



ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΘΗΚΕΣ ΒΕΛΤΙΩΣΕΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΝΑΔΕΥΣΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΞΗΡΑΝΣΗΣ»

ΜΩΡΑΪΤΗΣ ΑΓΓΕΛΟΣ-ΜΑΥΡΑΚΗΣ ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ
ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΜΑΝΙΟΣ ΘΡΑΣΥΒΟΥΛΟΣ



ΗΡΑΚΛΕΙΟ, ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2025

Πρόλογος

Η παρούσα πτυχιακή εργασία ξεκίνησε και ολοκληρώθηκε στο Εργαστήριο Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής, της Σχολής Γεωπονικών Επιστημών, του Τμήματος Γεωπονίας, του Ελληνικού Μεσογειακού Πανεπιστημίου, με την επιστημονική υποστήριξη του επιβλέποντα καθηγητή κ. Μανιού Θρασύβουλου.

Η συγκεκριμένη εργασία υλοποιήθηκε στο πλαίσιο λειτουργίας πιλοτικής μονάδας ηλιακής ξήρανσης τροφικών υπολειμμάτων χώρων φιλοξενίας και εστίασης, για την παραγωγή συστατικών ζωοτροφών, για την οποία ήταν υπεύθυνο το εργαστήριο του καθηγητή κ. Μανιού. Η συγκεκριμένη πιλοτική μονάδα κατασκευάστηκε και λειτούργησε με τη συγχρηματοδότηση του ευρωπαϊκού προγράμματος LIFE + Environment, με τίτλο «Food for Feed: An Innovative Process for Transforming Hotels' Food Wastes into Animal Feed», ακρωνύμιο LIFE-F4F και κωδικό έργου LIFE15 ENV/GR/000257.

Αυτή τη στιγμή που η παρούσα έχει ολοκληρωθεί, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον καθηγητή κ. Θρασύβουλο Μανιό για την ευκαιρία που μας έδωσε να εργαστούμε στο εργαστήριό του αλλά και στη συγκεκριμένη πρότυπη και καινοτόμο πιλοτική μονάδα και να προσπαθήσουμε να φέρουμε σε πέρας ένα, όπως αποδείχθηκε, δύσκολο έργο, αλλά να συνεισφέρουμε και εμείς με την παρούσα ένα κομμάτι στην μονάδα αυτή.

Περιεχόμενα

Πρόλογος	2
Περιεχόμενα	3
Περιεχόμενα εικόνων	5
Περίληψη	7
Abstract	9
1. Εισαγωγή	10
2. Σκοπός πτυχιακής εργασίας	12
3. Ηλιακή Ξήρανση	13
3.1 Τύποι ηλιακών στεγνωντήριων και συστήματα ηλιακής ξήρανσης	14
3.1.1 Ηλιακός ξηραντήρας κιβωτίου	16
3.1.2 Ηλιακός ξηραντήρας σκηνής	16
3.1.3 Ηλιακός ξηραντήρας σήραγγας	16
3.1.4 Ηλιακός ξηραντήρας τύπου θερμοκηπίου	17
3.1.5 Ηλιακός ξηραντήρας έμμεσου τύπου με καπνοδόχο	17
3.1.6 Ηλιακός ξηραντήρας δωματίου	18
3.2 Σύγκριση ηλιακής ξήρανσης με άλλες μεθόδους	19
3.2.1 Ξήρανση αντλίας θερμότητας	19
3.2.2 Τεχνικές ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας	20
3.2.3 Ξήρανση με έκρηξη	20
3.2.4 Ξήρανση με υπερθερμασμένο ατμό χαμηλής πίεσης	21
3.2.5 Συνδυασμένες μέθοδοι ξήρανσης	21
3.2.6 Βιομηχανική ξήρανση	21
3.3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα ηλιακής ξήρανσης	21
3.4 Οικονομικά στοιχεία για τη ξήρανση	23
3.5 Ηλιακή ξήρανση με ανάδευση	23
3.5.1 Συστήματα ανάδευσης ηλιακής ξήρανσης	25
3.5.2 Μέθοδοι ηλιακής ξήρανσης με ανάδευση	27
4. Υλοποίηση αναβάθμισης ηλιακού ξηραντήρα	34
4.1 Ανάλυση λειτουργίας υπάρχοντος ξηραντήρα	34
4.1.1 Αυτοψία ηλιακού ξηραντήρα F4F	36
4.2 Έρευνα για τις στεγανές πόρτες των υφιστάμενων ηλιακών ξηραντήρων	41
4.2.1 Σχεδιασμός λειτουργία και εφαρμογές	41
4.2.2 Υλικά Κατασκευής	41
4.2.3 Μηχανισμός Κλεισίματος	42
4.2.4 Εφαρμογές και Παραδείγματα Στεγανών Πορτών	43
4.3 Τεχνική Περιγραφή Μηχανισμών Συλλογής και Μεταφοράς Πολτοποιημένου Υλικού προς την Έξοδο Δεξαμενής Ξήρανσης	45
4.4 Διαδικασία σχεδιασμού βελτιστοποιήσεων και κατασκευαστικές παράμετροι	46
4.5 Υλικά που Χρησιμοποιήθηκαν	53
4.5.1 Ανοξείδωτος Χάλυβας (AISI 316)	54
4.5.2 Πολυουρεθάνη (Αφρώδες Μονωτικό Λάστιχο Πόρτας)	55
4.5.3 Σφραγιστικά Υλικά (Σιλικόνη Στερέωσης Λάστιχου)	55
4.5.4 Χάλυβες Κοιλοδοκοί (C45 ή ST37) και Προστασία από Διάβρωση	55
4.5.5 Χάλυβες Σωλήνες (Οδηγοί Ρύθμισης Ξέστρων)	55
4.5.6 Υλικό Επαφής για τα Ξέστρα (PU Πολυουρεθάνη)	55
4.5.7 Κοχλίες και Συνδετικά Μέσα (Ανοξείδωτοι A2)	55
4.5.8 Βάνα Αποστράγγισης (Ορείχαλκος)	56
4.6 Παρεμβάσεις στις δεξαμενές ξήρανσης	56
4.6.1. Αφαίρεση Ανοξείδωτων Τμημάτων για την Τοποθέτηση της Πόρτας (εφαρμογή και στα δυο συστήματα ανάδευσης)	56
4.6.2. Αποκατάσταση Παραμορφωμένων Ελασμάτων (πραγματοποιήθηκε και στις δύο δεξαμενές ξήρανσης)57	
4.6.3. Προετοιμασία Επιφάνειας για Στεγανοποίηση (πραγματοποιήθηκε και στις δύο δεξαμενές ξήρανσης)57	
4.6.4. Κατασκευή Πόρτας εξόδου δεξαμενών ξήρανσης (πραγματοποιήθηκε και στις δύο δεξαμενές ξήρανσης)	60
4.7 Παρεμβάσεις στο οριζόντιο σύστημα ανάδευσης / ξήρανσης	64
4.8 Παρεμβάσεις στο κατακόρυφο σύστημα ανάδευσης / ξήρανσης	67
4.8.1. Κατασκευή των Ξέστρων κατακόρυφο	67

5. Συμπεράσματα	71
Βιβλιογραφία	72
Πληροφορίες εγγράφου	75

Περιεχόμενα εικόνων

Εικόνα 1.1 : Ηλιακή ενέργεια που χρησιμοποιήθηκε για την ξήρανση του ρυζιού το 1977 στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής.	10
Εικόνα 1.2 : Υβριδικός ηλιακός στεγνωτήρας με ενσωμάτωση βιομάζας.	11
Εικόνα 3.1 : Σύστημα ηλιακής ξήρανσης φρούτων, χρησιμοποιώντας ηλιακή ενέργεια και όχι ηλεκτρική ενέργεια, στην Ινδονησία	13
Εικόνα 3.2 : Σύστημα άμεσου ηλιακού στεγνωτήρα λαχανικών.	14
Εικόνα 3.3 : Σύστημα έμμεσου ηλιακού ξηραντήριου τροφίμων.	15
Σχήμα 3.4 : Ηλιακός ξηραντήρας με καμινάδα και θάλαμο αποθήκευσης θερμότητας. (Google Scholar)	18
Σχήμα 3.5 : Ηλιακός ξηραντήρας δωματίου. (Google Scholar)	19
Εικόνα 3.6 : Συστήματα ανάδευσης στο δάπεδο με πλάτος έως και 12 μέτρα, με δύο διπλά καροτσάκια. [31]	24
Εικόνα 3.7 : Σύστημα ανάδευσης με κίνηση που αλλάζει τη διαδρομή των κοχλιών σε κάθε περιστροφή γύρω από τον κάδο. [32]	25
Εικόνα 3.8 : Σύστημα ανάδευσης ηλιακής ξήρανσης κόκκων. [33]	26
Εικόνα 3.9 : Απεικόνιση λειτουργίας συστήματος ανάδευσης ηλιακής ξήρανσης κόκκων. [34]	27
Εικόνα 3.10 : Καταστροφή σιτηρών συγκομιδής. [35]	32
Εικόνα 4.1 : Διαδικασία διαλογής στην πηγή, συλλογής σε ψυγεία και μεταφοράς στην πιλοτική μονάδα.	34
Εικόνα 4.2 : Εξωτερική άποψη μονάδας προεπεξεργασίας.	35
Εικόνα 4.3 : Προ-επεξεργασία τροφικών υπολειμμάτων. Χειροδιαλογή – τεμαχισμός – Πολτοποίηση – τελικό νωπό προς ξήρανση προϊόν	35
Εικόνα 4.4 : Εσωτερική άποψη μονάδας ηλιακής ξήρανσης	35
Εικόνα 4.5 : Το οριζόντιο σύστημα ανάδευσης της μονάδας ξήρανσης	37
Εικόνα 4.6 : Το σύστημα ξήρανσης με τον κατακόρυφο άξονα ανάδευσης της μονάδας ξήρανσης	37
Εικόνα 4.7 : Δεξαμενή ξήρανσης κατά τη διάρκεια ξήρανσης υλικών	38
Εικόνα 4.8 : Τα δυο συστήματα ξήρανσης τροφικών υπολειμμάτων πριν τις βελτιστοποιήσεις και τις απαιτούμενες μετατροπές	40
Εικόνα 4.9 : Περιβάλλον AutoCAD – Αρχικό Σκαρίφημα	47
Εικόνα 4.10 : Αποτύπωση αναβαθμίσεων ηλιακού ξηραντήρα – Σχεδιασμός πλαισίου πόρτας στεγάνωσης δεξαμενής ξήρανσης	48
Εικόνα 4.11 : Σχεδιασμός προεκτάσεων δαπέδου ξηραντήρα για την απαιτούμενη στεγανότητα	49
Εικόνα 4.12 : Σχεδιασμός άρθρωσης πόρτας (μεντεσέ)	50
Εικόνα 4.13 : Σχεδιασμός κλείστρων πόρτας	51
Εικόνα 4.14 : Σχεδιασμός πλάκας κλείστρου	51
Εικόνα 4.15 : Σχέδιο διάταξης Πόρτας	52
Εικόνα 4.16 : Σχέδιο Ξέστρου δεξαμενής κατακόρυφης ανάδευσης	52
Εικόνα 4.17 : Συναρμολόγηση βάσης στήριξης ξέστρου κατακόρυφου συστήματος ανάδευσης ...	53
Εικόνα 4.18 : Γωνιακός Τροχός	57
Εικόνα 4.19 : Αποκόλληση λαμαρινών δεξαμενής ξήρανσης	57
Εικόνα 4.20 : Προσθήκη ελάσματος στεγανοποίησης κατά των διαρροών	58
Εικόνα 4.21 : Προσθήκη κοιλοδοκού για τη στήριξη της πόρτας	59
Εικόνα 4.22 : Μεταφορά πλευρικών υφιστάμενων ξέστρων	60
Εικόνα 4.23 : Κοπή και διαμόρφωση τμημάτων πόρτας	61
Εικόνα 4.24 : Στεγανοποίηση ανοξείδωτης πόρτας.	61
Εικόνα 4.25 : Κατασκευή πείρου συγκράτησης με συμβατικό τόννο	62
Εικόνα 4.26 : Μέρος στεγανής ανοξείδωτης πόρτας με τους πείρους συγκράτησης.	63
Εικόνα 4.27 : Σύστημα κλείστρου-κεκλιμένης πλακάς για την ασφαλή της ανοξείδωτης πόρτας.	63
Εικόνα 4.28 : Δημιουργία στεγανής ανοξείδωτης πόρτας.	64
Εικόνα 4.29 : Αποτύπωση εξωτερικής επιφάνειας κυλίνδρου σε χαρτόνι	65

Εικόνα 4.30 : Κοίλη ανοξείδωτη κατασκευή στο οριζόντιο σύστημα ανάδευσης.	66
Εικόνα 4.31 : Κοίλη ανοξείδωτη κατασκευή στο οριζόντιο σύστημα ανάδευσης.	66
Εικόνα 4.32 : Κοίλη ανοξείδωτη κατασκευή στο οριζόντιο σύστημα ανάδευσης.	67
Εικόνα 4.33 : Κατασκευή ανοξείδωτων πτυσσόμενων ξέστρων.	68
Εικόνα 4.34 : Τοποθέτηση ιμάντα πολυουρεθάνης (PU) για την αποφυγή επαφής των μεταξύ μετάλλων.	68
Εικόνα 4.35 : Εφαρμογή αλυσίδας συγκράτησης στα ξέστρα του κατακόρυφου συστήματος ξήρανσης	69
Εικόνα 4.36 : Κατασκευή λαβών ανοξείδωτων πτυσσόμενων ξέστρων.	69
Εικόνα 4.37 : Συγκόλληση κυκλοδοκού κάθετα με τη χαλύβδινη σωλήνα για στήριξη του ξέστρου.	70
Εικόνα 4.38 : Δυο βάσεις σωλήνων βιδωμένες στο ξέστρο που διασφαλίζουν τη συγκράτηση του σωλήνα.	70
Εικόνα 4.39 : Ενσωμάτωση του μηχανισμού πτυσσόμενων ξέστρων στο αυτοματοποιημένο σύστημα ανάδευσης της δεξαμενής	71

Περίληψη

Ο σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η βελτιστοποίηση και η μετατροπή υφιστάμενων κατασκευών, αλλά και η προσθήκη νέων μηχανολογικών κατασκευών, σε πιλοτική μονάδα ηλιακής ξήρανσης τροφικών υπολειμμάτων, που λειτουργεί στις εγκαταστάσεις του Ενιαίου Συνδέσμου Διαχείρισης Απορριμμάτων Κρήτης (ΕΣΔΑΚ) του Δήμου Ηρακλείου, υπό την επίβλεψη του Εργαστηρίου Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής, του Ελληνικού Μεσογειακού Πανεπιστημίου.

Η συγκεκριμένη πιλοτική μονάδα, λειτουργεί στο πλαίσιο υλοποίησης του έργου LIFE-F4F, στο οποίο συμμετέχουν, τόσο το ΕΛΜΕΠΑ, όσο και ο ΕΣΔΑΚ, καθώς και άλλοι φορείς. Η συγκεκριμένη πιλοτική μονάδα λειτούργησε για τρεις (3) τουριστικές περιόδους (Απρίλιο – Οκτώβριο), για τα έτη 2018, 2019 και 2020, αξιοποιώντας τα τροφικά υπολείμματα χώρων φιλοξενίας και εστίασης για την παραγωγή συστατικών ζωοτροφών. Είναι δυναμικότητας 1,5 tn σε ημερήσια βάση.

Η πιλοτική μονάδα F4F, αποτελείται από τον χώρο προεπεξεργασίας, εντός του οποίου υπάρχει μια ταινία χειροδιαλογής, ένας τεμαχιστής, ένας πολτοποιητής και στη συνέχεια μια αντλία τροφίμων, η οποία τροφοδοτεί τη μονάδα ξήρανσης που ακολουθεί. Πιο συγκεκριμένα, στην μονάδα προεπεξεργασίας εισέρχεται η πρώτη ύλη, γίνεται μια προδιαλογή της εισερχόμενης πρώτης ύλης για την απομάκρυνση ξένων υλών, στη συνέχεια γίνεται τεμαχισμός και ακολουθεί η πολτοποίηση των υλικών, με απώτερο σκοπό την μείωση της διαμέτρου των τεμαχιδίων του υλικού σε μικρότερη των 2mm, προκειμένου να αυξηθεί ο ρυθμός ξήρανσης. Ακολουθεί στη συνέχεια η τροφοδοσία της μονάδας ξήρανσης, η οποία αποτελείται από 2 κανάλια ξήρανσης, που διαθέτουν συστήματα ανάδευσης (ένα κάθετο και ένα οριζόντιο σύστημα/ άξονα ανάδευσης).

Κατά την πρώτη περίοδο λειτουργίας της εν λόγω μονάδας, παρατηρήθηκαν διάφορα λειτουργικά προβλήματα, στα δύο ήδη υφιστάμενα συστήματα ανάδευσης του έργου LIFE-F4F, ως προς την ανάγκη βελτιστοποίησης και μετατροπής ορισμένων μηχανολογικών παραμέτρων, προκειμένου να δοθούν λύσεις σε λειτουργικά προβλήματα που έχουν παρατηρηθεί κατά την προηγούμενη πιλοτική λειτουργία.

Στην παρούσα, προτείνονται παρεμβάσεις ως προς τις ανοξείδωτες δεξαμενές των συστημάτων ανάδευσης, όπου προσαρμόζονται δύο κατάλληλα διαμορφωμένες ανοξείδωτες διπλές ανοιγόμενες στεγανές πόρτες, προκειμένου να διευκολυνθεί η απομάκρυνση του παραγόμενου υλικού και ο καθαρισμός των δεξαμενών ηλιακής ξήρανσης. Επιπρόσθετα, μετατροπές απαιτούνται και στο οριζόντιο σύστημα ανάδευσης, όπου στα υπάρχοντα πλευρικά ξέστρα προστίθενται μια ανοξείδωτη μεταλλική κοίλη κατασκευή, έτσι ώστε ο κύριος άξονας του συστήματος ανάδευσης να έχει τη δυνατότητα να επεξεργάζεται το υλικό ομοιόμορφα σε όλο του το μήκος.

Έπειτα, περιγράφεται αναλυτικά ο ορισμός της ηλιακής ξήρανσης καθώς και οι τύποι που έχουν εφευρεθεί, και στη συνέχεια γίνεται σύγκριση της ηλιακής ξήρανσης με άλλες μεθόδους παρόμοιου τύπου. Αναφέρονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα, καθώς και τα οικονομικά στοιχεία της ξήρανσης. Περιγράφεται ακόμη, ένας τύπος ξήρανσης με ανάδευση, οι μέθοδοι αλλά και τα συστήματα αυτής.

Στη συνέχεια καταγράφεται η πειραματική διαδικασία με τις παραμέτρους που χρησιμοποιήθηκαν, ώστε να πραγματοποιηθεί ολόκληρη η κατασκευή. Στο πειραματικό αυτό μέρος παρουσιάζονται τα υλικά που χρησιμοποιούνται κατά τη διαδικασία της κατασκευής, καθώς και ο τεχνολογικός εξοπλισμός που διατέθηκε. Σε επόμενο στάδιο, όσον αφορά στο κάθετο σύστημα ανάδευσης, απαιτείται να προσαρμοστεί ένα πτυσσόμενο μηχανικό ξέστρο, το οποίο παρέχει την δυνατότητα στον χειριστή να απομακρύνει το παραγόμενο υλικό από τη δεξαμενή ηλιακής ξήρανσης.

Τέλος όλες οι παραπάνω εργασίες έχουν ως κύριο στόχο την βελτιστοποίηση της λειτουργίας των υφιστάμενων συστημάτων ηλιακής ξήρανσης, που έχουν κατασκευαστεί στο πλαίσιο του πιλοτικού προγράμματος Life-F4F.

Abstract

The purpose of this thesis is to optimize and convert existing structures, as well as the addition of new mechanical structures, in a pilot solar drying unit for food waste, which operates in the facilities of the Unified Waste Management Association of Crete (ESDAK) of the Municipality of Heraklion, under the supervision of the Laboratory of Natural Resources and Agricultural Engineering.

This particular pilot unit operates within the framework of the implementation of the LIFE-F4F project, in which both ELMEPA and ESDAK participate. This particular pilot unit had operated for a tourist season (April - October), utilizing food waste from accommodation and catering facilities for the production of animal feed ingredients. This particular unit has a capacity of 1.5 tn on a daily basis.

This particular unit consists of the pre-sorting area, within which there is a manual sorting belt, a shredder, a pulper and then a food pump, which feeds the drying unit that follows. More specifically, the raw material enters the pre-sorting unit, is sorted to remove foreign materials, then shredded and then the materials are mashed, with the ultimate goal of reducing the diameter of the material particles to less than 2mm, in order to increase the drying rate. This is followed by the feeding of the drying unit, which consists of 2 drying channels, which have stirring systems (one vertical and one horizontal system/stirring axis).

During the first period of operation of the said unit, various operational problems were observed in the two existing agitation systems of the LIFE-F4F project, regarding the need to optimize and convert certain mechanical parameters, in order to provide solutions to operational problems observed during the previous pilot operation.

In this, interventions are proposed regarding the stainless steel tanks of the agitation systems, where two appropriately shaped stainless steel double opening watertight doors are adapted, in order to facilitate the removal of the produced material and the cleaning of the solar drying tanks. In addition, modifications are also required in the horizontal agitation system, where a stainless steel hollow metal structure is added to the existing side scrapers, so that the main axis of the agitation system has the ability to process the material uniformly along its entire length.

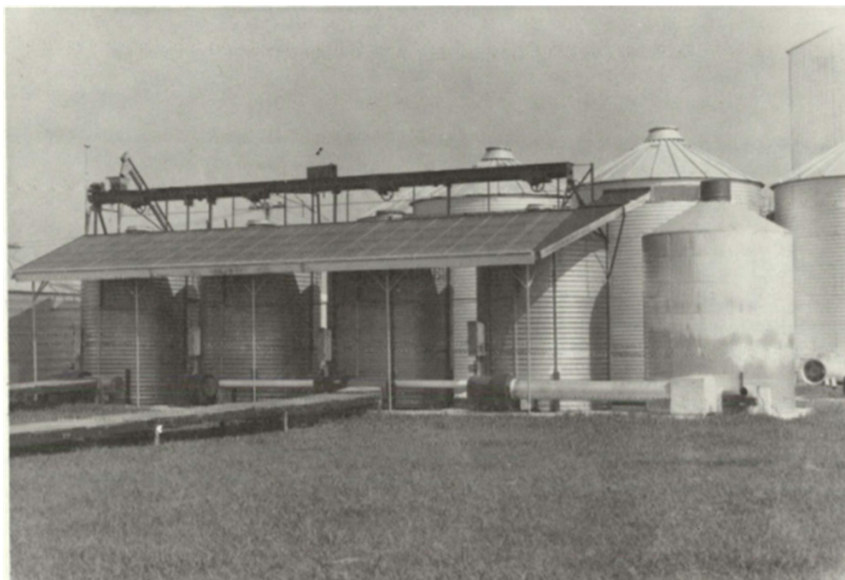
Then, the definition of solar drying is described in detail, as well as the types that have been invented, and then a comparison of solar drying with other methods of a similar type is made. The advantages and disadvantages, as well as the economic data of drying, are mentioned. A type of drying with stirring, its methods and systems are also described.

The experimental process is then recorded with the parameters that were used to carry out the entire construction. In this experimental part, the materials used during the construction process are presented, as well as the technological equipment that was made available. In a next stage, regarding the vertical stirring system, a folding mechanical scraper needs to be adapted, which provides the operator with the ability to remove the produced material from the solar drying tank.

Finally, all of the above work has as its main objective the optimization of the operation of existing solar drying systems, which have been constructed within the framework of the Life-F4F pilot program.

1. Εισαγωγή

Η τεχνολογία της ηλιακής ξήρανσης εφευρέθηκε κοντά στη δεκαετία του 1950 ως λύση στο κοινό πρόβλημα που σχετίζεται με το στέγνωμα στον ήλιο. Σημαντική αλλαγή της τεχνολογίας υπήρξε αργότερα, μετά την κρίση του πετρελαίου, το 1973, όταν αυξήθηκε το ενδιαφέρον για την εύρεση ενός εναλλακτικού συστήματος με βιώσιμη πηγή ενέργειας για τη ξήρανση των σιτηρών και των ψαριών. Έτσι αναπτύχθηκαν συστήματα ηλιακής ξήρανσης.^[3]



Εικόνα 1.1: Ηλιακή ενέργεια που χρησιμοποιήθηκε για την ξήρανση του ρυζιού το 1977 στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής.

Η ηλιακή ξήρανση λοιπόν έχει μια μακρά ιστορία, κοντά στα 70 έτη. Παραδοσιακά ξεκινούσε με ξήρανση από τον ήλιο ή καλύτερα γνωστό ως ηλιοθεραπεία. Σε αυτή τη μέθοδο, το προϊόν εκτίθεται απευθείας στις ακτίνες του ήλιου, επιτρέποντας στα προϊόντα να στεγνώσουν με ακτινοβολία από τον ήλιο. Ωστόσο, αυτή η μέθοδος έχει μειονεκτήματα όπως, έκθεση προϊόντων στον αέρα, τη βροχή, την υγρασία, τη σκόνη, τα ζώα, τα έντομα και την ανάπτυξη μυκήτων.

Αυτή η διαδικασία είναι επίσης χρονοβόρα και απαιτεί μεγάλη επιφάνεια. Από την έννοια της ηλιακής ξήρανσης, προέκυψαν τα ηλιακά στεγνωτήρια. Η βασική αρχή ενός ηλιακού στεγνωτηρίου είναι να περνά ζεστό, ξηρό αέρα που θερμαίνεται από την ηλιακή ενέργεια πάνω από τα προϊόντα που πρόκειται να στεγνώσουν. Η ηλιακή ξήρανση έχει αποδειχθεί ότι είναι οικονομικά αποδοτική και αποτελεσματική εναλλακτική λύση στα παραδοσιακά και μηχανικά συστήματα ξήρανσης, ειδικά σε περιοχές με καλή ηλιοφάνεια, όπως η Μεσόγειος.

Διάφοροι τύποι ηλιακών στεγνωτηρίων έχουν σχεδιαστεί για να βελτιώσουν τις δυνατότητες ηλιακής ξήρανσης, όπως ηλιακά στεγνωτήρια θερμοκηπίου, στεγνωτήρια ηλιακών ερμαρίων, στεγνωτήρια αναγκαστικής μεταφοράς και πολλά άλλα. Ωστόσο, ένα σημαντικό πρόβλημα που υπάρχει με αυτά τα ηλιακά στεγνωτήρια είναι η ικανότητά τους να στεγνώνουν προϊόντα μόνο με την ύπαρξη ηλιακής ενέργειας, επιτρέποντάς τους να λειτουργούν μόνο τις ζεστές μέρες. Αυτό προκαλεί ασυνέπεια στην ξήρανση και μείωση της κλίμακας παραγωγής.

Όμως υπάρχουν και συστήματα που ενσωματώνουν τη χρήση του άμεσου και του έμμεσου ηλιακού ξηραντήρα με έναν καυστήρα βιομάζας για τη διατήρηση της διαδικασίας ξήρανσης ακόμη και κατά τη διάρκεια της νυχτερινής πτώσης ή με συννεφιά. Ο καυστήρας βιομάζας λειτουργεί ως βοηθητικό σύστημα θέρμανσης σε περιόδους χαμηλής ή μηδενικής έντασης ηλιακής ακτινοβολίας και έτσι μπορεί να λειτουργεί συνεχώς, ανεξάρτητα από την ηλιακή ενέργεια ή χωρίς. [6]



Εικόνα 1.2: Υβριδικός ηλιακός στεγνωτήρας με ενσωμάτωση βιομάζας.

Από την άλλη, προέκυψε κάποια στιγμή και η ανάγκη ξήρανσης των βιοαποβλήτων, δηλαδή των αποβλήτων κήπων και πάρκων, απόβλητα τροφίμων και κουζίνας από νοικοκυριά, εστιατόρια, καταστήματα εστίασης και καταστήματα λιανικής και συγκρίσιμα απόβλητα από μονάδες επεξεργασίας τροφίμων. Τα βιοαπόβλητα σε ένα σύστημα ηλιακής ξήρανσης πρέπει να διαχωρίζονται από τη γραμμή παραγωγής και να προωθούνται για την αποδόμησή τους.^[11]

Ένα πολύ σημαντικό έργο που υλοποιήθηκε στο Ηράκλειο της Κρήτης, στο πλαίσιο του συγχρηματοδοτούμενου έργου LIFE-F4F, είχε ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη πιλοτικής μονάδας ηλιακής ξήρανσης, για την επεξεργασία και ξήρανση υπολειμμάτων χώρων μαζικής εστίασης και φιλοξενίας, που ήδη εφαρμόζουν σύστημα διαλογής στην πηγή και αυστηρούς κανόνες HACCP, με απώτερο στόχο την παραγωγή προϊόντων προστιθέμενης αξίας, όπως είναι και τα εναλλακτικά συστατικά ζωοτροφών. Τα τροφικά υπολείμματα τοποθετούνται σε σακούλες, σε ειδικούς κάδους εντός των κουζινών των μονάδων αυτών και η συλλογή των κάδων γίνεται με ειδικά οχήματα ψυγεία, που εξασφαλίζουν την μεταφορά τους στην πιλοτική μονάδα ηλιακής ξήρανσης.^[10]

Για την αξιολόγηση των διαφόρων συστημάτων ξήρανσης χρησιμοποιούνται τα ακόλουθα κριτήρια:

- Δαπάνες (για την ανάπτυξη, τη συντήρηση και τη λειτουργία).
- Τεχνολογικές πτυχές, συμπεριλαμβανομένης της προσαρμοστικότητας, της απλότητας και της αξιοπιστίας.
- Πιθανή εμπορική αξία του τελικού προϊόντος.

Για τη μείωση της υψηλής περιεκτικότητας των τροφίμων σε υγρασία, η βιομηχανική ξήρανση είναι σήμερα η πιο δημοφιλής μέθοδος, αλλά έχει το μειονέκτημα ότι χρησιμοποιεί πολλή ενέργεια. Έχουν καταβληθεί σημαντικές προσπάθειες για τη διερεύνηση τρόπων βελτίωσης της διαδικασίας ξήρανσης σε συνδυασμό με την εξοικονόμηση ενέργειας, ως αποτέλεσμα της πρόσφατης αύξησης της τιμής του πετρελαίου και της νέας, αυστηρότερης περιβαλλοντικής νομοθεσίας.^[13]

2. Σκοπός πτυχιακής εργασίας

Ο στόχος αυτής της πτυχιακής εργασίας είναι η αναβάθμιση και η τροποποίηση υφιστάμενων κατασκευών, καθώς και η ενσωμάτωση νέων μηχανολογικών στοιχείων, σε μια πιλοτική μονάδα ηλιακής ξήρανσης τροφικών υπολειμμάτων. Η μονάδα αυτή βρίσκεται στις εγκαταστάσεις του Ενιαίου Συνδέσμου Διαχείρισης Απορριμμάτων Κρήτης (ΕΣΔΑΚ) στον Δήμο Ηρακλείου και λειτουργεί υπό την επίβλεψη του Εργαστηρίου Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής (ΑΦΥΠΟΓΕΜ), του ΕΛΜΕΠΑ..

Απώτερος στόχος της παρούσας πτυχιακής εργασίας ήταν να λυθούν τα παρακάτω πρακτικά προβλήματα χρήσης των υφιστάμενων ηλιακών ξηραντήρων. Πιο συγκεκριμένα,

1. Δύσκολη απομάκρυνση των προς ξήρανση υλικών μετά την επεξεργασία τους, από τις δεξαμενές ξήρανσης.
2. Οριοθέτηση και στεγάνωση των δεξαμενών ξήρανσης.
3. Προβλήματα κατά την ανάδευση των υλικών στα συστήματα ανάδευσης – εκτοπισμός του υλικού εκτός δεξαμενών
4. Μη ομοιόμορφη, ορθή και πλήρης κάλυψη της επιφάνειας των δεξαμενών από τα συστήματα ανάδευσης
5. Φθορές εξαρτημάτων συστημάτων ανάδευσης.

