

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΧΗΜΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ



**«Εξέταση Συστημάτων Περιβαλλοντικής Διαχείρισης
στο πλαίσιο της Ολοκληρωμένης Πολιτικής Προϊόντων
για τον κλάδο της Κλωστοϋφαντουργίας»**



Διπλωματική εργασία

Δαμάλα Πολυξένη

Υπεύθυνη καθηγήτρια

Λοϊζίδου Μαρία

Αθήνα 2014

Στην οικογένειά μου, που με βοήθησε να φτάσω μέχρι εδώ.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στην Μονάδα Περιβαλλοντικής Επιστήμης και Τεχνολογίας της σχολής Χημικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Θα ήθελα πρωτίστως να ευχαριστήσω θερμά την Υπεύθυνη Καθηγήτρια Κα Λοϊζίδου Μαρία για την ανάθεση της παρούσας εργασίας και την ευκαιρία που μου έδωσε να εργαστώ σε ένα θέμα τόσο ενδιαφέρον και καινοτόμο.

Απευθύνω ιδιαίτερες ευχαριστίες προς τους Δρ. Μαλαμή Δημήτριο και Δρ. Σταματόγλου Αιμίλιο για τη βοήθεια που μου προσέφεραν καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας μέσω των εύστοχων και ουσιαστικών παρατηρήσεών τους.

Ευχαριστώ επίσης τα μέλη της εξεταστικής επιτροπής Κα Παυλάτου Ευαγγελία και Κα Χαραλάμπους Αικατερίνη-Ιωάννα για τη συμμετοχή τους στην αξιολόγηση της παρούσας εργασίας.

Τέλος, ευχαριστώ θερμά όλο το προσωπικό του εργαστηρίου της Μονάδας Περιβαλλοντικής Επιστήμης και Τεχνολογίας και ιδιαίτερα τους: Βάσω Πανάρετου, Άγγελο Σωτηρόπουλο, Tatjana Kosanovic και Κατερίνα Σούμα, για το άριστο κλίμα συνεργασίας που αναπτύχθηκε.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτέλεσε η εφαρμογή και διερεύνηση της τεχνικής της κομποστοποίησης, για τη διαχείριση μέρους των αποβλήτων που απορρέουν από υφιστάμενη βιομηχανική μονάδα παραγωγής επεξεργασμένων υφασμάτων. Εξετάστηκαν δύο διαφορετικά συστήματα κομποστοποίησης σε εργαστηριακή κλίμακα, στα οποία προστέθηκε μίγμα με ποσότητες αφυδατωμένης ιλύος που αφαιρέθηκε από την ΕΕΛ του συνεργαζόμενου Βαφείου—Φινιστηρίου. Ως απώτερος σκοπός της έρευνας που πραγματοποιήθηκε ορίστηκε η προσπάθεια για εναρμόνιση του υπάρχοντος θεσμικού και νομοθετικού πλαισίου με τις πρακτικές που εφαρμόζουν σήμερα οι μονάδες της τελικής επεξεργασίας υφασμάτων τόσο κατά την παραγωγική διαδικασία όσο και κατά τη διαχείριση των παραγόμενων αποβλήτων τους. Μέσω της μελέτης και της εφαρμογής του συστήματος κομποστοποίησης, γίνεται μια προσπάθεια μείωσης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της βιομηχανίας συμβάλλοντας στη δημιουργία φιλικότερων προς το περιβάλλον προϊόντων, προσεγγίζοντας έτσι τον στόχο που πραγματεύεται η Ολοκληρωμένη Πολιτική Προϊόντων (ΟΠΠ). Στην προσπάθεια αυτή, σημαντική κρίθηκε η συνεισφορά των Βέλτιστων Διαθέσιμων Τεχνικών που προτείνονται από την Οδηγία IPPC, η εφαρμογή των οποίων αποτέλεσε αρωγό στην αποτελεσματική διαχείριση της παραγόμενης ιλύος αλλά και στην προσέγγιση της ΟΠΠ.

Τα δύο συστήματα κομποστοποίησης που εφαρμόστηκαν στην μονάδα Περιβαλλοντικής Επιστήμης και Τεχνολογίας της σχολής Χημικών Μηχανικών, διαφοροποιήθηκαν κυρίως ως προς σύσταση των μιγμάτων και τις θερμοκρασιακές τους συνθήκες. Στην πρώτη περίπτωση (σύστημα Α) η κομποστοποίηση πραγματοποιήθηκε αυτόνομα, χωρίς την επιβολή εξωτερικής πηγής θέρμανσης, ενώ το μίγμα περιλάμβανε εκτός των υπολοίπων συστατικών (ιλύ, πράσινα απορρίμματα, νερό, περλίτη) και ποσότητα τροφικών υπολειμμάτων. Αντίθετα, στη δεύτερη περίπτωση (σύστημα Β) τέθηκε σε λειτουργία ηλεκτρικός κομποστοποιητής με τα ίδια συστατικά μίγματος, χωρίς όμως την παρουσία των τροφικών υπολειμμάτων. Τα αποτελέσματα κρίθηκαν ενθαρρυντικά ως προς την ανάπτυξη και εξέλιξη της διεργασίας, αλλά λιγότερο ενθαρρυντικά ως προς την αποτελεσματικότητά της αναφορικά με τα χαρακτηριστικά και τη δυνατότητα αξιοποίησης του τελικού προϊόντος.

Το μίγμα του κομποστοποιητή Α αποτέλεσε αντιπροσωπευτικότερο δείγμα για την αξιολόγηση της διεργασίας στο σύνολό της, καθώς οι συνθήκες που αναπτύχθηκαν σε αυτό οφείλονταν αποκλειστικά στη βιολογική δράση των μικροοργανισμών. Η θερμοκρασία του συστήματος έφτασε σε μια ικανοποιητική μέγιστη τιμή (56°C) και ακολούθησε η σταδιακή μείωσή της. Το σύστημα Β διατήρησε σταθερή σχετικά θερμοκρασία που κυμάνθηκε μεταξύ του εύρους 54-65°C, λόγω της παρεχόμενης στο μίγμα θερμότητας. Και τα δύο συστήματα μετά το πέρας της διεργασίας εμφάνισαν μείωση τόσο της περιεχόμενης οργανικής ύλης τους (παράμετρος LOI) όσο και της

συγκέντρωσης του συνολικού αζώτου (παράμετρος TN). Η μείωση της παραμέτρου LOI καταγράφηκε σε ποσοστό 6-10% με βάση την αρχική περιεχόμενη οργανική ύλη των δειγμάτων, ενώ η μείωση του συνολικού αζώτου σε ποσοστό 20% και για τα δύο δείγματα. Τέλος, η συγκέντρωση των μετάλλων δεν μεταβλήθηκε σε αξιοσημείωτο ποσοστό, εντούτοις, τα μίγματα στο σύνολό τους εμφάνισαν σχετικά υψηλή περιεκτικότητα σε συγκεκριμένα βαρέα μέταλλα (Cu, Pb) λόγω της ήδη επιβαρυμένης ιλύος που χρησιμοποιήθηκε από τη βιομηχανία. Κυρίως η τελευταία αυτή παράμετρος καθόρισε και τη φυτοτοξική φύση του προϊόντος (κόμποστ), που επιμόλυσε τη διεργασία στο σύνολό της και περιόρισε τις δυνατότητες για παραγωγή ενός περισσότερο εξευγενισμένου τελικού προϊόντος. Τα δείγματα, έπειτα από παραμονή πέντε μηνών σε συνθήκες περιβάλλοντος, εμφάνισαν παρόμοια χαρακτηριστικά ως προς τις παραμέτρους LOI, TN, MC, pH και αγωγιμότητα.

Τα συνολικά αποτελέσματα της κομποστοποίησης του μίγματος ιλύος είναι ενθαρρυντικά, εφόσον κρίνονται ότι υπάρχουν περιθώρια βελτίωσης της διεργασίας, μέσω της διόρθωσης των παραγόντων που κρίθηκε ότι υποβάθμισαν τη διεργασία στο σύνολό της. Η αποτίμηση της παρούσας εργαστηριακής μελέτης έδειξε ότι οι σημαντικότεροι παράγοντες που επηρέασαν τη διεργασία αφορούσαν στην αδυναμία μηχανικής ανάδευσης του μίγματος, αλλά κυρίως στην επιβαρυμένη φύση της ιλύος με σημαντικές ποσότητες βαρέων μετάλλων.

SUMMARY

The aim of the present diploma thesis is to investigate the composting process using organic waste of a textile finishing industry (i.e. sludge). Two different lab scale composting systems were operated using mainly dehydrated sludge from the WWTP of the textile finishing industry along with other organic waste fractions. The main objective of the present study was the attempt to define and partly implement the existing legislative framework with the management practices that industries use to apply during their manufacturing process and waste management. The study and application of composting, was an attempt in reducing the environmental impact of the examined industry in terms of sludge management by providing the means for creating more environmentally friendly products, thereby reaching the goal that addresses the Integrated Product Policy (IPP). Implementing the Best Available Techniques (BAT) proposed by the Directive of Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC).

Two composting systems were applied in the Unit of Environmental Science and Technology of the Department of Chemical Engineering, using different organic mixtures and temperature conditions. In the first case (system A) the composting process was performed autonomously, without imposing an external heat source. In system A sludge, green waste, water, perlite and quantity of food waste were used as feedstock. In contrast, the second system was developed in an electrical composter, while the mixture contained only sludge, green waste, water and perlite. The results were considered encouraging regarding the development of the composting process, but less encouraging as to its effectiveness with respect to the characteristics and the quality of the end product.

The mixture of composter A was a more representative sample for the evaluation of the process as a whole, since its operating conditions were developed entirely due to the biological activity of the microorganisms. The temperature of the system reached a satisfactory peak (56°C), followed by a gradual decline. The temperature in System B was kept within the range of 54 to 65°C due to constant heat supply to the substrate. After the completion of the process, both products presented lower organic matter (LOI parameter) and total nitrogen (TN parameter) content compared to the initial substrate. More specifically, The LOI reduction was between 6-10% while nitrogen reduction level was about 20%. Finally, the concentration of metals did not change remarkably throughout the composting process. Both substrates and end products acquired high Cu and Pb concentrations which is associated with the increased heavy metal concentration of the collected sludge.

The overall results of the sludge composting process are encouraging, however there is room for further improvements of various conditions and parameters involved with composting of the examined waste streams. The valuation of this laboratory study showed that the most important

factors affecting the process involved the lack of mechanical stirring of the mixture, but mostly the significant amounts of heavy metals contained in the sludge.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. Εισαγωγή	16
2. Κλωστοϋφαντουργία & Επεξεργασία Υφασμάτων	18
2.1 Ο κλάδος της Κλωστοϋφαντουργίας	18
2.1.1 Εισαγωγικά στοιχεία για τον κλάδο.....	18
2.1.2 Σημερινή κατάσταση κλάδου Κλωστοϋφαντουργίας	19
2.2 Βιομηχανία Βαφής & Φινιρίσματος Υφασμάτων	22
2.2.1 Προκατεργασία	22
2.2.2 Βαφή.....	38
2.2.3 Φινίρισμα	48
3. Βιομηχανικά Απόβλητα	56
3.1 Ορισμός.....	56
3.2 Ποιοτικά χαρακτηριστικά βιομηχανικών αποβλήτων	58
3.3 Ρύποι και χαρακτηριστικά λυμάτων βιομηχανίας Βαφείου Φινιστηρίου	65
3.3.1 Προκατεργασία	65
3.3.2 Βαφή.....	67
3.3.3 Φινίρισμα	69
4. Επεξεργασία Βιομηχανικών Αποβλήτων	76
4.1 Τεχνολογίες επεξεργασίας λυμάτων.....	77
4.2 Ανάλυση κυριότερων σταδίων επεξεργασίας βιομηχανικών λυμάτων	80
4.2.1 Προεπεξεργασία.....	81
4.2.2 Δευτεροβάθμια επεξεργασία.....	85
4.2.3 Διαχείριση παραγόμενης ιλύος.....	90
4.3 Θεσμοί & Νομοθεσία	94
4.3.1 Η προσέγγιση της Ολοκληρωμένης Πολιτικής Προϊόντων.....	94
4.3.2 Εφαρμογή IPPC (Integrated Pollution Prevention Control)	95
4.3.2.1 Γενικά στοιχεία	95
4.3.2.2 Βέλτιστες Διαθέσιμες Τεχνικές για τον κλάδο της Βιομηχανίας Υφασμάτων	97
4.3.3 Νομοθετικό πλαίσιο	101

4.4	Η κομποστοποίηση ως μέθοδος διαχείρισης της παραγόμενης ιλύος	108
4.4.1	Γενικά	108
4.4.2	Τα στάδια της κομποστοποίησης.....	110
4.4.3	Συγκομποστοποίηση.....	112
4.4.4	Κομποστοποίηση με γαιοσκώληκες	114
4.4.5	Παράμετροι που επηρεάζουν την κομποστοποίηση	116
4.4.5.1	Μικροοργανισμοί	117
4.4.5.2	Θερμοκρασία	117
4.4.5.3	Υγρασία.....	118
4.4.5.4	Διογκωτικοί παράγοντες	119
4.4.5.5	Αερισμός	121
4.4.5.6	Ανάμιξη.....	122
4.4.5.7	pH.....	122
4.4.5.8	Άλεση.....	123
4.4.5.9	Αναλογία C/N.....	123
4.4.5.10	Μεταφορά και απώλεια αζώτου	124
4.4.6	Σταθερότητα & ωριμότητα του κόμποστ	126
4.4.7	Συστήματα κομποστοποίησης	128
5.	Περιγραφή εξεταζόμενου Βαφείου – Φινιστηρίου	130
5.1	Περιγραφή μονάδας	130
5.2	Περιγραφή Εγκατάστασης Επεξεργασίας Λυμάτων	137
5.3	Αποτελέσματα αναλύσεων λυμάτων και ιλύος.....	141
6.	Πειραματικό μέρος.....	144
6.1	Σκοπός.....	144
6.2	Μεθοδολογία.....	144
6.3	Συσκευές και Μέθοδοι Μέτρησης	152
6.4	Πειραματικά Αποτελέσματα & Σχολιασμός	164
6.4.1	Θερμοκρασία.....	164
6.4.2	Υγρασία	167
6.4.3	pH και Αγωγιμότητα	171
6.4.4	LOI.....	175
6.4.5	Άζωτο.....	178

6.4.6	Βαρέα Μέταλλα.....	181
6.4.7	Φυτοτοξικότητα.....	184
6.4.8	Τελικά αποτελέσματα μετρήσεων.....	186
7.	Συμπεράσματα.....	188
8.	Βιβλιογραφία.....	193

ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Μηχανολογικός εξοπλισμός και βοηθητικά μέσα προκατεργασίας	37
Πίνακας 2: Κυριότερες χρωμοφόρες και αυξόχρωμες ομάδες	38
Πίνακας 3: Χαρακτηριστικά και πρόσθετες πληροφορίες για τα διαφορετικά είδη χρωμάτων	41
Πίνακας 4: Φυσικά χαρακτηριστικά υγρών αποβλήτων	59
Πίνακας 5: Χημικά χαρακτηριστικά υγρών αποβλήτων	62
Πίνακας 6: Βιολογικά χαρακτηριστικά υγρών αποβλήτων	64
Πίνακας 7: Οργανικοί ρύποι προερχόμενοι από την προκατεργασία.....	67
Πίνακας 8: Ρύποι προερχόμενοι από τη διαδικασία της βαφής.....	69
Πίνακας 9: Χαρακτηριστικές τιμές ρυπαντικού φορτίου των υγρών αποβλήτων ενός Βαφείου-Φινιστηρίου για διαφορετικές διεργασίες και πρώτες ύλες	74
Πίνακας 10: Μέθοδοι επεξεργασίας υγρών αποβλήτων με βάση τη διάκριση σε φυσικές, χημικές, βιολογικές και φυσικοχημικές διεργασίες	77
Πίνακας 11: Παραλλαγές συστήματος EI και κυριότερα χαρακτηριστικά	88
Πίνακας 12: Οριακές τιμές εκπομπών φυσικοχημικών παραμέτρων	102
Πίνακας 13: Οριακές τιμές εκπομπών μετάλλων	103
Πίνακας 14: Οριακές συγκεντρώσεις μετάλλων για την γεωργική αξιοποίηση της ιλύος	104
Πίνακας 15: Προδιαγραφές compost που προέρχεται από μονάδα μηχανικής διαλογής-κομποστοποίησης ..	105
Πίνακας 16: Σύγκριση μεταξύ των διαφορετικών συστημάτων κομποστοποίησης.....	129
Πίνακας 17: Η/Μ εξοπλισμός μελετώμενης βιομηχανίας.....	131
Πίνακας 18: Πίνακας πρώτων και βοηθητικών υλών.....	136
Πίνακας 19: Χαρακτηριστικά λυμάτων βιομηχανίας	142
Πίνακας 20: Χαρακτηριστικά ιλύος βιομηχανίας	142
Πίνακας 21: Μαζική και ποσοστιαία σύσταση του μίγματος στον κομποστοποιητή Α.	148
Πίνακας 22: Μαζική και ποσοστιαία σύσταση του μίγματος στον κομποστοποιητή Β.....	152
Πίνακας 23: Παράμετροι που αναλύθηκαν και αξιολογήθηκαν κατά την κομποστοποίηση της ιλύος.....	153
Πίνακας 24: Καταγραφή της θερμοκρασίας κατά την κομποστοποίηση στους δύο κομποστοποιητές	164
Πίνακας 25: Ποσοστό υγρασίας των στερεών στους δύο κομποστοποιητές.....	167
Πίνακας 26: Καταγραφή του pH και της αγωγιμότητας στους δύο κομποστοποιητές	171
Πίνακας 27: Καταγραφή της παραμέτρου LOI για τους δύο κομποστοποιητές.....	175
Πίνακας 28: Καταγραφή του περιεχόμενου αζώτου των στερεών στους δύο κομποστοποιητές.....	178
Πίνακας 29: Συγκέντρωση βαρέων μετάλλων στα αρχικά δείγματα και στα δείγματα της 14 ^{ης} ημέρας κομποστοποίησης.....	181
Πίνακας 30: Χαρακτηριστικά παραγωγικής διεργασίας και συγκέντρωσης βαρέων μετάλλων ιλύος 9 μονάδων βαφείων	183
Πίνακας 31: Μήκος βλαστών κατά την μέτρηση της φυτοτοξικότητας	184
Πίνακας 32: Αποτελέσματα φυτοτοξικότητας δειγμάτων την τελευταία μέρα της κομποστοποίησης.....	185

Πίνακας 33: Αποτελέσματα μετρήσεων στα τελικά δείγματα κομποστοποίησης (μετά από 5 μήνες).....	186
--	-----

ΛΙΣΤΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 1: Διάγραμμα ροής της προκατεργασίας κυτταρινικών προϊόντων.....	23
Διάγραμμα 2: Διάγραμμα ροής της προκατεργασίας πρωτεϊνικών προϊόντων.....	32
Διάγραμμα 3: Διάγραμμα ροής της προκατεργασίας συνθετικών προϊόντων	36
Διάγραμμα 4: Κατανομή μεριδίου αγοράς των βοηθητικών μέσων της κλωστοϋφαντουργίας	70
Διάγραμμα 5: Συγκριτική κατανομή φινιριστικών βοηθημάτων ως προς τη τιμή και την ποσότητα	71
Διάγραμμα 6: Διάγραμμα ροής υφασμάτων κατά τα διαφορετικά στάδια επεξεργασίας τους	135
Διάγραμμα 7: Διακύμανση της θερμοκρασίας.....	165
Διάγραμμα 8: Διακύμανση της περιεχόμενης υγρασίας.....	169
Διάγραμμα 9: Διακύμανση του pH.....	172
Διάγραμμα 10: Διακύμανση της αγωγιμότητας	174
Διάγραμμα 11: Διακύμανση της παραμέτρου LOI	176
Διάγραμμα 12: Διακύμανση του αζώτου	178
Διάγραμμα 13: Διακύμανση της απώλειας αζώτου	179

ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Βαφική μηχανή Jet Flow	46
Εικόνα 2: Ευρωπαϊκός Κατάλογος Αποβλήτων: Απόβλητα από τις βιομηχανίες υφαντουργίας	106
Εικόνα 3: Κομποστοποιητής «L&T Compomate»	147
Εικόνα 4: Αρχική μορφή μίγματος κομποστοποίησης.....	149
Εικόνα 5: Κομποστοποιητής NatureMill	151
Εικόνα 6: Συσκευή χώνευσης Gerhard Kjeldatherm (α), συσκευή απόσταξης Gerhard Vapodest (β), τιτλοδότηση (γ).....	155
Εικόνα 7: Πριν και μετά τη τιτλοδότηση κατά την μέθοδο προσδιορισμού του αζώτου των δειγμάτων.....	156
Εικόνα 8: Κλίβανος (α) και ξηραντήρας με τις κάψες (β) για τον υπολογισμό της παραμέτρου LOI	157
Εικόνα 9: Φούρνος μικροκυμάτων ρότορας.....	159
Εικόνα 10: Πεχάμετρο – Αγωγιμόμετρο	161
Εικόνα 11: Φορητό ψηφιακό θερμομέτρο	162
Εικόνα 12: Τρυβλία με σπόρους πριν την έναρξη της μεθόδου φυτοτοξικότητας	163
Εικόνα 13: Τρυβλία με βλαστούς μετά το πέρας της μεθόδου φυτοτοξικότητας.....	163

ΛΙΣΤΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1: Καψαλίστρα.....	24
Σχήμα 2: Ξυράφι.....	32
Σχήμα 3: Βαφική μηχανή Jigger.....	45
Σχήμα 4: Βαφική μηχανή Beam.....	45
Σχήμα 5: Βαφική μηχανή Air Flow.....	47
Σχήμα 6: Βαφική μηχανή Over Flow.....	48
Σχήμα 7: Χνουδιάστρα.....	50
Σχήμα 8: Διαδικασία συρρίκνωσης υφασμάτων.....	51
Σχήμα 9: Ράμμα.....	52
Σχήμα 10: Κύλινδροι στεγνώματος.....	53
Σχήμα 11: Διάγραμμα τυπικής εγκατάστασης επεξεργασίας αστικών λυμάτων με την μέθοδο EI.....	80
Σχήμα 12: Βασικά μέρη συστήματος ενεργού ιλύος.....	87
Σχήμα 13: Στάδια αερόβιας χώνευσης.....	91
Σχήμα 14: Βασική διεργασία κομποστοποίησης.....	111
Σχήμα 15: Κάτοψη εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων βάσει του Πίνακα Η/Μ εξοπλισμού.....	134
Σχήμα 16: Εσωτερικό τμήμα του κομποστοποιητή NatureMill.....	150

ΣΥΝΤΟΜΕΥΣΕΙΣ

ΒΔΤ	Βέλτιστες Διαθέσιμες Τεχνικές
ΕΕΛ	Εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων
EI	Ενεργός Ιλύς
EK	Ευρωπαϊκή Κοινότητα
EKA	Ευρωπαϊκός Κατάλογος Αποβλήτων
ΕΛΣΤΑΤ	Ελληνική Στατιστική Αρχή
ΕΣΔΣΑ	Εθνικός Σχεδιασμός Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων
ΕΣΠΑ	Εθνικό Στρατηγικό Πλαίσιο Αναφοράς
ΙΟΒΕ	Ίδρυμα Οικονομικών & Βιομηχανικών Ερευνών
ΚΑΑ	Κεντρικός Αποχετευτικός Αγωγός
ΚΥΑ	Κοινή Υπουργική Απόφαση
ΜΙΠ	Μονάδες Ισοδύναμου Πληθυσμού
ΟΠΠ	Ολοκληρωμένη Πολιτική Προϊόντων
ΣΕΠΕΕ	Σύνδεσμος Επιχειρήσεων Πλεκτικής Ετοίμου Ενδύματος Ελλάδος

ΣΤΑΚΟΔ	Στατιστική Ταξινόμηση των Κλάδων Οικονομικής Δραστηριότητας
ΦΕΚ	Φύλλο Εφημερίδας της Κυβερνήσεως
ΧΑΔΑ	Χώρος Ανεξέλεγκτης Διάθεσης Απορριμμάτων
ΧΥΤΑ	Χώρος Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων
ΧΥΤΕΑ	Χώρος Υγειονομικής Ταφής Επικίνδυνων Αποβλήτων
AOX	Adsorbable Organic Halogen
BAT	Best Available Technique
BOD	Biochemical Oxygen Demand
BREF	Best available technique Reference document
C/N	Carbon/Nitrogen
COD	Chemical Oxygen Demand
DAF	Dissolved Air Flotation
DOC	Dissolved Organic Matter
EC	Electrical Conductivity
EMAS	Eco Management & Audit Scheme
EPP	Expanded Polypropylene
FAS	Free Air Space
F/M	Food/Microorganisms
Fs	Furans
HRT	Hydraulic retention time
IED	Industrial Emissions Directive
ISO	International Organization for Standardization
IWTP	Industrial Wastewater Treatment Plants
IPPC	Integrated Pollution Prevention Control
LAS	Linear Alkylbenzene Sulphonates
LOI	Loss On Ignition
MBAS	Methylene Blue Active Substances
MBR	Membrane Bioreactor
MLSS	Mixed Liquor Suspended Solids

MLVSS	Mixed Liquor Volatile Suspended Solids
NTU	Nephelometric Turbidity Unit
OM	Organic Matter
OP	Organophosphate
OUR	Oxygen Uptake Rate
PACl	Polyaluminium Chloride
PICl	Poly Iron Chloride
POP	Persistent Organic Pollutant
PCDD	Polychlorinated Dibenzodioxins
SBR	Sequencing Batch Reactor
STP	Sewage Treatment Plant
TKN	Total Kjeldahl Nitrogen
TN	Total Nitrogen
TOC	Total Organic Carbon
TS	Total Solids
TSS	Total Suspended Solids
TU	Toxic Unit
VOC	Volatile Organic Compound
VSS	Volatile Suspended Solids
WWTP	Wastewater Treatment Plant

1. Εισαγωγή

Οι ραγδαίες τεχνολογικές εξελίξεις σε συνδυασμό με την ταχεία διάδοση της γνώσης που χαρακτηρίζει τη σύγχρονη εποχή, αποτέλεσαν αίτιο για την απαρχή της αντιμετώπισης του περιβαλλοντικού αντίκτυπου που συνεπάγονται οι δραστηριότητες του ανθρώπου. Τα βιομηχανικά απόβλητα αποτελούν μέρος της ανθρωπογενούς δραστηριότητας, η ανάγκη αντιμετώπισης των οποίων κρίνεται πιο έντονη από ποτέ, αν λάβει κανείς υπόψιν το μέγεθος της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης που μπορούν να προκαλέσουν. Η αποτελεσματική διαχείριση των βιομηχανικών αποβλήτων αποτελεί ένα πολυδιάστατο ζήτημα, στο οποίο η μελέτη και εφαρμογή των νέων τεχνολογιών μπορούν να συνδράμουν ουσιαστικά.

Η κλωστοϋφαντουργία συγκαταλέγεται μεταξύ των μεγαλύτερων βιομηχανικών κλάδων που αναπτύχθηκαν ανά τον κόσμο, τα απόβλητα της οποίας προστίθενται στον μακρύ κατάλογο των αποβλήτων που χρήζουν άμεσης αντιμετώπισης λόγω του έντονου ρυπαντικού τους φορτίου. Ιδιαίτερα ρυπογόνος χαρακτηρίζεται ο κλάδος της τελικής επεξεργασίας των υφασμάτων, στον οποίο γίνεται χρήση αναρίθμητων χημικών υλών. Τα Βαφεία–Φινιστήρια καλούνται να αντιμετωπίσουν έναν μεγάλο όγκο –υγρών κυρίως– αποβλήτων, επιβαρυσμένων με όλες τις πρώτες και βοηθητικές ύλες που χρησιμοποιούνται κατά τα στάδια της προκατεργασίας, της βαφής και του φινιρίσματος των υφασμάτων. Ωστόσο, η ελληνική κλωστοϋφαντουργία σήμερα πλήττεται από ένα σύνολο παραγόντων που σχετίζονται τόσο με τη γενικότερη ύφεση που επικρατεί, όσο και με τις νομοθετικές και διοικητικές δυσκολίες με τις οποίες έρχονται αντιμέτωποι οι υπεύθυνοι των μονάδων. Υπό αυτές τις συνθήκες, οι αρμόδιοι του κλάδου πρέπει να εξασφαλίσουν την επιβίωση των μονάδων τους αλλά και την υιοθέτηση διαδικασιών παραγωγής που εγκρίνονται από το ευρύτερο πλαίσιο που ορίζει η εθνική και ευρωπαϊκή νομοθεσία.

Η Οδηγία IPPC εκδόθηκε από την Ευρωπαϊκή Κοινότητα με σκοπό την επιτυχή αντιμετώπιση των ζητημάτων που καλούνται να αντιμετωπίσουν οι βιομηχανίες, μέσω της προώθησης των Βέλτιστων Διαθέσιμων Τεχνικών. Οι ΒΔΤ παρέχουν επικουρική πληροφόρηση σχετικά με τις συνθήκες λειτουργίας των μονάδων, τα όρια εκπομπών των ρυπαντών και τις ετήσιες αναφορές εκπομπών τους αλλά και γενικότερα τα μέτρα που θα ωφελήσουν τις βιομηχανίες και το περιβάλλον ταυτόχρονα. Οι ΒΔΤ που αφορούν στον κλάδο της τελικής επεξεργασίας υφασμάτων, παρέχουν ένα χρήσιμο γνωστικό υπόβαθρο η εφαρμογή του οποίου θα συνδράμει καταλυτικά στην αντιμετώπιση του περιβαλλοντικού κόστους που συνεπάγεται η λειτουργία του συγκεκριμένου κλάδου. Συγκεκριμένα όσον αφορά τη διαχείριση της λύσος που παράγεται από τις ΕΕΛ των αντίστοιχων μονάδων, η τεχνική της κομποστοποίησης προτείνεται ως μια από τις βέλτιστες τεχνικές

απορρύπανσης. Μέσω της εφαρμογής εργαστηριακών συστημάτων κομποστοποίησης, έγινε μια προσπάθεια διερεύνησης της αποτελεσματικότητας της συγκεκριμένης τεχνικής για την απορρύπανση της ιλύος που παράγεται από τα Βαφεία-Φινιστήρια του κλάδου της Κλωστοϋφαντουργίας.

2. Κλωστοϋφαντουργία & Επεξεργασία Υφασμάτων

2.1 Ο κλάδος της Κλωστοϋφαντουργίας

2.1.1 Εισαγωγικά στοιχεία για τον κλάδο

Με τον όρο βαφή - φινίρισμα των υφασμάτων, είτε αυτά είναι υφαντά είτε είναι πλεκτά, εννοούμε την απόδοση χρωμάτων αλλά και ιδιοτήτων σε αυτά, όπως είναι η σκληρότητα, η γυαλάδα, η αδιαβροχοποίηση, το χνούδιασμα, το τσαλάκωμα κ.ά. Η παραγωγική διαδικασία στην κλωστοϋφαντουργία, και ειδικότερα στον κλάδο των βαφείων - φινιριστηρίων, εξαρτάται τόσο από το είδος τη πρώτης ύλης όσο και από τα επιθυμητά τελικά χαρακτηριστικά του υφάσματος.

Τα επεξεργαζόμενα υφάσματα αποτελούνται από διάφορες πρώτες ύλες, οι οποίες μπορεί να είναι φυσικές, συνθετικές ή πρόσμιξη αυτών. Κατ' αντιστοιχία, τα υφάσματα χαρακτηρίζονται ως *φυσικά, συνθετικά ή σύμμεικτα*. Οι φυσικές πρώτες ύλες είναι είτε φυτικής είτε ζωικής προέλευσης και τα προϊόντα που παραλαμβάνουμε κατά αντιστοιχία χωρίζονται σε *κυτταρινικά* και *πρωτεϊνικά*. Στις φυτικής προέλευσης πρώτες ύλες συγκαταλέγεται μεταξύ άλλων το βαμβάκι (CO) και το λινό (LI) ενώ ζωικής προέλευσης είναι το μαλλί (WO), το μετάξι (SE), το κασμίρ (WS), το ανκορά (WA) κ.ά. Στις συνθετικές πρώτες ύλες συμπεριλαμβάνεται το ακρυλικό (PC), ο πολυεστέρας (PES), η πολυουρεθάνη (PUR), το νάιλον – πολυαμίδιο (PA) κ.ά. Τα σύμμεικτα υφάσματα προέρχονται από προσμίξεις φυσικών ή/και συνθετικών υλών. Ενδεικτικά, πρώτες ύλες αυτών των υφασμάτων μπορεί να περιλαμβάνουν πολυεστέρα/βαμβάκι (PES/CO), πολυεστέρα/λινό (PES/LI), ακρυλικό/πολυεστέρα (PC/PES) κτλ. Η σύσταση των υφασμάτων μπορεί να ποικίλει, από 100% καθαρή πρώτη ύλη μέχρι και όλων των ειδών τις αναλογίες πρώτων υλών για τα σύμμεικτα υφάσματα. Η σύνθεση του υφάσματος καθώς και το τελικό επιθυμητό αποτέλεσμα καθορίζουν ποια μεθοδολογία βαφής και φινιρίσματος θα ακολουθηθεί κάθε φορά.

Για να μπορέσει το ύφασμα να αφομοιώσει αποτελεσματικά τη βαφή ή το φινίρισμα που θα του αποδώσει τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του, ενδέχεται να απαιτείται μια προκατεργασία σε αυτό, η οποία μπορεί να περιλαμβάνει τόσο μηχανικές όσο και χημικές επεξεργασίες, ανάλογα με το τελικό αποτέλεσμα. Η προκατεργασία, μαζί με τη βαφή και το φινίρισμα μπορούν να λάβουν χώρα ως συνεχείς ή ασυνεχείς διεργασίες.

Στις *συνεχείς διεργασίες* προσδίδεται θερμότητα σε μεγάλα ρολά υφάσματος τα οποία διέρχονται από μια σειρά λουτρών που περιέχουν τα κατάλληλα χημικά διαλύματα. Το ύφασμα, κατά τη βαφή και το φινίρισμα, συγκρατεί το μεγαλύτερο μέρος των χημικών που δέχεται, ενώ κατά το πλύσιμο

απομακρύνεται η πλειονότητα των χημικών που προστίθενται κατά την προκατεργασία. Κάθε φορά που το ύφασμα εμποτίζεται από τα διαλύματα των λουτρών, καταναλώνεται ποσότητα νερού ισοδύναμη με το βάρος του ίδιου του υφάσματος. Στις *ασυνεχείς διεργασίες*, παρτίδες υφάσματος επεξεργάζονται υπό την παρουσία αραιών χημικών διαλυμάτων εντός κλειστών μηχανημάτων. Εδώ, το ύφασμα αντί να μεταφέρεται κατά μήκος μιας σειράς τμημάτων εξοπλισμού, παραμένει σε ένα μόνο μηχάνημα το οποίο περιοδικά γεμίζει και αδειάζει από το νερό σε κάθε στάδιο της επεξεργασίας. Κάθε φορά που το ύφασμα εμβαπτίζεται σε ένα ξεχωριστό λουτρό, απαιτείται ποσότητα νερού που ισοδυναμεί με πέντε έως δέκα φορές το βάρος του. Καταλαβαίνει λοιπόν κανείς πως η υγρή επεξεργασία των κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων, είτε συνεχής είτε ασυνεχής, παράγει ένα μεγάλο όγκο χημικά επιβαρυσμένων λυμάτων, τα οποία εάν δεν επεξεργαστούν, μπορούν να αποτελέσουν σημαντική πηγή ρύπανσης. (Moore et al., 2003)

2.1.2 Σημερινή κατάσταση κλάδου Κλωστοϋφαντουργίας

Η Ελληνική Κλωστοϋφαντουργία αποτελούσε έναν από τους σημαντικότερους κλάδους της εγχώριας βιομηχανίας, αντιπροσωπεύοντας το 28% της απασχόλησης στη μεταποίηση, το 16% του ΑΕΠ και το 25% της βιομηχανικής παραγωγής, με στοιχεία του 1994. Ωστόσο, η σταδιακή απώλεια της ανταγωνιστικότητας της εγχώριας κλωστοϋφαντουργίας την τελευταία 20-ετία οδήγησε σε συρρίκνωση της παραγωγής και έξοδο από τον κλάδο αρκετών επιχειρήσεων με δυσμενείς επιπτώσεις στην απασχόληση και στην ανάπτυξη των περιφερειών της Κεντρικής και Βόρειας Ελλάδας, στις οποίες είναι συγκεντρωμένες οι περισσότερες επιχειρήσεις. Το 2010, τα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα συγκέντρωναν περίπου το 3,5% του συνόλου των εξαγωγών και το 2,1% των εισαγωγών βιομηχανικών προϊόντων, ενώ το εμπορικό ισοζύγιο του κλάδου σε όρους αξίας ήταν ήδη ελλειμματικό και εμφάνιζε τάση επιδείνωσης. Οι εξαγωγές κατευθύνθηκαν κυρίως προς χώρες εντός της ΕΕ-27, οι οποίες απορρόφησαν το 70% περίπου των εξαγωγών του κλάδου, ενώ το υπόλοιπο 30% είχε ως προορισμό χώρες εκτός ΕΕ-27. (IOBE, 2010)

Όπως προέκυψε από επεξεργασία στοιχείων της ΕΛΣΤΑΤ, το πρώτο οκτάμηνο του 2012 η συρρίκνωση του όγκου της παραγωγής της ελληνικής κλωστοϋφαντουργίας εκτιμήθηκε στο 20,7% έναντι 5,9% του συνόλου της βιομηχανικής παραγωγής, ενώ μειωμένη εμφανίστηκε η παραγωγή του κλάδου όλους τους μήνες του ίδιου έτους. Η παραγωγή εμφάνισε παρόμοια πτωτική πορεία κατά τα έτη 2008-2011: το 2011 κατά 21,8%, το 2010 κατά 20,6%, το 2009 κατά 27,8% και το 2008 κατά 21,7%. Κατά το δωδεκάμηνο Σεπτεμβρίου 2011 – Αυγούστου 2012 καταγράφηκε επίσης σχεδόν διπλάσια πτώση του κύκλου εργασιών του κλάδου, σε σύγκριση με το αντίστοιχο προηγούμενο δωδεκάμηνο.

Συγκεκριμένα, κατά το επτάμηνο Ιανουαρίου – Ιουλίου 2012, μειώθηκε η παραγωγή υφαντών υφασμάτων από συνθετικά και τεχνητά νήματα συνεχών ινών κατά 7,7%, νημάτων από βαμβάκι (εκτός από τα νήματα για ράψιμο) κατά 27,8%, νημάτων από ασυνεχείς συνθετικές ίνες κατά 17,3%, βαμβακερών υφαντών υφασμάτων κατά 17,7%, υφαντών υφασμάτων από φυτικές ίνες (εκτός των βαμβακερών) κατά 16,8%, εργασιών φινιρίσματος κατά 17,8%, άλλων υφασμάτων πλεκτών και κροσέ κατά 34,4%, σεντονιών και μαξιλαροθηκών κατά 14,2%, σάκων και σακιδίων για συσκευασία προϊόντων κατά 24,05%, ταπήτων και άλλων θυσανωτών υφαντικών καλυμμάτων δαπέδου κατά 19,2% και λοιπών ταπήτων κατά 20,1%. Επίσης, η παραγωγή κουβερτών και κλινοσκεπασμάτων ταξιδιού, ταπήτων και άλλων υφαντικών καλυμμάτων, με κόμπους, ήταν μηδενική. Ο όγκος της παραγωγής του κλάδου στο οκτάμηνο του 2012 βρέθηκε σε επίπεδα τα οποία είναι κατά 73,3% χαμηλότερα από τα αντίστοιχα του έτους 2005. Η μέση τιμή του κλαδικού δείκτη παραγωγής την περίοδο Ιανουαρίου – Αυγούστου 2012 ήταν 26,7 μονάδες (2005: 100 μονάδες).

Σχετικά με το συνολικό κύκλο εργασιών του κλάδου, κατά το δωδεκάμηνο Σεπτεμβρίου 2011 – Αυγούστου 2012, σε σύγκριση με το αμέσως προηγούμενο δωδεκάμηνο, καταγράφηκε μείωση κατά 22,7% (2011/2010: -11,5%) ενώ τα έσοδά του για το δωδεκάμηνο Σεπτεμβρίου 2011 – Αυγούστου 2012 ήταν κατά 63,6% χαμηλότερα από τα έσοδα του έτους 2005. Η μέση τιμή του κλαδικού δείκτη κύκλου εργασιών την προαναφερθείσα περίοδο βρέθηκε στις 36,4 μονάδες (2005: 100 μονάδες).

Αναφορικά με τις νέες παραγγελίες του κλάδου αλλά και τις θέσεις εργασίας στην κλωστοϋφαντουργία καταγράφηκαν τα εξής: οι νέες παραγγελίες κατά την περίοδο Σεπτεμβρίου 2011 – Αυγούστου 2012 ήταν μειωμένες κατά 22,1%, σε σύγκριση με το αμέσως προηγούμενο δωδεκάμηνο. Η μέση τιμή του κλαδικού δείκτη νέων παραγγελιών την προαναφερθείσα δωδεκάμηνη περίοδο βρέθηκε στις 36,9 μονάδες (2005: 100 μονάδες). Όσον αφορά τον εργασιακό τομέα, από το δεύτερο τρίμηνο του 2011 ως το ίδιο τρίμηνο του 2012 οι θέσεις εργασίας στην κλωστοϋφαντουργία μειώθηκαν κατά 576. Οι απασχολούμενοι περιορίστηκαν από 8.040 άτομα στα 7.464 άτομα, με ποσοστιαία μείωση των θέσεων εργασίας κατά 7,2% (Ημερησία, 2012).

Τέλος, αξίζει να αναφερθεί ότι η εικόνα της εξαγωγικής δραστηριότητας του κλάδου της κλωστοϋφαντουργίας εμφανίστηκε θετική το τρίμηνο Αυγούστου – Οκτωβρίου 2012. Έπειτα από επεξεργασία στατιστικών στοιχείων από τον ΣΕΠΕΕ (Σύνδεσμος Επιχειρήσεων Πλεκτικής – Ετοίμου Ενδύματος Ελλάδος) στο διάστημα Αυγούστου – Οκτωβρίου οι εξαγωγές στον κλάδο σημείωσαν σημαντική αύξηση κατά 25,5% οι οποίες το συγκεκριμένο τρίμηνο έφτασαν τα 82,1 εκατ. έναντι 65,4 εκατ. το 2011. Ωστόσο, συνολικά από την αρχή του χρόνου η πορεία των εξαγωγών ήταν αρνητική. Στο δεκάμηνο Ιανουαρίου – Οκτωβρίου παρατηρήθηκε μείωση κατά 8,9% η οποία μεταφράζεται σε 309,2 εκατ. για το 2012 έναντι 339,5 εκατ. το 2011 (ΣΕΠΕΕ).

Η βιομηχανία τελικής επεξεργασίας υφάνσιμων υλών που αντιπροσωπεύεται από τον κλάδο των βαφείων – φινιριστηρίων, αποτελεί τμήμα της κλωστοϋφαντουργίας με ιδιαίτερη σημασία, καθώς μέσω των επεξεργασιών που υφίστανται τα νήματα και τα υφάσματα προσδίδονται σε αυτά τα επιθυμητά χαρακτηριστικά και οι ιδιότητές τους, όπως είναι το χρώμα, η απαλότητα, η αντοχή, κτλ. Οι πιο πολλές μονάδες του κλάδου ασχολούνται αποκλειστικά με την επεξεργασία υφάνσιμων υλών παρέχοντας υπηρεσίες προς τρίτους οι οποίοι είναι κυρίως τα πλεκτήρια και υφαντήρια. Οι σημαντικότεροι πελάτες του κλάδου είναι βιομηχανίες ή βιοτεχνίες που χρησιμοποιούν τα επεξεργασμένα υφάσματα για την παραγωγή ετοιμών ενδυμάτων, εσωρούχων, χαλιών, κτλ.

Στο σύνολο του κλάδου παρατηρήθηκε αύξηση των μονάδων κατά την περίοδο 1963 – 1978 από 356 σε 395, ενώ εμφανίστηκε σημαντική μείωση την περίοδο 1978 – 84 στις 318 μονάδες η οποία συνεχίστηκε κατά την δεκαετία 1984 – 94, με τον αριθμό των μονάδων του κλάδου να αγγίζει τις 310. Μέχρι και τα τέλη τις δεκαετίας του 1990 υπήρχαν βαφεία – φινιριστήρια που λειτουργούσαν στα πλαίσια καθετοποιημένων μονάδων και περιλάμβαναν παραγωγικές διαδικασίες από την ύφανση μέχρι τα έτοιμα ενδύματα. Σήμερα μπορούμε να κάνουμε λόγο για πλήρη απαξίωση του κλάδου. Στην ευρύτερη περιοχή τις Αττικής - Βοιωτίας υπάρχουν μόνο τρεις μεγάλες επιχειρήσεις με ικανές δυνατότητες βαφής και φινιρίσματος. Στην περιοχή τις Θεσσαλονίκης και γενικότερα στην Βόρεια Ελλάδα έχουν απομείνει μόνο 6 μεγάλα βαφεία. Σε ευρύτερο πλαίσιο, στην Ελλάδα υπάρχουν πλέον πολλές μικρομεσαίες, οικογενειακές κυρίως μονάδες επεξεργασίας συγκεκριμένων ειδών και υφασμάτων που απευθύνονται στην εγχώρια αγορά κατανάλωσης.

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω στοιχεία καταλαβαίνει κανείς πως οι αδυναμίες του κλάδου σήμερα είναι πολλές και ποικίλων αιτιών. Το περιβάλλον ανάπτυξης είναι αποθαρρυντικό, ενώ η τρέχουσα δυσμενής οικονομική συγκυρία –εκτός των άλλων– επηρεάζει αρνητικά τη συνολική εγχώρια ζήτηση ειδών κλωστοϋφαντουργίας.

Τα κυριότερα προβλήματα που απασχολούν σήμερα τον κλάδο των βαφείων – φινιριστηρίων είναι συνοπτικά τα εξής (Κέρδος, 2012):

- *Ενεργειακό κόστος: Οι βιομηχανίες του κλάδου της κλωστοϋφαντουργίας, και ιδιαίτερα του τομέα τελικής επεξεργασίας υφασμάτων, έρχονται αντιμέτωπες με τις υψηλές τους ενεργειακές απαιτήσεις.*
- *Απουσία αυστηρών προδιαγραφών σχετικά με τις εισαγωγές κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων από τρίτες χώρες όπως η Κίνα, Ινδία κτλ.*
- *Έλλειψη αγοραστικού περιβάλλοντος και καταναλωτικού ενδιαφέροντος.*

- *Δυσβάσταχτες εργοδοτικές και ασφαλιστικές εισφορές σε σχέση με ανταγωνίστριες χώρες του κλάδου όπως είναι η Ισπανία και Πορτογαλία.*
- *Ασταθές περιβάλλον εργασίας (γραφειοκρατία, μεταβλητό φορολογικό σύστημα, εχθρικό τραπεζικό περιβάλλον, παράλογες περιβαλλοντολογικές προϋποθέσεις).*

Σύμφωνα με το Ίδρυμα Οικονομικών & Βιομηχανικών Ερευνών, παρά τις απειλές και τις αδυναμίες του, ο κλάδος πρέπει να ενδυναμώσει και να εκμεταλλευτεί τα όποια πλεονεκτήματα διαθέτει, στρέφοντας την προσοχή του στην έρευνα και ανάπτυξη νέων καινοτόμων προϊόντων σε συνεργασία με άλλους κλάδους της βιομηχανίας, στην τεχνολογική του αναβάθμιση με τη διασύνδεση με όλα τα τμήματα της εφοδιαστικής αλυσίδας μέσω τεχνολογιών πληροφορικής και επικοινωνιών, αλλά και σε διαρθρωτικές, οργανωσιακές και διοικητικές αλλαγές που μπορούν να υποστηρίξουν τη μείωση του κόστους και την εξωστρέφεια. Η πλεονεκτική θέση της χώρας στη Μεσόγειο δύναται να δημιουργήσει περιθώρια για αμοιβαία επωφελείς συνεργασίες ενώ η συστηματική παρακολούθηση των εξελίξεων στα περιβαλλοντικά ζητήματα και η έγκαιρη υιοθέτηση νέων περιβαλλοντικών τεχνολογιών μπορεί να συμβάλλουν στην ανάδειξη νέων ανταγωνιστικών πλεονεκτημάτων για την εγχώρια παραγωγή.

2.2 Βιομηχανία Βαφής & Φινιρίσματος Υφασμάτων

Διαδικασία Παραγωγής Επεξεργασμένων Υφασμάτων

Ο κλάδος της Βαφής – Φινιρίσματος περιλαμβάνει 3 κύριες κατηγορίες επεξεργασίας, οι οποίες εφαρμόζονται για κάθε τύπο υφάσματος (φυτικής, ζωικής, συνθετικής προέλευσης).

- (i) Προκατεργασία
- (ii) Βαφή
- (iii) Φινίρισμα

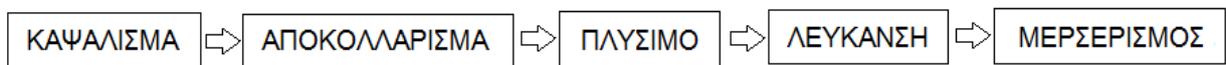
2.2.1 Προκατεργασία

Περιλαμβάνει τις κατεργασίες που υφίσταται το ύφασμα για την απομάκρυνση τόσο των φυσικών προσμίξεων (ακαθαρσιών) από τις κλωστοϋφαντουργικές ίνες, όσο και των ουσιών που έχουν προστεθεί σε κάποιο προηγούμενο στάδιο επεξεργασίας, εφόσον υπάρχουν. Αυτές οι προστιθέμενες ουσίες μπορεί να βρίσκονται όχι μόνο στις φυσικές αλλά και στις συνθετικές ίνες. Η απομάκρυνσή τους κρίνεται απαραίτητη ούτως ώστε τα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα να καταστούν κατάλληλα για την αμέσως επόμενη φάση επεξεργασίας, όπως είναι η εφαρμογή

χρωμάτων, παστών τυποβαφής ή φινιρίσματα οποιασδήποτε άλλης μορφής. Η προκατεργασία των υφασμάτων διαφέρει ανάλογα με το είδος της πρώτης ύλης, διαχωρίζεται δε σε προκατεργασία κυτταρινικών, μάλλινων και συνθετικών προϊόντων. (Πέππας & Βασιλειάδης, 2003)

I. ΚΥΤΤΑΡΙΝΙΚΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ

Η κατηγορία αυτή αναφέρεται κυρίως στην κατεργασία των υφαντών βαμβακερών υφασμάτων. Τα στάδια επεξεργασίας ακολουθούν συνήθως την παρακάτω σειρά, ωστόσο είναι πιθανό είτε να πραγματοποιούνται με διαφορετική σειρά, είτε να παραλείπονται μερικά από αυτά, ανάλογα πάντα με τη τελική χρήση του προϊόντος. Στη συνέχεια ακολουθεί αναλυτική περιγραφή του κάθε σταδίου καθώς και του μηχανολογικού εξοπλισμού ή/και των βοηθητικών υλών που χρησιμοποιούνται.



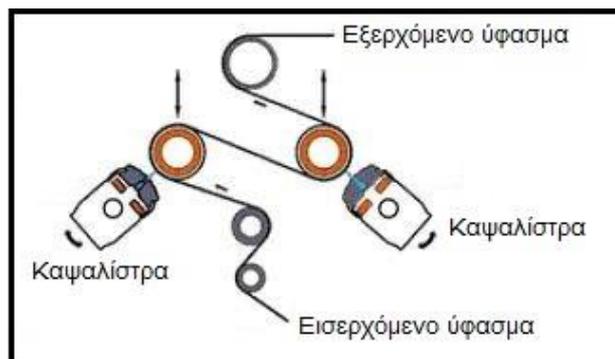
Διάγραμμα 1: Διάγραμμα ροής της προκατεργασίας κυτταρινικών προϊόντων

❖ Καψάλισμα

Διαδικασία απομάκρυνσης του επιφανειακού χνουδιού (ινίδια) που εμφανίζεται τις περισσότερες φορές στα βαμβακερά υφάσματα και στις προσμίξεις αυτών.

Συνήθως καψαλίζονται τα βαμβακερά υφαντά υφάσματα και όχι τα πλεκτά. Η απομάκρυνση του χνουδιού κρίνεται απαραίτητη για να αποφευχθούν φαινόμενα, όπως το αναμάλλιασμα, που θα δυσκολέψουν την επόμενη φάση επεξεργασίας του υφάσματος. Κατάλληλες ίνες είναι για καψάλισμα είναι αυτές που δεν σχηματίζουν σκληρά μαύρα υπολείμματα όταν καίγονται ή δεν λιώνουν εύκολα. Το βαμβάκι και οι υπόλοιπες κυτταρινικές ίνες όταν καίγονται σχηματίζουν μια ελαφριά στάχτη σε μορφή σκόνης, που απομακρύνεται εύκολα, γι' αυτό και κρίνονται κατάλληλες αυτού του είδους οι ίνες για καψάλισμα. Αντιθέτως, το μαλλί σχηματίζει σκληρό υπόλειμμα κατά το καψάλισμα, ενώ μερικά από τα συνθετικά υφάσματα, όπως είναι τα ακρυλικά, είναι δυνατόν να αποχρωματιστούν και να αλλοιωθούν.

Πρόκειται για μια συνεχή επεξεργασία που γίνεται σε ύφασμα ανοιχτού πλάτους, είτε από τη μια, είτε και από τις δύο πλευρές. Το καψάλισμα πραγματοποιείται από την καψαλίστρα και επιτυγχάνονται αρκετά μεγάλες ταχύτητες της τάξης των 150-400m/min αλλά με προσοχή ώστε να μην επεκταθεί υπερβολικά η δράση του καψαλίσματος. Εξάλλου, σκοπός είναι να καούν μονάχα οι ίνες που προεξέχουν από το ύφασμα και όχι αυτές που βρίσκονται μέσα στα νήματα. Αμέσως μετά το πέρασμα από την περιοχή καψαλίσματος, το ύφασμα περνάει από ένα δοχείο νερού ή ατμού για να σβήσουν πιθανές εστίες φωτιάς.



Σχήμα 1: Καψάλιστρα

(Tanveer, 2008)

Το καψάλισμα πραγματοποιείται διότι:

(α) Οι προεξέχουσες ίνες εμποδίζουν την μετέπειτα διαδικασία της βαφής και τυποβαφής με έναν ακαθόριστο τρόπο. Ειδικότερα, στα προϊόντα που προορίζονται για τυποβαφή το καψάλισμα αποτελεί απαραίτητη προεργασία.

(β) Η επιφάνεια του νήματος ή του υφάσματος εμφανίζεται θαμπή και τριχωτή λόγω των προεξεχουσών ινών και λερώνεται ευκολότερα.

(γ) Τα προϊόντα που θα μερσεριστούν αποκτούν με το καψάλισμα τη μέγιστη δυνατή λάμψη.

Με το καψάλισμα επιτυγχάνουμε:

(α) Αύξηση της ικανότητας διαβροχής του υφάσματος. Το επιφανειακό χνούδι συμβάλλει στον εγκλωβισμό αέρα εντός του υφάσματος, με αποτέλεσμα όταν αυτό βυθίζεται στο νερό, να καθυστερεί η διαβροχή του.

(β) Δημιουργία ομαλότερης επιφάνειας, ικανή πλέον να δεχθεί τη βαφή.

(γ) Αποφυγή του φαινομένου εμφάνισης «χιονιού» στο ύφασμα μετά τη βαφή. Εάν υπάρχουν ίνες που προεξέχουν από την επιφάνεια του υφάσματος, μετά τη βαφή αυτές θα προσδώσουν στο ύφασμα μια πιο ανοιχτή απόχρωση, σε σχέση με το κυρίως σώμα του υφάσματος.

(δ) Ελαχιστοποίηση μέχρι και αποφυγή σχηματισμού «rills» στα σύμμεικτα υφάσματα κυτταρινικών (φυτικής προέλευσης) και συνθετικών ινών. Με τον όρο «rills» εννοούμε μικρά μπαλάκια ινών που σχηματίζονται στην επιφάνεια των υφασμάτων λόγω του φαινομένου της τριβής κατά τη χρήση τους.

❖ Αποκολλάρισμα

Διαδικασία απομάκρυνσης των υλικών του κολλαρίσματος που προστέθηκαν στο νήμα κατά την ύφανση.

Το κολλάρισμα εφαρμόζεται στα σημόνια των υφαντών υφασμάτων και αυξάνει την αποτελεσματικότητα και την αντοχή της ίνας μειώνοντας τις τριβές του υφάσματος κατά την επεξεργασία του στον αργαλειό. Γενικά, οι μέθοδοι προκατεργασίας είναι υπεύθυνες για το 60-70% του ολικού χημικά απαιτούμενου οξυγόνου (COD) των λυμάτων ενώ η συνεισφορά του αποκολλαρίσματος στο ποσοστό αυτό είναι περίπου 80%. Αυτό σημαίνει ότι 50-55% του ολικού φορτίου COD προέρχεται από τη διαδικασία του αποκολλαρίσματος. Ενδεικτικό είναι επίσης το γεγονός ότι περίπου το 75% των μέσων κολλαρίσματος που χρησιμοποιούνται παγκοσμίως παράγονται από το άμυλο και τα παράγωγά του, λόγω του χαμηλού του κόστους και της υψηλής αποτελεσματικότητάς του, ωστόσο τα υλικά αυτά δεν είναι ανακυκλώσιμα, με εξαίρεση την καρβοξυμεθυλοκυτταρίνη (CMC).

Σκοπός του αποκολλαρίσματος είναι η αποσύνθεση του αμύλου και η μετατροπή του σε προϊόντα μεγαλύτερης διαλυτότητας. Η διαδικασία αυτή εάν επιτευχθεί πριν το πλύσιμο συμβάλλει στη ελαχιστοποίηση των επόμενων διεργασιών καθαρισμού αλλά και των χημικών μέσων που χρησιμοποιούνται κατά το πλύσιμο και την λεύκανση. Παρ' όλα αυτά, το άμυλο είναι δύσκολο να απομακρυνθεί καθώς δεν είναι διαλυτό στο νερό ή στα συνήθη υγρά καθαρισμού. Από χημικής πλευράς, το άμυλο είναι μια πολυ-α-γλυκοπυρανόζη η οποία περιέχει πολυμερή αμυλόζης και αμυλοπηκτίνης. Και τα δύο αυτά πολυμερή είναι αδιάλυτα στο νερό, αλλά μπορούν να διαλυθούν μέσω της υδρόλυσης. Υπό ευνοϊκές συνθήκες, το άμυλο μπορεί να διαλυθεί στα ακόλουθα προϊόντα:

Άμυλο (αδιάλυτο) → Δεξτρίνη (αδιάλυτη) → Δεξτρίνη (διαλυτή) → Μαλτόζη (διαλυτή) →
→ α-Γλυκόζη (διαλυτή)

Κατά τη διαδικασία του αποκολλαρίσματος, η υδρόλυση πραγματοποιείται μόνο μέχρι το στάδιο όπου παραλαμβάνεται διαλυτή δεξτρίνη και όχι μέχρι την παραλαβή της α-Γλυκόζης, για να αποφευχθεί η αποικοδόμηση της κυτταρίνης. Η υδρόλυση του αμύλου μπορεί να γίνει με τη χρήση διαφόρων βακτηρίων, οξέων (διαλύματα θειικού ή υδροχλωρικού οξέος), οξειδωτικών μέσων (υπεροξειδίου του υδρογόνου, υπερθειικά άλατα) ή ενζύμων (αμυλάσες). Η χρήση των μέσων αυτών πρέπει να γίνεται προσεκτικά, καθώς ενέχει ο κίνδυνος της αποικοδόμησης που μπορεί να υποβαθμίσει το ύφασμα και να το κάνει αδύναμο. Για το λόγο αυτό, το κολλαριστικό υλικό θα

πρέπει να διαλυτοποιείται ή να διασπάται σε μικρότερα μοριακά τμήματα και να χρησιμοποιείται σε χαμηλές συγκεντρώσεις και χαμηλή θερμοκρασία. Η διαδικασία που ακολουθείται είναι η εξής:

(α) Εμβάπτιση ή εμποτισμός του υφάσματος στο αποκολλαριστικό υλικό.

(β) Ξέπλυμα από τα προϊόντα αποικοδόμησης όταν ολοκληρωθεί η αποσύνθεση/διαλυτοποίηση των ουσιών. (Clark, 2011)

❖ Πλύσιμο

Διαδικασία η οποία αποσκοπεί στην απομάκρυνση τυχόν υδατοδιαλυτών προσμίξεων από το βαμβάκι, φυσικών λιπών και κεριών που περιέχονται στην ίνα καθώς και μικρών τμημάτων του κορμού που παραμένουν εγκλωβισμένα στο ύφασμα μετά από την κλωστηρίωση.

Επίσης, μέσω του πλυσίματος το ύφασμα καθαρίζεται από λερώματα ή λεκέδες που έχουν δημιουργηθεί κατά τη μεταφορά και αποθήκευσή του ενώ παράλληλα επιτυγχάνεται και η διαβροχή του. Με τον τρόπο αυτό η απορροφητικότητα των ινών βελτιώνεται κατά πολύ και μπορεί πλέον να ακολουθήσει η επεξεργασία της λεύκανσης και βαφής του υφάσματος.

Υπάρχουν δύο κύριοι τρόποι πλυσίματος/αφαίρεσης λίπους:

- ❖ Ο υδατικός καθαρισμός, ο οποίος εφαρμόζεται εκτενώς.
- ❖ Ο καθαρισμός με διαλύτες, το λεγόμενο «στεγνό καθάρισμα».

Και οι δύο τρόποι πρέπει να αποδίδουν το ίδιο ικανοποιητικό αποτέλεσμα, ωστόσο η επιλογή σχετικά με το ποιος τρόπος είναι καταλληλότερος εξαρτάται από παράγοντες όπως:

- Το κόστος: το στεγνό καθάρισμα είναι γενικά πιο ακριβό από τον υδατικό καθαρισμό.
- Την ευκολία απομάκρυνσης: σε πολλές περιπτώσεις το στεγνό καθάρισμα χρησιμοποιείται ως η τελευταία λύση για την αντιμετώπιση δύσκολων περιστάσεων.
- Τις απαιτήσεις της διεργασίας: ενδέχεται κάποιες διεργασίες να πραγματοποιούνται εξ ολοκλήρου με διαλύτες.
- Τη διαθεσιμότητα των μηχανημάτων: οι απαιτήσεις των μηχανημάτων για υδατικό καθαρισμό και για στεγνό καθάρισμα διαφέρουν αισθητά.

Υδατικός καθαρισμός

Το σαπούνι αποτελεί το παραδοσιακό μέσο με το οποίο πραγματοποιείται ο καθαρισμός και η απολίπανση των υφασμάτων, ενώ πριν την εισαγωγή των συνθετικών απορρυπαντικών, η χρήση του ήταν καθολική. Το σημαντικό μειονέκτημά του είναι η τάση του να σχηματίζει αδιάλυτα άλατα

ασβεστίου και αφρό στο νερό υψηλής σκληρότητας. Έτσι, τα πρώτα συνθετικά απορρυπαντικά δημιουργήθηκαν με σκοπό να καταπολεμήσουν αυτό το μειονέκτημα. Κατά μια έννοια, η χημεία των μορίων του σαπουνιού και ενός συνθετικού απορρυπαντικού είναι παρόμοια και οι βασικές αρχές που διέπουν τη δράση τους είναι ίδιες. Τα συνθετικά απορρυπαντικά ωστόσο, είναι πολύ περισσότερο αποτελεσματικά στη δράση τους καθώς οι χημικές δομές τους δύνανται να μεταβληθούν ανάλογα με την επιθυμητή τους δράση, κάτι που δεν μπορεί να συμβεί στα απλά μόρια του σαπουνιού. Η αποτελεσματική δράση τόσο του σαπουνιού, όσο και των συνθετικών απορρυπαντικών ερμηνεύεται μέσα από τη θεωρία των βασικών τασιενεργών φαινομένων.

Οι τασιενεργοί, ή αλλιώς επιφανειοδραστικοί παράγοντες, είναι ουσίες οι οποίες δρουν στη διεπιφάνεια μεταξύ δύο (ή περισσότερων) μη αναμίξιμων ουσιών. Στην επεξεργασία των υφασμάτων τις περισσότερες φορές οι μη αναμίξιμες αυτές ουσίες αναφέρονται σε ένα σύστημα δύο συστατικών το οποίο στην πλειονότητα των περιπτώσεων αποτελείται από μια ελαιώδη ουσία και νερό. Ο ρόλος της τασιενεργούς ουσίας είναι να φέρει τις δύο μη αναμίξιμες ουσίες σε στενότερη επαφή, να ευνοήσει δηλαδή την αναμιξιμότητά τους. Για να το επιτύχει αυτό, η ουσία αυτή πρέπει να έχει ένα χαρακτηριστικό τύπο δομής, συγκεκριμένα ένα τμήμα υδρόφιλο και ένα υδρόφοβο, εφόσον η αναφορά γίνεται στα υδατικά διαλύματα. Το χαρακτηριστικό γνώρισμα όλων των (υδατικών) τασιενεργών ουσιών, από το πιο απλό μόριο σαπουνιού μέχρι και τα πιο περίπλοκα συνθετικά απορρυπαντικά, είναι η ύπαρξη μιας υδρόφοβης (λιποφιλικής) αλυσίδας και μιας υδρόφιλης (λιποφοβικής) κεφαλής. Στην πλειονότητα των περιπτώσεων, το υδρόφοβο τμήμα είναι μία μακριά αλυσίδα υδρογονάνθρακα, ενώ το υδρόφιλο τμήμα είναι μια έντονα πολική ή φορτισμένη ομάδα η οποία προσδίδει τη διαλυτότητα στο νερό. Η ταξινόμησή των τασιενεργών ουσιών γίνεται βάσει του ιοντικού φορτίου του υδρόφοβου τμήματός τους που τις κατατάσσει σε ανιονικές, κατιονικές, μη ιονικές και αμφοτερικές.

Σε ένα υδατικό σύστημα, ο προσανατολισμός μεταξύ της υδατικής και της ελαιώδους φάσης των ουσιών αυτών, ελέγχεται και καθορίζεται από την ισορροπία μεταξύ του υδρόφοβου και υδρόφιλου τμήματός τους. Η ισορροπία αυτή εκφράζεται μέσα από την τιμή του δείκτη HLB (Hydrophile - Lipophile Balance), η οποία παίρνει τιμές από 0 μέχρι και 20. Οι χαμηλές τιμές υποδεικνύουν υψηλή λιποφιλικότητα (ελαιοδιαλυτότητα) ενώ οι υψηλές τιμές υδατοδιαλυτότητα. Η δράση ενός καθαριστικού παράγοντα εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη συσχέτιση μεταξύ της τιμής HLB του ίδιου του παράγοντα και του υλικού που πρόκειται να απομακρυνθεί. Άλλοι παράγοντες που καθορίζουν τη δράση των παραγόντων αυτών είναι η φύση της κλωστοϋφαντουργικής ίνας, η χρήση βοηθητικών παραγόντων και το είδος της μηχανικής επεξεργασίας που υφίσταται το ύφασμα. Μάλιστα, η χρήση βοηθητικών παραγόντων σε συνδυασμό με τους καθαριστικούς παράγοντες

ορισμένες φορές επιβάλλεται. Στην πλειονότητα των περιπτώσεων τέτοιες ουσίες είναι αλκάλια τα οποία βελτιώνουν σε μεγάλο βαθμό την απορρυπαντική ικανότητα, μεταξύ των οποίων αυτά που ξεχωρίζουν είναι το διττανθρακικό/ανθρακικό νάτριο και το υδροξείδιο του νατρίου.

