για εφαρμογές επαγγελματικής και βιομηχανικής ψύξης, καθώς και για κάποιες εφαρμογές αντλιών θερμότητας, είναι το **διοξείδιο του άνθρακα- carbon dioxide- R-744**.

Έχει υψηλή λανθάνουσα θερμότητα, χαμηλή συνεκτικότητα και καλή μετάδοση θερμότητας και μπορεί να αποδώσει μεγάλη ισχύ με σχετικά μικρά εργαζόμενα μέρη.

Είναι φιλικό προς το περιβάλλον ($GWP=1$, $ODP=0$), μη τοξικό ή εύφλεκτο, ενώ έχει σχετικά χαμηλή τιμή καθώς αποτελεί παραπροϊόν ενός μεγάλου αριθμού βιομηχανιών.

Το βασικότερο μειονέκτημα του για την χρήση του αντλίες θερμότητας είναι η χαμηλή κρίσιμη θερμοκρασία του ($\sim 31^\circ\text{C}$). Για να επιτύχει ικανοποιητικούς βαθμούς απόδοσης σε εφαρμογές ψύξης/θέρμανσης, θα πρέπει η θερμοκρασία συμπύκνωσης να είναι αρκετά χαμηλότερα της θερμοκρασίας αυτής. Σε άλλη περίπτωση ο κύκλος γίνεται διακρίσιμος (transcritical cycle), όπου η απόδοση θέρμανσης γίνεται χωρίς αλλαγή φάσης του εργαζόμενου μέσου (βλ. Σχήμα 1.8).



Σχήμα 1.8: Παράδειγμα διακρίσιμου ψυκτικού κύκλου CO_2 – R-744 [11]

Στον συγκεκριμένο ψυκτικό κύκλο ο συμπυκνωτής αντικαθίσταται από ψύκτη αερίου (gas cooler). Η διακεκομμένη γραμμή μπορεί να αποτελέσει την απόδοση της θερμότητας αν η θερμοκρασία περιβάλλοντος το επιτρέψει ($T_{\text{ambient}} < 25^\circ\text{C}$) και τότε θα πρόκειται για υποκρίσιμο κύκλο (subcritical cycle). Αξιοσημείωτες οι πολύ υψηλές πιέσεις λειτουργίας.

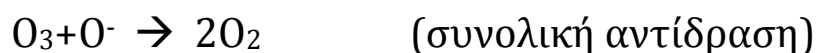
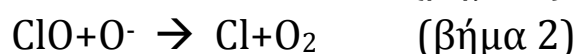
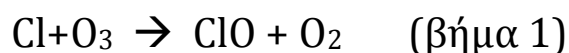
Κεφάλαιο 2

2 Περιβαλλοντικό θεσμικό πλαίσιο για την χρήση οργανικών ρευστών

2.1 Καταστροφή της στοιβάδας του όζοντος

Η στοιβάδα του όζοντος είναι ένα κομμάτι της στρατόσφαιρας της Γης, κατά προσέγγιση στα 20 με 30 χιλιόμετρα από την επιφάνειά της, υπεύθυνη σχεδόν εξ ολοκλήρου (κατά περίπου 98%) για την απορρόφηση της υπεριώδους (Ultraviolet-UV) ακτινοβολίας του Ηλίου. Πρακτικά το Όζον (O₃) υπάρχει οπουδήποτε στην ατμόσφαιρα αλλά η στοιβάδα του όζοντος θεωρείται το κομμάτι της στρατόσφαιρας που περιλαμβάνει αρκετά μεγαλύτερη συγκέντρωση όζοντος (~10 ppm) εν συγκρίσει με τον μέσο όρο της υπόλοιπης ατμόσφαιρας (~0,3 ppm) [13]. Η προστασία της γήινης ατμόσφαιρας από την υπεριώδη ακτινοβολία θεωρείται μείζονος σημασίας, καθώς η τελευταία θεωρείται υπεύθυνη για την πρόκληση σημαντικών δερματικών παθήσεων στους ανθρώπους, παθήσεων των ματιών, καθώς και σε καταστολή του ανοσοποιητικού συστήματος [14].

Ιστορικά το 1973 μια μελέτη του Frank Sherwood Rowland και του Mario Molina για την οποία τους απονεμήθηκε το Nobel of Chemistry 1995, με τίτλο «Stratospheric sink for chlorofluoromethanes: Chlorine atom-catalysed destruction of ozone», έδειξε ότι ένα μόριο CFC είναι αρκετά ευσταθές για να φτάσει στο μέσο της στρατόσφαιρας, όπου και θα διαλυθεί από την υπεριώδη ακτινοβολία του ηλίου εκλύοντας ένα άτομο Cl. Το άτομο Cl έχει την δυνατότητα διάσπασης της στοιβάδας του όζοντος μέσω της αντίδρασης [15].

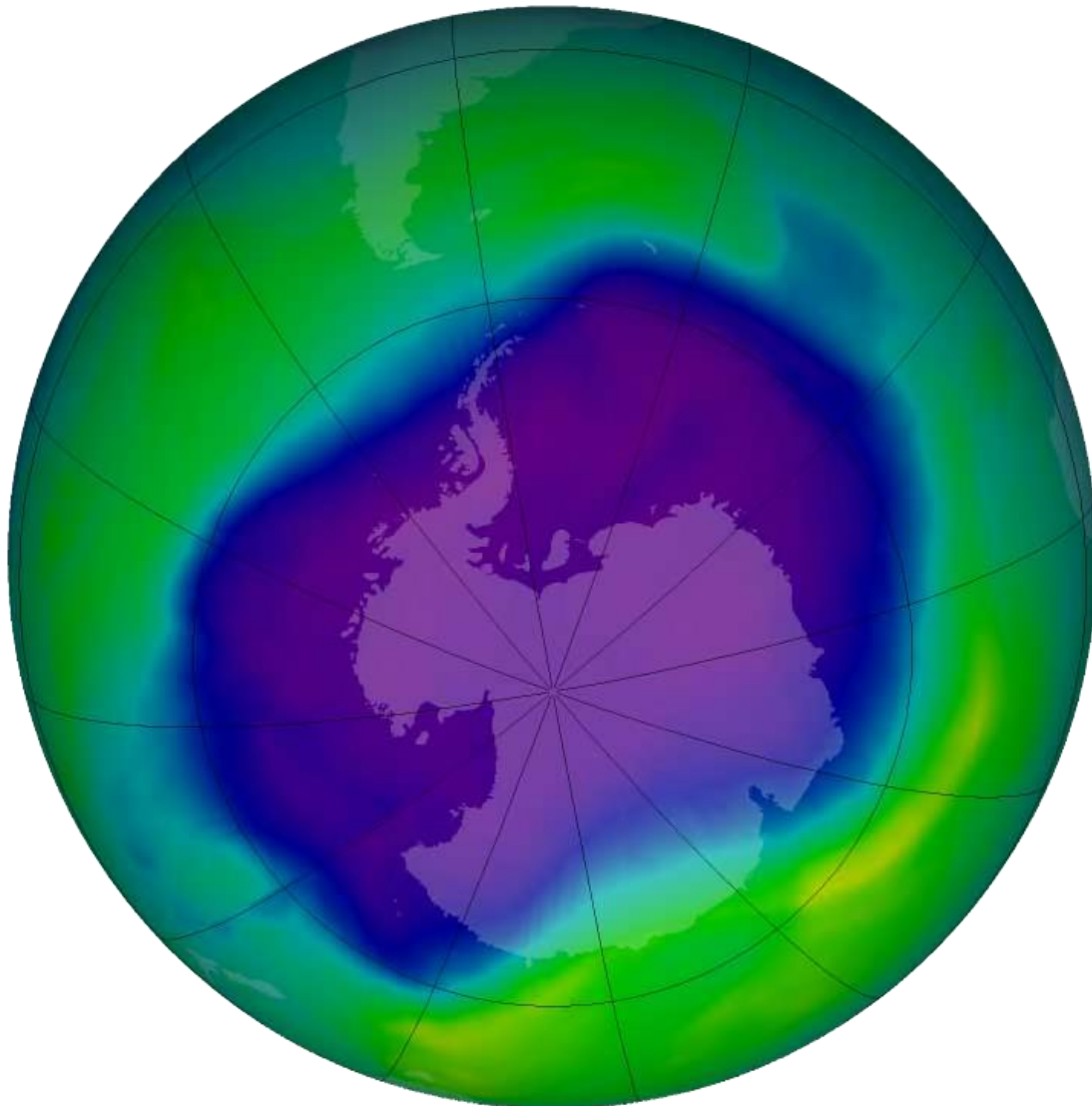


Αυτό που αξίζει να αναφερθεί από την παραπάνω χημική αντίδραση, είναι ότι το ίδιο το χλώριο, δρα ως καταλύτης και δεν δεσμεύεται κατά την διάσπαση του όζοντος. Χαρακτηριστικά αναφέρεται, ότι ένα μόριο χλωρίου, μπορεί να διασπάσει έως και 100.000 μόρια όζοντος πριν αδρανοποιηθεί.

Συγκεκριμένα, ουσίες όπως οι χλωροφθοράνθρακες (CFCs), οι υδροχλωροφθοράνθρακες (HCFCs), οι υδροβρωμοφθοράνθρακες (HBFCs) και το

μεθυλοβρωμίδιο (CH_3Br) χρησιμοποιούνταν κατά κόρο στις βιομηχανικές εφαρμογές ως εργαζόμενα μέσα ή ως προωθητικά από τις αρχές, μέχρι και τα τέλη του προηγούμενου αιώνα, όπου και η χρήση των παραπάνω ουσιών περιορίστηκε σε μεγάλο βαθμό.

Το αποτέλεσμα της ανεξέλεγκτης χρήσης των παραπάνω ουσιών κατά τη διάρκεια των προηγούμενων δεκαετιών οδήγησαν σταδιακά στη δημιουργία του φαινομένου της τρύπας του όζοντος, σε ολόκληρο τον πλανήτη, αλλά με επίκεντρο την Ανταρκτική στον Νότιο Πόλο. Ο λόγος για την δημιουργία της τρύπας του όζοντος ιδίως πάνω από την Ανταρκτική είναι η εξαιρετικά ψυχρή ατμόσφαιρα που παρέχει τις ιδανικές συνθήκες για την ενεργοποίηση του χλωρίου.

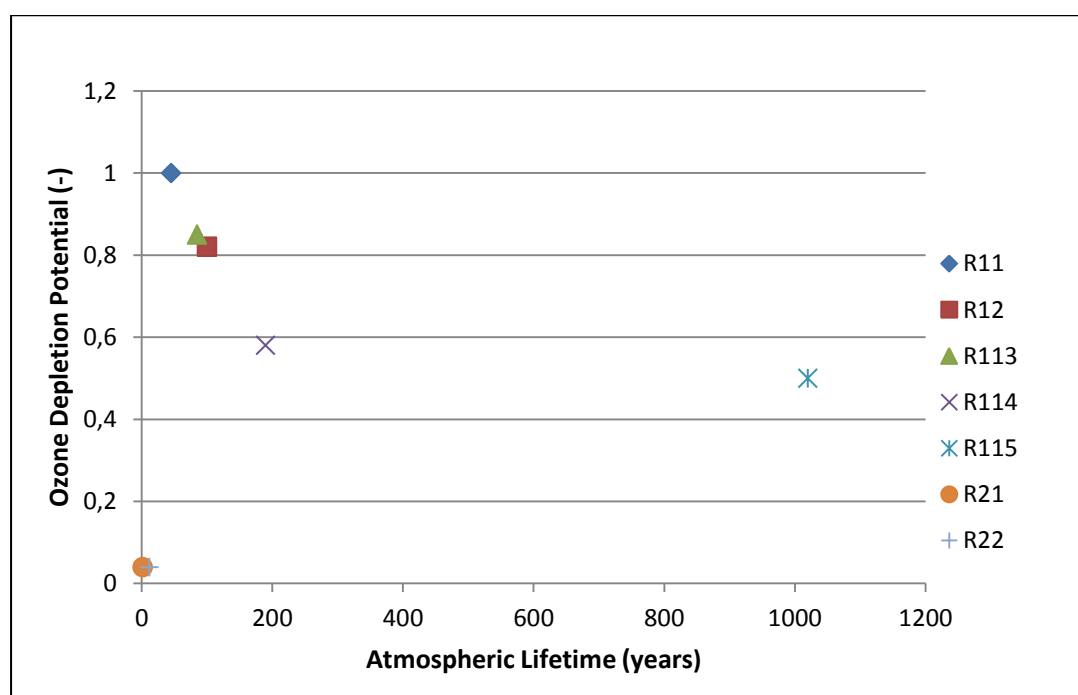


Σχήμα 2.1: Η μεγαλύτερη τρύπα του όζοντος που καταγράφηκε ποτέ , πάνω από τον Νότιο Πόλο (Σεπτέμβριος 2006) [16]

Οι μελέτες που έδειξαν τη δημιουργία της τρύπας του όζοντος σε ετήσια βάση πάνω από την Ανταρκτική κατά την δεκαετία του 1980, θορύβησαν την ανθρωπότητα και οδήγησαν ως πρώτο βήμα στην Vienna Convention for the Protection of the Ozone Layer η οποία υπεγράφη στις 22/03/1985 η οποία έθετε υποχρέωση στις

συμβαλλόμενες χώρες για την θέσπιση στόχων για την μείωση των CFCs χωρίς ωστόσο να έχει δεσμευτικό χαρακτήρα.

Στη συνέχεια, τον Αύγουστο του 1987 υπεγράφη το Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ, το οποίο λαμβάνοντας παγκόσμια αποδοχή, και με την επικύρωση 197 κρατών-μελών, οδήγησε σταδιακά στην απόσυρση ουσιών που καταστρέφουν την στοιβάδα του όζοντος. Προτεραιότητα έλαβαν οι ακόλουθες πέντε ουσίες (R11 , R12 , R113 , R114, R115), των οποίων σταμάτησε παγκοσμίως η παραγωγή και κατανάλωση το 1996. Αξίζει να αναφερθεί ότι το CFC-11 θεωρείται ως επίπεδο αναφοράς με ODP=1 , ενώ μαζί και με το CFC-12 ήταν τα δύο εργαζόμενα ρευστά με την ευρύτερη χρήση μέχρι την κατάργησή τους και την σταδιακή αντικατάστασή τους από τους HCFC .



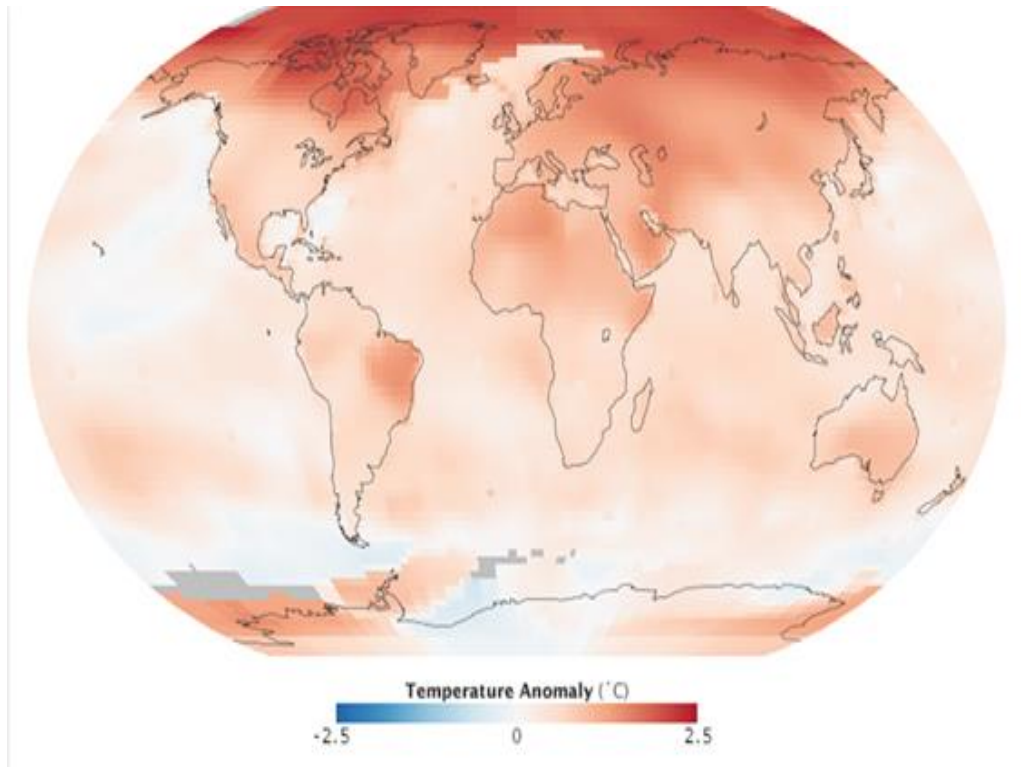
Σχήμα 2.2: Σύγκριση του χρόνου ζωής και του δυναμικού καταστροφής της στοιβάδας του όζοντος για διάφορα εργαζόμενα μέσα που ελέγχονται από το Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ [17]

Το 2007 , στην 20^η επέτειο του Πρωτοκόλλου του Μόντρεαλ, αποφασίστηκε από κοινού η επίσπευση της απόσυρσης και των HCFC , των ευρύτερα χρησιμοποιούμενων ουσιών με δυνατότητα καταστροφής του όζοντος. Έτσι, το έτος 2013 σταμάτησε επίσημα η παραγωγή νέων HCFCs, ενώ για την Ευρωπαϊκή Ένωση, από το 2015 απαγορεύτηκε εισαγωγή και η χρήση των HCFCs, συμπεριλαμβανομένου του HCFC-22 , ενός ευρύτατα χρησιμοποιούμενου εργαζόμενου μέσου .

Παρότι πρακτικά οι ουσίες με την μεγαλύτερη επίδραση στην στοιβάδα του όζοντος έχουν αποσυρθεί, οι ίδιες οι ουσίες πρακτικά δεν έχουν αδρανοποιηθεί, με τις προβλέψεις να λένε ότι η τρύπα του όζοντος θα έχει επανέρθει στα επίπεδα προ 1985 περί το 2050. Ωστόσο, κάτι θετικό είναι ότι η επίδραση των φαινομένων της τρύπας του όζοντος έχει τοπικό χαρακτήρα και σε μικρό βαθμό επηρεάζει κατοικημένες περιοχές του πλανήτη μας. [18]

2.2 Δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη-GWP

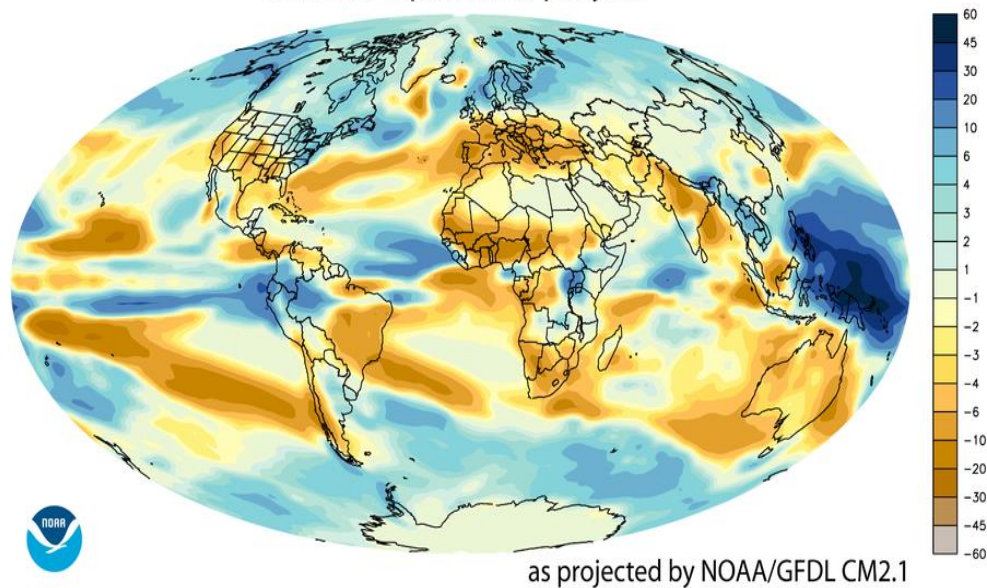
Η υπερθέρμανση του πλανήτη είναι ένα από τα σημαντικότερα περιβαλλοντικά ζητήματα που απασχολούν την ανθρωπότητα τις τελευταίες δεκαετίες. Πρακτικά, η μέση θερμοκρασία του πλανήτη έχει ανέβει κατά 0.8 °C από την αρχή της βιομηχανικής επανάστασης το 1880 [19].



Σχήμα 2.3: Η μέση απόκλιση στην θερμοκρασία παγκοσμίως στην δεκαετία 2005-2014 εν συγκρίσει με την παγκόσμια θερμοκρασία στα έτη 1951-1980 [19]

Το παραπάνω φαινόμενο έχει επιδράσει σημαντικά και στα επίπεδα υγρασίας του πλανήτη, οδηγώντας στην αύξηση της υγρασίας στα υγρά κλίματα και αντίστοιχα στην μείωση της υγρασίας σε πιο ξηρές περιοχές, ενώ τα φαινόμενα αυτά προβλέπεται να ενταθούν τα επόμενα χρόνια καθιστώντας και τις περιοχές με υψηλή υγρασία, καθώς και τις περιοχές με χαμηλή υγρασία, πιο δύσκολα βιώσιμες, καθώς και πιο ευπαθείς σε ακραία καιρικά φαινόμενα. [20]

CHANGE IN PRECIPITATION BY END OF 21st CENTURY
inches of liquid water per year



Σχήμα 2.4: Πρόβλεψη της μεταβολής των επιπέδων βροχόπτωσης σύμφωνα με μοντέλο της NOAA/GFDL για το τέλος του 21^{ου} αιώνα. [20]

Πέρα των παραπάνω , κατόπιν μετρήσεων, το επίπεδο της στάθμης της θάλασσας έχει φτάσει στο υψηλότερο επίπεδο από το έτος 1870, ενώ από το 1993 και έπειτα που λαμβάνονται δεδομένα μέσω δορυφόρων της NASA, η στάθμη της θάλασσας έχει ανέβει κατά 86,2 mm .

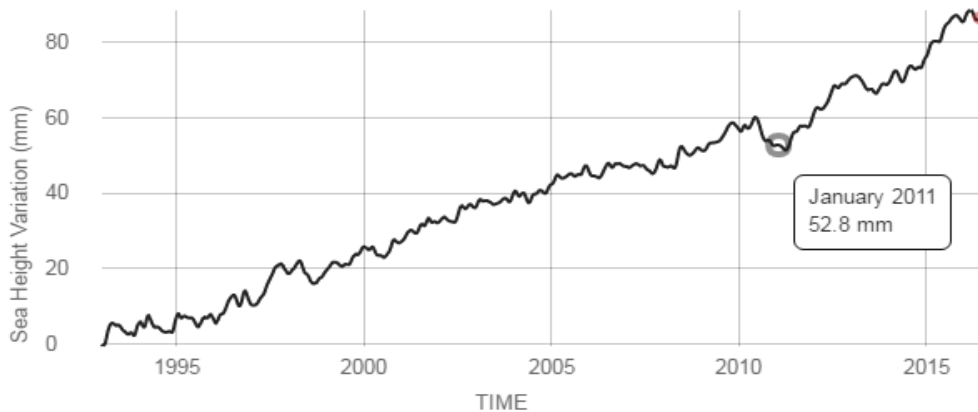
SATELLITE DATA: 1993-PRESENT

Data source: Satellite sea level observations.
Credit: NASA Goddard Space Flight Center

RATE OF CHANGE

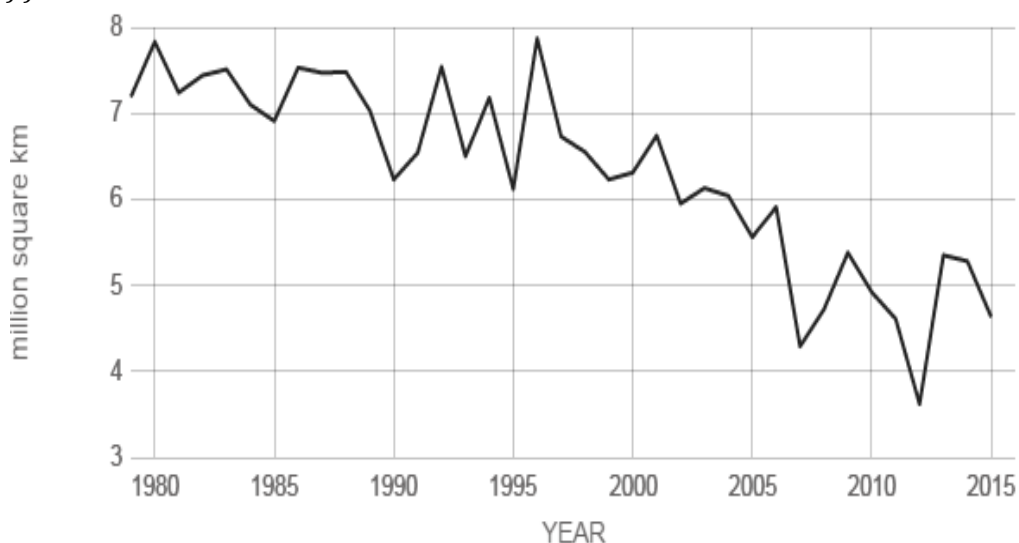
↑ 3.4

millimeters per year
margin: ± 0.4



Σχήμα 2.5: Η αύξηση της στάθμης της θάλασσας από το 1993 έως το 2016 [21]

Μία άλλη σημαντική ένδειξη είναι ότι η παγωμένη έκταση της Γης στον Αρκτικό Ωκεανό έχει φτάσει πετυχαίνει μία μείωση της τάξης του 13.4 % ανά δεκαετία σύμφωνα ξανά με μετρήσεις της NASA, φτάνοντας σε στην μικρότερη καταγεγραμμένη έκτασή τους το 2012 με μετρήσεις δορυφόρου από το έτος 1979 (National Snow & Ice Data Center (NSIDC)).



Source: climate.nasa.gov

Σχήμα 2.6: Η έκταση των πάγων στον Αρκτικό Ωκεανό από καταγραφή δορυφόρου [22]

Όλες οι παραπάνω ενδείξεις έχουν οδηγήσει την ανθρωπότητα στο να πάρει δραστικά μέτρα για την καταπολέμηση της ανθρωπογενούς αύξησης της παγκόσμιας θερμοκρασίας. Βασικότερη ανθρωπογενής επίδραση στο φαινόμενο της

υπερθέρμανσης του πλανήτη, είναι το φαινόμενο του θερμοκηπίου, το οποίο προκαλείται από την έκλυση στην ατμόσφαιρα των αερίων του θερμοκηπίου. Τα σημαντικότερα από αυτά είναι το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), το μεθάνιο (CH₄), το νιτρώδες οξείδιο (N₂O) και οι χλωροφθοράνθρακες (CFC).

Για να εκτιμηθεί η συμβολή των αερίων αυτών στο φαινόμενο του θερμοκηπίου έχει οριστεί ο δείκτης GWP (Global Warming Potential) που καθορίζει το δυναμικό θέρμανσης της γης για μια περίοδο αναφοράς. Οι παράμετροι που καθορίζουν την τιμή του είναι το φάσμα απορρόφησης του αερίου, ο χρόνος παραμονής στην ατμόσφαιρα και το μοριακό βάρος. Η τιμή του GWP δείχνει πόσο ισχυρότερη είναι η επίδραση από την εκπομπή ενός γραμμαρίου κάποιου αερίου σε σύγκριση με ένα γραμμάριο CO₂ για το οποίο ορίζεται GWP=1. Το συνολικό GWP ενός παρασκευάσματος είναι ο σταθμισμένος μέσος όρος ο οποίος προκύπτει από το άθροισμα των κατά βάρος κλασμάτων των επιμέρους ουσιών επί το αντίστοιχό τους GWP.

Δηλαδή:

$$GWP_{tot} = \Sigma (\text{Ουσία A \%} \times GWP) + (\text{Ουσία B \%} \times GWP) + \dots (\text{Ουσία N \%} \times GWP)$$

όπου % είναι η αναλογία κατά βάρος.

Οι τιμές του GWP επαναπροσδιορίζονται με κάθε έκθεση αξιολόγησης από τη Διακυβερνητική Ομάδα για την Κλιματική Αλλαγή (Intergovernmental Panel on Climate Change -IPCC). Ενδεικτικά στον πίνακα που ακολουθεί καταγράφονται οι δείκτες GWP των σημαντικότερων αερίων του θερμοκηπίου για χρονικό διάστημα 100 ετών σύμφωνα με την 5^η έκθεση της IPCC, του 2014.

Gas	GWP (100 years)
Carbon Dioxide	1
Methane	34
Nitrous Oxide	298
CFC-11	5350
CFC-12	10200
HCFC-22	1760
HFC-134a	1550
HFC-32	677
R-410A	1924*
R-407C	1624*

Πίνακας 2.1: Τιμές δυναμικού υπερθέρμανσης του πλανήτη σε ορίζοντα 100 ετών, σύμφωνα με την 5^η έκθεση της IPCC [23]

(* ως μείγματα, δεν ορίζονται στην έκθεση αυτή, είναι τιμές που προκύπτουν από τα συστατικά)

Ο πρώτος παγκόσμιος θεσμός για την καταπολέμηση του φαινομένου του θερμοκηπίου ήταν η IPCC, μια επιτροπή αποτελούμενη από τους οργανισμούς World Meteorological Organization, το United Nations Environmental Program καθώς και στην πορεία, του United Nations General Assembly και δημιουργεί ανά τακτά χρονικά διαστήματα συνέδρια για την εξάλειψη του φαινομένου του θερμοκηπίου.

Το πρώτο διεθνές μέτρο που πάρθηκε για την καταπολέμηση της υπερθέρμανσης του πλανήτη ήταν το United Nations Framework Convention On Climate Change – Σύμβαση Πλαίσιο των Η.Ε. για τις Κλιματικές Μεταβολές στις 4/6/1992. Μπήκε σε ισχύ στις 21/3/1994. Ουσιαστικά δεν έθεσε δεσμευτικά μέτρα για την μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, ωστόσο ήταν ένα πρώτο θεσμικό πλαίσιο το οποίο δέσμευσε τα συμβαλλόμενα μέρη στην θέσπιση εθνικών προγραμμάτων για τον περιορισμό των αερίων του θερμοκηπίου και στην υποβολή τακτικών εκθέσεων που να πιστοποιούν την σταδιακή μείωση των εκπομπών, ιδίως για τις ανεπτυγμένες χώρες. Συνολικά 197 κράτη μέλη την έχουν επικυρώσει, κάνοντας την ισχύ της πρακτικά παγκόσμια.

Στη συνέχεια, ήρθε το πρωτόκολλο του Κιότο (Kyoto Protocol) το οποίο υιοθετήθηκε στις 11/12/1997 στην Ιαπωνία και μπήκε σε ισχύ στις 16/02/2005 με την επικύρωση 192 συμβαλλόμενων κρατών και έχει θέσει δεσμευτικούς στόχους στα περισσότερα ανεπτυγμένα κράτη για την μείωση των αερίων του θερμοκηπίου με περίοδο ισχύς έως το 2020. Πρακτικά, το Kyoto Protocol έθεσε συγκεκριμένους στόχους μείωσης των αερίων του θερμοκηπίου (Greenhouse Gases) στα συμβαλλόμενα μέρη, ενώ στην Ευρωπαϊκή Ένωση οδήγησε στην θέσπιση του European Union Emission Trading Scheme το 2005, ενός θεσμού που επιβάλλει την τακτική αναφορά και τον περιορισμό των ποσοτήτων CO₂ που μπορούν να εκλύουν περισσότερα από 11000 εργοστάσια και σταθμοί παραγωγής στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Οργανισμοί που παράγουν περισσότερο από το επιτρεπτό όριο, οφείλουν να «αγοράσουν» δικαιώματα ρύπων από άλλους οργανισμούς που έχουν περιθώριο πώλησης [24].

Ως μέρος των υποχρεώσεων της Ε.Ε. από το Kyoto Protocol, το 2006 η Ε.Ε. θέσπισε δύο νόμους για τον έλεγχο της χρήσης των αερίων του θερμοκηπίου. Τον F-gas Regulation (EC) No 842/2006 και τον Mobile Air Conditioning Directive Directive 2006/40/EC. Ο MAC Directive απαγορεύει την χρήση αερίων του θερμοκηπίου με GWP μεγαλύτερο από 150 σε νέα αυτοκίνητα και βαν από το 2011 και μετά, ενώ από το 2017 και μετά απαγορεύει πλήρως την χρήση αυτών των αερίων. Ο MAC Directive είναι βασικά ο κανονισμός που οδηγεί στην απόσυρση το εργαζόμενο μέσο R-134a για εφαρμογές αυτοκίνησης. Όσο για τον F-gas regulation, θα αναλυθεί εκτενέστερα σε επόμενο κεφάλαιο.

Στις 22 Απριλίου 2016 υπογράφηκε από 180 χώρες η συμφωνία του Παρισιού (Paris Agreement) η οποία ορίζει στόχους μείωσης των αερίων του θερμοκηπίου για τις συμβαλλόμενες χώρες από την λήξη της ισχύος του Kyoto Protocol το 2020 και μετά. Σκοπός του είναι να κρατήσει την υπερθέρμανση του πλανήτη αρκετά χαμηλότερα από τους 2° C σε σχέση με τα δεδομένα πριν της βιομηχανικής επανάστασης. Η δέσμευση της Ευρωπαϊκής Ένωσης σε αυτήν την συμφωνία είναι να έχει μειώσει κατά τουλάχιστον 40 % της εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου μέχρι το 2030 [25].

Αξίζει να σημειωθεί ότι έχει απαιτηθεί από το COP20 Lima Peru – 2014 U.N. Climate Change Conference από όλα τα συμβαλλόμενα μέρη να έχουν υποβάλει Εθνικά Πλάνα

Κλιματικής Δράσης- Intended Nationally Determined Contributions (INDCs) μέχρι την στιγμή που θα έχουν επικυρώσει την συμφωνία του Παρισίου [26]

2.3 Europe 2020 Climate & Energy Package

Η εν λόγω απόφαση, γνωστή και ως «20-20-20» είναι μέρος του Europe 2020 Action Plan, ενός σχεδίου δράσης που αποφασίστηκε από την Ευρωπαϊκή Ένωση το 2008, και έχει ως γενικότερο σκοπό την βελτίωση των συνθηκών διαβίωσης στις εμπλεκόμενες χώρες, συμπεριλαμβανόμενης και της Ελλάδας.

Ως προς το περιβαλλοντικό κομμάτι, θεσπίστηκαν οι ακόλουθοι τρεις στόχοι για ολόκληρη την Ευρωπαϊκή Ένωση

- Μείωση κατά 20% των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου σε σχέση με το 1990
- Αύξηση του ποσοστού ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που καταναλώνονται σε 20% ως προς το συνολικό, μέχρι το 2020
- Αύξηση της ενεργειακής αποδοτικότητας κατά 20% μέχρι το 2020, σε σχέση με τα τωρινά δεδομένα [27]

Οι παραπάνω στόχοι έχουν οδηγήσει στην θέσπιση κάποιων μέτρων για την επίτευξή τους.

Ένα από αυτά είναι το Eco-Label, ένα εθελοντικό μέτρο, το οποίο επιβραβεύει προϊόντα με εξαιρετικό περιβαλλοντικό αποτύπωμα με την σφραγίδα Eco-Label.

Ένα υποχρεωτικό μέτρο είναι το Ecodesign directive – (οδηγία 2009/125/EK) της 21^{ης} Οκτωβρίου 2009, η οποία στοχεύει στην βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των προϊόντων στην αγορά. Χωρίζει τα προϊόντα σε δύο ειδών κατηγορίες.

- EuPS – Όσα καταναλώνουν, παράγουν, μεταφέρουν ή μετρούν ενέργεια (ηλεκτρισμό, αέριο, ορυκτά καύσιμα κλπ), όπως είναι τα κλιματιστικά, οι λέβητες, οι λαμπτήρες κλπ.
- ErPs: Όσα δεν καταναλώνουν ενέργεια, αλλά σχετίζονται έμμεσα με αυτή και μπορούν να συνεισφέρουν στην εξοικονόμηση (π.χ. κουφώματα, υαλοστάσια, βρύσες)

Όσον αφορά τις αντλίες θερμότητας αέρα-αέρα ισχύος <10 KW, εφαρμόστηκε κατώτατο όριο αποδοτικότητας για μηχανήματα που εισάγονται στην αγορά, ενώ θέσπισε έναν καλύτερο τρόπο απεικόνισης της ενεργειακής απόδοσης ενός μηχανήματος.

Έτσι, μηχανήματα που δεν θα πληρούν τις απαραίτητες προϋποθέσεις ενεργειακής απόδοσης δεν θα χορηγούνται το σήμα CE, και δεν θα είναι δυνατή η εισαγωγή τους στην ΕΕ. Στόχος είναι μέχρι το 2019 να αποδίδεται σε μηχανήματα το CE, μόνο αν είναι ενεργειακής κλάσης D και άνω.

Αξίζει να σημειωθεί ότι η παραπάνω οδηγία οδήγησε στην απαγόρευση εισαγωγής κλιματιστικών οικιακού τύπου non-inverter στην Ευρωπαϊκή αγορά, από 1 Ιανουαρίου 2013.

Μία άλλη πρωτοπορία της παραπάνω οδηγίας είναι η θέσπιση χρήσης του εποχιακού βαθμού απόδοσης σε ψύξης (SEER) και σε θέρμανση (SCOP) έναντι των ονομαστικών βαθμών απόδοσης σε ψύξη (EER) και σε θέρμανση (COP) για αντλίες θερμότητας έως 12 KW. Ο εποχιακός βαθμός απόδοσης επιτυγχάνει έναν πληρέστερο υπολογισμό του βαθμού απόδοσης μίας μονάδας σε όλον τον κύκλο ζωής του, έναντι του ονομαστικού βαθμού απόδοσης που αποτελεί υπολογισμό του μόνο σε πλήρες φορτίο.

Από τον Οκτώβριο του 2014, βρίσκεται σε ισχύ το πλαίσιο «**2030 climate & energy framework**». Το συγκεκριμένο πλαίσιο αναθεωρεί τους στόχους με νέο ορίζοντα το έτος 2030. Συγκεκριμένα θέτει τους ακόλουθους στόχους

- μείωση κατά 40% των συνολικών εκπομπών του θερμοκηπίου εντός της Ε.Ε. μέχρι το 2030, σε σχέση με τα επίπεδα του έτους 1990
- αύξηση του ποσοστού των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο 27% μέχρι το 2030
- συνολική εξοικονόμηση ενέργειας κατά 27% μέχρι το 2030 σε σχέση με τα επίπεδα κατανάλωσης των χωρών της Ε.Ε. το 2015. [60]

2.4 Συνολική Ισοδύναμη Επίδραση στη Θέρμανση του πλανήτη (TEWI)

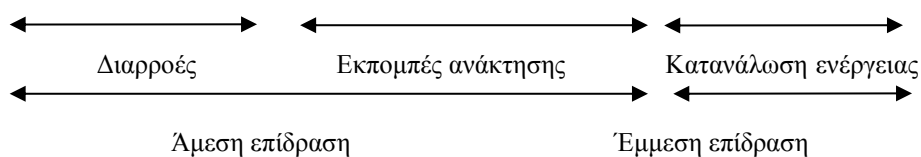
Τα περιβαλλοντικά κριτήρια για την επιλογή του εργαζόμενου μέσου είναι πολλά και σε διαφορετικά επίπεδα. Έκτός από την άμεση επίδραση στη στοιβάδα του όζοντος και στην αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη που μετρούνται με τους αντίστοιχους δείκτες ODP και GWP υπάρχει και η έμμεση συμβολή στο φαινόμενο του θερμοκηπίου που είναι συνάρτηση της ετήσιας απαιτούμενης ενέργειας για τη λειτουργία ενός συστήματος. Έτσι, παρουσιάστηκε η ανάγκη για τη δημιουργία μιας μεθόδου αξιολόγησης της συνολικής συμβολής στο φαινόμενο του θερμοκηπίου καθόλη τη διάρκεια ζωής του συστήματος. Έτσι, έχει οριστεί ο **Total Equivalent Warming Impact (TEWI)**, ο οποίος αναλύεται εκτενώς στον EN 378-1 .

Η Συνολική Ισοδύναμη Επίδραση στη Θέρμανση του πλανήτη (Total Equivalent Warming Impact - TEWI) μετριέται σε $\text{kgCO}_{2\text{eq}}$ έχει δύο κύριες συνιστώσες:

1. Την άμεσα εκλυόμενη ποσότητα εργαζόμενου μέσου κατά τη λειτουργία, συντήρηση και τελική ανάκτηση
2. Τις παραγόμενες εκπομπές από το ενεργειακό μείγμα του που χρησιμοποιείται για την παραγωγή της καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας κατά τη διάρκεια λειτουργίας ενός συστήματος (πχ λειτουργία συμπιεστών, αντλιών, ανεμιστήρων του συμπυκνωτή κλπ). Κατά μέσο όρο στην Ελλάδα για κάθε MWh ηλεκτρικής ενέργειας εκλύονται $0,85 \text{ tCO}_2$.