Τα παραπάνω προβλήματα, λύθηκαν με μελέτη, σχεδιασμό και κατασκευή πρόσθετων τμημάτων και τμημάτων αντικατάστασης μερών των υφιστάμενων ηλιακών ξηραντήρων. Όλα τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν ήταν πιστοποιημένα για χρήση σε κατασκευές υγειονομικού ενδιαφέροντος, με χαμηλό κόστος κατασκευής και χωρίς τη χρήση πρόσθετων αυτοματισμών.

Παράλληλα, επιμέρους στόχος των συγκεκριμένων εργασιών που έλαβαν χώρα στο πλαίσιο της παρούσας, ήταν η καλύτερη, ταχύτερη και αποδοτικότερη λειτουργία των ηλιακών ξηραντήρων των εγκαταστάσεων της πιλοτικής μονάδας, με όσο το δυνατό μικρότερο περιβαλλοντικό αποτύπωμα.

3. Ηλιακή Ξήρανση

Η διατήρηση της γεωργικής παραγωγής είναι ένα από τα βασικά προβλήματα που αντιμετωπίζουν οι αναπτυσσόμενες χώρες. Και όσο περνάει ο καιρός, αυτά τα προβλήματα επιδεινώνονται από τις αυξανόμενες διατροφικές ανάγκες του συνεχώς αυξανόμενου πληθυσμού αυτών των χωρών.

Σε πολλές αναπτυσσόμενες χώρες, μεγάλες ποσότητες φρούτων και λαχανικών αλλοιώνονται λόγω ανεπαρκών υποδομών, ανεπαρκών ικανοτήτων επεξεργασίας και αυξανόμενων δυσκολιών εμπορίας που προκαλούνται από τον ανταγωνισμό και την προστασία στις παγκόσμιες γεωργικές αγορές. Η ξήρανση αυτών των προϊόντων μπορεί να βοηθήσει στην επίλυση αυτών των προβλημάτων, ενώ παράλληλα συμβάλλει σημαντικά και στη βελτίωση του εισοδήματος και της κατάστασης προσφοράς του πληθυσμού.

Η ξήρανση είναι μια σημαντική μορφή συντήρησης των τροφίμων που πραγματοποιείται συχνά σε ένα επίπεδο αγροκτήματος αμέσως μετά τη συγκομιδή, ή ειδικά με πολύ ευπαθείς καλλιέργειες, κατά την περίοδο αιχμής της συγκομιδής, όταν οι τοπικές αγορές είναι κορεσμένες. Η αποξήρανση λαχανικών, φρούτων και κρέατος με θερμική ενέργεια επιτρέπει μεγαλύτερους χρόνους αποθήκευσης και ευκολότερη μεταφορά (μειώνοντας την περιεκτικότητα σε υγρασία). Εάν γίνει σωστά, το στέγνωμα μπορεί επίσης να βοηθήσει στη διατήρηση της θρεπτικής αξίας των τροφίμων και στη μείωση της ανάπτυξης επιβλαβών παθογόνων, βακτηρίων στα τρόφιμα.



Εικόνα 3.1: Σύστημα ηλιακής ξήρανσης φρούτων, χρησιμοποιώντας ηλιακή ενέργεια και όχι ηλεκτρική ενέργεια, στην Ινδονησία

Το στέγνωμα είναι μια χρονοβόρα διαδικασία και ο ρυθμός ξήρανσης εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως το είδος του προϊόντος (την υγρασία που εμπεριέχεται σε αυτό), το σχήμα και το μέγεθος του προϊόντος (τι πάχος έχει το κάθε κομμάτι), με ποιο τρόπο απλώνονται στη σχάρα στεγνώματος, τη διαδικασία (το πάχος κάθε στρώσης στεγνώματος) και πόσο συχνά γυρίζονται κατά τη ξήρανση. Για ένα βέλτιστο στέγνωμα, είναι σημαντικό να μην γεμίζει υπερβολικά η διαδρομή ξήρανσης και να περιστρέφονται τακτικά τα προϊόντα για να στεγνώνουν ομοιόμορφα.

Τα γεωργικά προϊόντα μπορούν να αποξηρανθούν υπαίθρια απευθείας στον ήλιο ή με στεγνωτήρια που τροφοδοτούνται από βιομάζα ή ηλιακή ενέργεια. Στο παρακάτω κεφάλαιο, περιγράφονται οι διάφορες μέθοδοι ξήρανσης και οι τύποι των ηλιακών στεγνωτηρίων.^[1]

3.1 Τύποι ηλιακών στεγνωτηρίων και συστήματα ηλιακής ξήρανσης

Ένα ηλιακό στεγνωτήριο είναι μια ενδιαφέρουσα τεχνολογία που αξιοποιεί την ηλιακή ενέργεια και τη χρησιμοποιεί για την αποξήρανση φρούτων, λαχανικών και καλλιεργειών για συντήρηση. Τα ηλιακά στεγνωτήρια είναι συσκευές που αντλούν την ηλιακή ενέργεια για να στεγνώσουν ουσίες, ειδικά τρόφιμα. Χρησιμοποιούν τη θερμότητα από τον ήλιο για να αφαιρέσουν την υγρασία των ουσιών των τροφίμων. Υπάρχουν δύο γενικοί τύποι ηλιακών στεγνωτηρίων: οι άμεσοι και οι έμμεσοι.

Οι άμεσοι ηλιακοί στεγνωτήρες εκθέτουν την ουσία που πρόκειται να αφυδατωθεί στο άμεσο ηλιακό φως. Ιστορικά, τα τρόφιμα και τα ρούχα στέγνωναν στον ήλιο χρησιμοποιώντας σχοινιά, ή τοποθετώντας τα αντικείμενα σε βράχους ή πάνω από σκηνές. Στη Μογγολία, το τυρί και το κρέας εξακολουθούν να αποξηραίνονται παραδοσιακά χρησιμοποιώντας την κορυφή μίας σκηνής ως ηλιακό στεγνωτήριο.

Σε αυτά τα συστήματα η ηλιακή ξήρανση υποβοηθείται από την κίνηση του αέρα (άνεμος) που απομακρύνει τον περισσότερο κορεσμένο αέρα από τα αντικείμενα που στεγνώνουν. Πιο πρόσφατα, σύνθετα ράφια ξήρανσης και ηλιακές σκηνές, κατασκευάστηκαν ως ηλιακά στεγνωτήρια. Ένας σύγχρονος τύπος ηλιακού στεγνωτηρίου έχει μια μαύρη απορροφητική επιφάνεια, που συλλέγει το φως και το μετατρέπει σε θερμότητα. Η ουσία που προορίζεται για ξήρανση τοποθετείται απευθείας σε αυτή την επιφάνεια. Αυτά τα στεγνωτήρια μπορεί να έχουν περιβλήματα, γυάλινα καλύμματα ή και αεραγωγούς προκειμένου να αυξηθεί η απόδοσή τους.



Εικόνα 3.2: Σύστημα άμεσου ηλιακού στεγνωτήρα λαχανικών.

Σε έμμεσους ηλιακούς ξηραντήρες, η μαύρη επιφάνεια θερμαίνει τον εισερχόμενο αέρα αντί να θερμαίνει απευθείας την ουσία που πρόκειται να στεγνώσει. Αυτός ο θερμαινόμενος αέρας περνά στη συνέχεια πάνω από την ουσία που πρόκειται να στεγνώσει και εξέρχεται συχνά προς τα πάνω μέσω μιας καμινάδας, παίρνοντας μαζί της την υγρασία που απελευθερώνεται από την ουσία. Μπορούν να είναι πολύ απλά συστήματα, απλώς ένα κεκλιμένο κρύο πλαίσιο με μαύρο ύφασμα σε ένα μονωμένο κτίριο από τούβλα με ενεργό αερισμό και σύστημα εφεδρικής θέρμανσης.

Ένα από τα βασικά πλεονεκτήματα του έμμεσου συστήματος, είναι ότι είναι πιο εύκολο να προστατεύεται το φαγητό ή άλλη ουσία από κάποια μόλυνση είτε από τον άνεμο είτε από πουλιά, έντομα ή ζώα. Η ηλιακή ξήρανση πραγματοποιείται κυρίως μεταξύ 50-70 βαθμών Κελσίου. Έτσι τρόφιμα, όπως φρούτα, λαχανικά, μπαχαρικά και άλλα είδη, αφού στεγνώσουν στον ήλιο, μπορούν να αποθηκευτούν για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα.^[5]



Εικόνα 3.3: Σύστημα έμμεσου ηλιακού ξηραντηρίου τροφίμων.

Για την αποτελεσματική λοιπόν ξήρανση των αντικειμένων, έχουν αναπτυχθεί διάφοροι υπότυποι στεγνωντηρίων και η επιλογή ενός εξαρτάται από διάφορες μεταβλητές. Η ποσότητα και ο τύπος του προϊόντος που πρόκειται να αποξηρανθεί, η τοποθεσία όπου θα πραγματοποιηθεί η ξήρανση και οι διαθέσιμοι οικονομικοί πόροι για την κατασκευή και τη λειτουργία του είναι οι τρεις πιο κρίσιμοι παράγοντες. Οι ηλιακοί ξηραντήρες μπορούν να κατηγοριοποιηθούν χρησιμοποιώντας διάφορους παράγοντες, όπως:

- το κατά πόσον το προς ξήρανση προϊόν εκτίθεται απευθείας στον ήλιο ή όχι,
- αν υπάρχουν και άλλες συμβατικές πηγές ενέργειας εκτός από την ηλιακή ενέργεια,
- η μορφολογία του ξηραντηρίου,
- την ταξινόμηση του ξηραντηρίου ως ηλιακού ξηραντηρίου μικτού τύπου.

Ακολουθεί ένας κατάλογος των πιο δημοφιλών ηλιακών ξηραντήρων:

1. Ηλιακός ξηραντήρας κιβωτίου.
2. Ηλιακός ξηραντήρας θαλάμου.
3. Ηλιακός ξηραντήρας σκηνής.
4. Ηλιακός ξηραντήρας σήραγγας.
5. Ηλιακός ξηραντήρας τύπου θερμοκηπίου.
6. Ηλιακός ξηραντήρας έμμεσου τύπου.
7. Ηλιακός ξηραντήρας με καπνοδόχο.
8. Ηλιακός ξηραντήρας δωματίου.^[21]

Στα παρακάτω υποκεφάλαια περιγράφονται κάποιες από τις λειτουργίες τους.

3.1.1 Ηλιακός ξηραντήρας κιβωτίου

Οι ηλιακοί ξηραντήρες κιβωτίου (box type dryer) είναι συνήθως μικρές, φορητές συσκευές που χρησιμοποιούνται σε σπίτια για τη συντήρηση γεωργικών προϊόντων. Ο τυπικός σχεδιασμός αυτού του είδους ξηραντηρίου είναι ένα πλαίσιο (το οποίο μπορεί να είναι ένα απλό διαφανές κάλυμμα) μέσα στο οποίο τοποθετούνται δίσκοι αλουμινίου που περιέχουν το προς ξήρανση προϊόν. Οι δίσκοι τοποθετούνται μερικά εκατοστά πάνω από τη βάση της συσκευής, ώστε το προϊόν να δέχεται απευθείας το φως του ήλιου. Αυτό διευκολύνει τη ροή του αέρα από τον πυθμένα των δίσκων μέσω του προϊόντος.

Η εσωτερική επιφάνεια του κιβωτίου απορροφά την ηλιακή ακτινοβολία που διαπερνά το κάλυμμα. Με την αύξηση της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του ξηραντηρίου, αυξάνεται επίσης η θερμοκρασία του αέρα που εισέρχεται από τις οπές στο μπροστινό μέρος του ξηραντηρίου και διευκολύνεται η κυκλοφορία του αέρα. Η χρήση ενός εσωτερικού θερμαντήρα είναι μια επιλογή εάν η αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα είναι ανεπαρκής.

Λόγω της φθηνής τιμής του και της καταλληλότητάς του για την ξήρανση μικρών ποσοτήτων προϊόντων, αυτός ο τύπος ηλιακού ξηραντήρα χρησιμοποιείται κυρίως σε οικιακές εγκαταστάσεις. Επιπλέον, προσφέρει και κάποιο βαθμό ανεξαρτησίας από τις καιρικές συνθήκες και ο τρόπος κατασκευής του καθιστά απλούστερη τη ρύθμιση της διαδικασίας ξήρανσης.^[21]

3.1.2 Ηλιακός ξηραντήρας σκηνής

Η συλλογή της ηλιακής ενέργειας και η διαδικασία ξήρανσης πραγματοποιούνται στην ίδια θέση με τον ξηραντήρα σκηνής, ο οποίος αποτελεί παραλλαγή του ξηραντήρα θαλάμου. Ο φθηνός και απλός ηλιακός ξηραντήρας σκηνής, αποτελείται από ένα ξύλινο πλαίσιο και ένα κάλυμμα. Σε ένα ράφι που είναι υπερυψωμένο πάνω από το έδαφος, τοποθετούνται τα προς ξήρανση αντικείμενα.

Σε σύγκριση με τη φυσική ξήρανση, αυτό το είδος στεγνωτηρίου προσφέρει προστασία από τη βροχή, τα έντομα και τη σκόνη και μπορεί να επιταχύνει την ξήρανση κατά 25%. Το μεγαλύτερο μειονέκτημα είναι ότι είναι ευάλωτο σε ζημιές από ισχυρούς ανέμους.^[21]

3.1.3 Ηλιακός ξηραντήρας σήραγγας

Ο ηλιακός ξηραντήρας σε σχήμα σήραγγας αποτελείται από έναν θάλαμο ξήρανσης, έναν επίπεδο ηλιακό συλλέκτη αέρα και έναν ανεμιστήρα που παρέχει τη σωστή ποσότητα αέρα για την ξήρανση των προϊόντων. Ένα διαφανές πλαστικό κάλυμμα τοποθετείται πάνω από το θάλαμο ξήρανσης και τη συλλογή. Για να σταματήσει η απώλεια θερμότητας, το εσωτερικό και οι πλευρικές πλευρές του θαλάμου ξήρανσης διαθέτουν μόνωση.

Η ηλεκτρική ενέργεια που απαιτείται για τη λειτουργία του ανεμιστήρα είναι ελάχιστη με αυτό το είδος ξηραντήρα, καθώς ο αέρας ρέει πάνω από το προϊόν και όχι μέσα από αυτό. Το καπάκι είναι

κατασκευασμένο σε ελαφρώς γωνιακή μορφή για να αποτρέπεται η είσοδος νερού σε περίπτωση βροχής.^[22]

3.1.4 Ηλιακός ξηραντήρας τύπου θερμοκηπίου

Οι ξηραντήρες τύπου θερμοκηπίου λειτουργούν καλά σε περιοχές με έντονη έκθεση στον ήλιο. Είναι από τους πιο δημοφιλείς και συχνά χρησιμοποιούμενους ξηραντήρες, ιδίως κατά την ξήρανση ξύλου και ιλύος. Το προς ξήρανση αντικείμενο τοποθετείται μέσα σε διαφανείς ή ημιδιαφανείς τοίχους που έχουν ενσωματωμένους ηλιακούς συλλέκτες.^[22]

Στη θερμικά μονωμένη βόρεια πλευρά βρίσκεται η είσοδος. Το δάπεδο καλύπτεται με σκυρόδεμα ή πέτρες, ενώ οι νότιες επιφάνειες καλύπτονται με διαφανές υλικό (γυαλί ή πλαστικό). Λόγω της μόνωσης η θερμότητα συγκρατείται τις νύχτες και τις ημέρες με μικρή ηλιακή ακτινοβολία. Αυτό μπορεί να χωριστεί περαιτέρω στις ακόλουθες κατηγορίες.^[23]

- Ξηραντήρες χωρίς ανεμιστήρες που χρησιμοποιούν την αγωγιμότητα για τη μεταφορά ενέργειας και τη φυσική κίνηση του αέρα για την παροχή εξαερισμού. Το επικλινές κάλυμμα της κατασκευής έχει προσανατολισμό βορρά-νότου και διαθέτει ένα ή περισσότερα ανοίγματα εξαερισμού για τη διαφυγή του υγρού θερμού αέρα. Ο φρέσκος αέρας μπορεί να εισέλθει στο ξηραντήριο μέσω οπών στο κατώτερο τμήμα του τοίχου κάτω από τη γυάλινη οροφή. Η εσωτερική θερμοκρασία του προϊόντος αυξάνεται με την αξιοποίηση της ηλιακής ακτινοβολίας που εισέρχεται μέσω της γυάλινης οροφής. Χρησιμοποιούνται θερμάστρες αερίου για την επιτάχυνση της διαδικασίας ξήρανσης κατά τη διάρκεια συνεφιασμένων ή βροχερών εποχών.^[22]
- Ξηραντήρες που χρησιμοποιούν ανεμιστήρες για την κίνηση του αέρα και επιτρέπουν τον φυσικό αερισμό. Αυτός ο τύπος διαφέρει στο ότι χρησιμοποιεί ηλεκτρικούς ανεμιστήρες χαμηλής ισχύος που είναι τοποθετημένοι, συχνά στην ανατολική και δυτική πλευρά της κατασκευής, για να κυκλοφορούν τον αέρα στο εσωτερικό του ξηραντηρίου. Όπως και προηγουμένως, τα ανοίγματα εξαερισμού βρίσκονται στην κορυφή του ξηραντήρα για τον εξαερισμό.^[22]
- Ξηραντήρες στους οποίους τόσο ο αερισμός όσο και η κυκλοφορία του αέρα επιτυγχάνονται με τη βοήθεια ανεμιστήρων, με τη λειτουργία του ανεμιστήρα να διαμορφώνεται ανάλογα με τα επίπεδα της εσωτερικής υγρασίας.^[24]

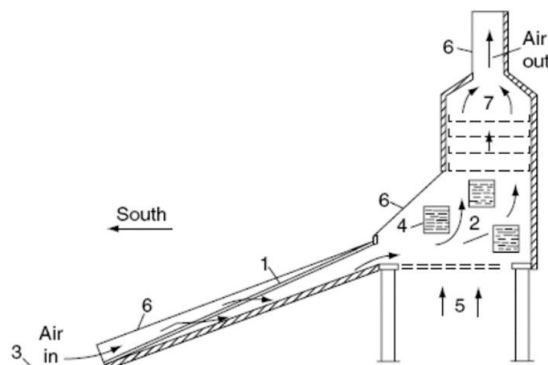
3.1.5 Ηλιακός ξηραντήρας έμμεσου τύπου με καπνοδόχο

Προκειμένου να βελτιωθεί η επαρκής κυκλοφορία του αέρα κατά την ξήρανση μεγάλων ποσοτήτων υλικού, μια υψηλή καμινάδα συνδέεται με τον ξηραντήρα έμμεσου τύπου (ξηραντήρας τύπου καμινάδας).^[23]

Έχουν γίνει πολλές έρευνες για τον τρόπο κατασκευής ενός ξηραντήρα τύπου καμινάδας που είναι παρόμοιος, αλλά ενσωματώνει επίσης έναν θάλαμο αποθήκευσης θερμότητας για την παράταση του χρόνου ξήρανσης ακόμη και τις ελλείψεις επαρκούς ακτινοβολίας. Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζεται ένα τέτοιο κτίριο. Από τον ηλιακό συλλέκτη με το νούμερο 1 στο θάλαμο αποθήκευσης θερμότητας (2) ρέει αέρας. Η είσοδος του αέρα στο θάλαμο ξήρανσης βρίσκεται κοντά σε μια επιφάνεια (3) που έχει κατασκευαστεί για να αντανakλά την ηλιακή ακτινοβολία και χρησιμοποιούνται δοχεία νερού (4) για την αποθήκευση της θερμότητας.

Ο εξωτερικός αέρας μπορεί να εισέλθει μέσω ανοιγμάτων τη νύχτα (5.) Χρησιμοποιούνται διαφανή φύλλα για την κάλυψη της πρόσοψης, των πλευρών και της νότιας πλευράς του θαλάμου

αποθήκευσης θερμότητας καθώς και του θαλάμου 6. Τέλος, το προς ξήρανση αντικείμενο τοποθετείται στα ράφια του θαλάμου ξήρανσης (7).^[24]



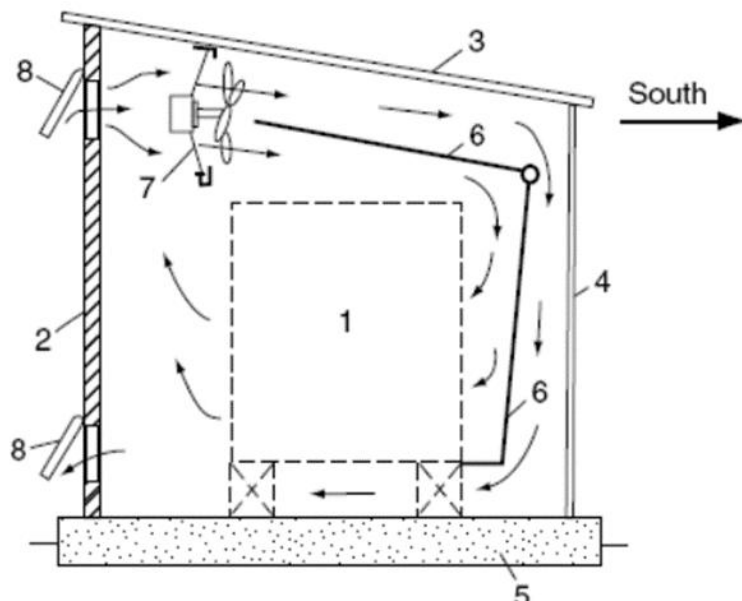
Σχήμα 3.4: Ηλιακός ξηραντήρας με καμινάδα και θάλαμο αποθήκευσης θερμότητας. (Google Scholar)

Το κύριο πλεονέκτημα των ξηραντηρίων με καμινάδα είναι ότι δεν χρειάζονται εξωτερική πηγή ενέργειας, γεγονός που τους επιτρέπει να λειτουργούν σε απομακρυσμένες τοποθεσίες. Το μειονέκτημα είναι ότι λόγω των ισχυρών ταχυτήτων του ανέμου, το ύψος της καμινάδας είναι περιορισμένο. Ο περιορισμός του ύψους της καμινάδας έχει επίσης ως αποτέλεσμα τη μη σωστή ροή του αέρα ξήρανσης και τον περιορισμό της διαφοράς υδροστατικής πίεσης.^[25]

3.1.6 Ηλιακός ξηραντήρας δωματίου

Ο σχεδιασμός ενός ξηραντήρα τύπου δωματίου για την ξήρανση ξυλείας απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα. Στο εσωτερικό του ξηραντήρα υπάρχει ένα πλαίσιο με το νούμερο 1 που διαθέτει ανοίγματα για τη ροή του αέρα. Η οροφή (3), ο νότιος τοίχος (4) και οι πλευρικές επιφάνειες της κατασκευής είναι από διαφανείς σανίδες δύο στρώσεων, ενώ ο βόρειος τοίχος (2) είναι ιδιαίτερα μονωμένος.

Πάνω σε θεμέλιο από σκυρόδεμα στεγάζεται ο ξηραντήρας (5). Ο σκουρόχρωμος απορροφητήρας αλουμινίου (6) θερμαίνεται από την ηλιακή ενέργεια που εισέρχεται μέσω των διαφανών πάνελ. Ο αέρας που φυσάει ο ανεμιστήρας (7) στον απορροφητήρα (6) ρέει και προς τις δύο κατευθύνσεις, ένα μέρος του εισέρχεται στο πλαίσιο από την πίσω πλευρά και ένα άλλο από το κάτω τμήμα. Μεταβάλλοντας το άνοιγμα (8), μπορεί να αλλάξει η αναλογία φρέσκου αέρα προς ανακυκλοφορούμενο αέρα.^[25]



Σχήμα 3.5: Ηλιακός ξηραντήρας δωματίου. (Google Scholar)

3.2 Σύγκριση ηλιακής ξήρανσης με άλλες μεθόδους

Πολυάριθμες είναι οι τεχνικές ξήρανσης που έχουν αναπτυχθεί και χρησιμοποιηθεί για την ξήρανση φυτικών προϊόντων με την πάροδο των ετών. Ωστόσο, οι πιο ευρέως εφαρμοζόμενες μέθοδοι έχουν κάποια μειονεκτήματα και ως εκ τούτου έχει διεξαχθεί εκτεταμένη έρευνα για να περιοριστούν αυτές οι αρνητικές πτυχές καθώς και να ελαχιστοποιηθεί η κατανάλωση ενέργειας σε όλη τη διαδικασία.

Οι νέες τεχνολογίες ξήρανσης που μπορεί να γίνουν αποδεκτές από τη βιομηχανία τροφίμων περιλαμβάνουν λύσεις εξοικονόμησης ενέργειας, όπως στεγνωτήρια με τη χρήση αντλιών θερμότητας, συνδυασμό υπαρχουσών τεχνολογιών για τη βελτιστοποίηση του κόστους και της ποιότητας των αποξηραμένων προϊόντων και κάθε μέθοδο που επιτρέπει καλύτερο έλεγχο της διαδικασίας συνθηκών και της ποιότητας προϊόντος.^[16]

3.2.1 Ξήρανση αντλίας θερμότητας

Οι απώλειες ενέργειας κατά τη διάρκεια της συμβατικής ξήρανσης με τη χρήση ζεστού αέρα είναι αρκετά σημαντικές. Ως εκ τούτου, πολλές μέθοδοι έχουν σχεδιαστεί για να επικεντρώνονται στην ανάκτηση του εξαντλημένου αέρα κατά τη διαδικασία. Ωστόσο, αυτές οι μέθοδοι μπορούν να ανακτήσουν μόνο την αισθητή θερμότητα από τον αέρα, χάνοντας την υπόλοιπη θερμότητα με τη μορφή της λανθάνουσας θερμότητας του ατμού.

Σε αυτόν τον τύπο στεγνωτηρίου, χρησιμοποιείται ψυγείο για την ανάκτηση της λανθάνουσας θερμότητας με τη συμπύκνωση νερού. Στην πραγματικότητα, αυτό το στεγνωτήριο είναι ένα βελτιωμένο στεγνωτήριο συναγωγής με σύστημα ψύξης, το οποίο συμβάλλει στην ενεργειακή απόδοση και βελτιώνει την ποιότητα του προϊόντος περιορίζοντας τις αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Κατά τη διαδικασία ξήρανσης, ξηρός θερμαινόμενος αέρας παρέχεται στο προϊόν με αποτέλεσμα την απελευθέρωση υγρού αέρα. Ο αέρας ταξιδεύει στον εξατμιστή της αντλίας θερμότητας, όπου συμπυκνώνεται, επιτρέποντας στη λανθάνουσα θερμότητα από την εξάτμιση, να επαναχρησιμοποιηθεί για την αναθέρμανση του αέρα ξήρανσης. Το πλεονέκτημα αυτής της

μεθόδου ξήρανσης, είναι η μείωση του χρόνου και της θερμοκρασίας λόγω της μείωσης της σχετικής υγρασίας σε σύγκριση με το συμβατικό στεγνωτήριο ζεστού αέρα.

Μια εναλλακτική αντλία θερμότητας συμπίεσης είναι η χημική. Αυτή η μέθοδος θεωρείται ως μια από τις πιο ενεργειακά αποδοτικές και αποτελείται από έναν ηλιακό συλλέκτη, μια δεξαμενή αποθήκευσης και ένα θάλαμο ξήρανσης. Η χημική αντλία θερμότητας αποθηκεύει την κακή χρήση θερμότητας από τα αέρια του στεγνωτηρίου ή την ηλιακή ενέργεια με τη μορφή χημικής ενέργειας και την απελευθερώνει σε διαφορετικές θερμοκρασίες κατά τη διαδικασία ξήρανσης.

Αυτή η μέθοδος λειτουργεί χρησιμοποιώντας την αναστρέψιμη χημική αντίδραση που απαιτείται για να αλλάξει το επίπεδο θερμοκρασίας της θερμικής ενέργειας που αποθηκεύεται από τις χημικές ουσίες. Οι χημικές ουσίες είναι πολύ σημαντικές για την απορρόφηση και την εξάλειψη της θερμότητας. Αυτή η μέθοδος έχει το πλεονέκτημα της μείωσης της κατανάλωσης ενέργειας και έχει σχεδιαστεί για συνεχή λειτουργία.^[16]

3.2.2 Τεχνικές ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας

Πολλές συμβατικές μέθοδοι ξήρανσης χρησιμοποιούν θερμό αέρα που λαμβάνεται μέσω ηλεκτρικού θερμαντήρα ή καυσαερίων για να επιβάλλουν τη μεταφορά θερμότητας μεταξύ του θερμού αέρα και του υλικού κυρίως μέσω μεταφοράς. Ωστόσο, υπάρχουν πολλές άλλες μέθοδοι που χρησιμοποιούν το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα μήκους κύματος ως ενέργεια. Ηλεκτρομαγνητικά κύματα ορισμένου μήκους φτάνουν στο προϊόν δημιουργώντας με αυτόν τον τρόπο θερμότητα, η οποία αυξάνει τον ρυθμό ξήρανσης. Αυτή η μέθοδος λειτουργεί με έμμεση ηλεκτρική θέρμανση επειδή η ηλεκτρική ενέργεια μετατρέπεται πρώτα σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και μετατρέπεται αργότερα σε θερμότητα στο προϊόν ξήρανσης.^[16]

3.2.3 Ξήρανση με έκρηξη

Αυτή η μέθοδος εφαρμόζεται συνήθως σε μια ενδιάμεση φάση της διαδικασίας ξήρανσης και προκαλείται από την εξάτμιση νερού που δεσμεύεται από το προϊόν και τη διαστολή του λόγω της απότομης μείωσης της πίεσης ή της αύξησης της θερμοκρασίας. Αυτή τη στιγμή, ο ατμός που απελευθερώνεται χρησιμοποιείται τόσο για την ανάπτυξη μιας εσωτερικής δομής ή και για διαστολή παράγοντας μια πορώδη δομή, εξοικονομώντας χρόνο και ενέργεια.

Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι διόγκωσης, όπως φουσκώματα με αέρα υψηλής θερμοκρασίας και σύντομης διάρκειας και διόγκωση με υπέρθερμο ατμό. Το σύστημα ξήρανσης με έκρηξη (EPD) αποτελείται από ένα θάλαμο διόγκωσης, ένα θάλαμο κενού, μια αντλία κενού, μια γεννήτρια ατμού βαλβίδας αποσυμπίεσης και ένα συμπιεστή αέρα. Αυτή η μέθοδος συνήθως συνδυάζεται με άλλες μεθόδους και χρησιμοποιείται ως η φθηνότερη εναλλακτική λύση για κάποια προϊόντα.^[16]

3.2.4 Ξήρανση με υπερθερμασμένο ατμό χαμηλής πίεσης

Τα πλεονεκτήματα της ξήρανσης με υπερθερμασμένο ατμό χαμηλής πίεσης (LPSSD) προκύπτουν από τη μείωση της θερμοκρασίας λειτουργίας λόγω της μειωμένης πίεσης και της έλλειψης οξυγόνου, καθώς ο ξηραντικός παράγοντας είναι ένας ατμός αντί για ζεστό αέρα, ο οποίος χρησιμοποιείται συνήθως για την ανταλλαγή θερμότητας και μάζας σε παραδοσιακές μεθόδους ξήρανσης.

