

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού
Περιβάλλοντος



Εγκαταστάσεις Μετασυλλεκτικών Χειρισμών Αγροτικών
Προϊόντων

Νικόλαος Κατσούλας και Κωνσταντίνος Κίττας

Βόλος 2008.

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1	Εισαγωγή	4
1.1	Σκοπός και στόχος της αποθήκευσης γεωργικών προϊόντων	4
1.2	Σκοπός και περιεχόμενο του μαθήματος	5
1.3	Οργάνωση του μαθήματος	5
Κεφάλαιο 2	Αποθήκευση – Συντήρηση	7
2.1	Γενικά	7
2.2	Γενικές έννοιες σχετικές με τη βιολογία των γεωργικών προϊόντων	7
2.3	Η επίδραση της ψύξης στους ζωντανούς οργανισμούς	9
2.4	Ανταλλαγές νερού	11
2.4.1	Η σημασία της περιεκτικότητας σε νερό των προϊόντων για την αποθήκευση	11
2.4.2	Το νερό στα προϊόντα και στο περιβάλλον και η ανταλλαγή νερού μεταξύ τους	11
2.4.3	Περιβάλλον της αποθήκης και περιβάλλον του προϊόντος	12
2.4.4	Η έννοια της οριακής στρώσης και η σημασία της ταχύτητας του αέρα	12
2.4.5	Φυσικές αρχές που εφαρμόζονται στη μελέτη της ανταλλαγής νερού μεταξύ των φυτικών ιστών και του περιβάλλοντος	13
2.4.6	Η έννοια του υδατικού δυναμικού	14
2.4.7	Έλεγχος της σχετικής υγρασίας στους αποθηκευτικούς χώρους	17
2.5	Η αναπνοή	19
2.5.1	Μεγέθη - Ορισμοί - Μονάδες	19
2.5.2	Παράγοντες που επηρεάζουν τον ειδικό ρυθμό αναπνοής	21
2.5.3	Σημασία της αναπνοής για την αποθήκευση	24
2.6	Παράγοντες που επηρεάζουν τη συντήρηση	26
2.6.1	Οικολογικοί και καλλιεργητικοί παράγοντες	26
2.6.2	Φυσιολογικοί παράγοντες	27
2.7	Συντήρηση οπωροκηπευτικών σε απλές αποθήκες	27
2.8	Συντήρηση οπωροκηπευτικών σε ψυγεία	30
2.9	Συντήρηση οπωροκηπευτικών σε ψυγεία με ελεγχόμενη ατμόσφαιρα και ψύξη	31
2.10	Συντήρηση της πατάτας	32
2.10.1	Συνθήκες αποθήκευσης της πατάτας	32
2.10.2	Ρύθμιση περιβάλλοντος των αποθηκών πατάτας	32
2.10.3	Τεχνικά χαρακτηριστικά των αποθηκευτικών χώρων πατάτας	38
2.11	Συντήρηση κρεμμυδιών	38
2.11.1	Συνθήκες αποθήκευσης των κρεμμυδιών	39
2.11.2	Ρύθμιση περιβάλλοντος	40
Κεφάλαιο 3	Ξήρανση διαφόρων γεωργικών προϊόντων	42
3.1	Ξήρανση καπνού	42
3.1.1	Γενικά	42
3.1.2	Συστήματα ξήρανσης καπνού	43
3.2	Ξήρανση νωπών προϊόντων (οπωροκηπευτικών)	45
3.3	Ξήρανση σιτηρών	45
Κεφάλαιο 4	Σχεδιασμός και κατασκευή θαλάμων αποθήκευσης – συντήρησης - ψύξης	46
4.1	Υπολογισμός απωλειών	46
4.2	Θάλαμοι αποθήκευσης	46
4.3	Υπολογισμός φορτίων ψύξης	48
4.4	Τεχνολογίες ψύξης	48
4.4.1	Ψυκτικά μέσα	48
4.4.2	Ψυκτική μονάδα	49
4.4.3	Αυτοματισμοί ψυκτικής μονάδας	50
4.4.4	Απαραίτητος μηχανολογικός εξοπλισμός για κοινά ψυγεία και τεχνικά χαρακτηριστικά	50

4.4.5	Βασικές αρχές λειτουργίας μιας ψυκτικής μονάδας	51
Κεφάλαιο 5 Συσσκευασία		53
5.1	Η έννοια της τυποποίησης	53
5.2	Οφέλη από την τυποποίηση	54
5.2.1	Διαλογή	56
5.2.2	Αιτίες απωλειών της παραγωγής κατά τη μεταφορά	56
5.3	Συσσκευασία τυποποιημένων αγροτικών προϊόντων	57
5.3.1	Η έννοια της συσκευασίας	57
5.4	4.3 Διοίκηση του συσκευαστηρίου	58
5.5	Συσσκευασία σε τροποποιημένες ή ελεγχόμενες ατμόσφαιρες (MAP).....	62
5.5.1	Περιγραφή της τεχνικής	62
5.6	Εφαρμογές της MAP σε φρούτα και λαχανικά	63
5.7	Επισκόπηση Τεχνολογίας Ραδιοσυχνικής Αναγνώρισης (RFID).....	63
5.7.1	Βασικά Στοιχεία του Συστήματος RFID.....	65
5.7.2	Εφαρμογές	65
Κεφάλαιο 6 Πρόψυξη		66
6.1	Πρόψυξη με ψυχρό αέρα.....	67
6.2	1.3.3.3 Πρόψυξη με υπερπίεση	68
6.3	Πρόψυξη με κρύο νερό (υδρόψυξη)	68
6.4	Πρόψυξη με κενό	69
Κεφάλαιο 7 Συντήρηση σε ελεγχόμενη ατμόσφαιρα		71
7.1	Ρύθμιση θερμοκρασίας	71
7.2	Υγρασιόμετρα	72
7.3	Σύσταση ατμόσφαιρας σε θαλάμους κοινής συντήρησης	73
7.4	Ψυγεία με ελεγχόμενη ατμόσφαιρα	75
Κεφάλαιο 8 Βιβλιογραφία		77
Κεφάλαιο 9 Παραρτήματα		78
9.1	Παράρτημα 1: Αποθήκευση πατάτας	79
9.2	Παράρτημα 2: Ξήρανση καπνού	99
9.3	Παράρτημα 3: Ξήρανση νωπών	104
9.4	Παράρτημα 4: Ξήρανση σιτηρών	110
9.5	Παράρτημα 5: Υπολογισμός απωλειών ενέργειας από θάλαμο αποθήκευσης.....	122
9.6	Παράρτημα 6: Υπολογισμός φορτίων ψύξης.....	134
9.7	Παράρτημα 7: Πρόψυξη και ψύξη	150
9.8	Παράρτημα 8: Ελεγχόμενη ατμόσφαιρα	167

Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή

1.1 Σκοπός και στόχος της αποθήκευσης γεωργικών προϊόντων

Η ανάγκη αποθήκευσης των γεωργικών προϊόντων προκύπτει κυρίως από το γεγονός ότι υπάρχει χρονική διαφορά μεταξύ της παραγωγής και κατανάλωσης των προϊόντων. Η κατανάλωση των περισσότερων γεωργικών προϊόντων είναι ομοιόμορφα κατανομημένη κατά τη διάρκεια του έτους. Εξαιρέση αποτελούν τα εποχιακά προϊόντα αλλά και αυτή τείνει να εξαλειφθεί με τις σύγχρονες τάσεις στη διατροφή, όπως για παράδειγμα τα έτοιμα προπαρασκευασμένα φαγητά και την κατανάλωση εποχιακών προϊόντων εκτός εποχής. Ο γεωργικός τομέας από την άλλη πλευρά δεν έχει τη δυνατότητα να παράγει όλα τα είδη των προϊόντων όλο το χρόνο για να προσαρμοστεί στη ζήτηση των προϊόντων από τους καταναλωτές ή στη δυνατότητα επεξεργασίας αυτών από τις γεωργικές βιομηχανίες. Αυτό είναι δυνατό μόνο για ορισμένα ανθοκομικά και λαχανοκομικά προϊόντα των οποίων η καλλιέργεια σε θερμοκήπια είναι δυνατή και συμφέρουσα.

Η αποθήκευση όμως δεν αποτελεί τη μόνη λύση για την εξομάλυνση της χρονικής διαφοράς μεταξύ της παραγωγής και της ζήτησης. Εκτός από τις θερμοκηπιακές καλλιέργειες, όταν αυτές είναι δυνατές, πρέπει η αποθήκευση να μπορεί να ανταγωνιστεί την εισαγωγή προϊόντων από άλλες γεωγραφικές περιοχές με διαφορετικές κλιματικές συνθήκες (π.χ. εισαγωγές από χώρες που βρίσκονται στο άλλο ημισφαίριο).

Εκτός από τη χρονική διαφορά παραγωγής – κατανάλωσης, μια άλλη επίσης σημαντική αιτία που οδηγεί στην ανάγκη αποθήκευσης των προϊόντων είναι η γεωγραφική διασπορά των σημείων παραγωγής και η απόστασή τους από τα κέντρα κατανάλωσης. Δηλαδή, ακόμα και αν η παραγωγή συμβάδιζε με την κατανάλωση, ακόμα και τότε θα ήταν απαραίτητο να αποθηκευτούν τα γεωργικά προϊόντα για κάποιο διάστημα κοντά στα κέντρα παραγωγής τους μέχρι να συγκεντρωθούν οι απαραίτητες ποσότητες που θα οδηγηθούν στα κέντρα κατανάλωσης. Σε αυτή την περίπτωση έχουμε βραχυπρόθεσμη αποθήκευση και συνδυασμό αποθήκευσης-μεταφοράς.

Η αποθήκευση, όπου εφαρμόζεται, δεν μπορεί να διαχωριστεί από την παραγωγή. Παραγωγή-μεταφορά-αποθήκευση είναι στενά συνδεδεμένες μεταξύ τους καθότι έχουν έναν κοινό στόχο, την παραγωγή προϊόντων με τα ποιοτικά χαρακτηριστικά που απαιτεί ο τελικός καταναλωτής, με το μεγαλύτερο δυνατό οικονομικό όφελος. Έτσι, ο τρόπος μεταφοράς και αποθήκευσης των προϊόντων μπορεί να υποδεικνύει τόσο το στάδιο και τον τρόπο συγκομιδής, όσο και τη μορφή συσκευασίας των προϊόντων (π.χ. άχυρο σε μπάλες, συγκομιδή φρούτων πριν ωριμάσουν, κ.α.).

Για κάθε προϊόν, τα ποιοτικά χαρακτηριστικά που ενδιαφέρουν τον τελικό καταναλωτή διαφέρουν. Σε γενικές γραμμές αφορούν την εμφάνιση (σχήμα, χρώμα, «φρεσκάδα», κ.α.) και τις οργανοληπτικές ή χημικές ιδιότητες (άρωμα, γεύση, σκληρότητα, περιεκτικότητα σε ορισμένες ουσίες, κ.α.). Σε αυτά τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των προϊόντων επίδραση έχουν κυρίως η περιεκτικότητά σε νερό (σπαργή, φρεσκάδα, μαρσμός), οι βιοχημικές διεργασίες ωρίμανσης, οι οποίες εκδηλώνονται μέσω της αναπνοής, και η δράση εχθρών και ασθενειών (κηλίδες, χημικές αλλοιώσεις). Από αυτό το συμπέρασμα προκύπτει η ανάγκη παρουσίασης στο θεωρητικό μέρος του μαθήματος θεμάτων που σχετίζονται με τις ανταλλαγές νερού μεταξύ

αποθηκευμένων προϊόντων και περιβάλλοντος, την αναπνοή και τα παράσιτα και τις φυσιολογικές ασθένειες των αποθηκευμένων προϊόντων.

1.2 Σκοπός και περιεχόμενο του μαθήματος

Σκοπός του μαθήματος είναι να είναι σε θέση ο φοιτητής να αξιολογήσει το σχεδιασμό και να διαστασιολογήσει τα απαραίτητα συστήματα, να προτείνει τις απαραίτητες τεχνολογίες, να επιβλέπει την κατασκευή και να διαχειριστεί τα συστήματα ελέγχου του περιβάλλοντος σε χώρους αποθήκευσης γεωργικών προϊόντων.

Τα συστήματα αποθήκευσης των γεωργικών προϊόντων διαφοροποιούνται σημαντικά ανάλογα με το είδος του προϊόντος που περιέχουν και εξελίσσονται με την πρόοδο τόσο της τεχνολογίας όσο και των γνώσεων στο αντικείμενο της μετασυλλεκτικής βιολογίας. Παρά την εκ πρώτης όψεως μεγάλη διαφοροποίηση αυτών των συστημάτων, οι αρχές στις οποίες βασίζεται ο σχεδιασμός τους δεν διαφέρουν σημαντικά. Αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι οι αρχές σχεδιασμού, κατασκευής και λειτουργίας, υπαγορεύονται από βασικά φαινόμενα φυσικής κτιρίων (κυρίως ισοζύγιο λανθάνουσας και αισθητής θερμότητας και αερισμός), φυσιολογίας φυτών, όπως το ισοζύγιο νερού και το ισοζύγιο υδατανθράκων των φυτικών προϊόντων και οικολογίας φυτοπαρασιτικών οργανισμών (κυρίως μύκητες και έντομα).

Στο θεωρητικό μέρος, θα γίνει αναφορά σε αυτά τα φαινόμενα για να μπορεί ο φοιτητής να κατανοήσει τις αρχές σχεδιασμού, κατασκευής και τον τρόπο λειτουργίας των συστημάτων ελέγχου περιβάλλοντος στους αποθηκευτικούς χώρους. Στο πλαίσιο του εργαστηριακού μέρους θα περιγραφούν τα κατασκευαστικά και μηχανολογικά στοιχεία υποδειγματικών χώρων αποθήκευσης και θα πραγματοποιηθούν ασκήσεις διαστασιολόγησης και σχεδιασμού διατάξεων ελέγχου περιβάλλοντος καθώς και επισκέψεις σε πρότυπες λειτουργικές μονάδες.

Στο πλαίσιο του μαθήματος θα ασχοληθούμε αποκλειστικά με την αποθήκευση των ακατέργαστων γεωργικών προϊόντων φυτικής παραγωγής, δηλαδή πριν υποστούν βιομηχανική επεξεργασία (θεωρούμε ότι η ξήρανση στο χωράφι δεν αποτελεί βιομηχανική επεξεργασία). Δηλαδή μπορεί να μας απασχολήσει η αποθήκευση της τομάτας σε ψυκτικούς θαλάμους αλλά σίγουρα όχι του τοματοπολτού.

1.3 Οργάνωση του μαθήματος

Οι σημειώσεις έχουν οργανωθεί σε 7 κεφάλαια και κατά τη διάρκεια παρουσίασης του περιεχομένου του μαθήματος θα παρουσιασθούν και εξεταστούν οι παρακάτω ενότητες:

- Εισαγωγή - Αποθήκευση νωπών φρούτων και λαχανικών.
- Ρύθμιση συνθηκών περιβάλλοντος αποθηκών. Τύποι και χαρακτηριστικά αποθηκών για νωπά προϊόντα.
- Τύποι και χαρακτηριστικά κατασκευής των αποθηκών.
- Εξοπλισμός ξήρανσης και συντήρησης προϊόντων.
- Συσσκευαστήρια.

- Συντήρηση σε ελεγχόμενη ατμόσφαιρα.
- Συντήρηση με τροποποιημένες ατμόσφαιρες.
- Πρόψυξη.
- Ρύθμιση, έλεγχος και εκμετάλλευση του ψυκτικού θαλάμου.
- Μέθοδοι και μηχανολογικός εξοπλισμός κατάψυξης.

Ενώ στις εργαστηριακές ασκήσεις περιλαμβάνονται τα εξής θέματα:

- Υπολογισμός απωλειών ενέργειας και μεταφοράς υδρατμών από χώρους αποθήκευσης
- Ανταλλαγές νερού μεταξύ των φυτικών προϊόντων και του περιβάλλοντος.
- Σχεδιασμός και κατασκευή ενός συμβατικού ψυκτικού θαλάμου.
- Διαστασιολόγηση συστήματος αερισμού αποθήκης σιτηρών και ξήρανσης νωπών.
- Διαστασιολόγηση ψυκτικού συγκροτήματος ψυκτικού θαλάμου.

Κεφάλαιο 2 Αποθήκευση – Συντήρηση

2.1 Γενικά

Με τη συντήρηση επιδιώκεται η παράταση της εμπορικής ζωής των προϊόντων χωρίς να υποβαθμίζεται σοβαρά η ποιότητα τους. Η συντήρηση των οπωροκηπευτικών απαιτεί κατάλληλες εγκαταστάσεις, εκπαιδευμένο προσωπικό για τη λειτουργία και παρακολούθηση των ψυκτικών εγκαταστάσεων. Επίσης, πρέπει να γίνει κατανοητό ότι ακόμη και υπό τις καλύτερες συνθήκες συντήρησης δεν μπορεί να υπάρξει βελτίωση της ποιότητας των οπωροκηπευτικών, αντίθετα συχνά παρατηρείται υποβάθμιση της ποιότητας, αλλοίωση ή ακόμη και καταστροφή των προϊόντων από διάφορες αιτίες (φυσιολογικές ή παθολογικές ασθένειες).

Αμέσως μετά τη συγκομιδή, τα φρούτα και τα λαχανικά πρέπει να μεταφερθούν στα συσκευαστήρια και στα ψυγεία. Θα πρέπει να χρησιμοποιούνται κατάλληλα μέσα συσκευασίας ώστε να μην πληγώνονται τα προϊόντα, να χρησιμοποιούνται αυτοκίνητα με καλή ανάρτηση, τα δε φρούτα να μην έχουν μεγάλη σπαργή.

Στο συσκευαστήριο θα πρέπει να απομακρυνθούν τα προϊόντα που δεν είναι κατάλληλα για συντήρηση (πληγωμένα, μη κανονικώς ανεπτυγμένα, πολύ μικρά ή πολύ μεγάλα).

Η προσβολή από μικροοργανισμούς κατά τη διάρκεια της συντήρησης είναι ένας από τους μεγαλύτερους κινδύνους καθώς επίσης και η απώλεια υγρασίας. Άλλοι κίνδυνοι κατά τη συντήρηση είναι για παράδειγμα η εμφάνιση επιφανειακών καστανώσεων σε ορισμένες ποικιλίες μήλων και αχλαδιών και η βλάστηση των κονδύλων της πατάτας. Εάν η νομοθεσία της χώρας το επιτρέπει, γίνονται πριν την είσοδο στον ψυκτικό θάλαμο, ορισμένοι προληπτικοί χειρισμοί με χημικές ουσίες.

2.2 Γενικές έννοιες σχετικές με τη βιολογία των γεωργικών προϊόντων

Εάν εξετάσουμε μια λεπτή τομή ενός φυτικού οργάνου στο μικροσκόπιο, θα δούμε ότι αποτελείται από έναν μεγάλο αριθμό κυττάρων σχήματος και μεγέθους διαφορετικού ανάλογα με το είδος και το όργανο. Ένα σύνολο κυττάρων ίδιου σχήματος και ρόλου σχηματίζει τον ιστό. Από χημικής άποψης το κύτταρο αποτελείται από νερό, άλατα, γλυκίδια, λιπίδια, αμινοξέα, πρωτεΐνες, οργανικά οξέα, χρωστικές, ταννίνες, βιταμίνες, αρωματικές ουσίες και αιθυλένιο. Από φυσική άποψη τα συστατικά των κυττάρων βρίσκονται είτε με τη μορφή υδατικών διαλυμάτων είτε με τη μορφή κolloειδών.

Η μεγάλη περιεκτικότητα των ιστών σε νερό παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον για τη συντήρηση. Η τάση των ατμών των οργάνων και των ζωντανών ιστών είναι υψηλή (εκτός από τους σπόρους) και γι' αυτό ακριβώς υπάρχει μια τάση απώλειας νερού και συνεπώς βάρους κατά τη συντήρηση σε χώρο του οποίου η υγρασία είναι μικρότερη από τον κορεσμό. Η απώλεια υγρασίας εξαρτάται από την περατότητα των επιφανειακών ιστών, των στοματίων, των φακιδίων, των συσκευασιών, τη συγκράτηση του από τους

ιστούς και φυσικά και από την υγρασία του περιβάλλοντα αέρα. Στο μάθημα αυτό δίνεται έμφαση στον περιορισμό-έλεγχο της απώλειας υγρασίας των προϊόντων με έλεγχο των συνθηκών του περιβάλλοντος αποθήκευσής τους.

Το ζωντανό κύτταρο είναι η έδρα σύνθετων βιοχημικών μεταβολών και μετατροπής ενέργειας, το σύνολο δε αυτό των μεταβολών λέγεται *μεταβολισμός*. Ο μεταβολισμός έχει ως αποτέλεσμα τη σύνθεση ουσιών, διαδικασία που ονομάζουμε αναβολισμό ή τη διάσπαση διαφόρων συστατικών δηλαδή σε καταβολισμό.

Γενικά, τα φυτικά όργανα (φρούτα και λαχανικά) όταν αποκοπούν από το μητρικό φυτό υφίστανται μια σειρά μεταβολών που τα οδηγούν στην ωρίμανση και στο γήρας. Η ένταση των μεταβολών αυτών επηρεάζεται από τους παράγοντες του περιβάλλοντος. Μπορεί να παρατηρηθούν σημαντικές μεταβολές της δομής ή της χημικής σύστασης των ιστών που στο τέλος οδηγούν στην απώλεια της ποιότητας των προϊόντων τα οποία τελικά γίνονται άχρηστα. Οι αλλοιώσεις που συναντώνται συχνά στα φυτικά όργανα οφείλονται στην υπερωρίμανση (φρούτα), στο μαρασμό και στην αφυδάτωση (φυλλώδη λαχανικά) και στην προσβολή από μικροοργανισμούς.

Τα ζωντανά φυτικά όργανα όταν διατηρηθούν σε μια ικανοποιητική περιεκτικότητα οξυγόνου (π.χ. στον αέρα) αναπνέουν, δηλ. καταναλώνουν οξυγόνο ενώ συγχρόνως αποδίδουν διοξειδίο του άνθρακα και αποβάλλουν θερμότητα. Η ένταση αναπνοής ποικίλλει ανάλογα με το είδος του οργάνου (*Πίνακας 2.1*), την ποικιλία και την ηλικία. Επηρεάζεται επίσης από εξωτερικούς παράγοντες όπως μηχανικούς (κτυπήματα), φυσικούς (θερμοκρασία, υγρασία), χημικούς (σύνθεση της ατμόσφαιρας).

Εκτός από τη θερμοκρασία σημαντικό ρόλο στην αναπνευστική δραστηριότητα παίζει και η σύνθεση της ατμόσφαιρας. Η αύξηση της μερικής πίεσης του οξυγόνου αυξάνει το ρυθμό αναπνοής του οποίου η καμπύλη είναι πρακτικά υπερβολική. Μικρή μεταβολή της περιεκτικότητας του οξυγόνου γύρω από το 21% έχει μικρή επίδραση στην αναπνοή.

Πίνακας 2.1. Αναπνευστική δραστηριότητα φρούτων και λαχανικών

Είδος	Θερμοκρασία °C	Ένταση αναπνοής (mg CO ₂ h ⁻¹ kg ⁻¹)
σπαράγγια	24	692,0
αρακάς	24	394,0
πράσινα φασόλια	24	321,0
σπανάκι	24	318,0
πιπεριές	24	78,8
τομάτες	24	49,6
πατάτες	24	11,8
μπανάνες	20	128
φράουλες	21	134
βερίκοκα	18	64
ροδάκινα	20	70
αχλάδια	20	66
μήλα	23	32
λεμόνια	21	19

Η ωρίμανση ορισμένων φρούτων, όπως μήλων, αχλαδιών κ.ά. συνοδεύεται από αναπνευστική κρίση που λέγεται «κλιμακτήριο»¹. Της αναπνευστικής αυτής κρίσης προηγείται μια ελάχιστη τιμή του ρυθμού απορρόφησης οξυγόνου και αποβολής διοξειδίου του άνθρακα που λέγεται «ελάχιστο προκλιμακτήριο». Η μέγιστη τιμή της αναπνοής που παρατηρείται λέγεται «μέγιστο κλιμακτήριο». Γενικά μπορούμε να θεωρήσουμε ότι όταν η αναπνοή των φρούτων ξεπεράσει το μέγιστο κλιμακτήριο, τα φρούτα έχουν γεράσει γι' αυτό ακριβώς η αναπνευστική κρίση θεωρείται ως η «αρχή του τέλους». Η κλιμακτήριο κρίση επηρεάζεται από τη θερμοκρασία και τη σύνθεση της ατμόσφαιρας.

Η ωρίμανση των κλιμακτηρίων φρούτων συνοδεύεται από την παραγωγή αιθυλενίου. Η παραγωγή αυτή είναι πολύ μικρή σχετικά με την παραγωγή του διοξειδίου του άνθρακα (1000 φορές περίπου μικρότερη), η φυσιολογική όμως σημασία του αιθυλενίου είναι πολύ σημαντική γιατί ακόμα και σε ίχνη στην ατμόσφαιρα (1%) διεγείρει την ωρίμανση.

Για να περιορίσουμε ή να αποφύγουμε την αλλοίωση του προϊόντος, πρέπει να επιβραδύνουμε τη φυσιολογική εξέλιξη, να ελαττώσουμε τις απώλειες υγρασίας, να περιορίσουμε την ανάπτυξη των μικροοργανισμών και το ρυθμό των χημικών αντιδράσεων. Η ψύξη όταν χρησιμοποιείται σωστά, μπορεί να πετύχει όλα τα παραπάνω, προστατεύοντας το προϊόν από τις διάφορες αλλοιώσεις και συντελώντας στη μακρά του συντήρηση.

2.3 Η επίδραση της ψύξης στους ζωντανούς οργανισμούς

Κατά τη συντήρηση με ψύξη, ένας από τους παράγοντες που μας ενδιαφέρει είναι η διάρκεια της συντήρησης που μπορεί να συντομευθεί από διάφορα αίτια. Η απώλεια υγρασίας, οι φυσιολογικές ασθένειες, οι μυκητολογικές προσβολές, η γρήγορη εξέλιξη των φυτικών οργάνων, μπορούν να περιορίσουν το χρόνο συντήρησης. Η διάρκεια της εμπορικής ζωής των φυτικών προϊόντων, εκτείνεται στην πράξη μέχρι τη στιγμή που το 10% των συντηρούμενων προϊόντων καταστεί ακατάλληλο για πώληση.

Η ψύξη αυξάνει την διάρκεια ζωής των φυτικών προϊόντων, αύξηση που είναι ποσοτικά σημαντική. Η θερμοκρασία επηρεάζει αισθητά το χρόνο συντήρησης των φυτικών οργάνων και γι' αυτό θα πρέπει να επιλέγεται πάντα με προσοχή.

Η ευαισθησία των διαφόρων οργάνων στην ψύξη ποικίλλει. Τα τροπικά και υποτροπικά φυτά και φυτικά όργανα, είναι πολύ ευαίσθητα στις χαμηλές θερμοκρασίες (πάνω βέβαια από το σημείο πήξης). Ο εθισμός στις χαμηλές θερμοκρασίες είναι ένα φαινόμενο ενδιαφέρον από φυσιολογικής και αγρονομικής πλευράς.

Μέτρια χαμηλές θερμοκρασίες συντηρούν τη δομή και τον κυτταρικό μεταβολισμό και επιτρέπουν μια αύξηση. Η δράση τους είναι περιοριστική για τα φυσιολογικά φαινόμενα. Εδώ ακριβώς βασίζεται η χρήση της ψύξης στη συντήρηση. Η πτώση της θερμοκρασίας προκαλεί την αύξηση της

¹ Τα φρούτα που παρουσιάζουν «κλιμακτήρια» κρίση όπως τα μήλα, τα αχλάδια, τα βερίκοκα, τα ροδάκινα, τα αβοκάντο, οι μπανάνες, οι τομάτες κτλ. ονομάζονται φρούτα «κλιμακτήρια» σε ανάθεση με αυτά που δεν παρουσιάζουν όπως τα κεράσια, τα σταφύλια, οι φράουλες, τα εσπεριδοειδή κτλ.

διαλυτότητας των αερίων, την πτώση της τάσης των ατμών, τη μείωση της διαλυτότητας ορισμένων συστατικών στο νερό, τη στερεοποίηση των λιπιδίων κτλ.

Η μεταβολή της θερμοκρασίας επηρεάζει τις απώλειες ύδατος και κατά συνέπεια του βάρους. Για αυτό η υγρασία του αέρα των θαλάμων συντήρησης πρέπει να είναι υψηλή. Η ανανέωση και η ανακυκλοφορία του αέρα του θαλάμου και η συσκευασία του προϊόντος, είναι παράγοντες που επηρεάζουν τις απώλειες βάρους.

Οι χαμηλές θερμοκρασίες επηρεάζουν την ταχύτητα των χημικών αντιδράσεων, επιβραδύνουν τη λειτουργία των βιολογικών καταλυτών (ενζύμων) άρα επιβραδύνουν τον μεταβολισμό των ζωντανών φυτικών οργάνων και επιμηκύνουν τη ζωή τους μετά τη συλλογή. Η ψύξη ελαττώνει την αναπνευστική δραστηριότητα των σπυρολαχανικών και περιορίζει τις απώλειες ορισμένων χρήσιμων συστατικών (σάκχαρα, βιταμίνες κτλ.).

Γενικά, όταν η θερμοκρασία ανέλθει κατά 10°C , η αναπνευστική δραστηριότητα πολλαπλασιάζεται κατά 2.5 φορές περίπου.

Η επιβράδυνση των χημικών φαινομένων επιτρέπει στα ψυχροσυντηρούμενα όργανα να διατηρούν τα αποθέματα τους. Μια μέρα ζωής στους 25°C ισοδυναμεί με 2 ημέρες στους 15°C , 4 ημέρες στους 10°C , 8 ημέρες στους 5°C και 16 ημέρες στους 0°C .

Η πτώση της θερμοκρασίας μπορεί να προκαλέσει όμως και μεταβολές στη χημική σύνθεση των προϊόντων όπως η αύξηση των σακχάρων στις πατάτες και στα κάστανα, που οφείλεται στην υδρόλυση του αμύλου, καθώς και η πικρή γεύση στα καρώτα που συντηρούνται με ψύξη.

Τέλος, θα πρέπει να τονιστεί ότι στις πολύ χαμηλές θερμοκρασίες, όταν το πιο μεγάλο μέρος του νερού παγώσει, τα χημικά φαινόμενα είναι εξαιρετικά αργά. Στις χαμηλές θερμοκρασίες, υψηλότερες όμως των 0°C , ορισμένα προϊόντα παρουσιάζουν αλλοιώσεις που συνδέονται με μεταβολικές ανωμαλίες. Έτσι, στην πράσινη τομάτα που συντηρείται σε χαμηλές θερμοκρασίες ($<12^{\circ}\text{C}$) παρατηρείται μια μείωση της ικανότητας για οξειδωτική φωσφορυλίωση, ενώ στην μπανάνα που συντηρείται σε θερμοκρασίες κάτω των 12°C παρατηρείται μείωση του αρώματος.

2.4 Ανταλλαγές νερού.

2.4.1 Η σημασία της περιεκτικότητας σε νερό των προϊόντων για την αποθήκευση.

Η επιθυμητή περιεκτικότητα νερού στα γεωργικά προϊόντα διαφέρει ανάλογα με το προϊόν. Έτσι τα φρούτα και τα φυλλώδη λαχανικά θέλουμε να είναι φρέσκα, κάτι το οποίο μεταφράζεται στο να έχουν μεγάλη περιεκτικότητα σε νερό, ενώ η περιεκτικότητα σε νερό των σπόρων των σιτηρών, για παράδειγμα, θέλουμε να κυμαίνεται μεταξύ ενός ανώτατου (περίπου 17%) και ενός κατωτάτου ορίου (περίπου 10%). Όταν είναι μεγαλύτερη από το ανώτατο όριο η αποθήκευση είναι αδύνατη γιατί έχουμε μεγάλη άνοδο της υγρασίας του αέρα και δημιουργία ευνοϊκών συνθηκών για την ανάπτυξη μούχλας. Όταν είναι χαμηλότερη από το κατώτερο όριο τότε έχουμε σημαντική απώλεια βάρους.

2.4.2 Το νερό στα προϊόντα και στο περιβάλλον και η ανταλλαγή νερού μεταξύ τους.

Το νερό στους φυτικούς ιστούς συναντάται στα τριχοειδή αγγεία του ξύλου και του ηθμού, στους μεσοκυττάριους χώρους (αποπλασμικό νερό) και μέσα στα κύτταρα (συμπλασμικό νερό). Δεν βρίσκεται σε ελεύθερη μορφή αλλά συγκρατείται από τους φυτικούς ιστούς κυρίως χάρη στη σπαραγή των κυττάρων και στις τριχοειδείς και οσμωτικές δυνάμεις. Σχηματικά μπορούμε να πούμε ότι όσο περισσότερο νερό έχουν οι ιστοί τόσο μικρότερη είναι η δύναμη με την οποία το συγκρατούν.

Από τη στιγμή που ένα φυτικό προϊόν συγκομίζεται, σταματά η τροφοδότησή του με νερό από τα αγγεία του ξύλου αλλά η ανταλλαγή νερού με το περιβάλλον, που πραγματοποιείται μέσω των ιστών της επιφάνειας του προϊόντος, συνεχίζει να λαμβάνει χώρα. Για να υπάρξει ροή νερού από το περιβάλλον προς το φυτικό προϊόν πρέπει η δύναμη με την οποία συγκρατείται το νερό στο προϊόν να είναι μικρότερη από αυτή με την οποία συγκρατείται στο περιβάλλον.

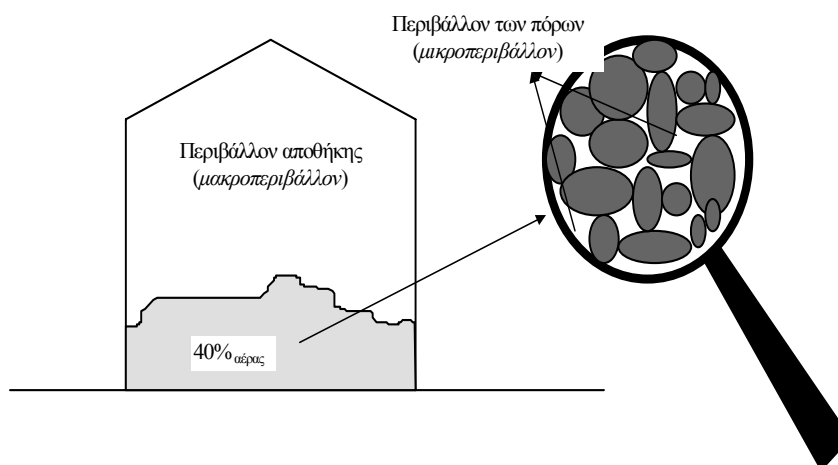
Με τον όρο περιβάλλον εννοούμε το μέσο με το οποίο βρίσκεται σε επαφή το προϊόν. Αυτό συνήθως είναι ο αέρας, αλλά αν τοποθετήσουμε το προϊόν μέσα σε άμμο ή σε νερό τότε το περιβάλλον θα είναι το νερό ή η άμμος που το περιβάλλει. Ας πάρουμε την περίπτωση που το προϊόν μας είναι στον αέρα, που είναι και η συνηθέστερη περίπτωση στις αποθήκες. Όπως συμβαίνει με τα φυτικά προϊόντα έτσι και στον αέρα, όσο λιγότερη υγρασία έχει αυτός τόσο πιο μεγάλες είναι οι δυνάμεις με τις οποίες συγκρατεί το νερό. Άρα όταν μικραίνει η υγρασία στον αέρα, αυξάνεται η δύναμη συγκράτησης του νερού και όταν αυτή ξεπεράσει τη δύναμη με την οποία συγκρατείται το νερό στο προϊόν τότε έχουμε απώλεια νερού από το προϊόν προς τον αέρα. Στην περίπτωση που έχουμε υψηλή υγρασία στο αέρα και μικρή στο προϊόν, τότε συμβαίνει το αντίθετο, έχουμε δηλαδή ροή από τον αέρα (μικρές δυνάμεις συγκράτησης) προς το προϊόν (μεγάλες δυνάμεις συγκράτησης).

Οι ανταλλαγές νερού μεταξύ του προϊόντος και του περιβάλλοντος έχουν διπλή σημασία καθότι μας επιτρέπουν από τη μια να ελέγξουμε την περιεκτικότητα σε νερό του προϊόντος, ρυθμίζοντας τις συνθήκες του περιβάλλοντος και από την άλλη, η περιεκτικότητα σε νερό του προϊόντος ασκεί σημαντική επίδραση στις συνθήκες του περιβάλλοντος.

2.4.3 Περιβάλλον της αποθήκης και περιβάλλον του προϊόντος.

Είναι σκόπιμο να κάνουμε μια μακροσκοπική και μικροσκοπική διάκριση του περιβάλλοντος καθότι οι ανταλλαγές νερού από και προς το προϊόν εξαρτώνται από τα χαρακτηριστικά και τις συνθήκες που επικρατούν σε μια πολύ μικρή στρώση του περιβάλλοντος που βρίσκεται σε άμεση επαφή με το προϊόν και όχι από όλο το περιβάλλον.

Όταν ένα προϊόν δεν είναι μόνο του αλλά περιβάλλεται από άλλα προϊόντα, π.χ. αν έχουμε ένα σωρό από κόκκους σιτηρών, τότε ενώ ως περιβάλλον της αποθήκης (μακροπεριβάλλον) εννοούμε τον αέρα της αποθήκης, το περιβάλλον των κόκκων δεν είναι άλλο παρά η μικρή ζώνη αέρα των μικροπόρων η οποία το περιβάλλει (μικροπεριβάλλον). Να σημειώσουμε ότι στην περίπτωση σφαιρικών προϊόντων, όσο πιο μεγάλη είναι η διάμετρος τους τόσο μεγαλύτεροι είναι οι πόροι αέρα που σχηματίζονται μεταξύ τους και αυτό φαίνεται και από την πυκνότητα του προϊόντος. Όσο μεγαλύτερη είναι αυτή τόσο μικρότερα διάκενα έχουμε μεταξύ των κόκκων και όσο μικραίνει τα διάκενα αυξάνουν. Ενδεικτικά αναφέρουμε ότι σε ένα όγκο 100 m^3 σιταριού τα 40 m^3 είναι αέρας (Εικόνα 2.1).



Εικόνα 2.1. Μίκρο- και μάκρο-περιβάλλον αποθηκευμένων προϊόντων

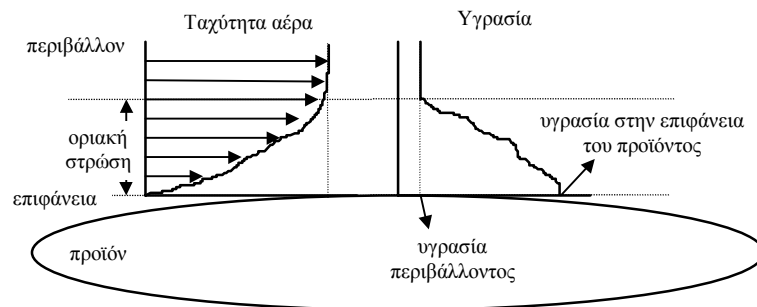
Η διάκριση μεταξύ περιβάλλοντος και μικροπεριβάλλοντος έχει μεγάλη σημασία για τη ρύθμιση των συνθηκών της αποθήκης γιατί στην ουσία αυτό που μας ενδιαφέρει είναι το τί συνθήκες επικρατούν στο προϊόν, δηλαδή στο μικροπεριβάλλον. Οι συνθήκες στο μικροπεριβάλλον εξαρτώνται από την κατάσταση του προϊόντος και από τις συνθήκες του περιβάλλοντος.

2.4.4 Η έννοια της οριακής στρώσης και η σημασία της ταχύτητας του αέρα.

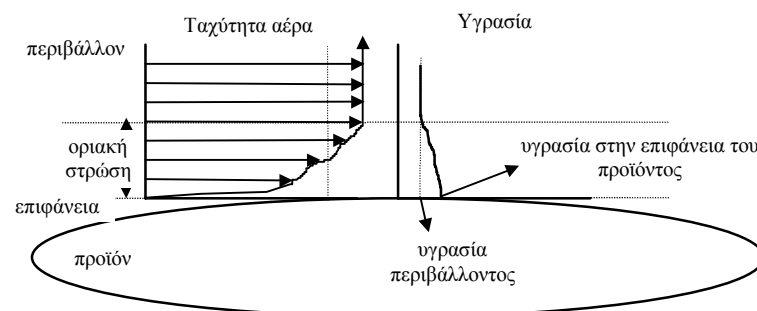
Ας δούμε τώρα τι συμβαίνει με ένα προϊόν το οποίο είναι εκτεθειμένο στον αέρα. Η ταχύτητα του αέρα όσο πλησιάζουμε στην επιφάνεια του προϊόντος μικραίνει και τείνει προς το μηδέν και αυτό οφείλεται στις δυνάμεις τριβής που αναπτύσσονται στην επιφάνεια. Καλούμε οριακή στρώση την ζώνη στην οποία η ταχύτητα του αέρα είναι μικρότερη από αυτή στο περιβάλλον (Σχήμα 2.1). Στην περίπτωση του σωρού η οριακή στρώση του σωρού σχηματίζεται μεταξύ του περιβάλλοντος της αποθήκης και του σωρού, ενώ η οριακή

στρώση του προϊόντος βρίσκεται μεταξύ αυτού και του αέρα των μικροπόρων. Το πάχος της οριακής στρώσης μικραίνει όσο αυξάνει η ταχύτητα του αέρα.

α) Μικρή ταχύτητα αέρα – μεγάλο οριακό στρώμα



β) Μεγάλη ταχύτητα αέρα – μικρό οριακό στρώμα



Σχήμα 2.1. Η οριακή στρώση και η σημασία της ταχύτητας του αέρα.

Η σημασία της οριακής στρώσης και η επίδραση της ταχύτητας του αέρα στις ανταλλαγές υδατμών παρουσιάζεται σχηματικά στο Σχήμα 2.1 (αφορά την περίπτωση ξηρού αέρα και υγρού προϊόντος). Όταν η ταχύτητα του αέρα είναι μικρή τότε το πάχος της οριακής στρώσης είναι μεγάλο και οι συνθήκες που επικρατούν γύρω από το προϊόν είναι πολύ διαφορετικές από αυτές στο περιβάλλον. Έτσι στο Σχήμα 2.1α βλέπουμε ότι κοντά στην επιφάνεια του προϊόντος έχουμε πολύ μεγαλύτερη υγρασία από αυτή του περιβάλλοντος. Όσο αυξάνει η ταχύτητα του αέρα τότε η υγρασία στην επιφάνεια πλησιάζει αυτή του περιβάλλοντος (Σχήμα 2.1β).

2.4.5 Φυσικές αρχές που εφαρμόζονται στη μελέτη της ανταλλαγής νερού μεταξύ των φυτικών ιστών και του περιβάλλοντος.

Νόμος του Fick

Η φυσική μελέτη των φαινομένων ροής βασίζεται στο ηλεκτρικό ανάλογο ή αλλιώς στο νόμο του Fick. Θεωρούμε λοιπόν ότι για να υπάρχει ροή πρέπει να υπάρχει διαφορά δυναμικού (κινητήρια δύναμη). Η ένταση ροής του νερού (F_w) από την επιφάνεια ενός φυτικού προϊόντος προς το περιβάλλον εκφράζεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$F_w = C \Delta \Psi \quad (\text{kg H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}), \quad (1)$$

όπου C ($\text{kg H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1} \text{Pa}^{-1}$) η αγωγιμότητα στη ροή νερού από την επιφάνεια του προϊόντος και $\Delta \Psi$ (Pa) η διαφορά υδατικού δυναμικού μεταξύ του προϊόντος και του περιβάλλοντος, η οποία στην περίπτωσή μας αποτελεί την κινητήρια δύναμη της ροής. [Η εξίσωση (1) είναι ανάλογη με το νόμο

ηλεκτρικής έντασης $I = 1/R V$, όπου $1/R$ η αγωγιμότητα και V η διαφορά ηλεκτρικού δυναμικού].

Ένας δεύτερος τρόπος εκτίμησης του F_w συνίσταται στην αντικατάσταση του $\Delta\Psi$ της εξίσωσης (1) με το έλλειμμα κορεσμού του αέρα ($e_s - e$) :

$$F_w = C' (e_s - e) \quad (\text{kg H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}), \quad (2)$$

όπου C' είναι και πάλι μια αγωγιμότητα νερού αλλά εκφρασμένη ανά μονάδα ελλείμματος κορεσμού και όχι ανά μονάδα διαφοράς υδατικού δυναμικού, e η μερική πίεση των υδρατμών του αέρα και e^* η μερική πίεση των υδρατμών του κορεσμένου αέρα. Αυτός ο τρόπος υπολογισμού βασίζεται στην υπόθεση ότι το προϊόν είναι κορεσμένο με νερό, δηλαδή ότι έχει μηδενικό υδατικό δυναμικό στην επιφάνειά του και ότι η κινητήρια δύναμη για τη ροή νερού είναι η διαφορά της μερικής πίεσης ατμών του αέρα από αυτή που θα είχε στον κορεσμό και όχι η διαφορά υδατικού δυναμικού που είχαμε προηγουμένως.

2.4.6 Η έννοια του υδατικού δυναμικού.

Η δύναμη με την οποία συγκρατείται το νερό σε ένα σύστημα (π.χ. αέρας, φυτικό προϊόν, κ.α) εκφράζεται στη φυσική με την έννοια του υδατικού δυναμικού (Ψ , Pa). Σχηματικά θα μπορούσαμε να πούμε ότι το υδατικό δυναμικό αντιστοιχεί στο έργο που θα πρέπει να καταβληθεί σε μία μονάδα μάζας νερού που βρίσκεται σε κάποιο σημείο ενός συστήματος έτσι ώστε να το φέρουμε από μία δεσμευμένη κατάσταση σε μία κατάσταση αναφοράς. Ως κατάσταση αναφοράς χρησιμοποιείται η κατάσταση του "ελεύθερου νερού" στην ίδια θερμοκρασία και πίεση. Συνήθως δίνουμε την τιμή 0 στο δυναμικό του "ελεύθερου νερού", οπότε το υδατικό δυναμικό του δεσμευμένου νερού παίρνει αρνητικές τιμές.

Το υδατικό δυναμικό στα φυτικά προϊόντα μπορεί να γίνει κατανοητό αν το δούμε ως μία υπο-πίεση που πρέπει να εφαρμόσουμε στο περιβάλλον έτσι ώστε να έχουμε έξοδο νερού από τον φυτικό ιστό.

Αν και συνήθως το υδατικό δυναμικό εκφράζεται σε bar η καταλληλότερη μονάδα στο διεθνές σύστημα είναι το Pascal ($1 \text{ Pa} = 1 \text{ N m}^{-2} = 10^{-5} \text{ bar}$ ή $1 \text{ MPa} = 10 \text{ bar}$, επίσης $1 \text{ atm} = 1.033 \text{ kg cm}^{-2} = 1.033 \times 9.81 \text{ Nt m}^{-2} = 1.0134 \times 10^5 \text{ N m}^{-2} = 101.34 \text{ kPa}$).

Υδατικό δυναμικό στα φυτικά προϊόντα

Το υδατικό δυναμικό στα φυτικά προϊόντα υπολογίζεται από την εξίσωση :

$$\Psi = P + (R T / V_w) \ln x_w \cong P + c_i R T \quad (\text{Pa}), \quad (3)$$

όπου P η υδροστατική πίεση ή πίεση σπαργής, R η παγκόσμια σταθερά των αερίων ($8.314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$) και T η θερμοκρασία στο προϊόν σε βαθμούς Kelvin ($^{\circ}\text{C} + 273.2$), V_w μερικός γραμμομοριακός όγκος του νερού ($18.05 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 \text{ mol}^{-1}$ στους 20°C), x_w η γραμμομοριακή συγκέντρωση του νερού και c_i , η συγκέντρωση του διαλύματος σε mol m^{-3} διαλύτη (ή για την ακρίβεια $\text{mol ανά } 103 \text{ kg}$ διαλύτη). Ο πρώτος όρος της εξίσωσης (1) αφορά την υδροστατική πίεση που οφείλεται στην ελαστικότητα των κυτταρικών μεμβρανών και ο εξαρτώμενος από την συγκέντρωση δεύτερος όρος του χημικού δυναμικού εκφράζει την κατακράτηση νερού με το τριχοειδές φαινόμενο και το φαινόμενο της όσμωσης και συνήθως καλείται οσμωτικό δυναμικό (Π_i).

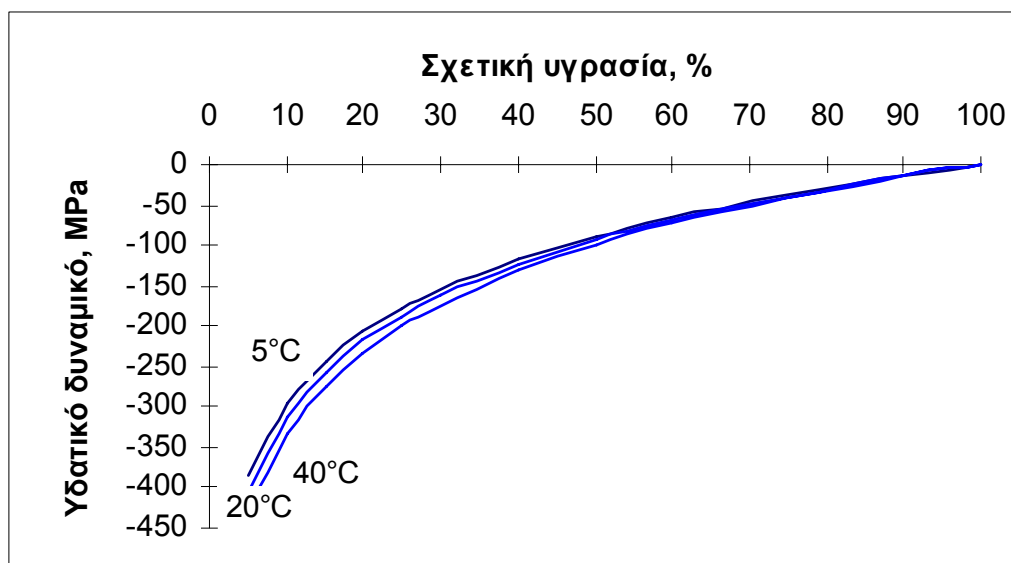
Υδατικό δυναμικό του αέρα.

Το υδατικό δυναμικό του κορεσμένου με υδρατμούς αέρα είναι μηδενικό. Όταν ο αέρας περιέχει λιγότερους υδρατμούς από όσους μπορεί να έχει στον κορεσμό τότε το υδατικό δυναμικό μειώνεται και δίνεται από την εξίσωση:

$$\Psi = (R T/V_w) \ln(e/e^*) \quad (\text{Pa}), (4)$$

όπου T η θερμοκρασία του αέρα σε βαθμούς Kelvin ($^{\circ}\text{C} + 273.2$), e και e^* η μερική τάση των ατμών νερού στον ακόρεστο αέρα και αυτή στον κορεσμένο αέρα.

Στο Σχήμα 2.2 φαίνεται η εξάρτηση του υδατικού δυναμικού του αέρα από τη θερμοκρασία και τη σχετική υγρασία όπως υπολογίζεται από την εξίσωση (4).



Σχήμα 2.2. Η μεταβολή του υδατικού δυναμικού του αέρα σε σχέση με την σχετική υγρασία και τη θερμοκρασία.

Μερική τάση των υδρατμών στον αέρα.

Η μερική τάση των ατμών νερού στον ακόρεστο αέρα εξαρτάται από την υγρασία και την θερμοκρασία του αέρα σύμφωνα με την εξίσωση :

$$e = c R T \quad (\text{Pa}), (5)$$

όπου c η γραμμομοριακή συγκέντρωση των υδρατμών στον αέρα ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-3}$).

Η μερική τάση στον κορεσμό είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας και μπορεί να εκτιμηθεί από την ακόλουθη εμπειρική εξίσωση :

$$e^*(T) = 610.78 \exp[17.269 T/(273.2 + T)] \quad (\text{Pa}), (6)$$

Ο λόγος e/e^* είναι ένας δείκτης του βαθμού κορεσμού του αέρα, καλείται σχετική υγρασία (RH) και εκφράζεται συνήθως επί τις εκατό (%). Ως δείκτης του βαθμού κορεσμού του αέρα χρησιμοποιείται και το έλλειμμα κορεσμού που αντιστοιχεί στη διαφορά $e^* - e$, που συναντήσαμε στην εξίσωση (2).

Η αγωγιμότητα

Η αγωγιμότητα C (εξίσωση 1) είναι το αντίστροφο της αντίστασης (r) και εκφράζει την ευκολία με την οποία οι υδρατμοί διαφεύγουν στο περιβάλλον διαμέσου της επιφάνειας του προϊόντος. Μεταξύ του παρεγχύματος των φυτικών προϊόντων και του αέρα του περιβάλλοντος, παρεμβάλλονται ειδικές προστατευτικές μεμβράνες που εμποδίζουν την ελεύθερη διέλευση του νερού

και των υδρατμών. Έτσι, στην επιφάνεια των φύλλων συναντάται η επιδερμίδα και το νερό μπορεί να διέλθει είτε μέσω αυτής είτε μέσω των στοματίων που εξασφαλίζουν την επαφή των μεσοκυττάρων χώρων με τον αέρα. Η ράγα της τομάτας περικλείεται από λεία και στιλπνή επιδερμίδα. Τα σπέρματα της αραχίδας (αράπικο φιστίκι) από λεπτή περγαμηνοειδή μεμβράνη. Οι σπόροι των αγρωστωδών (σιτάρι, κριθάρι, βρώμη, κ.α.) από τον χιτώνα και τη λεπίδα, του καλαμποκιού και των οσπρίων (φασόλια, κουκιά, φακές, κ.α), από το περίβλημα ή περικάρπιο. Η σάρκα των κονδύλων της πατάτας και των τεύτλων προστατεύεται από τη φελλώδη επιδερμίδα και σε περίπτωση τραυματισμού έχουν τη δυνατότητα σχηματισμού νέας επιδερμίδας (τραυματικής προελεύσεως). Οι βολβοί των κρεμμυδιών επίσης προστατεύονται από τους αποξηραμένους εξωτερικούς χιτώνες.

Οι προστατευτικές μεμβράνες προκαλούν συνεπώς μείωση της αγωγιμότητας C. Η μηχανική καταστροφή της συνέχειας των προστατευτικών ιστών η οποία μπορεί να προκληθεί από κακούς χειρισμούς αλλά και από προσβολές εντόμων και άλλων παθογόνων έχει ως συνέπεια την αύξηση της C.

Εκτός όμως από τις προστατευτικές μεμβράνες η αγωγιμότητα επηρεάζεται επίσης και από το πάχος της οριακής στρώσης. Η αύξηση της ταχύτητας του αέρα στην επιφάνεια του προϊόντος προκαλεί συνεπώς αύξηση της αγωγιμότητας επειδή μειώνει το πάχος της οριακής στρώσης. Για τον ίδιο λόγο τα προϊόντα που φέρουν τριχίδια στην επιφάνειά τους έχουν μικρότερη αγωγιμότητα διότι έχουν μεγαλύτερη αντίσταση στη ροή του αέρα στην επιφάνειά τους, άρα οριακή ζώνη μεγαλύτερου πάχους.

Στον Πίνακα 2.2, δίνονται ενδεικτικές μέσες τιμές αγωγιμότητας νερού φρούτων και λαχανικών (Γεωργακάκης και Μαυρογιαννόπουλος 1991), (C', ανά μονάδα ελλείμματος κορεσμού, ανά κιλό προϊόντος και ανά δευτερόλεπτο σύμφωνα με την εξίσωση 2). Η έκφραση της αγωγιμότητας ανά κιλό προϊόντος είναι πιο πρακτική για τις ανάγκες της αποθήκευσης αλλά δεν έχει φυσική σημασία καθότι οι ανταλλαγές υδρατμών λαμβάνουν χώρα από την επιφάνεια και όχι από τη μάζα του προϊόντος). Παρατηρούμε ότι η αγωγιμότητα του ίδιου προϊόντος κυμαίνεται μεταξύ ευρέων ορίων και αυτό οφείλεται στην ποικιλία και στη μέθοδο εκτίμησης που ακολουθήθηκε, αλλά και στις συνθήκες καλλιέργειας του προϊόντος. Τα δεδομένα του Πίνακα 2.2 πρέπει να χρησιμοποιούνται με επιφύλαξη καθότι πρόκειται για βιβλιογραφικά δεδομένα από άλλες χώρες τα οποία δεν είναι σίγουρο ότι ισχύουν για τις ελληνικές συνθήκες καλλιέργειας, μεταφοράς και αποθήκευσης. Συνιστάται να γίνονται μετρήσεις για κάθε προϊόν στη πράξη όταν αυτό είναι δυνατόν.

Πίνακας 2.2. Συντελεστές αγωγιμότητας νερού (C' , σε $\text{mgH}_2\text{O kg}^{-1} \text{s}^{-1} \text{MPa}^{-1}$) φρούτων και λαχανικών (Γεωργακάκης και Μαυρογιαννόπουλος 1991). Μέσοι όροι και ακραίες τιμές από διαφορετικές ποικιλίες εκτός από τις περιπτώσεις στις οποίες αναφέρεται η ποικιλία.

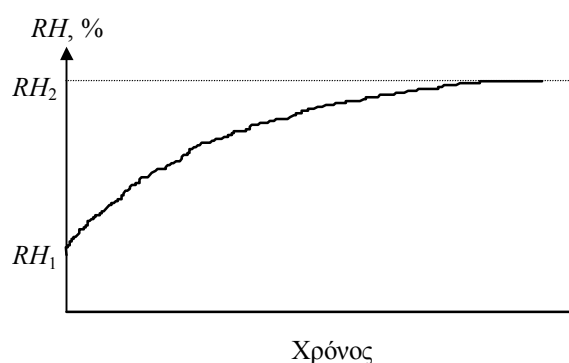
Προϊόν Ποικιλία	C'	Ελάχιστη - μέγιστη τιμή	Προϊόν Ποικιλία	C'	Ελάχιστη - μέγιστη τιμή
Μήλα	42	16-100	Ντομάτες	140	71-365
Golden Delicious	58	29-250			
Ροδάκινα	572	142-2089	Κρεμμύδια	60	13-123
Αχλάδια	69	10-141	Πατάτες	44	2-171
Passe Crassane	80	58-96			
Πορτοκάλια	117	25-227	Καρότα	1207	106-3250
Valencia	58	25-90			
Λεμόνια	186	139-229	Μαρούλια	7400	680-8750
Σταφύλια	123	21-254	Λαχανάκι Βρυξελλών	6150	3250-9770

Σχετική υγρασία ισορροπίας.

Αφήνοντας ένα φυτικό προϊόν σε ένα κλειστό όγκο αέρα με μικρή σχετική υγρασία (RH_1) τότε θα παρατηρήσουμε ότι η υγρασία του αέρα αυξάνει αρχικά και κατόπιν σταθεροποιείται σε μια ανώτερη τιμή (Σχήμα 2.3).

Η αύξηση της υγρασίας του αέρα οφείλεται στην εξάτμιση νερού από το προϊόν προς τον αέρα. Καθώς αυξάνει όμως η υγρασία του αέρα, αυξάνει το δυναμικό νερού σε αυτόν, οπότε μειώνεται η διαφορά υδατικού δυναμικού ($\Delta\Psi$) μεταξύ του αέρα και του προϊόντος. Η μείωση της $\Delta\Psi$ έχει ως συνέπεια τη μείωση της ροής υδρατμών (εξ. 1) η οποία σταματά όταν το $\Delta\Psi$ γίνει μηδενικό. Σχετική υγρασία ισορροπίας λέμε την τιμή της σχετικής υγρασίας του αέρα στην οποία η $\Delta\Psi$ αέρα-προϊόντος γίνεται μηδενική.

Αυτό το φαινόμενο παρατηρείται τόσο στο μικροπεριβάλλον των κόκκων των σιτηρών όσο και στα αεροστεγώς συσκευασμένα προϊόντα.



Σχήμα 2.3. Εξέλιξη της σχετικής υγρασίας κλειστού όγκου αέρα με την είσοδο σε αυτό ενός φυτικού προϊόντος

2.4.7 Έλεγχος της σχετικής υγρασίας στους αποθηκευτικούς χώρους.

Η σχετική υγρασία των αποθηκευτικών χώρων μπορεί να ρυθμιστεί με αερισμό (φυσικό ή τεχνητό) ή με συστήματα συμπύκνωσης.

Ο αερισμός, ο οποίος συναντάται περισσότερο στην πράξη, συνίσταται στην αντικατάσταση του υγρού αέρα της αποθήκης με την εισαγωγή εξωτερικού αέρα με μικρότερη υγρασία.

Με την συμπύκνωση προκαλείται υγροποίηση των υδρατμών του αέρα σε ψυχρή επιφάνεια στο εσωτερικό της αποθήκης της οποίας η θερμοκρασία είναι κατώτερη από το σημείο δρόσου του αέρα. Το σχηματιζόμενο στην ψυχρή επιφάνεια νερό απομακρύνεται από την αποθήκη.

Για τις αρχές που διέπουν τον αερισμό και τη διάταξη των συστημάτων αερισμού θα γίνει αναφορά σε επόμενο κεφάλαιο του μαθήματος.

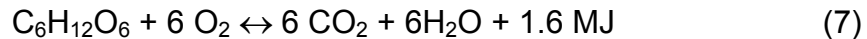
2.5 Η αναπνοή

Γενικά

Με το όρο αναπνοή εννοούμε μια σειρά από καταβολικές διεργασίες που έχουν ως κοινό χαρακτηριστικό την απελευθέρωση διοξειδίου του άνθρακα. Πρόκειται για διεργασίες που προκαλούν μια προοδευτική αποδόμηση της ξηράς ουσίας (κυρίως της γλυκόζης) για την παραγωγή χημικής ενέργειας (ATP, NADP) και άλλων συνθετότερων ουσιών που είναι απαραίτητες για τη διατήρηση των φυτικών κυττάρων (κυρίως οργανικά οξέα και ένζυμα). Αυτές οι διεργασίες παράγουν επίσης θερμότητα.

Αερόβιος και αναερόβιος αναπνοή.

Η αερόβιος αναπνοή λαμβάνει χώρα παρουσία οξυγόνου. Το κανονικό υπόστρωμά της είναι η γλυκόζη ($C_6H_{12}O_6$) η οποία όταν οξειδώνεται πλήρως (χωρίς ενδιάμεσα προϊόντα) παράγει διοξείδιο του άνθρακα, νερό και ενέργεια:



Το 90% της παραγόμενης ενέργειας διατηρείται στο φυτικό σύστημα και το υπόλοιπο 10% μετατρέπεται σε θερμότητα (Κόκκορας, 1990). Η γλυκόζη παράγεται άμεσα από την φωτοσύνθεση αλλά μπορεί να παραχθεί και από την υδρόλυση συνθετότερων σακχάρων όπως η σουκρόζη και το άμυλο.

Αν και οι αερόβια αναπνοή είναι ο κανόνας στη φύση καθώς η περιεκτικότητα σε O_2 του αέρα είναι μεγάλη (20% δηλαδή 200000 ppm όταν η περιεκτικότητα σε CO_2 είναι της τάξεως των 400 ppm). Στις συνθήκες αποθήκευσης (π.χ. συσκευασία, τροποποιημένες ατμόσφαιρες) είναι δυνατό να έχουμε κατανάλωση του οξυγόνου του αέρα από την αναπνοή και εμφάνιση της αναερόβιας αναπνοής. Σημειωτέων δε ότι η αναερόβια αναπνοή λαμβάνει χώρα και παρουσία O_2 αλλά με πολύ μικρότερους ρυθμούς συγκριτικά με την αερόβια.

Η τελική αντίδραση με την οποία μπορούμε να περιγράψουμε την αναερόβια αναπνοή είναι :



Παράγει πολύ λιγότερη ενέργεια ανά μόριο γλυκόζης από την αερόβια αναπνοή είναι όμως απαραίτητη διότι παρέχει την δυνατότητα να καταστεί διαθέσιμη στα φυτά κάποια ενέργεια υπό αντίξοες συνθήκες.

Η αναερόβια αναπνοή αποκτά ιδιαίτερη σημασία στις μεθόδους διατήρησης σε τροποποιημένες ατμόσφαιρες.

2.5.1 Μεγέθη - Ορισμοί - Μονάδες.

Ρυθμός αναπνοής και ειδικός ρυθμός αναπνοής

Ένταση αναπνοής ή αλλιώς ρυθμό αναπνοής (R) καλούμε την ποσότητα (γραμμομόρια, βάρος ή όγκος) εκλυόμενου CO_2 ή καταναλισκόμενου O_2 ανά μονάδα χρόνου. Έχει συνεπώς μονάδες ml ή kg ή mol CO_2 ή $O_2 \text{ s}^{-1}$.

Έχει αποδειχθεί θεωρητικά και πειραματικά (Amthor, 1989) ότι ο ρυθμός αναπνοής των φυτικών προϊόντων εξαρτάται εκθετικά από τη θερμοκρασία και είναι ανάλογος με το βάρος τους (WP, kg). Ο λόγος R/WP σε μία ορισμένη θερμοκρασία (T) μπορεί συνεπώς να θεωρηθεί σταθερός για κάθε προϊόν και

καλείται ειδικός ρυθμός αναπνοής (β T) στη θερμοκρασία T. Ο β έχει μονάδες ml ή kg ή mol CO₂ ή O₂ kg⁻¹ s⁻¹.

Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 2.3) δίνονται χαρακτηριστικές τιμές του β για ορισμένα φρούτα και λαχανικά και η θερμοκρασία στην οποία προσδιορίστηκαν.

Πηλίκo αναπνοής

Πηλίκo αναπνοής (ΠΑ, χωρίς διαστάσεις) ονομάζεται το λόγος του καταναλισκόμενου από την αναπνοή O₂ προς το εκλυόμενο CO₂.

Από την εξίσωση (7) υπολογίζουμε ότι για την οξείδωση 1 mol γλυκόζης, καταναλώνονται 6 mol O₂ που παράγονται 6 mol CO₂. Άρα η αναλογία καταναλισκόμενου O₂ προς εκλυόμενο CO₂ είναι 1:1 σύμφωνα με την εξίσωση 1 και το πηλίκo αναπνοής είναι ίσο με 1 (ΠΑ = 1). Αν το ΠΑ ήταν σταθερό θα μπορούσαμε να εκτιμήσουμε την συγκέντρωση των δύο αερίων O₂ ή CO₂ της αναπνοής μετρώντας την μεταβολή της συγκέντρωσης μόνο ενός από τα δύο.

Πίνακας 2.3. Τιμές της ειδικής αναπνοής (β , σε mg CO₂ kg⁻¹ h⁻¹) φρούτων και λαχανικών

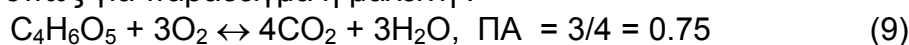
Προϊόν	Ειδική αναπνοή, β , mg CO ₂ kg ⁻¹ h ⁻¹				Μέγιστη κλιμακτική τιμή
	Θερμοκρασία, °C				
	15°C	20°C	22.5°C	25°C	
<i>Φρούτα</i>					
Αβοκάντο		70			310
Μπανάνα (πράσινη)	45	40			120
Μπανάνα (ώριμη)	200				
Μάνγκo		44			126
Μήλο			12-20		30-40
Ντομάτα			51		
Πορτοκάλι (Valencia)	20	26			
Λεμόνι	20				
<i>Λαχανικά</i>					
Φασόλια	250		183		
Μπιζέλι (στο λοβό)			306		
Μπιζέλι (εκτός λοβού)	260		418		
Σπαράγγι			271		
Λάχανο	32				
Μαρούλι	200			55	
Σπανάκι		60-70			
Καρότο	45				
Πατάτα	8		7-14		

(Κόκκορας, 1990)

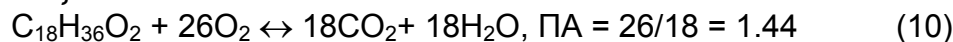
Στην πραγματικότητα όμως, πίσω από την έννοια της αναπνοής κρύβεται πληθώρα αντιδράσεων που χρησιμοποιούν διαφορετικά υποστρώματα και για τις οποίες δεν ισχύει ο λόγος 1:1 για το O₂ και το CO₂. Για την αντίδραση της

αναερόβιας αναπνοής για παράδειγμα (εξ. 8), η οποία όπως είπαμε συνεχίζεται και παρουσία O₂, ισχύει:

ΠΑ = 0. Όταν χρησιμοποιούνται ως υποστρώματα της αναπνοής τα οργανικά οξέα όπως για παράδειγμα η μαλεΐνη :



ή το στεαρικό οξύ :



το πηλίκο αναπνοής είναι πάλι διαφορετικό (Κόκκορας, 1990).

Η χρησιμοποίηση συνεπώς του ΠΑ για την αλληλοσυσχέτιση του O₂ και του CO₂ είναι δυνατή μόνο αν έχει προηγηθεί πειραματικός προσδιορισμός της τιμής του για τις συγκεκριμένες συνθήκες. Χρησιμοποιείται όμως συχνά στη βιοχημεία και στην βιομηχανία τροφίμων ως δείκτης για την αναγνώριση του είδους των αντιδράσεων που κρύβονται πίσω από την μακροσκοπικά παρατηρούμενη έκλυση CO₂ και κατανάλωση O₂, με στόχο την πρόβλεψη των μεταβολών που αναμένονται στο προϊόν.

2.5.2 Παράγοντες που επηρεάζουν τον ειδικό ρυθμό αναπνοής

ΒΟΤΑΝΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ

Είδος και ποικιλία

Ο ειδικός ρυθμός αναπνοής (β) διαφέρει από είδος σε είδος και από ποικιλία σε ποικιλία. Γενικά μπορούμε να πούμε ότι τα προϊόντα που έχουν μεγάλη συγκέντρωση σε πρωτεΐνες (παρουσία πολλών ενζύμων) και σάκχαρα (διαθέσιμα υποστρώματα) έχουν μεγάλο β. Τα αποξηραμένα προϊόντα έχουν μικρότερες τιμές καθότι με τη μείωση της υγρασίας των κυττάρων δυσχεραίνεται η μετακίνηση των υποστρωμάτων και μειώνεται η δραστηριότητα των ενζύμων.

Τύπος ιστού και μέρος της δομής του ιστού.

Έχει δείχθει ότι υπάρχει αξιοσημείωτη απόκλιση του αναπνευστικού ρυθμού τόσο μεταξύ των ιστών του ίδιου είδους όσο και μεταξύ διαφορετικών τμημάτων της δομής ή και μεταξύ διαφορετικών στρώσεων κυττάρων του ίδιου ιστού ενός είδους (Κόκκορας, 1990).

Η ηλικία ή το βιολογικό στάδιο του προϊόντος.

Η εμφάνιση ενός φυτικού ιστού ή οργάνου σημαίνει έντονη μεριστωματική (κυτταρικές διαιρέσεις) και μεταβολική δραστηριότητα (συνθέσεις κυτταρικών ουσιών) η οποία έχει ως αποτέλεσμα την εκδήλωση υψηλών ειδικών ρυθμών αναπνοής.

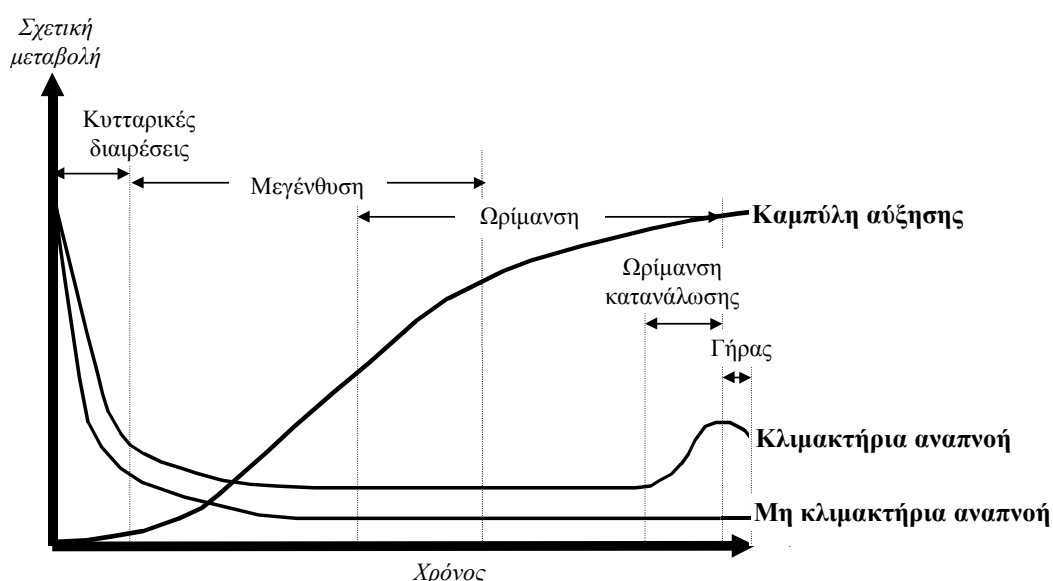
Όσο συνεχίζεται η ανάπτυξη των οργάνων επέρχεται αύξηση σε βάρος η οποία όμως δεν συνοδεύεται απαραίτητα από έντονη συνθετική δραστηριότητα. Κατά συνέπεια παρατηρείται μείωση του ειδικού ρυθμού αναπνοής των ιστών και των οργάνων όσο αυξάνεται το στάδιο ανάπτυξης. Άρα ένα φρούτο έχει μεγαλύτερο β ανώριμο από ότι όταν ωριμάσει.

Αυτό βέβαια εξαρτάται και από το είδος του οργάνου. Έτσι στους βλαστοκόνδυλους πατάτας παρατηρούμε ότι ενώ κάποια στιγμή σταματάνε να αναπτύσσονται και επέρχεται σταθεροποίηση του β, λίγο πριν την βλάστηση των οφθαλμών το β αυξάνει πάλι σημαντικά. Αυτό το φαινόμενο εξηγείται από

την έντονη μεταβολική δραστηριότητα για τη βλάστηση που αρχίζει πολύ πριν εμφανιστούν τα νέα φύτρα.

Κλιμακτήρια αναπνοή.

Κάτι αντίστοιχο με αυτό που παρατηρείται λίγο πριν τη βλάστηση της πατάτας, παρατηρείται επίσης και σε ορισμένα φρούτα. Αυτά μετά τη συγκομιδή τους εμφανίζουν, σε κάποιο στάδιο της ωρίμανσης τους, μια απότομη άνοδο του β. Αυτό συμβαίνει για παράδειγμα στη ντομάτα όταν αποκτά το μέγιστο μέγεθος, οπότε και ξεκινούν οι αλλαγές σε χρώμα, γεύση και υφή οι οποίες οδηγούν στην ωρίμανση κατανάλωσης. Αυτή η αναπνευστική δραστηριότητα αιχμής λέγεται κλιμακτήρια αναπνοή και τα φρούτα στα οποία εκδηλώνεται κλιμακτήρια φρούτα.



Σχήμα 2.4. Σχετική μεταβολή των ειδικών ρυθμών αναπνοής φρούτων κατά τη διάρκεια της βιολογικής τους ανάπτυξης. Κλιμακτήρια και μη κλιμακτήρια μορφή αναπνοής.

Πίνακας 2.4. Κλιμακτήρια και μη κλιμακτήρια φρούτα

Αναπνευστική Συμπεριφορά	Είδη φρούτων
Κλιμακτήρια	αβοκάντο, αχλάδι, βερούκκο, δαμάσκηνο, καρπούζι, μάνγκο, μήλο, μοσχοπέπνο, μπανάνα, ντομάτα, παπάγια, ροδάκινο, σύκο, φραγκοστάφυλλο κινέζικο (<i>actinidia chinensis</i>), φρούτο πάθους
Μη κλιμακτήρια	αγγούρι, ανανάς, κέρασι, λεμόνι, μανταρίνι, σταφύλι, φράουλα.

