



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΚΥΚΛΙΚΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΜΗ ΕΜΠΟΡΕΥΣΙΜΩΝ ΑΓΡΟΔΙΑΤΡΟΦΙΚΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΜΕ ΣΤΟΧΟ ΤΗ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΠΑΡΑΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΥΨΗΛΗΣ ΠΡΟΣΤΙΘΕΜΕΝΗΣ ΑΞΙΑΣ



ΦΟΙΤΗΤΗΣ: ΚΟΥΒΑΡΑΣ ΑΓΓΕΛΟΣ (Α.Μ. 7675)

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ ΡΩΜΑΙΟΣ

ΠΑΤΡΑ 2023

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το παρόν τεύχος αποτελεί την Πτυχιακή Εργασία που εκπονήθηκε στο Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών του Πανεπιστημίου Πελοποννήσου και αναφέρεται στην Κυκλική οικονομία και στην αξιοποίηση μη εμπορεύσιμων αγροδιατροφικών προϊόντων με την δημιουργία παραπροϊόντων υψηλής προστιθέμενης αξίας.

Σκοπός της εργασίας είναι να αποτελέσει μια ολοκληρωμένη πρόταση για αξιοποίηση μη αξιοποιήσιμων αποβλήτων που παράγει ο αγροτικός συνεταιρισμός BioNet West Hellas. Με τελικό σκοπό την εφαρμογή κυκλικής οικονομίας, κάτι που τα τελευταία χρόνια η Ευρωπαϊκή Ένωση το επιδιώκει έντονα, πάντα με γνώμονα ένα βιώσιμο μέλλον.

Μέσα από αυτήν την εργασία γίνεται ξεκάθαρη η αξία της αξιοποίησης των αποβλήτων τόσο χρηματικά όσο και περιβαλλοντικά. Επίσης αναδεικνύεται η σύνδεση που έχουν οι διεργασίες που υποβάλλονται τα απόβλητα, πως επηρεάζει η μία την άλλη και πώς μπορούμε να έχουμε το καλύτερο αποτέλεσμα αξιοποίησης κατανέμοντας κατάλληλα τις ποσότητες που θα χρησιμοποιηθούν στην κάθε διεργασία.

Θα ήθελα να ευχαριστώ θερμά τον Επιβλέποντα Καθηγητή μου κ. Αλέξανδρο Ρωμαίο, για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση που μου προσέφερε για την υλοποίηση της Εργασίας. Καθώς και για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε με την ανάθεση του θέματος.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την στήριξη που μου χάρισε απλόχερα καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου και ιδιαίτερα την περίοδο συγγραφής της παρούσας πτυχιακής εργασίας.

Κουβαράς Άγγελος

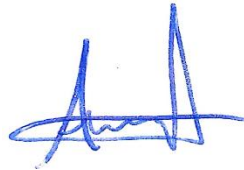
Μάιος, 2023

Υπεύθυνη Δήλωση Φοιτητή: Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Φοιτητής έχω επίγνωση των συνεπειών του Νόμου περί λογοκλοπής και δηλώνω υπεύθυνα ότι είμαι συγγραφέας αυτής της Διπλωματικής Εργασίας, έχω δε αναφέρει στην Βιβλιογραφία μου όλες τις πηγές τις οποίες χρησιμοποίησα και έλαβα ιδέες ή δεδομένα. Δηλώνω επίσης ότι, οποιοδήποτε στοιχείο ή κείμενο το οποίο έχω ενσωματώσει στην εργασία μου προερχόμενο από Βιβλία ή άλλες εργασίες ή το διαδίκτυο, γραμμένο ακριβώς ή παραφρασμένο, το έχω πλήρως αναγνωρίσει ως πνευματικό έργο άλλου συγγραφέα και έχω αναφέρει ανελλιπώς το όνομά του και την πηγή προέλευσης.

Ο Φοιτητής

ΚΟΥΒΑΡΑΣ ΑΓΓΕΛΟΣ

Υπογραφή

A handwritten signature in blue ink, consisting of stylized, overlapping letters that appear to be 'Αγγελος'.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η κυκλική οικονομία είναι μια οικονομική προσέγγιση που στοχεύει στη μείωση των αποβλήτων και τη βελτίωση της βιωσιμότητας. Αντί να απορρίπτονται τα απόβλητα, χρησιμοποιούνται ως πρώτες ύλες για τη δημιουργία νέων προϊόντων ή την παραγωγή ενέργειας.

Η ανάπτυξη του θέματος γίνεται σε **πέντε (5) κεφάλαια**.

Στο πρώτο κεφάλαιο, παρουσιάζονται τα αιθέρια έλαια, αναφέρονται οι τρόποι απόσταξης τους, η χημική τους σύσταση, τα διάφορα πεδία εφαρμογής, καθώς και γίνεται μια διερεύνηση για την ποσότητα που θα αφιερωθεί στην παραγωγή των αιθέριων ελαίων και με ποιόν τρόπο θα γίνει η απόσταξη.

Στο δεύτερο κεφάλαιο, παρουσιάζεται η ξήρανση με κατάψυξη ή αλλιώς λυοφιλίωση, η συσκευή που πραγματοποιεί λυοφιλίωση και οι επιμέρους διατάξεις της, καθώς και οι ποσότητες που θα υποστούν ξήρανση με κατάψυξη.

Στο τρίτο κεφάλαιο, παρουσιάζεται το βιοαέριο, οι τρόποι παραγωγής βιοαερίου και οι διάφοροι τύποι αναερόβιων χώνευτήρων. Παρουσιάζεται επίσης η έννοια της συμπαραγωγής θερμότητας, οι εφαρμογές της συμπαραγωγής, η εξέλιξη της συμπαραγωγής μέσα στα χρόνια, η γεωθερμία και οι εφαρμογές της.

Στο τέταρτο κεφάλαιο, παρουσιάζεται το πως από την ιλύ που μένει στον αντιδραστήρα αναερόβιας χώνευσης μπορείς να δημιουργήσεις εδαφοβελτιωτικό, ο ρόλος του εδαφοβελτιωτικού στις καλλιέργειες και πως συνδέεται με την κυκλική οικονομία.

Στο πέμπτο κεφάλαιο, παρουσιάζεται η σύνδεση των παραπάνω κεφαλαίων τα θεωρητικά αποτελέσματα της κυκλικής οικονομίας που προσπαθήσαμε να εφαρμόσουμε, καθώς και η οικονομοτεχνική μελέτη που αφορά την επένδυση που θα χρειαστεί να γίνει αν ο αγροτικός συνεταιρισμός αποφασίσει στην εφαρμογή της κυκλικής οικονομίας.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	3
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	5
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	11
1 ΑΙΘΕΡΙΑ ΕΛΑΙΑ	15
1.1 Γενικά Στοιχεία	15
1.1.1 Εισαγωγή.....	15
1.1.2 Αιθέρια έλαια στο παρελθόν και το παρών	16
1.1.3 Πεδία εφαρμογών	17
1.1.4 Παραγωγή αιθέριων ελαίων.....	18
1.2 Εξαγωγή αιθέριων ελαίων	18
1.2.1 Κλασσικές Μέθοδοι.....	18
1.2.2 Καινοτόμες μέθοδοι	23
1.3 Χημική σύσταση	26
1.4 Ιδιότητες	27
1.4.1 Αντιμικροβιακή-Αντιμυκητιακή δράση	27
1.4.2 Εντομοκτόνος-Εντομοαπωθητική δράση	28
1.4.3 Αντιφλεγμονώδης δράση	29
1.4.4 Αντικαρκινική δράση	30
1.4.5 Αντι-ιική δράση	30
1.5 Τεχνικό μέρος.....	31
1.5.1 Ποσότητες φυτικής ύλης και μέθοδος απόσταξης.....	31
1.5.2 Διαστασιολόγηση μονάδας απόσταξης.....	33
2 ΛΥΟΦΙΛΙΩΣΗ-ΚΡΥΟΞΗΡΑΝΣΗ.....	39
2.1 Γενικά Στοιχεία	39
2.1.1 Εισαγωγή.....	39
2.1.2 Κρυοξήρανση στο παρελθόν	39
2.1.3 Πεδία εφαρμογών	40
2.1.4 Αρχή της κρυοξήρανσης	41
2.1.5 Εξοπλισμός κρυοξήρανσης	43

2.2	Μέθοδοι κρυοξήρανσης.....	44
2.2.1	Πολλαπλή κρυοξήρανση.....	44
2.2.2	Μέθοδος ξήρανσης παρτίδων.....	45
2.2.3	Μέθοδος μαζικής ξήρανσης.....	46
2.3	Συσκευή κρυοξήρανσης	48
2.3.1	Θάλαμος κενού.....	48
2.3.2	Σύστημα θέρμανσης	49
2.3.3	Σύστημα ψύξης.....	49
2.4	Τεχνικό μέρος.....	49
2.4.1	Διάρκεια ξήρανσης και προετοιμασία φυτικής ύλης	50
2.4.2	Διαστασιολόγηση μονάδας	50
2.4.3	Τελικό προϊόν	51
3	Βιοαέριο-Συμπαγωγή.....	53
3.1	Γενικά στοιχεία Βιοαερίου.....	53
3.1.1	Εισαγωγή.....	53
3.1.2	Βιοαέριο στο παρελθόν.....	54
3.1.3	Παραγωγή Βιοαερίου.....	54
3.2	Αναερόβια χώνευση	55
3.2.1	Πλεονεκτήματα αναερόβιας χώνευσης	55
3.2.2	Μειονεκτήματα αναερόβιας χώνευσης.....	56
3.2.3	Παράγοντες που επηρεάζουν την αναερόβια χώνευση	56
3.3	Τύποι Αντιδραστήρων Αναερόβιας Χώνευσης	61
3.3.1	Συμβατικοί αναερόβιοι αντιδραστήρες (Conventional anaerobic reactors)	61
3.3.2	Αντιδραστήρες κατακράτησης ιλύος (Sludge retention reactors)	63
3.3.3	Αναερόβιοι αντιδραστήρες με μεμβράνες (Anaerobic membrane reactors).....	66
3.4	Γενικά στοιχεία συμπαγωγής	68
3.4.1	Τι είναι η συμπαγωγή	68
3.4.2	Σταθμός ΣΗΘ	68
3.4.3	Εφαρμογές ΣΗΘ.....	68
3.4.4	Χρησιμοποιούμενα καύσιμα	69
3.4.5	Τριπαγωγή	69

4	Εδαφοβελτιωτικό.....	71
4.1	Εισαγωγή.....	71
4.2	Κομποστοποίηση.....	71
4.2.1	Γενικά στοιχεία.....	71
4.2.2	Τρόποι κομποστοποίησης.....	72
4.2.3	Επιλογή τρόπου κομποστοποίησης.....	75
4.2.4	Τεχνικό Μέρος.....	75
5	Τεχνοοικονομική ανάλυση.....	77
5.1	Αιθέρια έλαια.....	77
5.1.1	Εισαγωγή.....	77
5.1.2	Συλλογή και επεξεργασία δεδομένων.....	77
5.2	Κρυοξήρανση.....	85
5.2.1	Εισαγωγή.....	85
5.2.2	Συλλογή και επεξεργασία δεδομένων.....	85
5.3	Εδαφοβελτιωτικό.....	88
5.3.1	Εισαγωγή.....	88
5.3.2	Συλλογή και επεξεργασία δεδομένων.....	88
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	91

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Σχεδιάγραμμα απεικόνισης τρόπων επίτευξης κυκλικής οικονομίας στον Συνεταιρισμό BioNet West Hellas.....	12
Εικόνα 2: Απεικόνιση φιαλιδίων αιθέριων ελαίων από διάφορα εσπεριδοειδή ...	15
Εικόνα 3: Ιερογλυφική αναφορά στα αιθέρια έλαια	16
Εικόνα 4: Απεικόνιση απόσταξης με νερό.....	19
Εικόνα 5: Απεικόνιση απόσταξης με ατμό	20
Εικόνα 6: Απεικόνιση ψυχρής έκθλιψης	22
Εικόνα 7: Απεικόνιση εκχύλισης με υπερκρίσιμο διοξείδιο του άνθρακα	23
Εικόνα 8: Απεικόνιση εκχύλισης υποβοηθούμενης με υπερήχους σε εργαστηριακή κλίμακα.....	24
Εικόνα 9: Απεικόνιση ξηρής απόσταξης με την χρήση μικροκυμάτων	25
Εικόνα 10: Ετήσια κατανομή διαθέσιμων ποσοτήτων	31
Εικόνα 11: Απεικόνιση ξήρανσης εμβολίων.....	40
Εικόνα 12: Διάγραμμα φάσεων νερού	41
Εικόνα 13: Ξηραντήρας για πολλαπλή ξήρανση	44
Εικόνα 14: Ξηραντήρας για ξήρανση παρτίδων	46
Εικόνα 15: Ξηραντήρας για μαζική ξήρανση	47
Εικόνα 16: Απεικόνιση συσκευής λυοφιλίωση με θερμαινόμενα ράφια.....	48
Εικόνα 17: Διαδικασία Αναερόβιας Χώνευσης.....	53
Εικόνα 18: Θερμοκρασιακές Περιοχές.....	57
Εικόνα 19: Συμβατικός Αναερόβιος Αντιδραστήρας.....	61
Εικόνα 20: Αντιδραστήρας Συνεχούς Λειτουργίας Πλήρους Ανάδευσης.....	62
Εικόνα 21: Αναερόβιος Αντιδραστήρας Εμβολικής Ροής	63
Εικόνα 22: Αντιδραστήρας κατακράτησης ιλύος	64
Εικόνα 23: Αντιδραστήρας Στρώματος ιλύος ανοδικής ροής	65
Εικόνα 24: Αναερόβιος αντιδραστήρας φίλτρου.....	66
Εικόνα 25: Αντιδραστήρας ρευστοποιημένης κλίνης.....	67
Εικόνα 26: Μέθοδος κομποστοποίησης Σειραδιών	73
Εικόνα 27: Μέθοδος κομποστοποίησης αεριζόμενων στατικών σωρών	74
Εικόνα 28: Πίνακας Υπολογισμών Σεναρίων	84
Εικόνα 29: Πίνακας Υπολογισμών οικονομικών στοιχείων Κρυοξήρανσης	87
Εικόνα 30: Πίνακας Οικονομικών στοιχείων κομποστοποίησης	89

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

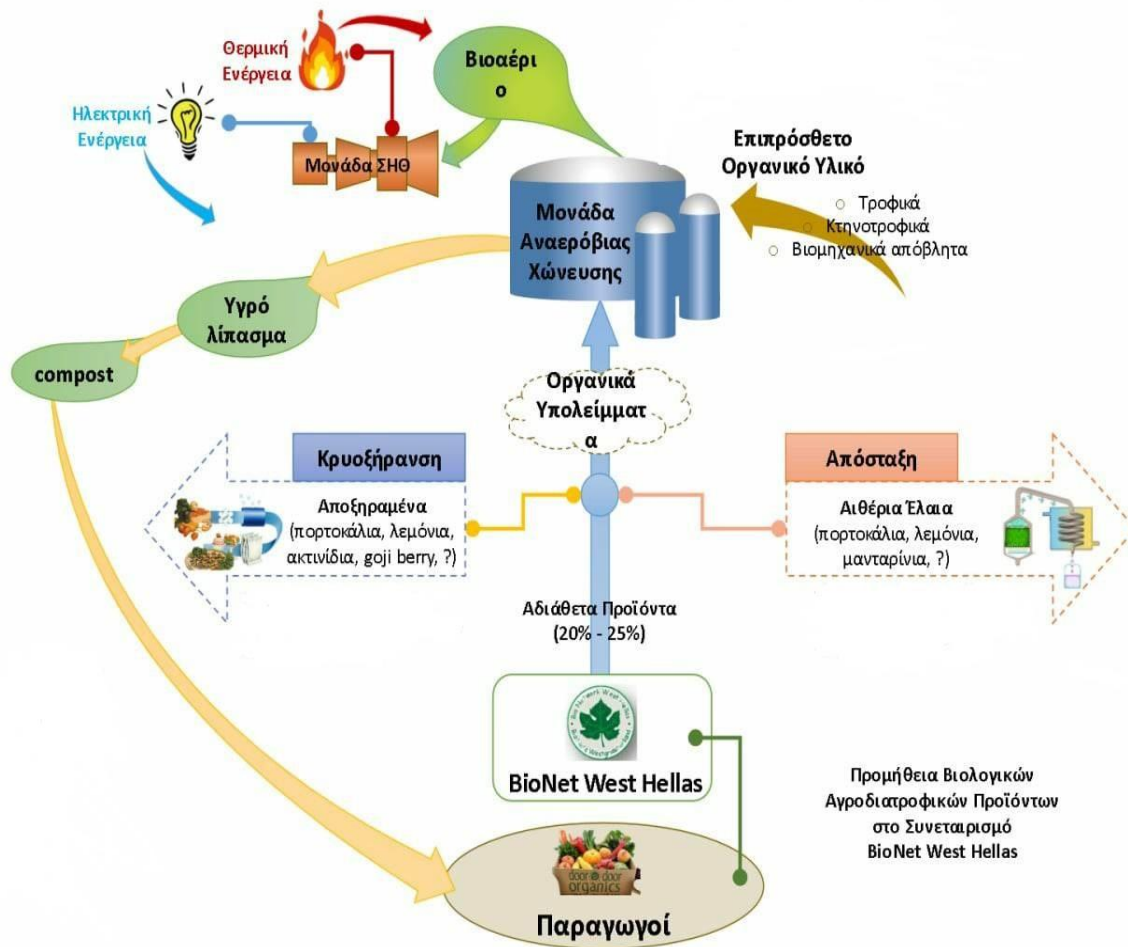
Η αύξηση των αποβλήτων αποτελεί ένα από τα σοβαρότερα προβλήματα που αντιμετωπίζει ο σύγχρονος κόσμος. Οι αγροτικοί συνεταιρισμοί, σαν μεγάλοι παραγωγοί τροφίμων, συνεισφέρουν σημαντικά στην παραγωγή αυτών των αποβλήτων. Αναλογιζόμενοι την ανάγκη για μια πιο βιώσιμη προσέγγιση στην οικονομία και στην παραγωγή, είναι απαραίτητο να αναζητήσουμε τρόπους διαχείρισης αυτών των αποβλήτων που θα προωθούν την κυκλική οικονομία και τη δημιουργία παραπροϊόντων υψηλής προστιθέμενης αξίας, ως επιπλέον κίνητρο.

Ο αγροτικός τομέας παράγει μεγάλες ποσότητες αποβλήτων, όπως απόβλητα καλλιεργειών, ζωικά απόβλητα, εκμετάλλευσης γεωργικών μηχανημάτων και συσκευασίες προϊόντων. Αυτά τα απόβλητα μπορούν να προκαλέσουν αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον, όπως ρύπανση του εδάφους και του υδάτινου περιβάλλοντος, καθώς και εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Ωστόσο, μπορούμε να αντιμετωπίσουμε αυτό το πρόβλημα ως μια ευκαιρία για να εφαρμόσουμε την αρχή της κυκλικής οικονομίας.

Η κυκλική οικονομία αποτελεί μια φιλόδοξη προσέγγιση που στοχεύει στην αξιοποίηση των αποβλήτων ως πόρων, αντί για την απόρριψη τους. Μέσω της ανακύκλωσης, της ανανέωσης και της επαναχρησιμοποίησης των αποβλήτων, μπορούμε να δημιουργήσουμε νέες ευκαιρίες για τη δημιουργία παραπροϊόντων υψηλής προστιθέμενης αξίας. Για παράδειγμα, τα απόβλητα καλλιεργειών μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή βιοαερίου ή κομπόστ, τα ζωικά απόβλητα μπορούν να μετατραπούν σε λίπασμα ή να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή ενέργειας, και οι συσκευασίες προϊόντων μπορούν να ανακυκλωθούν ή να επαναχρησιμοποιηθούν.

Η αναγκαιότητα για την αποτελεσματική διαχείριση των αποβλήτων ενός αγροτικού συνεταιρισμού είναι επιτακτική. Προωθώντας μια κυκλική οικονομία, μπορούμε να μειώσουμε την υπερβολική εξάρτηση από τους πεπερασμένους φυσικούς πόρους και να ενθαρρύνουμε την αειφόρο παραγωγή. Επιπλέον, η δημιουργία παραπροϊόντων υψηλής προστιθέμενης αξίας μπορεί να συμβάλει στην ενίσχυση της ανταγωνιστικότητας του συνεταιρισμού και στη δημιουργία νέων πηγών εσόδων.

Στο παρακάτω σχεδιάγραμμα παρουσιάζεται το πρόβλημα που ασχοληθήκαμε στα πλαίσια της παρούσας Πτυχιακής Εργασίας. Οι παραγωγοί προμηθεύουν τον συνεταιρισμό BioNet West Hellas με φρούτα και λαχανικά. στην συνέχεια ο συνεταιρισμός συσκευάζει τα βιολογικά αγροδιατροφικά προϊόντα και τα πουλάει. Κάποια από αυτά τα προϊόντα κρίνονται ακατάλληλα προς πώληση συνήθως λόγω μικροφθορών στο περιβλήμα τους, με αποτέλεσμα να απορρίπτονται. Τα απόβλητα αυτά είναι περίπου 20%-25% της αρχικής ποσότητας που προέρχεται από τους παραγωγούς. Στην προκειμένη περίπτωση ο συνεταιρισμός διαχειρίζεται ποσότητες πολλών χιλιάδων τόνων οπότε και η ποσότητα των αποβλήτων είναι της ίδιας τάξεως.



Εικόνα 1: Σχεδιάγραμμα απεικόνισης τρόπων επίτευξης κυκλικής οικονομίας στον Συνεταιρισμό BioNet West Hellas

Ένα μεγάλο μέρος της ποσότητας των αποβλήτων θα υποστεί απόσταξη με σκοπό την παραγωγή αιθέριων ελαίων. Προσφέροντας εναλλακτική πηγή εσόδων στον συνεταιρισμό από την πώληση τους και συμβάλλοντας στην κυκλική οικονομία με την αξιοποίηση μεγάλης ποσότητας αποβλήτων.

Ένα άλλο μικρότερο μέρος των αποβλήτων θα αξιοποιηθεί για την παραγωγή αποξηραμένων φρούτων με την μέθοδο της κρουζήρνας. Η παραγωγή των αποξηραμένων φρούτων αποδεικνύεται μια πολύ κερδοφόρα διαδικασία και τα αποξηραμένα φρούτα ένα παραπροϊόν υψηλής προστιθέμενης αξίας.

Τα απόβλητα που δεν χρησιμοποιούνται σε κάποια από τις παραπάνω διεργασίες, καθώς και τα υπολείμματα της απόσταξης, οδηγούνται σε αναερόβιο αντιδραστήρα για την παραγωγή βιοαερίου. Μέρος του βιοαερίου που παράγεται χρησιμοποιείται ως καύσιμο σε μονάδα συμπαραγωγής θερμότητας και ηλεκτρισμού με σκοπό την κάλυψη ενεργειακών αναγκών του συνεταιρισμού, το υπόλοιπο πωλείται. Τα υπολείμματα του αναερόβιου αντιδραστήρα μετά την χώνευση χρησιμοποιούνται για την παραγωγή εδαφοβελτιωτικού, με την μέθοδο της κομποστοποίησης.

Τελικά, το κομπόστ που παράγεται επιστρέφεται στους παραγωγούς που μας προμηθεύουν είτε με μικρό κόστος, είτε χωρίς επιβάρυνση τους, έτσι ώστε να ενισχυθεί το έδαφος που καλλιεργούν με θρεπτικά συστατικά και να επιτευχθεί η κυκλική οικονομία.

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας έγινε διαστασιολόγηση των μονάδων απόσταξης και κρουζήρνας. Έγινε εκτίμηση της παραγωγής αιθέριων ελαίων, αποξηραμένων φρούτων και κομπόστ. Τέλος, έγινε οικονομοτεχνική μελέτη με σκοπό την εκτίμηση ετήσιων κερδών, ετήσιων εξόδων, χρόνου απόσβεσης αρχικής επένδυσης και συνολικού κέρδους σε βάθος δεκαπενταετίας.

Τα στοιχεία που αφορούν τις διεργασίες της αναερόβιας χώνευσης και της συμπαραγωγής, βρέθηκαν από πτυχιακές συμφοιτητών που εκπονήθηκαν την ίδια περίοδο.

1 ΑΙΘΕΡΙΑ ΕΛΑΙΑ

1.1 Γενικά Στοιχεία

1.1.1 Εισαγωγή

Με τον όρο αιθέρια έλαια ονομάζουμε τα συμπυκνωμένα, υδροφοβικά υγρά που περιέχουν πτητικές ενώσεις αρωμάτων από φυτά. Τα υγρά αυτά φέρουν έντονη, ευχάριστη οσμή, (όπως υποδεικνύει και ο όρος αιθέρια), συνήθως όμοια με εκείνη του φυτού από το οποίο προήλθαν.

Η παραγωγή αιθέριων ελαίων είναι ένας πολύ καλός τρόπος αξιοποίησης μη εμπορεύσιμων αγροτικών προϊόντων που θα κατέληγαν 'απόβλητα'. Ενώ με την αξιοποίηση τους μπορούμε να παράγουμε προϊόντα υψηλής αξίας και με πολυάριθμες χρήσεις. Στην αγορά υπάρχει αυξημένη ζήτηση για το συγκεκριμένο προϊόν, αυτό φαίνεται από την πληθώρα χρήσεων του και από τους τομείς που μπορεί να χρησιμοποιηθεί (π.χ. βιομηχανία τροφίμων, καλλυντικών, φαρμάκων κ.α.).



Εικόνα 2: Απεικόνιση φιαλιδίων αιθέριων ελαίων από διάφορα εσπεριδοειδή

1.1.2 Αιθέρια έλαια στο παρελθόν και το παρών

Η χρησιμότητα των αιθέριων ελαίων μπορεί να εντοπιστεί από την αρχαιότητα. Από πολιτισμούς όπως οι Αιγύπτιοι, που τα χρησιμοποιούσαν στην ταρίχευση, μέχρι και την αρχαία Ελλάδα, όπου υπάρχουν καταγραφές συνταγών πολλών φαρμακευτικών αρωμάτων σε μαρμάρινες επιγραφές που βρέθηκαν στα ιερά του Ασκληπιού και της Αφροδίτης. Οι Αιγύπτιοι ήταν οι πρώτοι που ξεκίνησαν τις εκχυλίσεις των αρωματικών ουσιών από τα φυτά θερμαίνοντας τα σε πήλινα σκεύη. Η ανακάλυψη όμως της απόσταξης ανάγεται στους Έλληνες αλχημιστές. Ακόμα και οι Ρωμαίοι ήταν ένας λαός ο οποίος φάνηκε να αγαπά τα αρώματα. Υπήρχαν τα αρωματικά λουτρά όπου οι Ρωμαίοι βύθιζαν το σώμα τους σε νερό με αιθέρια έλαια. Στην Ευρώπη η αρωματοποιία διαδόθηκε στις αρχές του 14^{ου} αιώνα, αυτό αποδίδεται στην ανάπτυξη της από τον μουσουλμανικό κόσμο.



Εικόνα 3: Ιερογλυφική αναφορά στα αιθέρια έλαια

Όπως φαίνεται στην αρχαιότητα τα αιθέρια έλαια είχαν ευρεία χρησιμότητα, χρησιμοποιούνταν στην καθημερινή υγιεινή αλλά και για καλλυντική χρήση. Επίσης δεν μπορεί να διαχωριστεί ξεκάθαρα η φαρμακευτική χρήση από την αρωματική, διότι οι ίδιες ουσίες συχνά χρησιμοποιούνταν και για τους δύο σκοπούς. Κατά την διάρκεια της Αναγεννησιακής περιόδου, τα αρωματικά υλικά κατέκλυσαν την φαρμακοποιία, τα συγκεκριμένα υλικά αξίζει να σημειωθεί ότι για πολλούς αιώνες ήταν η κύρια προστασία ενάντια στις επιδημίες. Η αλχημεία όμως έδωσε την θέση της στην τεχνική χημεία και εξαλείφθηκε το ενδιαφέρον της συσχέτισης της ύλης και του πνεύματος και της αλληλεξάρτησης Ιατρικής-ψυχολογίας. Έτσι κατά την διάρκεια του 19^{ου} αιώνα ως επί το πλείστον τα αιθέρια έλαια αντικαταστάθηκαν από σύνθετες φαρμακοχημικές ενώσεις, λόγω της σημαντικά ισχυρότερης δράσης τους. Με αποτέλεσμα κατά την διάρκεια του

Δευτέρου Παγκοσμίου Πολέμου αλλά και μετά, οι αρχές της αρωματοθεραπείας ξεχάστηκαν εντελώς.

Το 1964 εκδόθηκε το βιβλίο <<Aromathérapie>> με συγγραφέα τον Jean Valnet το οποίο επανάφερε τα αιθέρια έλαια στο προσκήνιο. Σήμερα τα αιθέρια έλαια έχουν γίνει αναπόσπαστο κομμάτι της καθημερινής ζωής και αυτό φαίνεται από την χρήση τους σε πολλούς διαφορετικούς τομείς παγκοσμίως, η οποία αυξάνεται συνεχώς. Από εφαρμογές στην ιατρική μέχρι και εφαρμογές στην γεωργία, τα αιθέρια έλαια έχουν κατακλύσει την αγορά και αυτό οφείλεται στην αυξημένη ζήτηση που υπάρχει, λόγω της τάσης των εποχών για αντικατάσταση των χημικών από καθαρά φυσικά συστατικά. Τα οποία είναι ασφαλή και φιλικά προς το περιβάλλον χωρίς να αποτελούν απειλή για οποιοδήποτε οικοσύστημα. Κάθε χρόνο, παράγονται 40.000-60.000 τόνοι αιθέριων ελαίων για να καλύψουν τις απαιτήσεις κυρίως των βιομηχανιών αρωμάτων και καλλυντικών καθώς και τη βιομηχανία υγείας. Τα αιθέρια έλαια που προέρχονται από εσπεριδοειδή είναι αυτά με την μεγαλύτερη ζήτηση και αποτελούν το μεγαλύτερο ποσοστό των εμπορικών φυσικών γεύσεων και αρωμάτων. Καθώς αναπτύχθηκαν οι μέθοδοι εγκλεισμού των αιθέριων ελαίων, το οποίο αύξησε χρονικά την δράση τους, τα πεδία εφαρμογών πολλαπλασιάστηκαν.

1.1.3 Πεδία εφαρμογών

Τα διάφορα πεδία εφαρμογών των αιθέριων ελαίων αντιπροσωπεύουν το μεγάλο ενδιαφέρον για τη μελέτη τους. Συναντάμε εφαρμογές για παράδειγμα στην βιομηχανία τροφίμων, όπου χρησιμοποιούνται ως πρόσθετα τροφίμων αλλά και ως φυσικά συντηρητικά, λόγω της αντιβακτηριακής και αντιοξειδωτικής τους δράσης. Στην γεωργία ακόμα, βλέπουμε σημαντικές εφαρμογές διπλού ρόλου. Τα αιθέρια έλαια προστατεύουν τα φυτά, δρώντας ως εντομοκτόνα και εντομοαπωθητικά (κυρίως στα αρθρόποδα παράσιτα), ενώ παράλληλα η οσμή τους γίνεται πόλος έλξης για κάποια έντομα και αυτό έχει ως αποτέλεσμα το διασκορπισμό της γύρης και την αναπαραγωγή των φυτών. Στην βιομηχανία των καλλυντικών χρησιμοποιούνται κυρίως ως συστατικά αρωμάτων, λόγω της ευχάριστης οσμής τους. Επίσης ενσωματώνονται ευρέως σε καλλυντικά προϊόντα, λόγω της ποικιλίας των ιδιοτήτων τους, είναι άξιο παρατήρησης ότι θεωρούνται μη τοξικά μόνο σε χαμηλές συγκεντρώσεις. Μπορούμε να διακρίνουμε εφαρμογές στην φαρμακευτική βιομηχανία ως ενεργά συστατικά φαρμάκων ή ως αντιβακτηριακά / αντιμικροβιακά και στην Ιατρική που όπως φαίνεται συμβάλλουν στην θεραπεία του πεπτικού συστήματος, στην αντιμυκητιασική θεραπεία και πολλά άλλα. Περισσότερα πεδία εφαρμογής είναι: η Βιοτεχνολογία, η Ηλεκτρονική, η Φωτογραφία, η βιομηχανία υφασμάτων κ.α.

