



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

ΘΕΜΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ :

“ΨΥΚΤΙΚΟΙ ΘΑΛΑΜΟΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ ΚΑΙ
ΘΕΡΜΟΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΑΥΤΩΝ”

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ ΦΟΙΤΗΤΗ: ΑΝΔΡΕΑΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ: ΕΙΡΗΝΗ ΚΟΡΩΝΑΚΗ
ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ Ε.Μ.Π

ΑΘΗΝΑ 2015

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με αφορμή την εκπόνηση της διπλωματικής μου εργασίας στα πλαίσια των σπουδών μου στη σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών θα ήθελα να εκφράσω θερμές ευχαριστίες σε εκείνους τους ανθρώπους που συνέβαλλαν στη επιτυχή ολοκλήρωση της.

Καταρχήν στη επιβλέπουσα καθηγήτρια μου κ. Ε.Κορωνάκη, για την ανάθεση του θέματος, τη βιβλιογραφία και τις πολύτιμες πληροφορίες που μου παρείχε σχετικά με το συγκεκριμένο θέμα, τη συνεχή καθοδήγηση και εποπτεία της εργασίας,τη παρότρυνση, την υπομονή και το χρόνο που μου προσέφερε για να ολοκληρωθεί επιτυχώς.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για τη διαρκή στήριξη ηθική και υλική που προσφέρει όλα αυτά τα χρόνια

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο 1^ο Κεφάλαιο παρουσιάζονται οι μέθοδοι υπολογισμού θερμοφυσικών ιδιοτήτων των τροφίμων ενώ παρατίθενται παραδείγματα και πίνακες δεδομένων μετρήσεως των παραπάνω για ποικιλία τροφίμων. Το 2^ο Κεφάλαιο εξετάζει επιλεγμένες αναλυτικές διαδικασίες για τον υπολογισμό των χρόνων ψύξης-κατάψυξης τροφίμων δια συναγωγής με ρεύμα αέρα και γίνονται εφαρμογές για καλύτερη κατανόηση. Στο 3^ο Κεφάλαιο καταγράφονται πληροφορίες για τις προϋποθέσεις ψυχρής αποθήκευσης αναλώσιμων τροφίμων και οι πιο σημαντικές εμφανίζονται σε αναλυτικούς πίνακες. Επίσης εξετάζονται οι συνθήκες που πρέπει να επικρατούν για βέλτιστη λειτουργία ενός ψυκτικού θαλάμου. Το 4^ο Κεφάλαιο εξετάζει συνοπτικά τη μικροβιολογία των τροφίμων και τα αποτελέσματα των αποφάσεων σχεδιασμού όσο αφορά τη παραγωγή ασφαλών για τη ανθρώπινη υγεία τροφίμων. Στο 5^ο Κεφάλαιο παρουσιάζεται ο ευρύτερος σχεδιασμός ενός ψυκτικού συγκροτήματος αναλύοντας θέματα από τη χωροθέτηση και εσωτερική-εξωτερική διαμόρφωση κτιριακών εγκαταστάσεων έως και κατασκευαστικά ζητήματα για τη βέλτιστη σφράγιση των θαλάμων. Ιδιαίτερη αναφορά γίνεται στη λειτουργία και τοποθέτηση των συστημάτων ψύξεως εντός του ψυκτικού συγκροτήματος. Το 6^ο Κεφάλαιο περιλαμβάνει μεθόδους υπολογισμού των επιμέρους φορτίων ενός ολικού ψυκτικού φορτίου που οφείλει να καλύψει η ψυκτική εγκατάσταση.

INTRODUCTION

Chapter 1 summarizes prediction methods for estimating thermophysical properties of foods and beverages along with examples. Tables of measured thermophysical property data for various foods and beverages are also provided. Chapter 2 reviews selected procedures available for estimating the air-blast convective cooling and freezing times of foods and beverages. These procedures are followed by examples for deeper understanding. Chapter 3 presents information on storage requirements of many perishable foods that enter the market on a commercial scale. Most of the previous data is tabulated for easier use. Furthermore, the environmental conditions that should be observed for the optimum operation of a refrigerated storage plant are outlined. Chapter 4 briefly discusses the microbiology of foods and the effect of design decisions on the production of safe and wholesome foods. Chapter 5 presents the general design of a refrigerated facility. This includes many issues from location and inner-outer configuration of building to construction methods for the most efficient sealing of the refrigerated chambers. Moreover, the installation and operation of refrigeration systems within the refrigerated facility is analytically discussed. Finally chapter 6 contains load calculating procedures and data for the segments of the total heat load a refrigeration system is to be provided.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

1.ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΤΡΟΦΙΜΩΝ.....	7
Θερμικές ιδιότητες των συστατικών των τροφίμων.....	8
Θερμικές ιδιότητες των τροφίμων.....	8
Περιεχόμενο νερό.....	9
Αρχικό σημείο στερεοποίησεως.....	9
Κλάσμα(μάζας) πάγου.....	9
Πυκνότητα.....	17
Ειδική θερμοχωρητικότητα.....	17
Ενθαλπία.....	20
Θερμική αγωγιμότητα.....	25
Θερμική διάχυση.....	39
Θερμότητα αναπνοής.....	40
Διαφυγή υγρασίας φρέσκων φρούτων και λαχανικών.....	47
Συντελεστής συναγωγής θερμότητας.....	51
Αξιολόγηση των μοντέλων θερμοφυσικών ιδιοτήτων.....	52
2.ΧΡΟΝΟΙ ΨΥΞΕΩΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΨΥΞΕΩΣ ΤΩΝ ΤΡΟΦΙΜΩΝ.....	56
Θερμοδυναμική ψύξης και κατάψυξης.....	57
Χρόνος ψύξης τροφίμων/αναψυκτικών.....	57
Ενδεικτικές εφαρμογές υπολογισμού του χρόνου ψύξης.....	67
Χρόνος κατάψυξης τροφίμων/αναψυκτικών.....	71
Ενδεικτικές εφαρμογές υπολογισμού του χρόνου κατάψυξης.....	86
3.ΠΡΟΥΠΟΘΕΣΕΙΣ ΨΥΧΡΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ.....	91
Αποθήκευση υπό ψύξη.....	91
Λειτουργία μονάδας ψυχρής αποθήκευσης.....	107
Αποθήκευση κατεψυγμένων τροφίμων.....	110
Διάφορα άλλα προϊόντα.....	110
4.ΜΙΚΡΟΒΙΟΛΟΓΙΑ ΤΡΟΦΙΜΩΝ ΚΑΙ ΨΥΞΗ.....	112
Βασική μικροβιολογία.....	112
Προϋποθέσεις κρίσιμης μικροβιακής ανάπτυξης.....	114
Σχεδιασμός για το έλεγχο των μικροοργανισμών.....	120
Ο ρόλος του HACCP.....	122
Υγιεινή των συγκροτημάτων.....	123
5.ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΨΥΚΤΙΚΩΝ ΣΥΓΚΡΟΤΗΜΑΤΩΝ.....	124
Αρχική μελέτη των κτιριακών εγκαταστάσεων.....	125
Συστήματα ψύξεως(ψυκτικές εγκαταστάσεις).....	144
Τεχνικές μόνωσης.....	158
Εφαρμογή της μόνωσης.....	161
Εξέταση υπόλοιπων θεμάτων.....	167

6.ΦΟΡΤΙΑ ΨΥΚΤΙΚΟΥ ΣΥΓΚΡΟΤΗΜΑΤΟΣ.....	170
Φορτία μετάδοσης.....	170
Φορτία προϊόντων.....	177
Φορτία εσωτερικής λειτουργίας.....	180
Φορτία διείσδυσης αέρα(ή φορτία εναλλαγών αέρα).....	182
Συντελεστής ασφάλειας.....	191
Ποικιλία φορτίων.....	196
7. ΣΥΝΟΨΗ.....	198
8.ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	200

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο : ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι θερμικές ιδιότητες των τροφίμων και των αναψυκτικών πρέπει να είναι γνωστές ώστε να προχωρήσουμε στους διάφορους υπολογισμούς της μεταφοράς θερμότητας που χρειάζονται αφενός για τη σχεδίαση των χώρων ψυχρής αποθήκευσης και της εγκατάστασης ψύξης και αφετέρου για τη διαδικασία υπολογισμού των χρόνων ψύξης, κατάψυξης, θέρμανσης ή ξήρανσης των ανωτέρω. Επειδή οι θερμικές ιδιότητες των τροφίμων και των αναψυκτικών εξαρτώνται έντονα από τη χημική σύσταση και την θερμοκρασία τους και λόγω του γεγονότος ότι υπάρχουν πολλά είδη τροφίμων είναι σχεδόν αδύνατον να προσδιορίσουμε πειραματικά και να ταξινομήσουμε σε πίνακες τις θερμικές ιδιότητες των τροφίμων και αναψυκτικών για όλες τις πιθανές συνθήκες και συνθέσεις. Παρόλα αυτά δεδομένα σύνθεσης για τα τρόφιμα και αναψυκτικά είναι ήδη διαθέσιμα από πηγές όπως οι Holland et al (1991) και η USDA(1975). Αυτά τα στοιχεία περιλαμβάνουν τα κλάσματα μάζας των πιο σημαντικών συστατικών στοιχείων που υπάρχουν στα τρόφιμα. Οι θερμικές ιδιότητες των τροφίμων μπορούν να προβλεφθούν χρησιμοποιώντας τα παραπάνω δεδομένα σύνθεσης σε συνεργασία με θερμοκρασιακά εξαρτώμενα μαθηματικά μοντέλα των θερμικών ιδιοτήτων των ξεχωριστών συστατικών στοιχείων. Οι θερμοφυσικές ιδιότητες που συχνά απαιτούνται για υπολογισμούς μεταφοράς θερμότητας περιλαμβάνουν τα εξής: πυκνότητα ρ , ειδική θερμοχωρητικότητα c , ενθαλπία H , θερμική αγωγιμότητα k και θερμική διάχυση α . Επίσης αν το τρόφιμο είναι βιολογικά ενεργός οργανισμός όπως τα φρέσκα φρούτα ή λαχανικά, τότε παράγει θερμότητα δια της αναπνοής του και αφυδατώνεται μέσω της διαφυγής υγρασίας (transpiration). Οι δύο αυτές διαδικασίες πρέπει απαραίτητως να συμπεριλαμβάνονται στους υπολογισμούς της μεταφοράς θερμότητας. Το κεφάλαιο αυτό συνοψίζει τις μεθόδους πρόβλεψης για τον υπολογισμό των θερμοφυσικών ιδιοτήτων αυτών. Πίνακες δεδομένων θερμοφυσικών ιδιοτήτων που έχουν μετρηθεί για διάφορα τρόφιμα και ποτά επίσης δίδονται.

Πίνακας 1 Μοντέλα θερμικών ιδιοτήτων σε συστατικά των τροφίμων(-40≤t≤150⁰C)

Θερμικές ιδιότητες	Συστατικά τροφίμων	Μοντέλο θερμικής ιδιότητας
Θερμική αγωγιμότητα, W/mK	Πρωτεΐνες	$k= 1.7881 \times 10^{-1} + 1.1958 \times 10^{-3}t - 2.7178 \times 10^{-6}t^2$
	Λίπη	$k= 1.8071 \times 10^{-1} - 2.7604 \times 10^{-4}t - 1.7749 \times 10^{-7}t^2$
	Υδρογονάνθρακες	$k= 2.0141 \times 10^{-1} + 1.3874 \times 10^{-3}t - 4.3312 \times 10^{-6}t^2$
	Ίνες	$k= 1.8331 \times 10^{-1} + 1.2497 \times 10^{-3}t - 3.1683 \times 10^{-6}t^2$
	Τέφρα	$k= 3.2962 \times 10^{-1} + 1.4011 \times 10^{-3}t - 2.9069 \times 10^{-6}t^2$
Θερμική διάχυση, m ² /s	Πρωτεΐνες	$\alpha= 6.8714 \times 10^{-8} + 4.7578 \times 10^{-10}t - 1.4646 \times 10^{-12}t^2$
	Λίπη	$\alpha= 9.8777 \times 10^{-8} - 1.2569 \times 10^{-11}t - 3.8286 \times 10^{-14}t^2$
	Υδρογονάνθρακες	$\alpha= 8.0842 \times 10^{-8} + 5.3052 \times 10^{-10}t - 2.3218 \times 10^{-12}t^2$
	Ίνες	$\alpha= 7.3976 \times 10^{-8} + 5.1902 \times 10^{-10}t - 2.2202 \times 10^{-12}t^2$
	Τέφρα	$\alpha= 1.2461 \times 10^{-7} + 3.7321 \times 10^{-10}t - 1.2244 \times 10^{-12}t^2$
Πυκνότητα, kg/m ³	Πρωτεΐνες	$\rho= 1.3299 \times 10^3 - 5.1840 \times 10^{-1}t$
	Λίπη	$\rho= 9.2559 \times 10^2 - 4.1757 \times 10^{-1}t$
	Υδρογονάνθρακες	$\rho= 1.5991 \times 10^3 - 3.1046 \times 10^{-1}t$
	Ίνες	$\rho= 1.3115 \times 10^3 - 3.6589 \times 10^{-1}t$
	Τέφρα	$\rho= 2.4238 \times 10^3 - 2.8063 \times 10^{-1}t$

Ειδική θερμοχωρητικότητα, kJ/kgK	Πρωτεΐνες	$c_p = 2.0082 + 1.2089 \times 10^{-3}t - 1.3129 \times 10^{-6}t^2$
	Λίπη	$c_p = 1.9842 + 1.4733 \times 10^{-3}t - 4.8008 \times 10^{-6}t^2$
	Υδρογονάνθρακες	$c_p = 1.5488 + 1.9625 \times 10^{-3}t - 5.9399 \times 10^{-6}t^2$
	Ίνες	$c_p = 1.8459 + 1.8306 \times 10^{-3}t - 4.6509 \times 10^{-6}t^2$
	Τέφρα	$c_p = 1.0926 + 1.8896 \times 10^{-3}t - 3.6817 \times 10^{-6}t^2$
Πηγή: Choi και Okos (1986)		

ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΣΥΣΤΑΤΙΚΩΝ ΤΩΝ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

Τα συνήθη συστατικά στοιχεία που βρίσκονται στα τρόφιμα είναι: νερό, πρωτεΐνες, λίπη, υδρογονάνθρακες, ίνες και τέφρα(ash). Οι Choi και Okos(1986) ανέπτυξαν μαθηματικά μοντέλα που προβλέπουν τις θερμικές ιδιότητες των προαναφερθέντων συστατικών συναρτήσει της θερμοκρασίας σε ένα εύρος από -40°C έως και 150°C (πίνακας 1). Επιπλέον ανέπτυξαν μοντέλα πρόβλεψης των θερμικών ιδιοτήτων για το νερό και το πάγο(πίνακας 2). Ο πίνακας 3 περιέχει σε κατάλογο τη σύνθεση διαφόρων τροφίμων συμπεριλαμβανομένης της κατά μάζα σύστασης των : νερό (υγρασία), πρωτεΐνες, λίπη, υδρογονάνθρακες, ίνες και τέφρα(USDA 1996).

ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

Γενικά οι θερμοφυσικές ιδιότητες ενός τροφίμου ή αναψυκτικού ποτού έχουν ομαλή συμπεριφορά όταν η θερμοκρασία είναι πάνω από το αρχικό σημείο στερεοποίησης αυτού. Όμως κάτω του αρχικού σημείου στερεοποίησης οι θερμοφυσικές ιδιότητες κυμαίνονται σημαντικά εξαιτίας των σύνθετων διαδικασιών που συνεπάγεται η κατάψυξη. Το αρχικό σημείο στερεοποίησης ενός τροφίμου είναι λίγο χαμηλότερο από το αντίστοιχο του καθαρού νερού λόγω διαλυτών στερεών συστατικών στο νερό του τροφίμου. Στο αρχικό σημείο στερεοποίησης κάποιο ποσό νερού του τροφίμου κρυσταλλοποιείται και το υπόλοιπο διάλυμα αποκτά μεγαλύτερη συγκέντρωση. Επίσης το σημείο στερεοποίησης του μη κατεψυγμένου τμήματος του τροφίμου μειώνεται περαιτέρω. Η θερμοκρασία συνεχίζει να πέφτει καθώς η απομάκρυνση των παγοκρυστάλλων αυξάνει τη συγκέντρωση των διαλυτών στερεών συστατικών στο διάλυμα και υποβιβάζει το σημείο στερεοποίησης περαιτέρω. Έτσι τα κλάσματα μάζας του πάγου και του νερού στο κατεψυγμένο τρόφιμο είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας. Επειδή οι θερμοφυσικές ιδιότητες του πάγου και του νερού είναι αρκετά διαφορετικές οι θερμοφυσικές ιδιότητες των κατεψυγμένων τροφίμων ποικίλλουν σημαντικά με τη θερμοκρασία. Επιπρόσθετα οι θερμοφυσικές ιδιότητες ενός τροφίμου άνω και κάτω του σημείου στερεοποίησης είναι σημαντικά διαφορετικές.

Πίνακας 2 Μοντέλα θερμικών ιδιοτήτων για Νερό και Πάγο($-40 \leq t \leq 150^{\circ}\text{C}$)

	Θερμικές ιδιότητες	Μοντέλο θερμικής ιδιότητας
Νερό	Θερμική αγωγιμότητα, W/mK	$k_w = 5.7109 \times 10^{-1} + 1.7625 \times 10^{-3}t - 6.7036 \times 10^{-6}t^2$
	Θερμική διάχυση, m^2/s	$\alpha = 1.3168 \times 10^{-7} + 6.2477 \times 10^{-10}t - 2.4022 \times 10^{-12}t^2$
	Πυκνότητα, kg/m^3	$\rho_w = 9.9718 \times 10^2 + 3.1439 \times 10^{-3}t - 3.7574 \times 10^{-3}t^2$
	Ειδική θερμοχωρητικότητα, kJ/kgK(Για θερμοκρασίες από -40 έως 0°C)	$c_w = 4.1289 - 5.3062 \times 10^{-3}t + 9.9516 \times 10^{-4}t^2$
	Ειδική θερμοχωρητικότητα, kJ/kgK(Για θερμοκρασίες από 0 έως 150°C)	$c_w = 4.1762 - 9.0864 \times 10^{-5}t + 5.4731 \times 10^{-6}t^2$

Πάγος	Θερμική αγωγιμότητα, W/mK	$k_{ice} = 2.2196 - 6.2489 \times 10^{-3}t + 1.0154 \times 10^{-4}t^2$
	Θερμική διάχυση, m^2/s	$\alpha = 1.1756 \times 10^{-6} - 6.0833 \times 10^{-9}t + 9.5037 \times 10^{-11}t^2$
	Πυκνότητα, kg/m^3	$\rho_{ice} = 9.1689 \times 10^2 - 1.3071 \times 10^{-1}t$
	Ειδική θερμοχωρητικότητα, kJ/kgK	$c_{ice} = 2.0623 + 6.0769 \times 10^{-3}t$

Πηγή: Choi και Okos (1986)

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟ ΝΕΡΟ

Το περιεχόμενο νερό στα τρόφιμα επηρεάζει σημαντικά τις θερμοφυσικές ιδιότητες τους επειδή είναι το κυρίαρχο συστατικό στοιχείο στα περισσότερα. Μέσες τιμές της περιεχόμενης υγρασίας σαν κλάσμα μάζας (%) δίνονται στο πίνακα 3. Στα φρούτα και λαχανικά το περιεχόμενο νερό διαφέρει ανάλογα με τη ποικιλία καθώς και το στάδιο ανάπτυξης ή ωρίμανσης όταν έγινε η συγκομιδή, τις ιδιαίτερες συνθήκες ανάπτυξης και το ποσό της υγρασίας που χάθηκε αμέσως μετά τη συγκομιδή. Γενικά οι τιμές που δίνονται στο πίνακα 3 αφορούν ώριμα προϊόντα αμέσως μετά τη συγκομιδή. Στο νωπό κρέας οι τιμές του περιεχόμενου νερού του πίνακα 3 είναι τη στιγμή της θανάτωσης ή μετά τη συνήθη περίοδο της ωρίμανσης ενώ για καπνιστά ή επεξεργασμένα προϊόντα το ποσό νερού εξαρτάται από το είδος της συγκεκριμένης διαδικασίας ή προϊόντος.

ΑΡΧΙΚΟ ΣΗΜΕΙΟ ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΕΩΣ

Τα τρόφιμα και αναψυκτικά δεν καταψύχονται εντελώς σε μια τιμή θερμοκρασίας, αλλά μάλλον σε ένα εύρος θερμοκρασιών. Ακριβέστερα τα τρόφιμα με υψηλή περιεκτικότητα σε σάκχαρα ή με μεγάλης συγκέντρωσης σιρόπι μπορεί ποτέ να μην καταψυχθούν πλήρως ακόμη και σε τυπικές θερμοκρασίες καταψύξεως στο ψυκτικό θάλαμο. Οπότε δεν υπάρχει ένα χαρακτηριστικό σημείο στερεοποίησης για τρόφιμα και αναψυκτικά αλλά μόνο ένα αρχικό σημείο στερεοποίησης στο οποίο ξεκινά η κρυσταλλοποίηση. Το αρχικό σημείο στερεοποίησης τροφίμων και αναψυκτικών είναι σημαντικό όχι μόνο για το προσδιορισμό των κατάλληλων συνθηκών ψυχρής αποθήκευσης αλλά και για τον υπολογισμό των θερμοφυσικών τους ιδιοτήτων. Κατά τη διάρκεια ψυχρής αποθήκευσης φρέσκων φρούτων και λαχανικών, για παράδειγμα, η θερμοκρασία των προϊόντων πρέπει να διατηρείται πάνω από το αρχικό σημείο στερεοποίησης ώστε να αποφεύγονται πιθανές κακώσεις ψύχους. Επιπλέον επειδή συμβαίνουν σημαντικές αλλαγές στις θερμοφυσικές ιδιότητες των τροφίμων καθώς καταψύχονται, το αρχικό σημείο στερεοποίησης του τροφίμου πρέπει να είναι γνωστό ώστε να προσδιοριστούν με ακρίβεια οι θερμοφυσικές του ιδιότητες. Πειραματικά προσδιορισμένες τιμές του ανωτέρω σημείου για τρόφιμα και αναψυκτικά ποτά δίνονται στο πίνακα 3.

ΚΛΑΣΜΑ(ΜΑΖΑΣ) ΠΑΓΟΥ

Για να προσδιορίσουμε τις θερμοφυσικές ιδιότητες των κατεψυγμένων τροφίμων, που εξαρτώνται έντονα από το κλάσμα πάγου στο τρόφιμο, το κλάσμα μάζας του νερού που έχει κρυσταλλοποιηθεί πρέπει να προσδιοριστεί. Κάτω από το αρχικό σημείο στερεοποίησης το κλάσμα μάζας του νερού που έχει κρυσταλλοποιηθεί εντός του τροφίμου είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας του. Γενικά τα τρόφιμα αποτελούνται από νερό, διαλυτά στερεά και αδιάλυτα. Κατά τη διάρκεια της καταψύξεως καθώς κάποια ποσότητα του νερού κρυσταλλοποιείται, η περιεκτικότητα των διαλυτών στερεών στο υπόλοιπο διάλυμα υγρού νερού συνεχώς αυξάνεται μειώνοντας έτσι τη

θερμοκρασία στερεοποίησης και άρα και καταψύξεως. Αυτό το μη στερεοποιημένο διάλυμα μπορούμε να υποθέσουμε ότι ακολουθεί την εξίσωση υποβιβασμού του σημείου στερεοποίησης που δίνεται από το νόμο του Raoult(Pham 1987). Έτσι βασιζόμενος στο νόμο του Raoult ο Chen(1985) πρότεινε το ακόλουθο μοντέλο για τη εύρεση του κλάσματος μάζας του πάγου x_{ice}

$$x_{ice} = \frac{x_s R T_0^2 (t_f - t)}{M_s L_0 t_f t} \quad (1)$$

όπου:

x_s =κλάσμα μάζας των στερεών συστατικών στο τρόφιμο

M_s =σχετική μοριακή μάζα των διαλυτών στερεών συστατικών σε kg/kmole

R =παγκόσμια σταθερά των τελείων αερίων που είναι=8.314 kJ/kmoleK

T_0 = θερμοκρασία στερεοποίησης του νερού=273.2 K

L_0 =λανθάνουσα θερμότητα στερεοποίησης του νερού στη T_0 είναι=333.6 kJ/kg

t_f =αρχικό σημείο στερεοποίησης του τροφίμου σε °C

t =θερμοκρασία του τροφίμου σε °C

Η σχετική μοριακή μάζα των διαλυτών στερεών συστατικών του τροφίμου υπολογίζεται όπως παρακάτω:

$$M_s = \frac{x_s R T_0^2}{-(x_{w0} - x_b) L_0 t_f} \quad (2)$$

όπου x_{w0} =το κλάσμα μάζας του νερού στο μη κατεψυγμένο τρόφιμο και x_b =το κλάσμα μάζας του χημικά δεσμευμένου νερού (Schwartzberg 1976). Το χημικά δεσμευμένο νερό είναι το τμήμα του νερού σε ένα τρόφιμο που είναι συνδεδεμένο με τα στερεά συστατικά του τροφίμου οπότε δεν δύναται να στερεοποιηθεί και μπορεί να υπολογιστεί με τη σχέση

$$x_b = 0.4 x_p \quad (3)$$

όπου x_p το κλάσμα μάζας των πρωτεϊνών στο τρόφιμο.

Αντικατάσταση της (2) στην (1) δίνει ένα απλό τρόπο να βρούμε το κλάσμα πάγου(Miles 1974):

$$x_{ice} = (x_{w0} - x_b) \left(1 - \frac{t_f}{t} \right) \quad (4)$$

Επειδή η εξίσωση (4) υποτιμά το κλάσμα πάγου σε θερμοκρασίες κοντά στο αρχικό σημείο στερεοποίησης και το υπερτιμά σε χαμηλότερες θερμοκρασίες, ο Tchingeon (1979) πρότεινε τη παρακάτω εμπειρική σχέση για το υπολογισμό του κλάσματος πάγου:

$$x_{ice} = \frac{1.105 x_{w0}}{1 + \frac{0.7138}{\ln(t_f - t + 1)}} \quad (5)$$

Ο Fikiin(1996) επισημαίνει ότι η εξίσωση (5) έχει εφαρμογή σε ένα ευρύ φάσμα τροφίμων και παρέχει ικανοποιητική ακρίβεια.

Πίνακας 3 Για μη-κατεψυγμένα τρόφιμα δεδομένα σύνθεσης, Αρχικό σημείο στερεοποίησης και ειδική θερμοχωρητικότητα

Τεμάχια τροφίμων	Περιεχόμενο υγρασίας % x_{w0}	Πρωτεΐνες % x_p	Λίπη % x_f	Υδρογονάνθρακες			Αρχικό σημείο στερεοποίησης $^{\circ}\text{C}$	Ειδική θερμοχωρητικότητα άνω στερεοποίησης kJ/kgK	Ειδική θερμοχωρητικότητα κάτω στερεοποίησης kJ/kgK	Λανθάνουσα θερμότητα στερεοποίησης kJ/kg
				Σύνολο % x_c	Ίνες % x_{fb}	Τέφρα % x_a				
Λαχανικά										
Αγκινάρες	84.94	3.27	0.15	10.51	5.40	1.13	-1.2	3.90	2.02	284
Ιερουσαλήμ	78.01	2.00	0.01	17.44	1.60	2.54	-2.5	3.63	2.25	261
Σπαράγγια	92.40	2.28	0.20	4.54	2.10	0.57	-0.6	4.03	1.79	309
Πράσινα φασόλακια	90.27	1.82	0.12	7.14	3.40	0.66	-0.7	3.99	1.85	302
Φασόλια(impa)	70.24	6.84	0.86	20.16	4.90	1.89	-0.6	3.52	2.07	235
Παντζάρια	87.58	1.61	0.17	9.56	2.80	1.08	-1.1	3.91	1.94	293
Μπρόκολα	90.69	2.98	0.35	5.24	3.00	0.92	-0.6	4.01	1.82	303
Λάχανακια Βρυξελλών	86.00	3.38	0.30	8.96	3.80	1.37	-0.8	3.90	1.91	287
Λάχανο	92.15	1.44	0.27	5.43	2.30	0.71	-0.9	4.02	1.85	308
Καρότα	87.79	1.03	0.19	10.14	3.00	0.87	-1.4	3.92	2.00	293
Κουνουπίδι	91.91	1.98	0.21	5.20	2.50	0.71	-0.8	4.02	1.84	307
Σελινόριζα	88.00	1.50	0.30	9.20	1.80	1.00	-0.9	3.90	1.89	294
Σέλινό	94.64	0.75	0.14	3.65	1.70	0.82	-0.5	4.07	1.74	316
Λάχανο (collards)	90.55	1.57	0.22	7.11	3.60	0.55	-0.8	4.01	1.86	302
Καλαμπόκι γλυκό κίτρινο	75.96	3.22	1.18	19.02	2.70	0.62	-0.6	3.62	1.98	254
Αγγούρια	96.01	0.69	0.13	2.76	0.80	0.41	-0.5	4.09	1.71	321
Μελιντζάνες	92.03	1.02	0.18	6.07	2.50	0.71	-0.8	4.02	1.83	307
Αντίδια	93.79	1.25	0.20	3.35	3.10	1.41	-0.1	4.07	1.69	313
Σκόρδα	58.58	6.36	0.50	33.07	2.10	1.50	-0.8	3.17	2.19	196
Ρίζες ginger	81.67	1.74	0.73	15.09	2.00	0.77	-----	3.75	1.94	273
Αγριοράπανο	78.66	9.40	1.40	8.28	2.00	2.26	-1.8	3.70	2.12	263
Λάχανο(kale)	84.46	3.30	0.70	10.01	2.00	1.53	-0.5	3.82	1.86	282
Λάχανο (kohlrabi)	91.00	1.70	0.10	6.20	3.60	1.00	-1.0	4.02	1.90	304
Πράσα	83.00	1.50	0.30	14.15	1.80	1.05	-0.7	3.77	1.91	277
Μαρούλια	95.89	1.01	0.19	2.09	1.40	0.48	-0.2	4.09	1.65	320
Μανιτάρια	91.81	2.09	0.42	4.65	1.20	0.89	-0.9	3.99	1.84	307
Μπάμιες	89.58	2.00	0.10	7.63	3.20	0.70	-1.8	3.97	2.05	299
Κρεμμύδια	89.68	1.16	0.16	8.63	1.80	0.37	-0.9	3.95	1.87	300
Ξηρές νιφάδες	3.93	8.95	0.46	83.28	9.20	3.38	-----	----	-----	13
Μαϊντανός	87.71	2.97	0.79	6.33	3.30	2.20	-1.1	3.93	1.94	293
Παστινάκια	79.53	1.20	0.30	17.99	4.90	0.98	-0.9	3.74	2.02	266
Μπιζέλια πράσινα	78.86	5.42	0.40	14.46	5.10	0.87	-0.6	3.75	1.98	263
Πιπεριές ξηρές δια ψύξεως	2.00	17.90	3.00	68.70	21.30	8.40	-----	-----	-----	7
Γλυκές πράσινες	92.19	0.89	0.19	6.43	1.80	0.30	-0.7	4.01	1.80	308
Πατάτες κύριας σοδειάς	78.96	2.07	0.10	17.98	1.60	0.89	-0.6	3.67	1.93	264
Γλυκές	72.84	1.65	0.30	24.28	3.00	0.95	-1.3	3.48	2.09	243

Κολοκυθάκια	91.60	1.00	0.10	6.50	0.50	0.80	-0.8	3.97	1.81	306
Ραπανάκια	94.84	0.60	0.54	3.59	1.60	0.54	-0.7	4.08	1.77	317
Ραβέντι	93.61	0.90	0.20	4.54	1.80	0.76	-0.9	4.05	1.83	313
Μέγα γογγύλιο	89.66	1.20	0.20	8.13	2.50	0.81	-1.1	3.96	1.92	299
Φυτό salsify	77.00	3.30	0.20	18.60	3.30	0.90	-1.1	3.65	2.05	257
Σπανάκι	91.58	2.86	0.35	3.50	2.70	1.72	-0.3	4.02	1.75	306
Λαχανικό squash, καλοκαίρι	94.20	0.94	0.24	4.04	1.90	0.58	-0.5	4.07	1.74	315
Χειμώνα	87.78	0.80	0.10	10.42	1.50	0.90	-0.8	3.89	1.87	293
Ντομάτες ώριμες πράσινες	93.00	1.20	0.20	5.10	1.10	0.50	-0.6	4.02	1.77	311
Ντομάτες σε ωρίμανση	93.76	0.85	0.33	4.64	1.10	0.42	-0.5	4.08	1.79	313
Γογγύλια	91.87	0.90	0.10	6.23	1.80	0.70	-1.1	4.00	1.88	307
Πράσινα	91.07	1.50	0.30	5.73	3.20	1.40	-0.2	4.01	1.74	304
Κάρδαμο	95.11	2.30	0.10	1.29	1.50	1.20	-0.3	4.08	1.69	318
Γλυκοπατάτες	69.60	1.53	0.17	27.89	4.10	0.82	-----	3.47	2.06	232
Φρούτα										
Μήλα φρέσκα	83.93	0.19	0.36	15.25	2.70	0.26	-1.1	3.81	1.98	280
Ξηρά	31.76	0.93	0.32	65.89	8.70	1.10	-----	2.57	2.84	106
Βερίκοκα	86.35	1.40	0.39	11.12	2.40	0.75	-1.1	3.87	1.95	288
Αβοκάντο	74.27	1.98	15.32	7.39	5.00	1.04	-0.3	3.67	1.98	248
Μπανάνες	74.26	1.03	0.48	23.43	2.40	0.80	-0.8	3.56	2.03	248
Βατόμουρα	85.64	0.72	0.39	12.76	5.30	0.48	-0.8	3.91	1.94	286
Είδος βατόμουρου (blueberry)	84.61	0.67	0.38	14.13	2.70	0.21	-1.6	3.83	2.06	283
Είδος πεπονιού(US)	89.78	0.88	0.28	8.36	0.80	0.71	-1.2	3.93	1.91	300
Κεράσια ξίνα	86.13	1.00	0.30	12.18	1.60	0.40	-1.7	3.85	2.05	288
Γλυκά	80.76	1.20	0.96	16.55	2.30	0.53	-1.8	3.73	2.12	270
Μούρα (cranberries)	86.54	0.39	0.20	12.68	4.20	0.19	-0.9	3.91	1.93	289
Σταφίδα ευρωπαϊκή μύυρη	81.96	1.40	0.41	15.38	0	0.86	-1.0	3.71	1.95	274
Κόκκινη και λευκή	83.95	1.40	0.20	13.80	4.30	0.66	-1.0	3.85	1.98	280
Χουρμάδες επεξεργασμέν.	22.50	1.97	0.45	73.51	7.50	1.58	-15.7	2.31	2.30	75
Σόκα φρέσκα	79.11	0.75	0.30	19.18	3.30	0.66	-2.4	3.70	2.25	264
Ξηρά	28.43	3.05	1.17	65.35	9.30	2.01	-----	2.51	4.13	95
Φραγκοστάφυλα	87.47	0.88	0.58	10.18	4.30	0.49	-1.1	3.95	1.96	293
Γρειπφρούτ	90.89	0.63	0.10	8.08	1.10	0.31	-1.1	3.96	1.89	304
Σταφύλια αμερικάνικα	81.30	0.63	0.35	17.15	1.00	0.57	-1.6	3.71	2.07	272
Ευρωπαϊκά	80.56	0.66	0.58	17.77	1.00	0.44	-2.1	3.70	2.16	269
Λεμόνια	87.40	1.20	0.30	10.70	4.70	0.40	-1.4	3.94	2.02	292
Γλυκολεμονα	88.26	0.70	0.20	10.54	2.80	0.30	-1.6	3.93	2.03	295
Μάνγκος (τροπικά)	81.71	0.51	0.27	17.00	1.80	0.50	-0.9	3.74	1.95	273
Πεπόνια, casaba	92.00	0.90	0.10	6.20	0.80	0.80	-1.1	3.99	1.87	307
Γλυκά	89.66	0.46	0.10	9.18	0.60	0.60	-0.9	3.92	1.86	299
Καρπούζια	91.51	0.62	0.43	7.18	0.50	0.26	-0.4	3.97	1.74	306

Νεκταρίνια	86.28	0.94	0.46	11.78	1.60	0.54	-0.9	3.86	1.90	288
Ελιές	79.99	0.84	10.68	6.26	3.20	2.23	-1.4	3.76	2.07	267
Πορτοκάλια	82.30	1.30	0.30	15.50	4.50	0.60	-0.8	3.81	1.96	275
Ροδάκινα φρέσκα	87.66	0.70	0.90	11.10	2.00	0.46	-0.9	3.91	1.90	293
Ξηρά	31.80	3.61	0.76	61.33	8.20	2.50	-----	2.57	3.49	106
Αγλάδια	83.81	0.39	0.40	15.11	2.40	0.28	-1.6	3.80	2.06	280
Διόσπυρος	64.40	0.80	0.40	33.50	0	0.90	-2.2	3.26	2.29	215
Ανανάς	86.50	0.39	0.43	12.39	1.20	0.29	-1.0	3.85	1.91	289
Δαμάσκηνα	85.20	0.79	0.62	13.01	1.50	0.39	-0.8	3.83	1.90	285
Ρόδια	80.97	0.95	0.30	17.17	0.60	0.61	-3.0	3.70	2.30	270
Ξηρά δαμάσκηνα	32.39	2.61	0.52	62.73	7.10	1.76	-----	2.56	3.50	108
Κυδάνια	83.80	0.40	0.10	15.30	1.90	0.40	-2.0	3.79	2.13	280
Σταφίδες (όχι κουκούτσια)	15.42	3.22	0.46	79.13	4.00	1.77	-----	2.07	2.04	52
Είδος βατόμουρου (raspberry)	86.57	0.91	0.55	11.57	6.80	0.40	-0.6	3.96	1.91	289
Φράουλες	91.57	0.61	0.37	7.02	2.30	0.43	-0.8	4.00	1.84	306
Μανταρίνια	87.60	0.63	0.19	11.19	2.30	0.39	-1.1	3.90	1.93	293
<u>Ολόκληρα ψάρια</u>										
Μπακαλιάρος	81.22	17.81	0.67	0	0	1.16	-2.2	3.78	2.14	271
Είδος μπακαλιάρου (haddock)	79.92	18.91	0.72	0	0	1.21	-2.2	3.75	2.14	267
Ψήσσα	77.92	20.81	2.29	0	0	1.36	-2.2	3.74	2.18	260
Ρέγκα καπνιστή	59.70	24.58	12.37	0	0	1.94	-2.2	3.26	2.27	199
Σκουμπρί ατλαντικού	63.55	18.60	13.89	0	0	1.35	-2.2	3.33	2.23	212
Πέρκα	78.70	18.62	1.63	0	0	1.20	-2.2	3.71	2.15	263
Είδος ψαριού ατλαντικού (pollack)	78.18	19.44	0.98	0	0	1.41	-2.2	3.70	2.15	261
Σολωμός ροζέ	76.35	19.94	3.45	0	0	1.22	-2.2	3.68	2.17	255
Τόνος	68.09	23.33	4.90	0	0	1.18	-2.2	3.43	2.19	227
Είδος ψαριού(whiting)	80.27	18.31	1.31	0	0	1.30	-2.2	3.77	2.15	268
<u>Οστρακόδερμα</u>										
Μύδια	81.92	12.77	0.97	2.57	0	1.87	-2.2	3.76	2.13	273
Αστακός αμερικάνικος	76.76	18.80	0.90	0.50	0	2.20	-2.2	3.64	2.15	256
Στρείδια	85.16	7.05	2.46	3.91	0	1.42	-2.2	3.83	2.12	284
Χτένι(κρέας)	78.57	16.78	0.76	2.36	0	1.53	-2.2	3.71	2.15	262
Γαρίδες	75.86	20.31	1.73	0.91	0	1.20	-2.2	3.65	2.16	253
<u>Βόειο κρέας</u>										
Κρέας στήθος	55.18	16.94	26.54	0	0	0.80	-----	3.19	2.33	184
Σκελετός, προτίμηση	57.26	17.32	24.05	0	0	0.81	-2.2	3.24	2.31	191
Εκλεκτό	58.21	17.48	22.50	0	0	0.82	-1.7	3.25	2.24	194
Συκώτι	68.99	20.00	3.85	5.82	0	1.34	-1.7	3.47	2.16	230
Παιδάκια ολόκληρα 6-12	54.54	16.37	26.98	0	0	0.77	-----	3.16	2.32	182
Φέτα κομμένη άπαχη και με λιπη	64.75	20.37	12.81	0	0	0.97	-----	3.39	2.18	216
Κομμένη άπαχη	70.83	22.03	4.89	0	0	1.07	-----	3.52	2.12	237

Κόντρα φιλέτο άπαχο	71.70	21.24	4.40	0	0	1.08	-1.7	3.53	2.11	239
Κόντρα φιλέτο μικρό άπαχο	69.59	20.27	8.17	0	0	1.01	-----	3.49	2.14	232
Μπριζόλα με κόκκαλο άπαχη	69.71	20.78	7.27	0	0	1.27	-----	3.49	2.14	233
Μπονφιλέ, ψαρονέφρι άπαχο	68.40	20.78	7.90	0	0	1.04	-----	3.45	2.14	228
Μοσχαρίσιο κρέας άπαχο	75.91	20.20	2.87	0	0	1.08	-----	3.65	2.09	254
Χοιρινό κρέας										
Ραχιαίου λίπους	7.69	2.92	88.69	0	0	0.70	-----	2.17	2.98	26
Μπέικον	31.58	8.66	57.54	0.09	0	2.13	-----	2.70	2.70	105
Κοιλιακή περιοχή	36.74	9.34	53.01	0	0	0.49	-----	2.80	3.37	123
Σκελετός	49.83	13.91	35.07	0	0	0.72	-----	3.08	3.10	166
Ζαμπον άπαχο ολόκληρο επεξεργασμένο	68.26	22.32	5.71	0.05	0	3.66	-----	3.47	2.22	228
Καπνιστό άπαχο	55.93	27.80	8.32	0.30	0	7.65	-----	3.16	2.31	187
Ωμοπλάτη ολόκληρη άπαχη	72.63	19.55	7.14	0	0	1.02	-2.2	3.59	2.20	243
Λουκάνικα										
Μπραουνβαιγκερ	48.01	13.50	32.09	3.13	0	3.27	-----	3.01	2.40	160
Φρανκούρτης	53.87	11.28	29.15	2.55	0	3.15	-1.7	3.15	2.31	180
Ιταλικά	51.08	14.25	31.33	0.65	0	2.70	-----	3.10	2.37	171
Πολωνικά	53.15	14.10	28.72	1.63	0	2.40	-----	3.14	2.36	178
Χοιρινά	44.52	11.69	40.29	1.02	0	2.49	-----	2.95	2.43	149
Καπνιστά (συνδεδεμένα)	39.30	22.20	31.70	2.10	0	4.70	-----	2.82	2.45	131
Πουλερικά										
Κοτόπουλο	65.99	18.60	15.06	0	0	0.79	-2.8	4.34	3.32	220
Πάπια	48.50	11.49	39.34	0	0	0.68	-----	3.06	2.45	162
Γαλοπούλα	70.40	20.42	8.02	0	0	0.88	-----	3.53	2.28	235
Αυγά										
Ασπράδι	87.81	10.52	0	1.03	0	0.64	-0.6	3.91	1.81	293
Εηρό	14.62	76.92	0.04	4.17	0	4.25	-----	2.29	2.10	49
Ολόκληρα	75.33	12.49	10.02	1.22	0	0.94	-0.6	3.63	1.95	252
Εηρά	3.10	47.35	40.95	4.95	0	3.65	-----	2.04	2.00	10
Κρόκος	48.81	16.76	30.87	1.78	0	1.77	-0.6	3.05	2.25	163
Με αλάτι	50.80	14.00	23.00	1.60	0	10.60	-17.2	3.01	3.79	170
Με ζάχαρη	51.25	13.80	22.75	10.80	0	1.40	-3.9	3.07	2.54	171
Αρνίσιο κρέας										
Σύνθετο από μερίδες άπαχο	73.42	20.29	5.25	0	0	1.06	-1.9	3.60	2.14	245
Μπούτι ολόκληρο άπαχο	74.11	20.56	4.51	0	0	1.07	-----	3.62	2.14	248
Γαλακτοκομικά προϊόντα										
Βούτυρο	17.94	0.85	81.11	0.06	0	0.04	-----	2.40	2.65	60
Τυριά										
Καμαμπέρ (Νορμανδίας)	51.80	19.80	24.26	0.46	0	3.68	-----	3.10	3.34	173
Τσένταρ	36.75	24.90	33.14	1.28	0	3.93	-12.9	2.77	3.07	123

Τυρί 'cottage'	79.77	17.27	0.42	1.85	0	0.69	-1.2	3.73	1.99	266
Κρέμα	53.75	7.55	34.87	2.66	0	1.17	-----	3.16	2.91	180
Γκούντα	41.46	24.94	27.44	2.22	0	3.94	-----	2.87	2.77	138
Τυρί Limburger	48.42	20.05	27.25	0.49	0	3.79	-7.4	3.03	2.82	162
Μοτσαρέλλα	54.14	19.42	21.60	2.22	0	2.62	-----	3.15	2.46	181
Παρμεζάνα σκληρή	29.16	35.75	25.83	3.22	0	6.04	-----	2.58	2.94	97
Επεξεργασμένο αμερικάνικο	39.16	22.15	31.25	1.30	0	5.84	-6.9	2.80	2.75	131
Ροκφόρ	39.38	21.54	30.64	2.00	0	6.44	-16.3	2.80	3.36	132
Ελβετικό	37.21	28.43	27.45	3.38	0	3.53	-10.0	2.78	2.88	124
Κρέμες										
Κρέμα 'half and half'	80.57	2.96	11.50	4.30	0	0.67	-----	3.73	2.16	269
Κρέμα 'table' (χαμηλών λιπαρών)	73.75	2.70	19.31	3.66	0	0.58	-2.2	3.59	2.21	246
Κρέμα γάλακτος (υψηλών λιπαρών)	57.71	2.05	37.00	2.79	0	0.45	-----	3.25	2.32	193
Παγωτά										
Σοκολάτα	55.70	3.80	11.0	28.20	1.20	1.00	-5.6	3.11	2.75	186
Φράουλα	60.00	3.20	8.40	27.60	0.30	0.70	-5.6	3.19	2.74	200
Βανίλια	61.00	3.50	11.0	23.60	0	0.90	-5.6	3.22	2.74	204
Γάλα										
Συμπυκνωμένο γλυκό	27.16	7.91	8.70	54.40	0	1.83	-15.0	2.35	-----	91
Συμπυκνωμένο όχι ζάχαρη	74.04	6.81	7.56	10.04	0	1.55	-1.4	3.56	2.08	247
Αποβουτυρωμέν γάλα	90.80	3.41	0.18	4.85	0	0.76	----	3.95	1.78	303
Αποβουτυρωμέν γάλα σκόνη	3.16	36.16	0.77	51.98	0	7.93	----	1.80	-----	11
Πλήρες	87.69	3.28	3.66	4.65	0	0.72	-0.6	3.89	1.81	293
Σκόνη	2.47	26.32	26.71	38.42	0	6.08	-----	1.85	-----	8
Ορός γάλατος όξινος σκόνη	3.51	11.73	0.54	73.45	0	10.77	-----	1.68	-----	12
Γλυκός σκόνη	3.19	12.93	1.07	74.46	0	8.35	-----	1.69	-----	11
Καρποί με κέλυφος										
Αμύγδαλα	4.42	19.95	52.21	20.40	10.90	3.03	-----	2.20	-----	15
Φουντούκια	5.42	13.04	62.64	15.30	6.10	3.61	-----	2.09	-----	18
Φυστίκια ωμά	6.50	25.80	49.24	16.14	8.50	2.33	-----	2.23	-----	22
Ξηρά ψημένα με αλάτι	1.55	23.68	49.66	21.51	8.00	3.60	-----	2.08	-----	5
Πεκάν (καρπός)	4.82	7.75	67.64	18.24	7.60	1.56	-----	2.17	-----	16
Καρύδια Αγγλικά	3.65	14.29	61.87	18.34	4.80	1.86	-----	2.09	-----	12
Ζαχαρωτά γλυκίσματα										
Γλύκισμα βανίλλιας (fudge)	10.90	1.10	5.40	82.30	0	0.40	-----	1.90	-----	36
Ζαχαρωτό 'marshmallow'	16.40	1.80	0.20	81.30	0.10	0.30	-----	2.02	-----	55
Σοκολάτα γάλακτος	1.30	6.90	30.70	59.20	3.40	1.50	-----	1.83	-----	4
Παστέλι	1.80	7.50	19.10	69.30	2.00	1.50	-----	1.77	-----	6

Χυμοί και αναψυκτικά ποτά										
Χυμός μήλου άγλυκος	87.93	0.06	0.11	11.68	0.10	0.22	----	3.87	1.78	294
Χυμός γρειπφρούτ γλυκός	87.38	0.58	0.09	11.13	0.10	0.82	----	3.85	1.78	292
Χυμός σταφυλιού άγλυκος	84.12	0.56	0.08	14.96	0.10	0.29	----	3.77	1.82	281
Χυμός λεμονιού	92.46	0.40	0.29	6.48	0.40	0.36	----	3.99	1.73	309
Χυμός γλυκολέμονου (lime) άγλυκος	92.52	0.25	0.23	6.69	0.40	0.31	----	3.99	1.73	309
Πορτοκαλάδα	89.01	0.59	0.14	9.85	0.20	0.41	-0.4	3.90	1.76	297
Χυμός ανανά	85.53	0.32	0.08	13.78	0.20	0.30	----	3.81	1.81	286
Χυμός δαμάσκηνου	81.24	0.61	0.03	17.45	1.00	0.68	----	3.71	1.87	271
Χυμός ντομάτας	93.90	0.76	0.06	4.23	0.40	1.05	----	4.03	1.71	314
Χυμός μούρα-μήλο	82.80	0.10	0	17.10	0.10	0	----	3.73	1.84	277
Χυμός μούρα-σταφύλια	85.60	0.20	0.10	14.00	0.10	0.10	----	3.81	1.80	286
Χυμός φρούτων	88.00	0	0	11.90	0.10	0.10	----	3.87	1.78	294
Ανθρακούχο νερό(σόδα)	99.90	0	0	0	0	0.10	----	4.17	1.63	334
Κόκα κόλα	89.40	0	0	10.40	0	0.10	----	3.90	1.76	299
Ανθρακούχο ρόφημα βανίλια	86.70	0	0	13.30	0	0.10	----	3.83	1.79	290
Αναψυκτικό πιπερόριζας	91.20	0	0	8.70	0	0	----	3.95	1.73	305
Ανθρακούχο ρόφημα σταφυλιών	88.80	0	0	11.20	0	0.10	----	3.89	1.77	297
Αναψυκτικό κιτρο-λέμονου	89.50	0	0	10.40	0	0.10	----	3.90	1.76	299
Αναψυκτικό πορτοκαλιού	87.60	0	0	12.30	0	0.10	----	3.86	1.78	293
Μπύρα αρωματισμένη με βότανα	89.30	0	0	10.60	0	0.10	----	3.90	1.76	298
Σοκολατούχο γάλα 2% λίπη	83.58	3.21	2.00	10.40	0.50	0.81	----	3.78	1.83	279
Διάφορα										
Μέλι	17.10	0.30	0	82.40	0.20	0.20	-----	2.03	-----	57
Σιρόπι σφενταμιού	32.00	0	0.20	67.20	0	0.60	----	2.41	----	107
Ποπ κόρν υπο πίεση αέρα	4.10	12.00	4.20	77.90	15.10	1.80	-----	2.04	----	14
Υπο πίεση ελαίου	2.80	9.00	28.10	57.20	10.00	2.90	-----	1.99	----	9
Ζύμη φούρνου συμπυκνωμένη	69.00	8.40	1.90	18.10	8.10	1.80	----	3.55	2.17	230
Τα στοιχεία σύνθεσης προέκυψαν από USDA(1996) ενώ τα δεδομένα για το αρχικό σημείο στερεοποίησης από το εγχειρίδιο-βασικών στοιχείων της ASHRAE(1993).Οι θερμοχωρητικότητες βρέθηκαν από εξισώσεις του τρέχοντος κεφαλαίου. Η λανθάνουσα θερμότητα στερεοποίησης βρέθηκε πολλαπλασιάζοντας το ποσοστό του νερού (σε δεκαδική μορφή) με το 334 kJ/kg που είναι η λανθάνουσα θερμότητα στερεοποίησης του καθαρού νερού (εγχειρίδιο ASHRAE του 1993).										

Παράδειγμα 1: 150 kg βοδινού κρέατος (beef carcass) πρόκειται να καταψυχθούν στους $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ποιες οι μάζες του στερεοποιημένου και του υγρού νερού?

Λύση: Από τον πίνακα 3 το κλάσμα μάζας του νερού στο μη-κατεψυγμένο βόειο κρέας (σκελετός επιλεγμένο) είναι 0.58 και το αρχικό σημείο στερεοποίησης του $-1.7\text{ }^{\circ}\text{C}$. Χρησιμοποιώντας την (5) το κλάσμα πάγου θα είναι

$$x_{ice} = \frac{(1.105)(0.58)}{1 + \frac{0.7138}{\ln(-1.7 + 20 + 1)}} = 0.52$$

οπότε το κλάσμα μάζας του μη στερεοποιημένου νερού είναι: $x_u = x_{w0} - x_{ice} = 0.58 - 0.52 = 0.06$

Επομένως η μάζα του στερεοποιημένου νερού στους $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ είναι: $m_{ice} = (x_{ice})(150)\text{ kg} = 78\text{ kg}$ και του υγρού νερού στη ίδια θερμοκρασία $m_u = (x_u)(150)\text{ kg} = 9\text{ kg}$

ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ

Η εύρεση της πυκνότητας τροφίμων και αναψυκτικών απαιτεί γνώση του πορώδους για κάθε τρόφιμο, καθώς και των κλασμάτων μάζας και της πυκνότητα όλων των συστατικών στοιχείων του. Η πυκνότητα ρ για τρόφιμα και αναψυκτικά υπολογίζεται από τη παρακάτω σχέση

$$\rho = \frac{1 - \varepsilon}{\sum \frac{x_i}{\rho_i}} \quad (6)$$

όπου ε είναι το πορώδες, x_i το κλάσμα μάζας των συστατικών του τροφίμου και ρ_i η πυκνότητα των συστατικών του τροφίμου. Το πορώδες ε απαιτείται για τη εύρεση πυκνότητας τροφίμων κοκκώδους δομής που αποθηκεύονται χύμα όπως σπόροι και ρύζι. Όλα τα υπόλοιπα τρόφιμα θεωρούμε ότι έχουν $\varepsilon = 0$.

ΕΙΔΙΚΗ ΘΕΡΜΟΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ

Η ειδική θερμοχωρητικότητα είναι ένα μέτρο της ενέργειας που απαιτείται για να μεταβάλλουμε τη θερμοκρασία ενός τροφίμου κατά 1 βαθμό (K ή $^{\circ}\text{C}$). Οποτε η ειδική θερμοχωρητικότητα τροφίμων και αναψυκτικών μπορεί να χρησιμοποιηθεί για το υπολογισμό των θερμικών φορτίων (προς απαγωγή) που πρέπει να καλύψει η ψυκτική εγκατάσταση δια της ψύξεως ή καταψύξεως τροφίμων και αναψυκτικών. Στα μη κατεψυγμένα τρόφιμα η ειδική θερμοχωρητικότητα μειώνεται ελαφρώς καθώς η θερμοκρασία αυξάνεται από τους $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ στους $20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Στα κατεψυγμένα τρόφιμα υπάρχει πολύ μεγάλη μείωση της ειδικής θερμοχωρητικότητας μειούμενης της θερμοκρασίας. Στο πίνακα 3 υπάρχουν πειραματικά προσδιορισμένες τιμές της ειδικής θερμοχωρητικότητας για διάφορα τρόφιμα πάνω και κάτω από το αρχικό σημείο στερεοποίησης.

Μη-κατεψυγμένα τρόφιμα

Η ειδική θερμοχωρητικότητα ενός τροφίμου, σε θερμοκρασίες πάνω από το αρχικό σημείο στερεοποίησης του μπορεί να βρεθεί από το μέσο πλήθος (άθροισμα) των ειδικών θερμοχωρητικοτήτων των επιμέρους συστατικών στοιχείων. Οπότε η ειδική θερμοχωρητικότητα του μη κατεψυγμένου τροφίμου c_u μπορεί να προσδιοριστεί όπως παρακάτω:

$$c_u = \sum c_i x_i \quad (7)$$

όπου c_i είναι η ειδική θερμοχωρητικότητα των επιμέρους συστατικών στοιχείων του τροφίμου και x_i το κλάσμα μάζας των συγκεκριμένων συστατικών.

Ένα απλούστερο μοντέλο, στο μη κατεψυγμένο τρόφιμο, για την ειδική θερμοχωρητικότητα παρουσιάζεται από τον Chen(1985). Εάν αναλυτικά δεδομένα σύστασης δεν είναι διαθέσιμα η παρακάτω έκφραση της ειδικής θερμοχωρητικότητας -για μη κατεψυγμένο τρόφιμο- μπορεί να εναλλακτικά να χρησιμοποιηθεί

$$c_u = 4.19 - 2.30x_s - 0.628x_s^3 \quad (8)$$

όπου c_u σε kJ/ kgK και x_s το κλάσμα μάζας των στερεών συστατικών του τροφίμου όπως έχει προαναφερθεί.

Κατεψυγμένα τρόφιμα

Κάτω του αρχικού σημείου στερεοποίησης ενός τροφίμου πρέπει να εξεταστούν η αισθητή θερμότητα λόγω της θερμοκρασιακής μεταβολής-πτώσης καθώς και η λανθάνουσα θερμότητα λόγω της στερεοποίησης του νερού. Εισάγεται λοιπόν στη περίπτωση της καταψύξεως τροφίμων η «φαινόμενη»(apparent) ειδική θερμοχωρητικότητα επειδή η λανθάνουσα θερμότητα δεν απελευθερώνεται σε μια σταθερή θερμοκρασία αλλά κυρίως σε ένα εύρος θερμοκρασιακών τιμών. Έτσι η «φαινόμενη» ειδική θερμοχωρητικότητα χρησιμοποιείται για να εξηγήσει τις επιδράσεις της αισθητής αλλά και της λανθάνουσας θερμότητας. Μία συνήθης μέθοδος εύρεσης της «φαινόμενης» ειδικής θερμοχωρητικότητας των τροφίμων (Schwartzberg 1976) παρουσιάζεται μέσω της παρακάτω σχέσης

$$c_a = c_u + (x_b - x_{w0}) \Delta c + E x_s \left(\frac{RT_0^2}{M_w t^2} - 0.8 \Delta c \right) \quad (9)$$

όπου:

c_a = «φαινόμενη» ειδική θερμοχωρητικότητα

c_u =ειδική θερμοχωρητικότητα του μη κατεψυγμένου τροφίμου(πάνω από το αρχικό σημείο στερεοποίησης)

x_b =κατά μάζα σύσταση του χημικά δεσμευμένου νερού

x_{w0} =κατά μάζα σύσταση του νερού στο μη κατεψυγμένο τρόφιμο

Δc =διαφορά ειδικών θερμοχωρητικοτήτων νερού πάγου= $c_w - c_{ice}$

E =ο λόγος των σχετικών μοριακών μαζών μεταξύ νερού και στερεών συστατικών του τροφίμου ($E = M_w/M_s$)

R =η παγκόσμια σταθερά των 'τελείων' αερίων=8.314 kJ/kmole K

T_0 =το σημείο στερεοποίησης του νερού=273.2 K

M_w =σχετική μοριακή μάζα του νερού σε kg/kmole

t =θερμοκρασία του τροφίμου σε $^{\circ}C$

Η ειδική θερμοχωρητικότητα του τροφίμου πάνω από το αρχικό σημείο στερεοποίησεως μπορεί να υπολογιστεί από τις (7) ή (8).
 Ο Schwartzberg (1981) ανέπτυξε μία εναλλακτική μέθοδος προσδιορισμού της «φαινόμενης» ειδικής θερμοχωρητικότητας ενός τροφίμου κάτω του αρχικού σημείου στερεοποίησεως ως εξής:

$$c_a = c_f + (x_{w0} - x_b) \left[\frac{L_0 (t_0 - t_f)}{t_0 - t} \right] \quad (10)$$

όπου

c_f =ειδική θερμοχωρητικότητα του πλήρως κατεψυγμένου τροφίμου(συνήθως -40 °C)

t_0 =σημείο στερεοποίησεως του νερού= 0 °C

t_f =αρχικό σημείο στερεοποίησεως του τροφίμου σε °C

t =θερμοκρασία του τροφίμου, °C

L_0 =λανθάνουσα θερμότητα στερεοποίησεως του νερού= 333.6 kJ/kg

Στο πίνακα 3 δίδονται πειραματικά προσδιορισμένες τιμές για την ειδική θερμοχωρητικότητα των πλήρως κατεψυγμένων τροφίμων.

Ένα κάπως απλούστερο μοντέλο για την «φαινόμενη» ειδική θερμοχωρητικότητα που είναι παρόμοιο στη μορφή με αυτό του Schwartzberg(1976) αναπτύχθηκε από τον Chen(1985). Το μοντέλο αυτό είναι αποτέλεσμα της επέκτασης μελέτης στην εξίσωση του Siebel(1892) για την ειδική θερμοχωρητικότητα και η σχέση που προκύπτει είναι η παρακάτω

$$c_a = 1.55 + 1.26x_s + \frac{x_s R T_0^2}{M_s t^2} \quad (11)$$

όπου

c_a = «φαινόμενη» ειδική θερμοχωρητικότητα, kJ/(kgK)

x_s = κλάσμα μάζας των στερεών του τροφίμου

R = παγκόσμια σταθερά των τελείων αερίων

T_0 = σημείο στερεοποίησεως του νερού= 273.2 K

M_s =σχετική μοριακή μάζα των διαλυτών στερεών συστατικών στο τρόφιμο

t = θερμοκρασία του τροφίμου, °C

Τέλος αν η σχετική μοριακή μάζα των διαλυτών στερεών συστατικών του τροφίμου είναι άγνωστη η εξίσωση (2) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό της, οπότε τότε αντικαθιστώντας τη (2) στην (11) δίνει

$$c_a = 1.55 + 1.26x_s - \frac{(x_{w0} - x_b) L_0 T_f}{t^2} \quad (12)$$

Παράδειγμα 2: 150 kg **αρνίσου κρέατος(lamb meat)** πρόκειται να ψυχθούν από τους 10 °C στους 0 °C. Χρησιμοποιώντας την ειδική θερμοχωρητικότητα να προσδιοριστεί το ποσό θερμότητας που πρέπει να αφαιρεθεί από το αρνί.

Λύση: Από τον πίνακα 3 προκύπτουν τα συστατικά στοιχεία του αρνιού (lamb meat) και είναι

$$x_{w_0}=0.7342 \quad x_f=0.0525 \quad x_p=0.2029 \quad x_a=0.0106$$

υπολογίζουμε την ειδική θερμοχωρητικότητα του αρνιού σε μια μέση θερμοκρασιακή τιμή των $\frac{(0+10)}{2}=5$ °C. Η ειδική θερμοχωρητικότητα των συστατικών του τροφίμου

θα προσδιοριστεί επιμέρους από τους πίνακες 1 και 2 παρακάτω

- $c_w=4.1762-9.0864*10^{-5}(5)+5.4731*10^{-6}(5)^2=4.1759$ kJ/(kg K)
- $c_p=2.0082+1.2089*10^{-3}(5)-1.3129*10^{-6}(5)^2=2.0142$ kJ/(kg K)
- $c_f=1.9842+1.4733*10^{-3}(5)-4.8008*10^{-6}(5)^2=1.9914$ kJ/(kg K)
- $c_a=1.0926+1.8896*10^{-3}(5)-3.6817*10^{-6}(5)^2=1.1020$ kJ/(kg K)

Επομένως η ειδική θερμοχωρητικότητα του αρνιού μπορεί πλέον να υπολογιστεί από την (7) ως εξής

$$c_u=\sum(c_i x_i)=(4.1759)(0.7342)+(2.0142)(0.2029)+(1.9914)(0.0525)+(1.1020)(0.0106)$$
$$c_u=3.59$$
 kJ/(kg K)

Η θερμότητα που θα αφαιρεθεί από το αρνί είναι λοιπόν $Q=mc_u\Delta T=150*3.59*(10-0)=5390$ kJ.

ΕΝΘΑΛΠΙΑ

Η μεταβολή της ενθαλπίας ενός τροφίμου μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εύρεση της ενέργειας που πρέπει να προστεθεί ή να αφαιρεθεί ώστε να επιτύχουμε μεταβολή θερμοκρασίας. Άνω του αρχικού σημείου στερεοποίησης ενός τροφίμου, η ενθαλπία αποτελείται μόνο από αισθητή θερμική ενέργεια ενώ κάτω αυτού είναι το άθροισμα αισθητής και λανθάνουσας θερμικής ενέργειας. Η ενθαλπία μπορεί να βρεθεί από τον ορισμό της ειδικής θερμοχωρητικότητας υπό σταθερή πίεση c_p

$$c_p=(\partial H/\partial T)_p \quad (13)$$

όπου H είναι η ενθαλπία, T είναι η θερμοκρασία και c_p η ειδική θερμοχωρητικότητα υπό σταθερή πίεση όπως προαναφέρθηκε. Τα μαθηματικά μοντέλα για την ενθαλπία προκύπτουν από την ολοκλήρωση εκφράσεων της ειδικής θερμοχωρητικότητας συναρτήσει της θερμοκρασίας.

Μη κατεψυγμένα τρόφιμα

Στα τρόφιμα με θερμοκρασίες άνω του αρχικού σημείου στερεοποίησης η ενθαλπία μπορεί να βρεθεί ολοκληρώνοντας την αντίστοιχη έκφραση για την ειδική θερμοχωρητικότητα πάνω από το σημείο στερεοποίησης. Οπότε η ενθαλπία H ενός μη κατεψυγμένου τροφίμου μπορεί να προσδιοριστεί με ολοκλήρωση της (7)

$$H = \sum H_i x_i = \sum \int c_i x_i dT \quad (14)$$

όπου H_i είναι η ενθαλπία των επιμέρους συστατικών του τροφίμου και x_i το αντίστοιχο κλάσμα μάζας αυτών. Εφαρμόζοντας την μέθοδο του Chen (1985) η ενθαλπία του μη κατεψυγμένου τροφίμου μπορεί να βρεθεί με ολοκλήρωση της (8):

$$H=H_f+(t-t_f)(4.19-2.30x_s-0.628x_s^3) \quad (15)$$

όπου

H= ενθαλπία του τροφίμου, kJ/kg

H_f=ενθαλπία του τροφίμου στο αρχικό σημείο στερεοποίησης, kJ/kg

t=θερμοκρασία του τροφίμου σε °C

t_f=αρχικό σημείο στερεοποίησης του τροφίμου, °C

x_s=κλάσμα μάζας των στερεών συστατικών στοιχείων του τροφίμου

Σχόλιο: η ενθαλπία στο αρχικό σημείο στερεοποίησης H_f θα υπολογιστεί χρησιμοποιώντας τις εξισώσεις (17) ή (18) που θα αναπτυχθούν παρακάτω αλλά για τη θερμοκρασία του αρχικού σημείου στερεοποίησης(θα δειχθεί πιο κάτω).

Κατεψυγμένα τρόφιμα

Στη περίπτωση των τροφίμων κάτω του αρχικού σημείου στερεοποίησης οι μαθηματικές εκφράσεις για την ενθαλπία βρίσκονται με ολοκλήρωση των σχέσεων της φαινόμενης ειδικής θερμοχωρητικότητας c_a. Ολοκλήρωση της (9) μεταξύ μιας θερμοκρασίας αναφοράς T_r και της θερμοκρασίας του τροφίμου T οδηγεί στην ακόλουθη έκφραση που εισήγαγε ο Schwrtzberg(1976)

$$H = (T - T_r) \left\{ c_u + (x_b - x_{w0}) \Delta c + E x_s \left[\frac{RT_0^2}{18(T_0 - T_r)(T_0 - T)} - 0.8 \Delta c \right] \right\} \quad (16)$$

Γενικά η θερμοκρασία αναφοράς T_r(ή t_r) θεωρείται ότι είναι 233.2 K(-40 °C) στη οποία η ενθαλπία θεωρείται μηδενική. Επίσης ολοκληρώνοντας την (11) μεταξύ της θερμοκρασίας αναφοράς T_r και της θερμοκρασίας του τροφίμου T(ή t) ο Chen(1985) βρήκε την ακόλουθη έκφραση για την ενθαλπία κάτω του αρχικού σημείου στερεοποίησης

$$H = (t - t_r) \left(1.55 + 1.26x_s - \frac{x_s RT_0^2}{M_s t t_r} \right) \quad (17)$$

όπου:

H= ενθαλπία του τροφίμου

R=παγκόσμια σταθερά των τελείων αερίων

T₀=σημείο στερεοποίησης του νερού=273.2 K

Αντικαθιστώντας την (2) που δίνει τη σχετική μοριακή μάζα των διαλυτών στερεών συστατικών του τροφίμου M_s απλοποιείται η μέθοδος του Chen(1985) και γίνεται

$$H = (t - t_r) \left[1.55 + 1.26x_s - \frac{(x_{w0} - x_b) L_0 t_f}{t_r t} \right] \quad (18)$$

Μία εναλλακτική μέθοδος εύρεσης της ενθαλπίας των τροφίμων σε σχέση με τα προ αναφερθέντα μοντέλα ολοκλήρωσης των εξισώσεων ειδικών θερμοχωρητικοτήτων παρουσίασαν οι Chang και Tao (1981) βασιζόμενοι σε εμπειρικές εξισώσεις συσχέτισης που ανέπτυξαν. Οι συσχετίσεις τους για την εύρεση της ενθαλπίας

δίνονται ως συναρτήσεις του περιεχόμενου στο τρόφιμο νερού, της αρχικής θερμοκρασίας στερεοποίησης και της τελικής καθώς και του είδους του τροφίμου. Η εξίσωση συσχέτισης σε μια θερμοκρασία αναφοράς -45.6°C έχει την ακόλουθη μορφή

$$H = H_f \left[y\bar{T} + (1-y)\bar{T}^z \right] \quad (19)$$

όπου

H = ενθαλπία του τροφίμου, kJ/kg

H_f =ενθαλπία του τροφίμου στο αρχικό σημείο στερεοποίησης, kJ/kg

\bar{T} =αδιάστατη θερμοκρασιακή διαφορά= $(T-T_f)/(T_f -T_r)$

T_r =θερμοκρασία αναφοράς(μηδενικής ενθαλπίας)= $227.6\text{ K}(-45.6^{\circ}\text{C})$

y, z =παράμετροι συσχέτισεως

Υστερα από εφαρμογή ανάλυσης αναδρομής σε πειραματικά δεδομένα διαθέσιμα από τη βιβλιογραφία, οι Chang και Tao(1981) ανέπτυξαν τις παρακάτω σχέσεις συσχέτισεως για τις παραμέτρους y, z που χρησιμοποιούνται στην (19)

Ομάδα ζωικών προϊόντων

$$\begin{aligned} y &= 0.316 - 0.247(x_{wo} - 0.73) - 0.688(x_{wo} - 0.73)^2 \\ z &= 22.95 + 54.68(y - 0.28) - 5589.03(y - 0.28)^2 \end{aligned} \quad (20)$$

Ομάδα φρούτων, λαχανικών και γυμών

$$\begin{aligned} y &= 0.362 + 0.0498(x_{wo} - 0.73) - 3.465(x_{wo} - 0.73)^2 \\ z &= 27.2 - 129.04(y - 0.23) - 481.46(y - 0.23)^2 \end{aligned} \quad (21)$$

Επίσης ανέπτυξαν σχέσεις συσχέτισεως για τον υπολογισμό του αρχικού σημείου στερεοποίησης του τροφίμου βάσει του κλάσματος μάζας του νερού x_{wo} (στο μη κατεψυγμένο τρόφιμο)

Ομάδα ζωικών προϊόντων

$$T_f = 271.18 + 1.47x_{wo} \quad (22)$$

Ομάδα φρούτων, λαχανικών

$$T_f = 287.56 - 49.19x_{wo} + 37.07x_{wo}^2 \quad (23)$$

Ομάδα γυμών

$$T_f = 120.47 + 327.35x_{wo} - 176.49x_{wo}^2 \quad (24)$$

Επίσης στη (19) ζητείται η ενθαλπία του αρχικού σημείου στερεοποίησης H_f . Οι Chang και Tao πρότειναν την παρακάτω σχέση συσχέτισεως για τον προσδιορισμό του H_f του τροφίμου

$$H_f = 9.79246 + 405.096x_{wo} \quad (25)$$

Ο πίνακας 4 παρουσιάζει πειραματικά προσδιορισμένες τιμές για την ενθαλπία κάποιων κατεψυγμένων τροφίμων με θερμοκρασία αναφοράς -40°C καθώς και το ποσοστό του νερού που δεν στερεοποιήθηκε σε αυτά τα τρόφιμα συναρτήσει της θερμοκρασίας $[0, -40^{\circ}\text{C}]$.

Παράδειγμα 3 : 150 kg βοδινού κρέατος (beef carcass) πρόκειται να καταψυχθεί στη θερμοκρασία των -20°C . Η αρχική θερμοκρασία του βοδινού κρέατος είναι 10°C .

Πόση θερμότητα πρέπει να αφαιρεθεί από το βοδινό κρέας κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας?

Λύση: Από το πίνακα 3 βρίσκουμε το κλάσμα μάζας του νερού στο μη-κατεψυγμένο κρέας και είναι $x_{w0}=0.5821$, το κλάσμα μάζας των πρωτεϊνών στο βοδινό κρέας $x_p=0.1748$ και το αρχικό σημείο στερεοποίησης του -1.7°C . Το κλάσμα μάζας των στερεών συστατικών στο βοδινό κρέας θα είναι $x_s=1-x_{w0}=1-0.5821=0.4179$
 Το κλάσμα μάζας του χημικά δεσμευμένου νερού $x_b=0.4x_p=0.4*0.1748=0.0699$. Οπότε η ενθαλπία του βοδινού κρέατος στους -20°C δίνεται από την (18) για κατεψυγμένα τρόφιμα:

$$H_{-20} = [-20 - (-40)] \left[1.55 + (1.26)(0.4179) - \frac{(0.5821 - 0.0699)(333.6)(-1.7)}{(-40)(-20)} \right] = 48.79 \text{ kJ/kg}$$

Η ενθαλπία στο αρχικό σημείο στερεοποίησης προσδιορίζεται και πάλι από τη (18) στην οποία $t=t_f$ άρα

$$H_f = [-1.7 - 40] \left[1.55 + (1.26)(0.4179) - \frac{(0.5821 - 0.0699)(333.6)(-1.7)}{(-40)(-1.7)} \right] = 243.14 \text{ kJ/kg}$$

Τέλος η ενθαλπία του βοδινού κρέατος στους 10°C δίνεται από τη (15) για τα μη κατεψυγμένα τρόφιμα

$$H_{10} = 243.14 + [10 - (-1.7)][4.19 - (2.30)(0.4179) - (0.628)(0.4179)^3] = 280.38 \text{ kJ/kg}$$

Συνεπώς το ποσό θερμότητας που πρέπει να αφαιρεθεί κατά τη διάρκεια της καταψύξεως είναι $Q = m\Delta h = m(H_{10} - H_{-20}) = 150(280.38 - 48.79) = 34700 \text{ kJ}$

Πίνακας 4 Ενθαλπία κατεψυγμένων τροφίμων

		Θερμοκρασίες σε $^{\circ}\text{C}$																	
Τρόφιμα	Περιεχόμεν. νερό % κατά μάζα	-40	-30	-20	-18	-16	-14	-12	-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0
Φρούτα και λαχανικά																			
Πουρές μήλων	82.8	0	23	51	58	65	73	84	95	102	110	120	132	152	175	210	286	339	343
% υγρού νερού	---	---	6	9	10	12	14	17	19	21	23	27	30	37	44	57	82	100	---
Σπαράγγια όχι φλούδες	92.6	0	19	40	45	50	55	61	69	73	77	83	90	99	108	123	155	243	381
% υγρού νερού	----	----	----	----	----	5	6	---	7	8	10	12	15	17	20	29	58	100	---
Είδος βατόμουρου (billberry)	85.1	0	21	45	50	57	64	73	82	87	94	101	110	125	140	167	218	348	352
% υγρού νερού	---	---	---	7	8	9	11	14	15	17	18	21	25	30	38	57	100	---	---
Καρότα	87.5	0	21	46	51	57	64	72	81	87	94	102	111	124	139	166	218	357	361
% υγρού νερού	---	---	----	7	8	9	11	14	15	17	18	20	24	29	37	53	100	---	---
Αγγούρια	95.4	0	18	39	43	47	51	57	64	67	70	74	79	85	93	104	125	184	390
% υγρού νερού	---	---	---	----	---	---	---	---	---	5	---	----	----	----	11	14	20	37	100

Κρεμμύδια	85.5	0	23	50	55	62	71	81	91	97	105	115	125	141	163	196	263	349	353	
% υγρού νερού	---	---	5	8	10	12	14	16	18	19	20	23	26	31	38	49	71	100	---	
Ροδάκινα χωρίς κουκούτσια	85.1	0	23	50	57	64	72	82	93	100	108	118	129	146	170	202	274	348	352	
% υγρού νερού	---	---	5	8	9	11	13	16	18	20	22	25	28	33	40	51	75	100	---	
Αχλάδια Bartlett	83.8	0	23	51	57	64	73	83	95	101	109	120	132	150	173	207	282	343	347	
% υγρού νερού	---	---	6	9	10	12	14	17	19	21	23	26	29	35	43	54	80	100	---	
Δαμάσκηνα όχι κουκούτσια	80.3	0	25	57	65	74	84	97	111	119	129	142	159	182	214	262	326	329	333	
% υγρού νερού	----	----	8	14	16	18	20	23	27	29	33	37	42	50	61	78	100	---	----	
Βατόμουρα (rasberry)	82.7	0	20	47	53	59	65	75	85	90	97	105	115	129	148	174	231	340	344	
% υγρού νερού	---	----	7	8	9	10	13	16	17	18	20	23	27	33	42	61	100	---	---	
Σπανάκι	90.2	0	19	40	44	49	54	60	66	70	74	79	86	94	103	117	145	224	371	
% υγρού νερού	---	---	---	---	---	---	6	7	---	---	9	11	13	16	19	28	53	100	---	
Φράουλες	89.3	0	20	44	49	54	60	67	76	81	88	95	102	114	127	150	191	318	367	
% υγρού νερού	---	----	5	---	6	7	9	11	12	14	16	18	20	24	30	43	86	100	---	
Κεράσια γλυκά όχι κουκούτσια	77.0	0	26	58	66	76	87	100	114	123	133	149	166	190	225	276	317	320	324	
% υγρού νερού	---	---	9	15	17	19	21	26	29	32	36	40	47	55	67	86	100	---	----	
Είδος μπιζελιού	75.8	0	23	51	56	64	73	84	95	102	111	121	133	152	176	212	289	319	323	
% υγρού νερού	---	---	6	10	12	14	16	18	21	23	26	28	33	39	48	61	90	100	---	
Τοματοπελάτες	92.9	0	20	42	47	52	57	63	71	75	81	87	93	103	114	131	166	266	382	
% υγρού νερού	---	----	---	---	---	5	---	6	7	8	10	12	14	16	18	24	33	65	100	---
Κρέας και ψάρια																				
Μπακαλάρος	80.3	0	19	42	47	53	59	66	74	79	84	89	96	105	118	137	177	298	323	
% υγρού νερού	10	10	11	12	12	13	14	16	17	18	19	21	23	27	34	48	92	100	---	
Μπακαλάρος (haddock)	83.6	0	19	42	47	53	59	66	73	77	82	88	95	104	116	136	177	307	337	
% υγρού νερού	8	8	9	10	11	11	12	13	14	15	16	18	20	24	31	44	90	100	---	
Πέρκα	79.1	0	19	41	46	52	58	65	72	76	81	86	93	101	112	129	165	284	318	
% υγρού νερού	10	10	11	12	12	13	14	15	16	17	18	20	22	26	32	44	87	100	---	
Βοδινό άπαχο φρέσκο	74.5	0	19	42	47	52	58	65	72	76	81	88	95	105	113	138	180	285	304	
% υγρού νερού	10	10	11	12	13	14	15	16	17	18	20	22	24	31	40	55	95	100	---	
Άπαχο ξηρό	26.1	0	19	42	47	53	62	66	70	72	74	---	79	---	84	---	89	---	93	
% υγρού νερού	96	96	97	98	99	100	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
Αυγά																				
Ασπράδι	86.5	0	18	39	43	48	53	58	65	68	72	75	81	87	96	109	134	210	352	
% υγρού νερού	---	----	10	---	---	---	---	13	---	---	---	---	18	20	23	28	40	82	100	
Κρόκος αυγού	50.0	0	18	39	43	48	53	59	65	68	71	75	80	85	91	99	113	155	228	
% υγρού νερού	----	----	---	---	---	---	---	16	---	---	---	---	21	22	27	34	60	100	---	
	40.0	0	19	40	45	50	56	62	68	72	76	80	85	92	99	109	128	182	191	
% υγρού νερού	20	---	---	22	---	24	---	27	28	29	31	33	35	38	45	58	94	100	---	
Ολόκληρο με κέλυφος	66.4	0	17	36	40	45	50	55	61	64	67	71	75	81	88	98	117	175	281	
Είδη ψωμιού																				
Λευκό	37.3	0	17	35	39	44	49	56	67	75	83	93	104	117	124	128	131	134	137	
Ολικής άλεσης	42.4	0	17	36	41	48	56	66	78	86	95	106	119	135	150	154	157	160	163	
Πηγή Προσαρμοσμένο από τους Dickerson (1968) και Riedel (1951,1956,1957a,1957b,1959). Σε κάθε προϊόν που παρατίθεται αντιστοιχούν 2 σειρές εκ των οποίων η πρώτη εκφορξεί την ενθαλπία kJ/kg και η δεύτερη το νερό που παραμένει υγρό και στις 2 σειρές συναρτήσει της θερμοκρασίας																				

ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ

Η θερμική αγωγιμότητα συσχετίζεται με το ρυθμό θερμικής αγωγής με τη κλίση της θερμοκρασίας. Η θερμική αγωγιμότητα ενός τροφίμου εξαρτάται από παράγοντες όπως η σύσταση, η δομή και η θερμοκρασία. Πρώιμες μελέτες του τρόπου εύρεσης της θερμικής αγωγιμότητας τροφίμων και αναψυκτικών ποτών περιλαμβάνουν την προσαρμογή της εξίσωσης του Maxwell από τον Euchen (Euchen 1940). Το μοντέλο αυτό βασίζεται στη θερμική αγωγιμότητα των αραιών διασπορών μικρών σφαιρών σε συνεχή φάση

$$k = k_c \frac{1 - [1 - a(k_d/k_c)]b}{1 + (a-1)b} \quad (26)$$

όπου

k = αγωγιμότητα του μίγματος

k_c = αγωγιμότητα της συνεχούς φάσης

k_d = αγωγιμότητα της ασυνεχούς φάσης

V_d = όγκος της ασυνεχούς φάσης

V_c = όγκος της συνεχούς φάσης

$a = 3 \cdot k_d / (2k_c + k_d)$

$b = V_d / (V_c + V_d)$

Σε μια προσπάθεια να ληφθούν υπόψη τα διαφορετικά δομικά χαρακτηριστικά των τροφίμων, Korelman (1966) ανέπτυξε μοντέλα θερμικής αγωγιμότητας για ομογενή αλλά και για ινώδη τρόφιμα. Διαφορές στη θερμική αγωγιμότητα παράλληλα και κάθετα ως προς τις ίνες του τροφίμου εξηγούνται στα μοντέλα θερμικής αγωγιμότητας ινωδών τροφίμων του Korelman.

Στην περίπτωση ενός ισοτροπικού συστήματος 2 συστατικών στοιχείων που αποτελείται από συνεχή και ασυνεχή φάση, στο οποίο η θερμική αγωγιμότητα είναι ανεξάρτητη της κατεύθυνσης ροής θερμότητας, ο Korelman (1966) ανέπτυξε την ακόλουθη έκφραση για τη θερμική αγωγιμότητα k

$$k = k_c \left[\frac{1 - L^2}{1 - L^2(1 - L)} \right] \quad (27)$$

όπου

k_c = αγωγιμότητα της συνεχούς φάσης και L^3 το κλάσμα όγκου της ασυνεχούς φάσης.

Στη (27) η θερμική αγωγιμότητα της συνεχούς φάσης είναι πολύ μεγαλύτερη της ασυνεχούς φάσης. Αν παρόλα αυτά συμβαίνει το αντίθετο προκύπτει η παρακάτω έκφραση υπολογισμού της θερμικής αγωγιμότητας για ισοτροπικό μίγμα

$$k = k_c \left[\frac{1 - M}{1 - M(1 - L)} \right] \quad (28)$$

όπου

$M = L^2(1 - k_d/k_c)$ και k_d είναι η θερμική αγωγιμότητα της ασυνεχούς φάσης.

Για ένα ανισοτροπικό σύστημα 2 συστατικών στοιχείων στο οποίο η θερμική αγωγιμότητα εξαρτάται από τη κατεύθυνση της ροής θερμότητας όπως στα ινώδη

υλικά τροφίμων, ο Korelman(1966) εισήγαγε 2 εκφράσεις για τη θερμική αγωγιμότητα: α) για ροή θερμότητας παράλληλη με τις ίνες του τροφίμου η θερμική αγωγιμότητα $k_{//}$ είναι

$$k_{//} = k_c \left[1 - N^2 \left(1 - \frac{k_d}{k_c} \right) \right] \quad (29)$$

όπου

N^2 είναι το κλάσμα όγκου της ασυνεχούς φάσης

β) για ροή θερμότητας κάθετη ως προς τις ίνες του τροφίμου η θερμική αγωγιμότητα k_{\perp} είναι

$$k_{\perp} = k_c \left[\frac{1 - P}{1 - P(1 - N)} \right] \quad (30)$$

όπου $P = N(1 - k_d/k_c)$.

Ο Levy(1981) παρουσίασε μια τροποποιημένη εκδοχή της εξίσωσης Maxwell-Eucken. Η έκφραση του Levy για τη θερμική αγωγιμότητα σε ένα 2 συστατικών στοιχείων σύστημα είναι

$$k = \frac{k_2 \left[(2 + \Lambda) + 2(\Lambda - 1)F_1 \right]}{(2 + \Lambda) - (\Lambda - 1)F_1} \quad (31)$$

όπου Λ είναι ο λόγος θερμικών αγωγιμοτήτων ($\Lambda = k_1/k_2$) και k_1, k_2 οι θερμικές αγωγιμότητες των συστατικών 1 και 2 αντίστοιχα. Η παράμετρος F_1 που εισάγει ο Levy δίδεται από τη παρακάτω σχέση

$$F_1 = 0.5 \left\{ \left(\frac{2}{\sigma} - 1 + 2R_1 \right) - \left[\left(\frac{2}{\sigma} - 1 + 2R_1 \right)^2 - \frac{8R_1}{\sigma} \right]^{0.5} \right\} \quad (32)$$

όπου $\sigma = \frac{(\Lambda - 1)^2}{(\Lambda + 1)^2 + (\Lambda/2)}$ (33)

και R_1 είναι το κλάσμα όγκου του συστατικού 1 ή αλλιώς

$$R_1 = \left[1 + \left(\frac{1}{x_1} - 1 \right) \left(\frac{\rho_1}{\rho_2} \right) \right]^{-1} \quad (34)$$

εδώ x_1 είναι το κλάσμα μάζας του συστατικού 1 και ρ_1, ρ_2 οι πυκνότητες των συστατικών 1 και 2 αντίστοιχα.

Εφαρμογή της μεθόδου του Levy γίνεται ακολουθώντας τα παρακάτω βήματα:

- (1)Υπολογισμός του λόγου θερμικής αγωγιμότητας Λ
- (2)Προσδιορισμός του κλάσματος όγκου του συστατικού 1 κάνοντας χρήση της (34)
- (3)Υπολογισμός του σ με τη βοήθεια της (33)
- (4)Προσδιορισμός της F_1 μέσω της εξίσωσης (32)
- (5)Προσδιορίζουμε τη θερμική αγωγιμότητα του συστήματος 2 συστατικών με τη αρχική εξίσωση (31)

Παρατήρηση:όταν τρόφιμα αποτελούνται από περισσότερες των 2 διακριτές φάσεις οι προηγούμενες μέθοδοι εύρεσης της θερμικής αγωγιμότητας πρέπει να εφαρμοστούν διαδοχικά για τη συνολική αγωγιμότητα του τροφίμου. Στη περίπτωση ενός τροφίμου κατεψυγμένου, για παράδειγμα, η θερμική αγωγιμότητα του μίγματος πάγου-νερού υπολογίζεται πρώτα με μία από τις προαναφερθείσες μεθόδους. Το αποτέλεσμα της θερμικής αγωγιμότητας του μίγματος πάγου-νερού τότε συνδυάζεται διαδοχικά με τη θερμική αγωγιμότητα καθενός από τα εναπομείναντα συστατικά στοιχεία του τροφίμου ώστε με αυτό τον τρόπο να προσδιοριστεί η συνολική θερμική αγωγιμότητα του προϊόντος-τροφίμου.

Πολύαριθμοι ερευνητές έχουν προτείνει την χρήση των **παράλληλου** και **κάθετου(σε σειρά)** μοντέλου που βασίζονται στις αναλογίες με τις ηλεκτρικές αντιστάσεις (Murakami και Okos 1989).Το παράλληλο μοντέλο είναι το άθροισμα των θερμικών αγωγιμοτήτων των συστατικών στοιχείων του τροφίμου πολλαπλασιασμένες με τα κλάσματα όγκου αυτών δηλαδή

$$k = \sum x_i^v k_i \quad (35)$$

όπου x_i^v το κλάσμα όγκου του i συστατικού του τροφίμου. Το κλάσμα όγκου του i συστατικού του τροφίμου δίνεται από την παρακάτω εξίσωση

$$x_i^v = \frac{x_i / \rho_i}{\sum (x_i / \rho_i)} \quad (36)$$

Το κάθετο μοντέλο είναι το αντίστροφο του αθροίσματος των κλασμάτων όγκου των συστατικών του τροφίμου διαιρεμένων με τις αντίστοιχες θερμικές αγωγιμότητες

$$k = \frac{1}{\sum \frac{x_i^v}{k_i}} \quad (37)$$

Αυτά τα δύο μοντέλα έχει βρεθεί ότι προβλέπουν τα άνω και κάτω όρια των περισσότερων τροφίμων. Οι πίνακες 5,6 καταγράφουν τις θερμικές αγωγιμότητες πολλών τροφίμων(Quashou et al 1972). Τα δεδομένα έχουν μεσοσταθμιστεί, ληφθεί με παρεμβολή ή ακόμη και στρογγυλοποίηση ως προς τα αρχικά δεδομένα της έρευνας. Οι πίνακες 5,6 επίσης περιλαμβάνουν ερευνητικά δεδομένα της ASHRAE για τρόφιμα χαμηλού ή μέσου περιεχόμενου υγρασίας (Sweat 1985).