Η κλιμακτήρια αναπνοή σχετίζεται με την έναρξη της γήρανσης του προϊόντος και έχει αποδειχθεί σε ένα αριθμό περιπτώσεων ότι συνδέεται με την παραγωγή αιθυλενίου και μια αύξηση στη σύνθεση πρωτεϊνών.

Στα τροπικά φρούτα η κλιμακτήρια αναπνοή εκδηλώνεται σχετικά γρήγορα και η μέγιστη τιμή της είναι σχετικά μεγάλη. Η κλιμακτήρια αναπνοή δεν έχει παρατηρηθεί μέχρι στιγμής στα λαχανικά (σημείωση η ντομάτα είναι φρούτο στη βοτανική).

ΚΛΙΜΑΤΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ

Εξάρτηση από τη θερμοκρασία

Δεδομένου ότι η αναπνοή είναι αποτέλεσμα ενζυματικών βιοχημικών αντιδράσεων η εξάρτησή της από τη θερμοκρασία (T) είναι μεγάλη. Η σχέση μεταξύ R και T προσδιορίζεται πάντα πειραματικά μετρώντας, με ειδικές διατάξεις, την ταχύτητα έκλυσης CO₂ (ή κατανάλωσης O₂) ανά μονάδα βάρους προϊόντος (ειδική αναπνοή, β) σε διαφορετικές θερμοκρασίες.

Συνήθως αυτή η σχέση εκφράζεται μαθηματικά με μια έκφραση που δίνει την μεταβολή της ειδικής αναπνοής (β_b) που εκτιμήθηκε σε μια ορισμένη θερμοκρασία, που καλείται θερμοκρασία βάσης (T_b), για κάθε μεταβολή 10°C της θερμοκρασίας. Για την εκτίμηση της αναπνοής χρησιμοποιούμε συνεπώς τις ακόλουθες εκφράσεις :

$$RT = \beta T M_p, \quad (\text{mgCO}_2 \text{ s}^{-1}) \quad (7)$$

$$\beta T = \beta_b f(T), \quad (\text{mgCO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1}) \quad (8)$$

$$f(T) = Q_{10}((T-T_b)/10), \quad (\text{αδιάστατο}) \quad (9)$$

όπου RT ο ρυθμός αναπνοής ενός προϊόντος με μάζα M_p σε μία θερμοκρασία περιβάλλοντος T, βT ο ειδικός ρυθμός αναπνοής στη θερμοκρασία T, T_b η θερμοκρασία βάσης στην οποία εκτιμήθηκε ο ειδικός ρυθμός αναπνοής βάσης β_b (kg CO₂ kg⁻¹ s⁻¹) και Q₁₀ αδιάστατη παράμετρος που εκφράζει την μεταβολή του ειδικού ρυθμού αναπνοής ανά 10°C. Όταν δεν υπάρχουν διαθέσιμες πειραματικές τιμές Q₁₀ χρησιμοποιείται η τιμή 2, υποθέτουμε δηλαδή ότι ο ειδικός ρυθμός αναπνοής διπλασιάζεται κάθε 10°C, κάτι το οποίο είναι γενικά αποδεκτό στην περιοχή 4°C έως 36°C.

Εξάρτηση από τη συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα.

Μερικές εκατοστιαίες μονάδες αύξησης της συγκέντρωσης του CO₂ του ατμοσφαιρικού αέρα (400 ppm) προκαλούν στις περισσότερες περιπτώσεις σημαντική μείωση του ρυθμού αναπνοής (Κόκκορας, 1990). Δύο είναι οι μηχανισμοί που εμπλέκονται στην παρατηρούμενη εξάρτηση της αναπνοής από τη [CO₂] :

1) Βιοχημικός μηχανισμός.

Από τη γενική εξίσωση της αναπνοής (εξ. 1) συμπεραίνουμε ότι αύξηση της [CO₂] σημαίνει μεγάλη συγκέντρωση προϊόντων της αντίδρασης άρα μείωση του ρυθμού της (κινητική Michaelis - Menten).

2) Φυσικός μηχανισμός.

Η ταχύτητα διάχυσης του CO₂ (FCO₂) από την επιφάνεια των φυτικών ιστών προς το περιβάλλον υπακούει στο νόμο του Fick :

$$FCO_2 = CCO_2 (p_i,CO_2 - p_o,CO_2) \quad (\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}) \quad (10)$$

όπου, CCO₂ (mol CO₂ m⁻² s⁻¹ Pa⁻¹) η αγωγιμότητα του διοξειδίου στην επιφάνεια, p_i,CO₂ η μερική πίεση CO₂ στο εσωτερικό των ιστών p_o,CO₂ η μερική πίεση CO₂ στο αέρα. Ο όρος (p_i,CO₂ - p_o,CO₂) λέγεται διαφορά μερικής πίεσης και είναι η κινητήρια δύναμη της διάχυσης του διοξειδίου (διαφορά συγκέντρωσης).

Αύξηση της συγκέντρωσης CO₂ στον αέρα, δηλαδή αύξηση της p_{o,CO_2} συνεπάγεται μείωση του όρου ($p_i,CO_2 - p_{o,CO_2}$) και συνεπώς μείωση της FCO₂.

Εξάρτηση από τη συγκέντρωση του οξυγόνου.

Εκτός από την επίδραση της συγκέντρωσης του O₂ στην εκδήλωση της αναερόβιας αναπνοής, ο ρυθμός της αερόβιας αναπνοής μειώνεται όταν μειώνεται η συγκέντρωση του O₂ στον αέρα. Οι μηχανισμοί που εμπλέκονται είναι οι ίδιοι (ποιοτικά) με αυτούς που είδαμε στην περίπτωση του CO₂ μόνο που εδώ δρύνε αντίστροφα. Στην περίπτωση του O₂, η επίδραση του φυσικού μηχανισμού είναι ελάχιστη στις ατμοσφαιρικές συνθήκες, γιατί η συγκέντρωσή του O₂ στον ατμοσφαιρικό αέρα είναι πολύ μεγάλη. Γενικά για να επιτευχθεί οποιαδήποτε μείωση του ρυθμού αναπνοής πρέπει η συγκέντρωση του O₂ να κατέβει τουλάχιστον κάτω από 10% από το 20% που είναι στον ατμοσφαιρικό αέρα (Κόκκορας, 1990). Επίσης όσο χαμηλότερη είναι η θερμοκρασία τόσο χαμηλότερα πρέπει να κατέβει και η συγκέντρωση του O₂ για να έχουμε μείωση της αναπνοής (Κόκκορας, 1990).

ΑΛΛΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ.

Τραυματισμός

Ο τραυματισμός ενός φυτικού ιστού οδηγεί σχεδόν αναπόφευκτα σε μια προσωρινή αύξηση του ρυθμού αναπνοής. Αν, για παράδειγμα, ένας κόνδυλος πατάτας κοπεί στη μέση η απώλεια CO₂ από τα δύο κομμάτια είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτή του άθικτου κονδύλου. Παρόμοια αποτελέσματα έχουν παρατηρηθεί και σε άλλους ιστούς. Αυξήσεις μέχρι πέντε φορές του αρχικού ρυθμού αναπνοής έχουν αναφερθεί στα καρότα. Ο μωλωπισμός των μήλων αντίθετα έχει μικρή επίδραση στο ρυθμό αναπνοής.

Η αυξημένη αναπνευστική δραστηριότητα των τραυματισμένων ή κακοποιημένων ιστών βαθμιαία ανέρχεται σε ένα μέγιστο, το οποίο γενικά πετυχαίνεται μέσα σε μια ή δύο μέρες, μετά το οποίο ακολουθεί βαθμιαία ελάττωση του ρυθμού αναπνοής μέχρι την αποκατάστασή του στο επίπεδο που βρίσκονται οι μη κακοποιημένοι ιστοί.

Σε κονδύλους πατάτας παρατηρήθηκε αύξηση της περιεχόμενης γλυκόζης της τάξεως 5-68% μετά από τραυματισμό. Το μέγιστο επιτεύχθηκε μερικές ώρες μετά τον τραυματισμό. Αυτή η αύξηση της γλυκόζης είναι μεγαλύτερη στην επιφάνεια κοπής απ' ό,τι στα απομακρυσμένα από αυτή μέρη του κονδύλου. Η αύξηση της συγκέντρωσης του αναπνευστικού υποστρώματος, της γλυκόζης, είναι προφανώς ένας σημαντικός παράγοντας για την παρατηρούμενη άνοδο της αναπνοής στον τραυματισμό.

2.5.3 Σημασία της αναπνοής για την αποθήκευση.

Ρυθμός αναπνοής - φθαρτότητα - αποδεκτικότητα - ζωή αποθήκευσης.

Οι υψηλοί ρυθμοί αναπνοής των προϊόντων είναι συνδεδεμένοι με γρήγορους ρυθμούς καταστροφής ή με άλλα λόγια με υψηλούς βαθμούς φθαρτότητας. Μείωση της αναπνοής σημαίνει κατά κανόνα αύξηση της ζωής

αποθήκευσης. Τα προϊόντα με σχετικά χαμηλούς ρυθμούς αναπνοής είναι γενικά αυτά τα οποία μπορούν να αποθηκευτούν ως φρέσκα για μεγαλύτερες περιόδους χωρίς μεγάλες απώλειες της αποδεκτικότητάς τους.

Αυτή η σχέση αληθεύει μερικές φορές και μέσα σε ένα συγκεκριμένο είδος έτσι που είναι δυνατόν να κάνουμε χρήσιμες προβλέψεις της αγοραστικής ζωής μίας συγκεκριμένης φουρνιάς υλικού από μετρήσεις του ρυθμού αναπνοής. Αυτό, για παράδειγμα έχει γίνει σε μερικές ποικιλίες μήλων στις οποίες δείχθηκε ότι ανεξάρτητα από το ρυθμό αναπνοής, αν το υλικό συγκομίζεται πάντοτε στο ίδιο στάδιο ωριμότητας, το όριο της αποδεκτικότητας πλησιάζεται όταν ένα συγκεκριμένο συνολικό βάρος CO₂ έχει παραχθεί (ισοδύναμο με μια απώλεια 16-20% των αποθεμάτων υδρογονανθράκων του φρούτου). Με άλλα λόγια η απώλεια των υδρογονανθράκων είναι αθροιστική και όταν πλησιάσει ένα ορισμένο ποσό τα φρούτα δεν είναι αποδεκτά από τον καταναλωτή (Κόκκορας, 1990).

Τα ποσά των αναπνεύσιμων υποστρωμάτων (υδρογονανθράκων) που μπορούν να χαθούν από το προϊόν χωρίς να επηρεάσουν ανεπιστρεπτή την αποδεκτικότητά τους ποικίλουν από προϊόν σε προϊόν. Τα πιζέλια, για παράδειγμα υφίστανται μια πολύ γρήγορη απώλεια της γλυκύτητάς τους όταν συγκομίζονται εξαιτίας της γρήγορης αναπνευστικής οξειδωσης της περιεχόμενης σουκρόζης.

Απώλεια βάρους

Από την εξίσωση 1, υπολογίζουμε ότι κάθε 6 mol CO₂ που εκλύονται στην ατμόσφαιρα καταναλώνεται ένα mol C₆H₁₂O₆. Για κάθε 6 x 44 = 264g CO₂ χάνονται κατά προσέγγιση 180 g C₆H₁₂O₆ από την ξηρά ουσία του προϊόντος δηλαδή έχουμε απώλεια 0.68 g C₆H₁₂O₆ / g CO₂.

Υπολογίσαμε ότι ένα μήλο 350 g με ειδικό ρυθμό αναπνοής 15 mg CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ (στους 22.5°C από τον Πίνακα 2.3) χάνει μέσα σε ένα μήνα μόνο 0.7% περίπου του αρχικού του βάρους (με την υπόθεση ότι η θερμοκρασία και ο ειδικός ρυθμός αναπνοής είναι σταθερές όλο το μήνα).

Γενικώς, η απώλεια βάρους από την αναπνοή δεν είναι τόσο σημαντική όσο οι άλλες επιπτώσεις που έχει η αναπνοή στην ποιότητα των προϊόντων και ειδικότερα στη γεύση.

Έκλυση θερμότητας

Στην εξίσωση 1 βλέπουμε ότι κάθε 6 mol CO₂ που εκλύονται παράγονται 1.6 MJ θερμότητας από τα οποία είπαμε ότι 10% μετατρέπεται σε θερμότητα. Από αυτά τα δεδομένα μπορούμε να υπολογίσουμε ότι έχουμε παραγωγή θερμότητας από την αναπνοή ίση με 606 J g⁻¹ CO₂.

Αυτό σημαίνει ότι αν το μήλο των 350 g του προηγούμενου παραδείγματος έχει θερμοχωρητικότητα 3.78 kJ kg⁻¹ °C⁻¹ (ASHRAE, 1993) τότε η θερμοκρασία του θα ανεβαίνει κατά 0.034°C ανά ώρα, δηλαδή θα ανέβει κατά 5.8°C μέσα σε μία εβδομάδα ενώ θα διπλασιαστεί μέσα σε ένα μήνα. (Σημείωση: σε αυτούς του υπολογισμούς δεν έχει ληφθεί υπόψη ούτε η αύξηση της αναπνοής με την αύξηση της θερμοκρασίας ούτε οι απώλειες θερμότητας από το μήλο προς το περιβάλλον, ούτε ενδεχόμενη μείωση της αναπνοής με το χρόνο που μπορεί να προέλθει από ανεπάρκεια υποστρωμάτων ή από άνοδο του CO₂ στην αποθήκη).

Από αυτά συμπεραίνουμε ότι με την αναπνοή εκλύονται σημαντικά ποσά θερμότητας. Πρέπει συνεπώς να λαμβάνεται μέριμνα στις αποθήκες για την

απομάκρυνσή της ειδάλλως αυτή θα επιφέρει περαιτέρω αύξηση της αναπνοής και ούτω καθεξής.

Αυτό το φαινόμενο είναι υπεύθυνο για το λεγόμενο άναμμα των σιτηρών στις αποθήκες που προκαλεί ολοσχερή καταστροφή τους. Θα πρέπει να αναφέρουμε εδώ ότι εκτός από την αναπνοή των φυτικών ιστών σημαντικά ποσά θερμότητας εκλύονται επίσης και από την αναπνοή των μικροοργανισμών που παρασιτούν τα αποθηκευμένα προϊόντα τα οποία συμβάλλουν επίσης στην άνοδο της θερμοκρασίας.

Επιπτώσεις από το σταμάτημα της αναπνοής

2.6 Παράγοντες που επηρεάζουν τη συντήρηση

Κατά την ανάπτυξη τους, τα διάφορα φυτικά όργανα που προορίζονται για κατανάλωση, υφίστανται την επίδραση διαφόρων παραγόντων του περιβάλλοντος (κλίμα, έδαφος, λιπάσματα, νερό). Έτσι, τα φυτικά όργανα που κάθε χρόνο συντηρούνται με ψύξη έχουν διαφορετικό παρελθόν λόγω των μεταβολών του κλίματος, των διαφόρων λιπάνσεων και του βαθμού αποτελεσματικότητας της καταπολέμησης των διαφόρων παθογόνων. Γι' αυτό λέγεται ότι "η επιτυχία της συντήρησης ετοιμάζεται κυρίως στον οπωρώνα ή στο χωράφι".

2.6.1 Οικολογικοί και καλλιεργητικοί παράγοντες

α) Κλίμα; Η ταχύτητα ανάπτυξης των λαχανικών, επηρεάζεται άμεσα από τις κλιματολογικές συνθήκες όπως τη θερμοκρασία, τη βροχόπτωση και την ηλιοφάνεια. Άφθονες βροχοπτώσεις ευνοούν την αύξηση της σπαργής των φυτικών κυττάρων και περιορίζουν τη διάρκεια συντήρησης. Ως παράδειγμα μπορούμε να αναφέρουμε την πατάτα, το κρεμμύδι, τα καρότα.

Η επίδραση του κλίματος έχει μελετηθεί καλύτερα στα φρούτα- στην περίπτωση των μήλων και των αχλαδιών, τα βροχερά καλοκαίρια επηρεάζουν δυσμενώς τη μακρόχρονη συντήρηση γιατί προδιαθέτουν τα φρούτα στις μυκητολογικές προσβολές και στις εσωτερικές καστανώσεις. Η μεγάλη ηλιοφάνεια θεωρείται ότι γενικά ευνοεί την ποιότητα. Έτσι τα συντηρούμενα μήλα των ορεινών περιοχών λόγω της καθαρής ατμόσφαιρας και της έντονης ηλιακής ακτινοβολίας παρουσιάζουν εξαιρετική ποιότητα.

β) Έδαφος: Η φύση του εδάφους επηρεάζει την ικανότητα για συντήρηση, αφού η σύνθεση των φρούτων εξαρτάται από τη σύσταση και τη γονιμότητα του εδάφους.

γ) Λίπανση: Το άζωτο, όταν βρίσκεται σε μεγάλη ποσότητα στο έδαφος είναι επιβλαβές για τα φρούτα και τα λαχανικά γιατί επιταχύνει τον μεταβολισμό τους και ως εκ τούτου μειώνει τη διάρκεια συντήρησης ευνοώντας παράλληλα και την εμφάνιση φυσιολογικών και μυκητολογικών ασθενειών. Το Κάλιο, βελτιώνει τις οργανοληπτικές ιδιότητες και επιτρέπει μια μακρά συντήρηση. Τα άλλα συστατικά (Φώσφορος, Μαγνήσιο, κτλ.) πρέπει να υπάρχουν στο έδαφος σε ικανοποιητικές ποσότητες και σε ισορροπία με τα άλλα συστατικά για την κανονική ανάπτυξη των φυτών.

δ) Καλλιεργητικές μέθοδοι: Ο τρόπος καλλιέργειας του εδάφους, επηρεάζει τη δομή του και την περιεκτικότητά του σε νερό και ως εκ τούτου έχει μια έμμεση επίδραση στη συντήρηση. Η άρδευση είναι μια καλλιεργητική φροντίδα μεγάλης σημασίας. Άφθονο νερό κατά τις τελευταίες εβδομάδες πριν

από τη συγκομιδή είναι επιβλαβές (μικρή περιεκτικότητα σε σάκχαρα και αρωματικές ουσίες, σκασίματα της επιδερμίδας του φρούτου κτλ.).

2.6.2 Φυσιολογικοί παράγοντες

α) Ποικιλία: Τα φυσιολογικά χαρακτηριστικά της κάθε ποικιλίας επηρεάζουν τη συμπεριφορά της στη συντήρηση. Η φυσιολογική ηλικία κατά τη συγκομιδή, η διάρκεια ζωής κατά τη συντήρηση και η ευαισθησία στις φυσιολογικές ασθένειες είναι παράγοντες που πρέπει να λαμβάνονται πάντα υπόψη.

β) Ηλικία. θέση και φορτίο του δένδρου; Τα φρούτα των νέων δένδρων, συντηρούνται λιγότερο καλά και είναι περισσότερο ευαίσθητα στις φυσιολογικές ασθένειες. Όταν τα δένδρα δεν έχουν μεγάλο φορτίο τα φρούτα τρέφονται καλύτερα, η αναπνοή τους είναι πιο έντονη και η ωρίμανση τους πρώιμη. Τα φρούτα που βρίσκονται στο εσωτερικό των δένδρων, ωριμάζουν πιο δύσκολα και δεν αποκτούν ποτέ τις κανονικές οργανοληπτικές ιδιότητες της ποικιλίας. Τα φρούτα της περιφέρειας και της κορυφής είναι πιο έγχρωμα και καλλίτερης ποιότητας.

γ) Μέγεθος των φρούτων: Τα μικρά φρούτα μπορούν να εξομοιωθούν με τα φρούτα που συγκομίστηκαν πρώιμα πριν από την πλήρη ανάπτυξη. Τα μεγάλα φρούτα είναι φυσιολογικά πιο εξελιγμένα από τα φρούτα μέσου μεγέθους και συμπεριφέρονται κατά τη συντήρηση όπως τα φρούτα που συγκομίστηκαν όψιμα.

δ) Συνθήκες συγκομιδής: Για τα περισσότερα φυτικά όργανα, η συγκομιδή πρέπει να γίνει στο κατάλληλο στάδιο που το καλούμε ευνοϊκό.

2.7 Συντήρηση οπωροκηπευτικών σε απλές αποθήκες

Οι αποθήκες πρέπει να εξασφαλίζουν προστασία στα προϊόντα από βροχή, υγρασία, φως, φυσική θερμοκρασία. Το φως σε ορισμένες περιπτώσεις (πατάτα, ελαιόλαδο) είναι καταστρεπτικό διότι προκαλεί την ανάπτυξη σολανίνης ή την οξειδωση και τον ταγγισμό, αντίστοιχα. Ο αερισμός θεωρείται απαραίτητος για την αποφυγή υπερβολικής υγρασίας και συγκέντρωσης αιθυλενίου. Προϊόντα που μπορούν να αποθηκευτούν σε απλές αποθήκες είναι οι ξηροί καρποί (καρύδια, φουντούκια, φιστίκια Αιγίνης και άλλα κάρυα), τα όσπρια, τα κρεμμύδια, τα σκόρδα, οι πατάτες, τα ακτινίδια, τα μήλα, τα κυδώνια, τα ρόδια κ.α.

Μετά τη συγκομιδή οι ξηροί καρποί απλώνονται στον ήλιο ή σε ειδικούς ξηραντήρες έτσι ώστε τελικά να έχουν υγρασία < του 8%.

Συνήθως τα προϊόντα αυτά μετά την αποξήρανση τοποθετούνται σε διάτρητους σάκους για να αερίζονται ή σε πλαστικούς σάκους και στη συνέχεια αποθηκεύονται (Εικόνα 2.2). Επίσης, μπορεί να οδηγηθούν σε σπαστήρες όπου ελευθερώνεται το σπέρμα. Τα σπέρματα στη συνέχεια συσκευάζεται σε σακούλες πολυαιθυλενίου αεροστεγώς. Το εδώδιμο τμήμα των καρπών αυτών (σπέρματα) εξαιτίας της υψηλής ελαιοπεριεκτικότητας οξειδώνεται και ταγγίζει. Για το λόγο αυτό υπάρχει και ημερομηνία λήξης για κατανάλωση. Προσοχή χρειάζεται να μην υγρανθούν οι ξηροί καρποί, διότι τότε προσβάλλονται από μύκητες ή βακτήρια και υπάρχει πρόβλημα τοξινών (αφλατοξίνες-καρύδια, αμύγδαλα, φουντούκια) και φυσικά είναι ακατάλληλοι για εμπορία.



Εικόνα 2.2. Ξηροί καρποί σε σάκους πολυαιθυλενίου.

- Όσπρια (φασόλια, φακές, ρεβίθια) (υγρασία < 14,5%)

Για να συντηρηθούν τα όσπρια επί μακρόν δεν πρέπει να έχουν υγρασία υψηλότερη από 14,5%. Προς τούτο η υγρασία μετράται αμέσως μετά την συγκομιδή και ανάλογα αποθηκεύονται ή οδηγούνται για περαιτέρω ξήρανση σε ειδικά ξηραντήρια.

Έκθεση των οσπρίων στο φως καθώς και σε διάφορα επίπεδα υγρασίας και θερμοκρασίας επηρεάζει την ποιότητα αυτών. Φασόλια που επί 120 ημέρες αποθηκεύτηκαν σε σχετική υγρασία 18,16 ή 14% στους 26°C απέκτησαν σκουρότερο χρώμα από εκείνα που αποθηκεύτηκαν στους 4,5°C. Ο βαθμός επιδείνωσης του χρώματος αυξήθηκε με την αύξηση της υγρασίας. Φασόλια που αποθηκεύτηκαν με 18% υγρασία και θερμοκρασία 4,5°C είχαν ανοιχτότερο χρώμα από ότι εκείνα που αποθηκεύτηκαν στους 26°C και σχετική υγρασία 14% αποδεικνύοντας την σπουδαιότητα της θερμοκρασίας στη διατήρηση του χρώματος των φασολιών.

Ο σπόρος των ξηρών φασολιών αποθηκεύεται στους 5-10°C και σχετική υγρασία 40-50% επί 6-10 μήνες. Αν η υγρασία των σπόρων είναι <14% τότε η σχετική υγρασία της αποθήκης καλό είναι να είναι περίπου 70% για να μην προκαλείται διάρρηξη των περιβλημάτων κατά την αποθήκευση και διακίνηση των φασολιών. Για αεροστεγή συσκευασία του σπόρου η υγρασία πρέπει να είναι περίπου 7%.

- Αποξηραμένοι καρποί (σύκα, δαμάσκηνα, κλπ) (υγρασία < 20-24%)

Οι καρποί αυτοί μετά την αποξήρανση συσκευάζονται σε ζελατίνα ή άλλα μέσα ή και αεροστεγώς. Τα προϊόντα αυτά σκονίζονται εύκολα και ως εκ τούτου χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή στην αποφυγή της σκόνης (Εικόνα 2.3).



Εικόνα 2.3. Αποξηραμένα σύκα και βερίκοκα

- Κρεμμύδια, σκόρδα

Τα προϊόντα αυτά τοποθετούνται σε διάτρητους σάκους για να αερίζονται ή πλέκονται σε αρμάδες (σκόρδα) και κρεμιούνται στην αποθήκη (Εικόνα 2.4).

Τα προϊόντα αυτά πρέπει να έχουν υγρασία 60-65%, οπότε μέριμνα χρειάζεται κατά την αποθήκευση να μην αυξηθεί η υγρασία τους, γιατί τότε προσβάλλονται από μύκητες ή βακτήρια και φυσικά καταστρέφονται.



Εικόνα 2.4. Σκόρδα συσκευασμένα σε δίχτυ, πάνω σε σάκους με κοκκάρι.

- Ακτινίδια, μήλα, κυδώνια, ρόδια

Προϊόντα, όπως τα παραπάνω, που συντηρούνται για μακρύ χρονικό διάστημα συχνά συντηρούνται σε ορεινές περιοχές σε κοινές αποθήκες αρκεί να λαμβάνονται κάποια βασικά μέτρα και κυρίως καλός αερισμός και προστασία των καρπών από θερμοκρασίες κάτω του μηδενός, για να μην παγώσουν. Ο καλός αερισμός δεν επιτρέπει την συσσώρευση του αιθυλενίου και επομένως την ωρίμανση και το μαλάκωμα των καρπών.

Πατάτα

Η πατάτα, σε ορεινές περιοχές, μπορεί να συντηρηθεί αφού γίνει σωρός και τοποθετηθούν μονωτικά υλικά κάτω και πάνω από τον σωρό. Τα φυτικά υπολείμματα και το χιόνι των περιοχών αυτών αποτελεί καλό μονωτικό υλικό.

Η πατάτα αποθηκεύεται χύμα ή τοποθετείται σε σάκους που επιτρέπουν τον καλό αερισμό και αποθηκεύονται στο σκότος για αποφυγή σχηματισμού της σολανίνης (δηλητηριώδες αλκαλοειδές).

Χρειάζεται προσοχή στη θερμοκρασία συντήρησης. Η θερμοκρασία στην αποθήκη ή το ψυγείο δεν πρέπει να πέσει κάτω από τους 4,5°C προς αποφυγή διάσπασης του αμύλου. Άριστη θερμοκρασία συντήρησης θεωρείται μεταξύ των 7,2°C και 10,0°C. Έτσι σε ορεινές περιοχές, όπου συνήθως η αποθήκευση γίνεται σε κοινές αποθήκες, το χειμώνα, όταν η θερμοκρασία είναι χαμηλότερη από την επιθυμητή, η αποθήκη πρέπει να θερμαίνεται. Απαραίτητη προϋπόθεση καλής συντήρησης είναι επίσης ο καλός αερισμός. Βεβαίως η πατάτα συντηρείται και σε ψυγεία όπου ελέγχεται τόσο η θερμοκρασία όσο και η υγρασία.

Καθώς οι πατάτες και τα κρεμμύδια αποτελούν σημαντικά προϊόντα στη χώρα μας τα οποία σε αρκετές περιπτώσεις εισάγονται διότι δεν μπορούν να συντηρηθούν λόγω κακών συνθηκών αποθήκευσης, η αποθήκευση της πατάτας και των κρεμμυδιών θα περιγραφεί εκτενέστερα σε ξεχωριστή ενότητα στο τέλος αυτού του κεφαλαίου.

2.8 Συντήρηση οπωροκηπευτικών σε ψυγεία

Η χρήση της ψύξης ως μέσου συντήρησης των φυτικών οργάνων (λουλουδιών, φρούτων· φύλλων, σπόρων, κονδύλων, ριζωμάτων, βολβών κτλ.), είναι πολύ παλαιά, επιτρέπει δε τη διατήρηση τους σε καλή κατάσταση μετά τη συλλογή. Οι θερμοκρασίες που χρησιμοποιούνται κυμαίνονται συνήθως μεταξύ 0°C και 12°C ανάλογα με το προϊόν.

Για να έχουμε τα καλύτερα αποτελέσματα από την εφαρμογή της ψύξης, θα πρέπει να λάβουμε υπόψη μας την ευαισθησία των φρούτων στις χαμηλές θερμοκρασίες, την ανάγκη εφαρμογής ορισμένων χειρισμών με σκοπό τη βελτίωση της συντήρησης και τέλος την ανάγκη πρόψυξης. Κατά τη συντήρηση με ψύξη, πρέπει να λάβουμε σοβαρά υπόψη μας το είδος του προϊόντος, γιατί όσα προϊόντα αναπνέουν έντονα συντηρούνται δύσκολα, και την ποικιλία η επιλογή της οποίας είναι πρωταρχική. Ορισμένες ποικιλίες φρούτων ή λαχανικών δεν προσαρμόζονται εύκολα στη συντήρηση με ψύξη λόγω της μεγάλης τους ευαισθησίας στις φυσιολογικές ανωμαλίες.

Τα ψυγεία είναι αποθήκες όπου ρυθμίζεται η θερμοκρασία, η υγρασία ή ακόμη και η σύνθεση της ατμόσφαιρας. Δηλαδή, μπορεί να είναι κοινά ψυγεία ή με ελεγχόμενη ατμόσφαιρα, μπορεί να είναι στάσιμα ή κινούμενα αυτοκίνητα ψυγεία, βαγόνια, πλοία, κοντέινερ.

Χρησιμοποιούνται για αποθήκευση συγκεκριμένων προϊόντων (φρούτα, λαχανικά, άνθη, τυριά, κρέατα και άλλα) για σύντομο ή μακρύ χρονικό διάστημα, ανάλογα με το προϊόν και τη χρήση του.

Τα μόνιμα ψυγεία κατασκευάζονται κοντά στους τόπους παραγωγής ή εμπορίας των προϊόντων. Συνήθως τα ψυγεία βρίσκονται πλησίον δρόμων, σιδηροδρομικών σταθμών, λιμανιών και γενικά όπου είναι εύκολη η πρόσβαση μεταφορικών μέσων.

Είναι ανεξάρτητες μονάδες ή αποτελούν υπομονάδα συγκροτήματος, όπως συμβαίνει στις περισσότερες των περιπτώσεων (Διαλογητήρια-Συσκευαστήρια- Ψυγεία, Εργοστάσια κονσερβοποίησης - Ψυγεία).

2.9 Συντήρηση οπωροκηπευτικών σε ψυγεία με ελεγχόμενη ατμόσφαιρα και ψύξη

Επίδραση χαμηλής συγκέντρωσης οξυγόνου στα οπωροκηπευτικά

Η μείωση του οξυγόνου της ατμόσφαιρας είναι επόμενο να επηρεάσει την αναπνευστική δραστηριότητα των οπωροκηπευτικών. Η ζωή στον πλανήτη μας είναι συνυφασμένη με πολύ οξυγόνο και στην πραγματικότητα οι οργανισμοί, φυτικοί και ζωικοί, ζούνε υπό συνθήκες στρες οξυγόνου. Με τη μείωση του O₂, πέρα από την μείωση της αναπνευστικής δραστηριότητας των οπωροκηπευτικών παρατηρούνται τα παρακάτω:

- διατήρηση της οξύτητας
- δεν αποικοδομούνται οι πρωτεΐνες
- επιβραδύνεται το μαλάκωμα της σάρκας
- αναστέλλεται ο σχηματισμός του αιθυλενίου
- επιβραδύνεται σημαντικά η οξειδωση του ασκορβικού οξέως
- δεν καταστρέφονται οι μεμβράνες των κυττάρων
- δεν αναπτύσσονται μερικές φυσιολογικές ασθένειες, όπως το επιφανειακό έγκαυμα στα μήλα.

Επίδραση υψηλής συγκέντρωσης διοξειδίου του άνθρακα στα οπωροκηπευτικά

Το διοξείδιο του άνθρακα ανταγωνίζεται το αιθυλένιο για τους ίδιους υποδοχείς, επίσης αναστέλλει το μαλάκωμα της σάρκας σε ορισμένα φρούτα και την δράση των μυκήτων και βακτηρίων όταν η συγκέντρωση είναι αρκετά υψηλή.

Υπερβολική συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα είναι ευεργετική ή επιζήμια για τα προϊόντα. Για το λόγο αυτό πρέπει να τηρούνται τα όρια ασφαλείας κατά την αποθήκευση των οπωροκηπευτικών, ιδιαίτερα όταν τα όρια δεν ελέγχονται άμεσα, όπως συμβαίνει στην τροποποιημένη ατμόσφαιρα.

2.10 Συντήρηση της πατάτας

Οι πατάτες καλλιεργούνται ως ανοιξιάτικες, ή ως φθινοπωρινές. Οι ανοιξιάτικες πατάτες καλλιεργούνται αποκλειστικά σε πεδινές εκτάσεις και οι κόνδυλοι τους είναι πιο ευαίσθητοι από τις φθινοπωρινές. Οι φθινοπωρινές πατάτες καλλιεργούνται σε πεδινές, ημιορεινές ή ορεινές εκτάσεις. Οι πατάτες, που παράγονται σε ορεινές εκτάσεις, είναι γενικά πιο ανθεκτικές και μπορούν να συντηρηθούν για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα, κυρίως γιατί είναι απαλλαγμένες από ιώσεις και οι προσβολές από μικροοργανισμούς είναι ελάχιστες. Σύμφωνα με στοιχεία της Εθνικής Στατιστικής Υπηρεσίας για το έτος 2005, η συνολική παραγωγή πατάτας στην Ελλάδα ήταν 818000 τόνοι περίπου, από την οποία το 63% παράγεται σε πεδινές εκτάσεις, το 22% σε ημιορεινές εκτάσεις και το 15% σε ορεινές εκτάσεις [ΕΣΥΕ, 2005].

Οι πατάτες μετά τη συγκομιδή τους διατίθενται στην αγορά ως νωπές (για απ' ευθείας κατανάλωση), ή διατίθενται στη βιομηχανία για επεξεργασία (παραγωγή καταψυγμένων τεμαχίων για τηγάνισμα, παραγωγή λεπτών φετών ή παραγωγή κατεψυγμένων φαγητών). Σε όλες τις περιπτώσεις είναι αναγκαίο να συντηρηθούν για μεγάλο χρονικό διάστημα.



2.10.1 Συνθήκες αποθήκευσης της πατάτας.

Οι πατάτες μπορούν να αποθηκευτούν σε σωρούς μέσα στο χώμα, χωρίς έλεγχο του περιβάλλοντος, αλλά και σε ειδικούς υπέργειους χώρους με πλήρη έλεγχο του περιβάλλοντος του αποθηκευτικού χώρου. Κριτήρια της επιτυχούς αποθήκευσης για τη διατήρηση της ποιότητας των κονδύλων είναι η διατήρηση της ξηράς ουσίας τους και η αποφυγή συγκέντρωσης σακχάρων λόγω διάσπασης του αμύλου. Η επιτυχής συντήρησή τους εξαρτάται από τη θερμοκρασία και τη σχετική υγρασία του περιβάλλοντος.

Οι κόνδυλοι μπορούν να συντηρηθούν κατά τη διάρκεια του χειμώνα για 3 έως 5 μήνες, αν παραμείνουν στο χώμα, ή αν τοποθετηθούν σε υπόγειους σωρούς, εφ' όσον οι κόνδυλοι είναι ώριμοι και απαλλαγμένοι από ιώσεις ή από προσβολές εντόμων και μυκήτων. Αν στους υπόγειους σωρούς τοποθετηθούν κόνδυλοι προσβεβλημένοι ή με θερμοκρασία μεγαλύτερη από 25°C, υπάρχει κίνδυνος καταστροφής μεγάλου μέρους της αποθηκευμένης πατάτας. Στις περιπτώσεις αυτές πρέπει να υπάρχει δυνατότητα ρύθμισης του περιβάλλοντος και να γίνεται συχνός έλεγχος της κατάστασης του προϊόντος.

Οι υπέργειες εγκαταστάσεις αποθήκευσης της πατάτας πρέπει να διαθέτουν αρκετά μεγάλο αποθηκευτικό χώρο, ανθεκτική κατασκευή και να εξασφαλίζουν τις κατάλληλες συνθήκες περιβάλλοντος.

2.10.2 Ρύθμιση περιβάλλοντος των αποθηκών πατάτας

Η θερμοκρασία των κονδύλων κατά τη συγκομιδή είναι αρκετά υψηλή και αν αποθηκευτούν αμέσως μετά την εκσκαφή τους θα έχουμε έντονη αναπνοή, ιδίως όταν αποθηκευτούν κόνδυλοι άγουροι, πληγωμένοι ή προσβεβλημένοι από μικροοργανισμούς. Με την έντονη αναπνοή μειώνεται σημαντικά η περιεκτικότητα των σακχάρων. Για το λόγο αυτό η θερμοκρασία των

κονδύλων πρέπει να μειωθεί στους 10 °C μέσα σε 24 ώρες από τη συγκομιδή τους. Η σχετική υγρασία του περιβάλλοντος πρέπει να διατηρηθεί σε επίπεδα υψηλότερα από 90%, για να μην μειωθεί το βάρος τους. Αν πρόκειται να παραμείνουν αποθηκευμένοι για χρονικό διάστημα μεγαλύτερο από ένα μήνα, συνιστάται μία περίοδος σταθεροποίησης, δηλαδή η παραμονή των κονδύλων υπό συνθήκες χαμηλής αναπνοής ώστε να επουλώσουν τις ζημιές από μηχανικά ή βιολογικά αίτια. Η θερμοκρασία του περιβάλλοντος κατά τη διάρκεια της σταθεροποίησης πρέπει να κυμαίνεται από 10 έως 15,6 °C και η σχετική υγρασία από 90 έως 95%. Η χρονική διάρκεια της σταθεροποίησης είναι 10 έως 60 ημέρες.

Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 2.5) παραθέτονται οι συνιστώμενες συνθήκες για βραχυχρόνια αποθήκευση (μικρότερη από τρεις μήνες) και για μακροχρόνια αποθήκευση (μεγαλύτερη από τρεις μήνες) των κονδύλων πατάτας. Θέρμανση των κονδύλων, που διατηρήθηκαν σε χαμηλές θερμοκρασίες, πρέπει να γίνεται σταδιακά



ανυψώνοντας τη θερμοκρασία στους 12,8 έως 18,3°C σε χρονικό διάστημα 1-4 εβδομάδων. Η μεγαλύτερη χρονική περίοδος και οι υψηλότερες θερμοκρασίες συμβάλλουν στην απομάκρυνση των σακχάρων, που συσσωρεύτηκαν κατά τη μακροχρόνια αποθήκευση με χαμηλές θερμοκρασίες. Αν τα σάκχαρα δεν απομακρυνθούν, καραμελοποιούνται στο τηγάνισμα και οι πατάτες παίρνουν σκούρο καφέ χρώμα.

Η σχετική υγρασία του αέρα θέρμανσεως (απόψυξης) πρέπει να είναι χαμηλή, ώστε το σημείο δρόσου του αέρα να είναι χαμηλότερο από τη θερμοκρασία των κονδύλων, για να μη συμπυκνωθούν οι υδρατμοί στις επιφάνειες τους.

Πίνακας 2.5. Συνιστώμενες συνθήκες αποθήκευσης κονδύλων πατάτας.

Σκοπός	Προορισμός	Θερμοκρασία °C	Σχετ. Υγρασία %
Σταθεροποίηση		10,0-15,6	90-95
Βραχυχρόνια αποθήκευση	Νωπή	8,9-10,0	90-95
	Επεξεργασία	8,9	90-95
	Σπόρος	7,2	90-95
Μακροχρόνια αποθήκευση	Νωπή	4,4-5,5	90-95
	Επεξεργασία (Τηγάνισμα)	7,2	90-95
	Επεξεργασία (αφυδάτωση)	5,5	90-95
Επαναθέρμανση	Σπόρος	3,3	90-95
	Επεξεργασία (Τηγάνισμα)	12,8-18,3	40-70

Πηγή: Davis (1980)

Το θερμικό ισοζύγιο για την ψύξη της αποθηκευμένης πατάτας προκύπτει από τον υπολογισμό της ποσότητας θερμότητας, που παράγεται στον αποθηκευτικό χώρο και πρέπει να απομακρυνθεί σε ορισμένο χρονικό διάστημα. Η ολική θερμότητα, που παράγεται μέσα στον αποθηκευτικό χώρο προέρχεται από: α) την ποσότητα θερμότητας που αποδίδεται από τους κονδύλους κατά την ψύξη τους Q_k , β) την αναπνοή των κονδύλων Q_r η οποία εξαρτάται από την ποσότητα, τη θερμοκρασία και τη χρονική διάρκεια αποθήκευσης των κονδύλων, γ) τη μεταφορά θερμότητας από το περιβάλλον μέσω των τοιχωμάτων και της οροφής της αποθήκης Q_c , δ) τη μεταβολή της ενθαλπίας της μάζας του αέρα που μεταφέρεται από το περιβάλλον στον αποθηκευτικό χώρο για τη διεργασία της ψύξης Q_h και ε) διάφορες πηγές, που παράγουν θερμότητα μέσα στον αποθηκευτικό χώρο (λειτουργία μηχανημάτων, φωτισμός κ.ά.), ή μεταφέρουν μικρές ποσότητες θερμότητας στο περιβάλλον (ακτινοβολία, διαρροές αέρα κτλ) Q_i . Οι ποσότητες θερμότητας της κατηγορίας (ε) θεωρούνται αμελητέες.

Η απαιτούμενη ενέργεια, για την επίτευξη των επιθυμητών συνθηκών θερμοκρασίας και υγρασίας, είναι $Q = Q_k + Q_r + Q_c + Q_h + Q_i$, ενώ η απαιτούμενη ενέργεια για τη διατήρηση των επιθυμητών συνθηκών είναι ίση με τις απώλειες της αποθήκης (το θέμα καλύπτεται σε επόμενο κεφάλαιο). Επειδή η συνήθης πρακτική είναι η συνεχής διακίνηση της πατάτας (φόρτωση και εκφόρτωση διαφόρων ποσοτήτων σε διάφορα χρονικά διαστήματα), η ισχύς των ψυκτικών εγκαταστάσεων πρέπει να είναι η μέγιστη απαιτούμενη.

Παράδειγμα

Σε αποθήκη διαστάσεων 10.0 x 2.5 x 8.0 m, (με τοιχώματα από τούβλα πάχους 0.1 m, σοβατισμένα εσωτερικά και εξωτερικά με σουβά πάχους 0.025 m, με οροφή από μπετόν πάχους 0.1 m και σουβά εσωτερικά πάχους 0.025 m και δάπεδο από μπετόν) τοποθετούνται 100 tn πατάτας κάθε δύο ημέρες με μέγιστο ύψος σωρού 6 m.

Δίνεται ότι: $r_i=0.12 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C/W}$ και $r_o=0.03 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C/W}$, η θερμική αγωγιμότητα του σουβά είναι $\lambda_\sigma = 0.75 \text{ W m}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, του τούβλου $\lambda_\tau = 0.70 \text{ W m}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ και για το μπετόν είναι $\lambda_{μπ}=0.79 \text{ W m}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$.

Αν η μέση θερμοκρασία της αποθηκευόμενης πατάτας είναι $T_\pi = 15^\circ\text{C}$, ποια είναι η απαιτούμενη ισχύς των ψυκτικών μηχανημάτων, για θερμοκρασία αποθήκευσης $T_a=10^\circ\text{C}$ και $RH_a=90\%$. Σε αυτή τη θερμοκρασία, πατάτες αποδίδουν με την αναπνοή 0.052 W /kg . Οι μέγιστες τιμές του ατμοσφαιρικού αέρα κατά την περίοδο αποθήκευσης είναι $T_o=20^\circ\text{C}$ και $RH_o=50\%$, και η ειδική θερμότητα της πατάτας είναι $C = 3.43 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$.

Λύση:

α) Η απαιτούμενη ποσότητα θερμότητας για την ψύξη των κονδύλων είναι $Q_k = m c \Delta T/t$. Αντικαθιστώντας $m = 100000 \text{ kg}$, $c = 3,430 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, $\Delta T = 15-10 = 5 \text{ }^\circ\text{C}$ και $t = 3600 * 48 = 172800 \text{ sec}$, υπολογίζεται $Q_k = 9,925 \text{ kW}$.

β) Ο ρυθμός παραγωγής θερμότητας, λόγω της αναπνοής, από το σύνολο της αποθηκευμένης πατάτας είναι (σχ. 6.5):

$$Q_r = 150 \text{ m}^3 * 670 \text{ kg m}^{-3} * 0,052 \text{ W kg}^{-1} = 5,225 \text{ kW}.$$

γ) Η απώλεια θερμότητας λόγω μεταφοράς μέσω των τοιχωμάτων υπολογίζεται από την εξίσωση: $Q_c = A \Delta T / R_{tot}$.

Η συνολική θερμική αντίσταση για τα τοιχώματα είναι:

$$R_{τοιχ} = r_i + 2 \cdot R_{σουβά} + R_{τούβλων} + r_o \Rightarrow$$

$$R = 0.12 + 2 \cdot 0.025/0.75 + 0.1/0.70 + 0.03 = 0.36 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C/W}.$$

$$\text{Η επιφάνεια των τοιχωμάτων είναι: } A_{τοιχ} = 2 \cdot 10 \cdot 8 + 2 \cdot 8 \cdot 2.5 = 200 \text{ m}^2$$

Άρα, οι απώλειες από τα τοιχώματα είναι:

$$Q_{τοιχ} = 200 \cdot 10 / 0.36 = 5.55 \text{ kW}$$

Η συνολική θερμική αντίσταση για την οροφή είναι:

$$R_{ορ} = r_i + R_{σουβά} + R_{μπ} + r_o \Rightarrow$$

$$R = 0.12 + 0.025/0.75 + 0.1/0.79 + 0.03 = 0.31 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C/W}.$$

Η επιφάνεια της οροφής είναι

$$A_{ορ} = 10 \cdot 2.5 = 25 \text{ m}^2$$

Άρα, οι απώλειες από την οροφή είναι:

$$Q_{ορ} = 25 \cdot 10 / 0.31 = 0.86 \text{ kW}$$

και με τον ίδιο τρόπο, οι απώλειες από το έδαφος είναι:

$$Q_{εδ} = 25 \cdot 5 / 0.25 = 0.5 \text{ kW}$$

Άρα, συνολικές απώλειες από την αποθήκη

$$Q_c = 5.5 + 0.86 + 0.5 = 6.9 \text{ kW}$$

δ) Η εισερχόμενη ποσότητα θερμότητας λόγω της μεταβολής της ενθαλπίας του αέρα, ο οποίος καταλαμβάνει τον αποθηκευτικό χώρο, είναι:

$Q_h = m \Delta h$, όπου m = η μάζα του αέρα που διοχετεύεται στη μονάδα του χρόνου.

Αν η ειδική παροχή του αέρα έχει επιλεγεί $0,62 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ tn}^{-1}$, η μέγιστη παροχή είναι $V = (0,62 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ tn}^{-1}) (0,670 \text{ tn m}^{-3}) (150 \text{ m}^3) / 60 = 1,039 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Από τον ψυχομετρικό χάρτη υπολογίζεται ο ειδικός όγκος του ατμοσφαιρικού αέρα $0,84 \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$. Επομένως, η μάζα του αέρα που διοχετεύεται στη μονάδα του χρόνου είναι:

$$m = 1,039 / 0,84 = 1,237 \text{ kg s}^{-1}.$$

Η ενθαλπία του ατμοσφαιρικού αέρα είναι $h_1 = 38 \text{ kJ kg}^{-1}$, ενώ του εσωτερικού χώρου είναι $h_2 = 28 \text{ kJ kg}^{-1}$. Επομένως, $\Delta h = 10 \text{ kJ kg}^{-1}$ και η εισερχόμενη ισχύς είναι:

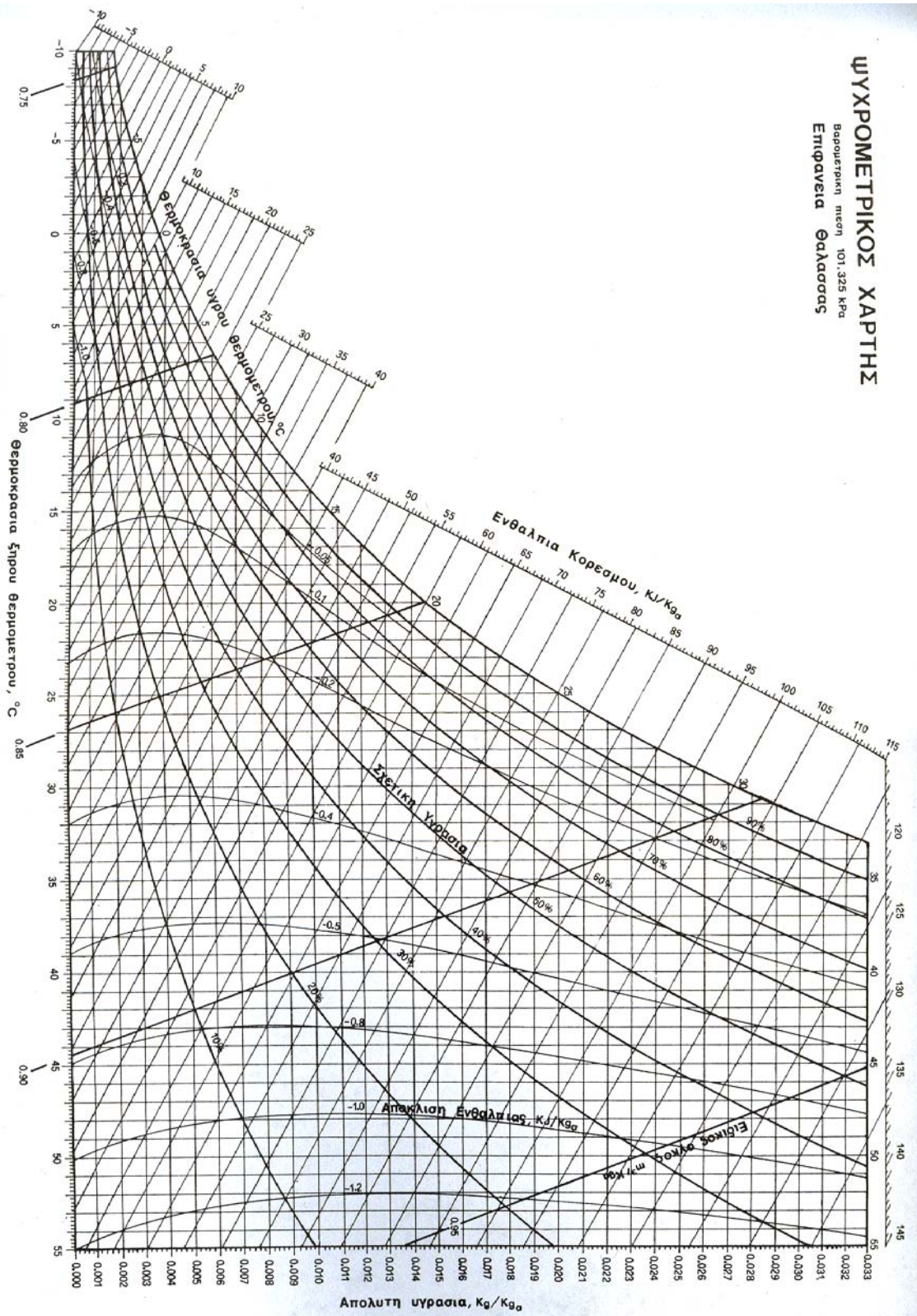
$$Q_h = (1,237) (10) = 12,370 \text{ kW}.$$

Η απαιτούμενη ολική (μέγιστη) ισχύς του ψυκτικού μηχανισμού είναι:

$$Q = 9.925 + 5.225 + 6.9 + 12.37 = 34.42 \text{ kW}.$$

Υπολογίζοντας επιπλέον 15% για λόγους ασφαλείας η αποδιδόμενη ισχύς πρέπει να είναι: $Q = 40 \text{ kW}$

ΨΥΧΡΟΜΕΤΡΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ
 Βαρομετρική πίεση 101,325 kPa
 Επίφανεια Θάλασσας



Σχήμα 2.5. Ψυχομετρικός χάρτης

Η ψύξη του αέρα, που παροχετεύεται στον αποθηκευτικό χώρο μπορεί να γίνει με τρεις τρόπους:

α) Με λειτουργία του φυσητήρα μόνο τις νυκτερινές ώρες, κατά τις οποίες η θερμοκρασία του αέρα είναι χαμηλή και συνήθως η σχετική υγρασία αρκετά υψηλή. Η τεχνική αυτή έχει χαμηλό κόστος, αλλά εφαρμόζεται μόνο σε περιοχές, όπου η θερμοκρασία μειώνεται σε επίπεδα ίσα ή μικρότερα της επιθυμητής θερμοκρασίας.

β) Με διοχέτευση του αέρα μέσα από θάλαμο εξάτμισης νερού. Το κόστος της εγκατάστασης και λειτουργίας είναι μικρό, γιατί αξιοποιείται η λανθάνουσα θερμότητα του εξαμιζόμενου νερού για την ψύξη του αέρα. Η επιτυχία της ψύξης της πατάτας με τον τρόπο αυτό εξαρτάται από τη θερμοδυναμική κατάσταση του ατμοσφαιρικού αέρα και το επίπεδο της επιθυμητής θερμοκρασίας, διότι η ελαχίστη θερμοκρασία που μπορεί να επιτευχθεί είναι η θερμοκρασία του υγρού θερμομέτρου. Με τη μέθοδο αυτή διασφαλίζεται υψηλή σχετική υγρασία του αέρα στον αποθηκευτικό χώρο, γιατί ο ψυχόμενος αέρας είναι κορεσμένος.

γ) Με ψύξη του ατμοσφαιρικού αέρα μέσω εναλλάκτη ψυκτικού μηχανισμού (αντλίας θερμότητας). Το κόστος λειτουργίας των αντλιών θερμότητας είναι αρκετά χαμηλό, όμως το κόστος αρχικής εγκατάστασης είναι πολύ υψηλό, με αποτέλεσμα να επιβαρύνουν πολύ το κόστος συντήρησης του προϊόντος. Για το λόγο αυτό πρέπει να χρησιμοποιούνται στις περιπτώσεις όπου οι δύο προηγούμενες μέθοδοι δεν αποδίδουν ικανοποιητικά αποτελέσματα, είτε λόγω των ατμοσφαιρικών συνθηκών, είτε λόγω του μεγέθους των εγκαταστάσεων.

Σε πολλές περιπτώσεις η χρησιμοποίηση μικτού συστήματος μπορεί να συμβάλει στη μείωση του κόστους. Αν π.χ. αποθηκεύεται φθινοπωρινή πατάτα και ορισμένες νύχτες η θερμοκρασία μειώνεται κάτω από την επιθυμητή, μπορεί να λειτουργήσουν οι φυσητήρες χωρίς ψύξη. Επίσης, την περίοδο αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί η ψύξη με εξάτμιση νερού γιατί η θερμοκρασία του υγρού θερμομέτρου μειώνεται στα επιθυμητά όρια κατά το μεγαλύτερο μέρος της ημέρας. Σε θερμές περιοχές, ή αν αποθηκευτεί ανοιξιόγλυκη πατάτα, η χρήση ψυκτικού μηχανισμού είναι απαραίτητη.

Όταν χρησιμοποιείται ψυκτικός μηχανισμός μπορούν να εξοικονομηθούν σημαντικές ποσότητες ενέργειας, αν γίνει συνδυασμός με εγκατάσταση θαλάμου εξάτμισης.

Στο προηγούμενο παράδειγμα υπολογίστηκε (με ανάγνωση του ψυχομετρικού χάρτη) η διαφορά της ενθαλπίας μεταξύ των καταστάσεων $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\text{RH} = 50\%$ και $T = 9,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\text{RH} = 95\%$, $\Delta h = 10\text{ kJ kg}^{-1}$.

Αν η διεργασία της ψύξης γινόταν από την κατάσταση $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\text{RH} = 50\%$, μέχρι την κατάσταση $T = 11,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\text{RH} = 85\%$ και κατόπιν ο αέρας ψυχόταν με εξάτμιση μέχρι $T = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\text{RH} = 95\%$, η διαφορά της ενθαλπίας θα ήταν $\Delta h = 38 - 29,5 = 8,5\text{ kJ kg}^{-1}$ και η απαιτούμενη ισχύς $Q_h = 10,5\text{ kW}$, δηλαδή μείωση της ενέργειας κατά $3,1\text{ kW}$ ή κατά 23% . Στην περίπτωση αυτή μειώνεται και το κόστος πρώτης εγκατάστασης του ψυκτικού μηχανισμού, γιατί επιλέγεται μηχανήμα μικρότερης ισχύος.

Για τη σωστή λειτουργία και συνεργασία των μηχανισμών που έχουν περιγραφεί, ώστε να δημιουργούν το κατάλληλο περιβάλλον αποθήκευσης με τις μικρότερες δυνατές διακυμάνσεις της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας, πρέπει οι εγκαταστάσεις να είναι πλήρως αυτοματοποιημένες.

Ιδιαίτερη προσοχή χρειάζεται στο σύστημα ελέγχου της σχετικής υγρασίας του αποθηκευτικού χώρου. Οποσδήποτε πρέπει να προβλεφθεί υγραντής για ψεκασμό νερού κοντά στο φυσητήρα όταν η σχετική υγρασία μειωθεί κάτω από 90%.

2.10.3 Τεχνικά χαρακτηριστικά των αποθηκευτικών χώρων πατάτας

Στο παράρτημα 1 παρουσιάζονται οι προδιαγραφές που δίνονται από το ASABE για τις αποθήκες πατάτας και γίνονται υπολογισμοί των φορτίων που ασκούνται στα τοιχώματα των αποθηκών.

Η απαιτούμενη χωρητικότητα (όγκος) της αποθήκης είναι περίπου $1,6 \text{ m}^3$ ανά τόνο πατάτας. Το φαινόμενο ειδικό βάρος του σωρού υπολογίζεται 670 kg m^{-3} ($6,6 \text{ kN m}^{-3}$).

Το κέντρο του φορτίου βρίσκεται σε απόσταση $H/3$ από το δάπεδο. Το μέγιστο βάθος του σωρού δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερο από 5 - 6 m.

Ο σχεδιασμός του καταλλήλου συστήματος διανομής του αέρα είναι ουσιαστικός παράγοντας για τη δημιουργία των επιθυμητών συνθηκών του περιβάλλοντος του αποθηκευτικού χώρου. Ένας ή περισσότεροι φυσητήρες παροχετεύουν τον αέρα στο σωρό των κονδύλων μέσω αγωγών, οι οποίοι τον κατανέμουν στο διάτρητο ψευδοπάτωμα. Η επιθυμητή παροχή και η θερμοκρασία του αέρα εξαρτώνται από τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των κονδύλων και του ατμοσφαιρικού αέρα. Κατά τη διάρκεια της μείωσης της θερμοκρασίας των κονδύλων απαιτούνται μεγάλες παροχές αέρα και χαμηλές θερμοκρασίες, ενώ για τη διατήρηση των επιθυμητών συνθηκών του περιβάλλοντος είναι αρκετός ο αερισμός με τις κατάλληλες καταστατικές συνθήκες του αέρα.

Για ομοιόμορφη κατανομή του αέρα, ο λόγος του μήκους (L) των αγωγών προς τη διάμετρο (D) πρέπει να κυμαίνεται στα όρια $40 < L/D < 80$, ενώ η ισαποχή των αξόνων των αγωγών να είναι 2,5 m. Για τη μείωση των απωλειών λόγω τριβών η ταχύτητα του αέρα στους αγωγούς δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 7 m s^{-1} . Η πτώση της στατικής πίεσης στο σωρό της πατάτας δεν είναι σημαντική. Υπολογίζεται ότι για βάθος σωρού 6 m και ειδική παροχή του αέρα $0,31-0,62 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ tn}^{-1}$ ($0,2-0,4 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ m}^{-3}$), η μέγιστη πτώση της στατικής πίεσης είναι 12,5 Pa, εφ' όσον οι κόνδυλοι είναι καθαροί. Επομένως, για την επιλογή του καταλλήλου φυσητήρα, η χαρακτηριστική καμπύλη του συστήματος πρέπει να βασιστεί στον προσδιορισμό των απωλειών λόγω της πτώσης της πίεσης μέσα στους αγωγούς.

2.11 Συντήρηση κρεμμυδιών

Στην Ελλάδα παράγονται περίπου 200000 τόνοι βολβών κρεμμυδιών, από τους οποίους το 57% παράγεται σε πεδινές εκτάσεις, το 28% σε ημιορεινές και μόλις το 15% σε ορεινές εκτάσεις [ΕΣΥΕ, 2005]. Όλη η παραγωγή προωθείται στην αγορά χωρίς ιδιαίτερη φροντίδα κατά την αποθήκευση των βολβών, με αποτέλεσμα να διατίθενται μεγάλες ποσότητες κρεμμυδιών ποιοτικά υποβαθμισμένων (βολβοί τραυματισμένοι, φυτρωμένοι, συρρικνωμένοι, προσβεβλημένοι από έντομα ή μύκητες, αλλοιωμένο χρώμα κλπ), ιδίως στο τέλος του ετησίου κύκλου καλλιέργειας τους, δηλαδή πριν από τη συγκομιδή της νέας σοδειάς. Η έλλειψη εγκαταστάσεων συντήρησης των βολβών δημιουργεί συνθήκες ανωμαλίας στην τροφοδοσία της αγοράς με

προϊόν σταθερής ποιότητας, οπότε παρατηρούνται μεγάλες διακυμάνσεις από χρονιά σε χρονιά τόσο στην επάρκεια κρεμμυδιών όσο και στις τιμές.

2.11.1 Συνθήκες αποθήκευσης των κρεμμυδιών

Οι απώλειες κατά την αποθήκευση των κρεμμυδιών εξαρτώνται από την κατάσταση των αποθηκευμένων βολβών, τις συνθήκες του περιβάλλοντος των αποθηκευτικών χώρων, τις ατμοσφαιρικές συνθήκες κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης και τις καλλιεργητικές φροντίδες για την παραγωγή των κρεμμυδιών.

Οι βολβοί μπορούν να τοποθετηθούν μέσα στους αποθηκευτικούς χώρους σε σωρούς, σε τελάρα ή σε σάκους. Η χρησιμοποίηση τελάρων διευκολύνει τη διαχείριση μεγάλων ποσοτήτων (φόρτωση, εκφόρτωση, μεταφορά), αλλά δημιουργεί τεχνικά προβλήματα στην κατανομή του αέρα. Η τοποθέτηση σε σάκους διευκολύνει τους χειρισμούς, αλλά και την κατανομή του αέρα, αν τοποθετηθούν πάνω στους αγωγούς διανομής του αέρα έτσι, ώστε να μην υπάρχουν κενά διαφυγής του αέρα μεταξύ των σάκων και να εξαναγκάζεται να διέρχεται μέσα από όλη τη μάζα των κρεμμυδιών.

Το φαινόμενο ειδικό βάρος των κρεμμυδιών, που τοποθετούνται χύμα σε σωρό, είναι περίπου 640 kg m^{-3} [Davis, 1980], επομένως, ο ελάχιστος απαιτούμενος αποθηκευτικός χώρος είναι $1,56 \text{ m}^3 \text{ tn}^{-1}$. Αν οι βολβοί τοποθετηθούν σε σάκους ή τελάρα, πρέπει να υπολογιστεί μεγαλύτερος χώρος για την ίδια ποσότητα.

Οι πλευρικές πιέσεις του σωρού στα τοιχώματα είναι ίδιες περίπου με αυτές που είδαμε για τις πατάτες (πάρτημα 1). Επειδή όμως η αντοχή τους στη σύνθλιψη είναι μικρότερη, το μέγιστο ύψος τους δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 3 m. Επίσης, η τραχύτητα των επιφανειών των κρεμμυδιών είναι μεγαλύτερη απ' ό,τι των επιφανειών της πατάτας, οπότε οι τριβές του αέρα είναι μεγαλύτερες και η πτώση της στατικής πίεσης πρέπει να λαμβάνεται μεγαλύτερη. Η απώλεια φορτίου υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$\Delta P = k Q_v H$$

όπου ΔP = πτώση της στατικής πίεσης, Pa, Q_v = ειδική παροχή του αέρα, $\text{m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ m}^{-3}$, H = ύψος του σωρού, m, k = σταθερά, $27,2 \text{ Pa min}^{-1} \text{ m}^{-3}$. Οι συνιστώμενες τιμές της ειδικής παροχής του αέρα φαίνονται στον Πίνακα 2.6.

Πίνακας 2.6. Συνιστώμενη ειδική παροχή του αέρα για κρεμμύδια

Μέθοδος	Θερμοκρασία °C	Ειδική παροχή $\text{m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ tn}^{-1}$	$\text{m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ m}^{-3}$
Συνεχής λειτουργία για ξήρανση των επιφανειών ή σταθεροποίηση ανώριμων βολβών	< 35	3,1	2,00
Ψύξη με διακοπτόμενη λειτουργία	> 0	3,1	2,00
Ψύξη με συνεχή λειτουργία		1,6	1,00
Διατήρηση συνθηκών με διακοπτόμενη λειτουργία	< 4,5	1,6	1,00
Διατήρηση συνθηκών με συνεχή λειτουργία		0,4	0,25

πηγή: Davis [1980]

Στις περιπτώσεις που η αποθήκευση γίνεται σε τελάρα, τα τεχνικά χαρακτηριστικά αποθήκευσης (φορτία, διάταξη διανομής του αέρα, πτώση της

στατικής πίεσης) είναι διαφορετικά. Τα ανοίγματα των αγωγών του δαπέδου πρέπει να αντιστοιχούν στους σωρούς των τελάρων, ενώ μεταξύ των τελάρων πρέπει να είναι κλειστοί, για να μη διαφεύγει ο αέρας.

2.11.2 Ρύθμιση περιβάλλοντος

Όταν οι βολβοί εξαχθούν από το έδαφος, συνήθως παραμένουν στο χωράφι επί μερικές ημέρες για να στεγνώσουν οι επιφάνειες τους, να ξηραθούν τα τυχόν πράσινα φύλλα στο λαιμό του βολβού και να επουλωθούν οι τραυματισμοί από τα μηχανήματα (σταθεροποίηση). Οι καιρικές συνθήκες την περίοδο συγκομιδής (Αύγουστος - Σεπτέμβριος) συνήθως είναι καλές για να επιτρέψουν αυτή τη διαδικασία. Τις βροχερές όμως χρονιές, αλλά και στις περιπτώσεις όπου απαιτείται η έγκαιρη απελευθέρωση του χωραφιού για την προετοιμασία του για την επόμενη καλλιέργεια, η διαδικασία ξήρανσης και σταθεροποίησης γίνεται με ελεγχόμενες συνθήκες μέσα στην αποθήκη.

Ξήρανση - Σταθεροποίηση. Η θερμοκρασία του αέρα πρέπει να είναι χαμηλότερη από 35°C και η σχετική υγρασία μικρότερη από 70%. Η συνιστώμενη ειδική παροχή είναι 2 m³ min⁻¹ m⁻³. Με τις συνθήκες αυτές διασφαλίζεται η ταχεία απομάκρυνση της υγρασίας, αποφεύγεται η συμπύκνωση των υδρατμών στις επιφάνειες και οι ανώριμοι ή πληγωμένοι βολβοί σταθεροποιούνται σε σύντομο χρονικό διάστημα (λίγες ώρες με θερμαινόμενο αέρα ή 2-3 ημέρες με μη θερμαινόμενο αέρα).

Ψύξη. Μετά την περίοδο ξήρανσης-σταθεροποίησης οι βολβοί ψύχονται σταδιακά με ρυθμό 6°C ανά μήνα μέχρι τους 0°C. Η θερμοκρασία του αέρα ψύξης πρέπει να είναι μικρότερη από τη θερμοκρασία των βολβών κατά 3°C περίπου. Όταν υπάρχει ψυκτική εγκατάσταση η συνιστώμενη ειδική παροχή είναι 1 m³ min⁻¹ m⁻³ με συνεχή λειτουργία. Αν κατά το στάδιο της ψύξης επικρατούν κατάλληλες θερμοκρασίες του ατμοσφαιρικού αέρα επί ορισμένες ώρες της ημέρας, μπορεί ο φυσητήρας να εργάζεται διακοπτόμενα με ειδική παροχή 2 m³ min⁻¹ m⁻³. Αν η θερμοκρασία του ατμοσφαιρικού αέρα είναι χαμηλότερη από την επιθυμητή, μπορεί να αναμιχθεί με τον εσωτερικό αέρα. Για την επίτευξη των επιθυμητών συνθηκών πρέπει να υπάρχουν αυτοματισμοί ελέγχου και ρύθμισης των θερμοκρασιών.

Διατήρηση των συνθηκών αποθήκευσης. Όταν οι βολβοί ψυχθούν, μπορούν να διατηρηθούν για μεγάλο χρονικό διάστημα με θερμοκρασία περιβάλλοντος 0°C και σχετική υγρασία μεταξύ 60 και 70%. Αν δεν υπάρχει ψυκτική εγκατάσταση, είναι δύσκολη η διατήρηση των 0°C. Στην περίπτωση αυτή οι βολβοί μπορούν να συντηρηθούν ικανοποιητικά, αν η θερμοκρασία δεν υπερβεί τους 4,5°C. Ας σημειωθεί ότι πρέπει να αποφεύγονται οι μεγάλες διακυμάνσεις της θερμοκρασίας, για να μη διακοπεί ο λήθαργος και φυτρώσουν οι βολβοί. Η συνιστώμενη ειδική παροχή στο στάδιο της διατήρησης είναι 0,25 m³ min⁻¹ m⁻³ για συνεχή λειτουργία και 1 m³ min⁻¹ m⁻³ για διακοπτόμενη λειτουργία. Όταν το σημείο δρόσου του ατμοσφαιρικού αέρα είναι υψηλότερο από τη θερμοκρασία των βολβών, δεν πρέπει να διοχετεύεται στην αποθήκη, για να μη συμπυκνωθούν οι υδρατμοί.

Όταν οι βολβοί εξάγονται από την αποθήκη, υπάρχει πάντοτε ο κίνδυνος συμπύκνωσης της ατμοσφαιρικής υγρασίας, εφ' όσον η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των βολβών και του ατμοσφαιρικού αέρα είναι μεγάλη.

Η εξαγωγή πρέπει να γίνεται όταν το σημείο δρόσου του ατμοσφαιρικού αέρα είναι μικρότερο από τη θερμοκρασία των βολβών. Αν π.χ. η θερμοκρασία των βολβών είναι 5°C, η θερμοκρασία του ατμοσφαιρικού αέρα 13°C και η σχετική υγρασία του αέρα μεγαλύτερη από 60%, οι υδρατμοί θα συμπυκνωθούν στις επιφάνειες των βολβών. Για να αποφευχθούν τέτοιες καταστάσεις, καλό είναι τα κρεμμύδια να παραμείνουν σε μη ψυχόμενο χώρο, για εξισορρόπηση, πριν έρθουν σε επαφή με τον ατμοσφαιρικό αέρα.

Ο προσδιορισμός των αποδιδόμενων ποσοτήτων θερμότητας κατά τη διάρκεια των διαφόρων διεργασιών και της ολικής απαιτούμενης ισχύος μπορεί να γίνει με τον τρόπο, που υποδεικνύεται στο παράδειγμα 6.1 για τις πατάτες. Η ειδική θερμότητα των κρεμμυδιών είναι 3,81 kJ kg⁻¹ °C⁻¹ και η αναπτυσσόμενη θερμότητα κατά την αναπνοή υπολογίστηκε 0,0118 W kg⁻¹ σε 0°C και 0,0252 W kg⁻¹ σε 10°C.

Κεφάλαιο 3 Ξήρανση διαφόρων γεωργικών προϊόντων

Σε κάποια γεωργικά προϊόντα μεγάλων καλλιεργειών (καπνά) ή καρπούς δένδρων (σταφίδα, σύκα, δαμάσκηνα κ.ά.), η ξήρανση δεν αποτελεί απλή διεργασία αφαίρεσης της υγρασίας, αλλά συνδέεται με διάφορες βιοχημικές διεργασίες, από τις οποίες εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό η ποιότητα του τελικού προϊόντος. Στα προϊόντα αυτά σημαντικό ρόλο διαδραματίζει η μετασυλλεκτική φυσιολογία του καρπού ή άλλου τμήματος του φυτού, που συλλέγεται, η οποία είναι πέρα από τους στόχους του παρόντος μαθήματος, διότι αποτελεί χωριστή επιστήμη [Σφακιωτάκης, 1989].

Στο κεφάλαιο αυτό θα παρατεθούν μέθοδοι και μέσα για την ξήρανση και αποθήκευση ορισμένων προϊόντων με έμφαση στα τεχνικά χαρακτηριστικά τους. Επίσης, θα περιγραφούν τα επικρατέστερα τεχνικά μέσα ξήρανσης και αποθήκευσης τους.

3.1 Ξήρανση καπνού

3.1.1 Γενικά

Ο καπνός αποτελεί μία από τις πλέον εντατικές καλλιέργειες. Υπολογίζεται ότι το εισόδημα των Ελλήνων γεωργών από την καλλιέργεια του καπνού, είναι 5 έως 10 φορές μεγαλύτερο απ' ό,τι από τα άλλα γεωργικά φυτά, που μπορούν να καλλιεργηθούν στα ίδια χωράφια. Στην Ελλάδα, σύμφωνα με στοιχεία της ΕΣΥΕ για το 2005, καλλιεργούνται κάθε χρόνο περίπου 650000 στρέμματα καπνών ανατολικού τύπου, Μπέρλεϋ και Βιρτζίνια, δηλαδή το 2% περίπου της συνολικής καλλιεργήσιμης γης και παράγονται περίπου 130000 τόνοι καπνού [ΕΣΥΕ, 2005], με το μεγαλύτερο μέρος της παραγωγής να εξάγεται. Επομένως, η καλλιέργεια του καπνού έχει ιδιαίτερη οικονομική σημασία τόσο για τους καπνοκαλλιεργητές όσο και για την εθνική οικονομία. Τα δεδομένα βέβαια αυτά έχουν αλλάξει αρκετά τα τελευταία χρόνια, ιδιαίτερα μετά την εφαρμογή της νέας ΚΑΠ και στη χώρα μας.