Η διαδικασία ξήρανσης με τη χρήση υπέρθερμου ατμού εγκαθίσταται σε μονωμένο θάλαμο ξήρανσης υπό μειωμένη πίεση που διατηρείται από την αντλία κενού. Εγκαθίσταται μια παγίδα ατμού για τη μείωση της υπερβολικής συμπύκνωσης ατμού στη δεξαμενή, η οποία δέχεται το ξηραντικό από το λέβητα. Με τη χρήση ενός θερμαντήρα εξοπλισμένου με ένα σύστημα ελέγχου της θερμοκρασίας, η αρχική συμπύκνωση ατμού κατά την περίοδο εκκίνησης μειώνεται σημαντικά. Ένας ηλεκτρικός ανεμιστήρας μεταβλητής ταχύτητας χρησιμοποιείται για τη διασπορά του ατμού σε όλο το θάλαμο στεγνώματος.^[16]

3.2.5 Συνδυασμένες μέθοδοι ξήρανσης

Οι συνδυασμένες μέθοδοι ξήρανσης αντιπροσωπεύουν μια ομάδα νέων τεχνικών ξήρανσης που ξεπερνούν διάφορες ελλείψεις συνδυάζοντας τα πλεονεκτήματα επιλεγμένων μεθόδων και μειώνοντας τις αρνητικές πτυχές που εμφανίζονται όταν εφαρμόζεται μόνο μία τεχνική. Υπάρχουν πολλές συνδυασμένες μέθοδοι ξήρανσης. Ωστόσο, ορισμένα από αυτά αξίζουν ιδιαίτερης προσοχής λόγω της εφαρμογής τους στη βιομηχανία τροφίμων.^[16]

3.2.6 Βιομηχανική ξήρανση

Η πιο συνηθισμένη τεχνική ξήρανσης που χρησιμοποιείται σήμερα είναι η βιομηχανική ξήρανση. Οι ακόλουθες μεταβλητές καθορίζουν αν θα χρησιμοποιηθεί η ηλιακή ενέργεια ή ένα συμβατικό καύσιμο (όπως ηλεκτρική ενέργεια, κάρβουνο ή πετρέλαιο):

- Η αρχική τιμή αγοράς του εξοπλισμού,
- Η τιμή του αντικειμένου που πρόκειται να αποξηρανθεί.
- Το κόστος συντήρησης και λειτουργίας του ξηραντήρα.
- Η αναμενόμενη τιμή πώλησης του προϊόντος μετά την ξήρανση.

Η βιομηχανική ξήρανση παρέχει πολύ καλύτερο έλεγχο της ξήρανσης και δεν επηρεάζεται από τις διακυμάνσεις της ηλιακής ακτινοβολίας. Ωστόσο, έχει ορισμένα μειονεκτήματα, τα σημαντικότερα από τα οποία είναι τα εξής:

- Υψηλές εκπομπές CO₂, SO₂ και NO₂.
- Δαπανηρή επένδυση.
- Απαιτείται τεράστια ποσότητα καυσίμου ή ενέργειας για την αποτελεσματική λειτουργία της μονάδας.
- Ανάγκη εξειδικευμένου προσωπικού για τη συντήρηση και τη λειτουργία της μονάδας.

Όταν η χρήση της ηλιακής ενέργειας από μόνη της για αποτελεσματική ξήρανση δεν είναι δυνατή, είναι συχνά δυνατό να συνδυαστεί με τη χρήση συμβατικών καυσίμων, γεγονός που μειώνει τόσο το κόστος των καυσίμων όσο και τη ρύπανση που παράγουν.^[18]

3.3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα ηλιακής ξήρανσης

Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα της ηλιακής ξήρανσης είναι:

- Αντλεί ενέργεια από τον ήλιο, μια άφθονη δωρεάν και μη ρυπογόνο ανανεώσιμη πηγή ενέργειας που δεν μπορεί να μονοπωληθεί.
- Τα προϊόντα που αποξηραίνονται με τη χρήση της ηλιακής ενέργειας θεωρούνται ανώτερα από εκείνα που αποξηραίνονται με βιομηχανικές μεθόδους.
- Παρέχει την επιθυμητή μείωση της περιεκτικότητας σε υγρασία καθώς και καλύτερη ποιότητα του προϊόντος.
- Η συντόμευση της περιόδου συγκομιδής επιτρέπει την προετοιμασία του εδάφους για την παραγωγή της επόμενης καλλιέργειας.
- Η περίοδος ξήρανσης μπορεί να παραταθεί με τις επόμενες συγκομιδές και με τη χρήση ηλιακών ξηραντήρων, τα οποία μπορούν να διατηρήσουν μια ποικιλία προϊόντων.
- Σε σύγκριση με τη φυσική ξήρανση, ο χρόνος ξήρανσης μπορεί να μειωθεί σημαντικά.
- Οι αγρότες μπορούν να κερδίσουν περισσότερα χρήματα με την καλλιέργεια εμπορικών καλλιεργειών.
- Η εγκατάσταση ηλιακών ξηραντήρων συνεπάγεται πρόσθετο κόστος που μπορεί να αντισταθμιστεί από τις υψηλότερες αποδόσεις.

Ωστόσο, υπάρχουν ορισμένες προκλήσεις που πρέπει να ξεπεραστούν προκειμένου να χρησιμοποιηθεί η ηλιακή ακτινοβολία για προγραμματισμένη ξήρανση. Το κύριο μειονέκτημα των ηλιακών ξηραντήρων είναι ότι μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο σε περιοχές με υψηλή ηλιακή ακτινοβολία, ιδανικά στην περιοχή της Μεσογείου, όπου ο χρόνος ξήρανσης είναι αρκετά μεγάλος για να καταστήσει τους ηλιακούς ξηραντήρες οικονομικά βιώσιμους.

Για να παρακαμφθεί αυτό το πρόβλημα μπορούν να χρησιμοποιηθούν δεξαμενές αποθήκευσης θερμότητας ή μια πρόσθετη πηγή ενέργειας. Ακόμη και οι ίδιες οι περίοδοι ακτινοβολίας μπορεί να είναι προβληματικές κατά καιρούς. Ένα σύστημα ελέγχου είναι απαραίτητο για την ηλιακή ακτινοβολία, δεδομένου ότι είναι μια μεταβλητή συνάρτηση που σχετίζεται με το χρόνο.

Λόγω των εγγενών προβλημάτων με την ηλιακή ακτινοβολία, τα οποία πρέπει να αντιμετωπιστούν με μια ποικιλία εργαλείων (αποθήκευση θερμότητας, συμπληρωματικές πηγές ενέργειας, συστήματα ελέγχου και ηλιακοί συλλέκτες τεράστιας επιφάνειας), το κόστος επένδυσης είναι αρκετά υψηλό. Φυσικά, η ικανότητα της επιχείρησης να λειτουργεί κερδοφόρα και βιώσιμα αποτελεί προϋπόθεση για τη χρήση της ηλιακής ενέργειας.

Τα βασικά στοιχεία, οι λειτουργίες τους και οι επιπτώσεις τους στη διαδικασία ξήρανσης προσδιορίστηκαν μέσω της ανάλυσης των τεχνοοικονομικών χαρακτηριστικών της ηλιακής ξήρανσης. Το πρώτο προφανές συμπέρασμα είναι ότι η ηλιακή ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά για την ξήρανση μόνο όταν συνδυάζεται με ιδιότητες της ηλιακής ακτινοβολίας που προσφέρουν χρήσιμες πληροφορίες. Κατά συνέπεια, γεωγραφικοί παράγοντες όπως το γεωγραφικό πλάτος και μήκος επηρεάζουν τον αριθμό των ηλιόλουστων ημερών κάθε χρόνο και η ένταση της ακτινοβολίας επηρεάζει το ποσοστό της ενέργειας που κερδίζεται σε διάφορα μέρη του κόσμου.

Οι διαδικασίες ξήρανσης με χαμηλές ενεργειακές απαιτήσεις είναι ιδιαίτερα καλά προσαρμοσμένες σε τιμές ηλιακής ακτινοβολίας που είναι αρκετά χαμηλές. Οι εποχιακές διακυμάνσεις της ηλιακής ακτινοβολίας συνιστούν τη χρήση της ηλιακής ξήρανσης κατά την εποχή του έτους που η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας είναι υψηλότερη (ένα μέρος των γεωργικών προϊόντων πρέπει να ξηραίνεται κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου). Η τροποποίηση του κόστους επένδυσης εξαρτάται από τη σχέση μεταξύ της διαδικασίας ξήρανσης και των συγκεκριμένων ιδιοτήτων της ηλιακής ακτινοβολίας, καθώς και από τον τύπο του συλλέκτη που θα χρησιμοποιηθεί.^[19]

3.4 Οικονομικά στοιχεία για τη ξήρανση

Η αποτελεσματική ξήρανση των προϊόντων είναι ιδιαίτερα κρίσιμη στην Ελλάδα, επειδή τα αποξηραμένα φρούτα έχουν ιστορικά συμβάλει σημαντικά στην οικονομία του γεωργικού τομέα της χώρας. Από τις αρχές του αιώνα μέχρι τη δεκαετία του 1960, η σταφίδα ήταν το κύριο εξαγωγικό προϊόν της χώρας, αλλά καθώς ο ανταγωνισμός αυξανόταν, η θέση της Ελλάδας ως εξαγωγέα άρχισε να επιδεινώνεται και σήμερα αποτελεί σημαντικό ζήτημα με πολλές επιπτώσεις στην αγροτική οικονομία.

Η πλειονότητα των φρούτων που αποξηραίνονται σήμερα είναι σύκα, σταφίδες, μικροσκοπικές ποσότητες δαμάσκηνων και μια πολύ μικρή ποσότητα λαχανικών. Η φυσική ηλιακή ξήρανση είναι η παραδοσιακή τεχνική για τα προϊόντα αυτά, ωστόσο, έχει σοβαρά μειονεκτήματα όσον αφορά την ποιότητα του τελικού προϊόντος. Είναι χαρακτηριστικό ότι η ελληνική παραγωγή αποξηραμένων λαχανικών εξάγεται σχεδόν αποκλειστικά, με ελάχιστη έως καθόλου τοπική κατανάλωση, ενώ άλλα, υψηλότερης ποιότητας λαχανικά εισάγονται.

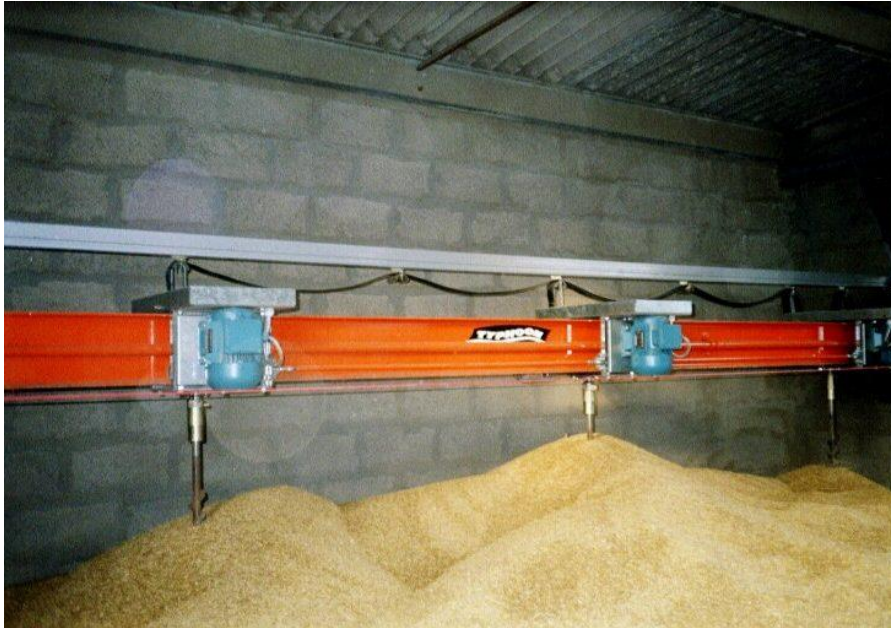
Από την άλλη πλευρά, τα αποξηραμένα φρούτα (όπως οι σταφίδες, τα σύκα και τα δαμάσκηνα) έχουν να αντιμετωπίσουν τον έντονο ανταγωνισμό από άλλα κράτη που εξάγουν τα ίδια προϊόντα (όπως οι ΗΠΑ, η Αυστραλία, η Τουρκία, η Νότια Αφρική, το Ιράν κ.λπ.), γεγονός που αυτόματα μειώνει τις εξαγωγές και, κατά συνέπεια, τη ζήτηση και την τιμή πώλησης των προϊόντων αυτών. Επομένως, για να διατηρηθεί η ανταγωνιστικότητα της Ελλάδας στην παγκόσμια αγορά, πρέπει να βελτιωθούν οι τεχνικές ξήρανσης.^[20]

3.5 Ηλιακή ξήρανση με ανάδευση

Τα στεγνωτήρια ταξινομούνται ως παρτίδες, συνεχείς ή ημισυνεχείς με βάση τα χαρακτηριστικά χειρισμού του υλικού ως εξής. Σε όλες τις περιπτώσεις, το υγρό υλικό εισέρχεται στο στεγνωτήριο ως υγρή τροφοδοσία και εξέρχεται ως ξηρό προϊόν. Σε ένα ξηραντήριο παρτίδας, μια διακριτή παρτίδα υγρής τροφοδοσίας εισέρχεται στο στεγνωτήριο και θερμαίνεται και ξηραίνεται μέσω μιας παροδικής διαδικασίας.

Κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας στεγνώματος παρτίδας, δεν εισέρχεται υγρή τροφοδοσία ή το αποξηραμένο προϊόν βγαίνει από το στεγνωτήριο. Στο τέλος της διαδικασίας ξήρανσης, η παρτίδα του ξηρού προϊόντος που προκύπτει, αφαιρείται. Σε ένα συνεχές στεγνωτήριο, η υγρή τροφοδοσία εισέρχεται συνεχώς στο στεγνωτήριο, το υγρό υλικό κινείται συνεχώς μέσω του στεγνωτηρίου, το ξηρό προϊόν φεύγει συνεχώς από το στεγνωτήριο και η διαδικασία ξήρανσης εξελίσσεται καθώς η υγρή ουσία κινείται μέσα από το στεγνωτήριο.

Τα συνεχή στεγνωτήρια συχνά μοντελοποιούνται ως συστήματα σταθερής ροής σταθερής κατάστασης. Σε ένα συνεχές στεγνωτήριο, το στεγνωτήριο χωρίζεται σε πολλές διαδοχικές ζώνες που αντιστοιχούν σε διαφορετικά στάδια ξήρανσης. Κάθε ζώνη στεγνώνει μια ξεχωριστή παρτίδα υγρού υλικού μέσω μιας παροδικής διαδικασίας όπως ένα στεγνωτήριο παρτίδας, αλλά η εξέλιξη της διαδικασίας ξήρανσης με τη μετακίνηση υγρού υλικού από τη μια ζώνη στην άλλη μιμείται ένα συνεχές στεγνωτήριο.



Εικόνα 3.6: Συστήματα ανάδευσης στο δάπεδο με πλάτος έως και 12 μέτρα, με δύο διπλά καροτσάκια. [31]

Για να προωθηθεί η ομοιόμορφη ξήρανση, το υγρό υλικό μπορεί να αναμιχθεί, όπως μέσω της ανάδευσης ή ανατροπής σε έναν περιστρεφόμενο κύλινδρο. Η απόξεση χρησιμοποιείται για την αφαίρεση υγρού υλικού και αποξηραμένου προϊόντος από τη βάση και μπορεί να απαιτείται για αποτελεσματική ανάμειξη.^[28]

Σε δοκιμές ξήρανσης με ανάδευση, είναι δύσκολο να διαχωριστεί η επίδραση της ανάδευσης στη χύδην πυκνότητα και την αντίσταση ροής αέρα από επιδράσεις που προκαλούνται από τις αλλαγές υγρασίας των κόκκων, παράδειγμα υλικού προς ξήρανση. Ο Shedd (1953), ο Chung and Converse (1971), οι Patterson και άλλοι διεξήγαγαν εργαστηριακές μελέτες σχετικά με τις σχέσεις μεταξύ της υγρασίας του καλαμποκιού και της χύδην πυκνότητας, του πορώδους και της αντίστασης στη ροή του αέρα.

Τα αποτελέσματά τους υποδεικνύουν ότι, καθώς μειώνεται η υγρασία του καθαρού καλαμποκιού με χαλαρή πλήρωση, η χύδην πυκνότητα αυξάνεται με αποτέλεσμα την επαναφορά του πορώδους και την αύξηση της αντίστασης ροής αέρα. Όταν οι Patterson (1971) διατήρησαν σταθερό το πορώδες του καλαμποκιού, η αντίσταση, ωστόσο, στη ροή του αέρα μειώθηκε με την περιεκτικότητα σε υγρασία. Προφανώς το σχήμα του πυρήνα, ο προσανατολισμός ή τα χαρακτηριστικά της επιφάνειας γίνονται σημαντικά όταν το πορώδες διατηρείται σταθερό.



Εικόνα 3.7: Σύστημα ανάδευσης με κίνηση που αλλάζει τη διαδρομή των κοχλιών σε κάθε περιστροφή γύρω από τον κάδο. ^[32]

Σε δοκιμές πεδίου, όπου η χύδην πυκνότητα και η αντίσταση ροής αέρα μετρώνται καθώς το καλαμπόκι στεγνώνει, τα αποτελέσματα φαίνεται να είναι αντίθετα από αυτά των εργαστηριακών μελετών. Ο Maiwald (1979) βρήκε ότι η χύδην πυκνότητα ενός μη αναδευόμενου κάδου ξήρανσης χαμηλής θερμοκρασίας μειώθηκε στο ελάχιστο καθώς η μέση υγρασία μειώθηκε από 21% σε 17% και στη συνέχεια αυξήθηκε καθώς το καλαμπόκι στέγνωσε σε 15% υγρασία.

Η ροή του αέρα και η στατική πίεση κυμαίνονταν από μέρα σε μέρα χωρίς εμφανή τάση. Διαπίστωσαν ότι, τόσο η πυκνότητα όγκου όσο και η αντίσταση ροής αέρα μειώθηκαν καθώς το μη αναδευόμενο καλαμπόκι στέγνωσε. Ίσως οι διαφορές στις μεθόδους πλήρωσης, η χρήση χύδην πυκνότητας ή η χρήση της μέσης υγρασίας του κάδου να προκάλεσαν τη διαφορά μεταξύ των αποτελεσμάτων δοκιμών εργαστηρίου και πεδίου.

Η ξήρανση με ανάδευση έχει ορισμένα πλεονεκτήματα σε σχέση με τη συμβατική ξήρανση με φυσικό αέρα. Αλλά αν οι αναδευτήρες πρόκειται να είναι μια αξιόλογη επένδυση, η αξία της εξοικονόμησης από τη ξήρανση με ανάδευση πρέπει να υπερβαίνει το σημαντικό κόστος κατοχής και λειτουργίας εξοπλισμού ανάδευσης (πρώτο κόστος, τόκοι, επισκευές και συντήρηση, ασφάλιση, αξία χαμένου αποθηκευτικού χώρου και χρήση ηλεκτρικής ενέργειας). Μερικοί ερευνητές συνέκριναν την απόδοση των στεγνωτηρίων ανάδευσης με τα συμβατικά στεγνωτήρια χαμηλής θερμοκρασίας χρησιμοποιώντας δοκιμές πεδίου ή/και προσομοίωση υπολογιστή. ^[29]

3.5.1 Συστήματα ανάδευσης ηλιακής ξήρανσης

Η ξήρανση των κόκκων είναι η διαδικασία ξήρανσης των σιτηρών για την αποφυγή αλλοίωσης κατά την αποθήκευση. Η ξήρανση των κόκκων που περιγράφεται σε αυτό το άρθρο είναι αυτή που χρησιμοποιεί διαδικασίες με καύσιμο ή ηλεκτρισμό συμπληρωματικές σε σχέση με τις φυσικές, συμπεριλαμβανομένης της περιτύλιξης / περιέλιξης για ξήρανση από τον ατμοσφαιρικό αέρα και την ηλιοφάνεια ή το στύψιμο πριν από το αλώνισμα.

Εκατοντάδες εκατομμύρια τόνοι σιταριού, καλαμποκιού, σόγιας, ρυζιού και άλλων δημητριακών όπως σόργο, ηλιόσποροι, ελαιοκράμβη, κριθάρι, βρώμη κ.λπ., ξηραίνονται σε ξηραντήρια σιτηρών. Στις κύριες γεωργικές χώρες, η ξήρανση περιλαμβάνει τη μείωση της υγρασίας από περίπου 17-30% w/w σε τιμές μεταξύ 8 και 15% w/w, ανάλογα με τον κόκκο. Η τελική περιεκτικότητα σε υγρασία για ξήρανση πρέπει να είναι επαρκής για αποθήκευση. Όσο περισσότερο λάδι έχει ο κόκκος, τόσο χαμηλότερη θα είναι η περιεκτικότητά του σε υγρασία αποθήκευσης (αν και η αρχική του υγρασία για ξήρανση θα είναι επίσης χαμηλότερη).



Εικόνα 3.8: Σύστημα ανάδευσης ηλιακής ξήρανσης κόκκων. [33]

Τα δημητριακά συχνά αποξηραίνονται σε 14% w/w, ενώ οι ελαιούχοι σπόροι, σε 12,5% (σόγια), 8% (ηλιάνθος) και 9% (φιστίκια). Η ξήρανση πραγματοποιείται ως προϋπόθεση για την ασφαλή αποθήκευση, προκειμένου να ανασταλεί η μικροβιακή ανάπτυξη. Ωστόσο, οι χαμηλές θερμοκρασίες στην αποθήκευση συνιστώνται επίσης ιδιαίτερα για την αποφυγή αντιδράσεων αποικοδόμησης και, ιδιαίτερα, της ανάπτυξης εντόμων και ακάρεων. Μια καλή μέγιστη θερμοκρασία αποθήκευσης είναι περίπου 18 °C.

Τα μεγαλύτερα στεγνωτήρια χρησιμοποιούνται συνήθως εκτός φάρμας, σε ανελκυστήρες και είναι συνεχούς τύπου. Τα στεγνωτήρια μικτής ροής προτιμώνται στην Ευρώπη, ενώ τα στεγνωτήρια πολλαπλής ροής στις Ηνωμένες Πολιτείες. Στην Αργεντινή, συναντώνται συνήθως και οι δύο τύποι. Οι ξηραντήρες συνεχούς ροής μπορούν να παράγουν έως και 100 μετρικούς τόνους αποξηραμένων σιτηρών ανά ώρα.

Το βάθος των κόκκων που πρέπει να διανύσει ο αέρας στα στεγνωτήρια συνεχούς ροής κυμαίνεται από περίπου 0,15m σε στεγνωτήρια μικτής ροής έως περίπου 0,30m σε στεγνωτήρια διασταυρούμενης ροής. Τα στεγνωτήρια παρτίδας χρησιμοποιούνται κυρίως μέσα σε φάρμες, ιδιαίτερα στις Ηνωμένες Πολιτείες και την Ευρώπη.

Συνήθως αποτελούνται από έναν κάδο, με θερμαινόμενο αέρα που ρέει οριζόντια από έναν εσωτερικό κύλινδρο μέσω ενός εσωτερικού διάτρητου μεταλλικού φύλλου, στη συνέχεια μέσω ενός δακτυλιοειδούς στρώματος κόκκων, πάχους περίπου 0,50m (ομοαξονικό με τον εσωτερικό κύλινδρο) σε ακτινική κατεύθυνση και τέλος κατά μήκος του εξωτερικού διάτρητου μεταλλικού φύλλου, πριν εκφορτωθούν στην ατμόσφαιρα. Οι συνήθεις χρόνοι στεγνώματος κυμαίνονται από 1 ώρα έως 4

ώρες ανάλογα με το πόσο νερό πρέπει να αφαιρεθεί, τον τύπο του κόκκου, τη θερμοκρασία του αέρα και το βάθος κόκκων. Στις Ηνωμένες Πολιτείες, μπορούν να βρεθούν στεγνωτήρια συνεχούς αντίστροφης ροής στο αγρόκτημα, προσαρμόζοντας έναν κάδο σε αργά ξηραμένους κόκκους που τροφοδοτούνται στην κορυφή και αφαιρούνται στο κάτω μέρος του κάδου με ένα τρυπάνι.



Εικόνα 3.9: Απεικόνιση λειτουργίας συστήματος ανάδευσης ηλιακής ξήρανσης κόκκων. [34]

Η ξήρανση των σιτηρών είναι ένας ενεργός τομέας έρευνας. Η απόδοση ενός στεγνωτηρίου μπορεί να προσομοιωθεί με προγράμματα υπολογιστή που βασίζονται σε μαθηματικά μοντέλα που αντιπροσωπεύουν τα φαινόμενα που σχετίζονται με την ξήρανση: φυσική, φυσική χημεία, θερμοδυναμική και μεταφορά θερμότητας και μάζας. Τα πιο πρόσφατα μοντέλα υπολογιστών έχουν χρησιμοποιηθεί για την πρόβλεψη της ποιότητας των προϊόντων επιτυγχάνοντας συμβιβασμό μεταξύ του ρυθμού ξήρανσης, της κατανάλωσης ενέργειας και της ποιότητας των κόκκων. Μια τυπική ποιοτική παράμετρος στην ξήρανση του σιταριού είναι η ποιότητα της αρτοποιίας και το ποσοστό βλάστησης των οποίων οι μειώσεις στην ξήρανση σχετίζονται κάπως. [30][31]

3.5.2 Μέθοδοι ηλιακής ξήρανσης με ανάδευση

Το στέγνωμα ξεκινά στο κάτω μέρος του κάδου, που είναι η πρώτη θέση επαφής αέρα. Ο ξηρός αέρας αναρροφάται από τον ανεμιστήρα μέσω ενός στρώματος υγρού κόκκου. Η ξήρανση γίνεται σε ένα στρώμα πάχους 1 έως 2 ποδιών, το οποίο ονομάζεται ζώνη ξήρανσης. Η ζώνη ξήρανσης μετακινείται από το κάτω μέρος του κάδου προς την κορυφή και όταν φτάσει στο υψηλότερο στρώμα, ο κόκκος είναι ξηρός. Ο κόκκος κάτω από τη ζώνη ξήρανσης βρίσκεται, σε περιεκτικότητα, σε υγρασία ισορροπίας με τον αέρα ξήρανσης, πράγμα που σημαίνει ότι είναι ασφαλές για αποθήκευση, ενώ ο κόκκος παραπάνω χρειάζεται ακόμη στέγνωμα. Στη συνέχεια, ο αέρας διοχετεύεται έξω από τον κάδο μέσω του εξαερισμού.

Ο επιτρεπόμενος χρόνος αποθήκευσης είναι μια εκτίμηση του χρόνου που χρειάζεται να στεγνώσει ο κόκκος πριν από την αλλοίωση και να διατηρηθεί η ποιότητα του κόκκου κατά την αποθήκευση. Στη διαδικασία αποθήκευσης σιτηρών, οι μύκητες ή οι μούχλες είναι το κύριο μέλημα. Πολλοί άλλοι παράγοντες, όπως τα έντομα, τα τρωκτικά και τα βακτήρια, επηρεάζουν επίσης την κατάσταση αποθήκευσης. Όσο χαμηλότερη είναι η θερμοκρασία των κόκκων, τόσο μεγαλύτερος θα είναι ο επιτρεπόμενος χρόνος αποθήκευσης.

Είναι δυνατή η ασφαλής αποθήκευση για ένα μεγάλο χρονικό διάστημα εάν η περιεκτικότητα σε υγρασία των κόκκων είναι μικρότερη από 14% και αποθηκεύεται μακριά από έντομα, τρωκτικά και

πτηνά. Το παρακάτω σχήμα είναι η συνιστώμενη περιεκτικότητα σε υγρασία για ασφαλή αποθήκευση.

Πίνακας 1.: Συνιστώμενη περιεκτικότητα σε υγρασία για ασφαλή αποθήκευση.

Διάρκεια αποθήκευσης	Απαιτείται περιεκτικότητα σε υγρασία για ασφαλή αποθήκευση	Πιθανά προβλήματα
Αποθήκευση από εβδομάδες έως λίγους μήνες	14% ή λιγότερο	Μούχλα, αποχρωματισμός, απώλεια αναπνοής, βλάβη από έντομα, προσρόφηση υγρασίας
Αποθήκευση για 8 έως 12 μήνες	13% ή λιγότερο	Ζημιά από έντομα
Αποθήκευση σπόρων αγροτών	12% ή λιγότερο	Απώλεια βλάστησης
Αποθήκευση για περισσότερο από 1 χρόνο	9% ή λιγότερο	Απώλεια βλάστησης

Η περιεκτικότητα σε υγρασία στους κόκκους σχετίζεται με τη σχετική υγρασία και τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος αέρα. Το σημείο ισορροπίας περιεκτικότητας σε υγρασία είναι το σημείο όπου οι κόκκοι δεν χάνουν ή κερδίζουν νερό όταν έρχονται σε επαφή με τον αέρα ξήρανσης.

Η τελική περιεκτικότητα σε υγρασία είναι μέχρι την ποσότητα υγρασίας στον αέρα ξήρανσης, που είναι η σχετική υγρασία. Η χαμηλή σχετική υγρασία σημαίνει ότι ο αέρας είναι ξηρός και έχει μεγάλη δυνατότητα να μαζεύει νερό. Όσο χαμηλότερη είναι η σχετική υγρασία, τόσο πιο ξηρός είναι ο αέρας. Γενικά, η κατά το ήμισυ μείωση της σχετικής υγρασίας προκαλείται από αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα κατά 20°. [30][31]

Ο θερμαινόμενος αέρας μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη διαδικασία ξήρανσης των κόκκων. Μπορεί όχι μόνο να επιταχύνει τη μεταφορά της υγρασίας μέσα στον πυρήνα, αλλά μπορεί τους να εξατμίσει την υγρασία στην επιφάνεια. Το κύριο πρόβλημα σχετικά με τον θερμαινόμενο αέρα για τη διαδικασία ξήρανσης είναι η θερμοκρασία του πυρήνα. Ο πυρήνας του κόκκου μπορεί να καταστραφεί από τους υψηλές θερμοκρασίες του πυρήνα. Συνήθως, η θερμοκρασία του πυρήνα είναι χαμηλότερη από τη θερμοκρασία του αέρα. Για διαφορετική χρήση του καλαμποκιού, οι θερμοκρασίες ποικίλλουν. Για παράδειγμα, για σπόρους καλαμποκιού, η μέγιστη θερμοκρασία είναι 110 °F. Για τα ζώα που τρέφονται με καλαμπόκι, η μέγιστη θερμοκρασία είναι 180 °F.

Η διαδικασία αερισμού αναφέρεται στη διαδικασία κίνησης του αέρα μέσω των κόκκων. Η ροή αέρα είναι μια μέτρηση της ποσότητας αέρα σε κυβικά πόδια ανά λεπτό (CFM). Στη διαδικασία ξήρανσης κόκκων, ο χρόνος ξήρανσης εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τους ρυθμούς αερισμού. Χωρίς επαρκή ροή αέρα, οι κόκκοι μπορεί να καταστραφούν πριν ολοκληρωθεί η ξήρανση. Οι ανεμιστήρες χρησιμοποιούνται για την κίνηση του αέρα μέσω των κόκκων.

Πίνακας 2.: Συνιστώμενη περιεκτικότητα σε υγρασία για ασφαλή αποθήκευση.