Ο συνηθής τρόπος καθαρισμού είναι η επεξεργασία του υφάσματος με *διάλυμα υδροξειδίου του νατρίου σε υψηλή θερμοκρασία* όπου και αξιοποιείται η αντίδραση που λαμβάνει χώρα όταν έρθουν σε επαφή τα κεριά/έλαια των υφασμάτων με το αλκάλιο. Προϊόν αυτής της αντίδρασης είναι το άλας του νατρίου του λίπους ή του ελαίου. Αντίστοιχα, όταν χρησιμοποιείται υδροξείδιο του καλίου, το παραγόμενο άλας είναι αυτό του καλίου. Το αλάτι αυτό που σχηματίζεται αποτελεί το σαπούνι, ενώ η διαδικασία αναφέρεται ως σαπωνοποίηση. Με τον τρόπο αυτό, τα αδιάλυτα συστατικά της ίνας μετατρέπονται σε υδατοδιαλυτά και απομακρύνονται ενώ παράλληλα σχηματίζεται το σαπούνι που συμβάλλει στον καθαρισμό του υφάσματος. (Carr, 1995)

Καθαρισμός με διαλύτες

Ο πλέον διαδεδομένος τρόπος καθαρισμού μέσω διαλυτών είναι η επεξεργασία του υφάσματος με *οργανικούς διαλύτες*, όπως είναι το τριχλωροαιθυλένιο, όπου και αξιοποιείται η ιδιότητα των ελαίων/κεριών να διαλύονται σε αυτού του είδους τις ουσίες. Συγκεκριμένα, έχει αποδειχθεί ότι η περιεκτικότητα σε κερί γκρι υφάσματος που υπόκειται σε επεξεργασία με τριχλωροαιθυλένιο για 15 sec μειώνεται από 1.09% σε 0.23%, ενώ στα 30 sec επεξεργασίας μειώνεται στο 0.15%. Με τον τρόπο αυτό, το υλικό καθίσταται απορροφητικό έπειτα από βρασμό, καθώς το υπολειπόμενο κερί δεν επαρκεί για να σχηματίσει αδιαπέραστο φιλμ στην επιφάνεια του υφάσματος. Η διαδικασία που ακολουθείται είναι η εξής: Το στεγνό ύφασμα περνά μέσα από λουτρό ζέοντος τριχλωροαιθυλενίου για περίπου 30 sec. Στη συνέχεια, διέρχεται από ένα δεύτερο λουτρό το οποίο περιέχει νερό, σε θερμοκρασία 90-95°C. Το αζεότροπο νερού – διαλύτη έχει σημείο ζέσης στους 75°C κι έτσι στο δεύτερο λουτρό ο διαλύτης μαζί με ποσότητα νερού ανακτάται και επαναχρησιμοποιείται. Εναλλακτικά, το επεξεργασμένο με διαλύτη ύφασμα οδηγείται σε χώρο επεξεργασίας με ατμό. Ωστόσο, πρέπει να σημειωθεί ότι η χρήση διαλυτών δεν είναι φιλική προς το περιβάλλον καθώς οι διαλύτες είναι τοξικοί στην πλειονότητά τους.

Τέλος, όσον αφορά τα πλεκτά υφάσματα, αυτά πλένονται σε ηπιότερες συνθήκες από τα υφαντά, καθώς η αραιή δομή τους επιτρέπει την εύκολη απομάκρυνση των προσμίξεων και καταλοίπων. Μάλιστα, υπάρχει περίπτωση να αποφευχθεί ολικά το στάδιο του πλυσίματος καθώς η σαπωνοποίηση σε μερικές περιπτώσεις μπορεί να λάβει χώρα κατά τη βαφή (Clark, 2011).

❖ Λεύκανση

Επεξεργασία που αποσκοπεί στην ολοκλήρωση του καθαρισμού των ινών εξασφαλίζοντας αφενός τον ολοκληρωτικό θρυμματισμό των μικρών τμημάτων κορμού ή φυτού που παραμένουν στις ίνες και αφετέρου τον αποχρωματισμό των έγχρωμων σωματιδίων. Τα σωματίδια αυτά οφείλουν το χρώμα τους στις χρωμοφόρες ομάδες, δηλαδή ομάδες στις οποίες υπάρχουν εναλλασσόμενοι μονοί και διπλοί δεσμοί άνθρακα – άνθρακα. Η λεύκανση καταστρέφει τους διπλούς αυτούς δεσμούς μέσω προσθήκης (κορεσμός) ή ρήξης. Όταν τα ελεύθερα ηλεκτρόνια δεσμευτούν λόγω υποκατάστασης ή ρήξης του διπλού δεσμού, η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία παύει να απορροφάται και ανακλάται πλέον στην ορατή περιοχή του φάσματος. Έτσι, το χρώμα παύει να υφίσταται.

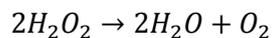
Η λεύκανση πραγματοποιείται με οξειδωτικά μέσα και όχι με αναγωγικά, καθώς οι οξειδωτικοί παράγοντες είναι περισσότερο αποτελεσματικοί. Στο παρελθόν οι άνθρωποι συνήθιζαν να λευκαίνουν τα βαμβακερά και λινά υφάσματά τους μέσω της απλής επαφής τους με το ατμοσφαιρικό οξυγόνο. Ωστόσο, η μέθοδος αυτή δεν μπόρεσε να αναπτυχθεί εμπορικά και τη θέση της πήρε μια σειρά από χημικές οξειδωτικές διαδικασίες. Οι πλέον σημαντικοί οξειδωτικοί παράγοντες λεύκανσης αναλύονται παρακάτω μαζί με τη μέθοδο χρήσης τους.

✓ *Το υποχλωριώδες νάτριο (NaOCl)*

Πρόκειται για μια χαμηλού κόστους διαδικασία στην οποία γίνεται χρήση απλών χημικών ουσιών. Παλαιότερα ήταν ιδιαίτερα δημοφιλής ωστόσο σήμερα έρχεται αντιμέτωπη με αρκετά μειονεκτήματα όπως είναι η παραγωγή αποβλήτων υψηλού δείκτη ΑΟΧ (απορροφήσιμων οργανικών αλογονούχων ενώσεων) και αλάτων, ο κίνδυνος καταστροφής του υφάσματος εάν το pH πέσει σε χαμηλές τιμές, η πιθανότητα κιτρινίσματος του επεξεργασμένου υφάσματος που βρίσκεται στην αποθήκευση καθώς και το γεγονός ότι η συνολική διεργασία είναι χρονοβόρα. Αρχικά τα προϊόντα εμποτίζονται σε κρύο διάλυμα υποχλωριώδους νατρίου αλκαλικού περιβάλλοντος (pH 10-11) και συγκέντρωσης 2-4 g/l, όπου και αφήνονται για αρκετές ώρες σε θερμοκρασία δωματίου μέχρι να ολοκληρωθεί η λεύκανση. Ιδιαίτερα σημαντικό είναι να παραμείνει το εμποτισμένο υφάσμα σε αλκαλικό περιβάλλον μέχρι το τέλος της λεύκανσης, ειδάλλως εμπεριέχονται κίνδυνοι. Εάν το pH φτάσει τη τιμή του 7, το υποχλωριώδες νάτριο μετατρέπεται σε υποχλωριώδες οξύ και αποσυνθέτει την κυτταρίνη ενώ εάν πέσει κάτω από το 7, ελευθερώνεται αέριο χλώριο το οποίο είναι εξαιρετικά τοξικό.

✓ *Το υπεροξειδίο του υδρογόνου (H₂O₂)*

Αποτελεί ένα δραστικό μέσο λεύκανσης που χρησιμοποιείται ευρέως στις κυτταρινικές ίνες, υπό αλκαλικές συνθήκες. Στα πλεονεκτήματά του συγκαταλέγεται το ότι δεν καταστρέφει τις ίνες, είναι φιλικό προς το περιβάλλον, προσφέρει μόνιμο αποτέλεσμα λεύκανσης, μπορεί να συνδυάσει λεύκανση και πλύσιμο ταυτοχρόνως, είναι ευέλικτο ως προς το είδος και τις συνθήκες της διεργασίας λεύκανσης, χρησιμοποιείται για τη λεύκανση και έγχρωμων υφασμάτων και προσφέρει καλύτερο εμφανισιακό αποτέλεσμα. Μειονέκτημα της χρήσης του υπεροξειδίου του υδρογόνου είναι ότι η ενδεχόμενη αστάθεια του, η απαίτηση για χρήση κατάλληλου σταθεροποιητή αλλά και το υψηλότερο κόστος του συγκριτικά με τις άλλες μεθόδους. Η διαδικασία της λεύκανσης περιλαμβάνει την εμβάπτιση του υφάσματος σε λουτρό ρυθμισμένο με NaOH σε pH 10-11, συγκέντρωσης 2-4 g/l υπεροξειδίου του υδρογόνου. Σε θερμοκρασία 95-100°C το ύφασμα παραμένει 2-3 ώρες στο λουτρό ενώ εάν η θερμοκρασία αυξηθεί στους 110-120°C με χρήση ατμού, αρκούν μερικά λεπτά της ώρας. Η αστάθεια του υπεροξειδίου μπορεί να εμφανιστεί είτε λόγω αυξημένης αλκαλικότητας, είτε λόγω της ύπαρξης μεταλλικών ακαθαρσιών στο ύφασμα ή το νερό της διεργασίας υπό τη μορφή μεταλλικών ιόντων, τα οποία δρουν καταλυτικά και αποσυνθέτουν το υπεροξειδίο με επακόλουθη την υποβάθμιση της κυτταρίνης. Η καταλυτική αποσύνθεση του υπεροξειδίου περιλαμβάνει την επιτάχυνση της οξειδωτικής του δράσης που έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή οξυγόνου το οποίο διαφεύγει στην ατμόσφαιρα.



Η απώλεια αυτή του υπεροξειδίου σαν οξυγόνο σημαίνει ότι διατίθεται λιγότερη ποσότητα υπεροξειδίου για λεύκανση του προϊόντος. Η καταλυτική οξείδωση μπορεί να προχωρήσει σε τέτοιο βαθμό ικανό να οξειδώσει τις κυτταρινικές ίνες με αποτέλεσμα την ολική υποβάθμιση του υφάσματος και τη μείωση της αντοχής του ή/και τη δημιουργία τρυπών και ατελειών σε αυτό. Για την αποφυγή του φαινομένου αυτού, γίνεται χρήση σταθεροποιητών ικανών να μειώσουν την ενδεχόμενη αποσύνθεση. Μεταξύ άλλων, το πυριτικό νάτριο αποτελεί το πλέον διαδεδομένο μέσο σταθεροποίησης, η χρήση του οποίου συνδυάζεται με μια μικρή ποσότητα άλατος μαγνησίου. Τα κολλοειδή πυριτικά άλατα αποτελούν αποτελεσματικούς και οικονομικούς σταθεροποιητές, ωστόσο πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή κατά το ξέβγαλμά τους ώστε να διασφαλισθεί ότι δεν θα παραμείνουν υπολείμματα πυριτίου τόσο στο ύφασμα όσο και στα μηχανήματα.

✓ *Το χλωριώδες νάτριο (NaClO₂)*

Πλεονεκτήματα που ευνοούν τη χρήση του ως λευκαντικό παράγοντα είναι η υψηλή αποτελεσματικότητά του σε συνδυασμό με τη χαμηλή υποβάθμιση του προϊόντος που λευκαίνει, η

ανυπαρξία επιπλοκών λόγω ύπαρξης μεταλλικών στοιχείων καθώς και το ήπιο ξέβγαλμα που απαιτεί μετά τη διαδικασία της λεύκανσης. Ωστόσο, ιδιαίτερα αρνητικό αποτελεί το γεγονός ότι πρόκειται για μια κατά κόρον διαβρωτική ουσία γι' αυτό και θα πρέπει να δίδεται μεγάλη προσοχή στο είδος του εξοπλισμού που χρησιμοποιείται. Είναι επομένως απαραίτητο να χρησιμοποιείται κεραμικό, πλαστικό ή κάποιο ειδικό είδος χάλυβα κατά τη λεύκανση. Η διαδικασία πρέπει να λαμβάνει χώρα σε κλειστό δοχείο με ικανοποιητική στεγανότητα και καλό αερισμό λόγω της απελευθέρωσης αερίου διοξειδίου του χλωρίου το οποίο είναι τοξικό.

❖ **Μερσερισμός**

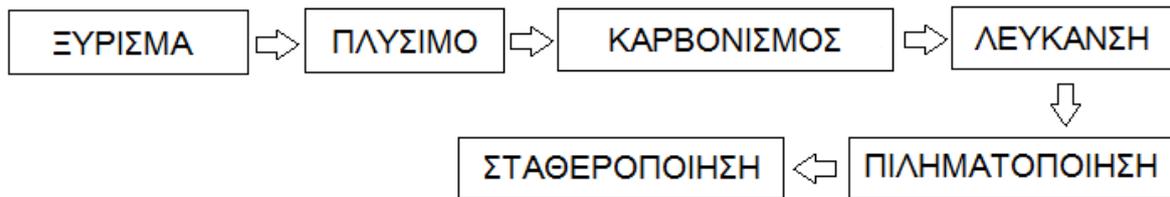
Κύριος σκοπός του μερσερισμού είναι η απόδοση χημικών ή φυσικών ιδιοτήτων στο ύφασμα τις οποίες δεν είχε πιο πριν, όπως είναι η γυαλάδα, η απορροφητικότητα, η απαλότητα, η βελτιωμένη αντοχή αλλά και ικανότητα απορρόφησης χρωμάτων.

Διαδικασία η οποία εφαρμόζεται μόνο στο βαμβάκι. Μπορεί να πραγματοποιηθεί και σε μίγματα βαμβακιού αλλά μονάχα με την προϋπόθεση ότι οι άλλες ίνες θα είναι ικανές να ανταπεξέλθουν στις συνθήκες μερσερισμού. Για παράδειγμα, από τη διαδικασία αυτή εξαιρούνται τα μίγματα βαμβακιού/μαλλιού. Το βαμβάκι και τα μίγματά του μερσερίζονται είτε σε μορφή νήματος, είτε σε μορφή υφάσματος. Ο μερσερισμός περιλαμβάνει αρχικά τη διαβροχή του υφάσματος με 18-30% NaOH σε θερμοκρασία 13-15°C. Στη συνέχεια το ύφασμα αφήνεται για κάποιο χρονικό διάστημα ούτως ώστε να επιτευχθεί η απορρόφηση του διαλύματος και τελικά το NaOH ξεπλένεται από αυτό, διατηρώντας το ύφασμα υπό τάνυση ώστε να αυξηθεί η γυαλάδα του, όπως έχει αποδειχθεί ότι συμβαίνει κατά τον τανυσμό.

Η διαδικασία αυτή μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω συνεχών διεργασιών από μια σειρά μηχανημάτων που αναλαμβάνουν τον εμποτισμό, τη διείδυση ή τη σταθεροποίηση των ινών, το πλύσιμο υπό ένταση, την απομάκρυνση των αλκαλίων, την εξουδετέρωση, το στύψιμο καθώς και το πλέξιμο του υφάσματος.

II. ΠΡΩΤΕΙΝΙΚΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ

Η ανάλυση της προκατεργασίας των πρωτεϊνικών ινών περιορίζεται σε αναφορές σχετικές με τα μάλλινα υφάσματα, διαφέρει δε σε μερικά σημεία από την ανάλυση των βαμβακερών υφασμάτων που προηγήθηκε. Τα στάδια που δύναται να ακολουθηθούν αναγράφονται παρακάτω. Και πάλι, ανάλογα με τις επιθυμητές ιδιότητες του τελικού προϊόντος, γίνεται και η κατάλληλη επιλογή των σταδίων που θα πραγματοποιηθούν.

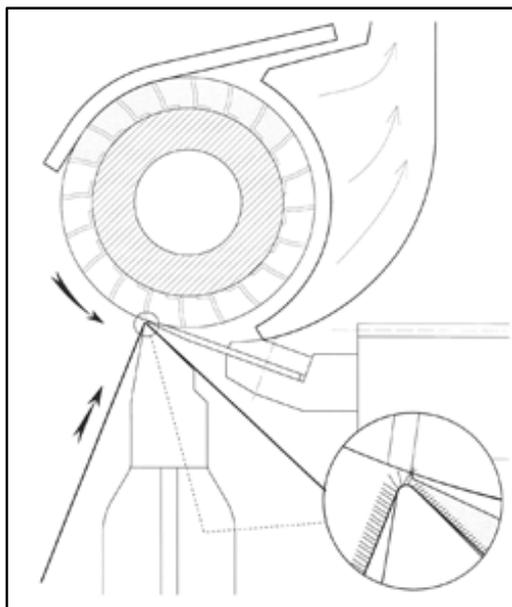


Διάγραμμα 2: Διάγραμμα ροής της προκατεργασίας πρωτεϊνικών προϊόντων

❖ Ξύρισμα

Επεξεργασία αντίστοιχη του καψαλίσματος, χωρίς τη χρήση φλόγας. Αποσκοπεί στην απομάκρυνση του επιφανειακού χνουδιού και επιτυγχάνεται με μηχανικό τρόπο.

Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται ονομάζεται «ξυράφι» και περιλαμβάνει μια σειρά από ελικοειδείς λεπίδες (ξυράφια) που περιστρέφονται με μεγάλη ταχύτητα. Το ύφασμα διερχόμενο σε σταθερή επιφάνεια κάτω από τις περιστρεφόμενες λεπίδες απαλλάσσεται από τις επιφανειακές προεξέχουσες ίνες. Το ανεπεξέργαστο ύφασμα καθαρίζεται πλήρως από το επιφανειακό του χνούδι καθώς διέρχεται όχι μόνο από ένα, αλλά από πολλά σετ ξυραφιών που βρίσκονται στο ίδιο μηχάνημα. Με αυτή τη διαδικασία μπορεί να ρυθμιστεί το αποτέλεσμα του ξυρίσματος καθώς πολλές φορές είναι επιθυμητή όχι η πλήρης αλλά η μερική απομάκρυνση του χνουδιού. Αποτελεί επομένως και μια τεχνική φινιρίσματος, η οποία είναι αρκετά πιο χρονοβόρα από το αντίστοιχο καψάλισμα που πραγματοποιείται στα βαμβακερά.



Σχήμα 2: Ξυράφι (Danti Paolo Company)

❖ Πλύσιμο

Πραγματοποιείται για την απομάκρυνση των προσμίξεων που προστέθηκαν στο ύφασμα κατά τις προηγούμενες επεξεργασίες του με σκοπό να καταστεί έτοιμο για τη βαφή.

Τέτοιες προσμίξεις μπορεί να είναι διάφορα λιπαντικά νηματοποίησης, αντιστατικά μέσα ή διάφορα λάδια και κεριά για τη λίπανση του νήματος κατά την ύφανση ή πλοκή. Γενικά, οι ζωικές ίνες περιέχουν ένα σημαντικό ποσοστό σε μη ινώδεις προσμίξεις το οποίο κυμαίνεται στο 40-50% για τα μάλλινα προϊόντα. Συγκεκριμένα, 15-30% είναι λίπη και ζωικά υπολείμματα, 5-20% άμμος και χρώμα ενώ 1-10% πτητικών ουσιών. Τα λίπη και τα διάφορα υπολείμματα απομακρύνονται με το πλύσιμο, ενώ οι πτητικές ουσίες με τον καρβονισμό, διαδικασία που αναλύεται παρακάτω. Τα μάλλινα υφάσματα είναι πολύ ευαίσθητα στα αλκάλια και καταστρέφονται ταχέως εάν υποβληθούν σε υγρές αλκαλικές επεξεργασίες υψηλών θερμοκρασιών. Έτσι, το πλύσιμο τους πραγματοποιείται με χρήση μεγάλων ποσοτήτων σαπουνιού ή απορρυπαντικού και πολύ μικρών ποσοτήτων αλκαλίου (ανθρακικό νάτριο) σε χαμηλές θερμοκρασίες μεταξύ 45-55⁰C. Η διαδικασία αυτή είναι γνωστή ως «γαλακτωματοποίηση». Πρόκειται για μια πολύ σημαντική διαδικασία που πρέπει να γίνεται σωστά και λεπτομερώς μιας και τα λιπαρά μάλλινα προϊόντα επεξεργάζονται με μεγαλύτερη δυσκολία από τα αντίστοιχα βαμβακερά. Μάλιστα, το πλύσιμο πρέπει να πραγματοποιείται ανεξαρτήτως εάν το μαλλί έχει πλυθεί ή όχι υπό τη μορφή ινών, διότι υπολείμματα ενδέχεται να προστεθούν στο ύφασμα και στις μετέπειτα διεργασίες του πλεξίματος ή της ύφανσης.

❖ Καρβονισμός

Χημική επεξεργασία του μάλλινου υφάσματος με ισχυρό οξύ με σκοπό την απομάκρυνση των κυτταρινικών προσμίξεων.

Το οξύ δρα στο ύφασμα υδρολύοντας τις κυτταρινικές προσμίξεις, μετατρέποντάς τις σε σκούρα και εύθραυστη υδροκυτταρίνη (κάρβουνο). Για το σκοπό αυτό τα υφάσματα εμποτίζονται με 5-6% υδροχλωρικό οξύ ή θειικό οξύ ή/και αλάτι στους 10-30⁰C. Στη συνέχεια στεγνώνουν σε υψηλή θερμοκρασία (100-105⁰C) και παραμένουν στους 125-150⁰C για ένα περίπου λεπτό. Μέσω της διαδικασίας αυτής απελευθερώνεται ισχυρό οξύ (π.χ. χλωριούχο αργίλιο / μαγνήσιο) και αρχίζει η διαδικασία της υδρόλυσης. Το προϊόν της υδρόλυσης (κάρβουνο) συνθλίβεται μεταξύ κυλίνδρων και απομακρύνεται από το ύφασμα όντας πλέον σε μορφή σκόνης με τη βοήθεια ενός διάτρητου περιστρεφόμενου τυμπάνου. Μετά τον καρβονισμό, το ύφασμα πρέπει να εξουδετερωθεί και να ξεπλυθεί, εκτός εάν οδηγηθεί αμέσως για βαφή όπου το περιβάλλον είναι όξινο. (Clark, 2011; Πέππας & Βασιλειάδης, 2003)

❖ Λεύκανση

Η λεύκανση του μάλλινου υφάσματος διαφέρει από αυτή του βαμβακερού καθώς, σε αντίθεση με τα βαμβακερά προϊόντα όπου γίνεται χρήση μόνο οξειδωτικών μέσων, στα μάλλινα μπορεί να γίνει χρήση και αναγωγικών λευκαντικών μέσων. Ωστόσο, η χρήση των τελευταίων είναι περιορισμένη καθώς η λευκότητα που επιτυγχάνεται δεν είναι μόνιμη και το αρχικό χρώμα των ινών τείνει να επανέρχεται υπό την έκθεση στον αέρα. Επίσης, το βαμβάκι λευκαίνεται ανεξάρτητα από το χρώμα που θα έχει το ύφασμα στην τελική του μορφή, ενώ για το μάλλινο απαιτείται η προεργασία της λεύκανσης μόνο όταν προορίζεται για λευκή, ή γενικότερα πιο λαμπερή και ανοιχτή απόχρωση. Τα μέσα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για λεύκανση ανάλογα με τη δράση τους, είναι:

- Αναγωγικά: Αέριο διοξείδιο του θείου (SO_2), διάλυμα διθειούχου νατρίου (NaHSO_3), διθειονικού νατρίου ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$), μεταδιθειονικού νατρίου ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$)
- Οξειδωτικά: Υπεροξείδιο του υδρογόνου (H_2O_2)

Πριν ξεκινήσει η ευρεία χρήση του υπεροξειδίου του υδρογόνου, το διοξείδιο του θείου αποτελούσε το μοναδικό λευκαντικό μέσο για τα μάλλινα προϊόντα. Η διαδικασία που ακολουθούνταν περιλάμβανε αρχικά την έκθεση των μάλλινων υποστρωμάτων σε διοξείδιο του θείου σε κλειστό θάλαμο. Τα μάλλινα προϊόντα έπρεπε να είναι ελαφρώς αλκαλικά πριν ξεκινήσει η λεύκανση καθώς είχε παρατηρηθεί πως η ουδέτερη ή όξινη κατάσταση συντελούσε σε μικρούς ρυθμούς λεύκανσης. Ακολουθούσε το πλύσιμο και το κρέμασμα των μάλλινων σε ξύλινους στύλους εντός δωματίου ενώ τέλος λάμβανε χώρα επεξεργασία των λευκασμένων με 1-2% θειώδους νατρίου στους 40°C . Το υπολειπόμενο διοξείδιο του θείου μετατρέπονταν σε διθειώδες νάτριο το οποίο απομακρύνονταν εύκολα κατά το πλύσιμο. Εντούτοις, το αναγωγικό αυτό μέσο οξείδωσης προσέφερε λεύκανση, αλλά όχι σε μόνιμη βάση, γι' αυτό και με το πέρασμα των χρόνων αντικαταστάθηκε από το υπεροξείδιο του υδρογόνου. Συχνά κατά τη διαδικασία της λεύκανσης, το ύφασμα μετά το πέρασμα από το λουτρό υπεροξειδίου περνά από ένα δεύτερο λουτρό που περιέχει ένα αναγωγικό μέσο λεύκανσης, με σκοπό την πληρέστερη λεύκανση του υφάσματος. Μια ακόμη παραλλαγή της λεύκανσης των μάλλινων προϊόντων περιλαμβάνει το συνδυασμό λεύκανσης και πλυσίματος, όπου το ύφασμα εμποτισμένο με αραιό διάλυμα υπεροξειδίου αναδύεται από τη τελευταία σκάφη πλυσίματος, ενώ παράλληλα πραγματοποιείται η λεύκανσή του με αργό ρυθμό. Τέλος, υπό κατάλληλες συνθήκες, η λεύκανση μπορεί να πραγματοποιηθεί και εντός του λουτρού βαφής. Το σύστημα λεύκανσης υπεροξειδίου του υδρογόνου περιλαμβάνει ένα φωσφορικό ή πυριτικό σταθεροποιητή που θα ελέγχει το ρυθμό αποσύνθεσης του υπεροξειδίου και επακόλουθα το ρυθμό της λεύκανσης. Μπορούν ακόμα να προστεθούν διάφοροι χημικοί παράγοντες για τη

δέσμευση των μεταλλικών ιόντων, τα οποία μπορούν να προκαλέσουν επίσης την αποσύνθεση του υπεροξειδίου. Για παράδειγμα, ένα τυπικό σύστημα λεύκανσης μπορεί να περιλαμβάνει υπεροξείδιο του υδρογόνου 35% σε κατάλληλη ποσότητα ανάλογα με την επιθυμητή λεύκανση, φωσφορικό σταθεροποιητή, μέσο διαβροχής, θερμοκρασία 40-60°C, διάρκεια 1-8 ώρες και pH 7,5-8,5. Από το υπεροξείδιο του υδρογόνου που χρησιμοποιείται, συνήθως καταναλώνεται το 15-25% κατά τη διαδικασία της λεύκανσης, επομένως συνίσταται η ανακύκλωσή του. (Carr, 1995; Clark, 2011)

❖ Πηλιματοποίηση

Με τον όρο πηλιματοποίηση νοείται η τάση των ινών να σχηματίζουν πυκνό μπέρδεμα με αποτέλεσμα η δομή του υφάσματος να μην είναι εμφανής και τα νήματα να μην είναι πλέον ορατά.

Το φαινόμενο αυτό μπορεί να αποτελέσει πλεονέκτημα αλλά και μειονέκτημα ανάλογα πάντα με τα επιθυμητά χαρακτηριστικά του τελικού προϊόντος. Η εκούσια πηλιματοποίηση έχει ως αποτέλεσμα την ελάττωση των διαστημάτων αέρα ανάμεσα στις ίνες γεγονός που συμβάλλει στη συστολή του υφάσματος. Τα μικρότερα διαστήματα αέρα ανάμεσα από τις ίνες θα εξασφαλίσουν και καλύτερη μεταφορά θερμότητας διαμέσου του υφάσματος, καθώς ο αέρας αποτελεί θερμομονωτικό μέσο. Το ύφασμα που έχει υποστεί αυτή την επεξεργασία διαφέρει αισθητά από το ανεπεξέργαστο επομένως, η πηλιματοποίηση χρησιμοποιείται όχι μόνο για λειτουργικούς αλλά και για σχεδιαστικούς λόγους. Ωστόσο, η συστολή λόγω πηλιματοποίησης που δεν έχει σχεδιαστεί, αποτελεί πρόβλημα καθώς επιφέρει τροποποίηση του προϊόντος και συρρίκνωση του υφάσματος. Αυτό το μπέρδεμα των μάλλινων ινών προκαλείται είτε με τέντωμα, είτε με συμπίεση.

Η διαδικασία που ακολουθείται όταν είναι επιθυμητή η πηλιματοποίηση, ονομάζεται «μπατάνισμα» και το μηχάνημα με το οποίο αυτή επιτυγχάνεται, «μπατάνι». Το ύφασμα σε μορφή κορδονιού κινείται περιστροφικά μέσα στο μπατάνι, μέχρις ότου να επιτευχθεί ο επιθυμητός βαθμός συστολής (πηλιματοποίηση). Διέρχεται μέσα από τον οδηγό που το κατευθύνει και μετά συμπιέζεται στη σκάφη. Καθώς ανυψώνεται ξανά προς τον οδηγό της μηχανής, υφίσταται κάποιο βαθμό τάνυσης ενώ όταν καταλήγει στη σκάφη, συμπιέζεται. Το ύφασμα διατηρείται υγρό καθώς στο κάτω μέρος της μηχανής (σκάφη) υπάρχει υγρό το οποίο περιέχει σαπούνη που δρα ως λιπαντικό και υποβοηθά την μετακίνηση των ινών στο ύφασμα.

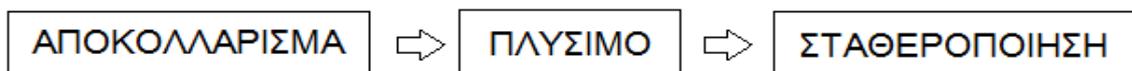
❖ Σταθεροποίηση

Διαδικασία η οποία είναι επιθυμητή για την αποφυγή της παραμόρφωσης του υφάσματος μετά την επεξεργασία του.

Η παραμόρφωση μπορεί να προκληθεί από πολλούς παράγοντες όπως είναι η ανομοιόμορφη τάνυση που μπορεί να υποστεί από το ίδιο το μηχάνημα. Η σταθεροποίηση πραγματοποιείται υποβάλλοντας το ύφασμα σε συνδυασμένη δράση θέρμανσης, υγρασίας και πίεσης. Η δράση της εμφανίζει προσωρινό χαρακτήρα καθώς μοναδικός σκοπός είναι να διασφαλιστεί ότι το ύφασμα θα συνεχίσει στη γραμμή παραγωγής χωρίς να παραμορφωθεί. Δύο διαθέσιμες τεχνικές χρησιμοποιούνται, γνωστές ως «crabbing» και «blowing» (ή αλλιώς «δεκάτισμα»). Κατά την πρώτη τεχνική, το ύφασμα τυλίγεται σε ένα τύμπανο υπό τάνυση αφού πρώτα περάσει από νερό υψηλής θερμοκρασίας. Ένα δεύτερο βαρύ τύμπανο πιέζει το τυλιγμένο ύφασμα με την απαραίτητη πίεση που θα προσδώσει το επιθυμητό αποτέλεσμα. Κατά τη δεύτερη τεχνική, το ύφασμα τυλίγεται υπό τάνυση σε ένα κοίλο και διάτρητο τύμπανο μέσα από το οποίο διαχέεται ατμός για 1 μέχρι 3 λεπτά. Η διαδικασία της σταθεροποίησης εμφανίζει τα καλύτερα αποτελέσματα όταν το pH του υγρού στο οποίο βρίσκεται το ύφασμα κυμαίνεται στο 9, επομένως, ίσως χρειαστεί να γίνει ρύθμιση του με κατάλληλη επεξεργασία, πριν τη σταθεροποίηση. Το αποτέλεσμα που θα προσδοθεί στο τελικό προϊόν θα παραμείνει σε αυτό με την προϋπόθεση ότι το ύφασμα δεν θα βραχεί σε θερμοκρασία ίση ή μεγαλύτερη από εκείνη της προηγούμενης επεξεργασίας.

III. ΣΥΝΘΕΤΙΚΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ

Οι συνθετικές είναι περιέχουν πολύ λιγότερες προσμίξεις και ακαθαρσίες, εφόσον πρόκειται για τεχνητό κατασκεύασμα του οποίου οι προδιαγραφές μπορούν να ελεγχθούν εξ αρχής. Για το λόγο αυτό, η προκατεργασία που απαιτείται στα συνθετικά υφάσματα είναι πολύ μικρότερη σε έκταση σε σχέση με αυτή των φυσικών ινών. Βέβαια, αυτό δεν αποκλείει την πιθανότητα προσθήκης βοηθητικών μέσων (λιπαντικών, κολλαριστικών, αντιστατικών μέσων) κατά την επεξεργασία τους. Οι επεξεργασίες που μπορούν να πραγματοποιηθούν είναι οι εξής:



Διάγραμμα 3: Διάγραμμα ροής της προκατεργασίας συνθετικών προϊόντων

❖ Αποκολλάρισμα – Πλύσιμο

Το αποκολλάρισμα αφορά τα υφαντά και όχι τα πλεκτά συνθετικά υφάσματα. Όταν στις ίνες έχει προστεθεί αμυλόκολλα τότε μπορεί να πραγματοποιηθεί ενζυματικά, όπως γίνεται και στα βαμβακερά υφάσματα. Τα πολυεστερικά, ακρυλικά ή νάιλον υφάσματα είναι πολύ πιθανό να έχουν κολλαριστεί με υδατοδιαλυτή κόλλα γι' αυτό σε αυτή την περίπτωση η απομάκρυνση των βοηθητικών μέσων μπορεί να γίνει μέσω του πλυσίματος με ένα μη ιονικό συνθετικό απορρυπαντικό και μια μικρή ποσότητα αλκαλίου σε θερμοκρασία 50-60°C. Στα πλεκτά υφάσματα

όπου δεν περιέχεται κόλλα το πλύσιμο αρκεί για την απομάκρυνση των ανεπιθύμητων προσμίξεων και λιπαντικών.

❖ Σταθεροποίηση

Η σταθεροποίηση των συνθετικών ινών έχει μόνιμο χαρακτήρα και αποτελέσματα, σε αντίθεση με τη σταθεροποίηση άλλων ινών. Η κατηγορία των συνθετικών που περιλαμβάνει τα πολυαμίδια, τους εστέρες και τις εστεροποιημένες κυτταρίνες σταθεροποιείται με ένα συγκεκριμένο τρόπο. Οι συνθετικές αυτές ίνες παρουσιάζουν θερμοπλαστικές ιδιότητες. Έτσι, όταν θερμανθούν μαλακώνουν και μπορούν να μορφοποιηθούν. Έχουν μάλιστα την τάση –απουσία τάνυσης– να συστέλλονται μόλις φτάσουν τη θερμοκρασία στην οποία μαλακώνουν. Μόλις κρυσώσουν, διατηρούν τη μορφή αυτή που έχουν και έτσι σταθεροποιούνται. Για να μεταβληθεί το σχήμα τους πρέπει να δεχθούν θερμοκρασίες υψηλότερες από τη θερμοκρασία σταθεροποίησής τους, ειδάλλως παραμένουν ως έχουν για οποιαδήποτε επόμενη φάση επεξεργασίας (Πέππας & Βασιλειάδης, 2003). Στον Πίνακα 1 αναγράφεται συνοπτικά ο μηχανολογικός εξοπλισμός καθώς και τα χημικά βοηθητικά μέσα που μπορεί να χρησιμοποιηθούν κατά τη διαδικασία της προκατεργασίας των υφασμάτων.

Πίνακας 1: Μηχανολογικός εξοπλισμός και βοηθητικά μέσα προκατεργασίας

ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΠΡΟΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ	ΒΟΗΘΗΤΙΚΕΣ ΥΛΕΣ
<ul style="list-style-type: none"> • Καψαλίστρα • Μηχάνημα μερσερισμού • Ξυράφι • Μηχάνημα καρβονισμού • Μπατάκι • Μηχάνημα σταθεροποίησης 	<ul style="list-style-type: none"> • Αποκολλάρισμα <ul style="list-style-type: none"> – Υδροχλωρικό/Θεικό οξύ – Υπεροξείδιο του υδρογόνου – Υπερθειικά άλατα • Πλύσιμο <ul style="list-style-type: none"> – Υδροξείδιο του νατρίου – Ανθρακικό νάτριο – Τριχλωροαιθυλένιο • Λεύκανση <ul style="list-style-type: none"> – Υποχλωριώδες νάτριο – Υπεροξείδιο του υδρογόνου – Χλωριώδες νάτριο – Σταθεροποιητής πυριτικός/φωσφορικός • Μερσερισμός <ul style="list-style-type: none"> – Υδροξείδιο του νατρίου • Καρβονισμός <ul style="list-style-type: none"> – Υδροχλωρικό/Θεικό οξύ

2.2.2 Βαφή

Τα κλωστοϋφαντουργικά χρώματα αρχικά προέρχονταν από φυτικές ή ζωικές πηγές μέσω μιας διαδικασίας εκχύλισης. Σήμερα, οι χρωστικές ουσίες στην πλειοψηφία τους αποτελούν συνθετικές οργανικές ενώσεις οι οποίες διαχωρίζονται σε χρώματα (dyes) και πάστες (pigments). Γενικά, τα χρώματα, δηλαδή οι βαφές, αποτελούν έγχρωμα μόρια τα οποία είναι διαλυτά στο νερό και τα άλλα μέσα διάλυσης ή έχουν την ικανότητα να διασπείρονται σε αυτά, διαπερνώντας τις ίνες ενώ παράλληλα επιτελούν το βάψιμό τους. Αντίθετα, οι πάστες χρωμάτων δεν διασπείρονται στο νερό γι' αυτό και απαιτείται πάντοτε η μηχανική «παγίδευσή» τους στις ίνες με τη βοήθεια διαφόρων ρητινών. Η ειδική αυτή κατηγορία χρωμάτων περιορίζεται κυρίως σε εφαρμογές τυποβαφής όσον αφορά τον κλωστοϋφαντουργικό τομέα, δηλαδή στη δημιουργία αποτυπώματος ή σχεδίου στο προϊόν μέσω της τοπικής εφαρμογής των παστών σε αυτό (Πέππας & Βασιλειάδης, 2003).

Ταξινόμηση

Η κατηγοριοποίηση των βαφών μπορεί να γίνει βάσει διαφόρων κριτηρίων όπως είναι το χρώμα που προσδίδουν, η χρήση τους, η επωνυμία, η χημική σύσταση αλλά και η μέθοδος εφαρμογής τους. Οι πρώτες προσπάθειες σύνδεσης των βαφών με τον κόσμο της χημείας χρονολογούνται στο 1876, χρονιά κατά την οποία ο Otto Witt εξέδωσε τη θεωρία χρωμάτων σύμφωνα την οποία οι βαφές αποτελούνται από δύο κύρια είδη ομάδων, τις «χρωμοφόρες» και τις «αυξόχρωμες» ομάδες. Οι ακόρεστες ομάδες οι οποίες μπορούν να συζευχθούν ώστε να κάνουν το μόριο να φαίνεται χρωματισμένο, ορίζονται ως χρωμοφόρες, ενώ αυτές οι οποίες ενισχύουν ή τροποποιούν το χρώμα ενός συζευγμένου συστήματος αναφέρονται ως αυξόχρωμες. Με άλλα λόγια, οι χρωμοφόρες αποτελούν χημικές ομάδες οι οποίες δίνουν συγκεκριμένο χρώμα και ένταση σε μια χημική ένωση ενώ οι αυξόχρωμες παρόλο που δεν δίνουν χρώμα στην ένωση, επηρεάζουν την έντασή του ενισχύοντας την ικανότητα απορρόφησης ενέργειας των χρωμοφόρων ομάδων. Έτσι, κατά τη θεωρία του Witt, στα μόρια μιας χρωματισμένης ένωσης είναι παρόντα τρία υποσυστήματα, ένα χρωμοφόρο, ένα αυξόχρωμο και ένα σύστημα συζυγών διπλών δεσμών που συνδέει τα άλλα δύο. Μέσω της θεωρίας αυτής γίνεται μια πρώτη ταξινόμηση των χρωμάτων με βάση τη χημική σύσταση τους και πιο συγκεκριμένα το είδος των χρωμοφορικών δομών που απαντώνται σε αυτά.

Πίνακας 2: Κυριότερες χρωμοφόρες και αυξόχρωμες ομάδες (Κιμούλη, n.d.)

ΧΡΩΜΟΦΟΡΕΣ ΟΜΑΔΕΣ	ΑΥΞΟΧΡΩΜΕΣ ΟΜΑΔΕΣ
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Καρβοξυλομάδα ▪ Ανθρακική ομάδα ▪ Θειοσουλφονική ομάδα ▪ Ομάδα άνθρακας-άζωτο 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 1ταγείς, 2ταγείς, 3ταγείς αμίνες ▪ Μεθυλομάδα ▪ Υδροξυλομάδα ▪ Σουλφονική ομάδα

<ul style="list-style-type: none"> ▪ Αζω-ομάδα ▪ Αζωαμινο-ομάδα ▪ Νιτροδω-ομάδα ▪ Νιτρο-ομάδα ▪ Κινοειδής δομή 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Καρβοξυλομάδα ▪ Νιτρο-ομάδα
---	--

Ένα δεύτερο είδος ταξινόμησης των χρωστικών ουσιών που χρησιμοποιούνται σήμερα αφορά την μέθοδο εφαρμογής τους. Στην περίπτωση αυτή, το όνομα της κατηγορίας εφαρμογής αποτελεί συχνά και τον οδηγό για την μέθοδο χρήσης τους. Στην ταξινόμηση που ακολουθεί συμπεριλαμβάνεται περιγραφή των ιδιοτήτων της κάθε υποκατηγορίας. Αντίστοιχα, στον Πίνακα 2 αναγράφονται συνοπτικά μερικά βασικά χαρακτηριστικά για τα σημαντικότερα είδη χρώματος μαζί με τους παραγόμενους ρύπους κατά την εφαρμογή τους (Needles, 1986; Kulkarni et al., 1985).

- **Χρώματα που περιέχουν ανιονικές λειτουργικές ομάδες**

- Απλά χρώματα (direct dyes): Παρουσιάζουν ευκολία στην εφαρμογή και ευρύ φάσμα χρωμάτων σε σχετικά χαμηλό κόστος. Κατηγοριοποιούνται με βάση τις ανάγκες σε άλατα τα οποία προστίθενται στο λουτρό ως βοηθητική ύλη. Χαρακτηρίζονται από αδυναμία συγκράτησης της βαφής στο ινώδες υπόστρωμα μετά το πλύσιμο λόγω της έκπλυσης των περιεχόμενων αλάτων στο λουτρό που της προσδίδουν σταθερότητα (μικρή σταθερότητα κατά το πλύσιμο). Τα χρώματα αυτά τείνουν να αντικατασταθούν από τα χρώματα αντιδράσεως.

- Όξινα χρώματα (acid dyes): Κατά τη βαφή λαμβάνουν χώρα χημικές αντιδράσεις με αποτέλεσμα τη δημιουργία αδιάλυτου μορίου χρωστικής στο ύφασμα. Χαρακτηρίζονται από χαμηλή αντοχή (συγκράτησης του χρώματος) κατά τις υγρές επεξεργασίες (πλύσιμο κτλ.)

- Χρώματα αντιδράσεως (reactive dyes): Σχηματίζουν ομοιοπολικούς δεσμούς με τα μόρια των ινών που χρωματίζουν κι έτσι αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι του υποστρώματος μετά τη βαφή, προσδίδοντας ομοιομορφία και ομοιογένεια σε αυτό. Εμφανίζουν εξαιρετική αναπαραγωγικότητα σκιάς και πολύ καλές ιδιότητες απλώματος χρώματος. Χαρακτηρίζονται από εξαιρετική αντοχή στις υγρές επεξεργασίες, ωστόσο είναι ακριβότερα σε σχέση με τα απλά χρώματα

- **Χρώματα που περιέχουν κατιονικές ομάδες**

- Χρώματα κάδου (vat dyes): Αδιάλυτες ουσίες που περιέχουν τουλάχιστον δύο καρβονύλια, τα οποία επιτρέπουν στη βαφή να αναχθεί υπό αλκαλικές συνθήκες προς σχηματισμό μιας αντίστοιχης υδατοδιαλυτής «λευκο-ένωσης». Σε αυτή τη μορφή η βαφή απορροφάται από την κυτταρίνη. Η

λευκο-ένωση μπορεί να μετατραπεί στην αρχική αδιάλυτη μορφή της μέσω μιας διαδικασίας οξειδωσης. Χρησιμοποιούνται όταν απαιτείται υψηλή αντοχή στο φως και στις υγρές επεξεργασίες

- Βασικά χρώματα (basic dyes): Ονομάζονται αλλιώς και κατιονικές βαφές. Είναι υδατοδιαλυτές και παράγουν χρωματισμένα κατιόντα στο διάλυμα βαφής τα οποία έλκονται ηλεκτροστατικά από υποστρώματα αρνητικού φορτίου. Στο λουτρό βαφής προστίθενται συχνά επιβραδυντές λόγω της χαμηλής μεταναστευτικότητας του χρώματος σε θερμοκρασία βρασμού, η οποία οφείλεται εν μέρει στην απότομη αύξηση της διάχυσης του στις υψηλές θερμοκρασίες. Η χρήση των επιβραδυντών πρέπει να γίνεται προσεκτικά καθώς ενέχει ο κίνδυνος φραγμού των ανιονικών τμημάτων του υποστρώματος που θα επιφέρει μείωση της έντασης του χρώματος κατά τη βαφή.

- ***Χρώματα που απαιτούν χημική αντίδραση πριν την εφαρμογή***

- Αζωικά χρώματα (azoic dyes): Εφαρμόζονται συνδυάζοντας δύο διαλυτά συστατικά τα οποία εμποτίζουν την ίνα με σκοπό τη δημιουργία ενός αδιάλυτου μορίου χρωστικής. Τα συστατικά αυτά βρίσκονται σε μορφή διασποράς πάστας ή πούδρας. Οι αζω-βαφές αποτελούν την μεγαλύτερη ομάδα συνθετικών χρωστικών βαφών (60-70%), η χρήση των οποίων δεν περιορίζεται μονάχα στις φυσικές ίνες, αλλά και στο πλαστικό, το δέρμα, το χαρτί, τα ορυκτά έλαια, τα κεριά και τα καλλυντικά (Carliell, 1995). Η προσεκτική επιλογή των αζωικών χρωμάτων είναι απαραίτητη καθώς μεγάλο μέρος αυτών τείνει –υπό κατάλληλες συνθήκες– να μετατραπεί σε επικίνδυνες αρωματικές αμίνες.

- Χρώματα θείου (sulfur dyes): Η εφαρμογή τους απαιτεί προσεκτικά σχεδιασμένους μετασχηματισμούς μεταξύ της υδατοδιαλυτής αναχθείσας μορφής της βαφής και της αδιάλυτης οξειδωμένης μορφής. Εμφανίζουν μικρή αντοχή στη χλώριο. Δεν εφαρμόζονται στα μάλλινα και τα μεταξωτά καθώς οι ίνες τους καταστρέφονται από τη χημική δράση των βαφών θείου.

- ***Ειδική κατηγορία χρωμάτων***

- Χρώματα διασποράς (disperse dyes): Κολλοειδείς βαφές με πολύ χαμηλή υδατοδιαλυτότητα. Προστίθενται συνήθως υπό μορφή διασποράς σε λουτρό βαφής και το βάψιμο του υφάσματος επιτελείται μέσω άμεσης κολλοειδούς απορρόφησης. Σπανιότερα, το βάψιμο πραγματοποιείται μέσω της εξάχνωσης του χρώματος υπό υψηλή θερμοκρασία. Έτσι, όταν η βαφή διαπεράσει την ίνα, συμπυκνώνεται σε μια στερεή κολλοειδή φάση και απορροφάται από αυτήν.

- Χρώματα διάλυσης (solvent dyes): Συχνά παρουσιάζουν ομοιότητες με χρώματα τα οποία ανήκουν στις άλλες κατηγορίες, με τη διαφορά ότι στο μόριο τους περιέχουν ομάδες που αυξάνουν τη διαλυτότητά τους σε διαλύτες όπως είναι οι αλκοόλες και οι χλωριωμένοι υδρογονάνθρακες. Ενδέχεται να βάφουν συγκεκριμένους τύπους ινών οι οποίες εμφανίζουν δυσκολία κατά το βάψιμο σε υδατικό λουτρό.

- Πάστες (pigments): Χρωστικές ουσίες αδιάλυτες στο μέσο εφαρμογής τους. Δεν μπορούν να διεισδύσουν στις ίνες και να ενσωματωθούν σε αυτές. Απαιτείται πάντοτε η προσθήκη ενός βοηθητικού συνδετικού παράγοντα που θα ενθυλακώσει και θα τοποθετήσει τη χρωστική στην επιφάνεια των ινών. Η προσκόλληση των παστών στις ίνες εξαρτάται αποκλειστικά από τα χαρακτηριστικά του συνδετικού παράγοντα και η διαδικασία αυτή έχει τη τάση να σκληραίνει το ύφασμα. Η αντοχή του συστήματος χαρακτηρίζεται μέτρια έως φτωχή καθότι πρόκειται για επιφανειακή κατεργασία του υφάσματος.

- Χρώματα φυσικής προέλευσης (natural dyes): Χρωστικές ουσίες που προέρχονται από τα ορυκτά αλλά και τις φυτικές ή ζωικές πηγές. Αποτελούν πολύπλοκα μίγματα υλικών που προσδίδουν περισσότερο απαλούς παρά έντονους χρωματικούς τόνους, σε αντίθεση με τις συνθετικές βαφές. Εφαρμόζονται σε φυσικές ή αναγεννημένες ίνες.

Πίνακας 3: Χαρακτηριστικά και πρόσθετες πληροφορίες για τα διαφορετικά είδη χρωμάτων

(Swan, 1995)

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	ΣΥΜΒΑΤΟ ΕΙΔΟΣ ΙΝΑΣ	ΣΤΕΡΕΩΣΗ ΒΑΦΗΣ (%)	ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΟΙ ΡΥΠΟΙ
○ Απλά χρώματα (direct dyes)	- Υδατοδιαλυτά - Χαμηλή αντοχή στις υγρές επεξεργασίες	Βαμβάκι, άλλα κυτταρινικά υποστρώματα, μαλλί, μετάξι	70-95	Χρώμα, άλατα, παράγοντες στερέωσης χρώματος
○ Ώξινα χρώματα (acid dyes)	- Υδατοδιαλυτά	Μαλλί, νάιλον, μετάξι	80-93	Χρώμα, οργανικά οξέα, βοηθητικές ύλες βαφής
○ Χρώματα αντιδράσεως (reactive dyes)	- Υδατοδιαλυτά - Δημιουργία ομοιοπολικών δεσμών με την ίνα - Δημοφιλής	Βαμβάκι, άλλα κυτταρινικά υποστρώματα, μαλλί, μετάξι νάιλον	60-90	Χρώμα, άλατα, αλκάλια, σάπωνες

	κατηγορία βαφής			
○ Χρώματα κάδου (vat dyes)	- Αδιάλυτα στο νερό - Πολύπλοκες χημικές ενώσεις Διαλυτοποιούνται μέσω ισχυρά αλκαλικής αναγωγής	Βαμβάκι, άλλα κυτταρινικά υποστρώματα	80-95	Χρώμα, υδροθειώδες νάτριο, αλκάλια, σάπωνες
○ Βασικά χρώματα (basic dyes)	- Υδατοδιαλυτά - Εφαρμογή σε ελαφρώς όξινο λουτρό βαφής - Ιδιαίτερα φωτεινές αποχρώσεις	Ακρυλικά, τροποποιημένος πολυεστέρας	97-98	Χρώμα, οργανικά οξέα, Βοηθητικές ύλες βαφής
○ Αζωικά χρώματα (azoic dyes)	- In situ σχηματισμός χρώματος μέσω αντίδρασης σύζευξης	Βαμβάκι, άλλα κυτταρινικά υποστρώματα		Αλκάλια, μη στερεωμένο χρώμα, ναφθόλη, διαζωτωμένες βάσεις, σάπωνες
○ Χρώματα θείου (sulfur dyes)	- Αδιάλυτα στο νερό - Οργανικές ενώσεις θείου - Διαλυτοποιούνται μέσω ελαφρά αλκαλικής αναγωγής	Βαμβάκι, άλλα κυτταρινικά υποστρώματα	60-70	Χρώμα, θειούχο νάτριο, αλκάλια, οξειδωτικοί παράγοντες
○ Χρώματα διασποράς (disperse dyes)	- Αδιάλυτα στο νερό - Χαμηλά μοριακά βάρη	Πολυεστέρας, οξεική κυτταρίνη, άλλες συνθετικές ίνες	80-92	Χρώμα, οργανικά οξέα, παράγοντες διασποράς, μεταφορείς
○ Πάστες (pigments)	- Αδιάλυτες στο νερό - Καμία συγγένεια με την ίνα - Στερέωση βαφής με τη βοήθεια συνδετικού υλικού	Βαμβάκι, Μίγματα βαμβάκι/PET	100	Χρώμα, συνδετικός παράγοντας, καταλύτης πολυμερισμού

Εκτός από τις χρωστικές ουσίες που προστίθενται στο λουτρό βαφής ώστε να αποδώσουν την επιθυμητή απόχρωση χρώματος, είναι απαραίτητη και η προσθήκη άλλων ουσιών προκειμένου να ολοκληρωθεί αποτελεσματικά η βαφική διαδικασία. Τέτοιες ουσίες περιλαμβάνουν μεταξύ άλλων τασιενεργά πρόσθετα και μέσα διασποράς, ενώ συχνά χρησιμοποιούνται και άλατα που

λειτουργούν ως ρυθμιστές. Ανάλογα με το μηχανισμό βάσει του οποίου επιτυγχάνεται η βαφή, απαιτούνται χαμηλές, μέτριες ή υψηλές συγκεντρώσεις σε άλατα. Έτσι, για τα χρώματα κάδου δεν απαιτείται προσθήκη αλάτων, στα χρώματα αντιδράσεως επιβάλλονται οι εξαιρετικά υψηλές συγκεντρώσεις σε άλατα (της τάξεως των 100g/l), ενώ άλλα είδη χρωστικών ενδέχεται να απαιτούν από πολύ χαμηλές έως πολύ υψηλές συγκεντρώσεις αλάτων. Ακόμα, άλλα πρόσθετα που χρησιμοποιούνται στο λουτρό βαφής συμπεριλαμβάνουν αναγωγικούς παράγοντες, οργανικά μέσα συμπλοκοποίησης, οξικό οξύ, μίγμα αρωματικών υδρογονανθράκων, παράγοντες διασποράς και υδροθειώδες νάτριο, όπως συμβαίνει για παράδειγμα στα χρώματα διασποράς. Αντίστοιχα, όταν είναι επιθυμητό το βάψιμο με χρώματα αντιδράσεως, στο λουτρό βαφής συνήθως προστίθενται δύο ή τριών ειδών χρωστικές ουσίες αντιδράσεως, παράγοντες διασποράς και μέσα συμπλοκοποίησης, ενώ η επιλογή μεταξύ χλωριούχων ή θειικών αλάτων καθορίζεται από το κόστος και την ποιότητα. Τα θειικά άλατα, παρόλο που είναι ακριβότερα, προτιμώνται λόγω των υψηλών αποδόσεών τους (Van der Bruggen, 2004).

Γενικά, οι βαφές ως έγχρωμα ακόρεστα οργανικά μόρια, πρέπει να εμφανίζουν «συγγένεια» με τις ίνες για να δράσουν αποτελεσματικά και η ένωσή τους με αυτές γίνεται μέσω φυσικών δυνάμεων, όπως είναι οι δεσμοί υδρογόνου, οι δεσμοί van der Waals και οι ιοντικοί δεσμοί. Άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν την αποτελεσματικότητα της βαφής ενός υφάσματος είναι η υφή του υποστρώματος που θα δεχτεί τη βαφή, η διεργασία παραγωγής του υφάσματος, η προκατεργασία και η κατεργασία του μετά τη βαφή, η θερμοκρασία, ο χρόνος βαφής καθώς και τα βοηθητικά χημικά μέσα που χρησιμοποιούνται. Όσον αφορά την ίδια τη βαφή, η απορρόφηση της από την ίνα διαφέρει ανάλογα με την κατηγορία στην οποία ανήκει η κάθε χρωστική, με βάση τη διαφοροποίηση που στον Πίνακα 3. Έτσι, η απορρόφηση δεν πραγματοποιείται κατά 100% από τις ίνες, αλλά φτάνει σε μια ισορροπία η οποία βρίσκεται σε άμεση εξάρτηση από το σχηματισμό των φυσικών δεσμών που δημιουργούνται στο σύστημα βαφής-ίνας (Carr, 1995; Needles, 1986).

Μηχανολογικός εξοπλισμός

Η βαφή των υφασμάτων επιτυγχάνεται με τη βοήθεια των βαφών ή παστών και του αντίστοιχου μηχανολογικού εξοπλισμού. Οι μέθοδοι βαφής και τα μηχανήματα που χρησιμοποιούνται εξαρτώνται κάθε από το τύπου του υλικού που οδηγείται για βαφή. Η πιο δημοφιλής μορφή υλικού για βαφή είναι τα υφαντά υφάσματα γι' αυτό και η αναφορά στα μηχανήματα που θα ακολουθήσει θα γίνει με βάση αυτό το είδος υφάσματος. Ο τομέας της βαφής των υφαντών είναι αρκετά ευρύς και πολύπλοκος. Υπάρχουν διάφοροι παράγοντες που καθορίζουν το τύπο της βαφικής μηχανής που θα χρησιμοποιηθεί κάθε φορά, όπως:

- Η μέθοδος βαφής (ανά παρτίδες, ημισυνεχής, συνεχής),
- Οι συνθήκες λειτουργίας (ανακυκλοφορία λουτρού βαφής, κυκλοφορία μόνο του υλικού προς βαφή ή συνδυασμός και των δύο),
- Οι συνθήκες βαφής (ατμοσφαιρικές, υψηλής θερμοκρασίας και υψηλής πίεσης (HTHP))
- Η προέλευση του υφάσματος (φυσική ή συνθετική)

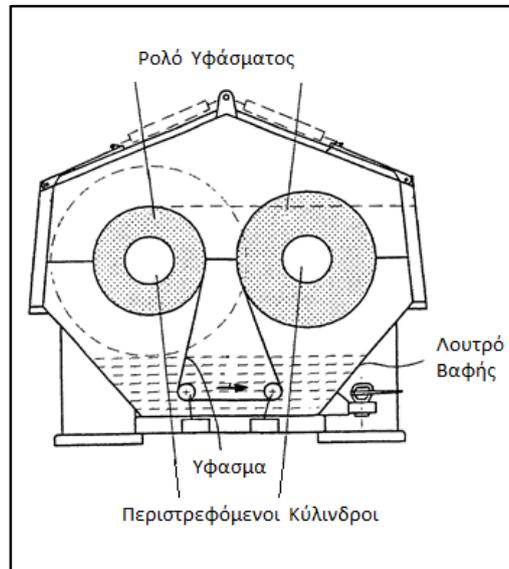
Ένα ακόμη στοιχείο που πρέπει να ληφθεί υπ' όψη κατά την επιλογή βαφικής μηχανής είναι εάν το ύφασμα θα βρίσκεται σε ανοιχτό πλάτος ή σε μορφή σχοινού κατά τη βαφή. Επίσης, διαφορετικά είδη βαφών ενδέχεται να απαιτούν διαφορετική μεταχείριση και επεξεργασία επομένως η επιλογή του κατάλληλου μηχανήματος παίζει και εδώ κάποιο ρόλο. Λόγω των ιδιαίτερων αυτών συνθηκών καταλαβαίνει κανείς πως οι μηχανές θα πρέπει να περιλαμβάνουν βαφικά συστήματα εξατομικευμένα για το κάθε ύφασμα. Ο μηχανολογικός εξοπλισμός που διατίθεται στην αγορά περιορίζεται στα παρακάτω είδη μηχανημάτων για τα οποία ακολουθεί λεπτομερής περιγραφή. (Clark, 2011)

- Βαφική μηχανή Jigger
- Βαφική μηχανή Beam
- Βαφική μηχανή Jet Flow με υδραυλικό σύστημα ροής
- Βαφική μηχανή Air Flow με αεροδυναμικό σύστημα ροής
- Βαφική μηχανή Soft Flow/Over Flow - ατμοσφαιρική

Βαφική μηχανή Jigger

Η μηχανή Jigger συγκαταλέγεται στα πρώτα είδη μηχανών που χρησιμοποιήθηκαν για το βάψιμο των υφαντών υφασμάτων σε θερμοκρασίες που φτάνουν το σημείο βρασμού. Μπορεί να βάψει τα περισσότερα είδη υφασμάτων με εξαίρεση τα πολύ λεπτά και ευαίσθητα σε τάση. Η βαφή λαμβάνει χώρα στο εσωτερικό της μηχανής μέσω μιας διαδικασίας που περιλαμβάνει δύο κυλίνδρους και ένα λουτρό που περιέχει τη βαφή. Αρχικά, το ύφασμα τυλίγεται στον έναν ανασυρόμενο κύλινδρο. Στη συνέχεια, περνάει μέσα από το λουτρό βαφής που βρίσκεται στο κάτω μέρος της μηχανής και ανασύρεται ξανά με τη βοήθεια του δεύτερου κυλίνδρου. Όταν ο κύλινδρος είναι πλήρως φορτωμένος, αναστρέφεται κι έτσι το ύφασμα επιστρέφει ξανά στο λουτρό βαφής καθώς τυλίγεται ξανά στον πρώτο κύλινδρο. Αυτή η διαδικασία αποτελεί ένα πέρασμα. Για να επιτευχθεί το βάψιμο είναι πιθανό να απαιτούνται περισσότερα από ένα πέρασμα. Η λεκάνη βαφής περιέχει και αυτή βοηθητικούς κυλίνδρους από τους οποίους περνάει το ύφασμα καθώς εμβαπτίζεται με φρέσκια

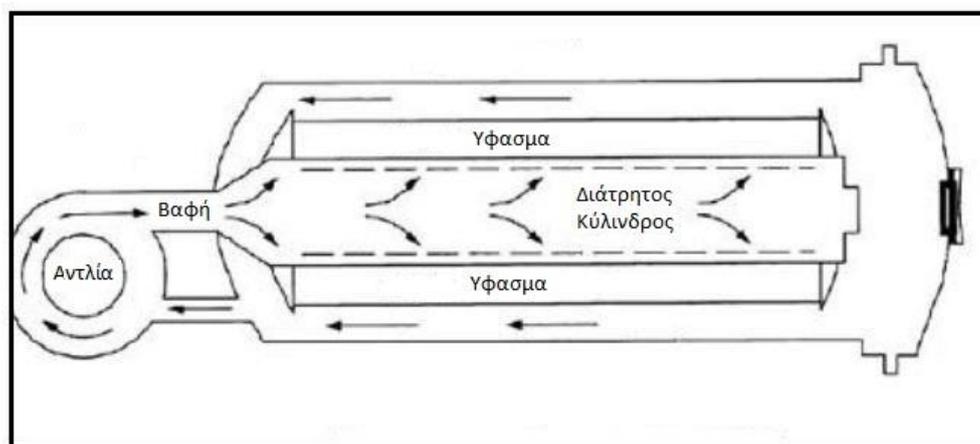
υγρή βαφή. Κατά την περιστροφή των κυλίνδρων αυτών η βαφή διαπερνά και διεισδύει στο ύφασμα επιταχύνοντας τη διαδικασία της βαφής.



Σχήμα 3: Βαφική μηχανή Jigger (Calloni, 2007)

Βαφική μηχανή Beam

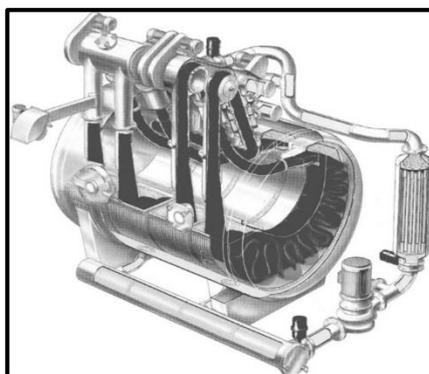
Πριν την εμφάνιση των μηχανών Jet και Jigger, οι βαφικές μηχανές Beam ήταν ήδη ευρέως διαδεδομένες στο χώρο της βαφής πολυεστερικών ινών και μιγμάτων τους, όπου και απαιτούνταν η εφαρμογή υψηλών θερμοκρασιών και πιέσεων. Σε αυτό το τύπο μηχανής η κάθε παρτίδα υφάσματος παραμένει ακινητοποιημένη ενώ παράλληλα εμποτίζεται από την υγρή βαφή καθώς αυτή ανακυκλοφορεί στο εσωτερικό της μηχανής. Η λειτουργία του βαψίματος ομοιάζει με εκείνη της φίλτρανσης καθώς το ύφασμα τυλιγμένο στον εσωτερικό διάτρητο κύλινδρο φιλτράρει την υγρή βαφή που διαρρέει από τα ανοίγματα του κυλίνδρου κι έτσι πραγματοποιείται η βαφή του.



Σχήμα 4: Βαφική μηχανή Beam (Birul, 2011)

Βαφική μηχανή Jet Flow με υδραυλικό σύστημα ροής

Μεταξύ των μηχανών που διατηρούν το ύφασμα σε μορφή σχοινού κατά τη βαφή του, η ΗΤΗΡ μηχανή Jet ανήκει στις πιο δημοφιλείς όσον αφορά τη βαφή πολυεστερικών ινών. Εδώ, τόσο το ύφασμα όσο και η υγρή βαφή, βρίσκονται σε διαρκή κίνηση συμβάλλοντας έτσι σε μια πιο γρήγορη και αποτελεσματική διαδικασία βαψίματος. Ένας παράγοντας ακόμη που ευνοεί την αποτελεσματικότητα της διεργασίας είναι η μορφή σχοινού που έχουν τα υφάσματα καθώς βάφονται. Τα ακροφύσια jet μπορεί να είναι διαφόρων μεγεθών και σχημάτων ώστε να ταιριάζουν στις διαφορετικές ποιότητες των υφασμάτων, από τα βαριά υφαντά στα πλεκτά και τα άλλα ευαίσθητα υφάσματα. Οι μηχανές αυτές μπορεί να είναι ατμοσφαιρικές (βαφική ικανότητα μέχρι τους 98°C) αλλά και ΗΤΗΡ (βαφική ικανότητα μέχρι τους 140°C), ενώ η αναλογία υφάσματος λουτρού είναι 1:8-1:10.