1.1.4 Παραγωγή αιθέριων ελαίων

Τα αιθέρια έλαια παράγονται με πολλούς τρόπους, κυρίως όμως με απόσταξη. Άλλοι ενδεικτικοί τρόποι παραγωγής είναι η εξαγωγή με διαλύτες και η μηχανική σύνθλιψη. Ο κάθε τρόπος εξυπηρετεί κάποιον σκοπό, μια διεργασία μπορεί να ταιριάζει περισσότερο σε κάποιο είδος φυτού και να παράγει καλύτερης ποιότητας αιθέριο έλαιο από μια άλλη. Έτσι καταλαβαίνουμε ότι είναι απαραίτητη η σύγκριση μεταξύ μεθόδων ανάλογα τον σκοπό που θέλουμε να πετύχουμε και την ποιότητα που θέλουμε να εξασφαλίσουμε. Η διερεύνηση που απαιτείτε για την κατάλληλη μέθοδο, διασφαλίζει την επίτευξη ενός άρτιου τελικού αποτελέσματος.

1.2 Εξαγωγή αιθέριων ελαίων

1.2.1 Κλασσικές Μέθοδοι

1.2.1.1 Υδροαπόσταξη (Hydro distillation)

Στη συγκεκριμένη μέθοδο η εκάστοτε φυτική πρώτη ύλη αναμιγνύεται με νερό σε ένα χάλκινο καζάνι αποστάξεως (άμβυκας). Ο άμβυκας θερμαίνεται από κάποια εξωτερική πηγή θερμότητας, είτε από φωτιά που βρίσκεται κάτω από αυτόν, είτε με ατμό ο οποίος κυκλοφορεί μέσα σε σωληνώσεις που βρίσκονται στον πυθμένα του καζανιού ή στα τοιχώματά του μέσω χιτώννα. Ενώ υπάρχουν και μερικές περιπτώσεις όπου η πηγή θερμότητας είναι μια ηλεκτρική αντίσταση στο εσωτερικό του καζανιού. Κατά τον βρασμό το νερό και η πρώτη ύλη βρίσκονται σε άμεση επαφή και αυτό είναι και το χαρακτηριστικό στοιχείο της συγκεκριμένης μεθόδου παραγωγής αιθέριου ελαίου.

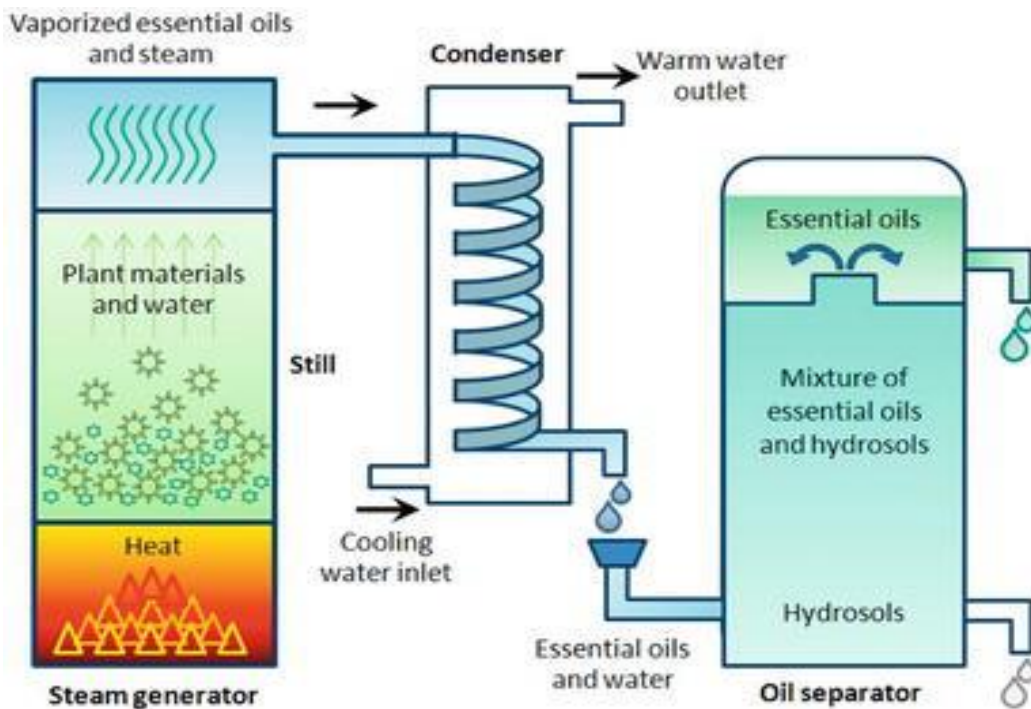
Ο άμβυκας που θα χρησιμοποιηθεί για υδροαπόσταξη, πρέπει να έχει μικρό ύψος και μεγάλη διάμετρο για να έχει μεγάλη επιφάνεια εξατμίσεως. Επίσης θα πρέπει στο επάνω μέρος του άμβυκα να υπάρχει επαρκής χώρος για την συγκέντρωση του παραγόμενου ατμού. Η ταχύτητα αποστάξεως ρυθμίζεται από τον ρυθμό μεταφοράς θερμότητας στον άμβυκα από την εκάστοτε πηγή θερμότητας. Για να εξαχθεί η μέγιστη ποσότητα αιθέριου ελαίου θα πρέπει στην αρχή η ταχύτητα να είναι μικρή και σταδιακά να αυξάνεται. Οι υδρατμοί που προκύπτουν από τον βρασμό συμπυκνώνονται και το συμπύκνωμα συλλέγεται σε ένα δοχείο, εκεί προκύπτει φυσικός διαχωρισμός του αποστάγματος αφού το έλαιο έχει χαμηλότερη πυκνότητα από το νερό. Πρόκειται για την πιο απλή και παλιά μέθοδο, λόγω αρκετών μειονεκτημάτων η παραγωγή αιθέριων ελαίων με την συγκεκριμένη μέθοδο περιορίστηκε σημαντικά. Είναι όμως κατάλληλη για την εκχύλιση πετάλων και λουλουδιών, τα οποία αν γίνει απόσταξη με ατμό από εξωτερική πηγή σχηματίζουν συμπαγείς μάζες.

Πλεονεκτήματα υδροαπόσταξης:

- Είναι απλή μέθοδος και μπορεί να χρησιμοποιηθεί εύκολα και σε μικρές κλίμακες, όχι μόνο για βιομηχανική χρήση
- Μικρό κόστος κατασκευής αποστακτήριου συγκροτήματος
- Εύκολη μετακίνηση συγκροτήματος
- Μπορεί να γίνει απόσταξη υλικών, τα οποία θα παρουσιάζανε δυσκολίες με άλλον τρόπο. Όπως: τριμμένοι-τεμαχισμένοι καρποί, ρίζες κ.α.

Μειονεκτήματα υδροαπόσταξης:

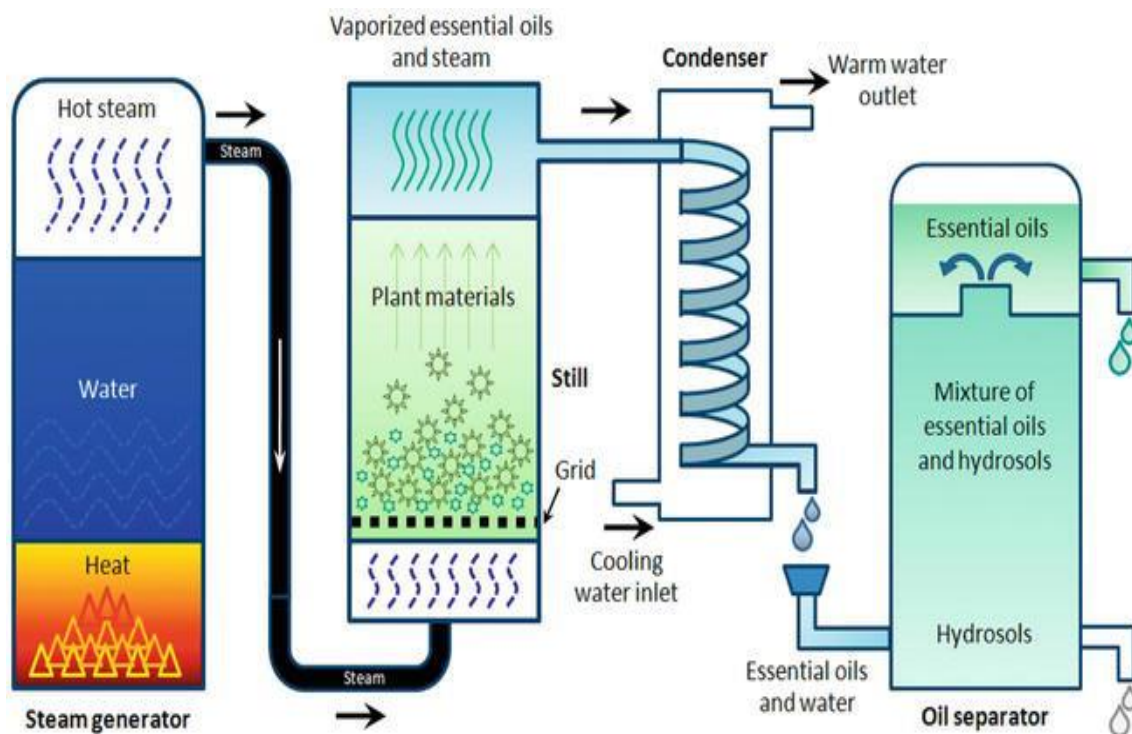
- Η διαδικασία είναι χρονοβόρα οπότε απαιτείται αρκετή θερμική ενέργεια.
- Η απόδοση σε αιθέριο έλαιο ενδέχεται να μην είναι σταθερή αν η πηγή θερμότητας δεν είναι ελεγχόμενη.
- Το αιθέριο έλαιο είναι κατώτερης ποιότητας, λόγω υδρόλυσης των εστέρων σε οξέα και αλκοόλες



Εικόνα 4: Απεικόνιση απόσταξης με νερό

1.2.1.2 Απόσταξη με ατμό (Steam Distillation)

Η απόσταξη με ατμό είναι η κύρια μέθοδος παραγωγής αιθέριων ελαίων. Περισσότερο από το 90% των αιθέριων ελαίων εκχυλίζονται μέσω αυτής της μεθόδου. Η πρώτη ύλη τοποθετείται σε ξεχωριστό δοχείο το οποίο δεν έχει παρουσία νερού. Ο ατμός παράγεται από εξωτερική πηγή (ατμολέβητας) και στη συνέχεια εισάγεται στον άμβυκα αποστάξεως, τις περισσότερες φορές με πίεση μεγαλύτερη της ατμοσφαιρικής. Ο ατμός εισέρχεται στον άμβυκα μέσω μικρών τρυπών που φέρει η σωλήνωση στο κάτω μέρος του άμβυκα, έτσι καταφέρνουμε ομοιόμορφη κατανομή σε όλη την μάζα της φυτικής πρώτης ύλης. Ακόμα σημαντικό είναι να αναφερθεί ότι υπάρχει και άλλη σωλήνωση στο κάτω μέρος του άμβυκα, η οποία δεν φέρει τρύπες και υπάρχει για να ελαχιστοποιεί την υγροποίηση των ατμών, κρατώντας τον άμβυκα σε υψηλή θερμοκρασία.



Εικόνα 5: Απεικόνιση απόσταξης με ατμό

Ο ατμός κατά την ανοδική του πορεία παρασύρει το αιθέριο έλαιο, με αποτέλεσμα να έχουμε ένα μίγμα ατμού και ελαίου προς συμπύκνωση. Το συμπύκνωμα συλλέγεται σε ένα δοχείο με δύο εξόδους και διαχωρίζεται σε 2 στρώματα λόγω της χαμηλότερης πυκνότητας του αιθέριου ελαίου σε σχέση με το νερό.

Τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζει αυτή η μέθοδος σε σχέση με την πρώτη είναι τα εξής:

- Η φυτική πρώτη ύλη έρχεται ε επαφή μόνο με τον ατμό που παράγεται, για αυτό έχουμε και περιορισμένη καταστροφή των συστατικών του αιθέριου ελαίου. Κατά συνέπεια το αιθέριο έλαιο είναι καλύτερης ποιότητας.
- Η απόδοση του αιθέριου ελαίου είναι μεγαλύτερη.
- Είναι καλή μέθοδος για αποστάξεις μεγάλων ποσοτήτων πρώτης ύλης.
- Ευρεία εφαρμογή της μεθόδου απόσταξης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για απόσταξη όλων των αρωματικών φυτών εκτός από τα άνθη.

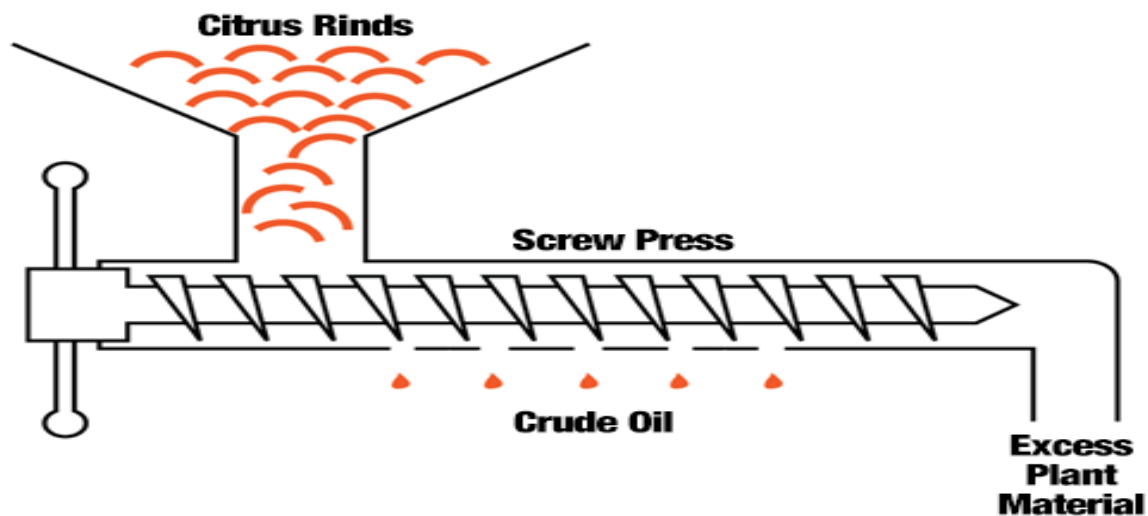
1.2.1.3 Εκχύλιση με χρήση οργανικού διαλύτη (Solvent Extraction Method)

Στην συγκεκριμένη μέθοδο η φυτική πρώτη ύλη αναμειγνύεται με τον διαλύτη και το μίγμα θερμαίνεται για να πραγματοποιηθεί η εκχύλιση του αιθέριου ελαίου. Αμέσως μετά το μίγμα διηθείται και συμπυκνώνεται, με εξάτμιση του διαλύτη. Το συμπύκνωμα αναμειγνύεται με καθαρή αλκοόλη για να γίνει εκχύλιση του ελαίου. Ακολουθεί απόσταξη σε χαμηλές θερμοκρασίες ώστε να εξατμιστεί η αλκοόλη και να διαχωριστεί το έλαιο. Όμως, από χημικές αναλύσεις έχει αποδειχθεί ότι το τελικό προϊόν περιέχει υπολείμματα, τα οποία μολύνουν το αιθέριο έλαιο και κρίνεται αμφίβολη η ασφάλεια του για χρήση σε φαρμακευτικά σκευάσματα και τρόφιμα. Πιο διαδεδομένοι διαλύτες είναι: η ακετόνη, το εξάνιο, ο πετρελαϊκός αιθέρας και η μεθανόλη. Η συγκεκριμένη μέθοδος έχει πολυάριθμα μειονεκτήματα μεταξύ των οποίων είναι:

- Για την εκχύλιση είναι απαραίτητο να γίνεται από καλά ειδικευμένο προσωπικό και μεγαλύτερη δαπάνη για εγκαταστάσεις σε σχέση με την απόσταξη.
- Δύσκολη διαχείριση αποβλήτων από χρησιμοποιημένους διαλύτες.
- Τα έξοδα (αγορά διαλύτη-μισθοδοσίες κλπ.) είναι πολύ μεγαλύτερα από εκείνα της απόσταξης.

1.2.1.4 Ψυχρή Έκθλιψη (Cold Pressing)

Είναι η παραδοσιακή μέθοδος εξαγωγής αιθέριων ελαίων από τη φλούδα εσπεριδοειδών. Η λέξη έκθλιψη στην ονομασία αυτής της μεθόδου στηρίζεται στη μηχανική συμπίεση της φλούδας των εσπεριδοειδών, ενώ η λέξη ψυχρή βασίζεται στο γεγονός ότι η διεργασία γίνεται σε θερμοκρασία δωματίου και δεν χρειάζεται να προσφέρουμε καθόλου ενέργεια με την μορφή θερμότητας. Αφού απελευθερωθούν τα αιθέρια έλαια από την συμπίεση, εκπλένονται με κρύο νερό. Με την ψυχρή έκθλιψη προκύπτει ένα υδαρές γαλάκτωμα, το οποίο είτε φυγοκεντρείται για να ξεχωρίσουμε το έλαιο από το νερό, είτε αυτό απομακρύνεται με απλή απόχυση. Υπερτερεί των υπολοίπων μεθόδων λόγω του ότι δεν χρειάζεται χρήση οργανικών διαλυτών ή θέρμανσης. Ωστόσο, το αιθέριο έλαιο που προκύπτει δεν έχει την καλύτερη ποιότητα.

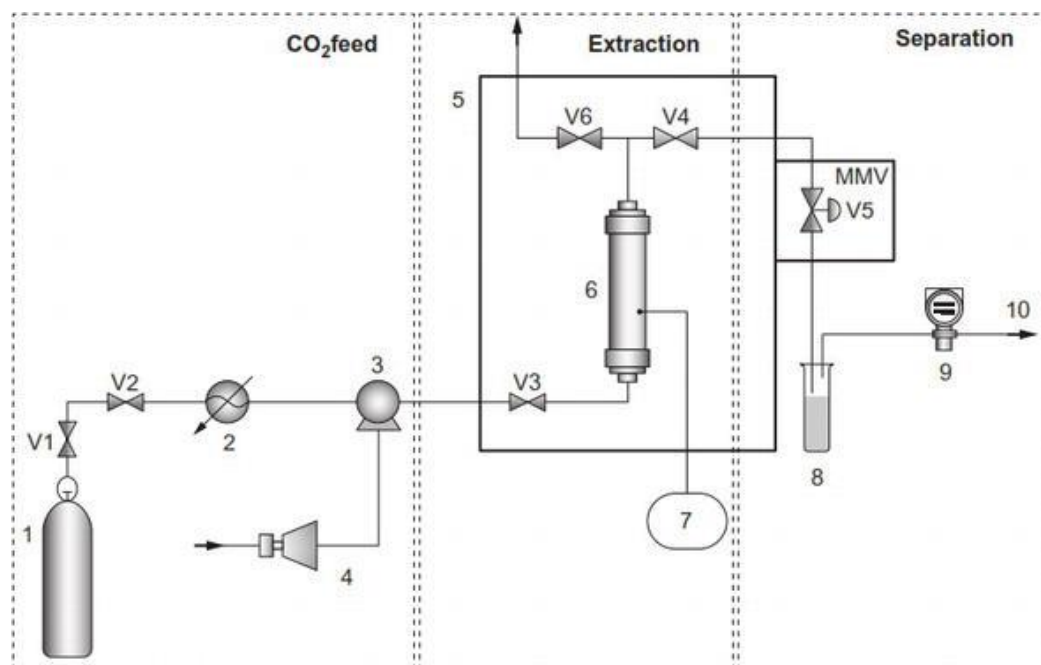


Εικόνα 6: Απεικόνιση ψυχρής έκθλιψης

1.2.2 Καινοτόμες μέθοδοι

1.2.2.1 Εκχύλιση με υπερκρίσιμο ρευστό (*Supercritical fluid extraction*)

Τα αιθέρια έλαια χαρακτηρίζονται από θερμική αστάθεια, η θερμική αυτή μη σταθερότητα αποτέλεσε λόγο στην ύπαρξη ανάγκης για την επεξεργασία τους σε χαμηλότερες θερμοκρασίες και σε αδρανείς ατμοσφαιρικές συνθήκες. Το διοξείδιο του άνθρακα είναι το πιο διαδεδομένο ρευστό που χρησιμοποιείται στην εκχύλιση με υπερκρίσιμο ρευστό, λόγω των χαμηλών τιμών των κρίσιμων παραμέτρων του ($T_{cr}=31.1^{\circ}\text{C}$, $P_{cr}=7.4\text{ MPa}$), της χαμηλής τοξικότητας και της χαμηλής τιμής του. Το διοξείδιο στην υπερκρίσιμη του κατάσταση συμπεριφέρεται ως μη πολικό υγρό με υψηλή διαχυτότητα, η οποία επιτρέπει την εξαγωγή μη πολικών συστατικών από το φυτό. Υπάρχει συνεχής διοχέτευση του διοξειδίου του άνθρακα στο δοχείο εκχύλισης. Όταν οδηγούνται στο δοχείο διαχωρισμού το αιθέριο έλαιο διαχωρίζεται εύκολα διότι το διοξείδιο του άνθρακα από υπερκρίσιμο υγρό γίνεται αέριο. Παρά ταύτα, η εκχύλιση με χρήση οργανικών διαλυτών και η υπερκρίσιμη εκχύλιση θεωρείται πως παράγουν προϊόντα τα οποία δεν χαρακτηρίζονται ως πραγματικά αιθέρια έλαια. Ωστόσο, λόγω του ότι οι ουσίες αυτές είναι αρωματικές, με οσμή αντίστοιχης της πρώτης ύλης από την οποία προέρχονται, οι μέθοδοι αυτές εφαρμόζονται στην βιομηχανία αρωμάτων και τροφίμων.



Εικόνα 7: Απεικόνιση εκχύλισης με υπερκρίσιμο διοξείδιο του άνθρακα

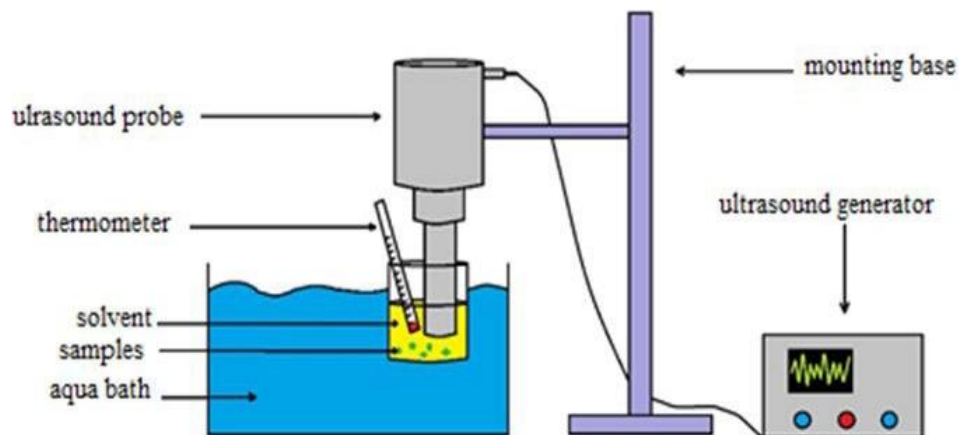
Στοιχεία της εικόνας 1.4

- (1) Φιάλη αποθήκευσης CO₂, (2) cooling bath, (3) αντλία, (4) συμπιεστής, (5) θερμαντήρας, (6) χώρος εκχύλισης, (7) αισθητήρας, (8) φιάλη συλλογής, (9) ροόμετρο, και (10) Έξοδος CO₂. V1–V6 βαλβίδες ελέγχου ροής.

1.2.2.2 Εκχύλιση υποβοηθούμενη με υπερήχους (*Ultrasound assisted extraction*)

Λόγω της μη θερμικής σταθερότητας τους, τα αιθέρια έλαια μπορεί να υποβαθμιστούν κατά την εκχύλιση σε υψηλές θερμοκρασίες με απόσταξη. Οι υπερήχοι αυξάνουν την αποδοτικότητα του συστήματος ενισχύοντας τη διείσδυση του διαλύτη στα φυτικά κύτταρα και αποτρέποντας την αποικοδόμηση των θερμικά ασταθών ενώσεων. Λόγω των υπερήχων προκαλείται μηχανική δόνηση, μέσω της οποίας, απελευθερώνονται σταγονίδια ελαίων στα τοιχώματα και στις μεμβράνες του φυτικού εκχυλίσματος. Τέλος μόλις ‘σπάσουν’ τα τοιχώματα γίνεται έκπλυση του περιεχομένου του κυττάρου.

Η εκχύλιση υποβοηθούμενη με υπερήχους φαίνεται να συνδυάζεται πολύ καλά με την κλασσική μέθοδο της υδροαπόσταξης. Το ‘σπάσιμο’ των τοιχωμάτων επιτυγχάνεται γρήγορα από τα κρουστικά κύματα που απελευθερώνονται όταν οι φυσαλίδες που δημιουργήθηκαν από τους υπερήχους καταρρέουν λόγω του φαινομένου της σπηλαίωσης. Έτσι, επιταχύνεται όλη η διαδικασία της απόσταξης και σίγουρα δεν επηρεάζεται αρνητικά η ποιότητα και η απόδοση του αιθέριου ελαίου. Αντιθέτως υπάρχουν αρκετές περιπτώσεις που το τελικό προϊόν χρησιμοποιώντας υπερήχους, είχε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις από συστατικά που καθορίζουν την ποιότητα του αιθέριου ελαίου. Αλλά αξίζει να σημειωθεί ότι παράλληλα αυξήθηκε και η ποσότητα του αιθέριου ελαίου



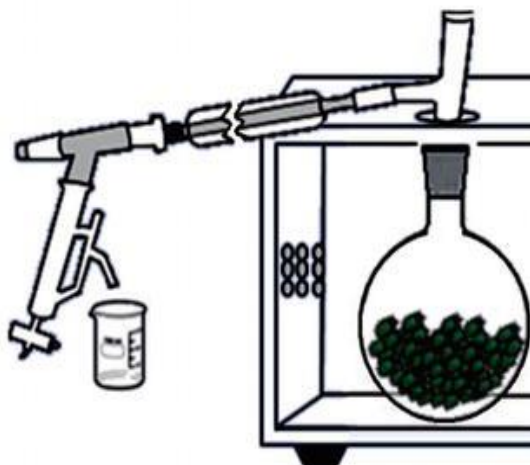
Εικόνα 8: Απεικόνιση εκχύλισης υποβοηθούμενης με υπερήχους σε εργαστηριακή κλίμακα

1.2.2.3 Εκχύλιση υποβοηθούμενη με μικροκύματα (Microwave Assisted Extraction)

Η μέθοδος αυτή αναπτύχθηκε, με σκοπό τη μείωση του χρόνου εκχύλισης και τη βελτίωση της ποιότητας των αιθέριων ελαίων. Μπορεί να χωριστεί σε δύο κατηγορίες: 1) Εκχύλιση με διαλύτη υποβοηθούμενη με μικροκύματα και 2) Εκχύλιση με μικροκύματα χωρίς την χρήση διαλύτη.

Στην πρώτη, τα μικροκύματα χρησιμοποιούνται για να ζεστάνουν τον διαλύτη και τη φυτική ύλη. Αναφέρεται ως μία πράσινη μέθοδος λόγω της μείωσης κατανάλωσης ενέργειας (λόγω του κατά πολύ μειωμένου χρόνου απόδοσης), τη χρήση μικρών ποσοτήτων οργανικών διαλυτών και την αυξημένη απόδοση της ως διεργασία. Κάτω από τις κατάλληλες συνθήκες η ποιότητα και η απόδοση του αιθέριου ελαίου που παράγεται με αυτή την μέθοδο, μπορεί να συγκριθεί με αυτή ενός αιθέριου ελαίου που έχει παραχθεί με υδροαπόσταξη.

Στη δεύτερη κατηγορία για την παραγωγή αιθέριου ελαίου χρησιμοποιούμε ξηρή απόσταξη και το μέσο το οποίο θερμαίνει το φυτικό υλικό είναι τα μικροκύματα. Η θερμότητα που δέχεται το νερό που υπάρχει μέσα στην φυτική πρώτη ύλη, προκαλεί διόγκωση των κυττάρων και οδηγεί σε ρήξη των αδένων του φυτού που περιέχουν το αιθέριο έλαιο. Στη συνέχεια εξατμίζεται το αιθέριο έλαιο και το νερό που περιέχεται στο φυτό. Το εξατμισμένο μίγμα περνάει από συμπυκνωτή και το συμπύκνωμα συλλέγεται και διαχωρίζεται φυσικά λόγω των διαφορετικών πυκνοτήτων αιθέριου ελαίου και νερού. Τέλος, το νερό επιστρέφει στο καζάνι απόσταξης για να επαναληφθεί η διαδικασία.



Εικόνα 9: Απεικόνιση ξηρής απόσταξης με την χρήση μικροκυμάτων

Το σημαντικότερο πλεονέκτημα της εκχύλισης υποβοηθούμενη με μικροκύματα είναι ότι η μικρή ώρα εκχύλισης και οι ελάχιστες ποσότητες νερού που χρησιμοποιούνται, μειώνουν την πιθανότητα υδρόλυσης, εστεροποίησης ή οξειδωσης των ενώσεων που αποτελούν τα αιθέρια έλαια.

1.3 Χημική σύσταση

Τα αιθέρια έλαια αποτελούνται από πολλά διαφορετικά πτητικά συστατικά χαμηλού μοριακού βάρους, τα οποία ανάλογα με τη συγκέντρωσή τους χωρίζονται σε κύρια (20-95%), δευτερεύοντα (1-20%) και ιχνοστοιχεία (λιγότερο από 1%). Δύο αιθέρια έλαια από το ίδιο φυτό μπορεί να διαφέρουν ως προς την χημική σύνθεση και συνεπώς τη ποιότητα, διότι αυτές εξαρτώνται από διάφορους παράγοντες, όπως είναι: ο χρόνος συγκομιδής, η τοποθεσία, το μέρος του φυτού και η μέθοδος παραγωγής.

Τα πιο διαδεδομένα φυσικά αιθέρια έλαια είναι αυτά των εσπεριδοειδών και το μεγαλύτερο ποσοστό των εμπορικών φυσικών γέυσεων και αρωμάτων προέρχονται από αυτά. Τα αιθέρια έλαια εσπεριδοειδών είναι ένα σύνθετο μείγμα με περίπου 400 ενώσεις, από τις οποίες το 85 με 99% είναι πτητικές και το 1 με 15% μη πτητικές. Οι δραστικές ενώσεις τους είναι πολύ πτητικές και ευάλωτες στο οξυγόνο, τη θερμότητα και το φως. Οι πτητικές ενώσεις είναι ένα μείγμα μονοτερπενίων (όπως το λεμονένιο) και τερπενοειδών υδρογονανθράκων και τα οξυγονωμένα παράγωγά τους, συμπεριλαμβανομένων των αλδευδών, κετονών, οξέων, αλκοολών και εστέρων.