Εφαρμογή	Ρυθμός αερισμού κόκκων (cfm/bu)
Ποιοτική συντήρηση	1/50 προς 1
Στέγνωμα σε κάδο με φυσικό αέρα	1 έως 3
Στέγνωμα κάδων με θερμαινόμενο αέρα	2 έως 12
Στεγνωτήρες στήλης παρτίδας ή συνεχούς ροής	50 έως 150
Ρευστοποίηση	~ 400

Ταξινόμηση μεθόδων ξήρανσης κόκκων ανάλογα με τον τρόπο μεταφοράς θερμότητας:

- Μέθοδοι στεγνώματος στην αποθήκευση
 1. Στέγνωμα σε χαμηλή θερμοκρασία
 2. Ξήρανση πολλαπλών στρώσεων
- Μέθοδοι στεγνώματος κατά παρτίδες
 1. Στέγνωμα παρτίδας κάδου
 2. Στέγνωμα παρτίδας στήλης
- Μέθοδοι στεγνώματος συνεχούς ροής
 1. Ξήρανση εγκάρσιας ροής
 2. Στέγνωμα αντίθετης ροής
 3. Ξήρανση ταυτόχρονης ροής^[30]

Α Μέθοδοι στεγνώματος στην αποθήκευση

Στέγνωμα σε χαμηλή θερμοκρασία

Οι μέθοδοι ξήρανσης στην αποθήκευση αναφέρονται σε εκείνους τους κόκκους που ξηραίνονται και αποθηκεύονται στο ίδιο δοχείο. Η ξήρανση σε χαμηλή θερμοκρασία, γνωστή και ως ξήρανση σχεδόν στο περιβάλλον, είναι μία από τις μεθόδους ξήρανσης στην αποθήκευση. Υπάρχουν τέσσερις κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν το στέγνωμα σε χαμηλές θερμοκρασίες: η μεταβλητότητα του καιρού, η περιεκτικότητα σε υγρασία της συγκομιδής, η ροή αέρα στον κάδο αποθήκευσης και η ποσότητα του θερμαινόμενου αέρα.

Τα περισσότερα στεγνωτήρια χαμηλής θερμοκρασίας κατασκευάζονται για να στεγνώνουν όσο το δυνατόν πιο αργά τους κόκκους, ενώ ταυτόχρονα λιγότερες αλλοιώσεις στους κόκκους. Προτείνεται ότι το σύστημα στεγνώματος χαμηλής θερμοκρασίας λειτουργεί καλύτερα όταν η μέση ημερήσια θερμοκρασία είναι μεταξύ 30 °C και 50 °C. Αντί να ελέγχει τη θερμοκρασία του αέρα ξήρανσης, το στέγνωμα χαμηλής θερμοκρασίας εστιάζει στη σχετική υγρασία προκειμένου να επιτευχθεί περιεκτικότητα σε υγρασία ισορροπίας (EMC) σε όλα τα στρώματα κόκκων.

Η διαδικασία ξήρανσης σε χαμηλή θερμοκρασία συνήθως διαρκεί 5 ημέρες έως αρκετούς μήνες εξαρτάται από πολλές σημαντικές μεταβλητές: καιρός, ροή αέρα, αρχική περιεκτικότητα σε υγρασία και ποσότητα θερμότητας που χρησιμοποιείται. Μεταξύ των οποίων, η ροή του αέρα είναι ο βασικός παράγοντας. Χωρίς τον κατάλληλο ρυθμό ροής αέρα, θα προκληθεί αλλοίωση πριν ολοκληρωθεί η ξήρανση.

Με τη χρήση θερμού αέρα (θερμότητα LP, ηλεκτρική θερμότητα και ηλιακή θερμότητα), η σχετική υγρασία του αέρα ξήρανσης ελέγχεται καλύτερα για να επιτευχθεί η επιθυμητή περιεκτικότητα σε υγρασία. Συνήθως, ο θερμαινόμενος στεγνωτήρας αέρα χρησιμοποιείται όταν η σχετική υγρασία είναι μεγαλύτερη από 70%. Στα ηλεκτρικά στεγνωτήρια θερμότητας, συνήθως τοποθετείται ένας ηλεκτρικός θερμαντήρας πριν από τον ανεμιστήρα για να θερμάνει το ρεύμα αέρα. Σε ορισμένες περιπτώσεις, χρησιμοποιείται υγραντήρας για τον έλεγχο του θερμαντήρα.

Στα στεγνωτήρια ηλιακής θερμότητας, ο αέρας ξήρανσης περνά πρώτα από τον ηλιακό συλλέκτη για να θερμανθεί (συνήθως άνοδος 10 έως 12 °F), στη συνέχεια εισέρχεται στον κάδο μέσω του ανεμιστήρα και του κινητήρα. Τα πλεονεκτήματα του στεγνώματος σε χαμηλή θερμοκρασία στην αποθήκευση είναι το γρήγορο γέμισμα, το προϊόν υψηλής ποιότητας, η λιγότερη απαίτηση εξοπλισμού. ενώ τα μειονεκτήματα είναι ο μεγάλος χρόνος στεγνώματος, η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας κατά τη χρήση ηλεκτρικής θερμότητας, οι υψηλές δεξιότητες διαχείρισης και η αβέβαιη περιεκτικότητα σε υγρασία της συγκομιδής.

Ξήρανση πολλαπλών στρώσεων

Η μέθοδος ξήρανσης πολλαπλών στρώσεων αναφέρεται στη χρήση θερμότητας LP ή φυσικού αερίου στην ξήρανση καλαμποκιού. Σε σύγκριση με τις μεθόδους σε χαμηλή θερμοκρασία, το στέγνωμα πολλαπλών στρωμάτων απαιτεί υψηλότερες θερμοκρασίες, γεγονός που έχει ως αποτέλεσμα μικρότερο επιτρεπόμενο χρόνο αποθήκευσης. Το στέγνωμα πολλαπλών στρώσεων χωρίς ανάδευση είναι η βασική μέθοδος ξήρανσης πολλαπλών στρώσεων, κατά την οποία η ροή αέρα εισέρχεται μέσω ενός θερμαντήρα LP από έναν ανεμιστήρα.

Συνήθως, η άνοδος της θερμοκρασίας αφού ο καυστήρας LP παραμένει σε χαμηλά επίπεδα για να αποφευχθεί η υπερβολική ξήρανση στα κάτω στρώματα του κάδου. Μόλις το καλαμπόκι στεγνώσει στον κάδο, ο καυστήρας σβήνει και ο ανεμιστήρας χρησιμοποιείται για να φέρει το καλαμπόκι σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Τα πλεονεκτήματα της ξήρανσης πολλαπλών στρωμάτων χωρίς ανάδευση είναι ο μικρός χειρισμός του καλαμποκιού και ο κάδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε ως στεγνωτήριο είτε ως αποθήκευση. Τα μειονεκτήματα είναι η αργή πλήρωση και η υπερβολική ξήρανση στα κάτω στρώματα (Bern and Brumm, 2010).

Η ξήρανση πολλαπλών στρώσεων με ανάδευση μπορεί όχι μόνο να στεγνώσει την ισορροπία των κόκκων από πάνω προς τα κάτω, αλλά και να μειώσει την αντίσταση του κόκκου στον αέρα. Επιπλέον, η χρήση του συστήματος ανάδευσης μπορεί να αποφύγει το πρόβλημα υπερβολικής ξήρανσης στο κάτω στρώμα και να δώσει ομοιόμορφη περιεκτικότητα σε υγρασία σε κόκκους σε ολόκληρο τον κάδο. Όταν ολοκληρωθεί η ξήρανση, ο καυστήρας απενεργοποιείται ενώ ο ανεμιστήρας και ο αναδευτήρας χρησιμοποιούνται για την ανάμειξη του καλαμποκιού για να επιτευχθεί ίση περιεκτικότητα σε υγρασία και θερμοκρασία.

Τα πλεονεκτήματα της προσθήκης ανάδευσης είναι η αποφυγή υπερβολικής ξήρανσης και η επιτάχυνση του στεγνώματος και ο επιτρεπόμενος ρυθμός πλήρωσης. Τα μειονεκτήματα του συστήματος ανάδευσης είναι τα πρόσθετα έξοδα και η μείωση της χωρητικότητας του κάδου. Η χρήση του συστήματος ανάδευσης μπορεί να αποφύγει το πρόβλημα υπερβολικής ξήρανσης στο κάτω στρώμα και να δώσει ομοιόμορφη περιεκτικότητα σε υγρασία σε κόκκους σε ολόκληρο τον κάδο. Όταν ολοκληρωθεί η ξήρανση, ο καυστήρας απενεργοποιείται ενώ ο ανεμιστήρας και ο αναδευτήρας χρησιμοποιούνται για την ανάμειξη του καλαμποκιού για να επιτευχθεί ίση περιεκτικότητα σε υγρασία και θερμοκρασία.

Μέθοδοι στεγνώματος κατά παρτίδες

Στις μεθόδους ξήρανσης κατά παρτίδες, τοποθετείται πρώτα ορισμένη ποσότητα κόκκου, συνήθως 2 έως 4 ίντσες, η παρτίδα ξηραίνεται και ψύχεται αργότερα, στη συνέχεια διακόπτεται η ξήρανση και η παρτίδα αφαιρείται. Τα στεγνωτήρια παρτίδας λειτουργούν συνήθως με αυτή τη σειρά και επαναλαμβάνουν αυτήν τη σειρά για αρκετές φορές. Οι μέθοδοι στεγνώματος με παρτίδες κάδου χρησιμοποιούν ένα πλήρες διάτρητο δάπεδο ως στεγνωτήριο.

Χωρίς ανάδευση, μεγάλη ποικιλία εξοπλισμού είναι διαθέσιμη και η παρτίδα μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ως στεγνωτήριο και ως ψύκτη, αλλά μπορεί να υπάρχει μεγάλη κλίση υγρασίας από πάνω προς τα κάτω και απώλεια χρόνου στη διαδικασία φόρτωσης και εκφόρτωσης. Κατά την προσθήκη του συστήματος ανάδευσης, υπάρχει μια ανισορροπία. Το πρόβλημα της περιεκτικότητας σε υγρασία αποφεύγεται, ωστόσο, ο αναδευτήρας είναι ένα επιπλέον κόστος. Όταν χρησιμοποιείται στεγνωτήριο οροφής με παρτίδες, το πρόβλημα απώλειας χρόνου μπορεί να λυθεί.

Υπάρχει ένα δάπεδο στεγνώματος κάτω από την οροφή του κάδου και ο ανεμιστήρας και ο καυστήρας στεγνώματος είναι τοποθετημένοι ψηλά στον τοίχο του κάδου. Όταν ολοκληρωθεί η διαδικασία ξήρανσης, οι κόκκοι τοποθετούνται στο κανονικό πάτωμα του κάδου, με αποτέλεσμα να

μειώνεται ο χρόνος εκφόρτωσης. Ωστόσο, δεν υπάρχει συγκράτηση υγρών σιτηρών σε στεγνωτήρια στέγης με παρτίδες και υπάρχει μεγαλύτερο κόστος για τις μηχανές.

Επίσης σε ένα άλλο σύστημα ξήρανσης κατά παρτίδες η ξήρανση με τη στήλη που σχηματίζεται σε αυτό το είδος στεγνωτηρίου αποτελείται από δύο κατακόρυφα διάτρητα χαλύβδινα φύλλα, τα οποία έχουν πάχος περίπου 12 ίντσες το καθένα. Η χωρητικότητα των ξηραντήρων παρτίδας στήλης είναι πολύ μικρή για την αποθήκευση κόκκων.

Τα πλεονεκτήματα της παρτίδας στήλης, του σταθερού στεγνωτηρίου κρεβατιού είναι εύκολο να μετακινηθούν και το βαφείο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ψυχρότερο. ενώ τα μειονεκτήματα είναι η απώλεια χρόνου κατά την ψύξη, φόρτωση και εκφόρτωση και η άνιση κατανομή υγρασίας όταν ολοκληρωθεί η ξήρανση. Όταν χρησιμοποιείται ξηραντήρας ανακυκλοφορίας παρτίδας στήλης, αποφεύγεται το πρόβλημα διακύμανσης της περιεκτικότητας σε υγρασία, αλλά η πρόσθετη διαδικασία χειρισμού μπορεί να οδηγήσει σε αλλοίωση των κόκκων.

Μέθοδοι στεγνώματος συνεχούς ροής

Οι ξηραντήρες διασταυρούμενης ροής είναι ένας από τους πιο ευρέως χρησιμοποιούμενους στεγνωτήρες συνεχούς ροής. Στον ξηραντήρα εγκάρσιας ροής, το ρεύμα αέρα είναι κάθετο στη ροή κόκκων. Στη συνέχεια, οι κόκκοι κοντά στον αέρα ξήρανσης υπερξηραίνονται, ενώ από την άλλη πλευρά, οι κόκκοι είναι υπό ξήρανση. Η κλίση υγρασίας υπάρχει όταν ολοκληρωθεί η ξήρανση. Στην πραγματικότητα, όσο χαμηλότερος είναι ο ρυθμός ροής αέρα, τόσο μεγαλύτερη είναι η διακύμανση της περιεκτικότητας σε υγρασία κόκκων μεταξύ δύο πλευρών της στήλης.

Έπειτα σε ένα άλλο σύστημα του ίδιου είδους, στο στεγνωτήριο ταυτόχρονης ροής, τόσο ο κόκκος όσο και ο αέρας κινούνται προς την ίδια κατεύθυνση, πράγμα που σημαίνει ότι ο υγρότερος κόκκος υπόκειται στον θερμότερο αέρα ξήρανσης. Οι πυρήνες αφήνουν την περιοχή ξήρανσης στην ίδια θερμοκρασία και την ίδια περιεκτικότητα σε υγρασία. Η ενεργειακή απόδοση είναι 40% καλύτερη σε σύγκριση με το στεγνωτήριο πολλαπλής ροής. Ωστόσο, το βάθος της κλίνης πρέπει να είναι μεγαλύτερο από 12 ίντσες βάθος από τον τύπο εγκάρσιας ροής. Έτσι, οι απαιτήσεις ισχύος του ανεμιστήρα είναι υψηλές σε αυτόν τον τύπο στεγνωτηρίου.

Αντίθετα, στον ξηραντήρα αντίθετης ροής, ο κόκκος και ο αέρας κινούνται σε αντίθετες κατευθύνσεις, πράγμα που σημαίνει ότι ο ξηρότερος κόκκος υπόκειται στον θερμότερο αέρα ξήρανσης. Οι πυρήνες αφήνουν την περιοχή ξήρανσης στην ίδια θερμοκρασία και την ίδια υγρασία όπως στους ξηραντήρες ταυτόχρονης ροής. Οι προτεινόμενες θερμοκρασίες αέρα είναι μικρότερες από 180 °F, επειδή οι πιο ξηροί πυρήνες είναι πιο πιθανό να καταστραφούν από τον ζεστό αέρα.

Β Ζημιά των κόκκων

Ένα γεγονός που θεωρείται αρκετά σημαντικό είναι η ζημιά των κόκκων, που είναι οποιαδήποτε υποβάθμιση της ποιότητας των σιτηρών. Στο τρέχον εμπόριο σιτηρών, αυτή η ζημιά μπορεί να επηρεάσει την τιμή, την ποιότητα των ζωοτροφών, την ποιότητα των προϊόντων διατροφής και την ευαισθησία στη μόλυνση από παράσιτα. Μεταξύ του χωραφιού και της τελικής χρήσης, τα σιτηρά μπορεί να υποβληθούν σε οποιονδήποτε αριθμό εργασιών χειρισμού, οι οποίες μπορούν να συμβάλουν στη ζημιά των σιτηρών.

Για παράδειγμα, οι κόκκοι ενδέχεται να αντιμετωπίσουν ελεύθερη πτώση, μεταφορείς, στόμιοι, εκτοξευτές σιτηρών, ανελκυστήρες, χοάνες, στεγνωτήρια και πολλά άλλα. Συνολικά, αυτές οι μέθοδοι χειρισμού μπορούν να αξιολογηθούν ως προς την επίδραση που έχουν στο σιτάρι. Οι κατεστραμμένοι κόκκοι μπορούν συχνά να χαρακτηριστούν από το βαθμό στον οποίο μειώνουν τον χρόνο αποθήκευσης.

Για παράδειγμα, οι ραγισμένοι ή σπασμένοι πυρήνες είναι πιο ευαίσθητοι σε έντομα ή βακτήρια καθώς και σε χημική αποικοδόμηση. Η ζημιά στον πραγματικό κόκκο είναι μόνο ένα παράδειγμα ζημιών που προκλήθηκαν μετά τη συγκομιδή. Για να μετρηθεί η ποσότητα από τη ζημιά των κόκκων, πρέπει να κατανοηθεί και η ποιότητα των κόκκων. Η ποιότητα των κόκκων είναι ένας πολύ ευρύς όρος και μπορεί να σχετίζεται με πολλά θέματα όπως ξένο υλικό, χημικές συνθέσεις, μηχανικές βλάβες, προσβολές από έντομα και πολλά άλλα.

Αυτές οι αναφορές στην ποιότητα εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από την τελική χρήση του κόκκου. Ορισμένοι τύποι ζημιών μπορεί να είναι αποδεκτοί σε συγκεκριμένες βιομηχανίες, ενώ άλλοι δεν μπορούν να χρησιμοποιήσουν σιτηρά με αυτά τα ζητήματα.

Η ζημιά στους κόκκους είναι ένας τόσο ευρύς όρος που μπορεί να είναι δύσκολο να εντοπιστούν όλοι οι παράγοντες που μπορούν να θεωρηθούν ζημιά. Επιπλέον, αυτοί οι παράγοντες δεν μετρούνται εύκολα. Πολλές κοινές μέθοδοι για τον προσδιορισμό των επιπέδων ζημιάς στους κόκκους περιλαμβάνουν κάποιο είδος ορατής επιθεώρησης, που μπορεί να συνοδεύεται από μεγάλο αριθμό σφαλμάτων.

Το Υπουργείο Γεωργίας των Ηνωμένων Πολιτειών, έχει εδώ και πολλά χρόνια καταχωρίσει πρότυπα για πολλούς τύπους σιτηρών. Σε αυτά τα πρότυπα, έχουν προσδιορίσει μια κανονικοποιημένη κλίμακα βαθμολόγησης με βάση παράγοντες όπως το βάρος δοκιμής και τα όρια κατεστραμμένων πυρήνων και ξένου υλικού.

Σε όλα αυτά τα πρότυπα, οι ορισμοί που αναφέρονται για τη ζημιά μπορούν να ερμηνευτούν από το άτομο που αξιολογεί το σιτάρι. Για παράδειγμα, ο όρος "κατεστραμμένοι πυρήνες" για τον αραβόσιτο (καλαμπόκι) αναφέρεται σε πυρήνες που είναι "κακώς κατεστραμμένοι από το έδαφος, κατεστραμμένοι από τις καιρικές συνθήκες, άρρωστοι, κατεστραμμένοι από τον παγετό, κατεστραμμένοι από μικρόβια, κατεστραμμένοι από τη θερμότητα, κατεστραμμένοι από έντομα, μούχλα, έχει υποστεί ζημιά από βλαστάρια ή έχει υποστεί άλλη υλική ζημιά." Όπως δείχνει αυτό, τα χαρακτηριστικά δεν μετρούνται εύκολα.



Εικόνα 3.10: Καταστροφή σιτηρών συγκομιδής. [35]

Στην κλίμακα του USDA, καθώς μειώνεται ο αριθμός βαθμού, η ποιότητα των σιτηρών αυξάνεται. Μια περίληψη αυτών των προτύπων για τον αραβόσιτο, τη σόγια και το σιτάρι παρατίθεται στους παρακάτω πίνακες (σε ισχύ τον Σεπτέμβριο του 1996), canola, λιναρόσπορος, βρόμη, σίκαλη, σόργο και ηλιόσπορος.

Η πρώτη αιτία της ζημιάς των σιτηρών είναι η ίδια η συγκομιδή. Μια μεγάλη αιτία της ζημιάς των κόκκων είναι η μηχανική βλάβη που προκαλείται κατά τη διαδικασία αλωνισμού σε μια κομπίνα. Αυτή η διαδικασία απογύμνωσης του κόκκου από το φυτό μπορεί συχνά να προκαλέσει ρωγμές και άλλες ζημιές. Πολλές έρευνες έχουν προσπαθήσει να βρουν μεθόδους για την ελαχιστοποίηση της ζημιάς των σιτηρών χωρίς να αναστέλλεται η παραγωγικότητα της συγκομιδής. Πολλοί παράγοντες συγκομιδής μπορούν να επηρεάσουν το μέγεθος της ζημιάς που θα υποστούν οι σπόροι κατά τη συγκομιδή.

Μερικά από αυτά είναι μη ελεγχόμενα από τον χειριστή, όπως η περιεκτικότητα σε υγρασία. Ωστόσο, πολλές από τις παραμέτρους του συνδυασμού μπορούν να ποικίλουν σε μια προσπάθεια να μειωθεί η ζημιά των κόκκων και να επιτευχθούν καλύτερες αποδόσεις. Ορισμένες από αυτές τις παραμέτρους περιλαμβάνουν την ταχύτητα του ρότορα, την ταχύτητα γείωσης, τις κοίλες ρυθμίσεις, τις ρυθμίσεις κόσκινου και τις ταχύτητες ανεμιστήρα.

Η έρευνα δείχνει ότι η ταχύτητα του ρότορα έχει τη μεγαλύτερη επίδραση στη ζημιά των κόκκων, με τη ζημιά να αυξάνεται εκθετικά με την ταχύτητα του ρότορα. Επιπλέον, η ζημιά στους κόκκους μπορεί πραγματικά να αυξηθεί καθώς μειώνεται η ταχύτητα προς τα εμπρός ή η ταχύτητα γείωσης του μηχανήματος. Παρόμοιες τάσεις ταχύτητας εδάφους βρέθηκαν στο σιτάρι. Οι ρυθμίσεις του κοίλου μπορούν επίσης να αυξήσουν τη ζημιά των κόκκων εάν το διάκενο του κοίλου είναι πολύ στενό ή όσο αυξάνεται το μήκος του κοίλου.^[36]

4. Υλοποίηση αναβάθμισης ηλιακού ξηραντήρα

4.1 Ανάλυση λειτουργίας υπάρχοντος ξηραντήρα

Η πιλοτική μονάδα του προγράμματος LIFE F4F – Τροφή από Τρόφιμα, βρισκόταν εντός του χώρου της Μονάδας Προεπεξεργασίας Απορριμμάτων του Δήμου Ηρακλείου (ΕΣΔΑΚ), εκεί όπου σχεδιάζεται η εγκατάσταση του Περιβαλλοντικού Πάρκου Κυκλικής Οικονομίας και βρίσκεται βόρεια της Βιομηχανικής Περιοχής Ηρακλείου.

Σήμερα, η πιλοτική μονάδα ηλιακής ξήρανσης LIFE F4F έχει μεταφερθεί στις εγκαταστάσεις του Ελληνικού Μεσογειακού Πανεπιστημίου, όπου και λειτουργεί στο πλαίσιο υλοποίησης ερευνητικών προγραμμάτων. Όπως αναφέρεται και στο εισαγωγικό μέρος της εργασίας, το πρόγραμμα «Τροφή από Τρόφιμα – Food for Feed» είχε ως αντικείμενο την ανάπτυξη μιας ολοκληρωμένης διεργασίας παραγωγής εναλλακτικών συστατικών ζωοτροφών από τα υπολείμματα τροφίμων (κουζίνας και τραπεζαρίας) των χώρων μαζικής εστίασης και φιλοξενίας, κυρίως ξενοδοχείων και εστιατορίων, που ήδη εφαρμόζουν σύστημα διαλογής στην πηγή.

Κατά τη λειτουργία της μονάδας, τα υπολείμματα τοποθετούνται μέσα σε σακούλες, σε ειδικούς κάδους και η συλλογή τους γίνεται με ειδικά οχήματα - ψυγεία, που εξασφαλίζουν την μεταφορά τους στην πιλοτική μονάδα ηλιακής ξήρανσης σε συγκεκριμένες συνθήκες θερμοκρασίας. Κεντρικό στοιχείο της διεργασίας του F4F, είναι η παστερίωση των υπολειμμάτων τροφίμων, μέσα από μια τροποποιημένη και ενισχυμένη διεργασία ηλιακής ξήρανσης, της οποίας προηγείται η χειροδιαλογή και ο τεμαχισμός των υπολειμμάτων.



Εικόνα 4.1: Διαδικασία διαλογής στην πηγή, συλλογής σε ψυγεία και μεταφοράς στην πιλοτική μονάδα.

Η συγκεκριμένη εγκατάσταση περιλαμβάνει τον χώρο προδιαλογής, όπου βρίσκεται μια ταινία χειροδιαλογής, ένας τεμαχιστής, ένας πολτοποιητής και στη συνέχεια μια αντλία τροφίμων, η οποία διοχετεύει το υλικό στη μονάδα ξήρανσης. Συγκεκριμένα, η πρώτη ύλη εισέρχεται στη μονάδα προδιαλογής / προεπεξεργασίας, όπου πραγματοποιείται αρχική διαλογή για την απομάκρυνση ανεπιθύμητων υλικών. Ακολουθεί η διαδικασία τεμαχισμού και στη συνέχεια η πολτοποίηση των υλικών, με σκοπό τη μείωση του μεγέθους των σωματιδίων σε διαστάσεις κάτω των 2 mm, ώστε να επιταχυνθεί η διαδικασία της ξήρανσης. Στη συνέχεια, το επεξεργασμένο υλικό κατευθύνεται προς τη μονάδα ξήρανσης, η οποία αποτελείται από δύο κανάλια ξήρανσης, εξοπλισμένα με συστήματα ανάδευσης – ένα κάθετο και ένα οριζόντιο σύστημα/ άξονα ανάδευσης.



Εικόνα 4.2: Εξωτερική άποψη μονάδας προεπεξεργασίας.

Η λειτουργία της μονάδας ξήρανσης βασίζεται σε ένα ελεγχόμενο σύστημα ροής θερμού αέρα, που διαχέεται στα κανάλια μέσω ανεμιστήρων και θερμαντικών στοιχείων. Οι παράμετροι θερμοκρασίας και ροής ρυθμίζονται δυναμικά, ώστε να εξασφαλίζεται η ομοιόμορφη και αποδοτική απομάκρυνση της υγρασίας από το υλικό. Μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας ξήρανσης, το υλικό είναι έτοιμο για περαιτέρω επεξεργασία ή αποθήκευση, ενώ μπορούν να εφαρμοστούν επιπλέον μέθοδοι ποιοτικού ελέγχου, ώστε να διασφαλιστεί η βέλτιστη ποιότητα του τελικού προϊόντος.



Εικόνα 4.3: Προ-επεξεργασία τροφικών υπολειμμάτων. Χειροδιαλογή – τεμαχισμός – Πολτοποίηση – τελικό νωπό προς ξήρανση προϊόν



Εικόνα 4.4: Εσωτερική άποψη μονάδας ηλιακής ξήρανσης

4.1.1 Αυτοψία ηλιακού ξηραντήρα F4F

Στην πρώτη επαφή με το πιλοτικό πρόγραμμα FOOD FOR FEED, πραγματοποιήθηκε αυτοψία των πειραματικών εγκαταστάσεων στην βιομηχανική περιοχή εντός του κέντρου διαλογής απορριμμάτων του Δήμου Ηρακλείου (ΕΣΔΑΚ). Η αυτοψία διεξήχθη παρουσία του επιβλέποντος καθηγητή, κ. Θρασυβούλου Μανιού, με σκοπό την αναγνώριση και καταγραφή των προβλημάτων και των αστοχιών που παρατηρήθηκαν κατά την προηγούμενη πιλοτική λειτουργία του ηλιακού ξηραντήρα.

Η μονάδα ξήρανσης έχει σχεδιαστεί ώστε να εξασφαλίζει μέγιστη αποδοτικότητα και ανθεκτικότητα. Οι δεξαμενές του ξηραντήρα είναι κατασκευασμένες από ανοξείδωτο χάλυβα (inox), προσφέροντας αυξημένη αντοχή στη διάβρωση και μεγαλύτερη διάρκεια ζωής. Είναι περιμετρικά κλειστές, με ένα άνοιγμα στο επάνω μέρος, που επιτρέπει την εύκολη τροφοδοσία των υλικών και την απευθείας έκθεσή τους στην ηλιακή ακτινοβολία, συμβάλλοντας έτσι στη φυσική απομάκρυνση της υγρασίας. Οι τοίχοι των δεξαμενών είναι από μπετόν, παρέχοντας επιπλέον μηχανική στήριξη και σταθερότητα κατά τη διάρκεια της διαδικασίας ξήρανσης.

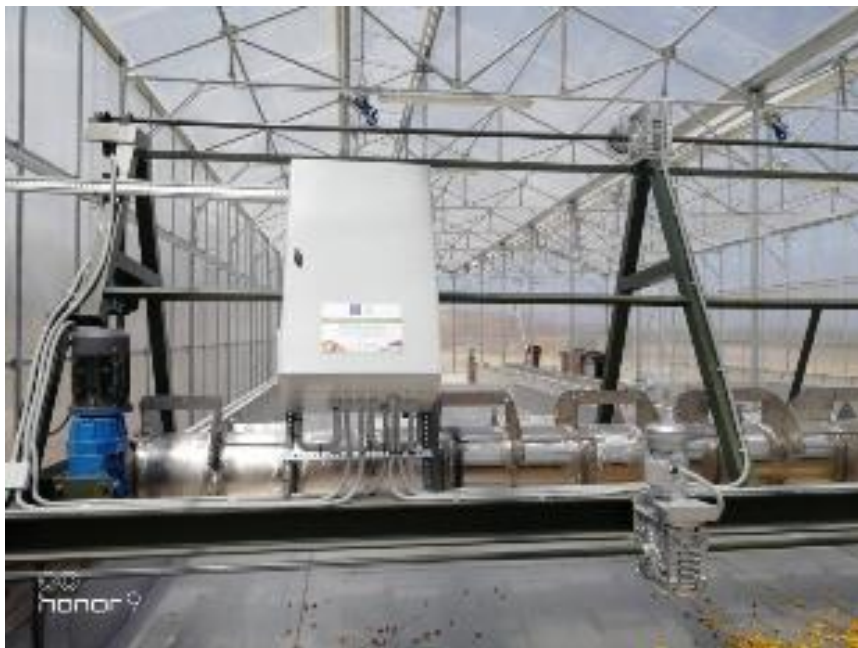
Για την περαιτέρω ενίσχυση της απόδοσης του ξηραντήρα, στο έδαφος των δεξαμενών έχει εγκατασταθεί ένα σύστημα ενδοδαπέδιας θέρμανσης, το οποίο αξιοποιεί την ηλιακή ενέργεια με χρήση ηλιακών συλλεκτών. Αυτό το σύστημα συμβάλλει σημαντικά στη διατήρηση μιας σταθερής θερμοκρασίας εντός της δεξαμενής, βελτιστοποιώντας τη διαδικασία ξήρανσης και διασφαλίζοντας τη σταθερή απομάκρυνση της υγρασίας. Επιπλέον, η χρήση ηλιακής ενέργειας μειώνει το κόστος λειτουργίας της μονάδας και καθιστά τη διαδικασία πιο φιλική προς το περιβάλλον.

Καθώς το σύστημα ξήρανσης λειτουργεί σε ελεγχόμενες συνθήκες, παρέχεται η δυνατότητα ρύθμισης της θερμοκρασίας και της ροής του αέρα, ώστε να προσαρμόζεται ανάλογα με το είδος και την ποσότητα του υλικού που επεξεργάζεται. Η συνδυαστική χρήση της ηλιακής ακτινοβολίας και της ενδοδαπέδιας θέρμανσης επιτρέπει την ταχύτερη και πιο αποδοτική ξήρανση, μειώνοντας παράλληλα τις ενεργειακές απαιτήσεις. Επιπλέον, το σύστημα ανάδευσης στις δεξαμενές εξασφαλίζει την ομοιόμορφη έκθεση του υλικού στις συνθήκες ξήρανσης, αποτρέποντας τη δημιουργία σημείων με υψηλότερη υγρασία.