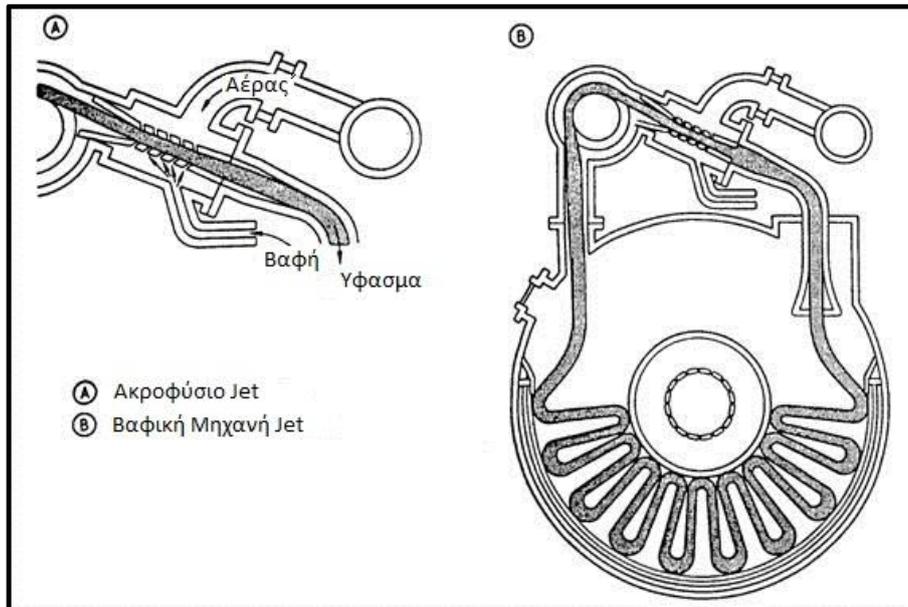


Εικόνα 1: Βαφική μηχανή Jet Flow (Clark, 2011)

Βαφική μηχανή Air Flow με αεροδυναμικό σύστημα ροής

Σε αυτόν το τύπο μηχανής το μέσο κίνησης του υφάσματος δεν είναι το νερό όπως συμβαίνει στις συμβατικές μηχανές Jet, αλλά ένα ρεύμα αέρα ή άλλου αερίου, ενώ η βαφή του υφάσματος μπορεί να γίνει όχι μόνο σε ατμοσφαιρική πίεση αλλά και σε συνθήκες ΗΤΗΡ. Με την άφιξη των καινούργιων και επαναστατικών αυτών μηχανών που βάφουν το ύφασμα σε μορφή σχοινού, η βαφή μετατράπηκε σε μια διαδικασία γρήγορη, οικονομική και φιλική προς το περιβάλλον. Επιπλέον, η αναλογία υφάσματος - λουτρού βαφής, μειώθηκε στο 1:1 έως 1:4, σχεδόν δηλαδή στις μισές ή μικρότερες τιμές αναλογιών που παρατηρούνται στις παραδοσιακές βαφικές μηχανές Jet, εξοικονομώντας έτσι ποσότητες νερού, βαφών, χημικών, ενέργειας και χρόνο. Με τις μηχανές Air Flow επιτυγχάνονται υψηλότερες ταχύτητες μεταφοράς του υφάσματος ενώ οι κύκλοι βαφής είναι πιο σύντομοι. Οι βαφές και τα χημικά εκχύνονται σε ένα ρεύμα αέρα και στο τέλος του κύκλου βαφής το χρησιμοποιημένο υγρό βαφής αποστραγγίζεται σε υψηλές θερμοκρασίες για ταχύτερη ψύξη. Με τον τρόπο αυτό οι αποχρώσεις είναι ομοιόμορφες και έχουν αυξημένη αντοχή. Οι

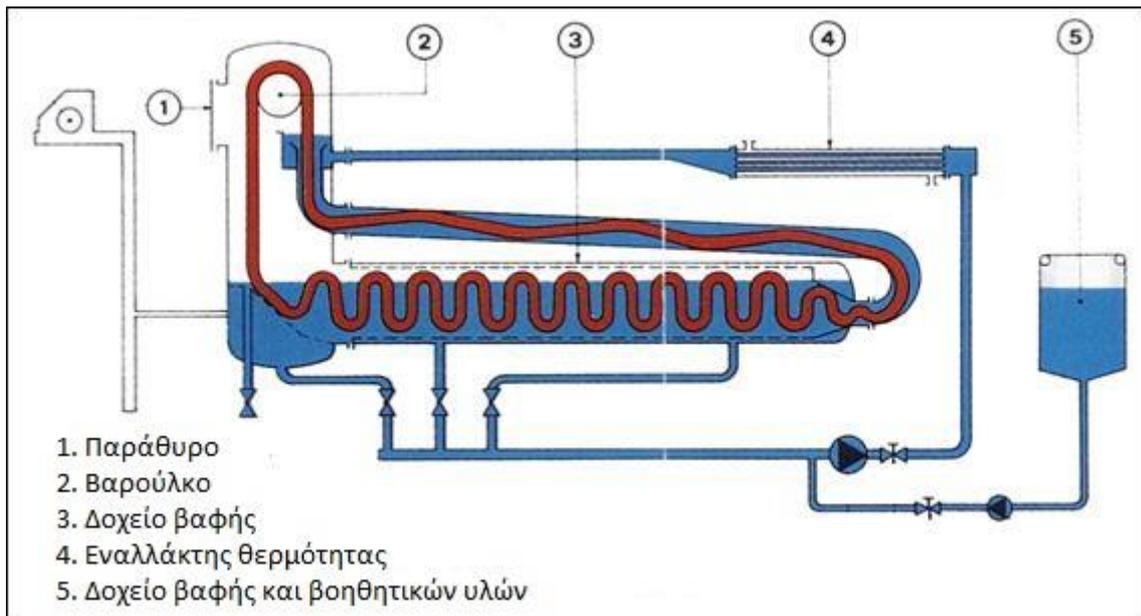
αεροδυναμικές βαφικές μηχανές είναι πολύ χρήσιμες για το βάψιμο λεπτών, ευαίσθητων αλλά και ελαστικών υφασμάτων κατασκευασμένα από ίνες νέας γενιάς, κυρίως για τη χρήση στο χώρο της μόδας. Είναι χαρακτηριστικό ότι σχεδόν όλα τα είδη υφασμάτων μπορούν να επεξεργαστούν από αυτές τις μηχανές περιλαμβάνοντας υφάσματα ελαφριά, πιο βαριά, ευαίσθητα, υφαντά, πλεκτά κάθε είδους ίνας και μίγματος. Το ευρύ φάσμα των προϊόντων που επεξεργάζεται καθώς και τα αυξημένα οφέλη από τη χρήση της, κατατάσσουν την αεροδυναμική βαφική μηχανή ως την πλέον περιζήτητη στο χώρο της βαφής υφασμάτων.



Σχήμα 5: Βαφική μηχανή Air Flow (Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques)

Βαφική μηχανή Soft Flow/Over Flow - ατμοσφαιρική

Οι μηχανές αυτές αποτελούν μετεξέλιξη των παραδοσιακών Jet μηχανών και ενδείκνυνται για τη βαφή ευαίσθητων υφασμάτων, όπως τα πλεκτά και οι σπογγώδεις πετσέτες, καθώς λειτουργούν σε ατμοσφαιρική πίεση και χαμηλές θερμοκρασίες (μέχρι περίπου τους 100°C). Στο εσωτερικό των μηχανών, η υγρή βαφή υπερχειλίζει και διαποτίζει τα υφάσματα με τη βοήθεια της βαρύτητας χωρίς να παρατηρείται αύξηση της πίεσης. Λόγω της χαμηλής αναλογίας υφάσματος – λουτρού βαφής αλλά και του συστήματος ανάκτησης, επιτυγχάνεται εξοικονόμηση ενέργειας και κόστους ενώ παράλληλα μειώνεται και η ποσότητα των παραγόμενων λυμάτων. Προκειμένου να καταστούν οι μηχανές αυτές περισσότερο ευέλικτες και δημοφιλείς το σύστημα υπερχειλίσης συνδυάζεται με ένα σύστημα εκτόξευσης υγρού. Ο συνδυασμός αυτών των δύο χαρακτηριστικών σε μια μηχανή που ονομάζεται Jet/Over Flow, έχει ως πλεονέκτημα μεγαλύτερες ποσότητες κυκλοφορίας υγρού, μικρότερες αναλογίες υφάσματος – λουτρού βαφής και ταχύτερους κύκλους βαφής.



Σχήμα 6: Βαφική μηχανή Over Flow

(Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques)

2.2.3 Φινίρισμα

Το «φινίρισμα» των υφασμάτων περιλαμβάνει ένα ευρύ φάσμα επεξεργασιών που πραγματοποιούνται με σκοπό την ενίσχυση της αξίας τους. Το αποτέλεσμα μπορεί να είναι προσωρινό ή μόνιμο, ωστόσο θα πρέπει απαραίτητα να συντελεί στην αύξηση της ελκυστικότητας του προϊόντος ή της χρησιμότητας του για τον πελάτη. Το φινίρισμα περιλαμβάνει τόσο υγρές όσο και ξηρές επεξεργασίες που προσδίδουν πρόσθετα χαρακτηριστικά και ιδιότητες. Οι υγρές επεξεργασίες πραγματοποιούνται με τη χρήση χημικών ή άλλων βοηθημάτων ενώ στις ξηρές επεξεργασίες συμπεριλαμβάνονται οι μηχανικές επεξεργασίες. Γενικά, οι φινιριστικές επεξεργασίες μπορούν να ταξινομηθούν σε 2 κύριες κατηγορίες (Πέππας & Βασιλειάδης, 2003):

- Μηχανικές επεξεργασίες (Ξηρές Επεξεργασίες)
- Χημικές επεξεργασίες (Υγρές Επεξεργασίες)

Οι δύο αυτές κατηγορίες συνιστούν την πλειονότητα των διεργασιών φινιρίσματος που πραγματοποιούνται από τα φινιστήρια. Πολλές φορές δε οι επεξεργασίες αυτές συμπεριλαμβάνουν τόσο μηχανικά όσο και χημικά χαρακτηριστικά, καθώς η επιλογή του είδους φινιρίσματος που θα χρησιμοποιηθεί βρίσκεται σε άμεση εξάρτηση με τα τελικά επιθυμητά χαρακτηριστικά του προϊόντος.

Οι μηχανικές ή αλλιώς ξηρές επεξεργασίες, περιλαμβάνουν το πέρασμα του υλικού μέσα από μηχανήματα, η μηχανική δράση των οποίων επιφέρει τα επιθυμητά αποτελέσματα σε συνδυασμό άλλοτε με θερμική επεξεργασία για καλύτερο αποτέλεσμα. Σε αυτή την κατηγορία περιλαμβάνονται οι ακόλουθες δραστηριότητες:

❖ Καλάνδρισμα

Τεχνική που τροποποιεί την επιφάνεια του υφάσματος υπό την επίδραση της θερμοκρασίας και πίεσης με σκοπό την ομαλοποίηση της, την αύξηση της στιλπνότητας, τη βελτίωση της υφής του υφάσματος, το «πάτημα» των χοντρών σημείων κ.ά.

Το ύφασμα περνά από θερμαινόμενους και περιστρεφόμενους κυλίνδρους, των οποίων η ταχύτητα περιστροφής και η πίεση μεταβάλλονται ανάλογα με το επιθυμητό αποτέλεσμα. Η επιφάνεια των κυλίνδρων είναι είτε ομαλή είτε ανάγλυφη και το υλικό κατασκευής τους ποικίλει από ανοξείδωτο χάλυβα μέχρι και ελαστικό θερμοπλαστικό, ανάλογα πάλι με τις τελικές επιθυμητές ιδιότητες. Οι κυριότεροι λόγοι για τους οποίους πραγματοποιείται το καλάνδρισμα είναι η ομαλοποίηση της επιφάνειας του υφάσματος, η αύξηση της στιλπνότητας, η συμπύκνωση των κλωστών (στα υφαντά), η βελτίωση της υφής του καθώς και το πάτημα των χοντρών σημείων. Το καλάνδρισμα πραγματοποιείται μέσω της καλάνδρας.

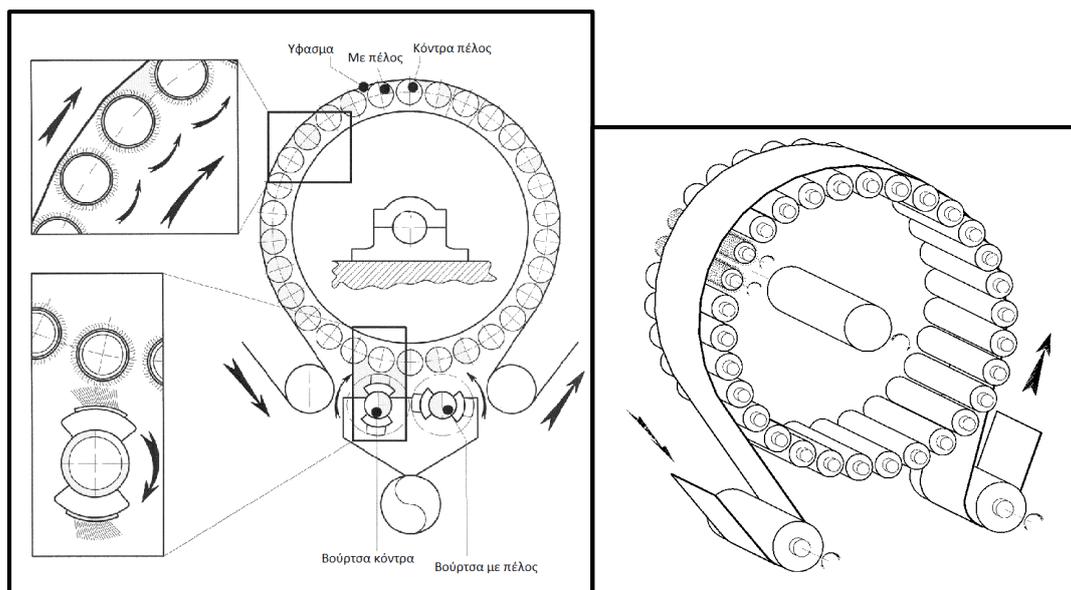
Οι καλάνδρες περιλαμβάνουν από 2 μέχρι 7 κυλίνδρους με συνηθέστερη τη μορφή των 3 κυλίνδρων, ο σημαντικότερος δε παράγοντας τους καλάνδρισμα είναι η σύσταση και τα επιφανειακά χαρακτηριστικά των κυλίνδρων. Τα μηχανήματα αυτά φτιάχνονται εναλλάξ από σκληρό χάλυβα και ελαστικούς κυλίνδρους οι οποίοι αναπτύσσουν ταχύτητες λειτουργίας μέχρι και 60 m/min. Η θερμοκρασία λειτουργίας των κυλίνδρων επίσης ποικίλει από τη θερμοκρασία δωματίου μέχρι τους 250°C και επιτυγχάνεται με τη χρήση ατμού, λαδιού ή ηλεκτρικών αντιστάσεων.

❖ Χνούδιασμα

Τεχνική που χρησιμοποιείται για την παραγωγή βουρτσιασμένης ή χνουδωτής εμφάνισης.

Επιτυγχάνεται τραβώντας ξεχωριστές ίνες από τα νήματα ώστε να προεξέχουν από την επιφάνεια του υφάσματος. Αυτό πραγματοποιείται μέσω της χνουδιάστρας με τη βοήθεια των περιστρεφόμενων μεταλλικών βουρτσών της. Η χνουδιάστρα αποτελείται από μια σειρά κυλίνδρων οι οποίοι βρίσκονται σε ένα κυλινδρικό σκελετό, κυκλικά διευθετημένοι. Οι κύλινδροι αυτοί τυλίγονται από αγκιστρωτά ή λυγισμένα σύρματα (γαρνιτούρα) μέσω των οποίων θα πραγματοποιηθεί το χνούδιασμα. Η σχετική ταχύτητα των κυλίνδρων σε σχέση με το ύφασμα προσδιορίζει τη δράση του χνουδιάσματος. Οι δράσεις διαχωρίζονται σε δύο κατηγορίες: «με

πέλος» και «κόντρα πέλος». Στην πρώτη περίπτωση, τα δόντια της γαρνιτούρας κατευθύνονται αντίθετα από την κατεύθυνση της κίνησης του υφάσματος, με αποτέλεσμα το χτένισμα και το γύρισμα των ινών στο σώμα του υφάσματος. Στη δεύτερη περίπτωση, ο κύλινδρος με τη γαρνιτούρα περιστρέφεται αντίθετα με την κίνηση του όλου κυλίνδρου και τα δόντια της γαρνιτούρας κινούνται στην κατεύθυνση της περιστροφής με αποτέλεσμα το τράβηγμα και την προεξοχή ξεχωριστών ινών από την επιφάνεια του υφάσματος (Πέππας & Βασιλειάδης, 2003).



Σχήμα 7: Χνουδιάστρα (Danti Paolo Company)

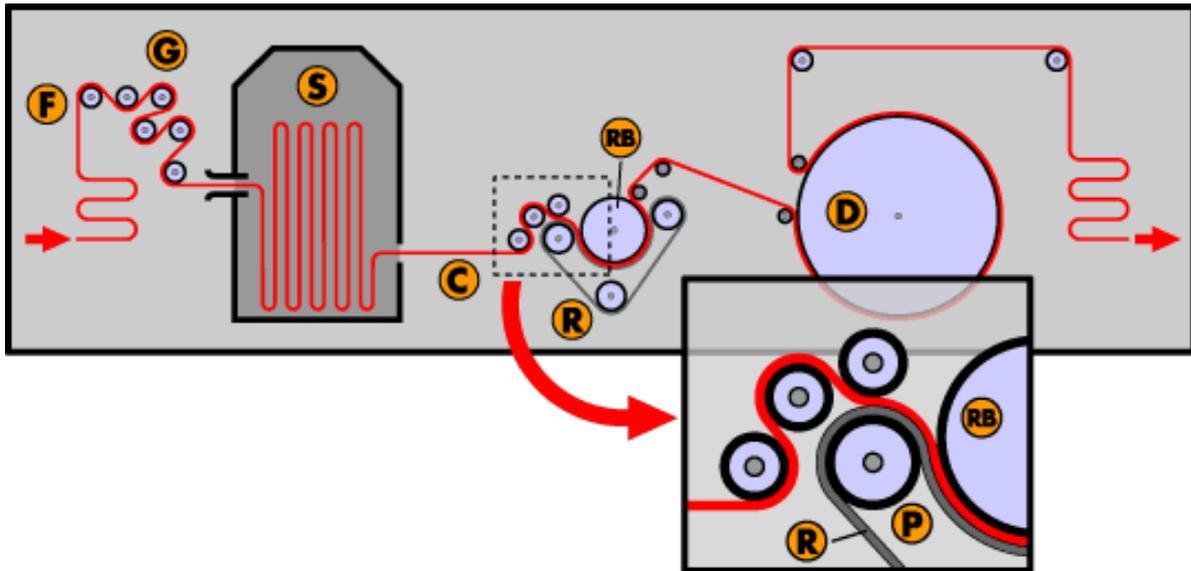
❖ Ξύρισμα

Έγινε αναφορά στο υποκεφάλαιο 2.2.1.

❖ Συρρίκνωση Μήκους Υφάσματος

Τεχνική που πραγματοποιείται με σκοπό να συρρικνωθούν τα υφάσματα με τέτοιο τρόπο ώστε τα προϊόντα που παράγονται από αυτά, να μην συρρικνώνονται κατά τη διάρκεια της πλύσης.

Η τεχνική αυτή χρονολογείται με περισσότερο από 70 χρόνια ιστορίας και είναι διεθνώς γνωστή. Αν και η σωστή έκφραση για τη διαδικασία αυτή είναι Ελεγχόμενη Συρρίκνωση, έχει επικρατήσει ως Sanforized. Η ονομασία Sanforized προέρχεται από το όνομα του Mr. Sanfored Cluett, εφευρέτη της διαδικασίας συρρίκνωσης.



Σχήμα 8: Διαδικασία συρρίκνωσης υφασμάτων (The Sanforized Company)

Η διαδικασία που ακολουθείται είναι η εξής, σύμφωνα με το Σχήμα 8. Το ύφασμα (F) περνά από θάλαμο όπου υγραίνεται με τη βοήθεια ατμού ή/και νερού. Με τον τρόπο αυτό οι ίνες λιπαίνονται και προωθούν τη συρρίκνωση του υφάσματος καθώς το ύφασμα συμπιέζεται εφαρμόζοντας μικρότερη αντίσταση. Η ύγρανση του υφάσματος θεωρείται ικανοποιητική όταν κάθε μεμονωμένο νήμα του επιτύχει περιεκτικότητα σε υγρασία περίπου 15%. Το ύφασμα στη συνέχεια περνά μέσα από κατάλληλο διαστολέα (C), αποκτώντας το επιθυμητό πλάτος ενώ παράλληλα μεταφέρεται στον ελαστικό ιμάντα της μονάδας (R). Καθώς ο ελαστικός ιμάντας (R) συμπιέζεται μεταξύ του κυλίνδρου πίεσης (P) και του κυλίνδρου του ιμάντα (RB), επιτυγχάνεται το ελαστικό τέντωμα της επιφάνειάς του. Έτσι, όσο περισσότερο συμπιέζεται ο ιμάντας, τόσο περισσότερο τεντώνεται και η επιφάνειά του στο σημείο συμπίεσης που ονομάζεται αλλιώς και ως «ζώνη πίεσης». Όταν το ύφασμα (F) εξέρχεται από τη ζώνη πίεσης, ο ιμάντας από καουτσούκ ανακτά την επιφάνειά του και επιστρέφει στο αρχικό του μήκος μεταφέροντας πάνω του το ύφασμα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα το κόντεμα του νήματος στημονιού που με τη σειρά του συντελεί σε μια πιο στενή σύνδεση των νημάτων πλήρωσης, στην οποία οφείλεται η τελική συρρικνωμένη εμφάνιση του υφάσματος. Μετά τη συμπίεση εντός της μονάδας του ελαστικού ιμάντα, το ύφασμα εισέρχεται στο στεγνωτήριο (D), όπου πλέον οι ίνες κρατούν μόνιμα τη συρρίκνωση που έχουν υποστεί καθώς το ύφασμα αποβάλλει την υγρασία του.

Η διαδικασία ολοκληρώνεται όταν τα υφάσματα ελεγχθούν ως προς την πληρότητα των κριτηρίων μήκους και πλάτους που επιβάλλει το πρότυπο «Sanforised Standard» βάσει του οποίου τα επεξεργασμένα υφάσματα πρέπει να φέρουν συγκεκριμένες διαστάσεις (The Sanforized Company).

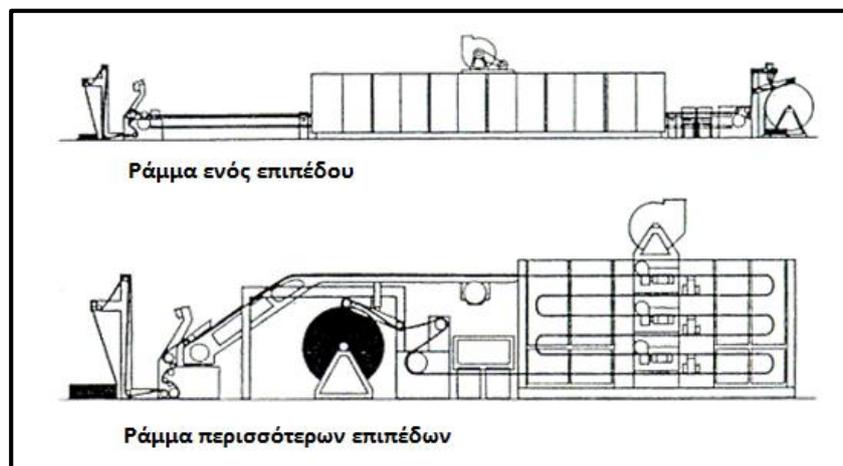
❖ Στέγνωμα

Διαδικασία μέσω της οποίας απομακρύνεται η περιεχόμενη υγρασία που έχει αποδοθεί στο ύφασμα κατά τις προηγούμενες επεξεργασίες (κατά τη βαφή κτλ.) με την εφαρμογή της θερμότητας.

Η θερμότητα μπορεί να παρέχεται με συναγωγή, με αγωγή ή με ακτινοβολία με τη βοήθεια του ειδικού μηχανολογικού εξοπλισμού που χρησιμοποιείται για το σκοπό αυτό. Περισσότερο από το 85% των μηχανημάτων αυτών -που αποκαλούνται στεγνωτήρια- επιτυγχάνουν το στέγνωμα των υφασμάτων μέσω της συναγωγής με θερμό αέρα ή μέσω των παραγόμενων αερίων καύσης, ενώ πάνω από το 99% των περιπτώσεων αφορά την απομάκρυνση του νερού από το επεξεργαζόμενο υλικό. Οι δύο πιο γνωστές κατηγορίες μηχανημάτων στεγνώματος είναι το στεγνωτήριο θερμού αέρα (ράμμα) και οι κύλινδροι (τύμπανα) στεγνώματος. Ακολουθεί σύντομη περιγραφή τους.

Ράμμα

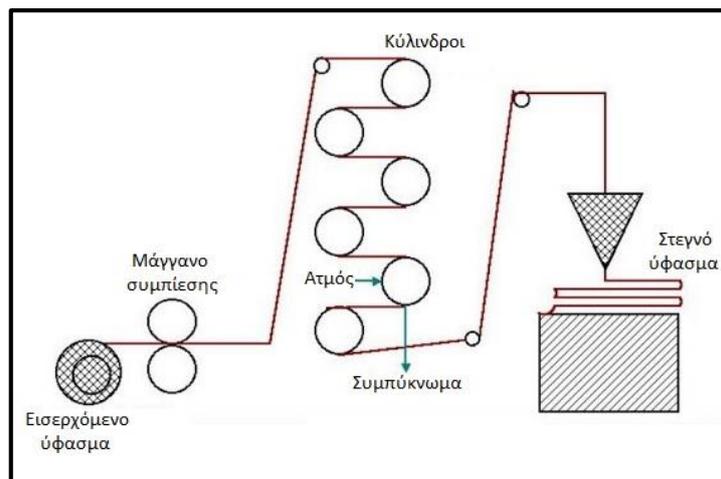
Αρχικά το ύφασμα περνάει από 2-3 κύλινδρους, όπου και σύβεται. Μερικά μηχανήματα περιλαμβάνουν μια σκάφη απ' όπου διέρχεται το ύφασμα στη συνέχεια, με σκοπό να εμβαπτίζεται σε λουτρό με διάφορες χημικές ύλες φινιρίσματος και να επιτελείται ταυτόχρονα με το στέγνωμα και το φινιρίσμά του. Έπειτα, το επεξεργαζόμενο ύφασμα περνά από κύλινδρο επεξεργασίας του υφασμιού ώστε οι ίνες του να λάβουν τη σωστή κατεύθυνση προτού εισέλθουν στο θάλαμο ζεστού αέρα όπου και πραγματοποιείται το στέγνωμα. Οι θερμοκρασίες που επικρατούν είναι της τάξεως των 110 – 200 °C, ανάλογα με την προέλευση του υφάσματος και την επιθυμητή επεξεργασία. Καθ' όλη τη διαδικασία οι άκρες του υφάσματος παραμένουν πιασμένες ώστε να ελέγχονται πλήρως οι διαστάσεις του. Τα στεγνωτήρια αυτού του είδους μπορεί να είναι ενός ή περισσότερων επιπέδων, ανάλογα με τις διαδρομές του θαλάμου στεγνώματος.



Σχήμα 9: Ράμμα (Energy Manager Training)

Κύλινδροι στεγνώματος

Αποτελούν τον πιο απλό και παράλληλα οικονομικό τρόπο στεγνώματος των υφασμάτων. Χρησιμοποιούνται κυρίως όταν είναι επιθυμητό το στέγνωμα σε ένα ενδιάμεσο στάδιο της επεξεργασίας του υφάσματος και όχι στην τελική του μορφή, καθώς δεν ελέγχονται οι διαστάσεις του όπως συμβαίνει στη ράμμα. Το ύφασμα διέρχεται από μια σειρά θερμαινόμενων κυλίνδρων ατμού, σε πιέσεις 2-4 atm. Οι κύλινδροι χρησιμοποιούνται κυρίως για το στέγνωμα, ωστόσο λόγω των υψηλών πιέσεων επιτυγχάνεται και ένα είδος σιδερώματος στα υφάσματα, επομένως αυτού του είδους το στέγνωμα θα πρέπει να αποφεύγεται όταν δεν είναι επιθυμητή η λεία επιφάνεια.



Σχήμα 10: Κύλινδροι στεγνώματος (Energy Manager Training)

Οι χημικές ή αλλιώς υγρές επεξεργασίες, περιλαμβάνουν την προσθήκη χημικών προσθέτων στα υφάσματα με σκοπό την πρόσδοση επιθυμητών χαρακτηριστικών. Αυτού του είδους οι επεξεργασίες μπορούν να βελτιώσουν τόσο τις φυσικές (διαστασιακή σταθερότητα κτλ.) όσο και τις χημικές (επιβραδυντικότητα φλόγας κτλ.) ιδιότητες των υφασμάτων διατηρώντας την εμφάνιση τους πρακτικά αμετάβλητη, σε αντίθεση με τις μηχανικές επεξεργασίες, όπου παρατηρούνται επιφανειακές -και όχι μόνο- αλλαγές. Στην πλειονότητα των περιπτώσεων συνδυάζονται περισσότερες από μια επεξεργασίες ταυτόχρονα στο ίδιο λουτρό βαφής, αφενός για οικονομικούς λόγους και αφετέρου διότι τις περισσότερες φορές είναι επιθυμητή η ύπαρξη περισσότερων ιδιοτήτων στο τελικό επεξεργασμένο ύφασμα. Πρέπει να σημειωθεί ότι -όσον αφορά τις υγρές επεξεργασίες φινιρίσματος- συνήθως δεν απαιτείται ειδικός μηχανολογικός εξοπλισμός για την επεξεργασία των υφασμάτων. Οι επεξεργασίες αυτού του είδους απαιτούν ακρίβεια και προσεκτικό χειρισμό ενώ, ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται στο είδος του υφάσματος που επεξεργάζεται, στους περιορισμούς από τη χρήση των μηχανημάτων, στις απαιτήσεις της διεργασίας, στο λόγο

ποιότητα προς κόστος, στη συμβατότητα των χημικών προσθέτων που χρησιμοποιούνται καθώς και στην αλληλεπίδραση των τελικών χαρακτηριστικών που προσδίδουν οι φινιριστικές επεξεργασίες.

Βέβαια, όλοι αυτοί οι παράγοντες πρέπει να συνδυάζονται λαμβάνοντας υπόψιν το περιβαλλοντικό αντίκτυπό τους. Έτσι, δεν είναι τυχαίο που τα τελευταία χρόνια οι ειδικοί προσφεύγουν σε νέες καινοτόμες λύσεις αντιμετώπισης μέσω της ανάπτυξης και χρήσης ειδικών λογισμικών που προσφέρουν αποτελέσματα που συνδυάζουν ποιότητα, τιμή και βιωσιμότητα. Παρακάτω, ακολουθεί η καταγραφή των σημαντικότερων χαρακτηριστικών που δύναται να αποκτήσουν τα υφάσματα μέσω των φινιριστικών επεξεργασιών, συνοδευόμενη από μια σύντομη περιγραφή τους (Schindler et al., 2004).

- **Μαλάκωμα**

Με τη βοήθεια των μαλακτικών βοηθητικών υλών το ύφασμα αποκτά μαλακή, απαλή, λεία και εύπλαστη επιφάνεια με ομαλότερη όψη

- **Αντίσταση στο τσαλάκωμα**

Αφορά τις ίνες φυτικής προέλευσης και ιδιαίτερα τα βαμβακερά υποστρώματα. Χαρίζει στο ύφασμα μόνιμη ατσαλάκωτη όψη.

- **Απωθητικότητα νερού, ελαίου και ακαθαρσιών**

Εμποδίζει την εξάπλωση σταγόνων νερού/ελαίου στο ύφασμα και αποτρέπει τον εμποτισμό κάθε είδους ακαθαρσίας σε αυτό.

- **Φλογο-επιβραδυντικότητα**

Επιβραδύνει την καύση μέσω τριών διαφορετικών τρόπων: Είτε με την ενσωμάτωση στο ύφασμα υλικών που απορροφούν θερμότητα από το περιβάλλον, είτε προσθέτοντας μια εξωτερική μόνωση σε αυτό, είτε ενσωματώνοντας του υλικά που απελευθερώνουν λιγότερα εύφλεκτα πτητικά αέρια και περισσότερα στερεά υπολείμματα.

- **Αντίσταση στην ηλεκτρική ροή**

Οι αντιστατικές επεξεργασίες φινιρίσματος αποτρέπουν τη δημιουργία στατικού ηλεκτρισμού στην περίπτωση που δύο υφάσματα διαφορετικού είδους τρίβονται μεταξύ τους. Αυτό επιτυγχάνεται αυξάνοντας την αγωγιμότητα της επιφάνειας της ίνας και μειώνοντας τις δυνάμεις τριβής μέσω της λίπανσης.

- **Αντίσταση στη δημιουργία πυκνών δομών στο ύφασμα (anti-pilling)**

Αποτρέπει το μπλέξιμο των ινών που πυκνώνει τη δομή του υφάσματος. Πραγματοποιείται με τη χρήση πολυμερικών ρητινών που εφαρμόζονται στην επιφάνεια του υφάσματος με σκοπό να δεσμεύσουν τις χαλαρές ίνες πάνω σε αυτήν. Χρησιμοποιούνται λιπαντικά που μειώνουν τη τριβή

ώστε να αποφεύγεται η φθορά του υφάσματος και κυρίως ακρυλικά συμπολυμερή καθώς που εμφανίζουν πολύ καλή απόδοση.

▪ **Ελαστικότητα**

Το ύφασμα αποκτά ανθεκτική ελαστικότητα. Με τον τρόπο αυτό ενισχύεται η επεκτασιμότητα της επιφάνειας λαμβάνοντας μέριμνα ώστε να ανακτάται το σχήμα της μετά την παραμόρφωση.

▪ **Γέμισμα – Κολλάρισμα**

Αποτελεί μια από τις σημαντικότερες -και ταυτόχρονα παλαιότερες- κατηγορίες φινιρίσματος. Το ύφασμα αποκτά πιο «γεμάτη» όψη που του δίνει σταθερότητα, μεγαλύτερο όγκο, βάρος και ακαμψία. Με τον τρόπο αυτό βελτιώνεται η εμπορευσιμότητά του.

▪ **Ανθεκτικότητα βαφής στις υγρές επεξεργασίες και στην επίδραση του φωτός**

Βελτιώνεται η ικανότητα συγκράτησης βαφής του υφάσματος όταν αυτό επεξεργάζεται μέσω υγρών διεργασιών. Αντίστοιχα, βελτιώνεται η αντοχή της βαφής όταν αυτό υπόκειται στην επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας. Οι υγρές επεξεργασίες δεν αναφέρονται σε αυτές που συμπεριλαμβάνουν τη χρήση χλωρίου, υπεροξειδίων, ή άλλων παρόμοιων χημικών παραγόντων.

▪ **Αντιμικροβιακή δράση**

Προστασία τόσο του χρήστη του υφάσματος από παθογόνους και άλλους μικροοργανισμούς, όσο και του ίδιου του υφάσματος από τους μύκητες, την μούχλα ή κάθε άλλο παράγοντα που τείνει να το αποσυνθέσει.

▪ **Προστασία από τα έντομα και τα ακάρεα**

Μέσω κατάλληλων χημικών επεξεργασιών, οι μάλλινες και οι υπόλοιπες ίνες ζωικής προέλευσης προστατεύονται από τις προνύμφες ορισμένων σκώρων και σκαθαριών.

Εκτός από τα μηχανήματα και τις πρώτες ύλες που απαιτούνται για την πραγματοποίηση των επιμέρους διεργασιών που περιεγράφηκαν, απαραίτητη είναι και η ύπαρξη βοηθητικού μηχανολογικού εξοπλισμού, που δεν έχει αναφερθεί έως τώρα. Τέτοιος εξοπλισμός περιλαμβάνει στεγνωτήρια, σιδερωτήρια, μηχανές συσκευασίας και ελέγχου, διπλωτικές και αποδιπλωτικές μηχανές, που συμπληρώνουν τη δράση των βαφικών, φινιριστικών και άλλων επεξεργασιών. Επιπλέον, απαραίτητη κρίνεται και η ύπαρξη βοηθητικών συστημάτων που προσδίδουν ενέργεια για τη λειτουργία του υφιστάμενου εξοπλισμού όπως είναι οι εναλλάκτες θερμότητας, οι ατμογεννήτριες και τα αντλιοστάσια.

3. Βιομηχανικά Απόβλητα

3.1 Ορισμός

Σύμφωνα με την οδηγία 91/271/ΕΟΚ, ως «**Βιομηχανικά Λύματα**» ορίζονται *οποιαδήποτε λύματα που απορρίπτονται από κτίρια και χώρους που χρησιμοποιούνται για οποιαδήποτε εμπορική ή βιομηχανική δραστηριότητα, και τα οποία δεν είναι οικιακά λύματα ή όμβρια ύδατα*. Αντίστοιχα, ως «**Οικιακά Λύματα**» ορίζονται *τα λύματα από περιοχές κατοικίας και υπηρεσιών που προέρχονται κυρίως από τον ανθρώπινο μεταβολισμό και τις εμπορικές δραστηριότητες*.

Η σύσταση των βιομηχανικών λυμάτων διαφοροποιείται ανάλογα με το είδος της βιομηχανίας από την οποία προέρχονται αλλά και του εξοπλισμού που χρησιμοποιείται κάθε φορά. Έτσι, μερικά από τα απόβλητα μπορεί να έχουν ιδιαίτερα υψηλό οργανικό φορτίο, άλλα να είναι εύκολα βιοαποικοδομήσιμα, σε μεγάλο βαθμό ανόργανα, ή να εμφανίζονται ως δυνητικοί ανασταλτικοί παράγοντες. Κατ' επέκταση, αναμένεται μεγάλο εύρος τιμών ως προς τις φυσικοχημικές παραμέτρους των λυμάτων (BOD, TOC, pH κ.ά.), που θα αναλυθούν στη συνέχεια. Εξαιτίας των υψηλών συγκεντρώσεων σε οργανικά, τα βιομηχανικά λύματα εμφανίζουν συχνά έλλειψη σε θρεπτικά συστατικά. Επίσης, σε αντίθεση με τα οικιακά λύματα, τιμές του pH εκτός του εύρους 6-9 συναντώνται εξίσου συχνά, όπως και οι υψηλές συγκεντρώσεις σε διαλυμένα μεταλλικά άλατα. Μια άλλη διαφορά των βιομηχανικών λυμάτων σε σχέση με τα οικιακά είναι η συνεχώς μεταβαλλόμενη ποσότητα ροής των πρώτων, η οποία εξαρτάται άμεσα από τη φύση των διεργασιών της βιομηχανίας και όχι από τις συνηθισμένες δραστηριότητες του οικιακού περιβάλλοντος.

Σε μερικές περιπτώσεις τα βιομηχανικά λύματα αποδεσμεύονται στο αποχετευτικό δίκτυο που εξυπηρετεί εμπορικούς και οικιακούς χώρους, στο οποίο καταλήγουν τα αντίστοιχα οικιακά. Ο συνδυασμός των διαφορετικών αυτών ρευμάτων αποτελεί τα «**Αστικά Λύματα**», η ποιότητα των οποίων εξαρτάται από τη ποσοτική τους σύσταση σε βιομηχανικά λύματα και το είδος των βιομηχανιών που σχετίζονται με αυτά. Συνήθως, τα οικιακά λύματα που περιέχονται στο ρεύμα των αστικών, λειτουργούν ως ένα είδος ρυθμιστικού παράγοντα ως προς τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του τελευταίου. Συνεπώς, η επεξεργασία ενός τέτοιου συνδυασμένου ρεύματος αναμένεται ευκολότερη σε σχέση με αυτήν που απαιτείται για ένα ρεύμα που αποτελείται μόνο από βιομηχανικά λύματα. Ωστόσο, ακόμη κι εάν είναι αποδεκτή η απόρριψη του βιομηχανικού κλάσματος αποβλήτων στο αποχετευτικό δίκτυο, πολύ συχνά απαιτείται κάποια προεπεξεργασία στο ρεύμα των λυμάτων –εντός της βιομηχανίας– πριν αυτό απορριφθεί στο δίκτυο (Wun Jern, 2006).

Ακόμη, σύμφωνα με την οδηγία 91/271/ΕΟΚ σχετικά με τη συνεπεξεργασία οικιακών και βιομηχανικών λυμάτων, αναφέρεται ότι: «Τα βιομηχανικά απόβλητα που διοχετεύονται σε αποχετευτικά δίκτυα και σταθμούς επεξεργασίας αστικών λυμάτων πρέπει να υποβάλλονται στην απαιτούμενη προκαταρκτική επεξεργασία ώστε να προστατεύεται η υγεία του προσωπικού που εργάζεται στα αποχετευτικά δίκτυα και τους σταθμούς επεξεργασίας, να εξασφαλίζεται ότι δεν προκαλείται ζημία στα αποχετευτικά δίκτυα, στους σταθμούς επεξεργασίας λυμάτων και το συναφή εξοπλισμό, να εξασφαλίζεται ότι δεν εμποδίζεται η λειτουργία και η απόδοση του σταθμού επεξεργασίας λυμάτων καθώς επίσης και η επεξεργασία της λυματολάσπης, να ελέγχεται ότι οι απορρίψεις από τους σταθμούς επεξεργασίας δεν επηρεάζουν αρνητικά το περιβάλλον και δεν εμποδίζουν τα ύδατα υποδοχής να πληρούν τις απαιτήσεις άλλων κοινοτικών οδηγιών και να διασφαλίζεται η διάθεση της λυματολάσπης με ασφαλή και περιβαλλοντικά αποδεκτό τρόπο».

Τα λύματα, εάν δεν επεξεργασθούν αποτελεσματικά, επιβαρύνουν το περιβάλλον σε μεγάλο βαθμό λόγω των βλαβερών συστατικών που περιέχουν. Όλες οι κατηγορίες των λυμάτων που αναφέρθηκαν (οικιακά, βιομηχανικά, αστικά) περιέχουν τις ακόλουθες κατηγορίες ρυπαντών (Wiesmann, 2007):

[1] Διαλυμένες ουσίες

α. Οργανικά υλικά

- Βιοαποικοδομήσιμες ουσίες
- Μη βιοαποικοδομήσιμες ουσίες

β. Ανόργανα υλικά

- Θρεπτικά συστατικά που χρησιμοποιούνται εν μέρει ή εξ' ολοκλήρου από μικροοργανισμούς
- Βαρέα μέταλλα και μεταλλικά ιόντα που χρησιμοποιούνται συχνά από τους μικροοργανισμούς μόνο σε πολύ μικρές ποσότητες ως ιχνοστοιχεία (συχνά τοξικά σε ελαφρώς υψηλότερες συγκεντρώσεις)

[2] Κολλοειδή

α. Μη καθιζάνουσες μικρές σταγόνες ελαίων και λιπών

β. Οργανικά και ανόργανα μικρά στερεά σωματίδια

[3] Αιωρούμενα στερεά

α. Οργανικά σωματίδια

- Μικροοργανισμοί (βακτήρια, ιοί, πρωτόζωα), κυρίως μη καθιζάνοντες
- Άλλα οργανικά υλικά (υπολείμματα από τροφές κτλ.), κυρίως καθιζάνοντα

β. Ανόργανα σωματίδια

- Άμμος, άργιλος, ανόργανα άλατα
- Εν μέρει οργανικά και εν μέρει ανόργανα σωματίδια

Συχνά στη βιομηχανία των υφασμάτων εμφανίζονται μικρορυπαντές που ενώ έχουν την τάση να αποδεσμεύονται σε ελάχιστες ποσότητες, τείνουν να συσσωρεύονται με το πέρασμα του χρόνου προκαλώντας ανεπανόρθωτη βλάβη στο οικοσύστημα. Η ανίχνευση παρόμοιων ρυπαντών είναι δυνατή μόνο στα λύματα που απορρέουν από τη βιομηχανία και όχι στην πρώτη ύλη που χρησιμοποιείται κάθε φορά (βαφές, φινιριστικά βοηθήματα κτλ.), διότι εκεί οι ουσίες αυτές βρίσκονται σε ίχνη. Τα λύματα ωστόσο περιέχουν χημικές ύλες που προστέθηκαν σε αυτά από ποικίλες διεργασίες (προκατεργασία, βαφή, φινίρισμα) και για το λόγο αυτό η ανίχνευση της πηγής του μικρορυπαντή αποτελεί ένα πολύπλοκο και σύνθετο πρόβλημα όσον αφορά το κλάδο της βαφής και φινιρίσματος (Carr, 1995).

Γενικά, οι ρυπογόνες ουσίες που υπάρχουν στα βιομηχανικά απόβλητα αλλοιώνουν τα φυσικά, χημικά και βιολογικά χαρακτηριστικά του νερού. Μέσω της κατάλληλης επεξεργασίας είναι δυνατή η απομάκρυνση ή αλλιώς καταπολέμηση τους, ώστε τα λύματα να αποκτήσουν τα επιθυμητά χαρακτηριστικά που απαιτούνται για την επαναχρησιμοποίηση ή την ασφαλή απόθεσή τους σε κάποιον υδάτινο αποδέκτη. Η ένταση και ο βαθμός επικινδυνότητας των ρυπαντών που συναντώνται στα λύματα μιας βιομηχανίας αποδίδονται μέσω των ποιοτικών χαρακτηριστικών τους.

3.2 Ποιοτικά χαρακτηριστικά βιομηχανικών αποβλήτων

Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των αποβλήτων χωρίζονται σε τρεις κύριες κατηγορίες: τα φυσικά, χημικά και βιολογικά χαρακτηριστικά. Τα χημικά χαρακτηριστικά διαχωρίζονται περαιτέρω σε οργανικά και ανόργανα χαρακτηριστικά. Στη συνέχεια γίνεται μια παρουσίαση των βασικότερων χαρακτηριστικών και μια σύντομη αναφορά σε αυτά (Tchobanoglous et al., 2003).

- **Φυσικά χαρακτηριστικά**

Ολικά στερεά (TS). Αποτελούν το πιο σημαντικό φυσικό χαρακτηριστικό των αποβλήτων. Διαχωρίζονται σε αδιάλυτα (αιωρούμενα και καθιζάνοντα στερεά), κολλοειδή και διαλυμένα στερεά. Τα αιωρούμενα στερεά χρησιμεύουν στην αξιολόγηση της πλέον κατάλληλης διεργασίας για την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων, ενώ τα καθιζάνοντα χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό των στερεών που καθιζάνουν με τη βαρύτητα σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Τα διαλυμένα στερεά αποτελούν ένα μέτρο αξιολόγησης της δυνατότητας επαναχρησιμοποίησης των υγρών αποβλήτων (Ντακαράς, 2010).

Θερμοκρασία. Παράμετρος που επιδρά άμεσα στο ρυθμό των χημικών αντιδράσεων, στη διατάραξη της υδάτινης ζωής και στην καταλληλότητα του νερού για ωφέλιμες χρήσεις. Η αύξηση της θερμοκρασίας στο νερό συνοδεύεται από την μείωση της διαλυτότητας του οξυγόνου και την παράλληλη αύξηση των βιοχημικών αντιδράσεων. Ο συνδυασμός των φαινομένων αυτών συντελεί στην μείωση της ποσότητας του διαλυμένου οξυγόνου στα επιφανειακά ύδατα, ενώ οι ασυνήθιστα μεγάλες θερμοκρασίες ενδέχεται να επιταχύνουν την ανάπτυξη ανεπιθύμητων υδρόβιων φυτών και μυκήτων.

Θολότητα. Παράμετρος που σχετίζεται κυρίως με τα κολλοειδή υλικά και τα υπολείμματα των αιωρούμενων στερεών. Συνιστά ένα μέτρο της ικανότητας του νερού για εκπομπή του φωτός και η μέτρησή του βασίζεται στη σύγκριση της έντασης του φωτός που υφίσταται διάχυση περνώντας διαμέσου ενός δείγματος, με το φως που υφίσταται διάχυση κατά τη διέλευσή του από ένα πρότυπο αιώρημα, κάτω από τις ίδιες συνθήκες.

Χρώμα. Σε συνδυασμό με την οσμή, αποτελεί ποιοτικό χαρακτηριστικό για τον καθορισμό της ηλικίας των λυμάτων. Τα φρέσκα υγρά απόβλητα έχουν συνήθως ανοιχτό καφέ-γκρι χρώμα ενώ το μαύρο χρώμα υποδεικνύει ότι τα απόβλητα έχουν υποστεί σήψη. Γενικά, όταν ο χρόνος μεταφοράς των λυμάτων στις μονάδες επεξεργασίας αυξάνει και αναπτύσσονται όλο και περισσότερο αναερόβιες συνθήκες, το χρώμα των αποβλήτων αλλάζει διαδοχικά από ανοιχτό σε σκούρο γκρι χρώμα και εν τέλει σε μαύρο.

Αγωγιμότητα (EC). Μέσω της ηλεκτρικής αγωγιμότητας αποτιμάται η ικανότητα ενός διαλύματος να άγει το ηλεκτρικό ρεύμα διαμέσου των ιόντων που βρίσκονται σε αυτό, γι' αυτό και η παράμετρος αυτή αποτελεί μέτρο της συγκέντρωσης των ολικών διαλυμένων στερεών που βρίσκονται σε ένα διάλυμα. Επίσης, μέσω της αγωγιμότητας εκτιμώνται τα ποσοστά αλατότητας του νερού, χαρακτηριστικό το οποίο χρησιμεύει για την αξιολόγηση της καταλληλότητας του επεξεργασμένου λύματος για άρδευση.

Πίνακας 4: Φυσικά χαρακτηριστικά υγρών αποβλήτων (Tchobanoglous et al., 2003)

Φυσικά χαρακτηριστικά		
ΟΝΟΜΑΣΙΑ	ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑ	ΜΟΝΑΔΕΣ
Ολικά στερεά	TS	mg/L
Ολικά αιωρούμενα στερεά	TSS	mg/L
Ολικά διαλυμένα στερεά	TDS	mg/L
Πτητικά αιωρούμενα στερεά	VSS	mg/L
Θολότητα	T (Turbidity)	NTU

Χρώμα	Ανοιχτό καφέ, γκρι, μαύρο	-
Οσμή	TON (Οριακή τιμή οσμής)	-
Θερμοκρασία	T (Temperature)	⁰ C, K
Πυκνότητα	ρ	g/L, kg/m ³
Αγωγιμότητα	EC	mS/m, μmho/cm

- **Χημικά χαρακτηριστικά**

Ανόργανα χημικά χαρακτηριστικά

pH (-log₁₀[H⁺]). Εκφράζει τη συγκέντρωση των ιόντων υδρογόνου, τόσο στα φυσικά νερά όσο και στα υγρά απόβλητα. Όταν η συγκέντρωση αυτή ξεπεράσει ένα συγκεκριμένο όριο τότε δεν είναι εφικτή η επεξεργασία του αποβλήτου με βιολογικό τρόπο και κρίνεται απαραίτητη η διόρθωση της τιμής του pH, πριν ακολουθήσει η διάθεση του αποβλήτου στο υδατικό περιβάλλον. Το επιτρεπτό εύρος τιμών για επεξεργασμένα απόβλητα κυμαίνεται από 6.5 έως 8.5.

Αζωτούχες ενώσεις. Περιλαμβάνουν τις εξής συνιστώσες: Ελεύθερη αμμωνία (NH₄⁺), αέρια αμμωνία (NH₃⁺), οργανικό άζωτο (Org. N), ολικό άζωτο Kjeldahl (TKN), νιτρώδη (NO₂⁻), νιτρικά (NO₃⁻), ολικό άζωτο (TN) και αέριο άζωτο (N₂). Οι πλέον σημαντικές μορφές του αζώτου που εμφανίζονται στα υγρά απόβλητα και στις αντίστοιχες οξειδωτικές του μορφές στο υδάτινο ή χερσαίο περιβάλλον είναι η ελεύθερη και αέρια αμμωνία, το αέριο άζωτο, τα νιτρώδη και τα νιτρικά. Τα νιτρώδη είναι σχετικά ασταθή και οξειδώνονται εύκολα σε νιτρικά. Αν και υπάρχουν σε χαμηλές συγκεντρώσεις τόσο στα υγρά απόβλητα όσο και στα επιφανειακά ή υπόγεια νερά, τα νιτρώδη θεωρούνται ως ένας ιδιαίτερα σημαντικός παράγοντας που πρέπει πάντοτε να λαμβάνεται υπόψιν, λόγω της εξαιρετικής υδατικής τοξικότητας του. Η οξειδωσή τους πραγματοποιείται μέσω του χλωρίου, γεγονός που αυξάνει τα ποσοστά χλωρίου στις εκροές των υγρών αποβλήτων. Τέλος, τα νιτρικά αποτελούν την πλέον οξειδωμένη μορφή του αζώτου, η συγκέντρωση των οποίων κρίνεται εξίσου σημαντική. Στις εκροές υγρών αποβλήτων η συγκέντρωση των νιτρικών κυμαίνεται μέχρι και τα 20 mg/L, τιμή που αποτελεί και την οριακή συγκέντρωση νιτρικών, στις περιπτώσεις πλήρους νιτροποίησης.

Οι αζωτούχες ενώσεις μαζί με τις φωσφορικές, χρησιμοποιούνται ως μέτρο της παρουσίας θρεπτικών συστατικών και του βαθμού αποσύνθεσης των υγρών αποβλήτων, ενώ οι οξειδωμένες μορφές τους χρησιμεύουν ως ένα μέτρο του βαθμού οξείδωσής τους.

Θειικά. Τα θειικά ιόντα διασπώνται βιολογικά κάτω από αναερόβιες συνθήκες σε θειούχα, τα οποία με τη σειρά τους αντιδρούν με το υδρογόνο και σχηματίζουν υδρόθειο (H₂S). Το υδρόθειο εάν

συσσωρευθεί και ξεπεράσει μια ορισμένη συγκέντρωση, μπορεί να οξειδωθεί βιολογικά σε θειικό οξύ, μια ουσία ιδιαίτερα διαβρωτική. Κατά τη διαδικασία της χώνευσης της λάσπης, τα θειικά διασπώνται σε σουλφίδια, η συγκέντρωση των οποίων δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 200mg/L, ειδάλλως προκαλούν προβλήματα στη βιολογική διεργασία.

Χλωριούχα. Παράμετρος που επηρεάζει τη τελική χρήση των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, ιδιαίτερα εάν αυτά προορίζονται για αρδευτικούς σκοπούς. Τα χλωριούχα προϋπάρχουν στα φυσικά νερά από την αποσάθρωση των βράχων και του εδάφους με τα οποία έρχεται σε επαφή το νερό αλλά και λόγω της διείσδυσης του θαλασσινού νερού στις παράκτιες περιοχές. Πηγή χλωριούχων αποτελούν επίσης τα οικιακά, αγροτικά και βιομηχανικά λύματα.

Μέταλλα. Μερικά από τα μεταλλικά συστατικά είναι απαραίτητα για τη φυσιολογική ανάπτυξη των ζωντανών οργανισμών, ωστόσο τα ίδια τα μέταλλα σε μεγάλες συγκεντρώσεις μπορεί να καταστούν τοξικά. Η γνώση της περιεκτικότητας σε μέταλλα κρίνεται απαραίτητη ιδιαίτερα όταν οι επεξεργασμένες εκροές των υγρών αποβλήτων πρόκειται να χρησιμοποιηθούν για άρδευση. Επίσης, όταν η χωνευμένη λάσπη πρόκειται να χρησιμοποιηθεί για αγροτικούς σκοπούς θα πρέπει να υπολογίζονται τυχόν συγκεντρώσεις αρσενικού, καδμίου, χαλκού, μόλυβδου, υδραργύρου, μολυβδενίου, νικελίου, σεληνίου και ψευδαργύρου.

Αέρια. Στα ανεπεξέργαστα αέρια συναντώνται κυρίως τα εξής αέρια: οξυγόνο (O_2), διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), άζωτο (N_2), υδρόθειο (H_2S), μεθάνιο (CH_4) και αμμωνία (NH_3). Τα τρία πρώτα αποτελούν αέρια της ατμόσφαιρας και συναντώνται στα ύδατα που είναι εκτεθειμένα σε αυτήν. Τα τελευταία τρία δημιουργούνται από την αποικοδόμηση του οργανικού υλικού που περιέχεται στα υγρά απόβλητα και αποτελούν σημαντικές παραμέτρους που πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν λόγω της επικινδυνότητάς τους.

Οργανικά χημικά χαρακτηριστικά

Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD). Μέτρο της οργανικής ρύπανσης των υγρών αποβλήτων. Αναφέρεται στη μέτρηση του διαλυμένου οξυγόνου που χρησιμοποιείται από τους μικροοργανισμούς για τη βιοχημική οξείδωση του περιεχόμενου οργανικού υλικού. Αποτελεί επίσης έμμεση παράμετρο προσδιορισμού του μεγέθους των εγκαταστάσεων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων και της αποδοτικότητας μερικών διεργασιών επεξεργασίας τους. Συγκεκριμένα, η παράμετρος BOD_5 αναφέρεται στην ποσότητα του οξυγόνου που απαιτείται από τους μικροοργανισμούς για να αποικοδομήσουν την οργανική ύλη των αποβλήτων μέσα σε διάστημα 5 ημερών, υπό ελεγχόμενες συνθήκες. Το κύριο μειονέκτημα αναφορικά με αυτή τη μέθοδο είναι η σχετικά μακρά περίοδος αναμονής που απαιτείται για την πραγματοποίησή της.

Χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (COD). Χρησιμοποιείται για την μέτρηση του οξυγόνου του οργανικού υλικού των υγρών αποβλήτων που μπορεί να οξειδωθεί χημικά. Η ολοκλήρωση της μεθόδου πραγματοποιείται σε χρονικό διάστημα 2,5 ωρών ενώ έχει αναπτυχθεί και μια ακόμη πιο γρήγορη μέθοδος που διαρκεί μόλις 15 λεπτά.

Ολικός οργανικός άνθρακας (TOC). Παράμετρος που χρησιμεύει στον υπολογισμό του ολικού οργανικού άνθρακα ενός δείγματος. Η ανάλυση που πραγματοποιείται συνδυάζει την επιβολή θερμότητας, υπεριώδους ακτινοβολίας, χημικών οξειδωτικών, οξυγόνου ή ένα συνδυασμό των παραπάνω συνιστωσών προκειμένου να μετατραπεί ο οργανικός άνθρακας των αποβλήτων σε διοξείδιο του άνθρακα, το οποίο στη συνέχεια μετريέται μέσω άλλων τεχνικών. Η μέθοδος ολοκληρώνεται σε διάστημα 5 με 10 λεπτών και αδιαμφισβήτητα αποτελεί μια τεχνική που υπερτερεί αυτής του BOD ως προς τον έλεγχο μιας εγκατάστασης επεξεργασίας υγρών αποβλήτων.

Πίνακας 5: Χημικά χαρακτηριστικά υγρών αποβλήτων (Tchobanoglous et al., 2003)

Ανόργανα χημικά χαρακτηριστικά		
ΟΝΟΜΑΣΙΑ	ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑ	ΜΟΝΑΔΕΣ
Συγκέντρωση ιόντων υδρογόνου	pH	-
Αζωτούχες ενώσεις	TN, NH ₄ ⁺ , NH ₃ ⁺ , N ₂ , Org. N, TKN, NO ₂ ⁻ , NO ₃ ⁻	mg/L
Φωσφορικές ενώσεις	TP, Inorg. P, Org. P	mg/L
Θειικά	SO ₄ ⁻²	mg/L
Χλωριούχα	Cl ⁻	mg/L
Αλκαλικότητα	-	mg/L CaCO ₃
Μέταλλα	As, Cd, Ca, Cr, Co, Cu, Fe, Pb, Mg, Mn, Hg, Mo, Ni, K, Se, Na, W, V, Zn	mg/L
Διάφορα αέρια	O ₂ , CO ₂ , NH ₃ , H ₂ S, CH ₄	
Οργανικά χημικά χαρακτηριστικά		
Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο	BOD	mg/L
Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο του άνθρακα	CBOD	mg/L
Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο του αζώτου	NBOD	mg/L
Χημικά απαιτούμενο οξυγόνο	COD	mg/L
Ολικός οργανικός άνθρακας	TOC	mg/L
Διαλυμένος οργανικός άνθρακας	DTOC	mg/L

- **Βιολογικά χαρακτηριστικά**

Κολοβακτηρίδια & ειδικοί μικροοργανισμοί. Η γνώση της ύπαρξης τέτοιου είδους μικροοργανισμών στα υγρά απόβλητα κρίνεται αναγκαία, αφενός για την προστασία του ανθρώπινου δυναμικού και των μονάδων επεξεργασίας, και αφετέρου λόγω της χρησιμότητας του έργου που επιτελούν οι μικροοργανισμοί αυτοί σχετικά με την αποικοδόμηση και τη σταθεροποίηση της οργανικής ύλης. Τυπικά είδη μικροοργανισμών που συναντώνται στα επιφανειακά νερά, τα απόβλητα και τις διεργασίες επεξεργασίας αυτών είναι τα βακτήρια, τα αρχαιεϊδή, οι μύκητες, τα πρωτόζωα, τα τροχόζωα, τα φύκη και οι ιοί.

Τοξικότητα. Αποτελεί παράμετρο η οποία από περιβαλλοντική άποψη έχει διφορούμενο χαρακτήρα. Ουσίες που μπορεί να είναι αβλαβείς για τον άνθρωπο μπορεί να προκαλούν δυσάρεστες επιπτώσεις στα υπόλοιπα είδη, ή να ισχύει το αντίθετο. Οι ουσίες αυτές παύουν να αποτελούν απειλή για το περιβάλλον εάν επεξεργασθούν αποτελεσματικά μέσω κατάλληλων διεργασιών, ενώ μια ενδεχόμενη διαρροή λυμάτων επιβαρυσμένων με τοξικές ουσίες (όπως είναι για παράδειγμα οι τασιενεργοί παράγοντες) θα προκαλούσε μια άμεση επίδραση στο υδατικό περιβάλλον. Τα τοξικά λύματα θα μεταφέρονταν αρχικά στο νερό και μετά στους έμβιους οργανισμούς που θα τα βιοαποικοδομούσαν. Το πρόβλημα θα έπαιρνε μεγαλύτερες διαστάσεις εάν οι τοξικές αυτές ουσίες δεν ήταν βιοαποικοδομήσιμες. Σε μια τέτοια περίπτωση οι αρνητικές επιδράσεις από μια τυχαία έκλυση στο περιβάλλον θα μεταφέρονταν στο έδαφος, μέσω της εναπόθεσης των τοξικών παραγόντων στην παράκτια περιοχή και της σταδιακής απελευθέρωσής τους υπό την επίδραση των καιρικών φαινομένων.

Η επίδραση των τοξικών μη βιοαποικοδομήσιμων ουσιών έχει μακροχρόνιες επιπτώσεις στο περιβάλλον λόγω της σταδιακής συσσώρευσης τους μέσω της τροφικής αλυσίδας. Μάλιστα, οι ουσίες αυτές μπορεί να βρίσκονται σε ίχνη ποσοτήτων στις χημικές πρώτες ύλες της βιομηχανίας με αποτέλεσμα να μην ανιχνεύονται. Όταν διαρρεύσουν στο περιβάλλον, οι τοξικοί παράγοντες αφομοιώνονται στους οργανισμούς και, εάν αυτοί δεν έχουν την ικανότητα να τους μεταβολίσουν, τότε κάθε οργανισμός καταλήγει με μια ποσότητα τοξικής ουσίας μεγαλύτερη του προκατόχου του. Η συσσώρευση αυτή συνεχίζεται μέχρι να γίνουν πλέον εμφανείς οι τοξικές επιδράσεις. Οι ουσίες αυτές που αποδεσμεύονται στο περιβάλλον σε πολύ μικρές ποσότητες (της τάξεως ppm) και εντούτοις έχουν τη τάση να συσσωρεύονται σε αυτό μέσω της τροφικής αλυσίδας (βιοσυσσώρευση), αναφέρονται ως μικρορυπαντές. (Carr, 1995).

Πίνακας 6: Βιολογικά χαρακτηριστικά υγρών αποβλήτων (Tchobanoglous et al., 2003)

ΟΝΟΜΑΣΙΑ	ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑ
Κολοβακτηρίδια	MPN
Ειδικοί μικροοργανισμοί	βακτήρια, πρωτόζωα, έλμινθες, ιοί
Τοξικότητα	TU _A (άμεση), TU _C (χρόνια)

Τέλος, αναγκαία κρίνεται η αναφορά σε έναν ακόμη παράγοντα που σχετίζεται άμεσα με το περιβαλλοντικό αποτύπωμα των βιομηχανιών. Πρόκειται για την παράμετρο της βιοαποικοδομησιμότητας, ο ορισμός της οποίας ακολουθεί (Carr, 1995).

Ως **βιοαποικοδομησιμότητα** ορίζεται η ικανότητα των αποβλήτων να διασπώνται σε απλούστερα μόρια μέσω της αερόβιας χώνευσης που υφίστανται με τη βοήθεια μικροοργανισμών, οι οποίοι έχουν τη δυνατότητα να χρησιμοποιούν τα απόβλητα αυτά ως τροφή. Τα απλούστερα αυτά μόρια αποβάλλονται ως απόβλητα τα οποία στη συνέχεια χρησιμεύουν ως τροφή για κάποιους άλλους οργανισμούς, οι οποίοι τα αποικοδομούν σε μια απλούστερη μορφή κ.ο.κ. Οι συνθήκες που απαιτούνται για να επιτευχθεί η βιοαποικοδόμηση, είναι η ύπαρξη υγρασίας στο κλάσμα των αποβλήτων, η παρουσία των κατάλληλων μικροοργανισμών και μια επαρκή ποσότητα οξυγόνου.

Ωστόσο, η βιοαποικοδομησιμότητα του αποβλήτου δεν θεωρείται ικανοποιητική, όταν τα απλούστερα μόρια που δημιουργούνται συνεχίζουν να έχουν ανεπιθύμητες ιδιότητες, παρόλο που αποτελούν προϊόντα αποδόμησης. Για το λόγο αυτό, κρίθηκε επιτακτικός ο διαχωρισμός της έννοιας της βιοαποικοδομησιμότητας σε πρωτογενή και ολική. Η πρώτη περίπτωση αναφέρεται στο βαθμό απομάκρυνσης του αρχικού μορίου του ρυπαντή από το περιβάλλον, χωρίς να λαμβάνονται υπόψιν τα χαρακτηριστικά των απλούστερων μορίων που δημιουργούνται. Αντίθετα, η δεύτερη περίπτωση αναφέρεται στην ικανότητα διάσπασης της αρχικής ουσίας στα πολύ απλά μόρια, όπως αυτά του νερού και του διοξειδίου του άνθρακα. Η ευκολία με την οποία ένα υλικό βιοαποικοδομείται ολικά, καθώς και το ποσοστό του οξυγόνου που απαιτείται για να πραγματοποιηθεί αυτό, αποτελούν τις δύο κυριότερες συνιστώσες που σχετίζονται με το περιβαλλοντικό αντίκτυπο του κάθε υλικού.

Ο βαθμός βιοαποικοδομησιμότητας ενός υλικού μετριέται όταν αυτό βρίσκεται σε μορφή υδατικού διαλύματος μέσω κατάλληλων πειραμάτων. Ωστόσο, τα πειράματα αυτά συνήθως αναφέρονται στην πρωτογενή βιοαποικοδομησιμότητα, δηλαδή στο ποσοστό απομάκρυνσης της αρχικής μορφής του υλικού από το περιβάλλον, γι' αυτό και πρέπει να δίδεται ιδιαίτερη προσοχή κατά το χαρακτηρισμό μιας ουσίας ως προς τη βιοαποικοδομησιμότητά της.

Γενικά, οι δυσμενείς επιπτώσεις των ουσιών που απορρίπτονται στο περιβάλλον εντείνονται, όσο μειώνεται η βιοαποικοδομησιμότητά και αυξάνεται η τοξικότητά τους.

3.3 Ρύποι και χαρακτηριστικά λυμάτων βιομηχανίας Βαφείου Φινιστηρίου

Η αποτελεσματική αντιμετώπιση των ρύπων στη βιομηχανία των βαφείων – φινιριστηρίων αποτελεί τη δυσκολότερη πρόκληση που έχουν να αντιμετωπίσουν οι ειδικοί του κλάδου, καθώς η προέλευση και το μέγεθος της ρύπανσης ποικίλουν μεταξύ των διαφορετικών επεξεργασιών στις οποίες δραστηριοποιούνται οι βιομηχανίες. Οι ρύποι αφορούν αέριες εκπομπές, υγρά λύματα και στερεά υπολείμματα, προϊόντα των ποικιλόμορφων διεργασιών που λαμβάνουν χώρα. Τόσο το στάδιο της προκατεργασίας, όσο και αυτό της βαφής και του φινιρίσματος, αποτελούν δυνητικές πηγές ρύπανσης, γι' αυτό και η τήρηση και εφαρμογή μέτρων πρόληψης και αντιμετώπισης των ρύπων από τις βιομηχανίες κρίνεται απαραίτητη. Στη συνέχεια, αναλύονται οι επιπτώσεις των διαφορετικών σταδίων της επεξεργασίας υφασμάτων σε συνδυασμό με τους παραγόμενους ρύπους τους.

3.3.1 Προκατεργασία

Οι κυριότερες επιπτώσεις της προκατεργασίας των υφασμάτων αφορούν την παραγωγή υγρών λυμάτων, επιβαρυσμένων από τις ποσότητες των χημικών υλών και προσθέτων που καταναλώνονται. Γενικά, η προκατεργασία των υφασμάτων συμμετέχει συνολικά σε ποσοστό 60-70% του παρατηρούμενου φορτίου COD των λυμάτων. Αρχικά, κατά το πλύσιμο απομακρύνονται μεγάλες ποσότητες ρυπαντών μαζί με τα υλικά που έχουν προστεθεί στα υφάσματα κατά την ύφανση τους, μεταξύ των οποίων συγκαταλέγονται ποσότητες ανεπαρκώς εξευγενισμένων ορυκτελαίων που περιέχουν αρωματικούς υδρογονάνθρακες, μη βιοαποικοδομήσιμων αιθοξυαλκυλοφαινολών (APEO) που οδηγούν στο σχηματισμό τοξικών μεταβολιτών και σιλικονών που απομακρύνονται δύσκολα χωρίς τη χρήση χημικών βοηθημάτων. Ιδιαίτερα ρυπογόνα κρίνεται επίσης η διαδικασία του αποκολλαρίσματος, κατά την οποία απομακρύνεται μέρος του υλικού που προστέθηκε στο ύφασμα κατά το κολλάρισμα. Το νερό που απορρέει από τη διεργασία αυτή περιέχει το 50-55% του ολικού φορτίου COD που παρατηρείται στα υγρά λύματα ενός φινιστηρίου, ποσοστό που μπορεί να φτάσει μέχρι και το 70%. Μερικές από τις ουσίες κολλαρίσματος όπως είναι τα συνθετικά έλαια εστέρων, υφίστανται διαλυτοποίηση ή διάλυση στο νερό και είναι εύκολα βιοαποικοδομήσιμες. Αντιθέτως, άλλες ουσίες όπως είναι τα έλαια σιλικόνης, τα οποία εμφανίζονται κυρίως σε μίγματα συνθετικών ινών, εμφανίζουν χαμηλή βιοαποικοδομησιμότητα και δυσκολία διάλυσης ή γαλακτωματοποίησης.