Πίνακας 5 Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας τροφίμων

Τρόφιμα ^a	Θερμική αγωγιμότητα W/mK	Θερμοκρασία °C	Περιεχόμενο νερού % κατά μάζα	Παραπομπές-αναφορές	Παρατηρήσεις
Φρούτα και λαχανικά					
Μήλα	0.418	8	---	Gane(1936)	Είδος μήλου γαλλικό από Ταζμανία ολόκληρο 140g
Ξηρά	0.219	23	41.6	Sweat(1985)	Πυκνότητα=0.86 g/cm ³
Χυμός μήλου	0.559	20	87	Riedel(1949)	Δείκτης διάθλασης στους 20 ⁰ C=1.35
	0.631	80	87		
	0.504	20	70		Δείκτης διάθλασης στους 20 ⁰ C=1.38
	0.564	80	70		
	0.389	20	36		Δείκτης διάθλασης στους 20 ⁰ C=1.45
	0.435	80	36		
Πουρές μήλου	0.549	29	---	Sweat(1974)	
Βερίκοκα ξηρά	0.375	23	43.6	Sweat(1985)	Πυκνότητα =1.32 g/cm ³
Φασολάκια	0.398	9	---	Smith et al.(1952)	Πυκνότητα =0.75 g/cm ³ ; Κομμένα,βρασμένα πακεταρισμένα σε πλάκα
Παντζάρια	0.601	28	87.6	Sweat(1974)	
Μπρόκολα	0.385	-6	----	Smith et al.(1952)	Πυκνότητα =0.56 g/cm ³ ; Κοπή κεφαλών και βράσιμο
Καρότα	0.669	-16	----	Smith et al.(1952)	Πυκνότητα =0.6 g/cm ³ ; κομμένα και βρασμένα
πολτοποιημένα	1.26	-8	----	Smith et al.(1952)	Πυκνότητα =0.89 g/cm ³ ; πλάκα
Σταφίδα μάρη	0.310	-17	----	Smith et al.(1952)	Πυκνότητα =0.64 g/cm ³
Χουριάδες	0.337	23	34.5	Sweat(1985)	Πυκνότητα =1.32 g/cm ³
Σύκα	0.310	23	40.4	Sweat(1985)	Πυκνότητα =1.24 g/cm ³
Φραγκοστάφυλλα	0.276	-15	----	Smith et al.(1952)	Πυκνότητα =0.58 g/cm ³ ; Ποικίλων σχημάτων
Χυμός γρειπφρούτ	0.462	30	----	Benneth et al.(1964)	Είδος 'marsh' χωρίς κουκούτσια
Φλούδες γρειπφρούτ	0.237	28	----	Benneth et al.(1964)	Είδος 'marsh' χωρίς κουκούτσια
Χυμός σταφυλιών πράσινο	0.567	20	89	Riedel(1949)	Δείκτης διάθλασης στους 20 ⁰ C=1.35
	0.639	80	89		
	0.496	20	68		Δείκτης διάθλασης στους 20 ⁰ C=1.38
	0.554	80	68		
	0.396	20	37		Δείκτης διάθλασης στους 20 ⁰ C=1.45
	0.439	80	37		
	0.439	25	----	Turrel και Perry(1957)	Eureka
Ζελέδες σταφυλιών	0.391	20	42.0	Sweat(1985)	Πυκνότητα =1.32 g/cm ³
Νεκταρίνια	0.585	8.6	82.9	Sweat(1974)	
Κρεμμύδια	0.575	8.6	----	Saravacos(1965)	
Χυμός πορτοκαλιού	0.435	30	----	Benneth et al.(1964)	Valencia
Φλούδες πορτοκαλιού	0.179	30	----	Benneth et al.(1964)	Valencia
Μπιζέλια,αρακάς	0.480	-13	----	Smith et al.(1952)	Πυκνότητα 0.70 g/cm ³ ; Με κέλφος βρασμένα
	0.395	-3	----		
	0.315	7	----		
Ροδάκινα ξηρά	0.361	23	43.4	Sweat(1985)	Πυκνότητα =1.26 g/cm ³
Αχλάδια	0.595	8.7	----	Sweat(1974)	
Χυμός αχλαδιού	0.550	20	85	Riedel (1949)	Δείκτης διάθλασης στους 20 ⁰ C=1.36
	0.629	80	85		
	0.475	20	60		Δείκτης διάθλασης στους 20 ⁰ C=1.40
	0.532	80	60		
	0.402	20	39		Δείκτης διάθλασης στους 20 ⁰ C=1.44
	0.446	80	39		
Δαμάσκηνα	0.247	-16	----	Smith et al.(1952)	Πυκνότητα=0.61 g/cm ³ ; 40mm διάμετρος; 50 mm μήκος

Πουρές	1.09	-13	----	Smith et al.(1952)	Πυκνότητα=0.97 g/cm ³ ; Καλή συσκευασία σε πλάκα
Πατατοσαλάτα	0.479	2	----	Dickerson και Read(1968)	Πυκνότητα=1.01 g/cm ³
Ξηρά δαμάσκηνα	0.375	23	42.9	Sweat(1985)	Πυκνότητα=1.22 g/cm ³
Σταφίδες	0.336	23	32.2	Sweat(1985)	Πυκνότητα=1.38 g/cm ³
Φράουλες	1.10	-14	----	Smith et al.(1952)	Ποικίλων μεγεθών, πυκνότητα=0.80 g/cm ³ , σε πλάκα
	0.96	-15	----		Ποικίλων μεγεθών με σιρόπι 57%, σε πλάκα
Μαρμέλαδα φράουλα	0.338	20	41.0	Sweat(1985)	Πυκνότητα=1.31 g/cm ³
Κολοκύθια	0.502	8	----	Gane(1936)	
<u>Κρέας και ζωικά παραπροϊόντα</u>					
Βοδινό άπαχο =a	0.506	3	75	Lentz(1961)	Κόντρα φιλέτο; 0.9% λίπη
	1.42	-15	75		
	0.430	20	79	Hill et al.(1967)	1.4% λίπη
	1.43	-15	79		
	0.400	6	76.5	Hill(1966), Hill et al(1967)	2.4% λίπη
	1.36	-15	76.5		
⊥ _a	0.480	20	79	Hill et al.(1967)	Κρέας από μηρό εσωτερικά; 0.8% λίπη
	1.35	-15	79		
	0.410	6	76	Hill(1966), Hill et al(1967)	3% λίπη
	1.14	-15	76		
	0.471	3	74	Lentz(1961)	Πλευρά; 3-4% λίπη
	1.12	-15	74		
Μοσχαρίσιος κιμάς	0.406	6	67	Quashu et al.(1970)	12.3% λίπη; πυκνότητα=0.95 g/cm ³
	0.410	4	62		16.8% λίπη; πυκνότητα=0.98 g/cm ³
	0.351	6	55		18% λίπη; πυκνότητα=0.93 g/cm ³
	0.364	3	53		22% λίπη; πυκνότητα=0.95 g/cm ³
Βόειο κρέας εγκεφάλου	0.496	35	77.7	Poppendick et al.(1965-1966)	12% λίπη; 10.3% πρωτείνες; πυκνότητα=1.04 g/cm ³
	0.190	35	0	Poppendick et al.(1965-1966)	100% λιωμένα λίπη; πυκνότητα=0.81 g/cm ³
Βόειο λίπος	0.230	35	20		Πυκνότητα 0.86 g/cm ³
	⊥ _a	0.217	2	9	Lentz (1961)
⊥ _a	0.287	-9	9		
	Βόειο νεφρό	0.524	35	76.4	Poppendick et al.(1965-1966)
Βόειο συκώτι	0.488	35	72	Poppendick et al.(1965-1966)	7.2% λίπη; 20.6% πρωτείνες
Λουκάνικο από βοδινό κρέας	0.297	20	36.6	Sweat (1985)	Πυκνότητα=1.05 g/cm ³
Βοδινό 'bologna'	0.421	20	64.7	Sweat (1985)	Πυκνότητα=1.00 g/cm ³
Τροφή σκύλων	0.319	23	30.6	Sweat (1985)	Πυκνότητα=1.24 g/cm ³
Τροφή για γάτες	0.326	23	39.7	Sweat (1985)	Πυκνότητα=1.14 g/cm ³
Ζαμπόν χωριάτικο	0.480	20	71.8	Sweat (1985)	Πυκνότητα=1.03 g/cm ³
Κρέας αλόγου ⊥ _a	0.460	30	70	Griffiths και Cole(1948)	Άπαχο
Αρνίσιο κρέας ⊥ _a	0.456	20	72	Hill et al.(1967)	8.7% λίπη
	1.12	-15	72		
=a	0.399	20	71	Hill et al.(1967)	9.6% λίπη
	1.27	-15	71		
Πεπερόνι	0.256	20	32.0	Sweat (1985)	Πυκνότητα=1.06 g/cm ³
Χοιρινό λίπος	0.215	3	6	Lentz (1961)	93% λίπη
	0.218	-15	6		
Χοιρινό άπαχο =a	0.453	20	76	Hill et al.(1967)	6.7% λίπη
	1.42	-13	76		

⊥ _a	0.505	20	76	Hill et al.(1967)	6.7% λίπη
	1.30	-14	76		
Πλευρά άπαχα	0.460	2.2	----	Lentz (1961)	3.4% λίπη
	1.22	-15	----		
Μπούτι άπαχο =a	0.478	4	72	Lentz (1961)	6.1% λίπη
	1.49	-15	72		
⊥ _a	0.456	4	72	Lentz (1961)	6.1% λίπη
	1.29	-15	72		
Σαλάμι	0.311	20	35.6	Sweat (1985)	Πυκνότητα=0.96 g/cm ³
Λουκάνικο	0.427	25	68	Norway και Woodams(1968)	Μίγμα βοδινού/χοιρινού; 16.1% λίπη, 12.2% πρωτεΐνες
	0.385	25	62	Woodams(1985)	Μίγμα βοδινού/χοιρινού; 24.1% λίπη, 10.3% πρωτεΐνες
Μοσχαρίσιο κρέας ⊥ _a	0.470	20	75	Hill et al.(1967)	2.1% λίπη
	1.38	-15	75		
=a	0.445	28	75	Hill et al.(1967)	2.1% λίπη
	1.46	-15	75		
<u>Πουλερικά και αυγά</u>					
Στήθος κοτόπουλου ⊥ _a	0.412	20	69-75	Walters και May(1963)	0.6% λίπη
Με πέτσα	0.366	20	58-74	Walters και May(1963)	0-30% λίπη
Στήθος γαλοπούλα ⊥ _a	0.496	3	74	Lentz (1961)	2.1% λίπη
	1.38	-15	74		
Μπούτι ⊥ _a	0.497	4	74	Lentz (1961)	3.4% λίπη
	1.23	-15	74		
Στήθος =⊥ _a	0.502	3	74	Lentz (1961)	2.1% λίπη
	1.53	-15	74		
Ασπράδι αυγού	0.558	36	88	Spells(1958,1960-61)	
Ολόκληρο	0.960	-8	----	Smith et al.(1952)	Πυκνότητα=0.98 g/cm ³
Κρόκος	0.420	31	50.6	Poppendick et al.(1965-1966)	32.7% λίπη; 16.7% πρωτεΐνες; Πυκνότητα=1.02 g/cm ³
<u>Ψάρια και θαλασσινά</u>					
Μπακαλιάρος	0.534	3	83	Lentz (1961)	0.1% λίπη
	1.46	-15	83		
⊥ _a	0.560	1	----	Jason και Long(1955), Long(1955)	
	1.69	-15	----	Long(1955)	
Ρέγκα	0.80	-19	----	Smith et al.(1952)	Πυκνότητα=0.91 g/cm ³ ; ολόκληρη και σε τμήματα
Σολωμός ⊥ _a	0.531	3	67	Lentz (1961)	12% λίπη; είδος από τη χερσόνησο Gaspe
	1.24	-15	67		
	0.498	5	73	Lentz (1961)	5.4% λίπη; είδος από τη Βρετανική Κολούμπια
	1.13	-15	73		
Λίπος φώκιας ⊥ _a	0.197	5	4.3	Lentz (1961)	95% λίπη
Λίπος φάλαινας ⊥ _a	0.209	18	----	Griffiths και Cole(1948)	Πυκνότητα=1.04 g/cm ³
Κρέας φάλαινας	0.649	32	----	Griffiths και Hickman(1951)	Πυκνότητα=1.07 g/cm ³
	1.44	-9	----		
	1.28	-12	----	Smith et al.(1952)	0.51% λίπη; Πυκνότητα=1.00 g/cm ³
<u>Γαλακτοκομικά</u>					
Λιπαρά βούτυρου	0.173	6	0.6	Lentz (1961)	
	0.179	-15	0.6		
Βούτυρο	0.197	4	----	Hooper και Chang (1952)	
Βουτυρόγαλα	0.569	20	89	Riedel (1949)	0.35% λίπη
Γάλα, πλήρες	0.580	28	90	Leidenfrost (1959)	3% λίπη

	0.522	2	83	Riedel (1949)	3.6% λίπη
	0.550	20	83		
	0.586	50	83		
	0.614	80	83		
Αποβουτυρωμένο	0.538	2	90	Riedel (1949)	0.1% λίπη
	0.566	20	90		
	0.606	50	90		
	0.635	80	90		
Συμπυκνωμένο	0.486	2	72	Riedel (1949)	4.8% λίπη
	0.504	20	72		
	0.542	50	72		
	0.565	80	72		
	0.456	2	62	Riedel (1949)	6.4% λίπη
	0.472	20	62		
	0.510	50	62		
	0.531	80	62		
	0.472	23	67	Leidenfrost (1959)	10% λίπη
	0.504	41	67		
	0.516	60	67		
	0.527	79	67		
	0.324	26	50	Leidenfrost (1959)	15% λίπη
	0.340	40	50		
	0.357	59	50		
	0.364	79	50		
Ορός γάλακτος	0.540	2	90	Riedel (1949)	καθόλου λιπη
	0.567	20	90		
	0.630	50	90		
	0.640	80	90		
<u>Σακχαρώδη με άμυλο προϊόντα αρτοποιίας και παράγωγα τους</u>					
Χυμός από ζαχαρότευτλα	0.550	25	79	Khelemskii και Zhadan(1964)	
	0.569	25	82		
Διάλυμα από ζαχαροκάλαμα	0.535	0	90	Riedel (1949)	Διάλυμα από ζαχαροκάλαμα ή ζαχαρότευτλα
	0.566	20	90		
	0.607	50	90		
	0.636	80	90		
	0.504	0	80		
	0.535	20	80		
	0.572	50	80		
	0.600	80	80		
	0.473	0	70		
	0.501	20	70		
	0.536	50	70		
	0.563	80	70		
	0.443	0	60		
	0.470	20	60		
	0.502	50	60		
	0.525	80	60		
	0.413	0	50		
	0.437	20	50		
	0.467	50	93-80		
	0.490	80	93-80		
	0.382	0	40		
	0.404	20	40		
	0.434	50	40		

	0.454	80	40		
Διάλυμα γλυκόζης	0.539	2	89	Riedel (1949)	
	0.566	20	89		
	0.601	50	89		
	0.639	80	89		
	0.508	2	80		
	0.535	20	80		
	0.571	50	80		
	0.599	80	80		
	0.478	2	70		
	0.504	20	70		
	0.538	50	70		
	0.565	80	70		
	0.446	2	60		
	0.470	20	60		
	0.501	50	60		
	0.529	80	60		
Σιρόπι καλαμποκιού	0.562	25	----	Metzner και Friend (1959)	Πυκνότητα=1.16 g/cm ³
	0.484	25	----		Πυκνότητα=1.31 g/cm ³
	0.467	25	----		Πυκνότητα=1.34 g/cm ³
Μέλι	0.502	2	80	Reidy (1968)	
	0.415	69	80		
Σιρόπι μελάσας	0.346	30	23	Popov και Terentiev (1966)	
Κέικ (angel food)	0.099	23	36.1	Sweat (1985)	Πυκνότητα=0.15 g/cm ³ , πορώδες 88%
Πουρές μήλου	0.079	23	23.7	Sweat (1985)	Πυκνότητα=0.30 g/cm ³ , πορώδες 78%
Καρότο	0.084	23	21.6	Sweat (1985)	Πυκνότητα=0.32 g/cm ³ , πορώδες 75%
Σοκολάτα	0.106	23	31.9	Sweat (1985)	Πυκνότητα=0.34 g/cm ³ , πορώδες 74%
Κέικ (round)	0.131	23	22.7	Sweat (1985)	Πυκνότητα=0.48 g/cm ³ , πορώδες 58%
Κίτρινο κέικ	0.110	23	25.1	Sweat (1985)	Πυκνότητα=0.30 g/cm ³ , πορώδες 78%
Λευκό κέικ	0.082	23	32.3	Sweat (1985)	Πυκνότητα=0.45 g/cm ³ , πορώδες 62%
<u>Σιτηρά δημητριακά σπόροι</u>					
Καλαμπόκι (κίτρινο)	0.140	32	0.9	Kazarian (1962)	Πυκνότητα=0.75 g/cm ³
	0.159	32	14.7		Πυκνότητα=0.75 g/cm ³
	0.172	32	30.2		Πυκνότητα=0.68 g/cm ³
Λιναρόσπορος	0.115	32	---	Griffiths και Hickman (1951)	Πυκνότητα=0.66 g/cm ³
Λευκή βρώμη (αγγλική)	0.130	27	12.7	Oxley (1944)	
Σόργο	0.131	5	13	Miller (1963)	Υβρίδιο Rs610 σιτηρό
	0.150	----	22		
Σιτάρι νο1 βόρειο	0.135	34	2	Moote (1953)	Οι τιμές λήφθηκαν απο σχεδίαση σειρών τιμών που δόθηκαν από το συγγραφέα
Είδος σιτηρών(hard spring)	0.149	----	7	Babbit (1945)	
	0.155	----	10		
	0.168	----	14		
Σιτάρι μαλακό λευκό	0.121	31	5	Kazarian (1962)	Οι τιμές ελήφθησαν απο σχεδίαση σειρών τιμών που δόθηκαν από το συγγραφέα; Πυκνότητα=0.78 g/cm ³
	0.129	31	10		

	0.137	31	15		
Λίπη έλαια εκγυλίσματα					
Ζελατίνα ζελέ	0.522	5	94-80	Lentz (1961)	Η αγωγιμότητα δεν μεταβαλλόταν με τη συγκέντρωση σε εύρος τιμών(6,12,20%)
	2.14	-15	94		6% συγκέντρωση ζελατίνα
	1.94	-15	88		12% συγκέντρωση ζελατίνα
	1.41	-15	80		20% συγκέντρωση ζελατίνα
Μαργαρίνη	0.233	5	----	Hooper και Chang (1952)	Πυκνότητα=1.00 g/cm ³
Ελαια, Αμύγδαλο	0.176	4	----	Wachsmuth (1892)	Πυκνότητα=0.92 g/cm ³
Μουρουνέλαιο	0.170	35	----	Spells(1958,1960,1961)	
Λεμόνι	0.156	6	----	Weber (1880)	Πυκνότητα=0.82 g/cm ³
Μουστάρδα	0.170	25	----	Weber (1886)	Πυκνότητα=1.02 g/cm ³
Μοσχοκάρυδο	0.156	4	----	Wachsmuth (1892)	Πυκνότητα=0.94 g/cm ³
Ελιά	0.175	7	----	Weber (1880)	Πυκνότητα=0.91 g/cm ³
	0.168	32	----	Kaye και Higgins (1928)	Πυκνότητα=0.91 g/cm ³
	0.166	65	----		
	0.160	151	----		
	0.156	185	----		
Φυστίκι	0.168	4	----	Wachsmuth (1892)	Πυκνότητα=0.92 g/cm ³
	0.169	25	----	Woodams (1965)	
Ελαιοκράμβη	0.160	20	----	Kondrat'ev (1950)	Πυκνότητα=0.91 g/cm ³
Σουσάμι	0.176	4	----	Wachsmuth (1892)	Πυκνότητα=0.92 g/cm ³

↳α υποδεικνύει ροή θερμότητας κάθετη στη κοκκώδη δομή ενώ =α ροή θερμότητα παράλληλη στη κοκκώδη δομή.Οι παραπομπές που παρατίθενται είναι αυτές στις οποίες τα δεδομένα βασίζονται παρόλο που οι ακριβείς τιμές στο πίνακα ίσως έχουν μεσοσταθμιστεί,ληφθεί δια παρεμβολής,παρεκβολής ,επιλογής ή στρογγυλοποίησης

Πίνακας 6 Θερμική αγωγιμότητα ξηρών(δια ψύξεως) τροφίμων

Τρόφιμα	Θερμική αγωγιμότητα W/mK	Θερμοκρασία σε °C	Πίεση σε Pa	Παραπομπές ^b	Παρατηρήσεις
Μήλα	0.0156	35	2.66	Harper (1960, 1962)	Είδος 'Delicious'; πορώδες 88%; 5.1 συντελεστής ελικοειδούς; Μετρήσεις στο αέρα
	0.0185	35	21.0		
	0.0282	35	187		
	0.0405	35	2880		
Ροδάκινα	0.0164	35	6.0	Harper (1960, 1962)	πυρήνας προσκολλημένος στο καρπό; Πορώδες 91%; 4.1 συντελεστής ελικοειδούς; Μετρήσεις στο αέρα
	0.0185	35	21.5		
	0.0279	35	187		
	0.0410	35	2670		
Αχλάδια	0.0431	35	51000		
	0.0186	35	2.13	Harper (1960, 1962)	97% πορώδες ; μετρήσεις σε άζωτο
	0.0207	35	19.5		
	0.0306	35	187		
Βοδινό κρέας =α	0.0419	35	2150		
	0.0451	35	68900		
	0.0382	35	1.46	Harper (1960, 1962)	Άπαχο; 64% πορώδες; 4.4 συντελεστής ελικοειδούς; Μετρήσεις στον αέρα
	0.0412	35	22.7		
	0.0532	35	238		
	0.0620	35	2700		
	0.0652	35	101000		

Αυγά ζελές λευκοματινής	0.0393	41	101000	Saravacos και Pilsworth (1965)	2% περιεχόμενο νερό; μετρήσεις στο αέρα
	0.0129	41	4.40	Saravacos και Pilsworth (1965)	Μετρήσεις στο αέρα
Γαλοπούλα =a	0.0287	---	5.33	Triebes και King(1966)	Μαγειρεμένο λευκό κρέας; 68-72% πορώδες;μετρήσεις στο αέρα
	0.0443	---	15.0		
	0.0706	---	467		
	0.0861	---	2130		
	0.0927	---	98500		
⊥a	0.0170	---	5.60	Triebes και King(1966)	Μαγειρεμένο λευκό κρέας; 68-72% πορώδες;μετρήσεις στο αέρα
	0.0174	---	18.9		
	0.0221	---	133		
	0.0417	---	1250		
	0.0586	---	87600		
Αμυλούχος ζελές πατάτας	0.0091	---	4.3	Saravacos και Pilsworth (1965)	Μετρήσεις στο αέρα
	0.0144	---	181		
	0.0291	---	2210		
	0.0393	---	102700		
⊥a υποδηλώνει ροή θερμότητας κάθετη στη κοκκώδη δομή και =a ροή θερμότητας παράλληλη στη κοκκώδη δομή.					

ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΗ ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ

Παράδειγμα 4: Να προσδιοριστεί η θερμική αγωγιμότητα και πυκνότητα άπαχης χοιρινής ωμοπλάτης (lean pork shoulder meat) στους -40°C . Να γίνει χρήση του παράλληλου και του κάθετου μοντέλου θερμικής αγωγιμότητας.

Λύση: Από τον πίνακα 3 για άπαχη χοιρινή ωμοπλάτη (lean pork meat) η κατά μάζα σύσταση είναι

$$x_{w0}=0.7263 \quad x_p=0.1955 \quad x_f=0.0714 \quad \text{και} \quad x_a=0.0102$$

Επιπλέον το αρχικό σημείο στερεοποίησης για άπαχη χοιρινή ωμοπλάτη -2.2°C . Αφού η θερμοκρασία του χοιρινού είναι χαμηλότερα του αρχικού σημείου στερεοποίησης πρέπει καταρχάς να προσδιοριστεί το κλάσμα πάγου. Κάνοντας χρήση της (4) βρίσκεται ως

$$x_{ice} = (x_{w0} - 0.4x_p) \left(1 - \frac{t_f}{t}\right) = [0.7263 - (0.4)(0.1955)] \left(1 - \frac{-2.2}{-40}\right) = 0.6125$$

Το κλάσμα μάζας του νερού που δεν στερεοποιήθηκε βρίσκεται τότε ως εξής $x_{uw}=x_{w0}-x_{ice}=0.7263-0.6125=0.1138$.

Χρησιμοποιώντας τις εξισώσεις στους πίνακες 1,2 η πυκνότητα και θερμική αγωγιμότητα των συστατικών του τροφίμου υπολογίζονται για τη δεδομένη θερμοκρασία των -40°

$$\rho_w=9.9718*10^2+3.1439*10^{-3}(-40)-3.7574*10^{-3}(-40)^2=991.04 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{ice}=9.1689*10^2-1.3071*10^{-1}(-40)=922.12 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_p=1.3299*10^3-5.1840*10^{-1}(-40)=1350.6 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_f=9.2559*10^2-4.1757*10^{-1}(-40)=942.29 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_a=2.4238*10^3-2.8063*10^{-1}(-40)=2435.0 \text{ kg/m}^3$$

$$k_w = 5.7109 \cdot 10^{-1} + 1.7625 \cdot 10^{-3}(-40) - 6.7036 \cdot 10^{-6}(-40)^2 = 0.4899 \text{ W/mK}$$

$$k_{ice} = 2.2196 - 6.2489 \cdot 10^{-3}(-40) + 1.054 \cdot 10^{-4}(-40)^2 = 2.632 \text{ W/mK}$$

$$k_p = 1.7881 \cdot 10^{-1} + 1.1958 \cdot 10^{-3}(-40) - 2.7178 \cdot 10^{-6}(-40)^2 = 0.1266 \text{ W/mK}$$

$$k_f = 1.8071 \cdot 10^{-1} - 2.7604 \cdot 10^{-3}(-40) - 1.7749 \cdot 10^{-7}(-40)^2 = 0.2908 \text{ W/mK}$$

$$k_a = 3.2962 \cdot 10^{-1} + 1.4011 \cdot 10^{-3}(-40) - 2.9069 \cdot 10^{-6}(-40)^2 = 0.2689 \text{ W/mK}$$

Κάνοντας χρήση της (6) η πυκνότητα της χοιρινής ωμοπλάτης μπορεί να προσδιοριστεί

$$\sum \frac{x_i}{\rho_i} = \left(\frac{0.6125}{922.12} \right) + \left(\frac{0.1138}{991.04} \right) + \left(\frac{0.1955}{1350.6} \right) + \left(\frac{0.0714}{942.29} \right) + \left(\frac{0.0102}{2435.0} \right) = 1.0038 \times 10^{-3} \text{ kg / m}^3$$

$$\rho = \frac{1 - \varepsilon}{\sum \frac{x_i}{\rho_i}} = \frac{1 - 0}{1.0038 \times 10^{-3}} = 996 \text{ kg/m}^3$$

Μπορούμε πλέον να χρησιμοποιήσουμε την (36) οπότε τα κλάσματα όγκου των συστατικών είναι προσδιοριστέα

$$x_{ice}^v = \frac{\frac{x_{ice}}{\rho_{ice}}}{\sum \frac{x_i}{\rho_i}} = \frac{0.6125/922.12}{1.0038 \times 10^{-3}} = 0.6617$$

$$x_w^v = \frac{\frac{x_w}{\rho_w}}{\sum \frac{x_i}{\rho_i}} = \frac{0.1138/991.04}{1.0038 \times 10^{-3}} = 0.1144$$

$$x_p^v = \frac{\frac{x_p}{\rho_p}}{\sum \frac{x_i}{\rho_i}} = \frac{0.1955/1350.6}{1.0038 \times 10^{-3}} = 0.1442$$

$$x_f^v = \frac{\frac{x_f}{\rho_f}}{\sum \frac{x_i}{\rho_i}} = \frac{0.0714/942.29}{1.0038 \times 10^{-3}} = 0.0755$$

$$x_a^v = \frac{\frac{x_a}{\rho_a}}{\sum \frac{x_i}{\rho_i}} = \frac{0.0102/2435.0}{1.0038 \times 10^{-3}} = 0.0042$$

Χρησιμοποιώντας το παράλληλο μοντέλο, την εξίσωση (35), η θερμική αγωγιμότητα είναι τελικά

$$k = \sum (k_i x_i^v) = (0.6617)(2.632) + (0.1144)(0.4899) + (0.1442)(0.1266) + (0.0755)(0.2908) + (0.0042)(0.2689)$$

$$k = 1.84 \text{ W/mK}$$

Χρησιμοποιώντας το κάθετο μοντέλο, εξίσωση (36), η θερμική αγωγιμότητα θα είναι τελικά

$$k = \frac{1}{\sum x_i^v / k_i} = \left(\frac{0.6617}{2.632} + \frac{0.1144}{0.4899} + \frac{0.1442}{0.2908} + \frac{0.0755}{0.2908} + \frac{0.0042}{0.2689} \right)^{-1}$$

$$k=0.527 \text{ W/mK.}$$

Παράδειγμα 5: Να προσδιοριστεί η θερμική αγωγιμότητα και πυκνότητα **άπαχης χοιρινής ωμοπλάτης (lean pork shoulder meat)** στους -40°C εφαρμόζοντας το ιστροπικό μοντέλο του Korelman(1966)

Λύση: Σύμφωνα με το πίνακα 3 η σύσταση της χοιρινής ωμοπλάτης δίνεται: $x_w=0.7263$ $x_p=0.1955$ $x_f=0.0714$ και $x_a=0.0102$. Επιπρόσθετα το αρχικό σημείο στερεοποίησης για άπαχη χοιρινή ωμοπλάτη -2.2°C . Αφού η θερμοκρασία του χοιρινού είναι χαμηλότερα του αρχικού σημείου στερεοποίησης πρέπει σε πρώτη φάση να προσδιοριστεί το κλάσμα πάγου. Από το προηγούμενο παράδειγμα για το ίδιο είδος κρέατος το κλάσμα πάγου έχει ήδη βρεθεί $x_{ice}=0.6125$ και το κλάσμα μάζας του νερού που δεν κρυσταλλοποιήθηκε επίσης έχει υπολογιστεί και είναι $x_{uw}=0.1138$

Χρήση των εξισώσεων στους πίνακες 1,2 για πυκνότητα και θερμική αγωγιμότητα των συστατικών στοιχείων του χοιρινού έχουν επίσης υπολογιστεί στους -40°C από πριν (βλ. παράδειγμα 4):

$\rho_w=991.04 \text{ kg/m}^3$	$k_w=0.4899 \text{ W/mK}$
$\rho_{ice}=922.12 \text{ kg/m}^3$	$k_{ice}=2.632 \text{ W/mK}$
$\rho_p=1350.6 \text{ kg/m}^3$	$k_p=0.1266 \text{ W/mK}$
$\rho_f=942.29 \text{ kg/m}^3$	$k_f=0.2908 \text{ W/mK}$
$\rho_a=2435.0 \text{ kg/m}^3$	$k_a=0.2689 \text{ W/mK}$

1^ο βήμα: προσδιορίζουμε τη θερμική αγωγιμότητα του μίγματος(2 συστατικών στοιχείων-πάντα- σε κάθε επανάληψη της μεθόδου Korelman) πάγου/νερού. Αυτό απαιτεί να υπολογίσουμε τα κλάσματα όγκου των 2 συνιστωσών πάγου και νερού:

$$x_w^v = \frac{x_w / \rho_w}{\sum x_i / \rho_i} = \frac{0.1138 / 991.04}{\frac{0.1138}{991.04} + \frac{0.6125}{922.12}} = 0.1474$$

$$x_{ice}^v = \frac{x_{ice} / \rho_{ice}}{\sum x_i / \rho_i} = \frac{0.6125 / 922.12}{\frac{0.1138}{991.04} + \frac{0.6125}{922.12}} = 0.8526$$

Πρέπει να σημειωθεί ότι τα κλάσματα όγκου που υπολογίστηκαν για 2-συστατικών στοιχείων σύστημα είναι διαφορετικά του προηγούμενου παραδείγματος για το ίδιο είδος κρέατος κατά το ότι στο παρανομαστή δεν λαμβάνονται υπόψη όλα τα συστατικά του χοιρινού αλλά μόνο των 2 εξεταζόμενων. Λόγω ότι ο πάγος έχει το μεγαλύτερο κλάσμα όγκου στο δύο συστατικών μίγμα πάγου-νερού υποθέτουμε ότι ο πάγος είναι σε «συνεχή φάση». Οπότε το L από την (27) προκύπτει

$$L^3 = x_w^v = 0.1474$$

$$L^2 = 0.2790$$

$$L = 0.5282$$

Επειδή το $k_{ice} > k_w$ και ο πάγος είναι, από παραδοχή, σε συνεχή φάση η θερμική αγωγιμότητα του παραπάνω μίγματος βρίσκεται από τη (27)

$$k_{ice/water} = k_{ice} \left[\frac{1-L^2}{1-L^2(1-L)} \right] = 2.632 \left[\frac{1-0.2790}{1-0.2790(1-0.5282)} \right] = 2.1853 \text{ W/mK}$$

Η πυκνότητα του μίγματος γίνεται τότε $\rho_{ice/water} = x_w^v \rho_w + x_{ice}^v \rho_{ice} = (0.1474)(991.04) + (0.8526)(922.12) = 932.28 \text{ kg/m}^3$

2^ο βήμα: Βρίσκουμε τη θερμική αγωγιμότητα του μίγματος (ice/water)₁ και (protein)₂ και πάλι δύο συστατικών στοιχείων όπως απαιτεί η μέθοδος Korelman οπότε:

$$x_p^v = \frac{x_p / \rho_p}{\sum x_i / \rho_i} = \frac{0.1955 / 1350.6}{\frac{0.1955}{1350.6} + \frac{0.7263}{932.28}} = 0.1567$$

$$x_{ice/water}^v = \frac{x_{ice/water} / \rho_{ice/water}}{\sum x_i / \rho_i} = \frac{0.7263 / 932.28}{\frac{0.1955}{1350.6} + \frac{0.7263}{932.28}} = 0.8433$$

Να σημειωθεί ότι υπολογίσαμε τα κλάσματα όγκου των δύο συστατικών στοιχείων του συστήματος ice/water από τη μία και protein από την άλλη. Καθώς οι πρωτεΐνες έχουν το μικρότερο κλάσμα όγκου θα είναι στη ασυνεχή φάση άρα:

$$L^3 = x_p^v = 0.1567$$

$$L^2 = 0.2907$$

$$L = 0.5391$$

Οπότε η θερμική αγωγιμότητα του μίγματος (ice/water)₁ και (protein)₂ θα είναι:

$$k_{ice/water/protein} = k_{ice/water} \left[\frac{1-L^2}{1-L^2(1-L)} \right] = 2.1853 \left[\frac{1-0.2907}{1-0.2907(1-0.5391)} \right] = 1.7898 \text{ W/mK}$$

Η πυκνότητα του μίγματος (ice/water/protein) γίνεται τότε $\rho_{ice/water/protein} = x_{ice/water}^v \rho_{ice/water} + x_p^v \rho_p = (0.8433)(932.28) + (0.1567)(1350.6) = 997.83 \text{ kg/m}^3$

3^ο βήμα: Βρίσκουμε τη θερμική αγωγιμότητα του μίγματος δύο συστατικών στοιχείων για ακόμη μια φορά των (ice/water/protein)₁ και του (fat)₂. Αυτό απαιτεί τον υπολογισμό των κλασμάτων όγκου των παραπάνω συνιστωσών

$$x_f^v = \frac{x_f / \rho_f}{\sum x_i / \rho_i} = \frac{0.0714 / 942.29}{\frac{0.0714}{942.29} + \frac{0.9218}{997.83}} = 0.0758$$

$$x_{i/w/p}^v = \frac{x_{i/w/p} / \rho_{i/w/p}}{\sum x_i / \rho_i} = \frac{0.9218 / 997.83}{\frac{0.0714}{942.29} + \frac{0.9218}{997.83}} = 0.9242$$

$$L^3 = x_f^v = 0.0758$$

$$L^2 = 0.1791$$

$$L = 0.4232$$

Οπότε η θερμική αγωγιμότητα του συνολικού μίγματος (ice/water/protein/fat) γίνεται

$$k_{i/w/p/f} = k_{i/w/p} \left[\frac{1-L^2}{1-L^2(1-L)} \right] = 1.7898 \left[\frac{1-0.1791}{1-0.1791(1-0.4232)} \right] = 1.639 \text{ W/mK}$$

Η πυκνότητα του μίγματος ice/water/protein/fat προκύπτει

$$\rho_{i/w/p/f} = x_{i/w/p}^v \rho_{i/w/p} + x_f^v \rho_f = (0.9242)(997.83) + (0.0758)(942.29) = 993.62 \text{ kg/m}^3$$

4^ο βήμα: Τελικά η θερμική αγωγιμότητα της άπαχης χοιρινής ωμοπλάτης (lean pork meat) μπορεί πλέον να βρεθεί υπολογίζοντας τα κλάσματα όγκου των συνιστωσών (ice/water/protein/fat)₁ και (ash)₂ του μίγματος.

$$x_a^v = \frac{x_a / \rho_a}{\sum x_i / \rho_i} = \frac{0.0102 / 2435.0}{\frac{0.0102}{2435.0} + \frac{0.9932}{993.62}} = 0.0042$$

$$x_{i/w/p/f}^v = \frac{x_{i/w/p/f} / \rho_{i/w/p/f}}{\sum x_i / \rho_i} = \frac{0.9932 / 993.62}{\frac{0.0102}{2435.0} + \frac{0.9932}{993.62}} = 0.9958$$

$$L^3 = x_a^v = 0.0042$$

$$L^2 = 0.0260$$

$$L = 0.1613$$

Άρα η ζητούμενη θερμική αγωγιμότητα του χοιρινού (lean pork meat) θα προκύψει εν τέλει ως εξής

$$k_{pork} = k_{i/w/p/f} \left[\frac{1-L^2}{1-L^2(1-L)} \right] = 1.639 \left[\frac{1-0.0260}{1-0.0260(1-0.1613)} \right] = 1.632 \text{ W/mK}$$

$$\rho_{pork} = x_{i/w/p/f}^v \rho_{i/w/p/f} + x_a^v \rho_a = (0.9958)(993.62) + (0.0042)(2435.0) = 999.7 \text{ kg/m}^3$$

ΘΕΡΜΙΚΗ ΔΙΑΧΥΣΗ

Στη μεταβατική μεταφορά θερμότητας η σημαντική θερμοφυσική ιδιότητα είναι η θερμική διάχυση a η οποία εμφανίζεται στη εξίσωση του Fourier

$$\frac{\partial T}{\partial \theta} = \alpha \left[\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right] \quad (38)$$

όπου x, y, z ορθογώνιου συστήματος συντεταγμένες, T η θερμοκρασία και θ ο χρόνος. Ο συντελεστής θερμικής διάχυσης ορίζεται ως εξής

$$a = \frac{k}{\rho c} \quad (39)$$

όπου a συντελεστής θερμικής διάχυσης, k συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας, ρ πυκνότητα και c η ειδική θερμοχωρητικότητα.

Πειραματικές τιμές για τη θερμική διάχυση στα τρόφιμα είναι σπάνιες. Όμως η θερμική διάχυση μπορεί να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας την (39) με κατάλληλες τιμές της θερμικής αγωγιμότητας k , πυκνότητας ρ και ειδικής θερμοχωρητικότητας c . Κάποιες πειραματικές τιμές δίνονται στο πίνακα 7.

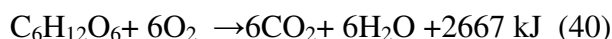
Πίνακας 7 Συντελεστής θερμικής διάχυσης τροφίμων

Τρόφιμα	Θερμική διάχυση mm^2/s	Περιεχόμενο νερό % κατά μάζα	Περιεχόμενο λίπος % κατά μάζα	‘Φαινόμενη’ πυκνότητα kg/m^3	Θερμοκρασία σε $^{\circ}\text{C}$	Παραπομπές
Φρούτα και λαχανικά						
Μήλο τύπου ‘Red Delicious’, ολόκληρο ^a	0.14	85	---	840	0-30	Bennett et al.(1969)
Ξηρό	0.096	42	---	856	23	Sweat (1985)
Πουρές μήλου	0.11	37	---	---	5	Riedel (1969)
	0.11	37	---	---	65	Riedel (1969)
	0.12	80	---	---	5	Riedel (1969)
	0.14	80	---	---	65	Riedel (1969)
Βερίκοκα ξηρά	0.11	44	---	1323	23	Sweat (1985)
Μπανάνες φρέσκιες	0.12	76	---	---	5	Riedel (1969)
	0.14	76	---	---	65	Riedel (1969)
Κεράσια φρέσκα ^b	0.13	---	---	1050	0-30	Parker και Stout(1967)
Χουρμάδες	0.10	35	---	1319	23	Sweat (1985)
Σύκα	0.096	40	---	1241	23	Sweat (1985)
Μαρμελάδα φράουλα	0.12	41	---	1310	20	Sweat (1985)
Ζελέ σταφυλιών	0.12	42	---	1320	20	Sweat (1985)
Ροδάκινα ^b	0.14	---	---	960	2-32	Bennett(1963)
Ξηρά	0.12	43	---	1259	23	Sweat (1985)
Πατάτες ολόκληρες	0.13	---	---	1040-1070	0-70	Mathews και Hall(1968), Minh et al.(1969)
Λιωμένες, μαγειρεμένες	0.12	78	---	---	5	Riedel (1969)
	0.15	78	---	---	65	Riedel (1969)
Δαμάσκηνα	0.12	43	---	1219	23	Sweat (1985)
Σταφίδες	0.11	32	---	1380	23	Sweat (1985)
Φράουλες φρέσκιες	0.13	92	---	---	5	Riedel (1969)
Ζαχαρότευτλα	0.13	---	---	---	0-60	Slavicek et al.(1962)

Κρέατα						
Μπακαλάος	0.12	81	---	---	5	Riedel (1969)
	0.14	81	---	---	65	Riedel (1969)
Ψήσσα ^ε	0.15	76	1	1070	40-65	Dickerson και Read(1975)
Βοδινό κύριο τμήμα ώμοζ ^d	0.12	66	16	1060	40-65	Dickerson και Read(1975)
Κρέας μηρού ^d	0.13	71	4	1090	40-65	Dickerson και Read(1975)
Γλώσσα ^d	0.13	68	13	1060	40-65	Dickerson και Read(1975)
Λουκάνικο βοδινού κρέατος	0.11	37	---	1050	20	Sweat (1985)
Βοδινό τύπου 'bologna'	0.13	65	---	1000	20	Sweat (1985)
Βοδινό κρέας σε κονσέρβα	0.11	65	---	---	5	Riedel (1969)
	0.13	65	---	---	65	Riedel (1969)
Χωριάτικο ζαμπόν	0.14	72	---	1030	20	Sweat (1985)
Καπνιστό	0.12	64	---	---	5	Riedel (1969)
	0.13	64	14	1090	40-65	Dickerson και Read(1975)
Πεπερόνι	0.093	32	---	1060	20	Sweat (1985)
Σαλάμι	0.13	36	---	960	20	Sweat (1985)
Κέικς						
Είδος κέικ (angel)	0.26	36	---	147	23	Sweat (1985)
Πουρές μήλου	0.12	24	---	300	23	Sweat (1985)
Καρότο	0.12	22	---	320	23	Sweat (1985)
Σοκολάτα	0.12	32	---	340	23	Sweat (1985)
Είδος κέικ (pound)	0.12	23	---	480	23	Sweat (1985)
Κίτρινο	0.12	25	---	300	23	Sweat (1985)
Λευκό	0.10	32	---	446	23	Sweat (1985)
a τα δεδομένα έχουν εφαρμογή μόνο σε ωμά ολόκληρα μήλα, b νέα συγκομιδή, c κατεψυγμένο και ξεπαγωμένο πριν το έλεγχο, d εφαρμογή όταν οι χυμοί που εξέρχονται κατά τη θέρμανση παραμένουν στο τρόφιμο.						

ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ ΑΝΑΠΝΟΗΣ

Όλα τα έμβια (φυτικά) προϊόντα αναπνέουν. Κατά τη διάρκεια της αναπνοής σάκχαρα και μοριακό οξυγόνο συνδυάζονται προς σχηματισμό CO₂, H₂O και θερμότητας(θερμικής ενέργειας) όπως παρακάτω



Στα περισσότερα προϊόντα υπό ψυχρή αποθήκευση μικρή κυτταρική ανάπτυξη λαμβάνει χώρα και το μεγαλύτερο τμήμα της ενέργειας αναπνοής απελευθερώνεται ως θερμότητα η οποία πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά τη ψυχρή αποθήκευση αυτών των βιολογικά ενεργών προϊόντων(Becker et al 1996a).Ο ρυθμός με τον οποίο η χημική αυτή αντίδραση συμβαίνει ποικίλει με το είδος αλλά και τη θερμοκρασία συντήρησης του προϊόντος. Ο Becker et al(1996b) ανέπτυξε σχέσεις συσχέτισεως που συνδέουν τον ρυθμό παραγωγής CO₂ ενός προϊόντος με τη θερμοκρασία του. Ο ρυθμός παραγωγής CO₂ μπορεί τότε να συσχετιστεί με το ρυθμό παραγωγής θερμότητας ενός προϊόντος από αναπνοή. Αποτέλεσμα των συσχετίσεων αυτών δίνει τον ρυθμό παραγωγής θερμότητας αναπνοής ενός προϊόντος W(W/kg) συναρτήσει της θερμοκρασίας του t σε °C:

$$W = \frac{10.7f}{3600} \left(\frac{9t}{5} + 32 \right)^g \quad (41)$$

Οι συντελεστές αναπνοής f,g για ποικίλα προϊόντα παρουσιάζονται στο πίνακα 8.

Πίνακας 8 Παράμετροι αναπνοής προϊόντων

Προϊόντα	Παράμετρος f	Παράμετρος g
Μήλα	5.6871×10^{-4}	2.5977
Είδος βατόμουρου(blueberry)	7.2520×10^{-5}	3.2584
Λαχανάκια Βρυξελλών	0.0027238	2.5728
Λάχανο	6.0803×10^{-4}	2.6183
Καρότα	0.050018	1.7926
Γρέϊπφρουτ	0.0035828	1.9982
Σταφύλια	7.056×10^{-5}	3.033
Πράσινες πιπεριές	3.5104×10^{-4}	2.7414
Λεμόνια	0.011192	1.7740
Φασόλια γίγαντες	9.1051×10^{-4}	2.8480
Γλυκολέμονα(lime)	2.9834×10^{-8}	4.7329
Κρεμμύδια	3.668×10^{-4}	2.538
Πορτοκάλια	2.8050×10^{-4}	2.6840
Ροδάκινα	1.2996×10^{-5}	3.6417
Αχλάδια	6.3614×10^{-5}	3.2037
Δαμάσκηνα	8.608×10^{-5}	2.972
Πατάτες	0.01709	1.769
Γογγυλοκράμβες	1.6524×10^{-4}	2.9039
Πράσινα φασόλια	0.0032828	2.5077
Ζαχαρότευτλα	8.5913×10^{-3}	1.8880
Φράουλες	3.6683×10^{-4}	3.0330
Ντομάτες	2.0074×10^{-4}	2.8350
Πηγή:Becker et al(1996b)		

Φρούτα, λαχανικά, λουλούδια, βολβοί φυτών, φυτά ανθοπωλείων και φυτώριων είναι προϊόντα για ψυχρή αποθήκευση με σημαντικά ποσά θερμότητας αναπνοής. Ξηρά φυτικά προϊόντα όπως σπόροι και καρύδια έχουν πολύ χαμηλούς ρυθμούς αναπνοής. Τα νεαρά προϊόντα, ενεργών αναπτυσσόμενων ιστών, όπως τα σπαράγγια, μπρόκολα και σπανάκι έχουν υψηλούς ρυθμούς αναπνοής καθώς και οι πρώιμοι σπόροι όπως ο αρακάς και το γλυκό καλαμπόκι. Γρήγορα αναπτυσσόμενα φρούτα όπως οι φράουλες και τα βατόμουρα έχουν πολύ υψηλότερους ρυθμούς αναπνοής από φρούτα που ωριμάζουν με αργό ρυθμό όπως μήλα, σταφύλια και εσπεριδοειδή. Σε γενικές γραμμές τα περισσότερα λαχανικά πλην των καλλιεργειών με ρίζα (root crops) έχουν ένα υψηλό αρχικό ρυθμό αναπνοής για τις πρώτες μια με δύο μέρες μετά τη συγκομιδή ενώ εντός κάποιων ημερών οι ρυθμοί αναπνοής γρήγορα πέφτουν στο ρυθμό ισορροπίας (Ryall and Lipton 1972). Φρούτα που δεν ωριμάζουν κατά τη διάρκεια της ψυχρής αποθήκευσης όπως τα εσπεριδοειδή και τα σταφύλια έχουν αρκετά σταθερούς ρυθμούς αναπνοής. Αυτά αντιθέτως που ωριμάζουν στους ψυκτικούς θαλάμους αποθήκευσης όπως τα μήλα, ροδάκινα αλλά και τα αβοκάντο εμφανίζουν αύξηση του ρυθμού αναπνοής. Σε χαμηλές θερμοκρασίες ψυχρής αποθήκευσης, κοντά στο 0°C, ο ρυθμός αναπνοής σπάνια αυξάνει καθώς αναστέλλεται η διαδικασία ωρίμανσης. Όμως αν φρούτα αποθηκεύονται σε υψηλότερες θερμοκρασίες συντήρησης (10-15 °C) ο ρυθμός αναπνοής αυξάνεται εξαιτίας της ωρίμανσης και μετά μειώνεται. Μαλακά φρούτα, όπως τα σύκα, κάποια είδη βατόμουρων και φράουλες έχουν μειούμενο ρυθμό αναπνοής με το χρόνο στους 0°C. Αν όμως μολυνθούν με μικροοργανισμούς αποσύνθεσης αυξάνονται οι ρυθμοί

αναπνοής τους. Ο πίνακας 9 καταγράφει τους ρυθμούς αναπνοής ως συνάρτηση της θερμοκρασίας για μια ποικιλία προϊόντων και ο πίνακας 10 τη μεταβολή στους ρυθμούς αναπνοής με το χρόνο. Τα περισσότερα προϊόντα του πίνακα 9 παρουσιάζουν μια υψηλή και μια χαμηλή τιμή θερμότητας αναπνοής σε κάθε θερμοκρασία ενώ όπου δεν γίνεται αυτό η τιμή είναι μέση τιμή θερμότητας αναπνοής για συγκεκριμένη θερμοκρασία και μπορεί να είναι μέση τιμή αναπνοής αρκετών ημερών. Κατά τη χρήση του πίνακα 9 επιλέγουμε τη χαμηλότερη τιμή για τον υπολογισμό θερμότητας αναπνοής σε ρυθμό ισορροπίας στη ψυχρή αποθήκευση και τη υψηλότερη τιμή για να υπολογίσουμε το θερμικό φορτίο των δύο πρώτων ημερών μετά τη συγκομιδή συμπεριλαμβανομένης της πρόψυξης και της σύντομης υπό ψύξη μεταφοράς. Στη αποθήκευση φρούτων μεταξύ 0 και 5 °C η αύξηση ρυθμού της θερμότητας αναπνοής που προκαλείται από την ωρίμανση είναι μικρή. Όμως για φρούτα όπως τα μάνγκο, αβοκάντο και τις μπανάνες σημαντική ωρίμανση συμβαίνει σε θερμοκρασία άνω των 10°C και πρέπει να επιλέγεται η μεγαλύτερη τιμή του πίνακα 9. Τέλος πρέπει να ειπωθεί ότι λαχανικά όπως τα κρεμμύδια, σκόρδα και λάχανο μπορούν να αυξήσουν το ρυθμό θερμότητας αναπνοής μετά από μια μακρά περίοδο αποθήκευσης.

Πίνακας 9 Θερμότητα ανάπνοής φρέσκων φρούτων και λαχανικών σε ποικίλες θερμοκρασίες

Θερμότητα αναπνοής mW/kg							
Προϊόντα	0°C	5°C	10°C	15°C	20°C	25°C	Παραπομπές
Είδη μήλων							
Κίτρινο(διαφανές)	20.4	35.9	---	106.2	166.8	---	Wright et al.(1954)
Τύπου Delicious	10.2	15.0	---	---	---	---	Lutz και Hardenburg(1968)
Τύπου Golden delicious	10.7	16.0	---	---	---	---	Lutz και Hardenburg(1968)
Τύπου Jonathan	11.6	17.5	---	---	---	---	Lutz και Hardenburg(1968)
Τύπος McIntosh	10.7	16.0	---	---	---	---	Lutz και Hardenburg(1968)
Πρώρες ποικιλίες	9.7-18.4	15.5-31.5	41.2-60.6	53.6-92.1	58.2-121.2	---	IIR(1967)
Όψιμες ποικιλίες	5.3-10.7	13.6-20.9	20.4-31.0	27.6-58.2	43.6-72.7	---	IIR(1967)
Μέσος όρος πολλών ποικιλιών	6.8-12.1	15.0-21.3	---	40.3-91.7	50-103.8	---	Lutz και Hardenburg(1968)
Βερίκοκα	15.5-17.0	18.9-26.7	33.0-55.8	63-101.8	87.3-155.2	---	Lutz και Hardenburg(1968)
Αγκινάες (υφήλιος)	67.4-133.4	94.6-178	16.2-291.5	22.9-430.2	40.4-692	---	Rappaport και Watada(1958), Sastry et al.(1978)
Σπαράγγια	81.0-237.6	162-404.5	318.1-904	472.3-971.4	809.4-1484	---	Lipton(1957),Sastry et al. (1978)
Αβοκάντο	*b	*b	---	183.3-465.6	218.7-1029.1	---	Biale(1960) ,Lutz και Hardenburg(1968)
Μπανάνες							
Πράσινες	*b	*b	†b	59.7-130.9	87.3-155.2	---	IIR(1967)
Σε ωρίμανση	*b	*b	†b	37.3-164.9	97-242.5	---	IIR(1967)
Φασόλια							
Lima χωρίς κέλυφος	31-89.2	58.2-106.7	---	296.8-369.5	393.8-531.5	---	Lutz και Hardenburg(1968), Tewfik και Scott(1954)
Με κέλυφος	52.4-103.8	86.3-180.9	---	---	627-801.1	---	Lutz και Hardenburg(1968), Tewfik και Scott(1954)
Πράσινα φασολάκια	*b	101.4-103.8	162-172.6	252.2-276.4	350.6-386	---	Ryall και Lipton(1972), Watada και Morris(1966)
Πατζάρια, κόκκινη ρίζα	16-21.3	27.2-28.1	34.9-40.3	50-68.9	---	---	Ryall και Lipton(1972), Smith(1957)
Μούρα							
Βατόμουρα	46.6-67.9	84.9-135.8	155.2-281.3	208.5-431.6	388-581.9	---	IIR(1967)
Βατόμουρο(blueberry)	6.8-31.0	27.2-36.4	---	101.4-183.3	153.7-259	---	Lutz και Hardenburg(1968)

Φίγγι	*b	12.1-13.6	---	---	32.5-53.8	---	Anderson et al.(1963), Lutz και Hardenburg(1968)
Φραγκοστάφυλλα	20.4-25.7	36.4-40.3	---	64.5-95.5	---	---	Lutz και Hardenburg(1968), Smith (1966)
Σμέουρο	52.4-74.2	91.7-114.4	82.4-164.9	243.9-300.7	339.5-727.4	---	Haller et al.(1941),IIR(1967), Lutz και Hardenburg(1968)
Φράουλες	36.4-52.4	48.5-98.4	145.5-281.3	210.5-273.5	303.1-581	501.4-625.6	IIR(1967),Lutz και Hardenburg(1968), Maxie et al.(1959)
Μπρόκολο,σε ωρίμανση	55.3-63.5	102.3-474.8	---	515-1008.2	824.9-1011.1	1155.2-1661	Morris(1947), Lutz και Hardenburg(1968),Scholz et al.(1963)
Λαχανάκια Βρυξελλών	45.6-71.3	95.5-144	187.2-250.7	283.2-316.7	267.2-564	---	Sastry et al.(1978), Smith(1957)
<u>Λάχανα</u>							
Τύπου Penn State ^c	11.6	28.1-30.1	---	66.4-94.1	---	---	Van den Berg και Letz(1972)
Λευκό, χειμώνα	14.5-24.2	21.8-41.2	36.4-53.3	58.2-80	106.7-121.2	---	IIR(1967)
Άνοιξης	28.1-40.3	52.4-63.5	86.3-98.4	159.1-167.7	---	---	Sastry et al(1978),Smith(1957)
Κόκκινο, πρώιμο	22.8-29.1	46.1-50.9	70.3-824.2	109.1-126.1	164.9-169.7	---	IIR(1967)
Κραμπολάχανο	46.1-63.0	75.2-87.3	155.2-181.9	259.5-293.4	388-436.5	---	IIR(1967)
<u>Καρότα</u>							
Τύπου Imperator, Texas	45.6	58.2	93.1	117.4	209	---	Scholz et al.(1963)
Κύριας σοδιάς, Ηνωμένου Βασιλείου	10.2-20.4	17.5-35.9	29.1-46.1	86.8-196.4 στους 18 ^o C	---	---	Smith(1957)
Nantes, Καναδάς ^d	9.2	19.9	---	64-83.9	---	---	Van den Berg και Letz(1972)
<u>Κουνουπίδια</u>							
Τέξας	52.9	60.6	100.4	136.8	238.1	---	Scholz et al.(1963)
Ηνωμένου Βασιλείου	22.8-71.3	58.2-81.0	121.2-144.5	199.8-243	---	---	Smith(1957)
<u>Σέλινα</u>							
Νέας Υόρκης λευκά	21.3	32.5	---	110.6	191.6	---	Lutz και Hardenburg(1968)
Ηνωμένου Βασιλείου	15.0-21.3	27.2-37.8	58.2-81.0	115.9-124.1 στους 18 ^o C	---	---	Smith (1957)
Γιούτα, Καναδάς ^c	15.0	26.7	---	88.3	---	---	Van den Berg και Letz(1972)
<u>Κεράσια</u>							
Ξινά	17.5-39.3	37.8-39.3	---	81-148.4	115.9-148.4	157.6-210.5	Hawkins(1929), Lutz και Hardenburg(1968)
Γλυκά	12.1-16	28.1-41.7	---	74.2-133.4	83.4-94.6	---	Gerhardt et al.(1942), Lutz και Hardenburg (1968), Micke et al.(1965)
Καλαμπόκι γλυκό με φλοιό, Τέξας	126.1	230.4	332.2	483	855.5	1207.5	Scholz et al.(1963)
Αγγούρια, Καλιφόρνιας	*b	*b	68.4-85.8 στους 13 ^o C	71.3-98.4	92.1-142.6	---	Eaks και Morris(1956)
Σύκα τύπου Mission	---	23.5-39.3	65.5-68.4	145.5-187.7	168.8-281.8	252.2-281.8	Claypool και Ozbek(1952) Lutz και Hardenburg (1968)
Σκόρδα	8.7-32.5	17.5-28.6	27.2-28.6	32.5-81	29.6-53.8	---	Mann και Lewis(1956), Sastry et al.(1978)
<u>Σταφύλια</u>							
Τύπου Labrusca Concord	8.2	16	---	47	97	114.4	Lutz(1938),Lutz και Hardenburg (1968)
Vinifera emperor	3.9-6.8	9.2-17.5	2.42	29.6-34.9	---	74.2-89.2	Lutz και Hardenburg (1968), Pentzer et al.(1933)
Thompson χωρίς κουκούτσι	5.8	14.1	22.8	---	---	---	Wright et al.(1954)
Τύπου Ohanez	3.9	9.7	21.3	---	---	---	Wright et al.(1954)
<u>Γρειφορούτ</u>							
Τύπου Marsh Καλιφόρνιας	*b	*b	*b	34.9	52.4	64.5	Haller et al.(1945)
Φλόριντας	*b	*b	*b	37.8	47	56.7	Haller et al.(1945)
Αγριοράπανα	24.2	32	78.1	97	132.4	---	Sastry et al.(1978)

Ακτινίδια	8.3	19.6	38.9	---	51.9-57.3	---	Saravacos και Pilsworth(1965)
Λάχανο Kohlrabi	29.6	48.5	93.1	145.5	---	---	Sastry et al.(1978)
Πράσσα	28.1-48.5	58.2-86.3	159.1-202.2	245.4-346.7	---	---	Sastry et al.(1978), Smith(1957)
Λεμόνια Καλιφόρνιας	*b	*b	*b	47	67.4	77.1	Haller et al.(1945)
Μαρούλια							
Κεφαλής, Καλιφόρνια	27.2-50	39.8-59.2	81-118.8	114.4-121.2	178	---	Sastry et al.(1978)
Τέξας	31	39.3	64.5	106.7	168.8	2.4 στους 27°C	Lutz και Hardenburg(1968), Watt και Merrill(1963)
Φύλλων, Τέξας	68.4	86.8	116.9	186.7	297.8	434.5	Scholz et al.(1963)
Τύπου Romain ,Τέξας	---	61.6	105.2	131.4	203.2	321.5	Scholz et al.(1963)
Γλυκολέμονα Περσικά	*b	*b	7.8-17	17.5-31	20.4-55.3	44.6-134.8	Lutz και Hardenburg(1968)
Μάνγκος	*b	*b	---	133.4	222.6-449.1	356	Gore (1911),Karmarkar και Joshe(1941b), Lutz και Hardenburg (1968)
Πεπόνια							
Μηλοπέπονο	*b	25.7-29.6	46.1	99.9-114.4	132.4-191.6	184.8-211.9	Lutz και Hardenburg(1968) Sastry et al.(1978),Scholz et al.(1963)
Γλυκό(honeydew) πεπόνι	---	*b	23.8	34.9-47	59.2-70.8	78.1-102.3	Lutz και Hardenburg (1968),Pratt και Morris(1958), Scholz et al.(1963)
Καρπούζι	*b	*b	22.3	---	51.4-74.2	---	Lutz και Hardenburg(1968), Scholz et al.(1963)
Μέντα(δύοσμος) ¹	23.8-44.5	89	225.6-270.1	311.6-403.6	492.7-673.7	762.7-940.8	Hruschka και Want(1979)
Μανιτάρια	83.4-129.5	210.5	---	---	782.2-938.9	---	Lutz και Hardenburg(1968), Smith(1964)
Καρποί(γενικά)	2.4	4.8	9.7	9.7	14.5	---	IIR(1967)
Μπάμιες, Clemson	*b	---	259	432.6	774.5	1024 στους 29°C	Scholz et al.(1963)
Ελιές, Manzanillo	*b	*b	---	64.5-115.9	114.4-145.5	121.2-180.9	Maxie et al.(1959)
Κρεμμύδια							
Ξηρά, Autumn spice ^f	6.8-9.2	10.7-19.9	---	14.7-28.1	---	---	Van den Berg και Letz(1972)
Λευκά, Bermuda	8.7	10.2	21.3	33	50	83.4 στους 27°C	Scholz et al.(1963)
Πράσινα ,New Jersey	31-65.9	51.4-202.2	107.2-174.6	195.9-288.6	231.6-460.8	290-622.2	Lutz και Hardenburg(1968)
Πορτοκάλια							
Φλόριντας	9.2	18.9	36.4	62.1	89.2	105.2 στους 27°C	Haller et al.(1945)
Καλιφόρνιας, w.navel	*b	18.9	40.3	67.4	81	107.7	Haller et al.(1945)
Βαλένθιας	*b	13.6	34.9	37.8	52.4	62.1	Haller et al.(1945)
Παπάγια	*b	*b	33.5	44.6-64.5	---	115.9-291	Jones(1942), Pantastico(1974)
Μαιντανός ¹	98-136.5	195.9-252.3	388.8-486.7	427.4-661.9	581.7-756.8	914.1-1012	Hruschka και Want(1979)
Είδη δαυκίου							
Ηνωμένου Βασιλείου	34.4-46.1	26.2-51.9	60.6-78.1	95.5-127.1	---	---	Smith (1957)
Καναδά, Hollow Crown ^g	10.7-24.2	18.4-45.6	---	64-137.2	---	---	Van den Berg και Letz(1972)
Ροδάκινα							
Elberta	11.2	19.4	46.6	101.8	181.9	266.7 στους 27°C	Haller et al.(1932)
Διάφορες ποικιλίες	12.1-18.9	18.9-27.2	---	98.4-125.6	175.6-303.6	241.5-361.3	Lutz και Hardenburg(1968)
Φυστίκια							
Επεξεργασμένα ^h	0.05 στους 1.7°C					0.5 για 30°C	Thompson et al.(1951)
Μη-επεξεργ, Virginia bunch ⁱ						42 για 30°C	Schenk (1959,1961)
Τύπος Dixie Spanish						24.5 για 30°C	Schenk (1959,1961)
Αγγάδια							
Είδος Bartlett	9.2-20.4	15-29.6	---	44.6-178	89.2-207.6	---	Lutz και Hardenburg(1968)

Όψιμη ωρίμανση	7.8-10.7	17.5-41.2	23.3-55.8	82.4-126.1	97-218.2	---	IIR (1967)
Πρόωρη ωρίμανση	7.8-14.5	21.8-46.1	21.9-63	101.8-160	116.4-266.7	---	IIR (1967)
Αρακάς							
Πράσινος εντός φλούδας	90.2-138.7	163.4-226.5	---	530.1-600.4	728.4-1072.2	1018.4-1118.3	Lutz και Hardenburg(1968), Tewfik και Scott(1954)
Χύμα σε συσκευασία	140.2-224.1	234.7-288.7	---	---	1035-1630	---	Lutz και Hardenburg(1968), Tewfik και Scott(1954)
Πιπεριές γλυκές	*b	*b	42.7	67.9	130	---	Scholz et al. (1963)
Διόσπυρος		17.5		34.9-41.7	59.2-71.3	86.3-118.8	Gore (1911),Lutz και Hardenburg(1968)
Ανανάς							
Ώριμος πράσινος	*b	*b	165	38.3	71.8	105.2 στους 27°C	Scholz et al. (1963)
Σε φάση ωρίμανσης	*b	*b	22.3	53.8	118.3	185.7	Scholz et al. (1963)
Δαμάσκηνα, Wickson	5.8-8.7	11.6-26.7	26.7-33.9	35.4-36.9	53.3-77.1	82.9-210.5	Claypool και Allen(1951)
Πατάτες							
Καλιφόρνιας, λευκές άγουρες	*b	34.9	41.7-62.1	41.7-91.7	53.8-133.7		Sastry et al.(1978)
Ώριμες	*b	17.5-20.4	19.7-29.6	19.7-34.9	19.7-47.0		Sastry et al.(1978)
Υπερώριμες	*b	15-20.4	20.4	20.4-29.6	27.2-35.4		Sastry et al.(1978)
Είδος Katahdin CA ^l	*b	11.6-12.6		23.3-30.1			Van den Berg και Letz(1972)
Kennebec	*b	10.7-12.6		12.6-26.7			Van den Berg και Letz(1972)
Ραπανάκια							
Με τις κορυφές	43.2-51.4	56.7-62.1	91.7-109.1	207.6-230.8	368.1-404.5	469.4-571.8	Lutz και Hardenburg(1968)
Χωρίς κορυφές	16-17.5	22.8-24.2	44.6-97	82.4-97	141.6-145.5	199.8-225.5	Lutz και Hardenburg(1968)
Rhubarb χωρίς κορυφές	24.2-39.3	32.5-53.8		91.7-134.8	118.8-168.8		Hruschka(1966)
Rutabaga ,Laurentian CA ^k	5.8-8.2	14.1-15.1		31.5-46.6			Van den Berg και Letz(1972)
Σπανάκι							
Είδος Τέξας		136.3	328.3	530.5	682.3		Scholz et al. (1963)
Ηνωμένου Βασιλείου καλοκαίρι	34.4-63.5	81-95.5	173.6-222.6		549-641.6 στους 18°C		Smith (1957)
χειμώνα	51.9-75.2	86.8-186.7	202.2-306.5		578.1-722.6 στους 18°C		Smith (1957)
Κολοκυθάκια							
Καλοκαιριού,κίτρινα ευθυτενή	†b	†b	103.8-109.1	222.6-269.6	252.2-288.6		Lutz και Hardenburg(1968)
Χειμώνα, butternut	*b	*b	---	---	---	219.7-362.3	Lutz και Hardenburg(1968)
Γλυκές πατάτες							
Επεξεργασμένες Πουέρτο Ρίκο	*b	*b	†b	47.5-65.5			Lewis και Morris(1956)
Κίτρινες Jersey	*b	*b	†b	65.5-68.4			Lewis και Morris(1956)
Μη επεξεργασμένες	*b	*b	*b	84.9		160.5-217.3	Lutz και Hardenburg(1968)
Ντομάτες							
Τέξας, ώριμες πράσινες	*b	*b	*b	60.6	102.8	126.6 στους 27°C	Scholz et al. (1963)
Σε διαδικασία ωρίμανσης	*b	*b	*b	79.1	120.3	143.1 στους 27°C	Scholz et al. (1963)
Καλιφόρνια, ώριμες πράσινες	*b	*b	*b		71.3-103.8	88.7-142.6	Workman και Pratt(1957)
Γογγύλια, ρίζες	25.7	28.1-29.6		63.5-71.3	71.3-74.2	---	Lutz και Hardenburg(1968)
Κάρδαμο ^l	44.5	133.6	270.1-359.1	403.6-581.7	896.3-1032.8	1032.9-1300	Hruschka και Want(1979)

^a οι τίτλοι των στηλών δείχνουν θερμοκρασίες στις οποίες οι ρυθμοί αναπνοής βρέθηκαν ± 1 K εκτός των περιπτώσεων που δίνονται οι πραγματικές θερμοκρασίες.

^b το σύμβολο * δείχνει θερμοκρασία ψύξεως ενώ το σύμβολο † οριακή θερμοκρασία αλλά όχι ζημιογόνα για κάποιες ποικιλίες αν εκτεθούν για μικρό χρονικό διάστημα.

^c οι ρυθμοί είναι για 30-60 και 60-120 μέρες ψυχρής αποθήκευσης, η μεγαλύτερη διάρκεια αποθήκευσης έχει το μεγαλύτερο ρυθμό αναπνοής εκτός από τους 0 που είναι όλοι ίδιοι.

^d οι ρυθμοί είναι για 30-60 και 120-180 μέρες ψυχρής αποθήκευσης, η αναπνοή αυξάνεται με το χρόνο μόνο στους 15°C

^e οι ρυθμοί είναι για 30-60 μέρες ψυχρής αποθήκευσης.

^f οι ρυθμοί είναι για 30-60 και 120-180 μέρες ψυχρής αποθήκευσης, η αναπνοή αυξάνεται με το χρόνο σε όλες τις θερμοκρασίες καθώς η λανθάνουσα φάση χάθηκε

^g οι ρυθμοί είναι για 30-60 και 120-180 μέρες ψυχρής αποθήκευσης, η αναπνοή αυξάνεται με το χρόνο σε όλες τις θερμοκρασίες

^h φυστίκια με κέλφος και 7% υγρασία, η αναπνοή μετά από 60h επεξεργασίας ήταν σχεδόν αμελητέα ακόμη και στους 30°C

ⁱ αναπνοή για φρέσκα φυστίκια όχι επεξεργασμένα με 35-40% υγρασία. Κατά τη επεξεργασία τα φυστίκια με κελύφη υπέστησαν ξήρανση και η υγρασία έπεσε στο 5-6% και κατά τη διάρκεια του ψησίματος ξεράθηκαν ακόμα περισσότερο και η υγρασία κατέληξε στο 2%

^j οι ρυθμοί αναπνοής είναι για 30-60 και 120-180 μέρες αποθήκευσης με το ρυθμό να πέφτει με το χρόνο στους 5°C αλλά να αυξάνεται στους 15°C καθώς η βλάστηση ξεκίνησε.

^k οι ρυθμοί αναπνοής είναι για 30-60 και 120-180 μέρες, οι ρυθμοί αναπνοής αυξάνονται με το χρόνο ειδικά στους 15°C που η βλάστηση λαμβάνει χώρα.

^l οι ρυθμοί αναπνοής είναι για 1 ημέρα μετά τη συγκομιδή

Πίνακας 10 Μεταβολή του ρυθμού αναπνοής με το χρόνο

**Θερμότητα αναπνοής
σε mW/kg προϊόντος**

Προϊόντα	Μέρες αποθήκευσης	0°C	5°C	Παραπομπές
Μήλα τύπου Grimes	7	8.7	38.8 στους 10°C	Harding (1929)
	30	8.7	51.9	
	80	8.7	32.5	
Αγκινάρες ,ανά την υφήλιο	1	133.3	177.9	Rappaport και Watada (1958)
	4	74.2	103.8	
	16	44.6	77.1	
Σπαράγγια,Martha Washington	1	237.6	31.2	Lipton (1957)
	3	116.9	193.0	
	16	82.9	89.2	
Φασολάκια πράσινα με φλούδα	2	88.7	106.7	Tewfick και Scott (1954)
	4	59.6	85.8	
	6	52.4	78.6	
Είδος βατόμουρου τύπου Blue Crop	1	21.3	-	
	2	7.9	-	
		17.0	-	
Μπρόκολλο τύπου Waltham 29	1	-	216.7	
	4	-	130.4	
	8	-	97.9	
Καλαμπόκι γλυκό με φλοιό	1	152.3	-	Scholz et al.(1963)
	2	109.1	-	
	4	91.2	-	
Σύκα, τύπου Mission	1	38.8	-	Claypool και Ozbek (1952)
	2	35.4		
	12	35.4	-	
Σκόρδο	10	11.6	26.7	Mann και Lewis (1956)
	30	17.9	44.6	
	180	41.7	97.9	
Μαρούλι,είδος Great Lakes	1	50.4	59.2	Pratt et al. (1954)
	5	26.7	0.4	
	10	23.8	44.6	

Ελιές τύπου Manzanillo	1	-	115.9σε 15 ⁰ C	Maxie et al.(1960)
	5	-	85.8	
	10	-	65.5	
Κρεμμύδια κόκκινα	1	4.8	-	Karmarkar και Joshe (1941a)
	30	7.3	-	
	120	9.7	-	
Δαμάσκηνα τύπου Wickson	2	5.8	11.6	Claypool και Allen (1951)
	6	5.8	20.8	
	18	8.7	26.7	
Πατάτες	2	-	17.9	
	6	-	23.8	
	10	-	20.8	
Φράουλες τύπου Shasta	1	52.1	84.9	Maxie et al.(1959)
	2	39.3	91.2	
	5	39.3	97.9	
Ντομάτες Pearson ώριμες πράσινες	5	-	95 στους 20 ⁰ C	Workman και Pratt (1957)
	15	-	82.9	
	20	-	71.3	

ΔΙΑΦΥΓΗ ΥΓΡΑΣΙΑΣ(TRANSPIRATION) ΦΡΕΣΚΩΝ ΦΡΟΥΤΩΝ ΚΑΙ ΛΑΧΑΝΙΚΩΝ

Το πιο άφθονο συστατικό στοιχείο στα φρέσκα φρούτα και λαχανικά είναι το νερό που υπάρχει σε συνεχή υγρή φάση σε αυτά. Κάποιο τμήμα από αυτό χάνεται μέσω του φαινομένου της διαφυγής υγρασίας(transpiration) το οποίο περιλαμβάνει τη μεταφορά υγρασίας δια του περιβλήματος ,της εξατμίσεως και της μεταφορά μάζας με συναγωγή της υγρασίας στο γύρω περιβάλλον(Becker et al 1996b). Ο ρυθμός διαφυγής υγρασίας στα φρέσκα φρούτα και λαχανικά επηρεάζει την ποιότητα του προϊόντος. Η υγρασία διαφεύγει συνεχώς από τα προϊόντα κατά τη διάρκεια της συγκομιδής έως και τη ψυχρή αποθήκευσή τους. Κάποια απώλεια υγρασίας είναι αναπόφευκτη και μπορεί να είναι ανεκτή ως φαινόμενο. Όμως κάτω από πολλές συνθήκες αρκετή ποσότητα υγρασίας μπορεί να χαθεί με συνέπεια τη συρρίκνωση του τροφίμου. Το αποτέλεσμα της απώλειας μάζας του τροφίμου δεν επηρεάζει μόνο την εμφάνιση, τη υφή της επιφάνειας και τη γεύση και άρωμα του αλλά μειώνει και τη διατιθέμενη προς πώληση μάζα(βάρος) αυτού δηλαδή έχει και οικονομικές επιπτώσεις(Becker et al 1996a). Πολλοί παράγοντες επηρεάζουν το ρυθμό διαφυγής υγρασίας στα φρέσκα φρούτα και λαχανικά. Η απώλεια υγρασίας οφείλεται στη διαφορά μερικών πιέσεων υδρατμών του νερού μεταξύ της επιφάνειας του προϊόντος και του περιβάλλοντος ψυχρού αέρα. Οι Becker και Fricke(1996a) υποστηρίζουν ότι η επιφάνεια του προϊόντος μπορεί να υποθεθεί ότι είναι κορεσμένη και ως εκ τούτου η πίεση υδρατμών νερού της επιφάνειας του προϊόντος είναι ίση με τη πίεση υδρατμών νερού κορεσμού για τη θερμοκρασία της επιφάνειας του προϊόντος. Όμως αναφέρουν επίσης ότι τα διαλυτά στερεά συστατικά στη υγρασία του προϊόντος τείνουν να μειώνουν τη πίεση υδρατμών στη επιφάνεια εξατμίσεως τους ελαφρώς. Η εξάτμιση στην επιφάνεια του προϊόντος είναι μια ενδόθερμη διαδικασία η οποία την ψύχει οπότε μειώνει τη πίεση υδρατμών στη περιοχή αυτή και κατά συνέπεια μειώνει και τη περαιτέρω διαφυγή υγρασίας.

Η αναπνοή εντός των φρούτων ή λαχανικών από τη άλλη πλευρά τείνει να αυξάνει τη θερμοκρασία του προϊόντος και συνακόλουθα τη πίεση υδρατμών της επιφάνειας άρα και τη διαφυγή υγρασίας. Επιπρόσθετα ο ρυθμός αναπνοής έχει βρεθεί ότι είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας του προϊόντος (Gafney et al 1985). Επίσης παράγοντες όπως η δομή της επιφάνειας, η διαπερατότητα της και η παροχή αέρα επηρεάζουν με τη σειρά τους το ρυθμό της διαφυγής υγρασίας (Sastry et al 1978).

Ο Becker et al (1996c) πραγματοποίησαν αριθμητική-παραμετρική μελέτη με σκοπό να διερευνήσουν τη επίδραση του **όγκου μάζας (bulk mass)**, του ρυθμού παροχής αέρα, του συντελεστή μεταφοράς μάζας δια της επιφάνειας καθώς και της σχετικής υγρασίας πάνω στο χρόνο ψύξης και στην απώλεια υγρασίας ενός φορτίου όγκου μήλων. Βρήκαν ότι η σχετική υγρασία και ο συντελεστής μεταφοράς μάζας είχαν μικρή επίδραση στο χρόνο ψύξης ενώ η μάζα και ο ρυθμός παροχής αέρα ήταν πρώτιστης σημασίας. Η απώλεια υγρασίας κυμαινόταν σημαντικά με τη σχετική υγρασία, το ρυθμό παροχής αέρα και το συντελεστή μεταφοράς μάζας ενώ η μάζα είχε μικρή επίδραση. Αυξημένη παροχή αέρα είχε ως αποτέλεσμα τη μείωση απώλειας υγρασίας καθώς και χρόνου ψύξεως. Το τελευταίο μάλιστα γρήγορα μειώνει τη διαφορά πιέσεων υδρατμών κάτι που μειώνει το ρυθμό διαφυγής της υγρασίας.

Η κινητήρια δύναμη για διαφυγή υγρασίας (transpiration) είναι η διαφορά μερικών πιέσεων υδρατμών του νερού μεταξύ της επιφάνειας του προϊόντος και του ψυχρού αέρα του περιβάλλοντος χώρου. Οπότε η βασική σχέση του μοντέλου διαφυγής υγρασίας είναι όπως παρακάτω

$$\dot{m} = k_t (p_s - p_a) \quad (42)$$

όπου \dot{m} είναι ο ρυθμός διαφυγής υγρασίας εκφρασμένος ως τη μάζα υγρασίας που διαφεύγει ανά μονάδα χρόνου και επιφάνειας του προϊόντος. Αυτός ο όρος θα μπορούσε να εκφραστεί και ανά μονάδα μάζας του προϊόντος παρά ανά μονάδα επιφάνειας. Ο συντελεστής k_t της διαφυγής υγρασίας είναι η μάζα της υγρασίας που διαφεύγει ανά μονάδα επιφάνειας του προϊόντος, ανά μονάδα διαφοράς πιέσεων υδρατμών νερού και ανά μονάδα χρόνου. Όπως πριν μπορεί να εκφραστεί και ανά μονάδα μάζας παρά ανά μονάδα επιφάνειας του προϊόντος. Η ποσότητα $(p_s - p_a)$ είναι η διαφορά πιέσεων υδρατμών του νερού. Η πίεση υδρατμών του νερού στη επιφάνεια του προϊόντος p_s είναι η πίεση υδρατμών νερού κορεσμού υπολογισμένη στη θερμοκρασία επιφάνειας του ενώ η πίεση υδρατμών νερού του ψυχρού αέρα p_a είναι συνάρτηση της σχετικής υγρασίας του ϕ (%).

Στη πιο απλή μορφή ο συντελεστής k_t διαφυγής υγρασίας θεωρείται ότι είναι σταθερός για ένα συγκεκριμένο προϊόν. Στον πίνακα 11 παρακάτω υπάρχουν τιμές για το συντελεστή διαφυγής υγρασίας k_t για διάφορα φρούτα και λαχανικά (Sastry et al 1978). Πάντως εξαιτίας πολλών παραγόντων που επιδρούν στο ρυθμό διαφυγής της υγρασίας δεν είναι όλες οι τιμές του πίνακα 11 αξιόπιστες και πρέπει από τη πλευρά του αναγνώστη να χρησιμοποιούνται κυρίως ως κατευθυντήρια γραμμή ή ως μέτρο σύγκρισης των ποικίλων διαφυγών υγρασίας που αντλούνται από τη βιβλιογραφία.

Πίνακας 11 Συντελεστής διαφυγής υγρασίας(k_t) φρούτων / λαχανικών(επιλογή)

Προϊόντα και ποικιλίες	Συντελεστή διαφυγής υγρασίας ng/kg s Pa	Προϊόντα και ποικιλίες	Συντελεστή διαφυγής υγρασίας ng/kg s Pa	Προϊόντα και ποικιλίες	Συντελεστή διαφυγής υγρασίας ng/kg s Pa
Μήλα		Πράσσα		Αγλάδια	
Jonathan	35	Musselburgh	1040	Passé Crassane	80
Golden Delicious	58	Μέση τιμή ποικιλιών	790	Beure Clairgeau	81
Bramley's seedling	42	Λεμόνια		Μέση τιμή ποικιλιών	69
Μέση τιμή ποικιλιών	42	Eureka		Δαμάσκηνα	
Λαχανάκια Βρυξελλών		Σκούρο πράσινο	227	Victoria	
Απροσδιόριστα	3300	Κίτρινο	140	Όχι ώριμα	198
Μέση τιμή ποικιλιών	6150	Μέση τιμή ποικιλιών	186	Ωριμα	115
Λάχανο		Μαρούλια		Wickson	124
Pennstate ballhead		Unrivalled	8750	Μέση τιμή ποικιλιών	136
Κομμένο	271	Μέση τιμή ποικιλιών	7400	Πατάτες	
Όχι κομμένο	404	Κρεμμύδια		Manona	
Mammoth		Autumn spice		Όριμες	25
Κομμένο	240	Όχι επεξεργ.	96	Kennebec	
Μεση τιμή ποικιλιών	223	επεξεργασμένα	44	Όχι επεξεργασμένες	171
Καρότα		Sweet White Spanish		Επεξεργασμένες	60
Nantes	1648	επεξεργασμένα	123	Sebago	
Chantenay	1771	Μέση τιμή ποικιλιών	60	Όχι επεξεργασμένες	158
Μέση τιμή ποικιλιών	1207	Πορτοκάλια		Επεξεργασμένες	38
Σέλινα		Valencia	58	Μέση τιμή ποικιλιών	44
Απροσδιόριστα	2084	Navel	104		
Μέση τιμή ποικιλιών	1760	Μέση τιμή ποικιλιών	117		
Γρεϊπφρούτ		Παστινάκια		Γογγύλοκράμβες	
Απροσδιόριστα	31	Hollow Crown	1930	Laurentian	469
Τύπου Marsh	55				
Μέση τιμή ποικιλιών	81	Ροδάκινα			
Σταφύλια		Redhaven			
Emperor	79	σκληρά ώριμα	917	Ντομάτες	
Cardinal	100	μαλακά ώριμα	1020	Marglobe	71
Thompson	204	Elberta	274	EurocrossBB	116
Μέση τιμή ποικιλιών	123	Μέση τιμή ποικιλιών	572	Μέση τιμή ποικιλιών	140

Sastry et al.(1978) συγκέντρωσαν τα παραπάνω σαν επισκόπηση βιβλιογραφική.Οι μέσες τιμές που αναφέρονται είναι όλων των δημοσιευμένων στοιχείων που βρέθηκαν από τους Sastry et al για κάθε προϊόν.Οι συγκεκριμένες τιμές ποικιλιών αναφέρθηκαν επειδή θεωρήθηκαν από τους ερευνητές ως εξαιρετικά αξιόπιστες.

Οι Fockens και Meffert(1972) τροποποίησαν τον απλό συντελεστή διαφυγής υγρασίας για να μοντελοποιήσουν τη μεταβλητή διαπερατότητα επιφάνειας των προϊόντων και να εξηγήσουν την επίδραση της παροχής μάζας αέρα.Ο 'διορθωμένος' συντελεστής διαφυγής υγρασίας έχει τη ακόλουθη μορφή

$$k_t = \frac{1}{\frac{1}{k_a} + \frac{1}{k_s}} \quad (43)$$

όπου k_a είναι ο συντελεστής μεταφοράς μάζας λεπτού στρώματος αέρα και k_s ο συντελεστής μεταφοράς μάζας δια επιφάνειας του προϊόντος. Η μεταβλητή k_a περιγράφει τη μεταφορά μάζας δια συναγωγής που λαμβάνει χώρα στη επιφάνεια του προϊόντος και είναι συνάρτηση της παροχής μάζας αέρα ενώ η μεταβλητή k_s περιγράφει την αντίσταση διάχυσης της επιφάνειας στη μετακίνηση της υγρασίας. Ο συντελεστής μεταφοράς μάζας k_a λεπτού στρώματος αέρα μπορεί να υπολογιστεί με χρήση των σχέσεων συσχέτισης Sherwood-Reynolds-Schmidt (Becker et al 1996b). Ο αριθμός Sherwood ορίζεται ως

$$Sh = \frac{k_a' d}{\delta} \quad (44)$$

όπου k_a' είναι ο –γενικός– συντελεστής μεταφοράς μάζας λεπτού στρώματος αέρα, d η διάμετρος του προϊόντος και δ ο συντελεστής διάχυσης των υδρατμών του νερού του αέρα. Όταν έχουμε μεταφορά μάζας δια συναγωγής από φρούτο ή λαχανικό σφαιρικού σχήματος οι Becker και Fricke(1996b) πρότειναν τη χρήση της παρακάτω σχέσης συσχέτισης Sh-Re-Sc την οποία πήραν από τον Geankoplis(1978)

$$Sh=2.0+0.552Re^{0.53}Sc^{0.33} \quad (45)$$

όπου Re είναι ο αριθμός Reynolds($Re=u_\infty d/\nu$) και Sc είναι ο αριθμό Schmidt($Sc=\nu/\delta$) στους οποίους u_∞ η ταχύτητα του ελεύθερου ρεύματος αέρα και ν η κινηματική συνεκτικότητα(κινηματικό ιξώδες) του αέρα. Παρότι η κινητήρια δύναμη για το k_a' είναι –γενικά– η συγκέντρωση στο μοντέλο διαφυγής υγρασίας που μελετούμε είναι η πίεση υδρατμών. Οπότε η ακόλουθη μετατροπή ή αναγωγή από την συγκέντρωση σε πίεση υδρατμών δίνεται από τη παρακάτω σχέση

$$k_a = \frac{1}{R_{wv} T} k_a' \quad (46)$$

όπου R_{wv} είναι η σταθερά των υδρατμών του νερού και T είναι η απόλυτη μέση θερμοκρασία του οριακού στρώματος του αέρα.

Ο συντελεστής μεταφοράς μάζας k_s του εξωτερικού στρώματος του τροφίμου που περιγράφει την αντίσταση διάχυσης της επιφάνειας στη μετακίνηση της υγρασίας βασίζεται στο κλάσμα της επιφάνειας που καλύπτεται από πόρους. Παρόλο που είναι δύσκολος ο θεωρητικός προσδιορισμός του συντελεστή αυτού πειραματική εύρεση έχει γίνει από τους Chau et al(1987) και Gan και Woods(1989). Αυτές οι πειραματικές τιμές του k_s παρουσιάζονται στο πίνακα 12 για διάφορα τρόφιμα φυτικής προέλευσης. Πρέπει να αναφερθεί ότι εμφανίζονται τρεις πινακοποιημένες τιμές για τα περισσότερα τρόφιμα και καλύπτουν όλο το εύρος των πειραματικών δεδομένων.

Πίνακας 12 Συντελεστής μεταφοράς μάζας της επιφάνειας των προϊόντων

**Συντελεστής μεταφοράς μάζας της επιφάνειας των προϊόντων
k_s, μg/m² s Pa**

Προϊόντα	Χαμηλή	Μέση	Υψηλή	Τυπική απόκλιση
Μήλα	0.111	0.167	0.227	0.03
Είδος βατόμουρου(blueberry)	0.955	2.19	3.39	0.64
Λαχανάκια Βρυξελλών	9.64	13.3	18.6	2.44
Λάχανο	2.50	6.72	13.0	2.84
Καρότα	31.8	156.	361.	75.9
Γκρέιπφρουτ	1.09	1.68	2.22	0.33
Σταφύλια	-	0.4024	-	-
Πράσινες πιπεριές	0.545	2.159	4.36	0.71
Λεμόνια	1.09	2.08	3.50	0.64
Φασόλια Lima(χωρίς φλούδα)	3.27	4.33	5.72	0.59
Γλυκολέμονα(Lime)	1.04	2.22	3.48	0.56
Κρεμμύδια	-	0.8877	-	-
Παρτοκάλια	1.38	1.72	2.14	0.21
Ροδάκινα	1.36	14.2	45.9	5.2
Αχλάδια	0.523	0.686	1.20	0.149
Δαμάσκηνα	-	1.378	-	-
Πατάτες	-	0.6349	-	-
Γογγυλοκράμβες	-	116.6	-	-
Πράσινα φασολάκια(με φλούδα)	3.46	5.64	10.0	1.77
Ζαχαρότευτλα	9.09	33.6	87.3	20.1
Φράουλες	3.95	13.6	26.5	4.8
Ντομάτες	0.217	1.10	2.43	0.67
Πηγή Becker και Fricke(1996a)				

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΥΝΑΓΩΓΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Ο συντελεστής συναγωγής θερμότητας, αν και δεν ανήκει στις θερμικές ιδιότητες τροφίμων και αναψυκτικών ποτών, είναι απολύτως απαραίτητος για τη σχεδίαση ενός εξοπλισμού μεταφοράς θερμότητας για την επεξεργασία τους όπου η συναγωγή θερμότητας εμπλέκεται.

Ο νόμος του Νεύτωνα για την ψύξη δίνει τον ορισμό για τον συντελεστή συναγωγής θερμότητας όπως παρακάτω

$$q = hA(t_s - t_\infty) \quad (47)$$

όπου q είναι ο ρυθμός μεταφοράς θερμότητας δια συναγωγής, t_s η θερμοκρασία επιφάνειας του τροφίμου, t_∞ η θερμοκρασία του περιβάλλοντος ρευστού και A το εμβαδόν επιφάνειας του τροφίμου διαμέσου του οποίου συμβαίνει η μεταφορά θερμότητας. Ο συντελεστής συναγωγής θερμότητας h εξαρτάται από τη ταχύτητα του περιβάλλοντος ρευστού, τη γεωμετρία του προϊόντος, το προσανατολισμό, την τραχύτητα επιφάνειας, την ύπαρξη ή μη συσκευασίας καθώς και άλλους παράγοντες. Επομένως για τις περισσότερες εφαρμογές ο h πρέπει να βρεθεί πειραματικά.

Οι ερευνητές έχουν γενικά παρουσιάσει τα ευρήματά τους με σχέσεις συσχετίσεως που δίνουν τον αριθμό Nusselt ως συνάρτηση των αριθμών Reynolds και του Prandtl. Πειραματικά προσδιορισμένες τιμές για τον συντελεστή συναγωγής θερμότητας

δίδονται στο πίνακα 13 ενώ αναφέρονται οι ακόλουθες κατευθυντήριες γραμμές για τη χρήση του παραπάνω πίνακα

a) να χρησιμοποιείται μια συσχέτιση Nu-Re-Pr ή μια τιμή του συντελεστή συναγωγής θερμότητας h που να έχει αντιστοιχία με τον αριθμό Reynolds που ζητείται κατά τη σχεδίαση

b) να αποφεύγονται αναγωγές αποτελεσμάτων με δεδομένα πέραν των πειραματικών λόγω αβεβαιότητας (δηλαδή παρεκβολή).

c) να χρησιμοποιούνται δεδομένα για το ίδιο μέσο μεταφοράς θερμότητας συμπεριλαμβανομένης της θερμοκρασίας και της θερμοκρασιακής διαφοράς, που να είναι παρόμοια με τις συνθήκες σχεδίασης. Το κατάλληλο χαρακτηριστικό μήκος και ταχύτητα ρευστού, είτε ελεύθερου ρεύματος είτε **interstitial-συνεκτικού(?)** πρέπει να επιλέγεται για τον υπολογισμό των αριθμών Reynolds και Nusselt.

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΘΕΡΜΟΦΥΣΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ

Πολύαριθμα μοντέλα θερμοφυσικών ιδιοτήτων με βάση τη σύσταση των προϊόντων έχουν αναπτυχθεί και η επιλογή των πιο κατάλληλων από αυτά που είναι διαθέσιμα αποτελεί πρόκληση. Οι Becker και Fricke (1999, 2001-2002) αξιολόγησαν ποσοτικά επιλεγμένα μοντέλα εύρεσης θερμοφυσικών ιδιοτήτων συγκρίνοντας με εκτεταμένα πειραματικά δεδομένα θερμοφυσικών ιδιοτήτων που έχουν συγκεντρωθεί στην υπάρχουσα βιβλιογραφία. Οι παραπάνω βρήκαν ότι για τη εκτίμηση του κλάσματος πάγου η εξίσωση του Chen (1985) είχε την καλύτερη απόδοση ακολουθούμενη στενά από αυτή του Tchigeon (1979). Στη 'φαινόμενη' ειδική θερμοχωρητικότητα c_a το μοντέλο του Schwartzberg (1976) δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα και για την ειδική ενθαλπία H η εξίσωση του Chen (1985) έχει τα πιο αξιόπιστα αποτελέσματα. Τέλος για τον υπολογισμό της θερμικής αγωγιμότητας k φάνηκε ότι υπερέχει το μοντέλο του Levy (1981) έναντι των υπολοίπων.

Πίνακας 13 Συντελεστής συναγωγής θερμότητας για τρόφιμα

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Προϊόν	Σχήμα και μήκος σε mm ^a	Μέσο μεταφοράς	Δt και/ή θερμοκρ. t του μέσου σε °C	Ταχύτητα του μέσου σε m/s	Εύρος του Re ^b	h W/(m ² K)	Συσχετίσεις Nu-Re-Pr ^c	Παραπομπές	Σχολιασμός		
Μήλα Jonathan	Σφαιρικό	Αέρας	$t=27$	0	N/A	11.1	N/A	Korpelman et al. (1966)	N/A δείχνει ότι τα δεδομένα δεν είχαν καταγραφεί στη αρχική πηγή		
						52				0.39	17
										0.91	27.3
										2.0	45.3
	58					5.1				53.4	
						0				11.2	
						0.39				17	
						0.91				27.8	
	62					2.0				44.8	
						5.1				54.5	
						0				11.4	
						0.39				15.9	
						0.91				26.1	
						2.0				39.2	
						5.1				50.5	

Κόκκινο Delicious	63	Αέρας	$\Delta t=22.8$ $t=-0.6$	1.5	N/A	27.3	N/A	Nicholas et al.(1964)	Θερμοζεύγη στο κέντρο του φρούτου
	72			4.6		56.8			
				1.5		14.2			
	76			4.6		36.9			
				0		10.2			
				1.5		22.7			
				3.0		32.9			
	4.6			34.6					
	57	Νερό	$\Delta t=25.6$ $t=0$	0.27	90.9				
	70				79.5				
75	55.7								
Βοδινό κρέας	64.5kg*	Αέρας	$t=-19.5$	1.8	N/A	21.8	N/A	Fedorov et al.(1972)	* για ένδειξη μεγέθους
Σκελετός	85kg*			0.3		10			
Πιτάκια	Πλάκα	Αέρας	$t=-32$ με -28	2.8-6.0	2000-7500	N/A	$Nu=1.37Re^{0.282} Pr^{0.3}$	Becker και Fricke (2004)	Μη-συσκευασμένα πιτάκια, η χαρακτηριστική διάσταση είναι το πάχος από πιτάκι. 7 μονάδες συσχέτισης
Κέικ	Κύλινδρος ή τούβλο	Αέρας	$t=-40$ με 0	2.1-3.0	4000-80000	N/A	$Nu=0.00156Re^{0.960} Pr^{0.3}$	Becker και Fricke (2004)	Είτε συσκευασμένο είτε όχι, η χαρακτηριστική διάσταση είναι το ύψος του κέικ. 29 μονάδες συσχέτισης
Τυριά	Τούβλο	Αέρας	$t=-34$ με 2	3.0	6000-30000	N/A	$Nu=0.0987Re^{0.560} Pr^{0.3}$	Becker και Fricke (2004)	Είτε συσκευασμένο είτε όχι, η χαρακτηριστική διάσταση είναι η ελάχιστη. 7 μονάδες συσχέτισης
Αγγούρια	Κύλινδρος 38	Αέρας	$t=4$	1.00	N/A	18.2	$Nu=0.291Re^{0.592} Pr^{0.333}$	Dincer (1994)	Διάμετρος 38mm Μήκος 160mm
				1.25		19.9			
				1.50		21.3			
				1.75		23.1			
				2.00		26.6			
Αυγά, Jifujitori	34	Αέρας	$\Delta t=45$	2-8	6000-15000	N/A	$Nu=0.46Re^{0.56} \pm 1\%$	Chuma et al.(1970)	5 μονάδες συσχέτισης
Leghorn	44	Αέρας	$\Delta t=45$	2-8	8000-25000	N/A	$Nu=0.71Re^{0.55} \pm 1\%$	Chuma et al.(1970)	5 μονάδες συσχέτισης
Κυρίως γεύμα (Entrees)	Τούβλο	Αέρας	$t=-38$ με 0	2.8-5.0	5000-20000	N/A	$Nu=1.31Re^{0.280} Pr^{0.3}$	Becker Fricke (2004)	Με συσκευασία. Χαρακτηριστική διάσταση είναι η ελάχιστη διάσταση. 42 μονάδες συσχέτισης.
Σύκα	Σφαιρικό 47	Αέρας	$t=4$	1.10	N/A	23.8	$Nu=1.560Re^{0.426} Pr^{0.333}$	Dincer (1994)	
				1.50		26.2			
				1.75		27.4			
				2.50		32.7			
Ψάρι, λούτσος, πέρκα και γουλιανός	N/A	Αέρας	N/A	0.97-6.6	5000-35000	N/A	$Nu=4.5Re^{0.28} \pm 10\%$	Khatchaturov (1958)	32 μονάδες συσχέτισης
Φιλέτα ψαριού	N/A	Αέρας	$t=-40$ με -28	2.7-7.0	1000-25000	N/A	$Nu=0.015Re^{0.818} Pr^{0.3}$	Becker Fricke (2004)	Με ή χωρίς συσκευασία. Χαρακτηριστική διάσταση είναι η ελάχιστη διάσταση. 28 μονάδες συσχέτισης.

Σταφύλια	Κύλινδρος 11	Αέρας	t=4	1.0	N/A	30.7	$Nu=0.291Re^{0.592}Pr^{0.333}$	Dincer (1994)	Διάμετρος 11mm Μήκος 22 mm
				1.25		33.8			
				1.50		37.8			
				1.75		40.7			
				2.00		42.3			
Ζαμπόν,	G*=0.4-0.45	Αέρας	$\Delta t=132$ t=150	N/A	1000-86000	N/A	$Nu=0.329Re^{0.564}$	Clary et al.(1968) G=1/4+3/(8A ²)+3/(8B) A=a/Z, B=b/Z A= χαρακτηριστικό μήκος=0.5ελάχιστη απόσταση \perp στη παροχή αέρα a=μικρός άξονας b=μεγάλος άξονας 18 μονάδες συσχέτισης Επαλήθευση με τη ελάχιστη απόσταση \perp στη παροχή αέρα. Ο υπολογισμένος Nu με το 1/2 του χαρακτηριστικού μήκους.	
Χωρίς κόκκαλο Επεξεργασμένο	*G=γεωμετρικός παράγοντας για πλαστική σακούλα								
	N/A	Αέρας	t=-23.3	0.61	N/A	20.39	N/A	Van den Berg και Letz (1957)	38 μονάδες συνολικά οι τιμές είναι μέσες
			t=-48.3			20.44			
			t=-51.1			19.70			
			t=-56.7			19.99			
			t=-62.2			18.17			
Κρέας	Πλάκες 23	Αέρας	t=0	0.56	N/A	10.6	N/A	Radford et al.(1976)	
			1.4	20.0					
			3.7	35.0					
Πορτοκάλι Γρεϊπφρουτ Tangelos Μεγάλος όγκος σε συσκευασία	Σφαιροειδή	Αέρας	$\Delta t=39$ έως 31 t=-9	0.11-0.33	35000-135000	*66.4	$Nu=5.05 Re^{0.333}$	Bennett et al.(1966) Δοχεία διαστάσεων 1070x1070x400 mm.36 μονάδες συσχέτισης.Τυχαία συσκευασία.Ταχύτητα ρευστού.*Μέση τιμή για πορτοκάλια	
	58								
	80								
	53	Αέρας	$\Delta t=32.7$ t=0	0.05-2.03	180-18000	N/A	$Nu=1.17 Re^{0.529}$	Baird και Gaffney (1976)	20 μονάδες συσχέτισεως Βάθος κλίνης 670mm
77									
107									
Αρακάς ρευστοποιημένη κλινη	Σφαιρικό N/A	Αέρας	t=-26 με -37	1.5-7.2 ± 0.3	1000-4000	N/A	$Nu=0.00035Re^{1.5}$	Kelly (1965)	Κλίνη 50mm βάθος
Αρακάς μεγάλος όγκος σε συσκευασία	Σφαιρικό N/A	Αέρας	t=-26 με -37	1.5-7.2 ± 0.3	1000-6000	N/A	$Nu=0.016 Re^{0.95}$	Kelly (1965)	
Αχλάδια	Σφαιρικό 60	Αέρας	t=4	1.00	N/A	12.6	$Nu=1.560Re^{0.426}Pr^{0.333}$	Dincer (1994)	
				1.25		14.2			
				1.50		15.8			
				1.75		16.1			
				2.00		19.5			
Πίτσα	Πλάκα	Αέρας	t=-34 με -26	3.0-3.8	3000-12000	N/A	$Nu=0.00517 Re^{0.891}Pr^{0.3}$	Becker και Fricke (2004)	Με ή χωρίς συσκευασία.Η χαρακτ. διάσταση είναι το πάχος της πίτσας.12 μονάδες συσχέτισης.

Πατάτες Pungo, μεγάλος όγκος σε συσκευασία	Ελλειψοειδές N/A N/A	Αέρας	t=4.4	0.66	3000-9000	*14.0	Nu=0.364 Re ^{0.558} Pr ^{1/3} (στη κορυφή του δοχείου)	Minh et al.(1969) Η ταχύτητα του ρευστού (αέρας) χρησιμοποιείται για το υπολ. του αριθμού Re. Δοχείο διαστάσεων 760x510x230 mm *κάθε τιμή h είναι μέση τιμή 3 επαναλήψεων με τη ροή αέρα από τη κορυφή έως τη βάση	
				1.23		19.1			
				1.36		20.2			
Πιτάκια τηγανητά	Πλάκα	Αέρας	t=-32 με -28	2.3-3.5	1000-6000	N/A	Nu=0.00313 Re ^{1.06} Pr ^{0.3}	Becker και Fricke (2004)	Χωρίς συσκευασία. Η χαρακτ. διάσταση είναι το πάχος από πιτάκι .8 μονάδες συσχέτισης
Πουλερικά, κοτόπουλα γαλοπούλες	1.18 με 9.43 kg*	**	Δt=17.8	***	N/A	420-473	N/A	Lentz (1969)	Συσκευασία με κενό αέρος <ul style="list-style-type: none"> *δίνει ένδειξη μεγέθους **CaCl₂ άλμη, 26% κατά μάζα ***μέτρια ανακινούμενα Κοτόπουλα 1.1-2.9kg Γαλοπούλα 5.4-9.5kg
Στήθος κοτόπουλο	N/A	Αέρας	t=-34 με -2	1.0-3.0	1000-11000	N/A	Nu=0.0378 Re ^{0.837} Pr ^{0.3}	Becker και Fricke (2004)	Χωρίς συσκευασία. Η χαρακτ. διάσταση είναι η ελάχιστη διάσταση. 22 μονάδες συσχέτισης.
Λουκάνικο	Κύλινδρος	Αέρας	t=-40 με -13	2.7-3.0	4500-25000	N/A	Nu=7.14 Re ^{0.170} Pr ^{0.3}	Becker και Fricke (2004)	Χωρίς συσκευασία. Η χαρακτ. διάσταση είναι η διάμετρος του λουκάνικου. 14 μονάδες συσχέτισης.
Σόγια	Σφαιρικό 65	Αέρας	N/A	6.8	1200-4600	N/A	Nu=1.07Re ^{0.64}	Otten (1974)	8 μονάδες συσχέτισης. Βαθος κλίνης 32mm
Κολοκύθια	Κύλινδρος 46	Νερό	0.5	0.05	N/A	272	N/A	Dincer (1993)	Διάμετρος=46 mm Μήκος=155mm
			1.0			205			
			1.5			166			
Ντομάτες	Σφαιρικό 70	Αέρας	t=4	1.00	N/A	10.9	Nu=1.560 Re ^{0.426} Pr ^{0.333}	Dincer (1994)	
				1.25		13.1			
				1.50		13.6			
				1.75		14.9			
				2.00		17.3			
Ουσία Karlsruhe	Πλάκα 75	Αέρας	Δt=53 t=38	N/A	N/A	16.4	N/A	Cleland και Earle (1976)	Συσκευασμένο σε ρολό αλουμινίου και σκούρο χαρτί.
Γάλα σε δοχείο αποθήκ.	Κύλινδρος 70x100	Αέρας	Δt=5.3	N/A	Gr=10 ⁶ με 5x10 ⁷	N/A	Nu=0.754Gr ^{0.264}	Leichter et al.(1976)	Εκπομπή=0.7 300 μονάδες συσχέτισης. L=χαρακτηρ. μήκος. Όλοι οι κύλινδροι 70mm διαμ
	70x150								
	70x250								

Ακρυλικό	Ελλειψοειδές 76 (μικρός άξονας) G=0.297-1.0	Αέρας	Δt=44.4	2.1-8.0	12000-50000	N/A	Nu=aRe ^b όπου a=0.32-0.22G b=0.44+0.23G	Smith et al.(1971) G=1/4+3/(8A ²)+3/(8B ²) A=μικρότερο μήκος/χαρακτ μήκος B=μεγαλύτερο μήκος/χαρακ μήκος Χαρακτηριστικό μήκος=0.5x μικρό άξονα Να γίνει χρήση του 2πλάσιου χαρακτηριστικού μήκους για τη εύρεση του Re
	Σφαιρικό 76	Αέρας	t=-4.4	0.66 1.23 1.36 1.73	3700-10000	15.0* 14.5 22.2 21.4	Nu=2.58Re ^{0.303} Pr ^{1/3}	Minh et al.(1969) Τυχαία συσκευασία. Η ταχύτητα ρευστού χρησιμοποιείται για το υπολ. του Re Διαστάσεις δοχείου 760x455x610 mm *Οι τιμές για τη κορυφή του δοχείου
^a το χαρακτηριστικό μήκος χρησιμοποιείται στο αριθμό Re και επεξηγείται στη στήλη 10 όπου κρίνεται απαραίτητο ^b το χαρακτηριστικό μήκος δίνεται στη στήλη 2; η ταχύτητα του ελεύθερου ρεύματος χρησιμοποιείται εκτός αν ορίζεται διαφορετικά στα σχόλια της στήλης 10. ^c Nu=αριθμός Nusselt, Pr= αριθμός Prandtl, Gr=αριθμός Grashof και Re=αριθμός Reynolds								

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο: ΧΡΟΝΟΙ ΨΥΞΕΩΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΨΥΞΕΩΣ ΤΩΝ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η συντήρηση των τροφίμων είναι μια από τις πιο σημαντικές εφαρμογές της ψύξεως. Η ψύξη και η κατάψυξη των τροφίμων μειώνουν σημαντικά τη δραστηριότητα των μικροοργανισμών και ενζύμων και επομένως καθυστερούν τις αλλοιώσεις. Επίσης η κρυσταλλοποίηση του νερού μειώνει το ποσοστό του υγρού νερού στο τρόφιμο και έτσι αναστέλλει τη μικροβιακή ανάπτυξη (Heldman 1975). Στη διαδικασία ψύξεως και καταψύξεως των περισσότερων εμπορικών τροφίμων και αναψυκτικών χρησιμοποιείται ρεύμα ψυχρού αέρα για να επιτευχθεί η μεταφορά θερμότητας με συναγωγή. Μόνο περιορισμένος αριθμός τροφίμων ψύχεται ή καταψύχεται δια της αγωγής θερμότητας σε καταψύκτες τύπου πλάκας οπότε στη ενότητα αυτή θα επικεντρωθούμε στη μεταφορά θερμότητας με συναγωγή. Οι ψυκτικές εγκαταστάσεις πρέπει να καλύπτουν συγκεκριμένες απαιτήσεις στις εφαρμογές ψύξης, κατάψυξης ώστε οι διεργασίες ψύξεως και καταψύξεως μέσω του ρεύματος αέρα και με συναγωγή θερμότητας να είναι αποδοτικές. Η σχεδίαση ψυκτικών εγκαταστάσεων λοιπόν απαιτεί τον υπολογισμό των χρόνων ψύξεως ή καταψύξεως τροφίμων και/ή αναψυκτικών καθώς επίσης και τα αντίστοιχα ψυκτικά φορτία. Πολυάριθμες μέθοδοι πρόβλεψης των χρόνων ψύξεως και καταψύξεως τροφίμων και αναψυκτικών έχουν παρουσιαστεί βασιζόμενες στη αριθμητική, αναλυτική και εμπειρική ανάλυση. Η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου υπολογισμού από τις πολλές διαθέσιμες δεν είναι πάντα προφανής. Στο κεφάλαιο αυτό μελετώνται διαθέσιμες επιλεγμένες διαδικασίες υπολογισμού των χρόνων ψύξης και κατάψυξης με συναγωγή ρεύματος ψυχρού αέρα τροφίμων και αναψυκτικών ποτών και παρουσιάζονται παραδείγματα εφαρμογών των διαδικασιών αυτών. Αυτές οι διαδικασίες χρειάζονται τις θερμοφυσικές ιδιότητες των τροφίμων που αναλύθηκαν εκτενώς στο 1^ο κεφάλαιο.

ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗ ΨΥΞΗΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΨΥΞΗΣ

Η ψύξη και η κατάψυξη τροφίμου είναι μια σύνθετη διεργασία. Αισθητή θερμότητα θα πρέπει αφαιρεθεί από το τρόφιμο ώστε να μειώσουμε τη θερμοκρασία του στο αρχικό σημείο στερεοποίησης. Το αρχικό σημείο στερεοποίησης του τροφίμου είναι ελαφρά χαμηλότερο από το αντίστοιχο του καθαρού νερού λόγω των διαλυτών στερεών συστατικών στοιχείων του περιεχόμενου νερού (υγρασίας) εντός αυτού. Στο αρχικό σημείο στερεοποίησης ένα τμήμα του νερού εντός του τροφίμου κρυσταλλοποιείται και το υπόλοιπο διάλυμα αποκτά μεγαλύτερη συγκέντρωση μειώνοντας το σημείο στερεοποίησης του μη-κατεψυγμένου τμήματος στο τρόφιμο περαιτέρω. Πιο αναλυτικά καθώς η θερμοκρασία μειώνεται ο σχηματισμός των παγοκρυστάλλων αυξάνει τη συγκέντρωση των διαλυτών στερεών συστατικών στοιχείων στο μη στερεοποιημένο διάλυμα νερού του τροφίμου υποβαθμίζοντας το σημείο στερεοποίησης ακόμη χαμηλότερα από την αρχική τιμή του. Οπότε τα κλάσματα πάγου και νερού στο κατεψυγμένο τρόφιμο, και κατά συνέπεια οι θερμοφυσικές ιδιότητες αυτού, είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας. Επειδή τα περισσότερα τρόφιμα έχουν σύνθετα σχήματα και θερμοφυσικές ιδιότητες που είναι εξαρτώμενες από την τιμή της θερμοκρασίας, ακριβείς αναλυτικές λύσεις δεν είναι δυνατόν να δοθούν. Το μεγαλύτερο τμήμα της έρευνας έχει επικεντρωθεί στη ανάπτυξη ημιαναλυτικών και εμπειρικών μεθόδων εύρεσης των χρόνων ψύξεως και καταψύξεως με χρήση απλοποιητικών παραδοχών.

ΧΡΟΝΟΣ ΨΥΞΗΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ ΚΑΙ ΑΝΑΨΥΚΤΙΚΩΝ

Πριν καταψυχθεί ένα τρόφιμο πρέπει να μειωθεί η θερμοκρασία του στο αρχικό σημείο στερεοποίησης. Αυτή ακριβώς η διαδικασία ψύξεως, γνωστή και ως πρόψυξη κάποιες φορές, αφαιρεί μόνο αισθητή θερμότητα οπότε καμία αλλαγή φάσης δεν συμβαίνει. Η ψύξη τροφίμων και αναψυκτικών ποτών με συναγωγή διαρεύματος ψυχρού αέρα επηρεάζεται από το λόγο της εξωτερικής αντίστασης στη μεταφορά θερμότητας προς την εσωτερική αντίσταση στη μεταφορά θερμότητας. Αυτός ο λόγος που είναι ο αδιάστατος αριθμός Biot ορίζεται ως ακολούθως

$$Bi = \frac{hL}{k} \quad (1)$$

όπου:

h ο συντελεστής συναγωγής θερμότητας, L η χαρακτηριστική διάσταση του τροφίμου και k είναι ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του τροφίμου. Στους υπολογισμούς των χρόνων ψύξεως η χαρακτηριστική διάσταση L θεωρείται ότι είναι η μικρότερη απόσταση μεταξύ του θερμικού κέντρου του τροφίμου και της επιφάνειας του. Οπότε σε υπολογισμούς χρόνων ψύξεως το L είναι το μισό του πάχους μιας πλάκας ή η ακτίνα ενός κυλίνδρου ή μιας σφαίρας. Όταν ο αριθμός Bi είναι κοντά στο μηδέν ($Bi < 0.1$) η εσωτερική αντίσταση στη μεταφορά θερμότητας είναι αρκετά μικρότερη από την εξωτερική και η προσέγγιση 'lumped-parameter' χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό του χρόνου ψύξης (Heldman 1975). Όταν αντίθετως ο αριθμός Biot έχει πολύ μεγάλες τιμές ($Bi > 40$) η εσωτερική αντίσταση στη μεταφορά θερμότητας είναι πολύ μεγαλύτερη της εξωτερικής και η θερμοκρασία της επιφάνειας του τροφίμου μπορεί να υποτεθεί ότι εξισώνεται με εκείνη του ψύχοντος μέσου. Στη δεύτερη αυτή περίπτωση σειρές λύσεων της εξίσωσης Fourier για θερμική αγωγή είναι διαθέσιμες για απλά γεωμετρικά σχήματα. Τέλος όταν $0 < Bi < 40$ η εσωτερική αντίσταση στη

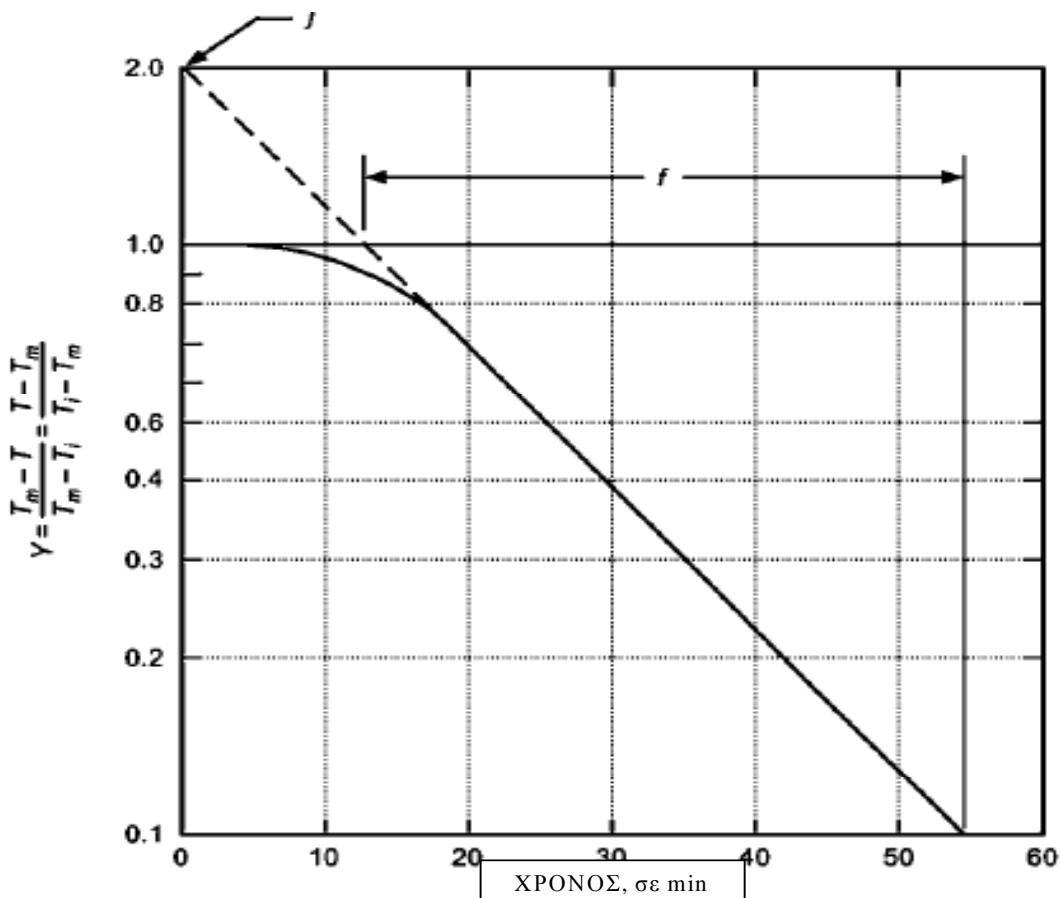
μεταφορά θερμότητας αλλά και ο συντελεστής συναγωγής θερμότητας h πρέπει να λαμβάνονται υπόψη. Σε αυτή τη τελευταία μάλιστα περίπτωση, σειρές λύσεων, που ενσωματώνουν υπερβατικές συναρτήσεις ώστε να εξηγηθεί η επίδραση του αριθμού Bi , δίνονται για απλά γεωμετρικά σχήματα.

Απλοποιημένες μέθοδοι εύρεσης των χρόνων ψύξεως τροφίμων και αναψυκτικών είναι διαθέσιμες για τρόφιμα απλών και σύνθετων σχημάτων μέσα σε ένα μεγάλο εύρος αριθμών $Biot$. Σε αυτή τη ενότητα οι απλοποιημένες μέθοδοι ομαδοποιούνται σε 2 κατηγορίες (1) αυτές που βασίζονται στους παράγοντες f, j και (2) αυτές που βασίζονται στη ισοδύναμη αδιαστατοποιημένη μεταφορά θερμότητας (E). Επιπλέον οι μέθοδοι που βασίζονται στους παράγοντες f, j χωρίζονται σε 2 υποκατηγορίες (1a) αυτές για απλά σχήματα και (1b) αυτές για σύνθετα σχήματα.

ΜΕΘΟΔΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΨΥΞΗΣ ΜΕ ΤΟΥΣ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ f, j

Όλες οι ψυκτικές διεργασίες επιδεικνύουν παρόμοια συμπεριφορά. Ύστερα από μια αρχική χρονική καθυστέρηση η θερμοκρασία του θερμικού κέντρου του τροφίμου μειώνεται εκθετικά (Cleland 1990). Όπως φαίνεται και στο σχήμα 1 μια καμπύλη ψύξης που απεικονίζει τη συμπεριφορά αυτή μπορεί να βρεθεί με τη σχεδίαση, επί ημιλογαριθμικών αξόνων, της αδιαστατοποιημένης θερμοκρασιακής διαφοράς Y με το χρόνο. Το Y ορίζεται όπως παρακάτω:

$$Y = \frac{T_m - T}{T_m - T_i} = \frac{T - T_m}{T_i - T_m} \quad (2)$$



Σχήμα 1 Τυπική καμπύλη ψύξεως

όπου:

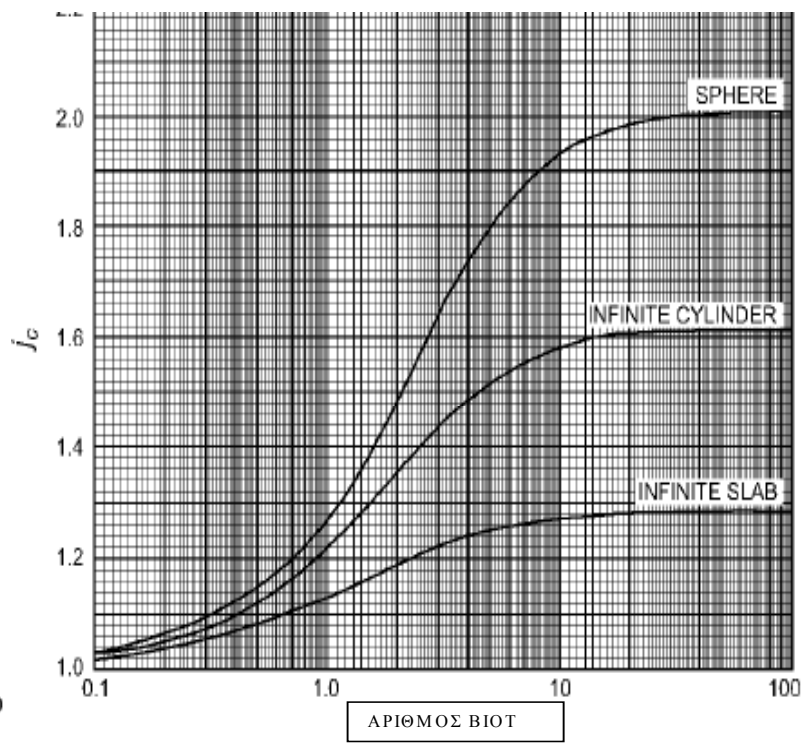
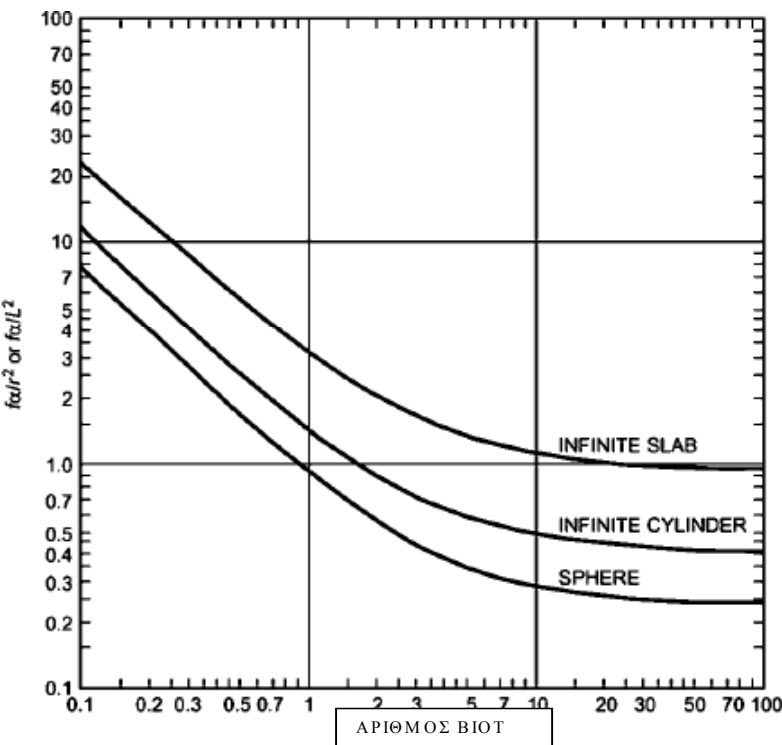
T_m είναι η θερμοκρασία του ψύχοντος μέσου, T η θερμοκρασία του προϊόντος που ζητούμε και T_i η αρχική θερμοκρασία του προϊόντος.

Η ημιλογαριθμική καμπύλη εξέλιξης της θερμοκρασίας αποτελείται από ένα αρχικό καμπύλο τμήμα ακολουθούμενο κατόπιν από ένα γραμμικό. Εμπειρικές σχέσεις που περιγράφουν τη συμπεριφορά ψύξης ενσωματώνουν 2 παράγοντες τους f και j που αντιπροσωπεύουν την κλίση και την παρεμπόδιση, αντίστοιχα της καμπύλης εξέλιξης της θερμοκρασίας. Ο παράγοντας j είναι ένα μέτρο της καθυστέρησης μεταξύ της έναρξης της ψύξης και της εκθετικής μείωσης της θερμοκρασίας του τροφίμου. Ο παράγοντας f αντιπροσωπεύει τον χρόνο που απαιτείται για να επέλθει μείωση 90% στη αδιάστατη θερμοκρασιακή διαφορά Y . Γραφικά ο παράγοντας f αντιστοιχεί στο χρόνο που απαιτείται για το γραμμικό τμήμα της καμπύλης εξέλιξης θερμοκρασίας να 'περάσει' ένα λογαριθμικό κύκλο. Ο παράγοντας f είναι συνάρτηση του αριθμού Bi και ο παράγοντας j συνάρτηση του αριθμού Bi και της θέσης εντός του τροφίμου. Η γενική μορφή του μοντέλου για το υπολογισμό του χρόνου ψύξης είναι

$$Y = \frac{T_m - T}{T_m - T_i} = j e^{-2.303\theta/f} \quad (3)$$

όπου θ είναι ο χρόνος ψύξης. Η εξίσωση με αναδιάταξη των όρων και επίλυση ως προς το χρόνο ψύξης θ δίνει άμεσα τη σχέση

$$\theta = \frac{-f}{2.303} \ln \left(\frac{Y}{j} \right) \quad (4)$$



Σχήμα 2 Σχέση μεταξύ των fa/r^2 και του αριθμού Biot για άπειρη πλάκα, άπειρο κύλινδρο και σφαίρα

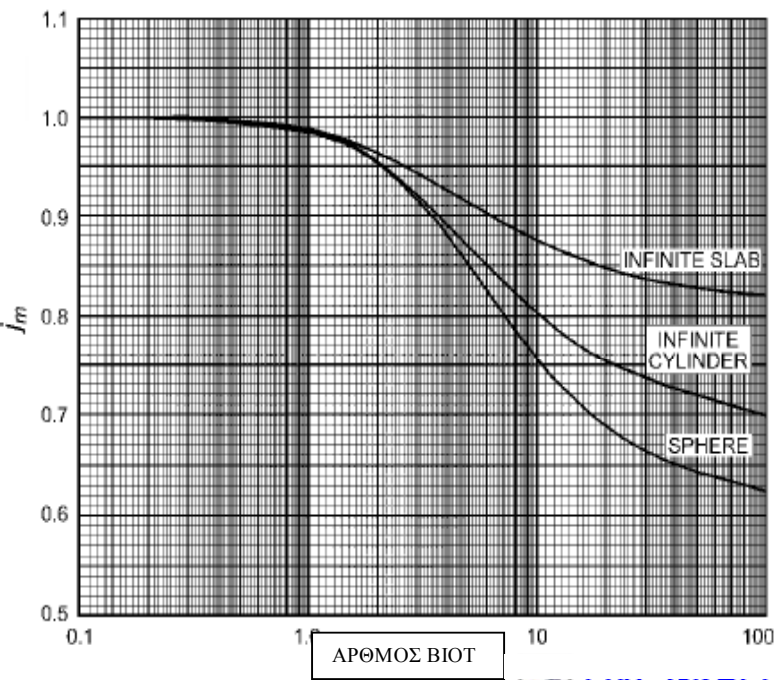
Σχήμα 3 Σχέση μεταξύ της τιμής j_c για θερμοκρασία θερμικού κέντρου και του αριθμού Biot για διάφορα σχήματα

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΠΑΡΑΓΟΝΤΩΝ f, j ΓΙΑ ΠΛΑΚΕΣ-ΚΥΛΙΝΔΡΟΥΣ-ΣΦΑΙΡΕΣ

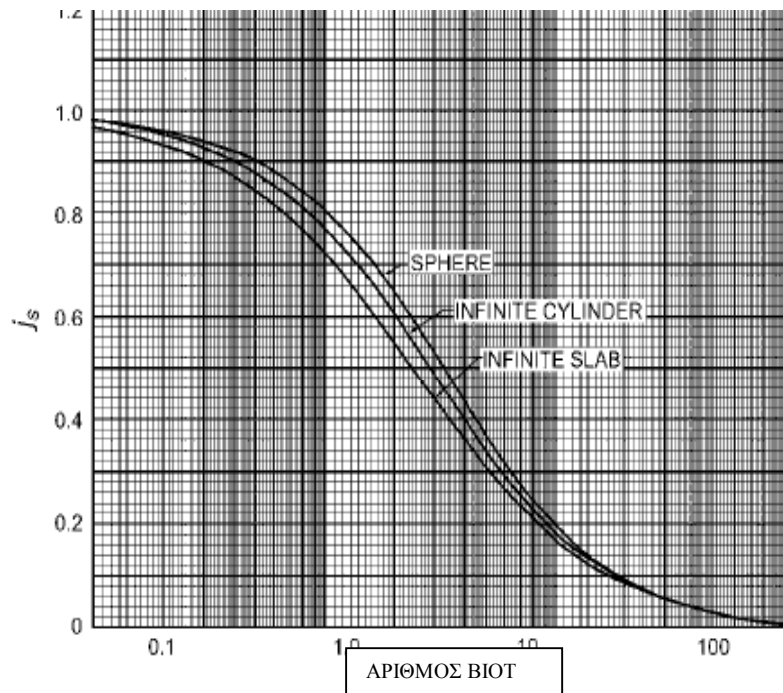
Οι Pflug et al(1965), μέσω αναλυτικών λύσεων, ανέπτυξαν διαγράμματα για να προσδιορίσουν τους παράγοντες f, j για τρόφιμα σχήματος άπειρης πλάκας είτε άπειρου κυλίνδρου είτε άπειρης σφαίρας Υπέθεσαν ομοιόμορφη αρχική κατανομή θερμοκρασίας στο τρόφιμο, σταθερή θερμοκρασία ψύχοντος μέσου, συναλλαγή θερμότητας με συναγωγή δια της επιφάνειας του τροφίμου και σταθερές θερμικές ιδιότητες αυτού. Μπορεί να γίνει χρήση του σχήματος 2 για το προσδιορισμό της τιμής του f καθώς και των σχημάτων 3 ως 5 για το προσδιορισμό της τιμής του j . Επειδή ο παράγοντας j όπως έχουμε προαναφέρει είναι συνάρτηση και της θέσης εντός του τροφίμου οι Pflug et al παρουσίασαν διαγράμματα για τη εύρεση του j για θερμοκρασίες θερμικού κέντρου(c), μέσης μάζας(m) και επιφάνειας(s).

Εναλλακτική επιλογή στη χρήση των σχημάτων 2 έως 5, οι Lacroix και Castaigne (1987a) παρουσίασαν εκφράσεις υπολογισμού των παραγόντων f, j_c για θερμοκρασία θερμικού κέντρου των άπειρων πλακών, άπειρων κυλίνδρων και σφαιρών. Αυτές οι εκφράσεις που βασίζονται στη γεωμετρία και στο αριθμό Bi συνοψίζονται στους πίνακες 1 έως 3. Στις εκφράσεις αυτές a είναι η θερμική διάχυση του τροφίμου και L είναι η χαρακτηριστική διάσταση που ορίζεται ως η μικρότερη απόσταση μεταξύ του θερμικού κέντρου του τροφίμου και της επιφάνειας του. Για τη άπειρη πλάκα L είναι το μισό του πάχους ενώ για άπειρο κύλινδρο ή σφαίρα L είναι η ακτίνα.

Χρησιμοποιώντας ποικίλους συνδυασμούς άπειρων πλακών και άπειρων κυλίνδρων οι παράγοντες f και j για άπειρες ορθογώνιες ράβδους, πεπερασμένους κυλίνδρους και ορθογώνια τούβλα είναι υπολογίσιμοι. Καθένα από αυτά τα σχήματα μπορεί να παραχθεί με τομές άπειρων πλακών και άπειρων κυλίνδρων ως εξής: δύο άπειρες πλάκες κατάλληλου πάχους για άπειρη ορθογώνια ράβδο, μια άπειρη πλάκα και ένας άπειρος κύλινδρος για πεπερασμένο κύλινδρο και τρεις άπειρες ορθογώνιες πλάκες κατάλληλου πάχους για το ορθογώνιο τούβλο.



Σχήμα 4 Σχέση μεταξύ της τιμής j_m για θερμοκρασία μέσης μάζας και αριθμού Biot διαφόρων σχημάτων



Σχήμα 5 Σχέση μεταξύ της τιμής j_s για θερμοκρασία επιφάνειας και αριθμού Biot διαφόρων σχημάτων

Οι παράγοντες f και j αυτών των σύνθετων σχημάτων μπορούν να υπολογιστούν από τις παρακάτω σχέσεις

$$\frac{1}{f_{comp}} = \sum_i \frac{1}{f_i} \quad (5)$$

$$j_{comp} = \prod_i j_i \quad (6)$$

όπου ο δείκτης i υποδηλώνει το κατάλληλο αριθμό άπειρων πλακών ή άπειρων κυλίνδρων. Η εύρεση των f_i και j_i των εξισώσεων (5) και (6) προϋποθέτει το προσδιορισμό του αριθμού Biot που αντιστοιχεί στις κατάλληλες άπειρες πλάκες ή άπειρους κυλίνδρους.

Πίνακας 1 Εκφράσεις για το υπολογισμό των f, j_c παραγόντων για θερμοκρασία θερμικού κέντρου άπειρων πλακών.

Εύρος αριθμού Biot	Εκφράσεις για τους f, j_c παράγοντες
$Bi \leq 0.1$	$\frac{fa}{L^2} = \frac{\ln 10}{Bi}$ $j_c = 1.0$
$0.1 \leq Bi \leq 100$	$\frac{fa}{L^2} = \frac{\ln 10}{u^2}$ $j_c = \frac{2 \sin u}{u + \sin u \cos u}$ <p>όπου $u = 0.860972 + 0.312133 \ln(Bi) + 0.007986 [\ln(Bi)]^2 - 0.016192 [\ln(Bi)]^3 - 0.001190 [\ln(Bi)]^4 + 0.000581 [\ln(Bi)]^5$</p>
$Bi \geq 100$	$\frac{fa}{L^2} = 0.9332$ $j_c = 1.273$
Πηγή Lacroix και Castaigne(1987a)	

Πίνακας 2 Εκφράσεις για το υπολογισμό των f, j_c παραγόντων για θερμοκρασία θερμικού κέντρου άπειρων κυλίνδρων.

Εύρος αριθμού Biot	Εκφράσεις για τους f, j_c παράγοντες
$Bi \leq 0.1$	$\frac{fa}{L^2} = \frac{\ln 10}{2Bi}$ $j_c = 1.0$
$0.1 \leq Bi \leq 100$	$\frac{fa}{L^2} = \frac{\ln 10}{v^2}$ $j_c = \frac{2J_1(v)}{v[J_0^2(v) - J_1^2(v)]}$ <p>όπου $v = 1.257493 + 0.487941 \ln(Bi) + 0.025322 [\ln(Bi)]^2 - 0.026568 [\ln(Bi)]^3 - 0.002888 [\ln(Bi)]^4 + 0.001078 [\ln(Bi)]^5$ και $J_0(v), J_1(v)$ είναι οι μηδενικής και πρώτης τάξης συναρτήσεις Bessel αντίστοιχα</p>
$Bi \geq 100$	$\frac{fa}{L^2} = 0.3982$ $j_c = 1.6015$

Πηγή Lacroix και Castaigne(1987a)

Πίνακας 3 Εκφράσεις για το υπολογισμό των f, j_c παραγόντων για θερμοκρασία θερμικού κέντρου σφαιρών

Εύρος αριθμού Biot	Εκφράσεις για τους f, j_c παράγοντες
$Bi \leq 0.1$	$\frac{fa}{L^2} = \frac{\ln 10}{3Bi}$ $j_c = 1.0$
$0.1 \leq Bi \leq 100$	$\frac{fa}{L^2} = \frac{\ln 10}{w^2}$ $j_c = \frac{2(\sin w - w \cos w)}{w - \sin w \cos w}$ <p>όπου $w = 1.573729 + 0.642906 \ln(Bi) + 0.047859 [\ln(Bi)]^2 - 0.03553 [\ln(Bi)]^3 - 0.004907 [\ln(Bi)]^4 + 0.001563 [\ln(Bi)]^5$</p>
$Bi \geq 100$	$\frac{fa}{L^2} = 0.2333$ $j_c = 2.0$

Πηγή Lacroix και Castaigne(1987a)

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΠΑΡΑΓΟΝΤΩΝ f, j ΓΙΑ ΣΥΝΘΕΤΑ ΣΧΗΜΑΤΑ

Οι Smith et al(1968) ανέπτυξαν για την περίπτωση σύνθετων σχημάτων τροφίμων και αριθμού Biot να προσεγγίζει το άπειρο ένα παράγοντα ‘μορφής’ που ονομάζεται γεωμετρικός δείκτης G και βρίσκεται παρακάτω

$$G = 0.25 + \frac{3}{8B_1^2} + \frac{3}{8B_2^2} \quad (7)$$

όπου τα B_1 και B_2 σχετίζονται με τις επιφάνειες εμβαδού του τροφίμου:

$$B_1 = \frac{A_1}{\pi L^2} \quad B_2 = \frac{A_2}{\pi L^2} \quad (8)$$

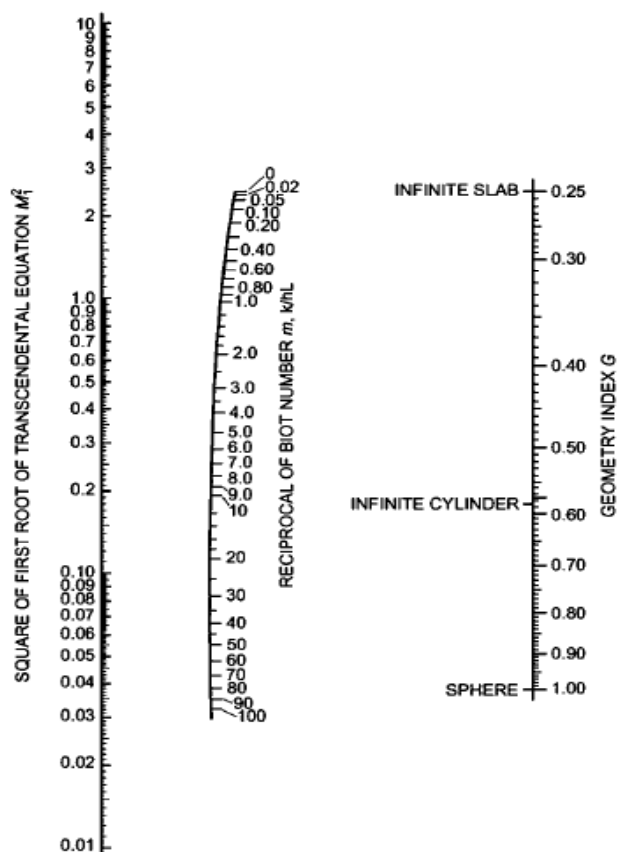
όπου L η μικρότερη απόσταση μεταξύ του θερμικού κέντρου και της επιφάνειας του τροφίμου, A_1 η ελάχιστη επιφάνεια εμβαδού που περιέχει το L και A_2 η επιφάνεια εμβαδού που περιέχει το L και είναι ορθογώνια στη A_1 . Ο G χρησιμοποιείται σε συνεργασία με τον αντίστροφο του αριθμού Biot m και ένα νομογράφημα που φαίνεται στο σχήμα 6 ώστε να βρούμε τη χαρακτηριστική τιμή M_1^2 . Οι Smith et al βρήκαν ότι η χαρακτηριστική τιμή M_1^2 συσχετίζεται με το παράγοντα f δια της σχέσης

$$f = \frac{2.303L^2}{M_1^2 a} \quad (9)$$

όπου a η θερμική διάχυση του τροφίμου. Επιπλέον μια έκφραση για τον υπολογισμό του παράγοντα j_m που χρησιμοποιείται για τη θερμοκρασία μέσης μάζας του τροφίμου δίνεται παρακάτω

$$j_m = 0.892e^{-0.0388M_1^2} \quad (10)$$

Ως εναλλακτικός τρόπος υπολογισμού του M_1^2 αντί της χρήσης του νομογραφήματος που ανέπτυξαν οι Smith et al(1968), οι Hayakawa και Villalobos(1989) βρήκαν σχέσεις αναδρομής για να υπολογιστεί το M_1^2 . Για αριθμούς Bi που τείνουν στο άπειρο η σχέση αναδρομής είναι



Σχ. 6 Νομογράφημα για το υπολογισμό της τιμής M_1^2 από τον αντίστροφο του αριθμού Bi και το γεωμετρ. δείκτη G

$$\ln(M_1^2) = 2.2893825 + 0.35330539X_g - 3.8044156X_g^2 - 9.6821811X_g^3 - 12.0321827X_g^4 - 7.1542411X_g^5 - 1.6301018X_g^6 \quad (11)$$

όπου $X_g = \ln(G)$. Η εξίσωση (11) ισχύει για $0.25 < G < 1.0$

Για πεπερασμένους αριθμούς Bi οι Hayakawa και Villalobos(1989) βρήκαν την ακόλουθη σχέση

$$\ln(M_1^2) = 0.92083090 + 0.83409615X_g - 0.78765739X_b - 0.04821784X_gX_b - 0.04088987X_g^2 - 0.10045526X_b^2 + 0.01521388X_g^3 + 0.00119941X_gX_b^3 + 0.00129982X_b^4 \quad (12)$$

όπου $X_g = \ln(G)$ και $X_b = \ln(1/Bi)$. Η εξίσωση (12) ισχύει για $0.25 < G < 1.0$ και $0.01 < 1/Bi < 100$.

ΜΕΘΟΔΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΨΥΞΗΣ ΜΕ ΤΟ ΠΑΡΑΓΟΝΤΑ ΙΣΟΔΥΝΑΜΗΣ ΑΔΙΑΣΤΑΤΟΠΟΙΗΜΕΝΗΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ E

Η γεωμετρία του προϊόντος μπορεί να εξετάζεται με χρήση ενός παράγοντα μορφής που ονομάζεται ισοδύναμη αδιαστατοποιημένη μεταφορά θερμότητας (Cleland και Earle 1982a), που συγκρίνει τη συνολική μεταφορά θερμότητα ενός τροφίμου προς τη μεταφορά θερμότητας διαμέσου της μικρότερης διάστασης. Οι Cleland και Earle ανέπτυξαν μια έκφραση για τον υπολογισμό της ισοδύναμης αδιαστατοποιημένης μεταφοράς θερμότητας E σύνθετων σχημάτων τροφίμων ως συνάρτηση του αριθμού Biot. Έτσι υπερβαίνεται ο περιορισμός του γεωμετρικού δείκτη G που είχε βρεθεί για τη περίπτωση που ο αριθμός Biot τείνει στο άπειρο. Ακόμα και έτσι όμως η μέθοδος αυτή υπολογισμού του χρόνου ψύξης των Cleland και Earle απαιτεί τη χρήση ενός νομογραφήματος. Οι Lin et al (1993, 1996a, 1996b) μελέτησαν και επέκτειναν περαιτέρω τη προηγούμενη μέθοδο ώστε να εξαλείψουν τη χρήση νομογραφήματος. Στη μέθοδο των Lin et al ο χρόνος ψύξης ενός τροφίμου ή αναψυκτικού ποτού υπολογίζεται με ακρίβεια πρώτης τάξης (first term approximation) με την αναλυτική λύση για ψύξη δια συναγωγής μιας σφαίρας:

$$\theta = \frac{3\rho cL^2}{\omega^2 kE} \ln\left(\frac{j}{Y}\right) \quad (13)$$

Η εξίσωση (13) μπορεί να εφαρμοστεί για θερμοκρασίες θερμικού κέντρου εάν $Y_c < 0.7$ και για θερμοκρασίες μέσης μάζας εάν $Y_m < 0.55$ όπου Y_c η αδιάστατη θερμοκρασιακή διαφορά βασισμένη στη τελική θερμοκρασία κέντρου και Y_m η αδιαστατοποιημένη θερμοκρασιακή διαφορά βασισμένη στη τελική θερμοκρασία μέσης μάζας. Στη εξίσωση (13) θ είναι ο χρόνος ψύξης, ρ η πυκνότητα του τροφίμου, c η θερμοχωρητικότητα του τροφίμου, L η ακτίνα ή το μισό πάχος, k η θερμική αγωγιμότητα του τροφίμου, j είναι ο παράγοντας καθυστέρησης, E η ισοδύναμη αδιαστατοποιημένη μεταφορά θερμότητας και ω είναι η πρώτη ρίζα (σε ακτίνια) της παρακάτω υπερβατικής συνάρτησης:

$$\omega \cot(\omega) + Bi - 1 = 0 \quad (14)$$

Στη εξίσωση (13) η ισοδύναμη αδιαστατοποιημένη μεταφορά θερμότητας E δίνεται ως συνάρτηση του αριθμού Bi :

$$E = \frac{Bi^{4/3} + 1.85}{\frac{Bi^{4/3}}{E_\infty} + \frac{1.85}{E_o}} \quad (15)$$

E_o, E_∞ είναι η ισοδύναμη αδιαστατοποιημένη μεταφορά θερμότητας στις οριακές περιπτώσεις όπου $Bi \rightarrow 0$ και ∞ αντίστοιχα. Οι ορισμοί των E_o, E_∞ χρησιμοποιούν τους αδιαστατοποιημένους λόγους β_1, β_2 :

$$\beta_1 = \frac{\text{Δεύτερη μικρότερη διάσταση του τροφίμου}}{\text{Μικρότερη διάσταση του τροφίμου}} \quad (16)$$

$$\beta_2 = \frac{\text{Μεγαλύτερη διάσταση του τροφίμου}}{\text{Μικρότερη διάσταση του τροφίμου}} \quad (17)$$

Για 2-διάστατα σύνθετου σχήματος τρόφιμα, το E_o δίνεται από τη σχέση

$$E_o = \left(1 + \frac{1}{\beta_1}\right) \left[1 + \left(\frac{\beta_1 - 1}{2\beta_1 + 2}\right)^2\right] \quad (18)$$

Για 3-διάστατα σύνθετου σχήματος τρόφιμα το E_o θα είναι

$$E_o = 1.5 \frac{\beta_1 + \beta_2 + \beta_1^2(1 + \beta_2) + \beta_2^2(1 + \beta_1)}{\beta_1\beta_2(1 + \beta_1 + \beta_2)} - \frac{[(\beta_1 - \beta_2)^2]^{0.4}}{15} \quad (19)$$

Στη περίπτωση άπειρων ορθογώνιων ράβδων, πεπερασμένων κυλίνδρων και τούβλων το E_o προσδιορίζεται ως εξής

$$E_o = 1 + \frac{1}{\beta_1} + \frac{1}{\beta_2} \quad (20)$$

Για σφαίρες, άπειρους κυλίνδρους και άπειρες πλάκες $E_o=3,2,$ και 1 αντίστοιχα.

Στα 2-διάστατα αλλά και 3-διάστατα τεμάχια τροφίμων η γενική μορφή για E όταν $Bi \rightarrow \infty$ δίνεται από τη παρακάτω σχέση

$$E_\infty = 0.75 + p_1 f(\beta_1) + p_2 f(\beta_2) \quad (21)$$

όπου

$$f(\beta) = \frac{1}{\beta^2} + 0.01 p_3 e^{\left[\frac{\beta - \beta^2}{6}\right]} \quad (22)$$

όπου τα β_1, β_2 έχουν πριν οριστεί ενώ οι γεωμετρικές παράμετροι p_1, p_2 και p_3 δίνονται στο πίνακα 4 για διάφορα γεωμετρικά σχήματα τροφίμων.

Οι Lin et al(1993,1996a,1996b) επίσης ανέπτυξαν μια έκφραση για τον παράγοντα καθυστέρησης j_c που εφαρμόζεται στο θερμικό κέντρο του τροφίμου ως εξής:

$$j_c = \frac{Bi^{1.35} + \frac{1}{\lambda}}{\frac{Bi^{1.35}}{j_\infty} + \frac{1}{\lambda}} \quad (23)$$

όπου j_∞ είναι όπως παρακάτω

$$j_\infty = 1.271 + 0.305e^{(0.172\gamma_1 - 0.115\gamma_1^2)} + 0.425e^{(0.09\gamma_2 - 0.128\gamma_2^2)} \quad (24)$$

και οι γεωμετρικές παράμετροι γ_1, γ_2 και λ είναι στο πίνακα 4 για συγκεκριμένο σχήμα τροφίμου.

Για θερμοκρασία στη μέση μάζα του τροφίμου οι Lin et al βρήκαν τον παράγοντα καθυστέρησης j_m ως:

$$j_m = \mu j_c \quad (25)$$

όπου

$$\mu = \left(\frac{1.5 + 0.69Bi}{1.5 + Bi} \right)^N \quad (26)$$

όπου N είναι ο αριθμός των διαστάσεων του τροφίμου όπου η μεταφορά θερμότητας είναι σημαντική(βλ. πίνακα 4).

Πίνακας 4 Γεωμετρικές παράμετροι

Σχήματα	N	p_1	p_2	p_3	γ_1	γ_2	λ
Άπειρη πλάκα ($\beta_1 = \beta_2 = \infty$)	1	0	0	0	∞	∞	1
Άπειρη ορθογώνια ράβδος ($\beta_1 \geq 1$ και $\beta_2 = \infty$)	2	0.75	0	-1	$4\beta_1/\pi$	∞	γ_1
Τούβλο ($\beta_1 \geq 1$ και $\beta_2 \geq \beta_1$)	3	0.75	0.75	-1	$4\beta_1/\pi$	$1.5\beta_2$	γ_1
Άπειρος κύλινδρος ($\beta_1 = 1$ και $\beta_2 = \infty$)	2	1.01	0	0	1	∞	1
Άπειρη έλλειψη ($\beta_1 > 1$ και $\beta_2 = \infty$)	2	1.01	0	1	β_1	∞	γ_1
Κοντός με πάχος κύλινδρος ($\beta_1 = \beta_2$ και $\beta_1 \geq 1$)	3	1.01	0.75	-1	$1.225\beta_1$	$1.225\beta_2$	γ_1
Κοντός κύλινδρος ($\beta_1 = 1$ και $\beta_2 \geq 1$)	3	1.01	0.75	-1	β_1	$1.5\beta_2$	γ_1
Σφαίρα ($\beta_1 = \beta_2 = 1$)	3	1.01	1.24	0	1	1	1
Ελλειψοειδές ($\beta_1 \geq 1$ και $\beta_2 \geq \beta_1$)	3	1.01	1.24	1	β_1	β_2	γ_1
Πηγή Lin et al(1996b)							

ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΨΥΞΗΣ

Ο ακόλουθος προτεινόμενος αλγόριθμος για τον υπολογισμό του χρόνου ψύξεως τροφίμων και αναψυκτικών ποτών βασίζεται στη μέθοδο της ισοδύναμης αδιαστατοποιημένης μεταφοράς θερμότητας E από τους Lin et al(1993,1996a,1996b).

- 1.Καθορίζονται οι θερμικές ιδιότητες του τροφίμου(βλ. κεφάλαιο 1)
- 2.Καθορίζεται ο συντελεστής συναγωγής θερμότητας h για τη ψύξη.
- 3.Καθορίζεται η χαρακτηριστική διάσταση L και οι αδιάστατοι λόγοι β_1 και β_2 από τις (16),(17)
- 4.Υπολογίζεται ο αριθμός Bi από την (1)
- 5.Υπολογίζουμε την ισοδύναμη αδιαστατοποιημένη μεταφορά θερμότητας E για δεδομένη γεωμετρία τροφίμου χρησιμοποιώντας την (15).Αυτό απαιτεί το υπολογισμό των E_0 και E_∞ με χρήση των εξισώσεων (18) έως (22)
- 6.Υπολογίζουμε τον παράγοντα καθυστέρησης j που αντιστοιχεί είτε στο θερμικό κέντρο είτε στη μέση μάζα του τροφίμου κάνοντας χρήση των εξισώσεων (23) έως (26)
- 7.Υπολογίζουμε τη ρίζα της υπερβατικής εξίσωσης στη (14)
- 8.Υπολογίζουμε το χρόνο ψύξης κάνοντας χρήση της εξίσωσης (13).

Ο ακόλουθος εναλλακτικός αλγόριθμος για τον υπολογισμό των χρόνων ψύξης τροφίμων και αναψυκτικών ποτών βασίζεται στη χρήση των παραγόντων f, j

- 1.Καθορίζονται οι θερμικές ιδιότητες του τροφίμου(βλ. κεφάλαιο 1)
- 2.Καθορίζεται ο συντελεστής συναγωγής θερμότητας h για τη ψύξη.
- 3.Καθορίζεται η χαρακτηριστική διάσταση L του τροφίμου
- 4.Υπολογίζεται ο αριθμός Bi από την (1)
- 5.Υπολογίζουμε τους παράγοντες f, j με μια από τις ακόλουθες μεθόδους:
 - a) Μέθοδος των Pflug et al(1965): σχήματα 2 έως 5
 - b) Μέθοδος των Lacroix Castaigne(1987a): πίνακες 1 έως 3
 - c) Μέθοδος των Smith et al(1968):εξισώσεις (7) έως (10) και σχήμα 6
 - d) Μέθοδος των Hayakawa και Villalobos(1989): εξισώσεις (11) ή (12) σε συνεργασία με τις εξισώσεις (7) έως (10)
6. Υπολογίζουμε το χρόνο ψύξης με χρήση της εξίσωσης (4).

ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΨΥΞΗΣ

Παράδειγμα 1. Ένα κομμάτι ζαμπόν που βρίσκεται αρχικά στους 70°C πρόκειται να ψυχθεί σε ένα ψυκτικό θάλαμο δια ρεύματος αέρα. Η θερμοκρασία του ψύχοντος μέσου εντός του θαλάμου είναι -1°C και ο συντελεστής συναγωγής θερμότητας εκτιμάται ότι είναι $h=48.0 \text{ W/m}^2\text{K}$.Οι διαστάσεις συνολικά του τροφίμου είναι $0.102 \times 0.165 \times 0.279 \text{ m}$. Να υπολογιστεί ο χρόνος που απαιτείται ώστε η θερμοκρασία μέσης μάζας του τροφίμου να μειωθεί στους 10°C .Οι θερμοφυσικές ιδιότητες για το ζαμπόν δίνονται όπως παρακάτω:

$$c=3740 \text{ J/kgK} \quad k=0.379 \text{ W/mK} \quad \rho=1080\text{kg/m}^3$$

Λύση: Χρησιμοποιούμε τον αλγόριθμο που βασίζεται στη μέθοδο των Lin et al (1993,1996a,1996b).

Βήμα 1: Καθορίζουμε τις θερμικές ιδιότητες του ζαμπόν(c,k,ρ) κάτι που ήδη δίνει η εκφώνηση.

Βήμα 2: Καθορίζουμε το συντελεστής συναγωγής θερμότητας h κάτι που ήδη δίνει η εκφώνηση.

Βήμα 3: Καθορίζεται η χαρακτηριστική διάσταση L και οι αδιάστατοι λόγοι β_1 και β_2 .

Σε προβλήματα υπολογισμού του χρόνου ψύξεως η χαρακτηριστική διάσταση ορίζεται ως η μικρότερη απόσταση μεταξύ του θερμικού κέντρου και της επιφάνειας του προϊόντος. Υποθέτοντας ότι το θερμικό κέντρο στο ζαμπόν συμπίπτει με το γεωμετρικό η χαρακτηριστική διάσταση θα είναι

$$L=0.102m /2=0.051m$$

Οι αδιαστατοποιημένοι λόγοι τότε γίνονται μέσω των εξισώσεων (16) και (17)

$$\beta_1 = \frac{0.165m}{0.102m} = 1.62 \quad \text{και} \quad \beta_2 = \frac{0.279m}{0.102m} = 2.74$$

Βήμα 4: Υπολογίζουμε το αριθμό Bi.

$$Bi=hL/k=(48.0)(0.051)/0.379=6.46$$

Βήμα 5: Υπολογίζουμε την ισοδύναμη αδιαστατοποιημένη μεταφορά θερμότητας E. Χρησιμοποιώντας τη (19) το E_o θα είναι

$$E_o = 1.5 \frac{1.62 + 2.74 + 1.62^2(1 + 2.74) + 2.74^2(1 + 1.62)}{(1.62)(2.74)(1 + 1.62 + 2.74)} - \frac{[(1.62 - 2.74)^2]^{0.4}}{15} = 2.06$$

Θεωρώντας ως παραδοχή ότι το ζαμπόν είναι ελλειψοειδές από το πίνακα 4 βρίσκουμε ότι

$$p_1=1.01 \quad p_2=1.24 \quad \text{και} \quad p_3=1$$

Από την εξίσωση (22) προκύπτουν

$$f(\beta_1) = \frac{1}{1.62^2} + (0.01)(1)e^{\left[1.62 - \frac{1.62^2}{6}\right]} = 0.414$$

$$f(\beta_2) = \frac{1}{2.74^2} + (0.01)(1)e^{\left[2.74 - \frac{2.74^2}{6}\right]} = 0.178$$

Οπότε από την εξίσωση (21) θα προκύψει

$$E_\infty=0.75+(1.01)(0.414)+(1.24)(0.178)=1.39$$

Άρα λοιπόν η εξίσωση (15) για την ισοδύναμη αδιαστατοποιημένη μεταφορά θερμότητας E υπολογίζεται και δίνει

$$E = \frac{6.46^{4/3} + 1.85}{\frac{6.46^{4/3}}{1.39} + \frac{1.85}{2.06}} = 1.45$$

Βήμα 6: Υπολογίζουμε τον παράγοντα καθυστέρησης j που αντιστοιχεί στη μέση μάζα του τροφίμου. Από το πίνακα 4 βρίσκουμε τα $\lambda = \beta_1$, $\gamma_1 = \beta_1$ και $\gamma_2 = \beta_2$. Κάνοντας χρήση της εξίσωσης (24) το j_∞ δίνεται

$$j_\infty = 1.271 + 0.305e^{(0.172(1.62) - 0.115(1.62)^2)} + 0.425e^{(0.09(2.74) - 0.128(2.74)^2)} = 1.78$$

Επιστρέφοντας στη εξίσωση (23) ο παράγοντας καθυστέρησης για θερμοκρασία θερμικού κέντρου του τροφίμου υπολογίζεται

$$j_c = \frac{6.46^{1.35} + \frac{1}{1.62}}{\frac{6.46^{1.35}}{1.78} + \frac{1}{1.62}} = 1.72$$

Χρησιμοποιώντας πλέον τις εξισώσεις (25),(26) ο ζητούμενος παράγοντας καθυστέρησης της μέσης μάζας του τροφίμου θα είναι

$$j_m = \left[\frac{1.5 + (0.69)(6.46)}{1.5 + 6.46} \right]^3 (1.72) = 0.721$$

Βήμα 7: Υπολογίζουμε τη ρίζα της υπερβατικής εξίσωσης στη (14):

$$\omega \cot(\omega) + \text{Bi} - 1 = 0 \rightarrow \omega \cot(\omega) + 6.46 - 1 = 0 \rightarrow \omega = 2.68$$

Βήμα 8: Τελικός υπολογισμός του χρόνου ψύξης.

$$Y = \frac{T_m - T}{T_m - T_i} = \frac{-1 - 10}{-1 - 70} = 0.1549$$

Τέλος χρησιμοποιώντας τη εξίσωση (13) βρίσκουμε το χρόνο ψύξης

$$\theta = \frac{(3)(1080)(3740)(0.051)^2}{(2.68)^2 (0.379)(1.45)} \ln \left(\frac{0.721}{0.1549} \right) = 12228s = 3.41h$$

Παράδειγμα 2. Να επαναληφθεί ο υπολογισμός του χρόνου ψύξεως του παραδείγματος 1 με χρήση του αλγορίθμου υπολογισμού των Hayakawa και Villalobos(1989) που βασίζεται στη χρήση των f , j παραγόντων.

Λύση:

Βήμα 1: Οι θερμικές ιδιότητες του προϊόντος παρουσιάζονται στο προηγούμενο παράδειγμα 1.

Βήμα 2: Προσδιορίζουμε το συντελεστής συναγωγής θερμότητας h από το παράδειγμα 1 είναι $h=48.0 \text{ W/m}^2\text{K}$

Βήμα 3: Προσδιορίζουμε τη χαρακτηριστική διάσταση L και τους αδιαστατοποιημένους λόγους β_1 και β_2 . Για το παράδειγμα 1 $L=0.051$ $\beta_1=1.62$ και $\beta_2=2.74$

Βήμα 4: Υπολογίζουμε το αριθμό Bi. Για το παράδειγμα 1 $Bi=6.46$

Βήμα 5: Υπολογίζουμε τους παράγοντες f , j με τη μέθοδο Hayakawa και Villalobos(1989)

Υποθέτουμε, για λόγους απλότητας, ότι οι επιφάνειες εμβαδών του ζαμπόν είναι ελλειψοειδείς. Η επιφάνεια μιας έλλειψης είναι το γινόμενο π φορές του μισού του μικρού άξονα επί το μισό του μεγάλου άξονα ή αλλιώς

$$A_1=\pi L^2\beta_1 \quad \text{και} \quad A_2=\pi L^2\beta_2$$

Χρησιμοποιώντας τις εξισώσεις (7) και (8) γίνεται ο υπολογισμός του γεωμετρικού δείκτη G

$$B_1 = \frac{A_1}{\pi L^2} = \frac{\pi L^2 \beta_1}{\pi L^2} = \beta_1 = 1.62 \quad B_2 = \frac{A_2}{\pi L^2} = \frac{\pi L^2 \beta_2}{\pi L^2} = \beta_2 = 2.74$$

$$G = 0.25 + \frac{3}{(8)(1.62)^2} + \frac{3}{(8)(2.74)^2} = 0.443$$

Με χρήση της εξίσωσης (12) για πεπερασμένους αριθμούς Biot προσδιορίζουμε τη τιμή M_1^2

$$X_g = \ln(G) = \ln(0.443) = -0.814$$

$$X_b = \ln(1/Bi) = \ln(1/6.46) = -1.87$$

$$\ln(M_1^2) = 0.9208309 + 0.83409615(-0.814) - 0.78765739(-1.87) - 0.04821784(-0.814)(-1.87) - 0.04088987(-0.814)^2 - 0.10045526(-1.87)^2 + 0.01521388(-0.814)^3 + 0.00119941(-0.814)(-1.87)^3 + 0.00129982(-1.87)^4 = 1.28$$

$$M_1^2 = 3.60$$

Πλέον από τη εξίσωση (9) μπορούμε άμεσα να υπολογίσουμε τον παράγοντα f ως εξής

$$f = \frac{2.303L^2}{M_1^2 a} = \frac{2.303L^2 \rho c}{M_1^2 k}$$

$$f = \frac{(2.303)(0.051)^2 (1080)(3740)}{(3.60)(0.379)} = 17700s$$

Λόγω της εξίσωσης (10) βρίσκουμε πλέον και τον παράγοντα j

$$j_m = 0.892e^{-0.0388(3.60)} = 0.776$$

Βήμα 6: Τελικός υπολογισμός του χρόνου ψύξης. Για το παράδειγμα 1 η αδιαστατοποιημένη θερμοκρασιακή διαφορά έχει βρεθεί $Y=0.1549$ οπότε χρησιμοποιώντας την (4) βρίσκουμε άμεσα το χρόνο ψύξης

$$\theta = \left(\frac{-17700}{2.303} \right) \ln \left(\frac{0.1549}{0.776} \right) = 12400s = 3.44h$$

Παρόμοια αποτελέσματα προέκυψαν στο παράδειγμα 2 με του 1 κάτι αναμενόμενο.

ΧΡΟΝΟΣ ΚΑΤΑΨΥΞΕΩΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ ΚΑΙ ΑΝΑΨΥΚΤΙΚΩΝ

Όπως συζητήθηκε στην αρχή του κεφαλαίου η κατάψυξη των τροφίμων αλλά και των αναψυκτικών δεν είναι μια ισοθερμική διαδικασία αλλά μάλλον συμβαίνει σε ένα εύρος θερμοκρασιών. Το κεφάλαιο αυτό αναλύει τη βασική μέθοδο υπολογισμού του χρόνου κατάψυξης του Plank και τις βελτιώσεις του, μεθόδους για το υπολογισμό του χρόνου καταψύξεως ως άθροισμα των επιμέρους χρόνων προψύξεως, αλλαγής φάσης και υποψύξεως και μεθόδους για τρόφιμα σύνθετης γεωμετρίας. Αυτή η τελευταία ομάδα μεθόδων διαιρείται σε 3 υποκατηγορίες: (1) ισοδύναμη αδιαστατοποιημένης μεταφοράς θερμότητας E (2) μέσης αγωγίμης διαδρομής L_m (3) ισοδύναμη διάμετρος σφαίρας $D_{eq,s}$. Όλες αυτές οι ομάδες μεθόδων υπολογισμού του χρόνου καταψύξεως χρησιμοποιούν τις θερμικές ιδιότητες των τροφίμων από το 1^ο κεφάλαιο.

ΕΞΙΣΩΣΗ ΤΟΥ PLANK

Μια από τις ευρύτερα γνωστές απλές μεθόδους υπολογισμού του χρόνου καταψύξεως τροφίμων και αναψυκτικών αναπτύχθηκε από τον Plank(1913,1941). Η μεταφορά θερμότητας δια συναγωγής θεωρείται ότι συμβαίνει μεταξύ του τροφίμου και του ψύχοντος μέσου στο περιβάλλον που μελετούμε. Η θερμοκρασία του τροφίμου θεωρείται ότι είναι στο αρχικό σημείο στερεοποίησης και ότι παραμένει σταθερή κατά τη συνολική διάρκεια της καταψύξεως. Επιπλέον θεωρείται ότι η θερμική αγωγιμότητα, για τη περιοχή του τροφίμου που έχει καταψυχθεί, είναι σταθερή ως πρόσθετη παραδοχή. Έχοντας λάβει υπόψη τα προαναφερόμενα ο υπολογισμός του Plank για το χρόνο καταψύξεως είναι όπως παρακάτω

$$\theta = \frac{L_f}{T_f - T_m} \left(\frac{PD}{h} + \frac{RD^2}{k_s} \right) \quad (27)$$

όπου

L_f είναι η ογκομετρική λανθάνουσα θερμότητα στερεοποίησης, T_f η θερμοκρασία του αρχικού σημείου στερεοποίησης του τροφίμου, T_m η θερμοκρασία του ψύχοντος μέσου, D το πάχος της πλάκας ή η διάμετρος της σφαίρας ή του άπειρου κυλίνδρου, h ο συντελεστής συναγωγής θερμότητας, k_s η θερμική αγωγιμότητα του πλήρως κατεψυγμένου τροφίμου και P, R παράγοντες γεωμετρίας. Στη περίπτωση της άπειρης πλάκας $P=1/2$ και $R=1/8$, για σφαίρα $P=1/6$ και $R=1/24$ ενώ για ένα άπειρο κύλινδρο $P=1/4$ και $R=1/16$.

Οι γεωμετρικοί παράγοντες του Plank υποδεικνύουν ότι μια άπειρη πλάκα πάχους D , ένας άπειρος κύλινδρος διαμέτρου D και μια σφαίρα διαμέτρου D εάν εκτεθούν στις ίδιες συνθήκες θα έχουν χρόνους καταψύξεως στη αναλογία 6:3:2. Ως εκ τούτου ένας κύλινδρος καταψύχεται στο μισό του χρόνου μιας πλάκας και μια σφαίρα στο 1/3 του χρόνου μιας πλάκας.

ΔΙΟΡΘΩΣΕΙΣ ΣΤΗ ΕΞΙΣΩΣΗ ΤΟΥ PLANK

Διάφοροι ερευνητές έχουν παρατηρήσει ότι η μέθοδος του Plank δεν υπολογίζει τους χρόνους καταψύξεως τροφίμων και αναψυκτικών με ακρίβεια. Αυτό συμβαίνει επειδή εν μέρει η μέθοδος του Plank υποθέτει ότι τα τρόφιμα καταψύχονται σε μια σταθερή θερμοκρασία και όχι σε ένα εύρος θερμοκρασιών όπως συμβαίνει στη πράξη στις πραγματικές διεργασίες κατάψυξης τροφίμων. Επιπλέον η θερμική αγωγιμότητα του κατεψυγμένου τροφίμου θεωρείται ότι είναι σταθερή, στη πραγματικότητα όμως η θερμική αγωγιμότητα κυμαίνεται σημαντικά κατά τη διάρκεια της κατάψυξης. Ένας άλλος περιορισμός στη εξίσωση του Plank είναι ότι αμελεί τις διαδικασίες πρόψυξης και υπόψυξης, την αφαίρεση της αισθητής θερμότητας πάνω και κάτω του αρχικού σημείου στερεοποίησης. Συνεπώς οι ερευνητές έχουν αναπτύξει βελτιωμένες ημιαναλυτικές/ εμπειρικές μεθόδους υπολογισμού των χρόνων ψύξης και κατάψυξης που λαμβάνουν υπόψη αυτούς τους παράγοντες.

Οι Cleland και Earle (1977, 1979a, 1979b) ενσωμάτωσαν διορθώσεις που να εξηγούν την αφαίρεση της αισθητής θερμότητας άνω αλλά και κάτω του αρχικού σημείου στερεοποίησης του τροφίμου καθώς και τη διακύμανση της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια της καταψύξεως. Εξισώσεις αναδρομής αναπτύχθηκαν ώστε να βρεθούν οι γεωμετρικοί παράγοντες P, R για άπειρες πλάκες, άπειρους κύλινδρους, σφαίρες και ορθογώνια τούβλα. Σε αυτές τις εξισώσεις αναδρομής οι επιδράσεις της μεταφοράς θερμότητας δια συναγωγής, της προψύξεως και της τελικής υποψύξεως εξηγούνται από τους αριθμούς Biot, Plank και Stefan αντίστοιχα. Σε αυτή τη ενότητα ο αριθμός Biot ορίζεται ως εξής

$$Bi = \frac{hD}{k_s} \quad (28)$$

όπου h ο συντελεστής συναγωγής θερμότητας, D η χαρακτηριστική διάσταση και k_s ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του πλήρως κατεψυγμένου τροφίμου. Ειδικά για τους υπολογισμούς χρόνων καταψύξεως η χαρακτηριστική διάσταση D ορίζεται ως το διπλάσιο της ελάχιστης απόστασης μεταξύ του θερμικού κέντρου του τροφίμου και της επιφάνειας του δηλαδή το πάχος μια πλάκας ή η διάμετρος ενός κύλινδρου ή μιας σφαίρας.

Γενικά ο αριθμός Plank ορίζεται όπως παρακάτω:

$$Pk = \frac{C_l(T_i - T_f)}{\Delta H} \quad (29)$$

όπου C_l είναι η ογκομετρική ειδική θερμοχωρητικότητα της μη κατεψυγμένης 'φάσης' του τροφίμου και ΔH η ογκομετρική διαφορά ενθαλπίας μεταξύ της T_f και της τελικής θερμοκρασίας του τροφίμου. Ο αριθμός Stefan παρομοίως ορίζεται ως:

$$Ste = \frac{C_s(T_f - T_m)}{\Delta H} \quad (30)$$

όπου C_s η ογκομετρική ειδική θερμοχωρητικότητα της κατεψυγμένης 'φάσης' του τροφίμου.

Στη μέθοδο των Cleland και Earle οι αρχικοί γεωμετρικοί παράγοντες που εισήγαγε ο Plank P,R αντικαθίστανται με αυτές που δίδονται στο πίνακα 5 και η λανθάνουσα θερμότητα στερεοποίησης L_f από τη ογκομετρική διαφορά ενθαλπίας του τροφίμου ΔH_{10} μεταξύ της αρχικής θερμοκρασίας στερεοποίησης T_f και της τελικής θερμοκρασίας θερμικού κέντρου που θεωρείται από υπόθεση -10°C . Όπως φαίνεται στο πίνακα 5 οι P,R είναι συναρτήσεις των αριθμών Plank και Stefan. Αυτοί λοιπόν οι δύο παράγοντες πρέπει να υπολογίζονται χρησιμοποιώντας την διαφορά ενθαλπίας ΔH_{10} οπότε η διορθωμένη εξίσωση του Plank παίρνει τη μορφή

$$\theta = \frac{\Delta H_{10}}{T_f - T_m} \left(\frac{PD}{h} + \frac{RD^2}{k_s} \right) \quad (31)$$

όπου k_s η θερμική αγωγιμότητα του πλήρως κατεψυγμένου τροφίμου.

Η εξίσωση (31) βασίζεται στη προσαρμογή καμπύλης πειραματικών δεδομένων στα οποία η τελική θερμοκρασία θερμικού κέντρου του προϊόντος ήταν -10°C . Οι Cleland και Earle παρατήρησαν ότι η σχέση αυτή υπολογισμού δεν παρουσιάζει ικανοποιητικά αποτελέσματα στις περιπτώσεις που η τελική θερμοκρασία θερμικού κέντρου είναι διαφορετική των -10°C . Έτσι λοιπόν οι Cleland και Earle πρότειναν την παρακάτω διορθωμένη μορφή της (31) ώστε να ληφθούν υπόψη οι διαφορετικές τιμές τελικών θερμοκρασιών θερμικού κέντρου σε ένα προϊόν (για $T_c \neq -10^\circ\text{C}$):

$$\theta = \frac{\Delta H_{10}}{T_f - T_m} \left(\frac{PD}{h} + \frac{RD^2}{k_s} \right) \left[1 - \frac{1.65 Ste}{k_s} \ln \left(\frac{T_c - T_m}{T_{ref} - T_m} \right) \right] \quad (32)$$

όπου T_{ref} είναι -10°C , T_c η τελική θερμοκρασία θερμικού κέντρου του προϊόντος και ΔH_{10} η ογκομετρική διαφορά ενθαλπίας μεταξύ του αρχικού σημείου στερεοποίησης T_f και των -10°C . Οι τιμές των P,R,Pk και St πρέπει να βρεθούν αντικαθιστώντας στο ΔH το ΔH_{10} όπως συζητήθηκε προηγουμένως.

Οι Hung και Thompson(1983) επίσης βελτίωσαν την εξίσωση του Plank με σκοπό να αναπτύξουν μια εναλλακτική μέθοδο υπολογισμού του χρόνου καταψύξεως μόνο για άπειρες πλάκες. Η εξίσωση τους ενσωματώνει την ογκομετρική διαφορά ενθαλπίας ΔH_{18} για κατάψυξη καθώς και μια σταθμισμένη μέση θερμοκρασιακή διαφορά ΔT μεταξύ της αρχικής θερμοκρασίας του τροφίμου T_i και της θερμοκρασίας του ψύχοντος μέσου T_m . Αυτή η σταθμισμένη μέση θερμοκρασιακή διαφορά ΔT δίνεται παρακάτω

$$\Delta T = (T_f - T_m) + \frac{(T_i - T_f)^2 \frac{C_l}{2} - (T_f - T_c)^2 \frac{C_s}{2}}{\Delta H_{18}} \quad (33)$$

όπου T_c η τελική θερμοκρασία θερμικού κέντρου του τροφίμου και ΔH_{18} η διαφορά ενθαλπίας μεταξύ της αρχικής και της τελικής θερμοκρασίας θερμικού κέντρου που η τελευταία θεωρείται ότι είναι -18°C . Εμπειρικές εξισώσεις αναπτύχθηκαν για τον υπολογισμό των P,R για άπειρες πλάκες όπως παρακάτω

$$P = 0.7306 - 1.083Pk + Ste \left(15.40U - 15.43 + 0.01329 \frac{Ste}{Bi} \right) \quad (34)$$

$$R = 0.2079 - 0.2656U (Ste) \quad (35)$$

όπου $U = \Delta T / (T_f - T_m)$. Σε αυτές τις εκφράσεις οι αριθμοί Pk και Ste πρέπει να υπολογιστούν χρησιμοποιώντας τη διαφορά ενθαλπίας ΔH_{18} . Το μοντέλο εύρεσης του χρόνου καταψύξεως είναι τελικά

$$\theta = \frac{\Delta H_{18}}{\Delta T} \left(\frac{PD}{h} + \frac{RD^2}{k_s} \right) \quad (36)$$

Οι Cleland και Earle (1984) εφάρμοσαν ένα παράγοντα διόρθωσης στο μοντέλο των Hung και Thompson [στη εξίσωση (36)] και βελτίωσαν την ακρίβεια πρόγνωσης του μοντέλου για τελικές θερμοκρασίες προϊόντων $T_c \neq -18^\circ\text{C}$. Η διόρθωση στη (36) είναι

$$\theta = \frac{\Delta H_{18}}{\Delta T} \quad (37)$$

όπου T_{ref} είναι -18°C , T_c είναι η τελική θερμοκρασία θερμικού κέντρου, και ΔH_{18} η ογκομετρική διαφορά ενθαλπίας μεταξύ της αρχικής θερμοκρασίας T_i και των -18°C . Η σταθμισμένη μέση θερμοκρασιακή διαφορά ΔT , οι αριθμοί Pk και Ste πρέπει να υπολογιστούν χρησιμοποιώντας το ΔH_{18} .

Πίνακας 5 Εκφράσεις για τα P και R

Σχήματα	P, R εκφράσεις	Εύρος εφαρμογής
Άπειρη πλάκα	$P = 0.5072 + 0.2018Pk + Ste \left(0.3224Pk + \frac{0.0105}{Bi} + 0.0681 \right)$ $R = 0.1684 + Ste(0.2740Pk - 0.0135)$	$10 \leq h \leq 500 \text{ W/m}^2\text{K}$ $0 \leq D \leq 0.12 \text{ m}$ $T_i \leq 40^\circ\text{C}$ $-45 \leq T_m \leq -15^\circ\text{C}$
Άπειρος κύλινδρος	$P = 0.3751 + 0.0999Pk + Ste \left(0.4008Pk + \frac{0.0710}{Bi} - 0.5865 \right)$ $R = 0.0133 + Ste(0.0415Pk + 0.3957)$	$0.155 \leq Ste \leq 0.345$ $0.5 \leq Bi \leq 4.5$ $0 \leq Pk \leq 0.55$
Σφαίρα	$P = 0.1084 + 0.0924Pk + Ste \left(0.231Pk - \frac{0.3114}{Bi} + 0.6739 \right)$ $R = 0.0784 + Ste(0.0386Pk - 0.1694)$	$0.155 \leq Ste \leq 0.345$ $0.5 \leq Bi \leq 4.5$ $0 \leq Pk \leq 0.55$

<p>Τούβλο</p>	$P = P_2 + P_1 [0.1136 + Ste(5.766P_1 - 1.242)]$ $R = R_2 + R_1 [0.7344 + Ste(49.89R_1 - 2.900)]$ <p>όπου $P_2 = P_1 \left[1.026 + 0.5808Pk + Ste \left(0.2296Pk + \frac{0.0182}{Bi} + 0.1050 \right) \right]$</p> $R_2 = R_1 [1.202 + Ste(3.410Pk + 0.7336)]$ <p>και $P_1 = \frac{\beta_1 \beta_2}{2(\beta_1 \beta_2 + \beta_1 + \beta_2)}$</p> $R_1 = \frac{Q}{2} \left[(r-1)(\beta_1 - r)(\beta_2 - r) \ln \left(\frac{r}{r-1} \right) - (s-1)(\beta_1 - s)(\beta_2 - s) \ln \left(\frac{s}{s-1} \right) \right]$ $+ \frac{1}{72} (2\beta_1 + 2\beta_2 - 1)$	$0.155 \leq Ste \leq 0.345$ $0 \leq Pk \leq 0.55$ $0.5 \leq Bi \leq 22$ $1 \leq \beta_1 \leq 4$ $1 \leq \beta_2 \leq 4$
<p>Τούβλο (συνέχεια)</p>	$\frac{1}{Q} = 4 \left[(\beta_1 - \beta_2)(\beta_1 - 1) + (\beta_2 - 1)^2 \right]^{1/2}$ $r = \frac{1}{3} \left\{ \beta_1 + \beta_2 + 1 + \left[(\beta_1 - \beta_2)(\beta_1 - 1) + (\beta_2 - 1)^2 \right]^{1/2} \right\}$ $s = \frac{1}{3} \left\{ \beta_1 + \beta_2 + 1 - \left[(\beta_1 - \beta_2)(\beta_1 - 1) + (\beta_2 - 1)^2 \right]^{1/2} \right\}$ $\beta_1 = \frac{\Delta \text{εύτερη μικρότερη διάσταση του τροφίμου}}{\text{Μικρότερη διάσταση του τροφίμου}}$ $\beta_2 = \frac{\text{Μεγαλύτερη διάσταση του τροφίμου}}{\text{Μικρότερη διάσταση του τροφίμου}}$	
<p>Πηγή Cleland και Earle (1977, 1979a, 1979b)</p>		

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΧΡΟΝΩΝ ΠΡΟΨΥΞΕΩΣ, ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ ΚΑΙ ΥΠΟΨΥΞΕΨΩΣ

Ο συνολικός χρόνος καταψύξεως είναι όπως παρακάτω

$$\theta = \theta_1 + \theta_2 + \theta_3 \quad (38)$$

όπου θ_1 , θ_2 και θ_3 είναι οι χρόνοι προψύξεως, αλλαγής φάσης και υποψύξεως αντίστοιχα

Οι DeMichelis και Calvelo(1983) πρότειναν τη χρήση του μοντέλου ης ισοδύναμης αδιαστατοποιημένης μεταφοράς θερμότητας των Cleland και Earle(1982a) που συζητήθηκε στη ενότητα υπολογισμού του χρόνου ψύξης τροφίμων και αναψυκτικών στο παρόν κεφάλαιο για να βρούμε τους χρόνους προψύξεως και υποψύξεως. Επίσης πρότειναν ο χρόνος αλλαγής φάσης να υπολογιστεί με τη εξίσωση του Plank αλλά με θερμική αγωγιμότητα του κατεψυγμένου τροφίμου υπολογισμένη στη θερμοκρασία $(T_f + T_m)/2$ όπου T_f η αρχική θερμοκρασία στερεοποίησης και T_m η θερμοκρασία του ψύχοντος μέσου.

Οι Lacroix και Castaingne(1987a,1987b,1988) πρότειναν τη χρήση των παραγόντων f, j ώστε να προσδιορίσουν τους χρόνους προψύξεως και υποψύξεως τροφίμων και αναψυκτικών. Παρουσίασαν εξισώσεις (βλ.πίνακες 1-3) για να υπολογίσουν τις τιμές των f, j για απείρων διαστάσεων πλάκες, κυλίνδρους και σφαίρες. Πρέπει να τονιστεί όμως ότι οι Lacroix και Castaingne βασίζουν το αριθμό Bi στη μικρότερη απόσταση μεταξύ του θερμικού κέντρου του τροφίμου και της επιφάνεια του ως χαρακτηριστική διάσταση, όχι τη διπλάσια απόσταση.

Οι Lacroix και Castaingne(1987a,1987b,1988) έδωσαν τη ακόλουθη έκφραση για τον υπολογισμό του χρόνου προψύξεως θ_1 :

$$\theta_1 = f_1 \log \left(j_1 \frac{T_m - T_i}{T_m - T_f} \right) \quad (39)$$

όπου T_m είναι η θερμοκρασία του ψύχοντος μέσου, T_i η αρχική θερμοκρασία του τροφίμου και T_f η θερμοκρασία του αρχικού σημείου στερεοποίησης του τροφίμου. Οι παράγοντες f_1 και j_1 είναι προσδιορισμένοι από ένα αριθμό Bi υπολογισμένο χρησιμοποιώντας μια μέση θερμική αγωγιμότητα που βασίζεται στη θερμική αγωγιμότητα για το κατεψυγμένο και το μη κατεψυγμένο τρόφιμο και υπολογισμένη στη θερμοκρασία $(T_f+T_m)/2$.

Η έκφραση για τον υπολογισμό του χρόνου υποψύξεως θ_3 είναι:

$$\theta_3 = f_3 \log \left(j_3 \frac{T_m - T_f}{T_m - T_c} \right) \quad (40)$$

όπου T_c είναι η τελική θερμοκρασία του θερμικού κέντρου του τροφίμου. Οι παράγοντες f_3 και j_3 προσδιορίζονται από αριθμό Bi που βρίσκεται χρησιμοποιώντας τη θερμική αγωγιμότητα του κατεψυγμένου τροφίμου υπολογισμένη στη θερμοκρασία $(T_f+T_m)/2$.

Οι Lacroix και Castaingne μοντελοποίησαν το χρόνο αλλαγής φάσης θ_2 με τη βοήθεια της εξίσωσης του Plank όπως παρακάτω:

$$\theta_2 = \frac{L_f D^2}{(T_f - T_m) k_c} \left(\frac{P}{2Bi_c} + R \right) \quad (41)$$

όπου L_f είναι η ογκομετρική λανθάνουσα θερμότητα στερεοποίησης του τροφίμου, P, R είναι οι παράγοντες γεωμετρικού σχήματος της αρχικής εξίσωσης Plank, k_c είναι η θερμική αγωγιμότητα του κατεψυγμένου τροφίμου στη θερμοκρασία $(T_f+T_m)/2$ και Bi_c ο αριθμός Biot για τη περίοδο υποψύξεως ($Bi_c = hL/k_c$).

Οι Lacroix και Castaingne(1987a,1987b) προσάρμοσαν τα P, R ώστε να επιτύχουν μια καλύτερη συμφωνία αποτελεσμάτων μεταξύ των χρόνων καταψύξεως που υπολογίζονται από τις εξισώσεις και των πειραματικών δεδομένων. Χρησιμοποιώντας ανάλυση αναδρομής οι Lacroix και Castaingne πρότειναν τους γεωμετρικούς παράγοντες όπως παρακάτω:

Για άπειρες πλάκες

$$P=0.51233 \quad (42)$$

$$R=0.15396 \quad (43)$$

Για άπειρους κυλίνδρους

$$P=0.27553 \quad (44)$$

$$R=0.07212 \quad (45)$$

Για σφαίρες

$$P=0.19665 \quad (46)$$

$$R=0.03939 \quad (47)$$

Για ορθογώνια τούβλα

$$P = P' \left(-0.02175 \frac{1}{Bi_c} - 0.01956 \frac{1}{Ste} - 1.69657 \right) \quad (48)$$

$$R = R' \left(5.57519 \frac{1}{Bi_c} + 0.02932 \frac{1}{Ste} + 1.58247 \right) \quad (49)$$

όπου για ορθογώνια τούβλα τα P' και R' υπολογίζονται χρησιμοποιώντας τις εκφράσεις που δίδονται στο πίνακα 5 για τα P, R (για τούβλα).

Ο Pham (1984) επίσης επινόησε μια μέθοδο υπολογισμού του χρόνου καταψύξεως, παρόμοια με τη εξίσωση του Plank στη οποία όμως οι επιδράσεις της αισθητής θερμότητας εντάχθηκαν με το υπολογισμό των χρόνων προψύξεως, αλλαγής φάσης και υποψύξεως ξεχωριστά. Επιπλέον ο Pham πρότεινε τη χρήση ενός μέσου σημείου στερεοποίησης, που θεωρείται ότι είναι 1.5 K κάτω από το αρχικό σημείο στερεοποίησης του τροφίμου ώστε να εξηγήσει ότι η κατάψυξη λαμβάνει χώρα σε ένα εύρος θερμοκρασιών. Η μέθοδος υπολογισμού του χρόνου καταψύξεως του Pham παρουσιάζεται ως προς το όγκο και το εμβαδόν της επιφάνειας του τροφίμου και έχει επομένως εφαρμογή σε τρόφιμα οποιουδήποτε σχήματος. Η μέθοδος δίνεται από τη παρακάτω σχέση:

$$\theta_i = \frac{Q_i}{hA_s \Delta T_{mi}} \left(1 + \frac{Bi_i}{ki} \right) \quad i=1,2,3 \quad (50)$$

όπου θ_1 είναι ο χρόνος προψύξεως, θ_2 ο χρόνος αλλαγής φάσης και θ_3 ο χρόνος υποψύξεως και οι υπόλοιπες μεταβλητές ορίζονται όπως στο πίνακα 6.

Ο Pham (1986) απλοποίησε σημαντικά τη μέθοδο υπολογισμού χρόνου καταψύξεως που προαναφέρθηκε ώστε να δώσει

$$\theta = \frac{V}{hA_s} \left(\frac{\Delta H_1}{\Delta T_1} + \frac{\Delta H_2}{\Delta T_2} \right) \left(1 + \frac{Bi_s}{4} \right) \quad (51)$$

όπου

$$\begin{aligned} \Delta H_1 &= C_1(T_i - T_{fm}) \\ \Delta H_2 &= L_f + C_s(T_{fm} - T_c) \end{aligned} \quad (52)$$

$$\begin{aligned} \Delta T_1 &= \frac{T_i + T_{fm}}{2} - T_m \\ \Delta T_2 &= T_{fm} - T_m \end{aligned} \quad (53)$$

όπου C_1 και C_s οι ογκομετρικές ειδικές θερμοχωρητικότητες πάνω και κάτω του αρχικού σημείου στερεοποίησης αντίστοιχα, T_i η αρχική θερμοκρασία του

τροφίμου, L_f η ογκομετρική λανθάνουσα θερμότητα στερεοποίησης και V ο όγκος του τροφίμου

Ο Pham απέδειξε ότι η μέση θερμοκρασία στερεοποίησης T_{fm} που χρησιμοποιείται στις (52),(53) κυρίως εξαρτάται από τη θερμοκρασία του ψύχοντος μέσου T_m και από τη τελική θερμοκρασία του θερμικού κέντρου του προϊόντος. Μέσω προσαρμογής καμπύλης από υπάρχοντα πειραματικά δεδομένα, ο Pham(1986) πρότεινε τη ακόλουθη εξίσωση για να προσδιορίσει τη μέση θερμοκρασία στερεοποίησης T_{fm} που θα χρησιμοποιηθεί στις (52),(53):

$$T_{fm}=1.8+0.263T_c+0.105T_m \quad (54)$$

όπου όλες οι θερμοκρασίες είναι σε °C.

Πίνακας 6 Προσδιορισμός των μεταβλητών για τη μέθοδο υπολογισμού του χρόνου καταψύξεως

Διαδικασία	Μεταβλητές
Πρόψυξη	$i = 1$ $k_1 = 6$ $Q_1 = C_l (T_i - T_{fm}) V$ $Bi_1 = (Bi_l + Bi_s) / 2$ $\Delta T_{m1} = \frac{(T_i - T_m) - (T_{fm} - T_m)}{\ln \left(\frac{T_i - T_m}{T_{fm} - T_m} \right)}$
Αλλαγή φάσης	$i = 2$ $k_2 = 4$ $Q_2 = L_f V$ $Bi_2 = Bi_s$ $\Delta T_{m2} = T_{fm} - T_m$
Υπόψυξη	$i = 3$ $k_3 = 6$ $Q_3 = C_s (T_{fm} - T_c) V$ $Bi_3 = Bi_s$ $\Delta T_{m3} = \frac{(T_{fm} - T_m) - (T_o - T_m)}{\ln \left(\frac{T_{fm} - T_m}{T_o - T_m} \right)}$

Πηγή Pham (1984)

Σημειώσεις: A_s =επιφάνεια μεταφοράς θερμότητας και V =όγκος του τροφίμου

Bi_l = αριθμός Bi για τη μη κατεψυγμένη φάση του τροφίμου

Bi_s = αριθμός Bi για τη πλήρως κατεψυγμένη φάση του τροφίμου

Q_1, Q_2, Q_3 =θερμικά φορτία πρόψυξης, αλλαγής φάσης και υπόψυξης αντίστοιχα

$\Delta T_{m1}, \Delta T_{m2}, \Delta T_{m3}$ =αντίστοιχες μέσες λογαριθμικές θερμοκρασίες κινητήριων δυνάμεων

T_c =τελική θερμοκρασία θερμικού κέντρου και T_o =μέση τελική θερμοκρασία

T_{fm} =θερμοκρασία του μέσου σημείου στερεοποίησης 1.5 K κάτω του αρχικού σημείου

ΕΞΕΤΑΣΗ ΤΗΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ ΤΩΝ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

Ισοδύναμη αδιαστατοποιημένη μεταφορά θερμότητας E(συντελεστής). Παρόμοια με τη εργασία που προβλέπεται για το υπολογισμό των χρόνων ψύξης των τροφίμων, οι Cleland και Earle(1982b) επίσης εισήγαγαν ένα διορθωτικό γεωμετρικό παράγοντα που ονομάζεται ισοδύναμη αδιαστατοποιημένη μεταφορά θερμότητας E ώστε να υπολογίσουν τους χρόνους καταψύξεως τροφίμων σύνθετων σχημάτων. Ο χρόνος κατάψυξης ενός αντικειμένου σύνθετης μορφής θ_{shape} συσχετίστηκε με το χρόνο κατάψυξης μιας άπειρης πλάκας θ_{slab} χρησιμοποιώντας το συντελεστή ισοδύναμης αδιαστατοποιημένης μεταφοράς θερμότητας E όπως παρακάτω

$$\theta_{shape} = \frac{\theta_{slab}}{E} \quad (55)$$

Ο χρόνος κατάψυξης της άπειρης πλάκας κατόπιν υπολογίζεται με μια από τις πολλές κατάλληλες μεθόδους υπολογισμού του χρόνου καταψύξεως που έχουν παρουσιαστεί. Χρησιμοποιώντας δεδομένα που έχουν συγκεντρωθεί από ένα πολύ μεγάλο αριθμό πειραμάτων καταψύξεως, οι Cleland και Earle(1982b) ανέπτυξαν εμπειρικές σχέσεις συσχετίσεως για την ισοδύναμη αδιαστατοποιημένη μεταφορά θερμότητας E που να έχουν εφαρμογή σε ορθογώνια τούβλα και πεπερασμένους κυλίνδρους. Σε σχήματα ορθογώνιων τούβλων με διαστάσεις $D \times \beta_1 D \times \beta_2 D$ η ισοδύναμη αδιαστατοποιημένη μεταφορά θερμότητας E δίνεται από τη παρακάτω σχέση

$$E=1+W_1+W_2 \quad (56)$$

όπου

$$W_1 = \left(\frac{Bi}{Bi+2} \right) \frac{5}{8\beta_1^3} + \left(\frac{2}{Bi+2} \right) \frac{2}{\beta_1(\beta_1+1)} \quad (57)$$

$$W_2 = \left(\frac{Bi}{Bi+2} \right) \frac{5}{8\beta_2^3} + \left(\frac{2}{Bi+2} \right) \frac{2}{\beta_2(\beta_2+1)} \quad (58)$$

Για σχήματα πεπερασμένων κυλίνδρων όπου η διάμετρος είναι μικρότερη από το ύψος η ισοδύναμη αδιαστατοποιημένη μεταφορά θερμότητας E δίνεται από τη σχέση

$$E=2.0+W_2 \quad (59)$$

Επιπρόσθετα οι Cleland et al.(1987a,1987b) ανέπτυξαν εκφράσεις για τη εύρεση της ισοδύναμης αδιαστατοποιημένης μεταφοράς θερμότητας E άπειρων πλακών, άπειρων και πεπερασμένων κυλίνδρων, ορθογώνιων τούβλων, σφαιρών και 2διάστατων και 3διάστατων σύνθετων σχημάτων. Έγινε χρήση αριθμητικών μεθόδων για τον υπολογισμό των χρόνων καταψύξεως αλλά και αποψύξεως για τα σχήματα που προαναφέρθηκαν. Μια μη-γραμμική ανάλυση αναδρομής των αποτελεσμάτων των αριθμητικών δεδομένων έδωσαν τη ακόλουθη σχέση για τη ισοδύναμη αδιάστατη μεταφοράς θερμότητας E

$$E=G_1+G_2E_1+G_3E_2 \quad (60)$$

όπου

$$E_1 = X \left(\frac{2.32}{\beta_1^{1.77}} \right) \frac{1}{\beta_1} + \left[1 - X \left(\frac{2.32}{\beta_1^{1.77}} \right) \right] \frac{0.73}{\beta_1^{2.50}} \quad (61)$$

$$E_2 = X \left(\frac{2.32}{\beta_2^{1.77}} \right) \frac{1}{\beta_2} + \left[1 - X \left(\frac{2.32}{\beta_2^{1.77}} \right) \right] \frac{0.50}{\beta_2^{3.69}} \quad (62)$$

και G_1, G_2, G_3 δίνονται στο παρακάτω πίνακα 7. Στις εξισώσεις (61),(62) η συνάρτηση X με ανεξάρτητη μεταβλητή-όρισμα το φ ορίζεται ως εξής:

$$X(\varphi) = \frac{\varphi}{(Bi^{1.34} + \varphi)} \quad (63)$$

Πίνακας 7 Γεωμετρικές σταθερές

Σχήματα	G_1	G_2	G_3
Άπειρη πλάκα	1	0	0
Άπειρος κύλινδρος	2	0	0
Σφαίρα	3	0	0
Πεπερασμένος κύλινδρος (διάμετρος > ύψους)	1	2	0
Πεπερασμένος κύλινδρος (ύψος > διαμέτρου)	2	0	1
Άπειρη ράβδος	1	1	0
Ορθογώνιο τούβλο	1	1	1
2-διάστατο σύνθετο σχήμα	1	1	0
3-διάστατο σύνθετο σχήμα	1	1	1

Πηγή :Cleland et al.(1987a)

Χρησιμοποιώντας μεθόδους εύρεσης του χρόνου καταψύξεως για άπειρες πλάκες και διάφορα πολυδιάστατα σχήματα που αναπτύχθηκαν από τους McNabb et al(1990), οι Hossain et al(1992a) βρήκαν εκφράσεις άπειρων σειρών για το E για τις άπειρες ορθογώνιες ράβδους, τους πεπερασμένους κυλίνδρους και τα ορθογώνια τούβλα. Στις περισσότερες πρακτικές περιπτώσεις κατάψυξης μόνο ο πρώτος όρος από αυτές τις άπειρες σειρές είναι σημαντικός ώστε να ληφθεί υπόψη. Τα αποτελέσματα των εκφράσεων αυτών για το E βρίσκονται στο πίνακα 8.

Οι Hossain et al(1992b) επίσης παρουσίασαν μια ημιαναλυτική έκφραση για την εύρεση της ισοδύναμης αδιάστατης μεταφοράς θερμότητας E για 2διάστατα σύνθετου σχήματος τρόφιμα. Ένας ισοδύναμος ‘ψευδοελλειπτικός’ άπειρος κύλινδρος χρησιμοποιήθηκε ώστε να αντικαταστήσει το πραγματικό 2διάστατο σύνθετο σχήμα στους υπολογισμούς. Μια ψευδοέλλειψη είναι ένα σχήμα που εξαρτάται από τον αριθμό $Biot$. Καθώς ο αριθμός Bi πλησιάζει το άπειρο το σχήμα προσομοιάζει με μια έλλειψη ενώ καθώς ο αριθμός Bi προσεγγίζει το μηδέν ο ‘ψευδοελλειπτικός’ άπειρος κύλινδρος προσομοιάζει με μια άπειρη ορθογώνια ράβδο. Οι Hossain et al(1992b) ισχυρίστηκαν ότι για πρακτικούς αριθμούς Bi η ψευδοέλλειψη μπορεί να θεωρηθεί με καλή προσέγγιση ως μια πραγματική έλλειψη. Αυτό λοιπόν το μοντέλο του ‘ψευδοελλειπτικού’ άπειρου κυλίνδρου έχει τον ίδιο όγκο ανά μονάδα μήκους και χαρακτηριστικής διάστασης με το πραγματικό τρόφιμο. Η έκφραση που προκύπτει για το E είναι όπως παρακάτω:

$$E = 1 + \frac{1 + \frac{2}{Bi}}{\beta_2^2 + \frac{2\beta_2}{Bi}} \quad (64)$$

Στη εξίσωση (64) ο αριθμός Bi βασίζεται στη μικρότερη απόσταση μεταξύ του θερμικού κέντρου του τροφίμου και της επιφάνειας του L και όχι τη διπλάσια $D=2L$. Χρησιμοποιώντας αυτή τη έκφραση για το E ο χρόνος καταψύξεως θ_{shape} του 2διάστατου σύνθετου σχήματος τροφίμου μπορεί να υπολογιστεί από την εξίσωση (55).

Οι Hossain et al(1992c) επέκτειναν αυτή την ανάλυση ώστε να βρεθεί ο χρόνος καταψύξεως 3διάστατων σύνθετων σχημάτων τροφίμων. Σε αυτή τη μελέτη τους τα σύνθετου σχήματος τρόφιμα αντικαταστάθηκαν με ένα μοντέλο ελλειψοειδούς μορφής που όμως έχει το ίδιο όγκο, χαρακτηριστική διάσταση και τη μικρότερη επιφάνεια εμβαδού που είναι ορθογώνια στη χαρακτηριστική διάσταση L όπως το πραγματικό τεμάχιο τροφίμου. Η έκφραση που βρέθηκε για το E βάσει του ψευδοελλειψοειδούς μοντέλου είναι η παρακάτω

$$E = 1 + \frac{1 + \frac{2}{Bi}}{\beta_1^2 + \frac{2\beta_1}{Bi}} + \frac{1 + \frac{2}{Bi}}{\beta_2^2 + \frac{2\beta_2}{Bi}} \quad (65)$$

Στη εξίσωση (65), όπως και στη προηγούμενη σχέση (64), ο αριθμός Bi βασίζεται στη μικρότερη απόσταση μεταξύ του θερμικού κέντρου του τροφίμου και της επιφάνειας του L και όχι τη διπλάσια $D=2L$. Με αυτή τη έκφραση για το E οι χρόνοι καταψύξεως θ_{shape} 3διάστατων σύνθετου σχήματος τροφίμων μπορούν να υπολογιστούν μέσω της εξίσωσης (55).

Στο πίνακα 9 συνοψίζονται οι μέθοδοι που έχουν αναφερθεί για τη εύρεση της ισοδύναμης αδιαστατοποιημένης μεταφοράς θερμότητας E ποικίλων γεωμετρικών σχημάτων. Όλες οι αναφερόμενες μέθοδοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν κατόπιν με τη εξίσωση (55) ώστε να υπολογιστούν οι ζητούμενοι χρόνοι κατάψυξης.

Πίνακας 8 Εκφράσεις για την ισοδύναμη αδιάστατη μεταφορά θερμότητας E

Σχήματα	Εκφράσεις για την ισοδύναμη αδιάστατη μεταφορά θερμότητας E
Άπειρη ορθογώνια ράβδος ($2L \times 2\beta_1 L$)	$E = \left(1 + \frac{2}{Bi}\right) \left\{ \left(1 + \frac{2}{Bi}\right) - 4 \sum_{n=1}^{\infty} \left[\frac{\sin z_n}{z_n^3 \left(1 + \frac{\sin^2 z_n}{Bi}\right) \left(\frac{z_n}{Bi} \sinh(z_n \beta_1) + \cosh(z_n \beta_1)\right)} \right] \right\}^{-1}$ <p>όπου z_n είναι οι ρίζες της εξίσωσης $Bi = z_n \tan(z_n)$ και $Bi = hL/k$ όπου L είναι η μικρότερη απόσταση από το θερμικό κέντρο της ορθογώνιας ράβδου έως τη επιφάνεια της.</p>

<p>Πεπερασμένος κύλινδρος όπου το ύψος > διαμέτρου (ακτίνας L και ύψους 2β₁L)</p>	$E = \left(2 + \frac{4}{Bi}\right) \left\{ \left(1 + \frac{2}{Bi}\right) - 8 \sum_{n=1}^{\infty} \left[y_n^3 J_1(y_n) \left(1 + \frac{y_n^2}{Bi^2}\right) \left(\cosh(\beta_1 y_n) + \frac{y_n}{Bi} \sinh(\beta_1 y_n) \right) \right] \right\}^{-1}$ <p>όπου y_n οι ρίζες της εξίσωσης y_nJ₁(y_n)-BiJ₀(y_n)=0; J₀ και J₁ είναι οι συναρτήσεις Bessel πρώτης κατηγορίας, τάξης 0 και 1 αντίστοιχα; επίσης Bi=hL/k όπου L είναι η ακτίνα του κυλίνδρου.</p>
<p>Πεπερασμένος κύλινδρος όπου η διάμετρος > ύψους (ακτίνας β₁L και ύψους 2L)</p>	$E = \left(1 + \frac{2}{Bi}\right) \left\{ \left(1 + \frac{2}{Bi}\right) - 4 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin z_n}{z_n^2 (z_n + \cos z_n \sin z_n) \left(I_0(z_n \beta_1) + \frac{z_n}{Bi} I_1(z_n \beta_1) \right)} \right\}^{-1}$ <p>όπου z_n οι ρίζες της εξίσωσης Bi=z_ntan(z_n); I₀ και I₁ είναι οι συναρτήσεις Bessel δεύτερης κατηγορίας, τάξης 0 και 1 αντίστοιχα; επίσης Bi=hL/k όπου L είναι η ακτίνα του κυλίνδρου.</p>
<p>Ορθογώνιο τούβλο (2L X 2β₁L X 2β₂L)</p>	$E = \left(1 + \frac{2}{Bi}\right) \left\{ \left(1 + \frac{2}{Bi}\right) - 4 \sum_{n=1}^{\infty} \left[\frac{\sin z_n}{z_n^3 \left(1 + \frac{\sin^2 z_n}{Bi}\right) \left[\frac{z_n}{Bi} \sinh(z_n \beta_1) + \cosh(z_n \beta_1) \right]} \right] - 8 \beta_2^2 \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} \left[\sin z_n \sin z_m \left[\left(\cosh(z_{nm}) + \frac{z_{nm}}{Bi \beta_2} \sinh(z_{nm}) \right) z_n z_m z_{nm}^2 \left(1 + \frac{\sin^2 z_n}{Bi}\right) \left(1 + \frac{\sin^2 z_m}{Bi \beta_1}\right) \right] \right] \right\}^{-1}$ <p>όπου z_n οι ρίζες της εξίσωσης Bi=z_ntan(z_n); z_m οι ρίζες της εξίσωσης Biβ₁=z_mtan(z_m); Bi=hL/k όπου L είναι η μικρότερη απόσταση από το θερμικό κέντρο του ορθογώνιου τούβλου έως τη επιφάνεια του; τέλος η z_{nm} δίνεται από τη παρακάτω σχέση</p> $z_{nm}^2 = z_n^2 \beta_2^2 + z_m^2 (\beta_2 / \beta_1)^2$

Πίνακας 9 Σύνοψη μεθόδων για τη ισοδύναμη αδιάστατη μεταφορά θερμότητας

<p>Άπειρες πλάκες</p>		<p>Cleland et al.(1987a,1987b) Εξισώσεις (60) έως (63)</p>	
<p>Άπειροι κύλινδροι</p>		<p>Cleland et al.(1987a,1987b) Εξισώσεις (60) έως (63)</p>	
<p>Σφαίρες</p>		<p>Cleland et al.(1987a,1987b) Εξισώσεις (60) έως (63)</p>	
<p>Πεπερασμένοι κύλινδροι (διάμετρος>ύψους)</p>		<p>Cleland et al.(1987a,1987b) Εξισώσεις (60) έως (63)</p>	<p>Hossain et al.(1992a) Πίνακας 8</p>

Πεπερασμένοι κύλινδροι (ύψος>διαμέτρου)	Cleland και Earle(1982a, 1982b).Εξισώσεις(58),(59)	Cleland et al.(1987a,1987b) Εξισώσεις (60) έως (63)	Hossain et al.(1992a) Πίνακας 8
Άπειρες ράβδοι		Cleland et al.(1987a,1987b) Εξισώσεις (60) έως (63)	Hossain et al.(1992a) Πίνακας 8
Ορθογώνια τούβλα	Cleland και Earle(1982a, 1982b).Εξισώσεις(56)-(58)	Cleland et al.(1987a,1987b) Εξισώσεις (60) έως (63)	Hossain et al.(1992a) Πίνακας 8
2διάστατα σύνθετα σχήματα (άπειρη έλλειψη)		Cleland et al.(1987a,1987b) Εξισώσεις (60) έως (63)	Hossain et al.(1992b) Εξίσωση (64)
3διάστατα σύνθετα σχήματα (ελλειψοειδές)		Cleland et al.(1987a,1987b) Εξισώσεις (60) έως (63)	Hossain et al.(1992c) Εξίσωση (65)

Μέση αγωγήμη διαδρομή. Οι σχέσεις για το χρόνο καταψύξεως του Pham που δόθηκαν στις εξισώσεις (50),(51) απαιτούν γνώση του αριθμού Biot. Ο υπολογισμός του αριθμού Biot ενός τροφίμου προϋποθέτει τη γνώση της χαρακτηριστικής διάστασης. Λόγω της δυσκολίας εύρεσης της χαρακτηριστικής διάστασης σε ένα τρόφιμο σύνθετου σχήματος, ο Pham(1985) εισήγαγε τη ιδέα της **μέσης αγωγήμη διαδρομής** η οποία είναι το μέσο μήκος μεταφοράς θερμότητας από τη επιφάνεια του τροφίμου στο θερμικό του κέντρο δηλαδή $L_m=D_m/2$. Οπότε ο αριθμός Biot γίνεται:

$$Bi = \frac{hD_m}{k} \quad (66)$$

όπου η χαρακτηριστική διάσταση D_m είναι το διπλάσιο της μέσης αγωγήμη διαδρομής. Για *‘ομάδα’ ορθογώνιων τεμαχίων τροφίμων*, ο Pham(1985) βρήκε ότι η μέση αγωγήμη διαδρομή ήταν ανάλογη με το γεωμετρικό μέσο των 2 μικρότερων διαστάσεων της *‘ομάδας’*. Στηριζόμενος σε αυτό το αποτέλεσμα ο Pham(1985) παρουσίασε μια εξίσωση υπολογισμού του αριθμού Biot ειδικά για μια ομάδα ορθογώνιων τεμαχίων τροφίμων:

$$\frac{Bi}{Bi_o} = 1 + \left\{ \left[1.5\sqrt{\beta_1} - 1 \right]^4 + \left[\left(\frac{1}{\beta_1} + \frac{1}{\beta_2} \right) \left(1 + \frac{4}{Bi_o} \right) \right]^4 \right\}^{-1/4} \quad (67)$$

όπου Bi_o είναι ο αριθμός Biot που βασίζεται στη μικρότερη διάσταση της *‘ομάδας’* D_1 ή αλλιώς $Bi_o=hD_1/k$. Ο αριθμός Bi μπορεί τότε να υπολογιστεί από την (67) και μετά να αντικατασταθεί σε μια μέθοδο υπολογισμού του χρόνου καταψύξεως για ομάδα ορθογώνιων τεμαχίων τροφίμων. Ο Pham(1985) διαπίστωσε ότι για κοντά και με πάχος σχήματα τροφίμων η μέση αγωγήμη διαδρομή $D_m/2$ μπορούσε πρακτικά να εκτιμηθεί ως ο αριθμητικός μέσος της μικρότερης και μεγαλύτερης απόστασης μεταξύ της επιφάνειας του τροφίμου και του θερμικού του κέντρου.