Αναλυτικότερα, τιμή του δείκτη TEWI δίνεται από την παρακάτω σχέση [33]:

$$\text{TEWI} = (\text{GWP} \times L_{\text{annual}} \times n) + (\text{GWP} \times m \times (1 - \alpha_{\text{recovery}})) + (E_{\text{annual}} \times \beta \times n)$$



Όπου

L_{annual} = ετήσιος ρυθμός διαρροών [kg/y]

n = διάρκεια ζωής του συστήματος [y]

m = πλήρωση εργαζόμενου μέσου [kg]

α_{recovery} = συντελεστής ανακύκλωσης (0 έως 1)

E_{annual} = ετήσια κατανάλωση ενέργειας [kWh/y]

β = συντελεστής έμμεσων εκπομπών [$\text{kgCO}_2 / \text{kWh}$]

2.5 Life Cycle Climate Performance (LCCP)

Για ακόμα μεγαλύτερη ακρίβεια του υπολογισμού μέσω του TEWI, έχει οριστεί το πρότυπο **Life Cycle Climate Performance (LCCP)**, το οποίο λαμβάνει την επίδραση του κάθε εξοπλισμού ψύξης ή κλιματισμού “**from cradle to grave**”, δηλαδή σε ολόκληρο τον κύκλο ζωής ολόκληρου του συστήματος. Ένας τέτοιος υπολογισμός, ανάλογα και με την ακρίβεια που είναι επιθυμητό να έχει, λαμβάνει υπόψη του δεδομένα από την παραγωγή του συστήματος (ή ακόμα και των πρώτων υλών που τα απαρτίζουν), μέχρι την τελική απόσυρση του προϊόντος και την ενδεχόμενη ανακύκλωσή του, πραγματοποιώντας μια Ανάλυση Κύκλου Ζωής. [30]

Συνολικά, ο LCCP λαμβάνει υπόψη του τις ακόλουθες παραμέτρους

$$LCCP = Direct Emissions + Indirect Emissions$$

$$Direct Emissions = C \times (L \times ALR + EOL) \times (GWP + Adp. GWP)$$

δηλαδή οι άμεσες εκπομπές, λόγω έκλυσης εργαζόμενου μέσου καθ όλη τη διάρκεια ζωής του συστήματος και

$$Indirect Emissions = E_1 + E_2 + E_3 + E_4 + E_5$$

όπου $E_1 = L \times AEC \times EM$

$$E_2 = \sum (m \times MM)$$

$$E_3 = \sum (mr \times RM)$$

$$E_4 = C \times (1 + L \times ALR) \times RFM$$

$$E_5 = C \times (1 - EOL) \times RFD$$

με καθένα από τα E_i μία από τις παρακάτω έμμεσες εκπομπές:

E_1 από την λειτουργία του συστήματος σε όλο τον κύκλο ζωής του

E_2 κατά την κατασκευή και μεταφορά του εν λόγω συστήματος

E_3 από την ανακύκλωση του συστήματος κατά την απόσυρσή του

E_4 για την παραγωγή του εργαζόμενου μέσου που απαιτεί το σύστημα σε όλο τον κύκλο ζωής του

E_5 για την απόσυρση και ανακύκλωση του εναπομείναντος εργαζόμενου ρευστού κατά την απόσυρση του συστήματος

Τα E_i προκύπτουν μέσω των παρακάτω παραμέτρων

C = Refrigerant Charge (kg)

L=Average Lifetime of Equipment (yr)

ALR = Annual Leakage Rate (% of Refrigerant Charge)

EOL = End of Life Refrigerant Leakage (% of Refrigerant Charge)

GWP = Global Warming Potential (kg CO_{2e}/kg)

Adp. GWP = GWP of Atmospheric Degradation Product of the Refrigerant (kg CO_{2e} /kg)

AEC = Annual Energy Consumption (kWh)

EM = CO₂ Produced/kWh (kg CO_{2e} /kWh)

m = Mass of Unit (kg)

MM = CO₂ Produced/Material (kg CO_{2e} /kg)

mr = Mass of Recycled Material (kg)

RM = CO₂ Produced/Recycled Material (kg CO_{2e} /kg)

RFM = Refrigerant Manufacturing Emissions (kg CO_{2e} /kg)

RFD = Refrigerant Disposal Emissions (kg CO_{2e} /kg)

Εν συγκρίσει με τον TEWI , οι παράμετροι που έχουν προστεθεί είναι οι ακόλουθοι

EOL -το ποσοστό του εργαζόμενου μέσου που χάνεται από μια εγκατάσταση με f-gas , κατά την απόσυρσή της. Αυτός ο δείκτης, ανάλογα με το είδος του συστήματος , μπορεί να διαφέρει και κυμαίνεται στο 10~15 % της συνολικής πλήρωσης του συστήματος

Adp. GWP - ένας εκτεταμένος δείκτης GWP, που λαμβάνει υπόψη τις συνολική επίδραση στο φαινόμενο του θερμοκηπίου ενός αερίου, λαμβάνοντας υπόψη και τα παραπροϊόντα του αερίου , καθώς αυτό αποσυντίθεται

MM - ένας δείκτης που προσεγγίζει τις συνολικές εκπομπές ισοδύναμου CO₂ για την παραγωγή ενός κιλού από το κάθε υλικό που απαρτίζει το σύστημα, π.χ. MM_{steel}~=1,5 kg CO_{2e}/ kg steel ενώ MM_{aluminium}~=10 kg CO_{2e}/kg aluminium

RM - ένας δείκτης που προσεγγίζει τις συνολικές εκπομπές ισοδύναμου CO₂ για την ανακύκλωση ενός κιλού από το κάθε υλικό που θα ανακυκλωθεί κατά την απόσυρση του συστήματος π.χ. RM_{steel}~=0.07 kg CO₂/kg , ενώ RM_{plastic}~=0.01 kg CO₂/kg

RFM - ένας δείκτης που προσεγγίζει τις συνολικές εκπομπές ισοδύναμου CO₂ για την παραγωγή ενός κιλού εργαζόμενου μέσου

RFD - ένας δείκτης που προσεγγίζει τις συνολικές εκπομπές ισοδύναμου CO₂ για την απόσυρση ενός κιλού εργαζόμενου μέσου

Φυσικά , όλοι οι παραπάνω δείκτες οδηγούν σε έναν ολιστικό και περισσότερο πλήρη υπολογισμό των εκπομπών από ένα σύστημα. Αξίζει όμως να σημειωθεί ότι όλοι οι παραπάνω δείκτες εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τις διεργασίες που πραγματοποιούνται στην συγκεκριμένη χώρα (π.χ. απαιτούμενες μεταφορές, υπάρχουσα τεχνολογία, ενεργειακό μείγμα), και συνεπώς για να είναι ακριβής ο υπολογισμός, δεν πρέπει να γίνονται γενικεύσεις.

Τέλος, και για τα δύο πρότυπα, για τον ορθότερο υπολογισμό της ετήσιας κατανάλωσης ρεύματος, οφείλουν να χρησιμοποιηθούν κλιματικά δεδομένα της συγκεκριμένης περιοχής , και μετέπειτα υπολογισμός των ψυκτικών/θερμικών φορτίων , αν ο υπολογισμός γίνεται στην φάση του σχεδιασμού του συστήματος, ή να έχει γίνει με μέτρηση της καταναλισκόμενης ενέργειας σε ένα έτος λειτουργίας του συστήματος, αν ο υπολογισμός γίνεται στην φάση της λειτουργίας του συστήματος, ώστε να αποφασισθεί μία ενδεχόμενη απόσυρση, ή αντικατάσταση του συστήματος.

Κεφάλαιο 3

3 Διεθνή Πρότυπα και Κανονισμοί Ασφαλείας των εργαζόμενων μέσων

3.1 Το πρότυπα 15 και 34 της ASHRAE

Η ASHRAE (American Society of Heating and Refrigeration Engineers) εκδίδει κάθε 3 χρόνια τα πρότυπα 15 «Safety Standard for Refrigeration Systems» και 34 «Designation and Safety Classification of Refrigerants», με τελευταία έκδοσή τους αυτή του 2013. Τα πρότυπα αυτά θεωρούνται αυτά με την μεγαλύτερη επιρροή στις Η.Π.Α. στην διαμόρφωση των κανονισμών και συχνά θεωρούνται ως βάση αναφοράς για τη διενέργεια μελετών και εγκαταστάσεων κλιματισμού και ψύξης.

Το πρότυπο 15 έχει ως τίτλο "Safety Standard for Refrigeration Systems" και περιγραφή

"This standard specifies safe design, construction, installation, and operation of refrigeration systems."

καθώς και

"This standard establishes safeguards for life, limb, health, and property and prescribes safety requirements." [31]

Το πρότυπο αναγνωρίζεται από κατασκευαστές εξοπλισμού, μηχανικού και εγκαταστάτες, ως τον βασικό τους πρότυπο για θέματα ασφαλείας σε εγκαταστάσεις κεντρικού κλιματισμού ή ψύξης, π.χ. συστημάτων VRF (Variable Refrigerant Flow). Επιδιώκει να εξασφαλίσει στο χειρότερο σενάριο της πλήρης διαρροής ολόκληρου του εργαζόμενου μέσου, σε έναν μικρό και κατειλημμένο χώρο ότι θα διασφαλιστεί η ασφάλεια των ανθρώπων που βρίσκονται εντός του χώρου. Τονίζεται ότι είναι ένα πρότυπο που δεν εφάπτεται στην κατασκευή των μηχανημάτων, αλλά στις εφαρμογές τους, και συνεπώς ενδεχομένως απαιτείται κριτική σκέψη για την επιτυχημένη εφαρμογή του.

Το πρότυπο 34 έχει ως τίτλο «Designation and Safety Classification of Refrigerants» και βασικό σκοπό τον παρακάτω

«This standard is intended to establish a simple means of referring to common refrigerants instead of using the chemical name, formula, or trade name. It establishes a uniform system for assigning reference numbers, safety classifications, and refrigerant concentration limits to refrigerants. The standard also identifies requirements to apply for designations and safety classifications for refrigerants and to determine refrigerant concentration limits.» [32]

Ουσιαστικά ορίζει τις βασικότερες παραμέτρους ασφαλείας ενός εργαζόμενου μέσου, παρέχει τις τιμές των παραμέτρων αυτών για τα ευρύτερα χρησιμοποιούμενα εργαζόμενα μέσα, και τα κατατάσσει στις εξής κατηγορίες.

		Safety Group	
↑ Increasing Flammability	Higher Flammability	A3	B3
	Lower Flammability	A2	B2
		A2L	B2L
	No Flame Propagation	A1	B1
		Lower Toxicity	Higher Toxicity
		← Increasing Toxicity →	

Σχήμα 3.1: Οι κατηγορίες ασφαλείας με βάση τον ASHRAE 34/2013 [32]

Πρακτικά, τα εργαζόμενα μέσα χωρίζονται σε δύο κατηγορίες ανάλογα την τοξικότητα, τα χαμηλής τοξικότητας (A) και τα υψηλής τοξικότητας (B), ενώ ανάλογα με την ευφλεκτότητα χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες, υψηλής (3), χαμηλής (2) και καμίας ευφλεκτότητας (1). Στην κατηγορία 1, κατατάσσονται εργαζόμενα μέσα που δεν εμφανίζουν καμία δυνατότητα ανάφλεξης. Επίσης, από το 34/2007, η χαμηλή ευφλεκτότητα χωρίζεται σε 2 υποκατηγορίες, την 2 (lower flammability) και την 2L (mildly flammable). Στην 2L επιπλέον κατατάσσονται όσα εργαζόμενα μέσα εμφανίζουν ταχύτητα μετάδοσης φλόγας μικρότερη των 10 cm/s.

Η εφαρμογή των προτύπων 15 και 34 γίνεται ως ζεύγος, καθώς το πρότυπο 15 δεν ορίζει την ασφάλεια κανενός εργαζόμενου μέσου. Αντί αυτού, χρησιμοποιεί για τους υπολογισμούς του, τις παραμέτρους που ορίζει το πρότυπο 34, την κατηγοριοποίηση ασφαλείας και το RCL (Refrigerant Concentration Limit) του εκάστοτε εργαζόμενου μέσου.

Η βασική εξίσωση που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της επιτρεπόμενης πλήρωσης ενός συστήματος είναι η παρακάτω

$$TSRC = MAFA * RCL * CH$$

TSRC = Total System Refrigerant Charge (kg)

MAFA = Minimum Allowed Floor Area (m²)

RCL = Refrigerant Concentration Limit (kg/m³)

CH= Ceiling Height (m)

Τέλος, ανάλογα με το «Occupancy», δηλαδή την χρήση του κτιρίου, ένας συντελεστής ασφαλείας διαμορφώνει το RCL της εφαρμογής, π.χ. σε μία κλινική, το RCL μειώνεται στο 50%.

3.2 EN 378 -Συστήματα ψύξης και αντλίες θερμότητας- Ασφάλεια και περιβαλλοντικές απαιτήσεις

Ο EN 378 (Refrigerating systems and heat pumps - Safety and environmental requirements) είναι το βασικότερο πρότυπο όσον αφορά την ασφάλεια στην χρήση συστημάτων ψύξης και κλιματισμού στην Ευρώπη. Είναι σχεδιασμένο από τον CEN (COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION- European Committee for Standardization) έναν Ευρωπαϊκό Οργανισμό, ο οποίος αποτελείται από 17 χώρες συμπεριλαμβανομένης της Ελλάδας.

Χαρακτηριστικό των προτύπων EN είναι ότι κάθε μέλος της επιτροπής CEN είναι υποχρεωμένο να μεταφράσει το πρότυπο EN στην αντίστοιχη γλώσσα, ενώ για την Ελλάδα, υπεύθυνος για την μετάφραση και την διανομή των EN είναι ο ΕΛΟΤ (Ελληνικός Οργανισμός Τυποποίησης), ενώ η εκτέλεσή τους κατά βάση είναι υποχρεωτική.

Το πρότυπο EN 378 χωρίζεται σε 4 μέρη, καθένα από τα οποία εξετάζει την χρήση μίας τέτοιας εγκατάστασης από διαφορετική σκοπιά του κύκλου ζωής της, πρακτικά καλύπτοντας κάθε κομμάτι του κύκλου ζωής μίας εγκατάστασης.

EN 378- 1 Βασικές απαιτήσεις,ορισμοί, ταξινόμηση και κριτήρια επιλογής (Basic requirements,definitions, classification and selection criteria)

EN 378-2 Σχεδιασμός, κατασκευή, δοκιμές, σήμανση και τεκμηρίωση (Design, construction, testing, marking and documentation)

EN 378-3 Τόπος εγκατάστασης και ατομική προστασία (Installation site and personal protection)

EN 378-4 Λειτουργία, συντήρηση, επισκευή και ανάκτηση (Operation, maintenance, repair and recovery)

Αξίζει να σημειωθεί ότι ο EN 378-1 παρέχει περιβαλλοντικά, θερμοδυναμικά καθώς και δεδομένα ασφαλείας για τα βασικότερα εργαζόμενα μέσα, καθώς και για τα μείγματα αυτών, ενώ κατατάσσει και τα εργαζόμενα μέσα σε κατηγορίες ανάλογα με την ευφλεκτότητά τους.

Επίσης, λαμβάνοντας υπόψη την κατηγορία ασφαλείας που εμπίπτουν, τον τύπο της ψυκτικής εγκατάστασης, καθώς και την πληρότητα (occupancy) του χώρου εγκατάστασης δημιουργεί και μια οδηγία για τις μέγιστες ποσότητες εργαζόμενου μέσου σε κάθε χώρο.

Ο ορισμός που χρησιμοποιεί για την ευφλεκτότητα των εργαζόμενων μέσων είναι ο εξής

Κλάση 1 (Καμία Διάδοση Φλόγας)

Ένα εργαζόμενο μέσο ενός συστατικού θα πρέπει να ταξινομείται στην κλάση 1, εάν το μέσο δεν εμφανίζει διάδοση της φλόγας όταν δοκιμαστεί σε αέρα στους 60 ° C και 101,3 kPa.

Ένα μείγμα εργαζόμενων μέσων ταξινομείται στην κλάση 1, εάν στην χειρίστη περίπτωση κλασμάτωσης του μείγματος (WCFF-Worst Case Fractionated Formulation), όπως προσδιορίζεται από μια ανάλυση κλασμάτωσης, δεν εμφανίζει διάδοση της φλόγας όταν δοκιμαστεί στο 60,0 ° C και 101,3 kPa.

Κλάση 2 (Χαμηλής ευφλεκτότητας)

Ένα εργαζόμενο μέσο ενός συστατικού θα πρέπει να ταξινομείται στην κλάση 2, εάν το μέσο πληροί και τις τρεις από τις ακόλουθες προϋποθέσεις:

- εμφανίζει διάδοση της φλόγας όταν δοκιμάζεται στους 60 ° C και 101,3 kPa
- έχει LFL $\geq 3,5$ Vol%
- έχει θερμογόνο ικανότητα $<19\ 000$ kJ / kg.

Ένα μείγμα θα πρέπει να κατατάσσεται στην κλάση 2, εφόσον πληροί και τις τρεις από τις ακόλουθες προϋποθέσεις:

- η WCFF παρουσιάζει διάδοσης της φλόγας όταν δοκιμάζεται στους 60 ° C και 101,3 kPa
- η WCFF έχει LFL $\geq 3,5$ Vol%
- το μείγμα στην ονομαστική σύνθεση έχει θερμογόνο ικανότητα $<19\ 000$ kJ / kg.

Κλάση 3 (Υψηλής ευφλεκτότητας)

Ένα εργαζόμενο μέσο ενός συστατικού θα πρέπει να ταξινομείται στην κλάση 3, αν το μέσο πληροί και τις δύο ακόλουθες προϋποθέσεις:

- εμφανίζει διάδοση της φλόγας όταν δοκιμάζεται στους 60 ° C και 101,3 kPa
- έχει μια LFL $\leq 3,5$ Vol%? ή έχει μια θερμογόνο ικανότητα η οποία είναι $\geq 19\ 000$ kJ / kg.

Ένα μείγμα θα πρέπει να κατατάσσεται στην κλάση 3, εφόσον πληροί και τις δύο ακόλουθες προϋποθέσεις:

- η WCFF παρουσιάζει διάδοσης της φλόγας, όταν δοκιμάζεται στους 60,0 ° C και 101,3 kPa
- η WCFF έχει LFL $\leq 3,5$ Vol% ή ο WCFF έχει θερμογόνο ικανότητα η οποία είναι ≥ 19000 kJ / kg.

Επίσης, πέρα από τον διαχωρισμό των εργαζόμενων μέσων, διαχωρίζει τα συστήματα κλιματισμού και ψύξης στις ακόλουθες δύο κατηγορίες

- *Άμεσα συστήματα (direct systems)*- συστήματα τα οποία σε ενδεχόμενο διαρροής του ψυκτικού κυκλώματος, θα υπάρξει διαρροή του εργαζόμενου μέσου εντός του κατειλημμένου από τους ανθρώπους χώρο (occupied space)- π.χ. συστήματα άμεσης εκτόνωσης (direct expansion)
- *Έμμεσα συστήματα (indirect systems)*- συστήματα τα οποία χρησιμοποιούν κάποιο δεύτερο μέσο μεταφοράς θερμότητας (heat transfer medium) για την απόδοση ψύξης ή θέρμανσης. Η διαρροή του ψυκτικού κυκλώματος στο κύκλωμα του μέσου μεταφοράς θερμότητας, μπορεί να οδηγήσει σε διαρροή του εργαζόμενου μέσου εντός του κατειλημμένου από τους ανθρώπους χώρο- π.χ. συστήματα τύπου

ψύκτες (chillers), όπου η απόδοση ψύξης γίνεται μέσω κυκλώματος νερού.

Επίσης, χωρίζει τους χώρους σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με την δυνατότητα πρόσβασης των ανθρώπων σε αυτόν

- *General occupancy-Class A*- χώροι που άνθρωποι μπορούν να κοιμούνται ή που δεν ελέγχεται ο αριθμός των ανθρώπων που μπορούν να βρίσκονται εντός του χώρου (π.χ. νοσοκομεία, θέατρα, σουπερμάρκετ)
- *Supervised occupancy-Class B*- δωμάτια, ή κομμάτια κτιρίων, όπου υπάρχει περιορισμός στον αριθμό των ανθρώπων που μπορούν να παρευρίσκονται, ενώ κάποιος έχει εκπαιδευτεί με τους βασικούς κανόνες ασφαλείας του χώρου (π.χ. εργαστήρια, χώροι γραφείων)
- *Occupancy with authorised access only-Class C*- χώροι στους οποίους δεν επιτρέπεται η ελεύθερη πρόσβαση, και απαιτείται η εκπαίδευση πάνω στους βασικούς κανόνες ασφαλείας του χώρου (π.χ. διυλιστήρια, βιομηχανικοί χώροι, χώροι ενός σουπερμάρκετ χωρίς ελεύθερη πρόσβαση)

Κατόπιν, χρησιμοποιώντας τους παραπάνω διαχωρισμούς, ορίζει ένα ανώτατο όριο πλήρωσης εργαζόμενου μέσου που επιτρέπεται για το εν λόγω ψυκτικό κύκλωμα.

Αναλυτικά αυτός ο πίνακας υπάρχει στον EN 378-1- Annex C.

Ενδεικτικά, για συστήματα με εργαζόμενα μέσα κατηγορίας A2 και A3, χρησιμοποιείται η ακόλουθη εξίσωση

$$m_{max} = 2,5 \times LFL^{5/4} \times h_o \times A^{1/2}$$

- m_{max} - η επιτρεπόμενη μέγιστη πλήρωση του συστήματος (kg)
- LFL - Lower Flammability Level (kg/m³) του εργαζόμενου μέσου
- h_o - το ύψος εγκατάστασης της μονάδας
- A - η έκταση του εν λόγω χώρου (m²)

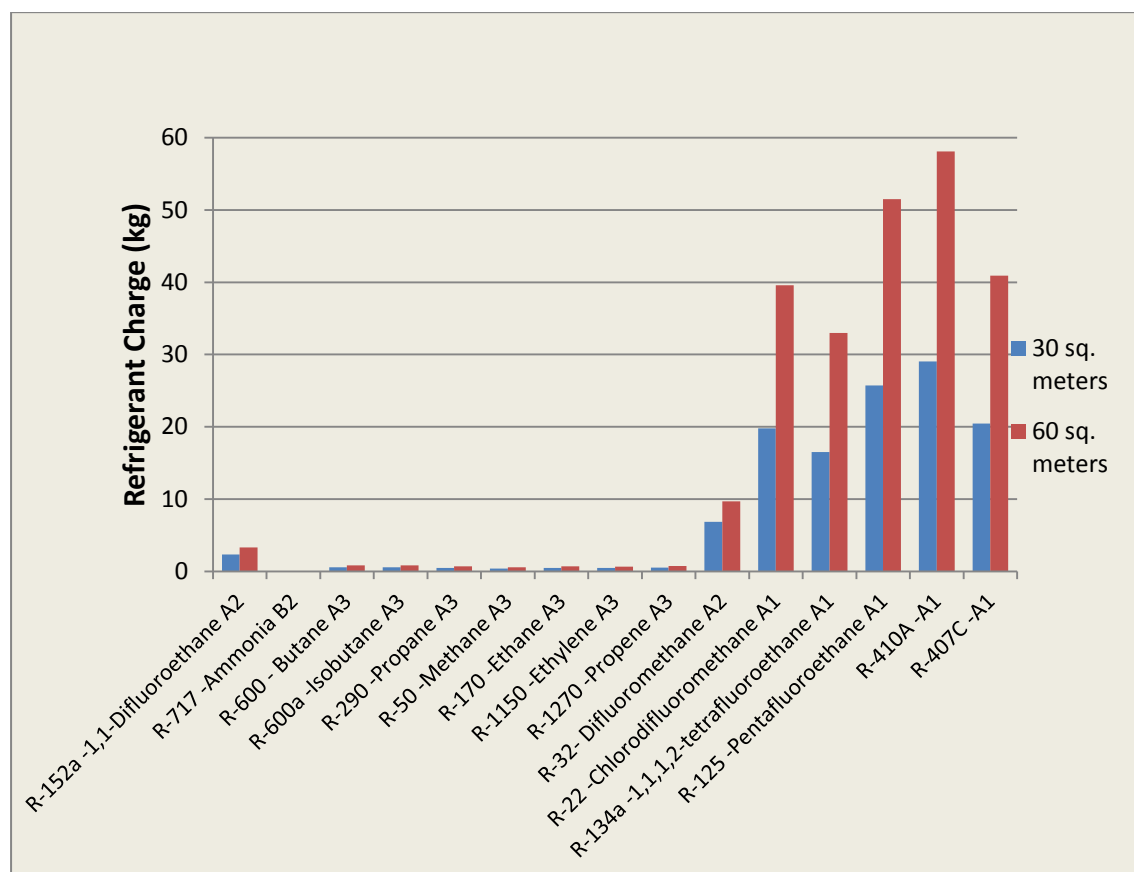
ενώ για συστήματα με εργαζόμενο μέσο των υπόλοιπων κατηγοριών, χρησιμοποιείται κατά βάση η ακόλουθη εξίσωση

$$m_{max} = \text{practical limit} \times \text{room vol.}$$

- practical limit (kg/m³) - η μέγιστη συγκέντρωση του εν λόγω εργαζόμενου μέσου σε έναν χώρο, που δεν θα προκαλέσει προβλήματα υγείας στους παρευρισκόμενους
- room vol. (m³) - ο όγκος του εν λόγω χώρου [33]

Παρακάτω παρατίθεται ένα διάγραμμα με τις μέγιστες κατά τον EN378 ποσότητες πλήρωσης εργαζόμενου μέσο σε συστήματα άμεσου τύπου, σε χώρο Class A – Unsupervised Occurance και με την προϋπόθεση ότι είναι συστήματα κλιματισμού και ο συμπιεστής του συστήματος και το δοχείο βρίσκονται στον ανοικτό αέρα.

Θεωρήθηκε ότι οι εσωτερικές μονάδες είναι τύπου ψευδοροφής και το ταβάνι έχει ύψος 2,2 m, ενώ η τοξικότητα των εργαζόμενων μέσων θέτουν λιγότερο αυστηρές προδιαγραφές.



Σχήμα 3.2: Η μέγιστη επιτρεπόμενη πλήρωση εργαζόμενου μέσου σύμφωνα με τον EN 378 για τα κυριότερα χρησιμοποιούμενα εργαζόμενα μέσα.

Θεωρήθηκε σύστημα που χρησιμοποιείται για κλιματισμό χώρου, άμεσου τύπου και για χώρο τύπου A, δηλαδή Unsupervised Occurance. Σημειώνεται η τιμή για χώρο εμβαδού 30 και 60 τ.μ. Στην ονομασία του εργαζόμενου μέσου σημειώνεται η κωδική του ονομασία, η χημική του ονομασία και η κατηγορία ευφλεκτότητας/τοξικότητας που κατατάσσεται σύμφωνα με τον EN 378.

Από το 2016 βρίσκεται σε ισχύ ο νέος EN 378, ο οποίος μεταξύ άλλων, διαχωρίζει τα ανώτατα επιτρεπόμενα όρια πλήρωσης ενός συστήματος, ανάλογα με το αν το εργαζόμενο μέσο είναι κατηγορίας ευφλεκτότητας 2 ή 2L. Συγκεκριμένα, τα 2L έχουν τη δυνατότητα να έχουν κατά 50% μεγαλύτερη πλήρωση σε σχέση με τα κατηγορίας 2, χάρη στην μικρότερη ταχύτητα μετάδοσης φλόγας που εμφανίζουν. Επίσης, συγκεκριμένα για τις κατηγορίες A1 και A2L, και σύμφωνα με τις προϋποθέσεις που ορίζονται στο εδάφιο C.3 “Alternative for risk management of refrigerating systems in occupied spaces”, υπάρχει η δυνατότητα

επιπλέον πλήρωσης, με την προϋπόθεσή ότι χρησιμοποιούνται 1 ή και περισσότερα μέσα ασφαλείας, σύμφωνα με τον EN 378-3, παρ. 6,8 και 9. [61]

3.3 ISO 817- Εργαζόμενα μέσα-Ονομασία και κατηγοριοποίηση ασφαλείας

Ο ISO 817 (2014)-Refrigerant-Designation and Safety Classification είναι ένα διεθνές πρότυπο από τον ISO (International Organization of Standardization). Αφορά τα εργαζόμενα μέσα, την ονοματολογία τους και βασικές παραμέτρους ασφαλείας. Συγκεκριμένα, ορίζει παραμέτρους για την συγκέντρωση των εργαζόμενων μέσων, πάνω από τις οποίες τίθενται κίνδυνοι υγείας για τους ανθρώπους, ενώ και κατατάσσει τα εργαζόμενα μέσα σε κατηγορίες, ανάλογα με την ευφλεκτότητα και την τοξικότητά τους. Συγκεκριμένα, εφαρμόζει την ακόλουθη κατηγοριοποίηση.

	Safety group	
Higher Flammability	A3	B3
Flammable	A2	B2
Lower flammability	A2L	B2L
No flame Propagation	A1	B1
	Lower Toxicity	Higher Toxicity

Σχήμα 3.3: Κατηγοριοποίηση εργαζόμενων μέσων με βάση τον ISO 817 [34]

Για την κατηγοριοποίηση αυτή, ως προς την τοξικότητα, ορίζεται όπως παρακάτω:
-Class A (lower chronic toxicity) signifies refrigerants that have an occupational exposure limit of 400 ppm or greater
-Class B (higher chronic toxicity) signifies refrigerants that have an occupational exposure limit of less than 400 ppm

Ως προς την ευφλεκτότητα, οι ορισμοί που χρησιμοποιούνται είναι ακριβώς οι ίδιοι με αυτούς του EN 378 (βλ. Κεφάλαιο 3.2) , με την προσθήκη επίσης της κατηγορίας A2L , ως τα εργαζόμενα μέσα ευφλεκτότητας A2, τα οποία επιπροσθέτως εμφανίζουν ταχύτητα μετάδοσης φλόγας μικρότερη των 10 cm/s.

Αξίζει να αναφερθεί ότι ο ISO 817 κάνει εκτενή αναφορά σε δύο αμερικάνικα πρότυπα , το ANSI/ASHRAE 34 , Designation and Classification of Refrigerants, καθώς και το ASTM E681 , Standard Test Method for Concentration Limits of Flammability of Chemicals (Vapours and Gases)

Επίσης, ο ISO 817 παρέχει μία εκτενή λίστα με δεδομένα για τα βασικότερα εργαζόμενα μέσα με δεδομένα για τη σύστασή τους, βασικά θερμοδυναμικά χαρακτηριστικά ,καθώς και την κατηγοριοποίηση ασφαλείας τους.

Τέλος, ορίζει ενδελεχώς χημικές διεργασίες, και τρόπους καθορισμού παραμέτρων των εργαζόμενων μέσων [34]

3.4 Καταχώρηση, αξιολόγηση, αδειοδότηση και περιορισμοί των χημικών προϊόντων (REACH)

Ο κανονισμός (ΕΚ) αριθ. 1907/2006 (Regulation (EC) No 1907/2006) του ευρωπαϊκού κοινοβουλίου και του συμβουλίου της 18ης Δεκεμβρίου 2006 αφορά στην καταχώριση, την αξιολόγηση, την αδειοδότηση και τους περιορισμούς των χημικών προϊόντων (Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals-REACH), δηλαδή πρακτικά αφορά σε μεγάλο βαθμό κάθε διεργασία που αφορά τις χημικές ουσίες, και μαζί και τα εργαζόμενα μέσα, αλλά σε μεγάλο βαθμό ορίζει την παραγωγή, την μεταφορά και την σήμανσή τους, καθώς και την κατηγοριοποίησή τους σε κατηγορίες ασφαλείας. Επίσης, ο συγκεκριμένος κανονισμός ορίζει την ίδρυση του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Χημικών Προϊόντων (European Chemicals Agency- ECHA), ενός φορέα υπεύθυνου αφενός για την εφαρμογή του παραπάνω κανονισμού, καθώς και για την ευρύτερη εφαρμογή των κανονισμών χημικών προϊόντων στην Ευρώπη .

Ο REACH τέθηκε σε ισχύ το 2007 και θα η εφαρμογή του θα υλοποιηθεί σταδιακά μέχρι το 2018. Ο REACH βελτιώνει και εκσυγχρονίζει τις διατάξεις της χημικής νομοθεσίας της ΕΕ και τις ενσωματώνει σε μία οδηγία με σκοπό τη δημιουργία ενός ενιαίου ρυθμιστικού πλαισίου για όλες τις χημικές ουσίες, και κατ' επέκταση των F-Gases και των μειγμάτων αυτών. Σύμφωνα με τον κανονισμό αυτό οι κατασκευαστές και οι εισαγωγείς των ουσιών πρέπει να καταχωρούν τις ουσίες με ποσότητες μεγαλύτερες του ενός τόνου που διαχειρίζονται σύμφωνα με ένα χρονοδιάγραμμα (άρθρο 6) και να παρέχουν πληροφορίες για την ασφάλεια των ουσιών ώστε να μπορεί να διαχειριστεί καλύτερα το ρίσκο από τη χρήση τους (άρθρα 10-14) [35] .

Ο συγκεκριμένος κανονισμός τροποποιήθηκε και συμπληρώθηκε από τον Κανονισμό (ΕΚ) αριθμ. 1272/2008, με τίτλο «ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ (ΕΚ) αριθ. 1272/2008 ΤΟΥ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟΥ ΚΟΙΝΟΒΟΥΛΙΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟΥ της 16ης Δεκεμβρίου 2008 για την ταξινόμηση, την επισήμανση και τη συσκευασία των ουσιών και των μειγμάτων, την τροποποίηση και την κατάργηση των οδηγιών 67/548/ΕΟΚ και 1999/45/ΕΚ και την τροποποίηση του κανονισμού (ΕΚ) αριθ. 1907/2006» .

Ο συγκεκριμένος κανονισμός, με κωδική ονομασία **CLP Regulation** (for Classification, Labelling and Packaging) ο οποίος εναρμονίζει το Ευρωπαϊκό Σύστημα ταξινόμησης επισήμανσης και συσκευασίας χημικών ουσιών με το Παγκόσμια Εναρμονισμένο Σύστημα Ταξινόμησης και Επισήμανσης των Χημικών Ουσιών (Globally Harmonised System of Classification and Labelling of Chemicals), η απλώς «GHS» .

Ο κανονισμός αυτός επιβάλλει στους εισαγωγείς χημικών προϊόντων τον τρόπο για ορθή ταξινόμηση, επισήμανση και συσκευασία των μειγμάτων τους πριν προχωρήσουν στην εισαγωγή τους στην Ευρωπαϊκή αγορά, προστατεύοντας με αυτόν τον τρόπο τους χειριστές των χημικών αυτών προϊόντων, τους τελικούς καταναλωτές, καθώς και το περιβάλλον από πιθανούς κινδύνους. Επίσης, το μέρος 3^ο του, αποτελεί μητρώο ταξινόμησης χιλιάδων ουσιών. Βρίσκεται σε ισχύ από τον Ιανουάριο του 2009 [36] .

Κεφάλαιο 4

4 Βασικοί Ελληνικοί Κανονισμοί του Κτιριακού τομέα

4.1 Γενικά

Όσοι κανονισμοί έχουν αναφερθεί μέχρι στιγμής και αφορούν τον κλιματισμό, είναι εξ' ολοκλήρου ευρωπαϊκού ή παγκόσμιου χαρακτήρα. Σε μεγάλο βαθμό, οι κανονισμοί που διέπουν τον κλιματισμό στην Ελλάδα είναι απευθείας εφαρμογή κανονισμών της Ευρωπαϊκής Κοινότητας, διαφυλάσσοντας έτσι μία κοινή πολιτική και ένα ευρύτερο όραμα.

Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναφερθούν οι βασικότεροι ελληνικοί κανονισμοί του κτιριακού τομέα, οι οποίοι διέπουν μεγάλο φάσμα της οικοδομικής και πολεοδομικής ανάγκης. Ενδιαφέρον είναι ότι έμφαση δίνεται πλέον στην προστασία του περιβάλλοντος και στον εκσυγχρονισμό του κτιριακού τομέα, κάτι που θα οδηγήσει σε σταδιακή ευαισθητοποίηση όλων των εμπλεκόμενων στον κτιριακό τομέα, από τους διάφορους κλάδους των μηχανικών, μέχρι τον ίδιο τον πολίτη.

Τα δύο πρώτα κεφάλαια λοιπόν αφορούν τον Νέο Οικοδομικό Κανονισμό και τον Κτιριοδομικό Κανονισμό, δύο κανονισμούς πυλώνες του κτιριακού τομέα. Στη συνέχεια, θα αναλυθεί ο Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων, ένας κανονισμός που θέτει νέα πρότυπα στην ενεργειακή απόδοση των κτιρίων, ο οποίος δίνει κίνητρα για την ανέγερση καινούριων αποδοτικών κτιρίων, ή για την αναβάθμιση ήδη υπαρχόντων .

Τέλος, το τελευταίο μέρος αυτού του κεφαλαίου αφιερώνεται στην Πυροπροστασία Κτιρίου, ένα κομμάτι που αφορά και την ειδικότητα του Μηχανολόγου Μηχανικού, και παρουσιάζει ενδιαφέρον , δεδομένης της ύπαρξης ενδεχόμενων εύφλεκτων αερίων σε διάφορες εφαρμογές θέρμανσης και ψύξης.

4.2 Νέος Οικοδομικός Κανονισμός (Ν. 4067/2012)

Ο Νέος Οικοδομικός Κανονισμός (Ν.Ο.Κ.) είναι ο νόμος που αντικατέστησε τον Γενικό Οικοδομικό Κανονισμό (Γ.Ο.Κ.) (Ν. 1577/1985) , ώστε να είναι ένας ολοκληρωμένος κανονισμός που να περιλαμβάνει τις διάφορες τροποποιήσεις που επήλθαν στο ΓΟΚ κατά τα χρόνια της ισχύος του και είναι σχεδιασμένος για να καλύπτει τις σύγχρονες οικοδομικές και πολεοδομικές ανάγκες, λαμβάνοντας υπόψη το φυσικό περιβάλλον και την αρμονική αλληλεπίδραση πάσης φύσεως κτιρίων με αυτό.

Αποτελεί ένα σύνολο διατάξεων που ορίζουν τις απαραίτητες προϋποθέσεις για την ανοικοδόμηση κτιρίου εντός και εκτός σχεδίου πόλης, καθώς και σε μικρότερους οικισμούς , που δεν χαρακτηρίζονται από εγκεκριμένο σχέδιο. Επίσης , ορίζει την δόμηση τόσο δημόσιων , όσο και ιδιωτικών χώρων , από άποψη χρήσης, ασφάλειας και υγιεινής.

Βασικότερος στόχος του είναι η καλύτερη εξυπηρέτηση των πολιτών σε μία ομαλή συνύπαρξη του οικιστικού με το φυσικό και το πολιτιστικό περιβάλλον. Ενθαρρύνει την χρήση νέων υλικών στην ανοικοδόμηση κτιρίων, με γνώμονα το χαμηλότερο κόστος, και την μικρότερη επιβάρυνση του περιβάλλοντος. Περιλαμβάνει νέες διατάξεις για την ενεργειακή αναβάθμιση των κτιρίων, την βελτίωση του μικροκλίματος των κατοικημένων περιοχών και την αύξηση των κοινόχρηστων και χώρων με πράσινο σε μεγάλα αστικά κέντρα. Παράλληλα όμως, διατηρεί τμήματα του παλαιότερου Οικοδομικού Κανονισμού όσον αφορά την ανάπλαση των πόλεων.

Ορίζει έννοιες όπως το «βιοκλιματικό κτίριο», «κτίριο ελάχιστης ενεργειακής κατανάλωσης» σε συνεργασία με τον Κ.Εν.Α.Κ (Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων), και «Παθητικά ηλιακά συστήματα ψύξης ή θέρμανσης» .

Επίσης , στο Α. 25 «Κίνητρα για τη δημιουργία κτιρίων ελάχιστης ενεργειακής κατανάλωσης» παρέχονται κίνητρα για την κατασκευή κτιρίων με εξαιρετική ενεργειακή απόδοση , τα οποία θα περιλαμβάνουν μικρές καταναλώσεις ενέργειας, και θα περιλαμβάνουν συστήματα εξοικονόμησης ενέργειας, καθώς και συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η όλη ενεργειακή μελέτη θα πρέπει να εκπονείται σύμφωνα με τον ΚΕΝΑΚ και να πιστοποιείται κατά το δυνατόν από μεθοδολογίες περιβαλλοντικής αξιολόγησης όπως ο LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) ή άλλος αντίστοιχος.

Αξίζει να σημειωθεί ότι παρέχει και οδηγίες για την τοποθέτηση λειτουργικών και ενεργειακών στοιχείων (π.χ. συστημάτων κλιματισμού) στο Α. 16 «Λειτουργικά, ενεργειακά και διακοσμητικά στοιχεία στις όψεις του κτιρίου».