Τα καλλιεργούμενα είδη καπνού κατατάσσονται με διάφορα κριτήρια, τα οποία προσδιορίζουν τις ιδιότητες του τελικού προϊόντος. Τα κριτήρια αυτά είναι η ποικιλία, το καλλιεργητικό περιβάλλον (περιοχή καλλιέργειας) και ο τρόπος ξήρανσης. Η διαδικασία ξήρανσης των φύλλων του καπνού είναι καθοριστικής σημασίας για την ποιότητα του τελικού προϊόντος. Αν οι συνθήκες θερμοκρασίας, υγρασίας και αερισμού μεταβληθούν κατά τη διάρκεια της ξήρανσης, η ποιότητα του τελικού προϊόντος θα μεταβληθεί σημαντικά, γιατί οι παράμετροι αυτές κατευθύνουν διάφορες φυσικές και βιοχημικές διεργασίες, οι οποίες προσδιορίζουν τις οργανοληπτικές ιδιότητες του καπνού [Σφήκας, 1988]. Επομένως, ο τρόπος ξήρανσης προσδιορίζει την ποιότητα της παραγόμενης πρώτης ύλης για την καπνοβιομηχανία. Με βάση τη διεργασία ξήρανσης διακρίνονται τέσσερις κατηγορίες καπνών:

Καπνά ηλιοξηραίνόμενα. Στην κατηγορία αυτή υπάγονται τα καπνά ανατολικού τύπου, με μικρό σχετικά μέγεθος φύλλων.

Καπνά αεροξηραίνόμενα. Στην κατηγορία αυτή υπάγονται τα καπνά τύπου Burley και Maryland, με μέσο έως μεγάλο μέγεθος φύλλων.

Καπνά θερμοξηραίνόμενα. Στην κατηγορία αυτή υπάγονται τα καπνά τύπου Virginia και Amarello, με μεγάλο μέγεθος φύλλων.

Καπνά πυροξηραίνόμενα. Η ξήρανση γίνεται σε φούρνους, στους οποίους καίγονται ξύλα ορισμένων δένδρων, για να προσδώσουν ειδικό άρωμα στα

φύλλα του καπνού. Συνήθως χρησιμοποιούνται καπνά τύπου Virginia για παραγωγή καπνού πίπας ή μασήματος.

Η διεργασία ξήρανσης και αποθήκευσης των καπνών παρουσιάζει μεγάλη ποικιλομορφία, γιατί καλλιεργείται μεγάλος αριθμός τύπων καπνού σε μεγάλο εύρος κλιματικών συνθηκών. Επίσης, κατά τη διάρκεια της ξήρανσης και αποθήκευσης τα φύλλα υφίστανται διάφορες φυσικές και βιοχημικές μεταβολές, οι οποίες προσδιορίζουν το χρώμα, το άρωμα και τις οργανοληπτικές ιδιότητες του τελικού προϊόντος. Για να επιτευχθεί η επιθυμητή ποικιλία οργανοληπτικών χαρακτηριστικών, εφαρμόζονται διάφορες τεχνικές ξήρανσης και αποθήκευσης. Ανάλυση των πολύπλοκων αυτών φαινομένων και λεπτομέρειες που αφορούν την ποιότητα του καπνού αναφέρονται σε ειδικά βιβλία [Σφήκας, 1988], όπου υπάρχει εκτεταμένη βιβλιογραφία. Στο κεφάλαιο αυτό θα περιγραφούν τεχνικά στοιχεία που αφορούν την ξήρανση και αποθήκευση του καπνού.

3.1.2 Συστήματα ξήρανσης καπνού

Καπνά θερμοξηραίνόμενα - τύπου Virginia

Τα καπνά τύπου Virginia ξηραίνονται σε ειδικά ξηραντήρια με μονωμένα τοιχώματα και μικρά ανοίγματα (θυρίδες) στο πάνω και κάτω μέρος της πρόσοψης και του πίσω τοιχώματος. Επίσης, στα ξηραντήρια αυτά υπάρχει πάντοτε θερμαντική πηγή (καυστήρας πετρελαίου, προπανίου ή φυσικού αερίου). Με τις κατασκευές αυτές επιτυγχάνεται μεγάλο εύρος μεταβολών της θερμοκρασίας και της υγρασίας στο εσωτερικό του ξηραντηρίου. Η ακριβής ρύθμιση της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας για μεγάλο χρονικό διάστημα είναι καθοριστικής σημασίας για την επίτευξη της επιθυμητής ποιότητας του τελικού προϊόντος. Οι συνήθεις διαστάσεις των ξηραντηρίων είναι 3 m πλάτος, 3 m ύψος, ενώ το μήκος κυμαίνεται από 3 έως 12 m ανάλογα με την απαιτούμενη χωρητικότητα. Η επιλογή του καταλλήλου μεγέθους ξηραντηρίου έχει ιδιαίτερη σημασία, γιατί σε κάθε ξήρανση πρέπει ο θάλαμος να είναι πλήρης. Μέσα στο θάλαμο του ξηραντηρίου υπάρχουν οριζόντια δοκάρια ισαποχής 0,50 m (κατά την κατακόρυφο). Στα σύγχρονα ξηραντήρια, τα οριζόντια δοκάρια είναι μεταλλικά, ώστε να αποτελούν οδηγούς στους οποίους ολισθαίνουν μεταλλικά πλαίσια. Τα φύλλα τοποθετούνται χύμα μέσα στα πλαίσια όσο το δυνατό πιο ομοιόμορφα και συγκρατούνται στη θέση τους με μεταλλικές βελόνες μεγάλου μήκους, οι οποίες διαπερνούν τη μάζα των φύλλων σε διάφορα σημεία. Με τη μέθοδο αυτή μειώνεται σημαντικά το κόστος ξήρανσης, γιατί με τη χρήση των πλαισίων δεν απαιτείται αρμάθιασμα, ενώ μεταφέρονται εύκολα μεγάλες ποσότητες φύλλων και επιταχύνεται το γέμισμα και άδειασμα του ξηραντηρίου. Η μέγιστη συνιστώμενη πυκνότητα των φύλλων είναι 240 kg m^{-3} .

Κάθε γέμισμα του ξηραντηρίου πρέπει να γίνεται με φύλλα ομοιόμορφου βαθμού ωρίμανσης, για να επιτευχθεί καλύτερο τελικό προϊόν. Για το λόγο αυτό η συγκομιδή γίνεται σε πολλά χέρια (5-7 χέρια) και σε κάθε χέρι αποσπώνται 2-4 φύλλα. Αν η συγκομιδή επιταχυνθεί, με σκοπό τη μείωση του κόστους ξήρανσης (π.χ. αποσπώνται περισσότερα φύλλα σε κάθε χέρι), ή αν συγκομιστεί μία ποσότητα άγουρων φύλλων για συμπλήρωση του ξηραντηρίου (εφόσον τα ώριμα φύλλα δεν επαρκούν για το γέμισμα του), τα

πιο πράσινα φύλλα τοποθετούνται προς την πλευρά εξόδου του αέρα από τη μάζα τους, όπου επικρατούν χαμηλότερες θερμοκρασίες και υψηλότερες σχετικές υγρασίες, ώστε να επιβραδυνθεί η ξήρανση τους. Αντίθετα, τα ώριμα φύλλα τοποθετούνται προς την πλευρά εισόδου του αέρα.

Η ξήρανση πραγματοποιείται σε τρία διαδοχικά στάδια, όπως και στα άλλα καπνά, αλλά εδώ οι τιμές της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας, που επικρατούν σε κάθε στάδιο, κυμαίνονται σε στενά όρια. Επίσης, η μετάβαση από το ένα στάδιο στο άλλο πρέπει να γίνεται βαθμιαία. Επομένως, η θερμοκρασία και η σχετική υγρασία πρέπει να ελέγχονται με ακρίβεια και να ρυθμίζονται έτσι, ώστε να μεταβάλλονται κατά ορισμένα χρονικά διαστήματα. Για το συνεχή έλεγχο των συνθηκών ξήρανσης, τα ξηραντήρια αυτά διαθέτουν αυτοματισμούς, οι οποίοι διασφαλίζουν ομοιόμορφες συνθήκες θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας σε όλα τα σημεία του χώρου ξήρανσης μέσω της κυκλοφορίας του αέρα. Η ρύθμιση της σχετικής υγρασίας γίνεται με βαθμιαίο άνοιγμα ή κλείσιμο των θυρίδων, ώστε να αναμιγνύεται ο αέρας του περιβάλλοντος με τον εσωτερικό αέρα και να δημιουργούν μίγμα με τις επιθυμητές θερμοδυναμικές ιδιότητες. Η ρύθμιση της θερμοκρασίας γίνεται με το ανάμα ή σβήσιμο του καυστήρα.

Υπάρχουν δύο τύποι ξηραντηρίων ως προς τη φορά κυκλοφορίας του αέρα. Τα ξηραντήρια ανοδικής κινήσεως του αέρα και τα ξηραντήρια καθοδικής κινήσεως τον αέρα. Ο πιο συνηθισμένος είναι ο τύπος ανοδικής κινήσεως. Υπάρχουν σημαντικές διαφορές ως προς τις απαιτούμενες συνθήκες ξήρανσης στους δύο αυτούς τύπους. Εκτός από το διαφορετικό τρόπο τοποθέτησης των φύλλων ανάλογα με το βαθμό ωριμότητας, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, διαφέρουν τα όρια διακύμανσης των θερμοκρασιών και σε ορισμένες περιπτώσεις διαφέρει η χρονική διάρκεια κάθε σταδίου ξήρανσης. Οι οδηγίες του κατασκευαστή και η εμπειρία του παραγωγού είναι τα ασφαλέστερα κριτήρια για την επιτυχή ξήρανση των καπνών τύπου

Διαδικασία ξήρανσης. Όταν το ξηραντήριο γεμίσει με τα φύλλα και διαπιστωθεί ότι είναι ομοιόμορφα κατανεμημένα στο χώρο, κλείνουν οι πόρτες για να αρχίσει η ξήρανση. Αν τοποθετηθούν φύλλα μετά από βροχή ή με συμπυκνωμένη υγρασία στην επιφάνεια τους (δρόσος), καλό είναι να τεθεί σε λειτουργία ο φυσητήρας (χωρίς θέρμανση) με τις θυρίδες εντελώς ανοικτές, ώστε να στεγνώσουν οι επιφάνειες. Έτσι αποφεύγεται τυχόν προσβολή από μικροοργανισμούς, που προκαλούν σήψη. Η διαδικασία αυτή μπορεί να διαρκέσει 12-48 ώρες. Όταν τα φύλλα είναι στεγνά και δροσερά κλείνουν οι θυρίδες και ανάβει ο καυστήρας. Η ανύψωση της θερμοκρασίας πρέπει να γίνεται βαθμιαία. Τα διαδοχικά βήματα ανύψωσης της θερμοκρασίας δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερα από $2,8^{\circ}\text{C h}^{-1}$. Όταν η θερμοκρασία φτάσει στους 38°C αρχίζει το πρώτο στάδιο ξήρανσης.

Οι κατάλληλες συνθήκες για την επιτυχία της επιθυμητής ποιότητας των φύλλων στη χώρα μας απορρέουν από την εμπειρία του παραγωγού.

- Στάδιο κιτρινίσματος.

Διαρκεί 24-48 ώρες με θερμοκρασία $38\pm 3^{\circ}\text{C}$ και σχετική υγρασία 80-90%. Η ρύθμιση του περιβάλλοντος γίνεται με το μερικό άνοιγμα ή κλείσιμο των θυρίδων, μέσω μηχανισμών και αυτοματισμών. Στο στάδιο αυτό τα φύλλα κιτρινίζουν ή μπορεί να έχουν πολύ ελαφρό (ανοιχτόχρωμο) πράσινο χρώμα.

- Στάδιο ξήρανσης τον ελάσματος των φύλλων.

Στο στάδιο αυτό επιδιώκεται σταθεροποίηση του χρώματος. Η θερμοκρασία ανυψώνεται στους 57 °C με παράλληλη μείωση της σχετικής υγρασίας, ώστε να μη συμβούν έντονες οξειδώσεις των χρωστικών και να διατηρηθεί το κίτρινο χρώμα. Η μείωση της σχετικής υγρασίας επιτυγχάνεται με άνοιγμα των θυρίδων. Η αύξηση της θερμοκρασίας γίνεται βαθμιαία με ρυθμό 1-2 °C h⁻¹ και όταν φτάσει τους 49 °C, η θυρίδα ανοίγει αρκετά, ώστε η θερμοκρασία του υγρού θερμομέτρου να είναι 38°C (σχετική υγρασία 50%) για 24 ώρες περίπου. Στη συνέχεια το άνοιγμα των θυρίδων ρυθμίζεται έτσι, ώστε στην υπόλοιπη διάρκεια του σταδίου αυτού η θερμοκρασία του υγρού θερμομέτρου να κυμαίνεται μεταξύ 38 και 40,5°C, ενώ η θερμοκρασία του ξηρού θερμομέτρου ανέρχεται στους 57-60°C. Η συνολική διάρκεια του σταδίου αυτού είναι 36-48 ώρες.

- Στάδιο ξήρανσης των νευρώσεων.

Μετά το τέλος του προηγούμενου σταδίου η θερμοκρασία ανέρχεται κατά 1-2 °C h⁻¹ μέχρι τους 74-77 °C, για να ξηραθούν οι μίσχοι και οι κεντρικές νευρώσεις των φύλλων. Η σχετική υγρασία μειώνεται στο 10-15% (θερμοκρασία υγρού θερμομέτρου 43°C περίπου) με άνοιγμα των θυρίδων επί 6-12 ώρες. Κατόπιν κλείνουν οι θυρίδες εντελώς για εξοικονόμηση ενέργειας. Η θερμοκρασία του ξηρού θερμομέτρου διατηρείται σταθερή μέχρι το τέλος της ξήρανσης και δεν πρέπει να υπερβεί τους 77 °C για να μην καραμελοποιηθούν τα σάκχαρα, που σημαίνει ότι τα φύλλα θα κοκκινίσουν. Η κατανάλωση ενέργειας για την ολοκλήρωση της ξήρανσης υπολογίστηκε σε 0,77-0,85 MJ kg⁻¹ πράσινων φύλλων (Cuntiff and Dodd, 1981). Μετά το τέλος της ξήρανσης τα φύλλα συσκευάζονται και αποθηκεύονται μέχρι τη χρονική στιγμή της πώλησής τους.

Στο παράρτημα 2 δίνονται περισσότερα στοιχεία για το χρονοδιάγραμμα ξήρανσης που θα πρέπει να ακολουθηθεί.

3.2 *Ξήρανση νωπών προϊόντων (οπωροκηπευτικών).*

Παράρτημα 3

3.3 *Ξήρανση σιτηρών*

Παράρτημα 4

Κεφάλαιο 4 Σχεδιασμός και κατασκευή θαλάμων αποθήκευσης – συντήρησης - ψύξης

4.1 Υπολογισμός απωλειών

Ο υπολογισμός απωλειών θερμότητας ενός θαλάμου αποθήκευσης παρουσιάζεται στο παράρτημα 5.

4.2 Θάλαμοι αποθήκευσης

Οι θάλαμοι είναι κτίσματα μόνιμα, σε αρκετές περιπτώσεις μεταλλικής κατασκευής ή συναρμολογούμενα (με κατάλληλη μόνωση), μεγάλου ή μικρού μεγέθους (χωρητικότητας).

Τα τοιχώματα του θαλάμου είναι συνήθως διπλά και τα μονωτικά τοποθετούνται ανάμεσα.

Η θερμική μόνωση είναι βασικής σημασίας για την ομαλή και οικονομική λειτουργία του ψυγείου και επιτυγχάνεται με διάφορα υλικά, όπως φελιζόλ, υαλοβάμβακα, πολυουρεθάνη ή άλλα.

Οι θάλαμοι των περισσότερων ψυγείων στη χώρα μας στο παρελθόν ήταν κατασκευασμένοι με τούβλα (πλινθοδομή), τα οποία ήταν καλυμμένα με μία λεπτή στρώση από τσιμέντο. Το εσωτερικό των θαλάμων καθώς και του κεντρικού διαδρόμου που επικοινωνεί με αυτούς είναι επενδεδυμένο με διογκωμένη πολυουρεθάνη.

Η σύγχρονη τεχνική κατασκευής των ψυγείων είναι επένδυση των τοίχων εσωτερικά με προκατασκευασμένα τοιχώματα, χωρίς να είναι απαραίτητη η πλινθοδομή.



Τα νέα τοιχώματα των θαλάμων αποτελούνται από δύο μεταλλικά φύλλα στο μέσο των οποίων έχει γίνει έγχυση διογκωμένης πολυουρεθάνης (εξού

και το όνομα σάντουιτς) και η ένωση τους γίνεται με ειδικό μηχανισμό που εξασφαλίζει την απαραίτητη μηχανική αντοχή, σταθεροποίηση καθώς και την απαραίτητη στεγανότητα. Με τη συναρμολόγηση πολλών φύλλων κατασκευάζονται οι πλευρές και η οροφή των θαλάμων. Η στεγανότητα επιτυγχάνεται με την τοποθέτηση ειδικών στεγανωτικών ουσιών στους αρμούς.

Ιδιαίτερη φροντίδα λαμβάνεται για την κατασκευή του δαπέδου. Το βαθύτερο επίπεδο του δαπέδου αποτελείται από οπλισμένο σκυρόδεμα. Στη συνέχεια ακολουθεί στρώμα διογκωμένης πολυουρεθάνης πάχους περίπου 10 cm το οποίο στη συνέχεια καλύπτεται με οπλισμένο βιομηχανικό δάπεδο. Λόγω της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ εντός και εκτός του δαπέδου του ψυγείου δημιουργούνται εναποθέσεις υδρατμών και υπάρχει ο κίνδυνος καταστροφής των μονώσεων. Τα μονωτικά υλικά απορροφούν υγρασία και χάνουν τις θερμομονωτικές τους ιδιότητες. Για το λόγο αυτό στο δάπεδο εκατέρωθεν του στρώματος της πολυουρεθάνης παρεμβάλλεται φύλλο πολυαιθυλενίου το οποίο λειτουργεί ως φράγμα υδρατμών.

Πόρτες ψυκτικών θαλάμων

Οι πόρτες παίζουν σημαντικό ρόλο στην ικανοποιητική λειτουργία των ψυγείων. Πρέπει να έχουν όμοια θερμική συμπεριφορά με τα τοιχώματα του ψυκτικού θαλάμου. Η πόρτα ανοίγει πάντα προς τα έξω ή πλαγίως και το ύψος είναι τέτοιο που επιτρέπει την είσοδο των περνοφόρων οχημάτων για το γέμισμα και το άδειασμα των θαλάμων.

Για την Ελεγχόμενη Ατμόσφαιρα, πέραν της θερμικής μονώσεως, οι πόρτες πρέπει να εξασφαλίζουν ερμητικότητα έτσι ώστε να μην υπάρχει ανταλλαγή



αερίων μεταξύ του θαλάμου και του περιβάλλοντος χώρου. Ακόμη η πόρτα φέρει στο κάτω μέρος της ένα παραθυράκι. Αυτό επιτρέπει τον οπτικό έλεγχο των θερμομέτρων τα οποία είναι εγκατεστημένα σε μικρή απόσταση από το δάπεδο του θαλάμου καθώς και τη λήψη μιας γενικής εικόνας του αποθηκευμένου προϊόντος καθ' όλη τη διάρκεια της αποθήκευσης. Επίσης, από το παραθυράκι αυτό μπορεί να λαμβάνονται δείγματα αέρος για ανάλυση.

Μέγεθος θαλάμων

Το μέγεθος των θαλάμων εξαρτάται από πολλούς παράγοντες και κυρίως από την δυναμικότητα και τις συνθήκες της επιχείρησης. Συνήθως, για κοινή ψύξη οι θάλαμοι έχουν χωρητικότητα μεγαλύτερη των 1000 m³. Συνήθως οι

θάλαμοι των κοινών ψυγείων είναι μεγαλύτερου όγκου από εκείνους των ψυγείων με ελεγχόμενη ατμόσφαιρα. Οι μικρής χωρητικότητας θάλαμοι ελέγχονται καλύτερα από πλευράς στεγανότητας και λειτουργικότητας. Οι θάλαμοι της ελεγχόμενης ατμόσφαιρας από τη στιγμή που θα κλείσουν μένουν ερμητικά κλειστοί μέχρις ότου ανοίξουν και στη συνέχεια λειτουργούν ως κοινοί θάλαμοι.

4.3 Υπολογισμός φορτίων ψύξης

Η μεθοδολογία υπολογισμού των φορτίων ψύξης καθώς και στοιχεία για τους θαλάμους ψύξης αναφέρονται στο παράρτημα 6.

4.4 Τεχνολογίες ψύξης

4.4.1 Ψυκτικά μέσα

- Ψύξη με πάγο - Παγοποιεία

Παλαιότερα ο πάγος χρησιμοποιούνταν πάρα πολύ και κυρίως στις μεταφορές φρούτων από την Ελλάδα στο εξωτερικό με αυτοκίνητα ψυγεία ή με βαγόνια ψυγεία. Υπήρχαν παγοποιεία στους σταθμούς φόρτωσης καθώς και σε ενδιάμεσους σταθμούς για ανανέωση των παγοκολώνων. Επίσης, τα οικιακά ψυγεία (παγωνιέρες) λειτουργούσαν με πάγο. Σήμερα η χρήση του πάγου είναι περιορισμένη και χρησιμοποιείται σε ορισμένες περιπτώσεις πρόψυξης (λαχανικά) ή σύντομης ψύξης (ψάρια).

- Ηλεκτρικά ψυγεία

Ψύξη με χρήση ηλεκτρικής ενέργειας καθώς και ουσιών που βρίσκονται σε υγρή μορφή υπό πίεση και κατά την αεριοποίηση τους (εκτόνωση) παράγεται ψύξη. Η ψύξη αυτή διασκορπίζεται στο θάλαμο με ρεύμα αέρα και έτσι το προϊόν ψύχεται. Η αρχή στην οποία στηρίζεται ή όλη διαδικασία είναι πολύ απλή, η εξάτμιση απαιτεί ενέργεια η οποία λαμβάνεται από το περιβάλλον και έτσι προκαλείται πτώση της θερμοκρασίας. Τα υλικά εκτόνωσης είναι συνήθως η αμμωνία (NH_3 σημείο ζέσεως $-33,35^\circ\text{C}$) ή διάφορα φρέον (μείγμα χλωρο-φθοριανθράκων (CCl_3F , CCl_2F_2 , CClF_3) η γλυκόλη και άλλα τα οποία βρίσκονται σε υγρή μορφή υπό πίεση.

Η ψυκτική ουσία που χρησιμοποιείται εκτεταμένα είναι το Freon R-22 της εταιρείας DuPont. Το Freon R-22 υπερτερεί σε σχέση με τους άλλους τύπους που χρησιμοποιούνται ως ψυκτικά γιατί η λανθάνουσα θερμότητα του είναι μεγαλύτερη, μόνο η αμμωνία υπερτερεί έναντι του Freon R-22. Επειδή όμως η αμμωνία είναι τοξική σε πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις και βάζει σε κίνδυνο την ανθρώπινη ζωή αποφεύγεται η χρήση της. Διαφυγή της αμμωνίας και επαφή με το προϊόν έχει ως αποτέλεσμα την εγκαυμάτων-αποχρωματισμών και την ποιοτική υποβάθμιση του προϊόντος. Τα συμπτώματα εμφανίζονται μετά την έξοδο των φρούτων από τη συντήρηση.

Το Freon R-22 δεν είναι εύφλεκτο σε αντίθεση με την αμμωνία και παρά το υψηλότερο κόστος, προτιμάται έναντι της αμμωνίας εξαιτίας της επικινδυνότητας της.

- Ξηρός πάγος (CO_2)

Το στερεό CO_2 είναι ο λεγόμενος «ξηρός πάγος» και χρησιμοποιείται ως ψυκτικό μέσο για πολλούς σκοπούς. Ένας από αυτούς είναι η διατήρηση

ανατομικών παρασκευασμάτων. Το σημείο πήξεώς του είναι -78°C . Ο ξηρός πάγος σχηματίζεται με την εξαγωγή CO_2 από φιάλες υπό πίεση και ειδική συσκευή.

Κορεσμένα διαλύματα στερεού CO_2 (ξηρού πάγου), σε διάφορους διαλύτες, όπως βενζόλιο, χλωροφόρμιο και άλλα αποτελούν περίφημα ψυκτικά μείγματα. Τα ψυκτικά αυτά μείγματα έχουν το πλεονέκτημα ότι ψύχουν σε σταθερή θερμοκρασία, που είναι η θερμοκρασία πήξεως του διαλύτη, π.χ. το σύστημα βενζολίου-στερεού CO_2 ψύχει περίπου στους 5°C , που είναι η θερμοκρασία πήξεως του βενζολίου, ενώ το σύστημα χλωροφορμίου + CO_2 ψύχει στους $-63,5^{\circ}\text{C}$, που είναι το σημείο πήξεως του χλωροφορμίου.

- Υγρό άζωτο (-70°C)

Το υγρό άζωτο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την μείωση της συγκέντρωσης του οξυγόνου στους θαλάμους της ελεγχόμενης ατμόσφαιρας.

4.4.2 Ψυκτική μονάδα

Η Ψυκτική μονάδα αποτελείται από:

- θαλάμους (αποθηκευτικοί χώροι)
- τον απαραίτητο μηχανολογικό εξοπλισμό για την παραγωγή ψύξης, για την ύγρανση του χώρου, την αφαίρεση του αιθυλενίου, την παραγωγή αζώτου, την αφαίρεση του CO_2
- μεταφορικά μέσα (ανυψωτικά μηχανήματα),
- ζυγιστήριο,
- λογιστήριο,
- συνεργείο,
- εξειδικευμένο προσωπικό.

-Εγκαταστάσεις και εξοπλισμός εκτός θαλάμων

- Κεντρικός ηλεκτρικός πίνακας,
- Γεννήτρια ηλεκτρικού ρεύματος,
- Κατάλληλος φωτισμός,
- Συμπιεστές

Οι συμπιεστές βρίσκονται στο μηχανοστάσιο και αυτοί συμπιέζουν το ψυκτικό μέσο (αμμωνία, φρέον, γλυκόλη), που βρίσκεται σε αέρια φάση. Βρίσκονται σε καλά αεριζόμενο χώρο διότι κατά τη συμπίεση των ψυκτικών αερίων παράγεται θερμότητα.

- Εξατμιστικός συμπυκνωτής
Απαραίτητος για την ψύξη και υγροποίηση του ψυκτικού υγρού που προέρχεται από τους συμπιεστές.
- Καυστήρας αιθυλενίου (για την απομάκρυνση τον αιθυλενίου από τους θαλάμους)
- Δοχεία συλλογής ψυκτικού υγρού

→ Μηχανουργείο

- *Εγκαταστάσεις και εξοπλισμός εντός των θαλάμων*

→ Εξατμιστήρας - Εκτονωτής

Εκεί εκτονώνεται το ψυκτικό υγρό, μετατρέπεται από υγρό σε αέριο, και για να γίνει αυτό χρειάζεται ενέργεια, η οποία δεσμεύεται από τον χώρο του ψυκτικού θαλάμου, οπότε παράγεται ψύξη.

→ Ανεμιστήρες

Με αυτούς επιτυγχάνεται η κυκλοφορία του αέρα και η ομοιόμορφη κατανομή της ψύξης εντός του θαλάμου.

→ Υγραντήρας

Η σχετική υγρασία είναι βασικός παράγων συντήρησης των νωπών οπωροκηπευτικών. Τα περισσότερα νωπά απαιτούν υψηλή σχετική υγρασία (85-95%), με εξαίρεση τα κρεμμύδια (65%). Επομένως ένα καλό ψυγείο πρέπει να διαθέτει μηχανισμό αύξησης της σχετικής υγρασίας.

Η δυνατότητα συγκράτησης υδρατμών του αέρα είναι αντιστρόφως ανάλογη της θερμοκρασίας του αέρα και επομένως καθώς πέφτει η θερμοκρασία στον ψυκτικό χώρο υδροποιούνται οι υδρατμοί και υπό μορφή νερού αποβάλλονται από το ψυγείο. Επομένως, θα πρέπει η ψυκτική μονάδα να διαθέτει σύστημα ύγρανσης της ατμόσφαιρας του ψυγείου επί μονίμου βάσεως.

→ Συστήματα ύγρανσης

- ψεκασμός με νερό, πολύ λεπτά υδροσταγονίδια,
- σύστημα ομίχλης,
- είσοδος υγρού αέρα,
- ατμός.

4.4.3 Αυτοματισμοί ψυκτικής μονάδας

- *Ηλεκτρομαγνητικές βάνες*

Είναι απαραίτητες για την κυκλοφορία του ψυκτικού υγρού. Λειτουργούν αυτόματα, είναι συνδεδεμένες με τον θερμοστάτη από όπου και παίρνουν εντολή για να ανοίξουν ή να κλείσουν.

- *Θερμοστάτης*

Είναι όργανο που βρίσκεται στον ψυκτικό χώρο και είναι συνδεδεμένος με τις ηλεκτρομαγνητικές βάνες. Μόλις η θερμοκρασία του ψυκτικού θαλάμου ανέβει πάνω από το επιτρεπτό όριο τότε κλείνει το ηλεκτρικό κύκλωμα και ανοίγει η βάννα, οπότε και έρχεται ψυκτικό υγρό στον εξατμιστήρα. Μόλις η θερμοκρασία πέσει στο κατώτερο επιθυμητό όριο τότε η βάννα κλείνει.

- *Καταγραφικά όργανα θερμοκρασίας και υγρασίας*

Είναι απαραίτητα για την παρακολούθηση της λειτουργίας των ψυκτικών εγκαταστάσεων.

4.4.4 Απαραίτητος μηχανολογικός εξοπλισμός για κοινά ψυγεία και τεχνικά χαρακτηριστικά

- Εκτός του ψυκτικού θαλάμου

Ηλεκτρικός πίνακας ελέγχου και αυτοματισμού όλων των θαλάμων.

Συμπιεστές. Η τοποθέτηση των συμπιεστών στο χώρο του μηχανοστασίου είναι τέτοια που επιτρέπει την εύκολη πρόσβαση για συντήρηση, τυχόν επιδιορθώσεις και πιθανή αντικατάσταση τους. Ο περιβάλλον χώρος αερίζεται επαρκώς και διατηρείται δροσερός και ξηρός σε ποικίλες καιρικές συνθήκες. Μάλιστα, υπάρχει και κατάλληλος εξαερισμός για την αποφυγή συσσώρευσης υγρασίας στο χώρο.

Δοχεία συλλέκτες ψυκτικού υγρού Freon R-22, που είναι συνδεδεμένοι με σωληνώσεις οι οποίες καταλήγουν στο εσωτερικό κάθε θαλάμου

Εξατμιστικοί συμπυκνωτές

Στον ακάλυπτο χώρο του μηχανοστασίου τοποθετούνται οι εξατμιστικοί συμπυκνωτές. Ο εξατμιστικός συμπυκνωτής είναι μια συσκευή μέσα στην οποία πραγματοποιείται η συμπύκνωση (υγροποίηση) του ψυκτικού αερίου, που προέρχεται από την κατάθλιψη του συμπιεστή. Υπάρχουν διάφοροι τύποι εξατμιστικών συμπυκνωτών οι οποίοι τοποθετούνται εξωτερικά του μηχανοστασίου

Αρχές λειτουργίας εξατμιστικών συμπυκνωτών.

Το ψυκτικό αέριο κυκλοφορεί μέσω ειδικής σωλήνωσης του εξατμιστικού συμπυκνωτή. Νερό υπό μορφή μικρών σταγονιδίων ψεκάζεται από ακροφύσια που είναι τοποθετημένα άνωθεν της σωλήνωσης. Κατά την πτώση των σταγονιδίων, αυτά διαπερνούν την ειδική σωλήνωση δεσμεύοντας την θερμότητα του ψυκτικού αερίου με αποτέλεσμα το τελευταίο να μεταπίπτει σε υγρή κατάσταση.

Περονοφόρα οχήματα.

Υπάρχουν δύο είδη περονοφόρων οχημάτων με βάση το είδος της ενέργειας που απαιτείται για τη κίνηση τους: α) πετρελαιοκίνητα και β) ηλεκτροκίνητα. Όλα τα ηλεκτροκίνητα είναι εφοδιασμένα με μπαταρίες οι οποίες έχουν τη δυνατότητα να επαναφορτίζονται.

Μονάδα πρόψυξης (υδρόψυξη και αερόψυξη), Μονάδα αποπρασινισμού για μπανάνα, εσπεριδοειδή, Χώρος εμβάπτισης καρπών (μήλα) σε διαλύματα (π.χ. αλάτων ασβεστίου, διαφαινυλαμίνης κ.ά.).

Εσωτερικό θαλάμων

Αεροψυκτικές ή εκτονωτές και ανεμιστήρες για την ομοιόμορφη κατανομή της θερμοκρασίας και υγρασίας.

4.4.5 Βασικές αρχές λειτουργίας μιας ψυκτικής μονάδας

Η διαδικασία που περιγράφει τα στοιχεία που συμμετέχουν σε ένα τυπικό ψυκτικό σύστημα είναι η ακόλουθη.

Το όργανο που δίνει εντολή στο να ξεκινήσει τη λειτουργία της η ψυκτική μονάδα είναι ο θερμοστάτης, ο οποίος ρυθμίζεται σε ορισμένη θερμοκρασία, ανάλογα με το συντηρούμενο προϊόν. Ο θερμοστάτης έχει ένα εύρος διακύμανσης που δεν υπερβαίνει το $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$.

Η θερμοκρασία του θαλάμου επηρεάζεται από το φορτίο, από την αναπνευστική δραστηριότητα του προϊόντος και από την μόνωση του θαλάμου. Οι καρποί αναπνέουν και ως εκ τούτου η θερμοκρασία του ψυγείου

ανεβαίνει. Η παραγόμενη θερμότητα από το προϊόν απορροφάται από τον αέρα του θαλάμου και η θερμοκρασία του χώρου ανιχνεύεται από τον θερμοστάτη. Μόλις η θερμοκρασία του θαλάμου περάσει το ανώτερο όριο που έχει τεθεί ανοίγει η ηλεκτρομαγνητική βάννα και ψυκτικό υγρό διοχετεύεται προς τους εξατμιστήρες του θαλάμου. Το όλο κύκλωμα λειτουργίας μιας ψυκτικής μονάδας περιλαμβάνει 7 στάδια που αναλύονται παρακάτω:

Κατόπιν εντολής του θερμοστάτη ανοίγει η ηλεκτρομαγνητική βάννα που βρίσκεται πριν τη βαλβίδα εκτόνωσης και το ψυκτικό υγρό (freon R-22) υπό υψηλή πίεση και μέτρια θερμοκρασία στέλνεται από τα δοχεία-συλλέκτες μέσω κατάλληλων σωληνώσεων μέσα στο ψυκτικό θάλαμο.

Το ψυκτικό υγρό περνάει τη βαλβίδα εκτόνωσης και απελευθερώνεται στον εκτονωτή. Εκεί στο δίκτυο σωλήνωσης του εκτονωτή λαμβάνει χώρα η εξάτμιση του ψυκτικού υγρού (ενδόθερμος αντίδραση) και έτσι παράγεται ψύξη (-7°C).

Οι ανεμιστήρες που υπάρχουν στην ίδια θέση με το εκτονωτή απορροφούν τον αέρα του θαλάμου και τον περνάνε δια μέσου του εκτονωτή έτσι ώστε να υπάρχει εναλλαγή θερμότητας και με αυτόν τον τρόπο ψύχεται ο αέρας του θαλάμου. Μόλις η θερμοκρασία του θαλάμου φτάσει το ελάχιστο όριο θερμοκρασίας που επιθυμούμε τότε ο θερμοστάτης δίνει εντολή στην ηλεκτρομαγνητική βάννα να κλείσει το κύκλωμα. Έτσι η θερμοκρασία του αέρα του θαλάμου διατηρείται στα επιθυμητά όρια (π.χ. -1°C και 0°C).

Το ψυκτικό μέσο αποχωρεί ως μίγμα αερίου-υγρού από τον αεροψυκτήρα, αφού μόνο ένα μέρος του ψυκτικού υγρού εξαερώνεται, και κατευθύνεται σε ένα υγρό διαχωριστήρα από όπου το μέρος του υγρού που δεν εξατμίστηκε τροφοδοτείται εκ νέου στον αεροψυκτήρα.

Το ψυκτικό αέριο πλέον επιστρέφει μέσω κατάλληλων σωληνώσεων στους συμπιεστές, όπου συμπιέζεται στους 35°C (ü), απελευθερώνεται από αυτούς με υψηλή πίεση και οδηγείται στους εξατμιστή-κούς συμπυκνωτές.

Οι συμπυκνωτές με τη σειρά τους μέσω μιας σωλήνωσης και με τη βοήθεια ενός προσαρμοσμένου, εσωτερικά των συμπυκνωτών, πεπιεσμένου δικτύου διανομής νερού μετατρέπουν το αέριο σε υγρό αποβάλλοντας τη θερμότητα μέσω ενός ανεμιστήρα στον ατμοσφαιρικό αέρα.

Το ψυκτικό υγρό επιστρέφει στα δοχεία συλλέκτες και έτσι περατώνεται ένας κύκλος ψύξης. Το υγρό παραμένει στους συλλέκτες και χρησιμοποιείται στον επόμενο κύκλο ψύξης.

Κεφάλαιο 5 Συσκευασία

5.1 Η έννοια της τυποποίησης

Διαλογή και τυποποίηση αγροτικών προϊόντων θεωρείται η διαδικασία προετοιμασίας των προϊόντων της πρωτογενούς παραγωγής για την αγορά. Αναλυτικότερα, τυποποίηση είναι η ταξινόμηση των προϊόντων σε ποιοτικές κατηγορίες (Εξτρα -I -II) με βάση εμπορικά πρότυπα ποιότητας που προβλέπονται από σχετικούς κοινοτικούς κανονισμούς. Τα πρότυπα αυτά εμπεριέχουν προδιαγραφές και αντικειμενικά κριτήρια, όπως ποικιλία, μέγεθος, σχήμα, χρωματισμό, βαθμό ωριμότητας, καθαρότητα, υγιεινή κατάσταση, οργανοληπτικά χαρακτηριστικά, ομοιογένεια κ.τ.λ., με βάση τα οποία γίνεται η ποιοτική ταξινόμηση και κατάταξη των προϊόντων. Επομένως, ως τυποποίηση των εξεταζόμενων ειδών νοείται η ιχνηλάτιση του προϊόντος, δηλαδή η αναγραφή της ταυτότητάς του ώστε ο τελικός καταναλωτής να γνωρίζει τον παραγωγό του συγκεκριμένου προϊόντος, τον τόπο παραγωγής, την ποιότητα, το μέγεθος, το χονδρέμπορα διακίνησης καθώς και το λιανοπωλητή.

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα της τυποποίησης είναι τα εξής:

- αποτελεί το βασικό σημείο αναφοράς μεταξύ παραγωγών, εμπόρων και καταναλωτών, συνεισφέροντας έτσι στην ανάπτυξη και βελτίωση των συναλλαγών,
- συμβάλλει στη διαφάνεια της αγοράς, διευκολύνοντας με τον τρόπο αυτό την αντικειμενική διαμόρφωση των τιμών επί υπαρκτών ποιοτήτων προς όφελος όλων των συναλλασσομένων,
- είναι δυναμική και συνεχώς μεταβαλλόμενη, καθώς προσαρμόζεται στις ανάγκες της αγοράς και τις απαιτήσεις του καταναλωτή, $\frac{3}{4}$ περιφρουρεί την υγεία του καταναλωτή, αποκλείοντας προϊόντα υποβαθμισμένα, προσβεβλημένα από ασθένειες, περιέχοντα ξένες ύλες ή ορατά υπολείμματα,
- επιδρά σημαντικά στην οργάνωση της παραγωγής και της εμπορίας των αγροτικών προϊόντων.

Τα αγροτικά προϊόντα που διατίθενται στο εμπόριο πρέπει να ανταποκρίνονται στις προδιαγραφές των Κανόνων ποιότητας. Συγκεκριμένα πρέπει:

- 1) Να ανταποκρίνονται στα ελάχιστα χαρακτηριστικά της ποιότητας. Για παράδειγμα, οι καρποί των φρούτων και λαχανικών πρέπει να είναι:
 - Ολόκληροι
 - Υγιείς. Δεν επιτρέπονται καρποί με σήψεις.
 - Καθαροί.
 - Πρακτικά απαλλαγμένοι από παράσιτα και προσβολές παρασίτων.
 - Χωρίς ξένη οσμή ή ξένη γεύση.
 - Χωρίς εξωτερική υγρασία.

- Με σωστό βαθμό ωριμότητας.
- Σε τέτοια κατάσταση που να αντέχουν στη μεταφορά.

2) Να είναι τυποποιημένα, δηλαδή να είναι ταξινομημένα σε ποιοτικές κατηγορίες (ΕΞΤΡΑ, I, II). Στην περίπτωση των οπωροκηπευτικών, στην ΕΞΤΡΑ κατηγορία κατατάσσονται οι καρποί που είναι σε άριστη κατάσταση από άποψη εμφάνισης, μεγέθους, σχήματος, χρώματος και βαθμού ωριμότητας. Στην κατηγορία I (πρώτη) κατατάσσονται οι καρποί που είναι καλής εμφάνισης, κανονικού μεγέθους και σχήματος, σωστού χρωματισμού και κατάλληλου βαθμού ωριμότητας. Στην κατηγορία II (δεύτερη) κατατάσσονται οι καρποί κατώτερης ποιότητας που μπορεί να παρουσιάζουν μικρά ελαττώματα και ατέλειες στην εμφάνιση, στο σχήμα και στο χρώμα. Οι καρποί που είναι πολύ μικροί, παραμορφωμένοι, ανώμαλου σχήματος, τραυματισμένοι και κακής εμφάνισης σε καμία περίπτωση δεν επιτρέπεται να τίθενται σε εμπορία.

3) Να είναι σωστά συσκευασμένα και στα κατάλληλα, ανάλογα με το είδος, μέσα συσκευασίας. Τα μέσα συσκευασίας πρέπει να είναι:

- Καθαρά με λεία επιφάνεια, χωρίς ξένες ύλες, σκόνες και χρώματα.
- Χωρίς οσμές.
- Χωρίς εξωτερική υγρασία.
- Απαλλαγμένα από προσβολές.
- Να έχουν σταθερό απόβαρο.
- Να έχουν τις ίδιες διαστάσεις και τον ίδιο χρωματισμό τουλάχιστον κατά παρτίδα προϊόντος.
- Να εξασφαλίζουν τον καλό αερισμό του προϊόντος.
- Επίσης επιθυμητό είναι:
- Να έχουν μικρό βάρος και όγκο.
- Να είναι ωραία στην εμφάνιση και ελκυστικά στον καταναλωτή.

4) Σε κάθε μέσο συσκευασίας πρέπει να υπάρχει ετικέτα ενσωματωμένη ή σταθερά προσαρτημένη στην οποία να αναγράφονται με στοιχεία εμφανή και ευανάγνωστα τα εξής: Ο συσκευαστή ς ή/και ο αποστολέας: ονοματεπώνυμο και διεύθυνση ή συμβολικά στοιχεία αναγνώρισης.

- Το είδος του προϊόντος, αν το περιεχόμενο δε φαίνεται από έξω.
- Η ποικιλία για τις ποιοτικές κατηγορίες ΕΞΤΡΑ και I ή ο εμπορικός τύπος.
- Η προέλευση του προϊόντος.
- Η ποιοτική κατηγορία.
- Το μέγεθος.

5.2 Οφέλη από την τυποποίηση

Η τυποποίηση των αγροτικών προϊόντων έχει μεγάλη σημασία, γιατί παρέχει σημαντικά οφέλη όχι μόνο στους παραγωγούς, αλλά και στους καταναλωτές, στους φορείς εμπορίας, καθώς και στο ίδιο το κράτος. Τα κυριότερα οφέλη από την τυποποίηση είναι τα ακόλουθα:

- Προώθηση των πωλήσεων των αγροτικών προϊόντων. Η τυποποίηση, συντελώντας στην ικανοποίηση των διαφορετικών προτιμήσεων των διάφορων καταναλωτών και στην καλύτερη προσαρμογή των προϊόντων στα διαφοροποιημένα εισοδήματα αυτών έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της ποσότητας ζήτησης των τυποποιημένων προϊόντων από τους καταναλωτές. Η αυξημένη αυτή κατανάλωση συνεπάγεται την αύξηση της διάθεσης τυποποιημένων προϊόντων από τους παραγωγούς, με την προϋπόθεση, βέβαια, ότι δεν υπάρχει υποκατάσταση των εγχώρια παραγόμενων αγροτικών προϊόντων από εισαγόμενα ομοειδή προϊόντα.
- Βελτίωση της ποιότητας των αγροτικών προϊόντων. Όταν οι παραγωγοί διαπιστώνουν πως οι τιμές των προϊόντων τους διαμορφώνονται με βάση την ποιοτική τους κατάσταση, καταβάλλουν κάθε δυνατή προσπάθεια για να παράγουν καλύτερης ποιότητας προϊόντα, έτσι ώστε να επιτυγχάνουν υψηλότερες τιμές και, συνεπώς, να αυξάνουν τα εισοδήματά τους. Η βελτίωση αυτή της ποιότητας συνεπάγεται όφελος για:
 - ο α) τους καταναλωτές, καθώς καταναλώνοντας προϊόντα υψηλής ποιότητας βελτιώνουν τη διατροφή τους και
 - ο β) το κράτος, γιατί η βελτιωμένη ποιότητα καθιστά τα προϊόντα πιο ανταγωνιστικά στις διεθνείς αγορές, με αποτέλεσμα την αύξηση των εξαγωγών.
- Αύξηση της εμπορεύσιμης ποσότητας των αγροτικών προϊόντων. Η εξαρχής απόρριψη των ελαττωματικών προϊόντων («χτυπημένων», σάπγιων, προσβεβλημένων από ασθένειες και έντομα κ.τ.λ.) έχει ως αποτέλεσμα να αποφεύγεται σημαντικά η φθορά κατά τη διακίνηση.
- Μείωση του ανά μονάδα κόστους μεταφοράς του εμπορεύσιμου προϊόντος, καθώς η διαδικασία της τυποποίησης συμβάλλει στο να αποφεύγεται η μεταφορά ακατάλληλων για εμπορία προϊόντων από τους τόπους παραγωγής στα κέντρα κατανάλωσης. Η μείωση αυτή του κόστους μεταφοράς ωφελεί όχι μόνο τους φορείς εμπορίας, που έτσι αποφεύγουν τη διόγκωση του κόστους εμπορίας τους, αλλά και τους καταναλωτές, γιατί αποφεύγεται η παραπέρα επιβάρυνση της λιανικής τιμής του προϊόντος. Επίσης, ωφελεί και το κράτος, καθώς η μικρότερη κατανάλωση καυσίμων για τη διακίνησή μιας ορισμένης ποσότητας εμπορεύσιμου προϊόντος έχει ως αποτέλεσμα τη μικρότερη εκροή συναλλάγματος για την εισαγωγή της αντίστοιχης ποσότητας καυσίμων.
- Μείωση των δαπανών αγοροπωλησίας κυρίως σε επίπεδο χονδρεμπορίου. Το μειωμένο κόστος εμπορίας προκύπτει από τη μη απαραίτητη παρουσία του λιανέμπορα στον τόπο αγοροπωλησίας για την αγορά των προϊόντων που επιθυμεί, αλλά και από την οργανωμένη και, συνεπώς, μικρού κόστους διανομή των προϊόντων στα καταστήματα λιανικής πώλησης. Αυτό, προφανώς, αποβαίνει προς όφελος τόσο των παραγωγών όσο και των καταναλωτών.
- Μείωση του απαιτούμενου χρόνου για την αγορά των προϊόντων από τους καταναλωτές στα καταστήματα λιανικής πώλησης. Η αγορά τυποποιημένων προϊόντων συντελεί στην εξοικονόμηση χρόνου, καθώς οι καταναλωτές δεν υποχρεούνται να επιλέξουν ανάμεσα από διαφορετικές ποιότητες τα προϊόντα που αυτοί επιθυμούν.
- Διευκόλυνση της διαμόρφωσης των τιμών των προϊόντων, καθώς η τυποποίηση καθιστά ευκολότερη και γρηγορότερη τη συλλογή και διάδοση πληροφοριών γύρω από τις συνθήκες αγοράς τους.

- Μείωση των δαπανών για την ενημερωτική διαφήμιση των τυποποιημένων προϊόντων. Η τυποποίηση αποτελεί ένα είδος ενημέρωσης των καταναλωτών σχετικά με την ποιότητα των παραγόμενων προϊόντων. Αυτό, αναμφισβήτητα, ωφελεί και τους φορείς εμπορίας, γιατί με λιγότερες ή και χωρίς δαπάνες για διαφήμιση προωθούν μεγαλύτερες ποσότητες προϊόντων στην αγορά.
- Βελτίωση της ευημερίας των καταναλωτών, τόσο των χαμηλοεισοδηματιών, γιατί με τα ίδια εισοδήματα αγοράζουν μεγαλύτερες ποσότητες ενός προϊόντος, αφού πληρώνουν χαμηλότερες τιμές για τις κατώτερες ποιότητες του, όσο και των υψηλοεισοδηματιών, αφού έτσι ικανοποιούν καλύτερα τις προτιμήσεις τους.
- Αύξηση του εισοδήματος των παραγωγών αγροτικών προϊόντων. Η τυποποίηση αυξάνει την ποσότητα διάθεσης των προϊόντων και ταυτόχρονα καθιστά τη μέση σταθμική τιμή πώλησης των διαφόρων ποιοτήτων ενός τυποποιημένου προϊόντος υψηλότερη από την ενιαία τιμή, την οποία θα είχε το ίδιο προϊόν αν δεν είχε υποστεί τυποποίηση.

5.2.1 Διαλογή

Η διαλογή μπορεί να γίνει με το χέρι στο χωράφι ή μηχανικά στο συσκευαστήριο το οποίο αποτελείται από

Μια απλή ταινία προώθησης πάνω στην οποία το προϊόν κινείται μπροστά από εξειδικευμένους εργάτες οι οποίοι μαζεύουν την παραγωγή χειρονακτικά σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά της

Μηχανοποιημένες γραμμές όπου η διαλογή γίνεται από το μηχάνημα σύμφωνα με το μέγεθος ή το χρώμα.

Αυτές οι εγκαταστάσεις είναι συνήθως ενσωματωμένες στο συσκευαστήριο.

5.2.2 Αιτίες απωλειών της παραγωγής κατά τη μεταφορά

Τα φρέσκα φρούτα και λαχανικά είναι πολύ ευαίσθητα ζωτικά όργανα που μπορούν εύκολα να φθαρούν. Η φθορά και η απώλεια που μπορεί να πραγματοποιηθεί κατά τη μεταφορά χωρίς ψύξη οφείλονται κυρίως από τους μηχανικούς τραυματισμούς και την υπερθέρμανση.

Μηχανικός τραυματισμός.

Ο τραυματισμός αυτού του τύπου πραγματοποιείται για πολλούς λόγους συμπεριλαμβανομένων και των πιο κάτω:

- Απρόσεκτος χειρισμός της συσκευασμένης παραγωγής κατά τη φόρτωση και την εκφόρτωση
- Δόνηση (τράνταγμα) του οχήματος, ιδιαίτερα σε κακούς δρόμους
- Γρήγορη οδήγηση και κακή κατάσταση του οχήματος
- Κακό στοίβαγμα, που επιτρέπει στα κιβώτια στη μεταφορά να κάνουν πλευρικές κινήσεις και έτσι η στοίβα μπορεί να καταρρεύσει

Το στοίβαγμα των πακέτων σε πολύ μεγάλο ύψος με αποτέλεσμα η μετακίνηση του προϊόντος μέσα στο πακέτο να αυξάνεται όσο το ύψος τοποθέτησης αυξάνει

Υπερθέρμανση

Η υπερθέρμανση της παραγωγής προωθεί τη φυσική ωρίμανση των προϊόντων και την παρακμή τους καθώς και την απώλεια νερού από το προϊόν. Αυτό μπορεί να προκληθεί όχι μόνο από εξωτερικούς παράγοντες αλλά και από τη δημιουργία θερμότητας από τα προϊόντα μέσα στην ίδια τη συσκευασία. Τα αίτια της υπερθέρμανσης περιλαμβάνουν:

- Τη χρησιμοποίηση κλειστών οχημάτων χωρίς αερισμό.
- Την πυκνή τοποθέτηση σε στοίβες που εμποδίζει την κυκλοφορία αέρα ανάμεσα στα πακέτα, με αποτέλεσμα να εμποδίζει την απομάκρυνση της ζέστης.
- Την έλλειψη επαρκούς αερισμού στα ίδια τα πακέτα.
- Την έκθεση των πακέτων στον ήλιο κατά την αναμονή της μεταφοράς ή όταν τα φορτηγά περιμένουν στην ουρά για εκφόρτωση στον προορισμό τους.

Η μεταφορά είναι μια βασική αιτία απωλειών στα φρέσκα φρούτα και λαχανικά. Ωστόσο, μια σειρά άλλων παραγόντων μπορεί να επηρεάσει τις απώλειες που περιλαμβάνει τη συγκομιδή σε ακατάλληλο στάδιο ωριμότητας, ανομοιόμορφη ωρίμανση ή υπερωριμότητα λόγω διαφορετικής ποικιλίας ή μεγέθους, χημικές αλλαγές που οδηγούν σε απώλεια νερού / βάρους, μαρασμός, κιτρίνισμα, βλάστηση ή πρασίνισμα, ακατάλληλη μεθωρίμανση για τη βελτίωση των τραυματισμών από τον αγρό, ανεπαρκή φύλλα κάλυψης ή υπερβολική αφαίρεση περιττών φυτικών τμημάτων. Οι προσβολές από μικροοργανισμούς μπορούν να συμβούν σε όλα τα στάδια του μετασυλλεκτικού συστήματος.

5.3 Συσσκευασία τυποποιημένων αγροτικών προϊόντων

5.3.1 Η έννοια της συσκευασίας

Γενικά, ο όρος συσκευασία αναφέρεται στην τακτοποίηση αντικειμένων σε κιβώτια ή δέματα για μεταφορά, καθώς και στο εξωτερικό περίβλημα τυποποιημένου προϊόντος με σκοπό την προστασία και την αυτοπροβολή του. Ωστόσο, η συσκευασία των αγροτικών προϊόντων εξυπηρετεί πολλαπλούς στόχους:

- Περιέχει το προϊόν, δηλαδή ενεργεί ως περιέκτης που επιμερίζει το προϊόν σε πωλήσιμες ποσότητες, χωρίς να αλληλεπιδρά με αυτό κατά τρόπο που να επηρεάζει αρνητικά την υγιεινή του κατάσταση και τα οργανοληπτικά του χαρακτηριστικά.
- Προστατεύει το προϊόν από περιβαλλοντικούς παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν τη μορφή του, τις οργανοληπτικές του ιδιότητες και την περιεκτικότητά του σε θρεπτικά συστατικά.
- Προστατεύει το προϊόν από εσκεμμένη νοθεία και υποκλοπή.
- Προβάλλει την ιδιαιτερότητα του προϊόντος και προσελκύει τον καταναλωτή.
- Πληροφορεί τον καταναλωτή για το προϊόν.
- Διευκολύνει τη μεταφορά και εμπορία του προϊόντος.
- Διευκολύνει τη χρήση του προϊόντος.

5.4 Διοίκηση του συσκευαστηρίου

Τα συσκευαστήρια δέχονται παραλαβές φρέσκων φρούτων και λαχανικών απευθείας από τους παραγωγούς, τις αγορές ή τα σημεία συγκέντρωσης και τα καθαρίζουν, τα διαλέγουν και τα πακετάρουν σε μια μορφή που συμφωνείτε από μεμονωμένους εμπορικούς ή εξαγωγικούς μεσάζοντες. Όταν η παραγωγή έχει συσκευαστεί, ετοιμάζεται σε τυποποιημένα «χύμα» φορτία διαθέσιμα για τη φόρτωση και την εκφόρτωση σε παλέτες και για τη διανομή σε χονδρέμπορους, σημεία διανομής ή απευθείας σε λιανέμπορους. Ο αριθμός συσκευαστηρίων στην Ευρώπη έχει αυξηθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια, κυρίως ως ανταπόκριση της αύξησης και της επέκτασης της λιανικής πώλησης στα σούπερ -μάρκετ, το εξαγωγικό εμπόριο και την αυξημένη ζήτηση των καταναλωτών για συσκευασμένα και διαλεγμένα προϊόντα.

Κάποια συσκευαστήρια έχουν πολύ απλό εξοπλισμό, όπως συσκευασία κρεμμυδιών μέσα σε δίχτυ που σφραγίζεται με το χέρι. Άλλα έχουν εξελιγμένες τεχνολογίες πλήρως αυτοματοποιημένες και περιλαμβάνουν τη διαλογή με laser με βάση το χρώμα ή την υφή. Μερικές φορές μεμονωμένοι παραγωγοί έχουν δικά τους συσκευαστήρια αλλά πιο συχνά αυτά ανήκουν στην ιδιοκτησία κοινών ομάδων παραγωγών και εμπόρων ή μόνο εμπόρων. Αν και τα συσκευαστήρια συχνά δεν έχουν δικό τους χώρο ψύξης για τα νωπά οπωροκηπευτικά, είναι συνηθισμένο, η διαδικασία συσκευασίας να οργανώνεται έτσι ώστε να υποστηρίζει το γρήγορο πακετάρισμα και τη μεταφορά του προϊόντος στον καταναλωτή. Οι διευθυντές των συσκευαστηρίων βρίσκονται σε συνεχή επικοινωνία με τους αγοραστές και συχνά προετοιμάζουν κιβώτια με ετικέτες για συγκεκριμένους εμπόρους, γραμμοκώδικες και ημερήσιες τιμές που περιλαμβάνονται στη συσκευασία.

Μέσα στο συσκευαστήριο η φυσική διάταξη του εξοπλισμού και των σταθμών εργασίας που χειρίζονται την παραγωγή λειτουργεί ως μια βιομηχανική γραμμή συναρμολόγησης. Μια σημαντική παράμετρος για τη θέση του χώρου του συσκευαστηρίου είναι η γειννίαση με τον αγρό παραγωγής και το οδικό δίκτυο, διότι η παραγωγή είναι πολύ ευαίσθητη στη μετακίνηση και τις καθυστερήσεις. Μια καθυστέρηση 12 ωρών μπορεί να προκαλέσει ένα μεγάλο ποσοστό απωλειών στην παραγωγή. Η αγροτική παραγωγή είναι εποχικού χαρακτήρα. Για το λόγο αυτό, το συσκευαστήριο πρέπει να λειτουργεί εποχικά επίσης, ή να σχεδιαστεί έτσι ώστε να επεξεργάζεται διαφορετικά προϊόντα. Εάν προτιμηθεί η δεύτερη επιλογή, τα πάγια και λειτουργικά έξοδα μπορούν να μειωθούν.

Καθώς ο όγκος που παραδίδεται στο συσκευαστήριο είναι συνήθως μεγαλύτερος από τη λειτουργικότητα της μονάδας, μέρος αυτού χρειάζεται να αποθηκευθεί για μικρό χρονικό διάστημα. Επιπρόσθετα, περαιτέρω αποθήκευση μπορεί να πραγματοποιηθεί αν η τρέχουσα συνθήκη της αγοράς (τιμές, ζήτηση κλπ.) δεν ευνοούν την απευθείας πώληση του προϊόντος. Για το λόγο αυτό, ο στρατηγικός σχεδιασμός του συσκευαστηρίου απαιτεί ψυκτικές μονάδες για να καλύψουν τις ανάγκες ψύξης και συντήρησης του προϊόντος, επιπλέον της πρόψυξης του φορτίου πριν την αποστολή. Ο εξοπλισμός και οι διαδικασίες πρόψυξης χρειάζεται να ενσωματωθούν στο

σχεδιασμό του συσκευαστηρίου. Η συσκευασμένη παραγωγή πρέπει να περνάει γρήγορα και αποτελεσματικά στην περιοχή πρόψυξης.

Χρειάζεται να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή κατά τη διαχείριση ενός συστήματος ψυχρής αποθήκευσης στη συμπύκνωση και τον έλεγχο της υγρασίας, στον έλεγχο της θερμοκρασίας, στην υγιεινή, στη διατήρηση, στο σχεδιασμό και τη θέση του χώρου και στη συμβατότητα αποθήκευσης διαφορετικών προϊόντων.

Τα συσκευαστήρια χρειάζονται αρκετό χώρο για την εύκολη πρόσβαση των οχημάτων μεταφοράς καθώς και για τη φόρτωση και την εκφόρτωση της παραγωγής. Κατά το σχεδιασμό πρέπει επίσης να ληφθεί υπόψη η δυνατότητα επέκτασης στο μέλλον. Ένας γενικός κανόνας είναι ότι το οικόπεδο πρέπει να είναι πενταπλάσιο της επιφάνειας του κτιρίου του συσκευαστηρίου.

Γνωρίζοντας το είδος του προϊόντος που θα καλλιεργηθεί και ποιος θα είναι ο όγκος για την καλλιεργητική περίοδο, μπορεί να προσδιοριστεί τι εξοπλισμός θα χρειαστεί και πόσο μεγάλο θα είναι το κτίριο και οι χώροι ψυχρής αποθήκευσης. Για τη διατήρηση χαμηλής θερμοκρασίας στο κτίριο, θα χρειαστεί καλός αερισμός και ανεμιστήρες. Η παραγωγή πρέπει πάντα να κινείται προς μια κατεύθυνση, χωρίς να διασταυρώνεται το προϊόν που προέρχεται από τα διάφορα στάδια κατά τη λειτουργία της συσκευασίας. Πρέπει να υπάρχει μια είσοδος για τη λήψη της παραγωγής από τον αγρό και μία για την αποστολή της συσκευασμένης παραγωγής.

Πρέπει να γίνουν ρυθμίσεις για μια καλή πηγή νερού και επαρκή μέσα. Το νερό για το πλύσιμο της παραγωγής πρέπει να είναι πόσιμο. Τα δάπεδα πρέπει να έχουν κλίση 15 εκ. και αυλάκια αποστράγγισης βάθους 15 εκ.

Χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή στις ηλεκτρολογικές απαιτήσεις του κτιρίου συσκευαστηρίου. Μπορεί να χρειάζεται να υποστηρίζουν αυτοματοποιημένα μηχανήματα πλυσίματος και διαλογής, εξοπλισμό πρόψυξης και μονάδες ψυχρής αποθήκευσης.

Η διάθεση υγρών και στερεών αποβλήτων είναι μια σημαντική παράμετρος στο σχεδιασμό και την εγκατάσταση ενός συσκευαστηρίου. Είναι απαραίτητες οι αποχετεύσεις του εδάφους για να μεταφέρουν το απορριμματικό νερό σε ένα σηπτικό χώρο. Τα στερεά απόβλητα (σκάρτη παραγωγή) μπορούν να διασπαρθούν σε ακαλλιέργητα χωράφια ή να πωληθούν για ζωτροφές.

Ο σχεδιασμός μιας περιοχής παραλαβής και μίας γραμμής συσκευασίας η οποία θα ταιριάζει στις ιδιαίτερες ανάγκες είναι απαραίτητος. Η περιοχή παραλαβής πρέπει να είναι υπερευπωμένη για τη διευκόλυνση της εκφόρτωσης της παραγωγής από τα φορητά ή τα καμιόνια που τη μεταφέρουν από το χωράφι. Το ύψος εξαρτάται από τα οχήματα και τον εξοπλισμό φόρτωσης και εκφόρτωσης που χρησιμοποιούνται, όπως εργαλεία ανύψωσης παλετών και περονοφόρα.

Υπάρχουν δύο παράγοντες που πρέπει να λάβουμε υπόψη όταν αποφασίζουμε για την εγκατάσταση φωτισμού, η ασφάλεια και η ποιότητα. Η ποιότητα φωτισμού για τη γραμμή συσκευασίας περιλαμβάνει τον τύπο φωτισμού, την τοποθέτηση του φωτισμού, την ένταση του φωτισμού και σχετικοί περιβαλλοντικοί παράγοντες. Στην περίπτωση της ταξινόμησης και

την διαλογής της παραγωγής, είναι επιθυμητό να υπάρχει φωτισμός που να δείχνει κάθε τραύμα, κηλίδα ή σημάδι στην παραγωγή.

Υπάρχουν άλλες περιοχές του συσκευαστηρίου που δε σχετίζονται άμεσα με το χειρισμό της παραγωγής, αλλά μπορεί να είναι πολύ σημαντικές για τη λειτουργία του συσκευαστηρίου. Αυτό αφορά την περιοχή συναρμολόγησης εμπορευματοκιβωτίων, το χώρο ανάπαυσης, το χώρο καθαριότητας του προσωπικού, τα γραφεία, τα συνεργεία και τα εργαστήρια.

Η παράδοση στο συσκευαστήριο γίνεται συνήθως με τη χρησιμοποίηση φορτηγών, που μεταφέρουν την παραγωγή σε παλέτες, πλαστικά ή ξύλινα δοχεία κλπ. Το κατάλληλο κιβώτιο για το σκοπό αυτό είναι αυτό που προστατεύει το προϊόν κατά τη μεταφορά, διευκολύνει την εκφόρτωση και επιτρέπει την οδήγηση της παραγωγής στη γραμμή συσκευασίας με όσο το δυνατό λιγότερους τραυματισμούς.

Η παροχή των προϊόντων στη γραμμή συσκευασίας μπορεί να γίνει ή χειρωνακτικά όταν η παραγωγή μεταφέρεται σε μικρά πλαστικά ή ξύλινα κουτιά, ή μηχανικά, με έναν αυτόματο μετατροπέα (σε νερό). Υπάρχουν δύο τρόποι παροχής: με ένα σύστημα χειρισμού με νερό όπου η παραγωγή ανατρέπεται σε μια δεξαμενή νερού ή με ένα συμβατικό σύστημα όπου γίνεται η παροχή της στεγνής παραγωγής απευθείας στη γραμμή παροχής. Πρέπει να καταβάλλονται προσπάθειες για τη μείωση των τραυματισμών. Η μείωση του μηχανικού τραυματισμού περιλαμβάνει την ελαχιστοποίηση των πτώσεων και των κυλίσεων στα σημεία μεταφοράς της γραμμής συσκευασίας. Για να επιτευχθεί αυτό, οι γραμμές συσκευασίας πρέπει να είναι ευθείες και να έχουν ελάχιστες μεταβολές ύψους μεταξύ των τμημάτων. Η εγκατάσταση κρεμαστών κουρτινών πάνω από τους μεταφορείς στα τραπέζια διαλογής μπορούν να μειώσουν τις δυνάμεις κρούσης κατά 50%.

Η αρχική περιοχή της διαλογής και συσκευασίας μπορεί να περιλαμβάνει ένα σύστημα για καθάρισμα και πλύσιμο της παραγωγής. Τα παθογόνα που υπάρχουν στα φρέσκο-συγκομισμένα προϊόντα πολλαπλασιάζονται στα υδατικά συστήματα χειρισμού όπως οι δεξαμενές εκφόρτωσης, οι υδραγωγοί και οι υδροψύκτες στα οποία το νερό ανακυκλώνεται. Ακόμη και το προϊόντα που έρχονται από τον αγρό και δείχνουν υγιή μπορεί να φιλοξενούν μεγάλους πληθυσμούς παθογόνων, ιδιαίτερα σε ζεστό και βροχερό καιρό. Όταν τα φρούτα και τα λαχανικά εμβαπτίζονται σε νερό που περιέχει παθογόνα μπορούν να προσβληθούν και να αποσυντεθούν κατά τη μεταφορά και τους χειρισμούς. Η προσθήκη ενός εγκεκριμένου απολυμαντικού στο νερό βοηθά στην παρεμπόδιση της ανάπτυξης των παθογόνων στο νερό και περιορίζει αυτά τα προβλήματα. Η ισχύουσα σύσταση είναι η σταθερή διατήρηση 100 - 150 ppm κοινού χλωρίου και pH της κλίμακας 6.8 - 7.2 για όλο το ανακυκλωμένο νερό και καθ' όλη τη διάρκεια χρήσης.

Αυτό το προτεινόμενο επίπεδο εξοντώνει τα παθογόνα τα οποία προκαλούν την αποσύνθεση του προϊόντος. Η προσθήκη ενός εγκεκριμένου απολυμαντικού στο νερό, όπως το υποχλωρίδιο του νατρίου, το υποχλωρίδιο του ασβεστίου, ή το υγρό χλώριο, βοηθά στην παρεμπόδιση της ανάπτυξης παθογόνων. Η αποτελεσματικότητα του χλωριωμένου νερού ως

απολυμαντικό επηρεάζεται πολύ από το pH του διαλύματος. Όλο το ανακυκλωμένο νερό θα πρέπει να αλλάζεται σε καθημερινή βάση ή πιο συχνά αν το νερό γίνεται υπερβολικά ακάθαρτο λόγω της ανάπτυξης οργανικών ουσιών.

Για μερικά προϊόντα, όπως τα ροδάκινα εφαρμόζεται επιπρόσθετο βούρτσισμα. Αυτό βοηθά στην απομάκρυνση των ακαθαρσιών και των παθογόνων από την επιφάνεια του προϊόντος, καθώς και στη βελτίωση της εμφάνισής του. Επιπρόσθετη χημική μεταχείριση μπορεί να γίνει κατά το κέρωμα για την εμπόδιση της εμφάνισης μούχλας και άλλων φυσιολογικών ανωμαλιών κατά την αποθήκευση. Αυτές περιλαμβάνουν την ενσωμάτωση στο γαλάκτωμα κεριού των παρακάτω:

- ❖ Παρεμποδιστές ανάπτυξης μούχλας
- ❖ Παρεμποδιστές ανάπτυξης
- ❖ Πλαστικές ουσίες
- ❖ Αντιοξειδωτικά

Μια περιοχή στεγνώματος χρειάζεται σε αυτό το στάδιο για την υγρή παραγωγή. Πριν να συσκευαστεί μέσα σε κιβώτια, η παραγωγή μπορεί να στεγνώσει σε σφουγγάρια σε ένα σύστημα μεταφοράς, με τη ροή αέρα ή σε τραπέζια με επιφάνεια δικτυωτού πλέγματος. Μερική διαλογή μπορεί να γίνει αρχικά στην περιοχή λήψης της παραγωγής ή στο χωράφι, ιδιαίτερα αν η παραγωγή είναι μολυσμένη, χαμηλής ποιότητας ή παραμορφωμένη. Ωστόσο το μεγαλύτερο μέρος της διαλογής γίνεται σε ένα μεγάλο τραπέζι στο οποίο η παραγωγή μπορεί να εξαπλωθεί για παρατήρηση, μια ταινία προώθησης ή μια ζώνη μεταφοράς με έναν ταξινομητή μεγέθους. Η ταξινόμηση είναι ένα σημαντικό μέρος της «σωστής» συσκευασίας της συγκομιδής. Ο αγοραστής θέλει ένα εμπορευματοκιβώτιο με ομοιόμορφα φρούτα και λαχανικά, και επίσης θέλει να έχουν σωστή σήμανση σύμφωνα με τις εθνικές και Ευρωπαϊκές προδιαγραφές και τις μεμονωμένες προδιαγραφές των αγοραστών.

Το μέγεθος μπορεί να υποδειχθεί ως αριθμός προϊόντων που θα χωράει σε μια τυποποιημένη συσκευασία αλλά για άλλους χρησιμοποιείται το πραγματικό μέγεθος (μήκος ή διάμετρος). Ο αριθμός προϊόντων σε μια συσκευασία συνήθως ανταποκρίνεται σε μία τυποποιημένη κλίμακα μεγέθους για συγκεκριμένα φρούτα ή λαχανικά. Τα εμπορευματοκιβώτια μπορούν επίσης να έχουν κλίμακες ελάχιστου βάρους.

Ακολουθεί μια περιοχή για τη συσκευασία των προϊόντων σε εμπορευματοκιβώτια για αποστολή, διατήρηση ή εμπορία. Η πλήρωση εμπορευματοκιβωτίων είναι μια κρίσιμη λειτουργία και πρέπει να ελεγχθεί προσεκτικά. Τα προϊόντα μπορούν να συντριφθούν κατά τη διάρκεια του κλεισίματος ενός υπερχειλισμένου εμπορευματοκιβωτίου, και να τρυπηθούν κατά τη διάρκεια της συρραφής, ενώ το μη πλήρες γέμισμα του εμπορευματοκιβωτίου μπορεί να οδηγήσει στον σοβαρό μηχανικό τραυματισμό λόγω του σπρωξίματος κατά τη διάρκεια της αποστολής και του χειρισμού.

Αφότου έχουν συσκευαστεί τα προϊόντα στα μεταφορικά κιβώτια, τοποθετούνται σε αυτά ετικέτες με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά : το μέγεθος, την αρίθμηση ή το καθαρό βάρος, το βαθμό, το όνομα και τη διεύθυνση του καλλιεργητή, την ημερομηνία συσκευασίας και έναν κωδικό παρακολούθησης που ενσωματώνει την ημερομηνία συγκομιδής, τον αριθμό του δοχείου, το χρόνο συσκευασίας, τον αριθμό του συσκευαστή, τον αριθμό επιθεωρητή και άλλες πληροφορίες σχετικά με το προϊόν. Όταν το προϊόν είναι έτοιμο για τηναποστολή, φορτώνεται με το χέρι ή μηχανικά στα φορτηγά που το μεταφέρουν στην αγορά. Εάν το προϊόν συσκευάζεται και τοποθετείται σε παλέτες, τα περονοφόρα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ευκολότερη και ασφαλέστερη φόρτωση.

5.5 Συσσκευασία σε τροποποιημένες ή ελεγχόμενες ατμόσφαιρες (MAP)

5.5.1 Περιγραφή της τεχνικής

Η χρήση των τροποποιημένων ατμοσφαιρών (Modified Atmosphere Packaging, MAP) για την αύξηση του χρόνου ζωής των τροφίμων άρχισε από το 1930 με εφαρμογή στη μεταφορά κρέατος με πλοία. Σήμερα, εκτός της χονδρικής συσκευασίας, η τεχνική των τροποποιημένων ατμοσφαιρών έχει επεκταθεί και σε λιανικές συσκευασίες μια και υπάρχει σαφής τάση προς μικρές, ακόμη και ατομικές, συσκευασίες. Εκτός του όρου «τροποποιημένη ατμόσφαιρα», χρησιμοποιείται και ο όρος «ελεγχόμενη ατμόσφαιρα». Και στις δύο τεχνικές η αέρια σύνθεση της ατμόσφαιρας που περιβάλλει το προϊόν είναι διαφορετική από την κανονική σύνθεση. Και οι δύο όροι περιλαμβάνουν χρήση των CO₂, O₂ και N₂ σε διαφορετικά ποσοστά με σκοπό την παράταση του χρόνου ζωής μεγάλης σειράς προϊόντων, όπως κρέας, κοτόπουλο, ψάρια, νωπά οπωροκηπευτικά, είδη αρτοποιίας κ.ά. Η διαφορά των δύο όρων έγκειται στο ότι στις ελεγχόμενες ατμόσφαιρες, η αέρια σύσταση ελέγχεται επακριβώς και συνεχώς, ενώ στις τροποποιημένες η αέρια σύσταση συνήθως δεν ελέγχεται μετά την αρχική δημιουργία της στο εσωτερικό της συσκευασίας.

Σε γενικές γραμμές, η συσκευασία MAP περιλαμβάνει τα εξής στάδια:

Εισαγωγή του προϊόντος στον περιέκτη, αφαίρεση του περιεχόμενου αέρα και ταυτόχρονη αντικατάστασή του με αέρια CO₂, O₂ και N₂ σε ορισμένη αναλογία.

1. Αποκλεισμό της διαμορφωμένης ατμόσφαιρας με αεροστεγές σφράγισμα του περιέκτη.