Από τη διαδικασία του μερσερισμού απορρίπτονται στα λύματα σημαντικές ποσότητες ισχυρών αλκαλίων τα οποία πρέπει να εξουδετερωθούν. Ωστόσο, τα λύματα αυτά συνήθως ανακτώνται και επαναχρησιμοποιούνται ή χρησιμοποιούνται σε διεργασίες όπου είναι επιθυμητές οι υψηλές τιμές αλκαλικότητας. Μια ειδική κατηγορία ρυπαντών -όσον αφορά τα μάλλινα υφάσματα- αποτελούν τα υπολείμματα των φυτοφαρμάκων που χρησιμοποιούνται για την πρόληψη της μόλυνσης των προβάτων από τα εξωτερικά παράσιτα, τα οποία μπορεί να παρατηρηθούν ακόμη και μετά το πλύσιμο των υφασμάτων. Τα υπολείμματα αυτά αφορούν κυρίως οργανοφωσφορικά (OPs) και συνθετικά (SPs) πυρεθροειδή εντομοκτόνα καθώς και ρυθμιστές ανάπτυξης εντόμων (IGRs).

Ακόμη, συνεισφορά στη ρύπανση των λυμάτων της βιομηχανίας έχει η διαδικασία της λεύκανσης. Η χρήση του υπεροξειδίου του υδρογόνου ως λευκαντικός παράγοντας δεν παρουσιάζει επιπτώσεις, ωστόσο προβλήματα εμφανίζονται από τη χρήση των σταθεροποιητών που προστίθενται στο λουτρό επεξεργασίας, όπως είναι το EDTA και το DTPA. Οι ουσίες αυτές χαρακτηρίζονται από χαμηλή βιοαποικοδομησιμότητα και τη τάση για σχηματισμό μεταλλικών συμπλόκων σε τυχόν επαφή με μεταλλικά στοιχεία, γεγονός που τις καθιστά δυνητικούς μεταφορείς τοξικών παραγόντων. Η χρήση του υποχλωριώδους νατρίου κατά τη λεύκανση έχει ελαχιστοποιηθεί σύμφωνα με τις ευρωπαϊκές οδηγίες και περιορίζεται μόνο σε ειδικές περιπτώσεις. Αυτό συμβαίνει διότι μέσω της λεύκανσης με υποχλωριώδες νάτριο προωθούνται δευτερογενείς αντιδράσεις που οδηγούν στην παραγωγή αλογονούχων οργανικών ενώσεων -γνωστές ως ΑΟΧ- οι οποίες μπορεί να είναι απλές πτητικές ουσίες ή σύνθετα οργανικά μόρια με μεγάλη ποικιλία τοξικών ιδιοτήτων. Η λεύκανση με χλωριώδες νάτριο συνεισφέρει και αυτή στο σχηματισμό των ΑΟΧ αλλά με πολύ μικρότερο βαθμό.

Όσον αφορά τις αέριες εκπομπές, αυτές αφορούν κυρίως το στάδιο της λεύκανσης κατά το οποίο μπορεί να παρατηρηθούν εκπομπές χλωρίου και διοξειδίου του χλωρίου λόγω της χρήσης των αντίστοιχων λευκαντικών παραγόντων. Επίσης, λόγω της υψηλής πτητικότητας ορισμένων φυτοφαρμάκων, κατά την προκατεργασία των μάλλινων υποστρωμάτων μπορεί να πραγματοποιηθεί έκλυση παρόμοιων ουσιών στην ατμόσφαιρα σε περίπτωση που οι διεργασίες λαμβάνουν χώρα σε ανοιχτά μηχανήματα. (IPPC, 2003)

Τέλος, εάν παρατηρηθούν στερεά υπολείμματα αυτά προέρχονται κυρίως από τα υλικά συσκευασίας των πρώτων και βοηθητικών υλών και από δευτερεύουσες διεργασίες όπως είναι το ξύρισμα, κατά το οποίο απομακρύνονται τα ανεπιθύμητα μέρη των υφασμάτων. Στον Πίνακα 7 αναγράφονται τα κυριότερα είδη των πιθανών οργανικών ρυπαντών που μπορεί να παρατηρηθούν στα λύματα που προέρχονται από την προκατεργασία των υφασμάτων.

Πίνακας 7: Οργανικοί ρύποι προερχόμενοι από την προκατεργασία (Majcen et al., n.d.)

ΔΙΕΡΓΑΣΙΑ	ΟΡΓΑΝΙΚΗ ΟΥΣΙΑ
Αποκολλάρισμα	καρβοξυμεθυλο-κυτταρίνη, ένζυμα, λίπη, ημικυτταρίνες, τροποποιημένα άμυλα, μη ιονικές επιφανειοδραστικές ουσίες, έλαια, πολυβινυλική αλκοόλη, μέσα κολλαρίσματος
Πλύσιμο	ανιονικές επιφανειοδραστικές ουσίες, κηροί, λίπη, γλυκερόλη, ημικυτταρίνες, μη-ιονικές επιφανειοδραστικές ουσίες, σαπούνια, άμυλο, μέσα κολλαρίσματος
Λεύκανση	υπεροξειδίο του υδρογόνου, χλωριώδες και υποχλωριώδες νάτριο, υπεροξικό οξύ, σταθεροποιητές υπεροξειδίου του υδρογόνου
Μερσερισμός	ανιονικές επιφανειοδραστικές ουσίες, κυκλοεξανόλη

3.3.2 Βαφή

Η κύρια πηγή ρύπανσης κατά το βάψιμο των υφασμάτων αφορά τα υγρά λύματα που εκρέουν από τις επιμέρους διεργασίες. Οι ουσίες που καταναλώνονται στο λουτρό βαφής χαρακτηρίζονται από χαμηλή τάση ατμών και τα ποσοστά των αέριων εκπομπών είναι χαμηλά, ενώ τα στερεά υπολείμματα σχετίζονται αποκλειστικά με τα υλικά συσκευασίας των χρησιμοποιούμενων υλών. Υπάρχει ωστόσο η πιθανότητα έκλυσης πτητικών οργανικών ενώσεων στην ατμόσφαιρα, η οποία εξαρτάται από το είδος της βαφής που χρησιμοποιείται κάθε φορά. Γενικότερα, οι βαφές των υφασμάτων παρασκευάζονται έτσι ώστε να είναι ανθεκτικές απέναντι στην μικροβιακή, χημική, θερμική και φωτολυτική υποβάθμιση, γεγονός που υποδηλώνει την πολυποίκιλη φύση των χημικών παραγόντων που καταναλώνονται για την παρασκευή τους αλλά και την πρόκληση για την αποτελεσματική αντιμετώπισή τους. Σήμερα, η κατηγορία των βαφών που χρησιμοποιείται κατά κόρον (σε ποσοστό 60-70%) είναι αυτή των αζωικών χρωμάτων. Τα χρώματα αυτά, παρόλο που δεν είναι τοξικά από μόνα τους, εάν υποστούν διάσπαση του αζω-δεσμού τους υπό αναγωγικές συνθήκες, παράγουν αρωματικές αμίνες οι οποίες εμφανίζουν τοξική δράση. Η χρήση των αζωικών βαφών που διασπώνται προς σχηματισμό επικίνδυνων αρωματικών αμινών έχει απαγορευτεί, ωστόσο δεν είναι απίθανο να κυκλοφορούν ακόμη και σήμερα στην αγορά τέτοιου είδους καρκινογόνες βαφές. Επομένως, η σωστή και υπεύθυνη διαχείριση της βαφής των υφασμάτων δεν αφορά μόνο την αποτελεσματική αντιμετώπιση των παραγόμενων ρύπων αλλά και τη σωστή επιλογή των χημικών ουσιών που χρησιμοποιούνται.

Σημαντικός παράγοντας που επιδρά άμεσα στο βαθμό ρύπανσης είναι το **ποσοστό στερέωσης** της βαφής στο ύφασμα κατά την εφαρμογή της. Μερικά είδη βαφών χαρακτηρίζονται από πολύ μικρά ποσοστά στερέωσης της τάξεως του 40-50% (χρώματα αντιδράσεως), με αποτέλεσμα μεγάλο μέρος της βαφής να απομακρύνεται κατά το πλύσιμο και να καταλήγει στα λύματα. Άλλα είδη βαφών που εμφανίζουν σχετικά μειωμένα ποσοστά στερέωσης είναι τα απλά χρώματα (60% στερέωση) και σε μικρότερο βαθμό τα χρώματα θείου και τα χρώματα κάδου, με ποσοστό που φτάνει το 75%. Με τον τρόπο αυτό εισρέουν στα λύματα μεγάλες ποσότητες χρώματος οι οποίες εκτός από την αισθητική υποβάθμιση, προσθέτουν μια ακόμη απειλή στο οικοσύστημα καθώς επηρεάζεται η ικανότητα φωτοσύνθεσης των οργανισμών του υδάτινου περιβάλλοντος.

Τα επιβαρυμένα με χρωστικές λύματα χαρακτηρίζονται από υψηλό οργανικό φορτίο που εκφράζεται μέσω των δεικτών BOD/COD/TOC, υδατική τοξικότητα και την παρουσία μετάλλων και αλογόνων στα μόρια των ουσιών που μπορεί να οδηγήσουν στην εκπομπή αλογονούχων οργανικών ενώσεων. Τέτοιες ουσίες παρατηρούνται σε συγκεκριμένες βαφές όπως είναι τα χρώματα κάδου, διασποράς και αντιδράσεως τα οποία ενδέχεται να περιέχουν αλογόνα στα μόριά τους. Στις υπόλοιπες βαφές δεν εμφανίζεται ο κίνδυνος εκπομπής ΑΟΧ αφού η περιεκτικότητά τους σε αλογόνο για την πλειονότητα των περιπτώσεων δεν υπερβαίνει το 0.1%. Στο σημείο αυτό πρέπει να τονιστεί ότι οι αλογονούχες οργανικές ενώσεις (ΑΟΧ) που παράγονται κατά τη βαφή δεν εμφανίζουν τις ίδιες επιπτώσεις με αυτές που προέρχονται από τις αλοφορμικές αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα κατά την λεύκανση. Αυτό η διάκριση οφείλεται στο μη βιοαποικοδομήσιμο χαρακτήρα των χρωστικών ουσιών ο οποίος δεν ευνοεί το σχηματισμό των αλοφορμικών ενώσεων, που αποτελούν την κύρια αιτία σχηματισμού των επικίνδυνων ΑΟΧ.

Ένας ακόμη παράγοντας που σχετίζεται με το περιβαλλοντικό αποτύπωμα των βαφών είναι η **αντοχή του χρώματός** τους. Ορισμένες βαφές (π.χ. χρώματα αντιδράσεως) επιτυγχάνουν τον επιθυμητό βαθμό έντασης και απόδοσης χρώματος σε πολύ μικρότερες ποσοτικές αναλογίες σε σχέση με άλλες βαφές (χρώματα απλά, θείου και χρώματα κάδου), οι οποίες απαιτούν την κατανάλωση μεγαλύτερων ποσοτήτων χρωστικών ουσιών και βοηθημάτων, γεγονός που συνεισφέρει επακόλουθα σε μεγαλύτερη ρύπανση των λυμάτων. (IPPC, 2003) Εκτός από τις βαφές, συνεισφορά στη ρύπανση των υδάτων προκαλείται και από τη χρήση των βοηθητικών ουσιών που προστίθενται στο λουτρό, με σκοπό την αποτελεσματική χρωματική απόδοση των υφασμάτων. Οι βοηθητικές αυτές ουσίες στην πλειονότητά τους είναι υδατοδιαλυτές και μη βιοαποικοδομήσιμες, ενώ πολλές μπορεί να εμφανίσουν ποσοστά τοξικότητας. Στον Πίνακα 8 καταγράφονται οι σημαντικότερες από αυτές.

Πίνακας 8: Ρύποι προερχόμενοι από τη διαδικασία της βαφής (Majcen et al., n.d.)

ΔΙΕΡΓΑΣΙΑ	ΟΡΓΑΝΙΚΗ ΟΥΣΙΑ
Βαφή	Βοηθητικές ουσίες: αιθοξυλικά λιπαρών αμινών και αιθοξυλιωμένες αλκυλοφαινόλες (βοηθητικά ομοιόμορφου απλώματος βαφής), προϊόντα συμπύκνωσης κυαναμιδίου – άλατος αμμωνίας (βοηθητικά βελτίωσης της αντοχής της βαφής), συμπολυμερή ακρυλικού και μαλεϊκού οξέος (παράγοντες διασποράς), ενώσεις τεταρτοταγούς αμμωνίου (επιβραδυντές κατιονικών βαφών), EDTA, DTPA, EDTMP, DTPMP

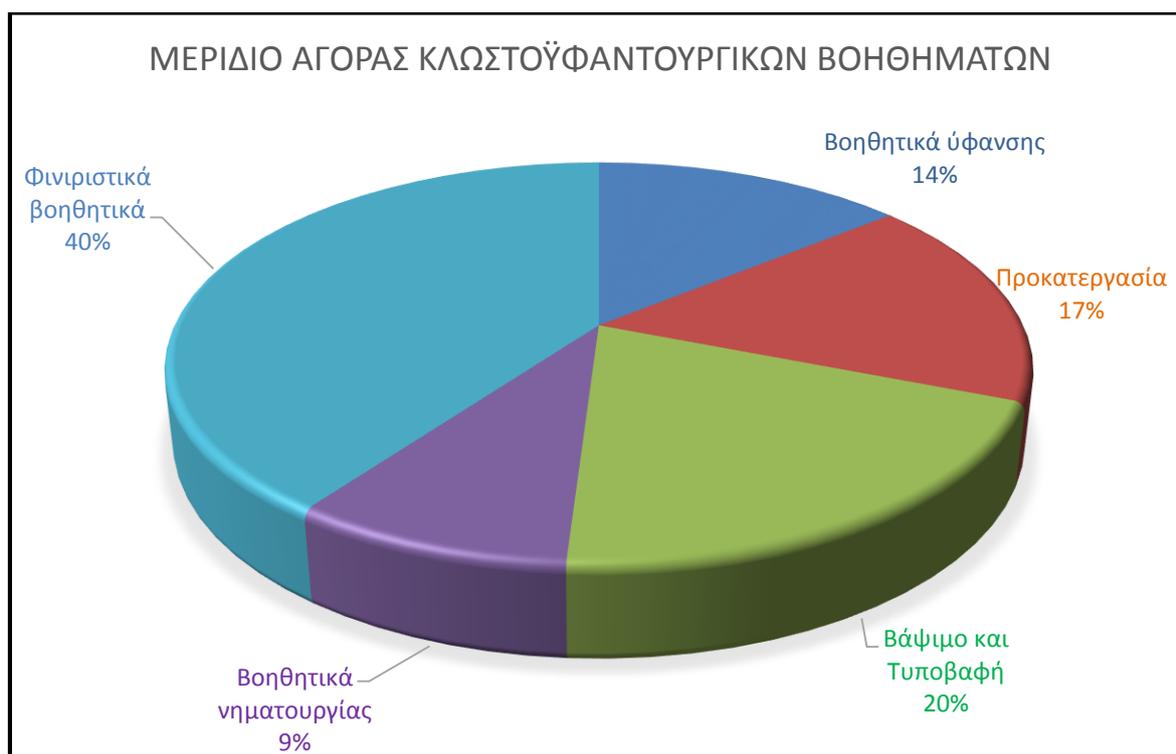
Ένας ακόμη ρυπαντής που πρέπει οπωσδήποτε να λαμβάνεται υπόψιν είναι τα **περιεχόμενα μέταλλα**, τα οποία μπορεί να εμφανιστούν στα λύματα της βιομηχανίας από τη χρήση των βαφών. Τα μέταλλα εμφανίζονται στις χρωστικές ουσίες με δύο τρόπους: είτε ως *ακαθαρσίες*, λόγω της χρήσης καταλύτη κατά την παρασκευή των βαφών, είτε υπό τη μορφή *συμπλόκων* μεταξύ των μορίων της χρωστικής. Στη δεύτερη περίπτωση, η ανησυχία που εγείρεται από πιθανή έκλυση μετάλλων στα ύδατα είναι περιορισμένη, αφενός μεν επειδή τα μόρια των χρωστικών δεν βιοαποικοδομούνται (επομένως είναι πολύ μικρή η περίπτωση τα μέταλλα να διαχυθούν στο οικοσύστημα) και αφετέρου διότι γενικά είναι επιθυμητός ο περιορισμός της χρήσης βαφών χαμηλού ποσοστού στερέωσης ώστε να αποφεύγεται η έκλυση περίσσειας ποσότητας χρωστικών στα λύματα (που θα αποφέρει και μικρότερες απώλειες χρήσιμου υλικού).

Τέλος, εάν επιθυμούμε να γίνει σωστά η αξιολόγηση της διεργασίας ως προς τους ρύπους και το οικολογικό της προφίλ, πρέπει να λάβουμε υπόψιν τόσο την κατανάλωση νερού όσο και της ενέργειας. Οι δύο αυτές συνιστώσες σχετίζονται άμεσα με τον τρόπο του βαψίματος, εάν δηλαδή πρόκειται για συνεχείς ή μη διεργασίες. Το βάψιμο κατά παρτίδες, καταναλώνει μεγαλύτερες ποσότητες νερού, ενέργειας και χημικών ουσιών, αρχικά λόγω της ασυνεχούς φύσης των βαφικών μηχανημάτων, που καθιστά ιδιαίτερα ενεργοβόρες διεργασίες όπως είναι η θέρμανση, η ψύξη και το πλύσιμο των υφασμάτων. Επίσης, οι ασυνεχείς διεργασίες χαρακτηρίζονται από την ανάγκη για σχετικά υψηλές αναλογίες λουτρού βαφής/υφάσματος.

3.3.3 Φινίρισμα

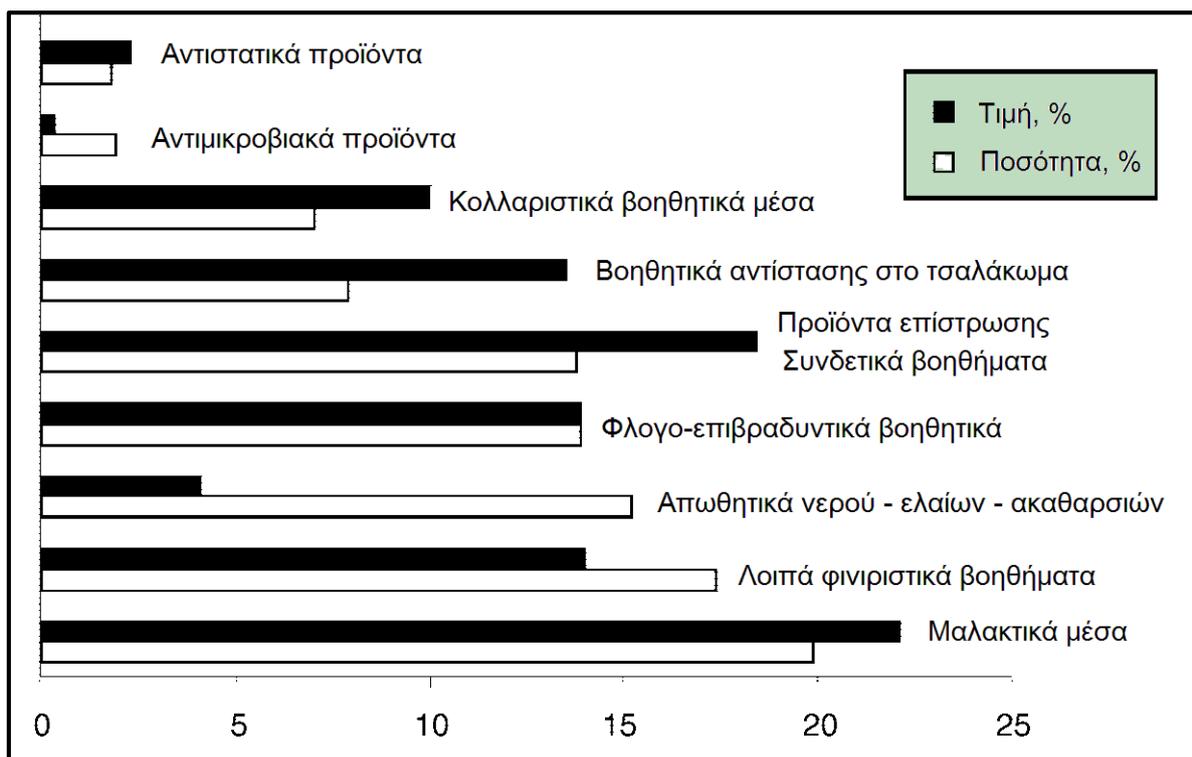
Όσον αφορά τον κλάδο του φινιρίσματος, γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι οι κυριότερες εκπομπές ρύπων αφορούν τις χημικές επεξεργασίες που υφίστανται τα υφάσματα ώστε να αποκτήσουν τα επιθυμητά χαρακτηριστικά. Η ρύπανση που παρατηρείται αφορά τα υγρά λύματα που παράγονται

σε συνδυασμό με τις αέριες εκλύσεις που αποδεδμεύονται από τη χρήση των χημικών παραγόντων. Στο Διάγραμμα 4 φαίνεται η κατανομή του μεριδίου αγοράς των πρόσθετων και βοηθητικών υλών που καταναλώνονται συνολικά στον κλάδο της κλωστοϋφαντουργίας, ενώ στο Διάγραμμα 5 παρουσιάζονται τα διαφορετικά φινιριστικά μέσα που χρησιμοποιούνται. Τα φινιριστικά βοηθητικά μέσα κατέχουν το μεγαλύτερο μέρος της αγοράς (40%), γεγονός που υποδεικνύει άμεσα και το μέγεθος της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης που τους αναλογεί.



Διάγραμμα 4: Κατανομή μεριδίου αγοράς των βοηθητικών μέσων της κλωστοϋφαντουργίας

(Schindler et al., 2004)



Διάγραμμα 5: Συγκριτική κατανομή φινιριστικών βοηθημάτων ως προς τη τιμή και την ποσότητα

(Schindler et al., 2004)

Το είδος του ρυπαντή που μπορεί να μολύνει τα λύματα μιας βιομηχανίας εξαρτάται από το είδος του φινιριστικού μέσου που θα χρησιμοποιηθεί. Οι κυριότεροι ρυπαντές εμφανίζονται ως μέσα διασταύρωσης δεσμών (κατά το φινίρισμα «αντίσταση στο τσαλάκωμα»), φλογο-επιβραδυντικά μέσα, μαλακτικοί παράγοντες, αντιστατικοί παράγοντες, υδροφοβικά - ελαιοφοβικά μέσα και βιοκτόνα. Ακολουθεί μια ανάλυση του τρόπου ρύπανσης των παραπάνω μέσων (Majcen et al., n.d.).

Τα **μέσα διασταύρωσης δεσμών** βασίζονται κυρίως στην φορμαλδεΐδη, η ποσότητα της οποίας μπορεί να διαφέρει σε κάθε περίπτωση. Τα μέσα διασταύρωσης διακρίνονται ως πλούσια, φτωχά και πολύ φτωχά σε φορμαλδεΐδη. Με τη χρήση των παραγόντων αυτών, ενέχει ο κίνδυνος εκπομπής φορμαλδεΐδης και μεθανόλης, ουσίες οι οποίες μπορεί να βλάψουν όχι μόνο τον περιβάλλοντα χώρο μέσω των αέριων εκπομπών και των εκλύσεων, αλλά και τους ίδιους εργαζόμενους της βιομηχανίας, αν όχι και τον τελικό καταναλωτή. Λύση στο πρόβλημα θα προσέφερε η χρήση παρόμοιων μέσων απουσία φορμαλδεΐδης, ωστόσο, τα μέσα αυτά δεν προσφέρονται ως οικονομικές λύσεις και για το λόγο αυτό δεν έχει καθιερωθεί η παρουσία τους στον κλάδο του φινιρίσματος.

Τα **φλογο-επιβραδυντικά μέσα** αποτελούν ένα συνδυασμό αλογονούχων και φωσφορούχων οργανικών ενώσεων. Τα αλογονούχα φλογο-επιβραδυντικά μέσα συμμετέχουν στο σχηματισμό

διοξινών και φουρανών, όταν υποβάλλονται σε διαδικασίες υψηλών θερμοκρασιών. Οι διοξίνες ανήκουν στους «Έμμονους Οργανικούς Ρύπους» (POPs), μια κατηγορία ενώσεων που χαρακτηρίζεται από ανθεκτικότητα, υψηλό συντελεστή βιοσυσσώρευσης και ικανότητα μεταφοράς σε μεγάλες αποστάσεις. Μεταξύ των πιο τοξικών ενώσεων POPs συμπεριλαμβάνονται οι διβενζο-π-διοξίνες και τα φουράνια (PCDD/Fs), που συχνά αναφέρονται και ως *διοξίνες*. Σύμφωνα με μελέτη σχετική με τις επικίνδυνες αυτές ουσίες (Križanec et al., 2005) ο σχηματισμός Έμμονων Οργανικών Ρύπων στο τομέα του φινιρίσματος ευνοείται από τις υψηλές θερμοκρασίες, τις αλκαλικές συνθήκες, την υπεριώδη ακτινοβολία, την παρουσία χλωριωμένων οργανικών ενώσεων και την ύπαρξη μεταλλικών καταλυτών. Στην ίδια μελέτη αποδείχθηκε ότι οι ενώσεις PCDD/Fs δημιουργούνται κατά την επεξεργασία των υφασμάτων, πιθανότατα λόγω των ουσιών που ενσωματώνονται σε αυτά κατά τη βαφή τους. Ο φώσφορος που περιέχεται στα φωσφορούχα φλογο-επιβραδυντικά, δεν είναι άμεσα βιοαποικοδομήσιμος και υδατοδιαλυτός. Ωστόσο, η τοξικότητα των ουσιών αυτών δεν έχει πλήρως ξεκαθαριστεί καθώς τα αποτελέσματα των σχετικών μελετών αντικρούονται, με τις μεν να υποστηρίζουν ότι δεν υπάρχει κίνδυνος τοξικότητας για τα υδατικά οικοσυστήματα και τις δε να αντιλέγουν πως δεν υπάρχουν αντίστοιχες σαφείς ενδείξεις.

Οι **μαλακτικοί παράγοντες** αποτελούν μόρια με μεγάλο μοριακό βάρος, ενώ η πτητικότητά τους είναι χαμηλή. Διαχωρίζονται σε τέσσερις υποκατηγορίες, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις των οποίων διαφέρουν. Οι μη-ιονικές επιφανειοδραστικές ουσίες είναι βιοαποικοδομήσιμες, σε αντίθεση με τις παραφίνες και τους πολυαιθυλενικούς κηρούς, οι οποίοι δεν βιοαποικοδομούνται. Μάλιστα, η χρήση των παραφινών συνεχίζεται μέχρι και σήμερα, παρόλο που αυτοί οι τύποι μαλακτικών αποδεσμεύουν σημαντικές ποσότητες καπνού και άλλων αέριων εκπομπών όταν θερμαίνονται (κατά το στέγνωμα κτλ.). Τέλος, οι κατιονικές επιφανειοδραστικές ουσίες χαρακτηρίζονται από υψηλή υδατική τοξικότητα.

Τα **υδροφοβικά και ελαιοφοβικά βοηθητικά μέσα** διαχωρίζονται και αυτά σε τέσσερις υποενοότητες: τα απωθητικά με βάση το κερί, τις ρητίνες, τη σιλικόνη και τα φθοροχημικά απωθητικά. Οργανικοί ρυπαντές παράγονται κατά τη χρήση των τριών τελευταίων βοηθητικών.

Τέλος, η χρήση των **βιοκτόνων**, τα οποία χρησιμοποιούνται για να προσδώσουν αντιμικροβιακά χαρακτηριστικά στα υφάσματα, έχει άμεση επίδραση στο περιβάλλον και ιδιαίτερα στα υδάτινα οικοσυστήματα, λόγω της τοξικής φύσης των ουσιών που περιέχουν.

Βοηθητικός Εξοπλισμός

Συνεισφορά στην περιβαλλοντική ρύπανση υπό τη μορφή κυρίως αέριων εκπομπών, ενδέχεται να προκαλέσει και η χρήση των βοηθητικών συστημάτων της βιομηχανίας. Πιο συγκεκριμένα, η

λειτουργία των λεβητών που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ενέργειας, προκαλεί τη διάχυση στην ατμόσφαιρα οξειδίων του αζώτου, διοξειδίου του θείου και σωματιδίων. Επίσης, σημαντικές ποσότητες πτητικών ενώσεων απελευθερώνονται από τα μηχανήματα που κάνουν χρήση υψηλών θερμοκρασιών, όπως είναι τα στεγνωτήρια/σιδερωτήρια. Λόγω των υψηλών θερμοκρασιών που εφαρμόζονται, προωθείται η διοχέτευση στην ατμόσφαιρα ενώσεων που παραμένουν στα επεξεργασμένα υφάσματα. Τέλος, πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCs) και τοξικές ουσίες δύναται να εκλυθούν κατά την αποθήκευση των πρώτων και βοηθητικών υλών καθώς και κατά την επεξεργασία των λυμάτων (Parvathi, 2009).

Βιβλιογραφική αναφορά

Ο κλάδος της επεξεργασίας υφασμάτων περιλαμβάνει ποικίλα στάδια. Στην πλειονότητα των περιπτώσεων από τα στάδια αυτά παράγονται μεγάλες ποσότητες λυμάτων οι οποίες χρήζουν επεξεργασίας. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η ποιότητα και η ποσότητα των παραγόμενων λυμάτων εξαρτώνται άμεσα από τον μηχανολογικό εξοπλισμό που χρησιμοποιείται, τις πρώτες ύλες που καταναλώνονται και το είδος των διεργασιών που λαμβάνουν χώρα κάθε φορά, γι' αυτό και η οποιαδήποτε αλλαγή που πραγματοποιείται σε κάθε μια από τις παραπάνω συνιστώσες, δημιουργεί και διαφορετικό είδος αποβλήτων. Μέχρι πρόσφατα, περισσότερη έρευνα έχει διεξαχθεί στο συνδυασμένο ρεύμα των αποβλήτων που απορρέει από τη βιομηχανία υφασμάτων και όχι τόσο στα μεμονωμένα επιμέρους ρεύματα. Η καλύτερη αντιμετώπιση των λυμάτων αυτού του είδους είναι η εστίαση στα μεμονωμένα ρεύματα αποβλήτων, τα οποία με την κατάλληλη επεξεργασία θα αποφέρουν καλύτερη ποιότητα εκροής. Ως παράδειγμα μπορεί να αποτελέσει ο κατάλληλος συνδυασμός όξινων και αλκαλικών ρευμάτων που θα δώσει ένα συνδυασμένο ρεύμα με ουδέτερο pH.

Οι Bisschops & Spanjers (2003), προσπάθησαν να συγκεντρώσουν διάφορα χαρακτηριστικά λυμάτων από μεμονωμένες διεργασίες επεξεργασίας υφασμάτων, μέσω της υπάρχουσας βιβλιογραφίας. Η προσπάθεια καταγραφής των χαρακτηριστικών συνάντησε διάφορες δυσκολίες με κυριότερη την έλλειψη πληροφοριών, καθώς οι περισσότεροι συγγραφείς δεν ξεκαθαρίζουν με σαφήνεια ποιο είδος λυμάτων χρησιμοποιήσαν στις αναλύσεις τους, από ποιες διεργασίες έχει απορριφθεί και ποιες χημικές ύλες χρησιμοποιήθηκαν σε αυτές. Τα χαρακτηριστικά των λυμάτων που μελέτησαν κατηγοριοποιούνται παρακάτω, βάσει των ποιοτικών χαρακτηριστικών που αναφέρθηκαν σε προηγούμενο υποκεφάλαιο.

Κεφ. 3 Βιομηχανικά Απόβλητα

Πίνακας 9: Χαρακτηριστικές τιμές ρυπαντικού φορτίου των υγρών αποβλήτων ενός Βαφείου-Φινιστηρίου για διαφορετικές διεργασίες και πρώτες ύλες

(Όλες οι τιμές αναφέρονται σε mg/L εκτός αν ορίζονται διαφορετικά, Bisschops & Spanjers, 2003)

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΥΦΑΣΜΑ (ΕΙΔΟΣ)	Αποκ/ρισμα	Πλύσιμο	Λεύκανση	Βαφή
COD	Μαλλί	-	5000 - 90000	-	7920
	Βαμβάκι	950 - 20000	8000	288-13500	1115 - 4585
	Συνθετικό	-	-	-	620
	Απροσδιόριστο	10000 -12000	-	-	-
BOD ₅	Μαλλί	-	2270 - 60000	400	400-2000
	Βαμβάκι	-	100 - 2900	90-1700	970 -1460
	Συνθετικό	-	500 - 2800	-	530
	Απροσδιόριστο	200 - 5200	-	-	-
Χρώμα (ADMI)	Μαλλί	-	2000	-	2225
	Βαμβάκι	64 -1900	694	153	1450 - 4750
	Συνθετικό	-	-	-	1750
	Απροσδιόριστο	-	-	-	-
TS	Μαλλί	-	28900-49300	910	-
	Βαμβάκι	-	-	2300-14400	-
	Συνθετικό	-	-	-	-
	Απροσδιόριστο	7600 - 42900	-	-	<50000
TSS	Μαλλί	-	1000-26200	900	-
	Βαμβάκι	18-800	184-17400	130 - 25000	120-190
	Συνθετικό	-	600-3300	-	140
	Απροσδιόριστο	400 - 4000	-	-	-
TDS	Βαμβάκι	530 - 6900	-	4760-19500	-
	Απροσδιόριστο	-	-	-	55
D _{TOC}	Μαλλί	-	5800	-	-
	Βαμβάκι	250 - 2750	-	320	-
TKN	Βαμβάκι	70	-	40	-
	Συνθετικό	-	-	-	-
	Απροσδιόριστο	-	-	-	-
NH ₄ -N	Μαλλί	-	604	-	-
	Βαμβάκι	9-19	-	8-19	-

Κεφ. 3 Βιομηχανικά Απόβλητα

	Συνθετικό	-	-	-	-
	Απροσδιόριστο	-	-	-	-
Total P	Βαμβάκι	4-10	-	6-60	-
	Συνθετικό	-	-	-	-
PO₄	Μαλλί	-	89.3	-	-
Θειούχα	Μαλλί	-	0.2	-	-
	Βαμβάκι	-	-	-	325-900
Έλαια & Λίπη	Μαλλί	-	580-55000	-	-
Cr²⁻	Μαλλί	-	50	-	-
pH	Μαλλί	-	7.6-10.4	6	4.6-8
	Βαμβάκι	8.8-9.2	7.2-13	6.5 -13.5	9.2-10.1
	Συνθετικό	-	8-10	-	11.7
	Απροσδιόριστο	6-8	-	-	-
Χρήση νερού (L/kg υφάσματος)	Μαλλί	-	4-77.5	-	40 -150
	Βαμβάκι	-	2.5-43	30-50	38-143
	Συνθετικό	-	17-67	-	38-143
	Απροσδιόριστο	12.5 - 35	-	-	-

4. Επεξεργασία Βιομηχανικών Αποβλήτων

Για να γίνει απόλυτα κατανοητός ο λόγος για τον οποίο επιβάλλεται η επεξεργασία των υγρών αποβλήτων πριν αυτά καταλήξουν στον τελικό υδάτινο αποδέκτη, θα ακολουθήσει μια αναφορά σχετικά με το είδος και την ποσότητα του υγρού στοιχείου πάνω στη Γη. Το νερό της γης είναι αλμυρό σε ποσοστό 97%. Από το υπόλοιπο νερό (3%), το 87% βρίσκεται «παγιδευμένο» στις πολικές περιοχές. Αυτό σημαίνει πως μόνο το 0,4% του νερού που υπάρχει πάνω στη γη, βρίσκεται σε προσβάσιμες περιοχές και είναι κατάλληλο για άμεση χρήση από τον άνθρωπο. Η ποσότητα αυτή αποτελεί έναν συνεχώς ανανεώσιμο πόρο που επηρεάζεται από το φυσικό κύκλο του νερού, πράγμα που δικαιολογεί και την άνιση κατανομή των υδατικών πόρων πάνω στη γη. Επιπλέον, τα διαθέσιμα αποθέματα του γλυκού νερού πρέπει να μοιράζονται μεταξύ των ζώντων οργανισμών του φυσικού περιβάλλοντος και των απαιτήσεων του ανθρώπου. Ο τελευταίος, εκτός από την άμεση κατανάλωση νερού που έχει ανάγκη για την επιβίωσή του, χρειάζεται εξίσου μεγάλες ποσότητες νερού για γεωργική, αστική και βιομηχανική χρήση.

Μια ενδεχόμενη έλλειψη γλυκού νερού θα επέφερε προβλήματα στη δημόσια υγεία, μείωση της παραγωγής τροφίμων, συγκρούσεις μεταξύ των πληθυσμών και άλλες δυσμενείς επιπτώσεις, συμπεριλαμβάνοντας μέσα σε όλα και την ανυπολόγιστη επιβάρυνση του οικοσυστήματος. Η έλλειψη γλυκού νερού που εμφανίζεται στις μέρες μας, δεν οφείλεται μόνο στην άνιση κατανομή των υδατικών πόρων μέσω του κύκλου του νερού, αλλά και στην υποβάθμιση της ποιότητας των πηγών γλυκού νερού που χρησιμοποιούνται ήδη από τον άνθρωπο. Βέβαια, οι δυσμενείς επιπτώσεις των δραστηριοτήτων του ανθρώπου, δεν περιορίζονται μόνο στις πηγές γλυκού νερού, αλλά και στο θαλάσσιο, χερσαίο και ατμοσφαιρικό περιβάλλον. *Η υποβάθμιση αυτή οφείλεται κατά κύριο λόγο στη ρύπανση που προκαλούν οι βιομηχανικές δραστηριότητες και εάν συνεχιστεί με αμείωτο ρυθμό, κάποια στιγμή τα δυσμενή αποτελέσματα της ρύπανσης δεν θα επιδέχονται καμία αλλαγή.*

Μέσω της μικρής αυτής εισαγωγής, γίνονται ξεκάθαροι οι λόγοι για τους οποίους κρίνεται απαραίτητη η επεξεργασία των υγρών αποβλήτων που απορρέουν από τις βιομηχανίες. Η ραγδαία ανάπτυξη της τεχνολογίας αποτελεί σύμμαχο της προσπάθειας αυτής, προτείνοντας λύσεις που συνδυάζουν αποτελεσματικότητα και σεβασμό στο περιβάλλον. Η ολοκληρωμένη διαχείριση των υγρών αποβλήτων περιλαμβάνει διεργασίες για τη συλλογή, επεξεργασία και διάθεσή τους. Τα υγρά απόβλητα μιας πόλης συλλέγονται με το σύστημα αποχέτευσης, στο οποίο συνήθως καταλήγουν τα όμβρια ύδατα καθώς και τα υπόγεια ή επιφανειακά νερά. Ακόμη, πολλές φορές το αποχετευτικό σύστημα δέχεται και βιομηχανικά απόβλητα τα οποία όμως πρέπει απαραίτητα να έχουν υποστεί

μια προεπεξεργασία, πριν καταλήξουν σε αυτό. Ολόκληρο το δίκτυο αποχέτευσης συμβάλλει σε έναν Κεντρικό Αποχετευτικό Αγωγό (ΚΑΑ) ο οποίος καταλήγει σε μια Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων (ΕΕΛ). Εκεί, τα λύματα επεξεργάζονται μέσω των διαθέσιμων τεχνολογιών με σκοπό να απαλλαγούν από το ρυπαντικό τους φορτίο.

4.1 Τεχνολογίες επεξεργασίας λυμάτων

Τα συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων περιλαμβάνουν διάφορα στάδια και ο σχεδιασμός τους γίνεται με σκοπό την απομάκρυνση ή καταπολέμηση ρυπαντών, όπως είναι τα περιεχόμενα στερεά, το οργανικό φορτίο, τα θρεπτικά άλατα και οι επικίνδυνοι μικροοργανισμοί. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω του συνδυασμού φυσικών, χημικών, φυσικοχημικών και βιολογικών διεργασιών, ο διαχωρισμός των οποίων γίνεται με βάση το είδος των δυνάμεων που κυριαρχούν κάθε φορά. Στις μεθόδους επεξεργασίας των φυσικών διεργασιών κυριαρχούν οι φυσικές δυνάμεις, στις χημικές και φυσικοχημικές διεργασίες γίνεται χρήση χημικών αντιδραστηρίων ή συνδυασμός αυτών με φυσικές δυνάμεις αντίστοιχα, ενώ στις βιολογικές διεργασίες κυριαρχούν οι μικροοργανισμοί. Στον Πίνακα 10 αναγράφονται οι κυριότερες μέθοδοι επεξεργασίας με βάση τη διάκριση αυτή.

Πίνακας 10: Μέθοδοι επεξεργασίας υγρών αποβλήτων με βάση τη διάκριση σε φυσικές, χημικές, βιολογικές και φυσικοχημικές διεργασίες (Tchobanoglous et al., 2003; Ντακαράς, 2010)

<i>Είδος διεργασίας</i>	
ΦΥΣΙΚΕΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ	ΧΗΜΙΚΕΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ
<ul style="list-style-type: none"> • Εσχάρωση - κοσκίνισμα • Εξισορρόπηση ροής • Εξάμμωση • Λιποσυλλογή • Πρωτοβάθμια καθίζηση • Επίπλευση 	<ul style="list-style-type: none"> • Χημική κροκίδωση • Χημική καθίζηση • Χημική κατακρήμνιση • Χημική οξειδωση • Χημική εξουδετέρωση • Χλωρίωση
ΒΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ	ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΕΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ
<ul style="list-style-type: none"> • Αερόβιες & αναερόβιες επεξεργασίες αιωρούμενης βιομάζας • Αερόβιες - αναερόβιες επεξεργασίες προσκολλημένης βιομάζας • Αερόβια βιολογική οξειδωση • Αναερόβια ζύμωση & οξειδωση • Βιολογική νιτροποίηση & 	<ul style="list-style-type: none"> • Επεξεργασία με ενεργό άνθρακα • Εναλλαγή ιόντων • Αντίστροφη ώσμωση

<p>απονιτροποίηση</p> <ul style="list-style-type: none"> • Βιολογική απομάκρυνση φωσφόρου • Βιολογική απομάκρυνση βαρέων μετάλλων, τοξικών & δύσκολα διασπάσιμων οργανικών ενώσεων 	
--	--

Συχνά, απαιτείται ο συνδυασμός δύο ή περισσότερων διεργασιών για την ολοκληρωμένη καταπολέμηση των πολυποίκιλων ρυπογόνων ουσιών. Οι διεργασίες αυτές κατηγοριοποιούνται σε στάδια επεξεργασίας, ώστε να παρέχονται διαφορετικοί βαθμοί επεξεργασίας στα απόβλητα. Οι βαθμοί επεξεργασίας κατηγοριοποιήθηκαν σε 7 στάδια επεξεργασίας από τους Crites & Tchobanoglous (1997):

❖ ΠΡΟΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

Περιλαμβάνει διεργασίες για την απομάκρυνση ογκωδών αντικειμένων, ξύλων, χαλικιών και άμμου, κουρελιών και άλλων επιπλεόντων υλικών που μπορεί να προκαλέσουν προβλήματα στον μηχανολογικό εξοπλισμό καθώς ή να παρεμποδίσουν την λειτουργία και συντήρηση των τεχνολογιών επεξεργασίας.

❖ ΠΡΩΤΟΒΑΘΜΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

Διεργασίες για την απομάκρυνση μέρος των αιωρούμενων στερεών και του οργανικού υλικού από τα υγρά απόβλητα. Η διεργασία που χρησιμοποιείται κυρίως για το σκοπό αυτό είναι η καθίζηση.

Σύμφωνα με την Οδηγία 91/271/ΕΟΚ σχετικά με τα αστικά λύματα, ως πρωτοβάθμια επεξεργασία ορίζεται η επεξεργασία των λυμάτων με φυσική ή/και χημική μέθοδο που περιλαμβάνει την καθίζηση των αιωρούμενων στερεών, ή με άλλες μεθόδους με τις οποίες το BOD₅ των εισερχόμενων λυμάτων μειώνεται τουλάχιστον κατά 20% πριν από την απόρριψη και το συνολικό φορτίο των αιωρούμενων στερεών στα εισερχόμενα λύματα μειώνεται κατά 50% τουλάχιστον.

❖ ΠΡΟΧΩΡΗΜΕΝΗ ΠΡΩΤΟΒΑΘΜΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

Στοχεύει στην ενισχυμένη απομάκρυνση του οργανικού φορτίου και των στερεών (κυρίως των αιωρούμενων). Πραγματοποιείται συνήθως μέσω διήθησης και προσθήκης χημικών παραγόντων.

❖ ΔΕΥΤΕΡΟΒΑΘΜΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

Χρήση βιολογικών και χημικών διεργασιών για την απομάκρυνση των βιοαποικοδομήσιμων οργανικών υλικών και αιωρούμενων στερεών. Στο στάδιο αυτό απομακρύνεται το μεγαλύτερο μέρος του οργανικού φορτίου των υγρών αποβλήτων. Περιλαμβάνει διεργασίες αερόβιες, αναερόβιες

καθώς και συνδυασμό αυτών, ενώ ως δευτεροβάθμια επεξεργασία συμπεριλαμβάνεται και το στάδιο της απολύμανσης.

Σύμφωνα με την Οδηγία 91/271/ΕΟΚ σχετικά με τα αστικά λύματα, ως δευτεροβάθμια επεξεργασία ορίζεται η επεξεργασία των λυμάτων με μέθοδο που, κατά κανόνα, περιλαμβάνει βιολογική επεξεργασία με δευτεροβάθμια καθίζηση, ή με άλλες μεθόδους δια των οποίων τηρούνται οι παρακάτω απαιτήσεις:

BOD₅: 25 mg/L O₂ και ελάχιστη εκατοστιαία μείωση εύρους 70 – 90 % ανάλογα με το φορτίο των εισρεόντων υγρών αποβλήτων. COD: 125 mg/L O₂ και ελάχιστη εκατοστιαία μείωση 75%. Ολικά αιωρούμενα στερεά: 35 mg/L και ελάχιστη εκατοστιαία μείωση εύρους 70 – 90% ανάλογα με το φορτίο των εισρεόντων υγρών αποβλήτων.

❖ ΔΕΥΤΕΡΟΒΑΘΜΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕ ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗ ΘΡΕΠΤΙΚΩΝ ΟΥΣΙΩΝ

Αποσκοπεί στην απομάκρυνση των θρεπτικών ουσιών (άζωτο, φώσφορος ή και τα δύο μαζί), σε συνδυασμό με την απομάκρυνση βιοαποικοδομήσιμων οργανικών υλικών και αιωρούμενων στερεών που δεν απομακρύνθηκαν ικανοποιητικά κατά τη συμβατική δευτεροβάθμια επεξεργασία.

❖ ΤΡΙΤΟΒΑΘΜΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

Απομακρύνει τα εναπομείναντα αιωρούμενα στερεά συνήθως με τη χρήση μέσου διήθησης ή μικροσχάρας. Η απολύμανση και η απομάκρυνση των θρεπτικών ουσιών μπορούν επίσης να θεωρηθούν ως στάδια τριτοβάθμιας επεξεργασίας.

❖ ΠΡΟΧΩΡΗΜΕΝΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

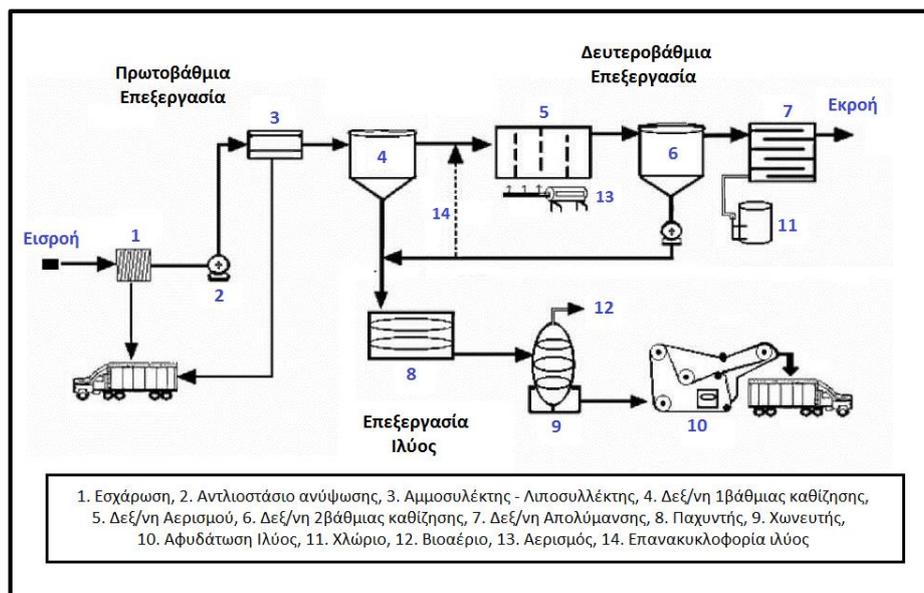
Εφαρμόζεται όταν είναι επιθυμητή η επαναχρησιμοποίηση του επεξεργασμένου νερού και στοχεύει στην απομάκρυνση των διαλυμένων και αιωρούμενων υλικών που παραμένουν στα υγρά απόβλητα μετά τη συνήθη βιολογική επεξεργασία.

Βέβαια, η ολοκληρωμένη διαχείριση των υγρών αποβλήτων μιας βιομηχανίας, δεν περιορίζεται μονάχα στα στάδια που έχουν αναφερθεί μέχρι τώρα και αφορούν τα υγρά απόβλητα. Εξίσου σημαντική και απαραίτητη είναι η διαχείριση της παραγόμενης λύσος καθώς και η διάθεση των επεξεργασμένων πλέον αποβλήτων.

4.2 Ανάλυση κυριότερων σταδίων επεξεργασίας βιομηχανικών λυμάτων

Στο σημείο αυτό κρίνεται απαραίτητη η διάκριση μεταξύ των διαφορετικών εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων. Η μια περίπτωση αφορά την επεξεργασία των αστικών λυμάτων, αυτών δηλαδή που προέρχονται κυρίως από τις κατοικίες, ενώ η άλλη αφορά τα βιομηχανικά λύματα που προέρχονται από βιομηχανικές δραστηριότητες. Ο σχεδιασμός των δύο διαφορετικών εγκαταστάσεων επεξεργασίας δεν είναι απαραίτητα ίδιος, καθώς τα βιομηχανικά απόβλητα ενδέχεται να παρουσιάζουν εντελώς διαφορετικά χαρακτηριστικά από τα αστικά. Οι διεργασίες που υπάρχουν σε μια εγκατάσταση επεξεργασίας αστικών λυμάτων, μπορεί να εμφανίζονται και σε εγκαταστάσεις που προορίζονται για την επεξεργασία των βιομηχανικών, ή μπορεί να μην χρησιμοποιούνται καθόλου. Από την άλλη, διεργασίες που δεν συναντά κάποιος στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας αστικών λυμάτων, μπορεί να τις συναντήσει στις αντίστοιχες των βιομηχανικών. Όλα επομένως βρίσκονται σε άμεση εξάρτηση από το τύπο του αποβλήτου και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά που παρουσιάζει κάθε φορά, γι' αυτό και ο σχεδιασμός κάθε εγκατάστασης χρήζει ιδιαίτερης προσοχής.

Στο Σχήμα 11 γραφικά η τυπική αντιμετώπιση των αστικών λυμάτων που καταλήγουν σε μια εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων, γνωστή και ως STP (Sewage Treatment Plant). Λόγω της ομοιομορφίας των χαρακτηριστικών που παρουσιάζουν τα αστικά λύματα από τόπο σε τόπο, οι εγκαταστάσεις αυτού του είδους εμφανίζουν μια περισσότερο αναγνωρίσιμη διάταξη των επιμέρους μονάδων τους και της γενικότερης διαμόρφωσής τους, σε σύγκριση με τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας βιομηχανικών αποβλήτων, οι οποίες αναφέρονται συχνά με την ονομασία IWTP (Industrial Wastewater Treatment Plants).



Σχήμα 11: Διάγραμμα τυπικής εγκατάστασης επεξεργασίας αστικών λυμάτων με την μέθοδο EI (Ντακαράς, 2006)

Η ανάλυση που θα ακολουθήσει αναφέρεται στα σημαντικότερα στάδια επεξεργασίας **βιομηχανικών αποβλήτων**. Τα στάδια αυτά περιλαμβάνουν την *προεπεξεργασία*, τη *δευτεροβάθμια επεξεργασία* και την *διαχείριση της παραγόμενης υλός*.

Απαρχή της επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων αποτελεί η συλλογή και μεταφορά τους στο κυρίως μέρος της εγκατάστασης επεξεργασίας. Τα λύματα συγκεντρώνονται αρχικά σε ένα φρεάτιο όπου καταλήγουν όλες οι αντλίες εισόδου. Στις βιομηχανίες, πολλές φορές οι υπόγειες αντλίες αντικαθίστανται από επιφανειακά κανάλια, στα οποία πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή για την αποφυγή της υπέρβασης της υδραυλικής δυναμικότητάς τους, στις περιπτώσεις προσθήκης όμβριων υδάτων σε αυτά. Τα επιφανειακά κανάλια προσφέρουν δυνατότητες προσθήκης εξοπλισμού προεπεξεργασίας σε αυτά, όπως είναι οι παγίδες ελαίων και λιπών. Τέτοιου είδους εξοπλισμός μερικές φορές κρίνεται ιδιαίτερα σημαντικός, καθώς βελτιώνεται η απόδοση των υπόλοιπων μηχανολογικών εξαρτημάτων (μειώνεται η πιθανότητα φραξίματος των αντλιών και βαλβίδων) και των επιμέρους μονάδων της εγκατάστασης. Το κυρίως μέρος της προεπεξεργασίας αφορά την εξισορρόπηση της ροής, την απομάκρυνση σωματιδίων, ελαίων και λιπών, την αφαίρεση τυχόν ανασταλτικών παραγόντων και τη συμπλήρωση των θρεπτικών ουσιών όπου κρίνεται απαραίτητο (Wun Jern, 2006).

4.2.1 Προεπεξεργασία

- Εξισορρόπηση ροής

Η εξισορρόπηση ροής είναι γνωστή κυρίως για τη διόρθωση της ποσότητας ροής ή/και της συγκέντρωσης του εισερχόμενου ρεύματος αποβλήτων ώστε να αποκτήσουν τιμές που να πλησιάζουν τις προδιαγραφές σχεδιασμού των εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων. Ωστόσο, οι δεξαμενές εξισορρόπησης ροής βρίσκουν και άλλες σημαντικές εφαρμογές. Τέτοιου είδους δεξαμενές χρησιμεύουν και ως δεξαμενές αποθήκευσης, λειτουργία ιδιαίτερα χρήσιμη για τις βιομηχανίες που δεν λειτουργούν κατά τη διάρκεια όλης της ημέρας. Σε αυτή την περίπτωση, οι δεξαμενές εξισορρόπησης αποθηκεύουν τα απόβλητα και εφοδιάζουν τις επιμέρους μονάδες της ΕΕΛ ακόμη και όταν η βιομηχανία σταματάει τη λειτουργία της και δεν παράγει νέες ποσότητες αποβλήτων.

Η ανάδευση μέσα στη δεξαμενή εξισορρόπησης κρίνεται αναγκαία όταν οι διαφορετικές συγκεντρώσεις των λυμάτων αποτελούν πρόβλημα ή όταν τα λύματα περιέχουν καθιζάνοντα σωματίδια, ενώ επιτυγχάνεται είτε με μηχανικούς αναδευτήρες είτε με αερισμό. Τέλος, η εξισορρόπηση ροής συνεισφέρει και στη διόρθωση των διαφορετικών επιπέδων θερμοκρασίας των

ρευμάτων. Από τις βιομηχανίες απορρέουν απόβλητα διαφορετικών θερμοκρασιών, αφού αυτά προέρχονται από διαφορετικές γραμμές παραγωγής. Εισερχόμενα στη δεξαμενή εξισορρόπησης, τα απόβλητα κάθε είδους αναμειγνύονται σχηματίζοντας ένα ενιαίο ρεύμα αποβλήτων με σταθερότερα θερμικά χαρακτηριστικά.

- **Απομάκρυνση σωματιδίων, ελαίων & λιπών**

Αποτελεί διεργασία που συνεισφέρει στην μείωση του οργανικού φορτίου και την απομάκρυνση των λεπτών σωματιδίων των αποβλήτων. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της *επίπλευσης με διαλυμένο αέρα* (γνωστή και ως DAF, dissolved-air flotation), συχνά σε συνδυασμό με τη χρήση χημικών προσθέτων όπως είναι τα άλατα του αργιλίου και του σιδήρου. Η χρήση των τελευταίων είναι ευρέως διαδεδομένη λόγω της υψηλής διαθεσιμότητας και του χαμηλού τους κόστους. Οι χημικοί αυτοί παράγοντες χρησιμοποιούνται για να δεσμεύσουν τα σωματίδια μεταξύ τους και να δημιουργήσουν με αυτό το τρόπο δομές που μπορούν να παγιδεύσουν εύκολα φυσαλίδες αέρα. Οι ενώσεις που δημιουργούνται συγκεντρώνονται στη διεπιφάνεια και απομακρύνονται. Άλλες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την απομάκρυνση των σωματιδίων (ιδιαίτερα όσον αφορά τις πιο πυκνές και μεγάλες δομές τους) και των ελαίων/λιπών, είναι η *πρωτοβάθμια καθίζηση* και το *κοσκίνισμα*. Όπως συμβαίνει και με την επίπλευση, πριν τη διεργασία της πρωτοβάθμιας καθίζησης προηγείται η προσθήκη των κατάλληλων κροκιδωτικών και αντιδραστηρίων συσσωμάτωσης, όπως είναι διάφορα φυσικά και συνθετικά οργανικά πολυμερή, μεταλλικά άλατα (θειικό αργίλιο, τριθειικός σίδηρος) και προϋδρολυμένα άλατα μετάλλων (χλωριούχο πολυαργίλιο – PACl, χλωριούχος πολυσίδηρος – PCl). Με τον τρόπο αυτό, παράγονται μεγαλύτερα σωματίδια τα οποία καθιζάνουν και απομακρύνονται εύκολα κατά την πρωτοβάθμια καθίζηση. Στα βαφεία, η διαδικασία της κροκίδωσης συντελεί στην απομάκρυνση των βαφών που έχουν διαλυθεί στα απόβλητα της βιομηχανίας και χρησιμοποιείται συχνά για το σκοπό αυτό. Μάλιστα, τα άλατα του σιδήρου και όχι του αργιλίου είναι αυτά που αποδίδουν καλύτερα στην αφαίρεση των χρωστικών ουσιών. Τόσο στην απομάκρυνση των σωματιδίων, ελαίων και λιπών, όσο και σε αυτή των χρωμάτων, παράγονται μεγάλες ποσότητες λάσπης κι έτσι αυξάνεται το κόστος επεξεργασίας για τη βιομηχανία. Βέβαια, το στάδιο της κροκίδωσης και συσσωμάτωσης δεν είναι απαραίτητο για όλα τα απόβλητα, πριν αυτά καταλήξουν στη δεξαμενή καθίζησης.

Σε ορισμένες περιπτώσεις λυμάτων που παρουσιάζουν πολύ υψηλή περιεκτικότητα σε αιωρούμενα και διαλυμένα στερεά, η δεξαμενή καθίζησης μπορεί να αντικατασταθεί από κόσκινα, τα οποία όμως παρουσιάζουν χαμηλότερη απόδοση. Η αντικατάσταση μερικές φορές κρίνεται απαραίτητη όταν ο χρόνος παραμονής στη δεξαμενή καθίζησης είναι μεγάλος και μπορεί να οδηγήσει στη

δημιουργία σηπτικών συνθηκών με δυσμενείς επιπτώσεις (αυξημένη ποσότητα λάσπης, δυσάρεστη οσμή κτλ.).

- **Ρύθμιση pH**

Σε αντίθεση με τα οικιακά λύματα των οποίων το pH κυμαίνεται σε συγκεκριμένο εύρος τιμών (6.0-7.5), τα βιομηχανικά λύματα χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερο εύρος διακυμάνσεων στις τιμές του pH. Μια βιομηχανία ενδέχεται να παράγει πλήθος ρευμάτων αποβλήτων, από τα οποία άλλα να είναι πολύ όξινα και άλλα αλκαλικά. Αρχικά, προκειμένου να επιτευχθεί όσο το δυνατόν χαμηλότερη κατανάλωση σε χημικές ουσίες, συνίσταται να εφαρμόζεται πάντοτε επαρκής εξισορρόπηση των ρευμάτων των αποβλήτων, ώστε να επιτυγχάνεται η εξισορρόπηση του pH πρώτα από την αλληλεπίδραση των ίδιων των ρευμάτων. Το στάδιο αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό όταν η βιομηχανία παράγει όξινα και αλκαλικά ρεύματα με διαφορετικό ρυθμό και όχι ταυτόχρονα. Η αυτόματη ρύθμιση του pH μπορεί να αποδειχθεί δύσκολο εγχείρημα αφενός λόγω του γεγονότος ότι μια μικρή ποσότητα αντιδρώντος θα πρέπει να αναμειχθεί ομοιόμορφα σε έναν πολύ μεγάλο όγκο λυμάτων κι αφετέρου λόγω της πιθανότητας τα χαρακτηριστικά των αποβλήτων να μεταβάλλονται διαρκώς, όπως για παράδειγμα ο ρυθμός ροής τους.

Για τη ρύθμιση του pH *όξινων βιομηχανικών λυμάτων* προτιμάται η χρήση του υδροξειδίου του νατρίου υπό μορφή διαλύματος, ιδιαίτερα όταν πρόκειται για μικρής έκτασης εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων. Στην αντίθετη περίπτωση το pH ρυθμίζεται με τη βοήθεια της ασβέστου, το κόστος της οποίας είναι χαμηλότερο, η δράση της ωστόσο είναι πιο αργή σε σχέση με το υδροξείδιο του νατρίου. Το περιεχόμενο της δεξαμενής αναδεύεται είτε με μηχανικά μέσα είτε μέσω αερισμού.

Όταν είναι επιθυμητή η εξισορρόπηση του pH *αλκαλικών βιομηχανικών λυμάτων*, ως αντιδραστήριο προτιμάται το θειικό οξύ, λόγω του χαμηλού του κόστους. Εάν οι μετέπειτα διεργασίες περιλαμβάνουν αναερόβια δράση και απαιτούν τη χρήση μεγάλης ποσότητας οξέος, το θειικό οξύ μπορεί να αντικατασταθεί από υδροχλωρικό οξύ. Αυτό συμβαίνει επειδή στις αναερόβιες διεργασίες τα θειικά ιόντα μπορεί να μειωθούν και να συντελέσουν στη δημιουργία του δύσοσμου και διαβρωτικού υδρόθειου, που θα μεταφερθεί μέσω των αέριων εκπομπών του αναερόβιου αντιδραστήρα.

Η ρύθμιση του pH είναι ιδιαίτερα σημαντική όταν η εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων συνοδεύεται από βιολογική δραστηριότητα, διότι περιλαμβάνονται διεργασίες ιδιαίτερα ευαίσθητες στις μεταβολές του pH, η απόδοση των οποίων περιορίζεται στο εύρος τιμών 6.5-7.5. Τιμές του pH εκτός του συγκεκριμένου εύρους δεν συνεπάγονται απαραίτητα τοξική δράση, ωστόσο η βιολογική δραστηριότητα μπορεί να ανασταλεί ή συγκεκριμένα είδη μικροοργανισμών να ευνοηθούν έναντι

κάποιων ειδών που είναι επιθυμητά. Το αποτέλεσμα ενός τέτοιου φαινομένου είναι μια ενδεχόμενη διόγκωση της ιλύος.

- **Απομάκρυνση ανασταλτικών παραγόντων**

Μεγάλο μέρος των εγκαταστάσεων επεξεργασίας βιομηχανικών λυμάτων περιλαμβάνει στις διεργασίες του βιολογικές δράσεις, γι' αυτό και η απομάκρυνση τυχόν ανασταλτικών παραγόντων που μπορούν να επηρεάσουν την απόδοση της εγκατάστασης και την ποιότητα των επεξεργασμένων λυμάτων κρίνεται ιδιαίτερα σημαντική. Τέτοιοι παράγοντες μπορεί να περιλαμβάνουν οργανικά, μέταλλα ή ουσίες όπως τα έλαια και λίπη, η αμμωνία ή το φθόριο. Προκειμένου να δράσει αποτελεσματικά η βιολογική διεργασία, το μεγαλύτερο μέρος των οργανικών θα πρέπει να είναι βιοαποικοδομήσιμο. Εάν τα λύματα εμφανίζουν ανασταλτική δράση, τότε οι ουσίες που είναι υπεύθυνες για το φαινόμενο αυτό είναι κάποιοι εξωγενείς παράγοντες που περιέχονται στα λύματα και όχι τα ίδια τα οργανικά στο σύνολό τους. Αυτοί οι ανασταλτικοί παράγοντες πρέπει να απομακρυνθούν από το υγρό ρεύμα των αποβλήτων πριν αυτό καταλήξει στο στάδιο της βιολογικής διεργασίας. Συνήθως εφαρμόζεται ένας συνδυασμός εξισορρόπησης του pH, κροκίδωσης και κατακρήμνισης προκειμένου να αφαιρεθεί το κλάσμα αυτό των ανεπιθύμητων ουσιών, κάτι που ισχύει και για την περίπτωση των μετάλλων.

Όπως είναι αναμενόμενο, η κατακρήμνιση των ανεπιθύμητων ουσιών συνεπάγεται τη δημιουργία ιλύος η οποία μπορεί να χαρακτηριστεί ως μια δυνητικά τοξική ιλύς μετάλλων. Η διάθεση αυτού του είδους λάσπης, μετά την αφυδάτωση, θα πρέπει να γίνει σε ελεγχόμενους χώρους ή να επεξεργασθεί καταλλήλως, γεγονός που επιβαρύνει το κόστος λειτουργίας της εγκατάστασης.

- **Συμπλήρωση θρεπτικών ουσιών**

Σε αντίθεση με τα οικιακά λύματα τα οποία εμφανίζουν συχνά έλλειψη θρεπτικών ουσιών, στα βιομηχανικά λύματα συχνά (όχι πάντοτε ωστόσο) κρίνεται απαραίτητη η προσθήκη τέτοιων ουσιών προκειμένου να δράσει αποτελεσματικά η βιολογική τους επεξεργασία. Αυτό συμβαίνει διότι τα βιομηχανικά λύματα χαρακτηρίζονται συχνά από πολύ υψηλά οργανικά φορτία σε σχέση με το περιεχόμενό τους σε άζωτο ή φώσφορο (BOD:N:P). Οι συνηθισμένες χημικές ύλες που προστίθενται για την συμπλήρωση των θρεπτικών είναι η ουρία και το φωσφορικό οξύ, ουσίες οι οποίες προστίθενται τυπικά μετά τις διεργασίες της προεπεξεργασίας που έχουν αναφερθεί μέχρι στιγμής. Τα θρεπτικά μπορεί να προστεθούν είτε στο ρεύμα των επεξεργασμένων αποβλήτων πριν αυτά εισαχθούν στη βιολογική διεργασία, είτε απευθείας στο βιοαντιδραστήρα.