Τα αιθέρια έλαια των εσπεριδοειδών συγκεντρώνονται στον εξωτερικό φλοιό των φρούτων αυτών, που ονομάζεται flavedo. Το flavedo είναι μία λεπτή μεμβράνη στο εξωτερικό μέρος του φρούτου, η λεγόμενη 'επιδερμίδα', που καλύπτει το εξωκάρπιο το οποίο αποτελείται από ακανόνιστα παρεγχυματικά κύτταρα, που περιέχουν αδένες ή θύλακες ελαίου. Όταν αυτά εκχυλίζονται με την μέθοδο της ψυχρής έκθλιψης μπορεί να συναντήσουμε μερικές δυσκολίες. Το στρώμα albedo (η αλλιώς μεσοκάρπιο) απορροφά γρήγορα μεγάλο μέρος της ποσότητας αιθέριου ελαίου που απελευθερώνεται από το στρώμα flavedo, μειώνοντας κατά πολύ την τελική απόδοση. Επίσης από τα 'διαταραγμένα' κύτταρα του flavedo προέρχονται κηροί και πηκτίνες που δεσμεύουν το αιθέριο έλαιο κατά την παραλαβή του. Για τους παραπάνω λόγους είναι σχεδόν βέβαιο ότι θα χρειαστούν επιπλέον διεργασίες όπως η διήθηση και ο διαχωρισμός με φυγοκέντριση, για να έχουμε ένα διαυγές και καθαρό αιθέριο έλαιο ως τελικό προϊόν.

Τα τερπένια και τα τερπενοειδή, που είναι οξυγονωμένα παράγωγα των τερπενίων, αντιπροσωπεύουν τη πλειονότητα των μορίων που συνθέτουν τα αιθέρια έλαια. Τα τερπένια σαν κατηγορία μορίων χαρακτηρίζεται από το συνδυασμό μονάδων ισοπροπενίου (C_5H_8). Αποτελούν αποδεδειγμένα πολύτιμη πηγή 21 θεραπευτικών παραγόντων με φαρμακευτικές εφαρμογές, όπως αντιφλεγμονώδη, αντιοξειδωτικά, αντιθρομβωτικά, αντιπηκτικά, αντικαρκινικά και αναλγητικά. Ταξινομούνται ανάλογα με τον αριθμό των μονάδων ισοπροπενίου (C_5H_8) στη δομή τους. Τα μικρότερα τερπένια, έως τρεις μονάδες ισοπροπενίου, είναι πολύ πτητικά και η πτητικότητά τους είναι ανάλογη του αριθμού μονάδων ισοπροπενίου. Επιπλέον, ορισμένες ενώσεις της

συγκεκριμένης κατηγορίας αναφέρονται και ως ενισχυτές διείσδυσης για διαδερμική χορήγηση φαρμάκων και χρησιμοποιούνται ως έκδοχα νανοδομημένων συστημάτων.

Το αιθέριο έλαιο περιέχει υψηλές ποσότητες όχι μόνο τερπενίων αλλά και αλειφατικών μονοτερπενίων και οξυγονωμένων παραγώγων αυτών, όπως επίσης και αρωματικές ενώσεις. Σε διαφορετικές αναλογίες ένα αιθέριο έλαιο περιέχει: d-λιμονένιο, απινένιο, β-πιπένιο, β-μυρσένιο, λιναλοόλη και τερπινένιο. Το κύριο συστατικό τους είναι το d-λιμονένιο και η συγκέντρωσή του κυμαίνεται ανάλογ με το είδος του εσπεριδοειδού φρούτου. Στα πορτοκάλια κυμαίνεται από 70-98% το d-λιμονένιο και στα μανταρίνια από 50-70%. (Που είναι και τα κύρια εσπεριδοειδή που θα μελετήσουμε στην παρούσα εργασία.)

1.4 Ιδιότητες

1.4.1 Αντιμικροβιακή-Αντιμυκητιακή δράση

Τα αιθέρια έλαια εσπεριδοειδών φρούτων παρουσιάζουν ιδιαίτερα έντονη αντιμικροβιακή δράση. Όμως, λόγω της πολυπλοκότητας της σύστασής τους είναι αρκετά δύσκολο να συσχετιστεί η ιδιότητά τους αυτή με κάποιο συγκεκριμένο συστατικό, καθώς πολλά από αυτά δρουν ανταγωνιστικά ή συνεργιστικά. Εν γένει, η αντιμικροβιακή δράση των αιθέριων ελαίων οφείλεται στην παρουσία τερπενίων με αρωματικούς δακτυλίους που έχουν χημικό τύπο C₁₀H₁₆ και C₁₅H₂₄ και σε μια φαινολική υδροξυλομάδα ικανή να σχηματίζει δεσμούς υδρογόνου με τα ενεργά κέντρα ενζύμων. Ακόμη, συστατικά όπως αλκοόλες, αλδεΐδες και εστέρες συνεισφέρουν στην παρουσία αντιμικροβιακής δράσης στα πτητικά αυτά έλαια

Στη βιομηχανία τροφίμων υπάρχει υψηλή ανάγκη για σχεδιασμό συντηρητικών τροφίμων, που θα διασφαλίζουν την αδρανοποίηση τυχόν μικροβίων. Την συγκεκριμένη ανάγκη προσπαθούν να καλύψουν τα αιθέρια έλαια εσπεριδοειδών φρούτων, συντελώντας στην παραγωγή ασφαλέστερων προϊόντων με καλύτερες οργανοληπτικές ιδιότητες, καθώς η διατήρηση υψηλής θερμοκρασίας που εφαρμόζεται για την συντήρηση των τροφίμων αρκετές φορές αλλοιώνει τα χαρακτηριστικά αυτά. Για παράδειγμα, χρησιμοποιούνται για την προστασία και την αύξηση του ορίου ζωής του ημιαποβουτυρωμένου και χαμηλών λιπαρών γάλακτος.

Επίσης, τα αιθέρια έλαια πορτοκαλιού, λεμονιού, μανταρινιού και γκρέιπφρουτ επιδεικνύουν αντιμυκητιακή δράση ενάντια στους μύκητες *A.niger*, *A. flavus*, *P. chrysogenum* και *P. verrucosum*. Πιο συγκεκριμένα, το αιθέριο έλαιο του μανταρινιού αποτελεί τον καλύτερο παρεμποδιστή του μύκητα *A. flavus*, ενώ εκείνο του γκρέιπφρουτ δρα περισσότερο αποτελεσματικά στον περιορισμό της ανάπτυξης των μυκήτων, *P. Chrysogenum* και *P. Verrucosum*. Χαρακτηριστική αντιμυκητιακή δράση από τα

συστατικά των αιθέριων ελαίων του λεμονιού και του πορτοκαλιού εμφανίζει η κιτράλη. Ακόμη, τα πτητικά μονοτερπενικά συστατικά των αιθέριων ελαίων εσπεριδοειδών συνδέονται με την καταστολή και δύο άλλων μυκήτων, του *Penicillium digitatum* και του *P. Italicum*.

1.4.2 Εντομοκτόνος-Εντομοαπωθητική δράση

Κάποια συστατικά των αιθέριων ελαίων, όπως τα μονοτερπένια δημιουργούν θωράκιση των φυτών ενάντια σε φυτοφάγα έντομα. Τα μονοτερπένια βοηθάν στην καταπολέμηση των εντόμων αυτών: 1) λειτουργώντας ως εντομοαπωθητικά, 2) εμποδίζοντας την ανάπτυξη και την αναπαραγωγή τους, 3) είτε καθίστανται τοξικά για αυτά. Συγκεκριμένα τα πτητικά έλαια της φλούδας του μανταρινιού και του πορτοκαλιού, παρουσίασαν τοξικότητα απέναντι στο δεύτερο στάδιο της προνύμφης της *Sporoptera littoralis*. Αυτό οφείλεται στο λιμονένιο και την λιναλοόλη που ως συστατικά εμφανίζουν εντομοκτόνες ιδιότητες και υπάρχουν σε μεγάλες συγκεντρώσεις στις φλούδες των εσπεριδοειδών (πάνω από 70%) . Γι' αυτούς τους λόγους θεωρούνται μια πολύ καλή φυσική άμυνα ενάντια στην επίθεση των εντόμων και ως αποτελεσματικοί παρεμποδιστές της ανάπτυξης προνύμφων.

Σε τροπικές και υποτροπικές περιοχές, υπάρχει σύνδεση ανθρώπινων ασθενειών με έντομα και ένα από τα κυριότερα είναι τα κουνούπια. Τα κουνούπια αποτελούν έναν από τους κύριους λόγους ασθένειας ή θανάτου. Ασθένειες όπως η ελονοσία και ο δάγκειος πυρετός είναι χαρακτηριστικές ασθένειες που προκαλούνται από αυτά. Μάλιστα, για τον περιορισμό των επιπτώσεων τέτοιων εντόμων, γίνεται ψεκασμός του βιοτόπου με χημικά τα οποία αποτελούν κίνδυνο της δημόσιας υγείας. Γι' αυτό κρίνεται σκόπιμη και αναγκαία η χρήση φυσικών φυτικών ενώσεων, ως νυμφοκτόνα καθώς η πλειοψηφία αυτών δρουν ως εντομοκτόνα προνυμφών κουνουπιών ή απλώς ως απωθητικά κουνουπιών.

Ειδικότερα, τα εσπεριδοειδή φρούτα περιέχουν στοιχεία τα οποία έχουν αποδειχθεί αποτελεσματικά ενάντια στις ασθένειες του δάγκειου πυρετού και της ελονοσίας. Συγκεκριμένα τα εκχυλίσματα της φλούδας του πορτοκαλιού *C. Sinensis* επέδειξαν νυμφοκτόνο και εντομοκτόνο δράση απέναντι στα εξής είδη κουνουπιών: *A. aegypti*, *A. stephensi* και *C. Quinquefasciatus*, υπαίτια για τις ασθένειες της ελονοσίας, του δάγκειου πυρετού και του ιού του Δυτικού Νείλου.

1.4.3 Αντιφλεγμονώδης δράση

Μια φυσιολογική προστατευτική αντίδραση του οργανισμού στον τραυματισμό ή στην μόλυνση ενός ιστού είναι η φλεγμονή. Η φλεγμονή μπορεί να χρησιμεύσει στην καταπολέμηση εισβολής μικροοργανισμών, όπως επίσης και στην αφαίρεση νεκρών ή κατεστραμμένων κυττάρων. Η έντονη οξειδωση η οποία προκύπτει σε διάφορα κύτταρα (μονοκύτταρα, ουδετερόφιλα, ηωσινόφιλα και μακροφάγα) χαρακτηρίζεται ως φλεγμονώδη αντίδραση. Κατά τη διάρκεια της φλεγμονής πραγματοποιείται φαγοκύτωση των βακτηρίων, η οποία συνοδεύεται από τον σχηματισμό ριζών ανιόντων υπεροξειδίου (O_2), που γρήγορα μετατρέπονται σε υπεροξειδίο του υδρογόνου (H_2O_2), και ρίζες υδροηλίου (OH), οι οποίες με την σειρά τους την χρονική στιγμή που αντιδράσουν με πολυακόρεστα λιπαρά οξέα μετατρέπονται ευθέως σε περοξυλικές. Αυτές οι ρίζες είναι γνωστές ως δραστικές μορφές οξυγόνου (reactive oxygen species, ROS).

Λόγω του ότι ορισμένα αιθέρια έλαια είναι ικανά να δεσμεύουν ελεύθερες ρίζες, μπορούν να δράσουν σαν αντιφλεγμονώδεις παράγοντες. Η αντιφλεγμονώδης δράση των αιθέριων αυτών ελαίων έχει την τάση να αποδίδεται στις αλληλεπιδράσεις τους με τις κυτταροκίνες (κατάλληλοι σηματοδότες) και με παράγοντες μεταγραφής, όπως και στην έκφραση των προφλεγμονωδών γονιδίων. Πιο συγκεκριμένα, τα αιθέρια έλαια από φλούδες πορτοκαλιού, λεμονιού και μανταρινιού παρουσιάζουν καλή αντιφλεγμονώδη δραστηριότητα, η οποία συνδέεται με την δράση του τερπενίου d-λιμονενίου, καθώς αποτελεί και το κύριο συστατικό τους (με συγκέντρωση άνω του 70%). Πιο αναλυτικά, το d-λιμονένιο έχει την ικανότητα να παρεμποδίζει την δράση του ενζύμου 5-λιποξυγενάση, που προκαλεί την οξειδωση του αραχιδονικού οξέος, αντίδραση που παίζει καθοριστικό ρόλο στη φλεγμονή.

1.4.4 Αντικαρκινική δράση

Πολλά από τα μονοτερπένια που αποτελούν κύρια χαρακτηριστικά των αιθέριων ελαίων των εσπεριδοειδών, όπως: το α-τερπινένιο, η καρβόνη, η λιναλοόλη, το λιμονένιο, η σιτρονελλάλη και το καμφένιο, παρουσιάζουν αντικαρκινική δράση. Η κατανάλωση αυτών των αρωματικών ενώσεων μπορεί να βοηθήσει στην πρόληψη της υπεροξειδωσης των λιπιδίων, η οποία συνδέεται με τον καρκίνο. Για παράδειγμα το d-λιμονένιο το οποίο αποτελεί περισσότερο από το 70% της σύστασης των αιθέριων ελαίων από εσπεριδοειδή, φαίνεται να έχει χημειοπροληπτική δράση ενάντια στον καρκίνο του δέρματος, του ήπατος, των πνευμόνων, και του προστομάχου, όπως επίσης προκαλεί απόπτωση των καρκινικών κυττάρων. Επίσης υπάρχει μια αλκοόλη, η οποία αποτελεί ένα υδροξυλιωμένο ανάλογο του λιμονενίου και επιδεικνύει ανάλογη δράση ενάντια στον καρκίνο του ήπατος, του μαστικού αδένου, του παγκρέατος και του παχέος εντέρου στα τρωκτικά.

1.4.5 Αντι-ιική δράση

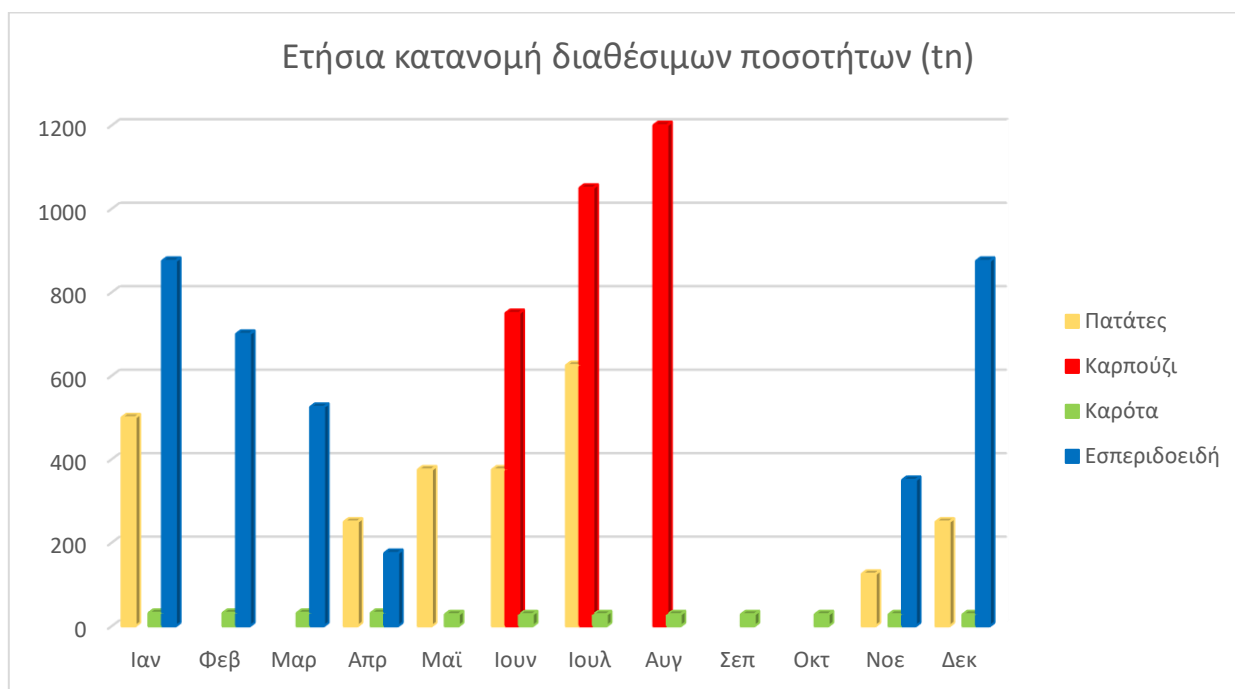
Διάφοροι ιοί, συμπεριλαμβανομένου του ανθρώπινου παθογόνου ιού του απλού έρπητος, που προκαλεί μερικές από τις πιο κοινές ιογενείς λοιμώξεις στους ανθρώπους, όπως βλεννογονοδερματική ερπητική λοίμωξη, ερπητική κερατίτιδα και εγκεφαλίτιδα, βρέθηκαν να είναι αρκετά επιρρεπείς στην ανασταλτική δράση των αιθέριων ελαίων. Γι' αυτό το λόγο τα αιθέρια έλαια μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως αντι-ιικά φάρμακα για την θεραπεία ιογενών λοιμώξεων. Μεταξύ αυτών, εκείνο του λεμονιού (*Citrus sinensis* essential oil) μειώνει το σχηματισμό πλάκας των δύο ιών του απλού έρπητος (HSV-1 και HSV-2) κατά 80%.

1.5 Τεχνικό μέρος

1.5.1 Ποσότητες φυτικής ύλης και μέθοδος απόσταξης

Στην παρούσα εργασία ως τρόπος παραγωγής των αιθέριων ελαίων επιλέχθηκε η απόσταξη με την χρήση ατμού. Οι λόγοι είναι ότι σαν μέθοδος, το αιθέριο έλαιο που εξάγει από την φυτική πρώτη ύλη έχει ανώτερη ποιότητα σε σχέση με άλλες μεθόδους και η ποσότητα που εξάγεται είναι αρκετά μεγάλη.

Οι πρώτες ύλες που είναι διαθέσιμες προς αξιοποίηση, είναι κατηγοριοποιημένες στο παρακάτω διάγραμμα, με βάση το βάρος σε τόνους και τον μήνα τον οποίο υπάρχουν στον συνεταιρισμό.



Εικόνα 10: Ετήσια κατανομή διαθέσιμων ποσοτήτων

1.5.1.1 Διαφορές προτεινόμενων μεθόδων απόσταξης

Από την βιβλιογραφία φαίνεται ότι για την παραγωγή αιθέριων ελαίων από εσπεριδοειδών, ενδείκνυνται δύο τρόποι: Η απόσταξη με ατμό και η ψυχρή έκθλιψη. Οι δύο αυτές διαφορετικές μέθοδοι παρουσιάζουν πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα, τα οποία πρέπει να ληφθούν υπόψιν ώστε να επιτευχθεί το αποτέλεσμα που θέλουμε. Βασικά πλεονεκτήματα της ψυχρής έκθλιψης όπως έχουν αναφερθεί και παραπάνω, είναι η ελάχιστη ώρα που χρειάζεται για να ολοκληρωθεί η διαδικασία (σε σχέση με την

απόσταξη) και ότι δεν χρειάζεται να προσφέρουμε θερμότητα. Αντίθετα η απόσταξη με την χρήση ατμού παρουσιάζει πλεονεκτήματα στην ποιότητα και την ποσότητα του τελικού προϊόντος.

1.5.1.2 Σύγκριση αποδόσεων (100g ίδιας ποικιλίας πορτοκαλιού)

Από τις βιβλιογραφικές πηγές που έχουν ληφθεί υπόψιν για την παρούσα εργασία ξέρουμε ότι από 100 g φλούδας πορτοκαλιού παίρνουμε περίπου 4.2 ml υπό τις εξής συνθήκες: 97°C θερμοκρασία απόσταξης, ατμοσφαιρική πίεση και χρόνος απόσταξης 4 ώρες. Επίσης για να επιτευχθεί τέτοια απόδοση θα πρέπει να έχει προηγηθεί πενταήμερη έκθεση στον ήλιο για ξήρανση και κατόπιν κονιοποίηση. Αν δεν προηγηθούν αυτές οι διεργασίες μπορούμε να περιμένουμε μέχρι και υπό-τριπλάσια απόδοση.

Επιπρόσθετα γνωρίζουμε ότι από την ψυχρή έκθλιψη μπορούμε να περιμένουμε απόδοση περίπου 1.5% του βάρους της φλούδας. Δηλαδή από τα ίδια 100 g φλούδας πορτοκαλιού, χωρίς τις διεργασίες που αναφέρθηκαν προηγουμένως για να γίνει ξήρανση της φλούδας, θα περιμέναμε 1.5 ml αιθέριου ελαίου. Στην ψυχρή έκθλιψη δεν χρειάζεται να γίνει ξήρανση της φλούδας διότι δεν θα επηρεάσει θετικά την απόδοση. Αυτές οι αποδόσεις και στις 2 περιπτώσεις αναφέρονται για να γίνει η σύγκριση μεταξύ των μεθόδων και αφορούν πορτοκάλια τις ίδιας ποικιλίας.

Οι αποδόσεις είναι γνωστό ότι αλλάζουν σε διαφορετικές ποικιλίες του ίδιου φρούτου πόσο μάλλον αν συγκρίνουμε και διαφορετικά φρούτα, γι' αυτό δεν μπορεί να δοθεί με ακρίβεια η απόδοση του κάθε φρούτου για κάθε μέθοδο ξεχωριστά.

1.5.1.3 Απόρριψη των καρπουζιών και των καρότων

Εκτός από τα εσπεριδοειδή που έχουμε διαθέσιμα για αξιοποίηση (κυρίως πορτοκάλια και μανταρίνια), υπάρχουν και ποσότητες καρπουζιών και καρότων που θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν στον τομέα των αιθέριων ελαίων. Είναι γνωστό ότι μπορούμε να παράγουμε αιθέρια έλαια από τους σπόρους των καρπουζιών και των καρότων. Όμως οι ποσότητες είναι πολύ μικρές και για να εξαχθούν οι σπόροι τους θα πρέπει να γίνει κάποια παραπάνω διεργασία. Η οποία ενδεχομένως να μην είναι τόσο εύκολη και μικρής ενεργειακής απαίτησης όπως η αφαίρεση της φλούδας από κάποιο εσπεριδοειδές. Γι' αυτούς τους λόγους και αν λάβουμε υπόψιν το γεγονός ότι για τα συγκεκριμένα αιθέρια έλαια δεν υπάρχει μεγάλη ζήτηση στην αγορά, οδηγούμαστε στην απόφαση ότι δεν θα έχουμε οικονομικό συμφέρον από την αξιοποίηση τους σε αυτόν τον τομέα. Οπότε θα χρησιμοποιηθούν σε κάποια άλλη διεργασία που θα μελετηθεί σε παρακάτω κεφάλαιο.

1.5.1.4 Λόγοι επιλογής απόσταξης με ατμό

Τα εσπεριδοειδή που έχουμε διαθέσιμα για την παραγωγή αιθέριου ελαίου θα υποβληθούν σε απόσταξη με ατμό, καθώς εξυπηρετεί τις υπόλοιπες διεργασίες που απαρτίζουν την κυκλική οικονομία που προσπαθούμε να πετύχουμε. Το d-λιμονένιο έχει κάποιες ιδιότητες οι οποίες αναστέλλουν την διαδικασία της αναερόβιας χώνεψης. Η απόσταξη με ατμό 'αφαιρεί' μεγαλύτερη ποσότητα d-λιμονενίου, το οποίο αποτελεί βασικό λόγο επιλογής της μεθόδου. Έτσι το φυτικό προϊόν που θα οδηγηθεί για αναερόβια χώνεψη θα έχει μικρή ποσότητα και αυτό επιτρέπει την παραγωγή του βιοαερίου.

1.5.2 Διαστασιολόγηση μονάδας απόσταξης

1.5.2.1 Απόσταξη ολόκληρων εσπεριδοειδών

Η πυκνότητα ενός πορτοκαλιού δεν είναι σταθερή, διαφέρει από πορτοκάλι σε πορτοκάλι και από ποικιλία σε ποικιλία. Η ενδεικτική μέση τιμή που θα χρησιμοποιήσουμε είναι τα 900 kg/m^3 (η τιμή προκύπτει από σύγκριση διαφόρων πηγών). Ο αριθμός αυτός μεταφράζεται ως εξής: για κάθε 1 λίτρο χώρου έχουμε 0.9 κιλά φυτικής ύλης. Εμείς ως αποστάξιμη πρώτη ύλη έχουμε τα εσπεριδοειδή (κυρίως πορτοκάλια και μανταρίνια) τα οποία είναι σε συνολική ποσότητα 3500 τόνους τον χρόνο. Αυτή η ποσότητα κατανέμεται όπως φαίνεται στον πίνακα 1.1. στο διάστημα 6 μηνών από Νοέμβριο μέχρι Απρίλιο.

Επειδή δεν έχουμε κάθε μήνα την ίδια ποσότητα φρούτων, η μονάδα μας δεν μπορεί να υπολογιστεί με βάση τον μήνα που έχουμε τις μικρότερες ποσότητες γιατί τότε θα έχουμε μεγάλες ποσότητες αναξιοποίητου υλικού. Αλλά ούτε μπορεί να γίνει με βάση τους μήνες που έχουμε τις μεγαλύτερες τιμές, διότι έτσι θα καταφέρουμε κάποιους μήνες να χρειάζεται να μετατρέψουμε σε αιθέρια έλαια ολόκληρες τις διαθέσιμες ποσότητες εσπεριδοειδών, ώστε να υπάρχει κέρδος από την λειτουργία της μονάδας. Οπότε θα γίνει διερεύνηση για μονάδα 2500 l η οποία έχει την δυνατότητα αξιοποίησης μεγάλου μέρους των ποσοτήτων.

$$2500 \text{ l} * 0.9 \text{ kg/l} = 2250 \text{ kg/απόσταξη}$$

$$2250 \text{ kg} * 4 \text{ αποστάξεις} = 9000 \text{ kg/μέρα}$$

$$9000 \text{ kg} * 25 \text{ μέρες/μήνα} = 225000 \text{ kg/μήνα}$$

Δυνατότητα αξιοποίησης ποσότητας 225 tn/μήνα

Άρα αξιοποιούνται $225 * 7 = 1575 \text{ tn/year}$, το οποίο από την ολική ποσότητα που έχουμε προς αξιοποίηση (3500 tn) αντιστοιχεί περίπου στο 45%. Οι αποστάξεις είναι τέσσερις, καθώς η απόσταξη διαρκεί περίπου τέσσερις ώρες και θεωρήσαμε ότι ο

συνεταιρισμός λειτουργεί δεκαέξι ώρες την ημέρα σε δύο βάρδιες των οκτώ ωρών για εικοσιπέντε ημέρες τον μήνα.

1.5.2.2 Απόσταξη φλούδας εσπεριδοειδών

Όπως είδαμε παραπάνω θα πρέπει η μονάδα απόσταξης να βρίσκεται σε λειτουργία όλη μέρα και να πραγματοποιηθούν πολλές αποστάξεις. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η ποσότητα της ενέργειας που θα προσφέρουμε, σε σχέση με το αιθέριο έλαιο που θα παράγουμε, θα είναι πολύ μεγάλη. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το αιθέριο έλαιο βρίσκεται στην φλούδα του πορτοκαλιού και το υπόλοιπο μέρος δεν χρειάζεται να υποβληθεί σε απόσταξη. Ενδεχομένως να ήταν πιο συμφέρον να χρησιμοποιήσουμε μια συσκευή ώστε να γίνει ένα πρώτο στάδιο χυμοποίησης και να μείνει ως 'απόβλητο' της διαδικασίας αυτής η φλούδα του πορτοκαλιού και του μανταρινιού. Τα οποία 'απόβλητα' δηλαδή οι φλούδες των εσπεριδοειδών θα χρησιμοποιηθούν για απόσταξη. Η φλούδα μετά την διεργασία για την εξαγωγή χυμού αντιπροσωπεύει περίπου το 20% (w/w) ολόκληρου του φρούτου και έχει υγρασία 60%. Με βάση διάφορες πηγές η φαινομενική πυκνότητα της φλούδας αφού περάσει από διαδικασία κονιοποίησης είναι 450 kg/m^3 . Οπότε αν εκτελέσουμε τους ίδιους υπολογισμούς, έχουμε:

$2500 \text{ l} * 0.45 \text{ kg/l} = 1125 \text{ kg/απόσταξη}$

$1125 \text{ kg} * 4 \text{ αποστάξεις} = 4500 \text{ kg/μέρα}$

$4500 \text{ kg} * 25 \text{ μέρες/μήνα} = 112500 \text{ kg/μήνα}$

Οι 112.5 τόνοι τον μήνα αφορούν το βάρος από φλούδες πορτοκαλιών που αποκτήσαμε μετά την χυμοποίηση, που όπως αναφέρθηκε είναι το 20% (w/w) από την συνολική ποσότητα. **Άρα το πραγματικό βάρος των πορτοκαλιών που αξιοποιούνται είναι 562.5 τόνοι τον μήνα.** Δηλαδή **3937.5 τόνοι στους επτά μήνες** και επειδή δεν έχουμε την ίδια ποσότητα κάθε μήνα θα μπορούσαμε μετά την χυμοποίηση να αποθηκεύουμε τις φλούδες σε θερμοκρασία από 8 έως 14 βαθμούς κελσίου και να τις χρησιμοποιούμε με τέτοιο τρόπο ώστε να εξομαλυνθεί η κατανομή των ποσοτήτων, δεδομένου ότι υπάρχει δυνατότητα αποθήκευσης μέχρι και 30 μέρες χωρίς να επηρεαστεί η φυτική ύλη. Παρατηρούμε ότι οι ποσότητες που αξιοποιούνται είναι πολύ μεγαλύτερες από το αρχικό σενάριο, αυτό μας εξυπηρετεί στην διαδικασία της αναερόβιας χώνεψης διότι από όσο μεγαλύτερη ποσότητα απομακρύνουμε το δ-λιμονένιο, τόσο πιο πολύ αέριο θα μπορέσει να παραχθεί. Επίσης και ο χυμός από το πορτοκάλι μπορεί να οδηγηθεί για αναερόβια χώνεψη καθώς οι μεγάλες ποσότητες δ-λιμονένιου βρίσκονται στη φλούδα, έτσι δεν θα αποτρέψει την διαδικασία της χώνεψης.

Πρέπει να σημειωθεί ότι το παραπάνω σενάριο δεν μπορεί να υλοποιηθεί καθώς δεν υπάρχει τόση ποσότητα προς αξιοποίηση. Θα μπορούσαμε να πάμε σε μικρότερη μονάδα, κάτι που δεν έχει οικονομικό όφελος, ή να γίνει απόσταξη έξι μήνες τον χρόνο αντί για επτά.

Η οικονομική αξία των μηχανημάτων που θα χρειαστούμε θα αναφερθεί στο τελευταίο κεφάλαιο.

1.5.2.3 Σενάριο απόσταξης ολόκληρων πορτοκαλιών σε μονάδα 5000l εντός μιας βάρδιας (8άωρο)

Είναι σημαντικό να υπολογίσουμε το παρών σενάριο, καθώς πρέπει να συνυπολογιστεί και η βάρδια του προσωπικού ώστε να είναι η πρόταση μας όσο πιο κοντά στην πραγματικότητα γίνεται. Η απόσταξη θα κρατήσει 4 ώρες, σε συνθήκες ατμοσφαιρικής πίεσης και θερμοκρασίας περίπου 100°C.

5000 l * 0.9 kg/l = 4500 kg/απόσταξη

4500 kg * 2 αποστάξεις = 9000 kg/μέρα

9000 kg * 25 μέρες/μήνα = 225000 kg/μήνα

Δυνατότητα αξιοποίησης ποσότητας 225 tn/μήνα

Στο συγκεκριμένο σενάριο παρατηρούμε **ότι η ποσότητα αξιοποίησης ανά επτά μήνες θα είναι 1575 τόνοι**, σε σχέση με τους 3500 που έχουμε προς αξιοποίηση είναι αρκετά μικρή ποσότητα. Αυτό που θα μπορούσε να γίνει είναι είτε να διπλασιάσουμε τις μονάδες απόσταξης είτε να διπλασιάσουμε τις βάρδιες. Προφανώς είναι στο συμφέρον του συνεταιρισμού να γίνει πρόσληψη κάποιον ακόμα υπαλλήλων ώστε να γίνουν 2 οι βάρδιες που θα λειτουργεί ο αποστακτήρας.