Οι τροποποιημένες ατμόσφαιρες μπορούν να δημιουργηθούν είτε παθητικά από το ίδιο το προϊόν είτε ενεργητικά. Στην περίπτωση που οι απαιτήσεις του προϊόντος συνδυάζονται κατάλληλα με τα χαρακτηριστικά διαπερατότητας της πλαστικής μεμβράνης, τότε δημιουργείται παθητικά μία τροποποιημένη ατμόσφαιρα ως αποτέλεσμα της κατανάλωσης O₂ και της παραγωγής CO₂. Βέβαια, για να επιτευχθεί και να διατηρηθεί η επιθυμητή ατμόσφαιρα στο εσωτερικό της συσκευασίας, πρέπει η διαπερατότητα της μεμβράνης να είναι τέτοια ώστε να επιτρέπει το O₂ να εισέρχεται με μία ταχύτητα που να αντισταθμίζεται από την κατανάλωση O₂ από το προϊόν. Επίσης, το CO₂ πρέπει να εξέρχεται από τη συσκευασία ώστε να αντισταθμίζεται το

παραγόμενο CO₂ από το προϊόν. Ωστόσο, λόγω της περιορισμένης δυνατότητας ρύθμισης μιας παθητικά τροποποιημένης ατμόσφαιρας, η σύσταση των αερίων στο εσωτερικό της συσκευασίας ρυθμίζεται συνήθως ενεργητικά. Αυτό επιτυγχάνεται με δημιουργία ελαφρού κενού και αντικατάσταση της ατμόσφαιρας με το επιθυμητό μίγμα αερίων, η σύσταση, όμως, του οποίου μπορεί να ρυθμιστεί παραπέρα με χρήση απορροφητών ή προσροφητών που ενσωματώνονται στο υλικό συσκευασίας.

5.6 Εφαρμογές της MAP σε φρούτα και λαχανικά

Η μεταβολή της σύστασης της ατμόσφαιρας που περιβάλλει τα νωπά προϊόντα προκαλεί μεταβολή στην ταχύτητα αναπνοής τους. Όταν η περιεκτικότητα σε O₂ είναι σε κανονικά επίπεδα γίνεται αερόβια αναπνοή, απουσία O₂ πραγματοποιείται αναερόβια αναπνοή, ενώ χαμηλές συγκεντρώσεις επιτρέπουν αμφοτέρως τις διεργασίες, έτσι ώστε να υπάρχει μία ισορροπία μεταξύ των συγκεντρώσεων O₂ και CO₂, η οποία, σε συνδυασμό με τη θερμοκρασία αποθήκευσης, επιτυγχάνει ελάττωση της αναπνοής. Σε έναν ερμητικά κλεισμένο περιέκτη, καθώς συνεχίζεται η αναπνοή, υπάρχει μία σταθερή μεταβολή της σύστασης της ατμόσφαιρας καθώς καταναλίσκεται το O₂ και αυξάνει η συγκέντρωση του CO₂. Καθώς η πλαστική μεμβράνη είναι περισσότερο διαπερατή σε CO₂, το τελευταίο διαχέεται ταχύτερα προς το εξωτερικό της συσκευασίας από όσο διαχέεται το O₂ προς το εσωτερικό. Η ταχύτητα διαπερατότητας εξαρτάται και από τις μερικές πιέσεις των δύο αερίων στον εσωτερικό και εξωτερικό χώρο και είναι πιθανό οι δύο αυτές ταχύτητες να φθάσουν σε κατάσταση ισορροπίας και να επιτευχθεί ατμόσφαιρα σταθερής σύστασης. Επιπλέον, μείωση του ρυθμού αναπνοής επηρεάζει την παραγωγή αιθυλενίου που είναι το κυριότερο μέσο ωρίμανσης για τα περισσότερα φρούτα, ενώ επιταχύνει ταυτόχρονα και τη σταδιακή αποικοδόμησή τους. Τέλος, αυξημένες συγκεντρώσεις CO₂ επιβραδύνουν το μαλάκωμα των φυτικών ιστών και βελτιώνουν τη διατήρηση της χλωροφύλλης στα πράσινα λαχανικά. Ωστόσο, η χρήση MAP σε φρούτα εγκυμονεί και ορισμένους κινδύνους. Με την έναρξη της αναερόβιας αναπνοής δημιουργείται συσσώρευση αιθυλενίου, η οποία είναι γενικά ανεπιθύμητη, ενώ χαμηλές συγκεντρώσεις O₂ συνδέονται με αυξημένη παραγωγή ακεταλδεύδης, αιθανόλης και οργανικών οξέων, που προκαλούν αποχρωματισμό και ανάπτυξη ανεπιθύμητης οσμής και γεύσης.

5.7 Επισκόπηση Τεχνολογίας Ραδιοσυχνικής Αναγνώρισης (RFID)

Η τεχνολογία Ραδιοσυχνικής Αναγνώρισης (RFID, Radio Frequency Identification), στην οποία θα αναφερόμαστε από εδώ και στο εξής με το όνομα RFID, είναι η τεχνολογία που χρησιμοποιεί τα ραδιοκύματα (radio waves) με σκοπό αυτόματα να αναγνωρίζει, να εντοπίζει, να συλλέγει και να αποθηκεύει πληροφορίες έμψυχων και άψυχων αντικειμένων. Οι συχνότητες των ραδιοκυμάτων και τα αντικείμενα στα οποία εφαρμόζεται, η τεχνολογία RFID, ποικίλουν ανάλογα με την εφαρμογή και τους σκοπούς της.

Για παράδειγμα στην εφοδιαστική αλυσίδα χρησιμοποιούνται πολύ υψηλές συχνότητες), τα αντικείμενα είναι άψυχα και είναι τα μεμονωμένα προϊόντα (π.χ. ένα κουτάκι αναψυκτικού), η συσκευασία κιβωτίου μεμονωμένων προϊόντων (π.χ. κιβώτιο με κουτάκια αναψυκτικών) και η συσκευασία παλέτας

κιβωτίων μεμονωμένων προϊόντων (π.χ. παλέτα με πολλά κιβώτια με κουτάκια αναψυκτικών). Ένα άλλο παράδειγμα είναι τα εκτροφεία βοοειδών στα οποία χρησιμοποιούνται χαμηλές συχνότητες και τα αντικείμενα είναι έμψυχα (βοοειδή)

Η τεχνολογία RFID είναι μέλος της οικογένειας τεχνολογιών Αυτόματης Αναγνώρισης και Συλλογής Δεδομένων και αποτελεί την τεχνολογική εξέλιξη των γραμμωτών κωδίκων. Οι δυνατότητες που δίνει η τεχνολογία RFID είναι πολύ μεγάλες και αυτό θα προσπαθήσουμε να αναδείξουμε στο κεφάλαιο αυτό παράλληλα με την περιγραφή του τρόπου λειτουργίας της τεχνολογίας RFID και των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών της.

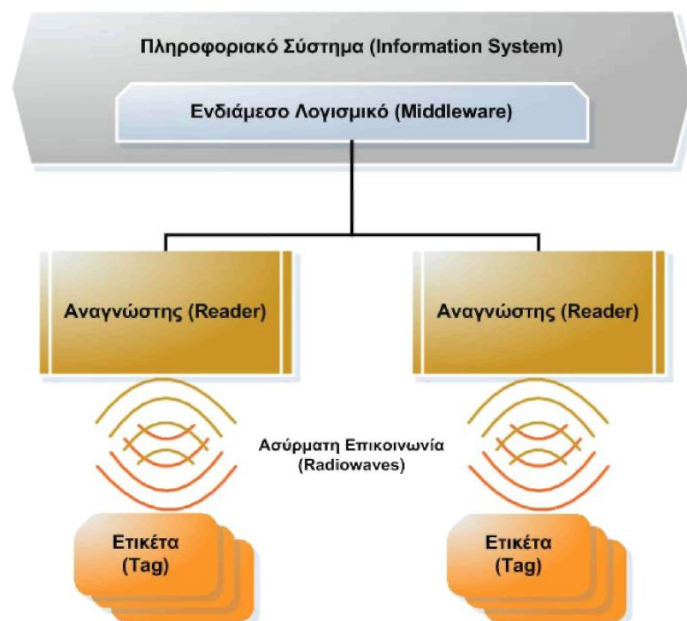
Αρχιτεκτονική

Η τεχνολογία RFID βρίσκεται στα άκρα ενός πληροφοριακού συστήματος. Είναι στην ουσία ένας διαφορετικός τρόπος διασύνδεσης με αντικείμενα που επιθυμούμε να αναγνωρίζουμε, να εντοπίζουμε και να συλλέγουμε πληροφορίες για αυτά. Η διασύνδεση είναι ασύρματη και βασίζεται στα ραδιοκύματα τα οποία μεταδίδονται στον αέρα. Παράλληλα η αναγνώριση αντικειμένων δεν απαιτεί οπτική επαφή (σε αντίθεση με τον γραμμωτό κώδικα που έχει μέσο διασύνδεσης τις υπέρυθρες και απαιτεί οπτικήεπαφή).

Ένα σύστημα RFID περιλαμβάνει τρία βασικά στοιχεία:

- Την Ετικέτα (tag) η οποία αναφέρεται στην βιβλιογραφία και ως πομποδέκτης,
- τον Αναγνώστη (reader), ο οποίος αποτελείται από την κεραία (antenna) και την μονάδα ελέγχου (control unit)
- Ενδιάμεσο Λογισμικό (Middleware), το οποίο λειτουργεί ως «γέφυρα» επικοινωνίας μεταξύ του αναγνώστη και του πληροφοριακού συστήματος.

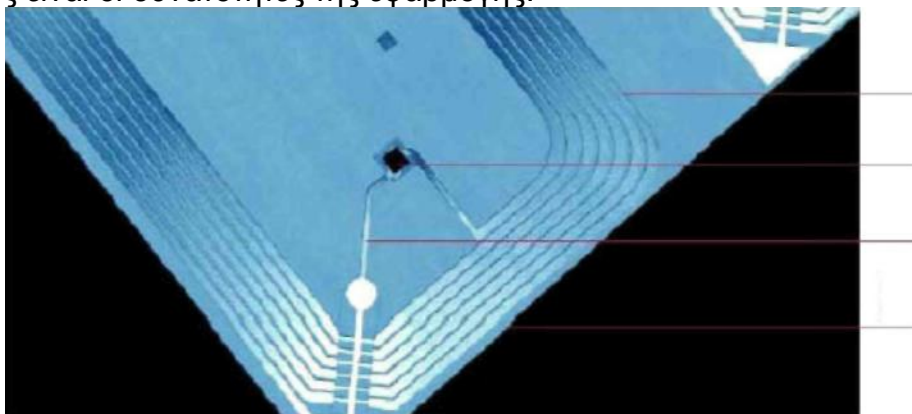
Η αρχιτεκτονική του συστήματος RFID αφορά τις τρεις οντότητες που αναφέραμε δηλαδή τις ετικέτες, τους αναγνώστες και το ενδιάμεσο λογισμικό. Τα υπόλοιπα μέρη του πληροφοριακού συστήματος (εξυπηρετητές, δίκτυα, τερματικά κ.α.) παραλείπονται καθώς είναι πέρα από την οπτική αυτού του κεφαλαίου.



Εικόνα 5.1. Αρχιτεκτονική συστήματος RFID

5.7.1 Βασικά Στοιχεία του Συστήματος RFID

Όπως προαναφέρθηκε τα βασικά στοιχεία του συστήματος RFID είναι τρία: η ετικέτα, ο αναγνώστης και το ενδιάμεσο λογισμικό. Τα στοιχεία αυτά ανάλογα με τις ιδιότητες τους καθορίζουν για ποια εφαρμογή είναι κατάλληλα και ποιες είναι οι δυνατότητες της εφαρμογής.



Εικόνα 5.2. Ετικέτα RFID

Η ετικέτα RFID περιλαμβάνει μια κεραία (antenna) και ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα. Η κεραία χρησιμοποιείται για την αμφίδρομη αποστολή σημάτων μέσω των ραδιοκυμάτων με τον αναγνώστη. Το ολοκληρωμένο κύκλωμα είναι αυτό που καθορίζει κάθε φορά αν θα γίνει εκπομπή ή λήψη δεδομένων και έχει την δυνατότητα να τα αποθηκεύει στην μνήμη του. Η μνήμη κυμαίνεται από 4 μέχρι 128KB.

5.7.2 Εφαρμογές

Η τεχνολογία RFID, αν και δεν είναι μια καινούργια τεχνολογία, παρουσιάζει τα τελευταία χρόνια μια ανοδική πορεία προκαλώντας το ενδιαφέρον ολοένα και περισσότερο της αγοράς. Η πορεία της επιταχύνεται συνεχώς από την τεχνολογική πρόοδο, που έχει ως αποτέλεσμα την μείωση του κόστους και την αύξηση των δυνατοτήτων της. Σήμερα η τεχνολογία RFID παίζει σημαντικό ρόλο σε πολλές εφαρμογές και ταυτόχρονα έχει δημιουργήσει την βάση για νέες. Βασική λειτουργία της τεχνολογία RFID είναι η ταυτοποίηση αντικειμένων, η οποία μπορεί να εφαρμοστεί πρακτικά σε όλους τους τομείς της καθημερινής ζωής και των επιχειρήσεων.

Κεφάλαιο 6 Πρόψυξη

Με τον όρο πρόψυξη των οπωρολαχανικών εννοούμε την ταχεία απομάκρυνση της θερμότητας από τα προϊόντα, όσο γίνεται συντομότερα από τη στιγμή της συλλογής. Η πρώτημη αυτή ψύξη έχει σκοπό να επιβραδύνει άμεσα τη λειτουργία της ωρίμανσης, ώστε ο υπό συντήρηση προϊόν να μπορεί να διατηρηθεί αρκετές μέρες σε κατάσταση που ελάχιστα διαφέρει ποιοτικά απ' αυτήν της στιγμής της συλλογής. Η πρόψυξη επιβάλλεται να εφαρμόζεται ιδιαίτερα κατά το θέρος διότι τα προϊόντα έχουν υψηλή θερμοκρασία και αν αυτά δεν προψυχθούν, πριν τοποθετηθούν στους ψυκτικούς θαλάμους, η θερμοκρασία των θαλάμων δεν θα είναι ποτέ η πρόψυξη. Επιπλέον, η ταχεία απομάκρυνση της θερμότητας του αγρού έχει ως συνέπεια την μείωση της αναπνευστικής δραστηριότητας, την αναστολή ή την μείωση παραγωγής αιθυλενίου, την αναστολή δράσης των μικροοργανισμών και κυρίως των μυκήτων.

Είναι απαραίτητη για προϊόντα που είναι ευπαθή, που συγκομίζονται όταν η θερμοκρασία είναι υψηλή, προϊόντα που παράγουν μεγάλες ποσότητες αιθυλενίου ή έχουν υψηλή αναπνευστική δραστηριότητα.

Το χρονικό διάστημα μεταξύ συλλογής και ψύξης το διάστημα αυτό συχνά δεν πρέπει να ξεπερνά μερικές ώρες όταν πρόκειται για συντήρηση πολύ ευαίσθητων προϊόντων όπως είναι τα κεράσια, τα φασολάκια, τα φυλλώδη λαχανικά, τα σπαράγγια κτλ.

Η ταχύτητα ψύξης που είναι συνάρτηση του συστήματος πρόψυξης και του τρόπου συσκευασίας του προϊόντος. Εκτός από την αποτελεσματικότητα της μεθόδου, η ταχύτητα πρόψυξης επηρεάζεται από τις διαστάσεις του προϊόντος, την ευκολία με την οποία το ψυκτικό μέσο φθάνει στο προϊόν, τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ ψυκτικού μέσου και προϊόντος, τη φύση και την ταχύτητα κοπής και πρόψυξης κυκλοφορίας του μέσου. Τα βασικά συστήματα (μέθοδοι) πρόψυξης είναι:

- α) με ψυχρό αέρα
- β) με παγωμένο νερό
- γ) με κενό.

Η πρόψυξη επιτυγχάνεται αποτελεσματικά σε ειδικές γι' αυτό εγκαταστάσεις, το προϊόν προψύχεται ατομικά ή σε μεγάλες ποσότητες πριν ή μετά τη συσκευασία, στον αγρό (με κινητή εγκατάσταση) ή στο σταθμό πρόψυξης, οπότε το είδος και η ισχύς της εγκατάστασης καθώς και η διάρκεια της ψύξης μπορεί να ποικίλουν. Πάντως, όποια κι αν είναι η χρησιμοποιούμενη μέθοδος πρόψυξης, τα πλεονεκτήματα της χάνονται εάν, στη συνέχεια, δεν συνεχισθεί η συντήρηση του προϊόντος σε χαμηλή θερμοκρασία. Γι' αυτό προτιμάται η ψύξη των προϊόντων μετά τη συσκευασία, παρόλο που διαρκεί περισσότερο. Στις περιπτώσεις που η πρόψυξη πραγματοποιείται πριν από τη συσκευασία, οι χώροι συσκευασίας πρέπει να είναι κλιματιζόμενοι ώστε να αποφεύγεται η συμπύκνωση υδρατμών πάνω στα προϊόντα και να περιορίζεται όσο είναι δυνατό η αναθέρμανση τους.

6.1 Πρόψυξη με ψυχρό αέρα

Η ψύξη του προϊόντος επιτυγχάνεται με μετάδοση της θερμότητας του σε ένα ρεύμα αέρα, όπως συμβαίνει και σε ένα θάλαμο συντήρησης. Στον ψυκτικό θάλαμο συντήρησης η θερμότητα των προϊόντων απάγεται με ένα βραδύ ρεύμα αέρα κυρίως στο επίπεδο της επιφάνειας των συσκευασιών η μεταφορά θερμότητας στο εσωτερικό της συσκευασίας πραγματοποιείται κύρια με αγωγιμότητα, οι οριακοί δε παράγοντες της ψύξης αυτής είναι:

- οι διαστάσεις της συσκευασίας
- το είδος και το υλικό συσκευασίας
- η διάταξη των κιβωτίων μέσα στον θάλαμο.

Η ψύξη μπορεί να επιταχυνθεί με ένα βεβιασμένο ρεύμα αέρα μεγάλης ταχύτητας (π.χ. σε μια σήραγγα), έτσι ώστε ένα μεγάλο μέρος του αέρα να εισέρχεται στο εσωτερικό της συσκευασίας και να έρχεται σε άμεση επαφή με το προϊόν, βελτιώνοντας τις εναλλαγές θερμότητας. Ωστόσο η βελτίωση των θερμικών εναλλαγών δεν είναι ανάλογη με την επιπλέον απορροφούμενη ισχύ από τους ανεμιστήρες. Έτσι για μια παροχή V , οι εναλλαγές θερμότητας αυξάνουν όπως κατά $V^{0.7}$ και η κατανάλωση σε ενέργεια όπως V^3 . Η δυσανάλογη αυτή αύξηση της απορροφούμενης ισχύος, είναι ο κύριος λόγος του περιορισμού του συντελεστή κυκλοφορίας που κυμαίνεται από 80 έως 100, και της ταχύτητας του αέρα που συνήθως δεν ξεπερνά τα 6 m/s.

Κατά την πρόψυξη με αέρα οι, απώλειες μάζας από αφυδάτωση κυμαίνονται από 0,5 έως 1,5% και γι' αυτό συνιστάται η ατμόσφαιρα να είναι όσο γίνεται πιο υγρή.

Πρόψυξη σε κοινό θάλαμο συντήρησης

Ο αερισμός είναι μέτριος, ο συντελεστής κυκλοφορίας του αέρα δεν ξεπερνάει το 50, ο δε χρόνος ψύξης του προϊόντος ξεπερνάει τις 30 ώρες.

Πρόψυξη σε σήραγγα (τούνελ)

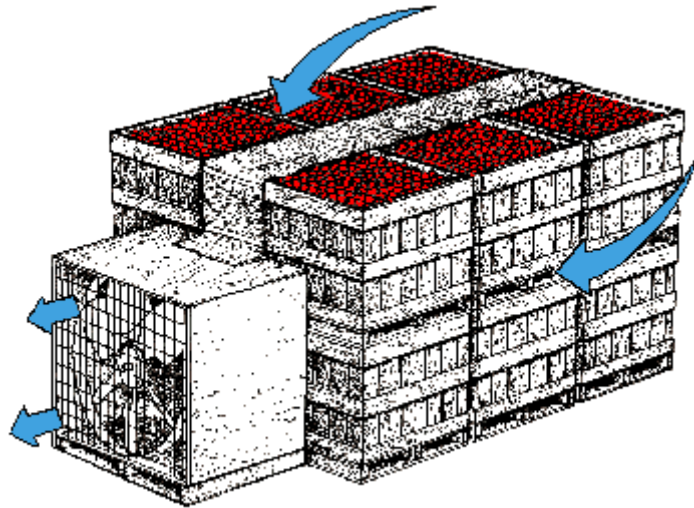
Πρόκειται για περιορισμένο χώρο, του οποίου η πλήρωση είναι ταχεία και η διάταξη των κιβωτίων καλά μελετημένη. Ο συντελεστής κυκλοφορίας είναι όπως ήδη αναφέραμε της τάξεως των 100 αλλαγών ανά ώρα και η ταχύτητα του αέρα 3 με 6 m/s. Δεν θα πρέπει να υπάρχουν περιοχές κακής (μικρής) κυκλοφορίας του αέρα. Η απορροφούμενη ισχύς από τους ανεμιστήρες είναι σημαντική και ο ψυκτικός εξοπλισμός μεγάλης ψυκτικής ισχύος ώστε να είναι δυνατή η απαγωγή της θερμότητας των προϊόντων στον προβλεπόμενο χρόνο (Πίνακας 6.1).

Πίνακας 6.1. Ενδεικτικός χρόνος πρόψυξης σε σήραγγα

Προϊόν	Αρχ. θερμοκρασία °C	Τελική θερμοκρασία °C	Χρόνος h
Σταφύλια	25	2	24
Αχλάδια	25	4	24
Μήλα	25	5	24
Ακτινίδια	20	1	24

6.2 Πρόψυξη με υπερπίεση

Χρησιμοποιούνται ειδικές διατάξεις κυκλοφορίας και δημιουργίας διαφοράς πίεσης (ώστε ο αέρας να διέλθει μέσα από τη συσκευασία του προϊόντος. Συνήθως ο αέρας ωθείται για να διέλθει μέσα από τις διατεταγμένες σειρές των κιβωτίων (κλούβες, τελάρια ή χαρτοκιβώτια) με το προϊόν, η ψύξη όμως του προϊόντος καθίσταται ανομοιόμορφη με την αύξηση των σειρών. Ενδεικτικά αναφέρουμε ότι απαιτείται μια υπερπίεση 12 mm (1 mm στήλης νερού = 9.796 Pa) στήλης νερού περίπου για να υπερνικηθεί η αντίσταση μιας και μόνον σειράς κιβωτίων. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίον όταν έχουμε περισσότερες σειρές δημιουργούμε έναν κεντρικό διάδρομο υποπίεσης (Σχήμα 6.1) με τη βοήθεια ενός ανεμιστήρα. Βεβαίως σημαντικό ρόλο στην καλή κυκλοφορία του αέρα παίζει το είδος της συσκευασίας, το είδος του κιβωτίου και η διάταξη.



Σχήμα 6.1. Διάταξη των κιβωτίων και κυκλοφορία του αέρα σε μια εγκατάσταση πρόψυξης με υπερπίεση

Πίνακας 6.2. Ενδεικτικός χρόνος πρόψυξης με υπερπίεση.

Προϊόν	Αρχ. Θερμοκρασία °C	Τελική θερμοκρασία °C	Χρόνος h
Φράουλα	25	5	1
Μαρούλι	20	1	4
Πεπόνι	25	2	Θ
Ροδάκινο	25	1	7
Σταφύλι	25	0	6

6.3 Πρόψυξη με κρύο νερό (υδρόψυξη)

Τα προϊόντα εμβαπτίζονται (Σχήμα 6.2) ή ψεκάζονται με νερό θερμοκρασίας 0 έως 1°C. Οι εναλλαγές θερμότητας μεταξύ προϊόντος και

νερού είναι σημαντικά καλύτερες απ' ό τι μεταξύ προϊόντος και αέρα, είναι όμως απαραίτητο το νερό να κυκλοφορεί γύρω από το προϊόν. Η ψύξη είναι πολύ ταχύτερη και ομοιόμορφη και δεν υπάρχουν απώλειες μάζας. Μειονέκτημα της μεθόδου είναι η μόλυνση του χρησιμοποιούμενου νερού (με φυτοφάρμακα) και η δημιουργία μετά τη διαβροχή του προϊόντος ευνοϊκών συνθηκών για την ανάπτυξη μυκήτων, γι' αυτό η μέθοδος δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε όλα τα ήδη όπως μικρά φρούτα και φυλλώδη λαχανικά και σε όλες τις συσκευασίες.



Σχήμα 6.2. Υδροψυξη.

6.4 Πρόψυξη με κενό

Ένα φυτικό όργανο πλούσιο σε νερό χάνει ένα μέρος της υγρασίας του με εξάτμιση όταν βρεθεί σε ένα χώρο χαμηλής πίεσης. Σε πίεση 10,1 mmHg η θερμοκρασία ατμοποίησης του νερού είναι 11,5°C ενώ σε πίεση 4,6 mmHg η θερμοκρασία ατμοποίησης του νερού είναι 0°C. Η απαιτούμενη θερμότητα για την ατμοποίηση παρέχεται από το προϊόν που έτσι ψύχεται. Η ατμοποίηση 1% νερού επιτρέπει τη μείωση της θερμοκρασίας κατά 6°C. Για ψύξη ενός μαρουλιού, από τους 20°C στους 3°C, απαιτείται εξάτμιση του 3% του περιεχομένου νερού. Το νερό αυτό που απελευθερώνεται από το προϊόν, προκαλεί σημαντική αφυδάτωση, που αποφεύγεται υγραίνοντας τα προϊόντα με ψεκασμό πριν από την έναρξη της διαδικασίας πρόψυξης.

Για να είναι αποτελεσματική η ψύξη, πρέπει το νερό να απελευθερώνεται εύκολα, δηλαδή το προϊόν πρέπει να παρουσιάζει μεγάλη σχέση επιφάνεια/όγκο (όπως είναι τα φυλλώδη λαχανικά) ή πορώδη υφή (όπως η φράουλα και τα μανιτάρια).

Η μέθοδος απαιτεί έναν θάλαμο τελείως στεγανό, ένα σύστημα απομάκρυνσης του αέρα (εγκατάσταση κενού), ένα σύστημα παγίδευσης των υδρατμών (ψυκτική εγκατάσταση) και φυσικά ένα σύστημα ρύθμισης και ελέγχου θερμοκρασίας και πίεσης.



Σχήμα 6.3. Πρόψυξη με κενό.

Με το κενό υπάρχει η δυνατότητα να προψυχθεί ομοιόμορφα ένα προϊόν σε μερικά λεπτά και μάλιστα συσκευασμένο. Μειονεκτήματα της μεθόδου είναι το υψηλό κόστος αρχικής επένδυσης και το γεγονός ότι οι ποσότητες που προψύχονται παραμένουν σχετικά μικρές, ακόμη και όταν πρόκειται για μεγάλες εγκαταστάσεις.

Πίνακας 6.3. Χρόνος πρόψυξης με κενό.

Προϊόν	Αρχ. θερμοκρασία °C	Τελική θερμοκρασία °C	Χρόνος h
Σπαράγγι	16	4	20
Κουνουπίδι	11	3	20
Φασολάκια	18	4	30
Σπανάκι	14	2	14
Μαρούλι	20	0	17
Μανιτάρια	17	3	25
Φράουλες	20	8	35

Στο παράρτημα 7 δίνονται περισσότερα στοιχεία για την πρόψυξη των προϊόντων.

Κεφάλαιο 7 Συντήρηση σε ελεγχόμενη ατμόσφαιρα

7.1 Ρύθμιση θερμοκρασίας

Στη διατήρηση σταθερής θερμοκρασίας σημαντικό ρόλο παίζει η καλή μόνωση των τοιχωμάτων του ψυγείου καθώς και η καλή κυκλοφορία του αέρα μέσα στους ψυκτικούς θαλάμους.

Καλή κυκλοφορία αέρα σημαίνει ταχύτητα αέρα που εξασφαλίζει πολλές εναλλαγές αέρα ανά ώρα.

Επίσης, μεγάλη σημασία έχει η σωστή τοποθέτηση των παλετών με το προϊόν στο θάλαμο (γέμισμα θαλάμου), έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η κίνηση του αέρα και ομοιόμορφη κατανομή της ψύξης στον θάλαμο. Τηρώντας μια απόσταση 20 cm περίπου μεταξύ πλησιέστερης προς το τοίχωμα παλέτας και τοιχώματος επιτυγχάνεται ομοιόμορφη κατανομή του ψυχρού αέρα στο ψυκτικό προϊόν.

Σημαντικό ρόλο επιτελούν οι θερμοστάτες, που είναι τοποθετημένοι σε κάθε θάλαμο και ρυθμίζουν το άνοιγμα και το κλείσιμο της βαλβίδας εκτονώσεως.

Στα ψυγεία η θερμοκρασία διατηρείται σταθερή αλλά με μία διακύμανση της τάξεως του $\pm 1^{\circ}\text{C}$ από το επίπεδο της επιθυμητής θερμοκρασίας. Η επιθυμητή θερμοκρασία εξαρτάται από το προϊόν που πρόκειται να συντηρηθεί.

Θερμοκρασία κάτω από το κρίσιμο όριο ($-1,5^{\circ}\text{C}$ έως 2°C για πολλά φρούτα) μπορεί να προκαλέσει πάγωμα ή και θερμοκρασίες $> 0^{\circ}\text{C}$ να προκαλέσουν ζημιές. Αντίθετα, θερμοκρασίες πάνω από το κρίσιμο όριο έχουν ως αποτέλεσμα να συντομεύουν τη διάρκεια συντήρησης των προϊόντων ή και να υποβαθμίζεται η ποιότητα τους, καθώς και να προσβάλλονται από μετασυσπαστικές ασθένειες, κυρίως μύκητες.

Η μεγάλη διακύμανση της θερμοκρασίας προκαλεί εναπόθεση σταγονιδίων και εφίδρωση στην επιφάνεια του προϊόντος. Η εφίδρωση έχει διπλή επίδραση στο προϊόν, πρώτον συμβάλλει σε μεγάλες απώλειες υγρασίας και δεύτερον ο σχηματισμός σταγονιδίων επιτρέπει τη βλάστηση των σπορίων των μυκήτων οπότε οι προσβολές πολλαπλασιάζονται.

Για την επίτευξη σταθερής θερμοκρασίας μέσα στα στενά επιθυμητά όρια το σύστημα ψύξης θα πρέπει να έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε να μπορεί να ανταπεξέρχεται σε περιόδους αιχμής που απαιτούν μεγάλο ψυκτικό φορτίο. Σε αντίθετη περίπτωση η θερμοκρασία του αέρα στο ψυγείο θα αυξανόταν περιορίζοντας σημαντικά τη διάρκεια συντήρησης του προϊόντος.

Η ρύθμιση της θερμοκρασίας κατά τους μετασυσπαστικούς χειρισμούς θεωρείται ως ο κύριος παράγοντας στον έλεγχο των μετασυσπαστικών ασθενειών.

Σε κάθε θάλαμο τοποθετούνται θερμοστάτες (συνήθως ηλεκτρονικοί) σε ορισμένο ύψος από το πάτωμα (περίπου 50-60 cm) και σε αντιπροσωπευτικές θέσεις, περίπου στο μέσο του θαλάμου, μακριά από πηγές θερμότητας, όπως πόρτες ή τοίχους με εξωτερική επιφάνεια καθώς και από περιοχές απαγωγής αέρα της ψυκτικής μονάδας. Αποφεύγεται επίσης η τοποθέτηση του θερμοστάτη σε θέσεις που παρουσιάζουν ψυχρά ρεύματα, όπως κοντά και κάτω από τον αεροψυκτήρα για να μην γίνεται εσφαλμένα κακή ρύθμιση της θερμοκρασίας. Ακόμη, ένα θερμόμετρο το οποίο είναι

τοποθετημένο εξωτερικά δίπλα από τη πόρτα του κάθε θαλάμου ελέγχει περιοδικά το θερμοστάτη για αποφυγή σφαλμάτων μερικών βαθμών °C, γεγονός που επιδρά σημαντικά στην υποβάθμιση του προϊόντος.

Ο θερμοστάτης δίνει εντολή στην ηλεκτρομαγνητική βάνα, που είναι τοποθετημένη πριν από τη βαλβίδα εκτόνωσης να ανοίξει για να περάσει το ψυκτικό υγρό, το ψυκτικό υγρό οδεύει στον αεροψυκτήρα και εκεί εκτονώνεται οπότε και παράγεται η ψύξη. Αυτό συμβαίνει όταν η θερμοκρασία ανέβει πάνω από τους $-0,5^{\circ}\text{C}$ και διαρκεί μέχρι να φτάσει η θερμοκρασία στους -1°C , οπότε κλείνει η ηλεκτρομαγνητική βάνα κατόπιν εντολής, απομονώνοντας με αυτό τρόπο τον αεροψυκτήρα.

Κατά τη συντήρηση των νωπών οπωροκηπευτικών τόσο στην ελεγχόμενη ατμόσφαιρα όσο και στη κοινή συντήρηση η σχετική υγρασία διατηρείται στο εύρος από 90 ως 95%. Αυτό είναι πολύ σημαντικό δεδομένου ότι μείωση της σχετικής υγρασίας κάτω από 90% συντελεί σε απώλειες υγρασίας, ενώ αύξηση της πάνω από 95% πλησιάζοντας το σημείο κορεσμού 100% αποτελούν ευνοϊκές συνθήκες για την ανάπτυξη παθογόνων μικροοργανισμών, που έχει ως αποτέλεσμα την ποιοτική υποβάθμιση ή και την απώλεια του συντηρούμενου προϊόντος.

Η σχετική υγρασία στο εσωτερικό των ψυκτικών θαλάμων εξαρτάται από πολλούς παράγοντες μερικοί από τους οποίους είναι: η ποσότητα του συντηρημένου προϊόντος, η κίνηση και η ταχύτητα του αέρα, η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ εξαμιστήρα και θαλάμου (ΔT), το ποσοστό της εκτιθέμενης επιφάνειας του προϊόντος κ.ά.

Η διαφορά θερμοκρασίας ΔT του ψυκτικού θαλάμου και του εξαμιστήρα κυμαίνεται από $4-8^{\circ}\text{C}$. Όσο μικρότερο είναι το ΔT τόσο πιο εύκολα ρυθμίζεται η σχετική υγρασία στον ψυκτικό θάλαμο. Στον εξαμιστήρα πάντοτε δεσμεύονται υδρατμοί υπό μορφή πάγου και αν το ΔT δεν είναι το σωστό τότε το ψυγείο δεν λειτουργεί σωστά. Το καλό ψυγείο διαθέτει εξαμιστήρες μεγάλης επιφάνειας.

Τα υψηλά ποσοστά σχετικής υγρασίας εξασφαλίζονται με τη μεγάλη επιφάνεια αεροψυκτήρα και με τη χρήση συστήματος ψεκασμού νερού, με είσοδο υδρατμών ή και με σύστημα ομίχλης.

Η μεγάλη επιφάνεια του αεροψυκτήρα επιτρέπει μεγάλες τιμές (ΔT) ($7-8^{\circ}\text{C}$). Όσο μεγαλύτερο το ΔT τόσο λιγότερη ποσότητα υδρατμών απομακρύνεται από τον θάλαμο, άρα και υψηλότερη η σχετική υγρασία του θαλάμου.

Η αύξηση της υγρασίας μέσα στους θαλάμους γίνεται συνήθως με ψεκασμό νερού. Πολλές φορές όταν δεν υπάρχουν όλες αυτές οι εγκαταστάσεις ακόμη και βρέξιμο του δαπέδου του θαλάμου βοηθάει στην αύξηση της υγρασίας.

Σε πολύ ευπαθή προϊόντα (φυλλώδη λαχανικά, σπαράγγι κ.ά.) η κίνηση του αέρα γίνεται με ειδικούς σωλήνες έτσι ώστε το προϊόν να μην επηρεάζεται άμεσα από την κίνηση του αέρα και αφυδατώνεται (Εικόνα 7.1).

7.2 Υγρασιόμετρα

Σε κάθε θάλαμο τοποθετούνται υγρασιόμετρα που αποσκοπούν στη μέτρηση του επιπέδου της υγρασίας. Όταν τα υγρασιόμετρα δείχνουν ότι το επίπεδο υγρασίας μέσα στον ψυκτικό χώρο έχει πέσει στο 90% τότε ψεκάζεται νερό στο χώρο με ένα σύστημα διανομής νερού με ακροφύσια για

να αυξηθεί το επίπεδο υγρασίας στο 95%. Το σύστημα ψεκασμού είναι τοποθετημένο πάνω από τον αερόψυκτηρα και δεν είναι αυτοματοποιημένο, δηλαδή το σύστημα τίθεται σε λειτουργία κάθε φορά που το επίπεδο υγρασίας πέφτει στο 90%.



Εικόνα 7.1. Ψυκτική μονάδα στο εσωτερικό θαλάμου αποθήκευσης.

Μεγάλη σημασία έχει η θέση των υγρασιόμετρων μέσα στο θάλαμο. Τοποθετούνται σε σημείο όπου είναι εφικτή η παρατήρησή τους από το παραθυράκι της πόρτας του θαλάμου. Αυτό είναι πολύ σημαντικό γιατί διευκολύνει τον οπτικό έλεγχο σε περιόδους που ο θάλαμος είναι πλήρης από το συντηρήσιμο προϊόν. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι η απαιτούμενη ποσότητα νερού για τη διατήρηση της σχετικής υγρασίας γύρω στο 95% είναι περίπου 0,25 kg νερού ανά lit ψυκτικού φορτίου.

7.3 Σύσταση ατμόσφαιρας σε θαλάμους κοινής συντήρησης

Δεδομένου ότι δεν λαμβάνεται υπόψη κανένα μέτρο ελέγχου της ατμόσφαιρας του ψυγείου αυτή παραμένει κοντά στις συνήθεις συνθήκες (21% O₂, 78% N₂ και 0.03%<CO₂). Οι συνθήκες που επικρατούν δεν ταυτίζονται ακριβώς με εκείνες της ατμόσφαιρας γιατί υπάρχουν παράγοντες που μεταβάλλουν τη σύσταση των αερίων στο περιβάλλον του ψυγείου. Για παράδειγμα, η αναπνοή του συντηρούμενου προϊόντος έχει ως αποτέλεσμα να παράγονται ποσότητες CO₂ και εξαιτίας της στεγανότητας που εξασφαλίζουν τα υλικά κατασκευής των ψυκτικών θαλάμων να συσσωρεύεται σε μεγάλες συγκεντρώσεις μειώνοντας παράλληλα τη συγκέντρωση του O₂ κάτω από τη συνηθισμένη του συγκέντρωση (21%).

Σημαντική επίδραση ασκεί η αύξηση της παραγωγής του αιθυλενίου που προέρχεται από το ίδιο το προϊόν. Η μεγάλη συγκέντρωση αιθυλενίου προκαλεί καταπόνηση στο προϊόν αυξάνοντας την αναπνοή, άρα μειώνοντας τη συντηρησιμότητα του προϊόντος. Σε αυτό το σημείο γίνεται κατανοητή η σημασία της διατήρησης της θερμοκρασίας σε όσο το δυνατόν χαμηλότερα

επίπεδα, τα οποία μειώνουν τη παραγωγή αιθυλενίου αφού αποτελεί το μοναδικό εφόδιο για το περιορισμού αυτού του αερίου.

Αρκετά οπρωροκηπευτικά είναι πολύ ευαίσθητα στο αιθυλένιο και για το λόγο αυτό πρέπει να αφαιρείται συστηματικά και με σχολαστικότητα από τους ψυκτικούς θαλάμους.

Μέθοδοι αφαίρεσης αιθυλενίου

Πολλά προϊόντα είναι πολύ ευαίσθητα στο αιθυλένιο, οπότε και συγκέντρωση της τάξης του 0,001 ppm να έχει τραγικές συνέπειες για τα προϊόντα αυτά (μαλάκωμα, μαύρισμα, αλλοίωση χρώματος, κιτρίνισμα κλπ). Για τους λόγους αυτούς απαγορεύεται η συναποθήκευση ή μεταφορά μικτών φορτίων, διότι προϊόντα που παράγουν αιθυλένιο καταστρέφουν τα ευαίσθητα σε αυτό προϊόντα. Επίσης, προκειμένου να επιμηκυνθεί η συντήρηση των προϊόντων, καθίσταται επιβεβλημένη η αφαίρεση του αιθυλενίου από τους ψυκτικούς χώρους.

1. Αφαίρεση με εξαερισμό του χώρου ανά τακτά χρονικά διαστήματα.

Το αιθυλένιο είναι ελαφρύτερο από τον αέρα και άρα συγκεντρώνεται στην οροφή του ψυγείου. Αν λοιπόν τοποθετηθεί εξαεριστήρας στην οροφή μπορεί κατά τη διάρκεια της νύχτας να αφαιρείται επιτυχώς το αιθυλένιο.

2. Φίλτρα με υπερμαγγανικό κάλιο.

Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιείται το KMnO_4 , υπερμαγγανικό κάλιο (ethysorb) σε υπόστρωμα οξειδίου του αργιλίου (χρώμα μωβ). Το αιθυλένιο παρουσία υπερμαγγανικού καλίου οξειδώνεται και το KMnO_4 , αλλάζει χρώμα, από μωβ που είναι γίνεται μαύρο (οξειδωμένο).

Το KMnO_4 , συσκευασμένο σε μικρά φακελάκια, όπως εκείνα του τσαγιού, μπορεί να τοποθετείται μαζί με τα προϊόντα που συντηρούνται σε τροποποιημένη ατμόσφαιρα (σάκκο πολυαιθυλενίου) και έτσι να δεσμεύεται το αιθυλένιο που σχηματίζεται από τα προϊόντα και να παρατείνεται η διάρκεια συντήρησης των.

Στην πράξη συνήθως χρησιμοποιούνται φίλτρα με KMnO_4 ,. Το φίλτρο τοποθετείται εκτός ψυγείου και το KMnO_4 , όταν οξειδωθεί πλήρως αντικαθίσταται. Αποτελείται από ένα κλειστό σύστημα, φέρει συρτάρια διάτρητα μέσα στα οποία τοποθετείται το KMnO_4 ,. Στη βάση έχει αντλίες αέρος οι οποίες μεταφέρουν με κατάλληλες σωληνώσεις τον αέρα του ψυκτικού θαλάμου. Το αιθυλένιο δεσμεύεται στο KMnO_4 , και στη συνέχεια ο αέρας ελεύθερος αιθυλενίου διοχετεύεται στον ψυκτικό θάλαμο. Το υλικό KMnO_4 , δεν είναι ανακυκλώσιμο, οπότε αντικαθίσταται όταν από μωβ γίνει μαύρο.

3. Καύση αιθυλενίου σε ειδικούς καυστήρες με καταλύτη σύμφωνα με την αντίδραση $\text{C}_2\text{H}_4 + \text{O}_2$ (στους 241°C - 251°C) $\rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$.

Ο αέρας των θαλάμων με αντλία και κατάλληλες σωληνώσεις περνάει από τον καυστήρα του αιθυλενίου, όπου το αιθυλένιο υφίσταται καταλυτική καύση στους 241° - 251°C . Το πλεονέκτημα της καταλυτικής καύσης είναι η εξοικονόμηση ενέργειας εξαιτίας της καύσης σε πολύ χαμηλότερη θερμοκρασία. Στη συνέχεια ο απαλλαγμένος από αιθυλένιο αέρας, αφού πρώτα ψυχθεί, διοχετεύεται στον ψυκτικό θάλαμο.

Η μέθοδος αυτή είναι η πλέον εφαρμόσιμη. Ο καυστήρας λειτουργεί με ηλεκτρικό ρεύμα, βρίσκεται εκτός του ψυκτικού θαλάμου και ο αέρας του ψυγείου ανακυκλώνεται μεταξύ ψυγείου και καυστήρα. Σε κάθε λειτουργική ανακύκλωση του αέρα του ψυγείου δια μέσου του καυστήρα απομακρύνεται το 87% του αιθυλενίου. Το βασικό μειονέκτημα του τύπου αυτού είναι η μεγάλη ποσότητα ενέργειας που χρειάζεται για την καύση του αιθυλενίου και στη συνέχεια η απομάκρυνση της θερμότητας πριν ο απαλλαγμένος από αιθυλένιο αέρας εισαχθεί πάλι στο ψυγείο.

7.4 Ψυγεία με ελεγχόμενη ατμόσφαιρα

Σε αντίθεση με τα κοινά ψυγεία, στα οποία ρυθμίζεται μόνο η θερμοκρασία και η σχετική υγρασία, στην ελεγχόμενη ατμόσφαιρα υπάρχει η επιπρόσθετη δυνατότητα να ρυθμίζεται με διάφορα μέσα και η σύσταση της ατμόσφαιρας (συγκέντρωση CO₂ και O₂), η οποία διατηρείται σταθερή και η συγκέντρωση των αερίων ρυθμίζεται ανάλογα με το προϊόν που θα συντηρηθεί.

Η συγκέντρωση του οξυγόνου συνήθως κυμαίνεται ανάμεσα στο 3 και 5%. Όταν η συγκέντρωση του οξυγόνου περιορίζεται υπερβολικά σε πολύ χαμηλή συγκέντρωση (1-1,5%) τότε ονομάζεται ultra low oxygen (ULO).

Η συγκέντρωση του CO₂ διατηρείται σε υψηλότερα επίπεδα από αυτά της ατμόσφαιρας (1,5%-5%), ανάλογα με το προϊόν.

Τα ανώτερα επίπεδα των δύο αερίων είναι μέγιστης σημασίας και επιδρούν αξιολογικά στη φυσιολογία του συντηρούμενου προϊόντος. Σε αυτές τις συνθήκες μειωμένης συγκέντρωσης οξυγόνου οι ιστοί εκτίθενται σε καταπόνηση μέτριου βαθμού, η οποία έχει ευνοϊκές επιδράσεις στη συντηρησιμότητα και τη διατήρηση της ποιότητας του προϊόντος.

Μηχανολογικός εξοπλισμός για ελεγχόμενη ατμόσφαιρα

Γεννήτρια αζώτου

Συσκευή δέσμευσης του διοξειδίου του άνθρακα (απανθρακωτές)

Ηλεκτρομαγνητικός αναλυτής και αναλυτής υπερύθρων για τη μέτρηση των συγκεντρώσεων O₂, και CO₂ αντίστοιχα

Πίνακας ελέγχου λειτουργίας του αναλυτή καθώς και

Ηλεκτρονικός Υπολογιστής με τον οποίο ελέγχεται η σύνθεση της ατμόσφαιρας των θαλάμων (περιεκτικότητα O₂ και CO₂) και πρόγραμμα ελέγχου και εφαρμογής επιλεγμένων συγκεντρώσεων αερίων (O₂, και CO₂).

Καταγραφικά όργανα θερμοκρασίας, οξυγόνου και διοξειδίου του άνθρακα.

Ο θάλαμος έχει πολλές σωληνώσεις οι οποίες επικοινωνούν με την εξωτερική ατμόσφαιρα και επομένως χρειάζεται η κατάλληλη μόνωση σε όλες αυτές τις ενώσεις και οπές εισόδου και εξόδου, προκειμένου να διασφαλιστεί η στεγανότητα.

Οι ψυκτικοί θάλαμοι είναι συνδεδεμένοι με μεγάλους πλαστικούς σάκους (σάκοι ασφαλείας στεγανότητας των θαλάμων) τοποθετημένους εξωτερικά των θαλάμων στο διάδρομο οι οποίοι συλλέγουν τον αέρα που διαστέλλεται κατά την απόψυξη από τους θαλάμους και τον στέλνουν πίσω σε αυτούς μετά το πέρας της διαδικασίας. Αυτό γίνεται για αποφυγή ανοίγματος της βαλβίδας από την οποία θα εισέλθει αέρας από το εξωτερικό περιβάλλον.

Η πρώτη εργασία που γίνεται σχολαστικά πριν γεμίσει ο θάλαμος με προϊόντα είναι ο έλεγχος στεγανότητας. Ο θάλαμος αφού γεμίσει με το προϊόν αφήνεται να ισορροπήσει μερικές ημέρες και κατόπιν η ατμόσφαιρα του

ψυγείου σαρώνεται με καθαρό άζωτο, που προέρχεται από την γεννήτρια του αζώτου, έως ότου η συγκέντρωση του οξυγόνου από 20% πέσει στο 1-3%, ανάλογα με την επιθυμία μας.

Η συγκέντρωση του CO₂ αυξάνει με την αναπνοή των καρπών. Αν ξεπεράσει το επιθυμητό επίπεδο τότε τίθεται σε λειτουργία η αντλία η οποία στέλνει τον αέρα του ψυγείου στον απανθρακωτή (συσκευή που έχει ενεργό άνθρακα), όπου και δεσμεύεται το CO₂.

Ο έλεγχος τη σύνθεσης της ατμόσφαιρας είναι συνεχής και καταγράφεται σε καταγραφικό όργανο, όπως η θερμοκρασία και η υγρασία. Ο ηλεκτρονικός υπολογιστής με τον οποίο είναι συνδεδεμένοι οι θάλαμοι είναι εφοδιασμένος με το κατάλληλο πρόγραμμα με το οποίο διορθώνει αυτόματα τις συγκεντρώσεις των αερίων.

Στο παράρτημα 8 παρουσιάζονται επιπλέον στοιχεία για την αποθήκευση των προϊόντων σε ελεγχόμενη ατμόσφαιρα.

Κεφάλαιο 8 Βιβλιογραφία

Amthor, 1989. Respiration and Crop Productivity. Springer - Verlag, New York.

ASHRAE, 1993. ASHRAE Handbook, Fundamentals I-P Edition. American Society of Heating and Refrigerating Engineers, Inc. Atlanta, USA.

McLean, K.A., 1989. Drying and Storing Combinable Crops, 2nd Edition. Farming Press.

Γεωργακάκης, Δ. και Μαυρογιαννόπουλος, Γ., 1991. Αποθήκες Γεωργικών Προϊόντων. Σημειώσεις μαθήματος. Γεωργικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Εγγείων Βελτιώσεων και Γεωργικής Μηχανικής, Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών.

Κόκκορας, Ι., 1990. Αποθήκευση Γεωργικών Προϊόντων. Σημειώσεις μαθήματος. ΣΤΕΓ, Τμήμα Γεωργικών Μηχανημάτων και Αρδεύσεων. ΤΕΙ Λάρισας.

Ελλιπής κατάλογος

Κεφάλαιο 9 Παραρτήματα

9.1 Παράρτημα 1: Αποθήκευση πατάτας

Design and Management of Storages for Bulk, Fall-Crop, Irish Potatoes

Developed by the ASAE Environment of Stored Products Committee; approved by the Structures and Environment Division Standards Committee; adopted by ASAE August 1990; reaffirmed for one year December 1995; revised June 1996; reaffirmed for five years January 2001.

1 Purpose and scope

1.1 This Engineering Practice provides a guide for the functional design and management of permanent, bulk storages for Irish potatoes.

1.2 This Engineering Practice applies specifically to the late-crop (fall-crop) area of the United States and Canada. This area is north of lat 40°. It may be applicable in other geographic areas with similar climatic conditions and potato varieties. For more precise guidelines contact individuals that are knowledgeable about unique local weather conditions and potato varieties.

1.3 This Engineering Practice applies to storages that are designed to hold the product for more than two or three months.

2 Normative references

The following standards contain provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this standard. At the time of publication, the editions indicated were valid. All standards are subject to revision, and parties to agreements based on this standard are encouraged to investigate the possibility of applying the most recent editions of the standards indicated below. Standards organizations maintain registers of currently valid standards.

ANSI/ASAE EP446.2 DEC95, *Lateral Pressures of Irish Potatoes Stored in Bulk*

ANSI/NFPA 70, *National Electrical Code*

ASAE EP288.5 DEC92, *Agricultural Building Snow and Wind Loads*

ASAE EP378.3, *Floor and Suspended Loads on Agricultural Structures Due To Use*

ASAE D271.2 DEC94 *Psychometric Data*

ASAE S401.2 AUG93, *Use of Thermal Insulation in Agricultural Buildings*

ASTM E96, *Standard Test Methods for Water Vapor Transmission of Materials*

3 Definitions

3.1 cool-down period: The period following suberization when potato temperatures are reduced to desired holding temperatures.

3.2 guarded slot: Air discharge opening from a duct designed such that potatoes do not block the opening or restrict the open area.

3.3 holding period: The period that follows cool-down. Potatoes are held at a constant temperature that is consistent with end-use criteria and minimizes respiration rates. This period may be 2 to 9 months.

3.4 recirculation: Recycling of air that is contained within the building.

3.5 reconditioning period: The period following the holding period when potatoes are warmed up to improve processing quality or reduce risk of subsequent bruise damage due to handling.

3.6 senescence: The point in the stored potato's life characterized by the dominance of degradative changes; often considered as the start of tuber sprouting.

3.7 suberization/wound healing period: The storage period when suberin is deposited at the wall surface of exposed cells and when new cells are formed under wound surfaces (wound healing).

3.8 sugar accumulation: Starch cells in the potatoes are converted to sugars that are accumulated. This results in a dark color in french fries and chips and causes a sweet flavor in fresh potatoes.

3.9 ventilation: The process of moving air through the potatoes. It may include recirculation of air within the storage or exchanging inside air with outside air to control temperature, humidity, oxygen level, carbon dioxide level, and condensation.

4 General considerations

4.1 The main purpose of the storage is to provide conditions that will maintain high tuber quality, control diseases, and provide a marketable raw product with minimal weight loss.

4.2 The layout of the storage should be amenable to mechanized, high-volume loading and unloading systems while minimizing the handling impact on the potato.

4.3 Potatoes for different end uses are stored at different temperature conditions. (See clause 5.1.3.)

4.4 There may be up to five phases of a storage season. Their sequential order is: (1) temperature equalization and surface drying, (2) suberization and wound healing, (3) cool-down, (4) holding, and (5) reconditioning.

5 Desired environmental conditions

5.1 Temperature

5.1.1 Suberization/wound healing period. Immediately after harvest, suberization can be accomplished in as few as 3 to 4 days at 18 to 24 °C (65 to 75 °F). However, because of increased disease risk at high temperatures, the most commonly used temperature is 10 to 16 °C (50 to 60 °F) for 10 to 14 days. This period should be lengthened if chipping potatoes do not appear to have the desired low internal levels of sugars or if 10 °C (50 °F) is used with certain disease situations. In years when late blight, leak (*Pythium* spp.), or field frost are severe, potatoes should be brought down to the holding temperature as soon as possible.

5.1.2 Cool-down period. During this period, bin temperature is reduced at the rate of 0.3 to 0.6 °C (0.5 to 1.0 °F) per day. Cooling air should be only 2 °C (3 °F) cooler than the potatoes to limit moisture loss. If sufficient cooling capacity is not available and final holding temperatures cannot be maintained, cool-down should be done in stages so the potatoes do not reheat during periods of warm weather. Potatoes that are to be processed into chips should be cooled at the 0.3 °C/d rate. Potatoes for all other uses can be cooled at the 0.6 °C/d rate if weather conditions permit.

5.1.3 Holding period. When cooling has been completed, the holding temperature should be:

Seed use: 3 to 4 °C (38 to 40 °F), varietal dependent

Table use: 4 to 7 °C (40 to 45 °F)

French fry use: 7 to 10 °C (45 to 50 °F)

Long-term chip storage (over 4 months): 10 to 13 °C (50 to 55 °F)

Short-term chip storage: 13 °C (55 °F)

5.1.4 Reconditioning period. Temperatures should be increased above the holding temperature for at least a week before unloading a bin to reduce incidence of subsequent handling damage. The reconditioning period might need to be several weeks long if low storage temperatures have caused enough sugar accumulation to give processed samples a

dark color. Increasing the temperature of the potato will increase the respiratory rate, which will decrease the sugar accumulation. Temperatures should be:

Seed or table use: 7 to 10 °C (45 to 50 °F) to reduce handling injury or 15 °C (60 °F) to stimulate seed sprouting

French fry use: 10 °C (50 °F) to reduce handling injury

Long-term chip storage or french fry use if there is sugar accumulation: 13 to 16 °C (55 to 60 °F) to enhance internal sugar balance or reduce handling injury.

Once the reconditioning temperature has been reached and internal (end-product) quality is satisfactory for process potatoes, it is recommended that a bin be emptied within one week. This limits quality degradation during the bin unloading period.

5.1.4.1 Senescence and reconditioning. If the sugar accumulation is due to senescence, increasing the bin temperature will not increase the tuber respiration rate enough to reduce the sugar accumulation. In this case, changing the potato temperature will not lead to acceptable color in processed samples.

5.2 Relative humidity. Relative humidities should be at least 90% to 95% during all phases of normal storage. Maintaining high relative humidity during the suberization period is most important for reducing weight loss. Since much of the weight loss occurs as moisture loss through skin wounds, maintaining the highest possible humidity level is more critical during wound healing, than later in the storage period. Where exterior temperatures may be -18 to -29 °C (0 to -20 °F) for several weeks, it is not feasible to insulate storages to maintain relative humidities over 90%. If late blight, leak (*Pythium* spp.) or frozen potatoes are present, the relative humidity should be reduced to approximately 85% to remove moisture that is freed by cell breakdown. Once the problem is controlled, the relative humidity level should be maintained at 90% or greater. High relative humidities reduce weight loss and reduce the incidence of pressure flattening in deep, bulk piles. The minimum weight loss for continuous ventilation may be estimated by the relationship.

$$L = (A + 0.1S)D$$

where:

- L is percentage of original weight lost per week
- A is 0.7 for first two weeks of storage period is 0.2 for remainder of storage period
- S is percentage of sprouts by weight
- D is water vapor pressure difference, mm of mercury is $P_s(1.00 - RH)$
- P_s is saturation pressure of water at average temperature of potato, mm of mercury (See ASAE D271.2)
- RH is average relative humidity of the air entering the potatoes, a decimal

Field experience indicates weight loss could be twice that shown in the above relationship if potatoes are immature or there is a high degree of harvest damage.

5.3 Controlled atmosphere. Long-term storage atmospheres with reduced oxygen content are detrimental to potatoes. A level of 1.0% CO₂ should be considered the upper allowable threshold. A common level of CO₂ in ventilated bins is 0.2% to 0.3%.

5.4 Cross contamination. Potatoes should be stored separately from other fruits and vegetables to avoid transfer of odor or flavors.

5.5 Light sensitivity. Potatoes should always be stored in the dark. Light causes greening of the potato surface due to chlorophyll development and also initiates glycoalkaloid synthesis. Exposure to artificial light should be kept to a minimum. The cumulative exposure time should not exceed a few days.

5.6 Chemical treatment. If non-seed potatoes are to be stored longer than 3 months, consider using a sprout inhibitor. The most commonly used inhibitor is isopropyl-N-(3-chloro-phenyl) carbonate, CIPC, which is

applied as an aerosol in the storage. This controls the sprouting of table and processing potatoes that normally occurs two to three months after harvest. It is volatilized and distributed through the ventilation system after suberization and cool-down have been completed. All exposed structural surfaces and air contact surfaces shall be thoroughly steam cleaned if seed potatoes are subsequently stored in a bin that has been treated with a sprout inhibitor. Some countries will not allow entry of potatoes treated with CIPC. Refrigeration evaporator coils and evaporative cooling equipment should be bypassed during aerosol sprout inhibitor treatment.

6 Facilities

6.1 Structural

6.1.1 Wind and snow loads. Design loads should be those specified in ASAE EP288.

6.1.2 Product loads. Design loads for potatoes should be based on information in ASAE EP446.

6.1.3 Floor loads. The maximum floor load is due to loaded field trucks. If specific information on size of trucks is not available, use ASAE EP378

6.1.4 Treated lumber. Treated lumber shall not contact the potatoes.

6.1.5 Ceiling. If installing a ceiling, common practice is to use a non-reflective (low emissivity) material on the underside of the ceiling to reduce condensation.

6.2 Insulation

6.2.1 Thermal requirement. The amount of insulation that is specified for ceilings and exterior walls should be based on the need to avoid condensation at high relative humidities in the storage. Based on interior storage temperature and relative humidity and exterior design temperatures, common ranges of thermal resistance, R , values are:

Walls: 4 to 7 m² · C/W (20 to 40 h · ft² · F/Btu)

Ceilings: 5 to 7 m² · C/W (30 to 40 h · ft² · F/Btu)

Refer to ASAE S401 for use of insulation.

6.2.2 Fire retardant. Exposed plastic foam insulations shall be protected with a fire coating as specified in ASAE S401, unless exempted from fire code.

6.2.3 Vapor retarder. A vapor retarder shall be installed to form a continuous seal on the warm side of the insulation. Six-mil, 0.2 mm (0.006 in.) thick, polyethylene plastic sheets are commonly used. All seams and edges shall be securely sealed. The installed permeance should not exceed 6 ng/s · m² · Pa (0.1 grains/h · ft² · in. Hg or 0.1 perm) wet-cup test, as specified in ASTM E96. If the relative humidity will be greater than 95%, the installed permeance should not exceed 1.2 ng/s · m² · Pa (0.02 grains/h · ft² · in. Hg or 0.02 perm). Installed vapor retarder performance is extremely important to preclude wood decay, steel corrosion, and rusting of reinforcement bars.

6.2.4 Moisture removal. A vented air space at least 25 mm (1 in.) wide should be provided between the outside face of the insulation and the exterior sheathing of all exterior walls. This provides exterior air movement into the attic space to remove moisture that penetrates the wall vapor retarder. The attic vent area shall be at least 1/150 of building ceiling area. One quarter of the vent area is at each eave and one-half is at the roof ridge or one-quarter at each gable end.

6.3 Mechanical

6.3.1 Ventilation system

6.3.1.1 Fan capacity. Recommended capacities vary based on hours of available cooling temperatures, internal storage temperature (product respiration rate), and potential losses due to disease or frozen potatoes. Maximum rates shall be used during the cool-down period and for the control of disease outbreaks or cell breakdown of field frozen product. Provision should be made for reduced ventilation capacity after the initial cool-down period or holding period. Common ranges in airflow rates are:

Seed or table use: 0.3 to 0.6 m³/(min · t), (0.5 to 1.0 ft³/min · cwt)

Process storage: 0.6 to 1.0 m³/(min · t), (1.0 to 1.5 ft³/min · cwt)

With all dampers/louvers in place and with thin-wall, relatively rough ducts (corrugated metal) with circular outlets, fans should deliver the required ventilation capacity at 250 Pa (1.0 in. H₂O) unless specific design considerations require air delivery at a higher static pressure. Higher static pressure conditions include systems using refrigeration coils, air washers, or evaporative media. With thick-walled, smooth ducts (wood, concrete) and slotted outlets, an operating static pressure of 190 Pa (0.75 in. H₂O) is common for the ventilation system. Once holding temperatures are reached, sufficient ventilation capacity to maintain a 0.5 to 1 °C (1 to 2 °F) difference between the bottom and top of the pile is required. Operating capacity can be reduced by utilizing intermittent operation, or variable-speed fans, or by reducing the number of operating fans.

6.3.1.2 Duct size and spacing. Based on duct roughness and physical dimensions, the maximum velocity should not exceed 5 to 8 m/s (1000 to 1500 ft/min). Maximum duct spacing should not exceed 80% of the pile depth. Spacings of 2.5 to 3.0 m (8 to 10 ft) on centers are common.

6.3.1.3 Duct discharge area. For slotted ducts, such as in-floor trenches or above-floor triangular ducts, it is recommended that constructed, exposed slot area be 1.5 to 3 times duct inlet area. A constructed slot area of three times duct inlet area is commonly used. A discharge diameter of at least 25 mm (1 in.) or a slot width of at least 12.5 mm (0.5 in.) are common in order to reduce the risk of blockage due to foreign material or aerosols. There is limited information on actual slot blockage by potatoes. If a recessed or guarded slot which is not in contact with potatoes is used, a constructed area 0.5 to 1.0 times the inlet area is recommended.

6.3.1.4 Plenum area. The plenum cross-sectional area should be sized so air velocities do not exceed 4 m/s (800 ft/min).

6.3.1.5 Intake and exhaust vents. These should be sized so that the velocity does not exceed 4 to 5 m/s (800 to 1000 ft/min) for the gross area. In very cold climates, these are often sized to handle 80% of the total fan capacity. Successful operation at extremely cold outside temperatures requires that the moist exhaust airstream does not in any way come in contact with the intake vent. Exhaust air openings must be covered or shielded in a way that allows air movement but blocks light entry to the storage.

6.3.2 Heating system. Supplemental heat may be required to warm the storage structure, warm incoming ventilation air or raise potato temperatures during reconditioning. Typical rated heater output may range from 1.0 to 2.0 kW/100 t (1.5 to 3.0 Btu · h/cwt) depending on storage fill and operating conditions. In a well-constructed, completely filled storage, there is sufficient potato respiration heat so that heaters usually do not operate. All direct combustion heaters shall be vented and have ignition systems that will not flameout in turbulent air conditions. All heaters shall be installed in accordance with prevailing safety and fire codes. Heaters are installed in the fan plenum or in the overhead bin space above the potatoes.

6.3.3 Humidification system. Humidification is required during the storage period. Centrifugal humidifiers, pneumatic nozzles, or high-pressure water spray nozzles should be downstream from the heaters and near the duct inlets. Provision should be made for containing liquid discharge fallout and channeling it to a floor drain. In locations where hot, dry weather frequently occurs during harvest and the storage cool-down period, air washer systems are used for simultaneous cooling and humidification. If air washers or evaporative media are used, bypass systems should be designed into the ventilation system to protect this equipment from exposure to the sprout inhibitor aerosol. System capacity varies with local climatic conditions and the amount of outdoor air being introduced. Common capacities may be as great as 13 to 39 L/h per 100 m³/min (1.0 to 3.0 gal/h per 1000 ft³/min) ventilation capacity.

6.3.4 Refrigeration system. Refrigeration systems should be sized based on spring and summer holding conditions. Direct expansion, halo

carbon refrigerant (e.g., Freon) systems, with evaporation coils that are mounted on individual bin ceilings, should be used in multiple bin storages. In large single bin storages, a central compressor and evaporator should be used. All units should operate at 3 °C (5 °F) incoming air to incoming refrigerant temperature difference. Often refrigeration is integrated in an air washer system. Size varies according to local operating conditions. Sizes frequently range from 35 to 50 W/t (6 to 8 Btu/h · cwt). If refrigeration is being used to remove field heat and elevated respiration heat levels at harvest time, larger system capacities are required. Electric, hot gas, or room air defrost are common in systems that require defrosting. Bypass systems should be designed into the ventilation system to protect evaporator coils from exposure to the sprout inhibitor aerosol, and to reduce resistance to airflow when refrigeration system is not being used.

6.4 Electrical and control systems

6.4.1 Electrical service. The electrical service shall conform to ANSI/NFPA 70, National Electrical Code, or the Canadian Electrical Code and local codes where applicable. Service size should be sufficient for lighting, ventilation system, heating/refrigeration system, and potato handling systems. Where available, three phase power should be used. All wiring should be surface mounted (exposed) to protect the integrity of the structural vapor retarder. All boxes should have a drip hole to prevent water accumulation. Nonmetallic conduit should be used.

6.4.2 Control systems

6.4.2.1 Ventilation system. The intake and exhaust dampers/louvers may be controlled with an automatic system that contains a differential thermostat to sense bin-outdoor temperature differences and a proportional thermostat that controls the damper/louver drive motor. The motor controlling the intake louvers or doors should be protected from direct exposure to cold exterior air. All systems should contain a low limit or safety thermostat that shuts the fan off if there is a damper/louver or heater failure and the duct air temperature becomes too cold. A 24-h interval timer may be incorporated for intermittent fan operation. Motor controllers that vary frequency and voltage may be used to reduce operating fan capacities. All control systems shall have a manual override provision with a mechanical safety lockout for use during servicing. Control panels should be located in the driest possible location.

6.4.2.2 Heater system. Heaters should be thermostatically controlled. If more than one heater is installed in a bin, a 1 °C (2 °F) difference should be maintained between thermostat settings so heater operation is staged.

6.4.2.3 Humidification system. Automatic systems may contain humidistats to control bin relative humidity. Care is required in selecting humidistats because of the high desired relative humidity operating levels and moisture and dirt particle contamination of the sensors. Long-term drift should not exceed 2% RH. All humidistats should be checked periodically with a reliable psychrometer. Systems may be manually operated until water droplets start forming on the ceiling of the bin. Then the humidifiers shall be temporarily turned off.

6.4.2.4 Refrigeration system. In automatic control systems, the operator may have two selections: (1) the refrigeration system will come on only when outdoor air is too warm for cooling, otherwise outdoor air is used; (2) refrigeration operates continuously, except for defrost cycles, because there are no opportunities for outdoor cooling. In manual control systems, a manual on-off switch is used, and temperature should be controlled with a bin thermostat.

6.4.3 Sensor locations. All sensors located in air ducts should be mounted at least 1 m (3 ft) beyond the duct entrance. This tends to ensure that mixed air conditions are sensed and reduces the risk of sensors being coated with water from the humidifier discharge in the air plenum. All sensors should be protected from radiant energy and should be in well-protected areas that receive a uniformly mixed representative airstream. Temperature sensors in several locations in the pile are recommended. In a well-ventilated storage, the highest potato pile temperature is usually located 450 mm (18 in.) below the pile surface.

7 Operation and management

7.1 Ventilation. Air distribution systems are normally operated as pressurized (divided) flow systems rather than suction (combining) flow systems, and the ducts are designed accordingly. Unless cooling or humidification is required, fan operating time should be minimal during the suberization period. Unless very tight dampers or louvers are used, the wind action on a storage will often keep CO₂ levels from becoming excessive (see clause 5.3). If CO₂ monitoring equipment is not available, the fans should be operated for several hours per day with the dampers or louvers closed to preclude any excessive CO₂ accumulation. If the potatoes are wet or have suffered field frost or there is a high risk of disease breakdown, fans should be run continuously with no humidification until suitable holding conditions are reached.

7.1.1 Condensation management. When extremely cold weather conditions and subsequent ceiling condensation occur, several options

may be used individually or in combination. The main ventilation fans are often run continuously in storages that have a single exterior structural wall with a vertical air wall which contains discharge slots along the ceiling. If overhead unit evaporators have been installed, their fans may be run. If there are heaters in the overhead bin space, they may be switched on. The subsequent air movement across the ceiling reduces condensation problems.

7.2 Control systems. Automatic control systems and ventilation equipment systems should be designed to operate under severe weather conditions. All control systems and sensors should be tightly covered with plastic bags during the application of sprout inhibitor to the bin.

7.3 Storage inspection. All bins should be inspected at least once per day to check the bin environment, appearance of the potatoes, operation of the mechanical system, and sensor outputs.

Annex A (informative) Bibliography

- ISO 5525:1986. *Potatoes—Storage in the open (in clamps)*.
- ISO 6822:1984. *Potatoes, root vegetables and round-headed cabbages—Guide to storage in silos using forced ventilation*.
- ISO 7562:1990. *Potatoes—Guidelines for storage in artificially ventilated stores*.
- Ali, S. A., D. C. Nelson and T. P. Freeman. *Suberization and periderm development in Norchief and Red Pontiac potatoes*. American Potato Journal, 52(7):201–209; 1975.
- Artschwager E. *Wound periderm formation in the potato as affected by temperature and humidity*. Journal of Agricultural Research, 35(11):995–1000; 1927.
- Burton, W. G. *The basic principles of potato storage as practiced in Great Britain*. European Potato Journal, 6(2):77–92; 1963.
- Cargill, B. F. (ed). *The Potato Storage: Design, Construction, Handling and Environmental Control*. ASAE, St. Joseph, MI 49085; 1976.
- Cargill, B. F. (ed). *Engineering for Potatoes*. ASAE, St. Joseph, MI 49085; 1986.
- Carpenter, W. F. *Vapor barriers for buildings having high atmospheric moisture conditions*. Maine Agricultural Experiment Station Bulletin 623; 1964.
- Cloud, H. A. and R. V. Morey. *Distribution duct performance for thorough ventilation of stored potatoes*. Transactions of the ASAE, 23(5):1213–1218; 1980.
- Davis, D. C., J. S. Romberger, C. A. Pettibone, S. C. Andales, and H. J. Yeh. *Mathematical model for air flow from perforated circular ducts with annular corrugations*. Transactions of the ASAE, 23(3):661–665; 1980.
- Hallee, N. D., J. H. Hunter, and S. H. Belyea. *Potato storage design and management*. Maine Cooperative Extension Service Bulletin 1092; 1995.
- Hardenberg, R. E. and A. E. Watada. *The commercial storage of fruits, vegetables and florist and nursery stocks*. U.S. Department of Agriculture Handbook 66; 1986.
- Hellickson, M. A. and J. N. Walker (eds). *Ventilation of agricultural structures*. ASAE Monograph No. 6, ASAE, St. Joseph, MI 49085; 1983.
- Hesen, J. C. and A. Rastovski. *Potato storage requirements and recommendations in the Netherlands and Belgium*. In: B. F. Cargill, et al. (eds). *Potato Storage: Technology and Practice*. ASAE Publ. 01-89. ASAE, St. Joseph, MI 49085; 1989.
- Isenberg, F. M. and D. D. Gull. *Potato greening under artificial light*. Cornell Extension Bulletin 1033, 8; 1959.
- Johnson, D., K. Hellevang, and L. Schaper. *Potato storage -68,000 cwt., 80 x172 single ext. wall*. ND plan 734-6-0, 10p. North Dakota State Extension Agricultural Engineering, Fargo, ND, 1987.
- Knowles, N. R., W. M. Iritani, L. D. Weller, and D. C. Gross. *Susceptibility of potatoes to bacterial rot and weight loss as a function of wound-healing interval and temperature*. American Potato Journal 59(11):515–522; 1982.
- Maga, J. A. *Potato glycoalkaloids*. Critical Reviews in Food Science and Nutrition 12(4):371–405; 1980.
- Schaper, L. A. and J. L. Varns. *Carbon dioxide accumulation and flushing in potato storage bins*. American Potato Journal 55(1):1–14, 55(3):182; 1977.
- Schaper, L. A. and D. A. Preston. *Requirements and recommendations for potato storage in the Red River Valley and the North Central Region*. In: B. F. Cargill, et al. (eds). *Potato Storage: Technology and Practice*. ASAE Publ. 01-89. ASAE, St. Joseph, MI 49085; 1989.
- Schippers, P. A. *The influence of curing conditions on weight loss during storage*. American Potato Journal 48(8):278–286; 1971.
- Small, D. *Automatic ventilation controls for vegetable storages*. Engineering Facts Agdex 732, Manitoba Agriculture Technical Services Branch, Winnipeg, Manitoba, Canada R3C 0V8; 1981.
- Small, D. and D. Hodgkinson. *Performance of potato ventilation ducts*. Transactions of the ASAE, 32(3):1029–37; 1988.
- Sowokinos, J. R. and D. A. Preston. *Maintenance of potato processing quality by chemical maturity monitoring (CMM)*. Minnesota Agricultural Experiment Station Bulletin 586-1988 (Item no. AD-SB-3441), 1988.
- Waelti, H. *Potato storage and ventilation in the Pacific Northwest*. In: B. F. Cargill, et al. (eds). *Potato Storage: Technology and Practice*. ASAE Publ. 01-89. ASAE, St. Joseph, MI 49085; 1989.

Loads Exerted by Irish Potatoes in Shallow Bulk Storage Structures

Developed under the direction of the SE-202 Committee of the ASAE Structures Group; approved by the ASAE Structures and Environment Division Standards Committee; adopted by ASAE as a Data February 1985; reconfirmed December 1989; revised and reclassified as an Engineering Practice August 1990; revised November 1995; approved as an American National Standard December 1995; reaffirmed January 2001; reaffirmed by ANSI January 2001; reaffirmed by ASABE February 2006; reaffirmed by ANSI March 2006; editorial revision September 2006.

Keywords: Loads, Potatoes, Pressure, Storage

1 Purpose and scope

1.1 This practice provides guidelines from which designers may calculate loads on vertical and inclined walls, partitions, bin fronts, ducts, and appurtenances that are to resist lateral pressure of potatoes stored in bulk. These guidelines may be modified for specific, unique load conditions.