Εν ολίγοις λοιπόν, η κλιματική αλλαγή και η αύξηση του πληθυσμού των πόλεων ήταν από τους σημαντικότερους παράγοντες που συνετέλεσαν στη δημιουργία του Νέου Οικοδομικού Κανονισμού. Στόχος του Νέου Κανονισμού είναι η δημιουργία

λειτουργικών κτιρίων, η ενσωμάτωση «πράσινων» παραμέτρων στα ήδη υπάρχοντα και η δημιουργία νέων κτιρίων με περιβαλλοντικά κριτήρια. Μεγάλη σημασία δίνεται στην εισαγωγή συστημάτων για εξοικονόμηση ενέργειας, φυσικών πόρων και χρημάτων και χρήση νέων υλικών, τρόπων δόμησης και τεχνολογιών. [37]

4.3 Κτιριοδομικός Κανονισμός

Σκοπός του κανονισμού αυτού είναι η ρύθμιση της κατασκευής των δομικών έργων στο σύνολό τους και στα επί μέρους στοιχεία τους, έτσι ώστε να εξυπηρετούν τη χρήση για την οποία προορίζονται και σε κανονικές συνθήκες συντήρησης του έργου, για μια οικονομικώς αποδεκτή διάρκεια ζωής να ικανοποιούν τις παρακάτω απαιτήσεις:

- Βελτίωση της άνεσης, της υγείας και της ασφάλειας των ενοίκων και των περιοίκων
- Τη βελτίωση της ποιότητας, της ασφάλειας, της αντοχής, της αισθητικής και της λειτουργικότητας των κτιρίων.
- Την προστασία του περιβάλλοντος.
- Την εξοικονόμηση ενέργειας
- Τη διευκόλυνση και προώθηση της επιστημονικής έρευνας στο χώρο των κατασκευών
- Την αύξηση της παραγωγικότητας στον τομέα της κατασκευής των κτιρίων

Ο Κτιριοδομικός Κανονισμός περιλαμβάνει άρθρα που περιλαμβάνουν την ταξινόμηση κτιρίων, την ασφάλεια και την αντοχή των κατασκευών, διάφορα δομικά στοιχεία των κατασκευών (π.χ. τοίχοι , ανοίγματα, κουφώματα, σκάλες) , ενώ διέπει ακόμα και τα πεζοδρόμια .

Για την διασφάλιση της λειτουργίας και της άνεσης χώρων , ορίζει την ανάγκη για φυσικό φωτισμό και αερισμό, καθώς και ελάχιστες προδιαγραφές ηχομόνωσης.

Τέλος, στα Άρθρα 25 έως 30 ορίζει ενδελεχώς απαιτήσεις για τις εσωτερικές υδραυλικές εγκαταστάσεις, της μηχανολογικές εγκαταστάσεις θέρμανσης, κλιματισμού και αερισμού , τους ανελκυστήρες και τις ηλεκτρολογικές εγκαταστάσεις.

Σε συνδυασμό με τον Γ.Ο.Κ. και πλέον τον Ν.Ο.Κ. αποτελούν τους βασικούς κανονισμούς που διέπουν τον τομέα των κατασκευών στην Ελλάδα. [38]

4.4 Κ.Εν.Α.Κ. (Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων)

Στο πλαίσιο της Κοινοτικής Οδηγίας **91/2002/ΕΚ** «για την Ενεργειακή Απόδοση Κτιρίων», η χώρα μας είχε την υποχρέωση να εναρμονιστεί μέχρι τον Ιανουάριο του 2006 με την έκδοση και την εφαρμογή σχετικών νομοθετικών διατάξεων. Το πρώτο βήμα για την εναρμόνισή μας με την Κοινοτική Οδηγία αυτή ήταν η έκδοση του **ν. 3661/2008** (ΦΕΚ Α' 89) «*Μέτρα για τη μείωση της Ενεργειακής Κατανάλωσης των Κτιρίων και άλλες διατάξεις*».

Βάσει του νόμου υπήρχε η υποχρέωση έκδοσης σχετικού «Κανονισμού Ενεργειακής Απόδοσης κτηρίων» (**Κ.Εν.Α.Κ.**) . Ο Κ.Εν.Α.Κ. ορίζει το Πιστοποιητικό Ενεργειακής Απόδοσης (Π.Ε.Α.) κτιρίου. Από τον Ιανουάριο του 2012, το ΠΕΑ Κτιρίου είναι απαραίτητο σε όλες τις υπάρχουσες κατασκευές που επρόκειτο να πουληθούν ή να ενοικιαστούν. Επίσης, σε όλες τις νέες κατασκευές θα πρέπει να έχει γίνει Μελέτη Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων, προκειμένου να βγει άδεια οικοδόμησης. Πέρα από τις νέες κατασκευές, όμως, μελέτη απαιτείται και σε αναθεωρήσεις αδειών, σε αλλαγές χρήσης κτιρίων, σε προσθήκες και σε ριζικές ανακαινίσεις κτιρίων. Εξαιρούνται διατηρητέα, βιομηχανικά και βιοτεχνικά κτίρια, αγροτικές αποθήκες, στάβλοι, αποθήκες καταστημάτων, πλυντήρια και παρκινγκ αυτοκινήτων, μη μόνιμα λυόμενα και χώροι κάτω των 50 τ.μ., ήτοι μικρά γραφεία, διαμερίσματα και καταστήματα.

Πέρα από την παραπάνω βασική χρήση του, ο Κ.Εν.Α.Κ. ορίζει στο Κεφάλαιο Β' , την «ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΚΤΙΡΙΩΝ», όπου ορίζονται και οι Κλιματικές Ζώνες της Ελλάδας, στο Κεφάλαιο Γ' ορίζει τις «ΕΛΑΧΙΣΤΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΚΤΙΡΙΩΝ» και στο Κεφάλαιο Δ' «ΜΕΛΕΤΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΚΤΙΡΙΟΥ» ορίζει εξ' ολοκλήρου την ίδια την διαδικασία της μελέτης.

Στο Κεφάλαιο Ε' ορίζει τις «ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΚΑΙ ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΤΙΚΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΚΤΙΡΙΩΝ» . Στον Πίνακα 4.1 παρατίθενται οι κατηγορίες ενεργειακής απόδοσης κτιρίων.

Ουσιαστικά ο χαρακτηρισμός του εξεταζόμενου κτιρίου ως προς την κατηγορία ενεργειακής απόδοσής του γίνεται μέσω της σύγκρισής του με ένα κτίριο αναφοράς. Το κτίριο αναφοράς είναι ένα κτίριο με τα ίδια γεωμετρικά χαρακτηριστικά, θέση, προσανατολισμό, χρήση και χαρακτηριστικά λειτουργίας με το εξεταζόμενο κτίριο. . Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του κτιρίου αναφοράς δίνονται στο Άρθρο 9 του Κ.Εν.Α.Κ. «*Τεχνικά χαρακτηριστικά του κτιρίου αναφοράς*».

Ο δείκτης R_R που εμφανίζεται στον Πίνακα 4.1 λαμβάνεται ίσος με την υπολογιζόμενη κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας του κτιρίου αναφοράς. Ο **λόγος T** είναι το **πηλίκο της υπολογιζόμενης κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας του εξεταζόμενου κτιρίου (EP) προς την υπολογιζόμενη κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας του κτιρίου αναφοράς και αποτελεί τη βάση για τον καθορισμό των κατηγοριών ενεργειακής απόδοσης**. Θεωρείται ότι το κτίριο αναφοράς έχει $EP=1,00R_R$ δηλαδή βρίσκεται στο άνω όριο της κατηγορίας B.

Οι εν λόγω καταναλώσεις προκύπτουν για να διατηρήσουν το κτίριο, με βάση τις απώλειες και τις ανάγκες του, δεδομένης της λειτουργίας του, της κλιματικής ζώνης στην οποία κατατάσσεται στα επιθυμητά όρια θερμοκρασιών και υγρασίας.

Κατηγορία	Όρια κατηγορίας	Όρια κατηγορίας
A+	$EP \leq 0,33R_R$	$T \leq 0,33$
A	$0,33R_R < EP \leq 0,50R_R$	$0,33 < T \leq 0,50$
B+	$0,50R_R < EP \leq 0,75R_R$	$0,50 < T \leq 0,75$
B	$0,75R_R < EP \leq 1,00R_R$	$0,75 < T \leq 1,00$
Γ	$1,00R_R < EP \leq 1,41R_R$	$1,00 < T \leq 1,41$
Δ	$1,41R_R < EP \leq 1,82R_R$	$1,41 < T \leq 1,82$
E	$1,82R_R < EP \leq 2,27R_R$	$1,82 < T \leq 2,27$
Z	$2,27R_R < EP \leq 2,73R_R$	$2,27 < T \leq 2,73$
H	$2,73R_R < EP$	$2,73 < T$

Πίνακας 4.1: Οι κατηγορίες ενεργειακής απόδοσης κτιρίου κατά ΚΕΝΑΚ.

Ο λόγος T κατατάσσει το κτίριο σε μία από τις παραπάνω κατηγορίες. Το κτίριο αναφοράς θεωρείται ότι κατατάσσεται στο άνω όριο της κατηγορίας B.[39]

Το Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος (Τ.Ε.Ε.) για την υποστήριξη της εφαρμογής του Κ.Ε.ν.Α.Κ., έχει εκδώσει τις παρακάτω εκτενείς τεχνικές οδηγίες οι οποίες έχουν εγκριθεί από το Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής και η εφαρμογή τους έχει τεθεί υποχρεωτική.

1. ΤΟΤΕΕ 20701-1/2010 «Αναλυτικές εθνικές προδιαγραφές παραμέτρων για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης κτιρίων και την έκδοση του πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης»,
2. ΤΟΤΕΕ 20701-2/2010 «Θερμοφυσικές ιδιότητες δομικών υλικών και έλεγχος της θερμομονωτικής επάρκειας των κτιρίων»,
3. ΤΟΤΕΕ 20701-3/2010 «Κλιματικά δεδομένα ελληνικών περιοχών»,
4. ΤΟΤΕΕ 20701-4/2010 «Οδηγίες και έντυπα ενεργειακών επιθεωρήσεων κτιρίων, λεβήτων και εγκαταστάσεων θέρμανσης και εγκαταστάσεων κλιματισμού».
5. ΤΟΤΕΕ 20701-5/2012 «Συμπαγωγή Ηλεκτρισμού, Θερμότητας και Ψύξης: Εγκαταστάσεις σε Κτήρια».

Αξίζει να σημειωθεί επίσης η ύπαρξη ειδικού λογισμικού από το ΤΕΕ για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης και κατάταξης (βαθμονόμησης) των κτηρίων,

τόσο κατά την διαδικασία ενεργειακών επιθεωρήσεων, όσο και κατά την εκπόνηση μελέτης ενεργειακής απόδοσης.

Τέλος, να σημειωθεί ότι η αρχική κοινοτική οδηγία **91/2002/ΕΚ** τροποποιήθηκε από την οδηγία **31/2010/ΕΚ** και η εναρμόνισή μας με τη νέα οδηγία έγινε με την έκδοση του νέου νόμου **4122/2013** (ΦΕΚ Α' 42) «*Ενεργειακή Απόδοση Κτιρίων - Εναρμόνιση με την οδηγία 2010/31/ΕΕ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου και λοιπές διατάξεις*».

Ο Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτηρίων (Κ.Εν.Α.Κ.) αποτελεί υποχρέωση της χώρας τόσο προς τις απαιτήσεις της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Κοινοτική Οδηγία), αλλά εξίσου απέναντι στο περιβάλλον και τους πολίτες της. Ο κανονισμός εξασφαλίζει ότι τα κτίρια θα πληρούν τις σύγχρονες απαιτήσεις διαβίωσης και θα αποκτήσουν καλύτερη ενεργειακή συμπεριφορά μέσω της σωστής διαχείρισης και εξοικονόμησης ενέργειας. Με αυτό τον τρόπο, εκτός από την ασφάλεια και την αισθητική που μέχρι σήμερα ήταν τα κυριότερα στοιχεία ενός κτηρίου, προστίθεται και η μέριμνα, έτσι ώστε η κατανάλωση ενέργειας να είναι κατά το δυνατόν χαμηλότερη, με ταυτόχρονη εξασφάλιση άριστων συνθηκών για τους χρήστες. [39]

4.5 Πυροπροστασία

4.5.1 Γενικά

Με τον όρο πυροπροστασία εννοούμε το σύνολο των μέτρων που λαμβάνονται για την προστασία από τη φωτιά και τις συνέπειές της. Μέτρα πυροπροστασίας λαμβάνονται σε οχήματα, πλοία, αεροπλάνα και κτίρια.

Σύνταξη μελέτης πυροπροστασίας απαιτείται σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία στις ακόλουθες γενικές περιπτώσεις:

A. Κατά την έκδοση οικοδομικής άδειας

Σε αυτή την περίπτωση απαιτείται υποβολή στην πολεοδομία μελέτης παθητικής πυροπροστασίας και όπου απαιτούνται σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία μόνιμα συστήματα πυροπροστασίας τότε συντάσσεται και μελέτη ενεργητικής πυροπροστασίας.

B. Σε περίπτωση έκδοσης άδειας λειτουργίας, όπου απαιτείται πιστοποιητικό πυροπροστασίας

Σε πολλές περιπτώσεις , για την έκδοση άδειας λειτουργίας επιχείρησης απαιτείται έκδοση πιστοποιητικού πυροπροστασίας. Το πιστοποιητικό πυροπροστασίας εκδίδεται από την πυροσβεστική υπηρεσία.

4.5.2 Κατηγορίες κτηρίων

Τα κτίρια, ανεξαρτήτως χρήσης τους, διαχωρίζονται σε υφιστάμενα και νέα.

Ως **υφιστάμενα κτίρια** θεωρούνται εκείνα που η οικοδομική τους άδεια εκδόθηκε πριν από την ημερομηνία έναρξης ισχύος του Προεδρικού Δ/τος 71/1988 «Κανονισμός Πυροπροστασίας Κτιρίων» , ενώ ως **νέα** κτίρια θεωρούνται εκείνα τα κτίρια που η οικοδομική τους άδεια εκδόθηκε μετά την έναρξη ισχύος του Π.Δ. 71/1988.

Το **διάγραμμα ισχύουσας νομοθεσίας πυροπροστασίας** ανάλογα με την χρήση του κτιρίου (κατοικία, ξενοδοχείο, εκπαιδευτήριο, κτίριο γραφείων , χώρος συνάθροισης κοινού κ.α.) και την κατάσταση του ως υφιστάμενο ή νέο, παραπέμπει στην ισχύουσα νομοθεσία. [40]

4.5.3 Παθητική Πυροπροστασία

Η παθητική πυροπροστασία ενός κτιρίου αποβλέπει στον έλεγχο της εξάπλωσης της πυρκαγιάς και στην έγκαιρη εκκένωση του κτιρίου από όσους βρίσκονται μέσα σε αυτό κατά την εκδήλωση της πυρκαγιάς.

Η παθητική πυροπροστασία ορίζει μεταξύ άλλων τον αριθμό των κλιμακοστασίων και ανελκυστήρων στο κτίριο, το πλάτος της σκάλας, το πλάτος και το μήκος των διαδρόμων, τις μέγιστες διαστάσεις των χώρων, τον διαχωρισμό του κτιρίου σε

πυροδιαμερίσματα και τις διαστάσεις αυτών, τις διαστάσεις των ανοιγμάτων, τις αποστάσεις τους από τα όρια, τον φωτισμό, τη χρήση υλικών στα δομικά στοιχεία και τα εσωτερικά τελειώματα κ.α.

4.5.4 Ενεργητική Πυροπροστασία

Η ενεργητική πυροπροστασία ενός κτιρίου αποβλέπει στην αντιμετώπιση και καταστολή της πυρκαγιάς σε περίπτωση που αυτή εκδηλωθεί. Τα προβλεπόμενα από τον μελετητή (μηχανολόγος μηχανικός) μέτρα αφορούν τον εξοπλισμό και τις προγραμματισμένες ενέργειες που ενεργοποιούνται αν εμφανιστεί και κατά την διάρκεια της πυρκαγιάς.

Τα μέτρα ενεργητικής πυροπροστασίας κατατάσσονται στις παρακάτω κατηγορίες

A. Μόνιμα κατασταλτικά συστήματα πυροπροστασίας

B. Μόνιμα προληπτικά συστήματα πυροπροστασίας

Γ. Φορητά μέσα πυροπροστασίας

και, όπου απαιτείται, ανάλογα της χρήσης και του πληθυσμού του, τα βασικότερα που οφείλουν να διαθέτουν τα κτίρια είναι:

- Μόνιμο Υδροδοτικό Πυροσβεστικό Δίκτυο (Μ.Υ.Π.Δ.)
- Αυτόματο σύστημα καταιονητήρων (SPRINKLER)
- Αυτόματο σύστημα πυρανίχνευσης στους επικίνδυνους χώρους
- Αυτόματο σύστημα κατάσβεσης ολικής κατάκλισης ή τοπικής εφαρμογής.
- Φορητοί πυροσβεστήρες.
- Βοηθητικά εργαλεία και μέσα κ.λ.π.
- Συγκρότηση και εκπαίδευση ομάδων πυροπροστασίας.

Η μελέτη παθητικής πυροπροστασίας θεωρείται μέρος της αρχιτεκτονικής μελέτης και επομένως δικαίωμα υπογραφής έχουν οι ειδικότητες των μηχανικών που σύμφωνα με τα επαγγελματικά τους δικαιώματα έχουν δικαίωμα να υπογράψουν αρχιτεκτονικές μελέτες (Αρχιτέκτονες, Πολιτικοί μηχανικοί, Τοπογράφοι μηχανικοί)

Η μελέτη ενεργητικής πυροπροστασίας θεωρείται σύνθετη ηλεκτρομηχανολογική μελέτη και επομένως μπορούν να την υπογράψουν μόνο Ηλεκτρολόγοι μηχανικοί, μηχανολόγοι μηχανικοί, ηλεκτρολόγοι μηχανολόγοι μηχανικοί ή ναυπηγοί μηχανικοί.

Κεφάλαιο 5

5 Ο νέος F-gas regulation (E.K. 517/2014)

5.1 Εισαγωγή

Ο Κανονισμός (ΕΚ) αριθ. 842/2006 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 17ης Μαΐου 2006 “για ορισμένα φθοριούχα αέρια θερμοκηπίου” εκδόθηκε στα πλαίσια εφαρμογής του Πρωτοκόλλου του Κιότο και ήταν σε ισχύ από τις αρχές του 2007. Ο Κανονισμός 842/2006 έχει συμπληρωθεί από 10 ακόμη Κανονισμούς της Ευρωπαϊκής Επιτροπής οι οποίοι ρυθμίζουν ειδικότερα θέματα διαχείρισης των φθοριούχων αερίων όπως η εκπαίδευση και πιστοποίηση του τεχνικού προσωπικού (Καν. 303, 304, 305, 306, 307 και 308 του 2008), ο έλεγχος των διαρροών (Καν.1516 και 1497 του 2008), η σήμανση προϊόντων και εξοπλισμού (Καν.1494/2008) και η αναφορά στοιχείων χρήσης φθοριούχων αερίων (Καν. 1493/2008).

Χαρακτηριστικά αναφέρει

«Πρωταρχικός στόχος του παρόντος κανονισμού είναι η **μείωση των εκπομπών φθοριούχων αερίων θερμοκηπίου** που καλύπτονται από το πρωτόκολλο του Κιότο και, με τον τρόπο αυτό, η προστασία του περιβάλλοντος... Ωστόσο, είναι σκόπιμο να ληφθούν μέτρα σε κοινοτικό επίπεδο... για την εναρμόνιση των απαιτήσεων που αφορούν τη χρήση των φθοριούχων αερίων θερμοκηπίου και τη διάθεση στην αγορά και την επισήμανση των προϊόντων και του εξοπλισμού που περιέχουν φθοριούχα αέρια θερμοκηπίου... Η εφαρμογή και επιβολή του παρόντος κανονισμού θα πρέπει να προτρέπει την τεχνολογική καινοτομία με την ενθάρρυνση της συνεχούς ανάπτυξης εναλλακτικών τεχνολογιών και της μετάβασης σε ήδη υπαρκτές τεχνολογίες που είναι φιλικότερες προς το περιβάλλον.» [41]

Ουσιαστικά ο F-gas regulation , όρισε την χρήση και τον χειρισμό των φθοριούχων αερίων του θερμοκηπίου-fluorinated greenhouse gases (FGHG) που αναφέρονται στο Παράρτημα I του ιδίου , καθώς και μειγμάτων που περιλαμβάνουν τουλάχιστον ένα συστατικό από την λίστα του Παραρτήματος I και έχει GWP μεγαλύτερο του 150 , σε όλα τα στάδια ζωής των αερίων, καθώς και του εξοπλισμού που τα περιέχει.

Από τις 1/1/2015 σε ισχύ έχει τεθεί ο **Regulation (EU) No 517/2014 (E.K. 517/2014) ο οποίος θέτει εκτός ισχύος τον F-gas Regulation (EC) No 842/2006**, καθότι κρίθηκε ότι απαιτούνται αυστηρότερα μέτρα για την ικανοποιητική μείωση των εκπομπών.

Ο κινητήριος μοχλός για τον νέο αυτόν κανονισμό είναι ο παρακάτω

«Στην τέταρτη έκθεση αξιολόγησης της διακυβερνητικής ομάδας για την κλιματική αλλαγή («IPCC») της σύμβασης- πλαισίου των Ηνωμένων Εθνών για τις κλιματικές μεταβολές («UNFCCC»)... αναφέρεται ότι, με βάση τα υπάρχοντα επιστημονικά δεδομένα, οι αναπτυσσόμενες χώρες θα χρειαστεί να μειώσουν τις εκπομπές αερίων του

θερμοκηπίου κατά 80 έως 95 % ως προς το επίπεδο του 1990, μέχρι το 2050, ώστε να περιοριστεί η αλλαγή του κλίματος του πλανήτη σε αύξηση της θερμοκρασίας κατά 2 °C και να αποτραπούν οι ανεπιθύμητες κλιματικές επιπτώσεις... Οι εκπομπές εκτός CO₂, συμπεριλαμβανομένων των φθοριούχων αερίων του θερμοκηπίου, αλλά εξαιρουμένων των εκπομπών εκτός CO₂ από τη γεωργία, θα πρέπει να μειωθούν κατά 72-73 % μέχρι το 2030 και κατά 70-78 % μέχρι το 2050 σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990. Με βάση αναφοράς το έτος 2005, απαιτείται μείωση των εκπομπών εκτός CO₂, εξαιρουμένων των προερχόμενων από τη γεωργία, κατά 60-61 % μέχρι το 2030. Οι εκπομπές φθοριούχων αερίων του θερμοκηπίου υπολογίστηκαν σε 90 εκατ. τόνους ισοδυνάμου CO₂ για το 2005. Για να επιτευχθεί μείωση της τάξης του 60 %, οι εκπομπές θα έπρεπε να μειωθούν περίπου σε 35 εκατ. τόνους ισοδυνάμου CO₂ μέχρι το 2030. Λαμβάνοντας υπόψη ότι, **εάν εφαρμοστεί πλήρως η ισχύουσα ενωσιακή νομοθεσία, οι εκπομπές υπολογίζεται να ανέλθουν σε 104 εκατ. τόνους ισοδυνάμου CO₂ το 2030, θα απαιτηθεί περαιτέρω μείωση κατά περίπου 70 εκατ. τόνους ισοδυνάμου CO₂.**»

[42]

5.2 Βασικά σημεία του κανονισμού

Οι σημαντικότερες προσθήκες του νέου κανονισμού 517/2014 είναι οι ακόλουθες

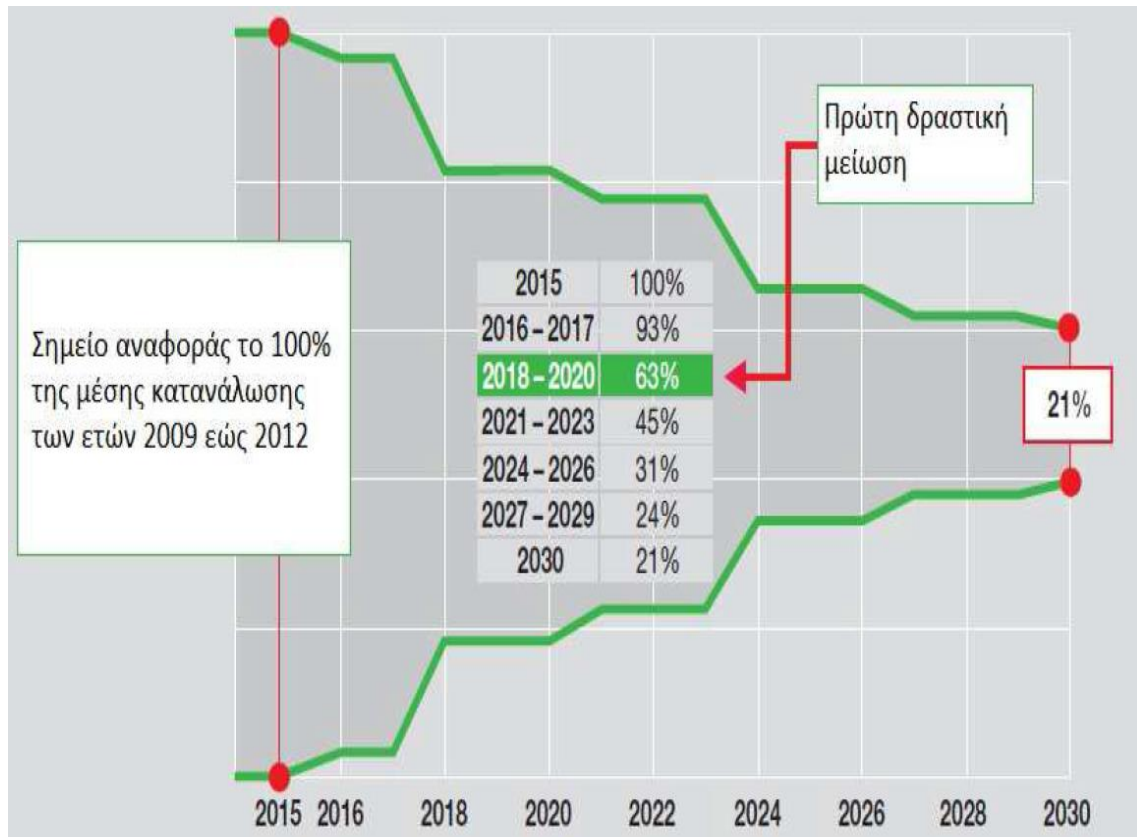
- Σταδιακή απόσυρση του συνολικού όγκου FGHG . Η ποσότητα πλέον μετρείται σε ισοδύναμους τόνους διοξειδίου του άνθρακα (tCO_{2e} – το γινόμενο μάζας εργαζόμενου ρευστού επί GWP) . Σε σχέση με τα επίπεδα του 2015, η ποσότητα θα μειωθεί στο 21 % μέχρι το 2030.
- Ορισμός του συστήματος των ποσοστόσεων (quota allocation system) : Παραγωγοί και εισαγωγείς εργαζόμενων ρευστών στην Ε.Ε. απαιτείται να ελέγξουν τις ποσότητες FGHG που εισάγουν . Καλούνται να αναφέρουν την καταναλισκόμενη ποσότητα FGHG (tCO_{2e}) . Επίσης, θα δηλώνονται τα προπληρωμένα (precharged) με FGHG συστήματα κλιματισμού και ψύξης που εισάγονται στην Ε.Ε.
- Για συγκεκριμένες εφαρμογές που απαιτούν FGHG, συμπεριλαμβανομένου του κλιματισμού και της ψύξης, ορίζεται μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή GWP για τα χρησιμοποιούμενα FGHG. Κάποιες από τις απαγορεύσεις ξεκινούν ήδη από το 2015 , ενώ από το 2025 απαγορεύεται η χρήση R-410A για οικιακή χρήση.
- Ορίζεται ο τρόπος χειρισμού των FGHG. Απαιτείται ο τακτικός έλεγχος διαρροών για συστήματα με πλήρωση μεγαλύτερη από 5 tCO_{2e} (π.χ. περίπου 2,5 kg R-410A) .

Επίσης, ο νέος κανονισμός, πέρα από αποσαφηνίσεις και βελτιώσεις , επεκτείνεται στην κάλυψη περισσότερων συστημάτων , όπως στα φορητά ψυγεία και τα ρυμουλκούμενα ψυγεία , καθώς και τον ηλεκτρικό εξοπλισμό μεταγωγής και τα συστήματα Organic Rankine Cycle (ORC) . [42]

5.3 Σταδιακή κατάργηση των φθοριούχων αερίων του θερμοκηπίου

Ίσως το πιο σημαντικό μέτρο που επιβάλλει ο 517/2014 είναι η σταδιακή μείωση της συνολικής καταναλισκόμενης ποσότητας FGHG.

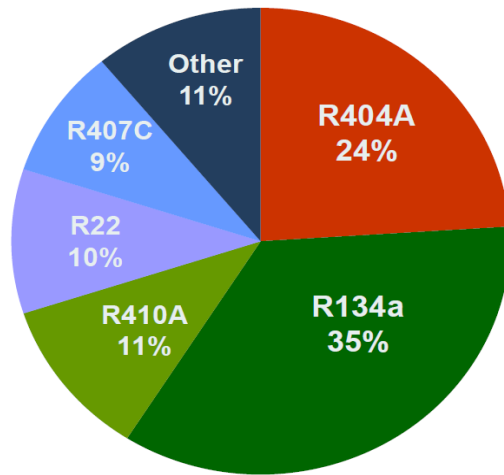
Αναφέρεται στην συνολική κατανάλωση εργαζόμενου μέσου και λαμβάνει ως επίπεδο αναφοράς τη μέση συνολική κατανάλωση FGHG κατά τα έτη 2019-2012 και θεωρείται ότι το 2015 είναι στο 100% .



Σχήμα 5.1: Η σταδιακή κατάργηση των φθοριούχων αερίων του θερμοκηπίου λόγω του ΕΕ 517/2014 [43]

Όπως φαίνεται , μέχρι το 2030 η συνολική κατανάλωση FGHG θα πρέπει να έχει μειωθεί στο 21% σε σχέση με τα επίπεδα του 2009-2012.

Αυτήν την στιγμή, όπως φαίνεται στο , τα ευρύτερα χρησιμοποιούμενα εργαζόμενα μέσα είναι το R-404A (GWP~3300) , το R-134a (GWP~1300) ,το R-410A (GWP~2000) ,το R-22 (GWP~1700) και το R-407C (GWP~1600) .



Σχήμα 5.2: Η κατανάλωση εργαζόμενων μέσων κατά το 2010 [46]

Συνολική κατανάλωση 2010: 85900 τόνοι

Αποτελεί ένδειξη λοιπόν ότι θα πρέπει να χρησιμοποιούνται εργαζόμενα μέσα με σημαντικά χαμηλότερο GWP . Ενδεχομένως η εύρεση εναλλακτικών λύσεων σε άλλες εφαρμογές που χρησιμοποιούν FGHG να επιτρέψει σε ορισμένα από τα χρησιμοποιούμενα στο παρόν εργαζόμενα μέσα να παραμείνουν στην αγορά. Η συνολική κατανάλωση υπολογίστηκε σε 85900 τόνοι για το εν λόγω έτος . Το R-134a είχε τη μεγαλύτερη κατανάλωση λόγω χρήσης του στην

αυτοκινητοβιομηχανία που εμφανίζει επιπλέον υψηλές διαρροές.

5.4 Το σύστημα των ποσοτώσεων–quotas allocation system

Με τον Ε.Κ. 517/2014 , εισάγεται η έννοια των **ποσοτώσεων (quotas allocation)** σύμφωνα με την παρακάτω απαίτηση «...για να υλοποιηθεί η σταδιακή μείωση των ποσοτήτων υδροφθορανθράκων που μπορούν να διατεθούν στην ενωσιακή αγορά, η Επιτροπή θα πρέπει να κατανειμίσει ποσοτώσεις στους μεμονωμένους παραγωγούς και εισαγωγείς όσον αφορά τη διάθεση των υδροφθορανθράκων στην αγορά, κατά τρόπο που να μην παρατηρείται υπέρβαση του συνολικού ποσοτικού ορίου για τη διάθεση υδροφθορανθράκων στην αγορά» . [42]

Σύμφωνα με το σύστημα των quotas , κάθε οργανισμός με σημαντική δραστηριότητα κατά το προηγούμενο έτος στην Ευρωπαϊκή Ένωση σχετικά με F-gas, οφείλει να δηλώσει σύμφωνα με το παράρτημα VII του κανονισμού τις ποσότητες καθενός από τα αέρια που διαχειρίστηκε , μέχρι τις 31 Μαρτίου του τρέχοντος έτους.

Ουσιαστικά σύμφωνα με τον Άρθρο 19 του παραπάνω κανονισμού, την υποχρέωση να δηλώσουν τις ποσότητες F-gas έχουν όσοι

- «κάθε παραγωγός, εισαγωγέας και εξαγωγέας που έχει παραγάγει, εισαγάγει ή εξαγάγει έναν μετρικό τόνο ή 100 τόνους ισοδυνάμου CO₂ ή περισσότερο φθοριούχων αερίων του θερμοκηπίου και αερίων του παραρτήματος II κατά τη διάρκεια του προηγούμενου ημερολογιακού έτους»
- «κάθε επιχείρηση που κατά τη διάρκεια του προηγούμενου ημερολογιακού έτους έχει προβεί στην καταστροφή ποσότητας ενός μετρικού τόνου ή 1 000 τόνων ισοδυνάμου CO₂ ή περισσότερο φθοριούχων αερίων του θερμοκηπίου και των αερίων που απαριθμούνται στο παράρτημα II»
- «κάθε επιχείρηση που κατά τη διάρκεια του προηγούμενου ημερολογιακού έτους χρησιμοποίησε 1 000 τόνους ισοδυνάμου CO₂ ή περισσότερο φθοριούχων αερίων του θερμοκηπίου ως πρώτη ύλη»
- «κάθε επιχείρηση που κατά τη διάρκεια του προηγούμενου ημερολογιακού έτους διέθεσε στην αγορά 500 τόνους ισοδυνάμου CO₂ ή περισσότερο φθοριούχων αερίων του θερμοκηπίου και αερίων του παραρτήματος II, ως αέρια που περιέχονται σε προϊόντα ή εξοπλισμό»

Ο υπολογισμός των τόνων ισοδύναμου CO₂ γίνεται σύμφωνα με τις τιμές GWP που δίνονται στο Παράρτημα I και II του κανονισμού, ενώ για την περίπτωση μειγμάτων, ο υπολογισμός του ισοδύναμου GWP , γίνεται σύμφωνα με το Παράρτημα IV .

Σύμφωνα με την Π. 1 του Α. 15 ,

«Η Επιτροπή διασφαλίζει ότι η ποσότητα των υδροφθορανθράκων που δικαιούνται να διαθέσουν ετησίως στην αγορά της Ένωσης οι παραγωγοί και οι εισαγωγείς δεν υπερβαίνει τη μέγιστη ποσότητα για το εν λόγω έτος, υπολογιζόμενη σύμφωνα με το παράρτημα V.» ,

Έτη	Ποσοστό για τον υπολογισμό της μέγιστης ποσότητας για τη διάθεση υδροφθορανθράκων στην αγορά και των αντίστοιχων ποσοστώσεων
2015	100 %
2016-2017	93 %
2018-2020	63 %
2021-2023	45 %
2024-2026	31 %
2027-2029	24 %
2030	21 %

Πίνακας 5.1: Μέγιστη ποσότητα διάθεσης στην αγορά [42]

Να σημειωθεί ότι συνυπολογίζονται οι ποσότητες εργαζόμενου μέσου που είναι προπληρωμένες στον εξοπλισμό κλιματισμού ή ψύξης.

5.5 Ορισμός μέγιστης επιτρεπόμενης τιμής GWP

Ο **Ε.Κ. 517/2014** φέρνει και άλλη μία σημαντική αλλαγή στα φθοριούχα αέρια του θερμοκηπίου. Για συγκεκριμένες εφαρμογές ορίζει καταληκτικές ημερομηνίες χρήσης FGHG αν η τιμή GWP ξεπερνά ένα συγκεκριμένο όριο, σύμφωνα με το Παράρτημα III .

Αυτοί οι περιορισμοί επηρεάζουν και τον τομέα της ψύξης και του κλιματισμού, θέτοντας τις παρακάτω καταληκτικές ημερομηνίες αλλαγής του εργαζόμενου μέσου για πολλές εφαρμογές ψύξης και κλιματισμού.

Προϊόντα και εξοπλισμός	Ημερομηνία απαγόρευσης	
Ψυγεία και καταψύκτες οικιακής χρήσης που περιέχουν HFC με GWP μεγαλύτερο ή ίσο του 150	1η Ιανουαρίου 2015	
Ψυγεία και καταψύκτες εμπορικής χρήσης (ερμητικά σφραγισμένος εξοπλισμός)	που περιέχουν HFC με GWP μεγαλύτερο ή ίσο του 2 500	1η Ιανουαρίου 2020
	που περιέχουν HFC με GWP μεγαλύτερο ή ίσο του 150	1η Ιανουαρίου 2022
Στατικός ψυκτικός εξοπλισμός που περιέχει ή του οποίου η λειτουργία βασίζεται σε HFC με GWP μεγαλύτερο ή ίσο του 2 500, εξαριουμένου του εξοπλισμού που προορίζεται για εφαρμογές σχεδιασμένες για την ψύξη προϊόντων σε θερμοκρασίες κάτω των - 50 °C	1η Ιανουαρίου 2020	
Κεντρικά ψυκτικά συγκροτήματα εμπορικής χρήσης, με ισχύ 40 kW ή μεγαλύτερη, τα οποία περιέχουν ή των οποίων η λειτουργία βασίζεται σε φθοριούχα αέρια του θερμοκηπίου με GWP τουλάχιστον 150, με εξαίρεση το πρωτεύον ψυκτικό κύκλωμα των κλιμακοειδών συστημάτων, όπου μπορούν να χρησιμοποιούνται φθοριούχα αέρια του θερμοκηπίου με GWP μικρότερο του 1 500	1η Ιανουαρίου 2022	
Κινητός εξοπλισμός κλιματισμού αιθουσών (ερμητικά σφραγισμένα συστήματα που μπορούν να μετακινηθούν από τον τελικό χρήστη) που περιέχουν HFC με GWP μεγαλύτερο ή ίσο του 150	1η Ιανουαρίου 2020	
Συστήματα κλιματισμού απλού διαρνούμενου τύπου με λιγότερο από 3 kg φθοριούχων αερίων του θερμοκηπίου, τα οποία περιέχουν ή των οποίων η λειτουργία βασίζεται σε φθοριούχα αέρια του θερμοκηπίου με GWP τουλάχιστον 750	1η Ιανουαρίου 2025	

Πίνακας 5.2: Ημερομηνία απαγόρευσης χρήσης των εργαζόμενων μέσων ανά εφαρμογή με βάση τον Ε.Κ. 517/2014 [42]

Μία από τις βασικότερες επιδράσεις που θα έχει αυτό είναι η οριστική κατάργηση το 2025 του R-410A από τα συστήματα οικιακού κλιματισμού , και επαγγελματικού εξοπλισμού μικρής κλίμακας, δηλαδή με λιγότερο από 3 kg HFC . Το R-410A έχει σχεδόν την αποκλειστικότητα για τέτοιους είδους εφαρμογές στην Ευρώπη αυτήν την στιγμή.