Ισοδύναμη διάμετρος σφαίρας. Οι Ilicali και Engez(1990) καθώς και οι Ilicali και Hocalar(1990) εισήγαγαν τη ιδέα της ισοδύναμης διαμέτρου σφαίρας για τη εύρεση του χρόνο καταψύξεως σύνθετων σχημάτων τροφίμων. Στη μέθοδο αυτή η διάμετρος σφαίρας υπολογίζεται βασισμένη στο όγκο και στο λόγο του όγκου προς εμβαδόν επιφάνειας του σύνθετου σχήματος τροφίμου. Αυτή η ισοδύναμη σφαίρα κατόπιν χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του χρόνου καταψύξεως ενός τεμαχίου τροφίμου

Μελετώντας ένα τεμάχιο τροφίμου σύνθετου σχήματος όπου η μικρότερη και μεγαλύτερη απόσταση από τη επιφάνεια έως το θερμικό κέντρο αυτού ορίστηκαν D_1 και D_2 αντίστοιχα οι Picali και Engez(1990) και οι Picali και Hocalar(1990) όρισαν τη διάμετρο όγκου-επιφάνειας D_{vs} ως τη διάμετρο σφαίρας που έχει τον ίδιο λόγο όγκου προς εμβαδό επιφάνειας με το σύνθετο σχήμα:

$$D_{vs}=6V/A_s \quad (68)$$

όπου V είναι ο όγκος του σύνθετου σχήματος και A_s το εμβαδόν επιφάνειας του. Επιπλέον η διάμετρος όγκου D_v ορίζεται ως η διάμετρος μιας σφαίρας που έχει τον ίδιο όγκο με το σύνθετο σχήμα :

$$D_v=(6V/\pi)^{1/3} \quad (69)$$

Επειδή η σφαίρα είναι ένα συμπαγές γεωμετρικό σώμα με ελάχιστο εμβαδόν επιφάνειας ανά μονάδα όγκου, η ισοδύναμη διάμετρος σφαίρας $D_{eq,s}$ πρέπει να είναι μεγαλύτερη από τη D_{vs} και μικρότερη από τη D_v . Επίσης η συνεισφορά της διαμέτρου όγκου D_v θα πρέπει να μειώνεται καθώς ο λόγος της μεγαλύτερης προς τη μικρότερη απόσταση θερμικού κέντρου-επιφάνειας D_2/D_1 αυξάνεται, επειδή το αντικείμενο θα είναι απαραίτητα 2διάστατο εάν $D_2/D_1 \gg 1$. Οπότε η ισοδύναμη διάμετρος σφαίρας έχει τον παρακάτω ορισμό:

$$D_{eq,s} = \frac{1}{\beta_2 + 1} D_v + \frac{\beta_2}{\beta_2 + 1} D_{vs} \quad (70)$$

Οπότε η εύρεση του χρόνου καταψύξεως ενός σύνθετου σχήματος τροφίμου ανάγεται στη εύρεση του χρόνου καταψύξεως ενός σφαιρικού τροφίμου με διάμετρο $D_{eq,s}$. Οποιαδήποτε από τις μεθόδους υπολογισμού χρόνου καταψύξεως που αναλύθηκαν **για σφαίρες** στο παρόν κεφάλαιο μπορούν τώρα να χρησιμοποιηθούν για να υπολογιστεί ο ζητούμενος χρόνος.

Πίνακας 10 Μέθοδοι υπολογισμού(με τις καλύτερες επιδόσεις) του χρόνου καταψύξεως για απλού και σύνθετου σχήματος τρόφιμα

Σχήματα	Μέθοδοι
Άπειρη πλάκα	Cleland και Earle(1977),Hung και Thompson(1983), Pham(1984,1986a)
Άπειρος κύλινδρος	Cleland και Earle(1979a), Lacroix και Castaigne(1987a), Pham(1986a)
Κοντός κύλινδρος	Cleland et al.(1987a, 1987b), Hossain et al.(1992a), τεχνική ισοδύναμης διαμέτρου σφαίρας
Ορθογώνιο τούβλο	Cleland και Earle(1982b), Cleland et al.(1987a,1987b), Hossain et al.(1992a)
2-διάστατο σύνθετο σχήμα	Hossain et al.(1992b)
3-διάστατο σύνθετο σχήμα	Hossain et al.(1992c), τεχνική ισοδύναμης διαμέτρου σφαίρας

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΚΑΤΑΨΥΞΕΩΣ

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως η επιλογή μιας κατάλληλης μεθόδου υπολογισμού από τη πληθώρα των μεθόδων που διατίθενται μπορεί να αποδειχθεί δύσκολη για το σχεδιαστή. Επίσης οι Becker και Fricke(1999a,1999b,1999c,2000a,2000b) εκτίμησαν ποσοτικά επιλεγμένες ημιαναλυτικές/ εμπειρικές μεθόδους υπολογισμού του χρόνου καταψύξεως για απλά και σύνθετα σχήματα τροφίμων. Η απόδοση κάθε μεθόδου ποσοτικοποιήθηκε μέσω της σύγκρισης των αριθμητικών αποτελεσμάτων με επαρκή αριθμό πειραματικών δεδομένων χρόνων καταψύξεως που αντλήθηκαν από τη βιβλιογραφία. Οι καλύτερης απόδοσης μέθοδοι για κάθε σχήμα έχουν καταγραφεί παραπάνω στο πίνακα 10.

ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΚΑΤΑΨΥΞΕΩΣ

Ο ακόλουθος προτεινόμενος αλγόριθμος για τον υπολογισμό του χρόνου καταψύξεως τροφίμων και αναψυκτικών ποτών βασίζεται στη διορθωμένη εξίσωση του Plank που παρουσιάστηκε από τους Cleland και Earle(1977,1979a,1979b). Αυτός ο αλγόριθμος έχει εφαρμογή σε απλές γεωμετρίες τροφίμων συμπεριλαμβανομένων των άπειρων πλακών, άπειρων κυλίνδρων, σφαιρών και 3διάστατων ορθογώνιων τούβλων.

1. Προσδιορίζουμε τις θερμικές ιδιότητες του τροφίμου(βλ. κεφάλαιο 1)
2. Προσδιορίζουμε το συντελεστή συναγωγής θερμότητας h για τη διεργασία της κατάψυξης(βλ. κεφάλαιο 1)
3. Προσδιορίζουμε τη χαρακτηριστική διάσταση D και τους αδιαστατοποιημένους λόγους β_1, β_2 χρησιμοποιώντας τις εξισώσεις (16),(17)
4. Υπολογίζουμε τους αριθμούς Biot, Plank και Stefan χρησιμοποιώντας τις (28),(29) και (30) αντίστοιχα
5. Προσδιορίζουμε τις γεωμετρικές παραμέτρους P, R που δίδονται στο πίνακα 5
6. Υπολογίζουμε το χρόνο καταψύξεως χρησιμοποιώντας τις εξισώσεις (31) ή (32)

Ο παρακάτω αλγόριθμος για τον υπολογισμό του χρόνου καταψύξεως τροφίμων και αναψυκτικών βασίζεται στη μέθοδο της ισοδύναμης αδιαστατοποιημένης μεταφοράς θερμότητας E. Πλήθος εφαρμογών σε γεωμετρίες τροφίμων συμπεριλαμβανομένων των άπειρων ορθογώνιων ράβδων, πεπερασμένων κυλίνδρων, 3διάστατων ορθογώνιων τούβλων και των 2διάστατων και 3διάστατων σύνθετων σχημάτων καλύπτονται από τη παραπάνω μέθοδο.

1. Προσδιορίζουμε τις θερμικές ιδιότητες του τροφίμου(βλ. κεφάλαιο 1)
2. Προσδιορίζουμε το συντελεστή συναγωγής θερμότητας h για τη διεργασία της κατάψυξης(βλ. κεφάλαιο 1)
3. Προσδιορίζουμε τη χαρακτηριστική διάσταση D και τους αδιαστατοποιημένους λόγους β_1, β_2 χρησιμοποιώντας τις εξισώσεις (16),(17)
4. Υπολογίζουμε τους αριθμούς Biot, Plank και Stefan χρησιμοποιώντας τις (28),(29) και (30) αντίστοιχα
5. Υπολογίζουμε το χρόνο κατάψυξης μιας άπειρης πλάκας κάνοντας χρήση της κατάλληλης μεθόδου. Οι κατάλληλες μέθοδοι περιλαμβάνουν
5a) Εξισώσεις (31) ή (32) σε συνεργασία με τις γεωμετρικές παραμέτρους P, R που δίνονται στο πίνακα 5
5b) Εξισώσεις (36) ή (37) από κοινού με τις εξισώσεις (33),(34) και (35)
6. Υπολογίζουμε τη ισοδύναμη αδιαστατοποιημένη μεταφορά θερμότητας E (βλ.

πίνακα 9 ώστε να ‘ξεκαθαριστεί’ ποια μέθοδο εύρεσης της ισοδύναμης αδιάστατης μεταφοράς θερμότητας E πρέπει να εφαρμοστεί αναλόγως της συγκεκριμένης γεωμετρίας του τροφίμου)

7. Υπολογίζουμε το χρόνο καταψύξεως του τροφίμου χρησιμοποιώντας την εξίσωση (55).

ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΚΑΤΑΨΥΞΕΩΣ

Παράδειγμα 3. Ένα ορθογώνιο σχήματος τούβλου ‘κομμάτι’ βοδινού κρέατος(κόντρα φιλέτο άπαχο) διαστάσεων 0.04 x 0.12 x 0.16 m πρόκειται να καταψυχθεί σε ψυκτικό θάλαμο τύπου καταψύκτη. Η αρχική θερμοκρασία του βόειου κρέατος είναι 10°C και του αέρα του ψυκτικού θαλάμου(ψύχον μέσο) -30°C. Ο συντελεστής συναγωγής θερμότητας h εκτιμάται ότι είναι 40 W/m²K. Να υπολογιστεί ο χρόνος που απαιτείται ώστε η θερμοκρασία -θερμικού κέντρου-του βόειου κρέατος να μειωθεί στους -10 °C

Λύση: Επειδή το τρόφιμο είναι ‘ορθογώνιο τούβλο’ ο αλγόριθμος που βασίζεται στη διορθωμένη εξίσωση του Plank όπως αναπτύχθηκε από τους Cleland και Earle(1977, 1979a,1979b) χρησιμοποιείται εδώ.

Βήμα 1: Προσδιορίζουμε τις θερμικές ιδιότητες του κόντρα φιλέτου άπαχου(lean siloin). Όπως περιγράφεται στο 1^ο Κεφάλαιο οι θερμικές ιδιότητες μπορούν να προσδιοριστούν και παρουσιάζονται συνοπτικά παρακάτω

<u>Ιδιότητες(θερμοφυσικές)</u>	<u>-40°C(πλ. κατ)</u>	<u>-10°C(τελ.)</u>	<u>-1.7°C(αρ.στερ)</u>	<u>10°C(αρχ.)</u>
Πυκνότητα , kg/m ³	ρ _s =1018	ρ _s =1018	ρ _i =1075	ρ _i =1075
Ενθαλπία , kJ/kg		H _s =83.4	H _i =274.2	
Ειδική θερμοχωρητικότητα, kJ/kg K	c _s =2.11			c _i =3.52
Θερμική αγωγιμότητα W/m K	k _s =1.66			

Η ογκομετρική διαφορά ενθαλπίας μεταξύ του αρχικού σημείου στερεοποίησης και των -10°C θα είναι:

$$\Delta H_{10} = \rho_i H_i - \rho_s H_s \rightarrow \Delta H_{10} = (1075)(274.2) - (1018)(83.4) \rightarrow \Delta H_{10} = 210 \times 10^3 \text{ kJ/m}^3$$

Οι ογκομετρικές ειδικές θερμοχωρητικότητες είναι:

$$C_s = \rho_s c_s = (1018)(2.11) \rightarrow C_s = 2148 \text{ kJ/m}^3\text{K}$$

$$C_i = \rho_i c_i = (1075)(3.52) \rightarrow C_i = 3784 \text{ kJ/m}^3\text{K}$$

Βήμα 2: Προσδιορίζουμε το συντελεστή συναγωγής θερμότητας h, ο οποίος όμως ήδη δίδεται από τη εκφώνηση και είναι 40 W/m²K.

Βήμα 3: Προσδιορίζουμε τη χαρακτηριστική διάσταση D, τους αδιάστατοποιημένους λόγους β₁, β₂. Σε προβλήματα χρόνου καταψύξεως η χαρακτηριστική διάσταση είναι το 2πλάσιο της ελάχιστης απόστασης μεταξύ θερμικού κέντρου του τροφίμου και της επιφάνειας του. Σε αυτό το παράδειγμα D=0.04m

Χρησιμοποιώντας τις εξισώσεις (16),(17) οι ζητούμενοι αδιάστατοι λόγοι είναι
 $\beta_1=0.12/0.04 \rightarrow \beta_1=3$
 $\beta_2=0.16/0.04 \rightarrow \beta_2=4$

Βήμα 4: Χρησιμοποιώντας τις εξισώσεις (28) έως (30) μπορούμε να υπολογίσουμε τους αριθμούς Biot, Plank και Stefan αντίστοιχα

$$Bi = \frac{hD}{k_s} = \frac{(40.0)(0.04)}{1.66} \rightarrow Bi=0.964$$

$$Pk = \frac{C_l(T_i - T_f)}{\Delta H_{10}} = \frac{(3784)[10 - (-1.7)]}{210 \times 10^3} \rightarrow Pk=0.211$$

$$Ste = \frac{C_s(T_f - T_m)}{\Delta H_{10}} = \frac{(2148)[-1.7 - (-30)]}{210 \times 10^3} \rightarrow Ste=0.289$$

Βήμα 5: Προσδιορίζουμε τις γεωμετρικές παραμέτρους P,R για ορθογώνιο τούβλο με τη βοήθεια του πίνακα 5

Προσδιορισμός του P

$$P_1 = \frac{(3)(4)}{2[(3)(4) + 3 + 4]} = 0.316$$

$$P_2 = 0.316\{1.026 + (0.5808)(0.211) + 0.289[(0.2296)(0.211) + \frac{0.0182}{0.964} + 0.1050]\} = 0.379$$

$$P = 0.379 + 0.316\{0.1136 + 0.289[(5.766)(0.316) - 1.242]\} = 0.468$$

Προσδιορισμός του R

$$\frac{1}{Q} = 4 \left[(3-4)(3-1) + (4-1)^2 \right]^{1/2} = 10.6$$

$$r = \frac{1}{3} \left\{ 3 + 4 + 1 + \left[(3-4)(3-1) + (4-1)^2 \right]^{1/2} \right\} = 3.55$$

$$s = \frac{1}{3} \left\{ 3 + 4 + 1 - \left[(3-4)(3-1) + (4-1)^2 \right]^{1/2} \right\} = 1.78$$

$$R_1 = \frac{1}{(10.6)(2)} \left[(3.55-1)(3-3.55)(4-3.55) \ln \left(\frac{3.55}{3.55-1} \right) - (1.78-1)(3-1.78)(4-1.78) \ln \left(\frac{1.78}{1.78-1} \right) \right] + \frac{1}{72} [(2)(3) + (2)(4) - 1] = 0.0885$$

$$R_2 = 0.0885 \{ 1.202 + 0.289 [(3.410)(0.211) + 0.7336] \} = 0.144$$

$$R = 0.144 + 0.0885 \{ 0.7344 + 0.289 [(49.89)(0.0885) - 2.900] \} = 0.248$$

Βήμα 6: Τέλος υπολογίζουμε το χρόνο καταψύξεως του βόειου κρέατος. Εφόσον η τελική θερμοκρασία -θερμικού κέντρου- του βοδινού κρέατος είναι -10°C κάνουμε χρήση της εξίσωσης (31) για τη εύρεση του ζητούμενου χρόνου καταψύξεως οπότε:

$$\theta = \frac{2.10 \times 10^8}{-1.7 - (-30)} \left[\frac{(0.468)(0.04)}{40.0} + \frac{(0.248)(0.04)^2}{1.66} \right] = 5250\text{s} = 1.46\text{h}$$

Παράδειγμα 4. Χυμός πορτοκαλιού εντός κυλινδρικού δοχείου αποθήκευσης 0.30 m διάμετρος και 0.45 m ύψος πρόκειται να καταψυχθεί σε ψυκτικό θάλαμο τύπου καταψύκτη. Η αρχική θερμοκρασία του χυμού είναι 5°C και η θερμοκρασία του αέρα καταψύξεως(ψύχοντος μέσου) είναι -35°C . Ο συντελεστής συναγωγής θερμότητας h εκτιμάται ότι είναι $30 \text{ W/m}^2 \text{ K}$. Να υπολογιστεί ο χρόνος που απαιτείται ώστε η θερμοκρασία -θερμικού κέντρου- του χυμού να μειωθεί στους -18°C .

Λύση: Επειδή το τρόφιμο είναι 'πέπερασμένος κύλινδρος' ο αλγόριθμος που βασίζεται στη μέθοδο της ισοδύναμης αδιαστατοποιημένης μεταφοράς θερμότητας E (Cleland et al 1987a,1987b) χρησιμοποιείται. Αυτή η μέθοδος απαιτεί υπολογισμό του χρόνου καταψύξεως για μια άπειρη πλάκα καταρχήν η οποία προσδιορίζεται με εφαρμογή της μεθόδου των Hung και Thompson(1983).

Βήμα 1: Προσδιορίζουμε τις θερμικές ιδιότητες του χυμού πορτοκαλιού. Κάνοντας χρήση των μεθόδων που παρουσιάστηκαν στο 1^ο Κεφάλαιο βρίσκονται οι θερμικές ιδιότητες του χυμού πορτοκαλιού και παρουσιάζονται συνοπτικά παρακάτω:

<u>Ιδιότητες(θερμοφυσικές)</u>	<u>-40°C(πλ.κατεψ)</u>	<u>-18°C(τελική)</u>	<u>5°C(αρχική)</u>
Πυκνότητα , kg/m^3	$\rho_s=970$	$\rho_s=970$	$\rho_l=1038$
Ενθαλπία , kJ/kg		$H_s=40.8$	$H_l=381.5$
Ειδική θερμοχωρητικότητα, kJ/kg K	$c_s=1.76$		$c_l=3.89$
Θερμική αγωγιμότητα W/m K	$k_s=2.19$		
Αρχική θερμοκρασία στερεοποίησης :	$T_f = -0.4^{\circ}\text{C}$		

Η ογκομετρική διαφορά ενθαλπίας μεταξύ της αρχικής T_i και της τελικής των -18°C δίνει:

$$\Delta H_{18} = \rho_l H_l - \rho_s H_s$$

$$\Delta H_{18} = (1038)(381.5) - (970)(40.8) = 356 \times 10^3 \text{ kJ/m}^3$$

Οι ογκομετρικές ειδικές θερμοχωρητικότητες προκύπτουν:

$$C_s = \rho_s c_s = (970)(1.76) \rightarrow C_s = 1707 \text{ kJ/m}^3 \text{ K}$$

$$C_l = \rho_l c_l = (1038)(3.89) \rightarrow C_l = 4038 \text{ kJ/m}^3 \text{ K}$$

Βήμα 2: Προσδιορίζουμε το συντελεστή συναγωγής θερμότητας h , ο οποίος όμως ήδη δίδεται από τη εκφώνηση και είναι $30 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Βήμα 3: Προσδιορίζουμε τη χαρακτηριστική διάσταση D , τους αδιάστατοποιημένους λόγους β_1, β_2 . Σε προβλήματα χρόνου καταψύξεως η χαρακτηριστική διάσταση είναι το 2πλάσιο της ελάχιστης απόστασης μεταξύ θερμικού κέντρου του τροφίμου και της επιφάνειας του. Για το 'κυλινδρικό δείγμα' του χυμού πορτοκαλιού η χαρακτηριστική διάσταση είναι ίση με τη διάμετρο του κυλίνδρου οπότε:

$$D=0.30 \text{ m}$$

Χρησιμοποιώντας τις εξισώσεις (16) και (17) οι αδιαστατοποιημένοι λόγοι μπορούν να υπολογιστούν

$$\beta_1=\beta_2=\frac{0.45}{0.30}=1.5 \text{ (όπου η δεύτερη μικρότερη διάσταση ταυτίζεται με τη μεγαλύτερη)}$$

Βήμα 4: Χρησιμοποιώντας τις εξισώσεις (28) έως (30) μπορούμε να υπολογίσουμε τους αριθμούς Biot, Plank και Stefan αντίστοιχα

$$Bi = \frac{hD}{k_s} = \frac{(30)(0.30)}{2.19} = 4.11 \rightarrow Bi=4.11$$

$$Pk = \frac{C_l(T_i - T_f)}{\Delta H_{18}} = \frac{(4038)[5 - (-0.4)]}{356 \times 10^3} = 0.0613 \rightarrow Pk=0.0613$$

$$Ste = \frac{C_s(T_f - T_m)}{\Delta H_{18}} = \frac{(1707)[-0.4 - (-35)]}{356 \times 10^3} = 0.166 \rightarrow Ste=0.166$$

Βήμα 5: Υπολογίζουμε τώρα το χρόνο καταψύξεως της άπειρης πλάκας. Θα χρησιμοποιήσουμε τη μέθοδο των Hung και Thompson(1983). Καταρχάς θα βρούμε τη σταθμισμένη μέση θερμοκρασιακή διαφορά που δίδεται από τη εξίσωση (33).

$$\Delta T = [-0.4 - (-35)] + \frac{[5 - (-0.4)]^2 \left(\frac{4038}{2}\right) - [-0.4 - (-18)]^2 \frac{1707}{2}}{356 \times 10^3} = 34.0 \text{ K}$$

Προσδιορίζουμε τη παράμετρο U :

$$U = \frac{34}{[-0.4 - (-35)]} = 0.983 \rightarrow U=0.983$$

Προσδιορίζουμε τις γεωμετρικές παραμέτρους P, R για τη άπειρη πλάκα με χρήση των εξισώσεων (34) και (35) ως εξής:

$$P = 0.7306 - (1.083)(0.0613) + (0.166) \left[(15.40)(0.983) - 15.43 + \frac{(0.01329)(0.166)}{4.11} \right] = 0.616$$

$$R = 0.2079 - (0.2656)(0.983)(0.166) = 0.165$$

Μπορούμε πλέον να υπολογίσουμε το χρόνο καταψύξεως της άπειρης πλάκας από τη εξίσωση (36)

$$\theta = \frac{3.56 \times 10^8}{34.0} \left[\frac{(0.616)(0.30)}{30.0} + \frac{(0.165)(0.30)^2}{2.19} \right] = 135000s = 37.5h$$

Βήμα 6: Υπολογίζουμε τη ισοδύναμη αδιαστατοποιημένη μεταφορά θερμότητας E για πεπερασμένο κύλινδρο. Χρησιμοποιούμε τη μέθοδο που παρουσιάστηκε από τους Cleland et al(1987a,1987b). Για τη εύρεση του παραπάνω γεωμετρικού παράγοντα E θα χρειαστούν οι εξισώσεις (60) έως και (63). Από τον πίνακα 7 οι γεωμετρικές σταθερές για πεπερασμένο κύλινδρο(με ύψος > διαμέτρου) είναι

$$G_1=2 \qquad G_2=0 \qquad G_3=1$$

Υπολογισμός του E₂ :

$$\varphi_2 = \frac{2.32}{\beta_2^{1.77}} = \frac{2.32}{1.5^{1.77}} = 1.132$$

$$X(1.132) = \frac{1.132}{(4.11^{1.34} + 1.132)} = 0.146$$

$$E_2 = \frac{0.146}{1.5} + (1 - 0.146) \left(\frac{0.50}{1.5^{3.69}} \right) = 0.193$$

Οπότε η ισοδύναμη αδιαστατοποιημένη μεταφορά θερμότητας E γίνεται:

$$E = G_1 + G_2 E_1 + G_3 E_2 \rightarrow E = 2 + (0)E_1 + (1)(0.193) \rightarrow E = 2.193$$

Βήμα 7: Τελικά υπολογίζουμε το χρόνο καταψύξεως του χυμού πορτοκαλιού με χρήση της εξίσωσης (55) άρα

$$\theta_{shape} = \frac{\theta_{slab}}{E} = \frac{135000}{2.193} = 61600s = 17.1h$$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο: ΠΡΟΥΠΟΘΕΣΕΙΣ ΨΥΧΡΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΠΡΟΙΟΝΤΩΝ

Το κεφάλαιο αυτό παρουσιάζει πληροφορίες για τις προϋποθέσεις αποθήκευσης πολλών αναλώσιμων τροφίμων που εισάγονται στη αγορά σε εμπορική κλίμακα. Τα δεδομένα βασίζονται στη αποθήκευση φρέσκων υψηλής ποιότητας προϊόντων που έχουν κατάλληλα συλλεχθεί (κατά τη συγκομιδή), διακινηθεί και ψυχθεί. Οι πίνακες 1 και 2 παρουσιάζουν προτεινόμενες προϋποθέσεις ψυχρής αποθήκευσης ποικίλων προϊόντων. Κάποια προϊόντα απαιτούν μια **περίοδο επεξεργασίας μεταβατική(curing period)** πριν τη αποθήκευση ενώ άλλα χρειάζονται διαφορετικές συνθήκες ψυχρής αποθήκευσης ανάλογα με τη σκοπούμενη χρήση.

Οι προτεινόμενες θερμοκρασίες είναι βέλτιστες για μακροχρόνια αποθήκευση και είναι θερμοκρασίες προϊόντων και όχι αέρα. Στη περίπτωση της βραχυχρόνιας αποθήκευσης τα άνω όρια θερμοκρασιών (όπου υπάρχουν) είναι συνήθως αποδεκτά. Αντίστροφα, προϊόντα που υπόκειται σε κακώσεις λόγω ψύχους μπορούν μερικές φορές να διατηρηθούν σε χαμηλότερες θερμοκρασίες για βραχύ χρονικό διάστημα χωρίς ιδιαίτερους τραυματισμούς. Εξαιρέσεις αποτελούν τα εξής: μπανάνες, φίγγια, αγγούρια, μελιτζάνες, πεπόνια, μπάμιες, κολοκύθια, λευκές πατάτες, γλυκοπατάτες και ντομάτες. Οι ελάχιστες προτεινόμενες θερμοκρασίες για αυτά τα προϊόντα πρέπει να ακολουθούνται αυστηρά.

Οι καταγεγραμμένες διάρκειες ψυχρής αποθήκευσης βασίζονται σε συνήθη εμπορική πρακτική. Ειδική μεταχείριση μπορεί σε συγκεκριμένες περιπτώσεις να παρατείνει σημαντικά το χρόνο αποθήκευσης.

Οι θερμοφυσικές ιδιότητες πολλών από αυτά τα προϊόντα συμπεριλαμβανομένου του περιεχόμενου νερού, του σημείου στερεοποίησης, της ειδικής θερμοχωρητικότητας και της λανθάνουσας θερμότητας στερεοποίησης είναι πινακοποιημένα στο 1^ο κεφάλαιο. Επίσης επειδή τα φρέσκα φρούτα και λαχανικά είναι βιολογικά ενεργά προϊόντα παράγουν θερμότητα (δια της αναπνοής) που πρέπει να συμπεριληφθεί ως τμήμα του συνολικού ψυκτικού φορτίου στο χώρο αποθήκευσης τους. Προσέγγιστικές τιμές θερμότητας αναπνοής για διάφορα φρούτα και λαχανικά έχουν καταγραφεί στο 1^ο Κεφάλαιο.

ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΥΠΟ ΨΥΞΗ ΠΡΟΙΟΝΤΩΝ

(ΠΡΟ)ΨΥΞΗ

Επειδή τα προϊόντα αλλοιώνονται πολύ γρηγορότερα σε υψηλές θερμοκρασίες παρά σε χαμηλές η άμεση αφαίρεση της **θερμότητας του πεδίου(field heat)** από το χώρο της συγκομιδής δια της ψύξεως σε θερμοκρασία αποθήκευσης αυξάνει σημαντικά τη εμπορική διάρκεια ζωής του προϊόντος.

ΑΛΛΟΙΩΣΕΙΣ

Το περιβάλλον στο οποίο η παραγωγή(προϊόντα) που έχει συλλεχθεί από το χωράφι τοποθετείται μπορεί να επηρεάσει σημαντικά όχι μόνο το ρυθμό θερμότητας αναπνοής αλλά και άλλες μεταβολές και σχηματισμούς παρα-προϊόντων σε σχετικές χημικές αντιδράσεις. Στα φρούτα αυτές οι μεταβολές περιγράφονται ως ωρίμανση. Σε πολλά φρούτα όπως οι μπανάνες και τα αχλάδια η διαδικασία της ωρίμανσης απαιτείται για να αποκτήσουν τη μέγιστη ποιότητα και ποσότητα προς κατανάλωση. Όμως καθώς η ωρίμανση συνεχίζεται οι αλλοιώσεις ξεκινούν και το φρούτο μαλακώνει χάνει ως προς τη γεύση και το άρωμα και τελικά υπόκειται σταδιακά σε διάλυση ιστών.

Επιπλέον πέρα από τις αλλοιώσεις που συμβαίνουν μετά τη συγκομιδή από το χωράφι μέσω βιοχημικών αλλαγών εντός του προϊόντος η ξήρανση(αφυδάτωση) και οι ασθένειες είναι σημαντικοί παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψη. Ο ρυθμός αλλοιώσεων επηρεάζεται σημαντικά από τη θερμοκρασία και γενικά μειώνεται καθώς η θερμοκρασία χαμηλώνει. Η ειδική σχέση μεταξύ θερμοκρασίας και ρυθμού αλλοιώσεων ποικίλει σημαντικά μεταξύ των προϊόντων και ασθενειών. Μια γενίκευση υποθέτοντας ένα ονομαστικό ρυθμό αλλοιώσεων ως 1 για φρούτο στους -1°C είναι όπως παρακάτω

Ρυθμός αλλοιώσεων(κατά προσέγγιση) φρέσκων προϊόντων	
Θερμοκρασία, $^{\circ}\text{C}$	Σχετικός ρυθμός αλλοιώσεων
20	8-10
10	4-5
5	3
3	2
0	1.25
-1	1

Για παράδειγμα, φρούτα που παραμένουν στη αγορά προς πώληση για 12 ημέρες όταν αποθηκεύονται στους -1°C μπορεί να αντέξουν μόνο $12/3=4$ ημέρες όταν αποθηκεύονται στους 5°C . Η βέλτιστη θερμοκρασία που επιβραδύνει τις αλλοιώσεις είναι συχνά η χαμηλότερη θερμοκρασία που μπορούν τα προϊόντα να διατηρηθούν με ασφάλεια και χωρίς να καταψυχθούν, δηλαδή 0.5 με 1 K άνω του αρχικού σημείου στερεοποίησης του φρούτου ή του λαχανικού.

Κάποια προϊόντα δεν αντέχουν τις χαμηλές θερμοκρασίες αποθήκευσης. Οι έντονες φυσιολογικές διαταραχές που αναπτύσσονται εξαιτίας της έκθεσης σε χαμηλές θερμοκρασίες αλλά όχι καταψύξεως ταξινομούνται ως **κακώσεις ψύχους**. Η μπανάνα είναι ένα κλασσικό παράδειγμα φρούτου που εμφανίζει συμπτώματα κακώσεων ψύχους και οι θερμοκρασίες ψυχρής αποθήκευσης πρέπει να ανεβαίνουν ανάλογα. Κάποιες ποικιλίες μήλων επίσης εμφανίζουν αυτό το χαρακτηριστικό και επομένως η μακροχρόνια αποθήκευση πρέπει να συμβαίνει σε μια θερμοκρασία πιο πάνω από τη συνήθη προτεινόμενη του πίνακα. Ο βαθμός ευπάθειας ως προς τη ψύξη για μια ποικιλία μήλων μπορεί να εξαρτάται από κλιματικούς ή και άλλους παράγοντες ανάπτυξης τους.

ΞΗΡΑΝΣΗ(ΑΦΥΔΑΤΩΣΗ)

Η απώλεια νερού(υγρασίας) η οποία προκαλεί τη συρρίκνωση ενός προϊόντος είναι ένας φυσικός παράγοντας άμεσα συσχετιζόμενος με τη **ικανότητα του αέρα να προσλαμβάνει υδρατμούς(evaporative potential of air)** και μπορεί να εκφραστεί όπως παρακάτω

$$p_D = \frac{p(100 - \varphi)}{100}$$

όπου

p_D =διαφορά μερικών πιέσεων υδρατμών νερού μεταξύ προϊόντος και αέρα(ψύχον μέσο), που υποδηλώνει συνδυασμένη επίδραση της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας στη ικανότητα του αέρα να προσλαμβάνει υδρατμούς.

p = μερική πίεση των υδρατμών του νερού του αέρα σε δεδομένη θερμοκρασία

φ =σχετική υγρασία, ποσοστό (%)

Για παράδειγμα, συγκρίνοντας τη ικανότητα του αέρα να προσλαμβάνει υδρατμούς σε ψυκτικούς θαλάμους αποθήκευσης στους 0°C και στους 10°C db (θερμοκρασία ξηρής σφαίρας) με 90% σχετική υγρασία σε κάθε τέτοιο χώρο η διαφορά (μερικών) πιέσεων υδρατμών p_D στους 0°C είναι 60Pa, στους 10°C είναι 120Pa. Οπότε αν όλοι οι άλλοι παράγοντες είναι ίσοι τα προϊόντα τείνουν να χάνουν 2πλάσιο νερό στους 10°C db σε σχέση με τους 0°C για τη ίδια σχετική υγρασία. Για ίση απώλεια νερού στις ανωτέρω θερμοκρασίες πρέπει η σχετική υγρασία να διατηρείται στο 95% για τους 10°C και στο 90% στους 0°C . Πάντως οι συγκρίσεις αυτές δεν είναι απολύτως ακριβείς διότι το νερό στα φρούτα και λαχανικά περιέχει μια επαρκή ποσότητα διαλυτών σακχάρων και άλλων χημικών ουσιών που προκαλούν στο νερό να είναι σε ισορροπία με τους υδρατμούς του νερού του αέρα στο 98-99% σχετική υγρασία αντί του 'προφανούς' 100% (για καθαρό νερό). Αυτή ακριβώς η ιδιότητα περιγράφεται από τη **ενεργότητα νερού a_w** ενός προϊόντος. Χαμηλώνοντας τη διαφορά μερικών πιέσεων υδρατμών p_D μέσω της μείωσης της θερμοκρασίας του αέρα είναι ένας άριστος τρόπος για να μειώσουμε τη διαφυγή νερού κατά τη διάρκεια της ψυχρής αποθήκευσης.

Άλλοι σημαντικοί παράγοντες σχετικοί με τη αφυδάτωση θεωρούνται το μέγεθος του προϊόντος, ο λόγος του επιφάνειας/όγκου, το είδος της προστατευτικής επιφάνειας του προϊόντος και η κίνηση του αέρα. Από τους προαναφερθέντες παράγοντες ο υπεύθυνος του ψυκτικού θαλάμου αποθήκευσης μπορεί να ελέγξει μόνο το τελευταίο και αυτό ακόμα εξαρτάται σημαντικά από το χώρο, το είδος της συσκευασίας (εφόσον υπάρχει) και τη διάταξη στοιβάγματος των προϊόντων (πχ η ικανότητα του αέρα να περνά μέσα από μεμονωμένα φρούτα και λαχανικά).

Σύμφωνα με ένα πρακτικό κανόνα η συρρίκνωση δεν αποτελεί σοβαρό εμπορικό πρόβλημα μέχρι τα φρούτα να χάσουν το 5% της μάζας τους αλλά κάθε απώλεια μειώνει προφανώς τη μάζα πώλησης. Απώλειες υγρασίας από 3-6% είναι ικανές να προκαλέσουν μια αισθητή μείωση της ποιότητας πολλών ειδών προϊόντων. Αντιθέτως μερικά είδη μπορεί να χάσουν 10% υγρασία και να παραμένουν εμπορεύσιμα αν και κάποια **περιποίηση(trimming)** μπορεί να είναι αναγκαία όπως στη περίπτωση της ψυχρής αποθήκευσης λάχανου.

Η διαφορά μερικών πιέσεων υδρατμών δεν μπορεί να διατηρείται σε μηδενικά επίπεδα αλλά όμως πρέπει να γίνεται προσπάθεια να διατηρείται σε όσο το δυνατόν χαμηλότερες τιμές. Μια μέγιστη τιμή της διαφοράς στα 60Pa που αντιστοιχεί σε 90% σχετική υγρασία και 0°C συνίσταται. Κάποιος συμβιβασμός είναι δυνατός πάντως σε περιόδους βραχυχρόνιας αποθήκευσης. Σε πολλές περιπτώσεις μάλιστα ο υπεύθυνος του ψυκτικού θαλάμου αποθήκευσης μπορεί να θεωρεί ευνοϊκή τη προσθήκη νερού (υγρασίας) ή σε ειδικές περιπτώσεις ο ιδιοκτήτης των προϊόντων μπορεί να θεωρεί επιθυμητή τη χρήση φραγμών διαφυγής υγρασίας όπως **κάλυψη με μεμβράνες(film liners)** των προϊόντων.

Πίνακας 1 Προϋποθέσεις ψυχρής αποθήκευσης φρέσκων φρούτων, λαχανικών και πεπονιών

Σύνθηθες όνομα (άλλο σύνθηθες όνομα)	Επιστημονικό όνομα	Θερμοκρασία αποθήκευσης, °C	Σχετική υγρασία, %	Υψηλότερη θερμοκρασία στερεοποίησης, °C	Ρυθμός παραγωγής αιθυλενίου ^a C ₂ H ₄	Ευαισθησία ως προς το αιθυλένιο ^b	Ρυθμός θερμοτήτας αναπνοής ^c	Διάρκεια ζωής μετά τη συγκομιδή	Παρατηρήσεις και ωφέλιμες CA ^d συνθήκες
Κεράσια Acerola (Barbados κεράσια)	Malpighia glabra	0	85-90	-1.4				6-8 εβδομάδες	
Αφρικανικά με προεξοχές πεπόνια (kiwano)	Cucumis africanus	13-15	90		Χαμηλός	Μέτρια		3-6 μήνες	
Αμάραντος (pigweed)	Amaranthus spp	0-2	95-100		Πολύ χαμηλός	Μέτρια		10-14 μέρες	
Μάραθος (fennel)	Foeniculum vulgare	0-2	90-95	-1.1				2-3 εβδομάδες	
Μήλα									
Όχι ευπαθή στο κρύο*	Malus pumila	-1	90-95	-1.5	Πολύ υψηλός	Υψηλή	Χαμηλός	3-6 μήνες	2-3% O ₂ , 1-2% CO ₂
Ευπαθή στο κρύο*	Malus pumila cv, Yellow Newton, Grimes golden, McIntosh	4	90-95	-1.5	Πολύ υψηλός	Υψηλή	Χαμηλός	1-2 μήνες	2-3% O ₂ , 1-2% CO ₂
Βερίκοκα	Prunus armeniaca	-0.5-0	90-95	-1.1	Μέτριος	Μέτρια	Χαμηλός	1-3 εβδομάδες	2-3% O ₂ , 2-3% CO ₂
Αγκινάρες									
Κινέζικες*	Stachys affinia	0	90-95		Πολύ χαμηλός	Πολύ χαμηλή		1-2 εβδομάδες	
Ανά τη υφήλιο*	Cynara scolymus	0	95-100	-1.2	Πολύ χαμηλός	Χαμηλή	Υψηλός	2-3 εβδομάδες	2-3% O ₂ , 3-5% CO ₂
Ιερουσαλήμ*	Helianthus tuberosus	-0.5-0	90-95	-2.5	Πολύ χαμηλός	Χαμηλή	Χαμηλός	4 μήνες	
Ρόκα	Eruca vesicaria var. sativa	0	95-100		Πολύ χαμηλός	Υψηλή	Μέτριος	7-10 μέρες	
Ασιάτικο αχλάδι (nashi)	Pyrus serotina P.pyrifolia	1	90-95	-1.6	Υψηλός	Υψηλή	Χαμηλός	4-6 μήνες	
Σπαράγγια πράσινα ή λευκά	Asparagus officinalis	2.5	95-100	-0.6	Πολύ χαμηλός	Μέτρια	Πολύ υψηλός	2-3 εβδομάδες	5-12% CO ₂
Φρούτο Atemoya (υβρίδιο)	Annona squamosa x A.cherimola	13	85-90		Υψηλός	Υψηλή		2-4 εβδομάδες	3-5% O ₂ , 5-10% CO ₂
Αβοκάντος									
Fuchs Pollock*	Persea americana cv.Fuchs, Pollock	13	85-90	-0.9	Υψηλός	Υψηλή	Μέτριος	2 εβδομάδες	

Fuerte Hass*	Persea americana cv.Fuerte, Hass	3-7	85-90	-1.6	Υψηλός	Υψηλή	Μέτριος	2-4 εβδομάδες	2-5% O ₂ , 3-10% CO ₂
Lula Booth*	Persea americana cv.Lula, Booth	4	90-95	-0.9	Υψηλός	Υψηλή	Μέτριος	4-8 εβδομάδες	
Babaco (βουνίσια παπάγια)	Carica candamarcensis	7	85-90					1-3 εβδομάδες	
Μπανάνες	Musa paradisiaca var. sapientum	13-15	90-95	-0.8	Μέτριος	Υψηλή	Χαμηλός	1-4 εβδομάδες	2-5% O ₂ , 2-5% CO ₂
Φασόλια									
Κουκιά*	Vicia faba	0	90-95					1-2 εβδομάδες	
Γίγαντες*	Phaseolus lunatus	5-6	95	-0.6	Χαμηλός	Μέτρια	Μέτριος	5-7 μέρες	
Αμπελο Φάσουλα*	Vigna sesquipedalis	4-7	90-95		Χαμηλός	Μέτρια		7-10 μέρες	
Πράσινα φασολάκια*	Phaseolus vulgaris	4-7	95	-0.7	Χαμηλός	Μέτρια	Μέτριος	7-10 μέρες	2-3 O ₂ , 4-7% CO ₂
Πράσινα τύπου winged*	Psophocarpus tetragonolobus	10	90					4 εβδομάδες	
Παντζάρια									
Σε δέσμη*	Beta vulgaris	0	98-100	-0.4	Πολύ χαμηλός	Χαμηλή	Χαμηλός	10-14 μέρες	
Κομμένα*	Beta vulgaris	0	98-100	-0.9	Πολύ χαμηλός	Χαμηλή	Χαμηλός	4 μήνες	
Μούρα									
Βατόμουρα*	Rubus spp.	-0.5-0	90-95	-0.8	Χαμηλός	Χαμηλή	Μέτριος	3-6 μέρες	5-10% O ₂ 15-20% CO ₂
Μύρτιλλο*	Vaccinium corybosum	-0.5-0	90-95	-1.3	Χαμηλός	Χαμηλή	Χαμηλός	10-18 μέρες	2-5% O ₂ , 12-20% CO ₂
Φίγγι*	Vaccinium macrocarpon	2-5	90-95	-0.9	Χαμηλός	Χαμηλή	Χαμηλός	8-16 εβδομάδες	1-2% O ₂ , 0-5% CO ₂
Είδος* μούρου Dewberry	Rubus spp	-0.5-0	90-95	-1.3	Χαμηλός	Χαμηλή		2-3 μέρες	
Μούρα* αφροξυλιάς Elderberry	Rubus spp	-0.5-0	90-95	-0.9	Χαμηλός	Χαμηλή		5-14 μέρες	
Μούρο* Loganberry	Rubus spp	-0.5-0	90-95	-1.3	Χαμηλός	Χαμηλή		2-3 μέρες	
Σμέουρο*	Rubus idaeus	-0.5-0	90-95	-0.9	Χαμηλός	Χαμηλή	Μέτριος	3-6 μέρες	5-10% O ₂ , 15-20% CO ₂
Φράουλες*	Fragaria spp	0	90-95	-0.8	Χαμηλός	Χαμηλή	Χαμηλός	7-10 μέρες	5-10% O ₂ , 15-20% CO ₂
Μικρό πεπόνι (bitter gourd)	Momordica	10-12	85-90		Χαμηλός	Μέτρια	Μέτριος	2-3 εβδομάδες	2-3% O ₂ , 5% CO ₂
Μαύρο λαγόχορτο scorzonera	Scorzonera hispanica	0-1	95-98		Πολύ χαμηλός	Χαμηλή		6 μήνες	
Κινέζικο λάχανο (bok choy)	Brassica chinensis	0	95-100		Πολύ χαμηλός	Υψηλή		3 εβδομάδες	

Αρτόκαρπος	Artocarpus altilis	13-15	85-90					2-4 εβδομάδες	
Μπρόκολο	Brassica oleracea var. Italica	0	95-100	-0.6	Πολύ χαμηλός	Υψηλή	Μέτριος	10-14 μέρες	1-2% O ₂ , 5-10% CO ₂
Λαχανάκια Βρυξελλών	Brassica oleracea var. Gemnifera	0	95-100	-0.8	Πολύ χαμηλός	Υψηλή	Μέτριος	3-5 εβδομάδες	1-2% O ₂ , 5-7% CO ₂
Λάχανο									
Κινέζικο (Napa)*	Brassica campestris var. Pekinensis	0	95-100	-0.9	Πολύ χαμηλός	Υψηλή	Χαμηλός	2-3 μήνες	1-2% O ₂ , 0-6% CO ₂
Κοινό* πρώιμη συγκομιδή	Brassica oleracea var capitata	0	98-100	-0.9	Πολύ χαμηλός	Υψηλή	Χαμηλός	3-6 εβδομάδες	
Κοινό* Όψιμη συγκομιδή	Brassica oleracea var capitata	0	95-100	-0.9	Πολύ χαμηλός	Υψηλή	Χαμηλός	5-6 μήνες	3-5% O ₂ , 3-7% CO ₂
Φύλλα κάκτου (nopalitas)	Opuntia spp	5-10	90-95		Πολύ χαμηλός	Μέτρια		2-3 εβδομάδες	
Φραγκόσυκα (prickly pear fruit)	Opuntia spp	5	85-90	-1.8	Πολύ χαμηλός	Μέτρια		2-6 εβδομάδες	
Φρούτο Carambola (αστερό φρούτο)	Averrhoa carambola	9-10	85-90	-1.2			Χαμηλός	3-4 εβδομάδες	
Καρότα									
Κομμένα*	Daucus carota	0	98-100	-1.4	Πολύ χαμηλός	Υψηλή	Χαμηλός	3-6 μήνες	Κανένα CA πλεονέκτημα
Σε δεσμη (πρώιμα)*	Daucus carota	0	98-100	-1.4	Πολύ χαμηλός	Υψηλή	Μέτριος	10-14 μέρες	Αιθυλένιο προκαλεί πικρή γεύση
Κάσιους, μήλα	Anacardi um occidentale	0-2	85-90					5 εβδομάδες	
Κασάβα Yucca/manioc	Manihot esculenta	0-5	85-90		Πολύ χαμηλός	Χαμηλή	Χαμηλός	1-2 μήνες	Κανένα CA πλεονέκτημα
Κουνουπίδι	Brassica oleracea var. Botrytis	0	95-98	-0.8	Πολύ χαμηλός	Υψηλή	Μέτριος	3-4 εβδομάδες	2-5% O ₂ , 2-5% CO ₂
Σελινόριζα	Apium graveolens var. Rapaceum	0	98-100	-0.9	Πολύ χαμηλός	Χαμηλή	Χαμηλός	6-8 μήνες	2-4% O ₂ , 2-3% CO ₂
Σέλνιο	Apium graveolens var. Dulce	0	98-100	-0.5	Πολύ χαμηλός	Μέτρια	Χαμηλός	1-2 μήνες	1-4% O ₂ , 3-5% CO ₂
Σέσκουλο (είδος παντζαριού)	Beta vulgaris var. Cida	0	95-100		Πολύ χαμηλός	Υψηλή		10-14 μέρες	
Φυτό Chayote	Sechium edule	7	85-90				Χαμηλός	4-6 εβδομάδες	
Φρούτο Cherimoya (ζαχαρό μηλο)	Annona cherimola	13	90-95	-2.2	Υψηλός	Υψηλή	Πολύ υψηλός	2-4 εβδομάδες	3-5% O ₂ , 5-10% CO ₂

Κεράσια									
Ξινά*	Prunus cerasus	0	90-95	-1.7			Χαμηλός	3-7 μέρες	3-10% O ₂ , 10-12% CO ₂
Γλυκά*	Prunus avium	-1-0	90-95	-2.1			Χαμηλός	2-3 εβδομάδες	10-20% O ₂ , 20-25% CO ₂
Κινέζικο μπρόκολο (gailan)	Brassica alboglabra	0	95-100		Πολύ χαμηλός	Υψηλή		10-14 μέρες	
Βολβοί φαγόσιμοι	Allium schoenoprasum	0	95-100		Πολύ χαμηλός	Υψηλή		2-3 εβδομάδες	
Κόλιανδρος (κινέζικος μαϊντανός)	Coriandrum sativum	0-2	95-100		Πολύ χαμηλός	Υψηλή	Υψηλός	2 εβδομάδες	
Κίτρα									
Πορτοκάλια Calamondin *	Citrus reticulata x. Fortunella spp	9-10	90	-2.0			Χαμηλός	2 εβδομάδες	
Γρεϊφρουτ*									
CA, AZ ξηρών περιοχών*	Citrus paradisi	14-15	85-90	-1.1	Πολύ χαμηλός	Μέτρια	Χαμηλός	6-8 εβδομάδες	3-10% O ₂ , 5-10% CO ₂
FL, υγρών περιοχών*	Citrus paradisi	10-15	85-90	-1.1	Πολύ χαμηλός	Μέτρια	Χαμηλός	6-8 εβδομάδες	3-10% O ₂ , 5-10% CO ₂
Κουμκουάτ*	Fortunella japonica	4	90-95				Χαμηλός	2-4 εβδομάδες	
Λεμόνια*	Citrus limon	10-13	85-90	-1.4			Χαμηλός	1-6 μήνες	5-10% O ₂ , 0-10% CO ₂ , αποθήκευση στους 0-4°C για <1mo
Γλυκο λέμονα* (Μεξικού, Περσίας και Ταϊτής)	Citrus aurantifolia ; C. latifolia	9-10	85-90	-1.6			Χαμηλός	6-8 εβδομάδες	5-10% O ₂ , 0-10% CO ₂
Πορτοκάλια *									
CA, AZ ξηρών περιοχών*	Citrus sinensis	3-9	85-90	-0.8	Πολύ χαμηλός	Μέτρια	Χαμηλός	3-8 εβδομάδες	5-10% O ₂ , 0-5% CO ₂
FL υγρών περιοχών*	Citrus sinensis	0-2	85-90	-0.8	Πολύ χαμηλός	Μέτρια	Χαμηλός	8-12 εβδομάδες	5-10% O ₂ , 0-5% CO ₂
Σαγκουίνι*	Citrus sinensis	4-7	90-95	-0.8			Χαμηλός	3-8 εβδομάδες	5-10% O ₂ , 0-5% CO ₂
Νεράντζια (ξινά)*	Citrus aurantium	10	85-90	-0.8	Χαμηλός		Χαμηλός	12 εβδομάδες	
Φράπα*	Citrus grandis	7-9	85-90	-1.6			Χαμηλός	12 εβδομάδες	
Μανταρίνι Tangelo* (minneola)	Citrus reticulata x paradisi	7-10	85-95	-0.9			Χαμηλός		
Μανταρίνι Tangerine*	Citrus reticulata	4-7	90-95	-1.1	Πολύ χαμηλός	Μέτρια	Χαμηλός	2-4 εβδομάδες	
Καρύδα	Cocos nucifera	0-2	85-89	-0.9				1-2 μήνες	

Είδη λάχανου (collards και kale)	Brassica oleracea var. Acephala	0	95-100	-0.5	Πολύ χαμηλός	Υψηλή	Υψηλός	10-14 μέρες	
Καλαμπόκι γλυκό και πρόωρο	Zea mays	0	95-98	-0.6	Πολύ χαμηλός	Χαμηλή	Υψηλός	5-8 μέρες	2-4% O ₂ , 5-10% CO ₂
Αγγούρια	Cucumis sativus	10-12	85-90	-0.5	Χαμηλός	Υψηλή	Χαμηλός	10-14 μέρες	3-5% O ₂ , 0-5% CO ₂
Αγγούρια (τουρσί)	Cucumis sativus	4	95-100		Χαμηλός	Υψηλή		7 μέρες	3-5% O ₂ , 3-5% CO ₂
Σταφίδες	Ribes sativum R.nigrum; R rubrum	-0.5-0	90-95	-1.0	Χαμηλός	Χαμηλή		1-4 εβδομάδες	
Φυτό Daikon (ραδίκια ανατολής)	Raphanus sativus	0-1	95-100		Πολύ χαμηλός	Χαμηλή		4 μήνες	
Χουρμάδες	Phoenix dactylifera	-18-0	75	-15.7	Πολύ χαμηλός	Χαμηλή	Χαμηλός	6-12 μήνες	
Φρούτο Durian	Durio zibethinus	4-6	85-90					6-8 εβδομάδες	3-5% O ₂ , 5-15% CO ₂
Μελιτζάνα	Solanum melongena	10-12	90-95	-0.8	Χαμηλός	Μέτρια	Χαμηλός	1-2 εβδομάδες	3-5% O ₂ , 0% CO ₂
Αντίδια (escarole)	Cichorium endivia	0	95-100	-0.1	Πολύ χαμηλός	Μέτρια	Υψηλός	2-4 εβδομάδες	
Βελγικά αντίδια (witloof chicory)	Cichorium intybus	2-3	95-98		Πολύ χαμηλός	Μέτρια		2-4 εβδομάδες	Το φώς προκαλεί πρασίνισμα 3-4% O ₂ , 4-5% CO ₂
Φυτό Feijoa (pineapple guava)	Feijoa selloiana	5-10	90		Μέτριος	Χαμηλή		2-3 εβδομάδες	
Σύκα φρέσκα	Ficus carica	-0.5-0	85-90	-2.4	Μέτριος	Χαμηλή	Χαμηλός	7-10 μέρες	5-10% O ₂ , 15-20% CO ₂
Σκόρδο	Allium sativum	0	65-70	-0.8	Πολύ χαμηλός	Χαμηλή	Χαμηλός	6-7 μήνες	0.5% O ₂ , 5-10% CO ₂
Πιπερόριζα 'Τζιντζερ'	Zingiber officinale	13	65		Πολύ χαμηλός	Χαμηλή		6 μήνες	Κανένα CA πλεονέκτημα
Φραγκοστάφυλλα	Ribes grossularia	-0.5-0	90-95	-1.1	Χαμηλός	Χαμηλή	Χαμηλός	3-4 εβδομάδες	
Σταφύλια^e									
Είδος 'table' μεσογειακό*	Vitis vinifera	-0.5-0	90-95	-2.7	Πολύ χαμηλός	Χαμηλή	Χαμηλός	1-6 μήνες	2-5% O ₂ , 1-3% CO ₂ , έως 4 εβδομάδες 5-10% O ₂ , 10-15%CO ₂
Βόρειας Αμερικής*	Vitis labrusca	-1-(-0.5)	90-95	-1.4	Πολύ χαμηλός	Χαμηλή	Χαμηλός	2-8 εβδομάδες	
Γκουάβα μήλο	Psidium guajava	5-10	90		Χαμηλός	Μέτρια	Μέτριος	2-3 εβδομάδες	
Βότανα φρέσκα για μαγειρική χρήση									5-10% O ₂ , 5-10% CO ₂
Βασιλικός*	Ocimum basilicum	10	90		Πολύ χαμηλός	Υψηλή		7 μέρες	
Βολβοί φαγόσιμοι*	Allium schoenoprasum	0	95-100	-0.9	Χαμηλός	Μέτρια			

Ανηθος*	Anethum graveolens	0	95-100	-0.7	Πολύ χαμηλός	Υψηλή		1-2 εβδομάδες	
Βότανο Erazote*	Chenopodium ambrosioides	0-5	90-95		Πολύ χαμηλός	Μέτρια		1-2 εβδομάδες	
Δυόσμος* (μέντα)	Mentha spp.	0	95-100		Πολύ χαμηλός	Υψηλή		2-3 εβδομάδες	
Ρίγανη*	Origanum vulgare	0-5	90-95		Πολύ χαμηλός	Μέτρια		1-2 εβδομάδες	
Μαϊντανός*	Petroselinum crispum	0	95-100	-1.1	Πολύ χαμηλός	Υψηλή	Πολύ υψηλός	1-2 μήνες	
Βότανο perilla ή shiso*	Perilla frutescens	10	95		Πολύ χαμηλός	Μέτρια		7 μέρες	
Φασκόμηλο*	Salvia officinalis	0	90-95					2-3 εβδομάδες	
Θυμάρι*	Thymus vulgaris	0	90-95					2-3 εβδομάδες	
Χρένο ή αγριοράπανο	Amoracia rusticana	-1-0	98-100	-1.8	Πολύ χαμηλός	Χαμηλή		10-12 μήνες	
Φρούτο Jaboticaba	Myrciaria cauliflora = Eugenia cauliflora	13-15	90-95					2-3 μέρες	
Φρούτο Jackfruit	Artocarpus heterophyllus	13	85-90		Μέτριος	Μέτρια		2-4 εβδομάδες	
Ρίζες μεξικάνικου κλήματος (jicama)	Pachyrhizos erosus	13-18	85-90		Πολύ χαμηλός	Χαμηλή	Χαμηλός	1-2 μήνες	
Κινέζικος χουρμάς (jujube)	Ziziphus jujuba	2.5-10	85-90	-1.6	Χαμηλός	Μέτρια		1 μήνας	
Ακτινίδια (Chinese gooseberry)	Actinidia chinensis	0	90-95	-0.9	Χαμηλός	Υψηλή	Χαμηλός	3-5 μήνες	1-2% O ₂ , 3-5% CO ₂
Λάχανο Kohlrabi	Brassica oleracea var. Gongyloides	0	98-100	-1.0	Πολύ χαμηλός	Χαμηλή	Χαμηλός	2-3 μήνες	
Φρούτο Langsat (ή lanzone)	Aglaia sp.; Lantium sp.	11-14	85-90					2 εβδομάδες	
Χόρτα									
Ψυχρής περιόδου* (άνοιξη-φθινόπωρο)	Ποικίλα	0	95-100	-0.6	Πολύ χαμηλός	Υψηλή		10-14 μέρες	
Θερμής περιόδου* (καλοκαίρι)	Ποικίλα	7-10	95-100	-0.6	Πολύ χαμηλός	Υψηλή		5-7 μέρες	
Πράσσα	Allium porrum	0	95-100	-0.7	Πολύ χαμηλός	Μέτρια	Μέτριος	2 μήνες	1-2% O ₂ , 2-5% CO ₂
Μαρούλια	Lactuca sativa	0	98-100	-0.2	Πολύ χαμηλός	Υψηλή	Χαμηλός	2-3 εβδομάδες	2-5% O ₂ , 0% CO ₂

Φρούτο Longan	Dimo carpus longan= Euphoria longan	1-2	90-95	-2.4				2-4 εβδομάδες	
Μούσμουλο	Eriobotrya japonica	0	90	-1.9				3 εβδομάδες	
Φυτό Luffa (chinese okra)	Luffa spp	10-12	90-95		Χαμηλός	Μέτρια		1-2 εβδομάδες	
Φρούτο Lychee (litchi)	Litchi chinensis	1-2	90-95		Μέτριος	Μέτρια	Χαμηλός	3-5 εβδομάδες	3-5% O ₂ , 3-5% CO ₂
Φυτό Malanga (tania new cocoyam)	Xantho soma sagitti folium	7	70-80		Πολύ χαμηλός	Χαμηλή		3 μήνες	
Μάνγκος	Magnifera indica	13	85-90	-1.4	Μέτριος	Μέτρια	Μέτριος	2-3 εβδομάδες	3-5% O ₂ , 5-10% CO ₂
Φρούτο Mangosteen	Garcinia mango stana	13	85-90		Μέτριος	Υψηλή		2-4 εβδομάδες	
Πεπόνια									
Μηλοπέπονο*	Cucurbita melo var. reticulatus	2-5	95	-1.2	Υψηλός	Μέτρια	Χαμηλός	2-3 εβδομάδες	3-5% O ₂ , 10-15% CO ₂
Είδος Casaba*	Cucurbita melo	7-10	85-90	-1.0	Χαμηλός	Χαμηλή		3-4 εβδομάδες	3-5% O ₂ , 5-10% CO ₂
Είδος Crenshaw*	Cucurbita melo	7-10	85-90	-1.1	Μέτριος	Υψηλή		2-3 εβδομάδες	3-5% O ₂ , 5-10% CO ₂
Honeydew με πορτοκαλί φλούο*	Cucurbita melo	5-10	85-90	-1.1	Μέτριος	Υψηλή	Χαμηλός	3-4 εβδομάδες	3-5% O ₂ , 5-10% CO ₂
Περσικά*	Cucurbita melo	7-10	85-90	-0.8	Μέτριος	Υψηλή		2-3 εβδομάδες	3-5% O ₂ , 5-10% CO ₂
Μανιτάρια	Agaricus	0	90	-0.9	Πολύ χαμηλός	Μέτρια	Υψηλός	7-14 μέρες	3-21% O ₂ , 15% CO ₂
Ινδική μουστάρδα (φυτό)	Brassica juncea	0	90-95		Πολύ χαμηλός	Υψηλή		7-14 μέρες	
Νεκταρίνια	Prunus persica	-0.5-0	90-95	-0.9	Μέτριος	Μέτρια	Χαμηλός	2-4 εβδομάδες	1-2% O ₂ , 3-5% CO ₂ , εσωτερική διάλυση στους 3-10°C
Μπάμιες	Abelmoschus esculentus	7-10	90-95	-1.8	Χαμηλός	Μέτρια	Υψηλός	7-10 μέρες	Αέρας 4-10% CO ₂
Ελιές φρέσκες	Olea europea	5-10	85-90	-1.4	Χαμηλός	Μέτρια	Χαμηλός	4-6 εβδομάδες	2-3% O ₂ , 0-1% CO ₂
Κρεμμύδια									
Ωρμιοί βολβοί, ξηρά*	Allium cepa	0	65-70	-0.8	Πολύ χαμηλός	Χαμηλή	Χαμηλός	1-8 μήνες	1-3% O ₂ , 5-10% CO ₂
Πράσινα*	Allium cepa	0	95-100	-0.9	Χαμηλός	Υψηλή	Μέτριος	3 εβδομάδες	2-4% O ₂ , 10-20% CO ₂
Παπάγια	Carica papaya	7-13	85-90	-0.9			Χαμηλός	1-3 εβδομάδες	2-5% O ₂ , 5-8% CO ₂
Παστινάκη είδος καρότου	Pastinaca sativa	0	95-100	-0.9	Πολύ χαμηλός	Υψηλή	Χαμηλός	4-6 μήνες	το C ₂ H ₆ προκαλεί πικρή γεύση
Φρούτο του Πάθους	Passiflora spp	10	85-90		Πολύ υψηλός	Μέτρια	Πολύ υψηλός	3-4 εβδομάδες	

Ροδάκινα	<i>Prunus persica</i>	-0.5-0	90-95	-0.9	Υψηλός	Μέτρια	Χαμηλός	2-4 εβδομάδες	1-2% O ₂ , 3-5% CO ₂ εσωτερική διάλυση στους 3-10°C
Αχλάδια, αμερικάνικα	<i>Pyrus communis</i>	-1.5-(-0.5)	90-95	-1.7	Υψηλός	Υψηλή	Χαμηλός	2-7 μήνες	Διαφοροποιήσεις ανάλογα με τη καλλιέργεια 1-3% O ₂ , 0-5% CO ₂
Αρακάς									
Με φλούδα του φυτού*	<i>Pisum sativum</i>	0-1	90-98	-0.6	Πολύ χαμηλός	Μέτρια	Πολύ υψηλός	1-2 εβδομάδες	2-3% O ₂ , 2-3% CO ₂
Αρακάς νοτίων περιοχών* (cowpeas)	<i>Vigna sinensis= V. unguiculata</i>	4-5	95					6-8 μέρες	
Φρούτο περίνο (melon pear)	<i>Solanum muricatum</i>	5-10	95		Χαμηλός	Μέτρια		4 εβδομάδες	
Πιπεριές									
Πιπεριά καμπάνα ή πάπρικα*	<i>Capsicum annuum</i>	7-10	95-98	-0.7	Χαμηλός	Χαμηλή	Χαμηλός	2-3 εβδομάδες	2-5% O ₂ , 2-5% CO ₂
Καντερή πιπεριά* (τσύλι)	<i>Capsicum annuum και C. frutescens</i>	5-10	85-95	-0.7	Χαμηλός	Μέτρια		2-3 εβδομάδες	3-5% O ₂ , 5-10% CO ₂
Δωτός (kaki)	<i>Dispyros kaki</i>								3-5% O ₂ , 5-8% CO ₂
Είδος Fuyu*	<i>Dispyros kaki var. Fuyu</i>	0	90-95	-2.2	Χαμηλός	Υψηλή	Χαμηλός	1-3 μήνες	
Είδος Hachiya*	<i>Dispyros kaki var. Hachiya</i>	0	90-95	-2.2	Χαμηλός	Υψηλή	Χαμηλός	2-3 μήνες	
Ανανάς	<i>Ananas comosus</i>	7-13	85-90	-1.1	Χαμηλός	Χαμηλή	Χαμηλός	2-4 εβδομάδες	2-5% O ₂ , 5-10% CO ₂
Μπανάνες Αντιλλών	<i>Musa paradisiaca var paradisiaca</i>	13-15	90-95	-0.8	Χαμηλός	Υψηλή		1-5 εβδομάδες	
Κορόμηλα/δαμάσκηνα	<i>Prunus domestica</i>	-0.5-0	90-95	-0.8	Μέτριος	Μέτρια	Χαμηλός	2-5 εβδομάδες	1-2% O ₂ , 0-5% CO ₂
Ρόδια	<i>Punica granatum</i>	5	90-95	-3.0			Χαμηλός	2-3 μήνες	3-5% O ₂ , 5-10% CO ₂
Πατάτες									
Πρώιμης σοδειάς*	<i>Solanum tuberosum</i>	10-15	90-95	-0.8	Πολύ χαμηλός	Μέτρια	Χαμηλός	10-14 μέρες	Κανένα CA πλεονέκτημα δεν προκύπτει.
Υπερώριμες *	<i>Solanum tuberosum</i>	4-12	95-98	-0.8	Πολύ χαμηλός	Μέτρια	Χαμηλός	5-10 μήνες	
Κολοκύθια	<i>Cucurbita maxima</i>	12-15	50-70	-0.8	Πολύ χαμηλός	Μέτρια	Χαμηλός	2-3 μήνες	
Κυδώνι	<i>Cydonia oblonga</i>	-0.5-0	90	-2.0	Χαμηλός	Υψηλή		2-3 μήνες	
Ιταλικά ραδίκια	<i>Cichorium intybus</i>	0-1	95-100					4-8 εβδομάδες	
Ραπανάκια	<i>Raphanus sativus</i>	0	95-100	-0.7	Πολύ χαμηλός	Χαμηλή	Χαμηλός	1-2 μήνες	1-2% O ₂ , 2-3% CO ₂

Φρούτο Rambutan	Nephelium lappaceum	12	90-95		Υψηλός	Υψηλή		1-3 εβδομάδες	3-5% O ₂ , 7-12% CO ₂
Ραβέντι	Rheum rhaponticum	0	95-100	-0.9	Πολύ χαμηλός	Χαμηλή	Χαμηλός	2-4 εβδομάδες	
Γογγύλι (γουλί)	Brassica napus var. Napo brassica	0	98-100	-1.1	Πολύ χαμηλός	Χαμηλή	Χαμηλός	4-6 μήνες	
Λαγόχορτο	Trapo pogon porrifolius	0	95-98	-1.1	Πολύ χαμηλός	Χαμηλή	Χαμηλός	2-4 μήνες	
Φρούτα									
Sapotes(είδη)									
Μαύρο sapote*	Diospyros ebenaster	13-15	85-90	-2.3				2-3 εβδομάδες	
Caimito* αστερόμηλο	Chryso phyllum cainito	3	90	-1.2				3 εβδομάδες	
Canistel* (ή φρούτο- αυγό)	Pouteria campechiana	13-15	85-90	-1.8				3 εβδομάδες	
Mamey sapote*	Calo carpum mamosum	13-15	90-95		Υψηλός	Υψηλή		2-3 εβδομάδες	
Sapodilla* ή Chicosapote	Achras sapota	15-20	85-90		Υψηλός	Υψηλή		2 εβδομάδες	
Άσπρο sapote*	Casimiroa edulis	20	85-90	-2.0				2-3 εβδομάδες	
Ασκαλώνιο (μικρό κρεμμύδι)	Allium cepa var. ascalonicum	0-2.5	65-70	-0.7	Χαμηλός	Χαμηλή			
Γουανάμπανα	Annona muricata	13	85-90					1-2 εβδομάδες	
Σπανάκι	Spinacia oleracea	0	95-100	-0.3	Πολύ χαμηλός	Υψηλή	Χαμηλός	10-14 μέρες	5-10% O ₂ , 5-10% CO ₂
Δαμάσκηνο χόγκ (mombin,wi apple,jobo)	Spondias spp.	13	85-90					1-2 εβδομάδες	
Λάχανα από σπόρους		0	95-100					5-9 μέρες	
Τριφύλλι alfalfa*	Medicago sativa	0	95-100					7 μέρες	
Βλαστάρια φασολιών*	Phaseolus sp.	0	95-100					7-9 μέρες	
Βλαστοί από ραπανάκια*	Raphanus sp.	0	95-100					5-7 μέρες	
Κολοκύθια									
Καλοκαριτού, μαλακού φλοιού* (courgette)	Cucurbita pepo	7-10	95	-0.5	Χαμηλός	Μέτρια	Χαμηλός	1-2 εβδομάδες	3-5% O ₂ , 5-10% CO ₂
Χειμώνα, σκληρού φλοιού* (calabash)	Cucurbita moschata; C. maxima	12-15	50-70	-0.8	Χαμηλός	Μέτρια	Χαμηλός	2-3 μήνες	Πολύ μεγάλες διαφορές ανάμεσα σε ποικιλίες
Γλυκοπατάτα ή yam	Ipomea batatas	13-15	85-95	-1.3	Πολύ χαμηλός	Χαμηλή	Χαμηλός	4-7 μήνες	

Γλυκόμηλα (custard ή sugar apple)	Annona squamosa; Annona spp	7	85-90		Υψηλός	Υψηλή		4 εβδομάδες	3-5% O ₂ , 5-10% CO ₂
Φρούτο Tamarillo (από ντοματό δέντρο)	Cyphomandra	3-4	85-95		Χαμηλός	Μέτρια		10 εβδομάδες	
Φρούτο Tamarind	Tamarindus indica	2-7	90-95	-3.7	Πολύ χαμηλός	Πολύ χαμηλή		3-4 εβδομάδες	
Φυτό Taro (dasheen, cocoyam, eddoe)	Colocasia esculenta	7-10	85-90	-0.9			Χαμηλός	4 μήνες	Κανένα CA πλεονέκτημα δεν προκύπτει
Φρούτο Tomatillo (ή husk tomato)	Physalis ixocarpa	7-13	85-90		Πολύ χαμηλός	Μέτρια	Χαμηλός	3 εβδομάδες	

Ντομάτες

Ωριμες πράσινες*	Lycopersicon esculentum	10-13	90-95	-0.5	Πολύ χαμηλός	Υψηλή	Χαμηλός	2-5 εβδομάδες	3-5% O ₂ , 2-3% CO ₂
Σφικτές και ώριμες*	Lycopersicon esculentum	8-10	85-90	-0.5	Υψηλός	Χαμηλή	Χαμηλός	1-3 εβδομάδες	3-5% O ₂ , 3-5% CO ₂
Γογγύλια ρίζες	Brassica campestris var. Rapifera	0	95	-1.0	Πολύ χαμηλός	Χαμηλή	Χαμηλός	4-5 μήνες	
Κινέζικο νεροκάστανο	Eleocharis dulcis	1-2	85-90					2-4 μήνες	
Νεροκάρδαμο (garden cress)	Lepidium sativum; Nasturtium officinales	0	95-100	-0.3	Πολύ χαμηλός	Υψηλή	Υψηλός	2-3 εβδομάδες	
Καρπούζι	Citrullus vulgaris	10-15	90	-0.4	Πολύ χαμηλός	Υψηλή	Χαμηλός	2-3 εβδομάδες	Κανένα CA πλεονέκτημα δεν προκύπτει
Βολβοί Γιαμ	Dioscorea spp.	15	70-80	-1.1	Πολύ χαμηλός	Χαμηλή		2-7 μήνες	

Σημείωση: Οι συστάσεις σε αυτόν το πίνακα είναι γενικές κατευθυντήριες γραμμές. Οι προτεινόμενες, συνθήκες αποθήκευσης και προσδοκώμενη διάρκεια ζωής μετά τη συγκομιδή για ένα συγκεκριμένο προϊόν μπορεί να διαφέρουν από τις αυτές που έχουν καταγραφεί εδώ λόγω διαφοροποιήσεων στις συνθήκες ανάπτυξης και 'φροντίδας' μετά τη συγκομιδή. Επίσης νέες ποικιλίες του συγκεκριμένου προϊόντος ίσως απαιτούν διαφορετικές συνθήκες και μια πολύ διαφορετική προσδοκώμενη διάρκεια ζωής μετά τη συγκομιδή από αυτή που υπάρχει στο πίνακα. Άδεια κελιά υποδηλώνουν έλλειψη δεδομένων. Ενημερώσεις όσον αφορά τις κατευθυντήριες γραμμές βλέπε στο πανεπιστήμιο Καλιφόρνιας στη διαδικτυακή σελίδα <http://postharvest.ucdavis.edu>.

^a πολύ χαμηλός=<0.1 μL/(kg)(h) στους 20°C

χαμηλός=0.1-1 μL/(kg)(h)

μέτριος=1-10 μL/(kg)(h)

υψηλός=10-100 μL/(kg)(h)

πολύ υψηλός=>100 μL/(kg)(h)

^d CA= περιβάλλον ελεγχόμενης ατμόσφαιρας

^e Για μια πιο ολοκληρωμένη καταγραφή των σταφυλιών και αχλαδιών

βλέπε το Διεθνές Ινστιτούτο Ψύξεως (PIR 2000)

Πηγή: Παράρτημα Β. Thompson et al. (2000). Πνευματική ιδιοκτησία του Πανεπιστημίου της Καλιφόρνια, Διοικητικό συμβούλιο του ιδρύματος. χρήση μετά από έγκριση.

^b επιβλαβείς επιδράσεις είναι τα κίτρινα, μαλάκωμα, αυξημένες αλλοιώσεις (αποσύνθεση), οι τομές, και κακώσεις (εμφάνιση καφέ επιφανειών)

^c Σε προτεινόμενες θερμοκρασίες ψυχρής αποθήκευσης

χαμηλός=<20 mg CO₂/(kg)(h)

μέτριος =<40 mg CO₂/(kg)(h)

υψηλός=< 60 mg CO₂/(kg)(h)

πολύ υψηλός=>60 mg CO₂/(kg)(h)

Πίνακας 2 Προϋποθέσεις ψυχρής αποθήκευσης άλλων αναλώσιμων προϊόντων

Προϊόντα	Θερμοκρασία ψυχρής αποθήκευσης, °C	Σχετική υγρασία, %	Διάρκεια ζωής στη ψυχρή αποθήκευση ^a
Ψάρια			
Μπακαλιάρος, είδος μπακαλιάρου(cod), πέρκα	(-0.5)-1	95-100	12 μέρες
Είδος μπακαλιάρου ατλάντικού(hake), μικρό είδος ψαριού(whiting)	0-1	95-100	10 μέρες
Ιπλόγλωσσος	(-0.5)-1	95-100	18 μέρες
Ρέγγα, παστωμένη	0-2	80-90	10 μέρες
Καπνιστή	0-2	80-90	10 μέρες
Σκουμπρί, κολιός	0-1	95-100	6-8 μέρες
Ψάρι ατλαντικού(menhaden)	1-5	95-100	4-5 μέρες
Σολωμός	(-0.5)-1	95-100	18 μέρες
Τόνος(ψάρι)	0-2	95-100	14 μέρες
Κατεψυγμένο ψάρι	(-30)-(-20)	90-95	6-12 μήνες
Οστρακόδερμα^a			
Κρέας χτενιού	0-1	95-100	12 μέρες
Γαρίδα	(-0.5)-1	95-100	12-14 μέρες
Αστακός, Αμερικάνικος	5-10	Σε νερό θάλασσας	Επ'άπειρον
Στρείδια, αχιβάδες (κρέας και χυμοί)*	0-2	100	5-8 μέρες
Με το κέλυφος*	5-10	95-100	5 μέρες
Κατεψυγμένα οστρακόδερμα	(-34)-(-20)	90-95	3-8 μήνες
Βόειο κρέας			
Βόειο φρέσκο, μέσου μεγέθους(average)	(-2)-1	88-95	1 εβδομάδα
Σκελετός του βοδινού κρέατος			
Επιλογή 60% άπαχο*	0-4	85-90	1-3 εβδομάδες
Εξαιρετικής ποιότητας, 54% άπαχο*	0-1	85	1-3 εβδομάδες
Κομμάτι φιλέτου(επιλογή)*	0-1	85	1-3 εβδομάδες
Κομμάτι από το μηρό(επιλογή)*	0-1	85	1-3 εβδομάδες
Ξηρό, λεπτό κομμένο ή συμπιεσμένο κρέας(dried, chipped)*	10-15	15	6-8 εβδομάδες
Συκώτι	0	90	5 μέρες
Μοσχαρίσιο κρέας, άπαχο	(-2)-1	85-95	3 εβδομάδες
Κατεψυγμένο βόδινο κρέας	(-23)-(-18)	90-95	6-12 μήνες
Χοιρινό κρέας			
Χοιρινό φρέσκο μέσου μεγέθους	0-1	85-90	3-7 μέρες
Σκελετός 47% άπαχο*	0-1	85-90	3-5 μέρες
Από τη κοιλιακή περιοχή, 35% άπαχο*	0-1	85	3-5 μέρες
Κρέας ραχιαίου λίπους, 100% λίπη*	0-1	85	3-7 μέρες
Ωμοπλάτη, 67% άπαχο*	0-1	85	3-5 μέρες
Κατεψυγμένο*	(-23)-(-18)	90-95	4-8 μήνες
Ζαμπόν 74% άπαχο			
Ελαφρά επεξεργασμένο*	3-5	80-85	1-2 εβδομάδες
Επεξεργασμένο είδος (country ham)*	10-15	65-70	3-5 μήνες
Κατεψυγμένο*	(-23)-(-18)	90-95	6-8 μήνες
Μπλείκόν μέσου επιπέδου λιπών			
Επεξεργασμένο (farm style)*	3-5	80-85	2-3 εβδομάδες
Επεξεργασμένο (packer style)*	16-18	85	4-6 μήνες
Κατεψυγμένο*	1-4	85	2-6 εβδομάδες
Κατεψυγμένο*	(-23)-(-18)	90-95	2-4 μήνες
Λουκάνικα(σε σειρά ή αλεσμένα)			
Είδος country, καπνιστά*	0-1	85	1-7 μέρες
Είδος country, καπνιστά*	0	85	1-3 εβδομάδες
Φρανκφούρτης μέσου μεγέθους	0	85	1-3 εβδομάδες
Πολωνικού είδους	0	85	1-3 εβδομάδες

Αρνίσιο κρέας			
Φρέσκο, μέσου μεγέθους	(-2)-1	85-90	3-4 εβδομάδες
Επιλογή, άπαχο	0	85	5-12 μέρες
Μπούτι, επιλογή, 83% άπαχο	0	85	5-12 μέρες
Κατεψυγμένο	(-23)-(-18)	90-95	8-12 μήνες
Πουλερικά			
Πουλερικά, φρέσκα, μέσου μεγέθους	(-2)-0	95-100	1-3 εβδομάδες
Κοτόπουλα, όλων των κατηγοριών	(-2)-0	95-100	1-4 εβδομάδες
Γαλοπούλες όλων των κατηγοριών	(-2)-0	95-100	1-4 εβδομάδες
Στήθος σε ρολό*	(-20)-(-18)		6-12 μήνες
Φρανκφούρτης*	(-20)-(-10)		6-16 μήνες
Πάπια	(-2)-0	95-100	1-4 εβδομάδες
Πουλερικά κατεψυγμένα	(-23)-(-18)	90-95	12 μήνες
Κρέας(άλλο είδος)			
Κουνέλι, φρέσκο	0-1	90-95	1-5 μέρες
Γαλακτοκομικά προϊόντα			
Βούτυρο	0	75-85	2-4 εβδομάδες
Βούτυρο κατεψυγμένο	-23	70-85	12-20 μήνες
Τυρί, cheddar			
Μακροχρόνιας αποθήκευσης*	0-1	65	12 μήνες
Βραχυχρόνιας αποθήκευσης*	4	65	6 μήνες
Επεξεργασμένο*	4	65	12 μήνες
Τριμμένο*	4	65	12 μήνες
Παγωτό 10% λίπη	(-30)-(-25)	90-95	3-23 μήνες
Υψηλής ποιότητας και ποικιλίας γεύσεων(premium)*	(-40)-(-35)	90-95	3-23 μήνες
Γάλα			
Υγρό, παστεριωμένο*	4-6		7 μέρες
Βαθμού Α (3.7% λίπη)*	0-1		2-4 μήνες
Νωπό*	0-4		2 μέρες
Σκόνη, πλήρες*	21	Χαμηλή	6-9 μήνες
Χωρίς λιπαρά*	7-21	Χαμηλή	16 μήνες
Συμπυκνωμένο*	4		24 μήνες
Συμπυκνωμένο, χωρίς ζάχαρη*	21		12 μήνες
Συμπυκνωμένο με ζάχαρη*	4		15 μήνες
Σκόνη ορού γάλακτος	21	Χαμηλή	12 μήνες
Αυγά			
Με το κέλυφος	(-1.5)-0 ^b	80-90	5-6 μήνες
Σε χώρο συντήρησης(farm coolers)*	10-13	70-75	2-3 εβδομάδες
Κατεψυγμένα αυγά			
Ολόκληρα*	-20		1 χρόνος+
Κρόκος*	-20		1 χρόνος+
Απράδι*	-20		1 χρόνος+
Ολόκληρα στερεοποιημένα αυγά(whole egg solids)*	1.5-4	Χαμηλή	6-12 μήνες
Στερεοποιημένος κρόκος(yolk solids)	1.5-4	Χαμηλή	6-12 μήνες
Νιφάδες από στερεοποιημένο ασπράδι αυγού(flake albumen solids)	Δωματίου	Χαμηλή	1 χρόνος+
Στερεοποιημένο ασπράδι αυγού ξηρού ψεκασμού(dry spray albumen solids)	Δωματίου	Χαμηλή	1 χρόνος+
Γλυκίσματα			
Σοκολάτα γάλακτος	(-20)-1	40	6-12 μήνες
Γλύκισμα καραμέλας με φυστίκια(brittle)	(-20)-1	40	1.5-6 μήνες
Είδος ξηρού φοντάν(fudge)	(-20)-1	65	5-12 μήνες
Ζαχαρωτά (marshmallows)	(-20)-1	65	3-9 μήνες
Διάφορα προϊόντα			
Φυσικό λιπαντικό'alpha' (εμπλουτισμός εδαφών)	-20	70-75	1 χρόνος+

Μπύρα (από βαρέλι)	1.5-4		3-8 εβδομάδες
Σε μπουκάλι, μεταλλικό κουτάκι*	1.5-4	65 ή χαμηλότερα	3-6 μήνες
Ψωμί	-20		3-13 εβδομάδες
Κονσερβοποιημένα αγαθά	0-15	70 ή χαμηλότερα	1 χρόνος
Κακάο	0-4	50-70	1 χρόνος+
Πράσινος καφές	1.5-3	80-85	2-4 μήνες
Γούνες και υφάσματα	1-4	45-55	Αρκετά χρόνια
Μέλι	10		1 χρόνος+
Λυκίσκος(φυτό)	(-2)-0	50-60	Αρκετούς μήνες
Χοιρινό λίπος(lard)	7	90-95	4-8 μήνες
(χωρίς αντιοξειδωτικά)	-18	90-95	12-14 μήνες
Ξηροι καρποί	0-10	65-75	8-12 μήνες
Ελαιόλαδο, λαχανικά και σαλάτες	21		1 χρόνος+
Μαργαρίνη	1.5	60-70	1 χρόνος+
Πορτοκαλάδα	(-1)-1.5		3-6 εβδομάδες
Ποπ κόρν με το φλοιό	0-4	85	4-6 εβδομάδες
Προζύμι αρτοποιειών 'συμπιεσμένου τύπου'	(-0.5)-0		
Καπνός , σε ξύλινο βαρέλι αποθήκευσης	10-18	50-65	1 χρόνος
Σε δέματα*	2-4	70-85	1-2 χρόνια
Τσιγάρα*	2-8	50-55	6 μήνες
Πούρα*	2-10	60-65	2 μήνες

Σημείωση: Το κείμενο σε αυτό το κεφάλαιο ή στο κατάλληλο κεφάλαιο για τα προϊόντα δίνει πρόσθετες πληροφορίες για πολλά από τα προϊόντα που καταγράφονται. Για μια πλήρη καταγραφή της πρακτικής διάρκειας ζωής στη ψυχρή αποθήκευση των κατεψυγμένων τροφίμων βλέπε IIR(1986).

^a Η διάρκεια ζωής στη ψυχρή αποθήκευση δεν βασίζεται στη διατήρηση της θρεπτικής αξίας των προϊόντων

^b Τα αυγά παρουσιάζουν για ασθενή δομή του ασπραδιού έναρξη στερεοποίησης ελαφρώς χαμηλότερα από τους -1°C

ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΜΟΝΑΔΑΣ ΨΥΧΡΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ

ΕΛΕΓΧΟΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΥΓΡΑΣΙΑΣ

Η διατήρηση της υψηλής ποιότητας των προϊόντων προϋποθέτει τη διατήρηση με μεγάλη ακρίβεια σταθερής θερμοκρασιακής στάθμης στο θάλαμο της ψυχρής αποθήκευσης. Αποκλίσεις του 1-1.5 K στη θερμοκρασία των προϊόντων πάνω ή κάτω της επιθυμητής θερμοκρασίας θεωρούνται πολύ μεγάλες στις πιο πολλές περιπτώσεις. Οι ψυκτικοί θάλαμοι πρέπει να είναι εξοπλισμένοι συνεπώς είτε με θερμοστάτες υψηλής ακρίβειας είτε με συστήματα χειροκίνητου ελέγχου (manual control) τα οποία όμως πρέπει να επιβλέπονται σε συχνά χρονικά διαστήματα αναφορικά με τη σωστή λειτουργία τους.

Σε θαλάμους ψυχρής αποθήκευσης τα θερμόμετρα συνήθως τοποθετούνται σε ένα ύψος περίπου 1.5m από το δάπεδο για εύκολη ανάγνωση. Οι θερμοκρασίες πρέπει να παρακολουθούνται όπου υπάρχει πιθανότητα να είναι ανεπιθύμητα υψηλές ή χαμηλές ενώ μια ή δύο σειρές καταγεγραμμένων θερμοκρασιών δεν θεωρούνται αρκετές. Ένας κατάλογος των θερμοκρασιών προϊόντων αλλά και του αέρα είναι απαραίτητος για το προσδιορισμό της απόδοσης μονάδας ψυχρής αποθήκευσης. Ένα θερμόμετρο ή μια συσκευή καταγραφής καλής ποιότητας που βαθμονομείται περιοδικά είναι απολύτως απαραίτητα.

Η θερμοκρασία σε λιγότερο προσβάσιμες θέσεις του ψυκτικού θαλάμου αποθήκευσης όπως το μέσο του χώρου στοιβάγματος των προϊόντων μπορεί εύκολα να βρεθεί με εξοπλισμό ανάγνωσης εξ' αποστάσεως όπως είναι τα θερμοζεύγη ή τα θερμομετρα ηλεκτρικής αντιστάσεως.

Οδηγίες ή συστάσεις σχετικά με τις συνθήκες που πρέπει να επικρατούν στο θάλαμο αποθήκευσης συνήθως ορίζουν ότι η σχετική υγρασία πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 3-5% ως προς την επιθυμητή τιμή. Ένα σύννηθες κινητό ψυχρόμετρο (τύπου sling) σε θερμοκρασίες των 0°C ή χαμηλότερα δεν μπορεί να διαβαστεί αρκετά καλά. Οπότε ένα σφάλμα των 0.3K στη ανάγνωση είτε της θερμοκρασίας υγρής σφαίρας είτε της θερμοκρασίας ξηρής σφαίρας θα οδηγήσει σε ένα σφάλμα 5% στη σχετική υγρασία. Προσεκτικά βαθμονομημένα θερμόμετρα στη τιμή των 0.05 K και με εύρος τιμών από -5 έως +5 °C θεωρούνται τα καλύτερα προσαρμοσμένα για το σκοπό της ψυχρής αποθήκευσης φρούτων. Μια κατάλληλη συσκευή για τη μέτρηση της υγρασίας αποτελείται από ένα ζεύγος από τα παραπάνω 2 θερμόμετρα (του ψυχρόμετρου) στερεωμένα σε μικρού μήκους θήκη μεταλλικής επένδυσης συνδεδεμένη με ένα ανεμιστήρα που παίρνει ισχύ από ένα κινητήρα και οδηγεί τον αέρα πέραν των θερμομέτρων με ταχύτητα 0.9 m/s ή και γρηγορότερα. Τα θερμόμετρα πρέπει να τοποθετούνται με τέτοιο τρόπο ώστε να μην θερμαίνονται από το κινητήρα του ανεμιστήρα και η 'ανάγνωση' τους πρέπει να γίνεται όσο το δυνατό γρηγορότερα ώστε να αποτρέπεται περαιτέρω θέρμανση (αυτές οι συσκευές συνήθως αναφέρονται και ως ψυχρόμετρα ατμόσφαιρας (aspirated)). Το πλεονέκτημα αυτού του οργάνου έναντι του ψυχρόμετρου τύπου sling είναι ότι μπορεί να αφηθεί για αρκετό χρονικό διάστημα εντός του χώρου ώστε να βρεί και κατόπιν να αναγνωστεί η ακριβής τιμή της θερμοκρασίας υγρής σφαίρας. Αυτή η διαδικασία μπορεί να απαιτεί 15 λεπτά ή και παραπάνω εάν πάγος σχηματίζεται στη υγρή σφαίρα. Κάτω από αυτές τις συνθήκες ένα λεπτό στρώμα πάγου είναι προτιμότερο από ένα με πάχος ώστε να γίνεται η ανάγνωση ακριβέστερων αποτελεσμάτων. Τα υγρόμετρα τρίχας (hair) είναι γενικά ικανοποιητικές μετρητικές διατάξεις εάν δεν υπόκεινται σε ξαφνικές και πολύ μεγάλες μεταβολές της υγρασίας και της θερμοκρασίας και εάν ελέγχονται τακτικά με ένα ψυχρόμετρο. Υπάρχει τώρα πλέον ένας αριθμός ηλεκτρονικών ανιχνευτών μέτρησης της σχετικής υγρασίας που βασίζονται στη χωρητικότητα και στην

αντίσταση μεμβρανών που απορροφούν νερό. Μπορεί να είναι ακριβείς με απόκλιση $\pm 3\%$ για μεγάλο εύρος θερμοκρασιών και σχετικών υγρασιών αν βαθμονομούνται τακτικά. Πολλοί από τους ανιχνευτές είναι ευαίσθητοι σε φαινόμενα συμπύκνωσης οπότε αυτά πρέπει να αποφεύγονται (πχ μετακινώντας ένα τέτοιο ανιχνευτή από ένα ψυχρό χώρο στο ατμοσφαιρικό αέρα). Ίσως μια πιο ακριβής μέθοδος προσδιορισμού της σχετικής υγρασίας να είναι η ηλεκτρονική καταγραφή της θερμοκρασίας του σημείου δρόσου του αέρα και η χρήση θερμομέτρου αντίστασης κατάλληλης ευαισθησίας ώστε να καταγράψει τη θερμοκρασία περιβάλλοντος ή τη θερμοκρασία ξηρής σφαίρας του θαλάμου (των προϊόντων). Αξιοποιώντας τα παραπάνω αρχεία θερμοκρασιών είναι δυνατόν να βρούμε τη τιμή της σχετικής υγρασίας.

ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑ ΑΕΡΑ

Ο αέρας πρέπει να κυκλοφορεί ώστε να διατηρεί σταθερό το επίπεδο της ψύξης στους θαλάμους ψυχρής αποθήκευσης σε μια ομοιόμορφη θερμοκρασία παντού. Οι θερμοκρασίες των προϊόντων σε ένα ψυκτικό θάλαμο μπορεί να κυμαίνονται επειδή η θερμοκρασία του αέρα αυξάνει καθώς ο αέρας περνάει διαμέσου του χώρου και απάγει θερμότητα από τα προϊόντα, ενώ η διαρροή θερμότητας μπορεί να ποικίλλει σε διαφορετικά τμήματα του θαλάμου. Σε ένα διπλό σύστημα αγωγών, ο αέρας κοντά στους αγωγούς επιστροφής (εξόδου) είναι θερμότερος από τον αέρα που βρίσκεται κοντά στους αγωγούς αποστολής (εισόδου). Σε πολλούς θαλάμους οι ψυκτικές εγκαταστάσεις (συσκευές) εγκαθίσταται πάνω από τη κεντρική σειρά των προϊόντων. Ο αέρας κυκλοφορεί από το κέντρο των θαλάμων προς τη εξωτερική πλευρά των τοίχων κάτω διαμέσου των σειρών των προϊόντων και πάλι πάνω (μετά τη παραλαβή των θερμικών φορτίων) διαμέσου του κέντρου του θαλάμου.

Η γρήγορη κυκλοφορία του αέρα απαιτείται τις περισσότερες φορές για τη αφαίρεση θερμότητας του πεδίου (μετά τη συγκομιδή). Μερικές φορές αυτό γίνεται καλύτερα σε ψυκτικούς θαλάμους ξεχωριστούς από τους κοινούς καθώς προσφέρουν μεγαλύτερη ψυκτική ισχύ καθώς και τη μεγαλύτερη κυκλοφορία του ψυχρού αέρα που είναι απαραίτητα για τη παραπάνω διαδικασία. Αφού η θερμότητα του πεδίου αφαιρεθεί μια διατήρηση της υψηλής ταχύτητας του ρεύματος αέρα είναι συνήθως ανεπιθύμητη. Η κυκλοφορία του ψυχρού αέρα είναι πλέον απαραίτητη μόνο για τη αφαίρεση της θερμότητας αναπνοής, εάν αυτή υπάρχει, και της εισερχόμενης θερμότητας στο θάλαμο διαμέσου των εξωτερικών επιφανειών και ανοίγματος θυρών (εναλλαγών). Η υπερβολική κυκλοφορία του αέρα μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση της διαφυγής υγρασίας για ένα προϊόν με επακόλουθη απώλεια μάζας αλλά και ποιότητας. Όμως κάποια ποσότητα του ψυχρού αέρα, που κυκλοφορεί με τη βοήθεια, είτε ανεμιστήρων είτε φυσητήρων, πρέπει να διανέμεται ομοιόμορφα σε όλα τα τμήματα του θαλάμου αποθήκευσης. Επιπλέον εάν η κυκλοφορία του αέρα ή η ψύξη 'κλείσουν' για κάποιο λόγο πρέπει να υπάρχουν κάποια μέτρα προφύλαξης που θα διασφαλίσουν ότι τα αποθηκευμένα προϊόντα δεν θα θερμομανθούν πάρα πολύ, ειδικά για τα προϊόντα που 'αναπνέουν'.

Το είδος του θαλάμου ψυχρής αποθήκευσης και ο τρόπος του στοιβάγματος των προϊόντων είναι σημαντικοί παράγοντες που επηρεάζουν τη ψυκτική απόδοση. Ένα περίτεχνο σύστημα διανομής του ψυχρού αέρα είναι πρακτικά άχρηστο εάν κακό στοιβάγμα των προϊόντων αποτρέπει τη κυκλοφορία του αέρα. Εάν οι αποστάσεις μεταξύ των προϊόντων είναι ακανόνιστες τα ευρύτερα κενά διαστήματα θα εμφανίσουν μεγαλύτερο όγκο αέρα από ότι τα στενότερα. Τέλος αν κάποιοι χώροι εν μέρει αποκλειστούν νεκρές ζώνες αέρα θα σχηματιστούν με άμεσο αποτέλεσμα την ανάπτυξη υψηλότερων θερμοκρασιών στα τμήματα αυτά του θαλάμου.

ΥΓΙΕΙΝΗ ΚΑΙ ΚΑΘΑΡΣΗ ΤΟΥ ΑΕΡΑ

Οι χώροι ψυχρής αποθήκευσης των προϊόντων πρέπει να είναι καθαροί. Τα φρούτα και λαχανικά που εισάγονται στους χώρους αυτούς για αποθήκευση και συντήρηση είναι γενικά μολυσμένα με σπόρους μούχλας που μπορούν να εισέλθουν διαμέσου οπών ή ρωγμών του φλοιού των προϊόντων. Μολυσμένα προϊόντα μπορούν να ενθαρρύνουν τη ταχεία ανάπτυξη των σπόρων οι οποίοι μεταφέρονται σε όλο το θάλαμο με τη βοήθεια του ρεύματος ψυχρού αέρα. Η αφαίρεση των σάπιων υλικών ή τμημάτων των νωπών προϊόντων του θαλάμου ψυχρής αποθήκευσης και κατόπιν η απολύμανση του μειώνει το πρόβλημα. Εάν όμως η μόλυνση εξαιτίας της μούχλας έχει επεκταθεί σε υπερβολικό βαθμό ο θάλαμος αναπτύσσει μια άσχημη οσμή μούχλας(κλεισούρας) που γρήγορα απορροφάται από τα φρούτα και τα λαχανικά ένα 'ελάττωμα' πολλών ποικιλιών μήλων και άλλων προϊόντων που διατηρούνται για αρκετούς μήνες στη ψυχρή αποθήκευση. Ο καλύτερος τρόπος για να ελεγχθεί το πρόβλημα αυτό είναι μέσω ειδικών καθαριστικών, απολυμαντικών και αποσμητικών ουσιών.

Κατά τη διάρκεια αρκετών μηνών ψυχρής αποθήκευσης, ακόμη και στους -0.5°C , μούχλα μπορεί να σχηματιστεί στις επιφάνειες των συσκευασιών και πάνω στους τοίχους και τις οροφές των ψυκτικών θαλάμων υπό υψηλή σχετική υγρασία. Αυτές οι επιφανειακές μούχλες γενικά δεν πρόκειται να σαπίσουν τα φρούτα και τα λαχανικά. Όμως επειδή οι μούχλες επιφάνειας προκαλούν άσχημη αισθητική εικόνα οι χώροι αποθήκευσης πρέπει να καθαρίζονται πλήρως τουλάχιστον 1 φορά το χρόνο. Μόνο η καλή κυκλοφορία αέρα(χωρίς να λάβουμε υπόψη άλλους παράγοντες) είναι πολύ σημαντικής αξίας παράγοντας στη ελάττωση της ανάπτυξης για μούχλες επιφάνειας. Εάν τα δάπεδα και οι τοίχοι αναπτύξουν μούχλα μπορεί να καθαριστούν με ένα καθαριστικό που περιέχει υποχλωριώδες νάτριο ή φωσφορικό τρινάτριο μετά να ξεπλυθούν και κατόπιν να αεριστούν. Οι χώροι αποθήκευσης μετά τη συγκομιδή (field boxes) και οι συσκευές που παράγουν τη ψύξη μπορούν να καθαριστούν με 0.25% διάλυμα υποχλωριώδους ασβεστίου ή δια της εκθέσεως στο ατμό για 2 λεπτά. Όλες οι ελεγχόμενες μονάδες και χώροι ψυχρής αποθήκευσης πρέπει να λειτουργούν κάτω από κανονισμούς με απαιτήσεις υγιεινής ρητά διατυπωμένες στις εντολές της υπηρεσίας επιθεώρησης. Οι μονάδες πρέπει να κατασκευάζονται με τέτοιο τρόπο ώστε να αποτρέπεται η είσοδος εντόμων και τρωκτικών. Αυτό απαιτεί κτιριακή κατασκευή μονωμένη έναντι των τρωκτικών αλλά και επαρκή παρακολούθηση σε κλειστό κύκλωμα(με οθόνες). Επίσης για συχνά ανοίγματα πορτών στους ψυκτικούς θαλάμους ειδικά μέτρα πρέπει να λαμβάνονται για πρόληψη εισόδου εντόμων. Η συχνότητα των καθαρισμών αλλά και η χρήση απορρυπαντικών και παραγόντων απολύμανσης πρέπει να καθορίζονται από τον υπεύθυνο ελέγχου ποιότητας. Ένας αντιπρόσωπος της ομάδας ελέγχου ποιότητας πρέπει να επιθεωρεί όλες τις περιοχές μετά το καθαρισμό τους και να προσδιορίζει εάν έχει γίνει ικανοποιητική εργασία. Σε περιοχές συσσώρευσης απορριμμάτων και διάφορων ετερόκλητων σκουπιδιών γύρω από χώρους αποθήκευσης προϊόντων πρέπει να λαμβάνεται ειδική μέριμνα επειδή γίνονται πόλοι εκτροφής εντόμων και τρωκτικών. Πάντως σε οποιοδήποτε χώρο αποθήκευσης τροφίμων η επιτυχία του ελέγχου ποιότητας και του προγράμματος υγιεινής εξαρτώνται από τη συνεργασία και τη επαγρύπνηση της διεύθυνσης της μονάδας.

Ο αέρας κυκλοφορίας μάλλον πρέπει να καθαριστεί σε ψυκτικούς θαλάμους όπου οσμές ή πτητικές ουσίες μπορεί να συνεισφέρουν στο να χαθεί το άρωμα και η γεύση των προϊόντων και να επισπευτούν οι αλλοιώσεις σε αυτά. Ο αέρας μπορεί να καθαριστεί με δίσκους ή μεταλλικά κουτιά(canisters) που περιέχουν 2-4 mm πάχος (spacing) πλέγματος ενεργού άνθρακα. Πτητικές ουσίες πευκοδασών του αέρα

αφαιρούνται από μονάδες ενεργού άνθρακα για το καθαρισμό του. Κάποιες πτητικές ουσίες προϊόντων επίσης αφαιρούνται αλλά το αιθυλένιο(C₂H₆) ένα αέριο ωρίμανσης δεν μπορεί να αφαιρεθεί μόνο από τη συσκευή ενεργού άνθρακα.

