

**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**



**NATIONAL TECHNICAL
UNIVERSITY OF ATHENS
SCHOOL OF MECHANICAL
ENGINEERING**

**ΤΟΜΕΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ
SECTION OF THERMAL ENGINEERING**

Επίδραση των θερμοφυσικών ιδιοτήτων τροφίμων και ποτών, στην ψύξη ή/και την κατάψυξή τους σε πολυδύναμους ψυκτικούς θαλάμους

Effect of thermophysical properties of foods and beverages, at cooling or/and freezing of them in multipotent cold storage rooms



**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: | SUPERVISOR:
Ρογδάκης Δ. Εμμανουήλ | Rogdakis D. Emmanouil
Καθηγητής Ε.Μ.Π. | Professor of N.T.U.A**

**Νικηφοράκης Γ. Εμμανουήλ
Nikiforakis G. Emmanouil**

Αθήνα, Ιούλιος 2013

.....
Νικηφοράκης Γ. Εμμανουήλ
Διπλωματούχος Μηχανολόγος Μηχανικός Ε.Μ.Π.

Copyright © Νικηφοράκης Γ. Εμμανουήλ, 2013.
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

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

Αφιερώνεται στην οικογένειά μου...

Μια αστραπή είναι η ζωή και στ' άναμμα που κάνει,
ό,τι προλάβει ο άνθρωπος, τα υπόλοιπα τα χάνει....

Ευχαριστίες

Το παρόν τεύχος αποτελεί τη Διπλωματική μου εργασία στη σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου με την οποία ολοκληρώνεται ο κύκλος σπουδών μου στο ίδρυμα.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέπων καθηγητή, τον κ. Ρογδάκη Εμμανουήλ, για τη δυνατότητα που μου έδωσε να εκπονήσω αυτή την εργασία καθώς και για την αμέριστη βοήθειά του όποτε τη χρειαζόμουν. Επιπλέον, τη Ζωή και τη Δανάη για την φιλολογική επιμέλεια του κειμένου, και τον Κωστή για την επιμέλεια του εξωφύλλου.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους φίλους για τη στήριξη που μου παρείχαν κατά τη συγγραφή της παρούσας εργασίας καθώς και για τα αξέχαστα φοιτητικά χρόνια που περάσαμε μαζί.

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου και τις ευχαριστίες από καρδιάς στους γονείς μου Γιώργο και Αναστασία, στα αδέρφια μου Ειρήνη και Ευτύχη, καθώς και στους παππούδες και τις γιαγιάδες μου, για τη διαρκή τους υποστήριξη, και κατανόηση όλα αυτά τα χρόνια.

Αθήνα, Ιούλιος 2013

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες.....	5
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	11
INTRODUCTION.....	13
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ^ο ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ ΚΑΙ ΠΟΤΩΝ	15
1.1 Γενικά	15
1.2 Θερμικές ιδιότητες τροφίμων και ποτών.....	16
1.2.1 Αρχικό σημείο στερεοποίησης-(Initial Freezing Point)	16
1.2.2 Περιεκτικότητα σε νερό-υγρασία-(Water content)	16
1.2.3 Περιεκτικότητα σε πάγο-(Ice content)	16
1.2.4 Πορώδης δομή τροφίμων-(Porosity)	17
1.3 Θερμοφυσικές ιδιότητες τροφίμων και ποτών	22
1.3.1 Πυκνότητα-(Density).....	22
1.3.2 Ειδική θερμοχωρητικότητα-(Specific heat)	22
1.3.3 Ενθαλπία-(Enthalpy)	24
1.3.4 Θερμική αγωγιμότητα-(Thermal conductivity).....	24
1.3.5 Θερμική διαχυτότητα-(Thermal diffusivity)	25
1.3.6 Θερμότητα αναπνοής-(Heat of respiration).....	26
1.3.7 Διαπνοή φρέσκων φρούτων και λαχανικών-(Transpiration of fresh fruits and vegetables)	27
1.3.8 Συντελεστής μεταφοράς θερμότητας-(Heat transfer coefficient).....	27
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ^ο ΧΡΟΝΟΙ ΨΥΞΗΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΨΥΞΗΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ ΚΑΙ ΠΟΤΩΝ	29
2.1 Γενικά	29
2.2 Υπολογισμός χρόνου ψύξης.....	30
2.2.1 Μέθοδος υπολογισμού παραγόντων f και j_m για την ψύξη.....	32
2.3 Υπολογισμός χρόνου κατάψυξης	33
2.3.1 Μέθοδος υπολογισμού παραγόντων P_{par} και R_{par} για την κατάψυξη	34
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ^ο ΜΙΚΡΟΒΙΟΛΟΓΙΑ ΤΡΟΦΙΜΩΝ ΚΑΙ ΠΟΤΩΝ	37
3.1 Εισαγωγή	37
3.2 Βασική μικροβιολογία.....	37
3.2.1 Πηγές μικροοργανισμών	38
3.2.2 Μικροβιακή ανάπτυξη.....	39
3.3 Κρίσιμες απαιτήσεις για την μικροβιακή ανάπτυξη.....	39

3.3.1	Ενδογενείς παράγοντες μικροβιακής ανάπτυξης.....	39
3.3.2	Εξωγενείς παράγοντες μικροβιακής ανάπτυξης.....	43
3.4	Σχεδιασμός για τον έλεγχο ανάπτυξης των μικροβίων	45
3.4.1	Μηχανισμός πρόληψης της ρύπανσης.....	45
3.4.2	Μηχανισμός πρόληψης ανάπτυξης μικροβίων	45
3.4.3	Καταστροφή των μικροοργανισμών.....	46
3.5	HACCP-Hazard Analysis and Critical Control Point	46
3.6	Υγιεινή ψυκτικού θαλάμου	46
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ^ο ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΕΙΔΗ ΨΥΚΤΙΚΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ.....		49
4.1	Εισαγωγή	49
4.2	Αρχικά κτηριακά ζητήματα	50
4.2.1	Τοποθέτηση εγκαταστάσεων ψυκτικών θαλάμων	50
4.2.2	Διαμόρφωση και μέγεθος της εγκατάστασης.....	50
4.2.3	Σχεδιασμός κτιρίου.....	51
4.3	Συστήματα ψύξης	53
4.3.1	Τύποι ψυκτικών συστημάτων.....	53
4.3.2	Επιλογή ψυκτικού μέσου.....	55
4.3.3	Επιλογή μονάδας ψύξης	55
4.3.4	Απόψυξη μονάδων fan-coil	59
4.3.5	Συμπιεστές.....	59
4.4	Θάλαμοι κατάψυξης	60
4.4.1	Εισαγωγή	60
4.4.2	Μέθοδοι κατάψυξης	61
4.4.3	Άλλα κριτήρια επιλογής μεθόδου κατάψυξης βάσει της ASHRAE[8].....	71
4.4.4	Ψυκτική μονάδα καταψυκτών	73
4.5	Λοιπά ζητήματα.....	74
4.5.1	Διακοπή λειτουργίας θαλάμου	74
4.5.2	Πυροπροστασία	75
4.5.3	Επιθεώρηση και συντήρηση θαλάμων	75
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ^ο ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΚΑΙ ΙΔΙΑΙΤΕΡΟΤΗΤΕΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΤΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ		77
5.1	Φρούτα και Λαχανικά.....	77
5.1.1	Πρόψυξη φρούτων και λαχανικών	77
5.1.2	Επιλογή μεθόδου πρόψυξης	79
5.1.3	Αποξηραμένα φρούτα και λαχανικά	81

5.2	Προϊόντα κόκκινου κρέατος.....	82
5.2.1	Γενικά	82
5.2.2	Υγιεινή.....	82
5.2.3	Συντήρηση και διαχείριση προϊόντων	82
5.2.4	Ψύξη και κατάψυξη κρεάτων	85
5.3	Προϊόντα πουλερικών.....	86
5.3.1	Γενικά	86
5.3.2	Ψύξη πουλερικών	86
5.3.3	Κατάψυξη πουλερικών	87
5.3.4	Απολύμανση πουλερικών	87
5.4	Γαλακτοκομικά προϊόντα	88
5.4.1	Γενικά	88
5.4.2	Συντήρηση γάλακτος.....	88
5.4.3	Συντήρηση παράγωγων γάλακτος	88
5.5	Αυγά και παράγωγα αυγών	90
5.5.1	Επεξεργασία αυγών	90
5.5.2	Συντήρηση αυγών.....	90
5.5.3	Συντήρηση προϊόντων αυγού	90
5.6	Θαλασσινά προϊόντα	91
5.6.1	Εισαγωγή	91
5.6.2	Συντήρηση φρέσκων αλιευμάτων	91
5.6.3	Συντήρηση κατεψυγμένων αλιευμάτων	91
5.7	Χυμοί φρούτων.....	94
5.7.1	Συντήρηση χυμών.....	94
5.7.2	Χυμός πορτοκαλιού.....	94
5.8	Προϊόντα γλυκά – Ξηροί καρποί.....	95
5.8.1	Εισαγωγή	95
5.8.2	Ψύξη γλυκών	95
5.8.3	Κατάψυξη γλυκών	95
5.8.4	Ξηροί καρποί	95
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6° ΨΥΚΤΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ ΘΑΛΑΜΩΝ.....		97
6.1	Εισαγωγή	97
6.2	Ψυκτικά φορτία	97
6.2.1	Φορτίο ψύξης του χώρου-(Transmission load)	97
6.2.2	Φορτίο ψύξης ή κατάψυξης προϊόντων-(Product load)	100
6.2.3	Ψυκτικό φορτίο εσωτερικής λειτουργίας-(Internal load).....	101

6.2.4	Ψυκτικό φορτίο εναλλαγών αέρα	103
6.2.5	Ψυκτικό φορτίο που σχετίζεται με τον εξοπλισμό	106
6.3	Συντελεστής ασφαλείας.....	106
6.4	Παράδειγμα ASHRAE[13].....	107
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 ^ο ΜΕΛΕΤΗ ΠΟΛΥΔΥΝΑΜΟΥ ΨΥΓΕΙΟΥ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΨΥΞΗΣ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ.....		119
7.1	Περιγραφή	119
7.2	Μελέτη ψυκτικών θαλάμων ισογείου.....	119
7.2.1	Θάλαμος 1 ^{ος} αποθήκευσης πορτοκαλιών (N ^ο 71)	119
7.2.2	Θάλαμος 2 ^{ος} αποθήκευσης αβοκάντο (N ^ο 49).....	124
7.2.3	Θάλαμος 3 ^{ος} αποθήκευσης ώριμων ντοματών (N ^ο 41).....	127
7.2.4	Θάλαμος 4 ^{ος} αποθήκευσης πατατών (N ^ο 32).....	130
7.2.5	Θάλαμος 6 ^{ος} -ενδιάμεσος διάδρομος ισογείου	133
7.3	Μελέτη ψυκτικών θαλάμων 1 ^{ου} ορόφου	137
7.3.1	Θάλαμος 7 ^{ος} -ενδιάμεσος διάδρομος ορόφου.....	137
7.3.2	Θάλαμος 8 ^{ος} αποθήκευσης και επεξεργασίας αρνιών (΄Αρνί τεμαχισμένο άπαχο΄ (N ^ο 121)).....	140
7.3.3	Θάλαμος 9 ^{ος} αποθήκευσης και επεξεργασίας χοιρινού κρέατος (΄Χοιρινό με κόκκαλο΄ (N ^ο 107)).....	143
7.3.4	Θάλαμος 10 ^{ος} -Προθάλαμος καταψύκτη	146
7.3.5	Θάλαμος 11 ^{ος} καταψύκτης σήραγγας κυκλοφορίας αέρα αρνίσου και χοιρινού κρέατος	149
7.3.6	Θάλαμος 12 ^{ος} αποθήκευσης κατεψυγμένου χοιρινού κρέατος	154
7.3.7	Θάλαμος 13 ^{ος} αποθήκευσης κατεψυγμένων αρνιών	157
7.4	Σύγκριση μηνιαίων απαιτούμενων ψυκτικών φορτίων	160
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....		169
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ-ΑΝΑΦΟΡΕΣ		171
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι-Πίνακες κεφαλαίου 1		173
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ-Σχέδια εγκατάστασης		211

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η εξοικείωση των φοιτητών με τον τομέα της βιομηχανικής ψύξης των τροφίμων. Όπως είναι ευρέως γνωστό, η Ελλάδα αποτελεί μία από τις σημαντικότερες αγορές σε Ευρωπαϊκό και παγκόσμιο επίπεδο, όσον αφορά την παραγωγή αγροτικών και κτηνοτροφικών προϊόντων. Ωστόσο, λόγω κακής διαχείρισης από τους ίδιους τους παραγωγούς αφενός αλλά και από τον κρατικό μηχανισμό αφετέρου, τα τελευταία χρόνια, η παραγωγή έχει μειωθεί σημαντικά, με αποτέλεσμα να εισάγονται προϊόντα από ξένες αγορές, τα οποία συχνά είναι χαμηλής ποιότητας.

Παρόλα αυτά, εν καιρό οικονομικής, καθώς και πολιτισμικής κρίσης, όπου η προηγούμενη γενιά είχε σχεδόν εγκαταλείψει τις περιουσίες και την παραγωγή προϊόντων, όλο και περισσότεροι νέοι συνειδητοποιούν ότι ο τομέας αυτός παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον αλλά και μεγάλες προοπτικές για το μέλλον. Τα ελληνικά προϊόντα έχουν τη δυνατότητα να κατακλύσουν τις αγορές του κόσμου. Ωστόσο, κάτι τέτοιο απαιτεί σωστή διαχείριση, όπως επίσης και ασφαλή συντήρηση των προϊόντων σε ψυκτικούς θαλάμους. Αυτό, λοιπόν, είναι το περιεχόμενο που πραγματεύεται η παρούσα εργασία, με τη δημιουργία ενός υπολογιστικού μοντέλου το οποίο εκτιμά την απαιτούμενη ενέργεια για την ασφαλή συντήρηση των προϊόντων πριν αυτά διατεθούν στην αγορά. Το μοντέλο αυτό έχει σχεδιαστεί στο υπολογιστικό περιβάλλον του MATHCAD 14.

Στο **κεφάλαιο 1** παρουσιάζονται οι θερμικές και οι θερμοφυσικές ιδιότητες της λίστας των προϊόντων που παρέχεται από την ASHRAE (*American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning*). Παρουσιάζεται η σύσταση καθενός από τα προϊόντα, καθώς και διάφορα μοντέλα υπολογισμού των θερμοφυσικών και θερμικών τους μεγεθών, όπως πυκνότητας, θερμικής αγωγιμότητας, ειδικής θερμοχωρητικότητας κτλ. Στην παρούσα διπλωματική εργασία ακολουθήθηκαν τα μοντέλα που κρίθηκαν ότι παρέχουν τα ακριβέστερα αποτελέσματα.

Στο **κεφάλαιο 2** υπολογίζονται οι χρόνοι που απαιτούνται ώστε ένα προϊόν να ψυχθεί ή να καταψυχθεί. Για κάθε μία από τις δύο παραπάνω διαδικασίες χρησιμοποιείται διαφορετικό μοντέλο και παρουσιάζεται κατά βήματα η διαδικασία υπολογισμού.

Στο **κεφάλαιο 3** γνωστοποιούνται όσο το δυνατόν καλύτερα, από την πλευρά του μηχανικού, οι κίνδυνοι που αναφέρονται στη μικροβιακή μόλυνση και γενικότερα τη μικροβιακή δραστηριότητα των τροφίμων. Παρουσιάζονται οι κύριες πηγές μικροβίων, εντός και εκτός του θαλάμου αποθήκευσης, καθώς και πως αυτά επηρεάζουν τα τρόφιμα. Επιπλέον, αναλύονται διάφοροι μηχανισμοί πρόληψης ανάπτυξης των μικροβίων. Τέλος, γίνεται αναφορά στο σύστημα ελέγχου της ποιότητας των τροφίμων βάσει του κώδικα HACCP.

Στο **κεφάλαιο 4** αναλύονται οι ψυκτικοί θάλαμοι αλλά και οι μέθοδοι ψύξης που χρησιμοποιούνται. Αρχικά, παρουσιάζονται τα κριτήρια που λαμβάνονται υπόψη κατά το σχεδιασμό ενός θαλάμου, καθώς και του χώρου τοποθέτησης αυτού. Εν συνεχεία, παρουσιάζονται τα συστήματα ψύξεως και καταψύξεως, που χρησιμοποιούνται κυρίως στις βιομηχανίες των βρώσιμων προϊόντων, καθώς και το πώς λειτουργούν.

Στο **κεφάλαιο 5** παρουσιάζονται οι ιδιαιτερότητες κάθε κατηγορίας τροφίμων που πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά τη συντήρησή τους. Επίσης, παρουσιάζεται η μέθοδος ψύξης που ενδείκνυται για κάθε κατηγορία προϊόντων κι ακόμη η προτιμώμενες συνθήκες αποθήκευσης.

Στο **κεφάλαιο 6** γίνεται αναφορά στα ψυκτικά φορτία που απαιτούνται, ώστε να επιτυγχάνεται η επιθυμητή αποθήκευση των προϊόντων. Τα φορτία αυτά καλούνται να αντιμετωπίσουν το θερμικό κέρδος λόγω των εσωτερικών πηγών θερμότητας και των

εναλλαγών αέρα. Αναφέρονται επίσης, στην ψύξη του χώρου και την απορρόφηση της θερμότητας από τα προϊόντα, ώστε αυτά να αποκτήσουν την τελική θερμοκρασία συντήρησής τους. Επιπρόσθετα, παρουσιάζεται και η μελέτη ενός απλού θαλάμου καταψύξεως, βάσει του παραδείγματος της ASHRAE.

Στο **κεφάλαιο 7** παρουσιάζεται μία πραγματική μελέτη βιομηχανίας αποθήκευσης προϊόντων. Πιο συγκεκριμένα, η εγκατάσταση αποτελείται από πολυδύναμους ψυκτικούς θαλάμους, στους οποίους συσκευάζονται, ψύχονται και καταψύχονται διάφορα φρούτα, λαχανικά καθώς και προϊόντα κρέατος. Η εγκατάσταση τοποθετείται στην περιοχή των Χανίων και τα προϊόντα που αποθηκεύονται καλλιεργούνται και εκτρέφονται στην Κρήτη. Στο τέλος παρουσιάζεται μία σύγκριση των ψυκτικών φορτίων, για κάθε μήνα του χρόνου, βάσει τη μέγιστης μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας του ατμοσφαιρικού αέρα.

Η παρούσα εργασία κλείνει με το παράρτημα των πινάκων, ο οποίοι περιέχουν τις θερμοφυσικές ιδιότητες των προϊόντων σε διάφορες θερμοκρασίες αποθήκευσης, ακόμα παρουσιάζονται οι επιθυμητές συνθήκες αποθήκευσης αυτών και τέλος, ακολουθούν οι κατόψεις για κάθε όροφο της εγκατάστασης.

INTRODUCTION

The purpose of this thesis is to familiarize students with the field of industrial refrigeration of food. Greece, is one of the most important markets in European and global level on the production of agricultural and livestock products. However, due to poor management by both producers themselves but also from the state apparatus, in recent years, production has been significantly reduced and as a result, products from foreign markets are imported, which very often, have low quality.

However, in times of economic and cultural crisis, where the previous generation had almost abandoned their properties and production, more and more young people are realizing that this is an interesting area with great prospects for the future. Greek products have the potential to flood the markets all over the world. Proper management, as well as safe storage of products in cold storage are some of the most crucial requirements. These aspects will be analyzed in the current thesis with the projection of a computational model that estimates the energy required for the safe maintenance of products before they are marketed. To model has been designed in the computing environment of MATHCAD 14.

In **chapter 1**, the thermal and thermo-physical properties from one list of products provided by ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning) and shows the composition for each product, various models for calculating thermophysical and heat sizes, such as density, thermal conductivity, specific heat, etc. In this thesis are presented the models which provided the most accurate results.

In **chapter 2** is calculated the time required for a product to be cooled or frozen. For each of the above two procedures different model is used and, a step by step process of calculation is presented.

In **chapter 3** is calculated as best as possible, from engineer's side, the risks referred to microbial contamination and general microbial activity of food. The main sources of microbes inside and outside storage compartment, and how these affect food are presented. Moreover, several mechanisms that could prevent a microbial growth are analyzed. Finally, is made a reference to control the quality of food according the HACCP Code.

In **chapter 4** is analyzed the cooling chambers and the cooling methods used. Initially, is presented the criteria taken into account when a chamber is designed, and the placement of this space. Furthermore cooling and freezing systems are presented, which mainly used in the industries of edible products and how they work.

In **chapter 5** is presented the specificities of each food category that should be taken into account during maintenance. Also is presented the method of cooling indicated for each product category and furthermore the preferred storage conditions.

Chapter 6 refers to the cooling loads required to achieve the desired storage products. These loads have to face the heat gain due to internal heat sources and infiltration. Also, these refers to the space cooling and heat absorption of the products that they have reached their final temperature maintenance. At the end of the chapter is presented a study that shows a simple freeze chamber, based on an example of ASHRAE.

Chapter 7 presents a real study storage industry for products. More specifically, the installation consists of multipotent cooling chambers, which are packaged, chilled and frozen fruits, vegetables and meat products. The unit is placed in the area of Chania and products stored grown and raised in Crete. At the end is presented a comparison of cooling loads for each month of the year, based on the maximum mean monthly air temperature.

This thesis ends with the thermophysical properties of the products in different storage temperatures grouped in tables, the desired storage conditions are presented and is shown the plans of each of the two floors of the refrigeration plant.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ ΚΑΙ ΠΟΤΩΝ

1.1 Γενικά

Οι θερμικές ιδιότητες των τροφίμων και των ποτών πρέπει να είναι γνωστές για να πραγματοποιηθούν οι διάφοροι υπολογισμοί μεταφοράς θερμότητας, που εμπλέκονται στο σχεδιασμό του εξοπλισμού αποθήκευσης και ψύξης καθώς και του χρόνου που απαιτείται για την επεξεργασία, την κατάψυξη, τη θέρμανση και την ξήρανση αυτών. Βέβαια, καθώς οι θερμικές ιδιότητες των τροφίμων και των ποτών εξαρτώνται κυρίως από τη χημική τους σύνθεση και τη θερμοκρασία, κι επειδή εκατοντάδες είδη τροφίμων και ποτών είναι διαθέσιμα στην αγορά, είναι σχεδόν αδύνατο να καθοριστούν πειραματικά και να ταξινομηθούν, οι θερμικές τους ιδιότητες για όλες τις πιθανές συνθέσεις τους και για όλες τις θερμοκρασίες.

Εντούτοις, τα στοιχεία σύνθεσης μιας μεγάλης ποικιλίας τροφίμων και ποτών είναι διαθέσιμα στον πίνακα 1.1 όπως αυτός αντλήθηκε από τα εγχειρίδια της ASHRAE[1]. Τα δεδομένα αυτού του πίνακα είναι τα κλάσματα μάζας υγρασίας-νερού (X_{w0}), πρωτεϊνών (X_p), λίπους (X_f), υδατανθράκων (X_c), ινών (X_{fb}) και τέφρας (X_a), των βασικών, δηλαδή, στοιχείων που συνθέτουν που συνθέτουν ένα προϊόν κατά τη στιγμή της συγκομιδής του ή κατά την παραγωγή του. Συνεπώς, οι θερμικές ιδιότητες των προϊόντων αυτών μπορούν να προβλεφθούν με χρήση των παραπάνω στοιχείων σε συνδυασμό με κατάλληλα μαθηματικά μοντέλα εξαρτώμενα της θερμοκρασίας.

Τα μαθηματικά μοντέλα που χρησιμοποιούνται στη παρούσα διπλωματική εργασία επιλέχθηκαν με γνώμονα την ακριβέστερη και αποτελεσματικότερη μελέτη των προϊόντων και θα αναλυθούν παρακάτω. Επιπλέον, για τους υπολογισμούς της μεταφοράς θερμότητας είναι απαραίτητος ο προσδιορισμός των θερμοφυσικών ιδιοτήτων των προϊόντων. Οι ιδιότητες αυτές είναι:

- Η πυκνότητα ρ (kg/m^3)
- Η ειδική θερμοχωρητικότητα C_p ($\text{kJ/kg}\cdot^\circ\text{C}$)
- Η ενθαλπία H (kJ/kg)
- Η θερμική αγωγιμότητα k ($\text{W/m}\cdot^\circ\text{C}$)
- Η θερμική διαχυσιμότητα α (m^2/sec)

Το μαθηματικό μοντέλο που χρησιμοποιείται κυρίως, σύμφωνα με την ASHRAE, για τον υπολογισμό των παραπάνω ιδιοτήτων, είναι αυτό των Choi και Okos που διατυπώθηκε το 1986 και θα παρουσιαστεί αναλυτικότερα στις επόμενες παραγράφους. Ωστόσο αξίζει να σημειωθεί ότι το μοντέλο αυτό προσομοιώνει με ικανοποιητική ακρίβεια τις θερμοφυσικές ιδιότητες των τροφίμων για θερμοκρασίες μεγαλύτερες από τη θερμοκρασία στερεοποίησής τους. Αντίθετα, για θερμοκρασίες μικρότερες οι ιδιότητες αυτές παρουσιάζουν ιδιαίτερη συμπεριφορά λόγω των περίπλοκων διαδικασιών που εμπλέκονται κατά τη διάρκεια της κατάψυξης του προϊόντος.

Ακόμη στην περίπτωση που ένα προϊόν αποτελεί ζωντανό οργανισμό όπως για παράδειγμα τα νωπά φρούτα και τα λαχανικά, τότε αυτό παράγει θερμότητα μέσω της αναπνοής και χάνει υγρασία μέσω της διαπνοής. Και οι δύο αυτές ιδιότητες ανήκουν στις θερμοφυσικές ιδιότητες του προϊόντος επομένως, θα πρέπει να λαμβάνονται υπ όψιν στους υπολογισμούς μεταφοράς θερμότητας.

1.2 Θερμικές ιδιότητες τροφίμων και ποτών

1.2.1 Αρχικό σημείο στερεοποίησης-(Initial Freezing Point)

Το αρχικό σημείο στερεοποίησης ενός προϊόντος ή η αρχική θερμοκρασία κατάψυξης T_f όπως αλλιώς μπορεί να αναφερθεί, είναι ελάχιστη μικρότερη από τη θερμοκρασία πήξης του καθαρού νερού που είναι στους $0\text{ }^\circ\text{C}$.

Στο αρχικό σημείο στερεοποίησης μία ποσότητα από το νερό του προϊόντος κρυσταλλώνει και το απομένον διάλυμα γίνεται πιο πυκνό μέχρις ότου κρυσταλλώσει και αυτό μετά από την πάροδο συγκεκριμένου χρόνου εξαρτώμενου της θερμοκρασίας αποθήκευσης. Είναι σαφές ότι, όσο μικρότερη είναι η θερμοκρασία αποθήκευσης από τη θερμοκρασία στερεοποίησης τόσο πιο σύντομα επιτυγχάνεται η πλήρης κατάψυξη του προϊόντος. Στην πραγματικότητα, τρόφιμα με υψηλή περιεκτικότητα σε ζάχαρη και τρόφιμα που συσκευάζονται με υψηλές συγκεντρώσεις σε σιρόπι, μπορεί να μην είναι ποτέ τελείως κατεψυγμένα ακόμη και σε ακραίες θερμοκρασίες, όπως για παράδειγμα το μέλι.

Το σημείο στερεοποίησης είναι απαραίτητο για τους υπολογισμούς της συντήρησης των προϊόντων διότι, για παράδειγμα κάποια φρούτα και λαχανικά καταστρέφονται εάν αποθηκεύονται σε χαμηλότερες θερμοκρασίες και αντίστοιχα τα κρεατικά καταστρέφονται εάν αποθηκεύονται για μεγάλο χρονικό διάστημα σε θερμοκρασίες υψηλότερες του αρχικού τους σημείου στερεοποίησης.

Η θερμοκρασία T_f κάθε προϊόντος δίδεται στον πίνακα 1.1, ενώ για ορισμένα τρόφιμα για τα οποία δεν παρουσιάζεται στα εγχειρίδια της ASHRAE υπολογίστηκε από τις εμπειρικές σχέσεις των Chang και Tao (1981) για κάθε ομάδα προϊόντων συναρτήσει της υγρασίας:

$$\text{➤ Κρεατικά: } T_f = 1.47 * X_{wo} - 2.15 \text{ (}^\circ\text{C)} \quad (1.1)$$

$$\text{➤ Φρούτα και λαχανικά: } T_f = 49.19 * X_{wo} + 37.07 * X_{wo}^2 - 14.41 \text{ (}^\circ\text{C)} \quad (1.2)$$

$$\text{➤ Υγρά τρόφιμα: } T_f = 327.35 * X_{wo} - 176.49 * X_{wo}^2 - 152.68 \text{ (}^\circ\text{C)} \quad (1.3)$$

1.2.2 Περιεκτικότητα σε νερό-υγρασία-(Water content)

Το νερό είναι το κύριο συστατικό στις περισσότερες τροφές, επομένως η περιεκτικότητα σε νερό ή υγρασία (X_{wo}), όπως πολύ συχνά αναφέρεται, επηρεάζει σημαντικά τις θερμοφυσικές ιδιότητες των τροφίμων. Η περιεκτικότητα σε νερό ποικίλλει για τα φρούτα και τα λαχανικά ανάλογα με το είδος και με το στάδιο της ωρίμανσης ή ανάπτυξης τους την περίοδο που έγινε η συγκομιδή τους. Αξίζει να αναφερθεί ότι αρκετή ποσότητα υγρασίας χάνεται τις αμέσως επόμενες 2-3 ημέρες από τη συγκομιδή. Οι τιμές της υγρασίας στον πίνακα 1.1 αναφέρονται στην ημέρα συγκομιδής ή παρασκευής των προϊόντων.

1.2.3 Περιεκτικότητα σε πάγο-(Ice content)

Η περιεκτικότητα σε πάγο (X_{ice}), λαμβάνεται υπ όψιν μόνο εάν η θερμοκρασία συντήρησης του προϊόντος είναι μικρότερη από τη θερμοκρασία στερεοποίησής του. Στην περίπτωση αυτή οι θερμοφυσικές ιδιότητες εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από αυτό το κλάσμα μάζας. Το κλάσμα μάζας πάγου υπολογίζεται από την παρακάτω εξίσωση που διατύπωσε ο Miles το 1974, βασισμένη στο νόμο του Raoult:

$$X_{ice} := (X_{wo} - X_b) \cdot \left(1 - \frac{T_f}{T_{\text{συντ.}}} \right) \quad (1.4)$$

Όπου:

X_b : είναι το κλάσμα μάζας του νερού που είναι συνδεδεμένο με το στερεό τμήμα του τροφίμου και δεν είναι διαθέσιμο για κατάψυξη.

X_{wo} : κλάσμα μάζας υγρασίας

T_f : θερμοκρασία στερεοποίησης προϊόντος ($^{\circ}\text{C}$)

$T_{\text{συντ.}}$: θερμοκρασία αποθήκευσης προϊόντος ($^{\circ}\text{C}$)

Το κλάσμα μάζας νερού μάλιστα, υπολογίζεται από την εξίσωση του Schwartzberg (1976):

$$X_b := 0.4X_p \quad (1.5)$$

ενώ το κλάσμα μάζας του στερεού τμήματος σε ένα προϊόν δίνεται από τη σχέση:

$$X_s := 1 - X_{wo} \quad (1.6)$$

Όπου: X_p : κλάσμα μάζας πρωτεϊνών προϊόντος

1.2.4 Πορώδης δομή τροφίμων-(Porosity)

Η πορώδης δομή του τροφίμου χαρακτηρίζεται από το συντελεστή πορώδους δομής (ϵ) και αναφέρεται σε τρόφιμα με κοκκώδη δομή όπου αποθηκεύονται χύμα όπως είναι κάποια φρούτα, λαχανικά, σπόροι κ.ά. Για τα υπόλοιπα τρόφιμα, όπως για παράδειγμα είναι τα κρεατικά είναι μηδενική. Οι τιμές για κάθε προϊόν ελήφθησαν από επιστημονικά περιοδικά [2] και παρουσιάζονται στον πίνακα 1.1.

Πίνακας 1.1 Στοιχεία σύνθεσης και θερμικές ιδιότητες προϊόντων.

A/A	Προϊόν	Υγρασία X_{wo} (%)	Πρωτεΐνες X_p (%)	Λιπαρά X_f (%)	Υδατάνθρακες X_c (%)	Ίνες X_{fb} (%)	Τέφρα X_a (%)	T_f ($^{\circ}\text{C}$)	Πορώτητα ϵ
1	Λαχανικά								
1	Αγκινάρες	84.94	3.27	0.15	10.51	5.40	1.13	-1.2	0.14
2	Σπαράγγια	92.40	2.28	0.20	4.54	2.10	0.57	-0.6	0.14
3	Φασόλια	90.27	1.82	0.12	7.14	3.40	0.66	-0.7	0.14
4	Φασόλια πράσινα	70.24	6.84	0.86	20.16	4.90	1.89	-0.6	0.14
5	Τεύτλα	87.58	1.61	0.17	9.56	2.80	1.08	-1.1	0.14
6	Μπρόκολο	90.69	2.98	0.35	5.24	3.00	0.92	-0.6	0.14
7	Λαχανάκια Βρυξελλών	86.00	3.38	0.30	8.96	3.80	1.37	-0.8	0.14
8	Λάχανο σκούρο	92.15	1.44	0.27	5.43	2.30	0.71	-0.9	0.14
9	Καρότα	87.79	1.03	0.19	10.14	3.00	0.87	-1.4	0.14
10	Κουνουπίδι	91.91	1.98	0.21	5.20	2.50	0.71	-0.8	0.14
11	Ραπανοσέλινο	88.00	1.50	0.30	9.20	1.80	1.00	-0.9	0.14
12	Σέλινο	94.64	0.75	0.14	3.65	1.70	0.82	-0.5	0.14
13	Καλαμπόκι γλυκό κίτρινο	75.96	3.22	1.18	19.02	2.70	0.62	-0.6	0.03
14	Αγγούρια	96.01	0.69	0.13	2.76	0.80	0.41	-0.5	0.14
15	Μελιτζάνα	92.03	1.02	0.18	6.07	2.50	0.71	-0.8	0.14
16	Αντίδι	93.79	1.25	0.20	3.35	3.10	1.41	-0.1	0.14
17	Σκόρδο	58.58	6.36	0.50	33.07	2.10	1.50	-0.8	0.14
18	Ρίζα Ginger	81.67	1.74	0.73	15.09	2.00	0.77	-1	0.14
19	Άγριο ραπάνι	78.66	9.40	1.40	8.28	2.00	2.26	-1.8	0.14

A/A	Προϊόν	Υγρασία Χwo (%)	Πρωτεΐνες Χp (%)	Λιπαρά Χf (%)	Υδατάνθ- ρακες Χc (%)	Ίνες Χfb (%)	Τέφρα Χa (%)	Tf (οC)	Πορώτητα ε
	Λαχανικά								
20	Λάχανο	84.46	3.30	0.70	10.01	2.00	1.53	-0.5	0.14
21	Λάχανο kohlrabi	91.00	1.70	0.10	6.20	3.60	1.00	-1.0	0.14
22	Πράσα	83.00	1.50	0.30	14.15	1.80	1.05	-0.7	0.14
23	Μαρούλι	95.89	1.01	0.19	2.09	1.40	0.48	-0.2	0.14
24	Μανιτάρια	91.81	2.09	0.42	4.65	1.20	0.89	-0.9	0.14
25	Μπάμιες	89.58	2.00	0.10	7.63	3.20	0.70	-1.8	0.14
26	Κρεμμύδια	89.68	1.16	0.16	8.63	1.80	0.37	-0.9	0.14
27	Κρεμμύδια αφυδάτωμένα	3.93	8.95	0.46	83.28	9.20	3.38	12.5	0.14
28	Μαϊντανός	87.71	2.97	0.79	6.33	3.30	2.20	-1.1	0.14
29	Μπιζέλια πράσινα	78.86	5.42	0.40	14.46	5.10	0.87	-0.6	0.14
30	Πιπεριές αποξηραμένες	2.00	17.90	3.00	68.70	21.30	8.40	13.4	0.14
31	Πιπεριές πράσινες γλυκές	92.19	0.89	0.19	6.43	1.80	0.30	-0.7	0.14
32	Πατάτες	78.96	2.07	0.10	17.98	1.60	0.89	-0.6	0.04
33	Πατάτες γλυκές	72.84	1.65	0.30	24.28	3.00	0.95	-1.3	0.04
34	Κολοκύθες	91.60	1.00	0.10	6.50	0.50	0.80	-0.8	0.04
35	Ραπανάκια	94.84	0.60	0.54	3.59	1.60	0.54	-0.7	0.14
36	Λαγόχορτα	77.00	3.30	0.20	18.60	3.30	0.90	-1.1	0.14
37	Σπανάκι	91.58	2.86	0.35	3.50	2.70	1.72	-0.3	0.14
38	Σκουός καλοκαιρινό	94.20	0.94	0.24	4.04	1.90	0.58	-0.5	0.14
39	Σκουός χειμερινό	87.78	0.80	0.10	10.42	1.50	0.90	-0.8	0.14
40	Ντομάτες πράσινες	93.00	1.20	0.20	5.10	1.10	0.50	-0.6	0.14
41	Ντομάτες ώριμες	93.76	0.85	0.33	4.64	1.10	0.42	-0.5	0.14
42	Γογγύλι	91.87	0.90	0.10	6.23	1.80	0.70	-1.1	0.14
43	Γογγύλι πράσινο	91.07	1.50	0.30	5.73	3.20	1.40	-0.2	0.14
44	Κάρδαμο	95.11	2.30	0.10	1.29	1.50	1.20	-0.3	0.07
45	Ίγναμα	69.60	1.53	0.17	27.89	4.10	0.82	-2	0.14
	Φρούτα								
46	Μήλα νωπά	83.93	0.19	0.36	15.25	2.70	0.26	-1.1	0.18
47	Μήλα αποξηραμένα	31.76	0.93	0.32	65.89	8.70	1.10	2.5	0.18
48	Βερίκοκα	86.35	1.40	0.39	11.12	2.40	0.75	-1.1	0.18
49	Αβokάντο	74.27	1.98	15.32	7.39	5.00	1.04	-0.3	0.18
50	Μπανάνες	74.26	1.03	0.48	23.43	2.40	0.80	-0.8	0.18
51	Βατόμουρα	85.64	0.72	0.39	12.76	5.30	0.48	-0.8	0.18
52	Πεπόνια casaba	92.00	0.90	0.10	6.20	0.80	0.80	-1.1	0.18
53	Πεπόνια	89.78	0.88	0.28	8.36	0.80	0.71	-1.2	0.18
54	Κεράσια ξινά	86.13	1.00	0.30	12.18	1.60	0.40	-1.7	0.18
55	Κεράσια γλυκά	80.76	1.20	0.96	16.55	2.30	0.53	-1.8	0.18
56	Cranberries	86.54	0.39	0.20	12.68	4.20	0.19	-0.9	0.18
57	Κορινθιακή σταφίδα	81.96	1.40	0.41	15.38	0.00	0.86	-1.0	0
58	Μύρτιλα	84.61	0.67	0.38	14.13	2.70	0.21	-1.6	0
59	Σύκα νωπά	79.11	0.75	0.30	19.18	3.30	0.66	-2.4	0.04
60	Σύκα αποξηραμένα	28.43	3.05	1.17	65.35	9.30	2.01	3.4	0
61	Πράσινα φραγκοστάφυλα	87.87	0.88	0.58	10.18	4.30	0.49	-1.1	0.04

A/A	Προϊόν	Υγρασία Χwo (%)	Πρωτεΐνες Χp (%)	Λιπαρά Χf (%)	Υδατάνθ- ρακες Χc (%)	Ίνες Χfb (%)	Τέφρα Χa (%)	Tf (oC)	Πορώτητα ε
	Φρούτα								
62	Γκρέιπ φρουτ	90.89	0.63	0.10	8.08	1.10	0.31	-1.1	0
63	Σταφύλια Αμερικής	81.30	0.63	0.35	17.15	1.00	0.57	-1.6	0
64	Σταφύλια Ευρωπαϊκά	80.56	0.66	0.58	17.77	1.00	0.44	-2.1	0
65	Λεμόνια	87.40	1.20	0.30	10.70	4.70	0.40	-1.4	0
66	Γλυκολέμονα	88.26	0.70	0.20	10.54	2.80	0.30	-1.6	0
67	Μάνγκο	81.71	0.51	0.27	17.00	1.80	0.50	-0.9	0
68	Καρπούζι	91.51	0.62	0.43	7.18	0.50	0.26	-0.4	0
69	Νεκταρίνια	86.28	0.94	0.46	11.78	1.60	0.54	-0.9	0
70	Ελιές	79.99	0.84	10.68	6.26	3.20	2.23	-1.4	0
71	Πορτοκάλια	82.30	1.30	0.30	15.50	4.50	0.60	-0.8	0
72	Ροδάκινα νωπά	87.66	0.70	0.90	11.10	2.00	0.46	-0.9	0
73	Ροδάκινα αποξηραμένα	31.80	3.61	0.76	61.33	8.20	2.50	2.5	0
74	Αχλάδια	83.81	0.39	0.40	15.11	2.40	0.28	-1.6	0
75	Ανανάς	86.50	0.39	0.43	12.39	1.20	0.29	-1.0	0.03
76	Ρόγδια	80.97	0.95	0.30	17.17	0.60	0.61	-3.0	0.03
77	Δαμάσκηνα νωπά	85.20	0.79	0.62	13.01	1.50	0.39	-0.8	0
78	Δαμάσκηνα αποξηραμένα	32.39	2.61	0.52	62.73	7.10	1.76	2.4	0
79	Κυδώνια	83.80	0.40	0.10	15.30	1.90	0.40	-2.0	0.03
80	Σταφίδες χωρίς κουκούτσια	15.42	3.22	0.46	79.13	4.00	1.77	7.7	0
81	Σμέουρα	86.57	0.91	0.55	11.57	6.80	0.40	-0.6	0.03
82	Φράουλες	91.57	0.61	0.37	7.02	2.30	0.43	-0.8	0.03
83	Μανταρίνια	87.60	0.63	0.19	11.19	2.30	0.39	-1.1	0.03
Κρέατα-Θαλασσινά-Αυγά									
84	Μπακαλιάρος	79.92	18.91	0.72	0.0	0.0	1.21	-2.2	0
85	Γλώσσα	77.92	20.81	2.29	0.0	0.0	1.36	-2.2	0
86	Ρέγγα	59.70	24.58	12.37	0.0	0.0	1.94	-2.2	0
87	Σκουμπρί	63.55	18.60	13.89	0.0	0.0	1.35	-2.2	0
88	Πέρκα	78.70	18.62	1.63	0.0	0.0	1.20	-2.2	0
89	Pollock, Ατλαντικός	78.18	19.44	0.98	0.0	0.0	1.41	-2.2	0
90	Σολομός	76.35	19.94	3.45	0.0	0.0	1.22	-2.2	0
91	Τόνος	68.09	23.33	4.90	0.0	0.0	1.18	-2.2	0
92	αχινιοί	81.82	12.77	0.97	2.57	0.0	1.87	-2.2	0
93	Αστακός	76.76	18.80	0.90	0.50	0.0	2.20	-2.2	0
94	Στρείδια	85.16	7.05	2.46	3.91	0.0	1.42	-2.2	0
95	Χτένια	78.57	16.78	0.76	2.36	0.0	1.53	-2.2	0
96	Γαρίδες	75.86	20.31	1.73	0.91	0.0	1.20	-2.2	0
97	Βοδινό στήθος	55.18	16.94	26.54	0.0	0.0	0.80	-1.2	0
98	Βοδινό σκώτι	68.99	20.00	3.85	5.82	0.0	1.34	-1.7	0
99	Βοδινό πλευρά	54.54	16.37	26.98	0.0	0.0	0.77	-1.2	0
100	Βοδινό κόντρα άπαχο	71.70	21.24	4.40	0.0	0.0	1.08	-1.7	0
101	Βοδινό ψαρονέφρι	69.59	20.27	8.17	0.0	0.0	1.01	-1	0
102	Βοδινό ψαρονέφρι άπαχο	68.40	20.78	7.90	0.0	0.0	1.04	-1	0
103	Βοδινή μπριζόλα	69.71	20.78	7.27	0.0	0.0	1.27	-1	0
104	Χοιρινό λιπαρό	7.69	2.92	88.69	0.0	0.0	0.70	-1.9	0

Ε.Μ.Π-Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών

A/A	Προϊόν	Υγρασία Χwo (%)	Πρωτεΐνες Χp (%)	Λιπαρά Χf (%)	Υδατάνθ- ρακες Χc (%)	Ίνες Χfb (%)	Τέφρα Χa (%)	Tf (oC)	Πορώτητα ε
Κρέατα-Θαλασσινά-Αυγά									
105	Χοιρινό μπέικον	31.58	8.66	57.54	0.09	0.0	2.13	-1.5	0
106	Χοιρινή κοιλιά	36.74	9.34	53.01	0.0	0.0	0.49	-1.4	0
107	Χοιρινό με κόκκαλο	49.83	13.91	35.07	0.0	0.0	0.72	-1.2	0
108	Ζαμπόν άπαχο	68.26	22.32	5.71	0.05	0.0	3.66	-1	0
109	Χοιρινός ώμος	72.63	19.55	7.14	0.0	0.0	1.02	-2.2	0
110	Λουκάνικο Φρανκφούρτης	53.87	11.28	29.15	2.55	0.0	3.15	-1.7	0
111	Λουκάνικο Ιταλικό	51.08	14.25	31.33	0.65	0.0	2.70	-1.2	0
112	Λουκάνικο Πολωνίας	53.15	14.10	28.72	1.63	0.0	2.40	-1.2	0
113	Λουκάνικο χοιρινό	44.52	11.69	40.29	1.02	0.0	2.49	-1.3	0
114	Λουκάνικο καπνιστό	39.30	22.20	31.70	2.10	0.0	4.70	-1.4	0
115	Κοτόπουλο	65.99	18.60	15.06	0.0	0.0	0.79	-2.8	0
116	Πάπια	48.50	11.49	39.34	0.0	0.0	0.68	-1.3	0
117	Γαλοπούλα	70.40	20.42	8.02	0.0	0.0	0.88	-0.9	0
118	Αυγό λευκό	87.81	10.52	0.0	1.03	0.0	0.64	-0.6	0
119	Αυγό λευκό αποξηραμένο	14.62	76.92	0.04	4.17	0.0	4.25	-1.8	0
120	Κρόκος αυγού	48.81	16.76	30.87	1.78	0.0	1.77	-0.6	0
121	Αρνί τεμαχισμένο άπαχο	73.42	20.29	5.25	0.0	0.0	1.06	-1.9	0
122	Αρνί πόδι άπαχο	74.11	20.56	4.51	0.0	0.0	1.07	-0.9	0
Γαλακτοκομικά									
123	Βούτυρο	17.94	0.85	81.11	0.06	0.0	0.04	-1.7	0
124	Camembert	51.80	19.80	24.26	0.46	0.0	3.68	-1.2	0
125	Τσένταρ	36.75	24.90	33.14	1.28	0.0	3.93	-12.9	0
126	Γραβιέρα	79.77	17.27	0.42	1.85	0.0	0.69	-1.2	0
127	Τυρί κρέμα	53.75	7.55	34.87	2.66	0.0	1.17	-1.2	0
128	Γκούντα	41.46	24.94	27.44	2.22	0.0	3.94	-1.4	0
129	Μοτσαρέλα	54.14	19.42	21.60	2.22	0.0	2.62	-1.2	0
130	Παρμεζάνα σκληρή	29.16	35.75	25.83	3.22	0.0	6.04	-1.5	0
131	Τυρί Αμερικής	39.16	22.15	31.25	1.30	0.0	5.84	-6.9	0
132	Ροκφόρ	39.38	21.54	30.64	2.00	0.0	6.44	-16.3	0
133	Τυρί Ελβετικό	37.21	28.43	27.45	3.38	0.0	3.53	-10.0	0
134	Παγωτό σοκολάτα	55.70	3.80	11.0	28.20	1.20	1.00	-5.6	0
135	Παγωτό φράουλα	60.00	3.20	8.40	27.60	0.30	0.70	-5.6	0
136	Παγωτό βανίλια	61.00	3.50	11.00	23.60	0.0	0.90	-5.6	0
137	Γάλα συμπυκνωμένο	27.16	7.91	8.70	54.40	0.0	1.83	-15.0	0
138	Γάλα εβαπορέ	74.04	6.81	7.56	10.04	0.0	1.55	-1.4	0
139	Γάλα άπαχο	90.80	3.41	0.18	4.85	0.0	0.76	-0.6	0
140	Γάλα πλήρης λιπαρών	87.69	3.28	3.66	4.65	0.0	0.72	-0.6	0
141	Ορός γάλακτος αποξηραμένος	3.51	11.73	0.54	73.45	0.0	10.77	-0.6	0
Διάφορα									
142	Αμύγδαλα	4.42	19.95	52.21	20.40	10.90	3.03	-1	0

A/A	Προϊόν	Υγρασία Χwo (%)	Πρωτεΐνες Χp (%)	Λιπαρά Χf (%)	Υδατάνθ- ρακες Χc (%)	Ίνες Χfb (%)	Τέφρα Χα (%)	Tf (οC)	Πορώτητα ε
	Διάφορα								
143	Λεπτοκάρυα	5.42	13.04	62.64	15.30	6.10	3.61	-1	0
144	Φιστίκια	6.5	25.80	49.24	16.14	8.50	2.33	-1	0
145	Φιστίκια ψητά	1.55	23.68	49.66	21.51	8.00	3.60	-1	0
146	Πέκαν	4.82	7.75	67.64	18.24	7.60	1.56	-1	0
147	Καρύδια	3.65	14.29	61.87	18.34	4.80	1.86	-1	0
148	Καραμέλες	10.90	1.10	5.40	82.30	0.0	0.40	-1	0
149	Ζαχαρωτά	16.40	1.80	0.20	81.30	0.10	0.30	-1	0
150	Σοκολάτες γάλακτος	1.30	6.90	30.70	59.20	3.40	1.50	-1	0
151	Χυμός μήλου	87.93	0.06	0.11	11.68	0.10	0.22	-1.3	0
152	Χυμός γκρέιπφρουτ	87.38	0.58	0.09	11.13	0.10	0.82	-1.4	0
153	Χυμός σταφυλιού	84.12	0.56	0.08	14.96	0.10	0.29	-2.2	0
154	Χυμός λεμονιού	92.46	0.40	0.29	6.48	0.40	0.36	-0.9	0
155	Χυμός λάιμ	92.52	0.25	0.23	6.69	0.40	0.31	-0.9	0
156	Χυμός πορτοκαλιού	89.01	0.59	0.14	9.85	0.20	0.41	-0.4	0
157	Χυμός ανανά	85.53	0.32	0.08	13.78	0.20	0.30	-1.8	0
158	Χυμός δαμάσκηνου	81.24	0.61	0.03	17.45	1.00	0.68	-3.2	0
159	Χυμός ντομάτας	93.90	0.76	0.06	4.23	0.40	1.05	-0.9	0
160	Χυμός βύσσινου	82.80	0.10	0.0	17.10	0.10	0.0	-2.6	0
161	Χυμός ανάμεικτος	88.00	0.0	0.0	11.90	0.10	0.10	-1.3	0
162	Σόδα	99.90	0.0	0.0	0.0	0.0	0.10	-1.8	0
163	Cola	89.40	0.0	0.0	10.40	0.0	0.10	-1.1	0
164	Σοκολατούχο γάλα	83.58	3.21	2.00	10.40	0.50	0.81	-2.4	0
165	Μέλι	17.10	0.30	0.0	82.40	0.20	0.20	1	0
166	Σιρόπι	32.00	0.00	0.20	67.20	0.0	0.60	-5	0
167	Ποπ κορν	4.10	12.00	4.20	77.90	15.10	1.80	-1	0
168	Μαγιά αρτοποιείας	69.00	8.40	1.90	18.10	8.10	1.80	-1	0

Πηγή: ASHRAE Handbooks-Fundamentals 2010 ch. 19

1.3 Θερμοφυσικές ιδιότητες τροφίμων και ποτών

1.3.1 Πυκνότητα-(Density)

Η μοντελοποίηση σε συνάρτηση της πυκνότητας ενός προϊόντος ρ (kg/m^3), απαιτεί γνώση της πορώδους δομής του, των κλασμάτων μάζας των στοιχείων που το συνθέτουν, καθώς και της πυκνότητας καθενός από αυτά τα στοιχεία, στη θερμοκρασία που ζητείται να υπολογιστούν. Το μαθηματικό μοντέλο που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της πυκνότητας των στοιχείων που συνθέτουν το προϊόν είναι αυτό των Choi και Okos (1986) που εφαρμόζεται με ικανοποιητική ακρίβεια για ένα εύρος θερμοκρασιών $-40 \div 150$ °C. Ακολουθεί το μοντέλο αυτό:

$$\text{den}(f_c, t) := \begin{cases} (1.329910^3 - 5.184010^{-1} \cdot t) & \text{if } f_c = \text{"protein"} \\ (9.255910^2 - 4.175710^{-1} \cdot t) & \text{if } f_c = \text{"fat"} \\ (1.599110^3 - 3.104610^{-1} \cdot t) & \text{if } f_c = \text{"carbohydrate"} \\ (1.311510^3 - 3.658910^{-1} \cdot t) & \text{if } f_c = \text{"fiber"} \\ (2.423810^3 - 2.806310^{-1} \cdot t) & \text{if } f_c = \text{"ash"} \\ (9.971810^2 + 3.143910^{-3} \cdot t - 3.757410^{-3} \cdot t^2) & \text{if } f_c = \text{"water"} \\ (9.168910^2 - 1.307110^{-1} \cdot t) & \text{if } f_c = \text{"ice"} \end{cases} \quad (1.7)$$

Όπου:

f_c : κλάσματα μάζας σύνθεσης τροφίμου (w_o, p, f, c, fb, a)

t : ($=T_{\text{συντ}}$) θερμοκρασία αποθήκευσης προϊόντος (°C)

Επομένως η εξίσωση που υπολογίζει την πυκνότητα του προϊόντος σε μία συγκεκριμένη θερμοκρασία συντήρησης είναι:

$$\rho := \frac{1 - \varepsilon}{\sum_{i=1}^6 \frac{X_i}{\rho_i}} \quad (1.8)$$

Όπου:

f_c : κλάσματα μάζας σύνθεσης τροφίμου (w_o, p, f, c, fb, a)

ρ_i : πυκνότητα κάθε στοιχείου σύνθεσης τροφίμου, υπολογίζεται από την εξίσωση 1.7.

Στον πίνακα 1.2 παρουσιάζονται οι πυκνότητες των προϊόντων σε διάφορες θερμοκρασίες.

1.3.2 Ειδική θερμοχωρητικότητα-(Specific heat)

Η ειδική θερμοχωρητικότητα c_p ($\text{kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C}$), εκφράζει το μέτρο της ενέργειας που απαιτείται για την αλλαγή της θερμοκρασίας κατά ένα βαθμό ανά μονάδα βάρους ενός προϊόντος. Επομένως, είναι απαραίτητη η γνώση της για τον υπολογισμό του φορτίου που απαιτείται ώστε να ψυχθεί το προϊόν στην επιθυμητή θερμοκρασία αποθήκευσης. Η τιμή της, διακυμαίνεται αρκετά για τις διάφορες θερμοκρασίες και ειδικά για

θερμοκρασίες μικρότερες από τη θερμοκρασία στερεοποίησης, για το λόγο αυτό υπολογίζεται ξεχωριστά.

Για θερμοκρασίες συντήρησης μεγαλύτερες και ίσες της θερμοκρασίας στερεοποίησης συμβολίζεται $c_{p,ab}$ και υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$c_{p,ab} = \sum x_i \times c_i \quad (1.9)$$

Όπου:

x_i : είναι το κλάσμα μάζας κάθε στοιχείου του προϊόντος και

c_i : είναι η ειδική θερμοχωρητικότητα κάθε ένα από αυτά τα στοιχεία και υπολογίζεται σύμφωνα με το μοντέλο των Choi και Okos συναρτήσει της θερμοκρασία συντήρησης:

$$sp_h(fc, t) := \begin{cases} (2.0082 + 1.208910^{-3} \cdot t - 1.312910^{-6} \cdot t^2) & \text{if } fc = \text{"protein"} \\ (1.9842 + 1.473310^{-3} \cdot t - 4.800810^{-6} \cdot t^2) & \text{if } fc = \text{"fat"} \\ (1.5488 + 1.962510^{-3} \cdot t - 5.939910^{-6} \cdot t^2) & \text{if } fc = \text{"carbohydrate"} \\ (1.8459 + 1.830610^{-3} \cdot t - 4.650910^{-6} \cdot t^2) & \text{if } fc = \text{"fiber"} \\ (1.0926 + 1.889610^{-3} \cdot t - 3.681710^{-6} \cdot t^2) & \text{if } fc = \text{"ash"} \\ (4.1289 - 5.306210^{-3} t + 9.951610^{-4} t^2) & \text{if } (fc = \text{"water"}) \text{ if } -40 \leq t \leq 0 \\ (4.1289 - 9.086410^{-5} t + 5.473110^{-6} t^2) & \text{if } (fc = \text{"water"}) \text{ if } 0 \leq t \leq 150 \\ (2.0623 + 6.076910^{-3} t) & \text{if } fc = \text{"ice"} \end{cases} \quad (1.10)$$

Όπου:

fc : κλάσματα μάζας σύνθεσης τροφίμου (w_o, p, f, c, fb, a)

t : ($=T_{\text{συντ}}$) θερμοκρασία αποθήκευσης προϊόντος ($^{\circ}\text{C}$)

Για τον υπολογισμό του φορτίου κατάψυξης του προϊόντος, η ειδική θερμοχωρητικότητα $c_{p,ab}$ υπολογίζεται και για θερμοκρασίες αποθήκευσης μικρότερες της θερμοκρασίας στερεοποίησης, στην εξίσωση 1.10 όμως δεν χρησιμοποιείται η θερμοκρασία αποθήκευσης αλλά η θερμοκρασία στερεοποίησης του, στη περίπτωση αυτή. Λεπτομέρεια που θα αναλυθεί ειδικότερα στο κεφάλαιο 6 που αναφέρεται στον υπολογισμό των ψυκτικών φορτίων.

Για θερμοκρασίες συντήρησης μικρότερες της θερμοκρασίας στερεοποίησης, η ειδική θερμοχωρητικότητα συμβολίζεται $c_{p,bel}$ και υπολογίζεται από την εξίσωση του Chen (1985):

$$c_{p,bel} := 1.55 + 1.26 \cdot x_s - \frac{(x_{w_o} - x_b) \cdot L_o \cdot T_f}{(-40)^2} \quad (1.11)$$

Όπου:

L_o : είναι η λανθάνουσα θερμότητα στερεοποίησης του νερού 333.6 kJ/kg.

x_s : κλάσμα μάζας στερεού τμήματος προϊόντος

T_f : θερμοκρασία στερεοποίησης προϊόντος ($^{\circ}\text{C}$)

Αυτή η διαφοροποίηση της ειδικής θερμοχωρητικότητας για θερμοκρασίες κατάψυξης ενός προϊόντος οφείλεται στο γεγονός ότι, κατά τον υπολογισμό του ψυκτικού φορτίου λαμβάνεται υπ όψιν και η λανθάνουσα θερμότητα στερεοποίησης του προϊόντος, η οποία αποτελεί θερμική ιδιότητα του προϊόντος και δίδεται στα εγχειρίδια της ASHRAE και

παρουσιάζεται στον πίνακα 1.3. Όπως είναι κατανοητό, η τιμή της $c_{p, \text{bel}}$ παραμένει σταθερή για τις χαμηλότερες θερμοκρασίες και αυτό οφείλεται στο ότι το προϊόν παρουσιάζει σταθερή συμπεριφορά στις θερμοκρασίες κατάψυξης. Στον πίνακα 1.4 παρουσιάζονται τιμές της ειδικής θερμοχωρητικότητας των προϊόντων σε διάφορες θερμοκρασίες άνω κα κάτω του σημείου στερεοποίησης.

1.3.3 Ενθαλπία-(Enthalpy)

Η ενθαλπία H (kJ/kg) ενός τροφίμου ή ποτού εκφράζει το ποσό της ενέργειας που πρέπει να προστεθεί ή να αφαιρεθεί από το προϊόν ώστε σε αυτό να αυξηθεί ή να μειωθεί αντίστοιχα η θερμοκρασία του. Ο υπολογισμός της ενθαλπίας συνδέεται με τον θερμοδυναμικό ορισμό της ειδικής θερμοχωρητικότητας υπό σταθερή πίεση ως εξής:

$$c_p := \left(\frac{\partial H}{\partial T} \right)_p \quad (1.12)$$

Στον αναλυτικό υπολογισμό της ενθαλπίας όπως και της ειδικής θερμοχωρητικότητας υπολογίζεται ξεχωριστά και με διαφορετικά μοντέλα η τιμή της, για θερμοκρασίες μεγαλύτερες και μικρότερες της θερμοκρασίας στερεοποίησης.

Ισχύει, για θερμοκρασίες μεγαλύτερες της στερεοποίησης η ενθαλπία αποτελείται από αισθητή ενέργεια και υπολογίζεται σύμφωνα με τη μέθοδο του Chen (1985):

$$H := H_f + (T_{\text{συντ.}} - T_f) \cdot (4.19 - 2.30x_s - 0.628x_s^3) \quad (1.13)$$

Όπου:

H_f : είναι η ενθαλπία στη θερμοκρασία στερεοποίησης υπολογιζόμενη από την εξίσωση 1.14.

x_s : κλάσμα μάζας στερεού τμήματος προϊόντος

$T_{\text{συντ.}}$: θερμοκρασία αποθήκευσης προϊόντος (°C)

Για θερμοκρασίες μικρότερες και ίσες η ενθαλπία αποτελείται από αισθητή και λανθάνουσα ενέργεια. Υπολογίζεται από το μοντέλο του Chen για θερμοκρασίες κατάψυξης ως εξής:

$$H := (T_{\text{συντ.}} - T_f) \cdot \left[1.55 + 1.26x_s - \frac{(x_{w0} - x_b) \cdot L_o \cdot T_f}{T_f \cdot T_{\text{συντ.}}} \right] \quad (1.14)$$

Όπου:

x_b : είναι το κλάσμα μάζας του νερού που είναι συνδεδεμένο με το στερεό τμήμα του τροφίμου και δεν είναι διαθέσιμο για κατάψυξη.

T_f : είναι η ακραία θερμοκρασία αποθήκευσης -40 °C.

x_s : κλάσμα μάζας στερεού τμήματος προϊόντος

$T_{\text{συντ.}}$: θερμοκρασία αποθήκευσης προϊόντος (°C)

Στον πίνακα 1.5 παρουσιάζονται οι ενθαλπίες των προϊόντων σε θερμοκρασίες μικρότερες και ίσες του μηδενός.

1.3.4 Θερμική αγωγιμότητα-(Thermal conductivity)

Η θερμική αγωγιμότητα k (W/m.°C) συνδέει την μεταφορά θερμότητας με αγωγή με τις διάφορες θερμοκρασιακές μεταβολές. Εξαρτάται από παράγοντες όπως η σύνθεση, η δομή και η θερμοκρασία του προϊόντος.

Το πρώτο μαθηματικό μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό της ήταν αυτό του Eucken το 1940, το οποίο αναφέρεται στη θερμική αγωγιμότητα των αραιών διασπορών σε μικρά σφαιρίδια και σε μία συνεχή φάση. Από τότε αναπτύχθηκαν και άλλα βελτιωμένα μοντέλα και τελικά σήμερα χρησιμοποιείται κατά κόρον το παράλληλο

μοντέλο των Murakami και Okos (1989). Ο όρος "παράλληλο" δηλώνει ότι η θερμική αγωγιμότητα μετράται παράλληλα στη δομή των ινών του προϊόντος.

Η θερμική αγωγιμότητα ορίζεται ως το άθροισμα των θερμικών αγωγιμοτήτων των επιμέρους στοιχείων που συνθέτουν το προϊόν, πολλαπλασιαζόμενο με το κλάσμα όγκου του εκάστοτε στοιχείου $x_{i,vol}$. Ισχύουν λοιπόν οι εξισώσεις:

$$k := \sum_{i=1}^6 (x_{i,vol} \cdot k_i) \quad (1.15)$$

Όπου:

Το κλάσμα όγκου του κάθε στοιχείου υπολογίζεται:

$$x_{i,vol} := \frac{\frac{X_i}{\rho_i}}{\sum_{i=1}^6 \frac{X_i}{\rho_i}} \quad (1.16)$$

Και οι θερμικές αγωγιμότητες του κάθε στοιχείου (k_i) υπολογίζονται σύμφωνα με το μαθηματικό μοντέλο των Choi και Okos για θερμοκρασίες $-40 \div 150$ °C ως εξής:

$$k(fc, t) := \begin{cases} (1.788110^{-1} + 1.195810^{-3} \cdot t - 2.717810^{-6} \cdot t^2) & \text{if } fc = \text{"protein"} \\ (1.807110^{-1} - 2.760410^{-4} \cdot t - 1.774910^{-7} \cdot t^2) & \text{if } fc = \text{"fat"} \\ (2.014110^{-1} + 1.387410^{-3} \cdot t - 4.331210^{-6} \cdot t^2) & \text{if } fc = \text{"carbohydrate"} \\ (1.833110^{-1} + 1.249710^{-3} \cdot t - 3.168310^{-6} \cdot t^2) & \text{if } fc = \text{"fiber"} \\ (3.296210^{-1} + 1.401110^{-3} \cdot t - 2.906910^{-6} \cdot t^2) & \text{if } fc = \text{"ash"} \\ (5.710910^{-1} + 1.762510^{-3} \cdot t - 6.703610^{-6} \cdot t^2) & \text{if } fc = \text{"water"} \\ (2.2196 - 6.248910^{-3} \cdot t + 1.015410^{-4} \cdot t^2) & \text{if } fc = \text{"ice"} \end{cases} \quad (1.17)$$

Όπου:

fc: κλάσματα μάζας σύνθεσης τροφίμου (w_o,p,f,c,fb,a)

t: (=T_{συντ}) θερμοκρασία αποθήκευσης προϊόντος (°C)

Στον πίνακα 1.6 συνοψίζονται οι θερμικές αγωγιμότητες των προϊόντων σε διάφορες θερμοκρασίες.

1.3.5 Θερμική διαχυτότητα-(Thermal diffusivity)

Η θερμική διαχυτότητα α (m²/sec) εκφράζει το ρυθμό με τον οποίο η θερμότητα διαχέεται με αγωγή σε στο προϊόν και είναι απαραίτητο στοιχείο για την εκτίμηση του χρόνου που χρειάζεται ώστε να αποκτήσει την επιθυμητή θερμοκρασία συντήρησης. Εξαρτάται από την υγρασία, τη θερμοκρασία τη σύσταση και το πορώδες του προϊόντος και υπολογίζεται βάσει της θερμοκρασίας συντήρησης από την εξίσωση:

$$\alpha := \frac{k}{\rho \cdot c_p \cdot 1000} \quad (1.18)$$

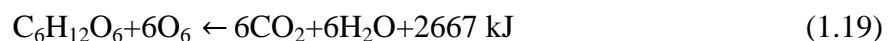
Όπου:

k σε (W/m.°C), c_p σε (kJ/kg.°C) και ρ σε (kg/m³).

Στον πίνακα 1.7 παρουσιάζονται διάφορες τιμές της θερμικής διαχυτότητας σε mm^2/sec των προϊόντων σε διάφορες θερμοκρασίες.

1.3.6 Θερμότητα αναπνοής-(Heat of respiration)

Μία ακόμη πολύ σημαντική ιδιότητα των τροφίμων είναι η θερμότητα που εκλύουν κατά τη διάρκεια αποθήκευσής τους στον ψυκτικό θάλαμο. Κατά τη διάρκεια της αναπνοής, η γλυκόζη και το οξυγόνο που εμπεριέχουν τα τρόφιμα συνδυάζονται και σχηματίζουν CO_2 (διοξείδιο του άνθρακα), H_2O (νερό) και θερμότητα βάσει της ακόλουθης χημικής αντίδρασης:



Στα περισσότερα αποθηκευμένα τρόφιμα λαμβάνει χώρα μία μικρή κυτταρική ανάπτυξη και το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας της αναπνοής απελευθερώνεται ως θερμότητα, η οποία πρέπει να ληφθεί υπ όψιν κατά τον υπολογισμό των ψυκτικών φορτίων του θαλάμου. Ο ρυθμός με τον οποίο η παραπάνω διαδικασία λαμβάνει χώρα ποικίλει, ανάλογα με τον τύπο και τη θερμοκρασία του εμπορεύματος.

Φρούτα, λαχανικά, άνθη και βολβοί αποτελούν τα προϊόντα με τα μεγαλύτερα φορτία αναπνοής μέσα στο ψυκτικό θάλαμο. Ξηρά προϊόντα όπως σπόροι και ξηροί καρποί καθώς και τα κρεατικά, τα θαλασσινά και τα προϊόντα που προέρχονται από αυτά, έχουν χαμηλά ποσοστά αναπνοής επομένως, δε χρήζουν υπολογισμό τέτοιου είδους ψυκτικού φορτίου. Ακολουθεί μία ευρύτερη ανάλυση της θερμότητας αναπνοής που παράγουν τα φρούτα και τα λαχανικά:

➤ Υψηλά φορτία αναπνοής:

- Φρούτα που ωριμάζουν κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης, όπως είναι για παράδειγμα τα μήλα, οι μπανάνες, τα αβοκάντο κ.α.
- Φρούτα με ταχεία ανάπτυξη, όπως είναι οι φράουλες και τα βατόμουρα.
- Λαχανικά με ενεργά αναπτυσσόμενους ιστούς, όπως τα σπαράγγια, το μπρόκολο, το σπανάκι κ.α.
- Τα λαχανικά μία έως δύο ημέρες μετά τη συγκομιδή τους.
- Γενικότερα όλα τα φρούτα και τα λαχανικά σε υψηλές θερμοκρασίες αποθήκευσης.

➤ Χαμηλά φορτία αναπνοής:

- Φρούτα που δεν ωριμάζουν κατά τη διάρκεια της αποθήκευσής τους, όπως είναι για παράδειγμα τα εσπεριδοειδή.
- Φρούτα με αργή ανάπτυξη, όπως τα σταφύλια.
- Λαχανικά με ανενεργούς ιστούς, όπως είναι οι πατάτες.
- Γενικότερα σε θερμοκρασίες μικρότερες του 0°C .

Στο τέλος του κεφαλαίου παρουσιάζεται ο πίνακας 1.8 ο οποίος περιέχει τα φορτία αναπνοής σε mW/kg και το πώς αυτά μεταβάλλονται συναρτήσει της θερμοκρασίας. Τα περισσότερα εμπορεύματα έχουν μία χαμηλή και μία υψηλή τιμή θερμότητας αναπνοής σε κάθε θερμοκρασία. Η υψηλότερη τιμή χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του φορτίου τις δύο πρώτες ημέρες μετά τη συγκομιδή ενώ, για τις υπόλοιπες ημέρες, χρησιμοποιείται η μέση τιμή του εύρους.

1.3.7 Διαπνοή φρέσκων φρούτων και λαχανικών-(Transpiration of fresh fruits and vegetables)

Το πλέον άφθονο συστατικό σε φρέσκα φρούτα και λαχανικά είναι το νερό το οποίο υπάρχει ως συνεχή υγρή φάση στο προϊόν. Σε μερικά από τα προϊόντα το νερό χάνεται μέσω της διαπνοής, η οποία περιλαμβάνει τη μεταφορά της υγρασίας δια μέσω του περιβάλλοντος του προϊόντος, εξάτμιση και αγωγή μεταφορά μάζας της υγρασίας στο περιβάλλον του ψυκτικού θαλάμου.

Ο ρυθμός διαπνοής στα φρέσκα φρούτα και λαχανικά επηρεάζει την ποιότητά τους επομένως, είναι καθοριστικός παράγοντας για την αποδεκτή διάρκεια αποθήκευσής τους. Κάποια απώλεια υγρασίας είναι αναπόφευκτη και ενδεχομένως ανεκτή, ωστόσο, η ανεξέλεγκτη απώλεια μπορεί να οδηγήσει στη συρρίκνωση του εμπορεύματος και κατά συνέπεια στην καταστροφή του. Η συρρίκνωση αυτή δεν επηρεάζει μόνον τη εμφάνιση, την υφή και τη γεύση του, αλλά επίσης, ελαττώνει αρκετά και την εμπορεύσιμη μάζα του. Για το λόγο αυτό πρέπει να επιλέγονται πολύ προσεκτικά οι συνθήκες και η διάρκεια αποθήκευσής τους. Στο παράρτημα των πινάκων του κεφαλαίου αυτού ακολουθεί ο πίνακας 1.9, ο οποίος περιλαμβάνει την αποδεκτή διάρκεια αποθήκευσής τους και τις απαιτήσεις του σε σχετική υγρασία και οξυγόνο.

Πολλοί παράγοντες επηρεάζουν το ρυθμό διαπνοής στα διάφορα εμπορεύματα. Η απώλεια υγρασίας οφείλεται κυρίως στη διαφορά πίεσης των ατμών ύδατος μεταξύ του περιβάλλοντα αέρα και του περιβλήματος του προϊόντος. Οι μελετητές Becker και Fricke (1996) ανέφεραν ότι η επιφάνεια του τροφίμου μπορεί να υποθεθεί κορεσμένη και έτσι η πίεση των υδρατμών στην επιφάνεια του είναι ίση με αυτή του κορεσμού των ατμών. Επίσης, ανέφεραν ότι οι διαλυμένες ουσίες στην υγρασία τείνουν ελαφρώς να χαμηλώσουν την πίεση του ατμού στην επιφάνεια εξάτμισης. Εξάτμιση είναι μία ενδόθερμη διαδικασία που ψύχει την επιφάνεια, μειώνοντας έτσι την πίεση του ατμού και κατά συνέπεια τη μείωση της διαπνοής. Από την άλλη πλευρά, η αναπνοή του τροφίμου τείνει να αυξήσει τη θερμοκρασία του, αυξάνοντας έτσι την πίεση του ατμού στην επιφάνεια άρα και τη διαπνοή. Επιπλέον, παράγοντες όπως η επιφανειακή δομή, η διαπερατότητα του περιβλήματος και η ροή του αέρα του ψυκτικού θαλάμου, επηρεάζουν σημαντικά το ρυθμό διαπνοής.

Ο κινητήριος μοχλός για τη διαπνοή είναι η διαφορά στην πίεση των υδρατμών μεταξύ της επιφάνειας του τροφίμου και του περιβάλλοντα αέρα. Έτσι, η βασική εξίσωση της διαπνοής είναι:

$$m_s := k_t \cdot (p_s - p_a) \quad (1.20)$$

όπου:

m_s : είναι ο ρυθμός της διαπνοής και εκφράζεται ως η μάζα υγρασίας ανά μονάδα χρόνου. Ο συντελεστής διαπνοής k_t είναι η μάζα υγρασίας ανά μονάδα μάζας προϊόντος, διαφοράς πίεσης και μονάδας χρόνου. Η ποσότητα $p_s - p_a$ είναι η διαφορά πίεσης των υδρατμών περιβλήματος και αέρα.

1.3.8 Συντελεστής μεταφοράς θερμότητας-(Heat transfer coefficient)

Αν και ο συντελεστής (επιφανειακής) μεταφοράς θερμότητας h ($W/m^2 \cdot ^\circ C$) του προϊόντος δεν είναι μία θερμική ή θερμοφυσική ιδιότητα, εντούτοις είναι απαραίτητος για τον σχεδιασμό του εξοπλισμού μετάδοσης θερμότητας στο θάλαμο για τη καλύτερη δυνατή συντήρηση αυτού. Σύμφωνα με το νόμο του Νεύτωνα για την ψύξη ισχύει:

$$q := h \cdot A (T_s - T_\infty) \quad (1.21)$$

όπου:

- q : ο ρυθμός μεταφοράς θερμότητας
- A: το εμβαδόν της επιφάνειας του προϊόντος και
- T_S-T_∞ : η θερμοκρασιακή διαφορά τροφίμου και περιβάλλοντα χώρου

Ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας εξαρτάται από την ταχύτητα του περιβάλλοντος ρευστού, τη γεωμετρία του τροφίμου, την επιφανειακή τραχύτητα και τη συσκευασία του, εάν διατίθεται στην αγορά συσκευασμένο. Ορισμένες πειραματικά υπολογιζόμενες τιμές για τυπικές συνθήκες αποθήκευσης βάσει των αριθμών Nusselts, Prandtl και Reynolds, από διάφορους ερευνητές ακολουθούν στον πίνακα 1.10 στο παράρτημα των πινάκων.

Επειδή, στον πίνακα οι τιμές του συντελεστή αναφέρονται σε μία συγκεκριμένη θερμοκρασία και ταχύτητα αέρα στην παρούσα εργασία ακολουθείται η μέθοδος που διατυπώθηκε από τους Becker & Fricke (2004) [3].

Αρχικά οι φυσικές ιδιότητες του αέρα (Πίνακας 1.12) με την αριθμητική μέθοδο των κυβικών splines προσεγγίζονται στις εξής συναρτήσεις με παράμετρο την θερμοκρασία του αέρα ψύξης εντός του χώρου όπου ψύχονται ή καταψύχονται (T_m):

- Συνάρτηση υπολογισμού ιξώδους:

$$\mu_m(T_m) \quad (1.22)$$

- Συνάρτησης υπολογισμού θερμικής αγωγιμότητας:

$$k_m(T_m) \quad (1.23)$$

- Συνάρτηση υπολογισμού θερμικής αγωγιμότητας:

$$c_m(T_m) \quad (1.24)$$

- Συνάρτηση υπολογισμού πυκνότητας αέρα:

$$\rho_m(T_m) \quad (1.25)$$

- Υπολογισμός αριθμού Prandtl:

$$Pr(T_m) := \frac{\mu_m(T_m) \cdot c_m(T_m)}{k_m(T_m)} \quad (1.26)$$

- Υπολογισμός αριθμού Reynolds:

$$Re(T_m, U_{air}, d_{min}) := \frac{\rho_m(T_m) \cdot U_{air} \cdot d_{min}}{\mu_m(T_m)} \quad (1.27)$$

- Εξίσωση συσχέτισης αριθμού Nusselts με τους αριθμούς Prandtl και Reynolds (δίδεται για κάθε κατηγορία τροφίμων στον πίνακα 1.11):

$$Nu(T_m, U_{air}, d_{min}) := C \cdot Re(T_m, U_{air}, d_{min})^n \cdot Pr(T_m)^p \quad (1.28)$$

- Υπολογισμός συντελεστή μεταφοράς θερμότητας:

$$h(T_m, U_{air}, d_{min}) := \frac{Nu(T_m, U_{air}, d_{min}) \cdot k_m(T_m)}{d_{min}} \quad (1.29)$$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο ΧΡΟΝΟΙ ΨΥΞΗΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΨΥΞΗΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ ΚΑΙ ΠΟΤΩΝ

2.1 Γενικά

Η συντήρηση των τροφίμων είναι μία από τις πιο σημαντικές εφαρμογές της ψύξης. Η ψύξη και η κατάψυξη των τροφίμων μειώνει αποτελεσματικά τη δραστηριότητα των μικροοργανισμών και των ενζύμων, επιβραδύνοντας έτσι αποτελεσματικά την αλλοίωση τους. Επιπλέον, η κρυστάλλωση του νερού που εμπεριέχεται στα τρόφιμα κατά την κατάψυξη τους, μειώνει σε ικανοποιητικό βαθμό την ανάπτυξη μικροβίων. Τα περισσότερα συστήματα ψύξης χρησιμοποιούν αέρα για τη μετάδοση θερμότητας δια συναγωγής και ένας περιορισμένος αριθμός προϊόντων ψύχονται σε καταψύκτες υπό την μορφή πλακών με μετάδοση θερμότητας δια αγωγής.

Η συντήρηση με κατάψυξη στηρίζεται στη μείωση της ανάπτυξης και δράσης των μικροοργανισμών όσο μειώνεται η θερμοκρασία. Παθογόνοι και μη παθογόνοι μικροοργανισμοί αδρανοποιούνται πλήρως στους $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$, ενώ πολλοί πεθαίνουν. Επίσης, όσο χαμηλότερη είναι η θερμοκρασία τόσο βραδύτερα εξελίσσονται οι διάφορες ενζυμικές και χημικές δράσεις που συμβαίνουν στο τρόφιμο. Ορισμένες ενζυμικές δράσεις συνεχίζονται ακόμα και σε θερμοκρασία $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ γι' αυτό συνίσταται το ζεμάτισμα ορισμένων τροφίμων πριν την κατάψυξη. Επιπλέον η επίδραση της μείωσης της θερμοκρασίας μέσω της κρυστάλλωσης του νερού στο τρόφιμο μειώνει το ποσό του διαθέσιμου υγρού και έτσι επιβραδύνει την ανάπτυξη μικροοργανισμών και την ενζυμική δραστηριότητα. Για το σχεδιασμό ενός συστήματος κατάψυξης πρέπει κατ' αρχήν να εκτιμηθούν οι ενεργειακές απαιτήσεις ή αλλιώς η μεταβολή ενθαλπίας του τροφίμου κατά την κατάψυξη. Αυτή η μεταβολή εξαρτάται από το ίδιο το τρόφιμο το οποίο καταψύχεται. Ο δεύτερος σημαντικός παράγοντας για ένα τέτοιο σύστημα είναι ο ρυθμός με τον οποίο προχωρεί η κατάψυξη του τροφίμου. Ο ρυθμός κατάψυξης σχετίζεται με τις ενεργειακές απαιτήσεις, τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του τροφίμου και του μέσου κατάψυξης και τις ιδιότητες του τροφίμου. Ο ρυθμός κατάψυξης επηρεάζει τον τρόπο σχηματισμού του πάγου και επομένως τις ιδιότητες και την ποιότητα του προϊόντος. Επίσης, ο ρυθμός κατάψυξης καθορίζει και το ρυθμό παραγωγής μιας μονάδας κατάψυξης, επομένως είναι επιθυμητός ο ταχύτερος ρυθμός κατάψυξης εφόσον δεν υποβαθμίζεται η ποιότητα του προϊόντος.

Επειδή τα περισσότερα εμπορεύματα είναι ακανόνιστου σχήματος και ακόμη οι θερμοφυσικές ιδιότητες εξαρτώνται της θερμοκρασίας, ακριβείς αναλυτικές λύσεις για την ψύξη και τον υπολογισμό του χρόνου αυτής δεν μπορούν αν διατυπωθούν. Οι περισσότερες έρευνες που έχουν διατυπωθεί έως σήμερα έχουν επικεντρωθεί στην ανάπτυξη εμπειρικών, ημιαναλυτικών μεθόδων για τον υπολογισμό του χρόνου και βασίζονται σε διάφορες απλουστευτικές υποθέσεις.

2.2 Υπολογισμός χρόνου ψύξης

Η ψύξη με συναγωγή αέρα ενός προϊόντος εξαρτάται από την αναλογία της εξωτερικής αντίστασης μεταφοράς θερμότητας ως προς την εσωτερική. Αυτή η αναλογία εκφράζεται με τον αριθμό Biot που ορίζεται ως εξής:

$$Bi := \frac{h \cdot L}{k} \quad (2.1)$$

Όπου:

h: ο συντελεστής μετάδοσης θερμότητας, εξαρτώμενος του προϊόντος και των συνθηκών ψύξης

L: η χαρακτηριστική διάσταση τροφίμου

k: η θερμική αγωγιμότητα τροφίμου στη θερμοκρασία αποθήκευσης

Η χαρακτηριστική διάσταση L είναι η μικρότερη απόσταση από το θερμικό του κέντρο προς τη επιφάνεια του. Τα σχήματα στα οποία κατανέμονται όλα τα προϊόντα βάσει των εμπειρικών μεθόδων είναι:

1. Επίπεδη πλάκα «slab» με διαστάσεις x,y,z.
2. Κυβική διάταξη ακανόνιστου σχήματος «rectangular brick» με διαστάσεις x,y,z.
3. Σφαιρικό «sphere» με ακτίνα R.
4. Κυλινδρική διάταξη «cylinder» με ακτίνα R και ύψος HE.

Επομένως, η απόσταση L λαμβάνει τις εξής τιμές:

- Το μισό, τους πάχους της πλάκας ή της κυβικής διάταξης.
- Την ακτίνα R, στη περίπτωση του σφαιρικού ή κυλινδρικού σχήματος.

Οι εμπειρικές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την πρόβλεψη του χρόνου ψύξης στην επιθυμητή θερμοκρασία χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

- i. Στις μεθόδους που βασίζονται στους παράγοντες f και j.
- ii. Στις μεθόδους που βασίζονται στην ισοδύναμη διαστασιμότητα μεταφοράς θερμότητας.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία η μέθοδος που χρησιμοποιείται είναι η πρώτη.