1.2 This practice is for bins that are wider than deep ($B > h$) and not deeper than 5.5 m (18 ft) (see figure 1 for explanation of symbols).

1.3 This practice is for bins in which length (L) is greater than width (B).

1.4 This practice applies to maximum potato pressures measured in full-sized bins. These occurred with wet potatoes.

1.5 Other types of structural loads are listed in the following standards: ASAE EP475, ASAE EP288.5, and ASAE EP378.3.

2 Normative references

The following standards contain provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this Engineering Practice. At the time of publication, the editions indicated were valid. All standards are subject to revision, and parties to agreements based on this Engineering Practice are encouraged to investigate the possibility of applying the most recent editions of the standards indicated below. Standards organizations maintain registers of currently valid standards.

ASAE EP475 AUG90, *Design and Management of Storages for Bulk, Fall-Crop Irish Potatoes*

ASAE EP288.5 DEC92, *Agricultural Building Snow and Wind Loads*

ASAE EP378.3 DEC91, *Floor and Suspended Loads on Agricultural Structures Due to Use*

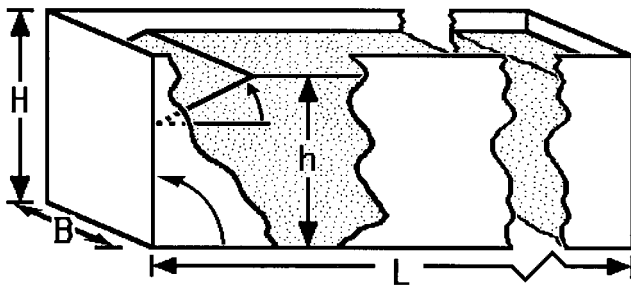


Figure 1 – Bin layout with symbol representation showing dimensions and angle of internal friction (repose). (See clauses 1, 4, 5 and 6 for explanation of symbols)

3 Terminology

3.1 potatoes, dry: Potatoes put into the bin under normal harvesting moisture conditions without being sprayed with water and/or chemical fungicide or rained on.

3.2 potatoes, wet: Potatoes that have been sprayed with water and/or chemical fungicide or have been rained on during bin filling operations.

3.3 storage, potato: A structure designed and constructed for storing potatoes in bulk.

4 Nomenclature

- h is distance below top of potato pile, m (ft)
- g is acceleration due to gravity, 9.81 m/s^2 (32.2 ft/s^2)
- g_c is mass-to-force conversion factor, $1 \text{ kg}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^{-2}/\text{N}$ ($32.2 \text{ lb}\cdot\text{ft}\cdot\text{s}^{-2}/\text{lbf}$)
- \hat{w} is mass of the product per unit volume, kg/m^3 (lb/ft^3)
- C is vertical distance measured from bottom of pile to the point at which a concentrated force equal to the total lateral force (W) would result in sill and plate reactions equal to those resulting from the distributed force.
- EFD is equivalent fluid density of the product, kg/m^3 (lb/ft^3)
- H is height of bin wall, m (ft)
- M is net bending moment in wall, for a unit length of wall, due to reactions at the ends of the wall and potato pile loading, $\text{kN}\cdot\text{m/m}$ ($\text{lb}\cdot\text{ft}/\text{ft}$)
- P is horizontal force caused by the potato pile acting on the wall per unit area of vertical wall surface, kPa (lb/ft^2)
- P_i is perpendicular force to an inclined wall caused by the potato pile acting on the wall per unit area of wall surface for a wall at angle α , kPa (lb/ft^2)
- R_p is perpendicular force at top of wall per a unit length of wall, kN/m (lb/ft)
- R_s is perpendicular force at bottom of wall per a unit length of wall, kN/m (lb/ft)
- S is summation of frictional force from potato pile acting on the wall surface and in a direction parallel to the wall surface for a unit height of wall, kN/m (lb/ft)
- W is summation of lateral forces for potatoes, acting perpendicular to wall face, for a unit length of wall, kN/m (lb/ft)
- X_o is distance from top of pile to point below top of pile where shear force is zero, m (ft)
- α is angle included between bin wall and bin floor, which is covered with potatoes, dimensionless
- θ is angle whose tangent equals the coefficient of friction between surfaces of the stored material, dimensionless
- μ is coefficient of friction between wall surface and stored, at rest, potatoes, dimensionless

5 General design information

5.1 angle, inclined wall (α): This normally is less than or equal to 90 degrees and greater than θ .

5.2 density, bulk (\hat{w}): The bulk density of potatoes may range from 625 kg/m^3 (39 lb/ft^3) to 700 kg/m^3 (44 lb/ft^3). Large potatoes [greater than 89 mm (3.5 in.) diameter] with a low specific gravity of 1.050 may

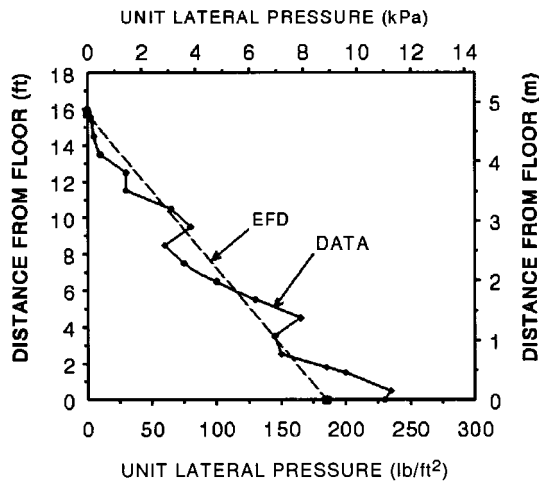


Figure 2 – Typical measured potato pressure curve with calculated equivalent fluid density line for a shallow bin

reach the smaller bulk density value. Small potatoes [less than 51 mm (2.0 in.) diameter] with a high specific gravity of 1.100 may reach the larger bulk density value. A bulk density of 670 kg/m³ (42 lb/ft³) is normally used for field-run potatoes.

5.3 density, equivalent fluid, for a vertical wall (EFD): Rankine's equation for active lateral pressure (P) of a cohesionless granular material with a level pile surface is given as

$$P = \hat{w}(g/g_c)h \tan^2(45^\circ - \theta/2) \quad (1)$$

The terms " $\hat{w} \tan^2(45^\circ - \theta/2)$ " are often grouped and called EFD.

$$EFD = \hat{w} \tan^2(45^\circ - \theta/2) \quad (2)$$

Figure 2 compares a typical measured pressure loading and a calculated EFD loading for a bin. For design purposes an empirically derived EFD of 210 kg/m³ (13.0 lb/ft³) is recommended. This value occurs with an angle of repose of 31.5° and a density of 670 kg/m³ (42 lb/ft³).

5.4 density, equivalent fluid, for an inclined wall (EFD_i): This can be found using the following equation

$$EFD_i = EFD [(\alpha - \theta)/(90 - \theta)]^3 \quad (3)$$

5.5 force, center of (C): The center of force, C , is calculated at one third the pile height, h (see figure 3).

$$C = h/3 \quad (4)$$

5.6 force, total lateral (W): Total lateral force, W , is calculated using the following equation

$$W = 9.81 [EFD(h^2/2)] \quad (5)$$

5.7 force, total axial (S): The total axial force due to the potatoes, S , is calculated using the following equation

$$S = \mu W \quad (6)$$

5.8 friction, angle of internal (θ): For potatoes, the angle of internal friction, θ , is approximated in practice as the filling angle of repose of the product (see figure 1) and may range from 26° to 36°. An average value is 32°.

5.9 friction, static, coefficient for surface (μ): Use values for the static coefficient of friction shown in table 1.

5.10 moment, location of maximum (X_o): The location of the maximum moment, X_o , is calculated using the following equation

$$X_o = h(C/H)^{0.5} \quad (7)$$

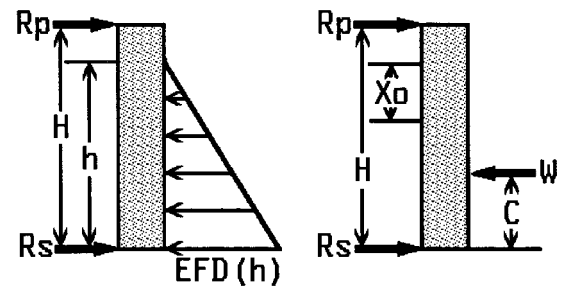


Figure 3 – Free body diagrams of bin wall (See clause 4 for explanation of symbols)

5.11 moment, maximum (M): The maximum moment, M , is calculated using the following equation

$$M = [W(C/H)][H - h + 2C(C/H)^{0.5}] \quad (8)$$

5.12 pressure, inclined wall (P_i): This can be calculated as a reduced value of the unit pressure for a vertical wall with the relationship

$$P_i/P = [(\alpha - \theta)/(90 - \theta)]^3 \quad (9)$$

where

$$\theta < \alpha < 90^\circ$$

5.13 reaction, plate (R_p): The plate reaction, R_p , is calculated using the following equation

$$R_p = W(C/H) \quad (10)$$

5.14 reaction, sill (R_s): The sill reaction, R_s , is calculated using the following equation

$$R_s = W[(H - C)/H] \quad (11)$$

6 Example calculations

6.1 Vertical wall, pinned ends:

6.1.1 Given:

$$\begin{aligned} h &= \text{pile depth} = 4.8 \text{ m} \\ H &= \text{wall height} = 5.4 \text{ m} \\ C &= \text{center of force} \\ &= h/3 = 4.8/3 = 1.6 \text{ m} \end{aligned}$$

6.1.2 Assume:

$$\begin{aligned} EFD &= 210 \text{ kg/m}^3 \\ \mu &= 0.48 \text{ (smooth concrete)} \end{aligned}$$

Table 1 – Static coefficients of friction for potatoes on various surfaces. Averaged for wet and dry potatoes

Surface	Coefficient, μ
Steel, corrugated, galvanized (across corrugations)	0.70
Rough concrete	0.59
Potatoes	0.57
Plywood (with grain)	0.52
Rubber belting	0.50
Smooth concrete	0.48
Steel, smooth, nongalvanized	0.43
Steel, galvanized	0.43
Polyethylene sheet	0.39

6.1.3 Find total lateral force (equation 5):

$$\begin{aligned}W &= 9.81 \text{ N/kg}[(EFD)(h^2/2)] \\ &= 9.81[(210)(4.8)^2/2] \\ &= 23.73 \text{ kN/m}\end{aligned}$$

6.1.4 Find sill reaction (equation 11):

$$\begin{aligned}R_s &= W[(H-C)/H] \\ &= 23.73[(5.4-1.6)/5.4] \\ &= 16.70 \text{ kN/m}\end{aligned}$$

6.1.5 Find plate reaction (equation 10):

$$\begin{aligned}R_p &= W(C/H) \\ &= 23.73(1.6/5.4) \\ &= 7.03 \text{ kN/m}\end{aligned}$$

6.1.6 Find total axial force (equation 6):

$$\begin{aligned}S &= \mu W \\ &= 0.48(23.73) \\ &= 11.39 \text{ kN/m}\end{aligned}$$

6.1.7 Find location of maximum moment (equation 7):

$$\begin{aligned}X_o &= h(C/H)^{0.5} \\ &= 4.8(1.6/5.4)^{0.5} \\ &= 2.6 \text{ m below top of pile}\end{aligned}$$

6.1.8 Find maximum moment (equation 8):

$$\begin{aligned}M &= [W(C/H)][H-h+2C(C/H)^{0.5}] \\ &= [23.73(1.6/5.4)][5.4-4.8+2(1.6)(1.6/5.4)^{0.5}] \\ &= 16.45 \text{ kN-m/m}\end{aligned}$$

6.2 Inclined wall, pinned ends:

6.2.1 Given:

$$\begin{aligned}a &= \text{incline angle} \\ &= 75^\circ \text{ from floor} \\ h &= 4.8 \text{ m} \\ H &= 5.4 \text{ m} \\ C &= h/3 = 4.8/3 \\ &= 1.6 \text{ m}\end{aligned}$$

6.2.2 Assume:

$$\theta = \text{angle of repose} = 32^\circ$$

$$\begin{aligned}EFD &= \text{equivalent fluid potato density} \\ &= 210 \text{ kg/m}^3\end{aligned}$$

$$\mu = 0.48 \text{ (smooth concrete)}$$

6.2.3 Find equivalent fluid density for inclined wall (equation 3):

$$\begin{aligned}EFD_i &= \text{inclined wall } EFD \\ EFD_i/EFD &= [(\alpha - \theta)/(90 - \theta)]^3 \\ EFD_i/210 &= [(75 - 32)/(90 - 32)]^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}EFD_i &= 210(0.41) \\ &= 86 \text{ kg/m}^3\end{aligned}$$

6.2.4 Find total lateral force (equation 5):

$$\begin{aligned}W &= 9.81[(EFD_i)(h)^2/2] \\ &= 9.81[(86)(4.8)^2/2] \\ &= 9.72 \text{ kN perpendicular to wall}\end{aligned}$$

6.2.5 Find sill reaction (equation 11):

$$\begin{aligned}R_s &= W[(H-C)/H] \\ &= 9.72[(5.4-1.6)/5.4] \\ &= 6.84 \text{ kN/m}\end{aligned}$$

6.2.6 Find plate reaction (equation 10):

$$\begin{aligned}R_p &= W(C/H) \\ &= 9.72(1.6/5.4) \\ &= 2.88 \text{ kN/m}\end{aligned}$$

6.2.7 Find total axial force (equation 6):

$$\begin{aligned}S &= \mu W \\ &= 0.48(9.72) \\ &= 4.67 \text{ kN/m}\end{aligned}$$

6.2.8 Find location of maximum moment (equation 7):

$$\begin{aligned}X_o &= h(C/H)^{0.5} \\ &= 4.8(1.6/5.4)^{0.5} \\ &= 2.6 \text{ m}\end{aligned}$$

6.2.9 Find maximum moment (equation 8):

$$\begin{aligned}M &= [W(C/H)][H-h+2(C)(C/H)^{0.5}] \\ &= [9.72(1.6/5.4)][5.4-4.8+2(1.6)(1.6/5.4)^{0.5}] \\ &= 6.74 \text{ kN-m/m}\end{aligned}$$

Annex A (informative) Bibliography

The following documents are cited as reference sources used in development of this Engineering Practice.

Edgar, A. D. *Pressure on walls of potato storage bins*. USDA, Agricultural Marketing Service. AMS-401; 1960

Permanent Wood Foundation System Manual. National Forest Products Association; 1987

Powell, A. E., C. A. Pettibone and M. R. Torabi. *Pressure exerted on walls of larger bins by stored potatoes*. Transactions of the ASAE 23(3):685-686; 1980

Schaper, L. A. and E. C. Yaeger. *Horizontal and vertical pressure patterns of stored potatoes*. Transactions of the ASAE 25(3):719-724; 1982

Schaper, L. A. and E. C. Yaeger. *Accuracy of equivalent fluid pressure for potato storage wall design*. Transactions of the ASAE 26(1):179-184, 187; 1983

Schaper, L. A. and E. C. Yaeger. *Coefficients of friction of Irish potatoes*. Transactions of the ASAE 35(5):1647-1651; 1989

Schaper, L. A., K. G. Janardan, E. C. Yaeger and P. H. Orr. *Mathematical expressions for lateral potato pressures*. Transactions of the ASAE 32(3):1075–1080; 1989

Torabi, M. R. *Pressure exerted on the walls of large bins by stored potatoes*. Unpublished M.S. thesis, Washington State University, Pullman; 1976

Willson, G. B. *Lateral pressures on walls of potato storage bins*. USDA, Agricultural Research Service. ARS 52–32; 1968

Yaeger, E. C. and G. L. Pratt. *Instrumentation for measurement of lateral and vertical pressures in potato storages*. Transactions of the ASAE 20(6):1180–1184; 1977

Yaeger, E. C., L. A. Schaper and P. H. Orr. *Comparison of potato pile pressures on vertical and inclined walls*. Transactions of the ASAE 30(6):1811–1816; 1987

Αποθήκευση πατάτας

Ν. Κατσούλας, Κ. Κίττας

Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών
και Ελέγχου Περιβάλλοντος

Σκοπός της ενότητας

- Παρέχει οδηγίες για το λειτουργικό σχεδιασμό και τη διαχείριση ενός θαλάμου αποθήκευσης πατάτας σε χύδην μορφή.
- Οι οδηγίες έχουν εκδοθεί για περιοχή με γεωγραφικό πλάτος 40° αλλά βρίσκουν εφαρμογή και σε άλλες περιοχές. Φυσικά παίζει ρόλο και το μικροκλίμα της περιοχής καθώς και η ποικιλία της πατάτας.
- Οι οδηγίες βρίσκουν εφαρμογή για την περίπτωση αποθήκευσης με σκοπό να διατηρηθεί το προϊόν για περισσότερο από 2-3 μήνες.



Γενική Θεώρηση

- Ο κύριος στόχος της αποθήκευσης είναι να παρέχει τις συνθήκες κάτω από τις οποίες θα διατηρηθεί η ποιότητα των κονδύλων στο μέγιστο, θα ελεγχθούν - αποφευχθούν οι ασθένειες και θα προκληθούν οι ελάχιστες απώλειες βάρους στο ακατέργαστο προϊόν.
- Η διάταξη του αποθηκευτικού χώρου θα πρέπει να είναι τέτοια έτσι ώστε να είναι δυνατή η εύκολη πρόσβαση των μηχανημάτων για την φόρτωση και εκφόρτωση των προϊόντων με σκοπό την ελαχιστοποίηση της ανθρώπινης εργασίας.
- Πατάτες οι οποίες προορίζονται για διαφορετικές χρήσεις αποθηκεύονται σε διαφορετική θερμοκρασία.
- Η αποθήκευση μπορεί να χωριστεί σε 5 φάσεις:
 - Εξισορρόπηση θερμοκρασίας και επιφανειακό στέγνωμα
 - Φελοποίηση και επούλωση πηγών
 - Μείωση θερμοκρασίας
 - Διατήρηση
 - Επαναφορά στις συνθήκες περιβάλλοντος

Επιθυμητές συνθήκες περιβάλλοντος

Θερμοκρασία

Περίοδος επούλωσης πηγών

Αμέσως μετά τη συγκομιδή, η επούλωση μπορεί να γίνει σε θερμοκρασία 18 έως 24°C για 3-4 ημέρες. Παρόλα αυτά, λόγω των κινδύνων εξάπλωσης ασθενειών σε αυτές τις θερμοκρασίες, η επούλωση γίνεται σε θερμοκρασία 10 έως 16°C για 10-14 ημέρες. Η περίοδος αυτή θα πρέπει να επιμηκυνθεί αν οι πατάτες δεν έχουν τα επιθυμητά επίπεδα σακχάρων ή σε περίπτωση που η επούλωση γίνεται σε θερμοκρασία 10°C και υπάρχει κάποια ασθένεια.

Επιθυμητές συνθήκες περιβάλλοντος

Θερμοκρασία

Περίοδος μείωσης θερμοκρασίας

Κατά τη διάρκεια της φάσης αυτής, η θερμοκρασία του θαλάμου μειώνεται κατά 0.3 έως 0.6°C ανά ημέρα. Οι πατάτες που προορίζονται για chips θα πρέπει να ψύχονται με ρυθμό 0.3°C ανά ημέρα.

Ο αέρας ψύξης θα πρέπει να είναι μόνο κατά 2°C ψυχρότερος από το προϊόν για να μειώνεται η απώλεια υγρασίας από τα προϊόντα στο ελάχιστο. Εάν δεν υπάρχει αρκετή ισχύς ψύξης και δεν μπορεί να επιτευχθεί η τελική θερμοκρασία, η μείωση της θερμοκρασίας θα πρέπει να γίνει σταδιακά έτσι ώστε οι πατάτες να μην ξαναθερμανθούν σε περιόδους ζεστού καιρού.

Επιθυμητές συνθήκες περιβάλλοντος

Θερμοκρασία

Περίοδος διατήρησης θερμοκρασίας

Όταν η μείωση της θερμοκρασίας έχει επιτευχθεί, οι θερμοκρασίες συντήρησης, αναλόγως με τη χρήση του τελικού προϊόντος, θα πρέπει να είναι:

- Για σπόρο: 3 έως 4°C.
- Για επιτραπέζια: 4 έως 7°C.
- Για τηγάνισμα: 7 έως 10°C.
- Για Chips μετά από μακροχρόνια αποθήκευση (πάνω από 4 μήνες): 10 έως 13°C.
- Για Chips μετά από βραχυχρόνια αποθήκευση: 13°C.

Επιθυμητές συνθήκες περιβάλλοντος

Θερμοκρασία

Περίοδος επαναφοράς στις συνθήκες περιβάλλοντος

Η Θερμοκρασία θα πρέπει να αυξηθεί πάνω από τη Θερμοκρασία συντήρησης για τουλάχιστον μία εβδομάδα πριν το αδειασμα του θαλάμου, προκειμένου να μειωθεί ο κίνδυνος πρόκλησης ζημιών κατά τη μεταφορά.

Η περίοδος επαναφοράς μπορεί να χρειαστεί να διαρκέσει αρκετές εβδομάδες αν οι χαμηλές θερμοκρασίες αποθήκευσης έχουν προκαλέσει την συσσώρευση σακχάρων τα οποία στη συνέχεια θα προκαλέσουν το σκούρο χρώμα στο προϊόν κατά το μαγείρεμα. Η αύξηση της θερμοκρασίας θα προκαλέσει αύξηση της αναπνοής η οποία με τη σειρά της θα μειώσει την περιεκτικότητα σε σάκχαρα.

Οι θερμοκρασίες επαναφοράς, αναλόγως με τη χρήση του τελικού προϊόντος, θα πρέπει να είναι:

- Για σπόρο ή επιτραπέζιες: 7 έως 10°C για να μειωθεί ο κίνδυνος ζημιών κατά τη μεταφορά και για να διεγερθεί η βλάστηση του κονδύλου.
- Για τηγάνισμα: 10°C.
- Για Chips ή τηγάνισμα μετά από μακροχρόνια αποθήκευση αν υπάρχει μεγάλη περιεκτικότητα σε σάκχαρα: 13 έως 16°C.

Όταν επιτευχθεί η θερμοκρασία επαναφοράς και το προϊόν έχει την επιθυμητή ποιότητα, ο θάλαμος θα πρέπει να αδειάσει μέσα σε μία εβδομάδα, προκειμένου να μειωθεί ο κίνδυνος υποβάθμισης της ποιότητας κατά το επόμενο χρονικό διάστημα.

Επιθυμητές συνθήκες περιβάλλοντος

Θερμοκρασία

Περίοδος επαναφοράς στις συνθήκες περιβάλλοντος



Αν η συσσώρευση σακχάρων οφείλεται στη γήρανση των κονδύλων, η αύξηση της θερμοκρασίας στο θάλαμο δεν θα προκαλέσει αύξηση της αναπνοής ικανής να μειώσει την περιεκτικότητα σε σάκχαρα. Σε αυτή την περίπτωση, η αλλαγή της θερμοκρασίας στο θάλαμο δεν θα οδηγήσει σε προϊόντα με ικανοποιητικό χρώμα κατά την επεξεργασία.

Επιθυμητές συνθήκες περιβάλλοντος

Σχετική υγρασία

Η σχετική υγρασία του αέρα του θαλάμου θα πρέπει να είναι 90%-95% καθ' όλη τη διάρκεια της αποθήκευσης. Η διατήρηση υψηλής σχετικής υγρασίας κατά τη διάρκεια της φάσης φελοποίησης είναι πολύ σημαντική για τη μείωση της απώλειας βάρους των κονδύλων. Καθώς η μεγαλύτερη απώλεια βάρους συμβαίνει με απώλεια υγρασίας μέσα από τις πληγές των κονδύλων, η διατήρηση υψηλών επιπέδων υγρασίας είναι περισσότερο κρίσιμη σε αυτό παρά σε οποιοδήποτε άλλο στάδιο.

Αν οι κονδύλοι είναι μολυσμένοι από κάποια ασθένεια, η σχετική υγρασία θα πρέπει να είναι κοντά στο 85% προκειμένου να απομακρυνθεί από την επιφάνεια των κονδύλων η υγρασία που προέρχεται από τα σπασμένα στην επιφάνεια των κονδύλων κύτταρα. Όταν ελεγχθεί στο πρόβλημα η σχετική υγρασία θα πρέπει να παραμένει πάνω από το 90%.

Η ελάχιστη απώλεια βάρους των κονδύλων, για την περίπτωση αποθήκης με συνεχή αερισμό, δίνεται από τη σχέση:

$$L = (A + 0.1 S) D$$

Όπου:

- L: ποσοστό απώλειας αρχικού βάρους ανά εβδομάδα
- A: συντελεστής με τιμή 0.7 για τις 2 πρώτες εβδομάδες και 0.2 για την υπόλοιπη περίοδο
- S: το ποσοστό των κονδύλων που έχουν βλαστήσει, κατά βάρος
- D: το έλλειμμα κορεσμού του αέρα σε υδρατμούς, σε mm στήλης υδραργύρου = $Ps(1-RH)$ όπου:
 - Ps: η πίεση στον κορεσμό στη μέση θερμοκρασία των κονδύλων, σε mm στήλης υδραργύρου
 - RH: η μέση τιμή της σχετικής υγρασίας του αέρα (0-1)

Από μετρήσεις, έχει βρεθεί ότι οι απώλειες βάρους μπορεί να είναι διπλάσιες από αυτές που περιγράφονται από την παραπάνω σχέση, αν έχει γίνει πρόωρη συγκομιδή ή αν οι κονδύλοι έχουν πληγωθεί κατά τη συγκομιδή.

Ελεγχόμενη ατμόσφαιρα

Η μακροχρόνια αποθήκευση της πατάτας σε ατμόσφαιρα με μειωμένη συγκέντρωση O_2 προκαλεί ζημιές στο προϊόν. Επίπεδα 1% CO_2 είναι τα ανώτερα επιτρεπτά. Κανονικά επίπεδα CO_2 ορίζονται από 0.2% έως 0.3%.



Ευαισθησία στο φως

Οι πατάτες θα πρέπει να αποθηκεύονται πάντα στο σκοτάδι. Το φως προκαλεί πρασίνισμα της επιφάνειάς τους λόγω της ανάπτυξης χλωροφύλλης και σύνθεσης γλυκοαλκαλοειδών.

Η έκθεση σε τεχνητό φως θα πρέπει να είναι ελάχιστη και να μην ξεπερνά συνολικά, κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης το διάστημα μερικών ημερών.

Κατασκευαστικά στοιχεία της αποθήκης



Μόνωση

Θερμική μόνωση

Η μόνωση θα πρέπει να εξασφαλίζει την αποφυγή υγρασιών στο εσωτερικό του θαλάμου αποθήκευσης σε συνθήκες υψηλής σχετικής υγρασίας αποθήκευσης των προϊόντων. Μέσες τιμές του συντελεστή θερμικής αντίστασης είναι:

- Για τους τοίχους 4 έως 7 m² C W⁻¹
- Για την οροφή 5 έως 7 m² C W⁻¹

Μόνωση

Μόνωση στη μεταφορά υδρατμών

Η μόνωση πρέπει να εγκαθίσταται στην θερμή πλευρά του τοίχου. Συνήθως χρησιμοποιούνται φύλλα πολυαιθυλενίου πάχους 0.2 mm. Η περατότητα του τοιχώματος στους υδρατμούς δεν θα πρέπει να ξεπερνά τα 6 ng s⁻¹ m⁻² Pa⁻¹.



Δυναμικός Αερισμός

Παροχή αερισμού

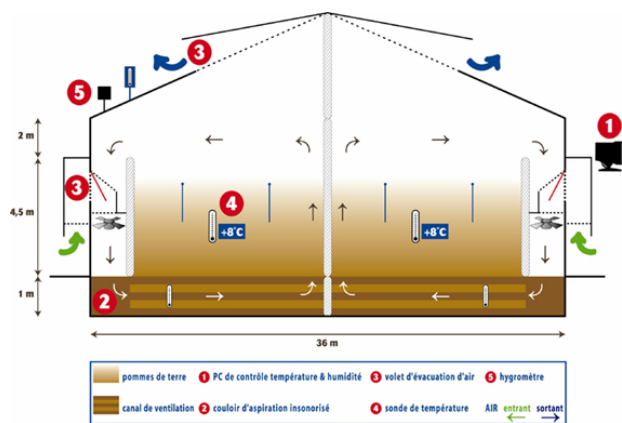
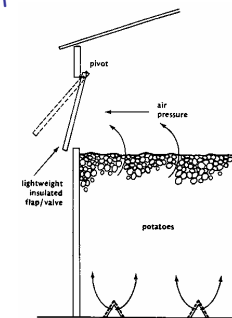
Η συνιστώμενες τιμές παροχής αερισμού ποικίλουν αναλόγως με τη θερμοκρασία του θαλάμου αποθήκευσης, το ρυθμό αναπνοής και το δυνητικό ρυθμό απωλειών του προϊόντος λόγω ασθενειών ή παγωμένου προϊόντος. Ο μέγιστος ρυθμός θα πρέπει να χρησιμοποιείται κατά την περίοδο μείωσης της θερμοκρασίας, για τον έλεγχο της ανάπτυξης ασθενειών και για την απομάκρυνση της υγρασίας από την επιφάνεια του προϊόντος.

Συνήθεις τιμές παροχής αερισμού είναι:

- Για σπόρο ή επιτραπέζια πατάτα: 0.3 έως 0.6 m³ min⁻¹ tn⁻¹
- Για αποθήκευση και επεξεργασία: 0.6 έως 1.0 m³ min⁻¹ tn⁻¹

Δυναμικός Αερισμός

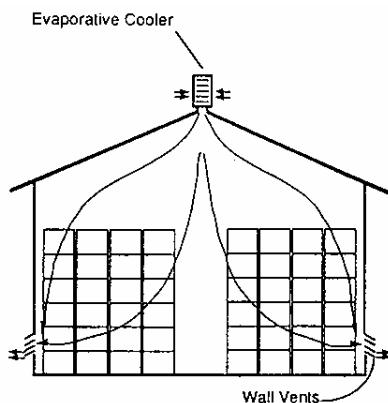
Η ταχύτητα στην έξοδο του αέρα από τους αεραγωγούς δεν θα πρέπει να ξεπερνά τα 5 έως 8 m s⁻¹. Η ταχύτητα στο εσωτερικό του θαλάμου, όταν αυτός είναι γεμάτος, δεν θα πρέπει να ξεπερνά τα 4 m s⁻¹.



Θέρμανση

Το σύστημα θέρμανσης είναι απαραίτητο για τη θέρμανση του σωρού και του εισερχόμενου αέρα τόσο κατά τη συντήρηση, αν η εξωτερική θερμοκρασία είναι χαμηλή, όσο και κατά την περίοδο επαναφοράς στις συνθήκες περιβάλλοντος.

Ανάλογα με τις συνθήκες λειτουργίας, η ισχύς θέρμανσης κυμαίνεται από 1 έως 2 kW ανά 100 tη αποθηκευμένου προϊόντος. Σε έναν καλά μονωμένο θάλαμο, η θερμότητα που παράγεται από την αναπνοή είναι αρκετή για να κρατήσει ικανοποιητικά επίπεδα θερμοκρασίας στο εσωτερικό του θαλάμου.



Συστήματα ύγρανσης

Η διατήρηση υψηλών επιπέδων υγρασίας στο θάλαμο είναι απαραίτητη κατά την περίοδο διατήρησης της θερμοκρασίας.

Θα πρέπει να προβλεφθούν σημεία απομάκρυνσης της επιπλέον υγρασίας και μεταφορά της μακριά από το σωρό αποθήκευσης.

Οι απαιτήσεις για τη δυναμικότητα του συστήματος ποικίλουν ανάλογα με την περιοχή και την παροχή αερισμού με εξωτερικό αέρα, με τις μέσες τιμές να κυμαίνονται από 10 έως 40 L h⁻¹ ανά 6000 m³ h⁻¹ παροχή αερισμού.

Ψύξη

Το σύστημα ψύξης, αναλόγως με τη χρήση, θα πρέπει:

να μπορεί να απομακρύνει τη θερμότητα από το προϊόν κατά την αρχή της αποθήκευσης (πρόψυξη),

να μειώσει τη θερμοκρασία με ικανοποιητικό ρυθμό κατά τη διάρκεια της περιόδου μείωσης της θερμοκρασίας και

να διατηρήσει τη θερμοκρασία κατά τη διάρκεια της περιόδου συντήρησης.

Συστήματα ελέγχου

- Αερισμού
 - Θέρμανσης
 - Ύγρανσης
 - Ψύξης
- Θέση αισθητήρων



Λειτουργία και διαχείριση

Αερισμός

Τα συστήματα αερισμού στους θαλάμους αποθήκευσης της πατάτας είναι συνήθως συστήματα υπερπίεσης και συνεπώς σχεδιασμένα ανάλογα.

- Εκτός από τις περιπτώσεις όπου απαιτείται ψύξη ή ύγρανση του χώρου, το σύστημα αερισμού θα πρέπει να λειτουργεί ελάχιστα κατά την περίοδο της φελοποίησης-επούλωσης των πλιγνών.
- Αν η αποθήκη δεν είναι πλήρως στεγανή, ανάλογα και με τους εξαεριστήρες που χρησιμοποιούνται, ο εξωτερικός άνεμος μπορεί να προκαλέσει αερισμό με τον οποίο η συγκέντρωση του CO₂ μπορεί να διατηρηθεί σε ικανοποιητικά επίπεδα.
- Αν δεν υπάρχει σύστημα μέτρησης των επιπέδων του CO₂ και η αποθήκη είναι στεγανή, οι ανεμιστήρες θα πρέπει να λειτουργούν αρκετές ώρες την ημέρα για να διατηρήσουν το CO₂ σε ικανοποιητικά επίπεδα.
- Αν οι πατάτες είναι υγρές ή υπάρχει κίνδυνος εξάπλωσης κάποιας ασθένειας, οι ανεμιστήρες θα πρέπει να λειτουργούν συνεχώς με το σύστημα ελέγχου της υγρασίας εκτός λειτουργίας.

Έλεγχος υγρασιότητας
Συστήματα Ελέγχου
Εποπτεία χώρου

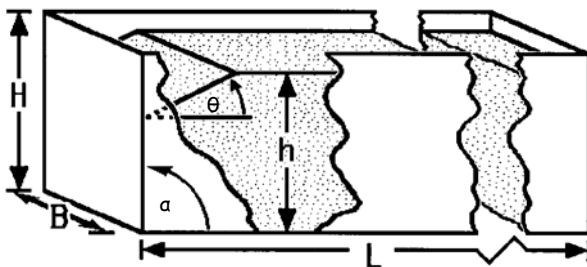
Σκοπός της ενότητας

Φορτία στα τοιχώματα αποθήκης με πατάτες σε μορφή χύδην.

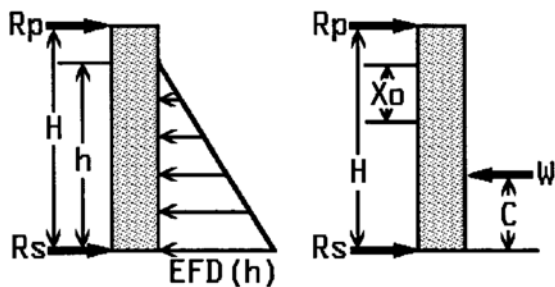
Υπολογισμός φορτίων στα τοιχώματα.
Οι υπολογισμοί γίνονται για αποθήκες που έχουν μεγαλύτερο πλάτος από ότι βάθος και όχι βαθύτερες από 5.5 m.
Παράλληλα, οι υπολογισμοί γίνονται για αποθήκες με μήκος μεγαλύτερο από το πλάτος.



Αποθήκη πατάτας



Γενικά στοιχεία για το σχεδιασμό



Γενικά στοιχεία για το σχεδιασμό

Η πυκνότητα της πατάτας σε σωρό είναι από 625 έως 700 kg m⁻³.

Η πυκνότητα μπορεί να εκφραστεί και σε ισοδύναμη ενός υγρού. Η πίεση που ασκείται στα τοιχώματα ενός κτηρίου από υλικό το οποίο είναι στοιβαγμένο στο εσωτερικό του δίνεται από τη σχέση:

$$P = \hat{w} (g/g_c) h \tan^2(45^\circ - \theta/2)$$

Ο όρος $\hat{w} \tan^2(45^\circ - \theta/2)$ ορίζεται ως E(quivalent)F(luid)D(ensity).

$$EFD = \hat{w} \tan^2(45^\circ - \theta/2)$$

Για λόγους σχεδιασμού, θεωρούμε ότι EFD = 210 kg m⁻³. Η τιμή αυτή προκύπτει αν θεωρήσουμε ότι $\theta = 31.5^\circ$ και πυκνότητα = 670 kg m⁻³.

Γενικά στοιχεία για το σχεδιασμό

Στην περίπτωση μιας αποθήκης με κεκλιμένα τοιχώματα, η E (quivalent) F (luid) D (ensity) δίνεται από τη σχέση:

$$EFD_i = EFD [(\alpha - \theta)/(90 - \theta)]^3$$

Γενικά στοιχεία για το σχεδιασμό

Table 1 – Static coefficients of friction for potatoes on various surfaces. Averaged for wet and dry potatoes

Surface	Coefficient, μ
Steel, corrugated, galvanized (across corrugations)	0.70
Rough concrete	0.59
Potatoes	0.57
Plywood (with grain)	0.52
Rubber belting	0.50
Smooth concrete	0.48
Steel, smooth, nongalvanized	0.43
Steel, galvanized	0.43
Polyethylene sheet	0.39

Γενικά στοιχεία για το σχεδιασμό

Η πίεση που ασκείται στα κεκλιμένα τοιχώματα της αποθήκης από υλικό το οποίο είναι στοιβαγμένο στο εσωτερικό του δίνεται από τη σχέση:

$$P_i/P = [(\alpha - \theta)/(90 - \theta)]^3$$

όπου:

$$\theta < \alpha < 90^\circ$$

Γενικά στοιχεία για το σχεδιασμό

Το ύψος του τοιχώματος στο οποίο ασκείται η δύναμη στο τοίχωμα δίνεται από τη σχέση:

$$C = h/3$$

Η συνολική πλευρική δύναμη που ασκείται στο τοίχωμα δίνεται από τη σχέση:

$$W = 9.81 [EFD(h^2/2)]$$

Η συνολική αξονική δύναμη δίνεται από τη σχέση:

$$S = \mu W$$

Γενικά στοιχεία για το σχεδιασμό

Το σημείο στο οποίο εμφανίζεται η μεγαλύτερη ροπή στο τοίχωμα υπολογίζεται από τη σχέση:

$$X_o = h(C/H)^{0.5}$$

όπου X_o η απόσταση από την κορυφή του σωρού. Η μέγιστη ροπή υπολογίζεται από τη σχέση:

$$M = [W(C/H)][H - h + 2C(C/H)^{0.5}]$$

Γενικά στοιχεία για το σχεδιασμό

Η αντίδραση η οποία θα πρέπει να ασκείται στην κορυφή του τοιχώματος δίνεται από τη σχέση:

$$Rp = W(C/H)$$

Ενώ η αντίδραση στη βάση του τοιχώματος δίνεται από τη σχέση:

$$Rs = W [(H - C)/H]$$

Υπολογισμοί

Κατακόρυφα τοιχώματα.

Δίνονται:

ύψος σωρού $h = 4.8 \text{ m}$

Ύψος τοίχου $H = 5.4 \text{ m}$

Κέντρο δύναμης $C = h/3 = 4.8/3 = 1.6 \text{ m}$

Θεωρούμε $EFD = 210 \text{ kg m}^{-3}$ και $\mu = 0.57$ (από πίνακα)

Υπολογισμοί

Η συνολική πλευρική δύναμη που ασκείται στο τοίχωμα δίνεται από τη σχέση:

$$\begin{aligned} W &= 9.81 \text{ N/kg}[(EFD)(h^2/2)] \\ &= 9.81[(210)(4.8)^2/2] \\ &= 23.73 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Υπολογισμοί

Η αντίδραση η οποία θα πρέπει να ασκείται στην κορυφή του τοιχώματος είναι:

$$\begin{aligned} R_p &= W(C/H) \\ &= 23.73(1.6/5.4) \\ &= 7.03 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Υπολογισμοί

Η αντίδραση η οποία θα πρέπει να ασκείται στη βάση του τοιχώματος είναι:

$$\begin{aligned} R_s &= W[(H-C)/H] \\ &= 23.73[(5.4-1.6)/5.4] \\ &= 16.70 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Υπολογισμοί

Το σημείο στο οποίο εμφανίζεται η μεγαλύτερη ροπή στο τοίχωμα είναι:

$$\begin{aligned} X_o &= h(C/H)^{0.5} \\ &= 4.8(1.6/5.4)^{0.5} = 2.6 \text{ m} \quad \text{κάτω από την κορυφή του σωρού} \end{aligned}$$

Η μέγιστη ροπή είναι:

$$\begin{aligned} M &= [W(C/H)][H-h+2C(C/H)^{0.5}] \\ &= [23.73(1.6/5.4)][5.4-4.8+2(1.6)(1.6/5.4)^{0.5}] \\ &= 16.45 \text{ kN}\cdot\text{m/m} \end{aligned}$$

Υπολογισμοί

Κεκλιμένο τοίχωμα

Δίνονται:

Γωνία κλίσης $\alpha = 75^\circ$

ύψος σωρού $h = 4.8 \text{ m}$

Ύψος τοίχου $H = 5.4 \text{ m}$

Κέντρο δύναμης $C = h/3 = 4.8/3 = 1.6 \text{ m}$

Θεωρούμε:

$EFD = 210 \text{ kg m}^{-3}$, $\theta = 32^\circ$ και $\mu = 0.48$ (από πίνακα)

Υπολογισμοί

Η Ε(quivalent)F(luid)D(ensity) είναι:

$$\begin{aligned} EFD_i &= EFD [(\alpha - \theta)/(90 - \theta)]^3 \\ EFD_i / EFD &= [(\alpha - \theta)/(90 - \theta)]^3 \\ EFD_i / 210 &= [(75 - 32)/(90 - 32)]^3 \\ EFD_i &= 210(0.41) \\ &= 86 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

Υπολογισμοί

Η συνολική πλευρική δύναμη που ασκείται στο κάθετα στο τοίχωμα είναι:

$$\begin{aligned} W &= 9.81[(EFD_i)(h)^2/2] \\ &= 9.81[(86)(4.8)^2/2] \\ &= 9.72 \text{ kN} \end{aligned}$$

Υπολογισμοί

Η αντίδραση η οποία θα πρέπει να ασκείται στην κορυφή του τοιχώματος είναι:

$$\begin{aligned} R_p &= W(C/H) \\ &= 9.72(1.6/5.4) \\ &= 2.88 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Υπολογισμοί

Η αντίδραση η οποία θα πρέπει να ασκείται στη βάση του τοιχώματος είναι:

$$\begin{aligned} R_s &= W[(H - C)/H] \\ &= 9.72[(5.4 - 1.6)/5.4] \\ &= 6.84 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Υπολογισμοί

Η συνολική αξονική δύναμη είναι:

$$\begin{aligned} S &= \mu W \\ &= 0.48(9.72) \\ &= 4.67 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Υπολογισμοί

Το σημείο στο οποίο εμφανίζεται η μεγαλύτερη ροπή στο τοίχωμα είναι:

$$\begin{aligned} X_o &= h(C/H)^{0.5} \\ &= 4.8(1.6/5.4)^{0.5} = 2.6 \text{ m} \text{ κάτω από την κορυφή του σωρού} \end{aligned}$$

Η μέγιστη ροπή είναι:

$$\begin{aligned} M &= [W(C/H)][H - h + 2(C)(C/H)^{0.5}] \\ &= [9.72(1.6/5.4)][5.4 - 4.8 + 2(1.6)(1.6/5.4)^{0.5}] \\ &= 6.74 \text{ kN}\cdot\text{m/m} \end{aligned}$$

Ψυκτική ισχύς για αποθήκευση πατάτας

Παράδειγμα

Σε αποθήκη διαστάσεων 10.0x2.5x8.0 m, (με τοιχώματα από τούβλα πάχους 0.1 m, σοβατισμένα εσωτερικά και εξωτερικά με σουβά πάχους 0.025 m, με οροφή από μπετόν πάχους 0.1 m και σουβά εσωτερικά πάχους 0.025 m και δάπεδο από μπετόν) τοποθετούνται 100 τη πατάτας κάθε δύο ημέρες με μέγιστο ύψος σωρού 6 m.

Δίνεται ότι:

$$r_i = 0.12 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C/W} \text{ και } r_o = 0.03 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C/W}$$

Η θερμική αγωγιμότητα

$$\text{του σουβά είναι } \lambda_s = 0.75 \text{ W m}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1},$$

$$\text{του τούβλου } \lambda_t = 0.70 \text{ W m}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$$

$$\text{και για το μπετόν είναι } \lambda_{μπ} = 0.79 \text{ W m}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}.$$

Παράδειγμα

Αν η μέση θερμοκρασία της αποθηκευόμενης πατάτας είναι $T_p = 15^\circ\text{C}$,

ποια είναι η απαιτούμενη ισχύς των ψυκτικών μηχανημάτων, για θερμοκρασία αποθήκευσης $T_a = 10^\circ\text{C}$ και $RH_a = 90\%$. Σε αυτή τη θερμοκρασία, πατάτες αποδίδουν με την αναπνοή 0.052 W /kg .

Οι μέγιστες τιμές του ατμοσφαιρικού αέρα κατά την περίοδο αποθήκευσης είναι

$T_o = 20^\circ\text{C}$ και $RH_o = 50\%$, και η ειδική θερμότητα της πατάτας είναι $C = 3.43 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$

Λύση

Η απαιτούμενη ποσότητα θερμότητας για την ψύξη των κονδύλων είναι:

$$Q_k = m_k C_k \Delta T / t.$$

Αντικαθιστώντας

$$m_k = 100000 \text{ kg}, C_k = 3.43 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1},$$

$$\Delta T = 15 - 10 = 5 \text{ }^\circ\text{C} \text{ και } t = 3600 * 48 = 172800 \text{ sec, υπολογίζεται}$$

$$Q_k = 9.925 \text{ kW}.$$

Λύση

Ο ρυθμός παραγωγής θερμότητας, λόγω της αναπνοής, είναι:

$$Q_r = (100000 \text{ kg}) * 0.052 \text{ W kg}^{-1} = 5.2 \text{ kW}$$

ή, αν δινόταν η πυκνότητα του προϊόντος:

$$Q_r = (150 \text{ m}^3 * 670 \text{ kg m}^{-3}) * 0.052 \text{ W kg}^{-1} = 5.225 \text{ kW}$$

Λύση

Η απώλεια θερμότητας μέσω των τοιχωμάτων υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$Q_c = A \Delta T / R_{tot}.$$

Η συνολική θερμική αντίσταση για τα τοιχώματα είναι:

$$R_{τοιχ} = r_i + 2 * R_{σουβά} + R_{τούβλων} + r_o \Rightarrow$$

$$R = 0.12 + 2 * 0.025 / 0.75 + 0.1 / 0.70 + 0.03 \Rightarrow$$

$$R_{τοιχ} = 0.36 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C/W}.$$

Η επιφάνεια των τοιχωμάτων είναι

$$A_{τοιχ} = 2 * 10 * 8 + 2 * 8 * 2.5 = 200 \text{ m}^2$$

Άρα, οι απώλειες από τα τοιχώματα είναι:

$$Q_{τοιχ} = 200 * 10 / 0.36 = 5.55 \text{ kW}$$

Λύση

Η συνολική θερμική αντίσταση για την οροφή είναι:

$$R_{op} = r_i + R_{\text{σοουρά}} + R_{\text{μπ}} + r_o \Rightarrow$$

$$R = 0.12 + 0.025/0.75 + 0.1/0.79 + 0.03 \Rightarrow$$

$$R_{op} = 0.31 \text{ m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/W.}$$

Η επιφάνεια της οροφής είναι

$$A_{op} = 10 \cdot 2.5 = 25 \text{ m}^2$$

Άρα, οι απώλειες από την οροφή είναι:

$$Q_{\text{ορ}} = 25 \cdot 10 / 0.31 = 0.86 \text{ kW}$$

και με τον ίδιο τρόπο, οι απώλειες από το έδαφος είναι:

$$Q_{\text{εδ}} = 25 \cdot 5 / 0.25 = 0.5 \text{ kW}$$

Άρα, συνολικές απώλειες από την αποθήκη

$$Q_c = 5.5 + 0.86 + 0.5 = 6.9 \text{ kW}$$

Λύση

Η εισερχόμενη ποσότητα θερμότητας λόγω μεταβολής της ενθαλπίας του αέρα, ο οποίος καταλαμβάνει τον αποθηκευτικό χώρο, είναι:

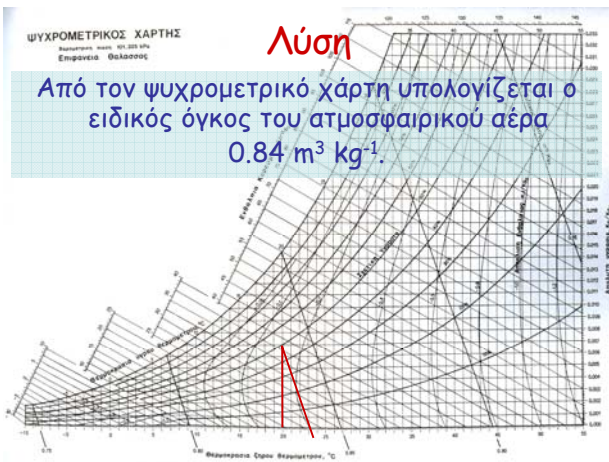
$$Q_h = m \Delta h, \text{ όπου } m = \text{η μάζα του αέρα που διοχετεύεται στη μονάδα του χρόνου.}$$

Αν η ειδική παροχή του αέρα έχει επιλεγεί $0.62 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ tn}^{-1}$ (από πίνακα), η μέγιστη παροχή είναι:

$$V = (0.62 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ tn}^{-1}) \cdot (0.670 \text{ tn m}^{-3}) \cdot (150 \text{ m}^3) / 60 = 1.039 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}.$$

Λύση

Από τον ψυχομετρικό χάρτη υπολογίζεται ο ειδικός όγκος του ατμοσφαιρικού αέρα $0.84 \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$.



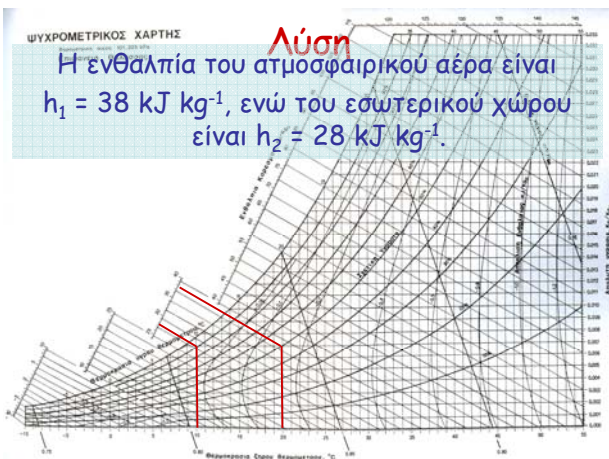
Λύση

Επομένως, η μάζα του αέρα που διοχετεύεται στη μονάδα του χρόνου είναι:

$$m = 1.039 / 0.84 = 1.237 \text{ kg s}^{-1}$$

Λύση

Η ενθαλπία του ατμοσφαιρικού αέρα είναι $h_1 = 38 \text{ kJ kg}^{-1}$, ενώ του εσωτερικού χώρου είναι $h_2 = 28 \text{ kJ kg}^{-1}$.



Λύση

Η ενθαλπία του ατμοσφαιρικού αέρα είναι $h_1 = 38 \text{ kJ kg}^{-1}$, ενώ του εσωτερικού χώρου είναι $h_2 = 28 \text{ kJ kg}^{-1}$.

Επομένως, $\Delta h = 10 \text{ kJ kg}^{-1}$
και η εισερχόμενη ισχύς είναι:

$$Q_h = (1.237) \cdot (10) = 12.37 \text{ kW.}$$

Λύση

Η απαιτούμενη ολική (μέγιστη) ισχύς του ψυκτικού μηχανισμού είναι:

$$Q = 9.925 + 5.225 + 6.9 + 12.37 = 34.42 \text{ kW.}$$

Υπολογίζοντας επιπλέον 15% για λόγους ασφαλείας η αποδιδόμενη ισχύς πρέπει να είναι: $Q = 40 \text{ kW}$

4 Nomenclature

h	is distance below top of potato pile, m (ft)
g	is acceleration due to gravity, 9.81 m/s^2 (32.2 ft/s^2)
g_c	is mass-to-force conversion factor, $1 \text{ kgm s}^{-2} \text{ N}^{-1}$ ($32.2 \text{ lb ft s}^{-2} \text{ lb}^{-1}$)
\dot{w}	is mass of the product per unit volume, kg/m^3 (lb/ft^3)
C	is vertical distance measured from bottom of pile to the point at which a concentrated force equal to the total lateral force (W) would result in sill and plate reactions equal to those resulting from the distributed force.
EFD	is equivalent fluid density of the product, kg/m^3 (lb/ft^3)
H	is height of bin wall, m (ft)
M	is net bending moment in wall, for a unit length of wall, due to reactions at the ends of the wall and potato pile loading, kNm/m (lbft^2/ft)
P	is horizontal force caused by the potato pile acting on the wall per unit area of vertical wall surface, kPa (lb/ft^2)
P_i	is perpendicular force to an inclined wall caused by the potato pile acting on the wall per unit area of wall surface for a wall at angle α , kPa (lb/ft^2)
R_p	is perpendicular force at top of wall per a unit length of wall, kNm (lbft)
R_b	is perpendicular force at bottom of wall per a unit length of wall, kNm (lbft)
S	is summation of frictional force from potato pile acting on the wall surface and in a direction parallel to the wall surface for a unit height of wall, kNm (lbft)
W	is summation of lateral forces for potatoes, acting perpendicular to wall face, for a unit length of wall, kNm (lbft)
X_p	is distance from top of pile to point below top of pile where shear force is zero, m (ft)
α	is angle included between bin wall and bin floor, which is covered with potatoes, dimensionless
θ	is angle whose tangent equals the coefficient of friction between surfaces of the stored material, dimensionless
μ	is coefficient of friction between wall surface and stored, at rest, potatoes, dimensionless

9.2 Παράρτημα 2: Ξήρανση καπνού

Energy Efficiency Test Procedure for Tobacco Curing Structures

Developed by the ASAE Special Crops Processing Committee; approved by the ASAE Electric Power and Processing Division Standards Committee; adopted by ASAE December 1982; reconfirmed by the Food and Process Engineering Institute Standards Committee December 1987; reaffirmed December 1992; reaffirmed and revised editorially December 1997; revised editorially March 1999; reaffirmed February 2003. Revised editorially March 2003.

1 Purpose

1.1 The purpose of this Standard is to:

1.1.1 Promote uniformity and consistency in terms used to describe and evaluate the energy efficiency of forced-air tobacco curing structures.

1.1.2 Define a test procedure for a simulated six-day cure under external ambient conditions.

1.1.3 Provide a method for interpretation and presentation of test results such that the energy efficiency of different designs can be compared when operated under equivalent conditions.

1.1.4 Provide test data which can be used to improve the energy efficiency of tobacco curing structures.

1.2 This Standard does not define a set of functional requirements for tobacco curing structures nor give a procedure for determining if these requirements are met by a given design. It evaluates each design as presented.

2 Scope

2.1 This standard is applicable to all batch-loaded forced-air tobacco curing structures, downdraft, updraft, and crossflow. It can be used to evaluate any curing structure where the specified site conditions are met.

2.2 The burner can be direct-fired or indirect-fired, and the fuel can be either gaseous or liquid. Provision is made for outside combustion air, if required.

2.3 The test conditions are based on the bright leaf tobacco curing schedule.

3 Terminology

3.1 **Test:** All events and data comprising a six-day simulated cure.

3.1.1 **Test barn:** The subject forced-air tobacco curing structure.

3.1.2 **Test building:** Structure in which the test is conducted.

3.2 **Curing compartment:** Space within the barn which is filled with tobacco.

3.2.1 **Curing compartment area:** Cross-sectional area perpendicular to the airflow.

3.2.2 **Loading end doors:** Doors through which the curing compartment is filled.

3.2.3 **Curing compartment volume:** The curing compartment area times the distance through the tobacco. For updraft and downdraft barns, the distance through the tobacco is taken to be the height of the curing containers. For bulk racks, the distance through the tobacco is taken to be the distance from the drying floor to a point 15 cm (6 in.) above the top tier rail for an updraft barn, and for a downdraft barn it is the distance from the ceiling to a point 60 cm (24 in.) below the bottom tier rail. For crossflow barns the distance through the tobacco is the width of the curing container.

3.3 **Thermostat schedule:** Thermostat settings used for the simulated cure (Fig. 1).

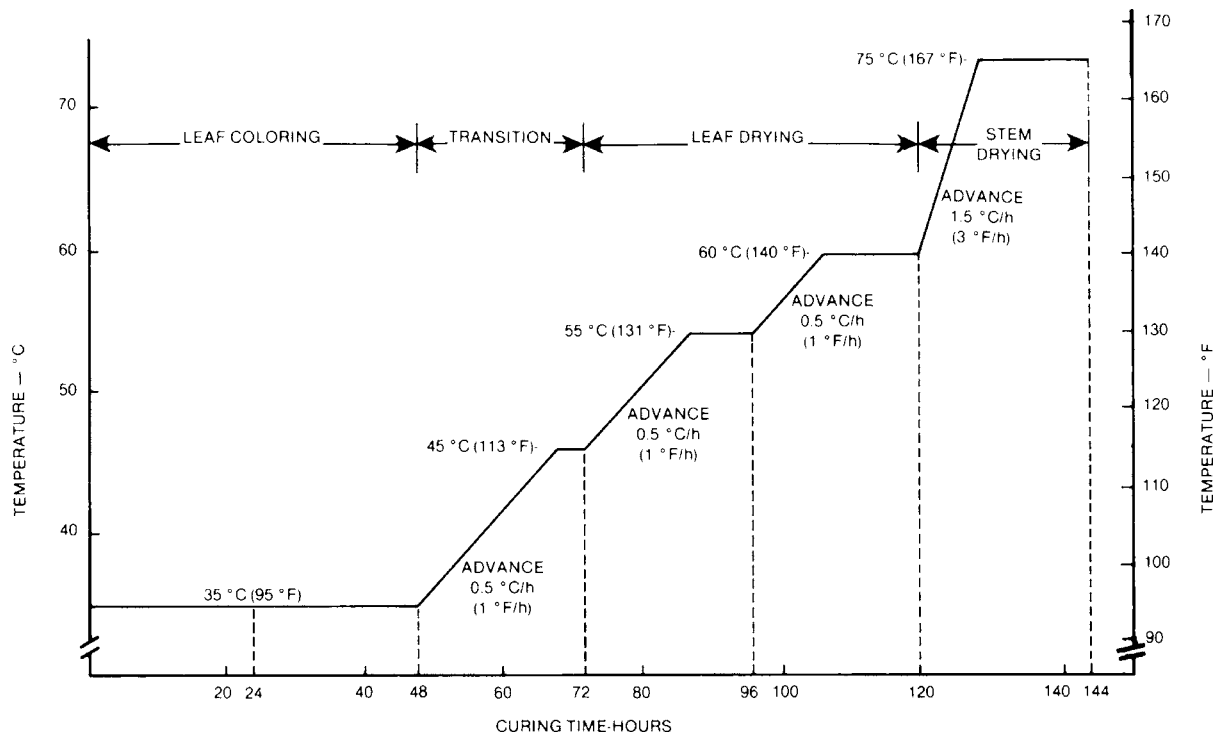


Figure 1 – Standard temperature cycle for six-day cure

Table 1 – Static pressure setting for simulated six-day cure

Time, h	Pressure adjustment		Static pressure		
		Pa	in. H ₂ O	Pa	in. H ₂ O
0				200	0.80
12	decrease	10	0.04	190	0.76
24	decrease	10	0.04	180	0.72
36	decrease	10	0.04	170	0.68
48	decrease	10	0.04	160	0.64
60	decrease	10	0.04	150	0.60
72	decrease	10	0.04	140	0.56
84	decrease	20	0.08	120	0.48
96	decrease	40	0.16	80	0.32
108	decrease	20	0.08	60	0.24
120	decrease	20	0.08	40	0.16
132	decrease	10	0.04	30	0.12
144				30	0.12

3.4 Static pressure schedule: Static pressure settings used for the simulated cure (Table 1).

3.5 Inlet airflow schedule: Inlet airflow settings used for the simulated cure (Table 2).

3.6 Static pressure manifold: Device for obtaining a four-point average static pressure (Fig. 2).

3.7 Variable resistance plate: Device for restricting airflow through the curing compartment to simulate the resistance of the tobacco.

3.8 Inlet chamber: Chamber at the furnace end of the test barn used to monitor the flow of inlet air during the simulated cure.

3.8.1 Inlet fan: Variable speed fan used to set the inlet airflow given in Table 2.

3.8.2 Inlet duct: Duct used to measure the inlet airflow.

3.9 Furnace room wall: Wall between the curing compartment and the furnace.

Table 2 – Inlet airflow settings for simulated six-day cure

Time, h	Airflow adjustment (air changes/h*)	Air changes/h*
0		20
24	increase 10	30
48	increase 20	50
72	increase 10	60
96	decrease 30	30
120	decrease 10	20
144		20

*Based on curing compartment volume.

3.10 Inlet vents: Vents on the test barn which are opened manually or automatically to introduce inlet air during the curing process.

3.11 Exhaust vents: Louvered vents on the test barn which open to exhaust air which has been passed through the tobacco.

3.12 Direct-fired furnace: Furnace which fires directly into the airstream which passes through the tobacco. The products of combustion go directly into the curing compartment.

3.13 Indirect-fired furnace: Furnace which fires into a combustion chamber that is vented outside the curing compartment.

3.14 Foundation insulation: Insulation around the foundation of the barn which may be applied by the manufacturer prior to shipment or may be installed at the site.

4 Site Conditions

4.1 The test shall be conducted in a building which protects the test barn from direct solar radiation on any surface. A minimum of 3 m (10 ft) clearance must be allowed on each side and above the test barn. The building shall be naturally ventilated, but protect the test barn from direct incidence of ambient wind. If two or more barns are tested in the same building they must be at least 10 m (33 ft) apart.

4.2 The test barn shall be installed on a 10 cm (4 in.) thick concrete

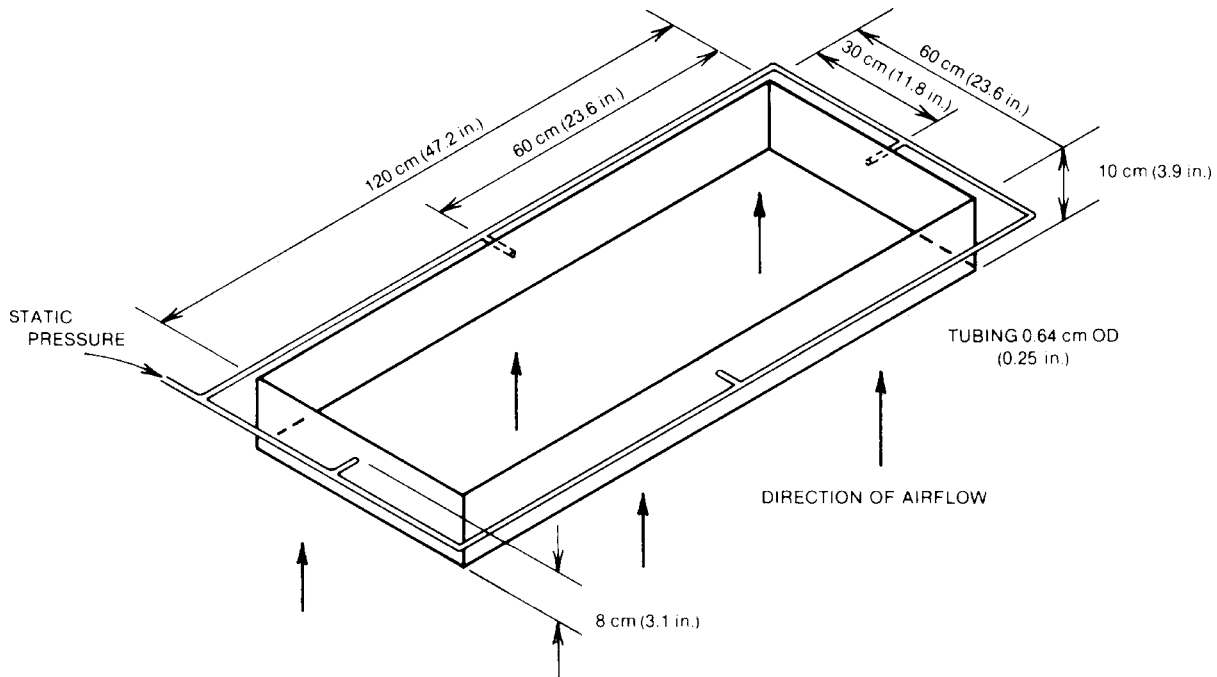


Figure 2 – Static pressure manifold

foundation pad insulated from the ground with 5 cm (2 in.) of board insulation having a thermal resistance of $1.4\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$ ($R = 8\text{ h} \cdot \text{ft}^2 \cdot ^\circ\text{F/Btu}$). The insulation shall be enclosed in a watertight envelope. The foundation shall have at least 5 cm (2 in.) of sand beneath the insulation.

4.3 Sealing of the foundation frame to the foundation pad shall be in accordance with specifications given in the manufacturer's literature. If foundation insulation is included in the pre-manufactured package, a description shall be included in the test report.

4.4 Fuel supplies and electrical connections, up to the point of connection with the test barn, shall comply with the following applicable standards of the National Fire Protection Association: NFPA No. 31, Standard for the Installation of Oil Burning Equipment; NFPA No. 54, Standard for the Installation of Gas Appliances and Gas Piping; NFPA No. 58, Standard for the Storage and Handling of Liquefied Petroleum Gases; and NFPA No. 70, National Electrical Code.

4.4.1 LP gas furnaces shall be supplied with HD5 grade propane.

4.4.2 Natural gas furnaces shall be supplied with natural gas.

4.4.3 Fuel oil furnaces shall be supplied with No. 2 fuel oil.

4.5 Indirect-fired units shall be vented to the outside of the test building.

4.6 An inlet chamber shall be installed at the furnace end of the test barn. It shall be the height and width of the barn. The length shall be equal to the width.

4.6.1 Connection of test barn to inlet chamber. The furnace room doors shall be removed. The resulting opening shall be sealed to a matching opening in the inlet chamber.

4.6.2 Inlet vents. The inlet vents on the test barn shall be opened to a setting equal to one-half the maximum setting used during a cure. If the barn has automatic vent control it shall be disconnected.

4.6.3 Outside combustion air. A duct shall be installed to supply outside combustion air to the burner for all indirect-fired furnaces. This duct shall be sized such that the pressure differential along its length does not affect burner operation.

4.6.4 Venting of combustion chamber. All indirect-fired furnaces shall be vented outside the test building with a vertical flue attached to the barn flue.

4.7 Air exhausted from the test barn exhaust vents shall be ducted outside the test building. This duct shall have a cross-sectional area at least twice the total area of the exhaust vents.

4.8 The variable resistance plate shall be installed such that the static pressure can be varied from outside the test barn. For barns with tier rails, it shall be installed at the first tier rail. For barns without tier rails, it shall be installed at a point one-third the distance from the delivery plenum to the return plenum. This plate shall have openings uniformly distributed over the entire curing compartment area. The open area shall be sufficient to obtain a minimum static pressure of 25 Pa (0.1 in. H_2O) measured at the static pressure manifold.

4.9 Test barn preparation

4.9.1 The loading end doors shall be closed and latched in the normal manner.

4.9.2 The test barn shall be inspected and adjusted as necessary by a manufacturer's representative after it is secured in the test configuration. Preliminary testing shall be done to insure satisfactory operation of the fan, burner, and all controls.

5 Test Equipment

5.1 Petroleum fuel

5.1.1 Consumption of gaseous fuel shall be measured with a totalizing positive displacement flow meter rated for a maximum flow equivalent to an energy input of 500 MJ/h (500,000 Btu/h) with an accuracy of $\pm 0.5\%$. The meter shall be temperature compensated, and calibrated to operate at the burner line pressure recommended by the manufacturer.

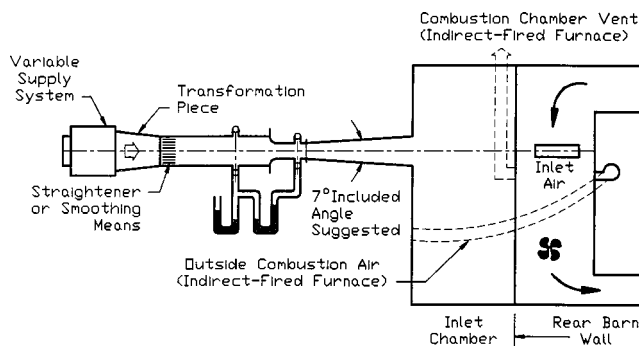


Figure 3 – Position of inlet chamber relative to test barn

5.1.2 Consumption of liquid fuel shall be measured with a totalizing flow meter rated for flows up to 0.25 L/min (4 gal/h) with an accuracy of $\pm 0.5\%$.

5.2 Electrical energy consumed by the test barn shall be recorded with an accuracy of $\pm 2\%$.

5.3 Temperature

5.3.1 Ambient temperature (T_a) shall be the average of five readings preferably made with a thermopile. One transducer each shall be mounted at the center of each side wall 2 m (6 ft) from the surface, and one shall be mounted at the center of the roof 2 m (6 ft) from the surface. One transducer shall be mounted at the center of the loading end 2 m (6 ft) from the surface, and one at the inlet to the inlet duct.

5.3.2 Delivery plenum temperature (T_d) shall be the average of temperatures measured at the level of the thermostat sensor in the curing compartment. The curing compartment area shall be divided into four quadrants and T_d shall be the average of the temperatures measured at the center of each quadrant.

5.4 Static pressure shall be measured with a static pressure manifold (Fig. 2) placed at the center of the plane between the delivery plenum and the curing compartment.

5.5 The airflow delivered to the inlet chamber shall be measured in an inlet duct mounted such that the centerline coincides with the centerline of the inlet vents (Fig. 3). Flow rate in the inlet duct shall be measured in accordance with the American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers Standard 51-75 (Air Moving and Conditioning Association Standard 210-74), Laboratory Methods of Testing Fans for Rating, using the outlet duct setup-nozzle on the end of the outlet duct shown in Fig. 14 of the Standard.

6 Test Procedure

6.1 The test barn shall be started with the thermostat at an initial setting of 35 °C (95 °F), an initial static pressure of 200 Pa (0.8 in. H_2O), and an initial air exchange rate of 20 changes per hour. It shall be allowed at least ten hours to equilibrate prior to data collection at the zero hour.

6.2 Temperature shall be recorded hourly with an accuracy of $\pm 0.5\text{ }^\circ\text{C}$ ($\pm 1\text{ }^\circ\text{F}$). Humidity shall be recorded hourly with an accuracy of $\pm 2\%$.

6.3 The procedure during the one-half hour period before the end of each 12-hour interval shall be as follows:

6.3.1 Record the electrical energy consumption.

6.3.2 Set the static pressure in the delivery plenum in accordance with the static pressure schedule (Table 1), and record the new pressure with an accuracy of $\pm 2.5\text{ Pa}$ ($\pm 0.01\text{ in. H}_2\text{O}$).

6.3.3 Set the inlet airflow in accordance with the inlet airflow schedule (Table 2), and record the new value with an accuracy of $\pm 2\%$. Since this setting significantly effects energy consumption, it should be made as close to the hour as possible. The burner shall be turned off when this setting is made.

6.3.4 Record the fuel consumption.

6.3.5 Set the thermostat in accordance with the thermostat schedule (Fig. 1).

7 Data reduction

7.1 Definitions

7.1.1 **Thermostat index:** A thermostat index (TI) shall be defined as:

$$TI = \sum_{i=1}^n (T_{ti} - T_{di})$$

where

- T_{ti} = thermostat setting for the i th hour, °C (°F)
- T_{di} = measured average temperature in the delivery plenum during the i th hour, °C (°F)
- n = number of hours in test

The thermostat index shall be reported as degree-hours °C·h (°F·h), and as a plot of the hourly difference.

7.1.2 **Integral ΔT :** An integral ΔT for the test shall be defined as:

$$\Delta T = \sum_{i=1}^n (T_{di} - T_{ai})$$

where

- T_{ai} = measured average ambient temperature for the i th hour, °C (°F)

7.1.3 **Petroleum fuel-index:** A petroleum fuel index (PFI) shall be defined as units of energy in the total fuel consumed divided by the integral ΔT . It shall be reported in units of MJ/°C·h (Btu/°F·h). Conversion constants shall be obtained from the fuel supplier and shall be listed on the test report.

7.1.4 **Inlet airflow:** The inlet airflow (q) shall be defined as the air changes per hour times the curing compartment volume. It shall be reported in units of m³/h (ft³/h).

7.1.5 **Psychrometric data:** Definitions for specific volume of the inlet air (v) and enthalpy (h) shall be those given in ASAE Data D271, Psychrometric Data. The ambient humidity ratio (H) may be calculated from relative humidity or from a wet bulb measurement.

7.1.6 **Exchanged air energy:** Energy in the controlled exchanged airflow (XAE) shall be calculated as:

$$XAE = 0.001 \sum_{i=1}^n q_i (h_{di} - h_{ai}) / v_i$$

where

- h_{di} = enthalpy of air in the delivery plenum based on T_{di} and H_i in kJ/kg (Btu/lb)
- h_{ai} = enthalpy of ambient air based on T_{ai} and H_i in kJ/kg (Btu/lb)

XAE shall be reported in units of MJ (Btu).

7.1.7 **Fuel efficiency index:** The fuel efficiency index (FEI) shall be defined as the total measured exchanged air energy divided by the total fuel energy.

$$FEI = XAE / [(PFI) \Delta T]$$

7.1.8 **Electrical energy:** The electrical energy (EE) shall be defined as the total electrical energy required by the test barn to maintain the static pressure schedule and operate the controls. It shall be in units of kW·h.

7.1.9 **Total efficiency index:** The total efficiency index (TEI) shall be defined as:

$$TEI = \frac{XAE + 3.6 EE}{(PFI) \Delta T + 3.6 EE}$$

7.2 **Computational procedure.** The rectangular rule has been shown for all numerical integration.

8 Test reporting

8.1 The equipment being tested shall be described as:

8.1.1 The test barn shall be specified by manufacturer, model number, serial number, type, and configuration.

8.1.2 The fan shall be specified by manufacturer, model number, type, RPM, rating at 250 Pa (1 in. H₂O), and at 25 Pa (0.1 in. H₂O) discharge pressure.

8.1.3 The motor shall be specified by maximum rated hp, RPM, phase, volts, and amps at full load service factor.

8.1.4 The curing compartment shall be specified by the width (w), length (l), and depth (d).

8.2 In addition to information already mentioned, the test report shall include:

8.2.1 A copy of the data sheets.

8.2.2 A statement of the equipment performance during the test.

8.2.3 A plot of the temperature difference between the thermostat setting (T_t) and the delivery plenum temperature (T_d) for each hour of the test.