Ο καθαρισμός του αέρα με νερό προς αφαίρεση των πτητικών δεν καθυστερεί τη ωρίμανση των φρούτων αλλά μπορεί να αυξήσει τη σχετική υγρασία και να βοηθήσει κατά συνέπεια στη διατήρηση της καλής εμφάνισης των φρούτων αντισταθμίζοντας σε ένα βαθμό τη διαφυγή υγρασίας και συνακόλουθα έχουμε την ελάττωση απώλειας μάζας.

ΑΦΑΙΡΕΣΗ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΑΠΟ ΤΗ ΨΥΧΡΗ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ

Όταν προϊόντα αφαιρούνται από τους ψυκτικούς θαλάμους, η υπερβολική θέρμανση και η συμπύκνωση της υγρασίας πρέπει να προληφθούν καθώς οι συνθήκες αυτές ενθαρρύνουν τις αλλοιώσεις και τη σήψη. Λόγω του γεγονότος ότι πολλοί θάλαμοι ψυχρής αποθήκευσης κατασκευάζονται(κυρίως στις ΗΠΑ) κοντά σε παρακαμπτήριες σιδηροδρομικές γραμμές σήραγγες από **καραβόπανο(canvas)** πρέπει να τοποθετηθούν μεταξύ των βαγονιών των σιδηροδρομικών οχημάτων ψυγείων και εντός του χώρου αποθήκευσης διαμέσου των οποίων τα προϊόντα θα μεταφερθούν ελαχιστοποιώντας τα φαινόμενα θέρμανσης και συμπύκνωσης της υγρασίας.

Επίσης όταν τα προϊόντα αφαιρούνται από τους ψυκτικούς θαλάμους για διανομή σε αγορές χονδρικής και λιανικής πώλησης ο υπεύθυνος του θαλάμου δεν μπορεί να κάνει κάτι ουσιαστικό για να εμποδίσει τη ανεπιθύμητη συμπύκνωση. Η θέρμανση των συσκευασιών των προϊόντων μέχρι να υπερβούν το σημείο δρόσου του αέρα θα ήταν μια λύση αλλά σπάνια μπορεί να γίνει στη πράξη καθώς απαιτεί χρόνο και χώρο. Οι αλλοιώσεις στη γεύση και άρωμα των προϊόντων και στις συνθήκες συντήρησης προχωρούν γρήγορα μετά από μακροχρόνια περίοδο ψυχρής αποθήκευσης. Κατά συνέπεια, τα προϊόντα πρέπει να μετακινούνται προς το καταναλωτικό κοινό όσο το δυνατόν πιο σύντομα

ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΚΑΤΕΨΥΓΜΕΝΩΝ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

Τα κατεψυγμένα τρόφιμα αλλοιώνονται κατά τη περίοδο μεταξύ παραγωγής και κατανάλωσης. Η έκταση των αλλοιώσεων εξαρτάται κυρίως από τις θερμοκρασίες συντήρησης στο ψυκτικό θάλαμο και από το χρόνο παραμονής παρόλο που και άλλοι παράγοντες, όπως για παράδειγμα η προστασία που παρέχεται από τη συσκευασία, είναι επίσης σημαντικοί. Κάποια βακτήρια στα κατεψυγμένα τρόφιμα μπορεί και να θανατωθούν κατά τη διάρκεια της κατάψυξης και της ψυχρής αποθήκευσης σε θερμοκρασίες κατάψυξης αλλά το σύνολο των βακτηρίων που υπάρχουν στα τρόφιμα δεν μπορεί ποτέ να εξαιρεθεί εντελώς. Ακόμη και κατά τη διάρκεια της αποπάγωσης τα κατεψυγμένα τρόφιμα και τότε υπόκεινται σε βακτηριακή αποσύνθεση.

ΔΙΑΦΟΡΑ ΑΛΛΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ

ΞΗΡΑ ΤΡΟΦΙΜΑ

Ξηρά τρόφιμα και τροφές ιδιαίτερα εκείνα από τα οποία αναμένουμε λήψη υψηλού επιπέδου πρωτεϊνών όπως το συμπυκνωμένο γάλα ή **alphanfa σε σκόνη(meal)** πρέπει να προστατεύονται έναντι υψηλών θερμοκρασιών και υγρασίας. Ένα καλό είδος συσκευασίας όπως κονσερβοποίηση υπό κενό μπορεί να διατηρήσει τη θρεπτική αξία και ποιότητα των ξηρών τροφών για ένα χρόνο ή και περισσότερο εάν η θερμοκρασία της ατμόσφαιρας δεν υπερβαίνει τους 30⁰C τακτικά. Όταν αποθηκεύονται χύμα ή σε σακούλες που δεν λειτουργούν ως καλοί φραγμοί των υδρατμών του νερού τότε η

αποθήκευση με 40% σχετική υγρασία και 21⁰C πρέπει να περιορίζεται σε λιγότερο από ένα χρόνο και για τους 30⁰C αντίστοιχα σε λιγότερο από 6 μήνες. Για 60% σχετική υγρασία και 21⁰C η αποθήκευση πρέπει να περιοριστεί στους 6 μήνες και στους 30⁰C σε όχι περισσότερο από 3-4 μήνες. Η μόνη διαδικασία με την οποία τα ξηρά τρόφιμα μπορούν να διατηρήσουν τη θρεπτική τους αξία και ποιότητα για ένα χρόνο και παραπάνω σε αυξημένες θερμοκρασίες είναι δια της συσκευασίας τους σε περιβάλλον μηδενικού οξυγόνου. Παρόμοια ή ακόμη και καλύτερα αποτελέσματα μπορούμε να επιτύχουμε με -20⁰C θερμοκρασία ψυχρής αποθήκευσης ανεξάρτητα της καταλληλότητας της συσκευασίας ή της σχετικής υγρασίας.

ΜΕΛΙ

Το τεχνητά εξαγόμενο μέλι(σε υγρή μορφή) καθώς και το μέλι της κηρήθρας μπορούν να διατηρηθούν ικανοποιητικά σε συνήθη ξηρή αποθήκευση για περίπου ένα χρόνο. Η αργή εμφάνιση του σκούρου χρώματος και η αλλοίωση της γεύσης σε συνήθεις θερμοκρασίες δωματίου γίνονται μη αποδεκτά μετά το παραπάνω διάστημα. Παρά το γεγονός ότι η ψυχρή αποθήκευση για το μέλι δεν είναι απαραίτητη οι θερμοκρασίες κάτω των 10⁰C διατηρούν τη αρχική ποιότητα αναλλοίωτη για αρκετά χρόνια και καθυστερούν ή αποτρέπουν τη ζύμωση. Το θερμοκρασιακό εύρος μεταξύ 10-18⁰C πρέπει να αποφεύγεται καθώς προάγει τη κοκκοποίηση η οποία αυξάνει τη πιθανότητα ζύμωσης του φυσικού μελιού(που δεν έχει θερμανθεί).

Καθώς η θερμοκρασία αποθήκευσης αυξάνει στο διάστημα 27-38⁰C οι αλλοιώσεις επιταχύνονται ενώ θερμοκρασίες σταθερά άνω των 30⁰C θεωρούνται ακατάλληλες και άνω των 32⁰C αρκετά επιβλαβείς για το προϊόν. Το μέλι το οποίο προορίζεται για **εξαγωγή(for export)** διατηρείται καλύτερα σε ψυχρή αποθήκευση επειδή η ημιζωή για τη διάσταση του στους 25⁰C είναι περίπου 17 μήνες.

Το φυσικό μέλι με περισσότερο από 20% υγρασία βρίσκεται πάντα υπό το κίνδυνο της ζύμωσης ενώ η πιθανότητα είναι αρκετά χαμηλότερη για 18.6% υγρασία και πιο κάτω. Για κάτω του 17% υγρασία το φυσικό μέλι δεν θα εμφανίσει συνήθως έναρξη ζύμωσης. Η κοκκοποίηση αυξάνει τη πιθανότητα ζύμωσης του φυσικού μελιού μέσω της αύξησης του περιεχομένου της υγρασίας στο υγρό τμήμα. Πάντως κατάλληλα παστεριωμένο μέλι δεν θα εμφανίσει φαινόμενα ζύμωσης για κανένα περιεχόμενο της υγρασίας. Κοκκοποιημένο μέλι μπορεί να επαναρευστοποιηθεί με θέρμανση στους 50-60⁰C.

Το μέλι της κηρήθρας δεν πρέπει να αποθηκεύεται σε χώρο με 60% και άνω σχετική υγρασία του αέρα έτσι ώστε να αποφεύγεται η απορρόφηση υγρασίας διαμέσου του κεριού κάτι που οδηγεί σε ζύμωση.

Εξαιρετικά(finely) κοκκοποιημένο μέλι δεν πρέπει να αποθηκεύεται σε θερμοκρασία άνω των 25⁰C. Υψηλότερες θερμοκρασίες θα προκαλέσουν τελικά ρευστοποίηση σε ένα βαθμό και θα καταστρέψουν τη υφή του μελιού. Οποιαδήποτε μετέπειτα επανακοκκοποίηση μέσω χαμηλότερων θερμοκρασιών θα οδηγήσει σε ανεπιθύμητη τραχιά υφή. Τέλος για διατήρηση πάνω από 4 μήνες απαιτείται ψυχρή αποθήκευση.

ΣΠΟΡΟΙ ΛΑΧΑΝΙΚΩΝ

Οι σπόροι γενικά ωφελούνται από τη αποθήκευση σε χαμηλές θερμοκρασίες και χαμηλά επίπεδα υγρασίας. Υψηλές θερμοκρασίες και υψηλή υγρασία ευνοούν τη απώλεια της ζωτικότητας τους. Οι περισσότεροι σπόροι λαχανικών δεν υφίστανται σημαντική πτώση στη ικανότητα βλάστησης κατά τη διάρκεια μιας περιόδου όταν αποθηκεύονται στους 10⁰C και 50% σχετική υγρασία. Πάντως η πλήρης ζωτικότητα διατηρείται για πολύ περισσότερο από ένα χρόνο καθώς η θερμοκρασία και σχετική

υγρασία μειώνονται. Μια θερμοκρασία στους -7°C και 15-25% σχετική υγρασία θεωρούνται ιδανικές συνθήκες αλλά σπάνια είναι αναγκαίες εκτός αν η ζωτικότητα του σπόρου πρέπει να διατηρηθεί για πολλά χρόνια. Σπόροι πιπεριών, από ντομάτες και μαρούλι αποθηκευμένοι κάτω από τις παραπάνω συνθήκες είχαν ίση ή καλύτερη ζωτικότητα μετά από 13 χρόνια συγκρινόμενοι με τους φρέσκους σπόρους. Χαμηλού περιεχόμενου υγρασία είναι επίσης σημαντική όσο αφορά την ικανότητα βλάστησης του σπόρου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο: ΜΙΚΡΟΒΙΟΛΟΓΙΑ ΤΡΟΦΙΜΩΝ ΚΑΙ ΨΥΞΗ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η μεγαλύτερη συνολικά πρακτική εφαρμογή της ψύξεως είναι η πρόληψη ή η καθυστέρηση των μικροβιακών, φυσιολογικών και χημικών μεταβολών στα τρόφιμα. Ακόμη και σε θερμοκρασίες κοντά στο αρχικό σημείο στερεοποίησης τα τρόφιμα μπορεί να αλλοιώνονται λόγω της ανάπτυξης μικροοργανισμών, μεταβολών που προκαλούνται από ένζυμα ή χημικών αντιδράσεων. Η συντήρηση των τροφίμων σε χαμηλές θερμοκρασίες απλώς μειώνει το ρυθμό με το οποίο οι αλλαγές αυτές λαμβάνουν χώρα. Μερικοί ζημιογόνοι μικροοργανισμοί μπορούν να αναπτυχθούν κοντά σε θερμοκρασίες έναρξης στερεοποίησης ή ακόμα και χαμηλότερα από αυτές. Η ψύξη, επιπρόσθετα, παίζει ένα πολύ σημαντικό ρόλο στη διατήρηση της παροχής τροφίμων που να είναι ασφαλή για κατανάλωση. Συνολικά, ο κυριότερος παράγοντας που προκαλεί ασθένειες που μεταφέρονται μέσω της κατανάλωσης τροφίμων είναι η συντήρησή τους σε ακατάλληλες θερμοκρασίες. Ένας άλλος σημαντικός παράγοντας είναι ή όχι ικανοποιητική απολύμανση του ψυκτικού εξοπλισμού. Η μηχανική άμεσα επηρεάζει τη ασφάλεια και σταθερότητα παροχής τροφίμων μέσω της σχεδίασης ψυκτικών εγκαταστάσεων και συγκροτημάτων ευρύτερα που να έχουν τη δυνατότητα καθαρισμού αλλά και μέσω της διατήρησης των περιβαλλοντικών συνθηκών που να αναστέλλουν τη μικροβιακή ανάπτυξη. Στο κεφάλαιο αυτό συζητώνται συνοπτικά η μικροβιολογία των τροφίμων και οι επιδράσεις της λήψης αποφάσεων σχεδιασμού για τη παραγωγή ασφαλών και υγιεινών τροφίμων.

ΒΑΣΙΚΗ ΜΙΚΡΟΒΙΟΛΟΓΙΑ

Οι μικροοργανισμοί παίζουν διάφορους ρόλους σε ένα συγκρότημα παραγωγής τροφίμων. Μπορούν να συνεισφέρουν στη αλλοίωση τροφίμων εκλύοντας οσμές και δημιουργώντας συγκεκριμένες γεύσεις ή μεταβάλλοντας την υφή των προϊόντων ή τη εμφάνισή τους διαμέσου παραγωγής γλίτσας και του σχηματισμού **χρωστικών ουσιών (pigment)**. Κάποιοι μικροοργανισμοί προκαλούν ασθένειες ενώ άλλοι είναι ωφέλιμοι και απαιτείται η παρουσία τους για τη παραγωγή τροφίμων όπως το τυρί, το κρασί και το ξυνολάχανο μέσω της διαδικασίας της ζύμωσης.

Οι μικροοργανισμοί διαιρούνται σε 4 κατηγορίες: βακτήρια, ζυμομύκητες (yeasts), μούχλες (molds) και ιοί. Τα βακτήρια είναι οι πιο κοινοί παθογόνοι οργανισμοί που αναπτύσσονται και μεταδίδονται μέσω των τροφίμων. Οι ρυθμοί ανάπτυξης των βακτηρίων, κάτω από βέλτιστες συνθήκες, είναι γενικά μεγαλύτεροι από αντίστοιχους των ζυμομυκήτων και των μούχλων καθιστώντας τα βακτήρια τη πρώτη αιτία αλλοιώσεων ιδιαίτερα σε υπο ψυχρή αποθήκευση και υγρασία τρόφιμα. Τα βακτήρια έχουν πολλά σχήματα συμπεριλαμβανομένων των σφαιρών (κόκκοι), των ορθογώνιων (βάκιλλοι) και των σπειροειδών (σπειροχαίτες) και είναι συνήθως μεταξύ 0.3 και 5-10 μm σε διάσταση. Τα βακτήρια μπορούν να αναπτυχθούν σε ένα μεγάλο εύρος περιβαλλοντικών συνθηκών. Κάποια, με γνωστότερα τα *Clostridium* και *Bacillus* spp. σχηματίζουν ενδοσπόρια που είναι μεταβατικές ανενεργές καταστάσεις αυτών με μεγάλη ανθεκτικότητα σε υψηλές θερμοκρασίες, ξηρό και έντονα χημικό περιβάλλον. Οι ζυμομύκητες και η μούχλα γίνονται σημαντικοί παράγοντες σε καταστάσεις που μπορούν να περιορίσουν τη ανάπτυξη των βακτηρίων όπως σε όξινα ή και ξηρά προϊόντα. Οι ζυμομύκητες μπορούν να προκαλέσουν σχηματισμό αερίων σε χυμούς και σχηματισμό γλίτσας σε προϊόντα που έχουν υποστεί ζύμωση. Η μαύρη μούχλα σε υγρές επιφάνειες και ο σχηματισμός μούχλας σε τρόφιμα που έχουν αλλοιωθεί είναι αρκετά συνήθη φαινόμενα. Κάποιες μούχλες παράγουν πολύ ισχυρές τοξίνες τις μυκοτοξίνες που αν καταναλωθούν μπορεί να είναι θανατηφόρες. Οι ιοί είναι αποκλειστικά ενδοκυτταρικά παράσιτα. που είναι συγκεκριμένα για κάθε μεμονωμένο ξενιστή. Όλοι οι ιοί συμπεριλαμβανομένων των ανθρωπίνων (πχ ο ιός της ηπατίτιδας Α) δεν μπορούν να πολλαπλασιαστούν έξω από 'ζωντανά' κύτταρα ή ιστούς. Τα χαρακτηριστικά σχεδιασμού της ψύξης πρέπει να περιλαμβάνουν ειδικές εγκαταστάσεις για καλό πλύσιμο των χεριών του προσωπικού καθώς και πρακτικές απολύμανσης ώστε να ελαχιστοποιήσουμε τη πιθανότητα μόλυνσης προϊόντων. Οι βακτηριακοί ιοί (φάγοι) ωστόσο ίσως μπορούν να συνεισφέρουν στην αποτυχία έναρξης καλλιέργειας κατά τη βακτηριακή ζύμωση εάν οι κατάλληλες διαδικασίες απομόνωσης, εξαιρισμού και απολύμανσης δεν ακολουθούνται. Η χρήση σε εμπορική κλίμακα συγκεντρωμένων καλλιιεργειών βακτηρίων, επιλεγμένων ειδικά με αντίσταση στους φάγους, έχει σημαντικά μειώσει το παραπάνω πρόβλημα.

ΠΗΓΕΣ ΜΙΚΡΟΟΡΓΑΝΙΣΜΩΝ

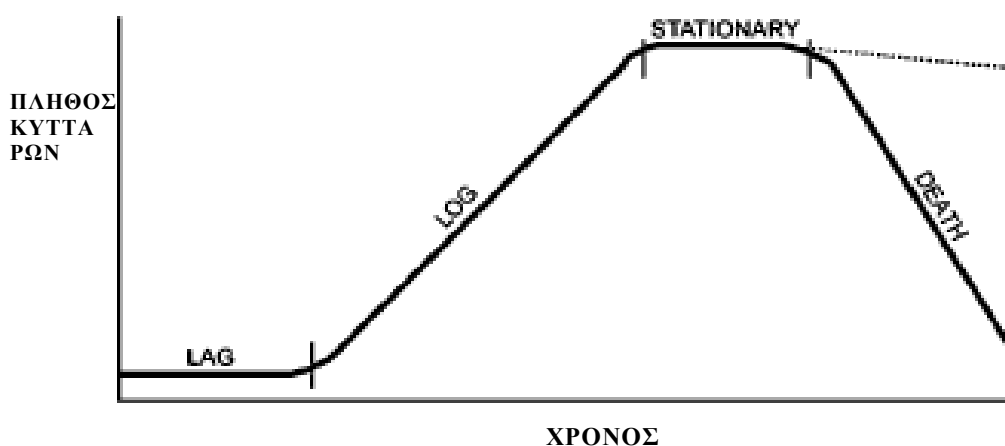
Βακτήρια, ζυμομύκητες και μούχλες είναι σε μεγάλη κλίμακα διανεμημένα στο νερό, στο χώμα, στο αέρα, στα υλικά των φυτών και στο δέρμα και περιοχές του εντέρου των ανθρώπων και των ζώων. Πρακτικά όλα τα μη επεξεργασμένα τρόφιμα είναι μολυσμένα με μια ποικιλία **ζημιογόνων (spoilage)** και κάποιες φορές παθογόνων μικροοργανισμών επειδή τα τρόφιμα λειτουργούν ως εξαιρετικό μέσο για βακτηριακό πολλαπλασιασμό. Οι περιοχές επεξεργασίας των τροφίμων οι οποίες περιέχουν υπολείμματα υλικών των τροφίμων θα αποτελέσουν προφανώς επιλογή εκείνων των μικροοργανισμών που πιθανότατα θα είχαν προσβάλλει και αλλοιώσει τα τρόφιμα αυτά.

ΜΙΚΡΟΒΙΑΚΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ

Οι μεταβολές στους μικροβιακούς πληθυσμούς ακολουθούν μια γενική καμπύλη ανάπτυξης (βλ. σχήμα 1). Μια αρχική φάση καθυστέρησης (lag) λαμβάνει χώρα καθώς οι μικροοργανισμοί προσαρμόζονται στις νέες περιβαλλοντικές συνθήκες και κατόπιν ξεκινούν να αναπτύσσονται. Αυτή η φάση καθυστέρησης είναι πολύ σημαντική λόγω του γεγονότος ότι η μέγιστη επέκταση της **χρονικής διάρκειας ζωής των προϊόντων (shelf life)** που είναι το διάστημα μετά τη συγκομιδή έως και τη τελική διάθεση στις αγορές καθώς και ο **ρυθμός της παραγωγής (length of production runs)** είναι άμεσα

συσχετιζόμενα με το μήκος της παραπάνω φάσης. Μετά τη προσαρμογή λοιπόν οι καλλιέργειες εισέρχονται στο μέγιστο(logarithmic) ρυθμό ανάπτυξης και ο έλεγχος της μικροβιακής ανάπτυξης είναι αδύνατος χωρίς πολύ υψηλό επίπεδο αποστείρωσης και λήψη άλλων δραστικών μέτρων. Οι αριθμοί των πληθυσμών μπορούν περίπου να διπλασιαστούν κάθε 20-30 λεπτά κάτω από βέλτιστες συνθήκες.

Η παραγωγή τοξινών και η ωρίμανση των σπόρων, εάν είναι δυνατή, συμβαίνει στο τέλος της εκθετικής φάσης καθώς η καλλιέργεια εισέρχεται στη φάση στασιμότητας (stationary). Σε αυτή τη χρονική στιγμή θρεπτικά στοιχεία έχουν εξαντληθεί και παραπροϊόντα αναστολής της ανάπτυξης των μικροοργανισμών έχουν συσσωρευθεί. Τελικά η ζωτικότητα της καλλιέργειας βγαίνει μειούμενη και ο ρυθμός εξαρτάται από το είδος του οργανισμού, το μέσο ανάπτυξης(περιβάλλον) και άλλα περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά. Παρά το γεγονός ότι η ψύξη παρατείνει το χρόνο παραγωγής και μειώνει τη ενζυμική δραστηριότητα και παραγωγή τοξινών στις περισσότερες των περιπτώσεων δεν θα μπορέσει να επαναφέρει τη χαμένη ποιότητα και ασφάλεια των προϊόντων.



Σχήμα 1 Τυπική καμπύλη μικροβιακής ανάπτυξης

ΠΡΟΥΠΟΘΕΣΕΙΣ ΚΡΙΣΙΜΗΣ ΜΙΚΡΟΒΙΑΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

Οι παράγοντες που επηρεάζουν τη μικροβιακή ανάπτυξη μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο κατηγορίες: (1) ενδογενείς παράγοντες που είναι συνάρτηση των τροφίμων αποκλειστικά και (2) εξωγενείς παράγοντες που είναι συνάρτηση του περιβάλλοντος στο οποίο διατηρούνται τα τρόφιμα.

ΕΝΔΟΓΕΝΕΙΣ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ

Οι ενδογενείς παράγοντες που επηρεάζουν τη μικροβιακή ανάπτυξη περιλαμβάνουν τα θρεπτικά συστατικά, τους αναστολείς, βιολογικά χαρακτηριστικά, την ενεργότητα του νερού(water activity), το pH και τη παρουσία ανταγωνιστικών μικροοργανισμών στα τρόφιμα. Παρά το γεγονός ότι οι εφαρμογές της μηχανικής δεν επιδρούν ιδιαίτερα σε αυτές τις παραμέτρους, η κατανόηση του τρόπου με το οποίο αυτοί οι ενδογενείς παράγοντες επηρεάζουν τη μικροβιακή ανάπτυξη είναι αρκετά χρήσιμη για τη εύρεση του είδους των μικροοργανισμών που μπορεί να είναι παρόντες.

Θρεπτικά συστατικά: Όπως και σε οποιουδήποτε άλλους ζωντανούς οργανισμούς έτσι και οι μικροοργανισμοί χρειάζονται τροφή για να αναπτυχθούν. Πηγές άνθρακα και ενέργειας είναι συνήθως τα σάκχαρα και το άμυλο. Οι απαιτήσεις σε άζωτο (N_2) καλύπτονται από τη παρουσία πρωτεϊνών. Βιταμίνες και μεταλλικά στοιχεία είναι επίσης απαραίτητα. Τα βακτήρια λακτικού οξέος έχουν υπερβολικά απαιτητικές διατροφικές ανάγκες αλλά και πολλοί αερόβιοι σχηματισμοί σπόρων εμφανίζουν καταπληκτικές ενζυματικές δυνατότητες που επιτρέπουν την ανάπτυξη με μια ευρεία ποικιλία υποκατάστατων τροφών. Συστήματα καθαρισμού διευκολύνουν τη αφαίρεση υπολειμμάτων υλικών των τροφίμων και έτσι στερούν από τους μικροοργανισμούς τα θρεπτικά συστατικά που χρειάζονται για ανάπτυξη, οπότε προλαμβάνουν τη συγκέντρωση των οργανισμών αυτών στο περιβάλλον.

Αναστολείς: Είτε δια της φυσικής παρουσίας ή προστιθέμενοι ως συντηρητικά οι αναστολείς μπορεί να είναι παρόντες στα τρόφιμα. Τα συντηρητικά δεν είναι υποκατάστατες ουσίες έναντι διαδικασιών υγιεινής καθώς με το χρόνο οι διάφοροι μικροοργανισμοί μπορεί να γίνουν ανθεκτικοί σε αυτά. Ένα σύστημα επεξεργασίας που μπορεί να υποστεί καθαρισμό είναι ακόμη απαραίτητο για τη παρεμπόδιση της ανάπτυξης ανθεκτικού μικροβιακού πληθυσμού.

Ανταγωνιστικοί μικροοργανισμοί: Η παρουσία ενός είδους μικροοργανισμού επηρεάζει άλλους υπάρχοντες οργανισμούς μέσα στα τρόφιμα. Κάποιοι οργανισμοί παράγουν ανασταλτικές χημικές ενώσεις ή αυξάνονται γρηγορότερα ενώ άλλοι είναι ικανότεροι στο να χρησιμοποιούν τα απαραίτητα θρεπτικά συστατικά στη μήτρα του τροφίμου.

Ενεργότητα του νερού(του τροφίμου): Όλες οι μορφές ζωής απαιτούν νερό για τη ανάπτυξη τους. Η ενεργότητα νερού a_w αναφέρεται στη διαθεσιμότητα του νερού σε ένα σύστημα-τρόφιμο και ορίζεται σε μια συγκεκριμένη θερμοκρασία όπως παρακάτω

$$a_w = \frac{\text{Πίεση υδρατμών του διαλύματος(τρόφιμου)}}{\text{Πίεση υδρατμών του διαλύτη(καθαρό νερό)}}$$

Η ενεργότητα του νερού εξαρτάται από τη θερμοκρασία και μάλιστα αύξηση της θερμοκρασίας συνήθως αυξάνει το a_w πλην κάποιων προϊόντων με κρυσταλλικό αλάτι ή ζάχαρη.

Οι ελάχιστες τιμές της ενεργότητας του νερού a_w για ανάπτυξη μιας ποικιλίας μικροοργανισμών μαζί με τα χαρακτηριστικά είδη των τροφίμων παρουσιάζονται στο πίνακα 1. Όταν ένα τρόφιμο είναι εσώκλειστο με αεροστεγή συσκευασία ή σε ένα θάλαμο με περιορισμένη κυκλοφορία αέρα ένας συντελεστής ισορροπίας(equilibrium) a_w επιτυγχάνεται που είναι ίσος με το a_w του τροφίμου. Σε αυτές τις περιπτώσεις το a_w του τροφίμου καθορίζει ποιοι οργανισμοί μπορούν να αναπτυχθούν σε αυτό.

Υψηλότερες τιμές a_w τείνουν να διατηρούν περισσότερους μικροοργανισμούς στα τρόφιμα με τα βακτήρια να απαιτούν τουλάχιστον 0.91 και οι μύκητες όχι λιγότερο από 0.70. Εάν όμοια τρόφιμα εκτεθούν σε περιβάλλον μειωμένης σχετικής υγρασίας ,όπως σκελετός κρέατος που αφήνεται για σίτεμα (το κρέας γίνεται πιο τρυφερό και εύγευστο όταν σιτεύει) σε χώρο ελεγχόμενης ωρίμανσης/παλαίωσης ή λαχανικά που εκτίθενται σε ανοικτό χώρο, η επιφανειακή αφυδάτωση δρά ως αναστολέας στη μικροβιακή ανάπτυξη. Παρομοίως, αν ένα ξηρό προϊόν όπως το ψωμί εκτεθεί σε υγρό περιβάλλον μούχλα μπορεί να αναπτυχθεί στη επιφάνεια του καθώς η υγρασία απορροφάται από το προϊόν.

Γενικά το νερό(υγρασία) μετακινείται από περιοχές υψηλότερων a_w προς περιοχές χαμηλότερων a_w . Για παράδειγμα εάν μέλι($a_w \approx 0.6$) εκτεθεί σε ρεύμα υγρού

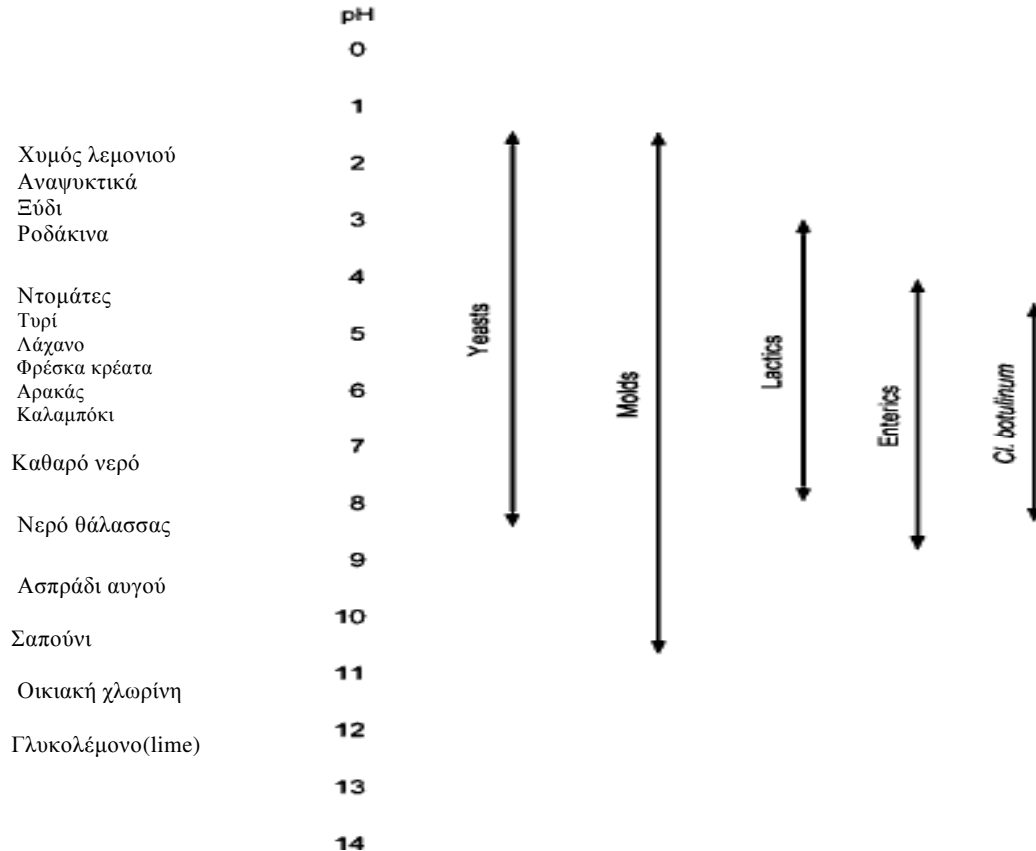
αέρα($a_w \approx 0.7$) το μέλι απορροφά υγρασία από το αέρα ενώ αντίθετα εάν σαλάμι ($a_w \approx 0.87$) εκτεθεί σε ξηρό αέρα($a_w \approx 0.5$) έχουμε διαφυγή υγρασίας από το σαλάμι προς το αέρα με αποτέλεσμα τη αφυδάτωση του πρώτου κάτι που μπορεί είτε να το συντηρήσει είτε να οδηγήσει σε αλλοιώσεις. Η περιβαλλοντική σχετική υγρασία επομένως επηρεάζει σημαντικά τη **συνολική διάρκεια ζωής(shelf life)** ενός προϊόντος (χρόνος μετά τη συγκομιδή έως τη τελική διάθεση προς κατανάλωση). Τέλος παραθέτουμε μια εμπειρική σχέση η οποία δίνει τη εκτιμώμενη συνολική **διάρκεια ζωής προϊόντος(shelf life)** χωρίς τη ανάπτυξη μούχλας σε ημέρες για τιμή θερμοκρασίας 21⁰C συναρτήσει της ενεργότητας του νερού του προϊόντος παρακάτω

$$MFSL = 10^{7.91 - 8.1a_w}$$

pH(βαθμός οξύτητας): Στη πλειοψηφία των μικροοργανισμών η βέλτιστη ανάπτυξη συμβαίνει σε ουδέτερα pH (7.0). Λίγοι οργανισμοί μπορούν να αναπτυχθούν κάτω από αλκαλικές συνθήκες αλλά κάποιοι όπως οι ζυμομύκητες, η μούχλα καθώς και τα βακτήρια λακτικού οξέος είναι ανθεκτικά σε όξινο περιβάλλον. Τιμές του βαθμού οξύτητας pH απεικονίζονται στο σχήμα 2 για μια ποικιλία τροφίμων καθώς και διαστήματα τιμών του pH που ευνοούν τη ανάπτυξη μικροοργανισμών.

Πίνακας 1 Προσεγγιστικές ελάχιστες τιμές της ενεργότητα νερού a_w για τη ανάπτυξη μικροοργανισμών

Μικροοργανισμοί	a_w	Τρόφιμα
Ψευδομονάδες(Pseudomonads)	0.98	Φρέσκα φρούτα, λαχανικά και κρέατα
Salmonella spp., E.coli	0.95	Πολλά επεξεργασμένα τρόφιμα
Listeria monocytogenes	0.93	
Bacillus cereus	0.92	Βούτυρο με αλάτι
Staphylococcus aureus	0.86	Σάλτσα υπό ζύμωση
Μούχλα	0.84	Μαλακή με υγρασία τροφή για κατοικίδια
	0.80	Σιρόπι για μαλακές τηγανίτες, μαρμελάδα
	0.70	Σιρόπι από άμυλο καλαμποκιού
Ξενοτροφική μούχλα	0.65	Καραμέλα(σιρόπι)
Οσμοφιλικοί ζυμομύκητες	0.62	
Όριο μικροβιακής ανάπτυξης	0.60	Αλεύρι(από σιτάρι)
	0.40	Γάλα σκόνη(0% λίπη)



Σχήμα 2 Εύρη pH για μικροβιακή ανάπτυξη και αντιπροσωπευτικά παραδείγματα

ΕΞΩΓΕΝΕΙΣ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ

Οι εξωγενείς παράγοντες που επηρεάζουν τη ανάπτυξη των μικροοργανισμών περιλαμβάνουν τη θερμοκρασία, τη σχετική υγρασία περιβάλλοντος και τα επίπεδα μοριακού οξυγόνου O_2 . Η ψύξη και το σύστημα εξαερισμού(κυκλοφορίας του αέρα) παίζουν ένα πολύ σημαντικό ρόλο στο έλεγχο αυτών των παραγόντων.

Θερμοκρασία: Οι μικροοργανισμοί μπορούν να αναπτυχθούν σε ένα μεγάλο εύρος θερμοκρασιών. Οι ελάχιστες τιμές θερμοκρασιών για ανάπτυξη μιας ποικιλίας **ζημιογόνων(spoilage)** και παθογόνων βακτηρίων σημαντικών όσον αφορά τα τρόφιμα συνοψίζονται στο πίνακα 2. Παλαιότερα θερμοκρασία $7^{\circ}C$ θεωρούνταν επαρκής για τον έλεγχο ανάπτυξης παθογόνων μικροοργανισμών. Όμως η εμφάνιση ψυχρόφιλων παθογόνων όπως το *Listeria monocytogenes* κατέδειξε τη ανάγκη για χαμηλότερες θερμοκρασίες. Στις Ηνωμένες Πολιτείες $5^{\circ}C$ θεωρούνται πλέον ως το άνω όριο θερμοκρασίας για ασφαλή ψύξη, αν και σε κάποιες περιπτώσεις θερμοκρασία $1^{\circ}C$ ή και χαμηλότερα ίσως είναι η καταλληλότερη. Τρόφιμα που να ενθαρρύνουν την ανάπτυξη παθογόνων μικροοργανισμών δεν πρέπει να διατηρούνται μεταξύ $5-60^{\circ}C$ για περισσότερες από 2 ώρες.

Η θερμοκρασία χρησιμοποιείται για να κατηγοριοποιηθούν οι μικροοργανισμοί.

Εκείνοι που είναι ικανοί για ανάπτυξη σε θερμοκρασία άνω των $45^{\circ}C$ με βέλτιστη θερμοκρασία ανάπτυξης μεταξύ $55-65^{\circ}C$ ορίζονται ως **θερμόφιλοι**. Η ανάπτυξη θερμόφιλων μπορεί να είναι εξαιρετικά ταχεία με χρόνους αναπαραγωγής της τάξης των 10-20 λεπτών. Οι θερμόφιλοι μικροοργανισμοί μπορεί να αποτελέσουν πρόβλημα σε βραστήρες και άλλα είδη εξοπλισμού που χρησιμοποιούνται στη διατήρηση τροφίμων σε υψηλές θερμοκρασίες για εκτεταμένες χρονικές περιόδους. Αυτοί οι οργανισμοί πεθαίνουν ή δεν αναπτύσσονται σε θερμοκρασίες ψύξης.

Οι **μεσόφιλοι** αναπτύσσονται καλύτερα μεταξύ θερμοκρασιών $20-45^{\circ}C$. Οι πιο πολλοί παθογόνοι μικροοργανισμοί ανήκουν σε αυτή τη κατηγορία με βέλτιστη θερμοκρασία ανάπτυξης τους $37^{\circ}C$ δηλαδή τη θερμοκρασία του ανθρώπινου σώματος

Στους μεσόφιλους επίσης συμπεριλαμβάνεται ένας αριθμός **ζημιογόνων(spoilage)** οργανισμών. Η ανάπτυξη των μεσόφιλων είναι αρκετά ταχεία με συνήθεις χρόνους αναπαραγωγής 20-30 λεπτά. Επειδή οι μεσόφιλοι αναπτύσσονται τόσο γρήγορα, τα αναλώσιμα τρόφιμα πρέπει να ψύχονται όσο το δυνατόν συντομότερα ώστε να προλαμβάνονται οι αλλοιώσεις ή δυνητικά επικίνδυνες καταστάσεις όσο αφορά τη υγιεινή. Επιπρόσθετα χαμηλότεροι ρυθμοί ψύξεως μπορεί να οδηγήσουν τους μεσόφιλους οργανισμούς σε προσαρμογή του περιβάλλοντος και έναρξη ανάπτυξης σε χαμηλότερες θερμοκρασίες. Η κατάχρηση λοιπόν ήπιων θερμοκρασιών μπορεί να οδηγήσει σε παραγωγική ανάπτυξη των μεσόφιλων και κατόπιν σε αλλοιώσεις ή ακόμη και πιθανούς υγειονομικούς κινδύνους για το καταναλωτικό κοινό.

Οι **ψυχρόφιλοι** μπορούν γενικά να αναπτυχθούν στους 5°C ενώ κάποιιοι έχουν δυνατότητες ανάπτυξης σε χαμηλές θερμοκρασίες ακόμη και των -5°C και αποτελούν μια βασική αιτία αλλοιώσεων στα αναλώσιμα τρόφιμα. Όμως η ψυχρόφιλη ανάπτυξη είναι **βραδύτερη** συγκρινόμενη με τη μεσόφιλη και ακόμη πιο πολύ με τη θερμοφιλή με μέγιστους ρυθμούς αναπαραγωγής 1-2 ώρες ή και περισσότερο. Παρόλα αυτά ο έλεγχος της ψυχρόφιλης ανάπτυξης είναι μια πολύ σημαντική απαίτηση για προϊόντα με παρατεταμένη **διάρκεια ζωής(shelf life)**. Επειδή πολλοί ψυχρόφιλοι οργανισμοί έχουν βέλτιστες θερμοκρασίες ανάπτυξης στο μεσόφιλο εύρος θερμοκρασιών μια αύξηση στη τιμή της θερμοκρασίας που μπορεί να θεωρείται αμελητέα ίσως τελικά έχει πολύ μεγάλες συνέπειες για το ρυθμό ανάπτυξης κάποιων **ζημιογόνων(spoilage)** μικροοργανισμών. Η ανάπτυξη περίπου διπλασιάζεται για κάθε αύξηση 3 K (ή $^{\circ}\text{C}$) στη τιμή θερμοκρασίας. Πρακτικά η συνολική **διάρκεια ζωής(shelf life)** του φρέσκου κρέατος μεγιστοποιείται στους -1.7°C και μειώνεται κατά 50% με συντήρηση στους 2.2°C . Το κρέας γενικά στερεοποιείται στους -2.2°C .

Για όλους τους κρίσιμους παράγοντες ανάπτυξης, το θερμοκρασιακό εύρος εντός του οποίου η ανάπτυξη μπορεί να συμβεί είναι χαρακτηριστικό για το είδος του υπό μελέτη οργανισμού. Το εύρος για ανάπτυξη είναι στενότερο του εύρους για επιβίωση. Για παράδειγμα, η μέγιστη θερμοκρασία για ανάπτυξη είναι ελαφρώς υψηλότερα της βέλτιστης και η θανάτωση συνήθως συμβαίνει ελάχιστα υψηλότερα από εκείνη τη μέγιστη. Όμως δεν συμβαίνει το ίδιο στο κάτω άκρο του θερμοκρασιακού εύρους. Η επιβίωση των ψυχρόφιλων και των περισσότερων μεσόφιλων μικροοργανισμών ενισχύεται από τις χαμηλές θερμοκρασίες ψυχρής αποθήκευσης. Η κατάψυξη δεν είναι μια αποτελεσματική διαδικασία θανάτωσης των παραπάνω. Κάποιοι λοιπόν μικροοργανισμοί με χαρακτηριστικότερα τα **κατά Γράμ αρνητικά(gram-negative)** βακτήρια καταστρέφονται από τη κατάψυξη και μπορεί να πεθάνουν με αργούς ρυθμούς αλλά κάποιοι άλλοι είναι υπερβολικά ανθεκτικοί. Στη πραγματικότητα η διαδικασία της κατάψυξης χρησιμοποιείται ως ένα αποτελεσματικό μέσο διατήρησης μικροβιακών καλλιιεργειών σε εξαιρετικά χαμηλές θερμοκρασίες(πχ στους -80°C).

Περιβαλλοντική σχετική υγρασία: Το νερό που συζητήθηκε προηγουμένως σαν απαραίτητος ενδογενής παράγοντας ανάπτυξης είναι επίσης και σημαντικός εξωγενής παράγοντας ανάπτυξης. Το νερό του περιβάλλοντος δρα ως φορέας μετάδοσης των μικροοργανισμών από μια θέση σε άλλη σε ένα ευρύτερο ψυκτικό συγκρότημα διαμέσου της κίνησης του προσωπικού ή διαμέσου του υγρού αέρα (αερολύματα).

Δοχεία απορροής νερού(drain pans) και **στοιχεία' της ψυκτική εγκατάσταση που στάζουν(drip coils)** έχουν προσδιορισθεί ως σημαντικές πηγές μόλυνσης από το βακτήριο *L.monocytogenes* σε χώρους επεξεργασίας τροφίμων. Τα αερολύματα μεταφέρουν επίσης εκείνο το παράγοντα που προκαλεί την ασθένεια των Λεγεωνάριων. Η υψηλή σχετική υγρασία σε ψυκτικούς θαλάμους είναι ένα ειδικό πρόβλημα που οδηγεί στη συσσώρευση μαύρης μούχλας στους τοίχους και οροφές καθώς και ανάπτυξη οργανισμών σε συστήματα απορροής και άλλα συστήματα

αποθήκευσης του νερού. Συμπύκνωση του νερού στις οροφές ενισχύει τη μικροβιακή ανάπτυξη και μπορεί αυτό ακόμη και να στάζει πάνω στις επιφάνειες επαφής των προϊόντων. Ανεπαρκής εξοπλισμός για την απορροή του νερού συλλέγει το λιμνάζων νερό και ενθαρρύνει τη μικροβιακή ανάπτυξη που εύκολα κατόπιν μεταφέρεται σε όλο το συγκρότημα παράγωγής όταν το προσωπικό κινείται σε σημεία του δαπέδου που συσσωρεύεται υγρασία. Είναι λοιπόν εξαιρετικά σημαντικός ο έλεγχος της περιβαλλοντικής σχετικής υγρασίας σε χώρους παραγωγής τροφίμων.

Οξυγόνο O₂: Οι μικροοργανισμοί συχνά ταξινομούνται σε κατηγορίες βάσει των απαιτήσεων τους σε μοριακό οξυγόνο. Αυστηρά αερόβιοι μικροοργανισμοί όπως η μούχλα και οι ψευδομονάδες απαιτούν οξυγόνο για την ανάπτυξη τους. Αντίστροφα οι αυστηρά αναερόβιοι όπως το *Clostridium ssp* δεν μπορούν να αναπτυχθούν παρουσία του ατμοσφαιρικού οξυγόνου. Προαιρετικά αναερόβιοι μικροοργανισμοί όπως τα βακτήρια coliform αναπτύσσονται με ή χωρίς τη παρουσία του οξυγόνου O₂ και οι μικροαερόφιλοι όπως ο λακτοβάκιλος αναπτύσσονται ευκολότερα σε περιβάλλον με μειωμένα επίπεδα οξυγόνου. Οι ψυκτικοί θάλαμοι ελεγχόμενης ατμόσφαιρας (CA) για τη αποθήκευση φρούτων χρησιμοποιούν χαμηλότερα επίπεδα οξυγόνου ώστε να παρατείνουν τη διάρκεια ζωής μέσω της καθυστέρησης ανάπτυξης **ζημιογόνων οργανισμών (spoilage)** καθώς και να επηρεάσουν τη διαδικασία της ωρίμανσης. Η υπό κενό αέρα συσκευασία προϊόντων επίσης χρησιμοποιεί αυτό τον εξωγενή παράγοντα ανάπτυξης αναστέλλοντας το πολλαπλασιασμό των αυστηρά αερόβιων.

ΒΙΟΛΟΓΙΚΗ ΠΟΙΚΙΛΙΑ

Τα περισσότερα βακτήρια προτιμούν συγκεκριμένο περιβάλλον ανάπτυξης αλλά κάποια έχουν μεγαλύτερες δυνατότητες προσαρμογής έναντι άλλων λόγω των ενζυμικών συστημάτων που διαθέτουν. Ορισμένα αναπτύσσονται ικανοποιητικά σε χαμηλές θερμοκρασίες με ή χωρίς παρουσία οξυγόνου (πχ *Listeria monocytogenes*) ή επιβιώνουν σε υψηλές θερμοκρασίες (πχ *Bacillus cereus*) και μπορούν με αυτό το τρόπο να αναπτύσσονται σε θερμοκρασίες ανθρώπινου σώματος και να προκαλούν ασθένειες.

Πίνακας 2 Ελάχιστες θερμοκρασίες ανάπτυξης για κάποια βακτήρια στα τρόφιμα

Μικροοργανισμοί	Πιθανής σημαντικότητας	Κατά προσέγγιση ελάχιστες θερμοκρασίες ανάπτυξης, σε °C
<i>Staphylococcus aureus</i>	Ασθένειες μέσω κατανάλωσης τροφίμων	10
<i>Salmonella spp.</i>	Ασθένειες μέσω κατανάλωσης τροφίμων	5.5
<i>Clostridium botulinum</i>	Ασθένειες μέσω κατανάλωσης τροφίμων	
<i>Proteolytic</i>		10
<i>Nonproteolytic</i>		38
<i>Lactobacillus</i> και <i>Leuconostoc</i>	Αλλοιώσεις φρέσκων και επεξεργασμένων κρεάτων	0
<i>Listeria monocytogenes</i>	Ασθένειες μέσω κατανάλωσης τροφίμων	1
<i>Acinetobacter spp.</i>	Αλλοιώσεις προμαγειρεμένων τροφίμων	-1
Ψευδομονάδες (<i>Pseudomonads</i>)	Αλλοιώσεις νωπών ψαριών, κρεάτων, πουλερικών και γαλακτοκομικών προϊόντων	-1

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΓΙΑ ΤΟ ΕΛΕΓΧΟ ΤΩΝ ΜΙΚΡΟΟΡΓΑΝΙΣΜΩΝ

Οι μικροοργανισμοί μπορούν να ελεγχθούν με ένα από τους ακόλουθους τρεις μηχανισμούς: πρόληψη της μόλυνσης, πρόληψη της αύξησης του πληθυσμού και καταστροφή των οργανισμών. Η σχεδίαση των συστημάτων ψύξης και εξαερισμού (κυκλοφορίας του αέρα) μπορεί να επηρεάσει όλους τους παραπάνω τρόπους δράσης.

ΠΡΟΛΗΨΗ ΤΗΣ ΜΟΛΥΝΣΗΣ

Για να αποτρέψουμε τη είσοδο μικροοργανισμών σε περιοχές παραγωγής τροφίμων τα συστήματα κυκλοφορίας του αέρα πρέπει να παρέχουν επαρκείς ποσότητες καθαρού αέρα. Καθώς τα βακτήρια είναι γενικά αερομεταφερόμενα μέσω μορίων σκόνης, το 95% των φίλτρων είναι ικανά για να αφαιρέσουν τη πλειοψηφία των μικροοργανισμών. Τα φίλτρα υψηλής απόδοσης σωματιδίων αέρα (HEPA) παρέχουν αποστειρωμένο αέρα και έχουν εφαρμογή σε εξαιρετικά χαμηλού και απόλυτα ελεγχόμενου επιπέδου μόλυνσης χώρους που χρησιμοποιούνται συνήθως για βιομηχανική ή επιστημονική έρευνα.

Τα υλικά των φίλτρων αέρα πρέπει να παραμένουν στεγνά. Τα υγρά φίλτρα σε συστήματα κυκλοφορίας του αέρα ενθαρρύνουν τη μικροβιακή ανάπτυξη και οι μικροοργανισμοί μεταφέρονται σε όλο το συγκρότημα παραγωγής διαμέσου του αέρα. Επίσης όλα τα συστήματα εξαερισμού πρέπει να προστατεύονται έναντι του νερού και του σχηματισμού συμπυκνωμάτων ώστε να προλαμβάνεται η ανάπτυξη της μούχλας. Αυτό μπορεί να απαιτεί αυξημένη ροή αέρα ή εγκατάσταση συστημάτων αφύγρανσης. Η ύπαρξη θετικής πίεσης σε περιβάλλον παραγωγής εμποδίζει τη είσοδο αερομεταφερόμενης μόλυνσης από πηγές άλλες πλην του συστήματος των αγωγών κυκλοφορίας του αέρα. Οι αγωγοί εισόδου του αέρα προς περιοχές παραγωγής δεν πρέπει να αντικρύζουν εκείνες τις υποπεριοχές που είναι ευπαθείς στη μόλυνση όπως σημεία συγκέντρωσης νερού πάνω στις οροφές ή σημεία φωλιών για πουλιά. Η μικροβιακή μόλυνση από αερομεταφερόμενες πηγές έχει καταγραφεί αλλά ποσοτικές εκτιμήσεις δεν είναι διαθέσιμες ώστε να προσδιοριστούν παράμετροι σχεδίασης.

Δοχεία συγκέντρωσης της υγρασίας (drip pans) κατά τη ψύξη αποτελούν σημαντική πηγή μόλυνσης του βακτηρίου *L.monocytogenes*. Τα δοχεία λοιπόν συγκέντρωσης συμπυκνωμάτων πρέπει να συνδεθούν κατευθείαν σε αγωγό απορροής ώστε να προλαμβάνεται η μόλυνση των δαπέδων και η παραπέρα μεταφορά των οργανισμών σε οποιοδήποτε σημείο ενός συγκροτήματος παραγωγής. Τα δοχεία συγκέντρωσης της υγρασίας πρέπει να είναι προσβάσιμα ώστε να επιτρέπεται ο προγραμματισμένος καθαρισμός τους, κάτι που αποτρέπει την ανάπτυξη μικροοργανισμών. Η απόψυξη του αέρα πρέπει να αποφεύγεται σε κρίσιμες για το ψυκτικό συγκρότημα περιοχές. Τα στοιχεία ατμοποιητή συνεχούς ψεκασμού γλυκόλης στις ψυκτικές εγκαταστάσεις προσφέρουν σημαντικά πλεονεκτήματα καθώς έχει βρεθεί ότι η γλυκόλη παγιδεύει και τελικά θανατώνει μικροοργανισμούς. Όντας υγροσκοπική η γλυκόλη υποβιβάζει το σημείο δρόσου του αέρα. παρέχοντας ένα ξηρότερο περιβάλλον.

Η ροή της κίνησης μέσα σε ένα συγκρότημα παραγωγής πρέπει να είναι σχεδιασμένη με τέτοιο τρόπο ώστε να ελαχιστοποιείται η επαφή μεταξύ ωμών και μαγειρεμένων προϊόντων όπως επιτάσσουν οι κανονισμοί του USDA για εκείνες τις μονάδες που μαγειρεύουν προϊόντα κρέατος. Η ευθεία ροή της κίνησης για ένα ωμό προϊόν από το ένα άκρο του συγκροτήματος στο άλλο εμποδίζει τη μόλυνση λόγω διασταύρωσης. Επίσης τοίχοι που να διαχωρίζουν τα ωμά προϊόντα από τα μαγειρεμένα με θετική πίεση στη περιοχή όπου μαγειρεύονται πρέπει να εξετάζονται σοβαρά διότι έτσι παρέχεται η καλύτερη προστασία. Επιπλέον πρέπει να παρέχονται επαρκείς χώροι αποθήκευσης που να επιτρέπουν τη ξεχωριστή αποθήκευση ωμών τροφίμων από τα

προϊόντα που έχουν υποστεί επεξεργασία ιδιαιτέρως σε συγκροτήματα τα οποία διακινούν και επεξεργάζονται προϊόντα κρέατος που είναι σημαντική πηγή της σαλμονέλας. Τέλος τα ωμά κρέατα δεν πρέπει να αποθηκεύονται με μαγειρεμένα ή λαχανικά ή ακόμη και γαλακτοκομικά προϊόντα.

ΠΡΟΛΗΨΗ ΤΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

Ο έλεγχος του νερού(υγρασίας) είναι ένα από τα πιο αποτελεσματικά και τα πιο συχνά παραγνωρισμένα μέσα για να επιτύχουμε τη αναστολή της μικροβιακής ανάπτυξης. Όλα τα συστήματα κυκλοφορίας του αέρα, σωληνώσεων, εξοπλισμού και δαπέδων πρέπει να σχεδιάζονται με τέτοιο τρόπο ώστε να γίνεται πλήρης απορροή του νερού από τις περιοχές συγκέντρωσης του. Η υπολειπόμενη στάσιμη υγρασία ενισχύει τη ταχεία μικροβιακή ανάπτυξη και η κυκλοφορία του προσωπικού είτε με τα πόδια είτε μέσω περνοφόρων ανυψωτικών μηχανημάτων μεταφέρει οργανισμούς από σημεία συσσώρευσης νερού όπως λακκούβες σε όλο το συγκρότημα.

Η συμπύκνωση νερού σε οροφές και σε σωληνώσεις ψύξεως επίσης ενθαρρύνει τη μικροβιακή ανάπτυξη και μπορεί ίσως το νερό αυτό ακόμη και να στάζει πάνω στις επιφάνειες των προϊόντων που δεν είναι επαρκώς προστατευμένες. Η πρόληψη της συμπύκνωσης είναι απολύτως αναγκαία διαδικασία για να εμποδιστεί η μικροβιακή μόλυνση. Μόνωση του δικτύου των σωληνώσεων όπως επίσης και των συστημάτων αφύγρανσης(εφόσον υπάρχουν) ίσως να είναι αναγκαία ιδιαιτέρως για τους θαλάμους ψυχρής αποθήκευσης. Αυξημένη ροή αέρα μπορεί επιπλέον να αποδειχθεί χρήσιμη για τη αφαίρεση της υπολειμματικής υγρασίας. Η διατήρηση της σχετικής υγρασίας στο 70% αποτρέπει τη ανάπτυξη όλων εκτός των πιο ανθεκτικών στελεχών των μικροοργανισμών ενώ για λιγότερο από 60% υγρασία αποτρέπεται το σύνολο της μικροβιακής ανάπτυξης στις επιφάνειες του ψυκτικού συγκροτήματος.

Οι διαδικασίες υγιεινής απαιτούν σημαντικές ποσότητες νερού με άμεσο επακόλουθο να αφήνονται το συγκρότημα και οι επιφάνειες του υγρές. Για αυτό το λόγο επαρκής αφύγρανση πρέπει να παρέχεται ώστε να αφαιρείται η υγρασία κατά τη διάρκεια και μετά από τις διαδικασίες απολύμανσης.

Ο περιορισμός της σχετικής υγρασίας δεν είναι πάντοτε δυνατός. Για παράδειγμα **σκελετός κρέατος (meat carcass)** που έχει ωριμάσει/σιτέψει και είναι σε ψυκτικό θάλαμο απαιτεί υψηλή σχετική υγρασία 90-95% ώστε να αποτρέπεται η υπερβολική αφυδάτωση των ιστών. Σε αυτές τις περιπτώσεις μια θερμοκρασία συντήρησης στους -1.7°C ελαφρά υψηλότερα από το αρχικό σημείο στερεοποίησης του πρέπει να εφαρμόζεται για να αναστέλλει τις μικροβιακές αλλοιώσεις. Θερμοκρασίες κάτω των 5°C αναστέλλουν τη ανάπτυξη των συνηθέστερων οργανισμών οι οποίοι προκαλούν ασθένειες μέσω της κατανάλωσης(παθογόνοι). Όμως το πολύ 1°C απαιτείται για να αναστέλλει τη ανάπτυξη του βακτηρίου *L.monocytogenes*. Η παροχή αέρα, η σχετική υγρασία και η θερμοκρασία πρέπει να είναι εξαιρετικά ισορροπημένα ώστε έτσι να επιτύχουμε τη μέγιστη διάρκεια ζωής των προϊόντων από τη συγκομιδή μέχρι τη τελική τους διάθεση προς τις αγορές με όσο το δυνατόν περιορισμένες αλλοιώσεις ως προς τη ποιότητα.

Η κατάψυξη είναι ένας επιπρόσθετος τρόπος ελέγχου των μικροβιακών πληθυσμών. Περιορισμένη θανάτωση μπορεί να συμβεί κατά τη διάρκεια της κατάψυξης ιδιαίτερα κατά τη αργή κατάψυξη του αρνητικού κατά Gram βακτηρίου. Όμως η κατάψυξη δεν είναι ένας αξιόπιστος τρόπος για να εξαλείψουμε πλήρως τους μικροοργανισμούς. Επειδή δεν υφίσταται μικροβιακή ανάπτυξη στα κατεψυγμένα τρόφιμα, όσο τα προϊόντα παραμένουν αρκετά χαμηλότερα του αρχικού σημείου στερεοποίησης θέματα μικροβιακής ασφάλειας είναι πρακτικά ανύπαρκτα. Τα κατεψυγμένα τρόφιμα πρέπει να αποθηκεύονται κάτω των -18°C για ποιοτικούς αλλά και νομικούς λόγους.

ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΗ ΤΩΝ ΜΙΚΡΟΟΡΓΑΝΙΣΜΩΝ

Οι υψηλές θερμοκρασίες είναι ένα αποτελεσματικό μέσο απενεργοποίησης της δραστηριότητας των μικροοργανισμών και χρησιμοποιείται εκτεταμένα στο βράσιμο, τη παστερίωση και τη κονσερβοποίηση των προϊόντων. Η υγρή θερμότητα είναι πολύ πιο αποτελεσματική από τη ξηρή. Οι υψηλές θερμοκρασίες (πχ 77 °C) μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθούν ως απολυμαντικό μέσο όταν δεν γίνεται χρήση χημικών ουσιών. Παρά το γεγονός ότι η απολύμανση με ζεστό νερό είναι αποτελεσματική έναντι **βιολογικά ενεργών ειδών(vegetative forms)** βακτηρίων οι σπόροι δεν επηρεάζονται. Πέρα από τη θέρμανση, η υψηλή πίεση, τα πεδία ηλεκτρικού παλμού, το υψηλής ενέργειας λευκό φως, η ακτινοβολία, ο υπεριώδης φωτισμός, το υπεροξείδιο του υδρογόνου H₂O₂, το όζον O₃ καθώς και χημικά καθαρισμού είναι αποτελεσματικά για τη καταστροφή των μικροοργανισμών.

Ο ΡΟΛΟΣ ΤΟΥ HACCP

Πολλές από τις διαδικασίες για τον έλεγχο των μικροοργανισμών προβλέπονται ρητά από το σύστημα Ανάλυσης Κινδύνου και Ελέγχου του Κρίσιμου Σημείου(HACCP) για τη ασφάλεια των τροφίμων. Έχοντας αναπτυχθεί στη βιομηχανία τροφίμων από τη δεκαετία του 1960, το HACCP είναι ένα σύστημα πρόληψης που οικοδομεί χαρακτηριστικά ελέγχου της ασφάλειας για τη σχεδίαση και παραγωγή προϊόντων τροφίμων. Το σύστημα HACCP χρησιμοποιείται για τη διαχείριση φυσικών, χημικών και βιολογικών κινδύνων.Ο τρόπος προσέγγισης περιγράφεται από τις επτά βασικές αρχές που αναπτύχθηκαν από την Εθνική Συμβουλευτική Επιτροπή μικροβιολογικών Κριτηρίων στα τρόφιμα(NACMCF 1998).

- 1.Διεξαγωγή ανάλυσης κινδύνου και προσδιορισμός μέτρων ελέγχου
- 2.Αναγνώριση των κρίσιμων σημείων ελέγχου
- 3.Καθορισμός κρίσιμων ορίων
- 4.Καθορισμός διαδικασιών συστηματικής παρακολούθησης
- 5.Καθορισμός διορθωτικών ενεργειών
- 6.Καθορισμός διαδικασιών επαλήθευσης
- 7.Καθορισμός διαδικασιών τήρησης αρχείων και αποδεικτικών εγγράφων.

Κάθε χώρος παραγωγής τροφίμων πρέπει να έχει μια ομάδα του HACCP που να αναπτύσσει και να εφαρμόζει το HACCP αναγκαίο σχέδιο.Αυτή η ομάδα αποτελείται από στελέχη πολλών επιστημονικών πεδίων με έμπειρα μέλη για τη λειτουργία μονάδων παραγωγής, την ανάπτυξη προϊόντων και τη μικροβιολογία των τροφίμων. Εξαιτίας των γνώσεων τους στα συγκροτήματα παραγωγής τροφίμων και στο τεχνικό εξοπλισμό που χρησιμοποιείται, οι μηχανικοί αποτελούν σημαντικά μέλη της HACCP ομάδας. Βοηθούν στο προσδιορισμό πιθανών κινδύνων και αντίστοιχων μέτρων ελέγχου που πρέπει να ληφθούν, εφαρμόζουν το HACCP σχέδιο και επιβεβαιώνουν την αποτελεσματικότητά του.

ΥΓΙΕΙΝΗ ΤΩΝ ΣΥΓΚΡΟΤΗΜΑΤΩΝ

Ο καθαρισμός και η απολύμανση είναι κομβικά στοιχεία που ενσωματώνουν και τις τρεις προηγούμενες στρατηγικές για το έλεγχο του πληθυσμού των μικροοργανισμών. Ο καθαρισμός ελέγχει τη μικροβιακή ανάπτυξη δια της αφαίρεσης των υπολειμμάτων των υλικών των τροφίμων που είναι αναγκαία για το πολλαπλασιασμό. Η απολύμανση θανατώνει τα περισσότερα από τα βακτήρια που παραμένουν στις επιφάνειες και έτσι εμποδίζει τη παραπέρα μόλυνση των παραγόμενων τροφίμων. Τα περισσότερα θέματα μικροβιακού ενδιαφέροντος που συμβαίνουν τους χώρους επεξεργασίας τροφίμων προκαλούνται από ακάθαρτο εξοπλισμό ορισμένες φορές και λόγω σχεδίασης.

Για αυτό το λόγο η σχεδίαση του εξοπλισμού και των επιμέρους εγκαταστάσεων στα συγκροτήματα, έχοντας λάβει υπόψη τη δυνατότητα για καθαρισμό και απολύμανση, οδηγεί στη μεγιστοποίηση της αποτελεσματικότητας του μικροβιακού ελέγχου.

Προϊόντα που είναι κατεψυγμένα πριν τη συσκευασία τους είναι ιδιαίτερα ευάλωτα στη μόλυνση. Πολλές σήραγγες καταψύξεως στα συγκροτήματα επεξεργασίας των τροφίμων είναι από δύσκολο έως αδύνατο να καθαριστούν λόγω της περιορισμένης πρόσβασης και του αναποτελεσματικού συστήματος απορροής. Αν και γενικά οι θερμοκρασίες καταψύξεως ελέγχουν τη μικροβιακή ανάπτυξη ο πολλαπλασιασμός των οργανισμών μπορεί να συμβεί κατά τη διακοπή λειτουργίας των συγκροτημάτων όπως τα Σαββατοκύριακα. Τα παρακάτω σημεία πρέπει να μελετώνται κατά τη σχεδίαση συγκροτημάτων για τη ελαχιστοποίηση των μετά πιθανών προβλημάτων

1. Παροχή καλής πρόσβασης για το προσωπικό καθαρισμού ώστε να διευκολύνεται ο καθαρισμός καθώς και επαρκής φωτισμός (540 lx) ώστε να επιτρέπεται απρόσκοπτα η επιθεώρηση όλων των επιφανειών.

2. Εξάλειψη μη προσβάσιμων τμημάτων και χαρακτηριστικών που επιτρέπουν τη συσσώρευση των προϊόντων.

3. Σχεδίαση εξοπλισμού που να είναι εύκολη η αποσυναρμολόγηση του με χρήση λίγων εργαλείων ιδιαίτερα σε περιοχές που είναι δύσκολο να καθαριστούν. Να σχεδιαστεί σύστημα αγωγών ελέγχου/κυκλοφορίας του αέρα για εύκολο καθαρισμό. Να παρέχονται κινητά **καρούλια (spools)** ή θύρες πρόσβασης. Εναλλακτικά μπορεί να σχεδιαστεί και να εγκριθεί για τη διαχείριση του ρεύματος αέρα δίκτυο αγωγών με ύφασμα που να μπορεί να πλυθεί.

4. Να χρησιμοποιούνται λεία και μη πορώδη κατασκευαστικά υλικά για τη πρόληψη συσσώρευσης προϊόντων. Τα υλικά πρέπει να είναι ανθεκτικά στο συνήθη καθαρισμό και στα χημικά απολύμανσης που παρουσιάζονται στο παρακάτω πίνακα 3.

Να ερωτάται ειδικευμένο προσωπικό απολύμανσης για τον ακριβή προσδιορισμό των χημικών που είναι πιθανό να χρησιμοποιηθούν. Να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στα μονωτικά υλικά πολλά από τα οποία είναι πορώδη. Το υλικό της μόνωσης πρέπει να προστατεύεται από την υγρασία ώστε να αποφεύγουμε κορεσμό και κατά συνέπεια μικροβιακή ανάπτυξη. Μια αποτελεσματική μέθοδος είναι ένα καλά σφραγισμένο PVC ή κάλυμμα από ανοξείδωτο χάλυβα. Επίσης να αποφεύγεται η χρήση **ρολού υαλοβάμβακα (fiberglass batts)** σε συγκροτήματα επεξεργασίας τροφίμων.

5. Πρέπει να γίνεται καλή απορροή υγρασίας στο σύνολο του εξοπλισμού.

6. Να λαμβάνονται υπόψη αναφορές και κανονισμοί πάνω σε θέματα βασικών αρχών σχεδιασμού της υγιεινής.

Η καινοτομία απαιτείται στο πεδίο του στεγνώματος μετά τη ολοκλήρωση της απολύμανσης. Η παροχή επαρκώς κεκλιμένων επιφανειών και αποτελεσματικών συστημάτων απορροής για τη διαχείριση του νερού είναι σημαντικά. Συστήματα αφύγρανσης και αυξημένη παροχή αέρα σε νέα αλλά και υπάρχοντα συστήματα θα

μπορούσε να μειώσει σημαντικά προβλήματα σχετιζόμενα με τη υγρασία ειδικά σε καθαρισμό χώρων παραγωγής προϊόντων υπό ψύξη.

Συνήθεις διαδικασίες καθαρισμού με νερό θεωρούνται ακατάλληλες για κάποια συγκροτήματα παραγωγής τροφίμων όπως σε διεργασίες για παραγωγή σοκολάτας, φυστικοβούτυρου ή αλευροποιίας. Τα συστήματα ψύξης ή κυκλοφορίας του αέρα για αυτές τις μονάδες πρέπει να σχεδιαστούν με τέτοιο τρόπο ώστε να διευκολύνουν το ξηρό καθαρισμό, να μειώνουν τη συμπύκνωση και να περιορίζουν τη παρουσία του νερού σε μια πολύ περιορισμένη περιοχή εάν είναι απολύτως απαραίτητο.

Πίνακας 3 Συνήθη καθαριστικά και χημικά απολυμαντικά προϊόντα

Χημικές ενώσεις καθαρισμού	Απολυμαντικά
Καυστικές	Χλωρίνη
Χλωριωμένα αλκαλικά απορρυπαντικά	Ιωδιοφόρα
Όξινα καθαριστικά	Ενώσεις τεταρτοταγούς αμμωνίου(NH ₄ ⁺)
	Όξινα απολυμαντικά

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο: ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΨΥΚΤΙΚΩΝ ΣΥΓΚΡΟΤΗΜΑΤΩΝ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα ψυκτικά συγκροτήματα είναι οποιαδήποτε κτίρια ή τομείς κτιρίων όπου εκεί επιτυγχάνονται ελεγχόμενες συνθήκες αποθήκευσης με χρήση της ψύξεως. Δύο βασικά είδη ψυκτικών συγκροτημάτων είναι (1) οι ψύκτες που προστατεύουν τα προϊόντα σε θερμοκρασίες συντήρησης συνήθως άνω του 0^οC και (2) οι χαμηλής θερμοκρασίας χώροι ψυχρής αποθήκευσης ή καταψύκτες οι οποίοι εργάζονται σε θερμοκρασίες κάτω των 0^οC ώστε να εμποδίζονται οι αλλοιώσεις ή να διατηρείται η διάρκεια ζωής των προϊόντων ή ακόμα και να παρατείνεται.

Οι συνθήκες εντός ενός κλειστού ψυκτικού θαλάμου πρέπει να διατηρούνται σταθερές για την αποτελεσματική συντήρηση των αποθηκευόμενων προϊόντων. Αυτό αναφέρεται κυρίως στη εποχιακή, βραχυχρόνια και μακροχρόνια ψυχρή αποθήκευση. Ειδικά θέματα προς μελέτη περιλαμβάνουν :

- 1)Ομοιόμορφες θερμοκρασίες
- 2)Μήκος της διαδρομής του ψυχρού αέρα κυκλοφορίας και επαφή του στα προϊόντα υπό αποθήκευση
- 3)Επίδραση της σχετικής υγρασίας φ(%)
- 4)Επίδραση της κυκλοφορίας του αέρα στο εργατικό προσωπικό του συγκροτήματος
- 5)Ελεγχόμενος εξαερισμός, εάν είναι απαραίτητος
- 6)Θερμοκρασία εισαγωγής των προϊόντων στο ψυκτικό θάλαμο
- 7)Προσδοκώμενη διάρκεια ψυχρής αποθήκευσης
- 8)Απαιτούμενη θερμοκρασία εξόδου των προϊόντων
- 9)Κίνηση εντός και εκτός στους χώρους ψυχρής αποθήκευσης από το προσωπικό

Στις ΗΠΑ η Διεύθυνση Δημόσιας Υγείας Τροφίμων και Φαρμάκων ανέπτυξε το κώδικα τροφίμων(FDA 1997) που παρέχει μοντελοποιημένες τις προϋποθέσεις θωράκισης της δημόσιας υγείας και διασφάλισης ότι τα τρόφιμα είναι ανόθευτα. Ο κώδικας αυτός είναι ένας οδηγός καθιέρωσης προτύπων για όλες τις φάσεις διακίνησης των υπό ψύξη τροφίμων. Πραγματοεύεται τη λήψη, διακίνηση,αποθήκευση

και μετακίνηση των υπο ψύξη τροφίμων και απαιτεί προϋποθέσεις όσον αφορά τους κανόνες υγιεινής και διατήρησης της θερμοκρασίας. Αυτά τα πρότυπα πρέπει να αναγνωρίζονται κατά τη σχεδίαση και λειτουργία των ψυκτικών συγκροτημάτων. Οι κανονισμοί της Διεύθυνσης για τη Επαγγελματική Ασφάλεια και Υγεία (OSHA), του Γραφείου για τη Προστασία του Περιβάλλοντος(EPA), του Υπουργείου Γεωργίας των ΗΠΑ και άλλα πρότυπα πρέπει επίσης να τηρηθούν στα συγκροτήματα ψυχρής αποθήκευσης και στις διεργασίες που εμπλέκονται.

Τα ψυκτικά συγκροτήματα μπορεί να λειτουργούν για ή εκ μέρους μιας ιδιωτικής εταιρείας με σκοπό τη ψυχρή αποθήκευση ή απλά τη αποθήκευση των δικών της προϊόντων, ως δημόσια ψυκτικά συγκροτήματα όπου οι υπηρεσίες αποθήκευσης προσφέρονται σε πολλές επιχειρήσεις ή και οι δύο περιπτώσεις. Σημαντικές θέσεις για τα ψυκτικά συγκροτήματα είτε δημόσια είτε ιδιωτικά είναι (1) σημεία διεργασιών (2)ενδιάμεσα σημεία για γενική και μακροχρόνια ψυχρή αποθήκευση (3) σημεία τελικής διανομής των προϊόντων.

Οι πέντε κατηγορίες ταξινόμησης της ψυχρής αποθήκευσης για τη διατήρηση της ποιότητας των τροφίμων αναλλοίωτη είναι:

- 1) Μακροχρόνια ψυχρή αποθήκευση ελεγχόμενης ατμόσφαιρας(CA) για φρούτα και λαχανικά
- 2) Αποθήκευση σε ψύκτες με θερμοκρασία συντήρησης 0°C και άνω
- 3)Αποθήκευση σε υψηλής θερμοκρασίας καταψύκτες στους -2 με -3°C
- 4)Χαμηλής θερμοκρασίας ψυκτικούς θαλάμους για γενικής χρήσης κατεψυγμένα προϊόντα με συνήθη θερμοκρασία συντήρησης -20 με -29°C
- 5)Χαμηλής θερμοκρασίας ψυκτικούς θαλάμους στους -20 με -29°C με πρόσθετο πλεόνασμα ψύξεως για κατάψυξη προϊόντων που λαμβάνονται σε θερμοκρασίες άνω των -18°C

Να σημειωθεί ότι εξαιτίας της τρέχουσας έρευνας στα παραπάνω θέματα η γενική κατεύθυνση είναι προς χαμηλότερες θερμοκρασίες συντήρησης στα κατεψυγμένα τρόφιμα

ΑΡΧΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΚΤΙΡΙΑΚΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ

ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ

Οι ιδιωτικοί χώροι ψυχρής αποθήκευσης είναι συνήθως παρακείμενοι ή και εντός του ίδιου κτιρίου με τις υπόλοιπες επιχειρηματικές δραστηριότητες του ιδιοκτήτη.

Οι δημόσιοι χώροι ψυχρής αποθήκευσης πρέπει να είναι τοποθετημένοι έτσι ώστε να εξυπηρετούν μια βιομηχανική περιοχή, ένα διαμετακομιστικό σημείο αποθήκευσης των προς ψύξη εμπορευμάτων, μια μεγάλη περιοχή καταναλωτικού κοινού ή και ποικίλους συνδυασμούς των παραπάνω ώστε να υπάρχει μια καλή μέση αξιοποίηση των χώρων. Επίσης ένα δημόσιο ψυκτικό συγκρότημα πρέπει να έχει τα παρακάτω

- 1)Άνετο χώρο εγκατάστασης για παραγωγούς, μεταφορείς και διανομείς λαμβάνοντας υπόψη τη παρούσα τάση για αποκέντρωση αλλά και αποφυγή εκείνων των περιοχών μεγάλης κυκλοφορίας.
- 2)Καλές σιδηροδρομικές εγκαταστάσεις μετεπιβίβασης και εξυπηρέτηση με τις ελάχιστες δυνατές χρεώσεις από όλες τις κεντρικές σιδηροδρομικές γραμμές με κατεύθυνση προς τη μονάδα ιδιαιτέρως εάν ένας ακραίος σιδηροδρομικός σταθμός είναι απαραίτητος για τη επικερδή λειτουργία της επιχείρησης.

- 3)Εύκολη πρόσβαση από κεντρικούς αυτοκινητοδρόμους για τα μεγάλα οχήματα-ψυγεία καθώς και για τα τοπικά φορτηγά μεταφοράς προϊόντων αλλά θα πρέπει να αποφεύγονται θέσεις κοντά σε δρόμους μεγάλης κυκλοφοριακής συμφόρησης.
- 4)Επαρκής έκταση γής για τα αυτοκίνητα-ψυγεία, για να υπάρχει δυνατότητα κίνησης τους στο χώρο αυτό καθώς και για βοηθητικούς χώρους ενώ επιπλέον θα πρέπει να υπάρχει πρόνοια για χώρο ακόμη και για μελλοντική επέκταση του συγκροτήματος.
- 5)Επιλογή τοποθεσίας με ένα λογικό κόστος γής
- 6)Επαρκής ηλεκτρική ισχύς καθώς και παροχή νερού
- 7)Πρόβλεψη μέσω συστημάτων για τη απομάκρυνση του νερού επιφανειών, λυμάτων και νερού για τη απολύμανση των χώρων
- 8)Μελέτη των περιορισμών της ζώνης εγκατάστασης του συγκροτήματος και για τη πυροπροστασία της συνολικής εγκατάστασης
- 9)Επιλογή τοποθεσίας μακριά από κατοικημένες περιοχές όπου ο θόρυβος από τη λειτουργία του εξωτερικού εξοπλισμού(πχ ανεμιστήρες και εξοπλισμός που παίρνει ισχύ από κινητήρες των οχημάτων ψυγείων) θα δημιουργούσε πρόβλημα
- 10)Εξωτερική παρουσία του συγκροτήματος που να μην δημιουργεί αντιδράσεις στη κοινότητα
- 11)Ελάχιστη φορολογική και ασφαλιστική επιβάρυνση
- 12)Ασφάλεια της μονάδας
- 13)Ευνοϊκές υπόγειες συνθήκες αντοχής και καλή απορροή του εδαφούς

Τα ψυκτικά συγκροτήματα συνήθως εντοπίζονται μακριά από περιοχές μεγάλης κυκλοφοριακής επιβάρυνσης όπως προαναφέραμε ή ακόμα και εκτός ορίων πόλεων όπου το κόστος της αυξανόμενης απόστασης για τα οχήματα ψυγεία αντισταθμίζεται από καλύτερες δυνατότητες ανάπτυξης της μονάδας, καλύτερο οδικό δίκτυο, παροχή εργατικού δυναμικού χαμηλότερου κόστους ή άλλα οικονομικά πλεονεκτήματα στη λειτουργία.

ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΜΕΓΕΘΟΥΣ

Η διάμορφωση της κτιριακής εγκατάστασης και το μέγεθος ψυκτικού συγκροτήματος καθορίζονται από τους παρακάτω παράγοντες

- 1)Εάν η λήψη και αποστολή προϊόντων θα γίνεται κυρίως με σιδηροδρομικά οχήματα ψυγεία ή με αυτοκίνητα ψυγεία. Οι μέθοδοι της αποστολής των εμπορευμάτων επηρεάζουν τους χώρους των αποβάθρων καθώς και τη εσωτερική δομή της κίνησης του προσωπικού
- 2)Το ποσοστό των εμπορευμάτων που προορίζονται για συντήρηση σε ψύκτες και σε καταψύκτες. Τα προϊόντα που απαιτούν ειδικές συνθήκες ελέγχόμενης ατμόσφαιρας όπως τα φρέσκα φρούτα και λαχανικά μπορεί να χρειάζονται αρκετούς ξεχωριστούς θαλάμους ψυχρής αποθήκευσης. Τα θαλασσινά, το βούτυρο και οι καρποί επίσης χρήζουν ειδικής μεταχείρισης. Όπου η συνολική αξιοποίηση χρήσεως του ψυκτικού συγκροτήματος μπορεί να μειωθεί εξαιτίας εποχιακών συνθηκών να εξετάζεται η παραχώρηση χώρων για πολλαπλές χρήσεις.
- 3)Το ποσοστό των προϊόντων που αναμένεται για μακροχρόνια ψυχρή αποθήκευση. Προϊόντα που αποθηκεύονται για μεγάλο χρονικό διάστημα μπορούν να στοιβαχθούν πυκνότερα.
- 4)Εάν το προϊόν που αποθηκεύεται υπο ψύξη θα είναι κυρίως σε μικρές ή μεγάλες μερίδες. Το σύστημα σχαρών τύπου drive-through ή ένας συνδυασμός παλεττών σχαρών και ένας ημιώροφος έχουν αποδειχθεί αποτελεσματικά για τη επίτευξη αποδοτικής λειτουργίας και καλής χρήσης των χώρων σε κάθε περίπτωση. Κινητά συστήματα σχαρών θεωρούνται επίσης αξιόπιστες επιλογές.

5)Ο τρόπος παλεταρίσματος του προϊόντος. Πυκνά προϊόντα όπως κρέατα, φρούτα κονσερβοποιημένα, μεγάλα δοχεία με χυμούς, και κιβώτια με κονσερβοποιημένα αγαθά μπορούν να στοιβαχθούν πολύ αποτελεσματικά. Παλεταρισμένα κιβώτια αποθήκευσης και ειδικά καλάθια ή κουτιά συγκρατούν επιτυχώς το κρέας, τα ψάρια και άλλα χαλαρής δομής τρόφιμα. Το **σύστημα slip sheet** το οποίο δεν απαιτεί τη παρουσία παλεττών εξαλείφει τον χρησιμοποιούμενο χώρο των παλεττών και μπορεί ως διαθέσιμος χώρος πλέον να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά για κάποια προϊόντα. Οι σχάρες στοιβάγματος των παλεττών κάνουν δυνατή τη χρήση του πλήρους ύψους του ψυκτικού θαλάμου και έτσι μπορεί να παλεταριστεί οποιοδήποτε συσκευασμένο ή τοποθετημένου εντός κιβωτίου εμπόρευμα.

6)Εάν θα παραχωρηθεί διαθέσιμος χώρος προς μίσθωση σε ενοικιαστές. Ο χώρος προς μίσθωση συνήθως απαιτεί ειδικό προσωπικό και γραφειακές εγκαταστάσεις. Μια απομονωμένη περιοχή για εργασία των ενοικιαστών είναι επιθυμητή. Τέτοιες περιοχές νοικιάζονται ανά μονάδα επιφάνειας(ανά m^2) και η σχεδίαση τους υπάγεται σε αυτή της κύριας κτιριακής εγκατάστασης.

Ο ιδιοκτήτης ενός υποψήφιου ψυκτικού συγκροτήματος ίσως θέλει να αποκτήσει πληροφορίες από ειδικούς στα συστήματα ψυχρής αποθήκευσης, μετακίνησης και γενικότερα διακίνησης των προϊόντων.

ΔΙΑΤΑΞΗ ΣΤΟΙΒΑΓΜΑΤΟΣ ΤΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ

Συνήθως το ύψος των ψυκτικών θαλάμων είναι τουλάχιστον 8.5 με 10.5 m ή και περισσότερος διαθέσιμος χώρος από δάπεδο ως τη χαλύβδινη κατασκευή της οροφής ώστε να επιτρέπονται οι εργασίες ανύψωσης μέσω περονοφόρων οχημάτων. Τα συστήματα παλεττών με σχάρες χρησιμοποιούν το μεγαλύτερο ύψος από το συνολικά διαθέσιμο ενώ το χρήσιμο ύψος για στοιβάγμα προϊόντων με παλέτες χωρίς σχάρες είναι από 4.5 έως 5.5 m. Το ελεύθερο διάστημα χώρου πάνω από τις παλέτες στοιβάγματος χρησιμοποιείται για τις μονάδες παροχής και διανομής αέρα, για τον ηλεκτροφωτισμό και τις γραμμές ψεκασμού. Γενικά 2-3 m ελάχιστο 'ελεύθερο' ύψος απαιτείται από τη κορυφή των προϊόντων έως τη κάτω πλευρά υποστήριξης του συστήματος δομής της οροφής για να διασφαλίζεται ότι δεν θα υπάρξει παρεμβολή ή ανάμιξη με δοχεία και γραμμές απορροής των μονάδων παροχής αέρα. Μεγαλύτερα 'ελεύθερα' ύψη είναι συνήθως απαραίτητα εάν γίνεται χρήση αυτοματοποιημένου ή μηχανοποιημένου εξοπλισμού. Η εξασφάλιση του ελεύθερου χώρου πάνω από τα στοιβαγμένα προϊόντα είναι ανέξοδη και επειδή οι ψυκτικές απαιτήσεις για το επιπρόσθετο ύψος δεν είναι ιδιαίτερα σημαντικές συγκρινόμενες με το ολικό κόστος εγκατάστασης της μονάδας ένα ελάχιστο ελεύθερο ύψος 6 m είναι επιθυμητό. Μεγαλύτερα ελεύθερα ύψη είναι πολύτιμα αν αυτοματοποιημένος/μηχανοποιημένος εξοπλισμός πρέπει να σχεδιαστεί. Επίσης πρέπει να διερευνηθεί η επίδραση της καλής διάταξης στοιβάγματος των προϊόντων με τα ασφάλιστρα(για τα προϊόντα). Η επιφάνεια του δαπέδου σε ένα ψυκτικό συγκρότημα όπου διάφορα εμπορεύματα πρόκειται να αποθηκευτούν υπο ψύξη μπορεί να υπολογιστεί με τη αρχή των 130-160 kg προϊόντων/ m^3 (μικτό) ώστε το περίπου 40% του χώρου αποθήκευσης υπο ψύξη να παραχωρείται για διαδρόμους μεταξύ των παλεττών και 'ελεύθερο' χώρο πάνω από τις παλέτες στοιβάγματος. Σε ειδικού σκοπού ή παραγωγής τροφίμων συγκροτήματα τα προϊόντα μπορούν να στοιβαχθούν με μικρότερους διαδρόμους και 'ελεύθερους' χώρους και τελικά με ένα συντελεστή χορήγησης στο περίπου 20%.

ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΚΤΙΡΙΟΥ ΤΟΥ ΨΥΚΤΙΚΟΥ ΣΥΓΚΡΟΤΗΜΑΤΟΣ

Τα περισσότερα ψυκτικά συγκροτήματα σχεδιάζονται ως μονώροφες κατασκευές. Η τοποθέτηση μικρών κολώνων σε μεγάλο μέγεθος χώρους επιτρέπουν τη ψυχρή αποθήκευση μέσω παλετών αξιοποιώντας το μέγιστο δυνατό χώρο. Αυτό το είδος κτιρίου συνήθως παρέχει επιπρόσθετο χώρο ξεφορτώματος προϊόντων στη αποβάθρα για τα μεγάλα αυτοκίνητα ψυγεία. Τα ακόλουθα χαρακτηριστικά της μονώροφης σχεδίασης για ένα ψυκτικό συγκρότημα που πρέπει να μελετηθούν είναι(1) οριζόντιες αποστάσεις κινήσεως του προσωπικού οι οποίες σε ένα βαθμό αντισταθμίζουν τις κάθετες διαδρομές που απαιτούνται στη περίπτωση πολυώροφου κτιρίου.

(2) δυσκολία αξιοποίησης του ύψους στοιβάγματος στη περίπτωση της αποθήκευσης πολλών προϊόντων ή κατά τη ψυχρή αποθήκευση μικρών μερίδων και μετακίνηση των αγαθών (3) αναγκαιότητα ειδικής μεταχείρισης του δαπέδου κάτω από τους θαλάμους των καταψυκτών ώστε να δοθεί προστασία με σχετικά χαμηλό κόστος για να παρεμποδιστεί πιθανό φούσκωμα(διαστολή) του εδάφους (4) υψηλό κόστος γης για το χώρο κτιριακής εγκατάστασης. Ένα μονώροφο ψυκτικό συγκρότημα με μέσου ή χαμηλού ύψους στοιβάγμα προϊόντων έχει υψηλό κόστος ανά μονάδα επιφάνειας εξαιτίας του υψηλού λόγου του κόστους κατασκευής και πρόσθετου κόστους γης προς τη χωρητικότητα ψυχρής αποθήκευσης των εμπορευμάτων. Όμως τα αρχικά και λειτουργικά κόστη είναι συνήθως χαμηλότερα συγκρινόμενα με τα αντίστοιχα ενός πολυώροφου ψυκτικού συγκροτήματος.

ΜΟΝΩΡΟΦΗ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΨΥΚΤΙΚΟΥ ΣΥΓΚΡΟΤΗΜΑΤΟΣ

Το σχήμα 1 παρακάτω δείχνει το περίγραμμα ενός μονώροφου -23°C καταψύκτη που είναι συμβατός με τους τρέχοντες κανονισμούς. Τα ακόλουθα απαραίτητα είδη και λειτουργίες που πρέπει να εξεταστούν είναι:

- 1)Χώρος αποθήκευσης μηχανολογικού εξοπλισμού ψύξης
- 2)Αποβάθρες υπό ψύξη για αποστολή και παραλαβή προϊόντων με 'μαξιλάρια σφραγίσεως' στις πόρτες για προστασία και διατήρηση της εκεί ψύξης
- 3)Αυτόματες πόρτες
- 4)Πόρτες από φύλλα σανίδων και κουρτίνες από θερμοπλαστικά πολυμερή(PVC)
- 5)Ψυχρή αποθήκευση σε θερμοκρασία συντήρησης -23°C ή και χαμηλότερα
- 6)Σύστημα παλετών με σχάρες ώστε να διευκολύνεται η διακίνηση μικρών μερίδων προϊόντων και να τηρεί το κανονισμό καταγραφής **πρώτα τα εισερχόμενα μετά τα εξερχόμενα(first in, first out inventory)** που απαιτείται για κάποια προϊόντα
- 7)Εγκατάσταση καταψύκτη ισχυρού ρεύματος αέρα ή και ξεχωριστό χώρο δριμείας καταψύξεως για τη απομόνωση των υπό κατάψυξη προϊόντων
- 8)Χώρος ψύξης ή πολλαπλών χρήσεων
- 9)Χώρος για μεσιτικά γραφεία
- 10)Χώρος για αποθήκευση άδειων παλετών αλλά και για επιδιόρθωση
- 11)Χώρος για εργαστήρια και φόρτιση μπαταριών
- 12)Αυτόματοι ψεκαστήρες σε συμφωνία με την εγχώρια νομοθεσία για θέματα της πυροπροστασίας
- 13)Χώρος διαλείμματος για οδηγούς οχημάτων ψυγείων και εργατικού προσωπικού εντός του ψυκτικού συγκροτήματος
- 14)Σταθμοί βαλβίδων για ενδοδαπέδια θέρμανση
- 15)Τοποθεσία για εγκατάσταση του συμπυκνωτή

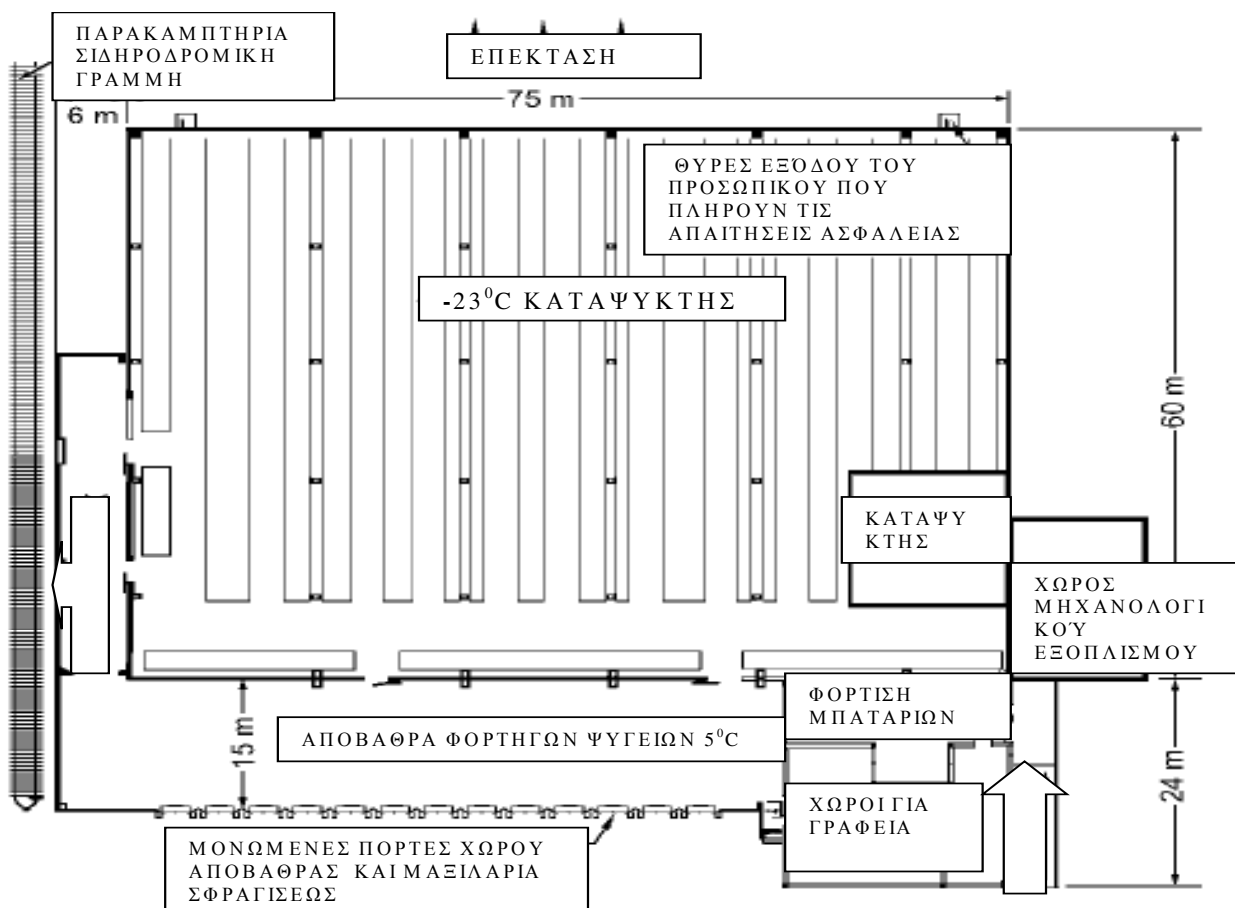
Άλλες περιοχές του συγκροτήματος ψύξης που πρέπει να είναι πλήρως λειτουργικές είναι

- 16) Περιοχή ηλεκτρικής ενέργειας
- 17) Γραφεία οργάνωσης της αποστολής προϊόντων
- 18) Γραφεία διεύθυνσης
- 19) Εγκαταστάσεις κοινωνικής πρόνοιας του προσωπικού

Μια τροποποιημένη μονώροφη σχεδίαση χρησιμοποιείται κάποιες φορές για να μειωθούν οι οριζόντιες αποστάσεις κινήσεως και τα κόστη γής. Τέτοια εναλλακτική αποτελεί η ιδέα τοποθέτησης των μη παραγωγικών υπηρεσιών (γραφεία, χώροι αποθήκευσης μηχανολογικού εξοπλισμού) σε ένα δεύτερο επίπεδο ορόφου, συνήθως πάνω από το χώρο στάθμευσης των αυτοκινήτων ψυγείων για φόρτωση-εκφόρτωση ώστε να επιτρέπεται η πλήρης αξιοποίηση του δαπέδου για παραγωγική εργασία και ψυχρή αποθήκευση. Όμως πιθανές δονήσεις από τη λειτουργία του μηχανολογικού εξοπλισμού στο κάτω επίπεδο πρέπει να μελετηθούν.

Η μονώροφη σχεδίαση λοιπόν είτε συνήθης είτε τροποποιημένη παρέχει τη μέγιστη χωρητικότητα αξιοποίησης του συγκροτήματος ανά μονάδα επένδυσης με ελάχιστο συνολικά επίπεδο λειτουργικών εξόδων συμπεριλαμβανομένης της απόσβεσης της επένδυσης, της ψύξης και της μισθοδοσίας προσωπικού. Το επίπεδο μηχανοποίησης πρέπει να εξεταστεί επίσης. Σε περιοχές όπου η διαθεσιμότητα γης ή το κόστος είναι πρόβλημα ένα μεγάλο ύψους συγκρότημα για ψυχρή αποθήκευση ίσως είναι μια βιώσιμη λύση. Σχεδιάσεις που προσφέρουν ελάχιστα συνολικά κόστη περιορίζουν τις γραφειακές εγκαταστάσεις και τους χώρους βοηθητικής χρήσεως στο ελάχιστο.

Επιπλέον περιλαμβάνουν άφθονο χώρο αποβάθρων για τη στάθμευση οχημάτων ψυγείων ώστε να διασφαλίζεται η αποδοτική φόρτωση και εκφόρτωση των αγαθών



Σχήμα 1 Συνήθης Σχεδίαση ενός Μονώροφου Ψυκτικού Συγκροτήματος

ΑΠΟΒΑΘΡΕΣ ΑΠΟΣΤΟΛΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΛΑΒΗΣ ΕΜΠΟΡΕΥΜΑΤΩΝ

Οι κανονισμοί ελέγχου της θερμοκρασίας για όλα τα βήματα διακίνησης των προϊόντων έχουν οδηγήσει στη σχεδίαση της αποβάθρας των αυτοκινήτων ψυγείων ως ένα προθάλαμο ψύξεως προ του κύριου θαλάμου ψυχρής αποθήκευσης. Η υπό ψύξη αποβάθρα λοιπόν είναι μια απόλυτη αναγκαιότητα για τις περιοχές θερμών και υγρών κλιμάτων. Συνήθως η φόρτωση και εκφόρτωση των μεταφορικών οχημάτων ψυγείων αναλαμβάνεται από ξεχωριστές ομάδες εργασίας. Μια ομάδα μετακινεί τα προϊόντα εντός και εκτός των οχημάτων ψυγείων και μια άλλη ομάδα εργασίας του ψυκτικού θαλάμου μεταφέρει τα προϊόντα εντός και εκτός της ψυχρής αποθήκευσης. Πάντως αυτή η διαδικασία μπορεί να επιτρέπει τη συσσώρευση των εμπορευμάτων στο χώρο στάθμευσης των οχημάτων ψυγείων. Η διατήρηση της αποβάθρας σε θερμοκρασία μεταξύ 2 ως 7⁰C προσφέρει τα ακόλουθα πλεονεκτήματα

- 1) Τα ψυκτικά φορτία που πρέπει να καλυφθούν στο χαμηλής θερμοκρασίας θάλαμο αποθήκευσης, όπου οι ενεργειακές απαιτήσεις ψυκτικής ισχύος ανα μονάδα χώρου είναι μεγαλύτερες, μειώνονται
- 2) Λιγότερος πάγος ή παγετός σχηματίζεται στο χαμηλής θερμοκρασίας θάλαμο ψυχρής αποθήκευσης εξαιτίας μικρότερης διείσδυσης υγρού και θερμού αέρα στο χώρο.
- 3) Τα υπό ψύξη προϊόντα που παραμένουν για ορισμένο χρονικό διάστημα στην αποβάθρα και πριν την εισαγωγή τους στο ψυκτικό θάλαμο διατηρούν πιο ευνοϊκή θερμοκρασία και έτσι διατηρείται η ποιότητάς τους σε υψηλό επίπεδο.
- 4) Η συσκευασία των προϊόντων διατηρείται σε καλή κατάσταση επειδή παραμένει στεγνότερη. Επίσης το προσωπικό του ψυκτικού συγκροτήματος εργάζεται με μεγαλύτερη άνεση λόγω των μικρότερων θερμοκρασιακών διαφορών (μεταξύ της αποβάθρας και του ψυκτικού θαλάμου).
- 5) Απαιτείται λιγότερη συντήρηση σε περνοφόρα οχήματα και άλλο μηχανολογικό εξοπλισμό καθώς η συμπίκνωση μειώνεται
- 6) Η ανάγκη για επιπρόσθετους προθαλάμους προ του χώρου καταψύξεως μειώνεται ή και μηδενίζεται
- 7) Οι επιφάνειες των δαπέδων παραμένουν ξηρές ειδικότερα μπροστά από περιοχές θυρών καταψύκτη. Αυτό βοηθά στη οικονομία του χώρου και βελτιώνει τη ασφάλεια.