Όλες οι διαδικασίες ψύξης παρουσιάζουν παρόμοια συμπεριφορά. Μετά από μία αρχική καθυστέρηση η θερμοκρασία στο κέντρο του προϊόντος ελαττώνεται εκθετικά, σύμφωνα με τη θεωρία του Cleland (1940). Όπως φαίνεται στο σχήμα 2.1, μία καμπύλη ψύξης που απεικονίζει αυτή τη συμπεριφορά μπορεί να λαμβάνεται με αυτή τη γραφική παράσταση σε ημιλογαριθμικούς άξονες, όπου Y είναι η κλασματικά ανεκπλήρωτη θερμοκρασιακή διαφορά και ορίζεται ως εξής:

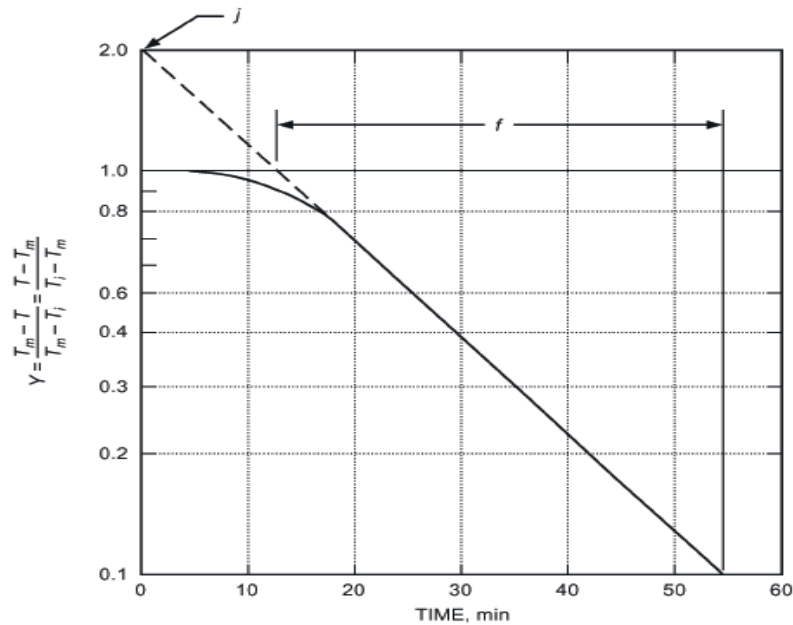
$$Y := \frac{T_m - T}{T_m - T_i} \quad (2.2)$$

Όπου:

T_m : η θερμοκρασία του αέρα μέσα στο ψυκτικό θάλαμο,

$T=T_{\text{συντ.}}$: η επιθυμητή θερμοκρασία αποθήκευσης,

$T_i=T_{\text{init.}}$: η αρχική θερμοκρασία του προϊόντος.



Διάγραμμα 2.1 Καμπύλη χρόνου ψύξης
(Πηγή: ASHRAE Handbooks-Fundamentals 2010 ch. 20)

Αυτή η ημιλογαριθμική θερμοκρασιακή καμπύλη αποτελείται από ένα αρχικό καμπυλόγραμμο τμήμα ακολουθούμενο από ένα γραμμικό τμήμα. Οι εμπειρικές σχέσεις που διαμορφώνουν αυτήν τη συμπεριφορά ψύξης ενσωματώνουν δύο παράγοντες, f και j_m , που αντιπροσωπεύουν τη κλίση και τη τομή αντίστοιχα της θερμοκρασιακής καμπύλης. Ο παράγοντας j_m είναι ένα μέτρο της καθυστέρησης μεταξύ της έναρξης της ψύξης και της αρχής της εκθετικής μείωσης της θερμοκρασίας του προϊόντος. Ο παράγοντας f αντιπροσωπεύει το χρόνο που απαιτείται για τη μείωση κατά 90% της αδιάστατης διαφοράς θερμοκρασίας (Y). Γραφικώς αντιστοιχεί στο χρόνο που απαιτείται για το γραμμικό τμήμα της καμπύλης να περάσει μέσα από το κύκλο καταγραφής. Ο παράγοντας f είναι μία συνάρτηση του αριθμού Biot, ενώ ο j_m είναι συναρτήσει του αριθμού Biot και της θέσης του θερμικού κέντρου του προϊόντος. Η γενική μορφή του μοντέλου του ψυκτικού χρόνου είναι:

$$Y := \frac{T_m - T}{T_m - T_i} = j_m \cdot e^{-2.303 \frac{\theta}{f}} \quad (2.3)$$

Όπου:

θ : είναι ο χρόνος ψύξης που απαιτείται ώστε το προϊόν να αποκτήσει την επιθυμητή θερμοκρασία συντήρησης και επομένως ορίζεται ως εξής:

$$\theta := \frac{-f}{2.303} \cdot \ln\left(\frac{Y}{j_m}\right) \quad (2.4)$$

j_m, f : παράγοντες ψύξης

2.2.1 Μέθοδος υπολογισμού παραγόντων f και j_m για την ψύξη

Ο Smith[4] (1968) ανέπτυξε μία μέθοδο για τον υπολογισμό των παραγόντων για ακανόνιστα σχήματα προϊόντων η οποία, όμως, εφαρμόζεται επακριβώς και για τα κανονικά σχήματα όπως τη πλάκα, τη σφαίρα και το κυλινδρικό. Επομένως, εφαρμόζεται και για αρκετά μεγάλες τιμές ακόμη και για τιμές που πλησιάζουν στο άπειρο του αριθμού Biot. Η διαδικασία που ακολουθείται είναι η εξής:

Βήμα 1^ο

Υπολογισμός της απόστασης L με τη διαδικασία που περιγράφηκε προηγουμένως και των διαστατικών αναλογιών που ορίζονται ως εξής:

$$\beta_1 := \frac{2^{\text{η}} \text{ μικρότερη διάσταση προϊόντος}}{\text{ελάχιστη διάσταση προϊόντος}} \quad (2.5)$$

$$\beta_2 := \frac{\text{μέγιστη διάσταση προϊόντος}}{\text{ελάχιστη διάσταση προϊόντος}} \quad (2.6)$$

Βήμα 2^ο

Υπολογισμός εμβαδού των διατομών 1 και 2 που περιέχουν την απόσταση L και είναι κάθετες μεταξύ τους. Αναφέρεται ότι η μέθοδος αυτή, χάριν ευκολίας, χρησιμοποιεί ελλειψοειδή μορφή των διατομών αυτών:

$$A_1 := \pi \cdot L^2 \cdot \beta_1 \quad A_2 := \pi \cdot L^2 \cdot \beta_2 \quad (2.7)$$

Βήμα 3^ο

Εύρεση γεωμετρικών δεικτών που σχετίζονται με τις διατομές 1 και 2 καθώς και του γεωμετρικού δείκτη του τροφίμου:

$$B_1 := \frac{A_1}{\pi \cdot L^2} \quad B_2 := \frac{A_2}{\pi \cdot L^2} \quad (2.8)$$

$$G := 0.25 + \frac{3}{8 \cdot B_1^2} + \frac{3}{8 \cdot B_2^2} \quad (2.9)$$

Βήμα 4^ο

Εκτίμηση συντελεστή M_1 βάσει των εξισώσεων που διατύπωσαν οι Hayakawa και Villalobos το 1989 βάσει των περιορισμών για G και για τον αριθμό Biot:

$$X_g := \ln(G) \quad X_b := \ln\left(\frac{1}{Bi}\right) \quad (2.10)$$

$$M_1 := \begin{cases} \sqrt[6]{\frac{2.289+0.353X_g-3.804X_g^2-9.682X_g^3-12.032X_g^4-7.154X_g^5-1.63X_g^6}{e}} & \text{if } Bi > 100 \text{ if } 0.25 \leq G \leq 1 \\ \sqrt[6]{\frac{0.921+0.834X_g-0.788X_b-0.048X_g \cdot X_b-0.041X_g^2-0.101X_b^2+0.015X_g^3+0.001X_g \cdot X_b^3+0.001X_b^4}{e}} & \text{if } 0.01 \leq Bi \leq 100 \text{ if } 0.25 \leq G \leq 1 \end{cases} \quad (2.11)$$

Βήμα 5^ο

Υπολογισμός f σε sec και j_m:

$$f := \frac{2.303L^2}{M_1^2 \cdot \alpha} \cdot \text{sec} \quad (2.12)$$

$$j_m := 0.892e^{-0.0388M_1^2} \quad (2.13)$$

2.3 Υπολογισμός χρόνου κατάψυξης

Όπως διατυπώθηκε στην αρχή του παρόντος κεφαλαίου, η κατάψυξη των τροφίμων και των ποτών δε είναι μία ισόθερμη διαδικασία αλλά λαμβάνει χώρα ε ένα εύρος θερμοκρασιών. Η μέθοδος κατάψυξης που χρησιμοποιείται βασίζεται στη μέθοδο του Plank (1941) [5] τροποποιημένη σύμφωνα με τους ερευνητές Cleland και Earle (1979). Οι προαναφερθέντες ενσωμάτωσαν στους υπολογισμούς την απομάκρυνση της θερμότητας τόσο πάνω, όσο και κάτω από τη θερμοκρασία στερεοποίησης του τροφίμου, καθώς και τις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια της κατάψυξης. Ο συνολικός χρόνος κατάψυξης (σε sec) στην επιθυμητή θερμοκρασία που απαιτείται, αποτελείται από το άθροισμα του χρόνου πρόψυξης, αλλαγής φάσης και της υπόψυξης. Υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$\theta := \frac{\Delta H \cdot 1000}{T_f - T_m} \cdot \left(\frac{P_{\text{par}} \cdot D}{h} + \frac{R_{\text{par}} \cdot D^2}{k} \right) \quad (2.14)$$

Όπου:

ΔH: η ογκομετρική διαφορά ενθαλπίας (kJ/m³) μεταξύ θερμοκρασίας στερεοποίησης και συντήρησης

k: η θερμική αγωγιμότητα του προϊόντος στη θερμοκρασία συντήρησης

h: ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας του προϊόντος

P_{par}, R_{par}: γεωμετρικοί παράγοντες εξαρτώμενοι του σχήματος του προϊόντος

Ο αριθμός Biot για την κατάψυξη ορίζεται:

$$Bi := \frac{h \cdot D}{k} \quad (2.15)$$

Όπου:

h: ο συντελεστής μετάδοσης θερμότητας, εξαρτώμενος του προϊόντος και των συνθηκών ψύξης

D: η χαρακτηριστική διάσταση τροφίμου

k: η θερμική αγωγιμότητα τροφίμου στη θερμοκρασία αποθήκευσης

Η διάσταση D λαμβάνει τις εξής τιμές:

- Το πάχος της πλάκας ή της κυβικής διάταξης.
- Τη διάμετρο $2R$ στη περίπτωση του σφαιρικού ή κυλινδρικού σχήματος.

2.3.1 Μέθοδος υπολογισμού παραγόντων P_{par} και R_{par} για την κατάψυξη

Σύμφωνα με τους Cleland και Earle η διαδικασία που ακολουθείται για τον υπολογισμό των παραγόντων για οποιοδήποτε σχήμα κανονικό και μη είναι η εξής:

Βήμα 1^ο

Υπολογισμός β_1 και β_2 , ακριβώς όπως στη παράγραφο 2.2.1.

Βήμα 2^ο

Εύρεση ειδικών ογκομετρικών θερμοχωρητικοτήτων σε ($\text{kJ/m}^3 \cdot ^\circ\text{C}$) στο σημείο στερεοποίησης (C_1) και συντήρησης (C_s):

$$C_1 := c_{p.ab}(T_f) \cdot \rho(T_f) \quad (2.16)$$

$$C_s := c_{p.bel}(T_{\text{συντ}}) \cdot \rho(T_{\text{συντ}}) \quad (2.17)$$

Βήμα 3^ο

Υπολογισμός αριθμών Plank και Stefan:

$$Pk := \frac{C_1 \cdot (T_{\text{init}} - IFT)}{\Delta H} \quad (2.18)$$

$$Ste := \frac{C_s \cdot (T_f - T_m)}{\Delta H} \quad (2.19)$$

Βήμα 4^ο

Υπολογισμός των παραγόντων σύμφωνα με τη θεωρία των Cleland και Earle για κάθε σχήμα προϊόντος. Ακολουθούν οι εξισώσεις υπό την μορφή που διατυπώθηκαν στο Mathcad 14:

$$P_{par} := \begin{cases} \left[0.5072 + 0.2018Pk + Ste \cdot \left(0.3224Pk + \frac{0.015}{Bi} + 0.0681 \right) \right] & \text{if shape = "slab"} \\ \left[0.3751 + 0.0999Pk + Ste \cdot \left(0.4008Pk + \frac{0.071}{Bi} - 0.5865 \right) \right] & \text{if shape = "cylinder"} \\ \left[0.1084 + 0.0924Pk + Ste \cdot \left(0.231Pk - \frac{0.3114}{Bi} + 0.6739 \right) \right] & \text{if shape = "sphere"} \\ \text{if shape = "rectangular brick"} \\ \left[\begin{array}{l} P_1 \leftarrow \frac{\beta_1 \cdot \beta_2}{2 \cdot (\beta_1 \cdot \beta_2 + \beta_1 + \beta_2)} \\ P_2 \leftarrow P_1 \cdot \left[1.026 + 0.5808Pk + Ste \cdot \left(0.2296Pk + \frac{0.0182}{Bi} + 0.1050 \right) \right] \\ P_{par} \leftarrow \left[P_2 + P_1 \cdot \left[0.1136 + Ste \cdot (5.766P_1 - 1.242) \right] \right] \end{array} \right] \end{cases} \quad (2.20)$$

$$\begin{aligned}
 R_{\text{par}} := & \begin{cases} [0.1684 + \text{Ste} \cdot (0.274\text{Pk} - 0.0135)] & \text{if shape} = \text{"slab"} \\ [0.0133 + \text{Ste} \cdot (0.0415\text{Pk} + 0.3957)] & \text{if shape} = \text{"cylinder"} \\ [0.0784 + \text{Ste} \cdot (0.0386\text{Pk} - 0.1694)] & \text{if shape} = \text{"sphere"} \\ \text{if shape} = \text{"rectangular brick"} \\ \left| \begin{array}{l} Q_{\text{par}} \leftarrow \left[4 \cdot \left[(\beta_1 - \beta_2) \cdot (\beta_1 - 1) + (\beta_2 - 1)^2 \right]^{0.5} \right]^{-1} \\ r \leftarrow \frac{1}{3} \cdot \left[\beta_1 + \beta_2 + 1 \cdot \left[(\beta_1 - \beta_2) \cdot (\beta_1 - 1) + (\beta_2 - 1)^2 \right]^{0.5} \right] \\ s \leftarrow \frac{1}{3} \cdot \left[\beta_1 + \beta_2 + 1 - \left[(\beta_1 - \beta_2) \cdot (\beta_1 - 1) + (\beta_2 - 1)^2 \right]^{0.5} \right] \\ R_1 \leftarrow \frac{Q_{\text{par}}}{2} \cdot \left[(r - 1)(\beta_1 - r)(\beta_2 - r) \cdot \ln\left(\frac{r}{r-1}\right) - (s - 1)(\beta_1 - s)(\beta_2 - s) \cdot \ln\left(\frac{s}{s-1}\right) \right] + \frac{1}{72} \cdot (2\beta_1 + 2\beta_2 - 1) \\ R_2 \leftarrow R_1 \cdot [1.202 + \text{Ste} \cdot (3.41\text{Pk} + 0.7336)] \\ R_{\text{par}} \leftarrow R_2 + R_1 \cdot [0.7344 + \text{Ste} \cdot (49.89R_1 - 2.9)] \end{array} \right.
 \end{cases}
 \end{aligned}$$

(2.21)

Η τελική συνάρτηση υπολογισμού του χρόνου ψύξης ή κατάψυξης όπως αυτή διατυπώνεται στο περιβάλλον του MATHCAD είναι η εξής:

$$\begin{aligned}
 \text{time}(i, T_{\text{συντ}}, T_{\text{init}}, T_m) := & \begin{cases} \text{if } T_{\text{συντ}} > \text{IFT}_i \\ \left| \begin{array}{l} f \leftarrow \frac{2.303L^2}{M_1(i, T_{\text{συντ}})^2 \cdot \alpha(i, T_{\text{συντ}})} \\ j_m \leftarrow 0.892e^{-0.0388M_1(i, T_{\text{συντ}})} \\ Y \leftarrow \begin{cases} \frac{T_{\text{συντ}} - T_m}{T_{\text{init}} - T_m} & \text{if } T_{\text{init}} \neq T_m \\ 0 & \text{if } T_{\text{init}} = T_m \end{cases} \\ \left(\frac{-f}{2.303} \cdot \ln\left(\frac{Y}{j_m}\right) \right) \cdot \text{sec} \end{array} \right. \\ \text{if } T_{\text{συντ}} \leq \text{IFT}_i \\ \left| \begin{array}{l} \Delta H \leftarrow \Delta H(i, T_{\text{συντ}}) \\ P_{\text{par}} \leftarrow P_{\text{par}}(i, T_{\text{συντ}}, T_{\text{init}}, T_m) \\ R_{\text{par}} \leftarrow R_{\text{par}}(i, T_{\text{συντ}}, T_{\text{init}}, T_m) \\ \frac{\Delta H \cdot 1000}{\text{IFT}_i - T_m} \cdot \left(\frac{P_{\text{par}} \cdot D}{h} + \frac{R_{\text{par}} \cdot D^2}{k(i, T_{\text{συντ}})} \right) \cdot \text{sec} \end{array} \right.
 \end{cases}
 \end{aligned}$$

(2.22)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο ΜΙΚΡΟΒΙΟΛΟΓΙΑ ΤΡΟΦΙΜΩΝ ΚΑΙ ΠΟΤΩΝ

3.1 Εισαγωγή

Ο κύριος λόγος εφαρμογής της ψύξης στα τρόφιμα είναι η πρόληψη και η, κατά το όσο δυνατόν, μεγαλύτερη καθυστέρηση των μικροβιακών, φυσικών και χημικών αλλαγών τους.

Ακόμα και σε θερμοκρασίες κοντά στο σημείο στερεοποίησης η ποιότητα των τροφίμων, μπορεί να μεταβληθεί, λόγω της ανάπτυξης μικροοργανισμών, των αλλαγών που προκαλούνται από τα ένζυμα και τον χημικών αντιδράσεων που μπορεί να συμβούν στο προϊόν. Διατηρώντας λοιπόν, τα τρόφιμα σε χαμηλές θερμοκρασίες μειώνεται ο ρυθμός με τον οποίο οι παραπάνω αλλαγές λαμβάνουν χώρα. Μόνο ένα μικρός πλήθος μικροοργανισμών μπορούν να αντέξουν τις χαμηλές θερμοκρασίες και να συνεχίσουν να αναπαράγονται.

Η συνθήκες ψύξης επίσης παίζουν μείζον ρόλο στη διατήρηση της ποιότητας των προϊόντων σε ασφαλή επίπεδα. Ο κύριος παράγοντας που προκαλεί μία τροφική ασθένεια ή δηλητηρίαση είναι η διατήρηση των τροφίμων σε ακατάλληλες θερμοκρασίες. Ένας ακόμη σημαντικός παράγοντας είναι η χρήση κατάλληλα αποστειρωμένου εξοπλισμού. Επομένως, η μηχανική της ψύξης επηρεάζει άμεσα τη διασφάλιση και τη σταθερότητα της ποιότητας των τροφίμων μέσω του σχεδιασμού εξοπλισμού ώστε η περιβαλλοντικές συνθήκες να αποτρέπουν την ανάπτυξη μικροβίων.

Το παρόν κεφάλαιο περιγράφει, τη μικροβιολογία των τροφίμων και την επίδραση των αποφάσεων του σχεδιασμού του ψυκτικού θαλάμου, για τη διάθεση στην αγορά ασφαλών και υγιεινών τροφίμων.

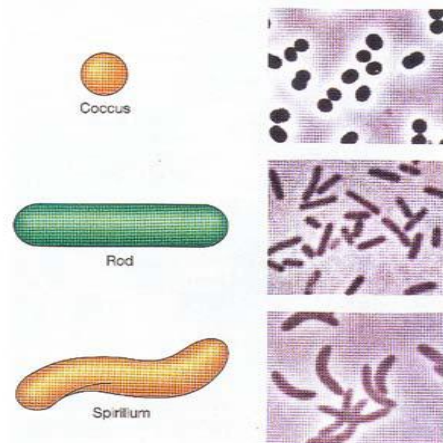
3.2 Βασική μικροβιολογία

Οι μικροοργανισμοί παίζουν διάφορους ρόλους σε μία εγκατάσταση παραγωγής και συντήρησης τροφίμων και ποτών. Μπορούν να συμβάλλουν στην αλλοίωση των τροφίμων παράγοντας δυσάρεστες οσμές και γεύσεις και αλλάζοντας την υφή και την εμφάνιση του προϊόντος μέσω της παραγωγής βλέννας και το σχηματισμό χρωστικών ουσιών. Κάποιοι επίσης προκαλούν ασθένειες, ενώ από την άλλη πλευρά κάποιοι είναι απαραίτητη για την παραγωγή και τη συντήρηση του προϊόντος, όπως για παράδειγμα στα γαλακτοκομικά και το κρασί, μέσω των ζυμώσεων που πραγματοποιούνται.

Οι μικροοργανισμοί χωρίζονται σε 4 κατηγορίες:

- Βακτήρια
- Ζυμομύκητες
- Μύκητες-Μούχλα
- Ιοί

Τα *βακτήρια* είναι οι πιο κοινοί παθογόνοι μικροοργανισμοί. Οι βακτηριακοί ρυθμοί ανάπτυξης, υπό βέλτιστες συνθήκες, είναι ταχύτεροι από εκείνους των ζυμομυκήτων και μυκήτων, καθιστώντας τα μία πρωταρχική αιτία φθοράς των προϊόντων και ιδιαίτερα των υγρών τροφίμων. Εμφανίζονται σε διάφορες μορφές, όπως σφαιρική (κόκκοι), ραβδωτή (βάκιλλοι), και σπειροειδή (σπειροχαίτης), το μέγεθός του κυμαίνεται μεταξύ 0.3 έως 10 μm και μπορούν να αναπτυχθούν σε ένα ευρύ φάσμα περιβαλλοντικών συνθηκών στο ψυκτικό θάλαμο.



Εικόνα 3.1 Μορφολογία βακτηρίων

(Πηγή: Ιατρικό τμήμα Πανεπιστημίου Αθηνών, τμήμα μικροβιολογίας)

Οι ζυμομύκητες και οι μύκητες χρησιμεύουν σε καταστάσεις όπου χρειάζεται περιορισμός της ανάπτυξης των βακτηρίων, όπως για παράδειγμα σε όξινα και ξηρά προϊόντα. Οι ζυμομύκητες επίσης, μπορούν να προκαλέσουν τον σχηματισμό αερίων σε χυμούς και το σχηματισμό βλέννας σε διάφορα άλλα προϊόντα. Ορισμένοι μύκητες παράγουν πολύ ισχυρές τοξίνες σε διάφορα τρόφιμα τα οποία, εάν καταναλωθούν, θα προκαλέσουν δυσάρεστες συνέπειες.

Οι ιοί είναι υποχρεωτικώς ενδοκυττάρια παράσιτα, τα οποία είναι ειδικά για ένα μεμονωμένο ξενιστή. Όλοι οι ιοί, συμπεριλαμβανομένων και αυτών στους ανθρώπους, δεν μπορούν να πολλαπλασιαστούν εκτός ζωντανών κυττάρων ή ιστών. Ο σχεδιασμός ενός ψυκτικού θαλάμου είναι αναγκαίο να περιλαμβάνει εγκατάσταση υγιεινής για τους υπαλλήλους που εργάζονται εντός αυτού ώστε να ελαχιστοποιείται η μετάδοση ιών από αυτούς στα τρόφιμα. Επίσης, ο ψυκτικός θάλαμος πρέπει να περιλαμβάνει κατάλληλες διατάξεις αποχέτευσης και εξαερισμού, ώστε να αποφεύγεται η δημιουργία βακτηριακών ιών (φάγοι), οι οποίοι μπορούν να μπλοκάρουν τις βακτηριακές ζυμώσεις που είναι απαραίτητες για ορισμένα τρόφιμα, όπως προαναφέρθηκε.

3.2.1 Πηγές μικροοργανισμών

Τα μικρόβια, όπως αναφέρθηκε, είναι διαδεδομένα παντού. Τα τρόφιμα όμως φέρουν κατά κανόνα μεγαλύτερο μικροβιακό φορτίο απ' ό,τι οι άλλες μορφές οργανικής και πολύ περισσότερο ανόργανης ύλης. Αυτό συμβαίνει διότι τα τρόφιμα δρουν ως εξαιρετικό μέσο για τον πολλαπλασιασμό των βακτηριδίων. Οι διάφορες πηγές μόλυνσης των τροφίμων είναι οι εξής:

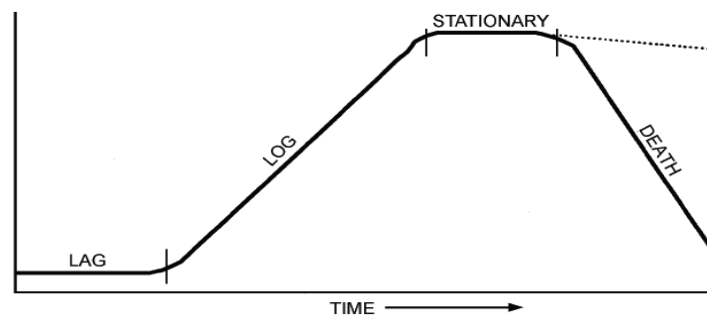
- Ο άνθρωπος
- Το πεπτικό σύστημα αγροτικών ζώων
- Τα έντομα (μύγες, κολεόπτερα)
- Τα τρωκτικά
- Τα σπλάχνα και τα βράγχια θαλασσινών
- Τα αστικά λύματα
- Η κοπριά των ζώων
- Η σκόνη
- Το έδαφος
- Το νερό.

3.2.2 Μικροβιακή ανάπτυξη

Οι αλλαγές στους μικροβιακούς πληθυσμούς ακολουθούν μία γενικευμένη καμπύλη ανάπτυξης της μορφής του σχήματος 3.2.

Μία αρχική φάση υστέρησης εμφανίζεται (LAG) όσο οι οργανισμοί προσαρμόζονται στις νέες περιβαλλοντικές συνθήκες του θαλάμου. Η φάση υστέρησης είναι ιδιαίτερα σημαντική διότι η διάρκεια ζωής ενός προϊόντος εξαρτάται άμεσα από αυτή, καθώς και επειδή όσο μεγαλύτερη είναι, τόσο μεγαλύτερη θα είναι και η διάρκεια ζωής του προϊόντος. Μετά από την προσαρμογή ο πληθυσμός των μικροοργανισμών μπαίνει στο μέγιστο λογαριθμικό ρυθμό ανάπτυξης του (LOG) και ο έλεγχος αυτής της ταχείας ανάπτυξης είναι αδύνατος χωρίς την χρήση κατάλληλων εγκαταστάσεων υγιεινής. Μετά το πέρας της αύξησης έρχεται μία στατική φάση (STATIONARY), στην οποία λαμβάνει χώρα η παραγωγή τοξινών. Κατά τη χρονική στιγμή αυτή, μειώνονται οι θρεπτικές ουσίες του προϊόντος μέχρις ότου να επέλθει η πλήρης αλλοίωσή του και κατά συνέπεια η καταστροφή του (DEATH).

Μολονότι η ψύξη και η κατάψυξη επιμηκύνουν τη διάρκεια ζωής ενός προϊόντος κατά πολύ, δεν δύναται να αποτρέψουν την ολική καταστροφή του, εάν το προϊόν δεν έχει καταναλωθεί έως εκείνη τη χρονική στιγμή.



Διάγραμμα 3.1 Τυπική καμπύλη μικροβιακής ανάπτυξης
(Πηγή: ASHRAE Handbooks-Fundamentals 2010 ch. 22)

3.3 Κρίσιμες απαιτήσεις για την μικροβιακή ανάπτυξη

Οι παράγοντες που επηρεάζουν τη μικροβιακή ανάπτυξη μπορούν να διαχωριστούν σε δύο κατηγορίες:

- i. Τους ενδογενείς παράγοντες, που είναι μία συνάρτηση του ίδιου του τροφίμου.
- ii. Τους εξωγενείς παράγοντες, που εξαρτώνται του περιβάλλοντος συντήρησης του ψυκτικού θαλάμου.

3.3.1 Ενδογενείς παράγοντες μικροβιακής ανάπτυξης

Οι ενδογενείς παράγοντες του τροφίμου, που επηρεάζουν την ανάπτυξη των μικροοργανισμών είναι:

- Τα θρεπτικά συστατικά
- Οι αναστολείς ανάπτυξης των μικροβίων
- Η ανταγωνιστικότητα των μικροοργανισμών
- Η δραστηκότητα του νερού
- Ο αριθμός pH του

Μολονότι, οι πρακτικές της μηχανικής της ψύξης έχουν μικρή επίδραση επί αυτών των παραμέτρων, η κατανόηση του τρόπου που αυτοί οι ενδογενείς παράγοντες επηρεάζουν τη μικροβιακή ανάπτυξη είναι απαραίτητη.

Θρεπτικά συστατικά

Όπως όλοι οι ζωντανοί οργανισμοί έτσι και οι μικροοργανισμοί χρειάζονται τροφή για να αναπτυχθούν. Διοξείδιο του άνθρακα και πηγές ενέργειας για τους μικροοργανισμούς αποτελούν συνήθως, η ζάχαρη και τα άμυλα των τροφίμων. Οι απαιτήσεις για άζωτο πληρούνται μέσω των πρωτεϊνών. Οι βιταμίνες και τα μέταλλα είναι επίσης αναγκαία για την επιβίωσή τους.

Αναστολείς ανάπτυξης μικροβίων

Αναστολείς ανάπτυξης μικροβίων υπάρχουν στα τρόφιμα είτε φυσικοί είτε τεχνητοί με εξωτερική προσθήκη, όπως είναι τα συντηρητικά που χρησιμοποιούνται στα συσκευασμένα τρόφιμα. Τα συντηρητικά δεν διατηρούν τα μικρόβια ανενεργά επ' αόριστον, αλλά καθυστερούν την ανάπτυξή τους, έως ότου αυτά καταφέρουν τελικά να αναπτύξουν αντίσταση και να αναπτυχθούν.

Ανταγωνιστικότητα των μικροβίων

Η παρουσία ενός τύπου μικροοργανισμών επηρεάζει όλους τους τύπους αυτών που βρίσκονται στα τρόφιμα. Ορισμένοι τύποι παράγουν αναστολείς που αποτρέπουν την ανάπτυξη άλλων μικροοργανισμών. Επίσης, ορισμένοι αναπτύσσονται ταχύτερα από άλλους, ενώ κάποιοι άλλοι πάλι, βρίσκονται σε καλύτερο σημείο στο τρόφιμο ώστε να αναπτυχθούν χρησιμοποιώντας τα διαθέσιμα του θρεπτικά συστατικά.

Η ενεργότητα του νερού

Όλες οι μορφές ζωντανών οργανισμών για να αναπτυχθούν, χρειάζονται και το νερό. Η ενεργότητα του νερού a_w , αναφέρεται στη διαθεσιμότητα αυτού στο τρόφιμο, σε μία δεδομένη θερμοκρασία και ορίζεται ως εξής:

$$a_w := \frac{\text{πίεση των ατμών του διαλύματος (τρόφιμο)}}{\text{πίεση των ατμών της διαλυμένης ουσίας (νερό)}} \quad 3.1$$

Το νερό παρουσιάζεται παρακάτω και ως εξωγενής παράγοντας, αναφερόμενο στη σχετική υγρασία. Ακολουθεί ο πίνακας 3.1 με τις ελάχιστες ενεργότητες νερού που απαιτούνται για την ανάπτυξη διαφόρων μικροοργανισμών.

Πίνακας 3.1 Ενεργότητες νερού-Ανάπτυξη Μικροβίων

Ελάχιστη τιμή a_w για την ανάπτυξη διαφόρων μικροοργανισμών	
Μικροοργανισμός	minimum a_w
Acinrtobacter	0.95-0.98
Aeromonas	0.95-0.98
Alcaligenes	0.95-0.98
Arthrobacter	0.95-0.98
Bacillus	0.90-0.99
B. cereus	0.92-0.95
Citrobacter	0.95-0.98
Clostridium botulinum	0.90-0.98
Type A	0.93-0.95
Type B	0.93-0.96
Type E	0.94-0.97
C. perfringens	0.93-0.97
Corynebacterium	0.95-0.98
Enterobacter	0.95-0.98
Escherichia coli	0.94-0.97
Flovobacterium	0.95-0.98
Klebsiela	0.95-0.98
Lactobacillus	0.90-0.96
Leuconostoc	0.96-0.98
Micrococcus	0.90-0.95
M. roseus	0.90-0.93
Pseudomonas aeruginosa	0.96-0.98
P. fluorescens	0.94-0.97
Salmonella	0.93-0.96
Streptococcus	0.92-0.98
Staphylococcus albus	0.88-0.92
S. aureus	0.83-0.92
Vibrio parahaemolyticus	0.94-0.98
Halophilic bacteria	0.75
Ζυμομύκητες (πλείστοι)	0.87-0.94
Osmophilic yeasts	0.60-0.78
Μύκητες (πλείστοι)	0.70-0.80
Xeromyces bisporus	0.60-0.61
Aspergillus	0.68-0.88
A. glaucus	0.70-0.75
A. flavus	0.78-0.90
A. halophilicus	0.68
A. niger	0.80-0.84
Botrytis cinereea	0.93
Debaryomyces	0.87-0.91
Fusarium	0.80-0.92
Hansenula	0.89-0.90
Mucor	0.80-0.93
Penicillium	0.78-0.90
Rhodotorula	0.89-0.92
Saccharomyces cerevisiae	0.90-0.94
S. rouxii	0.62-0.81
Xerophilic molds	0.60-0.70

Πηγή: International Commission on Microbiological Specifications for Foods (ICMSF)

Αριθμός pH

Για τους περισσότερους μικροοργανισμούς η βέλτιστη ανάπτυξη επιτυγχάνεται σε ουδέτερο pH (7.0). Λίγοι μόνο οργανισμοί αναπτύσσονται υπό αλκαλικές συνθήκες (pH βάσεων) ενώ μερικοί άλλοι όπως οι ζυμομύκητες, οι μύκητες και τα βακτήρια του γαλακτικού οξέος αναπτύσσονται σε όξινες τιμές του pH. Στο πίνακα 3.2 παρουσιάζονται οι τιμές του εύρους του pH που ενδείκνυται για την ανάπτυξη των μικροβίων.

Πίνακας 3.2 Τιμές pH -Ανάπτυξη Μικροβίων

Οργανισμός	Διακύμανση της τιμής του pH		
	Ελάχιστη	Βέλτιστη	Μέγιστη
Βακτήρια	4.5	6.5-7.5	9.0
Acetobacter	4.0	5.4-6.3	-
Bacillus subtilis	4.2-4.5	6.8-7.2	9.4-10.
Clostridium botulinum	4.8-5.0	6.0-8.0	8.5-8.8
C. perfringens	5.0-5.5	6.0-7.6	8.5
C. sporogenes	5.0-5.8	6.0-7.6	8.5-9.0
Erwinia carotovora	4.6	7.1	9.3
Escherichia coli	4.3-4.4	6.0-8.0	9.0-10.0
Gluconobacter oxydans	4.0-4.5	5.5-6.0	-
Lactobacillus (most)	3.0-4.4	5.5-6.0	7.2-8.0
L. acidophilus	4.0-4.6	5.5-6.0	7.0
L. plantarum	3.5	5.5-6.5	8.0
Leuconostoc cremoris	5.0	5.5-6.0	6.5
L. oenos	-	4.2-4.8	7.8
Pediococcus cerevisiae	2.9	4.5-6.5	-
Propionibacterium	4.7	6.2-7.0	7.5
Proteus vulgaris	4.4	6.0-7.0	8.4-9.2
Pseudomonas (most)	5.6	6.6-7.0	8.0
P. aeruginosa	5.6	6.6-7.0	8.0-9.0
Salmonella (most)	4.5-5.0	6.0-7.5	8.0-9.6
S. typhi	4.0-4.5	6.5-7.2	8.0-9.0
S. choleraesuis	5.0	7.0-7.6	8.2
Serratia marcescens	4.6	6.0-7.0	8.0
Staphylococcus aureus	4.0-4.7	6.0-7.0	9.5-9.8
Streptococcus lactis	4.1-4.8	6.4	9.2
Vibrio	5.5-6.0	-	9.0
V. cholerae	-	8.6	-
V. parahaemolyticus	4.8-5.0	7.5-8.5	11.0
Ζυμομύκητες	1.5-3.5	4.0-6.5	8.0-8.5
Hansenula	-	4.5-5.5	-
Kluyveromyces	1.5-2.0	-	-
Pichia	1.5	-	-
Saccharomyces cerevisiae	2.0-2.4	4.0-5.0	-
S. rouxii	1.5	3.5-5.5	8.5-10.5
Μούχλα	1.5-3.5	4.5-6.8	8.0-11.
Aspergillus niger	1.2	3.0-6.0	-
A. oryzae	1.6-1.8	-	9.0-9.3
Botrytis cinerea	-2.5	-	7.4
Mucor	-	3.0-6.1	9.2
Penicillium	1.9	4.5-6.7	9.3
Rhizopus nigricus	-	4.5-6.0	-

Πηγή: International Commission on Microbiological Specifications for Foods (ICMSF)

3.3.2 Εξωγενείς παράγοντες μικροβιακής ανάπτυξης

Οι εξωγενείς παράγοντες που επηρεάζουν την ανάπτυξη των μικροβίων αφορούν, το περιβάλλοντα χώρο και τις συνθήκες όπου συντηρούνται τα προϊόντα. Συγκεκριμένα είναι:

- Η θερμοκρασία
- Η σχετική υγρασία
- Τα επίπεδα του οξυγόνου

Σημαντικό ρόλο στον έλεγχο αυτών των παραγόντων διαδραματίζουν η ψύξη και ο εξαερισμός στο ψυκτικό θάλαμο.

Θερμοκρασία

Η θερμοκρασία αποτελεί, πιθανώς, τον σπουδαιότερο περιβαλλοντικό παράγοντα, που επηρεάζει την ανάπτυξη, αλλά και τη δραστηριότητα των διαφόρων τύπων μικροβίων. Γενικά, η μικροβιακή ανάπτυξη, μπορεί να λάβει χώρα σ' όλη την κλίμακα μεταξύ -8 έως +90°C. Συνήθως η ανάπτυξη και ο πολλαπλασιασμός των μικροβίων λαμβάνει χώρα σε θερμοκρασιακό εύρος περίπου 40°C, χαρακτηριστικό για κάθε μικρόβιο. Τα μικρόβια, με βάση το εύρος διακύμανσης της θερμοκρασίας μέσα στο οποίο μπορούν να αναπτυχθούν, χωρίζονται σε τρεις ομάδες: τα θεμόφιλα, τα μεσόφιλα, και τα ψυχρόφιλα, όπως παρουσιάζονται στον πίνακα 3.3. Ενώ στον πίνακα 3.4 παρουσιάζονται οι τιμές του εύρους της θερμοκρασίας όπου ενδείκνυται για την ανάπτυξη του κάθε μικροβίου.

Πίνακας 3.3 Κατηγοριοποίηση μικροβίων βάσει της θερμοκρασίας ανάπτυξή τους

Διακύμανση της θερμοκρασίας αναπτύξεως στις διάφορες κατηγορίες μικροβίων			
Κατηγορία μικροβίων	Θερμοκρασία (°C)		
	Ελάχιστη	Άριστη	Μέγιστη
Θεμόφιλα	35-45	45-65	60-90
Μεσόφιλα	5-10	25-45	35-47
Ψυχρόφιλα	-5 έως 0	12-15	15-20

(Πηγή: ASHRAE Handbooks-Fundamentals 2010 ch. 22)

Πίνακας 3.4 Κατηγοριοποίηση μικροβίων βάσει της θερμοκρασίας ανάπτυξή τους

Μικροοργανισμοί	Θερμοκρασία (°C)		
	Ελάχιστη	Βέλτιστη	Μέγιστη
Bacteria	5	-	42
Acetobacter	0-5	25-30	38-40
Aeromonas	10	-	47-50
Bacillus cereus	5	-	42
Brevibacterium	0-45	-	60
C. botulinum	15-20	30-40	45-51
C. perfringens	0	20-25	30
C. thermosaccharolyticum	43-45	55-62	70-71
Escherichia coli	3-10	37-41	48-50
Lactobacillus	5	30-40	53
Leuconostoc	10	20-30	40
Micrococcus	10	25-30	45
Moraxella	-3	30	41-42
Propionibacterium	2-3	30-37	45
Proteus	10	37	43-45
Pseudomonas	-11	20-30	31-43
P.aeruginosa	8	-	42
P. fluorescens	0-6	20-25	40

Salmonella	5-10	35-37	46-49
Staphylococcus	5-10	35-40	46-48
S. aureus	5-10	35-39	44-48
Streptococcus cremoris	-	25-30	-
S. faecalis	5-10	37	49-51
S. lactis	10-15	25-30	40
S. thermophilus	20	40-45	52
V. parahaemolyticus		35-37	42-44
Xanthomonas	0-5	25-31	40
Yersinia enterocolitica	0-4	-	37
Molds			
Aspergillus fumigatus	-	30-40	-
Botrytis cinerea	-1	20	30
Cladosporium	7	-	-
Penicillium rubrum	-	25-28	-
Rhizopus stolonifer	5	-	25
Yeasts			
Candida	0	-	29-48
C. lipolytica	5	25	35-40
Hansenula	-	37-42	50
Saccharomyces	0-7	20-35	40
Torulopsis	0	17-25	30-35

Πηγή: International Commission on Microbiological Specifications for Foods (ICMSF)

Σχετική υγρασία RH (%)

Το νερό που αναφέρθηκε προηγουμένως ως ένας σημαντικός ενδογενής παράγοντας, αποτελεί επίσης και εξωγενή παράγοντα. Η σχετική υγρασία που υπάρχει στο περιβάλλοντα χώρο δρα ως φορέας μετάδοσης μικροοργανισμών από το ένα σημείο στο άλλο. Η υψηλή σχετική υγρασία αποτελεί ένα ιδιαίτερα σημαντικό πρόβλημα διότι αποτελεί το κύριο αίτιο της εμφάνισης μούχλας σε τοίχους, ταβάνια, καθώς και στην ανάπτυξη μικροοργανισμών στις αποχετεύσεις. Η συμπύκνωση λοιπόν που δημιουργείται στις οροφές έχει ως συνέπεια τη δημιουργία σταγόνων νερού, οι οποίες πέφτοντας πάνω στα τρόφιμα, λόγω της βαρύτητας, μεταφέρουν σε αυτά διάφορους μικροοργανισμούς. Είναι, λοιπόν, εξαιρετικά σημαντικό να ελέγχεται η σχετική υγρασία στο ψυκτικό θάλαμο και να παραμένει σε επιθυμητά επίπεδα.

Οξυγόνο

Τα διάφορα μικρόβια ταξινομούνται συχνά με βάση τις απαιτήσεις τους σε οξυγόνο. Αυστηρά αερόβιοι μικροοργανισμοί, όπως η μούχλα και οι ψευδομονάδες, απαιτούν αρκετό οξυγόνο για την ανάπτυξή τους. Αντιθέτως ορισμένοι αναερόβιοι, όπως το βακτήριο *Clostridium spp.*, δεν μπορούν να αναπτυχθούν υπό την παρουσία οξυγόνου, ενώ κάποιοι άλλοι, αναερόβιοι, αναπτύσσονται και με μία μικρή παρουσία οξυγόνου.

3.4 Σχεδιασμός για τον έλεγχο ανάπτυξης των μικροβίων

Οι μικροοργανισμοί μπορούν να ελέγχονται βάσει ενός εκ των τριών μηχανισμών που έχουν αναπτυχθεί σύμφωνα με την ASHRAE [6]:

- 1) Πρόληψης της ρύπανσης
- 2) Πρόληψης της ανάπτυξης των μικροοργανισμών
- 3) Καταστροφής των μικροοργανισμών

3.4.1 Μηχανισμός πρόληψης της ρύπανσης

Για την πρόληψη της εισόδου των μικροοργανισμών σε περιοχές παραγωγής και συντήρησης τροφίμων, ο εκάστοτε χώρος πρέπει να τροφοδοτείται με καθαρό αέρα, χρησιμοποιώντας κατάλληλα συστήματα εξαερισμού. Επειδή τα βακτήρια γενικά μεταφέρονται μέσω του αέρα σε σωματίδια σκόνης, κρίνεται αναγκαία η χρήση υψηλής απόδοσης φίλτρων σωματιδίων αέρα HEPA τα οποία, παρέχουν, κατά ποσοστό μεγαλύτερο του 95%, αποστειρωμένο αέρα και διατηρούν το χώρο καθαρό.

Το φίλτρο του αέρα που χρησιμοποιείται λειτουργεί προληπτικά μόνο εάν είναι ξηρό. Τα υγρά φίλτρα σε συστήματα εξαερισμού ενισχύουν τη μικροβιακή ανάπτυξη, με αποτέλεσμα να εισέρχονται ανεπιθύμητοι οργανισμοί στο ψυκτικό θάλαμο. Όλα τα τμήματα της εγκατάστασης του εξαερισμού πρέπει να προστατεύονται από το νερό και τα συμπυκνώματα σχηματισμού νερού, για την αποφυγή ανάπτυξη μούχλας. Αυτό απαιτεί αυξημένη ροή αέρα ή κατάλληλο σύστημα αφύγρανσης. Επιπλέον, η εισαγωγή αέρα περιβάλλοντος στην εγκατάσταση πρέπει να ελέγχεται για την καθαριότητά του και απαγορεύεται να βρίσκεται εκτεθειμένη σε περιοχές επιρρεπείς στις μολύνσεις όπως για παράδειγμα το έδαφος.

Ο σχεδιασμός της ροής που ακολουθεί κάθε ρεύμα αέρα, στο εσωτερικό του ψυκτικού θαλάμου, χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή, ούτως ώστε να αποφεύγεται η επαφή ρευμάτων αέρα διαφορετικών χώρων του θαλάμου. Είναι αναγκαίος λοιπόν ο σχεδιασμός διαφορετικών χώρων στον ψυκτικό θάλαμο αποθήκευσης κάθε κατηγορίας προϊόντος. Για τον λόγο αυτόν δεν επιτρέπεται για παράδειγμα τα κρεατικά προϊόντα να είναι σε άμεση επαφή με τα λαχανικά, εφόσον ως γνωστόν, υπάρχει κίνδυνος μόλυνσης των λαχανικών με σαλμονέλα.

3.4.2 Μηχανισμός πρόληψης ανάπτυξης μικροβίων

Ο έλεγχος του νερού είναι το πιο σημαντικό και αποτελεσματικό μέσον αναστολής ανάπτυξης των μικροβίων. Όλα τα συστήματα εξαερισμού, σωληνώσεων, εξοπλισμού και τα δάπεδα επιβάλλεται να σχεδιάζονται έτσι ώστε να στραγγίζονται εντελώς. Απαγορεύεται ρητά να μένουν εντός του ψυκτικού θαλάμου υπολείμματα νερού διότι κάτι τέτοιο συντελεί στην ταχεία ανάπτυξη μικροβίων. Η ρύθμιση της σχετικής υγρασίας πρέπει να γίνεται βάσει της επιθυμητής για κάθε είδος προϊόντος και δεν επιτρέπεται να ξεπερνά τα όρια, διότι αυτό οδηγεί στη δημιουργία ανεπιθύμητων συμπυκνωμάτων νερού.

Επίσης, η κατάψυξη αποτελεί ένα αποτελεσματικό μέσο πρόληψης ανάπτυξης μικροβίων. Βοηθά στη καταστολή της καταστροφής του προϊόντος, διότι οι μικροοργανισμοί έχουν βραδεία ανάπτυξη σε θερμοκρασίες μικρότερες της στερεοποίησης και επομένως, η αρχική φάση της υστέρησης, διαρκεί περισσότερη χρονική διάρκεια σε σχέση με την απλή ψύξη.

3.4.3 Καταστροφή των μικροοργανισμών

Η υψηλή θερμοκρασία είναι το αποτελεσματικότερο μέσο για την αδρανοποίηση των μικροοργανισμών και χρησιμοποιείται για τα παστεριωμένα και κονσερβοποιημένα τρόφιμα. Εκτός από τις υψηλές θερμοότητες οι οποίες απευθύνονται μόνο στις παραπάνω κατηγορίες τροφίμων, υπάρχουν και άλλες μέθοδοι για όλες τις κατηγορίες. Τέτοιες μέθοδοι είναι οι πιέσεις μεγαλύτερες της ατμοσφαιρικής εντός του ψυκτικού θαλάμου, η ακτινοβολία μέσω των λαμπτήρων λευκού φωτός ή υπεριώδους ακτινοβολίας, το υπεροξείδιο του υδρογόνου, το όζον καθώς και διάφορες χημικές ουσίες που χρησιμοποιούνται στις σωληνώσεις των αποχετεύσεων του θαλάμου.

3.5 HACCP-Hazard Analysis and Critical Control Point

Πολλές από τις διαδικασίες ελέγχου των μικροοργανισμών διαχειρίζονται από ένα σύστημα διασφάλισης της ασφάλειας των τροφίμων το οποίο βασίζεται στη ανάλυση των κινδύνων και τον προσδιορισμό των κρίσιμων σημείων ελέγχου (HACCP). Το σύστημα αυτό, αναπτύχθηκε από την Αμερικάνικη εταιρία τροφίμων *Pillsbury*, σε συνεργασία με τη *NASA* με στόχο τότε τη μέγιστη δυνατή διασφάλιση ποιότητας των τροφίμων που καταναλώνονταν στις πρώτες επανδρωμένες διαστημικές πτήσεις.

Το σύστημα αυτό, χρησιμοποιείται για τη διαχείριση των φυσικών, χημικών και βιολογικών κινδύνων που υπεισέρχονται στη διαδικασία της συντήρησης των προϊόντων. Η προσέγγιση του βασίζεται σε επτά αρχές, που αναπτύχθηκαν από την *Αμερικάνικη συμβουλευτική επιτροπή για τα μικροβιολογικά κριτήρια στα τρόφιμα (NACMCF)*. Οι αρχές αυτές είναι:

1. Διεξαγωγή ανάλυσης κινδύνων και περιγραφή προληπτικών μέτρων ελέγχου.
2. Αναγνώριση Κρισίμων Σημείων Ελέγχου (CCP) στη διεργασία.
3. Καθορισμός κρισίμων ορίων για τα προληπτικά μέτρα που συνδέονται με κάθε αναγνωρισμένο CCP.
4. Καθορισμός απαιτήσεων παρακολούθησης και καταγραφής των CCP και καθορισμός διαδικασιών για τη ρύθμιση και διατήρηση εντός ελέγχου της διεργασίας.
5. Καθορισμός διορθωτικών ενεργειών που ακολουθούνται όταν υπάρχει ένδειξη απόκλισης από ένα κρίσιμο όριο.
6. Καθορισμός διαδικασιών αποτελεσματικής καταγραφής που αποδεικνύουν εγγράφως την εφαρμογή του συστήματος HACCP.
7. Καθορισμός διαδικασιών για την επαλήθευση ορθής λειτουργίας του συστήματος HACCP.

3.6 Υγιεινή ψυκτικού θαλάμου

Ο καθαρισμός και η απολύμανση του ψυκτικού θαλάμου αποτελούν βασικά στοιχεία που ενσωματώνονται και στους τρεις μηχανισμούς ελέγχου μικροοργανισμών. Μέσω του καθαρισμού, ελέγχεται η μικροβιακή ανάπτυξη, απομακρύνοντας τα υπολείμματα υλικού τροφής που απαιτείται για την ανάπτυξη και τον πολλαπλασιασμό των μικροβίων. Η απολύμανση σκοτώνει τα περισσότερα από τα βακτήρια που παραμένουν στις επιφάνειες εντός του θαλάμου, αποτρέποντας έτσι την επακόλουθη μόλυνση των προϊόντων.

Τα περισσότερα μικροβιακά ζητήματα που προκύπτουν, οφείλονται στο περιβάλλον του ψυκτικού θαλάμου, λόγω του ακάθαρτου εξοπλισμού του και μερικές ακόμη φορές λόγω του δυσλειτουργικού σχεδιασμού του. Μία ακόμη, λοιπόν, παράμετρος σχεδιασμού ενός ψυκτικού θαλάμου είναι η λειτουργικότητά του στο καθαρισμό και την απολύμανσή του. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω του σωστού φωτισμού και της δυνατής πρόσβασης σε κάθε σημείο του.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΕΙΔΗ ΨΥΚΤΙΚΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ

4.1 Εισαγωγή

Ψυκτικοί θάλαμοι είναι τα κτίρια ή τα τμήματα του κτιρίου όπου επιτυγχάνονται ελεγχόμενες συνθήκες αποθήκευσης μέσω της ψύξης. Χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες:

1. Σε ψυγεία που προστατεύουν και διατηρούν τα εμπορεύματα, σε θερμοκρασίες συνήθως υψηλότερες των 0 °C.
2. Σε χαμηλής θερμοκρασίας θαλάμους, τους καταψύκτες, που λειτουργούν σε θερμοκρασίες υπό των 0 °C για την αποφυγή της αλλοίωσης, τη διατήρηση και την παράταση της διάρκειας ζωής των προϊόντων.

Οι συνθήκες εντός του ψυκτικού θαλάμου πρέπει να διατηρούνται σταθερές ώστε και το τρόφιμο να διατηρείται αναλλοίωτο. Αυτό είναι απαραίτητο τόσο για την εποχιακή όσο και τη μακροχρόνια αποθήκευση. Οι παράγοντες οι οποίοι λαμβάνονται υπόψη ώστε αυτό να επιτυγχάνεται είναι οι εξής:

- Οι ομοιόμορφες θερμοκρασίες σε όλους τους χώρους του ψυκτικού θαλάμου.
- Η διαρκής ροή του αέρα στην επιθυμητή θερμοκρασία και η πρόσκρουση αυτού στα προϊόντα.
- Ο έλεγχος της σχετικής υγρασίας και η διατήρηση αυτής στα επιθυμητά επίπεδα.
- Η επίδραση της ροής και της θερμοκρασίας του αέρα λόγω της ύπαρξης και εργασίας των εργαζομένων εντός του θαλάμου.
- Ο ελεγχόμενος εξαερισμός.
- Η θερμοκρασία προσαγωγής του προϊόντος εντός του θαλάμου.
- Η αναμενόμενη διάρκεια αποθήκευσης των προϊόντων, εάν δηλαδή είναι βραχυπρόθεσμη ή μακροπρόθεσμη.
- Η απαιτούμενη θερμοκρασία εξόδου του προϊόντος από τον θάλαμο.
- Οι εξωτερικές περιβαλλοντικές συνθήκες.

Ο σχεδιασμός ενός ψυκτικού θαλάμου ακολουθεί το εθνικό πρότυπο πιστοποίησης, το οποίο διασφαλίζει τη δημόσια υγεία. Το πρότυπο αυτό ασχολείται με όλα τα στάδια διακίνησης τροφίμων μέσω των ψυκτικών θαλάμων. Συγκεκριμένα, αναφέρεται στη λήψη, το χειρισμό, την αποθήκευση, τη μεταφορά και την ψύξη των τροφίμων απαιτώντας κατάλληλες συνθήκες υγιεινής και επιθυμητές θερμοκρασίες αποθήκευσης.

Αξίζει να σημειωθεί ότι τα τελευταία χρόνια μέσω των συνεχιζόμενων ερευνών η τάση είναι η διατήρηση των τροφίμων σε θερμοκρασίες κατάψυξης και η μακροχρόνια συντήρησή, τους χωρίς όμως να επέρχεται αλλοίωση σε αυτά. Αντιθέτως η ποιότητά τους παραμένει σταθερή στα αρχικά της επίπεδα.

4.2 Αρχικά κτηριακά ζητήματα

4.2.1 Τοποθέτηση εγκαταστάσεων ψυκτικών θαλάμων

Οι παράγοντες οι οποίοι πρέπει να ληφθούν υπ όψιν για το που είναι αποδεκτή η τοποθέτηση ψυκτικών θαλάμων και γενικά όλης της βιομηχανικής εγκατάστασης είναι οι εξής:

- Εύρεση κατάλληλης τοποθεσίας για τους παραγωγούς, τους μεταφορείς και τους διανομείς έχοντας ως κύριο γνώμονα την τάση της εποχής για αποκέντρωση και την αποφυγή ήδη βεβαρυσμένων βιομηχανικά περιοχών.
- Ύπαρξη κατάλληλου σιδηροδρομικού δικτύου εάν και εφόσον οι διαδικασίες μεταφορών πραγματοποιούνται με τρένα.
- Εύκολη πρόσβαση στον χώρο των φορτηγών ψυγείων μέσω του οδικού δικτύου καθώς και αποφυγή περιοχών όπου παρατηρείται συχνή κυκλοφοριακή συμφόρηση.
- Επαρκής περιβάλλον χώρος γύρω των εγκαταστάσεων για την απρόσκοπτη κίνηση των φορτηγών καθώς επίσης και για ενδεχόμενη επέκτασή τους.
- Οικονομικά αποδεκτό κόστος γης στην περιοχή τοποθέτησης των εγκαταστάσεων.
- Επαρκές ηλεκτρικό καθώς και υδρευτικό δίκτυο.
- Πρόβλεψη χώρου διαχείρισης των αποβλήτων καθώς επίσης και χώρου για την τοποθέτηση δεξαμενών νερού.
- Έλεγχος ηχορρύπανσης που δημιουργεί ο εξοπλισμός και τα φορτηγά.
- Εξωτερική όψη κτιρίου εμφανισιακά αποδεκτή από την κοινωνία του τόπου και παράλληλα λειτουργικά αποδεκτή για την βιομηχανία.
- Ο σημαντικότερος παράγοντας ο οποίος είναι συνάρτηση όλων των παραπάνω, είναι η οικονομοτεχνική μελέτη να είναι συμφέρουσα.

4.2.2 Διαμόρφωση και μέγεθος της εγκατάστασης

Η διαμόρφωση και το μέγεθος της εγκατάστασης καθορίζονται από τους ακόλουθους παράγοντες:

- Τον τρόπο παραλαβής και αποστολής των προϊόντων. Αν δηλαδή θα γίνεται μέσω σιδηροδρομικού δικτύου ή φορτηγών ψυγείων. Αυτό επηρεάζει σημαντικά τις εξωτερικές πλατφόρμες καθώς και την εσωτερική εναέρια διακίνηση τους.
- Το είδος των προϊόντων που θα αποθηκεύονται, τη διάρκεια αποθήκευσής τους καθώς και τις απαιτήσεις τους για τη διασφάλιση της ποιότητάς τους. Όσα περισσότερα διαφορετικά είδη είναι τόσα περισσότερα διαφορετικά δωμάτια χρειάζονται και όσο περισσότερο διαρκεί η αποθήκευσή τους τόσο πιο πυκνά στοιβάζονται εντός του θαλάμου.
- Την συσκευασία των τροφίμων ή εάν αυτά αποθηκεύονται χύμα εντός του θαλάμου επηρεάζει επίσης τη διαμόρφωση των ραφιών και των διαδρόμων αυτού.
- Τις εγκαταστάσεις πέραν του θαλάμου, όπως για παράδειγμα τα γραφεία των εργαζομένων, τους χώρους υγιεινής τους, τους εξαερισμούς και τις σωληνώσεις των αποχετεύσεων.

4.2.3 Σχεδιασμός κτιρίου

Οι περισσότερες εγκαταστάσεις ψύξης και αποτελεσματικότερες σύμφωνα με την ASHRAE [7] είναι ενός επιπέδου κατασκευές (single-story). Οι εγκαταστάσεις αυτές έχουν μακρά ράφια ή εναέρια στηρίγματα σε παράλληλη διάταξη και ανάμεσά τους υπάρχουν διάδρομοι κενοί για τις διάφορες διαδικασίες φόρτωσης και εκφόρτωσης των προϊόντων όπως επίσης και για τον έλεγχο της ποιότητά τους.



Εικόνα 4.1 Διάταξη προϊόντων στο εσωτερικό των θαλάμων
(Πηγή: <http://www.alfacoolhellas.gr>)

Η διάταξη αυτή επιτρέπει την αποθήκευση των τροφίμων σε παλέτες ή χύμα σε όσο δυνατόν λιγότερο χώρο. Αυτός ο τύπος κτιρίου επιτρέπει επίσης την ταυτόχρονη φόρτωση και εκφόρτωση πολλών φορτηγών μέσω των πολλαπλών θυρών που υπάρχουν. Ακόμη ένα πλεονέκτημα αποτελεί η απλότητα της κατασκευής ενός μόνο επιπέδου που οδηγεί και στη μείωση του ολικού κόστους της κατασκευής. Στην εικόνα 4.2 που ακολουθεί παρουσιάζεται μία τέτοια εγκατάσταση πολλαπλών θυρών από την εξωτερική της πλευρά.



Εικόνα 4.2 Πολλαπλή φόρτωση και εκφόρτωση θαλάμων
(Πηγή: <http://www.alfacoolhellas.gr>)

Μορφή κτιρίου

Το σύγχρονο κτίριο έχει μεταλλικό σκελετό, συχνά με εξωτερική επικάλυψη προστασίας από λεπτά panels πολουρεθάνης. Μέσα στο κτίριο τοποθετούνται οι ψυκτικοί θάλαμοι. Το μέγιστο επιτρεπόμενο εξωτερικό ύψος του κτιρίου είναι 11 μέτρα. Αν ληφθεί υπόψη ότι ο χώρος των φορτώσεων είναι υπερυψωμένος κατά 1,20 μέτρα

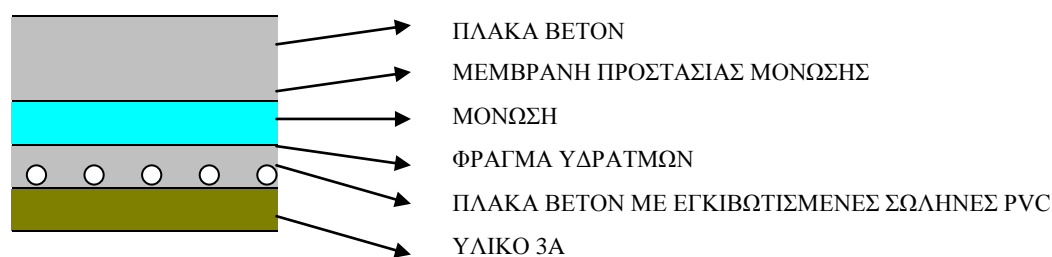
περίπου, το καθαρό ύψος αποθήκευσης μετά την αφαίρεση όλων των δομικών στοιχείων και της κλίσης της στέγης είναι $8 \div 8,5$ μέτρα. Τα βασικά στοιχεία ενός κτιρίου – ψυγείου είναι το δάπεδο, ο μεταλλικός σκελετός, οι πλαγιοκαλύψεις και επικαλύψεις, οι πόρτες των ψυγείων και του χώρου φορτώσεων και οι βοηθητικοί χώροι.

Κατασκευή δαπέδου

Το δάπεδο είναι ίσως η δυσκολότερη και σπουδαιότερη κατασκευή σε ένα ψυκτικό θάλαμο. Οι τεχνικές προδιαγραφές του δαπέδου πρέπει να ικανοποιούν τις εξής απαιτήσεις:

- ✓ Να έχει την απαιτούμενη αντοχή. Η αποθήκευση σε μεγάλη ύψη «κατεβάζει» στο δάπεδο φορτία άνω των 4 τόνων ανά τετραγωνικό μέτρο.
- ✓ Να είναι λείο και χωρίς ρωγμές. Τα μηχανήματα υψώνουν παλέτες στα 8 μέτρα. Η ελάχιστη ανωμαλία στο δάπεδο μεταφράζεται σε ευρεία ταλάντωση στο υπερυψωμένο φορτίο και άρα κίνδυνο κρούσεων ή πτώσεων.
- ✓ Να καθαρίζεται εύκολα, ώστε να ικανοποιεί τις απαιτήσεις υγιεινής.

Σε χώρους αποθήκευσης κάτω του 0 °C, πρέπει να υπάρχει προστασία για ενδεχόμενη ανύψωση του δαπέδου λόγω παγετού. Αν η θερμοκρασία στο υπέδαφος πέσει κάτω του μηδενός, η υγρασία που εμπεριέχεται στο έδαφος θα γίνει πάγος. Όπως είναι γνωστό, ο πάγος διαστέλλεται. Οι δυνάμεις διαστολής μπορεί να «σηκώσουν» το δάπεδο, οδηγώντας το σε αστοχία. Η ζημιά αυτή είναι πολύ σοβαρή για το κτίριο και τη λειτουργία του. Η προστασία έναντι παγετού επιτυγχάνεται με τρεις τρόπους : α) εγκιβωτισμό στο δάπεδο σωλήνων αερισμού, όπου ο αέρας κυκλοφορεί συνεχώς και δεν αφήνει τη θερμοκρασία να κατέβει (εννοείται ότι ο αέρας έχει θετική θερμοκρασία), β) εγκιβωτισμό ηλεκτρικών αντιστάσεων, οι οποίες λειτουργούν όταν δοθεί εντολή από αισθητήριο ότι η θερμοκρασία κάτω από τη πλάκα έπεσε κάτω του 0 και γ) κύκλωμα γλυκόλης, η οποία κυκλοφορεί με τη βοήθεια κυκλοφορητή και ζεσταίνεται μέσω εναλλάκτη από τις ζεστές καταθλίψεις των συμπιεστών ψύξης.



Εικόνα 4.3 Υλικά κατασκευής δαπέδου

(Πηγή: <http://www.cold.org.gr>, Ένωση Ελληνικών Βιομηχανιών Ψύχους)

Μεταλλικός σκελετός

Αποτελείται από κατακόρυφα στοιχεία τις κολώνες και τα ψαλίδια. Πρέπει να ληφθεί μέριμνα ώστε οι κολώνες να μην εμποδίζουν το σύστημα των ραφιών (κολώνες στη μέση των διαδρόμων κλπ). Επίσης, είναι απαραίτητο να ληφθούν υπόψη και οι φορτίσεις που θα προκύψουν από την ανάρτηση των αεροψυκτήρων, καθώς και της πασαρέλας επιθεώρησης του δικτύου. Οι κολώνες μέσα στους ψυχόμενους χώρους πρέπει να ντυθούν με panels ώστε να μην επηρεάζουν θερμικά το χώρο.

Επικαλύψεις – πλαγιοκαλύψεις

Γίνονται με panels ικανού πάχους ώστε να ικανοποιούνται οι απαιτήσεις της ψυκτικής μελέτης. Σε έναν θάλαμο τα εξωτερικά panels και η οροφή έχουν πάχος της τάξης των 20 εκατοστών, ενώ τα εσωτερικά χωρίσματα $12 \div 15$. Ιδιαίτερη προσοχή χρειάζεται στις στεγανές συναρμογές, ώστε να αποκλείεται η διείσδυση υγρασίας, η οποία θα οδηγήσει σε πάγο και μελλοντική αστοχία. Επίσης, πρέπει να προβλεφθούν ανακουφιστικές βαλβίδες στους διαχωριστικούς μεταξύ θαλάμων τοίχους, ώστε να αποφεύγονται οι παραμορφώσεις από τις θερμοκρασιακές μεταβολές.

Πόρτες ψυκτικών θαλάμων

Ιδιαίτερη προσοχή χρειάζεται στη προστασία από σχηματισμό πάγου στο περίγραμμα της πόρτας. Για το σκοπό αυτό, η πόρτα πρέπει να κλείνει απολύτως στεγανά με ειδικά λάστιχα, ενώ η περιμετρική κάσα θερμαίνεται με αντίσταση ώστε να μη σχηματίζεται πάγος. Βασικό επίσης είναι οι πόρτες να προστατεύονται από κρούσεις ανυψωτικών με χρήση σωληνωτών προφυλακτών.

Βοηθητικοί χώροι

Ο σχεδιασμός επίσης των βοηθητικών χώρων είναι πολύ σημαντικός. Οι βοηθητικοί χώροι αποτελούνται από τα γραφεία των υπαλλήλων, τις αποθήκες και το μηχανοστάσιο.

Η τοποθέτηση των γραφείων προτιμάται να είναι όσο τον δυνατόν πλησιέστερη στους θαλάμους, ώστε μέσα από αυτά οι υπάλληλοι να παρακολουθούν τις διάφορες διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα στο θάλαμο και ακόμη από εκεί να χειρίζονται τους διάφορους γερανούς και γενικότερα τον εξοπλισμό που βρίσκονται εντός. Το μηχανοστάσιο περιλαμβάνει εντός τον μηχανολογικό και ηλεκτρολογικό εξοπλισμό καθώς και εγκαταστάσεις εξαερισμού και πυροπροστασίας. Πρέπει να διαθέτει αρκετό ελεύθερο χώρο για την άνετη συντήρηση του εξοπλισμού καθώς και για μελλοντική επέκταση αυτού.

4.3 Συστήματα ψύξης

4.3.1 Τύποι ψυκτικών συστημάτων

Τα συστήματα ψύξης μπορούν γενικά να ταξινομηθούν σε μοναδιαία (unitary) και εφαρμοσμένα (applied).

Τα μοναδιαία συστήματα έχουν σχεδιαστεί από τους κατασκευαστές, συναρμολογούνται στα εργοστάσια και εγκαθίστανται ως προπαρασκευασμένα στις διάφορες εγκαταστάσεις. Ο συμπυκνωτής και ο εξοπλισμός συμπίεσης μπορεί να βρίσκονται στο ίδιο περίβλημα με όλο το σύστημα. Οι μονάδες αυτές συνήθως χρησιμοποιούν υδροχλωροθροάνθρακες (HCFC) και υδροφθοράνθρακες (HFC) ως ψυκτικά μέσα.

Τα εφαρμοσμένα συστήματα ψύξης αποτελούν τη συντριπτική πλειοψηφία των μεγάλων θαλάμων κατάψυξης. Οι εγκαταστάσεις αυτές έχουν ένα κεντρικό μηχανοστάσιο ή μία σειρά δωματίων όπου τοποθετούνται όλα τα εξαρτήματα της εγκατάστασης με κύριο στόχο σχεδιάσής τους την ελάχιστη πτώση πίεσης στις σωληνώσεις, τη μείωση του κόστους αυτών και τις ελάχιστες θερμικές απώλειες. Τα συστήματα αυτά σχεδιάζονται και εγκαθίστανται κατόπιν παραγγελίας και ειδικής μελέτης για το συγκεκριμένο χώρο. Τα βασικά τους στοιχεία είναι οι συμπιεστές, οι ηλεκτροκινητήρες, οι μονάδες κυκλοφορίας του ψυκτικού αέρα (fan coils), οι

κυκλοφορητές, οι συμπυκνωτές, οι ατμοποιητές, τα δοχεία πίεσης και το σύστημα αυτομάτου ελέγχου.

Το σύστημα ψύξης μιας εγκατάστασης επιλέγεται στα πρώτα στάδια σχεδιασμού της. Εάν η εγκατάσταση σχεδιάζεται για την αποθήκευση ενός είδους προϊόντων οι περισσότεροι τύποι ψυκτικών συστημάτων είναι αποδεκτοί. Ωστόσο, εάν στην μονάδα αποθηκεύονται διάφορα είδη όπου κατά συνέπεια οι απαιτήσεις σε θερμοκρασία και σχετική υγρασία είναι διαφορετικές, τότε πρέπει το σύστημα που θα επιλεγεί να είναι ικανό να ικανοποιεί τις ταυτόχρονες διαφορετικές απαιτήσεις πολλαπλών χώρων.

Τα unitary συστήματα προτιμώνται στις περιπτώσεις ψύξεως πολλαπλών μικρών χώρων όπου οι συνθήκες αποθήκευσης διαφοροποιούνται. Αντιθέτως, τα εφαρμοσμένα συστήματα με κεντρικό μηχανοστάσιο επιλέγονται στις εγκαταστάσεις ψύξης ενός είδους προϊόντων, όπου και ο ψυκτικός θάλαμος είναι μεγάλων διαστάσεων και η εξοικονόμηση ενέργειας αποτελεί μείζον θέμα.



Εικόνα 4.4 Ψύξη πολλαπλών χώρων
(Πηγή: <http://www.alfacoolhellas.gr>)



Εικόνα 4.5 Ψύξη ενός χώρου μεγάλων διαστάσεων
(Πηγή: <http://www.frigohellas.gr>)

4.3.2 Επιλογή ψυκτικού μέσου

Η επιλογή του ψυκτικού μέσου αποτελεί σημαντικό παράγοντα κατά το σχεδιασμό μίας εγκατάστασης. Η αμμωνία R-717 ή NH₃ χρησιμοποιείται ευρέως πλέον και ιδιαιτέρως στη βιομηχανία ψύξης των τροφίμων και ποτών. Αρκετά επίσης χρησιμοποιείται και το R-22. Εγκαταστάσεις που απαιτούν αρκετά χαμηλές θερμοκρασίες χρησιμοποιούν το R-507A ή R-404A που είναι αντικαταστάτες των R-502 και R-22 αντίστοιχα. Οι παράμετροι που πρέπει να εξεταστούν κατά την εκλογή του ψυκτικού μέσου είναι:

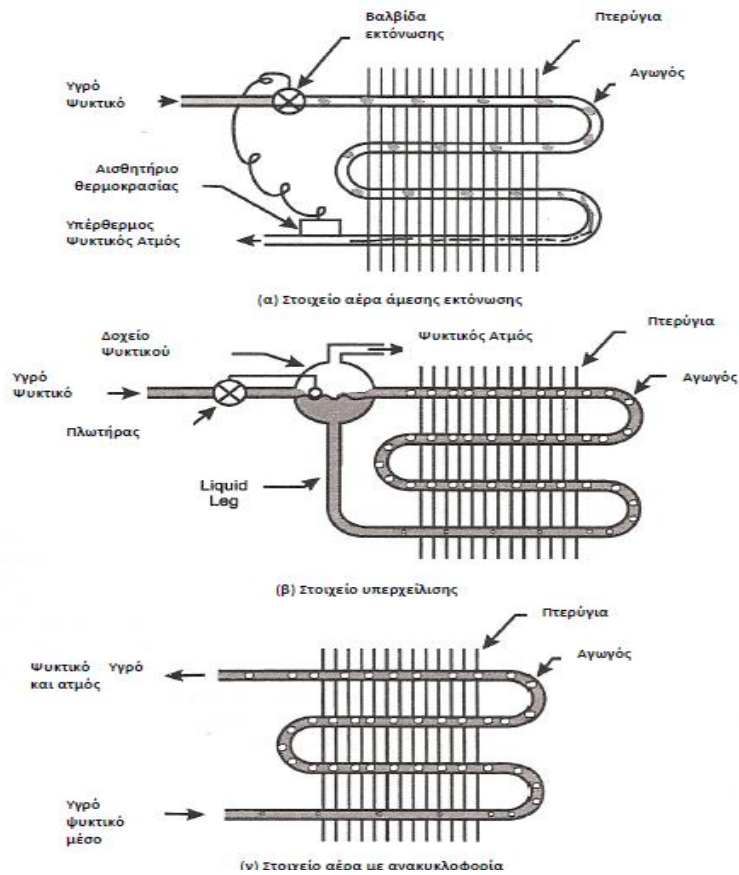
- Το κόστος του.
- Τα θέματα του κώδικα ασφαλείας (π.χ οι απαιτήσεις ασφαλείας σε χώρους και εγκαταστάσεις).
- Η απαίτηση σε ψυκτικό φορτίο (π.χ φορτίο που απαιτεί χρήση μεγαλύτερη των 4536 kg αμμωνίας επιτάσσει ειδικά συστήματα ασφαλείας και ανάπτυξη σχεδίου διαχείρισης κινδύνων).
- Οι επιδράσεις στην υπερθέρμανση του πλανήτη και καταστροφή του όζοντος. Αξίζει να σημειωθεί ότι η αμμωνία δεν καταστρέφει το όζον.

4.3.3 Επιλογή μονάδας ψύξης

Οι μονάδες που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία ψύξης των τροφίμων είναι ανεμιστήρα-εναλλάκτη (fan-coil units). Οι μονάδες αυτές έχουν αερόψυκτους ατμοποιητές όπου ψύχουν τον αέρα που εισέρχεται εντός του θαλάμου. Εφαρμογές που αφορούν ψύξη αέρα τυπικά χρησιμοποιούν ατμοποιητές που περιέχουν το ψυκτικό μέσο μέσα σε σωλήνες ενώ ένας ανεμιστήρας παρέχει ή αναρροφά τον αέρα από τον ατμοποιητή. Καθώς απαιτούνται σημαντικά μήκη σωλήνων για να επιτευχθεί η ψύξη του αέρα, οι σωλήνες μπορεί να «διασχίζουν» τον ατμοποιητή αρκετές φορές. Για αυτό το λόγο, οι ατμοποιητές που χρησιμοποιούνται για την ψύξη του αέρα ονομάζονται στοιχεία. Τα στοιχεία αέρα κατασκευάζονται σε τρεις βασικές τυπολογίες ανάλογα με την μέθοδο προσαγωγής του ψυκτικού μέσου. Στην εικόνα 4.6 παρουσιάζονται σχηματικά διαγράμματα των τριών βασικών τύπων: (α) Άμεσης εκτόνωσης (β) Υπερχείλισης και (γ) Επανακυκλοφορίας.

Η θερμοκρασία αποθήκευσης του προϊόντος, το είδος του καθώς και αν αυτό είναι συσκευασμένο είναι παράγοντες οι οποίοι πρέπει να ληφθούν υπ όψιν κατά την επιλογή της μονάδας. Η επιφάνεια εναλλαγής θερμότητας, η διαφορά θερμοκρασίας αέρα ανακυκλοφορίας και ψυκτικού μέσου και η ογκομετρική παροχή αέρα εξαρτώνται από την εφαρμογή για την οποία εγκαθίστανται.

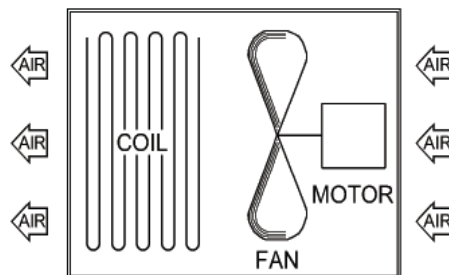
Για την πρόληψη σχηματισμού πάγου στον εναλλάκτη θερμότητας, χρησιμοποιούνται συστήματα ψεκασμού άλμης. Η άλμη αυτή είναι διάλυμα γλυκόλης και νερού που αποτρέπει τη δημιουργία πάγου. Ψεκάζεται στον εναλλάκτη από την πλευρά όπου δεν έρχεται σε επαφή με τον αέρα που εισέρχεται στο θάλαμο και γενικά όλο αυτό το σύστημα ψεκασμού βρίσκεται εκτός του χώρου ελεγχόμενης θερμοκρασίας. Οι κατασκευαστές ισχυρίζονται ότι η μέθοδος αυτή του ψεκασμού συμβάλλει αρκετά στη μείωση ανάπτυξης μικροβίων και στην ασφαλή συντήρηση των προϊόντων. Αυτά τα τμήματα της ψύξης πρέπει να συντηρούνται συχνά και να ελέγχεται η λειτουργία τους διαφορετικά οι συνέπειες θα είναι δυσάρεστες.



Εικόνα 4.6 Τύποι ατμοποιητών

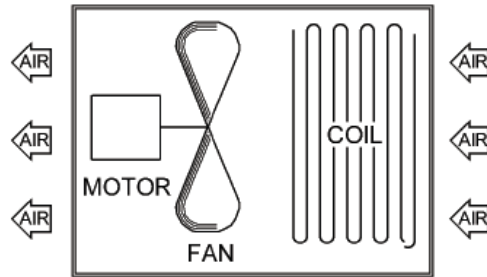
(Πηγή: Κορωνάκη Ειρήνη, σημειώσεις μαθήματος Ψύξη II, ΕΜΠ)

Οι μονάδες fan-coil που χρησιμοποιούνται στις εγκαταστάσεις είναι κατά κύριο λόγο αξονικής ροής όπου η ροή αυτή επιτυγχάνεται με τη χρήση ανεμιστήρα. Στη περίπτωση αυτή ο ανεμιστήρας είτε αναρροφά τον αέρα από τον εναλλάκτη (draw-through), είτε τον παρέχει (blow-through). Υπάρχουν όμως και περιπτώσεις όπου η τοποθέτηση φυγόκεντρης ροής είναι επιθυμητή. Ακολουθούν ενδεικτικά μονογραμμικά διαγράμματα των παραπάνω μονάδων.

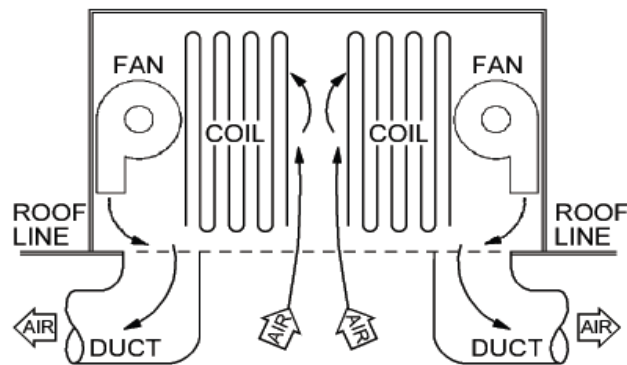


Εικόνα 4.7 Αξονικής ροής τύπου blow-through

(Πηγή: ASHRAE Handbooks-Fundamentals 2010 ch. 23)



Εικόνα 4.8 Αξονικής ροής τύπου draw-through
(Πηγή: ASHRAE Handbooks-Fundamentals 2010 ch. 23)



Εικόνα 4.9 Φυγόκεντρης ροής
(Πηγή: ASHRAE Handbooks-Fundamentals 2010 ch. 23)

Στις ψυκτικές εγκαταστάσεις τροφίμων συνήθως χρησιμοποιείται τύπος blow-through όπου ο ανεμιστήρας παρέχει τον αέρα στον εναλλάκτη και αυτός ψύχεται και διοχετεύεται στο εσωτερικό του θαλάμου. Η χρήση των μονάδων αυτών ενδείκνυται στην ψύξη φρούτων όπου η θερμοκρασία του αέρα ψύξη και του ψυκτικού μέσου είναι παραπλήσιες. Στην περίπτωση που οι θερμοκρασίες παρουσιάζουν μεγάλες διακυμάνσεις και είναι επιθυμητές αρκετά χαμηλές θερμοκρασίες χρησιμοποιούνται μονάδες φυγόκεντρης ροής ή αξονικής ροής τύπου draw-through όπου ο αέρας εισέρχεται αρχικά στον εναλλάκτη και ο ανεμιστήρας τον αναρροφά και τον διοχετεύει στο θάλαμο. Οι μονάδες fan-coil τοποθετούνται στο εσωτερικό του θαλάμου στην οροφή είτε στο κέντρο της ή ακόμη και πάνω από τις πόρτες. Στην περίπτωση που ο θάλαμος είναι αρκετά μικρός μπορεί να τοποθετηθεί εξωτερικά του.

Επισημαίνεται ότι ο ανεμιστήρας λαμβάνει κίνηση από έναν μικρό ηλεκτροκινητήρα ο οποίος παράγει θερμότητα που απορρίπτεται στο θάλαμο, επομένως αυτή η θερμότητα πρέπει να ληφθεί υπ όψιν στον υπολογισμό του ολικού ψυκτικού φορτίου.



Εικόνα 4.10 Τοποθέτηση fan-coil φυγόκεντρης ροής στο κέντρο της οροφής του θαλάμου (Πηγή: <http://www.alfacoolhellas.gr>)



Εικόνα 4.11 Τοποθέτηση fan-coil αξονικής ροής πάνω από τη θύρα του θαλάμου (Πηγή: <http://www.alfacoolhellas.gr>)



Εικόνα 4.12 Εξωτερική τοποθέτηση fan-coil σε περίπτωση μικρού θαλάμου (Πηγή: <http://www.frigohellas.gr>)

4.3.4 Απόψυξη μονάδων fan-coil

Όλα τα συστήματα fan-coil λειτουργούν κανονικά υπό συνθήκες δωματίου έως τη θερμοκρασία του σημείου δρόσου του αέρα. Σε περίπτωση λειτουργίας όμως σε θερμοκρασίες μικρότερες των 3.3 °C, χρειάζονται απόψυξη. Κοινές μέθοδοι απόψυξης των ατμοποιητών σε θερμοκρασίες άνω των 2.2 °C είναι:

- Με αέρα περιβάλλοντος
- Με θερμό αέρα
- Ηλεκτρική απόψυξη
- Με χρήση νερού

ενώ σε περιπτώσεις θερμοκρασιών μικρότερες των 2.2 °C χρησιμοποιείται ηλεκτρική ή με χρήση ζεστού αέρα απόψυξη. Από την άλλη πλευρά, μία σύγχρονη μονάδα fan-coil ακόμη και σε χαμηλότερες θερμοκρασίες, αποψύχεται αποτελεσματικά και με τις τέσσερις παραπάνω μεθόδους. Οι μονάδες που είναι τοποθετημένες πάνω από τις εισόδους των θαλάμων έρχονται σε επαφή με θερμότερο αέρα συχνότερα και επομένως είναι πιο επιρρεπείς στο σχηματισμό κρούστας πάγου.