Στις μικρές εγκαταστάσεις, το φωσφορικό οξύ αντικαθίστανται από το δισόξινο φωσφορικό αμμώνιο, το οποίο χρησιμοποιείται συνήθως όταν απαιτείται μικρή μονάχα προσθήκη αντιδραστηρίου, λόγω του σχετικά υψηλού του κόστους. Επίσης, μια μέθοδος συμπλήρωσης θρεπτικών χαμηλού κόστους είναι η ανάμειξη των βιομηχανικών λυμάτων με τα αστικά όταν αυτό είναι εφικτό, ώστε να εξισορροπηθούν όσο γίνεται τα χαρακτηριστικά του τελικού λύματος, υπό όρους BOD:N:P.

Στην περίπτωση που η βιομηχανία σχετίζεται με δραστηριότητες που δεν περιλαμβάνουν φυσικές ύλες (π.χ. αγροτική βιομηχανία), ενδέχεται να απαιτείται η προσθήκη μικρο-θρεπτικών, όταν η δράση μονάχα του αζώτου και του φωσφόρου, κρίνεται ανεπαρκής. Αυτά τα μικρο-θρεπτικά περιλαμβάνουν στοιχεία Mg, K, Ca, Fe, Mn, Cu, και Co. Τέλος, εκτός των μακρο- και μικρο-θρεπτικών, διατίθενται και βιο-καταλυτικά πρόσθετα που προστίθενται για τη βελτίωση της διεργασίας και της ποιότητας του επεξεργασμένου ρεύματος αποβλήτων. Τέτοια πρόσθετα περιλαμβάνουν μίγματα ενζύμων, ανθεκτικά βακτήρια και πιθανόν άλλα παραπροϊόντα της βακτηριακής ζύμωσης ενώ η χρήση τους συνίσταται όποτε είναι επιθυμητή μια γρήγορη «διόρθωση» της διεργασίας, όσο εξετάζεται μια πιο μόνιμη λύση.

4.2.2 Δευτεροβάθμια επεξεργασία

Η προκατεργασία που αναφέρθηκε παραπάνω στοχεύει κυρίως στα αιωρούμενα ή καθιζάνοντα στερεά, ενώ κολλοειδείς και διαλυτές ουσίες οι οποίες κατά βάση είναι οργανικές και βιοδιασπώμενες, μπορεί να παραμείνουν στα απόβλητα μετά από αυτήν. Για το λόγο αυτό τα απόβλητα οδηγούνται στην δευτεροβάθμια επεξεργασία η οποία ακολουθεί την προκατεργασία και προσδίδει στο επεξεργασμένο κλάσμα αποβλήτων τα επιθυμητά χαρακτηριστικά που θα του επιτρέψουν την ασφαλή διαχείρισή τους. Συνήθως, η δευτεροβάθμια επεξεργασία είναι μια *βιολογική διεργασία* η οποία στηρίζει τη δράση της σε μικροοργανισμούς. Τέτοιου είδους διεργασίες δεν είναι απαραίτητα αερόβιες και δεν προσφέρουν πάντοτε σταθεροποίηση των αποβλήτων σε ένα μόνο στάδιο, όπως συμβαίνει για παράδειγμα στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας οικιακών λυμάτων (Wun Jern, 2006).

Ο βασικός στόχος της βιολογικής επεξεργασίας –όσον αφορά τα βιομηχανικά απόβλητα– είναι η απομάκρυνση ή ελάττωση της συγκέντρωσης οργανικών και ανόργανων ενώσεων. Οι κύριες διεργασίες που χρησιμοποιούνται για τη βιολογική επεξεργασία υγρών αποβλήτων μπορούν να καταταχθούν ανάλογα με την μεταβολική τους λειτουργία σε *αερόβιες, αναερόβιες, ανοξικές, προαιρετικά αερόβιες και συνδυασμένες* διεργασίες, ενώ μια ακόμη κατηγοριοποίηση των διεργασιών τις κατατάσσει σε διεργασίες *αιωρούμενης βιομάζας, προσκολλημένης βιομάζας* ή

συνδυασμούς αυτών. Επίσης, οι λειτουργίες που λαμβάνουν χώρα μέσω της βιολογικής επεξεργασίας σχετίζονται με τη βιολογική απομάκρυνση των θρεπτικών και του φωσφόρου, την απομάκρυνση του BOD, την νιτροποίηση και απονιτροποίηση καθώς και τη σταθεροποίηση της οργανικής ύλης (Tchobanoglous et al., 2003).

Η αερόβια επεξεργασία βασίζεται στην ανάμιξη και τον αερισμό των υγρών αποβλήτων σε βιοαντιδραστήρες που λειτουργούν υπό ευνοϊκές συνθήκες για την επικράτηση κατάλληλων αερόβιων μικροοργανισμών, μέσω των οποίων οι διαλυτές και κolloειδείς ανεπιθύμητες ουσίες μετατρέπονται σε προϊόντα που διαχωρίζονται εύκολα από την υγρή φάση. Οι μικροοργανισμοί (απλοί ή σύνθετοι) αναπτύσσονται σε συνεργατική ή ανταγωνιστική συμβιωτική σχέση συνθέτοντας ένα οικοσύστημα μοναδικό για κάθε περίπτωση αποβλήτου το οποίο βρίσκεται σε άμεση εξάρτηση από τη σύσταση αυτού, τις τοπικές συνθήκες περιβάλλοντος, το σχεδιασμό και τον τρόπο λειτουργίας των εγκαταστάσεων. Η αναερόβια επεξεργασία πραγματοποιείται σε κλειστές ή ανοιχτές δεξαμενές υπό ελεγχόμενες συνθήκες θερμοκρασίας και ανάμιξης με σκοπό την αποδόμηση των οργανικών απουσία οξυγόνου. Η αποδόμηση πραγματοποιείται από μικροοργανισμούς οι οποίοι αναπτύσσονται απουσία οξυγόνου χρησιμοποιώντας τις οργανικές ενώσεις ως πηγή ενέργειας, μέσω μιας διεργασίας που χαρακτηρίζεται ως «ζύμωση» και παράγει ποικιλία μεταβολικών προϊόντων όπως αλκοόλες, λιπαρά οξέα, μεθάνιο και υδρογόνο. Η αναερόβια επεξεργασία εφαρμόζεται συνήθως στην επεξεργασία βιομηχανικών λυμάτων με πολύ έντονο οργανικό φορτίο επιτυγχάνοντας αρκετά υψηλή βιοαποικοδόμηση (έως και 90%), αλλά και στην επεξεργασία της βιομάζας που παράγεται κατά τις αερόβιες διεργασίες (Γεωργιοπούλου, 2007).

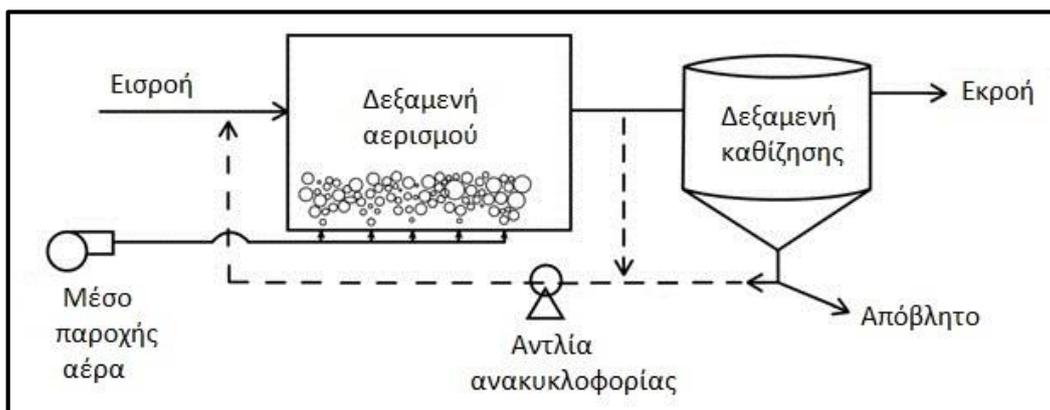
Στα συστήματα επεξεργασίας προσκολλημένης βιομάζας μια στοιβάδα μικροοργανισμών βρίσκεται προσκολλημένη σε μια στερεή επιφάνεια. Όταν τα υγρά απόβλητα ρέουν προς τη στοιβάδα αυτή των μικροοργανισμών, οι οργανικές ουσίες και τα θρεπτικά διαχέονται μέσα της παρέχοντας έτσι τροφή για μικροβιακή ανάπτυξη. Στην περίπτωση των αερόβιων διεργασιών στην μάζα των μικροοργανισμών διαχέεται και οξυγόνο. Όσο η στοιβάδα μεγαλώνει λόγω της ανάπτυξης των μικροοργανισμών, αποκτά μια συμπαγή μορφή που δεν επιτρέπει τη περαιτέρω διάχυση του οξυγόνου μέσα από αυτήν κι έτσι αυτό καταναλώνεται από τους μικροοργανισμούς. Με τον τρόπο αυτό αναπτύσσεται μια αναερόβια ζώνη, παρόλο που η διεργασία στο σύνολό της χαρακτηρίζεται ως αερόβια. Η ανοξική και αναερόβια δραστηριότητα χρησιμεύει κυρίως στο να καταναλώνει μικροοργανισμούς που αναπτύσσονται αερόβια αλλά και οργανικές ουσίες που διαχέονται από το ρεύμα αποβλήτων. Σαν αποτέλεσμα, μειώνεται η ποσότητα ιλύος που πρέπει να επεξεργαστεί και να απομακρυνθεί. Ωστόσο, επειδή σχεδόν πάντοτε παράγεται μια ποσότητα βιομάζας που χρήζει απομάκρυνσης, τα συστήματα προσκολλημένης βιομάζας συνοδεύονται συνήθως από δεξαμενές

καθίζησης. Τα πιο γνωστά από αυτά είναι τα συστήματα *ρευστοποιημένης κλίνης*, τα *βιολογικά φίλτρα* και οι *περιστρεφόμενοι βιολογικοί δίσκοι* (Woodard & Curran Inc., 2006).

Στις διεργασίες αιωρούμενης βιομάζας, οι μικροοργανισμοί που είναι υπεύθυνοι για την επεξεργασία των αποβλήτων διατηρούνται σε υγρό εναιώρημα με κατάλληλες μεθόδους ανάμιξης. Και σε αυτή την περίπτωση, άλλες διεργασίες αιωρούμενης βιομάζας λειτουργούν με μια θετική συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου (αερόβιες), ενώ άλλες λειτουργούν απουσία οξυγόνου. Η πιο κοινή από αυτές, όχι μόνο για τα αστικά αλλά και τα βιομηχανικά απόβλητα, είναι η διαδικασία *ενεργού ιλύος* (Tchobanoglous et al., 2003).

Περιγραφή τυπικού συστήματος ενεργού ιλύος

Ένα σύστημα επεξεργασίας ενεργού ιλύος απαρτίζεται τουλάχιστον από τα τέσσερα κάτωθι μέρη: δεξαμενή αερισμού, δεξαμενή καθίζησης, αντλία επανακυκλοφορίας ιλύος και ένα μέσο διάχυσης αέρα στη δεξαμενή αερισμού.



Σχήμα 12: Βασικά μέρη συστήματος ενεργού ιλύος (Woodard & Curran Inc., 2006)

Τα λύματα (είτε έχοντας υποστεί προεπεξεργασία, είτε όχι) εισάγονται στη δεξαμενή αερισμού και αναμειγνύονται με ένα αιώρημα μικροβίων υπό την παρουσία οξυγόνου. Οι μικροοργανισμοί, «μεταβολίζουν» τους οργανικούς ρυπαντές μετατρέποντάς τους σε διοξείδιο του άνθρακα, νερό, νέους μικροοργανισμούς και μερικές οργανικές ουσίες μικρού μοριακού βάρους. Έχοντας παραμείνει στη δεξαμενή αερισμού για χρονικό διάστημα ίσο με τον υδραυλικό χρόνο παραμονής, το υγρό ρεύμα αποβλήτων εισάγεται στη δεξαμενή καθίζησης, όπου τα στερεά που απαρτίζονται από κροκιδωμένα σωματίδια καθιζάνουν στον πυθμένα της και διαχωρίζονται από το κυρίως ρεύμα των αποβλήτων. Το διαυγασμένο κλάσμα εκροής εξέρχεται από το σύστημα ενώ τα στερεά, είτε

οδηγούνται πίσω στη δεξαμενή αερισμού μέσω της αντλίας ανακυκλοφορίας, είτε αποβάλλονται ως απόβλητα.

Τα στερεά που επιστρέφουν στη δεξαμενή αερισμού απαρτίζονται από μικροοργανισμούς οι οποίοι έχουν διαχωρισθεί από το ανεπεξέργαστο ρεύμα αποβλήτων για μακρά περίοδο και βρίσκονται σε κατάσταση «πείνας». Η ανακυκλοφορία των μικροοργανισμών –οι οποίοι χαρακτηρίζονται ως «ενεργοί» ή αλλιώς MLVSS (mixed liquor volatile suspended solids)– επιτρέπει την αποκατάσταση της συγκέντρωσής τους στη δεξαμενή αερισμού σε υψηλά επίπεδα και η συνολική διεργασία που λαμβάνει χώρα αναφέρεται ως διεργασία ενεργού ιλύος. Τα στερεά που απομακρύνονται ως απόβλητα –γνωστά ως MLSS (mixed liquor suspended solids)– αποτελούν ένα μέσο ελέγχου της «ηλικίας ιλύος», δηλαδή του χρόνου παραμονής των στερεών στο σύστημα.

Η ηλικία ιλύος αποτελεί μια σημαντική παράμετρο για τη σωστή λειτουργία μιας μονάδας ενεργού ιλύος καθώς όσο πιο μικρός είναι ο χρόνος παραμονής των στερεών, τόσο πιο δραστήριος είναι ο πληθυσμός των μικροοργανισμών και τόσο πιο δύσκολα θα καθιζάνει στη δεξαμενή δευτεροβάθμιας καθίζησης. Γενικά, σε όρους ποιότητας επεξεργασμένου αποβλήτου, η εκροή ενός συστήματος με μικρή ηλικία ιλύος θα παρουσιάζει υψηλή συγκέντρωση σε αιωρούμενα στερεά, συστήματα με ηλικία ιλύος περίπου δέκα ημερών θα παρουσιάζουν μικρότερη συγκέντρωση και αντίστοιχα συστήματα με πολύ μεγάλες ηλικίες ιλύος θα εμφανίσουν σπάνια υψηλό ποσοστό σε αιωρούμενα στερεά (Woodard & Curran Inc., 2006).

Το βασικό σύστημα ενεργού ιλύος με τις επιμέρους διεργασίες που περιεγράφηκαν είναι εξαιρετικά ευέλικτο και ικανό να διαμορφωθεί σε διάφορες παραλλαγές. Οι πιο γνωστές από αυτές είναι η διεργασία σωληνοειδούς ροής, πλήρους ανάμιξης, αερισμού κατά βαθμίδες, διαδοχικού αερισμού κατά τμήματα, επαφής-σταθεροποίησης, παρατεταμένου αερισμού καθώς και οι αντιδραστήρες διαλείποντος έργου εναλλασσόμενων κύκλων λειτουργίας (συστήματα SBR).

Πίνακας 11: Παραλλαγές συστήματος EI και κυριότερα χαρακτηριστικά

(Woodard & Curran Inc., 2006; Κωτσοβίνος & Γκράτζιου, n.d.)

ΠΑΡΑΛΛΑΓΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ Ε.Ι.	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ
Σωληνοειδούς ροής	<ul style="list-style-type: none"> - Μακρόστενες δεξαμενές αερισμού - Υψηλή συγκέντρωση οργανικών στην αρχή, χαμηλή στο τέλος της δεξαμενής (F/M: 0.3-0.6) - Μεγάλοι χρόνοι παραμονής (4-6 hrs), δαπανηρή διεργασία

	- Μεγάλη φόρτιση στερεών στη δεξαμενή 2βάθμιας καθίζησης
Πλήρους ανάμιξης	- Τετράγωνες ή κυκλικές δεξαμενές αερισμού - Συγκέντρωση των ουσιών στη δεξαμενή ίση με τη συγκέντρωση της εκροής - Λιγότερο ευαίσθητο σε τοξικές επιπτώσεις και αυξομειώσεις οργανικού φορτίου
Αερισμός κατά βαθμίδες	- Εισροή λυμάτων σε διάφορα σημεία - Ικανό να δεχτεί αυξημένες φορτίσεις - Καλύτερη η απόδοση αερισμού, πιο οικονομική διεργασία
Διαδοχικός αερισμός κατά τμήματα	- Παροχή οξυγόνου ανάλογα με τις απαιτήσεις κατά μήκος της δεξαμενής αερισμού - Κατάλληλο για απομάκρυνση αμμωνίας και φωσφόρου μαζί με το οργανικό φορτίο
Επαφή – Σταθεροποίηση	- Πραγματοποιείται σε 2 στάδια - 2 δεξαμενές - Κατά τη φάση επαφής, οι μικροοργανισμοί προσροφούν το οργανικό φορτίο, HRT: 30 min (δεξαμενή επαφής) - Κατά τη φάση σταθεροποίησης, η εμπλουτισμένη με οργανικά υλός διαχωρίζεται με καθίζηση από τα λύματα και ένα μέρος της εισάγεται στη δεξαμενή σταθεροποίησης όπου και αερίζεται, προτού επιστρέψει εκ νέου στη δεξαμενή επαφής (HRT:3-8 hrs.) Το άλλο μέρος υλός διαχωρίζεται και οδηγείται για περαιτέρω επεξεργασία
Παρατεταμένου αερισμού	- Δεξαμενές αερισμού όπως αυτές της σωληνοειδούς μορφής ή πλήρους ανάμιξης - Χαμηλές οργανικές φορτίσεις (F/M: 0.05-0.1) - Μεγάλη ηλικία υλός (>20d) και υδραυλικός χρόνος παραμονής (>20 hrs.)
Αντιδραστήρες διαλείποντος έργου	- Δεξαμενή αερισμού όπως των συστημάτων πλήρους ανάμιξης - Αερισμός, εξισορρόπηση και καθίζηση σε μια δεξαμενή - Για εφαρμογές επεξεργασίας με χαμηλή ή διακεκομμένη ροή

Μια ακόμη αποτελεσματική παραλλαγή του συστήματος ενεργού υλός είναι αυτή του βιοαντιδραστήρα μεμβρανών (MBR), η οποία προσφέρει σημαντική μείωση του όγκου δεξαμενής και εξαλείφει την απαίτηση καθίζησης της υλός. Οι μεμβράνες τοποθετούνται είτε έξω, είτε μέσα

στη δεξαμενή αερισμού επιτελώντας κατά μια έννοια τόσο διεργασίες ενεργού ιλύος και διύλισης ταυτοχρόνως.

4.2.3 Διαχείριση παραγόμενης ιλύος

Η διαχείριση της παραγόμενης ιλύος περιλαμβάνει 4 επιμέρους στάδια: την *πάχυνση*, τη *χώνευση*, τον *κλιματισμό* και την *αφυδάτωση* ιλύος. Η απομάκρυνση της ιλύος κατά το στάδιο της δευτεροβάθμιας καθίζησης κρίνεται απαραίτητη προκειμένου να αποφευχθεί μια ενδεχόμενη συσσώρευση μικροοργανισμών. Η συσσώρευση βιομάζας είναι ανεπιθύμητη γιατί η περίσσεια μικροοργανισμών τείνει να καταναλώνει ποσότητες οξυγόνου μεγαλύτερες από αυτές που μπορεί να παρέχει η δεξαμενή αερισμού. Ένας ακόμη λόγος για τον οποίο επιβάλλεται η μερική απομάκρυνση ιλύος είναι η αποφυγή της συσσώρευσης μη βιοαποικοδομήσιμων ουσιών οι οποίες ενσωματώνονται με το επεξεργαζόμενο ρεύμα αποβλήτων και μπορεί να επηρεάσουν αρνητικά τη βιωσιμότητα της διεργασίας.

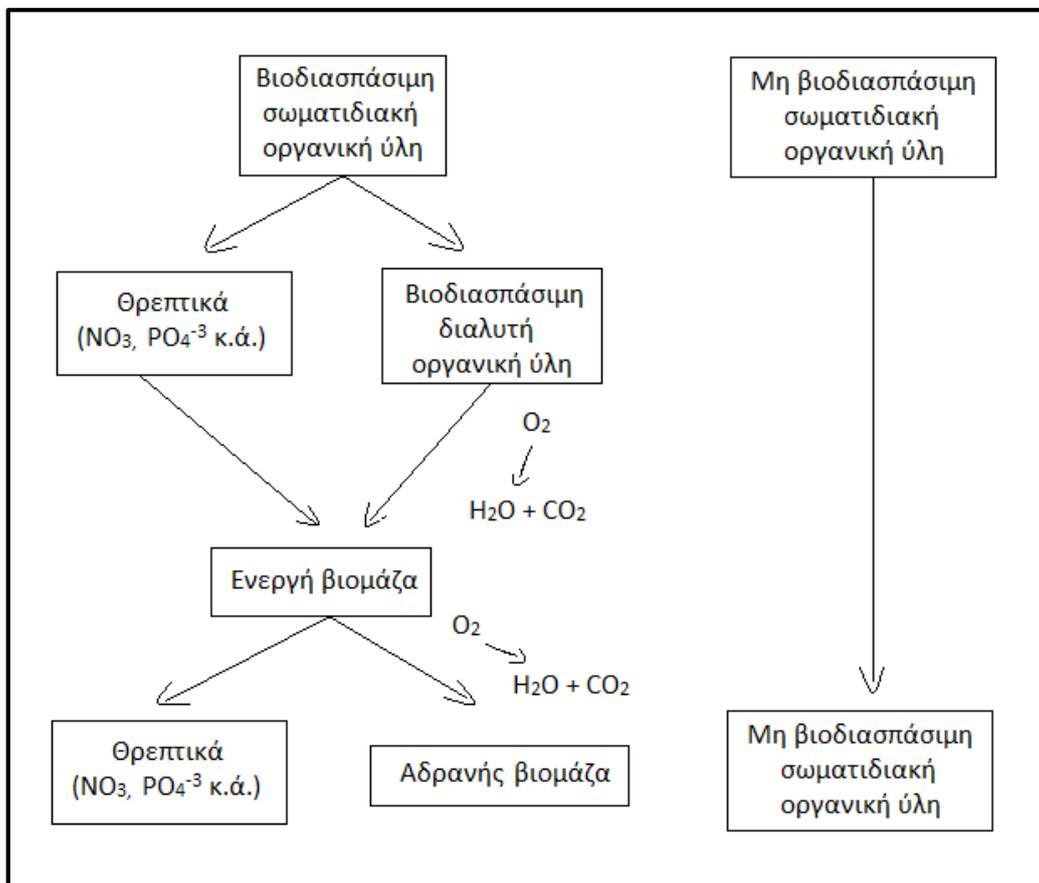
Πάχυνση ιλύος

Οι μεγάλες εγκαταστάσεις επεξεργασίας βιομηχανικών λυμάτων συνήθως περιλαμβάνουν εξοπλισμό που υποβοηθά τη διεργασία πάχυνσης ιλύος, όπως είναι οι παχυντές βαρύτητας, τα συστήματα επίπλευσης με διαλυμένο αέρα και οι φυγοκεντρητές, ενώ οι μικρότερες εγκαταστάσεις που παράγουν αισθητά μικρότερες ποσότητες ιλύος δεν περιλαμβάνουν απαραίτητα τέτοιον εξοπλισμό. Ωστόσο, μερική πάχυνση ιλύος επιτυγχάνεται ούτως ή άλλως μέχρι ένα βαθμό στις χοάνες δευτεροβάθμιας καθίζησης ή στις δεξαμενές ιλύος των αντιδραστήρων διαλείποντος έργου, κάτι που πολλές φορές κρίνεται επιθυμητό. Η απομάκρυνση της ιλύος σε αυτές τις περιπτώσεις δεν πρέπει να γίνεται σε πολύ υψηλό ρυθμό καθώς ενέχει ο κίνδυνος εσωτερικής κατάρρευσης ποσότητας ιλύος. Η παχυμένη ιλύς (της οποίας η συγκέντρωση κυμαίνεται μεταξύ 3000-12000 mg/L στην έξοδο της δεξαμενής καθίζησης) απομακρύνεται ώστε να ακολουθήσει τα επόμενα στάδια επεξεργασίας (Wun Jern, 2006).

Χώνευση ιλύος

Η χώνευση ιλύος στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας ιλύος επιτυγχάνεται κυρίως μέσω αερόβιων και όχι αναερόβιων διεργασιών, λόγω του χαμηλότερου κόστους κεφαλαίου αλλά και της απλότητας που χαρακτηρίζει τις πρώτες. Η αερόβια χώνευση στοχεύει στη σταθεροποίηση των σωματιδίων οργανικής φύσεως που προέρχονται από την προκατεργασία ή τη βιολογική επεξεργασία των λυμάτων. Τα στερεά οξειδώνονται μέσω του διαλυμένου οξυγόνου που παρέχεται και προκύπτει

ένα υπόλειμμα το οποίο περιέχει κυρίως αδρανή στερεά που αποικοδομούνται σχετικά αργά σε αερόβιο ή αναερόβιο περιβάλλον. Κατά την αερόβια χώνευση, λαμβάνουν χώρα κάποιες βιοχημικές μετατροπές μέσα στο χωνευτή. Η βιοδιασπάσιμη οργανική σωματιδιακή ύλη υδρολύεται και μετατρέπεται σε βιοδιασπάσιμη διαλυτή οργανική ύλη, απελευθερώνοντας αμμωνία και φωσφορικό άλας. Το βιοδιασπάσιμο διαλυτό οργανικό κλάσμα μετατρέπεται έπειτα σε διοξείδιο του άνθρακα, νερό και ενεργή βιομάζα μέσω της δράσης ετερότροφων βακτηρίων. Η ενεργή βιομάζα αποικοδομείται με τη σειρά της και μετατρέπεται σε επιπλέον διοξείδιο του άνθρακα, νερό και αδρανή στερεά. Η μη βιοδιασπώμενη οργανική σωματιδιακή ύλη που βρίσκεται στο ρεύμα των αποβλήτων δεν επηρεάζεται από τη διεργασία της χώνευσης και καταλήγει αυτούσια μαζί με τα παραγόμενα χωνεμένα στερεά.



Σχήμα 13: Στάδια αερόβιας χώνευσης (Grady et al., 1999)

Υπάρχουν τρεις βασικές παραλλαγές συστημάτων αερόβιας χώνευσης, η συμβατική αερόβια χώνευση, ο συνδυασμός αερόβιας και ανοξικής χώνευσης και η θερμόφιλη αερόβια χώνευση.

Συμβατική αερόβια χώνευση: Αποτελεί μια σχετικά απλή διεργασία. Τα στερεά προστίθενται σε μια αεριζόμενη δεξαμενή στην οποία παραμένουν για χρόνο ίσο με την ηλικία ιλύος τους. Η προσθήκη

των στερεών γίνεται είτε διακοπτόμενα, είτε συνεχώς. Στην πρώτη περίπτωση τα στερεά προστίθενται στη δεξαμενή και απομακρύνονται από αυτή περιοδικά, συνήθως μια φορά την μέρα. Η συνεχής προσθήκη και απομάκρυνση των στερεών εφαρμόζεται κυρίως από μεγαλύτερες εγκαταστάσεις μέσω μιας διεργασίας που ομοιάζει με τη διεργασία ενεργού ιλύος, με το χωνευτή να αντικαθιστά τη δεξαμενή αερισμού και τον παχυντή βαρύτητας τη δεξαμενή δευτεροβάθμιας καθίζησης. Η τροφοδοσία των στερεών αντικαθιστά τα χωνεμένα στερεά που απομακρύνονται από τον παχυντή βαρύτητας μέσω μιας συνεχούς διεργασίας. Τα υπερκείμενο κλάσμα από τον παχυντή βαρύτητας συλλέγεται ενώ μέρος των χωνεμένων στερεών επιστρέφει στο χωνευτή και το υπόλοιπο απομακρύνεται. Το σύστημα αερισμού του χωνευτή μπορεί είτε να βρίσκεται στον πυθμένα, είτε στην επιφάνεια της δεξαμενής.

Ανοξική/Αερόβια χώνευση: Χρησιμοποιείται όταν παρουσιάζονται προβλήματα καταστροφής της αλκαλικότητας του συστήματος λόγω της νιτροποίησης που λαμβάνει χώρα. Όπως έχει αναφερθεί, η αποδόμηση της οργανικής ύλης συνεπάγεται την απελευθέρωση οργανικού αζώτου υπό τη μορφή αμμωνίας. Λόγω των μεγάλων χρόνων παραμονής των στερεών στο χωνευτή αναπτύσσονται βακτήρια νιτροποίησης. Παράλληλα, λόγω της υψηλής συγκέντρωσης αμμωνίας στο χωνευτή (που οφείλεται στην πλούσια σε στερεά τροφοδοσία), λαμβάνει χώρα νιτροποίηση η οποία προσβάλλει την αλκαλικότητα του συστήματος, μειώνοντας το pH. Το φαινόμενο αυτό είναι συχνό κατά τη συμβατική αερόβια χώνευση και εάν δεν ελεγχθεί μέσω της προσθήκης βελτιωτικών του pH, οδηγεί σε μειωμένους ρυθμούς χώνευσης. Τα συστήματα συνδυασμένης αερόβιας και ανοξικής χώνευσης περιλαμβάνουν μια ανοξική ζώνη όπου αποκαθίσταται η αλκαλικότητα του συστήματος μέσω της απονιτροποίησης. Η ανοξική αυτή ζώνη είτε δημιουργείται μέσω της παροδικής διακοπής παροχής οξυγόνου στο συμβατικό χωνευτή αερόβιας χώνευσης (διαλείπουσα διεργασία), είτε αποτελεί ξεχωριστό τμήμα του χωνευτή που ακολουθείται από τη δεξαμενή αερισμού (συνεχής διεργασία).

Θερμόφιλη αερόβια χώνευση: Είναι γνωστό πως κατά την οξείδωση της οργανικής ύλης, παράγεται θερμότητα. Τα θερμόφιλα συστήματα χώνευσης εκμεταλλεύονται τη θερμότητα αυτή για να αυξήσουν τη θερμοκρασία του χωνευτή. Περαιτέρω αύξηση της θερμοκρασίας επιτυγχάνεται μέσω της πάχυνσης των στερεών σε συγκεντρώσεις που κυμαίνονται μεταξύ 40000-60000 mg/L (ώστε να ελαχιστοποιηθούν οι απαιτήσεις θέρμανσης του περιεχόμενου νερού), μέσω της μόνωσης του βιοαντιδραστήρα (ώστε να περιοριστούν οι απώλειες θερμότητας) και μέσω μιας συσκευής μεταφοράς οξυγόνου υψηλής απόδοσης. Με τον τρόπο αυτό, είναι δυνατό να επιτευχθούν υψηλές θερμοκρασίες (45-65°C) χωρίς εξωτερικές πηγές θερμότητας. Παρόμοιο φαινόμενο αύξησης της θερμοκρασίας μπορεί να εμφανιστεί σε συστήματα με συγκέντρωση στερεών της τάξης των 20000

mg/L τα οποία εμφανίζουν υψηλό κλάσμα βιοαποικοδομήσιμων ουσιών και στα οποία υπάρχει ικανοποιητική παροχή οξυγόνου (Grady et al., 1999).

Σήμερα, η πιο γνωστή διεργασία που εμφανίζει παρόμοια χαρακτηριστικά με την κλασική διεργασία της θερμόφιλης αερόβιας χώνευσης και χρησιμοποιείται από τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων είναι η κομποστοποίηση των βιομηχανικών αποβλήτων, η οποία έχει αναπτυχθεί αρκετά τα τελευταία χρόνια και εφαρμόζεται σε πολλούς βιομηχανικούς κλάδους. Αναλυτικότερη περιγραφή της κομποστοποίησης γίνεται στο υποκεφάλαιο 4.4.

Κλιματισμός ιλύος

Στις μικρές εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων η ιλύς συνήθως οδηγείται προς αφυδάτωση χωρίς να έχει κλιματιστεί, σε μεγαλύτερες εγκαταστάσεις όμως, το στάδιο του κλιματισμού κρίνεται πολλές φορές απαραίτητο, ιδιαίτερα όταν η ιλύς δεν είναι απόλυτα σταθεροποιημένη. Μέσω του κλιματισμού μειώνονται οι οσμές και αποτρέπεται η σήψη της ιλύος. Αυτό πραγματοποιείται με την προσθήκη ανόργανων χημικών μέσων (ασβέστης, άλατα σιδήρου) ή πολυηλεκτρολυτών, η χρήση των οποίων προτιμάται λόγω της ευκολότερης διαχείρισής τους. Ο πολυηλεκτρολύτης αραιώνεται σε νερό και προστίθεται υπό τη μορφή διαλύματος σε αναλογία μικρότερη από 1% ξηρής μάζας στερεών, τα άλατα σιδήρου προστίθενται κατά 1-5% ενώ ο ασβέστης κατά 5-20% ξηρής μάζας. Η σωστή δοσολογία και η αποτελεσματική ανάμιξη αποτελούν δύο παράγοντες που επηρεάζουν τη διεργασία του κλιματισμού, ενώ η χρήση των χημικών μέσων συμβάλλει στην αύξηση της αφυδατωμένης ιλύος που θα οδηγηθεί προς απόρριψη.

Αφυδάτωση ιλύος

Οι πιο συχνές μέθοδοι αφυδάτωσης ιλύος που χρησιμοποιούνται είναι οι κλίνες ξήρανσης (φυσική μέθοδος) και οι φιλτρόπρεσες (τεχνητή μέθοδος). Άλλες μέθοδοι περιλαμβάνουν δεξαμενές αφυδάτωσης, ταινιόπρεσες και οι φυγοκεντρικούς διαχωριστές.

Οι κλίνες ξήρανσης χρησιμοποιούνται όταν δεν υπάρχει περιορισμός χώρου και συνήθως κατασκευάζονται σε ζεύγη, ώστε όταν η μια κλίνη αφυδατώνει, η άλλη να γεμίζει. Περιλαμβάνουν μια στρώση άμμου πάνω από μια στρώση χαλικιού, η οποία με τη σειρά της καλύπτει το δίκτυο των σωλήνων που χρησιμεύει για την συλλογή του διηθήματος από την αποστράγγιση της ιλύος. Η ιλύς τοποθετείται πάνω από τη στρώση άμμου και περιβάλλεται από χαμηλά στεγανά τοιχεία από μπετόν.

Στις φιλτρόπρεσες, κάθε πρέσα περιλαμβάνει μια σειρά από πλάκες τοποθετημένες έτσι ώστε να σχηματίζουν κοίλους θαλάμους. Κάθε πλάκα ενσωματώνει ένα κομμάτι ύφασμα που λειτουργεί ως

φίλτρο όσο γεμίζει η πρέσα και συγκρατεί ταυτόχρονα τα στερεά ώστε να ολοκληρωθεί η αφυδάτωση. Ενώ η φιλτρόπρεσα μπορεί να γεμίσει μέσα σε διάστημα 30 λεπτών, η πίεση που δημιουργείται λόγω του γεμίσματος των στερεών μπορεί να διατηρηθεί για ώρες, ώστε να εξαναγκάσει μεγάλο ποσοστό της ιλύος να συμπιεστεί και να διαπεράσει περισσότερο διήθημα από τη διηθητική επιφάνεια των πλακών. Οι φιλτρόπρεσες χρησιμοποιούν επίσης υδραυλικό σύστημα που συμπιέζει τις πλάκες ώστε να υποβοηθηθεί η διαδικασία της αποστράγγισης. Τα στερεά που παραλαμβάνονται από τις φιλτρόπρεσες συνήθως εμφανίζουν υψηλότερη συγκέντρωση σε στερεά (40-60%), συγκριτικά με τις κλίνες αφυδάτωσης. Η αφυδατωμένη ιλύς τοποθετείται σε σάκους και απορρίπτεται περιοδικά σε χώρους υγειονομικής ταφής. Εάν η αφυδατωμένη λάσπη δεν έχει σταθεροποιηθεί, πρέπει να απορριφθεί σε σύντομο διάστημα και η αποθήκευσή της να μην ξεπεράσει τις 2-3 μέρες, διότι ενδέχεται το οργανικό φορτίο της να υποστεί σήψη και να αποβάλλει οσμές (Wun Jern, 2006).

4.3 Θεσμοί & Νομοθεσία

4.3.1 Η προσέγγιση της Ολοκληρωμένης Πολιτικής Προϊόντων

Η Ολοκληρωμένη Πολιτική Προϊόντων (ΟΠΠ) αποτελεί μια στρατηγική που αποσκοπεί στον περιορισμό των περιβαλλοντικών επιπτώσεων του κύκλου ζωής των προϊόντων, από το στάδιο της εξόρυξης των πρώτων υλών τους μέχρι και αυτό της διαχείρισης των παραγόμενων αποβλήτων τους. Πρόκειται για μια προσέγγιση που αναπτύχθηκε από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή για να συνδράμει στην επίτευξη της αειφόρου ανάπτυξης στην Ευρώπη δίνοντας έμφαση στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που οφείλονται στις διεργασίες ολόκληρου του κύκλου ζωής των προϊόντων. Κύριος στόχος της Ολοκληρωμένης Πολιτικής Προϊόντων είναι η εξεύρεση του αποτελεσματικότερου τρόπου με τον οποίο δύναται να επιτευχθεί η ανάπτυξη οικολογικότερων προϊόντων (μέσω του οικολογικού σχεδιασμού τους) και η υιοθέτησή τους από τους καταναλωτές μέσω της κατάλληλης ενημέρωσης και της παροχής κινήτρων.

Προκειμένου να επιτευχθεί η κατά το δυνατόν μεγαλύτερη ενίσχυση των οικολογικότερων προϊόντων που προωθεί η στρατηγική αυτή, απαιτείται η ενεργός συμμετοχή όλων των άμεσα ενδιαφερόμενων σε όλα τα δυνατά επίπεδα δράσης. Οι άμεσα ενδιαφερόμενοι, ή αλλιώς επωφελούμενοι, περιλαμβάνουν τους καταναλωτές, τους εμπόρους και τις βιομηχανίες, τους μη κυβερνητικούς οργανισμούς αλλά και την τοπική αυτοδιοίκηση. Συγκεκριμένα στις βιομηχανίες, προσφέρεται η ευκαιρία να συμβάλλουν με την πείρα τους στην προώθηση μιας επιχειρηματοκεντρικής προσέγγισης που αποσκοπεί σε αγορές οικολογικότερων προϊόντων βάσει της καινοτομίας και της οικονομικής μεγέθυνσης. Για το σκοπό αυτό, οι επιχειρήσεις καλούνται να

αναλάβουν δραστήριο ρόλο για την εξεύρεση λύσεων των περιβαλλοντικών τους προβλημάτων εντός των εταιριών, με τη συμβολή της δημόσιας διοίκησης και άλλων ενδιαφερόμενων οργανισμών. Μεγάλη σημασία έχει η υιοθέτηση της «οικολογικής αποτελεσματικότητας» από μέρους των επιχειρήσεων, βάσει της οποίας η εφαρμογή περιβαλλοντικών πολιτικών δεν πραγματοποιείται μόνο για την αντιστάθμιση τους κόστους αλλά χρησιμοποιείται ως καθοδηγητική πρακτική και τρόπος σκέψης από τα ηγετικά στελέχη μιας επιχείρησης.

Η πραγματοποίηση των πολιτικών αυτών στο επίπεδο της κοινωνίας και των καταναλωτών απαιτεί την εφαρμογή κάποιων εργαλείων που θα κοινοποιήσουν τα ευεργετικά οφέλη της υιοθέτησης παρόμοιων πρακτικών. Δεδομένου ότι η κύρια κινητήρια δύναμη είναι τα οικονομικά συμφέροντα τόσο για τις επιχειρήσεις όσο και για τους ίδιους καταναλωτές, ιδιαίτερη μνεία πρέπει να δοθεί προς αυτήν την κατεύθυνση. Ιδιαίτερα για τις επιχειρήσεις, η άμεση εξοικονόμηση χρηματοδοτικού κόστους, η βελτίωση της εμπορικής ταυτότητας (brand name), οι προοπτικές νέων αγορών και υψηλότερων μεριδίων στην αγορά αλλά και η προεξόφληση επερχόμενων κανονιστικών μέτρων απαριθμούνται ως τα κύρια συμφέροντα για τη βελτίωση των περιβαλλοντικών επιδόσεών τους. Ουσιώδη ρόλο για να στραφεί η ζήτηση σε οικολογικότερα προϊόντα διαδραματίζει η πληροφόρηση, ενώ για την υλοποίηση της στρατηγικής αυτής ενδέχεται να απαιτηθεί η χρησιμοποίηση νέων ή βελτιωμένων εργαλείων που θα καταγράφουν πληροφορίες σχετικά με την πορεία της εφαρμοζόμενης περιβαλλοντικής διαχείρισης των εταιριών. Τέλος, άλλοι μηχανισμοί που θα συντελέσουν στην επιτυχή εφαρμογή του μέτρου είναι τα συστήματα οικολογικής διαχείρισης και ελέγχου (EMAS και ISO), τα εργαλεία διασφάλισης περιβαλλοντικής ποιότητας προϊόντων (ανάλυση κύκλου ζωής, οικολογικό σήμα) αλλά και η σύνταξη εκθέσεων και απολογισμών σχετικά με τις περιβαλλοντικές επιδόσεις των επιχειρήσεων (Επιτροπή των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων, 2001, Λοϊζίδου, 2011).

4.3.2 Εφαρμογή IPPC (Integrated Pollution Prevention Control)

4.3.2.1 Γενικά στοιχεία

Η Οδηγία σχετικά με την ολοκληρωμένη πρόληψη και τον έλεγχο της ρύπανσης (Οδηγία IPPC) κοινοποιήθηκε αρχικά υπό την Οδηγία 96/91/ΕΚ, μέσα από ένα σύνολο άρθρων που είχε ως στόχο την εξοικείωση των ενδιαφερόμενων φορέων με την έννοια της πρόληψης και την υλοποίηση της προσέγγισης αυτής μέσω περιβαλλοντικών απαιτήσεων και προτεινόμενων πρακτικών. Το 2008, εκδόθηκε η Οδηγία 2008/1/ΕΚ, η οποία αντικατέστησε την υπάρχουσα Οδηγία 96/91/ΕΚ, έπειτα από την κατάργηση της τελευταίας. Τα σημεία που καταργήθηκαν ή προστέθηκαν στην νέα οδηγία δεν

άλλαξαν την ουσία της, που δεν είναι άλλη από την πρόληψη της ρύπανσης και την εφαρμογή των κατάλληλων μέτρων για την επίτευξη αυτού του σκοπού. Το 2010, εκδίδεται η Οδηγία 2010/75/ΕΕ ή αλλιώς IED (Industrial Emissions Directive) η οποία συμπληρώνει την υπάρχουσα οδηγία πρόληψης της ρύπανσης, περιλαμβάνοντας αναφορές για βιομηχανικές εκπομπές και ειδικές διατάξεις εγκαταστάσεων για τις οποίες δεν είχε γίνει αναφορά μέχρι τότε (μονάδες καύσης >50MW, μονάδες αποτέφρωσης αποβλήτων κ.ά.). Η συνοπτική αναφορά που θα ακολουθήσει αφορά την Οδηγία IPPC στο σύνολο της, με τις όποιες επιμέρους τροποποιήσεις, προσθήκες ή καταργήσεις έχουν γίνει σε αυτήν, υπό την προϋπόθεση ότι οι αλλαγές αυτές δεν αλλάζουν την ουσία της.

Μέσω της Οδηγίας, προτείνονται τρόποι μείωσης της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης των βιομηχανιών, από τα πρώτα κιόλας στάδια παραγωγής, μια πρακτική που συνδράμει στην οικονομική ευημερία των επιχειρήσεων μέσω της ορθολογικότερης χρήσης των πρώτων υλών και φυσικών πόρων. Η αντιμετώπιση της ρύπανσης κατευθείαν στην πηγή αφορά όλα τα περιβαλλοντικά μέσα: τα ύδατα, τον αέρα και το έδαφος. Η καινοτομία της πρόληψης της ρύπανσης προωθείται επίσης με την εφαρμογή Βέλτιστων Διαθέσιμων Τεχνικών (Best Available Techniques, BATs), η προώθηση των οποίων επιτυγχάνεται μέσω ενημερωτικών οδηγιών (BREFs) που χρησιμοποιούν οι αρμόδιες αρχές κάθε κράτους μέλους. *Ήδη, από τον Ιούλιο του 2003, έχει εκδοθεί και υιοθετηθεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση ενημερωτικός οδηγός για τη βιομηχανία των υφασμάτων.* Τα οφέλη από την εφαρμογή της Οδηγίας IPPC έχουν διττό χαρακτήρα καθώς η πρόληψη της ρύπανσης βοηθά όχι μόνο στη βελτίωση της ποιότητας του περιβάλλοντος, αλλά αποδεικνύεται και προσδοφόρα για τις ίδιες τις επιχειρήσεις μειώνοντας τα κόστη που οφείλονται στην κακή διαχείριση των παραγωγικών διεργασιών τους. Θεσπίστηκε έτσι το γενικό πλαίσιο της ολοκληρωμένης πρόληψης και ελέγχου της ρύπανσης που προέρχεται από συγκεκριμένες βιομηχανικές δραστηριότητες, στις οποίες συγκαταλέγονται οι *εγκαταστάσεις προεπεξεργασίας (δραστηριότητες πλύσης, λεύκανσης, μερσερισμού) ή βαφής ινών ή υφασμάτων, με ημερήσια δυναμικότητα επεξεργασίας άνω των δέκα τόνων.*

Η Οδηγία περιλαμβάνει στοιχεία για τις συνθήκες λειτουργίας των μονάδων, τα όρια εκπομπών στην ατμόσφαιρα, στα ύδατα και στο έδαφος αλλά και τις ετήσιες αναφορές για τους εκπεμπόμενους ρύπους. Περιλαμβάνει ακόμη μέτρα για την έγκριση της άδειας λειτουργίας μιας βιομηχανικής εγκατάστασης, στα οποία η τελευταία οφείλει να συμμορφωθεί. Μεταξύ άλλων, για τη χορήγηση της σχετικής άδειας, οι βιομηχανίες θα πρέπει να παρουσιάζουν περιγραφή της εγκατάστασης και των δραστηριοτήτων της που θα περιλαμβάνει: τις πρώτες και βοηθητικές ύλες που καταναλώνονται, τις πραγματικές και προβλεπόμενες τιμές εκπομπών μαζί με τις επιπτώσεις τους στο περιβάλλον, τις προβλεπόμενες τεχνολογίες πρόληψης ή μείωσης των επιπτώσεων και όπου

χρειάζεται, τα μέτρα πρόληψης και αξιοποίησης των παραγόμενων αποβλήτων (Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, 2008, Γκάργκουλας, 2002).

4.3.2.2 Βέλτιστες Διαθέσιμες Τεχνικές για τον κλάδο της Βιομηχανίας Υφασμάτων

Για την αποτελεσματική εφαρμογή της Οδηγίας, όπως αυτή περιεγράφηκε παραπάνω, κρίνεται σαφές ότι οι βιομηχανίες θα πρέπει να χρησιμοποιούν πριν και κατά τις παραγωγικές τους διεργασίες αλλά και στις αντιρρυπαντικές τους τεχνολογίες, τις Βέλτιστες Διαθέσιμες Τεχνικές, οι οποίες περιλαμβάνουν στοιχεία σχετικά με:

- Τη χρήση λιγότερο επικίνδυνων ουσιών και τεχνικών που παράγουν λιγότερα απόβλητα.
- Την εναρμόνιση τεχνικής προόδου και επιστημονικών γνώσεων με τις παραγωγικές διεργασίες.
- Την κατανάλωση και το είδος της ενέργειας και των πρώτων υλών που χρησιμοποιούνται.
- Τη φύση, τις επιπτώσεις και τον όγκο των επικίνδυνων εκπομπών καθώς και την ανάγκη πρόληψης ή μείωσης των γενικότερων επιπτώσεών τους.
- Την εξέλιξη των τεχνικών ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης των εκπεμπόμενων ουσιών και ενδεχομένως, των αποβλήτων.
- Την ανάγκη πρόληψης των ατυχημάτων και μείωσης των επιπτώσεών τους στο περιβάλλον.

Το 2003 εκδόθηκε ενημερωτικός οδηγός σχετικά με τις Βέλτιστες Διαθέσιμες Τεχνικές στον κλάδο των υφασμάτων, με στόχο να επιτρέψει στα κράτη-μέλη και τους αρμόδιους φορείς να επιλέξουν τις κατάλληλες συνθήκες για την εφαρμογή της Οδηγίας IPPC. Παρόμοιοι οδηγοί έχουν εκδοθεί και για τους υπόλοιπους βιομηχανικούς κλάδους που αναφέρονται στο Παράρτημα Ι της Οδηγίας. Οι διαθέσιμες τεχνικές αφορούν οτιδήποτε σχετίζεται με τη λειτουργία της βιομηχανίας ή οτιδήποτε απορρέει από αυτήν, ξεκινώντας από τις πρώτες ύλες, τον μηχανολογικό εξοπλισμό, την καταναλισκόμενη ενέργεια, τα παραγόμενα προϊόντα μέχρι τις τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται, τις επιστημονικές/εμπειρικές γνώσεις του προσωπικού και τη διαχείριση των παραπροϊόντων. Καθένας από τους τομείς αυτούς αναλύεται σε περισσότερα τμήματα τα οποία με τη σειρά τους οφείλουν να συμμορφωθούν με μια βέλτιστη τεχνική που θα συνδράμει σταδιακά στην ολοκληρωμένη πρόληψη της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης.

Όλες οι πρακτικές που θα αναφερθούν στη συνέχεια αποτελούν Βέλτιστες Διαθέσιμες Τεχνικές (ΒΔΤ), όπως αυτές έχουν προταθεί από την Ευρωπαϊκή Κοινότητα, και για το λόγο αυτό η χρήση των όρου ΒΔΤ, δεν θα επαναλαμβάνεται διαρκώς αλλά θα εξυπακούεται.

Στη βιομηχανία των υφασμάτων, αλλά και γενικότερα σε κάθε είδους βιομηχανία, οι βέλτιστες διαθέσιμες τεχνικές σχετίζονται αρχικά με την **αποτελεσματική παρακολούθηση της ίδιας της βιομηχανίας**, σε συνδυασμό με τη χρήση του κατάλληλου εξοπλισμού. Η ενσωμάτωση συστημάτων παρακολούθησης των εισροών και εκροών στις διεργασίες αποτελεί προϋπόθεση για τον προσδιορισμό των τομέων που χρήζουν παρακολούθησης ώστε να βελτιωθούν συνεπακόλουθα οι επιδόσεις της εγκατάστασης στην προστασία του περιβάλλοντος. Σχετικά με τη **δοσιμετρία και διανομή των χημικών ουσιών**, συνίσταται η εγκατάσταση αυτόματων συστημάτων που θα δοσιμετρούν επακριβώς τις απαιτούμενες ποσότητες χημικών υλών και βοηθητικών μέσων που θα παρέχονται στα μηχανήματα χωρίς την ανθρώπινη παρέμβαση. Όσον αφορά την **επιλογή και κατανάλωση των χημικών ουσιών**, συνίσταται η αποφυγή χρήσης ουσιών που δεν είναι απαραίτητες, εφόσον επιτυγχάνεται το επιθυμητό αποτέλεσμα. Στην αντίθετη περίπτωση, συνίσταται η αξιολόγηση των χημικών που πρόκειται να καταναλωθούν με τη βοήθεια κατάλληλων καταλόγων και μέσων ταξινόμησης ουσιών που διατίθενται. Σκοπός πάντοτε είναι να επιτευχθεί η ελαχιστοποίηση χρήσης χημικών μέσων, όπου είναι δυνατό. Ιδιαίτερα σημαντικό κρίνεται το στάδιο της **επιλογής της πρώτης ύλης**, που θα πρέπει να συνοδεύεται με τη γνώση πάνω στην ποιότητα και ποσότητα των χημικών ουσιών που προστίθενται και διατηρούνται επί των ινών σε κάθε στάδιο του κύκλου ζωής του προϊόντος. Για το σκοπό αυτό απαιτείται η συνεργασία και ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ όλων των φορέων που εμπλέκονται στον κλωστοϋφαντουργικό τομέα ώστε να αποφεύγεται η χρήση ινών που έχουν ρυπανθεί με επικίνδυνες χημικές ουσίες, να επιλέγονται ύλες με βιοαποικοδομήσιμη φύση και όπου είναι δυνατό να χρησιμοποιούνται πρώτες ύλες προερχόμενες από βιολογικές καλλιέργειες. Ακόμη, σχετικά με την ποιότητα των ινών, θα πρέπει να επαληθεύεται ότι όλες οι πρώτες ύλες παράγονται βάσει κάποιου σχεδίου διασφάλισης ποιότητας που θα επιτρέπει την παροχή των κατάλληλων πληροφοριών για τα είδη και τις ποσότητες των παραγόμενων ρύπων κατά τη χρήση τους. Τέλος, σημαντικό βάρος πρέπει να δοθεί στη **διαχείριση του νερού και της ενέργειας**, που αποτελούν δύο όρους σχεδόν αλληλένδετους, καθότι η ενέργεια χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο για τη θέρμανση των λουτρών των διεργασιών. Η αποτελεσματική διαχείριση των πόρων αυτών επιτυγχάνεται με τη χρήση μηχανών μειωμένης αναλογίας υγρών (για την ασυνεχή επεξεργασία) και τεχνικών χαμηλής ποσότητας προσθέτων (για τη συνεχή επεξεργασία), καθώς και με την εφαρμογή των πλέον σύγχρονων τεχνικών για τη βελτίωση της απόδοσης της πλύσης. Ουσιώδης κρίνεται συνάμα η δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσης του νερού μέσω του συστηματικού χαρακτηρισμού της ποιότητας και του όγκου των διαφόρων ροών των διεργασιών.

Στη συνέχεια της προτεινόμενης ανάλυσης που εξέδωσε η Ευρωπαϊκή Κοινότητα, περιλαμβάνονται λεπτομερείς πληροφορίες και πρακτικές για κάθε έναν από τους ακόλουθους τομείς:

προεπεξεργασία, βαφή, τυποβαφή, φινιρίσμα και πλύσιμο. Για κάθε κλάδο από τους αναφερόμενους παρέχονται τεχνικές που θα οδηγήσουν στη βιώσιμη διαχείριση των διεργασιών, εξοικονομώντας πόρους και πρώτες ύλες.

Αντικείμενο των Βέλτιστων Διαθέσιμων Τεχνικών αποτελούν εν συνεχεία οι τομείς διαχείρισης των λυμάτων και της παραγόμενης ιλύος. Σχετικά με την **επεξεργασία λυμάτων** της κλωστοϋφαντουργικής βιομηχανίας έχουν προταθεί οι ακόλουθες τεχνικές:

- **Επεξεργασία των λυμάτων σε σύστημα ενεργοποιημένης ιλύος με χαμηλή αναλογία F/M**, υπό την προϋπόθεση ότι οι συμπυκνωμένες ροές που περιέχουν μη βιοαποδομήσιμες ενώσεις υποβάλλονται σε χωριστή προεπεξεργασία. Κάτω από αυτές τις συνθήκες, ορισμένες δύσκολα βιοαποικοδομήσιμες ουσίες υποβαθμίζονται και μετατρέπονται σε ανόργανες ουσίες.
- **Προεπεξεργασία επιλεγμένων και διαχωρισμένων, μεμονωμένων ροών λυμάτων υψηλού φορτίου ($COD > 5000 \text{ mg/L}$) που περιέχουν μη βιοαποδομήσιμες ενώσεις, με χημική οξείδωση.** Στα λύματα αυτά συγκαταλέγονται υγρά φουλάρ από ημισυνεχείς και συνεχείς διεργασίες βαφής και φινιρίσματος, λουτρά αποκολλαρίσματος, τυπωτικές πάστες, αναλωμένα λουτρά βαφής και λουτρά φινιρίσματος.
- **Διαχωρισμός (όπου είναι δυνατό) ορισμένων πολύ δραστικών κατάλοιπων των διεργασιών και επεξεργασία αυτών με κατάλληλες μεθόδους**, όπως για παράδειγμα στην περίπτωση των υπολειμματικών τυπωτικών παστών και των υγρών φουλάρ. Μετά το διαχωρισμό τους από το κύριο ρεύμα λυμάτων προτείνεται η διάθεση των καταλοίπων αυτών κατά το δέοντα τρόπο. Ένας αποτελεσματικός τρόπος διαχείρισης τους είναι η θερμική οξείδωση, η οποία αποτελεί μια ενδεδειγμένη μέθοδο, λόγω της υψηλής θερμαντικής αξίας.
- **Επεξεργασία λυμάτων μέσω κροκίδωσης/κατακρήμνισης σε συνδυασμό με καύση της παραγόμενης ιλύος**, αντί τη διάθεσή της σε χώρους ταφής. Αποτελεί βιώσιμη εναλλακτική επιλογή αντί της χημικής οξείδωσης για τις συγκεκριμένες περιπτώσεις των λυμάτων που περιέχουν τυπωτικές πάστες.
- **Αναερόβια επεξεργασία για την αφαίρεση υπολειπόμενων χρωστικών ουσιών από κατάλοιπα παστών και υγρών φουλάρ.** Οι ουσίες αυτές μπορούν να επεξεργαστούν σε αναερόβιους χωνευτές (προτιμάται η ζύμωση με πρωτογενή ιλύ και περίσσεια ιλύος από τη βιολογική επεξεργασία). Μια τακτική που ακολουθείται είναι η επεξεργασία των καταλοίπων σε

αναερόβιους χωνευτές των εγκαταστάσεων επεξεργασίας αστικών λυμάτων. Το συγκεκριμένο είδος επεξεργασίας προτείνεται για την απομάκρυνση των χρωστικών από τις αζωικές βαφές.

- **Συνδυασμός βιολογικής και φυσικοχημικής επεξεργασίας σε ρεύματα που περιέχουν μη βιοαποικοδομήσιμες ουσίες, όταν δεν είναι εφικτός ο διαχωρισμός τους.** Τις περισσότερες φορές, προτιμάται η επεξεργασία αυτή να λαμβάνει χώρα πριν οδηγηθούν τα λύματα στην τελική βιολογική επεξεργασία. Ο συνδυασμός των διαφορετικών επεξεργασιών πραγματοποιείται με διάφορους τρόπους, οι πιο αποτελεσματικοί από τους οποίους είναι:
 - Η προσθήκη σκόνης ενεργού άνθρακα και αλάτων σιδήρου στο σύστημα της ενεργοποιημένης ιλύος και επανενεργοποίηση της πλεονάζουσας ιλύος μέσω «υγρής οξείδωσης» ή «υγρής υπεροξειδωσης». Η διεργασία αυτή καταστρέφει τα μεγάλα μόρια που βρίσκονται στα λύματα, μετατρέποντάς τα κατά βάση σε διοξείδιο του άνθρακα, νερό και μικρές αλυσίδες οργανικών οξέων, βιοαποικοδομήσιμων και ικανών να υποστούν βιολογική επεξεργασία. Αυτή η διαδικασία αναγέννησης παρέχει συνεχή επαναχρησιμοποίηση του ενεργοποιημένου άνθρακα και εξασφαλίζει υψηλά επίπεδα επεξεργασίας των αποβλήτων.
 - Ο οζοντισμός των ανθεκτικών ενώσεων προ της εισόδου τους στο σύστημα της ενεργοποιημένης ιλύος, διεργασία που υποβαθμίζει τις μη βιοαποικοδομήσιμες ουσίες σε ενδιάμεσα παραπροϊόντα.
- **Επεξεργασία επιλεγμένων ρευμάτων με μεμβράνες και επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένου νερού.** Αποτελεί τεχνική που εφαρμόζεται εξίσου αποτελεσματικά σε διάφορα είδη λυμάτων μέσα στη βιομηχανία και οδηγεί σε υψηλά ποσοστά ανάκτησης νερού. Εφαρμόζεται στα περισσότερα είδη λυμάτων, πάντοτε ωστόσο έπειτα από διεργασίες αξιολόγησης και καταλληλότητας των λυμάτων για αυτού του είδους την επεξεργασία. Συνίσταται σχετική έρευνα σχετικά πριν τη χρήση του επεξεργασμένου νερού μέσα στη βιομηχανία, καθώς ορισμένες διεργασίες ενδέχεται να απαιτούν τη χρήση φρέσκου νερού.

Σχετικά με τη **διαχείριση της παραγόμενης ιλύος**, ιδιαίτερη μνεία γίνεται στην επεξεργασία της ιλύος που απορρέει από τις διεργασίες απολίπανσης των μάλλινων υποστρωμάτων, πριν τη διάθεσή της σε γεωργικές εφαρμογές. Προτεινόμενη τεχνική αποτελεί η κομποστοποίηση ιλύος, ενώ η αναερόβια χώνευση (με ανάκτηση του παραγόμενου μεθανίου) μπορεί να θεωρηθεί εξίσου ως μια εναλλακτική λύση. Το υλικό προς κομποστοποίηση θα πρέπει να διαθέτει λόγο άνθρακα προς άζωτο, C:N, μεταξύ των τιμών 25-30:1, που θα εξασφαλίσει εν μέρει και την αποτελεσματικότητα της

διεργασίας. Προτιμώνται οι έγκλειστες διεργασίες κομποστοποίησης λόγω των ελεγχόμενων συνθηκών που παρέχουν (θερμοκρασία, παραγόμενες οσμές κτλ.), παρά το υψηλότερο κόστος τους. Μετά την κομποστοποίηση, το υλικό θα ωριμάσει μέσα σε διάστημα μερικών εβδομάδων κατά τις οποίες πρόσθετες βιοχημικές αλλαγές θα λάβουν χώρα, μετατρέποντας το τελικό προϊόν καταλληλότερο είτε για περαιτέρω χρήση του, είτε για την ασφαλή απόρριψή του σε κατάλληλους χώρους.

Άλλες τεχνικές που προτείνονται για την ιλύ που απορρέει από την απολίπανση των μάλλινων προϊόντων αφορούν την αξιοποίησή της στην πλινθοποιία ή σε οποιαδήποτε άλλη δυνατότητα ανακύκλωσης. Τέλος, αναφορά γίνεται και για την καύση της ιλύος με ανάκτηση της θερμότητας, υπό την προϋπόθεση ότι λαμβάνονται μέτρα για τον έλεγχο των εκπομπών SO_x, NO_x και σκόνης, καθώς και για την αποφυγή εκπομπών διοξινών και φουρανών από το οργανικό χλώριο των παρασιτοκτόνων που ενδέχεται αυτή να περιέχει (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2003).

4.3.3 Νομοθετικό πλαίσιο

Για την επεξεργασία λυμάτων

- **Οδηγία 91/271/ΕΟΚ** (Ευρωπαϊκή νομοθεσία)

Η συγκεκριμένη Οδηγία αφορά τη συλλογή, επεξεργασία και την απόρριψη αστικών λυμάτων καθώς και την επεξεργασία και απόρριψη λυμάτων από συγκεκριμένους βιομηχανικούς τομείς (δεν συμπεριλαμβάνεται ο βιομηχανικός κλάδος της επεξεργασίας υφασμάτων). Η Οδηγία καθορίζει το απαιτούμενο επίπεδο επεξεργασίας, που πρέπει να παρέχεται από τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων, καθώς και το χρονοδιάγραμμα υλοποίησης των απαιτούμενων έργων ανάλογα με τον εξυπηρετούμενο πληθυσμό (εκφραζόμενο σε Μονάδες Ισοδύναμου Πληθυσμού – Μ.Ι.Π. – κατά την Οδηγία) και το είδος του αποδέκτη. Συμπεριλαμβάνονται οι τιμές συγκεκριμένων παραμέτρων (BOD, COD, TSS) αλλά και οι επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις σε φώσφορο και άζωτο όσον αφορά τις απορρίψεις επεξεργασμένων λυμάτων από εγκαταστάσεις επεξεργασίας αστικών λυμάτων σε ευαίσθητους περιοχές όπου παρουσιάζεται ευτροφισμός.

- **ΚΥΑ 20488/2010** (Ελληνική νομοθεσία)

Το 2010 εκδόθηκε Υπουργική Απόφαση υπό τον αριθμό 20488 βάσει της οποίας ορίστηκαν Ποιοτικά Περιβαλλοντικά Πρότυπα για τον Ασωπό ποταμό, αλλά και Οριακές Τιμές Εκπομπών των υγρών βιομηχανικών αποβλήτων που εκρέουν σε αυτόν. Τόσο τα περιβαλλοντικά πρότυπα όσο και τα όρια εκπομπών, αφορούν ουσίες προτεραιότητας, ορισμένους άλλους ρύπους, λοιπές ουσίες και

Κεφ.4 Επεξεργασία Βιομηχανικών Αποβλήτων

φυσικοχημικές παραμέτρους, που αναφέρονται στα Παραρτήματα της απόφασης. Όπως χαρακτηριστικά αναφέρεται, σκοπός της απόφασης είναι η προστασία, αναβάθμιση και αποκατάσταση της καλής κατάστασης, οικολογικής και χημικής, των υδάτων του ποταμού Ασωπού, των παραποτάμων του και των ρεμάτων που βρίσκονται στην υδρογεωλογική λεκάνη του Ασωπού ποταμού, ώστε η ποιότητα των υδάτων να είναι κατάλληλη για κάθε χρήση πλην της παραγωγής νερού για πόση και κολύμβηση.

Τα Ποιοτικά Περιβαλλοντικά Πρότυπα, θεσπίστηκαν με βάση τα αντίστοιχα ευρωπαϊκά και δίνονται σε όρους Ετήσιας Μέσης Συγκέντρωσης και Μέγιστης Επιτρεπόμενης Συγκέντρωσης συγκεκριμένων ρύπων και παραμέτρων. Τα πρότυπα αυτά καθορίζουν τις οριακές μέσες και μέγιστες συγκεντρώσεις αντίστοιχα τις οποίες δεν πρέπει να υπερβαίνουν οι συγκεντρώσεις των υδάτων σε οποιοδήποτε αντιπροσωπευτικό σημείο παρακολούθησης εντός του ποταμού Ασωπού. Η παρακολούθηση της κατάστασης του ποταμού θα γίνεται στο πλαίσιο του Εθνικού Δικτύου Παρακολούθησης ώστε να προσδιορίζονται οι παράμετροι που υπερβαίνουν τα αναγραφόμενα όρια και να λαμβάνονται τα κατάλληλα μέτρα.

Οι Οριακές Τιμές Εκπομπής, θεσπίστηκαν με βάση τις Ετήσιες Μέσες Συγκεντρώσεις των Ποιοτικών Περιβαλλοντικών Προτύπων σε συνδυασμό με τις μέγιστες παροχές υγρών αποβλήτων των βιομηχανιών και την αραιώση των συγκεντρώσεων στα ύδατα του ποταμού κατά τους θερινούς μήνες. Οι τιμές αυτές αποτελούν τις μέγιστες τιμές που θα πρέπει να ικανοποιούν ανά πάσα στιγμή τα υγρά απόβλητα των βιομηχανικών και λοιπών δραστηριοτήτων που αναπτύσσονται εντός της λεκάνης απορροής του ποταμού. Σημειώνεται επίσης ότι ο έλεγχος των οριακών τιμών εκπομπών θα πρέπει να πραγματοποιείται στο τελικό φρεάτιο εξόδου των υγρών αποβλήτων μέσω δειγματοληψίας, η συχνότητα της οποίας θα καθορίζεται κάθε φορά στην απόφαση Έγκρισης Περιβαλλοντικών Όρων της κάθε δραστηριότητας.

Παρακάτω αναγράφονται οι οριακές τιμές εκπομπών των φυσικοχημικών παραμέτρων και συγκεκριμένων μετάλλων. Ο πλήρης κατάλογος με τις οριακές τιμές αλλά και τα ποιοτικά περιβαλλοντικά πρότυπα των ουσιών (ουσίες προτεραιότητας και λοιπές ουσίες) μπορεί να αναζητηθεί στα Παραρτήματα της απόφασης (ΚΥΑ 20488/2010).