ΧΩΡΟΙ ΒΟΗΘΗΤΙΚΗΣ ΧΡΗΣΕΩΣ

Χώροι για γενικά γραφεία, αποδυτήρια και για αποθήκευση του μηχανολογικού εξοπλισμού είναι απαραίτητοι. Το γραφείο του διευθυντή και ένα γραφείο για τη τοποθέτηση αρχείων των χώρων αποθήκευσης του ψυκτικού συγκροτήματος πρέπει να είναι κοντά στο κέντρο των εργασιών και επιπλέον το γραφείο του υπεύθυνου ελέγχου πρέπει να βρίσκεται σε οπτική επαφή με την αποβάθρα και τη γενικότερη διάταξη της εκεί κίνησης του προσωπικού. Οι χώροι για ενοικίαση πρέπει να είναι απομονωμένοι από τις εργασίες ψυχρής αποθήκευσης

Το δωμάτιο αποθήκευσης του μηχανολογικού εξοπλισμού πρέπει να διαθέτει επαρκή χώρο για τον εξοπλισμό ψύξεως και συντήρησης του, επαρκή εξαερισμό, εφεδρική ικανότητα ισχύος για εξαερισμό έκτακτων συνθηκών και αρκετή απομόνωση από τις υπόλοιπες περιοχές. Ένα εργαστήριο συντήρησης και ιδιαίτερος χώρος για τη τοποθέτηση, φόρτιση και συντήρηση ή επισκευή εξοπλισμού διακίνησης αγαθών του θαλάμου πρέπει να βρίσκεται σε χώρο διπλανό από το δωμάτιο αποθήκευσης του μηχανολογικού εξοπλισμού. Ηλεκτρικής ισχύος εξοπλισμός διακίνησης προϊόντων χρησιμοποιείται για να μηδενίσει τους ενδογενείς κινδύνους ασφάλειας έναντι του εξοπλισμού ισχύος τύπου εσωτερικής καύσης .

Οι περιοχές φόρτισης των μπαταριών για τη λειτουργία τμήματος του εξοπλισμού διακίνησης προϊόντων πρέπει να σχεδιάζονται με υψηλές οροφές και να υπάρχει εξαερισμός λόγω της πιθανότητας καύσιμων αναθυμιάσεων κατά τη φόρτιση.

ΣΥΓΚΡΟΤΗΜΑΤΑ ΨΥΧΡΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΕΙΔΙΚΟΥ ΤΥΠΟΥ

Οι μέθοδοι διακίνησης προϊόντων και οι προϋποθέσεις ψυχρής αποθήκευσης συχνά καθορίζουν τη σχεδίαση των ειδικών ψυκτικών συγκροτημάτων. Αυτοματοποιημένη διακίνηση προϊόντων στο ψυκτικό θάλαμο ειδικά για **μεγάλου ύψους στοίβαγμα των προϊόντων (high stack piling)** μπορεί να είναι αναπόσπαστο τμήμα της κατασκευής ή να απαιτεί ειδικές δομικές παρεμβάσεις. Θάλαμοι ελεγχόμενης ατμόσφαιρας απαιτούν ειδική κατασκευαστική σχεδίαση, ειδικό μηχανολογικό εξοπλισμό ώστε να επιτύχουν τις προϋποθέσεις της αρχικής σχεδίασης. Τα συστήματα σχαρών **drive-in** και/ή **drive-through** βελτιώνουν το έλεγχο της απογραφής των προϊόντων και μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε συνδυασμό με γερανούς στοίβαγματος των προϊόντων, ειδικούς γερανούς για στενούς διαδρόμους χώρων και δυνατότητα μεταφοράς σε αρκετό ύψος καθώς και αυτόματους μεταφορείς. Κινητά συστήματα σχαρών μπορούν επίσης να εξεταστούν όπου υπάρχει έλλειψη χώρου.

Γενικά τα ειδικά ψυκτικά συγκροτήματα μπορούν να ταξινομηθούν όπως παρακάτω

- 1) Δημόσια ψυκτικά συγκροτήματα με αρκετούς θαλάμους σχεδιασμένα ώστε να αναλαμβάνουν τη συντήρηση όλων των προϊόντων. Οι θερμοκρασίες συντήρησης στη ψυχρή αποθήκευση κυμαίνονται από 1.5 έως 15⁰C (με έλεγχο της σχετικής υγρασίας) και έως -29⁰C (χωρίς έλεγχο της σχετικής υγρασίας)
- 2) Ψυκτικό συγκρότημα με περιοχή για διαχωρισμό και διανομή κιβωτίων διαδικασία αυτοματοποιημένη με διαφορετικούς βαθμούς. Η περιοχή μπορεί να συμπεριλαμβάνει σχάρες με χώρο παλετών ώστε να διευκολύνεται η διανομή των προϊόντων
- 3) Συγκρότημα σχεδιασμένο να λειτουργεί για επεξεργασμένα αγαθά με αποθήκευση των κατεψυγμένων τροφίμων στους αρχικούς μεγάλους χώρους στοίβαγματος που εισήλθαν και αποθήκευση σε σχάρες για παλεταρισμένη εκφόρτωση επεξεργασμένων εμπορευμάτων. Μια συνηθισμένη αποτελεσματική προσαρμογή των παραπάνω είναι να γειτονεύουν το ψυκτικό συγκρότημα με τη μονάδα επεξεργασίας.
- 4) Δημόσια ψυκτικά συγκροτήματα που εξυπηρετούν αρκετές μονάδες παραγωγής προϊόντων για ψυχρή αποθήκευση και απογραφή των προϊόντων σε μερίδες καθώς και για συναρμολογημένες εκφορτώσεις
- 5) Μηχανοποιημένα ψυκτικά συγκροτήματα, με γερανούς στοίβαγματος προϊόντων, σχάρες, μεταφορείς εισαγωγής και εξαγωγής του θαλάμου καθώς και μεταφορείς του προθαλάμου. Ένα τέτοιο συγκρότημα μπορεί να έχει εσωτερική οροφή από 18 ως και 30m ύψος. Οι ατμοποιητές της ψυκτικής εγκατάστασης του πρέπει να τοποθετηθούν στη υψηλότερη εσωτερική περιοχή ώστε να βοηθήσουν στη αφαίρεση της υγρασίας λόγω της ανεπιθύμητης διείδυσης του εξωτερικού αέρα. Ένας τέτοιος κατάλληλα διαμορφωμένος **χώρος πάνω από τη οροφή εσωτερικός του ψυκτικού συγκροτήματος όμως που θα στεγάσει τους ατμοποιητές (penthouse)**, μπορεί να προσεγγιστεί μέσω πόρτας στη οροφή για συντήρηση, παρέχοντας ένα τρόπο ελέγχου του σταγόνων των συμπυκνωμάτων αλλά και επιτρέποντας πρόσθετο χώρο για αποθήκευση με σχάρες στοίβαγματος στο εσωτερικό του θαλάμου του καταψύκτη.

ΨΥΚΤΙΚΟΙ ΘΑΛΑΜΟΙ ΕΛΕΓΧΟΜΕΝΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ(CA)

Οι ελεγχόμενης ατμόσφαιρας (CA) θάλαμοι ψυχρής αποθήκευσης μπορεί να είναι απαραίτητοι για τη αποθήκευση κάποιων προϊόντων, ειδικότερα φρέσκων φρούτων και λαχανικών που αναπνέουν, καταναλώνοντας το μοριακό O₂ και παράγοντας διοξείδιο του άνθρακα CO₂ κατά τη διαδικασία αυτή. Η διάρκεια ζωής στο ψυκτικό θάλαμο τέτοιων προϊόντων μπορεί να επιμηκυνθεί σημαντικά από τη διαμόρφωση ενός κατάλληλου περιβάλλοντος ελεγχόμενων συνθηκών που περιλαμβάνει έλεγχο της θερμοκρασίας, της σχετικής υγρασίας και της συγκέντρωσης μη συμπυκνούμενων αερίων όπως τα O₂, CO₂ και N₂. Η ερμητική σφράγιση στους χώρους της ψυχρής αποθήκευσης ώστε να δημιουργηθεί μια τέτοιου είδους ατμόσφαιρα όπως ειπώθηκε παραπάνω είναι μια αρκετά απαιτητική διαδικασία προϋποθέτοντας συχνά ειδικούς φραγμούς αερίων. Αν και πληροφορίες είναι διαθέσιμες για κάποια προϊόντα οι επιθυμητές συνθήκες ατμόσφαιρας συνήθως πρέπει να προσδιορίζονται πειραματικά για το υπό αποθήκευση προϊόν όπως παράγονται στη συγκεκριμένη γεωγραφική θέση που ο θάλαμος πρόκειται να λειτουργήσει.

Εμπορικές εφαρμογές για τη ελεγχόμενης ατμόσφαιρας ψυχρή αποθήκευση είναι ιστορικά περιορισμένες για τα φρέσκα φρούτα και λαχανικά που 'αναπνέουν'.

Οι χώροι αποθήκευσης μπορούν να ταξινομηθούν ως να έχουν

- 1) είτε παραγόμενη ατμόσφαιρα εκ των προϊόντων που αποθηκεύονται στο χώρο, όπου ο θάλαμος είναι επαρκώς σφραγισμένος ώστε η κατανάλωση ατμοσφαιρικού οξυγόνου O₂ και η έκλυση διοξειδίου του άνθρακα CO₂ από το φρούτο να ισορροπεί τη διείσδυση του O₂ στο χώρο και τη εξαγωγή του CO₂ από το χώρο
- 2) είτε παραγόμενη ατμόσφαιρα με εξωτερική παρέμβαση όπου οι διατάξεις της παραγωγής (έγχυσης) μοριακού αζώτου N₂, οι ξηροί προσροφητές CO₂ ή οι συσκευές κατανάλωσης O₂ συμπληρώνουν τη φυσιολογική αναπνοή του φρούτου με σκοπό να δημιουργήσει τη επιθυμητή ατμοσφαιρική σύσταση.

Αυτό το δεύτερο σύστημα παραγωγής ατμόσφαιρας μπορεί να αντιμετωπίσει και ένα ανεπαρκώς σφραγισμένο θάλαμο αλλά έτσι μπορεί να προκύπτει υψηλό κόστος για τη λειτουργία του χώρου αποθήκευσης. Πάντως ακόμη και με σύστημα εξωτερικής παραγωγής αερίων ένας ερμητικά σφραγισμένος χώρος ψυχρής αποθήκευσης είναι πάντοτε επιθυμητός.

Στις περισσότερες περιπτώσεις απαιτείται ένας προσροφητής CO₂ εκτός εάν η συνολική επιθυμητή σύσταση του O₂ και CO₂ είναι 21% που είναι η φυσιολογική ισορροπία μεταξύ των O₂ και CO₂ κατά τη διάρκεια της αναπνοής. Το διοξείδιο του άνθρακα μπορεί να αφαιρεθεί με ένα από τους παρακάτω τρόπους (1) πέρασμα του αέρα του θαλάμου πάνω από ξηρό ασβέστη ο οποίος ανανεώνεται σε τακτά χρονικά διαστήματα (2) πέρασμα του αέρα διαμέσου υγρών καυστικών διαλυμάτων όπου η καυστική ένωση (συνήθως το υδροξείδιο του νατρίου NaOH) ανανεώνεται σε τακτά χρονικά διαστήματα (3) χρησιμοποίηση προσροφητών νερού, στους οποίους το CO₂ απορροφάται από τον αέρα του χώρου που βρίσκεται μέσω ψεκασμού νερού και κατόπιν εκροφάται από το νερό αυτό μέσω περάσματος εξωτερικού αέρα διαμέσου του νερού σε χώρο ξεχωριστό του ψυκτικού θαλάμου (4) η χρήση των προσροφητών μονοαιθανολαμίνης στους οποίους το διάλυμα αναγεννάται σε τακτά χρονικά διαστήματα μέσω μιας χειροκίνητης διαδικασίας ή και συνεχώς μέσω ενός αυτόματου εξοπλισμού. (5) χρησιμοποίηση ξηρών προσροφητών που αναγεννώνται αυτόματα σε μια κυκλική βάση.

Συστήματα σφράγισης των θαλάμων σε ένα ψυκτικό συγκρότημα για τη παρεμπόδιση διείσδυσης εξωτερικού αέρα είναι τα παρακάτω (1) γαλβανισμένη εσωτερική επένδυση από χάλυβα στους τοίχους και στην οροφή του ψυκτικού θαλάμου και σύνδεση αυτών με το σύστημα σφράγισης του δαπέδου (2) φύλλα ξύλου (plywood) με

ένα αδιαπέραστο σύστημα σφραγίσεως εφαρμοζόμενο στη εσωτερική πλευρά (3) προσεκτικά εφαρμοζόμενος ψεκάσμος ουρεθάνης ολοκληρωμένος με υδατοστεγές πληρωτικό και σφραγιστικό υλικό(mastic) που επίσης δρα και ως πυρίμαχο υλικό. Ένας θάλαμος ψύξης θεωρείται γενικά επαρκώς σφραγισμένος εάν, υπό ομοιόμορφες θερμοκρασιακές και βαρομετρικές συνθήκες, 1h αφού ο θάλαμος έχει συμπιεστεί στη πίεση των 250Pa(με μέτρηση), 25 έως και 50Pa παραμένουν εντός του χώρου. Επίσης ένας θάλαμος στο οποίο η παραγωγή των αερίων έχει γίνει με εξωτερική παρέμβαση θεωρείται ικανοποιητικά σφραγισμένος εάν χάσει πίεση με διπλάσιο από το παραπάνω ρυθμό και το κριτήριο που ορίζεται για το θάλαμο στο οποίο οι ατμοσφαιρικές συνθήκες παράγονται εκ των προϊόντων είναι περίπου μια εναλλαγή αέρα για άδειο χώρο ανά περίοδο 30 ημερών.

Μέγιστη προσοχή σε όλες τις λεπτομέρειες της κατασκευής απαιτείται ώστε να εφαρμοστεί ένα είδος σφράγισης που να ‘περνά’ με επιτυχία τα παραπάνω ‘τέστ’. Οι πόρτες στο θάλαμο πρέπει να είναι καλά σφραγισμένες και να διαθέτουν κατώφλι στη βάση που να μπορεί να βιδωθεί καλά κάτω(sills that can be bolted down). Οι ηλεκτρικοί αγωγοί για προστασία των καλωδίων και ειδικά σφραγιστικά υλικά γύρω από τις σωληνώσεις πρέπει να επιτρέπουν κάποια κινητικότητα ενώ παράλληλα να διατηρείται η υπόλοιπη ερμητική σφράγιση άθικτη. Δομικές παρεμβάσεις διαμέσου της σφραγίσεως πρέπει να αποφεύγονται και η κατασκευή πρέπει να είναι σταθερή. Θάλαμοι αποθήκευσης ελεγχόμενης ατμόσφαιρας (CA) σε πολυώροφα ψυκτικά συγκροτήματα όπου η κατασκευή αποκλίνει σημαντικά λόγω των φορτίσεων είναι εξαιρετικά δύσκολο να σφραγιστούν.

Υλικό στεγανοποίησης(gasket seals) συνήθως εφαρμόζεται στη ψυχρή(εσωτερική) πλευρά της μόνωσης ώστε να μπορεί εύκολα να συντηρείται και σημεία διαρροής να ανιχνεύονται. Όμως η τοποθέτηση αυτή προκαλεί κάποια παγίδευση υγρασίας και τα μονωτικά υλικά πρέπει να επιλεγούν προσεκτικά ώστε αυτή η υγρασία να προκαλέσει τη ελάχιστη δυνατή βλάβη στη κατασκευή. Σε κάποιες εγκαταστάσεις ψυχρός αέρας με ένα σημείο δρόσου χαμηλότερο της εσωτερικής θερμοκρασίας της επιφάνειας των προϊόντων οδηγείται για κυκλοφορία στο χώρο μεταξύ φραγμού των αερίων και της μόνωσης για την αφύγρανση της περιοχής αυτής.

ΑΥΤΟΜΑΤΟΠΟΙΗΜΕΝΟΙ ΧΩΡΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ

Οι αυτοματοποιημένοι χώροι αποθήκευσης συνήθως περιέχουν υψηλή και σταθερή διάταξη στοιβάγματος σχαρών με γερανούς στοιβάγματος των προϊόντων υπό πλήρη αυτόματο, ημιαυτόματο ή και χειροκίνητο έλεγχο. Τα συστήματα ελέγχου μπορεί να είναι συνδεδεμένα με ένα σύστημα ηλεκτρονικού υπολογιστή ώστε να διατηρεί μια πλήρη απογραφή προϊόντων και θέσεων. Τα παρακάτω αποτελούν κάποια από τα πλεονεκτήματα του αυτοματισμού στους παραπάνω χώρους

- 1)Ο τρόπος καταγραφής προϊόντων στο θάλαμο πρώτα τα εισερχόμενα και μετά τα εξερχόμενα(first-in first-out) μπορεί να διατηρηθεί
- 2)Η περικλειστη κατασκευή είναι μεγάλου ύψους απαιτώντας ένα ελάχιστο εμβαδόν δαπέδου και παρέχοντας ένα ευνοϊκό κόστος ανά m³
- 3)Ζημιές στα προϊόντα και μικροκλοπές ελαχιστοποιούνται
- 4)Τα άμεσα κόστη διακίνησης των προϊόντων ελαχιστοποιούνται

Πάντως κάποια από τα μειονεκτήματα του αυτοματισμού είναι

- 1)Τα αρχικά κόστη εγκατάστασης του συστήματος σχαρών και της κατασκευής γενικότερα είναι πολύ υψηλά συγκρινόμενα με εκείνα των συμβατικών σχεδίων
- 2)Η πρόσβαση μπορεί να είναι χρονοβόρα ανάλογα με τη ροή προϊόντων αλλά και των θέσεων αυτών

- 3)Ο εξοπλισμός παραγωγής ψύξης ίσως προσεγγίζεται δυσκολότερα για συντήρηση εκτός εάν εγκατασταθεί σε εσωτερικό χώρο -πάνω από τη οροφή- του ψυκτικού θαλάμου αλλά εντός του ψυκτικού συγκροτήματος(penthouse)
- 4)Η διανομή της κυκλοφορίας του αέρα πρέπει να εκτιμηθεί με προσοχή

ΘΑΛΑΜΟΙ ΨΥΧΡΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ

Οι ψυκτικοί θάλαμοι μπορεί να είναι κατάλληλοι για μακροχρόνια αποθήκευση κάποιων προϊόντων σε θερμοκρασίες συντήρησης διαφορετικές από εκείνη που ορίζει το κύριο συγκρότημα, για ψυχρή αποθήκευση σε ξεχωριστούς μικρότερους χώρους σε σχέση με τους αρχικούς, για αποθήκευση ελεγχόμενης ατμόσφαιρας(CA), ή για προϊόντα που αλλοιώνονται με ενεργή κίνηση του αέρα. Μηχανικά ψυχόμενοι τοίχοι, δάπεδα και οροφές μπορεί να αποτελούν οικονομικές επιλογές για το έλεγχο της θερμοκρασίας. Ενσωματωμένες σωληνώσεις ή ειδικοί χώροι διαμέσου των οποίων ο ψυχρός αέρας επανακυκλοφορεί μπορούν να προσφέρουν την απαραίτητη ψύξη. Τα ακόλουθα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά τη αρχική σχεδίαση ενός ψυκτικού θαλάμου

- 1)Αρχική πρόψυξη του προϊόντος, που μπορεί να απαιτεί το μεγαλύτερο τμήμα της ψυκτικής ισχύος από τη ψυκτική εγκατάσταση για βραχύ χρονικό διάστημα
- 2)Ψυκτικά φορτία 'εσωτερικής λειτουργίας' λόγω της παρουσίας προσωπικού στο θάλαμο κατά τη αποθήκευση και αφαίρεση προϊόντων
- 3)Μόλυνση δυσάρεστων οσμών σε όλο το θάλαμο από ορισμένα προϊόντα τα οποία αλλοιώνονται μετά από μακρά περίοδο αποθήκευσης
- 4)Θερμότητα αναπνοής των προϊόντων(προς απαγωγή)

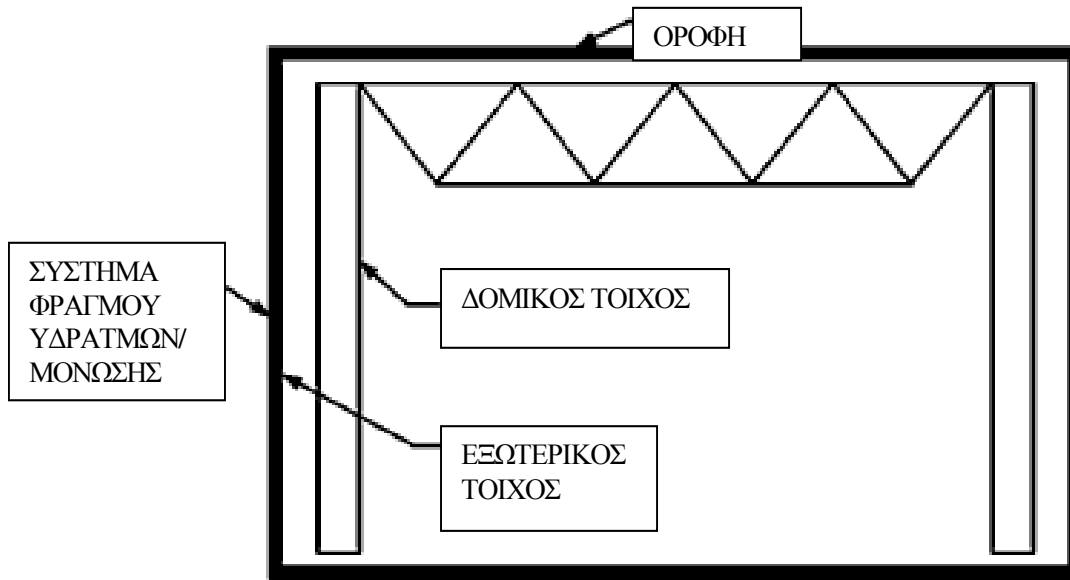
Πρόσθετες μονάδες ψύξεως ή κλιματισμού στο ψυκτικό θάλαμο που να εργάζονται μόνο όταν απαιτείται μπορούν συνήθως να μετριάσουν τέτοια προβλήματα.

ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΨΥΚΤΙΚΩΝ ΘΑΛΑΜΩΝ

Ο θάλαμος ψυχρής αποθήκευσης, περισσότερο από κάθε άλλη κατασκευή, απαιτεί σωστή σχεδίαση, υψηλής ποιότητας υλικά, καλή τεχνική ικανότητα του εργατικού προσωπικού και αυστηρή επίβλεψη. Ο γενικός σχεδιασμός πρέπει να διασφαλίζει ότι η κατάλληλη εγκατάσταση μπορεί να υλοποιηθεί υπό διάφορες αντίξοες συνθήκες στο χώρο της εργασίας. Τα υλικά κατασκευής πρέπει να είναι συμβατά το ένα με το άλλο. Η εγκατάσταση του ψυκτικού θαλάμου πρέπει να πραγματοποιηθεί από προσεκτικούς εργατοτεχνίτες καθοδηγούμενους από έναν έμπειρο καλά εκπαιδευμένο εργοδηγό. Η στενή συνεργασία μεταξύ των εργολάβων γενικών έργων, στέγης, μόνωσης και των άλλων τμημάτων της κατασκευής αυξάνουν τη πιθανότητα μιας πετυχημένης εγκατάστασης ψυκτικού θαλάμου.

Οι μέθοδοι που εφαρμόζονται για το σχηματισμό περικλειστης κατασκευής μπορούν να ταξινομηθούν όπως παρακάτω

- 1)Δομικά πάνελς μόνωσης(**Structural Insulated Panels**)
 - 2)Μηχανικά εφαρμοζόμενη μόνωση
 - 3)Συστήματα συγκόλλησης ή συστήματα τοποθέτησης δια ψεκασμού πολυουρεθάνης
- Αυτές οι τεχνικές κατασκευής σφραγίζουν τη μόνωση εντός ενός αεροστεγούς και υδατοστεγούς κελύφους που δεν πρέπει να παραβιαστεί από τα κύρια δομικά συστατικά στοιχεία της κατασκευής.

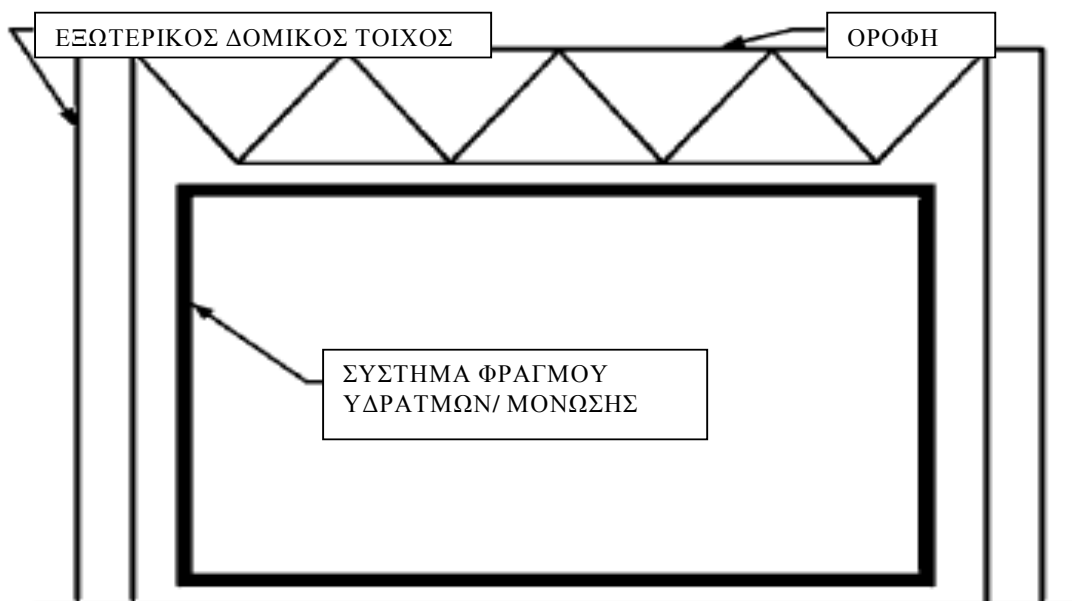


Σχήμα 2 Πλήρως Εξωτερικό Σύστημα Φραγμού Υδρατμών/ Μόνωσης

Τρεις μέθοδοι χρησιμοποιούνται για να επιτύχουμε ένα συμπαγές κέλυφος φραγμού υδρατμών/μονώσεως.

Η πρώτη και απλούστερη περιλαμβάνει τη πλήρη εγκόλπωση του συστήματος δομής από ένα **εξωτερικό σύστημα φραγμού υδρατμών/μονώσεως** κάτω από το δάπεδο, πάνω στη εξωτερική πλευρά των τοίχων και πάνω από το χώρο της στέγης(βλ. σχήμα 2). Η μέθοδος αυτή προσφέρει το μικρότερο αριθμό διεισδύσεων διαμέσου του φραγμού υδρατμών καθώς και το χαμηλότερο κόστος τοποθέτησης.

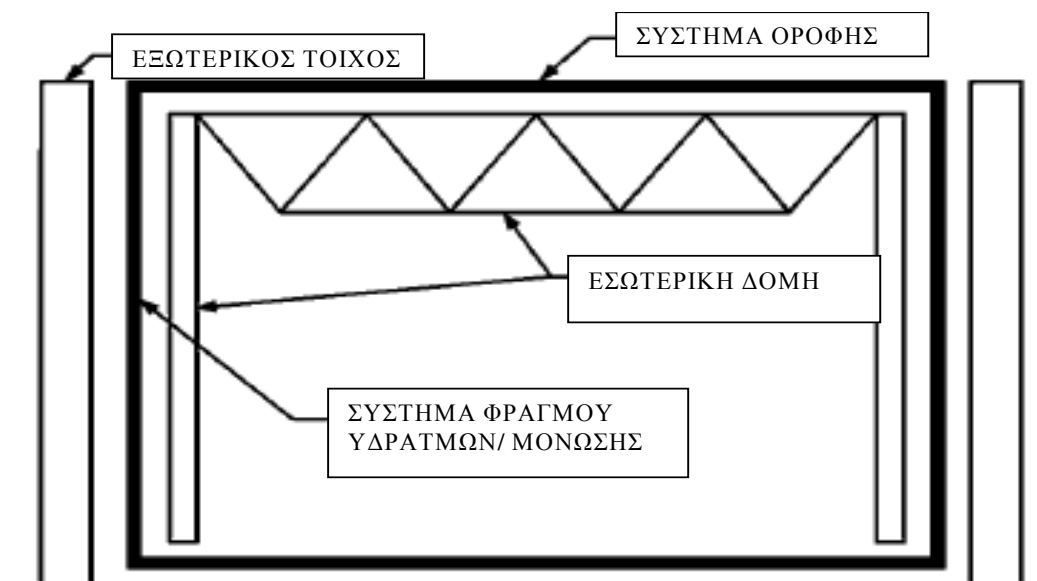
Η δεύτερη μέθοδος είναι ένα **εντελώς εσωτερικό σύστημα** όπου το κέλυφος του φραγμού υδρατμών τοποθετείται εντός του θαλάμου και η μόνωση προστίθεται στους τοίχους, δάπεδα και ψευδοροφή από τη εσωτερική πλευρά(βλ.σχήμα 3). Όπως με το εξωτερικό σύστημα που αναφέρθηκε ο φραγμός υγρασίας τοποθετείται για βέλτιστη απόδοση στη εξωτερική πλευρά της περικλειστης κατασκευής.Αυτή η τεχνική λοιπόν χρησιμοποιείται όπου τοίχοι και οροφές πρέπει να πλένονται, όπου μια υπάρχουσα κατασκευή μετατρέπεται σε χώρο ψύξεως ή για μικρότερους χώρους που βρίσκονται εντός μεγαλύτερων ψυκτών ή εντός μη ψυκτικών συγκροτημάτων ή ακόμα και ως τμήματα ενός συγκροτήματος επεξεργασίας τροφίμων. Χώροι ψυχρής αποθήκευσης ‘ειδικού σκοπού’ χρειάζονται ξεχωριστή μελέτη για να προσδιοριστεί η κατάλληλη τοποθέτηση του φραγμού υγρασίας.



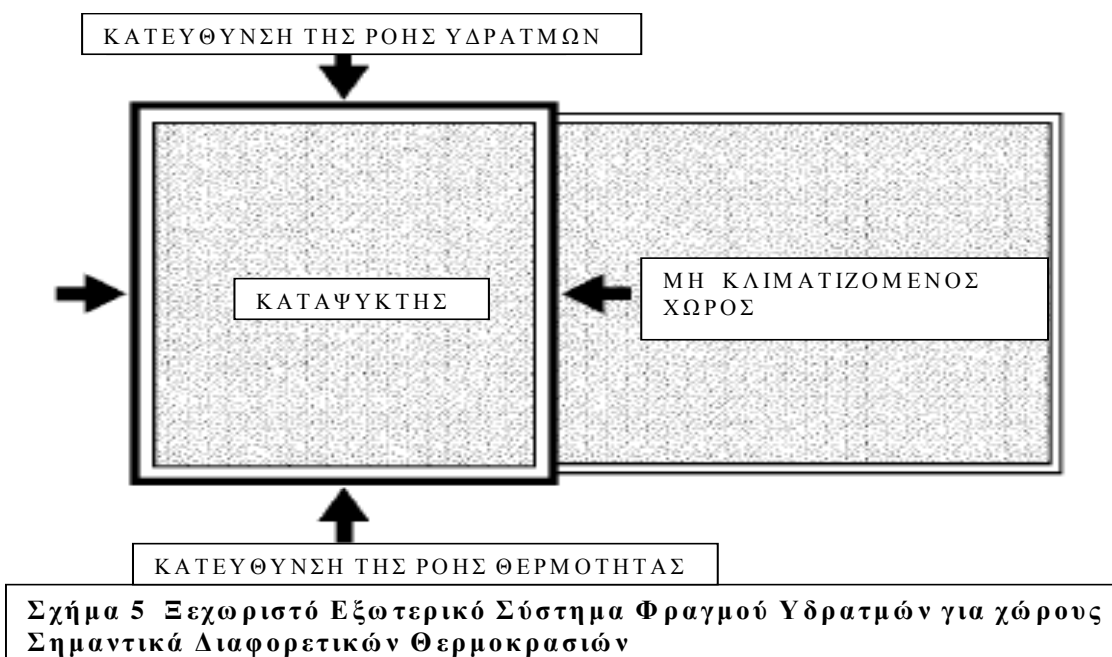
Σχήμα 3 Πλήρως Εσωτερικό Σύστημα Φραγμού Υδρατμών /Μόνωσης

Η τρίτη μέθοδος είναι **εσωτερικό /εξωτερικό σύστημα** στη κατασκευή(βλ. σχήμα 4), που περιλαμβάνει εξωτερική τοιχοποιία υψηλής μάζας (για τους τοίχους) ή παρόμοιο υλικό που να είναι συνδεδεμένη με το εσωτερικό σύστημα δομής. Επαρκής χώρος επιτρέπει στο σύστημα φραγμού υδρατμών / μόνωσης να εμφανίζεται πάνω από το χώρο της οροφής και να ενσωματώνεται στο σύστημα της στέγης που λειτουργεί ως φραγμός υδρατμών πλέον. Η μέθοδος αυτή αποτελεί μια βιώσιμη εναλλακτική παρά το γεγονός ότι έχουμε περισσότερες διεισδύσεις δια του φραγμού υδρατμών από ότι στο πλήρως εξωτερικό σύστημα.

Το πλήρως εξωτερικό σύστημα φραγμού υδρατμών(βλ.σχήμα 2) είναι το καλύτερο επειδή έχει συγκριτικά τις λιγότερες διεισδύσεις και το χαμηλότερο κόστος. Περιοχές ευρείας διακύμανσης θερμοκρασιών πρέπει να χωρίζονται σε ξεχωριστά κελύφη ώστε να παρεμποδίζεται η ροή θερμότητας και υγρασίας μεταξύ τους(βλ. σχήμα 5).



Σχήμα 4 Εσωτερικό/ Εξωτερικό Σύστημα Φραγμού Υδρατμών/ Μόνωσης



Σχήμα 5 Ξεχωριστό Εξωτερικό Σύστημα Φραγμού Υδρατμών για χώρους Σημαντικά Διαφορετικών Θερμοκρασιών

ΧΩΡΟΙ ΠΑΡΑΚΕΙΜΕΝΟΙ ΣΤΟ ΚΕΛΥΦΟΣ ΤΟΥ ΨΥΚΤΙΚΟΥ ΘΑΛΑΜΟΥ

Η συμπίκνωση στο κέλυφος συνήθως προκαλείται λόγω της υψηλής υγρασίας και του ανεπαρκούς συστήματος εξαερισμού. Κακή κυκλοφορία του αέρα συμβαίνει τις πιο πολλές φορές εντός 'νεκρών' ζωνών αέρα όπως ο κενός χώρος της ψευδοροφής, τμήματα κοίλης τοιχοποιίας ή κοιλότητες στις δοκούς κατασκευής. Όλοι οι κλειστοί χώροι κυκλοφορίας αέρα πρέπει να εξαλειφθούν εκτός από εκείνους που είναι αρκετά μεγάλοι ώστε να αερίζονται επαρκώς. Οι κενοί χώροι πάνω από τη ψευδοροφή για παράδειγμα παρουσιάζουν βέλτιστο εξαερισμό με μηχανικούς αγωγούς κυκλοφορίας του φρέσκου αέρα πάνω από τη επιφάνεια του κελύφους του θαλάμου ή μέσω της μηχανικής αφύγρανσης.

Εάν είναι εφικτό, η μόνωση του κελύφους και ο φραγμός υδρατμών δεν πρέπει να παραβιάζονται. Όλες οι χαλύβδινες δοκοί, οι κολώνες και οι μεγάλες σωληνώσεις που σχεδιάζονται διαμέσου της μόνωσης πρέπει να είναι σφραγισμένες έναντι διείσδυσης υδρατμών και μονωμένες με 1.2 m τυλίγματος μόνωσης. Οι αγωγοί κάλυψης των καλωδίων, οι μικρές σωληνώσεις και οι ράβδοι πρέπει να μονώνονται τέσσερις φορές το κανονικό πάχος μόνωσης του τοίχου. **Κοιλίες περιοχές σε μεταλλικές κατασκευές (voids within metal projections)** πρέπει να 'γεμίζονται'. Όπου μπορεί να εφαρμοστεί πρακτικά, η μόνωση με υλικό τυλίγματος πρέπει να τοποθετείται, πάνω στη θερμή εξωτερική πλευρά των τμημάτων που μονώνει. Τοποθέτηση τέλος φραγμού υδρατμών στη εσωτερική πλευρά των σωλήνων κάλυψης καλωδίων αποτρέπει τη ροή υγρασίας στο εσωτερικό τους.

Άλλα θέματα προς εξέταση είναι τα παρακάτω

- 1) Οι φραγμοί υδρατμών πρέπει να τοποθετούνται στη θερμή πλευρά των συστημάτων μόνωσης
- 2) Μεμβράνες στη σκεπή έναντι διείσδυσης υδρατμών συχνά χρησιμοποιούνται. Αυτά τα πολύ μεγάλα φύλλα καουτσούκ τοποθετούνται πάνω από τη μόνωση της στέγης επικαλυπτόμενα μεταξύ τους, σφραγισμένα και προσκολλημένα στη στέγη είτε με μη διαπερατούς συνδετήρες ή καλυμμένα με πυκνή διάταξη μικρών πετρών ανοικτού χρώματος κατά προτίμηση ώστε να ανακλάται η ηλιακή ακτινοβολία.

ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΑΕΡΑ/ΥΔΡΑΤΜΩΝ ΣΤΟΥΣ ΑΡΜΟΥΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

Η διαρροή αέρα και υδρατμών στους αρμούς τοίχων και οροφής είναι ίσως το κυρίαρχο κατασκευαστικό πρόβλημα στα συγκροτήματα ψυχρής αποθήκευσης. Όταν σε ένα ψυκτικό θάλαμο εσωτερικής/εξωτερικής σχεδίασης (σχήμα 4) μειώνεται η θερμοκρασία στη χαμηλή θερμοκρασία λειτουργίας δηλαδή συντήρησης, τα δομικά στοιχεία (χώρος σκεπής / μόνωση) συστέλλονται και μπορούν να ασκηθούν δυνάμεις απομάκρυνσης της στέγης από τους τοίχους. Η ύπαρξη αρνητικής πίεσης στο χώρο του αρμού μεταξύ τοίχων/οροφής μπορεί να επιτρέψει σε θερμό και υγρό αέρα να διαρρεύσει εντός του ψυκτικού θαλάμου με άμεση συνέπεια το σχηματισμό πάγου και γενικά παγετού μέσα στο χώρο. Για αυτό το λόγο η κατάλληλη σχεδίαση και κατασκευή σε αρμούς ενός στεγανοποιητικού και σφραγιστικού φραγμού έναντι αέρα/υδρατμών είναι κρίσιμη.

Η αντιμετώπιση της εισχώρησης αέρα/υδρατμών γίνεται με ένα **σύστημα μεταλλικών φύλλων** το οποίο τοποθετείται στη μεταβατική θέση φραγμού υδρατμών οροφής και φραγμού υδρατμών του εξωτερικού τοίχου (τοποθέτηση και από τις δύο πλευρές) Αυτό εμποδίζει τη διείσδυση υγρασίας (**flashing sheet system**) και είναι η καλύτερη λύση ώστε να αποτρέψουμε αυτή τη διαρροή. Ένα καλό γωνιακό σύστημα ειδικών μεταλλικών ελασμάτων πρέπει να είναι εύκαμπτο, ανθεκτικό, αεροστεγές και υδατοστεγές. Κατάλληλη χρήση εύκαμπτης μόνωσης σε σημεία αλληλοεπικάλυψης

των φύλλων και καλή σφράγιση με το συγκολλητικό **υδατοστεγές σφραγιστικό και πληρωτικό υλικό(mastic)** διασφαλίζουν τη χωρίς διαρροές απόδοση στη ευαίσθητη περιοχή των αρμών τοίχων-οροφής. Παράλληλα η διατήρηση ενός κατάλληλα κατασκευασμένου φραγμού υδρατμών ως αεροστεγής και υδατοστεγής προϋποθέτει: τα παρακάτω

- 1) Να είναι επαρκώς εύκαμπτος ώστε να αντέχει τη κινητικότητα της κατασκευής που μπορεί να συμβαίνει σε θερμοκρασίες λειτουργίας των ψυκτικών θαλάμων.
- 2) Να λαμβάνει υπόψη τη θερμική συστολή της μόνωσης καθώς η θερμοκρασία του θαλάμου υποχωρεί προς τη θερμοκρασία λειτουργίας
- 3) Να είναι κατασκευασμένος για ένα ελάχιστο αριθμό διεισδύσεων υγρού αέρα που ίσως προκαλέσουν διαρροή προς το θάλαμο
- 4) Να είναι τα γωνιακά μεταλλικά ελάσματα κατάλληλα τοποθετημένα, σφραγισμένα με κόλλα καθώς και μηχανικά συνδεδεμένα με το φραγμό υδρατμών του εξωτερικού τοίχου.
- 5) Να είναι τα γωνιακά μεταλλικά ελάσματα σφραγισμένα προς τη πλευρά της οροφής χωρίς ανοίγματα(διάκενα)

Η εσωτερική/εξωτερική σχεδίαση (βλ.σχήμα 4) είναι πιθανό να αποτύχει στο τμήμα του αρμού κατασκευής τοίχων και οροφής εξαιτίας της πολύ μεγάλης δυσκολίας στη διατήρηση ενός αεροστεγούς και υδατοστεγούς περιβάλλοντος

Οι πρακτικές οδηγίες που παρουσιάστηκαν για το αρμό τοίχων/οροφής εφαρμόζονται και για άλλους αρμούς μόνωσης. Ο κατασκευαστής και σχεδιαστής της μόνωσης πρέπει να συντονίσει τις λεπτομέρειες σχεδίασης των **γωνιακών ειδικών μεταλλικών φύλλων(corner flashing design)**.

Κακή σχεδίαση και φτηνής ποιότητας εγκατάσταση προκαλούν τη διαρροή του υγρού αέρα εντός του ψυκτικού συγκροτήματος με άμεσο επακόλουθο σχηματισμό πάγου και γενικότερα παγετού, την απώλεια ενέργειας, τη κακή εικόνα και εμφάνιση, την απώλεια χρήσιμου χώρου ψυχρής αποθήκευσης προϊόντων και τελικά επιδιορθώσεις υψηλού κόστους.

ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΔΑΠΕΔΟΥ

Τα ψυκτικά συγκροτήματα που εργάζονται πάνω από το σημείο στερεοποίησης των προϊόντων που συντηρούν, δεν χρειάζονται κάποια ενδοδαπέδια παρέμβαση. Όμως για ψυκτικά συγκροτήματα που λειτουργούν κάτω του σημείου στερεοποίησης των προϊόντων(ως καταψύκτες δηλαδή) ένας υπό του δαπέδου φραγμός υδρατμών είναι απαραίτητος. Χωρίς ενδοδαπέδια θέρμανση τα υπόγεια εδάφη τελικώς παγώνουν και οποιαδήποτε υγρασία στο έδαφος επίσης στερεοποιείται και ακόλουθα προκαλείται διαστολή (φούσκωμα) λόγω παγετού στο δάπεδο. Πάντως σε θερμότερα κλίματα περιοχών η εγκατάσταση ενδοδαπέδιου δικτύου σωληνώσεων με διέξοδους προς τον αέρα του περιβάλλοντος μπορεί να αποδειχθεί αρκετά ικανή ώστε να αποτρέψει τη παραπάνω διαστολή στο δάπεδο. Η τεχνητή θέρμανση είτε με κυκλοφορία αέρα διαμέσου ενδοδαπέδιου δικτύου αγωγών είτε με τη κυκλοφορία γλυκόλης διαμέσου πλαστικών σωλήνων είναι η λύση που προτιμάται για να εμποδίσουμε τη διαστολή εξαιτίας του παγετού. Καλώδια ηλεκτρικής θέρμανσης τα οποία εγκαθίστανται κάτω από το δάπεδο μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για να αποτρέψουμε σχηματισμό παγετού. Η επιλογή της μεθόδου θέρμανσης εξαρτάται από το κόστος της ενέργειας, την αξιοπιστία καθώς τις απαιτήσεις συντήρησης. Τα συστήματα των αγωγών που μεταφέρουν αέρα πρέπει να προστατεύονται από παρουσία τρωκτικών και να έχουν ελαφρά κλίση για απορροή των συμπυκνωμάτων

Η πιθανή μελλοντική επέκταση του ψυκτικού συγκροτήματος πρέπει να εξεταστεί κατά τη διάρκεια σχεδίασης των ενδοδαπέδιων συστημάτων θέρμανσης. Τέλος η τοποθέτηση πλακών θέρμανσης κάτω από τη επιφάνεια της αποβάθρας μπροστά από τις πόρτες του καταψύκτη βοηθά στην εξάλειψη της υγρασίας στη πόρτα και στους αρμούς θυρών/δαπέδου.

ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ (ΠΡΙΝ ΤΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΜΟΝΩΣΗΣ)

Όταν χρησιμοποιείται κόλλα, η επιφάνεια προς τη οποία το μονωτικό υλικό πρόκειται να εφαρμοστεί πρέπει να είναι λεία και χωρίς σκόνες. Όπου οι θερμοκρασίες του ψυκτικού θαλάμου πρόκειται να είναι κάτω της στερεοποίησης των προϊόντων οι τοίχοι της τοιχοποιίας υψηλής μάζας πρέπει να αλφαδιάζονται και να σφραγίζονται με ασβεστοκονίαμα τσιμέντου (σοβάς). Λείες επιφάνειες του σκυροδέματος εκ της κατασκευής ίσως δεν χρειάζονται το παραπάνω είδος σοβατίσματος.

Κάποια ιδιαίτερη προετοιμασία της επιφάνειας δεν είναι απαραίτητη για εφαρμογή μόνωσης με μηχανικό σύστημα σύνδεσης υπό τη προϋπόθεση ότι η επιφάνεια είναι επαρκώς λεία και σε καλή κατάσταση.

Η επιφάνεια πρέπει να είναι θερμή και ξηρή για σύστημα ψεκασμού πολυουρεθάνης. Οποιοσδήποτε ρωγμές ή κατασκευαστικοί αρμοί πρέπει να έχουν προετοιμαστεί και 'επιμεληθεί' κατάλληλα ώστε να εμποδίζεται η δημιουργία προεξοχών διαμέσου του κελύφους της μόνωσης που θα παραχθεί δια ψεκασμού. Όλα τα χαλαρά ενέματα (κονιάματα) και η σκόνη πρέπει να αφαιρεθούν ώστε να διασφαλιστεί ένας ισχυρός δεσμός μεταξύ της μόνωσης δια ψεκασμού πολυουρεθάνης και της επιφάνειας. Πολύ λείες επιφάνειες μπορεί να απαιτούν ειδικούς συνδετικούς παράγοντες.

Τέλος δεν χρειάζεται κάποια ιδιαίτερη προετοιμασία της επιφάνειας για τα δομικά πάνελ μονώσεως που χρησιμοποιούνται ως εσωτερική κτιριακή επένδυση θεωρώντας τις επιφάνειες ότι είναι γερές και αρκετά λείες.

ΦΙΝΙΡΙΣΜΑ ΤΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ (ΜΕΤΑ ΤΗ ΜΟΝΩΣΗ)

Τα δομικά πάνελς μονώσεως με μεταλλικές εξωτερικές πλευρές και μεταλλικές ή ενισχυμένες πλαστικές εσωτερικές αποτελούν τη κυρίαρχη μέθοδο εφαρμογής ενός κελύφους μόνωσης για ψυκτικούς θαλάμους που είτε εργάζονται ως ψύκτες ή ως καταψύκτες. Διατηρούν γενικά τη υγρασία μακριά από τη μόνωση αφήνοντας μόνο τους αρμούς μεταξύ των πάνελς ως τις μοναδικές δυνητικές περιοχές διείσδυσης της υγρασίας. Τα παραπάνω πάνελς μονώσεως διατίθενται και με κατάλληλο φινιρίσμα επιφανειών που να καλύπτει τις απαιτήσεις της πολιτείας.

Για το καθαρισμό που επιβάλλουν κανόνες υγιεινής, ένα φινιρίσμα που να μπορεί να καθαριστεί είναι κάποιες φορές απαραίτητο. Τέτοια φινιρίσματα έχουν γενικά χαμηλή διαπερατότητα, ενώ όταν ένα φινιρίσμα εφαρμόζεται στη εσωτερική πλευρά μόνωσης ειδική επεξεργασία για τη τοποθέτηση φινιρίσματος χαμηλότερης διαπερατότητας απαιτείται εξωτερικά της μόνωσης. Όλοι οι μονωμένοι τοίχοι και οροφές πρέπει να έχουν ένα φινιρίσμα στη εσωτερική τους πλευρά. Το φινιρίσμα πρέπει να είναι αδιαπέραστο ως προς τους υδρατμούς της υγρασίας αλλά ταυτοχρόνως δεν πρέπει να υποκαθιστά το φραγμό υδρατμών της μόνωσης. Για αυτό η διαπερατότητα του εσωτερικού φινιρίσματος πρέπει να είναι σημαντικά μεγαλύτερη της διαπερατότητας του εσωτερικού (προς της ψυχρή πλευρά) φραγμού υδρατμών του κελύφους μόνωσης. Για τη επιλογή ενός εσωτερικού φινιρίσματος που να ικανοποιεί τις απαιτήσεις του συγκροτήματος θα πρέπει να ληφθούν υπόψη οι παρακάτω παράγοντες (1) πυρίμαχη ικανότητα (2) απαιτήσεις για το καθαρισμό (3) μηχανικές φθορές (4) διαπερατότητα υγρασίας και αερίων και (5) προϋποθέσεις που ορίζονται από τη πολιτεία.

Όλοι οι εσωτερικοί τοίχοι μονωμένων χώρων πρέπει να προστατεύονται με **ειδικού τύπου προφυλακτήρες(bumpers and curbs)** όπου υπάρχει πιθανότητα για ζημιά στο φινίρισμα.

ΧΩΡΟΙ ΨΕΥΔΟΡΟΦΩΝ ΚΑΙ ΑΛΛΟΙ ΕΝΔΙΑΜΕΣΟΙ-ΚΕΝΟΙ ΧΩΡΟΙ

Είναι σύνηθες να έχουμε **ενδιάμεσους χώρους(interstitial spaces)** από πάνω ή δίπλα σε χώρους ψυχρής αποθήκευσης στα ψυκτικά συγκροτήματα. Ο λόγος για τη ύπαρξη τέτοιων χώρων μπορεί να είναι η αρχική σχεδίαση(πχ ένα παλαιότερο συγκρότημα με χώρο κυκλοφορίας του αέρα που χρησιμοποιείται ως μόνωση, χώρος παραγωγής που χρειάζεται να μπορεί να καθαριστεί η επιφάνεια της οροφής) ή ανάγκη για επέκταση του ψυκτικού συγκροτήματος(πχ προσθήκη χώρου καταψύξεως δίπλα σε υπάρχοντα καταψύκτη).Ανεξάρτητα πάντως από τη αιτία ύπαρξης των ενδιάμεσων χώρων,εάν ο αέρας σε ένα τέτοιο χώρο δεν έχει τη δυνατότητα εξαερισμού ή κλιματισμού υγρασία του αέρα θα συμπυκνωθεί πάνω στις ψυχρή επιφάνεια προς το θάλαμο κάτι που μπορεί να οδηγήσει σε κατασκευαστική αστοχία του κελύφους μέσω της διάβρωσης, της διείσδυσης παγετού στο ψυκτικό θάλαμο και της εμφάνιση άλλων σχηματισμών επιβάρυνσης αν τα προηγούμενα φαινόμενα δεν ελεγχθούν ως προς την ανάπτυξη. Αρκετές μέθοδοι είναι διαθέσιμες για τη αντιμετώπιση της υγρασίας. Ο χώρος πάνω από τη ψευδοροφή ή όποιος ενδιάμεσος θα μπορούσε να σφραγιστεί αεροστεγώς, με ένα αφυγραντήρα εντός αυτού ώστε να διατηρεί χαμηλό το σημείο δρόσου του αέρα στο χώρο. Αυτή η μέθοδος προτιμάται σε περιοχές θερμών και υγρών κλιμάτων. Ο σφραγισμένος χώρος θα μπορούσε επίσης να θερμανθεί αρκετά ώστε να διασφαλιστεί ότι οι ψυχρή επιφάνεια επαφής του θαλάμου ψύξης θα βρίσκεται πάντοτε άνω του σημείου δρόσου του αέρα ανακυκλοφορίας. Το τελευταίο είναι ασυνήθιστο να εφαρμοστεί βέβαια λόγω θερμικών φορτίων που εισάγει προς το ψυκτικό θάλαμο. Η πιο συνηθισμένη μέθοδος που χρησιμοποιείται για να εμποδίσουμε τη συμπύκνωση είναι ο συνεχής εξαερισμός με ατμοσφαιρικό αέρα εντός του κάθε ενδιάμεσου χώρου που μελετούμε. Αυτό διατηρεί τη θερμοκρασία της μονωμένης επιφάνειας πάνω από το σημείο δρόσου του ενδιάμεσου χώρου, και έτσι αποτρέπεται η συμπύκνωση της υγρασίας από τον αέρα πάνω στην επιφάνεια επαφής. Ανεμιστήρες εξόδου αέρα τοποθετημένοι στη στέγη του συγκροτήματος , ομοιόμορφα κατασκευασμένες δίοδοι κυκλοφορίας του αέρα γύρω από τη περίμετρο του χώρου της ψευδοροφής χρησιμοποιούνται συνήθως για το σωστό εξαερισμό των ψευδοροφών. Παρόμοιες διατάξεις μπορούν προφανώς να διαμορφωθούν και για άλλους ενδιάμεσους/κενούς χώρους. Δεν πρέπει όμως να παραληφθεί η τοποθέτηση ανεμιστήρων και κινητών γριλιών εισόδου καθώς παρέχουν καλή κατανομή του αέρα καθόλο το μήκος της ψυχρής επιφάνειας. Η ψυχρή επιφάνεια πρέπει επίσης να καλυφθεί με ένα φραγμό υδρατμών από κοινού με **μεταλλικό φύλλο που εμποδίζει τη διείσδυση της υγρασίας στους αρμούς(flashing)** συνδεδεμένα στη θερμή εξωτερική πλευρά της μόνωσης του τοίχου. Οι χώροι των ψευδοροφών τέλος συχνά σχεδιάζονται για ελαφρά κίνηση του προσωπικού με κύριο σκοπό το έλεγχο και τη συντήρηση των ηλεκτρικών καλωδίων και των σωληνώσεων.

ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΤΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΤΟΥ ΔΑΠΕΔΟΥ

Συστήματα απορροής του δαπέδου πρέπει να αποφεύγονται εάν αυτό είναι δυνατόν, ιδιαίτερα σε ψυκτικούς θαλάμους που λειτουργούν ως καταψύκτες. Αν παρόλα αυτά η εγκατάσταση ενός τέτοιου συστήματος είναι απολύτως απαραίτητη, θα πρέπει να έχει **κοντές και με πάχος διαστάσεις(short and squat dimensions)** και να τοποθετηθεί σε τέτοιο ύψος που να επιτρέπει στη απορροή των συμπυκνωμάτων και στο δίκτυο των σωληνώσεων να εγκατασταθούν πάνω από το κέλυφος μονώσεως.

ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΚΑΛΩΔΙΩΣΗ

Η καλωδίωση του συγκροτήματος πρέπει να περαστεί εντός ενός ψυκτικού θαλάμου διαμέσου των λιγότερων δυνατών θέσεων του(κατά προτίμηση από μία μόνο θέση) τρυπώντας το φραγμό υδρατμών και τη μόνωση του τοίχου μόνο μια φορά. Πλαστικής επένδυσης καλώδια συνίσταται για αυτή τη εργασία όπου οι τεχνικοί κανονισμοί το επιτρέπουν. Εάν οι κανονισμοί απαιτούν **αγωγούς προστασίας και οδήγησης των καλωδίων(conduits)**, το τελευταίο εξάρτημα πάνω στη θερμή πλευρά της **‘γραμμής’(run)** πρέπει να είναι αντiekρηκτικό(παρεμπόδιση έναρξης έκρηξης) και σφραγισμένο ώστε να αποτρέπει τη είσοδο υδρατμών νερού στο ψυχρό αγωγό κάλυψης των καλωδίων. Τα φωτιστικά εντός του χώρου ψύξεως δεν πρέπει να είναι υδατοστεγή αλλά αντίθετα πρέπει να επιτρέπουν τη ελεύθερη δίοδο υγρασίας.

ΘΥΡΕΣ ΨΥΚΤΙΚΩΝ ΘΑΛΑΜΩΝ

Οι πόρτες πρέπει να είναι στιβαρές, όμως συγχρόνως αρκετά ελαφρές για εύκολο άνοιγμα και κλείσιμο. Τα υλικά κατασκευής πρέπει να είναι καλής ποιότητας ώστε να μπορούν να τοποθετηθούν και να συμπιέζουν το υλικό στεγανοποίησης ομοιόμορφα και αντίθετα ως προς το πλαίσιο της πόρτας. Όλες οι πόρτες των ψυκτικών θαλάμων που λειτουργούν κάτω του σημείου στερεοποίησης των προϊόντων (δηλαδή ως καταψύκτες) πρέπει να είναι εξοπλισμένες με θερμαντήρες. Πόρτες **τοποθετημένες από τη εσωτερική πλευρά(in-fitting doors)** δεν προτείνονται για θαλάμους κάτω της στερεοποίησης εκτός αν είναι εφοδιασμένες με θερμαντήρες αλλά και πάλι δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται σε θερμοκρασίες κάτω των -18°C με ή χωρίς θερμαντήρες.

ΥΛΙΚΑ(HARDWARE)

Όλα τα μεταλλικά υλικά, είτε εντός της κτιριακής εγκατάστασης ή εκτιθέμενα σε συνθήκες που θα σκουριάσουν ή θα διαβρώσουν τη μεταλλική βάση πρέπει σε σημαντικό βαθμό να γαλβανίζονται, να επιμεταλλώνονται ή να προστατεύονται με κάποια άλλη διαδικασία. Η καλύτερη λύση είναι να επιλέγονται υλικά που δεν θα υπόκεινται σε διάβρωση ή σκουριά λόγω της έκθεσης σε συμπύκνωση υδρατμών και καθαριστικούς χημικούς παράγοντες που χρησιμοποιούνται στο συγκρότημα ψύξης.

ΑΠΟΒΑΘΡΕΣ ΥΠΟ ΨΥΞΗ ΚΑΙ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ

Ο σκοπός ενός ψυκτικού συγκροτήματος(πχ διανομή προϊόντων, ενδιάμεση ή εποχιακή ψυχρή αποθήκευση) ορίζει τις προϋποθέσεις για την αποβάθρα φόρτωσης. Χώροι στάθμευσης οχημάτων ψυγείων για φόρτωση και αποστολή προϊόντων και οι διάδρομοι που διατίθενται πρέπει να παρέχουν άφθονο χώρο για (1) κίνηση των εμπορευμάτων από και προς το θάλαμο ψυχρής αποθήκευσης (2) αποθήκευση των παλετών και εφεδρικού εξοπλισμού (3) ξεχώρισμα και διαλογή αγαθών (4) για επιθεώρηση. Η αποβάθρα πρέπει να έχει πλάτος τουλάχιστον 9 m. Τα ψυκτικά συγκροτήματα εμπορικής χρήσης συνήθως απαιτούν μεγαλύτερο χώρο αποβάθρας για τα φορτηγά ψυγεία από τα ψυκτικά συγκροτήματα ειδικού τύπου λόγω ποικιλίας των προϊόντων που διακινούνται στη πρώτη περίπτωση.

Τα ύψη από το δάπεδο των οχημάτων ψυγείων έχουν μεγάλο εύρος αλλά γενικά είναι μεγαλύτερα από τα αντίστοιχα για τα μεταφορικά οχήματα που δεν λειτουργούν υπό ψύξη. Το ύψος της αποβάθρας των σιδηροδρομικών οχημάτων ψυγείων καθώς και τα κατασκευαστικά διάκενα πρέπει να εγκρίνονται από υπεύθυνους του σιδηρόδρομου που εξυπηρετεί τη συγκεκριμένη ψυκτική μονάδα. Ένα ύψος αποβάθρας 1370 mm άνω των σιδηροδρομικών γραμμών είναι σύνηθες για τα σιδηροδρομικά οχήματα ψυγεία. Επιπλέον τρεις(3) ως πέντε(5) θέσεις στάθμευσης βαγονιών σιδηροδρομικών οχημάτων ψυγείων πρέπει να σχεδιάζονται ανά 30000 m³ χώρων αποθήκευσης.

Τα ύψη αποβάθρων για μεγάλα αυτοκίνητα ψυγεία πρέπει να συμμορφώνονται με τις απαιτήσεις των ιδιοκτητών του στόλου, των πελατών καθώς και με τις απαιτήσεις των τοπικών φορτηγών διανομής. Τα αυτοκίνητα ψυγεία γενικά χρειάζεται να έχουν ένα ύψος 1370 mm πάνω από το δάπεδο παρά το γεγονός ότι στα τοπικά φορτηγά διανομής μπορεί να είναι αρκετά χαμηλότερο. Κάποια φορτηγά ψυγεία έχουν ύψος άνω των 1470 mm από τη κλίση εδάφους. Ρυθμιζόμενων διαστάσεων ράμπες σε κάποιες θέσεις στάθμευσης μεγάλων φορτηγών ψυγείων θα αντισταθμίσουν μερικώς τη ποικιλία υψομετρικών διαφορών ως προς το δάπεδο. Αν γενική διαστασιολόγηση το επιτρέπει, επτά(7) ως δέκα(10) θέσεις στάθμευσης για τα μεγάλα φορτηγά ψυγεία ανά 30000 m³ χώρων ψυχρής αποθήκευσης πρέπει να παρέχονται σε ένα δημόσιο ψυκτικό συγκρότημα.

Οι αποβάθρες των ψυκτικών συγκροτημάτων που διατηρούνται σε θερμοκρασία 2 έως 7⁰C χρειάζονται περίπου 190W ψυκτικής ισχύος ανά m² της επιφάνειας του δαπέδου.

Μαξιλάρια σφραγίσεως γύρω από τα ανοίγματα θυρών των αυτοκινήτων ψυγείων μειώνουν τη διείσδυση του εξωτερικού αέρα. Ειδικά για τα σιδηροδρομικά οχήματα ψυγεία μια περικλειστη κατασκευή με δυνατότητα διόγκωσης ή σύμπτυξης μπορεί να επεκταθεί ώστε να σφραγίσει χώρο μεταξύ ενός βαγονιού σιδηροδρομικού οχήματος ψυγείου και της αποβάθρας φόρτωσης-εκφόρτωσης. Τέλος οι μονωμένες πόρτες εισόδου σε αποβάθρες πρέπει να μοντάρονται από την εσωτερική πλευρά των τοίχων του συγκροτήματος.

Τα σχετικά υψηλά κόστη των παραπάνω θυρών, των μαξιλαριών σφραγίσεως και της ψυκτικής ισχύος επηρεάζουν το μέγεθος των αποβάθρων και τον αριθμό των θυρών που θα τοποθετηθούν σε ένα ψυκτικό συγκρότημα.

ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΝΑΪΝΤΕΡ(SCHNEIDER)

Το σύστημα Schneider, και οι παραλλαγές αυτού, αποτελεί μια μέθοδο κατασκευής και μόνωσης χώρων ψυχρής αποθήκευσης και χρησιμοποιείται κυρίως στις δυτικές Ηνωμένες Πολιτείες με τις περισσότερες εγκαταστάσεις του παραπάνω συστήματος να εντοπίζονται στα Βορειοδυτικά του Ειρηνικού. Πρόκειται για ένα εσωτερικό/εξωτερικό σύστημα φραγμού υδρατμών όπως εικονίζεται στο σχήμα 4. Η κατασκευή χρησιμοποιεί οπλισμένο σκυρόδεμα για τους **τοιίχους** που τοποθετούνται κάθετα ως προς τη βάση με γερανό, στηρίζονται με αντηρίδες και όλα τα τμήματα τοιχοποιίας κατασκευάζονται οριζόντια εντός ή κοντά του εργοτάξιου(μέθοδος tilt-up) ενώ για τη **στέγη** γίνεται χρήση είτε ξύλινων δοκών κατασκευασμένων από συρραφή λεπτού πάχους φύλλων(καπλαμάς) ενωμένων με θερμή δομική κόλλα υδατοστεγή-glulam ή τοξωτών δικτυωμάτων στήριξης από ξύλο ή χάλυβα.

Βάτες από υαλοβάμβακα ενωμένες με υψηλής απόδοσης φραγμούς υδρατμών και ένας σκελετός υποστήριξης των παραπάνω χρησιμοποιούνται για τη μόνωση των τοίχων και της οροφής.

Το κλειδί επιτυχίας για το σύστημα Schneider έγκειται στο άριστο σύστημα φραγμού υδρατμών που είναι επαγγελματικά σχεδιασμένο και εφαρμοσμένο με την ιδιαίτερη βαρύτητα να έχει δοθεί στο αρμό τοίχων/οροφής. Ο υαλοβάμβακας έχει ένα ισχυρό βαθμό διαπερατότητας και χάνει τη μονωτική του αξία όταν είναι υγρός. Είναι λοιπόν απολύτως απαραίτητο το σύστημα φραγμού υδρατμών να συμπεριφέρεται με υψηλή αποδοτικότητα. Συνήθη υλικά για το φραγμό υδρατμών των τοίχων περιλαμβάνουν φύλλα τύπου B από αλουμίνιο και φύλλα λεπτού πάχους από πολυαιθυλένιο τα οποία επικαλύπτονται άφθονα και προσκολλώνται στη τοιχοποιία με μια πλήρη επένδυση από υδατοστεγές πληρωτικό και σφραγιστικό υλικό(mastic). Τα υλικά της οροφής δρουν ως φραγμός υδρατμών για τη στέγη. Ο φραγμός υδρατμών στο αρμό τοίχων/οροφής είναι συνήθως ένα φύλλο αλουμινίου ειδικής συναρμολόγησης τοποθετημένο έτσι ώστε να δρα αποτελεσματικά σε όλες τις καιρικές συνθήκες.

Η μόνωση με υαλοβάμβακα που εφαρμόζεται στους τοίχους έχει συνήθως πάχος 250 έως 300 mm για καταψύκτες και 150 έως 200 mm για ψύκτες. Το μονωτικό υλικό διατηρείται στη θέση του με ξύλινα φύλλα στήριξης ή καλυμμένα καρφιά που έχουν κατασκευαστεί από υαλοβάμβακα/αλουμίνιο σε κέντρα 600mm. Οριζόντια δομικά στοιχεία χρησιμοποιούνται σε ενδιάμεσες θέσεις των τοίχων για πλευρική ενίσχυση. Το εσωτερικό φινίρισμα περιλαμβάνει 25mm πάχους διάτρητα υψηλής πυκνότητας πάνελς υαλοβάμβακα ώστε να μπορούν να ‘αναπνέουν’ και να επιτρέπουν στη όποια υγρασία καταφέρει να περάσει το φραγμό υδρατμών της μόνωσης να αποθηκευτεί ως πάχος στο ‘στοιχείο’ του ατμοποιητή της ψυκτικής εγκατάστασης.

Η μόνωση με υαλοβάμβακα που εφαρμόζεται στη δομή της στέγης έχει συνήθως 300 με 350 mm πάχος για καταψύκτες και 200 με 250mm για τη περίπτωση των ψυκτών και εφαρμόζεται μεταξύ δοκών διατομής 50x300 ή 50x350 mm που καλύπτουν τις προαναφερθέντες ξύλινες δοκούς κατασκευασμένες με συγκόλληση λεπτού πάχους φύλλων με θερμή κόλλα ή τα δικτυώματα. Το εξωτερικό φινίρισμα είναι το ίδιο όπως περιγράφηκε για τους τοίχους. Σανίδες οροφής προσκολλημένες στη κάτω πλευρά των δοκών κρατάνε τα πάνελς φινιρίσματος και τη μόνωση στις θέσεις τους.

Τα πλεονεκτήματα του συστήματος Schneider έναντι των δομικών πάνελς μόνωσης υποθέτοντας ίση αποτελεσματικότητα για τα κελύφη φραγμού υδρατμών / μόνωσης με το χρόνο, περιλαμβάνουν χαμηλότερα αρχικά κόστη για κατασκευές άνω 3700 m² χαμηλότερα λειτουργικά κόστη και λιγότερες εσωτερικές κολώνες. Μειονεκτήματα αποτελούν η λιγότερο καθαρή εμφάνιση, η ακαταλληλότητα καθαρισμού και η μη-πρακτικότητα της κατασκευής όταν χρειάζεται ένας αριθμός μικρότερων χώρων.

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΨΥΞΕΩΣ(ΨΥΚΤΙΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ)

ΕΙΔΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΨΥΞΕΩΣ

Τα συστήματα ψύξεως μπορούν γενικά να ταξινομηθούν είτε ως μοναδιαία είτε ως εφαρμοσμένα. Στη ενότητα αυτή θεωρούμε μοναδιαία συστήματα τα συστήματα που σχεδιάζονται από κατασκευαστές, συναρμολογούνται σε εργοστάσια και τελικά εγκαθίστανται σε χώρο ψυχρής αποθήκευσης ως 'έτοιμες' προκατασκευασμένες μονάδες. Ο εξοπλισμός απόρριψης θερμότητας και μηχανικής συμπίεσης βρίσκονται τοποθετημένοι είτε στο ίδιο χώρο στέγασης με το χαμηλής θερμοκρασίας αερόψυκτο στοιχείο του ατμοποιητή ή χωριστά από το χώρο του τμήματος παραγωγής της ψύξης. Τέτοιες μονάδες συνήθως χρησιμοποιούν υδροχλωροφθοράνθρακες(HCFC) αλλά και υδροφθοράνθρακες(HFC) ως ψυκτικά μέσα.

Οι εφαρμοσμένες μονάδες υποδηλώνουν συστήματα σχεδίασης, κατασκευής και ανέγερσης σε εκείνο το χώρο που θα τοποθετηθούν και αποτελούν τη συντριπτική πλειοψηφία των μεγάλων διαστάσεων συστημάτων ψύξης(κάτω στερεοποίησης) στα ψυκτικά συγκροτήματα. Οι εγκαταστάσεις αυτές γενικά διαθέτουν ένα κεντρικό χώρο αποθήκευσης του μηχανολογικού εξοπλισμού ή μια σειρά παρόμοιων χώρων για αποθήκευση κατάλληλων για υπηρεσίες ηλεκτρικής διανομής και άλλες που πρέπει να είναι τοποθετημένοι όσο το δυνατόν πιο κοντά στο ψυκτικό θάλαμο ώστε έτσι να μειωθούν οι απώλειες των σωληνώσεων(πτώση πίεσης), το κόστος των σωληνώσεων, η ποσότητα του ψυκτικού μέσου καθώς και οι θερμικές απώλειες. Ουσιαστικά κατά παραγγελία, τα εφαρμοσμένα συστήματα σε γενικές γραμμές σχεδιάζονται αλλά και κατασκευάζονται από τυποποιημένα εξαρτήματα που λαμβάνονται από έναν ή και περισσότερους προμηθευτές. Στα βασικά εξαρτήματα συμπεριλαμβάνονται οι συμπιεστές, κινητήρες, μονάδες fan-coil, δέκτες(δοχεία αποθήκευσης), συστήματα κυκλοφορίας με αντλία, συστήματα ελέγχου, συμπυκνωτές ψυκτικού μέσου(δια ατμοποίησης και συστήματος κελύφους-σωληνώσεων) και άλλα δοχεία πίεσεως. Το σύστημα ψύξης για ένα ψυκτικό συγκρότημα πρέπει να επιλέγεται στα πρώιμα στάδια του σχεδιασμού. Εάν το συγκρότημα είναι ενός μοναδικού σκοπού, και χαμηλής θερμοκρασίας κτιριακή εγκατάσταση αποθήκευσης, τα περισσότερα είδη συστημάτων ψύξεως μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Παρόλα αυτά εάν τα προϊόντα που πρόκειται να αποθηκευτούν απαιτούν διαφορετικές θερμοκρασίες και σχετικές υγρασίες, πρέπει να επιλεγεί ένα σύστημα που να μπορεί να καλύψει τις απαιτήσεις χρησιμοποιώντας απομονωμένους χώρους με διαφορετικές συνθήκες στο καθένα. Η χρήση προκατασκευασμένου και συσκευασμένου στο εργοστάσιο μοναδιαίου εξοπλισμού μπορεί να έχει αξία για τις μικρότερες κατασκευές καθώς και για ένα συγκρότημα χώρων πολλαπλών χρήσεων που απαιτεί μια ποικιλία διαφορετικών συνθηκών ψυχρής αποθήκευσης. Αντίστροφα ο κεντρικός χώρος για τη αποθήκευση του συμπιεστή θεωρείται ο αποδεκτός κανόνας για τις μεγαλύτερες εγκαταστάσεις συγκροτημάτων ιδιαίτερα όταν η εξοικονόμηση ενέργειας είναι πολύ σημαντική. Η συνεχής ψύξη, είτε μέσω ενός συστήματος υπερχειλίσης είτε μέσω συστήματος επανακυκλοφορίας ψυκτικού μέσου με τη βοήθεια αντλίας, που εξυπηρετούν τις μονάδες fan-coil είναι μια αξιόπιστη επιλογή για ένα κεντρικό χώρο αποθήκευσης του συμπιεστή. Συμπιεστές ψύξεως, προγραμματιζόμενοι λογικοί ελεγκτές και μικροεπεξεργαστές ελέγχου συμπληρώνουν τον εξοπλισμό του συστήματος ψύξεως στο κεντρικό χώρο αποθήκευσης μηχανολογικού εξοπλισμού.

ΕΠΙΛΟΓΗ ΨΥΚΤΙΚΟΥ ΜΕΣΟΥ

Η επιλογή του ψυκτικού μέσου είναι πολύ σημαντική. Συνήθως χρησιμοποιείται αμμωνία ιδιαιτέρως στις βιομηχανίες τροφίμων και αναψυκτικών ποτών, αλλά και το ψυκτικό μέσο R-22 έχει χρησιμοποιηθεί και ακόμη χρησιμοποιείται επίσης εναλλακτικά. Κάποια συγκροτήματα χαμηλής θερμοκρασίας συντήρησης τώρα επιπρόσθετα χρησιμοποιούν τα R-507A ή R-404A που είναι αντικαταστάτες επιλογής των ψυκτικών μέσων R-502 και R-22 αντίστοιχα. Παράγοντες που πρέπει να εξετάζονται όσον αφορά τη επιλογή ψυκτικού μέσου περιλαμβάνουν τα παρακάτω

1. Κόστος
2. Θέματα κανονισμών ασφάλειας(πχ. προϋποθέσεις κανονισμών αναφορικά με τη χρήση ψυκτικών μέσων σε συγκεκριμένους χώρους εργασίας)
3. Απαιτήσεις φορτίου του ψυκτικού μέσου του συστήματος(για φορτία πάνω από 4536 kg αμμωνίας ίσως χρειάζονται με κυβερνητική εντολή διαδικασία διαχείρισης ασφάλειας καθώς και σχέδιο διαχείρισης επικινδυνότητας)
4. Κανονισμοί τοπικοί και της πολιτείας που μπορεί να απαιτούν χειριστές πλήρους ή μερικής απασχόλησης με συγκεκριμένο επίπεδο εξειδίκευσης
5. Συνέπειες στη υπερθέρμανση του πλανήτη και στη 'τρύπα' του όζοντος(η αμμωνία δεν έχει συμβολή σε κανένα από τα δύο)

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΦΟΡΤΙΩΝ

Φορτία ψυκτικών συγκροτημάτων της ίδιας χωρητικότητας ποικίλλουν σε μεγάλο εύρος. Πολλοί παράγοντες συμπεριλαμβανομένων του σχεδιασμού της κτιριακής εγκατάστασης, των εσωτερικών και εξωτερικών θερμοκρασιών και ιδιαιτέρως του είδους και της ροής των εμπορευμάτων που αναμένονται καθώς και η ημερήσια χωρητικότητα των θαλάμων που αξιοποιείται συνεισφέρουν στη διαμόρφωση των φορτίων. Είναι επομένως φανερό από τα παραπάνω ότι απλός κανόνας σχεδίασης δεν μπορεί να εφαρμοστεί. Η εμπειρία από παρεμφερείς κτιριακές εγκαταστάσεις και λειτουργίες είναι πολύτιμη αλλά οποιαδήποτε σχεδιαζόμενη διαδικασία λειτουργίας πρέπει να αναλύεται σε κάθε περίπτωση. Ο συμπίεστής και ο εξοπλισμός ψύξεως του θαλάμου πρέπει να σχεδιάζονται για τη κάλυψη των μέγιστων ημερήσιων ψυκτικών φορτίων που προφανώς θα είναι αρκετά παραπάνω από τη κάλυψη οποιουδήποτε μηνιαίου μέσου ψυκτικού φορτίου. Οι παράγοντες των φορτίων προς μελέτη είναι οι παρακάτω

1. Η μετάδοση θερμότητας διαμέσου της μονωμένης περίκλειστης κατασκευής
2. Φορτία διείσδυσης θερμότητας και υδρατμού λόγω περάσματος θερμού και υγρού αέρα στο χώρο του ψυκτικού θαλάμου και διατάραξη της ισορροπίας αέρα
3. Θερμικά φορτία από αντλίες ή ανεμιστήρες που κυκλοφορούν το ψυκτικό μέσο ή αέρα, εξοπλισμό ισχύος, προσωπικό που εργάζεται στους χώρους ψύξης, εξοπλισμό μετακίνησης προϊόντων και από ηλεκτροφωτισμό.
4. Θερμικά φορτία προς απαγωγή από προϊόντα για τη μείωση της θερμοκρασίας τους από αυτή στη οποία παραλήφθηκαν στη συγκομιδή ως τη θερμοκρασία συντήρησης στη ψυχρή αποθήκευση
5. Θερμικά φορτία προς απαγωγή για τη κατάψυξη προϊόντων που παραλήφθηκαν ως μη κατεψυγμένα
6. Θερμότητα που παράγεται από προϊόντα δια της αναπνοής κατά τη αποθήκευση
7. Άλλα θερμικά φορτία, όπως για το κλιματισμό γραφείων, για πρόψυξη των χώρων τοποθέτησης των προϊόντων στα οχήματα ψυγεία ή για ειδικές εργασίες εντός των κτιριακών εγκαταστάσεων
8. Κάλυψη φορτίων για τη συνεχή ψύξη στις αποβάθρες αποστολής προϊόντων

9. Θερμότητα που απελευθερώνεται με την αυτόματη αποπάγωση των μονάδων ψύξης από ανεμιστήρες που λειτουργούν μέσω κινητήρων
10. Κατάψυξη με ισχυρό ρεύμα ψυχρού αέρα (ταχεία κατάψυξη)

Η υψηλή σχετική υγρασία, οι υψηλές θερμοκρασίες ή η χειροκίνητη διακίνηση των προϊόντων μπορούν να επηρεάσουν δραστικά τη σχεδίαση ιδιαίτερα του συστήματος ψύξεως.

Μια συνοπτική παρουσίαση των κατά μέσο όρο αναλογικών επιδράσεων των παραγόντων των φορτίων απεικονίζεται στο πίνακα 1 σαν ποσοστό (%) του συνόλου του ψυκτικού φορτίου που πρέπει να καλυφθεί σε ένα ψυκτικό συγκρότημα στις νότιες Ηνωμένες Πολιτείες. Το μέγεθος αλλά και η επίδραση των παραγόντων των φορτίων επηρεάζονται από τη σχεδίαση, το τρόπο χρήσης και τη τοποθεσία του ψυκτικού συγκροτήματος.

Η διαρροή θερμότητας ή τα φορτία μετάδοσης μπορούν να υπολογιστούν κάνοντας χρήση του γνωστού συνολικού συντελεστή μεταφοράς της θερμότητας U διαφόρων περιοχών του κελύφους μόνωσης, το εμβαδόν επιφάνειας της κάθε μιας των περιοχών A και τη θερμοκρασιακή διαφορά ΔT μεταξύ της πιο χαμηλής θερμοκρασίας σχεδίασης του ψυκτικού θαλάμου και της υψηλότερης μέσης θερμοκρασίας του αέρα για 3-5 συνεχόμενες μέρες στη συγκεκριμένη τοποθεσία της κτιριακής εγκατάστασης. Τα θερμικά φορτία διείσδυσης αέρα ποικίλουν σημαντικά ανάλογα με το μέγεθος του ψυκτικού θαλάμου, τον αριθμό των θυρών προς περιοχές θερμού αέρα, τη ύπαρξη ή μη κάλυψη προστασίας στη περιοχή των θυρών, τη συχνότητα κίνησης του εργατικού προσωπικού μέσω του ανοίγματος θυρών (εναλλαγές αέρα) και τέλος τις θερμές αλλά και ψυχρές θερμοκρασίες αέρα και τις αντίστοιχες σχετικές υγρασίες. Οι υπολογισμοί πρέπει να βασίζονται στη εμπειρία έχοντας κατά νου ότι το μέγιστο του φορτίου εμφανίζεται κατά τη διάρκεια λειτουργίας μέσα στη ημέρα.

Η θερμότητα από προϊόντα που προορίζονται για ψυχρή αποθήκευση μπορεί να υπολογιστεί προσεγγιστικά από τη ποσότητα που αναμένεται ημερησίως και από τη πηγή. Γενικά πρέπει να αναμένεται μείωση θερμοκρασίας της τάξης των 5-10 K (ή $^{\circ}\text{C}$) αλλά για κάποια πρόσφατα επεξεργασμένα τεμάχια τροφίμων όπως και για τα φρούτα και λαχανικά που εισέρχονται **απευθείας από τη συγκομιδή** 35 K ή και περισσότερη μείωση της θερμοκρασίας μπορεί να απαιτείται. Για γενικής χρήσεως δημόσιους θαλάμους ψυχρής αποθήκευσης το φορτίο μπορεί να κυμαίνεται από 0.5 έως και 1 W ψυκτικής ισχύος ανά m^3 χώρου ώστε να λαμβάνονται υπόψη και τα προϊόντα που εισέρχονται στο συγκρότημα ψύξεως απευθείας από τη συγκομιδή

Το φορτίο κατάψυξης ποικίλει από μηδέν για το συγκρότημα αποκλειστικά διανομής προϊόντων όπου το προϊόν λαμβάνεται ήδη κατεψυγμένο έως τη μέγιστη τιμή του συνόλου για χώρο ψυχρής αποθήκευσης κοντά σε περιοχή παραγωγής/επεξεργασίας. Το παραπάνω φορτίο εξαρτάται από το είδος του προϊόντος, τη θερμοκρασία στην οποία αυτό λαμβάνεται και τη μέθοδο καταψύξεως. Η κατάψυξη ισχυρού ρεύματος αέρα απαιτεί περισσότερη ψυκτική ισχύ σε σχέση με τη ήρεμη κατάψυξη χωρίς βεβιασμένη κυκλοφορία του αέρα.

Θερμότητα παράγεται από πολλά προϊόντα σε θαλάμους ψύξης κυρίως από φρούτα και λαχανικά. Η θερμότητα αναπνοής είναι ένας ευμεγέθης παράγοντας ακόμη και στους 0°C και είναι ένα συνεχές φορτίο καθόλη τη περίοδο της ψυχρής αποθήκευσης. Τα ψυκτικά φορτία πρέπει να υπολογίζονται για μέγιστη αναμενόμενη αξιοποίηση των χώρων ψύξης από τέτοια προϊόντα (που αναπνέουν).

Η χειροκίνητη διακίνηση των προϊόντων μπορεί να προσθέσει 30-50% περισσότερα φορτία σε ένα ψυκτικό συγκρότημα τροπικών περιοχών λόγω των συνεχών διακοπών

συνέχειας των ψυχρών φραγμών στις θύρες των θαλάμων αλλά και στις αποβάθρες φόρτωσης των προϊόντων.

Πίνακας 1 Ψυκτικά Φορτία Σχεδίασης για Συνήθη 10000m² Μονώροφο Καταψύκτη

	Μακροχρόνια Ψυχρή Αποθήκευση		Βραχυχρόνια Ψυχρή Αποθήκευση		Λειτουργία Διανομής	
	Ψυκτική Ισχύς		Ψυκτική Ισχύς		Ψυκτική Ισχύς	
Παράγοντες Ψυκτικών Φορτίων	kW	%	kW	%	kW	%
Απώλειες μετάδοσης	343	49	343	43	343	36
Διείσδυση	35	5	70	9	140	15
Φορτία εσωτερικής λειτουργίας	175	25	196	24	217	22
Ψύξη εισερχόμενων προϊόντων	24	3	53	6	105	11
Άλλοι παράγοντες	123	18	143	18	158	16
Συνολική ισχύς σχεδίασης	700	100	805	100	963	100

Σημείωση: Τα δεδομένα βασίζονται σε ψυκτικό συγκρότημα στις νότιες Ηνωμένες Πολιτείες με χρήση αποβάθρας φόρτωσης 'υπό ψύξη', λειτουργία αυτόματων θυρών και διακίνηση των προϊόντων με τη βοήθεια περονοφόρων ανυψωτικών μηχανημάτων

ΕΠΙΛΟΓΗ ΜΟΝΑΔΑΣ ΨΥΚΤΗ

Μονάδες fan-coil. Αυτές οι μονάδες μπορεί να έχουν ατμοποιητές άμεσης διαστολής, υπερχειλίσης ή επανακυκλοφορίας υγρού ψυκτικού μέσου με τις επιφάνειες του 'στοιχείου' να είναι είτε οι βασικές(αρχικές) είτε να είναι πτερυγιοφόρες ή ακόμη και το ψυκτικό μέσο να κυκλοφορεί υπό ψεκάσμο άλμης. Η θερμοκρασίας της ψυχρής αποθήκευσης, η μέθοδος συσκευασίας των προϊόντων, το είδος των προϊόντων πρέπει να μελετώνται κατά τη επιλογή μιας τέτοιας μονάδας. Το εμβαδόν της επιφάνειας του 'στοιχείου', η θερμοκρασιακή διαφορά ανάμεσα στο 'στοιχείο' ψύξης και τον αέρα επιστροφής και η ογκομετρική παροχή αέρα εξαρτώνται από τη εφαρμογή της ψύξης. Τα συστήματα ψύξης δια ψεκάσμου άλμης κυκλοφορούν ένα χημικό μίγμα και νερό πάνω από το 'στοιχείο' ψεκάζοντας πάνω στο 'στοιχείο' αντίθετα από τη κίνηση του αέρα και στη πλευρά του 'στοιχείου' που έρχεται σε επαφή με το ψυχρό αέρα ώστε να αποτραπεί ο σχηματισμός παγετού πάνω στο 'στοιχείο' του ατμοποιητή.

Εξοπλισμός διήθησης και άλλος εξοπλισμός κλιματισμού με άλμη τοποθετούνται εκτός των περιοχών της ελεγχόμενης θερμοκρασίας. Η υπό ψεκάσμο άλμη δεν είναι διάλυμα αλατόνευρο αλλά ακριβέστερα ένα κυρίως υδατικό διάλυμα γλυκόλης. Οι καρασκευαστές ισχυρίζονται ότι αυτές οι μονάδες μπορούν να μειώσουν τα επίπεδα των μικροβιακών πληθυσμών και έτσι να βοηθήσουν στη προστασία των προϊόντων έναντι μόλυνσης. Οι μονάδες αυτές εργάζονται αποδοτικά εάν συντηρούνται κατά τα προβλεπόμενα αλλά μπορεί να είναι ακριβές ως προς τη αγορά και λειτουργία και επιπλέον απαιτούν πρόσθετο χώρο(για τον εξοπλισμό αναγέννησης). Δεν προσθέτουν θερμότητα αποπάγωσης στο χώρο ψύξης και συχνά τοποθετούνται πάνω από θύρες ανοίγματος των θαλάμων με σκοπό τη αφαίρεση υγρασίας οχληρών συγκροτημάτων που θέλουν να διατηρήσουν τις διεισδύσεις χαμηλά σε ανεκτά επίπεδα. Η αποτυχία της κατάλληλης συντήρησης των μονάδων ενδέχεται να οδηγήσει σε μόλυνση από τη σκόνη, τις οσμές και τους βιολογικούς ρυπαντές.

Οι ανεμιστήρες είναι συνήθως αξονικού τύπου προπέλες αλλά μπορεί να είναι και φυγοκεντρικοί εάν αναμένονται υψηλές απώλειες λόγω μεγάλης αύξησης του λόγου πίεσεως p_c . Σε ψυκτικά συγκροτήματα οι μονάδες fan-coil είναι συνήθως **τύπου draw-through**(πχ αέρας περνά διαμέσου του στοιχείου του ατμοποιητή και κατόπιν

αποχωρεί διαμέσου του ανεμιστήρα προς τη έξοδο της μονάδας). Οι μονάδες **τύπου blow-through** χρησιμοποιούνται σε ειδικού τύπου εφαρμογές ψύξης όπως η ψυχρή αποθήκευση σε θαλάμους φρούτων όπου η θερμοκρασίες ψυκτικού μέσου και αέρα πρέπει να είναι κοντά. Η θερμότητα από τη λειτουργία του κινητήρα απορροφάται άμεσα από το 'στοιχείο' του ατμοποιητή σε μια μονάδα τύπου blow-through και έτσι δεν εισέρχεται στο ψυκτικό θάλαμο δια του αέρα. Η θερμότητα του κινητήρα πρέπει όμως να προστίθεται στο συνολικό φορτίο του χώρου ψύξεως όχι μόνο στις μονάδες draw-through αλλά και στις μονάδες blow-through. Το σχήμα 6 απεικονίζει μονάδες fan-coil που συνήθως χρησιμοποιούνται στη κατασκευή ψυκτικών συγκροτημάτων. Κατά τη επιλογή μονάδων fan-coil, πρέπει να μελετάται η διαδρομή ή απόσταση που ο αέρας πρέπει να διανύσει ώστε να ψύξει επιτυχώς και τη πιο μακρινή περιοχή του θαλάμου ψύξεως. Αποτυχία στη κατάλληλη μελέτη της διαδρομής του αέρα αλλά και στη σωστή τοποθέτηση της μονάδας μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία περιοχών στάσιμου αέρα και θερμών σημείων αντιστοίχως εντός του χώρου ψυχρής αποθήκευσης (Crawford et al.1992). Οι συστάσεις των κατασκευαστών πρέπει να λαμβάνονται υπόψη σε κάθε περίπτωση. Δεν πρέπει να βασιζόμαστε σε εκτιμήσεις ή πρακτικούς κανόνες για την επιλογή μονάδων με τη κατάλληλη παροχή αέρα. Οι μονάδες fan-coil κυμαίνονται σε μεγάλο εύρος όσον αφορά το είδος του ανεμιστήρα, τη σχεδίαση του διαχύτη εξόδου του συστήματος fan-coil αλλά και τη πτώση πίεσης του αέρα που έρχεται σε επαφή με το 'στοιχείο' του ατμοποιητή.

Αποπάγωση. Όλες οι μονάδες fan-coil λειτουργούν υπο κανονικές συνθήκες κάτω από το σημείο δρόσου του ψυκτικού θαλάμου. Οι μονάδες fan-coil που εργάζονται κατά προσέγγιση σε θερμοκρασία κάτω των 3.3⁰C θα χρειαστούν σε κάποιο βαθμό αποπάγωση. Οι συνήθειες μέθοδοι αποπάγωσης σε ψυκτικούς θαλάμους 2.2⁰C και άνω περιλαμβάνουν

1. Αποπάγωση με αέρα
2. Αποπάγωση δια θερμών αερίων
3. Ηλεκτρική αποπάγωση
4. Αποπάγωση με νερό

Στη περίπτωση θαλάμων θερμοκρασίας συντήρησης κάτω των 2.2⁰C συνήθως χρησιμοποιούνται

- 1.Αποπάγωση δια θερμών αερίων
- 2.Ηλεκτρική αποπάγωση

Οι μονάδες που είναι τοποθετημένες πάνω από εισόδους των χώρων ψυχρής αποθήκευσης τείνουν να εισάγουν θερμό και υγρό αέρα από παρακείμενους ως προς το θάλαμο ψύξεως χώρους και να δημιουργούν παγετό στο 'στοιχείο' του ατμοποιητή γρήγορα. Εάν αυτό συμβεί περισσότερο συχνή θα είναι η ανάγκη για αποπάγωση ώστε να διατηρείται υψηλή η αποδοτικότητα του 'στοιχείου' ψύξεως.

Ένα κατάλληλα κατασκευασμένο από μηχανικούς και εγκατεστημένο σύστημα παραγωγής ψύξης(fan-coil) μπορεί να κάνει αυτόματα αποπάγωση με επιτυχία δια θερμών αερίων, ξηραντικού αφυγραντήρα, νερού , ηλεκτρικής θερμότητας ή δια συνεχούς ψεκασμού άλμης. Το σύστημα ψεκασμού άλμης έχει το πλεονέκτημα της παραγωγής της πλήρους ψυκτικής ισχύος για τη μονάδα σε όλες τις περιπτώσεις. Παρόλα αυτά το παραπάνω σύστημα χρειάζεται ένα δίκτυο σωληνώσεων παροχής και επιστροφής με απώτερο σκοπό τη ζέση της απορροφούμενης συμπυκνωμένης υγρασίας και μπορεί να υπόκειται σε μόλυνση με οσμές, βιολογική μόλυνση ή μέσω αερομεταφερόμενης σκόνης.

Απορροή των συμπυκνωμάτων. Όταν τα ‘στοιχεία’ αποπαγώνουν το συμπύκνωμα που έχει σχηματιστεί ως πάγος ή παγετός πάνω σε αυτά λιώνει. Αυτό λοιπόν το νέο συμπύκνωμα συλλέγεται σε ένα δοχείο κάτω από το ‘στοιχείο’ και ρέει εντός ενός συστήματος συλλογής της απορροής της υγρασίας εξωτερικά του χώρου ψύξης. Επειδή ο χώρος είναι ψυχρός τα δοχεία υποδοχής του συμπυκνώματος συνδέονται με το σύστημα αποπάγωσης δια θερμών αερίων ή εναλλακτικά θερμαίνονται ώστε να εμποδιστεί ο εκ νέου σχηματισμός πάγου.

Διάταξη των βαλβίδων. Οι διατάξεις κατάλληλων βαλβίδων τροφοδότησης του ψυκτικού μέσου, βαλβίδων διακοπής και βαλβίδων αποπάγωσης είναι κρίσιμες για τη απόδοση όλων των μονάδων fan-coil. Διάφορα συνδυασμοί στα σχέδια σωληνώσεων με βαλβίδες χρησιμοποιούνται.

Τοποθέτηση των βαλβίδων. Η σωστή τοποθέτηση των βαλβίδων διασφαλίζει τη κατάλληλη και εύκολη συντήρηση των βαλβίδων ελέγχου και διακοπής λειτουργίας. Ο κάτοχος ή σχεδιαστής έχει ορισμένες εναλλακτικές επιλογές στα περισσότερα συστήματα ψύξεως. Εάν χρησιμοποιούνται μονάδες fan-coil που τοποθετούνται σε ειδικούς χώρους πάνω από την οροφή/σκεπή(penthouse), τότε όλες οι βαλβίδες είναι σε γενικές γραμμές τοποθετημένες εκτός του παραπάνω χώρου και είναι προσβάσιμες από τη σκεπή. Οι μονάδες fan-coil που εγκαθίστανται εντός του χώρου ψύξης συνήθως είναι στερεωμένες στη οροφή και αιωρούνται ενώ η πρόσβαση γίνεται μέσω κλωβού ανόδου του προσωπικού πάνω σε περνοφόρο ανυψωτικό όχημα ή μέσω κάποιου παρόμοιου υπηρεσιακού οχήματος. Συνίσταται οι σταθμοί των βαλβίδων σε αυτή τη περίπτωση να εντοπίζονται εκτός του χώρου ψυχρής αποθήκευσης εάν αυτό είναι δυνατό ώστε να διασφαλίζεται η μη εισαγωγή ψυκτικού μέσου απο πιθανές διαρροές στους χώρους ψύξης και επιπλέον για να διευκολύνεται η συντήρησή τους.

Θέματα μελέτης του συστήματος. Στη περίπτωση θερμοκρασιών καταψύξεως κάτω των -32°C συνήθως χρησιμοποιείται διβάθμια συμπίεση. Σύνθετοι συμπιεστές με έλεγχο ικανότητας συμπίεσης ανά βαθμίδα ξεχωριστά μπορούν να χρησιμοποιούνται. Για μεταβλητά φορτία ξεχωριστοί συμπιεστές υψηλής και χαμηλής βαθμίδας(ή και booster) κάθε ένας με έλεγχο της ισχύος συμπίεσεως μπορεί να παρέχουν καλύτερη λειτουργία. Ανάλογα με το επιθυμητό βαθμό της πλεονάζουσας ισχύος συμπίεσης δύο ή περισσότεροι συμπιεστές μπορούν να επιλεγούν σε κάθε θερμοκρασιακό επίπεδο αναρρόφησης. Αυτό επίσης επιτρέπει το κλείσιμο ενός ή περισσότερων συμπιεστών κατά τη διάρκεια των ψυχρότερων μηνών χειμώνα όταν το συνολικό ψυκτικό φορτίο προς κάλυψη μειώνεται. Η πλεονάζουσα ισχύς συμπίεσης μπορεί επίσης παρέχεται σε πολλά συστήματα δια της σταυροειδούς σύνδεσης των σωληνώσεων έτσι ώστε ένας συμπιεστής υψηλής βαθμίδας που δεν εργάζεται σε δεδομένη χρονική στιγμή να μπορεί να λειτουργήσει ως προσωρινός χαμηλής και μονής βαθμίδας συμπιεστής στη περίπτωση όπου ένας συμπιεστής τύπου booster τεθεί για οποιονδήποτε λόγο εκτός λειτουργίας. Διάφοροι συνδυασμοί της σταυροειδούς σύνδεσης είναι δυνατοί..

Συμπιεστές υψηλής βαθμίδας με αναρρόφηση σε ενδιάμεσες τιμές της πίεσης και της θερμοκρασίας επιλέγονται συνήθως για να παρέχεται η αναγκαία ψύξη σε αποβάθρες φόρτωσης υπό ψύξη αλλά και για θαλάμους συντήρησης άνω των 0°C .

Επίσης σε ένα διβάθμιο σύστημα το υγρό ψυκτικό μέσο πρέπει να προψυχθεί στην πίεση αναρρόφησης συμπιεστής υψηλής βαθμίδας (ενδιάμεση πίεση και θερμοκρασία) ώστε να μειωθεί το φορτίο για το συμπιεστή χαμηλής βαθμίδας. Αυτή η διαδικασία πρακτικά βελτιώνει το βαθμό απόδοσης του συμπιεστή η_c και συνεπώς της ψυκτικής εγκατάστασης συνολικά.

Μία αυτόματη διάταξη καθαρισμού είναι απαραίτητη για να αφαιρεθεί αέρας και μη-συμπυκνούμενα αέρια σε ένα σύστημα ψύξεως.

Σχεδόν όλοι οι συμπιεστές που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία ψύξεως για τον ευρύτερο σχεδιασμό των ψυκτικών συγκροτημάτων κάνουν χρήση ελαίου για τη λίπανση. Όλοι οι συμπιεστές χάνουν μια συγκεκριμένη ποσότητα ελαίου από τη μονάδα του συμπιεστή προς το συμπυκνωτή και τη χαμηλή πλευρά του συστήματος ψύξης. Οι ψυκτικές μονάδες είτε αλογονανθράκων είτε αμμωνίας πρέπει να έχουν τρόπους επανάκτησης του ελαίου από όλα τα δοχεία της χαμηλής πλευράς και από τους εναλλάκτες θερμότητας που το έλαιο τείνει να συσσωρεύεται. Στις διατάξεις περιλαμβάνονται δέκτες χαμηλής πίεσης, συσσωρευτές αναρρόφησης, ατμοποιητές (τύπου σωληνώσεων-κελύφους), ψύκτες υγρού ψυκτικού μέσου μεταξύ διαδοχικών βαθμίδων συμπίεσης ενδιάμεσης και χαμηλής θερμοκρασίας και οικονομητήρες. Ο συμπιεστής πρέπει να διαθέτει ένα καλό διαχωριστή απομάκρυνσης του ελαίου. Οι μέθοδοι ανάκτησης του ελαίου είναι διαφορετικές για αλογονάνθρακες και αμμωνία. Η επανάκτηση του ελαίου για τα συστήματα αμμωνίας γίνεται συνήθως χειροκίνητα και απορρίπτεται μετά, ενώ η επανάκτηση του ελαίου σε συστήματα αλογονανθράκων μπορεί να γίνει είτε χειροκίνητα είτε αυτόματα και συνήθως επαναχρησιμοποιείται στο σύστημα της ψύξεως. Στοιχεία καταγραφής της ποσότητας ελαίου πρέπει να διατηρούνται ώστε να καταγράφονται τα ποσά ελαίου που προστίθενται ή αφαιρούνται από το σύστημα.

Η χρήση εμπορικού τύπου, αερόψυκτου συμπυκνωτή, 'έτοιμου' ψυκτικού μέσου αλογονάθρακα ή μονάδας προσυναρμολογημένης στο εργοστάσιο θεωρείται κοινή πρακτική, ιδιαίτεως στις μικρότερες μονάδες. Αυτά τα συστήματα ψύξεως έχουν χαμηλότερο αρχικό κόστος, μικρότερες απαιτήσεις χώρου και δεν χρειάζονται ειδικό χώρο αποθήκευσης του μηχανολογικού εξοπλισμού ή επίβλεψη από μηχανικό. Όμως είναι σαφώς πιο ενεργοβόρες, έχουν υψηλότερα κόστη λειτουργίας και συντήρησης και παρουσιάζουν μικρότερη διάρκεια ζωής συστατικά στοιχεία (κυρίως συμπιεστές) σε σχέση με τα κεντρικά συστήματα ψύξεως.