Κατά τη διάρκεια της απόψυξης ο πάγος λιώνει και γίνεται νερό. Το συμπύκνωμα αυτό συλλέγεται σε μία λεκάνη συλλογής και μέσω των αποχετεύσεων οδηγείται εκτός του θαλάμου. Εξαιτίας των χαμηλών θερμοκρασιών εντός του θαλάμου υπάρχει ο κίνδυνος της εκ νέου κρυσταλλοποίησης του συμπυκνώματος. Για το λόγο αυτό οι σωληνώσεις των αποχετεύσεων πρέπει να είναι καλά μονωμένες ή να θερμαίνονται με κάποιο τρόπο.

4.3.5 Συμπιεστές

Ο συμπιεστής είναι το πιο σημαντικό εξάρτημα σε κάθε ψυκτική εγκατάσταση, και εργάζεται με βάση τον ψυκτικό κύκλο με συμπίεση ατμών του ψυκτικού μέσου. Ο συμπιεστής αναρροφά το ψυκτικό μέσο από τον ατμοποιητή και το συμπιέζει (καταθλίβει) προς το συμπυκνωτή. Με αυτόν τον τρόπο δημιουργείται μία συνεχής διαφορά πίεσης μεταξύ της πλευράς αναρρόφησης και πλευράς κατάθλιψης.

Κάθε ψυκτική εγκατάσταση, ανάλογα με την εφαρμογή της, παρουσιάζει και ιδιαίτερα χαρακτηριστικά λειτουργίας. Σε περιπτώσεις ψυκτικών εγκαταστάσεων συντήρησης προϊόντων (θερμοκρασία θαλάμου -2°C), η διαφορά πίεσης μεταξύ της αναρρόφησης και της κατάθλιψης είναι πολύ μικρότερη από τη διαφορά πίεσης σε μία εγκατάσταση βαθειάς κατάψυξης (θερμοκρασία θαλάμου -35°C). Επίσης, ανάλογα με την εφαρμογή ψύξης, ο όγκος (ποσότητα) του ψυκτικού μέσου που κυκλοφορεί στην εγκατάσταση, μπορεί να είναι μεγάλος ή μικρός. Για τους παραπάνω λόγους, έχουν κατασκευασθεί συμπιεστές διαφόρων τύπων, χαρακτηριστικών λειτουργίας και μεγεθών.

Οι συμπιεστές που προορίζονται για εγκαταστάσεις ψύξης τροφίμων, μπορούν να καταταγούν σε διάφορους τύπους ανάλογα με τον τρόπο που παίρνουν κίνηση και τη δυνατότητα επέμβασης στο εσωτερικό τους. Έτσι οι συμπιεστές διακρίνονται σε:

- Ανοιχτού τύπου (open)
- Ημίκλειστους ή ημιερμητικούς (semihhermetic)
- Κλειστού τύπου ή ερμητικούς (hermetic)

Για την ψύξη προϊόντων σε θερμοκρασίες χαμηλότερες των -32 °C, χρησιμοποιείται συμπίεση σε δύο στάδια. Ενδείκνυται επίσης η συμπίεση σε δύο στάδια όταν τα ψυκτικά φορτία είναι μεταβλητά κατά την πάροδο του χρόνου. Επομένως, το επίπεδο χαμηλής συμπίεσης ικανοποιεί τα χαμηλά ψυκτικά φορτία και το υψηλής συμπίεσης τα υψηλά αντίστοιχα. Επιπρόσθετα, η χρήση πολλαπλών συμπιεστών και η ρύθμιση λειτουργίας αυτών βάσει των θερμοκρασιών αναρρόφησης βοηθά στην ομαλότερη λειτουργία της

εγκατάστασης. Για παράδειγμα, τους χειμερινούς μήνες όπου οι θερμοκρασίες περιβάλλοντος είναι χαμηλές δεν θα λειτουργούν όλοι οι συμπιεστές διότι το ολικό ψυκτικό φορτίο είναι μικρότερο από ό,τι τους καλοκαιρινούς, οπότε η ταυτόχρονη λειτουργία όλων των συμπιεστών δεν είναι απαραίτητη.

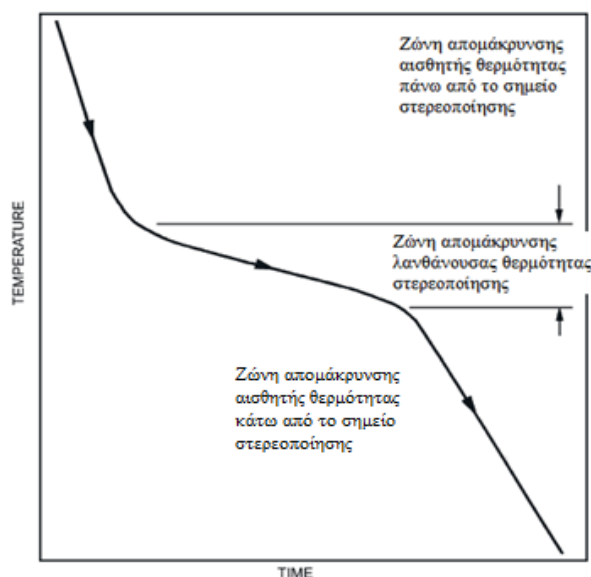
4.4 Θάλαμοι κατάψυξης

4.4.1 Εισαγωγή

Κατάψυξη είναι μία μέθοδος συντήρησης των τροφίμων και των ποτών σε αρκετά χαμηλές θερμοκρασίες, που επιβραδύνει τις φυσικές αλλαγές, τη χημική και τη μικροβιολογική δραστηριότητα που προκαλούν φθορά σε αυτά. Η μείωση της θερμοκρασίας επιβραδύνει τη μοριακή και τη μικροβιακή δραστηριότητα στα προϊόντα, με αποτέλεσμα την επέκταση της ωφέλιμης διάρκειας ζωής τους. Αν και για κάθε προϊόν υπάρχει επιθυμητή θερμοκρασία αποθήκευσης τα περισσότερα από αυτά παρουσιάζουν απολύτως επιθυμητές συμπεριφορές σε ένα εύρος θερμοκρασιών από -18 έως και -35 °C.

Μέσω της κατάψυξης η θερμοκρασία ενός προϊόντος μειώνεται από την αρχική του, στην επιθυμητή και το περισσότερο από το νερό το οποίο εμπεριέχεται κρυσταλλοποιείται. Στο διάγραμμα 4.1 παρουσιάζονται οι τρεις φάσεις της κατάψυξης οι οποίες είναι:

- 1^η φάση: Ψύξη προϊόντος, μέσω της οποίας απομακρύνεται η αισθητή θερμότητα μειώνοντας την αρχική θερμοκρασία έως τη θερμοκρασία στερεοποίησης.
- 2^η φάση: Απομάκρυνση της λανθάνουσας θερμότητας στερεοποίησης και μετατροπή του περιεχόμενου νερού σε κρυστάλλους πάγου.
- 3^η φάση: Συνέχιση κατάψυξης του προϊόντος κάτω από το σημείο στερεοποίησης, απομακρύνοντας την αισθητή θερμότητα, μέχρι την επιθυμητή θερμοκρασία.



Διάγραμμα 4.1 Τυπική καμπύλη διάρκειας κατάψυξης προϊόντων
(Πηγή: ASHRAE Handbooks-Fundamentals 2010 ch. 29)

Από το παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται ότι το πιο χρονοβόρο και παράλληλα κρίσιμο μέρος της διαδικασίας κατάψυξης είναι η απομάκρυνση της λανθάνουσας θερμότητας στερεοποίησης. Πολλά από τα τρόφιμα παρουσιάζουν ευαισθησία στο σημείο αυτό, η οποία μπορεί να επηρεάσει την ποιότητά τους σε μεγάλο βαθμό. Για το λόγο αυτό επιλέγεται με προσοχή η μέθοδος και το σύστημα κατάψυξης που θα εφαρμοστεί για κάθε κατηγορία τροφίμων.

4.4.2 Μέθοδοι κατάψυξης

Τα συστήματα κατάψυξης κατηγοριοποιούνται βάσει της μεθόδου μεταφοράς θερμότητας που εφαρμόζουν για την απαγωγή της θερμότητας από τα τρόφιμα και την τελική κατάψυξή τους. Οι κατηγορίες κατάψυξης είναι:

1. *Κατάψυξη με κυκλοφορία αέρα (blast freezing)*, όπου πραγματοποιείται μεταφορά θερμότητας διά συναγωγής.
2. *Κατάψυξη με επαφή (contact freezing)*, όπου πραγματοποιείται μεταφορά θερμότητας δια αγωγής.
3. *Κρυογονική κατάψυξη (cryogenic freezing)*, όπου γίνεται μεταφορά θερμότητας είτε με αγωγή είτε με συναγωγή.
4. *Κρυομηχανική κατάψυξη (cryomechanical freezing)*, όπου γίνεται μεταφορά θερμότητας είτε με αγωγή είτε με συναγωγή.

4.4.2.1 Καταψύκτες κυκλοφορίας αέρα-(Air-Blast freezers)

Αυτού του τύπου οι ψυκτικοί θάλαμοι κατάψυξης χρησιμοποιούν αέρα ως μέσο μετάδοσης θερμότητας. Η μετάδοση γίνεται διά συναγωγής, βασίζεται δηλαδή στην επαφή του ψυχωμένου αέρα με το προϊόν. Οι τεχνικές ελέγχου ροής του αέρα και της μετάδοσης θερμότητας ποικίλλουν ανάλογα με τον επιθυμητό ρυθμό κατάψυξης και την επιθυμητή ταχύτητα πρόσκρουσης του αέρα στο προϊόν.

Οι πρώτοι καταψύκτες αυτής της κατηγορίας ήταν απλοί ψυκτικοί θάλαμοι οι οποίοι περιελάμβαναν αρκετούς ανεμιστήρες κυκλοφορίας αέρα και συνήθως παρουσιάζονταν πλεόνασμα ψύξης. Η βελτίωση λοιπόν, του ελέγχου της ροής και η μηχανοποίηση των τεχνικών μετάδοσης θερμότητας καθιστούν αυτόν τον τρόπο κατάψυξης αποτελεσματικό. Επιπροσθέτως, απαιτείται πολύ λιγότερη επεξεργασία των προϊόντων εντός του θαλάμου ώστε αυτά να καταψυχθούν. Έχει δηλαδή κατά ένα μεγάλο βαθμό αυτοματοποιηθεί η διαδικασία της κατάψυξης.

Αν και η τμηματική κατάψυξη (batch-freezing) χρησιμοποιείται ακόμη ευρέως έχουν σχεδιαστεί πιο εξελιγμένοι καταψύκτες συνεχούς παραγωγής (process-line freezing). Για τις παραγωγικές διαδικασίες αυτές εμφανίζεται ένα ευρύ φάσμα συστημάτων κατάψυξης: Τμηματικής κατάψυξης:

- Απλοί ψυκτικοί θάλαμοι-(Cold storage rooms)
- Στατικά κελιά-(Stationary blast cells)
- Ψυκτικά καρότσια-(Trolley freezers)

Συνεχούς παραγωγής:

- Ευθείας ζώνης-(Straight belt freezers)
- Ρευστοποιημένης κλίνης-(Fluidized bed freezers)
- Ρευστοποιημένης ζώνης-(Fluidized belt freezers)
- Σπειροειδής ζώνης-(Spiral belt freezers)
- Μεταφορικό κουτί-(Carton freezers)

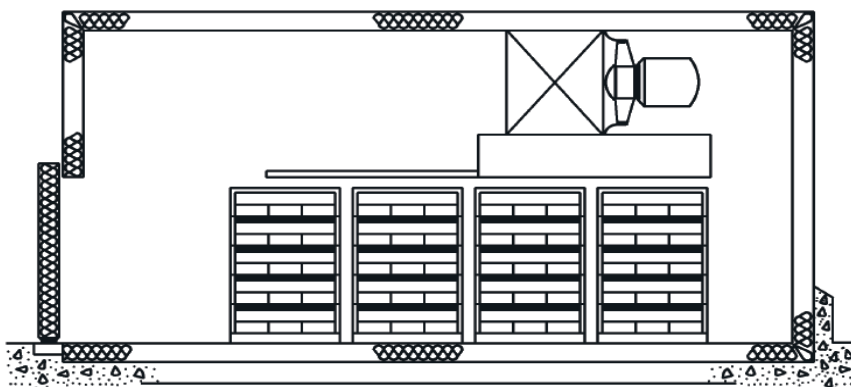
Απλοί ψυκτικοί θάλαμοι

Ένας ψυκτικός θάλαμος δεν θεωρείται σύστημα κατάψυξης· εντούτοις, μερικές φορές χρησιμοποιείται για το σκοπό αυτό. Επειδή λοιπόν οι θάλαμοι δεν έχουν σχεδιαστεί για κατάψυξη η χρήση τους είναι αποδεκτή σε εξαιρετικές περιπτώσεις. Η κατάψυξη εντός του ψυκτικού θαλάμου είναι τόσο χρονοβόρα, ειδικότερα εάν είναι μεγάλων διαστάσεων, με αποτέλεσμα η ποιότητα του προϊόντος να μεταβάλλεται αρκετά. Η μεταβολή επίσης αυτή οφείλεται και στο ότι οι θάλαμοι έχουν συνήθως να αντιμετωπίσουν ένα αρκετά μεγάλο θερμικό φορτίο, το οποίο μπορεί να είναι μεταβαλλόμενο εξαιτίας, για παράδειγμα, των καιρικών συνθηκών. Αυτό έχει ως συνέπεια την παροδική μεταβολή στη θερμοκρασία του κατεψυγμένου προϊόντος.

Στατικές σήραγγες κατάψυξης με κελιά

Αυτή η τεχνική κατάψυξης είναι η απλούστερη και παράλληλα παρουσιάζει ικανοποιητικά αποτελέσματα για τα περισσότερα προϊόντα. Ο καταψύκτης αποτελείται από ένα μονωμένο περίβλημα εξοπλισμένο με συστήματα εναλλακτών και ανεμιστήρων (fan-coil) αξονικής ή φυγόκεντρης ροής αέρα. Ο αέρας κυκλοφορεί εντός με ελεγχόμενο τρόπο. Τα προϊόντα συσκευασμένα και μη, τοποθετούνται σε δίσκους οι οποίοι εν συνεχεία τοποθετούνται στα ράφια της εγκατάστασης, ώστε να υπάρχει κενός χώρος ανάμεσα στους δίσκους από όπου κυκλοφορεί ο αέρας. Τα ράφια μετακινούνται συρταρωτά για τη φόρτωση και την εκφόρτωσή τους. Η σωστή τοποθέτηση των ραφιών και των δίσκων είναι απαραίτητη ώστε όλη η ποσότητα του αέρα να χρησιμοποιείται για την κατάψυξη και όχι να βρίσκει διόδους διαφυγής παρακάμπτοντας τα προϊόντα.

Η μέθοδος αυτή, αν και εφαρμόζεται ικανοποιητικά στα περισσότερα είδη τροφίμων, εντούτοις παρουσιάζει και μειονεκτήματα. Δεν εφαρμόζεται ικανοποιητικά σε προϊόντα μεγάλου όγκου, η ανθρώπινη εργασία που απαιτείται είναι αρκετή και τέλος η διακίνηση των προϊόντων είναι αρκετά αργή.



Εικόνα 4.13 Καταψύκτης στατικών σηράγγων με κελιά
(Πηγή: ASHRAE Handbooks-Fundamentals 2010 ch. 29)

Ψυκτικά καρότσια

Ένας καταψύκτης ψυκτικό καρότσι είναι στην ουσία σχάρες εφοδιασμένες με τροχούς όπου κινείται πάνω σε ράγες εντός του θαλάμου όπου είναι τοποθετημένος. Η κίνηση δίνεται από κατάλληλο μηχανισμό ώθησης που λειτουργεί είτε μέσω υδραυλικών συστημάτων είτε με τη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας. Η διαδικασία κατάψυξης είναι ίδια με προηγουμένως μόνο που σε αυτή τη περίπτωση χρειάζεται λιγότερη ανθρώπινη εργασία και τα προϊόντα διακινούνται ταχύτερα. Οι καταψύκτες αυτοί κυρίως χρησιμοποιούνται για την ταχεία κατάψυξη μικρών τροφίμων ακανόνιστου σχήματος.



Εικόνα 4.14 Ψυκτικά καρότσια

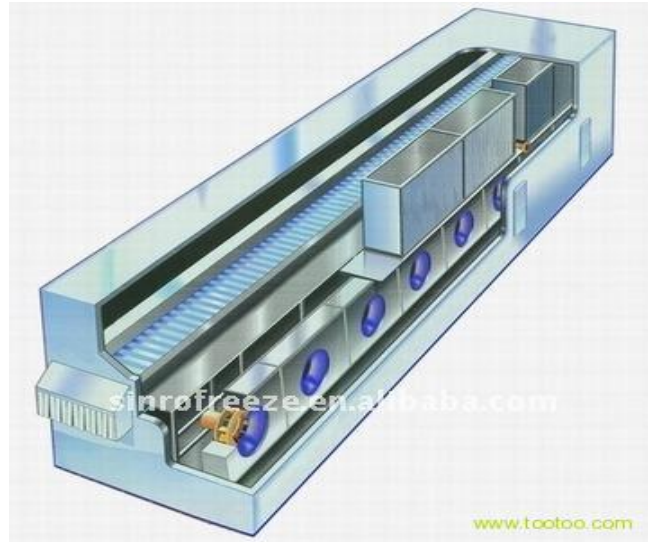
(Πηγή: <http://www.tootoo.com>)

Καταψύκτες ευθείας ζώνης

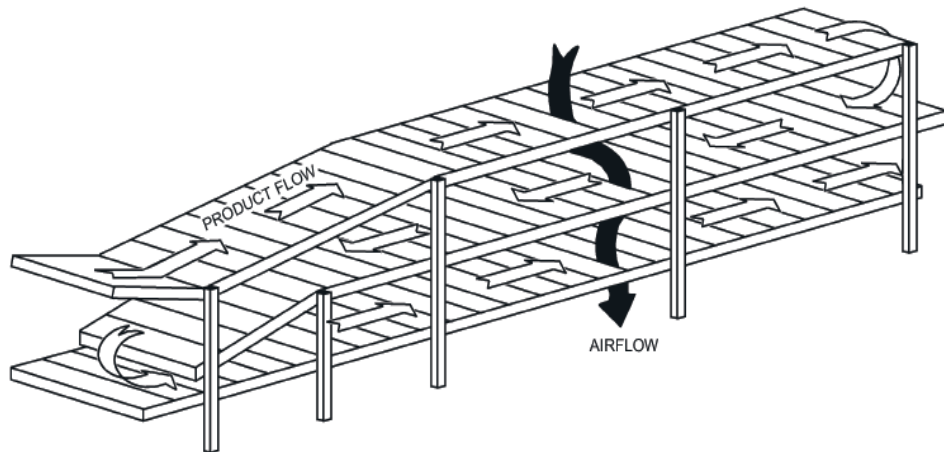
Αποτελεί την απλούστερη μορφή αυτοματοποιημένων καταψυκτών. Αποτελείται από μία μεταφορική ταινία η οποία οδηγεί τα προϊόντα στο χώρο όπου καταψύχονται. Η ροή του αέρα είναι κάθετη στη ροή των προϊόντων έχοντας ως συνέπεια την διείσδυσή του όσο δυνατόν βαθύτερα στον προϊόν. Επιτυγχάνεται μεν καλύτερη επαφή με τα σωματίδια του προϊόντος ωστόσο χρειάζεται και έλεγχος της ροής του ώστε να είναι αποτελεσματική η μετάδοση θερμότητας. Χρησιμοποιούνται κυρίως για την κατάψυξη φρούτων, λαχανικών και προμαγειρεμένων τροφίμων. Οι κυριότερες κατηγορίες αυτών των καταψυκτών είναι οι καταψύκτες δύο σταδίων και οι πολλαπλών σταδίων.

Οι καταψύκτες δύο σταδίων αποτελούνται από δύο μεταφορικές ταινίες-ιμάντες σε σειρά. Ο πρώτος ιμάντας συμβάλλει στην πρόψυξη του τροφίμου και στην επιφανειακή του στερεοποίηση, ενώ ο δεύτερος οδηγεί στην ολική στερεοποίησή του. Η μεταφορά των προϊόντων σε διαφορετικούς ιμάντες αποτρέπει την προσκόλλησή τους πάνω σε αυτούς. Το πρώτο στάδιο της πρόψυξης καταψύχει το προϊόν σε θερμοκρασίες έως $-9\text{ }^{\circ}\text{C}$, ενώ το δεύτερο στάδιο το καταψύχει έως και $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$. Η ικανότητα κατάψυξης κυμαίνεται από 0.9 έως 4.5 tn/hr για τρόφιμα με χρόνους κατάψυξης έως 50 λεπτά. Όταν τα προϊόντα εισέρχονται σε υψηλές θερμοκρασίες της τάξεως των $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ τότε περιλαμβάνεται ένα ακόμη στάδιο πριν την πρόψυξη. Αυτό προμηθεύει με ψυχρό αέρα περίπου $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ή με φιλτραρισμένο αέρα περιβάλλοντος ώστε να παγώσουν αρχικά τα λιπαρά του τροφίμου.

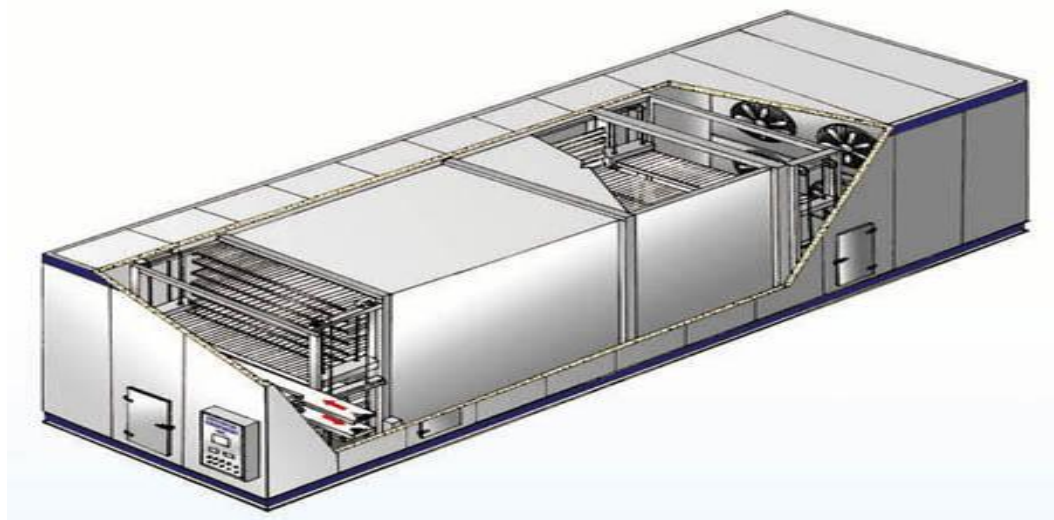
Οι καταψύκτες πολλαπλών σταδίων χρησιμοποιούνται κυρίως στα ογκωδέστερα προϊόντα με ρυθμό από 0.5 έως 5.4 tn/hr και χρόνους κατάψυξης μεγαλύτερους της μίας ώρας. Οι εγκαταστάσεις αυτές, αν και καταψύχουν μεγάλο όγκου τρόφιμα, καταλαμβάνουν λίγο χώρο διότι οι ιμάντες βρίσκονται σε κατακόρυφη παράλληλη διάταξη. Λόγω των πολλών ιμάντων και της συνεχούς κίνησης και εναλλαγής θέσης των προϊόντων δεν ενδείκνυται αυτός ο τρόπος για εύθραυστα προϊόντα.



Εικόνα 4.15 Καταψύκτης ευθείας ζώνης δύο σταδίων
(Πηγή: <http://www.tootoo.com>)



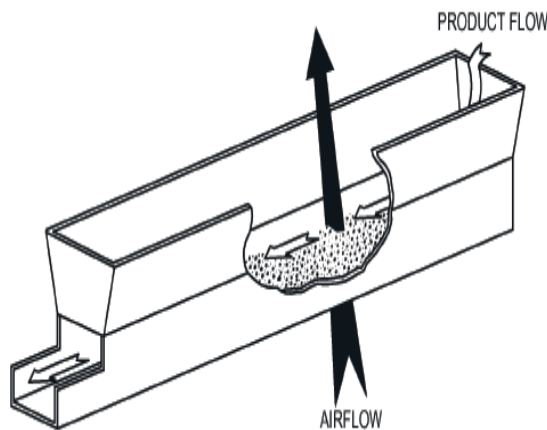
Εικόνα 4.16 Μονογραμμικό διάγραμμα καταψύκτη ευθείας ζώνης πολλαπλών σταδίων
(Πηγή: ASHRAE Handbooks-Fundamentals 2010 ch. 29)



Εικόνα 4.17 Καταψύκτης ευθείας ζώνης πολλαπλών σταδίων
(Πηγή: <http://www.frigohellas.gr>)

Καταψύκτες ρευστοποιημένης κλίνης

Οι καταψύκτες αυτοί χρησιμοποιούνται για τη κατάψυξη όσο και για τη μεταφορά των προϊόντων εντός του θαλάμου. Το προϊόν κινείται σε ένα επίπεδο υπό τη μορφή τάφρου (κλίνη) και ο αέρας ψύξης κινείται κάθετα προς αυτό και με φορά προς τα πάνω. Η χρήση των συστημάτων αυτών προτιμάται για μικρά τρόφιμα ομοιόμορφου μεγέθους όπως για παράδειγμα μικρά φρούτα και λαχανικά. Μπορούν να καταψύχουν από 0.9 έως 9 tn/hr τροφίμων με μέγιστο χρόνο κατάψυξης 15 λεπτών.



Εικόνα 4.18 Καταψύκτης ρευστοποιημένης κλίνης
(Πηγή: ASHRAE Handbooks-Fundamentals 2010 ch. 29, <http://www.frigohellas.gr>)

Καταψύκτες ρευστοποιημένης ζώνης

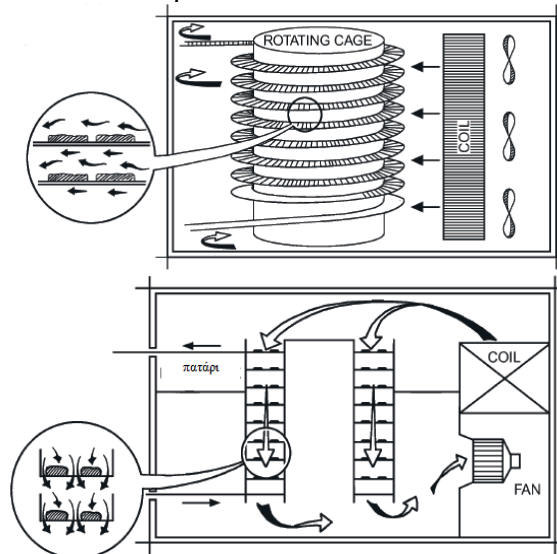
Οι καταψύκτες ρευστοποιημένης ζώνης είναι ο συνδυασμός καταψύκτη ευθείας ζώνης δύο σταδίων και ρευστοποιημένης κλίνης. Τα προϊόντα καταψύχονται έως -37°C με παροχή προϊόντων από 0.9 έως 4.5 tn/hr. Ένας καλά σχεδιασμένος καταψύκτης αυτής της κατηγορίας απαιτεί φορτίο ψύξης 155 kW ανά τόνο κατεψυγμένου προϊόντος.

Καταψύκτες σπειροειδούς ζώνης

Χρησιμοποιούνται κυρίως για προϊόντα με χρόνους κατάψυξης έως και 3 ώρες και απαιτούν απαλό χειρισμό κατά τη διάρκειά της. Αποτελείται από ένα ατέρμονα μεταφορικό ιμάντα ο οποίος είναι εύκαμπτος και διατεταγμένος κυλινδρικά υπό τη μορφή σπείρας. Η διάταξη αυτή απαιτεί ένα αρκετά μακρύ ιμάντα αλλά η συνολική διάταξη καταλαμβάνει λιγότερο χώρο από ότι όλες οι προηγούμενες. Ο αριθμός των βαθμίδων της σπείρας μπορεί να μεταβάλλεται ανάλογα με το μέγεθος των προϊόντων. Ακόμη, είναι εφικτή η χρήση παραπάνω του ενός τέτοιων πύργων ψύξης συνδεδεμένων σε σειρά ειδικά για προϊόντα μεγάλου όγκου που η κατάψυξή τους είναι χρονοβόρα.

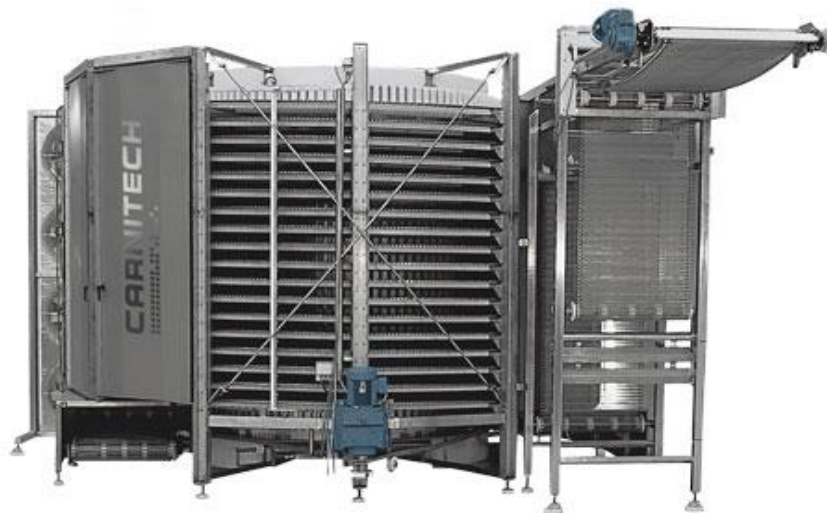
Η ροή του αέρα ποικίλλει από ανοιχτές χωρίς διαφράγματα μεταφορικές ταινίες έως και ροή μέσω εκτεταμένων διαφραγμάτων με χρήση υψηλής πίεσης ανεμιστήρων. Η αξονική ροή αέρα εφαρμόζεται σε καταψύκτες της μορφής της εικόνας 4.19, με ανεμιστήρες αξονικής ροής που τοποθετούνται από τη μία πλευρά του πύργου. Αυτό συντελεί στην ομοιόμορφη κατάψυξη των προϊόντων. Ένας άλλος σχεδιασμός αυτού του τύπου καταψύκτη είναι η κάθετη ροή του αέρα. Εσωτερικά της εγκατάστασης υπάρχει ένα ενδιάμεσο πατάρι όπου χωρίζει το καταψύκτη σε δύο ζώνες πίεσης. Η εγκατάσταση αυτή περιλαμβάνει αγωγούς που οδηγούν τη ροή από το πάνω μέρος υψηλής πίεσης προς το κάτω μέρος χαμηλής πίεσης ενώ παράλληλα κινείται και η μεταφορική ταινία. Αυτός ο τρόπος έλεγχου της ροής του αέρα καθώς και το πώς αυτός προσκρούει στα προϊόντα έχει ως αποτέλεσμα την ταχύτερη κατάψυξή τους.

Συνηθη προϊόντα που καταψύχονται σε αυτού του είδους τους καταψύκτες είναι τα κρεατικά μαγειρεμένα και νωπά, τα θαλασσινά και γενικά ένα ευρύ φάσμα συσκευασμένων προϊόντων είτε μικρών είτε μεγάλων διαστάσεων. Η ψυκτική ικανότητα ανέρχεται έως 10 tn προϊόντων ανά ώρα.



Εικόνα 4.19 Καταψύκτες σπειροειδούς ζώνης, οριζόντιας ροής αέρα (άνω) και κατακόρυφης ροής αέρα (κάτω)

(Πηγή: ASHRAE Handbooks-Fundamentals 2010 ch. 28)



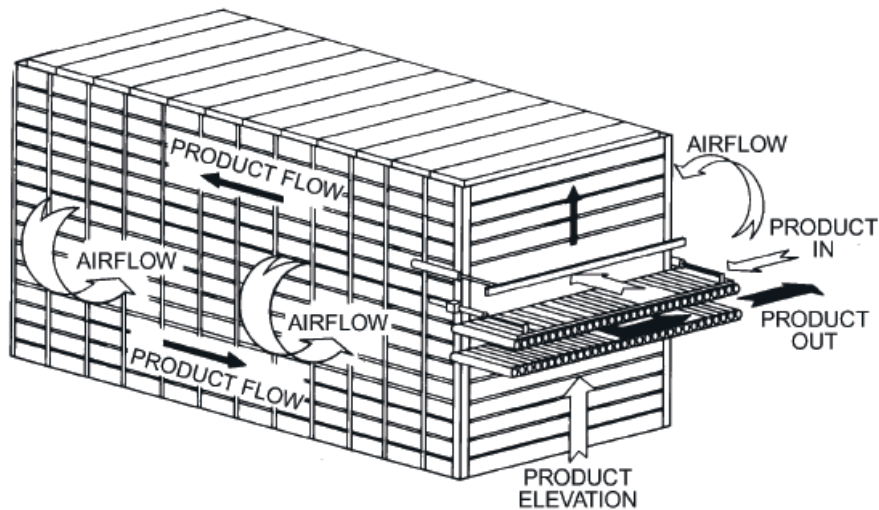
Εικόνα 4.20 Ενδεικτικός καταψύκτης σπειροειδούς ζώνης για προϊόντα μικρού πάχους

(Πηγή: <http://www.carnitech.com>)

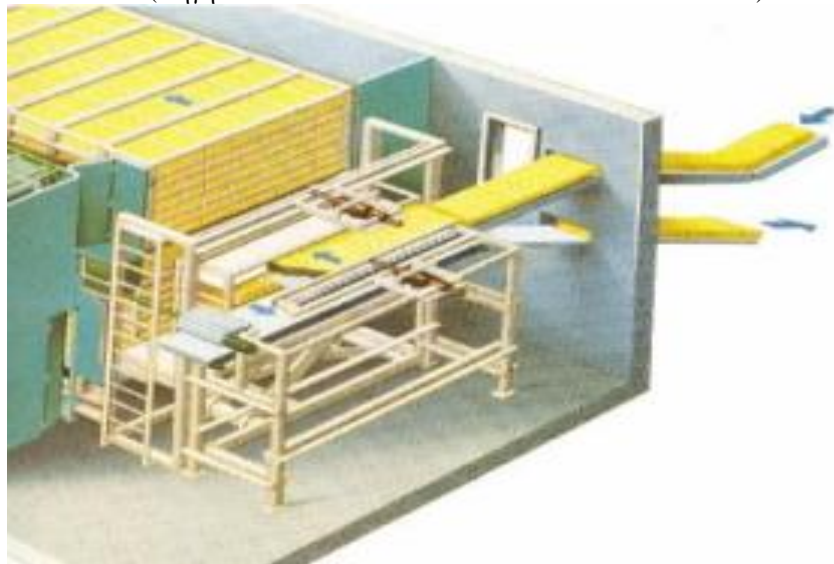
Καταψύκτες κουτιά ή αερομεταφερόμενων ραφιών

Οι καταψύκτες αυτοί είναι μεγάλης δυναμικότητας καθώς καταψύχουν από 4.5 έως 18 tn/hr προϊόντων και χρησιμοποιούνται για κατάψυξη κυβικού σχήματος προϊόντων καθώς και για τοποθετημένα σε παλέτες. Στο επάνω μέρος του καταψύκτη υπάρχει μία σειρά από ράφια όπου τοποθετούνται τα προϊόντα. Τα ράφια αυτά μετακινούνται προς το πίσω μέρος και κάθε φορά κατεβαίνουν ένα επίπεδο χαμηλότερα έως ότου φτάσουν στο χαμηλότερο, από όπου πάλι ανεβαίνουν τέρμα πάνω. Αυτή διαδικασία ακολουθείται μέχρι να καταψυχθούν στην επιθυμητή θερμοκρασία τα προϊόντα.

Η ροή του αέρα είναι κάθετη στη ροή των προϊόντων ή ακόμη μπορεί να είναι και οριζόντια κατά αντιρροή στη κίνησή τους. Οι καταψύκτες αυτού του τύπου έχουν την δυνατότητα επίσης να καταψύχουν παράλληλα προϊόντα σε διαφορετικές θερμοκρασίες.



Εικόνα 4.21 Μονογραμμικό διάγραμμα καταψύκτη μορφής κουτιού
(Πηγή: ASHRAE Handbooks-Fundamentals 2010 ch. 29)



Εικόνα 4.22 Καταψύκτης μορφής κουτιού
(Πηγή <http://www.tootoo.com>)

4.4.2.2 Κατάψυξη διά επαφής-(Contact freezing)

Η μεταφορά θερμότητας στη κατάψυξη διά επαφής γίνεται μέσω αγωγής. Το προϊόν είτε είναι συσκευασμένο είτε όχι, τοποθετείται πάνω σε μία ψυχρή επιφάνεια και μέσω αγωγής καταψύχεται και αυτό. Αυτού του τύπου οι καταψύκτες ταξινομούνται όπως και στη προηγούμενη ενότητα βάσει της κατάψυξης που πραγματοποιούν στις εξής δύο κατηγορίες:

Τμηματικής κατάψυξης:

- Χειροκίνητες οριζόντιες πλάκες-(Manual horizontal plate)
- Χειροκίνητες κατακόρυφες πλάκες-(Manual vertical plate)

Συνεχούς παραγωγής:

- Αυτόματες πλάκες-(Automatic plate)
- Ζώνης επαφής-(Contact belt)
- Ειδικού σχεδιασμού-(Specialized design)

Ο πιο κοινός καταψύκτης αυτής της μεθόδου είναι ο καταψύκτης επίπεδης πλάκας (contact plate freezer), στον οποίον το προϊόν συμπιέζεται μεταξύ μεταλλικών πλακών. Ψυκτικό μέσο κυκλοφορεί στα εσωτερικά κανάλια της πλάκας και επιτυγχάνεται αγωγή θερμότητας σε ικανοποιητικά σύντομους χρόνους. Απαραίτητη προϋπόθεση για την επίτευξη της μεταφοράς ψύξης από τις πλάκες είναι, το προϊόν να είναι καλός αγωγός της θερμότητας. Επίσης, δεν πρέπει να δημιουργούνται μεγάλες κοιλότητες αέρα ανάμεσα στα προϊόντα και οι μεταλλικοί δίσκοι να ελέγχονται μη τυχόν και έχουν στρεβλωθεί.

Χειροκίνητοι και αυτόματοι καταψύκτες πλακών

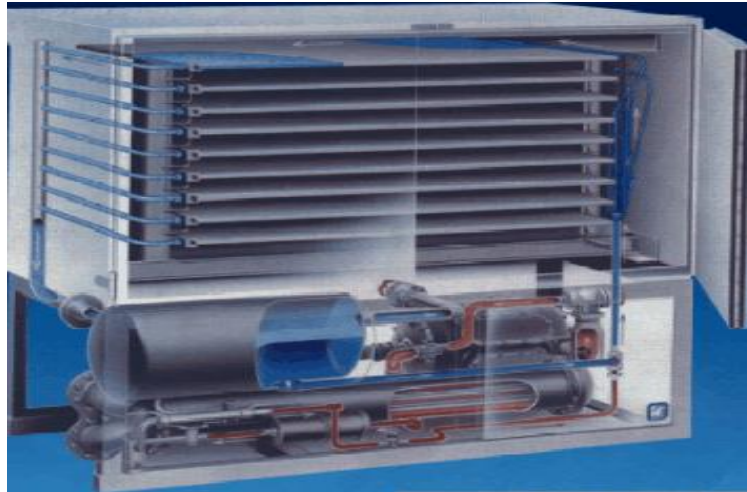
Οι χειροκίνητοι καταψύκτες πλακών σχεδιάζονται και σε κάθετες διατάξεις. Η διαφορά που έχουν από τους αυτόματους είναι ότι φόρτωση και η εκφόρτωσή τους γίνεται με ανθρώπινη παρέμβαση. Οι αυτόματοι καταψύκτες σχεδιάζονται μόνο σε οριζόντια διάταξη.

Το πλεονέκτημα της καλής μεταφοράς θερμότητας σε αυτού του τύπου τους καταψύκτες μειώνεται ανάλογα με την αύξηση του πάχους των προϊόντων. Για το λόγο αυτό, το πάχος των προϊόντων περιορίζεται έως 80 mm. Επίσης ακόμη ένα σημαντικό πλεονέκτημά τους είναι τι δεν απαιτούν εγκαταστάσεις fan-coil για τη μετάδοση της ψυκτικής θερμότητας.

Μπορούν να καταψύχουν ταυτόχρονα έως και 200 πακέτα τροφίμων με χρόνους κατάψυξης έως και 150 λεπτών. Για μεγαλύτερες ποσότητες μπορούν να τοποθετηθούν σε σειρά όπου με κατάλληλα μεταφορικά συστήματα που θα τους συνδέουν θα μπορούν να φορτώνονται και να εκφορτώνονται αυτόματα.



Εικόνα 4.23 Καταψύκτης επίπεδων πλακών επαφής
(Πηγή: <http://www.frigohellas.gr>)



Εικόνα 4.24 Καταψύκτης επίπεδων πλακών επαφής με σχηματική απεικόνιση κυκλοφορίας ψυκτικού μέσου
(Πηγή: <http://www.frigohellas.gr>)

Ειδικού σχεδιασμού καταψύκτες πλακών

Είναι συνδυασμός κατάψυξης με αέρα και με πλάκες επαφής. Χρησιμοποιείται στη κατάψυξη προϊόντων με σχετικά μεγάλες επίπεδες επιφάνειες όπως μεγάλα κρεατικά και θαλασσινά τρόφιμα και μεγάλα δοχεία που εμπεριέχουν ποτά. Αποτελούνται από συνεχείς στερεούς ιμάντες από ανοξείδωτο χάλυβα έως και 2 μέτρα πλάτος και 30 μέτρα μήκος. Το προϊόν τοποθετείται πάνω στον μεταφερόμενο ιμάντα και η κατάψυξη επιτυγχάνεται με αγωγή μέσω του ιμάντα, του οποίου το εσωτερικό διαρρέεται από το ψυκτικό μέσον και μέσω συναγωγής από τον ψυχρό αέρα που ρέει άνωθεν του ιμάντα.

Η εγκατάσταση αυτή είναι αρκετά αποτελεσματική και διατηρεί την ποιότητα των τροφίμων άριστη. Βασικό μειονέκτημα αποτελεί το μέγεθός της καθώς καταλαμβάνει αρκετό χώρο. Επίσης, η ικανότητα κατάψυξης είναι μικρή καθώς καταψύχει από 1 έως 2.3 tn/hr προϊόντων με χρόνο κατάψυξης μικρότερο των 30 λεπτών.

4.4.2.3 Καταψύκτες κρυογονικής ψύξης-(Cryogenic freezers)

Η κρυογονική κατάψυξη είναι συχνά μία εναλλακτική λύση για μικρής κλίμακας εγκαταστάσεις και για αποθήκευση εποχιακών προϊόντων. Οι καταψύκτες αυτοί χρησιμοποιούν υγρό άζωτο ή υγρό διοξείδιο του άνθρακα ως μέσο ψύξης αντί για αέρα. Επιπλέον μπορεί να έχουν οποιαδήποτε μορφή από αυτές που παρουσιάστηκαν προηγουμένως.

Καταψύκτες υγρού αζώτου

Ο πιο κοινός τύπος καταψύκτη αζώτου είναι με χρήση ευθύγραμμου μεταφορικού ιμάντα που διέρχεται μέσα από σήραγγα όπου διοχετεύεται και το άζωτο. Το υγρό άζωτο με αρχική θερμοκρασία $-195\text{ }^{\circ}\text{C}$ εισάγεται στην έξοδο της σήραγγας απευθείας πάνω στο προϊόν. Η θερμοκρασία του ανεβαίνει και εξατμίζεται περίπου στους $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$. Οι ατμοί αυτοί κινούνται προς την είσοδο της σήραγγας και συμβάλλουν στην πρόψυξη των προϊόντων έως ότου στο τέλος της σήραγγας καταψυχθούν στην επιθυμητή θερμοκρασία. Κατόπιν, οι ατμοί αυτοί αποβάλλονται στο εξωτερικό περιβάλλον.

Αφενός η χαμηλή θερμοκρασία του αζώτου συμβάλλει στην ταχεία κατάψυξη των προϊόντων χωρίς να μεταβληθεί η ποιότητά τους, αφετέρου δε η μέθοδος αυτή

παρουσιάζει αρκετά αυξημένο κόστος. Ενδεικτικά καταναλώνονται 0.4÷0.9 kg αζώτου/kg προϊόντος αναλόγως την περιεχόμενη υγρασία στο προϊόν. Αυτό μεταφράζεται σε αρκετά μεγάλο λειτουργικό κόστος και η επένδυση αυτή χαρακτηρίζεται συμφέρουσα μόνο στην περίπτωση αποθήκευσης ακριβών προϊόντων.

Καταψύκτες υγρού διοξειδίου του άνθρακα

Παρόμοια κρυογονική μέθοδος με την προηγούμενη με μόνη διαφορά ότι το υγρό διοξείδιο του άνθρακα βράζει στους $-79\text{ }^{\circ}\text{C}$, οπότε μπορεί να προσφέρει ακόμη χαμηλότερες θερμοκρασίες κατάψυξης. Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται όπως και η προηγούμενη σε περιπτώσεις αποθήκευσης προϊόντων μεγάλης αξίας.



Εικόνα 4.25 Καταψύκτης κρυογονικής κατάψυξης μούρων
(Πηγή: <http://www.globalspec.com>)

4.4.2.4 Καταψύκτες κρυομηχανικής ψύξης

Παρά το γεγονός ότι η τεχνική αυτή δεν είναι νέα, τα τελευταία χρόνια έχει εισαχθεί στην αγορά. Αποτελεί συνδυασμό της κρυογονικής και της κατάψυξης με πρόσκρουση αέρα. Εφαρμόζεται σε περιπτώσεις ταχείας κατάψυξης υψηλής ποιότητας ευαίσθητων προϊόντων όπως είναι οι γαρίδες, οι φράουλες τα ζαχαροκάλαμα, ακριβά θαλασσινά κ.α.

Ένας καταψύκτης αυτού του τύπου περιλαμβάνει ένα αρχικό στάδιο εμβάπτισης του προϊόντος σε υγρό άζωτο, ώστε να επέλθει η επιφανειακή του κρυσταλλοποίηση. Ακολούθως, τοποθετείται σε μηχανικό καταψύκτη κυκλοφορίας αέρα απομακρύνοντας το υπόλοιπο της θερμότητάς του. Η μέθοδος αυτή παρουσιάζει μικρότερο κόστος από την κρυογονική και το τελικό αποτέλεσμα είναι το ίδιο.

4.4.3 Άλλα κριτήρια επιλογής μεθόδου κατάψυξης βάσει της ASHRAE[8]

4.4.3.1 Κριτήρια αξιοπιστίας υλικών

Λόγω των σκληρών συνθηκών λειτουργίας, το σύστημα κατάψυξης αποτελεί ίσως τον πιο ευάλωτο εξοπλισμό σε εγκαταστάσεις διαχείρισης τροφίμων και ποτών. Η εγκατάσταση διαθέτει συνήθως ένα σύστημα κατάψυξης, γεγονός που καθιστά την αξιοπιστία και την αποτελεσματικότητά του σημαντικούς παράγοντες ως προς την επιλογή του. Για να επιτευχθεί το φυσιολογικό προσδόκιμο ζωής του εξοπλισμού κατάψυξης πρέπει το κάθε εξάρτημα να σχεδιάζεται με σκοπό να αντέχει στις αντίξοες θερμοκρασίες ενός καταψύκτη.

4.4.3.2 Κριτήρια υγιεινής

Ο καθαρισμός και η απολύμανση του εξοπλισμού είναι εξίσου σημαντικοί παράγοντες. Η καθαριότητα είναι απαραίτητη για τη διασφάλιση της ποιότητας των προϊόντων και για το λόγο αυτό επιβάλλεται από το νομοθετικό πλαίσιο. Επομένως για την επίτευξη της υγιεινής τα συστήματα κατάψυξης πρέπει να:

1. Έχουν έναν ελάχιστο αριθμό περιοχών, όπου το προϊόν θα μπορεί να τοποθετηθεί με ασφάλεια ώστε να καταψυχθεί.
2. Είναι κατασκευασμένα από εξαρτήματα που δεν διαβρώνονται.
3. Είναι εφοδιασμένα με χειροκίνητα ή αυτόματα συστήματα πλύσης. Σε περίπτωση που δεν διατίθενται, ο κίνδυνος ανάπτυξης μικροβίων είναι μεγάλος.

4.4.3.3 Κριτήρια ποιότητας προϊόντων

Η ποιότητα των τροφίμων επηρεάζεται από φυσικές μεταβολές καθώς και από τα ποσοστά των μικροβιολογικών και χημικών αντιδράσεων, όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο. Καθένας από αυτούς τους παράγοντες διαμορφώνεται ανάλογα με τις μεταβολές της θερμοκρασίας. Η κατάψυξη επηρεάζει τη φυσική σύσταση του προϊόντος. Ο ρυθμός των φυσικών αλλαγών καθώς και ο χρόνος κατάψυξης καθορίζουν το μέγεθος των κρυστάλλων πάγου που δημιουργούνται στο εσωτερικό του προϊόντος.

Στους αργούς ρυθμούς κατάψυξης σχηματίζονται κρύσταλλοι πάγου σχετικά μεγάλου μεγέθους, ενώ σε ταχείς ρυθμούς δημιουργούνται περισσότεροι κρύσταλλοι αλλά μικρότερου μεγέθους. Αυτή η διαφορά μεγέθους οφείλεται στο ότι στην ταχεία κατάψυξη, το περιβάλλον του προϊόντος στερεοποιείται ταχύτερα από το εσωτερικό του. Οι μεγάλοι κρύσταλλοι πάγου βλάπτουν τα κυτταρικά τοιχώματα του προϊόντος, αυξάνοντας την απώλεια της υγρασίας του κατά τη διάρκεια της απόψυξής του. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αλλοίωση της υφής και της γεύσης του. Η ορθά εφαρμοσμένη μηχανική, κρυογονική ή κρυομηχανική κατάψυξη ελαχιστοποιεί την απώλεια των χυμών, των αρωμάτων και της γεύσης των προϊόντων, μέσω της άμεσης εξωτερικής στερεοποίησής του. Επίσης οι αρκετά χαμηλές θερμοκρασίες κατάψυξης με τις όσο δυνατόν λιγότερες διακυμάνσεις θερμοκρασίας μπορούν να διατηρήσουν την ποιότητα των προϊόντων υψηλή και ως εκ τούτου την τιμή πώλησής τους στην αγορά υψηλή. Παρόλα αυτά, όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενα κεφάλαια, η χρονική διάρκεια αποθήκευσης έχει κάποια όρια τα οποία δεν δύναται να ξεπεραστούν όσο επιτυχημένη και αν είναι η κατάψυξη.

Η επίδραση του χρόνου κατάψυξης είναι περισσότερο εμφανής σε ορισμένα ευαίσθητα προϊόντα. Για παράδειγμα οι φράουλες όταν καταψύχονται σε χρόνο 12 ωρών, υφίστανται απώλεια χυμών κατά 20 %, ενώ αυτές που καταψύχονται σε 15 λεπτά χάνουν

8 % των υγρών τους. Επιπρόσθετα, αξίζει να αναφερθεί ότι εάν χρησιμοποιηθεί κρυογονική μέθοδος οι απώλειες είναι μόλις από 3 έως 5 %.

4.4.3.4 Οικονομικά κριτήρια

Παραδόξως, ο εξοπλισμός κατάψυξης, είναι ο πιο ακριβός και παράλληλα ο λιγότερο δαπανηρός κρίκος στην αλυσίδα της σύγχρονης βιομηχανίας τροφίμων. Μολονότι η αγορά εξοπλισμού κατάψυξης αποτελεί την μεγαλύτερη επένδυση μίας βιομηχανίας συντήρησης τροφίμων, το ετήσιο λειτουργικό κόστος της είναι μόλις το 3 έως 5 % επί του συνολικού.

Ένας βασικός οικονομικός παράγοντας που χρήζει εξέτασης για την επιλογή καταψύκτη είναι η απώλεια μάζας που υφίστανται τα προϊόντα κατά τη διάρκεια της κατάψυξής τους. Το κόστος αυτό μπορεί να είναι ασήμαντο για προϊόντα φτηνά όπως τα μπιζέλια αλλά είναι αρκετά σημαντικό για προϊόντα όπως τα θαλασσινά. Η απώλεια μάζας μπορεί να προέλθει από μηχανικές απώλειες, από την αυτοκαταστροφή τους καθώς και από τη συρρίκνωσή τους.

Οι μηχανικές απώλειες προκύπτουν από τυχόν πτώση τους, από τις μεταφορικές ταινίες στο πάτωμα είτε από την επικόλλησή τους πάνω σε αυτές. Οι απώλειες αυτοκαταστροφής αναφέρονται σε βλάβες ή θραύση του προϊόντος λόγω ενδογενών παραγόντων. Οι βλάβες αυτές το καθιστούν ακατάλληλο για διάθεση στην αγορά ή για διάθεση ως δευτέρας διαλογής προϊόν. Ένα σύγχρονο σύστημα κατάψυξης μειώνει τις παραπάνω απώλειες στο ελάχιστο.

Ο κυριότερος παράγοντας απωλειών είναι η αφυδάτωση και η συρρίκνωση του τροφίμου. Εμφανίζεται σε οποιοδήποτε σύστημα κατάψυξης και αν χρησιμοποιηθεί για το λόγο αυτό, χρήζει ιδιαίτερης προσοχής. Η εξάτμιση υγρών των μη συσκευασμένων προϊόντων κατά τη διάρκεια της κατάψυξης γίνεται εμφανής από τον πάγο που συσσωρεύεται στις επιφάνειες του ατμοποιητή, καθώς και στα διάφορα εξαρτήματα του καταψύκτη (βλ. εικόνα 4.18). Ακόμη και σε ένα συσκευασμένο προϊόν που εμπεριέχει αέρα εμφανίζεται αφυδάτωση εξαιτίας της ανεπαρκούς μεταφοράς θερμότητας ψύξης και της μη δυνατής διακίνησης του αέρα αυτού. Ένα κακώς σχεδιασμένο σύστημα κατάψυξης συσκευασμένων προϊόντων προκαλεί απώλειες υγρασίας έως και 4 %. Αντιθέτως, ένα καλά σχεδιασμένο σύστημα μηχανικής ή κρυογονικής κατάψυξης προκαλεί λιγότερες. Ενδεικτικά, σε σήραγγες υγρού αζώτου ή υγρού CO₂ τα προϊόντα υφίστανται απώλειες το πολύ έως 1.25 %.

Στα μη συσκευασμένα προϊόντα εμφανίζεται πάντα αναπόφευκτη αφυδάτωση. Όλη η προσοχή λοιπόν επικεντρώνεται στην ελαχιστοποίηση της ποσότητας αυτής. Η αφυδάτωση επηρεάζεται κατά κύριο λόγο από τον χρόνο κατάψυξης. Όσο ταχύτερη είναι η κατάψυξη, εντός πάντα των πρακτικών και οικονομικών περιορισμών, τόσο λιγότερη είναι η απώλεια υγρών και το αντίθετο. Οι πιο συχνές μέθοδοι κατάψυξης των προϊόντων αυτών είναι με κυκλοφορία αέρα. Η ποσότητα της υγρασίας προϊόντος που απορροφά ο αέρας ψύξεως εξαρτάται πρωτίστως από τη θερμοκρασία και δευτερευόντως από την πίεση. Στον πίνακα 4.1 παρουσιάζεται η αναλογία αναρροφούμενης υγρασίας στον αέρα κατά μάζα σε διάφορες θερμοκρασίες.

Πίνακας 4.1 Αναρροφώμενη υγρασία από τον αέρα σε διάφορες θερμοκρασίες

Θερμοκρασία κατάψυξης (°C)	Αναλογία αναρροφούμενης υγρασίας-αέρα ψύξης $\text{kg}_{\text{υγρασίας}}/\text{kg}_{\text{αέρα}}$
-18	0.0008
-24	0.00046
-29	0.00026
-34	0.00015
-40	0.00008
-46	0.00004

(Πηγή: ASHRAE Handbooks-Fundamentals 2010 ch. 29)

Η υγρασία μεταφέρεται από περιοχές υψηλής θερμοκρασίας (τρόφιμο) σε χαμηλής (αέρας). Η μεταφορά αυτή γίνεται έως ότου καταψυχθεί το προϊόν εξωτερικά. Για το λόγο αυτό, όσο συντομότερα επέλθει η επιφανειακή κρυσταλλοποίηση, όσο δηλαδή χαμηλότερη είναι η θερμοκρασία, τόσο λιγότερη υγρασία απορροφάται από τον αέρα.

Όπως είναι γνωστό, η σχετική υγρασία του αέρα επηρεάζει την αφυδάτωση των ήδη κατεψυγμένων προϊόντων κατά τη διάρκεια της αποθήκευσής τους στους θαλάμους. Από την άλλη πλευρά όμως, δεν επηρεάζει την αφυδάτωση κατά τη διάρκεια της κατάψυξής τους.

Πολλοί κατασκευαστές συστημάτων κατάψυξης χρησιμοποιούν υψηλές θερμοκρασίες ατμοποίησης του ψυκτικού μέσου για να ελαχιστοποιήσουν το ενεργειακό κόστος. Σε συνδυασμό με αυτό παρέχουν μεγάλους όγκους αέρα, θερμοκρασίας παραπλήσιας του ψυκτικού μέσου. Η μέθοδος αυτή συμβάλει στη μείωση της απώλειας υγρασίας των προϊόντων. Αυτό εξηγείται ως εξής οι χαμηλές θερμοκρασίες ατμοποίησης ξηραίνουν τον αέρα που με τη σειρά του απορροφά την υγρασία από τα τρόφιμα. Αυτό συνεπάγεται ότι και η χαμηλές θερμοκρασίες κατάψυξης πρέπει να έχουν ένα κατώτατο όριο. Προτείνεται μία ενδεικτική διαφορά θερμοκρασίας αέρα και ψυκτικού μέσου της τάξεως των 5 έως 6 °C.

4.4.4 Ψυκτική μονάδα καταψυκτών

Οι περισσότεροι καταψύκτες μηχανικής κυκλοφορίας (κυκλοφορίας αέρα και επαφής), χρησιμοποιούν αμμωνία NH_3 ως ψυκτικό μέσο. Οι ατμοποιητές που χρησιμοποιούνται είναι κυρίως ατμοποιητές τυμπάνου ή ατμοποιητές ανακυκλοφορίας ψυκτικού μέσου. Η επιλογή του συστήματος ατμοποίησης εξαρτάται από το μέγεθος και τη διαμόρφωση του καταψύκτη, από το διαθέσιμο χώρο τοποθέτησης, το κόστος του και από τις προτιμήσεις του χρήστη. Για συστήματα με τρεις ή περισσότερους ατμοποιητές ατμοποιητές τυμπάνου είναι λιγότερο δαπανηρά. Μπορούν να είναι αερόψυκτοι, υδρόψυκτοι ή και τα δύο ταυτόχρονα. Επίσης η απόψυξή τους μπορεί να γίνεται αυτόματα ή χειροκίνητα και συνήθως συμβαίνει τη στιγμή που γίνεται η αλλαγή βάρδιας των εργαζομένων.

Τα σύγχρονα συστήματα κατάψυξης είναι εξοπλισμένα με προγράμματα λογικού ελέγχου (PLC) ή με συστήματα ελέγχου μέσω ηλεκτρονικών υπολογιστών, ώστε να ελέγχεται η λειτουργία τους. Έτσι επιτυγχάνεται η μεγιστοποίηση της παραγωγικότητας, η διασφάλιση της ποιότητας των προϊόντων καθώς και η ομαλή λειτουργία του όλου εξοπλισμού. Τα στοιχεία που ελέγχονται είναι η ταχύτητα των μιάντων και του αέρα, η θερμοκρασία του ψυκτικού μέσου και του αέρα ψύξης, η λειτουργία των ατμοποιητών και τότε πρέπει να αποψυχθούν και τέλος, κατά πόσο είναι επιθυμητό το αποτέλεσμα της κατάψυξης.

Εξαιτίας των σκληρών συνθηκών εντός του καταψύκτη και της μακροχρόνιας διάρκειας λειτουργίας που φτάνει έως και τις 7000 ώρες, η συντήρησή τους αποτελεί μείζον θέμα για την καλύτερη δυνατή λειτουργία τους. Οι κατασκευαστές των καταψυκτών παρέχουν εγχειρίδια λειτουργίας και συντήρησης με βασικές πληροφορίες σχετικά με τις ιδιαιτερότητες του κάθε εξαρτήματος καθώς και οδηγίες για συντήρηση καθώς και κάθε πότε πρέπει να πραγματοποιείται.



Εικόνα 4.26 Μονάδα ατμοποιητή τυμπάνου σε μηχανοστάσιο ψυκτικής εγκατάστασης

(Πηγή: <http://www.water-foods.com>)

4.5 Λοιπά ζητήματα

4.5.1 Διακοπή λειτουργίας θαλάμου

Ένας παράγοντας ο οποίος χρήζει προσοχής είναι αναμφισβήτητα η διακοπή λειτουργίας ενός θαλάμου και η αλλαγή της θερμοκρασίας του. Λόγω των χαμηλών θερμοκρασιών εντός του θαλάμου και ειδικότερα δε όταν αυτός χρησιμοποιείται για την αποθήκευση κατεψυγμένων προϊόντων οι απότομες μεταβολές των δομικών του στοιχείων είναι ανεπιθύμητες. Κατά την απότομη μεταβολή της θερμοκρασίας τα στοιχεία αυτά συστέλλονται και υπάρχει περίπτωση να καταστραφούν. Για το λόγο αυτό η μείωση της πρέπει να είναι σταδιακή έως ότου φτάσει στη θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Η απόψυξη αυτή μπορεί να διαρκέσει έως και 3 ημέρες.

Οι αρμοί μεταξύ των τοιχωμάτων και του πατώματος σε αυτή τη σταδιακή μείωση της θερμοκρασίας παραλαμβάνουν τις συστολές και τις διαστολές. Για την επίτευξη της σταδιακής μείωσης, λειτουργεί ο εξαερισμός ο οποίος απομακρύνει τη θερμότητα ψύξης καθώς επίσης και οι πόρτες της εγκατάστασης φέρουν άνοιγμα ώστε να επιτρέπεται η μερική ροή του αέρα.

4.5.2 Πυροπροστασία

Απαραίτητη προϋπόθεση για την αδειοδότηση μίας εγκατάστασης είναι η ύπαρξη συστήματος πυρασφάλειας για τις περιπτώσεις πυρκαγιάς εντός και εκτός του θαλάμου. Σε περίπτωση πυρκαγιάς οι εξαερισμοί απορροφούν τους καπνούς και το σύστημα πυρόσβεσης εξυπηρετεί στη σβέση της ακόμη και από τους εργαζόμενους.

Το σύστημα αυτό περιλαμβάνει ειδικά κουτιά με μάνικες τοποθετημένα, όπου κρίνεται αναγκαίο καθώς και συστήματα πυρανίχνευσης αυτόματου ψεκασμού. Σε περιπτώσεις θαλάμων που η θερμοκρασία είναι μεγαλύτερη των 0 °C χρησιμοποιούνται συστήματα ψεκασμού νερού. Από την άλλη πλευρά, για χαμηλότερες θερμοκρασίες το νερό δεν εξυπηρετεί διότι στερεοποιείται και χρησιμοποιούνται συστήματα ψεκασμού ξηρού αέρα ή αζώτου.

4.5.3 Επιθεώρηση και συντήρηση θαλάμων

Οι διαδικασίες αυτές σε ένα θάλαμο χωρίζονται σε δύο περιοχές, στην επιθεώρηση και συντήρηση του βασικού συστήματος (δάπεδο, τοιχοποιία, οροφή και εναέρια συστήματα οροφής) και των ανοιγμάτων (πόρτες, κουφώματα και γενικότερα τμήματα που επιτρέπουν την είσοδο στο θάλαμο).

- Διαδικασίες επιθεώρησης και συντήρησης βασικού συστήματος
 - Τοποθέτηση προϊόντων και παλετών σε απόσταση τουλάχιστον 46 εκατοστών από τους τοίχους και την οροφή, ώστε να επιτρέπεται η καλύτερη κυκλοφορία του αέρα.
 - Έλεγχος τοίχων και οροφής για τυχόν σχηματισμό κρυστάλλων πάγου.
 - Έλεγχος οροφής ως προς τη στεγανότητά της.
 - Σε περιπτώσεις εμφάνισης διαρροών, συμπυκνωμάτων και γενικότερων βλαβών, άμεση επιδιόρθωση.
- Διαδικασίες επιθεώρησης και συντήρησης ανοιγμάτων
 - Έλεγχος αεροστεγούς κλεισίματος θυρών.
 - Έλεγχος θυρών για τυχόν χτυπήματα από περονοφόρα ανυψωτικά μηχανήματα ή φορτηγά ψυγεία.
 - Λίπανση θυρών και παραθύρων.
 - Έλεγχος καθαριότητας αγωγών εξαερισμού.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΚΑΙ ΙΔΙΑΙΤΕΡΟΤΗΤΕΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΤΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ

5.1 Φρούτα και Λαχανικά

5.1.1 Πρόψυξη φρούτων και λαχανικών

5.1.1.1 Εισαγωγή

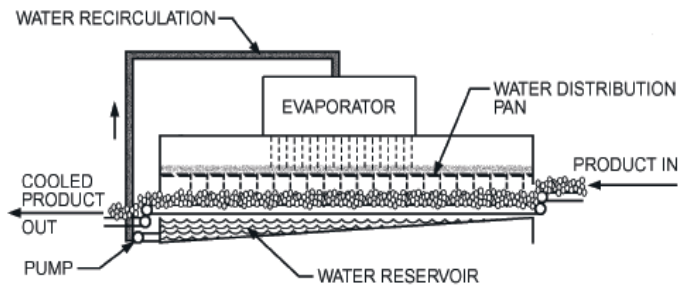
Τα φρούτα και τα λαχανικά είναι ευπαθή προϊόντα όσο αφορά στις μηχανικές τους αντοχές. Είναι αναπόφευκτο, κάποια τεμάχια να μην υποστούν επιφανειακές παραποιήσεις κατά τη συγκομιδή τους. Συχνά, όσο επιμελώς και αν γίνεται ο ποιοτικός έλεγχος, ένα μικρό ποσοστό προϊόντων καταστρέφεται. Οι διεργασίες αλλοίωσης στα προϊόντα αυτά είναι ταχύτατες και μεταδίδονται σε υγιή προϊόντα με εξαιρετικά μεγάλες ταχύτητες σε υψηλές θερμοκρασίες. Για το λόγο αυτό, απαραίτητη προϋπόθεση για τη διατήρηση της βέλτιστης ποιότητάς τους είναι η όσο το δυνατόν ταχύτερη πρόψυξη. Ιδανικά, η διεργασία αυτή πρέπει να γίνεται αμέσως μετά τη συγκομιδή. Όπως είναι λογικό το κόστος επένδυσης του εξοπλισμού πρόψυξης να είναι ανάλογο με την επιθυμητή ταχύτητα πρόψυξης. Οι μέθοδοι πρόψυξης που χρησιμοποιούνται ακολουθούν παρακάτω.

5.1.1.2 Πρόψυξη με νερό-(Hydrocooling)

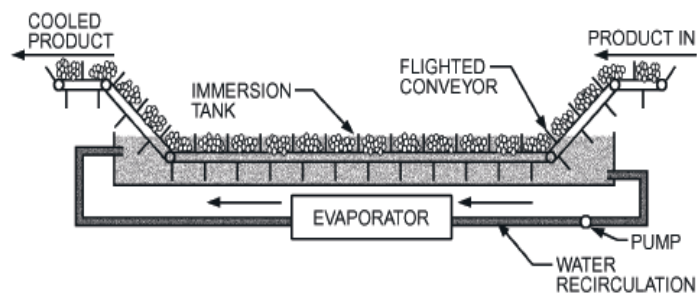
Στην πρόψυξη με νερό, τα προϊόντα είτε ψεκάζονται με παγωμένο νερό, είτε βυθίζονται σε αυτό μέχρι την επιθυμητή θερμοκρασία. Η μέθοδος αυτή είναι βέβαια αποτελεσματική και οικονομικά συμφέρουσα, ωστόσο επιδρά παθολογικά στα προϊόντα. Αυτό οφείλεται (όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενο κεφάλαιο) στο γεγονός ότι το νερό αποτελεί έναν από τους κυριότερους φορείς παθογόνων μικροοργανισμών. Επομένως, η πρόψυξη με νερό επιτρέπεται μόνο εφόσον είναι απολυμασμένο. Η μέθοδος αυτή ενδείκνυται για μεγάλη ποικιλία φρούτων και λαχανικών. Δε συμβαίνει όμως το ίδιο με τα εσπεριδοειδή. Ο ψεκασμός με νερό στα φρούτα αυτά, λόγω της μακράς διάρκειας εμπορευσιμότητάς τους, μπορεί να προκαλέσει φθορά στο περίβλημα τους και να οδηγήσει στη καταστροφή τους.

Ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα της συγκεκριμένης μεθόδου είναι ότι τα προϊόντα ψύχονται στην επιθυμητή θερμοκρασία αρκετά σύντομα. Καθώς το νερό ρέει γύρω από τα τρόφιμα η επιφανειακή αντίσταση μεταφοράς θερμότητας θεωρείται αμελητέα. Επιπροσθέτως, τα προϊόντα παρουσιάζουν μηδενικές απώλειες υγρασίας διαφορετικά, ενυδατώνονται. Αυτό λοιπόν, έχει ως συνέπεια τη διατήρηση της άριστης ποιότητάς τους.

Η απόδοση της μεθόδου αυτής βέβαια, μειώνεται όσο ο περιβάλλον θερμότερος αέρας προσδίδει θερμότητα στο νερό και το θερμαίνει, καθώς επίσης, και όσο οι θερμότερες επιφάνειες του θαλάμου ακτινοβολούν. Μία ακόμη σημαντική λεπτομέρεια είναι η προσεγγισμένη χρήση του απαιτούμενου όγκου νερού, ειδικά δαπανάται και απορροφάται παραπάνω ενέργεια.



Εικόνα 5.1 Πρόψυξη φρούτων και λαχανικών με ψεκασμό νερού
(Πηγή: ASHRAE Handbooks-Fundamentals 2010 ch. 28)

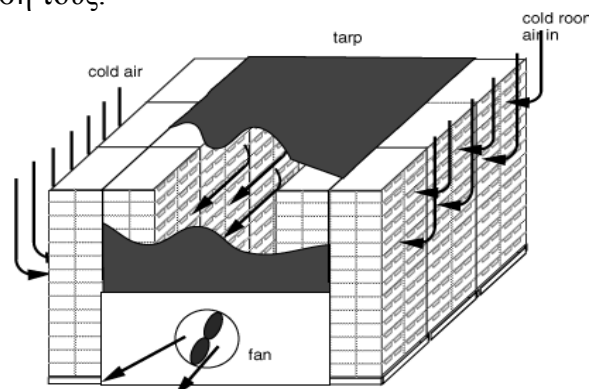


Εικόνα 5.2 Πρόψυξη φρούτων και λαχανικών με εμβάπτιση σε νερό
(Πηγή: ASHRAE Handbooks-Fundamentals 2010 ch. 28)

5.1.1.3 Πρόψυξη με αέρα-(Forced air cooling)

Θεωρητικά, οι ρυθμοί ψύξης με αέρα είναι συγκρίσιμοι με αυτούς της υδρόψυξης μόνο για αρκετά χαμηλές θερμοκρασίες του αέρα και αυξημένες τιμές της σχετικής υγρασίας. Διαφορετικά, ο συντελεστής επιφανειακής μεταφοράς θερμότητας είναι αρκετά μικρότερος. Για παράδειγμα, η πρόψυξη κόκκινο μήλου με νερό θερμοκρασίας 1.7 °C παρουσιάζει ίδιο χρόνο πρόψυξης με την χρήση αέρα θερμοκρασίας -6.7 °C και ταχύτητας 3 m/sec.

Ο αέρας έχει το πλεονέκτημα της μεταβολής ταχύτητας ταχύτερα σε σχέση με το νερό. Επομένως, μία εγκατάσταση πρόψυξης φρούτων και λαχανικών με αέρα μεταβάλλει τη θερμοκρασία του, σε περίπτωση ψύξης διαφορετικού προϊόντος, δαπανώντας λιγότερη ενέργεια. Επιπλέον, ο κίνδυνος βακτηριακής μόλυνσης των προϊόντων μειώνεται αρκετά. Από την άλλη πλευρά, χρήζει ιδιαίτερης προσοχής η σχετική υγρασία του αέρα, ώστε να μην απορροφάται υγρασία από τα τρόφιμα, που θα οδηγήσει στην αλλοίωσή τους.



Εικόνα 5.3 Πρόψυξη φρούτων και λαχανικών με αέρα
(Πηγή: Cornell University, Department of Agriculture & Markets)

5.1.1.4 Πρόψυξη με πάγο

Η πρόψυξη με πάγο ενδείκνυται για προϊόντα που δεν καταστρέφονται από αυτόν, όταν έρχονται σε επαφή, όπως για παράδειγμα, ορισμένα λαχανικά. Μεταξύ των προϊόντων που ψύχονται με αυτή τη μέθοδο είναι το λάχανο, το μπρόκολο, το σπανάκι και το μαρούλι. Ως μέσο ψύξης χρησιμοποιείται θρυμματισμένος πάγος ο οποίος τοποθετείται ανάμεσα στα προϊόντα. Για την ψύξη π.χ ενός τροφίμου από τους 35 °C στους 2 °C απαιτείται πάγος που να αντιστοιχεί στο 40 % της μάζας του προϊόντος. Η συγκεκριμένη μέθοδος χρησιμοποιείται αρκετά συχνά σε συνδυασμό με άλλες μεθόδους. Ένα ακόμη σημαντικό πλεονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι ότι το νερό αποτρέπει την εξάτμιση της υγρασίας των τροφίμων, καθώς λιώνει ο πάγος. Να σημειωθεί, βέβαια, ότι ο κίνδυνος της μόλυνσης είναι ορατός και σε αυτή τη περίπτωση, εάν ο πάγος δεν είναι απολυμασμένος.



Εικόνα 5.4 Πρόψυξη μπρόκολου με πάγο
(Πηγή: <http://riverranch.com>)

5.1.1.5 Πρόψυξη υπό κενό-(vacuum cooling)

Η μέθοδος με ψύξη υπό κενό βασίζεται στο γεγονός ότι υπό χαμηλή πίεση (κενό) το νερό ατμοποιείται σε αρκετά χαμηλές θερμοκρασίες π.χ στον 1 °C. Η απαιτούμενη θερμότητα ατμοποίησης του νερού αφαιρείται από τα προς ψύξη αποθηκευμένα προϊόντα, τα οποία αντίστοιχα ψύχονται. Με τη μέθοδο αυτή το προϊόν χάνει το πολύ 3 % της μάζας του λόγω εξάτμισης της υγρασίας του. Οι συγκεκριμένες απώλειες μπορεί να μειωθούν, εάν το προϊόν αυτό ψεκαστεί με νερό πριν την ψύξη του (Hydro-vacuum cooling) κι εάν, βεβαίως, το επιτρέπει και η συσκευασία.

Μειονεκτήματα της ψύξης υπό κενό είναι το σχετικά υψηλό κόστος των εγκαταστάσεων, οι επιπλέον απώλειες υγρασίας του προϊόντος, εάν αυτό δεν ψεκαστεί με νερό και το γεγονός ότι οι ποσότητες που μπορούν να ψυχθούν είναι , ακόμη και εάν πρόκειται για μεγάλες εγκαταστάσεις αυτού του είδους. Κατά συνέπεια, η χρήση της μεθόδου αυτής εξυπηρετεί την ψύξη προϊόντων τα οποία συλλέγονται και διατίθενται στην αγορά τις αμέσως επόμενες ώρες.

5.1.2 Επιλογή μεθόδου πρόψυξης

Οι παράγοντες οι οποίοι διαμορφώνουν τη μέθοδο πρόψυξης που θα χρησιμοποιηθεί είναι το μέγεθος του προϊόντος ή της συσκευασίας, οι φυσικές ιδιότητες αυτού και οι απαιτήσεις σε εμφάνιση και της αγοράς. Στην πλειονότητά τους, τα προϊόντα ανταποκρίνονται ικανοποιητικά σε περισσότερες από μία μεθόδους. Σε αυτή την

περίπτωση, είναι το κόστος της κάθε μεθόδου που αποτελεί το κριτήριο επιλογής. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι προτιμώμενες μέθοδοι πρόψυξης, για ορισμένα φρούτα και λαχανικά, που καλλιεργούνται στην Ελλάδα.

Πίνακας 5.1 Επιθυμητή μέθοδος πρόψυξης διαφόρων φρούτων και λαχανικών

προϊόν	Μεγάλου μεγέθους	Μικρού μεγέθους	προϊόν	Μεγάλου μεγέθους	Μικρού μεγέθους
Φρούτα			Λαχανικά (συνέχεια)		
Εσπεριδοειδή	R	R	Κουνουπίδια	FA, VC	FA
Φυλλοβόλων	FA, R, HC	FA	Σέλινο	HC, WV, VC	HC, FA
Τροπικά	FA, R	FA	Πράσινα κρεμμύδια, Πράσα	PI, HC	PI
Μούρα	FA	FA	Μανιτάρια	FA, VC	FA
Σταφύλια	FA	FA	Φασόλια	HC, FA	FA
Πεπόνια	HC, FA, PI	FA	Μπιζέλια	FA, PI, VC	FA, PI
Καρπούζια	FA, HC	FA, R	Αποξηραμένα κρεμμύδια	R	R, FA
Λαχανικά			Σκόρδα	R	
Λάχανο	VC, FA	FA	Αγγούρια, μελιτζάνες	R, FA, FA-EC	FA
Μαρούλι	VC	FA	Πιπεριές	R, FA, VC	FA
Σπανάκι, Αντίδια	VC, FA, WV, HC	FA	Μπάμιες	R, FA	FA
Κρεμμύδια	HC, PI, FA	HC, FA	Γλυκό καλαμπόκι	HV, VC, PI	HC, FA, PI
Πατάτες	R, HC	R	Ντομάτες	R, FA	
Αγκινάρες	HC, PI	FA, PI	Κολοκύθες	R	R
Σπαράγγια	HC	HC	Μη συσκευασμένα βότανα	HC, FA	FA, R
Μπρόκολο	HC, FA, PI	FA, PI	Συσκευασμένα βότανα	FA	FA, R

Πηγή: ASHRAE Handbooks-Fundamentals 2010 ch. 28

Όπου:

R- Απλή ψύξη σε θάλαμο

HC- Πρόψυξη με νερό

FA- Πρόψυξη με αέρα

VC- Πρόψυξη υπό κενό

PI- Πρόψυξη με πάγο

5.1.3 Αποξηραμένα φρούτα και λαχανικά

Τα αποξηραμένα φρούτα και λαχανικά διαφέρουν από τα νωπά στην έλλειψη περιεκτικότητας υγρασίας. Περιέχουν σάκχαρα που τα καθιστούν υγροσκοπικά, με αποτέλεσμα να γίνονται απορροφητές υγρασίας κατά τη διάρκεια της αποθήκευσής τους, σε αντίθεση με όλα τα άλλα είδη τροφίμων. Η περιεκτικότητά τους αυτή σε ζάχαρη, παρέχει δυσμενές φυσικό περιβάλλον στα βακτήρια, αποτρέποντας την ανάπτυξή τους ακόμη και σε υψηλά επίπεδα σχετικής υγρασίας. Εντούτοις, η εμφάνιση εντόμων αποτελεί το ένα και μοναδικό πρόβλημα που εμφανίζεται σε αυτή την κατηγορία τροφίμων.

Η ποιότητά τους διατηρείται σε υψηλά επίπεδα για περισσότερο καιρό όταν αποθηκεύονται σε χαμηλές θερμοκρασίες. Έρευνες έχουν αποδείξει ότι η επιθυμητή διάρκεια αποθήκευσης των αποξηραμένων λαχανικών αυξάνεται, όταν ξηραίνονται και εν συνεχεία ψύχονται με τον ψεκασμό διοξειδίου του άνθρακα ή υγρού αζώτου. Επιπλέον, με τη χρήση των μεθόδων αυτών παραμένουν αναλλοίωτα τα αρώματα και οι θρεπτικές τους ουσίες. Τα αποξηραμένα φρούτα ακολουθούν την ίδια διαδικασία, με τη μόνη διαφορά ότι ψεκάζονται με θειούχο άλας για τη διατήρηση του χρώματός τους.

Οι βέλτιστες συνθήκες αποθήκευσης των αποξηραμένων προϊόντων πρέπει να είναι σε θερμοκρασία ακριβώς πάνω από τη θερμοκρασία στερεοποίησής τους με σχετική υγρασία 55 %. Η θερμοκρασία αυτή ποικίλει από -3 έως -6 °C, ανάλογα με την περιεκτικότητα σε σάκχαρα. Η αποθήκευση σε θερμοκρασίες από 5 έως 10 °C μειώνει την πιθανότητα προσβολής από έντομα σε διάστημα ενός μήνα, ενώ, η αποθήκευση στους -20 °C τα καταστρέφει μέσα σε λίγες ώρες.

Εντούτοις, παρουσιάζουν ιδιαίτερες ευαισθησίες σε θερμοκρασίες μικρότερες του 0 °C. Σε αυτό το πεδίο των θερμοκρασιών τείνουν στο να απορροφούν υγρασία με αποτέλεσμα, να αλλοιώνεται η ποιότητά τους. Έτσι, απαιτείται ειδικός χειρισμός κατά την ψύξη τους, κι ακόμη απαιτείται να ψύχονται, τις περισσότερες φορές, εφόσον έχουν συσκευαστεί με αδιάβροχες συσκευασίες.

Αξίζει να αναφερθεί ότι, όσον αφορά στα αποξηραμένα τρόφιμα στην παρούσα διπλωματική εργασία, παρόλο που μελετάται η ψύξη τους σύμφωνα με τα μοντέλα της ASHRAE, τα αποτελέσματα δεν ήταν ικανοποιητικά και ακόμη, σε ορισμένες περιπτώσεις θερμοκρασιών, ήταν εσφαλμένα. Ωστόσο, παρά τα εμπόδια που προέκυψαν, έγινε μία προσπάθεια για την όσο δυνατόν καλύτερη μελέτη τους. Περαιτέρω ανάλυση για το πού οφείλονται τα σφάλματα μπορεί να αποτελέσει αντικείμενο μελέτης επόμενων εργασιών.



Εικόνα 5.5 Ξήρανση και ψύξη φράουλας με κρυογονική μέθοδο
(Πηγή: <http://www.ghieg.org>)

5.2 Προϊόντα κόκκινου κρέατος

5.2.1 Γενικά

Σύμφωνα με πρόσφατες έρευνες, 4 έως 5 εκατομμύρια τετράποδα ζωντανά σφαγιάζονται παγκοσμίως, ώστε να ικανοποιούνται οι ανάγκες για κόκκινο κρέας. Η διαδικασία της σφαγής κατά κύριο λόγο γίνεται σε ειδικούς χώρους, τα σφαγεία, υπό την επιτήρηση των υγειονομικών αρχών. Μόνο ένα μικρό μέρος των ζωντανών σφαγιάζονται παρανόμως στα αγροκτήματα, διαδικασία που μπορεί να επιφέρει κινδύνους μόλυνσης λόγω έλλειψης εγκαταστάσεων υγιεινής.

5.2.2 Υγιεινή

Οι διαδικασίες υγιεινής πρέπει να εφαρμόζονται σε όλα τα στάδια της επεξεργασίας τροφίμων, όχι μόνο για την προστασία του καταναλωτή, αλλά και για την ανταπόκριση των αισθητικών απαιτήσεων. Από αυτή την άποψη, οι μονάδες επεξεργασίας κρέατος δεν διαφοροποιούνται από τις μονάδες διαφορετικών προϊόντων. Αντιθέτως, εφαρμόζονται οι ίδιες αρχές όσον αναφορά στις εγκαταστάσεις αποχέτευσης, καθαρισμού και απολύμανσης.