Με την ολοκλήρωση της ξήρανσης, το επεξεργασμένο υλικό μπορεί να υποβληθεί σε επιπλέον ποιοτικό έλεγχο, ώστε να διασφαλιστεί ότι πληροί τα απαιτούμενα πρότυπα. Η χρήση προηγμένων τεχνολογιών στην κατασκευή και λειτουργία της μονάδας καθιστά τη διαδικασία αποδοτική, βιώσιμη και φιλική προς το περιβάλλον, ενισχύοντας την παραγωγική ικανότητα της εγκατάστασης.

Κάθε δεξαμενή φέρει ένα χαλύβδινο τροχήλατο πλαίσιο, το οποίο υποστηρίζει τους μηχανισμούς ανάδευσης, οριζόντιο και κάθετο αντίστοιχα. Η κίνηση των μηχανισμών πραγματοποιείται μέσω ενός πλήρως αυτοματοποιημένου συστήματος ηλεκτρικού κινητήρα-μειωτήρα-άξονα-τροχού, το οποίο επιτρέπει την ομαλή κίνηση επάνω σε ράγες, οι οποίες είναι τοποθετημένες στα τοιχεία κατά μήκος της κάθε δεξαμενής.

Το μεταλλικό θερμοκήπιο στο οποίο είναι εγκατεστημένες οι δύο δεξαμενές του ηλιακού ξηραντήρα είναι σχεδιασμένο να διασφαλίζει τις βέλτιστες συνθήκες για τη διαδικασία ξήρανσης. Είναι αεριζόμενο, επιτρέποντας την κυκλοφορία του αέρα και τη ρύθμιση της υγρασίας και της θερμοκρασίας εντός του χώρου.



Εικόνα 4.5: Το οριζόντιο σύστημα ανάδευσης της μονάδας ξήρανσης

Αυτή η στοχευμένη αεροδυναμική σχεδίαση συμβάλλει στην αποφυγή της υπερθέρμανσης και στην αποτελεσματική διαχείριση των θερμικών συνθηκών, διασφαλίζοντας ότι οι δεξαμενές λειτουργούν στην ιδανική θερμοκρασία για τη βελτιστοποίηση της ξήρανσης του υλικού. Επιπλέον, το θερμοκήπιο είναι κατασκευασμένο από υλικά που επιτρέπουν την είσοδο φυσικού φωτός, ενισχύοντας τη συνολική αποδοτικότητα της διαδικασίας.

Τέλος παρέχονται υποδομές όπως υπόγεια δεξαμενή συλλογής υγρών αποβλήτων, συνδέσεις ύδρευσης και αποχέτευσης, οικίσκο προ διαλογής με υπόστεγο καθώς και σύστημα πυροπροστασίας.



Εικόνα 4.6: Το σύστημα ξήρανσης με τον κατακόρυφο άξονα ανάδευσης της μονάδας ξήρανσης



Εικόνα 4.7: Δεξαμενή ξήρανσης κατά τη διάρκεια ξήρανσης υλικών

Το πειραματικό μέρος της εργασίας αυτής απαρτίζεται από τη μετατροπή, την κατασκευή και την προσθήκη στα δύο ήδη υφιστάμενα συστήματα ανάδευσης τροφικών υπολειμμάτων της μονάδας του έργου LIFE – F4F ορισμένων μηχανολογικών μετατροπών, προκειμένου να βρεθούν λύσεις σε λειτουργικά προβλήματα που παρατηρήθηκαν κατά την προηγούμενη πιλοτική λειτουργία αυτής.

Το πρώτο και βασικό πρόβλημα ήταν η εξαγωγή του παραγόμενου τελικού προϊόντος από τις δεξαμενές ξήρανσης. Καθώς οι δεξαμενές ήταν περιμετρικά κλειστές και στεγανές, δεν είχε προβλεφθεί κάποιο άνοιγμα για την έξοδο από αυτές του τελικού ξηρού προϊόντος, με αποτέλεσμα, η απομάκρυνση αυτού να γίνεται χειρωνακτικά.

Αυτό είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση του λειτουργικού κόστους και τη μείωση της παραγωγικότητας μιας τέτοιας μονάδας, καθώς περισσότερο προσωπικό απαιτούνταν και φυσικά περισσότερος χρόνος για μια διεργασία, η οποία μπορούσε να αυτοματοποιηθεί. Για τον λόγο αυτό θα έπρεπε να κατασκευαστεί μια στεγανή πόρτα εξόδου για τη κάθε δεξαμενή η οποία να είναι από κατάλληλα υλικά για την επαφή της με το κατεργαζόμενο υλικό, ελαφριά και εύκολη στη συντήρηση για την ευχρηστία του χειριστή. Οι πόρτες πρέπει να είναι σχεδιασμένες και κατασκευασμένες με υψηλές προδιαγραφές.

Συγκεκριμένα να διαθέτουν μηχανισμό και υλικά που εξασφαλίζουν τη πλήρη στεγανότητα κατά τη λειτουργία, αποτρέποντας οποιαδήποτε απώλεια υγρασίας ή ξηραντικού μέσου. Όλα τα υλικά που θα χρησιμοποιηθούν στην κατασκευή (π.χ. χάλυβας, φλάτζες και στεγανοτηκά/μονωτικά) είναι απαραίτητο να συμμορφώνονται με την ισχύουσα νομοθεσία. Οι πόρτες πρέπει να αντέχουν στις συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης που προκύπτουν κατά τη ξήρανση. Τέλος ο σχεδιασμός τους πρέπει να ενσωματώνει στοιχεία που διευκολύνουν το χειριστή στη καθαριότητα και τη συντήρηση του συστήματος.

Ακολούθως, μελετήθηκαν και άλλα προβλήματα που παρατηρήθηκαν κατά τη λειτουργία της πιλοτικής μονάδας ηλιακής ξήρανσης.

Ένα επόμενο πρόβλημα ήταν ότι στην δεξαμενή ξήρανσης που λειτουργούσε το οριζόντιο σύστημα ανάδευσης του προς ξήρανση υλικού,, λόγω του όγκου αλλά και της συγκεκριμένης μηχανολογικής κατασκευής του συστήματος που έφερε το σύστημα ανάδευσης, δεν υπήρχε η δυνατότητα να επεξεργαστεί όλο το υλικό, κατά πλάτος και κατά μήκος της δεξαμενής.

Δεν υπήρχε δηλαδή η δυνατότητα ανάδευσης του υλικού στις κατά μήκος άκρες της δεξαμενής. Σε αυτή την περίπτωση υπήρχε η ανάγκη της ανθρώπινης παρέμβασης, όπου το προσωπικό λειτουργίας ήταν αναγκασμένοι να απομακρύνουν χειρωνακτικά το υλικό από τις γωνίες της δεξαμενής προς το εσωτερικό του οριζόντιου άξονα ανάδευσης, προκειμένου να επεξεργάζεται το σύνολο του υλικού.

Αυτό όμως συνεπαγόταν τη διακοπή λειτουργίας του συστήματος ανάδευσης, καθώς θα έπρεπε να διακόπτεται η λειτουργία του συστήματος ανάδευσης προκειμένου να γίνεται η χειρωνακτική μεταφορά του υλικού. Στόχος της παρούσας ήταν να γίνουν τέτοιες βελτιστοποιήσεις, ώστε να μειωθούν ή και να ελαχιστοποιηθούν τα συγκεκριμένα προβλήματα, προκειμένου να αυτοματοποιηθεί η παραγωγική διαδικασία στο μέγιστο δυνατό βαθμό.

Για την επίλυση του συγκεκριμένου προβλήματος κατασκευάστηκε μια κοίλη ανοξείδωτη λαμαρίνα, η οποία στηρίζεται σε τέσσερα σημεία στη βάση της δεξαμενής. Μια κρίσιμη προϋπόθεση για την επιτυχία της κατασκευής είναι η λαμαρίνα να εφάπτεται απόλυτα στον κύλινδρο, ώστε να αποφεύγεται η παραμονή ανεπεξέργαστου υλικού. Η εφαρμογή αυτή εξασφαλίζει τη βέλτιστη λειτουργικότητα της δεξαμενής, χωρίς να δημιουργούνται νεκρές ζώνες ή ατέλειες στη ροή των υλικών.

Το τρίτο πρόβλημα παρουσιαζόταν στην δεύτερη δεξαμενή, με το σύστημα ξήρανσης με τον κάθετο άξονα ανάδευσης, όπου δεν υπήρχε κάποιος μηχανισμός που να μεταφέρει το τελικό παραγόμενο προϊόν προς την έξοδο της δεξαμενής. Πάλι και σε αυτή την περίπτωση το άδειασμα του υλικού γινόταν χειρωνακτικά, από το προσωπικό λειτουργίας, από όλη την επιφάνεια της δεξαμενής, απαιτώντας και πάλι χρόνο και ενέργεια.

Μάλιστα, στη συγκεκριμένη περίπτωση απαιτούνταν πολλαπλάσιος χρόνο απομάκρυνσης του υλικού σε σχέση με την πρώτη δεξαμενή, καθώς το συγκεκριμένο σύστημα ανάδευσης δεν είχε τη δυνατότητα μεταφοράς του υλικού, κάτι που διέθετε το οριζόντιο σύστημα ανάδευσης. Για την περίπτωση αυτή, υλοποιήθηκε η κατασκευή δύο μεταλλικών ξέστρων (εγκάρσιες σπάτουλες) με ρυθμιζόμενο ύψος ως προς την βάση της δεξαμενής, δίνοντας στο χειριστή τη δυνατότητα προσαρμογής τους.

Τα ξέστρα τοποθετήθηκαν διαδοχικά πάνω στη μηχανολογική κατασκευή που φέρει τον αναδευτήρα του συστήματος. Ιδιαίτερη προσοχή δόθηκε στη μελέτη του βάρους, του όγκου και της ασφάλειας των ξέστρων σε όλο το εύρος ρύθμισης του ύψους, δεδομένου ότι η ρύθμιση τους πραγματοποιείται χειροκίνητα. Όλα τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για τις συγκεκριμένες κατασκευές ήταν ανοξείδωτα, συγκεκριμένων προδιαγραφών, ειδικά για τρόφιμα, σύμφωνα με την κείμενη νομοθεσία.

Σε όλες τις κατασκευές, έπρεπε να ληφθεί υπόψη η γενικότερη κατασκευή των δεξαμενών ξήρανσης, οι οποίες ήταν εσωτερικά υπενδεδυμένες με ανοξείδωτα φύλλα, πάχους 2mm. Πιο συγκεκριμένα, και στις δυο δεξαμενές δεν είχε πραγματοποιηθεί πάκτωση του πάτου των δεξαμενών στο τσιμέντο της θεμελίωσης, καθώς στον πάτο κάθε δεξαμενής ξήρανσης είχε τοποθετηθεί ενδοδαπέδιο σύστημα θέρμανσης, με αποτέλεσμα, όλο το δάπεδο των δεξαμενών να αποτελείται από ένα συνεχόμενο δίκτυο αγωγών.

Αυτό είχε ως αποτέλεσμα να παραμορφώνονται τα ανοξείδωτα μεταλλικά ελάσματα λόγω τάσεων που δημιουργούνται μετά την ηλεκτροσυγκόλληση αυτών αλλά και κατά την λειτουργία της δεξαμενής από την συστολή και διαστολή των μεταλλικών ελασμάτων, λόγω των μεταβολών της θερμοκρασίας, εντός του θερμοκήπιου καθ' όλη την διάρκεια του εικοσιτετράωρου.

Επίσης, το έδαφος όπου είχε στηθεί η τσιμεντένια βάση των δεξαμενών και τα τοιχία με τους οδηγούς κίνησης των δυο μηχανισμών ανάδευσης, είχε υποστεί ελαφρά καθίζηση λόγω βάρους των κατασκευών και διάβρωσης από το νερό, με αποτέλεσμα τα τοιχία να παρουσιάζουν ελαφρές αποκλίσεις ως προς την καθετότητα και την παραλληλότητα που θα έπρεπε να έχουν σε όλο το μήκος και πλάτος των δεξαμενών.

Πραγματοποιήθηκαν λοιπόν παρεμβάσεις στις ανοξείδωτες δεξαμενές των συστημάτων ανάδευσης ηλιακής ξήρανσης, όπου κόπτετε η μια στενή πλευρά της εκάστοτε δεξαμενής και προσαρμόζονται δύο κατάλληλα διαμορφωμένες κολώνες με δυο ανοξείδωτες διπλές ανοιγόμενες στεγανές πόρτες, προκειμένου να διευκολυνθεί η απομάκρυνση του παραγόμενου υλικού και ο καθαρισμός των δεξαμενών ηλιακής ξήρανσης.

Επιπρόσθετα, μετατροπές απαιτούνται και στο σύστημα ξήρανσης με τον οριζόντιο άξονα ανάδευσης, όπου μεταφέρθηκαν τα ήδη υπάρχοντα πλευρικά ξέστρα και οι τερματικοί διακόπτες και προστέθηκε μια ανοξείδωτη μεταλλική κοίλη κατασκευή στην μια άκρη της δεξαμενής, έτσι ώστε ο κύριος άξονας του συστήματος ανάδευσης να έχει τη δυνατότητα να επεξεργάζεται το υλικό ομοιόμορφα σε όλο το μήκος της δεξαμενής, αποφεύγοντας το νεκρό σημείο λειτουργίας αυτής.

Όσον αφορά στο σύστημα ξήρανσης με το κάθετο άξονα ανάδευσης, απαιτήθηκε να προσαρμοστεί ένα πτυσσόμενο μηχανικό ξέστρο, το οποίο θα παρέχει την δυνατότητα στον χειριστή να συγκεντρώνει και να παρασέρνει το παραγόμενο υλικό από όλη την επιφάνεια της δεξαμενής μπροστά στις ανοιγόμενες πόρτες προκειμένου να ολοκληρωθεί ευκολότερα η εκκένωση της δεξαμενής ξήρανσης.



Εικόνα 4.8: Τα δυο συστήματα ξήρανσης τροφικών υπολειμμάτων πριν τις βελτιστοποιήσεις και τις απαιτούμενες μετατροπές

4.2 Έρευνα για τις στεγανές πόρτες των υφιστάμενων ηλιακών ξηραντήρων

4.2.1 Σχεδιασμός λειτουργία και εφαρμογές

Οι στεγανές πόρτες αποτελούν κρίσιμο στοιχείο σε εγκαταστάσεις όπου απαιτείται πλήρης απομόνωση μεταξύ των δύο χώρων, προλαμβάνοντας τη διαρροή υγρών. Χρησιμοποιούνται σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις, θαλάσσιες κατασκευές, αποθηκευτικούς χώρους και περιβάλλοντα με αυστηρές προδιαγραφές υγιεινής. Ο σχεδιασμός τους βασίζεται σε ειδικές τεχνικές προδιαγραφές που διασφαλίζουν την αποτελεσματική στεγανοποίηση, την ανθεκτικότητα και τη μακροχρόνια λειτουργία τους υπό απαιτητικές συνθήκες.

Βασικά Χαρακτηριστικά Στεγανών Πορτών

Σύστημα Στεγανοποίησης Στεγανών Θυρών:

Οι στεγανές πόρτες διαθέτουν εξειδικευμένα συστήματα στεγανοποίησης, τα οποία διασφαλίζουν την αποτροπή διαρροών υγρών, αερίων ή σωματιδίων μεταξύ δύο διαμερισμάτων. Η στεγανοποίηση επιτυγχάνεται μέσω ειδικά σχεδιασμένων φλάντζων κατασκευασμένων από ελαστομερή υλικά, όπως EPDM, πολυουρεθάνη ή σιλικόνη. Τα υλικά αυτά επιλέγονται με βάση την αντοχή τους στη γήρανση, στις χημικές ουσίες και στις μεταβολές θερμοκρασίας, εξασφαλίζοντας μακροχρόνια λειτουργικότητα.

Οι φλάντζες τοποθετούνται περιμετρικά στην επιφάνεια επαφής της πόρτας με το πλαίσιο και διαμορφώνονται κατάλληλα ώστε να προσαρμόζονται στην επιφάνεια έδρασης. Η εφαρμογή της απαιτούμενης πίεσης μέσω του μηχανισμού κλεισίματος εξασφαλίζει τη συμπίεση του ελαστομερούς υλικού, βελτιώνοντας την ερμητική σφράγιση. Σε ορισμένες εφαρμογές, η στεγανοποίηση ενισχύεται με μηχανισμούς διπλής συμπίεσης ή φουσκωτές φλάντζες (inflatable seals), οι οποίες ενεργοποιούνται μέσω πνευματικών ή υδραυλικών συστημάτων, προσφέροντας ακόμα υψηλότερη απόδοση σε περιβάλλοντα υψηλής πίεσης ή ακραίων συνθηκών.

Η επιλογή του κατάλληλου τύπου φλάντζας εξαρτάται από τις λειτουργικές απαιτήσεις της εγκατάστασης, όπως η αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες, η χημική αντίσταση και η μηχανική αντοχή στη συνεχή καταπόνηση κατά τη λειτουργία της πόρτας.

4.2.2 Υλικά Κατασκευής

Οι στεγανές πόρτες κατασκευάζονται κυρίως από ανοξείδωτο χάλυβα (π.χ. AISI 304, AISI 316) ή αλουμίνιο, καθώς αυτά τα υλικά προσφέρουν αντοχή στη διάβρωση, μηχανική ανθεκτικότητα και μακροχρόνια αντοχή σε υγρασία ή χημικά.

Σε ειδικές εφαρμογές, χρησιμοποιούνται συνθετικά υλικά, όπως:

- FRP (Fiber Reinforced Plastic - Πλαστικό ενισχυμένο με ίνες γυαλιού): Χρησιμοποιείται σε θαλάσσιες και χημικές εγκαταστάσεις λόγω της εξαιρετικής αντοχής του στη διάβρωση και στο θαλασσινό νερό.
- PVC (Πολυβινυλοχλωρίδιο): Χρησιμοποιείται σε αποστειρωμένα περιβάλλοντα ή βιομηχανίες τροφίμων όπου απαιτείται εύκολος καθαρισμός και χημική αντοχή.
- Πολυουρεθάνη με ενισχυμένη επιφάνεια: Χρησιμοποιείται για τη μόνωση και την αποφυγή θερμικών απωλειών σε βιομηχανικούς θαλάμους.

- Ειδικές επιστρώσεις (coatings): Σε μεταλλικές πόρτες, μπορεί να εφαρμοστούν επιστρώσεις τεφλόν (PTFE) ή εποξειδικές βαφές για επιπλέον αντοχή σε οξέα, αλκάλια ή υψηλές θερμοκρασίες.

4.2.3 Μηχανισμός Κλεισίματος

Ο μηχανισμός κλεισίματος μιας στεγανής πόρτας είναι κρίσιμος για την εξασφάλιση της στεγανότητας και μπορεί να περιλαμβάνει διάφορες διατάξεις:

1. Μηχανικοί Μηχανισμοί Κλεισίματος

Περιστροφικοί μηχανισμοί σύσφιξης (Cam Locks): Περιλαμβάνουν μοχλούς ή κοχλίες που ασκούν δύναμη στη φλάντζα στεγανοποίησης, πιέζοντάς την ομοιόμορφα.

Σύρτες ή κλειστρά: Εφαρμόζουν μηχανική πίεση στο ελαστικό στεγανοποιητικό υλικό (π.χ. EPDM, σιλικόνη) για να δημιουργήσουν πλήρη σφράγιση.

Αυτοματοποιημένοι Μηχανισμοί Κλεισίματος

- Πνευματικοί μηχανισμοί (Pneumatic Sealing Systems): Χρησιμοποιούν συμπιεσμένο αέρα για την ενεργοποίηση εμβόλων που εφαρμόζουν δύναμη στο στεγανοποιητικό υλικό.
- Ηλεκτρομηχανικά κλεισίματα (Electromechanical Locks): Περιλαμβάνουν μοτέρ ή ηλεκτρομαγνητικούς μηχανισμούς, οι οποίοι εξασφαλίζουν ομοιόμορφη και ελεγχόμενη πίεση κατά το κλείσιμο.

Ο τύπος του μηχανισμού κλεισίματος επιλέγεται ανάλογα με την εφαρμογή. Για παράδειγμα, στις βιομηχανικές δεξαμενές χρησιμοποιούνται μηχανικοί σύρτες, ενώ σε περιβάλλοντα με υψηλές απαιτήσεις αυτοματοποίησης, όπως σε πλοία ή αποστειρωμένους χώρους, χρησιμοποιούνται ηλεκτρομηχανικά συστήματα.

Αντοχή σε Περιβαλλοντικούς Παράγοντες

Οι στεγανές πόρτες κατασκευάζονται έτσι ώστε να αντέχουν σε διάφορους περιβαλλοντικούς παράγοντες, ανάλογα με την εφαρμογή για την οποία προορίζονται. Αυτοί οι παράγοντες περιλαμβάνουν:

- Αντοχή σε Θερμοκρασιακές Μεταβολές

Οι πόρτες που χρησιμοποιούνται σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις, ψυκτικούς θαλάμους ή φούρνους πρέπει να διατηρούν τις μηχανικές και στεγανοποιητικές τους ιδιότητες σε ευρύ θερμοκρασιακό φάσμα. Για παράδειγμα: Σε χαμηλές θερμοκρασίες (-40°C έως 0°C), το υλικό της πόρτας και το σύστημα στεγανοποίησης πρέπει να παραμένουν εύκαμπτα, ώστε να μην προκληθούν ρωγμές ή απώλειες στεγανότητας.

Σε υψηλές θερμοκρασίες (άνω των 100°C), απαιτούνται υλικά με θερμική αντοχή, όπως ειδικά ελαστομερή ή επιστρώσεις που αποτρέπουν την παραμόρφωση της πόρτας.

- Αντοχή σε Πίεση και Δύναμη Κρούσης

Οι στεγανές πόρτες που χρησιμοποιούνται σε θαλάσσια ή βιομηχανικά περιβάλλοντα πρέπει να αντέχουν υψηλές πιέσεις και μηχανικές καταπονήσεις. Για παράδειγμα:

Σε πλοία και υποβρύχιες κατασκευές, οι πόρτες πρέπει να αντέχουν σε διαφορές πίεσης που προκαλούνται από την αλλαγή στάθμης του νερού.

Σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις, οι πόρτες πρέπει να αντέχουν μηχανικές κρούσεις από μεταφερόμενα φορτία ή εργαλεία χωρίς απώλεια της στεγανότητάς τους.

- Αντοχή σε Υγρασία και Διάβρωση

Σε περιβάλλοντα με υψηλή υγρασία, όπως δεξαμενές ή εγκαταστάσεις χημικών, οι πόρτες πρέπει να είναι ανθεκτικές στη διάβρωση. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω:

Χρήσης ανθεκτικών μετάλλων (π.χ. ανοξείδωτος χάλυβας AISI 316 με πρόσθετο μολυβδαίνιο για βελτιωμένη αντοχή σε διαβρωτικά περιβάλλοντα).

Εφαρμογής αντιδιαβρωτικών επιχρισμάτων (π.χ. εποξειδικές βαφές ή γαλβανισμένη επιστρωση).

- Αντοχή σε Χημικά και Απολυμαντικά

Σε εγκαταστάσεις που απαιτούν αυξημένη υγιεινή, όπως η βιομηχανία τροφίμων, φαρμακευτικά εργαστήρια και νοσοκομεία, οι πόρτες πρέπει να αντέχουν σε τακτική επαφή με ισχυρά απολυμαντικά και χημικά καθαριστικά χωρίς να επηρεάζεται η δομική τους ακεραιότητα. Σε αυτές τις περιπτώσεις, χρησιμοποιούνται:

- Υλικά ανθεκτικά σε χημικές ουσίες, όπως ανοξείδωτος χάλυβας AISI 304 ή πλαστικά υψηλής αντοχής (π.χ. PTFE, πολυπροπυλένιο).
- Στεγανοποιητικά υλικά με χημική αντοχή, όπως φλάντζες από EPDM ή σιλικόνη, που δεν αλλοιώνονται από διαλύματα χλωρίου ή όξινα καθαριστικά.

- Ευκολία Καθαρισμού

Σε εγκαταστάσεις που απαιτούν αποστείρωση, οι επιφάνειες των πορτών πρέπει να είναι λεία και μη πορώδη, ώστε να αποτρέπεται η συσσώρευση βακτηρίων και ρύπων. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω: Χρήσης γυαλισμένου ανοξείδωτου χάλυβα ή αντιμικροβιακών επικαλύψεων και αποφυγής γωνιών και εσοχών, όπου μπορεί να συσσωρευτούν υπολείμματα υλικών ή μικροοργανισμοί.

Συμπέρασμα: Οι στεγανές πόρτες πρέπει να είναι σχεδιασμένες ώστε να αντέχουν στις ειδικές απαιτήσεις του περιβάλλοντος στο οποίο χρησιμοποιούνται. Η επιλογή των κατάλληλων υλικών και μηχανισμών διασφαλίζει τη μακροχρόνια απόδοση, την ασφάλεια και την υγιεινή της εγκατάστασης.

4.2.4 Εφαρμογές και Παραδείγματα Στεγανών Πορτών

Οι στεγανές πόρτες βρίσκουν εφαρμογή σε ποικίλους τομείς της βιομηχανίας, των υποδομών και των κατασκευών, εξασφαλίζοντας τη στεγανοποίηση, την ασφάλεια και τον έλεγχο της ροής υγρών ή αερίων. Παρακάτω παρουσιάζονται οι βασικές κατηγορίες εφαρμογών, συνοδευόμενες από συγκεκριμένα παραδείγματα στεγανών πορτών που χρησιμοποιούνται σε κάθε περίπτωση.

1. Ναυπηγική και Ναυτιλία

Στον ναυτιλιακό τομέα, οι στεγανές πόρτες χρησιμοποιούνται για την αποτροπή εισροής νερού στα πλοία και τις υποβρύχιες κατασκευές. Βρίσκουν εφαρμογή σε:

- Αμπάρια και καταπακτές πλοίων: Σχεδιασμένες ώστε να αντέχουν σε υψηλές πιέσεις και να αποτρέπουν τη διείσδυση νερού στα εσωτερικά διαμερίσματα του πλοίου. Συχνά διαθέτουν μηχανισμούς ταχείας ασφάλισης για άμεσο κλείσιμο σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης.
- Διαμερίσματα στεγανοποίησης: Τα πλοία και τα υποβρύχια διαθέτουν στεγανά διαμερίσματα που περιορίζουν την εξάπλωση του νερού σε περίπτωση ζημιάς στο κύτος. Οι πόρτες αυτών των διαμερισμάτων πρέπει να διατηρούν πλήρη στεγανότητα ακόμη και υπό υψηλή πίεση.
- Στεγανές πόρτες υποβρυχίων: Σχεδιασμένες να αντέχουν τις ακραίες πιέσεις των μεγάλων θαλάσσιων βάθων. Συνήθως διαθέτουν μηχανισμούς πολλαπλών σημείων κλεισίματος και ενισχυμένες φλάντζες για απόλυτη υδατοστεγανότητα.

2. Βιομηχανία Τροφίμων και Φαρμάκων

- Σε εγκαταστάσεις που σχετίζονται με την επεξεργασία τροφίμων και τη φαρμακευτική παραγωγή, οι στεγανές πόρτες χρησιμοποιούνται για τη διατήρηση ελεγχόμενων συνθηκών υγρασίας, θερμοκρασίας και καθαριότητας. Παραδείγματα περιλαμβάνουν:
- Ψυκτικοί θάλαμοι και αποθήκες: Οι στεγανές πόρτες συμβάλλουν στην αποτροπή διαρροών αέρα και στη διατήρηση της θερμοκρασίας, μειώνοντας την ενεργειακή κατανάλωση και προστατεύοντας την ποιότητα των αποθηκευμένων προϊόντων.
- Καθαροί χώροι (clean rooms): Στη φαρμακοβιομηχανία και τη βιοτεχνολογία, οι στεγανές πόρτες χρησιμοποιούνται σε περιβάλλοντα όπου απαιτείται αυστηρός έλεγχος σωματιδίων και μικροοργανισμών για την αποφυγή μόλυνσης. Κατασκευάζονται από ανοξείδωτο χάλυβα ή επικαλυμμένα συνθετικά υλικά με αντιμικροβιακές ιδιότητες.
- Στεγανές πυρίμαχες πόρτες εργαστηρίων: Σε εγκαταστάσεις όπου απαιτείται συνδυασμός πυροπροστασίας και υγειονομικής ασφάλειας, χρησιμοποιούνται πόρτες με αντοχή σε φωτιά και ειδικά στεγανωτικά υλικά που προστατεύουν από τη διάδοση καπνού και αερίων.

3. Βιομηχανικές Δεξαμενές και Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Υγρών

Οι εγκαταστάσεις που διαχειρίζονται υγρά απαιτούν στεγανές πόρτες για την αποφυγή διαρροών και τον έλεγχο της ροής των υγρών. Παραδείγματα περιλαμβάνουν:

Πόρτες δεξαμενών αποθήκευσης: Στις βιομηχανίες πετρελαίου, χημικών και ποτών, χρησιμοποιούνται στεγανές πόρτες στις δεξαμενές για τη διατήρηση της ακεραιότητας του αποθηκευμένου υγρού και την αποτροπή εξωτερικής μόλυνσης.

Εγκαταστάσεις επεξεργασίας αποβλήτων: Στεγανές πόρτες εφαρμόζονται σε εγκαταστάσεις όπου επεξεργάζονται υγρά απόβλητα, εξασφαλίζοντας ότι τα υγρά παραμένουν εντός των προκαθορισμένων περιοχών και δεν διαρρέουν στο περιβάλλον.

Καταπακτές δεξαμενών με χημικά υγρά: Στις βιομηχανίες που διαχειρίζονται διαβρωτικά ή τοξικά υγρά, οι στεγανές καταπακτές εξασφαλίζουν προστασία από τυχαίες διαρροές και αποτρέπουν την έκθεση του προσωπικού σε επικίνδυνες ουσίες.

4. Υδραυλικά Έργα και Συστήματα Αποχέτευσης

Στις υποδομές διαχείρισης υδάτων, οι στεγανές πόρτες χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο της ροής του νερού και την προστασία από πλημμύρες. Χαρακτηριστικά παραδείγματα περιλαμβάνουν:

Θύρες φραγμάτων και αντλιοστασίων: Οι στεγανές πόρτες αυτών των εγκαταστάσεων επιτρέπουν την ελεγχόμενη ροή του νερού και προστατεύουν από ακραία καιρικά φαινόμενα ή υπερχειλίσσεις ποταμών.

Πόρτες συστημάτων αποχέτευσης: Σε υπόγειες εγκαταστάσεις αποχέτευσης και αντλιοστάσια, οι στεγανές πόρτες αποτρέπουν την είσοδο νερού σε κρίσιμα σημεία του συστήματος, περιορίζοντας την πιθανότητα υπερχειλίσεων.

Οι στεγανές πόρτες αποτελούν βασικό στοιχείο σε πολλές εφαρμογές, διασφαλίζοντας την προστασία από υγρά, αέρια και πιέσεις. Ανάλογα με το περιβάλλον χρήσης, επιλέγονται διαφορετικά υλικά, μηχανισμοί κλεισίματος και συστήματα στεγανοποίησης, εξασφαλίζοντας τη μέγιστη αποτελεσματικότητα και μακροχρόνια αντοχή.