Πίνακας 12: Οριακές τιμές εκπομπών φυσικοχημικών παραμέτρων (ΚΥΑ 20488/2010)

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΜΟΝΑΔΕΣ	ΟΡΙΑΚΕΣ ΤΙΜΕΣ ΕΚΠΟΜΠΩΝ
pH		6,5-8,5
Διαλυμένο Οξυγόνο	mg/L	4 (ελάχιστη οριακή τιμή)
BOD ₅	mg/L	10

Κεφ.4 Επεξεργασία Βιομηχανικών Αποβλήτων

Ολικός Φώσφορος	mg/L	1
Ολικό Αμμωνιακό Άζωτο	mgNH ₄ -N/L	2
Ελεύθερη Αμμωνία	mgNH ₃ /L	0,2
Νιτρώδη	mgNO ₂ /L	0,5
Νιτρικά	mgNO ₃ -N/L	7
Φθοριούχα	mg/L	5
Θερμοκρασία	°C	28
Χρώμα	-	Να μην είναι ορατό σε διάλυση 1:10
Χλωριόντα	mg/L	500
Ολικό υπολειμματικό χλώριο	mg/L	0,25
Ολικά αιωρούμενα στερεά	mg/L	10
TDS	mg/L	1500
COD	mg/L	125
Ολικό Άζωτο	mg/L	10
Θειούχα	mg/L	0,5
Θειώδη	mg/L	0,5
Θειικά	mg/L	200
Λίπη και έλαια	mg/L	8
Ορυκτέλαια - Υδρογονάνθρακες	mg/L	4
Απορρυπαντικά (MBAS ως LAS)	mg/L	2

Πίνακας 13: Οριακές τιμές εκπομπών μετάλλων (ΚΥΑ 20488/2010)

ΟΥΣΙΑ	ΜΟΝΑΔΕΣ	ΟΡΙΑΚΕΣ ΤΙΜΕΣ ΕΚΠΟΜΠΩΝ
Αργίλιο	μg/l	2500
Άργυρος	μg/l	100
Αρσενικό	μg/l	100
Βάριο	μg/l	5000
Βόριο	μg/l	2000
Κασσίτερος	μg/l	45
Κοβάλτιο	μg/l	250
Μαγγάνιο	μg/l	1000
Μολυβδένιο	μg/l	90
Σελήνιο	μg/l	50

Σίδηρος διαλυτός	μg/l	1000
Σίδηρος ολικός	μg/l	3000
Χαλκός	μg/l	200
Χρώμιο VI	μg/l	30
Χρώμιο ολικό	μg/l	200
Ψευδάργυρος	μg/l	2000

Για τη διαχείριση της παραγόμενης ιλύος

- **Οδηγία 86/278/ΕΟΚ** (Ευρωπαϊκή νομοθεσία)

Η Οδηγία αυτή αφορά αποκλειστικά τη χρησιμοποίηση της ιλύος καθαρισμού λυμάτων στον κλάδο της γεωργίας. Αναφέρεται κατά βάση στις οριακές τιμές των βαρέων μετάλλων της ιλύος που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί για γεωργικούς σκοπούς αλλά και στις οριακές τιμές μετάλλων των εδαφών γενικότερα, μετά την προσθήκη της ιλύος σε αυτά. Η οδηγία θεσπίζει ακόμη τιμές για τις ποσότητες βαρέων μετάλλων που μπορούν να εισάγονται στο έδαφος ετησίως. Τα μέταλλα για τα οποία ορίζονται οριακές τιμές είναι το κάδμιο, ο χαλκός, το νικέλιο, ο μόλυβδος, ο ψευδάργυρος, ο υδράργυρος και το χρώμιο.

- **ΚΥΑ 80568/4225/91** (Κοινή Υπουργική Απόφαση)

Η ΚΥΑ 80568/4225/91 ενσωμάτωσε την ευρωπαϊκή Οδηγία 86/278/ΕΟΚ και πρόσθεσε τιμές για τις οριακές συγκεντρώσεις της ιλύος σε χρώμιο III και χρώμιο IV. Οι τιμές αφορούν τα μέταλλα που προαναφέρθηκαν στην αντίστοιχη ευρωπαϊκή οδηγία και παρουσιάζονται αναλυτικά στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 14: Οριακές συγκεντρώσεις μετάλλων για την γεωργική αξιοποίηση της ιλύος

Παράμετρος	Οριακή τιμή ιλύος*	Οριακή τιμή εδάφους*
Κάδμιο	20-40	1-3
Χαλκός	1000-1750	50-140
Νικέλιο	300-400	30-75
Μόλυβδος	750-1200	50-300
Ψευδάργυρος	2500-4000	150-300
Υδράργυρος	16-25	1-1,5
Χρώμιο III**	500	-
Χρώμιο VI**	10	-

*mg/kg ξηράς ουσίας, ** Οι τιμές αυτές ορίστηκαν μέσω της ΚΥΑ 114218/1997

Η συγκεκριμένη υπουργική απόφαση συνοδεύεται από μια σειρά απαγορεύσεων χρήσης της ιλύος στις ακόλουθες περιπτώσεις:

α) Σε λειμώνες ή εκτάσεις καλλιέργειας ζωοτροφών, εφόσον οι λειμώνες πρόκειται να χρησιμοποιηθούν για βοσκή ή οι ζωοτροφές πρόκειται να συγκομισθούν πριν από την πάροδο ενός ορισμένου χρονικού διαστήματος. Για τον καθορισμό του χρονικού αυτού διαστήματος λαμβάνονται υπόψη η γεωγραφική και κλιματολογική τους κατάσταση και δεν μπορεί να είναι κατώτερο από τρεις εβδομάδες.

β) Σε καλλιέργειες οπωροκηπευτικών κατά την περίοδο της βλάστησης, με εξαίρεση τις καλλιέργειες οπωροφόρων δένδρων.

γ) Σε εδάφη που προορίζονται για καλλιέργειες οπωροκηπευτικών οι οποίες συνήθως βρίσκονται σε άμεση επαφή με το έδαφος και κανονικά καταναλίσκονται σε νωπή κατάσταση, για περίοδο δέκα μηνών πριν από τη συγκομιδή και κατά τη διάρκεια της συγκομιδής.

- **ΚΥΑ 114218/1997** (Κοινή Υπουργική Απόφαση)

Καθορίζονται Τεχνικές Προδιαγραφές διαχείρισης της ιλύος από εγκαταστάσεις επεξεργασίας αστικών λυμάτων. Πιο συγκεκριμένα, ορίζονται τα στάδια διαχείρισης της ιλύος: προσωρινή αποθήκευση, συμπύκνωση, βιολογική χώνευση, αφυδάτωση, ξήρανση, σταθεροποίηση, οξείδωση, κομποστοποίηση με ή χωρίς οικιακά απορρίμματα, χρήση στη γεωργία, υγειονομική ταφή (μόνο ή συνδιάθεση) και θερμική επεξεργασία. Σχετικά με την κομποστοποίηση, ορίζονται τα ελάχιστα ποιοτικά χαρακτηριστικά των προϊόντων κόμποστ που προέρχονται από εγκαταστάσεις Μηχανικής Διαλογής που οδηγούν το κλάσμα των οργανικών αποβλήτων σε μονάδες κομποστοποίησης.

Πίνακας 15: Προδιαγραφές compost που προέρχεται από μονάδα μηχανικής διαλογής-κομποστοποίησης

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΟΡΙΑΚΗ ΤΙΜΗ
Κάδμιο	10 mg/kg Ξηρού βάρους
Χαλκός	500 mg/kg Ξηρού βάρους
Νικέλιο	200 mg/kg Ξηρού βάρους
Μόλυβδος	500 mg/kg Ξηρού βάρους
Χρώμιο III	500 mg/kg Ξηρού βάρους
Χρώμιο VI	10 mg/kg Ξηρού βάρους
Ψευδάργυρος	2000 mg/kg Ξηρού βάρους
Αρσενικό	15 mg/kg Ξηρού βάρους

Κεφ.4 Επεξεργασία Βιομηχανικών Αποβλήτων

Υδράργυρος	5 mg/kg Ξηρού βάρους
pH	6-8
Εντεροβακτήρια	Μηδέν
Περιεκτικότητα σε πλαστικό	<0,3% Ξηρού βάρους
Περιεκτικότητα σε γυαλί	<0,5% Ξηρού βάρους
Υγρασία	<40%

Όσον αφορά στη διάθεση της ιλύος από εγκαταστάσεις επεξεργασίας αστικών λυμάτων προδιαγράφεται μόνο η διάθεση της ιλύος στη γεωργία, παραπέμποντας πρακτικά στην ΚΥΑ 80568/4225/91.

- **ΚΥΑ 50910/2727/2003** (Κοινή Υπουργική Απόφαση)

Ενσωματώνει στην ελληνική νομοθεσία τον Ευρωπαϊκό Κατάλογο Αποβλήτων (ΕΚΑ), ο οποίος περιλαμβάνει κάθε πιθανή κατηγορία αποβλήτου του οποίου ο κάτοχος απορρίπτει ή προτίθεται ή υποχρεούται να απορρίψει. Από τον κατάλογο εξαιρούνται ορισμένες κατηγορίες αποβλήτων τα οποία θεωρούνται ως εν δυνάμει επικίνδυνα απόβλητα σύμφωνα με την Απόφαση 2001/118/ΕΚ.

Όσον αφορά τον κλάδο της επεξεργασίας υφασμάτων, ο Ευρωπαϊκός Κατάλογος Αποβλήτων επισημαίνει ως εν δυνάμει επικίνδυνα απόβλητα:

- Τα απόβλητα από φινίρισμα που περιέχουν οργανικούς διαλύτες
- Τα χρώματα και τις βαφές που περιέχουν επικίνδυνες ουσίες
- Τις λάσπες από επί τόπου επεξεργασία υγρών εκροής που περιέχουν επικίνδυνες ουσίες

04 ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΑΠΟ ΤΙΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΕΣ ΔΕΡΜΑΤΟΣ, ΓΟΥΝΑΣ ΚΑΙ ΥΦΑΝΤΟΥΡΓΙΑΣ	
04 01	απόβλητα από τις βιομηχανίες δέρματος και γούνας
04 01 01	απόβλητα διαχωρισμού ανύδρου άσβεστου και τεμαχίων δέρματος
04 01 02	απόβλητα ασβέστωσης
04 01 03*	απόβλητα απολίπανσης που περιέχουν διαλύτη χωρίς υγρή φάση
04 01 04	υγρά βυρσοδεψίας που περιέχει χρώμιο
04 01 05	υγρά βυρσοδεψίας που δεν περιέχει χρώμιο
04 01 06	λάσπες, ειδικότερα από επιτόπου επεξεργασία υγρών εκροής, που περιέχουν χρώμιο
04 01 07	λάσπες, ειδικότερα από επιτόπου επεξεργασία υγρών εκροής, που δεν περιέχουν χρώμιο
04 01 08	απόβλητα επεξεργασμένα δέρμα (μπλε φύλλα, ξέσματα, αποκομμένα τεμάχια, σκόνη στιλβώματος) που περιέχει χρώμιο
04 01 09	απόβλητα από επένδυση και τελείωμα
04 01 99	απόβλητα μη προδιαγραφόμενα άλλως
04 02	απόβλητα από τη βιομηχανία υφαντουργίας
04 02 09	απόβλητα από σύνθετα υλικά (εμποτισμένα υφαντά, ελαστομερή, πλαστομερή)
04 02 10	οργανική ύλη από φυσικά προϊόντα (π.χ. λίπος, κηρός)
04 02 14*	απόβλητα από φινίρισμα που περιέχουν οργανικούς διαλύτες
04 02 15	απόβλητα από φινίρισμα άλλα από τα αναφερόμενα στο σημείο 04 02 14
04 02 16*	χρώματα και βαφές που περιέχουν επικίνδυνες ουσίες
04 02 17	χρώματα και βαφές άλλα από τα αναφερόμενα στο σημείο 04 02 16
04 02 19*	λάσπες από επιτόπου επεξεργασία υγρών εκροής που περιέχουν επικίνδυνες ουσίες
04 02 20	λάσπες από επιτόπου επεξεργασία υγρών εκροής άλλες από τις αναφερόμενες στο σημείο 04 02 19
04 02 21	απόβλητα από μη κατεργασμένες υφαντουργικές ίνες

Εικόνα 2: Ευρωπαϊκός Κατάλογος Αποβλήτων: Απόβλητα από τις βιομηχανίες υφαντουργίας

Για απόβλητα του συγκεκριμένου κλάδου που δεν συμπεριλαμβάνονται στις τρεις παραπάνω κατηγορίες, καθορίζεται μέσω της ΚΥΑ ο Εθνικός Σχεδιασμός Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων (ΕΣΔΣΑ) για τα μη επικίνδυνα βιομηχανικά απόβλητα. Οι δράσεις που προτείνονται για την επίτευξη των κύριων στόχων του σχεδίου (μείωση του όγκου των αποβλήτων, αύξηση του ποσοστού αξιοποίησής τους, διάθεση των αποβλήτων που δεν μπορούν να αξιοποιηθούν σε ειδικές εγκαταστάσεις, σταδιακή μείωση/εξάλειψη των ποσοτήτων που διατίθενται σε ανεξέλεγκτους χώρους διάθεσης) είναι:

(α) Ανάπτυξη συστήματος δυναμικής απογραφής που θα περιλαμβάνει τις τρέχουσες πρακτικές διαχείρισης των αποβλήτων από μέρους των βιομηχανιών,

(β) Προώθηση της πρόληψης της παραγωγής αποβλήτων στην πηγή μέσω της εφαρμογής καθαρών τεχνολογιών στις διαδικασίες παραγωγής,

(γ) Παροχή κινήτρων στις βιομηχανίες με στόχο την εφαρμογή συστημάτων αξιοποίησης των αποβλήτων, και

(δ) Στήριξη της ιδιωτικής πρωτοβουλίας για τη δημιουργία μονάδων αξιοποίησης των μη επικίνδυνων βιομηχανικών αποβλήτων.

Μέσω της ΚΥΑ καθορίζεται επίσης ο Εθνικός Σχεδιασμός Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων (ΕΣΔΣΑ) για την ιλύ από εγκαταστάσεις επεξεργασίας αστικών αποβλήτων βάσει του οποίου κύριος στόχος είναι η επίτευξη υψηλού ποσοστού αξιοποίησης αυτής με αντίστοιχη μείωση του τελικού ποσοστού διάθεσης. Προτείνονται οι εξής δράσεις:

(α) Απευθείας χρήση της ιλύος σε αγροτικές εφαρμογές ως εδαφοβελτιωτικό υλικό, σύμφωνα με τους όρους και τους περιορισμούς που τίθενται από την ΚΥΑ 80568/4225/91,

(β) Επανένταξη της ιλύος στο φυσικό περιβάλλον για την αποκατάσταση «τραυματισμένων» φυσικών ανάγλυφων υπό την προϋπόθεση ότι η ιλύς θα είναι σταθεροποιημένη ή θα έχει συνεπεξεργασία με άλλα μη επικίνδυνα βιοαποικοδομήσιμα απόβλητα και θα πληροί περιβαλλοντικά κριτήρια συμβατά με την κείμενη νομοθεσία, και

(γ) Ξήρανση της ιλύος και χρήση αυτής ως καύσιμου ύλης

- **Σχέδιο ΚΥΑ για τη διαχείριση της ιλύος**

Μέσω της ολοκλήρωσης του έργου «Εκπόνηση Εθνικού Σχεδιασμού Διαχείρισης ιλύος, εκπόνηση Τεχνικών Προδιαγραφών και του σχετικού νομοθετικού πλαισίου», στα πλαίσια του ΕΣΠΑ

προωθείται το συγκεκριμένο σχέδιο Κοινής Υπουργικής Απόφασης το οποίο ενσωματώνει και έχει άμεση αναφορά τόσο στο Εθνικό Σχέδιο Διαχείρισης Ιλύος όσο και στις τεχνικές προδιαγραφές διαχείρισης της ιλύος. Η νέα Οδηγία θα αντικαταστήσει την Οδηγία 86/278/ΕΟΚ και θα εμπεριέχει εκτός από την ιλύ εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων και το ρεύμα των βιοαποβλήτων. Η νέα Οδηγία περιλαμβάνει μέτρα για την αξιοποίηση της βιολογικής ιλύος, η οποία παράγεται μέσω ορισμένων κατηγοριών βιομηχανιών που αναγράφονται σε Παράρτημα της ίδιας απόφασης.

Ο κατάλογος των βιομηχανιών που αναφέρονται στην Οδηγία δεν περιλαμβάνει τον κλάδο της επεξεργασίας υφασμάτων γι' αυτό και η συγκεκριμένη Οδηγία δεν αφορά τη διαχείριση της ιλύος που παράγεται από δραστηριότητες του συγκεκριμένου βιομηχανικού κλάδου.

- Νομοθετικό πλαίσιο σχετικά με τον κλάδο την επεξεργασίας υφασμάτων;

Όπως έγινε φανερό από τις παραπάνω αναφορές στις Αποφάσεις και Οδηγίες που έχουν συνταχθεί κατά καιρούς, δεν υπάρχει συγκεκριμένο νομοθετικό πλαίσιο που να αφορά την ιλύ που παράγεται από την βιολογική επεξεργασία του ρεύματος των αποβλήτων βιομηχανίας που σχετίζεται με τον κλάδο της κλωστοϋφαντουργίας, και συγκεκριμένα με την επεξεργασία των υφασμάτων. Για το λόγο αυτό οι βιομηχανίες επεξεργασίας υφασμάτων θα πρέπει να εφαρμόζουν το νομοθετικό πλαίσιο κατά περίπτωση.

Όσον αφορά τα λύματα που εκρέουν από τη βιομηχανία, θα πρέπει να υπάρχει η σχετική συμμόρφωση από τους υπευθύνους, αναφορικά με τα επιτρεπόμενα όρια τιμών συγκεκριμένων παραμέτρων, όπως ορίζονται για το σύνολο των βιομηχανιών, με βάση τη σχετική ΚΥΑ. Η διαχείριση της ιλύος που προέρχεται από την εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων, η οποία δέχεται βιομηχανικά απόβλητα και εφαρμόζει βιολογική επεξεργασία σε αυτά, σχετίζεται με την ΚΥΑ 80568/4225/91, η οποία θέτει οριακές τιμές για την ιλύ, εφόσον αυτή πρόκειται να χρησιμοποιηθεί για γεωργικούς σκοπούς. Ο συγκεκριμένος κλάδος βιομηχανίας σχετίζεται ακόμη με την ΚΥΑ 50910/2727/2003, εφόσον βέβαια δεν παράγονται επικίνδυνα απόβλητα από το σύνολο της παραγωγικής διαδικασίας. Με βάση τη συγκεκριμένη απόφαση, ορίζονται δράσεις μέσω των οποίων προωθείται η ολοκληρωμένη διαχείριση των στερεών αποβλήτων αντίστοιχων βιομηχανικών μονάδων.

4.4 Η κομποστοποίηση ως μέθοδος διαχείρισης της παραγόμενης ιλύος

4.4.1 Γενικά

Η κομποστοποίηση βιομηχανικών στερεών αποβλήτων αποτελεί μια τεχνική διαχείρισης της παραγόμενης –από την επεξεργασία των λυμάτων– ιλύος, που αποκτά όλο και μεγαλύτερη

εφαρμογή με το πέρασμα του χρόνου. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι πρόκειται για μια απλή διεργασία, σχετικά χαμηλού κόστους, με εμφανή επιθυμητά αποτελέσματα ως προς την ποιότητα του παραγόμενου προϊόντος.

Τα στερεά απόβλητα περιέχουν μεγάλες ποσότητες οργανικού φορτίου, γι' αυτό και απαιτείται η ειδική μεταχείρισή τους πριν απορριφθούν. Μεγάλες εκτάσεις γης χρησιμοποιούνται μέχρι και σήμερα για την επεξεργασία και αποθήκευση των αποβλήτων, ωστόσο οι έντονοι περιβαλλοντικοί κίνδυνοι που σχετίζονται με αυτές τις πρακτικές επιβάλλουν την μείωση ή την ανακύκλωση των ανεπιθύμητων στερεών αποβλήτων, που μέχρι τώρα προορίζονταν αποκλειστικά για διάθεση σε χώρους ταφής. Η ανεξέλεγκτη ταφή των αποβλήτων, εκτός από τα προβλήματα εύρεσης διαθέσιμων χώρων ταφής, σχετίζεται και με τη διάθεση στο περιβάλλον τοξικών υλικών που το επιβαρύνουν ανεπανόρθωτα. Όταν τα στερεά απόβλητα προορίζονται για γεωργική χρήση ή υφίστανται επεξεργασία σε χώρους υγειονομικής ταφής, προκύπτουν επιπλέον περιορισμοί που σχετίζονται με τους παθογόνους μικροοργανισμούς και τα βαρέα μέταλλα που αυτά περιέχουν, ενώ εμφανίζονται επιπρόσθετα προβλήματα κατά την μεταφορά και επεξεργασία τους.

Οι τεχνικές που είναι διαθέσιμες για την επεξεργασία ή την επαναχρησιμοποίηση των στερεών αυτών πρέπει να συνδυάζουν οικονομικά κριτήρια και ασφάλεια. Εφόσον τα λύματα που εκρέουν από το σύνολο σχεδόν των βιομηχανιών είναι οργανικής φύσης κατά βάση, συνίσταται η χρήση βιολογικών μεθόδων που μπορούν να μετατρέψουν την ιλύ που παράγεται σε ένα χρήσιμο παραπροϊόν, όπως συμβαίνει μέσω μιας διεργασίας κομποστοποίησης.

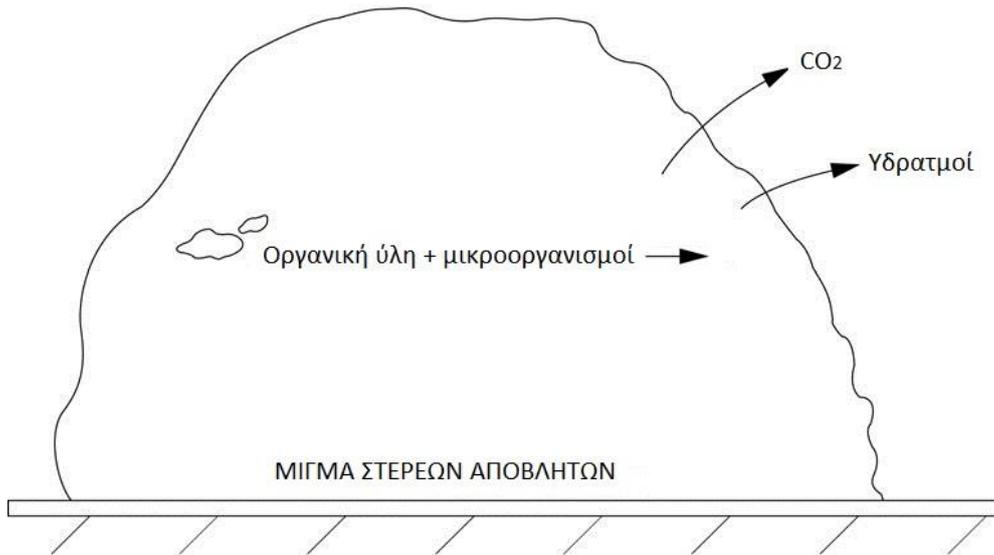
Η κομποστοποίηση θεωρείται τόσο ως μια μέθοδος διαχείρισης αποβλήτων όσο και ως μια διαδικασία παραγωγής ενός χρήσιμου προϊόντος, καθώς μπορεί να αποτελέσει πηγή εσόδων στην αρχή (μείωση κόστους διάθεσης αποβλήτων) αλλά και στο τέλος (πώληση του παραγόμενου προϊόντος) της διεργασίας. Τα οφέλη της συνδέονται με τις τελικές χρήσεις του προϊόντος, οι οποίες βρίσκουν ολοένα και πιο ευρεία εφαρμογή λόγω της θρεπτικής αξίας του κόμποστ, της ικανότητας του να ανοικοδομεί την οργανική ύλη του εδάφους αλλά και να καταστέλλει τις ασθένειες των φυτών (Murillo et al., 1997; Ostos et al., 2008; Stofella & Kahn, 2005). Μια επιπρόσθετη εφαρμογή των προϊόντων κομποστοποίησης είναι η χρήση τους ως μέσα φίλτρασης σε συστήματα βιοδιήθησης για την επεξεργασία πτητικών ενώσεων που αποτελούν την κύρια πηγή δυσσομίας στις βιομηχανίες (Dorado et al., 2010; López et al., 2011; Morgan-Sagastume & Noyola, 2006).

Κατά την κομποστοποίηση, τα απόβλητα υφίστανται επεξεργασία με ένα βιώσιμο τρόπο ενώ παράλληλα αποτελούν μια ανανεώσιμη πηγή πρώτων υλών για την παραγωγή χρήσιμων προϊόντων. Όσον αφορά τα περιεχόμενα μέταλλα των αποβλήτων, αυτά μπορεί να αποδειχθούν ιδιαίτερα

επιβαρυντικά για το περιβάλλον διότι έχουν τη τάση να συσσωρεύονται, με αποτέλεσμα να ελλοχεύει ο κίνδυνος μεταφοράς τους στην τροφική αλυσίδα. Η κομποστοποίηση επιδρά στο μετασχηματισμό των περιεχόμενων μετάλλων της ιλύος, συμβάλλοντας στη σταθεροποίηση τους και στην μείωση των αρνητικών φαινομένων που συνεπάγεται η προσθήκη της ιλύος στο έδαφος. Το φαινόμενο αυτό έχει επιβεβαιωθεί από πειραματικές μελέτες εκχύλισης σε κομποστοποιημένη ιλύ, όπου αναλύθηκε η χημική δομή των μετάλλων Ni και Cr του διηθήματος (Zheng et al., 2007). Η γνώση της χημικής δομής είναι ιδιαίτερα σημαντική διότι ορισμένες μορφές των μετάλλων είναι άμεσα διαθέσιμες για τα φυτά ενώ άλλες, όχι. Στα πειράματα που διενεργήθηκαν αποδείχθηκε ότι μέσω της κομποστοποίησης μειώθηκε η συγκέντρωση των μορφών των μετάλλων που είναι άμεσα διαθέσιμες για πρόσληψη από τα φυτά. Παρόλο λοιπόν που η συνολική συγκέντρωση των μετάλλων αυξήθηκε, λόγω της αποσύνθεσης του βιοαποικοδομήσιμου οργανικού κλάσματος, το προϊόν εμφάνισε χαμηλότερη επικινδυνότητα σχετικά με την περιεχόμενη συγκέντρωση μετάλλων λόγω, της σταθερότερης δομής που απέκτησαν μέσω της αερόβιας βιολογικής τους επεξεργασίας. Γενικά, έχει αποδειχθεί ότι η κομποστοποίηση συμβάλλει στην μετατροπή μέρους των μετάλλων στις αδιάλυτες μορφές τους. Με τον τρόπο αυτό μειώνεται ο κίνδυνος από τη συγκέντρωση των μετάλλων της ιλύος, όταν αυτή πρόκειται να προστεθεί στο έδαφος. Επιβεβαιώνεται έτσι το γεγονός ότι όταν χρησιμοποιείται κομποστοποιημένη ιλύς στο έδαφος υπάρχουν λιγότερες πιθανότητες να μεταφερθούν ποσότητες μετάλλων σε αυτό.

4.4.2 Τα στάδια της κομποστοποίησης

Η διεργασία της κομποστοποίησης απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα και στηρίζεται κατά βάση στη δράση ετερότροφων μικροοργανισμών (βακτήρια, μύκητες, ακτινομύκητες, πρωτόζωα). Οι μικροοργανισμοί αντλούν τα απαραίτητα ποσά ενέργειας και άνθρακα κατά τη διάσπαση του ανθρακούχου μέρους των στερεών αποβλήτων. Λαμβάνοντας τα κατάλληλα ποσά υγρασίας, οξυγόνου (από τον αέρα) και τροφής (από την οργανική ύλη), αποδίδουν στο περιβάλλον νερό, διοξείδιο του άνθρακα και ενέργεια. Στη συνέχεια αναπαράγονται και τελικά, αποβιώνουν. Μέρος της ενέργειας που παράγουν τη χρησιμοποιούν για την ανάπτυξη και τη δράση τους, ενώ η υπόλοιπη απελευθερώνεται στο περιβάλλον (Idris et al., 2010). Ακολουθεί μια αναλυτικότερη περιγραφή της συνολικής διεργασίας.



Σχήμα 14: Βασική διεργασία κομποστοποίησης (Woodard & Curran Inc., 2006)

Αρχικά, η θερμοκρασία κυμαίνεται στα επίπεδα της θερμοκρασίας περιβάλλοντος και το οξυγόνο του αέρα αρχίζει να καταλαμβάνει τις κενές θέσεις μεταξύ των στερεών του μίγματος αποβλήτων. Σημαντική παράμετρος σε αυτή τη φάση είναι το ποσοστό υγρασίας των στερεών, καθώς η κατάλληλη ύγρανση θα εξασφαλίσει την επιβίωση και δράση των μικροοργανισμών. Τα βακτήρια άλλωστε, που αποτελούν και την πολυπληθέστερη ομάδα που δρα κατά την κομποστοποίηση, επιβιώνουν σε υδατικό περιβάλλον και μεταβολίζουν μόνο ουσίες διαλυμένες στο νερό. Όσο τα βακτήρια και οι υπόλοιποι μικροοργανισμοί μεταβολίζουν την οργανική ύλη που είναι διαλυμένη στη σωρό των στερεών, παράγεται θερμότητα. Πιο συγκεκριμένα, καθώς οι μικροοργανισμοί «αποσυνθέτουν» τις πρωτεΐνες, τους υδατάνθρακες, τα λιπίδια και τις υπόλοιπες ουσίες που συνθέτουν το μίγμα των στερεών, απελευθερώνεται ενέργεια από το σπάσιμο των χημικών δεσμών, που αποδίδεται υπό την μορφή θερμότητας. Έπειτα, οι μικροοργανισμοί χρησιμοποιούν μέρος αυτής της ενέργειας για να επανασυνδέσουν τα κατάλληλα μοριακά μέρη και υλικά που θα οδηγήσουν στο σχηματισμό νέων κυττάρων. Η υπόλοιπη αχρησιμοποίητη ενέργεια απελευθερώνεται και έτσι παράγεται θερμότητα. Όσο συνεχίζεται η παραγωγή θερμότητας, η θερμοκρασία του συστήματος ανεβαίνει. Στη διάρκεια της φάσης αυτής, λαμβάνει χώρα μια συνεχής φυσική διαδικασία κατά την οποία ευνοείται η επικράτηση των μικροοργανισμών που ευδοκούν σε υψηλότερες θερμοκρασίες. Κατ' αυτό τον τρόπο, επικρατούν ολοένα και περισσότεροι μικροοργανισμοί σε ολοένα και αυξανόμενες θερμοκρασίες, μέχρι να επικρατήσουν τελικά τα θερμόφιλα είδη μικροοργανισμών που ευδοκούν σε θερμοκρασία περίπου 70°C. Η σωρός των στερεών παραμένει σε υψηλά επίπεδα θερμοκρασίας γιατί η θερμότητα σε αυτή τη φάση χάνεται με τον ίδιο ρυθμό που παράγεται.

Μια ιδιότητα των μικροοργανισμών, στην οποία στηρίζεται εν μέρει η αποτελεσματικότητα της κομποστοποίησης, είναι η ικανότητα τους να παράγουν ένα συγκεκριμένο είδος ενζύμων που «επιτίθεται» στα αδιάλυτα οργανικά στερεά και τα αναγκάζει να διαλυθούν σε μικρότερα μέρη στο υδατικό περιβάλλον, προκειμένου να τα μεταβολίσουν έπειτα οι ίδιοι. Αυτή η σχετικά αργή διεργασία συνεχίζεται μέχρι να διαλυθούν όλες οι οργανικές ουσίες, εκτός από αυτές που αντιστέκονται στη βιοαποικοδόμηση. Η κομποστοποίηση, μέσω της κατάλληλης διαχείρισης, θα οδηγήσει τόσο στην μείωση του συνολικού όγκου στερεών αποβλήτων όσο και στην παραγωγή ενός σταθεροποιημένου προϊόντος που θα μπορέσει να διατεθεί με ασφάλεια ή να αξιοποιηθεί αναλόγως (Woodard & Curran Inc., 2006). Η ποιότητα του παραγόμενου προϊόντος (κόμποστ) αποτελεί την ουσία της ίδιας της διεργασίας και της βιολογικής επεξεργασίας των αποβλήτων σε μια ευρύτερη κλίμακα, καθώς καθορίζει τη δυναμική και τη βιωσιμότητα της κομποστοποίησης αλλά και την αντιμετώπιση των βιολογικών μεθόδων επεξεργασίας αποβλήτων ως αξιόπιστες τεχνικές (Lasaridi, 1998). Τα κριτήρια που σχετίζονται με την αξιολόγηση της ποιότητας του κόμποστ εξαρτώνται από το σκοπό για τον οποίο αυτό προορίζεται, τις σχετικές πολιτικές προσαρμογές του περιβάλλοντος και τις απαιτήσεις της αγοράς (Gillett, 1992; Kehres, 1992). Για παράδειγμα, το κόμποστ που θα χρησιμοποιηθεί ως μέσο καλλιέργειας θα πρέπει να πληροί αυστηρότερα κριτήρια σε σχέση με αυτό που θα προοριστεί για την κάλυψη της υγειονομικής ταφής.

4.4.3 Συγκομποστοποίηση

Η συγκομποστοποίηση, όπως και η κομποστοποίηση, αποτελεί μια αποτελεσματική στρατηγική μετατροπής διαφόρων ειδών αποβλήτων (αγροτικά και αστικά παραπροϊόντα, βιομηχανικά απόβλητα) σε χρήσιμα προϊόντα. Είναι μια διεργασία που συνδυάζει και επεξεργάζεται απόβλητα από διαφορετικές γραμμές παραγωγής, διαφορετικής σύστασης και προέλευσης. Για παράδειγμα, μέσω της συγκομποστοποίησης, τα βιοαποικοδομήσιμα απόβλητα μπορούν να αναμειχθούν επιτυχώς με επεξεργασμένη ιλύ και άλλα μη βιοαποικοδομήσιμα προϊόντα προς την παραγωγή προϊόντων κόμποστ υψηλότερης αξίας. Η στρατηγική αυτή μπορεί να αντικαταστήσει τη χρήση ακριβών και πολλές φορές μη διαθέσιμων διογκωτικών παραγόντων που χρησιμοποιούνται για το σκοπό αυτό. Η συγκομποστοποίηση αποτελεί μέθοδο που χρησιμοποιείται συστηματικά για την απορρύπανση των μολυσμένων υποστρωμάτων και βρίσκει ήδη ευρεία εφαρμογή σε πολλούς κλάδους της βιομηχανίας. Μερικά επιτυχή παραδείγματα εφαρμογής της συγκομποστοποίησης παρατίθενται παρακάτω με διαφορετικές κάθε φορά πρώτες ύλες.

Οι Tognetti et al. (2007a, 2007b) εφάρμοσαν τη συγκομποστοποίηση αναμειγνύοντας αστικά οργανικά απόβλητα με περίσσεια ιλύος και παρέλαβαν ένα προϊόν με βελτιωμένη συγκέντρωση

οργανικής ύλης και ενισχυμένη ποιότητα και αξία στην αγορά, που αποτέλεσε παράλληλα μέσο για την αναβάθμιση των εδαφών και την εμπλουτισμό τους σε θρεπτικά συστατικά.

Η κομποστοποίηση αποβλήτων οινοποιείων αποτελεί μια εναλλακτική λύση της απόθεσης των υπολειμμάτων που εφαρμόζεται παραδοσιακά στα απόβλητα αυτού του κλάδου. Οι Bertran et al. (2004) συγκομποστοποίησαν ιλύ με μίσχους σταφυλιών και βρήκαν ότι το παραγόμενο κόμποστ ήταν υψηλής αγρονομικής αξίας και ιδιαιτέρως κατάλληλο ως βελτιωτικό για τα εδάφη των αμπελώνων που είχαν πολύ χαμηλά ποσοστά σε οργανική ύλη. Οι ίδιοι ερευνητές τόνισαν την αξία της επαναχρησιμοποίησης του κόμποστ μέσα στο σύστημα παραγωγής από το οποίο προέρχονται τα υπολείμματα των βιομηχανιών. Οι Fernandez et al. (2008) αξιολόγησαν την πορεία αποδόμησης του άνθρακα κατά τη διάρκεια της συγκομποστοποίησης υπολειμμάτων που προέρχονταν από το πάτημα των σταφυλιών και την αφαίρεση του μούστου με διαφορετικά βιοαπόβλητα (κοπριά βοοειδών και άχυρο, αστικά στερεά απορρίμματα, μίσχοι σταφυλιών) καταλήγοντας στο συμπέρασμα ότι η συγκομποστοποίηση όχι μόνο επιτάχυνε το ρυθμό αποδόμησης του άνθρακα αλλά μείωσε επίσης το κλάσμα του υπολειπόμενου άνθρακα στο τέλος της διεργασίας. Ένα ακόμη είδος αποβλήτων που χρήζει επεξεργασίας είναι τα παραπροϊόντα της παραγωγής στιγμιαίου καφέ, δηλαδή το στερεό υπόλειμμα υψηλού οργανικού φορτίου που απορρέει από τη διεργασία. Οι Nogueira & Devens (1999) συγκομποστοποίησαν τα συγκεκριμένα απόβλητα με αγροτικά υπολείμματα και παρέλαβαν ικανοποιητικά αποτελέσματα παράγοντας προϊόντα υψηλής ποιότητας και αξίας.

Τέλος, αξιοσημείωτη κατηγορία αποβλήτων συνιστούν τα λίπη και τα έλαια, τα οποία αποτελούν δύο από τα βασικότερα συστατικά οργανικής ύλης των λυμάτων και των στερεών αποβλήτων που προέρχονται από τις διάφορες βιομηχανικές δραστηριότητες (Saatci et al., 2003) και ιδιαίτερα από τη βιομηχανία των τροφίμων (Gali et al., 1997; Mari et al., 2003). Η κομποστοποίηση των λιπών αποτελεί γενικά μια δύσκολη πρακτική απορρύπανσης κυρίως λόγω της έλλειψης των απαραίτητων θρεπτικών στοιχείων, και ειδικότερα λόγω των χαμηλών επιπέδων φωσφόρου και αζώτου σε σχέση με την υψηλή περιεκτικότητά τους σε άνθρακα (Sasaki et al., 2003). Εντούτοις, οι Gea et al. (2007b) απέδειξαν ότι η κομποστοποίηση αποβλήτων παρόμοιας σύστασης είναι εφικτή όταν προστεθεί σε αυτά υψηλή αναλογία ιλύος, διαδικασία που οδηγεί στην παραγωγή ενός σταθερού και καθαρού προϊόντος. Τα αποτελέσματα των ερευνών τους έδειξαν ότι όταν η περιεκτικότητα σε λίπη ήταν της τάξεως του 30% (μέγιστη τιμή) η αποσύνθεση των λιπών ήταν ιδιαίτερα υψηλή (85%) και υπό αυτές τις συνθήκες αποφεύγονταν οι εξαιρετικά μεγάλοι χρόνοι κομποστοποίησης. Σε μεταγενέστερη έρευνα, οι Ruggieri et al. (2008) μελέτησαν τη βιοαποικοδομησιμότητα ζωικού λίπους υψηλής αναλογίας κατά την κομποστοποίηση με χωνεμένη ιλύ που χρησιμοποιήθηκε ως υπόστρωμα.

Κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η ύλη που χρησιμοποιήθηκε λειτούργησε ικανοποιητικά ως υπόστρωμα και πηγή του απαραίτητου αζώτου προσθέτοντας στο σύστημα κομποστοποίησης επιπρόσθετο βιοδιασπάσιμο οργανικό υλικό και ενεργή βιομάζα.

Η συγκομποστοποίηση αποτελεί ήδη μια πρακτική που εφαρμόζεται διεξοδικά για την επεξεργασία πολλών ειδών αποβλήτων προς την παραγωγή χρήσιμων προϊόντων. Πρόκειται για μια τεχνική ταυτόχρονης επεξεργασίας διαφορετικών αποβλήτων μέσω της οποίας επωφελούνται πολλοί κλάδοι της βιομηχανίας, γι' αυτό και επιβάλλεται η εφαρμογή στρατηγικών βελτίωσης και ενίσχυσης της διεργασίας.

4.4.4 Κομποστοποίηση με γαιοσκώληκες

Τόσο η παραδοσιακή μέθοδος κομποστοποίησης, όσο και η κομποστοποίηση με τη βοήθεια γαιοσκωλήκων, αποτελούν ευρέως διαδεδομένες μεθόδους αποκατάστασης των στερεών οργανικών αποβλήτων: τα τελικά προϊόντα, χρησιμοποιούνται ως πηγές οργανικής ύλης για τη τροποποίηση των εδαφών, ως πηγές θρεπτικών για την ευφορία τους, ή ως μέσα ανάπτυξης και υποβοήθησης της καλλιέργειας τους (González et al., 2010).

Η κομποστοποίηση με γαιοσκώληκες, όπως η κλασική κομποστοποίηση, αποτελεί μια βιο-οξειδωτική διεργασία με τη διαφορά ότι μεταξύ των μικροοργανισμών περιλαμβάνονται γαιοσκώληκες που επιτελούν ένα μέρος της αποσύνθεσης. Οι μικροοργανισμοί, τόσο αυτοί που υπάρχουν στο εσωτερικό των σκωλήκων όσο και αυτοί που βρίσκονται στις πρώτες ύλες της σωρού κομποστοποίησης, είναι υπεύθυνοι για τη βιοχημική υποβάθμιση της οργανικής ύλης, ενώ οι ίδιοι οι γαιοσκώληκες, είναι υπεύθυνοι για τη διάσπαση του υποστρώματος, ώστε να αυξηθεί η επιφάνεια που βρίσκεται εκτεθειμένη στους μικροοργανισμούς.

Οι τεχνικές διαχείρισης αυτού του είδους κομποστοποίησης απαιτούν λεπτομερή χειρισμό του πληθυσμού των γαιοσκωλήκων. Σε αντίθεση με την παραδοσιακή διεργασία κομποστοποίησης, η χρήση σκωλήκων απαιτεί μικρό εύρος θερμοκρασιών κομποστοποίησης (25-40°C), ουδέτερο pH και υψηλά επίπεδα υγρασίας (70-80%), προκειμένου να ευνοηθεί η επιβίωση των έμβιων οργανισμών (Fornes et al., 2012). Στην πραγματικότητα, οι μικροοργανισμοί είναι αυτοί που αποικοδομούν βιοχημικά την οργανική ύλη, ωστόσο, οι γαιοσκώληκες αποτελούν τους κρίσιμους συντονιστές της διεργασίας καθώς είναι αυτοί που αερίζουν, κλιματίζουν και διασπούν το υπόστρωμα, επηρεάζοντας καταλυτικά την μικροβιακή δραστηριότητα και την έκβαση της διεργασίας. Οι γαιοσκώληκες δρουν ως μηχανικοί αναμεικτήρες οι οποίοι διασπούν την οργανική ύλη και τροποποιούν τη φυσική και χημική δομή της, μειώνοντας σταδιακά την αναλογία C/N και αυξάνοντας την επιφάνεια του υποστρώματος προς αποικοδόμηση, γεγονός που συντελεί στην

αύξηση της μικροβιακής δραστηριότητας και την περαιτέρω υποβάθμιση του. Διακρίνονται έτσι δύο φάσεις (Domínguez et al., 1997):

- i) Η «δραστική» φάση, κατά την οποία οι γαιοσκώληκες επεξεργάζονται τα απόβλητα μετατρέποντας τη φυσική τους κατάσταση και τη συγκέντρωση των μικροοργανισμών (Lores et al., 2006) και,
- ii) Η φάση της «ωρίμανσης», που χαρακτηρίζεται από την μετατόπιση των γαιοσκωλήκων σε φρέσκα στρώματα ανεπεξέργαστων αποβλήτων, όπου οι μικροοργανισμοί αναλαμβάνουν την αποσύνθεση του υποστρώματος.

Όπως και στην κομποστοποίηση, η χρονική διάρκεια της δραστικής φάσης δεν είναι σταθερή και εξαρτάται από το είδος και την πυκνότητα των γαιοσκωλήκων σε συνδυασμό με την ικανότητά τους να καταναλώνουν/αποικοδομούν τα απόβλητα.

Ένας από τους κυριότερους περιορισμούς της διεργασίας είναι η απαίτηση για διατήρηση χαμηλών θερμοκρασιών που ελλοχεύει κινδύνους ανεπαρκούς απολύμανσης του υλικού και εξασφάλισης της απαιτούμενης μείωσης των παθογόνων -για τον άνθρωπο- μικροοργανισμών στο τελικό προϊόν. Για να μειωθούν αυτοί οι περιορισμοί προτείνεται ο συνδυασμός των δύο υπάρχουσών μεθόδων, δηλαδή της απλής κομποστοποίησης με τη διεργασία όπου γίνεται χρήση γαιοσκωλήκων, προκειμένου να παραχθεί ένα προϊόν με βελτιωμένα χαρακτηριστικά. Η πρόταση για ένα συνδυασμένο σύστημα βασίζεται στο γεγονός ότι η κομποστοποίηση επιτρέπει την απολύμανση και την εξάλειψη των τοξικών παραγόντων ενώ η επακόλουθη ή προηγηθείσα κομποστοποίηση με τη χρήση γαιοσκωλήκων μειώνει άμεσα το μέγεθος των σωματιδίων της μάζας και διευκολύνει τη διάχυση των θρεπτικών σε όλο τον όγκο της (Fornes et al., 2012).

Οι μελέτες που συγκρίνουν τα τελικά προϊόντα των τριών διεργασιών (απλή κομποστοποίηση, κομποστοποίηση με γαιοσκώληκες και συνδυασμός αυτών) είναι σχετικά άφθονες στη βιβλιογραφία. Το κόμποστ που έχει παραχθεί με τη βοήθεια γαιοσκωλήκων, φέρεται να έχει μεγαλύτερη αποδοχή από την αγορά λόγω της καλύτερης εμφάνισης αλλά και των βελτιωμένων χαρακτηριστικών –από άποψη θρεπτικών συστατικών και μικροβιακής δραστηριότητας– που παρουσιάζει (Tognetti et al., 2005), παρόλο που η τιμή του είναι αρκετά υψηλότερη από αυτή του απλού κόμποστ. Από την άλλη, το απλό κόμποστ μπορεί να παραχθεί βιομηχανικά σε μεγάλη κλίμακα, μέσω της διάθεσης και της εκμετάλλευσης αποβλήτων που διαφορετικά θα αποτελούσαν πρόβλημα για τις βιομηχανίες (Lazcano et al., 2008). Οι Ndegwa & Thompson (2001) σύγκριναν το υλικό που παρέλαβαν από συστήματα απλής (μόνο κομποστοποίηση) και συνδυασμένης κομποστοποίησης (εφαρμογή της κομποστοποίησης με γαιοσκώληκες μετά την απλή

κομποστοποίηση, και αντίθετα). Απέδειξαν ερευνητικά ότι η περίπτωση του συστήματος που συνδυάζει αρχικά κομποστοποίηση με γαιοσκώληκες και ακολουθείται από την απλή κομποστοποίηση, παρείχε τα πιο ικανοποιητικά αποτελέσματα στη σταθεροποίηση της κοπριάς βοοειδών με τις λιγότερες επιπτώσεις στο περιβάλλον και τα κατάλληλα επίπεδα παθογόνων μικροοργανισμών που ορίζει η νομοθεσία. Σε αντίστοιχα αποτελέσματα κατέληξαν και οι έρευνες των Lazcano et al. (2008) σχετικά με τη συνδυασμένη κομποστοποίηση. Οι Ngo et al. (2011) υποστήριξαν ότι κατέληξαν σε κόμποστ καλύτερης απόδοσης όταν εφάρμοσαν κομποστοποίηση με γαιοσκώληκες για την επεξεργασία κοπριάς βουβαλιών, καθώς το τελικό προϊόν παρουσίασε καλύτερη αναλογία C/N και περιείχε ισχυρότερα επεξεργασμένη λιγνίνη, σε σύγκριση με τη λιγνίνη που υπήρχε στο απλό κόμποστ.

4.4.5 Παράμετροι που επηρεάζουν την κομποστοποίηση

Η διεργασία της κομποστοποίησης επηρεάζεται από πολλές και ποικίλες παραμέτρους, ο αποτελεσματικός συνδυασμός των οποίων θα καθορίσει και το επιθυμητό αποτέλεσμα. Οι κύριοι παράγοντες που ελέγχουν την πορεία της διεργασίας περιλαμβάνουν i) περιβαλλοντικές παραμέτρους (θερμοκρασία, περιεχόμενη υγρασία, pH, αερισμός) και ii) παραμέτρους που σχετίζονται με τη φύση του υποστρώματος (λόγος C/N, μέγεθος σωματιδίων, περιεκτικότητα σε θρεπτικά) (Bueno et al., 2008). Οι λειτουργικές παράμετροι που αποδείχθηκε ότι έχουν την μεγαλύτερη επιρροή στη διεργασία ή την ποιότητα του κόμποστ είναι ο χρόνος λειτουργίας, ο αερισμός, ο λόγος C/N, και η περιεχόμενη υγρασία (Bueno et al., 2009; Delgado-Rodríguez et al., 2010; Habart et al., 2010; Jiang et al., 2011; Madejón et al., 2002). Άλλα χαρακτηριστικά που επηρεάζουν την ποιότητα του κόμποστ σχετίζονται με την οργανική ύλη των αποβλήτων και την περιεκτικότητά τους σε άνθρακα, τη συγκέντρωση και σύνθεση των χουμικών υλικών, το περιεχόμενο άζωτο, φώσφορο και κάλιο, τα βαρέα μέταλλα, την αλατότητα και τη φύση των ιόντων που είναι υπεύθυνα για αυτήν, την ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων, την ικανότητα συγκράτησης νερού, το πορώδες και την πυκνότητα, τις αδρανείς προσμίξεις και το στάδιο ωρίμανσης ή σταθεροποίησης (Lasaridi, 1998). Για τη βελτιστοποίηση της διεργασίας έχουν αναπτυχθεί διάφορα μαθηματικά μοντέλα κομποστοποίησης που βρίσκουν χρήσιμες εφαρμογές (Bueno et al., 2009; Delgado-Rodríguez et al., 2010; Körner et al., 2003; Madejón et al., 2002; Zhang et al., 2011). Εντούτοις, πολύ λίγα μοντέλα μελετούν την ταυτόχρονη αλληλεπίδραση των διαφόρων παραμέτρων της κομποστοποίησης. Αυτά τα μοντέλα δημιουργήθηκαν για να γίνουν κατανοητοί οι πολλαπλοί και πολύπλοκοι φυσικοί, χημικοί, βιοχημικοί και βιολογικοί μηχανισμοί που αλληλοεπιδρούν κατά την κομποστοποίηση για τη βελτιστοποίηση της διεργασίας προς την παραγωγή ενός σταθερού προϊόντος (Illa & Sole-Mauri, 2008).

4.4.5.1 Μικροοργανισμοί

Τα απόβλητα διαφόρων προελεύσεων (σκουπίδια, λύματα κτλ.) περιέχουν πολλά είδη βακτηρίων, μυκήτων και ακτινομηκύτων. Όσον αφορά τη διεργασία της κομποστοποίησης, έρευνες έχουν αποδείξει ότι δεν υπάρχει κάποιο μεμονωμένο είδος μικροοργανισμών που θα μπορούσε να έχει καλύτερες αποδόσεις από τις μικτές καλλιέργειες μικροοργανισμών, καθώς πολλοί και διάφοροι τύποι μικροβίων είναι απαραίτητοι για τη διεργασία. Γενικά, τα θερμοφιλά βακτήρια παίζουν σημαντικό ρόλο στην αποσύνθεση των πρωτεϊνών και των υπόλοιπων άμεσα διασπάσιμων οργανικών μορίων, ενώ οι μύκητες και ακτινομύκητες αποσυνθέτουν κυρίως την κυτταρίνη και τις λιγνοκυτταρινούχες ενώσεις (Hassan et al., 2001).

Οι μικροοργανισμοί που κυριαρχούν στο υπόστρωμα των αποβλήτων αποτελούν μια ένδειξη της απόδοσης και εξέλιξης της διεργασίας (Ishii et al., 2000). Τα μεταβολικά τους μονοπάτια οδηγούν σε σημαντικές αλλαγές των φυσικοχημικών παραμέτρων του υποστρώματος, γεγονός που συμβάλλει σε αλλαγές της δομής της μικροβιακής κοινότητας (Haug, 1993). Η τελευταία, παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον διότι εάν δεν διαχειρισθεί σωστά, μπορεί να προκαλέσει προβλήματα εμφάνισης παθογόνων παραγόντων ή παραγωγής αερίων που συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου (Beck-Friis et al., 2001). Λόγω των διαφορών της πρώτης ύλης αλλά και των πολυάριθμων συνθηκών της κομποστοποίησης (είδος πρώτης ύλης, σχεδιασμός εγκατάστασης, ρυθμός αερισμού, pH, λόγος άνθρακα προς άζωτο, θερμοκρασία, υγρασία) η σχέση της δομής της μικροβιακής κοινότητας με τη σταθερότητα του παραγόμενου από την κομποστοποίηση προϊόντος, δεν είναι πάντοτε ξεκάθαρη, ενώ πολλές μελέτες εμφανίζουν αντικρουόμενα αποτελέσματα (Ishii and Takii, 2003). Η γνώση της μικροβιακής κοινότητας του υποστρώματος βασίζεται σε μεθόδους που είτε σχετίζονται με τον πληθυσμό των μικροοργανισμών, είτε όχι. Η πρώτη περίπτωση περιλαμβάνει την απομόνωση, ταυτοποίηση και καταμέτρηση των βακτηρίων και μυκήτων ενώ η δεύτερη περίπτωση περιλαμβάνει διαφορετικές προσεγγίσεις, όπως είναι η άμεση ανάλυση των λιπαρών οξέων των φωσφολιπιδίων (Klammer & Baath, 1998), αλλά και μοριακές τεχνικές που βασίζονται στην αλυσιδωτή αντίδραση πολυμεράσης και την ανάλυση του 16S ριβοσωμικού DNA (Ishii et al., 2000; Riddech et al., 2002).

4.4.5.2 Θερμοκρασία

Η θερμοκρασία επηρεάζει τόσο την ιδιαίτερη φύση της μικροβιακής κοινότητας, όσο και το ρυθμό και είδος της αποσύνθεσης (Kumar et al., 2010). Η επίτευξη υψηλής θερμοκρασίας στο σύστημα κομποστοποίησης είναι επιθυμητή για δύο κυρίως λόγους. Πρώτον, ο ρυθμός της μικροβιακής αποδόμησης είναι πολύ υψηλός στη θερμοφιλή φάση, γεγονός που μεταφράζεται σε βραχύτερους χρόνους κομποστοποίησης. Γενικά, έχει παρατηρηθεί διπλασιασμός του ρυθμού αποικοδόμησης

των οργανικών σε κάθε αύξηση της θερμοκρασίας κατά 10°C. Το οργανικό υλικό που έχει σταθεροποιηθεί βιολογικά μέσω της διαδικασίας αυτή, δεν υπόκειται σε περαιτέρω βιοαποικοδόμηση, ούτε παράγει δυσσομία ή άλλου είδους ενοχλήσεις. Δεύτερον, η διατήρηση των υψηλών θερμοκρασιών συντελεί στην καταστροφή παθογόνων μικροοργανισμών, φαινόμενο ιδιαίτερα σημαντικό για τις βιομηχανίες που επεξεργάζονται λύματα επιβαρυμένα με αυτού του είδους τους οργανισμούς (Woodard & Curran, 2006). Γενικά, το βέλτιστο εύρος θερμοκρασίας κυμαίνεται μεταξύ 50-70°C, με τους 60°C να αποτελούν το ικανοποιητικότερο επίπεδο θερμοκρασίας του θερμόφιλου σταδίου (Haug, 1980). Ακολουθεί αναφορά σε μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί για τη διερεύνηση της επίδρασης της θερμοκρασίας στις διάφορες παραμέτρους της κομποστοποίησης. Οι Guo κ.ά. (2012) σχεδίασαν μια σειρά πειραμάτων που έφτασαν σε θερμόφιλο στάδιο (>50°C) στο διάστημα των δύο πρώτων ημερών, λόγω του μεταβολισμού των ψυχρόφιλων και μεσόφιλων μικροοργανισμών. Η υψηλή θερμοκρασία διατηρήθηκε για ένα μεγάλο διάστημα ενώ αποδείχθηκε ότι οι χαμηλότερες θερμοκρασίες οδηγούσαν σε υψηλότερες τιμές αγωγιμότητας, χαμηλότερο ρυθμό αποδόμησης οργανικού φορτίου και μικρότερη περιεκτικότητα σε άζωτο όταν το υπόστρωμα βρισκόταν στο ψυχρό στάδιο. Οι Kumar et al. (2010) μέσω πειραμάτων –με την υψηλότερη θερμοκρασία να φτάνει τους 75.2°C– διαπίστωσαν ότι η συγκέντρωση του υδατοδιαλυτού ολικού οργανικού άνθρακα μειώθηκε απότομα όταν η θερμοκρασία έφτασε στο θερμόφιλο στάδιο. Οι Yu και Huang (2009) διεξήγαγαν μια σειρά από πειράματα σε τροφικά υπολείμματα και απέδειξαν ότι σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες από τους 50°C, οι ενδογενείς μικροοργανισμοί μπορούσαν να εκμεταλλευτούν με μεγαλύτερη ευκολία την οργανική ύλη του υποστρώματος. Ο Lin (2008) χρησιμοποίησε ολικά κολοβακτηριοειδή ως ένδειξη παρουσίας παθογόνων μικροοργανισμών και διαπίστωσε ότι όταν η θερμοκρασία έφτασε τους 65°C η ποσότητα των ολικών κολοβακτηριοειδών μειώθηκε απότομα, ενώ το υψηλότερο ποσοστό μείωσης των παθογόνων έλαβε χώρα στους 75°C (15^η μέρα) που αποτέλεσε και την υψηλότερη θερμοκρασία λειτουργίας του συστήματος κομποστοποίησης. Τέλος, ο Stentiford (1996) υποστήριξε ότι θερμοκρασίες μεταξύ των τιμών 55-65°C, επαρκούν για την πλήρη αδρανοποίηση των παθογόνων μικροοργανισμών.

4.4.5.3 Υγρασία

Η περιεχόμενη υγρασία του υποστρώματος κομποστοποίησης αποτελεί παράγοντα που επηρεάζει σχεδόν όλες τις υπόλοιπες φυσικές παραμέτρους της διεργασίας όπως είναι η πυκνότητα, οι κενοί χώροι αέρα, η διαπερατότητα του αέρα και η θερμική αγωγιμότητα (Jiang et al., 2011; Huet et al., 2012). Έχει αποδειχθεί επίσης ότι η υγρασία αποτελεί κυρίαρχο παράγοντα που επηρεάζει την αερόβια δράση των μικροοργανισμών και είναι υπεύθυνη για την μεταφορά των διαλυμένων στο

μίγμα θρεπτικών που είναι απαραίτητα για τις φυσιολογικές και μεταβολικές δραστηριότητες της μικροβιακής κοινότητας (Liang et al., 2003). Ευνοϊκό επίπεδο υγρασίας για την βιοαποικοδόμηση διαφόρων μιγμάτων κομποστοποίησης θεωρείται αυτό που κυμαίνεται μεταξύ 50% έως 70% (Iqbal et al., 2010). Εάν ένα σημαντικό ποσό υγρασίας εξατμιστεί και χαθεί από το σύστημα, οι μικροοργανισμοί δεν θα μπορέσουν να επιβιώσουν και η δράση τους θα τερματιστεί ή θα συνεχιστεί με πολύ αργούς ρυθμούς (για ποσοστό υγρασίας <40%). Αντίθετα, εάν υπάρχει υπερβολική υγρασία (>80%), το νερό θα καταλάβει τα κενά ανάμεσα στα στερεά της σωρού, το διαλυμένο στο νερό οξυγόνο θα εξαντληθεί και το σύστημα θα γίνει ανοξικό ή αναερόβιο. Σε αυτή την περίπτωση, η θερμοκρασία δεν θα φτάσει στο θερμοφίλο στάδιο, έντονες οσμές θα παραχθούν και η μικροβιακή αποδόμηση της οργανικής ύλης θα πραγματοποιείται σε πολύ αργό ρυθμό. Το βέλτιστο επίπεδο υγρασίας για την αερόβια κομποστοποίηση κυμαίνεται μεταξύ 50-60% και επιτυγχάνεται συνήθως με τη χρήση ψεκαστήρων νερού. Γενικότερα, ποσοστά υγρασίας μεταξύ του εύρους 40-80% μπορεί να εμφανίσουν ικανοποιητικά αποτελέσματα, ανάλογα με τη φύση του υλικού προς κομποστοποίηση (Gaur, 1987). Η εύρεση του κατάλληλου επιπέδου υγρασίας αποτελεί εμπειρικό παράγοντα που συνδυάζεται με την καλή γνώση του υλικού που υφίστανται την κομποστοποίηση. Συνίσταται πάντοτε να διενεργούνται πειράματα, αρχικά σε εργαστηριακή κλίμακα κι έπειτα σε πιλοτική κλίμακα. Όταν παρατηρηθεί το βέλτιστο επίπεδο υγρασίας, το αρχικό μίγμα τοποθετείται προς κομποστοποίηση σε βιομηχανική κλίμακα. Παράλληλα, συγκρίνεται η απόδοση της λειτουργίας του με την απόδοση της κομποστοποίησης στην πιλοτική κλίμακα. Σκοπός είναι να παρατηρηθούν τα επιθυμητά επίπεδα θερμοκρασίας και να κομποστοποιηθεί το μίγμα πλήρως σε διάστημα 14-28 ημερών (Woodard & Curran, 2006).

4.4.5.4 Διογκωτικοί παράγοντες

Πολλές φορές στο πρώτο στάδιο της κομποστοποίησης χρειάζεται να γίνει ανάμιξη της σωρού των στερεών αποβλήτων με κάποιο διογκωτικό μέσο (π.χ. ροκανίδι), το οποίο δεν συμμετέχει απαραίτητα στη διεργασία βιοαποικοδόμησης. Η προσθήκη τέτοιων μέσων μειώνει τη συμπίκνωση του μίγματος, επιτρέπει την ανταλλαγή αερίων, συνεισφέρει στη ρύθμιση του λόγου C/N στα επιθυμητά επίπεδα, μειώνει τις εκλύσεις NH₃ και ρυθμίζει την περιεκτικότητα του μίγματος αποβλήτων σε νερό (Chang & Chen, 2010; Doublet et al., 2011; Gea et al., 2007a). Επίσης, η χρήση των διογκωτικών παραγόντων μπορεί να γίνει για τη ρύθμιση του pH και την μεταβολή των φυσικών ιδιοτήτων του μίγματος κομποστοποίησης, όπως είναι η υγρασία, ο περιεχόμενος άνθρακας και το πορώδες (Cekmecelioglu et al., 2005; Adhikari et al., 2008; Iqbal et al., 2010), ενώ παράλληλα

διευκολύνει την μεταφορά του αέρα σε αυτό και την παροχή οξυγόνου για την μικροβιακή αναπνοή (Woodard & Curran, 2006).

Συχνά προτιμάται η χρήση μέσων διόγκωσης που αποτελούν φθηνές πρώτες ύλες, χωρίς να δίνεται ιδιαίτερο βάρος στον τύπο και το σχήμα του υλικού που χρησιμοποιείται. Εντούτοις, τα περισσότερα μέσα που προστίθενται συνεισφέρουν στην αύξηση των κενών χώρων (FAS – free air space) μεταξύ των στερεών αποβλήτων για την διέλευση του αέρα, ανεξάρτητα του είδους τους (Iqbal et al., 2010). Τα πριονίδια, τα ροκανίδια και άλλα λιγνοκυτταρινούχα υπολείμματα είναι τα υλικά που χρησιμοποιούνται περισσότερο για αυτό το σκοπό, προσθέτοντας τους μια επιπλέον αξία μέσω της ενσωμάτωσής τους στη μάζα του υποστρώματος κομποστοποίησης. (Adhikari et al. 2009; Delgado-Rodríguez et al., 2010; Eftoda & McCartney, 2004; Yañez et al., 2009). Οι Adhikari et al. (2008) χρησιμοποίησαν χαρτόνια και εφημερίδες σε σωρούς αποβλήτων γαλακτοκομικών προϊόντων που οδηγήθηκαν προς κομποστοποίηση, προσθέτοντας την απαιτούμενη ποσότητα άνθρακα στη μάζα των στερεών. Ωστόσο η πρακτική αυτή δεν είχε τα επιθυμητά αποτελέσματα καθώς δεν συνεισέφερε στη δημιουργία των απαραίτητων κενών χώρων ώστε να επιτρέπεται η διέλευση του αέρα μέσα από αυτήν. Εκτός από τα υπολείμματα χαρτονιού και εφημερίδας, ικανοποιητικοί φορείς ποσοτήτων άνθρακα αποτελούν τα φύλλα δέντρων, τα οποία χρησιμοποιούνται για αυτό το σκοπό, παρά το χαμηλό σχετικά πορώδες τους (Iqbal et al., 2010). Ακόμη, συχνά χρησιμοποιείται ώριμο κόμποστ ως διογκωτικός παράγοντας. Σε πειράματα που διεξήχθησαν από τους Nakasaki & Akiyama (1988) η προσθήκη ώριμου κομποστοποιημένου προϊόντος είχε ως αποτέλεσμα την αραίωση του μίγματος των φρέσκων αποβλήτων, την μείωση της άμεσης διαθέσιμης ενέργειας ανά όγκο αποβλήτου, την μείωση του κινδύνου δυσοσμίας και της συγκέντρωσης των ανασταλτικών οργανικών οξέων, ενώ παρείχε διαφοροποιημένα είδη μικροοργανισμών που μπορούσαν να συμβάλλουν στην επιτάχυνση της έναρξης της διεργασίας.

Όσον αφορά το μέγεθος των υλικών, οι Raichura & McCartney (2006) διαπίστωσαν ότι η προσθήκη μέσων διόγκωσης μικρού μεγέθους ήταν περισσότερο επιθυμητή σε σχέση με τη χρήση παραγόντων μεγαλύτερου μεγέθους. Αυτό δικαιολογήθηκε από το γεγονός ότι τα μικρότερα σωματίδια δημιουργούσαν μια πραγματικά πορώδη δομή και το υπόστρωμα –λόγω της ομοιογενούς κατανομής μεγέθους πόρων– λειτουργούσε αποτελεσματικότερα ως προς την κατανάλωση του απαραίτητου οξυγόνου. Τέλος, άλλοτε είναι επιθυμητός ο διαχωρισμός του διογκωτικού μέσου από τα στερεά και άλλοτε όχι. Στην πρώτη περίπτωση, αφού γίνει ο διαχωρισμός μέσω διαλογής, κοσκινίσματος κτλ., το μέσο διόγκωσης αποθηκεύεται για να χρησιμοποιηθεί ξανά σε καινούργια σωρό αποβλήτων. Στη δεύτερη περίπτωση προτιμάται η ενσωμάτωση του με το κομποστοποιημένο

προϊόν γιατί ενισχύει την αξία του ίδιου του προϊόντος για συγκεκριμένες χρήσεις (Woodard & Curran, 2006).

4.4.5.5 Αερισμός

Λόγω της συνεχούς εξάντλησης του οξυγόνου, είναι απαραίτητη η διαρκής αναπλήρωσή του, μέσω της παροχής αέρα σε ολόκληρη τη μάζα των στερεών. Αυτό επιτυγχάνεται είτε αναδεύοντας το μίγμα κομποστοποίησης περιοδικά, είτε προσθέτοντας αέρα μέσα σε αυτό με μηχανικά μέσα. Το ποσοστό οξυγόνου στα κενά που δημιουργούνται μεταξύ των στερεών της μάζας κομποστοποίησης πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 5-15% κατ' όγκο (σε σχέση με την αναλογία του οξυγόνου στην ατμόσφαιρα). Ποσοστά οξυγόνου χαμηλότερα του 5% πιθανότατα θα ευνοήσουν τη δημιουργία αναερόβιων ή ανοξικών συνθηκών ενώ εάν το οξυγόνο βρίσκεται σε αναλογία μεγαλύτερη του 15% κατ' όγκο στη μάζα των στερεών, δύσκολα θα αναπτυχθούν οι απαιτούμενες θερμοκρασίες του θερμόφιλου σταδίου (Woodard & Curran, 2006). Ο ρυθμός του αερισμού επηρεάζει έντονα την μικροβιακή δραστηριότητα, το ρυθμό αποδόμησης του υποστρώματος και τις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης (Rasarpour et al., 2009; Gao et al., 2010).