Αν τελικά έχουμε 4 αποστάξεις αντί για 2, στους 6 μήνες **θα αξιοποιούμε την διπλάσια ποσότητα φρούτων δηλαδή 3150 τόνους**. Όπως αναφέρθηκε και στην προηγούμενη διερεύνηση μας εξυπηρετεί ένα τέτοιο νούμερο αξιοποίησης λόγω της αναερόβιας χώνευσης. Ακόμα μπορούμε να αποθηκεύσουμε τα πορτοκάλια τους μήνες που έχουμε πάνω από 540 τόνους διαθέσιμης ποσότητας και να τα αποστάξουμε άλλο μήνα που θα είναι μικρότερη η διαθέσιμη ποσότητα από 540 τόνους. Η αποθήκευση θα γίνει σε ψυγείο από 8 έως 14 βαθμούς κελσίου και είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι τα πορτοκάλια υπό αυτές τις συνθήκες μπορούν να αποθηκευτούν και 1 μήνα χωρίς να επηρεαστούν.

1.5.2.4 Δυσκολίες στον ακριβή υπολογισμό των αξιοποιήσιμων ποσοτήτων πρώτης ύλης και της ποσότητας αιθέριου ελαίου

Οι ποσότητες που υπολογίστηκαν στην παραπάνω διερεύνηση περιμένουμε να είναι λίγο μικρότερες, καθώς η συνολική ποσότητα εσπεριδοειδών αποτελείται από πορτοκάλια και μανταρίνια. Οι φλούδες των μανταρινιών θα έχουν παρόμοια πυκνότητα αλλά μικρότερη, όπως και ολόκληρο το μανταρίνι. Επειδή όμως δεν γνωρίζουμε το ακριβές ποσοστό των μανταρινιών εκ του συνόλου, δεν μπορούμε να κάνουμε κάποιον υπολογισμό. Επίσης γνωρίζουμε ότι τα μανταρίνια έχουν μικρότερη ποσότητα αιθέριου ελαίου από το πορτοκάλια και κατά συνέπεια θα έχουν πιο μικρή απόδοση. Η φλούδα του πορτοκαλιού περιέχει περίπου 5.4kg αιθέριου ελαίου, από τα οποία το 90% θα είναι d-λιμονένιο. Ενώ η φλούδα του μανταρινιού περιέχει μόλις 3.5 kg αιθέριου ελαίου, που από τα οποία το 70% θα είναι d-λιμονένιο.

1.5.2.5 Κατάλληλη ροή ατμού για απόσταξη

Η κατάλληλη ροή ατμού για απόσταξη εσπεριδοειδών διαφέρει για κάθε φρούτο και για κάθε ποικιλία. Επηρεάζεται επίσης από τον εξοπλισμό και τις συνθήκες απόσταξης. Για να είναι κατάλληλη η ροή ατμού που θα χρησιμοποιήσουμε, θα πρέπει να προκύψει από την σύγκριση δεδομένων που θα προκύψουν από την επανάληψη της διαδικασίας, κρατώντας όλα τα δεδομένα ίδια εκτός της ροής ατμού. Ωστόσο μπορεί να γίνει θεωρητική προσέγγιση της ροής ατμού ώστε να γίνει διαστασιολόγηση του ατμολέβητα που θα παράγει τον ατμό.

Ξέρουμε ότι η διαδικασία της απόσταξης χρειάζεται τέσσερις ώρες για να ολοκληρωθεί. Τα πρώτα σαράντα λεπτά περίπου, αφορούν τον χρόνο που απαιτείται για να φτάσουμε σε συνθήκες απόσταξης. Οπότε η ενέργεια που θα πρέπει να προσφέρουμε μέσω του ατμού για να φτάσουμε σε συνθήκες απόσταξης σε 40 λεπτά είναι:

$$Q = \frac{m * cp * \Delta T}{t}$$

Q: Η ενέργεια που πρέπει να προσφέρουμε ανά ώρα.

m: Η μάζα των πορτοκαλιών.

Cp: Η ειδική θερμοχωρητικότητα των φρέσκων πορτοκαλιών.

ΔT: Η θερμοκρασιακή διαφορά της τελικής μείον την αρχική θερμοκρασία.

t: Ο χρόνος που θα επιτευχθεί η αύξηση της θερμοκρασίας.

Αν διαιρέσουμε την απαιτούμενη προσφερόμενη ενέργεια ανά ώρα με την ειδική ενθαλπία που θα έχει ο ατμός στις συνθήκες που θα παράγεται, θα βρούμε την ροή ατμού που χρειαζόμαστε για να προσφέρουμε την απαιτούμενη ενέργεια. Αυτό το βλέπουμε και από την εξίσωση:

$$Q = \frac{dm}{dt} * h$$

Q: Η ενέργεια που πρέπει να προσφέρουμε ανά ώρα

dm/dt: Η ροή του ατμού σε κιλά ανά ώρα (kg/h)

h: Η ειδική ενθαλπία του ατμού

Ο ατμός θα παράγεται με πίεση 10 bar, θερμοκρασία περίπου 180 βαθμούς κελσίου και ειδική ενθαλπία 2777 kJ/kg.

Με συνδυασμό των δύο παραπάνω εξισώσεων έχουμε:

$$\frac{dm}{dt} = \frac{m * cp * \Delta T}{t * h}$$

Αντικαθιστώντας παίρνουμε:

$$dm/dt = 4500 * 3.77 * (97 - 17) / ((40/60) * 2777)$$

$$dm/dt = 733.09 \text{ kg/h}$$

2 ΛΥΟΦΙΛΙΩΣΗ-ΚΡΥΟΞΗΡΑΝΣΗ

2.1 Γενικά Στοιχεία

2.1.1 Εισαγωγή

Κρυοξήρανση ή αλλιώς λυοφιλίωση ονομάζεται η διεργασία της ξήρανσης με κατάψυξη, η οποία χρησιμοποιείται για την αφύγρανση υγρών ή στερεών προϊόντων υψηλής υγρασίας. Η συγκεκριμένη διεργασία βρίσκει εφαρμογή σε αρκετούς κλάδους της βιομηχανίας όπως είναι η συντήρηση τροφίμων, η παρασκευή φαρμάκων κ.α. Υπάρχουν και εφαρμογές σε τομείς όπως είναι η συντήρηση αρχειακού υλικού ή ακόμα και συντήρηση υλικού αρχαιολογικού ενδιαφέροντος.

Εκτός από την συντήρηση τροφίμων η κρυοξήρανση μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την ξήρανση φρούτων. Παράγωγο αυτής της διεργασίας θα είναι αποξηραμένα φρούτα, τα οποία ως προϊόν έχουν μεγάλη ζήτηση στην αγορά. Λόγω της ζήτησης συμπεραίνουμε ότι η λυοφιλίωση είναι μία καλή μέθοδος για να δημιουργήσουμε αξία σε φρούτα τα οποία υπό άλλες συνθήκες θα κατέληγαν απόβλητα.

2.1.2 Κρυοξήρανση στο παρελθόν

Αναφορές στη λυοφιλίωση φαίνονται να υπάρχουν από πολύ παλιά, κυρίως στην εποχή των Incas, οι οποίοι κατοικούσαν σε μεγάλο υψόμετρο, στο Περού, χρησιμοποιούσαν μια παρόμοια τεχνική για να συντηρούν τις πατάτες τους. Παρασκευάζανε έναν πολτό, που τον αφυδατώνουν εκθέτοντάς τον στο ψύχος και την ελαττωμένη ατμοσφαιρική πίεση που επικρατεί στο υψόμετρό τους. Με αυτόν τον τρόπο, παρασκευάζουν μια σκόνη που μπορεί να φυλαχθεί ως και τέσσερα χρόνια. Η σκόνη αυτή μπορεί να ενυδατωθεί ανά πάσα στιγμή και ο πουρές που θα προκύψει, έχει κρατήσει το μεγαλύτερο μέρος των θρεπτικών συστατικών της πατάτας.

Στην Ευρώπη, η εξάχνωση του πάγου ήταν ήδη γνωστή από τα μέσα του 18ου αι., και η πρώτη προσπάθεια για την αφυδάτωση βιολογικών ιστών έγινε στη Λειψία το 1890, όπου ο Altman έθεσε ιστούς παγωμένους στους $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ σε ξηραντήρα και στη συνέχεια εφάρμοσε κενό. Η ανάπτυξη της βιομηχανικής κρυοξήρανσης έγινε στις πρώτες δεκαετίες του 20ου αι., με αφορμή τη μεγάλη ζήτηση για πλάσμα αίματος, αφού μελετήθηκαν τόσο οι επιστημονικές αρχές όσο και οι πρακτικές λεπτομέρειες της διεργασίας.

2.1.3 Πεδία εφαρμογών

Η κρουζήρανση ως διεργασία έχει ευρύ πεδίο εφαρμογής, από την αφυδάτωση τροφίμων μέχρι και την παρασκευή φαρμακευτικών ουσιών. Οι διάφορες επιλογές αξιοποίησης αυτής της διεργασίας, αποτελούν κίνητρο για μελέτη τόσο της ίδιας της διεργασίας, όσο και μελέτη για την κατάλληλη ενσωμάτωση της σε κάποια παραγωγική διαδικασία. Όπως φαίνεται υπάρχει ζήτηση για την εν λόγω διεργασία, όμως δεν πραγματοποιείται κρουζήρανση πάντα με τις ίδιες συνθήκες. Η κάθε κατηγορία εφαρμογής της κρουζήρανσης χρειάζεται ξεχωριστή μελέτη, καθώς κάποιες εφαρμογές όπως η παραγωγή φαρμακευτικών ουσιών, απαιτούν αυστηρώς ελεγχόμενες συνθήκες κατά την κρουζήρανση.

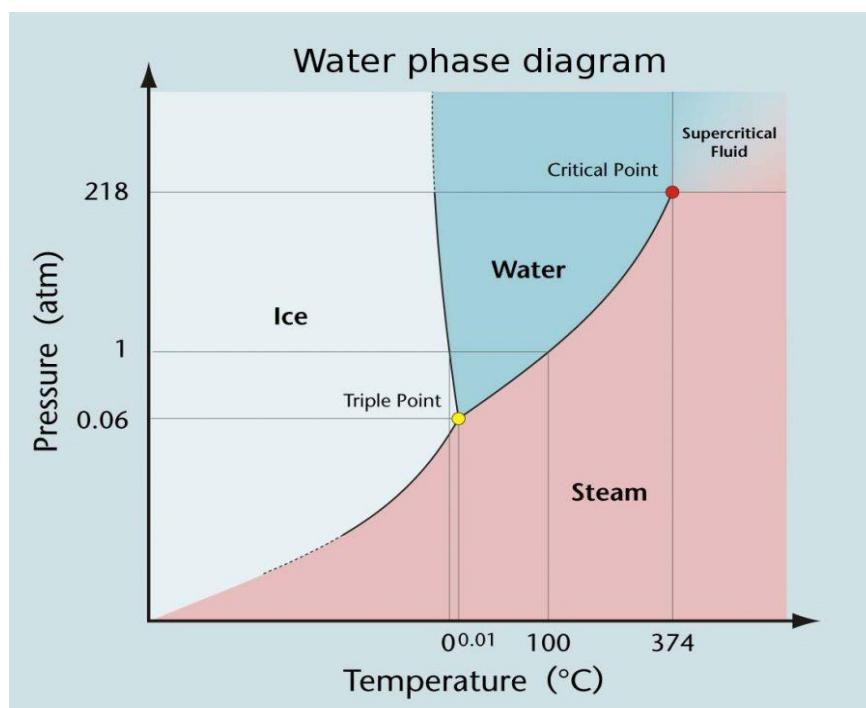
Είναι απαραίτητη να γίνει εξερεύνηση όλων των πεδίων εφαρμογών με σκοπό την βελτιστοποίηση, ώστε να δίνει η διαδικασία το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα με την καλύτερη απόδοση του συστήματος. Εκτός από την γνωστή εφαρμογή της συντήρησης τροφίμων και της παραγωγής αποξηραμένων φρούτων, υπάρχουν και πεδία εφαρμογής όπως είναι η παραγωγή φαρμακευτικών ουσιών που είναι λιγότερο γνωστά αλλά εξίσου σημαντικά. Για παράδειγμα η κρουζήρανση ως διαδικασία χρησιμοποιείται στην συντήρηση ολόκληρων μικροοργανισμών όπως είναι τα πρωτόζωα, τα μικρόβια, τα ένζυμα κ.ά. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί επίσης και για μεγάλα ζώα που πρέπει να διατηρηθεί ο ιστός και η εμφάνιση του ζώου, καθώς πρόκειται γίνει έκθεμα σε κάποιο μουσείο.



Εικόνα 11: Απεικόνιση ξήρανσης εμβολίων

2.1.4 Αρχή της κρουοξήρανσης

Η διαδικασία της κρουοξήρανσης αποτελείται από τρία στάδια: 1) ψύξη, 2) αρχική ξήρανση και 3) δευτερεύουσα ξήρανση. Όπως έχει αναφερθεί στην εισαγωγή, η κρουοξήρανση είναι μέθοδος απομάκρυνσης υγρασίας κάνοντας το νερό να αλλάξει κατευθείαν από στερεή φάση (πάγος) σε αέρια φάση (υδρατμοί). Για να επιτευχθεί αυτό θα πρέπει οι συνθήκες που επικρατούν κατά την διαδικασία να είναι 'κάτω' από το τριπλό σημείο. Το τριπλό σημείο είναι το κρίσιμο σημείο που επισημάνει ότι για συνθήκες 'κάτω' από αυτό μπορούμε να περάσουμε από στερεά σε αέρια φάση χωρίς να περάσει το νερό από την υγρή φάση (εικόνα 2.1). Το τριπλό σημείο του ύδατος αφορά θερμοκρασία 0 βαθμών κελσίου και πίεση 6,11 mbar, στην πράξη κατά την διάρκεια της ξήρανσης με κατάψυξη η πίεση που επικρατεί κυμαίνεται μεταξύ 0,25 και 0,65 mbar.



Εικόνα 12: Διάγραμμα φάσεων νερού

2.1.4.1 Ψύξη

Για να πραγματοποιηθεί η διεργασία, θα πρέπει αρχικά να ψυχθεί η πρώτη ύλη σε θερμοκρασία κάτω των 0 βαθμών κελσίου. Σε αυτό το βήμα είναι σημαντικό να γίνει η ψύξη όσο πιο χαμηλά από το εϋτηκτο σημείο είναι δυνατόν. Επίσης η μέθοδος με την οποία ψύχεται η πρώτη ύλη μπορεί να παίξει σημαντικό ρόλο στο τελικό προϊόν. Η γρήγορη ψύξη έχει ως αποτέλεσμα να σχηματίζονται μικροί κρύσταλλοι, οι οποίοι δυσκολεύουν την κρουοξήρανση, Ενώ, η αργή ψύξη, έχει ως αποτέλεσμα μεγαλύτερους παγοκρυστάλλους και λιγότερα περιοριστικά κανάλια μέσα στη μήτρα κατά την διάρκεια της ξήρανσης.

2.1.4.2 Αρχική ξήρανση

Σε αυτό το στάδιο, πρέπει να δημιουργηθούν συνθήκες στις οποίες θα μπορεί να αφαιρεθεί ο πάγος μέσω της εξάχνωσης από το πλέον παγωμένο υλικό που θέλουμε να ξηραθεί. Η πίεση μειώνεται στην τάξη των mbar και διοχετεύεται αρκετή θερμότητα για να πραγματοποιηθεί εξάχνωση. Έτσι αφαιρείται το 95% της ποσότητας του νερού που βρίσκεται μέσα στην πρώτη ύλη. Τελικό αποτέλεσμα αυτού του μέρους της κρουοξήρανσης θα είναι ένα ξηρό δομικά άθικτο φυτικό υλικό. Οι δύο συνθήκες που ελέγχονται προσεχτικά είναι η θερμοκρασία και η πίεση που επικρατούν κατά την διάρκεια της διεργασίας. Η θερμότητα που χρειάζεται να διοχετευτεί για να γίνει εξάχνωση του πάγου, μπορεί να διοχετευτεί με διάφορους τρόπους: για παράδειγμα η θερμότητα μπορεί να μεταφερθεί μέσω των ραφιών, στα οποία τοποθετούμε την φυτική πρώτη ύλη, μέσω ηλεκτρισμού ή καυτού λαδιού που κυκλοφορεί στο εσωτερικό τους.

Μία άλλη μέθοδος είναι να χρησιμοποιήσουμε την ήδη υπάρχουσα θερμότητα του περιβάλλοντος όπως γίνεται στις συσκευές πολλαπλής ξήρανσης. Η αρχική ξήρανση είναι η πιο χρονοβόρα διαδικασία του κύκλου ξήρανσης, μπορεί να κρατήσει σε κάποιες περιπτώσεις 2-3 ημέρες (όταν αναφερόμαστε σε βιομηχανικές μονάδες κρουοξήρανσης). Αυτό συμβαίνει λόγω του προσεκτικού ελέγχου στην θερμότητα που προσφέρουμε, αφού αν προσθέσουμε περισσότερη θερμότητα από όσο χρειάζεται μπορεί να αλλοιωθεί η δομή του τελικού προϊόντος. Τέλος, ο συμπυκνωτής προσφέρει την επιφάνεια του ώστε να επαναστερεωποιηθούν οι υδρατμοί. Με σκοπό να μην προλάβουν να φτάσουν στην αντλία κενού και να μειώσουν την απόδοσή της.

2.1.4.3 Δευτερεύουσα ξήρανση

Μετά την ολοκλήρωση της αρχικής ξήρανσης, υπάρχει ένα ποσοστό 'εγκλωβισμένης' υγρασίας μέσα στο προϊόν. Το ποσοστό αυτό μπορεί να φτάσει και το 8%, ενώ το προϊόν είναι φαινομενικά ξηραμένο. Οπότε στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιείται μια διαδικασία η οποία ονομάζεται ισοθερμική εκρόφηση. Η διαδικασία αυτή είναι στην ουσία ξήρανση σε πιο υψηλή θερμοκρασία ώστε να ελαττωθεί η υγρασία που έχει απομείνει σε κατάλληλο ποσοστό. Όλες οι συνθήκες για την δευτερεύουσα ξήρανση παραμένουν ίδιες. Το μόνο που αλλάζει είναι η θερμοκρασία, η οποία είναι υψηλότερη από την διαθέσιμη αλλά πάντα ταιριάζει στο υλικό το οποίο υποβάλλεται σε ξήρανση. Επισημαίνεται ότι η πίεση πρέπει να είναι όσο πιο χαμηλά γίνεται και η θερμοκρασία του συλλέκτη όσο πιο κρύα μπορεί να διατηρηθεί. Συνήθως η διαδικασία ολοκληρώνεται στο 1/3 με 1/2 του χρόνου ο οποίος απαιτείται για την αρχική ξήρανση και με την υγρασία του τελικού προϊόντος να είναι περίπου 1% με 5%.

2.1.5 Εξοπλισμός κρυοξήρανσης

Τις συσκευές λυοφιλίωσης τις βρίσκουμε σε διάφορες παραλλαγές, υπάρχουν συσκευές που διαφέρουν η μία από την άλλη τόσο στον τρόπο λειτουργίας τους, όσο και στον όγκο τον οποίο τις συναντάμε. Για παράδειγμα υπάρχουν συσκευές οι οποίες μπορούν να χωρέσουν σε έναν πάγκο κουζίνας (συσκευές οικιακής χρήσης), αλλά υπάρχουν και συσκευές οι οποίες ο όγκος τους είναι ανάλογος ενός δωματίου (συσκευές βιομηχανικής χρήσης).

Ωστόσο, η αρχή λειτουργίας οποιασδήποτε συσκευής και τα βασικά μέρη τα οποία τις απαρτίζουν, παραμένουν κοινά:

- Θάλαμος κενού
(Ο κυρίως χώρος στον οποίο λαμβάνει χώρα η διαδικασία.)
- Σύστημα ψύξης
(Η διάταξη που είναι υπεύθυνη για την ψύξη του θαλάμου και της πρώτης ύλης.)
- Αντλία κενού
(Η συσκευή που προκαλεί μείωση της πίεσης μέσα στον θάλαμο.)
- Σύστημα θέρμανσης
(Η διάταξη που θερμαίνει την πρώτη ύλη)
- Συμπυκνωτής
(Η δουλειά του συμπυκνωτή είναι η συγκέντρωση της υγρασίας που παράγεται κατά την κατεδάφιση.
- Σύστημα ελέγχου
(Η διάταξη η οποία είναι υπεύθυνη για την ομαλότητα της διαδικασίας.)

Υπάρχει όμως διαφοροποίηση όσον αφορά το σύστημα της θέρμανσης:

- Μέσω επαφής
(Η θέρμανση της πρώτης ύλης πραγματοποιείται με την επαφή του με μία θερμότερη επιφάνεια.)
- Μέσω ακτινοβολίας
(Η μεταφορά θερμότητας πραγματοποιείται με ακτινοβολήση του προϊόντος από μία πηγή υπέρυθρης ακτινοβολίας.)
- Μέσω μικροκυμάτων
(Αυτή η μέθοδος είναι πολύ κοντά με την μέθοδο της ακτινοβολίας, αλλά διαφέρει στην συχνότητα της ακτινοβολίας η οποία είναι μεγαλύτερη.)

2.2 Μέθοδοι κρουοξήρανσης

2.2.1 Πολλαπλή κρουοξήρανση

Στη συγκεκριμένη μέθοδο, υπάρχουν αμπούλες με το εκάστοτε προϊόν οι οποίες τοποθετούνται στις διαφορετικές θύρες τις οποίες φέρει ο θάλαμος ξήρανσης. Το προϊόν το οποίο έχουμε μέσα στις αμπούλες είναι απαραίτητα να είναι προκατεψυγμένο. Η κατάψυξη γίνεται μέσα σε καταψύκτη, εκθέτοντας απευθείας το προϊόν σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες ή τοποθετώντας το σε περιστρεφόμενη φιάλη, αυτό καθορίζεται από τη φύση του προϊόντος και τον όγκο που πρόκειται να ξηραθεί. Το προϊόν αφού καταψυχθεί θα πρέπει αμέσως να προσαρτηθεί στον θάλαμο ξήρανσης ώστε να μην ανέβει καθόλου η θερμοκρασία. Ταυτόχρονα με την προσάρτηση του θα πρέπει ακαριαία να δημιουργηθεί κενό στη φιάλη την οποία βρίσκεται το υλικό, βασιζόμεστε στο γεγονός ότι η ψύξη όντας απότοκο της εξάτμισης θα κρατήσει χαμηλή την θερμοκρασία του προϊόντος. Εισχώρηση θερμότητας στο σύστημα μπορεί να επιτευχθεί, είτε με την έκθεση των φιαλών στην θερμοκρασία του περιβάλλοντος, είτε μέσω εξαναγκασμένης κυκλοφορίας αέρα σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Για προϊόντα τα οποία χρειάζονται αυστηρώς ελεγχόμενη θερμοκρασία η πολλαπλή κρουοξήρανση δεν είναι κατάλληλη.



Εικόνα 13: Ξηραντήρας για πολλαπλή ξήρανση

Η πολλαπλή κρυοξήρανση έχει διάφορα πλεονεκτήματα, ειδικότερα σε σύγκριση με την μέθοδο 'παρτίδων'. Για παράδειγμα, οι φιάλες που φέρουν το προϊόν έχουν η καθεμία ξεχωριστή διαδρομή απευθείας στο συλλέκτη. Αυτό δημιουργεί συνθήκες ελάττωσης του 'ανταγωνισμού' για μοριακό χώρο, αντίθετα στη μέθοδο 'παρτίδων' υπάρχει υψηλός 'ανταγωνισμός'. Ένα ακόμα πλεονέκτημα είναι ότι οι φιάλες μπορούν να αφαιρεθούν κατά την ολοκλήρωση της ξήρανσης χωρίς να επηρεάσουν την υπόλοιπη διαδικασία, αυτό μας εξυπηρετεί εφόσον έχουμε διαφορετικά προϊόντα ή και όγκους στο να ολοκληρώνεται ανεξάρτητα η κάθε ξήρανση ξεχωριστά.

Κάποια μειονεκτήματα είναι: 1) Η διαδικασία της πολλαπλής κρυοξήρανσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μικρούς όγκους προϊόντων και προϊόντα με υψηλή εύτηκτη θερμοκρασία και θερμοκρασία κατάρρευσης, 2) Δεν μπορούμε να έχουμε αυστηρώς ελεγχόμενες θερμοκρασίες.

2.2.2 Μέθοδος ξήρανσης παρτίδων

Στη μέθοδο ξήρανσης παρτίδων, χρησιμοποιείται δίσκος ξήρανσης στον οποίο τοποθετούμε πολλές παρόμοιες φιάλες ίδιου μεγέθους οι οποίες φέρουν ίδιο προϊόν. Το προϊόν συνήθως είναι προκατεψηγμένο όταν το τοποθετούμε στο δίσκο. Επίσης σε αντίθεση με την μέθοδο πολλαπλής ξήρανσης, είναι εφικτή η διατήρηση του ακριβούς ελέγχου της θερμοκρασίας και της ποσότητας της θερμότητας που εφαρμόζεται στο προϊόν. Όλες οι φιάλες οι οποίες απαρτίζουν την παρτίδα περνάνε ακριβώς την ίδια διεργασία και σε γενικές γραμμές εκτίθενται στις ίδιες συνθήκες.

Απειροελάχιστες διαφορές στην εισερχόμενη θερμότητα από το ράφι είναι δυνατόν να προκύψουν. Φιάλες οι οποίες βρίσκονται πιο κοντά στην πόρτα μπορεί να θερμαίνονται μέσω της ακτινοβολίας που προέρχεται από εκείνη, αυτό μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα μικρές διαφορές στη υγρασία που θα μείνει στο τέλος της διαδικασίας.

Η μέθοδος αυτή επιτρέπει την διαδικασία όλων των φιαλών να τερματίσει την ίδια στιγμή, αυτό σιγουρεύει ένα ομοιόμορφο περιβάλλον και ομοιόμορφη σταθερότητα του προϊόντος κατά την αποθήκευση. Γι' αυτό και χρησιμοποιείται για να ξηράνει μεγάλες ποσότητες από φιάλες του ίδιου

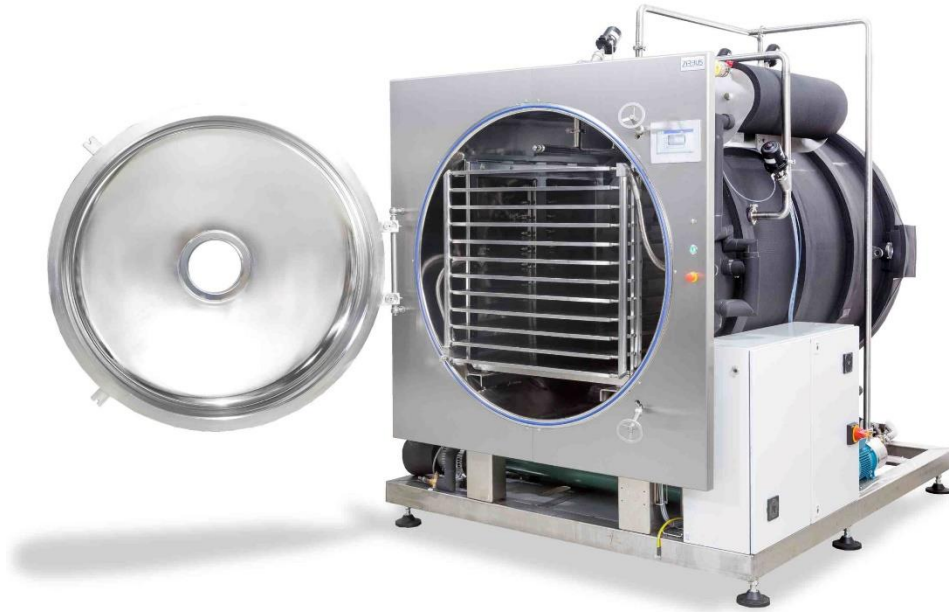


Εικόνα 14: Ξηραντήρας για ξήρανση παρτίδων

2.2.3 Μέθοδος μαζικής ξήρανσης

Η μέθοδος μαζικής ξήρανσης ως επί το πλείστον πραγματοποιείται σε ξηραντήρα με δίσκους όπως και η προηγούμενη μέθοδος. Όμως βασική διαφορά είναι ότι το προϊόν ξηραίνεται ως ενιαία μονάδα. Ακόμα και αν το προϊόν, καθώς είναι απλωμένο σε ολόκληρη την επιφάνεια, έχει το ίδιο πάχος με το προϊόν που ξηραίνεται με την μέθοδο ξήρανσης παρτίδας, λόγω της έλλειψης των κενών μέσα στην μάζα από το προϊόν ο ρυθμός που εισέρχεται η θερμότητα αλλάζει.

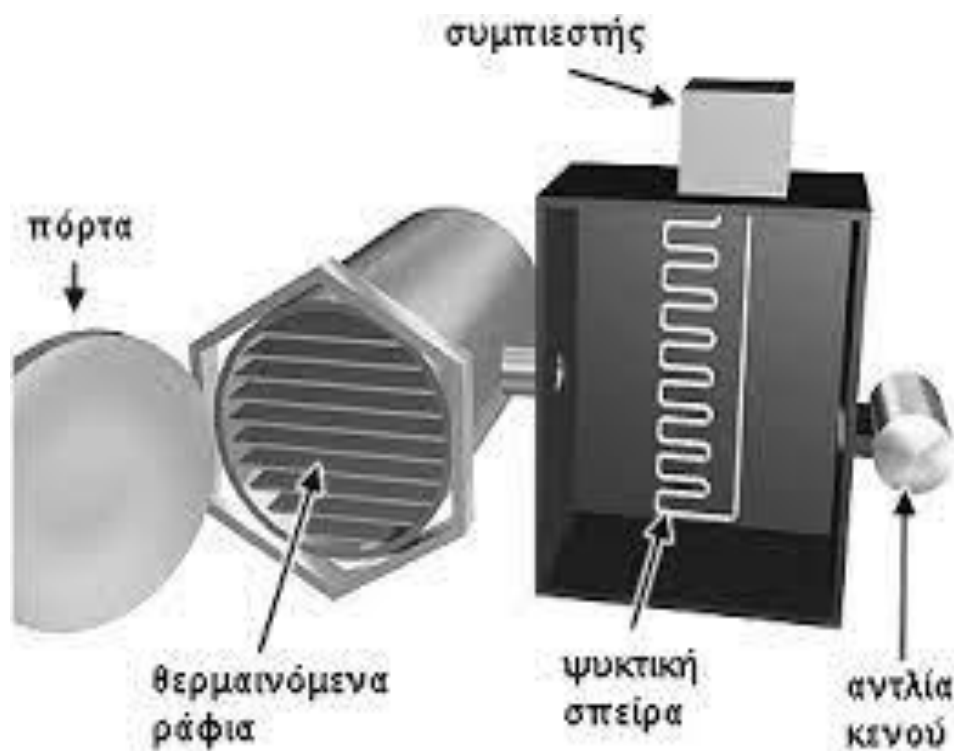
Η μέθοδος αυτή συνήθως χρησιμοποιείται για προϊόντα τα οποία είναι σταθερά και δεν είναι υπερευαίσθητα στο οξυγόνο ή την υγρασία. Ο λόγος είναι, ότι δεν γίνεται 'σφράγισμα' του προϊόντος κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες όπως γίνεται στις προηγούμενες δύο μεθόδους. Συνήθως το αφυδατωμένο προϊόν 'βγαίνει' από την συσκευή κρυοξήρανσης πριν γίνει εγκλεισμός του σε κάποια συσκευασία και στην συνέχεια αποθηκεύεται σε αεροστεγής συσκευασίες.



Εικόνα 15: Ξηραντήρας για μαζική ξήρανση

2.3 Συσκευή κρυοξήρανσης

Παρακάτω απεικονίζεται η συσκευή ξήρανσης με κατάψυξη.