Οι σωστές εγγυήσεις και οι ορθές παρασκευαστικές πρακτικές μίας μονάδας επεξεργασίας κρέατος ελαχιστοποιούν τον κίνδυνο βακτηριακής μόλυνσης και ανάπτυξης. Αυτό περιλαμβάνει την χρήση καθαρών πρώτων υλών, απολυμασμένου νερού και αέρα, συνεχή έλεγχο της θερμοκρασίας, ιδιαίτερα σε ψυγεία και καταψύκτες και λεπτομερή απολύμανση των επιφανειών που έρχονται σε άμεση επαφή με το προϊόν. Ο έλεγχος τήρησης των παραπάνω πρότυπων διαδικασιών αναλαμβάνεται από την αρμόδια υπηρεσία του Υπουργείου Υγείας κάθε χώρας. Στην Ελλάδα ο οργανισμός αυτός είναι ο ΕΦΕΤ (Ενιαίος Φορέας Ελέγχου Τροφίμων) [9].

5.2.3 Συντήρηση και διαχείριση προϊόντων

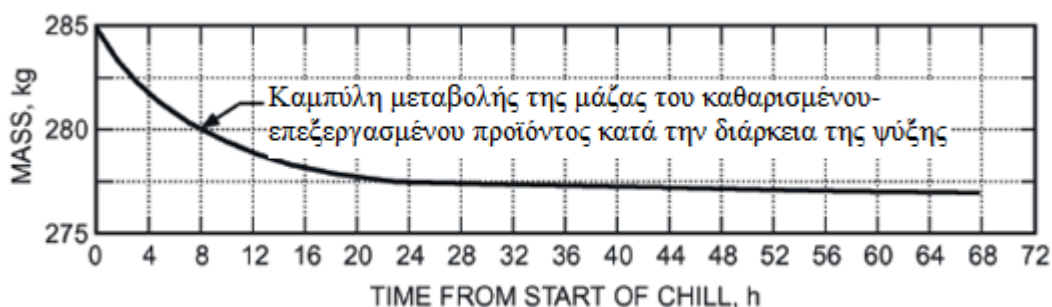
5.2.3.1 Μοσχαρίσιο κρέας

Η προσφιλή διαδικασία που ακολουθείται σε εγκαταστάσεις σφαγείων, είναι ο διακεκομμένος ψεκασμός με κρύο νερό σε νωπό βόειο κρέας, για 3 έως 8 ώρες κατά την ψύξη. Η διαδικασία αυτή, μειώνει τις απώλειες σε υγρασία του κρέατος και επιταχύνει την ψύξη. Οι απώλειες υγρασίας που εμφανίζονται είναι της τάξεως του 0.3 %, ενώ, παλαιότερες μέθοδοι εμφάνιζαν απώλειες έως και 2 %. Επιπλέον, η απώλεια υγρασίας εξαρτάται τόσο από το μέγεθος του σκελετού όσο και από το λίπος του μοσχαριού.

Η ψύξη ενός ολόκληρου μοσχαριού μπορεί να διαρκέσει από 16 έως και 20 ώρες και απαιτούνται εγκαταστάσεις θαλάμων με υψηλή σχετική υγρασία και με μεγάλες ποσότητες αέρα ψύξης. Για το λόγο αυτό, προτιμάται ο διαμελισμός των τμημάτων σε επιμέρους και συχνά, στο βόειο κρέας, η απομάκρυνση του σκελετού.

Το σφαγιασμένο κρέας, είτε ολόκληρο, είτε τεμαχισμένο, κρεμιέται σε γάντζους και αιωρείται εντός του θαλάμου. Οι γάντζοι μετακινούνται σε κατάλληλες αυλακώσεις χειροκίνητα ή αυτόματα με αποτέλεσμα ο χειρισμός των προϊόντων να γίνεται αρκετά εύκολα. Οι σιδηροτροχιές αυτές τοποθετούνται σε απόσταση τουλάχιστον 0.6 μέτρων από τα τοιχώματα του θαλάμου, ώστε να αποφεύγεται η επαφή των κρεάτων με αυτά. Επιπρόσθετα, είναι απαραίτητο να ισαπέχουν και τα προϊόντα μεταξύ τους, ώστε να επιτρέπεται η ομαλή ροή του αέρα ψύξης. Κατά τη στιγμή της σφαγής η περιεκτικότητα σε υγρασία των μυών κυμαίνεται στο 75 % της συνολικής μάζας. Επίσης, το μοσχαρίσιο κρέας έχει την ιδιαιτερότητα να απορροφά μεγάλες ποσότητες του νερού πλύσης, το οποίο εν συνεχεία εξατμίζεται. Επομένως, το αρχικό ζύγισμα του κρέατος

πραγματοποιείται πριν την πλύση του, ώστε να υπολογίζεται με ακρίβεια η πραγματική απώλεια της υγρασίας. Στο διάγραμμα 5.1 παρουσιάζεται η απώλεια μάζας κατά τη διάρκεια της ψύξης.



Διάγραμμα 5.1 Απώλεια μάζας μοσχαρίσιου κρέατος συναρτήσει του χρόνου ψύξης
(Πηγή: ASHRAE Handbooks-Fundamentals 2010 ch. 30)

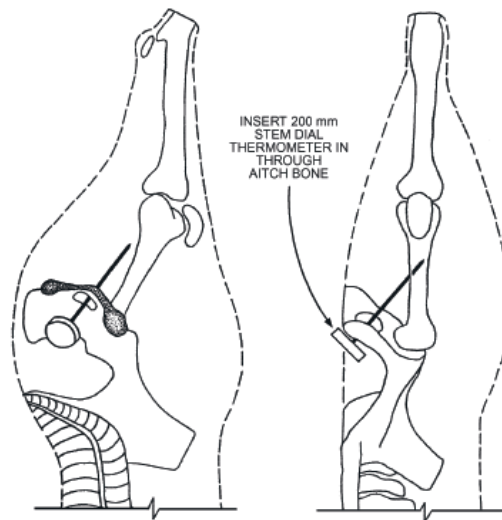
Τα συστήματα ψύξης που επιλέγονται, κυρίως στη βιομηχανία κρεάτων, χρησιμοποιούν ως ψυκτικό μέσο την αμμωνία. Οι μονάδες fan coil που τροφοδοτούν με αέρα το εσωτερικό του θαλάμου μπορεί να είναι οποιουδήποτε τύπου και χρειάζονται καθημερινή, σχεδόν, απόψυξη στη περίπτωση που στο θάλαμο φυλάσσονται κατεψυγμένα τρόφιμα.

Επιπρόσθετα, χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή κατά την απόψυξη του προϊόντος, πριν αυτό διατεθεί στη αγορά. Ο κύριος παράγοντας στον οποίο επικεντρώνεται η διαδικασία αυτή είναι η όσο το δυνατόν λιγότερη απώλεια υγρασίας από το κρέας. Οι μέθοδοι απόψυξης που εφαρμόζονται είναι, είτε με παροχή ζεστού αέρα ή νερού πάνω στο προϊόν, είτε με αποθήκευση του κρέατος σε θερμοκρασία 2 °C ή υψηλότερη.

Η θερμοκρασία του μοσχαρίσιου κρέατος αμέσως μετά τη σφαγή του υπολογίζεται γύρω στους 39 °C ενώ, το σημείο που εμφανίζεται η υψηλότερη θερμοκρασία είναι το ισχίο, το οποίο έχει 41 °C. Η τιμή της θερμοκρασίας του κρέατος είναι αναγκαίο να λαμβάνεται με ακρίβεια, για τον καλύτερο δυνατό υπολογισμό του ψυκτικού φορτίου. Η ακριβέστερη μέθοδος μέτρησης της θερμοκρασίας είναι με χρήση θερμομέτρου, το οποίο εισέρχεται εντός του ιστού και φτάνει ως το ισχιακό οστό, όπου εμφανίζεται και η υψηλότερη θερμοκρασία.

Η πλειοψηφία του βόειου κρέατος διατίθεται στην αγορά υπό τη μορφή τμημάτων του σκελετού συσκευασμένα αεροστεγώς σε πλαστικές συσκευασίες. Η αεροστεγής συσκευασία και η προηγούμενη κατάψυξή του με κρυογονική μέθοδο ψεκασμού με άζωτο ή διοξείδιο του άνθρακα παρουσιάζει τα εξής πλεονεκτήματα:

- Δημιουργία κενού αέρος, εμποδίζοντας την ανάπτυξη μούχλας.
- Διατήρηση της υγρασίας του ιστού, εμποδίζοντας την συρρίκνωσή του.
- Αποκλεισμός εισόδου βακτηρίων, με άμεση συνέπεια την επιμήκυνση του χρόνου ζωής του.



Εικόνα 5.6 Μέτρηση της υψηλότερης θερμοκρασίας του μοσχαρίσιου κρέατος
(Πηγή: ASHRAE Handbooks-Fundamentals 2010 ch. 30)

5.2.3.2 Χοιρινό κρέας

Το χοιρινό κρέας παρουσιάζει σχεδόν ίδια συμπεριφορά και ίδιες απαιτήσεις αποθήκευσης με το μοσχαρίσιο. Το μέσο βάρος ενός ολόκληρου γουρουνιού είναι 80 κιλά, γεγονός που περιορίζει την ψύξη και την κατάψυξή του με κυκλοφορία αέρα σε 12 έως 18 ώρες. Έτσι, στη περίπτωση αυτή, προτιμάται ο διαμελισμός σε μικρότερα τμήματα.

Ένα βασικό τμήμα μελέτης του χοιρινού κρέατος είναι τα υπολείμματα αυτού, όπως για παράδειγμα η κοιλιά, τα εντόσθια και τμήματα του ιστού, όπως ο ώμος, που δεν προτιμώνται από τους καταναλωτές. Η ποσότητά τους σε ένα ολόκληρο ζώο ανέρχεται περίπου στα 4 κιλά. Μέσω αυτών των υπολειμμάτων μάλιστα παρασκευάζονται προϊόντα, όπως τα λουκάνικα, ο κιμάς, το ζαμπόν και το μπέικον. Τα προϊόντα αυτά, εισέρχονται μετά την παραγωγή τους, στους θαλάμους με θερμοκρασίες έως και 40 °C. Εκεί, διατηρούνται στους -2 °C, εάν πρόκειται να καταναλωθούν το αμέσως επόμενο χρονικό διάστημα και στους -23 °C, εάν πρόκειται για μακροχρόνια αποθήκευση.

5.2.3.3 Αρνίσιο κρέας

Τα αρνιά ζυγίζουν συνήθως από 18 έως 36 κιλά, ενώ τα πρόβατα φτάνουν ακόμη και τα 57 κιλά. Συντηρούνται σε θερμοκρασίες μικρότερες του 1 °C, με σχετική υγρασία από 90 έως 95 %. Για να αποφευχθεί η εξάτμιση της υγρασίας του ιστού τους, η διαφορά θερμοκρασίας του αέρα ψύξης και του ψυκτικού μέσου δεν πρέπει να υπερβαίνει τους 5 °C. Οι ψυκτικές μονάδες που χρησιμοποιούνται είναι ίδιες με τις προηγούμενες κατηγορίες, με κάποιες μικρές τροποποιήσεις. Για παράδειγμα, στην ψύξη των αρνιών είναι επιθυμητή η μείωση των αλλαγών αέρα πάνω από τα σφάγια. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση ηλεκτροκινητήρα δύο ταχυτήτων, χρησιμοποιώντας την υψηλή ταχύτητα, για την αρχική ψύξη και τη χαμηλή, όταν πλέον έχει μειωθεί αρκετά η θερμοκρασία του κρέατος. Η παραπάνω διαφορά στις ταχύτητες καθώς και η επερχόμενη μείωση των εναλλαγών αέρα λαμβάνονται υπόψη κατά τη διάρκεια υπολογισμού του ψυκτικού φορτίου. Επιπλέον, με τη μείωση της ταχύτητας επιτυγχάνεται και η μείωση της εξάτμισης της υγρασίας του ιστού.

Τα σφάγια δεν πρέπει να βρίσκονται σε επαφή, ώστε να επιτρέπεται η ομαλή ροή του αέρα. Εισέρχονται στο θάλαμο σε θερμοκρασία έως 39 °C, με σημείο μέτρησης αυτής, το κέντρο των πίσω ποδιών.

5.2.4 Ψύξη και κατάψυξη κρεάτων

Η θερμοκρασία των κρεάτων αμέσως μετά τη διαδικασία της σφαγής πρέπει να ελαττώνεται στους 0 ή -2 °C, ώστε να αποφευχθεί η αλλοίωση της ποιότητάς τους. Αυτή η ταχεία κατάψυξη δεν πραγματοποιείται εύκολα, ιδιαίτερα σε κρέατα συσκευασμένα ή τοποθετημένα σε παλέτες. Στις περιπτώσεις αυτές, η απλή ψύξη με κυκλοφορία αέρα στο θάλαμο μπορεί να διαρκέσει έως και μια ημέρα. Έτσι, πάνω από το 50 % των βιομηχανιών επεξεργασίας κρέατος χρησιμοποιούν μεθόδους ταχυκατάψυξης. Στην περίπτωση αυτή η εγκατάσταση λειτουργεί σε θερμοκρασίες έως και -40 °C με ταχύτητες αέρα από 2.5 έως 5 m/sec και οι μονάδες fan coil είναι αξονικής ροής.

Η εναλλακτική μέθοδος που χρησιμοποιείται, κυρίως για συσκευασμένα τρόφιμα, είναι η χρήση καταψυκτών. Στις περιπτώσεις αυτές, οι καταψύκτες τοποθετούνται εντός του θαλάμου και χρησιμοποιούν κρυογονική μέθοδο κατάψυξης ή διά επαφής.

Η ψύξη και η κατάψυξη, του κρέατος, επηρεάζει σημαντικά:

- Το χρώμα

Το χρώμα του κατεψυγμένου κρέατος εξαρτάται από το ρυθμό της ψύξης. Δοκιμές απέδειξαν ότι, για μοσχαρίσια μπριζόλα σε αέρα θερμοκρασίας -30 και -40 °C, η οποία πρώτα εμβαπτίσθηκε σε νερό, το χρώμα στους -30 °C ήταν πλησιέστερο στο αρχικό.

- Τη γεύση και την υφή

Τα άρωμα του κρέατος δεν αλλοιώνεται, διότι δεν εξαρτάται από τη θερμοκρασία της ψύξης. Η γεύση και η υφή, όμως, εξαρτώνται άμεσα από την τελική θερμοκρασία κατάψυξης. Ταχύτερη κατάψυξη σε χαμηλές θερμοκρασίες αποτρέπει την αλλοίωση.

- Τη ποιότητα

Αναπόφευκτα, πολλές από τις θρεπτικές ουσίες χάνονται, μετά την πάροδο των μηνών που το προϊόν είναι κατεψυγμένο. Ιδιαίτερα, στην περίπτωση που δεν καταψύχθηκε ταχέως μετά την σφαγή του. Αυτή είναι και η αιτία, που προτιμώνται καταψύκτες κρυογονικής ψύξης για την κατάψυξη των κρεάτων.

- Το λίπος

Μετά τη διενέργεια διαφόρων πειραμάτων αποδείχθη ότι για θερμοκρασίες μεγαλύτερες των -20 °C και μετά την πάροδο 3 μηνών, το χοιρινό κρέας παρουσιάζει μεταβολή στο λίπος του.

Συνοψίζοντας, βάσει των ισχυρισμών της ASHRAE [10], το χοιρινό κρέας διατηρείται αναλλοίωτο για περισσότερο χρονικό διάστημα από όλα τα άλλα είδη κρέατος. Η διαφοροποίηση αυτή οφείλεται στη ποιότητα των κορεσμένων λιπαρών του, καθώς και στο ότι το χοιρινό παρουσιάζει τις λιγότερες ευαισθησίες κατά την κατάψυξή του. Επιθυμητές θερμοκρασίες και σχετικές υγρασίες κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης διάφορων προϊόντων κρέατος, παρουσιάζονται στον πίνακα 1.9 του παραρτήματος των πινάκων του 1^{ου} κεφαλαίου.

5.3 Προϊόντα πουλερικών

5.3.1 Γενικά

Τα προϊόντα πουλερικών και συγκεκριμένα τα κοτόπουλα, αποτελούν την πλέον ευρέως διαδεδομένη κατηγορία εκτρεφόμενων ζώων στη γη. Τα πουλερικά ανήκουν στην κατηγορία του λευκού κρέατος. Η βιομηχανία επεξεργασίας και ψύξης πουλερικών έχει να αντιμετωπίσει μία μεγάλη πρόκληση, την ασφαλή διατήρηση της ποιότητας των προϊόντων και παράλληλα, την πρόληψη ανάπτυξης παθογόνων μικροοργανισμών, οι οποίοι εν συνεχεία μεταφέρονται στον καταναλωτή και αναπτύσσονται με ραγδαίους ρυθμούς.

5.3.2 Ψύξη πουλερικών

Τα επεξεργασμένα, πλέον, προϊόντα, δηλαδή αυτά που σφαγιάστηκαν και καθαρίστηκαν, μπορούν να ψυχθούν στους $-3.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ή να καταψυχθούν σε χαμηλότερες θερμοκρασίες. Σύμφωνα με τους Αμερικάνικους κανονισμούς USDA [11], τα σφάγια πουλερικών με μάζα μικρότερη από 1.8 κιλά πρέπει να ψύχονται στους $4.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ή χαμηλότερα σε λιγότερο από 4 ώρες, από 1.8 έως 3.6 κιλά σε λιγότερο από 6 ώρες και άνω των 3.6 κιλών σε λιγότερο από 8 ώρες.

Οι μέθοδοι ψύξης και κατάψυξης που χρησιμοποιούνται για τα πουλερικά είναι:

- Με πάγο
- Με κυκλοφορία αέρα
- Με ψεκασμό νερού
- Με κρυογονική μέθοδο, είτε διοξειδίου του άνθρακα είτε με ψεκασμό υγρού αζώτου στις περιπτώσεις των συσκευασμένων προϊόντων.

Η μέθοδος ψύξης που χρησιμοποιείται τα τελευταία χρόνια είναι η εμβάπτιση των πουλερικών σε δεξαμενές με πάγο ή νερό και η εν συνεχεία συντήρησή τους στο θάλαμο, ενώ για ολόκληρα πουλερικά χρησιμοποιείται ψύξη με κυκλοφορία αέρα, είτε εντός του θαλάμου, είτε χρησιμοποιώντας καταψύκτη σε υψηλή θερμοκρασία.

Ωστόσο, και οι δύο παραπάνω μέθοδοι εμφανίζουν προβλήματα. Η ψύξη με κυκλοφορία αέρα είναι αρκετά αργή, με αποτέλεσμα να απαιτεί αρκετά χαμηλές θερμοκρασίες για την επίσπευσή της και επίσης, οδηγεί στην εξάτμισή της υγρασίας των προϊόντων. Η μέθοδος εμβάπτισης σε πάγο ή νερό εγκυμονεί κινδύνους βακτηριακής μόλυνσης, καθώς όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, τα πουλερικά είναι επιρρεπή στις μολύνσεις. Επιπλέον, είναι αρκετά υψηλό και το κόστος διαχείρισης των αποβλήτων. Κατά συνέπεια, το μέλλον στη ψύξη των πουλερικών αποτελεί η χρήση κρυογονικών μεθόδων.

Τα προϊόντα που έχουν ψυχθεί υπό κατάλληλες συνθήκες, αποτελούν ένα εξαιρετικό προϊόν. Ωστόσο, υπάρχουν αρκετοί περιορισμοί στην εμπορευσιμότητά τους λόγω της μικρής διάρκειας ζωής τους. Ένα πουλερικό που δεν καταψύχεται έχει μικρό χρόνο ζωής, εξαιτίας της βακτηριακής επιδείνωσης που υπόκειται και είναι αρκετά επικίνδυνη για τον ανθρώπινο οργανισμό. Μελέτες βασισμένες στο συνολικό αριθμό βακτηρίων απέδειξαν ότι πτηνά που διατηρούνται στους $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ για 14 ημέρες παρουσιάζουν ίδια συμπεριφορά με αυτά που διατηρούνται στους $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ για 5 ημέρες και στους $24\text{ }^{\circ}\text{C}$ για μία ημέρα.



Εικόνα 5.7 Ψυκτικός θάλαμος αποθήκευσης κοτόπουλων υπό ψύξη
(Πηγή: <http://www.scotschickenblog.com>)

5.3.3 Κατάψυξη πουλερικών

Οι θερμοκρασίες κατάψυξης και η προστασία από το ατμοσφαιρικό οξυγόνο, μειώνουν την βακτηριακή ανάπτυξη και παρατείνουν τη διάρκεια ζωής των πουλερικών. Γενικότερα, για αυτό το είδος των προϊόντων, προτιμάται η κατάψυξη σε αρκετά χαμηλές θερμοκρασίες, δηλαδή από -17 έως -30 °C όπου διατηρούνται έως και 10 μήνες. Σε περίπτωση αργής κατάψυξης σε εύρος θερμοκρασιών από -3 έως -10 °C εμφανίζεται, εντόνως, το φαινόμενο του σχηματισμού κρυστάλλων πάγου εντός του προϊόντος. Στη περίπτωση αυτή, κατά την απόψυξη αποβάλλεται μεγάλο μέρος της υγρασίας του προϊόντος, με αποτέλεσμα να αλλοιώνεται η υφή του κατά την κατανάλωση (στεγνό κρέας).

Οι μέθοδοι κατάψυξης που χρησιμοποιούνται είναι:

- Σήραγγες κυκλοφορίας αέρα.

Ο αέρας έχει θερμοκρασία -29 °C και ταχύτητα έως και $12,7$ m/sec. Τα προϊόντα τοποθετούνται εντός του καταψύκτη, έτσι ώστε να επιτρέπεται η ροή του αέρα σε κάθε ένα από αυτά.

- Καταψύκτες κρυογονικής ψύξης.

Με τη μέθοδο αυτή το προϊόν καταψύχεται σε μικρό χρονικό διάστημα και δημιουργείται μία κρούστα πάγου στο εξωτερικό του αποτρέποντας τον σχηματισμό στο εσωτερικό του και την περαιτέρω ξήρανσή του.

- Καταψύκτες σπειροειδούς ζώνης.

Η μέθοδος αυτή ενδείκνυται για συσκευασμένα πουλερικά αποφέροντας εξαιρετικά αποτελέσματα.

5.3.4 Απολύμανση πουλερικών

Λόγω της ευαισθησίας σε μολύνσεις που παρουσιάζουν τα πουλερικά, το σύστημα ελέγχου HACCP έχει επιβάλλει την απολύμανσή τους. Η παραπάνω διαδικασία λαμβάνει χώρα αμέσως μετά τη σφαγή και την επεξεργασία και πριν την ψύξη. Οι μέθοδοι απολύμανσης που χρησιμοποιούνται είναι οι εξής:

- Με ακτινοβολήση ακτινών Γάμμα.
- Με ψεκασμό υπέρθερμου ατμού θερμοκρασίας 140 °C για 25 ms.

5.4 Γαλακτοκομικά προϊόντα

5.4.1 Γενικά

Αναμφίβολα, η γαλακτοκομία αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους παραγωγικούς τομείς στην Ελλάδα. Οι μονάδες παραγωγής γαλακτοκομικών προϊόντων είναι πολλές, ποικίλων μεγεθών, σύγχρονες και καθετοποιημένες. Ο κλάδος αυτός τοποθετεί πραγματικά μεγάλες προκλήσεις στη βιομηχανική ψύξη, τόσο από άποψη ποικιλίας εφαρμογών, όσο και συνθηκών αποθήκευσης.

5.4.2 Συντήρηση γάλακτος

Μία μονάδα επεξεργασίας γάλακτος περιλαμβάνει ψυκτικές εγκαταστάσεις μεγάλων δυνατοτήτων, διότι υποχρεούται να καλύψει θερμοκρασιακές απαιτήσεις από 18 °C (ωρίμανση τυριών) μέχρι -30 °C (σκληρυνση παγωτού) και σχετικές υγρασίες από 55 % (γάλα σε σκόνη) μέχρι 85 % (βούτυρο).

Σε περίπτωση που η μονάδα παραλαμβάνει το γάλα, μετράει τον όγκο του και στη συνέχεια τα περιεχόμενα λιπαρά, τα μη λιπαρά στερεά καθώς και τις περιεχόμενες πρωτεΐνες. Εν συνεχεία, το γάλα φυλάσσεται σε δεξαμενές από 4 έως 230 m³. Οι δεξαμενές φέρουν εσωτερική επένδυση από ανοξείδωτο χάλυβα και επαρκής μόνωση από το περιβάλλον, ώστε να διαφυλάσσονται τα πρότυπα υγιεινής. Επίσης, η δεξαμενή διαθέτει σύστημα ανάδευσης, ώστε να διατηρείται ομοιόμορφη η θερμοκρασία και η κατανομή των λιπαρών.

Αναλόγως τη θερμοκρασία του εισερχόμενου γάλακτος και του χρόνου παραμονής του εντός της δεξαμενής αποφασίζεται αν χρήζει ψύξης. Οι περισσότερες δεξαμενές διαθέτουν σύστημα ψύξης τοποθετημένο πάνω τους. Η ψύξη αυτή μπορεί να επιτευχθεί, είτε με ροή παγωμένου νερού ή γλυκόλης, είτε με κατευθείαν εκτόνωση ψυκτικού υγρού. Εάν η δεξαμενή δεν φέρει σύστημα ψύξης τοποθετείται εντός ψυκτικών θαλάμων, με το μειονέκτημα ότι πρέπει να ψυχθεί πέραν του γάλακτος και όλη η δεξαμενή.

5.4.3 Συντήρηση παράγωγων γάλακτος

Τα παράγωγα του γάλακτος, όπως είναι τα τυροκομικά προϊόντα, αποθηκεύονται επίσης και σε θερμοκρασίες κατάψυξης. Οι μέθοδοι ψύξης και κατάψυξης εξαρτώνται από το εάν είναι συσκευασμένα ή όχι. Επιθυμητές συνθήκες αποθήκευσης παρουσιάζονται στον πίνακα 1.9.

Επιπρόσθετα, ένα ιδιαίτερο χαρακτηριστικό στην ψυκτική αλυσίδα παρουσιάζουν τα παγωτά. Ενώ όλα τα άλλα προϊόντα καταψύχονται με σκοπό την αύξηση της διάρκειας ζωής τους, αυτά έχουν το επιπλέον χαρακτηριστικό ότι καταψύχονται, για να αποκτήσουν τον καταναλωτικό τους χαρακτήρα. Είναι το μοναδικό τρόφιμο που καταναλώνεται κατεψυγμένο και ως εκ τούτου, εάν χάσει τις «κατεψυγμένες» προδιαγραφές του, είναι εμπορικά άχρηστο.

Η σωστή αποθήκευση του παγωτού είναι εξαιρετικά σημαντική. Να σημειωθεί ότι πάντα υπάρχει στο παγωτό ένα σημαντικό ποσοστό του νερού, που δεν έχει παγώσει. Ακόμα και στους -26 °C, ένα ποσοστό νερού πάνω από 10% δεν έχει στερεοποιηθεί. Στις θερμοκρασιακές διακυμάνσεις, κάποιο νερό λιώνει. Το νερό αυτό τείνει να σχηματίζει κρυστάλλους στη καθοδική φάση της θερμοκρασίας, με αποτέλεσμα να μειώνει τα γευστικά χαρακτηριστικά του παγωτού. Παρατεταμένος χρόνος αποθήκευσης παγωτού μπορεί να οδηγήσει σε επιφανειακή αφυδάτωση, ειδικά αν οι συσκευασίες δεν είναι αδιαπέραστες. Τούτο οφείλεται στην εξάχνωση του νερού από την επιφάνεια του προϊόντος. Για το λόγο αυτό, παγωτά σε σφραγισμένα μεταλλικά δοχεία, έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής, από παγωτά σε χάρτινες μικροσυσκευασίες. Στον επόμενο

πίνακα 5.2, δίνεται μια εκτίμηση της διάρκειας ζωής του παγωτού, ανάλογα με τη θερμοκρασία αποθήκευσης.

Μια μονάδα παραγωγής παγωτού έχει ποικίλες απαιτήσεις ψύξης, τόσο για την ίδια την παραγωγή, όσο και για τους χώρους που χρησιμοποιούνται για τη σκλήρυνση και αποθήκευση του τελικού προϊόντος. Επίσης, υπάρχουν ανάγκες ψυχρής αποθήκευσης των διαφόρων υλικών (πρώτων υλών), που προστίθενται στο παγωτό (π.χ. φρούτα, σοκολάτα κλπ), καθώς και τυχόν λοιπών γαλακτοκομικών προϊόντων, που μπορεί να παράγει η βιομηχανία (π.χ γιαούρτια, γάλα, τυροκομικά, κρέμες). Τονίζεται ότι σε μια μονάδα παραγωγής πολλαπλών γαλακτοκομικών προϊόντων, το συγκρότημα βιομηχανικής ψύξης πρέπει να σχεδιαστεί, μόνο εφόσον μελετηθεί η παραγωγική διαδικασία στο σύνολό της και αποτυπωθούν οι ανάγκες ψύξης όλων των προϊόντων και χώρων, τόσο κατά τη παραγωγική, όσο και την αποθηκευτική διαδικασία.

Μεμονωμένοι σχεδιασμοί ψυκτικών αναγκών οδηγούν σε σπατάλες κόστους επένδυσης και λειτουργίας. Για να εντοπιστούν συστηματικά και αποτελεσματικά οι ανάγκες βιομηχανικής ψύξης και να σχεδιαστεί ένα ψυκτικό συγκρότημα, που να λειτουργεί με τον οικονομικότερο δυνατό τρόπο, χρειάζεται καταρχήν να καταγραφούν οι ανάγκες θερμοκρασίας (θερμοκρασιακές ζώνες) και κατόπιν να γίνει επιλογή του συστήματος, που θα εξυπηρετεί κάθε ζώνη ή ομάδες ζωνών. Σημειώνεται ότι σε κάποιες εφαρμογές, όπως γρήγορη σκλήρυνση σε σήραγγες ή σκλήρυνση παγωτών σε καλούπι με υπέρψυχρη άλλη θερμοκρασίας -35 έως -38 °C, απαιτείται θερμοκρασία πρωτεύοντος ψυκτικού ρευστού της τάξης των -45 °C, που θεωρείται πολύ χαμηλή. Η παραγωγή ψύξης σε αυτές τις θερμοκρασίες είναι πολύ δαπανηρή και πρέπει να γίνεται πολύ προσεκτική επιλογή, τόσο του συστήματος, όσο και του ψυκτικού ρευστού, ώστε να επιτευχθεί το χαμηλότερο δυνατό κόστος.

Πίνακας 5.2 Διάρκεια ζωής παγωτού συναρτήσει της θερμοκρασία αποθήκευσης

Θερμοκρασία αποθήκευσης	-12 °C	-18 °C	-24 °C
Διάρκεια ζωής σε μήνες	1	6	24

Πηγή: www.cryologic.gr



Εικόνα 5.8 Μονάδα παρασκευής και κατάψυξης παγωτού
(Πηγή: <http://www.kourlampas.gr>)

5.5 Αυγά και παράγωγα αυγών

5.5.1 Επεξεργασία αυγών

Τα αυγά διατίθενται κατά κύριο λόγο στην αγορά με το κέλυφος, εμπεριέχονται όμως, ως κύριο συστατικό και σε άλλα τρόφιμα. Η επεξεργασία των αυγών πριν τη διάθεσή τους στην αγορά περιλαμβάνει καθαρισμό, πλύσιμο, στέγνωμα, και έλεγχο για τυχόν εσωτερικά ή εξωτερικά ελαττώματα. Περαιτέρω επεξεργασία αποτελεί η ξήρανση, η αφαίρεση του κελύφους και η παστερίωση, σε περίπτωση που αναμειχθεί με άλλα τρόφιμα.

5.5.2 Συντήρηση αυγών

Μετά την παραπάνω επεξεργασία και εφόσον η ποιότητά τους κρίνεται αποδεκτή, τα αυγά, ψύχονται στους 4 έως 7 °C, με σχετική υγρασία 75 έως 80 % και διατηρούνται έως και 3 εβδομάδες. Στις συνθήκες αυτές ελαχιστοποιείται η εξάτμιση της υγρασίας των αυγών. Ενώ, για θερμοκρασίες μεγαλύτερες από 7 °C και για πολυήμερη αποθήκευση, αυξάνονται οι πιθανότητες μόλυνσης. Ακολουθεί ο πίνακας 5.3, στον οποίο παρουσιάζεται η διάρκεια ζωής των αυγών, για διάφορες συνθήκες αποθήκευσης.

Πίνακας 5.3 Διάρκεια ζωής αυγού με κέλυφος σε διάφορες συνθήκες αποθήκευσης

Θερμοκρασία αποθήκευσης °C	Σχετική υγρασία %	Διάρκεια ζωής
7	75 έως 80	2 έως 3 εβδομάδες
4 έως 7	75 έως 80	2 έως 4 εβδομάδες
-1.5 έως -0.5	85 έως 90	5 έως 6 μήνες

(Πηγή: ASHRAE Handbooks-Fundamentals 2010 ch. 34)

Για τιμές της σχετικής υγρασίας πάνω από το 90 %, προκαλείται μούχλα στο εξωτερικό τμήμα του κελύφους και εν συνεχεία η διείσδυση στο εσωτερικό. Για μακροχρόνια αποθήκευση τα αυγά πρέπει να διατηρούνται σε θερμοκρασία ακριβώς πάνω από το σημείο στερεοποίησης τους στους -0.6 °C. Ωστόσο, η μακροχρόνια αποθήκευση χρησιμοποιείται σπάνια καθώς προτιμάται η κατανάλωσή τους όσο είναι φρέσκα.

Με τις σημερινές πρακτικές διαχείρισης, μεσολαβούν αρκετές ημέρες μέχρις ότου τα αυγά να φτάσουν από τα ορνιθοτροφεία στους θαλάμους αποθήκευσης. Αυτό έχει ως συνέπεια την ευαισθησία τους στις μολύνσεις. Για τον παραπάνω λόγο, προτιμάται τα αυγά να συσκευάζονται και να τοποθετούνται σε παλέτες. Οι παλέτες αυτές τοποθετούνται σε θαλάμους και ψύχονται με κυκλοφορία αέρα. Μία νέα πρακτική ψύξης των αυγών χρησιμοποιεί κρυογονική ψύξη, με διοχέτευση διοξειδίου του άνθρακα -51 °C, κατά την οποία τα αυγά ψύχονται στους 7 °C σε 15 λεπτά.

5.5.3 Συντήρηση προϊόντων αυγού

Τα παράγωγα των αυγών και δη τα υγρά, είναι εξαιρετικά ευαίσθητα. Πρέπει αμέσως μετά την παστερίωση να ψύχονται σε θερμοκρασίες από 1 έως 5 °C εντός των θαλάμων. Τοποθετούνται σε κιβώτια, πλαστικές συσκευασίες ή ειδικά δοχεία. Η κατάψυξη επιτυγχάνεται, κυρίως, με καταψύκτες κυκλοφορίας αέρα, σε θερμοκρασίες που κυμαίνονται από -20 έως και -40 °C, ενώ, τα παστεριωμένα στους -12 °C. Ο κύριος λόγος που χρησιμοποιούνται αυτές οι ακραίες θερμοκρασίες είναι η παράταση της διάρκειας ζωής τους, εξαιτίας της ευαισθησίας τους.

5.6 Θαλασσινά προϊόντα

5.6.1 Εισαγωγή

Τα θαλασσινά αποτελούν ένα ευρύ φάσμα προϊόντων, όπως είναι τα ψάρια, τα μαλάκια, τα οστρακοειδή κ.α. Τα προϊόντα αυτά, είτε αλιεύονται από τις θάλασσες, είτε εκτρέφονται σε ειδικά διαμορφωμένους χώρους στις θάλασσες και σε ιχθυοτροφεία. Προφανώς, οι συνθήκες αποθήκευσης που εφαρμόζονται και στις δύο παραπάνω περιπτώσεις, είναι κοινές. Στην Ελλάδα συγκεκριμένα, η αλιεία αποτελεί ένα από τα επαγγέλματα που ασκούνται από τα βάθη των αιώνων.

Έρευνες έχουν αποδείξει ότι θαλασσινά που αλιεύονται από τροπικά ύδατα, έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής από αυτά που βρίσκονται σε κρύα νερά, εξαιτίας της βακτηριακής χλωρίδας που διαθέτουν τα νερά αυτά.

5.6.2 Συντήρηση φρέσκων αλιευμάτων

Από τη στιγμή που τα αλιεύματα εκφορτώνονται στα πλοία ή συλλέγονται από τα ιχθυοτροφεία απαιτούν την επί τόπου αποθήκευσή τους, για τη διασφάλιση της ποιότητάς τους. Αυτός είναι ο λόγος που τα πλοία, καθώς και τα ιχθυοτροφεία, διαθέτουν θαλάμους αποθήκευσης. Ορισμένα προϊόντα καθαρίζονται και εν συνεχεία ψύχονται, όπως τα περισσότερα είδη ψαριών, ενώ άλλα, όπως οι αστακοί και τα καβούρια διατηρούνται ζωντανά σε θαλασσινό νερό, έως ότου πωληθούν.

Τα ψάρια χάνουν την ποιότητά τους από την δραστηριότητα των βακτηρίων και των ενζύμων. Οι χαμηλές θερμοκρασίες καταστέλλουν την δραστηριότητα αυτών. Τα προϊόντα που πρόκειται να διατεθούν στην αγορά ως φρέσκα, διατηρούνται σε κρύο νερό ή τοποθετούνται σε θρυμματισμένο πάγο σε θερμοκρασίες από -1 έως 16 °C. Χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή τόσο το νερό όσο και ο πάγος να είναι απολυμασμένα, ώστε να μην μολύνουν τα προϊόντα και ασφαλώς να είναι μίας χρήσης, ώστε να ανανεώνονται για κάθε προϊόν.

Η μέγιστη διάρκεια ζωής των φρέσκων αλιευμάτων σε θαλάμους ποικίλλει ανάλογα με το είδος. Σε γενικές γραμμές, αποθηκεύονται στους 2 °C, με σχετική υγρασία 90 %, για 10 έως 15 ημέρες, ενώ αυτά που διατηρούνται στο θαλασσινό νερό αποθηκεύονται το πολύ έως μία εβδομάδα. Η ταχύτητα του αέρα εντός του θαλάμου πρέπει να είναι ελεγχόμενη, για την αποφυγή της τήξης του πάγου. Τέλος, τα δάπεδα του θαλάμου σχεδιάζονται έτσι, ώστε να αποστραγγίζονται πλήρως, και πρέπει να υπάρχει εύκολη πρόσβαση σε κάθε σημείο, για να γίνεται πλήρης καθαρισμός.

5.6.3 Συντήρηση κατεψυγμένων αλιευμάτων

Σε θερμοκρασίες κατάψυξης, η βακτηριακή δραστηριότητα είναι αισθητά περιορισμένη. Ωστόσο, αν και τα θαλασσινά ψύχονται έως τους -29 °C αρκετά αποτελεσματικά, μετά την πάροδο κάποιων μηνών η ποιότητά τους αναπόφευκτα αλλοιώνεται. Επομένως, χρήζουν εκτενούς μελέτης η μέθοδος καθώς και οι συνθήκες κατάψυξης, που θα χρησιμοποιηθούν. Επιπλέον, καθώς ορισμένες χώρες καταναλώνουν ωμά ψάρια (π.χ σούσι), η κατάψυξη έχει ακόμη ένα λόγο ιδιαίτερης προσοχής.



Εικόνα 5.9 Ψυκτικός θάλαμος αποθήκευσης κατεψυγμένων τόνων σε αμπάρι πλοίου
(Πηγή: <http://www.flickrriver.com>)

Η μέθοδος κατάψυξης που χρησιμοποιείται κυρίως, είναι ταχεία, διότι παρουσιάζει τα εξής πλεονεκτήματα:

- Την κατάψυξη του προϊόντος σε μικρό χρονικό διάστημα προλαμβάνοντας όσο το δυνατόν καλύτερα την αλλοίωσή του.
- Διευκόλυνση του ταχέως χειρισμού μεγάλων ποσοτήτων προϊόντων, μειώνοντας σημαντικά το κόστος διαχείρισης.
- Το τελικό κατεψυγμένο προϊόν έχει ομοιόμορφη εμφάνιση, χωρίς κενά και εξογκώματα.

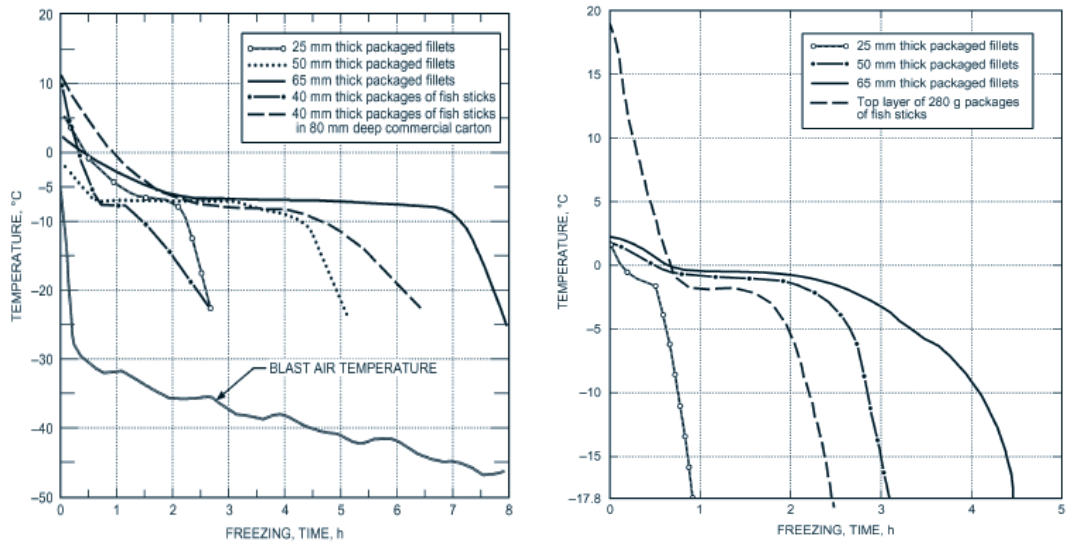
Οι τύποι καταψυκτών που προτιμώνται είναι:

- *Καταψύκτες σήραγγας ή σπειροειδούς ζώνης με κυκλοφορία αέρα.* Οι ταχύτητες αέρα κυμαίνονται από 2.5 έως 7.5 m/sec. Σε χαμηλότερες ταχύτητες η κατάψυξη είναι χρονοβόρα και αναποτελεσματική. Τα προϊόντα συνήθως στη περίπτωση αυτή καταψύχονται και εν συνεχεία συσκευάζονται.
- *Καταψύκτες πλακών.* Η συγκεκριμένη μέθοδος χρησιμοποιείται για την ψύξη προϊόντων σε παλέτες ή χάρτινα κουτιά το πολύ έως 5 κιλών. Παρόλο που τα αποτελέσματα που προσφέρει είναι εξαιρετικά, είναι αναποτελεσματική για μεγάλα προϊόντα.

Παρακάτω ακολουθούν ενδεικτικά διαγράμματα του χρόνου ψύξης, για κάθε μία από τις παραπάνω μεθόδους, συναρτήσει του μεγέθους των ψαριών, έως την επιθυμητή θερμοκρασία.

- *Καταψύκτες κρυογονικής κατάψυξης.* Η μέθοδος ψεκασμού με υγρό άζωτο ή διοξείδιο του άνθρακα, επιφέρει τα καλύτερα δυνατά αποτελέσματα ταχείας κατάψυξης. Λόγω του κόστους της εγκατάστασης, η χρήση τους ενδείκνυται για προϊόντα υψηλής αξίας, όπως είναι για παράδειγμα οι γαρίδες. Με την εφαρμογή της μεθόδου αυτής, η απώλεια μάζας και η αφυδάτωση των προϊόντων θεωρούνται αμελητέες.

Εφόσον τα προϊόντα καταψυχθούν, αποθηκεύονται σε ψυκτικούς θαλάμους, όπου διατηρούνται στην επιθυμητή θερμοκρασία των -25°C περίπου και σχετικής υγρασίας 90 %. Η παραπάνω διαδικασία γίνεται, είτε σε βιομηχανίες επεξεργασίας αλιευμάτων, είτε πάνω σε πλοία, τα οποία υποχρεούνται να διαθέτουν τις απαραίτητες εγκαταστάσεις.



Διάγραμμα 5.2, 5.3 Χρόνος κατάψυξης τμημάτων συσκευασμένων ψαριών με τη μέθοδο κυκλοφορίας αέρα (αριστερά) και επίπεδων πλακών (δεξιά)
(Πηγή: ASHRAE Handbooks-Fundamentals 2010 ch. 32)



Εικόνα 5.10 Κατάψυξη γαρίδων σε καταψύκτη κρυογονικής κατάψυξης, φάση εξόδου από σήραγγα
(Πηγή: <http://www.pbaindustrial.com>)

5.7 Χυμοί φρούτων

5.7.1 Συντήρηση χυμών

Τα περισσότερα προϊόντα λιανικής πώλησης συσκευάζονται σε κουτιά με φύλλα φυτικών ινών, παρόλο που συχνά, μπορεί να χρησιμοποιηθούν το αλουμίνιο και τα κονσερβοκούτια χάλυβα. Τα μεγέθη κυμαίνονται από 180 έως 2000 ml. Οι εγκαταστάσεις αποθήκευσης υπό ψύξη, για την επεξεργασία των χυμών, μπορούν να χωριστούν σε τρεις κατηγορίες, ανάλογα με τις θερμοκρασιακές απαιτήσεις τους, σε -18, -10 και -1 °C.

Τα γεμάτα δοχεία περνούν, δια μέσω καταψυκτών, όπου η θερμοκρασία τους μειώνεται σε -18 ° C ή χαμηλότερα, σε διάστημα 45 έως 90 λεπτών. Οι μέθοδοι κατάψυξης που χρησιμοποιούνται είναι με καταψύκτες κυκλοφορίας αέρα.

Οι διατηρημένοι, με απλή ψύξη χυμοί, συσκευάζονται συνήθως, είτε σε κουτιά ινών, είτε σε πλαστικά μπουκάλια. Η ιδανική θερμοκρασία αποθήκευσης είναι περίπου -1 °C, αλλά συχνά στο λιανικό εμπόριο ανέρχεται σε 4 έως 7 °C και συνήθως αποθηκεύονται σε ψυγεία οικιακής χρήσης. Η κανονική διάρκεια ζωής είναι 3 έως 4 εβδομάδες. Οι διατηρημένοι, με απλή ψύξη, χυμοί διατίθεται στην αγορά σε δύο βασικές μορφές: συμπυκνωμένοι και μη συμπυκνωμένοι. Λόγω του υψηλότερου λειτουργικού κόστους, το μη-συμπυκνωμένο προϊόν είναι σε υψηλότερες τιμές.

5.7.2 Χυμός πορτοκαλιού

Ο χυμός πορτοκαλιού, αποτελεί το μεγαλύτερο ποσοστό από τον συνολικό όγκο των χυμών που παράγονται στον Ελλαδικό χώρο.

Ο επεξεργασμένος χυμός πορτοκαλιού πωλείται σε τέσσερις κύριες μορφές:

1. Κατεψυγμένος, συμπυκνωμένος με 3 προς 1 συγκέντρωση, στην οποία τρεις δόσεις ποσοτήτων νερού προστίθενται σε μία δόση ποσότητας του συμπυκνώματος για ανασύσταση, σε μία ποικιλία μεγεθών πακέτων συσκευασίας. Αυτά είναι τα γνωστά προϊόντα λιανικής πώλησης.
2. Συμπυκνωμένος χύμα σε μεγάλες ποσότητες στους 65° Brix¹. Αυτό είναι ένα ενδιάμεσο προϊόν, το οποίο αγοράζεται και πωλείται καθημερινά ως προθεσμιακό συμβόλαιο μελλοντικής εκπλήρωσης στο Χρηματιστήριο Εμπορευμάτων.
3. Παγωμένος χυμός πορτοκαλιού, ο οποίος είναι έτοιμος για να καταναλωθεί, όταν (από)χυθεί από το χαρτοκιβώτιο. Αυτός είναι, είτε ανασυσταμένα συμπυκνωμένος, είτε μη συμπυκνωμένος χυμός. Σύμφωνα με το νόμο, αυτά τα δύο προϊόντα θα πρέπει να φέρουν την ένδειξη ως επισήμανση σε ετικέτα "από συμπυκνωμένο χυμό" ή "από μη συμπυκνωμένο χυμό".
4. Σε καταστήματα ή σε εστιατόρια συμπυκνωμένος σε ειδικές συσκευασίες των 4 προς 1 συγκεντρώσεων ή υψηλότερων.

Μετά την επεξεργασία, τα συμπυκνώματα του κατεψυγμένου χυμού (3 προς 1) επικεντρώνονται σε συσκευασίες λιανικής πώλησης, που πρέπει να φυλάσσονται σε θερμοκρασία -18 °C. Οι υπερσυμπυκνωμένοι χύμα χυμοί (65° brix), μπορούν να αποθηκευτούν ικανοποιητικά περίπου στους -9 °C. Οι παγωμένοι χυμοί αποθηκεύονται περίπου στους -1 έως 0 °C.

¹Βαθμοί brix (°Bx) είναι μια μέτρηση της μαζικής αναλογίας διαλυμένης σακχαρώζης στο νερό. Μετρείται με ένα σακχαρόμετρο, που μετρά συγκεκριμένη πυκνότητα από ένα υγρό.

5.8 Προϊόντα γλυκά – Ξηροί καρποί

5.8.1 Εισαγωγή

Ο κλιματισμός και η ψύξη αποτελούν απαραίτητες προϋποθέσεις για την παρασκευή και συντήρηση των γλυκών. Στην κατηγορία των γλυκών κατατάσσονται στερεά προϊόντα, όπως οι σοκολάτες, καθώς και υγρά, όπως το σιρόπι και το μέλι. Για την παραγωγή τους απαιτούν θερμοκρασίες από 18 έως 21°C και σχετική υγρασία γύρω στο 50 %. Η κατηγορία αυτή των προϊόντων χρήζει ιδιαίτερης προσοχής στο χειρισμό τους, καθώς απαγορεύεται να έρθει σε επαφή με τον άνθρωπο.

5.8.2 Ψύξη γλυκών

Η μέθοδος ψύξης που χρησιμοποιείται στα γλυκά είναι με χρήση καταψυκτών σε υψηλές θερμοκρασίες. Συγκεκριμένα, η χρήση ψυκτών υπό τη μορφή σήραγγας με κυκλοφορία ψυχρού αέρα αποτελεί την προσφιλέστερη μέθοδο. Τα προϊόντα τοποθετούνται συσκευασμένα στην αρχή του μεταφορικού ιμάντα μέσω κατάλληλων διατάξεων και ψύχονται. Η ροή του αέρα είναι αντίθετη της κίνησης των προϊόντων, η θερμοκρασία του κυμαίνεται από 2 έως 7 °C και η ταχύτητα του αέρα φτάνει έως και 2.5 m/sec. Σε εξαιρετικά σπάνιες περιπτώσεις, όπου ο διαθέσιμος χώρος εντός του θαλάμου είναι περιορισμένος, χρησιμοποιείται ψύκτης σπειροειδούς ζώνης.

Σε αυτές τις θερμοκρασίες αποθηκεύονται ικανοποιητικά τα περισσότερα γλυκά έως και 4 μήνες, ενώ γλυκά προϊόντα όπως το μέλι και οι καραμέλες διατηρούνται και παραπάνω από ένα χρόνο. Αντιθέτως, γλυκά που εμπεριέχουν και άλλα στοιχεία όπως φρούτα αλλοιώνονται με τη πάροδο των μηνών.

5.8.3 Κατάψυξη γλυκών

Για την κατάψυξη των γλυκών χρησιμοποιούνται οι ίδιοι καταψύκτες, σε χαμηλές θερμοκρασίες έως και -20 °C και σχετική υγρασία έως 45 %.

5.8.4 Ξηροί καρποί

Αν και οι θερμοκρασίες αποθήκευσης των ξηρών καρπών κυμαίνονται από -30 έως 20 °C, η σχετική υγρασία μεταβάλλεται από 65 έως 75 %. Σε θερμοκρασίες χαμηλότερες των 20 °C, διατηρούνται για 6 μήνες, ενώ σε χαμηλότερες των 9 °C, έως και 9 μήνες και σε θερμοκρασίες κατάψυξης, πάνω από ένα χρόνο. Η ψύξη και η κατάψυξη των ξηρών καρπών επιτυγχάνεται με απλή αποθήκευση σε ψυκτικούς θαλάμους κυκλοφορίας αέρα.

Τα πλεονεκτήματα ψύξης των ξηρών καρπών είναι:

- Αύξηση της διάρκειας εμπορευσιμότητάς του έως και 10 φορές παραπάνω.
- Διατήρηση της υφής, της γεύσης και του χρώματός τους αναλλοίωτα, όπως την πρώτη ημέρα συγκομιδής τους.
- Δεν υπόκεινται σε μολύνσεις ή προσβολή από τα έντομα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο ΨΥΚΤΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ ΘΑΛΑΜΩΝ

6.1 Εισαγωγή

Ο καθορισμός της ψυκτικής ισχύος και η επιλογή της κατάλληλης ψυκτικής εγκαταστάσεως, που θα τροφοδοτεί με την απαραίτητη ψύξη τους ψυκτικούς θαλάμους αποθήκευσης προϊόντων ενός βιομηχανικού ψυγείου ή ψυκτικού συγκροτήματος και θα εξασφαλίζει την εύρυθμη λειτουργία τους, προϋποθέτει τον προσδιορισμό και υπολογισμό των επιμέρους θερμικών φορτίων. Ο επακριβής προσδιορισμός των ψυκτικών φορτίων είναι αρκετά δυσχερής λόγω του μεγάλου αριθμού των μεταβλητών που υπεισέρχονται. Ωστόσο, η μέθοδος υπολογισμού που στηρίζεται σε δεδομένα της ASHRAE [12], εφαρμόζεται με αρκετά μεγάλη ακρίβεια και παρουσιάζει ικανοποιητικά αποτελέσματα.

6.2 Ψυκτικά φορτία

Το συνολικό ψυκτικό φορτίο ενός ψυκτικού θαλάμου περιλαμβάνει:

- Το φορτίο ψύξης του χώρου
- Το φορτίο ψύξης ή κατάψυξης των προϊόντων
- Το ψυκτικό φορτίο εσωτερικής λειτουργίας
- Το φορτίο εναλλαγών αέρα
- Το ψυκτικό φορτίο που σχετίζεται με τον εξοπλισμό

6.2.1 Φορτίο ψύξης του χώρου-(Transmission load)

Το φορτίο ψύξης του χώρου ή μετάδοσης θερμότητας ψύξης στο χώρο αναφέρεται στη θερμότητα που προσδίδεται στο εσωτερικό του ψυκτικού θαλάμου ώστε να διατηρείται η θερμοκρασία σταθερή στα επιθυμητά επίπεδα. Επί της ουσίας, είναι τα θερμικά φορτία που δέχεται ένας ψυκτικός θάλαμος μέσω των τοιχωμάτων του, του δαπέδου και της οροφής. Τα φορτία αυτά εξαρτώνται άμεσα από το υλικό κατασκευής των επιμέρους δομικών στοιχείων, από την ύπαρξη και το πάχος της θερμομονώσεως, από την γεωμετρία της κατασκευής (μονώροφη ή πολυώροφη εγκατάσταση) και από το αν οι εξωτερικές επιφάνειες είναι άμεσα εκτεθειμένες στην ηλιακή ακτινοβολία.

Το αισθητό θερμικό φορτίο των δομικών στοιχείων που καλείται να αντιμετωπιστεί, υπολογίζεται για κάθε τμήμα του θαλάμου ξεχωριστά ως εξής:

$$q = U \cdot A \cdot \Delta t \quad (6.1)$$

Όπου:

q: θερμικό φορτίο (Watt)

A: εμβαδόν επιφανείας (m²)

Δt: διαφορά μεταξύ εξωτερικής και εσωτερικής θερμοκρασίας ψυκτικού θαλάμου (°C)

U: συντελεστής μεταφοράς θερμότητας (W/ m². °C)

Το λανθάνον θερμικό φορτίο, από την μετάδοση υγρασίας μέσω των δομικών στοιχείων στις νέες εγκαταστάσεις ψυκτικών θαλάμων θεωρείται αμελητέο.

Ο ολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας των δομικών στοιχείων υπολογίζεται ως εξής:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{x}{k} + \frac{1}{h_o}} \quad (6.2)$$

Όπου: x : πάχος τοιχωμάτων (m)

k : θερμική αγωγιμότητα τοιχωμάτων (W/ m. °C)

h_i : εσωτερική επιφανειακή αγωγιμότητα (1.6 W/ m². °C)

h_o : εξωτερική επιφανειακή αγωγιμότητα (1.6 W/ m². °C για άπνοια αέρα και 6 W/ m². °C για ταχύτητα αέρα μεγαλύτερη των 25 km/hour)

Για τοιχώματα μεγάλου πάχους και χαμηλής αγωγιμότητας, η αντίσταση x/k καθιστά τόσο μικρό το συντελεστή U ώστε οι συντελεστές $1/h_i$ και $1/h_o$ να έχουν τόσο μικρή επίδραση, που παραλείπονται. Ορισμένες φορές, τα τοιχώματα είναι κατασκευασμένα από περισσότερα από ένα υλικά, συνεπώς, η τιμή x/k αντιπροσωπεύει τη σύνθετη αντίσταση του κάθε υλικού. Στη περίπτωση αυτή, ο συντελεστής U για τοίχωμα με επίπεδες παράλληλες επιφάνειες τριών υλικών για παράδειγμα, υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$U = \frac{1}{\frac{x_1}{k_1} + \frac{x_2}{k_2} + \frac{x_3}{k_3}} \quad (6.3)$$

Όπου:

$x_{1,2,3}$: πάχος τοιχωμάτων κάθε υλικού (m)

$k_{1,2,3}$: θερμική αγωγιμότητα τοιχωμάτων (W/ m. °C)

Για συνήθεις υπολογισμούς η θερμότητα που εισέρχεται σε ένα ψυκτικό θάλαμο από διαχωριστικές επιφάνειες μπορεί να υπολογισθεί με τη βοήθεια του πίνακα 6.2, σε συνάρτηση της θερμοκρασιακής διαφοράς και του πάχους της θερμομονώσεως της επιφάνειας. Δεδομένου ότι παλαιότερα γινόταν χρήση σχεδόν μόνο φελλού ως υλικό θερμοπροστασίας των ψυκτικών θαλάμων, έχει επικρατήσει και δίνονται στον πίνακα αυτό τα θερμικά φορτία από τα δομικά στοιχεία σε συνάρτηση του ισοδύναμου πάχους μονώσεως σε m φελλού. Επομένως, για χρήση διαφορετικών υλικών γίνεται σχετική αναγωγή του πάχους αυτών σε ισοδύναμο πάχος φελλού. Κριτήριο για τον ακριβή προσδιορισμό του ισοδύναμου πάχους φελλού αποτελεί η εσωτερική θερμοκρασία του θαλάμου. Ακολουθεί ο πίνακας 6.1 που παρουσιάζει το επιθυμητό ισοδύναμο πάχος μόνωσης σε φελλό για κάθε εσωτερική θερμοκρασία.

Πίνακας 6.1 Ελάχιστο ισοδύναμο πάχος φελλού συναρτήσει της θερμοκρασίας

Θερμοκρασία θαλάμου °C	Ισοδύναμο πάχος φελλού για τοιχώματα σε m	Ισοδύναμο πάχος φελλού για πάτωμα και οροφή σε m
15 έως 25	0,077	0,102
5 έως 15	0,102	0,128
-3 έως 5	0,128	0,153
-10 έως -3	0,153	0,179
-18 έως -10	0,179	0,204
-26 έως -18	0,204	0,255
-40 έως -26	0,255	0,281

Πηγή: Ειδικά κεφάλαια ψύξης, Σ. Χατζηδάκης, Ε.Μ.Π

Πίνακας 6.2 Συντελεστής μεταφοράς θερμότητας συναρτήσει του ισοδύναμου πάχους φελλού

Μόνωση από φελλό ή ισοδύναμη μόνωση σε m	U (W/m ² . °C)
0,077	0,5678
0,102	0,4258
0,128	0,3407
0,153	0,2839
0,179	0,2437
0,204	0,2129
0,230	0,1893
0,255	0,1703
0,281	0,1561
0,306	0,1419
0,332	0,1301
0,358	0,1206
Απλό τζάμι	6,3872
Διπλό τζάμι	2,6022
Τριπλό τζάμι	1,6559

Πηγή: Ειδικά κεφάλαια ψύξης, Σ. Χατζηδάκης, Ε.Μ.Π

Στην περίπτωση που οι εξωτερικές επιφάνειες του θαλάμου είναι άμεσα εκτεθειμένες στην ηλιακή ακτινοβολία, κατά τον υπολογισμό του απαιτούμενου ψυκτικού φορτίου πρέπει να ληφθεί υπόψη και το ποσό της θερμότητας, που προέρχεται από την ηλιακή ακτινοβολία και το οποίο τελικά φτάνει στον ψυκτικό θάλαμο. Ένα μέρος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας ανακλάται προς το περιβάλλον, ενώ το υπόλοιπο απορροφάται από τα δομικά στοιχεία και μεταφέρεται στο εσωτερικό του θαλάμου. Με την επιλογή κατάλληλων υλικών και χρωματισμών των εξωτερικών επιφανειών ενός θαλάμου είναι δυνατό να περιοριστούν σημαντικά τα θερμικά φορτία που προέρχονται από την προσπίπτουσα ακτινοβολία.

Το ποσό της θερμότητας της ηλιακής ακτινοβολίας που εισέρχεται τελικά εντός του θαλάμου λαμβάνεται υπόψη απλά με κατάλληλη προσαύξηση της θερμοκρασιακής διαφοράς Δt μεταξύ περιβάλλοντα και εσωτερικού χώρου του θαλάμου, ως εξής:

Πίνακας 6.3 Προσαύξηση της θερμοκρασιακής διαφοράς Δt κάθε δομικού στοιχείου

Τύπος επιφάνειας	Προσαυξήσεις θερμοκρασίας °C				
	Ανατολικός τοιίχος	Νότιος τοιίχος	Δυτικός τοιίχος	Πάτωμα	Οροφή
Σκούρα-dark (π.χ επικάλυψη πίσσας)	5	3	5	11	11
Μέτρια σκούρα-medium (Ξύλο, τούβλο, τσιμέντο, κόκκινος ή γκρι ή πράσινος χρωματισμός)	4	3	4	9	9
Ανοιχτόχρωμη-light (Άσπρη πέτρα, ανοιχτόχρωμο τσιμέντο, άσπρος χρωματισμός)	3	2	3	5	5

(Πηγή: ASHRAE Handbooks-Fundamentals 2010 ch. 24)

6.2.2 Φορτίο ψύξης ή κατάψυξης προϊόντων-(Product load)

Τα πρωτογενή φορτία ψύξης των προϊόντων που εισάγονται και διατηρούνται στο ψυκτικό θάλαμο ανταποκρίνονται σε δύο κατηγορίες προέλευσης θερμότητας:

1. Θερμότητα που πρέπει να αφαιρεθεί από τα προϊόντα ώστε αυτά να αποκτήσουν την επιθυμητή θερμοκρασία αποθήκευσης.
2. Θερμότητα που παράγεται από τα προϊόντα κατά την αποθήκευσή τους. Αυτή η ιδιότητα των φρούτων και των λαχανικών είναι γνωστή ως θερμότητα αναπνοής και εμφανίζεται σε θερμοκρασίες αποθήκευσης μεγαλύτερες της στερεοποίησεως.

Στην περίπτωση αποθήκευσης εντός του θαλάμου συσκευασμένων προϊόντων με μεγάλο ποσοστό βάρους συσκευασίας ως προς το βάρος του προϊόντος, πρέπει επίσης να ληφθεί υπόψη κατά τον υπολογισμό του ψυκτικού φορτίου του θαλάμου και η θερμοχωρητικότητα της συσκευασίας και κατά συνέπεια το φορτίο ψύξης αυτής.

6.2.2.1 Απομάκρυνση θερμότητας προϊόντων

Η ποσότητα της θερμότητας που πρόκειται να απομακρυνθεί από το προϊόν υπολογίζεται ως εξής:

1. Θερμότητα που απομακρύνεται για την ψύξη από την αρχική σε θερμοκρασία υψηλότερη της στερεοποίησεως:

$$Q_1 = m \cdot c_{p,ab} \cdot (t_{init} - t_2) \quad (6.4)$$

2. Θερμότητα που απομακρύνεται για την ψύξη από την αρχική θερμοκρασία σε αυτή της στερεοποίησης:

$$Q_2 = m \cdot c_{p,ab} \cdot (t_{init} - T_f) \quad (6.5)$$

3. Θερμότητα απομάκρυνσης για τη στερεοποίηση του προϊόντος:

$$Q_3 = m \cdot Q_{lat} \quad (6.6)$$

4. Θερμότητα που απομακρύνεται από τη θερμοκρασία στερεοποίησης έως την επιθυμητή θερμοκρασία κατάψυξης:

$$Q_4 = m \cdot c_{p,bel} \cdot (T_f - t_3) \quad (6.7)$$

Όπου:

m: μάζα προϊόντος (kg)

$c_{p,ab}$: ειδική θερμοχωρητικότητα άνω του σημείου στερεοποίησης
(βλ. Κεφ. 1) (kJ/kg. °C)

$c_{p,bel}$: ειδική θερμοχωρητικότητα κάτω του σημείου στερεοποίησης
(βλ. Κεφ. 1) (kJ/kg. °C)

t_{init} : θερμοκρασία προϊόντος κατά τη προσαγωγή του στο θάλαμο (°C)

t_2 : θερμοκρασία αποθήκευσης προϊόντος μεγαλύτερη της στερεοποίησεως (°C)

T_f : θερμοκρασία στερεοποίησεως (°C)

Q_{lat} : λανθάνουσα θερμότητα στερεοποίησης προϊόντος

t_3 : θερμοκρασία αποθήκευσης προϊόντος μικρότερη της στερεοποίησεως (°C)

Το ψυκτικό φορτίο που απαιτείται για την επίτευξη των παραπάνω καθορίζεται από το χρόνο που αφιερώνεται για την απομάκρυνση της θερμότητας. Ο χρόνος αυτός προϋποθέτει ότι το προϊόν είναι σωστά τοποθετημένο ώστε να επιτυγχάνεται ο βέλτιστος ρυθμός ψύξης. Το φορτίο αυτό ορίζεται:

$$\text{Load}_{\text{product}} = \frac{Q_2 + Q_3 + Q_4}{3600 \cdot n} \quad (6.8)$$

Όπου:

$Load_{product}$: μέσο ψυκτικό φορτίο (kW)

n: διατιθέμενος χρόνος ή χρόνος ψύξης-κατάψυξης προϊόντος (h)

6.2.2.2 Φορτίο αναπνοής προϊόντων

Το φορτίο αναπνοής των φρούτων και των λαχανικών παρουσιάζεται στον πίνακα 1.8 για θερμοκρασίες υψηλότερες του 0 °C. Σε θερμοκρασίες μικρότερες το ποσό της θερμότητας που παράγεται από τα προϊόντα είναι αμελητέο. Στην παρούσα διπλωματική εργασία το φορτίο αναπνοής ενός προϊόντος υπολογίζεται από μία συνάρτηση η οποία προσομοιώνει τις τιμές του πίνακα με τη αριθμητική μέθοδο των κυβικών splines που παρέχει το υπολογιστικό περιβάλλον του MATHCAD 14.

6.2.3 Ψυκτικό φορτίο εσωτερικής λειτουργίας-(Internal load)

Το εσωτερικό φορτίο λειτουργίας καλείται να αντιμετωπίσει τη θερμότητα που παράγεται από:

1. Τον ηλεκτρολογικό εξοπλισμό
2. Τα ανυψωτικά μηχανήματα
3. Τον εξοπλισμό επεξεργασίας των προϊόντων
4. Το εργατικό προσωπικό

6.2.3.1 Φορτίο ηλεκτρολογικού εξοπλισμού

Περιλαμβάνει το σύνολο της θερμότητας που απορρίπτεται εντός του θαλάμου από τις ηλεκτρικές συσκευές όπως είναι τα φώτα, οι ηλεκτροκινητήρες, οι θερμοαντήρες κ.α.

Για το φορτίο φωτισμού ισχύει:

$$Load_{light} = (R_L - wall_{insul}) \cdot (R_W - wall_{insul}) \cdot LL \quad (6.9)$$

Όπου:

$Load_{light}$: θερμικό φορτίο φωτισμού (Watt)

R_L : εξωτερικό μήκος θαλάμου (m)

R_W : εξωτερικό πλάτος θαλάμου (m)

$wall_{insul}$: πάχος μόνωσης τοιχώματος (m)

LL: επίπεδο φωτισμού που επιθυμείται (W/m^2)

Για το φορτίο των ηλεκτροκινητήρων αντλιών ισχύει:

$$LoadH_K(type_{motor}, MR) = \begin{cases} loadH_K1(MR) & \text{if } type_{motor} = 1 \\ loadH_K2(MR) & \text{if } type_{motor} = 2 \\ loadH_K2(MR) & \text{if } type_{motor} = 3 \end{cases} \quad (6.10)$$

Όπου:

$LoadH_K(type_{motor}, MR)$: Είναι η συνάρτηση που δίνει το θερμότητα σε Watt που απορρίπτεται εντός του θαλάμου για οποιοδήποτε τύπο και ονομαστική ισχύ ηλεκτροκινητήρα, όπως διατυπώνεται στο υπολογιστικό περιβάλλον του MATHCAD.

$type_{motor}$: τύπος ηλεκτροκινητήρα που επιλέγεται. Οι τιμές που παίρνει η μεταβλητή αυτή είναι 1,2,3 αναλόγως τον τύπο που χρησιμοποιείται όπως παρουσιάζεται παρακάτω.

MR: ονομαστική ισχύς του ηλεκτροκινητήρα (kW)

loadH_K(MR): Συνάρτηση που προσομοιώνει το απορριπτόμενο φορτίο για κάθε τύπο ηλεκτροκινητήρα συναρτήσει των ονομαστικών στροφών με χρήση των τιμών του πίνακα 6.4 και της αριθμητικής μεθόδου των κυβικών splines.

Οι πιθανοί τύποι τριφασικών ηλεκτροκινητήρων, σε ονομαστικές στροφές 1750 rpm, που μπορούν να επιλεγούν είναι τρεις:

1. Το μοτέρ και ο οδηγός εξοπλισμός βρίσκονται εντός του θαλάμου. Αυτή είναι η περίπτωση με τη μέγιστη απορριπτόμενη θερμότητα.
2. Το μοτέρ εκτός ενώ ο οδηγός εξοπλισμός εντός του θαλάμου.
3. Το μοτέρ εντός και ο οδηγός εξοπλισμός εκτός του θαλάμου.

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζεται το φορτίο που απορρίπτεται στο θάλαμο για κάθε μία από τις παραπάνω περιπτώσεις.

Πίνακας 6.4 Φορτίο κάθε τύπου ηλεκτροκινητήρα που απορρίπτεται εντός του θαλάμου

Θερμότητα που παράγεται σε Watt			
ονομαστική ισχύς H/K (kW)	H/K ΜΕΣΑ-- ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΜΕΣΑ	H/K ΕΞΩ-- ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΜΕΣΑ	H/K ΜΕΣΑ-- ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΕΞΩ
0.56	776	557	217
0.75	993	747	249
1.1	1453	1119	334
1.5	1887	1491	396
2.2	2763	2238	525
3.7	4541	3721	817
5.6	6651	5596	1066
7.5	8760	7178	1315
11.2	13009	11192	1820
14.9	17140	14913	2230
18.6	21184	18635	2545
22.4	25110	22370	2765
30	33401	29885	3690
37	41900	37210	4600
45	50395	44829	5538
56	62115	55962	6210
75	82918	74719	8290
93	103430	93172	10342
110	123060	111925	11075
150	163785	149135	14738
190	204805	186346	18430

(Πηγή: ASHRAE Handbooks-Fundamentals 2010 ch. 24)

Κάθε τιμή του πίνακα δίδεται από τη συνάρτηση $LoadH_K(type_{motor}, MR)$.

Για το φορτίο των ηλεκτροκινητήρων συστημάτων fan-coil ισχύει:

$$Load_{fans} = No_{fans} \cdot LoadH_K(type_{motor}, MR_{fan}) \quad (6.11)$$

Όπου:

$LoadH_K(type_{motor}, MR)$: η προηγούμενη συνάρτηση θερμικού φορτίου

$Load_{fans}$: φορτίο συστήματος fan-coil (Watt)

No_{fans} : αριθμός ανεμιστήρων

6.2.3.2 Φορτίο ανυψωτικών μηχανημάτων

Σε ψυκτικούς θαλάμους με ύψος μεγαλύτερο από αυτό του ανθρώπου η φόρτωση και η εκφόρτωση των προϊόντων γίνεται με περνοφόρα ανυψωτικά μηχανήματα και με γεραμούς. Τα μηχανήματα αυτά δεν λειτουργούν συνεχώς και επίσης δεν παράγουν την ίδια θερμότητα για κάθε λειτουργία τους. Για το λόγο αυτό λαμβάνεται μία μέση ονομαστική τους ισχύ. Το ψυκτικό φορτίο που απαιτείται για την αντιμετώπιση της θερμότητας που προσδίδεται ορίζεται ως εξής:

$$\text{Load}_{\text{truck}} = \text{No}_{\text{tr}} \cdot \text{PQ}_{\text{tr}} \cdot 100 \quad (6.12)$$

Όπου:

$\text{Load}_{\text{truck}}$: Ψυκτικό φορτίο ανυψωτικών μηχανημάτων (Watt)

No_{tr} : αριθμός ανυψωτικών μηχανημάτων

PQ_{tr} : ονομαστική ισχύς μηχανήματος (kW)

6.2.3.3 Φορτίο εξοπλισμού επεξεργασίας των προϊόντων

Εξοπλισμός όπως φούρνοι, αναδευτήρες και ξηραντήρες προϊόντων ενδέχεται να βρίσκονται εντός του ψυκτικού θαλάμου. Το ψυκτικό φορτίο ισούται με την ονομαστική τους ισχύ σε συσχετισμό με τη διάρκεια λειτουργίας τους. Από την άλλη πλευρά, οι συνεχείς εξοικονομήσεις ενέργειας έχουν οδηγήσει στη τοποθέτηση του παραπάνω εξοπλισμού εξωτερικά του θαλάμου. Για το λόγο αυτό στην παρούσα εργασία δεν θα εξεταστεί το φορτίο αυτό.

6.2.3.4 Φορτίο εργατικού προσωπικού

Οι άνθρωποι επίσης συνεισφέρουν στην παραγωγή θερμότητας εντός του θαλάμου. Το φορτίο αυτό είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας του θαλάμου καθώς και του φόρτου εργασίας τους. Υπολογίζεται ως εξής:

$$\text{Load}_{\text{people}} = \text{No}_{\text{people}} \cdot (272 - 6 \cdot T_{\text{συντ}}) \quad (6.13)$$

Όπου:

$\text{Load}_{\text{people}}$: ψυκτικό φορτίο ανθρώπων (Watt)

$\text{No}_{\text{people}}$: αριθμός εργαζομένων εντός του θαλάμου

$T_{\text{συντ}}$: εσωτερική θερμοκρασία θαλάμου (θερμοκρασία αποθήκευσης των προϊόντων) ($^{\circ}\text{C}$)

Στην περίπτωση που η εργασία τους είναι έντονη, δηλαδή εισέρχονται και εξέρχονται συνεχώς στο θάλαμο, το αποτέλεσμα της παραπάνω εξίσωσης πολλαπλασιάζεται με ένα συντελεστή περί το 1.25.

6.2.4 Ψυκτικό φορτίο εναλλαγών αέρα

Το ψυκτικό φορτίο που απαιτείται για την αντιμετώπιση του θερμικού κέρδους από τη διεύδυση αέρα στους ψυκτικούς θαλάμους, μπορεί να αποτελέσει το μισό του συνολικού. Επομένως, απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή κατά τον υπολογισμό του για την αποφυγή αστοχιών. Η συχνότητα με τη οποία γίνονται οι εναλλαγές αέρα εξαρτάται από το είδος του αποθηκευμένου προϊόντος. Για την εναλλαγή χρησιμοποιείται είτε ατμοσφαιρικός αέρας είτε φιλτραρισμένος αέρας μέσω αεραγωγών είτε μέσω των θυρών του θαλάμου.

Το ψυκτικό φορτίο εναλλαγών αέρα υπολογίζεται:

$$\text{Load}_{\text{infiltration}} = N_{\text{doors}} \cdot q \cdot D_t \cdot D_f \cdot (1 - E) \cdot 100 \quad (6.14)$$

Όπου:

$\text{Load}_{\text{infiltration}}$: ψυκτικό φορτίο ανανεώσεων αέρα (Watt)

N_{doors} : αριθμός θυρών θαλάμου όπου χρησιμοποιούνται με την ίδια συχνότητα

q : αισθητό και λανθάνον φορτίο ψύξης (kW)

D_t : συντελεστής που αναφέρεται στο διάρκεια που οι θύρες είναι ανοικτές

D_f : συντελεστής που αναφέρεται στη ροή του αέρα

E : αποτελεσματικότητα διήθησης αέρα εντός του θαλάμου.

- $E=0$ εάν δεν χρησιμοποιείται συσκευή διακίνησης αέρα (π.χ αεραγωγοί ή αεροκουρτίνες)
- $E=0.7$ με χρήση αεροκουρτίνων άνωθεν της θύρας
- $E=0.75 \div 0.95$ εάν χρησιμοποιείται κατάλληλο σύστημα αεραγωγών το οποίο αυξάνει σημαντικά το κόστος της κατασκευής

Το αισθητό και το λανθάνον φορτίο ψύξης υπολογίζεται:

$$q = 0.221A \cdot (h_{\text{out}} - h_{\text{in}}) \cdot \rho_{\text{in}} \cdot \left(1 - \frac{\rho_{\text{out}}}{\rho_{\text{in}}}\right)^{0.5} \cdot (9.807H_d)^{0.5} \cdot F_m \quad (6.15)$$

Όπου:

A : εμβαδόν διατομής της πόρτας από όπου εισέρχεται ο αέρας (m^2)

$$A = H_d \cdot W_d$$

W_d : πλάτος πόρτας ή πλάτος ανοίγματος από όπου εισέρχεται ο αέρας στην περίπτωση που δεν έχει ανοίξει πλήρως η πόρτα

h_{out} : ενθαλπία αέρα που εισέρχεται στο θάλαμο (kJ/kg)

h_{in} : ενθαλπία αέρα ψύξης στο εσωτερικό του θαλάμου (kJ/kg)

ρ_{out} : πυκνότητα αέρα ανανέωσης (kg/m^3)

ρ_{in} : πυκνότητα αέρα ψύξης (kg/m^3)

H_d : ύψος πόρτας (m)

F_m : παράγοντας πυκνότητας

Ο παράγοντας της πυκνότητας υπολογίζεται από τη σχέση:

$$F_m = \left[\frac{2}{1 + \left(\frac{\rho_{\text{in}}}{\rho_{\text{out}}}\right)^{\frac{1}{3}}}\right]^{1.5} \quad (6.16)$$

Όπου:

ρ_{out} : πυκνότητα αέρα ανανέωσης (kg/m^3)

ρ_{in} : πυκνότητα αέρα ψύξης (kg/m^3)

Η ενθαλπία του αέρα είναι μία συνάρτηση της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας. Στον υπολογιστικό κώδικα συμβολίζεται $H_{\text{air}}(\text{RH}, t)$ και υπολογίζεται για πίεση $p=1.013 \cdot 10^5$ Pa και θερμοκρασίες από -100 έως 100 °C ως εξής:

$$H_{\text{air}}(\text{RH}, t) := t + W_{\text{sh}}(\text{RH}, t) \cdot (2501 + 1.805t) \quad (6.17)$$

Όπου:

t: θερμοκρασία αέρα (°C)

RH: σχετική υγρασία

W_{sh}: ποσοστό ειδικής υγρασίας

$$W_{sh}(RH, t) := 0.622 \frac{p_v(RH, t)}{p_a(RH, t)} \quad (6.18)$$

p_v: πίεση υγρού ατμού

p_a = p - p_v

$$p_v(RH, t) := RH p_s(t) \quad (6.19)$$

p_s: μερική πίεση ατμού

$$p_s(t) := p_{sK}(t + 273.15) \quad (6.20)$$

p_{sK}: πίεση κορεσμένου ατμού

$$p_{sK}(T) := \begin{cases} \exp\left(\frac{a}{T} + b + c \cdot T + d \cdot T^2 + e \cdot T^3 + f \cdot \ln(T)\right) & \text{if } 0 < T \\ \exp\left(\frac{a}{T} + c_2 + c_3 \cdot T + c_4 \cdot T^2 + c_5 \cdot T^3 + c_6 \cdot T^4 + c_7 \cdot \ln(T)\right) & \text{if } T \leq 100 \end{cases} \quad (6.21)$$

Όπου:

$$\begin{aligned} a &:= -5.800220610^3 & c_1 &:= -5.674535910^3 \\ b &:= 1.391499 & c_2 &:= 6.392524 \\ c &:= -4.864023910^{-2} & c_3 &:= -9.67784310^{-3} \\ d &:= 4.176476810^{-5} & c_4 &:= 6.221570410^{-7} \\ e &:= -1.445209310^{-8} & c_5 &:= 2.074782510^{-9} \\ f &:= 6.545967 & c_6 &:= -9.484024010^{-13} \\ & & c_7 &:= 4.163501 \end{aligned}$$

Ενώ η πυκνότητα του αέρα εκφράζεται με τη συνάρτηση ρ_{air}(t) η οποία με τη μέθοδο των κυβικών splines προσομοιώνει τις τιμές του πίνακα 1.12.

Ο συντελεστής που αναφέρεται στο ποσοστό της χρονικής περιόδου της συχνότητας που επιλέγεται όπου οι θύρες είναι ανοικτές υπολογίζεται:

$$D_t = \frac{P \cdot \theta_p + 60 \cdot \theta_o}{3600 \theta_d} \quad (6.22)$$

Όπου:

P: αριθμός όμοιων πορτών που ανοίγουν για τη διείσδυση του αέρα την ίδια χρονική στιγμή και για την ίδια χρονική διάρκεια.

θ_p: χρόνος που απαιτείται ώστε να ανοίξει ή να κλείσει η πόρτα (sec)

- 15 έως 25 sec για τυπική πόρτα

- 5 έως 10 sec για πόρτα σύγχρονη υψηλής τεχνολογίας

θ_o: χρονική διάρκεια που η πόρτα παραμένει ανοικτή (min)

θ_d: συχνότητα κάθε πότε επιλέγεται να ανοίγει η πόρτα (hours)

Ο συντελεστής που αναφέρεται στη ροή του αέρα υπολογίζεται:

$$D_f = \begin{cases} 1.1 & \text{if } T_{\text{atm}} - T_{\text{in}} < 11 \\ 0.8 & \text{if } T_{\text{atm}} - T_{\text{in}} \geq 11 \end{cases} \quad (6.23)$$

Όπου:

T_{atm} : θερμοκρασία εισερχόμενου αέρα ανανέωσης ($^{\circ}\text{C}$)

T_{in} : θερμοκρασία αέρα ψύξης ($=T_{\text{conv}}$) ($^{\circ}\text{C}$)

6.2.5 Ψυκτικό φορτίο που σχετίζεται με τον εξοπλισμό

Το θερμικό κέρδος που συνδέεται με την λειτουργία του εξοπλισμού ψύξης αποτελείται από:

- Τους θερμαντήρες ή ξηραντήρες του αέρα σε περιπτώσεις όπου επιθυμείται μείωση της σχετικής υγρασίας.
- Θερμότητα που εκπέμπεται από μονάδες που βρίσκονται τοποθετημένες εντός του θαλάμου όπως είναι οι καταψύκτες.
- Θερμότητα που εκπέμπεται από την απόψυξη των μονάδων fan-coil ή των καταψυκτών.

Για παράδειγμα, σε περίπτωση που ένας καταψύκτης βρίσκεται εντός του θαλάμου, ο οποίος λειτουργεί σε θερμοκρασίες κατάψυξης, το θερμικό φορτίο που προστίθεται και καλείται να αντιμετωπιστεί είναι το 25 % της ονομαστικής ισχύος του καταψύκτη. Επίσης, στη περίπτωση απόψυξης μίας μονάδας fan-coil για θερμοκρασίες θαλάμου από -1 έως -10 $^{\circ}\text{C}$ το θερμικό φορτίο ανέρχεται στο 5 % της ονομαστικής ισχύος της μονάδας ενώ για θερμοκρασίες χαμηλότερες μπορεί να είναι και το 30 %. Αντίθετα, για θερμοκρασίες θαλάμου μεγαλύτερες του -1 $^{\circ}\text{C}$ το θερμικό φορτίο είναι αμελητέο και δεν χρήζει υπολογισμού ψυκτικού φορτίου.