Σύνοψη απαγορεύσεων (Απαγόρευση, απαγόρευση υπό όρους, επιτρέπεται η χρήση)														
Προϊόντα και εξοπλισμός προς απαγόρευση	Ημερομηνία απαγόρευσης	HCs (Υδρογονάνθρακες)												
		R744 (CO ₂)	R717 (NH ₃)	R404A / R507A	R417B / R422D	R134a	R407A / C / F	R410A	R417A / R427A	R32	HFOs	Μίγματα με HFO / HFC με GWP <150	Μίγματα με HFO / HFC με GWP 150-1500	
Ψυγεία και καταψύκτες εμπορικής χρήσης (ερμητικά σφραγισμένοι εξοπλισμοί) - που περιέχουν HFC με GWP μεγαλύτερο ή ίσο του 2500 από το 2020 - που περιέχουν HFC με GWP μεγαλύτερο ή ίσο του 150 από το 2022	2020 και 2022				2020	2020	2022	2022	2022	2022	2022			2022
Στατικός ψυκτικός εξοπλισμός που περιέχει ή του οποίου η λειτουργία βασίζεται σε HFC με GWP μεγαλύτερο ή ίσο του 2500. Εξαιρείται ο εξοπλισμός που προορίζεται για εφαρμογές σχεδιασμένες για την ψύξη προϊόντων σε θερμοκρασίες κάτω των -50°C.	2020						Έμμεση απαγόρευση λόγω ποσόστωσης. Ναι μεν επιτρέπεται η ουσία αλλά είναι ακριβή και δυσέυρετη λόγω ποσόστωσης.							
Κεντρικά ψυκτικά συγκροτήματα εμπορικής χρήσης (με 2 ή περισσότερους συμπιεστές), με ισχύ 40kW ή μεγαλύτερη, τα οποία περιέχουν ή των οποίων η λειτουργία βασίζεται σε HFCs με GWP τουλάχιστον 150. Εξαιρείται το πρωτεύον ψυκτικό κύκλωμα των κλιμακοειδών συστημάτων (cascade), όπου μπορούν να χρησιμοποιούνται HFCs με GWP μικρότερο του 1500.	2022						Επιτρέπεται πρωτεύων κύκλωμα σε κλιμακωτό σύστημα (cascade)					Επιτρέπεται πρωτεύων κύκλωμα σε κλιμακωτό σύστημα (cascade)		Επιτρέπεται πρωτεύων κύκλωμα σε κλιμακωτό σύστημα (cascade)
Κινητός εξοπλισμός κλιματισμού αιθουσών (ερμητικά σφραγισμένα συστήματα που μπορούν να μετακινηθούν από τον τελικό χρήστη) που περιέχουν HFC με GWP μεγαλύτερο ή ίσο του 150.	2020											GWP <150		
Συστήματα κλιματισμού απλού διαιρούμενου τύπου με λιγότερο HFC από 3kg, τα οποία περιέχουν ή των οποίων η λειτουργία βασίζεται σε HFC με GWP τουλάχιστον 750.	2025											GWP <750	GWP <750	GWP <750

Πίνακας 5.3: Σύνοψη απαγορεύσεων του Ε.Κ. 517/2014 για τα διάφορα εργαζόμενα μέσα [43]

Όπως είναι εμφανές λοιπόν επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό ο κλάδος της ψύξης (καταργείται πλήρως το R-404A), μικρά συστήματα κλιματισμού (κινητά και έως 3 kg), ενώ δεν επηρεάζει συστήματα που προορίζονται για στρατιωτική χρήση ή για ψύξη προϊόντων σε θερμοκρασίες κάτω των 50 °C.

5.6 Χειρισμός των φθοριούχων αερίων του θερμοκηπίου

Ο νέος κανονισμός ορίζει πιο αυστηρά πρότυπα για τον χειρισμό των FGHG για συστήματα κλιματισμού και ψύξης, ώστε να διασφαλιστεί ότι καταρτισμένο προσωπικό εργάζεται με τα εργαζόμενα ρευστά και ότι θα ελαχιστοποιηθεί η διαρροή τους στην ατμόσφαιρα.

Έτσι, ορίζει στο Άρθρο 11 Παράγραφος 5

«Ο μη ερμητικά σφραγισμένος εξοπλισμός που περιέχει φθοριούχα αέρια του θερμοκηπίου **πωλείται στον τελικό χρήστη μόνον εφόσον** αποδεικνύεται ότι η εγκατάσταση θα πραγματοποιηθεί από **επιχείρηση που διαθέτει πιστοποίηση** σύμφωνα με το άρθρο 10.» [42]

, όπου ερμητικά κλειστός θεωρείται ο εξοπλισμός, τύπου οικιακά ψυγεία, όπου δεν χρειάζεται κάποια περαιτέρω εργασία από τον ψυκτικό. Το Άρθρο 10, ορίζει την υποχρέωση κάθε κράτους μέλους να θεσπίσει πρόγραμμα κατάρτισης και πιστοποίησης για τους επαγγελματίες ψυκτικούς, κάτι το οποίο ίσχυε σε κάθε περίπτωση και από το 842/2006.

Στον (ΕΕ) 2015/ 2067 της 17^{ης} Νοεμβρίου 2015, ορίζονται οι ελάχιστες δεξιότητες και γνώσεις που πρέπει να καλύπτονται κατά την πιστοποίηση ενός φυσικού προσώπου. [45]

Επίσης, στο Άρθρο 4 «Έλεγχος εντοπισμού διαρροών» ορίζεται η υποχρέωση για τακτικό έλεγχο για εντοπισμό διαρροής στα συστήματα που φέρουν FGHG. Η συχνότητα ορίζεται με βάση τη πλήρωση του συστήματος σε tCO_{2e}. Όπως φαίνεται στο, όσο μεγαλύτερη η πλήρωση του συστήματος, τόσο συχνότερα απαιτείται ο έλεγχος διαρροών, ενώ η τοποθέτηση συστήματος εντοπισμού διαρροών (leak detection equipment) επιτρέπει την αύξηση αυτού του διαστήματος.

Tonnes CO₂ equivalent charge weight	Frequency of inspection	Frequency if leak detection equipment fitted	Leak detection equipment mandatory
≥ 5 and ≤ 50	Every 12 months	Every 24 months	No
≥ 50 and ≤ 500	Every 6 months	Every 12 months	No
≥ 500	Every 3 months	Every 6 months	Yes
Hermetic systems ≤ 10	None	None	No

Πίνακας 5.4: Συχνότητα απαίτησης ελέγχου διαρροών, ανάλογα με την ποσότητα εργαζόμενου μέσου του εξοπλισμού [44]

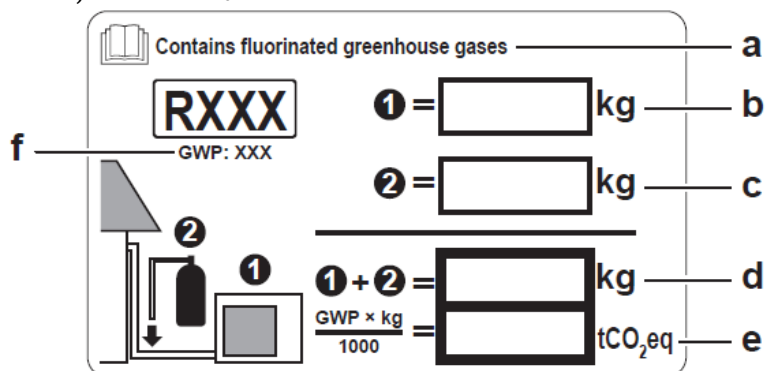
Με βάση τον Πίνακα 5.4, δημιουργείται ο Πίνακας 5.5, ο οποίος μετατρέπει τους tCO₂ σε kg πλήρωσης για καθένα από τα ευρύτερα χρησιμοποιούμενα εργαζόμενα μέσα για εφαρμογές κλιματισμού και ψύξης.

Tonnes CO₂ equivalent charge weight	Between 5 & 50 tonnes	Between 50 & 500 tonnes	Greater than 500 tonnes
Frequency of inspection	Every 12 months	Every 6 months	Every 3 months
R404A	1.27 kg to 12.7 kg	12.7 kg to 127.4 kg	Greater than 127.4 kg
R407A	2.37 kg to 23.7 kg	23.7kg to 237.3 kg	Greater than 237.3 kg
R410A	2.39 kg to 23.9 kg	23.9 kg to 239.5 kg	Greater than 239.5 kg
R407C	2.81 kg to 28.1 kg	28.1 kg to 281.8 kg	Greater than 281.8 kg
R134a	3.49 kg to 34.9 kg	34.9 kg to 349.6 kg	Greater than 349.6 kg

Πίνακας 5.5: Συχνότητα απαίτησης ελέγχου διαρροών ως προς το εργαζόμενο μέσο [44]

Επίσης, σύμφωνα με το Άρθρο 12 «Επισήμανση και πληροφορίες σχετικά με τα προϊόντα και τον εξοπλισμό» ορίζεται η απαίτηση να φέρουν επισήμανση όσα συστήματα στηρίζουν τη λειτουργία τους στα FGHG.

Τυπική ετικέτα σε συστήματα κλιματισμού είναι η παρακάτω στο Σχήμα 5.3, όπου συμπληρώνεται η πληρωμένη ποσότητα σε kg, το είδος του FGHG και το GWP του καθώς και οι tCO_{2e}.



- a Αν με τη μονάδα παρέχεται επιπρόσθετη πολύγλωσση ετικέτα για τα φθοριούχα αέρια θερμοκηπίου (βλ. εξαρτήματα), ξεκολλήστε την αντίστοιχη γλώσσα και κολλήστε την στο σημείο a.
- b Ποσότητα πλήρωσης ψυκτικού από το εργοστάσιο: ανατρέξτε στην πινακίδα ονομασίας της μονάδας
- c Πρόσθετη ποσότητα ψυκτικού που πληρώθηκε
- d Συνολική ποσότητα πλήρωσης ψυκτικού
- e **Εκπομπές αερίων θερμοκηπίου** της συνολικής ποσότητας πλήρωσης ψυκτικού εκφρασμένες σε τόνους ισοδύναμου CO₂ (διοξειδίου του άνθρακα)
- f GWP = Δυναμικό θέρμανσης του πλανήτη

Σχήμα 5.3: Τυπική ετικέτα σε εξοπλισμό που φέρει HFC εργαζόμενα μέσα με βάση το Α. 12 του Ε.Κ. 517/2014 [42]

Κεφάλαιο 6

6 Αντικατάσταση του R-410A από το R32

6.1 Εισαγωγή

Το R-410A , οδηγείται σταδιακά στην απόσυρση για οικιακές και μικρής κλίμακας εμπορικές εφαρμογές , λόγω του Ε.Κ. 517/2014 (βλ. Κεφάλαιο 5) , κάτι που οδηγεί την βιομηχανία στην αναζήτηση εναλλακτικών λύσεων . Μία από τις βασικότερες εναλλακτικές που ήδη έχουν εφαρμοστεί , είναι το εργαζόμενο μέσο R-32, το οποίο χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά σε εγκατάσταση κλιματισμού το 2012 στην Ιαπωνία, και πλέον έχουν πωληθεί εκατομμύρια μονάδες σε ολόκληρο τον πλανήτη. Ήδη στην Ελλάδα κλιματιστικά με το εν λόγω εργαζόμενο μέσο διατίθενται στην αγορά από το 2014.

Επίσης, θεωρείται ότι επιτυγχάνει αύξηση των βαθμών απόδοσης σε ψύξη και θέρμανση σε σχέση με το R-410A και μείωση της απαιτούμενης ποσότητας πλήρωσης κατά τουλάχιστον 10% . Πείραμα που έγινε σε σύστημα VRF επιβεβαίωσε τα παραπάνω, καθώς και ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί χωρίς περαιτέρω τροποποιήσεις στο σύστημα , ενώ έδειξε ως εμφανές μειονέκτημα, την αυξημένη θερμοκρασία κατάθλιψης που εμφανίζεται.

Στα επόμενα κεφάλαια λοιπόν θα γίνει μία σύγκριση των ιδιοτήτων των δύο εργαζόμενων ρευστών. Στη συνέχεια, θα γίνει μία θερμοδυναμική μελέτη, όπου θα συγκριθούν οι ιδιότητες των δύο κύκλων και θα σχεδιασθούν οι κύκλοι ψύξης των δύο εργαζόμενων μέσων και θα συγκριθούν οι παράμετροι λειτουργίας.

Πέραν τούτου, λόγω των βελτιωμένων ιδιοτήτων που εμφανίζει το R-32, αποτελεί ενδιαφέρουσα η εξέταση αντικατάστασης του R-410A σε κεντρικό σύστημα κλιματισμού, όπως σε ένα σύστημα αντλίας θερμότητας τύπου VRF . Σε αυτήν την περίπτωση, θα αξιολογηθεί η αντικατάσταση ενός κεντρικού συστήματος VRF σε ένα κτίριο γραφείων και σε ένα κτίριο ξενοδοχείου, λαμβάνοντας υπόψη το απαιτούμενα θερμικά και ψυκτικά φορτία σε κάθε περίπτωση και υπολογίζοντας τα ενδεχόμενα οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη.

6.2 Αντλίες θερμότητας

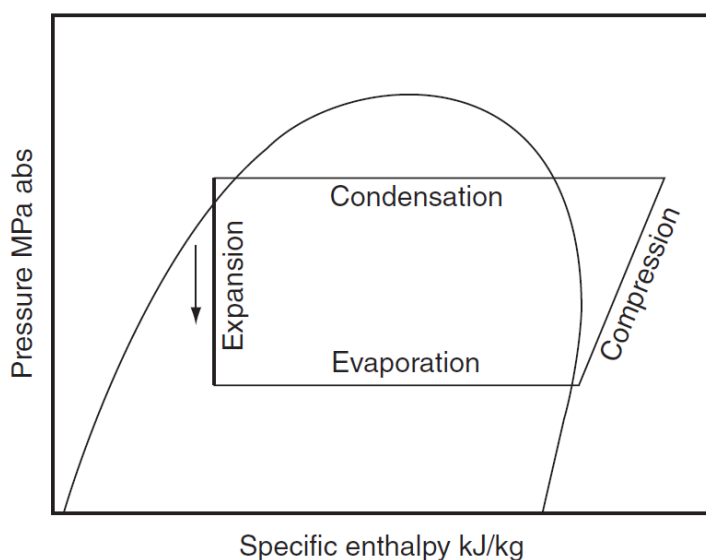
6.2.1 Γενικά στοιχεία

Η αντλία θερμότητας είναι η μηχανολογική διάταξη που επιτρέπει την μεταφορά θερμότητας από έναν χώρο χαμηλής θερμοκρασίας, σε έναν χώρο υψηλής θερμοκρασίας. Έτσι, δίνει τη δυνατότητα ψύξης ενός χώρου όταν υπάρχει υψηλή θερμοκρασία περιβάλλοντος το καλοκαίρι και θέρμανσης ενός χώρου όταν υπάρχει χαμηλή θερμοκρασία περιβάλλοντος τον χειμώνα.

Για την λειτουργία του χρησιμοποιεί το εργαζόμενο μέσο, το οποίο διέρχεται από διαδοχικές αλλαγές φάσης μεταξύ υγρής και αέριας κατάστασης μέσα στην αντλία θερμότητας, άλλοτε προσδίδοντας θερμότητα (στον συμπυκνωτή) και άλλοτε απορροφώντας θερμότητα (στον εξατμιστή).

Συγκεκριμένα, το εργαζόμενο μέσο διέρχεται από τις εξής μεταβολές

- **1-2 Συμπίεση (Compression)** - η αλλαγή φάσης του ρευστού εντός του συμπιεστή. Το εργαζόμενο μέσο εισέρχεται στον συμπιεστή ως αέριο χαμηλής πίεσης και θερμοκρασίας και εξέρχεται ως αέριο υψηλής πίεσης και υψηλής θερμοκρασίας. Σε αυτό το στάδιο γίνεται η πρόσδοση έργου στον κύκλο. Θεωρητικά είναι ισεντροπική μεταβολή



Σχήμα 6.1: Ο ψυκτικός κύκλος της αντλίας θερμότητας σε διάγραμμα Πίεσης-Ειδικής ενθαλπίας

- **2-4 Συμπύκνωση (Condensation)** - η αλλαγή φάσης του ρευστού εντός του συμπυκνωτή. Το εργαζόμενο μέσο εισέρχεται ως αέριο υψηλής πίεσης και θερμοκρασίας και εξέρχεται ως υγρό υψηλής πίεσης και υψηλής θερμοκρασίας. Θεωρητικά είναι ισενθαλπική μεταβολή.

- **4-5 Εξάτμιση (Expansion)** - η αλλαγή φάσης του ρευστού εντός της εκτονωτικής βαλβίδας. Το εργαζόμενο μέσο εισέρχεται ως υγρό υψηλής πίεσης και υψηλής θερμοκρασίας και

εξέρχεται ως μείγμα υγρού με αέριο χαμηλής πίεσης και χαμηλής θερμοκρασίας, και εισάγεται στον εξατμιστή, ολοκληρώνοντας τον κύκλο. Θεωρητικά είναι ισοβαρής μεταβολή.

- **5-1 Εξάτμιση (Evaporation)** - η αλλαγή φάσης του ρευστού εντός του εξατμιστή. Το εργαζόμενο μέσο εισέρχεται ως μείγμα υγρού με αέριο, και εξέρχεται ως αέριο χαμηλής πίεσης και χαμηλής θερμοκρασίας. Κατά την

εξάτμιση γίνεται θέρμανση του εργαζόμενου μέσου και ψύξη του περιβάλλοντος αέρα. Θεωρητικά είναι ισοβαρής μεταβολή.

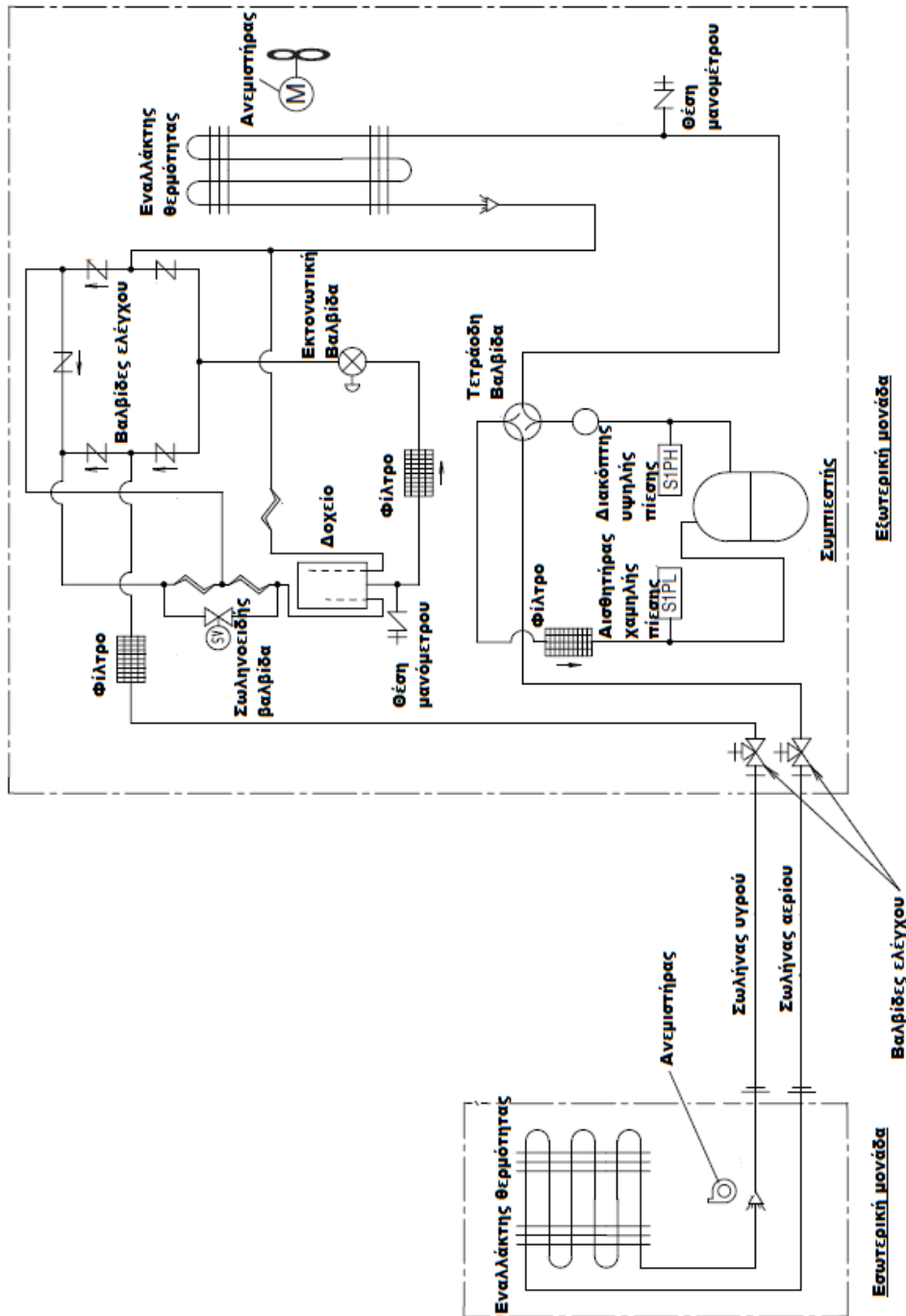
Τα βασικότερα εξαρτήματά μίας αντλίας θερμότητας λοιπόν είναι τέσσερα

- *Ο εναλλάκτης θερμότητας στο εξωτερικό περιβάλλον*- επιτρέπει την μεταφορά θερμότητας μεταξύ του εργαζόμενου μέσου και του εξωτερικού περιβάλλοντος . Όταν η αντλία θερμότητας λειτουργεί σε ψύξη ο συγκεκριμένος εναλλάκτης είναι ο συμπυκνωτής . Όταν η αντλία θερμότητας λειτουργεί σε θέρμανση ο συγκεκριμένος εναλλάκτης είναι ο εξατμιστής.
- *Ο εναλλάκτης θερμότητας στον εσωτερικό χώρο* - επιτρέπει την μεταφορά θερμότητας μεταξύ του εργαζόμενου μέσου και του εσωτερικού χώρου . Αντίθετα με τον εναλλάκτη στην εξωτερική μονάδα, όταν η αντλία θερμότητας λειτουργεί σε ψύξη ο συγκεκριμένος εναλλάκτης είναι ο εξατμιστής, ενώ όταν η αντλία θερμότητας λειτουργεί σε θέρμανση ο συγκεκριμένος εναλλάκτης είναι ο συμπυκνωτής.
- *Ο συμπιεστής* - προσδίδει έργο στο εργαζόμενο μέσο , αυξάνοντάς του την πίεση και την θερμοκρασία
- *Η εκτονωτική βαλβίδα* - μειώνει την πίεση και τη θερμοκρασία του εργαζόμενου μέσου

Πέρα από τα παραπάνω τέσσερα εξαρτήματα, η λειτουργία μίας αντλίας θερμότητας απαιτεί αρκετά παρελκόμενα, εκ των οποίων παρατίθενται τα βασικότερα.

- *Τετράοδη βαλβίδα* - επιτρέπει την χρήση της αντλίας θερμότητας σε ψύξη και σε θέρμανση. Κατά την αλλαγή λειτουργίας της μονάδας από ψύξη σε θέρμανση, η τετράοδη βαλβίδα αλλάζει θέση αντιστρέφοντας τον ρόλο των δύο εναλλακτών θερμότητας.
- *Ανεμιστήρες* - τοποθετούνται στους εναλλάκτες θερμότητας για ενίσχυση της μεταφοράς θερμότητας
- *Δοχείο υγρών* - εξασφαλίζει ότι το εργαζόμενο μέσο εισέρχεται υγρό και όχι σε μεικτή φάση στην εκτονωτική βαλβίδα
- *Συσσωρευστής* - εξασφαλίζει ότι το εργαζόμενο μέσο εισέρχεται πλήρως αέριο στον συμπιεστή.
- *Φίλτρα* - χρησιμοποιούνται για τον καθαρισμό του κυκλώματος από ξένες ουσίες
- *Αισθητήρια θερμοκρασίας και πίεσης* - τοποθετούνται σε αρκετά σημεία της εγκατάστασης (στην αναρρόφηση του συμπιεστή, στην κατάθλιψη του συμπιεστή, στο εξωτερικό περιβάλλον , στην αναρρόφηση της εσωτερικής μονάδας κ.α.) και είναι απαραίτητα για τον έλεγχο της λειτουργίας της μονάδας .
- *Ανεπίστροπες βαλβίδες ελέγχου* - εξασφαλίζουν τη σωστή ροή του μέσου

Τα παραπάνω εξαρτήματα φαίνονται σε μία τυπική αντλία θερμότητας στο Σχήμα 6.2.



Σχήμα 6.2: Τυπικό ψυκτικό κύκλωμα αντλίας θερμότητας αέρα/αέρα[50]

6.2.2 Βασικές παράμετροι λειτουργίας

Οι ακόλουθες είναι οι βασικότερες παράμετροι καθορίζουν τις θερμοδυναμικές ιδιότητες του εργαζόμενου μέσου στον κύκλο ψύξης μίας αντλίας θερμότητας, και μέσω αυτών μπορεί να οριστεί και να υπολογιστεί πλήρως ένα σημείο του κύκλου θερμοδυναμικά είναι τα παρακάτω

- Η θερμοκρασία του T (° C)

- Η πίεσή του P (bar)
- Η ειδική ενθαλπία του h (kJ/kg)
- Η ειδική εντροπία του s (kJ/kgK)
- Η πυκνότητά του v (kg/m³)
- Η θερμοχωρητικότητά του c (kJ/kgK)
- Η υγρασία του διφασικού μείγματος x (%)

Τα παραπάνω αποτυπώνονται σε διαγράμματα, το συνηθέστερα χρησιμοποιούμενο από τα οποία είναι το πίεσης –ειδικής ενθαλπίας (P-h) .

Οι βασικότεροι παράμετροι που καθορίζουν έναν ψυκτικό κύκλο είναι οι ακόλουθοι

- **Η θερμοκρασία εξάτμισης-Evaporation Temperature (T_e)** του εργαζόμενου μέσου, καθορίζει την χαμηλότερη θερμοκρασία του κύκλου, κατά την οποία γίνεται απόδοση της ψύξης του μηχανήματος, στον εξατμιστή του συστήματος . Σε λειτουργία ψύξης η εξάτμιση γίνεται στον χώρο, ενώ σε λειτουργία θέρμανσης, η εξάτμιση γίνεται στο περιβάλλον . Συνήθως απαιτείται η T_e να είναι τουλάχιστον 10 K χαμηλότερα από τον αέρα που πρέπει να ψύξει
- **Η θερμοκρασία συμπύκνωσης-Condensation temperature (T_c)** του εργαζόμενου μέσου, καθορίζει την θερμοκρασία κατά την οποία γίνεται η απόδοση θερμότητας του μηχανήματος, στον συμπυκνωτή του συστήματος. Κατ αντιστοιχία με την εξάτμιση, η συμπύκνωση γίνεται στο περιβάλλον σε λειτουργία ψύξης και στον χώρο σε λειτουργία θέρμανσης. Συνήθως απαιτείται η T_c να είναι τουλάχιστον 10 K υψηλότερα από τον αέρα που πρέπει να θερμάνει.
- **Η υπερθέρμανση αναρρόφησης-Superheat (SH)** είναι η διαφορά θερμοκρασίας αναρρόφησης από θερμοκρασία εξάτμισης. Ουσιαστικά εξασφαλίζει ότι στην αναρρόφηση του συμπιεστή το εργαζόμενο μέσο θα είναι αέριο, κάτι που είναι απαραίτητο για συστήματα με συμπιεστή τύπου Scroll , όπου η αναρρόφηση υγρού μπορεί να βλάψει τον συμπιεστή. Συνήθως η SH είναι 2~ 5 K . Πέρα από αυτό , πολλά συστήματα κλιματισμού φέρουν και accumulator για την αναρρόφηση αποκλειστικά αερίου στον συμπιεστή.
- **Ο βαθμός υπόψυξης-subcool (SC)** είναι η διαφορά θερμοκρασίας συμπύκνωσης από την θερμοκρασία εισαγωγής του εργαζόμενου μέσου στην εκτονωτική βαλβίδα. Εξασφαλίζει ότι το εργαζόμενο μέσο θα έχει υγρή μορφή κατή την εισαγωγή του στην εκτονωτική βαλβίδα (δεν μπορεί να εκτονώσει αέριο) . Συνήθως SC~2 K . Πέραν τούτου, πολλά συστήματα κλιματισμού χρησιμοποιούν και liquid receiver για να επιτύχουν το παραπάνω.

Πέραν των παραπάνω βασικών παραμέτρων, οι ακόλουθες είναι συχνά απαιτούμενες για μία πληρέστερη προσέγγιση της πραγματικότητας

- **ΔΡ εξατμιστή (bar)**- Η πτώση πίεσης του εργαζόμενου μέσου κατά την διέλευσή του από τον εξατμιστή
- **ΔΡ γραμμής αναρρόφησης (bar)** – Η πτώση πίεσης του εργαζόμενου μέσου στην γραμμή αναρρόφησης του συμπιεστή
- **ΔΡ γραμμής κατάθλιψης (bar)** – Η πτώση πίεσης του εργαζόμενου μέσου στην γραμμή κατάθλιψης, μετά τον συμπιεστή και πριν τον συμπυκνωτή
- **Ισεντροπικός βαθμός απόδοσης συμπιεστή**- Η βαθμός απόδοσης του συμπιεστή. Σε ιδανικά συστήματα λαμβάνεται ως 100%
- **ΔΡ συμπυκνωτή (bar)** – Η πτώση πίεσης στον συμπυκνωτή του συστήματος
- **ΔΡ γραμμής υγρού (bar)** – Η πτώση πίεσης μετά τον συμπυκνωτή και μέχρι την εισαγωγή του εργαζόμενου μέσου στην εκτονωτική βαλβίδα

Στην μελέτη που θα ακολουθήσει ,θα ληφθούν υπόψη μόνο τα τέσσερα πρώτα μεγέθη, τα οποία καθορίζουν πλήρως έναν ψυκτικό κύκλο. Τα υπόλοιπα, αν και σημαντικά, απαιτούν παραπέμπουμε στη διεθνή βιβλιογραφία , στην οποία γίνεται εκτενέστερη μελέτη [47] [48].

Ο υπολογισμός των βασικών παραμέτρων λειτουργίας γίνεται χρησιμοποιώντας τις παρακάτω εξισώσεις

$$Q_c \text{ (kJ/kg)} = h_1 - h_5$$

$$Q_h \text{ (kJ/kg)} = h_2 - h_4$$

$$W \text{ (kJ/kg)} = h_2 - h_1$$

$$EER = Q_c / W$$

$$COP = Q_h / W$$

$Q_c \text{ (kJ/kg)}$: η απόδοση ψυκτικής ισχύος ανά kg/s παροχής εργαζόμενου μέσου

$Q_h \text{ (kJ/kg)}$: η απόδοσης θερμικής ισχύος ανά kg/s παροχής εργαζόμενου μέσου

$W \text{ (kJ/kg)}$: η καταναλισκόμενη ισχύς από τον συμπιεστή ανά kg/s παροχής εργαζόμενου μέσου

$EER (-)$: ο βαθμός απόδοσης του συστήματος σε λειτουργία ψύξης

$COP (-)$: ο βαθμός απόδοσης του συστήματος σε λειτουργία θέρμανσης

6.2.3 Αντλία θερμότητας τύπου VRF/VRV

Οι αντλίες θερμότητας τύπου VRV (Variable Refrigerant Volume) εφευρέθηκαν το 1982 από την εταιρεία Daikin στην Ιαπωνία . Αποτελούνται από μία εξωτερική μονάδα, η οποία τροφοδοτεί με ψυκτικές σωληνώσεις πολλές εσωτερικές μονάδες. Από τότε, πολλές εταιρείες έχουν χρησιμοποιήσει παρόμοιο σύστημα , δίνοντάς της την ονομασία VRF (Variable Refrigerant Flow) . Το εργαζόμενο μέσο που μεταφέρει τη θερμότητα σε όλες τις εσωτερικές μονάδες είναι φρέον, αντίθετα με τους ψύκτες, οι οποίοι έχουν παρόμοια εφαρμογή, αλλά χρησιμοποιούν το νερό. Χρησιμοποιούνται κατά κόρον σε

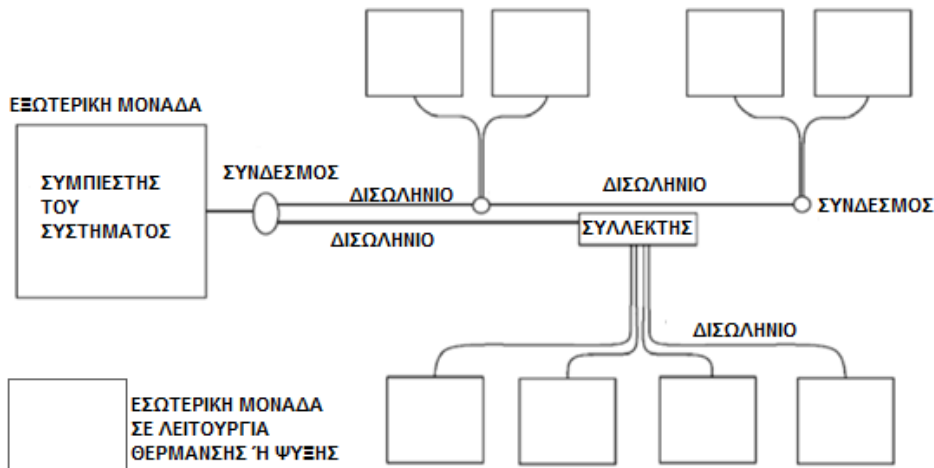


Σχήμα 6.3: Σχηματική απεικόνιση συστήματος VRF [51]

εμπορικές εφαρμογές, όπως σε γραφεία και συγκροτήματα καταστημάτων, ενώ πλέον χρησιμοποιούνται και σε οικιακή κλίμακα, χάρη κυρίως στη δυνατότητα εξυπηρέτησης μεταβλητών φορτίων και στην εξοικονόμηση χώρου που επιτυγχάνουν.

Σαν σύστημα, διαφέρει ελάχιστα από μία μονάδα διαιρούμενου τύπου (Split). Έχει τη δυνατότητα ωστόσο κάλυψης περισσότερων εσωτερικών μονάδων, με την σύζευξη τριών ή και περισσότερων συμπιεστών για την κάλυψη του πλήρους φορτίου.

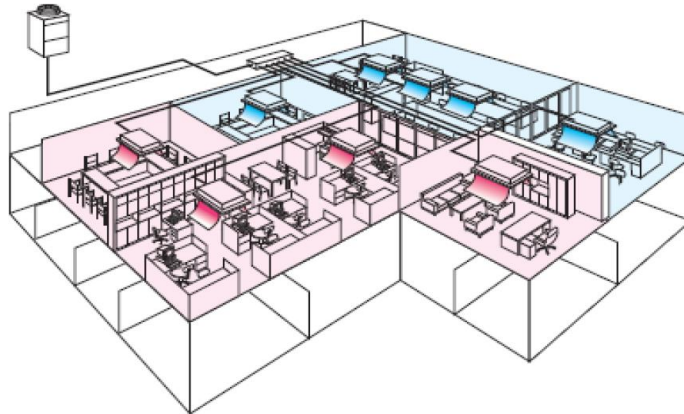
Από άποψη εγκατάστασης, ένα σύστημα αντλίας θερμότητας τύπου VRF, απαιτεί μία σωλήνωση αερίου και μία σωλήνωση υγρού που να οδηγούν στις εσωτερικές μονάδες.



Σχήμα 6.4: Τυπική συνδεσμολογία συστήματος αντλίας θερμότητας τύπου VRF [52]

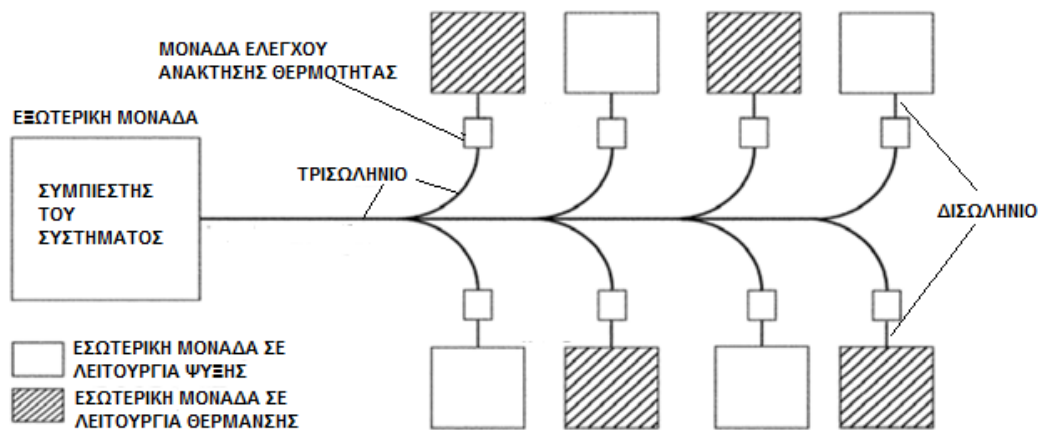
Η εξωτερική μονάδα συνδέεται με τις εσωτερικές με έναν διπλό σωλήνα, που περιλαμβάνει μία σωλήνα υγρού και μία σωλήνα αερίου.

Επίσης, σημαντική εξέλιξη του συστήματος VRF είναι η δυνατότητα ανάκτησης θερμότητας, δηλαδή τα συστήματα Heat Recovery. Αυτά δίνουν τη δυνατότητα αντί να απορρίπτεται θερμικό φορτίο στην εξωτερική μονάδα, αυτό να αξιοποιείται στην παράλληλη παραγωγή ψύξης και θέρμανσης. Αυτή η τεχνολογία δίνει τη δυνατότητα πρακτικά διπλασιασμού του βαθμού απόδοσης της μονάδας και



επιτυγχάνει τις βέλτιστες συνθήκες άνεσης.

Σχήμα 6.5: Σχηματική απεικόνιση συστήματος ανάκτησης θερμότητας [51]



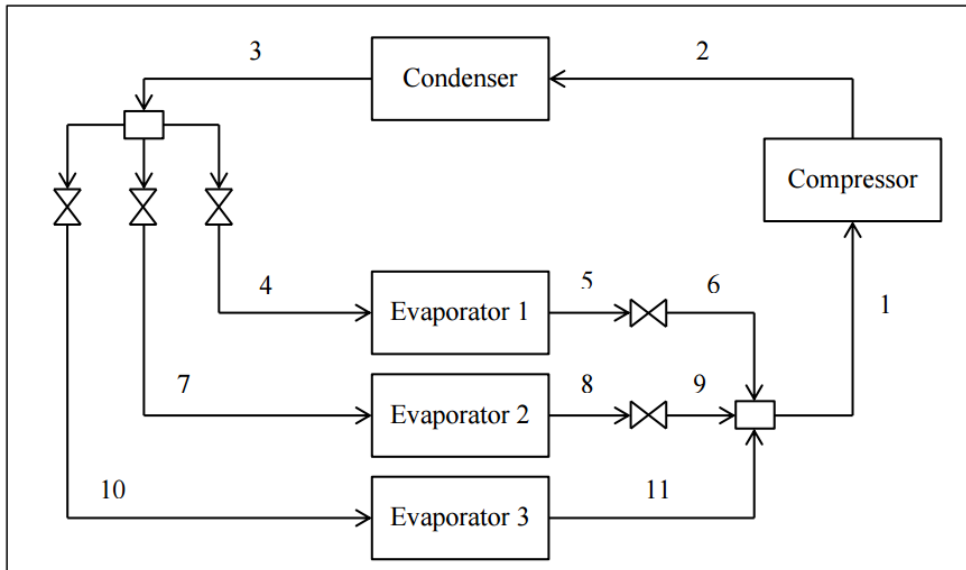
Σχήμα 6.6: Τυπική συνδεσμολογία συστήματος αντλίας θερμότητας VRF με δυνατότητα ανάκτησης θερμότητας. [52]

Η μονάδα ελέγχου ανάκτησης θερμότητας έχει στην είσοδό του τρεις σωλήνες (μία υγρού, μία αερίου υψηλής πίεσης και μία αερίου χαμηλής πίεσης) και στην έξοδό του μία σωλήνα αερίου και μία σωλήνα υγρού. Έτσι τροφοδοτεί μία εσωτερική ή μία ομάδα εσωτερικών μονάδων, οι οποίες λειτουργούν όλες ταυτόχρονα είτε σε ψύξη, είτε σε θέρμανση. Κάθε μία από τις εσωτερικές αυτές μονάδες μπορεί να αποτελεί υδροδοχείο για την παραγωγή Νερού Χρήσης.

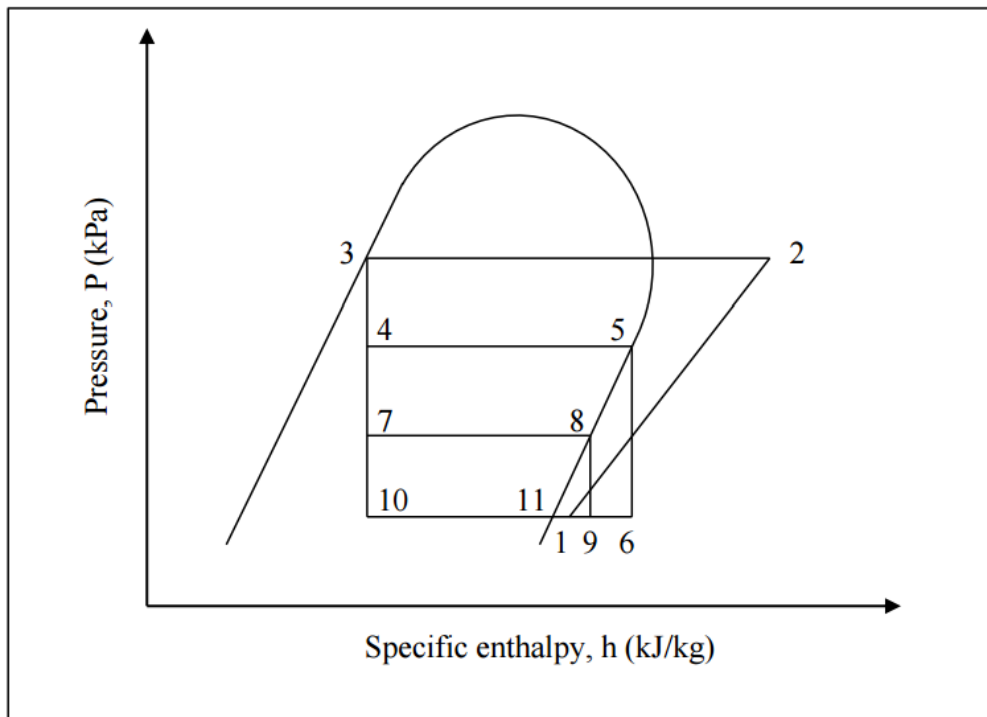
Μία συνηθισμένη εφαρμογή αυτής της τεχνολογίας είναι σε κτίριο ξενοδοχείου ή νοσοκομείου που συνηθίζεται η ταυτόχρονη απαίτηση ψύξης και Ζεστών Νερών Χρήσης (ZNX). Σε αυτήν την περίπτωση, συνδέεται εναλλάκτης φρέον νερού με την εξωτερική μονάδα και αξιοποιείται η απορριπτόμενη θερμότητα για την παραγωγή ZNX.