Εικόνα 16: Απεικόνιση συσκευής λυοφιλίωσης με θερμαινόμενα ράφια

2.3.1 Θάλαμος κενού

Ο θάλαμος κενού είναι ο θάλαμος μέσα στον οποίο πραγματοποιείται η διαδικασία της κρυοξήρανσης, ονομάζεται κενού διότι το μεγαλύτερο μέρος της διαδικασίας λαμβάνει χώρα σε συνθήκες πίεσης οι οποίες τείνουν στο μηδέν. Εκτός από μεγάλες απαιτήσεις όσον αφορά την πίεση έχουμε μεγάλες απαιτήσεις και στην θερμοκρασία καθώς επικρατούν θερμοκρασίες περίπου $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$, επομένως χρειαζόμαστε έναν θάλαμο στεγανό (ώστε να διατηρήσουμε το κενό) και θερμομονωμένο (ώστε να κρατήσουμε την θερμοκρασία χαμηλά). Ακόμα, η κατασκευή θα πρέπει να αντέξει την σύνθλιψη στην οποία θα υποβληθεί όταν επικρατούν συνθήκες κενού στο εσωτερικό της.

2.3.2 Σύστημα θέρμανσης

Επιτυγχάνεται θέρμανση των προϊόντων που βρίσκονται στα ράφια με αγωγή, όταν αυξάνουμε την θερμοκρασία των ραφιών εξαναγκάζοντας ρευστό με ήδη υψηλή θερμοκρασία να κυκλοφορήσει μέσα από αυτά. Το ρευστό έχει ήδη υψηλή θερμοκρασία, διότι έχει προσδοθεί θερμότητα πριν την κυκλοφορία του στα ράφια μέσω ενός ηλεκτρικού θερμαντήρα. Όταν η θερμοκρασία του ρευστού γίνει υψηλότερη από την επιθυμητή θερμοκρασία, ενεργοποιείται η αντλία αναγκάζοντάς το να κυκλοφορήσει μέσα από τα ράφια με σκοπό την μεταφορά θερμότητας από το ρευστό σε αυτά. Ο λόγος που δίνεται η εντολή στην αντλία όταν το ρευστό έχει μεγαλύτερη θερμοκρασία από την επιθυμητή, είναι ότι θα φέρει πιο γρήγορα το προϊόν στην επιθυμητή θερμοκρασία διότι αυξάνεται ο ρυθμός μεταφοράς θερμότητας. Βεβαίως, αξίζει να σημειωθεί ότι δεν είναι επιθυμητή η μεγάλη απόκλιση της θερμοκρασίας του ρευστού από την επιθυμητή θερμοκρασία.

2.3.3 Σύστημα ψύξης

Το σύστημα ψύξης αποτελείται από μια κλασσική διάταξη ψύξης και περιλαμβάνει έναν εξατμιστή, τον συμπηκνωτή, μία εκτονωτική διάταξη τον συμπιεστή και στο ψυκτικό υγρό. Το ψυκτικό υγρό κυκλοφορεί μέσα σε αυτήν την διάταξη ως μέσω που αξιοποιώντας της ιδιότητες του καταφέρνουμε να ψύξουμε έναν χώρο. Εκμεταλλευόμαστε την ιδιαίτερη θερμοκρασία κορεσμού που έχει το ψυκτικό υγρό, αλλά και την λανθάνουσα θερμότητα κατά την αλλαγή των φάσεων (από υγρή σε αέρια και το ανάποδο). Αυτό συμβαίνει στον εξατμιστή, που όπως φαίνεται από το όνομα, είναι ο χώρος όπου το ψυκτικό υγρό καθώς ρέει μέσα σε αυτόν εξατμίζεται και ανταλλάσσει θερμότητα με το περιβάλλον. Η ανταλλαγή θερμότητας γίνεται διότι το ψυκτικό μέσω έχει πολύ μικρότερη θερμοκρασία από τον περιβάλλοντα χώρο και έτσι απορροφάει θερμότητα από αυτόν.

2.4 Τεχνικό μέρος

Οι ποσότητες οι οποίες θα υποστούν κρυοξήρανση, θα υπολογιστούν με βάση την χωρητικότητα της συσκευής ξήρανσης που θα προτείνουμε. Αφού οι περισσότερες ποσότητες από το προς αξιοποίηση υλικό θα χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή αιθέριων ελαίων, δεν χρειάζεται να διαστασιολογήσουμε υπερβολικά μεγάλη μονάδα για ξήρανση.

2.4.1 Διάρκεια ξήρανσης και προετοιμασία φυτικής ύλης

Οι ώρες τις οποίες πραγματοποιείται η ξήρανση διαφέρουν ανάλογα με την πρώτη ύλη, την αρχική περιεκτικότητα υγρασίας, την περιεκτικότητα υγρασίας που θέλουμε να φτάσουμε κ.α. Ένας εξίσου σημαντικός παράγοντας είναι το πάχος του τρόφιμου, καθώς αν διπλασιάσουμε το πάχος τετραπλασιάζεται ο χρόνος που διαρκεί η διαδικασία. Ο συγκεκριμένος παράγοντας όμως θα καθοριστεί από την 'προετοιμασία' της φυτικής ύλης. Η κοπή θα γίνει από ειδικό μηχάνημα (slicer) το οποίο θα είναι ρυθμισμένο έτσι ώστε το τελικό προϊόν που θα προκύπτει να έχει το πάχος 1cm όσον αφορά τα εσπεριδοειδή. Ένα πιθανό σενάριο είναι τους καλοκαιρινούς μήνες να χρησιμοποιηθεί κάποιο μέρος από την διαθέσιμη ποσότητα καρπουζιών για κρουοξήρανση. Η κρουοξήρανση των καρπουζιών προϋποθέτει σαν προετοιμασία της φυτικής ύλης τον διαχωρισμό της φλούδας με το εσωτερικό μέρος, το οποίο και θα ξηράνουμε, καθώς και την κοπή του εσωτερικού σε κομμάτια πάχους περίπου 5-6 cm για ομοιόμορφο αποτέλεσμα στην ξήρανση. Η προετοιμασία που χρειάζονται τα καρπούζια δεν μπορεί να γίνει με κάποιο μηχάνημα και απαιτεί πολύ μεγαλύτερο χρόνο ενασχόλησης του προσωπικού ανά φρούτο σε σχέση με τα εσπεριδοειδή.

Χωρίς να γίνει κάποιος πειραματικός ή θεωρητικός υπολογισμός του χρόνου ξήρανσης και συγκρίνοντας πηγές, που έχουν πραγματοποιήσει ξήρανση σε παρόμοια πρώτη ύλη με εκείνη που καλούμαστε να διαχειριστούμε. Καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι δεν μπορούν να ολοκληρωθούν δύο κύκλοι ξήρανσης μέσα σε δεκαέξι ώρες (δύο βάρδιες των οκτώ ωρών). Έτσι αποφασίζουμε ότι θα πραγματοποιήσουμε έναν κύκλο ξήρανσης την μέρα, ότι διάρκεια και αν έχει.

2.4.2 Διαστασιολόγηση μονάδας

Στην περίπτωση που εξετάζουμε, καλούμαστε να διαχειριστούμε μεγάλες ποσότητες φυτικής ύλης. Έτσι καταλαβαίνουμε ότι μια μικρή μονάδα κρουοξήρανσης δεν θα είχε κάποιο αντίκτυπο στην διαχείριση τους. Επειδή όμως έχουμε επιλέξει να αξιοποιήσουμε το μεγαλύτερο μέρος της πρώτης ύλης αποστάζοντας το, λόγω της δυνατότητας μεγάλου όγκου επεξεργασίας που προσφέρει η απόσταση και της απομάκρυνσης στοιχείων που δυσκολεύουν την αναερόβια χώνευση. Πρέπει να γίνει η διαστασιολόγηση κατά τέτοιον τρόπο ώστε να αξιοποιείται μεγάλο μέρος της φυτικής ύλης που δεν αποστάζεται και να μην γίνει υπερδιαστασιολόγηση με αποτέλεσμα η αρχική επένδυση να αργήσει να αποπληρωθεί και να αργήσει να υπάρξει κέρδος.

Με βάση τις ποσότητες που έχουμε να διαχειριστούμε, η δυναμική της μονάδας που ταιριάζει στην περίπτωση μας είναι 300 kg νερού για έναν κύκλο. Αυτό αν τα πορτοκάλια έχουν 80% υγρασία μεταφράζεται σε 375 kg φρούτου. Τα οποία λαμβάνοντας υπόψιν και τα κενά που θα έχουν μεταξύ τους οι φέτες των εσπεριδοειδών

(που θα είναι το κύριο προς ξήρανση προϊόν) μπορούμε να θεωρήσουμε ότι θα είναι 350 kg.

Για την περίπτωση των καρπουζιών θα είναι πολύ λιγότερο το βάρος που θα υπόκειται σε ξήρανση, εφόσον το εσωτερικό του καρπουζιού έχει μεγαλύτερη σχετική υγρασία. Συνυπολογίζοντας και τα κενά μεταξύ των κομματιών του καρπουζιού υπολογίζουμε εμπειρικά ότι το βάρος της προς ξήρανση ποσότητας καρπουζιών θα είναι 280-300 kg.

Άρα αν χρησιμοποιούνται κάθε μέρα 350 kg φέτες εσπεριδοειδών για την ξήρανση, στις 25 μέρες λειτουργίας που δουλεύει το προσωπικό τον μήνα θα έχουμε χρησιμοποιήσει 8.7 τόνους από την διαθέσιμη προς αξιοποίηση ποσότητα. Μια ποσότητα υπολογίσιμη και για τον όγκο που διαχειριζόμαστε και για την ποσότητα τελικού προϊόντος που θα είναι διαθέσιμο προς πώληση. Εξίσου και με τα καρπούζια αν θεωρήσουμε ότι το βάρος είναι 280 kg, στις 25 μέρες λειτουργίας θα έχουμε χρησιμοποιήσει 7 τόνους (αν θεωρηθεί ότι ένα μήνα το καλοκαίρι θα χρησιμοποιούμε για ξήρανση μόνο καρπούζια).

Στην τεχνοοικονομική ανάλυση που πραγματοποιείται στο τελευταίο κεφάλαιο της εργασίας έχει υπολογιστεί η λειτουργία της μονάδας μόνο για την ξήρανση εσπεριδοειδών. Η λειτουργία της μονάδας θα πραγματοποιείται 11 μήνες τον χρόνο και 1 μήνα θα γίνεται η συντήρηση του εξοπλισμού.

2.4.3 Τελικό προϊόν

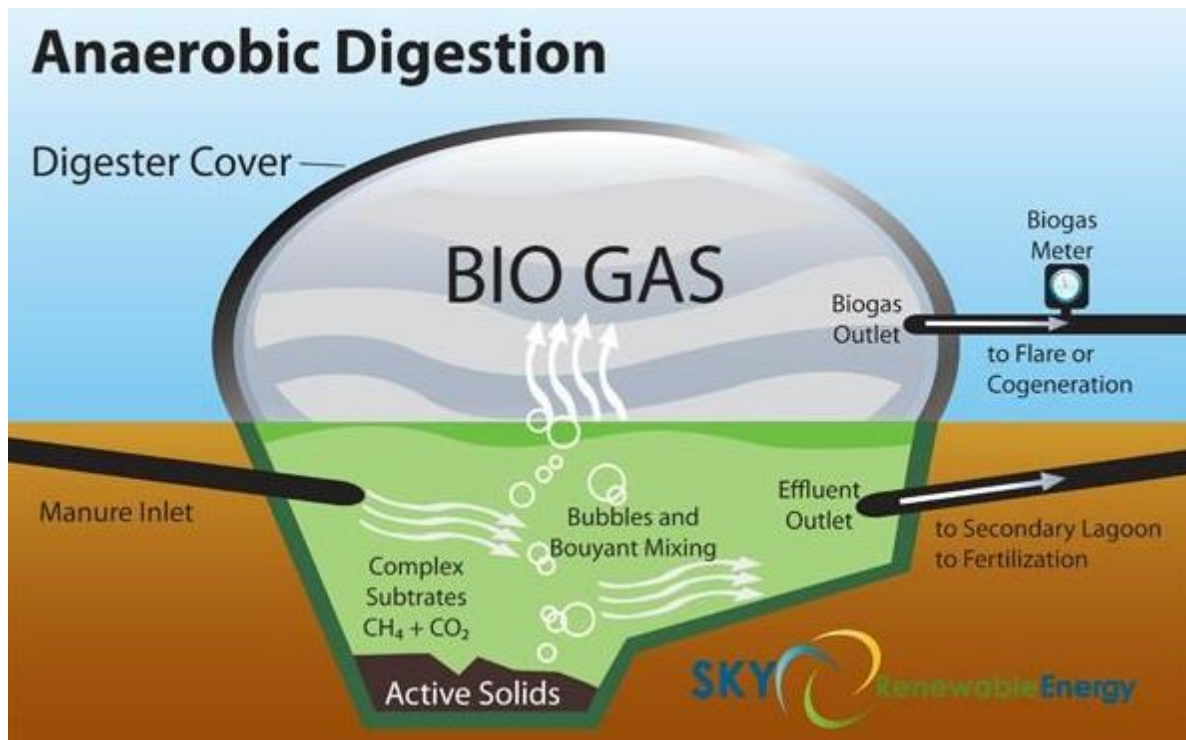
Το τελικό αποξηραμένο προϊόν που θα προκύψει θα είναι ένα χημικά σταθερό αποξηραμένο φρούτο, που έχει κρατήσει τα χαρακτηριστικά της αρχικής ύλης (άρωμα, χρώμα κ.α.), με σχετική υγρασία περίπου 5%. Το οποίο θα πρέπει να συσκευαστεί αεροστεγώς αμέσως μετά την ξήρανση, κατόπιν επαναφοράς του σε θερμοκρασία δωματίου, διότι είναι ευαίσθητο στην απορρόφηση υγρασίας το οποίο θα οδηγήσει στο να χαλάσει το προϊόν πρόωρα. Ένα σωστά ξηραμένο προϊόν παρουσιάζει μακροπρόθεσμη σταθερότητα και περιμένουμε να έχει ημερομηνία λήξης τουλάχιστον έναν χρόνο μετά την ημερομηνία ξήρανσής του.

3 Βιοαέριο-Συμπαγωγή

3.1 Γενικά στοιχεία Βιοαερίου

3.1.1 Εισαγωγή

Το βιοαέριο, όπως προδίδει και το όνομά του, είναι ένα αέριο το οποίο μπορεί να παραχθεί από υπολείμματα-οργανικά απόβλητα από τη βιομηχανία τροφίμων, λύματα, κοπριά από κτηνοτροφικές εγκαταστάσεις, καθώς και ενεργειακές καλλιέργειες όπως: καλαμπόκι, χορτάρι, δημητριακά, ζαχαροκάλαμο και άλλα ανανεώσιμα υποπροϊόντα τα οποία θα έμεναν ανεκμετάλλευτα απόβλητα. Αποτελείται κυρίως από μεθάνιο (CH_4) και θεωρείται μία πηγή ανανεώσιμης ενέργειας. Η ενέργεια που κερδίζουμε κατά την καύση του αερίου (είτε θερμική είτε ηλεκτρική) θα παραγόταν υπό άλλες συνθήκες από την καύση μη ανανεώσιμων υδρογονανθράκων όπως το φυσικό αέριο. Στην πραγματικότητα όχι μόνο ξοδεύουμε κάτι το οποίο βρίσκεται σε περιορισμένο απόθεμα, αλλά πετάμε και ύλη η οποία με την κατάλληλη επεξεργασία θα μπορούσε να μετατραπεί σε καύσιμο για παραγωγή ενέργειας. Όπως καταλαβαίνουμε αυτού του είδους οι ενέργειες δεν είναι βιώσιμες, γι' αυτό και τα τελευταία χρόνια όλο και περισσότερος κόσμος τείνει προς την εκμετάλλευση όλων των διαθέσιμων πόρων που διαθέτει.



Εικόνα 17: Διαδικασία Αναερόβιας Χώνευσης

3.1.2 Βιοαέριο στο παρελθόν

Το βιοαέριο έχει παρατηρηθεί από αρχαιοτάτων χρόνων, ωστόσο αποτυπώθηκε χημικά περίπου το 1800 από τον Dalton. Μετά την αποτύπωση του Dalton, άρχισε ένα κύμα εξερεύνησης τρόπων παραγωγής βιοαερίου. Τρόποι όπως η αερόβια και η αναερόβια χώνευση εξερευνήθηκαν ώστε να αποκαλυφθεί η μικροβιολογική βάση των διαδικασιών. Το 1868 ο Bechamp ήταν ο πρώτος που υπόδειξε σε θεωρητικό επίπεδο ότι το μεθάνιο προκύπτει από μια μικροβιολογική διαδικασία.

Οι μηχανισμοί των τελευταίων τάσεων όσον αφορά την αναερόβια χώνευση, όσο εντυπωσιακό και αν φαίνεται, έχουν πρώτο-αποτυπωθεί σε αρχική μορφή περισσότερα από 100 χρόνια πίσω. Λίγο αργότερα, το 1933, χάρη στη δουρεία των Buswell και Boruff, καθιερώθηκαν θεωρητικοί υπολογισμοί για τη δυναμική του μεθανίου.

Χρήσεις που είχε το βιοαέριο στο παρελθόν ήταν αρκετές, αν και οι περισσότερες είναι στο σύντομο παρελθόν (τα τελευταία 200 χρόνια). Από την χρήση μεθανίου απλά για την ζέση νερού για μπάνιο, μέχρι και την χρήση για την φωταγώγηση δρόμων. Το 1890 υπάρχουν αναφορές για ένα δοχείο στο οποίο εισέρχονταν λύματα και στη συνέχεια γινότανε χώνευση, με αποτέλεσμα την παραγωγή βιοαερίου. Το αέριο αυτό συλλεγόταν και χρησιμοποιούταν για την φωταγώγηση δρόμων στο Exeter, της Αγγλίας.

3.1.3 Παραγωγή Βιοαερίου

Υπάρχουν δύο κύριοι τρόποι παραγωγής βιοαερίου: 1) Αναερόβια χώνευση, 2) Αερόβια χώνευση. Η κάθε μία έχει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.

3.1.3.1 Αναερόβια χώνευση

Η αναερόβια χώνευση είναι μια διαδικασία η οποία εφαρμόζεται μέσα σε κλειστούς βιοαντιδραστήρες. Το υλικό τοποθετείται σε κλειστό χώρο και με την βοήθεια μηχανικής ανάμειξης υφίσταται αναερόβια αποσύνθεση. Η αναερόβια χώνευση της βιομάζας πραγματοποιείται σε συνθήκες έλλειψης οξυγόνου και είναι η βακτηριακή αποδόμηση σύνθετων οργανικών μορίων σε πιο απλά μόρια (μεθανίου και διοξειδίου του άνθρακα). Ολόκληρη η διαδικασία διαρκεί περίπου δύο με τρεις εβδομάδες και γίνεται σε τρεις θερμοκρασιακές ζώνες που κυμαίνονται μεταξύ των 20 και 55 βαθμών Κελσίου. Κατά την τέλεση της διαδικασίας παράγεται βιοαέριο υψηλής περιεκτικότητας σε μεθάνιο, το οποίο συνήθως χρησιμοποιείται για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών των εγκαταστάσεων. Συνήθως η αποθήκευση του παραγόμενου βιοαερίου δεν συνιστάται, καθώς απαιτούνται μεγάλοι αποθηκευτικοί χώροι οι οποίοι ισοδυναμούν σε μεγάλα χρηματικά ποσά.

3.1.3.2 Αερόβια χώνευση

Αερόβια χώνευση είναι η ελεγχόμενη βιοοξειδωση ετερογενών οργανικών υλικών, με τη βοήθεια ετερότροφων μικροοργανισμών οι οποίοι βιοαποδομούν τα οργανικά συστατικά με γρήγορο ρυθμό, μετατρέποντας τα σε διοξείδιο του άνθρακα. Αφού καταναλωθεί η οργανική ύλη τα βακτήρια πεθαίνουν και καταναλώνονται από άλλα βακτήρια. Η διαδικασία πραγματοποιείται παρουσία οξυγόνου γι' αυτό και το λειτουργικό κόστος είναι πολύ μεγαλύτερο σε σχέση με την αναερόβια χώνευση, εξαιτίας του ενεργειακού κόστους για τον αερισμό που χρειάζεται ώστε να επιτευχθεί η προσθήκη του οξυγόνου.

3.2 Αναερόβια χώνευση

Η αναερόβια χώνευση είναι μια εκ των διεργασιών βιολογικής οξείδωσης αποβλήτων και παραγωγής βιοαερίου. Οξείδωση των αποβλήτων ονομάζεται μια σειρά βιοχημικών αντιδράσεων, με τις οποίες οξειδώνονται διάφορες οργανικές ουσίες που περιέχονται στα απόβλητα. Ενώ παραγωγή βιοαερίου ονομάζουμε την μετατροπή της οργανικής ύλης σε αέριο. Το βιοαέριο, που είναι το αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας, αποτελείτε κυρίως από Μεθάνιο (CH_4) και διοξείδιο του άνθρακα (CO_2). Δεν είναι το μοναδικό αποτέλεσμα της αναερόβιας χώνευσης το βιοαέριο, ένα ακόμη αποτέλεσμα της διαδικασίας είναι το κομπόστ που παράγεται από το υπόλειμμα που βρίσκεται στον πυθμένα της δεξαμενής αναερόβιας χώνευσης μετά το πέρας της χώνευσης. Το οποίο είναι ένα εδαφοβελτιωτικό υψηλής θρεπτικής αξίας και μπορεί να αξιοποιηθεί με πολλούς και χρήσιμους τρόπους.

3.2.1 Πλεονεκτήματα αναερόβιας χώνευσης

- A. Η αναερόβια χώνευση χρησιμοποιεί υλικά που υπάρχουν σε άφθονες ποσότητες. Τα απόβλητα παρουσιάζουν αρνητικό οικολογικό αποτύπωμα από μόνα τους, οπότε η επεξεργασία και η αξιοποίησή τους, τείνει να γυρίσει τη ζυγαριά προς την μεριά του θετικού οικολογικού αποτυπώματος.
- B. Συνεισφέρει στην μείωση της ανάγκης αξιοποίησης ορυκτών καυσίμων, αφού το βιοαέριο μετά από κατάλληλη επεξεργασία παρουσιάζει μεγάλη θερμιδική αξία και χρησιμοποιείται για παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας.
- C. Μείωση των αερίων που προκαλούν το φαινόμενο του θερμοκηπίου.
- D. Απομάκρυνση δυσάρεστων οσμών από τα απόβλητα.
- E. Από το υπόλειμμα της διεργασίας παράγεται κομπόστ υψηλής θρεπτικής αξίας που είναι κατάλληλο για χρήση ως λίπασμα σε γεωργικές καλλιέργειες.
- F. Απομακρύνεται το υψηλό οργανικό φορτίο που βρίσκεται στα απόβλητα.
- G. Σε σχέση με τις αερόβιες διεργασίες έχει χαμηλότερες ενεργειακές απαιτήσεις και δεν χρειάζεται οξυγόνο.
- H. Οικονομικά κέρδη και οφέλη από τις νέες επενδύσεις.

3.2.2 Μειονεκτήματα αναερόβιας χώνευσης

- A. Οι επενδύσεις που χρειάζονται έχουν πολύ υψηλό κόστος και είναι δύσκολο να βρεθεί το αρχικό κεφάλαιο για να εγκατασταθούν όλα τα συστήματα επεξεργασίας του βιοαερίου για να αξιοποιηθεί σε βέλτιστο βαθμό.
- B. Τα μεθανογόνα βακτήρια που χρησιμοποιούνται είναι πολύ ευαίσθητα σε τοξικές ενώσεις.
- C. Απαιτείται υψηλή τεχνογνωσία για τον σχεδιασμό και τη λειτουργία της μονάδας.
- D. Η έναρξη της διαδικασίας χρειάζεται αρκετό χρόνο καθώς ο εγκλιματισμός της μικροβιακής καλλιέργειας απαιτεί μεγάλη χρονική διάρκεια. Το διάστημα εκκίνησης μπορεί να φτάσει χρονικό διάστημα μερικών εβδομάδων.

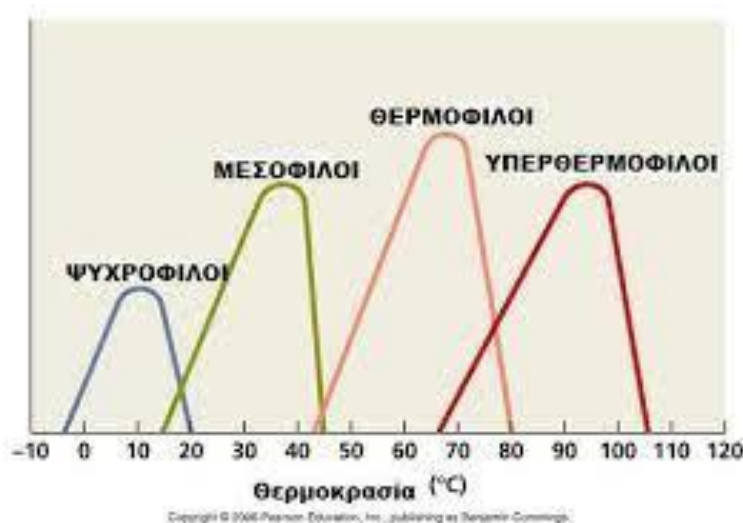
3.2.3 Παράγοντες που επηρεάζουν την αναερόβια χώνευση

3.2.3.1 Θερμοκρασία

Η θερμοκρασία είναι ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες που επηρεάζουν την αναερόβια χώνευση. Όπως ισχύει στις περισσότερες διεργασίες, στις οποίες παίζουν πρωταρχικό ρόλο μικροοργανισμοί όπως τα βακτήρια, με την αύξηση της θερμοκρασίας αυξάνεται και ο ρυθμός της αντίδρασης, μέχρι ενός σημείου. Όταν η θερμοκρασία περάσει το σημείο αυτό, μπορεί να αλλοιώσει και να τροποποιήσει τη δομή των κυτταρικών συστατικών καθιστώντας τα κύτταρα ανενεργά. Τα βακτήρια που συμμετέχουν στην αναερόβια χώνευση χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με την θερμοκρασιακή περιοχή που λειτουργεί βέλτιστα η ανάπτυξή τους:

- Ψυχρόφιλα: λειτουργούν σε θερμοκρασίες κάτω των 25 °C.
- Μεσόφιλα: λειτουργούν σε θερμοκρασίες μεταξύ 25 – 45 °C και βέλτιστη θερμοκρασιακή περιοχή για την λειτουργία των αναερόβιων συστημάτων πλησίον των 35 °C.
- Θερμόφιλα: λειτουργούν σε θερμοκρασίες από 45 – 65 °C, με αντίστοιχη βέλτιστη θερμοκρασιακή περιοχή για την λειτουργία των αναερόβιων συστημάτων τους 55 °C με 60 °C.

Από τις παραπάνω συνήθως χρησιμοποιούμε την μεσόφιλη και την θερμοφιλή.



Εικόνα 18: Θερμοκρασιακές Περιοχές

3.2.3.2 PH

Ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση της διεργασίας της αναερόβιας χώνευσης, είναι η τιμή του PH. Είναι ορισμένο και αποδεδειγμένο βιβλιογραφικά το εύρος των τιμών που επιτρέπουν αναερόβια ζύμωση, οι τιμές αυτές είναι 6-8,5. Εντός του εύρους των τιμών που μπορεί να υπάρξει αναερόβια χώνευση (6-8,5), υπάρχει και το εύρος της τιμής για βέλτιστη ανάπτυξη μεθανογενών βακτηρίων, το οποίο είναι 6,7-7,4. Όσο πιο μακριά από το εύρος αυτό βρίσκεται η τιμή του pH που επικρατεί, τόσο λιγότερα μεθανογενή βακτήρια αναπτύσσονται. Λόγω των λιγοστών μεθανογενών βακτηρίων, έχουμε μειωμένη παραγωγή μεθανίου, η οποία έχει ως αποτέλεσμα το βιοαέριο να αποτελεί καύσιμο μικρότερης απόδοσης. Καθώς η σύσταση του αποτελείται κυρίως από διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), κάτι που συνήθως είναι προϊόν καύσης. Άρα από το 100% του βιοαερίου που θα παραχθεί, μικρό ποσοστό θα μπορεί στην πραγματικότητα να υποβληθεί σε καύση.

Υπό φυσιολογικές συνθήκες λειτουργίας του χωνευτήρα είναι γνωστό ότι οι βιοχημικές αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα σε αυτόν, τείνουν να διατηρήσουν το pH στο εύρος τιμών που επιτρέπει αναερόβια ζύμωση. Τα παραγόμενα πτητικά οξέα που με την παρουσία τους μειώνουν την τιμή του pH, καταστρέφονται κατά την παραγωγή μεθανίου. Αν για οποιοδήποτε λόγο υπάρξει διαταραχή στην λειτουργία του χωνευτήρα και τα οξυγενή βακτήρια υπερτερούν αρκετά των μεθανογενών. Τότε θα ξεπεραστεί η ρυθμιστική ικανότητα του αντιδραστήρα και θα γίνει απότομη μείωση του pH. Έτσι, εξαιτίας του χαμηλού pH θα σταματήσει η παραγωγή μεθανίου και θα σταματήσουν να καταστρέφονται τα πτητικά οξέα. Με αποτέλεσμα την δημιουργία ενός όξινου αντιδραστήρα. Υπάρχουν δύο λύσεις για την αντιμετώπιση ενός τέτοιου φαινομένου: α)

σταματάμε την τροφοδοσία του αντιδραστήρα, ώστε τα μεθανογενή βακτήρια να έχουν αρκετό χρόνο για να καταστρέψουν τα πτητικά οξέα και σιγά-σιγά το pH να επανέλθει σε φυσιολογικά επίπεδα και β) προσθέτουμε χημικά που αυξάνουν το pH όπως το υδροξείδιο του ασβεστίου ή το όξινο ανθρακικό νάτριο για την άμεση σταθεροποίηση του pH.

3.2.3.3 Θρεπτικά στοιχεία

Τα θρεπτικά στοιχεία είναι απαραίτητα για το μεταβολισμό των μικροοργανισμών, διακρίνονται σε πρωτεύοντα και δευτερεύοντα. Τα πρωτεύοντα είναι αναγκαία για την κατασκευή των κυτταρικών τους δομών και την άντληση της απαιτούμενης ενέργειας για την ανάπτυξη τους. Οι συγκεντρώσεις τους πρέπει να είναι ίσες ή και λίγο μεγαλύτερες από τις βέλτιστες. Για να αποφευχθεί η μικρή συγκέντρωση οποιουδήποτε από τα θρεπτικά στοιχεία, καθώς αυτός είναι ένας από τους πιο ανασταλτικούς παράγοντες της αναερόβιας χώνευσης. Παράλληλα όμως προστατεύουμε και τα βακτήρια, αφού τα πρωτεύοντα θρεπτικά στοιχεία είναι τοξικά για αυτά σε μεγάλες συγκεντρώσεις.

Στα πρωτεύοντα στοιχεία ανήκουν στοιχεία όπως ο άνθρακας (C), ο φώσφορος (P), το άζωτο (N), το κάλιο (K) καθώς και το θείο (S). Ενώ στα δευτερεύοντα ανήκουν στοιχεία όπως ο σίδηρος (Fe), το σελήνιο (Se), το νικέλιο (Ni) και το κοβάλτιο (Co). Όλα τα προαναφερθέντα στοιχεία είναι απαραίτητα για την μεθανογένεση, όμως τα πρωτεύοντα έχουν πιο σημαντικό ρόλο στην διαδικασία της αναερόβιας ζύμωσης.