6.3 Συντελεστής ασφαλείας

Γενικά, το υπολογιζόμενο ψυκτικό φορτίο αυξάνεται κατά ένα συντελεστή 10% για να επιτρέπονται πιθανές αποκλίσεις μεταξύ των κριτηρίων σχεδιασμού και της πραγματικής λειτουργίας. Οι αποκλίσεις αυτές οφείλονται σε ορισμένες έκτατες ανάγκες καθώς και σε ακραίες δυσμενείς καιρικές συνθήκες (παρατεταμένοι καύσωνες).

Η χρήση του συντελεστή ασφαλείας εφαρμόζεται σε καθένα από τα τέσσερα πρώτα τμήματα θερμικού φορτίου και όχι για το φορτίο του εξοπλισμού. Η απόψυξη του ατμοποιητή της κεντρικής μονάδας ψύξης αλλά και των μονάδων fan-coil είναι σχεδόν καθημερινή διαδικασία και διαρκεί έως και 3 ώρες, ειδικότερα δε όταν ο θάλαμος λειτουργεί σε ακραίες θερμοκρασίες αποθήκευσης όπως -30 και -40 $^{\circ}\text{C}$.

6.4 Παράδειγμα ASHRAE[13]

Θάλαμος αποθήκευσης κατεψυγμένων Cranberries (N° 56).

Βήμα 1° Καθορισμός κριτηρίων σχεδίασης και δεδομένων θαλάμου

Συνθήκες περιβάλλοντος: θερμοκρασία ξηρής σφαίρας 33 °C, υγρής σφαίρας 27 °C.
(συνήθως γίνεται υπολογισμός κατά την 21^η Ιουλίου)

Διαστάσεις θαλάμου: 40.5*68*9 m³

Χρωματισμός θαλάμου: Ανοιχτόχρωμος

Χωρητικότητα θαλάμου: 4800 παλέτες

Εσωτερική θερμοκρασία θαλάμου (T_{in}=T_{συντ}): -23 °C.

Τοποθέτηση θαλάμου στο χώρο:

- Βόρεια πλευρά: εξωτερικές διαστάσεις 40.5*9 m² τοποθετημένη εξωτερικά υπό σκιά (χωρίς να δέχεται δηλαδή ηλιακή ακτινοβολία).
- Ανατολική πλευρά: εξωτερικές διαστάσεις 68*9 m² τοποθετημένη εξωτερικά υπό σκιά.
- Δυτική πλευρά: εξωτερικές διαστάσεις 68*9 m² γειτνιάζει με διπλανό θάλαμο αποθήκευσης κρέατος θερμοκρασίας -2 °C.
- Νότια πλευρά: εξωτερικές διαστάσεις 40.5*9 m² γειτνιάζει με αποβάθρα εκφόρτωσης προϊόντων θερμοκρασίας 7 °C.
- Οροφή: εξωτερικές διαστάσεις 40.5*68 m² εκτεθειμένη στην ηλιακή ακτινοβολία.
- Δάπεδο: εξωτερικές διαστάσεις 40.5*68 m² γειτνιάζει με το έδαφος θερμοκρασίας 16 °C.

Βήμα 2° Υπολογισμός φορτίο ψύξης του χώρου

- Εξωτερικός όγκος θαλάμου

$$R_{OUT_VOLUME}(R_L, R_W, R_H) := R_L \cdot R_W \cdot R_H$$

$$R_{OUT_VOLUME}(40.5, 68, 9) = 2.4786 \times 10^4 \text{ m}^3$$

- Εσωτερικός όγκος θαλάμου

$$R_{IN_VOLUME}(R_L, R_W, R_H, T_{in}) := (R_L - 2 \text{wall}_{insul}(T_{in})) \cdot (R_W - 2 \text{wall}_{insul}(T_{in})) \cdot (R_H - 2 \text{rf}_{insul}(T_{in}))$$

$$R_{IN_VOLUME}(40.5, 68, 9, -23) = 2.3007 \times 10^4 \text{ m}^3$$

- Πάχος μόνωσης τοίχων

$$\text{wall}_{insul}(T_{in}) := \begin{cases} 0.076 & \text{if } T_{in} > 15 \\ 0.102 & \text{if } 5 < T_{in} \leq 15 \\ 0.128 & \text{if } -3 < T_{in} \leq 5 \\ 0.153 & \text{if } -10 < T_{in} \leq -3 \\ 0.179 & \text{if } -18 < T_{in} \leq -10 \\ 0.204 & \text{if } -26 < T_{in} \leq -18 \\ 0.255 & \text{if } -45 < T_{in} \leq -26 \end{cases}$$

$$\text{wall}_{insul}(-23) = 0.204 \text{ m}$$

- Πάχος μόνωσης οροφής και πατώματος

$$r_{f_{insul}}(T_{in}) := \begin{cases} 0.102 & \text{if } T_{in} > 15 \\ 0.128 & \text{if } 5 < T_{in} \leq 15 \\ 0.153 & \text{if } -3 < T_{in} \leq 5 \\ 0.179 & \text{if } -10 < T_{in} \leq -3 \\ 0.204 & \text{if } -18 < T_{in} \leq -10 \\ 0.255 & \text{if } -26 < T_{in} \leq -18 \\ 0.281 & \text{if } -45 < T_{in} \leq -26 \end{cases}$$

$$r_{f_{insul}}(-23) = 0.255 \text{ m}$$

- Υπολογισμός θερμοκρασιακής διαφοράς συμπεριλαμβανομένου των προσαυξήσεων

Οροφή

$$\Delta t_{roof}(located, color, T_{out}, T_{in}) := \begin{cases} \text{if } located = \text{"outside"} \\ \left| \begin{cases} (T_{out} - T_{in}) + Sun_effect_{2,6} & \text{if } color = \text{"dark_colored"} \\ (T_{out} - T_{in}) + Sun_effect_{3,6} & \text{if } color = \text{"medium_colored"} \\ (T_{out} - T_{in}) + Sun_effect_{4,6} & \text{if } color = \text{"light_colored"} \end{cases} \right. \\ T_{out} - T_{in} & \text{if } located = \text{"inside"} \end{cases}$$

$$\Delta t_{roof}(\text{"outside"}, \text{"light_colored"}, 33, -23) = 61 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Δάπεδο

$$\Delta t_{floor}(located, color, T_{out}, T_{in}) := \begin{cases} \text{if } located = \text{"outside"} \\ \left| \begin{cases} (T_{out} - T_{in}) + Sun_effect_{2,5} & \text{if } color = \text{"dark_colored"} \\ (T_{out} - T_{in}) + Sun_effect_{3,5} & \text{if } color = \text{"medium_colored"} \\ (T_{out} - T_{in}) + Sun_effect_{4,5} & \text{if } color = \text{"light_colored"} \end{cases} \right. \\ T_{out} - T_{in} & \text{if } located = \text{"inside"} \end{cases}$$

$$\Delta t_{floor}(\text{"inside"}, \text{"light_colored"}, 16, -23) = 39 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Βόρειος τοίχος

$$\Delta t_{north}(located, color, T_{out}, T_{in}) := \begin{cases} \text{if } located = \text{"outside"} \\ \left| \begin{cases} (T_{out} - T_{in}) & \text{if } color = \text{"dark_colored"} \\ (T_{out} - T_{in}) & \text{if } color = \text{"medium_colored"} \\ (T_{out} - T_{in}) & \text{if } color = \text{"light_colored"} \end{cases} \right. \\ T_{out} - T_{in} & \text{if } located = \text{"inside"} \end{cases}$$

$$\Delta t_{north}(\text{"inside"}, \text{"light_colored"}, 33, -23) = 56 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Ανατολικός τοίχος

$$\Delta t_{\text{east}}(\text{located}, \text{color}, T_{\text{out}}, T_{\text{in}}) := \begin{cases} \text{if located} = \text{"outside"} \\ \left| \begin{array}{l} (T_{\text{out}} - T_{\text{in}}) + \text{Sun_effect}_{2,2} \text{ if color} = \text{"dark_colored"} \\ (T_{\text{out}} - T_{\text{in}}) + \text{Sun_effect}_{3,2} \text{ if color} = \text{"medium_colored"} \\ (T_{\text{out}} - T_{\text{in}}) + \text{Sun_effect}_{4,2} \text{ if color} = \text{"light_colored"} \end{array} \right. \\ T_{\text{out}} - T_{\text{in}} \text{ if located} = \text{"inside"} \end{cases}$$

$$\Delta t_{\text{east}}(\text{"inside"}, \text{"light_coloured"}, 33, -23) = 56 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Δυτικός τοίχος

$$\Delta t_{\text{west}}(\text{located}, \text{color}, T_{\text{out}}, T_{\text{in}}) := \begin{cases} \text{if located} = \text{"outside"} \\ \left| \begin{array}{l} (T_{\text{out}} - T_{\text{in}}) + \text{Sun_effect}_{2,4} \text{ if color} = \text{"dark_colored"} \\ (T_{\text{out}} - T_{\text{in}}) + \text{Sun_effect}_{3,4} \text{ if color} = \text{"medium_colored"} \\ (T_{\text{out}} - T_{\text{in}}) + \text{Sun_effect}_{4,4} \text{ if color} = \text{"light_colored"} \end{array} \right. \\ T_{\text{out}} - T_{\text{in}} \text{ if located} = \text{"inside"} \end{cases}$$

$$\Delta t_{\text{west}}(\text{"inside"}, \text{"light_colored"}, -2, -23) = 21 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Νότιος τοίχος

$$\Delta t_{\text{south}}(\text{located}, \text{color}, T_{\text{out}}, T_{\text{in}}) := \begin{cases} \text{if located} = \text{"outside"} \\ \left| \begin{array}{l} (T_{\text{out}} - T_{\text{in}}) + \text{Sun_effect}_{2,3} \text{ if color} = \text{"dark_colored"} \\ (T_{\text{out}} - T_{\text{in}}) + \text{Sun_effect}_{3,3} \text{ if color} = \text{"medium_colored"} \\ (T_{\text{out}} - T_{\text{in}}) + \text{Sun_effect}_{4,3} \text{ if color} = \text{"light_colored"} \end{array} \right. \\ T_{\text{out}} - T_{\text{in}} \text{ if located} = \text{"inside"} \end{cases}$$

$$\Delta t_{\text{south}}(\text{"inside"}, \text{"light_colored"}, 7, -23) = 30 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Όπου:

Δt : τελική θερμοκρασιακή διαφορά $^\circ\text{C}$

located: μεταβλητή που εκφράζει εάν το δομικό στοιχείο δέχεται ή όχι ηλιακή ακτινοβολία outside-δέχεται inside-δεν δέχεται

color: χρωματισμός κάθε δομικού στοιχείου

T_{out} : θερμοκρασία στη εξωτερική πλευρά του κάθε δομικού στοιχείου $^\circ\text{C}$

T_{in} : θερμοκρασία στο εσωτερικό του θαλάμου $^\circ\text{C}$

Sun_effect: πίνακας 6.3 προσαιξήσεων θερμοκρασίας

➤ Υπολογισμός θερμικού κέρδους κάθε δομικού στοιχείου από την εξίσωσης 6.1

Οροφή

$$q_{\text{roof}}(R_L, R_W, \text{located}, \text{color}, T_{\text{out}}, T_{\text{in}}) := \begin{cases} U \leftarrow U(\text{rf}_{\text{insul}}(T_{\text{in}})) \\ A \leftarrow (R_L - 2 \text{wall}_{\text{insul}}(T_{\text{in}})) \cdot (R_W - 2 \text{wall}_{\text{insul}}(T_{\text{in}})) \\ \Delta t \leftarrow \Delta t_{\text{roof}}(\text{located}, \text{color}, T_{\text{out}}, T_{\text{in}}) \\ U \cdot A \cdot \Delta t \cdot W \end{cases}$$

$$q_{\text{roof}}(40.5, 68, \text{"outside"}, \text{"light_colored"}, 33, -23) = 2.8151 \times 10^4 \text{ W}$$

Δάπεδο

$$q_{\text{floor}}(R_L, R_W, \text{located}, \text{color}, T_{\text{out}}, T_{\text{in}}) := \begin{cases} U \leftarrow U(\text{rf}_{\text{insul}}(T_{\text{in}})) \\ A \leftarrow (R_L - 2\text{wall}_{\text{insul}}(T_{\text{in}})) \cdot (R_W - 2\text{wall}_{\text{insul}}(T_{\text{in}})) \\ \Delta t \leftarrow \Delta t_{\text{floor}}(\text{located}, \text{color}, T_{\text{out}}, T_{\text{in}}) \\ U \cdot A \cdot \Delta t \cdot W \end{cases}$$

$$q_{\text{floor}}(40.5, 68, \text{"inside"}, \text{"light_colored"}, 16, -23) = 1.7998 \times 10^4 \text{ W}$$

Βόρειος τοίχος

$$q_{\text{north}}(R_L, R_H, \text{located}, \text{color}, T_{\text{out}}, T_{\text{in}}) := \begin{cases} U \leftarrow U(\text{wall}_{\text{insul}}(T_{\text{in}})) \\ A \leftarrow (R_L - 2\text{wall}_{\text{insul}}(T_{\text{in}})) \cdot (R_H - 2\text{rf}_{\text{insul}}(T_{\text{in}})) \\ \Delta t \leftarrow \Delta t_{\text{north}}(\text{located}, \text{color}, T_{\text{out}}, T_{\text{in}}) \\ U \cdot A \cdot \Delta t \cdot W \end{cases}$$

$$q_{\text{north}}(40.5, 9, \text{"inside"}, \text{"light_colored"}, 33, -23) = 4.0582 \times 10^3 \text{ W}$$

Ανατολικός τοίχος

$$q_{\text{east}}(R_W, R_H, \text{located}, \text{color}, T_{\text{out}}, T_{\text{in}}) := \begin{cases} U \leftarrow U(\text{wall}_{\text{insul}}(T_{\text{in}})) \\ A \leftarrow (R_W - 2\text{wall}_{\text{insul}}(T_{\text{in}})) \cdot (R_H - 2\text{rf}_{\text{insul}}(T_{\text{in}})) \\ \Delta t \leftarrow \Delta t_{\text{east}}(\text{located}, \text{color}, T_{\text{out}}, T_{\text{in}}) \\ U \cdot A \cdot \Delta t \cdot W \end{cases}$$

$$q_{\text{east}}(68, 9, \text{"inside"}, \text{"light_colored"}, 33, -23) = 6.8417 \times 10^3 \text{ W}$$

Δυτικός τοίχος

$$q_{\text{west}}(R_W, R_H, \text{located}, \text{color}, T_{\text{out}}, T_{\text{in}}) := \begin{cases} U \leftarrow U(\text{wall}_{\text{insul}}(T_{\text{in}})) \\ A \leftarrow (R_W - 2\text{wall}_{\text{insul}}(T_{\text{in}})) \cdot (R_H - 2\text{rf}_{\text{insul}}(T_{\text{in}})) \\ \Delta t \leftarrow \Delta t_{\text{west}}(\text{located}, \text{color}, T_{\text{out}}, T_{\text{in}}) \\ U \cdot A \cdot \Delta t \cdot W \end{cases}$$

$$q_{\text{west}}(68, 9, \text{"inside"}, \text{"light_colored"}, -2, -23) = 2.5657 \times 10^3 \text{ W}$$

Νότιος τοίχος

$$q_{\text{south}}(R_L, R_H, \text{located}, \text{color}, T_{\text{out}}, T_{\text{in}}) := \begin{cases} U \leftarrow U(\text{wall}_{\text{insul}}(T_{\text{in}})) \\ A \leftarrow (R_L - 2\text{wall}_{\text{insul}}(T_{\text{in}})) \cdot (R_H - 2\text{rf}_{\text{insul}}(T_{\text{in}})) \\ \Delta t \leftarrow \Delta t_{\text{south}}(\text{located}, \text{color}, T_{\text{out}}, T_{\text{in}}) \\ U \cdot A \cdot \Delta t \cdot W \end{cases}$$

$$q_{\text{south}}(40.5, 9, \text{"inside"}, \text{"light_colored"}, 7, -23) = 2.174 \times 10^3 \text{ W}$$

- Υπολογισμός συνολικού ψυκτικού φορτίου ψύξης του χώρου

$$\text{Load}_{\text{transmission}} := \begin{cases} q_{\text{roof}} \leftarrow q_{\text{roof}}(40.5, 68, \text{"outside"}, \text{"light_colored"}, 33, -23) \\ q_{\text{floor}} \leftarrow q_{\text{floor}}(40.5, 68, \text{"inside"}, \text{"light_colored"}, 16, -23) \\ q_{\text{east}} \leftarrow q_{\text{east}}(68, 9, \text{"inside"}, \text{"light_colored"}, 33, -23) \\ q_{\text{north}} \leftarrow q_{\text{north}}(40.5, 9, \text{"inside"}, \text{"light_colored"}, 33, -23) \\ q_{\text{west}} \leftarrow q_{\text{west}}(68, 9, \text{"inside"}, \text{"light_colored"}, -2, -23) \\ q_{\text{south}} \leftarrow q_{\text{south}}(40.5, 9, \text{"inside"}, \text{"light_colored"}, 7, -23) \\ (q_{\text{roof}} + q_{\text{floor}} + q_{\text{east}} + q_{\text{north}} + q_{\text{west}} + q_{\text{south}}) \cdot 1.1 \end{cases}$$

$$\text{Load}_{\text{transmission}} = 6.7968 \times 10^4 \text{ W}$$

Συμφώνα με τη μέθοδο της ASHRAE, το τελικό φορτίο ψύξης του χώρου πολλαπλασιάζεται με ένα συντελεστή ασφαλείας 1.1 ώστε να διασφαλίζεται η κάλυψη του ψυκτικού φορτίου σε ακραίες καιρικές συνθήκες. Επιπλέον, ο θάλαμος δεν έχει παράθυρο σε καμία πλευρά του.

Βήμα 3^ο Υπολογισμός φορτίο περαιτέρω κατάψυξης του προϊόντος

Στο θάλαμο εισέρχονται 420 παλέτες ήδη κατεψυγμένων προϊόντων στους -15°C και καταψύχονται εν συνεχεία στους -23°C σε μία ώρα. Ο ρυθμός εισαγωγής είναι 19845 kg/h . Επομένως, μέχρι να εισαχθούν τα επόμενα προϊόντα τα προηγούμενα έχουν καταψυχθεί πλήρως (δεν υπάρχει περιορισμός χρόνου).

- Υπολογισμός θερμότητας που απομακρύνεται από το προϊόν

$$Q_{\text{product}}(m, i, T_{\text{συντ}}, T_{\text{init}}) := \begin{cases} \text{if } T_{\text{init}} \geq \text{IFT}_i \\ \left| \begin{array}{l} m \cdot c_{p,\text{ab}}(i, T_{\text{συντ}}) (T_{\text{init}} - T_{\text{συντ}}) \text{ if } T_{\text{συντ}} > \text{IFT}_i \\ m \cdot c_{p,\text{ab}}(i, T_{\text{συντ}}) (T_{\text{init}} - T_{\text{συντ}}) + m \cdot Q_{\text{lat}_i} \text{ if } T_{\text{συντ}} = \text{IFT}_i \\ m \cdot c_{p,\text{ab}}(i, T_{\text{συντ}}) (T_{\text{init}} - \text{IFT}_i) + m \cdot Q_{\text{lat}_i} + m \cdot c_{p,\text{bel}}(i, T_{\text{συντ}}) (\text{IFT}_i - T_{\text{συντ}}) \text{ if } T_{\text{συντ}} < \text{IFT}_i \end{array} \right. \\ m \cdot c_{p,\text{bel}}(i, T_{\text{συντ}}) \cdot (T_{\text{init}} - T_{\text{συντ}}) \text{ if } T_{\text{init}} < \text{IFT}_i \end{cases}$$

$$Q_{\text{product}}(19845, 56, -23, -15) = 2.987 \times 10^5 \text{ kJ}$$

Όπου:

m : μάζα εισερχόμενων προϊόντων (kg)

i : α/α προϊόντος στο σχετικό πίνακα 1.1

$T_{\text{συντ}}$: θερμοκρασία αποθήκευσης προϊόντων στο θάλαμο ($^\circ\text{C}$)

T_{init} : θερμοκρασία προσαγωγής προϊόντων στο θάλαμο ($^\circ\text{C}$)

IFT : ($=T_f$) θερμοκρασία στερεοποίησης

$c_{p,\text{ab}}$: ειδική θερμοχωρητικότητα κάτω από το σημείο στερεοποίησης στην προκειμένη περίπτωση δεν χρησιμοποιείται

$c_{p,\text{bel}}$: ειδική θερμοχωρητικότητα κάτω από το σημείο στερεοποίησης ($1.88 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C}$ βλ. κεφάλαιο 1)

Q_{lat} : λανθάνουσα θερμότητα στερεοποίησης

- Υπολογισμός ψυκτικού φορτίου για την απομάκρυνση της θερμότητας από τα προϊόντα

$$\text{Load}_{\text{product}}(i, m, T_{\text{συντ}}, T_{\text{init}}) := \frac{Q_{\text{product}}(m, i, T_{\text{συντ}}, T_{\text{init}}) \cdot 1000}{3600 \text{ sec}}$$

$$\text{Load}_{\text{product}}(56, 19845, -23, -15) = 8.298 \times 10^4 \text{ W}$$

Παρατηρήσεις:

1. Σε αυτό το παράδειγμα δεν υπολογίζεται το φορτίο ψύξης των προϊόντων από την αρχική τους θερμοκρασία έως τους $-15 \text{ }^\circ\text{C}$ που καταψύχονται σε καταψύκτη.
2. Στη περίπτωση αυτή δίνεται ο ρυθμός εισαγωγής των προϊόντων σε διαφορετική περίπτωση θα χρειαζόταν ο υπολογισμός του χρόνου κατάψυξης τους.
3. Το φορτίο αναπνοής είναι μηδενικό καθώς μελετώνται θερμοκρασίες κατάψυξης.

Βήμα 4^ο Υπολογισμός ψυκτικού φορτίου εναλλαγών αέρα

Στο συγκεκριμένο ψυκτικό θάλαμο χρησιμοποιούνται τρεις διαφορετικοί τύποι πορτών. Η ουσιαστική τους διαφορά είναι ότι ανάλογα σε ποια πλευρά είναι τοποθετημένες ο αέρας που εισέρχεται εντός έχει και διαφορετική θερμοκρασία.

Πίνακας 6.5 Στοιχεία υπολογισμού φορτίου εναλλαγών αέρα

	Τύπος πόρτας 1	Τύπος πόρτας 2	Τύπος πόρτας 3
Τοποθέτηση	Νότια πλευρά	Ανατολική πλευρά	Δυτική πλευρά
Θερμοκρασία εισερχόμενου αέρα $T_{\text{atm}} \text{ (}^\circ\text{C)}$	7	33	-2
Αριθμός πορτών (N_{doors})	3	1	1
Ύψος ανοίγματος πόρτας $H_d \text{ (m)}$	3	3	3
Πλάτος ανοίγματος πόρτας $W_d \text{ (m)}$	2.4	2.4	2.4

- Αρχικά οι τιμές του πίνακα των ιδιοτήτων του αέρα (πυκνότητα και ενθαλπία) με την αριθμητική μέθοδο των κυβικών splines προσομοιώθηκαν στις συναρτήσεις:

Συνάρτηση υπολογισμού πυκνότητας (kg/m^3): $\rho_{\text{air}}(x)$

Συνάρτηση υπολογισμού ενθαλπίας (kJ/kg): $H_{\text{air}}(x)$

- Υπολογισμός αισθητού και λανθάνοντος φορτίου εισερχόμενου αέρα για κάθε τύπο πόρτας:

$$q(H_d, W_d, T_{atm}, T_{in}, RH_{atm}, RH_{in}) := \begin{cases} A \leftarrow H_d \cdot W_d \\ h_{out} \leftarrow H_{air}(RH_{atm}, T_{atm}) \\ h_{in} \leftarrow H_{air}(RH_{in}, T_{in}) \\ \rho_{in} \leftarrow \rho_{air}(T_{in}) \\ \rho_{out} \leftarrow \rho_{air}(T_{atm}) \\ F_m \leftarrow \left[\frac{2}{1 + \left(\frac{\rho_{in}}{\rho_{out}} \right)^{\frac{1}{3}}} \right]^{1.5} \\ 0.221 A \cdot (h_{out} - h_{in}) \cdot \rho_{in} \cdot \left(1 - \frac{\rho_{out}}{\rho_{in}} \right)^{0.5} \cdot (9.807 H_d)^{0.5} \cdot F_m \end{cases}$$

Όπου:

T_{atm} : η θερμοκρασία του εισερχόμενου αέρα

T_{in} : η εσωτερική θερμοκρασία του θαλάμου

- Ο συντελεστής που αναφέρεται στο ποσοστό της χρονικής περιόδου της συχνότητας που επιλέγεται όπου οι θύρες είναι ανοικτές:

$$D_t(P, \theta_p, \theta_o, \theta_d) := \frac{P \cdot \theta_p + 60 \theta_o}{3600 \theta_d}$$

- Υπολογισμός συντελεστής που αναφέρεται στη ροή του αέρα:

$$D_f(T_{atm}, T_{in}) := \begin{cases} 1.1 & \text{if } T_{atm} - T_{in} < 11 \\ 0.8 & \text{if } T_{atm} - T_{in} \geq 11 \end{cases}$$

- Υπολογισμός ψυκτικού φορτίου για κάθε τύπο θυρών:

$$\text{Load}_{infiltration}(No_{doors}, H_d, W_d, T_{atm}, T_{in}, P, \theta_p, \theta_o, \theta_d, E) := \begin{cases} q \leftarrow q(H_d, W_d, T_{atm}, T_{in}) \\ D_t \leftarrow D_t(P, \theta_p, \theta_o, \theta_d) \\ D_f \leftarrow D_f(T_{atm}, T_{in}) \\ No_{doors} \cdot q \cdot D_t \cdot D_f \cdot (1 - E) \cdot 1000 \text{ W} \end{cases}$$

Ακολουθεί ο πίνακας των αποτελεσμάτων:

Πίνακας 6.6 Αποτελέσματα υπολογισμού φορτίου εναλλαγών αέρα

	Τύπος πόρτας 1	Τύπος πόρτας 2	Τύπος πόρτας 3
Τοποθέτηση	Νότια πλευρά	Ανατολική πλευρά	Δυτική πλευρά
Θερμοκρασία εισερχόμενου αέρα T_{air} (°C)	7	33	-2
Αριθμός πορτών (N_{doors})	3	1	1
Ύψος ανοίγματος πόρτας H_d (m)	3	3	3
Πλάτος ανοίγματος πόρτας W_d (m)	2.4	2.4	2.4
Ενθαλπία εισερχόμενου αέρα (kJ/kg)	$H_{air}(7) = 33.5$	$H_{air}(33) = 101.9$	$H_{air}(-2) = 1.8943$
Ενθαλπία αέρα εντός του θαλάμου (kJ/kg)	$H_{air}(-23) = -4.7$	$H_{air}(-23) = -4.7$	$H_{air}(-23) = -4.7$
Πυκνότητα εισερχόμενου αέρα (kg/m ³)	$\rho_{air}(7) = 1.2598$	$\rho_{air}(33) = 1.1528$	$\rho_{air}(-2) = 1.3015$
Πυκνότητα αέρα εντός του θαλάμου (kg/m ³)	$\rho_{air}(-23) = 1.4107$	$\rho_{air}(-23) = 1.4107$	$\rho_{air}(-23) = 1.4107$
θ_p : χρόνος που απαιτείται ώστε να ανοίξει ή να κλείσει η πόρτα (sec)	15	15	15
θ_o : χρονική διάρκεια που η πόρτα παραμένει ανοικτή (min)	8	1	3
θ_d : συχνότητα κάθε πότε επιλέγεται να ανοίγει η πόρτα (hours)	1	1	1
D_i	$D_i(3, 15, 8, 1) = 0.1458$	$D_i(1, 15, 1, 1) = 0.0208$	$D_i(1, 15, 3, 1) = 0.0542$
D_f	$D_f(7, -23) = 0.8$	$D_f(33, -23) = 0.8$	$D_f(-2, -23) = 0.8$
E	0	0	0
φορτίο ψύξης κάθε τύπου πορτών (Watt)	5.1747×10^4 W	8.7857×10^3 W	948.4618W

➤ Υπολογισμός ολικού απαιτούμενου ψυκτικού ανανεώσεων αέρα φορτίου:

$$\text{total_Load}_{infiltration} := \begin{cases} \text{type1} \leftarrow \text{Load}_{infiltration}(3, 3, 2.4, 7, -23, 3, 15, 8, 1, 0) \\ \text{type2} \leftarrow \text{Load}_{infiltration}(1, 3, 2.4, 33, -23, 1, 15, 1, 1, 0) \\ \text{type3} \leftarrow \text{Load}_{infiltration}(1, 3, 2.4, -2, -23, 1, 15, 3, 1, 0) \\ \text{type1} + \text{type2} + \text{type3} \end{cases}$$

$$\text{total_Load}_{infiltration} = 6.1481 \times 10^4 \text{ W}$$

Βήμα 5^ο Υπολογισμός ψυκτικού φορτίου εσωτερικής λειτουργίας

- Υπολογισμός φορτίου ηλεκτροκινητήρων των συστημάτων fan-coil (αντλίες δεν χρησιμοποιούνται)

$$\text{Load}_{\text{fans}}(\text{No}_{\text{fans}}, \text{type}_{\text{motor}}, \text{MR}_{\text{fan}}) := \text{No}_{\text{fans}} \cdot \text{LoadH_K}(\text{type}_{\text{motor}}, \text{MR}_{\text{fan}})$$

$$\text{Load}_{\text{fans}}(15, 1, 1.1) = 2.1795 \times 10^4 \text{ W}$$

Όπου:

LoadH_K(type_{motor}, MR): συνάρτηση θερμικού φορτίου ηλεκτροκινητήρα

type_{motor}: τύπος ηλεκτροκινητήρα που επιλέγεται (1^{ος} τύπος)

MR: ονομαστική ισχύς του ηλεκτροκινητήρα (1.1 kW)

Load_{fans}: φορτίο συστήματος fan-coil (Watt)

No_{fans}: αριθμός ανεμιστήρων (15)

- Υπολογισμός φορτίου φωτισμού

$$\text{Load}_{\text{light}}(\text{R}_L, \text{R}_W, \text{T}_{\text{in}}, \text{LL}) := (\text{R}_L - \text{wall}_{\text{insul}}(\text{T}_{\text{in}})) \cdot (\text{R}_W - \text{wall}_{\text{insul}}(\text{T}_{\text{in}})) \cdot \text{LL} \cdot \text{W}$$

$$\text{Load}_{\text{light}}(40.5, 68, -23, 10.8) = 2.9505 \times 10^4 \text{ W}$$

Όπου:

LL: επίπεδο φωτισμού (10.8 W/m²)

$(\text{R}_L - \text{wall}_{\text{insul}}(\text{T}_{\text{in}})) \cdot (\text{R}_W - \text{wall}_{\text{insul}}(\text{T}_{\text{in}}))$: υπολογισμός εμβαδού ψυκτικού

θαλάμου. Παρατηρείται η ιδιαιτερότητα υπολογισμού του εμβαδού, ότι δηλαδή αφαιρείται το πάχος μίας πλευράς τοιχωμάτων μόνο. Πιθανότατα η ASHRAE το πράττει αυτό για λόγους ασφαλείας.

- Υπολογισμός φορτίου ανυψωτικών μηχανημάτων

$$\text{Load}_{\text{truck}}(\text{No}_{\text{tr}}, \text{PQ}_{\text{tr}}) := \text{No}_{\text{tr}} \cdot \text{PQ}_{\text{tr}} \cdot 1000 \text{ W}$$

$$\text{Load}_{\text{truck}}(3, 5.6) = 1.68 \times 10^4 \text{ W}$$

Όπου:

No_{tr}: αριθμός ανυψωτικών μηχανημάτων (3)

PQ_{tr}: ονομαστική ισχύς μηχανήματος (5.6 kW)

- Υπολογισμός φορτίου εργαζομένων

$$\text{Load}_{\text{people}}(\text{No}_{\text{people}}, \text{T}_{\text{συντ}}) := \text{No}_{\text{people}} \cdot (272 - 6 \cdot \text{T}_{\text{συντ}}) \cdot \text{W}$$

$$\text{Load}_{\text{people}}(3, -23) = 1.23 \times 10^3 \text{ W}$$

Όπου:

No_{people}: αριθμός εργαζομένων εντός του θαλάμου (3 εργαζόμενοι)

T_{συντ}: εσωτερική θερμοκρασία θαλάμου (θερμοκρασία αποθήκευσης των προϊόντων) (-23 °C)

Βήμα 6^ο Υπολογισμός ψυκτικού φορτίου εξοπλισμού που σχετίζεται με τη ψύξη

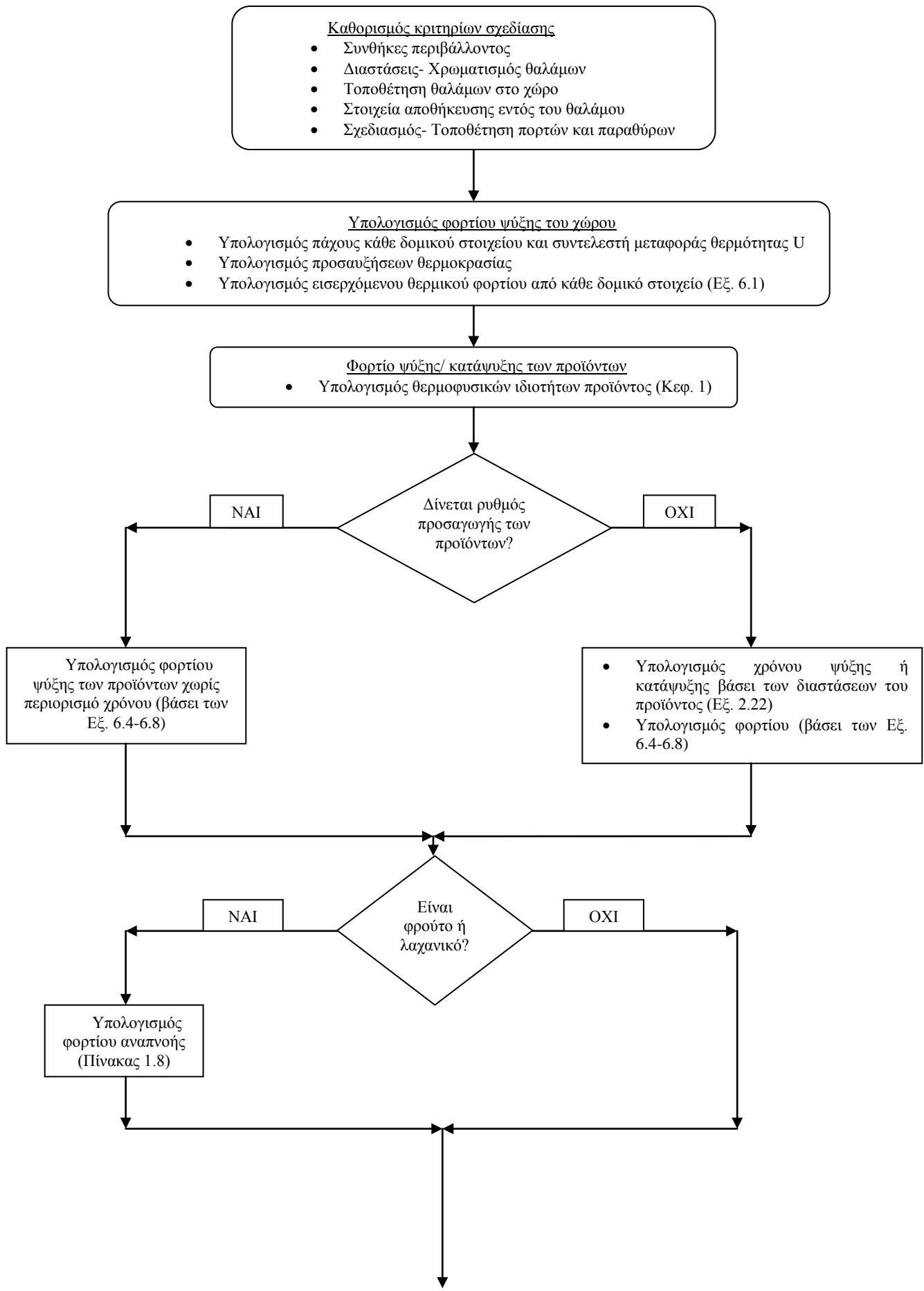
Στον παρούσα εφαρμογή της ASHRAE δεν υπάρχουν φορτία αυτού του τύπου καθώς δεν υπάρχει εξοπλισμός εντός του θαλάμου και επίσης δεν μελετάται η απόψυξη των μονάδων fan-coil.

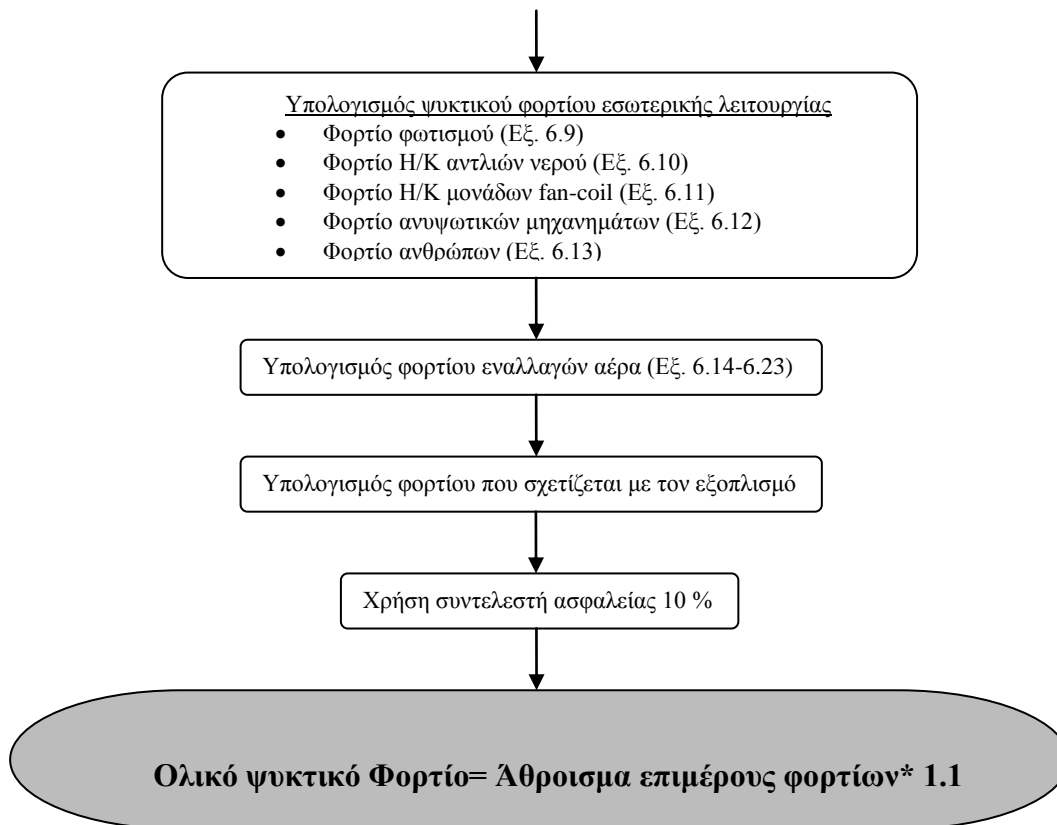
Βήμα 7^ο Υπολογισμός ολικού ψυκτικού φορτίου συμπεριλαμβανομένου και του συντελεστή ασφαλείας

$$\text{TOTAL_LOAD:=} \left| \begin{array}{l} r_1 \leftarrow \text{Load}_{\text{transmission}} \\ r_2 \leftarrow \text{Load}_{\text{product}} \\ r_3 \leftarrow \text{total_Load}_{\text{infiltration}} \\ r_4 \leftarrow \text{Load}_{\text{fans}} \\ r_5 \leftarrow \text{Load}_{\text{light}} \\ r_6 \leftarrow \text{Load}_{\text{truck}} \\ r_7 \leftarrow \text{Load}_{\text{people}} \\ \left(\sum_{k=1}^7 r_k \right) \cdot 1.1 \end{array} \right.$$

$$\text{TOTAL_LOAD= 309.934 kW}$$

Ακολουθεί συνοπτικά σε διάγραμμα ροής η διαδικασία που ακολουθείται για τον υπολογισμό του ψυκτικού φορτίου:





ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7^ο ΜΕΛΕΤΗ ΠΟΛΥΔΥΝΑΜΟΥ ΨΥΓΕΙΟΥ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΨΥΞΗΣ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ

7.1 Περιγραφή

Στην περιοχή των Χανίων και συγκεκριμένα στο Βιοτεχνικό Πάρκο της Σούδας (ΒΙΟ.ΠΑ) πρόκειται να ανεγερθεί ένα πολυδύναμο ψυγείο αποθήκευσης Κρητικών προϊόντων. Η τοποθεσία αυτή ενδείκνυται για την στέγαση βιομηχανιών διότι έχει εύκολη πρόσβαση από τους μεταφορείς των προϊόντων καθώς επίσης εκεί βρίσκεται και το λιμάνι των Χανίων από όπου τα προϊόντα θα φορτώνονται στα καράβια και θα διανέμονται σε όλη την Ελλάδα και Ευρώπη.

Συγκεκριμένα, ο θάλαμος αποτελείται από δύο επίπεδα, το ισόγειο και τον 1^ο όροφο. Στο ισόγειο αποθηκεύονται φρούτα και λαχανικά καθώς επίσης υπάρχει και ένα συσκευαστήριο των προϊόντων πριν αυτά διατεθούν στην αγορά. Όλα τα προϊόντα στο ισόγειο ψύχονται στους 0 °C ενώ στο συσκευαστήριο δεν ψύχεται ο χώρος αλλά έχει θερμοκρασία ίση με αυτή του εξωτερικού αέρα. Επιπλέον, στις ράμπες εκφόρτωσης υπάρχουν ειδικά στέγαστρα τα οποία προστατεύουν τις πλευρές αυτές (Βόρεια και Νότια) από τις δυσμενείς καιρικές συνθήκες. Στον πρώτο όροφο ψύχονται και καταψύχονται προϊόντα κρέατος τεμαχισμένα στη μέση. Τα προϊόντα στον όροφο αυτό φορτώνονται και εκφορτώνονται μέσω ανελκυστήρα ο οποίος είναι εξωτερικά τοποθετημένος.

Η συγκεκριμένη μελέτη βιομηχανίας ψύξης τροφίμων είναι βασισμένη σε αντίστοιχη μελέτη εγκατάστασης όπως αυτή παρουσιάζεται σε ελληνική βιβλιογραφία [14].

7.2 Μελέτη ψυκτικών θαλάμων ισογείου

7.2.1 Θάλαμος 1^{ος} αποθήκευσης πορτοκαλιών (N^ο 71)

Βήμα 1^ο Καθορισμός κριτηρίων σχεδίασης και δεδομένων θαλάμου

Συνθήκες περιβάλλοντος (κατά την 21^η Ιουλίου): θερμοκρασία ξηρής σφαίρας 33 °C, σχετική υγρασία 55 %.

Διαστάσεις θαλάμου: 13.5*10*5 m³

Χρωματισμός θαλάμου: Ανοιχτόχρωμος

Χωρητικότητα θαλάμου: 170000 kg

Εσωτερική θερμοκρασία θαλάμου (T_{in}=T_{συντ}): 0 °C.

Σχετική υγρασία εντός του θαλάμου RH_{in}: 90 %

Τοποθέτηση θαλάμου στο χώρο:

- Βόρεια πλευρά: εξωτερικές διαστάσεις 13.5*5 m² τοποθετημένη εξωτερικά υπό σκιά (χωρίς να δέχεται δηλαδή ηλιακή ακτινοβολία).
- Ανατολική πλευρά: εξωτερικές διαστάσεις 10*5 m² γειτνιάζει με θάλαμο θερμοκρασίας 7 °C.
- Δυτική πλευρά: εξωτερικές διαστάσεις 10*5 m² εκτεθειμένη στην ηλιακή ακτινοβολία.
- Νότια πλευρά: εξωτερικές διαστάσεις 13.5*5 m² γειτνιάζει με θάλαμο θερμοκρασίας 0 °C.
- Οροφή: εξωτερικές διαστάσεις 13.5*10 m² γειτνιάζει με θάλαμο θερμοκρασίας - 20 °C.

- Δάπεδο: εξωτερικές διαστάσεις $13.5 \times 10 \text{ m}^2$ γειτνιάζει με το έδαφος θερμοκρασίας $23 \text{ }^\circ\text{C}$.

Βήμα 2^ο Υπολογισμός φορτίο ψύξης του χώρου

- Εξωτερικός όγκος θαλάμου

$$R_{\text{OUT_VOLUME}}(R_L, R_W, R_H) := R_L \cdot R_W \cdot R_H$$

$$R_{\text{OUT_VOLUME}}(13.5, 10, 5) = 675 \text{ m}^3$$

- Εσωτερικός όγκος θαλάμου

$$R_{\text{IN_VOLUME}}(R_L, R_W, R_H, T_{\text{in}}) := (R_L - 2 \cdot \text{wall}_{\text{insul}}(T_{\text{in}})) \cdot (R_W - 2 \cdot \text{wall}_{\text{insul}}(T_{\text{in}})) \cdot (R_H - 2 \cdot \text{rf}_{\text{insul}}(T_{\text{in}}))$$

$$R_{\text{IN_VOLUME}}(13.5, 10, 5, 0) = 605.7585 \text{ m}^3$$

- Πάχος μόνωσης τοίχων (σε ισοδύναμο πάχος φελλού)

$$\text{wall}_{\text{insul}}(0) = 0.128 \text{ m}$$

- Πάχος μόνωσης οροφής και πατώματος (σε ισοδύναμο πάχος φελλού)

$$\text{rf}_{\text{insul}}(0) = 0.153 \text{ m}$$

- Υπολογισμός θερμικού κέρδους κάθε δομικού στοιχείου από την εξίσωση 6.1

Οροφή

$$q_{\text{roof}}(13.5, 10, \text{"inside"}, \text{"light_colored"}, -20, 0) = -732.7433 \text{ W}$$

Δάπεδο

$$q_{\text{floor}}(13.5, 10, \text{"inside"}, \text{"light_colored"}, 19, 0) = 696.1061 \text{ W}$$

Βόρειος τοίχος

$$q_{\text{north}}(13.5, 5, \text{"inside"}, \text{"light_colored"}, 33, 0) = 698.9536 \text{ W}$$

Ανατολικός τοίχος (περιλαμβάνει και παράθυρο 2 m^2 από διπλό τζάμι)

$$q_{\text{east}}(10, 5, \text{"inside"}, \text{"light_colored"}, 7, 0) = 140.7396 \text{ W}$$

Δυτικός τοίχος

$$q_{\text{west}}(10, 5, \text{"outside"}, \text{"light_colored"}, 33, 0) = 560.9898 \text{ W}$$

Νότιος τοίχος

$$q_{\text{south}}(13.5, 5, \text{"inside"}, \text{"light_colored"}, 0, 0) = 0 \text{ W}$$

- Υπολογισμός συνολικού ψυκτικού φορτίου ψύξης του χώρου

$$\text{Load}_{\text{transmission}} := \begin{cases} q_{\text{roof}} \leftarrow q_{\text{roof}}(13.5, 10, \text{"inside"}, \text{"light_colored"}, -20, 0) \\ q_{\text{floor}} \leftarrow q_{\text{floor}}(13.5, 10, \text{"inside"}, \text{"light_colored"}, 23, 0) \\ q_{\text{east}} \leftarrow q_{\text{east}}(10, 5, \text{"inside"}, \text{"light_colored"}, 7, 0) \\ q_{\text{north}} \leftarrow q_{\text{north}}(13.5, 5, \text{"inside"}, \text{"light_colored"}, 33, 0) \\ q_{\text{west}} \leftarrow q_{\text{west}}(10, 5, \text{"outside"}, \text{"light_colored"}, 33, 0) \\ q_{\text{south}} \leftarrow q_{\text{south}}(13.5, 5, \text{"inside"}, \text{"light_colored"}, 0, 0) \\ (q_{\text{roof}} + q_{\text{floor}} + q_{\text{east}} + q_{\text{north}} + q_{\text{west}} + q_{\text{south}}) \cdot 1.1 \end{cases}$$

$$\text{Load}_{\text{transmission}} = 1.6617 \times 10^3 \text{ W}$$

Βήμα 3^ο Υπολογισμός φορτίο ψύξης του προϊόντος

Στο θάλαμο εισέρχονται τα προϊόντα στους 25 °C και ψύχονται εν συνεχεία στους 0 °C σε μία ημέρα. Ο ρυθμός εισαγωγής είναι 11000 kg/day. Επομένως, μέχρι να εισαχθούν τα επόμενα προϊόντα τα προηγούμενα έχουν ψυχθεί πλήρως.

- Υπολογισμός θερμότητας που απομακρύνεται από το προϊόν

$$Q_{\text{product}}(m, \text{op1}, T_{\text{συντ}}, T_{\text{init}}, T_f) = 1.034 \times 10^6 \text{ kJ}$$

Όπου: op1: αύξων αριθμός προϊόντος (71)

- Υπολογισμός ψυκτικού φορτίου για την απομάκρυνση της θερμότητας από τα προϊόντα

$$\text{Load}_{\text{product}}(m, \text{op1}, T_{\text{συντ}}, T_{\text{init}}, T_f) := \frac{Q_{\text{product}}(m, \text{op1}, T_{\text{συντ}}, T_{\text{init}}, T_f) \cdot 1000}{24 \cdot 3600 \text{ sec}}$$

$$\text{Load}_{\text{product}}(m, \text{op1}, T_{\text{συντ}}, T_{\text{init}}, T_f) = 1.197 \times 10^4 \text{ W}$$

- Υπολογισμός φορτίου αναπνοής των προϊόντων (υπολογισμός κατά την τελευταία ημέρα εισαγωγής πορτοκαλιών οπότε και εμφανίζεται το μέγιστο φορτίο)

$$\text{Load}_{\text{respiration}}(T_{\text{init}}, T_{\text{συντ}}, m) := \frac{m \cdot \frac{(Q_{\text{RESP}}(T_{\text{init}}) + Q_{\text{RESP}}(T_{\text{συντ}}))}{2} + 159000 Q_{\text{RESP}}(T_{\text{συντ}})}{1000} \text{ W}$$

$$\text{Load}_{\text{respiration}}(T_{\text{init}}, T_{\text{συντ}}, m) = 670.55 \text{ W}$$

Όπου:

Q_{RESP} : συνάρτηση που προσομοιώνει το φορτίο αναπνοής των πορτοκαλιών συναρτήσει της θερμοκρασίας με τη μέθοδο των κυβικών splines και τις τιμές του πίνακα 1.8.

m: κιλά πορτοκαλιών που προσάγονται (11000 kg/day)

Βήμα 4^ο Υπολογισμός ψυκτικού φορτίου εναλλαγών αέρα

Στο συγκεκριμένο ψυκτικό θάλαμο χρησιμοποιείται ένας τύπος πόρτας.

Πίνακας 7.1 Στοιχεία υπολογισμού φορτίου εναλλαγών αέρα για τον 1^ο θάλαμο

	Τύπος πόρτας 1
Τοποθέτηση	Ανατολική πλευρά
Θερμοκρασία εισερχόμενου αέρα T_{atm} (°C)	7
Αριθμός πορτών (N_{doors})	1
Ύψος ανοίγματος πόρτας H_d (m)	2.5
Πλάτος ανοίγματος πόρτας W_d (m)	1.8

Ακολουθεί ο πίνακας των αποτελεσμάτων:

Πίνακας 7.2 Αποτελέσματα υπολογισμού φορτίου εναλλαγών αέρα για τον 1^ο θάλαμο

	Τύπος πόρτας 1
Τοποθέτηση	Ανατολική πλευρά
Θερμοκρασία εισερχόμενου αέρα T_{atm} (°C)	7
Αριθμός πορτών (No_{doors})	1
Ύψος ανοίγματος πόρτας H_d (m)	2.5
Πλάτος ανοίγματος πόρτας W_d (m)	1.8
Ενθαλπία εισερχόμενου αέρα (kJ/kg)	$H_{air}(0.55, 7) = 15.5519$
Ενθαλπία αέρα εντός του θαλάμου (kJ/kg)	$H_{air}(0.9, 0) = 8.4937$
Πυκνότητα εισερχόμενου αέρα (kg/m³)	$\rho_{air}(7) = 1.2598$
Πυκνότητα αέρα εντός του θαλάμου (kg/m³)	$\rho_{air}(0) = 1.292$
θ_p: χρόνος που απαιτείται ώστε να ανοίξει ή να κλείσει η πόρτα (sec)	15
θ_o: χρονική διάρκεια που η πόρτα παραμένει ανοικτή (min)	5
θ_d: συχνότητα κάθε πότε επιλέγεται να ανοίγει η πόρτα (hours)	1
D_t	$D_t(1, 15, 5, 1) = 0.0875$
D_f	$D_f(7, 0) = 1.1$
E	0

- Υπολογισμός ολικού απαιτούμενου ψυκτικού φορτίου ανανεώσεων αέρα:

$$Load_{infiltration}(No_{doors}, H_d, W_d, T_{atm}, T_{in}, RH_{atm}, RH_{in}, P, \theta_p, \theta_o, \theta_d, E) := \begin{cases} q \leftarrow q(H_d, W_d, T_{atm}, T_{in}, RH_{atm}, RH_{in}) \\ D_t \leftarrow D_t(P, \theta_p, \theta_o, \theta_d) \\ D_f \leftarrow D_f(T_{atm}, T_{in}) \\ No_{doors} \cdot q \cdot D_t \cdot D_f \cdot (1 - E) \cdot 1000W \end{cases}$$

$$Load_{infiltration}(1, 2.5, 1.8, 7, 0, 0.55, 0.9, 1, 15, 5, 1, 0) = 678.3655W$$

Βήμα 5^ο Υπολογισμός ψυκτικού φορτίου εσωτερικής λειτουργίας

- Υπολογισμός φορτίου ηλεκτροκινητήρων των συστημάτων fan-coil

$$Load_{fans}(No_{fans}, type_{motor}, MR_{fan}) := No_{fans} \cdot Load_{H_K}(type_{motor}, MR_{fan})$$

$$Load_{fans}(2, 1, 1.1) = 2.906 \times 10^3 W$$

Όπου:

- type_{motor}: τύπος ηλεκτροκινητήρα που επιλέγεται (1^{ος} τύπος)
- MR: ονομαστική ισχύς του ηλεκτροκινητήρα (1.1 kW)
- Load_{fans}: φορτίο συστήματος fan-coil (Watt)
- No_{fans}: αριθμός ανεμιστήρων (2)

- Υπολογισμός φορτίου ηλεκτροκινητήρων των αντλιών που χρησιμοποιούνται για τον καθαρισμό των προϊόντων με νερό

$$\text{Load}_{H_K}(\text{type}_{\text{motor}}, \text{MR}) := \begin{cases} \text{load}_{H_K1}(\text{MR}) \cdot W & \text{if } \text{type}_{\text{motor}} = 1 \\ \text{load}_{H_K2}(\text{MR}) \cdot W & \text{if } \text{type}_{\text{motor}} = 2 \\ \text{load}_{H_K2}(\text{MR}) \cdot W & \text{if } \text{type}_{\text{motor}} = 3 \\ 0 & \text{if } \text{type}_{\text{motor}} = 0 \end{cases}$$

$$\text{Load}_{H_K}(1, 1.1) = 1.453 \times 10^3 \text{ W}$$

Όπου:

$\text{type}_{\text{motor}}$: τύπος ηλεκτροκινητήρα που επιλέγεται (1^{ος} τύπος)

MR: ονομαστική ισχύς του ηλεκτροκινητήρα (1.1 kW)

- Υπολογισμός φορτίου φωτισμού

$$\text{Load}_{\text{light}}(R_L, R_W, T_{\text{in}}, LL) := (R_L - \text{wall}_{\text{insul}}(T_{\text{in}})) \cdot (R_W - \text{wall}_{\text{insul}}(T_{\text{in}})) \cdot LL \cdot W$$

$$\text{Load}_{\text{light}}(13.5, 10, 0, 10.8) = 1.4257 \times 10^3 \text{ W}$$

Όπου:

LL: επίπεδο φωτισμού (10.8 W/m²)

- Υπολογισμός φορτίου ανυψωτικών μηχανημάτων

$$\text{Load}_{\text{truck}}(\text{No}_{\text{tr}}, \text{PQ}_{\text{tr}}) := \text{No}_{\text{tr}} \cdot \text{PQ}_{\text{tr}} \cdot 1000 \text{ W}$$

$$\text{Load}_{\text{truck}}(1, 5.6) = 5.6 \times 10^3 \text{ W}$$

Όπου:

No_{tr} : αριθμός ανυψωτικών μηχανημάτων (1)

PQ_{tr} : ονομαστική ισχύς μηχανήματος (5.6 kW)

- Υπολογισμός φορτίου εργαζομένων

$$\text{Load}_{\text{people}}(\text{No}_{\text{people}}, T_{\text{σωντ}}) := \text{No}_{\text{people}} \cdot (272 - 6 \cdot T_{\text{σωντ}}) \cdot W$$

$$\text{Load}_{\text{people}}(2, 0) = 544 \text{ W}$$

Όπου:

$\text{No}_{\text{people}}$: αριθμός εργαζομένων εντός του θαλάμου (2 εργαζόμενοι)

$T_{\text{σωντ}}$: εσωτερική θερμοκρασία θαλάμου (θερμοκρασία αποθήκευσης των προϊόντων) (-0 °C)

Βήμα 6^ο Υπολογισμός ολικού ψυκτικού φορτίου συμπεριλαμβανομένου και του συντελεστή ασφαλείας

$$\text{TOTAL_LOAD} := \begin{cases} r_1 \leftarrow \text{Load}_{\text{product}} \\ r_2 \leftarrow \text{Load}_{\text{respiration}} \\ r_3 \leftarrow \text{Load}_{\text{transmission}} \\ r_4 \leftarrow \text{Load}_{\text{infiltration}}(1, 2.5, 1.8, 7, 0, 0.55, 0.9, 1, 15, 5, 1, 0) \\ r_5 \leftarrow \text{Load}_{\text{H_K}}(1, 1.1) \\ r_6 \leftarrow \text{Load}_{\text{fans}}(2, 1, 1.1) \\ r_7 \leftarrow \text{Load}_{\text{light}}(13.5, 10, 0, 10.8) \\ r_8 \leftarrow \text{Load}_{\text{truck}}(1, 5.6) \\ r_9 \leftarrow \text{Load}_{\text{people}}(2, 0) \\ \left(\sum_{k=1}^9 r_k \right) \cdot 1.1 \end{cases}$$

$$\text{TOTAL_LOAD} = 29.6002 \text{ kW}$$

7.2.2 Θάλαμος 2^{ος} αποθήκευσης αβοκάντο (N^ο 49)

Βήμα 1^ο Καθορισμός κριτηρίων σχεδίασης και δεδομένων θαλάμου

Συνθήκες περιβάλλοντος (κατά την 21^η Ιουλίου): θερμοκρασία ξηρής σφαίρας 33 °C, σχετική υγρασία 55 %.

Διαστάσεις θαλάμου: 13.5*10*5 m³

Χρωματισμός θαλάμου: Ανοιχτόχρωμος

Χωρητικότητα θαλάμου: 170000 kg, ενώ προσάγονται 11000 kg/day

Εσωτερική θερμοκρασία θαλάμου (T_{in}=T_{συντ}): 0 °C.

Σχετική υγρασία εντός του θαλάμου RH_{in}: 90 %

Τοποθέτηση θαλάμου στο χώρο:

- Βόρεια πλευρά: εξωτερικές διαστάσεις 13.5*5 m² γειτνιάζει με το θάλαμο 1 εσωτερικής θερμοκρασίας 0 °C.
- Ανατολική πλευρά: εξωτερικές διαστάσεις 10*5 m² γειτνιάζει με θάλαμο θερμοκρασίας 7 °C και έχει παράθυρο 2 m² από διπλό γυαλί.
- Δυτική πλευρά: εξωτερικές διαστάσεις 10*5 m² εκτεθειμένη στην ηλιακή ακτινοβολία.
- Νότια πλευρά: εξωτερικές διαστάσεις 13.5*5 m² γειτνιάζει με θάλαμο θερμοκρασίας 0 °C.
- Οροφή: εξωτερικές διαστάσεις 13.5*10 m² γειτνιάζει με θάλαμο θερμοκρασίας -20 °C.

- Δάπεδο: εξωτερικές διαστάσεις $13.5 \times 10 \text{ m}^2$ γειτνιάζει με το έδαφος θερμοκρασίας $23 \text{ }^\circ\text{C}$.

Βήμα 2^ο Υπολογισμός φορτίο ψύξης του χώρου

$$\text{Load}_{\text{transmission}} := \begin{cases} q_{\text{roof}} \leftarrow q_{\text{roof}}(13.5, 10, \text{"inside"}, \text{"light_colored"}, -20, 0) \\ q_{\text{floor}} \leftarrow q_{\text{floor}}(13.5, 10, \text{"inside"}, \text{"light_colored"}, 23, 0) \\ q_{\text{east}} \leftarrow q_{\text{east}}(10, 5, \text{"inside"}, \text{"light_colored"}, 7, 0) \\ q_{\text{north}} \leftarrow q_{\text{north}}(13.5, 5, \text{"inside"}, \text{"light_colored"}, 0, 0) \\ q_{\text{west}} \leftarrow q_{\text{west}}(10, 5, \text{"outside"}, \text{"light_colored"}, 33, 0) \\ q_{\text{south}} \leftarrow q_{\text{south}}(13.5, 5, \text{"inside"}, \text{"light_colored"}, 0, 0) \\ (q_{\text{roof}} + q_{\text{floor}} + q_{\text{east}} + q_{\text{north}} + q_{\text{west}} + q_{\text{south}}) \cdot 1.1 \end{cases}$$

$$\text{Load}_{\text{transmission}} = 892.805\text{W}$$

Βήμα 3^ο Υπολογισμός φορτίο ψύξης του προϊόντος

Στο θάλαμο εισέρχονται τα προϊόντα στους $25 \text{ }^\circ\text{C}$ και ψύχονται εν συνεχεία στους $0 \text{ }^\circ\text{C}$ σε μία ημέρα. Ο ρυθμός εισαγωγής είναι 11000 kg/day . Επομένως, μέχρι να εισαχθούν τα επόμενα προϊόντα τα προηγούμενα έχουν ψυχθεί πλήρως.

- Υπολογισμός θερμότητας που απομακρύνεται από το προϊόν

$$Q_{\text{product}}(m, \text{op1}, T_{\text{σουvt}}, T_{\text{init}}, T_f) = 9.978 \times 10^5 \text{ kJ}$$

Όπου:

op1: αύξων αριθμός προϊόντος (49)

- Υπολογισμός ψυκτικού φορτίου για την απομάκρυνση της θερμότητας από τα προϊόντα

$$\text{Load}_{\text{product}}(m, \text{op1}, T_{\text{σουvt}}, T_{\text{init}}, T_f) := \frac{Q_{\text{product}}(m, \text{op1}, T_{\text{σουvt}}, T_{\text{init}}, T_f) \cdot 1000\text{J}}{24 \cdot 3600 \text{sec}}$$

$$\text{Load}_{\text{product}}(m, \text{op1}, T_{\text{σουvt}}, T_{\text{init}}, T_f) = 1.155 \times 10^4 \text{ W}$$

- Υπολογισμός φορτίου αναπνοής των προϊόντων (υπολογισμός κατά την τελευταία ημέρα εισαγωγής αβοκάντο οπότε και εμφανίζεται το μέγιστο φορτίο)

$$\text{Load}_{\text{respiration}}(T_{\text{init}}, T_{\text{σουvt}}, m) := \frac{m \cdot \frac{(Q_{\text{RESR}}(T_{\text{init}}) + Q_{\text{RESR}}(T_{\text{σουvt}}))}{2} + 159000 Q_{\text{RESR}}(T_{\text{σουvt}})}{1000} \text{ W}$$

$$\text{Load}_{\text{respiration}}(T_{\text{init}}, T_{\text{σουvt}}, m) = 9.663 \times 10^3 \text{ W}$$

Βήμα 4^ο Υπολογισμός ψυκτικού φορτίου εναλλαγών αέρα

Στο συγκεκριμένο ψυκτικό θάλαμο χρησιμοποιείται ο ίδιος τύπος πόρτας με πριν και ακολουθείται η ίδια διαδικασία επομένως το φορτίο είναι ίσο με πριν.

- Υπολογισμός ολικού απαιτούμενου ψυκτικού φορτίου ανανεώσεων αέρα:

$$\text{Load}_{\text{infiltration}}(1, 2.5, 1.8, 7, 0, 0.55, 0.9, 1, 15, 5, 1, 0) = 678.365 \text{ W}$$

Βήμα 5^ο Υπολογισμός ψυκτικού φορτίου εσωτερικής λειτουργίας

- Υπολογισμός φορτίου ηλεκτροκινητήρων των συστημάτων fan-coil

$$\text{Load}_{\text{fans}}(\text{No}_{\text{fans}}, \text{type}_{\text{motor}}, \text{MR}_{\text{fan}}) := \text{No}_{\text{fans}} \cdot \text{LoadH_K}(\text{type}_{\text{motor}}, \text{MR}_{\text{fan}})$$

$$\text{Load}_{\text{fans}}(2, 1, 1.1) = 2.906 \times 10^3 \text{ W}$$

- Υπολογισμός φορτίου ηλεκτροκινητήρων των αντλιών που χρησιμοποιούνται για τον καθαρισμό των προϊόντων με νερό

$$\text{LoadH_K}(\text{type}_{\text{motor}}, \text{MR}) := \begin{cases} \text{loadH_K1}(\text{MR}) \cdot \text{W} & \text{if } \text{type}_{\text{motor}} = 1 \\ \text{loadH_K2}(\text{MR}) \cdot \text{W} & \text{if } \text{type}_{\text{motor}} = 2 \\ \text{loadH_K2}(\text{MR}) \cdot \text{W} & \text{if } \text{type}_{\text{motor}} = 3 \\ 0 & \text{if } \text{type}_{\text{motor}} = 0 \end{cases}$$

$$\text{LoadH_K}(1, 1.1) = 1.453 \times 10^3 \text{ W}$$

Όπου:

$\text{type}_{\text{motor}}$: τύπος ηλεκτροκινητήρα που επιλέγεται (1^{ος} τύπος)

MR : ονομαστική ισχύς του ηλεκτροκινητήρα (1.1 kW)

- Υπολογισμός φορτίου φωτισμού

$$\text{Load}_{\text{light}}(\text{R}_L, \text{R}_W, \text{T}_{\text{in}}, \text{LL}) := (\text{R}_L - \text{wall}_{\text{insul}}(\text{T}_{\text{in}})) \cdot (\text{R}_W - \text{wall}_{\text{insul}}(\text{T}_{\text{in}})) \cdot \text{LL} \cdot \text{W}$$

$$\text{Load}_{\text{light}}(13.5, 10, 0, 10.8) = 1.4257 \times 10^3 \text{ W}$$

Όπου:

LL : επίπεδο φωτισμού (10.8 W/m²)

- Υπολογισμός φορτίου ανυψωτικών μηχανημάτων

$$\text{Load}_{\text{truck}}(\text{No}_{\text{tr}}, \text{PO}_{\text{tr}}) := \text{No}_{\text{tr}} \cdot \text{PO}_{\text{tr}} \cdot 1000 \text{ W}$$

$$\text{Load}_{\text{truck}}(1, 5.6) = 5.6 \times 10^3 \text{ W}$$

Όπου:

No_{tr} : αριθμός ανυψωτικών μηχανημάτων (1)

PO_{tr} : ονομαστική ισχύς μηχανήματος (5.6 kW)

- Υπολογισμός φορτίου εργαζομένων

$$\text{Load}_{\text{people}}(\text{No}_{\text{people}}, \text{T}_{\text{σωντ}}) := \text{No}_{\text{people}} \cdot (272 - 6 \cdot \text{T}_{\text{σωντ}}) \cdot \text{W}$$

$$\text{Load}_{\text{people}}(2, 0) = 544 \text{ W}$$

Βήμα 6^ο Υπολογισμός ολικού ψυκτικού φορτίου συμπεριλαμβανομένου και του συντελεστή ασφαλείας

$$\text{TOTAL_LOAD}_2 := \begin{cases} r_1 \leftarrow \text{Load}_{\text{product}} \\ r_2 \leftarrow \text{Load}_{\text{respiration}} \\ r_3 \leftarrow \text{Load}_{\text{transmission}} \\ r_4 \leftarrow \text{Load}_{\text{infiltration}}(1, 2.5, 1.8, 7, 0, 0.55, 0.9, 1, 15, 5, 1, 0) \\ r_5 \leftarrow \text{Load}_{\text{H_K}}(1, 1.1) \\ r_6 \leftarrow \text{Load}_{\text{fans}}(2, 1, 1.1) \\ r_7 \leftarrow \text{Load}_{\text{light}}(13.5, 10, 0, 10.8) \\ r_8 \leftarrow \text{Load}_{\text{truck}}(1, 5.6) \\ r_9 \leftarrow \text{Load}_{\text{people}}(2, 0) \\ \left(\sum_{k=1}^9 r_k \right) \cdot 1.1 \end{cases}$$

$$\text{TOTAL_LOAD}_2 = 38.1841 \text{ kW}$$

7.2.3 Θάλαμος 3^{ος} αποθήκευσης ώριμων ντοματών (N^ο 41)

Βήμα 1^ο Καθορισμός κριτηρίων σχεδίασης και δεδομένων θαλάμου

Συνθήκες περιβάλλοντος (κατά την 21^η Ιουλίου): θερμοκρασία ξηρής σφαίρας 33 °C, σχετική υγρασία 55 %.

Διαστάσεις θαλάμου: 13.5*10*5 m³

Χρωματισμός θαλάμου: Ανοιχτόχρωμος

Χωρητικότητα θαλάμου: 170000 kg, ενώ προσάγονται 11000 kg/day

Εσωτερική θερμοκρασία θαλάμου (T_{in}=T_{συντ}): 0 °C.

Σχετική υγρασία εντός του θαλάμου RH_{in}: 90 %

Τοποθέτηση θαλάμου στο χώρο:

- Βόρεια πλευρά: εξωτερικές διαστάσεις 13.5*5 m² γειτνιάζει με το θάλαμο 1 εσωτερικής θερμοκρασίας 0 °C.
- Ανατολική πλευρά: εξωτερικές διαστάσεις 10*5 m² γειτνιάζει με θάλαμο θερμοκρασίας 7 °C και έχει παράθυρο 2 m² από διπλό γυαλί.
- Δυτική πλευρά: εξωτερικές διαστάσεις 10*5 m² εκτεθειμένη στην ηλιακή ακτινοβολία.
- Νότια πλευρά: εξωτερικές διαστάσεις 13.5*5 m² βρίσκεται εξωτερικά τοποθετημένη υπο σκιά.
- Οροφή: εξωτερικές διαστάσεις 13.5*10 m² γειτνιάζει με θαλάμους μέσης θερμοκρασίας -15.8 °C.
- Δάπεδο: εξωτερικές διαστάσεις 13.5*10 m² γειτνιάζει με το έδαφος θερμοκρασίας 23 °C.

Βήμα 2^ο Υπολογισμός φορτίο ψύξης του χώρου

$$\text{Load}_{\text{transmission}} := \begin{cases} q_{\text{roof}} \leftarrow q_{\text{roof}}(13.5, 10, \text{"inside"}, \text{"light_colored"}, -15.8, 0) \\ q_{\text{floor}} \leftarrow q_{\text{floor}}(13.5, 10, \text{"inside"}, \text{"light_colored"}, 23, 0) \\ q_{\text{east}} \leftarrow q_{\text{east}}(10, 5, \text{"inside"}, \text{"light_colored"}, 7, 0) \\ q_{\text{north}} \leftarrow q_{\text{north}}(13.5, 5, \text{"inside"}, \text{"light_colored"}, 0, 0) \\ q_{\text{west}} \leftarrow q_{\text{west}}(10, 5, \text{"outside"}, \text{"light_colored"}, 33, 0) \\ q_{\text{south}} \leftarrow q_{\text{south}}(13.5, 5, \text{"inside"}, \text{"light_colored"}, 33, 0) \\ (q_{\text{roof}} + q_{\text{floor}} + q_{\text{east}} + q_{\text{north}} + q_{\text{west}} + q_{\text{south}}) \cdot 1.1 \end{cases}$$

$$\text{Load}_{\text{transmission}} = 1.8309 \times 10^3 \text{ W}$$

Βήμα 3^ο Υπολογισμός φορτίο ψύξης του προϊόντος

Στο θάλαμο εισέρχονται τα προϊόντα στους 25 °C και ψύχονται εν συνεχεία στους 0 °C σε μία ημέρα. Ο ρυθμός εισαγωγής είναι 11000 kg/day. Επομένως, μέχρι να εισαχθούν τα επόμενα προϊόντα τα προηγούμενα έχουν ψυχθεί πλήρως.

- Υπολογισμός θερμότητας που απομακρύνεται από το προϊόν

$$Q_{\text{product}}(m, \text{op1}, T_{\text{συντ}}, T_{\text{init}}, T_f) = 1.098 \times 10^6 \text{ kJ}$$

Όπου:

op1: αύξων αριθμός προϊόντος (41)

- Υπολογισμός ψυκτικού φορτίου για την απομάκρυνση της θερμότητας από τα προϊόντα

$$\text{Load}_{\text{product}}(m, \text{op1}, T_{\text{συντ}}, T_{\text{init}}, T_f) := \frac{Q_{\text{product}}(m, \text{op1}, T_{\text{συντ}}, T_{\text{init}}, T_f) \cdot 1000 \text{ J}}{24 \cdot 3600 \text{ sec}}$$

$$\text{Load}_{\text{product}}(m, \text{op1}, T_{\text{συντ}}, T_{\text{init}}, T_f) = 1.27 \times 10^4 \text{ W}$$

- Υπολογισμός φορτίου αναπνοής των προϊόντων (υπολογισμός κατά την τελευταία ημέρα εισαγωγής ντοματών οπότε και εμφανίζεται το μέγιστο φορτίο)

$$\text{Load}_{\text{respiration}}(T_{\text{init}}, T_{\text{συντ}}, m) := \frac{m \cdot \frac{(Q_{\text{RESR}}(T_{\text{init}}) + Q_{\text{RESR}}(T_{\text{συντ}}))}{2} + 159000 Q_{\text{RESR}}(T_{\text{συντ}})}{1000} \text{ W}$$

$$\text{Load}_{\text{respiration}}(T_{\text{init}}, T_{\text{συντ}}, m) = 1.527 \times 10^3 \text{ W}$$

Βήμα 4^ο Υπολογισμός ψυκτικού φορτίου εναλλαγών αέρα

Στο συγκεκριμένο ψυκτικό θάλαμο χρησιμοποιείται ο ίδιος τύπος πόρτας με πριν και ακολουθείται η ίδια διαδικασία επομένως το φορτίο είναι ίδιο με πριν.

- Υπολογισμός ολικού απαιτούμενου ψυκτικού φορτίου ανανεώσεων αέρα:

$$\text{Load}_{\text{infiltration}}(1, 2.5, 1.8, 7, 0, 0.55, 0.9, 1, 15, 5, 1, 0) = 678.365 \text{ W}$$

Βήμα 5^ο Υπολογισμός ψυκτικού φορτίου εσωτερικής λειτουργίας

- Υπολογισμός φορτίου ηλεκτροκινητήρων των συστημάτων fan-coil

$$\text{Load}_{\text{fans}}(\text{No}_{\text{fans}}, \text{type}_{\text{motor}}, \text{MR}_{\text{fan}}) := \text{No}_{\text{fans}} \cdot \text{LoadH_K}(\text{type}_{\text{motor}}, \text{MR}_{\text{fan}})$$

$$\text{Load}_{\text{fans}}(2, 1, 1.1) = 2.906 \times 10^3 \text{ W}$$

- Υπολογισμός φορτίου ηλεκτροκινητήρων των αντλιών που χρησιμοποιούνται για τον καθαρισμό των προϊόντων με νερό

$$\text{LoadH_K}(\text{type}_{\text{motor}}, \text{MR}) := \begin{cases} \text{loadH_K1}(\text{MR}) \cdot \text{W} & \text{if } \text{type}_{\text{motor}} = 1 \\ \text{loadH_K2}(\text{MR}) \cdot \text{W} & \text{if } \text{type}_{\text{motor}} = 2 \\ \text{loadH_K2}(\text{MR}) \cdot \text{W} & \text{if } \text{type}_{\text{motor}} = 3 \\ 0 & \text{if } \text{type}_{\text{motor}} = 0 \end{cases}$$

$$\text{LoadH_K}(1, 1.1) = 1.453 \times 10^3 \text{ W}$$

Όπου:

$\text{type}_{\text{motor}}$: τύπος ηλεκτροκινητήρα που επιλέγεται (1^{ος} τύπος)

MR: ονομαστική ισχύς του ηλεκτροκινητήρα (1.1 kW)

- Υπολογισμός φορτίου φωτισμού

$$\text{Load}_{\text{light}}(\text{R}_L, \text{R}_W, \text{T}_{\text{in}}, \text{LL}) := (\text{R}_L - \text{wall}_{\text{insul}}(\text{T}_{\text{in}})) \cdot (\text{R}_W - \text{wall}_{\text{insul}}(\text{T}_{\text{in}})) \cdot \text{LL} \cdot \text{W}$$

$$\text{Load}_{\text{light}}(13.5, 10, 0, 10.8) = 1.4257 \times 10^3 \text{ W}$$

- Υπολογισμός φορτίου ανυψωτικών μηχανημάτων

$$\text{Load}_{\text{truck}}(\text{No}_{\text{tr}}, \text{PQ}_{\text{tr}}) := \text{No}_{\text{tr}} \cdot \text{PQ}_{\text{tr}} \cdot 1000 \text{ W}$$

$$\text{Load}_{\text{truck}}(1, 5.6) = 5.6 \times 10^3 \text{ W}$$

- Υπολογισμός φορτίου εργαζομένων

$$\text{Load}_{\text{people}}(\text{No}_{\text{people}}, \text{T}_{\text{συντ}}) := \text{No}_{\text{people}} \cdot (272 - 6 \cdot \text{T}_{\text{συντ}}) \cdot \text{W}$$

$$\text{Load}_{\text{people}}(2, 0) = 544 \text{ W}$$

Βήμα 6^ο Υπολογισμός ολικού ψυκτικού φορτίου συμπεριλαμβανομένου και του συντελεστή ασφαλείας

$$\text{TOTAL_LOAD}_3 := \begin{cases} r_1 \leftarrow \text{Load}_{\text{product}} \\ r_2 \leftarrow \text{Load}_{\text{respiration}} \\ r_3 \leftarrow \text{Load}_{\text{transmission}} \\ r_4 \leftarrow \text{Load}_{\text{infiltration}}(1, 2.5, 1.8, 7, 0, 0.55, 0.9, 1, 15, 5, 1, 0) \\ r_5 \leftarrow \text{Load}_{\text{H_K}}(1, 1.1) \\ r_6 \leftarrow \text{Load}_{\text{fans}}(2, 1, 1.1) \\ r_7 \leftarrow \text{Load}_{\text{light}}(13.5, 10, 0, 10.8) \\ r_8 \leftarrow \text{Load}_{\text{truck}}(1, 5.6) \\ r_9 \leftarrow \text{Load}_{\text{people}}(2, 0) \\ \left(\sum_{k=1}^9 r_k \right) \cdot 1.1 \end{cases}$$

$$\text{TOTAL_LOAD}_3 = 31.5315 \text{ kW}$$

7.2.4 Θάλαμος 4^{ος} αποθήκευσης πατατών (N^ο 32)

Βήμα 1^ο Καθορισμός κριτηρίων σχεδίασης και δεδομένων θαλάμου

Συνθήκες περιβάλλοντος (κατά την 21^η Ιουλίου): θερμοκρασία ξηρής σφαίρας 33 °C, σχετική υγρασία 55 %.

Διαστάσεις θαλάμου: 13.5*10*5 m³

Χρωματισμός θαλάμου: Ανοιχτόχρωμος

Χωρητικότητα θαλάμου: 340000 kg, ενώ προσάγονται 22000 kg/day

Εσωτερική θερμοκρασία θαλάμου (T_{in}=T_{συντ}): 0 °C.

Σχετική υγρασία εντός του θαλάμου RH_{in}: 95 %

Τοποθέτηση θαλάμου στο χώρο:

- Βόρεια πλευρά: εξωτερικές διαστάσεις 13.5*5 m² γειτνιάζει με το θάλαμο 5 εσωτερικής θερμοκρασίας 33 °C.
- Δυτική πλευρά: εξωτερικές διαστάσεις 20*5 m² γειτνιάζει με θάλαμο θερμοκρασίας 7 °C και έχει παράθυρο 4 m² από διπλό γυαλί.
- Ανατολική πλευρά: εξωτερικές διαστάσεις 20*5 m² εκτεθειμένη στην ηλιακή ακτινοβολία.
- Νότια πλευρά: εξωτερικές διαστάσεις 13.5*5 m² βρίσκεται εξωτερικά τοποθετημένη υπό σκιά.
- Οροφή: εξωτερικές διαστάσεις 13.5*20 m² γειτνιάζει με το θάλαμο 9 θερμοκρασίας 4 °C.
- Δάπεδο: εξωτερικές διαστάσεις 13.5*20 m² γειτνιάζει με το έδαφος θερμοκρασίας 23 °C.

Βήμα 2^ο Υπολογισμός φορτίο ψύξης του χώρου

$$\text{Load}_{\text{transmission}} := \begin{cases} q_{\text{roof}} \leftarrow q_{\text{roof}}(13.5, 20, \text{"inside"}, \text{"light_colored"}, 4, 0) \\ q_{\text{floor}} \leftarrow q_{\text{floor}}(13.5, 20, \text{"inside"}, \text{"light_colored"}, 23, 0) \\ q_{\text{east}} \leftarrow q_{\text{east}}(20, 5, \text{"outside"}, \text{"light_colored"}, 33, 0) \\ q_{\text{north}} \leftarrow q_{\text{north}}(13.5, 5, \text{"inside"}, \text{"light_colored"}, 33, 0) \\ q_{\text{west}} \leftarrow q_{\text{west}}(20, 5, \text{"inside"}, \text{"light_colored"}, 7, 0) \\ q_{\text{south}} \leftarrow q_{\text{south}}(13.5, 5, \text{"inside"}, \text{"light_colored"}, 33, 0) \\ (q_{\text{roof}} + q_{\text{floor}} + q_{\text{east}} + q_{\text{north}} + q_{\text{west}} + q_{\text{south}}) \cdot 1.1 \end{cases}$$

$$\text{Load}_{\text{transmission}} = 5.3057 \times 10^3 \text{ W}$$

Βήμα 3^ο Υπολογισμός φορτίο ψύξης του προϊόντος

Στο θάλαμο εισέρχονται τα προϊόντα στους 25 °C και ψύχονται εν συνεχεία στους 0 °C σε μία ημέρα. Ο ρυθμός εισαγωγής είναι 22000 kg/day. Επομένως, μέχρι να εισαχθούν τα επόμενα προϊόντα τα προηγούμενα έχουν ψυχθεί πλήρως.

- Υπολογισμός θερμότητας που απομακρύνεται από το προϊόν

$$Q_{\text{product}}(m, \text{op1}, T_{\text{συντ}}, T_{\text{init}}, T_f) = 1.992 \times 10^6 \text{ kJ}$$

Όπου:

op1: αύξων αριθμός προϊόντος (32)

- Υπολογισμός ψυκτικού φορτίου για την απομάκρυνση της θερμότητας από τα προϊόντα

$$\text{Load}_{\text{product}}(m, \text{op1}, T_{\text{συντ}}, T_{\text{init}}, T_f) := \frac{Q_{\text{product}}(m, \text{op1}, T_{\text{συντ}}, T_{\text{init}}, T_f) \cdot 1000}{24 \cdot 3600 \text{ sec}}$$

$$\text{Load}_{\text{product}}(m, \text{op1}, T_{\text{συντ}}, T_{\text{init}}, T_f) = 2.305 \times 10^4 \text{ W}$$

- Υπολογισμός φορτίου αναπνοής των προϊόντων (υπολογισμός κατά την τελευταία ημέρα εισαγωγής πατατών οπότε και εμφανίζεται το μέγιστο φορτίο)

$$\text{Load}_{\text{respiration}}(T_{\text{init}}, T_{\text{συντ}}, m) := \frac{m \cdot \frac{(Q_{\text{RESR}}(T_{\text{init}}) + Q_{\text{RESR}}(T_{\text{συντ}}))}{2} + 318000 Q_{\text{RESR}}(T_{\text{συντ}})}{1000} \text{ W}$$

$$\text{Load}_{\text{respiration}}(T_{\text{init}}, T_{\text{συντ}}, m) = 2.59 \times 10^3 \text{ W}$$

Βήμα 4^ο Υπολογισμός ψυκτικού φορτίου εναλλαγών αέρα

Στο συγκεκριμένο ψυκτικό θάλαμο χρησιμοποιούνται δύο πόρτες ίδιου τυπου με τις προηγούμενες και η διαδικασία εναλλαγών αέρα παραμένει ίδια.