Το οξυγόνο που παρέχεται μέσω του αερισμού δεν είναι απαραίτητο μόνο για τον αερόβιο μεταβολισμό και την αναπνοή των μικροοργανισμών αλλά και για την οξείδωση των διαφόρων οργανικών μορίων. Πειραματικές μελέτες που πραγματοποιήθηκαν σε μια μηχανική μονάδα συνεχούς αερισμού έδειξαν ότι τα επιθυμητά επίπεδα παροχής αερισμού κυμαίνονταν μεταξύ 0,6-1,9 m³ την ημέρα, ανά κιλό πτητικών στερεών της αρχικής ποσότητας στερεών (Hassan et al., 2001). Με τα επίπεδα αυτά, παρέχονταν μάλιστα πάνω από τη διπλάσια ποσότητα οξυγόνου που απαιτούνταν για την οξείδωση της οργανικής ύλης. Οι συγκεκριμένοι ρυθμοί αερισμού ήταν οι βέλτιστοι καθώς αποδείχθηκε ότι χαμηλότερα επίπεδα αερισμού θα οδηγούσαν σε παρατεταμένους χρόνους κομποστοποίησης, ενώ υψηλότεροι ρυθμοί θα οδηγούσαν στην ταχεία ψύξη και ξήρανση των στερεών. Οι Rasarpour et al. (2009) διεξήγαγαν πειράματα κομποστοποίησης σε αστικά στερεά απόβλητα χρησιμοποιώντας τρεις διαφορετικούς ρυθμούς αερισμού και διαπίστωσαν ότι οι χαμηλοί και μέτριοι ρυθμοί αερισμού οδήγησαν σε ποσοτική αύξηση του ολικού αζώτου (TN), απότομη μείωση του λόγου C/N και μεγαλύτερο χρονικά θερμόφιλο στάδιο. Αντίστοιχα, ο υψηλός ρυθμός αερισμού οδήγησε σε υψηλότερες τιμές αγωγιμότητας (EC).

Η παροχή αερισμού με μηχανικά μέσα αποδίδει καλύτερα σε σχέση με τη φυσική μέθοδο, διότι όταν η παροχή είναι ελεγχόμενη, η συγκέντρωση του οξυγόνου μπορεί να ρυθμιστεί στα επιθυμητά κάθε φορά επίπεδα. Σε αυτή την περίπτωση, συνήθως το υπόστρωμα που βρίσκεται κοντά στην έξοδο παροχής αέρα ψυχραίνεται, γεγονός που οδηγεί στην μείωση της καταστροφής των παθογόνων

αλλά και της μικροβιακής δραστηριότητας στη συγκεκριμένη περιοχή. Η μηχανική παροχή αερισμού γίνεται είτε με την εφαρμογή αρνητικής πίεσης (υποπίεση), είτε με την εφαρμογή θετικής πίεσης (υπερπίεση).

Γενικά, ο αερισμός με την επιβολή θετικής πίεσης μειώνει τα επίπεδα υγρασίας του υλικού που βρίσκεται κοντά στον πυθμένα του κομποστοποιητή και αυξάνει την υγρασία στην επιφάνεια, ενώ η αρνητική πίεση δημιουργεί τα αντίθετα αποτελέσματα. Και οι δύο τρόποι έχουν ικανοποιητικές αποδόσεις σε σύντομο χρονικό διάστημα, ωστόσο το τελικό προϊόν που έχει υποβληθεί σε αερισμό αρνητικής πίεσης εμφανίζει συχνά περιορισμένα κενά αέρα και υψηλότερα επίπεδα υγρασίας, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε αναερόβιες συνθήκες που θα υποβαθμίσουν την περαιτέρω πρόοδο της διεργασίας. Επίσης, σε πειράματα που πραγματοποιήθηκαν, η αρνητική πίεση εφαρμόστηκε επιτυχώς τόσο ως μέσο αερισμού όσο και ως μέσο παγίδευσης των εκπεμπόμενων αερίων της σωρού κομποστοποίησης, κάτι που δεν παρατηρήθηκε πειραματικά στις εφαρμογές αερισμού θετικής πίεσης (Lu et al., 2001; Seo et al., 2004; Lin, 2008; Yu & Huang, 2009; Chang & Chen, 2010; Kumar et al., 2010).

4.4.5.6 Ανάμιξη

Η ανάμιξη ή περιστροφή των στερεών επηρεάζει το είδος και το ρυθμό της κομποστοποίησης καθώς μέσω της ανάδευσης παρέχεται επαρκές οξυγόνο για την αερόβια δραστηριότητα των μικροοργανισμών, ώστε να επιταχυνθεί η διεργασία. Ο απαιτούμενος ρυθμός ανάδευσης εξαρτάται από το είδος της κομποστοποίησης και τον εξοπλισμό που χρησιμοποιείται για το σκοπό αυτό σε βιομηχανική κλίμακα. Σε κάθε περίπτωση, συνίσταται είτε μια σταθερή και αργή ανάδευση είτε η περιοδική ανάμιξη του μίγματος ανά 5-10 λεπτά, είτε ο συνδυασμός αερισμού και λιγότερο συχνής ανάδευσης (Hassan et al., 2001).

4.4.5.7 pH

Για την ικανοποιητική απόδοση της κομποστοποίησης και την παραγωγή ενός ουδέτερου τελικού προϊόντος, απαιτείται η επίτευξη του βέλτιστου εύρους pH στο μίγμα των αποβλήτων. Πειραματικές μελέτες έδειξαν ότι τα βέλτιστα επίπεδα pH κυμαίνονται μεταξύ των τιμών 6.0-8.0 για τη διεργασία της κομποστοποίησης και 4.0-7.0 για το τελικό προϊόν. Αυτά τα επίπεδα τιμών οδηγούν στην αποδοτική κομποστοποίηση τόσο των όξινων όσο και των βασικών υλικών, προς την παραγωγή ενός ουδέτερου προϊόντος. Τα αερόβια βακτήρια αναπτύσσονται ικανοποιητικά σε κλίμακα του pH 6.0-9.0 και οι ακτινομύκητες μεταξύ των τιμών 5.5-9.5. Οι μύκητες αναπτύσσονται σε μια ευρύτερη κλίμακα του pH που παίρνει τιμές από 3.0 έως 9.5 (Verdonck, 1998).

Άλλες μελέτες που πραγματοποιήθηκαν σε υπολείμματα αστικών απορριμμάτων οργανικής προέλευσης συνέδεσαν την παραγωγή οργανικών οξέων μικρού μήκους αλύσων με την κομποστοποίηση του υποστρώματος από τα πρώτα κιάλας στάδια (Beck-Friis et al., 2001). Γενικά, τα οργανικά οξέα μικρού μήκους που παράγονται και η αμμωνία που περιέχεται στο μίγμα των αποβλήτων αποτελούν δύο παράγοντες που επηρεάζουν ιδιαίτερα τη διακύμανση του pH, το οποίο συνήθως κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 4.9-8.3. Οι οργανικές πτητικές ενώσεις (VOCs) και οι ημι-πτητικές ενώσεις που παράγονται κατά την κομποστοποίηση (οξέα, αλκοόλες κ.ά.) μειώνουν σημαντικά την μικροβιακή δραστηριότητα, γι' αυτό και η αύξηση των μικροοργανισμών μέσω της ρύθμισης του pH, αποτελεί έναν πολύ χρήσιμο τρόπο βελτίωσης της διεργασίας (Komilis et al., 2004). Τόσο οι χαμηλές, όσο και οι υψηλές τιμές του pH μπορούν να αναστείλουν την μικροβιακή δραστηριότητα και σε ορισμένες περιπτώσεις να παρεμποδίσουν σημαντικά την πρόοδο της κομποστοποίησης (Beck-Friis et al., 2001). Γενικά, το pH επηρεάζει την απόδοση της κομποστοποίησης και το εύρος τιμών του εξαρτάται τόσο από τα χαρακτηριστικά των προσθέτων του μίγματος, όσο και από την παραγωγή οργανικών οξέων και αμμωνίας. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, το pH που δεν βρίσκεται στο ικανοποιητικό εύρος τιμών, οδηγεί σε χαμηλού ρυθμού μεταβολική δραστηριότητα των αερόβιων μικροοργανισμών. Όταν το επεξεργαζόμενο είδος αποβλήτων περιέχει υψηλό οργανικό φορτίο, οι πολύ χαμηλές ή υψηλές τιμές του pH συνεπάγονται μεγάλους χρόνους κομποστοποίησης, επομένως η προσθήκη ενός βοηθητικού μέσου (ιπτάμενη τέφρα, ρυθμιστικά διαλύματα κ.ά.) σε αυτές τις περιπτώσεις κρίνεται απαραίτητη για τη συντόμηση και την αποδοτικότητα της διεργασίας.

4.4.5.8 Άλεση

Μερικές φορές, η άλεση του μίγματος ή μεμονωμένων συστατικών πριν αυτά προστεθούν στο μίγμα, αποτελεί ένα πολύ σημαντικό βήμα που δεν πρέπει να παραλείπεται. Η άλεση έχει το ευεργετικό αποτέλεσμα να μεγεθύνει την επιφάνεια των οργανικών σωματιδίων διευκολύνοντας έτσι την κομποστοποίηση και την ευκολότερη ανάμιξη των διογκωτικών μέσων που προστίθενται με το μίγμα. Επίσης, μέσω της άλεσης το μίγμα αποκτά ομοιόμορφη κατανομή υγρασίας σε όλο τον όγκο του.

4.4.5.9 Αναλογία C/N

Οι μικροοργανισμοί χρησιμοποιούν τον άνθρακα τόσο ως πηγή ενέργειας (μέσω της μεταβολικής οξειδωσης), όσο και ως μέσο σύνθεσης του κυτταρικού τοιχώματος και των άλλων κυτταρικών δομών και πρωτοπλάσματος. Όσον αφορά το άζωτο, έχει αποδειχθεί ότι οι μικροοργανισμοί δεν μπορούν να επιβιώσουν χωρίς αυτό, καθώς αποτελεί σημαντικό συστατικό του πρωτοπλάσματος,

δηλαδή ουσιώδη παράμετρο που καθορίζει τη μικροβιακή δραστηριότητα (Woodard & Curran, 2006). Ο λόγος άνθρακα προς άζωτο (C/N), δεν επηρεάζει μόνο την έκβαση της κομποστοποίησης αλλά και τις ιδιότητες του τελικού προϊόντος (Zhu, 2007; Chang & Hsu, 2008). Όταν οι τιμές του κυμαίνονται μεταξύ 25-30, θεωρείται ότι βρίσκεται στο βέλτιστο εύρος τιμών. Εντούτοις, μελέτες έχουν αποδείξει ότι η κομποστοποίηση πραγματοποιείται και σε χαμηλότερες τιμές του λόγου C/N (<15) (Huang et al., 2004; Zhu, 2007). Γενικά, οι υψηλές τιμές του λόγου C/N μετατρέπουν την κομποστοποίηση σε μια πολύ αργή διεργασία λόγω της ύπαρξης περίσσειας βιοαποικοδομήσιμου υποστρώματος για τους μικροοργανισμούς. Αντίθετα, οι χαμηλές τιμές υποδεικνύουν μια περίσσεια συγκέντρωσης αζώτου, η οποία μπορεί να χαθεί από την μάζα της κομποστοποίησης μέσω της έκπλυσης ή της εξάτμισής της ως αμμωνία. Οι χαμηλές τιμές του λόγου C/N μπορούν να διορθωθούν με την προσθήκη ενός διογκωτικού παράγοντα για την παροχή οργανικού άνθρακα (Mengchun et al., 2010).

4.4.5.10 Μεταφορά και απώλεια αζώτου

Η μετατροπή των μορφών του αζώτου που περιέχεται στο μίγμα της κομποστοποίησης αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες που επηρεάζουν την ποιότητα του κόμποστ (Ekinici et al., 2000; Beck-Friis et al., 2001; Jeong & Kim, 2001; Cayuela et al., 2012). Οι αντιδράσεις αζώτου που λαμβάνουν χώρα κατά την κομποστοποίηση είναι πολύπλοκες, ωστόσο οι βασικές διαδικασίες που διέπουν το σχηματισμό των διαφορετικών μορφών αζώτου μπορούν να κατηγοριοποιηθούν στις εξής κατηγορίες: ανοργανοποίηση, εξάτμιση, νιτροποίηση, ακινητοποίηση και απονιτροποίηση (Hellebrand, 1998). Το άζωτο εμφανίζεται με διάφορες μορφές κατά την κομποστοποίηση, ωστόσο οι επικρατέστερες μορφές αφορούν (α) την *οργανική μορφή* (N-org) και (β) την *ανόργανη μορφή* του αζώτου: αμμωνιακά (N-NH_4^+), νιτρικά (N-NO_3^-) και νιτρώδη (N-NO_2^-).

Η γνώση της πορείας του αζώτου είναι σημαντική, πρωτίστως διότι οι εκπομπές των NH_3 και N_2O επηρεάζουν δυσμενώς το περιβάλλον και πρέπει να ελαχιστοποιούνται. Ταυτόχρονα, πρέπει να γίνονται προσπάθειες βελτιστοποίησης της κατακράτησης του αζώτου του κόμποστ, προκειμένου αυτό να εκπληρώνει τις απαιτήσεις σε θρεπτικά συστατικά. Η εκπομπή του N_2O στο περιβάλλον πραγματοποιείται κυρίως μέσω των διεργασιών απονιτροποίησης, οι οποίες αποτελούν τις μοναδικές διεργασίες κατά τις οποίες το άζωτο μεταφέρεται και πάλι στο περιβάλλον υπό την μορφή αέριου αζώτου N_2 . Η απονιτροποίηση δεν πραγματοποιείται μόνο υπό αναερόβιες συνθήκες αλλά αφορά και αερόβιες διεργασίες, όπως είναι η κομποστοποίηση. Σύμφωνα με τον Paul (2008) η εκπομπή οξειδίων του αζώτου κατά την κομποστοποίηση σχετίζεται με την παρουσία των διαφόρων μορφών αζώτου αλλά και των άμεσα διαθέσιμων μορφών του άνθρακα. Μέσα από πειράματα που πραγματοποίησε έδειξε ότι τα ποσοστά εκπομπής N_2O ήταν υψηλότερα υπό αερόβιες συνθήκες και

την παρουσία NH_4^+ και άμεσα διαθέσιμου άνθρακα, παρά υπό την παρουσία NO_3^- και διαθέσιμου άνθρακα ή την παρουσία NH_4^+ χωρίς το διαθέσιμο άνθρακα. Υποστήριξε ακόμη ότι οι εκπομπές N_2O σχετίζονται άμεσα με τη διεργασία της νιτροποίησης. Οι δύο κύριοι παράγοντες που σχετίζονται την εκπομπή της NH_3 αφορούν το pH και την θερμοκρασία. Οι υψηλές θερμοκρασίες επηρεάζουν την εξάτμιση της αμμωνίας ενώ σε υψηλές τιμές του pH τα μη πτητικά αμμωνιακά μετατρέπονται σε αμμωνία που εξατμίζεται, λόγω της υψηλής πτητικότητάς της. Όσον αφορά τη θερμοκρασία, σε πειράματα που πραγματοποίησαν οι Pagans et al. (2005) συσχέτισαν τις εκπομπές της αμμωνίας με τα θερμοκρασιακά προφίλ που αναπτύχθηκαν στους κομποστοποιητές. Η συσχέτιση αυτή αφορούσε τόσο το θερμόφιλο στάδιο όπου οι εκπομπές της αμμωνίας αυξήθηκαν, όσο και το μεσόφιλο στάδιο όπου η συγκέντρωση της αμμωνίας σταθεροποιήθηκε. Η εκθετική αύξηση των εκπομπών που παρατηρήθηκε στα αρχικά στάδια της διεργασίας σχετίστηκε με την υψηλή μικροβιακή δραστηριότητα που χαρακτήριζε τα αρχικά μίγματα, η οποία εκτός από την επίτευξη του θερμόφιλου σταδίου, προκάλεσε και την μερική απώλεια του αζώτου. Η εξήγηση του φαινομένου αυτού αποδίδεται ως εξής: Στα αρχικά στάδια της κομποστοποίησης, η αποσύνθεση μεγάλων ποσοτήτων εύκολα βιοδιασπάσιμων οργανικών ενώσεων με υψηλό αζωτούχο φορτίο προκαλούν την αποδέσμευση ποσοτήτων αέριας αμμωνίας η οποία εξαρτάται εκθετικά από τη θερμοκρασία, όπως συμβαίνει και με την ελεύθερη διαλυτή αμμωνία. Αντίθετα, στα τελικά στάδια της διεργασίας, το άζωτο δεσμεύεται σε σύνθετα οργανικά μόρια συμμετέχοντας στις διεργασίες χουμοποίησης, που αποτρέπουν την εξαέρωση και απελευθέρωση της αμμωνίας.

Κατά την κομποστοποίηση, οι απώλειες αζώτου επηρεάζονται επίσης από πρόσθετες παραμέτρους, όπως είναι ο αερισμός, οι διογκωτικοί παράγοντες, η αναλογία C/N, η υγρασία και η σύσταση των ακατέργαστων αποβλήτων (Barrington et al., 2003). Επίσης, η ανάδευση του μίγματος και ο ρυθμός του αερισμού επηρεάζουν εξίσου την εξαέρωση της αμμωνίας (Cekmecelioglu et al., 2005). Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, τα υψηλά επίπεδα του pH μπορεί να αυξήσουν την απώλεια του αζώτου μέσω της εξάτμισης της αμμωνίας, σε συνδυασμό με υψηλές θερμοκρασίες και χαμηλές αναλογίες C/N. Αντίθετα, τα υψηλά επίπεδα υγρασίας μειώνουν την εξάτμιση του αζώτου καθώς η μεγαλύτερη ποσότητα αμμωνίας βρίσκεται διαλυμένη κυρίως στην υγρή φάση και όχι στα κενά αέρος που υπάρχουν μέσα στη μάζα των στερεών. Με τον τρόπο αυτό, η διαλυμένη αμμωνία χρησιμοποιείται για περαιτέρω μικροβιακή ανάπτυξη στα επόμενα στάδια της διεργασίας (Ekinici et al., 2000; Liang, 2000). Οι Beck-Friis et al. (2001) μελέτησαν την επίδραση που είχαν διαφορετικά θερμοκρασιακά προφίλ στην εκπομπή απαερίων που περιείχαν άζωτο και διαπίστωσαν ότι η θερμότητα που εκλυόταν από την ίδια τη διεργασία προωθούσε την εκπομπή της αμμωνίας. Τέλος, έρευνες έδειξαν ότι η προσθήκη αλάτων Mg και P σχετίζεται με τη διατήρηση των επιπέδων της αμμωνίας κατά την κομποστοποίηση, ενώ η προσθήκη διογκωτικών μέσων μπορεί να αυξήσει τη

διαθεσιμότητα του αζώτου στο κόμποστ και να περιορίσει τις απώλειες, ρυθμίζοντας την αναλογία C/N σε υψηλά επίπεδα (Jeong & Kim, 2001; Doublet et al., 2011).

4.4.6 Σταθερότητα & ωριμότητα του κόμποστ

Το κόμποστ που δεν έχει ωριμάσει πλήρως και είναι γενικά ασταθές ως προς τα χαρακτηριστικά του, μπορεί να εμφανίσει μια σειρά από προβλήματα κατά την αποθήκευση, εμπορία και χρήση του. Κατά την αποθήκευση, τα κόμποστ παρόμοιων χαρακτηριστικών μπορεί να αναπτύξουν αναερόβια τμήματα στο εσωτερικό της μάζας τους που θα οδηγήσουν στην παραγωγή δυσοσμίας, πυρκαγιάς ή ακόμα και στην ανάπτυξη τοξικών ενώσεων. Η συνεχιζόμενη αποσύνθεση του οργανικού υλικού όταν το κόμποστ τοποθετηθεί στο έδαφος ή χρησιμοποιηθεί ως μέσο ανάπτυξης, μπορεί να έχει αρνητικές επιπτώσεις στην ανάπτυξη των φυτών λόγω του μειωμένου διαθέσιμου οξυγόνου ή/και αζώτου, αλλά και λόγω της παρουσίας επιβλαβών για το έδαφος ενώσεων (τοξικών κ.ά.). Η ωριμότητα και η σταθερότητα του κόμποστ συχνά χρησιμοποιούνται ως εναλλακτικές έννοιες, ωστόσο, κάθε μια αναφέρεται σε συγκεκριμένες ιδιότητες του υλικού. Πριν ακολουθήσει η ανάλυση των δύο αυτών παραγόντων, θα γίνει μια αναφορά στις έννοιες «οργανική ύλη/οργανικός άνθρακας» και «οργανικό άζωτο/ολικό άζωτο», καθώς αποτελούν παραμέτρους που αναφέρονται συχνά παρακάτω, η γνώση των οποίων κρίνεται ουσιώδης.

Ο **οργανικός άνθρακας** παρέχει μια άμεση εκτίμηση του βιολογικά διασπάσιμου άνθρακα (C) του κόμποστ. Κατά την κομποστοποίηση ο άνθρακας μετατρέπεται σε περισσότερο σύνθετες οργανικές ενώσεις όπως είναι το χούμους ενώ παράλληλα ανοργανοποιείται και χάνεται ως διοξείδιο του άνθρακα (CO₂). Ο ολικός οργανικός άνθρακας στο κόμποστ περιλαμβάνει διάφορες μορφές οργανικής ύλης διαφορετικών σταδίων αποδόμησης, μεταξύ των οποίων κάποιες που αντιστέκονται σε περαιτέρω υποβάθμιση και άλλες που παραμένουν βιολογικά ενεργές. Ο προσδιορισμός της **οργανικής ύλης** του κόμποστ παρέχει μια εκτίμηση όλων των ουσιών που περιέχουν οργανικό άνθρακα. Η συγκέντρωση και η σύσταση της οργανικής ύλης (organic matter – OM) μειώνεται κατά την κομποστοποίηση όπως συμβαίνει και με τον οργανικό άνθρακα, ενώ η μέτρησή της αποτελεί μονάχα μια έμμεση εκτίμηση του περιεχόμενου οργανικού άνθρακα. Το περιεχόμενο **ολικό άζωτο** του κόμποστ βρίσκεται σε άμεση εξάρτηση με τη συγκέντρωση των ακατέργαστων πρώτων υλών του μίγματος κομποστοποίησης και τις συνθήκες της διεργασίας. Το **οργανικό άζωτο** αποτελεί το άζωτο που είναι συνδεδεμένο με την περιεχόμενη οργανική ύλη του μίγματος, ενώ το ολικό άζωτο τυπικά αναφέρεται ως το άθροισμα των οργανικών και ανόργανων μορφών του (αμμωνιακό, νιτρικό και νιτρώδες άζωτο). Η συγκέντρωση του οργανικού αζώτου μπορεί να πάρει σημαντικά χαμηλότερες τιμές από αυτήν του ολικού αζώτου, επομένως ο λόγος C/N συχνά πρέπει να υπολογίζεται από το ολικό περιεχόμενο άζωτο του υλικού και όχι μόνο από την οργανική μορφή του.

Η σταθερότητα του κόμποστ αναφέρεται σε ένα συγκεκριμένο στάδιο ή στην αποσύνθεση ή στην κατάσταση του οργανικού υλικού κατά την κομποστοποίηση, που σχετίζεται με το είδος των οργανικών ενώσεων που παραμένουν στο υλικό και τη βιολογική δραστηριότητα που πραγματοποιείται σε αυτό. Η γνώση της σταθερότητας ενός κόμποστ είναι σημαντική για τον προσδιορισμό των δυνητικών επιπτώσεων του όσον αφορά τη διαθεσιμότητα του αζώτου στο έδαφος ή στο υλικό που έχει προστεθεί ως μέσο ανάπτυξης αλλά και για τη διατήρηση σταθερού όγκου και πορώδους σε αυτό. Οι περισσότερες χρήσεις του κόμποστ απαιτούν ένα προϊόν σταθερό έως πολύ σταθερό, που θα ενισχύσει την απελευθέρωση των θρεπτικών συστατικών που περιέχει και τη διαθεσιμότητα του οξυγόνου στο έδαφος ή οπουδήποτε αλλού αυτό χρησιμοποιείται (CCQC, 2001).

Η εφαρμογή χημικών παραμέτρων για την αποτίμηση του βαθμού σταθερότητας ενός υλικού αποτελεί μια κοινή πρακτική στο τομέα της έρευνας που αφορά την κομποστοποίηση (Ciavatta et al., 1993; Govi et al., 1993; Chefetz et al., 1996; Grigatti et al., 2007). Μερικές από αυτές τις παραμέτρους δεν αποτελούν αποτελεσματικούς δείκτες ωριμότητας καθώς περιγράφουν ανεπαρκώς την εξέλιξη της ποιότητας του οργανικού υλικού κατά τη διάρκεια της διεργασίας. Αυτό οφείλεται κυρίως στη χρήση ισχυρών οξειδωτικών ή βάσεων που διασπούν τον άνθρακα που δεν είναι άμεσα διαθέσιμος στους μικροοργανισμούς. Η χρήση του **διαλυτού οργανικού άνθρακα** (DOC - dissolved organic matter) ως δείκτη σταθερότητας, αποτελεί πρακτική που περιγράφει περισσότερο ικανοποιητικά τις ενεργειακές απαιτήσεις των μικροοργανισμών κατά την κομποστοποίηση (Zmora-Nahum et al., 2005). Η παράμετρος DOC γενικά περιλαμβάνει οργανικές ενώσεις διαφορετικών επιπέδων ευπάθειας στην μικροβιακή υποβάθμιση και τις διάφορες φυτοτοξικές ιδιότητες, γι' αυτό και η συγκέντρωση DOC μπορεί να διαδραματίσει ουσιώδη ρόλο στον καθορισμό της διαδικασίας σταθεροποίησης. Μια ακόμη παράμετρος που χρησιμοποιείται για το σκοπό αυτό είναι η **αναλογία αμμωνιακών/νιτρικών** ($\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$). Στο τέλος της κομποστοποίησης, η συγκέντρωση των νιτρικών πρέπει να είναι μεγαλύτερη από αυτή των αμμωνιακών, ως απόδειξη επαρκούς αερισμού κατά τη διάρκειας της διεργασίας. Οι νιτροποιητές (μικροοργανισμοί που υποβοηθούν την νιτροποίηση, δηλαδή τη βιολογική οξείδωση της αμμωνίας σε αμμωνιακά και νιτρικά) αποτελούν μια ελάχιστα ανταγωνιστική κοινότητα η οποία αποδίδει όταν η θερμοκρασία της σωρού κομποστοποίησης μειωθεί και οι άμεσα διασπάσιμες ουσίες (διαλυτός οργανικός άνθρακας-DOC και διαλυτό άζωτο-N) ελαττωθούν (Veijalainen, 2007; Tontti et al., 2010).

Εκτός από την εξέλιξη του CO_2 κατά την κομποστοποίηση πολλοί ερευνητές μελέτησαν τη σχέση μεταξύ της μικροβιακής δραστηριότητας και του χρόνου κομποστοποίησης μέσω του **ρυθμού πρόσληψης οξυγόνου** (OUR – oxygen uptake rate) κατά την αποδόμηση της οργανικής ύλης (Iannotti

et al., 1994; Lasaridi & Stentiford, 1998; Barrera et al., 2005). Ο έλεγχος των βιολογικών παραμέτρων της διεργασίας, όπως συμβαίνει για παράδειγμα μέσω των τεστ αναπνοής, αποτελεί το ακριβέστερο μέσο αξιολόγησης της σταθερότητας των προϊόντων κομποστοποίησης, διότι οι βιολογικοί παράγοντες που σχετίζονται με τη διεργασία υπολογίζουν άμεσα την έκταση αποδόμησης της διασπάσιμης οργανικής ύλης (Grigatti et al., 2011). Η μέτρηση της αναπνοής των μικροοργανισμών (Respirometry) αποτελεί στην πραγματικότητα την μέτρηση του διοξειδίου του άνθρακα που παράγεται ή του οξυγόνου που καταναλώνεται από τους μικροοργανισμούς μέσα στην μάζα κομποστοποίησης κατά τη διεργασία. Οι υψηλοί ρυθμοί έκλυσης διοξειδίου του άνθρακα ή κατανάλωσης οξυγόνου μαρτυρούν προϊόντα που είναι λιγότερο σταθερά (CCQC, 2001).

Η ωριμότητα ορίζεται ως ο βαθμός ή το επίπεδο ολοκλήρωσης της κομποστοποίησης. Αποτελεί μια παράμετρο που δεν περιγράφεται από μια μόνο ιδιότητα γι' αυτό και ο βαθμός της ωριμότητας αξιολογείται πληρέστερα λαμβάνοντας υπόψιν δύο ή περισσότερες ιδιότητες του κόμποστ. Η ωριμότητα επηρεάζεται εν μέρει από τη σχετική σταθερότητα του υλικού αλλά μπορεί και περιγράφει την επίδραση των υπόλοιπων χημικών ιδιοτήτων του κόμποστ στην ανάπτυξη των φυτών. Κάποια μη ώριμα προϊόντα κόμποστ ενδέχεται να περιλαμβάνουν υψηλά ποσοστά ελεύθερης αμμωνίας, ορισμένων οργανικών οξέων ή άλλων υδατοδιαλυτών ενώσεων που μπορούν να περιορίσουν τη βλάστηση των σπόρων και την ανάπτυξη των ριζών. Όλες οι χρήσεις των κόμποστ απαιτούν ώριμα προϊόντα απαλλαγμένα από αυτές τις δυνητικά φυτοτοξικές ενώσεις.

4.4.7 Συστήματα κομποστοποίησης

Τα συστήματα κομποστοποίησης χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες: τα συστήματα χωρίς αντιδραστήρα (ανοιχτά συστήματα) και αυτά με αντιδραστήρα (κλειστά συστήματα).

Στην πρώτη περίπτωση, δηλαδή στα συστήματα κομποστοποίησης που δεν συμπεριλαμβάνουν αντιδραστήρα ή μηχανικό εξοπλισμό, ολόκληρη η διεργασία πραγματοποιείται σε εξωτερικό χώρο. Αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει τα *στατικά συστήματα* (static piles) και τα *αναδευόμενα συστήματα* (windrows). Στα στατικά συστήματα τα απόβλητα τοποθετούνται σε σωρούς και ο αερισμός μπορεί να ενισχυθεί με την περιοδική ανάδευση του μίγματος. Τα αναδευόμενα συστήματα, ή αλλιώς σειράδια, χρησιμοποιούνται συνήθως για μεγάλους όγκους αποβλήτων και θεωρούνται ως μια οικονομική μέθοδος κομποστοποίησης λόγω του απλού τους σχεδιασμού.

Στη δεύτερη περίπτωση, τα συστήματα κομποστοποίησης με αντιδραστήρα επιτρέπουν την αποικοδόμηση του οργανικού κλάσματος των αποβλήτων μέσω ενός ελεγχόμενου περιβάλλοντος,

στο εσωτερικό ενός κλειστού συστήματος. Τα συστήματα αυτά συνήθως περιλαμβάνουν μηχανικό εξοπλισμό που επιτρέπει την επιτάχυνση της διεργασίας στο σύνολό της, σε σχέση με την κομποστοποίηση που πραγματοποιείται χωρίς τη χρήση αντιδραστήρα. Η διατήρηση του επιθυμητού θερμοκρασιακού επιπέδου μέσα στον αντιδραστήρα πραγματοποιείται είτε μέσω της μόνωσης των τοιχωμάτων του, είτε μέσω της διοχέτευσης αέρα στη σωρό της κομποστοποίησης. Τα συστήματα κλειστού τύπου που περιγράφονται σε αυτή την παράγραφο εμφανίζουν αρκετά πλεονεκτήματα όπως το γεγονός ότι το κόμποστ παράγεται σε σημαντικά μειωμένο χρόνο, σημαντικές παράμετροι όπως είναι η θερμοκρασία μπορούν εύκολα να ρυθμιστούν, αποφεύγεται η παραγωγή δυσάρεστων οσμών, δεν προσελκύει έντομα και τρωκτικά ενώ καταλαμβάνει μικρότερο χώρο σε σχέση με τα συστήματα κομποστοποίησης εξωτερικού χώρου (Idris et al., 2010).

Πίνακας 16: Σύγκριση μεταξύ των διαφορετικών συστημάτων κομποστοποίησης
(Idris et al., 2010)

ΤΥΠΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	Συστήματα ανοιχτού τύπου (χωρίς αντιδραστήρα)		Συστήματα κλειστού τύπου (με αντιδραστήρα)	
	Αναδεδυόμενα συστήματα	Στατικά συστήματα	Εξαναγκασμένου αερισμού με ανάδευση	Εξαναγκασμένου αερισμού χωρίς ανάδευση
Κόστος κεφαλαίου	χαμηλό	- χαμηλό για μικρά συστήματα - υψηλό για μεγαλύτερα	πολύ υψηλό	υψηλό
Κόστος λειτουργίας	χαμηλό	υψηλό	χαμηλό	χαμηλό
Ρύθμιση αερισμού	περιορισμένη	απαραίτητη	απαραίτητη	απαραίτητη
Απαίτηση για επακόλουθη ξήρανση	όχι απαραίτητα	όχι απαραίτητα	όχι απαραίτητα	σε μικρό βαθμό
Ευαισθησία στις κλιματικές αλλαγές	ναι	όχι	όχι	όχι
Απαίτηση χώρου	πολύ υψηλή	υψηλή	πολύ χαμηλή	χαμηλή

5. Περιγραφή εξεταζόμενου Βαφείου – Φινιστηρίου

5.1 Περιγραφή μονάδας

Η υφιστάμενη μονάδα που συνεργάστηκε για τους σκοπούς της παρούσας εργασίας αποτελεί Βαφείο–Φινιστήριο που εδρεύει στο Δήμο Τανάγρας της Βοιωτίας με κύριο αντικείμενο τη βαφή και το φινίρισμα κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων. Το μέγεθος του οικοπέδου καταλαμβάνει συνολικά 8633 m² και ο υπάρχων μηχανολογικός εξοπλισμός έχει συνολική κινητήρια ισχύ 900,75 kW. Η βιομηχανία έχει τη δυνατότητα βαφής και φινιρίσματος 24.000 m² υφασμάτων/ημέρα, που αντιστοιχεί σε περίπου 2640 kg υφασμάτων/ημέρα. ο εργοστάσιο δουλεύει σε ετήσια βάση, σε μια 8ωρη βάρδια, 5 μέρες την εβδομάδα.

Περιβαλλοντικές δεσμεύσεις

Αντικείμενο της μονάδας αποτελεί η βαφή και το φινίρισμα κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων, γεγονός που την εντάσσει στην υποκατηγορία υπ' αριθμόν 46, «Τελειοποίηση (φινίρισμα) υφαντουργικών προϊόντων» της 9^{ης} ομάδας («Βιομηχανικές δραστηριότητες και συναφείς εγκαταστάσεις»), σύμφωνα με το Άρθρο 1, παράγραφος 4 του Ν. 4014/2011 (Φ.Ε.Κ.Α'209/2011) και την ΚΥΑ 1958/2012 (ΦΕΚ 21B/2012).

Η βιομηχανία κατατάσσεται στις βιομηχανίες χαμηλής όχλησης σύμφωνα με την υπ' αριθμόν 13727/724/2003 (Β'1087) κοινή απόφαση των Υπουργών Ανάπτυξης και Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημόσιων Έργων, γιατί έχει ημερήσια παραγωγή κάτω των 10t.

Σύμφωνα με τον νόμο Ν. 4014 (ΦΕΚ Α/2011) και την ΚΥΑ 1958/2012 (ΦΕΚ 21B/2012) κατατάσσεται, από περιβαλλοντολογικής σκοπιάς, στην κατηγορία Β αφού η παραγωγή είναι μικρότερη από 5t την ημέρα. Η συγκεκριμένη κατηγορία περιλαμβάνει έργα και δραστηριότητες τα οποία χαρακτηρίζονται από τοπικές και μη σημαντικές μόνο επιπτώσεις στο περιβάλλον και υπόκεινται σε γενικές προδιαγραφές, όρους και περιορισμούς που τίθενται για την προστασία του περιβάλλοντος.

Τέλος, αναφορικά με την κατηγορία ΣΤΑΚΟΔ η μονάδα σύμφωνα με την ΚΥΑ Αριθ.Φ.15/4187/266/2012 εντάσσεται στην κατηγορία 13.3 και έχει τις παρακάτω πρότυπες δεσμεύσεις:

Γενικές δεσμεύσεις: Α1, Α2, Α3, Α4, Α5, Α6, Α7 Α8. Κανόνες υγιεινής και ασφάλειας: Β2, Β3, Β4. Θόρυβος: Γ1, Γ2, Γ3, Γ4, Γ5. Αέρια απόβλητα: Δ1, Δ2, Δ3, Δ4, Δ5, Δ6, Δ8, Δ9. Υγρά απόβλητα: Ε1, Ε2. Στερεά απόβλητα: Ζ1, Ζ2, Ζ3, Ζ4, Ζ5, Ζ12. Ειδικές δεσμεύσεις: Η4, Η7, Η8.

Ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός

Πίνακας 17: Η/Μ εξοπλισμός μελετώμενης βιομηχανίας

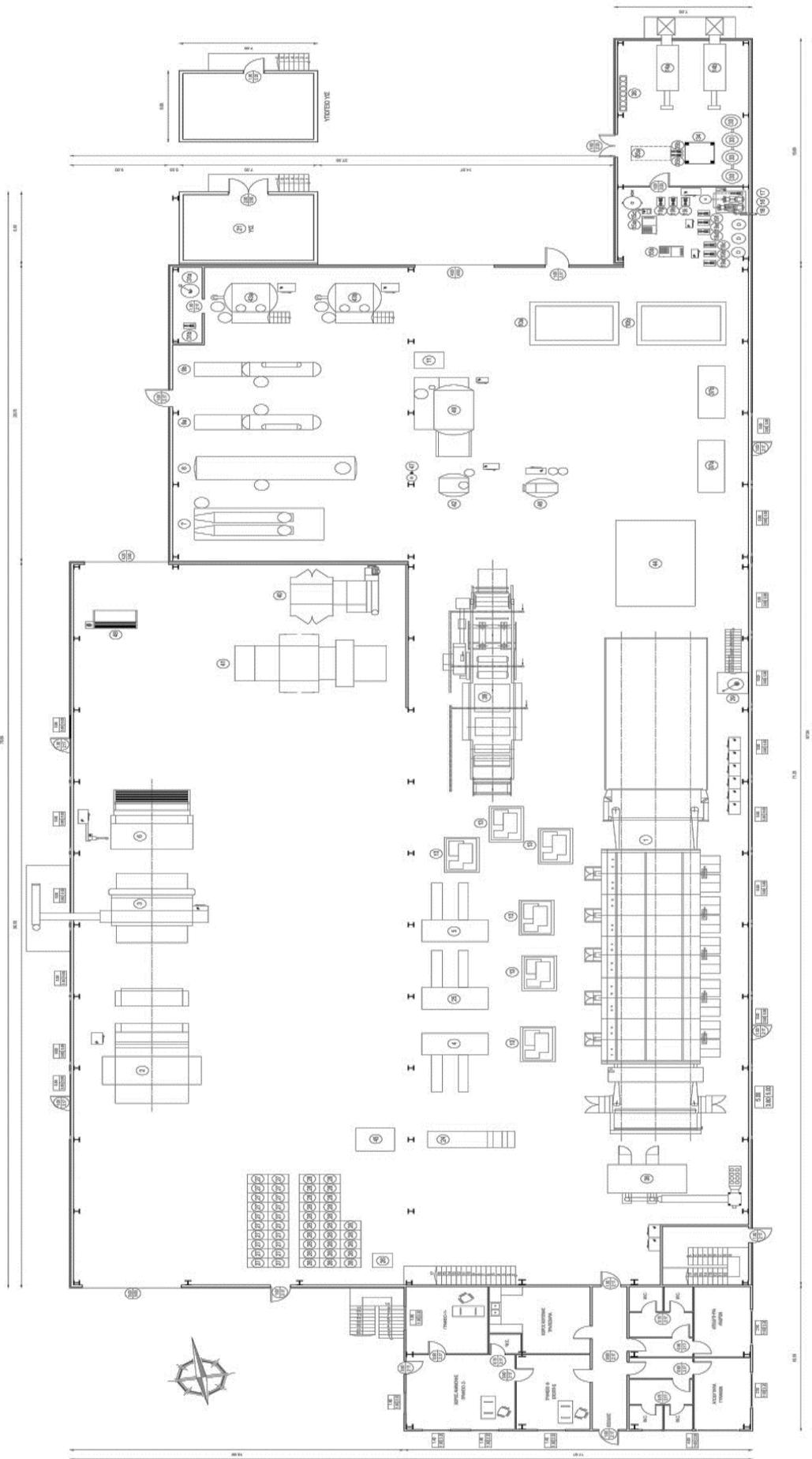
A/A	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ	ΚΙΝΗΤΗΡΙΑ ΙΣΧΥΣ (kW)	ΘΕΡΜ. ΙΣΧΥΣ (kW)	ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ*	ΠΗΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ**/ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΝΕΡΟΥ
1	ΡΑΜΑ	207,55		3	Φ+Δ / μικρή
2	ΚΑΛΑΝΔΡΑ	6,99	54,00	3	Δ
3	ΞΥΡΑΦΙ	29,44		3	Δ
4, 5	ΔΙΠΛΩΤΙΚΕΣ (2 ΤΜΧ)	7,14		4	Δ
6	ΤΥΛΙΚΤΙΚΗ	11,78		1	Δ
7	ΒΑΦΙΚΗ	13,25		2	Δ / έντονη
8	ΒΑΦΙΚΗ	19,87		2	Δ / έντονη
9a,b	ΒΑΦΙΚΕΣ (2 ΤΜΧ)	61,82		2	Δ / έντονη
10a,b	ΒΑΦΙΚΕΣ (2 ΤΜΧ)	44,6		2	Δ / έντονη
11	ΑΝΥΨΩΤΙΚΟ	2,94		5	Δ
12	ΤΣΑΛΑΚΩΤΙΚΗ	0,00		3	Δ
13	ΡΑΠΤΟΜΗΧΑΝΕΣ (6 ΤΜΧ)	2,21		5	Δ
14a,b	ΑΤΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ (2 ΤΜΧ)	25,02		5	Φ+Δ / μέση
15 a,b	ΚΟΜΠΡΕΣΕΡ ΑΕΡΟΣ	10,3		5	Δ
15c	ΑΕΡΟΦΥΛΑΚΙΟ 500 LT			5	
16-18	ΑΝΤΛΙΕΣ ΠΥΡΟΣΒΕΣΗΣ (3 ΤΜΧ)	31,65		5	Δ
19a-i	ΑΝΤΛΙΕΣ ΝΕΡΟΥ (9 ΤΜΧ)	99,38		5	Δ
20	ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΣ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ	16,56		-	Δ
21	ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΣ (1 Μ/Σ 1200 ΚVA)			-	
24, 25	ΔΙΠΛΩΤΙΚΕΣ (2 ΤΜΧ)	2,5		4	Δ
26	ΖΥΓΑΡΙΑ			5	
27	ΚΑΡΟΤΣΙΑ (20 ΤΕΜ.)			5	
28	ΚΑΡΟΤΣΙΑ ΚΥΛΙΝΔΡΟΥ (25 ΤΕΜ.)			5	
29	ΑΝΑΔΕΥΤΗΡΑΣ	0,74		5	Δ
30	ΤΣΑΛΑΚΩΤΙΚΗ ΚΑΛΤΣΑΣ	0,00		4	Δ
31a	ΑΝΑΔΕΥΤΗΡΑΣ ΧΡΩΜΑΤΩΝ	0,74		5	Δ
31b	ΑΝΤΛΙΑ	0,74		5	Δ
32a	ΚΑΖΑΝΙ ΑΤΜΟΥ (ΚΑΥΣΤΗΡΑΣ)		0,00	5	Δ
32b	ΑΝΤΛΙΑ ΚΑΥΣΤΗΡΑ		0,00	5	Δ

Κεφ.5 Περιγραφή εξεταζόμενου Βαφείου – Φινιστηρίου

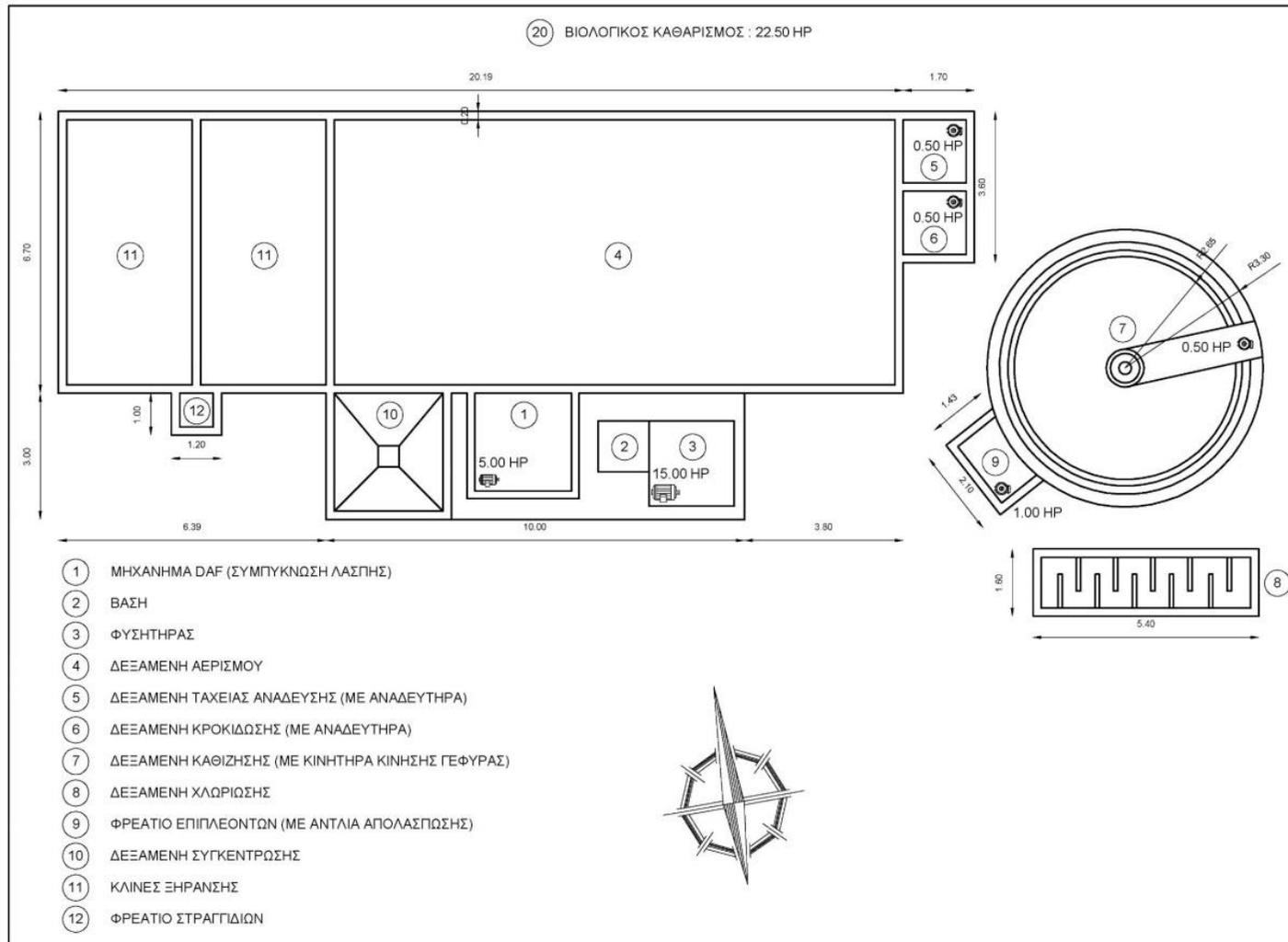
32c	ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ 900 LT			5	
33	ΑΠΟΣΚΛΗΡΥΝΤΕΣ ΝΕΡΟΥ (4 ΤΕΜ.)			5	Δ
34	ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΝΕΡΟΥ 6000 LT			5	
35a	ΥΠΟΓΕΙΑ ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΣΥΜΠΥΚΝΩΜΑΤΩΝ 2000 T			5	
35b	ΑΝΤΛΙΕΣ ΣΥΜΠΥΚΝΩΜ. (2 ΤΕΜ.)	7,36		5	Δ
36	ΑΤΜΟΔΙΑΝΟΜΕΑΣ			5	Δ
37a,b	ΒΑΦΙΚΕΣ (2 ΤΜΧ)	11,04		2	Δ / μέση
38	ΣΜΥΡΙΓΔΟΜΗΧΑΝΗ	46,37		3	Δ
39	ΣΥΡΡΙΚΝΩΤΙΚΗ ΜΗΧ.	45,63		3	Δ / μέση
40	ΑΙΡΟ (ΣΤΕΓΝΩΤΗΡΙΟ)	85,38		3	Δ
41	ΔΕΚΑΤΙΣΤΗΡΙ	50,05		3	Δ
42	ΒΑΦΙΚΗ	5,70		2	Δ / μικρή
43a,b	ΒΑΦΙΚΕΣ (2 ΤΜΧ)	24,28		2	Δ / έντονη
44	ΑΝΟΙΧΤΙΚΗ ΒΡΕΓΜΕΝΩΝ	9,57		5	Δ
45	ΔΙΠΛΩΤΙΚΗ	1,47		4	Δ
46	ΒΑΦΙΚΗ	7,07		2	Δ / μικρή
47	ΦΟΡΗΤΟΣ ΑΝΑΔΕΥΤΗΡΑΣ	1,47		5	Δ
48	ΞΕΤΥΛΙΚΤΙΚΟ ΥΦΑΣΜΑΤΩΝ	2,21		1	Δ
49	ΒΑΦΕΙΟ	7,95		2	Δ / μικρή
Σ Υ Ν Ο Λ Ο		900,75	54,00		

***Κατηγοριοποίηση διεργασίας:** 1. Προετομασία, 2. Βαφή, 3. Φινίρισμα – Στεγνώτηριο, 4. Διπλωτική – Συσκευασία, 5. Βοηθητικός εξοπλισμός

**** Πηγή Ενέργειας:** Δ: ΔΕΗ, Φ: Φυσικό Αέριο



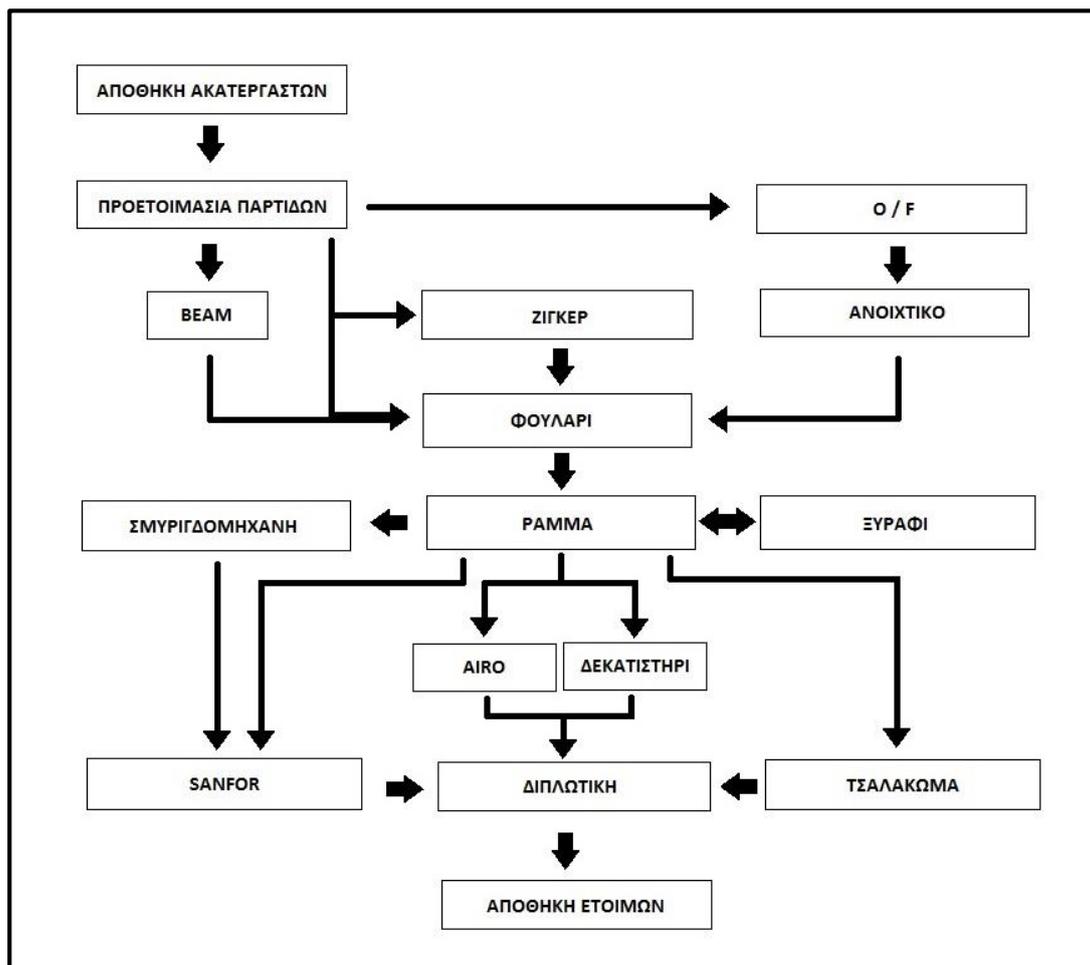
Κατοψη Βιομηχανικής βάσει του Πίνακα Η/Μ εξοπλισμού



Σχήμα 15: Κάτοψη εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων βάσει του Πίνακα Η/Μ εξοπλισμού

Διάγραμμα ροής διεργασιών

Οι διεργασίες που πραγματοποιούνται κάθε φορά διαφέρουν ανάλογα με τη φύση του ανεπεξέργαστου προϊόντος (είδος πρώτης ύλης, μέγεθος κτλ.) και τα επιθυμητά χαρακτηριστικά που θα αποδοθούν σε αυτό κατά την επεξεργασία του. Οι πιθανές πορείες που μπορεί να ακολουθήσει ένα ύφασμα από την ακατέργαστη πρώτη ύλη (ρολά ανεπεξέργαστων υφασμάτων) που βρίσκεται στις αποθήκες της εταιρίας, μέχρι την αποθήκευση του τελικού επεξεργασμένου προϊόντος, παρουσιάζονται στο Διάγραμμα 6.



Διάγραμμα 6: Διάγραμμα ροής υφασμάτων κατά τα διαφορετικά στάδια επεξεργασίας τους

Χρησιμοποιούμενες ύλες

Η κύρια πρώτη ύλη για το βαφείο είναι τα ρολά υφάσματος από πολυέστερ, βαμβάκι, βισκόζη ή ακρυλικό, τα οποία ανάλογα με το αν περιέχουν ένα ή περισσότερα είδη υφασμάτων διαχωρίζονται σε απλά ή σύμμεικτα αντίστοιχα. Την επόμενη κύρια πρώτη ύλη της βιομηχανίας αποτελούν τα χρώματα τα οποία περιέχουν κυρίως άζωτο και θείο. Η εταιρία προμηθεύεται τη συγκεκριμένη ύλη από αξιόπιστους πιστοποιημένους μεγάλους προμηθευτές του κλάδου. Εκτός από τα υφάσματα, τα

Κεφ.5 Περιγραφή εξεταζόμενου Βαφείου – Φινιστηρίου

χρώματα και το νερό, κατά την διαδικασία της βαφής χρησιμοποιούνται και μερικές βοηθητικές ύλες.

Πίνακας 18: Πίνακας πρώτων και βοηθητικών υλών

Α' & Β' ΥΛΗ			ΩΦΕΛΙΜΟ (προϊόν)		ΑΠΟΒΛΗΤΟ (παραπροϊόν)	
ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	Μονάδα μέτρησης	Ετήσια ποσότητα	% Πρώτης ύλης	Ετήσια ποσότητα	% Πρώτης ύλης	Ετήσια ποσότητα
ΥΦΑΣΜΑΤΑ	kgr	686.400		679.400	1,02%	7.000
ΝΕΡΟ	m ³	18.200				18.200
ΔΙΑΒΡΕΚΤΕΣ	kgr	750			0,11%	750
ΣΤΡΩΤΙΚΑ	kgr	1.465	0,21%	1.465		
ΑΝΘΡΑΚΙΚΗ ΣΟΔΑ	kgr	12.575			1,83%	12.575
ΑΛΑΤΙ	kgr	54.000			7,87%	54.000
ΚΑΥΣΤΙΚΗ ΣΟΔΑ ΥΓΡΗ 40-50%	kgr	13.741			2,00%	13.741
ΔΙΑΣΠΟΡΕΙΣ	kgr	650			0,09%	650
ΜΥΡΜΗΓΚΙΚΟ ΟΞΥ	kgr	5.210			0,76%	5.210
ΟΞΑΛΙΚΟ ΟΞΥ	kgr	220			0,03%	220
ΘΕΙΙΚΟ ΝΑΤΡΙΟ	kgr	6.250			0,91%	6.250
HYDROSULFIT	kgr	3.000			0,44%	3.000
ΥΠΕΡΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ	kgr	17.674			2,57%	17.674
ΣΤΕΡΕΩΤΙΚΑ	kgr	360	0,05%	360		
ΑΔΙΑΒΡΟΧΟΠΟΙΗΤΙΚΑ	kgr	360	0,05%	360		
ΦΙΝΙΡΙΣΤΙΚΑ – ΚΟΛΛΕΣ	kgr	8.720			1,27%	8.720
ΥΠΕΡΛΕΥΚΑΝΤΕΣ	kgr	720			0,10%	720
ΜΑΛΑΚΤΙΚΑ	kgr	5.115			0,75%	5.115
ΣΑΠΟΥΝΙΑ - ΠΛΥΝΤΙΚΑ	kgr	3.405			0,50%	3.405
ΧΡΩΜΑΤΑ	kgr	7.000	1,02%	7.000		
ΑΠΟΚΟΛΛΑΡΙΣΤΙΚΑ	kgr	910			0,13%	910
ΚΙΤΡΙΚΟ ΟΞΥ	kgr	970			0,14%	970

Απόβλητα

Τα απόβλητα της μονάδας αφορούν κυρίως υγρά λύματα και στερεά απορρίμματα. Τα στερεά απόβλητα που παράγονται περιλαμβάνουν τα πλαστικά, χάρτινα και σιδερένια κιβώτια συσκευασίας των χρωμάτων και χημικών προσθέτων που χρησιμοποιούνται. Σε αυτά προστίθενται και τα χάρτινα

ή πλαστικά ρολά από την απο-συσκευασία των παραλαμβανομένων υφασμάτων προς επεξεργασία. Το προσωπικό της εταιρείας διαχωρίζει τα ανακυκλώσιμα υλικά (χαρτί, πλαστικό, μέταλλο) τα οποία παραδίδονται σε συνεργαζόμενη εταιρεία περισυλλογής και διαχείρισης αποβλήτων. Τα μη ανακυκλώσιμα απόβλητα, δηλαδή αυτά που δημιουργούνται από τους χώρους των γραφείων, το προσωπικό ή τα WC, χαρακτηρίζονται ως απόβλητα παρόμοιας σύστασης με τα οικιακά και συγκεντρώνονται σε κάδο στην περίμετρο του οικοπέδου απ' όπου συλλέγονται από την αρμόδια Δημοτική Υπηρεσία του Δήμου και οδηγούνται σε κατάλληλο χώρο διάθεσης.

Τα Βαφεία–Φινιστήρια έρχονται αντιμέτωπα με μεγάλο όγκο λυμάτων που πρέπει να επεξεργασθούν καταλλήλως προτού διατεθούν προς οποιαδήποτε χρήση, καθώς οι περισσότερες επεξεργασίες γίνονται επί βρεγμένου υφάσματος. Τα υγρά απόβλητα αποτελούνται κυρίως από:

- α) Τα νερά που απορρίπτονται μετά τη διαδικασία βαφής και του πλυσίματος των υφασμάτων
- β) Τα πλυσίματα του εξοπλισμού της παραγωγικής διαδικασίας
- γ) Τα πλυσίματα των δαπέδων και των χώρων της παραγωγής

Η συγκεκριμένη βιομηχανία επεξεργάζεται τα βιομηχανικά της λύματα μέσω δικής της εγκατάστασης βιολογικής επεξεργασίας με τη μέθοδο της ενεργού ιλύος, που βρίσκεται στο βόρειο τμήμα του οικοπέδου. Έτσι, όλα τα παραπάνω απόβλητα συλλέγονται μέσω κεντρικού αποχετευτικού αγωγού και οδηγούνται στην Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων (ΕΕΛ).

5.2 Περιγραφή Εγκατάστασης Επεξεργασίας Λυμάτων

Η Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων που βρίσκεται υπό λειτουργία στη συγκεκριμένη βιομηχανία απαρτίζεται από τα ακόλουθα κύρια μέρη:

- ο Διάταξη εσχарισμού–άντλησης
- ο Δεξαμενή εξισορρόπησης–αερισμού με ρύθμιση pH και αερισμό με διαχυτήρες
- ο Διάταξη προσθήκης χημικών–κροκίδωση
- ο Δεξαμενή καθίζησης
- ο Δεξαμενή χλωρίωσης
- ο Δεξαμενή πάχυνσης της παραγόμενης περίσσειας ιλύος
- ο Διάταξη αφυδάτωσης της παραγόμενης περίσσειας ιλύος

Ακολουθεί περιγραφή των επιμέρους τμημάτων και αναφορά των χημικών παραγόντων που προστίθενται σε κάθε στάδιο, για την αποτελεσματική λειτουργία των μονάδων.

○ **Διάταξη Εσχαρισμού – Άντλησης**

Τα απόβλητα μέσω του αποχετευτικού δικτύου του εργοστασίου οδηγούνται προς αντλιοστάσιο ανύψωσης διαστάσεων 3,0 x 2,5 x 2,5 m (Μ x Π x Υ). Στο αντλιοστάσιο βρίσκονται τοποθετημένα δυο υποβρύχια αντλητικά συγκροτήματα, υπολογισμένα για εφεδρεία της τάξης του 100%. Οι αντλίες τίθενται σε λειτουργία αυτόματα από πλωτήρες στάθμης, ενώ έχει προβλεφθεί κυκλική εναλλαγή της λειτουργίας τους, εκκίνηση εφεδρείας καθώς και ένδειξη ALARM σε περίπτωση βλάβης.

○ **Δεξαμενή Εξισορρόπησης – Αερισμού με ρύθμιση pH και αερισμό με διαχυτήρες**

Μετά την εσχάρωση, τα απόβλητα οδηγούνται προς τη δεξαμενή εξισορρόπησης και αερισμού για την ομογενοποίηση του υδραυλικού και οργανικού φορτίου και την βιολογική αποικοδόμηση του οργανικού φορτίου των αποβλήτων. Η δεξαμενή εξισορρόπησης-αερισμού είναι κατασκευασμένη από οπλισμένο σκυρόδεμα και είναι ορθογωνικής διατομής με ωφέλιμες διαστάσεις 13,0 x 6,2 x 4,0 m (Μ x Π x Υ) και ωφέλιμο όγκο περίπου 322 m³. Στην ίδια δεξαμενή γίνεται και έλεγχος του pH, ενώ υπάρχει δυνατότητα διόρθωσης του στα επιθυμητά επίπεδα αν παραστεί ανάγκη. Για τη ρύθμιση του pH έχει εγκατασταθεί μια δοσομετρική αντλία οξέος.

Η βιολογική επεξεργασία γίνεται μέσω συστήματος παρατεταμένου αερισμού που είναι το πιο ενδεδειγμένο για το συγκεκριμένο είδος αποβλήτων από πλευράς απόδοσης, ενώ παράγει μικρότερες ποσότητες λάσπης ανά μονάδα απομακρυνόμενου οργανικού φορτίου σε σχέση με άλλες μεθόδους. Ο αερισμός γίνεται με διάχυση αέρα μέσω δικτύου διαχυτών αέρα λεπτής μεμβράνης, που επιτυγχάνουν τη δημιουργία λεπτών φυσαλίδων αέρα για καλύτερη αποτελεσματικότητα. Η παροχέτευση του αέρα πραγματοποιείται από λοβωτό φυσητήρα, παροχής 350 m³/h, ισχύος 11 kW, η διαστασιολόγηση του οποίου έχει γίνει με υψηλό βαθμό ασφαλείας, ώστε η συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου στη δεξαμενή να διατηρείται στα επιθυμητά επίπεδα. Το μικτό υγρό (μικροοργανισμοί και απόβλητα) προωθείται προς το επόμενο στάδιο επεξεργασίας με βαρύτητα.

○ **Διάταξη προσθήκης Χημικών – Κροκίδωση**

Η φυσική διεργασία της καθίζησης που ακολουθεί τη βιολογική διεργασία, υποβοηθείται με την προσθήκη χημικών για τη διευκόλυνση της καθίζησης. Τα χημικά που προστίθενται είναι :

i) *Χλωριούχο Πολυαργίλιο (PACl)* σε υγρή μορφή για την κροκίδωση, μαζί με διάλυμα αποχρωματιστή. Η προσθήκη των παραπάνω χημικών γίνεται στη δεξαμενή ταχείας ανάδευσης, ωφέλιμων διαστάσεων 1,5 x 1,5 x 1,5 m (Μ x Π x Υ).

ii) *Πολυηλεκτρολύτης* σε στερεά μορφή για τη συσσωμάτωση των κροκίδων. Η προσθήκη του πολυηλεκτρολύτη γίνεται στη δεξαμενή βραδείας ανάδευσης, ωφέλιμων διαστάσεων 1,5 x 1,5 x 1,5 m (Μ x Π x Υ).

Τα υλικά αυτά (PACl, αποχρωματιστής και πολυηλεκτρολύτης) προστίθενται με δοσομετρικές αντλίες, ενώ ειδικά για τον πολυηλεκτρολύτη έχει τοποθετηθεί και ένα δοχείο διάλυσης και ωρίμανσης της ουσίας εφοδιασμένο με κατάλληλο αναδευτήρα, για την παρασκευή του αντίστοιχου διαλύματος. Το PACl προστίθεται απ' ευθείας στη δεξαμενή και για την ανάμειξή του με τα απόβλητα υπάρχει τοποθετημένος αναδευτήρας με άξονα και πτερωτή. Τα απόβλητα υφίστανται ανάδευση που βοηθάει στη δράση του PACl για τη δημιουργία συσσωματωμάτων μεγάλου μεγέθους, που είναι εύκολο να διαχωριστούν στο επόμενο στάδιο της καθίζησης.

ο **Δεξαμενή Καθίζησης**

Από τις παραπάνω δεξαμενές μέσω υπερχειλιστή, τα απόβλητα τροφοδοτούνται στη δεξαμενή καθίζησης για το διαχωρισμό των στερεών από το διαυγασμένο νερό. Έχει κατασκευαστεί μια στρογγυλή δεξαμενή καθίζησης ρηχού τύπου από οπλισμένο σκυρόδεμα, συνολικής διαμέτρου 6,5 m, ωφέλιμης διαμέτρου 6m και βάθους 3m. Η δεξαμενή έχει κεντρικό κύλινδρο ηρεμίας-εισόδου των υγρών, έτσι ώστε να διαφυλάσσονται οι συνθήκες ηρεμίας της και να διευκολύνεται/βελτιστοποιείται η καθίζηση, καθώς και περιμετρικό υπερχειλιστή του υπερκείμενου υγρού που μέσω της υπερχείλισης οδηγείται στο επόμενο στάδιο της χλωρίωσης. Η δεξαμενή είναι εφοδιασμένη με επιφανειακό ξέστρο και φρεάτιο συλλογής των επιπλεόντων διαστάσεων 1,0 x 0,8 x 1,0 m (Μ x Π x Υ) που αντλούνται προς τη δεξαμενή αερισμού. Στον πυθμένα υπάρχει επίσης περιστρεφόμενο ξέστρο για την προώθηση της ιλύος προς τη διάταξη απαγωγής της με αναρρόφηση από διάταξη σιφωνίου (τζιφάρι), προς φρεάτιο άντλησης. Από το φρεάτιο αυτό η λάσπη ανακυκλοφορείται πίσω προς τη δεξαμενή αερισμού. Η περίσσεια οδηγείται μέσω βαλβιδολογίου με ξεχωριστή γραμμή προς τη δεξαμενή πάχυνσης ιλύος.

ο **Δεξαμενή Χλωρίωσης**

Το διαυγασμένο νερό εξέρχεται με ελεύθερη ροή προς τη δεξαμενή χλωρίωσης. Τα επεξεργασμένα απόβλητα υφίστανται απολύμανση προκειμένου να επιτευχθεί εξουδετέρωση όλων των νοσογόνων μικροοργανισμών και βακτηριδίων που δεν έχουν απομακρυνθεί κατά τα προηγούμενα στάδια επεξεργασίας. Η απολύμανση των αποβλήτων γίνεται με τη μέθοδο της χλωρίωσης μέσω της επαφής του αποβλήτου με αέριο χλώριο, διοξείδιο του χλωρίου ή υποχλωριώδες νάτριο.