3.2.3.4 Τοξικές ουσίες στο υπόστρωμα

Υπάρχουν πολλοί παράγοντες που όταν η τιμή της συγκέντρωσης των οποίων φτάσει και υπερβεί κάποια όρια, μειώνεται ραγδαία ο ρυθμός της μεθανογένεσης ή και αναστέλλεται πλήρως. Ο όρος παράγοντες αναφέρεται κυρίως σε ουσίες ή στοιχεία που για κάποια συγκέντρωση κρίνονται τοξικά όσον αφορά την μεθανογένεση. Τοξικά σε μεγάλες συγκεντρώσεις μπορούν να γίνουν μέχρι και τα απαραίτητα για την αντίδραση θρεπτικά στοιχεία, όπως το άζωτο ή το θείο. Οι μικροοργανισμοί που επηρεάζονται περισσότερο από τοξικές ουσίες είναι οι μεθανογόνοι. Γι' αυτό και συχνά αναφέρονται ως οι πιο ευαίσθητοι σε σύγκριση με άλλους μικροοργανισμούς που συμμετέχουν στην αναερόβια χώνευση. Η επιρροή που δέχονται μεταφράζεται σε παρεμπόδιση της ανάπτυξης τους και κατά συνέπεια της μεθανογένεσης.

- Οξυγόνο (O)

Η διαδικασία ονομάζεται αναερόβια διότι το οξυγόνο είναι άκρως τοξικό για την ζύμωση που απαιτεί η μεθανογένεση. Ακόμα και σε ίχνη μπορεί να προκαλέσει αναστολή της ανάπτυξης των μεθανογόνων βακτηρίων.

- Άζωτο (N)

Η μεγάλη συγκέντρωση αζώτου προκαλεί τη δημιουργία αμμωνίας (NH₃), η οποία αρχίζει να παρεμποδίζει την διαδικασία σε συγκεντρώσεις μεγαλύτερες των 1500 mg/L και pH>7,4. Η αναστολή της διεργασίας από την αμμωνία παρατηρείται σε συγκεντρώσεις μεγαλύτερες των 3000 mg/L, εξαρτάται και από τις συνθήκες που επικρατούν (θερμοκρασία και pH).

- Βαρέα Μέταλλα

Μέταλλα όπως : ο χαλκός, το ασβέστιο, το νάτριο, το μαγνήσιο, το νικέλιο ο ψευδάργυρος, το χρώμιο, το κάδμιο κ.α, είναι δύσκολο να προσδιοριστεί με ακρίβεια η τιμή των συγκεντρώσεων που καθίστανται τοξικά για την διεργασία της αναερόβιας χώνευσης. Βασικός λόγος για την αδυναμία προσδιορισμού των επιπέδων των συγκεντρώσεων, είναι ότι εξαρτώνται από τις συνθήκες που επικρατούν στον αντιδραστήρα κατά την λειτουργία. Γενικά, ακόμη και συγκεντρώσεις της τάξεως των 0,5 mg/L μπορεί να είναι βλαβερές για τα μεθανογενή βακτήρια. Ωστόσο, η αντίδραση των μετάλλων με υδρόθειο σχηματίζει αδιάλυτα θειούχα άλατα, έτσι μειώνεται η ποσότητα των διαλυμένων μετάλλων στο υπόστρωμα και κατά συνέπεια και η τοξικότητά τους.

- Υδρόθειο (HS)

Ενώ το υδρόθειο όταν αντιδρά με τα μέταλλα μας προφυλάσσει από την τοξικότητά τους, μπορεί και το ίδιο να θεωρηθεί τοξικό σε συγκεντρώσεις μεγαλύτερες των 100 mg/L. Η τοξικότητα του υδρόθειου εξαρτάται και εκείνη από τις συνθήκες που επικρατούν στον αντιδραστήρα (κυρίως το pH).

3.2.3.5 Αναλογία C/N

Η αναλογία του άνθρακα προς το άζωτο είναι πολύ σημαντική για την αναερόβια ζύμωση, καθώς είναι και τα δύο πρωτεύοντα στοιχεία για την ανάπτυξη των μικροοργανισμών. Εάν ένα από τα δύο αυτά στοιχεία βρίσκεται σε έλλειψη θα εξαντληθεί και θα έχουμε αναστολή της μικροβιακής ανάπτυξης. Έχει διαπιστωθεί ότι η χρήση του άνθρακα από τα αναερόβια βακτήρια είναι 30 φορές μεγαλύτερη από εκείνη του αζώτου. Αυτό σημαίνει ότι για αναλογία C/N περίπου 30/1 έχουμε βέλτιστες συνθήκες και κατάλληλο ρυθμό (θεωρώντας τις υπόλοιπες συνθήκες εξίσου ιδανικές).

Ωστόσο, για κάθε περίπτωση λυμάτων θα πρέπει να γίνει διερεύνηση για την βέλτιστη αναλογία. Μπορεί να συναντήσουμε τιμές βέλτιστης αναλογίας C/N από 16/1 μέχρι και 30/1. Αν κάποια ομάδα αποβλήτων έχει πολύ ψηλέ, είτε πολύ χαμηλές τιμές αναλογίας C/N το πρόβλημα είναι η συγχώνευση αποβλήτων με αντίθετη τιμή αναλογίας C/N (η μια ομάδα αποβλήτων να είναι πλούσια σε άνθρακα και η άλλη σε άζωτο) για συναποικοδόμηση και επίτευξη βέλτιστης τιμής αναλογίας C/N.

3.2.3.6 Υδραυλικός χρόνος παραμονής (Hydraulic Retention Time, HRT)

Τα υγρά απόβλητα χρειάζονται κάποιο χρονικό διάστημα ώστε να αντιδράσουν με τους μικροοργανισμούς και να παραχθεί το βιοαέριο. Κατά συνέπεια, όλα τα συστήματα διαχείρισης υγρών αποβλήτων είναι σχεδιασμένα έτσι, ώστε να κρατούν εντός του συστήματος τα υπό επεξεργασία απόβλητα, για το απαραίτητο χρονικό διάστημα που χρειάζεται για να ολοκληρωθεί η διαδικασία. Το χρονικό διάστημα που παραμένουν τα υγρά απόβλητα εντός του χωνευτήρα δίνεται από την σχέση:

$$H.R.T. = \frac{Vr}{Fw}$$

Όπου Vr είναι ο όγκος του χωνευτήρα (m^3) και Fw η ημερήσια ογκομετρικά παροχή του αποβλήτου (m^3/d). Το μέγεθος του H.R.T. καθορίζεται από το είδος του χωνευτήρα και την φύση των αποβλήτων. Για παράδειγμα, αφού οι μεθανογόνοι μικροοργανισμοί έχουν χρόνο πολλαπλασιασμού 5-16 ημέρες, ο H.R.T. πρέπει να είναι τουλάχιστον 10-15 ημέρες. Για να βρεθεί ο βέλτιστος χρόνος παραμονής χρειάζεται διερεύνηση, πολύ μικρός χρόνος θα αποτρέψει τον επαρκή πολλαπλασιασμό των βακτηρίων και αυτό θα οδηγήσει σε μικρά ποσοστά παραγωγής μεθανίου. Υπερβολικά μεγάλος χρόνος από την άλλη καθιστά το κόστος λειτουργίας υψηλό και όπως έχει σημειωθεί θα έχουμε βαθμιαία πτώση της παραγωγής βιοαερίου.

3.2.3.7 Ρυθμός οργανικής φόρτισης (Organic Loading Rate, OLR)

Η μάζα του οργανικού υλικού που εισέρχεται στον χωνευτήρα ορίζεται ως ρυθμός της οργανικής φόρτισης (OLR) και εκφράζεται σε κιλά πτητικών στερεών ή κιλά Χημικά Απαιτούμενου Οξυγόνου (Chemical Oxygen Demand, COD) ανά μονάδα όγκου του χωνευτήρα. Η τιμή του OLR παίζει καθοριστικό ρόλο στην διασφάλιση και διατήρηση σταθερών συνθηκών κατά την διεργασία. Μεγάλες τιμές του OLR μπορεί να οδηγήσουν σε ατελή αποικοδόμηση ή συσσώρευση πτητικών λιπαρών οξέων, τα οποία αν αυξηθούν απότομα έχουμε αποτυχία του συστήματος και διακοπή της διεργασίας. Αντίθετα μικρές τιμές OLR αυξάνεται ο χρόνος παραμονής (H.R.T.) των υποστρωμάτων με αποτέλεσμα υψηλότερα λειτουργικά κόστη.

Σύμφωνα με διάφορες μελέτες αναερόβιας επεξεργασίας αποβλήτων σε αντιδραστήρες συνεχούς ανάδευσης, περιγράφουν τιμές OLR από 4 έως 8 [kg (VS) ανά m^3 αντιδραστήρα], με αυτές τις τιμές έχουμε απομάκρυνση πτητικών στερεών σε ποσοστό 50-70%. Ωστόσο για τα μη αναδεδυόμενα συστήματα αναερόβιας χώνευσης, τιμές OLR κάτω από 2 kg (VS) ανά m^3 αντιδραστήρα συνιστώνται και θεωρούνται κατάλληλες.

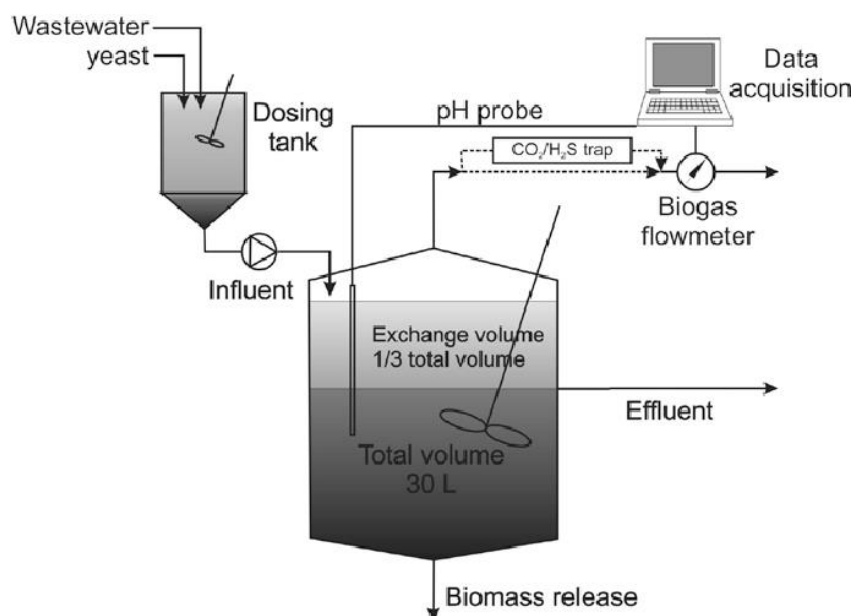
3.3 Τύποι Αντιδραστήρων Αναερόβιας Χώνευσης

3.3.1 Συμβατικοί αναερόβιοι αντιδραστήρες (Conventional anaerobic reactors)

3.3.1.1 Αντιδραστήρας διαλείποντος έργου (Anaerobic sequencing batch reactor)

Το κύριο μέρος του συγκεκριμένου αντιδραστήρα είναι μία δεξαμενή στην οποία λαμβάνουν χώρα όλα τα στάδια και όλες οι διεργασίες. Οι κύριες διαφοροποιήσεις με τα συνεχή συστήματα είναι δύο: 1) παρουσιάζει υψηλότερη απόδοση από αυτά και 2) είναι δυνατός καλύτερος έλεγχος της διεργασίας. Αυτού του είδους οι αντιδραστήρες σχεδιάζονται κυρίως με βάση την ικανότητα επεξεργασίας ενός ευρέως φάσματος όγκων εκροής σε αντίθεση με το συνεχές σύστημα όπου απαιτείται καθορισμένος ρυθμός ροής.

Τα πλεονεκτήματα του αντιδραστήρα διαλείποντος έργου είναι όπως η απλή λειτουργικότητα του, η ευελιξία χρήσης που παρουσιάζει, οι χαμηλές μηχανικές απαιτήσεις, ο αποδοτικός ποιοτικός έλεγχος των λυμάτων και η υψηλή απόδοση που έχει στην παραγωγή βιοαερίου. Ωστόσο, παρουσιάζει κάποια μειονεκτήματα που είναι άξια αναφοράς. Η ακινητοποίηση του αντιδραστήρα σε συνδυασμό με συγκεκριμένη ποσότητα βιο-αερίου οδηγεί σε ανεπαρκή ικανότητα καθίζησης. Ο μεγαλύτερος όγκος, η διοχέτευση και η απόφραξη είναι επίσης περιορισμοί. Έχει γίνει προσπάθεια βελτίωσης της διεργασίας με σκοπό την ελαχιστοποίηση των περιορισμών, όπως και για την κατακράτηση της βιομάζας. Αλλά χρειάζεται να πραγματοποιείται κάποιο είδος ανάδευση για να βελτιωθεί η μεταφορά του υποστρώματος προς τους μικροοργανισμούς της βιομάζας ώστε να γίνει αναερόβια αποδόμηση.

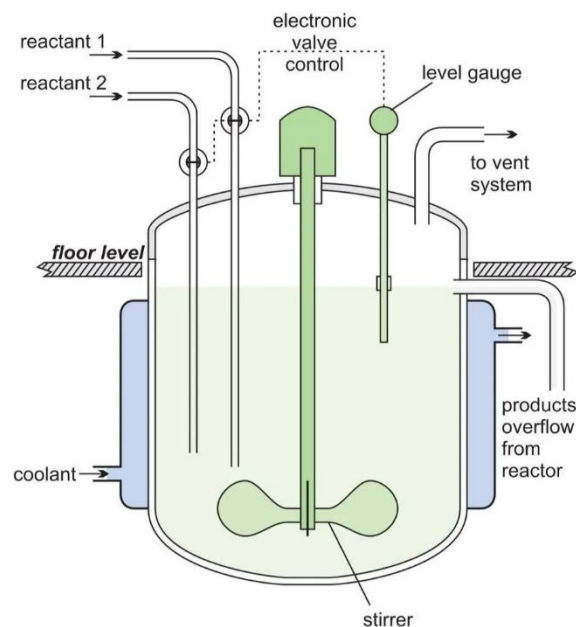


Εικόνα 19: Συμβατικός Αναερόβιος Αντιδραστήρας

3.3.1.2 Αντιδραστήρας συνεχούς λειτουργίας πλήρους ανάδευσης (Continuous stirred tank reactor)

Ο αντιδραστήρας συνεχούς λειτουργίας πλήρους ανάδευσης κατατάσσεται στους αντιδραστήρες υψηλής ταχύτητας και προτιμάται η χρήση του να αφορά λύματα που περιέχουν υψηλά επίπεδα αιωρούμενων στερεών κατά τη διάρκεια της διαδικασίας της αναερόβιας χώνευσης, σε αυτό το προφίλ λυμάτων ταιριάζει η υγρή ζωική κοπριά και τα βιομηχανικά απόβλητα. Το πιο σημαντικό πλεονέκτημα είναι ότι η πλήρης ανάμειξη προσφέρει καλή επαφή του υποστρώματος με την ιλύ. Η λειτουργία είναι απλή, ωστόσο, είναι λιγότερο αποδοτική όσον αφορά την ποιότητα των εκροών και καταναλώνει πολύ ενέργεια και έργο.

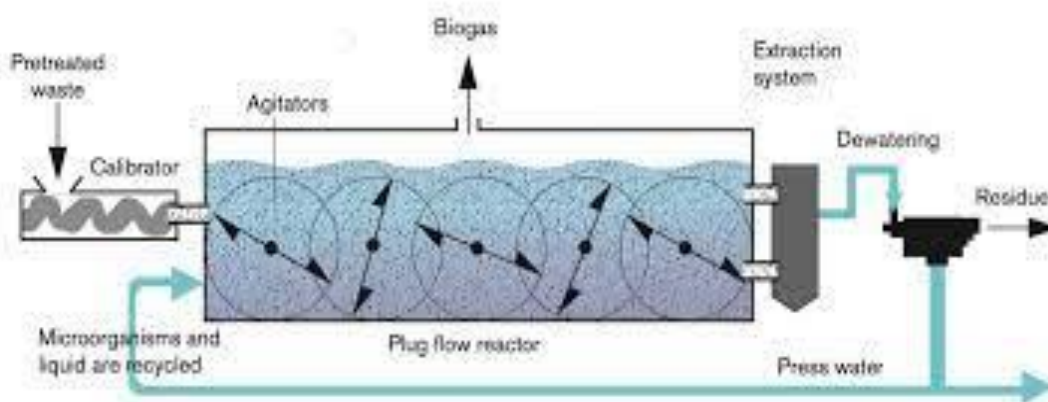
Παρακάτω αναφέρονται τα μειονεκτήματά του. Το σύστημα παρουσιάζει ευαισθησία σε υποστρώματα με εύκολα αποικοδομήσιμα οργανικά φορτία και η ευαισθησία αυτή οδηγεί σε δυσκολίες για τη βελτίωσή του συστήματος και της απόδοσής του. Λόγω του ότι οι μικροβιακοί πληθυσμοί ξεπλένονται από τον αντιδραστήρα μαζί με τα λύματα, γίνεται αδύνατη η συγκράτηση υψηλής συγκέντρωσης μικροοργανισμών στον αντιδραστήρα. Επιπλέον λόγω της συνεχούς ανάμειξης και ανάδευσης παρατηρούμε ταχεία όξυνση και παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων πτητικών λιπαρών οξέων, γεγονός τα οποία μπορούν να οδηγήσουν σε αναστολή της διαδικασίας της αναερόβιας χώνευσης. Μπορεί να τοποθετηθεί μια δεξαμενή καθίζησης ή ένας αντιδραστήρας μεμβρανών μετά τον αντιδραστήρα, ο οποίος θα επιτρέψει να διατηρούνται μεγαλύτερες συγκεντρώσεις μικροοργανισμών, παρέχοντας έτσι μεγαλύτερη απόδοση και αποτελεσματικότερη πέψη. Με την προσθήκη του αντιδραστήρα μεμβρανών ή της δεξαμενής καθίζησης μηδενίζουμε το αρχικό πρόβλημα του αντιδραστήρα πλήρους ανάδευσης.



Εικόνα 20: Αντιδραστήρας Συνεχούς Λειτουργίας Πλήρους Ανάδευσης

3.3.1.3 Αντιδραστήρας εμβολικής ροής (Anaerobic plug-flow reactor)

Στον αντιδραστήρα εμβολικής ροής έχουμε χαμηλές συγκεντρώσεις πτητικών λιπαρών οξέων στην εκροή, υψηλό βαθμό κατακράτησης ιλύος και σταθερή απόδοση. Ο αντιδραστήρας δεν διαθέτει εσωτερική ανάδευση, χρησιμοποιείται ευρέως για την χώνευση στερεών και ημιστερεών αποβλήτων σε μεσοφιλικές θερμοκρασίες. Η λειτουργία του είναι απλή, προσφέροντας παράλληλα χαμηλό κόστος και υψηλή απόδοση. Η λειτουργία του ταιριάζει στην επεξεργασία υποστρωμάτων όπως: η κοπριά χοίρων, υπολείμματα βοοειδών, αστικών οργανικών αποβλήτων και λύματα αποστακτηρών.



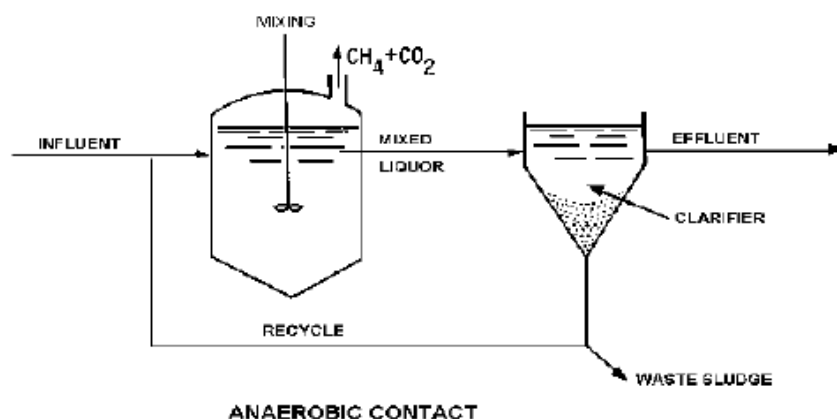
Εικόνα 21: Αναερόβιος Αντιδραστήρας Εμβολικής Ροής

3.3.2 Αντιδραστήρες κατακράτησης ιλύος (Sludge retention reactors)

3.3.2.1 Αναερόβιος αντιδραστήρας επαφής (Anaerobic contact reactor)

Ο συγκεκριμένος τύπος αντιδραστήρα χρησιμοποιείται κυρίως για εκροές με υψηλές συγκεντρώσεις αιωρούμενων στερεών, σε μεσοφιλικές συνθήκες, αυτό αφορά απόβλητα όπως λύματα τροφίμων και χαρτοπολτού. Ο σχεδιασμός του αντιδραστήρα εξυπηρετεί στο να αποφευχθούν ανεπαρκείς συνθήκες ανάμειξης που μειώνουν την ικανότητα επεξεργασίας που προκαλείται από την ετερογένεια εντός της βιομάζας.

Δύο κύριες συσκευές που αποτελούν τον αντιδραστήρα είναι η δεξαμενή καθίζησης στερεών για ανακύκλωση μικροοργανισμών και ένας αναδύομενος αντιδραστήρας. Η ανακύκλωση της κατακαθισμένης ιλύος πραγματοποιείται πίσω από τον αντιδραστήρα. Επιπλέον η απόδοση του είναι άμεσα συνδεδεμένη με τον χρόνο συγκράτησης του υποστρώματος και του βαθμού επαφής μεταξύ του υποστρώματος και των μικροοργανισμών. Στον τύπο αντιδραστήρα επαφής, το περιεχόμενο του αναμιγνύεται τελείως και στη συνέχεια η βιομάζα διαχωρίζεται και επιστρέφει στον αντιδραστήρα ενώ το υπερκείμενο απορρίπτεται ως εκρέον.



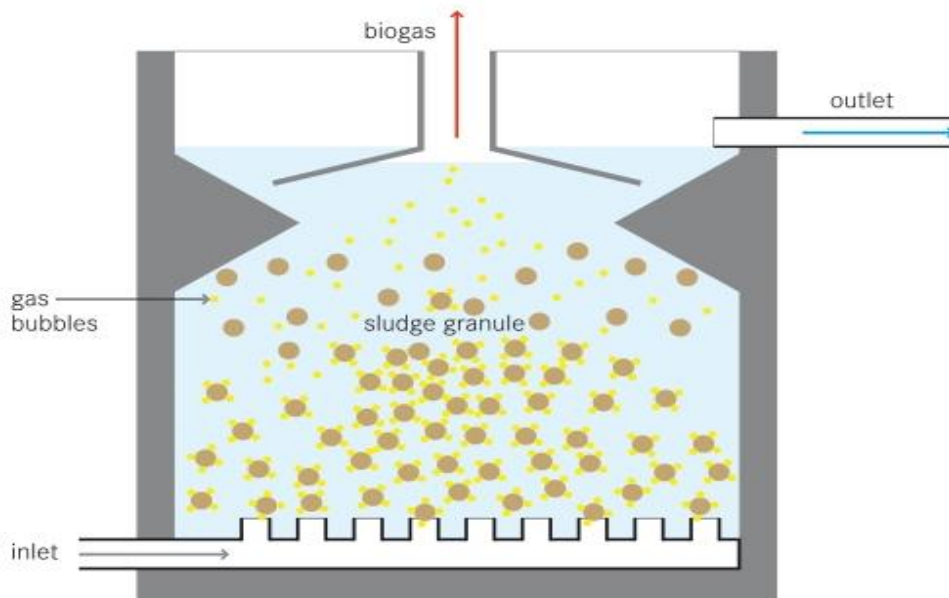
Εικόνα 22: Αντιδραστήρας κατακράτησης ιλύος

3.3.2.2 Αντιδραστήρας στρώματος ιλύος ανοδικής ροής (Up-flow anaerobic sludge bed reactor)

Ο αντιδραστήρας στρώματος ιλύος ανοδικής ροής είναι μία απλή συμπαγής και φθηνή τεχνολογία που χρησιμοποιείται σε μεγάλο βαθμό για την επεξεργασία βιομηχανικών υγρών αποβλήτων. Ο αντιδραστήρας αποτελείται από μια κλίνη κοκκώδους ιλύος που βρίσκεται στο κάτω μέρος, η οποία εξασφαλίζει την καλή επαφή λυμάτων-βιομάζας. Απαιτεί μικρό όγκο και χώρο αντιδραστήρα, διαθέτη υψηλότερη ταχύτητα ροής και παραγωγής βιοαερίου και σε σχέση με άλλους αντιδραστήρες οι ρυθμοί οργανικής φόρτισης είναι σημαντικά υψηλότεροι. Η επαρκής επαφής ιλύος-λυμάτων ακόμα και σε χαμηλά οργανικά φορτία επιτρέπει να μην γίνει ανακύκλωση λυμάτων.

Σε αυτούς τους αντιδραστήρες χρησιμοποιείται κοκκώδης ιλύ για την διατήρηση του μικροβιακού πληθυσμού, η οποία χρησιμεύει ως φίλτρο για την πρόληψη της βακτηριακής έκπλυσης. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η απόδοση εξαρτάται σε

μεγάλο βαθμό από την ποιότητα των κόκκων. Ωστόσο, κατά την αλλαγή του τύπου των αποβλήτων είναι μικρή η πιθανότητα διατήρησης των χαρακτηριστικών των κόκκων της ιλύος. Τέλος, απαιτείται μια μεγάλη περίοδος εκκίνησης και σημαντική έκπλυση ιλύος στην αρχική φάση της διαδικασίας.



Εικόνα 23: Αντιδραστήρας Στρώματος ιλύος ανοδικής ροής

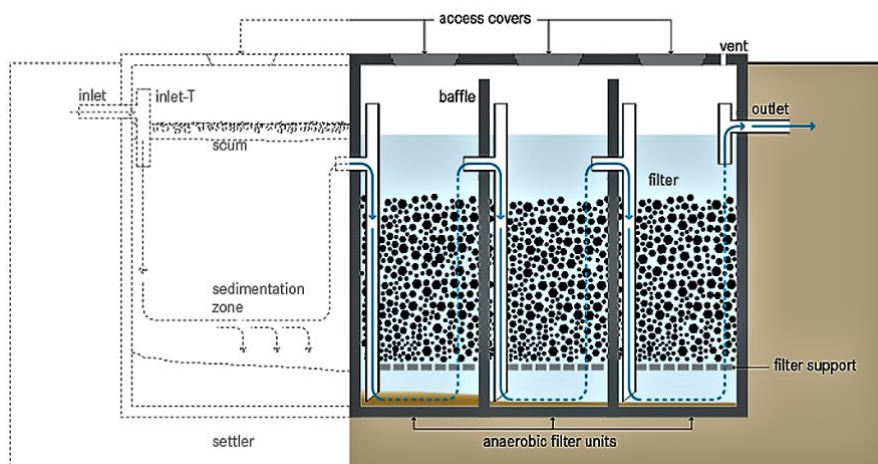
3.3.2.3 Αναερόβιος αντιδραστήρας στερεάς κατάστασης άνω ροής (*Up-flow anaerobic solid-state reactor*)

Ο αντιδραστήρας στερεάς κατάστασης άνω ροής χρησιμοποιείται για τη συνεχή εκτίμηση της λιγνοκυτταρίνης βιομάζας και την πρόληψη συσσώρευσης πτητικών οξέων. Η λειτουργία επιτυγχάνεται με τετραπλή σχεδίαση αντιδραστήρα δύο φάσεων και δύο σταδίων. Κάθε ένα από τα τέσσερα συστήματα αποτελείται από έναν αναερόβιο αντιδραστήρα στερεάς κατάστασης ανοδικής ροής. Η αρχή λειτουργίας αυτού του αντιδραστήρα βασίζεται στις φυσικές διαφορές στις πυκνότητες του υποστρώματος και του υγρού διεργασίας που προκαλούν τον διαχωρισμό στερεού-υγρού.

3.3.3 Αναερόβιοι αντιδραστήρες με μεμβράνες (Anaerobic membrane reactors)

3.3.3.1 Αναερόβιος αντιδραστήρας φίλτρου (Anaerobic filter reactor)

Ο συγκεκριμένος τύπος αντιδραστήρα αναπτύχθηκε ως ένα μέσο στήριξης για την στενή επαφή μεταξύ της βακτηριακής μάζας και ρέοντος αερίου. Επιτρέπει μεγαλύτερο χρόνο κατακράτησης βιομάζας σε σύγκριση με τον υδραυλικό χρόνο παραμονής. Στο μέσο, γίνεται δημιουργία ενός βιοφίλμ που υποστηρίζει τον διαχωρισμό βιομάζας από τα λύματα σε αυτή τη διαμόρφωση του αντιδραστήρα. Τα φίλτρα μπορούν να λειτουργούν είτε σε κατάσταση ανοδικής ροής είτε σε καθοδική ροή.

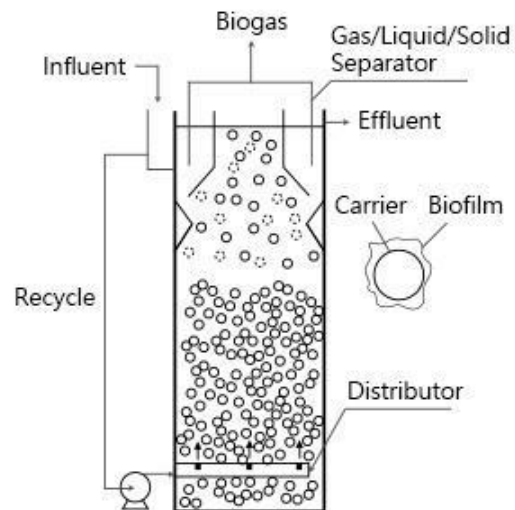


Εικόνα 24: Αναερόβιος αντιδραστήρας φίλτρου

Η κατάσταση ανοδικής ροής περιέχει υψηλή συγκέντρωση αιωρούμενης βιομάζας που οδηγεί στον σχηματισμό βιοφίλμ στη δομή της σταθερής κλίνης, ενώ η κατάσταση καθοδικής ροής περιέχει υψηλή συγκέντρωση ανόργανου θείου μεταξύ της ποσότητας της ζήτησης βιολογικού οξυγόνου και της χαμηλής ανόργανης ένωσης. Η ανακύκλωση μπορεί να εφαρμοστεί για λύματα υψηλού φόρτου. Αυτός είναι και ο λόγος που ο αναερόβιος αντιδραστήρας φίλτρου δείχνει εξαιρετική προσαρμοστικότητα για τη βιομάζα σε μια νέα πηγή άνθρακα και σε διακυμάνσεις οργανικού φορτίου και μπορεί επίσης να χρησιμοποιήσει αραιωμένες τροφοδοσίες. Γενικά, αυτός ο τύπος αντιδραστήρα είναι πιο κατάλληλος για την επεξεργασία λυμάτων με χαμηλότερα αιωρούμενα στερεά, όμως το σημαντικό του μειονέκτημα είναι το υψηλό επενδυτικό κόστος.

3.3.3.2 Αντιδραστήρες ρευστοποιημένης κλίνης (*Anaerobic fluidized bed reactor*)

Ο αναερόβιος αντιδραστήρας ρευστοποιημένης κλίνης χρησιμοποιεί ως μέσο για βακτηριακή σύνδεση και ανάπτυξη τα μικρά αδρανή σωματίδια, όπως λεπτή άμμος ή η αλουμίνα, που διατηρούνται σε εναιώρηση από μια ταχεία ανοδική ροή εισερχόμενων λυμάτων. Αυτή η διαμόρφωση καθιστά επιτρεπτό τον υψηλότερο ρυθμό οργανικής φόρτωσης και μεγαλύτερη αντοχή στους αναστολείς. Επίσης, η ανάπτυξη ενός λεπτού βιοφίλμ σε αυτά τα σωματίδια μέσω και η καλή προσκόλληση στη βιομάζα επιτρέπουν καλή απόδοση μεταφοράς μάζας στον αντιδραστήρα.