4.3 Τεχνική Περιγραφή Μηχανισμών Συλλογής και Μεταφοράς Πολτοποιημένου Υλικού προς την Έξοδο Δεξαμενής Ξήρανσης

Η διαδικασία ξήρανσης πολτοποιημένων υλικών σε επίπεδες δεξαμενές, όπως αυτές που απαντώνται σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας ιλύος, απαιτεί μηχανισμούς που εξασφαλίζουν την αποτελεσματική μεταφορά του υλικού προς την έξοδο. Η καθοδήγηση του υλικού στο τελικό στάδιο της διαδικασίας είναι κρίσιμη, καθώς επιδρά στην ταχύτητα εκκένωσης της δεξαμενής, την αποδοτικότητα του συστήματος και την ομαλή συνέχεια προς τα επόμενα στάδια επεξεργασίας ή διάθεσης. Η παρούσα ενότητα εξετάζει τεχνολογίες που έχουν αναπτυχθεί για τη συλλογή και μεταφορά του υλικού από την επιφάνεια ή τον πυθμένα της δεξαμενής προς τα σημεία εξόδου, με σκοπό την αξιολόγηση των λειτουργικών δυνατοτήτων τους και την άντληση ιδεών για μηχανολογικές λύσεις.

Μηχανισμοί Συλλογής και Μεταφοράς Υλικού προς την Έξοδο

Η μεταφορά του πολτοποιημένου ή ημι-αποξηραμένου υλικού προς την έξοδο της δεξαμενής πραγματοποιείται μέσω ειδικών μηχανισμών που συνδυάζουν τη λειτουργία σύρσης, ώθησης ή έλξης του υλικού. Ένας από τους πιο διαδεδομένους μηχανισμούς είναι ο κοχλιοφόρος μεταφορέας (auger screw), ο οποίος μπορεί να είναι, είτε ενσωματωμένος στον πυθμένα, είτε τοποθετημένος εγκάρσια στο άκρο της δεξαμενής. Η περιστροφική του κίνηση προωθεί το υλικό με συνεχή και ελεγχόμενο ρυθμό προς τον αγωγό εξόδου. Πρόκειται για λύση ευρέως χρησιμοποιούμενη σε εγκαταστάσεις αφυδάτωσης ιλύος.

Σε εναλλακτικές διατάξεις, χρησιμοποιούνται κινητές σπάτουλες ή «μαχαίρια» συλλογής, τα οποία προσαρμόζονται στον φορέα του αναδευτήρα και κινούνται κατά μήκος της δεξαμενής, σύροντας το υλικό προς θυρίδες απομάκρυνσης. Αυτή η τεχνική είναι ιδιαίτερα αποδοτική όταν το υλικό έχει αποκτήσει μια πιο συμπαγή μορφή μετά τη μερική αφυδάτωσή του και δεν μπορεί να μετακινηθεί με ροή.

Άλλη τεχνολογία περιλαμβάνει συστήματα υδραυλικής ώθησης, όπου έμβολα ή κινητοί βραχίονες προωθούν το υλικό προς προκαθορισμένα σημεία εξόδου. Η προσέγγιση αυτή προσφέρει ακριβή έλεγχο αλλά απαιτεί μεγαλύτερη ενεργειακή κατανάλωση και συντήρηση.

Τέλος, σε ορισμένες εφαρμογές χρησιμοποιούνται μεταφορικές ταινίες στο άκρο της δεξαμενής, οι οποίες παραλαμβάνουν το υλικό από το χαμηλότερο σημείο συλλογής και το οδηγούν σε μεταγενέστερους σταθμούς. Οι ταινίες αυτές συχνά συνδυάζονται με ξέστρα ή παλινδρομικά όργανα για την πλήρη αποφόρτιση της επιφάνειας.

Πρόσθετα συστήματα που εξετάζονται για εξειδικευμένες εφαρμογές περιλαμβάνουν:

1. Σάρωθρο (scraper): Πρόκειται για μεταλλικό ή ελαστικό εξάρτημα που κινείται μηχανικά κατά μήκος της δεξαμενής και σαρώνει την επιφάνεια, ωθώντας το υλικό προς την έξοδο. Η απλότητα κατασκευής του το καθιστά ιδανική επιλογή για βαριά ή ιξώδη υλικά. Συχνά λειτουργεί με παλινδρομική ή κυκλική κίνηση. Παράδειγμα εφαρμογής μπορεί να αποτελέσει η χρήση του σε δεξαμενές ξήρανσης ιλύος όπου απαιτείται συνεχής απομάκρυνση του υλικού με ελάχιστο μηχανικό κόπο.
2. Περιστρεφόμενη βούρτσα: Χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις όπου απαιτείται καθαρισμός και απομάκρυνση υπολειμμάτων από την επιφάνεια της δεξαμενής χωρίς φθορά του υποστρώματος. Η βούρτσα, περιστρεφόμενη με κατάλληλες στροφές, μπορεί να συλλέξει λεπτόκοκκα υλικά ή αποξηραμένα υπολείμματα και να τα προωθήσει προς τις θυρίδες εξόδου. Η χρήση της είναι ιδιαίτερα διαδεδομένη σε γραμμές ξήρανσης τροφίμων. Ένα παράδειγμα αποτελεί η απομάκρυνση στεγνών υπολειμμάτων πολτού φρούτων από επίπεδες δεξαμενές σε βιομηχανίες μεταποίησης.
3. Σύστημα αναρρόφησης (vacuum): Σε πιο σύνθετες εγκαταστάσεις, εφαρμόζονται συστήματα αναρρόφησης με ακροφύσια συνδεδεμένα σε αγωγούς υποπίεσης. Το υλικό απομακρύνεται μέσω της αναρρόφησης και μεταφέρεται μέσω σωληνώσεων. Η μέθοδος αυτή είναι κατάλληλη για ελαφρά ή σκόνη-ειδή υλικά και μειώνει τη διασπορά σωματιδίων στον αέρα, βελτιώνοντας τις συνθήκες υγιεινής του χώρου. Εφαρμόζεται συχνά σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας οργανικών αποβλήτων ή σε συστήματα αποξήρανσης λάσπης με λεπτή κοκκομετρία.

Η επιλογή του κατάλληλου μηχανισμού εξαρτάται από τη φύση του υλικού, τη διαμόρφωση της δεξαμενής, τη διαθέσιμη ενέργεια και τις απαιτήσεις του τελικού προϊόντος. Συνεπώς, η διερεύνηση των τεχνολογικών επιλογών είναι απαραίτητο βήμα κατά τον σχεδιασμό ενός αποδοτικού και λειτουργικού συστήματος ξήρανσης.

4.4 Διαδικασία σχεδιασμού βελτιστοποιήσεων και κατασκευαστικές παράμετροι

Τα συστήματα CAD (Computer-Aided Design) αποτελούν λογισμικά που επιτρέπουν τη δημιουργία, τροποποίηση και ανάλυση τεχνικών σχεδίων με τη χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή. Η χρήση τους έχει αλλάξει ριζικά τον τρόπο σχεδίασης στη μηχανολογία, την αρχιτεκτονική και τη βιομηχανία, καθώς προσφέρουν ακρίβεια, ταχύτητα και ευελιξία.

Η πλατφόρμα διαθέτει εκτεταμένες δυνατότητες, όπως διαχείριση επιπέδων (layers), προσαρμογή γραμμών και σχημάτων, καθώς και αυτοματοποίηση διαδικασιών μέσω της γλώσσας προγραμματισμού AutoLISP.

Το AutoCAD υποστηρίζει τη συνεργασία μεταξύ επαγγελματιών, επιτρέποντας την κοινή χρήση αρχείων και την ενσωμάτωση με άλλα προγράμματα σχεδιασμού και μοντελοποίησης, όπως το Revit και το 3ds Max. Χρησιμοποιεί το αρχείο τύπου DWG, το οποίο είναι το πρότυπο για την αποθήκευση σχεδίων, και επιτρέπει την εξαγωγή σε διάφορες μορφές, όπως PDF και DWF. Επιπλέον, με την εξέλιξη της τεχνολογίας, η Autodesk έχει αναπτύξει cloud-based εκδόσεις του AutoCAD, δίνοντας τη δυνατότητα απομακρυσμένης πρόσβασης και συνεργασίας μέσω διαδικτύου. Η συνεχής ανάπτυξη του λογισμικού και η προσθήκη νέων εργαλείων το καθιστούν απαραίτητο για επαγγελματίες που ασχολούνται με το σχεδιασμό και τη μηχανική.

Τα CAD περιλαμβάνουν εργαλεία τόσο για δισδιάστατη (2D) όσο και για τρισδιάστατη (3D) σχεδίαση, επιτρέποντας στους μηχανικούς και σχεδιαστές να αναπτύσσουν μοντέλα που προσομοιώνουν την πραγματική συμπεριφορά των αντικειμένων. Με την ενσωμάτωση τεχνολογιών όπως CAM

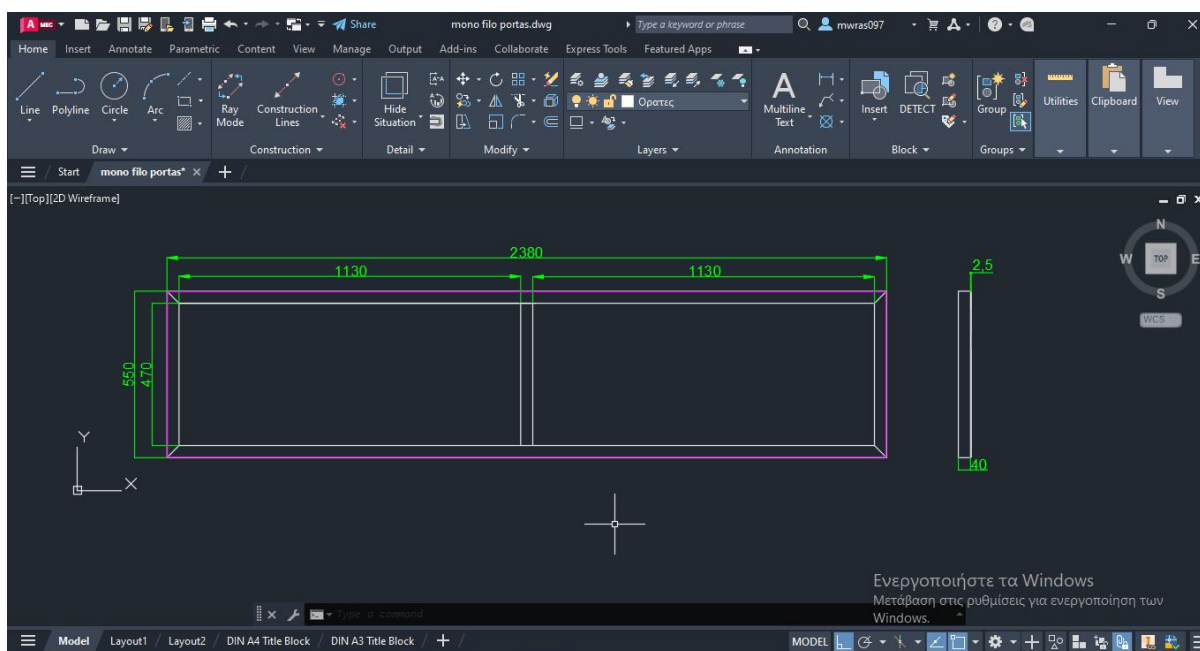
(Computer-Aided Manufacturing) και CAE (Computer-Aided Engineering), διευκολύνουν τη μετάβαση από το στάδιο της σχεδίασης στην παραγωγή και την τεχνική ανάλυση.

Στην παρούσα εργασία, η σχεδίαση των κατασκευαστικών σχεδίων πραγματοποιήθηκε με το AutoCAD 2D, ένα λογισμικό σχεδίασης που αναπτύχθηκε από την Autodesk και κυκλοφόρησε για πρώτη φορά το 1982. Το πρόγραμμα αυτό χρησιμοποιείται ευρέως στη μηχανική, την αρχιτεκτονική και την κατασκευή, καθώς παρέχει εργαλεία υψηλής ακρίβειας για τη δημιουργία γεωμετρικών σχεδίων και την οργάνωση τεχνικών πληροφοριών.

Το AutoCAD 2D επιτρέπει την αποτύπωση αντικειμένων με ακριβείς διαστάσεις, την οργάνωση των σχεδίων σε διαφορετικά επίπεδα (layers) και τη χρήση εντολών που διευκολύνουν τη σχεδίαση και την τροποποίηση των σχημάτων. Ορισμένες από τις βασικές λειτουργίες του περιλαμβάνουν:

- LINE για τη χάραξη γραμμών,
- CIRCLE για τη δημιουργία κύκλων,
- TRIM για την περικοπή γραμμών,
- OFFSET για τη δημιουργία παράλληλων γραμμών,
- EXTEND για την επιμήκυνση γραμμών,
- LAYER για τη διαχείριση και οργάνωση των επιπέδων του σχεδίου.
- Hatch: Χρησιμοποιείται για την απεικόνιση των υλικών στις τομές των σχεδίων.
- Dimensional Tools: Για την τοποθέτηση ακριβών διαστάσεων και τη σωστή αποτύπωση των μεγεθών στα σχέδια.

Η χρήση του AutoCAD 2D συνέβαλε καθοριστικά στην παραγωγή ακριβών και οργανωμένων σχεδίων, εξασφαλίζοντας τη σαφήνεια των διαστάσεων και την ορθή απεικόνιση των κατασκευαστικών λεπτομερειών. Επιπλέον, η αποδοτικότητα του λογισμικού διευκόλυνε την ανάλυση και την υλοποίηση του σχεδιασμού στην πράξη. Παρακάτω αποικονίζεται το περιβάλλον του AUTOCAD 2D/3D 2025.



Εικόνα 4.9: Περιβάλλον AutoCAD – Αρχικό Σκαρίφημα

Δεδομένου ότι οι δύο δεξαμενές είχαν όμοιες διαστάσεις (5m x 20m), η διαδικασία σχεδίασης των στεγανών θυρών ήταν ίδια και για τις 2 δεξαμενές και ξεκίνησε με την αποτύπωση ενός

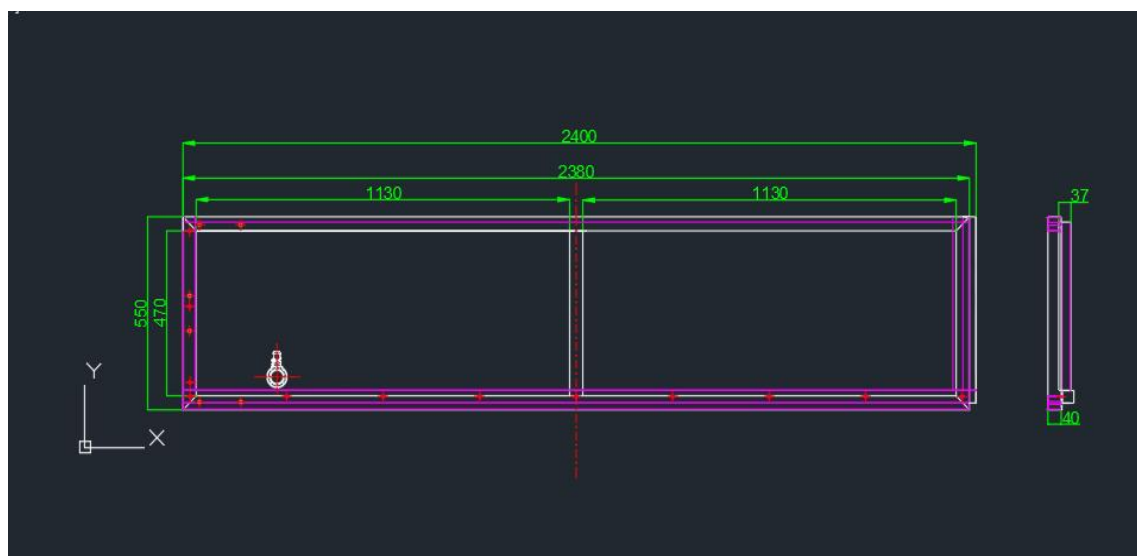
σκαριφήματος του ανοίγματος που δημιουργήθηκε στη δεξαμενή. Λαμβάνοντας υπόψη τους περιορισμούς του διαθέσιμου χώρου, η αρχική σχεδιαστική προσέγγιση περιλάμβανε την κατασκευή ενός ελάσματος στηριζόμενο σε ένα μεταλλικό πλαίσιο, το οποίο θα ενσωμάτωνε μεντεσέ για την άρθρωση της θύρας και σύρτη για την ασφαλή συγκράτησή της στη θέση της επί του ηλιακού ξηραντήρα.

Λόγω του αυξημένου φορτίου που θα ασκούσαν στον μεντεσέ, καθώς και της μεγάλης επιφάνειας της θύρας, κρίθηκε αναγκαία η τροποποίηση του αρχικού σχεδιασμού. Αντί για μία ενιαία θύρα, επιλέχθηκε η διαμόρφωση δύο πλαισίων, τα οποία συγκρατούν δύο φύλλα λαμαρίνας 2,5 χιλιοστών, εξασφαλίζοντας μεγαλύτερη σταθερότητα και αντοχή.

Παράλληλα, ο αρχικός μεντεσές αντικαταστάθηκε από δύο μεντεσέδες, τοποθετημένους συμμετρικά, ώστε να κατανεμηθούν ομοιόμορφα τα φορτία και να μειώσουν τις καταπονήσεις στη σύνδεση. Για την ασφαλή συγκράτηση των φύλλων σε κλειστή θέση, σχεδιάστηκε ένας κοινός σύρτης στο κεντρικό σημείο της κατασκευής, βελτιώνοντας τη στεγανότητα και την ασφάλεια της θύρας. Επίσης, τοποθετήθηκε μία βάνα για την ελεγχόμενη απομάκρυνση υγρών από τη δεξαμενή χωρίς να απαιτείται το άνοιγμα των θυρών. Με αυτόν τον τρόπο, ελέγχονταν οποιαδήποτε διαρροή των υγρών του προς ξήρανση υλικού εντός του ηλιακού ξηραντήρα, ενώ παράλληλα συνέβαλλε και στον ελεγχόμενο και ρυθμιζόμενο καθαρισμό της δεξαμενής, συμβάλλοντας στη βελτίωση των συνθηκών υγιεινής και ασφάλειας του χώρου.

Επομένως ο μηχανισμός τροποποιήθηκε, έτσι ώστε να περιλαμβάνει:

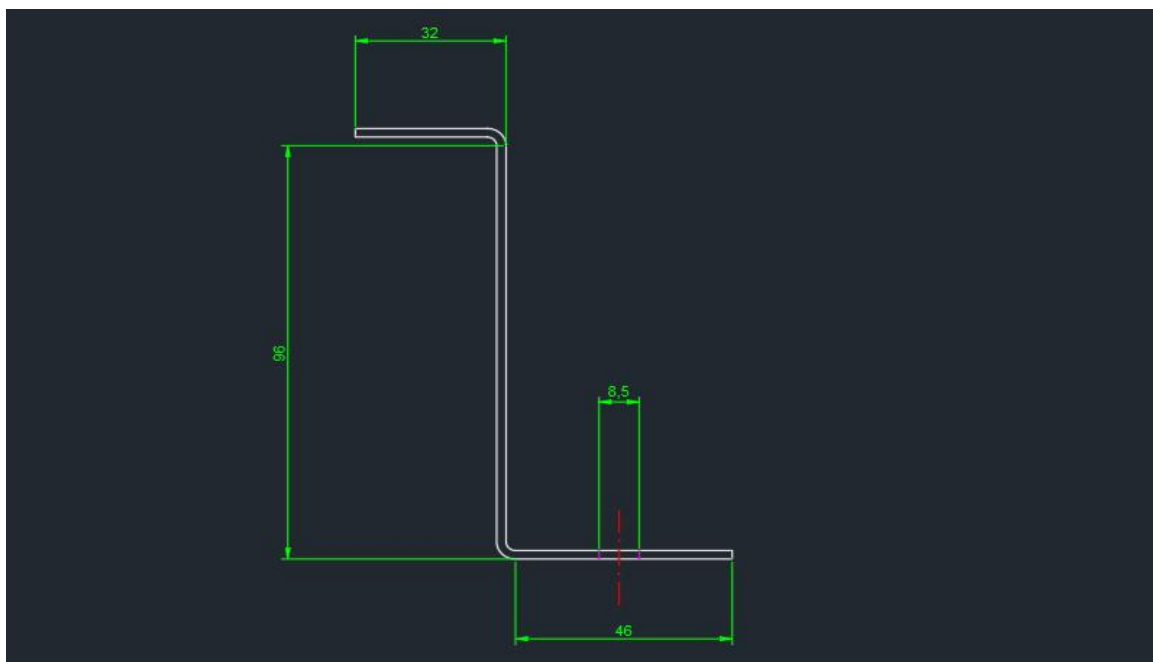
- Δύο πλαίσια που συγκρατούν τα φύλλα λαμαρίνας και το σύστημα στεγάνωσης.
- Δύο μεντεσέδες για τη στήριξη και την κίνηση της πόρτας.
- Έναν κοινό σύρτη στη μέση, για την ασφαλή στεγανοποίηση της πόρτας.



Εικόνα 4.10: Αποτύπωση αναβαθμίσεων ηλιακού ξηραντήρα – Σχεδιασμός πλαισίου πόρτας στεγάνωσης δεξαμενής ξήρανσης

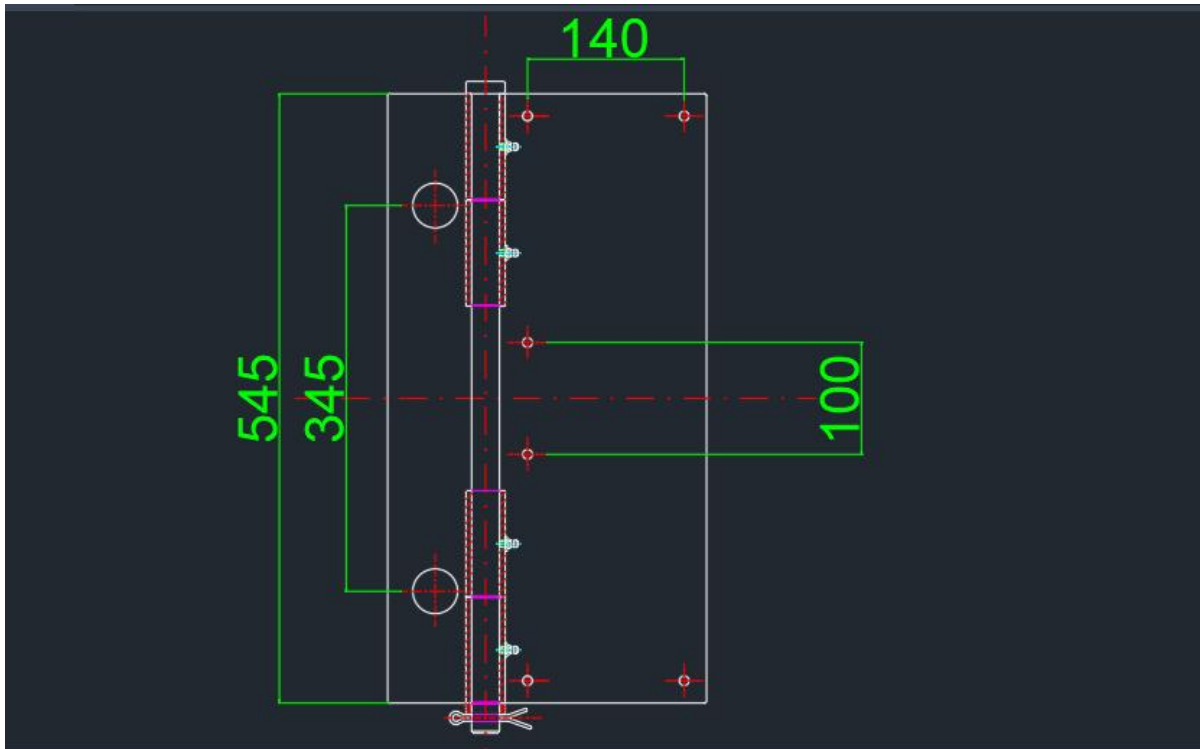
Στο σημείο όπου αφαιρέθηκε τμήμα της δεξαμενής για τη δημιουργία του ανοίγματος των θυρών, τοποθετήθηκε έλασμα κατάλληλα διαμορφωμένο ώστε να λειτουργεί ως προέκταση του δαπέδου της δεξαμενής. Ο σχεδιασμός του εξασφαλίζει μια επίπεδη και συνεχόμενη επιφάνεια, επιτρέποντας την ορθή εφαρμογή του στεγανοποιητικού λάστιχου της πόρτας. Με αυτόν τον τρόπο,

διασφαλίστηκε η απαιτούμενη στεγανότητα, αποτρέποντας πιθανές διαρροές κατά τη λειτουργία της δεξαμενής.



Εικόνα 4.11: Σχεδιασμός προεκτάσεων δαπέδου ξηραντήρα για την απαιτούμενη στεγανότητα

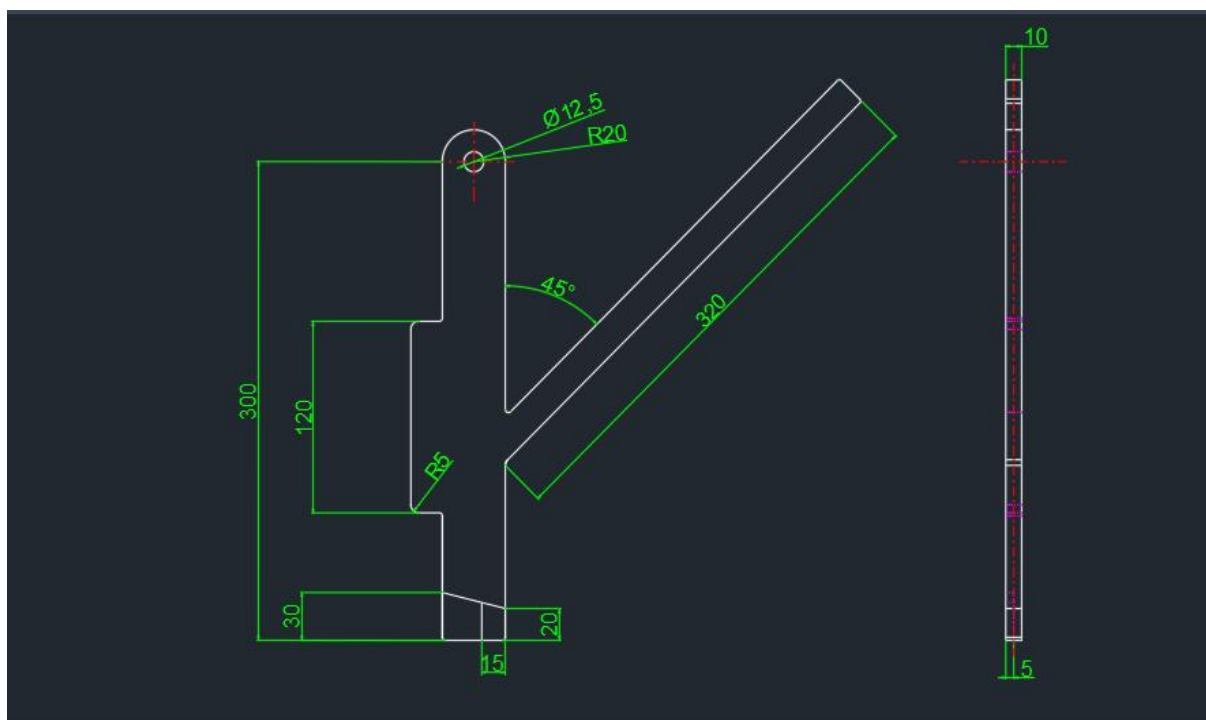
Ο σχεδιασμός του μεντεσέ βασίστηκε στην ανάγκη για αντοχή στα φορτία και στην επαναλαμβανόμενη χρήση, διασφαλίζοντας ταυτόχρονα την ομαλή κίνηση της πόρτας. Ο μεντεσές αποτελείται από δύο μεταλλικές πλάκες στήριξης, οι οποίες είναι συγκολλημένες αντίστοιχα στο πλαίσιο της πόρτας και στο πλαίσιο της δεξαμενής. Οι πλάκες ενώνονται μέσω ενός κυλινδρικού άξονα (πείρου), ο οποίος επιτρέπει την περιστροφή της πόρτας κατά το άνοιγμα και το κλείσιμο. Ο άξονας εδράζεται σε κυκλικές οπές στις πλάκες στήριξης, ενώ για την αποφυγή αποσυναρμολόγησης χρησιμοποιήθηκε ασφάλεια κοπίλια και δακτύλιος συγκράτησης. Η επιλογή του κατάλληλου πάχους υλικού και της διαμέτρου του πείρου έγινε με βάση τις μηχανικές καταπονήσεις που θα δεχθεί ο μηχανισμός κατά τη λειτουργία.



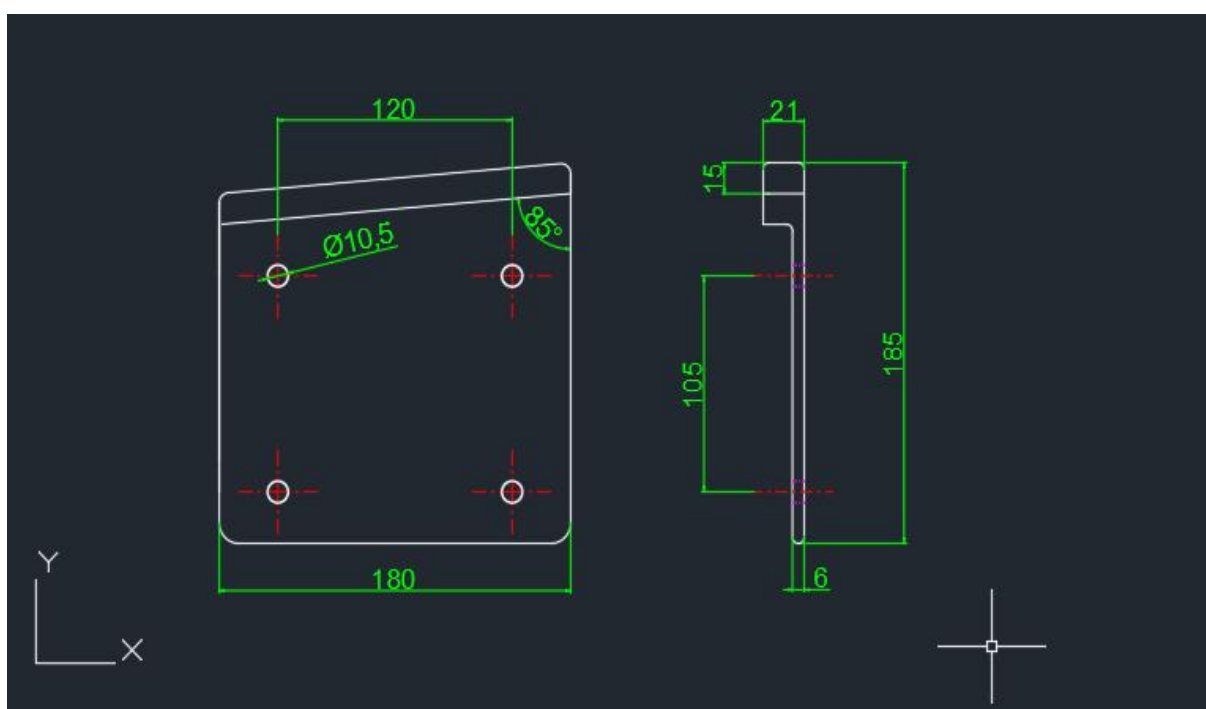
Εικόνα 4.12: Σχεδιασμός άρθρωσης πόρτας (μεντεσέ)

Ο σύρτης ή αλλιώς κλείστρο της πόρτας σχεδιάστηκε ώστε να εξασφαλίζει ασφαλές και σταθερό κλείσιμο, αξιοποιώντας έναν μηχανισμό περιστροφικής κίνησης.