Παρακάτω αναλύεται ένα τυπικό σύστημα VRF σε λειτουργία ψύξης με τρεις εσωτερικές μονάδες ως εξατμιστές (evaporators) και την εξωτερική μονάδα που

περιλαμβάνει τον συμπιεστή και τον συμπυκνωτή του συστήματος (βλ. Σχήμα 6.7). Επίσης, παρατίθεται και ο θερμοδυναμικός κύκλος του συστήματος VRF στην λειτουργία ψύξης (βλ. Σχήμα 6.8)



Σχήμα 6.7- Τυπικό σύστημα VRF σε λειτουργία ψύξης, με τρεις εσωτερικές μονάδες [53]



Σχήμα 6.8- Ο θερμοδυναμικός κύκλος ενός τυπικού συστήματος VRF σε λειτουργία ψύξης και με τρεις εσωτερικές μονάδες. Φαίνεται η διαφορετική θερμοκρασία εξάτμισης της κάθε εσωτερικής μονάδας, καθώς και ο βαθμός εκτόνωσης για να επιτευχθεί αυτό [53]

Έτσι, με τα παραπάνω εργαλεία, δύναται να υπολογιστεί ακριβώς ο συντελεστής απόδοσης COP σε λειτουργία ψύξης ολόκληρου του συστήματος. Παρακάτω παρατίθενται οι εν λόγω εξισώσεις.

$$m_1 = \frac{Q_{evap1}}{h_5 - h_4}$$

$$m_2 = \frac{Q_{evap2}}{h_8 - h_7}$$

$$m_3 = \frac{Q_{evap3}}{h_{11} - h_{10}}$$

Η συνολική ροή μάζας εργαζόμενου μέσου μπορεί να γραφτεί ως

$$m_{tot} = m_1 + m_2 + m_3$$

Η ενθαλπία στην εισαγωγή του συμπιεστή μπορεί να υπολογιστεί με ενεργειακό ισοζύγιο στον συγκεκριμένο κόμβο.

$$h_1 m_{tot} = h_6 m_1 + h_9 m_2 + h_{11} m_3$$

Η ενθαλπία στην κατάθλιψη του συμπιεστή μπορεί να υπολογιστεί μέσω του ισεντροπικού βαθμού απόδοσής του.

$$n_c = \frac{h_{2isen} - h_1}{h_2 - h_1}$$

$$W_c = m_{tot}(h_2 - h_1)$$

Συνεπώς ο βαθμός απόδοσης του συστήματος VRF υπολογίζεται ως εξής [53]

$$COP = \frac{Q_{evap1} + Q_{evap2} + Q_{evap3}}{W_c}$$

6.3 Σύγκριση γενικών χαρακτηριστικών λειτουργίας

Για να γίνει μία πλήρης σύγκριση των χαρακτηριστικών δύο εργαζόμενων ρευστών, πρέπει να ληφθούν κατά το δυνατόν, όλοι οι παράγοντες που αναφέρονται στο Κεφάλαιο 1.2 . Στον παρακάτω πίνακα (βλ. Πίνακας 6.1) γίνεται μία σύνοψη των βασικότερων παραμέτρων ενός ψυκτικού μέσου και μία σύγκριση μεταξύ R-32 και R-410A.

	R-32	R-410A
Composition	Single Component	R-32/R-125 (50% wt)
Standard desing pressure	4,17 MPa	4,17 MPa
Refrigerant oil	Synthetic oil (ether)	Synthetic oil(ether)
Boiling temp (d. C)	-51,7	-51,5
Critical Temperature (d. C)	78,1	71,5
Liquid thermal conductivity (mW/mK)	135	80
ODP	0	0
GWP	650	1750
ISO 817 Class	A2L	A1

Πίνακας 6.1: Σύγκριση βασικών χαρακτηριστικών R-410A με R-32 [47]

Στον Πίνακας 6.1 δίνεται μία επισκόπηση των βασικών παραμέτρων του R-32 σε σχέση με το R-410A .

Αρχικά, σημαντική διαφορά είναι ότι το R-410A αποτελεί ζεοτροπικό (αν και με ιδιότητες σχεδόν αζεοτροπικού μείγματος) εργαζόμενο μέσο, ενώ το R-32 αποτελεί εργαζόμενο μέσο ενός συστατικού. Αυτό , δίνει πλεονέκτημα στο R-32 στη διαδικασία της συντήρησης του εξοπλισμού (βλ. Κεφάλαιο 1.3) .

Οι πιέσεις λειτουργίας, όπως θα φανεί και στο Κεφάλαιο 0 είναι κατά βάση ίδιες. Επίσης , η θερμοκρασία βρασμού και η κρίσιμη θερμοκρασία των δύο εργαζόμενων μέσων δεν διαφέρουν σημαντικά.

Σημαντική διαφορά είναι η αρκετά μεγαλύτερη θερμική αγωγιμότητα του R-32, όπως θα φανεί και στον Πίνακα 6.2 .

Περιβαλλοντικά, το R-32 έχει 68% μικρότερο GWP από το R-410A. Αυτό, έχει προφανές όφελος για το περιβάλλον, και ευνοϊκότερη μεταχείριση με βάση τον F-gas regulation (βλ. Κεφάλαιο 6.6) .

Όσον αφορά την ασφάλεια των δύο εργαζόμενων μέσων, σημαντική διαφορά είναι ότι το R-32 υπάγεται στην κατηγορία A2L, των ελαφρώς εύφλεκτων ,μη τοξικών μέσων, σύμφωνα με ISO 817 , σε σχέση με το R-410A , το οποίο υπάγεται στην κατηγορία A1, των μη εύφλεκτων , μη τοξικών μέσων. (βλ. Κεφάλαιο 3.3) . Ανάλυση για το θέμα θα ακολουθήσει στο Κεφάλαιο 0 .

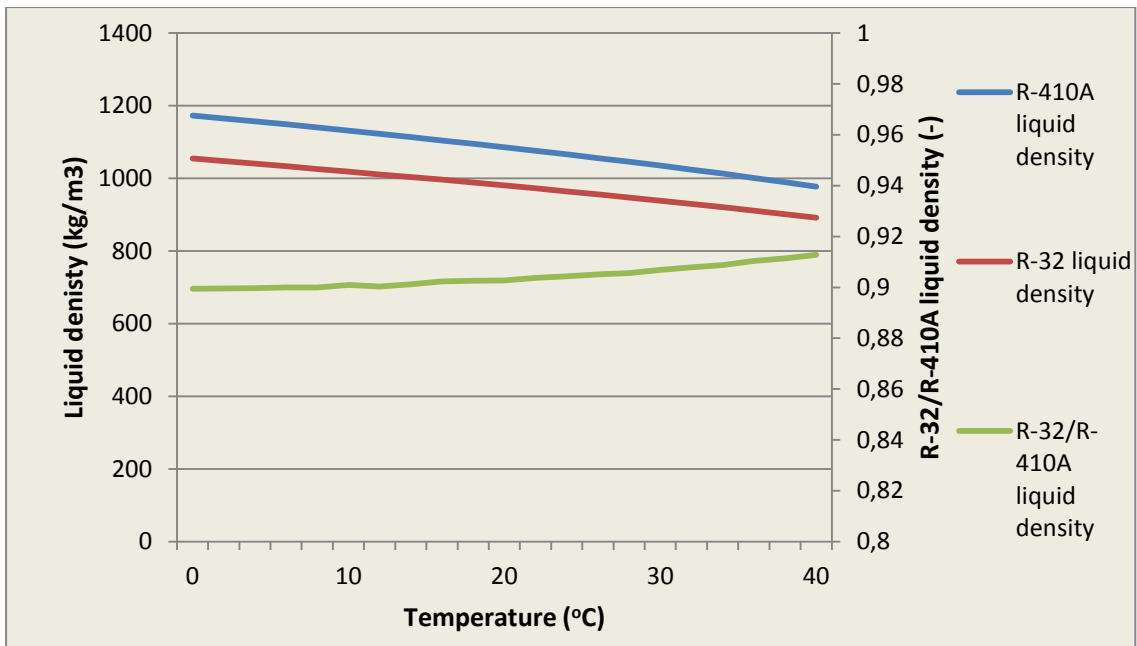
Επίσης, παρατίθενται τα παρακάτω θερμοδυναμικά χαρακτηριστικά των δύο εργαζόμενων ρευστών σε τυπικές θερμοκρασίες εξάτμισης και συμπύκνωσης, 10°C και 44° C αντίστοιχα.

Parameter	Unit	R410A		R32	
Temperature	°C	44	10	44	10
Saturated vapor pressure	kPa	2,653	1,081	2,729	1,107
Liquid density	kg/m ³	953.2	1,133	872.6	1,020
Vapor density	kg/m ³	115.6	41.9	82.4	30.2
Latent heat	kJ/kg	151.7	209.9	226.7	298.9
Liquid specific heat	kJ/(kg·K)	1.89	1.57	2.25	1.80
Vapor specific heat	kJ/(kg·K)	1.94	1.23	2.07	1.34
Liquid thermal conductivity	mW/(m·K)	75.1	98.1	105.1	136.4
Vapor thermal conductivity	mW/(m·K)	18.7	13.6	21.4	15.3
Liquid viscosity	μPa·s	92.0	147.3	92.6	139.5
Vapor viscosity	μPa·s	15.7	12.7	14.0	12.0
Suction specific volume @ 10°C	m ³ /kg	-	0.0238	-	0.00331
Volumetric cooling capacity	kJ/m ³	-	8,804	-	9,039

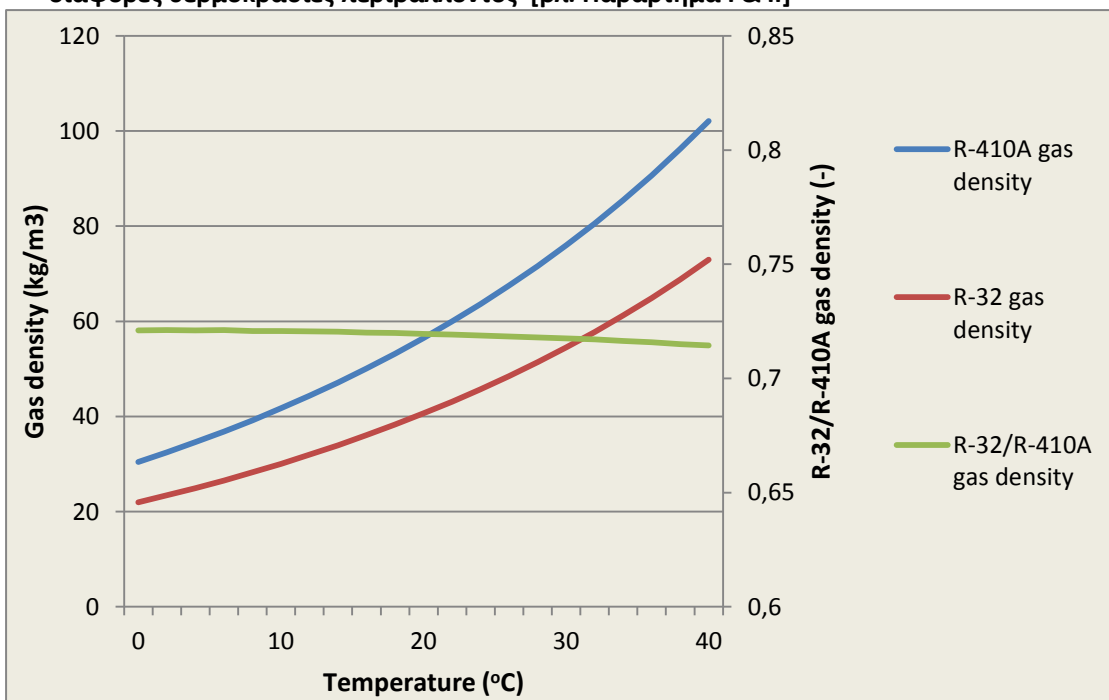
Πίνακας 6.2: Σύγκριση βασικών θερμοδυναμικών χαρακτηριστικών σε θερμοκρασία εξάτμισης $T_e=10^\circ\text{C}$ και θερμοκρασία συμπύκνωσης $T_c=44^\circ\text{C}$ για τα εργαζόμενα μέσα R-32 και R-410A [47]

Από τα παραπάνω δεδομένα για τα εργαζόμενα μέσα προκύπτουν κάποια ενδιαφέροντα συμπεράσματα.

- Η λανθάνουσα θερμότητα (latent heat) στις παραπάνω συνθήκες είναι κατά 40% με 50% μεγαλύτερη για το R-32 σε σχέση με το R-410A, αυξάνοντας την ικανότητα απόδοσης ψύξης και θέρμανσης για ίδια παροχή εργαζόμενου μέσου
- Η θερμική αγωγιμότητα (thermal conductivity) του R-32 σε σχέση με το R-410A σε κατάσταση υγρού είναι κατά 40% μεγαλύτερη και σε συνθήκες εξάτμισης, και σε συνθήκες συμπύκνωσης, αυξάνοντας έτσι σημαντικά την ροή θερμότητας στο σύστημα.
- Η πυκνότητα (liquid/vapor density) του R-32 είναι μικρότερη σε σχέση με αυτή του R-410A. Η μείωση αυτή στην πυκνότητα οδηγεί σε ανάλογη μείωση στην απαιτούμενη ροή εργαζόμενου μέσου στο κύκλωμα. (βλ. Σχήμα 6.7 και Σχήμα 6.8)



Σχήμα 6.7: Σύγκριση της πυκνότητας σε υγρή μορφή του R-32 ως προς το R-410A για διάφορες θερμοκρασίες περιβάλλοντος [βλ. Παράρτημα I & II]

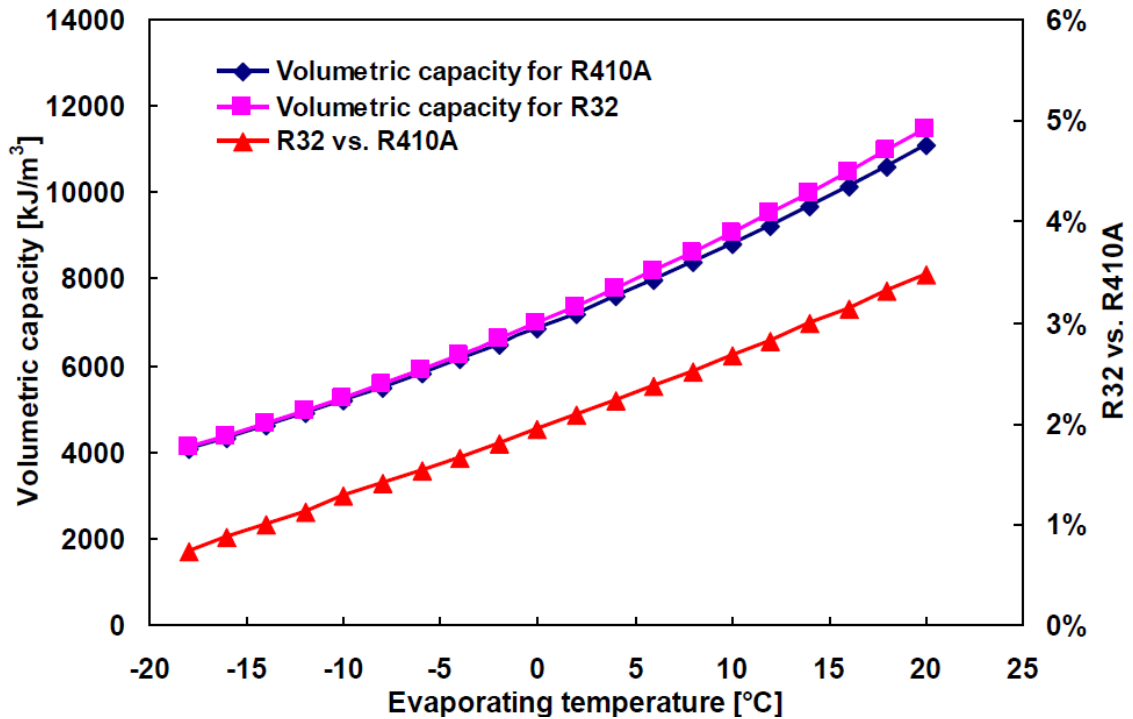


Σχήμα 6.8: Σύγκριση της πυκνότητας σε αέρια μορφή του R-32 ως προς το R-410A για διάφορες θερμοκρασίες περιβάλλοντος [βλ. Παράρτημα I & II]

Με βάση τα παραπάνω δύο διαγράμματα είναι εμφανής η διαφορά πυκνότητας μεταξύ του R-32 και του R-410A, κάτι που αποτελεί ένδειξη ότι το σύστημα θα απαιτεί μικρότερη πλήρωση εργαζόμενου μέσου, και συνεπώς λιγότερους tCO_{2e} (βλ. Κεφάλαιο 5 & 6.6). Επίσης, η μικρότερη πλήρωση εργαζόμενου μέσου συνεπάγεται μικρότερη πτώση πίεσης στο κύκλωμα.

- Ο συνδυασμός της αυξημένης λαθάνουσας θερμότητας με την μειωμένη πυκνότητα αναρρόφησης, οδηγεί σε αύξηση της ογκομετρικής θερμοχωρητικότητας κατά περίπου 3% του R-32 σε σχέση με το R-410A. Η

ογκομετρική θερμοχωρητικότητα (volumetric capacity) είναι ένα μέτρο της μεταφερόμενης θερμότητας ανά μονάδα όγκου του εργαζόμενου ρευστού . Η αύξηση του μεγέθους αυτού είναι ένδειξη ότι το σύστημα μπορεί να παράγει την ίδια ψύξη ή θέρμανση , χρησιμοποιώντας μικρότερο συμπιεστή και γενικότερα μικρότερα στοιχεία.



Σχήμα 6.9: Σύγκριση της ογκομετρικής θερμοχωρητικότητας για διάφορες θερμοκρασίες εξάτμισης του R-32 ως προς το R-410A. [47]

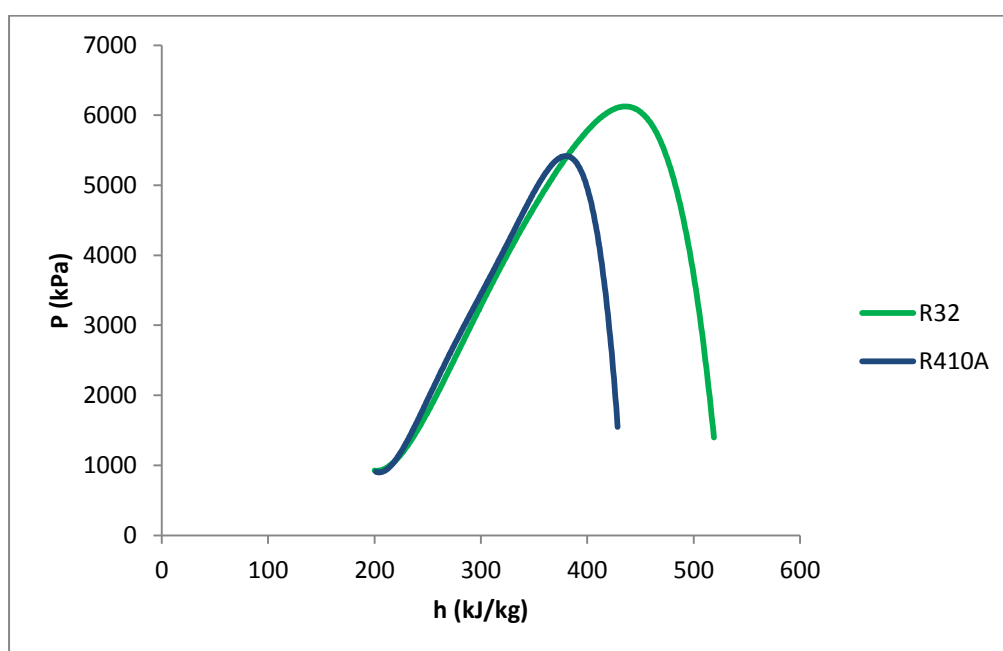
- Τέλος, η συνεκτικότητα (viscosity) του R-32 εμφανίζεται ελαφρώς μικρότερη αυτής του R-410A, και σε αέρια και σε υγρή μορφή, σε συνθήκες εξάτμισης και συμπύκνωσης . Αυτό, σε συνδυασμό με την απαίτηση για μικρότερη ροή εργαζόμενου μέσου, μειώνει την πτώση πίεσης σε σωληνώσεις και στους εναλλάκτες του συστήματος , αυξάνοντας τον βαθμό απόδοσης του συστήματος.

6.4 Θερμοδυναμική ανάλυση

6.4.1 Βασικές παράμετροι λειτουργίας της αντλίας θερμότητας

Στην θερμοδυναμική ανάλυση ενός συστήματος, υπολογίζονται οι βαθμοί απόδοσης και η ικανότητα απόδοσης ισχύος ενός συστήματος, με βάση τις συνθήκες που το σύστημα έχει σχεδιασθεί να δουλέψει. Για τον σκοπό αυτό, θα χρησιμοποιηθεί το ελεύθερο λογισμικό **CoolProp 6.1.0**, το οποίο αποτελεί βιβλιοθήκη για πολλά από τα ευρύτερα χρησιμοποιούμενα εργαζόμενα μέσα.

Παρακάτω παρατίθεται η καμπύλη κορεσμού για τα δύο εργαζόμενα μέσα.



Σχήμα 6.10: P-h διάγραμμα για τα R-32 και R-410A .[βλ. Παράρτημα I & II]

Εμφανής είναι η κατά πολύ μεγαλύτερη λανθάνουσα θερμότητα του R-32 για όλες τις πιέσεις του εργαζόμενου μέσου, κάτι το οποίο αυξάνει τη δυνατότητα ψύξης και θέρμανσής του.

6.4.2 Σύγκριση τυπικού ψυκτικού κύκλου R-410A με R-32

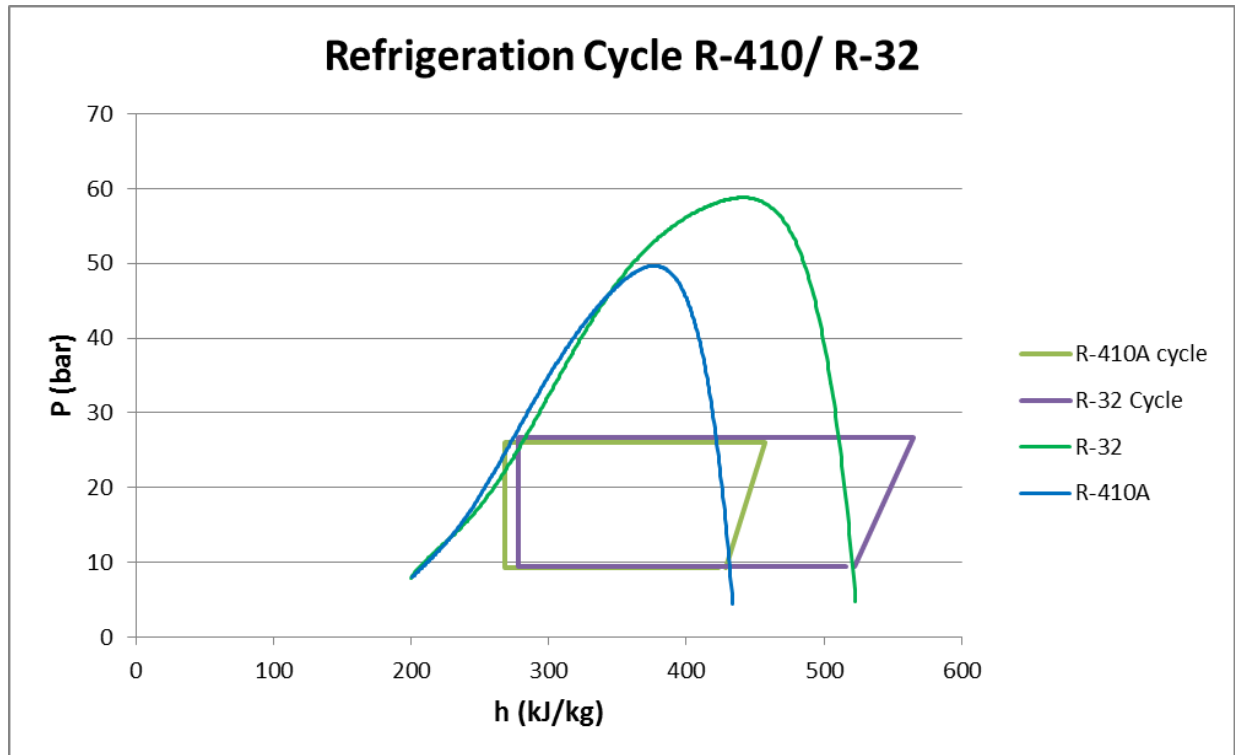
Έστω, λοιπόν ένας τυπικός κύκλος κλιματισμού χώρου, ο οποίος έχει τις ακόλουθες παραμέτρους

$$T_e = 5 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_c = 43 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$SH = 5 \text{ K}$$

$$SC = 2 \text{ K}$$



Σχήμα 6.11: Σχεδιασμός του εν λόγω ψυκτικού κύκλου σε διάγραμμα P-h για το κάθε εργαζόμενο μέσο

Τα σημεία που αποτελούν αυτόν τον κύκλο είναι τα παρακάτω

	R410A				R32			
	T(d.C)	P(bar)	h(kJ/kg)	s(kJ/kg/K)	T(d.C)	P(bar)	h(kJ/kg)	s(kJ/kg/K)
1	10	9,3	428,5	1,821	10	9,51	522,4	2,158
2	64,2	26,1	457,3	1,821	76,8	26,6	564,9	2,158
3	43	26,1	271,9		43	26,6	281,98	
4	41	26,1	268,1		41	26,6	277,72	
5	5	9,3	268,1		5	9,51	277,72	
6	5	9,3	422,8		5	9,51	516,10	

Πίνακας 6.3: Τα σημεία που απαρτίζουν τον θερμοδυναμικό κύκλο για $T_e=5\text{ }^\circ\text{C}$ $T_c=43\text{ }^\circ\text{C}$, $SH=5\text{ K}$, $SC=2\text{ K}$

Αξιοσημείωτο είναι ότι οι πιέσεις λειτουργίας για τα δύο εργαζόμενα μέσα διαφέρουν ελάχιστα, ενώ σημαντική είναι η διαφορά στην θερμοκρασία κατάθλιψης - 12,6 K.

Επίσης, παρακάτω παρατίθενται η αποδιδόμενη ισχύς του παραπάνω κύκλου, καθώς και ο βαθμός απόδοσης του συστήματος, για λειτουργία σε θέρμανση και ψύξη.

Results	R-410A	R-32
Qc (kJ/kg)	160,34	244,71
Qh (kJ/kg)	189,15	287,25
W (kJ/kg)	28,81	42,55
EER	5,57	5,75
COP	6,57	6,75

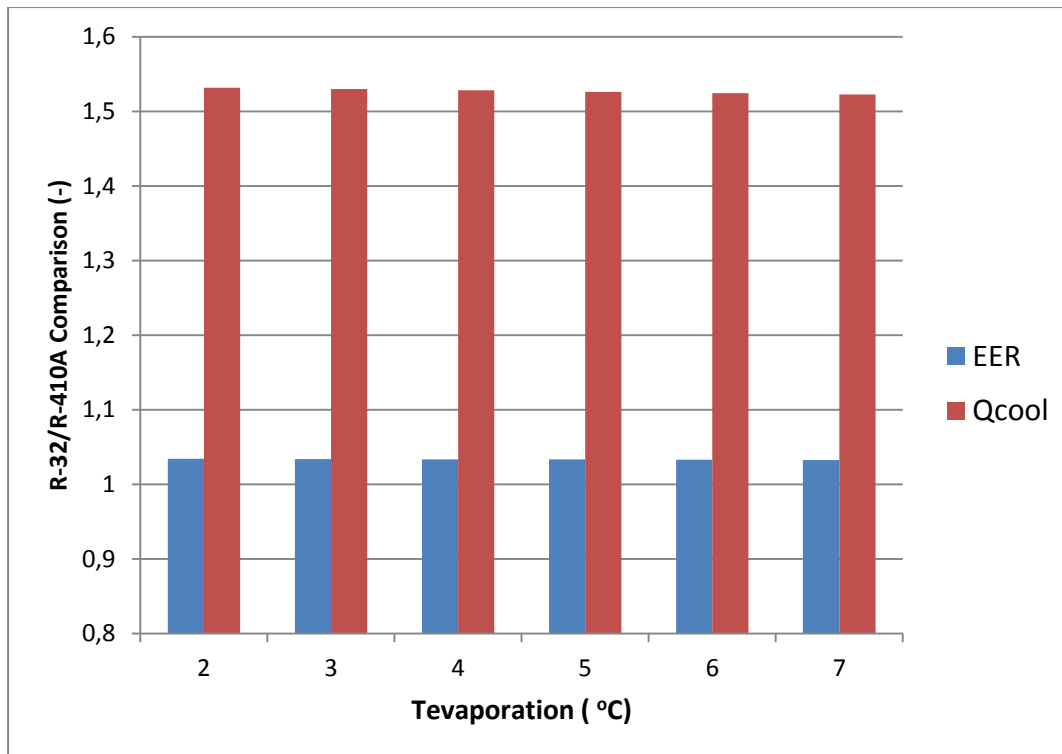
Πίνακας 6.4: Αποδιδόμενη ισχύς, καταναλισκόμενη ισχύς και βαθμοί απόδοσης του βασικού θερμοδυναμικού κύκλου R-410A και R-32

Εμφανής η δυνατότητα του εργαζόμενου μέσου να αποδώσει την ίδια ισχύ με σαφώς μικρότερες παροχές εργαζόμενου μέσου, καθώς επίσης και οι καλύτεροι βαθμοί απόδοσης σε θέρμανση και ψύξη.

Για την περαιτέρω διερεύνηση της παραπάνω διαπίστωσης, μελετήθηκαν τα δύο παραπάνω μεγέθη, δηλαδή η αποδιδόμενη ισχύς και ο βαθμός απόδοσης σε διάφορες θερμοκρασίες εξάτμισης και συμπύκνωσης.

Συγκεκριμένα, θεωρήθηκε δεδομένο ότι κατά την απόδοσης ψύξης, σε ένα σύστημα κλιματισμού συνήθως μεταβαλλόμενη είναι η θερμοκρασία εξάτμισης, ενώ κατά την απόδοση θέρμανσης, συνήθως μεταβαλλόμενη είναι η θερμοκρασία συμπύκνωσης. Έτσι, μελετήθηκε η παράμετρος θερμοκρασία εξάτμισης στην ψύξη, με σταθερή την θερμοκρασία συμπύκνωσης στους 43 ο C.

Τα αποτελέσματα φαίνονται στο παρακάτω διάγραμμα

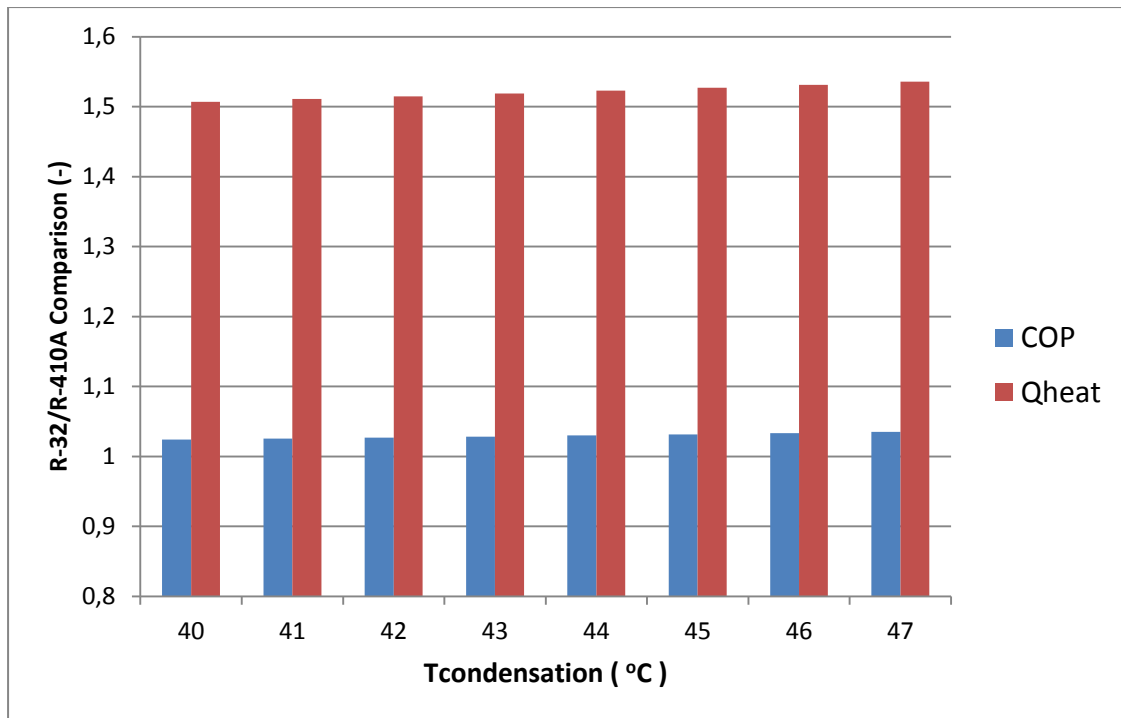


Σχήμα 6.12: Σύγκριση της αποδιδόμενης ισχύος και του βαθμού απόδοσης σε ψύξη του R-32 ως προς το R-410A με σταθερή $T_c=43\text{ }^\circ\text{C}$.

Ως μονάδα αναφοράς θεωρείται η απόδοση του R-410A, λαμβάνοντας τιμή μονάδας.

Εμφανές είναι ότι ο λόγος των EER (R-32/R-410A) έχει μία περίπου σταθερή τιμή, με το R-32 να εμφανίζει κατά 3,5% καλύτερο βαθμό απόδοσης από το R-410A για διάφορες θερμοκρασίες εξάτμισης. Επίσης, ο λόγος της αποδιδόμενης ισχύος διατηρείται επίσης σταθερός, με το R-32 να εμφανίζει κατά περίπου 52,5% μεγαλύτερη απόδοση ισχύος από το R-410A.

Ομοίως, εξετάζεται η παράμετρος θερμοκρασία συμπύκνωσης ως προς τον βαθμό απόδοσης και την δυνατότητα απόδοσης θερμικής ισχύος. Έτσι, λαμβάνοντας σταθερή την T_c στην τυπική τιμή των 5°C , προκύπτουν τα ακόλουθα.

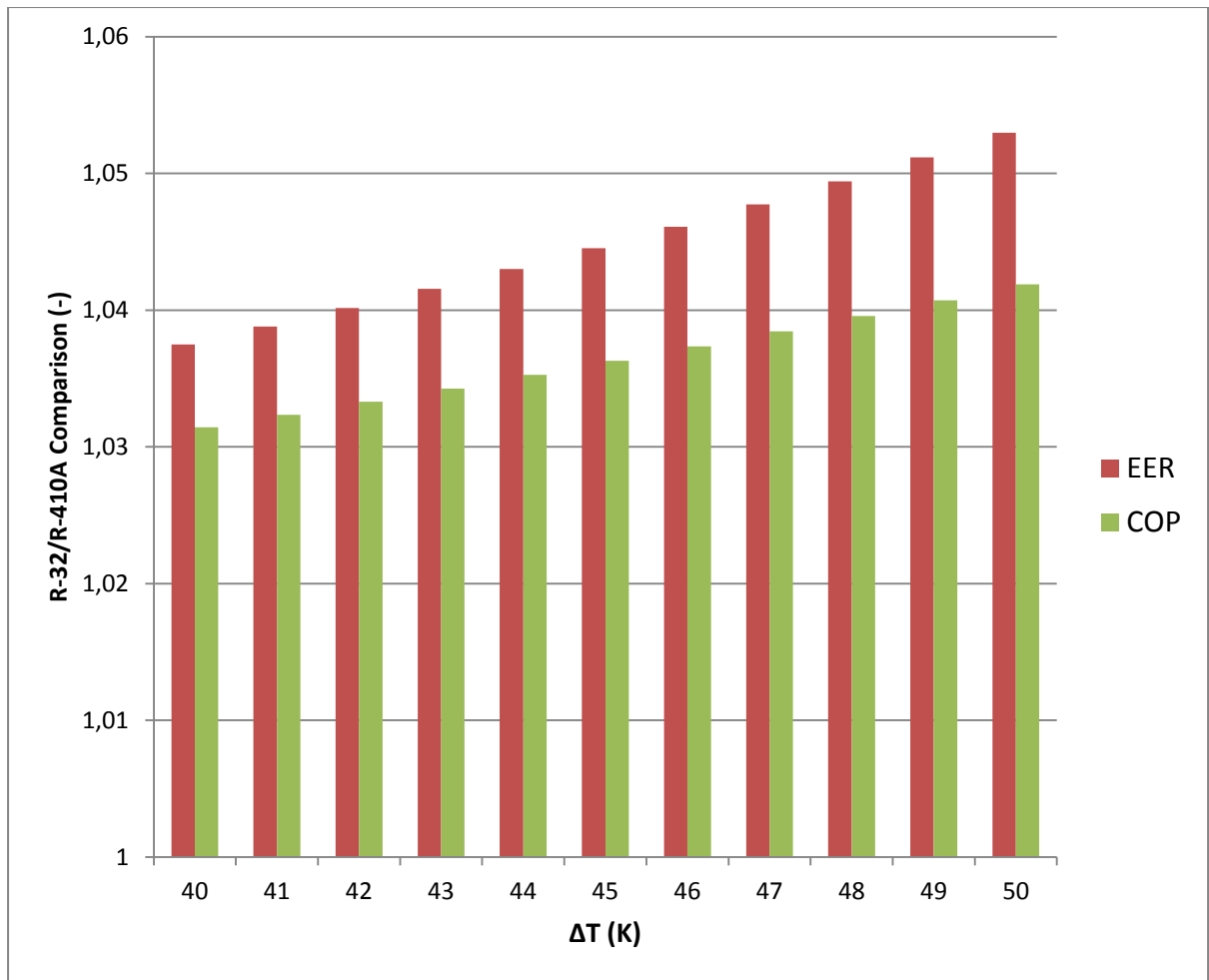


Σχήμα 6.13: Σύγκριση της αποδιδόμενης ισχύος και του βαθμού απόδοσης σε θέρμανση του R-32 ως προς το R-410A με σταθερή $T_e=5\text{ }^\circ\text{C}$.
 Ως μονάδα αναφοράς θεωρείται η απόδοση του R-410A, λαμβάνοντας τιμή μονάδας.

Εμφανές είναι ότι ο λόγος των COP (R-32/R-410A) έχει μία περίπου σταθερή τιμή , με το R-32 να εμφανίζει κατά 3% καλύτερο βαθμό απόδοσης από το R-410A για διάφορες θερμοκρασίες συμπύκνωσης.

Ο λόγος της αποδιδόμενης ισχύος εμφανίζει μία μικρή διακύμανση, με το R-32 να εμφανίζει κατά περίπου 50 με 53,5% μεγαλύτερη απόδοση ισχύος από το R-410A.