- Υπολογισμός ολικού απαιτούμενου ψυκτικού φορτίου ανανεώσεων αέρα:

$$\text{Load}_{\text{infiltration}}(2, 2.5, 1.8, 7, 0, 0.55, 0.95, 2, 15, 5, 1, 0) = 1.3258 \times 10^3 \text{ W}$$

Βήμα 5^ο Υπολογισμός ψυκτικού φορτίου εσωτερικής λειτουργίας

- Υπολογισμός φορτίου ηλεκτροκινητήρων των συστημάτων fan-coil

$$\text{Load}_{\text{fans}}(\text{No}_{\text{fans}}, \text{type}_{\text{motor}}, \text{MR}_{\text{fan}}) := \text{No}_{\text{fans}} \cdot \text{LoadH_K}(\text{type}_{\text{motor}}, \text{MR}_{\text{fan}})$$

$$\text{Load}_{\text{fans}}(4, 1, 1.1) = 5.812 \times 10^3 \text{ W}$$

- Υπολογισμός φορτίου ηλεκτροκινητήρων των αντλιών που χρησιμοποιούνται για τον καθαρισμό των προϊόντων με νερό

$$\text{LoadH_K}(\text{type}_{\text{motor}}, \text{MR}) := \begin{cases} \text{loadH_K1}(\text{MR}) \cdot \text{W} & \text{if } \text{type}_{\text{motor}} = 1 \\ \text{loadH_K2}(\text{MR}) \cdot \text{W} & \text{if } \text{type}_{\text{motor}} = 2 \\ \text{loadH_K2}(\text{MR}) \cdot \text{W} & \text{if } \text{type}_{\text{motor}} = 3 \\ 0 & \text{if } \text{type}_{\text{motor}} = 0 \end{cases}$$

$$\text{LoadH_K}(1, 1.1) = 1.453 \times 10^3 \text{ W}$$

Όπου:

$\text{type}_{\text{motor}}$: τύπος ηλεκτροκινητήρα που επιλέγεται (1^{ος} τύπος)

MR: ονομαστική ισχύς του ηλεκτροκινητήρα (1.1 kW)

- Υπολογισμός φορτίου φωτισμού

$$\text{Load}_{\text{light}}(\text{R}_L, \text{R}_W, \text{T}_{\text{in}}, \text{LL}) := (\text{R}_L - \text{wall}_{\text{insul}}(\text{T}_{\text{in}})) \cdot (\text{R}_W - \text{wall}_{\text{insul}}(\text{T}_{\text{in}})) \cdot \text{LL} \cdot \text{W}$$

$$\text{Load}_{\text{light}}(13.5, 20, 0, 10.8) = 2.8699 \times 10^3 \text{ W}$$

- Υπολογισμός φορτίου ανυψωτικών μηχανημάτων

$$\text{Load}_{\text{truck}}(\text{No}_{\text{tr}}, \text{PQ}_{\text{tr}}) := \text{No}_{\text{tr}} \cdot \text{PQ}_{\text{tr}} \cdot 1000 \text{ W}$$

$$\text{Load}_{\text{truck}}(1, 5.6) = 5.6 \times 10^3 \text{ W}$$

- Υπολογισμός φορτίου τριών εργαζομένων

$$\text{Load}_{\text{people}}(\text{No}_{\text{people}}, \text{T}_{\text{συντ}}) := \text{No}_{\text{people}} \cdot (272 - 6 \cdot \text{T}_{\text{συντ}}) \cdot \text{W}$$

$$\text{Load}_{\text{people}}(3, 0) = 816 \text{ W}$$

Βήμα 6^ο Υπολογισμός ολικού ψυκτικού φορτίου συμπεριλαμβανομένου και του συντελεστή ασφαλείας

$$\text{TOTAL_LOAD}_4 := \begin{cases} r_1 \leftarrow \text{Load}_{\text{product}} \\ r_2 \leftarrow \text{Load}_{\text{respiration}} \\ r_3 \leftarrow \text{Load}_{\text{transmission}} \\ r_4 \leftarrow \text{Load}_{\text{infiltration}}(2, 2.5, 1.8, 7, 0, 0.55, 0.9, 2, 15, 5, 1, 0) \\ r_5 \leftarrow \text{Load}_{\text{H_K}}(1, 1.1) \\ r_6 \leftarrow \text{Load}_{\text{fans}}(4, 1, 1.1) \\ r_7 \leftarrow \text{Load}_{\text{light}}(13.5, 20, 0, 10.8) \\ r_8 \leftarrow \text{Load}_{\text{truck}}(1, 5.6) \\ r_9 \leftarrow \text{Load}_{\text{people}}(3, 0) \\ \left(\sum_{k=1}^9 r_k \right) \cdot 1.1 \end{cases}$$

$$\text{TOTAL_LOAD}_4 = 53.8097\text{kW}$$

7.2.5 Θάλαμος 6^{ος}-ενδιάμεσος διάδρομος ισογείου

Βήμα 1^ο Καθορισμός κριτηρίων σχεδίασης και δεδομένων θαλάμου

Συνθήκες περιβάλλοντος (κατά την 21^η Ιουλίου): θερμοκρασία ξηρής σφαίρας 33 °C, σχετική υγρασία 55 %.

Διαστάσεις θαλάμου: 5*30*5 m³

Χρωματισμός θαλάμου: Ανοιχτόχρωμος

Εσωτερική θερμοκρασία θαλάμου (T_{in}=T_{conv}): 7 °C.

Σχετική υγρασία εντός του θαλάμου RH_{in}: 55 % (πάντα ίδια με την ατμοσφαιρική)

Τοποθέτηση θαλάμου στο χώρο:

- Βόρεια πλευρά: εξωτερικές διαστάσεις 5*5 m² εξωτερικά τοποθετημένη χωρίς να δέχεται ηλιακή ακτινοβολία (33 °C).
- Δυτική πλευρά: εξωτερικές διαστάσεις 30*5 m² γειτνιάζει με τους θαλάμους 1,2,3 θερμοκρασίας 0 °C με συνολικό εμβαδόν παραθύρων 6 m² από διπλό τζάμι.
- Ανατολική πλευρά: εξωτερικές διαστάσεις 30*5 m² γειτνιάζει κατά 1/3 με το θάλαμο 5 (33 °C) και κατά 2/3 με το θάλαμο 4 όπου έχει παράθυρα 4 m² (0 °C) επομένως η μέση εξωτερική θερμοκρασία είναι 11 °C.
- Νότια πλευρά: εξωτερικές διαστάσεις 5*5 m² εξωτερικά τοποθετημένη χωρίς να δέχεται ηλιακή ακτινοβολία (33 °C).
- Οροφή: εξωτερικές διαστάσεις 5*30 m² γειτνιάζει με το θάλαμο 7 θερμοκρασίας 4 °C.
- Δάπεδο: εξωτερικές διαστάσεις 5*30 m² γειτνιάζει με το έδαφος θερμοκρασίας 23 °C.

Βήμα 2^ο Υπολογισμός φορτίο ψύξης του χώρου

$$\text{Load}_{\text{transmission}} := \begin{cases} q_{\text{roof}} \leftarrow q_{\text{roof}}(5,30, \text{"inside"}, \text{"light_colored"}, 4,7) \\ q_{\text{floor}} \leftarrow q_{\text{floor}}(5,30, \text{"inside"}, \text{"light_colored"}, 23,7) \\ q_{\text{east}} \leftarrow q_{\text{east}}(30,5, \text{"inside"}, \text{"light_colored"}, 11,7) \\ q_{\text{north}} \leftarrow q_{\text{north}}(5,5, \text{"inside"}, \text{"light_colored"}, 33,7) \\ q_{\text{west}} \leftarrow q_{\text{west}}(30,5, \text{"inside"}, \text{"light_colored"}, 0,7) \\ q_{\text{south}} \leftarrow q_{\text{south}}(5,5, \text{"inside"}, \text{"light_colored"}, 33,7) \\ (q_{\text{roof}} + q_{\text{floor}} + q_{\text{east}} + q_{\text{north}} + q_{\text{west}} + q_{\text{south}}) \cdot 1.1 \end{cases}$$

$$\text{Load}_{\text{transmission}} = 943.7116\text{W}$$

Βήμα 3^ο Υπολογισμός φορτίο ψύξης του προϊόντος

Στο θάλαμο δεν εισέρχονται τα προϊόντα.

Βήμα 4^ο Υπολογισμός ψυκτικού φορτίου εναλλαγών αέρα

Στο συγκεκριμένο ψυκτικό θάλαμο χρησιμοποιούνται δύο πόρτες ίδιου τύπου με τις προηγούμενες.

Πίνακας 7.3 Στοιχεία υπολογισμού φορτίου εναλλαγών αέρα για τον 6^ο θάλαμο

	Τύπος πόρτας 1
Τοποθέτηση	Βόρεια και Νότια πλευρά
Θερμοκρασία εισερχόμενου αέρα T_{atm} (°C)	33
Αριθμός πορτών (N_{odoors})	1
Ύψος ανοίγματος πόρτας H_d (m)	2.5
Πλάτος ανοίγματος πόρτας W_d (m)	1.8

Ακολουθεί ο πίνακας των αποτελεσμάτων:

Πίνακας 7.4 Αποτελέσματα υπολογισμού φορτίου εναλλαγών αέρα για τον 6^ο θάλαμο

	Τύπος πόρτας 1
Τοποθέτηση	Βόρεια και Νότια πλευρά
Θερμοκρασία εισερχόμενου αέρα T_{atm} (°C)	33
Αριθμός πορτών (No_{doors})	2
Ύψος ανοίγματος πόρτας H_d (m)	2.5
Πλάτος ανοίγματος πόρτας W_d (m)	1.8
Ενθαλπία εισερχόμενου αέρα (kJ/kg)	$H_{air}(0.55, 33) = 77.7567$
Ενθαλπία αέρα εντός του θαλάμου (kJ/kg)	$H_{air}(0.55, 7) = 15.5519$
Πυκνότητα εισερχόμενου αέρα (kg/m³)	$\rho_{air}(33) = 1.1528$
Πυκνότητα αέρα εντός του θαλάμου (kg/m³)	$\rho_{air}(7) = 1.2598$
θ_p: χρόνος που απαιτείται ώστε να ανοίξει ή να κλείσει η πόρτα (sec)	15
θ_o: χρονική διάρκεια που η πόρτα παραμένει ανοικτή (min)	20
θ_d: συχνότητα κάθε πόρτα επιλέγεται να ανοίγει η πόρτα (hours)	4
D_t	$D_t(2, 15, 20, 4) = 0.0854$
D_f	$D_f(33, 7) = 0.8$
E	0

Παρατηρείται ότι οι πόρτες παραμένουν ανοιχτές για μεγάλη χρονική διάρκεια. Αυτό συμβαίνει διότι η εναλλαγή αέρα γίνεται κάθε 4 ώρες και εν συνεχεία με τον αέρα του θαλάμου αυτού γίνονται όλες οι εναλλαγές στους θαλάμους του ισογείου.

➤ Υπολογισμός ολικού απαιτούμενου ψυκτικού φορτίου ανανεώσεων αέρα:

$$Load_{infiltration}(No_{doors}, H_d, W_d, T_{atm}, T_{in}, RH_{atm}, RH_{in}, P, \theta_p, \theta_o, \theta_d, E) := \begin{cases} q \leftarrow q(H_d, W_d, T_{atm}, T_{in}, RH_{atm}, RH_{in}) \\ D_t \leftarrow D_t(P, \theta_p, \theta_o, \theta_d) \\ D_f \leftarrow D_f(T_{atm}, T_{in}) \\ No_{doors} \cdot q \cdot D_t \cdot D_f \cdot (1 - E) 1000W \end{cases}$$

$$Load_{infiltration}(2, 2.5, 1.8, 33, 7, 0.55, 0.55, 2, 15, 20, 4, 0) = 1.5025 \times 10^4 W$$

Βήμα 5^ο Υπολογισμός ψυκτικού φορτίου εσωτερικής λειτουργίας

➤ Υπολογισμός φορτίου ηλεκτροκινητήρων των δύο συστημάτων fan-coil

$$Load_{fans}(No_{fans}, type_{motor}, MR_{fan}) := No_{fans} \cdot Load_{H_K}(type_{motor}, MR_{fan})$$

$$Load_{fans}(2, 1, 1.1) = 2.906 \times 10^3 W$$

- Υπολογισμός φορτίου ηλεκτροκινητήρων των αντλιών που χρησιμοποιούνται για τον καθαρισμό του θαλάμου με νερό

$$\text{LoadH_K}(\text{type}_{\text{motor}}, \text{MR}) := \begin{cases} \text{loadH_K1}(\text{MR}) \cdot \text{W} & \text{if } \text{type}_{\text{motor}} = 1 \\ \text{loadH_K2}(\text{MR}) \cdot \text{W} & \text{if } \text{type}_{\text{motor}} = 2 \\ \text{loadH_K2}(\text{MR}) \cdot \text{W} & \text{if } \text{type}_{\text{motor}} = 3 \\ 0 & \text{if } \text{type}_{\text{motor}} = 0 \end{cases}$$

$$\text{LoadH_K}(1, 1.1) = 1.453 \times 10^3 \text{ W}$$

Όπου: $\text{type}_{\text{motor}}$: τύπος ηλεκτροκινητήρα που επιλέγεται (1^{ος} τύπος)

MR: ονομαστική ισχύς του ηλεκτροκινητήρα (1.1 kW)

- Υπολογισμός φορτίου φωτισμού με επίπεδο φωτισμού LL=15 W/m²

$$\text{Load}_{\text{light}}(\text{R}_L, \text{R}_W, \text{T}_{\text{in}}, \text{LL}) := (\text{R}_L - \text{wall}_{\text{insul}}(\text{T}_{\text{in}})) \cdot (\text{R}_W - \text{wall}_{\text{insul}}(\text{T}_{\text{in}})) \cdot \text{LL} \cdot \text{W}$$

$$\text{Load}_{\text{light}}(5, 30, 7, 15) = 2.1966 \times 10^3 \text{ W}$$

- Υπολογισμός φορτίου ανυψωτικών μηχανημάτων

$$\text{Load}_{\text{truck}}(\text{No}_{\text{tr}}, \text{PQ}_{\text{tr}}) := \text{No}_{\text{tr}} \cdot \text{PQ}_{\text{tr}} \cdot 1000 \text{ W}$$

$$\text{Load}_{\text{truck}}(1, 5.6) = 5.6 \times 10^3 \text{ W}$$

- Υπολογισμός φορτίου έξι εργαζομένων

$$\text{Load}_{\text{people}}(\text{No}_{\text{people}}, \text{T}_{\text{συντ}}) := \text{No}_{\text{people}} \cdot (272 - 6 \cdot \text{T}_{\text{συντ}}) \cdot \text{W}$$

$$\text{Load}_{\text{people}}(6, 7) = 1.38 \times 10^3 \text{ W}$$

Βήμα 6^ο Υπολογισμός ολικού ψυκτικού φορτίου συμπεριλαμβανομένου και του συντελεστή ασφαλείας

$$\text{TOTAL_LOAD}_6 := \begin{cases} r_1 \leftarrow \text{Load}_{\text{transmission}} \\ r_2 \leftarrow \text{Load}_{\text{infiltration}}(2, 2.5, 1.8, 33, 7, 0.55, 0.55, 2, 15, 20, 4, 0) \\ r_3 \leftarrow \text{LoadH_K}(1, 1.1) \\ r_4 \leftarrow \text{Load}_{\text{fans}}(2, 1, 1.1) \\ r_5 \leftarrow \text{Load}_{\text{light}}(5, 30, 7, 15) \\ r_6 \leftarrow \text{Load}_{\text{truck}}(1, 5.6) \\ r_7 \leftarrow \text{Load}_{\text{people}}(6, 7) \\ \left(\sum_{k=1}^7 r_k \right) \cdot 1.1 \end{cases}$$

$$\text{TOTAL_LOAD}_6 = 32.4545 \text{ kW}$$

7.3 Μελέτη ψυκτικών θαλάμων 1^{ου} ορόφου

7.3.1 Θάλαμος 7^{ος}-ενδιάμεσος διάδρομος ορόφου

Βήμα 1^ο Καθορισμός κριτηρίων σχεδίασης και δεδομένων θαλάμου

Συνθήκες περιβάλλοντος (κατά την 21^η Ιουλίου): θερμοκρασία ξηρής σφαίρας 33 °C, σχετική υγρασία 55 %.

Διαστάσεις θαλάμου: 5*30*5 m³

Χρωματισμός θαλάμου: Ανοιχτόχρωμος

Εσωτερική θερμοκρασία θαλάμου (T_{in}=T_{συντ}): 4 °C.

Σχετική υγρασία εντός του θαλάμου RH_{in}: 55 % (πάντα ίδια με την ατμοσφαιρική)

Τοποθέτηση θαλάμου στο χώρο:

- Βόρεια πλευρά: εξωτερικές διαστάσεις 5*5 m² εξωτερικά τοποθετημένη χωρίς να δέχεται ηλιακή ακτινοβολία (33 °C).
- Δυτική πλευρά: εξωτερικές διαστάσεις 30*5 m² γειτνιάζει με τους θαλάμους 11 κατά 1/3, 12 κατά 1.6/3 και 13κατά 0.4/3 μέσης θερμοκρασίας -16.8 °C με συνολικό εμβαδόν παραθύρων 7 m² από διπλό τζάμι.
- Ανατολική πλευρά: εξωτερικές διαστάσεις 30*5 m² γειτνιάζει κατά 1/3 με το θάλαμο 8 (4 °C) και κατά 2/3 με το θάλαμο 4 (4 °C) όπου έχουν παράθυρα 4 m² επομένως η μέση εξωτερική θερμοκρασία είναι 4 °C.
- Νότια πλευρά: εξωτερικές διαστάσεις 5*5 m² εξωτερικά τοποθετημένη χωρίς να δέχεται ηλιακή ακτινοβολία (33 °C).
- Οροφή: εξωτερικές διαστάσεις 5*30 m² βρίσκεται εξωτερικά τοποθετημένη και δέχεται ηλιακή ακτινοβολία.
- Δάπεδο: εξωτερικές διαστάσεις 5*30 m² γειτνιάζει με το θάλαμο 6 θερμοκρασίας 7 °C.

Βήμα 2^ο Υπολογισμός φορτίο ψύξης του χώρου

$$\text{Load}_{\text{transmission}} := \begin{cases} q_{\text{roof}} \leftarrow q_{\text{roof}}(5,30, \text{"outside"} , \text{"light_colored"} , 33,4) \\ q_{\text{floor}} \leftarrow q_{\text{floor}}(5,30, \text{"inside"} , \text{"light_colored"} , 7,4) \\ q_{\text{east}} \leftarrow q_{\text{east}}(30,5, \text{"inside"} , \text{"light_colored"} , 4,4) \\ q_{\text{north}} \leftarrow q_{\text{north}}(5,5, \text{"inside"} , \text{"light_colored"} , 33,4) \\ q_{\text{west}} \leftarrow q_{\text{west}}(30,5, \text{"inside"} , \text{"light_colored"} , -16.8,4) \\ q_{\text{south}} \leftarrow q_{\text{south}}(5,5, \text{"inside"} , \text{"light_colored"} , 33,4) \\ (q_{\text{roof}} + q_{\text{floor}} + q_{\text{east}} + q_{\text{north}} + q_{\text{west}} + q_{\text{south}}) \cdot 1.1 \end{cases}$$

$$\text{Load}_{\text{transmission}} = 767.4278\text{W}$$

Βήμα 3^ο Υπολογισμός φορτίο ψύξης του προϊόντος

Στο θάλαμο δεν εισέρχονται τα προϊόντα προς συντήρηση.

Βήμα 4^ο Υπολογισμός ψυκτικού φορτίου εναλλαγών αέρα

Στο συγκεκριμένο ψυκτικό θάλαμο χρησιμοποιούνται δύο πόρτες ίδιου τύπου με τις προηγούμενες και η διαδικασία εναλλαγών αέρα είναι ακριβώς ίδια με αυτή του διαδρόμου έξω.

Ακολουθεί ο πίνακας των αποτελεσμάτων:

Πίνακας 7.5 Αποτελέσματα υπολογισμού φορτίου εναλλαγών αέρα για τον 7^ο θάλαμο

	Τύπος πόρτας 1
Τοποθέτηση	Βόρεια και Νότια πλευρά
Θερμοκρασία εισερχόμενου αέρα T_{atm} (°C)	33
Αριθμός πορτών (No_{doors})	2
Ύψος ανοίγματος πόρτας H_d (m)	2.5
Πλάτος ανοίγματος πόρτας W_d (m)	1.8
Ενθαλπία εισερχόμενου αέρα (kJ/kg)	$H_{air}(0.55,33) = 77.7567$
Ενθαλπία αέρα εντός του θαλάμου (kJ/kg)	$H_{air}(0.55,4) = 10.9212$
Πυκνότητα εισερχόμενου αέρα (kg/m^3)	$\rho_{air}(33) = 1.1528$
Πυκνότητα αέρα εντός του θαλάμου (kg/m^3)	$\rho_{air}(7) = 1.2598$
θ_p: χρόνος που απαιτείται ώστε να ανοίξει ή να κλείσει η πόρτα (sec)	15
θ_o: χρονική διάρκεια που η πόρτα παραμένει ανοικτή (min)	20
θ_d: συχνότητα κάθε πότε επιλέγεται να ανοίγει η πόρτα (hours)	4
D_t	$D_t(2, 15, 20, 4) = 0.0854$
D_f	$D_f(33, 7) = 0.8$
E	0

➤ Υπολογισμός ολικού απαιτούμενου ψυκτικού φορτίου ανανεώσεων αέρα:

$$Load_{infiltration}(No_{doors}, H_d, W_d, T_{atm}, T_{in}, RH_{atm}, RH_{in}, P, \theta_p, \theta_o, \theta_d, E) := \begin{cases} q \leftarrow q(H_d, W_d, T_{atm}, T_{in}, RH_{atm}, RH_{in}) \\ D_t \leftarrow D_t(P, \theta_p, \theta_o, \theta_d) \\ D_f \leftarrow D_f(T_{atm}, T_{in}) \\ No_{doors} \cdot q \cdot D_t \cdot D_f \cdot (1 - E) \cdot 1000W \end{cases}$$

$$Load_{infiltration}(2, 2.5, 1.8, 33, 4, 0.55, 0.55, 2, 15, 20, 4, 0) = 1.7185 \times 10^4 W$$

Βήμα 5^ο Υπολογισμός ψυκτικού φορτίου εσωτερικής λειτουργίας

- Υπολογισμός φορτίου ηλεκτροκινητήρων των δύο συστημάτων fan-coil

$$\text{Load}_{\text{fans}}(\text{No}_{\text{fans}}, \text{type}_{\text{motor}}, \text{MR}_{\text{fan}}) := \text{No}_{\text{fans}} \cdot \text{LoadH_K}(\text{type}_{\text{motor}}, \text{MR}_{\text{fan}})$$

$$\text{Load}_{\text{fans}}(2, 1, 1.1) = 2.906 \times 10^3 \text{ W}$$

- Υπολογισμός φορτίου ηλεκτροκινητήρων των αντλιών που χρησιμοποιούνται για τον καθαρισμό του θαλάμου με νερό

$$\text{LoadH_K}(\text{type}_{\text{motor}}, \text{MR}) := \begin{cases} \text{loadH_K1}(\text{MR}) \cdot \text{W} & \text{if } \text{type}_{\text{motor}} = 1 \\ \text{loadH_K2}(\text{MR}) \cdot \text{W} & \text{if } \text{type}_{\text{motor}} = 2 \\ \text{loadH_K2}(\text{MR}) \cdot \text{W} & \text{if } \text{type}_{\text{motor}} = 3 \\ 0 & \text{if } \text{type}_{\text{motor}} = 0 \end{cases}$$

$$\text{LoadH_K}(1, 1.1) = 1.453 \times 10^3 \text{ W}$$

Όπου: $\text{type}_{\text{motor}}$: τύπος ηλεκτροκινητήρα που επιλέγεται (1^{ος} τύπος)

MR: ονομαστική ισχύς του ηλεκτροκινητήρα (1.1 kW)

- Υπολογισμός φορτίου φωτισμού με επίπεδο φωτισμού LL=15 W/m²

$$\text{Load}_{\text{light}}(\text{R}_L, \text{R}_W, \text{T}_{\text{in}}, \text{LL}) := (\text{R}_L - \text{wall}_{\text{insul}}(\text{T}_{\text{in}})) \cdot (\text{R}_W - \text{wall}_{\text{insul}}(\text{T}_{\text{in}})) \cdot \text{LL} \cdot \text{W}$$

$$\text{Load}_{\text{light}}(5, 30, 4, 15) = 2.183 \times 10^3 \text{ W}$$

- Υπολογισμός φορτίου ανυψωτικών μηχανημάτων

$$\text{Load}_{\text{truck}}(\text{No}_{\text{tr}}, \text{PQ}_{\text{tr}}) := \text{No}_{\text{tr}} \cdot \text{PQ}_{\text{tr}} \cdot 1000 \text{ W}$$

$$\text{Load}_{\text{truck}}(1, 5.6) = 5.6 \times 10^3 \text{ W}$$

- Υπολογισμός φορτίου έξι εργαζομένων

$$\text{Load}_{\text{people}}(\text{No}_{\text{people}}, \text{T}_{\text{συντ}}) := \text{No}_{\text{people}} \cdot (272 - 6 \cdot \text{T}_{\text{συντ}}) \cdot \text{W}$$

$$\text{Load}_{\text{people}}(6, 4) = 1.488 \times 10^3 \text{ W}$$

Βήμα 6^ο Υπολογισμός ολικού ψυκτικού φορτίου συμπεριλαμβανομένου και του συντελεστή ασφαλείας

$$\text{TOTAL_LOAD}_7 := \begin{cases} r_1 \leftarrow \text{Load}_{\text{transmission}} \\ r_2 \leftarrow \text{Load}_{\text{infiltration}}(2, 2.5, 1.8, 33, 4, 0.55, 0.55, 2, 15, 20, 4, 0) \\ r_3 \leftarrow \text{LoadH_K}(1, 1.1) \\ r_4 \leftarrow \text{Load}_{\text{fans}}(2, 1, 1.1) \\ r_5 \leftarrow \text{Load}_{\text{light}}(5, 30, 4, 15) \\ r_6 \leftarrow \text{Load}_{\text{truck}}(1, 5.6) \\ r_7 \leftarrow \text{Load}_{\text{people}}(6, 4) \\ \left(\sum_{k=1}^7 r_k \right) \cdot 1.1 \end{cases}$$

$$\text{TOTAL_LOAD}_7 = 34.7412 \text{ kW}$$

7.3.2 Θάλαμος 8^{ος} αποθήκευσης και επεξεργασίας αρνιών ("Αρνί τεμαχισμένο άπαχο" (N^ο 121))

Βήμα 1^ο Καθορισμός κριτηρίων σχεδίασης και δεδομένων θαλάμου

Συνθήκες περιβάλλοντος (κατά την 21^η Ιουλίου): θερμοκρασία ξηρής σφαίρας 33 °C, σχετική υγρασία 55 %.

Διαστάσεις θαλάμου: 13.5*10*5 m³

Χρωματισμός θαλάμου: Ανοιχτόχρωμος

Χωρητικότητα θαλάμου: 170000 kg, ενώ προσάγονται 11000 kg/day

Εσωτερική θερμοκρασία θαλάμου (T_{in}=T_{conv}): 4 °C.

Σχετική υγρασία εντός του θαλάμου RH_{in}: 95 %

Τοποθέτηση θαλάμου στο χώρο:

- Βόρεια πλευρά: εξωτερικές διαστάσεις 13.5*5 m² εξωτερικά τοποθετημένη χωρίς να δέχεται ηλιακή ακτινοβολία (33 °C).
- Δυτική πλευρά: εξωτερικές διαστάσεις 10*5 m² γειτνιάζει με το θάλαμο 7 θερμοκρασίας 4 °C και έχει παράθυρο 2 m² από διπλό γυαλί.
- Ανατολική πλευρά: εξωτερικές διαστάσεις 10*5 m² εκτεθειμένη στην ηλιακή ακτινοβολία.
- Νότια πλευρά: εξωτερικές διαστάσεις 13.5*5 m² γειτνιάζει με το θάλαμο 9 θερμοκρασίας 4 °C
- Οροφή: εξωτερικές διαστάσεις 13.5*10 m² εκτεθειμένη στην ηλιακή ακτινοβολία.
- Δάπεδο: εξωτερικές διαστάσεις 13.5*10 m² γειτνιάζει με το θάλαμο 5 θερμοκρασίας 33 °C.

Βήμα 2^ο Υπολογισμός φορτίο ψύξης του χώρου

$$\text{Load}_{\text{transmission}} := \begin{cases} q_{\text{roof}} \leftarrow q_{\text{roof}}(13.5, 10, \text{"outside"}, \text{"light_colored"}, 33, 4) \\ q_{\text{floor}} \leftarrow q_{\text{floor}}(13.5, 10, \text{"inside"}, \text{"light_colored"}, 33, 4) \\ q_{\text{east}} \leftarrow q_{\text{east}}(10, 5, \text{"outside"}, \text{"light_colored"}, 33, 4) \\ q_{\text{north}} \leftarrow q_{\text{north}}(13.5, 5, \text{"inside"}, \text{"light_colored"}, 33, 4) \\ q_{\text{west}} \leftarrow q_{\text{west}}(10, 5, \text{"inside"}, \text{"light_colored"}, 4, 4) \\ q_{\text{south}} \leftarrow q_{\text{south}}(13.5, 5, \text{"inside"}, \text{"light_colored"}, 4, 4) \\ (q_{\text{roof}} + q_{\text{floor}} + q_{\text{east}} + q_{\text{north}} + q_{\text{west}} + q_{\text{south}}) \cdot 1.1 \end{cases}$$

$$\text{Load}_{\text{transmission}} = 3.7631 \times 10^3 \text{ W}$$

Βήμα 3^ο Υπολογισμός φορτίο ψύξης του προϊόντος

Στο θάλαμο εισέρχονται τα προϊόντα στους 20 °C και ψύχονται εν συνεχεία στους 4 °C σε μία ημέρα. Ο ρυθμός εισαγωγής είναι 11000 kg/day. Επομένως, μέχρι να εισαχθούν τα επόμενα προϊόντα τα προηγούμενα έχουν ψυχθεί πλήρως.

- Υπολογισμός θερμότητας που απομακρύνεται από το προϊόν

$$Q_{\text{product}}(m, \text{op1}, T_{\text{συντ}}, T_{\text{init}}, T_f) = 6.258 \times 10^5 \text{ kJ}$$

Όπου:

op1: αύξων αριθμός προϊόντος (121)

- Υπολογισμός ψυκτικού φορτίου για την απομάκρυνση της θερμότητας από τα προϊόντα

$$\text{Load}_{\text{product}}(m, \text{op1}, T_{\text{συντ}}, T_{\text{init}}, T_f) := \frac{Q_{\text{product}}(m, \text{op1}, T_{\text{συντ}}, T_{\text{init}}, T_f) \cdot 1000}{24 \cdot 3600 \text{ sec}}$$

$$\text{Load}_{\text{product}}(m, \text{op1}, T_{\text{συντ}}, T_{\text{init}}, T_f) = 7.243 \times 10^3 \text{ W}$$

Βήμα 4^ο Υπολογισμός ψυκτικού φορτίου εναλλαγών αέρα

Ακολουθεί ο πίνακας των αποτελεσμάτων:

Πίνακας 7.6 Αποτελέσματα υπολογισμού φορτίου εναλλαγών αέρα για τον 6^ο θάλαμο

Τοποθέτηση	Τύπος πόρτας 1 Δυτική πλευρά
Θερμοκρασία εισερχόμενου αέρα T_{atm} (°C)	4
Αριθμός πορτών (N_{doors})	1
Ύψος ανοίγματος πόρτας H_d (m)	2.5
Πλάτος ανοίγματος πόρτας W_d (m)	1.8
Ενθαλπία εισερχόμενου αέρα (kJ/kg)	$H_{\text{air}}(0.55, 4) = 10.9212$
Ενθαλπία αέρα εντός του θαλάμου (kJ/kg)	$H_{\text{air}}(0.95, 4) = 15.9934$
Πυκνότητα εισερχόμενου αέρα (kg/m ³)	$\rho_{\text{air}}(4) = 1.2734$
Πυκνότητα αέρα εντός του θαλάμου (kg/m ³)	$\rho_{\text{air}}(4) = 1.2734$
θ_p : χρόνος που απαιτείται ώστε να ανοίξει ή να κλείσει η πόρτα (sec)	15
θ_o : χρονική διάρκεια που η πόρτα παραμένει ανοικτή (min)	5
θ_d : συχνότητα κάθε πόρτα επιλέγεται να ανοίγει η πόρτα (hours)	4
D_t	$D_t(1, 15, 5, 4) = 0.0219$
D_f	$D_f(4, 4) = 1.1$
E	0

- Υπολογισμός ολικού απαιτούμενου ψυκτικού φορτίου ανανεώσεων αέρα:

$$\text{Load}_{\text{infiltration}}(1, 2.5, 1.8, 4, 4, 0.55, 0.95, 1, 15, 5, 4, 0) = 0\text{W}$$

Παρατηρείται ότι το φορτίο ανανεώσεων αέρα είναι μηδενικό καθώς ο εισερχόμενος αέρας έχει την ίδια θερμοκρασία με τον αέρα εντός του θαλάμου.

Βήμα 5^ο Υπολογισμός ψυκτικού φορτίου εσωτερικής λειτουργίας

- Υπολογισμός φορτίου ηλεκτροκινητήρων των συστημάτων fan-coil

$$\text{Load}_{\text{fans}}(\text{No}_{\text{fans}}, \text{type}_{\text{motor}}, \text{MR}_{\text{fan}}) := \text{No}_{\text{fans}} \cdot \text{LoadH_K}(\text{type}_{\text{motor}}, \text{MR}_{\text{fan}})$$

$$\text{Load}_{\text{fans}}(4, 1, 1.1) = 5.812 \times 10^3 \text{ W}$$

- Υπολογισμός φορτίου ηλεκτροκινητήρων των αντλιών που χρησιμοποιούνται για τον καθαρισμό των προϊόντων με νερό

$$\text{LoadH_K}(\text{type}_{\text{motor}}, \text{MR}) := \begin{cases} \text{loadH_K1}(\text{MR}) \text{ W} & \text{if } \text{type}_{\text{motor}} = 1 \\ \text{loadH_K2}(\text{MR}) \cdot \text{W} & \text{if } \text{type}_{\text{motor}} = 2 \\ \text{loadH_K2}(\text{MR}) \cdot \text{W} & \text{if } \text{type}_{\text{motor}} = 3 \\ 0 & \text{if } \text{type}_{\text{motor}} = 0 \end{cases}$$

$$\text{LoadH_K}(1, 2.2) = 2.763 \times 10^3 \text{ W}$$

Όπου:

$\text{type}_{\text{motor}}$: τύπος ηλεκτροκινητήρα που επιλέγεται (1^{ος} τύπος)

MR : ονομαστική ισχύς του ηλεκτροκινητήρα (2.2 kW)

- Υπολογισμός φορτίου φωτισμού

$$\text{Load}_{\text{light}}(\text{R}_L, \text{R}_W, \text{T}_{\text{in}}, \text{LL}) := (\text{R}_L - \text{wall}_{\text{insul}}(\text{T}_{\text{in}})) \cdot (\text{R}_W - \text{wall}_{\text{insul}}(\text{T}_{\text{in}})) \cdot \text{LL} \cdot \text{W}$$

$$\text{Load}_{\text{light}}(13.5, 10, 4, 10.8) = 1.4257 \times 10^3 \text{ W}$$

- Υπολογισμός φορτίου ανυψωτικών μηχανημάτων

$$\text{Load}_{\text{truck}}(\text{No}_{\text{tr}}, \text{PQ}_{\text{tr}}) := \text{No}_{\text{tr}} \cdot \text{PQ}_{\text{tr}} \cdot 1000 \text{ W}$$

$$\text{Load}_{\text{truck}}(1, 5.6) = 5.6 \times 10^3 \text{ W}$$

- Υπολογισμός φορτίου τεσσάρων εργαζομένων

$$\text{Load}_{\text{people}}(\text{No}_{\text{people}}, \text{T}_{\text{συντ}}) := \text{No}_{\text{people}} \cdot (272 - 6 \cdot \text{T}_{\text{συντ}}) \cdot \text{W}$$

$$\text{Load}_{\text{people}}(4, 4) = 992 \text{ W}$$

Βήμα 6^ο Υπολογισμός ολικού ψυκτικού φορτίου συμπεριλαμβανομένου και του συντελεστή ασφαλείας

$$\text{TOTAL_LOAD}_8 := \begin{cases} r_1 \leftarrow \text{Load}_{\text{product}} \\ r_2 \leftarrow \text{Load}_{\text{transmission}} \\ r_3 \leftarrow \text{Load}_{\text{infiltration}}(1, 2.5, 1.8, 4, 4, 0.55, 0.95, 1, 15, 5, 4, 0) \\ r_4 \leftarrow \text{Load}_{\text{H_K}}(1, 2.2) \\ r_5 \leftarrow \text{Load}_{\text{fans}}(2, 1, 1.1) \\ r_6 \leftarrow \text{Load}_{\text{light}}(13.5, 10, 4, 10.8) \\ r_7 \leftarrow \text{Load}_{\text{truck}}(1, 5.6) \\ r_8 \leftarrow \text{Load}_{\text{people}}(4, 4) \\ \left(\sum_{k=1}^8 r_k \right) \cdot 1.1 \end{cases}$$

$$\text{TOTAL_LOAD}_8 = 27.1621 \text{ kW}$$

7.3.3 Θάλαμος 9^{ος} αποθήκευσης και επεξεργασίας χοιρινού κρέατος ("Χοιρινό με κόκκαλο" (N^ο 107))

Βήμα 1^ο Καθορισμός κριτηρίων σχεδίασης και δεδομένων θαλάμου

Συνθήκες περιβάλλοντος (κατά την 21^η Ιουλίου): θερμοκρασία ξηρής σφαίρας 33 °C, σχετική υγρασία 55 %.

Διαστάσεις θαλάμου: 13.5*20*5 m³

Χρωματισμός θαλάμου: Ανοιχτόχρωμος

Χωρητικότητα θαλάμου: 340000 kg, ενώ προσάγονται 22000 kg/day

Εσωτερική θερμοκρασία θαλάμου (T_{in}=T_{συντ}): 4 °C.

Σχετική υγρασία εντός του θαλάμου RH_{in}: 95 %

Τοποθέτηση θαλάμου στο χώρο:

- Βόρεια πλευρά: εξωτερικές διαστάσεις 13.5*5 m² γειτνιάζει με το θάλαμο 8 θερμοκρασίας 4 °C.
- Δυτική πλευρά: εξωτερικές διαστάσεις 20*5 m² γειτνιάζει με το θάλαμο 7 θερμοκρασίας 4 °C και έχει παράθυρο 4 m² από διπλό γυαλί.
- Ανατολική πλευρά: εξωτερικές διαστάσεις 20*5 m² εκτεθειμένη στην ηλιακή ακτινοβολία.
- Νότια πλευρά: εξωτερικές διαστάσεις 13.5*5 m² εξωτερικά τοποθετημένη χωρίς να δέχεται ηλιακή ακτινοβολία.
- Οροφή: εξωτερικές διαστάσεις 13.5*20 m² εκτεθειμένη στην ηλιακή ακτινοβολία.
- Δάπεδο: εξωτερικές διαστάσεις 13.5*10 m² γειτνιάζει με το θάλαμο 4 θερμοκρασίας 0 °C.

Βήμα 2^ο Υπολογισμός φορτίο ψύξης του χώρου

$$\text{Load}_{\text{transmission}} := \begin{cases} q_{\text{roof}} \leftarrow q_{\text{roof}}(13.5, 20, \text{"outside"}, \text{"light_colored"}, 33, 4) \\ q_{\text{floor}} \leftarrow q_{\text{floor}}(13.5, 20, \text{"inside"}, \text{"light_colored"}, 0, 4) \\ q_{\text{east}} \leftarrow q_{\text{east}}(20, 5, \text{"outside"}, \text{"light_colored"}, 33, 4) \\ q_{\text{north}} \leftarrow q_{\text{north}}(13.5, 5, \text{"inside"}, \text{"light_colored"}, 4, 4) \\ q_{\text{west}} \leftarrow q_{\text{west}}(20, 5, \text{"inside"}, \text{"light_colored"}, 4, 4) \\ q_{\text{south}} \leftarrow q_{\text{south}}(13.5, 5, \text{"inside"}, \text{"light_colored"}, 33, 4) \\ (q_{\text{roof}} + q_{\text{floor}} + q_{\text{east}} + q_{\text{north}} + q_{\text{west}} + q_{\text{south}}) \cdot 1.1 \end{cases}$$

$$\text{Load}_{\text{transmission}} = 4.2369 \times 10^3 \text{ W}$$

Βήμα 3^ο Υπολογισμός φορτίο ψύξης του προϊόντος

Στο θάλαμο εισέρχονται τα προϊόντα στους 20 °C και ψύχονται εν συνεχεία στους 4 °C σε μία ημέρα. Ο ρυθμός εισαγωγής είναι 22000 kg/day. Επομένως, μέχρι να εισαχθούν τα επόμενα προϊόντα τα προηγούμενα έχουν ψυχθεί πλήρως.

- Υπολογισμός θερμότητας που απομακρύνεται από το προϊόν

$$Q_{\text{product}}(m, \text{op1}, T_{\text{σουvt}}, T_{\text{init}}, T_f) = 1.071 \times 10^6 \text{ kJ}$$

Όπου:

op1: αύξων αριθμός προϊόντος (107)

- Υπολογισμός ψυκτικού φορτίου για την απομάκρυνση της θερμότητας από τα προϊόντα

$$\text{Load}_{\text{product}}(m, \text{op1}, T_{\text{σουvt}}, T_{\text{init}}, T_f) := \frac{Q_{\text{product}}(m, \text{op1}, T_{\text{σουvt}}, T_{\text{init}}, T_f) \cdot 1000}{24 \cdot 3600 \text{ sec}}$$

$$\text{Load}_{\text{product}}(m, \text{op1}, T_{\text{σουvt}}, T_{\text{init}}, T_f) = 1.24 \times 10^4 \text{ W}$$

Βήμα 4^ο Υπολογισμός ψυκτικού φορτίου εναλλαγών αέρα

- Υπολογισμός ολικού απαιτούμενου ψυκτικού φορτίου ανανεώσεων αέρα:

$$\text{Load}_{\text{infiltration}}(1, 2.5, 1.8, 4, 4, 0.55, 0.95, 1, 15, 5, 4, 0) = 0 \text{ W}$$

Παρατηρείται ότι το φορτίο ανανεώσεων αέρα και σε αυτήν την περίπτωση είναι μηδενικό καθώς ο εισερχόμενος αέρας από την μία πόρτα που χρησιμοποιείται έχει την ίδια θερμοκρασία με τον αέρα εντός του θαλάμου.

Βήμα 5^ο Υπολογισμός ψυκτικού φορτίου εσωτερικής λειτουργίας

- Υπολογισμός φορτίου ηλεκτροκινητήρων των συστημάτων fan-coil

$$\text{Load}_{\text{fans}}(\text{No}_{\text{fans}}, \text{type}_{\text{motor}}, \text{MR}_{\text{fan}}) := \text{No}_{\text{fans}} \cdot \text{LoadH_K}(\text{type}_{\text{motor}}, \text{MR}_{\text{fan}})$$

$$\text{Load}_{\text{fans}}(4, 1, 1.1) = 5.812 \times 10^3 \text{ W}$$

- Υπολογισμός φορτίου ηλεκτροκινητήρων των αντλιών που χρησιμοποιούνται για τον καθαρισμό των προϊόντων με νερό

$$\text{LoadH_K}(\text{type}_{\text{motor}}, \text{MR}) := \begin{cases} \text{loadH_K1}(\text{MR}) \text{ W} & \text{if } \text{type}_{\text{motor}} = 1 \\ \text{loadH_K2}(\text{MR}) \cdot \text{W} & \text{if } \text{type}_{\text{motor}} = 2 \\ \text{loadH_K2}(\text{MR}) \cdot \text{W} & \text{if } \text{type}_{\text{motor}} = 3 \\ 0 & \text{if } \text{type}_{\text{motor}} = 0 \end{cases}$$

$$\text{LoadH_K}(1, 2.2) = 2.763 \times 10^3 \text{ W}$$

Όπου:

$\text{type}_{\text{motor}}$: τύπος ηλεκτροκινητήρα που επιλέγεται (1^{ος} τύπος)

MR : ονομαστική ισχύς του ηλεκτροκινητήρα (2.2 kW)

- Υπολογισμός φορτίου φωτισμού

$$\text{Load}_{\text{light}}(\text{R}_L, \text{R}_W, \text{T}_{\text{in}}, \text{LL}) := (\text{R}_L - \text{wall}_{\text{insul}}(\text{T}_{\text{in}})) \cdot (\text{R}_W - \text{wall}_{\text{insul}}(\text{T}_{\text{in}})) \cdot \text{LL} \cdot \text{W}$$

$$\text{Load}_{\text{light}}(13.5, 20, 4, 10.8) = 2.8699 \times 10^3 \text{ W}$$

- Υπολογισμός φορτίου ανυψωτικών μηχανημάτων

$$\text{Load}_{\text{truck}}(\text{No}_{\text{tr}}, \text{PO}_{\text{tr}}) := \text{No}_{\text{tr}} \cdot \text{PO}_{\text{tr}} \cdot 1000 \text{ W}$$

$$\text{Load}_{\text{truck}}(1, 5.6) = 5.6 \times 10^3 \text{ W}$$

- Υπολογισμός φορτίου έξι εργαζομένων

$$\text{Load}_{\text{people}}(\text{No}_{\text{people}}, \text{T}_{\text{συντ}}) := \text{No}_{\text{people}} \cdot (272 - 6 \cdot \text{T}_{\text{συντ}}) \cdot \text{W}$$

$$\text{Load}_{\text{people}}(6, 4) = 1.488 \times 10^3 \text{ W}$$

Βήμα 6^ο Υπολογισμός ολικού ψυκτικού φορτίου συμπεριλαμβανομένου και του συντελεστή ασφαλείας

$$\text{TOTAL_LOAD}_D := \begin{cases} r_1 \leftarrow \text{Load}_{\text{product}} \\ r_2 \leftarrow \text{Load}_{\text{transmission}} \\ r_3 \leftarrow \text{Load}_{\text{infiltration}}(1, 2.5, 1.8, 4, 4, 0.55, 0.95, 1, 15, 5, 4, 0) \\ r_4 \leftarrow \text{Load}_{\text{H_K}}(1, 2.2) \\ r_5 \leftarrow \text{Load}_{\text{fans}}(4, 1, 1.1) \\ r_6 \leftarrow \text{Load}_{\text{light}}(13.5, 20, 4, 10.8) \\ r_7 \leftarrow \text{Load}_{\text{truck}}(1, 5.6) \\ r_8 \leftarrow \text{Load}_{\text{people}}(6, 4) \\ \left(\sum_{k=1}^8 r_k \right) \cdot 1.1 \end{cases}$$

$$\text{TOTAL_LOAD}_D = 38.6868 \text{ kW}$$

7.3.4 Θάλαμος 10^{ος}-Προθάλαμος καταψύκτη

Βήμα 1^ο Καθορισμός κριτηρίων σχεδίασης και δεδομένων θαλάμου

Συνθήκες περιβάλλοντος (κατά την 21^η Ιουλίου): θερμοκρασία ξηρής σφαίρας 33 °C, σχετική υγρασία 55 %.

Διαστάσεις θαλάμου: 8.5*4*5 m³

Χρωματισμός θαλάμου: Ανοιχτόχρωμος

Εσωτερική θερμοκρασία θαλάμου (T_{in}=T_{συντ}): 4 °C.

Σχετική υγρασία εντός του θαλάμου RH_{in}: 95 %

Τοποθέτηση θαλάμου στο χώρο:

- Βόρεια πλευρά: εξωτερικές διαστάσεις 8.5*5 m² γειτνιάζει με το θάλαμο 12 θερμοκρασίας -20°C.
- Δυτική πλευρά: εξωτερικές διαστάσεις 4*5 m² γειτνιάζει με το θάλαμο 11 θερμοκρασίας -32 °C.
- Ανατολική πλευρά: εξωτερικές διαστάσεις 4*5 m² γειτνιάζει με το θάλαμο 7 (4 °C) και έχει παράθυρο 1 m² από διπλό τζάμι.
- Νότια πλευρά: εξωτερικές διαστάσεις 8.5*5 m² εξωτερικά τοποθετημένη χωρίς να δέχεται ηλιακή ακτινοβολία (33 °C).
- Οροφή: εξωτερικές διαστάσεις 5*8.5 m² βρίσκεται εξωτερικά τοποθετημένη και δέχεται ηλιακή ακτινοβολία.
- Δάπεδο: εξωτερικές διαστάσεις 5*8.5 m² γειτνιάζει με το θάλαμο 3 θερμοκρασίας 0 °C.

Βήμα 2^ο Υπολογισμός φορτίο ψύξης του χώρου

$$\text{Load}_{\text{transmission}} := \begin{cases} q_{\text{roof}} \leftarrow q_{\text{roof}}(8.5, 4, \text{"outside"}, \text{"light_colored"}, 33, 4) \\ q_{\text{floor}} \leftarrow q_{\text{floor}}(8.5, 4, \text{"inside"}, \text{"light_colored"}, 0, 4) \\ q_{\text{east}} \leftarrow q_{\text{east}}(4, 5, \text{"inside"}, \text{"light_colored"}, 4, 4) \\ q_{\text{north}} \leftarrow q_{\text{north}}(8.5, 5, \text{"inside"}, \text{"light_colored"}, -20, 4) \\ q_{\text{west}} \leftarrow q_{\text{west}}(4, 5, \text{"inside"}, \text{"light_colored"}, -32, 4) \\ q_{\text{south}} \leftarrow q_{\text{south}}(8.5, 5, \text{"inside"}, \text{"light_colored"}, 33, 4) \\ (q_{\text{roof}} + q_{\text{floor}} + q_{\text{east}} + q_{\text{north}} + q_{\text{west}} + q_{\text{south}}) \cdot 1.1 \end{cases}$$

$$\text{Load}_{\text{transmission}} = 124.5749\text{W}$$

Βήμα 3^ο Υπολογισμός φορτίο ψύξης του προϊόντος

Στο θάλαμο εισέρχονται τα προϊόντα όχι για ψύξη απλά για να τοποθετηθούν στον μάντα του καταψύκτη.

Βήμα 4^ο Υπολογισμός ψυκτικού φορτίου εναλλαγών αέρα

Πίνακας 7.7 Αποτελέσματα υπολογισμού φορτίου εναλλαγών αέρα για τον 10^ο θάλαμο

	Τύπος πόρτας 1
Τοποθέτηση	Ανατολική πλευρά
Θερμοκρασία εισερχόμενου αέρα $T_{\text{atm}} (^{\circ}\text{C})$	4
Αριθμός πορτών (N_{doors})	1
Ύψος ανοίγματος πόρτας H_d (m)	2.5
Πλάτος ανοίγματος πόρτας W_d (m)	1.8
Ενθαλπία εισερχόμενου αέρα (kJ/kg)	$H_{\text{air}}(0.55, 4) = 10.9212$
Ενθαλπία αέρα εντός του θαλάμου (kJ/kg)	$H_{\text{air}}(0.95, 4) = 15.9934$
Πυκνότητα εισερχόμενου αέρα (kg/m³)	$\rho_{\text{air}}(4) = 1.2734$
Πυκνότητα αέρα εντός του θαλάμου (kg/m³)	$\rho_{\text{air}}(4) = 1.2734$
θ_p: χρόνος που απαιτείται ώστε να ανοίξει ή να κλείσει η πόρτα (sec)	15
θ_o: χρονική διάρκεια που η πόρτα παραμένει ανοικτή (min)	5
θ_a: συχνότητα κάθε πόρτα επιλέγεται να ανοίγει η πόρτα (hours)	2
D_i	$D_i(1, 15, 5, 2) = 0.0438$
D_f	$D_f(4, 4) = 1.1$
E	0

- Υπολογισμός ολικού απαιτούμενου ψυκτικού φορτίου ανανεώσεων αέρα:

$$\text{Load}_{\text{infiltration}}(\text{No}_{\text{doors}}, H_d, W_d, T_{\text{atm}}, T_{\text{in}}, RH_{\text{atm}}, RH_{\text{in}}, P, \theta_p, \theta_o, \theta_d, E) := \begin{cases} q \leftarrow q(H_d, W_d, T_{\text{atm}}, T_{\text{in}}, RH_{\text{atm}}, RH_{\text{in}}) \\ D_t \leftarrow D_t(P, \theta_p, \theta_o, \theta_d) \\ D_f \leftarrow D_f(T_{\text{atm}}, T_{\text{in}}) \\ \text{No}_{\text{doors}} \cdot q \cdot D_t \cdot D_f \cdot (1 - E) \cdot 1000W \end{cases}$$

$$\text{Load}_{\text{infiltration}}(1, 2.5, 1.8, 4, 4, 0.55, 0.55, 1, 15, 5, 2, 0) = 0W$$

Βήμα 5^ο Υπολογισμός ψυκτικού φορτίου εσωτερικής λειτουργίας

- Υπολογισμός φορτίου ηλεκτροκινητήρων των δύο συστημάτων fan-coil

$$\text{Load}_{\text{fans}}(\text{No}_{\text{fans}}, \text{type}_{\text{motor}}, MR_{\text{fan}}) := \text{No}_{\text{fans}} \cdot \text{LoadH_K}(\text{type}_{\text{motor}}, MR_{\text{fan}})$$

$$\text{Load}_{\text{fans}}(1, 1, 1.1) = 1.453 \times 10^3 W$$

- Υπολογισμός φορτίου ηλεκτροκινητήρων των αντλιών που χρησιμοποιούνται για τον καθαρισμό του θαλάμου με νερό

$$\text{LoadH_K}(\text{type}_{\text{motor}}, MR) := \begin{cases} \text{loadH_K1}(MR) W & \text{if } \text{type}_{\text{motor}} = 1 \\ \text{loadH_K2}(MR) \cdot W & \text{if } \text{type}_{\text{motor}} = 2 \\ \text{loadH_K2}(MR) \cdot W & \text{if } \text{type}_{\text{motor}} = 3 \\ 0 & \text{if } \text{type}_{\text{motor}} = 0 \end{cases}$$

$$\text{LoadH_K}(0, 1.1) = 0W$$

Όπου: $\text{type}_{\text{motor}}$: τύπος ηλεκτροκινητήρα που επιλέγεται (δεν χρησιμοποιείται)
 MR: ονομαστική ισχύς του ηλεκτροκινητήρα (- kW)

- Υπολογισμός φορτίου φωτισμού με επίπεδο φωτισμού $LL=15 W/m^2$

$$\text{Load}_{\text{light}}(R_L, R_W, T_{\text{in}}, LL) := (R_L - \text{wall}_{\text{insul}}(T_{\text{in}})) \cdot (R_W - \text{wall}_{\text{insul}}(T_{\text{in}})) \cdot LL \cdot W$$

$$\text{Load}_{\text{light}}(8.5, 4, 4, 15) = 486.2458W$$

- Υπολογισμός φορτίου ανυψωτικών μηχανημάτων

$$\text{Load}_{\text{truck}}(\text{No}_{\text{tr}}, PQ_{\text{tr}}) := \text{No}_{\text{tr}} \cdot PQ_{\text{tr}} \cdot 1000W$$

$$\text{Load}_{\text{truck}}(1, 5.6) = 5.6 \times 10^3 W$$

- Υπολογισμός φορτίου έξι εργαζομένων

$$\text{Load}_{\text{people}}(\text{No}_{\text{people}}, T_{\text{συντ}}) := \text{No}_{\text{people}} \cdot (272 - 6 \cdot T_{\text{συντ}}) \cdot W$$

$$\text{Load}_{\text{people}}(2, 4) = 496W$$

Βήμα 6^ο Υπολογισμός ολικού ψυκτικού φορτίου συμπεριλαμβανομένου και του συντελεστή ασφαλείας

$$\text{TOTAL_LOAD}_{10} := \begin{cases} r_1 \leftarrow \text{Load}_{\text{transmission}} \\ r_2 \leftarrow \text{Load}_{\text{infiltration}}(1, 2.5, 1.8, 4, 4, 0.55, 0.55, 2, 15, 20, 4, 0) \\ r_3 \leftarrow \text{Load}_{\text{H_K}}(0, 1.1) \\ r_4 \leftarrow \text{Load}_{\text{fans}}(1, 1, 1.1) \\ r_5 \leftarrow \text{Load}_{\text{light}}(8.5, 4, 4, 15) \\ r_6 \leftarrow \text{Load}_{\text{truck}}(1, 5.6) \\ r_7 \leftarrow \text{Load}_{\text{people}}(2, 4) \\ \left(\sum_{k=1}^7 r_k \right) \cdot 1.1 \end{cases}$$

$$\text{TOTAL_LOAD}_{10} = 8.9758 \text{ kW}$$

7.3.5 Θάλαμος 11^{ος} καταψύκτης σήραγγας κυκλοφορίας αέρα αρνίσου και χοιρινού κρέατος

Βήμα 1^ο Καθορισμός κριτηρίων σχεδίασης και δεδομένων θαλάμου

Συνθήκες περιβάλλοντος (κατά την 21^η Ιουλίου): θερμοκρασία ξηρής σφαίρας 33 °C, σχετική υγρασία 55 %.

Διαστάσεις θαλάμου: 4*5*4 m³

Χρωματισμός θαλάμου: Ανοιχτόχρωμος και ο εξοπλισμός του καταψύκτη βρίσκεται εξωτερικά σε ειδικό πατάρι ύψους 1 m.

Χωρητικότητα θαλάμου: προσάγονται ημερησίως 11000 kg_{αρνιών} και 22000 kg_{χοιρινό}

Εσωτερική θερμοκρασία θαλάμου (T_m): -32 °C.

Ταχύτητα αέρα κατάψυξης: U_{air}= 2 m/sec

Θερμοκρασία κατάψυξης των προϊόντων (T_{συντ}): -17 °C.

Θερμοκρασία προσαγωγής των προϊόντων (T_{imit}): 4 °C.

Σχετική υγρασία εντός του θαλάμου RH_{in}: 95 %

Τοποθέτηση θαλάμου στο χώρο:

- Βόρεια πλευρά: εξωτερικές διαστάσεις 5*4 m² γειτνιάζει με το θάλαμο 12 θερμοκρασίας -20 °C.
- Δυτική πλευρά: εξωτερικές διαστάσεις 4*4 m² εκτεθειμένη στην ηλιακή ακτινοβολία.
- Ανατολική πλευρά: εξωτερικές διαστάσεις 4*4 m² γειτνιάζει με το θάλαμο 10 θερμοκρασίας 4 °C.
- Νότια πλευρά: εξωτερικές διαστάσεις 5*4 m² εξωτερικά τοποθετημένη χωρίς να δέχεται ηλιακή ακτινοβολία.
- Οροφή: εξωτερικές διαστάσεις 5*4 m² εκτεθειμένη στην ηλιακή ακτινοβολία.

- Δάπεδο: εξωτερικές διαστάσεις 5*4 m² γειτνιάζει με το θάλαμο 3 θερμοκρασίας 0 °C.

Επιπλέον εντός του θαλάμου δεν εργάζονται εργάτες, δεν βρίσκονται ηλεκτροκινητήρες αντλιών, δεν εισέρχονται ανυψωτικά μηχανήματα και δεν γίνονται εναλλαγές αέρα κατά τη διάρκεια της κατάψυξης.

Βήμα 2^ο Υπολογισμός φορτίο ψύξης του χώρου

$$\text{Load}_{\text{transmission}} := \begin{cases} q_{\text{roof}} \leftarrow q_{\text{roof}}(5,4, \text{"outside"}, \text{"light_colored"}, 33, -32) \\ q_{\text{floor}} \leftarrow q_{\text{floor}}(5,4, \text{"inside"}, \text{"light_colored"}, 0, -32) \\ q_{\text{east}} \leftarrow q_{\text{east}}(4,4, \text{"inside"}, \text{"light_colored"}, 4, -32) \\ q_{\text{north}} \leftarrow q_{\text{north}}(5,4, \text{"inside"}, \text{"light_colored"}, -20, -32) \\ q_{\text{west}} \leftarrow q_{\text{west}}(4,4, \text{"outside"}, \text{"light_colored"}, 33, -32) \\ q_{\text{south}} \leftarrow q_{\text{south}}(5,4, \text{"inside"}, \text{"light_colored"}, 33, -32) \\ (q_{\text{roof}} + q_{\text{floor}} + q_{\text{east}} + q_{\text{north}} + q_{\text{west}} + q_{\text{south}}) \cdot 1.1 \end{cases}$$

$$\text{Load}_{\text{transmission}} = 1.4584 \times 10^3 \text{ W}$$

Βήμα 3^ο Υπολογισμός φορτίο κατάψυξης προϊόντος (βλ. διαδικασία κεφάλαιο 2^ο)

- Αρνί τεμαχισμένο άπαχο (op1=121) 11000 kg
 - Υπολογισμός θερμότητας που απομακρύνεται από το προϊόν

$$Q_{\text{product}}(m, \text{op1}, T_{\text{συνητ}}, T_{\text{init}}, T_f) = 3.282 \times 10^6 \text{ kJ}$$
 - Υπολογισμός χρόνου κατάψυξης

Το αρνί εισάγεται τεμαχισμένο στη μέση και το κάθε τεμάχιο έχει μάζα περίπου 25 kg σε σχήμα ακανόνιστου κυβικού με διαστάσεις (m):

$$\begin{aligned} \max_{\text{dimension}} &:= 1 \\ \text{med}_{\text{dimension}} &:= 0.25 \\ \min_{\text{dimension}} &:= 0.05 \end{aligned}$$

$$\text{time}_{\text{freezing}}(i, T_{\text{συντ}}, T_{\text{init}}, T_m) := \begin{cases} \text{if } T_{\text{συντ}} > \text{IFT}_i \\ \left| \begin{array}{l} f \leftarrow \frac{2.303L^2}{M_1(i, T_{\text{συντ}})^2 \cdot \alpha(i, T_{\text{συντ}})} \\ j_m \leftarrow 0.892e^{-0.0388M_1(i, T_{\text{συντ}})^2} \\ Y \leftarrow \begin{cases} \frac{T_{\text{συντ}} - T_m}{T_{\text{init}} - T_m} & \text{if } T_{\text{init}} \neq T_m \\ 0 & \text{if } T_{\text{init}} = T_m \end{cases} \\ \left(\frac{-f}{2.303} \cdot \ln\left(\frac{Y}{j_m}\right) \right) \cdot \text{sec} \end{array} \right. \\ \text{if } T_{\text{συντ}} \leq \text{IFT}_i \\ \left| \begin{array}{l} \Delta H \leftarrow \Delta H(i, T_{\text{συντ}}) \\ P_{\text{par}} \leftarrow P_{\text{par}}(i, T_{\text{συντ}}, T_{\text{init}}, T_m) \\ R_{\text{par}} \leftarrow R_{\text{par}}(i, T_{\text{συντ}}, T_{\text{init}}, T_m) \\ \frac{\Delta H \cdot 1000}{\text{IFT}_i - T_m} \cdot \left(\frac{P_{\text{par}} \cdot D}{h} + \frac{R_{\text{par}} \cdot D^2}{k(i, T_{\text{συντ}})} \right) \cdot \text{sec} \end{array} \right. \end{cases}$$

$$\text{time}_{\text{freezing}}(121, -17, 4, -32) = 2.415 \times 10^4 \text{ s}$$

- Υπολογισμός ψυκτικού φορτίου για την απομάκρυνση της θερμότητας από τα προϊόντα

$$\text{Load}_{\text{product}}(\text{op1}, m, T_{\text{συντ}}, T_{\text{init}}, T_f, T_m) := \frac{Q_{\text{product}}(m, \text{op1}, T_{\text{συντ}}, T_{\text{init}}, T_f) \cdot 1000}{\text{time}_{\text{freezing}}(\text{op1}, T_{\text{συντ}}, T_{\text{init}}, T_m)}$$

$$\text{Load}_{\text{product}}(\text{op1}, m, T_{\text{συντ}}, T_{\text{init}}, T_f, T_m) = 1.359 \times 10^5 \text{ W}$$

- Χοιρινό με κόκκαλο (op1=107) 22000 kg
- Υπολογισμός θερμότητας που απομακρύνεται από το προϊόν

$$Q_{\text{product}}(m, \text{op1}, T_{\text{συντ}}, T_{\text{init}}, T_f) = 3.271 \times 10^5 \text{ kJ}$$

- Υπολογισμός χρόνου κατάψυξης

Το χοιρινό εισάγεται τεμαχισμένο στη μέση και το κάθε τεμάχιο έχει μάζα περίπου 40 kg σε σχήμα ακανόνιστου κυβικού με διαστάσεις (m):

$$\text{max}_{\text{dimension}} := 1.2$$

$$\text{med}_{\text{dimension}} := 0.35$$

$$\text{min}_{\text{dimension}} := 0.15$$

$$\text{time}_{\text{freezing}}(i, T_{\text{σουντ}}, T_{\text{init}}, T_m) := \begin{cases} \text{if } T_{\text{σουντ}} > \text{IFT}_i \\ \left| \begin{array}{l} f \leftarrow \frac{2.303L^2}{M_1(i, T_{\text{σουντ}})^2 \cdot \alpha(i, T_{\text{σουντ}})} \\ j_m \leftarrow 0.892e^{-0.0388M_1(i, T_{\text{σουντ}})^2} \\ Y \leftarrow \begin{cases} \frac{T_{\text{σουντ}} - T_m}{T_{\text{init}} - T_m} & \text{if } T_{\text{init}} \neq T_m \\ 0 & \text{if } T_{\text{init}} = T_m \end{cases} \\ \left(\frac{-f}{2.303} \cdot \ln\left(\frac{Y}{j_m}\right) \right) \cdot \text{sec} \end{array} \right. \\ \text{if } T_{\text{σουντ}} \leq \text{IFT}_i \\ \left| \begin{array}{l} \Delta H \leftarrow \Delta H(i, T_{\text{σουντ}}) \\ P_{\text{par}} \leftarrow P_{\text{par}}(i, T_{\text{σουντ}}, T_{\text{init}}, T_m) \\ R_{\text{par}} \leftarrow R_{\text{par}}(i, T_{\text{σουντ}}, T_{\text{init}}, T_m) \\ \frac{\Delta H \cdot 1000}{\text{IFT}_i - T_m} \cdot \left(\frac{P_{\text{par}} \cdot D}{h} + \frac{R_{\text{par}} \cdot D^2}{k(i, T_{\text{σουντ}})} \right) \cdot \text{sec} \end{array} \right. \end{cases}$$

$$\text{time}_{\text{freezing}}(107, -17, 4, -32) = 4.006 \times 10^4 \text{ s}$$

- Υπολογισμός ψυκτικού φορτίου για την απομάκρυνση της θερμότητας από τα προϊόντα

$$\text{Load}_{\text{product}}(\text{op1}, m, T_{\text{σουντ}}, T_{\text{init}}, T_f, T_m) := \frac{Q_{\text{product}}(m, \text{op1}, T_{\text{σουντ}}, T_{\text{init}}, T_f) \cdot 1000}{\text{time}_{\text{freezing}}(\text{op1}, T_{\text{σουντ}}, T_{\text{init}}, T_m)}$$

$$\text{Load}_{\text{product}}(\text{op1}, m, T_{\text{σουντ}}, T_{\text{init}}, T_f, T_m) = 1.198 \times 10^5 \text{ W}$$

Βήμα 4^ο Υπολογισμός ψυκτικού φορτίου εναλλαγών αέρα

Δεν υπάρχουν εναλλαγές αέρα εντός του καταψύκτη καθώς η κατάψυξη διαρκεί μικρή διάρκεια.

Βήμα 5^ο Υπολογισμός ψυκτικού φορτίου εσωτερικής λειτουργίας καταψύκτη

- Υπολογισμός φορτίου ηλεκτροκινητήρων των τεσσάρων συστημάτων (2^{ου} τύπου) fan-coil που τροφοδοτούν με αέρα κατάψυξης

$$\text{Load}_{\text{fans}}(\text{No}_{\text{fans}}, \text{type}_{\text{motor}}, \text{MR}_{\text{fan}}) := \text{No}_{\text{fans}} \cdot \text{Load}_{\text{H_K}}(\text{type}_{\text{motor}}, \text{MR}_{\text{fan}})$$

$$\text{Load}_{\text{fans}}(4, 2, 2.2) = 8.952 \times 10^3 \text{ W}$$

- Υπολογισμός φορτίου χαμηλού φωτισμού ($LL=5 \text{ W/m}^2$)
 $\text{Load}_{\text{light}}(R_L, R_W, T_{\text{in}}, LL) := (R_L - \text{wall}_{\text{insul}}(T_{\text{in}})) \cdot (R_W - \text{wall}_{\text{insul}}(T_{\text{in}})) \cdot LL \cdot W$

$$\text{Load}_{\text{light}}(5, 4, -32, 5) = 88.850 \text{ W}$$

Βήμα 6^ο Υπολογισμός ολικού ψυκτικού φορτίου για κάθε μία από τις δύο περιπτώσεις προϊόντων, συμπεριλαμβανομένου και του συντελεστή ασφαλείας

$$\text{TOTAL_LOAD}_{1\text{APNI}} := \begin{cases} r_1 \leftarrow \text{Load}_{\text{product1}} \\ r_2 \leftarrow \text{Load}_{\text{transmission}} \\ r_3 \leftarrow \text{Load}_{\text{fans}}(4, 2, 2.2) \\ r_4 \leftarrow \text{Load}_{\text{light}}(5, 4, -32, 5) \\ \left(\sum_{k=1}^4 r_k \right) \cdot 1.1 \end{cases}$$

$$\text{TOTAL_LOAD}_{1\text{APNI}} = 161.0392 \text{ kW}$$

$$\text{TOTAL_LOAD}_{1\text{XOIP}} := \begin{cases} r_1 \leftarrow \text{Load}_{\text{product2}} \\ r_2 \leftarrow \text{Load}_{\text{transmission}} \\ r_3 \leftarrow \text{Load}_{\text{fans}}(4, 2, 2.2) \\ r_4 \leftarrow \text{Load}_{\text{light}}(5, 4, -32, 5) \\ \left(\sum_{k=1}^4 r_k \right) \cdot 1.1 \end{cases}$$

$$\text{TOTAL_LOAD}_{1\text{XOIP}} = 143.3292 \text{ kW}$$

Επομένως το τελικό ψυκτικό φορτίο του θαλάμου επιλέγεται το μέγιστο από τις δύο παραπάνω περιπτώσεις ώστε να ικανοποιούνται και οι δύο.

$$\text{TOTAL_LOAD}_1 := \max(\text{TOTAL_LOAD}_{1\text{APNI}}, \text{TOTAL_LOAD}_{1\text{XOIP}})$$

$$\text{TOTAL_LOAD}_1 = 161.0392 \text{ kW}$$

7.3.6 Θάλαμος 12^{ος} αποθήκευσης κατεψυγμένου χοιρινού κρέατος

Βήμα 1^ο Καθορισμός κριτηρίων σχεδίασης και δεδομένων θαλάμου

Συνθήκες περιβάλλοντος (κατά την 21^η Ιουλίου): θερμοκρασία ξηρής σφαίρας 33 °C, σχετική υγρασία 55 %.

Διαστάσεις θαλάμου: 13.5*16*5 m³

Χρωματισμός θαλάμου: Ανοιχτόχρωμος

Χωρητικότητα θαλάμου: 340000 kg

Εσωτερική θερμοκρασία θαλάμου (T_{in}=T_{συντ}): -20 °C.

Σχετική υγρασία εντός του θαλάμου RH_{in}: 95 %

Τοποθέτηση θαλάμου στο χώρο:

- Βόρεια πλευρά: εξωτερικές διαστάσεις 13.5*5 m² γειτνιάζει με το θάλαμο 13 θερμοκρασίας -20 °C.
- Ανατολική πλευρά: εξωτερικές διαστάσεις 16*5 m² γειτνιάζει με το θάλαμο 7 θερμοκρασίας 4 °C και έχει παράθυρο 4 m² με διπλό τζάμι.
- Δυτική πλευρά: εξωτερικές διαστάσεις 16*5 m² εκτεθειμένη στην ηλιακή ακτινοβολία.
- Νότια πλευρά: εξωτερικές διαστάσεις 13.5*5 m² γειτνιάζει με το καταψύκτη κι το προθάλαμο με μέση θερμοκρασία αυτών των δύο -9.4 °C.
- Οροφή: εξωτερικές διαστάσεις 13.5*16 m² βρίσκεται εξωτερικά τοποθετημένη και δέχεται ηλιακή ακτινοβολία.
- Δάπεδο: εξωτερικές διαστάσεις 13.5*16 m² γειτνιάζει με τους θαλάμους 2 και 3 με μέση θερμοκρασία 0 °C.

Βήμα 2^ο Υπολογισμός φορτίο ψύξης του χώρου

➤ Υπολογισμός συνολικού ψυκτικού φορτίου ψύξης του χώρου

$$\text{Load}_{\text{transmission}} := \begin{cases} q_{\text{roof}} \leftarrow q_{\text{roof}}(13.5, 16, \text{"outside"}, \text{"light_colored"}, 33, -20) \\ q_{\text{floor}} \leftarrow q_{\text{floor}}(13.5, 16, \text{"inside"}, \text{"light_colored"}, 0, -20) \\ q_{\text{east}} \leftarrow q_{\text{east}}(16, 5, \text{"inside"}, \text{"light_colored"}, 4, -20) \\ q_{\text{north}} \leftarrow q_{\text{north}}(13.5, 5, \text{"inside"}, \text{"light_colored"}, -20, -20) \\ q_{\text{west}} \leftarrow q_{\text{west}}(16, 5, \text{"outside"}, \text{"light_colored"}, 33, -20) \\ q_{\text{south}} \leftarrow q_{\text{south}}(13.5, 5, \text{"inside"}, \text{"light_colored"}, -9.4, -20) \\ (q_{\text{roof}} + q_{\text{floor}} + q_{\text{east}} + q_{\text{north}} + q_{\text{west}} + q_{\text{south}}) \cdot 1.1 \end{cases}$$

$$\text{Load}_{\text{transmission}} = 4.6925 \times 10^3 \text{ W}$$

Βήμα 3^ο Υπολογισμός φορτίο ψύξης του προϊόντος

Στο θάλαμο εισέρχονται τα προϊόντα στους -17°C και καταψύχονται εν συνεχεία στους -20 °C σε μία ημέρα. Ο ρυθμός εισαγωγής είναι 22000 kg/day. Επομένως, μέχρι να εισαχθούν τα επόμενα προϊόντα τα προηγούμενα έχουν καταψυχθεί πλήρως.

- Υπολογισμός θερμότητας που απομακρύνεται από το προϊόν

$$Q_{\text{product}}(m, \text{op1}, T_{\text{συντ}}, T_{\text{init}}, T_f) = 1.513 \times 10^5 \text{ kJ}$$

- Υπολογισμός ψυκτικού φορτίου για την απομάκρυνση της θερμότητας από τα προϊόντα

$$\text{Load}_{\text{product}}(m, \text{op1}, T_{\text{συντ}}, T_{\text{init}}, T_f) := \frac{Q_{\text{product}}(m, \text{op1}, T_{\text{συντ}}, T_{\text{init}}, T_f) \cdot 1000 \text{ J}}{24 \cdot 3600 \text{ sec}}$$

$$\text{Load}_{\text{product}}(m, \text{op1}, T_{\text{συντ}}, T_{\text{init}}, T_f) = 1.752 \times 10^3 \text{ W}$$

Βήμα 4^ο Υπολογισμός ψυκτικού φορτίου εναλλαγών αέρα

Στο συγκεκριμένο ψυκτικό θάλαμο χρησιμοποιείται ένας τύπος πόρτας.

Πίνακας 7.8 Αποτελέσματα υπολογισμού φορτίου εναλλαγών αέρα για τον 12^ο θάλαμο

	Τύπος πόρτας 1
Τοποθέτηση	Ανατολική πλευρά
Θερμοκρασία εισερχόμενου αέρα T_{atm} (°C)	7
Αριθμός πορτών (N_{doors})	1
Ύψος ανοίγματος πόρτας H_d (m)	2.5
Πλάτος ανοίγματος πόρτας W_d (m)	1.8
Ενthalπία εισερχόμενου αέρα (kJ/kg)	$H_{\text{air}}(0.55, 4) = 10.9212$
Ενthalπία αέρα εντός του θαλάμου (kJ/kg)	$H_{\text{air}}(0.95, -20) = -18.1916$
Πυκνότητα εισερχόμενου αέρα (kg/m³)	$\rho_{\text{air}}(4) = 1.2734$
Πυκνότητα αέρα εντός του θαλάμου (kg/m³)	$\rho_{\text{air}}(-20) = 1.394$
θ_p: χρόνος που απαιτείται ώστε να ανοίξει ή να κλείσει η πόρτα (sec)	15
θ_o: χρονική διάρκεια που η πόρτα παραμένει ανοικτή (min)	8
θ_d: συχνότητα κάθε πόρτα επιλέγεται να ανοίγει η πόρτα (hours)	3
D_t	$D_t(1, 15, 8, 3) = 0.0458$
D_f	$D_f(4, -20) = 0.8$
E	0

- Υπολογισμός ολικού απαιτούμενου ψυκτικού φορτίου ανανεώσεων αέρα:

$$\text{Load}_{\text{infiltration}}(\text{No}_{\text{doors}}, H_d, W_d, T_{\text{atm}}, T_{\text{in}}, RH_{\text{atm}}, RH_{\text{in}}, P, \theta_p, \theta_o, \theta_d, E) := \begin{cases} q \leftarrow q(H_d, W_d, T_{\text{atm}}, T_{\text{in}}, RH_{\text{atm}}, RH_{\text{in}}) \\ D_t \leftarrow D_t(P, \theta_p, \theta_o, \theta_d) \\ D_f \leftarrow D_f(T_{\text{atm}}, T_{\text{in}}) \\ \text{No}_{\text{doors}} \cdot q \cdot D_t \cdot D_f \cdot (1 - E) 1000W \end{cases}$$

$$\text{Load}_{\text{infiltration}}(1, 2.5, 1.8, 4, -20, 0.55, 0.95, 1, 15, 8, 3, 0) = 2.1069 \times 10^3 \text{ W}$$

Βήμα 5^ο Υπολογισμός ψυκτικού φορτίου εσωτερικής λειτουργίας

- Υπολογισμός φορτίου ηλεκτροκινητήρων των τριών συστημάτων fan-coil

$$\text{Load}_{\text{fans}}(\text{No}_{\text{fans}}, \text{type}_{\text{motor}}, MR_{\text{fan}}) := \text{No}_{\text{fans}} \cdot \text{LoadH_K}(\text{type}_{\text{motor}}, MR_{\text{fan}})$$

$$\text{Load}_{\text{fans}}(3, 1, 1.1) = 4.359 \times 10^3 \text{ W}$$

- Υπολογισμός φορτίου ηλεκτροκινητήρων των αντλιών που χρησιμοποιούνται για τον καθαρισμό των προϊόντων με νερό

$$\text{LoadH_K}(\text{type}_{\text{motor}}, MR) := \begin{cases} \text{loadH_K1}(MR) \text{ W} & \text{if } \text{type}_{\text{motor}} = 1 \\ \text{loadH_K2}(MR) \cdot W & \text{if } \text{type}_{\text{motor}} = 2 \\ \text{loadH_K2}(MR) \cdot W & \text{if } \text{type}_{\text{motor}} = 3 \\ 0 & \text{if } \text{type}_{\text{motor}} = 0 \end{cases}$$

$$\text{LoadH_K}(1, 1.1) = 1.453 \times 10^3 \text{ W}$$

- Υπολογισμός φορτίου φωτισμού (LL=10.8 W/m²)

$$\text{Load}_{\text{light}}(R_L, R_W, T_{\text{in}}, LL) := (R_L - \text{wall}_{\text{insul}}(T_{\text{in}})) \cdot (R_W - \text{wall}_{\text{insul}}(T_{\text{in}})) \cdot LL \cdot W$$

$$\text{Load}_{\text{light}}(13.5, 16, -20, 10.8) = 2.2683 \times 10^3 \text{ W}$$

- Υπολογισμός φορτίου ανυψωτικών μηχανημάτων

$$\text{Load}_{\text{truck}}(\text{No}_{\text{tr}}, PQ_{\text{tr}}) := \text{No}_{\text{tr}} \cdot PQ_{\text{tr}} 1000W$$

$$\text{Load}_{\text{truck}}(1, 5.6) = 5.6 \times 10^3 \text{ W}$$

- Υπολογισμός φορτίου δύο εργαζομένων

$$\text{Load}_{\text{people}}(\text{No}_{\text{people}}, T_{\text{συντ}}) := \text{No}_{\text{people}} \cdot (272 - 6 \cdot T_{\text{συντ}}) \cdot W$$

$$\text{Load}_{\text{people}}(2, -20) = 784W$$

Βήμα 6^ο Υπολογισμός ολικού ψυκτικού φορτίου συμπεριλαμβανομένου και του συντελεστή ασφαλείας

$$\text{TOTAL_LOAD}_2 := \begin{cases} r_1 \leftarrow \text{Load}_{\text{product}} \\ r_2 \leftarrow \text{Load}_{\text{transmission}} \\ r_3 \leftarrow \text{Load}_{\text{infiltration}}(1, 2.5, 1.8, 4, -20, 0.55, 0.95, 1, 15, 8, 3, 0) \\ r_4 \leftarrow \text{Load}_{\text{H_K}}(1, 1.1) \\ r_5 \leftarrow \text{Load}_{\text{fans}}(3, 1, 1.1) \\ r_6 \leftarrow \text{Load}_{\text{light}}(13.5, 16, -20, 10.8) \\ r_7 \leftarrow \text{Load}_{\text{truck}}(1, 5.6) \\ r_8 \leftarrow \text{Load}_{\text{people}}(2, -20) \\ \left(\sum_{k=1}^8 r_k \right) \cdot 1.1 \end{cases}$$

$$\text{TOTAL_LOAD}_2 = 25.3172 \text{ kW}$$

7.3.7 Θάλαμος 13^{ος} αποθήκευσης κατεψυγμένων αρνιών

Βήμα 1^ο Καθορισμός κριτηρίων σχεδίασης και δεδομένων θαλάμου

Συνθήκες περιβάλλοντος (κατά την 21^η Ιουλίου): θερμοκρασία ξηρής σφαίρας 33 °C, σχετική υγρασία 55 %.

Διαστάσεις θαλάμου: 13.5*10*5 m³

Χρωματισμός θαλάμου: Ανοιχτόχρωμος

Χωρητικότητα θαλάμου: 170000 kg

Εσωτερική θερμοκρασία θαλάμου (T_{in}=T_{συντ}): -20 °C.

Σχετική υγρασία εντός του θαλάμου RH_{in}: 95 %

Τοποθέτηση θαλάμου στο χώρο:

- Βόρεια πλευρά: εξωτερικές διαστάσεις 13.5*5 m² είναι εξωτερικά τοποθετημένη χωρίς να δέχεται ηλιακή ακτινοβολία.
- Ανατολική πλευρά: εξωτερικές διαστάσεις 10*5 m² γειτνιάζει με το θάλαμο 7 θερμοκρασίας 4 °C.
- Δυτική πλευρά: εξωτερικές διαστάσεις 10*5 m² εκτεθειμένη στην ηλιακή ακτινοβολία.
- Νότια πλευρά: εξωτερικές διαστάσεις 13.5*5 m² γειτνιάζει με το θάλαμο 12 θερμοκρασίας -20 °C.
- Οροφή: εξωτερικές διαστάσεις 13.5*10 m² βρίσκεται εξωτερικά τοποθετημένη και δέχεται ηλιακή ακτινοβολία.
- Δάπεδο: εξωτερικές διαστάσεις 13.5*10 m² γειτνιάζει με το θάλαμο 1 θερμοκρασίας 0 °C.