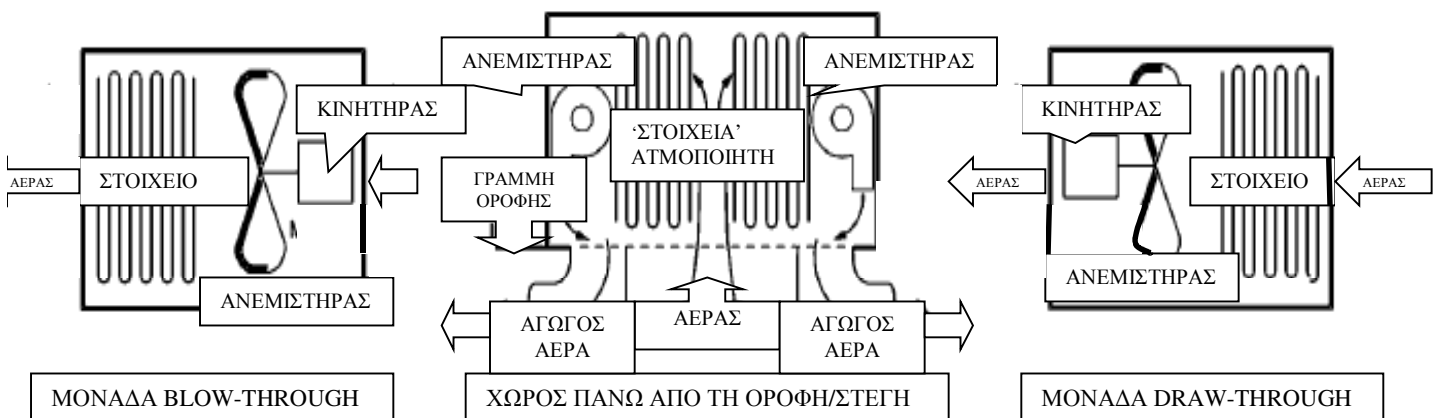
Πολλαπλές εγκαταστάσεις. Για τη διανομή αέρα χωρίς εργασίες τοποθέτησης ενός συστήματος αγωγών, χρησιμοποιείται η εγκατάσταση πολλαπλών μονάδων fan-coil. Στη περίπτωση των μονώροφων κτιριακών εγκαταστάσεων, μονάδες διακίνησης του αέρα, που είναι εγκατεστημένες σε **ειδικούς χώρους αποθήκευσης πάνω από την οροφή(penthouse)** με διατάξεις διανομής αέρα που είτε περνά μέσω ενός συστήματος αγωγών είτε όχι, χρησιμοποιούνται με σκοπό τη πλήρη αξιοποίηση του χώρου του δαπέδου στο θάλαμο της ψυχρής αποθήκευσης(βλ. σχήμα 7). Συστήματα ψύξεως προκατασκευασμένα-μοναδιαία ή ανεγειρόμενα στο χώρο λειτουργίας-εφαρμοσμένα ή και μονάδες ψύξης συνδεδεμένες με κεντρική ψυκτική εγκατάσταση μπορούν να ενσωματωθούν στη σχεδίαση του **χώρου στέγασης πάνω από την οροφή(penthouse)**. Οι μοναδιαίες μονάδες παραγωγής ψύξης τοποθετούνται εντός του χώρου πάνω από τη οροφή με εργασίες τοποθέτησης κατάλληλου συστήματος αγωγών για τη διανομή αέρα προς το ψυκτικό θάλαμο, σχεδιασμένο διαμέσου του δαπέδου του χώρου πάνω από τη οροφή και έως κάτω από τη μονωμένη οροφή του θαλάμου. Αέρας επιστροφής διέρχεται μέσω των σχαρών δαπέδου του χώρου πάνω από τη οροφή. Το σύστημα αυτό αποφεύγει την ανάμιξη των μονάδων fan-coil που θα στερεώνονταν κάτω από την οροφή εντός του θαλάμου ψύξης και διευκολύνει τη πρόσβαση του προσωπικού αναφορικά με τη συντήρησή τους.

Οι σωληνώσεις απορροής συμπυκνωμάτων περνάνε μέσω των μονωμένων τοίχων του χώρου πάνω από τη οροφή και κατόπιν πάνω στη κύρια οροφή του χώρου ψυχρής αποθήκευσης. Το κύριο δίκτυο αγωγών παροχής του ψυκτικού μέσου και ηλεκτρικών αγωγών κάλυψης μπορούν να εκτείνονται πάνω από τη οροφή του θαλάμου και με τη κατάλληλη δομή υποστήριξης έως το κεντρικό χώρο του συμπιεστή. Οι θερμοστάτες

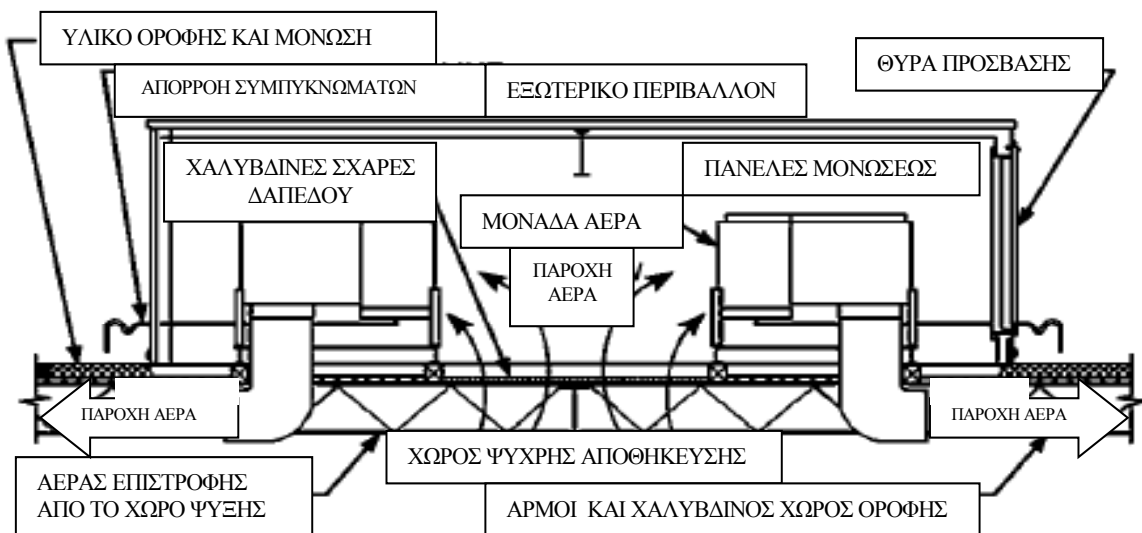
και ο ηλεκτρολογικός εξοπλισμός μπορούν να στεγαστούν εντός του χώρου πάνω από τη οροφή(penthouse).

Μια θύρα πρόσβασης του τεχνικού προσωπικού προς το χώρο πάνω από τη οροφή είναι απαραίτητη για τη κατάλληλη και άνετη συντήρηση ή επιδιόρθωση αν χρειαστεί. Οι εσωτερικοί μονωμένοι τοίχοι και οροφή του χώρου πάνω από τη κύρια οροφή του θαλάμου ψύξης πρέπει να είναι υδατοστεγείς ώστε να αποτρέψουν πιθανά φαινόμενα εμφάνισης συμπύκνωσης που θα επιβαρύνουν τη μόνωση αλλά και να διατηρήσουν την ακεραιότητα του φραγμού υδρατμών της κατασκευής. Ορισμένα πλεονεκτήματα του χώρου πάνω από την οροφή του θαλάμου ψύξης είναι

1. Οι μονάδες ψύξης , οι στενοί διάδρομοι μεταξύ των μηχανημάτων(catwalks) και τα δίκτυα των σωληνώσεων δεν εμπλέκονται στο χώρο ψυχρής αποθήκευσης προϊόντων και δεν υπόκεινται σε φυσικές φθορές από τη εργασία στοιβάγματος των οχημάτων εντός του θαλάμου.
2. Η συντήρηση ή επιδιόρθωση σε όλο το εξοπλισμό παραγωγής ψύξεως και στα συστήματα ελέγχου μπορεί να ανατεθεί σε ένα κατάλληλο άτομο που θα εισέρχεται από θέση των σχαρών του δαπέδου
3. Τα κόστη συντήρησης και επιδιόρθωσης ελαχιστοποιούνται
4. Τα κύρια δίκτυα σωληνώσεων, οι συσκευές ελέγχου και οι βαλβίδες διακοπής είναι τοποθετημένα εκτός του ψυκτικού θαλάμου.
5. Εάν οι βαλβίδες ελέγχου και διακοπής είναι τοποθετημένες εκτός του χώρου πάνω από την οροφή οποιαδήποτε διαρροή ψυκτικού μέσου θα συμβεί εκτός του χώρου ψυχρής αποθήκευσης.



Σχήμα 6 Συνήθειες Διατάξεις Μονάδας Fan-Coil σε Ψυκτικά Συγκροτήματα



Σχήμα 7 Μονάδες Ψύξης σε Χώρο πάνω από τη Οροφή

ΚΑΤΑΨΥΚΤΕΣ

Οι καταψύκτες εντός ψυκτικών συγκροτημάτων χρησιμοποιούνται γενικά για τη κατάψυξη προϊόντων ή για τη ψύξη προϊόντων από κάποια υψηλότερη θερμοκρασία σε εκείνη του χώρου ψυχρής αποθήκευσης. Η αποτυχία της κατάλληλης ψύξης του εισερχόμενου προϊόντος μεταφέρει αναγκαστικά το παραμένον φορτίο ψύξης του προϊόντος στο ψυκτικό συγκρότημα αυξάνοντας έτσι σημαντικά τα λειτουργικά του κόστη. Ίσως μεγαλύτερου ενδιαφέροντος θεωρείται ότι η **λανθάνουσα αποθήκευση (dormant storage)** δια της ήρεμης ψύξης σε ένα ψυκτικό θάλαμο ίσως δεν μπορέσει να ψύξει το προϊόν αρκετά γρήγορα ώστε να αποτρέψει τη βακτηριακή ανάπτυξη που προκαλεί με τη σειρά της αλλοιώσεις στο προϊόν. Επιπλέον, άλλα αποθηκευμένα προϊόντα, ήδη καταψυγμένα μπορεί να επηρεαστούν άμεσα από τη τοπική θερμότητα που δεν αφαιρέθηκε κατάλληλα και γρήγορα ωριότερα.

Λόγω επομένως των παραπάνω φαινομένων πολλά ψυκτικά συγκροτήματα διαθέτουν καταψύκτες ισχυρού ρεύματος/ριπής αέρα που οι παραγωγοί μπορούν να συνάψουν συμφωνία για χρήση. Η κατάψυξη με ισχυρό ρεύμα αέρα διασφαλίζει ότι τα προϊόντα καταψύχονται κατάλληλα σε ελάχιστο χρόνο πριν τη τοποθέτησή τους στο συμβατικό θάλαμο ψυχρής αποθήκευσης στη θερμοκρασία συντήρησης και ότι η ποιότητά τους διατηρείται αναλλοίωτη. Τα σύγχρονα συστήματα ελέγχου επιτρέπουν δειγματοληψία των τιμών θερμοκρασίας από τον εσωτερικό πυρήνα των προϊόντων (θερμοκρασία θερμικού κέντρου δηλαδή) και τη εκτύπωση των αρχείων καταγραφής στη περίπτωση που οι πελάτες το ζητήσουν. Το κόστος της συντήρησης και πιθανών επισκευών για το καταψύκτη ισχυρού ρεύματος αέρα μπορεί να κατανεμηθεί στους χρήστες του αναλογικά επιτρέποντας αφενός υψηλότερη απόδοση ψύξης αφετέρου χαμηλότερο κόστος για τους υπόλοιπους πελάτες του χώρου ψυχρής αποθήκευσης.

Παρά το γεγονός ότι υπάρχουν πολλά είδη καταψυκτών συμπεριλαμβανομένων των **ζώνης(belt), δίσκου(tray), πλάκας επαφής(contact plate), σπειροειδείς(spiral)**, και άλλα, η συνηθέστερη διάταξη που χρησιμοποιείται στα ψυκτικά συγκροτήματα σχεδιάζεται με τέτοιο τρόπο ώστε να υποδέχεται παλέτες προϊόντων μέσω οχημάτων περονοφόρων ανυψωτικών. Η περιοχή καταψύξεως είναι τεράστια, ελεύθερη εμποδίων και διαθέτει μεγάλες θύρες.

Το σχήμα 8 απεικονίζει ένα συνήθη καταψύκτη ισχυρού ρεύματος/ριπής αέρα που χρησιμοποιείται σε ένα συγκρότημα ψύξεως. Οι θερμοκρασίες του αέρα είναι υπό κανονικές συνθήκες γύρω στους -35°C αλλά μπορεί να είναι υψηλότερες ή και

χαμηλότερες ανάλογα με το είδος του προϊόντος που καταψύχεται. Μόλις ο ψυκτικός θάλαμος είναι πλήρης σύμφωνα με τη χωρητικότητα σχεδιάσεως σφραγίζεται και το σύστημα ξεκινά. Ο χρόνος της διαδικασίας κατάψυξης μπορεί να ελεγχθεί μέσω ενός ρολογιού μέτρησης του χρόνου, μέσω χειροκίνητου τερματισμού ή μέσω μετρήσεως της εσωτερικής θερμοκρασίας του προϊόντος και παύσης της διαδικασίας μόλις η θερμοκρασία ελέγχου επιτευχθεί. Η τελευταία μέθοδος δίνει και τη βέλτιστη απόδοση. Μόλις το προϊόν καταψυχθεί οι παλέτες μεταφέρονται σε γενικούς θαλάμους ψυχρής αποθήκευσης για συντήρηση στη παραπάνω θερμοκρασία που επετεύχθη.

Επειδή ο καταψύκτης ισχυρού ρεύματος αέρα συνήθως εργάζεται με διακοπές (ασυνεχώς), οι κάτοχοι τέτοιου καταψύκτη πρέπει να προτιμούν εάν είναι δυνατόν τη λειτουργία του όταν το κόστος ενέργειας είναι το χαμηλότερο. Δυστυχώς τα προϊόντα-τρόφιμα πρέπει να καταψύχονται όσο το δυνατόν πιο σύντομα ενώ συνήθως παραδίδονται κατά τη διάρκεια χρονικών περιόδων μέγιστης ηλεκτρικής ζήτησης. Εναλλακτικές πηγές ηλεκτρικής ενέργειας όπως μηχανές καύσης φυσικού αερίου ή μονάδες ντήζελ πρέπει να εξετάζονται. Αν και έχουν συνήθως 'πρόσθετα' αρχικά κόστη και κόστη συντήρησης δεν υπόκεινται σε μεταβολές ενεργειακού κόστους βάσει της ζήτησης της εκάστοτε χρονικής περιόδου και μπορεί να προσφέρουν για αυτό εξοικονόμηση.

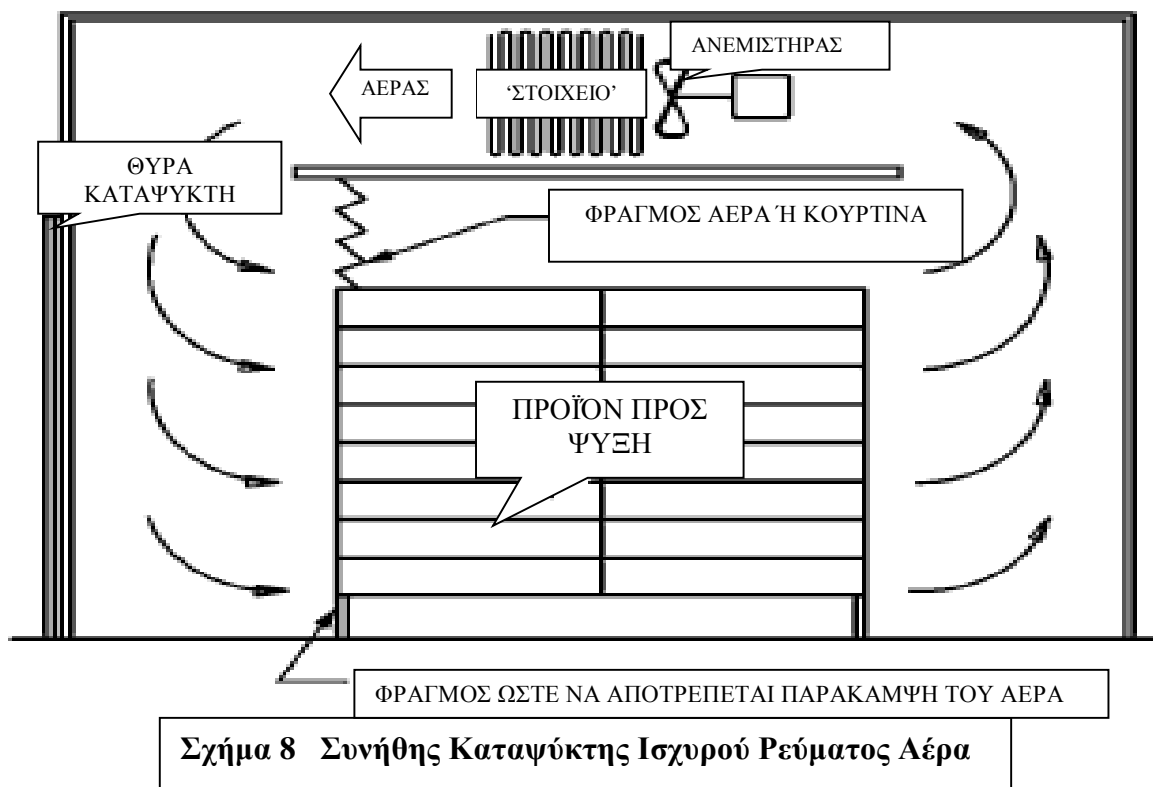
Οι τεχνικές αποπάγωσης για καταψύκτες ισχυρού ρεύματος αέρα είναι παρόμοιες με τις συνήθεις μεθόδους αποπάγωσης για μονάδες fan-coil του συγκροτήματος ψύξης. Τα 'στοιχεία' (του ατμοποιητή) συχνά αποψύχονται αφού ο κύκλος ψύξεως προϊόντος ολοκληρωθεί ή κατά τη διάρκεια της εκκένωσης του καταψύκτη για να παραλάβει το επόμενο φορτίο των προς ψύξη προϊόντων.

Τα συστήματα ανακύκλωσης του ψυκτικού μέσου με τη βοήθεια αντλιών αλλά και υπερχειλίστη τύμπανου (flooded surge drum coils) που εξυπηρετούν μονάδες fan-coil έχουν χρησιμοποιηθεί με επιτυχία. Σύστημα κυκλοφορίας άμεσης διαστολής για τη μονάδα fan-coil μπορεί να χρησιμοποιηθεί αλλά ο σχεδιαστής πρέπει να είναι προσεκτικός με τα συστήματα διαστολής βαλβίδων (expansion valve systems) και να μελετήσει τα κυκλώματα των 'στοιχείων', την υπερτροφοδότηση με υγρό ψυκτικό μέσο, τη επιστροφή ελαίου και την αποπάγωση. Συμβατικές συσκευές αφαίρεσης ελαίου πρέπει να παρέχονται σε συστήματα υπερχειλίστη και κυκλοφορίας ψυκτικού μέσου δια αντλιών που εξυπηρετούν μονάδες fan-coil, επειδή ο καταψύκτης ισχυρού ρεύματος αέρα είναι συνήθως το σύστημα της χαμηλότερης θερμοκρασιακής στάθμης στο ψυκτικό συγκρότημα και μπορεί να συσσωρευτούν έλαια με τη πάροδο χρόνου.

Η θέρμανση του δαπέδου (υποδαπέδια συνήθως) στο καταψύκτη μπορεί να είναι κατάλληλη για τα προϊόντα που παρουσιάζουν υγρασία κατά τη διάρκεια φόρτωσης και αποστολής από το ψυκτικό συγκρότημα.

Η πλειονοψηφία των καταψυκτών ισχυρού ρεύματος αέρα έχουν πρόσβαση από χώρο ψύξης ώστε τα προϊόντα να μπορούν να μετακινηθούν απευθείας από το θάλαμο αυτού του καταψύκτη προς τις σχάρες αποθήκευσης των κοινών χώρων ψύξης για συντήρηση.

Τέλος οι θάλαμοι του παραπάνω είδους καταψυκτών ειδικού τύπου μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως χώρος για απλή αποθήκευση όταν αυτό δεν λειτουργεί.



ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ/ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΕΛΕΓΧΟΥ

Ο όρος 'συστήματα/διατάξεις ελέγχου' αναφέρεται σε οποιοδήποτε μηχανισμό ή και συσκευή χρησιμοποιείται για έναρξη, διακοπή, ρύθμιση, προστασία ή συστηματική παρακολούθηση της σωστής λειτουργίας ενός κινητού ή λειτουργικού τμήματος του εξοπλισμού. Οι διατάξεις ελέγχου για οποιοδήποτε σύστημα που πρέπει να ελέγχεται μπορεί να είναι απλές ηλεκτρομηχανικές συσκευές όπως διακόπτες πίεσης και ηλεκτρονόμοι-ρελέ με χρονοδιακόπτη ή σύνθετες όπως ένα πλήρες ψηφιακό σύστημα ελέγχου με αναλογικούς αισθητήρες και ένα υψηλής ταχύτητας δίκτυο επικοινωνίας συνδεδεμένο με έναν οπτικό σταθμό ηλεκτρονικών υπολογιστών. Καθώς η ύπαρξη συστημάτων ελέγχου είναι απαραίτητη σε κάθε βιομηχανία υπάρχει ευρεία ποικιλία για επιλογή. Τα τελευταία χρόνια η βιομηχανία ψύξεως έχει 'απομακρυνθεί' από τη χρήση ηλεκτρομηχανικών συσκευών και τείνει προς τη χρήση εξειδικευμένων μικροεπεξεργαστών, προγραμματιζόμενων λογικών ελεγκτών αλλά και ηλεκτρονικών υπολογιστών για το έλεγχο μιας μονάδας ή ενός συστήματος ψύξης.

Οι ηλεκτρομηχανικές συσκευές ελέγχου πάντως θα συνεχίσουν να χρησιμοποιούνται για κάποιο χρονικό διάστημα και ίσως να μην αντικατασταθούν ποτέ εξ' ολοκλήρου για κάποιες λειτουργίες ελέγχου (π.χ χρήση ηλεκτρονόμων για ηλεκτρική απομόνωση του υψηλού ρεύματος)

Τα συστήματα ελέγχου μικροεπεξεργαστών και οι ηλεκτρονικοί αισθητήρες γενικά προσφέρουν τα ακόλουθα πλεονεκτήματα έναντι των ηλεκτρομηχανικών διατάξεων ελέγχου:

1. Περισσότερο ακριβείς αναγνώσεις των αποτελεσμάτων και ως εκ τούτου καλύτερος και πιο λεπτομερειακός έλεγχος
2. Ευκολότερη λειτουργία
3. Μεγαλύτερη ευελιξία μέσω ρυθμιζόμενων σημείων αναφοράς και παραμέτρων λειτουργίας
4. Περισσότερες πληροφορίες σχετικά με τις συνθήκες λειτουργίας, προειδοποιήσεις κινδύνου, τις διακοπές λειτουργίας λόγω βλαβών καθώς και τις ανιχνεύσεις βλαβών
5. Ικανότητα σύνδεσης εξ αποστάσεως με απομακρυσμένους σταθμούς λειτουργίας.

Υπάρχουν 4 κύριες περιοχές ελέγχου σε όλα τα συστήματα ψύξεως ενός ψυκτικού συγκροτήματος με ένα κεντρικό χώρο τοποθέτησης του συμπιεστή:

1. **Έλεγχος συνολικού τμήματος του συμπιεστή.** Ελάχιστες απαιτήσεις: τακτικό ξεκίνημα, τακτικό κλείσιμο, έλεγχος της ισχύος συμπίεσεως ώστε να διατηρείται η πίεση αναρρόφησης σταθερή, παρακολούθηση με σύστημα συναγερμού καθώς και το κλείσιμο λειτουργίας για λόγους ασφάλειας
2. **Έλεγχος συμπυκνωτή.** Ελάχιστες απαιτήσεις: έναρξη / διακοπή των ανεμιστήρων της μονάδας fan-coil συμπύκνωσης και της αντλίας νερού ώστε να διατηρείται μια αρκετά μεγάλη σταθερή ή κυμαινόμενη πίεση κατάθλιψης(εξόδου) ψυκτικού μέσου.
3. **Έλεγχος ατμοποιητή.** Ελάχιστες απαιτήσεις: έλεγχος των ανεμιστήρων των μονάδων αέρα καθώς και της παροχής του υγρού ψυκτικού μέσου ώστε αφενός να διατηρούνται οι θερμοκρασίες αέρα στο ψυκτικό θάλαμο σταθερές και αφετέρου η οργάνωση/διάταξη των σταθμών βαλβίδων ψυκτικού μέσου για τη μονάδα αέρα να είναι τέτοια ώστε να παρέχεται αυτόματη αποπάγωση του στοιχείου ατμοποίησης
4. **Διαχείριση της ροής του ψυκτικού μέσου.** Ελάχιστες απαιτήσεις: διατήρηση των επιθυμητών επιπέδων ψυκτικού μέσου στις σωληνώσεις μεταφοράς, έλεγχος των βαλβίδων και αντλιών που μεταφέρουν όσο ψυκτικό μέσο είναι απαραίτητο μεταξύ των σωληνώσεων μεταφοράς και των μονάδων αέρα στο σύστημα και κατάλληλη διακοπή λειτουργίας στη περίπτωση είτε υπερτροφοδότησης ή υποτροφοδότησης με ψυκτικό μέσο.

Πιθανός έλεγχος άλλων περιοχών, όπως η ανίχνευση διαρροής ψυκτικού μέσου και η ενεργοποίηση συναγερμού, η τοποθέτηση εν σειρά πολλαπλών συμπιεστών με στόχο τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης και ο έλεγχος του συστήματος ενδοδαπέδιας θέρμανσης μπορεί να είναι επιθυμητός.

Λόγω της μεγάλης ποικιλίας και των γρήγορα εξελισσόμενων δυνατοτήτων των επιμέρους συστατικών στοιχείων και των συστημάτων ελέγχου που είναι πλέον διαθέσιμα είναι αδύνατον να προσδιορίσουμε ή να προτείνουμε μια απόλυτη λίστα τέτοιων στοιχείων ελέγχου. Όμως είναι δυνατόν να παρέχουμε γενικές κατευθυντήριες γραμμές για τη σχεδίαση και το γενικό πλάνο των συνολικών συστημάτων ελέγχου ανεξάρτητα των επιμέρους στοιχείων ελέγχου που χρησιμοποιούνται ή τις λειτουργίες που πρόκειται να ελεγχθούν. Αυτή η σχεδίαση ή το γενικό περίγραμμα καλείται Αρχιτεκτονική των Συστημάτων Ελέγχου.

Όλα τα συστήματα ελέγχου αποτελούνται από 4 κύρια δομικά στοιχεία ή επιμέρους τμήματα ελέγχου:

1. **Ελεγκτές:** Μικροεπεξεργαστές με λογισμικό ελέγχου
2. **Μονάδες Εισόδου/Εξόδου(I/Os):** Μέσα σύνδεσης/επικοινωνίας συσκευών ή των αποτελεσμάτων μετρήσεων προς το ελεγκτή
3. **Σύστημα σύνδεσης/διεπαφής του χειριστή(π.χ περιβάλλον χρήστη):** Μέσα μεταφοράς πληροφοριών από τον ελεγκτή προς το προσωπικό διαχείρισης του συστήματος ελέγχου
4. **Μέσα διασύνδεσης:** Μέσα μετάδοσης πληροφοριών μεταξύ ελεγκτών, μονάδων εισόδου/εξόδου(I/Os), και συστημάτων σύνδεσης χειριστή(π.χ περιβάλλον χρήστη)
Η αρχιτεκτονική των συστημάτων ελέγχου καθορίζει τη ποσότητα, τη θέση και τη λειτουργία αυτών των βασικών στοιχείων ελέγχου. Η αρχιτεκτονική προσδιορίζει την αξιοπιστία, την επεκτασιμότητα, τις δυνατότητες του συστήματος σύνδεσης χειριστή, το κόστος των στοιχείων ελέγχου και το κόστος εγκατάστασης για ένα συνολικό σύστημα ελέγχου. Για αυτό το λόγο η αρχιτεκτονική πρέπει να σχεδιάζεται πριν επιλεγούν οι κατασκευαστές και πωλητές των επιμέρους στοιχείων ελέγχου.

Τα ακόλουθα είναι τα βασικά βήματα για τη σχεδίαση ενός συστήματος ελέγχου σε ένα ψυκτικό συγκρότημα.

Βήμα 1. Να καθοριστούν οι εργασίες ελέγχου. Στο βήμα αυτό πρέπει να παρέχεται μια πλήρης και λεπτομερειακή καταγραφή των μονάδων I/Os συμπεριλαμβανομένης της ποσότητας και του είδους. Έχοντας συντάξει μια τέτοια λίστα καταγραφής και με τη βοήθεια λίγης εμπειρίας και γνώσεων επί του διαθέσιμου υλικού, το είδος, η ποσότητα και η ισχύς επεξεργασίας των απαραίτητων ελεγκτών μπορούν τότε να προσδιοριστούν.

Βήμα 2. Να προσδιοριστούν οι φυσικές θέσεις των συσκευών ελέγχου και των μετρήσεων που πρέπει να ληφθούν. Εάν απομονωμένες μονάδες I/Os ή πολλαπλοί ελεγκτές είναι τοποθετημένοι κοντά σε τέτοιες συσκευές και αισθητήρες τα κόστη εγκατάστασης των καλωδιώσεων στο χώρο μπορούν να μειωθούν. Για τη αποφυγή πρόσθετων κοστών ή μη πρακτικότητας τα περιβάλλοντα των διαφόρων θέσεων πρέπει να συγκρίνονται με τις προδιαγραφές περιβάλλοντος του υλικού που πρόκειται να τοποθετηθεί σε αυτά. Οι απαιτήσεις συντήρησης μπορούν επίσης να επηρεάσουν τη επιλογή των φυσικών θέσεων των μονάδων I/Os και του ελεγκτή.

Βήμα 3. Να προσδιοριστούν οι απαιτήσεις ολοκλήρωσης των εργασιών ελέγχου. Οι εργασίες ελέγχου που χρειάζονται και μοιράζονται τις ίδιες πληροφορίες (όπως η κοινή ανάγνωση της πίεσης κατάθλιψης ή εξόδου για τη έναρξη τόσο του ανεμιστήρα του συμπυκνωτή όσο και της αντλίας νερού αυτού) πρέπει να πραγματοποιηθούν είτε μέσω του ίδιου ελεγκτή ή μέσω πολλαπλών ελεγκτών που μοιράζονται τις ίδιες πληροφορίες με τη βοήθεια των μέσων διασύνδεσης. Οι εργασίες που δεν μοιράζονται κοινές πληροφορίες μπορούν να ελεγχθούν από ξεχωριστούς ελεγκτές. Η χρήση πολλαπλών ελεγκτών πάντως ελαχιστοποιεί τη πιθανότητα καταστροφικών αστοχιών κατά το έλεγχο. Στη περίπτωση πολλαπλών ελεγκτών που διαμοιράζονται τις ίδιες πληροφορίες τα μέσα διασύνδεσης πρέπει να είναι στιβαρά με ελάχιστη πιθανότητα αστοχίας για κρίσιμες εργασίες ελέγχου. Πιο συγκεκριμένα η ταχύτητα της μεταφοράς δεδομένων μεταξύ ελεγκτών πρέπει να είναι κατάλληλη ώστε να διατηρείται η απαιτούμενη ακρίβεια κατά το έλεγχο.

Βήμα 4. Να προσδιοριστούν οι απαιτήσεις για το σύστημα σύνδεσης του χειριστή. Αυτό περιλαμβάνει τη διαπίστωση για το ποιοι ελεγκτές πρέπει να διαθέτουν ένα τοπικό ή απομονωμένο σύστημα σύνδεσης χειριστή, πόσοι απομονωμένοι σταθμοί σύνδεσης χειριστή είναι απαραίτητοι καθώς και το καθορισμό απαιτήσεων σε υλικό και λογισμικό για τα παραπάνω συστήματα σύνδεσης χρήστη.

Βήμα 5. Να επιλεγούν τα μέσα διασύνδεσης μεταξύ ελεγκτών και των απομονωμένων μονάδων τους I/Os, μεταξύ διαφορετικών ελεγκτών και τέλος μεταξύ ελεγκτών και των συστημάτων σύνδεσης χειριστή. Το μέσο/μονάδα διασύνδεσης για απομονωμένες μονάδες I/Os συνήθως καθορίζεται από το κατασκευαστή του ελεγκτή, πρέπει να είναι στιβαρό και υψηλής ταχύτητας καθώς οι αποφάσεις των ελεγκτών στηρίζονται σε δεδομένα πραγματικού χρόνου. Το μέσο διασύνδεσης μεταξύ ελεγκτών επίσης ορίζεται συνήθως από το κατασκευαστή του ελεγκτή ενώ οι απαιτήσεις ταχύτητας εξαρτώνται από τις εργασίες ελέγχου που πρόκειται να εκτελεστούν και τις κοινά διαμοιραζόμενες πληροφορίες τους. Στη περίπτωση της σύνδεσης ελεγκτών και των συστημάτων διεπαφής/σύνδεσης χρήστη η ταχύτητα δεν είναι συνήθως τόσο κρίσιμη παράμετρος καθώς ο έλεγχος συνεχίζεται ακόμα και αν διακοπεί η σύνδεση. Για τη σύνδεση του συστήματος διεπαφής του χρήστη η ταχύτητα πρόσβασης στα δεδομένα του ελεγκτή δεν είναι ουσιαστικά τόσο κρίσιμη όσο κυρίως το να επιτρέπεται η πρόσβαση σε όλα τα διαθέσιμα δεδομένα από τον ελεγκτή.

Βήμα 6. Να εκτιμηθεί η αρχιτεκτονική του συστήματος ελέγχου για τη τεχνική αξία της. Τα πρώτα 5 βήματα πρέπει να σχηματίζουν ένα κατάλογο ελεγκτών, τις θέσεις τους, τα συστήματα σύνδεσης/διεπαφής του χειριστή αυτών των ελεγκτών και τις εργασίες ελέγχου (λειτουργίες που πρόκειται να ελεγχθούν) που υπάγονται σε αυτούς τους ελεγκτές. Εφόσον ο κατάλογος ολοκληρωθεί οι ελεγκτές που έχουν επιλεγεί πρέπει να αξιολογηθούν ως προς τη διαθέσιμη μνήμη του επεξεργαστή τους για το προγραμματισμό αλλά και ως προς τη διαθέσιμη υπολογιστική ισχύ μεταφοράς δεδομένων προς μονάδες I/O για τρέχουσες και μελλοντικές απαιτήσεις. Τα μέσα διασύνδεσης που έχουν επιλεγεί πρέπει να αξιολογηθούν ως προς τους περιορισμούς αποστάσεως και ταχύτητας. Εάν οποιεσδήποτε αδυναμίες ανιχνευτούν σχετικά με τα παραπάνω ένα διαφορετικό μοντέλο, είδος ή ακόμη και κατασκευαστής του δομικού στοιχείου ελέγχου που παρουσιάζει πρόβλημα πρέπει να επιλεγεί.

Βήμα 7. Να αξιολογηθεί η αρχιτεκτονική του συστήματος ελέγχου ως προς τη διαθεσιμότητα του κατάλληλου λογισμικού. Ο καλύτερος μικροεπεξεργαστής δεν έχει πρακτική χρησιμότητα χωρίς τη ύπαρξη κατάλληλου λογισμικού για να λειτουργήσει. Πρέπει να εξακριβωθεί ότι το λογισμικό υπάρχει ή μπορεί εύκολα να 'γραφτεί' ώστε να παρέχει (1) μετάδοση πληροφοριών μεταξύ των ελεγκτών και των συστημάτων σύνδεσης/διεπαφής χειριστή (2) λειτουργίες προγραμματισμού που είναι απαραίτητες για να εκτελεστούν οι εργασίες ελέγχου και (3) αναγκαίες τεχνικές δυνατότητες του συστήματος σύνδεσης χειριστή όπως γραφικά, δεδομένα ιστορικού, αναφορές και διαχείριση της λειτουργίας συναγερμού. Να αποφεύγεται η χρήση λογισμικού που δεν έχει ελεγχθεί ή λογισμικού άλλου κατόχου.

Βήμα 8. Να αξιολογηθεί η αρχιτεκτονική του συστήματος ελέγχου ως προς συνθήκες διακοπής λειτουργίας. Πρέπει να προσδιοριστεί πώς το σύστημα θα μπορέσει να λειτουργήσει με μια βλάβη σε κάθε ένα ελεγκτή ξεχωριστά. Στη περίπτωση που η βλάβη συγκεκριμένου ελεγκτή αποδειχθεί καταστροφική περισσότεροι ελεγκτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη περαιτέρω καλύτερη κατανομή των εργασιών ελέγχου ή ηλεκτρομηχανικά στοιχεία μπορεί να προστεθούν ώστε να επιτρέπουν τη χειροκίνητη ολοκλήρωση των εργασιών. Στο ενδεχόμενο σύνθετων λειτουργιών που είναι αδύνατον να ελεγχθούν χειροκίνητα, είναι απολύτως απαραίτητο πλεονάζων ή εφεδρικό υλικό ελέγχου να είναι αποθηκευμένο και το τεχνικό προσωπικό να είναι εκπαιδευμένο στη ανίχνευση βλαβών και στη επανεγκατάσταση του λογισμικού και υλικοτεχνικού εξοπλισμού ελέγχου.

Βήμα 9. Να αξιολογηθεί η προτεινόμενη αρχιτεκτονική του συστήματος ελέγχου αναφορικά με το κόστος, έχοντας συμπεριλάβει και τα κόστη καλωδιώσεων του πεδίου, των στοιχείων ελέγχου, της έναρξης, της εκπαίδευσης του προσωπικού, του κλεισίματος λειτουργίας καθώς και της συντήρησης. Όλα αυτά τα κόστη πρέπει να εξεταστούν συνολικά για μια δίκαιη και κατάλληλη εκτίμηση. Εάν ο προϋπολογισμός υπερβεί τις προβλέψεις τότε τα βήματα 1 έως 8 πρέπει να επαναληφθούν αφαιρώντας οποιαδήποτε εργασία προς έλεγχο δεν θεωρείται απόλυτα απαραίτητη και μειώνοντας το πλήθος των ελεγκτών, I/Os και των συστημάτων σύνδεσης/διεπαφής του χειριστή.

Εφόσον σχεδιαστεί η αρχιτεκτονική του συστήματος ελέγχου επιμέρους τμήματα της λειτουργίας του λογισμικού πρέπει να προσδιοριστούν. Αυτό περιλαμβάνει στοιχεία όπως απαραίτητα 'σημεία αναφοράς' για μια λειτουργία που πρόκειται να ελεγχθεί, αλγορίθμους ελέγχου και χρήση υπολογιστικών δεδομένων ώστε να προσδιοριστούν τα αποτελέσματα εξόδου, τα σχέδια των γραφικών οθόνης, τα σχέδια αναφορών και διατύπωση μηνυμάτων συναγερμού. Περισσότερη λεπτομέρεια είναι απαραίτητη αλλά δαπάνη υπερβολικού χρόνου για το προσδιορισμό λεπτομερειών λειτουργίας του λογισμικού θα μπορούσε καλύτερα να αφιερωθεί σε πιο ενδελεχή καθορισμό και

τελειοποίηση της αρχιτεκτονικής του συστήματος ελέγχου. Εάν η αρχιτεκτονική του συστήματος ελέγχου είναι καλά θεμελιωμένη το λογισμικό μπορεί πάντοτε να τροποποιηθεί ή διορθωθεί ανάλογα με τις εκάστοτε ανάγκες. Αντίθετα ακατάλληλη αρχιτεκτονική ενός συστήματος ελέγχου οδηγεί σε λειτουργικές προσθήκες ή και διορθώσεις που μπορεί να αποδειχθούν δαπανηρές, χρονοβόρες και ορισμένες φορές εντελώς ανεφάρμοστες.

ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΜΟΝΩΣΕΩΣ

Οι δύο κύριες λειτουργίες ενός μονωμένου κελύφους σε ένα ψυκτικό συγκρότημα είναι αφενός η μείωση των ψυκτικών απαιτήσεων για χώρους ψυχρής αποθήκευσης και αφετέρου η πρόληψη εμφάνισης συμπύκνωσης πάνω στη επιφάνεια προϊόντων υπό ψύξη.

ΣΥΣΤΗΜΑ ΦΡΑΓΜΟΥ ΥΔΡΑΤΜΩΝ

Βασική μέριμνα κατά τη σχεδίαση ενός συγκροτήματος χαμηλής θερμοκρασίας συντήρησης αποτελεί το σύστημα φραγμού υδρατμών το οποίο πρέπει να πλησιάζει κοντά στο 100% ως προς την αποτελεσματικότητα όσο και ως προς τη πρακτικότητα εφαρμογής. Η επιτυχία ή αποτυχία ενός κελύφους μόνωσης οφείλεται αποκλειστικά στη αποτελεσματικότητα του συστήματος φραγμού υδρατμών για να αποτρέψει τη μετάδοση υδρατμών υγρασίας μέσα στη μόνωση και διαμέσου αυτής κατόπιν στο ψυκτικό θάλαμο.

Η κινητήρια δύναμη για τη μετάδοση υδρατμών υγρασίας είναι η διαφορά πίεσης υδρατμών κατά μήκος του φραγμού υδρατμών. Μόλις οι υδρατμοί νερού ξεπεράσουν το φραγμό υδρατμών μια σειρά επιζήμιων γεγονότων ξεκινά. Οι υδρατμοί νερού που μετακινούνται εντός της μόνωσης μπορεί να συμπυκνωθούν ή να στερεοποιηθούν, κάτι που μειώνει τη θερμική αντίσταση της μόνωσης και τελικά καταστρέφει το κέλυφος. Ο σχηματισμός πάγου εσωτερικά του συστήματος του κελύφους συνήθως επεκτείνεται και 'εξαναγκάζει' με φυσικό τρόπο τα κατασκευαστικά στοιχεία του συστήματος δομής σε μετακίνηση από τη θέση τους έως και το σημείο της αστοχίας. Άλλη μια πρακτική λειτουργία του φραγμού των υδρατμών είναι να εμποδίζει τη διείσδυση αέρα που μπορεί να κινείται είτε μέσω της ατμοσφαιρικής πίεσης ή μέσω συστήματος εξαερισμού(βεβιασμένη κυκλοφορία).

Μετά τη συμπύκνωση ή τη στερεοποίηση κάποια ποσότητα υγρασίας στη μόνωση επανατμωποιείται και τελικά απορροφάται από το 'στοιχείο' ψύξης του ατμοποιητή και απομακρύνεται από το σύστημα απορροής των συμπυκνωμάτων υγρασίας αλλά το ποσό που αφαιρείται δεν είναι συνήθως αρκετό για τη αφύγρανση της μόνωσης εάν δεν εντοπιστεί και διορθωθεί η ρωγμή στο φραγμό υδρατμών.

Ο φραγμός υδρατμών πρέπει να είναι εντοπισμένος στη θερμή εξωτερική πλευρά της μόνωσης. Κάθε κατασκευαστικό στοιχείο εσωτερικά του κύριου φραγμού υδρατμών πρέπει να διαθέτει μεγαλύτερη διαπερατότητα από το προηγούμενο έτσι ώστε να επιτρέπεται στη υγρασία να μετακινείται διαμέσου του διότι αλλιώς θα μετατραπεί σε χώρο συμπύκνωσης ή πάγου. Αυτός ο πρακτικός κανόνας που παρουσιάστηκε εγκαταλείπεται για λόγους υγιεινής στις εσωτερικές πλευρές των ψυκτών. Όμως οι εσωτερικές πλευρές των καταψυκτών έχουν τη δυνατότητα αναπνοής αφήνοντας τους αρμούς χωρίς τη απαραίτητη υδατοστεγή σφράγιση κατά τη κατασκευή των πάνελς μόνωσης. Τα προκατασκευασμένα στο εργοστάσιο δομικά πάνελς μόνωσης επιδεικνύουν καλύτερη συμπεριφορά αντοχής σε αυτό το 'διπλό πρόβλημα' φραγμού υδρατμών συγκριτικά με άλλα είδη κατασκευής.

Σε τοίχους με ανεπαρκή μόνωση η θερμοκρασία στη εσωτερική επιφάνεια των τοίχων μπορεί, κατά τη διάρκεια συγκεκριμένων περιόδων, να προσεγγίσει το σημείο δρόσου του μετακινούμενου υδρατμού της υγρασίας προκαλώντας συμπύκνωση καθώς και στερεοποίηση. Αυτό το φαινόμενο μπορεί επίσης να συμβεί και σε ένα τοίχο που αρχικά είχε επαρκή μόνωση αλλά μέσω της συμπύκνωσης ή του σχηματισμού πάγου στη μόνωση έχασε τμήμα της μονωτικής του αξίας. Σε κάθε περίπτωση πάντως ο πάγος που εναποτίθεται στο τοίχο σταδιακά ωθεί σε απομάκρυνση τη μόνωση και το προστατευτικό κάλυμμα της από το τοίχο μέχρι η δομή της μόνωσης να καταρρεύσει. Είναι εξαιρετικά σημαντικό να τοποθετηθούν κατάλληλα φραγμοί υδρατμών και αρμοί σφραγισμένοι στο υλικό του φραγμού υδρατμών ώστε να διασφαλίζεται η συνέχεια από μια επιφάνεια σε μια άλλη (π.χ τοίχος με οροφή, τοίχος με δάπεδο). Η αστοχία του συστήματος φραγμού υδρατμών σε ψυκτικά συγκροτήματα σχεδόν πάντοτε προκαλείται λόγω κακής τοποθέτησης. Ο εργολάβος πρέπει λοιπόν να είναι έμπειρος στη εγκατάσταση συστημάτων φραγμού υδρατμών και ικανός ώστε να μπορεί να υλοποιήσει ένα υδατοστεγές σύστημα.

Η συμπύκνωση στο εσωτερικό ενός ψύκτη θεωρείται **απαράδεκτη** διότι (1) οι υγρές επιφάνειες παρέχουν βάση καλλιέργειας βακτηριακών πληθυσμών (2) η ύπαρξη σταγόνων νερού πάνω στη επιφάνεια ενός προϊόντος αποτελεί αιτία απόρριψης του εν μέρει ή και συνολικά.

Στάσιμα ή μηδενικής κυκλοφορίας αέρα σημεία πίσω από δοκούς ή εντός μεταλλικών χώρων οροφής μπορούν να επιτρέψουν τοπική συμπύκνωση. Αυτή η υγρασία μπορεί να προέρχεται από το εσωτερικό ενός ψύκτη ή καταψύκτη και όχι απαραίτητα από μια διαρροή του φραγμού υδρατμών.

Κανένα σύστημα φραγμού υδρατμών δεν είναι πραγματικά 100% αποτελεσματικό.

Ένα σύστημα φραγμού υδρατμών θεωρείται **επιτυχημένο** όταν ο ρυθμός διείσδυσης της υγρασίας ισούται το πολύ με το ρυθμό αφαίρεσης της υγρασίας μέσω ψύξης χωρίς ανιχνεύσιμη συμπύκνωση από άλλα αίτια.

ΕΙΔΗ ΜΟΝΩΣΕΩΣ

Άκαμπτη Μόνωση. Τα υλικά μόνωσης, όπως το πολυστυρένιο, πολυισοκυανουρία, η πολουρεθάνη καθώς και τα υλικά φαινόλης έχουν αποδειχθεί ικανοποιητικά όταν τοποθετούνται μαζί με το κατάλληλο φραγμό υδρατμών και το φινιρίσμα είναι από υλικά που παρέχουν πυροπροστασία και ικανοποιητικό επίπεδο υγιεινής επιφανειών. Η επιλογή του κατάλληλου υλικού για μόνωση πρέπει να βασίζεται πρωτίστως στη οικονομική αξία της προς τοποθέτηση μόνωσης συμπεριλαμβανομένων του φινιρίσματος, της δυνατότητας εφαρμογής κανόνων υγιεινής και της πυροπροστασίας.

Δομική Πανέλα Μονώσεως. Η χρήση προκατασκευασμένων πάνελς μόνωσης για τη μόνωση κατασκευών τοίχων και σκεπής είναι ευρέως αποδεκτή. Αυτά τα πάνελς λοιπόν μπορούν να μονταριστούν γύρω από το σκελετό του συστήματος δομής ή στη τοιχοποιία ή και σε προκάτ τοίχους. Τα πάνελς μπορούν να μονωθούν στο εργοστάσιο με είτε πολυστυρένιο ή με ουρεθάνη. Άλλα υλικά μόνωσης δεν προσφέρονται για κατασκευή με τα παραπάνω πάνελς.

Το κύριο πλεονέκτημα, αν εξαιρέσουμε το υψηλότερο κόστος, για επιλογή χρήσης δομικής πανέλας μόνωσης είναι ότι η επιδιόρθωση και η συντήρηση απλοποιούνται καθώς το εξωτερικό περίβλημα επίσης δρά και ως φραγμός υδρατμών και είναι προσβάσιμο. Αυτό θεωρείται ως μεγάλο πλεονέκτημα εάν η κατασκευή πρόκειται να επεκταθεί στο μέλλον.

Μόνωση με Τοποθέτηση Πολυουρεθάνης. Η μέθοδος αυτή εφαρμογής γίνεται όλο και πιο αποδεκτή λόγω των τεχνολογικών εξελίξεων στη μόνωση με πολυουρεθάνη και στον εξοπλισμό για τη τοποθέτηση της. Κινητά μηχανήματα ανάμιξης που διαθέτουν ακροφύσια ψεκασμού ή αφρίσματος τροφοδοτούν το υλικό μόνωση εντός των κοιλοτήτων τοίχων, δαπέδου ή οροφής με σκοπό να πετύχουν τη πλήρωση χωρίς τη εμφανή παρουσία αρμών. Η πολυουρεθάνη ως υλικό θερμομόνωσης δεν παρέχει σημαντική αντίσταση ως προς τους υδρατμούς της υγρασίας και η εφαρμογή της στη κατασκευή δαπέδων πρέπει να είναι περιορισμένη.

Προκάτ Πάνελς Μόνωσης Σκυροδέματος. Αυτό το εξειδικευμένο είδος κατασκευής θεωρείται επιτυχημένο όταν ο κατάλληλος φραγμός υδρατμών και άλλα ειδικευμένα συστατικά στοιχεία είναι ενσωματωμένα. Όπως πάντα η συνέχεια του φραγμού υδρατμών είναι το κλειδί μιας επιτυχημένης εγκατάστασης.

ΠΑΧΟΣ ΜΟΝΩΣΕΩΣ

Οι **R-τιμές μόνωσης** που απαιτούνται κυμαίνονται με τη θερμοκρασία συντήρησης στο χώρο ψυχρής αποθήκευσης και τις ιδιαίτερες συνθήκες που περιβάλλουν το χώρο αυτό. Ο πίνακας 2 δείχνει προτεινόμενες R-τιμές για διαφορετικά είδη ψυκτικών συγκροτημάτων. Το εύρος των R-τιμών οφείλεται σε διακυμάνσεις του κόστους της ενέργειας, των υλικών μόνωσης και των κλιματολογικών συνθηκών. Μόνωση με τιμές χαμηλότερες από αυτές του πίνακα 2 δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται.

Πίνακας 2 Προτεινόμενες R-τιμές Μονώσεως

Είδος Συγκροτήματος	Θερμοκρασιακό Εύρος σε °C	Θερμική Αντίσταση R, σε (m ² K)/W		
		Δάπεδα	Τοίχοι/Ψευδοροφές	Στέγες
Συμβατικού/Γενικοί Ψύκτες ^a	4 έως 10	Μόνωση μόνο στη περίμετρο ^c	4.4	5.3 έως 6.2
Ψύκτες Ειδικού Τύπου ^a (προψύξεως)	-4 έως 2	3.5	4.2 έως 5.6	6.2 έως 7.0
Συμβατικού/Γενικοί καταψύκτες	-23 έως -29	4.8 έως 5.6	6.2 έως 7.0	7.9 έως 8.8
Καταψύκτες Ισχυρού Ρεύματος Αέρα ^b (ειδικού τύπου)	-40 έως -46	5.3 έως 7.0	7.9 έως 8.8	8.8 έως 10.6

Σημείωση: Εξαιτίας των μεγάλων διακυμάνσεων στο ενεργειακό κόστος και στα υλικά μονώσεως στα οποία βασίζεται η θερμική απόδοση, μια προτεινόμενη R-τιμή δίνεται ως κατευθυντήρια γραμμή σε κάθε περιοχή κατασκευής. Για πιο ακριβείς τιμές πρέπει να συμβουλευτούμε ένα σχεδιαστή ή προμηθευτή μόνωσης.

^a Εάν ένας ψύκτης μπορεί να μετατραπεί στο μέλλον σε καταψύκτη ο κάτοχος πρέπει να εξετάσει τη μόνωση του συγκροτήματος με υψηλότερες R-τιμές από το τμήμα των καταψυκτών

^b Οι συγκεκριμένες R-τιμές είναι για καταψύκτη ισχυρού ρεύματος αέρα κατασκευασμένου εντός ενός αρχικά μη κλιματιζόμενου χώρου. Εάν όμως ο ειδικού τύπου καταψύκτης κατασκευαστεί εντός ενός χώρου που υπάρχει γενικό ψύκτη ή καταψύκτη πρέπει να συμβουλευτούμε το σχεδιαστή ή το προμηθευτή της μόνωσης

^c Εάν είναι επιθυμητή υψηλή σχετική υγρασία στο χώρο ψύξης, τότε συνίσταται η μόνωση του δαπέδου να είναι τουλάχιστον ίση με εκείνη των τοίχων

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΜΟΝΩΣΗΣ

Η μέθοδος καθώς και τα υλικά που χρησιμοποιούνται για τη μόνωση των σκεπών, οροφών, τοίχων, δαπέδων και θυρών χρειάζονται προσεκτική μελέτη.

ΣΚΕΠΕΣ/ΟΡΟΦΕΣ

Η κατασκευή με τη μέθοδο του χώρου της ψευδοροφής προτιμάται για τη υλοποίηση ενός θερμικά μονωμένου και υδατοστεγούς κελύφους. Τα υλικά μόνωσης μπορούν να τοποθετηθούν πάνω στη σκεπή ή και στο δάπεδο που βρίσκεται πάνω από το χώρο ψύξης παρά να προσκολλώνται μηχανικά στο σύστημα δομής της οροφής. Εάν όμως αυτό το είδος κατασκευής δεν είναι εφικτό και η μόνωση πρέπει να τοποθετηθεί κάτω από μια οροφή σκυροδέματος ή άλλου υλικού τότε τα υλικά του φραγμού υδρατμών, της μόνωσης και του φινιρίσματος πρέπει να στηρίζονται μηχανικά από τη δομή της οροφής αντί να βασιζόμαστε αποκλειστικά στη τοποθέτηση με συγκόλληση. Αναρτώντας ένα ξύλινο ή μεταλλικό χώρο σκεπής από το σύστημα δομής της στέγης και εφαρμόζοντας τη μόνωση και το φραγμό υδρατμών στη κορυφή του χώρου αυτού είναι μια άλλη μέθοδος της μόνωσης της σκεπής δια ανάρτησης. Η ικανότητα της εφαρμογής και η ειδική μέριμνα για θετική πίεση κατά τη κυκλοφορία αέρα αλλά και για υδατοστεγή σφράγιση είναι απολύτως απαραίτητα για διασφάλιση της συνεχούς αποτελεσματικότητας.

Οι μονωμένες ψευδοροφές είτε ανεγειρόμενες στο χώρο τοποθέτησης ή ακόμη και προκατασκευασμένες πρέπει να εξαερίζονται επαρκώς. Έτσι διατηρούνται συνθήκες κοντά σε αυτές του ατμοσφαιρικού αέρα εντός του χώρου της ψευδοροφής. Αυτό ελαχιστοποιεί αφενός τη πιθανότητα συμπύκνωσης αφετέρου τη φθορά των υλικών του φραγμού υδρατμών. Μόνιμη σφράγιση έναντι υδρατμών απαιτείται γύρω από τις ράβδους, τις κολώνες, και τους αγωγούς κάλυψης καλωδίων που διαπερνούν τη κατασκευή.

Ο σχεδιαστής της κατασκευής της στέγης συνήθως συμπεριλαμβάνει στα υλικά της αρμούς διαστολής κατά τη τοποθέτηση μόνωσης στη κορυφή του μεταλλικού χώρου σκεπής ή των δομικών πλακών σκυροδέματος για μια κτιριακή εγκατάσταση άνω των 30x30 m. Καθώς ο χώρος ψύξης δεν υπόκεινται σε θερμοκρασιακές διακυμάνσεις ο δομικός σκελετός σκεπής συχνά σχεδιάζεται χωρίς αρμούς διαστολής ή συστολής αν είναι εντελώς περικλειστος εντός του μονωμένου κελύφους.

Οι σανίδες μόνωσης που τοποθετούνται πάνω στο μεταλλικό χώρο σκεπής πρέπει να εγκαθίστανται σε δύο ή και περισσότερα στρώματα με τους αρμούς σε κλιμακωτή διάταξη. Μια εξέταση των συντελεστών της γραμμικής διαστολής για συνήθη υλικά κατασκευής της σκεπής δείχνει στη πράξη την ανάγκη ενδελεχούς φροντίδας σε αυτή τη φάση της σχεδίασης της κτιριακής εγκατάστασης.

Τέλος, αν και χρησιμοποιούνται κατασκευασμένες σκεπές με ασφαλτικό υλικό για στεγανοποίηση χαλαρά τοποθετημένες μεμβράνες στα υλικά σκεπής έχουν κερδίσει αναγνωρισιμότητα και απαιτούν ελάχιστη συντήρηση.

ΤΟΙΧΟΙ

Η κατασκευή των τοίχων πρέπει να σχεδιαστεί έτσι ώστε όσο το δυνατόν λιγότερα κατασκευαστικά δομικά στοιχεία να διεισδύουν στο κέλυφος μόνωσης. Τα δομικά πάνελς μόνωσης εφαρμοζόμενα εξωτερικά του δομικού σκελετού αποτρέπουν την αγωγή θερμότητας διαμέσου του παραπάνω σκελετού. Όπου χρησιμοποιείται υψηλής μάζας τοιχοποιία ή κατασκευή τοίχων σκυροδέματος ο σκελετός του συστήματος δομής πρέπει να είναι ανεξάρτητος από τον εξωτερικό τοίχο. Ο εξωτερικός τοίχος δεν

χρησιμοποιείται ως τοίχος στήριξης του εσωτερικού συστήματος δομής εκτός εάν γίνεται χρήση μιας μονωμένης ψευδοροφής.

Όπου μονωμένα εσωτερικά χωρίσματα απαιτούνται μια τοποθέτηση διπλής κολώνας στο χωρίσμα αποτρέπει τη διείσδυση δομικών στοιχείων στη μόνωση του τοίχου.

Η κατασκευή κελύφους μόνωσης πρέπει να χρησιμοποιείται όπου αυτό είναι δυνατό για ικανοποιητική λειτουργία και μακρά διάρκεια ζωής της μονωμένης κατασκευής. Κανονισμοί της πολιτείας σχετικά με τη πυροπροστασία και θέματα υγιεινή πρέπει να τηρούνται κατά τη επιλογή φινιρίσματος ή πάνελ μόνωσης. Κατά τη εκλογή συμβατικών υλικών μόνωσης, εξαιρώντας τα προκατασκευασμένα δομικά πάνελς, πρέπει να επιλεγεί ένα κατάλληλο σύστημα φραγμού υδρατμών.

Μεμβράνες ανθεκτικές στη χάραξη, όπως μαύρες λεπτές μεμβράνες πολυαιθυλενίου πάχους 0.254 mm, θεωρούνται κατάλληλες για φραγμό υδρατμών. Άκαμπτη μόνωση μπορεί τότε να τοποθετηθεί ξηρή και να ολοκληρώνεται με επίχρισμα σοβά ή φύλλων αναλόγως με τις απαιτήσεις του συγκεκριμένου ψυκτικού συγκροτήματος.

Σε ψυκτικά συγκροτήματα συστολές που μπορεί να υποστεί το εσωτερικό επίχρισμα αποτελούν θέμα μεγαλύτερου ενδιαφέροντος από τις πιθανές διαστολές διότι οι τιμές θερμοκρασιών διατηρούνται αρκετά πιο χαμηλά από εκείνες της ατμόσφαιρας που επικρατούσαν πριν τη έναρξη λειτουργίας της εγκατάστασης.

ΔΑΠΕΔΑ

Κτιριακές εγκαταστάσεις καταψυκτών έχουν κατασκευαστεί και χωρίς μόνωση του δαπέδου και κάποιες από αυτές λειτουργούν χωρίς προβλήματα. Όμως η πιθανότητα για αστοχία είναι τόσο μεγάλη ώστε μια τέτοια πρακτική σπανίως συνίσταται.

Ο υποδαπέδιος σχηματισμός πάγου που προκαλεί διαστολή στο δαπέδο και στις κολώνες μπορεί να εμποδιστεί με τη θέρμανση του εδάφους ή του υλικού πλήρωσης (γέμισμα) κάτω από τη μόνωση. Η θέρμανση μπορεί να επιτευχθεί μέσω συστήματος αγωγών αέρα, ηλεκτρικών στοιχείων θέρμανσης ή σωληνώσεων μέσω των οποίων υγρό επανακυκλοφορεί (τεχνητή θέρμανση).

Το σύστημα αγωγών αέρα λειτουργεί αποδοτικά για μικρούς χώρους αποθήκευσης υπό ψύξη. Για μεγαλύτερων διαστάσεων ψυκτικούς θαλάμους το παραπάνω σύστημα πρέπει να συμπληρωθεί με ανεμιστήρες και μια πηγή θερμότητας εάν οι αγωγοί έχουν μήκος άνω των 30m. Τα ανοίγματα των άκρων των αγωγών (είσοδου/εξόδου) πρέπει να προφυλάσσονται ώστε να διατηρούνται σε απόσταση τρωκτικά, έντομα και γενικά οποιοδήποτε υλικό ενδεχομένως φράξει τις διόδους αέρα. Το σύστημα των αγωγών αέρα πρέπει να έχει κλίση για καλύτερη απορροή ώστε να μπορεί να αφαιρείται η συμπυκνωμένη υγρασία. Σωληνώσεις διάτρητες δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται.

Το ηλεκτρικό σύστημα είναι απλό στη τοποθέτηση και συντήρηση εάν τα στοιχεία θέρμανσης εργάζονται εντός αγωγών κάλυψης ή σωληνώσεων ώστε να μπορούν να αντικατασταθούν εάν χρεαστεί. Όμως τα λειτουργικά κόστη μπορεί να είναι αρκετά υψηλά. Επαρκής μόνωση πρέπει να χρησιμοποιείται επειδή αυτό επηρεάζει άμεσα τη ενεργειακή κατανάλωση.

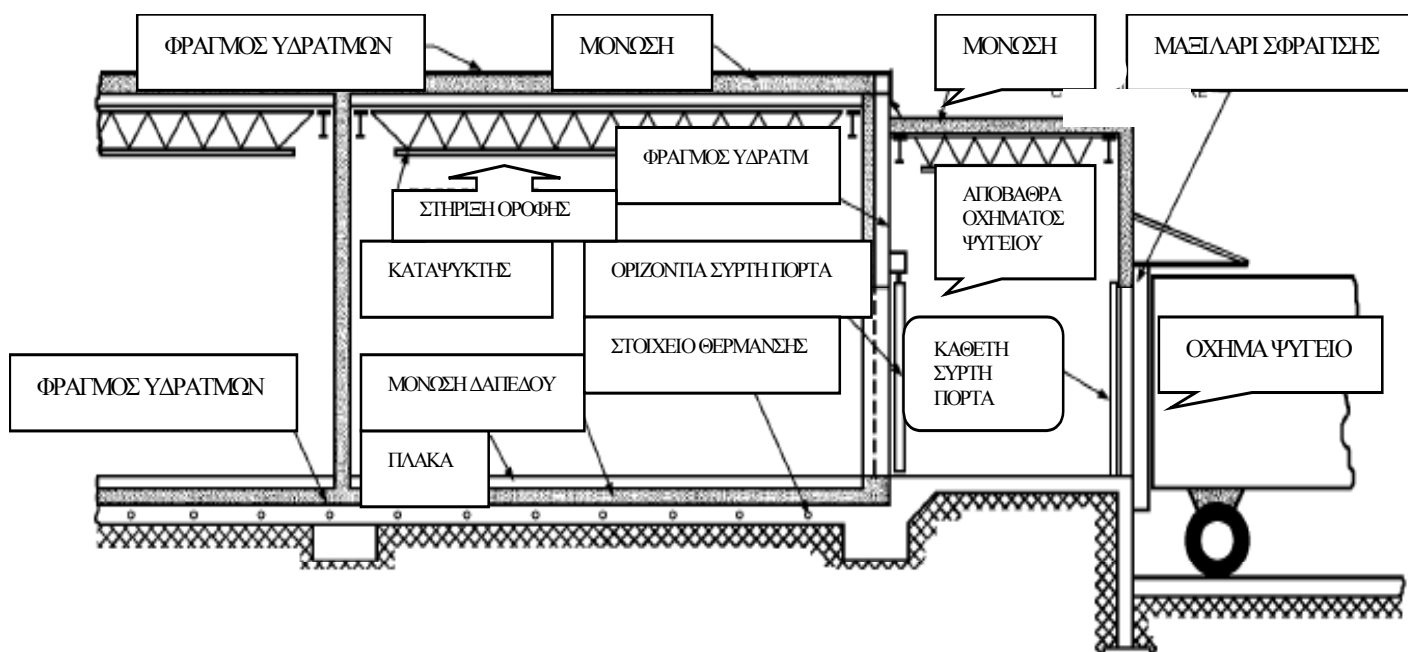
Το σύστημα δικτύου σωληνώσεων που απεικονίζεται στο σχήμα 9 είναι συνήθως η καλύτερη επιλογή επειδή μπορεί να σχεδιαστεί και να εγκατασταθεί για να θερμαίνει όπου αυτό κρίνεται απαραίτητο και μπορεί αργότερα να ρυθμιστεί ώστε να καλύπτει ποικίλες συνθήκες. Προεκτάσεις του συστήματος μπορούν να τοποθετηθούν σε προθαλάμους και διαδρόμους ώστε να μειώνεται ο πάγος και η υγρασία πάνω στην επιφάνεια δαπέδων. Το ενδοδαπέδιο δίκτυο σωληνώσεων διευκολύνει επίσης πιθανά σχέδια μελλοντικής επέκτασης του ψυκτικού συγκροτήματος.

Ένας εναλλάκτης θερμότητας στο σύστημα ψύξης, ατμός, ή καυσαέρια από θερμική μηχανή μπορούν να παρέχουν μια πηγή θερμότητας για αυτό το σύστημα.

Η θερμοκρασία του ανακυκλοφορούντος υγρού είναι ελεγχόμενη από 10 έως 21⁰C αναλόγως και με τις απαιτήσεις της σχεδίασης. Σχεδόν σε παγκόσμια κλίμακα οι σωληνώσεις είναι κατασκευασμένες από πλαστικό.

Το σύστημα του δικτύου των σωληνώσεων συνήθως τοποθετείται στη πλάκα βάσης υλικού σκυροδέματος ακριβώς κάτω από τη μόνωση. Εάν τυχόν οι σωληνώσεις είναι μεταλλικού υλικού ένας φραγμός υδρατμών πρέπει να τοποθετηθεί και κάτω από τις σωληνώσεις της ενδοδαπέδιας θέρμανσης ώστε να αποτρέπεται πιθανή διάβρωση. Το υγρό πρέπει να είναι αντιψυκτικό διάλυμα όπως η προπυλενική γλυκόλη με το κατάλληλο αναστολέα..

Το ποσό θέρμανσης για οποιοδήποτε σύστημα μπορεί να υπολογιστεί και είναι το ίδιο περίπου για μεσαίου και μεγάλου μεγέθους χώρους ψυχρής αποθήκευσης ανεξάρτητα των συνθηκών του εξωτερικού περιβάλλοντος. Η εισερχόμενη θερμότητα μέσω ενός συστήματος τεχνητής θέρμανσης που απαιτείται να υπολογιστεί είναι πρακτικά ίση με τη διαρροή μέσω της μόνωσης του δαπέδου και στηρίζεται στη θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ των 4.4⁰C του υπό του δαπέδου εδάφους και της θερμοκρασίας του ψυκτικού θαλάμου(π.χ ΔT=27.4K διαφορά θερμοκρασίας με ψυκτικό θάλαμο -23⁰C). Η ροή θερμότητας από το έδαφος ,περίπου 4.1W/m², δρά ως συντελεστής ασφάλειας



Σχήμα 9 Συνήθης Μονώροφη Κατασκευή με Σωληνώσεις Ενδοδαπέδιας Θέρμανσης

ΑΝΟΙΓΜΑΤΑ ΘΥΡΩΝ ΚΑΤΑΨΥΚΤΗ

Ένας σημαντικός παράγοντας της παραγωγικότητας των χώρων ψυχρής αποθήκευσης είναι η διατήρηση ασφαλών συνθηκών εργασίας στα ανοίγματα θυρών ιδιαίτερα σε μεγάλης χρήσεως καταψύκτες. Κατά τα ανοίγματα των θυρών ο αέρας διεύθυνσης αναμιγνύεται με το αέρα εντός του καταψύκτη σχηματίζοντας αερομεταφερόμενους παγοκρυστάλλους. Αυτοί οι κρύσταλλοι μπορεί να συσσωρευτούν πάνω σε τοίχους, οροφές κοντινά δευτερεύοντα εξαρτήματα ή διατάξεις και έχουν τη δυνατότητα να προκαλούν συνθήκες παγετού πάνω στο δάπεδο. Στις συνέπειες συμπεριλαμβάνονται ο κίνδυνος για το προσωπικό που κινείται πεζό, η ζημιά από πιθανό ντελαπάρισμα οχημάτων, πρόωρο φράξιμο των κοντινών στοιχείων ατμοποίησης με παγετό και μειωμένη παραγωγικότητα.

Ένας **προθάλαμος καταψύκτη** είναι οποιοσδήποτε μικρός χώρος με κατάλληλα σχεδιασμένες κουρτίνες για τον αέρα που επιβάλλουν μικρό περιορισμό της ροής της κίνησης του προσωπικού αλλά πάντως αντικρούουν δυσμενή αποτελέσματα μέσω της μείωσης διείσδυσης του εξωτερικού αέρα.

Οι ηλεκτρικά θερμαινόμενες πόρτες κινήσεως εξαλείφουν αποτελεσματικά τη παρουσία πάγου και γενικότερα παγετού λόγω ανοίγματος τους.

ΘΥΡΕΣ

Η επιλογή και εφαρμογή τοποθέτησης θυρών σε χώρους ψυχρής αποθήκευσης αποτελεί θεμελιώδες τμήμα κατά τη σχεδίαση των ψυκτικών συγκροτημάτων και παρουσιάζει ισχυρή σχέση με τη συνολική οικονομία της λειτουργίας του ψυκτικού συγκροτήματος. Η επικρατούσα τάση θέλει λιγότερες και καλύτερες κατασκευαστικά πόρτες. Οι κατασκευαστές προσφέρουν πολλά είδη θυρών εξοπλισμένα με το κατάλληλο πάχος μόνωσης για τη σκοπούμενη χρήση. Τα 4 βασικά είδη θυρών είναι οι παλινδρομικές, οι οριζόντιες συρόμενες, οι κάθετες συρόμενες και τέλος οι διπλής δράσεως. Οι κατάλογοι των κατασκευαστών των θυρών παρέχουν λεπτομερειακές απεικονίσεις της καθεμιάς ξεχωριστά. Οι πόρτες που χρησιμοποιούνται μόνο από το εργατικό προσωπικό προκαλούν λίγα προβλήματα. Κατά κανόνα μια τυποποιημένη παλινδρομική πόρτα για τη κίνηση του προσωπικού 0.9 m πλάτους επί 2 m ύψους και σχεδιασμένη για τη θερμοκρασία και σχετική υγρασία που χρειάζεται είναι επαρκής. Η κατάλληλη πόρτα για περιοχές έντονης κίνησης του προσωπικού πρέπει να μπορεί να παρέχει μέγιστη χωρητικότητα κίνησης με ταυτόχρονη ελάχιστη απώλεια ψύξης και να χρειάζεται ελάχιστη συντήρηση.

Κατά τη επιλογή θυρών για χώρους ψυχρής αποθήκευσης πρέπει να μελετώνται οι παρακάτω παράγοντες

1. Οι αυτόματες πόρτες είναι μια βασική απαίτηση για τα συστήματα διακίνησης προϊόντων που περιλαμβάνουν περονοφόρα ανυψωτικά οχήματα και αυτόματους μεταφορείς (π.χ ταινίες μεταφοράς).
2. Απρόσεκτοι οδηγοί περονοφόρων ανυψωτικών μηχανημάτων αποτελούν δυνητικό κίνδυνο για τη λειτουργία και αποτελεσματικότητα της πόρτας. Μπορούν να τοποθετηθούν προφυλακτήρες αλλά είναι αποτελεσματικοί μόνο όταν η πόρτα είναι ανοικτή. Φωτοηλεκτρικές και υπερηχητικές ακτίνες κατά μήκος του ανοίγματος της πόρτας μπορούν να παρέχουν πρόσθετη προστασία μέσω της παρακολούθησης των αντικειμένων στα ανοίγματα της. Αυτά τα συστήματα μπορούν επίσης να ελέγχουν το άνοιγμα και το κλείσιμο των θυρών.
3. Η επιλογή συστημάτων αυτόματων θυρών ώστε να καλύπτουν τις απαιτήσεις κίνησης του προσωπικού αλλά συγχρόνως να είναι συμβατά με τη δομή της κτιριακής εγκατάστασης ίσως χρειάζεται έμπειρη τεχνική καθοδήγηση.
4. Για τη διασφάλιση της καλής λειτουργίας της πόρτας με το χρόνο η περιοχή εργασίας κοντά σε αυτή πρέπει να επιτηρείται και οι πόρτες πρέπει να συντηρούνται ανά τακτά χρονικά διαστήματα.
5. Οι αποβάθρες αποστολής προϊόντων υπό ψύξη αυξάνουν τη αποδοτικότητα των θυρών και μειώνουν τη ανάγκη συντήρησής τους, επειδή η διαφορά στις σχετικές υγρασίες και τις θερμοκρασίες κατά μήκος του ανοίγματος θυρών είναι χαμηλότερη. Ο σχηματισμός πάγου στις πόρτες είναι με αυτό τον τρόπο λιγότερος και η εμφάνιση ομίχλης κατά τα δρομολόγια κίνησης του προσωπικού εμφανώς μειωμένη.

Πόρτες δύο φύλλων και άλλα είδη. Οι κουρτίνες αέρα, οι κουρτίνες λωρίδων από πλαστικό ή λάστιχο καθώς και οι πόρτες δύο φύλλων προσφέρουν διαφόρων βαθμών αποτελεσματικότητα. Οι κουρτίνες λωρίδων δεν είναι αποδεκτές από τα πρότυπα του USDA εάν προϊόντα χωρίς συσκευασία κινούνται διαμέσου του ανοίγματος θυρών. Συχνά οι κουρτίνες θεωρούνται για τον οδηγό περνοφόρου ανυψωτικού οχήματος ως υποκατάστατο της πόρτας οπότε η πόρτα αφήνεται ανοικτή με ταυτόχρονη όμως απώλεια αέρα ψύξης. Οι ταχείας λειτουργίας πόρτες ισχύος από ελαστικό ή άκαμπτο πλαστικό είναι ωφέλιμες για το έλεγχο του ρεύματος αέρα.

Παλινδρομικές και συρόμενες πόρτες. Μια πόρτα με μεντεσέδες στο δεξιό άκρο (όταν παρατηρείται από τη πλευρά που το λειτουργικό υλικό μοντάρεται) ονομάζεται πόρτα παλινδρομική δεξιού χειρός. Μια πόρτα που σύρεται δεξιά για να ανοίξει (όταν παρατηρείται από τη πλευρά του τοίχου που έγινε η τοποθέτηση) ονομάζεται πόρτα δεξιάς ολισθήσεως

Κάθετες συρόμενες πόρτες. Αυτές οι πόρτες που λειτουργούν είτε χειροκίνητα ή δια ηλεκτροκινητήρα διαθέτοντας ελατήρια ή βάρη εξισορροπήσεως χρησιμοποιούνται στις αποβάθρες αυτοκινήτων ψυγείων για τη παραλαβή και αποστολή εμπορευμάτων.

Πόρτες των χώρων ψύξης. Οι πόρτες για διακίνηση των προϊόντων σε παλέτες είναι συχνά αυτόματες οριζόντιες συρόμενες μονής ολίσθησης ή διπλής(δύο φύλλων).

Μεταλλική ή πλαστική επένδυση. Είτε ελαφρά μεταλλική επένδυση ή ενισχυμένη πλαστική εξωτερική επιφάνεια προστατεύει τις περισσότερες πόρτες. Οι περιοχές υπερβολικής χρήσης πρέπει προστατεύονται περαιτέρω μέσω βαρύτερης μεταλλικής επένδυσης είτε μερικώς είτε στο πλήρες ύψος της πόρτας.

Θερμότητα. Για να αποτρέψουμε το σχηματισμό πάγου και τη συνακόλουθη ελαττωματική λειτουργία της πόρτας, οι πόρτες πλέον διαθέτουν αυτόματη ηλεκτρική θέρμανση όχι μόνο στις πλευρικές επιφάνειες, στη πάνω πλευρά, στη κατασκευή της βάσης της πόρτας ή στο σκελετό της πόρτας αλλά επίσης σε διακόπτες λειτουργίας και στα καλύμματα προστασίας των μονάδων ηλεκτρικής ισχύος. Τέτοια θερμαντικά στοιχεία είναι απαραίτητα και στις 4 άκρες/πλευρές των θυρών διπλής δράσεως για χώρους χαμηλής θερμοκρασίας. Παράλληλα πρέπει να χρησιμοποιούνται ασφαλείς συσκευές που να καλύπτουν τους ηλεκτρικούς κανονισμούς.

Προφυλακτήρες και κολώνες προφύλαξης(bumpers and guard posts). Οι πόρτες ηλεκτρικής ισχύος απαιτούν προστασία από την υπερβολική χρήση. Προφυλακτήρες ενσωματωμένοι στο δάπεδο και από τις δύο πλευρές του τοίχου καθώς και σε καθεμία πλευρά του διαδρόμου βοηθούν στη διατήρηση της ωφέλιμης ζωής της πόρτας. Επίσης σωστά τοποθετημένες κολώνες φύλαξης προστατεύουν τις συρόμενες πόρτες από φθορές λόγω της κίνησης του προσωπικού.

Θέση πόρτας. Οι πόρτες πρέπει να τοποθετούνται σε θέσεις ώστε να υποδέχονται την ασφαλή και οικονομική διακίνηση των προϊόντων. Ακατάλληλοι διάδρομοι και τυφλά σημεία στους διαδρόμους κοντά στις πόρτες πρέπει να αποφεύγονται.

Διαστάσεις πόρτας. Το άνοιγμα μιας μονωμένης πόρτας με μεντεσέδες πρέπει να παρέχει τουλάχιστον 300mm κενό και από τις δύο πλευρές μιας παλέτας Έτσι λοιπόν 1.8 m πρέπει να είναι το ελάχιστο πλάτος πόρτας για φορτίο παλέτας 1.2 m πλάτους. Οι πόρτες διπλής δράσεως πρέπει να έχουν πλάτος 2.4 m. Πάντως ιδιαίτερες συνθήκες για ένα συγκεκριμένο άνοιγμα πόρτας μπορεί να απαιτούν διαφοροποιήσεις από τις παραπάνω σύστασεις. Ένα τυπικό ύψος πόρτας 3 m μπορεί να εξυπηρετήσει όλα τα περνοφόρα ανυψωτικά οχήματα μεγάλου ύψους στοιβάγματος.

Κατασκευή στη βάση της πόρτας. Μια κατασκευή από σκυρόδεμα στη βάση της πόρτας ελαχιστοποιεί τις πιθανές διαστολές στο κατώφλι της πόρτας.

Μια θερμοδιακοπή πρέπει να παρέχεται στη πλάκα του δαπέδου στη επιφάνεια του μπροστινού μέρους του τοίχου.

Πόρτες ισχύος. Οι οριζόντιες συρόμενες πόρτες είναι τυποποιημένες όταν παρέχεται ηλεκτρική λειτουργία. Η μονάδα πόρτας δύο φύλλων ελαχιστοποιεί τους χρόνους ανοίγματος και κλεισίματος. Η πόρτα βγαίνει εκτός οπτικού πεδίου χώρου και έτσι προστατεύεται από πιθανές φθορές όταν είναι ανοικτή. Επιπλέον καθώς οι κύριες άκρες και των δύο φύλλων διαθέτουν **άκρα ασφαλείας (safety edges)** το προσωπικό, οι πόρτες, τα φορτηγά ψυγεία και τα προϊόντα είναι προστατευμένα. Ένας διακόπτης τραβηχτός και κορδόνι χρησιμοποιείται για άνοιγμα της παραπάνω πόρτας και ένας ηλεκτρονόμος με χρονική υστέρηση ή φωτοηλεκτρικό κύτταρο ελέγχει το κλείσιμο. Η πιθανότητα για μια μεγάλη ζημιά στη πόρτα μπορεί να μειωθεί μέσω κατάλληλης τοποθέτησης των τραβηχτών διακοπών με κορδόνι.

Οι πόρτες πρέπει να προφυλάσσονται από την υγρασίας και το πάγο δια θέρμανσης. Προτιμάται αέρας χαμηλής σχετικής υγρασίας να εισάγεται κοντά σε περιοχές θυρών. Οι αυτόματες πόρτες πρέπει να διαθέτουν ένα πρόγραμμα προληπτικής συντήρησης για έλεγχο των υλικών στεγανοποίησης, της ευθυγράμμισης πόρτας, των ηλεκτρικών διακοπών, των άκρων ασφαλείας και των κυκλωμάτων θέρμανσης. Τέλος διακόπτες ασφάλειας που επιτρέπουν τη απεμπλοκή σε συσκευές που μπλοκάρουν χρειάζονται για να αποτραπεί πιθανή παγίδευση του εργατικού προσωπικού.

Πόρτες πυροπροστασίας. Διαθέσιμες στα παλινδρομικά και στα συρόμενα είδη οι πόρτες πυροπροστασίας είναι επίσης μονωμένες. Τα ψυκτικά συγκροτήματα έχουν αυξηθεί σε μέγεθος και τα περιεχόμενα προϊόντα έχουν αυξηθεί σε οικονομική αξία οπότε οι ασφαλιστικές εταιρείες και οι πυροσβεστικές αρχές απαιτούν τοίχους και πόρτες που να είναι πυρίμαχα.

Μεγάλα ανοίγματα θυρών. Τα ανοίγματα θυρών που μπορούν να εξυπηρετήσουν περονοφόρα ανυψωτικά οχήματα με υψηλούς ιστούς ανύψωσης και φορτία ύψους δύο παλετών είναι αρκετά μεγάλα ώστε να προκαλέσουν σημαντική απώλεια ψύξης. Η διείσδυση της υγρασίας αποτελεί πρόβλημα επειδή σχηματίζεται ως συμπύκνωμα ή παγετός πάνω στα στοιβαγμένα εμπορεύματα αλλά και εντός του συστήματος δομής της κτιριακής εγκατάστασης.

Πόρτες ύψους άνω των 3 με 3.7 m συχνά απαιτούνται ιδιαίτερα όπου σχάρες του συστήματος **drive-through** χρησιμοποιούνται.

Η απώλεια ψύξης και η διείσδυση της υγρασίας μπορεί να αποδειχθούν ιδιαίτερω σοβαρά φαινόμενα όταν οι πόρτες είναι τοποθετημένες σε απέναντι τοίχους ενός χώρου ψύξης και η σταυροειδής ροή του αέρα είναι δυνατή.

Είναι σημαντικό να μειώσουμε τη διείσδυση θερμού και υγρού αέρα με περικλειστες αποβάθρες αποστολής υπό ψύξη και, σε κάποιες περιπτώσεις, με προθαλάμους μονής κατεύθυνσης για τη κίνηση του προσωπικού.

ΕΞΕΤΑΣΗ ΥΠΟΛΟΙΠΩΝ ΘΕΜΑΤΩΝ

ΠΤΩΣΗ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ

Εξαιτίας των χαμηλών θερμοκρασιών στα συγκροτήματα καταψυκτών, η συστολή των δομικών στοιχείων σε αυτούς τους χώρους έντονης ψύξης θα είναι σημαντικά μεγαλύτερη από συγκροτήματα που περιβάλλονται από θερμοκρασία ατμόσφαιρας ή που λειτουργούν ως ψύκτες.

Για αυτό το λόγο λοιπόν οι αρμοί συστολής πρέπει να είναι κατάλληλα σχεδιασμένοι ώστε να αποτρέπουν πιθανή κατασκευαστική αστοχία κατά τη διάρκεια μείωσης της θερμοκρασίας εντός του συγκροτήματος.

Το πρώτο στάδιο μείωσης της θερμοκρασίας πρέπει να είναι από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος έως τους 2⁰C με όποιο ρυθμό μείωσης η ψυκτική εγκατάσταση μπορεί να επιτύχει.

Ο χώρος πρέπει τότε να διατηρηθεί σε αυτή τη θερμοκρασία μέχρι να είναι στεγνός. Επιπλέον τα φινιρίσματα είναι ιδιαίτερος ευάλωτα σε βλάβες όταν οι θερμοκρασίες μειώνονται πολύ γρήγορα.

Εάν υπάρχει μια πιθανότητα ο χώρος να είναι αεροστεγής (το πιθανότερο για μικρούς χώρους ψύξης 6x6 m το μέγιστο) οι παλινδρομικές πόρτες πρέπει να είναι εν μέρει ανοικτές κατά τη διάρκεια πτώσης της θερμοκρασίας για να μετριαστεί το εσωτερικό κενό που προκαλείται με τη ψύξη του αέρα ή εναλλακτικά οπές αερισμού πρέπει να παρέχονται. Μόνιμοι **αεραγωγοί 'ανακούφισης' (relief vents)** είναι απαραίτητοι για τη συνεχή λειτουργία της αποπάγωγης σε μικρούς θαλάμους ψύξης που διαθέτουν μόνο παλινδρομικές θύρες. Οι παραπάνω συνθήκες πιθανής θέρμανσης του αέρα κατά τη διάρκεια αποπάγωσης και ψύξης πρέπει να εξεταστούν κατά τη σχεδίαση αεραγωγών εντός θαλάμων ψυχρής αποθήκευσης.

Η πλάκα σκυροδέματος θα υποστεί συστολή κατά τη διάρκεια πτώσης θερμοκρασίας, προκαλώντας στους αρμούς πλάκας-τοιχών, στους αρμούς συστολής και σε άλλους κατασκευαστικούς αρμούς να 'ανοίξουν'. Κατά συνέπεια στο τέλος της περιόδου διατήρησης της θερμοκρασίας μετά τη πρώτη μείωση (δηλαδή στους 2⁰C) πρέπει να εκτελείται η οποιαδήποτε απαραίτητη σφράγιση στους αρμούς.

Ένας μέσος χρόνος που καθιστά το χώρο ψύξης στεγνό θεωρούνται οι 72 h.

Όμως υπάρχουν δείκτες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη εκτίμηση του παραπάνω χρονικού διαστήματος, όπως η παρακολούθηση του ρυθμού σχηματισμού πάγου πάνω στα 'στοιχεία' ατμοποίησης ή μετρώντας το ρυθμό αφαίρεσης υγρασίας με τη παγίδευση των συμπυκνωμάτων κατά τη διάρκεια της αποπάγωσης.

Εφόσον ο χώρος ψύξης είναι απόλυτα στεγνός μπορούμε να περάσουμε στο δεύτερο στάδιο μείωσης της θερμοκρασίας όπου η μείωση συνεχίζεται ξανά με οποιοδήποτε ρυθμό μπορεί να επιτύχει η ψυκτική εγκατάσταση μέχρι τη προσέγγιση της τελικής θερμοκρασίας λειτουργίας. Ρυθμοί πτώσης θερμοκρασίας των 5 K ανά ημέρα έχουν χρησιμοποιηθεί κατά το παρελθόν, αλλά εάν έχει ληφθεί ειδική μέριμνα για την αφαίρεση όλης της υγρασίας της κατασκευής στη προηγούμενη φάση υψηλότεροι ρυθμοί πτώσης θερμοκρασίας είναι δυνατοί χωρίς βλάβες.

ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΔΙΑΚΙΝΗΣΗΣ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ

Τα ιδιωτικά αλλά και τα δημόσια ψυκτικά συγκροτήματα μπορούν να στεγάσουν μεγάλου όγκου, καθόλη τη διάρκεια του χρόνου λειτουργίας ψύξεως με **περιοχές δειγματοληψίας γρήγορης κίνησης των προϊόντων (fast-moving order pick areas)** ενισχυμένες από εσωτερική διαμετακόμιση του κύριου όγκου των προϊόντων.

Τα ψυκτικά συγκροτήματα διανομής μπορούν να μεταφέρουν από 300 έως 3000 τεμάχια προϊόντων ή έως και 30000 μερίδες. Τα φορτία προϊόντων εντός παλεττών

που αποθηκεύονται είτε χύμα είτε πάνω σε σχάρες παλεττών μεταφέρονται από περονοφόρα ανυψωτικά οχήματα ή μηχανήματα αποθήκευσης/ανάκτησης μεγάλου ύψους σε ένα περιβάλλον από -18 έως -29°C. Συνήθη περονοφόρα οχήματα που εργάζονται με μπαταρίες και μπορούν να σηκώσουν προϊόντα πάνω από 7.6m ύψος μπορούν να εξυπηρετήσουν πολλών ειδών και διατάξεων σχάρες αποθήκευσης (π.χ drive-in, drive-through). Επίσης περονοφόρα ανυψωτικά οχήματα ειδικού τύπου έχουν τη δυνατότητα ανύψωσης προϊόντων πάνω από 18 m.

Αυτοματοποιημένα μηχανήματα αποθήκευσης/ανάκτησης αξιοποιούν καλύτερα τον όγκο προς ψυχρή αποθήκευση, απαιτούν λιγότερο εργατικό προσωπικό και μειώνουν το συνολικό ψυκτικό φορτίο επειδή το ψυκτικό συγκρότημα απαιτεί τότε μικρότερη επιφάνεια δαπέδου και οροφής/σκεπής. Αυτός ο εξοπλισμός εργάζεται σε ένα εύρος ύψους από 7 έως 30 m για να εξυπηρετήσει διαφόρων ειδών και διατάξεων σχάρες παλεττών. Ηλεκτρονικοί υπολογιστές και μηχανήματα αναγνώρισης κωδικού μπάρας στα προϊόντα επιτρέπουν σε ένα σύστημα να ελέγχει αυτόματα ανάκτηση, μεταφορά και διανομή των προϊόντων. Επιπλέον αυτά τα συστήματα μπορούν να καταγράφουν τη θέση και το είδος του προϊόντος και να φορτώνουν αρκετά αυτοκίνητα ψυγεία διανομής- ταυτόχρονα -από ένα μεταφορέα δειγματοληψίας των παραγγελιών και μια συσκευή διαχωρισμού των προϊόντων.

Ένα ψυκτικό συγκρότημα μπορεί να έχει 2 ή και περισσότερα συστήματα διακίνησης προϊόντων αν ο χώρος ψύξης περιέχει απόθεμα γρήγορης και αργής μετακίνησης ενώ πρόσθετα έχουμε δειγματοληψία με αργή μετακίνηση. Τεμάχια γρήγορης μετακίνησης μπορούν να ελεγχθούν δειγματοληπτικά και να διανεμηθούν με συμβατική λειτουργία μετακίνησης παλεττών από περονοφόρο ανυψωτικό όχημα με κάλυψη ύψους στοιβάγματος άνω των 9 m. Στο **τμήμα δειγματοληψίας γρήγορης κίνησης προϊόντων (fast moving order pick section)** το εσωτερικό ύψος ψυκτικού θαλάμου αυξάνεται ώστε να υποδεχθεί μηχανήματα αποθήκευσης/ανάκτησης, πολυεπίπεδο παλεττάρισμα και τους μεταφορείς(ταινίες) εισόδου, εξόδου και δειγματοληψίας των παραγγελιών. Μεσαίου επιπέδου ψεκαστήρες πυρόσβεσης μπορεί να είναι απαραίτητοι σε περιοχές μεγάλου ύψους σχαρών αποθήκευσης ή ημιώροφων ύψους άνω των 4.3 m.

ΠΥΡΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑ

Συνήθη συστήματα υγρών ψεκαστήρων πυρόσβεσης(καταιονητήρων) μπορούν να εφαρμοστούν σε χώρους ψυχρής αποθήκευσης με θερμοκρασία λειτουργίας άνω της στερεοποίησης.

Σε θαλάμους ψύξης κάτω της στερεοποίησης το εισερχόμενο νερό παγώνει εάν η κεφαλή ενός ψεκαστήρα για κάποιο λόγο δυσλειτουργεί ή έχει υποστεί κάποια μηχανική βλάβη. Εάν αυτό συμβεί η επηρεαζόμενη σωλήνωση πρέπει να αφαιρεθεί. Σε χώρους ψύξης αρκετά χαμηλής θερμοκρασίας ένα σύστημα ξηρού αέρα ή έγχυσης αζώτου(N₂) πρέπει να επιλεγεί.

Η σχεδίαση ενός συστήματος ξηρού ψεκαστήρα που να εργάζεται σε περιοχές κάτω των 0°C απαιτεί ειδικές γνώσεις και δεν πρέπει να αναλαμβάνεται χωρίς καθοδήγηση εξειδικευμένου τεχνικού προσωπικού. Η αποθήκευση σε καταψύκτη με σχάρες για τα προϊόντα ύψους 9 m ή και περισσότερο ίσως απαιτεί ειδική σχεδίαση και το αρχικό σχέδιο θα πρέπει να κοινοποιείται στη ασφαλιστική εταιρεία.

Οι τοπικοί κανονισμοί μπορεί να επιβάλλουν παραπετάσματα καπνού για απομόνωση της οροφής και οπές εξαερισμού για τη απομάκρυνση του καπνού κοντά στη σκεπή σε μεγάλους ψυκτικούς θαλάμους. Αυτά τα χαρακτηριστικά επιτρέπουν στο καπνό να διαφεύγει και βοηθούν τους πυροσβέστες να εντοπίσουν τη εστία της φωτιάς. Εάν το κτίριο δεν διαθέτει σύστημα ψεκασμού τότε συστήματα κεντρικής ενημέρωσης ή και προειδοποίησης παρέχονται για περιοχές υψηλού κινδύνου.

ΑΝΑΛΥΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΑΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ

Οι διαστάσεις των κτιριακών εγκαταστάσεων μπορεί να μεταβληθούν εξαιτίας του φαινομένου της κατακάθισης ή καθίζησης, των θερμοκρασιακών μεταβολών και άλλων παραγόντων. Επιπλέον τα ψυκτικά συγκροτήματα πρέπει να επιθεωρούνται τακτικά για τον πιθανό εντοπισμό προβλημάτων σε πρώιμο στάδιο έτσι ώστε η προληπτική συντήρηση να μπορεί να εφαρμοστεί εγκαίρως και να αντιστρέψει σοβαρές βλάβες.

Οι διαδικασίες αναλυτικού ελέγχου και συντήρησης χωρίζονται σε 2 περιοχές: για το βασικό σύστημα (υποσυστήματα δαπέδου, τοίχων και οροφής/σκεπής) και για τα υπόλοιπα εξαρτήματα (πόρτες, πλαίσια και άλλες διατάξεις πρόσβασης σε θαλάμους ψύξης)

Βασικό Σύστημα

1. Οι παλέτες στοιβάγματος προϊόντων πρέπει να βρίσκονται σε επαρκή απόσταση 460mm από τοίχους ή την οροφή ώστε να επιτρέπεται η ανεμπόδιστη κυκλοφορία του αέρα.
2. Εξέταση των τοίχων και της οροφής σε τυχαίες χρονικές στιγμές κάθε μήνα για πιθανή συσσώρευση παγετού. Εάν η συσσώρευση επιμένει θα πρέπει να εντοπιστεί η ρωγμή στο φραγμό υδρατμών.
3. Στη περίπτωση μονωμένης οροφής που βρίσκεται κάτω από το διαμορφωμένο χώρο της ψευδοροφής, θα πρέπει να ελεγχθεί λεπτομερειακά ο παραπάνω χώρος για πιθανές διαρροές της σκεπής ή για φαινόμενα συμπίκνωσης.
4. Εάν φαινόμενα συμπίκνωσης ή διαρροές υγρασίας εντοπιστούν πρέπει να γίνουν άμεσα επιδιορθώσεις

Υπόλοιπα Εξαρτήματα.

1. Να υπενθυμίζεται στο εργατικό προσωπικό να κλείνει γρήγορα τις πόρτες για να μειώνεται η εμφάνιση του παγετού στους χώρους ψύξης
2. Να ελέγχονται τα ροδάκια (ράουλα) και η διαδρομή των θυρών κατά τη φυσική κίνηση τους ανά τακτά χρονικά διαστήματα ώστε να διασφαλίζεται ότι το υλικό σφράγισης στις άκρες της πόρτας παραμένει αποτελεσματικό. Εάν διαρροές εντοπιστούν πρέπει να προσαρμοστεί η θέση της πόρτας ώστε να αποκατασταθεί ένα υδατοστεγές και αεροστεγές περιβάλλον.
3. Να ελέγχονται οι πόρτες και τα άκρα τους για ανίχνευση ζημιών από περονοφόρα ανυψωτικά οχήματα ή άλλου είδους κίνηση. Να επιδιορθώνονται οι όποιες βλάβες εντοπιστούν αμέσως ώστε να αποτρέπεται ο σχηματισμός πάγου στις πόρτες ή και η υπερφόρτωση του κινητήρα λόγω της υπερβολικής τριβής
4. Να λιπαίνονται οι πόρτες σύμφωνα με το πρόγραμμα συντήρησης που έχει συντάξει ο κατασκευαστής τους για να διασφαλίζεται η ελεύθερη κίνηση τους και το πλήρες κλείσιμο
5. Να γίνεται έλεγχος ανά τακτά χρονικά διαστήματα της σφράγισης γύρω από ανοίγματα σε αγωγούς, σωληνώσεις, και καλωδιώσεις στους τοίχους και την οροφή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο: ΦΟΡΤΙΑ ΨΥΚΤΙΚΟΥ ΣΥΓΡΟΤΗΜΑΤΟΣ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το συνολικό ψυκτικό φορτίο περιλαμβάνει τα επιμέρους φορτία (1)φορτία μετάδοσης που είναι η θερμότητα που μεταφέρεται εντός του ψυκτικού θαλάμου διαμέσου των επιφανειών του

(2) φορτία προϊόντων που είναι η θερμότητα που αφαιρείται από τα προϊόντα που εισάγονται και διατηρούνται στο χώρο ψύξης συμπεριλαμβανομένης και της θερμότητας που παράγεται από τα ίδια

(3) φορτία εσωτερικής λειτουργίας που περιλαμβάνουν θερμότητα που παράγεται από εσωτερικές πηγές με χαρακτηριστικές : ηλεκτροφωτισμό, ηλεκτροκινητήρες καθώς και παρουσία προσωπικού που εργάζεται εντός των ψυκτικών θαλάμων

(4) φορτία διείσδυσης αέρα που είναι το θερμικό κέρδος που σχετίζεται με τη είσοδο του αέρα στο χώρο ψύξης.

Οι 4 κατηγορίες των επιμέρους φορτίων αποτελούν το καθαρό θερμικό φορτίο το οποίο η ψυκτική εγκατάσταση πρέπει να μπορέσει να καλύψει δια της απαγωγής της θερμότητας. Επιπλέον το καθαρό θερμικό φορτίο μαζί με εκείνο του εξοπλισμού ψύξεως αποτελούν το συνολικό ψυκτικό φορτίο για το οποίο πρέπει να επιλεγεί ένας κατάλληλος συμπιεστής.

Το κεφάλαιο αυτό περιλαμβάνει διαδικασίες υπολογισμού φορτίων και δεδομένα που υπάρχουν για τις 4 κατηγορίες των ψυκτικών φορτίων.

ΦΟΡΤΙΑ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ

Το αισθητό θερμικό κέρδος διαμέσου τοίχων, δαπέδου και οροφών υπολογίζεται σε σταθερή κατάσταση από τη παρακάτω σχέση

$$q = UA\Delta t \quad (1)$$

όπου

q= θερμικό κέρδος, σε W

A=εξωτερική επιφάνεια της περιοχής, σε m²

Δt=θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ της θερμοκρασίας του εξωτερικού αέρα και της θερμοκρασίας του αέρα(ψύχον μέσο) του ψυκτικού θαλάμου, σε K(ή °C)

Ο συνολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας U(ή παράγοντας U) του τοίχου, δαπέδου ή οροφής μπορεί να υπολογιστεί από τη παρακάτω εξίσωση

$$U = \frac{1}{1/h_i + x/k + 1/h_o} \quad (2)$$

όπου

U=ο συνολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας, σε W/(m²K)

x=πάχος τοίχου σε m

k=θερμική αγωγιμότητα του υλικού του τοίχου, σε W/(mK)

h_i=εσωτερικός συντελεστής συναγωγής θερμότητας, σε W/(m²K)

h_o=εξωτερικός συντελεστής συναγωγής θερμότητας, σε W/(m²K)

Τιμή 1.6 για τους h_i και h_o χρησιμοποιείται συνήθως για αέρα ήρεμης κατάστασης δηλαδή πρακτικά για αέρα χαμηλής ταχύτητας κίνησης. Εάν η εξωτερική επιφάνεια εκτίθεται όμως σε αέρα ταχύτητας 25 Km/h το h_o αυξάνεται στη τιμή 6. Διαθέτοντας τοίχους σημαντικού πάχους και χαμηλής θερμικής αγωγιμότητας k ο παράγοντας θερμικής αντίστασης x/k ελαχιστοποιεί σε τέτοιο βαθμό το παράγοντα U ώστε οι όροι $1/h_i$ και $1/h_o$ να έχουν αμελητέα επίδραση και να μπορούν με αυτό τον τρόπο να παραληφθούν από τους υπολογισμούς. Οι τοίχοι συνήθως κατασκευάζονται από περισσότερα του ενός υλικά, οπότε η τιμή x/k αντιπροσωπεύει τη σύνθετη αντίσταση των υλικών. Ο παράγοντας U για ένα τοίχο με επίπεδες και παράλληλες επιφάνειες των υλικών 1,2 και 3 δίνεται πλέον από τη παρακάτω εξίσωση

$$U = \frac{1}{x_1/k_1 + x_2/k_2 + x_3/k_3} \quad (3)$$

Οι τιμές θερμικής αγωγιμότητας k διαφόρων υλικών θερμομόνωσης στους ψυκτικούς θαλάμους έχουν καταγραφεί στο πίνακα 1. Οι τιμές αυτές αυξάνονται με το χρόνο της γήρανσης της μόνωσης.