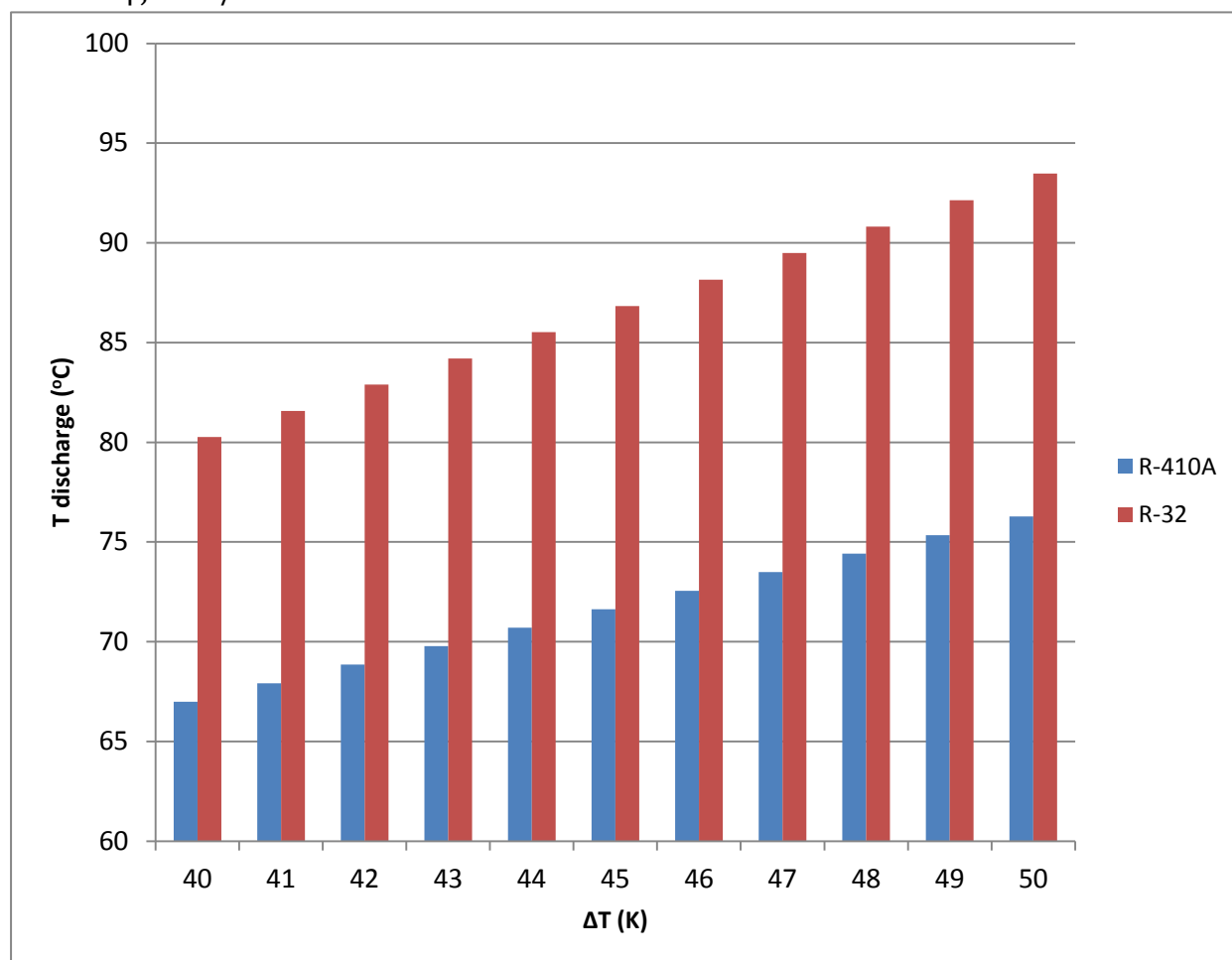
Επίσης , εξετάστηκε η παράμετρος της απόδοσης ψύξης ή θέρμανσης, μεταβάλλοντας το $\Delta T= T_c - T_e$ στο εύρος από 40 έως 50 K, με τις δύο αυτές θερμοκρασίες να είναι συμμετρικές ως προς την θερμοκρασία άνεσης των $25\text{ }^\circ\text{C}$.



Σχήμα 6.14: Σύγκριση των βαθμών απόδοσης σε θέρμανση και ψύξη για διάφορες τιμές του $\Delta T = T_c - T_e$, του R-32 ως προς το R-410A .

Οι θερμοκρασίες συμπύκνωσης και εξατμησης είναι πάντα συμμετρικές ως προς τους 25°C

Φαίνεται ότι καθώς μεγαλώνει το ΔT , αυξάνει σταδιακά ο λόγος των βαθμών απόδοσης R-32/R-410A .



Σχήμα 6.15: Σύγκριση των θερμοκρασιων καταθλιψης για διαφορες τιμες του $\Delta T=T_c-T_e$ του R-32 ως προς το R-410A.

Οι θερμοκρασίες συμπύκνωσης και εξάτμισης να είναι πάντα συμμετρικές ως προς τους 25° C

Ταυτόχρονα παρατηρείται ότι αυξάνει σημαντικά η διαφορά των θερμοκρασιών κατάθλιψης T_{dis} (°C) του R-32/R-410A. Αυτό επιβαρύνει την λειτουργία του συμπιεστή για το R-32 , και ενδεχομένως μειώνει τον εκτιμώμενο χρόνο ζωής του. Ανάλυση του φαινομένου , καθώς και προτεινόμενες λύσεις δίνονται στην βιβλιογραφία . [48]

Πρακτικά , η αύξηση του ΔT , υποδηλώνει την όλο και πιο δυσχερή εφαρμογή ψύξης ή θέρμανσης. Δηλαδή $\Delta T=50$ K , δηλώνει $T_e= 0$ °C και $T_c=50$ °C , που δείχνει είτε ότι απαιτείται ψύξη με αρκετά υψηλή θερμοκρασία περιβάλλοντος, είτε αντίστοιχα απαιτείται θέρμανση με πολύ χαμηλή θερμοκρασία περιβάλλοντος .

Συνοψίζοντας η παραπάνω θερμοδυναμική ανάλυση δείχνει ότι το R32 εμφανίζει καλύτερους βαθμούς απόδοσης κατά περίπου 5% σε θέρμανση και ψύξη, καθώς και δυνατότητα μεγαλύτερης απόδοσης ισχύος κατά περίπου 50%. Η μεγαλύτερη απόδοση

ισχύος δείχνει ότι το σύστημα μπορεί να αποδίδει την ίδια ισχύ με αρκετά μικρότερη παροχή εργαζόμενου μέσου.

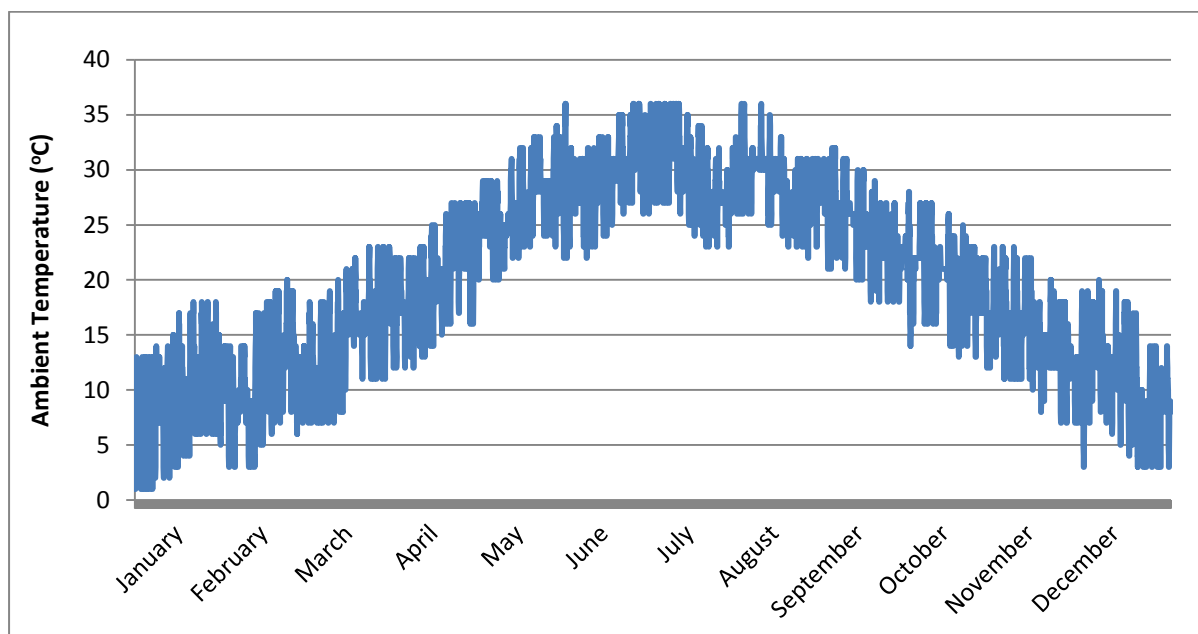
6.5 Οικονομική ανάλυση

6.5.1 Γενικά

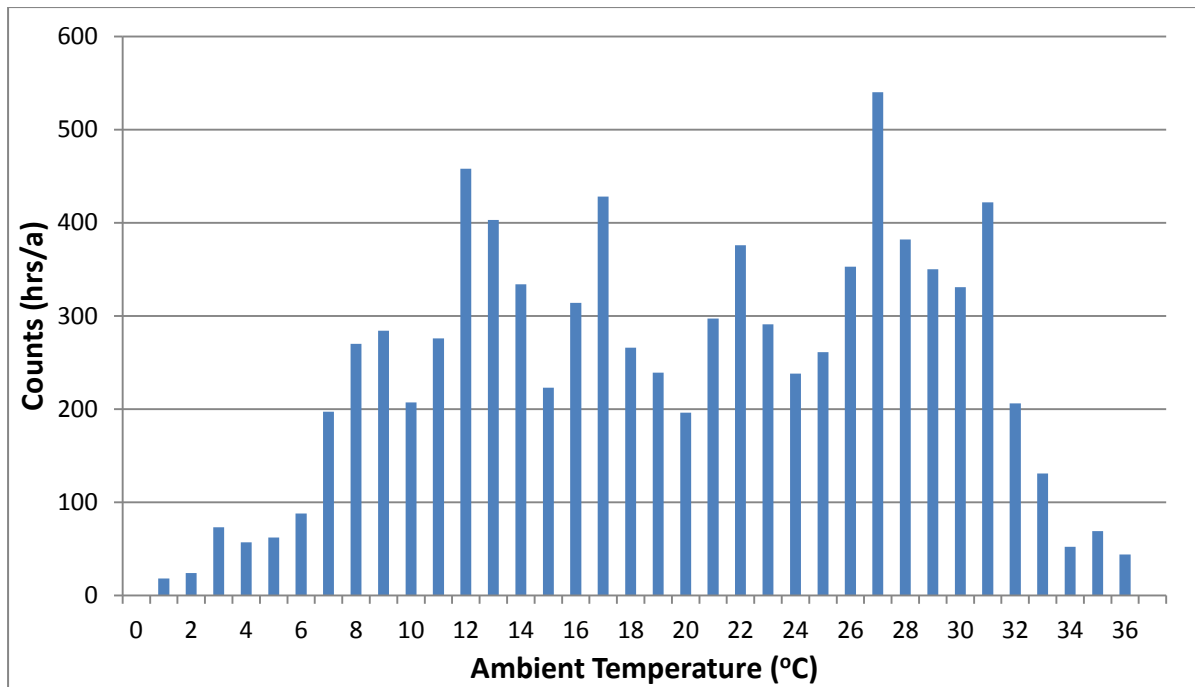
Στο κεφάλαιο αυτό θα πραγματοποιηθεί μία προμελέτη, στην οποία θα υπολογισθεί το ετήσιο οικονομικό όφελος που θα είχε μία επιχείρηση, αν αντί για σύστημα κεντρικού κλιματισμού R-410A, χρησιμοποιούσε R-32.

Για να είναι πλήρης μία τέτοια μελέτη, απαιτείται πλήρες μοντέλο των θερμικών φορτίων του κτιρίου, συνυπολογισμός της θερμικής αδράνειας και αξιοποίηση περισσότερων κλιματολογικών δεδομένων, όπως τον προσανατολισμό του ήλιου, την συννεφιά και τα επίπεδα σχετικής υγρασίας. Με τα παραπάνω δεδομένα θα δημιουργούνταν ένα πληρέστερο μοντέλο, το οποίο θα δημιουργούσε ωριαίο ισολογισμό για να υπολογίσει την απαίτηση σε θέρμανση ή ψύξη. Υπάρχουν λογισμικά που να μπορούν να ενσωματώσουν τα κλιματολογικά δεδομένα και τα δεδομένα του κτιρίου και με αυτό τον τρόπο να γίνει βελτιστοποίηση της διαστασιολόγησης ενός συστήματος HVAC, με συνέπεια την μείωση του κόστους επένδυσης και του λειτουργικού κόστους. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί και η τεχνική οδηγία TOTEE 20701 (βλ. Κεφάλαιο 4.4) για τον υπολογισμό του πρότυπου κτιρίου στην Ελλάδα, ανάλογα και με την κλιματολογική του ζώνη. Ωστόσο αυτό κρίθηκε ότι δεν αποτελεί μέρος αυτής της εργασίας, καθώς σκοπός της είναι να εξετάσει την επίδραση του εργαζόμενου μέσου, συνεπώς ένα απλούστερο μοντέλο μπορεί να δώσει μία πρώτη εκτίμηση.

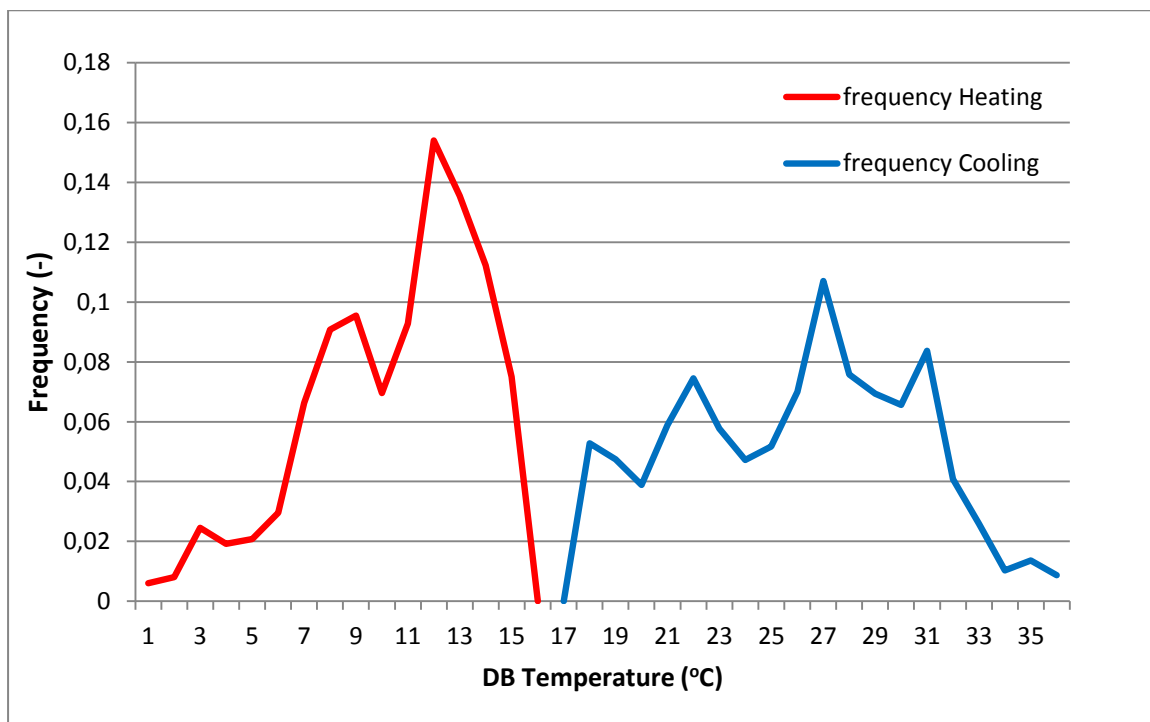
Για να γίνει αυτό, θα εξετασθούν ένα ξενοδοχείο και ένα κτίριο γραφείων με κλιματολογικά δεδομένα Αθήνας. [49]



Σχήμα 6.16: Η θερμοκρασία περιβάλλοντος στην περιοχή της Αθήνας για το έτος [49]



Σχήμα 6.17: Η απόλυτη συχνότητα εμφάνισης της κάθε θερμοκρασίας περιβάλλοντος στην περιοχή της Αθήνας για το έτος

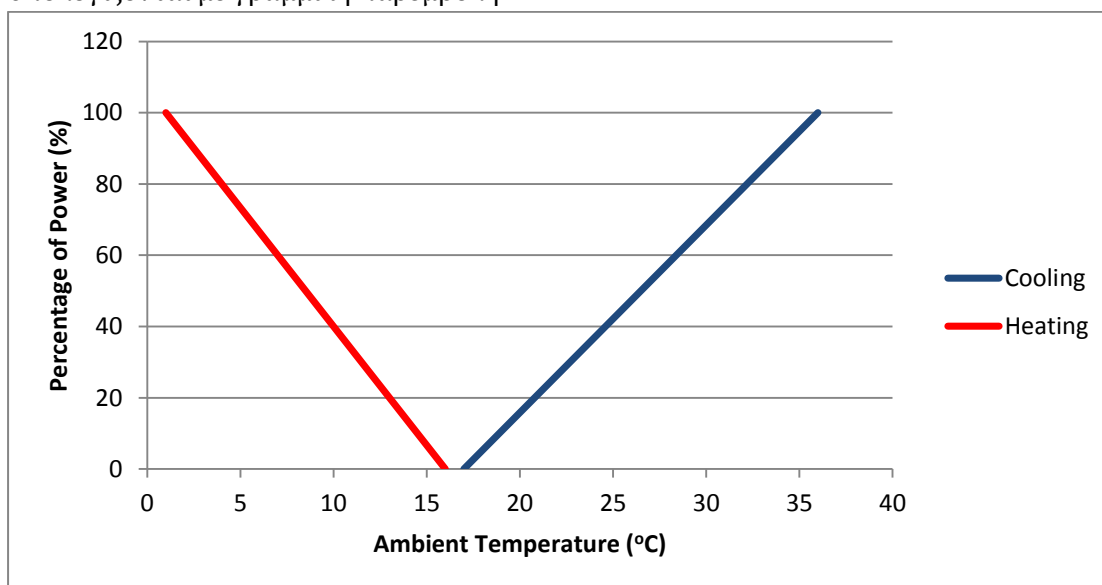


Σχήμα 6.18: Η σχετική συχνότητα εμφάνισης της κάθε θερμοκρασίας στην οποία απαιτείται ψύξη ή θέρμανση χώρου

Το μεγαλύτερο ποσοστό των ωρών που απαιτείται ψύξη ή θέρμανση βρίσκεται σε σχετικά ήπιες θερμοκρασίες, με χαμηλή απαίτηση ισχύος. Σε αυτές τις θερμοκρασίες η χρήση συστήματος με συμπιεστή inverter επιτυγχάνει σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας

Το παρακάτω διάγραμμα αναπαριστά την απαίτηση ισχύος για ψύξη και θέρμανση χώρου ως συνάρτηση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος. Έτσι, για την παραγωγή ψύξης, όταν προκύπτει θερμοκρασία περιβάλλοντος ίση με 36 °C, η μέγιστη θερμοκρασία περιβάλλοντος που προκύπτει κατά τη διάρκεια ενός έτους, απαιτείται η μέγιστη παραγωγή ψύξης. Για θερμοκρασία περιβάλλοντος ίση με 17 °C, θεωρείται ότι απαιτείται μηδενική παραγωγή ψύξης. Για τις ενδιάμεσες θερμοκρασίες περιβάλλοντος προκύπτει μια γραμμική παρεμβολή, όπως φαίνεται στο σχήμα.

Αντίστοιχα, υπολογίζεται η απαίτηση θέρμανσης χώρου, θεωρώντας ότι το 100% της απαιτούμενης θέρμανσης εμφανίζεται στην ελάχιστη θερμοκρασία περιβάλλοντος που εμφανίζεται κατά τη διάρκεια του έτους, δηλαδή 1 °C. Θεωρείται ότι μηδενική απαίτηση θέρμανσης χώρου προκύπτει στους 16 °C, ενώ οι ενδιάμεσες θερμοκρασίες υπολογίζονται με γραμμική παρεμβολή.



Σχήμα 6.19: Η απαιτούμενη ισχύς σε ψύξη και θέρμανση ως προς τη θερμοκρασία περιβάλλοντος

Θεωρείται γραμμική παρεμβολή μεταξύ της μέγιστης και της ελάχιστης ισχύος

6.5.2 Ξενοδοχείο

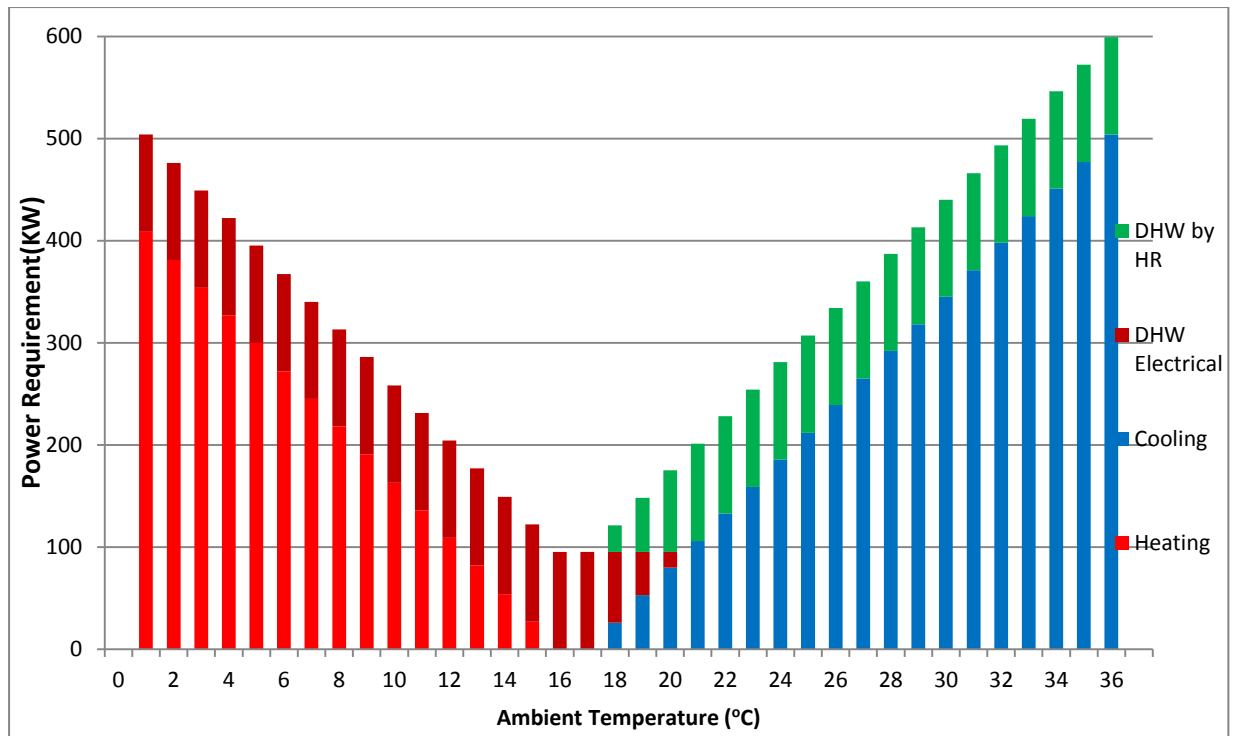
Για την μελέτη περίπτωσης του ξενοδοχείου γίνονται οι ακόλουθες παραδοχές

- Πρόκειται για ένα ξενοδοχείο έξι ορόφων, στην περιοχή του κέντρου της Αθήνας, το οποίο διαθέτει 30 δίκλινα δωμάτια καθώς και 10 τρίκλινα. Επίσης, διαθέτει κοινόχρηστο χώρο υποδοχής και εστιατόριο.
- Για τον κλιματισμό του κτιρίου υπάρχουν συνολικά 15 μονάδες κεντρικού κλιματισμού τύπου VRF, εκ των οποίων οι 13 είναι αντλίες θερμότητας, ενώ οι 2 είναι αντλίες θερμότητας τύπου Heat Recovery.
- Οι 13 μονάδες τύπου VRF Heat Pump, είναι συνολικής ισχύος 146 HP, ή ισοδύναμα 408,8 KW και έχουν τη δυνατότητα παραγωγής ψύξης ή θέρμανσης χώρου. Τα 40 δωμάτια εξοπλίζονται με ισάριθμες εσωτερικές μονάδες τύπου

καναλάτες ονομαστικής ισχύος από 3,2 έως 5 KW η καθεμία, ανάλογα με τις απαιτήσεις του δωματίου. Επιπλέον, το ξενοδοχείο έχει εξοπλιστεί με 24 εσωτερικές μονάδες τύπου καναλάτες ή δαπέδου, με ονομαστική ισχύ από 2,5 έως 5 KW , για τους κοινόχρηστους χώρους και τον χώρο του εστιατορίου.

- Οι 2 μονάδες τύπου VRF Heat Recovery έχουν συνολική ισχύ 68 HP ή 190,4 KW . Οι μονάδες αυτές, πέραν της ψύξης/θέρμανσης χώρου, έχουν τη δυνατότητα παραγωγής ZNX, καθώς έχουν συνδεθεί κατά 50% σε εσωτερικές μονάδες τύπου καναλάτες VRF , ενώ κατά 50% συνδέονται σε υδροδοχεία με εναλλάκτες φρέον/νερού . Επίσης , έχουν τη δυνατότητα να εκμεταλλεύονται την απορριπτόμενη στο περιβάλλον θερμότητα , παράγοντας επιπλέον έργο. Έχουν δηλαδή τη δυνατότητα ταυτόχρονης παραγωγής ψύξης και θέρμανσης , ελαχιστοποιώντας την απορριπτόμενη στο περιβάλλον θερμότητα και βελτιστοποιώντας τον βαθμό απόδοσης . Η επιλογή των 190,4 KW υποδεικνύει ότι κατά την μέγιστη απαίτηση ψύξης του κτιρίου ($408,8 + 95,2 = 504 \text{ KW}$) , υπάρχει η δυνατότητα παραγωγής επιπλέον 95,2 KW ZNX , χωρίς την απαίτηση για επιπλέον κατανάλωση ενέργειας , ενδεχομένως σε περίοδο μέγιστης πληρότητας του ξενοδοχείου κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού. Παρότι κατά τη διάρκεια του χειμώνα προβλέπεται μικρότερη πληρότητα, συνήθως περίπου στο 50% , η παραγωγή ZNX απαιτεί μεγαλύτερη ισχύ, λόγω μικρότερων θερμοκρασιών νερού δικτύου . Οι 64 HP μονάδων VRF HR συνδέονται σε δύο ανεξάρτητα μεταξύ τους module των 34 HP το καθένα.
- Θεωρείται λοιπόν ότι υπάρχει μόνιμη απαίτηση για ZNX κατά τη διάρκεια του έτους , ίση με 95,2 KW. Ωστόσο, με βάση αυτήν την παραδοχή, μόνο κατά την περίοδο απαίτησης ψύξης μεγαλύτερης από 95,2 KW , η παραγωγή ZNX γίνεται χωρίς επιπλέον κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας. Κατά την περίοδο του έτους όπου απαιτείται θέρμανση χώρου, οι μονάδες VRF Heat Recovery , λειτουργούν αποκλειστικά για παραγωγή ZNX και απορρίπτουν 95,2 KW ψύξης στο περιβάλλον. Συνεπώς , η παραγωγή ZNX γίνεται με επιπλέον κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας. Στην περίοδο του χρόνου όπου απαιτείται ψύξη χώρου μικρότερη των 95,2 KW , κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας απαιτεί η διαφορά ισχύος.
- Υποτίθεται ότι καθόλη τη διάρκεια του έτους απαιτείται είτε ψύξη και ZNX είτε θέρμανση χώρου και ZNX και δεν προκύπτει κάποιος άλλος συνδυασμός (π.χ. ταυτόχρονη θέρμανση κάποιων χώρων και ψύξη κάποιων άλλων χώρων)
- Θεωρείται ότι το ξενοδοχείο λειτουργεί χωρίς διακοπή ολόκληρο το έτος , και το Σχήμα 6.16 αναπαριστά απόλυτα την θερμοκρασία εξωτερικού περιβάλλοντος του ξενοδοχείου κατά τη διάρκεια του έτους.
- Θεωρείται ότι το ξενοδοχείο βρίσκεται κατά τη διάρκεια ολόκληρου του έτους σε πληρότητα .

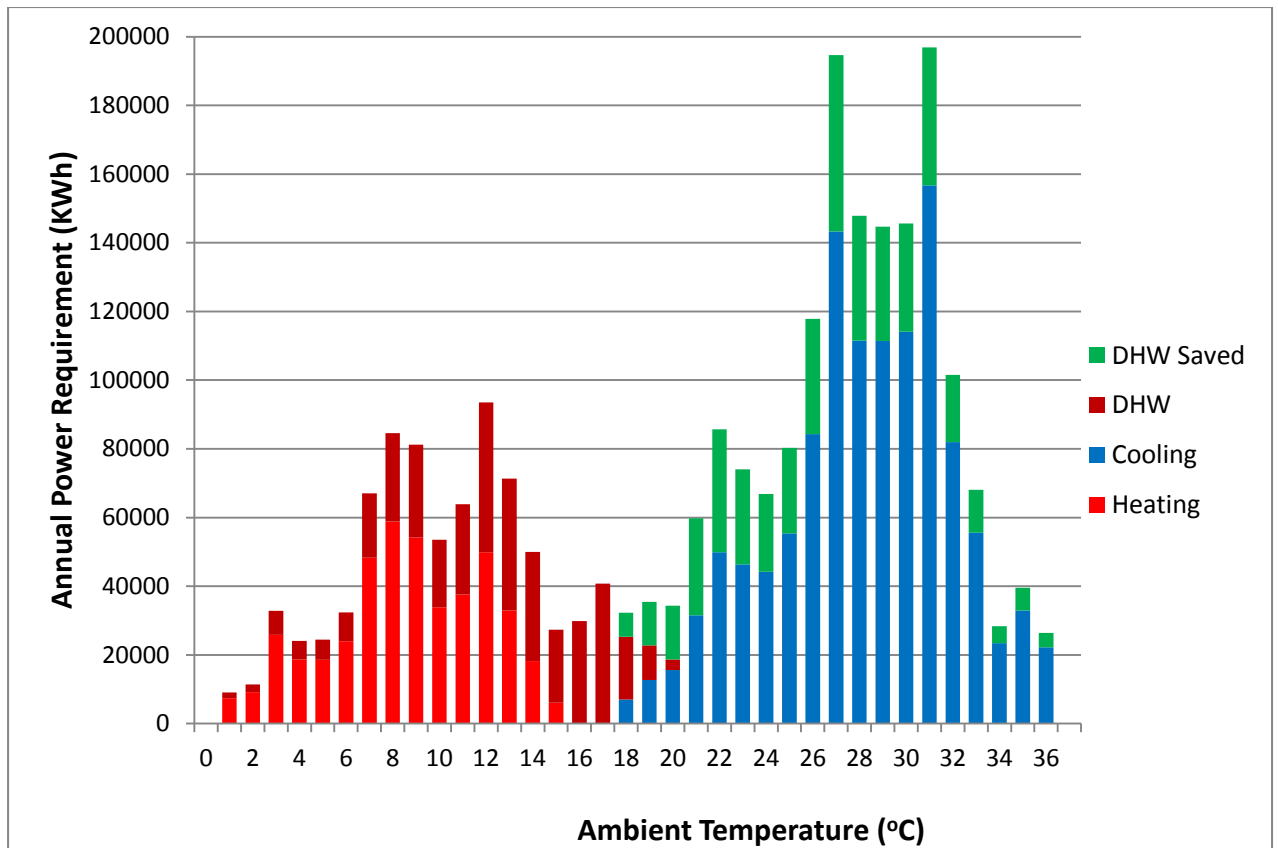
Με βάση τις παραπάνω παραδοχές προκύπτει το ακόλουθο διάγραμμα απαίτησης ισχύος, ως συνάρτηση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος.



Σχήμα 6.20: Συνολική απαίτηση ισχύος ξενοδοχείου ως συνάρτηση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος

Απεικονίζονται η απαίτηση σε ψύξη (Cooling) , σε θέρμανση (Heating) , σε ZNX μέσω της αντλίας θερμότητας (DHW Electrical), καθώς και τα ZNX που καλύπτονται από την ανάκτηση θερμότητας (DHW by HR)

Δεδομένων των ωρών εμφάνισης της κάθε θερμοκρασίας περιβάλλοντος , σύμφωνα με το Σχήμα 6.17 , στην παρακάτω εικόνα αναπαρίσταται η συνολική απαίτηση ενέργειας ως προς τη θερμοκρασία περιβάλλοντος .



Σχήμα 6.21: Συνολική ετήσια απαίτηση ενέργειας ξενοδοχείου ως προς τη θερμοκρασία περιβάλλοντος

Απεικονίζονται η απαίτηση σε ψύξη (Cooling) , σε θέρμανση (Heating) , σε ZNX (DHW Electrical), καθώς και τα ZNX που καλύπτονται από την ανάκτηση θερμότητας (DHW by HR)

Κατόπιν, υπολογίζονται οι βαθμοί απόδοσης για κάθε μία από τις τρεις διεργασίες, την θέρμανση, την ψύξη και την παραγωγή ZNX. Για να γίνει αυτός ο υπολογισμός λαμβάνονται οι ακόλουθες παραδοχές.

Θέρμανση :

- Θερμοκρασία εξατμίσεως = θερμοκρασία περιβάλλοντος - 10 °C
- Θερμοκρασία κατάθλιψης = 43 °C
- Υπερθέρμανση αναρρόφησης = 5 K
- Βαθμός υπόψυξης = 2 K

Ψύξη :

- Θερμοκρασία εξατμίσεως = 5 °C
- Θερμοκρασία κατάθλιψης = θερμοκρασία περιβάλλοντος + 10 °C
- Υπερθέρμανση αναρρόφησης = 5 K
- Βαθμός υπόψυξης = 2 K

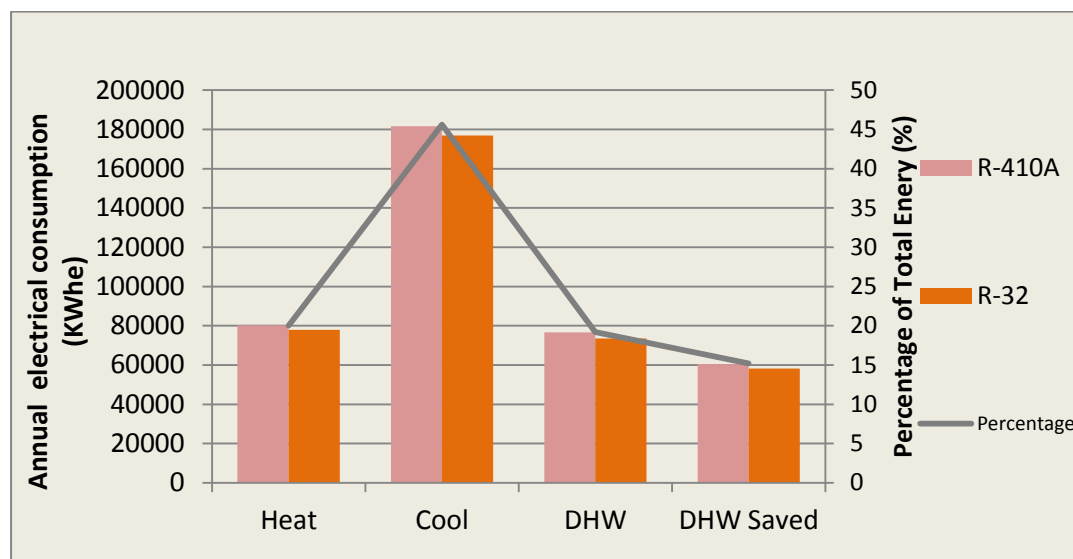
ZNX :

- Θερμοκρασία εξατμίσεως = θερμοκρασία περιβάλλοντος - 10 °C
- Θερμοκρασία κατάθλιψης = 50 °C
- Υπερθέρμανση αναρρόφησης = 5 K
- Βαθμός υπόψυξης = 2 K

T (d.C.)	Heating		Cooling		DHW	
	R-410A	R-32	R-410A	R-32	R-410A	R-32
1	4,63	4,77			3,97	4,14
2	4,73	4,88			4,04	4,22
3	4,84	4,99			4,13	4,3
4	4,95	5,1			4,21	4,39
5	5,07	5,22			4,29	4,48
6	5,19	5,34			4,38	4,57
7	5,31	5,47			4,48	4,67
8	5,45	5,61			4,57	4,77
9	5,58	5,75			4,67	4,87
10	5,73	5,89			4,78	4,98
11	5,88	6,05			4,89	5,09
12	6,04	6,21			5	5,21
13	6,21	6,38			5,12	5,33
14	6,38	6,56			5,24	5,46
15	6,57	6,75			5,37	5,59
16					5,51	5,73
17					5,65	5,88
18			10,3	10,5	5,78	6,03
19			9,84	9,98	5,96	6,19
20			9,38	9,53	6,12	6,36
21			8,96	9,11	6,29	6,54
22			8,56	8,72	6,47	6,73
23			8,2	8,35	6,67	6,93
24			7,86	8,02	6,87	7,14
25			7,54	7,7	7,08	7,36
26			7,24	7,4	7,31	7,6
27			6,96	7,12	7,55	7,85
28			6,69	6,86	7,81	8,11
29			6,44	6,61	8,08	8,39
30			6,21	6,38	8,37	8,7
31			5,98	6,16	8,68	9,02
32			5,77	5,95	9,02	9,36
33			5,57	5,75	9,37	9,74
34			5,37	5,56	9,76	10,14
35			5,19	5,38	10,18	10,57
36			5,01	5,21	10,63	11,04

Πίνακας 6.5: Βαθμοί απόδοσης σε θέρμανση , ψύξη και ΖΝΧ για την μελέτη περίπτωσης ξενοδοχείου για R-410A και R-32

Οι παραπάνω υπολογισμοί δείχνουν ότι σε όλες τις παραπάνω διεργασίες και για όλες τις παραπάνω θερμοκρασίες, το R-32 εμφανίζει κατά ποσοστό 3-5 % καλύτερο βαθμό απόδοσης. Αυτό, οδηγεί στο παρακάτω διάγραμμα.

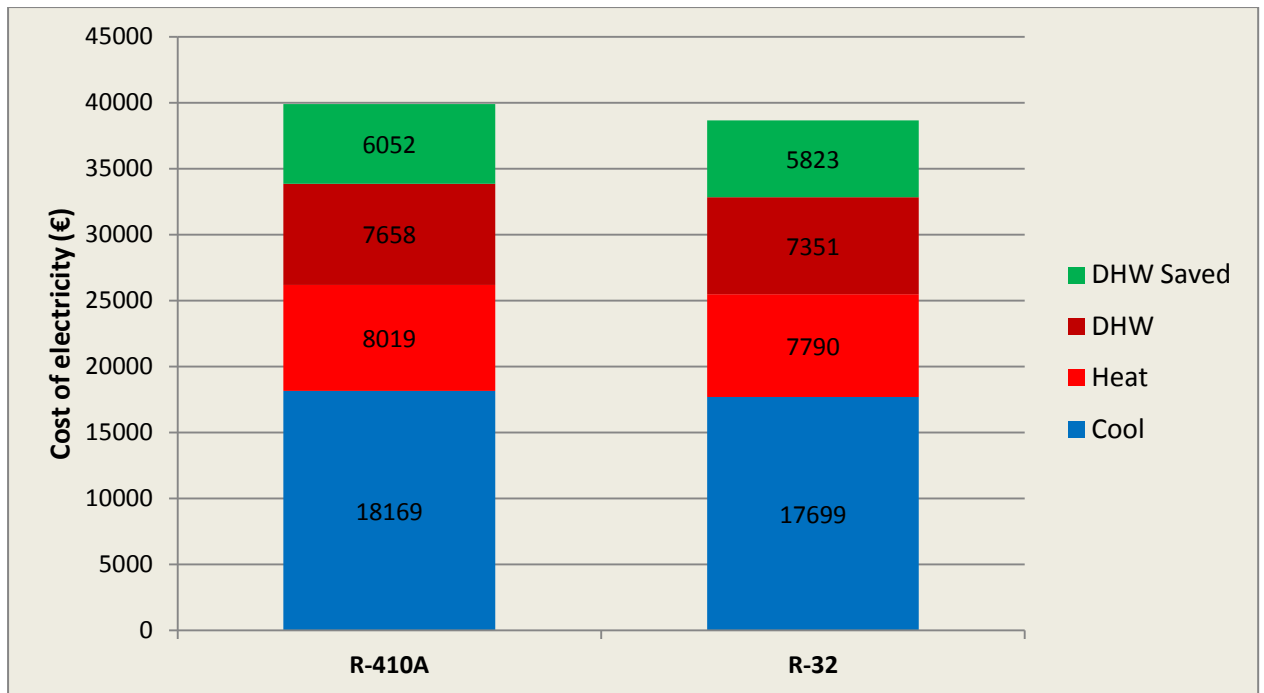


Σχήμα 6.22: Σύγκριση συνολικής ετήσιας κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας ξενοδοχείου του R-32 ως προς το R-410A και ποσόστωση ως προς την συνολική

Επίσης, από τον παραπάνω υπολογισμό, προκύπτει ο καταμερισμός της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας ως προς τις διάφορες λειτουργίες. Αυτό που είναι εμφανές είναι ότι το μεγαλύτερο μέρος των καταναλώσεων είναι η ψύξη χώρου (45,6%), δεύτερη έρχεται η παραγωγή ΖΝΧ (19,2+15,2=34,4%) και τρίτη η θέρμανση χώρου (20%). Επίσης, σημαντικό πόρισμα είναι η σημαντική μείωση της ηλεκτρικής κατανάλωσης που επιτυγχάνεται από την ανάκτηση θερμότητας (15,2%).