8.3 Results to be reported:

8.3.1 Thermostat Index (TI)

8.3.2 Petroleum Fuel Index (PFI)

8.3.3 Exchanged Air Energy (XAE)

8.3.4 Fuel Efficiency Index (FEI)

8.3.5 Electrical Energy (EE)

8.3.6 Total Efficiency Index (TEI)

Cited Standards:

- ASAE. D271, Psychrometric Data
- ASHRAE 51-75, Laboratory Methods of Testing Fans for Rating
- NFPA 31, Standard for the Installation of Oil Burning Equipment
- NFPA 54, Standard for Installation of Gas Appliances and Gas Piping
- NFPA 58, Standard for the Storage and Handling of Liquefied Petroleum Gases
- NFPA 70, National Electrical Code

9.3 Παράρτημα 3: Ξήρανση νωπών

Ηλιακά Ξηραντήρια

Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών
και Ελέγχου Περιβάλλοντος
Ν. Κατσούλας, Κ. Κίττας

Είδη ξήρανσης

Η ξήρανση διακρίνεται σε δύο είδη:
τη φυσική και την τεχνητή.

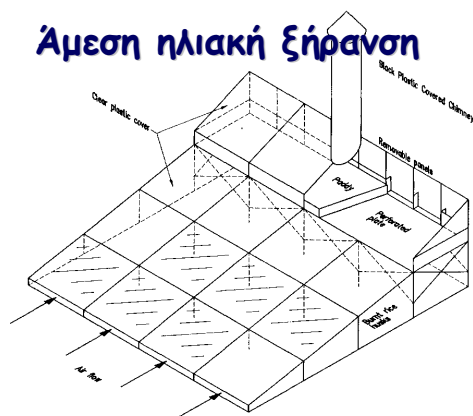
Στην τεχνητή ξήρανση χρειάζονται ειδικές εγκαταστάσεις τεχνητού κλίματος δηλαδή κλειστός θάλαμος μέσα στον οποίο τοποθετούνται τα διάφορα προϊόντα κατάλληλα στοιβαγμένα και ελέγχονται: η θερμοκρασία, η σχετική υγρασία και η κυκλοφορία του αέρα.

Στη φυσική ξήρανση η δυνατότητα ελέγχου των παραγόντων αυτών είναι πολύ περιορισμένη ή δεν υπάρχει καθόλου. Η φυσική ξήρανση όμως χρειάζεται πολύ περισσότερο χρόνο με συνέπεια την ακινητοποίηση κεφαλαίων.

Τεχνητή ξήρανση

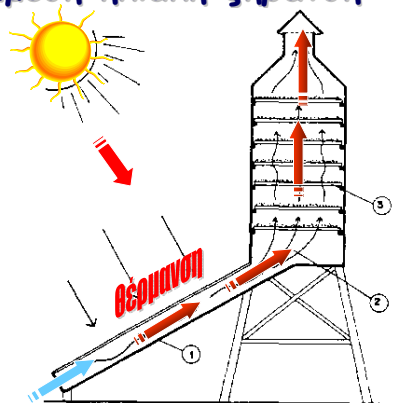
Η τεχνητή ξήρανση έχει το πλεονέκτημα ότι γίνεται πολύ πιο γρήγορα και η υγρασία είναι δυνατόν να ελαττωθεί ή να ανυψωθεί σε οποιοδήποτε επιθυμητό επίπεδο ανεξάρτητα από τις τοπικές κλιματικές συνθήκες. Χρειαζόμαστε όμως περισσότερο ή λιγότερο δαπανηρές εγκαταστάσεις και έχουμε τον κίνδυνο δημιουργίας ελαττωμάτων λόγω κακού χειρισμού που είναι μεγαλύτερος. Για το λόγο αυτό χρειαζόμαστε επιμελημένη παρακολούθηση και ειδικές τεχνικές γνώσεις.

Άμεση ηλιακή ξήρανση



Source: Exell (1980)

Έμμεση ηλιακή ξήρανση



Ξηραντήρια με ηλιακό συλλέκτη 2



Ξηραντήρια με ηλιακό συλλέκτη 3



Ξηραντήρια με ηλιακό συλλέκτη 4



Χαρακτηριστικά των γεωργικών προϊόντων 1

- Τίτλος αρχικής υγρασίας προϊόντος σε υγρή βάση

$$mci = \frac{\text{αρχικό βάρος νερού}}{\text{βάρος αρχικού υγρού υλικού}} * 100$$
- Τίτλος τελικής υγρασίας

$$mcf = \frac{\text{βάρος νερού μετά την ξήρανση}}{\text{βάρος τελικού υγρού υλικού}} * 100$$
- Μέγιστη επιτρεπόμενη θερμοκρασία του προϊόντος (T_m , °C).

Χαρακτηριστικά του αέρα του περιβάλλοντος

- Θερμοκρασία ξηρού θερμομέτρου (T_a °C)
- Σχετική υγρασία (RHα %) και απόλυτη υγρασία (x_a σε g/kg ξηρού αέρα) που λαμβάνονται από το ψυχομετρικό διάγραμμα.

Αερισμός

- ρ_a η πυκνότητα του αέρα
- ts_e η ταχύτητα ξήρανσης σε εξαγόμενο νερό σε kg/ώρα
- x_f η απόλυτη μέση υγρασία του αέρα στην έξοδο του ξηραντηρίου
- x_a η απόλυτη μέση υγρασία του αέρα του περιβάλλοντος

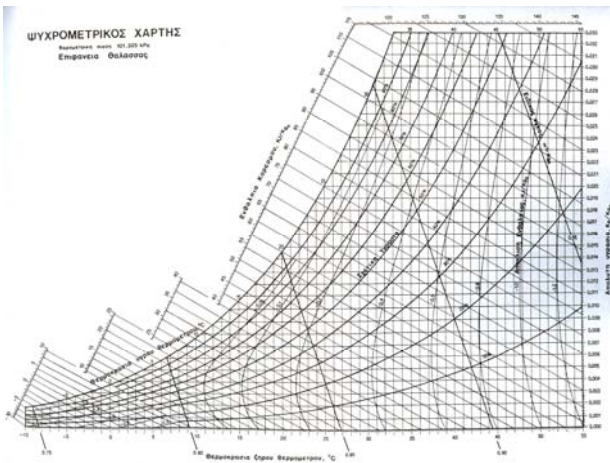
$$Ds = 1000 \frac{ts_e}{\rho_a(x_f - x_a)}$$

Αερισμός

Η ταχύτητα ξήρανσης (ts_e), σε kg εξαγόμενου νερού ανά ώρα από το προϊόν, καθορίζεται από την ταχύτητα ξήρανσης (ts_m) σε kg νωπής ξηρανθείσας μάζας ανά ώρα από τη σχέση:

$$ts_e = ts_m \frac{mci - mcf}{100 - mcf}$$

$$ts_m = \frac{mi}{ts}$$



Παραδείγματα - Εφαρμογές

Άσκηση 1

Δίνονται 20 kg τομάτες για ξήρανση διάρκειας 8 ωρών σε θερμοκρασία $T_m=50^\circ\text{C}$.

Δίνεται ότι:

- $m_i = 20\text{kg}$, $t_s=8\text{ h}$, $T_a = 30^\circ\text{C}$, $RHa=50\%$, $m_{ci} = 95\%$, $m_{cf} = 7\%$, $RHf=75\%$

Να βρεθεί η απαραίτητη παροχή αερισμού.

Λύση

$$m_i = 20\text{kg}$$

$$t_s = 8\text{ h}$$

$$T_a = 30^\circ\text{C}$$

$$RHa = 50\%$$

$$m_{ci} = 95\%$$

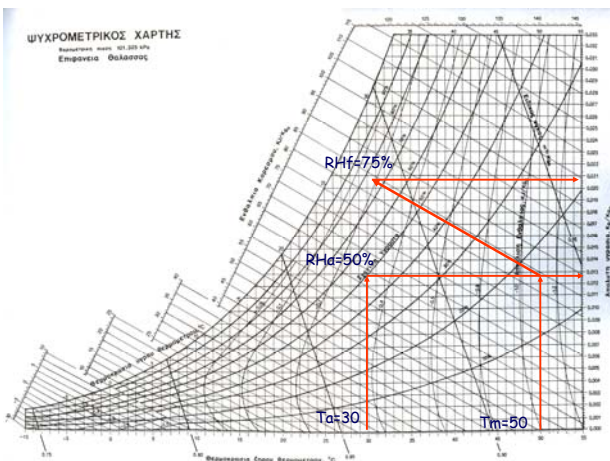
$$m_{cf} = 7\%$$

$$T_m = 50^\circ\text{C}$$

$$t_{Sm} = \frac{m_i}{t_s}$$

$$t_{Se} = t_{Sm} \frac{m_{ci} - m_{cf}}{100 - m_{cf}}$$

$$D_s = 1000 \frac{t_{Se}}{\rho_a (x_m - x_a)}$$



Λύση

$$m_i = 20\text{kg}$$

$$t_s = 8\text{ h}$$

$$T_a = 30^\circ\text{C}$$

$$RHa = 50\%$$

$$m_{ci} = 95\%$$

$$m_{cf} = 7\%$$

$$T_m = 50^\circ\text{C}$$

$$t_{Sm} = \frac{m_i}{t_s} = \frac{20}{8} = 2.5\text{kg/h}$$

$$t_{Se} = t_{Sm} \frac{m_{ci} - m_{cf}}{100 - m_{cf}} = 2.5 \frac{95 - 7}{100 - 7} = 2.365\text{kg/h}$$

$$D_s = 1000 \frac{t_{Se}}{\rho_a (x_f - x_a)} = 1000 \frac{2.365}{1.2(20.5 - 12.5)} = 246.35\text{m}^3/\text{h}$$

Υπολογισμός απαραίτητης ακτινοβολίας για άμεση ξήρανση

Η απαραίτητη ισχύς P δίνεται από τη σχέση:

$$P(\sigma\epsilon \text{ kW}) = 1.2 \frac{(hs - ha)}{3600} Ds$$

Η απαραίτητη ενέργεια (kWh) θα είναι:

$$E = P * ts$$

Η απαραίτητη ηλιακή ενέργεια Es (kWh) εξαρτάται από το βαθμό απόδοσης n του ξηραντηρίου και είναι:

$$Es = E/n$$

Λύση

Η απαραίτητη ισχύς P δίνεται από τη σχέση:

$$P(\sigma\epsilon \text{ kW}) = 1.2 \frac{(hs + ha)}{3600} Ds$$

Λύση

Άρα:

$$P(\sigma\epsilon \text{ kW}) = 1.2 \frac{(84 - 63)}{3600} 246.35 = 1.72$$

Αν ο βαθμός απόδοσης του ξηραντηρίου είναι n=0.25, η απαραίτητη ηλιακή ισχύς είναι:

$$Pn = P/n = 1.72/0.25 \Rightarrow$$

$$Pn = 6.88 \text{ kW}$$

Η επιφάνεια ξήρανσης είναι 5 m² και επομένως, η απαραίτητη ισχύς/m² είναι:

$$Pn = 1.376 \text{ kW m}^{-2} = 1376 \text{ W m}^{-2}$$

Άσκηση 2

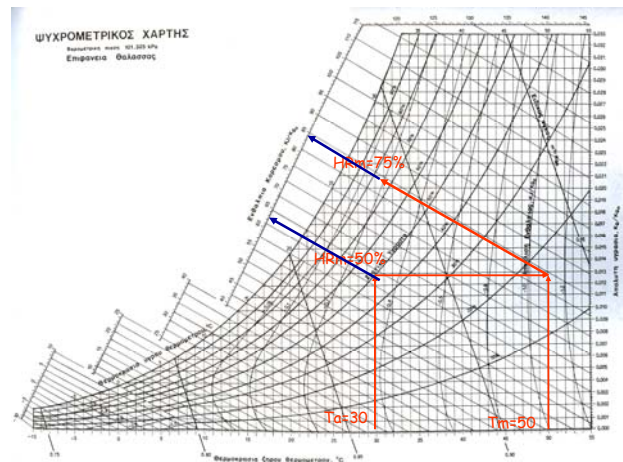
Δίνονται 20 kg τομάτες για ξήρανση διάρκειας 8 ωρών σε θερμοκρασία Tm=50°C.

Δίνεται ότι:

- mi = 20kg, ts=8 h, Ta = 30 °C, RHa=50%, mci = 95%, mcf = 7%, HRf=75%

Επιφάνεια ξήρανσης = 5m².

Να βρεθεί η απαραίτητη ισχύς/ m².



Υπολογισμός απαραίτητης ακτινοβολίας για έμμεση ξήρανση

Στην έμμεση ξήρανση η επιφάνεια συλλογής δεν είναι ίδια με την επιφάνεια ξήρανσης. Μπορεί να είναι μεγαλύτερη και έτσι η έμμεση ξήρανση είναι θεωρητικά πάντα εφικτή.

$$P(\sigma\epsilon \text{ kW}) = 1.2 \frac{(hs - ha)}{3600} Ds$$

Η απαραίτητη επιφάνεια συλλογής είναι:

$$A = P/(n * G)$$

Άσκηση 3

Δίνονται 20 kg τομάτες για ξήρανση
διάρκειας 8 ωρών σε θερμοκρασία
 $T_m=50^{\circ}\text{C}$.

Δίνεται ότι:

- $m_i = 20\text{kg}$, $t_s=8\text{ h}$, $T_a = 30^{\circ}\text{C}$, $RH_a=50\%$,
 $m_{ci} = 95\%$, $m_{cf} = 7\%$, $HR_f=75\%$

$$G=0.7\text{ kW m}^{-2}$$

Επιφάνεια ξήρανσης $A = ?\text{ m}^2$

Λύση

Η απαραίτητη επιφάνεια συλλογής είναι:

$$A = P/(n \cdot G)$$

$$= 1.72 / (0.25 \cdot 0.7) \Rightarrow A = 9.82\text{ m}^2$$

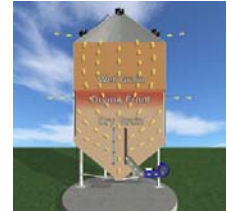
9.4 Παράρτημα 4: Ξήρανση σιτηρών

Αερισμός και Ξήρανση Αγροτικών προϊόντων

N. Κατσούλας, Κ. Κίττας

Ξήρανση σιτρού

- Ζώνη ξηράνσεως: ο όγκος του σιτρού μέσα στον οποίο γίνεται εξάτμιση.
- Μετατόπιση ζώνης ξηράνσεως
- Μέτωπο ξηράνσεως



Αερισμός σπόρων

- Διοχέτευση μη θερμαινόμενου αέρα με μικρή παροχή μέσα από στη μάζα του υλικού, για τη διατήρηση της ποιότητας του προϊόντος.
 - Ακύρωση της μεταφοράς υγρασίας λόγω ανομοιομορφίας στη θερμοκρασία
 - Μείωση της θερμοκρασίας του προϊόντος
 - Απομάκρυνση δυσσομιών
 - Διανομή αερίων για απολύμανση
 - Διατήρηση για μικρό χρονικό διάστημα υγρού προϊόντος

Αερισμός σπόρων

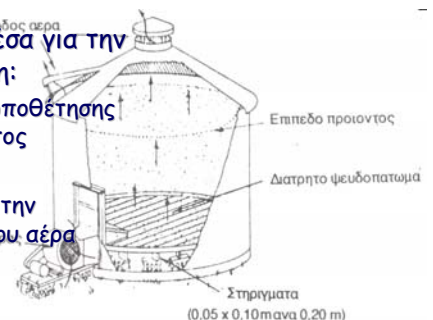
- Η διεργασία του αερισμού είναι διαφορετική από αυτή της ξήρανσης, τόσο ως προς το σκοπό όσο και ως προς τα μέσα που χρησιμοποιούνται. Με τον αερισμό επιδιώκεται διατήρηση ομοιόμορφης υγρασίας και θερμοκρασίας.
- Η παροχή του αέρα είναι μικρότερη από $0.1 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ t}^{-1}$.
- Μείωση της υγρασίας επιτυγχάνεται μόνο όταν η σχετική υγρασία του αέρα είναι μικρότερη από την ισορροπη σχετική υγρασία του προϊόντος.

Αερισμός σπόρων

Προϊόν	Περιεχόμενη Υγρασία % ΥΒ	Παροχή αέρα $\text{m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ m}^3$
Βρώμη	16	0.9
	18	1.3
	20	1.8
	25	2.7
Καλαμπόκι και Σόργο	16	0.9
	18	1.8
	20	2.7
	25	4.5
Σιτάρι	16	0.9
	18	1.8
	20	2.7

Παροχέτευση αέρα

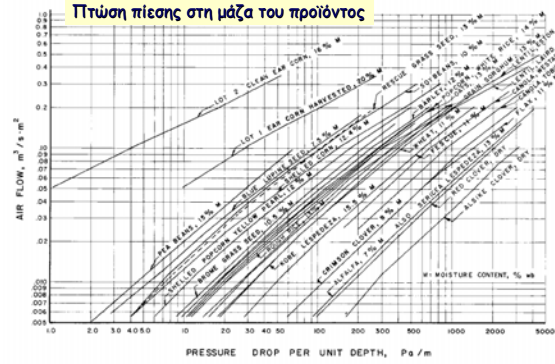
- Μηχανικά μέσα για την παροχέτευση:
 - Θάλαμος τοποθέτησης του προϊόντος
 - Φυσητήρας
 - Αγωγοί για την κατανομή του αέρα



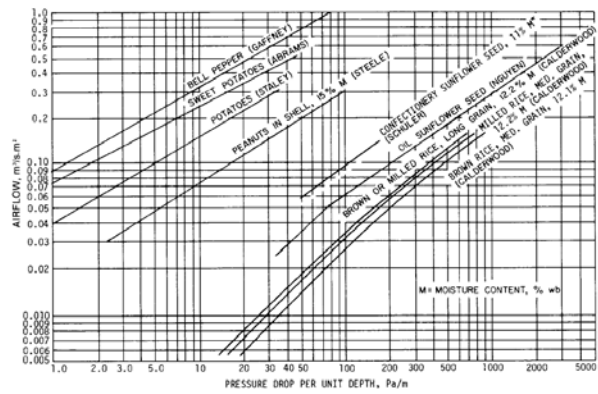
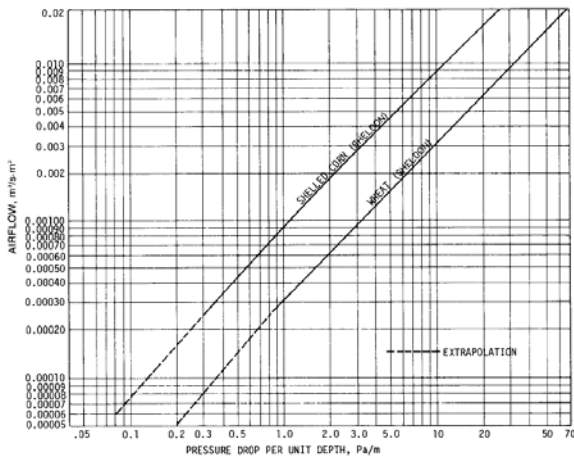
Απώλεια φορτίου

- Πτώση πίεσης στους αεραγωγούς
- Πτώση πίεσης στο διάτρητο ψευδοπάτωμα
- Πτώση πίεσης στη μάζα του προϊόντος

Πτώση πίεσης στη μάζα του προϊόντος



NOTE - This chart gives values for a loose fill (not packed) of clean, relatively dry grain. For a loose fill of clean grain having high moisture content (in equilibrium with relative humidity exceeding 95%), use only 80% of the indicated pressure drop for a given rate of air flow. Packing of the grain in a bin may cause 50% higher resistance to air flow than the values shown. While rice is a variety of popcorn. The pressure drop for airflow through bulk grain in the horizontal direction has been measured for wheat and barley (Kumar and Mur, 1966), canola (Jayas et al., 1987), corn (Kilg et al., 1993), alfalfa pellets (Sakthianathan et al., 1995), flaxseed (Jayas et al., 1991), and birds foot lucifer, canary seed, lablabseed, berseem, meadow fescue, oats, timothy, and tara peas (Abayasingham et al., 1992). The pressure drop in the horizontal direction may be 60% to 70% of the pressure drop for airflow in the vertical direction. For some seeds, however, the difference between the pressure drops for the horizontal and vertical airflows may be noticeable.



Απώλεια φορτίου

$$\frac{\Delta P}{L} = \frac{aQ^2}{\log_e(1 + bQ)}$$

where:

- ΔP = pressure drop, Pa or inches or water;
- L = bed depth, m or ft;
- a = constant for particular grain
- Q = airflow, $m^3/s \cdot m^2$ or cfm/ft^2 ;
- b = constant for particular grain

Material	Value of a (Pa/m³)	Value of b (m³/s)²	Range of Q (m³/s/m²)	Reference
Alfalfa	6.40×10^4	3.99	0.0056-0.152	Sheets (1955)
Alfalfa cubes	1.21×10^5	22.99	0.15-1.5	Sakthianathan et al. (1995)
Alfalfa pellets	1.80×10^4	68.72	0.0055-0.63	Sakthianathan et al. (1995)
Barley	2.18×10^4	13.2	0.0095-0.203	Sheets
Brome grass	1.30×10^4	8.88	0.0056-0.152	Sheets
Canola, Tigen	5.22×10^4	7.27	0.0043-0.2633	Jayas and Sakthianathan (1985)
Canola, Westar	4.05×10^4	9.72	0.0043-0.2633	Jayas and Sakthianathan (1985)
Clown, ankle	6.11×10^4	2.24	0.0056-0.152	Sheets
Clown, cotton	5.32×10^4	5.12	0.0056-0.203	Sheets
Clown, red	6.24×10^4	3.55	0.0056-0.152	Sheets
Corn, ear (d.f. 1)	1.64×10^4	325	0.001-0.303	Sheets
Corn, shelled	2.67×10^4	30.4	0.0056-0.304	Sheets
Corn, shelled (low airflow)	9.77×10^4	8.55	0.0025-0.0203	Sheets et al. (1960)
Fescue	3.10×10^4	6.70	0.0056-0.203	Sheets
Flax	8.63×10^4	8.29	0.0056-0.152	Sheets
Lentils, Lund	5.43×10^4	38.79	0.0028-0.0028	Sakthianathan et al. (1995)
Lupin, kidney	1.50×10^4	6.30	0.0056-0.203	Sheets
Lupin, lentils, Seneca	6.40×10^4	3.99	0.0056-0.152	Sheets
Lupine, Star	1.67×10^4	29.1	0.0056-0.152	Sheets
Milkwort pods	2.11×10^5	4.65	0.06-0.4	Jayas and Van Bargaen (1992)
Oats	2.41×10^4	13.9	0.0056-0.203	Sheets
Peas	3.80×10^4	11.1	0.001-0.304	Sheets
Peppers, bell	5.44×10^4	868	0.001-1.00	Guthrie and Baird (1973)
Pigeon, white	2.19×10^4	11.8	0.0056-0.203	Sheets
Pigeon, yellow	1.78×10^4	17.4	0.0056-0.203	Sheets
Potatoes	2.18×10^4	824	0.001-0.300	Silley and Watson (1967)
Rice	8.11×10^4	11.7	0.0056-0.203	Sheets
Rice, fraga	2.57×10^4	13.2	0.0056-0.152	Sheets
Rice, long brown	2.05×10^4	7.74	0.0055-0.164	Calderwood (1973)
Rice, long milled	2.10×10^4	5.34	0.0055-0.164	Calderwood
Rice, medium brown	3.40×10^4	10.9	0.0055-0.164	Calderwood
Rice, medium milled	2.90×10^4	16.6	0.0055-0.164	Calderwood
Sorghum	2.10×10^4	8.06	0.0056-0.203	Sheets
Soybeans	1.60×10^4	16.0	0.0056-0.304	Sheets
Sunflower, confectionary	1.10×10^4	18.1	0.005-0.178	Schar (1974)
Sunflower, oil	2.40×10^4	23.7	0.001-0.300	Nguyen (1981)
Sweet potatoes	3.40×10^4	4.10×10^3	0.001-0.400	Adams and Fick (1962)
Wheat	2.70×10^4	8.77	0.0056-0.203	Sheets
Wheat (low airflow)	8.41×10^4	2.72	0.0025-0.0203	Sheets et al.

Απώλεια φορτίου

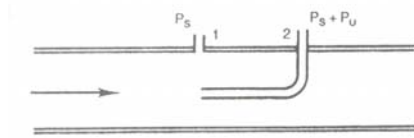
- Πτώση πίεσης στο ψευδοπάτωμα

$$\Delta P = 1.075 (Q/\epsilon r)^2$$

όπου ϵ = πορώδες του υλικού και r το ποσοστό ανοιγμάτων του διάτρητου δαπέδου.

Απώλεια φορτίου

- Πτώση πίεσης στους αγωγούς
ολική πίεση = στατική + δυναμική



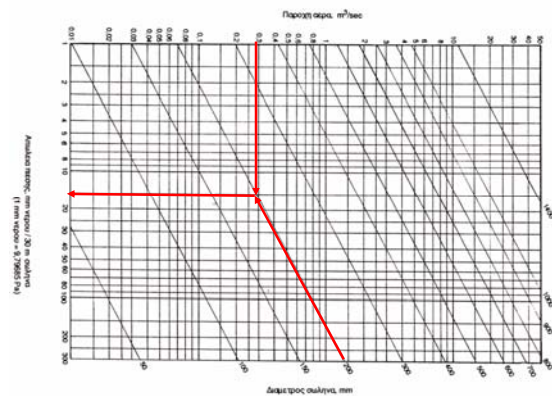
$$P_u = (v/1.29)^2$$

Απώλεια φορτίου

- Πτώση πίεσης στους αγωγούς

- Γραμμικές
- Τοπικές

Γραμμικές Απώλειες



Γραμμικές Απώλειες

Για αγωγό με ορθογωνική διατομή, η πτώση της στατικής πίεσης υπολογίζεται για αγωγό κυκλικής διατομής διαμέτρου:

$$d = 1.265 \left(\sqrt{\frac{(ab)^3}{(a+b)}} \right)^{0.2}$$

Τοπικές Απώλειες

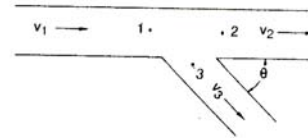
- Οφείλονται σε γωνίες αλλαγής διεύθυνσης ροής, σε μεταβολή της διαμέτρου της διατομής και σε διακλαδώσεις

$$\Delta P = c (v/1.29)^2$$

N	Συνθήκη	ε		N ₁ /N ₂	ε
		N ₁ < C	N < 90°		
90° Κυκλική διατομή		κ/η = 0.5	0.90	0.1	0.41
			0.45	0.2	0.44
			0.35	0.3	0.49
			0.24	0.4	0.36
			0.19	0.5	0.25
90° Ορθογώνια διατομή		κ/η	1.25	5*	0.17
			0.75	10*	0.22
			0.50	15*	0.28
		0.25	1.10	20*	0.45
			0.50	30*	0.59
			0.28	40*	0.73
		0.5	1.00	κ ₁ /κ ₂ = 0	1.00
			0.32	κ ₁ /κ ₂ = ∞	-
			0.09	κ ₁ /κ ₂ = ∞	-
		1.0	0.86	0.0	0.34
			0.37	0.2	0.32
			0.19	0.4	0.25
		κ.0	0.19	0.6	0.25
			0.07	0.8	0.16
				0.9	0.08

Τοπικές Απώλειες

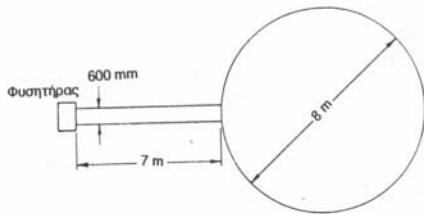
$$\Delta P = 0.75 \left[(v_1/1.29)^2 + (v_2/1.29)^2 \right]$$



Χαρακτηριστική καμπύλη συστήματος

Η καμπύλη ΔP συναρτήσεως της παροχής

- ρ ψευδοπατώματος = 6%
- ε σπόρου = 40%
- Αποθήκευση καλαμποκιού σε βάθος 2.8 m



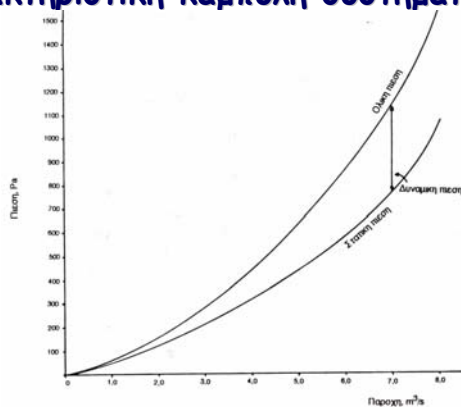
Χαρακτηριστική καμπύλη συστήματος

Q	Q'	Ανηχημένη	Προϊόν	Ψευδ/μια	Διαστολή	Αγωγός	Ολική	Δυναμική	Στατική
m ³ /s	m ³ /s·m ²	ΔP'(Pa/m)	ΔP _P (Pa)	ΔP _ψ (Pa)	ΔP _Δ (Pa)	ΔP _Α (Pa)	Pa	ΔP _V (Pa)	ΔP _S (Pa)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
1,0	0,020	16,5	46,2	0,7	7,6	-	54,5	7,6	46,9
2,0	0,040	40,0	112,0	3,0	30,5	5,7	151,2	30,5	120,7
3,0	0,060	69,0	193,2	6,7	68,7	12,1	280,7	68,7	212,0
4,0	0,080	100,0	280,0	11,6	122,1	20,6	434,3	122,1	312,2
5,0	0,100	140,0	392,0	18,7	190,7	32,0	633,4	190,7	442,7
6,0	0,120	185,0	518,0	26,4	274,6	43,4	862,0	274,6	587,8
7,0	0,140	240,0	672,0	36,1	373,8	61,7	1143,6	373,8	769,8
8,0	0,160	340,0	952,0	47,2	488,2	77,7	1565,1	488,2	1076,9

πτώση πίεσης στο
προϊόν/m

ταχύτητες στον αγωγό < 7.5 m s⁻¹

Χαρακτηριστική καμπύλη συστήματος



Συστήματα Αερισμού

Ψυστήρες



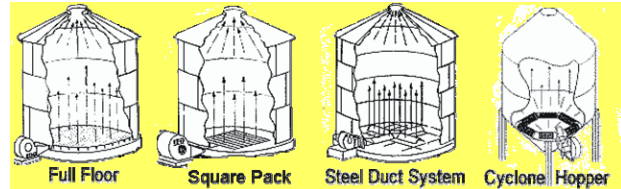
- Ακτινικής ροής
- Αξονικής ροής

Διάμετρος Ισχύς		Στατική πίεση, kPa									
mm	HP	0,125	0,250	0,375	0,500	0,625	0,750	0,875	1,000	1,250	1,500
350	0,5	1,045	0,875	0,673	0,363	0,209					
350	1,0	1,359	1,244	1,114	0,913	0,459	0,382	0,314	0,215		
400	3,0		2,907		2,464	2,464	2,289	2,086	1,852		
510	5,0		4,413		3,964	3,733	3,483	3,162	2,874		
510	7,5		5,611		5,106	4,852	4,587	4,318	4,016		
610	5,0		5,239		4,719	4,436	4,115	3,761	3,261		
610	7,5		6,447		5,885	5,536	5,163	4,762	4,318		
710	10,0		9,156		8,165		7,126		6,041	4,484	2,454

πηγή: Brooker et al. [1974]

αξονικής ροής

Επιδαπέδιοι αγωγοί



Επιδαπέδιοι αγωγοί

Κανόνες τοποθέτησης αγωγών:

- διατομές τέτοιες ώστε η ταχύτητα στον αγωγό να μην ξεπερνά τα 7.5 m/s και κατά της έξοδο από το διάτρητο τμήμα του σωλήνα να μην ξεπερνά τα 0.15 m/s
- απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών αγωγών ή οριζόντιας διαδρομής αέρα μικρότερη από το $\frac{1}{2}$ του ύψους του σωρού.

Ασκήσεις - Εφαρμογές

Αερισμός

Σχεδιασμός συστήματος

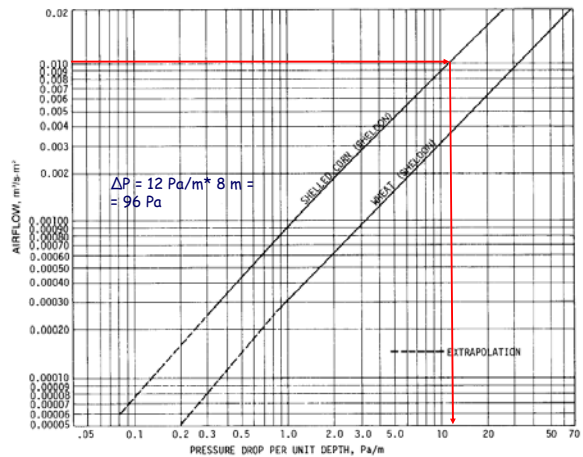
Δίνεται σιλό διαμέτρου 12 m στο οποίο θα αποθηκευθεί καλαμπόκι με ύψος σωρού 8 m. Αν η απαιτούμενη παροχή είναι $Q' = 0.0013 \text{ m}^3_{\text{[αέρα]}} \text{ s}^{-1} \text{ m}^3_{\text{[σπόρου]}}$, να διαστασιολογηθεί το σύστημα.

$\epsilon =$ πορώδες του υλικού = 0.5 και

$p =$ ποσοστό ανοιγμάτων του διάτρητου σωλήνα = 60%

Υπολογισμός όγκου υλικού

- $V = \pi r^2 h = 3.14 * 6^2 * 8 \approx 900 \text{ m}^3$
- Συνολική απαιτούμενη παροχή αέρα:
 $Qt = V Q' = 900 * 0.0013 = 1.188 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$
- Παροχή αέρα ανά επιφάνεια εδάφους
 $Q = Qt/A = 1.188/113 = 0.0105 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ m}^2$



Επιλογή ανεμιστήρα

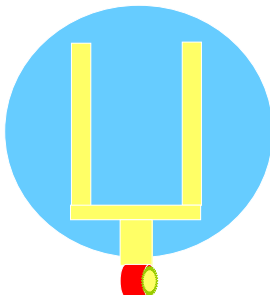
Διάμετρος Ισχίς mm	HP	0,125	0,250	0,375	0,500	0,625	0,750	0,875	1,000	1,250	1,500
350	0,5	1,045	0,875	0,673	0,363	0,209					
350	1,0	1,359	1,244	1,114	0,913	0,459	0,382	0,314	0,215		
400	3,0		2,907	2,464	2,464	2,289	2,086	1,852			
510	5,0		4,413	3,964	3,733	3,483	3,162	2,874			
510	7,5		5,611	5,106	4,852	4,587	4,318	4,016			
610	5,0		5,239	4,719	4,436	4,115	3,761	3,261			
610	7,5		6,447	5,885	5,536	5,163	4,762	4,318			
710	10,0		9,156	8,165		7,126		6,041	4,484	2,454	

πηγή: Brooker et al. [1974]

Θέση σωλήνων

- Η μέγιστη οριζόντια διαδρομή που θα διανύσει ο αέρας θα πρέπει να είναι μικρότερη από $\frac{1}{2}$ του ύψους του σωρού $8 * \frac{1}{2} = 4 \text{ m}$

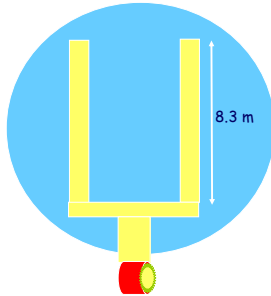
Επιλογή συστήματος



Υπολογισμός διάτρητης επιφάνειας

- Η παροχή του ανεμιστήρα είναι $1.244 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ και προκειμένου η ταχύτητα να μην ξεπερνά τα 0.15 m/s στη διάτρητη επιφάνεια, η διάτρητη επιφάνεια θα πρέπει να έχει εμβαδόν:
 $A = 1.244/0.15 = 8.3 \text{ m}^2$.
- Αν το πλάτος του διάτρητου σωλήνα είναι 0.5 m θα βάλουμε αγωγό μήκους 16.6 m

Επιλογή συστήματος



Διαστάσεις σωλήνων

- Η ταχύτητα στο εσωτερικό του διάτρητου σωλήνα δεν θα πρέπει να ξεπερνά τα 7.5 m/s και έτσι η διατομή του σωλήνα θα είναι:

$$Q_{\Sigma}/u = (1.244/2)/7.5 = 0.083 \text{ m}^2$$

Έτσι, οι διαστάσεις της διατομής του σωλήνα μπορεί να είναι 0.5 x 0.17 m

Υπολογισμός πτώσης πίεσης

- Πτώση πίεσης στο υλικό
Από το διάγραμμα είναι $\Delta P = 12 \text{ Pa/m} \Rightarrow$
 $\Delta P = 96 \text{ Pa}$

Υπολογισμός πτώσης πίεσης

- Πτώση πίεσης στη διάτρητη επιφάνεια

$$Q = 1.244 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} / 113 \text{ m}^2 = 0.11 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ m}^2$$

$$\Delta P = 1.075 (Q/\epsilon p)^2$$

$$\Delta P = 1.075 (0.055/0.5 * 0.043)^2 \Rightarrow$$

$$\Delta P = 7 \text{ Pa}$$

$A_{\text{αγωγού}}^* p / A_{\text{διάτρητου}}$

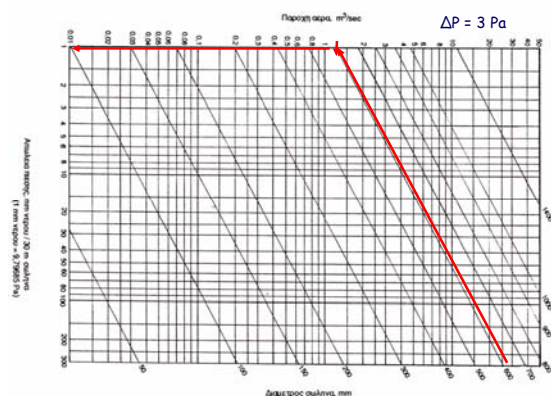
Υπολογισμός πτώσης πίεσης

- Πτώση πίεσης στους σωλήνες
Ισοδύναμη διάμετρος:

$$d = 1.265 \left(\frac{(ab)^3}{(a+b)} \right)^{0.2}$$

$$d = 0.63 \text{ m}$$

Γραμμικές Απώλειες



Τοπικές Απώλειες

- Οφείλονται σε γωνίες αλλαγής διεύθυνσης ροής, σε μεταβολή της διαμέτρου της διατομής και σε διακλαδώσεις

$$\Delta P = c (v/1.29)^2$$

Thin-Layer Drying of Agricultural Crops

Developed by the ASAE Grain and Feed Processing and Storage Committee; approved by the Food and Process Engineering Institute Standards Committee; adopted by ASAE December 1993; reaffirmed December 1998; revised editorially and reaffirmed for five years December 1999; revised July 2001; approved by ANSI July 2001.

1 Purpose and scope

1.1 The purpose of this Standard is to provide a unified procedure for determining and presenting the drying characteristics of grains and crops.

1.2 The drying data determined and presented according to this Standard can be used in characterizing the drying rate of a product, product drying computer simulation, performance testing of drying equipment, and product quality evaluations.

1.3 This Standard applies specifically to grains and crops that are dried by forced air convection in a thin layer.

2 Normative references

The following standard contains provisions that, through reference in this text, constitutes provisions of this Standard. At the time of publication, the editions indicated were valid. All standards are subject to revision, and parties to agreements based on this Standard are encouraged to investigate the possibility of applying the most recent edition of the standard indicated below. Standards organizations maintain registers of currently valid standards.

ASAE D245.5 JAN01, *Moisture Relationships of Plant-Based Agricultural Products*

3 Definitions

3.1 thin-layer: A layer of material exposed fully to an airstream during drying. The depth (thickness) of the layer should be uniform and should not exceed three layers of particles.

3.2 instantaneous moisture content, M : Moisture content of a product measured or calculated during drying.

3.3 initial moisture content, M_i : Moisture content of a product prior to the start of drying, expressed on a decimal dry basis.

3.4 final moisture content, M_f : Moisture content of a product at the completion of drying, expressed as decimal dry basis.

3.5 equilibrium moisture content, M_e : Moisture content of a product in equilibrium with mean dry bulb temperature and relative humidity of the drying air, expressed as decimal dry basis. Equations given in ASAE D245 should be used whenever possible.

4 General requirements

4.1 Start-up. Tests should be conducted after drying equipment has reached steady-state conditions. Steady state is achieved when the approaching airstream temperature variation about the set-point is less than or equal to 1 °C and approaching airstream relative humidity variation about the set point is less than or equal to 3 percentage points.

4.2 Sample. The sample shall be clean and representative in particle size. It shall be free from broken, cracked, weathered, and immature particles and other materials that are not inherently part of the product. The sample should preferably have its natural moisture content. In the absence of a fresh sample, the moisture content of the sample may be reconstituted either by wetting with water spray or by conditioning in a

humid environment. Reconstituted samples shall be conditioned at room temperature in a sealed container for at least 24 h (Sokhansanj *et al.*, 1984). Water should not be added directly to the sample if this causes physical or chemical changes that significantly affect drying rate of the product. In such cases, reconstituting the sample moisture content by placing it in a humid environment is preferred. A dry fresh sample should be reconstituted only once. Frozen samples should be thawed and used only once.

4.3 Drying. Particles in the thin layer should be exposed fully to the airstream. The airstream approaching the sample should be as uniform as possible in temperature and humidity at a given cross section parallel to the thin layer so that the air contacts sample particles uniformly. Care should be exercised to prevent displacement of particles in the thin-layer holder during a test. This situation may arise in a vertical thin-layer in which airstream flows horizontally through the product, or in a horizontal thin-layer in which airstream flows upward through the product. The air velocity approaching the product should be at least 0.3 m/s.

4.4 Measurements. Nearly continuous recording of the sample mass loss during drying is required. The corresponding records of particle temperature (surface or internal) are optional but preferred. The time interval between recordings depends on the mean dry bulb air temperature (Byler and Brook, 1984). Higher temperatures require shorter time intervals between readings. A typical time interval between mass measurement for drying with 60 °C dry-bulb air temperature is as follows: every 5 s during the first 5 min, every 1 min during the next hour, and every 15 min thereafter. It is recommended to occasionally divert the airflow away from the sample during mass measurement to record the sample mass with no airflow. This "no airflow" mass should be determined 3 to 4 times during a drying test. Other parameters such as mean dry bulb air temperature, relative humidity, and air velocity should be measured occasionally to assure consistent operation of the dryer.

4.5 Accuracy of measurements. Temperature sensors shall be accurate to ± 1 °C. Mass shall be measured with an accuracy of 0.2% of sample mass so that the calculated moisture content is within 0.002 (decimal dry basis) of the product's actual moisture content. Relative humidity may be measured directly or computed from measurements of dry bulb temperature and wet bulb (or dew point) temperature; it must be accurate to within ± 3 percentage points. The air velocity measurement must be accurate within $\pm 5\%$.

4.6 Duration of experiment. In most cases the experiment should continue until the moisture ratio, defined by MR, equals 0.05 (see clause 6 Notation). M_e should be determined experimentally or numerically from equations as discussed in clause 3.5.

5 Reporting

5.1 Sample identification shall consist of:

- type (preferably botanical name) and variety;
- year of production/harvest;
- location of harvest;
- harvest moisture content;
- storage conditions and history;
- sample purity;
- sample preparation (see clause 4.2);
- size and shape characteristics of the particles.

5.2 Drying conditions used shall be specified. These conditions include:

- sample initial and final moisture contents (decimal, dry basis);
- drying duration (h, min or s);
- approaching air velocity (ms^{-1});
- mean dry bulb temperature ($^{\circ}\text{C}$) and its variations;
- mean relative humidity (%) and its variations.

All drying-condition data shall include mean and standard deviations computed for the duration of the drying test.

5.3 Drying rate data reported shall consist of either of the following two forms:

- The numerical values of moisture content (decimal, dry basis) versus time (h, min, or s);
- The estimated values of k and n including standard errors of estimates, in Page's Equation (equation 1):

$$MR = \exp(-kt^n) \quad (1)$$

The units for parameters k and n shall be consistent with the unit of t (h, min, or s) and shall include the standard deviation of each. The range of equation 1 (ranges of temperature, relative humidity, and moisture content) shall be clearly stated. See clause 4.6 for the duration of experiment. If drying is terminated prior to $MR=0.05$, the ending moisture content on which the model is based should be specified.

5.4 Reporting additional forms of drying equations such as those involving diffusion theories is optional. The simple first order equation

$$MR = \frac{M - M_e}{M_i - M_e} = \exp(-kt) \quad (2)$$

Table 1 – Constants k and n in the thin layer drying equation 1 for selected grains and crops

Product	Constants	t unit	Range ¹	Source
Alfalfa (freshly chopped)	$k = 1.76 \times 10^{-2} \exp(-0.123M_i + 4.4 \times 10^{-2} T - 5.79 \times 10^{-5} T^2 - 3.24 \times 10^{-3} M_i T)$ $n = 0.5 \exp(7.05 \times 10^{-3} M_i + 8.76 \times 10^{-3} T - 1.91 \times 10^{-5} T^2)$	min	$40 \leq T \leq 250$	Patil (1995)
Barley	$k = 0.0462 \exp(0.0154 T)$ $n = 0.492 + 3.84 \times 10^{-5} (T - 123)^2$	min	$50 \leq T \leq 150$ $0.215 \leq M_i \leq 0.41$	Bruce (1985)
Canola	$k = 0.1832$ $n = 0.572$	min	$T = 70$ $M_i = 0.214$	Sokhansanj <i>et al.</i> (1984)
Corn	$k = \exp(-7.1735 + 1.2793 \ln(1.8T + 32) + .1378v)$ $n = 0.0811 \ln(rh) + 0.78 M_i$	h	$2.2 \leq T \leq 71.1$, $3 \leq rh \leq 83$ $0.18 \leq M_i \leq 0.60$	Misra and Brooker (1980)
Grass (fresh ryegrass)	$k = 0.34 \times 10^{-3} \exp(0.02028 T)$ $n = 1$	s	$T \leq 200$	O'Callaghan <i>et al.</i> (1971)
Lentils	$k = 0.182626 + 0.0043 T$, $n = 0.527$	h	$23 \leq T \leq 80$, $5 \leq rh \leq 70$	Tang <i>et al.</i> (1989)
Peanut pods ² (Virginia type)	$k = \exp[-0.780523 - 0.144026 T + 0.358 \times 10^{-2} T^2 + 2.13941(rh/100) + 0.71599 M_i - 0.137131 T(rh/100)]$ $n = 0.80$	h	$27 \leq T \leq 35$, $26 \leq rh \leq 47$ $0.59 \leq M_i \leq 0.77$	Kulasiri <i>et al.</i> (1989)
Rice, rough	$k = 0.02958 - 0.4456(rh/100) + 0.01215 T$ $n = 0.13365 + 1.93653(rh/100) - 1.77431(rh/100)^2 + 0.009468 T$	h	$32 \leq T \leq 51$, $19 \leq rh \leq 85$	Agrawal and Singh (1977)
Sorghum	$t = A \ln MR + B(\ln MR)^2$ $A = -25.87 + 0.3354(1.8T + 32) - 0.001075(1.8T + 32)^2$ $A = 0.54 - 0.0017(1.8T + 32)$ $B = 30.35 \exp[-0.018(1.8T + 32)]$	h	$26.7 \leq T \leq 115.5$, $26.7 \leq T \leq 71$, $71 \leq T \leq 115.5$, $26.5 \leq T \leq 115.6$	Paulsen and Thompson (1973)
Soybeans	$k = \{\exp[11.752 - 7912.7/(1.8T + 492)]\}^n$ $k = \{\exp[10.906 - 7357.0/(1.8T + 492)]\}^n$ $k = \{\exp[10.375 - 6779.3/(1.8T + 492)]\}^n$ $n = 0.39642 + 0.002448 T$	h	$M_i = 0.250$ $M_i = 0.299$ $M_i = 0.493$ $37.8 \leq T \leq 104.4$,	Overhults <i>et al.</i> (1973)
Sunflower (oilseed)	$k = 5.66 \times 10^{-4} T 1.271$, $n = 0.8281 - 0.004 T + 0.000091 T M_i$	min	$27 \leq T \leq 93$, $0.26 \leq M_i \leq 0.33$	Li <i>et al.</i> (1987)
Walnuts	$k = \exp[-0.681 + 0.011(100M_i) - 0.952 \ln(100M_i) + 0.000152(1.8T + 32.2)^2]$ $n = 1$	h	$21 \leq T \leq 43.2$, $25 \leq rh \leq 76$	Anigbankpu <i>et al.</i> (1980)
Wheat	$k = 2000 \exp[-5094/(T + 273)]$, $n = 1$	s	$T \leq 100$	O'Callaghan <i>et al.</i> (1971)

¹ Temperature ($^{\circ}\text{C}$); M_i (decimal d.b.); rh (%), v (ms^{-1})

² The exponent n is the average of 14 numerical values given in the original paper.

appears to be an inadequate representation of the drying behavior of most crops especially in high temperature drying applications (dry bulb air temperature higher than 40 °C for grains).

5.5 Previously determined values of k and n are reported in table 1 for grain products. The range of test conditions is also shown. For those products for which equation 2 was found in the literature, it is assumed n equals 1.

6 Notation

6.1 The following notation is used in this Standard:

- A constant;
- B constant;

- $d.b.$ dry basis;
- k constant;
- M instantaneous moisture content, decimal dry basis;
- M_i initial moisture content, decimal dry basis;
- M_e equilibrium moisture content, decimal dry basis;
- MR moisture ratio = $M - M_e / M_i - M_e$;
- n constant;
- rh relative humidity, %;
- T temperature, °C;
- t time, s, min, h;
- v air velocity, m/s.

Annex A (informative) Bibliography

The following documents are cited as reference sources used in development of this Standard:

- Agrawal, Y. C. and R. D. Singh. 1977. *Thin layer drying studies for short grain rice*. ASAE Paper No. 77-3531.
- Anigbankpu, C. S., T. R. Rumsey, and J. F. Thompson. 1980. *Thin layer drying and equilibrium moisture content equations for Ashley walnuts*. ASAE Paper No. 80-6507.
- Bruce, D. M. 1985. *Exposed layer barley drying: three models fitted to new data up to 150°C*. Journal of Agricultural Engineering. Research. 32:337-347.
- Byler, R. K., and R. C. Brook. 1984. *Thin layer model, temperature and relative humidity variable*. ASAE Paper No. 84-3525.
- Kulasiri, D. G., D. H. Vaughn, J. S. Cundiff, and W. F. Wilcke. 1989. *Thin layer drying rates of Virginia type peanuts*. ASAE paper No. 89-6600.
- Li, Y., V. Morey, and M. Afinrud. 1987. *Thin layer drying rates of oilseed sunflower*. Transactions of the ASAE 1171-1175, 1180.

Misra, M. K. and D. B. Brooker. 1980. *Thin layer drying and rewetting equations for shelled yellow corn*. Transactions of the ASAE 23:1254-1260.

O'Callaghan, J. R., D. J. Menzies, and P. H. Bailey. 1971. *Digital simulation of agricultural drier performance*. Journal of Agricultural Engineering. Research 16:223-244.

Overhults, D. G., I. J. Ross, G.M. White, and H. E. Hamilton. 1973. *Drying soybeans with heated air*. Transactions of the ASAE 16:112-113.

Patil, R. T. 1995. *Drying characteristics of alfalfa crops*. Ph.D. Agricultural and Bioresource Engineering, University of Saskatchewan, Saskatoon, S7N5A9.

Paulsen, M. R. and T. L. Thompson. 1973. *Drying analysis of grain sorghum*. Transactions of the ASAE 16(3):537-540.

Sokhansanj, S., D. Singh and J. D. Wasserman. 1984. *Drying characteristics of several grains subjected to repetitive wetting and drying cycles*. Transactions of the ASAE 27 (3):903-906, 914.

Tang, J., S. Sokhansanj, and F.W. Sosulski. 1989. *Thin-layer drying of lentil*. ASAE Paper No. 89-6540.

9.5 Παράρτημα 5: Υπολογισμός απωλειών ενέργειας από θάλαμο αποθήκευσης

Υπολογισμός απωλειών ενέργειας Θαλάμων αποθήκευσης

Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος
Ν. Κατσούλας, Κ. Κίττας

Μετάδοση Θερμότητας

- Η μετάδοση με αγωγή πραγματοποιείται είτε στο εσωτερικό στερεών σωμάτων είτε μεταξύ στερεών σωμάτων σε επαφή (δηλαδή χωρίς στρώμα αέρα μεταξύ τους).
- Η μετάδοση με μεταφορά, αφορά ανταλλαγές θερμότητας στις οποίες εμπλέκονται ρευστά υλικά, δηλαδή υγρά και αέρια.
 - Τέλος οι ανταλλαγές με ακτινοβολία λαμβάνουν χώρα κυρίως μεταξύ στερεών σωμάτων τα οποία δεν είναι σε επαφή μεταξύ τους.

Material	Thermal Conductivity, W/mK
Metals	
Aluminum (alloy 1100)	221
Brass, red (85% Cu, 15% Zn)	150
Brass, yellow (68% Cu, 32% Zn)	120
Copper (electrolytic)	393
Gold	297
Iron, cast	47.7 (327 K)
Iron, wrought	40.4
Lead	34.8
Nickel	59.5
Silver	426
Steel, mild	45.3
Tin	64.9
Zinc, galvanizing	110
Wood	
Ash, white	0.172
Elm, American	0.153
Fir, white	0.12
Mahogany	0.11
Maple, sugar	0.187
Oak, white	0.176
Pine, white	0.11
Spruce	0.11
Other	
Brick, building	0.7
Cardboard	0.07
Cellulose	0.07
Charcoal, wood	0.05 (473 K)
Concrete, stone	0.93
Cork, granulated	0.048 (248 K)
Cotton, fiber	0.042
Earth, dry and packed	0.064
Glass, soda-lime	1.0 (364 K)
Ice, 0 C	2.24
Leather	0.16
Matble	2.6
Paper	0.13
Plaster	0.74 (348 K)
Sand, dry	0.33
Sawdust	0.05
Snow, fresh at 32 C	0.598

Μετάδοση Θερμότητας

Είναι το φαινόμενο κατά το οποίο μεταφέρεται θερμική ενέργεια (θερμότητα) από ένα θερμότερο σώμα σε ένα ψυχρότερο ή από ένα θερμότερο σε ένα ψυχρότερο σημείο του ίδιου σώματος

Η μετάδοση της θερμότητας γίνεται:

- Με αγωγή, με ακτινοβολία και με συναγωγή ή μεταφορά μάζας

Συντελεστής Θερμικής αγωγιμότητας λ

Εκφράζει το ποσό θερμότητας που διέρχεται σε ένα δευτερόλεπτο από 1 m² της επιφάνειας ενός σώματος πάχους 1 m, όταν μεταξύ των δύο επιφανειών του σώματος υπάρχει διαφορά θερμοκρασίας 1°C

Θερμική αντίσταση

Εκφράζει την ευκολία ή δυσκολία με την οποία περνά η θερμότητα μέσα από τη μάζα των υλικών.

Η αντίσταση R που προβάλλει ένα σώμα στη διέλευση της θερμότητας είναι ανάλογη του πάχους και αντιστρόφως ανάλογη της αγωγιμότητάς του.

$$R = \frac{L}{\lambda}$$

Τυπικές εφαρμογές

- ο προσδιορισμός του πάχους μονωτικού υλικού που πρέπει να τοποθετηθεί στα τοιχώματα ενός κτιρίου (π.χ. σιλό, αποθήκη, ψυκτικός θάλαμος, κ.α.) έτσι ώστε οι απώλειες θερμότητας με αγωγή να μην ξεπερνούν ένα ορισμένο όριο
- η πρόβλεψη της εσωτερικής θερμοκρασίας στο τοίχωμα ενός κτιρίου με δεδομένη αγωγιμότητα και δεδομένη εξωτερική θερμοκρασία
- ο υπολογισμός των απωλειών θερμότητας μέσω ενός τοιχώματος

Συντελεστής Θερμικής μεταφοράς

Στον υπολογισμό της μετάδοσης θερμότητας, υπεισέρχεται μετάδοση θερμότητας με αγωγή, μέσα στη στερεά μάζα του υλικού και μετάδοση θερμότητας με συναγωγή, από τις επιφάνειες του υλικού προς τον εφαιπτόμενο με αυτές αέρα (και αντίστροφα)

Συντελεστής Θερμικής μεταφοράς

Εκφράζει το ποσό θερμότητας που μεταδίδεται με συναγωγή σε ένα δευτερόλεπτο από μία επιφάνεια 1 m^2 στο εφαιπτόμενο με αυτή ρευστό, όταν μεταξύ της επιφάνειας και του ρευστού υπάρχει διαφορά θερμοκρασίας 1°C .

Μετάδοση με αγωγή και συναγωγή

Το ποσό της θερμότητας που περνάει από ένα τοίχωμα απλό ή σύνθετο και όταν υπολογίζεται η μετάδοση της θερμότητας με αγωγή και συναγωγή, δίνεται από την εξίσωση:

$$Q = A U \Delta T$$

όπου U ο συντελεστής θερμοπερατότητας
 $\text{W m}^{-2} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$

Συντελεστής θερμοπερατότητας

Είναι το αντίστροφο της θερμικής αντίστασης:

$$U = 1/R_{0L}$$

Θερμική αντίσταση τοιχώματος

Στην πράξη τα τοιχώματα μιας κατασκευής απλά ή σύνθετα, αποτελούνται από ένα ή περισσότερα υλικά διαφορετικού πάχους και διαφορετικού συντελεστή αγωγιμότητας.

Η θερμική αντίσταση ενός τοιχώματος ισούται με το άθροισμα των επιμέρους αντιστάσεων των υλικών.

Θερμική αντίσταση τοιχώματος

$$R = R_1 + R_2 + \dots + R_n \text{ ή}$$

$$R = \frac{L_1}{\lambda_1} + \frac{L_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{L_n}{\lambda_n}$$

Θερμική αντίσταση τοιχώματος

Στη θερμική αντίσταση R θα πρέπει να προστεθούν οι αντιστάσεις r_i και r_o που οφείλονται στη μετάδοση της θερμότητας με συναγωγή από την εσωτερική και εξωτερική επιφάνεια του τοιχώματος προς τον επαπτόμενο αέρα και αντίστροφα.

Συνεπώς η θερμική αντίσταση ενός δομικού στοιχείου δίνεται από τη σχέση:

$$R_{o\lambda} = r_i + R_1 + R_2 + \dots + R_n + r_o$$

Θερμοπερατότητα τοιχώματος

$$U = 1/R_{o\lambda} =$$

$$= \frac{1}{r_i + R_1 + R_2 + \dots + R_n + r_o}$$

$$\left(\frac{1}{\lambda_i} + \frac{L_1}{\lambda_1} + \frac{L_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{L_n}{\lambda_n} + \frac{1}{\lambda_o} \right)^{-1}$$

A. Standard data for still air, as inside a building:

Orientation of surface	Heat Flow Direction	Surface Emittance					
		0.90		0.20		0.05	
		h	R	h	R	h	R
vertical	horizontal	8.29	0.12	4.20	0.24	3.35	0.30
horizontal	upward	9.26	0.11	5.17	0.19	4.32	0.23
	downward	6.13	0.16	2.10	0.48	1.25	0.80
45 degree slope	upward	9.09	0.11	5.00	0.20	4.15	0.24
	downward	7.50	0.13	3.41	0.29	2.56	0.39

B. Moving air, as outside a building, surface in any orientation:

Wind Velocity, m/s	h		R	
	h	R	h	R
6.7	34.08	0.030	(for winter)	
3.4	22.72	0.044	(for summer)	

Παράδειγμα

Πρόκειται να κατασκευαστεί μια αποθήκη για μήλα. Ο τοίχος θα αποτελείται εσωτερικά και εξωτερικά από πλάκα τσιμέντου 0.1 m και στο μέσο θα έχει στρώμα πολυουρεθάνης για μόνωση.

Η επιθυμητή θερμική αντίσταση του τοίχου είναι: $R = 2.5 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C/W}$. Η πολυουρεθάνη έχει θερμική αγωγιμότητα $\lambda_{\text{πολυουρ}} = 0.023 \text{ W/m }^\circ\text{C}$.

Να υπολογίσετε το πάχος της πολυουρεθάνης η οποία θα πρέπει να τοποθετηθεί στο τοίχωμα για να επιτευχθεί η παραπάνω μόνωση. Δίνεται ότι: $r_i = 0.12 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C/W}$, $r_o = 0.03 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C/W}$ και $R_{\text{τσιμέντου}} = 0.2 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C/W}$

Λύση

Η θερμική αντίσταση του τοίχου μπορεί να ρυθμιστεί από το πάχος της πολυουρεθάνης που θα χρησιμοποιηθεί.

Η αντίσταση των υλικών που υπάρχουν στον τοίχο, χωρίς την πολυουρεθάνη είναι:

$$R = r_i + 2 \cdot R_{\text{τσιμέντου}} + r_o = 0.12 + 2 \cdot 0.2 + 0.03 \Rightarrow R = 0.55 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C/W}$$

Η επιθυμητή είναι: $R = 2.5 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C/W}$.

Επομένως:

$$R_{\text{πολυουρ}} = 2.5 - 0.55 = 1.95 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C/W}$$

Λύση

Η πολυουρεθάνη έχει θερμική αγωγιμότητα

$$\lambda_{\text{πολυουρ}} = 0.023 \text{ W/m } ^\circ\text{C}.$$

Επομένως, το επιθυμητό πάχος L είναι:

$$R_{\text{πολυουρ}} = L / \lambda_{\text{πολυουρ}} \text{ άρα}$$

$$L = 1.95 * 0.023 \Rightarrow L = 0.045 \text{ m}.$$

Επειδή η πολυουρεθάνη παράγεται σε συγκεκριμένα πάχη, θα επιλέξουμε πάχος μεγαλύτερο ή ίσο από τα 0.045 m.

Ενότητα 2

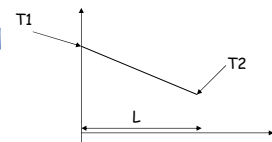
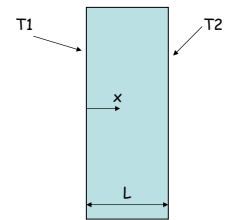
Υπολογισμός Θερμοκρασίας

Θερμοκρασία σε ομοιογενές τοίχωμα

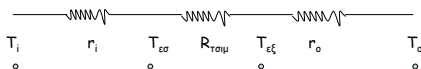
Έστω τοίχος πάχους L m με θερμοκρασίες στις δύο επιφάνειές του T_1 και T_2 .

Η θερμοκρασία T_x σε οποιοδήποτε σημείο x μέσα στον τοίχο με $0 < x < L$ δίνεται από τη σχέση:

$$T_x = T_1 + [(T_2 - T_1) * (x/L)]$$



Θερμοκρασία στις επιφάνειες των στρωμάτων του τοίχου



$$Q = (T_i - T_{\varepsilon\sigma}) / r_1 = (T_{\varepsilon\sigma} - T_{\varepsilon\xi}) / R_{\text{στρωμ}} = (T_i - T_o) / R_{\text{tot}} \Rightarrow$$

$$(T_i - T_{\varepsilon\sigma}) / r_1 = (T_i - T_o) / R_{\text{tot}} \Rightarrow$$

$$T_{\varepsilon\sigma} = T_i - (r_1 / R_{\text{tot}}) * (T_i - T_o)$$

$$T_{\varepsilon\xi} = T_i - [(r_1 + R_{\text{στρωμ}}) / R_{\text{tot}}] * (T_i - T_o)$$

$$T_x = T_i - [(r_1 + R_1 + \dots + R_x) / R_{\text{tot}}] * (T_i - T_o)$$

Παράδειγμα

Ο τοίχος μιας αποθήκης έχει κατασκευαστεί από στρώμα τοιμέντου πάχους 0.2 m.

Να υπολογιστεί η συνολική θερμική αντίσταση του τοίχου και η θερμοκρασία στην εσωτερική και εξωτερική του επιφάνεια.

Δίνεται ότι:

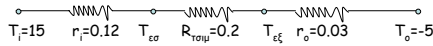
$$T_i = 15^\circ\text{C}, T_o = -5^\circ\text{C}, R_{\text{στρωμ}} = 0.2 \text{ m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/W},$$

$$r_1 = 0.12 \text{ m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/W}, r_o = 0.03 \text{ m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

Λύση

Η συνολική θερμική αντίσταση είναι:

$$R = R_{\text{τσιμ}} + r_i + r_o \Rightarrow R = 0.35 \text{ m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$



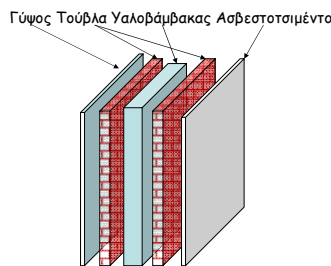
$$T_{\epsilon\sigma} = T_i - (r_i/R) * (T_i - T_o) \Rightarrow$$

$$T_{\epsilon\sigma} = 15 - (0.12/0.35) * [15 - (-5)] = 8.1^\circ\text{C}$$

$$T_{\epsilon\xi} = T_i - [(r_i + R_{\text{τσιμ}})/R] * (T_i - T_o) \Rightarrow$$

$$T_{\epsilon\xi} = 15 - [(0.12 + 0.20)/0.35] * [15 - (-5)] = -3.3^\circ\text{C}$$

Λύση



Λύση

Η συνολική θερμική αντίσταση είναι:

$$R = r_i + R_{\text{γύψου}} + 2 * R_{\text{τούβλων}} + R_{\text{υαλοβάμβακα}} + R_{\text{ασβεστοτσιμμέντου}} + r_o \Rightarrow$$

$$R = 0.12 + 0.08 + 2 * 0.15 + 2.5 + 0.011 + 0.03 \Rightarrow$$

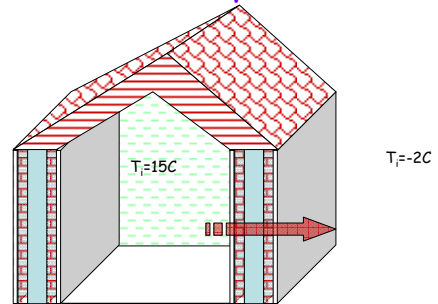
$$R = 3.041 \text{ m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

Παράδειγμα

Τοίχος πτηνοτροφείου αποτελείται από το εσωτερικό του πτηνοτροφείου προς τα έξω από ένα στρώμα γύψου ($R=0.08 \text{ m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/W}$), ένα στρώμα τούβλων ($R=0.15 \text{ m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/W}$), ένα στρώμα υαλοβάμβακα ($R=2.5 \text{ m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/W}$), ένα δεύτερο στρώμα τούβλων και τέλος από ένα στρώμα ασβεστοτσιμμέντου ($R=0.011 \text{ m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/W}$).

Αν η θερμοκρασία στο χώρο του πτηνοτροφείου είναι 15°C και έξω από το πτηνοτροφείο -2°C , να υπολογιστεί η ροή ενέργειας και η θερμοκρασία στην επιφάνεια του κάθε στρώματος του τοίχου. Δίνεται ότι: $r_i=0.12 \text{ m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/W}$ και $r_o=0.03 \text{ m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/W}$.

Λύση



Λύση

Άρα:

$$Q = \Delta T / R \Rightarrow$$

$$Q = 17 / 3.041 \Rightarrow$$

$$Q = 5.6 \text{ W/m}^2$$

Λύση

Η θερμοκρασία στις επιφάνειες επαφής των διαφόρων υλικών του τοίχου είναι:

$$T_{\text{γύψου}} = T_i - (r_i/R) \cdot (T_i - T_o) \Rightarrow$$

$$T_{\text{γύψου}} = 15 - (0.12/3.041) \cdot [(15 - (-2))] \Rightarrow$$

$$T_{\text{γύψου}} = 14.33^\circ\text{C}$$

Λύση

$$T_i - [(r_i + R_{\text{γύψου}})/R] \cdot (T_i - T_o) \Rightarrow$$

$$T_{\text{γύψου-τούβλων}} = 15 - [(0.12 + 0.08)/3.041] \cdot [(15 - (-2))] \Rightarrow$$

$$T_{\text{γύψου-τούβλων}} = 13.88^\circ\text{C}$$

Λύση

$$T_i - [(r_i + R_{\text{γύψου}} + R_{\text{υαλοβάμβ}})/R] \cdot (T_i - T_o) \Rightarrow$$

$$T_{\text{τούβλων-υαλοβάμβ}} = 15 - [(0.12 + 0.08 + 0.15)/3.041] \cdot [(15 - (-2))] \Rightarrow$$

$$T_{\text{τούβλων-υαλοβάμβ}} = 13.04^\circ\text{C}$$

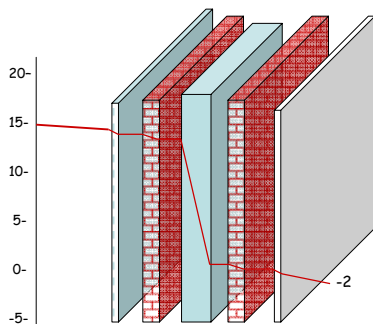
Λύση

$$T_{\text{υαλοβάμβ-τούβλων}} = -0.93^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{τούβλων-ασβεστ}} = -1.77^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{ασβεστ}} = -1.83^\circ\text{C}$$

Λύση



Ενότητα 3

Μετατόπιση υδρατμών από χώρο σε χώρο

Μετατόπιση Υδρατμών

Οι υδρατμοί που παράγονται σε ένα χώρο και μετατοπίζονται σε έναν άλλο χώρο, υπάρχει περίπτωση να συμπυκνωθούν, όταν η θερμοκρασία στον νέο χώρο είναι χαμηλή.

Μόνωση

Γιατί γίνεται;

μόνωση δεν γίνεται μόνο για μείωση των ενεργειακών απωλειών.

Αν ένας τοίχος είναι μονωμένος, η θερμοκρασία στο εσωτερικό του είναι μεγαλύτερη απ' ό,τι στις εξωτερικές του επιφάνειες κατά τη διάρκεια κρύου καιρού.

Με τον τρόπο αυτό δεν έχουμε προβλήματα από συμπύκνωση στο εσωτερικό τους.

Τριχοειδής συμπύκνωση

Ορισμένα υλικά έχουν πολύ μικρή διάμετρο πόρων και έτσι η συμπύκνωση μπορεί να γίνει πριν ακόμα οι υδρατμοί φθάσουν στον κορεσμό.

Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στις επιφανειακές τάσεις που επικρατούν στους πόρους.

Έτσι εξηγείται το γεγονός ότι οι υδρατμοί συμπυκνώνονται ευκολότερα σε λεία επιφάνεια απ' ό,τι σε ανώμαλη με μεγάλους πόρους. (καθρέφτης)

Συμπύκνωση σε επιφάνεια τοίχου

Προβλήματα από συμπύκνωση;

Αν έχουμε συμπύκνωση οι επιφάνειες του τοίχου είναι υγρές και αυξάνονται οι πιθανότητες εμφάνισης παθογόνων οργανισμών στις επιφάνειες αυτές.

Η επαρκής μόνωση προλαμβάνει τη συμπύκνωση στην επιφάνεια ενός τοίχου. Παρόλα αυτά δεν θα ήταν πρακτικό η μόνωση να αποτρέπει πλήρως τη συμπύκνωση. Κατά τη διάρκεια ακραίων καιρικών συνθηκών (κρύο), θα μπορούσε να επιτραπεί κάποια συμπύκνωση.

Η μόνωση στα παράθυρα ή τις πόρτες δεν είναι ποτέ επαρκής ώστε να αποτρέπει τη συμπύκνωση.

Οριακές συνθήκες συμπύκνωσης

Αν σε έναν τοίχο είναι r_i η αντίσταση εσωτερικού αέρα-επιφάνειας και R_{tot} η συνολική αντίσταση του τοίχου, συμπεριλαμβανομένης και της r_i , τότε η απαιτούμενη αντίσταση προκειμένου να μη γίνει συμπύκνωση στην επιφάνεια του τοίχου, μπορεί να υπολογισθεί συναρτήσει της θερμοκρασίας δρόσου, έτσι ώστε να ισχύει $T_{επιφ} \geq T_{δρόσου}$, από τη σχέση:

$$R_{tot} \geq r_i [(T_i - T_o) / (T_i - T_{δρόσου})]$$

Παράδειγμα

Να υπολογιστεί η ελάχιστη αντίσταση ενός κτιρίου, προκειμένου να αποφεύγεται η συμπύκνωση στα τοιχώματα. Οι επιθυμητές εσωτερικές συνθήκες είναι:

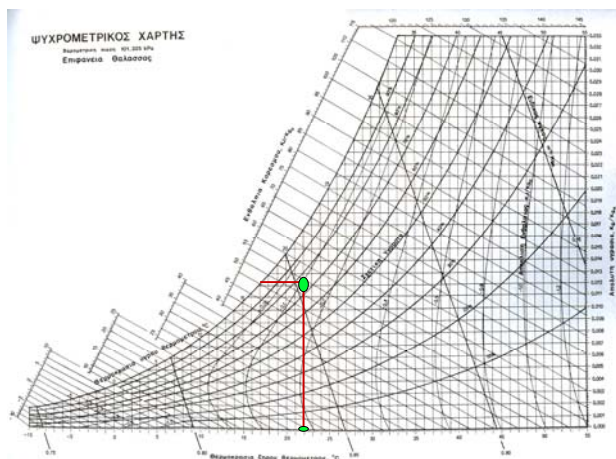
$$T_i = 22^\circ\text{C} \text{ και } RH = 75\%.$$

Η εξωτερική θερμοκρασία είναι:

$$T_o = -20^\circ\text{C} \text{ και } \eta \ r_i = 0.12 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C/W}.$$

Λύση

Από το ψυχομετρικό διάγραμμα για $T = 22^\circ\text{C}$ και $RH = 75\% \Rightarrow$



Λύση

$$T_{\delta\rho\sigma\sigma\upsilon} = 17.4^\circ\text{C}$$

Λύση

Άρα για να είναι:

$$T_{\text{επιφ}} \geq 17.4^\circ\text{C},$$

Θα πρέπει:

$$R_{\text{tot}} \geq r_i [(T_i - T_o) / (T_i - T_{\delta\rho\sigma\sigma\upsilon})] \Rightarrow$$

$$R_{\text{tot}} \geq 0.12 [(22 - (-20)) / (22 - 17.4)] \Rightarrow$$

$$R_{\text{tot}} \geq 1.1 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C/W}$$

Συμπύκνωση μέσα σε τοίχο

Λόγω θερμοκρασιακών διαφορών σε ένα τοίχωμα, θερμική ενέργεια μεταφέρεται μέσα από αυτό.

Οι υδρατμοί μετακινούνται λόγω διαφορών στην μερική πίεση του αέρα. Όταν έξω υπάρχει κρύο, η μερική πίεση των υδρατμών μέσα σε ένα θερμαινόμενο κτίριο είναι σημαντικά υψηλότερη από ότι έξω.

Κατά συνέπεια οι υδρατμοί διαχέονται σταδιακά μέσα από τον τοίχο.

Συμπύκνωση μέσα σε τοίχο

Αντίθετα, σε ένα κτίριο το οποίο ψύχεται στο εσωτερικό του, με θερμό εξωτερικό περιβάλλον, οι υδρατμοί θα εισέρχονται στο χώρο.

Συμπύκνωση μέσα σε τοίχο

Η θερμομόνωση ενός τοίχου επηρεάζει τη θερμοκρασία του εσωτερικού του. Περισσότερη μόνωση (όταν πρόκειται για κτίριο με θέρμανση στο εσωτερικό του) προκαλεί μείωση των εξωτερικών θερμοκρασιών ενός τοίχου από ότι σε έναν τοίχο με μικρότερη μόνωση.

Μετατόπιση υδρατμών μέσα από τοίχους

Οι υδρατμοί μετατοπίζονται μέσα από τοίχους από τη θερμή προς την ψυχρή επιφάνεια.

Αν στη ζώνη μετατόπισης υπάρχει μία θερμοκρασία στον τοίχο μικρότερη από αυτή του σημείου δρόσου, τότε έχουμε συμπύκνωση υδρατμών.

Για το λόγο αυτό θα πρέπει να υπάρχει ένα μέσο συνεχές, αδιαπέρατο από τους υδρατμούς, τοποθετημένο όσο το δυνατό πιο κοντά στη θερμή επιφάνεια.