Εικόνα 25: Αντιδραστήρας ρευστοποιημένης κλίνης

Σε σύγκριση με τον αντιδραστήρα φίλτρου, η τεχνολογία ρευστοποιημένης κλίνης είναι πιο αποτελεσματική καθώς εξαφανίζει τον κίνδυνο του φραξίματος της κλίνης, επιτρέπει καλύτερη υδραυλική κυκλοφορία και μεγαλύτερη επιφάνεια ανά μονάδα όγκου αντιδραστήρα. Το κόστος του είναι μικρότερο λόγω του μικρότερου όγκου του αντιδραστήρα. Ένα σημαντικό μειονέκτημα που συναντάται σε αυτόν τον τύπο αντιδραστήρα είναι η ρύπανση της μεμβράνης. Οι πρωτεΐνες αποτελούν τον κυρίαρχο παράγοντα στη ρύπανση της μεμβράνης σε χαμηλές θερμοκρασίες. Τέλος για την βελτίωση της κατάστασης προσθέτουμε κοκκώδη ενεργοποιημένο άνθρακα ή ενεργοποιημένο άνθρακα σε σκόνη, καθώς μπορούν να προσροφήσουν μικροβιακά μεταβολικά προϊόντα.

3.4 Γενικά στοιχεία συμπαραγωγής

3.4.1 Τι είναι η συμπαραγωγή

Με τον όρο συμπαραγωγή εννοούμε όλες τις μονάδες που παράγουν ταυτόχρονα δύο ή και περισσότερες μορφές ενέργειας από μία ενεργειακή πηγή. Οι πιο συνήθεις παραγόμενες μορφές ενέργειας είναι η μηχανική που τις περισσότερες φορές μετατρέπεται σε ηλεκτρική και θερμική.

Ο συμβατικός τρόπος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι με καύση πετρελαίου, φυσικού αερίου ή λιγνίτη και με χρήση πυρηνικής ενέργειας. Για την παραγωγή θερμικής ενέργειας συνηθίζεται η καύση καυσίμου σε λέβητες. Στους σταθμούς συνήθως το ένα τρίτο της ενέργειας από το καύσιμο μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια, ενώ το υπόλοιπο χάνεται υπό μορφή θερμικών απωλειών.

Ο στόχος ενός συστήματος συμπαραγωγής, είναι η εκμετάλλευση της ενέργειας που χάνεται για θέρμανση ή παραγωγή ζεστού νερού. Έτσι μπορεί να παρατηρηθεί αύξηση στον βαθμό απόδοσης της μονάδας από 30-50% σε 80-90%. Έτσι φαίνεται ότι η καλύτερη ενεργειακή αξιοποίηση του καυσίμου γίνεται παράγοντας ηλεκτρισμό και θερμότητα μαζί.

3.4.2 Σταθμός ΣΗΘ

Ένας σταθμός ΣΗΘ απαρτίζεται από τρία κύκλωμα. Το κύκλωμα θέρμανσης, το κύκλωμα ψύξης και το κύκλωμα ισχύος. Αναλυτικότερα, στο κύκλωμα θέρμανσης περιλαμβάνονται: Λέβητας ή εστία θέρμανσης, ανάκτηση απορριπτόμενης θερμότητας, αντλία θερμότητας κ.α., στο κύκλωμα ψύξης περιλαμβάνονται: Συμπιεστής, Πύργος ψύξης, Ψύκτης απορρόφησης, Αντλία θερμότητας κ.α., τα πιο συνηθισμένα κύκλωμα ισχύος είναι: Σύστημα αμμοστρόβιλου, Σύστημα με παλινδρομική μηχανή εσωτερικής καύσης (Diesel ή Otto), Σύστημα αεριοστρόβιλου, Σύστημα συνδυασμένου κύκλου, μοντέρνες τεχνικές όπως είναι οι κυψέλες καυσίμου και οι μηχανές Stirling.

3.4.3 Εφαρμογές ΣΗΘ

Οι εφαρμογές ΣΗΘ μπορούν να κατηγοριοποιηθούν με τον εξής τρόπο: 1) Βιομηχανικός τομέας, 2) Εμπορικός - κτηριακός τομέας και 3) Θερμοκήπια. Στον Βιομηχανικό τομέα συνήθως χρησιμοποιούνται μονάδες αεριοστρόβιλων ή αμμοστρόβιλων και το θερμικό προϊόν είναι ως επί το πλείστον ατμός υψηλής πίεσης. Στον Εμπορικό – κτηριακό τομέα χρησιμοποιούνται συνήθως μηχανές εσωτερικής καύσης και το θερμικό προϊόν είναι ζεστό νερό ή ατμός χαμηλής πίεσης. Στα Θερμοκήπια η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια διατίθεται στο Εθνικό Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας, ενώ με τα θερμικά φορτία πραγματοποιείται θέρμανση του χώρου του θερμοκηπίου και εμπλουτισμός του με διοξείδιο του άνθρακα, κάτι το οποίο

είναι πολύ συμφέρον λόγω της επιτάχυνσης της ανάπτυξης των καλλιεργούμενων φυτών.

3.4.4 Χρησιμοποιούμενα καύσιμα

Τα καύσιμα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην συμπαραγωγή είναι διάφορα και χωρίζονται ανάλογα με την τεχνολογία που χρησιμοποιείται.

- Ορυκτά καύσιμα όπως το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο
- Ανανεώσιμα καύσιμα όπως είναι το βιοαέριο από οργανικά απορρίμματα. Βιομάζα, όπως αγροτικά και δασικά υπολείμματα ή από ενεργειακές καλλιέργειες.
- Γεωθερμία
- Υδρογόνο

3.4.5 Τριπαραγωγή

Μερικά συστήματα ΣΗΘ έχουν την δυνατότητα να παράγουν και κρύο νερό για κλιματισμό ή ψύξη, με τη βοήθεια ενός ψύκτη απορρόφησης. Αυτό ονομάζεται σύστημα τριπαραγωγής. Σε αντίθεση με άλλα συστήματα συμπαραγωγής, τα οποία χρησιμοποιούνται ελάχιστα ή και καθόλου τους καλοκαιρινούς μήνες, τα συστήματα τριπαραγωγής βρίσκουν εφαρμογή ολόκληρο τον χρόνο. Τα συστήματα τριπαραγωγής παίζουν σημαντικό ρόλο στην σταθερότητα του δικτύου μεταφοράς ηλεκτρισμού κατά τους θερινούς μήνες, καθώς μειώνουν ή καλύπτουν την απαίτηση ηλεκτρισμού για φορτία ψύξης.

4 Εδαφοβελτιωτικό

4.1 Εισαγωγή

Ως εδαφοβελτιωτικό ορίζεται ένα βιολογικό λίπασμα το οποίο ενισχύει το έδαφος, μέσω της υψηλής περιεκτικότητας του σε θρεπτικά συστατικά και αυξάνει την παραγωγή νέου οργανικού προϊόντος. Η χρήση εδαφοβελτιωτικών συμβάλλει στην επίτευξη μιας κυκλικής οικονομίας μέσω της μείωσης των αποβλήτων και της ανακύκλωσης υλικών. Αντί να απορρίπτονται ως απόβλητα, πολλά οργανικά υλικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη βελτίωση του εδάφους. Αυτό συνεισφέρει στη μείωση της ανάγκης για συνθετικά λιπάσματα και χημικά προϊόντα, μειώνοντας την επιβάρυνση για το περιβάλλον και την ανάγκη για εξόρυξη πόρων. Εμείς θα δημιουργήσουμε ένα εδαφοβελτιωτικό υποβάλλοντας σε διαδικασία κομποστοποίησης το υπόστρωμα της υγρής λάσπης που μένει μετά την διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης.

4.2 Κομποστοποίηση

4.2.1 Γενικά στοιχεία

Δεν υπάρχει ένας απολύτως αποδεκτός ορισμός για τη διαδικασία της κομποστοποίησης, αλλά μπορούμε να περιγράψουμε την κομποστοποίηση ως τη βιολογική αποσύνθεση και σταθεροποίηση των οργανικών υποστρωμάτων. Σε αυτή τη διαδικασία, η θερμότητα που παράγεται από τη βιολογική αντίδραση δημιουργεί θερμοφιλικές θερμοκρασίες, επιτρέποντας την παραγωγή σταθερού, απαλλαγμένου από παθογόνους μικροοργανισμούς και φυτικούς σπόρους, εδαφοβελτιωτικού υλικού που μπορεί να χρησιμοποιηθεί στο έδαφος. Οι βασικές λειτουργίες της κομποστοποίησης είναι η προετοιμασία, η αποσύνθεση και η μετα-επεξεργασία. Η σταθεροποίηση των αποβλήτων απαιτεί ειδικές συνθήκες υγρασίας και αερισμού για την παραγωγή υψηλότερων θερμοκρασιών (πάνω από 45°C). Η διατήρηση αυτών των θερμοκρασιών για κατάλληλο χρονικό διάστημα, αποτελεί τον κύριο μηχανισμό για την απενεργοποίηση των παθογόνων οργανισμών και την εξόντωση των σπόρων.

Στην κομποστοποίηση, η αρχική ύλη μετατρέπεται σε κομπόστ, ένα υλικό πλούσιο σε θρεπτικά συστατικά και οργανική ύλη. Η διαδικασία περιλαμβάνει τη σύνθεση ενός μείγματος οργανικών υλικών, όπως τροφές κουζίνας, κοπριά ζώων, κλαδέματα κήπου και άλλα υλικά που περιέχουν άνθρακα και αζωτούχα συστατικά. Το μείγμα αυτό τοποθετείται σε μια κομποστοποιητική μονάδα, όπου επιτυγχάνονται οι κατάλληλες συνθήκες υγρασίας, αερισμού και θερμοκρασίας για την ανάπτυξη των μικροοργανισμών που διασπούν τα οργανικά υλικά.

Οι μικροοργανισμοί, όπως βακτήρια και μύκητες, ξεκινούν τη διαδικασία αποσύνθεσης των οργανικών υλικών. Κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας, παράγονται θερμότητα, αέριο, υγρασία και κομπόστ. Η θερμότητα παράγεται από την ενεργοποίηση των μικροοργανισμών και μπορεί να φτάσει σε αρκετά υψηλές θερμοκρασίες. Η διαδικασία της κομποστοποίησης απαιτεί τη στροβιλιστική ανάμειξη του υλικού και τη διατήρηση ενός ισορροπημένου περιβάλλοντος για την αποτελεσματική διάσπαση των οργανικών υλικών.

4.2.2 Τρόποι κομποστοποίησης

Η βασική διάκριση ανάμεσα στους τρόπους κομποστοποίησης γίνεται με βάση το αν το υλικό κατά την διαδικασία της κομποστοποίησης περιέχεται ή όχι σε έναν αντιδραστήρα. Τα συστήματα κομποστοποίησης που χρησιμοποιούν αντιδραστήρα ονομάζονται μηχανικά ή κλειστά συστήματα, ενώ αυτά που δεν χρησιμοποιούν αντιδραστήρα ονομάζονται ανοιχτά συστήματα. Επιπλέον, υπάρχουν και τα μεικτά συστήματα κομποστοποίησης που χρησιμοποιούν τεχνικές από και τα δύο άλλα συστήματα.

4.2.2.1 Ανοιχτά συστήματα

Τα ανοιχτά συστήματα χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: τα αναδυόμενα σειράδια και τους στατικούς αεριζόμενους σωρούς. Οι δύο αυτές τεχνικές διαφέρουν στον τρόπο που επιτυγχάνεται ο αερισμός τους. Στην τεχνική των αναδυόμενων σειράδιων, ο αέρας εισέρχεται φυσικά κατά την ανάδευση των υλικών, ενώ στους στατικούς αεριζόμενους σωρούς χρησιμοποιούνται μηχανικές διατάξεις οι οποίες εξασφαλίζουν τον αερισμό.

Η τεχνική των σειραδίων απαιτεί την τοποθέτηση των υλικών σε γραμμές και την τακτική τους ανάδευση, συνήθως με τη χρήση μηχανολογικού εξοπλισμού. Οι γραμμές αυτές τοποθετούνται σε ανοιχτό χώρο και ανάλογα με την βροχόπτωση της περιοχής, μπορεί να τους παρέχεται κάποιο στέγαστρο. Το ύψος, το πλάτος και το σχήμα των γραμμών εξαρτώνται από τα χαρακτηριστικά των υλικών και τον εξοπλισμό που χρησιμοποιείται για την ανάδευση. Η παροχή οξυγόνου γίνεται φυσικά, ενώ η ανάδευση επιτρέπει την ομοιόμορφη κατανομή του οξυγόνου σε όλο το σωρό. Η κομποστοποίηση με την τεχνική των σειραδίων είναι δημοφιλής σήμερα, καθώς παρουσιάζει ευελιξία και προσαρμοστικότητα σε διάφορα είδη πρώτων υλών, ενώ απαιτεί σχετικά χαμηλή κεφαλαιακή επένδυση.

Το σχήμα των σειραδίων συνήθίζει να είναι τραπέζιο και έχει περίπου πλάτος 4,5 μέτρα και ύψος περίπου από 1 έως 2 μέτρα. Κατά τις πρώτες πέντε ημέρες της διαδικασίας, συνήθως πραγματοποιούνται 2 έως 3 αναδεύσεις την ημέρα. Αυτό βοηθά στην καλύτερη ανάμειξη του υλικού και μειώνει την παραγωγή οσμών. Μετά τις πρώτες

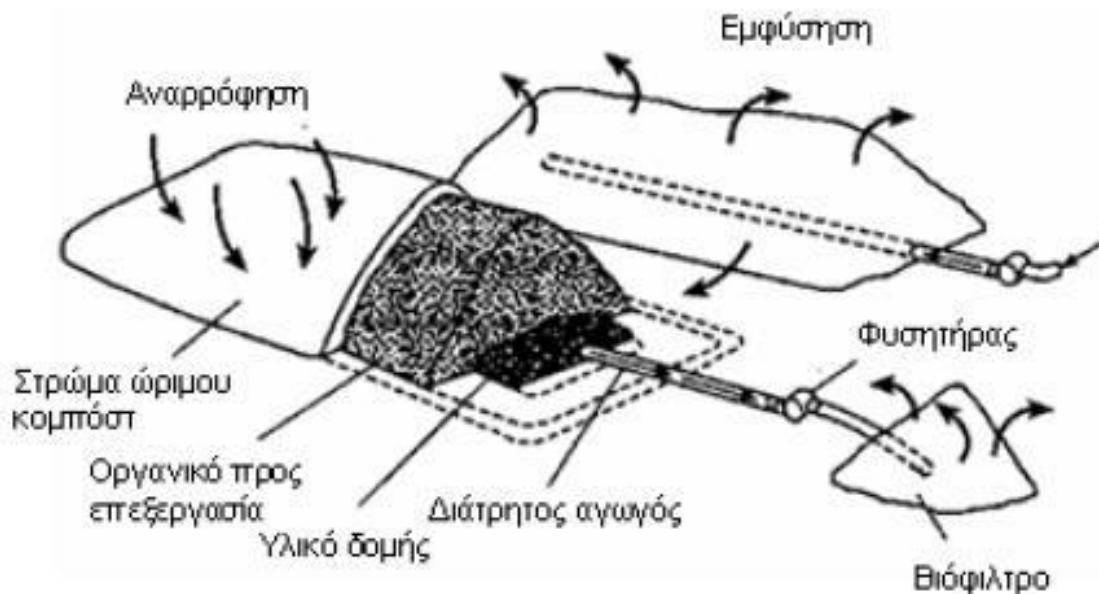
πέντε ημέρες, ο σωρός αναδεύεται μία φορά την ημέρα για 30 ημέρες. Η θερμοκρασία στο εξωτερικό του σωρού συνήθως είναι σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, ενώ στο εσωτερικό φτάνει στους 65°C. Αυτός είναι ένας από τους λόγους που πραγματοποιείται η ανάδευση, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως.



Εικόνα 26: Μέθοδος κομποστοποίησης Σειραδιών

Στην μέθοδο των αεριζόμενων στατικών σωρών, ο αερισμός του σωρού γίνεται μηχανικά με δύο τρόπους: είτε προσφέροντας αέρα στο σωρό είτε αναρροφώντας αέρα από το εσωτερικό του. Επειδή δεν υπάρχει ανάδευση των υλικών, η θερμοκρασία της εξωτερικής επιφάνειας του σωρού μπορεί να μην φτάνει τις επιθυμητές τιμές. Αυτό μπορεί να αποβεί αρνητικό για τη διαδικασία της κομποστοποίησης. Για να αποφευχθεί αυτή η πιθανότητα, ο σωρός καλύπτεται με έτοιμο κομπόστ, το οποίο λειτουργεί ως μόνωση, επιτρέποντας έτσι τη διατήρηση της θερμοκρασίας στα επιθυμητά επίπεδα. Επιπλέον, χρησιμοποιούνται δογκωτικοί παράγοντες προκειμένου να διατηρηθούν ανοιχτά κενά στο εσωτερικό του σωρού, επιτρέποντας έτσι την απρόσκοπτη κυκλοφορία του αέρα. Κάτι που καθιστά την συγκεκριμένη μέθοδο κατάλληλη για την κομποστοποίηση υγρών πποστρωμάτων.

Παρακάτω απεικονίζεται η μέθοδος κομποστοποίησης αεριζόμενων στατικών σωρών.



Εικόνα 27: Μέθοδος κομποστοποίησης αεριζόμενων στατικών σωρών

4.2.2.2 Κλειστά συστήματα

Στα κλειστά συστήματα κομποστοποίησης, η διαδικασία λαμβάνει χώρα μέσα σε αντιδραστήρες που είναι πλήρως κλειστοί. Αυτοί οι αντιδραστήρες μπορούν να είναι κατακόρυφοι, οριζόντιοι ή περιστρεφόμενα τύμπανα. Είναι λογικό να υπάρχει μεγαλύτερος έλεγχος των παραμέτρων της κομποστοποίησης (όπως θερμοκρασία, pH, υγρασία κ.λπ.) σε αυτά τα συστήματα σε σύγκριση με τα ανοιχτά συστήματα κομποστοποίησης.

Το ύψος ενός τυπικού κατακόρυφου αντιδραστήρα είναι το λιγότερο 4 μέτρα. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κομποστοποίηση εισέρχονται στον αντιδραστήρα από ψηλά και κινούνται προς τα κάτω με τη βοήθεια της βαρύτητας. Μέσα στον αντιδραστήρα, το υλικό αναδεύεται με ειδικούς αναμοχλευτήρες και παράλληλα γίνεται ο αερισμός του μέσω ενός συστήματος σωληνώσεων. Λόγω του μεγέθους των αντιδραστήρων, οι συνθήκες σε ό,τι αφορά το οξυγόνο, τη θερμοκρασία και την υγρασία διαφοροποιούνται και δεν εμφανίζουν ομοιόμορφη κατανομή.

Η διαφοροποίηση των οριζόντιων αντιδραστήρων σε σχέση με τους κατακόρυφους αντιδραστήρες είναι ότι ο αερισμός δεν επιτυγχάνεται στον ίδιο βαθμό. Και πάλι, ο αερισμός γίνεται μέσω σωληνώσεων. Ωστόσο, η παροχή του αέρα μπορεί να διαφέρει σε διάφορα σημεία του αντιδραστήρα.

Τα περιστρεφόμενα τύμπανα χρησιμοποιούνται για να επιτευχθεί ομογενοποίηση του υλικού κομποστοποίησης. Ωστόσο, στα κλειστά συστήματα κομποστοποίησης, ο χρόνος παραμονής είναι συνήθως σύντομος λόγω του υψηλού κόστους αυτών των συστημάτων. Για αυτό τον λόγο, μετά τη χρήση ενός κλειστού συστήματος κομποστοποίησης, η διαδικασία συνεχίζεται σε ένα ανοιχτό σύστημα, προκειμένου το κομπόστ να φτάσει σε ώριμη κατάσταση. Στην περίπτωση των περιστρεφόμενων τυμπάνων, ο χρόνος παραμονής μπορεί να είναι μερικές ώρες.

4.2.3 Επιλογή τρόπου κομποστοποίησης

Ως τρόπο κομποστοποίησης της υγρής ιλύος που μένει μετά την αναερόβια χώνευση θα προτείνουμε την μέθοδο των σειραδιών. Ένα ανοιχτό σύστημα, όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω, το οποίο μας εξυπηρετεί στην παραγωγή εδαφοβελτιωτικού που θέλουμε να υλοποιήσουμε. Είναι ένα σύστημα το οποίο δεν απαιτεί κάποιο ιδιαίτερο σχεδιασμό ούτε μεγάλο αρχικό κεφάλαιο για να είναι λειτουργικό. Τα σειράδια είναι ένας τρόπος κομποστοποίησης ο οποίος έχει χαμηλή απαίτηση όσον αφορά τον εξοπλισμό, αυτό εκτός από το κόστος του εξοπλισμού μειώνει και το κόστος συντήρησης του. Επιπλέον είναι ο κατάλληλος τρόπος για να γίνει κομποστοποίηση υποστρώματος που έχει υποστεί αναερόβια χώνευση, όπως φαίνεται σε αρκετά παραδείγματα που έχουν πραγματοποιηθεί στο παρελθόν.

4.2.4 Τεχνικό Μέρος

4.2.4.1 Ποσότητα πρώτης ύλης

Από την εργασία συναδέλφου που αφορά το βιοαέριο στην περίπτωση του συνεταιρισμού γνωρίζουμε ότι η παροχή του αντιδραστήρα είναι $Q = 47,02 \text{ m}^3/\text{d}$. Αυτή η παροχή είναι τα αγροδιατροφικά 'απόβλητα' που έχουμε να διαχειριστούμε μαζί με κτηνοτροφικά απόβλητα, αυτό προέκυψε από διερεύνηση που έγινε στο κομμάτι του βιοαερίου ώστε να είναι μια συμφέρουσα επένδυση ο αντιδραστήρας και να υπάρχει σταθερή παροχή του αντιδραστήρα όλες τις ημέρες. Η παροχή μόνο από τις ποσότητες του συνεταιρισμού θα ήταν 9400 κιλά την ημέρα μαζί με τα κτηνοτροφικά απόβλητα είναι 16600 κιλά την ημέρα έτσι καταλαβαίνουμε ότι τα απόβλητα του συνεταιρισμού καλύπτουν περίπου το 57% της παροχής που θα δίνουμε στον αντιδραστήρα.

4.2.4.2 Υπολογισμός παραγωγής κομπόστ

Έτσι, γνωρίζοντας ότι τα φρούτα έχουν λόγο άνθρακα προς άζωτο περίπου 35:1 και ότι η κοπριά βοοειδών με λίγο άχυρο έχει λόγο άνθρακα προς άζωτο περίπου 20:1, γίνονται οι εξής πράξεις για να βρούμε τον λόγο άνθρακα προς άζωτο πριν την αναερόβια χώνευση: $0.57 \cdot 35 + 0.43 \cdot 20 = 28,55:1$

Το υπόστρωμα που θα χρησιμοποιήσουμε από τον αντιδραστήρα θα έχει ιδανικό λόγο άνθρακα προς άζωτο γι' αυτό και δεν θα χρειαστεί κάποια περεταίρω ενίσχυση, ούτε προεργασία. Εκτός φυσικά από την μείωση της υγρασίας του από 80% σε 60%, η οποία θα γίνει σε ανοιχτές δεξαμενές. Για να φτάσουμε την συγκεκριμένη υγρασία πρέπει να απομακρυνθεί το 50% της ποσότητας του νερού.

Αρχική ποσότητα είναι $47,02 \text{ m}^3/\text{day} * 365 = 17162,3 \text{ m}^3/\text{year}$

$17162,3 * (\text{ποσοστό υγρασίας} = 80\%) = 13729,84 \text{ m}^3/\text{year}$

$13729,84 * (\text{ποσοστό απομάκρυνσης νερού} = 50\%) = 6864,92 \text{ m}^3/\text{year}$ νερού απομακρύνονται.

Το κομπόστ που θα παραχθεί τελικά με βάση τους παραπάνω υπολογισμούς είναι $17162,3 - 6864,92 = 10297,38 \text{ m}^3/\text{year}$

5 Τεχνοοικονομική ανάλυση

5.1 Αιθέρια έλαια

5.1.1 Εισαγωγή

Παρακάτω παρουσιάζεται μια οικονομική ανάλυση που αφορά τα αιθέρια έλαια. Από το αρχικό κόστος επένδυσης μέχρι και το ετήσιο εν δυνάμει κέρδος από την παραγωγή τους. Είναι απαραίτητο να γίνει μια τέτοια ανάλυση όταν ο σκοπός της εργασίας είναι η παραγωγή παραπροϊόντων υψηλής προστιθέμενης αξίας. Εκτός όμως από το κέρδος από τα αιθέρια έλαια, έχει ενδιαφέρον και το μέγεθος των αποβλήτων που αξιοποιούμε. Η παραγωγή αιθέριων ελαίων είναι μία διαδικασία που συμβάλει έντονα και στους δύο σκοπούς της εργασίας.

5.1.2 Συλλογή και επεξεργασία δεδομένων

5.1.2.1 Αρχική επένδυση

Αρχικά έγινε Διαστασιολόγηση του αποστακτήρα που χρειαζόμαστε με βάση τις αρχικές ποσότητες που έχουμε να χειριστούμε. Καθώς και του ατμοπαραγωγού που καλύπτει τις ανάγκες των ποσοτήτων που θα χρησιμοποιήσουμε. Αυτός ο εξοπλισμός αφορά την αρχική επένδυση που θα χρειαστεί να γίνει έτσι ώστε να δημιουργηθεί μία μονάδα απόσταξης αιθέριων ελαίων. Άλλα έξοδα που συμπεριλαμβάνονται στην τιμή αγοράς του αποστακτήρα αλλά δεν φαίνονται αναλυτικά: εναλλάκτης θερμότητας για την συμπύκνωση των αιθέριων ελαίων και δοχείο διαχωρισμού αιθέριων ελαίων και νερού.

Η τιμή αγοράς του εξοπλισμού εκτιμήθηκε μέσα από προσφορές διαφόρων εταιριών κατασκευής τους για τα μεγέθη που ορίστηκαν από την διαστασιολόγηση:

- 1^ο Σενάριο → αποστακτήρας= 12000 € και ατμοπαραγωγός=12000 €
- 2^ο Σενάριο → αποστακτήρας= 12000 € και ατμοπαραγωγός=12000 €
- 3^ο Σενάριο → αποστακτήρας= 17000 € και ατμοπαραγωγός=16000 €

5.1.2.2 Ετήσια κόστη

Στη συνέχεια υπολογίστηκαν τα ετήσια κόστη που χρειάζονται για την παραγωγή αιθέριων ελαίων, που είναι το κόστος του καυσίμου που θα καταναλώσουμε για παραγωγή ατμού και το ετήσιο κόστος των εργαζομένων.

Κόστος παραγωγής ατμού: Για την παραγωγή ατμού υπολογίστηκε η ενέργεια που χρειάζεται για να δημιουργήσουμε συνθήκες απόσταξης τα πρώτα 40 λεπτά καθώς και η ενέργεια που χρειάζεται για να διατηρηθούν οι συνθήκες απόσταξης τον υπόλοιπο χρόνο (3 ώρες και 20 λεπτά).

Η ενέργεια που χρειάζεται για να φτάσει το εσωτερικό του αποστακτήρα σε συνθήκες απόσταξης δίνεται από τον τύπο:

$$Q = m * c_p * \Delta T$$

Q: Η ενέργεια που πρέπει να προσφέρουμε. (kj)

m: Η μάζα των πορτοκαλιών. (kg)

Cp: Η ειδική θερμοχωρητικότητα των φρέσκων πορτοκαλιών. (kj/kg °C)

ΔT: Η θερμοκρασιακή διαφορά της τελικής μείον την αρχική θερμοκρασία. (°C)

1° Σενάριο

m= χωρητικότητα αποστακτήρα * πυκνότητα πρώτης ύλης

$$Q = (2500 * 0.9) * 3.77 * (97 - 17)$$

$$Q = 678600 \text{ kj/h}$$

2° Σενάριο

m= χωρητικότητα αποστακτήρα * πυκνότητα πρώτης ύλης

$$Q = (2500 * 0.45) * 3.77 * (97 - 17)$$

$$Q = 339300 \text{ kj/h}$$

3° Σενάριο

m= χωρητικότητα αποστακτήρα * πυκνότητα πρώτης ύλης

$$Q = (5000 * 0.9) * 3.77 * (97 - 17)$$

$$Q = 1357200 \text{ kj/h}$$

Η ενέργεια που χρειάζεται να προσδώσουμε για να διατηρήσουμε τις συνθήκες απόσταξης δίνεται από τον τύπο:

$$Q = m (h_2 - h_1)$$

Q: Η ενέργεια που πρέπει να προσφέρουμε. (kj)

m: Η μάζα του ατμού που συμπυκνώνεται σε 3 ώρες και 20 λεπτά. (kg)

h1: Η ενθαλπία του κορεσμένου υγρού σε ατμοσφαιρική πίεση. (kj/kg)

h2: Η ενθαλπία του ατμού σε πίεση 10 bar. (kj/kg)

1° Σενάριο

$$Q = 1221.8 \cdot (2777 - 2676)$$

$$Q = 123404 \text{ kJ}$$

2° Σενάριο

$$Q = 610.9 \cdot (2777 - 2676)$$

$$Q = 61702 \text{ kJ}$$

3° Σενάριο

$$Q = 2443.6 \cdot (2777 - 2676)$$

$$Q = 246808 \text{ kJ}$$

Προσθέτοντας τις δύο ενέργειες έχουμε την ολική ενέργεια που χρειάζεται να παραχθεί για μια απόσταξη:

- 1° Σενάριο → $Q_{ολ1} = 802004 \text{ kJ}$
- 2° Σενάριο → $Q_{ολ2} = 401002 \text{ kJ}$
- 3° Σενάριο → $Q_{ολ3} = 1604007.8 \text{ kJ}$

Το καύσιμο που χρησιμοποιήθηκε για να παραχθεί αυτή η ενέργεια από τον ατμοπαραγωγό είναι το υγραέριο. Κάποια γενικά στοιχεία που θα χρειαστούμε για το υγραέριο είναι: Πυκνότητα υγραερίου = 0.53 kg/l , Τιμή υγραερίου στην Ελλάδα = 0.9 €/l , Θερμογόνο δύναμη υγραερίου = 11500 kcal/kg .