Προκύπτει λοιπόν το ακόλουθο διάγραμμα, θεωρώντας μία μέση τιμή ρεύματος, ανεξαρτήτως επαγγελματικού τιμολογίου που έχει επιλεξει η επιχείρηση, που είναι η ακόλουθη.

Τιμή κατανάλωσης ηλεκτρικού ρεύματος= 0,1 €/KWh.



Σχήμα 6.23: Σύγκριση συνολικού ετήσιου κόστους ηλεκτρικής ενέργειας ξενοδοχείου για το R-32 ως προς το R-410A

Συμπερασματα

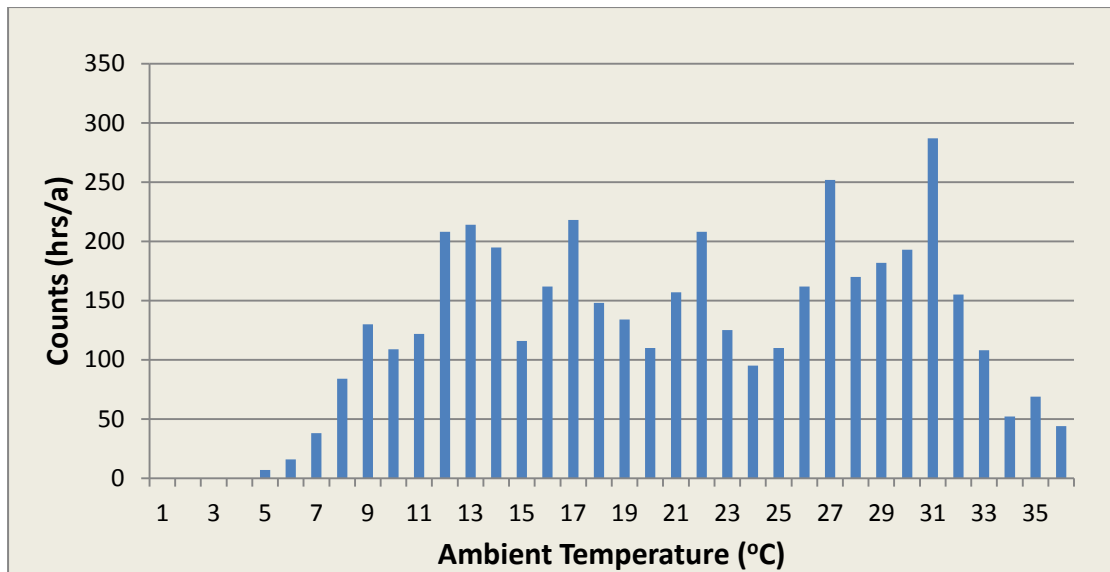
- Η χρήση του συστήματος ανακτησης θερμότητας αποφέρει μια μείωση του λειτουργικού κόστους της εγκατάστασης της τάξης των 6000 €/α . Το ποσο αυτό προέκυψε θεωρώντας ότι το σύστημα ανακτησης θερμότητας λειτουργει μονο κατά τη διάρκεια χρήσης του συστήματος για ψύξη με ταυτόχρονη παραγωγή ZNX .
- Αφαιρώντας το ποσό που εξοικονομηθηκε λογω χρήσης του συστήματος ανακτησης θερμότητας, προκύπτει η συγκριση χρήσης των δυο εργαζόμενων μέσων , του R-410A και του R-32. Από την χρήση του R-32 προκύπτει ένα οικονομικό οφελος της τάξης των 1000 €/α .
- Το σημαντικότερο ποσό που καταναλώνεται είναι για την παραγωγή ψυξης χωρου. Αυτό οφειλεται σε μεγαλο βαθμό στην σημαντικα υψηλοτερη απαιτηση ψυξης (5044 hrs/a) σε σχεση με θερμανση (2974 hrs/a) . Επισης, κατά την αρχικη διαστασιολογηση του συστήματος, θεωρηθηκε ότι το φορτιο ψυξης κατά την εμφανιση της θερμοκρασιας των 36 °C είναι 504 KW , ενώ κατά την εμφανιση της θερμοκρασιας των 1 °C είναι 408,8 KW .
- Τέλος , τα παραπάνω συμπερασματα θα επηρεαζονταν σε καποιο βαθμο , αν η πληροτητα του ξενοδοχειου δεν θεωρουνταν 100% κατά τη διάρκεια ολοκληρου του ετους , αλλά λάμβανε μία μεταβαλλόμενη τιμή με τους καλοκαιρινους μηνες , Μάιο έως και Σεπτεμβριου να εχουν μεση πληροτητα της τάξης του 80 εως 95%, και τους χειμωνιατικους μηνες να είναι της τάξης του 50 εως 65% - τυπικές τιμές για ξενοδοχεία στην Αθήνα. Η παραπανω παραμετρος , πιθανοτατα θα μειωνε κατά ένα ποσοστο την συνολικη ετησια απαιτηση σε θερμανση.

6.5.3 Κτίριο γραφείων

Για τη μελέτη περίπτωσης του κτιρίου γραφείων , γίνονται οι ακόλουθες παραδοχές.

- Πρόκειται για κτίριο γραφείων στην περιοχή της Αθήνας , 4 ορόφων, κοινόχρηστου ισογείου χώρου, καθώς και υπόγειου χώρου στάθμευσης. Θεωρείται ότι σε μία καθημερινή , εργάζονται εντός του κτιρίου περίπου 100 άτομα. Ο υπόγειος χώρος στάθμευσης απαιτεί εξαερισμό και ενδεχομένως θέρμανση ή ψύξη, ανάλογα τη θερμοκρασία περιβάλλοντος και την φόρτιση του χώρου. Διαθέτει τέσσερα server rooms , τα οποία απαιτούν σταθερή θερμοκρασία 20 ° C κατά τη διάρκεια του έτους , απαιτώντας μόνιμη ψύξη για να εξισορροπούν την παραγωγή θερμότητάς τους.
- Το κτίριο τροφοδοτεί τις ανάγκες του για ψύξη θέρμανση μέσω κεντρικού συστήματος κλιματισμού τύπου VRF. Αυτές παρέχουν σε κάθε όροφο ψύξη και θέρμανση μέσω 46 καναλάτων μονάδων, καθώς και συστήματος εξαερισμού με δυνατότητα ανάκτησης θερμότητας (12 μονάδες Heat Recovery ventilation-HRV) . Μονάδα HRV παρέχει φρέσκο αέρα και στον υπόγειο χώρο στάθμευσης , και διαθέτει τη δυνατότητα ψύξης ή θέρμανσής του αν προκύψει τέτοια απαίτηση. Τα server rooms τροφοδοτούνται από αυτόνομα συστήματα κλιματισμού, μονάδες τύπου split, ώστε να διασφαλίζεται η κατά το δυνατόν απρόσκοπτη λειτουργία τους.
- Θεωρείται ότι η συνολική ισχύς του κτιρίου είναι τα 350 KW για θέρμανση ή ψύξη. Επίσης, για τα server rooms διατίθενται επιπλέον 50 KW ψύξης.
- Η κάλυψη της απαιτούμενης ισχύος γίνεται με αυτόνομα σε κάθε όροφο . Σε κάθε όροφο, οι εξωτερικές μονάδες θεωρείται ότι αποτελούν τρία ανεξάρτητα modules μεταξύ τους. Αυτό εξυπηρετεί ιδίως όταν μέρος του ορόφου έχει συνεχόμενη χρήση (π.χ. τα κυρίως γραφεία) , ενώ άλλο μέρος του ορόφου έχει περιστασιακή χρήση (π.χ. training center με meeting room)
- Θεωρείται ότι το κτίριο λειτουργεί αποκλειστικά σε 100% πληρότητα , από τις 08:00- 20:00 κάθε μέρα, πλην δύο ημερών την εβδομάδα που θεωρείται ότι το κτίριο δεν λειτουργεί λόγω Σαββατοκύριακου. Τα server rooms λειτουργούν ασταμάτητα ολόκληρο το χρόνο.
- Θεωρείται ότι τα κλιματολογικά δεδομένα από τον μετεωρολογικό σταθμό στην περιοχή της Αττικής αντιπροσωπεύουν πλήρως και τις κλιματολογικές συνθήκες του κτιρίου.

Οι ώρες λειτουργίας του κτιρίου γραφείων διαμορφώνουν ένα διαφορετικό προφίλ θερμοκρασιών, με εμφανώς υψηλότερο μέσο όρο θερμοκρασιών. Παρακάτω, το Σχήμα 6.24 αναπαριστά το εν λόγω προφίλ.



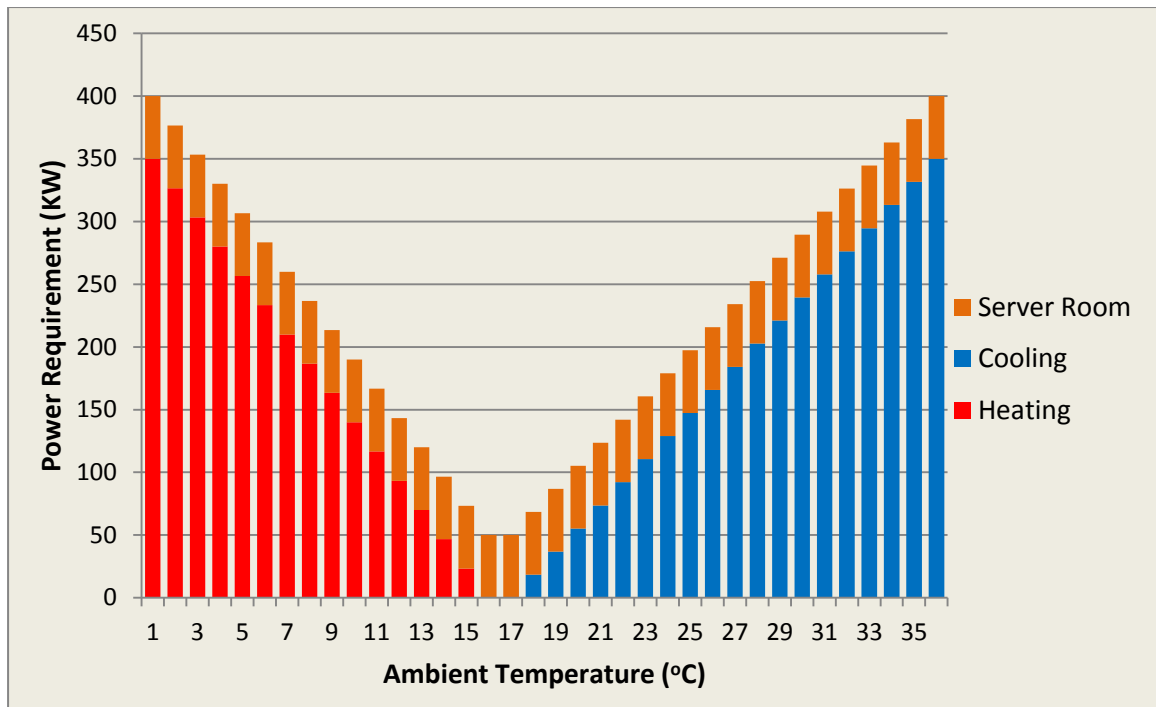
Σχήμα 6.24: Η απόλυτη συχνότητα εμφάνισης της κάθε θερμοκρασίας περιβάλλοντος στην περιοχή της Αθήνας για το έτος για τις ώρες λειτουργίας του γραφείου

Εμφανής η μετατόπιση προς υψηλότερες θερμοκρασίες, καθώς τις εργάσιμες ώρες της ημέρας εμφανίζονται οι υψηλότερες θερμοκρασίες

Όσον αφορά την απαίτηση για ψύξη ή θέρμανση, θεωρείται ότι τα 350 KW έχουν σχεδιαστεί για την πλήρη κάλυψη των αναγκών του κτιρίου κατά την εμφάνιση των 36 °C σε ψύξη, καθώς και των 1 °C σε θέρμανση. Επίσης, θεωρείται ότι απαιτείται μηδενικό φορτίο ψύξης στους 17 °C και θέρμανσης στους 16 °C. Στις ενδιάμεσες θερμοκρασίες θεωρείται η παραδοχή της γραμμικής παρεμβολής, όπως φαίνεται στο Εικ. .

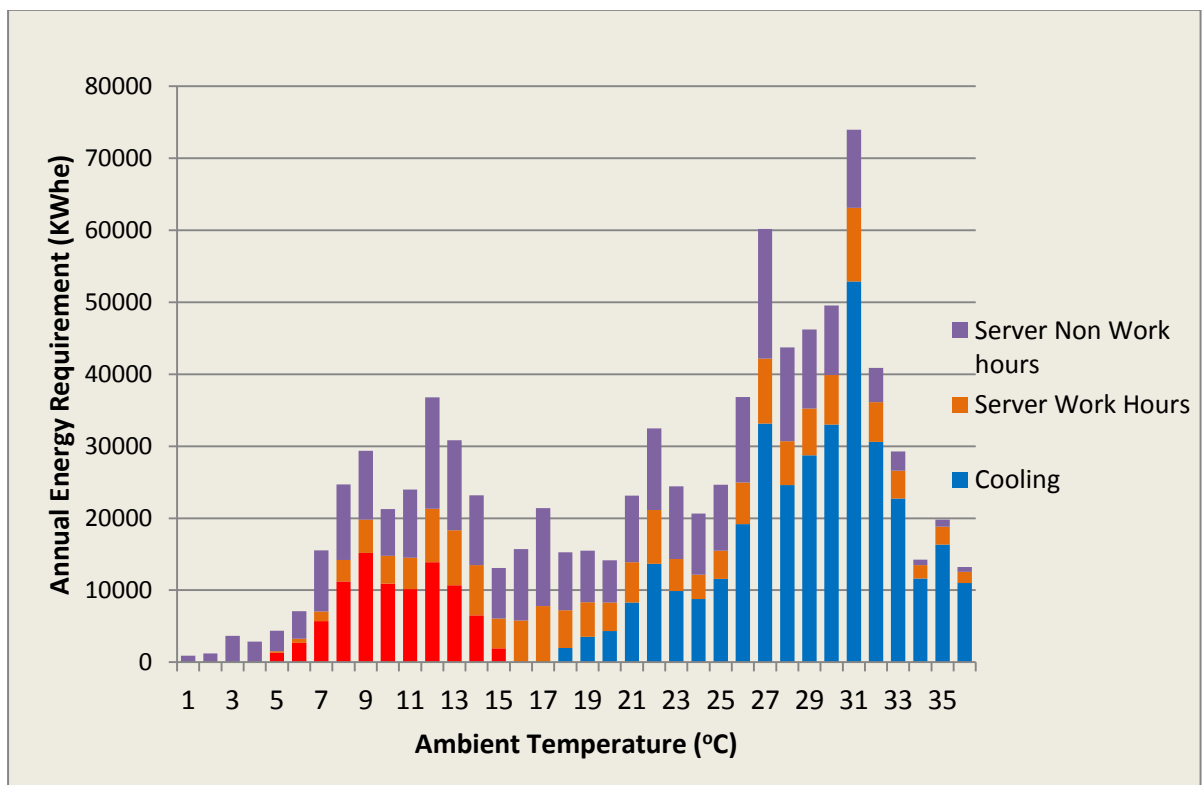
Επίσης, σχετικά με τα server rooms, θεωρείται ότι το απαιτούμενο φορτίο παραμένει σταθερό και ίσο με 50 KW. Δεδομένου ότι οι θερμοκρασίες του χώρου γύρω από το κάθε server room διατηρούνται περίπου σταθερές στις συνθήκες άνεσης, κατά τις ώρες λειτουργίας των γραφείων η παραδοχή αυτή είναι αντιπροσωπευτική της πραγματικότητας. Κατά τη διάρκεια της νύχτας, η θερμοκρασία χώρου θα αυξηθεί ή θα μειωθεί, ανάλογα την περίοδο του χρόνου, αυξάνοντας ή μειώνοντας αντιστοίχα και το ψυκτικό φορτίο στο server room, ωστόσο αυτό το φαινόμενο θα αμεληθεί.

Συνεπώς, προκύπτουν τα παρακάτω διαγράμματα απαίτησης ισχύος.



Σχήμα 6.25: Συνολική απαίτηση ισχύος κτιρίου γραφείων ως συνάρτηση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος

Κατά τις μη εργάσιμες ώρες το φορτίο είναι σταθερά ίσο με 50 KW για την ψύξη του server room.



Σχήμα 6.26: Συνολική ετήσια απαίτηση ενέργειας κτιρίου γραφείων ως προς τη θερμοκρασία περιβάλλοντος

Αναπαρίστανται η απαίτηση για θέρμανση χώρου, ψύξη χώρου, ψύξη του server room κατά τις εργάσιμες ώρες (πορτοκαλί) και η ψύξη του server room κατά τις μη εργάσιμες ώρες (μωβ)

Για τον υπολογισμό των βαθμών αποδοσης για τις παρακατω διεργασίες θεωρήθηκε :

Θέρμανση :

- Θερμοκρασία εξάτμισης =Θερμοκρασία περιβαλλοντος-10 °C
- Θερμοκρασία κατάθλιψης=43 °C
- Υπερθέρμανση αναρρόφησης=5 K
- Βαθμός υπόψυξης=2 K

Ψύξη :

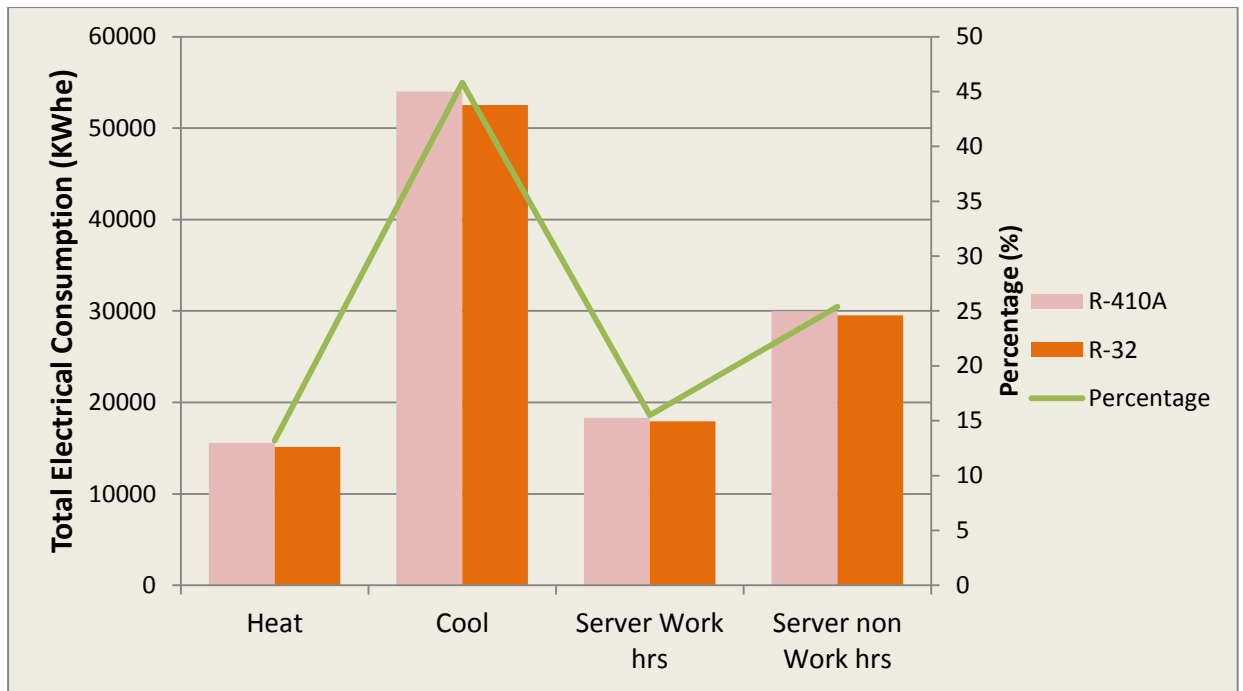
- Θερμοκρασία εξάτμισης=5 °C
- Θερμοκρασία κατάθλιψης= Θερμοκρασία περιβαλλοντος+10 °C
- Υπερθέρμανση αναρρόφησης=5 K
- Βαθμός υπόψυξης=2 K

Επίσης , θεωρήθηκε ότι η θερμοκρασία συμπύκνωσης στην ψύξη δεν θα μειωθεί περαιτέρω από τους 20 °C , διατηρώντας έτσι σταθερό το βαθμό απόδοσης EER .

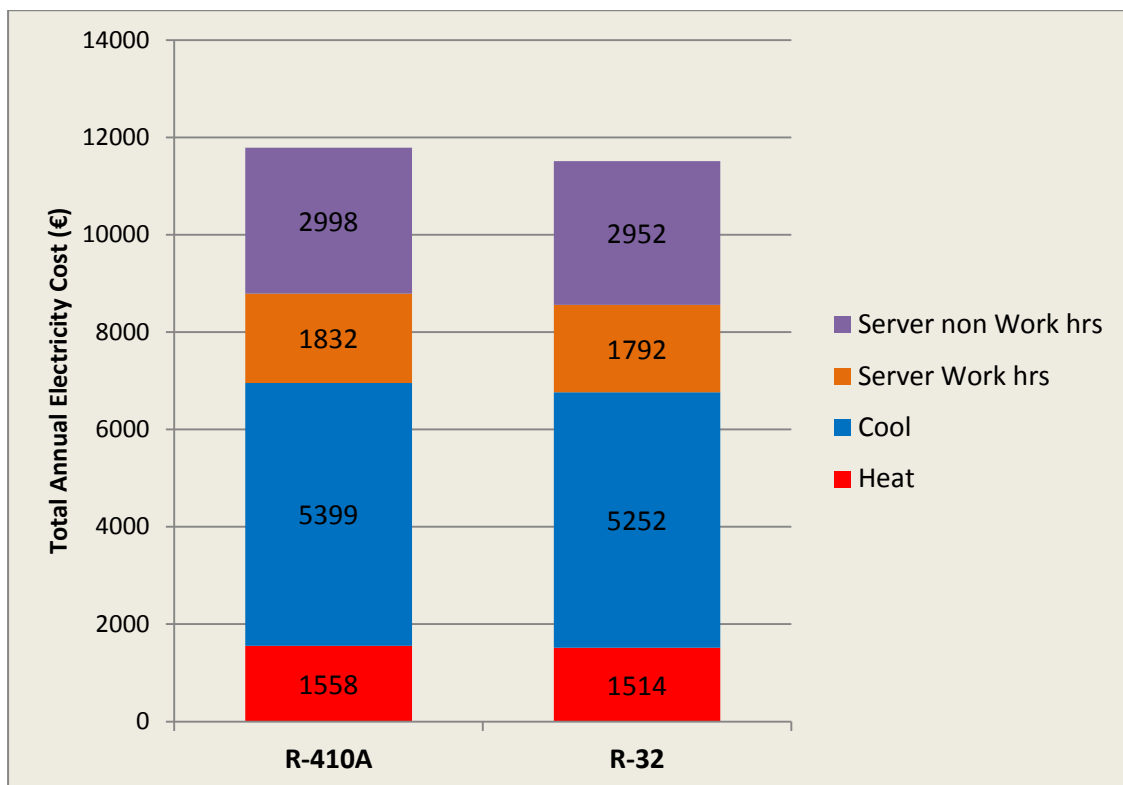
T (d.C.)	Heating		Cooling	
	R-410A	R-32	R-410A	R-32
1	4,63	4,77	16,6	16,78
2	4,73	4,88	16,6	16,78
3	4,84	4,99	16,6	16,78
4	4,95	5,1	16,6	16,78
5	5,07	5,22	16,6	16,78
6	5,19	5,34	16,6	16,78
7	5,31	5,47	16,6	16,78
8	5,45	5,61	16,6	16,78
9	5,58	5,75	16,6	16,78
10	5,73	5,89	16,6	16,78
11	5,88	6,05	15,48	15,65
12	6,04	6,21	14,49	14,66
13	6,21	6,38	13,61	13,77
14	6,38	6,56	12,82	12,97
15	6,57	6,75	12,1	12,26
16			11,46	11,61
17			10,87	11,02
18			10,3	10,5
19			9,84	9,98
20			9,38	9,53
21			8,96	9,11
22			8,56	8,72
23			8,2	8,35
24			7,86	8,02
25			7,54	7,7
26			7,24	7,4
27			6,96	7,12
28			6,69	6,86
29			6,44	6,61
30			6,21	6,38
31			5,98	6,16
32			5,77	5,95
33			5,57	5,75
34			5,37	5,56
35			5,19	5,38
36			5,01	5,21

Πίνακας 6.6: Βαθμοί απόδοσης σε θέρμανση , ψύξη και ΖΝΧ για την μελέτη περίπτωσης κτιρίου γραφείων για R-410A και R-32

Χρησιμοποιώντας τους παραπάνω βαθμούς απόδοσης , προκύπτει το ακόλουθο διάγραμμα κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας.



Σχήμα 6.27: Σύγκριση συνολικής ετήσιας κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας κτιρίου γραφείων του R-32 ως προς το R-410A και ποσόστωση ως προς την συνολική



Σχήμα 6.28: Σύγκριση συνολικού ετήσιου κόστους ηλεκτρικής ενέργειας κτιρίου γραφείων για το R-32 ως προς το R-410A

Συμπεράσματα

- Η συνολική ετήσια δαπάνη ηλεκτρικού ρεύματος για τις ανάγκες ψύξης και θέρμανσης του κτιρίου γραφείων υπολογίστηκε στις 12000 € περίπου. Το ποσό αυτό είναι αρκετά μικρότερο από το αντίστοιχο του ξενοδοχείου (~40000 €) . Αυτή η διαφορά οφείλεται αφενός στην μικρότερη διαστασιολόγηση της απαιτούμενης ισχύος σε σχέση με το ξενοδοχείο , και σε ψύξη και σε θέρμανση. Επίσης σημαντική διαφορά υπάρχει στις ώρες λειτουργίας του ενός κτιρίου και του άλλου, (~3128 για το κτίριο γραφείων , ενώ 8760 για το ξενοδοχείο).
- Σημαντικό κομμάτι των καταναλώσεων του κτιρίου γραφείων είναι τα sever rooms , περίπου 41% της συνολικής κατανάλωσης , εκ των οποίων το 25,4 % σε μη εργάσιμες ώρες. Εξοικονόμηση περίπου 8 % επί του ολικού θα μπορούσε να επιτευχθεί από την χρήση συστήματος ανάκτησης θερμότητας κατά τις ώρες που απαιτείται θέρμανση χώρου.
- Η χρήση του R-32 έναντι του R-410A επιφέρει μείωση επί των συνολικών εξόδων της τάξης του 2,5 % ή περίπου 300 €/a.

Να σημειωθεί ότι και στις δύο μελέτες περιπτώσεων δεν λήφθηκαν υπόψη η πτώση του ολικού βαθμού απόδοσης από τις δευτερεύουσες καταναλώσεις του συστήματος (π.χ. crankcase heater) , καθώς και όπως αναλύθηκε και στο Κεφ 6.1 , λήφθηκαν υπόψη μόνο οι βασικές παράμετροι λειτουργίας του συστήματος και αμελήθηκαν δευτερεύοντες (π.χ. πτώση πίεσης στους εναλλάκτες των συστημάτων)

6.6 Περιβαλλοντική μελέτη

6.6.1 Γενικά

Με βάση το σύστημα των quotas που καθιερώθηκε με τον 517/2014 , ο κάθε εισαγωγέας εξοπλισμού που φέρει φρέον οφείλει να δηλώνει την ισοδύναμη ποσότητα σε τόννους διοξειδίου του άνθρακα (CO_{2e}). Στόχος είναι η σταδιακή μείωση των ισοδύναμων τόννων διοξειδίου του άνθρακα που εισάγονται στην αγορά , όπως αναλύεται στο Κεφ . 5 του παρόντος. Επίσης, οι ψυκτικοί εξοπλισμοί φέρουν ένδειξη της ποσότητας HFC που φέρουν, καθώς και της ισοδύναμης ποσότητας σε τόννους διοξειδίου του άνθρακα, σύμφωνα με την παρακάτω εικόνα.

Γίνεται λοιπόν αντιληπτό ότι για τον υπολογισμό του περιβαλλοντικού αποτυπώματος μίας μονάδας απαιτείται το GWP του εργαζόμενου μέσου που χρησιμοποιεί , καθώς και η ποσότητα πλήρωσης .

6.6.2 Σύγκριση πλήρωσης R-410A με R-32

Σύμφωνα με την βιβλιογραφία , κατά την πραγματοποίηση πειράματος σε πραγματική εγκατάσταση, κατά την οποία μονάδα τύπου VRF με R-410A λειτούργησε με εργαζόμενο μέσο R-32, χωρίς περαιτέρω τροποποιήσεις (drop-in test). Συγκεκριμένα, το σύστημα βελτιστοποιήθηκε με μείωση της ποσότητας εργαζόμενου μέσου κατά 16,8% σε σχέση με το R-410A. [54] Επίσης, σε μελέτες αναφέρεται ότι η χρήση του R-32 μπορεί να επιτύχει μείωση της πλήρωσης μέχρι και κατά 30% .[55]

Συγκεκριμένα , η ποσότητα πλήρωσης εργαζόμενου μέσου σε ένα σύστημα , εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την πυκνότητα του εργαζόμενου μέσου σε υγρή και σε αέρια μορφή (βλ. Σχήμα 6.7 και Σχήμα 6.8) .

Από τα παραπάνω διαγράμματα είναι εμφανές ότι η πυκνότητα του R-410A είναι μεγαλύτερη από αυτήν του R-32 για τις αυτές τις συνθήκες περιβάλλοντος, κατά περίπου 10% σε υγρή μορφή και κατά 28% σε αέρια μορφή. Συνεπώς αποτελεί ένδειξη ότι η χρήση του R-32 θα μπορούσε να επιφέρει μείωση της πλήρωσης έως και περίπου 25% .

Ωστόσο θα θεωρηθεί το συντηρητικότερο σενάριο ότι η ποσότητα εργαζόμενου μέσου παραμένει αμετάβλητη.

6.6.3 Ανάλυση εκπομπών στον κύκλο ζωής του συστήματος (LCCP)

Σε μία μελέτη τύπου LCCP (βλ. Κεφάλαιο 2.5) θα υπολογιστούν οι παρακάτω παράμετροι που διαφέρουν μεταξύ των δύο συστημάτων.

$$\text{Direct Emissions} = C \times (L \times ALR + EOL) \times (GWP + Adp. GWP)$$

$$E_1 = L \times AEC \times EM$$

$$E_4 = C \times (1 + L \times ALR) \times RFM$$

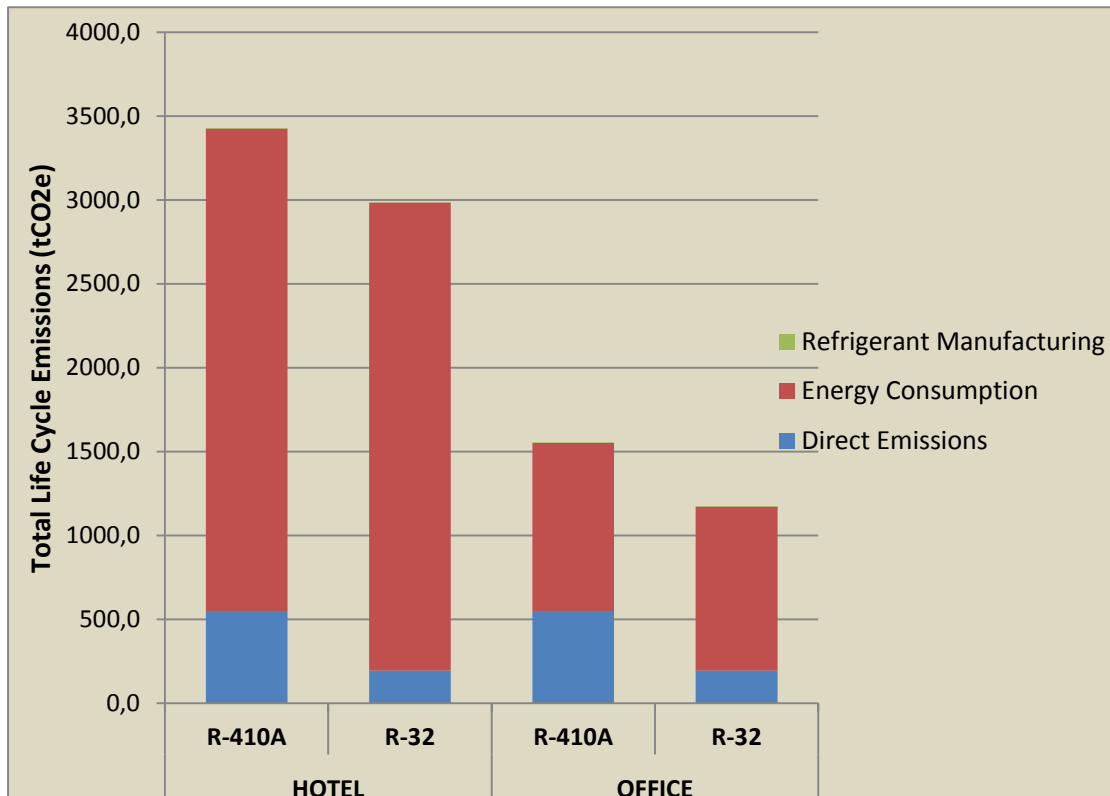
Τέθηκαν κάποιες τυπικές τιμές για τις παραμέτρους των συστημάτων, με βάση και τις προτεινόμενες στην βιβλιογραφία [30] [57]. Τέθηκε ο χρόνος ζωής του συστήματος τα 10 χρόνια, που είναι η συντηρητικότερη περίπτωση, καθότι δεν είναι σπάνιο ένα τέτοιο σύστημα να λειτουργεί επί 20 χρόνια αν συντηρείται σωστά. Επίσης, η πλήρωση θεωρήθηκε ίδια, 150 kg εργαζόμενου μέσου και για τα δύο συστήματα.

	R-410A	R-32
C (kg)	150	
L (years)	10	
ALR (%)	18%	
EOL (%)	10%	
GWP	1924	677
Adp.GWP	N/A	
AEC hotel(KWh)	338456,5	328400,6
AEC office(KWh)	117866,1	115106,4
EM (tnCO2e/MWh)	0,85	
RFM (kgCO2e/kg)	10,7	7,2

Πίνακας 6.7: Βασικοί παράμετροι υπολογισμού άμεσων και έμμεσων εκπομπών

		Direct Emission	Energy Consumption	Refrigerant Manufacturing	Total (tnCO2e)
HOTEL	R-410A	548,3	2876,9	4,5	3429,7
	R-32	192,9	2791,4	3,0	2987,4
OFFICE	R-410A	548,3	1001,9	4,5	1554,7
	R-32	192,9	978,4	3,0	1174,4

Πίνακας 6.8: Υπολογισμός άμεσων και έμμεσων εκπομπών για τις δύο μελέτες περιπτώσεων, για τα δύο εργαζόμενα μέσα



Σχήμα 6.29: Σύγκριση άμεσων και έμμεσων εκπομπών για τα δύο ψυκτικά μέσα για τις δύο μελέτες περιπτώσεων

Συμπεράσματα από τη χρήση R-32 σε σχέση με το R-410A

- Μείωση των άμεσων εκπομπών κατά 64,8 %
- Μείωση των εκπομπών λόγω κατανάλωσης ενέργειας κατά 3% στο ξενοδοχείο και κατά 2,3% στο κτίριο γραφείων
- Μείωση των εκπομπών λόγω παραγωγής του εργαζόμενου μέσου κατά 32,7%
- Συνολική μείωση των εκπομπών κατά 12,9% στο ξενοδοχείο και 24,4 % στο κτίριο γραφείων

Επίσης σημαντικό πόρισμα από τους παραπάνω υπολογισμούς είναι το παρακάτω

- Οι άμεσες εκπομπές υπολογίζονται στο 6% έως 36%
- Οι έμμεσες εκπομπές λόγω της κατανάλωσης ενέργειας υπολογίζονται στο 64% έως 94%
- Οι έμμεσες εκπομπές λόγω παραγωγής του εργαζόμενου μέσου υπολογίζονται στο 0,1% έως 0,3%.

Οι παραπάνω αριθμοί εξαρτώνται σημαντικά από

- Τη διάρκεια ζωής του συστήματος
- Τις ώρες καθημερινής λειτουργίας του συστήματος
- Την εξοικονόμηση ενέργειας που επιτυγχάνει το ένα εργαζόμενο μέσο σε σχέση με το άλλο.

Στην παραπάνω μελέτη δεν συμπεριλήφθηκαν οι εκπομπές από την κατασκευή και ανακύκλωση του συστήματος VRF , οι οποίες θεωρείται ότι είναι ίδιες για τα δύο συστήματα, καθώς και οι εκπομπές για την ανακύκλωση των εργαζόμενων μέσων. Σύμφωνα με την βιβλιογραφία, σε παρόμοιες μελέτες αντιστοιχούν περίπου στο 1% των συνολικών. [56]

Συνεπώς, γίνεται αντιληπτό ότι για την εξαγωγή ρεαλιστικών συμπερασμάτων είναι σημαντική η χρήση αξιόπιστων στοιχείων και η δημιουργία ρεαλιστικών σεναρίων, ενώ το ίδιο το GWP ενός εργαζόμενου μέσου αποτελεί σημαντικό μεν, αλλά όχι τον μόνο παράγοντα για την προστασία του περιβάλλοντος.

6.7 Σύγκριση Ευφλεκτότητας

Σημαντική παράμετρος σύγκρισης για το σύστημα είναι η ευφλεκτότητα των δύο εργαζόμενων μέσων.

Το R-410A δεν εμφανίζει δυνατότητα ανάφλεξης σε αέρα στους 60 °C και 101,3 kPa. Αντίθετα, το R-32 εμφανίζει τη δυνατότητα ανάφλεξης στους 60 °C και 101,3 kPa και συνεπώς κατατάσσεται στα εύφλεκτα αέρια.

Με βάση τους ορισμούς των ISO 817 (βλ. Κεφάλαιο 3.3) , το R-32 κατατάσσεται στην κατηγορία A2L: mildly flammable refrigerants λόγω της χαμηλής ταχύτητας μετάδοσης της φλόγας, ενώ με βάση τον EN 378 (βλ. Κεφάλαιο 3.2) κατατάσσεται στην κατηγορία A2 (Lower Flammability) .

Έχει τα εξής χαρακτηριστικά κατά ISO 817.

- Lower Flammability Limit: LFL= 14,4 % v/v
- Burning velocity: $S_u = 6,7$ cm/s
- Heat Of Combustion: HOC = 9,5 MJ/kg

Κατά EN 378 , το R-32 έχει τα εξής χαρακτηριστικά

- Lower Flammability Limit=0,306 kg/m³
- Auto Ignition Temperature= 648 °C .

Για την έναυση φλόγας απαιτείται η ύπαρξη τριών συνθηκών ταυτόχρονα

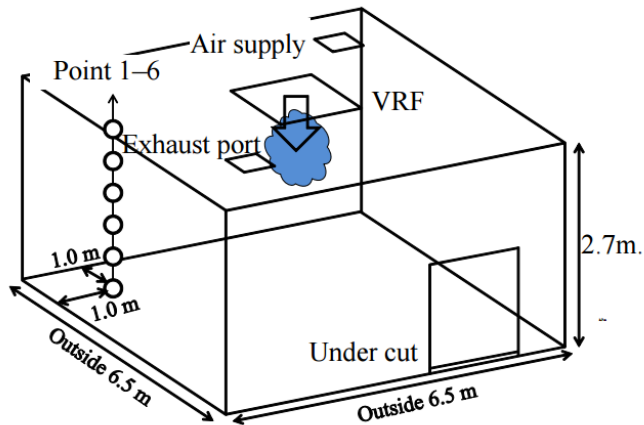
- ύπαρξη οξυγόνου
- ύπαρξη του εύφλεκτου αερίου σε συγκέντρωση C με $LFL < C$
- ύπαρξη σπίθας με ενέργεια U με $U > MIE$ (Minimum Ignition Energy)

Σημαντική και ενδιαφέρουσα παράμετρος αποτελεί η MIE, η οποία αποτελεί την ελάχιστη απαιτούμενη ενέργεια για να προκληθεί έναυση καύσης. Μπορεί να ποικίλει σημαντικά ανάλογα με την μορφή της σπίθας . Σύμφωνα με την βιβλιογραφία, το R-32 εμφανίζει $30 < MIE < 100$ μετρούμενο σε mJ. [59]

Για την χρήση των συστημάτων κλιματισμού και ψύξης με ασφάλεια είναι σχεδιασμένος ο κανονισμός EN 378-1 , ο οποίος ορίζει μία σχέση εμβαδού χώρου με μέγιστη επιτρεπόμενη πλήρωση εργαζόμενου μέσου, ως συνάρτηση της παραμέτρου LFL και ανάλογα με την χρήση του χώρου και τον τύπο του συστήματος. (βλ. Κεφάλαιο 3.2) . Αυτός είναι σχεδιασμένος ώστε σε καμία περίπτωση να μην ανέβει σε κάποιο σημείο του χώρου η συγκέντρωση του αερίου πάνω από την LFL.