Διάχυση υδρατμών

Η διάχυση των υδρατμών διέπεται από το νόμο του Fick:

$$w = \mu (de/dx)$$

όπου: w είναι η ποσότητα του νερού που διαχέεται ανά μονάδα επιφάνειας και χρόνου, μ είναι η περατότητα του υλικού στη διάχυση της υγρασίας και de/dx είναι η διαφορά της μερικής πίεσης ατμών ανά μονάδα πάχους υλικού.

Διάχυση υδρατμών

Για σταθερές συνθήκες η προηγούμενη σχέση γίνεται:

$$w = \mu (e_2 - e_1)/L$$

όπου: L είναι το πάχος του τοιχώματος το οποίο διαπερνούν οι υδρατμοί και e η μερική πίεση των ατμών.

Αντίσταση υλικών στη μετατόπιση υδρατμών

Η διαπερατότητα μ είναι ένα μέγεθος που έχει άμεση σχέση με το είδος του υλικού.

Οι μονάδες της περατότητας « μ/L » είναι: $ng/(s \text{ m}^2 \text{ Pa})$ (ή perms).

Η αντίσταση στη ροή των υδρατμών R_{H_2O} είναι το αντίστροφο της περατότητας (L/μ) με μονάδες:

$$\text{TPa m}^2\text{s} / \text{kg} \text{ (ή reps)}$$

Πίνακας τιμών μ για διάφορα υλικά

Material	thickness, mm	permeance, μm	resistance, μm
	(L)	(μ/L)	(L/μ)
A. Construction materials			
concrete (1:2:4 mix)	1000	4.7	0.21
brick masonry	102	46	0.022
concrete block, cored	203	137	0.0073
limestone aggregate	9.3	2860	0.00035
gypsum wall board			
structural insulating board, sheathing qual.	12.3	2360-3900	0.00026 to 0.00016
hardboard, tapered	3.2	390	0.0026
wood, sugar pine	1000	0.58-0.78	1.7 to 1.3
plywood, Douglas fir, exterior glue	6.4	60	0.025
B. Thermal insulations			
mineral wool, unprotected	1000	265	0.0041
expanded polystyrene, R-11 exp., hd. stick	1000	0.58-2.3	1.72 to 0.43
exp. polystyrene, extruded	1000	1.7	0.57
exp. polystyrene, bead	1000	2.3-8.4	0.36 to 0.12
C. Foil, film and papers			
aluminum foil	0.025	0	0.345
	0.009	2.9	0.11
polyethylene	0.051	9.1	0.22
	0.1	4.4	0.29
	0.15	3.4	0.43
	0.2	2.3	0.57
	0.25	1.7	0.59
roll roofing, saturated and coated (Dry Cup)	2.9	0.34	0.071
(Wet Cup)	14	0.071	
blanket thermal insulation back up paper (Dry Cup)	23	0.043	
(Wet Cup)	34-240	0.026 to 0.0042	
D. Paints			
commercial latex paints			
water retarding	0.07	26	0.038
primer-sealer	0.031	360	0.0028
exterior acrylic	0.062	313	0.0032
semi-gloss vinyl acrylic	0.06	378	0.0026
exterior, white lead and oil on wood siding, 3 coats	17-37	0.06 - 0.02	
exterior, white lead-zinc oxide and oil on wood, 3 coats	51	0.02	

Αντίσταση υλικών στη μετατόπιση υδρατμών

Θα πρέπει να σημειωθεί η υπάρχουσα αναλογία μεταξύ της ροής θερμότητας με τη ροή υδρατμών και μεταξύ της διαφοράς θερμοκρασίας με τη διαφορά πίεσης.

Τέλος, οι αναλογίες των αντιστάσεων σε σειρά ή παράλληλα βρίσκουν εφαρμογή και στην περίπτωση της διάχυσης των υδρατμών όπως στην περίπτωση της θερμότητας.

Παράδειγμα

Ένας τοίχος αποτελείται από ένα στρώμα 15.9 mm κόντρα πλακέ για εξωτερική μόνωση, ένα στρώμα πυκνού μονωτικού 12.3 mm, ένα στρώμα υαλοβάμβακα 88.9 mm και από ένα στρώμα γυψοσανίδας 15.9 mm για εσωτερική μόνωση. Οι εσωτερικές συνθήκες αναμένονται να είναι: $T_i=20^{\circ}\text{C}$ και $RH=40\%$ ενώ οι εξωτερικές συνθήκες σχεδιασμού είναι $T_o=-20^{\circ}\text{C}$ και $RH=60\%$.

Να υπολογιστεί η ροή νερού μέσα από τον τοίχο.

Λύση

Πρόκειται για ένα κύκλωμα με αντιστάσεις σε σειρά.

Η εξίσωση που θα πρέπει να εφαρμοστεί είναι:

$$w = \mu (e_i - e_o) / L$$

όπου $L/\mu = R_{H_2O}$ η αντίσταση στη ροή των υδρατμών με μονάδες:

$\text{TRa m}^2\text{s} / \text{kg}$ (ή reps)

Πίνακας τιμών μ για διάφορα υλικά

Material	thickness, mm	permeance, μm	resistance, μm
	(L)	(μ/L)	(L/μ)
A. Construction materials			
concrete (1:2:4 mix)	1000	4.7	0.21
brick masonry	102	46	0.022
concrete block, cored	203	137	0.0073
limestone aggregate	9.3	2860	0.00035
gypsum wall board			
structural insulating board, sheathing qual.	12.3	2360-3900	0.00026 to 0.00016
hardboard, tapered	3.2	390	0.0026
wood, sugar pine	1000	0.58-0.78	1.7 to 1.3
plywood, Douglas fir, exterior glue	6.4	60	0.025
B. Thermal insulations			
mineral wool, unprotected	1000	265	0.0041
expanded polystyrene, R-11 exp., hd. stick	1000	0.58-2.3	1.72 to 0.43
exp. polystyrene, extruded	1000	1.7	0.57
exp. polystyrene, bead	1000	2.3-8.4	0.36 to 0.12
C. Foil, film and papers			
aluminum foil	0.025	0	0.345
	0.009	2.9	0.11
polyethylene	0.1	4.4	0.22
	0.15	3.4	0.29
	0.2	2.3	0.43
	0.25	1.7	0.57
roll roofing, saturated and coated (Dry Cup)	2.9	0.34	0.071
(Wet Cup)	14	0.071	
blanket thermal insulation back up paper (Dry Cup)	23	0.043	
(Wet Cup)	34-240	0.026 to 0.0042	
D. Paints			
commercial latex paints			
water retarding	0.07	26	0.038
primer-sealer	0.031	360	0.0028
exterior acrylic	0.062	313	0.0032
semi-gloss vinyl acrylic	0.06	378	0.0026
exterior, white lead and oil on wood siding, 3 coats	17-37	0.06 - 0.02	
exterior, white lead-zinc oxide and oil on wood, 3 coats	51	0.02	

Λύση

Οι αντιστάσεις των επιμέρους τμημάτων του τοίχου δίνονται από πίνακα και είναι:
Κόντρα πλακέ: $(15.9/6.4)(0.025 \text{ reps})=0.062 \text{ reps}$
Μονωτικό: $[(0.000424+0.000169)/2]=0.00024 \text{ reps}$
 $(12.3/12.3)(0.00024 \text{ reps})=0.00024 \text{ reps}$
Υαλοβάμβακας: $(88.9\text{mm}/1000\text{mm})(0.0041 \text{ reps})=0.00036 \text{ reps}$
Γύψος: $(15.9\text{mm}/9.5\text{mm})(0.00035 \text{ reps})=0.00059 \text{ reps}$

Λύση

Η πίεση ατμών για θερμοκρασία 20°C και σχετική υγρασία 40% είναι:

$$\begin{aligned} e_i &= 0.611 \cdot \exp[17.27 \cdot (20-273)/(20-36)] \cdot (40/100) = \\ &= 0.611 \cdot \exp(1.34) \cdot 0.4 = \\ &= 0.611 \cdot 3.83 \cdot 0.4 \Rightarrow \\ e_i &= 0.94 \text{ kPa,} \end{aligned}$$

ενώ

για θερμοκρασία -20°C και σχετική υγρασία 60% είναι:

$$e_o = 0.07 \text{ kPa.}$$

Ρυθμός συμπύκνωσης

Είναι γεγονός ότι υπάρχει σχεδόν πάντα ροή υδρατμών μέσα από έναν τοίχο όταν υπάρχει διαφορά πίεσης ατμών, εκτός εάν υπάρχει στον τοίχο κάποιο αδιαπέρατο στους υδρατμούς υλικό.

Το αν θα υπάρξει συμπύκνωση υδρατμών μέσα στον τοίχο ή όχι εξαρτάται από την πραγματική πίεση ατμών και την πίεση ατμών στον κορεσμό σε κάθε σημείο μέσα στον τοίχο.

Λύση

Η συνολική αντίσταση του τοίχου είναι:
 $0.062 + 0.00024 + 0.00036 + 0.00059 = 0.06319 \text{ reps}$

Λύση

Επομένως, η ροή υδρατμών είναι:

$$\begin{aligned} w &= (e_i - e_o)/R_{\text{H}_2\text{O}} \Rightarrow \\ w &= (0.94 - 0.07) \cdot 10^{-9} / 0.06319 \Rightarrow \\ w &= 13.76 \cdot 10^{-9} \text{ kg/s m}^2 \end{aligned}$$

Ρυθμός συμπύκνωσης

Το αν η πραγματική πίεση ατμών είναι μεγαλύτερη από την πίεση ατμών στον κορεσμό εξαρτάται από τη διάχυση θερμότητας και υδρατμών μέσα στον τοίχο. Μία μέθοδος πρόβλεψης της συμπύκνωσης είναι η γραφική μέθοδος με την οποία σχεδιάζονται οι καμπύλες της πραγματικής πίεσης και της πίεσης ατμών στον κορεσμό κατά μήκος μιας κάθετης τομής του τοίχου.

Ρυθμός συμπύκνωσης

Η πίεση των υδρατμών σε κάθε σημείο του τοίχου μπορεί να υπολογιστεί συναρτήσει της αντίστασης του τοίχου στη διάχυση των υδρατμών.

Για παράδειγμα...

Ρυθμός συμπύκνωσης

Αν ξεκινήσουμε από την εσωτερική επιφάνεια του τοίχου, όπου η πίεση ατμών είναι e_i , η πίεση ατμών σε σημείο x μέσα στον τοίχο e_x , εξαρτάται από την ολική αντίσταση του τοίχου στη διάχυση των υδρατμών $R_{H_2O,tot}$, την αντίσταση του τοίχου στη διάχυση των υδρατμών μέχρι το σημείο x : $R_{H_2O,x}$, και την πίεση ατμών στην εξωτερική επιφάνεια του τοίχου e_o .

Ρυθμός συμπύκνωσης

Η σχέση που δίνει την e_x είναι:
$$e_x = e_i - (R_{H_2O,x}/R_{H_2O,tot}) (e_i - e_o)$$

Η πίεση ατμών στον κορεσμό είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας και η θερμοκρασία σε σημείο x μέσα στον τοίχο δίνεται από τη σχέση:

$$T_x = T_i - (R_{thermal,x}/R_{thermal,tot}) (T_i - T_o)$$

Ρυθμός συμπύκνωσης

Η συνήθης πρακτική ελέγχου υγραποίησης σε κάθε σημείο αλλαγής-επαφής των διαφορετικών υλικών του τοίχου είναι ο έλεγχος εάν η πραγματική-μερική πίεση ξεπερνά την πίεση ατμών στον κορεσμό σε οποιαδήποτε από τις επιφάνειες.

Η μεταβολή της πίεσης από τη μία πλευρά ενός υλικού προς την άλλη υποτίθεται ότι είναι γραμμική.

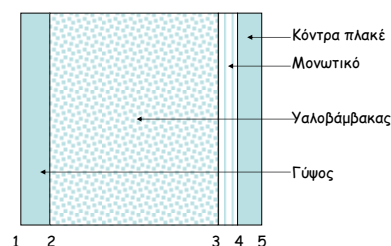
Παράδειγμα

Ένας τοίχος αποτελείται ένα στρώμα 15.9 mm κόντρα πλακέ για εξωτερική μόνωση, ένα στρώμα πυκνού μονωτικού 12.3 mm, ένα στρώμα υαλοβάμβακα 88.9 mm και από ένα στρώμα γύψου 15.9 mm για εσωτερική μόνωση. Οι εσωτερικές συνθήκες αναμένονται να είναι: $T_i=20$ και $RH=40\%$ ενώ οι εξωτερικές συνθήκες σχεδιασμού είναι $T_o=-20$ και $RH=60\%$.

Να βρεθεί αν θα υπάρξει συμπύκνωση μέσα στον τοίχο και σε ποια σημεία.

Λύση

Η κάθετη τομή του τοίχου είναι:



Λύση

Οι αντιστάσεις στη ροή θερμότητας και τη διάχυση των υδρατμών είναι:

	Θερμική αντ.	Αντ.Υδρατμών
	m^2C/W	$reps$
Εξωτερική επιφάνεια	0.03	0
Κόντρα πλακέ	0.14	0.062
Μονωτικό	0.23	0.00024
Υαλοβάμβακας	1.94	0.00036
Γύψος	0.099	0.00059
Εσωτερική επιφάνεια	0.12	0
Σύνολο	2.559	0.06319

Λύση

Αρχικά υπολογίζεται η θερμοκρασία στην εσωτερική και εξωτερική επιφάνεια του τοίχου και στα σημεία επαφής των διαφορετικών τμημάτων του από τη σχέση:

$$T_x = T_i - (R_{\text{thermal},x} / R_{\text{thermal,tot}}) (T_i - T_o)$$

Λύση

Στη συνέχεια υπολογίζεται η πραγματική πίεση ατμών σε κάθε σημείο x του τοίχου από τη σχέση:

$$e_x = e_i - (R_{H_2O,x} / R_{H_2O,tot}) (e_i - e_o)$$

και η πίεση ατμών στον κορεσμό από τη σχέση:

$$e^* = 0.611 * \exp[17.269 * T / (237 + T)] \text{ (kPa)}$$

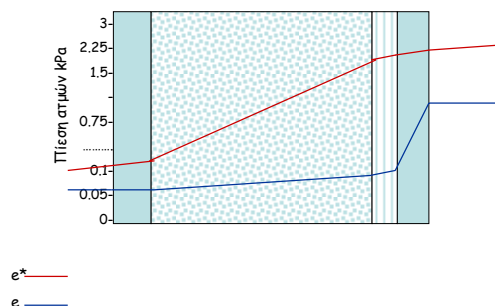
Λύση

Η εφαρμογή των παραπάνω εξισώσεων μας δίνει τις τιμές που παρουσιάζονται στον πίνακα:

Τμήμα	$R_{H_2O,x}$	$R_{\text{thermal},x}$	Θερμοκρ.	Πίεση	Πίεσ. Κορ.
Εσ/κός αέρας	0	0	20	0.95	2.343
Εσωτ. επιφ	0	0.03	19.53	0.95	2.275
Κοντ. Πλακέ-μονωτικό	0.062	0.17	17.34	0.087	1.983
Μονωτικό-Υαλοβάμβακ.	0.06224	0.4	13.75	0.083	1.575
Υαλοβάμβακ-Γύψος	0.0626	2.34	-16.58	0.078	0.167
Εξωτ. επιφ	0.06319	2.439	-18.12	0.07	0.146
Εξ/κός αέρας	0.06319	2.559	-20	0.07	0.124

Λύση

Η γραφική απεικόνιση των τιμών σε κάθετη τομή του τοίχου είναι:



e* —
e —

9.6 Παράρτημα 6: Υπολογισμός φορτίων ψύξης

Ο ΨΥΚΤΙΚΟΣ ΘΑΛΑΜΟΣ

Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος

N. Κατσούλας, K. Κίττας

Ο Ψυκτικός Θάλαμος

Ψυκτικός θάλαμος είναι κάθε περιορισμένος χώρος του οποίου προσπαθούμε να διατηρήσουμε τη θερμοκρασία σε χαμηλά επίπεδα προκειμένου να συντηρήσουμε γεωργικά προϊόντα ή τρόφιμα

Ψυκτικοί Θάλαμοι

- Οικιακό ψυγείο
- Επαγγελματικό ψυγείο (π.χ super-market)
- Όχημα - ψυγείο για τη μεταφορά οπωροκηπευτικών
- Βιομηχανικό ψυγείο συντήρησης μεγάλων ποσοτήτων φρούτων

Κατασκευή και λειτουργία ενός ψυκτικού θαλάμου

Κατασκευή Θαλάμου

- Επιλογή σημείου κατασκευής
- Μέγεθος
- Θερμομόνωση

Ψυκτικό φορτίο

- Θερμοκρασία εισόδου του προϊόντος
- Θερμότητα διαπνοής
- Θερμότητα από τα τοιχώματα
- Θερμότητα από τις οπές
- Φορτίο εξοπλισμού
- Πρόσθετο φορτίο σε ασυνήθιστες καιρικές συνθήκες

Επιλογή Ψυκτικής Μονάδας

Λειτουργία

- Έλεγχος Συμπύκνωσης & υγρασίας
- Έλεγχος θερμοκρασίας
- Απολύμανση
- Συντήρηση

Διαχείριση των Προϊόντων του Θαλάμου

- Φόρτος αποθήκευσης
- Τοποθέτηση των παλετών
- Πρόψυξη
- Συμβατότητα αποθήκευσης

Ψυκτικοί Θάλαμοι Προτεραιότητες

- Ασφάλεια
- Οικονομία
- Αξιοπιστία

Επίσης ένας σύγχρονος ψυκτικός θάλαμος πρέπει:

- Να χρησιμοποιεί αισθητήρια και ενεργοποιητές με δυνατότητα σύνδεσης με Η/Υ ή PLC
- Να προσφέρει δυνατότητα επικοινωνίας με τον χρήστη μέσω διαδικτύου ή κινητού τηλεφώνου (SMS)
- Χρήση συστημάτων διαχείρισης κτιριακών εγκαταστάσεων (B.M.S.)

Παράδειγμα Αποθήκευσης σε Ψυκτικό Θάλαμο



Ένας ψυκτικός θάλαμος αποτελείται:

- κατασκευαστικό σκελετό
- εξωτερική περιένδυση
- ψυκτική εγκατάσταση
- μόνωση των τοιχωμάτων

Μια καλά μελετημένη και με επιμέλεια τοποθετημένη μόνωση έχει ως αποτέλεσμα τη λειτουργία του θαλάμου με μικρότερης ισχύος ψυκτικά μηχανήματα, άρα τη μείωση του κόστους εγκατάστασης και λειτουργίας του ψυκτικού θαλάμου

Κατασκευή ψυκτικών θαλάμων

Ο σκελετός και η εξωτερική περιένδυση του θαλάμου κατασκευάζονται συνήθως από ξύλο (κυρίως μικρές εγκαταστάσεις), μέταλλο ή από οπλισμένο σκυρόδεμα. Η κατασκευή από μεταλλικό σκελετό πραγματοποιείται πιο γρήγορα, παρουσιάζει όμως το μειονέκτημα της ταχύτερης καταστροφής λόγω οξειδωσης και της δυσκολίας μόνωσης. Η κατασκευή από οπλισμένο σκυρόδεμα είναι οικονομικότερη και διαρκεί περισσότερα χρόνια

Τρόπος κατασκευής θαλάμων

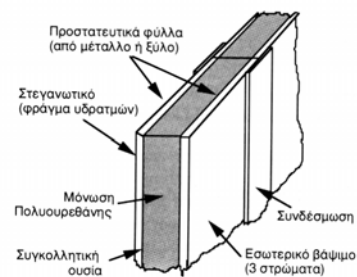
Σήμερα υπάρχουν πολλά υλικά που χρησιμοποιούνται για κατασκευή των θαλάμων κοινής ψύξης ή θαλάμων ΕΑ και είναι μεγάλης σημασίας να γνωρίζουμε τα πλεονεκτήματα, μειονεκτήματα καθώς και το κόστος κάθε υλικού κατά το σχεδιασμό της μονάδας.

Παλαιότερα ήταν συνηθισμένοι οι ψυκτικοί θάλαμοι με σκελετό από οπλισμένο σκυρόδεμα. Βασικό μειονέκτημα είναι ο μεγάλος χρόνος που απαιτεί η κατασκευή τους, ιδιαίτερα αν βρίσκονται μακριά από αστικά κέντρα.

Προκατασκευασμένα τοιχώματα (panels)

Διαδεδομένα είναι τα ψυγεία με **προκατασκευασμένα τοιχώματα (panels)** (1,20 m X 6 m) που περιέχουν στο εσωτερικό μονωτική ουσία (10-15 αη) από πολυουρεθάνη ή πολυστερόλη. Τα τοιχώματα αυτά διαθέτουν ειδικούς μηχανισμούς ώστε να είναι ταχεία η σύνδεση τους και να εξασφαλίζουν ικανοποιητική στεγανότητα. Τα τελευταία χρόνια, χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο τα προκατασκευασμένα τοιχώματα για την κατασκευή ψυκτικών μονάδων. Η ταχύτητα συναρμολόγησης, η ευκολία μεταφοράς τους και η οικονομία είναι τα βασικά χαρακτηριστικά που συνετέλεσαν στην ευρεία διάδοσή τους. Τα τοιχώματα αυτά είναι τύπου σάντουιτς που διαθέτουν μεταλλικό σκελετό και τις δυο επιφάνειες από (γαλβανισμένη ή βαμμένη) λαμαρίνα με ενδιάμεση μόνωση από πολυουρεθάνη .

Κατασκευαστικές λεπτομέρειες προκατασκευασμένων τοιχωμάτων (panels)

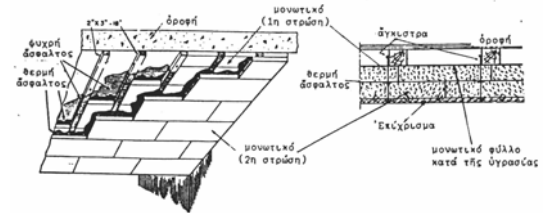
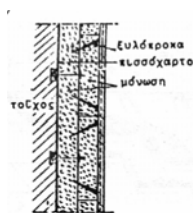
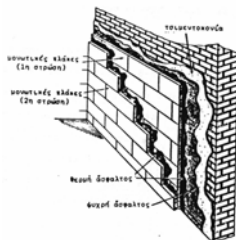


Κατασκευή ψυκτικών θαλάμων

Οι τοίχοι στους οποίους θα τοποθετήσουμε το μονωτικό υλικό θα **πρέπει να είναι ξηροί** για την αποφυγή απωλειών λόγω σήψης από υψηλές υγρασίες. Γι' αυτό μόλις επιχρησθεί ο τοίχος με **τσιμεντοκονία** επαλείφεται με **ψυχρή άσφαλτο** ή επικαλύπτεται με **πισσόχαρτο** ή άλλο **αδιάβροχο** υλικό και κατόπιν τοποθετείται η μόνωση.

Μόνωση οροφής

Για να μονώσουμε την οροφή του ψυκτικού θαλάμου, θα πρέπει να προβλέψουμε **άγκιστρα ανάρτησης του σκελετού**, συνήθως ξύλινου, πάνω στον οποίο θα στερεωθεί η μόνωση



Μόνωση δαπέδου

Για τη μόνωση του δαπέδου, αφού **σταθεροποιήσουμε το έδαφος** καλύπτουμε την επιφάνεια του με **5-8 cm σκυρόδεμα**, **τοποθετούμε το μονωτικό για την υγρασία** (πίσσα, πηλόχαρτο, πολυαιθυλένιο κ.τ.λ) και κατόπιν το μονωτικό. Τοποθετούμε **πάλι μονωτικό για την υγρασία** και το επικαλύπτουμε με **σπλισμένο σκυρόδεμα**, πάχους ανάλογου με τα φορτία που θα δεχθεί το δάπεδο.

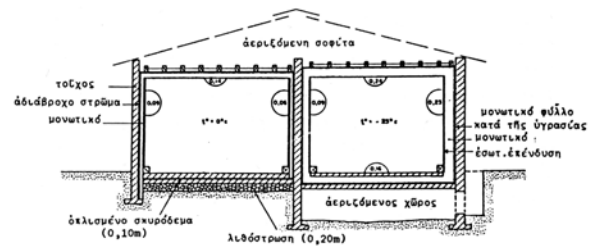
Κατασκευαστικές λεπτομέρειες ενός πατώματος και τοίχου ψυγείου ελεγχόμενης ατμόσφαιρας



Μέγεθος ψυκτικών θαλάμων

Το μέγεθος κάθε θαλάμου για ελεγχόμενη ατμόσφαιρα (ΕΑ) διαφέρει ανάλογα με τη στρατηγική που εφαρμόζεται για συσκευασία και εμπορική διάθεση κάθε προϊόντος. Στις χώρες της Κοινότητας το μέγεθος των θαλάμων κυμαίνεται **από 50 έως 800 τόνους**. Το πιο **συνηθισμένο μέγεθος** είναι των **400 τόνων**. Οι μεγάλοι θάλαμοι παρουσιάζουν μειωμένο κατασκευαστικό κόστος ανά m^3 λόγω περιορισμού σε υλικά, πόρτες και μηχανολογικό εξοπλισμό, που αναλογεί στη μονάδα του "ψυκτικού χώρου". Οι μεγάλοι όμως θάλαμοι υστερούν στην ευελιξία των χειρισμών των μικρών θαλάμων. Οι θάλαμοι ΕΑ πρέπει να έχουν διαστάσεις τέτοιες που το γέμισμα τους, η πρόψυξη του προϊόντος και η δημιουργία των συνθηκών ΕΑ να μην διαρκεί περισσότερο από μια εβδομάδα.

Κλασική κατασκευή ψυκτικού θαλάμου



Μόνωση και μονωτικά υλικά

Ως συντελεστής **θερμικής αγωγιμότητας λ** ενός υλικού ορίζεται το ποσό της θερμότητας που περνάει από τη μονάδα της επιφάνειας, για πάχος μιας μονάδας μήκους σε μια ώρα, όταν η διαφοράς θερμοκρασίας είναι ένας βαθμός.

Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας εξαρτάται:

- από τη φύση και την πυκνότητας του υλικού
- Από την υγρασία του
- Από τη μέση θερμοκρασία χρήσης του

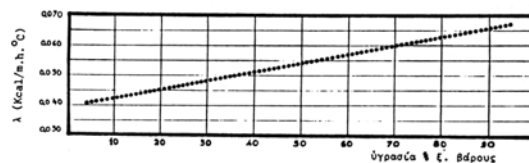
Για να είναι κατάλληλο ένα υλικό για θερμομόνωση πρέπει να έχει τις ακόλουθες ιδιότητες:

- ✓ Να έχει μεγάλη θερμομονωτική ικανότητα
- ✓ Να μην απορροφά υγρασία και να προβάλλει μεγάλη αντίσταση στη διάχυση των υδρατμών
- ✓ Να παρουσιάζει μεγάλη μηχανική αντοχή
- ✓ Να είναι ελαφρύ και ευκόλοχρηστο
- ✓ Να συνδυάζει ορισμένους όρους ασφαλείας (να μην εύφλεκτο, να μην προσβάλλεται από έντομα)
- ✓ Να έχει μεγάλη διάρκεια ζωής

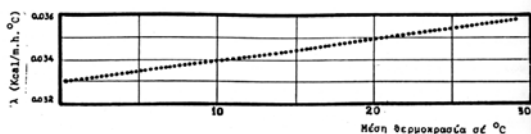
Μονωτικά υλικά

Αρχικά ως μονωτικό υλικό χρησιμοποιήθηκε ο **φελλός**, ο οποίο όμως ως εισαγόμενο υλικό παρουσίαζε υψηλό κόστος. Ύστερα χρησιμοποιήθηκε η **διογκωμένη πολυστερίνη (Felizol)**, ο **υαλοβάμβακας (Monyal)**, η **αφρώδης πολυστερίνη (Styrofoam)** και η **διογκωμένη πολυουρεθάνη**. Σήμερα από τα υλικά αυτά την πιο ευρεία χρήση έχει η **διογκωμένη πολυστερίνη λόγω χαμηλού κόστους προμήθειας**.

Σε ορισμένες μονάδες χρησιμοποιούνται συνδυασμένες μονώσεις από δύο ή περισσότερα υλικά.



Σχ. 3.12 Μεταβολή του συντελεστή θερμ.αγωγιμότητας με την υγρασία (λινοσανίδα)



Σχ. 3.13 Μεταβολή του συντελεστή θερμ.αγωγιμότητας με τη θερμοκρασία (συσσωμάτωμα φελλού)

Συντελεστής Θερμικής αγωγιμότητας λ

↓

$\text{Kcal} / \text{m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$

ή

$\text{Kcal} \cdot \text{m} / \text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$

ή

$\text{W} / \text{m} \cdot ^\circ\text{C}$

Αγγλοσαξονικό σύστημα
 $\text{BTU} \cdot \text{in} / \text{sq} \cdot \text{ft} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$

$\text{Kcal} / \text{m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C} \times 8.06364 = \text{BTU} \cdot \text{in} / \text{sq} \cdot \text{ft} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{F}$

$\text{BTU} \cdot \text{in} / \text{sq} \cdot \text{ft} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{F} \times 0.1240 = \text{Kcal} / \text{m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$

Ως **θερμική αντίσταση R** ενός υλικού ορίζεται ο λόγος:



Όπου:

> **L** το πάχος του υλικού και

> **λ** ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας

Ο λόγος αυτός ονομάζεται **θερμική αντίσταση** γιατί προβάλλει την αντίσταση που προβάλλει το υλικό στη ροή θερμότητας και είναι τόσο **μεγαλύτερη όσο μικρότερος είναι ο συντελεστής λ**

Η **θερμική αντίσταση R** ενός τοιχώματος από πολλά υλικά θα είναι:



Όπου:

h_i και **h_e** είναι οι συντελεστές θερμικής μετάδοσης λόγω επιφανειακής επαγωγής μεταξύ των παρειών (εσωτερικής και εξωτερικής) και του αέρα

Κλίση παρειών και διεύθυνση ροής θερμότητας	Χώρισμα που έρχεται σε επαφή με το εξωτερικό περιβάλλον			Χώρισμα στο εσωτερικό του κτιρίου		
	$1/h_i$	$1/h_e$	$1/h_i + 1/h_e$	$1/h_i$	$1/h_e$	$1/h_i + 1/h_e$
Κάθετη παρειά	0.13	0.07	0.2	0.14	0.14	0.28
Οριζόντια παρειά ανερχόμενη ροή	0.11	0.06	0.17	0.12	0.12	0.24
Οριζόντια παρειά κατερχόμενη ροή	0.2	0.06	0.26	0.2	0.2	0.4

Η ποσότητα $1/R_{tot}$ δηλαδή η **Θερμική ισχύς** που διέρχεται από το τοίχωμα ανά μονάδα επιφάνειας και βαθμό, ονομάζεται **συντελεστής ολικής θερμοπερατότητας, K ή U** ($Kcal/m^2 h ^\circ C$, ή $W/m^2 ^\circ C$ ή $BTU/ft^2 h ^\circ F$)

Αριθμητική εφαρμογή

Να υπολογιστεί η θερμική αντίσταση και ο συντελεστής ολικής θερμοπερατότητας κάθετου τοιχώματος αποτελούμενου από τα υλικά:

- Σκυρόδεμα πάχους $L_1 = 0.1$ m με $\lambda_1 = 1.5$ Kcal/m h $^\circ C$
- Ασβεστοκονίαμα πάχους $L_2 = 0.03$ m με $\lambda_2 = 1.5$ Kcal/m h $^\circ C$
- Μαρμαροκονίαμα πάχους $L_3 = 0.02$ m με $\lambda_3 = 0.4$ Kcal/m h $^\circ C$

Πως θα μεταβληθούν οι τιμές των δύο ανωτέρω συντελεστών R & K εάν προσθέσουμε ένα ακόμη στρώμα μονωτικού από φελλό πάχους 0,05 m ? (λ φελλού = 0.035 Kcal/m h $^\circ C$)

Επίλυση

Υπολογισμός θερμικής αντίστασης

$$R_{tot} = \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e} + \frac{e_1}{\lambda_1} + \frac{e_2}{\lambda_2} + \frac{e_3}{\lambda_3} = 0.2 + \frac{0.1}{1.5} + \frac{0.03}{1.5} + \frac{0.02}{0.4} = 0.337 m^2 h^\circ C / Kcal$$

Υπολογισμός συντελεστή θερμοπερατότητας

$$K = \frac{1}{R} = \frac{1}{0.337} = 2.97 Kcal / m^2 h^\circ C$$

Εάν προστεθεί και το στρώμα του φελλού τότε θα έχουμε μια νέα θερμική αντίσταση:

$$R' = R + \frac{0.050}{0.035} = 1.765 m^2 h^\circ C / Kcal$$

και νέο συντελεστή θερμοπερατότητας

$$K' = \frac{1}{R'} = 0.567 Kcal / m^2 h^\circ C$$

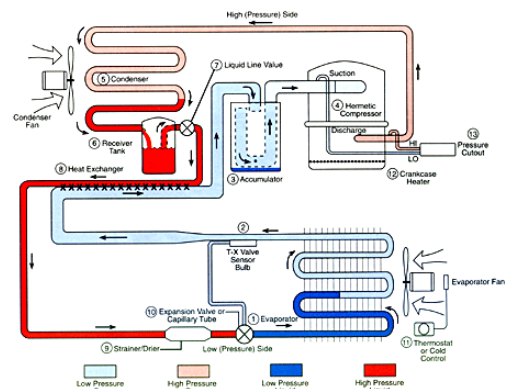
Τα υλικά κατασκευών κατατάσσονται ανάλογα με το **συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας λ** σε:

- Μονωτικά με $\lambda < 0.1$ Kcal/m h $^\circ C$
- Ημιπερατά $0.1 < \lambda < 0.3$ Kcal/m h $^\circ C$
- Ελαφρώς περατά $0.3 < \lambda < 1.0$ Kcal/m h $^\circ C$
- Περατά $1.0 < \lambda < 3.0$ Kcal/m h $^\circ C$
- Πολύ περατά $3.0 < \lambda < 8.0$ Kcal/m h $^\circ C$
- Ημιαγωγά $8.0 < \lambda < 20$ Kcal/m h $^\circ C$
- Αγωγά $20 < \lambda < Kcal/m h ^\circ C$

Χαρακτηριστικά ενός καλού μονωτικού υλικού

- ✓ Κακός αγωγός της θερμότητας
- ✓ Αρκετά ανθεκτικό
- ✓ Ελαφρύ
- ✓ Να αντέχει στην υγρασία
- ✓ Να αντέχει στην επίδραση θερμότητας
- ✓ Να είναι άοσμο
- ✓ Να μην αναφλέγεται
- ✓ Να μην προσβάλλεται από έντομα, ποντικούς κ.λ.π
- ✓ Να μην προσβάλλει τα άλλα κατασκευαστικά στοιχεία
- ✓ Να μη αποσυντίθεται ή μεταβάλλεται εύκολα με την πάροδο του χρόνου

Κύκλος Ψύξης

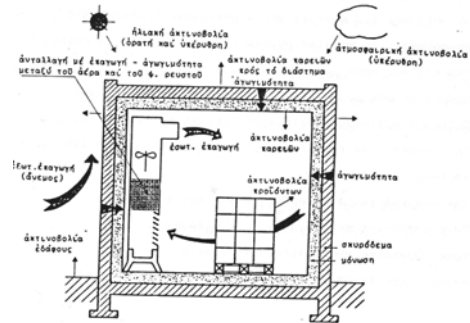


Υπολογισμός ψυκτικού φορτίου

Όταν μιλούμε για ψυκτικό φορτίο εννοούμε τη θερμότητα που πρέπει να απορροφήσει το ψυκτικό ρευστό στον εξατμιστή, η οποία είναι δυνατόν να προέρχεται από:

1. Εισροή θερμότητας μέσα από τα τοιχώματα του θαλάμου
2. Έκλυση θερμότητας από τα ψυχόμενα προϊόντα
3. Την είσοδο του εξωτερικού αέρα (αερισμός - άνοιγμα θυρών)
4. Τη θερμότητα που παράγεται από τη στερεοποίηση των τροφίμων (μόνο όταν μετά την ψύξη ακολουθεί κατάψυξη)
5. Την αναπνοή των συντηρούμενων φυτικών προϊόντων
6. Του ανθρώπους που εργάζονται στο θάλαμο
7. Τους λαμπτήρες που φωτίζουν το θάλαμο
8. Άλλες πηγές θερμότητας (κινητήρες, ανεμιστήρες κ.λπ.)

Θερμικές εναλλαγές μέσα και έξω από ένα ψυκτικό θάλαμο



1. Εισροή θερμότητας μέσα από τα τοιχώματα του θαλάμου

$$Q_a = 24 \cdot \Sigma \cdot K_i \cdot S_i \cdot (T_1 - T_2)$$

Όπου:

Q_a = το ποσό θερμότητας σε Kcal που διέρχεται σε χρόνο 24 ωρών δια μέσου των τοιχωμάτων του θαλάμου

K_i = ο συντελεστής θερμοπερατότητας (Kcal/m² h °C)

S_i = το εμβαδό των τοιχωμάτων (m²)

$T_1 - T_2$ = η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ εξωτερικού αέρα και εσωτερικού αέρα του θαλάμου

2. Έκλυση θερμότητας από τα ψυχόμενα προϊόντα

$$Q_b = M \cdot C \cdot \Delta T$$

Όπου:

Q_b = το ποσό θερμότητας που εκλύεται από τα τρόφιμα (Kcal/24h)

M = η μάζα των τροφίμων που αποθηκεύονται στο θάλαμο ανά 24ωρο (Kg)

ΔT = η πτώση θερμοκρασίας των τροφίμων

C = η ειδική θερμότητα των τροφίμων (από πίνακα)

3. Θερμότητα που εισάγεται στο θάλαμο λόγω ανανέωσης του αέρα

$$Q_c = V \cdot q \cdot N_{vent}$$

Όπου:

Q_c = το ποσό θερμότητας (Kcal/24h)

V = ο όγκος του θαλάμου (m³)

q = η αποδιδόμενη θερμότητα από κάθε m³ αέρα (από πίνακα)

N_{vent} = ο ρυθμός ανανέωσης του αέρα ανά 24ωρο (από πίνακα)

4 (α). Θερμότητα παράγεται λόγω στερεοποίησης (κατάψυξη)

$$Q_{d1} = M \cdot C_{st}$$

Όπου:

Q_{d1} = το ποσό θερμότητας (Kcal/24h)

M = η μάζα του καταψυχόμενου προϊόντος ανά 24ωρο (kg)

C_{st} = η λανθάνουσα θερμότητα στερεοποίησης (κατάψυξης) (kcal/kg) από πίνακα

Το προϊόν όμως μετά τη στερεοποίηση του υφίσταται περεταίρω ψύξη που συνεπάγεται μια ακόμη αύξηση του ψυκτικού φορτίου που υπολογίζεται από τον τύπο:

4 (b). Θερμότητα παράγεται λόγω στερεοποίησης (κατάψυξη)

Όπου:

$$Q_{d2} = M \cdot \Delta T \cdot C_{cool}$$

Q_{d2} = η θερμότητα καταψύξεως (Kcal/24h)

M = η μάζα του καταψυχόμενου προϊόντος ανά 24ωρο (kg)

ΔT = η διαφορά θερμοκρασίας στερεοποίησης από τη θερμοκρασία κατάψυξης (°C)

C_{cool} = η λανθάνουσα θερμότητα στερεοποίησης (κατάψυξης) (kcal/kg) από πίνακα

Συνολική Θερμότητα στερεοποίησης

$$Q_d = Q_{d1} + Q_{d2}$$

6. Έκλυση θερμότητας από εργαζόμενους ανθρώπους

$$Q_f = N_{per} \cdot H \cdot q_{per}$$

Όπου:

Q_f = το ποσό θερμότητας (Kcal/24h)

N_{per} = ο αριθμός των εργαζομένων ατόμων

H = ο αριθμός ωρών ανά 24ωρο που εργάζονται μέσα στο θάλαμο

q_{per} = η θερμότητα που αποδίδει ένα εργαζόμενο άτομο σε ένα 24ωρο (από πίνακα)

8. Έκλυση θερμότητας από άλλες πηγές

Η θερμότητα που εκλύεται από άλλες πηγές Q_h (Kcal) υπολογίζεται ως εξής

$$Q_h = W \cdot H \cdot 0.86$$

Όπου:

W = η συνολική ισχύς των κινητήρων (W)

H = οι ώρες λειτουργίας

0.86 = συντελεστής μετατροπής των W σε Kcal/h

5. Θερμότητα αναπνοής

Η θερμότητα αναπνοής Q_e (Kcal) υπολογίζεται από το γινόμενο της μάζας των τροφίμων σε Kg επί τη θερμότητα αναπνοής Kcal/kg (από πίνακα)

7. Έκλυση θερμότητας από λαμπτήρες φωτισμού

Η θερμότητα που εκλύεται από τους λαμπτήρες φωτισμού Q_g (Kcal) υπολογίζεται από το γινόμενο της θερμότητας που αποδίδουν όλα τα φώτα ανά ώρα επί τις ώρες λειτουργίας.

Κάθε Wh ηλεκτρικού λαμπτήρα αποδίδει θερμότητα 0.86 Kcal/h ή 3.42 BTU/h

Συνολικό ψυκτικό φορτίο

$$Q = Q_a + Q_b + Q_c + Q_d + Q_e + Q_f + Q_g + Q_h$$

Το ψυκτικό μηχάνημα που θα εξυπηρετεί το ανωτέρω υπολογιζόμενο φορτίο θα πρέπει να έχει ικανότητα μεγαλύτερη κατά 50% αυτού και αυτό γιατί το ψυκτικό μηχάνημα δεν πρέπει να εργάζεται συνεχώς, αλλά περί τις 16 ώρες το 24ωρο

Θερμική συμπεριφορά ορισμένων υλικών

Υλικό	Πυκνότητα Kg/m ³	λ Kcal/m.h.°C
Αλουμίνιο	2700	200,0
Αρκενταίο μέταλλο	2000	0,8
Άμμος ξηρή	1300	0,3
Άμμος υγρή	1650	1,2
Ασβεστόλιθος	1850	0,8
Ασφάλτος	1100	0,2
Ατσάλι	7850	45,0
Βασιλικό	2750	3,0
Γρανίτης	2750	3,0
Γυψοσανίδα	300	0,3
Γύψος	1000	0,4
Γυαλί	2700	1,0
Γυαλί σκούρο	150	0,05
Γυαλί μπλε	150	0,05
Κόνιτρο πάλε	2200	1,2
Κουτί σιδή	50	0,1
Κουτί χαλκού	400-800	0,13-0,2
Μάρμαρο	2800	2,5
Μελισσοκέρας	300-300	0,025
Μελίτιση οστρακίτη	2300	1,0
Μονοκύβητος	1000	0,5
Μούρο	11340	30,0
Μυρμύρα	1000	0,3
Σύλο έρπυς	725	0,15
Σύλο έλατο	850	0,10
Σύλο ρυτινωτά βαρέ	750	0,30
Σύλο έλατο από βαλομυδένιο	90	0,04
Παλαμπαλάκια σπαρς	30-40	0,0022
Παλαμπαλάκια σπαρς (αγγυροσπασ)	30-40	0,0022
Παλαμπαλάκια έλατο	100	0,4
Παλαμπαλάκια έλατο	1100	0,12
Παλαμπαλάκια (αυθενταλιάνη)	1800	1,2
Παλαμπαλάκια	200	0,6
Παλαμπαλάκια (αυθενταλιάνη)	1400	0,6
Παλαμπαλάκια	1400	0,6
Ταξιδιάρικος	22	0,026
Ψάλλος (κομποράκι) διαγ.	100-180	0,03-0,04
Ψάλλος σαρματισμένος	300	0,08
Ψάλλος	8000	300,0
Ψάλλο	40-100	0,027
Ψάλλο	7100	95,0

Θερμодυναμικά χαρακτηριστικά ορισμένων προϊόντων

Προϊόντα	Σημείο στερεοποίησης °C	Ειδική θερμότητα (Kcal/Kg.°C)			Λανθάνουσα θερμότητα (Kcal/Kg)	Θερμότητα προερχόμενη από την ανανόη (Kcal/24h ton)
		Πάνω από το σημείο στερεοποίησης	Κάτω από το σημείο στερεοποίησης	3		
		1	2	3	4	5
Λαχανικά						
Αγκινάρες	-1,7	0,87	0,45	67	2560	
Σπαράγγια	-1,2	0,94	0,46	74	2898	
Φασόλια (φρέσκα)	-6,2	0,91	0,47	71	1194	
Φασ. τσαούλ. Μαυρ.	-1,1	0,73	0,40	52	1689	
Φασόλια ξηρά	-	0,30	0,24	10		
Μπατίζαρια	-0,6	0,36	0,47	72	282	
Μπρόκολο	-1,7	0,92	0,47	72	282	
Λάχανο	-0,6	0,84	0,47	73	378	
Καρότα	-1,2	0,86	0,45	70	537	
Κουνουπίδι	-1,1	0,93	0,47	73	874	
Σέλινο	-1,8	0,95	0,88	75	710	
Αραβόσιτος (νυμ.)	-1,7	0,80	0,43	60	1484	
Αγγούρι	-0,8	0,97	0,49	76	2064	

Αριθμός ανανεώσεων του αέρα των ψυκτικών θαλάμων

Όγκος θαλάμου	Ανα-νεώσεις ανά 24h	Όγκος θαλάμου	Ανα-νεώσεις ανά 24h	Όγκος θαλάμου	Ανα-νεώσεις ανά 24h	Όγκος θαλάμου	Ανα-νεώσεις ανά 24h
πάνω από 0°C							
2.5	70	20	22	100	9	600	3.2
3.0	63	25	19.5	150	7	800	2.8
4.0	53	30	17.5	200	6	1000	2.4
5.0	47	40	15.0	250	5.3	1500	1.95
7.5	38	50	13.0	300	4.8	2000	1.65
10.0	32	60	12.0	400	4.1	2500	1.45
15.0	26	80	10.0	500	3.6	3000	1.3
κάτω από 0°C							
2.5	52	20	16.5	100	6.8	600	2.5
3.0	47	25	14.5	150	5.4	800	2.1
4.0	40	30	13.0	200	4.6	1000	1.9
5.0	35	40	11.5	250	4.1	1500	1.5
7.5	28	50	10.0	300	3.7	2000	1.3
10.0	24	60	9.0	400	3.1	2500	1.1
15.0	19	80	7.7	500	2.8	3000	1.05

Απώλειες θερμότητας από τον αέρα που εισέρχεται στον ψυκτικό θαλάμο λόγω ανανεώσεων (Kcal/m³)

Θερμοκρασία θαλάμου	Θερμότητα εισερχόμενου αέρα												
	5°C		10°C		15°C		20°C		25°C		30°C		
	70LPH	60LPH	70LPH	60LPH	70LPH	60LPH	70LPH	60LPH	70LPH	60LPH	70LPH	60LPH	
15°C	-	-	-	-	-	-	-	0,7	1,7	-	-	-	-
10°C	-	-	-	-	2,3	2,9	5,4	6,3	6,9	8,0	-	-	-
5°C	-	-	2,2	2,6	5,0	5,6	8,2	9,1	9,8	10,9	-	-	-
-5°C	4,6	5,0	7,4	8,0	10,7	11,5	12,2	13,3	-	-	-	-	-
-10°C	6,9	7,3	9,8	10,4	13,1	14,0	14,7	15,8	-	-	-	-	-
-15°C	9,0	9,5	12,0	12,6	15,4	16,3	17,0	18,2	-	-	-	-	-
-20°C	11,0	11,5	14,0	14,7	17,5	18,4	19,2	20,4	-	-	-	-	-
-25°C	13,2	13,6	16,3	16,9	19,8	20,7	21,5	22,7	-	-	-	-	-
-30°C	15,3	15,8	18,5	19,1	22,1	23,1	23,9	25,1	-	-	-	-	-
-35°C	17,5	18,0	20,7	21,4	24,4	25,3	26,3	27,5	-	-	-	-	-
-40°C	19,9	20,4	23,2	23,9	27,0	28,0	28,9	30,1	-	-	-	-	-

Απώλειες προερχόμενες από τα εργαζόμενα άτομα στον ψυκτικό θαλάμο

Θερμοκρασία θαλάμου °C	Ισοδύναμη θερμότητα ανά άτομο (Kcal/h)
10°C	180
5°C	207
0°C	232
-5°C	258
-10°C	284
-15°C	310
-20°C	335
-25°C	361

Υπολογισμός ψυκτικού φορτίου

Εργαστήριο Γεωργικών
Κατασκευών και Ελέγχου
Περιβάλλοντος
Ν. Κατσούλας, Κ. Κίττας

Υπολογισμός ψυκτικού φορτίου

Όταν μιλούμε για ψυκτικό φορτίο εννοούμε τη θερμότητα που πρέπει να απορροφήσει το ψυκτικό ρευστό στον εξατμιστή, η οποία είναι δυνατό να προέρχεται από:

1. Εισροή θερμότητας μέσα από τα τοιχώματα του θαλάμου
2. Έκλυση θερμότητας από τα ψυχόμενα προϊόντα
3. Την είσοδο του εξωτερικού αέρα (αερισμός - άνοιγμα θυρών)
4. Τη θερμότητα που παράγεται από τη στερεοποίηση των τροφίμων (μόνο όταν μετά την ψύξη ακολουθεί κατάψυξη)
5. Την αναπνοή των συντηρούμενων φυτικών προϊόντων
6. Του ανθρώπου που εργάζεται στο θάλαμο
7. Τους λαμπτήρες που φωτίζουν το θάλαμο
8. Άλλες πηγές θερμότητας (κινητήρες, ανεμιστήρες κ.λ.π)

1. Εισροή θερμότητας μέσα από τα τοιχώματα του θαλάμου

$$Q_a = 24 \cdot \sum K_i S_i (T_1 - T_2)$$

Όπου:

Q_a = το ποσό θερμότητας σε Kcal που διέρχεται σε χρόνο 24 ωρών δια μέσου των τοιχωμάτων του θαλάμου

K_i = ο συντελεστής θερμοπερατότητας (Kcal/m² h °C)

S_i = το εμβαδό των τοιχωμάτων (m²)

$T_1 - T_2$ = η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ εξωτερικού αέρα και εσωτερικού αέρα του θαλάμου

2. Έκλυση θερμότητας από τα ψυχόμενα προϊόντα

$$Q_b = M \cdot C \cdot \Delta T$$

Όπου:

Q_b = το ποσό θερμότητας που εκλύεται από τα τρόφιμα (Kcal/24h)

M = η μάζα των τροφίμων που αποθηκεύονται στο θάλαμο ανά 24ωρο (Kg)

ΔT = η πτώση θερμοκρασίας των τροφίμων

C = η ειδική θερμότητα των τροφίμων (από πίνακα)

3. Θερμότητα που εισάγεται στο θάλαμο λόγω ανανέωσης του αέρα

$$Q_c = V \cdot q \cdot N_{vent}$$

Όπου:

Q_c = το ποσό θερμότητας (Kcal/24h)

V = ο όγκος του θαλάμου (m³)

q = η αποδιδόμενη θερμότητα από κάθε m³ αέρα (από πίνακα)

N_{vent} = ο ρυθμός ανανέωσης του αέρα ανά 24ωρο (από πίνακα)

4 (a). Θερμότητα παράγεται λόγω στερεοποίησης (κατάψυξη)

$$Q_{d1} = M \cdot C_{st}$$

Όπου:

Q_{d1} = το ποσό θερμότητας (Kcal/24h)

M = η μάζα του καταψυχόμενου προϊόντος ανά 24ωρο (kg)

C_{st} = η λανθάνουσα θερμότητα στερεοποίησης (κατάψυξης) (kcal/kg) από πίνακα

Το προϊόν όμως μετά τη στερεοποίηση του υφίσταται περαιτέρω ψύξη που συνεπάγεται μια ακόμη αύξηση του ψυκτικού φορτίου που υπολογίζεται από τον τύπο:

4 (b). Θερμότητα παράγεται λόγω στερεοποίησης (κατάψυξη)

$$Q_{d2} = M \cdot \Delta T \cdot C_{cool}$$

Όπου:

Q_{d2} = η θερμότητα κατάψυξης (Kcal/24h)

M = η μάζα του καταψυχόμενου προϊόντος ανά 24ωρο (kg)

ΔT = η διαφορά θερμοκρασίας στερεοποίησης από τη θερμοκρασία κατάψυξης (°C)

C_{cool} = η λανθάνουσα θερμότητα στερεοποίησης (κατάψυξης) (kcal/kg) από πίνακα

Συνολική θερμότητα στερεοποίησης

$$Q_d = Q_{d1} + Q_{d2}$$

6. Έκλυση θερμότητας από εργαζόμενους ανθρώπους

$$Q_f = N_{per} \cdot H \cdot q_{per}$$

Όπου:

Q_f = το ποσό θερμότητας (Kcal/24h)

N_{per} = ο αριθμός των εργαζομένων ατόμων

H = ο αριθμός ωρών ανά 24ωρο που εργάζονται μέσα στο θάλαμο

q_{per} = η θερμότητα που αποδίδει ένα εργαζόμενο άτομο σε ένα 24ωρο (από πίνακα)

8. Έκλυση θερμότητας από άλλες πηγές

Η θερμότητα που εκλύεται από άλλες πηγές Q_h (Kcal) υπολογίζεται ως εξής

$$Q_h = W \cdot H \cdot 0.86$$

Όπου:

W = η συνολική ισχύς των κινητήρων (W)

H = οι ώρες λειτουργίας

0.86 = συντελεστής μετατροπής των W σε Kcal/h

5. Θερμότητα αναπνοής

Η θερμότητα αναπνοής Q_e (Kcal) υπολογίζεται από το γινόμενο της μάζας των τροφίμων σε Kg επί τη θερμότητα αναπνοής Kcal/kg (από πίνακα)

7. Έκλυση θερμότητας από λαμπτήρες φωτισμού

Η θερμότητα που εκλύεται από τους λαμπτήρες φωτισμού Q_g (Kcal) υπολογίζεται από το γινόμενο της θερμότητας που αποδίδουν όλα τα φώτα ανά ώρα επί τις ώρες λειτουργίας.

Κάθε Wh ηλεκτρικού λαμπτήρα αποδίδει θερμότητα 0.86 Kcal/h ή 3.42 BTU/h

Συνολικό ψυκτικό φορτίο

$$Q = Q_a + Q_b + Q_c + Q_d + Q_e + Q_f + Q_g + Q_h$$

Το ψυκτικό μηχάνημα που θα εξυπηρετεί το ανωτέρω υπολογιζόμενο φορτίο θα πρέπει να έχει ικανότητα μεγαλύτερη κατά 50% αυτού και αυτό γιατί το ψυκτικό μηχάνημα δεν πρέπει να εργάζεται συνεχώς, αλλά περί τις 16 ώρες το 24ωρο

Υπολογισμός των επιμέρους ψυκτικών φορτίων (Kcal/24ωρο)

Εκκλιση θερμότητας από τα τοιχώματα

$$Q_a = 24 K_T * S_T * \Delta T + 24 K_{OR} * S_{OR} * \Delta T + 24 K_{DAP} * S_{DAP} * \Delta T$$

$$Q_a = 24 (K_T * S_T + K_{OR} * S_{OR} + K_{DAP} * S_{DAP}) * \Delta T$$

$$\Delta T = 30 - 5 = 25 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$Q_a = 24 (0.279*44.75 + 0.28*7.52 + 0.287*7.52) * 25$$

$$Q_a = 10047 \text{ Kcal}$$

Υπολογισμός των επιμέρους ψυκτικών φορτίων (Kcal/24ωρο)

Εκκλιση θερμότητας από τα προϊόντα

$$Q_b = M * c * \Delta T$$

$$\Delta T = 20 - 5 = 15 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$C = 0.87 \text{ Kcal/kg από πίνακα}$$

$$Q_b = 200 * 0.87 * 15$$

$$Q_b = 2610 \text{ Kcal}$$

Θερμodynamικά χαρακτηριστικά ορισμένων προϊόντων

Προϊόντα	Σημείο στερεοποίησης °C	Ειδική θερμότητα (Kcal/Kg.°C)		Λανθάνουσα θερμότητα (Kcal/Kg)	Θερμότητα προερχόμενη από την αναπνοή (Kcal/24h ton)
		Πάνω από το σημείο στερεοποίησης	Κάτω από το σημείο στερεοποίησης		
	1	2	3	4	5
Λαχανικά					
Αγκινάρες	-1,7	0,87	0,45	67	2560
Σπαράγγια	-1,2	0,94	0,48	74	2898
Φασόλια (φρέσκα)	-6,2	0,91	0,47	71	1194
Φασ. τασουλι. Μαραθ.	-1,1	0,73	0,40	52	1689
Φασόλια Ξερά		0,36	0,47	72	
Μπαζιλικά	-0,6				282
Μπρόκολο	-1,7	0,92	0,47	72	458
Λάχανο	-0,6	0,84	0,47	73	378
Καρτότα	-1,2	0,86	0,45	70	537
Κουνουμπιδι	-1,1	0,93	0,47	73	874
Σέλινο	-1,8	0,95	0,88	75	710
Αραβόσιτος (νυμ.)	-1,7	0,80	0,43	60	1484
Αγγούρι	-0,8	0,97	0,49	76	2064

Υπολογισμός των επιμέρους ψυκτικών φορτίων (Kcal/24ωρο)

Εκκλιση θερμότητας από την είσοδο αέρα

$$Q_c = V * q * N_{vent}$$

$$q = 16.9 \text{ από πίνακα}$$

$$N_{vent} = 29 \text{ από πίνακα}$$

$$Q_c = 13.1 * 16.9 * 29$$

$$Q_c = 6420 \text{ Kcal}$$

Η θερμότητα που παράγεται λόγω στερεοποίησης είναι μηδέν $Q_d = 0$ αφού το προϊόν δεν θα καταψυχθεί

Αριθμός ανανέσεων του αέρα των ψυκτικών θαλάμων

Όγκος θαλάμου	Ανα-νεώσεις ανά 24h	Όγκος θαλάμου	Ανα-νεώσεις ανά 24h	Όγκος θαλάμου	Ανα-νεώσεις ανά 24h	Όγκος θαλάμου	Ανα-νεώσεις ανά 24h
πάνω από 0°C							
2.5	70	20	22	100	9	600	3.2
3.0	63	25	19.5	150	7	800	2.8
4.0	53	30	17.5	200	6	1000	2.4
5.0	47	40	15.0	250	5.3	1500	1.95
7.5	38	50	13.0	300	4.8	2000	1.65
10.0	32	60	12.0	400	4.1	2500	1.45
15.0	26	80	10.0	500	3.6	3000	1.3
κάτω από 0°C							
2.5	52	20	16.5	100	6.8	600	2.5
3.0	47	25	14.5	150	5.4	800	2.1
4.0	40	30	13.0	200	4.6	1000	1.9
5.0	35	40	11.5	250	4.1	1500	1.5
7.5	28	50	10.0	300	3.7	2000	1.3
10.0	24	60	9.0	400	3.1	2500	1.1
15.0	19	80	7.7	500	2.8	3000	1.05

Απώλειες θερμότητας από τον αέρα που εισέρχεται στον ψυκτικό θάλαμο λόγω ανανέσεων (Kcal/m³)

Θερμοκρασία θαλάμου	5°C		10°C		15°C		20°C	
	70%RH	80%RH	70%RH	80%RH	70%RH	80%RH	50%RH	20°C
15°C	-	-	-	-	-	-	0,7	1,7
10°C	-	-	-	-	2,5	3,3	4,0	5,0
5°C	-	-	2,3	2,9	5,4	6,3	6,9	8,0
0°C	2,2	2,6	5,0	5,6	8,2	9,1	9,8	10,9
-5°C	4,6	5,0	7,4	8,0	10,7	11,5	12,2	13,3
-10°C	6,9	7,3	9,8	10,4	13,1	14,0	14,7	15,8
-15°C	9,0	9,5	12,0	12,6	15,4	16,3	17,0	18,2
-20°C	11,0	11,5	14,0	14,7	17,5	18,4	19,2	20,4
-25°C	13,2	13,6	16,3	16,9	19,8	20,7	21,5	22,7
-30°C	15,3	15,8	18,5	19,1	22,1	23,1	23,9	25,1
-35°C	17,5	18,0	20,7	21,4	24,4	25,3	26,3	27,5
-40°C	19,9	20,4	23,2	23,9	27,0	28,0	28,9	30,1
	25°C		30°C		35°C		40°C	
	50%RH	60%RH	50%RH	60%RH	50%RH	60%RH	50%RH	60%RH
15°C	4,0	5,6	8,2	10,2	13,5	15,9	19,5	23,1
10°C	7,4	9,8	13,2	16,4	16,8	19,4	23,1	26,8
5°C	10,4	12,1	16,8	19,9	20,1	22,8	26,3	30,4
0°C	13,4	15,0	19,9	20,0	23,3	26,1	29,9	33,7
-5°C	15,9	17,6	20,4	22,6	25,8	28,7	32,3	36,6
-10°C	18,4	20,1	23,1	25,2	28,7	31,5	35,4	39,4
-15°C	20,8	22,6	25,6	27,7	31,3	34,2	38,2	42,3
-20°C	23,1	24,9	28,0	30,4	33,7	36,8	40,9	45,2
-25°C	25,6	27,2	30,4	32,7	36,3	39,4	43,7	48,0
-30°C	28,0	29,9	33,0	35,4	39,0	42,3	46,6	50,9
-35°C	30,4	32,3	35,6	38,0	41,6	44,9	49,3	53,8
-40°C	33,0	35,1	38,5	40,9	44,7	48,0	52,0	55,2

Υπολογισμός των επιμέρους ψυκτικών φορτίων (Kcal/24ωρο)

Έκλυση θερμότητας από την αναπνοή των προϊόντων

$$Q_e = M * q_{\text{αναπ}}$$

$$q_{\text{αναπ}} = 2560 \text{ από πίνακα}$$

$$Q_e = 200 * 2.56$$

$$Q_e = 512 \text{ Kcal}$$

Έκλυση θερμότητας από εργαζόμενους στο θάλαμο

$$Q_f = N_{\text{per}} * H * q_{\text{per}}$$

$$q_{\text{per}} = 207 \text{ από πίνακα}$$

$$Q_f = 1 * 4 * 207$$

$$Q_f = 828 \text{ Kcal}$$

Απώλειες προερχόμενες από τα εργαζόμενα άτομα στον ψυκτικό θάλαμο

Θερμοκρασία θαλάμου °C	Ισοδύναμη θερμότητα ανά άτομο (Kcal/h)
10°	180
5°	207
0°	232
-5°	258
-10°	284
-15°	310
-20°	335
-25°	361

Υπολογισμός των επιμέρους ψυκτικών φορτίων (Kcal/24ωρο)

Έκλυση θερμότητας από λαμπτήρες

$$Q_g = N_{\text{lamp}} * H * W$$

H = αριθμός ωρών = 4 ώρες εργάζεται ο εργάτης

$$Q_g = 2 * 4 * 60 * 0.86$$

$$Q_g = 413 \text{ Kcal}$$

Έκλυση θερμότητας από άλλες πηγές

$$Q_h = 0$$

Σύνολο ψυκτικών φορτίων (Kcal/24ωρο)

Από τα τοιχώματα $Q_a = 10047 \text{ Kcal}$

Από τα προϊόντα $Q_b = 2610 \text{ Kcal}$

Από την είσοδο αέρα $Q_c = 6420 \text{ Kcal}$

Από την αναπνοή προϊόντων $Q_e = 512 \text{ Kcal}$

Από τους εργαζόμενους $Q_f = 828 \text{ Kcal}$

Από τους λαμπτήρες $Q_g = 413 \text{ Kcal}$

$$Q_{\text{tot}} = 20830 \text{ kcal/24h}$$

Σύνολο ψυκτικών φορτίων

$$Q_{\text{tot}} = 20830 \text{ kcal/24h}$$

Θα πρέπει επίσης να λάβουμε υπόψη το θερμικό φορτίο που προσθέτει ο ανεμιστήρας του εξατμιστή κατά τη λειτουργία του. Εάν αυτός έχει ισχύ 100 W και δουλεύει 16 ώρες θα παράγει θερμότητα:

$$Q_h = W * H * 0.86 = 100 * 16 * 0.86$$

$$Q_h = 1376 \text{ Kcal/24h}$$

$$Q_{\text{tot}} = 20830 \text{ kcal/24h}$$

$$Q_{\text{tot}} = 22206 \text{ kcal/24h}$$

Σύνολο ψυκτικών φορτίων

$$Q_{\text{tot}} = 22206 \text{ kcal/24h}$$

Εάν το ψυκτικό συγκρότημα εργάζεται 16 h ημερησίως θα πρέπει να είναι αποδόσεως:

$$Q = \frac{Q_{\text{tot}}}{16} * 24 = \frac{22206}{16} * 24 \Rightarrow Q = 33309 \text{ Kcal/24h}$$

Επομένως το ψυκτικό συγκρότημα που θα επιλέξουμε θα πρέπει να έχει ημερήσια απόδοση (ψυκτική ισχύ):

$$33309 \text{ Kcal/24h ή}$$

$$1388 \text{ Kcal/h ή}$$

$$1613 \text{ W}$$

9.7 Παράρτημα 7: Πρόψυξη και ψύξη

Πρόψυξη

Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος
Ν. Κατσούλας, Κ. Κίττας

Πρόψυξη

Η θερμοκρασία των καρπών κατά τη συγκομιδή δεν διαφέρει πολύ από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος και μπορεί να είναι υψηλή και μέχρι 40° C. Στη θερμοκρασία αυτή η αναπνευστική δραστηριότητα του καρπού είναι πολύ υψηλή και ο χρόνος διατήρησης πολύ σύντομος. Για το λόγο αυτό καλά είναι η συγκομιδή να γίνεται κατά τις πρωινές ώρες, ώστε το προϊόν να διατηρεί χαμηλή θερμοκρασία αμέσως μετά τη συγκομιδή. Όσο πιο γρήγορη είναι η μείωση της θερμοκρασίας του καρπού στο επιθυμητό επίπεδο θερμοκρασίας συντήρησης, τόσο καλύτερα εξασφαλίζεται η μακρά συντηρησιμότητά του στα ψυγεία. Η γρήγορη αφαίρεση της θερμότητας αγρού μετά τη συγκομιδή ονομάζεται *πρόψυξη* και είναι μεγάλης σημασίας στην καλή συντήρηση των νωπών καρπών.



- **Πρόψυξη** για γρήγορη απομάκρυνση της θερμότητας αγρού
- Διαφορετικός τεχνολογικός εξοπλισμός από την συντήρηση
- **Κύρια ψύξη ή συντήρηση** για έλεγχο των φυσιολογικών παραγόντων που επιδρούν αρνητικά στην μετασυλλεκτική ζωή των προϊόντων.

Πρόψυξη και συντήρηση με ψύξη

Η πρόψυξη και η συντήρηση με ψύξη είναι δυο διαφορετικές εργασίες κατά τη μεταχείριση των νωπών οπωροκηπευτικών προϊόντων και έχουν διαφορετικές απαιτήσεις σε ψυκτικό φορτίο. Για τα αχλάδια π.χ. το ψυκτικό φορτίο που χρειάζεται για την πρόψυξη σε 24 ώρες είναι περίπου 100 φορές μεγαλύτερο απ' ό,τι το φορτίο που χρειάζεται για διατήρηση της θερμοκρασίας για τη συντήρηση στο ίδιο χρο-νικό διάστημα. Κατά τη διάρκεια της πρόψυξης μεγάλες ταχύτητες αέρα στο χώρο δεν αυξάνουν τις απώλειες υγρασίας καθώς μειώνεται η θερμοκρασία του προϊόντος. Αν όμως κατά τη συντήρηση έχουμε μεγάλες ταχύτητες αέρα, οι απώλειες υγρασίας είναι μεγάλες και η διατήρηση της σχετικής υγρασίας κατά τη συντήρηση σε υψηλά επίπεδα είναι αναγκαία για αποφυγή των απωλειών υγρασίας.

Πρόψυξη

Η πρόψυξη των νωπών καρπών γίνεται σε ειδικές εγκαταστάσεις, γιατί οι ψυκτικές εγκαταστάσεις των κοινών ψυγείων και των μέσων μεταφοράς (πλοία, αυτοκίνητα ψυγεία και βανόνια ψυγεία) έχουν σχεδιασθεί μόνο για την αφαίρεση της θερμότητας αναπνοής. Η πρόψυξη είναι απαραίτητη για τη μεταφορά νωπών καρπών σε μακρινές αποστάσεις, π.χ. από την Ελλάδα στις αγορές του εξωτερικού, και είναι απαραίτητο το προϊόν να έχει αποκτήσει την επιθυμητή θερμοκρασία πριν την φόρτωση του στο μεταφορικό μέσο

■ Πρόψυξη (Ορισμοί & Σπουδαιότητα)

- ✓ Ταχεία μείωση της θερμοκρασίας του προϊόντος. (Rudnucki RM, Nowak J, Goszczynska DM, 1991)
- ✓ Άμεση πτώση της θερμοκρασίας αγρού του προϊόντος μετά την συγκομιδή του. (Nowak J, Mynett k, 1985)
- ✓ Ταχεία απομάκρυνση της θερμότητας του αγρού, από τα συγκομιζόμενα προϊόντα με στόχο την επιβράδυνση των μεταβολικών διεργασιών και την μείωση της ποιοτικής και ποσοτικής υποβάθμισής τους. (Janik J, 1986)
- ❖ Είναι η πιο σπουδαία μετασυλλεκτική διαδικασία για τη διατήρηση της **φρεσκάδας**, της **ελαστικότητας** και της **εμπορικότητας** ενός προϊόντος. (Baird CD, Gaffney JJ, 1976)
- ❖ Είναι το κλειδί για την επιτυχή συντήρηση νωπών καρπών και λαχανικών. (Bartlett D, 1971)

■ Πρόψυξη (Επιδράσεις)

✓ Η θερμοκρασία του αγρού προκαλεί ταχεία υποβάθμιση της αξίας του

✓ Φράουλες σε θερμοκρασία 30° 10% απώλειες αμέσως μετά τη συγ 20% απώλειες μετά από 2 ώρες 60% απώλειες μετά από 8 ώρες (Mitchell et al, 1972), (Nunes et al, 1995)

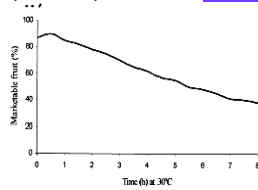


Fig. 1. Effect of delay before cooling on the quality of Shasta strawberries [3]. (Mitchell et al, 1972)

❖ Καθυστερεί την υποβάθμιση της αξίας και την οξείδωση ασπίματος επιβραδύνοντας την ανάπτυξη, των υπεύθυνων για τη διαδικασία, μικροοργανισμών

❖ Μειώνει τον μαρσισμό, γιατί η διαπνοή και η εξάτμιση γίνονται πιο αργά σε χαμηλότερες θερμοκρασίες (Tadhg Brosnan, Da-wen Sun, 2001)

■ Πρόψυξη (Επιδράσεις)

❖ Επιβραδύνει τις μεταβολικές αλλαγές (ενζυμική δραστηριότητα) και καθυστερεί την ωρίμανση.

✓ Μεταβολισμός:

❑ Μείωση 9,5°C μείωσε στο 1/2 τα μεταβολικά επίπεδα της αναπνοής και 2x την ποιότητα κατά την συντήρηση σταφυλιών (Winkler et al, 1974)

❑ Για κάθε 10°C που αυξάνει η θερμοκρασία 2x αναπνοή (Reid MS, 1991)(Ornamental crops)

❑ Η γενική υποβάθμιση στους 15°C είναι 2,5 φορές μεγαλύτερη εκείνης στους 0°C (Senti and Rizek, 1975)

■ Αιθυλένιο:

❑ Μειώνει την παραγωγή του αλλά και την ευαισθησία του προϊόντος σε αυτό. (Prange RK, 1994)

■ Πρόψυξη & Συσκευασία

• Πρόψυξη πριν από την συσκευασία:

- Μόνο εάν αυτή καθυστερεί πάνω από 24ώρες και το προϊόν υφίσταται φθορές από υπερωρίμανση, απώλεια υγρασίας και μικροοργανισμούς.
- Αυξάνει το κόστος γιατί προψύχεται και προϊόν που κατά την διαλογή 'απορριφθεί' (-20%)

❖ Οικονομία από το χαμηλότερο κόστος της μη πρόψυξης εξασφαλίζεται μόνο αν δεν υπάρχει μεγάλη υποβάθμιση του προϊόντος

• Πρόψυξη μετά από την συσκευασία:

- Η πρόψυξη συσκευασμένων δυσκολεύει την απομάκρυνση της «θερμότητας αγρού», λόγω περιορισμένης κυκλοφορίας αέρα.

■ Μέθοδοι Ψύξης & Στάδιο Ζωής

Προϊόντος

Μέθοδος Ψύξης	Στάδιο Ζωής Προϊόντος
1) <u>Room cooling</u> Ψυκτικός θάλαμος	➢ <u>Συντήρηση & Πρόψυξη</u> ❑ Ακτινοβολία
2) <u>Forced-air cooling</u> Βεβιασμένης κυκλοφορίας	➢ <u>Πρόψυξη</u> ❑ Μεταφορά
3) <u>Hydro cooling</u> Υδροψύξη	➢ <u>Πρόψυξη</u> ❑ Μεταφορά
4) <u>Vacuum cooling</u> Ψύξη με κενό	➢ <u>Πρόψυξη</u> ❑ Αγωγιμότητα & εξάτμιση
5) <u>Hydro-vacuum cooling</u> Ψύξη με κενό και εξάτμιση	➢ <u>Πρόψυξη</u> ❑ Αγωγιμότητα & εξάτμιση
6) <u>Package icing</u> Ψύξη με πάγο στην συσκευασία	➢ <u>Συντήρηση & Πρόψυξη</u> ❑ Μεταφορά

■ Πρόψυξη (Ταχύτητα Ψύξης & Κριτήρια Επιλογής)

• Ταχύτητα Ψύξης

✓ Μέγεθος προϊόντος

✓ Πυκνότητα προϊόντος

✓ Υλικά και τρόπος συσκευασίας

✓ Μέθοδος ψύξης και συνθήκες λειτουργίας

■ Κριτήρια μεθόδου πρόψυξης

✓ Είδος προϊόντος

✓ Φυσιολογικά και φυσικά χαρ/κά προϊόντος

✓ Απόσταση από την αγορά ή την τοποθεσία συντήρησης.

✓ Υπάρχουσες εγκαταστάσεις

✓ Αρχικό κεφάλαιο επένδυσης

✓ Λειτουργικό κόστος

✓ Εργατικό κόστος

✓ Κόστος συντήρησης και ενέργειας

✓ Ισοβάθμιση κόστους από την βελτιωμένη ποιότητα

■ Συνιστώμενη μέθοδος πρόψυξης

Προϊόν	Μέθοδος Πρόψυξης / Precooling Method
Τομάτα	Room / Forced-air cooling
Αγγούρι	Hydro / Forced-air cooling
Μαρούλι	Hydro / Vacuum cooling, Package icing
Λάχανο	Room / Forced-air / Vacuum cooling
Κουλουπίδι	Hydro / Vacuum / Forced-air cooling
Μπρόκολο	Hydro / Forced-air cooling, Package icing
Μελιτζάνα	Room / Forced-air cooling
Σπανάκι	Hydro / Vacuum cooling, Package icing
Αχλάδια	Room / Hydro cooling
Κεράσια	Forced-air / Hydro cooling
Σταφύλια	Forced-air cooling
Ροδάκινα	Forced-air / Hydro cooling
Φράουλες	Room / Forced-air / Hydro cooling
Μήλα	Room / Forced-air / Hydro cooling

Room cooling (Θάλαμο κοινής συντήρησης)

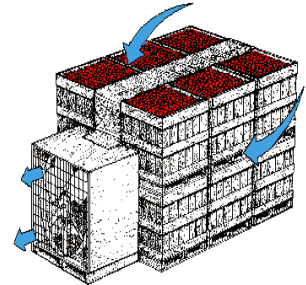
- Αργή μέθοδος, ιδίως αν τα κιβώτια έχουν μικρά ανοίγματα
 - $0,5^{\circ}\text{C} / \text{h}$ (Gibbon, 1972)
- Αυξημένη πιθανότητα φόρτωσης προϊόντος που δεν έχει προψυχθεί ικανοποιητικά, λόγω της μικρής ταχύτητας ψύξης
- Μεγαλύτερη επιφάνεια για αποδοτική πρόψυξη. Αραιή τοποθέτηση των παλετών σε μονές σειρές.
- Διπλοί χειρισμοί για εξοικονόμηση χώρου μετά την πρόψυξη
- Έκθεση του ήδη συντηρούμενου προϊόντος σε μεγάλες ταχύτητες αέρα, με μεγάλες απώλειες υγρασίας.