Ο πίνακας 2 καταγράφει τα ελάχιστα πάχη μόνωσης σανίδας από υλικό διογκωμένης πολυισοκυανουρίας όπως προτείνεται από τη ψυκτική βιομηχανία. Αυτά τα πάχη ενδέχεται να χρειαστεί να αυξηθούν ώστε να αντισταθμίσουν τα θερμικά κέρδη που προκαλούνται από δομικά στοιχεία των κτιρίων όπως ξύλινες ή μεταλλικές κάθετες δοκοί στήριξης, πλέγματα στη τοιχοποιία υψηλής μάζας και μεταλλικοί σύνδεσμοι τα οποία εκτείνονται κατά μήκος της μόνωσης και μειώνουν τη θερμική αντίσταση του τοίχου ή της σκεπής. Οι μεταλλικές επιφάνειες των προκατασκευασμένων δομικών πάνελς μονώσεως έχουν μια αμελητέα επίδραση στη θερμική απόδοση και για αυτό δεν χρειάζεται να ληφθούν υπόψη κατά το υπολογισμό του παράγοντα- U .

Στις πιο πολλές περιπτώσεις η θερμοκρασιακή διαφορά Δt μπορεί να προσαρμοστεί έτσι ώστε να λαμβάνει υπόψη την ηλιακή επίδραση στο θερμικό φορτίο μετάδοσης (ηλιακό κέρδος). Οι τιμές του πίνακα 3 καλύπτουν μια χρονική περίοδο 24 h και προστίθενται στις θερμοκρασιακές διαφορές Δt κατά το υπολογισμό του θερμικού κέρδους ενός τοίχου. Τέλος στο πίνακα 4 παρουσιάζονται οι τιμές του εισερχόμενου θερμικού φορτίου δια των δομικών στοιχείων(οροφή, τοίχοι, δάπεδο) ενός ψυκτικού θαλάμου ανά 24ωρο.

Το λανθάνον θερμικό κέρδος λόγω της μετάδοσης υγρασίας μέσω τοίχων, δαπέδων και οροφών στα σύγχρονα ψυκτικά συγκροτήματα θεωρείται αμελητέο.

Πίνακας 1 Θερμική Αγωγιμότητα Μόνωσης Ψυκτικών Θαλάμων

Μόνωση	Θερμική αγωγιμότητα ^a k , W/(mK)
Σανίδα από πολυουρεθάνη(R-11 διογκωμένη)	0.023 έως 0.026
Πολυισοκυανουρία κυτταρική(R-141b διογκωμένη)	0.027
Εξηλασμένη Πολυστερίνη(R-142b)	0.035
Διογκωμένη Πολυστερίνη(R-142b)	0.037
Ξύλινη Σανίδα ^b	0.043
Γυαλί υπό μορφή Αφρού ^c	0.044

a Οι τιμές αντιστοιχούν σε μια μέση θερμοκρασία 24°C και η μόνωση είναι παλαιότητας 180 ημερών

b Σπάνια χρησιμοποιούμενο υλικό μόνωσης. Τα δεδομένα παρατίθενται ενδεικτικά

c Πρακτικά καμία επίδραση από τη πάροδο του χρόνου

Πίνακας 2 Ελάχιστο Πάχος Μονώσεως

Θερμοκρασία Συντήρησης στη Ψυχρή Αποθήκευση, σε °C	Πάχος Διογκωμένης Πολυισοκυανουρίας	
	Βόρειες ΗΠΑ, σε mm	Νότιες ΗΠΑ, σε mm
10 έως 16	50	50
4 έως 10	50	50
-4 έως 4	50	75
-9 έως -4	75	75
-18 έως -9	75	100
-26 έως -18	100	100
-40 έως -26	125	125

Πίνακας 3 Χορήγηση για το Ηλιακό Κέρδος

Συνήθεις Τύποι Επιφανειών	Ανατολικός τοίχος, σε K	Νότιος τοίχος, σε K	Δυτικός τοίχος,σε K	Επίπεδη οροφή, σε K
<u>Σκουρόχρωμες επιφάνειες</u> Οροφή με σχιστολιθικές πλάκες Στρώση οροφής με άσφαλτο Μαύρο χρώμα	5	3	5	11
<u>Μεσαίου χρώματος επιφάνειες</u> Μη βαμμένο ξύλο Τούβλο Κόκκινο κεραμίδι Σκούρο τσιμέντο Κόκκινο, γκρι ή πράσινο χρώμα	4	3	4	9
<u>Ανοιχτόχρωμες επιφάνειες</u> Λευκή πέτρα Ανοιχτού χρώματος τσιμέντο Λευκό χρώμα	3	2	3	5
Παρατήρηση: προσθήκη στη κανονική θερμοκρασιακή διαφορά Δt για υπολογισμούς ροής θερμότητας ώστε να ληφθεί υπόψη το ηλιακό θερμικό κέρδος δηλαδή η ηλιακή επίδραση. Να μην χρησιμοποιείται για σχεδίαση που περιλαμβάνει κλιματισμό του αέρα.				

**Πίνακας 4 Εισερχόμενα Θερμικά Φορτία(Μετάδοσης) στο Ψυκτικό Θάλαμο
δια των Δομικών Στοιχείων (J/m² 24h)**

Πάχος μόνωση από φελλό σε m	$\Delta\theta=\theta_{out}-\theta_{in}$ (°C)													
	0.55	22.2	25	27.8	30.6	33.3	36.1	38.9	41.7	44.4	47.2	50	52.8	55.6
0.0762	0.0021	0.0841	0.0946	0.1052	0.1157	0.1262	0.1367	0.1472	0.1577	0.1682	0.1788	0.1893	0.1998	0.2103
0.1016	0.0016	0.0631	0.0710	0.0789	0.0867	0.0946	0.1025	0.1104	0.1183	0.1262	0.1341	0.1420	0.1498	0.1577
0.1270	0.0013	0.0508	0.0570	0.0631	0.0692	0.0762	0.0824	0.0885	0.0946	0.1008	0.1069	0.1139	0.1200	0.1262
0.1524	0.0011	0.0421	0.0473	0.0526	0.0578	0.0631	0.0683	0.0736	0.0789	0.0841	0.0894	0.0946	0.0999	0.1052
0.1778	0.0009	0.0359	0.0403	0.0456	0.0500	0.0543	0.0587	0.0631	0.0675	0.0719	0.0771	0.0815	0.0859	0.0903
0.2032	0.0008	0.0316	0.0359	0.0394	0.0438	0.0473	0.0517	0.0552	0.0596	0.0631	0.0675	0.0710	0.0754	0.0789
0.2286	0.0007	0.0280	0.0316	0.0350	0.0386	0.0421	0.0456	0.0491	0.0526	0.0561	0.0596	0.0631	0.0666	0.0701
0.2540	0.0006	0.0254	0.0280	0.0316	0.0350	0.0377	0.0412	0.0438	0.0473	0.0508	0.0534	0.0570	0.0596	0.0631
0.2794	0.0006	0.0228	0.0263	0.0289	0.0316	0.0350	0.0377	0.0403	0.0438	0.0464	0.0491	0.0526	0.0552	0.0578
0.3048	0.0005	0.0210	0.0237	0.0263	0.0289	0.0316	0.0342	0.0368	0.0394	0.0421	0.0447	0.0473	0.0500	0.0526
0.3302	0.0005	0.0193	0.0219	0.0245	0.0263	0.0289	0.0316	0.0342	0.0359	0.0386	0.0412	0.0438	0.0456	0.0482
0.3556	0.0005	0.0175	0.0202	0.0228	0.0245	0.0272	0.0289	0.0316	0.0333	0.0359	0.0377	0.0403	0.0429	0.0447
Απλό τζάμι	0.0237	0.9464	1.0691	1.1830	1.3056	0.8938	1.5422	1.6562	1.7788	1.8928	2.0067	2.1381	2.2433	2.3659
Διπλό τζάμι	0.0096	0.3856	0.4381	0.4820	0.5345	0.5783	0.6265	0.6747	0.7229	0.7711	0.8202	0.8675	0.9201	0.9639
Τριπλό τζάμι	0.0061	0.2454	0.2804	0.3067	0.3417	0.3680	0.3978	0.4294	0.4600	0.4907	0.5214	0.5520	0.5827	0.6134

Πίνακας 4 (συνέχεια)

Πάχος μόνωσης από φελλό σε m	$\Delta\theta=\theta_{out}-\theta_{in}$ (°C)			
	58.33	61.11	63.89	66.67
0.0762	0.2208	0.2313	0.2419	0.2524
0.1016	0.1656	0.1735	0.1814	0.1893
0.1270	0.1349	0.1393	0.1455	0.1516
0.1524	0.1104	0.1157	0.1209	0.1262
0.1778	0.0946	0.0990	0.1034	0.1087
0.2032	0.0833	0.0867	0.0911	0.0946
0.2286	0.0736	0.0771	0.0806	0.0841
0.2540	0.0666	0.0692	0.0727	0.0754
0.2794	0.0605	0.0640	0.0666	0.0692
0.3048	0.0552	0.0578	0.0605	0.0631
0.3302	0.0508	0.0534	0.0552	0.0578
0.3556	0.0473	0.0491	0.0517	0.0534
Απλό τζάμι	2.4886	2.6025	2.7164	2.8391
Διπλό τζάμι	1.0165	1.0603	1.1129	1.1567
Τριπλό τζάμι	0.6484	0.6747	0.7098	0.7361

ΘΕΡΜΙΚΟ ΚΕΡΔΟΣ ΑΠΟ ΤΑ ΔΑΠΕΔΑ ΨΥΚΤΩΝ

Το θερμικό κέρδος διαμέσου του δαπέδου ψυκτών τύπου πλάκας σκυροδέματος μπορεί να βρεθεί χρησιμοποιώντας τις διαδικασίες που αναπτύχθηκαν από τους Chuangchid και Krarti(2000) οι οποίοι ανέπτυξαν μια απλοποιημένη σχέση συσχετίσεως του συνολικού θερμικού κέρδους της πλάκας για ψύκτες στηριζόμενοι στα αναλυτικά αποτελέσματα που αναφέρθηκαν παλαιότερα από τους Chuangchid και Krarti(1999). Στις παράμετρος της λύσης αυτής περιλαμβάνονται οι διαστάσεις της πλάκας και η θερμική αντίσταση, η θερμική αντίσταση της μόνωσης, η θερμική αγωγιμότητα του εδάφους, το βάθος της στάθμης του νερού και η θερμοκρασία του και τέλος οι εσωτερικές και εξωτερικές τιμές θερμοκρασίας του αέρα.

Η διαδικασία σχεδίασης καλύπτει 4 διαμορφώσεις-παραλλαγές όσον αφορά τη μόνωση της πλάκας (1) χωρίς μόνωση (2) ομοιόμορφη οριζόντια μόνωση (3) μερική οριζόντια μόνωση της περιμέτρου και (4) μερική κάθετη μόνωση περιμέτρου.

Η χαρακτηριστική διάσταση της πλάκας εκφράζεται ως ο λόγος της επιφάνειας της πλάκας A προς τη εκτιθέμενη περίμετρο της πλάκας P . Το αποτέλεσμα είναι μια εκτίμηση του μέσου ετήσιου θερμικού κέρδους καθώς και του εύρους διακύμανσης του θερμικού κέρδους δια του δαπέδου του ψύκτη, τα οποία συνδυαζόμενα δίνουν τη άμεση θερμότητα μέσω του εξεταζόμενου δαπέδου σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή του χρόνου. Η χρονική διακύμανση του, υπό του εδάφους, θερμικού κέρδους $q(t)$ για πλάκες ψυκτών δίνεται παρακάτω

$$q(t) = q_m - q_a \cos[\omega(t - \varphi)] \quad (4)$$

όπου

q_m =μέσο ετήσιο θερμικό κέρδος πλάκας δαπέδου, σε kW

q_a =εύρος/πλάτος της ετήσιας διακύμανσης του θερμικού κέρδους, σε kW

φ =διαφορά φάσης(χρονικής υστέρησης) μεταξύ του θερμικού κέρδους του δαπέδου του ψύκτη και της διακύμανσης της εξωτερικής θερμοκρασίας του αέρα, σε ημέρες

t =χρόνος, σε ημέρες

ω =σταθερά για ετήσια γωνιακή συχνότητα, 0.0172 radians/ημέρα

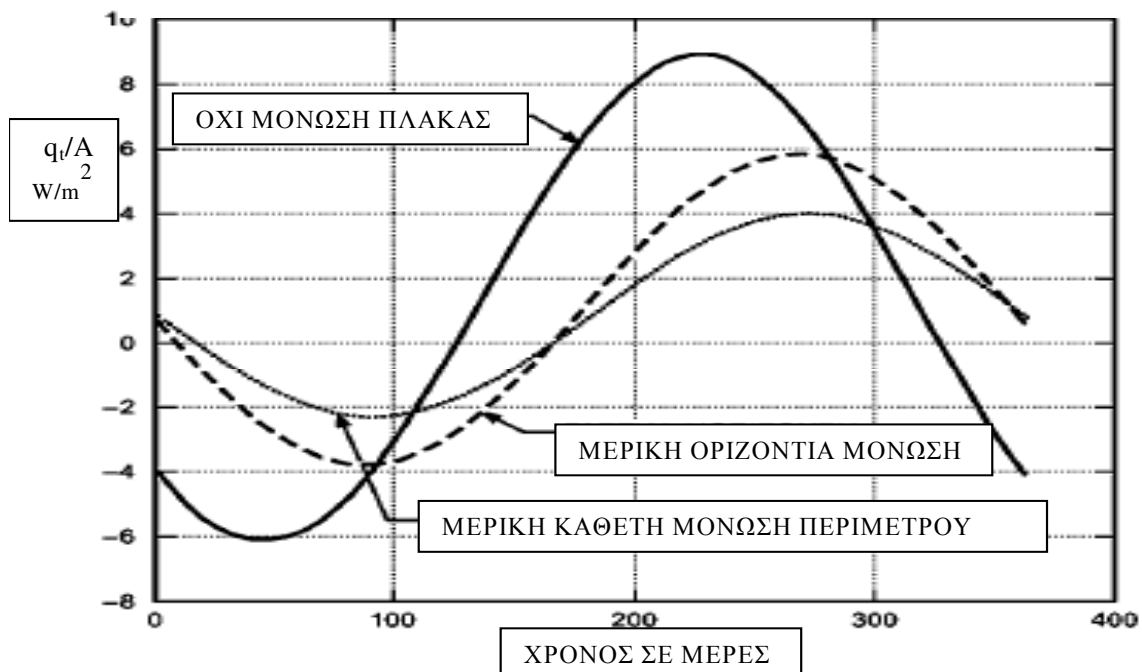
Αυτές οι ποσότητες είναι συναρτήσεις των παραμέτρων εισόδου όπως οι διαστάσεις της κτιριακής εγκατάστασης, οι ιδιότητες του εδάφους και η θερμική αντίσταση της μόνωσης. Να σημειωθεί ότι η αρχή των χρόνων ($t=0$) στη εξίσωση (4) αντιστοιχεί στη χρονική στιγμή όταν η θερμοκρασία της επιφάνειας του εδάφους είναι η ελάχιστη (συνήθως 15 Ιανουαρίου στις περισσότερες περιοχές των ΗΠΑ). Λεπτομέρειες της μεθόδου υπολογισμού δίδονται από του ερευνητές Chuangchid και Krarti(2000).

Πίνακας 5 Παράδειγμα Δεδομένων Εισαγωγής που Απαιτούνται για τον Υπολογισμό του Θερμικού Κέρδους μέσω του Δαπέδου Ψύκτη

Απαιτούμενες Πληροφορίες	Τιμές Παραδείγματος
Θερμική αγωγιμότητα του εδάφους k_s	1.51 W/(m K)
Θερμική διάχυση του εδάφους α_s	$7.12 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$
Συνολική επιφάνεια δαπέδου A	$10\text{m} \times 15\text{m}=150\text{m}^2$
Εκτιθέμενη περίμετρος P	50m
Πάχος πλάκας y	100mm
Θερμική αντίσταση πλάκας R_f	$0.587(\text{m}^2\text{K})/\text{W}$
Θερμική αντίσταση μόνωσης R_i	$3.52(\text{m}^2\text{K})/\text{W}$
Μήκος μερικής μόνωσης c	1m
Εσωτερική θερμοκρασία ψύκτη T_r	1.67°C
Μέση ετήσια θερμοκρασία T_m	4.4°C
Εύρος διακύμανσης της ετήσιας θερμοκρασίας T_a	33.3K(ή σε $^\circ\text{C}$)
Βάθος της στάθμης του νερού b	Αμελείται(εάν το βάθος είναι άνω των 2m η επίδραση από τη στάθμη του νερού μπορεί να αγνοηθεί)

Πίνακας 6 Συνήθεις τιμές της Ετήσιας Εξωτερικής Θερμοκρασίας καθώς και του Ετήσιου Εύρους Διακύμανσης για Θερμές/Ψυχρές Κλιματολογικές Συνθήκες

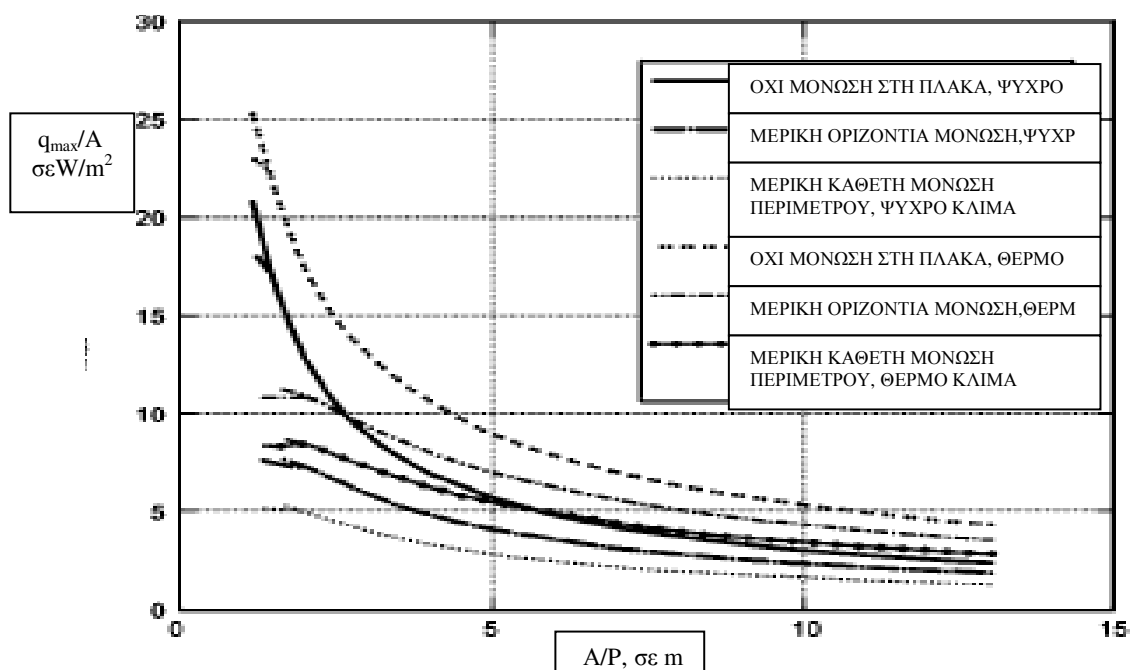
Θερμοκρασίες	Σύνηθες ψυχρό κλίμα, σε $^\circ\text{C}$	Σύνηθες θερμό κλίμα, σε $^\circ\text{C}$
Μέση ετήσια θερμοκρασία T_m	4.4	21.1
Ετήσιο εύρος διακύμανσης T_a	33.3	16.7



Σχήμα 1 Διακύμανση του Θερμικού Κέρδους ανά μονάδα επιφάνειας Δαπέδου Ψύκτη κατά τη Διάρκεια Έτους για συνθήκες του Πίνακα 5

Σύμφωνα με τις συνθήκες του πίνακα 5 τα αποτελέσματα για το θερμικό κέρδος μέσω δαπέδου ψύκτη τύπου πλάκας υπολογίζονται βασιζόμενοι στη παραπάνω μέθοδο. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 1 το θερμικό κέρδος διαμέσου του δαπέδου του ψύκτη κυμαίνεται σημαντικά και μπορεί ακόμη και να είναι 'αρνητικό' σε συγκεκριμένες χρονικές στιγμές του έτους. Η επίδραση της μερικής οριζόντιας και μερικής κάθετης μόνωσης περιμέτρου αναφορικά με το θερμικό κέρδος του δαπέδου ψύκτη για τις συνθήκες του πίνακα 5 μπορούν επίσης να μελετηθούν στο Σχήμα 1.

Το Σχήμα 2 το οποίο παρατίθεται στη συνέχεια δείχνει τα αποτελέσματα για τη μέγιστη μεταφορά θερμότητας ανά μονάδα επιφάνειας του δαπέδου του ψύκτη q_{max}/A μετά από υπολογισμό όπου θερμοκρασίες συνήθους ψυχρού και θερμού κλίματος έχουν άμεση εφαρμογή. Αυτές οι θερμοκρασίες εξωτερικού περιβάλλοντος δίνονται αναλυτικά στο πίνακα 6. (q_{max}/A) είναι το άθροισμα του μέσου θερμικού κέρδους και του εύρους διακύμανσης του ανά μονάδα επιφάνειας και είναι επομένως ο μέγιστος ρυθμός μεταφοράς θερμότητας που συμβαίνει κάποια χρονική στιγμή εντός του έτους. Η επίδραση του μήκους και πλάτους της πλάκας του δαπέδου γίνεται αντιληπτή και μελετάται από τη γεωμετρική παράμετρο A/P . Κατά την απεικόνιση του Σχήματος 2 χρησιμοποιήθηκαν πλάτη των 10 αλλά και 30m. Το γεγονός ότι οι καμπύλες q_{max}/A στο Σχήμα 2 συγκλίνουν και τείνουν να συμπέσουν για διαφορετικές επιφάνειες της πλάκας A ενώ διατηρούν το ίδιο λόγο A/P και τη ίδια εσωτερική θερμοκρασία, ετήσια μέση εξωτερική και ετήσιο εύρος διακύμανσης της εξωτερικής θερμοκρασίας υποδηλώνει ότι η επιφάνεια της πλάκας δεν επηρεάζει το ρυθμό θερμικού κέρδους του δαπέδου πλάκας του ψύκτη ανά μονάδα επιφάνειας για επιφάνειες του δαπέδου μεγαλύτερες των $100m^2$.



Σχήμα 2 Διακύμανση του q_{max}/A συναρτήσει του A/P χρησιμοποιώντας Συνθήκες και Δεδομένα από τους Πίνακες 5 και 6

ΦΟΡΤΙΑ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ

Τα κύρια ψυκτικά φορτία προς κάλυψη από τα προϊόντα που εισάγονται και διατηρούνται στους χώρους ψυχρής αποθήκευσης είναι (1) θερμότητα η οποία πρέπει να αφαιρεθεί ώστε να φέρει τα προϊόντα στην επιθυμητή θερμοκρασία συντήρησης και (2) θερμότητα που παράγεται από τα προϊόντα(κυρίως φρούτα και λαχανικά) δια της αναπνοής κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης υπο ψύξης. Η ποσότητα θερμότητας που πρέπει να αφαιρεθεί μπορεί να υπολογιστεί όπως παρακάτω

1. Η θερμότητα προς απαγωγή για την επίτευξη ψύξης από την αρχική θερμοκρασία σε κάποια χαμηλότερη θερμοκρασία πάνω όμως από το σημείο στερεοποίησης του προϊόντος(απλή ψύξη)

$$Q_1 = mc_1(t_1 - t_2) \quad (5)$$

2. Η θερμότητα που πρέπει να αφαιρεθεί για τη ψύξη από τη αρχική θερμοκρασία έως το σημείο στερεοποίησης του προϊόντος(ουσιαστικά πρόψυξη)

$$Q_2 = mc_1(t_1 - t_f) \quad (6)$$

3. Η θερμότητα που πρέπει να αφαιρεθεί για τη στερεοποίηση του προϊόντος(φορτίο αλλαγής φάσης)

$$Q_3 = mh_{if} \quad (7)$$

4. Η θερμότητα που πρέπει να αφαιρεθεί για τη ψύξη από το σημείο στερεοποίησης στη τελική θερμοκρασία συντήρησης χαμηλότερα του σημείου στερεοποίησης (φορτίο υπόψυξης)

$$Q_4 = mc_2(t_f - t_3) \quad (8)$$

όπου

Q_1, Q_2, Q_3, Q_4 =αφαιρούμενη θερμότητα σε kJ

m =μάζα του προϊόντος, kg

c_1 =ειδική θερμοχωρητικότητα του προϊόντος πάνω από τη στερεοποίηση, kJ/(kg K)

c_2 = ειδική θερμοχωρητικότητα του προϊόντος κάτω από τη στερεοποίηση,kJ/(kg K)

t_1 = η αρχική θερμοκρασία του προϊόντος πάνω από τη στερεοποίηση, °C

t_2 = η χαμηλότερη θερμοκρασία του προϊόντος πάνω από τη στερεοποίηση, °C

t_f = η (αρχική) θερμοκρασία στερεοποίησης του προϊόντος, °C

t_3 = η τελική θερμοκρασία του προϊόντος κάτω της στερεοποίησης, °C

h_{if} = λανθάνουσα θερμότητα στερεοποίησης του προϊόντος, kJ/kg

Η ψυκτική ισχύς που απαιτείται για προϊόντα που εισάγονται σε χώρους ψυχρής αποθήκευσης προσδιορίζεται από το χρόνο που κατανέμεται για τη αφαίρεση της θερμότητας και υποθέτει ότι το προϊόν εκτίθεται με το κατάλληλο τρόπο για την επιθυμητή αφαίρεση της θερμότητας στο παραπάνω χρονικό διάστημα. Ο υπολογισμός δίνει

$$q = \frac{Q_2 + Q_3 + Q_4}{3600n} \quad (9)$$

όπου

q =μέσο ψυκτικό φορτίο ανηγμένο στη μονάδα του χρόνου, kW

n =ο συνολικός χρόνος που κατανέμεται, h

Η εξίσωση (9) εφαρμόζεται μόνο υπό την προϋπόθεση της ομοιόμορφης εισαγωγής του προϊόντος στο ψυκτικό θάλαμο. Το ψυκτικό φορτίο που πρέπει να καλυφθεί λόγω της ανομοιόμορφης τοποθέτησης και ψύξης ενός θερμού προϊόντος μπορεί να είναι πολύ μεγαλύτερο για μια μικρή χρονική περίοδο έναντι της ομοιόμορφης. Οι ειδικές θερμοχωρητικότητες πάνω και κάτω του σημείου στερεοποίησης για πολλά προϊόντα δίδονται στο Πίνακα 3 του 1^{ου} Κεφαλαίου της εργασίας. Επίσης η λανθάνουσα θερμότητα στερεοποίησης ενός προϊόντος μπορεί να υπολογιστεί με πολλαπλασιασμό του κλάσματος μάζας για το νερό του προϊόντος εκφρασμένο με τη δεκαδική του μορφή επί τη λανθάνουσα θερμότητα της στερεοποίησης του νερού που είναι 334 KJ/kg νερού. Τα περισσότερα τρόφιμα καταψύχονται μεταξύ των -3 έως -0.5 °C. Εάν η ακριβής τιμή θερμοκρασίας του (αρχικού) σημείου στερεοποίησης δεν είναι εκ των προτέρων γνωστή υποθέτουμε ότι αυτή είναι -2 °C.

Παράδειγμα 1: 100kg άπαχο βοδινό κρέας πρόκειται να ψυχθεί από τους 18 °C στους 4⁰C, κατόπιν να ψυχθεί και καταψυχθεί σε τελική θερμοκρασία -18 °C. Το περιεχόμενο νερό/υγρασία είναι 69.5% και η λανθάνουσα θερμότητα στερεοποίησης προκύπτει 233 KJ/kg. Να υπολογιστεί το συνολικό ψυκτικό φορτίο.

Λύση: Η ειδική θερμοχωρητικότητα του άπαχου βοδινού κρέατος πάνω από τη στερεοποίηση μπορεί να βρεθεί με χρήση του πίνακα 3, Κεφάλαιο 1^ο και είναι 3.52 kJ/(kg K), ομοίως προκύπτει η ειδική θερμοχωρητικότητα και για κάτω του σημείου στερεοποίησης 2.12 kJ/(kg K).

Η ψύξη που απαιτείται από τους 18 °C στους 4⁰C σε ένα ψυκτικό θάλαμο είναι

$$100 \times 3.52(18 - 4) = 4928kJ$$

Η ψύξη που χρειάζεται για τη μετάβαση από τους 4⁰C στη θερμοκρασία του σημείου στερεοποίησης(πρόψυξη) στο καταψύκτη θα είναι

$$100 \times 3.52[4 - (-2)] = 2112kJ$$

Το απαιτούμενο ψυκτικό φορτίο για τη διαδικασία της αλλαγής φάσης του προϊόντος δηλαδή της στερεοποίησης είναι

$$100 \times 233 = 23300kJ$$

Η ψύξη που χρειάζεται από το αρχικό σημείο στερεοποίησης στη τελική θερμοκρασία συντήρησης(υπόψυξη) θα είναι

$$100 \times 2.12 [(-2) - (-18)] = 3392 \text{kJ}$$

Επομένως το ψυκτικό φορτίο συνολικά θα προκύψει:

$$4928 + 2112 + 23300 + 3392 = 33732 \text{kJ}$$

Παρατήρηση: Στο παράδειγμα 3 του 1^{ου} Κεφαλαίου αναλύεται μια διαφορετική εναλλακτική μέθοδος υπολογισμού του συνολικού ψυκτικού φορτίου όπου εκεί γίνεται χρήση σχέσεων ενθαλπίας με παρόμοια προφανώς αποτελέσματα αφού $h=c\Delta t$

Τα φρέσκα φρούτα και λαχανικά αναπνέουν και απελευθερώνουν θερμότητα κατά τη διάρκεια της ψυχρής αποθήκευσης. Αυτή η θερμότητα αναπνοής κυμαίνεται ανάλογα με το είδος του προϊόντος που διατηρείται και τη τελική θερμοκρασία συντήρησης, αφού σε όσο ψυχρότερη θερμοκρασία παραμένει το προϊόν αυτό τόσο η θερμότητα αναπνοής βαίνει μειούμενη. Ο πίνακας 9 στο 1^ο Κεφάλαιο της εργασίας καταγράφει αρκετά διεξοδικά ρυθμούς θερμότητας αναπνοής για μια ποικιλία προϊόντων.

Οι υπολογισμοί που παρουσιάστηκαν στο προηγούμενο παράδειγμα 1 δεν καλύπτουν το θερμικό κέρδος από τα κιβώτια/δοχεία μεταφοράς προϊόντων που εισάγονται εντός των ψυκτικών θαλάμων. Έτσι λοιπόν όταν οι παλέτες, τα κιβώτια και άλλα υλικά συσκευασίας των προϊόντων αποτελούν ένα σημαντικό τμήμα της συνολικής μάζας που εισάγεται στους θαλάμους ψύξης αυτό το επιπρόσθετο θερμικό φορτίο πρέπει να υπολογίζεται και να προστίθεται αφού σε αυτή τη περίπτωση δεν μπορεί να θεωρηθεί αμελητέο.

Οι εξισώσεις (5) έως (9) χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του θερμικού κέρδους συνολικά. Οποιαδήποτε ποσότητα υγρασίας αφαιρείται εμφανίζεται ως λανθάνων θερμικό κέρδος. Η ποσότητα υγρασίας που εμπλέκεται παραπάνω παρέχεται απο τον υπεύθυνο του ψυκτικού θαλάμου ως ποσοστό συνολικής μάζας του προϊόντος. Έτσι η συστατική λανθάνουσα θερμότητα του συνολικού θερμικού κέρδους προσδιορίζεται.

ΦΟΡΤΙΑ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Ηλεκτρικός εξοπλισμός. Όλη η ηλεκτρική ενέργεια που είναι διαμοιρασμένη στο χώρο ψύξης και πιο συγκεκριμένα στον φωτισμό, τους κινητήρες, θερμοαντίες και σε παρόμοιο εξοπλισμό πρέπει να συμπεριληφθεί στο φορτίο εσωτερικής λειτουργίας. Τα θερμικά ισοδύναμα σχετικά με λειτουργία των ηλεκτροκινητήρων καταγράφονται παρακάτω στο πίνακα 7.

Περονοφόρα ανυψωτικά οχήματα. Σε κάποια συγκροτήματα ψύξης τα περονοφόρα ανυψωτικά οχήματα μπορεί να αποτελούν ένα πολύ μεγάλο αλλά και μεταβλητό παράγοντα συνεισφοράς στο συνολικό φορτίο εσωτερικής λειτουργίας. Παρά το γεγονός ότι πολλά περονοφόρα οχήματα μπορεί να βρίσκονται σε ένα χώρο κάποια χρονική στιγμή δεν λειτουργούν όλα στο ίδιο ενεργειακό επίπεδο. Η ενέργεια, για παράδειγμα, που καταναλώνεται από ένα περονοφόρο ανυψωτικό όχημα ενώ αυτό ανυψώνει ή κατεβάζει τις 'πιρουνές' είναι διαφορετική σε σχέση με τη απλή κίνηση τους μεταφέροντας προϊόντα.

Εξοπλισμός επεξεργασίας. Εξοπλισμός μαγειρικής, ανάμιξης ή τριψίματος και αλέσματος μπορεί να βρίσκεται σε χώρους ψύξης ως τμήμα ευρύτερων μονάδων επεξεργασίας τροφίμων. Άλλες πηγές θερμότητας περιλαμβάνουν το εξοπλισμό για τη συσκευασία των προϊόντων.

Άτομα/Εργατικό προσωπικό. Τα άτομα του προσωπικού δια της φυσικής παρουσίας τους προσθέτουν θερμικό φορτίο σε αυτό της εσωτερικής λειτουργίας σε ποσότητες που εξαρτώνται από παράγοντες όπως η θερμοκρασία του ψυκτικού θαλάμου, το είδος της εργασίας που επιτελούν, το είδος της ενδυμασίας τους και το μέγεθος των ατόμων δηλαδή οι διαστάσεις τους. Το θερμικό φορτίο ενός ατόμου q_p μπορεί να υπολογιστεί από τη παρακάτω σχέση

$$q_p = 272 - 6t \quad (10)$$

όπου t είναι η θερμοκρασία του χώρου ψύξης, σε $^{\circ}\text{C}$. Ο πίνακας 8 που επίσης παρατίθεται πιο κάτω περιγράφει το μέσο φορτίο από άτομα εντός ψυκτικού θαλάμου όπως υπολογίζονται από τη εξίσωση (10).

Όταν άτομα του προσωπικού εισέρχονται για πρώτη φορά σε ένα ψυκτικό θάλαμο εισάγουν μια πρόσθετη 'θερμότητα επιφάνειας'. Για το παραπάνω λόγο λοιπόν όταν πολλά άτομα εισέρχονται και εξέρχονται κάθε λίγα λεπτά το φορτίο προκύπτει μεγαλύτερο από το αυτό που δίνει ο πίνακας 8 (ανά άτομο) και πρέπει σε αυτή τη περίπτωση να προσαρμοστεί. Μια συντηρητική διόρθωση είναι ο πολλαπλασιασμός των τιμών που υπολογίστηκαν στη (10) με το παράγοντα 1.25

Λανθάνων φορτίο. Η συστατική λανθάνουσα θερμότητα του φορτίου εσωτερικής λειτουργίας είναι συνήθως πολύ μικρή συγκρινόμενη με το συνολικό ψυκτικό φορτίο και συνήθως θεωρείται ως όλη αισθητή δηλαδή μπορεί να αμεληθεί.

Όμως η συστατική λανθάνουσα θερμότητα πρέπει να υπολογιστεί όταν το νερό εμπλέκεται κατά τη επεξεργασία προϊόντων ή κατά το καθαρισμό και απολύμανση.

Πίνακας 7 Θερμικό Κέρδος από Συνήθειες Ηλεκτροκινητήρες(Η/Κ)

				Τοποθεσία Η/Κ και Εξοπλισμού που κινείται από αυτόν(πχ ανεμιστήρας) Αναφορικά με το Χώρο Κλιματισμού ή το Ρεύμα Αέρα.		
				A	B	C
Ισχύς Η/Κ (kW)	Είδος Η/Κ	Ονομαστικός αριθμός στροφών (rpm)	Βαθμός απόδοσης Η/Κ στο πλήρες φορτίο(%)	Η/Κ εντός, Εξοπλισμός Κινήσεως εντός, σε W	Η/Κ εκτός, Εξοπλισμός Κινήσεως εντός,σε W	Η/Κ εντός, Εξοπλισμός Κινήσεως εκτός, σε W
0.04	Μονοφασικοί Εναλλασσόμενου Ρεύματος τύπου shaded pole	1500	35	105	35	70
0.06			35	170	59	110
0.09			35	264	94	173
0.12			35	340	117	223
0.19	Μονοφασικοί τύπου split phase	1750	54	346	188	158
0.25			56	439	246	194
0.37			60	621	372	249
0.56	Τριφασικοί	1750	72	776	557	217
0.75			75	993	747	249
1.1			77	1453	1119	334
1.5			79	1887	1491	396
2.2			81	2763	2238	525
3.7			82	4541	3721	817
5.6			84	6651	5596	1066
7.5			85	8760	7178	1315
11.2			86	13009	11192	1820
14.9			87	17140	14913	2230
18.6			88	21184	18635	2545
22.4			89	25110	22370	2765
30			89	33401	29885	3690
37			89	41900	37210	4600
45			89	50395	44829	5538
56			90	62115	55962	6210
75			90	82918	74719	8290
93			90	103430	93172	10342
110			91	123060	111925	11075
150			91	163785	149135	14738
190			91	204805	186346	18430

Πίνακας 8 Θερμικό Ισοδύναμο λόγω Παρουσίας Ατόμων

Θερμοκρασία Ψυκτικού Θαλάμου, °C	Θερμικό Ισοδύναμο/Άτομο, W
10	210
5	240
0	270
-5	300
-10	330
-15	360
-20	390

Σημείωση : Το θερμικό ισοδύναμο μπορεί να υπολογιστεί εναλλακτικά από τη εξίσωση (10)

ΦΟΡΤΙΑ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗΣ ΑΕΡΑ(Η ΦΟΡΤΙΑ ΕΝΑΛΛΑΓΩΝ ΑΕΡΑ)

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το θερμικό κέρδος λόγω των φορτίων της διείσδυσης αέρα και του συσχετιζόμενου εξοπλισμού μπορεί να αποτελούν πάνω από το 50% του συνολικού ψυκτικού φορτίου σε ψυκτικούς θαλάμους διανομής.

ΔΙΕΙΣΔΥΣΗ ΜΕ ΕΝΑΛΛΑΓΗ ΑΕΡΑ

Η διείσδυση τις περισσότερες φορές συμβαίνει εξαιτίας της διαφοράς πυκνότητας αέρα μεταξύ χώρων(βλέπε Σχήματα 3,4 παρακάτω). Για μια συνήθη περίπτωση, όπου η μάζα που εισέρχεται σε ένα χώρο ισούται με τη μάζα που εξέρχεται μείον την όποια συμυκνωμένη υγρασία, ο χώρος πρέπει να είναι σφραγισμένος εκτός του ανοίγματος που είναι υπό μελέτη. Εάν ο χώρος ψύξης δεν είναι σφραγισμένος, ο αέρας μπορεί να ρέει άμεσα δια της πόρτας(συζητείται στη επόμενο τμήμα της ενότητας).

Το θερμικό κέρδος μέσω θυρών λόγω εναλλαγής αέρα δίνεται όπως παρακάτω

$$q_t = qD_i D_f (1 - E) \quad (11)$$

όπου

q_t=μέσο θερμικό κέρδος για ένα 24h ή άλλη χρονική περίοδο, kW

q=αισθητό και λανθάνων ψυκτικό φορτίο για πλήρως διαμορφωμένη ροή, kW

D_i=παράγοντας του χρόνου ανοίγματος της πόρτας

D_f=παράγοντας ροής δια του ανοίγματος πόρτας

E=αποτελεσματικότητα του προστατευτικού μηχανισμού της πόρτας(ποσοστό αλλά σε δεκαδική μορφή)

Οι Gosney και Olama(1975) ανέπτυξαν τη παρακάτω εξίσωση για το θερμικό κέρδος λόγω εναλλαγής αέρα για πλήρως διαμορφωμένη ροή :

$$q = 0.221A(h_i - h_r) \rho_r (1 - \rho_i / \rho_r)^{0.5} (gH)^{0.5} F_m \quad (12)$$

όπου

q=αισθητό και λανθάνων ψυκτικό φορτίο, kW

A=εμβαδόν πόρτας, m²

h_i=ενθαλπία του αέρα διείσδυσης(θερμού), kJ/kg

h_r=ενθαλπία του ψυχρού αέρα, kJ/kg

ρ_i=πυκνότητα του αέρα διείσδυσης,kg/m³

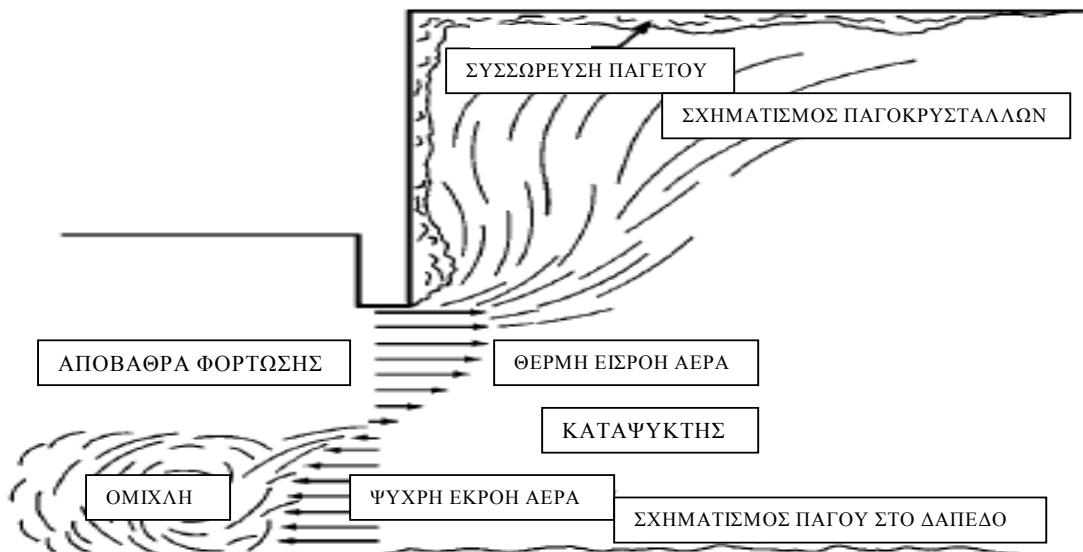
ρ_i =πυκνότητα του ψυχρού αέρα, kg/m³

g =σταθερά βαρύτητας 9.81 m/s²

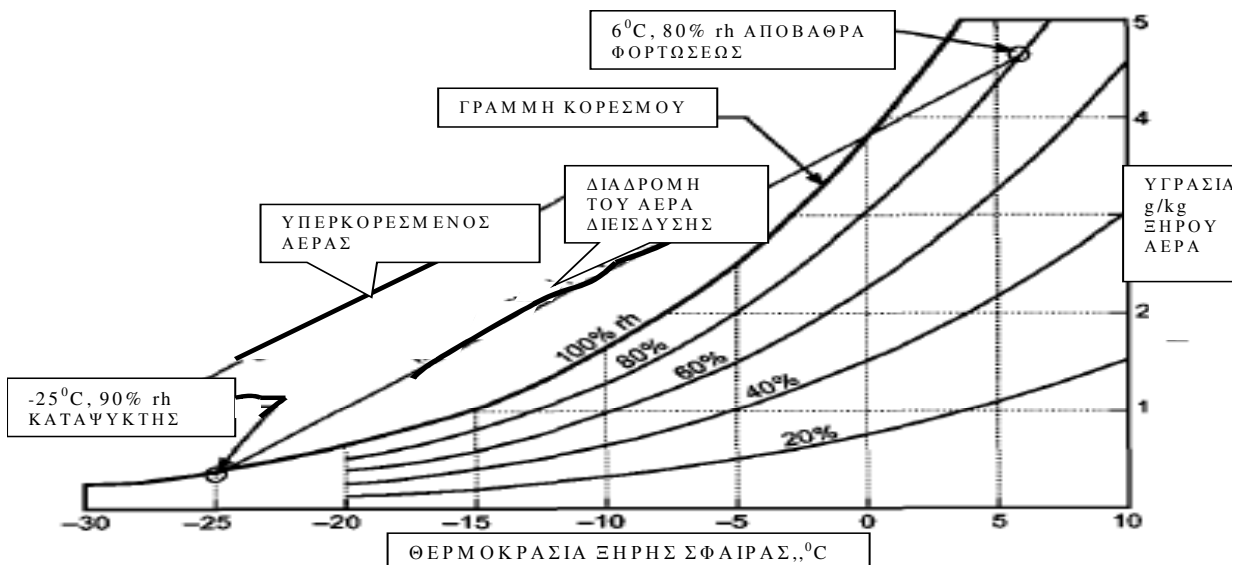
H =ύψος της πόρτας, m

F_m =παράγοντας πυκνότητας που δίνεται από τη παρακάτω σχέση

$$F_m = \left[\frac{2}{1 + (\rho_r / \rho_i)^{1/3}} \right]^{1.5} \quad (13)$$



Σχήμα 3 Ρεύουσες Ψυχρές και Θερμές Αέριες Μάζες για Συνήθη Καταψύκτη Ανοικτής Πόρτας



Σχήμα 4 Ψυχομετρική Απεικόνιση λόγω Εναλλαγής Αέρα για Συνήθη Πόρτα Καταψύκτη

Η επόμενη εξίσωση (14) όταν χρησιμοποιείται σε συνεργασία με το Σχήμα 5 που θα παρουσιαστεί παρακάτω αποτελεί μια ‘απλοποιημένη’ γραφή της αρχικής εξίσωσης (12) και έχει τη μορφή

$$q = 0.577WH^{1.5} \left(\frac{Q_s}{A} \right) \left(\frac{1}{R_s} \right) \quad (14)$$

όπου

q =αισθητό και λανθάνων ψυκτικό φορτίο, kW

W =πλάτος της πόρτας, m

Q_s/A =αισθητό θερμικό φορτίο της διείσδυσης αέρα ανά τετραγωνικό μέτρο ανοίγματος πόρτας, όπως δίνεται από το Σχήμα 5, kW/m²

R_s =ο λόγος της αισθητής θερμότητας προς τη ολική του θερμικού κέρδους από τη διείσδυση αέρα, όπως δίνεται στους πίνακες 9 και 10

Οι τιμές του λόγου R_s στους πίνακες 9 και 10 στηρίζονται σε σχετική υγρασία 90% στο ψυκτικό θάλαμο. Ένα μικρό σφάλμα εμφανίζεται όταν οι τιμές του R_s χρησιμοποιούνται για σχετική υγρασία της τάξης του 80 ή 100% για το θάλαμο ψύξης. Αυτό το σφάλμα, με απώλεια ακρίβειας λόγω απλούστευσης, καταλήγει σε μια μέγιστη τιμή σφάλματος έως περίπου 4% για τη εξίσωση (14).

Για κυκλική, σύνθετη και συνεχή χρήση της πόρτας του ψυκτικού θαλάμου, και πιο συγκεκριμένα είτε για μια από τις παραπάνω είτε σε συνδυασμό ο παράγοντας του χρόνου ανοίγματος της πόρτας μπορεί να υπολογιστεί όπως παρακάτω

$$D_t = \frac{(P\theta_p + 60\theta_0)}{3600\theta_d} \quad (15)$$

όπου

D_t =δεκαδικό τμήμα του χρόνου που η πόρτα είναι ανοικτή

P =αριθμός ανοιγμάτων πόρτας

θ_p = χρόνος ανοίγματος και κλεισίματος πόρτας, sec ανά άνοιγμα πόρτας

θ_0 =χρόνος που η πόρτα απλώς παραμένει ανοικτή, min

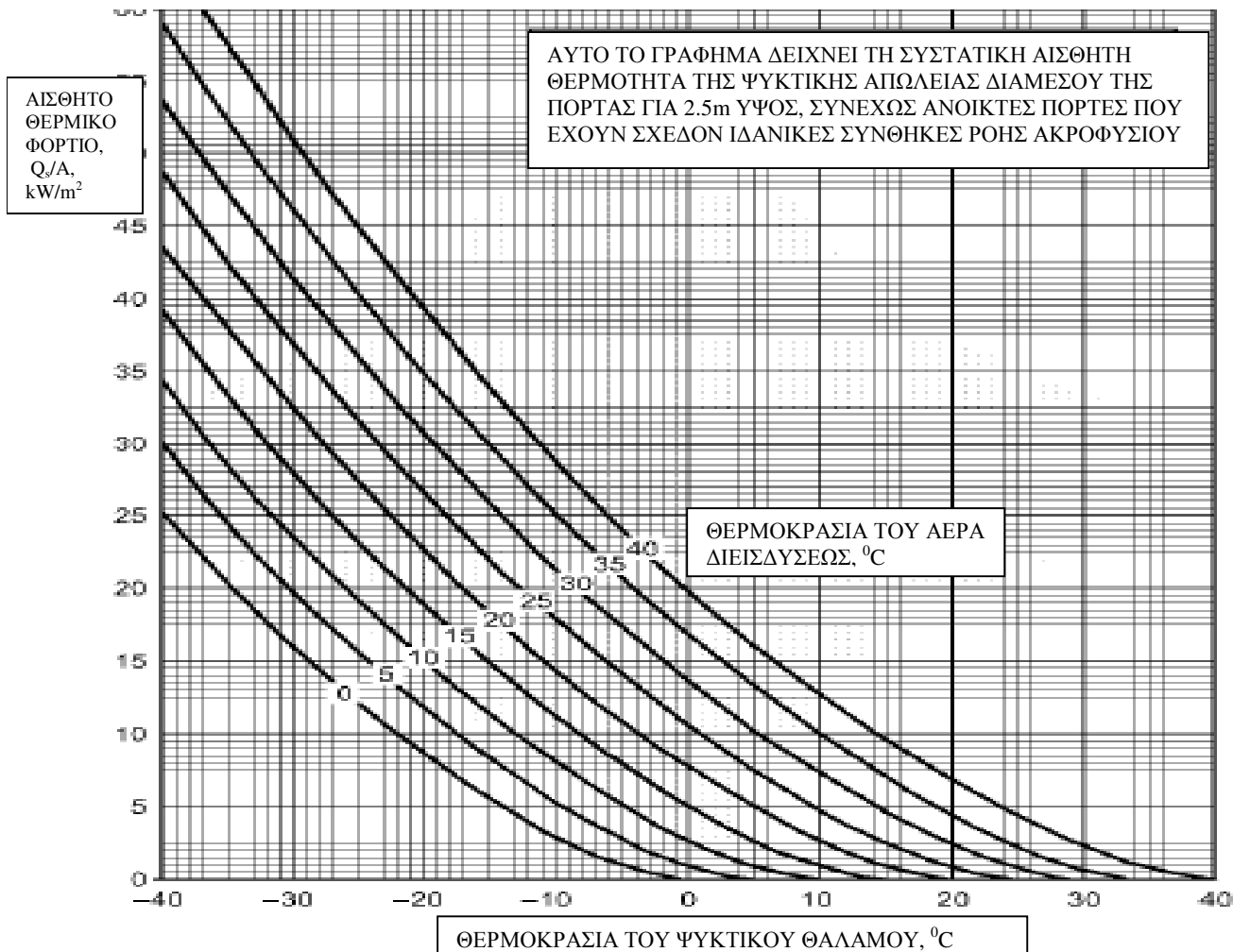
θ_d =ημερήσια(ή άλλου είδους) χρονική περίοδος, h

Η συνήθης τιμή του χρόνου θ_p για συμβατικές πόρτες που λειτουργούν με κίνηση κορδονιού κατά το άνοιγμα και κλείσιμο κυμαίνεται από 15 έως 25s ανά άνοιγμα πόρτας. Ο χρόνος για πόρτες υψηλής ταχύτητας λειτουργίας κυμαίνεται από 5 έως 10s παρά το γεγονός ότι μπορεί να προκύψει τόσο χαμηλός έως 3s. Οι τιμές χρόνου για τα θ_0 και θ_d πρέπει να παρέχονται από το χρήστη. Οι Hendrix et al.(1989) βρήκαν ότι η ροή σταθερής κατάστασης γίνεται διαμορφωμένη 3s αφού ανοίξει η πόρτα του ψυκτικού θαλάμου. Το γεγονός μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως βάση για τη μείωση του θ_p στη εξίσωση (15) ιδιαίτερα για τις πόρτες υψηλής ταχύτητας κάτι που μπορεί να μειώσει σημαντικά τη διείσδυση του αέρα.

Ο παράγοντας ροής της πόρτας D_f αποτελεί το λόγο της πραγματικής εναλλαγής αέρα προς τη πλήρως διαμορφωμένη ροή. Πλήρως διαμορφωμένη ροή υπάρχει μόνο στη ασυνήθιστη περίπτωση μιας μη-χρησιμοποιούμενης πόρτας η οποία διατηρείται ανοικτή προς ένα μεγάλο χώρο ή προς χώρο εξωτερικού περιβάλλοντος, και όπου η ψυχρή ροή αέρα εξόδου δεν παρεμποδίζεται από άλλα αντικείμενα (πχ παλέτες στοιβάγματος προϊόντων πάνω ή κοντά στη διαδρομή της ροής εντός ή εκτός του ψυκτικού θαλάμου). Μόνο υπό από αυτές τις συνθήκες, $D_f=1.0$

Οι Hendrix et al.(1989) βρήκαν ότι μια τιμή του παράγοντα ροής της πόρτας D_f της τάξης του 0.8 θεωρείται συντηρητική για μια θερμοκρασιακή διαφορά 16K όταν η ροή της κίνησης του προσωπικού ισούται με μια είσοδο και μια έξοδο ανά λεπτό διαμέσου θυρών ταχείας λειτουργίας. Οι Downing και Meffert(1993) βρήκαν ένα παράγοντα ροής D_f με τιμή 1.1 για θερμοκρασιακές διαφορές από 7 έως και 10K. Στηριζόμενοι σε αυτά τα αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν οι προτεινόμενες τιμές του παράγοντα ροής D_f , για θύρες κυκλικής λειτουργίας και με θερμοκρασιακές διαφορές μικρότερες των 11⁰C, είναι 1.1 ενώ για υψηλότερες θερμοκρασιακές διαφορές (δηλαδή $\geq 11^0\text{C}$) 0.8

Η αποτελεσματικότητα E των προστατευτικών μηχανισμών για το άνοιγμα πόρτας είναι 0.95 ή υψηλότερα για πρόσφατα εγκατεστημένες πόρτες με λωρίδες/ταινίες, γρήγορα πτυσσόμενες και άλλων τύπων μη-στεγανού κλεισίματος. Παρόλα αυτά ανάλογα με το επίπεδο κίνησης του προσωπικού και τη συντήρηση της πόρτας το E μπορεί εύκολα να μειωθεί στη τιμή 0.8 για θύρες καταψυκτών και στη τιμή 0.85 για τα υπόλοιπα είδη θυρών. Οι αεροστεγείς προθάλαμοι με πόρτες λωρίδων ή ώθησης έχουν μια αποτελεσματικότητα που κυμαίνεται μεταξύ 0.85 έως 0.95 για καταψύκτες και 0.90 με 0.95 για τα υπόλοιπα είδη θυρών. Η αποτελεσματικότητα E για κουρτίνες αέρα κυμαίνεται από πολύ χαμηλή έως και περισσότερο από 0.7. Στη περίπτωση τέλος μιας πλήρως ανοικτής πόρτας χωρίς προστατευτικό μηχανισμό, $E=0$ στη εξίσωση (11)



Σχήμα 5 Αισθητό Θερμικό Κέρδος λόγω Εναλλαγής Αέρα για Συνεχώς Ανοικτή Πόρτα και με Πλήρως Διαμορφωμένη Ροή

Πίνακας 9 Λόγος Αισθητής Θερμότητας R_s για Διείσδυση Αέρα από το Εξωτερικό Περιβάλλον προς Χώρο Ψύξης

Εξωτερικές Συνθήκες			Ψυκτικός Θάλαμος με σχετική υγρασία $rh=90\%$ Θερμοκρασία Ξηρής Σφαίρας, $^{\circ}C$									
DB, $^{\circ}C$	WB, $^{\circ}C$	rh, %	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15
30	19.7	30	0.76	0.75	0.74	0.73	0.72	0.72	0.73	0.77	0.87	--
	21.8	40	0.71	0.69	0.68	0.66	0.65	0.63	0.63	0.64	0.68	0.83
	23.9	50	0.66	0.64	0.62	0.60	0.59	0.57	0.56	0.55	0.56	0.62
	25.8	60	0.62	0.60	0.58	0.56	0.54	0.52	0.50	0.48	0.48	0.49
35	19.0	20	0.80	0.79	0.78	0.77	0.77	0.77	0.79	0.84	0.96	--
	21.6	30	0.72	0.71	0.69	0.68	0.67	0.66	0.67	0.68	0.72	0.86
	24.0	40	0.66	0.64	0.63	0.61	0.59	0.58	0.57	0.57	0.58	0.63
	26.3	50	0.61	0.59	0.57	0.55	0.53	0.52	0.50	0.49	0.48	0.50
	28.3	60	0.56	0.54	0.53	0.51	0.49	0.47	0.45	0.43	0.42	0.41
40	20.7	20	0.76	0.75	0.74	0.73	0.72	0.72	0.73	0.75	0.82	0.98
	23.6	30	0.68	0.66	0.65	0.63	0.62	0.61	0.60	0.61	0.62	0.68
	26.2	40	0.61	0.59	0.58	0.56	0.54	0.53	0.52	0.51	0.50	0.52
	28.6	50	0.55	0.54	0.52	0.50	0.48	0.47	0.45	0.43	0.42	0.42

**Πίνακας 10 Λόγος Αισθητής Θερμότητας R_s για Διείσδυση Αέρα από
Θερμότερους προς Ψυχρότερους Χώρους Ψύξης**

Συνθήκες Θερμού Χώρου Ψύξης		Ψυχρός χώρος Ψύξης με σχετική υγρασία rh=90% Θερμοκρασία Ξηρής Σφαίρας, °C								
Θερμοκρασία, °C	rh, %	-40	-35	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0
20	100	0.62	0.60	0.57	0.55	0.53	0.50	0.44	0.44	0.41
	80	0.67	0.65	0.63	0.61	0.58	0.56	0.53	0.51	0.48
	60	0.73	0.71	0.69	0.68	0.65	0.63	0.61	0.60	0.59
	40	0.80	0.79	0.78	0.76	0.75	0.73	0.73	0.73	0.76
	20	0.89	0.88	0.88	0.87	0.87	0.87	0.80	0.93	--
15	100	0.67	0.65	0.63	0.60	0.58	0.55	0.51	0.48	0.45
	80	0.72	0.70	0.68	0.66	0.63	0.61	0.58	0.55	0.53
	60	0.77	0.76	0.74	0.72	0.70	0.68	0.66	0.65	0.66
	40	0.84	0.83	0.81	0.80	0.79	0.78	0.78	0.79	0.87
	20	0.91	0.91	0.90	0.90	0.90	0.91	0.93	--	--
10	100	0.72	0.70	0.68	0.65	0.62	0.59	0.56	0.52	0.48
	80	0.76	0.75	0.73	0.70	0.68	0.65	0.63	0.60	0.59
	60	0.81	0.80	0.78	0.76	0.75	0.73	0.71	0.71	0.77
	40	0.87	0.86	0.85	0.84	0.83	0.82	0.83	0.88	--
	20	0.93	0.93	0.92	0.92	0.92	0.94	0.99	--	--
5	100	0.77	0.75	0.73	0.70	0.67	0.64	0.60	0.55	0.49
	80	0.81	0.79	0.77	0.75	0.72	0.70	0.67	0.65	0.68
	60	0.85	0.83	0.82	0.80	0.79	0.77	0.77	0.79	--
	40	0.89	0.88	0.88	0.87	0.86	0.86	0.89	--	--
	20	0.95	0.94	0.94	0.94	0.95	0.98	--	--	--
0	100	0.81	0.79	0.77	0.74	0.71	0.67	0.63	0.56	--
	80	0.84	0.83	0.81	0.79	0.76	0.74	0.71	0.71	--
	60	0.88	0.86	0.85	0.84	0.82	0.81	0.83	0.98	--
	40	0.92	0.91	0.90	0.89	0.89	0.91	0.98	--	--
	20	0.96	0.96	0.96	0.96	0.98	--	--	--	--
-5	100	0.85	0.83	0.81	0.79	0.75	0.71	0.65	--	--
	80	0.88	0.86	0.85	0.83	0.81	0.78	0.78	--	--
	60	0.91	0.90	0.88	0.87	0.87	0.87	0.98	--	--
	40	0.94	0.93	0.93	0.92	0.93	0.98	--	--	--
	20	0.97	0.97	0.97	0.98	--	--	--	--	--
-10	100	0.88	0.87	0.85	0.82	0.79	0.74	--	--	--
	80	0.91	0.89	0.88	0.86	0.85	0.84	--	--	--
	60	0.93	0.92	0.91	0.91	0.91	0.97	--	--	--
	40	0.95	0.95	0.95	0.95	0.98	--	--	--	--
	20	0.98	0.98	0.99	--	--	--	--	--	--
-15	100	0.91	0.90	0.88	0.85	0.81	--	--	--	--
	80	0.93	0.92	0.91	0.89	0.89	--	--	--	--
	60	0.95	0.94	0.94	0.94	0.98	--	--	--	--
	40	0.97	0.97	0.97	0.99	--	--	--	--	--
	20	0.99	0.99	1.00	--	--	--	--	--	--

Τέλος θα παραθέσουμε 2 πίνακες σχετικά με τη διείσδυση θερμού και υγρού αέρα, ανεξάρτητα εάν η διείσδυση γίνεται λόγω εναλλαγής αέρα ή δια της άμεσης ροής μέσω θυρών(περιγράφεται στη επόμενη υποενότητα) όπου καταγράφονται πλήθος εναλλαγών και φορτία εναλλαγών.

Πίνακας 11 Πλήθος Εναλλαγών Αέρα σε Ψυκτικούς Θαλάμους Θερμοκρασίας Συντήρησης Ανω του 0°C (Ψυκτών)

Εσωτερικός όγκος θαλάμου, σε m³	Αριθμός εναλλαγών
5.6	44.0
8.5	34.5
11.3	29.5
14.1	26.0
17	23.0
23	20.0
28	17.5
34	14.0
56	12.0
85	9.5
113	8.2
141	7.2
170	6.5
230	5.5
280	4.9
340	3.9
560	3.5
701	3.0
850	2.7
1130	2.3
1410	2.0
2111	1.6
2800	1.4

Παρατήρηση: Όταν παρατηρείται συχνή χρήση του ανωτέρω ψυκτικού θαλάμου πρέπει να πολλαπλασιαστούν οι τιμές με το παράγοντα 2 ενώ για μακροχρόνια χρήση(αραιή χρήση) του θαλάμου με το όρο 0.6

Πίνακας 12 Φορτία Διείδυσης Αέρα(ή Φορτία Εναλλαγών Αέρα)(σε J/m³)

Θερμοκρασία ψυκτικού θαλάμου (⁰ C)	Θερμοκρασία εξωτερικού περιβάλλοντος (⁰ C)							
	29.4		32.2		35.0		37.8	
	Σχετική υγρασία περιβάλλοντος φ(%)							
	50	60	50	60	50	60	50	60
18.3	11.92	19.38	21.61	30.18	31.67	41.73	42.85	54.40
15.6	21.61	29.06	30.93	39.50	40.99	51.05	51.79	63.34
12.8	29.81	37.26	39.12	47.69	49.18	59.24	59.99	71.54
10	37.63	45.09	46.95	55.52	57.00	66.70	67.81	79.36
7.2	44.71	52.16	54.03	62.60	63.72	73.78	74.52	86.07
4.4	51.05	58.50	60.36	68.93	70.05	80.11	80.85	92.41
1.7	57.38	64.83	66.32	74.89	76.01	86.07	86.82	98.37
-1.1	66.32	74.89	76.38	86.07	86.82	98.37	98.74	111.78
Θερμοκρασία ψυκτικού θαλάμου (⁰ C)	Θερμοκρασία εξωτερικού περιβάλλοντος (⁰ C)							
	4.4		10		32.2		37.8	
	Σχετική υγρασία περιβάλλοντος φ(%)							
	70	80	70	80	70	80	70	80
-1.1	7.83	9.69	20.49	23.10	76.38	86.07	98.74	111.78
-3.9	13.79	16.02	26.46	29.06	81.97	91.66	103.96	117.00
-6.7	19.38	21.61	32.04	34.65	86.82	96.88	109.17	122.21
-9.4	24.59	26.83	37.26	39.87	91.66	101.35	113.64	126.68
-12.2	29.81	31.67	42.10	44.71	96.13	105.82	118.11	131.16
-15	34.28	36.14	46.58	49.18	100.23	109.92	122.21	135.25
-17.8	38.75	40.61	50.67	53.28	104.33	114.02	125.94	139.35
-20.6	42.85	44.71	54.77	57.75	108.05	117.74	129.66	143.08
-23.3	46.95	48.81	58.87	61.48	111.78	121.47	133.39	146.43
-26.1	51.05	52.91	62.97	65.58	115.51	125.19	137.12	150.16
-28.9	54.77	56.64	66.70	106.56	118.86	128.92	140.47	153.51
-31.7	58.50	60.36	70.42	73.03	122.59	132.27	143.82	156.86
-34.4	62.22	64.09	74.15	76.76	125.94	135.63	147.18	160.22

ΔΙΕΙΣΔΥΣΗ ΜΕ ΑΜΕΣΗ ΡΟΗ ΔΙΑΜΕΣΟΥ ΘΥΡΩΝ

Η αρνητική πίεση οπουδήποτε στο ψυκτικό συγκρότημα(κτιριακή εγκατάσταση),που δημιουργείται μέσω μηχανικής εξαγωγής αέρα χωρίς όμως τη απαραίτητη μηχανική ανανέωση με νέα ποσότητα αέρα, αποτελεί μια συνήθη αιτία θερμικού κέρδους λόγω τη διείσδυσης θερμού αέρα. Σε χώρους ψύξης με συνεχώς ή αρκετά συχνά ανοικτές πόρτες αυτός ο θερμός αέρας ρέει άμεσα δια αυτών των θυρών. Η επίδραση είναι ταυτόσημη με αυτή των ανοικτών θυρών που εκτίθενται σε ρεύμα ανέμου και το θερμικό κέρδος μπορεί να είναι πολύ μεγάλο.

Η εξίσωση (16) για το θερμικό κέρδος διείσδυσης μέσω άμεσης ροής παρέχει τη βάση ώστε είτε να διορθωθεί η αρνητική πίεση ή να χρειαστεί προσθήκη στη ψυκτική ισχύ για κάλυψη του παραπάνω φορτίου

$$q_t = VA(h_i - h_r) \rho_r D_t \quad (16)$$

όπου

q_t =μέσο ψυκτικό φορτίο, kW

V =μέση ταχύτητα του αέρα, m/s

A =εμβαδόν ανοίγματος πόρτας, m²

h_i =ενθαλπία του αέρα διείσδυσης,kJ/kg

h_r =ενθαλπία του ψυχρού αέρα, kJ/kg

ρ_r =πυκνότητα του ψυχρού αέρα, kg/m³

D_t =δεκαδικό τμήμα του χρόνου που η πόρτα είναι ανοικτή

Α είναι το μικρότερο εμβαδόν ανοίγματος της πόρτας μεταξύ εισόδου και εξόδου της ροής. Εάν η μικρότερη επιφάνεια εμφανίζει διαρροές γύρω από θύρες φόρτωσης αυτοκινήτων ψυγείων σε χώρους αποβάθρας με καλή συντήρηση, η περιοχή διαρροής μπορεί να κυμαίνεται από 0.03 έως πάνω από 0.1m² ανά πόρτα. Στη περίπτωση αποβάθρων φόρτωσης με έντονη κίνηση εμπορευμάτων, ο υπεύθυνος του ψυκτικού συγκροτήματος πρέπει να υπολογίσει το χρόνο που οι παραπάνω πόρτες είναι πλήρως ή μερικώς ανοικτές.

Ο υπολογισμός της μέσης ταχύτητας του αέρα V προϋποθέτει τη γνώση του μεγέθους της αρνητικής πίεσης. Εάν η διαφορά πιέσεων κατά μήκος μιας πόρτας μπορεί να προσδιοριστεί τότε μπορεί επίσης να βρεθεί και η τιμή της ταχύτητας του αέρα.Όμως πρακτικά η προσπάθεια υπολογισμού διαφοράς πιέσεων δεν είναι συνήθως εφικτή, οπότε ένας εναλλακτικός τρόπος είναι να υποθέσουμε μια τιμή ταχύτητας που συχνά συναντάται.Συνήθεις τιμές της ταχύτητας του αέρα διαμέσου πόρτας κυμαίνονται από 0.3 έως 1.5m/s.

Η αποτελεσματικότητα των συσκευών μη-στεγανού κλεισίματος σε πόρτες οι οποίες υπόκεινται σε διείσδυση δια της άμεσης ροής δεν μπορεί εύκολα να προσδιοριστεί. Ανάλογα με τη διαφορά πιέσεως, τη τάσης διακύμανσης και το λόγο του εμβαδού εισόδου προς το εμβαδόν εξόδου της ροής η αποτελεσματικότητα των συσκευών προστασίας θυρών μπορεί να είναι αρκετά χαμηλή.

ΣΥΣΤΑΤΙΚΗ ΑΙΣΘΗΤΗ ΚΑΙ ΛΑΝΘΑΝΟΥΣΑ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ

Κατά τον υπολογισμό του συνολικού θερμικού φορτίου q_t από διείσδυση αέρα, τόσο η συστατική αισθητή αλλά και η λανθάνουσα θερμότητα μπορούν να βρεθούν με τη σχεδίαση της διαδρομής του αέρα διείσδυσης πάνω στο κατάλληλο ψυχομετρικό διάγραμμα της ASHRAE, προσδιορίζοντας το λόγο της αισθητής θερμότητας του αέρα R_s από το διάγραμμα και κατόπιν κάνοντας τους παρακάτω υπολογισμούς

$$\text{Αισθητή θερμότητα: } q_s = R_s q_t \quad (17)$$

$$\text{Λανθάνουσα θερμότητα: } q_l = (1 - R_s) q_t \quad (18)$$

όπου $R_s = \Delta h_s / \Delta h_t$

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ

Γενικά το συνολικό φορτίο που έχει υπολογιστεί να καλυφθεί σε μια ψυκτική εγκατάσταση αυξάνεται κατά ένα παράγοντα της τάξης του 10% ώστε η τελική ψυκτική ισχύς να μπορεί να 'καλύπτει' πιθανές διαφορές μεταξύ των κριτηρίων σχεδίασης και της πραγματικής λειτουργίας. Αυτός λοιπόν ο συντελεστής ασφάλειας πρέπει να επιλεγεί σε συνεργασία με το διαχειριστή του ψυκτικού συγκροτήματος και πρέπει να εφαρμόζεται ξεχωριστά στα 4 επιμέρους τμήματα, που έχουν αναλυθεί, του συνολικού θερμικού φορτίου.

Ένας ξεχωριστός συντελεστής πρέπει να προστίθεται για το τμήμα της αποπάγωσης 'στοιχείου' ατμοποιητή στο φορτίο της ψυκτικής εγκατάστασης σε εφαρμογές των καταψυκτών που χρησιμοποιούν 'στοιχεία' ψύξης ξηρής επιφάνειας. Λίγα στοιχεία όμως είναι διαθέσιμα για την εύρεση του θερμικού κέρδους από τη αποπάγωση του 'στοιχείου'. Κατά συνέπεια η εμπειρία παρόμοιων συγκροτημάτων ψύξης πρέπει να αναζητείται για να προσδιορίσουμε ένα κατάλληλο συντελεστή ασφάλειας για το φαινόμενο της αποπάγωσης. Παρόμοια ψυκτικά συγκροτήματα πρέπει να έχουν παρόμοιους λόγους R_s αισθητής θερμότητας στους αντίστοιχους θαλάμους ψύξης.

Η φύση της συσσώρευσης παγετού πάνω στα 'στοιχεία' ψύξης επηρεάζει τη απόδοση της μονάδας ψύξης και ως εκ τούτου το συνολικό ψυκτικό φορτίο προς κάλυψη. Παγετός πολύ χαμηλής πυκνότητας σχηματίζεται κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες ιδιαίτερα όπου ο λόγος αισθητής θερμότητας R_s του ψυκτικού θαλάμου είναι αρκετά χαμηλότερα του 1.0. Αυτό το είδος του παγετού είναι πολύ δύσκολο να αφαιρεθεί και τείνει να φράζει τη ροή αέρα διαμέσου των 'στοιχείων' του ατμοποιητή πιο εύκολα. Η αφαίρεση αυτού του παγετού λοιπόν απαιτεί συχνότερες αλλά και μεγαλύτερης χρονικής διάρκειας διαδικασίες αποπάγωσης των μονάδων ψύξης, κάτι που όμως αυξάνει το ψυκτικό φορτίο.

Παράδειγμα 2: Να υπολογιστεί το συνολικό ψυκτικό φορτίο για ένα καταψύκτη με κριτήρια σχεδίασης όπως παρακάτω

Κριτήρια σχεδίασης

Καλοκαίρι: 33⁰C db και 27⁰C wb

Παρατήρηση: 0.4% περιθώριο κατά τις συνθήκες καλοκαιριού και χειμώνα

Διαστάσεις ψυκτικού θαλάμου: 40.5 x 68 x 9m

Εμβαδόν δαπέδου: 2743m²

Θέσεις παλετών: 4800

Εναλλαγές ανά έτος: 20

Παράγοντας χρήση/αξιοποίησης χώρου: 90%

Συνθήκες Σχεδίασης Εξωτερικού Περιβάλλοντος(βλέπε πίνακα 1)

Θερμοκρασία Σχεδιάσεως εντός του Ψυκτικού Θαλάμου: -23⁰C

Πίνακας 1

	Χορήγηση λόγω Ηλιακή Επίδρασης, K	Θερμοκρασία Επιφάνειας, ⁰ C
Οροφή/Σκεπή	5.5	39
Δάπεδο	0	16
Τοίχος Ανατολικός	0	33
Βόρειος	0	33
Δυτικός ^a	0	-2
Νότιος ^b	0	7

a κοντά σε ψυκτικό θάλαμο συντήρησης κρεάτων στους -2⁰C
b κοντά σε αποβάθρα υπο ψύξη αυτοκινήτων-ψυγείων στους 7⁰C

Πίνακας 2

Πάχος Μόνωσης			
	Πάχος x, σε m	k, W/(m K)(x10 ²)	R,(m ² K)/W
Οροφή/Σκεπή	0.152	2.048	7.441
Δάπεδο	0.152	2.711	5.620
Τοίχος Ανατολικός	0.102	1.745	5.822
Βόρειος	0.102	1.745	5.822
Δυτικός	0.102	1.745	5.822
Νότιος	0.102	1.745	5.822

k=θερμική αγωγιμότητα U=k/πάχος x(m) R=θερμική αντίσταση

Λύση :

Για το υπολογισμό των φορτίων μετάδοσης σχηματίζουμε το παρακάτω πίνακα θεωρώντας συντελεστή ασφάλειας ειδικά για αυτά 20%

Πίνακας 3 Φορτία Μετάδοσης

	Μήκος, m	Πλάτος, m	Ύψος, m	Προσαρμοσμένη θερμοκρασία	U, W/m ² K	Εμβαδό A,m ²	Δt, K	Φορτίο, *kW
Οροφή/Σκεπή	40.5	67.7	0	38.9	0.1344	2743	62	22.9
Δάπεδο	40.5	67.7	0	15.5	0.1779	2743	39	19.0
Τοίχος Ανατολικός	67.7	0	9.2	33.3	0.1718	618	57	6.01
Βόρειος	40.5	0	9.2	33.3	0.1718	370	57	3.62
Δυτικός	67.7	0	9.2	-2.2	0.1718	618	21	2.25
Νότιος	40.5	0	9.2	7.2	0.1718	370	31	1.93
Συντελ. Ασφάλειας, 20%								3.17
*UΔt U=συντελεστής μεταφοράς θερμότητας				Συνολικό Φορτίο Μετάδοσης TR,kW				66.89

Για το υπολογισμό των φορτίων προϊόντων ισχύουν τα παρακάτω δεδομένα

Παλέτες ανά 24h: 420

Kg/παλέτα=1134

Ροή μάζας(προϊόντων)=19845kg/h

Θερμοκρασία εισερχόμενων: -15⁰C

Θερμοκρασία εξερχόμενων: -23⁰C

Ειδική θερμοχωρητικότητα c: 1.88 kJ/(kg K)

Οπότε το συνολικό φορτίο του προϊόντος ανηγμένο στη μονάδα του χρόνου υπολογίζεται από τη παρακάτω σχέση

$$Q_{pr}=mc\Delta t=19845 \frac{kg}{h} \cdot 1.88 \frac{kJ}{kgK} \cdot 8K \Big/ 3600 = 82.91kJ / s = \mathbf{82.91kW}$$

Για να υπολογίσουμε τα φορτία διείσδυσης αέρα(ή φορτία εναλλαγών αέρα) σχηματίζουμε το παρακάτω πίνακα 4 :

Πίνακας 4 Φορτία Διείσδυσης Αέρα

Ανοίγματα πόρτας	Πόρτα τύπου 1	Πόρτα τύπου 2	Πόρτα τύπου 3
Από	Αποβάθρα	Μεταφοράς	Ξηρού Κρέατος
Προς	Καταψύκτη	Καταψύκτη	Καταψύκτη
Πλάτος πόρτας, m	2.4	2.4	2.4
Ύψος πόρτας, m	3.0	3.0	3.0
Ενθαλπία h_i	33.5	101.9	22.1
Ενθαλπία h_r	-4.7	-4.7	-4.7
Πυκνότητα ρ_r	1.41	1.41	1.41
Πυκνότητα ρ_i	1.25	1.12	1.30
Παράγοντας ροής πόρτας D_f	0.7	0.7	0.7
Παράγοντας χρόνου ανοίγματος D_t	0.14583	0.0219	0.0417
Αποτελεσματικότητα συσκευής E_f	0	0	0
Αριθμός θυρών	3	1	1
Φορτίο ανά πόρτα, kW	16.21	8.97	2.78
Συνολικό φορτίο ανά είδος πόρτας, kW	48.67	8.97	2.78
Συνολικό φορτίο διείσδυσης αέρα(λόγω εναλλαγής αέρα), kW			60.45

Το φορτίο διείσδυσης αέρα ανά τύπο πόρτας υπολογίζεται από τη εξίσωση (11) του παρόντος κεφαλαίου μέσω της (12) δηλαδή λόγω εναλλαγής αέρα :

Φορτίο διείσδυσης λόγω εναλλαγής αέρα

$$q_t = 0.221A(h_i - h_r)\rho_r(1 - \rho_i/\rho_r)^{0.5}(gH)^{0.5}F_m[D_f D_t(1 - E_f)]$$

όπου

A=το εμβαδόν της πόρτας, m²

h_i =η ενθαλπία του εισερχόμενου αέρα διείσδυσης διαμέσου της πόρτας από γειτονική περιοχή χώρου, kJ/kg

h_r =ενθαλπία του ψυχρού αέρα εντός του θαλάμου, kJ/kg

ρ_r =πυκνότητα του ψυχρού αέρα εντός του θαλάμου, kg/m³

ρ_i =η πυκνότητα του εισερχόμενου θερμού αέρα διείσδυσης, kg/m³

g=επιτάχυνση της βαρύτητας, 9.81m/s²

H=ύψος της πόρτας, m

F_m =παράγοντας πυκνότητας= $\left[2/\left(1+(\rho_r/\rho_i)^{1/3}\right)\right]^{1.5}$

D_f =παράγοντας ροής της πόρτας

D_t =ποσοστό χρονικής περιόδου που η πόρτα είναι ανοικτή κατά τη διάρκεια περιόδου 1h, κατά μέσο όρο, εκφραζόμενο σε δεκαδική μορφή

E_f =παράγοντας αποτελεσματικότητας προστατευτικού μηχανισμού για το άνοιγμα της πόρτας όπως κουρτίνες αέρα ή κουρτίνες πλαστικών λωρίδων

Κατόπιν θα υπολογίσουμε τα φορτία εσωτερικής λειτουργίας και τα υπόλοιπα φορτία τα οποία κατανέμονται στις παρακάτω κατηγορίες :

Ηλεκτροφωτισμός

Επίπεδο ηλεκτροφωτισμού: 10.8 W/m^2

Εμβαδόν δαπέδου: 2743 m^2

Άρα το Φορτίο Ηλεκτροφωτισμού= $(10.8)(2743)/1000 = 29.62 \text{ kW}$

Άτομα/προσωπικό

Αριθμός ατόμων: 3

Θερμοκρασία ψυκτικού θαλάμου: -23°C

Οπότε λόγω της (10) το Φορτίο Ατόμων= $(3)[272 - 6(-23)] = 1.23 \text{ kW}$

Αυτοκίνητα-ψυγεία

Αριθμός φορτηγών: 3

Απαιτούμενη ψυκτική ισχύς ανά φορτηγό: 5.6 kW

Άρα το Φορτίο Αυτοκινήτων-Ψυγείων = $(3)(5.6) = 16.8 \text{ kW}$

Ανεμιστήρες και Ηλεκτροκινητήρες

Αριθμός ανεμιστήρων: 15

Ισχύς ανά ανεμιστήρα(του κινητήρα του): 1.10 kW ονομαστική ισχύς οπότε το μοναδιαίο θερμικό κέρδος είναι 1453 W σύμφωνα με το πίνακα 7

Συνεπώς Φορτίο Ανεμιστήρων= $(15)(1453) = 21.80 \text{ kW}$

Τώρα πλέον μπορούμε να πινακοποιήσουμε όλα τα είδη των ψυκτικών φορτίων που πρέπει να καλυφθούν από τη ψυκτική εγκατάσταση και να βρούμε το ζητούμενο συνολικό ψυκτικό φορτίο

Πίνακας 5 Καταγραφή των Επιμέρους Ψυκτικών Φορτίων

Επισκόπηση των φορτίων	Φορτία, kW
Μετάδοσης	66.89
Προϊόντος	82.91
Διείσδυση Αέρα(ή εναλλαγών αέρα)	60.45
Ηλεκτροφωτισμού	29.62
Ατόμων	1.23
Αυτοκινήτων-Ψυγείων	16.8
Ηλεκτροκινητήρες Ανεμιστήρων	21.80
Υποσύνολο	279.70
Παροχή συντελεστή ασφάλειας 10% σε κάθε φορτίο	27.97
Συνολικό ψυκτικό φορτίο,(kW)	307.67

ΠΟΙΚΙΛΙΑ ΦΟΡΤΙΩΝ

Κατά τη διάρκεια υπολογισμού του συνολικού ψυκτικού φορτίου η πιο συντηρητική προσέγγιση περιλαμβάνει το υπολογισμό κάθε επιμέρους φορτίου στη προσδοκώμενη **μέγιστη τιμή**. Το συνδυασμένο αποτέλεσμα, σύμφωνα με αυτή τη λογική, μπορεί να υπερτιμήσει το πραγματικό συνολικό φορτίο από 20 έως και 50%.

Η αιτία για τέτοιου είδους υπερεκτιμήσεις είναι ότι συνήθως όλα τα επιμέρους ψυκτικά φορτία προς κάλυψη δεν εμφανίζονται την ίδια χρονική στιγμή της ημέρας αλλά κάθε φορτίο έχει τη δική του χρονική διασπορά στο παραπάνω διάστημα 24h. Επιπλέον πολλά από τα φορτία δεν είναι πάντοτε στη μέγιστη τιμή τους ακόμη και όταν εμφανίζονται. Άμεση συνέπεια των παραπάνω είναι συχνά υπερμεγέθεις ψυκτικές εγκαταστάσεις να εγκαθίσταται σε ένα ψυκτικό συγκρότημα. Κάποιες ίσως δεν χρειαστεί να λειτουργήσουν ή ακόμη και αν λειτουργήσουν εν μέρει αυτό μπορεί να γίνει ανεπαρκώς.

Υπάρχουν δύο τρόποι για τη αντιμετώπιση αυτής της αναντιστοιχίας μεταξύ του υπολογισμένου και του πραγματικού συνολικού ψυκτικού φορτίου: (1) μια αυστηρή υπολογιστική μέθοδος ή (2) ένας πρακτικός κανόνας προσαρμογής στην εύρεση του τελικού αποτελέσματος που προσδιορίζεται από κατάλληλη εκτίμηση ή κρίση.

Η αυστηρή προσέγγιση περιλαμβάνει τη μέθοδο **υπολογισμού φορτίου ανά ώρα**. Παλαιότερα όταν η πλειοψηφία των υπολογισμών γινόταν χειρονακτικά αυτή η αναλυτική διαδικασία ήταν επίπονη και αρκετά χρονοβόρα και για αυτό το λόγο δεν εφαρμοζόταν συχνά. Η έλευση όμως λογισμικού ηλεκτρονικού υπολογιστή για την εκτέλεση τέτοιων υπολογισμών διευκολύνει πολύ την εργασία αυτή. Είναι αναγκαίο, όμως, να διαθέτουμε αναλυτικά δεδομένα λειτουργίας για το ψυκτικό συγκρότημα υπό μελέτη ώστε πλήρεις και ακριβείς πληροφορίες σχετικά με το μέγεθος φορτίων και το χρόνο εμφάνισης τους να εισάγονται στο H/Y. O Ballard (1992) περιγράφει τη διαδικασία που μόλις αναφέραμε.

Η άλλη μέθοδος, που χρησιμοποιείται από έμπειρους μηχανικούς, περιλαμβάνει τη χρησιμοποίηση του **συντελεστή ποικιλομορφίας**. Στηριζόμενος στη ανάλυση των δεδομένων για τα φορτία και στη βαθύτερη κατανόηση του πώς και πότε καθεμία συνιστώσα του συνολικού φορτίου θα εμφανιστεί, ο σχεδιαστής θα εφαρμόσει συνήθως ένα παράγοντα που κυμαίνεται από 0.70 έως και 0.85 στο υπολογισμένο συνολικό ψυκτικό φορτίο. Αυτό το αποτέλεσμα που θα προκύψει είναι η τελική τιμή του συνολικού φορτίου βάσει του οποίου γίνεται η επιλογή (της ψυκτικής ισχύος) της ψυκτικής εγκατάστασης.

ΠΑΡΑΠΟΜΠΕΣ

Πίνακας 2 Προτεινόμενες τιμές θερμικής αντίστασης R για το πάχος της μόνωσης (ελάχιστες τιμές), Υποενότητα: Τεχνικές Μονώσεως, Κεφάλαιο 5: Σχεδιασμός Ψυκτικών Συγκροτημάτων

Πίνακας 3 Δεδομένα Σύνθεσης Μη Κατεψυγμένων Τροφίμων, Αρχικό Σημείο Στερεοποίησης και Ειδική Θερμοχωρητικότητα, Υποενότητα: Κλάσμα Πάγου, Κεφάλαιο 1: Θερμικές Ιδιότητες Τροφίμων

Πίνακας 9 Θερμότητα Αναπνοής Φρέσκων Φρούτων και Λαχανικών σε Διάφορες Θερμοκρασίες, Υποενότητα: Θερμότητα Αναπνοής, Κεφάλαιο 1: Θερμικές Ιδιότητες Τροφίμων

Πίνακας 1 Προϋποθέσεις Ψυχρής Αποθήκευσης Φρέσκων Φρούτων και Λαχανικών, Υποενότητα: Αποθήκευση υπό Ψύξη, Κεφάλαιο 3: Προϋποθέσεις Ψυχρής αποθήκευσης προϊόντων

Πίνακας 2 Προϋποθέσεις Ψυχρής Αποθήκευσης Άλλων Αναλώσιμων Προϊόντων, Υποενότητα: Αποθήκευση υπό Ψύξη, Κεφάλαιο 3: Προϋποθέσεις Ψυχρής αποθήκευσης προϊόντων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7^ο : ΣΥΝΟΨΗ

Στη τελευταία αυτή ενότητα θα παρουσιάσουμε επιγραμματικά το αντικείμενο αλλά και τις βασικές έννοιες που πραγματεύεται κάθε κεφάλαιο της εργασίας.

Στο 1^ο Κεφάλαιο γίνεται παρουσίαση των θερμικών ιδιοτήτων των τροφίμων καθώς πρέπει να είναι προσδιορισμένες για να προχωρήσουμε σε διάφορους υπολογισμούς μεταφοράς θερμότητας που εμπλέκονται για τη σχεδίαση αφενός των ψυκτικών θαλάμων και των ψυκτικών εγκαταστάσεων αυτών αφετέρου για τον υπολογισμό των χρόνων ψύξης-κατάψυξης. Οι θερμικές ιδιότητες των τροφίμων εξαρτώνται έντονα από τη χημική σύσταση τους αλλά και τη θερμοκρασία και για αυτό το λόγο δίδονται αναλυτικοί πίνακες με δεδομένα σύστασης τροφίμων υπό μορφή κλασμάτων μάζας των σημαντικότερων συστατικών που βρίσκονται στα τρόφιμα. Έτσι οι θερμικές ιδιότητες των τροφίμων βρίσκονται χρησιμοποιώντας τα δεδομένα σύστασης σε συνεργασία με τα εξαρτώμενα από τη θερμοκρασία μαθηματικά μοντέλα θερμικών ιδιοτήτων κάθε συστατικού του τροφίμου. Οι θερμοφυσικές ιδιότητες που αναλύονται στο κεφάλαιο αυτό και συμμετέχουν στους υπολογισμούς μεταφοράς θερμότητας είναι: πυκνότητα, ειδική θερμοχωρητικότητα, ενθαλπία, θερμική αγωγιμότητα και η θερμική διάχυση. Επιπρόσθετα μελετώνται η θερμότητα αναπνοής και η διαφυγή υγρασίας εάν ένα τρόφιμο, όπως φρέσκα φρούτα ή λαχανικά, είναι βιολογικά ενεργό καθώς τα παραπάνω μεγέθη εμπλέκονται και αυτά σε υπολογισμούς μεταφοράς θερμότητας. Τέλος οι μέθοδοι υπολογισμού θερμοφυσικών ιδιοτήτων συνοδεύονται από εφαρμογές, παραδείγματα και εκτενείς πίνακες των μεγεθών αυτών.

Στο 2^ο Κεφάλαιο εξετάζονται οι χρόνοι ψύξεως και καταψύξεως των τροφίμων.

Η ψύξη έχει μια από τις σημαντικότερες εφαρμογές, τη συντήρηση των τροφίμων. Μέσω της ψύξης και κατάψυξης μειώνεται σημαντικά η δραστηριότητα ενζύμων και μικροοργανισμών και έτσι καθυστερούν χρονικά οι φυσιολογικά επερχόμενες αλλοιώσεις. Η ψύξη και κατάψυξη στη πλειοψηφία των προϊόντων γίνεται με χρήση ρεύματος ψυχρού αέρα από τον εξοπλισμό της ψύξης για την απαραίτητη απαγωγή θερμότητας δια συναγωγής. Οι ψυκτικές εγκαταστάσεις γενικά πρέπει να καλύπτουν συγκεκριμένες απαιτήσεις ψυκτικής ισχύος ώστε οι διεργασίες ψύξεως -καταψύξεως, μέσω του ρεύματος ψυχρού αέρα δια συναγωγής θερμότητας, να είναι αποδοτικές. Συνεπώς η σχεδίαση των ψυκτικών εγκαταστάσεων απαιτεί υπολογισμό των χρόνων ψύξης και κατάψυξης των τροφίμων καθώς και των αντίστοιχων ψυκτικών φορτίων προς κάλυψη. Πιο συγκεκριμένα στο κεφάλαιο αυτό μελετώνται επιλεγμένες διαδικασίες υπολογισμού των χρόνων ψύξης και κατάψυξης, με συναγωγή ρεύματος αέρα, τροφίμων και αναψυκτικών ποτών με τη βοήθεια πινάκων και διαγραμμάτων ενώ αναφέρονται και παραδείγματα εφαρμογών για κάθε μέθοδο που αναλύεται.

Στο 3^ο Κεφάλαιο παρουσιάζονται πληροφορίες για τις προϋποθέσεις αποθήκευσης υπό ψύξη πολλών αναλώσιμων τροφίμων που εισέρχονται στη αγορά σε εμπορική κλίμακα. Τα δεδομένα βασίζονται στην αποθήκευση φρέσκων, υψηλής ποιότητας, προϊόντων που έχουν κατάλληλα συλλεχθεί κατά τη συγκομιδή, διακινηθεί μέσω ψυκτικών θαλάμων διανομής (των οχημάτων ψυγείων) και ψυχθεί εντός του ψυκτικού συγκροτήματος. Οι πίνακες του κεφαλαίου αυτού παρουσιάζουν τις προτεινόμενες προϋποθέσεις ψυχρής αποθήκευσης διαφόρων προϊόντων αρκετά αναλυτικά.

Οι προτεινόμενες θερμοκρασίες είναι τελικές θερμοκρασίες προϊόντων και όχι αέρα. Οι καταγεγραμμένες διάρκειες ζωής στη ψυχρή αποθήκευση στηρίζονται σε συνθήκη εμπορική πρακτική. Στο δεύτερο τμήμα του κεφαλαίου περιγράφονται οι συνθήκες λειτουργίας ψυκτικών θαλάμων ελέγχοντας τη θερμοκρασία, σχετική υγρασία αλλά και τη κυκλοφορία του ψυχρού αέρα. Τέλος γίνεται αναφορά σε θέματα υγιεινής του θαλάμου, καθαρισμού του αέρα καθώς και στις συνθήκες αφαίρεσης προϊόντων.

Το 4^ο Κεφάλαιο αποτελεί μια εισαγωγή στη μικροβιολογία των τροφίμων και στην επίδραση της ψύξης σε αυτή. Η μεγαλύτερη πρακτική εφαρμογή της ψύξεως είναι η πρόληψη ή καθυστέρηση των μικροβιακών, φυσιολογικών και χημικών μεταβολών στα τρόφιμα. Η ψύξη επίσης παίζει ένα πολύ σημαντικό ρόλο στη διατήρηση της παροχής τροφίμων που να είναι ασφαλή για κατανάλωση. Η μεταφορά ασθeneιών δια της κατανάλωσης τροφίμων προκαλείται κατά κύριο λόγο από τη συντήρηση σε ακατάλληλες θερμοκρασίες ενώ μια άλλη σημαντική αιτία είναι η μη ικανοποιητική απολύμανση του ψυκτικού εξοπλισμού. Η επιστήμη της μηχανικής επηρεάζει άμεσα την ασφάλεια και σταθερότητα της παροχής τροφίμων με το σχεδιασμό ψυκτικών εγκαταστάσεων και συγκροτημάτων που να έχουν τη δυνατότητα καθαρισμού και μέσω της διατήρησης περιβαλλοντικών συνθηκών που αναστέλλουν τη μικροβιακή ανάπτυξη. Συνεπώς στο κεφάλαιο αυτό συζητείται συνοπτικά η μικροβιολογία στα τρόφιμα αλλά και οι επιδράσεις από τη λήψη αποφάσεων σχεδιασμού για τη παραγωγή ασφαλών και υγιεινών τροφίμων.

Στο 5^ο Κεφάλαιο αναλύεται διεξοδικά ο σχεδιασμός ενός ψυκτικού συγκροτήματος. Αρχικά παρουσιάζεται η αρχική μελέτη κτιριακών εγκαταστάσεων όπου κυριότερες παράμετροι είναι η επιλογή τοποθεσίας, η διαμόρφωση και προσδιορισμός μεγέθους, η διάταξη στοιβάγματος προϊόντων, η σχεδίαση μονώροφης κτιριακής εγκατάστασης καθώς και ειδικού τύπου θάλαμοι όπως οι ελεγχόμενης ατμόσφαιρας για φρούτα και λαχανικά. Επίσης εξετάζονται οι κατασκευαστικές μέθοδοι περικλειστής κατασκευής για τους ψυκτικούς θαλάμους με κυριότερα τα δομικά πάνελς μόνωσης και τρία διαφορετικά συστήματα διάταξης ως προς το σύστημα δομής ενώ βαρύτητα δίνεται στην αντιμετώπιση της υγρασίας στους αρμούς κατασκευής καθώς αποτελεί το πιο ευάλωτο τμήμα κατασκευής ψυκτικών συγκροτημάτων. Ξεχωριστή αναφορά γίνεται για τις αποβάθρες 'υπό ψύξη' λήψης και αποστολής προϊόντων του ψυκτικού συγκροτήματος ενώ αναφέρεται και το σύστημα Schneider(δυτικές ΗΠΑ) ως μέθοδος κατασκευής και μόνωσης ψυκτικών θαλάμων έναντι των πάνελς μόνωσης. Κατόπιν αναλύονται τα συστήματα ψύξεως όπου τα κυριότερα σημεία είναι η ταξινόμηση συστημάτων ψύξης, επιλογή του ψυκτικού μέσου, ο προσδιορισμός των φορτίων του θαλάμου, η επιλογή μονάδας ψύκτη με βάρος να δίνεται στις μονάδες fan-coil, αλλά και στην αποπάγωση τους και η λειτουργία μονάδων καταψυκτών. Περιγράφονται επιπλέον συστήματα ελέγχου ψυκτικών εγκαταστάσεων, η δομή τέτοιων συστημάτων αλλά και τα βήματα σχεδίασεως αυτών. Στη συνέχεια αναλύονται τεχνικές μόνωσης με το σύστημα φραγμού υδρατμών στο θάλαμο ψύξης, τα είδη διαθέσιμης μόνωσης και το πάχος της ενώ το κεφάλαιο κλείνει με την εφαρμογή της μόνωσης σε τοίχους, δάπεδα, οροφές/σκεπές αλλά και θύρες των ψυκτικών θαλάμων των συγκροτημάτων.

Στο 6^ο κεφάλαιο αναλύεται το συνολικό φορτίο ενός ψυκτικού συγκροτήματος στα επιμέρους φορτία θερμότητας. Πιο συγκεκριμένα περιλαμβάνει (1) φορτία μετάδοσης που περιγράφουν τη μεταφερόμενη θερμότητα προς το ψυκτικό θάλαμο δια της επιφάνειας γενικότερα (2) φορτία προϊόντων, η αφαιρούμενη θερμότητα υπάρχουσα στα προϊόντα αλλά και αυτή που ίσως παράγεται(δια της αναπνοής) από αυτά καθώς εισέρχονται και διατηρούνται στο χώρο ψύξης (3) φορτία εσωτερικής λειτουργίας, η θερμότητα που παράγεται από εσωτερικές πηγές(π.χ φωτισμός, Η/Κ, άτομα κινούνται στο χώρο ψύξης) (4) φορτία διείσδυσης αέρα(ή εναλλαγών αέρα), το θερμικό κέρδος που σχετίζεται με την είσοδο θερμού και υγρού αέρα στο ψυκτικό θάλαμο και (5) φορτία σχετιζόμενα με τη ψυκτική εγκατάσταση. Στο κεφάλαιο αυτό λοιπόν παρουσιάζονται διαδικασίες υπολογισμού φορτίων και ήδη υπάρχοντα δεδομένα για τα 4 πρώτα είδη φορτίων που αποτελούν το καθαρό θερμικό φορτίο προς κάλυψη.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Refrigeration , ASHRAE Handbook , 2010
- [2] American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Fundamentals , ASHRAE Handbook , 2009
- [3] American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, HVAC Systems and Equipment , ASHRAE Handbook, 2008
- [4] American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, HVAC Applications , ASHRAE Handbook , 2007
- [5] American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Refrigeration , ASHRAE Handbook , 2006
- [6] American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Fundamentals , ASHRAE Handbook , 2005
- [7] Σ.Χατζηδάκης , Ειδικά Κεφάλαια Ψύξης(ή Ψύξη II) , Αθήνα , 2003
- [8] L.B.Rockland , L.R.Beuchat , Water Activity:Theory and Applications to Food(2nd Edition). New York : Marcel Dekker , 1987
- [9] C.M.Man , Andrian.A.Jones , Shelf Life Evaluation of Foods. Springer, 2000
- [10] P.H.Demchick , Taking Control of Chamber Humidity , The Science Teacher ,51, 29-31, 1984
- [11] Todd.B.Jekel , Douglas.T.Reindl , Single or Two-stage Compression , ASHRAE Journal , 46-51 , 2008