Βήμα 2^ο Υπολογισμός φορτίο ψύξης του χώρου

- Υπολογισμός συνολικού ψυκτικού φορτίου ψύξης του χώρου

$$\text{Load}_{\text{transmission}} := \begin{cases} q_{\text{roof}} \leftarrow q_{\text{roof}}(13.5, 10, \text{"outside"}, \text{"light_colored"}, 33, -20) \\ q_{\text{floor}} \leftarrow q_{\text{floor}}(13.5, 10, \text{"inside"}, \text{"light_colored"}, 0, -20) \\ q_{\text{east}} \leftarrow q_{\text{east}}(10, 5, \text{"inside"}, \text{"light_colored"}, 4, -20) \\ q_{\text{north}} \leftarrow q_{\text{north}}(13.5, 5, \text{"inside"}, \text{"light_colored"}, 33, -20) \\ q_{\text{west}} \leftarrow q_{\text{west}}(10, 5, \text{"outside"}, \text{"light_colored"}, 33, -20) \\ q_{\text{south}} \leftarrow q_{\text{south}}(13.5, 5, \text{"inside"}, \text{"light_colored"}, -20, -20) \\ (q_{\text{roof}} + q_{\text{floor}} + q_{\text{east}} + q_{\text{north}} + q_{\text{west}} + q_{\text{south}}) \cdot 1.1 \end{cases}$$

$$\text{Load}_{\text{transmission}} = 3.4976 \times 10^3 \text{ W}$$

Βήμα 3^ο Υπολογισμός φορτίο ψύξης του προϊόντος

Στο θάλαμο εισέρχονται τα προϊόντα στους -17°C και καταψύχονται εν συνεχεία στους -20°C σε μία ημέρα. Ο ρυθμός εισαγωγής είναι 11000 kg/day . Επομένως, μέχρι να εισαχθούν τα επόμενα προϊόντα τα προηγούμενα έχουν καταψυχθεί πλήρως.

- Υπολογισμός θερμότητας που απομακρύνεται από το προϊόν

$$Q_{\text{product}}(m, \text{op1}, T_{\text{συντ}}, T_{\text{init}}, T_f) = 7.074 \times 10^4 \text{ kJ}$$

- Υπολογισμός ψυκτικού φορτίου για την απομάκρυνση της θερμότητας από τα προϊόντα

$$\text{Load}_{\text{product}}(m, \text{op1}, T_{\text{συντ}}, T_{\text{init}}, T_f) := \frac{Q_{\text{product}}(m, \text{op1}, T_{\text{συντ}}, T_{\text{init}}, T_f) \cdot 1000 \text{ J}}{24 \cdot 3600 \text{ sec}}$$

$$\text{Load}_{\text{product}}(m, \text{op1}, T_{\text{συντ}}, T_{\text{init}}, T_f) = 818.74 \text{ W}$$

Βήμα 4^ο Υπολογισμός ψυκτικού φορτίου εναλλαγών αέρα

Το φορτίο εναλλαγών αέρα είναι ακριβώς ίδιο με του θαλάμου 12 καθώς ακολουθείται η ίδια ακριβώς διαδικασία και οι συνθήκες εντός και εκτός του θαλάμου είναι ακριβώς ίδιες.

- Υπολογισμός ολικού απαιτούμενου ψυκτικού φορτίου ανανεώσεων αέρα:

$$\text{Load}_{\text{infiltration}}(1, 2.5, 1.8, 4, -20, 0.55, 0.95, 1, 15, 8, 3, 0) = 2.1069 \times 10^3 \text{ W}$$

Βήμα 5^ο Υπολογισμός ψυκτικού φορτίου εσωτερικής λειτουργίας

- Υπολογισμός φορτίου ηλεκτροκινητήρων των τριών συστημάτων fan-coil

$$\text{Load}_{\text{fans}}(\text{No}_{\text{fans}}, \text{type}_{\text{motor}}, \text{MR}_{\text{fan}}) := \text{No}_{\text{fans}} \cdot \text{Load}_{\text{H_K}}(\text{type}_{\text{motor}}, \text{MR}_{\text{fan}})$$

$$\text{Load}_{\text{fans}}(3, 1, 1.1) = 4.359 \times 10^3 \text{ W}$$

- Υπολογισμός φορτίου ηλεκτροκινητήρων των αντλιών που χρησιμοποιούνται για τον καθαρισμό των προϊόντων με νερό

$$\text{Load}_{H_K}(\text{type}_{\text{motor}}, \text{MR}) := \begin{cases} \text{load}_{H_K1}(\text{MR}) \cdot W & \text{if } \text{type}_{\text{motor}} = 1 \\ \text{load}_{H_K2}(\text{MR}) \cdot W & \text{if } \text{type}_{\text{motor}} = 2 \\ \text{load}_{H_K2}(\text{MR}) \cdot W & \text{if } \text{type}_{\text{motor}} = 3 \\ 0 & \text{if } \text{type}_{\text{motor}} = 0 \end{cases}$$

$$\text{Load}_{H_K}(1, 1.1) = 1.453 \times 10^3 \text{ W}$$

- Υπολογισμός φορτίου φωτισμού ($LL=10.8 \text{ W/m}^2$)

$$\text{Load}_{\text{light}}(R_L, R_W, T_{\text{in}}, LL) := (R_L - \text{wall}_{\text{insul}}(T_{\text{in}})) \cdot (R_W - \text{wall}_{\text{insul}}(T_{\text{in}})) \cdot LL \cdot W$$

$$\text{Load}_{\text{light}}(13.5, 10, -20, 10.8) = 1.4067 \times 10^3 \text{ W}$$

- Υπολογισμός φορτίου ανυψωτικών μηχανημάτων

$$\text{Load}_{\text{truck}}(\text{No}_{\text{tr}}, \text{PQ}_{\text{tr}}) := \text{No}_{\text{tr}} \cdot \text{PQ}_{\text{tr}} \cdot 1000 \text{ W}$$

$$\text{Load}_{\text{truck}}(1, 5.6) = 5.6 \times 10^3 \text{ W}$$

- Υπολογισμός φορτίου δύο εργαζομένων

$$\text{Load}_{\text{people}}(\text{No}_{\text{people}}, T_{\text{συντ}}) := \text{No}_{\text{people}} \cdot (272 - 6 \cdot T_{\text{συντ}}) \cdot W$$

$$\text{Load}_{\text{people}}(2, -20) = 784 \text{ W}$$

Βήμα 6^ο Υπολογισμός ολικού ψυκτικού φορτίου συμπεριλαμβανομένου και του συντελεστή ασφαλείας

$$\text{TOTAL_LOAD}_3 := \begin{cases} r_1 \leftarrow \text{Load}_{\text{product}} \\ r_2 \leftarrow \text{Load}_{\text{transmission}} \\ r_3 \leftarrow \text{Load}_{\text{infiltration}}(1, 2.5, 1.8, 4, -20, 0.55, 0.95, 1, 15, 8, 3, 0) \\ r_4 \leftarrow \text{Load}_{H_K}(1, 1.1) \\ r_5 \leftarrow \text{Load}_{\text{fans}}(2, 1, 1.1) \\ r_6 \leftarrow \text{Load}_{\text{light}}(13.5, 10, -20, 10.8) \\ r_7 \leftarrow \text{Load}_{\text{truck}}(1, 5.6) \\ r_8 \leftarrow \text{Load}_{\text{people}}(2, -20) \\ \left(\sum_{k=1}^8 r_k \right) \cdot 1.1 \end{cases}$$

$$\text{TOTAL_LOAD}_3 = 20.4301 \text{ kW}$$

Συνοπτικά το φορτίο κάθε θαλάμου:

TOTAL_LOADS _{JULY} :=	"ΘΑΛΑΜΟΣ 1"	29.6002kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 2"	38.1841kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 3"	31.5315kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 4"	53.8097kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 5"	0kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 6"	32.4545kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 7"	34.7412kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 8"	27.1621kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 9"	38.6868kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 10"	8.9758kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 11"	161.0392kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 12"	25.3172kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 13"	20.4301kW

Επομένως το ολικό ψυκτικό φορτίο που απαιτείται για την ψύξη όλης της εγκατάστασης κατά την 21^η Ιουλίου είναι:

$$\text{TOTAL_LOAD}_{\text{JUL}} := \text{for } k \in 1..13$$

$$\text{TOTAL_LOAD}_{\text{JUL}} \leftarrow \text{TOTAL_LOAD}_{\text{JUL}} + \text{TOTAL_LOADS}_{\text{JULY}_{k,2}}$$

$$\underline{\underline{\text{TOTAL_LOAD}_{\text{JUL}} = 501.932\text{kW}}}$$

7.4 Σύγκριση μηνιαίων απαιτούμενων ψυκτικών φορτίων

Ακολουθεί σύγκριση των μέγιστων μέσων μηνιαίων ψυκτικών φορτίων ώστε βρεθεί το εύρος διακύμανσης των φορτίων. Η διαδικασία αυτή εξυπηρετεί στο σχεδιασμό της ψυκτικής μονάδας. Σε περίπτωση μεγάλης διακύμανσης στη μονάδα θα χρησιμοποιηθούν πολυβάθμιοι συμπιεστές ούτως ώστε η μονάδα να μην λειτουργεί στο πλήρες φορτίο χειμώνα και καλοκαίρι.

Τα στοιχεία που μεταβάλλονται κάθε μήνα είναι η μέγιστη μέση θερμοκρασία του ατμοσφαιρικού αέρα, η σχετική του υγρασία η μέση θερμοκρασία του εδάφους καθώς και η θερμοκρασία προσαγωγής στου θαλάμους των φρούτων και των λαχανικών. Αντίθετα η θερμοκρασία προσαγωγής των κρεάτων παραμένει σταθερή στους 20 °C καθώς μεταφέρονται στην εγκατάσταση αμέσως μετά τη σφαγή με φορτηγά ψυγεία. Η διαδικασία υπολογισμού που ακολουθείται είναι ακριβώς η ίδια με αυτήν που παρουσιάστηκε παραπάνω με μόνη διαφορά τις αλλαγές των παρακάτω παραμέτρων.

Πίνακας 7.9 Μεταβολές θερμοκρασιών και υγρασίας για κάθε μήνα στη περιοχή της Σούδας Χανίων

Μήνας	Μέση μέγιστη θερμοκρασία αέρα περιβάλλοντος °C	Σχετική υγρασία %	Θερμοκρασία εδάφους σε βάθος 1 m °C	Θερμοκρασία προσαγωγής των φρούτων και των λαχανικών στους θαλάμους (T _{init}) °C
Ιανουάριος	15.8	71	14.2	12
Φεβρουάριος	16.5	69	13.4	12
Μάρτιος	17.9	68	13.7	15
Απρίλιος	21	65	15.4	15
Μάιος	24.7	62	17.8	15
Ιούνιος	28.7	55	20.9	20
Ιούλιος	33	55	23	25
Αύγουστος	31	58	24.1	25
Σεπτέμβριος	27.7	64	23.6	20
Οκτώβριος	23.7	70	21.7	20
Νοέμβριος	20.9	72	19	15
Δεκέμβριος	17.8	72	16.1	15

Πηγή: Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ)

Ισχύει λοιπόν για κάθε μήνα:

- Ιανουάριος

TOTAL_LOADS:=	"ΘΑΛΑΜΟΣ 1"	21.7208kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 2"	23.1442kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 3"	22.8982kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 4"	37.7631kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 5"	0kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 6"	18.9528kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 7"	18.9489kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 8"	24.872kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 9"	36.0438kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 10"	8.519kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 11"	160.688kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 12"	24.4447kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 13"	19.695kW

TOTAL_LOAD_{JAN} := for k ∈ 1..13

TOTAL_LOAD_{JAN} ← TOTAL_LOAD_{JAN} + TOTAL_LOADS_{k,2}

TOTAL_LOAD_{JAN} = 417.691kW

• Φεβρουάριος

TOTAL_LOADS:=	"ΘΑΛΑΜΟΣ 1"	21.6834kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 2"	23.0888kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 3"	22.8607kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 4"	37.6844kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 5"	0kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 6"	19.3801kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 7"	19.3595kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 8"	24.9652kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 9"	36.1514kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 10"	8.5376kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 11"	160.7029kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 12"	24.4666kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 13"	19.7113kW

TOTAL_LOAD_{FEB} := for k ∈ 1..13

TOTAL_LOAD_{FEB} ← TOTAL_LOAD_{FEB} + TOTAL_LOADS_{k,2}

TOTAL_LOAD_{FEB} = 418.592kW

• Μάρτιος

TOTAL_LOADS:=	"ΘΑΛΑΜΟΣ 1"	23.3153kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 2"	25.3119kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 3"	24.6907kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 4"	40.8973kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 5"	0kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 6"	20.5049kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 7"	20.3177kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 8"	25.1516kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 9"	36.3665kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 10"	8.5748kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 11"	160.7314kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 12"	24.5407kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 13"	19.7741kW

TOTAL_LOAD_{MAR} := for k ∈ 1..13

TOTAL_LOAD_{MAR} ← TOTAL_LOAD_{MAR} + TOTAL_LOADS_{k,2}

TOTAL_LOAD_{MAR} = 430.177kW

• Απρίλιος

TOTAL_LOADS _{APRIL} :=	"ΘΑΛΑΜΟΣ 1"	23.3135kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 2"	25.396kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 3"	24.8543kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 4"	41.2142kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 5"	0kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 6"	21.1222kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 7"	22.7158kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 8"	25.5644kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 9"	36.8428kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 10"	8.6571kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 11"	160.7946kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 12"	24.6967kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 13"	19.9055kW

TOTAL_LOAD_{APR} := for k ∈ 1..13

$$TOTAL_LOAD_{APR} \leftarrow TOTAL_LOAD_{APR} + TOTAL_LOADS_{APRIL_{k,2}}$$

$$TOTAL_LOAD_{APR} = 435.077kW$$

• Μάιος

TOTAL_LOADS _{MAY} :=	"ΘΑΛΑΜΟΣ 1"	23.7002kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 2"	25.5225kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 3"	25.0756kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 4"	41.6657kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 5"	0kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 6"	24.108kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 7"	25.9271kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 8"	26.057kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 9"	37.4114kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 10"	8.7554kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 11"	160.87kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 12"	24.8889kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 13"	20.0681kW

TOTAL_LOAD_{MAY} := for k ∈ 1..13

$$TOTAL_LOAD_{MAY} \leftarrow TOTAL_LOAD_{MAY} + TOTAL_LOADS_{MAY_{k,2}}$$

$$TOTAL_LOAD_{MAY} = 444.05kW$$

• Ιούνιος

TOTAL_LOADS _{JUNE} :=	"ΘΑΛΑΜΟΣ 1"	26.6215kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 2"	31.421kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 3"	28.3156kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 4"	47.3005kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 5"	0kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 6"	27.4396kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 7"	29.3936kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 8"	26.5896kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 9"	38.026kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 10"	8.8616kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 11"	160.9516kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 12"	25.0588kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 13"	20.206kW

TOTAL_LOAD_{JUN} := for k ∈ 1..13

TOTAL_LOAD_{JUN} ← TOTAL_LOAD_{JUN} + TOTAL_LOADS_{JUNE}_{k,2}

TOTAL_LOAD_{JUN} = 470.185kW

• Αύγουστος

TOTAL_LOADS _{AUGUST} :=	"ΘΑΛΑΜΟΣ 1"	29.6096kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 2"	38.2448kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 3"	31.5409kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 4"	53.0098kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 5"	0kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 6"	30.5664kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 7"	26.128kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 8"	26.8958kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 9"	38.3795kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 10"	8.9227kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 11"	160.9985kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 12"	25.2272kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 13"	20.3561kW

TOTAL_LOAD_{AUG} := for k ∈ 1..13

TOTAL_LOAD_{AUG} ← TOTAL_LOAD_{AUG} + TOTAL_LOADS_{AUGUST}_{k,2}

TOTAL_LOAD_{AUG} = 489.879kW

• Σεπτέμβριος

TOTAL_LOADS _{SEPTEMBER} :=	"ΘΑΛΑΜΟΣ 1"	26.8456kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 2"	31.6707kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 3"	28.5397kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 4"	47.6604kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 5"	0kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 6"	27.5801kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 7"	29.417kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 8"	26.4564kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 9"	37.8724kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 10"	8.8351kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 11"	160.9312kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 12"	25.0893kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 13"	20.2446kW

TOTAL_LOAD_{SEP}:= for k ∈ 1..13

TOTAL_LOAD_{SEP}← TOTAL_LOAD_{SEP}+ TOTAL_LOADS_{SEPTEMBER}_{k,2}

TOTAL_LOAD_{SEP}= 471.142kW

• Οκτώβριος

TOTAL_LOADS _{OCTOBER} :=	"ΘΑΛΑΜΟΣ 1"	26.6829kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 2"	31.6105kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 3"	28.3769kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 4"	47.3401kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 5"	0kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 6"	24.0234kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 7"	25.6142kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 8"	25.9239kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 9"	37.2577kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 10"	8.7288kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 11"	160.8497kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 12"	24.9094kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 13"	20.0966kW

TOTAL_LOAD_{OCT}:= for k ∈ 1..13

TOTAL_LOAD_{OCT}← TOTAL_LOAD_{OCT}+ TOTAL_LOADS_{OCTOBER}_{k,2}

TOTAL_LOAD_{OCT}= 461.414kW

• Νοέμβριος

TOTAL_LOADS _{NOVEMBER} :=	"ΘΑΛΑΜΟΣ 1"	23.75kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 2"	25.6697kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 3"	25.1255kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 4"	41.7807kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 5"	0kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 6"	21.5988kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 7"	23.0538kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 8"	25.551kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 9"	36.8275kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 10"	8.6545kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 11"	160.7926kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 12"	24.7613kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 13"	19.9708kW

TOTAL_LOAD_{NOV}:= for k ∈ 1..13

TOTAL_LOAD_{NOV} ← TOTAL_LOAD_{NOV} + TOTAL_LOADS_{NOVEMBER}_{k,2}

TOTAL_LOAD_{NOV} = 437.536kW

• Δεκέμβριος

TOTAL_LOADS _{DECEMBER} :=	"ΘΑΛΑΜΟΣ 1"	23.4836kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 2"	25.4827kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 3"	24.859kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 4"	41.2428kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 5"	0kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 6"	20.7267kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 7"	20.4729kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 8"	25.1383kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 9"	36.3511kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 10"	8.5722kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 11"	160.7294kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 12"	24.575kW
	"ΘΑΛΑΜΟΣ 13"	19.8093kW

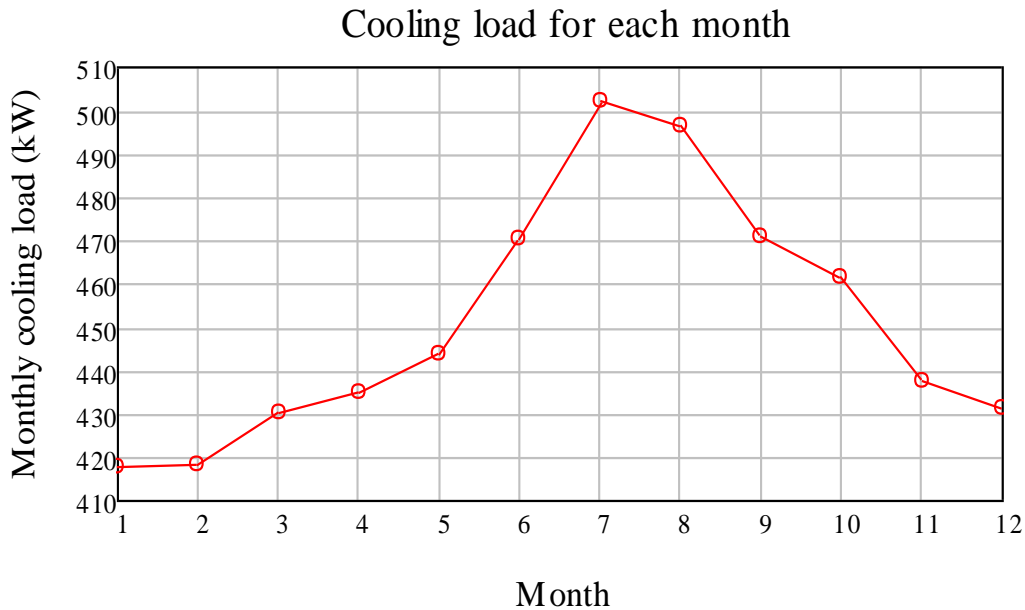
TOTAL_LOAD_{DEC}:= for k ∈ 1..13

TOTAL_LOAD_{DEC} ← TOTAL_LOAD_{DEC} + TOTAL_LOADS_{DECEMBER}_{k,2}

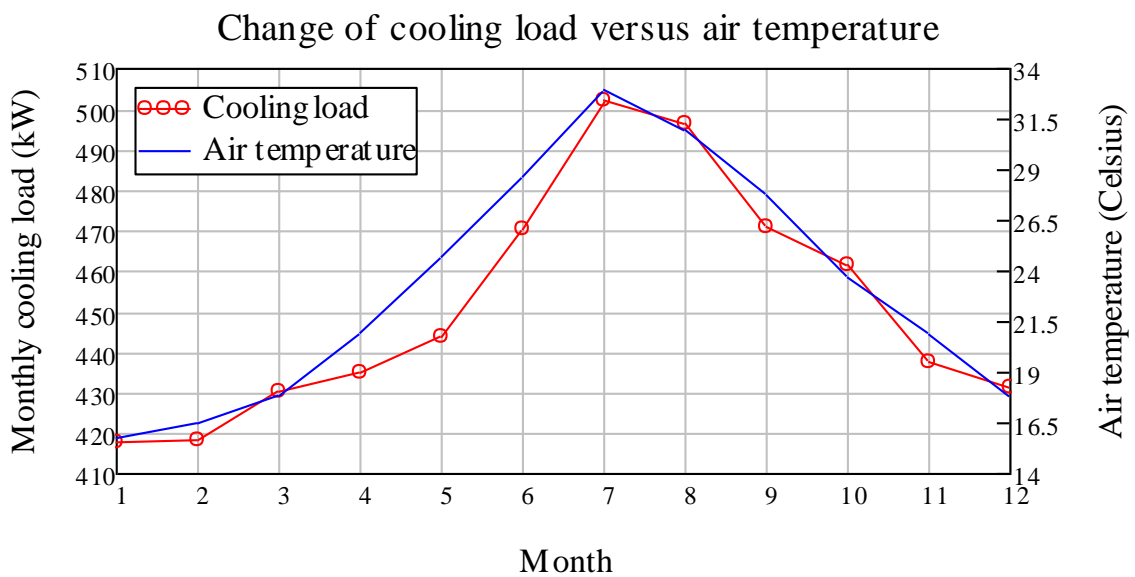
TOTAL_LOAD_{DEC} = 431.443kW

Παρατηρείται ότι τα ψυκτικά φορτία κυμαίνονται από 417.691÷501.932 kW.

Ακολουθούν ενδεικτικά διαγράμματα μεταβολής των φορτίων συναρτήσει της μεταβολής των παραμέτρων του παραπάνω πίνακα:



Διάγραμμα 7.1 Μεταβολή ψυκτικού φορτίου κάθε μήνα του έτους



Διάγραμμα 7.2 Μεταβολή ψυκτικού φορτίου κάθε μήνα του έτους συναρτήσει της μέγιστης μέσης μηνιαία θερμοκρασίας του μήνα

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Μέσα από την παρούσα διπλωματική εργασία μπορούν να εξαχθούν τα παρακάτω συμπεράσματα:

Όσον αναφορά στα προϊόντα, χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή και γνώση των ιδιοτήτων τους. Το κυριότερο χαρακτηριστικό κάθε τροφίμου είναι η περιεχόμενη σε αυτό υγρασία. Αποτελεί καταλυτικό παράγοντα στην ψύξη, στην κατάψυξη καθώς και στη διατήρηση της ποιότητάς του σε υψηλά επίπεδα. Όλες οι θερμοφυσικές ιδιότητες εξαρτώνται από αυτό και το προϊόν παρουσιάζει ικανοποιητικούς συντελεστές απορρόφησης της ψύξης, όσο η ποσότητα της υγρασίας παραμένει αμετάβλητη. Η ελαχιστοποίηση της απώλειας υγρασίας αποτελεί ίσως το σημαντικότερο στόχο της βιομηχανίας ψύξης τροφίμων. Χρειάζεται προσοχή ακόμη και κατά την κατάψυξη, όπου το περιεχόμενο νερό στερεοποιείται, ώστε να κρυσταλλοποιηθεί αρχικά αυτό που βρίσκεται επιφανειακά και εν συνεχεία το υπόλοιπο, όσο το δυνατόν μάλιστα ταχύτερα.

Επιπρόσθετα, για την επίτευξη της καλύτερης διαχείρισης της υγρασίας των προϊόντων, κλειδί αποτελεί η εφαρμογή κατάλληλης μεθόδου ψύξης. Η μέθοδος ψύξης ή κατάψυξης που επιλέγεται είναι αναγκαίο να βασίζεται στις ιδιαιτερότητες του κάθε τροφίμου. Τα περισσότερα, εάν όχι όλα τα προϊόντα, ψύχονται ικανοποιητικά με χρήση αέρα ως μέσου ψύξης. Ωστόσο, τα τελευταία χρόνια οι απαιτήσεις των καταναλωτών, καθώς και των υγειονομικών αρχών, έχουν αυξηθεί. Για το λόγο αυτό, αποτελεί τάση της εποχής η χρήση κρυογονικών και κρυομηχανικών μεθόδων ψύξης. Έτσι, τα τρόφιμα παραμένουν αναλλοίωτα και διατηρούν την οικονομική τους αξία σε υψηλά επίπεδα, για αρκετά μεγάλο χρονικό διάστημα.

Επιπλέον, σημαντικό παράγοντα αποτελεί και ο χώρος αποθήκευσης των προϊόντων, δηλαδή οι ψυκτικοί θάλαμοι. Πριν ακόμη τη μελέτη που αφορά τη ψύξη ενός προϊόντος που πρόκειται να αποθηκευτεί εντός, χρήζει μελέτης η χωροταξική διάταξη των θαλάμων στο χώρο, καθώς και η όλη εγκατάσταση, ώστε να ικανοποιούνται τα κριτήρια που αναφέρθηκαν στο κεφάλαιο 4. Επίσης, η εξοικονόμηση ενέργειας αποτελεί σημαντικό κριτήριο για το σχεδιασμό μίας εγκατάστασης. Ο κάθε θάλαμος χρειάζεται να τοποθετείται στο χώρο, ώστε να ελαχιστοποιούνται τα φορτία ψύξης του χώρου, καθώς και αυτό των ανανεώσεων αέρα. Ακόμη, είναι αναγκαίο να χρησιμοποιούνται θερμομονωτικά υλικά για την κατασκευή των θαλάμων. Ένα χαρακτηριστικό το οποίο πρέπει να χρησιμοποιηθεί προς όφελος εξοικονόμησης ενέργειας είναι και η χρήση της ηλιακής ενέργειας προς όφελος του ψυκτικού θαλάμου. Αυτό επιτυγχάνεται με τη μετατροπή της θερμικής ενέργειας σε ψυκτική και ενδείκνυται για περαιτέρω μελέτη σε επόμενες διπλωματικές εργασίες.

Όσον αναφορά στην παρούσα μελέτη της πολυώροφης εγκατάστασης, υπολογίστηκε ότι το ψυκτικό φορτίο μεταβάλλεται κατά:

$$\text{TOTAL_LOAD}_{\text{JUL}} - \text{TOTAL_LOAD}_{\text{JAN}} = 84.24 \text{ kW}$$

Σε αυτήν την περίπτωση, μπορούν να χρησιμοποιηθούν παραπάνω από ένας συμπιεστές ψύξης, ή ένας πολυβάθμιος, ώστε να μην λειτουργούν όλοι στην ίδια βαθμίδα ψύξης καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, με απώτερο σκοπό φυσικά, την εξοικονόμηση ενέργειας. Ακόμη, η χρήση πολλών συμπιεστών προτείνεται και για λόγους ασφαλείας, διότι σε περίπτωση βλάβης του ενός, η εγκατάσταση θα συνεχίσει τη λειτουργία της χωρίς πρόβλημα. Από την άλλη πλευρά, είναι φανερό το όφελος της ψύξης των διαδρόμων, εάν και δεν αποθηκεύονται τρόφιμα εντός αυτών, καθώς το φορτίο ανανεώσεων αέρα των θαλάμων είναι αρκετά μικρό. Επίσης, απεδείχθη ότι σε περιπτώσεις κατάψυξης, και ειδικά κρεάτων, απαιτείται αρκετά μεγάλο ψυκτικό φορτίο.

Η τοποθέτηση της ψυκτικής μονάδας (συμπιεστές-ατμοποιητές-συμπυκνωτές), χρειάζεται να λαμβάνει χώρο στο υπόγειο της εγκατάστασης, ενώ με κατάλληλα συστήματα σωληνώσεων θα ψύχονται το ισόγειο και ο όροφος της εγκατάστασης.

Συνοψίζοντας, αξίζει να αναφερθεί, για ακόμη μία φορά, η σημασία της παραγωγής και της σωστής διαχείρισης των αγροκτηνοτροφικών προϊόντων, τόσο για την διασφάλιση της δημόσιας υγιεινής, όσο και για την ανάκαμψη της εθνικής οικονομίας. Τέλος, προτείνονται σαν θέματα μελέτης για επόμενες διπλωματικές εργασίες, η εξοικονόμηση ενέργειας στους θαλάμους, η αποθήκευση αποξηραμένων προϊόντων, καθώς και η ξήρανση αυτών, τα οποία δεν αναλύθηκαν αρκετά στην παρούσα εργασία, λόγω της ιδιαιτερότητας που εμφανίζουν στην έλλειψη υγρασίας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ-ΑΝΑΦΟΡΕΣ

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [1] Abdual Hadi Nema, 2010. Thermal properties of foods. 2010 ASHRAE Handbook-Fundamentals-Refrigeration (SI), chapter 19.
- [2] Shyam S. Sablani, M. Shafiur Rahman, 2003. Using neural networks to predict thermal conductivity of food as a function of moisture content, temperature and apparent porosity. Food Research International 36 (2003) 617–623.
- [3] Bryan R. Becker, Brian A. Fricke, 2004. Heat transfer coefficients for forced-air cooling and freezing of selected foods. International Journal of Refrigeration 27 (2004) 540–551.
- [4] Smith, R.E., G.L. Nelson, and R.L. Henrickson. 1968. Applications of geometry analysis of anomalous shapes to problems in transient heat transfer. Transactions of the ASAE 11(2):296-302.
- [5] Cleland, A.C. and R.L. Earle, 1979. Freezing time prediction for foods. A simplified procedure. International Journal of Refrigeration 5(3):134-140.
- [6] Abdual Hadi Nema, 2010. Food microbiology and refrigeration. 2010 ASHRAE Handbook-Fundamentals-Refrigeration (SI), chapter 22.
- [7] Abdual Hadi Nema, 2010. Refrigerated-facility design. 2010 ASHRAE Handbook-Fundamentals-Refrigeration (SI), chapter 23.
- [8] Abdual Hadi Nema, 2010. Industrial food freezing systems. 2010 ASHRAE Handbook-Fundamentals-Refrigeration (SI), chapter 29.
- [9] Ενιαίος Φορέας Ελέγχου Τροφίμων (ΕΦΕΤ). Οδηγός επιθεώρησης HACCP, 2010.
- [10] Abdual Hadi Nema, 2010. Meat products. 2010 ASHRAE Handbook-Fundamentals-Refrigeration (SI), chapter 30.
- [11] USDA/FSIS. 1990. Poultry products inspection regulations. Chapter 3, Sub-Chapter C, Part 381. U.S. Department of Agriculture, Washington, D.C.
- [12] Abdual Hadi Nema, 2010. Refrigerated-facility load. 2010 ASHRAE Handbook-Fundamentals-Refrigeration (SI), chapter 24.
- [13] Abdual Hadi Nema, 2010. Refrigerated-facility load. 2010 ASHRAE Handbook-Fundamentals-Refrigeration (SI), chapter 24, sub-chapter example 2.
- [14] Σπύρος Π. Αναστασιάδης, 1994. Βιομηχανική Ψύξη, κεφάλαιο 10 σελ. 153-181

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Abdual Hadi Nema, 2010. ASHRAE Handbook-Fundamentals-Refrigeration (SI),2010 chapter 19÷24 &28÷42.
- Abdual Hadi Nema, 2006,2009. ASHRAE Handbook-Fundamentals-Refrigeration (SI),2010 chapter 1÷41.
- Patrick Dempsey, Pradeep Bansal. The art of air blast freezing: Design and efficiency considerations, 2011. Applied Thermal Engineering 41 (2012) 71-83.
- Chris B. and Jacqueline F. Nock, Department of Horticulture, Cornell University, 2012. Production guide for storage of organic Fruits and Vegetables.
- Walker S.J. (1992) “Chilled foods microbiology” in Chilled Foods A Comprehensive Guide, ed. C. Dennis and M. Stringer, Ellis Horwood, N.Y., pp. 165-195.
- Bryan R. Becker, Brian A. Fricke, 2002. Calculation of heat transfer coefficients for foods.
- P. Chen, D.J. Cleland, S.J. Lovatt, M.R. Bassett, 2001. An empirical model for predicting air infiltration into refrigerated stores through doors, International Journal of Refrigeration 25 (2002) 799–812.
- A.R Trott and T.C Welch. Refrigeration & Air-Conditioning, Third Edition 2000.
- Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ), Μηνάς Ιατρίδης. Οδηγός εξοικονόμησης ενέργειας στη βιομηχανική ψύξη, 2006.
- Σπύρος Π. Αναστασιάδης, 1994. Βιομηχανική Ψύξη.
- Ελληνική ένωση βιομηχανιών ψύχους, Νίκος Χαριτωνίδης. Βασικά σημεία σχεδιασμού και κατασκευής ψυκτικών χώρων.
- Σπύρος Π. Αναστασιάδης. Υπολογισμός ψυκτικών μονάδων, Εφαρμογές ψύξης και συμπιεστές, 2001.
- Σ. Χατζηδάκης. Ειδικά κεφάλαια ψύξης, 2003.
- Κορωνάκη Ειρήνη. Σημειώσεις μαθήματος Ψύξη II Ε.Μ.Π.

ΔΙΑΔΙΚΤΙΑΚΟΙ ΙΣΤΟΤΟΠΟΙ

- <https://www.ashrae.org/>
- <http://www.alfacoolhellas.gr/>
- <http://www.cryologic.gr/>
- <http://www.cold.org.gr/>
- <http://www.frigohellas.gr/>
- http://portal.tee.gr/portal/page/portal/TEE_HOME/TEE_HOME_NEW
- <http://www.google.gr/>
- <http://www.cres.gr>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι-Πίνακες κεφαλαίου 1

Πίνακας 1.2 Λανθάνουσα θερμότητα στερεοποίησης-(Latent Heat of Fusion)- Q_{lat}

A/A	Προϊόν	Λανθάνουσα θερμότητα στερεοποίησης (kJ/kg)	A/A	Προϊόν	Λανθάνουσα θερμότητα στερεοποίησης (kJ/kg)
Λαχανικά			34	Κολοκύθες	306
1	Αγκινάρες	284	35	Ραπανάκια	317
2	Σπαράγγια	309	36	Λαγόχορτα	257
3	Φασόλια	302	37	Σπανάκι	306
4	Φασόλια πράσινα	235	38	Σκουός καλοκαιρινό	315
5	Τεύτλα	293	39	Σκουός χειμερινό	293
6	Μπρόκολο	303	40	Ντομάτες πράσινες	311
7	Λαχανάκια Βρυξελλών	287	41	Ντομάτες ώριμες	313
8	Λάχανο σκούρο	308	42	Γογγύλι	307
9	Καρότα	293	43	Γογγύλι πράσινο	304
10	Κουνουπίδι	307	44	Κάρδαμο	318
11	Ραπανοσέλινο	294	45	Ίγναμα	232
12	Σέλινο	316	Φρούτα		
13	Καλαμπόκι γλυκό κίτρινο	254	46	Μήλα νωπά	280
14	Αγγούρια	321	47	Μήλα αποξηραμένα	106
15	Μελιτζάνα	307	48	Βερίκοκα	288
16	Αντίδι	313	49	Αβokάντο	248
17	Σκόρδο	196	50	Μπανάνες	248
18	Ρίζα Ginger	273	51	Βατόμουρα	286
19	Άγριο ραπάνι	263	52	Πεπόνια casaba	307
20	Λάχανο	282	53	Πεπόνια	300
21	Λάχανο kohlrabi	304	54	Κεράσια ξινά	288
22	Πράσα	277	55	Κεράσια γλυκά	270
23	Μαρούλι	320	56	Cranberries	289
24	Μανιτάρια	307	57	Κορινθιακή σταφίδα	274
25	Μπάμιες	299	58	Μύρτιλα	283
26	Κρεμμύδια	300	59	Σύκα νωπά	264
27	Κρεμμύδια αφυδατωμένα	13	60	Σύκα αποξηραμένα	95
28	Μαϊντανός	293	61	Πράσινα φραγκοστάφυλα	293
29	Μπιζέλια πράσινα	263	62	Γκρέιπ φρουτ	304
30	Πιπεριές αποξηραμένες	7	63	Σταφύλια Αμερικής	272
31	Πιπεριές πράσινες γλυκές	308	64	Σταφύλια Ευρωπαϊκά	269
32	Πατάτες	264	65	Λεμόνια	292
33	Πατάτες γλυκές	243	66	Γλυκολέμονα	295
			67	Μάνγκο	273

A/A	Προϊόν	Λανθάνουσα θερμότητα στερεοποίησης (kj/kg)
68	Καρπούζι	306
69	Νεκταρίνια	288
70	Ελιές	267
71	Πορτοκάλια	275
72	Ροδάκινα νωπά	293
73	Ροδάκινα αποξηραμένα	106
74	Αχλάδια	280
75	Ανανάς	289
76	Ρόγδια	270
77	Δαμάσκηνα νωπά	285
78	Δαμάσκηνα αποξηραμένα	108
77	Δαμάσκηνα νωπά	285
78	Δαμάσκηνα αποξηραμένα	108
79	Κυδώνια	280
80	Σταφίδες χωρίς κουκούτσια	52
81	Σμέουρα	289
82	Φράουλες	306
83	Μανταρίνια	293
Κρέατα- Θαλασσινά- Αυγά		
84	Μπακαλιάρος	267
85	Γλώσσα	260
86	Ρέγγα	199
87	Σκουμπρί	212
88	Πέρκα	263
89	Pollock, Ατλαντικός	261
90	Σολομός	255
91	Τόνος	227
92	Αχινοί	273
93	Αστακός	256
94	Στρείδια	284
95	Χτένια	262
96	Γαρίδες	253
97	Βοδινό στήθος	184
98	Βοδινό συκώτι	230
99	Βοδινό πλευρά	182

A/A	Προϊόν	Λανθάνουσα θερμότητα στερεοποίησης (kj/kg)
100	Βοδινό κόντρα άπαχο	239
101	Βοδινό ψαρονέφρι	232
102	Βοδινό ψαρονέφρι άπαχο	228
103	Βοδινή μπριζόλα	233
104	Χοιρινό λιπαρό	26
105	Χοιρινό μπέικον	105
106	Χοιρινή κοιλιά	123
107	Χοιρινό με κόκκαλο	166
108	Ζαμπόν άπαχο	228
109	Χοιρινός ώμος	243
110	Λουκάνικο Φρανκφούρτης	180
111	Λουκάνικο Ιταλικό	171
112	Λουκάνικο Πολωνίας	178
113	Λουκάνικο χοιρινό	149
114	Λουκάνικο καπνιστό	131
115	Κοτόπουλο	220
116	Πάπια	162
117	Γαλοπούλα	235
118	Αυγό λευκό	293
119	Αυγό λευκό αποξηραμένο	49
120	Κρόκος αυγού	163
121	Αρνί τεμαχισμένο άπαχο	245
122	Αρνί πόδι άπαχο	248
Γαλακτοκομικά		
123	Βούτυρο	60
124	Camembert	173
125	Τσένταρ	123
126	Γραβιέρα	266
127	Τυρί κρέμα	180
128	Γκούντα	138
129	Μοτσαρέλα	181
130	Παρμεζάνα σκληρή	97
131	Τυρί Αμερικής	131
132	Ροκφόρ	132
133	Τυρί Ελβετικό	124

A/A	Προϊόν	Λανθάνουσα θερμότητα στερεοποίησης (kJ/kg)
134	Παγωτό σοκολάτα	186
135	Παγωτό φράουλα	200
136	Παγωτό βανίλια	204
137	Γάλα συμπυκνωμένο	91
138	Γάλα εβαπορέ	247
139	Γάλα άπαχο	303
140	Γάλα πλήρης λιπαρών	293
141	Ορός γάλακτος αποξηραμένος	12
Διάφορα		
142	Αμύγδαλα	15
143	Λεπτοκάρνα	18
144	Φιστίκια	22
145	Φιστίκια ψητά	5
146	Πέκαν	16
147	Καρύδια	12
148	Καραμέλες	36
149	Ζαχαρωτά	55
150	Σοκολάτες γάλακτος	4

A/A	Προϊόν	Λανθάνουσα θερμότητα στερεοποίησης (kJ/kg)
151	Χυμός μήλου	294
152	Χυμός γκρέιπφρουτ	292
153	Χυμός σταφυλιού	281
154	Χυμός λεμονιού	309
155	Χυμός λάιμ	309
156	Χυμός πορτοκαλιού	297
157	Χυμός ανανά	286
158	Χυμός δαμάσκηνου	271
159	Χυμός ντομάτας	314
160	Χυμός βύσσινου	277
161	Χυμός ανάμεικτος	294
162	Σόδα	334
163	Cola	299
164	Σοκολατούχο γάλα	279
165	Μέλι	57
166	Σιρόπι	107
167	Ποπ κορν	14
168	Μαγιά αρτοποιείας	230

Πηγή: ASHRAE Handbooks-Fundamentals 2010 ch. 19

Πίνακας 1.3 Πυκνότητα προϊόντων σε συνήθεις θερμοκρασίες αποθήκευσης^a

Α/Α	Προϊόν	ρ (kg/m ³)				
		T=-10 °C	T=-5 °C	T=0 °C	T=5 °C	T=10 °C
	Λαχανικά					
1	Αγκινάρες	816.9	823.17	869.04	868.85	868.5
2	Σπαράγγια	806.22	809.28	866.34	866.21	865.91
3	Φασόλια	807.38	810.97	865.58	865.44	865.13
4	Φασόλια πράσινα	868.24	870.66	918.42	918.12	917.64
5	Τεύτλα	823.47	829.53	879.5	879.35	879.03
6	Μπρόκολο	805.65	808.62	864.22	864.08	863.76
7	Λαχανάκια Βρυξελλών	820.1	824.15	875.97	875.79	875.45
8	Λάχανο σκούρο	808.25	813.19	866.68	866.56	866.27
9	Καρότα	823.2	831.14	877.49	877.34	877.02
10	Κουνουπίδι	807.11	811.39	865.73	865.6	865.3
11	Ραπανοσέλινο	826.27	831.17	884.4	884.26	883.95
12	Σέλινο	801.78	804.3	863.97	863.86	863.59
13	Καλαμπόκι γλυκό κίτρινο	969.1	972.16	1031	1030.73	1030.27
14	Αγγούρια	801.6	804.17	864.79	864.69	864.43
15	Μελιτζάνα	807.48	811.79	866.52	866.39	866.1
16	Αντίδι	794.8	794.81	857.83	857.71	857.43
17	Σκόρδο	941.41	944.71	988.8	988.43	987.88
18	Ρίζα Ginger	846.99	852.32	902.61	902.42	902.06
19	Άγριο ραπάνι	856.97	866.5	904.29	904.03	903.59
20	Λάχανο	833.84	836.16	892.53	892.35	892
21	Λάχανο kohlrabi	806.2	811.64	862.76	862.62	862.32
22	Πράσα	843.74	847.32	902	901.83	901.49
23	Μαρούλι	798.06	798.72	862.59	862.49	862.23
24	Μανιτάρια	815.84	820.83	874.99	874.87	874.57
25	Μπάμιες	817.42	827.85	869.15	869	868.69
26	Κρεμμύδια	819.92	824.86	878.43	878.29	878
27	Κρεμμύδια αφυδατωμένα	1201.53	1199.64	N/A	N/A	N/A
28	Μαϊντανός	818.69	824.63	873.72	873.56	873.22
29	Μπιζέλια πράσινα	834.5	837.12	887.65	887.42	887.01
30	Πιπεριές αποξηραμένες	1073.13	1080.07	N/A	N/A	N/A
31	Πιπεριές πράσινες γλυκές	809.81	813.54	870.06	869.94	869.66
32	Πατάτες	960.15	963.39	1024.75	1024.53	1024.13
33	Πατάτες γλυκές	981.07	988.63	1038.09	1037.83	1037.37
34	Κολοκύθες	916.7	921.67	984.65	984.53	984.22
35	Ραπανάκια	800.67	804.44	861.45	861.34	861.07
36	Λαγόχορτα	858.22	863.85	910.65	910.43	910.04
37	Σπανάκι	804.7	805.89	865.83	865.69	865.39
38	Σκουός καλοκαιρινό	801.31	803.8	863.04	862.93	862.65
39	Σκουός χειμερινό	829.36	833.69	888.7	888.56	888.26
40	Ντομάτες πράσινες	810.5	813.65	872.06	871.95	871.67
41	Ντομάτες ώριμες	806.91	809.43	869.25	869.14	868.87
42	Γογγύλι	815.27	821.56	873.34	873.22	872.93
43	Γογγύλι πράσινο	803.67	804.26	865.35	865.21	864.91
44	Κάρδαμο	864.86	866.22	933.14	933.03	932.73
45	Ίγναμα	888.84	899.41	934.37	934.11	933.68

Α/Α	Προϊόν	ρ (kg/m ³)				
		T=-10 °C	T=-5 °C	T=0 °C	T=5 °C	T=10 °C
	Φρούτα					
46	Μήλα νωπά	797.54	803.27	850.59	850.43	850.11
47	Μήλα αποξηραμένα	891.65	815.12	N/A	N/A	N/A
48	Βερίκοκα	790.54	796.31	843.94	843.79	843.48
49	Αβοκάντο	763.27	763.89	808.75	808.36	807.8
50	Μπανάνες	833.34	837.11	885.74	885.52	885.14
51	Βατόμουρα	774.98	778.8	827.73	827.56	827.24
52	Πεπόνια casaba	781.78	787.86	837.9	837.8	837.53
53	Πεπόνια	789.17	795.82	844.23	844.11	843.83
54	Κεράσια ξινά	799.43	808.93	850.15	850.01	849.7
55	Κεράσια γλυκά	812.68	822.4	860.87	860.69	860.34
56	Cranberries	779.01	783.5	832.43	832.28	831.97
57	Κορινθιακή σταφίδα	1000.42	1006.87	1067.67	1067.47	1067.08
58	Μύρτιλα	972.43	983.03	1033.62	1033.43	1033.04
59	Σύκα νωπά	958.61	974.04	1010.45	1010.23	1009.82
60	Σύκα αποξηραμένα	1087.67	979.35	N/A	N/A	N/A
61	Πράσινα φραγκοστάφυλα	906.09	912.69	967.2	967.02	966.66
62	Γκρέιπ φρουτ	955.14	962.5	1023.02	1022.88	1022.55
63	Σταφύλια Αμερικής	1000.44	1011.22	1062.63	1062.43	1062.03
64	Σταφύλια Ευρωπαϊκά	1005.86	1020.3	1064.17	1063.97	1063.56
65	Λεμόνια	945.73	954.66	1006.89	1006.7	1006.32
66	Γλυκολέμονα	957.29	968.04	1019.33	1019.16	1018.8
67	Μάνγκο	988.14	993.73	1054.54	1054.34	1053.94
68	Καρπούζι	950.36	952.56	1023.76	1023.62	1023.29
69	Νεκταρίνια	968.42	974.1	1035.85	1035.67	1035.3
70	Ελιές	947.82	955.84	1003.34	1002.98	1002.41
71	Πορτοκάλια	964.64	969.28	1028.71	1028.49	1028.08
72	Ροδάκινα νωπά	953.28	958.88	1019.73	1019.56	1019.19
73	Ροδάκινα αποξηραμένα	1106.31	1012.71	N/A	N/A	N/A
74	Αχλάδια	978.4	989.04	1039.84	1039.64	1039.26
75	Ανανάς	942.01	948.3	1007.41	1007.24	1006.89
76	Ρόγδια	984.43	1005.37	1035.37	1035.18	1034.79
77	Δαμάσκηνα νωπά	972.19	977.13	1040.07	1039.89	1039.51
78	Δαμάσκηνα αποξηραμένα	1109.6	1016.23	N/A	N/A	N/A
79	Κυδώνια	956.78	970.13	1014.33	1014.15	1013.79
80	Σταφίδες χωρίς κουκούτσια	1002.37	1049.92	N/A	N/A	N/A
81	Σμέουρα	901.18	904.3	963.44	963.23	962.85
82	Φράουλες	913.01	917.88	979.7	979.56	979.23
83	Μανταρίνια	931.55	938.46	995.48	995.31	994.97
	Κρέατα-Θαλασσινά-Αυγά					
84	Μπακαλιάρος	995.41	1008.64	1045.51	1045.17	1044.61
85	Γλώσσα	985.77	998.17	1032.75	1032.35	1031.74
86	Ρέγγα	1044.41	1053.92	1080.77	1080.06	1079.09
87	Σκουμπρί	1031.56	1042.14	1071.94	1071.28	1070.38
88	Πέρκα	1000.8	1013.94	1050.59	1050.23	1049.64
89	Pollock, Ατλαντικός	1006.61	1019.74	1056.37	1056	1055.42
90	Σολομός	996.76	1009.19	1043.88	1043.47	1042.83

Α/Α	Προϊόν	ρ (kg/m ³)				
		T=-10 °C	T=-5 °C	T=0 °C	T=5 °C	T=10 °C
Κρέατα-Θαλασσινά-Αυγά						
91	Τόνος	1047.38	1059.01	1091.54	1091.01	1090.24
92	Αχινιοί	997.96	1012.14	1051.7	1051.42	1050.92
93	Αστακός	1021.31	1034.61	1071.68	1071.32	1070.73
94	Στρείδια	981.34	996.12	1037.41	1037.17	1036.72
95	Χτένια	1008.82	1022.32	1059.97	1059.63	1059.08
96	Γαρίδες	1012.38	1025.11	1060.61	1060.22	1059.59
97	Βοδινό στήθος	994.25	998.08	1029.95	1029.11	1027.99
98	Βοδινό συκώτι	1032.36	1041.23	1080.12	1079.64	1078.92
99	Βοδινό πλευρά	1000.61	1004.45	1036.44	1035.58	1034.45
100	Βοδινό κόντρα άπαχο	1025.4	1034.5	1074.35	1073.87	1073.16
101	Βοδινό ψαρονέφρι	1010.59	1015.17	1060.67	1060.14	1059.36
102	Βοδινό ψαρονέφρι άπαχο	1022.97	1027.55	1073.07	1072.52	1071.73
103	Βοδινή μπριζόλα	1014.33	1018.95	1064.75	1064.23	1063.46
104	Χοιρινό λιπαρό	943.1	942.08	942.94	941.28	939.3
105	Χοιρινό μπέικον	970.49	972.36	987.1	985.82	984.24
106	Χοιρινή κοιλιά	966.11	968.36	986.55	985.35	983.86
107	Χοιρινό με κόκκαλο	982.6	985.8	1013.85	1012.89	1011.66
108	Ζαμπόν άπαχο	1026.02	1030.58	1075.8	1075.27	1074.51
109	Χοιρινός ώμος	1000.52	1012.28	1045.17	1044.68	1043.96
110	Λουκάνικο Φρανκφούρτης	997.49	1003.61	1031.93	1031.07	1029.96
111	Λουκάνικο Ιταλικό	994.41	997.86	1027.49	1026.58	1025.39
112	Λουκάνικο Πολωνίας	996.33	1000.06	1031.4	1030.53	1029.39
113	Λουκάνικο χοιρινό	986.27	989.3	1013.7	1012.65	1011.33
114	Λουκάνικο καπνιστό	1045.55	1048.2	1068.12	1067	1065.6
115	Κοτόπουλο	997.23	1010.69	1033.38	1032.75	1031.87
116	Πάπια	969.61	972.98	999.22	998.23	996.97
117	Γαλοπούλα	1002.27	1006.28	1052.75	1052.22	1051.46
118	Αυγό λευκό	965	968.38	1032.21	1031.99	1031.57
119	Αυγό λευκό αποξηραμένο	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
120	Κρόκος αυγού	1000.38	1001.29	1033.47	1032.51	1031.29
121	Αρνί τεμαχισμένο άπαχο	1005.23	1015.45	1052.62	1052.16	1051.47
122	Αρνί πόδι άπαχο	998.12	1002.44	1051.52	1051.07	1050.4
Γαλακτοκομικά						
123	Βούτυρο	933.01	933.47	940.32	938.83	937.03
124	Camembert	1020.31	1023.89	1054.13	1053.25	1052.1
125	Τσένταρ	1068.59	1067.37	1065.85	1064.68	1063.21
126	Γραβιέρα	996.42	1003.29	1053.95	1053.62	1053.08
127	Τυρί κρέμα	970.33	974.11	1005.89	1005.02	1003.88
128	Γκούντα	1051.29	1054.19	1075.19	1074.12	1072.77
129	Μοτσαρέλα	1019.77	1023.67	1055.8	1054.98	1053.89
130	Παρμεζάνα σκληρή	1118.62	1119.5	1129.24	1127.94	1126.32
131	Τυρί Αμερικής	1069.37	1077.53	1076.1	1074.98	1073.57
132	Ροκφόρ	1081.1	1079.98	1078.56	1077.46	1076.06
133	Τυρί Ελβετικό	1090.36	1089.18	1087.7	1086.55	1085.11

Α/Α	Προϊόν	ρ (kg/m ³)				
		T=-10 °C	T=-5 °C	T=0 °C	T=5 °C	T=10 °C
Γαλακτοκομικά						
134	Παγωτό σοκολάτα	1092.54	1117.11	1116.45	1115.86	1115.03
135	Παγωτό φράουλα	1091.86	1118.66	1118.13	1117.62	1116.89
136	Παγωτό βανίλια	1075.25	1101.58	1101.01	1100.48	1099.72
137	Γάλα συμπυκνωμένο	1294.71	1293.74	1292.51	1291.54	1290.31
138	Γάλα εβαπορέ	1003.19	1011.2	1058.63	1058.24	1057.62
139	Γάλα άπαχο	957.86	961.49	1029.2	1029.04	1028.7
140	Γάλα πλήρης λιπαρών	956.6	960.02	1024.95	1024.72	1024.3
141	Ορός γάλακτος αποξηραμένος	1585.44	1583.7	1579.54	1578.16	1576.49
Διάφορα						
142	Αμύγδαλα	1025.38	1023.21	1018.45	1016.87	1014.97
143	Λεπτοκάρνα	1017.63	1015.73	1013.63	1012	1010.05
144	Φιστίκια	1041.59	1039.39	1034.33	1032.73	1030.82
145	Φιστίκια ψητά	1074.31	1071.58	1062.95	1061.26	1059.24
146	Πέκαν	986.89	985.14	984.11	982.51	980.6
147	Καρύδια	1035.07	1032.9	1029.06	1027.38	1025.38
148	Καραμέλες	1430.47	1430.87	1444.38	1443.22	1441.81
149	Ζαχαρωτά	1425.11	1426.6	1447.9	1446.95	1445.75
150	Σοκολάτες γάλακτος	1257.37	1255.24	1251.37	1249.73	1247.77
151	Χυμός μήλου	976.56	985.51	1043.68	1043.53	1043.19
152	Χυμός γκρέιπφρουτ	980.5	990.19	1046.72	1046.57	1046.22
153	Χυμός σταφυλιού	999.51	1015.23	1059.12	1058.95	1058.58
154	Χυμός λεμονιού	951.67	957.62	1022.05	1021.93	1021.61
155	Χυμός λάιμ	951.64	957.61	1022.12	1022	1021.68
156	Χυμός πορτοκαλιού	964.54	966.74	1038	1037.86	1037.52
157	Χυμός ανανά	989.89	1002.57	1052.7	1052.54	1052.18
158	Χυμός δαμάσκηνου	1013.66	1036.84	1064.76	1064.56	1064.17
159	Χυμός ντομάτας	947.62	953.63	1018.48	1018.36	1018.05
160	Χυμός βύσσινου	1008.58	1027.42	1065.18	1065.01	1064.63
161	Χυμός ανάμεικτος	976.54	985.5	1043.74	1043.6	1043.26
162	Σόδα	931.99	945.25	997.77	997.69	997.42
163	Cola	970.38	977.87	1039.51	1039.38	1039.05
164	Σοκολατούχο γάλα	990.29	1006.82	1045.89	1045.66	1045.24
165	Μέλι	1384.46	1348.69	1454.06	1445.29	1444.14
166	Σιρόπι	1317.84	1341.56	1340.76	1340.09	1339.19
167	Ποπ κορν	1275.37	1273.82	1271.32	1270.07	1268.57
168	Μαγιά αρτοποιείας	991.79	996.64	1043.76	1043.36	1042.75

α: Αποτέλεσμα της παρούσας εργασίας στο

Πίνακας 1.4 Ειδική θερμοχωρητικότητα $c_{p,ab}$ προϊόντων για συνήθεις θερμοκρασίες αποθήκευσης και $c_{p,bel}$ για θερμοκρασίες μικρότερες της στερεοποίησης^b

Α/Α	Προϊόν	$C_{p,ab}$				$C_{p,bel}$
		T=IFT °C	T=0 °C	T=5 °C	T=10 °C	T≤IFT °C
	Λαχανικά					
1	Αγκινάρες	3.857	3.865	3.867	3.868	1.949
2	Σπαράγγια	3.983	3.989	3.99	3.991	1.76
3	Φασόλια	3.95	3.957	3.959	3.96	1.803
4	Φασόλια πράσινα	3.48	3.5	3.502	3.504	2.009
5	Τεύτλα	3.869	3.875	3.877	3.878	1.906
6	Μπρόκολο	3.961	3.968	3.969	3.97	1.779
7	Λαχανάκια Βρυξελλών	3.853	3.862	3.863	3.864	1.868
8	Λάχανο σκούρο	3.978	3.982	3.984	3.985	1.821
9	Καρότα	3.879	3.883	3.885	3.886	1.959
10	Κουνουπίδι	3.978	3.982	3.984	3.985	1.804
11	Ραπανοσέλινο	3.861	3.867	3.868	3.87	1.865
12	Σέλινο	4.025	4.03	4.031	4.032	1.716
13	Καλαμπόκι γλυκό κίτρινο	3.578	3.594	3.595	3.597	1.946
14	Αγγούρια	4.045	4.049	4.05	4.051	1.7
15	Μελιτζάνα	3.976	3.981	3.982	3.983	1.803
16	Αντίδι	4.027	4.035	4.036	4.037	1.648
17	Σκόρδο	3.126	3.151	3.153	3.155	2.165
18	Ρίζα Ginger	3.705	3.715	3.717	3.718	1.95
19	Άγριο ραπάνι	3.664	3.669	3.67	3.672	2.1
20	Λάχανο	3.778	3.789	3.79	3.792	1.832
21	Λάχανο kohlrabi	3.972	3.977	3.978	3.98	1.852
22	Πράσα	3.73	3.741	3.742	3.744	1.884
23	Μαρούλι	4.048	4.053	4.054	4.055	1.642
24	Μανιτάρια	3.95	3.953	3.954	3.955	1.824
25	Μπάμιες	3.937	3.937	3.938	3.939	2.014
26	Κρεμμύδια	3.905	3.911	3.912	3.913	1.847
27	Κρεμμύδια αφυδατωμένα	1.872	1.872	1.872	1.872	2.751
28	Μαϊντανός	3.886	3.892	3.893	3.894	1.903
29	Μπιζέλια πράσινα	3.703	3.718	3.72	3.721	1.912
30	Πιπεριές αποξηραμένες	2.078	2.078	2.078	2.078	2.929
31	Πιπεριές πράσινες γλυκές	3.968	3.973	3.974	3.975	1.782
32	Πατάτες	3.624	3.638	3.639	3.641	1.913
33	Πατάτες γλυκές	3.494	3.509	3.511	3.512	2.088
34	Κολοκύθες	3.927	3.931	3.932	3.933	1.808
35	Ραπανάκια	4.034	4.037	4.038	4.039	1.753
36	Λαγόχορτα	3.613	3.626	3.628	3.63	2.013
37	Σπανάκι	3.97	3.978	3.979	3.98	1.713
38	Σκουός καλοκαρινό	4.02	4.025	4.026	4.027	1.721
39	Σκουός χειμερινό	3.845	3.853	3.854	3.855	1.85
40	Ντομάτες πράσινες	3.976	3.981	3.982	3.983	1.754
41	Ντομάτες ώριμες	3.994	3.999	4	4.001	1.726
42	Γογγύλι	3.957	3.96	3.961	3.962	1.862
43	Γογγύλι πράσινο	3.96	3.97	3.971	3.972	1.7

Α/Α	Προϊόν	$C_{p,ab}$				$C_{p,bel}$
		T=IFT °C	T=0 °C	T=5 °C	T=10 °C	T≤IFT °C
	Λαχανικά					
44	Κάρδαμο	4.038	4.043	4.044	4.045	1.671
45	Ίγναμα	3.433	3.448	3.449	3.451	2.221
	Φρούτα					
46	Μήλα νωπά	3.771	3.78	3.781	3.782	1.945
47	Μήλα αποξηραμένα	2.533	2.533	2.581	2.584	2.246
48	Βερίκοκα	3.832	3.838	3.84	3.841	1.919
49	Αβοκάντο	3.629	3.647	3.648	3.65	1.92
50	Μπανάνες	3.515	3.532	3.533	3.535	1.998
51	Βατόμουρα	3.863	3.874	3.875	3.876	1.873
52	Πεπόνια casaba	3.944	3.947	3.948	3.949	1.861
53	Πεπόνια	3.889	3.892	3.893	3.894	1.903
54	Κεράσια ξινά	3.815	3.817	3.818	3.82	2.029
55	Κεράσια γλυκά	3.692	3.698	3.699	3.701	2.094
56	Crabberries	3.865	3.875	3.876	3.877	1.882
57	Κορινθιακή σταφίδα	3.673	3.682	3.683	3.684	1.947
58	Μύρτιλα	3.794	3.799	3.801	3.802	2.025
59	Σύκα νωπά	3.666	3.67	3.671	3.673	2.208
60	Σύκα αποξηραμένα	2.469	2.469	2.517	2.52	2.259
61	Πράσινα φραγκοστάφυλα	3.905	3.912	3.914	3.915	1.904
62	Γκρέιπ φρουτ	3.922	3.926	3.927	3.928	1.873
63	Σταφύλια Αμερικής	3.675	3.681	3.683	3.684	2.056
64	Σταφύλια Ευρωπαϊκά	3.661	3.665	3.666	3.667	2.147
65	Λεμόνια	3.903	3.909	3.91	3.911	1.962
66	Γλυκολέμονα	3.89	3.892	3.893	3.895	1.991
67	Μάνγκο	3.696	3.706	3.708	3.709	1.933
68	Καρπούζι	3.925	3.931	3.932	3.933	1.733
69	Νεκταρίνια	3.813	3.82	3.822	3.823	1.884
70	Ελιές	3.719	3.727	3.728	3.73	2.035
71	Πορτοκάλια	3.764	3.776	3.777	3.779	1.909
72	Ροδάκινα νωπά	3.87	3.877	3.878	3.88	1.869
73	Ροδάκινα αποξηραμένα	2.533	2.533	2.579	2.582	2.251
74	Αχλάδια	3.766	3.772	3.773	3.774	2.033
75	Ανανάς	3.81	3.817	3.818	3.819	1.9
76	Ρόγδια	3.671	3.667	3.668	3.669	2.294
77	Δαμάσκηνα νωπά	3.783	3.792	3.793	3.795	1.878
78	Δαμάσκηνα αποξηραμένα	2.525	2.525	2.571	2.574	2.245
79	Κυδώνια	3.758	3.76	3.762	3.763	2.103
80	Σταφίδες χωρίς κουκούτσια	2.042	2.042	2.042	2.09	2.389
81	Σμέουρα	3.916	3.928	3.929	3.931	1.827
82	Φράουλες	3.961	3.966	3.967	3.968	1.809
83	Μανταρίνια	3.859	3.865	3.866	3.868	1.907
	Κρέατα-Θαλασσινά-Αυγά					
84	Μπακαλιάρος	3.72	3.719	3.72	3.721	2.135
85	Γλώσσα	3.708	3.709	3.71	3.711	2.147
86	Ρέγγα	3.234	3.244	3.246	3.247	2.287
87	Σκουμπρί	3.297	3.305	3.306	3.308	2.267

Α/Α	Προϊόν	$C_{p,ab}$				$C_{p,beI}$
		T=IFT °C	T=0 °C	T=5 °C	T=10 °C	T≤IFT °C
Κρέατα-Θαλασσινά-Αυγά						
88	Πέρκα	3.681	3.681	3.682	3.683	2.145
89	Pollock, Ατλαντικός	3.666	3.665	3.666	3.668	2.148
90	Σολομός	3.647	3.648	3.649	3.65	2.162
91	Τόνος	3.4	3.405	3.406	3.408	2.222
92	Αχινοί	3.727	3.725	3.727	3.728	2.131
93	Αστακός	3.609	3.609	3.61	3.611	2.16
94	Στρείδια	3.796	3.793	3.794	3.795	2.115
95	Χτένια	3.662	3.662	3.663	3.664	2.15
96	Γαρίδες	3.613	3.615	3.616	3.617	2.165
97	Βοδινό στήθος	3.157	3.175	3.177	3.179	2.236
98	Βοδινό σκώτι	3.439	3.448	3.45	3.451	2.157
99	Βοδινό πλευρά	3.128	3.146	3.147	3.149	2.243
100	Βοδινό κόντρα άπαχο	3.494	3.5	3.501	3.503	2.131
101	Βοδινό ψαρονέφρι	3.458	3.469	3.47	3.471	2.061
102	Βοδινό ψαρονέφρι άπαχο	3.414	3.425	3.426	3.427	2.073
103	Βοδινή μπριζόλα	3.458	3.469	3.47	3.471	2.06
104	Χοιρινό λπαρό	2.142	2.186	2.189	2.191	2.739
105	Χοιρινό μπέικον	2.646	2.677	2.679	2.681	2.5
106	Χοιρινή κοιλιά	2.764	2.791	2.793	2.795	2.443
107	Χοιρινό με κόκκαλο	3.044	3.064	3.066	3.068	2.293
108	Ζαμπόν άπαχο	3.425	3.437	3.439	3.44	2.074
109	Χοιρινός ώμος	3.555	3.559	3.56	3.561	2.192
110	Λουκάνικο Φρανκφούρτης	3.108	3.126	3.128	3.13	2.306
111	Λουκάνικο Ιταλικό	3.06	3.08	3.082	3.084	2.28
112	Λουκάνικο Πολωνίας	3.102	3.122	3.124	3.126	2.259
113	Λουκάνικο χοιρινό	2.918	2.942	2.944	2.946	2.357
114	Λουκάνικο καπνιστό	2.784	2.81	2.813	2.815	2.404
115	Κοτόπουλο	3.419	3.423	3.424	3.426	2.32
116	Πάπια	3.024	3.046	3.048	3.05	2.318
117	Γαλοπούλα	3.489	3.501	3.502	3.503	2.04
118	Αυγό λευκό	3.863	3.868	3.869	3.87	1.808
119	Αυγό λευκό αποξηραμένο	2.26	2.297	2.3	2.302	2.565
120	Κρόκος αυγού	3.013	3.036	3.038	3.04	2.248
121	Αρνί τεμαχισμένο άπαχο	3.564	3.569	3.57	3.571	2.144
122	Αρνί πόδι άπαχο	3.578	3.588	3.589	3.59	2
Γαλακτοκομικά						
123	Βούτυρο	2.369	2.407	2.409	2.411	2.646
124	Camembert	3.068	3.089	3.09	3.092	2.267
125	Τσένταρ	2.812	2.768	2.77	2.772	3.068
126	Γραβιέρα	3.691	3.697	3.698	3.699	1.987
127	Τυρί κρέμα	3.12	3.14	3.142	3.144	2.26
128	Γκούντα	2.837	2.863	2.865	2.867	2.38
129	Μοτσαρέλα	3.12	3.14	3.141	3.143	2.244
130	Παρμεζάνα σκληρή	2.552	2.583	2.586	2.588	2.489
131	Τυρί Αμερικής	2.793	2.795	2.797	2.799	2.752

Α/Α	Προϊόν	$C_{p,ab}$				$C_{p,bel}$
		T=IFT °C	T=0 °C	T=5 °C	T=10 °C	T≤IFT °C
Γαλακτοκομικά						
132	Ροκφόρ	2.791	2.797	2.799	2.801	3.359
133	Τυρί Ελβετικό	2.791	2.773	2.775	2.777	2.88
134	Παγωτό σοκολάτα	3.094	3.091	3.093	3.095	2.741
135	Παγωτό φράουλα	3.181	3.174	3.176	3.178	2.74
136	Παγωτό βανίλια	3.216	3.206	3.208	3.21	2.737
137	Γάλα συμπυκνωμένο	2.377	2.358	2.361	2.364	3.218
138	Γάλα εβαπορέ	3.523	3.532	3.534	3.535	2.085
139	Γάλα άπαχο	3.908	3.913	3.914	3.915	1.778
140	Γάλα πλήρης λιπαρών	3.842	3.848	3.849	3.851	1.813
141	Ορός γάλακτος αποξηραμένος	1.646	1.703	1.707	1.711	2.764
Διάφορα						
142	Αμύγδαλα	2.168	2.222	2.226	2.229	2.747
143	Λεπτοκάρυα	2.116	2.167	2.17	2.173	2.742
144	Φιστίκια	2.195	2.245	2.249	2.252	2.72
145	Φιστίκια ψητά	2.043	2.098	2.101	2.104	2.774
146	Πέκαν	2.135	2.187	2.191	2.194	2.753
147	Καρύδια	2.057	2.108	2.111	2.114	2.76
148	Καραμέλες	1.857	1.912	1.916	1.919	2.694
149	Ζαχαρωτά	1.981	2.033	2.036	2.04	2.636
150	Σοκολάτες γάλακτος	1.796	1.854	1.857	1.861	2.791
151	Χυμός μήλου	3.826	3.83	3.831	3.832	1.94
152	Χυμός γκρέιπφρουτ	3.812	3.815	3.816	3.818	1.963
153	Χυμός σταφυλιού	3.736	3.735	3.737	3.738	2.135
154	Χυμός λεμονιού	3.948	3.951	3.952	3.953	1.818
155	Χυμός λάιμ	3.949	3.952	3.953	3.954	1.818
156	Χυμός πορτοκαλιού	3.852	3.86	3.861	3.863	1.763
157	Χυμός ανανά	3.77	3.772	3.773	3.774	2.053
158	Χυμός δαμάσκηνου	3.684	3.678	3.68	3.681	2.327
159	Χυμός ντομάτας	3.983	3.985	3.986	3.987	1.802
160	Χυμός βύσσινου	3.704	3.701	3.702	3.704	2.215
161	Χυμός ανάμεικτος	3.828	3.831	3.832	3.834	1.94
162	Σόδα	4.139	4.129	4.13	4.131	1.926
163	Cola	3.859	3.863	3.864	3.865	1.889
164	Σοκολατούχο γάλα	3.749	3.747	3.748	3.749	2.169
165	Μέλι	1.996	1.996	2.049	2.052	2.559
166	Σιρόπι	2.382	2.415	2.418	2.421	2.74
167	Ποπ κορν	1.997	2.063	2.067	2.071	2.757
168	Μαγιά αρτοποιείας	3.509	3.529	3.53	3.532	2.077

b: Αποτέλεσμα της παρούσας εργασίας

Πίνακας 1.5 Ενθαλπία προϊόντων για διάφορες θερμοκρασίες αποθήκευσης^c

Α/Α	Προϊόν	H (kJ/kg)				
		T=-40 °C	T=-20 °C	T=-10 °C	T _f	T=10 °C
	Λαχανικά					
1	Αγκινάρες	0	43.17	77.3	338.13	396.91
2	Σπαράγγια	0	37.49	63.11	365.47	426.66
3	Φασόλια	0	38.68	65.86	359.22	417.91
4	Φασόλια πράσινα	0	41.88	67.88	297.66	331.32
5	Τεύτλα	0	42.11	75.12	348.43	407.9
6	Μπρόκολο	0	37.82	63.45	359.78	419.31
7	Λαχανάκια Βρυξελλών	0	40.18	68.74	344.41	399.93
8	Λάχανο σκούρο	0	39.85	70.09	363.09	426.79
9	Καρότα	0	44.28	81.72	347.06	409.98
10	Κουνουπίδι	0	39.12	67.8	362.65	425.36
11	Ραπανοσέλινο	0	40.58	70.72	351.52	408.93
12	Σέλινο	0	36.28	60.33	374.68	435.88
13	Καλαμπόκι γλυκό κίτρινο	0	40.79	66.8	318.37	355.96
14	Αγγούρια	0	36	59.98	378.59	441.76
15	Μελιτζάνα	0	39.12	67.85	364.23	425.87
16	Αντίδι	0	33.34	51.18	375.4	430.61
17	Σκόρδο	0	45.18	73.37	264.42	281.58
18	Ρίζα Ginger	0	42.37	73.69	332.83	382.04
19	Άγριο ραπάνι	0	47.62	88.3	308.1	372.02
20	Λάχανο	0	38.38	62.77	342.85	392.15
21	Λάχανο kohlrabi	0	40.8	72.5	358.65	422.24
22	Πράσα	0	40.09	67.36	339.41	386.64
23	Μαρούλι	0	33.63	52.83	380.7	440.01
24	Μανιτάρια	0	39.89	70.08	361.3	425.33
25	Μπάμιες	0	46.95	90.42	347.07	419.28
26	Κρεμμύδια	0	40.3	70.49	356.62	416.16
27	Κρεμμύδια αφυδατωμένα	0	54.84	81.72	146.46	139.85
28	Μαϊντανός	0	42.03	74.96	347.02	408.46
29	Μπιζέλια πράσινα	0	40.16	66	323.57	368.45
30	Πιπεριές αποξηραμένες	0	61.46	100.84	125.73	110.41
31	Πιπεριές πράσινες γλυκές	0	38.33	65.54	365.78	426.16
32	Πατάτες	0	40.21	66.18	328.25	368.88
33	Πατάτες γλυκές	0	45.67	80.24	306.2	345.01
34	Κολοκύθες	0	39.2	67.93	363.07	424.02
35	Ραπανάκια	0	37.82	65.02	373.53	437.55
36	Λαγόχορτα	0	43.74	76.02	317.09	362.27
37	Σπανάκι	0	35.38	56.47	365.18	421.94
38	Σκουός καλοκαιρινό	0	36.37	60.43	373.2	433.99
39	Σκουός χειμερινό	0	39.91	68.63	352.73	407.59
40	Ντομάτες πράσινες	0	37.39	63.04	368.56	429.24
41	Ντομάτες ώριμες	0	36.47	60.55	372.08	432.1
42	Γογγύλι	0	41.44	74.76	361.16	426.38
43	Γογγύλι πράσινο	0	34.76	54.4	366.47	419.35
44	Κάρδαμο	0	34.59	55.42	375.84	437.08
45	Τγναμα	0	50.17	92.51	292.09	333.42

Α/Α	Προϊόν	Η (kJ/kg)				
		T=-40 °C	T=-20 °C	T=-10 °C	T _f	T=10 °C
	Φρούτα					
46	Μήλα νωπά	0	42.74	75.65	340.22	392.17
47	Μήλα αποξηραμένα	0	41.65	52.66	213.67	156.61
48	Βερίκοκα	0	42.31	75.27	345.31	402.6
49	Αβοκάντο	0	39.32	61.74	317.69	347.61
50	Μπανάνες	0	42.41	71.01	314.9	349.36
51	Βατόμουρα	0	40.31	69.01	346.89	398.38
52	Πεπόνια casaba	0	41.42	74.75	361.52	426.94
53	Πεπόνια	0	42.53	77.21	354.52	417.78
54	Κεράσια ξινά	0	46.65	88.21	339.9	403.97
55	Κεράσια γλυκά	0	47.9	89.93	324.23	381.12
56	Cranberries	0	40.88	71.04	348.93	402.64
57	Κορινθιακή σταφίδα	0	42.33	73.69	334.08	383.3
58	Μύρτιλα	0	46.13	86.08	337.08	397.02
59	Σύκα νωπά	0	52.04	101.72	315.31	376.19
60	Σύκα αποξηραμένα	0	41.32	50.41	204.9	140.23
61	Πράσινα φραγκοστάφυλα	0	42.09	75.17	350.17	409.15
62	Γκρέπ φρουτ	0	41.61	74.89	358.81	422.16
63	Σταφύλια Αμερικής	0	46.53	86.01	328.13	382.7
64	Σταφύλια Ευρωπαϊκά	0	49.96	96.04	321.83	381.37
65	Λεμόνια	0	44.32	81.71	345.77	408.29
66	Γλυκολέμονα	0	45.7	86.16	346.96	412.79
67	Μάνγκο	0	41.73	71.77	335.4	381.84
68	Καρπούζι	0	36.18	58.84	367.02	422.04
69	Νεκταρίνια	0	40.91	71.03	347.49	401.52
70	Ελιές	0	45.34	81.96	325.99	376.29
71	Πορτοκάλια	0	40.92	69.56	336.86	384
72	Ροδάκινα νωπά	0	40.67	70.84	351.63	407.46
73	Ροδάκινα αποξηραμένα	0	41.86	53.29	209.99	156.78
74	Αχλάδια	0	46.24	86.11	335.26	393.56
75	Ανανάς	0	41.6	73.21	347.93	402.86
76	Ρόγδια	0	55.96	114.18	314.91	386.52
77	Δαμάσκηνα νωπά	0	40.39	69.08	345.58	396.49
78	Δαμάσκηνα αποξηραμένα	0	41.76	53.23	212.68	159.55
79	Κυδώνια	0	49.03	94.48	331.73	395.04
80	Σταφίδες χωρίς κουκούτσια	0	43.24	51.25	180.99	76.55
81	Σμέουρα	0	38.7	64.52	351.01	401.61
82	Φράουλες	0	39.22	67.97	363.49	423.89
83	Μανταρίνια	0	42.14	75.23	349.75	407.99
	Κρέατα-Θαλασσινά-Αυγά					
84	Μπακαλιάρος	0	49.34	93.92	296.26	378.97
85	Γλώσσα	0	49.33	93.15	288.51	370.28
86	Ρέγγα	0	50.31	89.18	234.99	290.94
87	Σκουμπρί	0	50.48	91.16	252.84	307.75
88	Πέρκα	0	49.44	93.77	293.36	373.67
89	Pollock, Ατλαντικός	0	49.42	93.5	290.93	371.41
90	Σολομός	0	49.51	93.08	285.4	363.46

Α/Α	Προϊόν	Η (kJ/kg)				
		T=-40 °C	T=-20 °C	T=-10 °C	T _f	T=10 °C
91	Τόνος	0	49.82	90.9	259.02	327.54
92	Αχινοί	0	49.66	95.6	309.08	387.21
93	Αστακός	0	49.56	93.4	287.94	365.25
94	Στρείδια	0	49.85	97.43	325.24	401.7
95	Χτένια	0	49.58	94.15	295.33	373.11
96	Γαρίδες	0	49.51	92.91	283.63	361.34
97	Βοδινό στήθος	0	47.14	77.97	238.68	268.07
98	Βοδινό συκώτι	0	47.46	84.16	269.15	329.73
99	Βοδινό πλευρά	0	47.26	78.09	237.66	265.29
100	Βοδινό κόντρα άπαχο	0	47.09	84.08	274.91	341.49
101	Βοδινό ψαρονέφρι	0	43.79	73.38	275.37	329.9
102	Βοδινό ψαρονέφρι άπαχο	0	43.97	73.48	271.42	324.76
103	Βοδινή μπριζόλα	0	43.75	73.31	275.04	330.42
104	Χοιρινό λιπαρό	0	55.3	84.49	124.09	59.66
105	Χοιρινό μπέικον	0	51.76	82.91	183.14	165.5
106	Χοιρινή κοιλιά	0	50.8	81.97	196.84	187.99
107	Χοιρινό με κόκκαλο	0	48.07	78.75	227.91	244.77
108	Ζαμπόν άπαχο	0	43.95	73.34	269.03	324.15
109	Χοιρινός ώμος	0	49.79	92.52	275.94	347.3
110	Λουκάνικο Φρανκφούρτης	0	49.62	84.93	239.29	263.91
111	Λουκάνικο Ιταλικό	0	47.87	78.62	230.9	250.22
112	Λουκάνικο Πολωνίας	0	47.56	78.47	236.78	259.24
113	Λουκάνικο χοιρινό	0	49.3	80.43	215.64	221.86
114	Λουκάνικο καπνιστό	0	49.85	80.1	187.28	199.25
115	Κοτόπουλο	0	53.24	100.37	255.25	320.42
116	Πάπια	0	48.74	80.25	226.8	239.26
117	Γαλοπούλα	0	43.13	71.7	278.12	333.05
118	Αυγό λευκό	0	38.26	63.66	341.83	406.94
119	Αυγό λευκό αποξηραμένο	0	50.09	71.5	48.86	90.68
120	Κρόκος αυγού	0	46.01	72.17	224.84	238.56
121	Αρνί τεμαχισμένο άπαχο	0	48.05	87.59	279.32	349.66
122	Αρνί πόδι άπαχο	0	42.47	71.12	288.21	349.07
Γαλακτοκομικά						
123	Βούτυρο	0	54.17	85	155.18	105.35
124	Camembert	0	47.54	77.89	225.7	253.36
125	Τσένταρ	0	75.76	166.14	124.15	217.66
126	Γραβιέρα	0	43.39	76.02	305.81	374.6
127	Τυρί κρέμα	0	47.73	79.21	246.91	261.85
128	Γκούντα	0	49.43	79.66	189.66	208.73
129	Μοτσαρέλα	0	47.2	77.76	232.62	263.55
130	Παρμεζάνα σκληρή	0	50.71	78.85	141.75	154.8
131	Τυρί Αμερικής	0	63.77	121.81	160.32	213.2
132	Ροκφόρ	0	88.1	186.05	115.64	239.17
133	Τυρί Ελβετικό	0	68.37	134.88	134.88	212.34

Α/Α	Προϊόν	Η (kJ/kg)				
		T=-40 °C	T=-20 °C	T=-10 °C	T _f	T=10 °C
Γαλακτοκομικά						
134	Παγωτό σοκολάτα	0	67.47	139.16	227.96	284.05
135	Παγωτό φράουλα	0	68.5	143.89	239.12	303.24
136	Παγωτό βανίλια	0	68.66	144.75	241.21	307.69
137	Γάλα συμπυκνωμένο	0	79.37	131.18	111.73	176.62
138	Γάλα εβαπορέ	0	45.87	81.29	302.04	350.56
139	Γάλα άπαχο	0	37.79	63.4	359.52	419.79
140	Γάλα πλήρης λιπαρών	0	38.42	64.12	351.02	406.42
141	Ορός γάλακτος αποξηραμένος	0	55.26	82.8	105.09	38.92
Διάφορα						
142	Αμύγδαλα	0	54.79	81.74	95.84	43.57
143	Λεπτοκάρνα	0	54.85	82.3	107.59	48.07
144	Φιστίκια	0	54.24	80.89	93.97	52.91
145	Φιστίκια ψητά	0	55.15	81.73	83.06	30.66
146	Πέκαν	0	55.13	82.91	112.82	45.37
147	Καρύδια	0	55.11	82.4	101.08	40.11
148	Καραμέλες	0	54.33	82.8	138.26	72.61
149	Ζαχαρωτά	0	53.37	82.02	152.53	97.13
150	Σοκολάτες γάλακτος	0	55.75	83.44	104.2	29.54
151	Χυμός μήλου	0	43.57	79.65	349.59	410.19
152	Χυμός γκρέιπφρουτ	0	44.36	81.8	346.52	408.21
153	Χυμός σταφυλιού	0	50.39	98.68	330.64	397.19
154	Χυμός λεμονιού	0	39.83	70.13	365.3	428.12
155	Χυμός λάιμ	0	39.82	70.14	365.67	428.38
156	Χυμός πορτοκαλιού	0	36.73	59.54	360.05	411.31
157	Χυμός ανανά	0	47.47	90.43	338.26	401.76
158	Χυμός δαμάσκηνου	0	57.34	118.44	314.33	388.45
159	Χυμός ντομάτας	0	39.56	69.88	368.82	434.32
160	Χυμός βύσσινου	0	53.28	106.84	324.22	392.98
161	Χυμός ανάμεικτος	0	43.56	79.66	349.86	410.49
162	Σόδα	0	46.02	91.53	377.53	463.9
163	Cola	0	41.87	75.11	355.53	415.74
164	Σοκολατούχο γάλα	0	51.61	102.12	324.13	395.61
165	Μέλι	0	50.47	73.59	164.44	96.39
166	Σιρόπι	0	61.48	112.24	177.65	175.85
167	Ποπ κορν	0	55.11	82.58	105.3	42.14
168	Μαγιά αρτοποιείας	0	44.29	74.64	289.18	327.35

c: Αποτέλεσμα της παρούσας εργασίας

Πίνακας 1.6 Θερμική αγωγιμότητα προϊόντων για συνήθεις θερμοκρασίες αποθήκευσης^d