Σενάριο 1°

Ενέργεια που χρειαζόμαστε για 1 απόσταξη = 802004 kJ

Ενέργεια που χρειαζόμαστε για 1 απόσταξη σε kcal = 191683.5 kcal

Μάζα υγραερίου που χρειάζονται για να παράγουν αυτή την ενέργεια με βάση την θερμογόνο δύναμη του υγραερίου = $191683.5 / 11500 = 16.7 \text{ kg}$

Μάζα υγραερίου για μία εργάσιμη ημέρα που αποτελείται από 4 αποστάξεις = $16.7 \cdot 4 = 66.8 \text{ kg}$

Μάζα υγραερίου για ένα μήνα που αποτελείται από 25 εργάσιμες ημέρες = $66.8 \cdot 25 = 1670 \text{ kg}$

Μάζα υγραερίου για ένα χρόνο που αποτελείται από 7 εργάσιμους μήνες=3330 * 7= 11690 kg

Όγκος υγραερίου με βάση την πυκνότητα του= 11690 / 0.53 = περίπου 22057 lt/year

Τιμή υγραερίου= 22057 * 0.9 = 19900 €/year

Σενάριο 2°

Ενέργεια που χρειαζόμαστε για 1 απόσταξη= 401002 kJ

Ενέργεια που χρειαζόμαστε για 1 απόσταξη σε kcal= 95841.8 kcal

Μάζα υγραερίου που χρειάζονται για να παράγουν αυτή την ενέργεια με βάση την θερμογόνο δύναμη του υγραερίου= 95841.8 /11500= 8.33 kg

Μάζα υγραερίου για μία εργάσιμη ημέρα που αποτελείται από 4 αποστάξεις= 8.33 * 4= 33.3 kg

Μάζα υγραερίου για ένα μήνα που αποτελείται από 25 εργάσιμες ημέρες= 33.3 * 25= 832.5 kg

Μάζα υγραερίου για ένα χρόνο που αποτελείται από 7 εργάσιμους μήνες= 832.5 * 7= 5828 kg

Όγκος υγραερίου με βάση την πυκνότητα του= 5828 / 0.53 = περίπου 10996 lt/year

Τιμή υγραερίου= 10996 * 0.9 = 9900 €/year

Σενάριο 3°

Ενέργεια που χρειαζόμαστε για 1 απόσταξη= 1604007.8 kJ

Ενέργεια που χρειαζόμαστε για 1 απόσταξη σε kcal= 383367.1 kcal

Μάζα υγραερίου που χρειάζονται για να παράγουν αυτή την ενέργεια με βάση την θερμογόνο δύναμη του υγραερίου= 383367.1/11500=33.3 kg

Μάζα υγραερίου για μία εργάσιμη ημέρα που αποτελείται από 4 αποστάξεις= 33.3 * 4= 133.2 kg

Μάζα υγραερίου για ένα μήνα που αποτελείται από 25 εργάσιμες ημέρες=133.2 * 25= 3330 kg

Μάζα υγραερίου για ένα χρόνο που αποτελείται από 7 εργάσιμους μήνες=3330 * 7= 23310 kg

Όγκος υγραερίου με βάση την πυκνότητα του= 23310 / 0.53 = περίπου 43981 lt/year

Τιμή υγραερίου= 43981 * 0.9 = 39600 €/year

Κόστος των εργαζομένων: Το κόστος των εργαζομένων υπολογίστηκε ως εξής: 800 ευρώ μισθό καθαρό ο εργαζόμενος + 400 ευρώ η ασφάλεια του = 1200 ευρώ για 14 μισθούς έχουμε 16800 ευρώ για κάθε εργαζόμενο.

5.1.2.3 Έσοδα από πώληση

Αφού υπολογίσαμε όλα τα έξοδα, υπολογίσαμε και τα έσοδα που θα έχουμε ετησίως πουλώντας τα αιθέρια έλαια.

Σενάριο 1^ο

Όγκος αποστακτήρα= 2500 l

Πυκνότητα φρέσκων πορτοκαλιών= 0.9 kg/l

Ποσότητα πορτοκαλιών για μία απόσταξη= $2500 * 0.9 = 2250$ kg

Ποσότητα πορτοκαλιών για μία ημέρα η οποία αποτελείται από 4 αποστάξεις= $2250 * 4 = 9000$ kg

Ποσότητα πορτοκαλιών για έναν μήνα ο οποίος αποτελείται από 25 εργάσιμες ημέρες= $9000 * 25 = 225000$ kg

Ποσότητα πορτοκαλιών για έναν χρόνο ο οποίος αποτελείται από 7 εργάσιμους μήνες= $225000 * 7 = 1575000$ kg

Ποσότητα αιθέριου ελαίου σε έναν χρόνο αν η απόδοση του είναι 0.34% (w/w)= $1575000 * 0.0034 = 5355$ kg

Τιμή πώλησης αιθέριων ελαίων= 20 €/kg

Ετήσιο κέρδος από πώληση αιθέριων ελαίων= $5355 * 20 = 107100$ €/year

Σενάριο 2^ο

Όγκος αποστακτήρα= 2500 l

Πυκνότητα φλούδας πορτοκαλιών= 0.45 kg/l

Ποσότητα πορτοκαλιών για μία απόσταξη= $2500 * 0.45 = 1125$ kg

Ποσότητα πορτοκαλιών για μία ημέρα η οποία αποτελείται από 4 αποστάξεις= $1125 * 4 = 4500$ kg

Ποσότητα πορτοκαλιών για έναν μήνα ο οποίος αποτελείται από 25 εργάσιμες ημέρες= $4500 * 25 = 112500$ kg

Ποσότητα πορτοκαλιών για έναν χρόνο ο οποίος αποτελείται από 7 εργάσιμους μήνες=
 $112500 * 7 = 787500 \text{ kg}$

Ποσότητα αιθέριου ελαίου σε έναν χρόνο αν η απόδοση του είναι 1.688% (w/w)=
 $787500 * 0.01688 = 13293 \text{ kg}$

Τιμή πώλησης αιθέριων ελαίων= 20 €/kg

Το εσπεριδοειδές όταν επεξεργάζεται με αποχυμωτή για να διαχωριστεί η φλούδα υπάρχουν απώλειες αιθέριου ελαίου της τάξεως του 20%

Ετήσιο κέρδος από πώληση αιθέριων ελαίων= $(13293 - (13293 * 0.2)) * 20 = 212688 \text{ €/year}$

Σενάριο 3^ο

Όγκος αποστακτήρα= 5000 l

Πυκνότητα φρέσκων πορτοκαλιών= 0.9 kg/l

Ποσότητα πορτοκαλιών για μία απόσταξη= $5000 * 0.9 = 4500 \text{ kg}$

Ποσότητα πορτοκαλιών για μία ημέρα η οποία αποτελείται από 4 αποστάξεις= $4500 * 4 = 18000 \text{ kg}$

Ποσότητα πορτοκαλιών για έναν μήνα ο οποίος αποτελείται από 25 εργάσιμες ημέρες=
 $18000 * 25 = 450000 \text{ kg}$

Ποσότητα πορτοκαλιών για έναν χρόνο ο οποίος αποτελείται από 7 εργάσιμους μήνες=
 $450000 * 7 = 3150000 \text{ kg}$

Ποσότητα αιθέριου ελαίου σε έναν χρόνο αν η απόδοση του είναι 0.34% (w/w)=
 $3150000 * 0.0034 = 10710 \text{ kg}$

Τιμή πώλησης αιθέριων ελαίων= 20 €/kg

Ετήσιο κέρδος από πώληση αιθέριων ελαίων= $10710 * 20 = 214200 \text{ €/year}$

5.1.2.4 Καθαρό κέρδος

Τέλος, αφαιρώντας τα ετήσια έξοδα από τα ετήσια έσοδα βρήκαμε τα καθαρά ετήσια έσοδα και με βάση αυτόν τον αριθμό υπολογίσαμε σε πόσο χρόνο θα γίνει απόσβεση της επένδυσης.

1^ο Σενάριο

Ετήσια έξοδα= Ετήσια έξοδα καυσίμου + Ετήσια έξοδα προσωπικού (4 άτομα)

Ετήσια έξοδα= $19900 + (16800 * 4) = 87100 \text{ €}$

Καθαρό κέρδος= Ετήσιο κέρδος – Ετήσια έξοδα

Καθαρό κέρδος= $107100 - 87100 = 20000 \text{ €}$

2^ο Σενάριο

Ετήσια έξοδα= Ετήσια έξοδα καυσίμου + Ετήσια έξοδα προσωπικού (6 άτομα) + Ηλεκτρική κατανάλωση αποχυμωτή

Η ετήσια ηλεκτρική κατανάλωση του αποχυμωτή θα υπολογιστεί με βάση την ισχύ του και τις ώρες λειτουργίας που θα χρησιμοποιηθεί.

Ισχύς αποχυμωτή= 7 kw

Δυνατότητα επεξεργασίας= 900 kg/h

Κιλά που χρειαζόμαστε για μία απόσταξη= $1125 \text{ (κιλά φλούδας)} * 5 \text{ (η φλούδα έχει το } 1/5 \text{ του βάρους ολόκληρου του φρούτου)} = 5625 \text{ kg}$

Ώρες λειτουργίας για επεξεργασία πρώτης ύλης= $5625 / (900*2) = 3.12 \text{ h}$ (3 ώρες και 7 λεπτά)

Ενέργεια για επεξεργασία ποσότητας για μία απόσταξη= $(7*2) * 3.12 = 43.75 \text{ kwh}$

Ενέργεια για μία ημέρα η οποία αποτελείται από 4 αποστάξεις= $43.75 * 4 = 175 \text{ kwh}$

Ενέργεια για έναν μήνα ο οποίος αποτελείται από 25 εργάσιμες ημέρες= $175 * 25 = 4375 \text{ kwh}$.

Ενέργεια για έναν χρόνο ο οποίος αποτελείται από 7 εργάσιμους μήνες= $4375 * 7 = 30625 \text{ kwh}$.

Τιμή αγοράς κιλοβατώρας (kwh)= 0.3 (€/kwh)

Κόστος ενέργειας για δύο αποχυμωτές= $30625 * 0.3 = 9200 \text{ €}$

Ετήσια έξοδα= Ετήσια έξοδα καυσίμου + Ετήσια έξοδα προσωπικού (6 άτομα) + Ηλεκτρική κατανάλωση αποχυμωτών

Ετήσια έξοδα= $9900 + (16800 * 6) + 9200 = 119900 \text{ €}$

Καθαρό κέρδος= Ετήσιο κέρδος – Ετήσια έξοδα

Καθαρό κέρδος= $212688 - 119900 = 92788 \text{ €}$

3^ο Σενάριο

Ετήσια έξοδα= Ετήσια έξοδα καυσίμου + Ετήσια έξοδα προσωπικού (4 άτομα)

Ετήσια έξοδα= $39600 + (16800 * 4) = 106800 \text{ €}$

Καθαρό κέρδος= Ετήσιο κέρδος – Ετήσια έξοδα

Καθαρό κέρδος= $214200 - 106800 = 107400 \text{ €}$

Οι πράξεις είναι ενδεικτικές και τα ακριβή νούμερα φαίνονται στους πίνακες που έχουν γίνει οι υπολογισμοί.

Σενάρια με βάση το μέγεθος αποστακτήρα και την πρώτη ύλη	1ο Σενάριο	2ο Σενάριο	3ο Σενάριο
Μέγεθος αποστακτήρα (l)	2500	2500	5000
Προς απόσταξη προϊόν	Ολόκληρο πορτοκάλι	Φλούδα πορτοκαλιού	Ολόκληρο πορτοκάλι
Πυκνότητα (kg/l)	0.900	0.450	0.900
Ποσότητα προς απόσταξη προϊόντος (tn)	1575	788	3150
Απόδοση αιθέριου ελαίου (w/w)	0.00340	0.01688	0.00340
Παραγωγή Αιθέριου Ελαίου (kg/y)	5355	13293	10710
Τιμή Αιθέριου Ελαίου (€/kg)	20	20	20
ΕΞΟΔΑ			
Κέρδος από την πώληση Αιθέριων Ελαίων (€)	107100	212688	214200
Συνολικό κέρδος το χρόνο(€)	20087	83606	107374
ΕΞΟΔΑ			
Κόστος αποστακτήρα και ατμοπαραγωγού (€)	24000	24000	0
Κόστος υπόλοιπου εξοπλισμού (€)	0	14000	0
Ετήσιο κόστος ηλεκτρικής ενέργειας (€)	0	18375	0
Ετήσιο κόστος προσωπικού (€)	67200	100800	67200
Ετήσια έξοδα καυσίμου (€)	19813	9907	39626
ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΑΠΟΠΛΗΡΩΜΗΣ			
Απόσβεση σε έτη	1.2	0.5	0.0
Διάρκεια ζωής σε έτη	15	15	15
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΕΡΔΟΣ ΓΙΑ ΟΛΗ ΤΗΝ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΖΩΗΣ			
Προεξοφλητικό επιτόκιο	5%	5%	5%
Καθαρή παρούσα αξία (€)	184496	829807	1081504

Εικόνα 28: Πίνακας Υπολογισμών Σεναρίων

5.2 Κρυοξήρανση

5.2.1 Εισαγωγή

Παρακάτω παρουσιάζεται μια οικονομική ανάλυση που αφορά τα αποξηραμένα φρούτα. Από το αρχικό κόστος επένδυσης μέχρι και το ετήσιο εν δυνάμει κέρδος από την παραγωγή τους. Είναι απαραίτητο να γίνει μια τέτοια ανάλυση όταν ο σκοπός της εργασίας είναι η παραγωγή παραπροϊόντων υψηλής προστιθέμενης αξίας. Όσον αφορά τα αποξηραμένα φρούτα παραγόμενα από ξήρανση με κατάψυξη, μπορεί να μην επιτρέπουν την αξιοποίηση τόσο μεγάλων ποσοτήτων όσο τα αιθέρια, παράγουν όμως προϊόντα τα οποία έχουν πολύ υψηλή προστιθέμενη αξία. Όπως θα παρατηρήσουμε μέσω της οικονομικής ανάλυσης που γίνεται παρακάτω, υπάρχει μεγαλύτερο κέρδος σε βάθος χρόνου σε σχέση με τα αιθέρια έλαια. Έτσι διαπιστώνουμε ότι η κρυοξήρανση σαν διαδικασία συνέλαβε στον σκοπό της δημιουργίας παραπροϊόντων υψηλής προστιθέμενης αξίας.

5.2.2 Συλλογή και επεξεργασία δεδομένων

5.2.2.1 Αρχική επένδυση

Αρχικά υπολογίσαμε το μέγεθος του ξηραντήρα που χρειαζόμαστε με βάση τις αρχικές ποσότητες που έχουμε να διαχειριστούμε. Ο ξηραντήρας είναι η αρχική επένδυση που θα χρειαστεί να γίνει έτσι ώστε να δημιουργηθεί μία μονάδα κρυοξήρανσης. Άλλα έξοδα που συμπεριλαμβάνονται στην τιμή αγοράς του ξηραντήρα αλλά δεν φαίνονται αναλυτικά: ψυκτική σπείρα για την συμπύκνωση υδρατμών και αντλία κενού.

Η τιμή αγοράς του εξοπλισμού εκτιμήθηκε μέσα από προσφορές διαφόρων εταιριών πώλησης τους στην Ευρώπη για το μέγεθος που ορίσαμε με βάση τις αρχικές ποσότητες: Πλήρης εξοπλισμός κρυοξήρανσης= 700000 €

5.2.2.2 Ετήσια κόστη

Στη συνέχεια υπολογίστηκαν τα ετήσια κόστη που χρειάζονται για την παραγωγή αποξηραμένων φρούτων, που είναι το κόστος ηλεκτρικής ενέργειας που θα καταναλώσει ο ξηραντήρας και το ετήσιο κόστος των εργαζομένων.

Κόστος ηλεκτρικής ενέργειας: Το κόστος της ενέργειας υπολογίζεται με βάση το πόσο ξηραμένο προϊόν παράγουμε.

Δυνατότητα ξήρανσης της μονάδας=350 kg φρούτα

Μέση υγρασία Φρούτων= 80%

Ποσότητα παραγόμενων αποξηραμένων φρούτων για έναν κύκλο ξήρανσης= $350 * 0.25$ (το 0.25 προέκυψε αφαιρώντας την τελική υγρασία που θα έχει το προϊόν από την αρχική υγρασία, ώστε να βρούμε την υγρασία που πρέπει να αφαιρεθεί)= 87.5 kg αποξηραμένων φρούτων την ημέρα

Ποσότητα παραγόμενων αποξηραμένων φρούτων σε έναν μήνα που αποτελείται από 25 εργάσιμες ημέρες= $87.5 * 25 = 2187.5$ kg

Ποσότητα παραγόμενων αποξηραμένων φρούτων σε έναν χρόνο που αποτελείται από 11 εργάσιμους μήνες= $2187.5 * 11 = 24062.5$ kg/year

Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για κάθε κιλό ξηραμένου προϊόντος= 3.5 kwh/kg

Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για τα κιλά που θα παραχθούν= $24062.5 * 3.5 = 84219$ kwh

Τιμή κιλοβατώρας (kwh)= 0.3 €/kwh

Κόστος ηλεκτρικής ενέργειας= $84219 * 0.3 = 25266$ €

Κόστος των εργαζομένων: Το κόστος των εργαζομένων υπολογίστηκε ως εξής: 800 ευρώ μισθό καθαρό ο εργαζόμενος + 400 ευρώ η ασφάλεια του = 1200 ευρώ για 14 μισθούς έχουμε 16800 ευρώ για κάθε εργαζόμενο.

5.2.2.3 Έσοδα από πώληση

Αφού υπολογίσαμε όλα τα έξοδα, υπολογίσαμε και τα έσοδα που θα έχουμε ετησίως πουλώντας αποξηραμένα φρούτα.

Παραγόμενη ποσότητα αποξηραμένου φρούτου= 24062.5 kg

Τιμή αποξηραμένου φρούτου= 20 €/kg

Κέρδος από πώληση= $24062.5 * 20 = 481250$ €

5.2.2.4 Καθαρό κέρδος

Τέλος, αφαιρώντας τα ετήσια έξοδα από τα ετήσια έσοδα βρήκαμε τα καθαρά ετήσια έσοδα και με βάση αυτόν τον αριθμό υπολογίσαμε τον χρόνο που χρειάζεται για απόσβεση της επένδυσης.

Ετήσια έξοδα= Ετήσια έξοδα ηλεκτρικής ενέργειας + Ετήσια έξοδα προσωπικού (4 άτομα)

Ετήσια έξοδα= 25266 + (16800 * 4) = 92466 €

Καθαρό κέρδος= Ετήσιο κέρδος – Ετήσια έξοδα

Καθαρό κέρδος= 481250 – 92466= 388784 €

Οι πράξεις είναι ενδεικτικές και τα ακριβή νούμερα φαίνονται στους πίνακες που έχουν γίνει οι υπολογισμοί.

Κρυσθήραση	
Ποσότητα προς ξήραση προϊόντος (kg)	350
Αρχική υγρασία πρώτης ύλης	0.8000
Βάρος αποξηραμένου προϊόντος (kg)	87.50000
Ποσότητα αποξηραμένου προϊόντος (kg/y)	24063
Τιμή Αποξηραμένου προϊόντος (€/kg)	20
ΕΣΟΔΑ	
Κέρδος από την πώληση Αποξηραμένων φρούτων (€)	481250
Συνολικό κέρδος το χρόνο(€)	388,784
ΕΞΟΔΑ	
Κόστος ξηραντήρα (€)	700000
Κόστος υπόλοιπου εξοπλισμού (€)	0
Ετήσιο κόστος ηλεκτρικής ενέργειας (€)	25,266
Ετήσιο κόστος προσωπικού (€)	67,200
ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΑΠΟΠΛΗΡΩΜΗΣ	
Απόσβεση σε έτη	1.8
Διάρκεια ζωής σε έτη	15
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΕΡΔΟΣ ΓΙΑ ΟΛΗ ΤΗΝ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΖΩΗΣ	
Προεξοφλητικό επιτόκιο	5%
Καθαρή παρούσα αξία (€)	3,335,449

Εικόνα 29: Πίνακας Υπολογισμών οικονομικών στοιχείων Κρυσθήρασης

5.3 Εδαφοβελτιωτικό

5.3.1 Εισαγωγή

Παρακάτω παρουσιάζεται μια οικονομική ανάλυση που αφορά την παραγωγή εδαφοβελτιωτικού. Από το μικρό αρχικό κόστος επένδυσης μέχρι και το ετήσιο εν δυνάμει κέρδος από την παραγωγή του. Ωστόσο μπορεί αφού γίνει η απόσβεση της αρχικής επένδυση να παρθεί η απόφαση να χαρίζεται στους παραγωγούς που προμηθεύουν τον συνεταιρισμό. Όσον αφορά το εδαφοβελτιωτικό που παράγεται από κομποστοποίηση με την μέθοδο των σειραδιών, έχει ελάχιστο κόστος αρχικής επένδυσης και παραγωγής. Όπως θα παρατηρήσουμε μέσω της οικονομικής ανάλυσης που γίνεται παρακάτω, η απόσβεση γίνεται πολύ γρήγορα λόγω και το ετήσιο κέρδος που θα μπορούσε να έχει η πώληση του είναι υπολογίσιμο. Τέλος, η παραγωγή εδαφοβελτιωτικού εξυπηρέτησε τον σκοπό της κυκλικής οικονομίας και της μηδενικής απόρριψης αποβλήτων.

5.3.2 Συλλογή και επεξεργασία δεδομένων

5.3.2.1 Αρχική επένδυση

Εδώ υπολογίσαμε το κόστος των χώρων που θα χρειαστεί να φτιαχτούν (χώρος ξήρασης, χώρος για πακετάρισμα) και τον μηχανικό εξοπλισμό που θα αγοραστεί.

Η τιμή κατασκευής των χώρων εκτιμήθηκε μέσα από προσφορές που έχουν δοθεί στο παρελθόν για την κατασκευή παρόμοιων χώρων και η τιμή για την αγορά του εξοπλισμού εκτιμήθηκε με βάση τιμές λιανικής λόγω της μικρής παραγωγής που θα έχουμε: Κόστος κατασκευής χώρων= 60000 €, Αγορά μηχανήματος ανάδευσης= 15000 €

5.3.2.2 Ετήσια κόστη

Στη συνέχεια υπολογίστηκαν τα ετήσια κόστη που χρειάζονται για την παραγωγή εδαφοβελτιωτικού, που είναι μόνο το ετήσιο κόστος των εργαζομένων.

Κόστος εργαζομένων: Έναν εργαζόμενο υπολογίζουμε στην συγκεκριμένη διεργασία, καθώς δεν έχει μεγάλες απαιτήσεις και επίσης ο αγροτικός συνεταιρισμός απασχολεί ήδη αρκετούς υπαλλήλους οι οποίοι θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν.

5.3.2.3 Έσοδα από πώληση

Αφού υπολογίσαμε όλα τα έξοδα, υπολογίσαμε και τα έσοδα που θα έχουμε ετησίως πουλώντας το κομπόστ.

Ποσότητα ιλύος που είναι ίση με την παροχή του αναερόβιου αντιδραστήρα= $47.02 \text{ m}^3/\text{d}$

Ποσότητα ιλύος τον χρόνο= $47.02 * 365 = 17162.3 \text{ m}^3/\text{year}$

Η ιλύ έχει υγρασία 80%, εμείς για να γίνει η διαδικασία της κομποστοποίησης θέλουμε 60% υγρασία. Οπότε πρέπει να αφαιρεθεί το 50% του βάρους του νερού για να επιτευχθεί το 60% που είναι η επιθυμητή τιμή. Το 50% του βάρους του νερού αφού η αρχική υγρασία είναι 80% αντιπροσωπεύει το 40% του ολικού βάρους. Η πυκνότητα του νερού είναι 1000 kg/m³.

Οπότε αφού απομακρύνεται το 40% του ολικού βάρους τελικά μένει το 60% το οποίο γίνεται κομπόστ.

Παραγόμενη ποσότητα κομπόστ= 17162.3 * 60%= 10297 m³

Τιμή αποξηραμένου φρούτου= 10 €/ m³

Κέρδος από πώληση= 10297 * 10= 102970 €

5.3.2.4 Καθαρό κέρδος

Τέλος, αφαιρώντας τα ετήσια έξοδα από τα ετήσια έσοδα βρήκαμε τα καθαρά ετήσια έσοδα και με βάση αυτόν τον αριθμό υπολογίσαμε τον χρόνο που χρειάζεται για απόσβεση της επένδυσης.

Ετήσια έξοδα= 16800 €

Καθαρό κέρδος= Ετήσιο κέρδος – Ετήσια έξοδα

Καθαρό κέρδος= 102970 – 16800= 86170 €

Κομποστοποίηση	
Ποσότητα παροχής αντιδραστήρα (m ³ /y)	17162
Ποσοστό μείωσης όγκου λόγω μείωσης υγρασίας	0.40000
Παραγόμενο κομποστ (m ³ /year)	10297
Τιμή πώλησης κομπόστ (€/m ³)	10
ΕΣΟΔΑ	
Κέρδος από την πώληση κομπόστ (€)	102974
Συνολικό κέρδος το χρόνο(€)	86,174
ΕΞΟΔΑ	
Κόστος εγκαταστάσεων ξηρανσης και πακεταρισματος (€)	60000
Κόστος μηχανημάτων (€)	15,000
Ετήσιο κόστος προσωπικού (€)	16,800
ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΑΠΟΠΛΗΡΩΜΗΣ	
Απόσβεση σε έτη	0.9
Διάρκεια ζωής σε έτη	15
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΕΡΔΟΣ ΓΙΑ ΟΛΗ ΤΗΝ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΖΩΗΣ	
Προεξοφλητικό επιτόκιο	5%
Καθαρή παρούσα αξία (€)	819,455

Εικόνα 30: Πίνακας Οικονομικών στοιχείων κομποστοποίησης

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ΚΑΤΣΙΩΤΗΣ Θ. ΣΤΑΥΡΟΣ, ΧΑΤΖΟΠΟΥΛΟΥ Σ. ΠΑΣΧΑΛΙΝΑ, ΑΡΩΜΑΤΙΚΑ ΦΑΡΜΑΚΕΥΤΙΚΑ ΦΥΤΑ ΚΑΙ ΑΙΘΕΡΙΑ ΕΛΑΙΑ, 2019
- Λάζος Ευάγγελος Σ, Επεξεργασία τροφίμων 1 (2η βελτιωμένη έκδοση), 2017
- M. Ortiz-Sanchez & J.C. Solarte-Toro & C.E. Orrego-Alzate & C.D. Acosta-Medina & C.A. Cardona-Alzate, Integral use of orange peel waste through the biorefinery concept: an experimental, technical, energy, and economic assessment, 2020
- Soukaina Hilali & Abdessamed Hejjaj & Karine Ruiz & A. Idlimam, Green Extraction of Essential Oils, Polyphenols, and Pectins from Orange Peel Employing Solar Energy: Toward a Zero-Waste Biorefinery, 2019
- Fernando G. Fermoso, Antonio Serrano, Bernabe Alonso-Fariñas, Juan Fernández-Bolaños, Rafael Borja, and Guillermo Rodríguez, Valuable compounds extraction, anaerobic digestion and composting: A leading biorefinery approach for agricultural waste, 2018
- Meryem Boukroufa, Chahrazed Boutekedjiret, Loïc Petigny, Njara Rakotomanomana, Farid Chemat, Bio-refinery of Orange peels waste. a New Concept based on Integrated Green and Solvent Free Extraction Processes Using Ultrasound and Microwave Techniques to Obtain Essential Oil, Polyphenols and Pectin, 2014
- Asma Farhat, Anne-Sylvie Fabiano-Tixier, Mohamed El Maataoui, Jean-François Maingonnat, Mehrez Romdhane, Farid Chemat, Microwave steam diffusion for extraction of essential oil from orange peel: Kinetic data, extract's global yield and mechanism, 2010
- D.L. Ortiz, S Ospina, C.E. Orrego, ORANGE PEEL MANAGEMENT CAN MAKE THE SHIFT TO CLEANER SMALL-SCALE ORANGE JUICE INDUSTRIES. A COLOMBIAN CASE STUDY, 2019
- Sharad Maharaj & David McGaw, Mathematical Model for the Removal of Essential Oil Constituents during Steam Distillation Extraction, 2020
- Naima Sahraoui, Maryline Abert Vian, Mohamed El Maataoui, Chahrazed Boutekedjiret, Farid Chemat, Valorization of citrus by-products using Microwave Steam Distillation (MSD), 2011
- Κωνσταντίνος Ε. Κουτσιμάνης, Παραγωγή Βιοαερίου από Αγροτοβιομηχανικά Απόβλητα: Η Περίπτωση Μελέτης Μονάδας Παραγωγής Βιοαερίου στην Περιφερειακή Ενότητα Κοζάνης, 2018
- ΣΥΛΙΒΟΥ ΣΤΑΜΑΤΙΑ, Η ΚΟΜΠΟΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ ΚΑΙ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ, 2020

- Κωνσταντίνος Ε. Κουτσιμάνης, Παραγωγή Βιοαερίου από Αγροτοβιομηχανικά Απόβλητα: Η Περίπτωση Μελέτης Μονάδας Παραγωγής Βιοαερίου στην Περιφερειακή Ενότητα Κοζάνης, 2018
- ΖΥΜΑΡΑ ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗ, ΟΙΚΟΝΟΜΟΤΕΧΝΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΕΝΟΣ ΝΕΟΥ ΠΑΡΑΓΩΓΟΥ ΠΡΟΙΟΝΤΟΣ ΣΤΟ ΧΩΡΟ ΤΗΣ ΚΟΣΜΕΤΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΑΡΩΜΑΤΟΘΕΡΑΠΕΙΑΣ, 2017
- Dominika Alexa Teigiserova, Ligia Tiruta-Barna, Aras Ahmadi, Lorie Hamelin, Marianne Thomsen, A step closer to circular bioeconomy for citrus peel waste: A review of yields and technologies for sustainable management of essential oils, 2021
- Jonathan Moncada, Jhonny A. Tamayo, Carlos A. Cardona, Techno-economic and environmental assessment of essential oil extraction from Citronella (*Cymbopogon winteriana*) and Lemongrass (*Cymbopogon citratus*): A Colombian case to evaluate different extraction technologies, 2014
- B. Ruiz, X. Flotats, Citrus essential oils and their influence on the anaerobic digestion process: An overview, 2014
- Michael Bantle, Kjell Kolsaker & Trygve Magne Eikevik, Modification of the Weibull Distribution for Modeling Atmospheric Freeze-Drying of Food, 2013
- I. C. Claussen, T. S. Ustad, I. Strommen a & P. M. Walde, Atmospheric Freeze Drying—A Review, 2010
- K. J. Chua, S. K. Chou, J. C. Ho & M. N. A. Hawlader, HEAT PUMP DRYING: RECENT DEVELOPMENTS AND FUTURE TRENDS, 2007
- Jennings, Thomas, Lyophilization: Introduction and Basic Principles. CRC Press, Florida, 2002
- Valentine Nkongndem Nkemka, Douglas H. Marchbank, Xiyang Hao, Anaerobic digestion of paunch in a CSTR for renewable energy production and nutrient mineralization, 2015
- MA Dareioti, M Kornaros, Effect of hydraulic retention time (HRT) on the anaerobic co-digestion of agro-industrial wastes in a two-stage CSTR system, 2014
- V O'Flaherty, G Collins, T Mahony, Anaerobic digestion of agricultural residues, 2010
- LR Kuhlman - Resources, Conservation and Recycling, Windrow composting of agricultural and municipal wastes, 1990
- JG Fuchs, A Berner, J Mayer, K Schleiss, T Kupper, Effects of compost and digestate on environment and plant production—results of two research projects, 2008
- M Younesian, M Cheraghi, S Sobhanardakani, Assessment of the differences between composting and anaerobic digestion of sludge, 2021

- Noura S. Dosoky & William N. Setzer, Biological Activities and Safety of Citrus spp. Essential Oils, 2018
- <https://freshstartliveoak.com/aromatherapy-essential-oils-history-current-use/>
- Fongang Fotsing Yannick Stephane & Bankeu Kezetas Jean Jules, Terpenoids as Important Bioactive Constituents of Essential Oils, 2020
- Dariush Shaterabadi, Mohammad Aboonajmi, Majid Ghorbani Javid, Akbar Arabhosseini, Effect of power ultrasound on the extraction of black caraway (Carum carvi L.) and evaluation of their qualitative properties using response surface methodology, 2020
- <https://news.usc.edu/151694/polio-vaccine-breakthrough-brings-researchers-closer-to-eliminating-disease-worldwide/>
- <https://naeye.net/15503/science/triple-point-of-water-the-temperature-where-all-three-phases-coexist/>
- <https://www.chemika.it/en-US/articles/Multi-Manifold--STANDARD--Type-Vacuum-Freeze-Dryer-8277.aspx>
- <https://ecopress.gr/stin-paragogi-revmatos-apo-vioaerio-p/>
- <https://www.ever-clear.com.tw/en/capability/detail-a4>
- <https://sswm.info/factsheet/anaerobic-filter>
- https://en.wikipedia.org/wiki/Upflow_anaerobic_sludge_blanket_digestion
- <https://www.indiamart.com/proddetail/continuous-stirred-tank-reactor-22322858055.html>
- https://www.researchgate.net/figure/Experimental-anaerobic-sequencing-batch-reactor-ASBR-setup_fig1_317971490
- https://www.researchgate.net/figure/Anaerobic-Contact-Reactor-7_fig2_236984317
- <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1552221/FULLTEXT01.pdf>
- <https://www.rts.com/blog/what-is-commercial-composting-and-how-can-cities-manage-organic-waste/>