- Για συντήρηση: έως 60 m/min ή 1m/s.
- Για πρόψυξη: 60-120m/min ή 1-2m/s.

Forced-air cooling (Βεβιασμένης κυκλοφορίας ψυχρού αέρα)

(Guillou R.,1960)

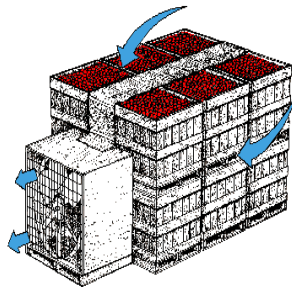
- Η πρόψυξη επιτυγχάνεται με την δημιουργία διαφοράς πίεσης στις δύο αντίθετες πλευρές του κιβωτίου ή της παλέτας (Fraser HW, 1992) (Boyette MD et al,1994)
- Εξαναγκασμένη κίνηση του αέρα μέσα από την μάζα του προϊόντος. (Parson RA et al, 1972)



Forced-air cooling (Βεβιασμένης κυκλοφορίας ψυχρού αέρα)

(Guillou R.,1960)

1. Κυκλοφορία υψηλής ταχύτητας ψυχρού αέρα σε ψυκτικούς θαλάμους.
2. Εξαναγκασμός διέλευσης ρεύματος αέρα διαμέσου συσκευασμένου προϊόντος με εφαρμογή διαφοράς πίεσης
3. Εξαναγκασμός διέλευσης ρεύματος αέρα διαμέσου των κενών που σχηματίζει το μη συσκευασμένο προϊόν καθώς αυτό κινείται κατά μήκος μιας σήραγγας πρόψυξης (Tadhg Brosnan, Da-wen Sun, 2001)



Forced-air cooling (Βεβιασμένης κυκλοφορίας ψυχρού αέρα)

(Guillou R.,1960)

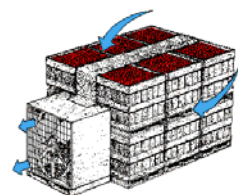
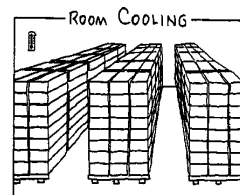
- Παράγοντες που επηρεάζουν την ταχύτητα άρα και το κόστος
 1. Σχήμα και μέγεθος προϊόντος
 2. Μορφή (συσκευασμένο ή μη)
 3. Ανοίγματα υλικού συσκευασίας (5% πλευρικά ανοίγματα)
 4. Αρχική θερμοκρασία
 5. Τελική επιθυμητή θερμοκρασία
 6. Θερμοκρασία, σχετική υγρασία και παροχή ρεύματος αέρα (Lindsay RT et al,1982)

Forced-air cooling (Βεβιασμένης κυκλοφορίας ψυχρού αέρα)

(Guillou R.,1960)

- ✓ Εύκολη μετατροπή των υπάρχοντων εγκαταστάσεων (Mitchell FG,1985)
- ✓ Χρόνος Forced-air cooling = 10-25% του Room cooling (Ryall and Pentzer, 1982)
- ✓ Ακριβότερη μέθοδος πρόψυξης, λόγω της υψηλής κατανάλωσης ενέργειας που απαιτεί. Επομένως περιορίζεται η χρήση της σε λίγα προϊόντα (Baird et al,1988)

Room cooling vs. Forced-air cooling



- 60-120m/min
- Απόσταση σειρών τουλάχιστον 0,5m
- Παροχή ρεύματος αέρα: $1,8 \cdot 10^{-4}$ έως $2,5 \cdot 10^{-4}$ m³/s·kg
- 200-400m/min
- Κάλυψη κενών μεταξύ παλετών με μουσαμά
- Παροχή ρεύματος αέρα: 10^{-3} έως $3 \cdot 10^{-3}$ m³/s·kg
- 4 έως 10 φορές γρηγορότερη
- Ακριβότερη μέθοδος (ενέργεια)

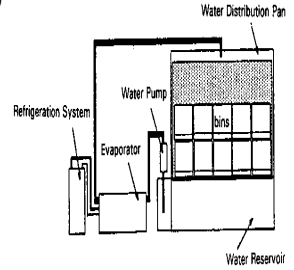
Hydro-cooling (Υδροψύξη)

- Επαφή των προϊόντων με κινούμενο ψυχρό νερό (εμβάπτιση ή/και διαβροχή).
- Η πιο γρήγορη και εργονομική μέθοδος είναι ο συνδυασμός εμβάπτισης και διαβροχής (Grizzell and Bennett, 1966)
- Μόνο για προϊόντα που ανέχονται την διαβροχή
- Προσοχή στα φυλλώδη (παθογόνα)



Hydro-cooling (Υδροψύξη)

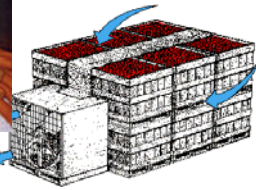
- Θερμοκρασία νερού ανάλογα με είδος προϊόντος (κρυοτραυματισμοί)
- Αναπλήρωση χαμένης υγρασίας
- Προσοχή στα παθογόνα (ελαφριά χλωρίωση νερού 100ppm) (ThompsonJF,1998) (GrecoRJ et al,1998)(FerreiraMD et al, 1996)
- Μεγάλου όγκου προϊόντα: 45-60min
- Μικρού όγκου προϊόντα: <10min



Hydro-cooling (Υδροψύξη)

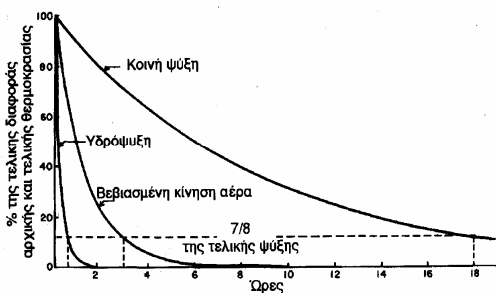


Hydro-cooling vs. Forced-air cooling



- Ικανότητα πρόψυξης διπλάσιας ποσότητας προϊόντος (Lambrinos G et al, 1997)
- Περίπου 15 φορές γρηγορότερη
- 10-60min
- Φθηνότερη μέθοδος

Hydro-cooling vs Forced-air cooling vs Room cooling



Package icing (Ψύξη με πάγο στην συσκευασία) & Vacuum-cooling (Ψύξη με κενό)

1. Επαφή προϊόντος με μικρά κομμάτια τεμαχισμένου πάγου (*top icing*) ή με υγρό πάγο (*liquid icing*)
2. Μετατροπή μέρους της αισθητής θερμότητας του προϊόντος σε λανθάνουσα μέσω της εξάτμισης του νερού από αυτό. Το νερό σε πιέσεις μικρότερες της ατμοσφαιρικής βράζει σε χαμηλότερες από 100 °C θερμοκρασίες.



Τεχνική της ψύξης

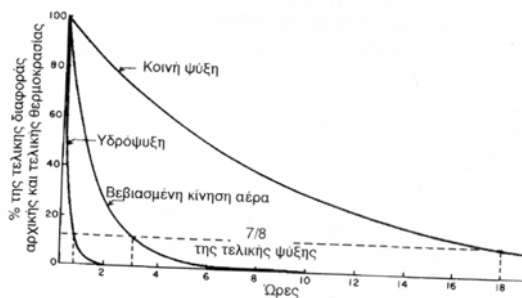
Κατά την ψύξη η μεταφορά θερμότητας από το προϊόν στο μέσο ψύξης (ψυχρός αέρας, νερό, πάγος), είναι δυνατόν να γίνεται με διάφορους τρόπους όπως:

- με θερμική αγωγιμότητα,
- μεταφορά θερμότητας,
- θερμική ακτινοβολία και
- εξάτμιση

Μέθοδοι πρόψυξης

Για την πρόψυξη του προϊόντος εφαρμόζονται διάφορες μέθοδοι, όπως η πρόψυξη με βεβιασμένη κίνηση αέρα, υδροψύξη, πρόψυξη με πάγο, πρόψυξη σε κενό. Από τους τρόπους αυτούς ο πιο διαδεδομένος είναι η πρόψυξη με βεβιασμένη κίνηση αέρα αλλά για κάθε προϊόν ένας από τους τρόπους αυτούς προσφέρεται και προσαρμόζεται καλύτερα στις απαιτήσεις του προϊόντος.

Μέθοδοι πρόψυξης



Κριτήρια επιλογής της μεθόδου ψύξης

Προκειμένου να αποφασίσουμε ποια μέθοδο θα επιλέξουμε να εφαρμόσουμε για πρόψυξη λαμβάνουμε υπ' όψη μας τους ακόλουθους παράγοντες:

- το είδος του προϊόντος που πρόκειται να προψύξουμε,
- το κατά πόσο συμβιβάζεται η μέθοδος με τις υπάρχουσες εγκαταστάσεις,
- το αρχικό κεφάλαιο που διαθέτουμε για επένδυση,
- το λειτουργικό κόστος,
- τα απαιτούμενα εργατικά και
- το κόστος συντήρησης και το ενεργειακό κόστος

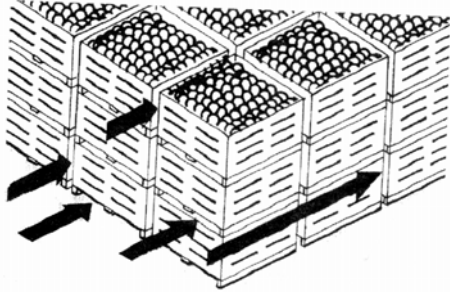
Πρόψυξη σε θαλάμους κοινής συντήρησης

Η μέθοδος αξιοποιεί τις υπάρχουσες εγκαταστάσεις συντήρησης και το προϊόν τοποθετείται μετά τη συγκομιδή για πρόψυξη στους θαλάμους συντήρησης. Σε τέτοιους θαλάμους συντήρησης ο αέρας αφού περάσει από το ψυκτικό στοιχείο διανέμεται στο χώρο με τα προϊόντα. Η μέθοδος αυτή πρόψυξης είναι ο πιο αργός τρόπος και χρειάζεται μεγάλο χρονικό διάστημα για να φθάσει το προϊόν στην επιθυμητή χαμηλή θερμοκρασία.

Πρόψυξη σε θαλάμους κοινής συντήρησης

Τα καλύτερα αποτελέσματα επιτυγχάνουμε όταν η στοιβασία του προϊόντος γίνεται έτσι ώστε ο ψυχρός αέρας να έρχεται σε επαφή και με τις 4 πλευρές κάθε παλέτας. Ρεύμα αέρα τουλάχιστον με ταχύτητα 60-120 m/mph χρειάζεται για να εξασφαλίσει την απορρόφηση της θερμότητας αγρού από το προϊόν. Τα κιβώτια πρέπει να έχουν μεγάλα ανοίγματα ώστε να επιτρέπουν εύκολο αερισμό και τις απαραίτητες εναλλαγές αέρα από το εσωτερικό κάθε κιβωτίου για να προψύχεται το προϊόν ικανοποιητικά.

Πορεία ψυχρού αέρα δια μέσου παλετοκιβωτιών. Η ψύξη γίνεται κυρίως με αγωγιμότητα από την επιφάνεια προς το εσωτερικό



Πρόψυξη με βεβιασμένη κίνηση ψυχρού αέρα

Το προϊόν προψύχεται με τη δημιουργία διαφοράς πίεσεως στις δυο αντίθετες πλευρές του κιβωτίου ή της παλέτας. Η διαφορά αυτή της πίεσης δημιουργεί ένα ισχυρό ρεύμα αέρα που κυκλοφορεί όχι μόνο γύρω από τις παλέτες αλλά και μέσα στη μάζα του προϊόντος, γύρω από κάθε φρούτο ή λαχανικό και απομακρύνει τη θερμότητα. Η ταχύτητα πρόψυξης του προϊόντος με ψυχρό αέρα αυξάνεται όσο αυξάνεται και η επιφάνεια του προϊόντος, που έρχεται σε επαφή με τον ψυχρό αέρα. Με τη βεβιασμένη κίνηση του ψυχρού αέρα δια μέσου των υλικών συσκευασίας και γύρω από κάθε καρπό είναι δυνατόν να προψυχθεί το προϊόν στο 1/4 ως το 1/10 του χρόνου που θα χρειάζεται το προϊόν να φθάσει στο ίδιο επίπεδο θερμοκρασίας σε ένα κοινό ψυγείο.

Πρόψυξη με βεβιασμένη κίνηση ψυχρού αέρα

Η πρόψυξη με βεβιασμένη κίνηση ψυχρού αέρα γίνεται σε ειδικές σήραγγες ψύξεως στις οποίες ο ψυχρός αέρας κινείται με ταχύτητα 200 ως 400 m/min στην επιφάνεια των καρπών, όσο χρόνο τα κιβώτια συσκευασίας κινούνται κατά μήκος της σήραγγας πάνω σε μεταφορικές ταινίες. Η ταχύτητα πρόψυξης σε τέτοιες σήραγγες είναι δυνατό να ρυθμιστεί με τη ροή του ψυχρού ρεύματος και το 1/2 του χρόνου πρόψυξης διαρκεί 20 ως 60 λεπτά.

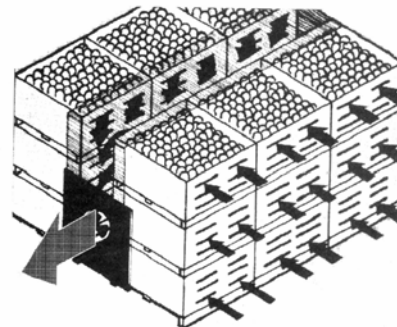
Μόλις το προϊόν αποκτήσει με την πρόψυξη την επιθυμητή θερμοκρασία απομακρύνεται από τη σήραγγα πρόψυξης για να αποφύγουμε τις επί πλέον απώλειες υγρασίας ψυγείο.

Πρόψυξη σε θαλάμους κοινής συντήρησης

Μειονεκτήματα

- Η μέθοδος είναι σχετικά αργή, ιδιαίτερα με κιβώτια που έχουν μικρά ανοίγματα
- Λόγω του ότι τα προϊόντα ψύχονται αργά, μπορεί να συμβεί να γίνει η φόρτωση με προϊόν που δεν έχει προψυχθεί ικανοποιητικά
- Τα πιο ευαίσθητα προϊόντα μπορεί να υποβαθμισθούν ποιοτικά κατά το χρόνο της πρόψυξης
- Η μέθοδος απαιτεί μεγαλύτερη επιφάνεια για μια αποδοτική πρόψυξη από ότι άλλοι μέθοδοι

Κίνηση του αέρα σε εγκατάσταση πρόψυξης με βεβιασμένη κίνηση αέρα. Οι παλέτες διατάσσονται σε δύο σειρές και σκεπάζονται με μουςαμά ώστε να σχηματίζουν αεραγωγό.



Υδρόψυξη

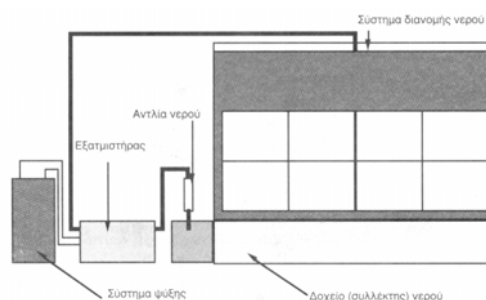
- Η θερμοκρασία αγρού είναι δυνατόν να αφαιρεθεί γρήγορα από τους νωπούς καρπούς αν έλθουν σε επαφή με τον κινούμενο ψυχρό νερό. Η υδρόψυξη είναι η πιο ταχεία μέθοδος πρόψυξης γιατί το νερό έχει μεγάλη ικανότητα απορρόφησης θερμότητας. Με την υδρόψυξη δεν έχουμε απώλειες νερού. Επίσης οι καρποί που έχουν αφυδατωθεί ελαφρά αναλαμβάνουν και αποκτούν βάρος με την υδρόψυξη. Η υδρόψυξη είναι αποδοτική όταν:
- το νερό κινείται και έρχεται σε επαφή με όλη την επιφάνεια των καρπών.
 - η θερμοκρασία του νερού είναι όσο γίνεται πιο χαμηλή.

Υδρόψυξη

Οι πιο συνηθισμένες εγκαταστάσεις υδρόψυξης είναι του τύπου μεταφορικής ταινίας, όπου το προϊόν ελεύθερο ή σε κιβώτια μεταφέρεται κάτω από πύργους καταιονισμού ψυχρού νερού. Η κίνηση του νερού στο σύστημα αυτό είναι συνεχής.

Σε έναν άλλο τύπο υδρόψυξης τα προϊόντα τοποθετούνται σε χώρο όπου το ψυχρό νερό κυκλοφορεί από πάνω προς τα κάτω, χωρίς τη χρήση μεταφορικής ταινίας (γίνεται πιο χαμηλή).

Πλευρική όψη υδροψυκτήρα



Υδρόψυξη

Η υδρόψυξη εφαρμόζεται για εκείνα τα **προϊόντα που ανέχονται τη διαβροχή με νερό** και τυχόν χημικές ουσίες που προστίθενται στο υδατόλουτρο για να αποφεύγεται η ανάπτυξη παθογόνων μικροοργανισμών.

Τα μέτρα φυτούγειας είναι απαραίτητα στη μέθοδο της υδρόψυξης και συνίστανται:

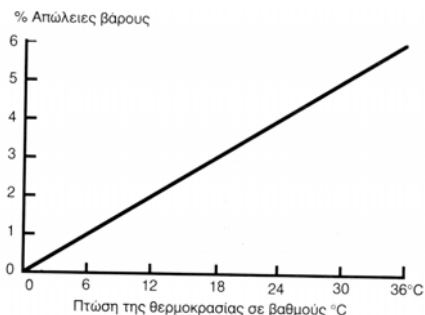
- α) στο **περιοδικό καθαρίσμα των μηχανημάτων** και
- β) στην **προσθήκη μικρών ποσοτήτων χλωρίου στο νερό της υδρόψυξης**.

Μετά την υδρόψυξη τα προϊόντα τοποθετούνται σε θαλάμους συντήρησης με την επιθυμητή θερμοκρασία, ώστε για να αποφεύγονται αδικαιολόγητες καθυστερήσεις που συντελούν στη θέρμανση του προϊόντος

Πρόψυξη με εξάτμιση σε κενό

Οι μικροί καρποί (κεράσια, βερίκοκα κ.λ.π.) που έχουν μεγάλη σχέση επιφάνεια/όγκο είναι δυνατόν να προψυχθούν με **εξάτμιση του νερού σε κενό**. Η **τεχνική είναι γνωστή ως "πρόψυξη σε κενό"** και είναι **γρήγορη όσο και η υδρόψυξη**. Το προϊόν σε παλέτες τοποθετείται σε στεγανούς θαλάμους και η πίεση μειώνεται σε 0,5 ως 1 kPa. Στην πίεση αυτή το νερό εξατμίζεται σε 1° C και το προϊόν ψύχεται με την αφαίρεση της λανθάνουσας θερμότητας, που προκαλεί η εξάτμιση του νερού από την επιφάνεια των καρπών. Για πτώση της θερμοκρασίας 5° C δημιουργούνται απώλειες βάρους 1% από εξάτμιση νερού.

Απώλειες βάρους από εξάτμιση νερού σε σχέση με την πτώση της θερμοκρασίας



Πρόψυξη με πάγο

Ορισμένα προϊόντα ψύχονται γεμίζοντας τα κιβώτια, όπου είναι συσκευασμένο το προϊόν, με πάγο. Ο πάγος προστίθεται τεμαχισμένος σε μικρά κομμάτια για να έρχεται σε επαφή με το προϊόν. Η άμεση επαφή του προϊόντος με τον πάγο έχει ως αποτέλεσμα τη γρήγορη αφαίρεση θερμότητας. Με το λιώσιμο όμως του πάγου δημιουργούνται κενά γύρω από το προϊόν και επιβραδύνεται η ψύξη. Η μέθοδος της συσκευασίας με πάγο εξασφαλίζει υψηλή σχετική υγρασία, απαιτεί όμως συσκευασία σε ειδικά κιβώτια που αντέχουν την ύγραση και αν χρησιμοποιούνται χαρτοκιβώτια απαιτείται αδιαβροχοποίηση του υλικού με εμπότισμό σε ειδικές κηρωτικές ουσίες

Συμπερασματικά για την πρόψυξη

- ✓ Η γρήγορη πρόψυξη και ο καλός έλεγχος της θερμοκρασίας είναι παράγοντες μεγάλης σημασίας στην εμπορία των προϊόντων
- ✓ Η ψύξη είναι από τους κυριότερους μετασλλεκτικούς χειρισμούς και οποιαδήποτε άλλη μεταχείριση δεν αντικαθιστά τα ευεργετικά της οφέλη
- ✓ Η πρόψυξη και η συντήρηση με ψύξη είναι δύο διαφορετικές λειτουργίες οι οποίες απαιτούν διαφορετικά μέσα και γίνονται σε διαφορετικό χρόνο

Ψύξη οπωροκηπευτικών

Εργαστήριο Γεωργικών
Κατασκευών και Ελέγχου
Περιβάλλοντος
Ν. Κατσούλας, Κ. Κίττας

Ψύξη οπωροκηπευτικών



Κύρια Ψύξη

✓ Απλοί ψυκτικοί θάλαμοι

- Ρύθμιση θερμοκρασίας
- Ρύθμιση υγρασίας
- 20,95%O₂ 78,08%N₂ 0,03%CO₂
- Σταδιακά μειώνεται το O₂ και αυξάνεται το CO₂
- Αύξηση συγκέντρωσης αιθυλενίου
- **Ανάγκη αερισμού**, λόγω αδυναμίας χειρισμού του πλεονάζοντος CO₂ και λόγω ανάγκης εμπλουτισμού με O₂ της ατμόσφαιρας για αποφυγή αναεροβίωσης.

✳ Ασταθείς συνθήκες συντήρησης, με αρνητικές συνέπειες για το αποθηκευμένο προϊόν

Είδος	Θερμοκρασία °C	Σχετική υγρασία %	Διάρκεια συντήρησης	Κρίσιμη θερμοκρασία παγάματος °C	Περιεκτικό- τα σε νερό %	Ειδική θεرمότητα (Btu/lb.°F)
Αβokάντο	4,4-13	85-90	2-8 εβδομ.	-0,3	31,5	0,81
Ακτινίδια	-0,5 - 0	90-95	3-5 μήνες	-1,6	82	0,86
Αχλάδια	-1,5 - -0,5	90-95	2-7 μήνες	-1,5	83,2	0,87
Βερικοκα	-0,5- 0	90-95	1-3 εβδομ.	-0,3	76	0,88
Βύσσινα	0	90-95	3-7 ημέρες	-1,7	83,7	0,87
Garapfruit	14-15,5	85-90	6-8 εβδομ.	-1	87,5	0,90
Δαμάσκηνα	-0,5 - 0	90-95	2-5 εβδομ.	-0,8	86,6	0,89
Ελιές	5 - 10	85-90	4-6 εβδομ.	-1,4	80	0,84
Κεράσια	-1 - 0,5	90-95	2-3 εβδομ.	-1,8	80,4	0,84
Κυδώνια	-0,5 - 0	90	2-3 μήνες	-2	83,8	0,87
Λεμόνια	14,3-15,6	85-90	1-6 μήνες	-1,4	87,4	0,90
Μανταρίνια	4	90-95	2-4 εβδομ.	-1	87,3	0,90
Μήλα	-1 - 4	90-95	1-12 μήνες	-1,5	84,1	0,87
Μπανάνες	13 - 14	90-95	-	-0,7	75,7	0,81
Πορτοκάλια	3-9	85-90	3-8 εβδομ.	-1,2	85,5	0,88
Ροδάκινα	-0,5 - 0	90-95	2-4 εβδομ.	-0,9	98,1	0,91
Σταφύλια	-1 - -0,5	90-95	1-6 μήνες	-2,1	81,6	0,85
Σύκα	-0,5- 0	85-90	7-10 ημερ.	-2,4	78	0,82
Φράουλες	0	95	1-2 εβδομ.	-0,8	-	-

Πηγή: Hardenburg et al 1990.

Γενικά για την ψύξη των προϊόντων

Τα οπωροκηπευτικά προϊόντα αμέσως μετά τη συγκομιδή τους πρέπει να ψυχθούν για να διατηρηθεί η ποιότητα τους σε ικανοποιητικά επίπεδα, έτσι ώστε να είναι δυνατή η εμπορία τους για μεγάλο χρονικό διάστημα.

Με την ψύξη επιβραδύνονται οι ενζυματικές αντιδράσεις και κυρίως η αναπνοή και η ωρίμανση, περιορίζονται οι απώλειες υγρασίας από τη διαπνοή και μειώνεται η ανάπτυξη παθογόνων οργανισμών.

Γενικά για την ψύξη των προϊόντων

Η ωρίμανση η οποία συνεχίζεται και μετά τη συγκομιδή είναι απαραίτητη για ορισμένα προϊόντα για να αποκτήσουν καλή ποιότητα και κατανάλωση. Η ψύξη όμως χρειάζεται για να αποφύγουμε την υπερωρίμανση και την εν συνεχεία κατάρρευση των φρούτων και λαχανικών πριν το προϊόν φθάσει στα χέρια του καταναλωτή.

Η έγκαιρη ψύξη είναι σπουδαία για τα περισσότερα φρούτα και λαχανικά γιατί αν καθυστερήσει η πρόψυξη έστω και για λίγες ώρες η φθορά των προϊόντων αυτών θα είναι μεγάλη. Η φθορά φρούτων για διατήρηση μιας ώρας στους 30 °C είναι η ίδια με τη διατήρηση μιας ημέρας σε 10 °C ή με τη διατήρηση μιας εβδομάδας στους 0 °C.

Ο ρόλος της θερμοκρασίας στη μείωση των μεταβολικών δραστηριοτήτων

Όλα τα νωπά οπωροκηπευτικά είναι φυτικοί ιστοί οι οποίοι παρουσιάζουν μεταβολικές δραστηριότητες που είναι απαραίτητες για να διατηρηθούν στη ζωή τα κύτταρα τους. Η ενέργεια που χρειάζονται οι ιστοί αυτοί για τις μεταβολικές τους δραστηριότητες εξασφαλίζεται με την αναπνοή την καύση δηλαδή διαφόρων υποστρωμάτων (άμυλο, σάκχαρο) τα οποία έχουν συσσωρευτεί ως αποθέματα τροφών.

Ο ρόλος της θερμοκρασίας στη μείωση των μεταβολικών δραστηριοτήτων

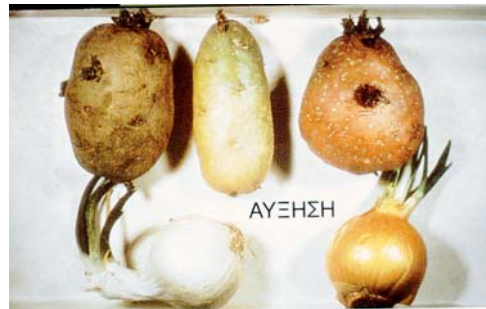
Ένα μέρος από την ενέργεια που παράγεται με την αναπνοή χρειάζεται για τις μεταβολικές αντιδράσεις (για να διατηρηθούν τα κύτταρα σε ζωή), ενώ το υπόλοιπο της ενέργειας απελευθερώνεται στο περιβάλλον υπό μορφή θερμότητας (θερμότητα αναπνοής). Το μέγεθος της θερμότητας αναπνοής εξαρτάται από το είδος του προϊόντος, την ποικιλία, το στάδιο συλλεκτικής ωριμότητας, την ύπαρξη τυχόν τραυματισμένων ιστών, τη θερμοκρασία και άλλους παράγοντες. Από τους παραπάνω παράγοντες, η θερμοκρασία είναι ο πιο σπουδαίος παράγοντας που επηρεάζει την αναπνοή.

Ο ρόλος της θερμοκρασίας στη μείωση των μεταβολικών δραστηριοτήτων

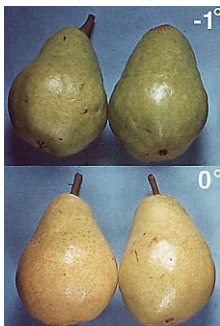
Η θερμότητα αναπνοής συνήθως αποβάλλεται στον ελεύθερο χώρο και σε κλειστούς χώρους και αν δεν ληφθεί μέριμνα για την απομάκρυνση της συντελεί στην ανύψωση της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος χώρου με κίνδυνο την καταστροφή του προϊόντος από υπερβολικά υψηλές θερμοκρασίες.

Τα ριζώδη και κονδυλώδη λαχανικά, όπως τα κρεμμύδια και οι πατάτες παρουσιάζουν αυξημένες μεταβολικές δραστηριότητες σε υψηλές θερμοκρασίες και για το λόγο αυτό υφίστανται σοβαρές απώλειες. Αντίθετα, τα προϊόντα αυτά σε χαμηλές θερμοκρασίες αναστέλλουν τη βλάστηση και το σχηματισμό ριζών και παρατείνεται η αποθήκευσή τους σε ψυχρές αποθήκες.

Επίδραση της θερμοκρασίας στις μεταβολικές δραστηριότητες κονδυλωδών λαχανικών



Επίδραση της θερμοκρασίας στις μεταβολικές δραστηριότητες αχλαδιού



Μονάδες θερμοότητας και μηχανική ενέργεια

Μονάδα έκφρασης της θερμοότητας αναπνοής	Θερμίδες (cal)
1 cal	1 cal = 4.187 J

1 cal = Θερμότητα ↑ 1 gr H₂O 1 °C

Αγγλοσαξωνικό σύστημα

1 Btu = Θερμότητα ↑ 1 lb H₂O 1 F

1 kcal = 3.998 Btu 1 F = 0.56 °C



Για κάθε mg CO₂ που παράγεται από την αναπνοή υπολογίζεται ότι απελευθερώνονται στο χώρο 2.55 cal θερμότητας

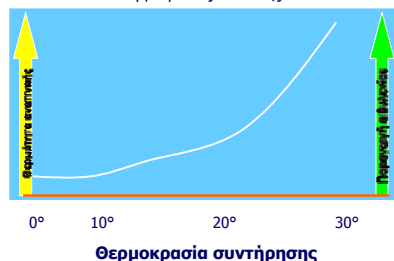
Επίδραση της θερμοκρασίας στην αναπνοή

Η θερμοκρασία παίζει το σπουδαιότερο ρόλο στην αναπνευστική δραστηριότητα των ιστών. Με τη μείωση της θερμοκρασίας επιδιώκεται να περιορισθεί ο βασικός μεταβολισμός και να καταρρεύσει το προϊόν. Για μείωση θερμοκρασίας κατά 10 °C η αναπνευστική δραστηριότητα μειώνεται από 2 έως 4 φορές.

1057

Επίδραση της θερμοκρασίας στην αναπνοή

Με τη μείωση της θερμοκρασίας μειώνεται και η θερμοκρασία αναπνοής. Το ελάχιστο της θερμοκρασίας αναπνοής παρατηρείται στη θερμοκρασία συντήρησης (0-10 °C). Αύξηση της θερμοκρασίας πάνω από 20 °C επιφέρει ταχεία αύξηση της θερμοκρασίας αναπνοής

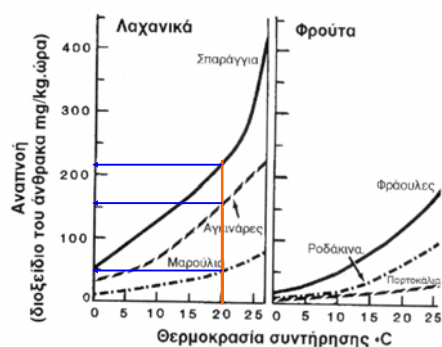


Επίδραση της θερμοκρασίας στην αναπνοή

Ορισμένα προϊόντα έχουν υψηλό βαθμό αναπνοής και για το λόγο αυτό απαιτούν μεγαλύτερο ψυκτικό φορτίο από ότι τα προϊόντα που έχουν χαμηλό βαθμό αναπνοής.

Τα σπαράγγια π.χ αναπνέουν 10 φορές πιο έντονα από ότι τα πορτοκάλια. Αυξημένη αναπνοή παρουσιάζουν και οι αγκινάρες καθώς και οι φράουλες.

Βαθμός αναπνοής τριών ειδών φρούτων και λαχανικών κατά τη συντήρηση σε διάφορες θερμοκρασίες



Υψηλές θερμοκρασίες

Η δραστηριότητα των ενζύμων στα φρούτα και λαχανικά μειώνεται σημαντικά σε θερμοκρασίες και πάνω από 30 °C. Ορισμένα ένζυμα λειτουργούν ακόμα και στους 35 °C αλλά τα περισσότερα αδρανοποιούνται τελείως στους 40 °C. Συνεχής διατήρηση ορισμένων φρούτων (μπανάνα, τομάτα) στη θερμοκρασία των 30 °C προκαλεί μαλάκωμα της σάρκας. Όταν οι καρποί εκτίθενται σε θερμοκρασίες πάνω από 35 °C, ο μεταβολισμός των κυττάρων διαταράσσεται με συνέπεια την αποδιοργάνωση των κυτταρικών μεμβρανών και τη γρήγορη φθορά του προϊόντος. Στις μπανάνες τέτοιες διαταραχές του μεταβολισμού εκδηλώνονται με απώλεια των χρωστικών, και μια υδαρή εμφάνιση του "καμένου καρπού".

Ζημιές από υψηλές θερμοκρασίες



**Ζημιές από υψηλές θερμοκρασίες
Θερμοπληξία μήλων**



Ζημιές από υψηλές θερμοκρασίες



Ζημιές από υψηλές θερμοκρασίες



Χαμηλές θερμοκρασίες

Το χαμηλότερο σημείο θερμοκρασίας του κανονικού μεταβολισμού βρίσκεται λίγο πιο πάνω από το σημείο πήξεως, το οποίο είναι μεταξύ 0 °C και -2 °C. Αν το προϊόν παγώσει διαταράσσεται σοβαρά ο μεταβολισμός και η επικοινωνία των διαφόρων οργανιδίων του κυττάρου. Με το ξεπάγωμα ο ιστός δεν αναλαμβάνει κανονική δραστηριότητα και χάνεται η συνεκτικότητα της σάρκας. Προϊόντα τροπικής-υποτροπικής προέλευσης (π.χ. τομάτες, μπανάνες, εσπεριδοειδή κ.λ.π.) πρέπει να συντηρούνται σε υψηλότερες θερμοκρασίες (>8°-14°C), ανάλογα με το είδος του προϊόντος. Έκθεση των προϊόντων αυτών σε χαμηλότερες θερμοκρασίες προκαλεί ζημιές στην ποιότητα που εκδηλώνονται με διάφορα συμπτώματα όπως π.χ. επιφανειακή στιγματώση, εσωτερικό καφέτιασμα, αδυναμία των καρπών να ωριμάσουν, μείωση της ανθεκτικότητας των ιστών σε προσβολές από μικροοργανισμούς και ανάπτυξη εσωτερικής κατάρρευσης των ιστών

Ζημιές από χαμηλές θερμοκρασίες



Ζημιές από χαμηλές θερμοκρασίες



Ζημιές από χαμηλές θερμοκρασίες



Ζημιές από χαμηλές θερμοκρασίες



2057

Ζημιές από χαμηλές θερμοκρασίες



Ζημιές από χαμηλές θερμοκρασίες σε καρπούς τομάτας



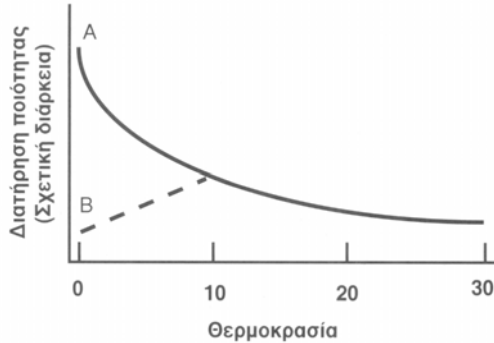
Ζημιές από χαμηλές θερμοκρασίες σε καρπούς ελιάς



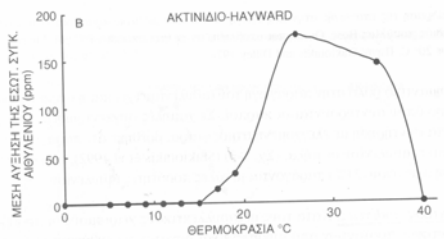
Άριστες θερμοκρασίες συντήρησης και ωρίμανσης

Για τα περισσότερα είδη φρούτων και λαχανικών το άριστο θερμοκρασίας για συντήρηση βρίσκεται λίγο πιο πάνω από το σημείο παγώματος, σημείο που αντιστοιχεί σε 0° έως -2°O. Απόκλιση από το σημείο αυτό, έστω και 1 έως 2 βαθμούς προς τα κάτω μπορεί να προκαλέσει πάγωμα, ενώ απόκλιση της θερμοκρασίας προς τα επάνω μειώνει τη συντηρησιμότητα. Για τα προϊόντα τροπικής - υποτροπικής προέλευσης η άριστη θερμοκρασία συντήρησης βρίσκεται μεταξύ 8° και 14°O, ανάλογα με το είδος του προϊόντος. Η άριστη θερμοκρασία ωρίμανσης βρίσκεται στο εύρος από 18-25 °C.

Επίδραση της θερμοκρασίας στη διατήρηση της ποιότητας προϊόντων ειδών ανθεκτικών στο ψύχος (A) και ειδών που είναι ευαίσθητα σε χαμηλές θερμοκρασίες (B)



Ρόλος της θερμοκρασίας στην παραγωγή και δράση του αιθυλενίου



Ρόλος της θερμοκρασίας στην ανάπτυξη παθογόνων μικροοργανισμών

Καθοριστικός παράγοντας στην ανάπτυξη και των παθογόνων μικροοργανισμών είναι η θερμοκρασία που επηρεάζει το μεταβολισμό τους με τον ίδιο τρόπο που επηρεάζει και τα φυτικά προϊόντα. Μερικοί από τους παθογόνους οργανισμούς που μπορούν να προξενήσουν σοβαρές ζημιές σε υψηλές θερμοκρασίες δεν αναπτύσσονται καθόλου σε χαμηλές θερμοκρασίες. Άλλοι μικροοργανισμοί εξακολουθούν την αύξηση τους και σε χαμηλές θερμοκρασίες αλλά με περιορισμένη δραστηριότητα ακόμα και σε θερμοκρασία κοντά στους 0° C

Ρόλος της θερμοκρασίας στην παραγωγή και δράση του αιθυλενίου

Το αιθυλένιο, το οποίο θεωρείται η ορμόνη ωρίμανσης των φρούτων και ο παράγοντας γήρασμού των οπωροκηπευτικών, ασκεί μεγάλη επίδραση στη συντηρησιμότητα των οπωροκηπευτικών προϊόντων.

Διατήρηση σε υψηλές θερμοκρασίες αφενός μεν αυξάνει την παραγωγή αιθυλενίου αφετέρου δε διευκολύνει τη δράση του στους φυτικούς ιστούς.

Σε χαμηλές θερμοκρασίες μειώνεται δραστικά η παραγωγή του αιθυλενίου, αλλά και οι ιστοί γίνονται λιγότερο ευαίσθητοι στο αιθυλένιο, με συνέπεια οι καρποί να ωριμάζουν με βραδύ ρυθμό και να επιβραδύνεται ο γήρασμός των ιστών.

Ρόλος της θερμοκρασίας στις απώλειες υγρασίας

Τα νωπά οπωροκηπευτικά προϊόντα όταν με τη συγκομιδή απομακρύνονται από το μητρικό φυτό εξακολουθούν να διαπνέουν και χάνουν νερό υπό μορφή υδρατμών. Η διαπνοή είναι αποτέλεσμα της δημιουργίας ελλείμματος τάσεως υδρατμών μεταξύ των μεσοκυττάρων χώρων των ιστών του προϊόντος και του περιβάλλοντος αέρα. **Σε αέρα με θερμοκρασία 25° C και 30% σχετική υγρασία το προϊόν χάνει 36 φορές περισσότερη υγρασία απ' ό τι σε περιβάλλον με 0° C και 90% σχετική υγρασία.** Έτσι η διατήρηση του προϊόντος σε χαμηλή θερμοκρασία περιορίζει δραστικά τις απώλειες υγρασίας και αποφεύγεται η υποβάθμιση της ποιότητας από συρρίκνωση και απώλεια της σπαργής των κυττάρων

Ρόλος της θερμοκρασίας στην αντιμετώπιση ζημιών από μηχανικές βλάβες

Μηχανικές ζημιές και τραυματισμοί από απόρροετους χειρισμούς μπορούν να συμβούν στα διάφορα στάδια της διακίνησης του προϊόντος και σε διαφορετικές θερμοκρασίες. **Το μέγεθος όμως της ζημιάς εξαρτάται από τη θερμοκρασία του προϊόντος.** Με τους τραυματισμούς συνήθως παράγεται αιθυλένιο που μπορεί να επιταχύνει την αναπνοή, την ωρίμανση και το γήρασμό του προϊόντος. **Η γρήγορη μείωση της θερμοκρασίας και η διατήρηση της στο σωστό επίπεδο ελαχιστοποιεί τις δυσμενείς επιδράσεις του τραυματισμού.**

Ταχύτητα ψύξης

Τα περισσότερα οπωροκηπευτικά προϊόντα διατηρούνται καλύτερα αν αμέσως μετά τη συγκομιδή τους ψύχονται χωρίς καθυστέρηση. Τα πιο ευπαθή προϊόντα, όπως η φράουλα και τα σύκα, υποβαθμίζονται ταχύτατα αν δεν ψυχθούν αμέσως μετά τη συγκομιδή τους. Η υποβάθμιση που σχετίζεται με τη θερμοκρασία είναι συνάρτηση του συνολικού χρόνου που εκτίθεται το προϊόν σε υψηλές θερμοκρασίες.

Ορισμένα προϊόντα που είναι ευαίσθητα στους μωλωπισμούς (μήλα) ή παρουσιάζουν ευαισθησία σε προσβολές από μύκητες, που εισέρχονται από τα σημεία αποκοπής του καρπού, συνιστάται να παραμείνουν για ένα ή δυο 24ωρα σε θερμοκρασία περιβάλλοντος (18°- 20° C) σε αεριζόμενο χώρο για να σχηματισθεί αφοριστικός ιστός που βοηθά την επούλωση των πληγών

9.8 Παράρτημαδ: Ελεγχόμενη ατμόσφαιρα

Συντήρηση και Αποθήκευση οπωροκηπευτικών σε τροποποιημένη και ελεγχόμενη ατμόσφαιρα

Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος

N. Κατσούλας, Κ. Κίττας

1

Εισαγωγή

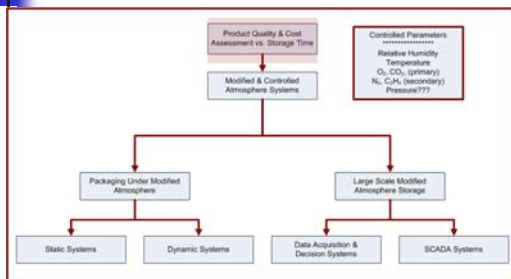
- Σκοπός της παρουσίασης είναι να εξετάσει τις βασικές αρχές λειτουργίας των αποθηκών και τις συσκευασίες τροποποιημένης και ελεγχόμενης ατμόσφαιρας
- Μετά την συγκομιδή των οπωροκηπευτικών προϊόντων κύριο μέλημα είναι η συντήρηση και η αποθήκευση τους για ένα χρονικό διάστημα μέχρι να φθάσουν στα χέρια του καταναλωτή.
- Ωστόσο, τα προϊόντα όταν θα φτάσουν προς κατανάλωση θα πρέπει να ικανοποιούν και τον πιο απαιτητικό καταναλωτή.

2

Διατάξεις και κανονισμοί για την ποιότητα των προϊόντων

- Για το λόγο αυτό η Ε.Ε. έχει εκδώσει κανονισμούς και διατάξεις που αφορούν την ποιότητα που θα πρέπει να έχουν τα διάφορα προϊόντα μετά την αποθήκευση.
- Επίσης, ερευνητές έχουν ασχοληθεί με την μέτρηση των δεικτών ποιότητας στα αγροτικά προϊόντα.

Ακολουθεί πίνακας που παρουσιάζει μερικούς από αυτούς τους δείκτες



3

4

Index	Methods of determination	Examples
Elapsed days from full bloom	Computationa	Apples, pears
Mean heat units	Computation from weather dataa	Peas, sweet corn
Development of abscission layer	Visuala or force of separation	Muskmelon
Surface structure	Visuala	Cuticle formation on grapes and tomatoes, netting of muskmelons, gloss or wax development
Size	Various measuring devices, weighta	All fruits and many vegetables
Specific gravity	Density gradient solutions, floatation techniquesa	Cherries, water melons, potatoes
Shape	Dimensions, ratio chartsa	Angularity of banana fingers, full checks of mango, compactness of broccoli and cauliflower
Solidity	Feels, bulk densitya, gamma rays, X-rays	Lettuce, cabbage, brussell sprouts

5

Textural properties		
Firmness	Firmness testers, deformation	Apples, pears, stone fruits
Tenderness	Tenderometer	Peas
Toughness	Texturometer, fibrometer; chemical	Asparagus
methods for polysaccharides		
Colour, external	Light reflectancea, visual colour chartsa	All fruits and many vegetables
Internal colour and structure	Light transmittancea; delayed light emissiona; visual examination	Jelly-like formation in tomatoes; kiwifruit; apple pip colour; flesh colour
Compositional factors		
Total solids	Dry weight	Avocados, kiwifruit,
Starch content	KI test, other chemical tests	Apples, pears
Sugar content	Hand refractometer, chemical tests	Apples, pears, stone fruits, grapes, kiwifruit,
Acid content (or sugar-acid ratio)	Titration, chemical tests	Citrus, pomegranates, papaya, melons
Juice content	Extraction, chemical tests	Citrus
Oil content	Extraction, chemical tests	Avocados
Tannin content	Ferric chloride test, chemical tests	Persimmons, dates
Internal ethylene	Gas chromatography	Apples, pears

6

Ελάχιστα χαρακτηριστικά:

- Για παράδειγμα, τα μήλα μετά την συγκομιδή θα πρέπει να πληρούν τα ακόλουθα ελάχιστα χαρακτηριστικά:

Σε όλες τις κατηγορίες, λαμβανομένων υπόψη των ιδιαίτερων διατάξεων που προβλέπονται για κάθε κατηγορία και των ορίων ανοχής που επιτρέπονται, τα μήλα πρέπει να είναι:

- ολόκληρα,
- υγιή· αποκλείονται τα προϊόντα που είναι προσβεβλημένα από μούχλα ή αλλοιώσεις τέτοιας φύσεως που θα τα καθιστούσαν ακατάλληλα για την κατανάλωση,
- καθαρά, πρακτικώς απαλλαγμένα από ορατές ξένες ουσίες,
- πρακτικά απαλλαγμένα από παράσιτα,
- πρακτικά απαλλαγμένα από προσβολές παρασίτων,
- απαλλαγμένα από ασυνήθιστη εξωτερική υγρασία,
- απαλλαγμένα από ξένη οσμή ή/και ξένη γεύση.
- Επιπλέον πρέπει να έχουν συλλεχθεί προσεκτικά .

7

Η ανάπτυξη και η κατάσταση των μήλων πρέπει να είναι τέτοια ώστε να τους επιτρέπουν:

- να συνεχίσουν τη διαδικασία ωρίμανσης ώστε να μπορούν να φθάνουν στον κατάλληλο βαθμό ωρίμανσης συνάρτησης των ποικιλιακών χαρακτηριστικών,
- να αντέχουν τη μεταφορά και την επεξεργασία, και
- να φθάνουν σε ικανοποιητική κατάσταση στον τόπο προορισμού.

Ακόμη υπάρχουν λεπτομερείς διατάξεις που κατηγοριοποιούν τα μήλα σύμφωνα με:

- το μέγεθος
- τα όρια ανοχής
- την παρουσίαση
- και την σήμανση των μήλων.

8

Παρακάτω παρουσιάζονται σχετικοί πίνακες κατηγοριοποίησης σύμφωνα με:

- Το μέγεθος
- Και το χρώμα

Όταν το μέγεθος καθορίζεται από τη διάμετρο, η ελάχιστη διάμετρος που απαιτείται για όλες τις κατηγορίες είναι η ακόλουθη:			
	Έξτρα	Κατηγορία I	Κατηγορία II
Μεγιστοποιητές ποικιλίας (1) Άλλες ποικιλίες	65 mm 60 mm	60 mm 55 mm	60 mm 50 mm
Όταν το μέγεθος καθορίζεται από το βάρος, το ελάχιστο βάρος που απαιτείται για όλες τις κατηγορίες είναι το ακόλουθο:			
	Έξτρα	Κατηγορία I	Κατηγορία II
Μεγιστοποιητές ποικιλίας (1) Άλλες ποικιλίες	110 g 90 g	90 g 80 g	90 g 70 g

9

Κριτήρια χρωματισμού, ομάδες χρωματισμού και κωδικός				
Ομάδα χρωματισμού	A (Ερυθρές ποικιλίες)	B (Ποικιλίες με μεικτό ερυθρό χρωματισμό)	Γ (Ποικιλίες με ροβιδώδες, ελαφρές χρωματισμένες)	Δ (Άλλες ποικιλίες)
	Συνολική επίμονη ερυθρότητα χρωματισμού χαρακτηριστικού της ποικιλίας	Συνολική επίμονη μεικτού ερυθρού χρωματισμού χαρακτηριστικού της ποικιλίας	Συνολική επίμονη ελαφρώς ερυθρότητα ή ροβιδώδες χρωματισμό, χαρακτηριστικού της ποικιλίας	
Κατηγορία Έξτρα	3/4	1/2	1/3	Καμία απόκτηση όσον αφορά τον αριθμό χρωματισμού
Κατηγορία I	1/2	1/3	1/10	
Κατηγορία II	1/4	1/10	—	

10

Μέθοδοι Συντήρησης:

- Ασηψία ή κράτηση των μικροοργανισμών μακριά από το τρόφιμο
- Απομάκρυνση των μικροοργανισμών
- Διατήρηση των αναερόβιων συνθηκών
- Χρήση υψηλών θερμοκρασιών
- Χρήση χαμηλών θερμοκρασιών
- Αποξήρανση
- Χρήση χημικών συντηρητικών τα οποία είτε παράγονται από μικροοργανισμούς είτε προστίθενται σκοπίμως
- Ακτινοβολίες
- Μηχανική καταστροφή των μικροοργανισμών
- Αποθήκευση σε τροποποιημένη και ελεγχόμενη ατμόσφαιρα

11

Αρχές Συντήρησης:

Παρεμπόδιση ή καθυστέρηση της μικροβιακής αποσύνθεσης

- Κρατώντας τους μικροοργανισμούς μακριά από το τρόφιμο
- Απομακρύνοντας τους μικροοργανισμούς από το τρόφιμο
- Παρεμποδίζοντας την ανάπτυξη και δραστηριότητα των μικροοργανισμών
- Θανατώνοντας τους μικροοργανισμούς

Παρεμπόδιση ή καθυστέρηση της αυτό-αποσύνθεσης των τροφίμων

- Καταστρέφοντας ή αδρανοποιώντας τα ενδογενή ένζυμα του τροφίμου
- Παρεμποδίζοντας ή καθυστερώντας τις καθαρά χημικές αντιδράσεις

Παρεμποδίζοντας φορηές από έντομα, ζώα, μηχανικές αιτίες κ.α.

12

Τροποποιημένη και Ελεγχόμενη Ατμόσφαιρα

- Η μείωση του επιπέδου του ατμοσφαιρικού οξυγόνου, η αύξηση του επιπέδου του ατμοσφαιρικού CO₂, η μείωση κατά πολύ των επιπέδων του οξυγόνου και του CO₂ (διοχέτευση αζώτου) είναι τρόποι που χρησιμοποιούνται σαν βοηθήματα των χαμηλών θερμοκρασιών στη διατήρηση τις εμπορικής ποιότητας ορισμένων προϊόντων.

13



- Η αποθήκευση σε ελεγχόμενη ατμόσφαιρα περιλαμβάνει τη χρήση θερμοκρασιών κοινής ψύξης που συνδυάζονται με μια ατμόσφαιρα που περιέχει οξυγόνο σ' ένα με ακρίβεια ελεγχόμενο επίπεδο πολύ μικρότερο του αέρα και CO₂ σε ένα με ακρίβεια ελεγχόμενο επίπεδο πολύ μεγαλύτερο από εκείνο του αέρα.
- Μεγάλες ποσότητες οπωροκηπευτικών αποθηκεύονται σε συνθήκες ελεγχόμενης ατμόσφαιρας και αυτό επιβεβαιώνει την αποτελεσματικότητα αυτής της μεθόδου

14

Χαρακτηριστικά αποθήκης ελεγχόμενης ατμόσφαιρας

- Αεροστεγής
- Συγκέντρωση οξυγόνου και CO₂
- Θερμοκρασία
- Σχετική υγρασία
- Κυκλοφορία του αέρα
- Απομάκρυνση πτητικών ουσιών

15

✓ Ελεγχόμενη ατμόσφαιρα (E.A.) Controlled Atmosphere (C.A.)

- Συντήρηση σε περιβάλλον με μειωμένη συγκέντρωση O₂ **και** αυξημένη συγκέντρωση CO₂

■ **Συνεχής ενεργητική ρύθμιση** ώστε η σύσταση της ατμόσφαιρας να παραμένει **σταθερή**

- Συμπληρωματική της ρύθμισης ψύχους και υγρασίας

❖ Ο όρος **δεν χρησιμοποιείται** αν ρυθμίζεται η σύσταση του αέρα **ως προς ένα μόνο αέριο.**

- ❖ Συντήρηση σε μειωμένη συγκέντρωση οξυγόνου (ULO)
- ❖ Συντήρηση σε ατμόσφαιρα αζώτου
- ❖ Συντήρηση σε μειωμένη ατμοσφαιρική πίεση και εξαερισμό

16



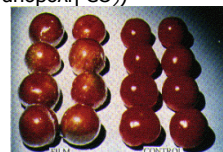
✓ Τροποποιημένη ατμόσφαιρα (T.A.) Modified Atmosphere (M.A.)

- **Παθητική ρύθμιση** της ατμόσφαιρας με την αναπνευστική δραστηριότητα του προϊόντος.

■ Η τελική σύσταση της ατμόσφαιρας είναι ανάλογη της αναπνευστικής δραστηριότητας του προϊόντος, και όχι σταθερή όπως στην E.A.

■ Ημιπερατές μεμβράνες ώστε να επιτρέπεται μερική διάχυση των αερίων. (Αναπλήρωση O₂, αποβολή CO₂)

- Κηρωτικές ουσίες
- Απομάκρυνση αιθυλενίου από υλικά που το απορροφούν και εισάγονται στην συσκευασία (Ethylsorb, Purafil)



18

Τροποποιημένη ατμόσφαιρα

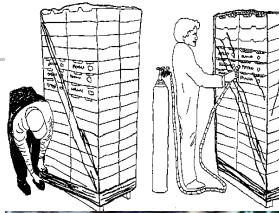
Μέθοδοι δημιουργίας Τ.Α.

Ατομική συσκευασία με φιλμ ή κηρούς.

Δισκάκια τυλιγμένα με φιλμ.

Ατομικά κιβώτια συσκευασίας.

Τ.Α. σε παλέτες.



Προϊόν	Θερμοκρασία* (C°)	CA#		Οφελιμότητα	Παρατηρήσεις
		%O ₂	%CO ₂		
Αβοκάντο	5-13	2-5	3-10	B	Περιορισμένη εμπορική χρήση
Ακτινίδια	0-5	1-2	3-5	A	Περιορισμένη εμπορική χρήση (C ₂ H ₄ <20 ppb)
Αχλάδια (ευρωπαϊκής προέλ.)	0-5	1-3	0-3	A	Μερική εμπορική χρήση
Αχλάδια (ασιατικής προέλ.)	0-5	2-5	0-1	B	Περιορισμένη εμπορική χρήση
Βερίκοκα	0-5	2-3	2-3	Γ	Όχι σε εμπορική κλίμακα
Δαμάσκηνα	0-5	1-2	0-5	B	Περιορισμένη εμπορική χρήση
Κεράσια	0-5	3-10	10-15	B	Περιορισμένη εμπορική χρήση
Μήλα	0-5	1-3	1-5	A	Περίπου το 50% των μήλων συντηρείται με ΕΑ
Ροδάκινα	0-5	1-2	3-5	B	Περιορισμένη εμπορική χρήση
Σταφύλια	0-5	2-5	1-3	Γ	Ασυμβασθη με τη βέλεια
Μπανάνια	12-15	2-5	2-5	A	Μέτρια χρήση κατά τη μεταφορά
Φραγκοστάφυλα	0-5	5-10	15-20	A	Αυξημένη χρήση κατά τη μεταφορά
Φράουλες	0-5	5-10	15-20	A	Αυξημένη χρήση κατά τη μεταφορά

* Συνιστώμενο εύρος θερμοκρασίας. Συνιστώμενη σχετική υγρασία 90% έως 95%.
Οι άριστες συγκεντρώσεις ποικίλλουν ανάλογα με την ποικιλία, τη θερμοκρασία και τη διάρκεια συντήρησης.
** A = άριστη, B = καλή, Γ = μέτρια
Πηγή: Kader 1992.

20

Προϊόν	Θερμοκρασία* (C°)	CA#		Οφελιμότητα	Παρατηρήσεις
		%O ₂	%CO ₂		
Αγγούρια	8-12	3-5	0	Γ	Όχι εμπορική χρήση 98-100% σχετική υγρασία
Καρότα	0-5	-	-	Δ	Μερική εμπορική χρήση για μακρά συντήρηση ορισμένων ποικιλιών
Λάχανα κοινά	0-5	2-3	3-6	A	Περιορισμένη εμπορική χρήση
Μανιτάρια	0-5	αέρας	10-15	Γ	Περιορισμένη εμπορική χρήση
Μαρούλια	0-5	1-3	0	B	Περιορισμένη εμπορική χρήση
Μπρόκολο	0-5	1-2	5-10	A	Περιορισμένη εμπορική χρήση
Παντζάρια	0-5	-	-	Δ	Όχι εμπορική χρήση 98-100% σχετική υγρασία
Πατάτες	4-12	-	-	Δ	Όχι εμπορική χρήση
Πεπόνια	10-12	3-5	0	Γ	Περιορισμένη εμπορική χρήση
Πεπόνια-cantaloupes	3-7	3-5	10-15	B	Περιορισμένη εμπορική χρήση
Πιπεριές-γλυκίες	8-12	3-5	0	Γ	Περιορισμένη εμπορική χρήση
Πιπεριές-καυτερές	8-12	3-5	0	Γ	Περιορισμένη εμπορική χρήση
Σελίνο	0-5	1-4	0-5	B	Περιορισμένη εμπορική χρήση σε μικτά φορτία με μαρούλια
Σπαράγγια	0-5	αέρας	5-10	A	Μερική εμπορική χρήση
Τομάτες ώριμες-πράσινες	12-20	3-5	0-3	B	Περιορισμένη εμπορική χρήση
Τομάτες ώριμες-κοκκινωπές	8-12	3-5	0-5	B	Περιορισμένη εμπορική χρήση

* Συνιστώμενο εύρος θερμοκρασίας. Συνιστώμενη σχετική υγρασία 90% έως 98%.
Οι άριστες συγκεντρώσεις ποικίλλουν ανάλογα με την ποικιλία, τη θερμοκρασία και τη διάρκεια συντήρησης.
** A = άριστη, B = καλή, Γ = μέτρια, Δ = ελάχιστη ή καμία
Πηγή: Kader 1992.

21

Ελεγχόμενη ατμόσφαιρα

Ευνοϊκές επιδράσεις της ήπιας καταπόνησης μειωμένου O₂:

1. Μείωση αναπνοής
2. Επιβράδυνση ωρίμανσης (μαλάκωμα σάρκας, διάσπαση χλωροφύλλης)
3. Μείωση παραγωγής αιθυλενίου κλιμακτριακών καρπών (τομάτα, ακτινίδιο, μήλο, αβοκάντο κ.α.)
4. Παρεμπόδιση δράσης αιθυλενίου, έστω και αν η εσωτερική συγκέντρωσή του είναι σε επίπεδα πάνω από τα οποία προκαλούνται φυσιολογικές επιδράσεις (μήλο-ULO)

Αρνητικές επιδράσεις της ισχυρής και μέτριας καταπόνησης μειωμένου O₂:

Αναερόβωση (αιθανόλη ακεταλδεΐδη), άρωμα, γεύση

22

Ελεγχόμενη ατμόσφαιρα

Ευνοϊκές επιδράσεις της ήπιας καταπόνησης αυξημένης συγκέντρωσης CO₂:

1. Παρεμπόδιση αναπνοής
2. Ανταγωνιστής δράσης αιθυλενίου (Burg and Burg, 1967)
3. Μειώνει την παραγωγή αιθυλενίου σε αβοκάντο και ακτινίδιο (Stauroulakis, 1991)

Αρνητικές επιδράσεις της ισχυρής και μέτριας καταπόνησης μειωμένου CO₂:

1. Αναερόβωση (αιθανόλη ακεταλδεΐδη), άρωμα, γεύση
2. Φυσιολογικές ασθένειες
 - i. Καστανή καρδιά, καφέπασμα λάχανων, καστανή κηλίδωση μαρουλιών.
 - ii. Ανώμαλη ωρίμανση τομάτας, αχλαδιών και ακτινιδίων
 - iii. Δυσάρεστη οσμή στις φράουλες

23

Ελεγχόμενη ατμόσφαιρα

Ευνοϊκές επιδράσεις

Καθυστερήση ωρίμανσης

- ❖ Παραγωγή & δράση αιθυλενίου
- ❖ Μαλάκωμα σάρκας, μείωση ποσοτικών και ποιοτικών απωλειών

- Μείωση ευαισθησίας των ιστών στην επίδραση του αιθυλενίου (O₂ <8% , CO₂ >1%)
- Μείωση έντασης εμφάνισης φυσιολογικών ανωμαλιών, όπως κρουστραυματισμοί, καφέπασμα μήλων κ.α.
- Αναστολή ανάπτυξης παθογόνων (Botrytis - φράουλες)
- Δεν επηρεάζει την ποιότητα όταν η αποθήκευση είναι έως 4εβδ.

24

Ωφελιμότητα EA/TA	Είδος προϊόντος
Καθυστερήση ωρίμανσης και αποφυγή ζημιών από χαμηλές θερμοκρασίες	Αβοκάντο, μπανάνα, μάνγκο, πεπόνια, νεκταρίνια, παπάγια, ροδάκινα, δαμάσκηνα, τομάτες (πράσινες ή κοκκινωπές ώριμες)
Έλεγχος προσβολών από παθογόνα	Φραγκοστάφυλα, κεράσια, σύκα, σταφύλια, φράουλες
Καθυστερήση του γήρασμού και των ανεπιθύμητων μεταβολικών αλλαγών (ανεπιθύμητη απώλεια χρώματος)	Σπαράγγι, μπρόκολο, μαρούλια, καλαμπόκι, ελάχιστα επεξεργασμένα φρούτα και λαχανικά

Πηγή: Kader 1992.

Διάρκεια συντήρησης σε E.A/T.A.

Διάρκεια συντήρησης (Μήνες)	Είδος προϊόντος
Περισσότερο από 12 μήνες	Αμύγδαλα, καρύδια, macadamia, πεκάν, φουντούκια, φιστίκια, αποξηραμένα φρούτα και λαχανικά
6-12	Ορισμένες ποικιλίες μήλων, αχλαδιών
3-6	Λάχανα κοινά, κινέζικα λάχανα, ακτινίδια, ορισμένες ποικιλίες αχλαδιών ασιατικής προέλευσης
1-3	Αβοκάντο, ελιές, λωτοί, ορισμένες ποικιλίες ροδακινιάς, νεκταρινιάς και δαμασκηνιάς, ρόδια

Πηγή: Kader 1992.

Ελεγχόμενη ατμόσφαιρα

Βλαβερές επιδράσεις

- Μείωση ποιότητας σε παρατεταμένη αποθήκευση. Μόνο μήλα, αχλάδια και ξηροί καρποί δεν υποβαθμίζονται.
- Ανώμαλη ωρίμανση καρπών όπως της μπανάνας, αχλαδιών, αβοκάντο και τομάτας όταν ($O_2 < 2\%$, $CO_2 > 5\%$).
- Ανάπτυξη δυσάρεστης γεύσης και οσμής λόγω αναερόβιας (αλκοόλη, ακεταλδεύδη).

27

Συμβατά είδη για συντήρηση και μεταφορά

Ομάδα	Συνιστώμενες συνθήκες μεταφοράς		Συμβατά είδη
	Θερμότητα °C	Σχ. Υγρ. %	
1	0°-1,5°	90-95	Αχλάδια, βερικοκά, δαμάσκηνα, κεράσια, κυδώνια, λωτοί, μήλα, ροδάκινα, ρόδια, σταφύλια, σύκα, φράουλες
2	13°-18°	85-95	Αβοκάντο, ανανάς, γκρέιπ-φρούτ, ελιές, καρπούζια, μελιτζάνες, πεπόνια, τομάτες (ώριμες πράσινες), τομάτες πρασινορόδινες
3	2,5°-5°	90-95	Λεμόνια, μανταρίνια, πεπόνια (cantaloupe), πορτοκάλια
4	4,5°-7,5°	95	Καρπούζια, κολοκυθάκια, μπάμιες, πιπεριές πράσινες, πιπεριές κόκκινες, τομάτες κόκκινες, φασολάκια
5	4,5°-13°	85-90	Αγγούρια, γκρέιπ-φρούτ, καρπούζια, κολοκύθες και κολοκυθάκια, μελιτζάνες, πατάτες (φθινοπωρινή παραγωγή)
6a	0°-1,5°	95-100	Αγκινάρες, καλαμπόκι, καρότα, μαιντανός, μανιτάρια, μαρούλια, μπιζέλια, παντζάρια κόκκινα, πράσα, σπαράγγια, σταφύλια
6b	0°-1,5°	95-100	Κουλουπιές, κρεμμυδάκια, λάχανα, λαχανάκια βρυελλών, μπρόκολο, σέλινο
7	13°-18°	85-90	Γλυκοπατάτες, πατάτες
8	0°-1,5°	65-75	Κρεμμύδια, σκόρδα
9	-1° - 0°	90-95	Ακτινίδια

28

Βλάβες από Αποθήκευση υπό Ελεγχόμενη Ατμόσφαιρα

Crop and cultivars	CO ₂ injury level	CO ₂ injury symptoms	O ₂ injury level	O ₂ injury symptoms
Apple, red delicious	>3%	Internal browning	<1%	Alcoholic taste
Apple, Fuji	>5%	CO ₂ injury	<2%	Alcoholic taint
Apple, Gala	>1.5%	CO ₂ injury	<1.5%	Ribbon scald
Apricot	>5%	Loss of flavour	<1%	Off-flavour
Banana	>7%	Green fruit softening	<1%	Brown skin, discoloration
Green beans	>7%	Off flavour	<5%	Off-flavour
Cabbage	>10%	Discoloration of inner leaves	<2%	Off-flavour
Cherry	>30%	Brown, discoloration	<1%	Skin pitting, off-flavour
Mango	>10%	softening	<2%	Skin discoloration

29

Αποθήκες Ελεγχόμενης Ατμόσφαιρας 1/2



- Αεροστεγείς μεταλλικές κατασκευές
- Θερμομονωτική επένδυση
- Αεροστεγείς πόρτες
 - Συρόμενες
 - Κανονικές
 - Ρολό

30

Αποθήκες Ελεγχόμενης Ατμόσφαιρας 2/2



- Μεγάλες αλλαγές πίεσης στο εσωτερικό
- Ανακουφιστικές βαλβίδες
- Μεμβράνες εκτόνωσης

31

Θερμόμετρα

- Εύρος λειτουργίας από -18°C έως 120°C
- Ανάλυση 0.1°C
- Θύρα Ethernet
- Ενσωματωμένο Web Server
- RS-232
- Μεταβλητή συχνότητα δειγματοληψίας
- Δυνατότητα διασύνδεσης μέχρι 16 αισθητήρων
- κ.τ.λ.



<http://www.sensatronics.com/>

32

Έλεγχος Υγρασίας 1/2

- Συστήματα τεχνητής ομίχλης
- Υψηλής πίεσης
- Τα κύρια στοιχεία:
 - Αντλία παροχής νερού
 - Δίκτυο διανομής
 - Ακροφύσια
 - Αισθητήρια
 - Σύστημα ελέγχου

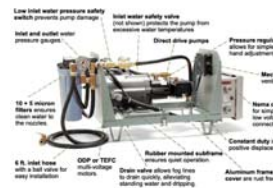


<http://www.microcool.com>

33

Έλεγχος Υγρασίας 2/2

Αντλία συστήματος ελέγχου υγρασίας



Ακροφύσια συστήματος ελέγχου υγρασίας

<http://www.microcool.com>

34

Υγρόμετρα

- Εύρος λειτουργίας από 0% έως 100% RH
- Σφάλμα $\pm 1\%$ RH
- Θύρα Ethernet
- Ενσωματωμένο Web Server
- RS-232
- Μεταβλητή συχνότητα δειγματοληψίας
- κ.τ.λ.



<http://www.wut.de/>

35

Έλεγχος O₂ (U.L.O.)

- Ποσοστά O₂ <2%
- Επιτυγχάνεται με:
 - Την αναπνοή των προϊόντων
 - Την καύση του O₂
 - Εμπλουτισμό με N₂
- Εισαγωγή αέρα περιβάλλοντος



<http://www.storagecontrol.com>

36

Αισθητήρας O₂ 1/2

- Διοξειδίου Ζιρκονίου → Πολύ μη γραμμικοί
- Διοξειδίου Τιτανίου → Υψηλή απόκριση
- Ηλεκτροχημικοί (Ηλεκτρόδιο Clark)
- Οπτικοί (Φθορισμού)
- Περισσότερο χρησιμοποιούνται οι ηλεκτροχημικοί και οι οπτικοί αισθητήρες γιατί είναι γραμμικοί και έχουν πολύ καλή απόκριση

37

Αισθητήρας O₂ 1/2

- Εύρος λειτουργίας 0% έως 30%
- Ακρίβεια 0.02%
- Γραμμική απόκριση
- Αντιστάθμιση θερμοκρασίας
- Σύνδεση με PLC ή απευθείας με Ethernet



38

Έλεγχος CO₂ 1/2

- Διατήρηση CO₂ σε ποσοστό 1% έως 20%
 - Τροπόσφαιρα 0.036%
1. Καύσεις
 2. Εμφιαλωμένο υπο πίεση
 3. Ξηρό πάγο
 4. Αποσύνθεση οργανικής ύλης

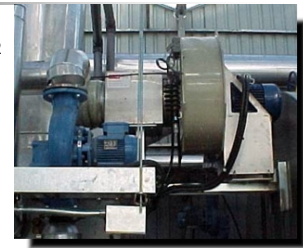


<http://www.storagecontrol.com>

39

Έλεγχος CO₂ 2/2

- Δεξαμενή υπό πίεση CO₂
- Ρυθμιστής πίεσης
- Μετρητής ροής
- Βαλβίδα ελέγχου
- Αισθητήρας CO₂
- Απορροφητής CO₂
- Σύστημα ελέγχου



<http://www.arguscontrols.com>

40

Αισθητήρας CO₂ 1/2

- Οπτικοί → Υπέρυθη ακτινοβολία
 - Μη διασποράς
 - Φωτοακουστικοί
- Αντοχή σε αλλαγές πίεσης και δονήσεις
- Μεγάλος χρόνος δειγματοληψίας (30 s)

41

Αισθητήρας CO₂ 2/2

- Εύρος λειτουργίας 0 έως 2000 ή 3000 ή 10000ppm
- Ακρίβεια 20ppm
- Γραμμική απόκριση
- Αντιστάθμιση θερμοκρασίας
- Σύνδεση με PLC ή απευθείας με Ethernet



42

Έλεγχος C₂H₄ 1/2

- Αιθυλένιο → Επιταχύνει τον βιολογικό κύκλο
- Η ύπαρξή στην αποθήκη είναι ανεπιθύμητη
- Συγκεντρώσεις <0.2ppm δηλαδή 0.02%
- Αισθητήριο όργανο
- Παθητικά συστήματα – Φίλτρα
- Ενεργητικά συστήματα - Απορροφητές

43

Έλεγχος C₂H₄ 2/2



<http://www.storagecontrol.com>
<http://www.bioconservacion.com>

44

Έλεγχος Λοιπών Αερίων

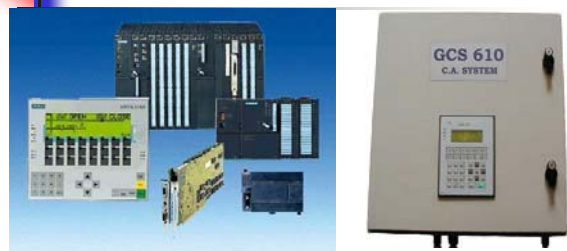


- Α.Ε.Α. → συγκέντρωση αερίων
- Αμμωνία
- Υδροξείδιο του Ασβεστίου
- Υδροξείδιο του Νατρίου
- Διάφορα δηλητήρια
- Καταπολέμηση με αισθητήρια, φίλτρα και απορροφητές

<http://www.storagecontrol.com>
<http://www.gasdetection.com>

45

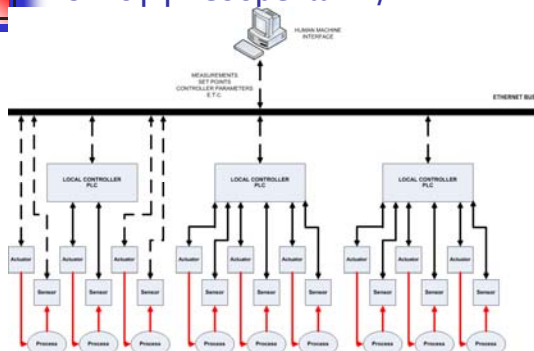
Ελεγκτές



<http://www.storagecontrol.com>
<http://www.siemens.com>

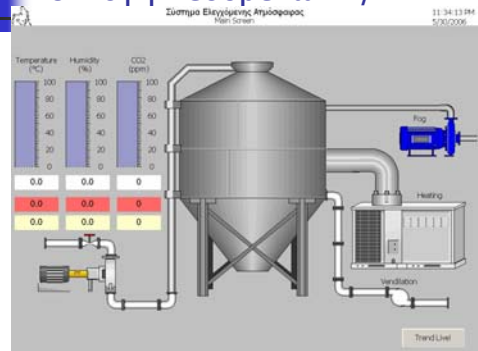
46

Εποπτικός Έλεγχος και Συλλογή Δεδομένων 1/2



47

Εποπτικός Έλεγχος και Συλλογή Δεδομένων 2/2



48