Α/Α	Προϊόν	k (W/m. °C)				
		T=-10 °C	T=-5 °C	T=0 °C	T=5 °C	T=10 °C
	Λαχανικά					
1	Αγκινάρες	1.573	1.406	0.447	0.453	0.46
2	Σπαράγγια	1.769	1.664	0.471	0.477	0.484
3	Φασόλια	1.723	1.608	0.464	0.47	0.477
4	Φασόλια πράσινα	1.445	1.362	0.412	0.418	0.425
5	Τεύτλα	1.652	1.49	0.46	0.466	0.473
6	Μπρόκολο	1.734	1.632	0.464	0.471	0.477
7	Λαχανάκια Βρυξελλών	1.649	1.527	0.453	0.459	0.466
8	Λάχανο σκούρο	1.731	1.588	0.47	0.476	0.483
9	Καρότα	1.617	1.417	0.46	0.466	0.473
10	Κουνουπίδι	1.736	1.607	0.469	0.475	0.482
11	Ραπανοσέλινο	1.693	1.554	0.463	0.469	0.476
12	Σέλινο	1.823	1.729	0.477	0.484	0.491
13	Καλαμπόκι γλυκό κίτρινο	1.761	1.658	0.486	0.493	0.5
14	Αγγούρια	1.847	1.751	0.482	0.488	0.495
15	Μελιτζάνα	1.744	1.614	0.47	0.476	0.483
16	Αντίδι	1.848	1.805	0.473	0.479	0.486
17	Σκόρδο	1.297	1.205	0.388	0.394	0.401
18	Ρίζα Ginger	1.603	1.459	0.447	0.453	0.46
19	Άγριο ραπάνι	1.421	1.197	0.437	0.443	0.45
20	Λάχανο	1.688	1.601	0.454	0.46	0.466
21	Λάχανο kohlrabi	1.692	1.539	0.465	0.471	0.478
22	Πράσα	1.663	1.553	0.452	0.458	0.465
23	Μαρούλι	1.88	1.822	0.481	0.487	0.494
24	Μανιτάρια	1.736	1.593	0.472	0.478	0.485
25	Μπάμιες	1.575	1.322	0.463	0.469	0.476
26	Κρεμμύδια	1.712	1.571	0.466	0.472	0.479
27	Κρεμμύδια αφυδατωμένα	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
28	Μαϊντανός	1.639	1.478	0.458	0.464	0.471
29	Μπιζέλια πράσινα	1.56	1.469	0.433	0.439	0.445
30	Πιπεριές αποξηραμένες	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
31	Πιπεριές πράσινες γλυκές	1.767	1.648	0.471	0.478	0.485
32	Πατάτες	1.816	1.709	0.494	0.501	0.509
33	Πατάτες γλυκές	1.628	1.442	0.475	0.481	0.489
34	Κολοκύθες	1.969	1.822	0.529	0.536	0.544
35	Ραπανάκια	1.796	1.676	0.477	0.483	0.49
36	Λαγόχορτα	1.516	1.368	0.434	0.44	0.446
37	Σπανάκι	1.791	1.724	0.468	0.474	0.481
38	Σκουός καλοκαιρινό	1.813	1.719	0.476	0.482	0.489
39	Σκουός χειμερινό	1.713	1.586	0.464	0.47	0.477
40	Ντομάτες πράσινες	1.795	1.688	0.475	0.481	0.488
41	Ντομάτες ώριμες	1.818	1.723	0.476	0.483	0.49
42	Γογγύλι	1.714	1.545	0.472	0.478	0.485
43	Γογγύλι πράσινο	1.802	1.747	0.466	0.473	0.48
44	Κάρδαμο	1.998	1.923	0.517	0.524	0.532
45	Ίγναμα	1.332	1.096	0.415	0.421	0.428

Α/Α	Προϊόν	k (W/m. °C)				
		T=-10 °C	T=-5 °C	T=0 °C	T=5 °C	T=10 °C
	Φρούτα					
46	Μήλα νωπά	1.545	1.393	0.43	0.436	0.443
47	Μήλα αποξηραμένα	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
48	Βερίκοκα	1.566	1.412	0.436	0.442	0.449
49	Αβοκάντο	1.408	1.356	0.385	0.39	0.395
50	Μπανάνες	1.471	1.362	0.41	0.416	0.422
51	Βατόμουρα	1.568	1.452	0.428	0.434	0.441
52	Πεπόνια casaba	1.645	1.483	0.452	0.458	0.465
53	Πεπόνια	1.609	1.437	0.447	0.453	0.46
54	Κεράσια ξινά	1.501	1.274	0.437	0.443	0.45
55	Κεράσια γλυκά	1.424	1.196	0.423	0.429	0.436
56	Cranberries	1.58	1.45	0.433	0.439	0.445
57	Κορινθιακή σταφίδα	1.9	1.728	0.527	0.534	0.542
58	Μύρτιλα	1.815	1.558	0.526	0.533	0.541
59	Σύκα νωπά	1.563	1.219	0.491	0.497	0.505
60	Σύκα αποξηραμένα	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
61	Πράσινα φραγκοστάφυλα	1.83	1.65	0.509	0.516	0.524
62	Γκρέπ φρουτ	1.989	1.793	0.547	0.554	0.563
63	Σταφύλια Αμερικής	1.797	1.543	0.523	0.53	0.538
64	Σταφύλια Ευρωπαϊκά	1.713	1.388	0.52	0.527	0.535
65	Λεμόνια	1.851	1.622	0.528	0.535	0.543
66	Γλυκολέμονα	1.859	1.595	0.536	0.543	0.551
67	Μάνγκο	1.895	1.739	0.522	0.529	0.537
68	Καρπούζι	2.11	2.016	0.55	0.557	0.565
69	Νεκταρίνια	1.951	1.791	0.534	0.541	0.549
70	Ελιές	1.716	1.504	0.498	0.504	0.511
71	Πορτοκάλια	1.876	1.737	0.516	0.523	0.531
72	Ροδάκινα νωπά	1.953	1.793	0.534	0.541	0.549
73	Ροδάκινα αποξηραμένα	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
74	Αχλάδια	1.812	1.555	0.525	0.532	0.54
75	Ανανάς	1.89	1.719	0.519	0.526	0.534
76	Ρόγδια	1.544	1.097	0.507	0.514	0.522
77	Δαμάσκηνα νωπά	1.953	1.808	0.531	0.538	0.546
78	Δαμάσκηνα αποξηραμένα	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
79	Κυδώνια	1.708	1.401	0.512	0.518	0.526
80	Σταφίδες χωρίς κουκούτσια	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
81	Σμέουρα	1.873	1.763	0.505	0.512	0.519
82	Φράουλες	1.965	1.819	0.529	0.536	0.544
83	Μανταρίνια	1.875	1.691	0.52	0.527	0.534
	Κρέατα-Θαλασσινά-Αυγά					
84	Μπακαλιάρος	1.559	1.256	0.509	0.516	0.524
85	Γλώσσα	1.497	1.208	0.497	0.504	0.512
86	Ρέγγα	1.195	0.973	0.435	0.441	0.447
87	Σκουμπρί	1.294	1.048	0.449	0.454	0.461
88	Πέρκα	1.545	1.245	0.506	0.513	0.521
89	Pollock, Ατλαντικός	1.538	1.24	0.506	0.513	0.52
90	Σολομός	1.488	1.2	0.494	0.501	0.508

Α/Α	Προϊόν	k (W/m. °C)				
		T=-10 °C	T=-5 °C	T=0 °C	T=5 °C	T=10 °C
Κρέατα-Θαλασσινά-Αυγά						
91	Τόνος	1.37	1.11	0.473	0.48	0.487
92	Αχινιοί	1.636	1.314	0.52	0.527	0.535
93	Αστακός	1.535	1.237	0.505	0.512	0.52
94	Στρείδια	1.707	1.368	0.529	0.536	0.544
95	Χτένια	1.565	1.26	0.509	0.516	0.524
96	Γαρίδες	1.496	1.207	0.497	0.504	0.512
97	Βοδινό στήθος	1.201	1.08	0.404	0.409	0.414
98	Βοδινό συκώτι	1.452	1.242	0.475	0.481	0.489
99	Βοδινό πλευρά	1.198	1.078	0.403	0.407	0.412
100	Βοδινό κόντρα άπαχο	1.49	1.274	0.484	0.49	0.497
101	Βοδινό ψαρονέφρι	1.519	1.387	0.471	0.477	0.484
102	Βοδινό ψαρονέφρι άπαχο	1.506	1.376	0.469	0.476	0.482
103	Βοδινή μπριζόλα	1.523	1.391	0.473	0.479	0.486
104	Χοιρινό λιπαρό	0.306	0.281	0.209	0.209	0.208
105	Χοιρινό μπέικον	0.744	0.659	0.304	0.306	0.308
106	Χοιρινή κοιλιά	0.842	0.749	0.323	0.325	0.328
107	Χοιρινό με κόκκαλο	1.101	0.991	0.379	0.383	0.387
108	Ζαμπόν άπαχο	1.497	1.369	0.471	0.478	0.485
109	Χοιρινός ώμος	1.425	1.151	0.479	0.486	0.493
110	Λουκάνικο Φρανκφούρτης	1.17	1.003	0.401	0.405	0.41
111	Λουκάνικο Ιταλικό	1.136	1.023	0.388	0.392	0.397
112	Λουκάνικο Πολωνίας	1.182	1.063	0.398	0.402	0.406
113	Λουκάνικο χοιρινό	1.005	0.898	0.359	0.363	0.366
114	Λουκάνικο καπνιστό	0.862	0.771	0.349	0.352	0.356
115	Κοτόπουλο	1.235	0.924	0.449	0.454	0.46
116	Πάπια	1.07	0.955	0.371	0.375	0.378
117	Γαλοπούλα	1.536	1.415	0.472	0.478	0.485
118	Αυγό λευκό	1.957	1.843	0.537	0.544	0.552
119	Αυγό λευκό αποξηραμένο	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
120	Κρόκος αυγού	1.126	1.064	0.38	0.384	0.388
121	Αρνί τεμαχισμένο άπαχο	1.479	1.237	0.485	0.491	0.498
122	Αρνί πόδι άπαχο	1.608	1.481	0.487	0.494	0.501
Γαλακτοκομικά						
123	Βούτυρο	0.508	0.449	0.247	0.247	0.247
124	Camembert	1.138	1.026	0.397	0.402	0.407
125	Τσένταρ	0.328	0.332	0.337	0.34	0.344
126	Γραβιέρα	1.707	1.529	0.511	0.518	0.526
127	Τυρί κρέμα	1.211	1.087	0.394	0.398	0.402
128	Γκούντα	0.892	0.798	0.358	0.362	0.367
129	Μοτσαρέλα	1.189	1.071	0.407	0.412	0.417
130	Παρμεζάνα σκληρή	0.575	0.526	0.314	0.318	0.322
131	Τυρί Αμερικής	0.533	0.345	0.35	0.354	0.358
132	Ροκφόρ	0.342	0.347	0.352	0.356	0.36
133	Τυρί Ελβετικό	0.332	0.337	0.342	0.346	0.35

Α/Α	Προϊόν	k (W/m. °C)				
		T=-10 °C	T=-5 °C	T=0 °C	T=5 °C	T=10 °C
Γαλακτοκομικά						
134	Παγωτό σοκολάτα	0.911	0.422	0.43	0.436	0.442
135	Παγωτό φράουλα	0.97	0.44	0.449	0.455	0.462
136	Παγωτό βανίλια	0.97	0.44	0.449	0.454	0.461
137	Γάλα συμπυκνωμένο	0.315	0.322	0.329	0.335	0.341
138	Γάλα εβαπορέ	1.644	1.443	0.491	0.497	0.504
139	Γάλα άπαχο	2.057	1.935	0.549	0.556	0.564
140	Γάλα πλήρης λιπαρών	1.99	1.873	0.535	0.542	0.549
141	Ορός γάλακτος αποξηραμένος	0.18	0.19	0.229	0.234	0.241
Διάφορα						
142	Αμύγδαλα	0.135	0.146	0.203	0.205	0.207
143	Λεπτοκάρνα	0.208	0.208	0.207	0.208	0.209
144	Φιστίκια	0.137	0.149	0.211	0.213	0.215
145	Φιστίκια ψητά	0.041	0.063	0.193	0.194	0.196
146	Πέκαν	0.23	0.227	0.203	0.203	0.204
147	Καρύδια	0.16	0.166	0.199	0.2	0.201
148	Καραμέλες	0.503	0.475	0.259	0.264	0.271
149	Ζαχαρωτά	0.66	0.616	0.29	0.296	0.303
150	Σοκολάτες γάλακτος	0.159	0.167	0.198	0.201	0.204
151	Χυμός μήλου	1.941	1.716	0.543	0.55	0.558
152	Χυμός γκρέιπφρουτ	1.917	1.679	0.542	0.549	0.557
153	Χυμός σταφυλιού	1.755	1.404	0.533	0.54	0.548
154	Χυμός λεμονιού	2.049	1.88	0.553	0.56	0.568
155	Χυμός λάιμ	2.052	1.882	0.553	0.561	0.569
156	Χυμός πορτοκαλιού	2.085	1.992	0.545	0.552	0.561
157	Χυμός ανανά	1.833	1.538	0.536	0.544	0.552
158	Χυμός δαμάσκηνου	1.565	1.072	0.523	0.531	0.539
159	Χυμός ντομάτας	2.068	1.897	0.558	0.565	0.573
160	Χυμός βύσσινου	1.683	1.273	0.53	0.537	0.545
161	Χυμός ανάμεικτος	1.942	1.718	0.543	0.55	0.559
162	Σόδα	1.999	1.676	0.572	0.58	0.588
163	Cola	1.992	1.796	0.547	0.554	0.563
164	Σοκολατούχο γάλα	1.683	1.312	0.526	0.533	0.541
165	Μέλι	0.78	0.811	0.101	0.3	0.307
166	Σιρόπι	0.748	0.353	0.362	0.368	0.376
167	Ποπ κορν	0.187	0.196	0.216	0.222	0.228
168	Μαγιά αρτοποιείας	1.565	1.428	0.467	0.474	0.482

d: Αποτέλεσμα της παρούσας εργασίας

Πίνακας 1.7 Θερμική διαχυτότητα σε (mm^2/sec) προϊόντων για συνήθεις θερμοκρασίες αποθήκευσης^ε

Α/Α	Προϊόν	α (mm^2/sec)				
		T=-10 °C	T=-5 °C	T=0 °C	T=5 °C	T=10 °C
	Λαχανικά					
1	Αγκινάρες	0.988	0.876	0.134	0.135	0.137
2	Σπαράγγια	1.247	1.168	0.137	0.138	0.14
3	Φασόλια	1.183	1.099	0.136	0.137	0.14
4	Φασόλια πράσινα	0.828	0.778	0.129	0.131	0.133
5	Τεύτλα	1.053	0.942	0.135	0.137	0.139
6	Μπρόκολο	1.21	1.134	0.136	0.138	0.14
7	Λαχανάκια Βρυξελλών	1.077	0.992	0.135	0.136	0.138
8	Λάχανο σκούρο	1.176	1.073	0.137	0.138	0.14
9	Καρότα	1.003	0.87	0.135	0.137	0.139
10	Κουνουπίδι	1.192	1.098	0.136	0.138	0.14
11	Ραπανοσέλινο	1.099	1.002	0.136	0.137	0.14
12	Σέλινο	1.325	1.252	0.138	0.139	0.141
13	Καλαμπόκι γλυκό κίτρινο	0.934	0.876	0.132	0.134	0.136
14	Αγγούρια	1.355	1.281	0.138	0.14	0.142
15	Μελιτζάνα	1.198	1.103	0.137	0.138	0.14
16	Αντίδι	1.411	1.378	0.137	0.139	0.141
17	Σκόρδο	0.636	0.589	0.126	0.127	0.129
18	Ρίζα Ginger	0.971	0.878	0.134	0.136	0.138
19	Άγριο ραπάνι	0.79	0.658	0.132	0.134	0.136
20	Λάχανο	1.104	1.045	0.135	0.136	0.138
21	Λάχανο kohlrabi	1.133	1.024	0.136	0.138	0.14
22	Πράσα	1.046	0.972	0.135	0.136	0.138
23	Μαρούλι	1.435	1.39	0.138	0.14	0.142
24	Μανιτάρια	1.167	1.064	0.137	0.139	0.141
25	Μπάμιες	0.957	0.793	0.136	0.137	0.139
26	Κρεμμύδια	1.131	1.031	0.136	0.138	0.14
27	Κρεμμύδια αφυδατωμένα	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
28	Μαϊντανός	1.052	0.941	0.135	0.137	0.139
29	Μπιζέλια πράσινα	0.978	0.918	0.132	0.133	0.136
30	Πιπεριές αποξηραμένες	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
31	Πιπεριές πράσινες γλυκές	1.224	1.137	0.137	0.138	0.141
32	Πατάτες	0.989	0.927	0.133	0.135	0.137
33	Πατάτες γλυκές	0.795	0.699	0.131	0.133	0.135
34	Κολοκύθες	1.188	1.094	0.137	0.139	0.141
35	Ραπανάκια	1.28	1.188	0.138	0.139	0.141
36	Λαγόχορτα	0.877	0.787	0.132	0.134	0.136
37	Σπανάκι	1.299	1.249	0.136	0.138	0.14
38	Σκουός καλοκαιρινό	1.315	1.243	0.137	0.139	0.141
39	Σκουός χειμερινό	1.117	1.028	0.136	0.138	0.14
40	Ντομάτες πράσινες	1.263	1.183	0.137	0.139	0.141
41	Ντομάτες ώριμες	1.305	1.233	0.137	0.139	0.141
42	Γογγύλι	1.129	1.01	0.137	0.139	0.141
43	Γογγύλι πράσινο	1.319	1.278	0.136	0.138	0.14
44	Κάρδαμο	1.383	1.329	0.138	0.139	0.141
45	Ίγναμα	0.675	0.549	0.13	0.131	0.133

Α/Α	Προϊόν	α (mm ² /sec)				
		T=-10 °C	T=-5 °C	T=0 °C	T=5 °C	T=10 °C
	Φρούτα					
46	Μήλα νωπά	0.996	0.892	0.135	0.136	0.138
47	Μήλα αποξηραμένα	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
48	Βερίκοκα	1.033	0.924	0.135	0.137	0.139
49	Αβοκάντο	0.961	0.925	0.131	0.133	0.135
50	Μπανάνες	0.884	0.815	0.132	0.134	0.136
51	Βατόμουρα	1.08	0.995	0.134	0.136	0.138
52	Πεπόνια casaba	1.131	1.011	0.137	0.139	0.141
53	Πεπόνια	1.072	0.949	0.137	0.138	0.14
54	Κεράσια ξινά	0.926	0.777	0.135	0.137	0.139
55	Κεράσια γλυκά	0.837	0.695	0.134	0.135	0.137
56	Cranberries	1.078	0.983	0.135	0.136	0.138
57	Κορινθιακή σταφίδα	0.975	0.882	0.135	0.136	0.138
58	Μύρτιλα	0.922	0.783	0.135	0.136	0.138
59	Σύκα νωπά	0.739	0.567	0.133	0.135	0.137
60	Σύκα αποξηραμένα	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
61	Πράσινα φραγκοστάφυλα	1.061	0.95	0.135	0.137	0.139
62	Γκρέπ φρουτ	1.112	0.995	0.137	0.138	0.14
63	Σταφύλια Αμερικής	0.874	0.742	0.134	0.136	0.138
64	Σταφύλια Ευρωπαϊκά	0.793	0.634	0.134	0.136	0.138
65	Λεμόνια	0.997	0.866	0.135	0.136	0.138
66	Γλυκολέμονα	0.975	0.827	0.136	0.137	0.139
67	Μάνγκο	0.992	0.905	0.134	0.136	0.138
68	Καρπούζι	1.281	1.221	0.137	0.139	0.141
69	Νεκταρίνια	1.07	0.976	0.135	0.137	0.139
70	Ελιές	0.89	0.773	0.134	0.135	0.137
71	Πορτοκάλια	1.018	0.938	0.133	0.135	0.137
72	Ροδάκινα νωπά	1.096	1	0.136	0.137	0.139
73	Ροδάκινα αποξηραμένα	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
74	Αχλάδια	0.911	0.773	0.135	0.136	0.138
75	Ανανάς	1.056	0.954	0.136	0.137	0.139
76	Ρόγδια	0.684	0.475	0.134	0.136	0.138
77	Δαμάσκηνα νωπά	1.07	0.985	0.135	0.137	0.139
78	Δαμάσκηνα αποξηραμένα	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
79	Κυδώνια	0.849	0.687	0.135	0.136	0.138
80	Σταφίδες χωρίς κουκούτσια	0.305	0.415	-0.645	0.029	0.103
81	Σμέουρα	1.138	1.067	0.134	0.136	0.138
82	Φράουλες	1.19	1.096	0.137	0.138	0.14
83	Μανταρίνια	1.056	0.945	0.136	0.137	0.139
	Κρέατα-Θαλασσινά-Αυγά					
84	Μπακαλιάρος	0.733	0.583	0.132	0.133	0.135
85	Γλώσσα	0.707	0.563	0.13	0.132	0.134
86	Ρέγγα	0.5	0.404	0.125	0.126	0.128
87	Σκουμπρί	0.554	0.444	0.127	0.129	0.131
88	Πέρκα	0.72	0.572	0.131	0.133	0.135
89	Pollock, Ατλαντικός	0.711	0.566	0.131	0.133	0.135
90	Σολομός	0.69	0.55	0.13	0.132	0.134

Α/Α	Προϊόν	α (mm ² /sec)				
		T=-10 °C	T=-5 °C	T=0 °C	T=5 °C	T=10 °C
Κρέατα-Θαλασσινά-Αυγά						
91	Τόνος	0.589	0.472	0.128	0.13	0.132
92	Αχινιοί	0.769	0.609	0.133	0.135	0.137
93	Αστακός	0.696	0.554	0.131	0.133	0.135
94	Στρείδια	0.823	0.649	0.135	0.137	0.139
95	Χτένια	0.722	0.573	0.132	0.133	0.135
96	Γαρίδες	0.683	0.544	0.13	0.132	0.134
97	Βοδινό στήθος	0.54	0.484	0.125	0.126	0.127
98	Βοδινό συκώτι	0.652	0.553	0.128	0.13	0.132
99	Βοδινό πλευρά	0.534	0.478	0.125	0.126	0.127
100	Βοδινό κόντρα άπαχο	0.682	0.578	0.129	0.131	0.133
101	Βοδινό ψαρονέφρι	0.729	0.663	0.129	0.13	0.132
102	Βοδινό ψαρονέφρι άπαχο	0.71	0.646	0.128	0.13	0.132
103	Βοδινή μπριζόλα	0.729	0.663	0.129	0.13	0.132
104	Χοιρινό λιπαρό	0.119	0.109	0.104	0.103	0.103
105	Χοιρινό μπέικον	0.307	0.271	0.117	0.117	0.118
106	Χοιρινή κοιλιά	0.357	0.317	0.119	0.119	0.12
107	Χοιρινό με κόκκαλο	0.489	0.438	0.123	0.124	0.126
108	Ζαμπόν άπαχο	0.704	0.64	0.128	0.13	0.132
109	Χοιρινός ώμος	0.65	0.519	0.13	0.131	0.133
110	Λουκάνικο Φρανκφούρτης	0.509	0.433	0.125	0.127	0.128
111	Λουκάνικο Ιταλικό	0.501	0.45	0.124	0.125	0.126
112	Λουκάνικο Πολωνίας	0.525	0.47	0.124	0.126	0.127
113	Λουκάνικο χοιρινό	0.432	0.385	0.122	0.123	0.124
114	Λουκάνικο καπνιστό	0.343	0.306	0.117	0.119	0.12
115	Κοτόπουλο	0.534	0.394	0.128	0.129	0.131
116	Πάπια	0.476	0.423	0.123	0.124	0.125
117	Γαλοπούλα	0.751	0.689	0.129	0.13	0.132
118	Αυγό λευκό	1.122	1.052	0.135	0.137	0.139
119	Αυγό λευκό αποξηραμένο	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
120	Κρόκος αυγού	0.501	0.473	0.122	0.123	0.125
121	Αρνί τεμαχισμένο άπαχο	0.686	0.568	0.13	0.131	0.133
122	Αρνί πόδι άπαχο	0.806	0.739	0.13	0.131	0.133
Γαλακτοκομικά						
123	Βούτυρο	0.206	0.182	0.111	0.111	0.111
124	Camembert	0.492	0.442	0.123	0.124	0.126
125	Τσένταρ	0.11	0.113	0.116	0.117	0.118
126	Γραβιέρα	0.862	0.767	0.132	0.133	0.136
127	Τυρί κρέμα	0.552	0.494	0.126	0.127	0.128
128	Γκούντα	0.357	0.318	0.118	0.119	0.12
129	Μοτσαρέλα	0.519	0.466	0.124	0.125	0.127
130	Παρμεζάνα σκληρή	0.207	0.189	0.109	0.11	0.112
131	Τυρί Αμερικής	0.181	0.115	0.118	0.119	0.12
132	Ροκφόρ	0.112	0.115	0.118	0.119	0.12
133	Τυρί Ελβετικό	0.109	0.112	0.115	0.116	0.117

Α/Α	Προϊόν	α (mm ² /sec)				
		T=-10 °C	T=-5 °C	T=0 °C	T=5 °C	T=10 °C
Γαλακτοκομικά						
134	Παγωτό σοκολάτα	0.304	0.122	0.126	0.127	0.129
135	Παγωτό φράουλα	0.324	0.124	0.128	0.129	0.131
136	Παγωτό βανίλια	0.33	0.125	0.128	0.13	0.131
137	Γάλα συμπυκνωμένο	0.104	0.107	0.11	0.112	0.113
138	Γάλα εβαπορέ	0.786	0.684	0.132	0.134	0.135
139	Γάλα άπαχο	1.208	1.132	0.137	0.138	0.14
140	Γάλα πλήρης λιπαρών	1.148	1.076	0.136	0.138	0.14
141	Ορός γάλακτος αποξηραμένος	0.041	0.043	0.088	0.09	0.092
Διάφορα						
142	Αμύγδαλα	0.048	0.052	0.092	0.092	0.093
143	Λεπτοκάρνα	0.074	0.075	0.096	0.096	0.097
144	Φιστίκια	0.048	0.053	0.093	0.093	0.094
145	Φιστίκια ψητά	0.014	0.021	0.089	0.089	0.09
146	Πέκαν	0.085	0.084	0.096	0.097	0.097
147	Καρύδια	0.056	0.058	0.094	0.094	0.095
148	Καραμέλες	0.131	0.123	0.097	0.098	0.1
149	Ζαχαρωτά	0.176	0.164	0.101	0.103	0.105
150	Σοκολάτες γάλακτος	0.045	0.048	0.088	0.089	0.09
151	Χυμός μήλου	1.024	0.897	0.136	0.138	0.14
152	Χυμός γκρέιπφρουτ	0.996	0.864	0.136	0.138	0.14
153	Χυμός σταφυλιού	0.823	0.648	0.135	0.137	0.139
154	Χυμός λεμονιού	1.184	1.08	0.137	0.139	0.141
155	Χυμός λάιμ	1.186	1.081	0.137	0.139	0.141
156	Χυμός πορτοκαλιού	1.227	1.169	0.137	0.138	0.14
157	Χυμός ανανά	0.902	0.747	0.136	0.137	0.139
158	Χυμός δαμάσκηνου	0.663	0.444	0.134	0.136	0.138
159	Χυμός ντομάτας	1.211	1.104	0.138	0.139	0.141
160	Χυμός βύσσινου	0.753	0.559	0.135	0.137	0.139
161	Χυμός ανάμεικτος	1.025	0.899	0.136	0.138	0.14
162	Σόδα	1.114	0.921	0.139	0.141	0.143
163	Cola	1.087	0.972	0.137	0.138	0.14
164	Σοκολατούχο γάλα	0.784	0.601	0.135	0.136	0.138
165	Μέλι	0.22	0.235	0.102	0.104	0.106
166	Σιρόπι	0.207	0.11	0.114	0.116	0.118
167	Ποπ κορν	0.053	0.056	0.085	0.087	0.089
168	Μαγιά αρτοποιείας	0.76	0.69	0.128	0.13	0.132

ε: Αποτέλεσμα της παρούσας εργασίας

Πίνακας 1.8 Θερμότητα αναπνοής προϊόντων σε συνήθεις θερμοκρασίες αποθήκευσης

Α/Α	Προϊόν	Θερμότητα Αναπνοής (mW/kg)					
		0°C	5°C	10°C	15°C	20°C	25°C
	Λαχανικά						
1	Αγκινάρες	67.4-133.4	94.6-178.0	16.2-291.5	22.9-430.2	40.4-692.0	—
2	Σπαράγγια	81.0-237.6	162.0-404.5	318.1-904.0	472.3-971.4	809.4-1484.0	—
3	Φασόλια	31.0-89.2	58.2-106.7	—	296.8-369.5	393.8-531.5	—
4	Φασόλια πράσινα	52.4-103.8	86.3-180.9	—	—	627.0-801.1	—
5	Τεύτλα	16.0-21.3	27.2-28.1	34.9-40.3	50.0-68.9	—	—
6	Μπρόκολο	55.3-63.5	102.3-474.8	—	515.0-1008.2	824.9-1011.1	1155.2-1661.0
7	Λαχανάκια Βρυξελλών	45.6-71.3	95.5-144.0	187.2-250.7	283.2-316.7	267.2-564.0	—
8	Λάχανο σκούρο	14.5-24.2	21.8-41.2	36.4-53.3	58.2-80.0	106.7-121.2	—
9	Καρότα	10.2-20.4	17.5-35.9	29.1-46.1	86.8-196.4	—	—
10	Κουνουπίδι	22.8-71.3	58.2-81.0	121.2-144.5	199.8-243.0	—	—
11	Ραπανοσέλινο	21.3	32.5	—	110.6	191.6	—
12	Σέλινο	15.0-21.3	27.2-37.8	58.2-81.0	115.9-124.1	—	—
13	Καλαμπόκι γλυκό κίτρινο	126.1	230.4	332.2	483.0	855.5	1207.5
14	Αγγούρια	—	—	68.4-85.8	71.3-98.4	92.1-142.6	—
15	Μελιτζάνα	—	35.5-69.4	70.1-87.5	73.3-100.7	95.8-151.3	—
16	Αντίδι	—	—	—	—	—	—
17	Σκόρδο	8.7-32.5	17.5-28.6	27.2-28.6	32.5-81.0	29.6-53.8	—
18	Ρίζα Ginger	—	—	—	—	—	—
19	Άγριο ραπάνι	21.3	32.5	—	110.6	191.6	—
20	Λάχανο	68.4	86.8	116.9	186.7	297.8	434.5
21	Λάχανο kohlrabi	29.6	48.5	93.1	145.5	—	—
22	Πράσα	28.1-48.5	58.2-86.3	159.1-202.2	245.4-346.7	—	—
23	Μαρούλι	27.2-50.0	39.8-59.2	81.0-118.8	114.4-121.2	178.0	—
24	Μανιτάρια	83.4-129.5	210.5	—	—	782.2-938.9	—
25	Μπάμιες	—	—	259.0	432.6	774.5	1024
26	Κρεμμύδια	31.0-65.9	51.4-202.2	107.2-174.6	195.9-288.6	231.6-460.8	290.0-622.2
27	Κρεμμύδια αφυδατωμένα	6.8-9.2	10.7-19.9	—	14.7-28.1	—	—
28	Μαϊντανός	98.0-136.5	195.9-252.3	388.8-486.7	427.4-661.9	581.7-756.8	914.1-1012.0
29	Μπιζέλια πράσινα	90.2-138.7	163.4-226.5	—	530.1-600.4	728.4-1072.2	1018.4-1118.3
30	Πιπεριές αποξηραμένες	0	0	0	0	0	0

Ε.Μ.Π-Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών

Α/Α	Προϊόν	Θερμότητα Αναπνοής (mW/kg)					
		0°C	5°C	10°C	15°C	20°C	25°C
Λαχανικά							
31	Πιπεριές πράσινες γλυκές	—	—	42.7	67.9	130.0	—
32	Πατάτες	—	17.5-20.4	19.7-29.6	19.7-34.9	19.7-47.0	—
33	Πατάτες γλυκές	—	17.5-20.4	19.7-29.6	19.7-34.9	19.7-47.0	—
34	Κολοκύθες	—	35.5-69.4	70.1-87.5	73.3-100.7	95.8-151.3	—
35	Ραπανάκια	21.3	32.5	—	110.6	191.6	—
36	Λαγόχορτα	—	—	—	—	—	—
37	Σπανάκι	51.9-75.2	86.8-186.7	202.2-306.5	—	578.1-722.6	—
38	Σκουός καλοκαρινό	—	—	103.8-109.1	222.6-269.6	252.2-288.6	219.7-362.3
39	Σκουός χειμερινό	—	—	103.8-109.1	222.6-269.6	252.2-288.6	219.7-362.3
40	Ντομάτες πράσινες	—	—	45.6	60.6	102.8	126.6
41	Ντομάτες ώριμες	—	—	53.4	79.1	120.3	143.1
42	Γογγύλι	25.7	28.1-29.6	—	63.5-71.3	71.3-74.2	—
43	Γογγύλι πράσινο	25.7	28.1-29.6	—	63.5-71.3	71.3-74.2	—
44	Κάρδαμο	44.5	133.6	270.1-359.1	403.6-581.7	896.3-1032.8	1032.9-1300
45	Ίγναμα	—	—	—	—	—	—
Φρούτα							
46	Μήλα νωπά	6.8-12.1	15.0-21.3	—	40.3-91.7	50.0-103.8	—
47	Μήλα αποξηραμένα	0	0	0	0	0	0
48	Βερικόκα	15.5-17.0	18.9-26.7	33.0-55.8	63.0-101.8	87.3-155.2	—
49	Αβοκάντο	—	—	—	183.3-465.6	218.7-1029.1	—
50	Μπανάνες	—	—	—	37.3-164.9	97.0-242.5	—
51	Βατόμουρα	46.6-67.9	84.9-135.8	155.2-281.3	208.5-431.6	388.0-581.9	—
52	Πεπόνια casaba	—	25.7-29.6	46.1	99.9-114.4	132.4-191.6	184.8-211.9
53	Πεπόνια	—	25.7-29.6	46.1	99.9-114.4	132.4-191.6	184.8-211.9
54	Κεράσια ξινά	17.5-39.3	37.8-39.3	—	81.0-148.4	115.9-148.4	157.6-210.5
55	Κεράσια γλυκά	12.1-16.0	28.1-41.7	—	74.2-133.4	83.4-94.6	—
56	Cranberries	—	12.1-13.6	—	—	32.5-53.8	—
57	Κορινθιακή σταφίδα	3	5	9	11	15	18
58	Μύρτιλα	6.8-31.0	27.2-36.4	—	101.4-183.3	153.7-259.0	—
59	Σύκα νωπά	—	23.5-39.3	65.5-68.4	145.5-187.7	168.8-281.8	252.2-281.8
60	Σύκα αποξηραμένα	0	0	0	0	0	—
61	Πράσινα φραγκοστάφυλα	20.4-25.7	36.4-40.3	—	64.5-95.5	—	—

Α/Α	Προϊόν	Θερμότητα Αναπνοής (mW/kg)					
		0°C	5°C	10°C	15°C	20°C	25°C
	Φρούτα						
62	Γκρέιπ φρουτ	—	—	—	34.9	52.4	64.5
63	Σταφύλια Αμερικής	3.9-6.8	9.2-17.5	2.42	29.6-34.9	—	74.2-89.2
64	Σταφύλια Ευρωπαϊκά	8.2	16.0	—	47.0	97.0	114.4
65	Λεμόνια	—	—	—	47.0	67.4	77.1
66	Γλυκολέμονα	—	—	—	47.0	67.4	77.1
67	Μάνγκο	—	—	—	133.4	222.6-449.1	356.0
68	Καρπούζι	—	—	22.3	—	51.4-74.2	—
69	Νεκταρίνια	15.5-17.0	18.9-26.7	33.0-55.8	63.0-101.8	87.3-155.2	—
70	Ελιές	—	—	—	64.5-115.9	114.4-145.5	121.2-180.9
71	Πορτοκάλια	—	13.6	34.9	37.8	52.4	62.1
72	Ροδάκινα νωπά	12.1-18.9	18.9-27.2	—	98.4-125.6	175.6-303.6	241.5-361.3
73	Ροδάκινα αποξηραμένα	0	0	0	0	0	0
74	Αχλάδια	9.2-20.4	15-29.6	—	44.6-178	89.2-207.6	
75	Ανανάς	—	—	165	38.3	71.8	105.2
76	Ρόγδια	33	56.1	67.9	81.4	95.5	129.8
77	Δαμάσκηνα νωπά	5.8-8.7	11.6-26.7	26.7-33.9	35.4-36.9	53.3-77.1	82.9-210.5
78	Δαμάσκηνα αποξηραμένα	0	0	0	0	0	0
79	Κυδώνια	—	13.6	34.9	37.8	52.4	62.1
80	Σταφίδες χωρίς κουκούτσια	3	5	9	11	15	18
81	Σμέουρα	15.5-17.0	18.9-26.7	33.0-55.8	63.0-101.8	87.3-155.2	—
82	Φράουλες	36.4-52.4	48.5-98.4	145.5-281.3	210.5-273.5	303.1-581.0	501.4-625.6
83	Μανταρίνια	—	10.6	24.9	27.8	42.4	52.1

Πηγή: ASHRAE Handbooks-Fundamentals 2010 ch. 19

Πίνακας 1.9 Απαιτήσεις και χρονική διάρκεια αποθήκευσης προϊόντων

Α/Α	Προϊόν	Απαιτήσεις και χρονική διάρκεια αποθήκευσης προϊόντων			
		Θερμοκρασία αποθήκευσης °C	Σχετική υγρασία %	Διάρκεια αποθήκευσης	Οξυγόνο περιβάλλοντα χώρου
1	Αγκινάρες	0	95 έως 100	2 έως 3 εβδομάδες	2 έως 3 %
2	Σπαράγγια	2.5	95 έως 100	2 έως 3 εβδομάδες	N/A
3	Φασόλια	5 έως 6	95	5 έως 7 ημέρες	2 έως 3 %
4	Φασόλια πράσινα	4 έως 7	95	7 έως 10 ημέρες	2 έως 3 %
5	Τεύτλα	0	98 έως 100	4 μήνες	3 έως 5 %
6	Μπρόκολο	0	95 έως 100	10 έως 14 ημέρες	3 έως 5 %
7	Λαχανάκια Βρυξελλών	0	95 έως 100	3 έως 5 εβδομάδες	3 έως 5 %
8	Λάχανο σκούρο	0	95 έως 100	2 έως 3 μήνες	3 έως 5 %
9	Καρότα	0	98 έως 100	3 έως 6 μήνες	3 έως 5 %
10	Κουνουπίδι	0	95 έως 98	2 έως 4 εβδομάδες	3 έως 5 %
11	Ραπανοσέλινο	0	98 έως 100	6 έως 8 μήνες	3 έως 5 %
12	Σέλινο	0	98 έως 100	1 έως 2 μήνες	3 έως 5 %
13	Καλαμπόκι γλυκό κίτρινο	0	95 έως 98	5 έως 8 ημέρες	3 έως 5 %
14	Αγγούρια	4	95 έως 100	7 ημέρες	3 έως 5 %
15	Μελιτζάνα	10 έως 12	90 έως 95	1 έως 2 εβδομάδες	3 έως 5 %
16	Αντίδι	0	95 έως 100	2 έως 4 εβδομάδες	3 έως 5 %
17	Σκόρδο	0	65 έως 70	6 έως 7 μήνες	0.5 %
18	Ρίζα Ginger	12	65	6 έως 7 μήνες	N/A
19	Άγριο ραπάνι	0	95 έως 100	1 έως 2 μήνες	1 έως 2 %
20	Λάχανο	0	95 έως 100	1 έως 2 μήνες	3 έως 5 %
21	Λάχανο kohlrabi	0	95 έως 100	2 έως 3 μήνες	3 έως 5 %
22	Πράσα	0	95 έως 100	2 μήνες	1 έως 2 %
23	Μαρούλι	0	98 έως 100	2 έως 3 εβδομάδες	2 έως 5 %
24	Μανιτάρια	0	90	1 έως 2 εβδομάδες	3 έως 21 %
25	Μπάμιες	7 έως 10	90 έως 95	7 έως 10 ημέρες	N/A
26	Κρεμμύδια	0	65 έως 70	1 έως 8 μήνες	1 έως 2 %
27	Κρεμμύδια αφυδατωμένα	0	95 έως 100	3 εβδομάδες	2 έως 5 %
28	Μαϊντανός	0	95 έως 100	1 έως 2 μήνες	N/A
29	Μπιζέλια πράσινα	0	95	2 εβδομάδες	2 έως 3 %
30	Πιπεριές αποξηραμένες	7 έως 10	95 έως 98	2 μήνες	2 έως 3 %
31	Πιπεριές πράσινες γλυκές	7 έως 10	95 έως 98	2 έως 3 εβδομάδες	2 έως 3 %
32	Πατάτες	4 έως 12	90 έως 95	5 έως 10 μήνες	-
33	Πατάτες γλυκές	4 έως 12	90 έως 95	5 έως 10 μήνες	N/A
34	Κολοκύθες	12 έως 15	50 έως 70	2 έως 3 μήνες	N/A

Ε.Μ.Π-Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών

Α/Α	Προϊόν	Απαιτήσεις και χρονική διάρκεια αποθήκευσης προϊόντων			
		Θερμοκρασία αποθήκευσης °C	Σχετική υγρασία %	Διάρκεια αποθήκευσης	Οξυγόνο περιβάλλοντα χώρου
35	Ραπανάκια	0	95 έως 100	1 έως 2 μήνες	1 έως 2 %
36	Λαγόχορτα	0	95 έως 98	2 έως 4 μήνες	N/A
37	Σπανάκι	0	95 έως 100	1 έως 2 εβδομάδες	5 έως 10 %
38	Σκούος καλοκαρινό	7 έως 10	95	1 έως 2 εβδομάδες	3 έως 5 %
39	Σκούος χειμερινό	12 έως 15	50 έως 70	2 έως 3 μήνες	3 έως 5 %
40	Ντομάτες πράσινες	10 έως 13	90 έως 95	2 έως 5 εβδομάδες	2 έως 5 %
41	Ντομάτες ώριμες	8 έως 10	85 έως 90	1 έως 3 εβδομάδες	2 έως 5 %
42	Γογγύλι	0	95	4 έως 5 μήνες	N/A
43	Γογγύλι πράσινο	0	95	5 έως 6 μήνες	N/A
44	Κάρδαμο	0	95 έως 100	2 έως 3 εβδομάδες	N/A
45	Ίγναμα	15	70 έως 80	2 έως 7 μήνες	N/A
Φρούτα					
46	Μήλα νωπά	3	90 έως 95	1 έως 2 μήνες	2 έως 3 %
47	Μήλα αποξηραμένα	-1	90 έως 95	3 έως 5 μήνες	2 έως 3 %
48	Βερίκοκα	-0.5	90 έως 95	1 έως 3 εβδομάδες	2 έως 3 %
49	Αβοκάντο	3 έως 7	85 έως 90	2 εβδομάδες	2 έως 5 %
50	Μπανάνες	13 έως 15	90 έως 95	2 έως 4 εβδομάδες	2 έως 5 %
51	Βατόμουρα	0	90 έως 95	1 εβδομάδα	5 έως 10 %
52	Πεπόνια casaba	7 έως 10	85 έως 90	3 έως 4 εβδομάδες	3 έως 5 %
53	Πεπόνια	2 έως 5	95	2 έως 3 εβδομάδες	3 έως 5 %
54	Κεράσια ξινά	0	90 έως 95	1 εβδομάδα	3 έως 10 %
55	Κεράσια γλυκά	-1 έως 0	90 έως 95	2 έως 3 εβδομάδες	10 έως 20 %
56	Cranberries	2 έως 5	90 έως 95	1 μήνας	1 έως 2 %
57	Κορινθιακή σταφίδα	-0.5 έως 0	90 έως 95	1 έως 4 εβδομάδες	1 έως 2 %
58	Μύρτιλα	-0.5 έως 0	90 έως 95	2 έως 3 εβδομάδες	2 έως 5 %
59	Σύκα νωπά	-0.5 έως 0	85 έως 90	7 έως 10 ημέρες	5 έως 10 %
60	Σύκα αποξηραμένα	-0.5 έως 0	85 έως 90	8 έως 12 μήνες	5 έως 10 %
61	Πράσινα φραγκοστάφυλα	-0.5 έως 0	90 έως 95	3 έως 4 εβδομάδες	N/A
62	Γκρέιπ φρουτ	14	85 έως 90	6 έως 8 εβδομάδες	3 έως 10 %
63	Σταφύλια Αμερικής	-1 έως 0	90 έως 95	1 έως 6 μήνες	2 έως 5 %
64	Σταφύλια Ευρωπαϊκά	-1 έως 0	90 έως 95	2 έως 8 εβδομάδες	10%
65	Λεμόνια	10 έως 13	85 έως 90	1 έως 6 μήνες	5 έως 10 %
66	Γλυκολέμονα	10 έως 13	85 έως 90	1 έως 6 μήνες	5 έως 10 %
67	Μάνγκο	13	85 έως 90	2 έως 3 εβδομάδες	3 έως 5 %

Ε.Μ.Π-Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών

Α/Α	Προϊόν	Απαιτήσεις και χρονική διάρκεια αποθήκευσης προϊόντων			
		Θερμοκρασία αποθήκευσης °C	Σχετική υγρασία %	Διάρκεια αποθήκευσης	Οξυγόνο περιβάλλοντα χώρου
68	Καρπούζι	10 έως 15	90	2 έως 3 εβδομάδες	N/A
69	Νεκταρίνια	-0.5 έως 0	90 έως 95	2 έως 4 εβδομάδες	1 έως 2 %
70	Ελιές	5 έως 10	85 έως 90	4 έως 6 εβδομάδες	2 έως 3 %
71	Πορτοκάλια	0 έως 5	85 έως 90	2 έως 3 εβδομάδες	5 έως 10 %
72	Ροδάκινα νωπά	-0.5 έως 0	90 έως 95	2 έως 4 εβδομάδες	1 έως 2 %
73	Ροδάκινα αποξηραμένα	-0.5 έως 0	90 έως 95	1 έως 6 μήνες	1 έως 2 %
74	Αχλάδια	-1.5 έως -0.5	90 έως 95	2 έως 7 μήνες	1 έως 2 %
75	Ανανάς	7 έως 13	85 έως 90	1 μήνας	2 έως 5 %
76	Ρόδια	10 έως 13	85 έως 90	1 έως 5 εβδομάδες	2 έως 5 %
77	Δαμάσκηνα νωπά	-0.5 έως 0	90 έως 95	2 έως 5 εβδομάδες	1 έως 2 %
78	Δαμάσκηνα αποξηραμένα	-0.5 έως 0	90 έως 95	2 έως 7 μήνες	1 έως 2 %
79	Κυδώνια	-0.5 έως 0	90	3 έως 5 μήνες	1 έως 2 %
80	Σταφίδες χωρίς κουκούτσια	-0.5 έως 0	90 έως 95	2 έως 3 εβδομάδες	1 έως 2 %
81	Σμέουρα	-0.5 έως 0	90 έως 95	2 έως 5 ημέρες	5 έως 10 %
82	Φράουλες	0	90 έως 95	1 έως 2 εβδομάδες	5 έως 10 %
83	Μανταρίνια	4 έως 7	90 έως 95	2 έως 4 εβδομάδες	N/A
Κρέατα-Θαλασσινά-Αυγά					
84	Μπακαλιάρος	-30 έως -20	90 έως 95	6 έως 12 μήνες	N/A
85	Γλώσσα	-30 έως -20	90 έως 95	6 έως 12 μήνες	N/A
86	Ρέγγα	-30 έως -20	90 έως 95	6 έως 12 μήνες	N/A
87	Σκουμπρί	-30 έως -20	90 έως 95	6 έως 12 μήνες	N/A
88	Πέρκα	-30 έως -20	90 έως 95	6 έως 12 μήνες	N/A
89	Pollock, Ατλαντικός	-30 έως -20	90 έως 95	6 έως 12 μήνες	N/A
90	Σολομός	-30 έως -20	90 έως 95	6 έως 12 μήνες	N/A
91	Τόνος	-30 έως -20	90 έως 95	6 έως 12 μήνες	N/A
92	Αχινιοί	5 έως 10	95 έως 100	5 ημέρες	N/A
93	Αστακός	-30 έως -20	90 έως 95	6 έως 12 μήνες	N/A
94	Στρείδια	5 έως 10	95 έως 100	5 ημέρες	N/A
95	Χτένια	0 έως 1	95 έως 100	12 ημέρες	N/A
96	Γαρίδες	-30 έως -20	90 έως 95	6 έως 12 μήνες	N/A
97	Βοδινό στήθος	-23 έως -18	90 έως 95	6 έως 12 μήνες	N/A
98	Βοδινό σκώπι	-23 έως -18	90 έως 95	6 έως 12 μήνες	N/A
99	Βοδινό πλευρά	-23 έως -18	90 έως 95	6 έως 12 μήνες	N/A
100	Βοδινό κόντρα άπαχο	-23 έως -18	90 έως 95	6 έως 12 μήνες	N/A
101	Βοδινό ψαρονέφρι	-23 έως -18	90 έως 95	6 έως 12 μήνες	N/A
102	Βοδινό ψαρονέφρι άπαχο	-23 έως -18	90 έως 95	6 έως 12 μήνες	N/A
103	Βοδινή μπριζόλα	-23 έως -18	90 έως 95	6 έως 12 μήνες	N/A

Ε.Μ.Π-Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών

Α/Α	Προϊόν	Απαιτήσεις και χρονική διάρκεια αποθήκευσης προϊόντων			
		Θερμοκρασία αποθήκευσης °C	Σχετική υγρασία %	Διάρκεια αποθήκευσης	Οξυγόνο περιβάλλοντα χώρου
104	Χοιρινό λιπαρό	-23 έως -18	90 έως 95	4 έως 8 μήνες	N/A
105	Χοιρινό μπέικον	-23 έως -18	90 έως 95	4 έως 8 μήνες	N/A
106	Χοιρινή κοιλιά	-23 έως -18	90 έως 95	4 έως 8 μήνες	N/A
107	Χοιρινό με κόκκαλο	-23 έως -18	90 έως 95	4 έως 8 μήνες	N/A
108	Ζαμπόν άπαχο	-23 έως -18	90 έως 95	4 έως 8 μήνες	N/A
109	Χοιρινός ώμος	-23 έως -18	90 έως 95	4 έως 8 μήνες	N/A
110	Λουκάνικο Φρανκφούρτης	-23 έως -18	90 έως 95	4 έως 8 μήνες	N/A
111	Λουκάνικο Ιταλικό	-23 έως -18	90 έως 95	4 έως 8 μήνες	N/A
112	Λουκάνικο Πολωνίας	-23 έως -18	90 έως 95	4 έως 8 μήνες	N/A
113	Λουκάνικο χοιρινό	-23 έως -18	90 έως 95	4 έως 8 μήνες	N/A
114	Λουκάνικο καπνιστό	-23 έως -18	90 έως 95	4 έως 8 μήνες	N/A
115	Κοτόπουλο	-23 έως -18	90 έως 95	12 μήνες	N/A
116	Πάπια	-23 έως -18	90 έως 95	12 μήνες	N/A
117	Γαλοπούλα	-23 έως -18	90 έως 95	12 μήνες	N/A
118	Αυγό λευκό	-20	90 έως 95	12 μήνες	N/A
119	Αυγό λευκό αποξηραμένο	-20	90 έως 95	12 μήνες	N/A
120	Κρόκος αυγού	-20	90 έως 95	12 μήνες	N/A
121	Αρνί τεμαχισμένο άπαχο	-23 έως -18	90 έως 95	8 έως 12 μήνες	N/A
122	Αρνί πόδι άπαχο	-23 έως -18	90 έως 95	8 έως 12 μήνες	N/A
Γαλακτοκομικά					
123	Βούτυρο	0	75 έως 85	2 έως 4 εβδομάδες	N/A
124	Camembert	4	65	12 μήνες	N/A
125	Τσένταρ	4	65	12 μήνες	N/A
126	Γραβιέρα	4	65	12 μήνες	N/A
127	Τυρί κρέμα	4	65	12 μήνες	N/A
128	Γκούντα	4	65	12 μήνες	N/A
129	Μοτσαρέλα	4	65	12 μήνες	N/A
130	Παρμεζάνα σκληρή	4	65	12 μήνες	N/A
131	Τυρί Αμερικής	4	65	12 μήνες	N/A
132	Ροκφόρ	4	65	12 μήνες	N/A
133	Τυρί Ελβετικό	4	65	12 μήνες	N/A
134	Παγωτό σοκολάτα	-30 έως -20	90 έως 95	3 έως 23 μήνες	N/A
135	Παγωτό φράουλα	-30 έως -20	90 έως 95	3 έως 23 μήνες	N/A
136	Παγωτό βανίλια	-30 έως -20	90 έως 95	3 έως 23 μήνες	N/A
137	Γάλα συμπυκνωμένο	4 έως 6	N/A	7 ημέρες	N/A
138	Γάλα εβαπορέ	4 έως 6	N/A	7 ημέρες	N/A
139	Γάλα άπαχο	4 έως 6	N/A	7 ημέρες	N/A
140	Γάλα πλήρης λιπαρών	4 έως 6	N/A	7 ημέρες	N/A
141	Ορός γάλακτος αποξηραμένος	21	30%	12 μήνες	N/A

Α/Α	Προϊόν	Απαιτήσεις και χρονική διάρκεια αποθήκευσης προϊόντων			
		Θερμοκρασία αποθήκευσης °C	Σχετική υγρασία %	Διάρκεια αποθήκευσης	Οξυγόνο περιβάλλοντα χώρου
142	Αμύγδαλα	0 έως 10	65 έως 75	8 έως 12 μήνες	N/A
143	Λεπτοκάρυα	0 έως 10	65 έως 75	8 έως 12 μήνες	N/A
144	Φιστίκια	0 έως 10	65 έως 75	8 έως 12 μήνες	N/A
145	Φιστίκια ψητά	0 έως 10	65 έως 75	8 έως 12 μήνες	N/A
146	Πέκαν	0 έως 10	65 έως 75	8 έως 12 μήνες	N/A
147	Καρύδια	0 έως 10	65 έως 75	8 έως 12 μήνες	N/A
148	Καραμέλες	-20 έως 1	40	6 έως 12 μήνες	N/A
149	Ζαχαρωτά	-20 έως 1	40	6 έως 12 μήνες	N/A
150	Σοκολάτες γάλακτος	-20 έως 1	40	6 έως 12 μήνες	N/A
151	Χυμός μήλου	-1 έως 1.5	90 έως 95	1 έως 2 μήνες	N/A
152	Χυμός γκρέιπφρουτ	-1 έως 1.5	90 έως 95	1 έως 2 μήνες	N/A
153	Χυμός σταφυλιού	-1 έως 1.5	90 έως 95	1 έως 2 μήνες	N/A
154	Χυμός λεμονιού	-1 έως 1.5	90 έως 95	1 έως 2 μήνες	N/A
155	Χυμός λάιμ	-1 έως 1.5	90 έως 95	1 έως 2 μήνες	N/A
156	Χυμός πορτοκαλιού	-1 έως 1.5	90 έως 95	1 έως 2 μήνες	N/A
157	Χυμός ανανά	-1 έως 1.5	90 έως 95	1 έως 2 μήνες	N/A
158	Χυμός δαμάσκηνου	-1 έως 1.5	90 έως 95	1 έως 2 μήνες	N/A
159	Χυμός ντομάτας	-1 έως 1.5	90 έως 95	1 έως 2 μήνες	N/A
160	Χυμός βύσσινου	-1 έως 1.5	90 έως 95	1 έως 2 μήνες	N/A
161	Χυμός ανάμεικτος	-1 έως 1.5	90 έως 95	1 έως 2 μήνες	N/A
162	Σόδα	1.5 έως 4	30 έως 60	5 έως 8 μήνες	N/A
163	Cola	1.5 έως 4	30 έως 60	5 έως 8 μήνες	N/A
164	Σοκολατούχο γάλα	4 έως 6	N/A	7 ημέρες	N/A
165	Μέλι	15	N/A	2 χρόνια	N/A
166	Σιρόπι	3 έως 8	85	2 χρόνια	N/A
167	Ποπ κορν	0 έως 4	85	4 έως 6 εβδομάδες	N/A
168	Μαγιά αρτοποιείας	-3 έως 0	N/A	1 χρόνος	N/A

Πηγή: ASHRAE Handbooks-Fundamentals 2010 ch. 19

Οι προτάσεις του παραπάνω πίνακα αποτελούν γενικές οδηγίες. Η προτεινόμενη διάρκεια ζωής μετά τη συγκομιδή και οι συνθήκες εντός του θαλάμου μπορεί να διαφέρουν από τις παραπάνω στην πραγματικότητα, εξ αιτίας τις ποικιλίας των προϊόντων και τω μικρών λεπτομερειών αποθήκευσης. Επομένως οι παραπάνω τιμές αποτελούν μία κατευθυντήρια γραμμή σύμφωνα με την ASHRAE [3].

Πίνακας 1.10 Συντελεστής μεταφοράς θερμότητας για συνήθεις συνθήκες αποθήκευσης προϊόντων

A/A	Προϊόν	Σχήμα	Μέσο ψύξης ^a	T _m [*]	U _{air}	h (W/m ² .°C)	Πηγή
	Λαχανικά						
1	Αγκινάρες	σφαιρικό	αέρας	-4	3	38	Dincer et al 1994
2	Σπαράγγια	κυλινδρικό	αέρας	-4	3	29	Dincer et al 1994
3	Φασόλια	σφαιρικό	αέρας	-4	3	25	Dincer et al 1994
4	Φασόλια πράσινα	σφαιρικό	αέρας	-4	3	29	Dincer et al 1994
5	Τεύτλα	σφαιρικό	αέρας	-4	3	29	Dincer et al 1994
6	Μπρόκολο	σφαιρικό	αέρας	-4	3	29	Dincer et al 1994
7	Λαχανάκια Βρυξελλών	κυλινδρικό	αέρας	-4	3	29	Dincer et al 1994
8	Λάχανο σκούρο	σφαιρικό	αέρας	-4	3	29	Dincer et al 1994
9	Καρότα	κυλινδρικό	αέρας	-4	3	29	Dincer et al 1994
10	Κουνουπίδι	σφαιρικό	αέρας	-4	3	29	Dincer et al 1994
11	Ραπανοσέλνιο	κυλινδρικό	αέρας	-4	3	29	Dincer et al 1994
12	Σέλνιο	κυλινδρικό	αέρας	-4	3	29	Dincer et al 1994
13	Καλαμπόκι γλυκό κίτρινο	κυλινδρικό	αέρας	-4	3	29	Dincer et al 1994
14	Αγγούρια	κυλινδρικό	αέρας	-4	3	27	Dincer et al 1994
15	Μελιτζάνα	κυλινδρικό	αέρας	-4	3	29	Dincer et al 1994
16	Αντίδι	κυλινδρικό	αέρας	-4	3	29	Dincer et al 1994
17	Σκόρδο	σφαιρικό	αέρας	-4	3	29	Dincer et al 1994
18	Ρίζα Ginger	κυλινδρικό	αέρας	-4	3	35	Dincer et al 1994
19	Άγριο ραπάνι	κυλινδρικό	αέρας	-4	3		Dincer et al 1994
20	Λάχανο	σφαιρικό	αέρας	-4	3	29	Dincer et al 1994
21	Λάχανο kohlrabi	σφαιρικό	αέρας	-4	3	29	Dincer et al 1994
22	Πράσα	κυλινδρικό	αέρας	-4	3	26	Dincer et al 1994
23	Μαρούλι	σφαιρικό	αέρας	-4	3	29	Dincer et al 1994
24	Μανιτάρια	σφαιρικό	αέρας	-4	3	26	Dincer et al 1994
25	Μπάμιες	κυλινδρικό	αέρας	-4	3	26	Dincer et al 1994
26	Κρεμμύδια	σφαιρικό	αέρας	-4	3	26	Dincer et al 1994
27	Κρεμμύδια αφυδατωμένα	σφαιρικό	αέρας	-4	3	49	Dincer et al 1994
28	Μαϊντανός	κυλινδρικό	αέρας	-4	3	22	Dincer et al 1994
29	Μπιζέλια πράσινα	κυλινδρικό	αέρας	-4	3	25	Dincer et al 1994
30	Πιπεριές αποξηραμένες	σφαιρικό	αέρας	-4	3	53	Dincer et al 1994
31	Πιπεριές πράσινες γλυκές	σφαιρικό	αέρας	-4	3	31	Dincer et al 1994
32	Πατάτες	κυλινδρικό	αέρας	-4	3	27	Dincer et al 1994
33	Πατάτες γλυκές	κυλινδρικό	αέρας	-4	3	27	Dincer et al 1994
34	Κολοκύθες	κυλινδρικό	αέρας	-4	3	30	Dincer et al 1994
35	Ραπανάκια	κυλινδρικό	αέρας	-4	3	28	Dincer et al 1994
36	Λαγόχορτα	κυλινδρικό	αέρας	-4	3	26	Dincer et al 1994
37	Σπανάκι	κυλινδρικό	αέρας	-4	3	26	Dincer et al 1994
38	Σκουός καλοκαρινό	κυλινδρικό	αέρας	-4	3	54	Dincer et al 1994
39	Σκουός χειμερινό	κυλινδρικό	αέρας	-4	3	54	Dincer et al 1994
40	Ντομάτες πράσινες	σφαιρικό	αέρας	-4	3	32	Dincer et al 1994
41	Ντομάτες ώριμες	σφαιρικό	αέρας	-4	3	31	Dincer et al 1994
42	Γογγύλι	σφαιρικό	αέρας	-4	3	60	Dincer et al 1994
43	Γογγύλι πράσινο	σφαιρικό	αέρας	-4	3	65	Dincer et al 1994
44	Κάρδαμο	σφαιρικό	αέρας	-4	3	75	Dincer et al 1994
45	Ίγναμα	σφαιρικό	αέρας	-4	3	76	Dincer et al 1994

A/A	Προϊόν	Σχήμα	Μέσο ψύξης ^a	T _m [*]	U _{air}	h (W/m ² .°C)	Πηγή
Φρούτα							
46	Μήλα νωπά	σφαιρικό	αέρας	1	3	33	Dincer et al 1994
47	Μήλα αποξηραμένα	σφαιρικό	αέρας	1	3	88	Dincer et al 1994
48	Βερίκοκα	σφαιρικό	αέρας	1	3	35	Dincer et al 1994
49	Αβοκάντο	κυλινδρικό	αέρας	1	3	56	Dincer et al 1994
50	Μπανάνες	κυλινδρικό	αέρας	1	3	56	Dincer et al 1994
51	Βατόμουρα	σφαιρικό	αέρας	1	3	35	Dincer et al 1994
52	Πεπόνια casaba	σφαιρικό	αέρας	1	3	56	Dincer et al 1994
53	Πεπόνια	σφαιρικό	αέρας	1	3	56	Dincer et al 1994
54	Κεράσια ξινά	σφαιρικό	αέρας	1	3	35	Dincer et al 1994
55	Κεράσια γλυκά	σφαιρικό	αέρας	1	3	35	Dincer et al 1994
56	Cranberries	σφαιρικό	αέρας	1	3	35	Dincer et al 1994
57	Κορινθιακή σταφίδα	σφαιρικό	αέρας	1	3	40	Dincer et al 1994
58	Μύρτιλα	σφαιρικό	αέρας	1	3	56	Dincer et al 1994
59	Σύκα νωπά	σφαιρικό	αέρας	1	3	32.7	Dincer et al 1994
60	Σύκα αποξηραμένα	σφαιρικό	αέρας	1	3	67	Dincer et al 1994
61	Πράσινα φραγκοστάφυλα	σφαιρικό	αέρας	1	3	56	Dincer et al 1994
62	Γκρέιπ φρουτ	σφαιρικό	αέρας	1	3	66	Dincer et al 1994
63	Σταφύλια Αμερικής	σφαιρικό	αέρας	1	3	44	Dincer et al 1994
64	Σταφύλια Ευρωπαϊκά	σφαιρικό	αέρας	1	3	44	Dincer et al 1994
65	Λεμόνια	σφαιρικό	αέρας	1	3	66	Dincer et al 1994
66	Γλυκολέμονα	σφαιρικό	αέρας	1	3	66	Dincer et al 1994
67	Μάνγκο	σφαιρικό	αέρας	1	3	66	Dincer et al 1994
68	Καρπούζι	κυλινδρικό	αέρας	1	3	56	Dincer et al 1994
69	Νεκταρίνια	σφαιρικό	αέρας	1	3	35	Dincer et al 1994
70	Ελιές	σφαιρικό	αέρας	1	3	35	Dincer et al 1994
71	Πορτοκάλια	σφαιρικό	αέρας	1	3	56	Dincer et al 1994
72	Ροδάκινα νωπά	σφαιρικό	αέρας	1	3	35	Dincer et al 1994
73	Ροδάκινα αποξηραμένα	σφαιρικό	αέρας	1	3	55	Dincer et al 1994
74	Αχλάδια	κυλινδρικό	αέρας	1	3	22	Dincer et al 1994
75	Ανανάς	κυλινδρικό	αέρας	1	3	87	Dincer et al 1994
76	Ρόγδια	σφαιρικό	αέρας	1	3	70	Dincer et al 1994
77	Δαμάσκηνα νωπά	σφαιρικό	αέρας	1	3	40	Dincer et al 1994
78	Δαμάσκηνα αποξηραμένα	επίπεδης πλάκας ή κυβικό	αέρας	1	3	78	Dincer et al 1994
79	Κυδώνια	σφαιρικό	αέρας	1	3	51	Dincer et al 1994
80	Σταφίδες χωρίς κουκούτσια	σφαιρικό	αέρας	1	3	39	Dincer et al 1994
81	Σμέουρα	σφαιρικό	αέρας	1	3	28	Dincer et al 1994
82	Φράουλες	σφαιρικό	αέρας	1	3	28	Dincer et al 1994
83	Μανταρινία	σφαιρικό	αέρας	1	3	51	Dincer et al 1994
Κρέατα-Θαλασσινά-Αυγά							
84	Μπακαλιάρος	επίπεδης πλάκας ή κυβικό	αέρας	-10	3	41	Becker and Fricke (2004)
85	Γλώσσα	επίπεδης πλάκας ή κυβικό	αέρας	-10	3	41	Becker and Fricke (2004)

A/A	Προϊόν	Σχήμα	Μέσο ψύξης ^a	T _m [*]	U _{air}	h (W/m ² .°C)	Πηγή
Κρέατα-Θαλασσινά-Αυγά							
86	Ρέγγα	επίπεδης πλάκας ή κυβικό	αέρας	-10	3	41	Becker and Fricke (2004)
87	Σκουμπρί	επίπεδης πλάκας ή κυβικό	αέρας	-10	3	41	Becker and Fricke (2004)
88	Πέρκα	επίπεδης πλάκας ή κυβικό	αέρας	-10	3	41	Becker and Fricke (2004)
89	Pollock, Ατλαντικός	επίπεδης πλάκας ή κυβικό	αέρας	-10	3	41	Becker and Fricke (2004)
90	Σολομός	επίπεδης πλάκας ή κυβικό	αέρας	-10	3	41	Becker and Fricke (2004)
91	Τόνος	κυβικό ακανόνιστο	αέρας	-10	3	41	Becker and Fricke (2004)
92	Αχινιοί	κυβικό ακανόνιστο	αέρας	-10	3	21	Becker and Fricke (2004)
93	Αστακός	σφαιρικό	αέρας	-10	3	41	Becker and Fricke (2004)
94	Στρείδια	σφαιρικό	αέρας	-10	3	23	Becker and Fricke (2004)
95	Χτένια	σφαιρικό	αέρας	-10	3	23	Becker and Fricke (2004)
96	Γαρίδες	κυλινδρικό	αέρας	-10	3	30	Becker and Fricke (2004)
97	Βοδινό στήθος	κυβικό ακανόνιστο	αέρας	-10	3	45	Becker and Fricke (2004)
98	Βοδινό συκώτι	κυβικό ακανόνιστο	αέρας	-10	3	45	Becker and Fricke (2004)
99	Βοδινό πλευρά	κυβικό ακανόνιστο	αέρας	-10	3	45	Becker and Fricke (2004)
100	Βοδινό κόντρα άπαχο	κυβικό ακανόνιστο	αέρας	-10	3	45	Becker and Fricke (2004)
101	Βοδινό ψαρονέφρι	κυβικό ακανόνιστο	αέρας	-10	3	45	Becker and Fricke (2004)
102	Βοδινό ψαρονέφρι άπαχο	κυβικό ακανόνιστο	αέρας	-10	3	45	Becker and Fricke (2004)
103	Βοδινή μπιριζόλα	κυβικό ακανόνιστο	αέρας	-10	3	45	Becker and Fricke (2004)
104	Χοιρινό λιπαρό	κυβικό ακανόνιστο	αέρας	-10	3	45	Becker and Fricke (2004)
105	Χοιρινό μπέικον	κυβικό ακανόνιστο	αέρας	-10	3	45	Becker and Fricke (2004)
106	Χοιρινή κοιλιά	κυβικό ακανόνιστο	αέρας	-10	3	45	Becker and Fricke (2004)
107	Χοιρινό με κόκκαλο	κυβικό ακανόνιστο	αέρας	-10	3	45	Becker and Fricke (2004)
108	Ζαμπόν άπαχο	κυβικό ακανόνιστο	αέρας	-10	3	45	Becker and Fricke (2004)
109	Χοιρινός ώμος	κυβικό ακανόνιστο	αέρας	-10	3	45	Becker and Fricke (2004)
110	Λουκάνικο Φρανκφούρτης	κυλινδρικό	αέρας	-10	3	45	Becker and Fricke (2004)
111	Λουκάνικο Ιταλικό	κυλινδρικό	αέρας	-10	3	45	Becker and Fricke (2004)

A/A	Προϊόν	Σχήμα	Μέσο ψύξης ^a	T _m [*]	U _{air}	h (W/m ² .°C)	Πηγή
Κρέατα-Θαλασσινά-Αυγά							
112	Λουκάνικο Πολωνίας	κυλινδρικό	αέρας	-10	3	45	Becker and Fricke (2004)
113	Λουκάνικο χοιρινό	κυλινδρικό	αέρας	-10	3	45	Becker and Fricke (2004)
114	Λουκάνικο καπνιστό	κυλινδρικό	αέρας	-10	3	45	Becker and Fricke (2004)
115	Κοτόπουλο	κυβικό ακανόνιστο	αέρας	-10	3	43	Lentz et al. 1969
116	Πάπια	κυβικό ακανόνιστο	αέρας	-10	3	43	Lentz et al. 1969
117	Γαλοπούλα	κυβικό ακανόνιστο	αέρας	-10	3	43	Lentz et al. 1969
118	Αυγό λευκό	σφαιρικό	αέρας	-10	3	34	Lentz et al. 1969
119	Αυγό λευκό αποξηραμένο	σφαιρικό	αέρας	-10	3	54	Lentz et al. 1969
120	Κρόκος αυγού	σφαιρικό	αέρας	-10	3	17	Lentz et al. 1969
121	Αρνί τεμαχισμένο άπαχο	κυβικό ακανόνιστο	αέρας	-10	3	45	Becker and Fricke (2004)
122	Αρνί πόδι άπαχο	κυβικό ακανόνιστο	αέρας	-10	3	45	Becker and Fricke (2004)
Γαλακτοκομικά							
123	Βούτυρο	κυλινδρικό	αέρας	-2	3	7.6	Becker and Fricke (2004)
124	Camembert	κυβικό ακανόνιστο	αέρας	-2	3	7.6	Becker and Fricke (2004)
125	Τσένταρ	επίπεδης πλάκας ή κυβικό	αέρας	4	3	7.6	Becker and Fricke (2004)
126	Γραβιέρα	κυλινδρικό	αέρας	4	3	7.6	Becker and Fricke (2004)
127	Τυρί κρέμα	επίπεδης πλάκας ή κυβικό	αέρας	4	3	7.6	Becker and Fricke (2004)
128	Γκούντα	κυλινδρικό	αέρας	4	3	7.6	Becker and Fricke (2004)
129	Μοτσαρέλα	επίπεδης πλάκας ή κυβικό	αέρας	4	3	7.6	Becker and Fricke (2004)
130	Παρμεζάνα σκληρή	επίπεδης πλάκας ή κυβικό	αέρας	4	3	7.6	Becker and Fricke (2004)
131	Τυρί Αμερικής	επίπεδης πλάκας ή κυβικό	αέρας	4	3	7.6	Becker and Fricke (2004)
132	Ροκφόρ	επίπεδης πλάκας ή κυβικό	αέρας	4	3	7.6	Becker and Fricke (2004)
133	Τυρί Ελβετικό	επίπεδης πλάκας ή κυβικό	αέρας	4	3	7.6	Becker and Fricke (2004)
134	Παγωτό σοκολάτα	επίπεδης πλάκας ή κυβικό	αέρας	-5	3	19	Smith et al. 1971
135	Παγωτό φράουλα	επίπεδης πλάκας ή κυβικό	αέρας	-5	3	19	Smith et al. 1971
136	Παγωτό βανίλια	επίπεδης πλάκας ή κυβικό	αέρας	-5	3	19	Smith et al. 1971

A/A	Προϊόν	Σχήμα	Μέσο ψύξης ^a	T _m [*]	U _{air}	h (W/m ² .°C)	Πηγή
Γαλακτοκομικά							
137	Γάλα συμπυκνωμένο	κυλινδρικό	αέρας	1	3	19	Smith et al. 1971
138	Γάλα εβαπορέ	κυλινδρικό	αέρας	1	3	23	Smith et al. 1971
139	Γάλα άπαχο	κυλινδρικό	αέρας	1	3	23	Smith et al. 1971
140	Γάλα πλήρης λιπαρών	κυλινδρικό	αέρας	1	3	23	Smith et al. 1971
141	Ορός γάλακτος αποξηραμένος	κυλινδρικό	αέρας	1	3	23	Smith et al. 1971
Διάφορα							
142	Αμύγδαλα	κυλινδρικό	αέρας	-3	3	51	Becker and Fricke (2004)
143	Λεπτοκάρυα	κυλινδρικό	αέρας	-3	3	51	Becker and Fricke (2004)
144	Φιστίκια	σφαιρικό	αέρας	-3	3	51	Becker and Fricke (2004)
145	Φιστίκια ψητά	σφαιρικό	αέρας	-3	3	51	Becker and Fricke (2004)
146	Πέκαν	σφαιρικό	αέρας	-3	3	51	Becker and Fricke (2004)
147	Καρύδια	σφαιρικό	αέρας	-3	3	51	Becker and Fricke (2004)
148	Καραμέλες	σφαιρικό	αέρας	5	3	51	Becker and Fricke (2004)
149	Ζαχαρωτά	κυβικό ακανόνιστο	αέρας	5	3	51	Becker and Fricke (2004)
150	Σοκολάτες γάλακτος	επίπεδης πλάκας ή κυβικό	αέρας	5	3	33	Becker and Fricke (2004)
151	Χυμός μήλου	κυλινδρικό	αέρας	3	3	21	Becker and Fricke (2004)
152	Χυμός γκρέιπφρουτ	κυλινδρικό	αέρας	3	3	21	Becker and Fricke (2004)
153	Χυμός σταφυλιού	κυλινδρικό	αέρας	3	3	21	Becker and Fricke (2004)
154	Χυμός λεμονιού	κυλινδρικό	αέρας	3	3	21	Becker and Fricke (2004)
155	Χυμός λάιμ	κυλινδρικό	αέρας	3	3	21	Becker and Fricke (2004)
156	Χυμός πορτοκαλιού	κυλινδρικό	αέρας	3	3	21	Becker and Fricke (2004)
157	Χυμός ανανά	κυλινδρικό	αέρας	3	3	21	Becker and Fricke (2004)
158	Χυμός δαμάσκηνου	κυλινδρικό	αέρας	3	3	21	Becker and Fricke (2004)
159	Χυμός ντομάτας	κυλινδρικό	αέρας	3	3	21	Becker and Fricke (2004)
160	Χυμός βύσινου	κυλινδρικό	αέρας	3	3	21	Becker and Fricke (2004)
161	Χυμός ανάμεικτος	κυλινδρικό	αέρας	3	3	21	Becker and Fricke (2004)
162	Σόδα	κυλινδρικό	αέρας	3	3	21	Becker and Fricke (2004)
163	Cola	κυλινδρικό	αέρας	3	3	21	Becker and Fricke (2004)
164	Σοκολατούχο γάλα	κυλινδρικό	αέρας	3	3	25	Becker and Fricke (2004)
165	Μέλι	κυλινδρικό	αέρας	15	3	55	Becker and Fricke (2004)
166	Σιρόπι	κυλινδρικό	αέρας	15	3	100	Becker and Fricke (2004)
167	Ποπ κορν	κυβικό ακανόνιστο	αέρας	2	3	14	Becker and Fricke (2004)
168	Μαγιά αρτοποιείας	κυβικό ακανόνιστο	αέρας	N/A	N/A	N/A	N/A

Πηγή: ASHRAE Handbooks-Fundamentals 2010 ch. 19

a: Το μέσο ψύξης που επιλέχθηκε για όλα τα προϊόντα είναι αέρας λόγω της απλότητας της κατασκευής.

*: Οι θερμοκρασίες του αέρα εντός του θαλάμου είναι προτιμώμενες αλλά τυχαίες.

U_{air}: Η ταχύτητα του αέρα εντός του ψυκτικού θαλάμου.

Πίνακας 1.11 Συσχέτιση αριθμού Nusselts με τους αριθμούς Prandtl και Reynolds για διάφορα τρόφιμα

Προϊόν	Συσχέτιση
Εσπεριδοειδή μικρού μεγέθους	$Nu=5.05Re^{0.333}$
Εσπεριδοειδή μεγάλου μεγέθους	$Nu=1.17Re^{0.529}$
Σταφύλια	$Nu=0.291Re^{0.592}Pr^{0.333}$
Σύκα νοπά	$Nu=1.56Re^{0.426}Pr^{0.333}$
Αχλάδια	$Nu=1.56Re^{0.426}Pr^{0.333}$
Φασόλια	$Nu=0.016Re^{0.95}$
Αγγούρια	$Nu=0.291Re^{0.592}Pr^{0.333}$
Σκουός	$Nu=1.07Re^{0.64}$
Πατάτες	$Nu=0.364Re^{0.558}Pr^{0.333}$
Ντομάτες	$Nu=1.56Re^{0.426}Pr^{0.333}$
Μοσχαρίσιο κρέας	$Nu=1.37Re^{0.282}Pr^{0.3}$
Χοιρινό κρέας	$Nu=0.629Re^{0.564}$
Αρνίσιο κρέας	$Nu=0.55Re^{0.541}Pr^{0.3}$
Ψάρια	$Nu=0.0154Re^{0.818}Pr^{0.3}$
Πουλερικά	$Nu=0.0378Re^{0.837}Pr^{0.3}$
Λουκάνικα	$Nu=7.14Re^{0.170}Pr^{0.3}$
Δοχεία φύλαξης γάλακτος	$Nu=1.95Re^{0.401}Pr^{0.333}$
Δοχεία φύλαξης χυμών	$Nu=2.58Re^{0.303}Pr^{0.333}$

Πηγή: ASHRAE Handbooks-Fundamentals 2010 ch. 19

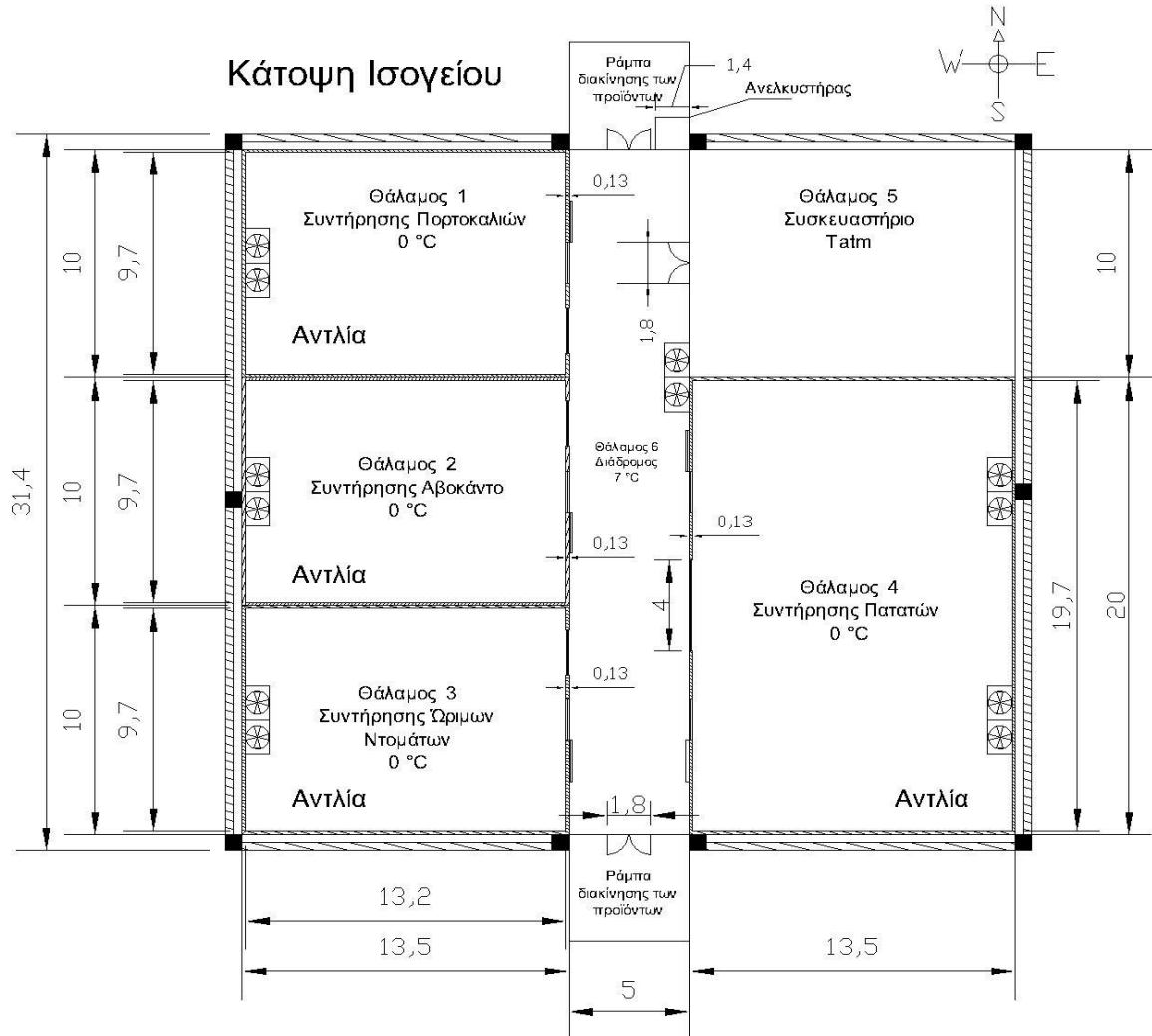
Πίνακας 1.12 Φυσικές ιδιότητες αέρα ψύξης

Θερμοκρασία (°C)	Ιξώδες μ (kg/m.s *10 ⁵)	Θερμική αγωγιμότητα (W/m.°C)	Ειδική θερμοχωρητικότητα (kJ/kg. °C)	Ποκνότητα σε 1 atm (Kg/m ³)
-40	1.519	0.02102	1002	1.513
-20	1.624	0.02258	1002	1.394
0	1.724	0.02411	1002	1.292
20	1.822	0.02560	1003	1.204
40	1.916	0.02707	1003	1.127
60	2.008	0.02851	1004	1.059
80	2.097	0.02992	1005	0.999
100	2.183	0.03131	1007	0.946
120	2.267	0.03268	1009	0.897

Πηγή: Πίνακες ιδιοτήτων νερού υδρατμού, εκδόσεις Φούντα

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ-Σχέδια εγκατάστασης

Κάτοψη ισογείου



Κάτοψη ορόφου