Τις βασικές θεωρητικές γνώσεις εργασίας με εύφλεκτα εργαζόμενα μέσα διασφαλίζει ο (EE) 2015/2067 (βλ. Κεφάλαιο 5.6) .

Σχετικά με την ασφάλεια στην χρήση του εργαζόμενου αυτού μέσου, μία σειρά από πειράματα και αριθμητικές προσομοιώσεις γίνονται για να εξεταστεί υπό ποιες συνθήκες τίθεται κίνδυνος από την χρήση του R-32. Συγκεκριμένα, ανάλογα με την συνολική ποσότητα πλήρωσης, τον τύπο της μονάδας (π.χ. τοίχου ή δαπέδου, VRF ή



Σχήμα 6.30: Αριθμητική προσομοίωση για τη περίπτωση διαρροής σε σύστημα VRF [58]

αισθητήρας διαρροών, αναγκαστικός εξαερισμός, απουσία πηγών έναυσης κ.α.) οφείλουν να λαμβάνονται στην περίπτωση που υπάρχει η πιθανότητα να ξεπεραστεί η συγκέντρωση LFL σε περίπτωση διαρροής του συστήματος. Συγκεκριμένα πειράματα και αριθμητικές προσομοιώσεις υπάρχουν στη βιβλιογραφία και μπορούν να συνδράμουν στην μελέτη για την ενδεχόμενη χρήση κάποιου εύφλεκτου εργαζόμενου μέσου. [58]

Split κ.α.) και την χρήση εξαερισμού τα αποτελέσματα αλλάζουν. Ο βασικότερος στόχος είναι να μην πληρούνται ποτέ και οι τρεις απαραίτητες προϋποθέσεις για την έναυση φλόγας, δηλαδή η ύπαρξη πηγής ανάφλεξης (π.χ. σπίθα), η ύπαρξη ικανής συγκέντρωσης εύφλεκτης ουσίας (δηλ. <LFL) και η ύπαρξη οξυγόνου, αλλά με ταχύτητα μικρότερη ταχύτητα από την ταχύτητα μετάδοσης της φλόγας. Σε κάθε περίπτωση, τα απαραίτητα μέτρα (π.χ.

Συμπεράσματα

Η παραπάνω διπλωματική εργασία σκοπό είχε να αποτελέσει μία εισαγωγή στις τελευταίες εξελίξεις στον τομέα του κλιματισμού και των χρησιμοποιούμενων εργαζόμενων μέσων, μέσω της αναφοράς και της ανάλυσης των βασικότερων κανονισμών που τα διέπουν, και με εκτενή αναφορά στον νέο F-gas regulation. Ο συγκεκριμένος κανονισμός, πέρα από το να επιβάλλει αυστηρότερα πλαίσια στην χρήση των εργαζόμενων μέσων, οδηγεί και στη σταδιακή κατάργηση κάποιων από τα ευρύτερα χρησιμοποιούμενα εργαζόμενα μέσα. Επίσης, παρέχει το πλαίσιο για την σύγκριση των λειτουργικών παραμέτρων δύο εργαζόμενων μέσων για την χρήση σε σύστημα αντλίας θερμότητας. Δίνεται λοιπόν ένα θεωρητικό υπόβαθρο σύγκρισης δύο εναλλακτικών εργαζόμενων μέσων, λαμβάνοντας υπόψη όλους τους απαραίτητους παράγοντες (οικονομοτεχνικούς, περιβαλλοντικούς, και ασφαλείας), ενώ προχωράει και στη σύγκριση του R-410A, με έναν από τους βασικότερους ανταγωνιστές του, το R-32 σε δύο μελέτες περιπτώσεων, σε κτίριο ξενοδοχείου και σε κτίριο γραφείων. Αυτό που φαίνεται είναι η βελτίωση στον βαθμό απόδοσης και στο περιβαλλοντικό αποτύπωμα που επιτυγχάνει το R-32, ενώ τίθεται προς συζήτηση τα απαραίτητα μέτρα ασφαλείας που οφείλουν να λαμβάνονται στην χρήση του συγκεκριμένου εργαζόμενου μέσου, ιδίως σε συστήματα που απαιτούν μεγάλη πλήρωση, όπως το VRF/VRV.

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή μου κο Σωτήριο Καρέλλα, για τις πολύτιμες συμβουλές του κατά τη διάρκεια εκπόνησης της συγκεκριμένης διπλωματικής, καθώς και καθόλη τη διάρκεια των σπουδών μου. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω ολόψυχα την οικογένειά μου, η οποία μου έδωσε την δυνατότητα να ασχοληθώ με ένα αντικείμενο που με ενδιαφέρει βαθιά και μου δίνει κίνητρο να βελτιώνομαι καθημερινά.

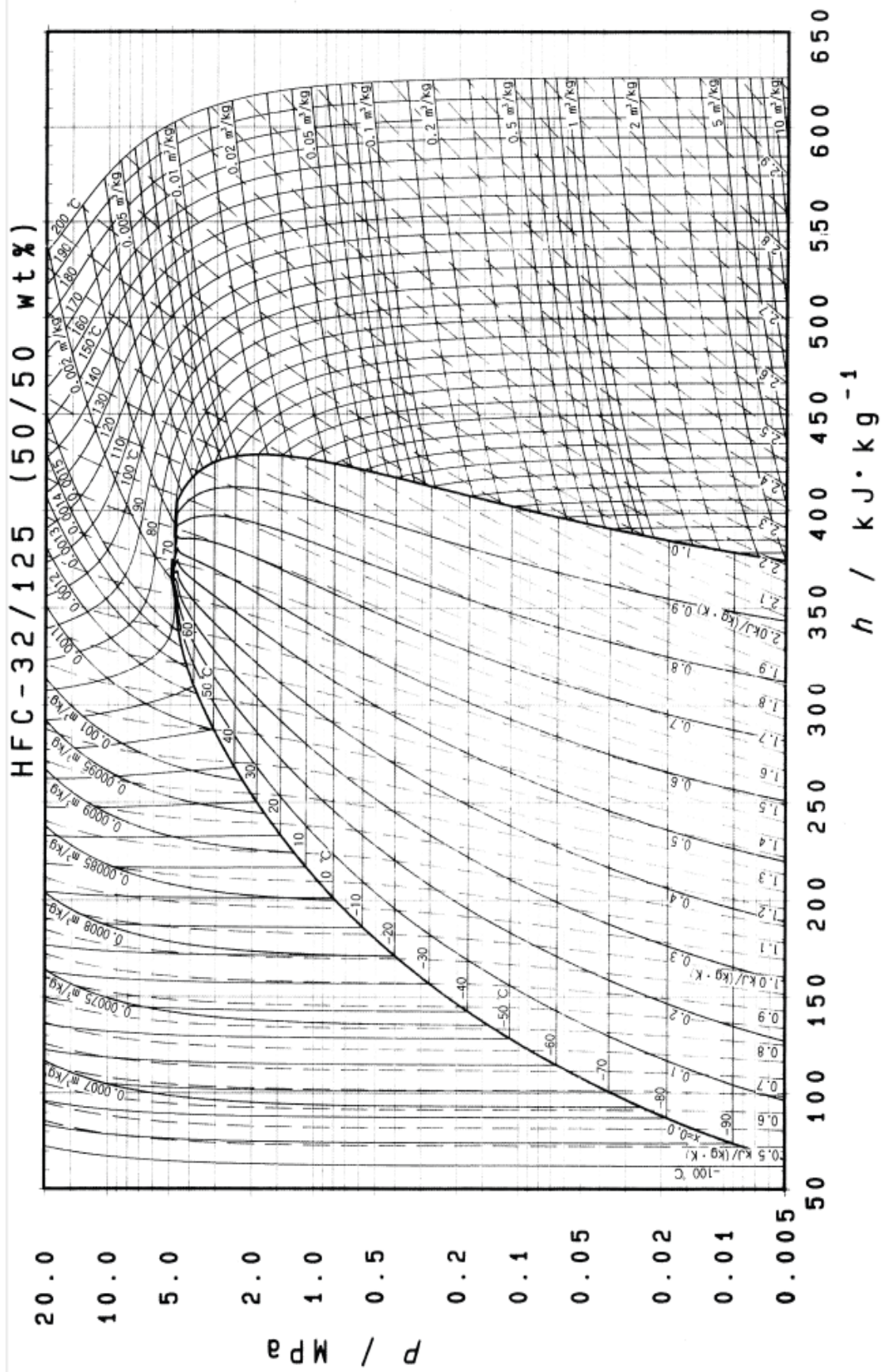
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι –ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΑ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ R-410A

ΚΑΜΠΥΛΗ ΚΟΡΕΣΜΟΥ- SATURATION CURVE S.I. UNITS^[50]

Temp. °C	Pressure kPa		spec. Density kg/m ³		spec. Volume m ³ /kg		spec. Enthalpy kJ/kg			spec. Entropy kJ/kg K	
	liquid	gas	liquid	gas	liquid	gas	liquid	latent	gas	liquid	gas
-30	270,30	269,35	1279,8	10,548	0,00078138	0,094808	156,17	253,58	409,75	0,8318	1,8749
-29	281,61	280,62	1276,4	10,97	0,00078346	0,091155	157,58	252,62	410,20	0,83757	1,8725
-28	293,28	292,26	1273,0	11,406	0,00078556	0,08767	159,00	251,65	410,65	0,84333	1,8701
-27	305,32	304,26	1269,6	11,856	0,00078768	0,084344	160,42	250,68	411,10	0,84907	1,8677
-26	317,74	316,64	1266,1	12,32	0,00078982	0,08117	161,84	249,69	411,53	0,8548	1,8653
-25	330,55	329,41	1262,7	12,798	0,00079198	0,078138	163,27	248,70	411,97	0,86052	1,8629
-24	343,75	342,57	1259,2	13,291	0,00079417	0,075241	164,70	247,70	412,40	0,86622	1,8606
-23	357,35	356,13	1255,7	13,798	0,00079637	0,072472	166,13	246,70	412,83	0,87191	1,8583
-22	371,37	370,10	1252,2	14,322	0,0007986	0,069825	167,56	245,69	413,25	0,87759	1,856
-21	385,80	384,48	1248,7	14,86	0,00080086	0,067293	169,00	244,67	413,67	0,88325	1,8538
-20	400,66	399,30	1245,1	15,415	0,00080313	0,06487	170,44	243,65	414,09	0,8889	1,8516
-19	415,95	414,54	1241,6	15,987	0,00080544	0,062551	171,88	242,62	414,50	0,89455	1,8493
-18	431,69	430,23	1238,0	16,575	0,00080776	0,06033	173,33	241,57	414,90	0,90018	1,8471
-17	447,88	446,37	1234,4	17,181	0,00081011	0,058203	174,78	240,52	415,30	0,9058	1,845
-16	464,53	462,96	1230,8	17,805	0,00081249	0,056165	176,23	239,47	415,70	0,9114	1,8428
-15	481,65	480,03	1227,1	18,446	0,0008149	0,054212	177,69	238,40	416,09	0,917	1,8407
-14	499,24	497,56	1223,5	19,106	0,00081733	0,052338	179,15	237,32	416,47	0,92259	1,8386
-13	517,33	515,59	1219,8	19,786	0,00081979	0,050542	180,61	236,25	416,86	0,92817	1,8365
-12	535,90	534,11	1216,1	20,484	0,00082228	0,048818	182,08	235,15	417,23	0,93374	1,8344
-11	554,98	553,12	1212,4	21,203	0,0008248	0,047163	183,55	234,05	417,60	0,9393	1,8323
-10	574,58	572,65	1208,7	21,942	0,00082735	0,045574	185,02	232,95	417,97	0,94486	1,8303
-9	594,69	592,70	1204,9	22,702	0,00082993	0,044048	186,50	231,83	418,33	0,9504	1,8282
-8	615,34	613,28	1201,1	23,484	0,00083255	0,042582	187,99	230,69	418,68	0,95594	1,8262
-7	636,52	634,40	1197,3	24,288	0,00083519	0,041173	189,47	229,56	419,03	0,96147	1,8242
-6	658,26	656,06	1193,5	25,114	0,00083787	0,039819	190,96	228,42	419,38	0,96699	1,8222
-5	680,55	678,28	1189,6	25,963	0,00084059	0,038517	192,46	227,25	419,71	0,97251	1,8202
-4	703,41	701,07	1185,8	26,836	0,00084334	0,037264	193,96	226,08	420,04	0,97802	1,8182
-3	726,84	724,43	1181,9	27,733	0,00084613	0,036058	195,46	224,91	420,37	0,98352	1,8162
-2	750,86	748,37	1177,9	28,655	0,00084895	0,034898	196,97	223,72	420,69	0,98902	1,8143
-1	775,48	772,91	1174,0	29,603	0,00085182	0,033781	198,48	222,52	421,00	0,99451	1,8123
0	800,70	798,05	1170,0	30,576	0,00085472	0,032705	200,00	221,31	421,31	1,00	1,8104
1	826,54	823,81	1166,0	31,577	0,00085766	0,031669	201,52	220,08	421,60	1,0055	1,8084
2	853,00	850,19	1161,9	32,605	0,00086065	0,03067	203,05	218,85	421,90	1,011	1,8065
3	880,10	877,20	1157,8	33,662	0,00086368	0,029707	204,58	217,60	422,18	1,0164	1,8046
4	907,84	904,85	1153,7	34,747	0,00086675	0,028779	206,12	216,34	422,46	1,0219	1,8027
5	936,23	933,15	1149,6	35,863	0,00086987	0,027884	207,66	215,07	422,73	1,0274	1,8007
6	965,29	962,12	1145,4	37,009	0,00087304	0,02702	209,21	213,78	422,99	1,0328	1,7988
7	995,02	991,76	1141,2	38,187	0,00087626	0,026187	210,77	212,48	423,25	1,0383	1,7969
8	1025,4	1022,1	1137,0	39,397	0,00087952	0,025383	212,33	211,16	423,49	1,0438	1,795
9	1056,5	1053,1	1132,7	40,64	0,00088284	0,024606	213,89	209,84	423,73	1,0492	1,7931
10	1088,4	1084,8	1128,4	41,917	0,00088621	0,023856	215,46	208,50	423,96	1,0547	1,7912
11	1120,9	1117,2	1124,0	43,23	0,00088964	0,023132	217,04	207,14	424,18	1,0602	1,7893
12	1154,1	1150,4	1119,7	44,579	0,00089313	0,022432	218,63	205,76	424,39	1,0656	1,7874
13	1188,1	1184,3	1115,2	45,966	0,00089667	0,021755	220,22	204,38	424,60	1,0711	1,7855
14	1222,9	1218,9	1110,8	47,39	0,00090027	0,021101	221,81	202,98	424,79	1,0765	1,7836
15	1258,4	1254,3	1106,3	48,855	0,00090394	0,020469	223,42	201,55	424,97	1,082	1,7816
16	1294,6	1290,5	1101,7	50,36	0,00090767	0,019857	225,03	200,11	425,14	1,0875	1,7797
17	1331,7	1327,4	1097,1	51,907	0,00091148	0,019265	226,64	198,67	425,31	1,0929	1,7778
18	1369,5	1365,1	1092,5	53,497	0,00091535	0,018692	228,27	197,19	425,46	1,0984	1,7758
19	1408,2	1403,6	1087,8	55,133	0,00091929	0,018138	229,90	195,70	425,60	1,1039	1,7739

Temp. °C	Pressure kPa		spec. Density kg/m ³		spec. Volume m ³ /kg		spec. Enthalpy kJ/kg			spec. Entropy kJ/kg K	
	liquid	gas	liquid	gas	liquid	gas	liquid	latent	gas	liquid	gas
20	1447,6	1443,0	1083,1	56,814	0,00092331	0,017601	231,54	194,19	425,73	1,1094	1,7719
21	1487,9	1483,1	1078,3	58,544	0,0009274	0,017081	233,19	192,66	425,85	1,1148	1,77
22	1529,0	1524,1	1073,4	60,323	0,00093158	0,016578	234,85	191,10	425,95	1,1203	1,768
23	1570,9	1566,0	1068,6	62,152	0,00093584	0,01609	236,51	189,53	426,04	1,1258	1,766
24	1613,8	1608,7	1063,6	64,035	0,00094019	0,015616	238,18	187,94	426,12	1,1313	1,764
25	1657,4	1652,2	1058,6	65,972	0,00094463	0,015158	239,86	186,33	426,19	1,1368	1,7619
26	1702,0	1696,7	1053,6	67,966	0,00094916	0,014713	241,55	184,70	426,25	1,1424	1,7599
27	1747,5	1742,0	1048,4	70,019	0,00095379	0,014282	243,25	183,03	426,28	1,1479	1,7578
28	1793,8	1788,3	1043,3	72,133	0,00095852	0,013863	244,96	181,35	426,31	1,1534	1,7558
29	1841,1	1835,4	1038,0	74,31	0,00096336	0,013457	246,68	179,64	426,32	1,159	1,7537
30	1889,3	1883,5	1032,7	76,553	0,00096832	0,013063	248,41	177,90	426,31	1,1645	1,7515
31	1938,5	1932,6	1027,3	78,864	0,00097338	0,01268	250,15	176,14	426,29	1,1701	1,7494
32	1988,6	1982,6	1021,9	81,246	0,00097858	0,012308	251,90	174,35	426,25	1,1757	1,7472
33	2039,7	2033,5	1016,4	83,703	0,00098389	0,011947	253,66	172,54	426,20	1,1813	1,745
34	2091,8	2085,5	1010,8	86,237	0,00098935	0,011596	255,43	170,69	426,12	1,1869	1,7428
35	2144,9	2138,5	1005,1	88,851	0,00099494	0,011255	257,22	168,81	426,03	1,1925	1,7405
36	2198,9	2192,4	999,3	91,55	0,010007	0,010923	259,01	166,91	425,92	1,1982	1,7382
37	2254,0	2247,4	993,5	94,338	0,010066	0,0106	260,82	164,97	425,79	1,2038	1,7359
38	2310,2	2303,5	987,5	97,218	0,010126	0,010286	262,65	162,98	425,63	1,2095	1,7335
39	2367,4	2360,5	981,5	100,19	0,010189	0,0099805	264,48	160,98	425,46	1,2152	1,7311
40	2425,6	2418,7	975,3	103,27	0,010253	0,009683	266,33	158,93	425,26	1,221	1,7286
41	2485,0	2477,9	969,1	106,46	0,010319	0,0093931	268,20	156,84	425,04	1,2267	1,7261
42	2545,4	2538,3	962,7	109,76	0,010387	0,0091108	270,08	154,71	424,79	1,2325	1,7235
43	2607,0	2599,8	956,2	113,18	0,010458	0,0088355	271,98	152,54	424,52	1,2383	1,7209
44	2669,7	2662,4	949,6	116,72	0,010531	0,0085672	273,90	150,31	424,21	1,2442	1,7182
45	2733,5	2726,1	942,9	120,4	0,010606	0,0083053	275,84	148,04	423,88	1,2501	1,7155
46	2798,5	2791,1	936,0	124,23	0,010684	0,0080498	277,80	145,72	423,52	1,256	1,7127
47	2864,7	2857,2	929,0	128,2	0,010765	0,0078003	279,77	143,35	423,12	1,2619	1,7098
48	2932,1	2924,5	921,8	132,33	0,010849	0,0075566	281,77	140,92	422,69	1,268	1,7069
49	3000,7	2993,0	914,4	136,64	0,010936	0,0073184	283,80	138,42	422,22	1,274	1,7038
50	3070,6	3062,8	906,8	141,14	0,011028	0,0070853	285,85	135,87	421,72	1,2801	1,7007
51	3141,7	3133,9	899,0	145,83	0,011123	0,0068573	287,93	133,24	421,17	1,2863	1,6975
52	3214,0	3206,2	891,0	150,74	0,011223	0,0066339	290,03	130,54	420,57	1,2926	1,6941
53	3287,7	3279,9	882,8	155,89	0,011328	0,0064149	292,17	127,75	419,92	1,2989	1,6906
54	3362,7	3354,9	874,3	161,29	0,011438	0,0062001	294,35	124,87	419,22	1,3053	1,6871
55	3439,1	3431,3	865,5	166,97	0,011555	0,0059891	296,57	121,89	418,46	1,3118	1,6833
56	3516,8	3509,0	856,3	172,96	0,011678	0,0057816	298,83	118,81	417,64	1,3184	1,6794
57	3595,9	3588,2	846,8	179,29	0,011809	0,0055774	301,13	115,61	416,74	1,3251	1,6753
58	3676,4	3668,7	836,9	186,01	0,011949	0,0053761	303,50	112,27	415,77	1,3319	1,6711
59	3758,4	3750,8	826,5	193,15	0,0121	0,0051773	305,92	108,79	414,71	1,339	1,6666
60	3841,8	3834,4	815,5	200,78	0,012263	0,0049805	308,41	105,13	413,54	1,3461	1,6618
61	3926,8	3919,5	803,9	208,97	0,012439	0,0047853	310,99	101,28	412,27	1,3535	1,6567
62	4013,3	4006,1	791,6	217,81	0,012633	0,0045911	313,66	97,20	410,86	1,3612	1,6513
63	4101,4	4094,4	778,3	227,41	0,012848	0,0043972	316,44	92,86	409,30	1,3691	1,6455
64	4191,1	4184,3	764,0	237,94	0,013088	0,0042028	319,35	88,21	407,56	1,3775	1,6392
65	4282,4	4276,0	748,4	249,59	0,013362	0,0040066	322,43	83,17	405,60	1,3862	1,6322
66	4375,4	4369,3	731,0	262,68	0,013679	0,0038069	325,73	77,62	403,35	1,3956	1,6245
67	4470,2	4464,5	711,3	277,66	0,014058	0,0036015	329,32	71,42	400,74	1,4058	1,6158
68	4566,8	4561,6	688,3	295,31	0,014529	0,0033863	333,32	64,30	397,62	1,4171	1,6056
69	4665,1	4660,6	659,8	317,07	0,015155	0,0031539	338,01	55,71	393,72	1,4304	1,5933

ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ-SI UNITS [50]



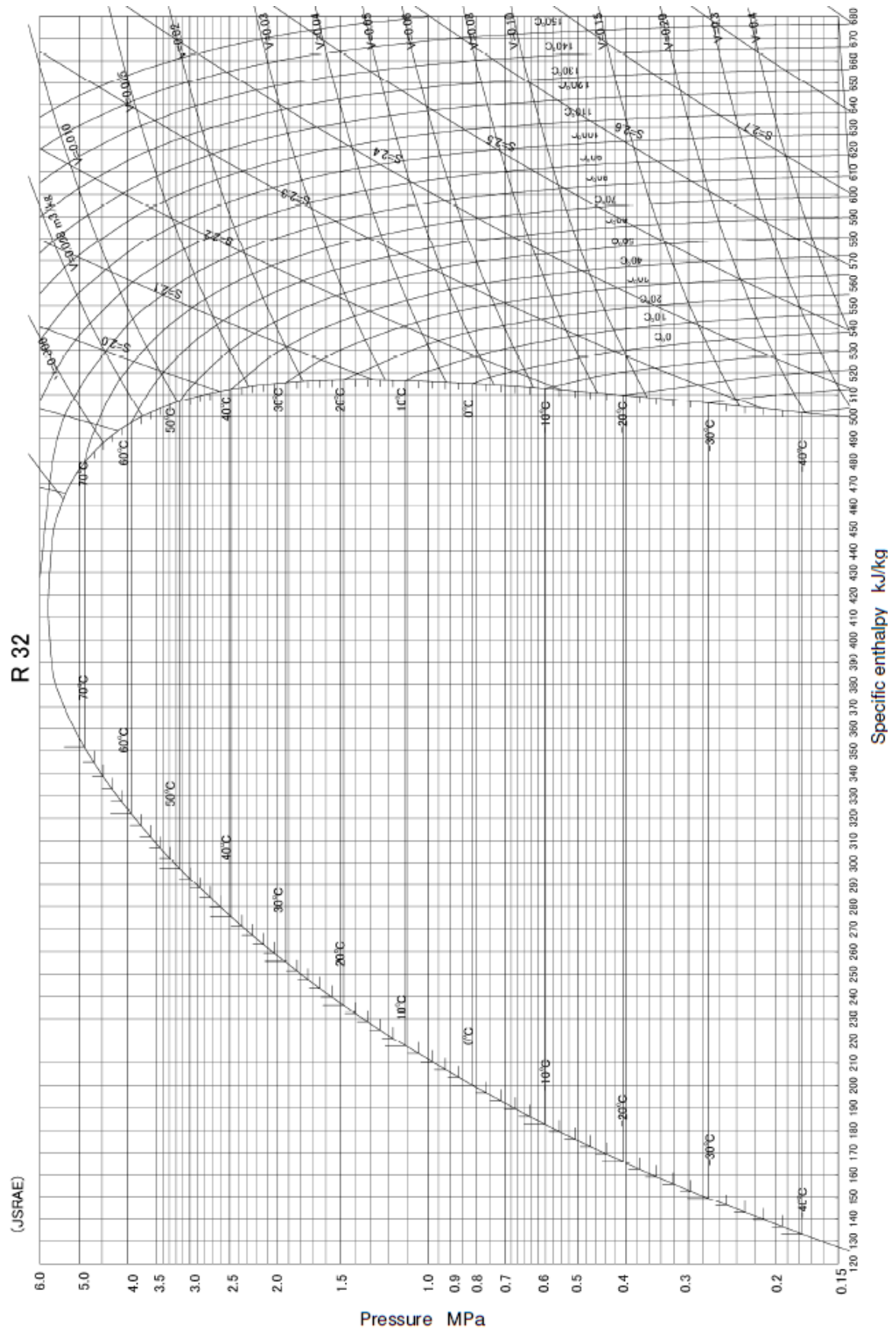
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ -ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ R-32

ΚΑΜΠΥΛΗ ΚΟΡΕΣΜΟΥ- SATURATION CURVE S.I. UNITS [50]

R32 Thermodynamic Properties (Saturation Chart)

Temperature	Pressure	Specific volume		Specific enthalpy		Specific enthalpy	
Inserted function	PsT(T)	VfT(T)	VPT(P,T)	HfT(T)	HPT(P,T)	SfT(T)	SPT(P,T)
t °C	p MPa	v' m ³ /kg	v'' m ³ /kg	h' kJ/kg	h'' kJ/kg	s' kJ/(kg·K)	s'' kJ/(kg·K)
-50	0.1101	0.000828	0.30944	117.22	497.27	0.6683	2.3714
-48	0.1216	0.000831	0.28188	120.40	498.26	0.6824	2.3607
-46	0.1340	0.000835	0.25722	123.60	499.23	0.6965	2.3502
-44	0.1474	0.000839	0.23513	126.80	500.17	0.7105	2.3399
-42	0.1619	0.000843	0.21528	130.01	501.11	0.7244	2.3298
-40	0.1774	0.000847	0.19743	133.23	502.02	0.7382	2.3200
-38	0.1941	0.000851	0.18133	136.45	502.91	0.7519	2.3103
-36	0.2120	0.000856	0.16680	139.69	503.78	0.7655	2.3008
-34	0.2311	0.000860	0.15365	142.93	504.63	0.7791	2.2916
-32	0.2516	0.000864	0.14173	146.18	505.47	0.7926	2.2824
-30	0.2734	0.000869	0.13091	149.45	506.27	0.8060	2.2735
-28	0.2967	0.000873	0.12107	152.72	507.06	0.8193	2.2647
-26	0.3216	0.000878	0.11211	156.01	507.83	0.8326	2.2561
-24	0.3480	0.000883	0.10393	159.31	508.57	0.8458	2.2476
-22	0.3760	0.000888	0.09646	162.62	509.28	0.8589	2.2392
-20	0.4058	0.000892	0.08963	165.94	509.97	0.8720	2.2310
-18	0.4373	0.000897	0.08337	169.28	510.64	0.8850	2.2229
-16	0.4707	0.000903	0.07762	172.63	511.28	0.8979	2.2149
-14	0.5060	0.000908	0.07234	175.99	511.89	0.9109	2.2070
-12	0.5433	0.000913	0.06749	179.37	512.47	0.9237	2.1992
-10	0.5826	0.000918	0.06301	182.76	513.02	0.9365	2.1915
-8	0.6241	0.000924	0.05889	186.18	513.54	0.9493	2.1839
-6	0.6679	0.000930	0.05508	189.60	514.03	0.9620	2.1764
-4	0.7139	0.000936	0.05155	193.05	514.49	0.9747	2.1690
-2	0.7623	0.000942	0.04829	196.52	514.91	0.9874	2.1616
0	0.8131	0.000948	0.04527	200.00	515.30	1.0000	2.1543
2	0.8665	0.000954	0.04246	203.50	515.65	1.0126	2.1471
4	0.9225	0.000960	0.03986	207.03	515.96	1.0252	2.1399
6	0.9811	0.000967	0.03743	210.58	516.24	1.0377	2.1327
8	1.0426	0.000974	0.03518	214.15	516.47	1.0503	2.1256
10	1.1069	0.000981	0.03308	217.74	516.66	1.0628	2.1185
12	1.1742	0.000988	0.03112	221.36	516.80	1.0753	2.1114
14	1.2445	0.000995	0.02929	225.01	516.903	1.0878	2.1043
16	1.3179	0.001003	0.02758	228.68	516.953	1.1003	2.0972
18	1.3946	0.001011	0.02598	232.39	516.952	1.1128	2.0902
20	1.4746	0.001019	0.02448	236.12	516.90	1.1253	2.0831
22	1.5579	0.001027	0.02307	239.89	516.79	1.1378	2.0760
24	1.6448	0.001036	0.02175	243.69	516.62	1.1503	2.0688
26	1.7353	0.001045	0.02051	247.53	516.39	1.1629	2.0616
28	1.8295	0.001055	0.01935	251.40	516.09	1.1755	2.0544
30	1.9275	0.001064	0.01826	255.32	515.72	1.1881	2.0471
32	2.0294	0.001074	0.01722	259.28	515.29	1.2007	2.0397
34	2.1353	0.001085	0.01625	263.28	514.77	1.2134	2.0322
36	2.2454	0.001096	0.01533	267.34	514.17	1.2262	2.0246
38	2.3597	0.001108	0.01447	271.45	513.49	1.2391	2.0169
40	2.4783	0.001120	0.01365	275.61	512.71	1.2520	2.0091
42	2.6014	0.001133	0.01287	279.84	511.82	1.2650	2.0011
44	2.7292	0.001146	0.01214	284.13	510.83	1.2781	1.9929
46	2.8616	0.001160	0.01144	288.50	509.72	1.2914	1.9845
48	2.9989	0.001175	0.01078	292.95	508.48	1.3048	1.9759
50	3.1412	0.001192	0.01015	297.49	507.10	1.3183	1.9670
52	3.2887	0.001209	0.00955	302.12	505.57	1.3321	1.9578
54	3.4415	0.001227	0.00897	306.87	503.86	1.3461	1.9482
56	3.5997	0.001247	0.00843	311.74	501.95	1.3603	1.9382
58	3.7635	0.001269	0.00790	316.75	499.82	1.3749	1.9277
60	3.9332	0.001293	0.00740	321.93	497.44	1.3898	1.9166
62	4.1089	0.001320	0.00691	327.30	494.76	1.4052	1.9048
64	4.2909	0.001349	0.00644	332.90	491.73	1.4211	1.8922
66	4.4793	0.001383	0.00598	338.78	488.26	1.4377	1.8785
68	4.6745	0.001422	0.00553	345.02	484.25	1.4553	1.8634
70	4.8768	0.001469	0.00508	351.73	479.52	1.4740	1.8464
78.105	5.7826	0.00236	0.00236	414.15	414.15	1.6487	1.6487

ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ-SI UNITS [50]



Βιβλιογραφία

- [1] Numbering Scheme for Ozone-Depleting Substances and their Substitutes . Science - Ozone Layer Protection. US EPA. 2007
- [2] Thermodynamics and Thermal Engineering - J.Selwin Rajadurai
December 1, 2003
- [3] Azeotrope at Wikipedia.org – available at <https://en.wikipedia.org/wiki/Azeotrope> - Last modified: December 1, 2016
- [4] Zeotropic Mixture at Wikipedia.org – available at https://en.wikipedia.org/wiki/Zeotropic_mixture - Last modified: 17 February 2016
- [5] Understanding Refrigerant Blend Performance-Author: Jim Lavelle-Refrigeration Service Engineers Society (RSES) Journal 33 - January 2006
- [6] Investigation into the fractionation of refrigerant blends - The Air-Conditioning and Refrigeration Technology Institute – January 1996
- [7] Service Manual for products using refrigerant R-407C – Daikin Industries – April 26, 2001
- [8] "Atmospheric chemistry of CF₃CF=CH₂: Products and mechanisms of Cl atom and OH radical initiated oxidation". Chemical Physics Letters Hurley MD, Wallington TJ, Javadi MS, Nielsen OJ (2008).
- [9] 1,1-Difluoroethane at Wikipedia.org – available at <https://en.wikipedia.org/wiki/1,1-Difluoroethane> –last modified on December 8, 2016
- [10] Difluoromethane at Wikipedia.org- available at <https://en.wikipedia.org/wiki/Difluoromethane> last modified on December 2 2015
- [11] Ο "Transcritical" Ψυκτικός Κύκλος του CO₂ – Νίκος Χαριτωνίδης- Cryologic- November 11 2015
- [12] Commercial CO₂ Refrigeration Systems Guide for Subcritical and Transcritical CO₂ Applications- Emerson Climate Technologies-2015
- [13] Earth System Research Laboratory -National Oceanic and Atmospheric Administration – U.S. Department of Commerce- Ιστοσελίδα <http://www.esrl.noaa.gov/research/themes/o3/>
- [14] Health Effects of UV Radiation- US Environmental Protection Agency- Available at <https://www.epa.gov/sunsafety/health-effects-uv-radiation>
- [15] Stratospheric sink for chlorofluoromethanes : Chlorine atom-catalysed destruction of ozone, M. J. Molina and F. S. Rowland, Nature (1974)
- [16] NASA and NOAA Announce Ozone Hole is a Double Record Breaker- NASA and NOAA –October 2016 Available at http://www.nasa.gov/vision/earth/lookingatearth/ozone_record.html
- [17] WMO (World Meteorological Organization), 2011: Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2010. Global Ozone Research and Monitoring Project—Report No. 52, Geneva, Switzerland
- [18] Archives of Environmental Protection Agency-United States of America Available at <https://web.archive.org/web/20060930070256/http://epa.gov/ozone/science/hole/whyant.html#psc>

- [19] Sea Surface Temperature Anomaly - NASA-Earth Observatory – Available at <http://earthobservatory.nasa.gov>
- [20] NOAA Climate Research Highlights - Geophysical Fluid Dynamics Laboratory of the National Oceanic and Atmospheric Administration of the U.S. Department of Commerce.- available at <https://www.gfdl.noaa.gov/will-the-wet-get-wetter-and-the-dry-drier/> - updated at October 2016
- [21] - NASA- Global Climate Change- Vital Signs of The Planet- Sea Level- available at <http://climate.nasa.gov/vital-signs/sea-level/> updated at November 2016
- [22] - NASA- Global Climate Change- Vital Signs of The Planet- Arctic Sea Ice- available at <http://climate.nasa.gov/vital-signs/arctic-sea-ice/> updated at November 2016
- [23] IPCC Fifth Assessment Report, 2014 (AR5)
- [24] The EU Emissions Trading System (EU ETS) available at http://ec.europa.eu/clima/policies/ets/index_en.htm - updated November 2016
- [25] European Commission Climate Action- Paris Agreement available at http://ec.europa.eu/clima/policies/international/negotiations/paris/index_en.htm updated November 2016
- [26] United Nations Framework Convention on Climate Change Decision -/CP.20 Lima call for climate action- available at https://unfccc.int/files/meetings/lima_dec_2014/application/pdf/auv_cop20_lima_call_for_climate_action.pdf - December 2014
- [27] European Commission Climate Action 2020 climate & energy package available at http://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2020/index_en.htm
- [28] Directive 2009/125/EC of the European Parliament- Ecodesign Directive available at <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009L0125&from=EL>
- [29] EN 378-1 :2008 - Refrigerating systems and heat pumps – Safety and environmental requirements - Part 1: Basic requirements, definitions, classification and selection criteria
- [30] Guideline for Life Cycle Climate Performance December 2015- International Institute of Refrigeration
<http://www.ior.org.uk/app/images/pdf/Booklet-LCCP-Guideline-V1-DEC2015.pdf>
- [31] ASHRAE 15/2013
- [32] ASHRAE 34/2013
- [33] EN 378-1 Basic requirements, definitions, classification and selection criteria
- [34] ISO 817 (2014)
- [35] Regulation (EC) No 1907/2006 of the European Parliament and of the Council of 18 December 2006 concerning the Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (REACH)- <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/PDF/?uri=CELEX:32006R1907&from=EN>
- [36] European Commission Classification and Labelling (CLP/GHS) (EC) No 1272/2008 – available at https://ec.europa.eu/growth/sectors/chemicals/classification-labelling_en
- [37] N.4067/2012-Νέος οικοδομικός κανονισμός- http://www.elinyae.gr/el/lib_file_upload/79a_12.1334130873703.pdf

- [38]Κτιριοδομικός Κανονισμός. (ΦΕΚ 59/Δ/3-02-89) available at http://www.elinyae.gr/el/lib_file_upload/d59_89.1130149974734.pdf
- [39] Έγκριση κανονισμού Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίου Απόφαση Αριθμ. Δ6/Β/οικ. 5825 available at http://www.kenak.gr/files/NOMIKO_PLAISIO/KENAK_FEK_407B_09042010.pdf
- [40]Διάγραμμα ισχύουσας νομοθεσίας πυροπροστασίας – έγγραφο της Δεκεμβρίου 02 2015 available at http://www.fireservice.gr/pyr_cms_files/dynamic/c142281/doc.file/diagramma_el_GR.pdf
- [41] ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ (ΕΚ) αριθ. 842/2006 ΤΟΥ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟΥ ΚΟΙΝΟΒΟΥΛΙΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟΥ της 17ης Μαΐου 2006 available at <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/PDF/?uri=CELEX:32006R0842&from=EN>
- [42] ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ (ΕΕ) αριθ. 517/2014 ΤΟΥ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟΥ ΚΟΙΝΟΒΟΥΛΙΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟΥ της 16ης Απριλίου 2014 για τα φθοριούχα αέρια του θερμοκηπίου και για την κατάργηση του κανονισμού (ΕΚ) αριθ. 842/2006 <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014R0517&from=EN>
- [43] New F-gas Regulation Consequences –Bitzer – Available at https://www.bitzer.de/shared_media/documentation/a-510-1.pdf
- [44] Revised F-Gas Regulations –Harp Internationl Ltd October 20 2014 available at <http://www.harpintl.com/f-gas-regulations.php>
- [45] ΕΚΤΕΛΕΣΤΙΚΟΣ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ (ΕΕ) 2015/2067 ΤΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ της 17ης Νοεμβρίου 2015 <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/PDF/?uri=CELEX:32015R2067&from=EL>
- [46] EU F-gas Regulation and its Consequences for the RAC sector –Eurammon Symposium June 25/26 2015 Hermann Renz BITZER
- [47] INVESTIGATION OF VAPOR INJECTION HEAT PUMP SYSTEM WITH A FLASH TANK UTILIZING R410A AND LOW-GWP REFRIGERANT R32 - Xing Xu, Doctor of Philosophy, 2012
- [48] R32 Compressor Development for Air Conditioning Applications in China Weihua Guo, Gaofeng Ji, Honghong Zhan, Dan Wang - Emerson Climate Technologies – 2012 available at <http://docs.lib.purdue.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=3097&context=icec>
- [49] Μετεωρολογικά Δεδομένα για το έτος για την περιοχή της Αθήνας – Ashrae.org
- [50] www.daikin.com
- [51] Variable Refrigerant Flow Systems- William Goetzler –ASHRAE Journal –April 2007
- [52] ASHRAE Handbook 2012
- [53] Analyses of Variable Refrigerant Flow and Exergy in Air Conditioning Systems- Rashid Ali Alshatti University of South Florida-2011
- [54] AHRI - System Drop-In Test of Refrigerant R-32 in a VRF Multi-split Heat Pump- 2014
- [55] R32 Compressor for Air conditioning and Refrigeration applications in China Weihua Guo -2012

- [56] LIFE CYCLE CLIMATE PERFORMANCE MODEL FOR RESIDENTIAL HEAT PUMP SYSTEMS Final Report October 2011- AHRTI
- [57] Guideline for Life Cycle Climate Performance August 2015- IIFIR
- [58] Risk Assessment of Mildly Flammable Refrigerants 2012 Progress Report April 2013 – JSRAE
- [59] AHRI Project 8009 Final Report Risk Assessment of Refrigeration Systems Using A2L Flammable Refrigerants Prepared for Air Conditioning, Heating and Refrigeration Institute April 22, 2015
- [60] 2030 climate and energy framework – available at https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030_el#tab-0-0
- [61] EN 378:2016 Refrigerating systems and heat pumps — Safety and environmental requirements