Στην επιφάνεια της πόρτας συγκολλήθηκε ένας κοχλίας, ο οποίος λειτουργεί ως άξονας περιστροφής για μια μεταλλική λάμα με επέκταση που χρησιμεύει ως χειρολαβή. Κατά την περιστροφή της, η λάμα ωθείται προς τα εμπρός, ενώ μια διαγώνια κομμένη μεταλλική επιφάνεια πακτωμένη στο έδαφος δημιουργεί σταδιακή πίεση στην πόρτα, διασφαλίζοντας την πλήρη και σταθερή εφαρμογή των δυο θυρών. Ο σχεδιασμός αυτός εκμεταλλεύεται την κεκλιμένη επιφάνεια για να μετατρέψει την περιστροφική κίνηση σε αξονική δύναμη, ενισχύοντας τη στεγανότητα και τη σταθερότητα του κλεισίματος.

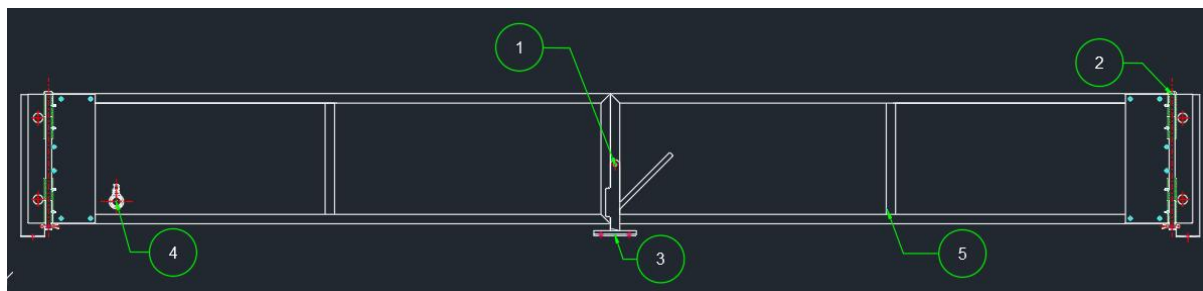


Εικόνα 4.13: Σχεδιασμός κλείστρων πόρτας



Εικόνα 4.14: Σχεδιασμός πλάκας κλείστρου

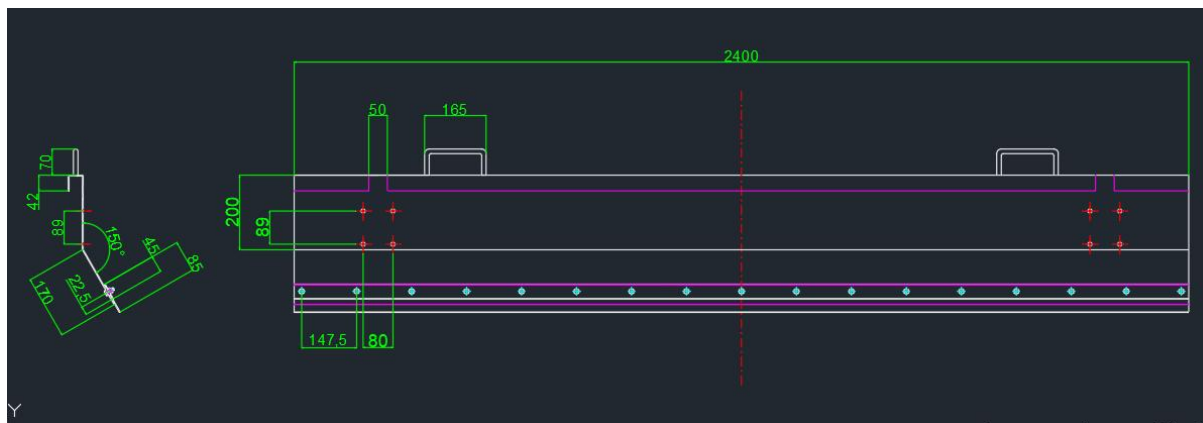
Η διάταξη της πόρτας φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



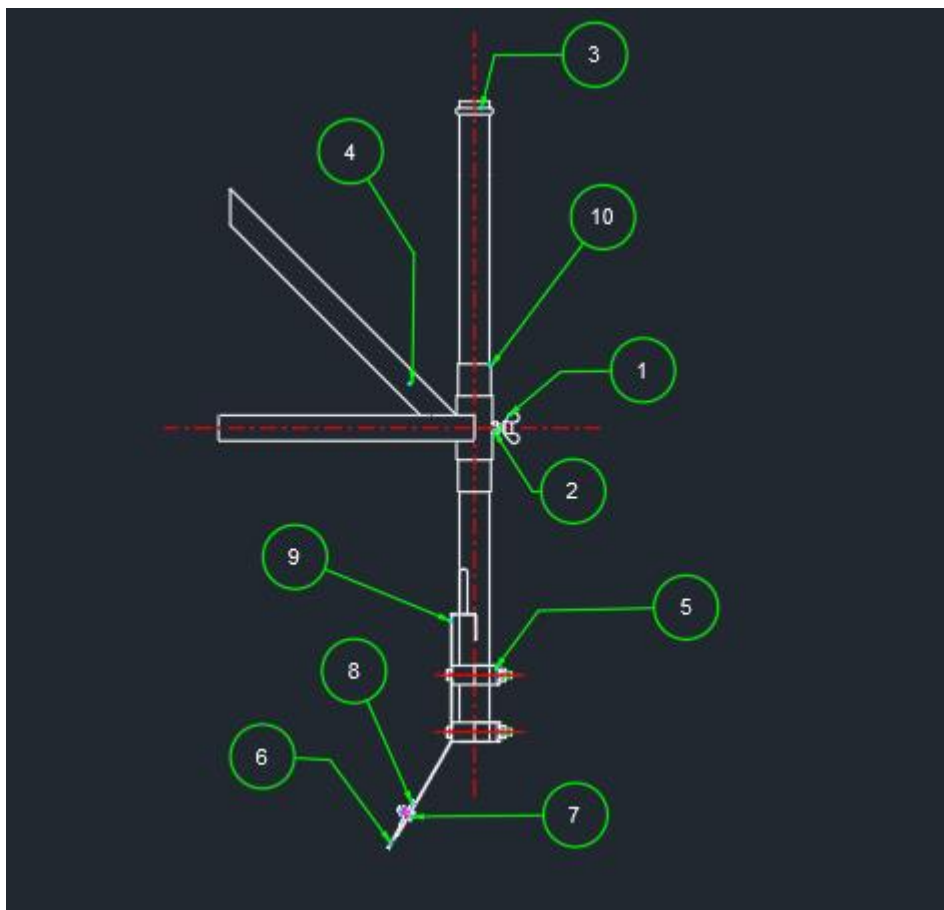
Εικόνα 4.15: Σχέδιο διάταξης Πόρτας

1	Λάμα κλείστρου με χειρολαβή
2	Μεντεσές (σημείο άρθρωσης)
3	Χαλύβδινη Πλάκα κλείστρου
4	Βάνα αποστράγγισης
5	Φύλλο πόρτας

Τα ξέστρα που σχεδιάστηκαν και κατασκευάστηκαν για τον μηχανισμό κάθετης ανάδευσης ήταν από ανοξείδωτη λαμαρίνα και είχαν κλίση 30 μοιρών ως προς το έδαφος της δεξαμενής. Η κύρια λειτουργία τους ήταν η προώθηση του υπό επεξεργασία υλικού προς την έξοδο της δεξαμενής, όπου είχαν τοποθετηθεί οι πόρτες εκκένωσης. Για τη στήριξή τους, στο φορείο του κάθετου αναδευτήρα συγκολλήθηκαν τέσσερις οριζόντιες κοιλοδοκοί μήκους 45 εκατοστών, στις άκρες των οποίων τοποθετήθηκαν κάθετες σωλήνες που λειτουργούσαν ως οδηγοί. Μέσα σε αυτές τις σωλήνες εισερχόταν μια άλλη σωλήνα, η οποία στήριζε το ξέστρο μέσω ενός ζεύγους στηριγμάτων σωλήνας πακτωμένων με το ξέστρο. Αυτή η διάταξη επέτρεπε στον χειριστή να ρυθμίζει το ύψος των ξέστρων χειροκίνητα, προσφέροντας ευελιξία και προσαρμοστικότητα στη διαδικασία ανάδευσης και εκκένωσης του υλικού.



Εικόνα 4.16: Σχέδιο Ξέστρου δεξαμενής κατακόρυφης ανάδευσης



Εικόνα 4.17: Συναρμολόγηση βάσης στήριξης ξέστρου κατακόρυφου συστήματος ανάδευσης

Πίνακας 3. Στοιχεία συναρμολόγησης βάσης - ξέστρου κατακόρυφου συστήματος ανάδευσης

A/A	ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΤΕΜΑΧΙΟΥ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ
1	ΚΟΧΛΙΑΣ M10mm A2 DIN316	2
2	ΠΕΡΙΚΟΧΛΙΟ M10mm DIN982	2
3	ΣΩΛΗΝΑ Ø48	2
4	ΒΑΣΗ ΑΠΟ ΚΟΙΛΟΔΟΚΟ 40x40	2
5	ΣΤΗΡΙΓΜΑ ΣΙΔΗΡΟΣΩΛΗΝΩΝ Φ48	4
6	ΙΜΑΝΤΑΣ ΠΟΛΥΟΥΡΕΘΑΝΗΣ	1
7	ΚΟΧΛΙΑΣ 8X20mm DIN 933 INOX A2	17
8	ΠΕΡΙΚΟΧΛΙΟ M8 DIN982 INOX A2	17
9	ΛΑΜΑ ΞΕΣΤΡΟΥ INOX 2400X2.5	1
10	ΣΩΛΗΝΑΣ ΒΑΣΗΣ Φ50	2

4.5 Υλικά που Χρησιμοποιήθηκαν

Σύμφωνα με την ισχύουσα ελληνική και ευρωπαϊκή νομοθεσία, τα υλικά που χρησιμοποιούνται σε εγκαταστάσεις όπου γίνεται επεξεργασία ή αποθήκευση τροφίμων και ζωοτροφών πρέπει να πληρούν συγκεκριμένες προδιαγραφές. Ο Κανονισμός (ΕΚ) αριθ. 1935/2004 ορίζει ότι τα υλικά που έρχονται σε άμεση επαφή με τρόφιμα δεν πρέπει να εκλύουν ουσίες που θα μπορούσαν να επηρεάσουν την ασφάλεια ή τη σύσταση των προϊόντων. Παράλληλα, ο Κανονισμός (ΕΚ) αριθ.

2023/2006 επιβάλλει την εφαρμογή ορθών πρακτικών κατασκευής, εξασφαλίζοντας ότι τα χρησιμοποιούμενα υλικά διατηρούν τη σταθερότητά τους στις συνθήκες λειτουργίας.

Επιπλέον, η συμμόρφωση με τις ευρωπαϊκές και εθνικές απαιτήσεις διασφαλίζει όχι μόνο την ασφάλεια των τροφίμων αλλά και τη διατήρηση της ποιότητας κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας και της αποθήκευσης. Η επιλογή κατάλληλων υλικών, όπως ο ανοξείδωτος χάλυβας (inox), τα ειδικά πολυμερή και τα επιστρώματα ασφαλή για τρόφιμα, συμβάλλει στην αποφυγή επιμολύνσεων και στην αύξηση της ανθεκτικότητας των εγκαταστάσεων. Επιπλέον, η συμμόρφωση με τους προαναφερθέντες κανονισμούς μειώνει τον κίνδυνο απόσυρσης προϊόντων από την αγορά λόγω μη συμμόρφωσης, προστατεύοντας έτσι τόσο τη δημόσια υγεία όσο και τη φήμη των επιχειρήσεων.

Σημαντικός παράγοντας στη διασφάλιση της καταλληλότητας των υλικών είναι η τακτική επιθεώρηση και συντήρηση του εξοπλισμού. Οι επιχειρήσεις που δραστηριοποιούνται στην επεξεργασία τροφίμων και ζωοτροφών οφείλουν να τηρούν αυστηρά πρωτόκολλα καθαρισμού και απολύμανσης, αποτρέποντας τη συσσώρευση υπολειμμάτων που θα μπορούσαν να επηρεάσουν την ασφάλεια των προϊόντων. Η χρήση κατάλληλων μεθόδων καθαρισμού, συμβατών με τα υλικά των εγκαταστάσεων, είναι απαραίτητη για την αποφυγή διάβρωσης ή αποικοδόμησης των επιφανειών που έρχονται σε επαφή με τα τρόφιμα.

Επιπλέον, η συνεχής εξέλιξη των κανονισμών και η υιοθέτηση νέων τεχνολογιών στην κατασκευή υλικών καθιστούν αναγκαία την εκπαίδευση και ενημέρωση των υπευθύνων παραγωγής και των τεχνικών συντήρησης. Οι νέες προδιαγραφές ασφάλειας τροφίμων ενδέχεται να απαιτούν αντικατάσταση παλαιότερων υλικών με νεότερα, τα οποία διαθέτουν βελτιωμένες ιδιότητες, όπως υψηλότερη αντοχή σε θερμοκρασίες ή μειωμένη απορροφητικότητα υγρασίας. Η προσαρμογή στις εξελίξεις αυτές συμβάλλει στην αύξηση της απόδοσης των εγκαταστάσεων και στη συμμόρφωση με τις σύγχρονες απαιτήσεις της αγοράς.

Τέλος, η συμμόρφωση με τη νομοθεσία δεν αφορά μόνο τις μεγάλες βιομηχανικές εγκαταστάσεις αλλά και τις μικρότερες επιχειρήσεις που δραστηριοποιούνται στην παραγωγή και μεταποίηση τροφίμων. Η εφαρμογή των κανονισμών διασφαλίζει ότι όλα τα στάδια παραγωγής –από την αρχική επεξεργασία των πρώτων υλών έως την τελική συσκευασία– γίνονται με ασφαλή και ελεγχόμενο τρόπο. Η ενσωμάτωση πρακτικών ποιοτικού ελέγχου και η πιστοποίηση των υλικών και των διαδικασιών ενισχύουν την εμπιστοσύνη των καταναλωτών και την ανταγωνιστικότητα των επιχειρήσεων στον κλάδο των τροφίμων και των ζωοτροφών.

4.5.1 Ανοξείδωτος Χάλυβας (AISI 316)

Για την κατασκευή όλων των μεταλλικών εξαρτημάτων που έρχονται σε επαφή με το υπό επεξεργασία υλικό, χρησιμοποιήθηκε ανοξείδωτος χάλυβας AISI 316. Η επιλογή του βασίστηκε στην αυξημένη αντοχή του στη διάβρωση και στη συμμόρφωσή του με τον Κανονισμό (ΕΚ) 1935/2004, που αφορά υλικά κατάλληλα για επαφή με τρόφιμα. Ο AISI 316 είναι ανθεκτικός στην υγρασία και τις συνθήκες που επικρατούν εντός της δεξαμενής, όπου οι θερμοκρασίες κυμαίνονται από 40°C έως 70°C. Η αντοχή του στο περιβάλλον λειτουργίας του ηλιακού ξηραντήρα τον καθιστά ιδανική επιλογή για τις πόρτες, τα ξέστρα και την κοίλη λαμαρίνα, εξασφαλίζοντας τη μακροχρόνια σταθερότητα και τη λειτουργικότητα των εξαρτημάτων χωρίς αλλοιώσεις ή απώλεια μηχανικών ιδιοτήτων.

Επιπλέον, ο AISI 316 παρουσιάζει πολύ καλή συγκολλησιμότητα, επιτρέποντας την εύκολη και ασφαλή σύνδεση των μεταλλικών επιφανειών χωρίς την ανάγκη ειδικής προεργασίας ή θερμικής επεξεργασίας μετά τη συγκόλληση. Η ιδιότητά του αυτή διευκόλυνε τη συναρμολόγηση των εξαρτημάτων της δεξαμενής, εξασφαλίζοντας ισχυρές συγκολλήσεις με αντοχή στις μηχανικές καταπονήσεις και στις περιβαλλοντικές συνθήκες του ηλιακού ξηραντήρα.

4.5.2 Πολυουρεθάνη (Αφρώδες Μονωτικό Λάστιχο Πόρτας)

Για τη στεγανοποίηση της πόρτας της δεξαμενής χρησιμοποιήθηκε αφρώδες λάστιχο πολυουρεθάνης, το οποίο παρέχει υψηλή ελαστικότητα και αντοχή στη μηχανική καταπόνηση. Η πολυουρεθάνη που επιλέχθηκε πληροί τις προδιαγραφές για επαφή με τρόφιμα, καθώς δεν μεταφέρει επιβλαβείς ουσίες στο υπό επεξεργασία υλικό και αντέχει σε θερμοκρασίες από -40°C έως 80°C , καλύπτοντας τις συνθήκες λειτουργίας του ηλιακού ξηραντήρα.

4.5.3 Σφραγιστικά Υλικά (Σιλικόνη Στερέωσης Λάστιχου)

Για την ασφαλή τοποθέτηση του στεγανοποιητικού λάστιχου πολυουρεθάνης χρησιμοποιήθηκε το σφραγιστικό Sikaflex 221, το οποίο διαθέτει υψηλή πρόσφυση σε μεταλλικές επιφάνειες και πολυμερή υλικά. Σύμφωνα με τις τεχνικές προδιαγραφές του, είναι κατάλληλο για περιστασιακή επαφή με τρόφιμα αλλά δεν προορίζεται για συνεχή ή άμεση επαφή, οπότε η εφαρμογή του περιορίστηκε σε σημεία όπου εξασφαλίζει τη στερέωση των στεγανοποιητικών στοιχείων χωρίς να έρχεται σε επαφή με το περιεχόμενο της δεξαμενής.

4.5.4 Χάλυβες Κοιλοδοκοί (C45 ή ST37) και Προστασία από Διάβρωση

Για τη στήριξη των ξέστρων και άλλων κατασκευαστικών στοιχείων, χρησιμοποιήθηκαν κοιλοδοκοί από χάλυβα ST37, οι οποίοι διαθέτουν υψηλή μηχανική αντοχή και ευκολία συγκόλλησης. Δεδομένου ότι τα μέρη αυτά δεν έρχονται σε επαφή με το υπό επεξεργασία υλικό, εφαρμόστηκε αντιδιαβρωτική βαφή, ώστε να προστατευτούν από την υγρασία και τις συνθήκες του περιβάλλοντος του ηλιακού ξηραντήρα.

4.5.5 Χάλυβες Σωλήνες (Οδηγοί Ρύθμισης Ξέστρων)

Για την προσαρμογή των ξέστρων σε διαφορετικά ύψη, τοποθετήθηκαν κυλινδρικοί χαλύβδινοι σωλήνες, οι οποίοι λειτουργούσαν ως μηχανισμός καθοδήγησης για την κίνηση των ξέστρων. Οι σωλήνες συγκολλήθηκαν στις άκρες των κοιλοδοκών και επέτρεπαν την τοποθέτηση των ξέστρων σε διαφορετικές θέσεις μέσω μηχανισμού συρόμενης ρύθμισης. Αυτή η διάταξη πρόσφερε ευελιξία στη λειτουργία του μηχανισμού, επιτρέποντας την προσαρμογή των ξέστρων ανάλογα με τις απαιτήσεις της διεργασίας ξήρανσης.

4.5.6 Υλικό Επαφής για τα Ξέστρα (PU Πολυουρεθάνη)

Για να αποφευχθεί η άμεση επαφή μετάλλου με μέταλλο στη δεξαμενή, στις άκρες των ξέστρων τοποθετήθηκαν τμήματα από πολυουρεθάνη (PU), η οποία είναι ένα υλικό με υψηλή αντοχή στη φθορά, εξαιρετική αντοχή σε κρούσεις και ισχυρές μηχανικές ιδιότητες. Η πολυουρεθάνη χαρακτηρίζεται από την ικανότητά της να αντέχει σε ακραίες θερμοκρασίες ($-10^{\circ}\text{C}/+80^{\circ}\text{C}$) και χημικές ουσίες, ενώ παράλληλα έχει χαμηλή τριβή, κάτι που επιτρέπει ομαλή και ασφαλή κίνηση χωρίς φθορές στις μεταλλικές επιφάνειες. Χρησιμοποιούμενη σε ταινιόδρομους και άλλες εφαρμογές, η πολυουρεθάνη εξασφαλίζει μακροχρόνια χρήση χωρίς την ανάγκη συχνής συντήρησης. Με την ενσωμάτωσή της στα ξέστρα, προστατεύεται η δεξαμενή από μηχανικές καταπονήσεις και μειώνεται η ανάγκη συντήρησης λόγω φθοράς.

4.5.7 Κοχλίες και Συνδετικά Μέσα (Ανοξείδωτοι A2)

Για τη συναρμολόγηση και τη στήριξη των επιμέρους εξαρτημάτων, χρησιμοποιήθηκαν ανοξείδωτοι κοχλίες και παξιμάδια ποιότητας A2, τα οποία εξασφαλίζουν αντοχή στη διάβρωση και μηχανική σταθερότητα. Οι συνδέσεις με κοχλίες επιλέχθηκαν σε σημεία όπου απαιτείται δυνατότητα αποσυναρμολόγησης για συντήρηση ή αντικατάσταση εξαρτημάτων, όπως στα στηρίγματα των ξέστρων.

4.5.8 Βάνα Αποστράγγισης (Ορείχαλκος)

Για την ελεγχόμενη απομάκρυνση των υγρών από τη δεξαμενή, τοποθετήθηκε βάνα αποστράγγισης, κατασκευασμένη από ορείχαλκο. Ο ορείχαλκος επιλέχθηκε ως εναλλακτική οικονομικότερη λύση σε σχέση με μια ανοξείδωτη βάνα. Η τοποθέτηση της βάνας μείωσε την ανεξέλεγκτη διάχυση υγρών αποβλήτων στον χώρο του ηλιακού ξηραντήρα, βελτιώνοντας την αποδοτικότητα της εγκατάστασης.

4.6 Παρεμβάσεις στις δεξαμενές ξήρανσης

Στο αρχικό στάδιο της υλοποίησης των παρεμβάσεων στον ηλιακό ξηραντήρα, πραγματοποιήθηκαν οι ακόλουθες εργασίες προκειμένου να εξασφαλιστεί η σωστή λειτουργία των νέων εξαρτημάτων και η αποκατάσταση των προβληματικών τμημάτων της κατασκευής:

4.6.1. Αφαίρεση Ανοξείδωτων Τμημάτων για την Τοποθέτηση της Πόρτας (εφαρμογή και στα δυο συστήματα ανάδευσης)

Για την επίλυση του βασικού προβλήματος της εξαγωγής του τελικού προϊόντος από τις περιμετρικά κλειστές και στεγανές δεξαμενές, κρίθηκε αναγκαία η δημιουργία ανοίγματος στα τοιχώματά τους, στο σημείο που είχε προβλεφθεί η τοποθέτηση των θυρών. Η αφαίρεση των ανοξείδωτων τμημάτων πραγματοποιήθηκε με γωνιακό τροχό κοπής, καθώς το πάχος του ελάσματος ήταν 2,5 mm.

Η επιλογή της μεθόδου αυτής έγινε λόγω των πλεονεκτημάτων της έναντι άλλων μεθόδων κοπής, όπως η οξυγονοκοπή ή το πλάσμα, που δημιουργούν υψηλές θερμοκρασίες και ενδέχεται να προκαλέσουν ανεπιθύμητες παραμορφώσεις στο υλικό. Ο γωνιακός τροχός, σε συνδυασμό με κατάλληλο λεπτό δίσκο κοπής (180 mm x 2 mm x 22,23 mm), επέτρεψε την εκτέλεση ακριβών κοπών με ελάχιστη απώλεια υλικού, διατηρώντας παράλληλα τη δομική ακεραιότητα των δεξαμενών.

Για την ασφαλή εκτέλεση της κοπής, χρησιμοποιήθηκαν όλα τα απαραίτητα μέσα ατομικής προστασίας, όπως γυαλιά εργασίας, γάντια, προστατευτικά υποδήματα και ωτοασπίδες. Επιπλέον, λήφθηκαν μέτρα για την ελαχιστοποίηση των μεταλλικών ρινισμάτων και της διασποράς σπινθήρων, προστατεύοντας το υπόλοιπο σύστημα από φθορές.



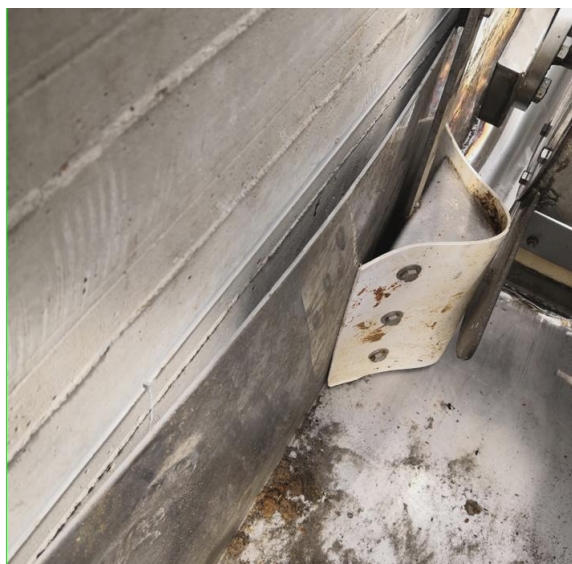
Εικόνα 4.18: Γωνιακός Τροχός

4.6.2. Αποκατάσταση Παραμορφωμένων Ελασμάτων (πραγματοποιήθηκε και στις δύο δεξαμενές ξήρανσης)

Σε ορισμένα σημεία της δεξαμενής παρατηρήθηκαν αποκολλήσεις και παραμορφώσεις των ελασμάτων από τον βασικό δομικό σκελετό, γεγονός που επηρέαζε τη συνοχή της κατασκευής και παρεμπόδιζε την ομαλή κίνηση του αναδευτήρα. Η αποκατάσταση κρίθηκε απαραίτητη ώστε να διασφαλιστεί η σωστή λειτουργία του συστήματος και να αποφευχθούν περαιτέρω μηχανικές καταπονήσεις.

Για την επανασύνδεση των αποκολλημένων λαμαρινών, πραγματοποιήθηκε διάτρηση στα σημεία όπου είχε παρουσιαστεί η αποκόλληση και στη συνέχεια σταθεροποιήθηκαν εκ νέου με τη χρήση βυσμάτων και κοχλιών (στριφονιών). Η εφαρμογή των κοχλιών εξασφάλισε τη στιβαρή σύνδεση των ελασμάτων με το τοίχωμα της δεξαμενής, αποκαθιστώντας τη γεωμετρία της κατασκευής και αποτρέποντας μελλοντικές παραμορφώσεις.

Στην ακόλουθη φωτογραφία αποτυπώνεται η αρχική κατάσταση της κατασκευής, όπου είναι εμφανής η αποκόλληση των λαμαρινών.

Εικόνα 4.19: Αποκόλληση λαμαρινών δεξαμενής ξήρανσης

4.6.3. Προετοιμασία Επιφάνειας για Στεγανοποίηση (πραγματοποιήθηκε και στις δύο δεξαμενές ξήρανσης)

Για τη σωστή εφαρμογή του ελαστικού στεγανοποίησης της πόρτας και την αποτροπή πιθανών διαρροών, κρίθηκε απαραίτητη η συγκόλληση ενός νέου ελάσματος που λειτουργεί ως προέκταση του δαπέδου της δεξαμενής. Το πρόσθετο έλασμα δημιουργεί μια ομαλή και σταθερή επιφάνεια επαφής, εξασφαλίζοντας τη βέλτιστη συμπίεση του ελαστικού στοιχείου κατά το κλείσιμο της πόρτας.

Η συγκόλληση πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο **TIG (Tungsten Inert Gas)**, η οποία επιλέχθηκε λόγω της υψηλής ποιότητας συγκόλλησης που προσφέρει, ειδικά σε ανοξείδωτα ελάσματα. Η

συγκόλληση TIG χρησιμοποιεί ηλεκτρόδιο βολφραμίου και αδρανές αέριο (συνήθως αργό), παρέχοντας καθαρές και ακριβείς συγκολλήσεις χωρίς περιττές εκτοξεύσεις μετάλλου. Η συγκεκριμένη τεχνική διασφαλίζει αντοχή στη διάβρωση και υψηλή μηχανική αντοχή στη συγκολλημένη επιφάνεια, κάτι ιδιαίτερα κρίσιμο για εφαρμογές που απαιτούν στεγανότητα.

Κατά την εκτέλεση των εργασιών, ελήφθησαν όλα τα απαραίτητα μέτρα ατομικής προστασίας, όπως χρήση ειδικής μάσκας συγκόλλησης, προστατευτικών γαντιών και ενδυμασίας ανθεκτικής στη θερμότητα. Επίσης, δόθηκε ιδιαίτερη προσοχή στην προετοιμασία της επιφάνειας πριν από τη συγκόλληση, ώστε να απομακρυνθούν τυχόν ρύποι, οξειδώσεις ή λιπαρές ουσίες που θα μπορούσαν να επηρεάσουν την ποιότητα της σύνδεσης.

Το πρόσθετο έλασμα έχει σχεδιαστεί ώστε να δημιουργεί μια προεξοχή (σαν "σκαλοπάτι"), γεγονός που δημιουργεί τις κατάλληλες συνθήκες για την εφαρμογή του ελαστικού στεγανοποίησης. Αυτή η κατασκευαστική λεπτομέρεια διασφαλίζει ότι το λάστιχο πιέζεται ομοιόμορφα στο κάτω οριζόντιο μέρος της πόρτας, αποτρέποντας διαρροές και εξασφαλίζοντας τη μέγιστη δυνατή στεγανότητα.



Εικόνα 4.20: Προσθήκη ελάσματος στεγανοποίησης κατά των διαρροών

Ενίσχυση Στήριξης Πόρτας

Για την ασφαλή και σταθερή τοποθέτηση της πόρτας, κρίθηκε απαραίτητη η ενίσχυση της κατασκευής με κατακόρυφες κολόνες από τετράγωνο κοιλοδοκό, οι οποίες χρησίμευσαν ως βάση πακτώσεως της πλάκας στήριξης των μεντεσέδων. Οι κολόνες τοποθετήθηκαν εξωτερικά στις γωνίες της δεξαμενής, στο σημείο εγκατάστασης της πόρτας, εξασφαλίζοντας στιβαρότητα και αντοχή στη μηχανική καταπόνηση.

Αρχικά, οι κολόνες συγκολλήθηκαν στις προβλεπόμενες θέσεις, διασφαλίζοντας την ακαμψία της κατασκευής. Στη συνέχεια, πακτώθηκαν με κοχλίες τόσο στο έδαφος όσο και στο τοίχωμα της δεξαμενής, ενισχύοντας την αντοχή τους σε φορτία και καταπονήσεις που θα προκύψουν κατά τη λειτουργία της πόρτας.

Η επιλογή των τετραγωνικών κοιλοδοκών έγινε με γνώμονα τη διατήρηση της δομικής ακεραιότητας της πόρτας, διασφαλίζοντας ότι η μεταλλική κατασκευή θα αντέχει τις επαναλαμβανόμενες μηχανικές καταπονήσεις κατά το άνοιγμα και το κλείσιμο. Επιπλέον, η συγκεκριμένη διάταξη εξασφάλισε την ομοιόμορφη κατανομή των φορτίων στους μεντεσέδες, αποτρέποντας ανεπιθύμητες τάσεις και στρεβλώσεις στο σύστημα στήριξης.



Εικόνα 4.21: Προσθήκη κοιλοδοκού για τη στήριξη της πόρτας

Μεταφορά υφιστάμενων Πλευρικών Ξέστρων μπροστά από το οριζόντιο σύστημα ανάδευσης

Πραγματοποιήθηκε μεταφορά των υφιστάμενων πλευρικών ξέστρων, μπροστά από το οριζόντιο σύστημα ανάδευσης, προκειμένου να αποφευχθεί η σύγκρουσή τους με την κοίλη κατασκευή που προστέθηκε. Τα ξέστρα, τα οποία αρχικά προωθούσαν το υλικό από τα πλάγια της δεξαμενής προς τον οριζόντιο κυλινδρικό αναδευτήρα, μεταφέρθηκαν προς το εμπρός μέρος του κυλίνδρου, ώστε να διατηρηθεί η ομαλή λειτουργία του συστήματος.

Με αυτήν την παρέμβαση, αποτράπηκε η σύγκρουση των ξέστρων με την κοίλη κατασκευή, εξασφαλίζοντας την ομαλή λειτουργία του συστήματος και τη συνεχή ροή του υλικού προς την έξοδο της δεξαμενής.



Εικόνα 4.22: Μεταφορά πλευρικών υφιστάμενων ξέστρων

4.6.4. Κατασκευή Πόρτας εξόδου δεξαμενών ξήρανσης (πραγματοποιήθηκε και στις δύο δεξαμενές ξήρανσης)

Η διαδικασία κατασκευής της πόρτας ξεκίνησε με τη δημιουργία ενός ορθογώνιου πλαισίου από κοιλοδοκό χάλυβα 40x40x2 mm, με διαστάσεις 2.000 x 550 mm. Επάνω στο πλαίσιο συγκολλήθηκε ανοξείδωτο έλασμα υγειονομικής χρήσης διαστάσεων 1.960 x 550 x 2,5 mm, που αποτελεί την κύρια επιφάνεια της πόρτας.

Η συγκόλληση πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο ηλεκτροσυγκόλλησης τόξου (MMA), η οποία βασίζεται στη δημιουργία ηλεκτρικού τόξου μεταξύ του ηλεκτροδίου και του μετάλλου βάσης. Χρησιμοποιήθηκαν ηλεκτρόδια ρουτιλίου (2,5x350 mm) κατάλληλα για ανοξείδωτο χάλυβα με περιεκτικότητα άνθρακα <0,03%, ώστε να εξασφαλιστεί η αντοχή στη διάβρωση και η καταλληλότητα για χρήση στη βιομηχανία τροφίμων.

Κατά την εκτέλεση της συγκόλλησης, τηρήθηκαν τα απαραίτητα μέτρα ατομικής προστασίας, συμπεριλαμβανομένων:

- Προστατευτικής μάσκας (EN 175, EN 169)
- Δερμάτινων γαντιών (EN 388, EN 407)
- Δερμάτινης ποδιάς (EN 470)
- Υποδημάτων ασφαλείας (EN 345-1 S3)

Για την κοπή και τη διαμόρφωση των επιμέρους εξαρτημάτων της πόρτας χρησιμοποιήθηκαν υδραυλικό ψαλίδι για την κοπή των ελασμάτων στις επιθυμητές διαστάσεις και υδραυλική στραντζόπρεσα για τη διαμόρφωση των γωνιών, επιτυγχάνοντας βέλτιστη στερέωση και μόνωση.



Εικόνα 4.23: Κοπή και διαμόρφωση τμημάτων πόρτας

Για τη στεγανοποίηση της πόρτας, χρησιμοποιήθηκε αφρώδες λάστιχο διατομής 35x35 mm, το οποίο τοποθετήθηκε περιμετρικά του πλαισίου. Η στήριξή του επιτεύχθηκε με την εγκατάσταση ανοξείδωτου ελάσματος πάχους 1 mm, διαμορφωμένου σε σχήμα "Π" με εσωτερική διάμετρο 35 mm, το οποίο βιδώθηκε στο πλαίσιο της πόρτας από την εσωτερική πλευρά της δεξαμενής. Επιπλέον, εφαρμόστηκε συγκολλητικό λάστιχο στεγανοποίησης από πολυουρεθάνη, το οποίο διασφαλίζει τη σωστή εφαρμογή και την αποτροπή διαρροών.



Εικόνα 4.24: Στεγανοποίηση ανοξείδωτης πόρτας.

Για τη δημιουργία της άρθρωσης της πόρτας κατασκευάστηκαν δύο ελάσματα από χάλυβα υψηλής αντοχής, διαστάσεων 195x550x5 mm και 85x550x5 mm, τα οποία αποτελούν τα σταθερά και κινητά σκέλη του μεντεσέ, αντίστοιχα.

Η σύνδεση των ελασμάτων επιτεύχθηκε μέσω ζευγών διάτρητων κυλίνδρων, διαμέτρου 35 mm, ύψους 95 mm και οπής 25,5 mm. Οι κύλινδροι κατασκευάστηκαν σε συμβατικό τόρνο, εξασφαλίζοντας την απαραίτητη ακρίβεια στις διαστάσεις.

Η διάτρηση των κυλίνδρων πραγματοποιήθηκε πλευρικά με οπές διαμέτρου 6 mm, όπου στη συνέχεια ανοίχθηκε σπείρωμα για την τοποθέτηση γρασσαδόρων μπίλιας. Οι γρασσαδόροι επιτρέπουν τη λίπανση του μηχανισμού κατά τη συντήρηση, μειώνοντας τις τριβές και διασφαλίζοντας την ομαλή λειτουργία της άρθρωσης.

Ο πείρος που συνδέει τους κυλίνδρους έχει διάμετρο 25 mm και μήκος κορμού 465 mm. Η κεφαλή του, διαμέτρου 35 mm και ύψους 11 mm, κατασκευάστηκε επίσης σε συμβατικό τόρνο, παρέχοντας το απαραίτητο όριο συγκράτησης του πείρου, αποτρέποντας την αξονική μετατόπισή του.



Εικόνα 4.25: Κατασκευή πείρου συγκράτησης με συμβατικό τόρνο

Η κατασκευή της άρθρωσης της πόρτας (μεντεσέ) ολοκληρώθηκε με τον έλεγχο της εφαρμογής και της λειτουργικότητας του μηχανισμού, καθώς και τη λίπανση των κινητών μερών, εξασφαλίζοντας αντοχή και ομαλή περιστροφή κατά τη χρήση.



Εικόνα 4.26: Μέρος στεγανής ανοξείδωτης πόρτας με τους πείρους συγκράτησης.

Η διαδικασία κατασκευής του κλείστρου ξεκινά με την κοπή της λάμας στο πλάσμα, εξασφαλίζοντας ακριβή και καθαρή κοπή. Στη συνέχεια, η τρύπα για τον άξονα δημιουργείται στο σταθερό δραπενο, διασφαλίζοντας απόλυτη ακρίβεια και ευθυγράμμιση. Όλα τα εξαρτήματα, περιλαμβανομένων της λάμας και της πλάκας, υποβάλλονται σε λειαντική επεξεργασία με τροχό για την αφαίρεση τυχόν ανωμαλιών και για τη διασφάλιση ομαλής εφαρμογής και λειτουργίας. Η πλάκα, η οποία θα δημιουργήσει την πίεση στο ελαστικό στεγάνωσης τοποθετείται και πακτώνεται στο έδαφος με τη χρήση κοχλιών, εξασφαλίζοντας σταθερότητα και ασφάλεια στη θέση της. Μετά τη συναρμολόγηση, όλα τα εξαρτήματα ελέγχονται προσεκτικά για τη σωστή λειτουργία και τη μακροχρόνια ανθεκτικότητα του μηχανισμού.



Εικόνα 4.27: Σύστημα κλείστρου-κεκλιμένης πλάκας για την ασφαλή της ανοξείδωτης πόρτας.



Εικόνα 4.28: Δημιουργία στεγανής ανοξείδωτης πόρτας.

Μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής, οι πόρτες τοποθετήθηκαν στις δεξαμενές και στερεώθηκαν με ακρίβεια, εξασφαλίζοντας τη σωστή εφαρμογή τους. Πραγματοποιήθηκαν οι απαραίτητοι έλεγχοι ευθυγράμμισης, λειτουργικότητας των μεντεσέδων και αποτελεσματικότητας της στεγανοποίησης.

Δοκιμάστηκε η ομαλή κίνηση της άρθρωσης και η εφαρμογή της τσιμούχας, διασφαλίζοντας την πλήρη στεγανότητα της κατασκευής. Επιπλέον, ελέγχθηκε η ακεραιότητα των συγκολλήσεων και η συνολική αντοχή του μηχανισμού σε μηχανικές καταπονήσεις. Οι πόρτες ανταποκρίθηκαν πλήρως στις απαιτήσεις του έργου, παρέχοντας ασφαλή και αξιόπιστη λειτουργία, με αντοχή στις συνθήκες χρήσης και ευκολία στη συντήρηση.

4.7 Παρεμβάσεις στο οριζόντιο σύστημα ανάδευσης / ξήρανσης

Για την επίλυση του προβλήματος της αδυναμίας επεξεργασίας του υλικού στα δύο άκρα της δεξαμενής με τον οριζόντιο αναδευτήρα, κατασκευάστηκε μια κοίλη ανοξείδωτη λαμαρίνα, η οποία τοποθετήθηκε στην αρχή της διαδρομής του κυλίνδρου ανάδευσης. Η διαδικασία κατασκευής της περιλάμβανε την κοπή των επιμέρους τμημάτων της λαμαρίνας με χρήση λέιζερ, προκειμένου να εξασφαλιστεί η μέγιστη ακρίβεια στη γεωμετρία των εξαρτημάτων. Η τεχνολογία λέιζερ επιτρέπει ακριβή κοπή και ελαχιστοποίηση των αποκλίσεων, εξασφαλίζοντας άψογη εφαρμογή κατά τη συναρμολόγηση των τμημάτων.

Ένα πρόβλημα που παρουσιάστηκε κατά τη διαδικασία μέτρησης και επιλύθηκε, ήταν η γεωμετρία του οριζόντιου αναδευτήρα που καθιστούσε αδύνατη τη μέτρηση των μοιρών που ήταν απαραίτητη για την κατασκευή. Επομένως, δημιουργήθηκε ένα αποτύπωμα από χαρτόνι το οποίο εφαπτόταν στην περίμετρο του κυλίνδρου, όπως φαίνεται παρακάτω.



Εικόνα 4.29: Αποτύπωση εξωτερικής επιφάνειας κυλίνδρου σε χαρτόνι

Στη συνέχεια, τα τμήματα της κοίλης λαμαρίνας υποβλήθηκαν σε διαδικασία διαμόρφωσης μέσω ψυχρής έλασης με χρήση μηχανής έλασης τριών κυλίνδρων. Η λαμαρίνα τοποθετήθηκε μεταξύ των κυλίνδρων, όπου με την προοδευτική πίεση που ασκήθηκε επιτεύχθηκε η απαιτούμενη καμπυλότητα. Αυτή η διαδικασία επέτρεψε την ακριβή προσαρμογή της λαμαρίνας στην περίμετρο του κυλίνδρου ανάδευσης, διασφαλίζοντας την ομαλή λειτουργία του συστήματος. Η ακρίβεια στην εφαρμογή των στηριγμάτων και η σωστή τοποθέτηση της λαμαρίνας στην αρχή της διαδρομής του κυλίνδρου εξασφάλισαν την αποτελεσματική επεξεργασία του υλικού κατά τη διάρκεια της ξήρανσης.

Η συναρμολόγηση των επιμέρους τμημάτων πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο συγκόλλησης TIG (Tungsten Inert Gas), η οποία είναι κατάλληλη για τη συγκόλληση ανοξείδωτων υλικών. Η τεχνική συγκόλλησης TIG εξασφαλίζει υψηλή ποιότητα, ακριβή συγκόλληση και μηδενικές διαταραχές στη γεωμετρία της κατασκευής. Η μέθοδος αυτή παρέχει εξαιρετική αντοχή και αξιοπιστία, επιτρέποντας τη δημιουργία ενός μηχανισμού με μακροχρόνια αντοχή και σταθερή λειτουργία.

Η ολοκλήρωση της κατασκευής της κοίλης λαμαρίνας και της συγκόλλησής της στη δεξαμενή επιλύει το πρόβλημα της αδυναμίας επεξεργασίας του υλικού στα άκρα της, βελτιώνοντας την απόδοση του συστήματος και εξασφαλίζοντας ομοιόμορφη ξήρανση σε όλη τη διαδρομή του υλικού.



Εικόνα 4.30: Κοίλη ανοξείδωτη κατασκευή στο οριζόντιο σύστημα ανάδευσης.



Εικόνα 4.31: Κοίλη ανοξείδωτη κατασκευή στο οριζόντιο σύστημα ανάδευσης.



Εικόνα 4.32: Κοίλη ανοξείδωτη κατασκευή στο οριζόντιο σύστημα ανάδευσης.

4.8 Παρεμβάσεις στο κατακόρυφο σύστημα ανάδευσης / ξήρανσης

4.8.1. Κατασκευή των Ξέστρων κατακόρυφο

Για τη διευκόλυνση της απομάκρυνσης του επεξεργασμένου υλικού από τη δεξαμενή, κατασκευάστηκε μηχανισμός με δύο πτυσσόμενα ξέστρα, τα οποία προσαρμόστηκαν πάνω στο κινούμενο φορείο του συστήματος ανάδευσης. Το φορείο αυτό κινείται αυτόματα κατά μήκος ράγας, μέσω ηλεκτρικού κινητήρα, μειωτήρα και τροχών, και φέρει κάθετο κοχλία που λειτουργεί ως κεντρικό σύστημα ανάδευσης. Τα ξέστρα έχουν τη δυνατότητα να αναδιπλώνονται χειροκίνητα από τον χειριστή, επιτρέποντας την απομάκρυνση του προϊόντος από το επίπεδο δάπεδο της δεξαμενής, μέσω της κίνησης του φορείου.

Τα ξέστρα κατασκευάστηκαν από ανοξείδωτες λάμες διαστάσεων 2400mm x 45mm, οι οποίες καμπυλώθηκαν υπό γωνία 150° με χρήση υδραυλικής στραντζόπρεσσας. Η γωνία αυτή επιτρέπει την αποκόλληση του υλικού από τη βάση της δεξαμενής κατά τη μεταφορά του. Περιμετρικά κάθε ξέστρου δημιουργήθηκαν 19 οπές διαμέτρου 8,5 mm σε σταθερό δράπανο, για τη στερέωση του ιμάντα πολθουρεθάνης.



Εικόνα 4.33: Κατασκευή ανοξείδωτων πτυσσόμενων ξέστρων.

Στο πλευρικό και κάτω μέρος των ξέστρων, στις περιοχές όπου διαμορφώθηκαν οπές διαμέτρου 8,5 mm, τοποθετήθηκαν ενιαία κομμάτια από πολυουρεθανικό ιμάντα. Τα κομμάτια αυτά πακτώθηκαν επάνω στο σώμα του ξέστρου μέσω κοχλιοσυνδέσεων (κοχλία–περικόχλιο) και μιας καταληλα διαμορφωμένου ελάσματος, διασφαλίζοντας σταθερή και ασφαλή στήριξη. Η χρήση του υλικού αυτού εξυπηρετεί τον σκοπό της αποφυγής άμεσης επαφής του μετάλλου του ξέστρου με τον πυθμένα της δεξαμενής, μειώνοντας τη φθορά τόσο του εξαρτήματος όσο και της δεξαμενής. Παράλληλα, συμβάλλει στη βελτίωση της υγιεινής και της ομαλής ροής του υλικού προς την έξοδο.



Εικόνα 4.34: Τοποθέτηση ιμάντα πολυουρεθάνης (PU) για την αποφυγή επαφής των μεταξύ μετάλλων.

Στο επάνω άκρο κάθε ξέστρου συγκολλήθηκαν χειρολαβές, κατασκευασμένες από ανοξείδωτο στρογγυλό χάλυβα διαμέτρου $\varnothing 12$ mm. Οι χειρολαβές αυτές επιτρέπουν στον χειριστή να ρυθμίζει

με ευκολία τη θέση του ξέστρου, αναδιπλώνοντάς το ή κατεβάζοντάς το στο επιθυμητό ύψος λειτουργίας. Η ρύθμιση αυτή γίνεται με βάση τον όγκο του υλικού που έχει κατακαθίσει στον πυθμένα της δεξαμενής, εξασφαλίζοντας αποτελεσματική απομάκρυνσή του κατά τη λειτουργία του συστήματος.

Για την επιπλέον ασφάλεια κατά τη χρήση, κάθε ξέστρο ασφαλίζεται με μεταλλική αλυσίδα 6 mm, η οποία διαθέτει γάντζο ταχείας ασφάλισης. Ο μηχανισμός αυτός αποτρέπει τυχόν απελευθέρωση ή πτώση του ξέστρου κατά τη λειτουργία ή τη συντήρηση.



Εικόνα 4.35: Εφαρμογή αλυσίδας συγκράτησης στα ξέστρα του κατακόρυφου συστήματος ξήρανσης



Εικόνα 4.36: Κατασκευή λαβών ανοξείδωτων πτυσσόμενων ξέστρων.

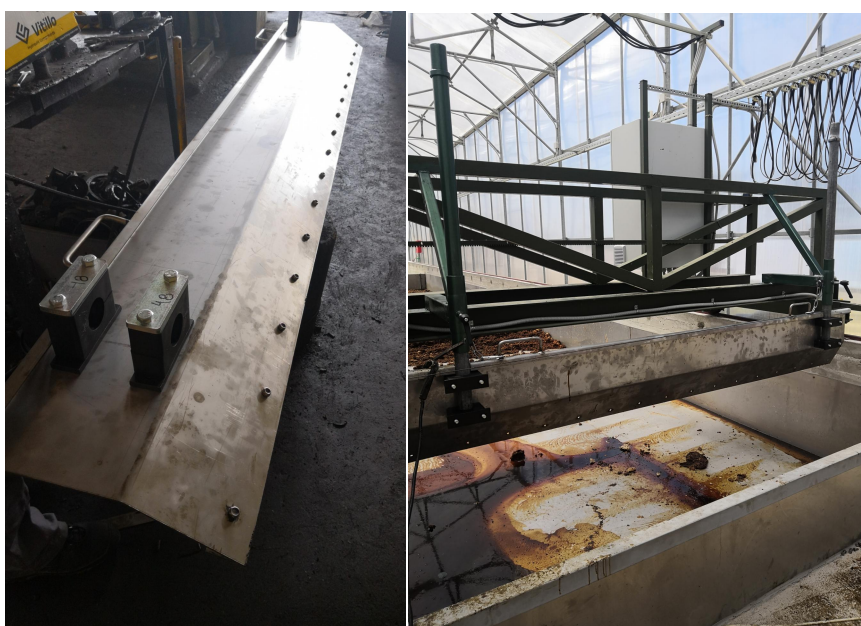
Η βάση στήριξης των πτυσσόμενων ξέστρων κατασκευάστηκε από κοιλοδοκούς και συγκολλήθηκε απευθείας επάνω στο αυτοματοποιημένο φορείο του κάθετου αναδευτήρα. Η συγκόλληση αυτή εξασφαλίζει πλήρη σταθερότητα κατά τη λειτουργία, επιτρέποντας στα ξέστρα να μεταφέρουν το

επεξεργασμένο υλικό προς την έξοδο της δεξαμενής, εκμεταλλευόμενα τη γραμμική κίνηση του φορείου.

Για την καθοδήγηση της κίνησης των ξέστρων κατά την ανύψωση και την πτύχωσή τους, χρησιμοποιήθηκαν χαλύβδινοι σωλήνες, οι οποίοι εδράζονται στη συγκολλημένη βάση και λειτουργούν ως οδηγοί. Οι σωλήνες αυτοί συνδέονται στο κάτω άκρο τους με το σώμα του ξέστρου μέσω πλαστικών βάσεων κατάλληλων για σιδερωσολήνα, δημιουργώντας ένα αρθρωτό αλλά σταθερό σύστημα καθοδήγησης. Η διάταξη αυτή διασφαλίζει την ευθυγράμμιση των ξέστρων σε όλες τις θέσεις λειτουργίας, ενισχύοντας τόσο την ακρίβεια της κίνησης όσο και τη μακροχρόνια αξιοπιστία του μηχανισμού.



Εικόνα 4.37: Συγκόλληση κυκλοδοκού κάθετα με τη χαλύβδινη σωλήνα για στήριξη του ξέστρου.



Εικόνα 4.38: Δυο βάσεις σωλήνων βιδωμένες στο ξέστρο που διασφαλίζουν τη συγκράτηση του σωλήνα.



Εικόνα 4.39: Ενσωμάτωση του μηχανισμού πτυσσόμενων ξέστρων στο αυτοματοποιημένο σύστημα ανάδευσης της δεξαμενής

Η κατασκευή και ενσωμάτωση του μηχανισμού πτυσσόμενων ξέστρων στο αυτοματοποιημένο σύστημα ανάδευσης της δεξαμενής συνέβαλε ουσιαστικά στη βελτίωση της λειτουργικότητας και της απόδοσης του συγκεκριμένου συστήματος ανάδευσης, επιταχύνοντας τον ρυθμό ξήρανσης. Η δυνατότητα ρύθμισης της θέσης των ξέστρων από τον χειριστή, σε συνδυασμό με την προστασία του υλικού του δαπέδου μέσω πολυουρεθανικών επιφανειών και τη σταθερότητα που παρέχει η συγκολλημένη βάση στήριξης, εξασφαλίζουν ομαλή και ασφαλή απομάκρυνση του προς επεξεργασία/ ξήρανση υλικού.

Η επιλογή υλικών κατάλληλων για χρήση σε εφαρμογές τροφίμων, η χρήση αφαιρούμενων συνδέσεων και η προσεκτικά μελετημένη διάταξη των επιμέρους εξαρτημάτων ενισχύουν τη καλύτερη συντήρηση του συστήματος, μειώνουν τον χρόνο καθαρισμού και προσφέρουν αξιοπιστία στην καθημερινή λειτουργία και διάρκεια ζωής ενός μηχανήματος. Το τελικό αποτέλεσμα αποτελεί μια ανθεκτική, εργονομική και τεχνικά συνεκτική λύση, απόλυτα εναρμονισμένη με τις απαιτήσεις της μονάδας επεξεργασίας.

5. Συμπεράσματα

Η παρούσα εργασία αφορούσε την τεχνική αποτίμηση και αναβάθμιση της πιλοτικής μονάδας ηλιακής ξήρανσης του έργου LIFE F4F – «Food for Feed», με σκοπό την επίλυση κρίσιμων λειτουργικών προβλημάτων και τη βελτιστοποίηση της απόδοσής της.

Οι παρεμβάσεις που πραγματοποιήθηκαν, επικεντρώθηκαν κυρίως σε τρία βασικά ζητήματα:

1. την έλλειψη εξόδου για το αποξηραμένο υλικό από τις δεξαμενές,
2. τη μη ομοιόμορφη επεξεργασία σε όλο το εύρος της δεξαμενής με το οριζόντιο σύστημα ανάδευσης,
3. την αδυναμία αυτόματης μεταφοράς του υλικού στην έξοδο στο σύστημα κάθετης ανάδευσης.

Μέσω στοχευμένων μηχανολογικών τροποποιήσεων, όπως:

- η προσθήκη στεγανών διπλών θυρών στις δεξαμενές,
 - η ενσωμάτωση πτυσσόμενων ξέστρων για την κατεύθυνση του υλικού,
 - η κατασκευή κοίλης λαμαρίνας για την αποφυγή νεκρών ζωνών ανάδευσης,
- επιτεύχθηκε σημαντική βελτίωση της εργονομίας και του επιπέδου αυτοματοποίησης της μονάδας.

Επιπλέον, η επιλογή κατάλληλων υλικών όπως ο ανοξείδωτος χάλυβας AISI 316 και πολυουρεθανικά στεγανοποιητικά, καθώς και η συμμόρφωση με τις ευρωπαϊκές νομοθετικές απαιτήσεις, εξασφάλισε τόσο τη μηχανική ανθεκτικότητα όσο και την υγιεινή ασφάλεια των κατασκευών.

Η χρήση του AutoCAD για την αποτύπωση των μηχανολογικών σχεδίων παρείχε ακρίβεια, επαναληψιμότητα και σαφήνεια, διευκολύνοντας την εφαρμογή των βελτιώσεων στο πεδίο.

Συνολικά, οι παρεμβάσεις:

- Μείωσαν την εξάρτηση από χειροκίνητες ενέργειες,
- Αύξησαν την αποδοτικότητα του συστήματος ξήρανσης,
- Βελτίωσαν τις συνθήκες εργασίας του προσωπικού,
- Ενίσχυσαν τη βιωσιμότητα και την ενεργειακή αποδοτικότητα της μονάδας.

Η τεχνική προσέγγιση που ακολουθήθηκε μπορεί να αποτελέσει πρότυπο αναφοράς για αντίστοιχες εφαρμογές σε μονάδες ηλιακής ξήρανσης ή άλλες εγκαταστάσεις επεξεργασίας οργανικών υπολειμμάτων.

Βιβλιογραφία

1. Energypedia, “Solar Drying”, https://energypedia.info/wiki/Solar_Drying
2. Elsevier, Solar Energy, “Solar drying”, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X09002333>
3. Greenhouse Solar Dryer, “Shall we get to know some facts regarding types of Solar Dryers?”, <https://www.greenhousesolardryer.com/2021/05/shall-we-get-to-know-some-facts-regarding-types-of-solar-dryers/>
4. Science Direct, “Solar Drying”, <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/solar-drying>
5. Wikipedia, “Solar dryer”, https://en.wikipedia.org/wiki/Solar_dryer
6. Deborah, [http://utpedia.utp.edu.my/id/eprint/4002/3/Deborah_Sim_\(6954\)_Final_Report_Full.pdf](http://utpedia.utp.edu.my/id/eprint/4002/3/Deborah_Sim_(6954)_Final_Report_Full.pdf)
7. Frontiers, “Solar Drying Applications for Food Products : Engineering and Technology”, <https://www.frontiersin.org/research-topics/51996/solar-drying-applications-for-food-products-engineering-and-technology>
8. Hamdami, Rizal, Muhammad, “Fabrication and testing of hybrid solar-biomass dryer for drying fish”, Case Studies in Thermal Engineering, Volume 12, September 2018, Pages 489-496, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214157X18300972>
9. HaniaNews, «Κρήτη | Σε πιλοτική μονάδα του προγράμματος LIFE F4F ο Φάμελλος», <https://hania.news/2019/01/04/%CE%BA%CF%81%CE%AE%CF%84%CE%B7-%CF%83%CE%B5-%CF%80%CE%B9%CE%BB%CE%BF%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%AE-%CE%BC%CE%BF%CE%BD%CE%AC%CE%B4%CE%B1-%CF%84%CE%BF%CF%85-%CF%80%CF%81%CE%BF%CE%B3%CF%81%CE%AC%CE%BC%CE%BC/>
10. Cinea, “Life Programme”, https://cinea.ec.europa.eu/programmes/life_en
11. Wikipedia, “Biodegradable waste”, https://en.wikipedia.org/wiki/Biodegradable_waste
12. Horti Indonesia, “SOLAR DRYER DOME TINGKATKAN NILAI TAMBAH PRODUK HORTIKULTURA PETANI”, <https://hortiindonesia.com/berita/solar-dryer-dome-tingkatkan-nilai-tambah-produk-hortikultura-petani>

13. Czesław Strumiłło, (2006) "Perspectives on developments in drying", Drying Technology 24, pp. 1059-1068, <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/07373930600778056>
14. Africana Natural Product, "Fixed Indirect Cabinet Dryer", <https://africanaturalproducts.co.ke/product/fixed-indirect-cabinet-dryer/>
15. 7shopai, "Solar Drying of Food", <https://7shopai.link/products.aspx?cname=solar+drying+of+food&cid=304>
16. Encyclopedia, "Traditional and Novel Drying Techniques", <https://encyclopedia.pub/entry/2195>
17. Prakash, O., & Kumar, A. (2013). "Historical review and recent trends in solar drying systems. International journal of green energy", 10(7), 690-738.
18. Prakash, O., & Kumar, A. (Eds.). (2017). "Solar drying technology: concept, design, testing, modeling, economics, and environment. Springer."
19. Philip, N., Duraipandi, S., & Sreekumar, A. (2022). "Techno-economic analysis of greenhouse solar dryer for drying agricultural produce." Renewable Energy, 199, 613-627.
20. Τσαμπάρλης, Μ. Μ. Μαρούσης, (1988). Υβριδικό ηλιακό ξηραντήριο αγροτικών προϊόντων, 'Ηπιες μορφές ενέργειας (3ο: 1988: Θεσσαλονίκη).
21. Lingayat, A., Balijepalli, R., & Chandramohan, V. P. (2021). Applications of solar energy based drying technologies in various industries—A review. Solar Energy, 229, 52-68.
22. Belessiotis, V., & Delyannis, E. (2011). Solar drying. Solar energy, 85(8), 1665-1691.
23. Ssemwanga, M., Makule, E., & Kayondo, S. I. (2020). Performance analysis of an improved solar dryer integrated with multiple metallic solar concentrators for drying fruits. Solar Energy, 204, 419-428.
24. Pirasteh, G., Saidur, R., Rahman, S. M. A., & Rahim, N. A. (2014). A review on development of solar drying applications. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 31, 133-148.
25. Kamarulzaman, A., Hasanuzzaman, M., & Rahim, N. A. (2021). Global advancement of solar drying technologies and its future prospects: A review. Solar Energy, 221, 559-582.
26. Prakash, O., & Kumar, A. (2013). Historical review and recent trends in solar drying systems. International journal of green energy, 10(7), 690-738.
27. Science Direct, "Solar applications for drying of agricultural and marine products", <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780323898669000031>
28. Online Library, "Solar-thermal driven drying technologies for large-scale industrial applications: State of the art, gaps, and opportunities", <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/er.5622>
29. IOWA STATE UNIVERCITY, "Natural-air corn drying with stirring", <https://core.ac.uk/download/pdf/38899443.pdf>
30. Wikipedia, "Grain drying" https://en.m.wikipedia.org/wiki/Grain_drying
31. Pellcroft, "Mix it up with a Typhoon Stirrer", <https://www.pellcroft.com/grain-stirrers/>
32. GSI, DESIGN III STIRATOR", https://www.grainsystems.com/en_US/products/conditioning/in-bin-dryers/stirator.html
33. Producer, "Natural air grain drying simple but complex" <https://www.producer.com/crops/natural-air-grain-drying-simple-but-complex/>
34. IOW, "Grain Drying – Why Do They Do That?", <https://iowaagliteracy.wordpress.com/2015/12/15/grain-drying-why-do-they-do-that/>
35. SESI, "Causes Of Post-harvest Losses In Grains", <https://sesitechnologies.com/causes-of-post-harvest-losses-in-grains/>
36. Wikipedia, "Grain damage", https://en.m.wikipedia.org/wiki/Grain_damage
37. Στοιχεία Μηχανών τόμοι I, II, III, Ρ. Γραικούση, εκδόσεις Γιαχούδη - Γιαπούλη
38. Βασική Μηχανολογία I και II, Ευρωπαϊκές Τεχνολογικές Εκδόσεις, Εκδόσεις Ίων
39. Μηχανουργική Τεχνολογία, Α. Αντωνιάδης, Εκδόσεις Τζιόλα
40. Κατάλογος προϊόντων μεταλλουργικού κλάδου, Μπήτρος Συμμετοχική Α.Ε.
41. Η Τεχνολογία των Κοχλιοσυνδέσεων, Γ. Καϊσαρλής Μηχανολόγος Μηχανικός ΕΜΠ – Γ. Βασιλείου Μηχανολόγος Μηχανικός ΕΜΠ, Τσαμούρης – Δούζογλου Α.Ε.
42. Μεταλλικές Κατασκευές, Ευρωπαϊκές Τεχνολογικές Εκδόσεις, Εκδόσεις Ίων.

43. Βιβλίο Εξετάσεων Μηχανολόγου, Ευρωπαϊκές Τεχνολογικές Εκδόσεις, Εκδόσεις Ίων.

Πληροφορίες εγγράφου

Αυτό το κείμενο αποτελείται από **74** σελίδες και περιέχει **20055** λέξεις.