Η διάταξη χλωρίωσης αποτελείται από τη δεξαμενή επαφής, στην οποία τα επεξεργασμένα απόβλητα έρχονται σε επαφή με το διάλυμα χλωρίου και από το σύστημα προσθήκης του διαλύματος. Η προσθήκη του χλωρίου γίνεται με την είσοδο των αποβλήτων στη δεξαμενή ώστε να διευκολύνεται η αρχική ανάμιξη των αποβλήτων και του προστιθέμενου χλωρίου, και στη συνέχεια με τις επικρατούσες συνθήκες ροής να επιτυγχάνεται πλήρης ανάμιξη. Η δεξαμενή αυτή έχει ωφέλιμες διαστάσεις 4,0 x 1,0 x 1,2 m (Μ x Π x Υ) ενώ το σύστημα προσθήκης διαλύματος χλωρίου αποτελείται από μια δοσομετρική αντλία που παρέχει την απαιτούμενη ποσότητα χλωρίου (υποχλωριώδους νατρίου) και την πλαστική δεξαμενή αποθήκευσης του υποχλωριώδους νατρίου. Μέσω σωληνώσεων κατασκευασμένων από PVC, το χλώριο οδηγείται στο σημείο προσθήκης και από εκεί καταλήγει στη δεξαμενή επαφής.

ο **Δεξαμενή Πάχυνσης της παραγόμενης περίσσειας ιλύος μέσω κροκίδωσης και επίπλευσης με διαλυμένο αέρα**

Το σύστημα επίπλευσης αποτελείται από μία δεξαμενή η οποία τροφοδοτείται με την περίσσεια ιλύος από τη δεξαμενή καθίζησης μέσω αντλητικού συστήματος. Στο ρεύμα της εισερχόμενης ιλύος έχουν ήδη αναμειχθεί δύο ειδών βοηθητικές χημικές ύλες και το κορεσμένο με αέρα νερό ανακυκλοφορίας. Οι βοηθητικές ύλες που αναμειγνύονται με το νερό ανακυκλοφορίας είναι:

i) *Κροκιδωτικό* σε υγρή μορφή για τη δημιουργία κροκίδων. Το κροκιδωτικό βρίσκεται σε δοχείο απ' όπου προστίθεται με δοσομετρική αντλία.

ii) *Πολυηλεκτρολύτης* σε στερεά μορφή για τη συσσωμάτωση των κροκίδων. Για τον πολυηλεκτρολύτη έχει τοποθετηθεί πρόσθετο δοχείο με αναδευτήρα για την παρασκευή του διαλύματος, απ' όπου δοσομετρείται με δοσομετρική αντλία.

Ο αέρας διοχετεύεται από συμπιεστή με πίεση 4-6 bar μέσα στη διάταξη κορεσμού και ταυτόχρονα στο ίδιο δοχείο η αντλία ανακυκλοφορίας διοχετεύει διαυγασμένο απόβλητο που προέρχεται από την έξοδο της δεξαμενής επίπλευσης. Με την υψηλή πίεση που εφαρμόζεται αυξάνει η διαλυτότητα του αέρα με αποτέλεσμα, όταν γίνεται απότομη εκτόνωση μέσα στη δεξαμενή επίπλευσης να απελευθερώνονται λεπτές φυσαλίδες που παρασύρουν στην άνοδό τους τα στερεά που υπάρχουν στο νερό ή έχουν δημιουργηθεί με την κροκίδωση. Στην επιφάνεια της δεξαμενής ειδικό ανοξείδωτο ξέστρο κινείται για να οδηγεί το επιφανειακό στρώμα που περιέχει το σύνολο των στερεών σε χοάνη και μέσω αγωγού εκροής προς τη δεξαμενή συλλογής, από όπου αντλείται προς τη διάταξη αφυδάτωσης της παραγόμενης περίσσειας ιλύος. Το διαυγασμένο απόβλητο επιστρέφει πίσω στη δεξαμενή αερισμού με ελεύθερη ροή.

Το σύστημα της επίπλευσης διαχωρίζει σε ικανοποιητικό βαθμό τα αιωρούμενα στερεά και παράγεται μία πολτώδης λάσπη, η οποία έχει περιεκτικότητα σε στερεά περίπου 3%. Η λειτουργία όλων των μηχανημάτων της εγκατάστασης ελέγχεται και ρυθμίζεται από τον ηλεκτρικό πίνακα. Στον πυθμένα της δεξαμενής επίπλευσης υπάρχει και κατάλληλη διάταξη εκκένωσης της δεξαμενής. Το συγκρότημα επίπλευσης, είναι προκατασκευασμένο μεταλλικό συγκρότημα και αποτελείται από:

- Συμπιεστή αέρα
- Πιεστικό δοχείο ανάμειξης νερού-αέρα (διάταξη κορεσμού)
- Αντλία τροφοδοσίας του πιεστικού δοχείου (αντλία ανακυκλοφορίας)
- Δοχείο παρασκευής πολυηλεκτρολύτη με αναδευτήρα
- Δοσομετρικές αντλίες κροκιδωτικού και πολυηλεκτρολύτη
- Δεξαμενή επίπλευσης με επιφανειακό ξέστρο και συλλέκτη επιπλεόντων
- Ηλεκτρικό πίνακα αυτοματισμού και συνδέσεις
- Βοηθητικό εξοπλισμό (ρυθμιστές πίεσης, στάθμης, ηλεκτροβάνες, πρεσοστάτες, φλοτεροδιακόπτες κλπ.)

ο **Διάταξη Αφυδάτωσης της παραγόμενης περίσσειας ιλύος**

Η περίσσεια ιλύος από τη διάταξη πάχυνσης με διαλυμένο αέρα απομακρύνεται προς τις κλίνες ξήρανης προκειμένου να αφυδατωθεί. Έχουν κατασκευαστεί 2 όμοιες κλίνες ξήρανης ανοικτού τύπου από οπλισμένο σκυρόδεμα, διαστάσεων 10,0 x 3,0 x 1,0 m (Μ x Π x Υ) η κάθε μια. Σε κάθε κλίνη υπάρχει σύστημα στράγγισης από διαδοχικές στρώσεις χαλικιών (χοντρού και ψιλού) και άμμου και κεντρικό συλλεκτήριο αγωγό για τα στραγγίδια. Ο πυθμένας της κάθε κλίνης έχει κλίση προς την κατά μήκος διάσταση και οι διάτρητοι συλλεκτήριοι αγωγοί συλλέγουν τα στραγγίδια σε παρακείμενο φρεάτιο συλλογής από όπου επιστρέφουν πίσω στη δεξαμενή αερισμού για να επεξεργαστούν ξανά.

Οι δυο κλίνες φορτίζονται με λάσπη εναλλάξ (η μια κλίνη φορτίζεται για κάποιες μέρες με παροχή λάσπης μέχρι να γεμίσει, ενώ η άλλη αφήνεται για ξήρανση το ίδιο χρονικό διάστημα). Η ξηρή λάσπη έχει περιεκτικότητα σε στερεά 35% και χρησιμοποιείται για λίπανση του περιβάλλοντος χώρου του εργοστασίου ή μεταφέρεται με φορτηγό για απόρριψη στον πλησιέστερο χώρο υγειονομικής ταφής απορριμμάτων.

5.3 Αποτελέσματα αναλύσεων λυμάτων και ιλύος

Κατά την επίσκεψη στη βιομηχανία, συλλέχθηκαν ποσότητες λυμάτων και ιλύος, οι οποίες μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο της Μονάδας Περιβαλλοντικής Επιστήμης και Τεχνολογίας για να αναλυθούν. Συλλέχθηκαν 3 διαφορετικά είδη λύματος (ΠΡΙΝ την είσοδο στη δεξαμενή αερισμού,

Κεφ.5 Περιγραφή εξεταζόμενου Βαφείου – Φινιστηρίου

ΜΕΤΑ την έξοδο από τη δεξαμενή αερισμού και ΜΕΤΑ την έξοδο από τη δεξαμενή αερισμού και την προσθήκη αποχρωματιστή) καθώς και ιλύς από τη διάταξη αφυδάτωσης. Τα δείγματα αναλύθηκαν ως προς τον περιεχόμενο ολικό οργανικό άνθρακα TOC (λύματα και ιλύς), τα ολικά/πτητικά αιωρούμενα στερεά TSS/VSS (λύματα), τα αιωρούμενα στερεά LOI (ιλύς), το ολικό άζωτο TN (ιλύς) καθώς και την περιεχόμενη υγρασία (ιλύς). Επίσης, πραγματοποιήθηκε υπολογισμός των περιεχόμενων μετάλλων τόσο στα λύματα όσο και στην παραγόμενη ιλύ της εγκατάστασης. Τα αποτελέσματα των αναλύσεων παρουσιάζονται παρακάτω.

Λύματα

Πίνακας 19: Χαρακτηριστικά λυμάτων βιομηχανίας

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΕΙΣΟΔΟΣ*	ΕΞΟΔΟΣ*	ΕΞΟΔΟΣ ΜΕ ΑΠΟΧΡ/ΣΤΗ***
TOC (mg/L)	301,6	296,8	1175
DOC (mg/L)	84,51	47,43	795,6
TSS (mg/L)	151	127	1047
VSS (mg/L)	138	110	992
Μέταλλα (mg/L)			
Cr	n.d.	n.d.	n.d.
Cu	0,136	0,062	0,464
Mn	n.d.	n.d.	0,1225
Ni	n.d.	n.d.	n.d.
Cd	n.d.	n.d.	n.d.
Pb	n.d.	n.d.	n.d.
Zn	0,126	0,019	0,238
*ΕΙΣΟΔΟΣ: πριν την είσοδο στη δεξαμενή αερισμού			
**ΕΞΟΔΟΣ: μετά την έξοδο από τη δεξαμενή αερισμού			
***ΕΞΟΔΟΣ ΜΕ ΑΠΟΧΡ/ΣΤΗ: μετά την έξοδο από τη δεξαμενή αερισμού και την προσθήκη αποχρωματιστή			

Ιλύς

Πίνακας 20: Χαρακτηριστικά ιλύος βιομηχανίας

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	δείγμα 1*	δείγμα 2*	Μ.Ο.
TOC (g/kg)	632,7	635,8	634,25
LOI (%)	88,33	88,03	88,18
TN (mg/g)	26,49	29,87	28,18
TN (%)	2,60	3,00	2,80
MC (%)**	44,28	45,21	44,74

Κεφ.5 Περιγραφή εξεταζόμενου Βαφείου – Φινιστηρίου

<i>Μέταλλα (mg/kg)</i>			
Cr	49,6	48,9	49,2
Cu	1177,7	-	1177,7
Mn	53,2	52,5	52,8
Ni	10,7	8,9	9,8
Cd	0,6	0,6	0,6
Pb	19,0	8,8	13,9
Zn	722,3	-	722,3
*Δείγματα από τις δεξαμενές αφυδάτωσης			
**MC: Moisture Content (περιεχόμενη υγρασία)			

6. Πειραματικό μέρος

6.1 Σκοπός

Για το πειραματικό μέρος της εργασίας χρησιμοποιήθηκαν στερεά ξηρά δείγματα από τις δεξαμενές αφυδάτωσης της εξεταζόμενης μονάδας, στις οποίες καταλήγει η περίσσεια ιλύος της δεξαμενής αερισμού. Η ιλύς αυτή έχει υποστεί βιολογική επεξεργασία και τοποθετείται στις δεξαμενές αφυδάτωσης προκειμένου να ξηρανθεί και έπειτα να απομακρυνθεί από την εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων. Η τεχνική διαχείρισης της παραγόμενης ιλύος που μελετάται είναι η κομποστοποίηση του κλάσματος των στερεών που απομακρύνονται από τις δεξαμενές αφυδάτωσης.

Σκοπός του πειράματος είναι να διερευνηθεί κατά πόσο η κομποστοποίηση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον εξευγενισμό και την απορρύπανση των αποβλήτων που προέρχονται από τους κλάδους της βιομηχανίας των υφασμάτων και συγκεκριμένα από τα βαφεία και τα φινιστήρια. Επίσης, μελετώνται οι παράμετροι που επηρεάζουν και τροποποιούν τη διεργασία, ώστε να εκτιμηθούν και να βρεθούν, όσο αυτό είναι εφικτό, οι συνθήκες λειτουργίας που βελτιστοποιούν κατά το δυνατό την επεξεργασία της ιλύος μέσω της κομποστοποίησης.

6.2 Μεθοδολογία

Οι πειραματικές διαδικασίες εκτελέστηκαν μέσω δύο ξεχωριστών συστημάτων κομποστοποίησης, στα οποία χρησιμοποιήθηκε διαφορετική σύσταση των πρώτων υλών που αποτέλεσαν το μίγμα κομποστοποίησης. Στη μια περίπτωση, η κομποστοποίηση πραγματοποιήθηκε αυτόνομα, δηλαδή μέσω της θερμότητας που παράχθηκε από την ίδια τη διεργασία, χωρίς εξωτερικές πηγές θερμότητας αλλά με τη χρήση του κατάλληλου εξοπλισμού (μονωτικά τοιχώματα, κτλ.). Στην άλλη περίπτωση, η διεργασία επιτελέστηκε σε ειδικά σχεδιασμένη ηλεκτρική συσκευή κομποστοποίησης η οποία παρείχε επιπλέον θερμότητα στο μίγμα. Και στις δύο περιπτώσεις χρησιμοποιήθηκαν οικιακοί κομποστοποιητές, μικρού σχετικά μεγέθους. Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν ως πρώτες ύλες για την παρασκευή των μιγμάτων ήταν ιλύς από τη δεξαμενή αφυδάτωσης, υπολείμματα τροφίμων, πράσινα απορρίμματα και περλίτης. Ακολουθεί περιγραφή για καθένα από τα συστατικά του μίγματος, καθώς και η χρησιμότητα τους στο σύστημα κομποστοποίησης.

Ιλύς

Κατά την επίσκεψη στη βιομηχανία επεξεργασίας υφασμάτων, συλλέχθηκε ποσότητα ιλύος από τη δεξαμενή αφυδάτωσης της εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων. Τα στερεά αυτά περιείχαν μικρό ποσοστό υγρασίας και διαφορετικό μέγεθος αναμεταξύ τους, με μέση διάμετρο που κυμαινόταν

μεταξύ 5-7cm. Επίσης, μικρό ποσοστό των στερεών μέσα στη συνολική μάζα των αποβλήτων, περιείχε τμήματα από ίνες που δεν απομακρύνθηκαν κατά την προκατεργασία των λυμάτων, με αποτέλεσμα αυτά να παρασυρθούν στο στάδιο της βιολογικής επεξεργασίας. Τα στερεά που συλλέχθηκαν, λόγω του μεγάλου μεγέθους τους οδηγήθηκαν προς τεμαχισμό, για να μειωθεί η διάμετρός τους και να αυξηθεί η επιφάνειά τους με σκοπό να γίνει πιο αποδοτική η διεργασία της κομποστοποίησης. Ο τεμαχισμός πραγματοποιήθηκε σε ηλεκτρικό μύλο μικρού μεγέθους, με χειροκίνητη τροφοδότηση των στερεών και απομάκρυνση των ινών που εμπόδιζαν τη διαδικασία άλεσης. Με τον τρόπο αυτό τα στερεά απέκτησαν πολύ μικρή κοκκομετρία και πήραν τη μορφή σκόνης.

Υπολείμματα τροφών

Χρησιμοποιήθηκαν τροφικά υπολείμματα με σκοπό τον εμπλουτισμό του μίγματος κομποστοποίησης σε θρεπτικά συστατικά (κυρίως σε άζωτο) αλλά και την πρόσδοση κάποιου ποσοστού υγρασίας σε αυτό. Το κλάσμα των τροφών που προστέθηκε στο μίγμα περιλάμβανε τεμαχισμένα φρούτα (μήλα, πορτοκάλια) και λαχανικά (ντομάτες). Η προσθήκη τροφίμων πραγματοποιήθηκε μόνο στον κομποστοποιητή που λειτουργεί αυτόνομα (χωρίς εξωτερική πηγή θερμότητας) ώστε να ρυθμιστούν όσο το δυνατό αποτελεσματικότερα οι συνθήκες λειτουργίας του. Τα υπολείμματα των τροφών δεν προστέθηκαν στον ηλεκτρικό κομποστοποιητή, αφενός διότι κρίθηκε μη απαραίτητη η προσθήκη βοηθητικών μέσων (οργανικά υπολείμματα κτλ.) για την αυτόνομη αύξηση της θερμοκρασίας και αφετέρου επειδή με τον τρόπο αυτό παράχθηκε ένα διαφορετικό σύστημα κομποστοποίησης, η μελέτη του οποίου θα οδηγήσει σε εξίσου χρήσιμα αποτελέσματα.

Πράσινα απορρίμματα

Τα πράσινα απορρίμματα προστέθηκαν και στα δύο συστήματα κομποστοποίησης με σκοπό να προσδώσουν ικανοποιητικές ποσότητες άνθρακα. Πρόκειται για τεμαχισμένα τμήματα φύλλων διαστάσεων 2-3cm. Τα φύλλα χρησιμοποιήθηκαν επίσης και ως μέσα διόγκωσης του μίγματος καθώς η γεωμετρία τους επιτρέπει τη δημιουργία κενών χώρων διαμέσου της μάζας των στερεών ώστε να αποφεύγεται ο σχηματισμός αναερόβιων συνθηκών που θα επηρεάζουν την απόδοση της διεργασίας. Με την προσθήκη των φύλλων, το μίγμα απέκτησε μια πιο μαλακή και «αφράτη» δομή που συνετέλεσε στη διατήρηση των αερόβιων χαρακτηριστικών της διεργασίας.

Περλίτης

Ο περλίτης αποτελεί ένα πυριτικό άλας ηφαιστειογενούς προέλευσης που έχει υαλώδη μορφή. Η μοναδική εσωτερική δομή του αποτελείται από πολυάριθμες μικροσκοπικές κλειστές κυψέλες αέρα

που περιβάλλονται από εξωτερικές ακανόνιστες επιφάνειες προσδίδοντας σε αυτές ανομοιόμορφη όψη. Ο διογκωμένος περλίτης, που προκαλείται μέσω της ταχείας θέρμανσης της ορυκτής μορφής του, είναι εξαιρετικά ελαφρύς, αδρανής, στείρος, άκαυστος, δεν περιέχει αμίαντο, είναι μη τοξικός, έχει ουδέτερο pH ενώ παράλληλα αποτρέπει τη σήψη και τη συγκέντρωση παρασίτων. Η κλειστή δομή των κυττάρων του που περιέχει αέρα αντιστέκεται στη θερμική μετάδοση προσδίδοντας στον περλίτη εγγενείς μονωτικές ιδιότητες (Supreme Perlite Company, n.d.).

Διογκωμένος περλίτης προστέθηκε και στα δύο συστήματα ως διογκωτικός παράγοντας υπό μορφή κόνεως, προκειμένου να διατηρήσει την επιθυμητή σύσταση του μίγματος κομποστοποίησης και να βελτιώσει τον αερισμό του συστήματος. Η προσθήκη του περλίτη πραγματοποιήθηκε αμέσως μετά την άλεση της ιλύος στο σάκο όπου αποθηκεύτηκε η ποσότητα των στερεών που αφαιρέθηκε από τη διάταξη αφυδάτωσης της βιομηχανίας. Στη συνέχεια ακολούθησε η προσθήκη των τεμαχισμένων φύλλων και των τροφικών υπολειμμάτων στις απαραίτητες αναλογίες.

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, στις δύο διαφορετικές περιπτώσεις κομποστοποίησης, δε χρησιμοποιήθηκε ούτε η ίδια σύσταση μίγματος ούτε οι ίδιες αναλογίες συστατικών. Ακολουθεί διάκριση μεταξύ των δύο αυτών περιπτώσεων που εκτελέστηκαν, μέσω της αναλυτικής περιγραφής των κομποστοποιητών καθώς και των μιγμάτων που εισήχθησαν σε αυτούς.

Κομποστοποιητής «L&T Compomate» (Κομποστοποιητής Α)

Πρόκειται για ένα σύστημα κομποστοποίησης που λειτουργεί αυτόνομα, χωρίς την επιβολή εξωτερικής πηγής θέρμανσης του μίγματος, αλλά με την απαίτηση για αποτελεσματικό έλεγχο και ρύθμιση των επιμέρους συνθηκών της διεργασίας. Ο σχεδιασμός του κομποστοποιητή λαμβάνει υπόψιν τις ανάγκες για την είσοδο του αέρα και την ανταλλαγή των αερίων μέσα στη μάζα των υλικών, παράμετροι που συνεισφέρουν στην εξασφάλιση της ταχείας κομποστοποίησης του μίγματος. Η παροχή επαρκούς ποσότητας οξυγόνου αποτρέπει τη δημιουργία σηπτικών συνθηκών ενώ τα φίλτρα ενεργού άνθρακα που βρίσκονται τοποθετημένα στο καπάκι και τον πυθμένα του δοχείου φιλτράρουν τις δυσάρεστες οσμές που μπορεί να δημιουργηθούν. Παρακάτω απεικονίζεται ο κομποστοποιητής L&T Compomate, το εξωτερικό περίβλημα καθώς και ο εσωτερικός κάδος όπου τοποθετούνται τα απόβλητα.



Εικόνα 3: Κομποστοποιητής «L&T Compromate»

(Κομποστοποιητής Α)

Το εξωτερικό περίβλημα είναι κατασκευασμένο από διογκωμένο πολυπροπυλένιο (EPP – Expanded Polypropylene) και όλα τα υλικά που έχουν χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή του κομποστοποιητή είναι ανακυκλώσιμα, ενώ δεν περιέχουν χλωροφθοράνθρακες. Ο κομποστοποιητής στο σύνολό του είναι ελαφρύς και ανθεκτικός, τα υλικά που τον απαρτίζουν μπορούν να πλυθούν εύκολα και έρχονται σε πλήρη συμμόρφωση με τα υγειονομικά πρότυπα. Το σύστημα δεν περιλαμβάνει εξοπλισμό παροχής αέρα γι' αυτό και ο αερισμός του μίγματος πρέπει να γίνεται χειροκίνητα και σε τακτική βάση προκειμένου να εξασφαλισθούν οι βέλτιστες συνθήκες λειτουργίας. Ο συγκεκριμένος κομποστοποιητής σχεδιάστηκε για να λειτουργεί σε συνδυασμό με την προσθήκη στο μίγμα κομποστοποίησης ενός υλικού επιτάχυνσης της διεργασίας (compromate compost accelerator), το

οποίο απαρτίζεται από φυσικές ακατέργαστες πρώτες ύλες, όπως είναι διάφορες ουσίες διέγερσης των μικροβίων, μεταλλικά στοιχεία και οξειδωτικά μέσα, με σκοπό την αποτελεσματική παραγωγή ενός ώριμου προϊόντος (Ροήζοια, n.d.). Εντούτοις, κατά την πειραματική διαδικασία δεν προστέθηκε το συγκεκριμένο μίγμα επιτάχυνσης αλλά χρησιμοποιήθηκαν μόνο τα συστατικά του μίγματος κομποστοποίησης που προαναφέρθηκαν, λόγω έλλειψης του συγκεκριμένου υλικού.

Μίγμα κομποστοποίησης: Στον κάδο του κομποστοποιητή προστέθηκε ιλύς, περλίτης, υπολείμματα τροφών και πράσινα απορρίμματα. Η σειρά με την οποία προστέθηκαν οι πρώτες ύλες του μίγματος στον κάδο ήταν η εξής: Αρχικά αναμείχθηκε η ιλύς με τον περλίτη και προστέθηκε μια πρώτη στρώση υλικού στον πυθμένα του κομποστοποιητή. Έπειτα ακολούθησε η προσθήκη μέρους των φύλλων και των τροφικών υπολειμμάτων. Ακολούθησε η επαναλαμβανόμενη προσθήκη ποσότητας ιλύος με περλίτη, φύλλων και τροφίμων μέχρι την πλήρωση περίπου των $\frac{3}{4}$ του κάδου. Παράλληλα το μίγμα των υλικών ψεκαζόταν με νερό περιοδικά, προκειμένου να διατηρηθεί ικανοποιητικό ποσοστό υγρασίας σε αυτό, σε αναλογία 50-60%.

Εφόσον στη διάθεσή μας υπήρχε η επιλογή για μία μόνο πειραματική εφαρμογή της διεργασίας κομποστοποίησης (λόγω χρονικού περιορισμού) έγινε μια προσπάθεια να υπολογισθεί η κατά το δυνατό βέλτιστη σύσταση που θα απέφερε μελλοντικά και την μεγαλύτερη αποδοτικότητα. Αυτό βέβαια κρίθηκε ιδιαίτερα δύσκολο καθώς δεν έχουν πραγματοποιηθεί αντίστοιχα πειραματικά εγχειρήματα με απόβλητα παρόμοιας σύστασης (κομποστοποίηση ιλύος από τον κλάδο των βαφείων – φινιστηρίων). Έτσι, η σύσταση του μίγματος επιλέχθηκε με βάση περισσότερο την εμπειρία και τις απαιτήσεις του συστήματος (υγρασία, αναλογία C/N κτλ.). Το μίγμα που προστέθηκε στον κάδο ζύγιζε στο σύνολό του 13kg και η σύστασή του είχε τα ακόλουθα χαρακτηριστικά.

Πίνακας 21: Μαζική και ποσοστιαία σύσταση του μίγματος στον κομποστοποιητή Α.

Συστατικό μίγματος	Σύσταση	
	Μαζική (kg)	Ποσοστιαία (%)
Ιλύς	7,4	57
Τροφικά υπολείμματα	3,8	29
Πράσινα απορρίμματα	1,23	9
Περλίτης	0,62	5
ΣΥΝΟΛΟ	13	100

Παράλληλα, στο μίγμα προστέθηκε νερό μέσω ψεκάσμου, σε ποσότητα περίπου ίση με 1L, προκειμένου να διατηρηθούν τα επιθυμητά ποσοστά υγρασίας. Τελικά, το μίγμα πήρε την μορφή που απεικονίζεται παρακάτω.



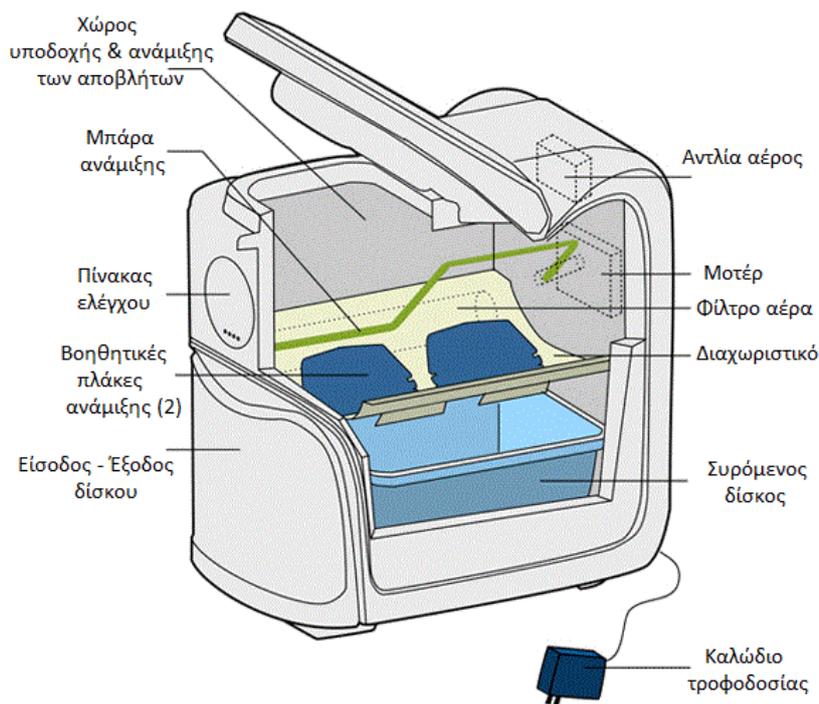
Εικόνα 4: Αρχική μορφή μίγματος κομποστοποίησης

Ο κομποστοποιητής τοποθετήθηκε στην ταράτσα κτιρίου της σχολής Χημικών Μηχανικών προκειμένου να αποφευχθούν τυχόν προβλήματα εμφάνισης δυσάρεστων οσμών. Η τοποθέτηση του κομποστοποιητή δεν κρίθηκε απαραίτητο να γίνει σε προστατευμένο από τις καιρικές συνθήκες σημείο, λόγω του μονωτικού περιβλήματός του, που εξασφαλίζει προστασία από τις υψηλές θερμοκρασίες και τις υπόλοιπες κλιματικές αλλαγές. Μετά την αρχική τοποθέτηση του κομποστοποιητή, συλλέχθηκε δείγμα προκειμένου να οδηγηθεί για ανάλυση των χαρακτηριστικών του μίγματος στα πρώτα στάδια της διεργασίας. Από την επόμενη μέρα, ακολούθησε τακτική ανάδευση του μίγματος χειροκίνητα, προκειμένου να διατηρηθούν τα επίπεδα του οξυγόνου σε όλη την μάζα των στερεών και να αποφευχθούν οι αναερόβιες συνθήκες. Η ανάδευση αρχικά γινόταν 3 φορές την μέρα ενώ από τα μέσα έως και τα τέλη της διεργασίας, η ανάδευση πραγματοποιούνταν 1 ή 2 φορές την μέρα, ανάλογα με τη διαθεσιμότητα του χώρου και τις δυνατότητες προσέγγισής του. Τη 2^η και 4^η μέρα κομποστοποίησης, κρίθηκε απαραίτητη η προσθήκη ποσότητας νερού στο μίγμα (1,5L και 1L αντίστοιχα) διότι εμφάνισε σημάδια ελλιπούς ύγρανσης, που μελλοντικά θα οδηγούσαν στην αδυναμία επίτευξης των επιθυμητών αποτελεσμάτων της διεργασίας. Η κομποστοποίηση διήρκησε συνολικά 16 μέρες, με το πέρας των οποίων το μίγμα απέκτησε θερμοκρασία ίση με αυτή του περιβάλλοντος. Κυρίως η διακύμανση της θερμοκρασίας όρισε και τη διάρκεια της συνολικής διεργασίας, γι' αυτό και όταν η θερμοκρασία του μίγματος έπεσε στη θερμοκρασία περιβάλλοντος για συνεχόμενο διάστημα 6 ημερών, κρίθηκε πως η κομποστοποίηση είχε λάβει τέλος. Στο διάστημα

των 16 ημερών, δείγματα εξάγονταν σχεδόν καθημερινά από τον κάδο και αναλύονταν ενώ μετά το τέλος της διεργασίας το μίγμα απομακρύνθηκε από τον κάδο κομποστοποίησης και τοποθετήθηκε σε ανοιχτά δοχεία. Τα δοχεία αυτά τοποθετήθηκαν σε εξωτερικό χώρο και παρείχαν πλήρη αερισμό στα στερεά, με σκοπό να ακολουθήσει η σταθεροποίησή τους.

Κομποστοποιητής «NatureMill » (Κομποστοποιητής Β)

Το συγκεκριμένο σύστημα αποτελεί ταυτόχρονα έναν κάδο κομποστοποίησης και μια εξωτερική πηγή θέρμανσης στο μίγμα που κομποστοποιείται, καθώς πρόκειται στην ουσία για μια ηλεκτρική συσκευή με χώρο υποδοχής των αποβλήτων, που έχει ως στόχο την επιτάχυνση της διεργασίας και την εξασφάλιση της απαίτησης για ύπαρξη υψηλών θερμοκρασιών που θα ενεργοποιήσουν την διαδικασία αποδόμησης του οργανικού κλάσματος. Η χωρητικότητα του κάδου είναι σημαντικά μικρότερη από αυτή του κομποστοποιητή Α, γεγονός που επιτρέπει την εύκολη χρήση του σε εσωτερικούς χώρους, που ωστόσο αερίζονται επαρκώς και εξασφαλίζουν την ικανοποιητική ανακυκλοφορία του αέρα.



Σχήμα 16: Εσωτερικό τμήμα του κομποστοποιητή NatureMill

Η λειτουργία του είναι σχετικά απλή. Τα απόβλητα τοποθετούνται στο χώρο υποδοχής και ανάμιξης, εφόσον έχουν πρώτα αναμειχθεί αναμεταξύ τους προκειμένου να έχει το μίγμα μια ομοιόμορφη δομή. Η συσκευή συνδέεται με την παροχή ρεύματος και λειτουργεί σε συγκεκριμένη θερμοκρασία (~60°C) χωρίς να υπάρχει απαίτηση για ρύθμισή της κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης. Στο χώρο υποδοχής του μίγματος επιτελείται η θέρμανση, ο αερισμός και η ανάμιξη του μίγματος, ωστόσο

επειδή η τελευταία λειτουργία (ανάμιξη) δεν εφαρμοζόταν με επιτυχία λόγω του βάρους των αποβλήτων που είχαν προστεθεί, η ανάδευση πραγματοποιούνταν και σε αυτό το σύστημα χειροκίνητα, 1-3 φορές ημερησίως, ανάλογα με τη δυνατότητα προσέγγισης του χώρου στον οποίο είχε τοποθετηθεί ο κομποστοποιητής. Η συσκευή τοποθετήθηκε σε διάταξη απαγωγού ώστε να αποφευχθεί μια ενδεχόμενη έκλυση δυσοσμίας, εντός του εσωτερικού χώρου εργαστηρίου της σχολής Χημικών Μηχανικών. Επίσης, τυπικά η συσκευή μεταφέρει το επεξεργασμένο κλάσμα αποβλήτων στο συρόμενο δίσκο που βρίσκεται κάτω από το χώρο υποδοχής ώστε να ακολουθήσει η προσθήκη του νέου κλάσματος οργανικών αποβλήτων προς επεξεργασία. Εντούτοις, επειδή και αυτή η λειτουργία δεν εκτελέστηκε λόγω τεχνικών περιορισμών, το μίγμα αφέθηκε εξ ολοκλήρου στο χώρο υποδοχής και ανάμιξης της συσκευής καθ' όλη τη διάρκεια της κομποστοποίησης και απομακρύνθηκε από αυτήν μετά το πέρας της διεργασίας. Ο συρόμενος δίσκος χρησιμοποιήθηκε κυρίως για τη συλλογή του υγρού κλάσματος που εξέρεε από τη διεργασία, λόγω της προσθήκης επιπρόσθετης ποσότητας νερού, όποτε κρίθηκε απαραίτητο.



Εικόνα 5: Κομποστοποιητής NatureMill (Κομποστοποιητής Β)

Μίγμα κομποστοποίησης: Στον εσωτερικό χώρο υποδοχής των αποβλήτων του κομποστοποιητή αναμίχθηκε και προστέθηκε ποσότητα μίγματος που απαρτίζονταν από ιλύ, περλίτη και πράσινα απορρίμματα. Το μίγμα που παρασκευάστηκε και προστέθηκε στον κομποστοποιητή Β αποτέλεσε παράλληλα και μια ευκαιρία να μελετηθεί ένα μίγμα κομποστοποίησης διαφορετικό από αυτό που χρησιμοποιήθηκε στον Κομποστοποιητή Α, ώστε να υπάρξει μια άμεση σύγκριση μεταξύ των αποτελεσμάτων των δύο διεργασιών. Το αρχικό μίγμα που παρασκευάστηκε ζύγιζε 2,4 kg με σύσταση των επιμέρους υλικών που αναγράφεται παρακάτω.

Πίνακας 22: Μαζική και ποσοστιαία σύσταση του μίγματος στον κομποστοποιητή Β

Συστατικό μίγματος	Σύσταση	
	Μαζική (kg)	Ποσοστιαία (%)
Ιλύς	1,92	80
Πράσινα Απορρίμματα	0,32	13,3
Περλίτης	0,16	6,7
ΣΥΝΟΛΟ	2,4	100

Η ανάμιξη των υλικών ακολούθησε την ίδια σειρά που αναμίχθηκε το μίγμα στον κομποστοποιητή Α, με εξαίρεση την προσθήκη των τροφικών υπολειμμάτων. Πρώτα δηλαδή έγινε η ανάμιξη της ιλύος και του περλίτη και στη συνέχεια προστέθηκαν τα πράσινα απορρίμματα. Και σε αυτή την περίπτωση, κρίθηκε αναγκαίο να προστεθεί μια ποσότητα νερού στο μίγμα μέσω ψεκασμού. Συγκεκριμένα, κατά την παρασκευή του μίγματος προστέθηκε περίπου 1L νερό, ποσότητα που ενίσχυσε σε μεγάλο βαθμό την υγρασία του. Το αρχικό μίγμα των υλικών τοποθετήθηκε στο εσωτερικό τμήμα του κομποστοποιητή, ο οποίος τέθηκε σε λειτουργία αμέσως μόλις συνδέθηκε με την παροχή του ρεύματος. Δεν χρειάστηκε να γίνει χειροκίνητη ρύθμιση της θερμοκρασίας διότι η συσκευή ρύθμιζε αυτόματα τη θερμοκρασία λειτουργίας σε εύρος τιμών που κυμαινόταν μεταξύ τους 55-65°C, ανάλογα με τις ανάγκες σε θέρμανση που ενίοτε μεταβαλλόντουσαν (κάθε φορά που γινόταν εξαγωγή δείγματος κτλ.). Μετά την έναρξη λειτουργίας, ο κομποστοποιητής συνέχισε να παρέχει σταθερή θέρμανση στο μίγμα μέχρι και το τέλος της κομποστοποίησης, το οποίο ορίστηκε στις 16 ημέρες, όσο δηλαδή διήρκεσε και η διεργασία στον κομποστοποιητή Α. Την 4^η μέρα κομποστοποίησης χρειάστηκε να γίνει ύγρανση του μίγματος, γι' αυτό και προστέθηκε ποσότητα νερού ίση με 0,5L ενώ σχεδόν καθημερινά μικρή ποσότητα δείγματος εξαγόταν από τον κομποστοποιητή για να οδηγηθεί προς ανάλυση των χαρακτηριστικών του. Στις 16 μέρες, το μίγμα κομποστοποίησης απομακρύνθηκε από τον κομποστοποιητή και τοποθετήθηκε σε ανοιχτό δοχείο που του παρείχε πλήρη αερισμό ώστε να ξεκινήσει η διαδικασία σταθεροποίησης του παραγόμενου προϊόντος.

6.3 Συσκευές και Μέθοδοι Μέτρησης

Εκτός από τους δύο κομποστοποιητές που χρησιμοποιήθηκαν για τη διεξαγωγή των πειραμάτων χρειάστηκε πλήθος άλλων συσκευών και μεθόδων για το χαρακτηρισμό των στερεών που μελετήθηκαν αλλά και της διεργασίας στο σύνολό της. Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν και θα

παρουσιαστούν συνοπτικά, αναγράφονται στον επόμενο πίνακα μαζί με τη συσκευή που χρησιμοποιήθηκε και τα αντιδραστήρια που καταναλώθηκαν. Οι παράμετροι αυτές αφορούν τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης στα στερεά δείγματα που απομακρύνονταν από τους κομποστοποιητές κάθε φορά.

Για την ολοκληρωμένη προσέγγιση της κομποστοποίησης ενός δείγματος, ιδιαίτερα σημαντική κρίνεται η παρακολούθηση της πορείας του O_2 . Ωστόσο, η καταγραφή της συνιστώσας αυτής κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης της ιλύος κρίθηκε ανέφικτη λόγω της ανεπάρκειας του συγκεκριμένου οργάνου την περίοδο εκπόνησης της εργασίας.

Πίνακας 23: Παράμετροι που αναλύθηκαν και αξιολογήθηκαν κατά την κομποστοποίηση της ιλύος

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ	ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΙΑ
1. TN	<ul style="list-style-type: none"> Συσκευή χώνευσης Gerhard Kjeldatherm Συσκευή απόσταξης Gerhard Vapodest Ζυγός ακριβείας 	<ul style="list-style-type: none"> Διάλυμα $C_7H_6O_3/H_2SO_4$ Στερεό $Na_2S_2O_3 \cdot 5 H_2O$ Στερεό $K_2SO_4 \cdot CuSO_4 \cdot 5H_2O \cdot TiO_2$ Διάλυμα NaOH Διάλυμα H_3BO_3 Διάλυμα H_2SO_4 Δείκτης
2. LOI	<ul style="list-style-type: none"> Φούρνος ξήρανσης Κλίβανος Ξηραντήρας Ζυγός ακριβείας 	-
3. MC	<ul style="list-style-type: none"> Φούρνος ξήρανσης Ζυγός ακριβείας 	-
4. Μέταλλα	<ul style="list-style-type: none"> Σύστημα χώνευσης με μικροκύματα Σύστημα διήθησης υπό κενό Ζυγός ακριβείας 	<ul style="list-style-type: none"> Νερό, αγωγιμότητας 18.2 $M\Omega \cdot cm$ HNO_3
5. pH	<ul style="list-style-type: none"> Πεχάμετρο 	-
6. Αγωγιμότητα	<ul style="list-style-type: none"> Αγωγιμόμετρο 	-
7. Θερμοκρασία	<ul style="list-style-type: none"> Θερμοστοιχείο 	-
8. Φυτοτοξικότητα	<ul style="list-style-type: none"> Ψυγείο $\sim 25^\circ C$ 	<ul style="list-style-type: none"> Σπόροι

Πριν ακολουθήσει η αναλυτική περιγραφή των επιμέρους μεθόδων που χρησιμοποιήθηκαν, κρίνεται σκόπιμο να αναφερθεί ακόμα ότι για τον υπολογισμό των παραμέτρων 1, 2, 4, 5, 6 του Πίνακα 23, πραγματοποιήθηκε μια προκατεργασία στα δείγματα των στερεών που απομακρύνονταν κάθε φορά από τους κομποστοποιητές, η οποία είναι ίδια για τις πέντε αυτές παραμέτρους και περιλαμβάνει τα

εξής βήματα: Αρχικά αφαιρείται από τον κάθε κομποστοποιητή (κομποστοποιητής Α και Β) ποσότητα δείγματος (αναφέρονται ως δείγματα «Α» και «Β», από τους αντίστοιχους κομποστοποιητές) που μεταφέρεται στο εργαστήριο. Η ποσότητα αυτή, αφού ζυγιστεί (απαραίτητο βήμα για τον υπολογισμό της περιεχόμενης υγρασίας), τοποθετείται σε φούρνο ξήρανσης στους 103-105°C μέχρι την επόμενη μέρα, όπου και ζυγίζεται εκ νέου. Μετά τη ζύγιση, το δείγμα τοποθετείται σε μύλο άλεσης προκειμένου να μειωθεί σημαντικά η κοκκομετρία του. Για να εξασφαλιστεί ομοιομορφία ως προς το μέγεθος των κόκκων, ακολουθεί κοσκίνισμα του δείγματος που αλέστηκε, με κόσκινο 1mm. Τέλος, το δείγμα μεταφέρεται σε αποθηκευτικό δοχείο όπου αναγράφεται η προέλευσή του (Α για τον κομπ/τη Compromate και Β για τον κομπ/τη NatureMill) και η ημέρα κομποστοποίησης (π.χ. Α5: δείγμα από τον κομποστοποιητή Α που αφαιρέθηκε από αυτόν την 5^η μέρα κομποστοποίησης). Ακολουθεί η αναλυτική περιγραφή των μεθόδων που εκτελέστηκαν.

1. Μέθοδος μέτρησης ολικού αζώτου (TN)

Αφορά τον υπολογισμό της συγκέντρωσης του αζώτου που περιέχεται στα στερεά δείγματα που αναλύονται, υπό μορφή οργανικού (N-org), αμμωνιακού (N-NH₄), νιτρικού (N-NO₃), και νιτρώδους αζώτου (N-NO₂). Η διαδικασία της μεθόδου ουσιαστικά μπορεί να χωριστεί σε τρία μέρη: τη χώνευση, την απόσταξη και την τιτλοδότηση. Η συγκεκριμένη μέθοδος που εφαρμόστηκε βασίζεται στην τροποποιημένη κατά Kjeldahl μέθοδο προσδιορισμού αζώτου η οποία περιγράφεται συνοπτικά ως εξής: Αρχικά πραγματοποιείται μετατροπή του οργανικού αζώτου και ελεύθερου αμμωνίου σε άλας θειικού αμμωνίου (χώνευση) παρουσία θειικού οξέος και καταλυτών (διοξειδίου του τιτανίου). Τα νιτρικά και νιτρώδη ανάγονται σε αμμωνιακά με τη χρήση σαλικυλικού οξέος και θειοθειικού νατρίου. Έπειτα, η αμμώνια αποστάζεται και προσδιορίζεται ογκομετρικά με τιτλοδότηση. Ακολουθεί αναλυτικότερη περιγραφή της μεθόδου με τα αντιδραστήρια που χρησιμοποιήθηκαν και αναφορές στις ποσότητες και τα είδη αυτών.

Χώνευση: Ποσότητα δείγματος (περίπου 0,5g) ζυγίζεται (καταγράφεται η ακριβής μάζα του) και τοποθετείται σε φιάλη, στην οποία προστίθενται 20ml διαλύματος σαλικυλικού οξέος/θειικού οξέος (25g σαλικυλικού οξέος (C₇H₆O₃) διαλυμένα σε 1L πυκνού θειικού οξέος (H₂SO₄)). Η διαδικασία επαναλαμβάνεται και για τα υπόλοιπα δείγματα των προηγούμενων ημερών, που βρίσκονται αποθηκευμένα. Το μίγμα δείγματος και διαλύματος κάθε φιάλης, αφήνεται σε ηρεμία για διάστημα μισής περίπου ημέρας. Την επομένη, προστίθενται 2,5g θειοθειικού νατρίου (Na₂S₂O₃·5H₂O) σε κάθε φιάλη και ακολουθεί η τοποθέτηση όλων των φιαλών στη συσκευή χώνευσης Gerhard Kjeldatherm, (Εικόνα 6) η οποία τίθεται σε ειδικό πρόγραμμα λειτουργίας μισής ώρας. Στη συνέχεια, σε κάθε φιάλη προστίθεται ποσότητα μίγματος καταλύτη (K₂SO₄ - CuSO₄·5H₂O - TiO₂) ίση με 5,5g. Με την προσθήκη του καταλύτη η συσκευή τίθεται και πάλι σε ειδικό πρόγραμμα λειτουργίας διάρκειας 2,5

ωρών. Μαζί με τα δείγματα των στερεών υπό μελέτη παρασκευάζεται τουλάχιστον ένα δείγμα αναφοράς που περιέχει όλα τα αντιδραστήρια που αναφέρθηκαν παραπάνω, εκτός από τα στερεά απόβλητα. Το δείγμα αναφοράς ακολουθεί την ίδια πορεία με τα υπόλοιπα δείγματα, μέχρι και τη τιτλοδότηση.

Κατά τη χώνευση, οι νίτρο-ενώσεις που σχηματίζονται σε όξινο περιβάλλον από την αντίδραση του σαλικυλικού οξέος με το περιεχόμενο νιτρικό άζωτο του κάθε δείγματος, ανάγονται σε άμινο-ενώσεις, υπό τη θέρμανση του με το θειοθειικό νάτριο. Στην συνέχεια το μίγμα θερμαίνεται περίπου στους 400°C και πραγματοποιείται η χημική αποσύνθεση του δείγματος. Τελικά, αυτό που απομένει στη φιάλη κάθε δείγματος είναι ένα διάλυμα θειικού αμμωνίου.



Εικόνα 6: Συσκευή χώνευσης Gerhard Kjeldatherm (α), συσκευή απόσταξης Gerhard Varodest (β), τιτλοδότηση (γ)

Απόσταξη: Μετά τον σχηματισμό του θειικού αμμωνίου, η αμμωνία ελευθερώνεται σε αλκαλικό περιβάλλον. Αυτό πραγματοποιείται με την μεταφορά της φιάλης στη συσκευή απόσταξης Gerhard Varodest, στην οποία η αμμωνία αποστάζεται και δεσμεύεται σε διάλυμα βορικού οξέος όπου και προσδιορίζεται εμμέσως. Η συσκευή τροφοδοτείται με την ποσότητα του χωνεμένου δείγματος, διάλυμα υδροξειδίου του νατρίου (NaOH), διάλυμα βορικού οξέος (H_3BO_3) και απιονισμένο νερό, προκειμένου να εκτελέσει την απόσταξη. Το διάλυμα του βορικού οξέος παρασκευάζεται με τη διάλυση 20g βορικού οξέος σε 1L νερό, ενώ το διάλυμα του υδροξειδίου του νατρίου με τη διάλυση 400g καυστικού νατρίου σε 1L απιονισμένου νερού. Το απόσταγμα που απομένει στην κωνική φιάλη του βορικού οξέος (χρώματος πρασίνου) απομακρύνεται από τη συσκευή και οδηγείται προς τιτλοδότηση.

Τιτλοδότηση: Μέσω της τιτλοδότησης με πρότυπο διάλυμα θειικού οξέος (0,1N) παρουσία δείκτη καθορίζεται η ποσότητα της περιεχόμενης αμμωνίας, και ως εκ τούτου η ποσότητα του

περιεχόμενου αζώτου. Η ογκομέτρηση συνεχίζεται μέχρις ότου να μεταβληθεί το χρώμα του αποσταγματος από πράσινο σε βιολετί.



Εικόνα 7: Πριν και μετά τη τιτλοδότηση κατά την μέθοδο προσδιορισμού του αζώτου των δειγμάτων

Η περιεκτικότητα του δείγματος σε ολικό άζωτο σε mg/g υπολογίζεται από παρακάτω τύπο:

$$TN = \frac{(V_{\Delta} - V_T) \times c(H^+) \times M_N}{m} \times \frac{100 + \%Y_{\Xi.B.}}{100}$$

Όπου,

V_{Δ} : ο όγκος (mL) του θειικού οξέος που χρησιμοποιείται για την τιτλοδότηση του δείγματος, V_T : ο όγκος (mL) του θειικού οξέος που χρησιμοποιείται για την τιτλοδότηση του τυφλού, $C(H^+)$: η συγκέντρωση (mol/L) των H^+ σε θειικό οξύ, M_N : το μοριακό βάρος (g/mol) του αζώτου ίσο με 14.0067, m : η μάζα (g) του ξηραμένου στερεού δείγματος, $\%Y_{\Xi.B.}$: η υγρασία δείγματος (%) σε ξηρή βάση.

Κανονικά, τα αποτελέσματα του TN αναφέρονται ως μέσος όρος για τουλάχιστον δύο μετρήσεις της παραμέτρου. Ωστόσο, λόγω έλλειψης χρόνου, σε μερικά δείγματα πραγματοποιήθηκε μία μόνο μέτρηση υπολογισμού του αζώτου, δίδοντας όμως προσοχή στα αποτελέσματα, ώστε αυτά να μην αποκλίνουν αδικαιολόγητα από τις υπόλοιπες τιμές. Όταν παρατηρήθηκε μεγάλη διαφορά στα αποτελέσματα μιας μέτρησης, αυτή επαναλήφθηκε με σκοπό να μειωθεί όσο γίνεται το σφάλμα των μετρήσεων.

2. Μέθοδος μέτρησης LOI (Loss On Ignition)

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του περιεχόμενου οργανικού φορτίου ενός στερεού δείγματος μέσω της καύσης του σε υψηλή θερμοκρασία για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιείται κλίβανος σε θερμοκρασία λειτουργίας 550°C, με χρόνο παραμονής των στερεών τις 5 ώρες. Η εκτίμηση του περιεχόμενου οργανικού φορτίου γίνεται με τον υπολογισμό της απώλειας βάρους, πριν και μετά την εισαγωγή του δείγματος στον κλίβανο. Κατά την καύση πραγματοποιείται οξείδωση των οργανικών ουσιών γι' αυτό και η απώλεια βάρους που υπολογίζεται αποτελεί στην ουσία μέτρο των οργανικών ουσιών που περιέχονται στα στερεά, παρόλο που κατά την καύση απομακρύνονται μερικές φορές και ορισμένα ανόργανα πτητικά συστατικά του δείγματος. Η διαφορά του βάρους αντιπροσωπεύει κατά βάση το πόσο του οργανικού φορτίου που απομακρύνθηκε από το στερεό.

Η διαδικασία που ακολουθείται για την μέτρηση του κλάσματος που απομακρύνεται είναι η εξής: Αρχικά ζυγίζεται και καταγράφεται με ακρίβεια τεσσάρων δεκαδικών συγκεκριμένη ποσότητα του δείγματος προς ανάλυση (περίπου 1g για κάθε δείγμα). Η μάζα αυτή τοποθετείται σε προζυγισμένη κάψα και στη συνέχεια οδηγείται στον κλίβανο, όπου και παραμένει για διάστημα 5 ωρών στους 550°C. Μετά το πέρας του χρόνου παραμονής, η κάψα μαζί με το περιεχόμενο υπόλειμμα τοποθετείται σε ξηραντήρα, μέχρις ότου η θερμοκρασία της να μειωθεί μέχρι την θερμοκρασία περιβάλλοντος. Όταν συμβεί αυτό, η κάψα απομακρύνεται από τον ξηραντήρα και ζυγίζεται εκ νέου. Καταγράφεται και πάλι η μάζα της μαζί με το στερεό υπόλειμμα και μέσω της απώλειας βάρους υπολογίζονται το πτητικό οργανικό κλάσμα του στερεού. Για κάθε δείγμα γίνονται διπλές μετρήσεις, από τις οποίες υπολογίζεται ο μέσος όρος των τιμών.



Εικόνα 8: Κλίβανος (α) και ξηραντήρας με τις κάψες (β) για τον υπολογισμό της παραμέτρου LOI

Ο υπολογισμός της παραμέτρου γίνεται μέσω της σχέσης:

$$\text{LOI (\%)} = \frac{(m_2 - m_3) \times 100}{m_2 - m_1}$$

Όπου, m_1 : η μάζα (g) της κάψας, m_2 : η μάζα (g) της κάψας και του περιεχόμενου δείγματος πριν την εισαγωγή της στον κλίβανο, m_3 : η μάζα (g) της κάψας και του περιεχόμενου υπολείμματος μετά την έξοδο της από τον κλίβανο και τον ξηραντήρα.

3. Μέθοδος μέτρησης υγρασίας (MC)

Αποσκοπεί στον προσδιορισμό της υγρασίας (%Y), δηλαδή του περιεχόμενου νερού που βρίσκεται στο δείγμα, μέσω της ξήρανσής του στερεού σε συγκεκριμένη θερμοκρασία μέχρι τη σταθεροποίηση της μάζας του. Μέσω της μεθόδου αυτής, υπολογίζεται επίσης η περιεκτικότητα του δείγματος σε ξηρή ουσία με βάση την μάζα (Ξηρό βάρος, %Ξ.Β.) και η περιεκτικότητα σε νερό κατά βάρος ξηράς μάζας (Υγρασία σε ξηρή βάση, %Y_{Ξ.Β.}).

Για τον υπολογισμό της υγρασίας, αφαιρείται αρχικά από τους κομποστοποιητές ικανοποιητική μάζα δείγματος (50-100g), διότι η ποσότητα αυτή χρησιμοποιείται έπειτα και για τον υπολογισμό των υπόλοιπων παραμέτρων. Η ποσότητα αυτή ζυγίζεται και τοποθετείται σε προζυγισμένο ποτήρι ζέσεως, το οποίο οδηγείται στη συνέχεια σε φούρνο ξήρανσης με θερμοστάτη, η θερμοκρασία του οποίου κυμαίνεται στους 105±5°C, μέχρις ότου να σταθεροποιηθεί η μάζα του. Συνήθως οι 3 ώρες θεωρούνται επαρκής χρόνος για την ξήρανση των περισσότερων στερεών δειγμάτων μέχρι σταθερής μάζας, αλλά για ορισμένους τύπους δειγμάτων και ειδικά για τα μεγάλα δείγματα απαιτείται μεγαλύτερο χρονικό διάστημα (18 ώρες έως 24 ώρες). Προκειμένου να εξασφαλιστεί ολοκληρωτική σταθεροποίηση της μάζας, το δείγμα του κομποστοποιητή (ποτήρι ζέσεως και στερεό) εξάγεται από τον φούρνο την επομένη, τοποθετείται σε ξηραντήρα μέχρι να πέσει η θερμοκρασία του και ζυγίζεται ξανά.

Ο υπολογισμός της υγρασίας πραγματοποιείται από τον υπολογισμό της μάζας του νερού που εξατμίζεται από το στερεό δείγμα κατά την ξήρανση, διά της αρχικής μάζας (για την παράμετρο %Y) ή δια της ξηρής μάζας του δείγματος (για την παράμετρο %Y_{Ξ.Β.}), πριν την ξήρανση. Τέλος, το αποτέλεσμα πολλαπλασιάζεται επί 100. Αντίστοιχα, το ξηρό βάρος αποτελεί το ξηρό υπόλειμμα του στέρεου δείγματος που εκφράζεται ως ποσοστό επί της μάζας μετά την ξήρανση. Αναλυτικά, οι σχέσεις που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των τριών αυτών παραμέτρων είναι οι εξής:

$$\%Y = \frac{m_1 - m_2}{m_1 - m_0}$$

$$\%Y_{\text{Ξ.Β.}} = \frac{m_1 - m_2}{m_2 - m_0}$$

$$\%\text{Ξ. Β.} = \frac{m_1 - m_2}{m_1 - m_0}$$

Όπου,

m_0 : η μάζα (g) του ποτηριού ζέσεως, m_1 : η μάζα (g) του ποτηριού ζέσεως και δείγματος πριν την ξήρανση, m_2 : η μάζα (g) του ποτηριού ζέσεως και δείγματος μετά την ξήρανση.

4. Μέθοδος μέτρησης μετάλλων

Με την μέθοδο αυτή υπολογίζεται η περιεκτικότητα του δείγματος που αναλύεται στα παρακάτω μέταλλα: κάδμιο (Cd), χρώμιο (Cr), χαλκό (Cu), μόλυβδο (Pb), μαγγάνιο (Mn), νικέλιο (Ni) και ψευδάργυρο (Zn). Η μέθοδος βασίζεται στη διαδικασία χώνευσης που υφίσταται το στερεό, η οποία πραγματοποιείται παρουσία ισχυρών οξέων (νιτρικού οξέος (HNO_3) ή εναλλακτικά, νιτρικού και υδροχλωρικού οξέος (HNO_3/HCl)). Η χώνευση πραγματοποιείται με σκοπό την πλήρη διαλυτοποίηση του στερεού και την παραγωγή διαλύματος που θα αναλυθεί στη συνέχεια ως προς την περιεκτικότητά του στα συγκεκριμένα μέταλλα.

Πιο αναλυτικά, το ξηραμένο στερεό δείγμα υποβάλλεται σε χώνευση με νιτρικό οξύ ή μίγμα νιτρικού και υδροχλωρικού οξέος καθώς θερμαίνεται με μικροκύματα στην κατάλληλη μονάδα του φούρνου μικροκυμάτων. Το δείγμα μαζί με τα οξέα που πραγματοποιούν τη χώνευση τοποθετούνται σε ειδικά δοχεία από πολυμερές φθορανθράκων ή χαλαζία, τα οποία σφραγίζονται καλά και θερμαίνονται για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Όταν ολοκληρωθεί η θέρμανση και σταματήσει η λειτουργία του φούρνου, τα δοχεία τοποθετούνται σε υδρόλουτρο στους $100 \pm 1,1^\circ\text{C}$ για τουλάχιστον 2 ώρες, προκειμένου να απομακρυνθεί όσο δυνατόν περισσότερο το νιτρικό οξύ. Εάν το χωνεμένο δείγμα περιέχει στερεό υπόλειμμα, το δείγμα πρέπει να διηθηθεί από φίλτρα 0,45 μm . Διαφορετικά, υποβάλλεται σε φυγοκέντριση ή αφήνεται να καθιζάνει. Στη συνέχεια, το διάλυμα μεταγγίζεται σε ογκομετρική φιάλη των 25 mL, αραιώνεται μέχρι την χαραγή και οδηγείται για ανάλυση των περιεχόμενων μετάλλων του σε φασματοφωτόμετρο ατομικής απορρόφησης



Εικόνα 9: Φούρνος μικροκυμάτων ρότορας

Χρησιμοποιήθηκε φούρνος μικροκυμάτων Milestone Start D με ATC CE 400 Temperature Sensor και SK-10 Segmented rotor με 10 δοχεία για χώνευση. Ο ρότορας SK-10 περιλαμβάνει ένα τμήμα αναφοράς που χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της θερμοκρασίας και 9 κανονικά τμήματα στα οποία τοποθετούνται τα δείγματα προς ανάλυση. Το δοχείο αναφοράς συνδέεται με ένα εξάρτημα ελέγχου της θερμοκρασίας.

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης εκφράζονται σε mg/kg και αντικατοπτρίζουν τις τελικές συγκεντρώσεις σε μέταλλα της αναλυόμενης ουσίας χωρίς απαραίτητα να αφορούν τη συνολική περιεκτικότητα του δείγματος. Οι μετρήσεις για κάθε δείγμα πραγματοποιούνται δύο φορές και υπολογίζεται κάθε φορά ο μέσος όρος των δύο τιμών.

Η μέτρηση των περιεχόμενων μετάλλων πραγματοποιήθηκε σε δείγματα που απομονώθηκαν από τους κομποστοποιητές στο αρχικό και στο τελικό στάδιο της κομποστοποίησης, προκειμένου να γίνει μια άμεση σύγκριση των αποτελεσμάτων.

5. Μέθοδος μέτρησης pH

Η μέτρηση του pH πραγματοποιείται μέσω του πεχάμετρου, το οποίο αποτελείται από ένα ποτενσιόμετρο, ένα γυάλινο ηλεκτρόδιο, ένα ηλεκτρόδιο αναφοράς και μια συσκευή εξισορρόπησης της θερμοκρασίας. Μέσω του ποτενσιόμετρου σχηματίζεται κύκλωμα με την εμβάπτιση των ηλεκτροδίων στο διάλυμα ελέγχου. Ο προσδιορισμός του pH σε στερεό δείγμα βασίζεται στην ηλεκτρομετρική μέτρηση του διαλύματος που προκύπτει από ανάμιξη του στέρεου δείγματος με νερό. Πολλά πεχάμετρα δίνουν ένδειξη την τιμή του pH ή τα mV και άλλα έχουν εκτεταμένη κλίμακα όπου μπορεί να αναγνώσει τιμές 0,001 pH. Ωστόσο, τα περισσότερα όργανα δεν έχουν τόσο μεγάλη ακρίβεια. Το συγκεκριμένο πεχάμετρο που χρησιμοποιήθηκε, έχει ακρίβεια δύο δεκαδικών.

Για να γίνει μια αξιόπιστη μέτρηση, το πεχάμετρο πρέπει να ρυθμιστεί. Αυτό πραγματοποιείται με τη βοήθεια ρυθμιστικών διαλυμάτων με pH 4, 7 και 10. Στη συνέχεια ακολουθεί η μέτρηση του δείγματος που αναλύεται. Για το σκοπό αυτό, διαλύονται 10g δείγματος σε 50mL απιονισμένου νερού και αναδεύονται για διάστημα μίας ώρας με χρήση μαγνητικού αναδευτήρα. Το εναιώρημα αφήνεται σε ηρεμία για 15 λεπτά ώστε να καθιζάνουν τα περισσότερα στερεά του δείγματος. Εναλλακτικά, πραγματοποιείται διήθηση ή φυγοκέντριση. Μέσω της διαδικασίας αυτής παραλαμβάνεται το διάλυμα του δείγματος που θα αναλυθεί καθώς η μέτρηση του pH γίνεται στην υδατική φάση. Για να γίνει η μέτρηση, το ηλεκτρόδιο βυθίζεται στο δείγμα που παρασκευάστηκε και μετρείται η ένδειξη στην κλίμακα του πεχάμετρου. Καταγράφεται το pH και η θερμοκρασία. Κατόπιν το ηλεκτρόδιο πλένεται με αποσταγμένο νερό και επαναλαμβάνεται η μέτρηση του δείγματος. Τέλος, υπολογίζεται ο μέσος όρος των δύο τιμών.

6. Μέθοδος μέτρησης αγωγιμότητας

Η μέθοδος πραγματοποιείται για τον υπολογισμό της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του στερεού σε υδατικό διάλυμα, με τη βοήθεια αγωγιμομέτρου. Η αγωγιμότητα υπολογίζει την ποσότητα των διαλυμένων ιόντων (αλάτων) στο διάλυμα. Γενικά, όσο υψηλότερη είναι η συγκέντρωση των αλάτων τόσο μεγαλύτερη είναι και η αγωγιμότητα.

Το αγωγιμόμετρο στη συγκεκριμένη περίπτωση βρίσκεται ενσωματωμένο στη συσκευή του πεχάμετρου, επομένως η διαδικασία που ακολουθήθηκε για την μέτρηση του pH, αφορά και την μέτρηση της αγωγιμότητας του στερεού, η οποία καταγράφεται σε mS/cm. Μαζί με την αγωγιμότητα, καταγράφεται και η θερμοκρασία. Αντίστοιχα, πραγματοποιούνται διπλές μετρήσεις για κάθε δείγμα, ο μέσος όρος των οποίων ορίζει και την τελική τιμή.

Τόσο η μέτρηση του pH, όσο και αυτή της αγωγιμότητας πραγματοποιήθηκαν σε κάθε δείγμα που αφαιρέθηκε από τους κομποστοποιητές. Η μέτρηση των δύο αυτών παραμέτρων χρησίμευσε κυρίως για την παρακολούθηση της διεργασίας και τον περιορισμό δυνητικά ανεπιθύμητων συνθηκών που θα επηρέαζαν αρνητικά τη διεργασία, όπως για παράδειγμα μια ενδεχόμενη απότομη μείωση του pH που θα έβλαπτε ανεπανόρθωτα τον πληθυσμό των μικροοργανισμών.



Εικόνα 10: Πεχάμετρο – Αγωγιμόμετρο

7. Μέθοδος μέτρησης θερμοκρασίας

Η μέτρηση της θερμοκρασίας αποτέλεσε κρίσιμη παράμετρο διότι βάσει αυτής καθορίστηκε η έκβαση της διεργασίας και κυρίως η χρονική της επέκταση. Η καταγραφή της πραγματοποιούνταν δύο με τρεις φορές ημερησίως, σε τρία διαφορετικά σημεία εντός των κομποστοποιητών, από τα οποία υπολογίζονταν ο μέσος όρος των τιμών για κάθε φορά που γινόταν η μέτρηση. Παράλληλα

γινόταν καθημερινή καταγραφή της θερμοκρασίας περιβάλλοντος. Το όργανο μέτρησης της θερμοκρασίας που χρησιμοποιήθηκε είναι το φορητό ψηφιακό θερμόμετρο που απεικονίζεται παρακάτω.



Εικόνα 11: Φορητό ψηφιακό θερμόμετρο

8. Μέθοδος μέτρησης φυτοτοξικότητας

Η μέτρηση της φυτοτοξικότητας πραγματοποιήθηκε στο τελικό προϊόν της διεργασίας και των δύο κομποστοποιητών. Η μέθοδος κατατάσσει το κόμποστ που παράγεται σε τέσσερις κατηγορίες, ανάλογα με το βαθμό της τοξικότητάς τους: πολύ φυτοτοξικό – φυτοτοξικό – μη φυτοτοξικό – φυτοθρεπτικό. Αποτελεί μια φυσική μέθοδο χαρακτηρισμού του παραγόμενου προϊόντος που χρησιμοποιεί σπόρους συγκεκριμένης ποικιλίας για να εκτιμήσει τη φυτρωτική ικανότητα του κόμποστ με βάση το μήκος του βλαστού που παράγεται. Η κατάταξη του κόμποστ πραγματοποιείται μέσω του δείκτη βλαστικότητας (Δ.Β.) που υπολογίζεται με βάση τον αριθμό των βλαστών που αναπτύχθηκαν κατά την μέτρηση αλλά και το μήκος τους.

Η διαδικασία υπολογισμού του δείκτη βλαστικότητας περιλαμβάνει τα ακόλουθα στάδια. Αρχικά, ζυγίζονται περίπου 10g από το παραγόμενο κόμποστ. Στη συγκεκριμένη περίπτωση η μέτρηση πραγματοποιήθηκε στα στερεά που απομακρύνθηκαν από τους κομποστοποιητές την 16^η μέρα, δηλαδή την τελευταία μέρα της κομποστοποίησης. Μετά την ζύγιση της ποσότητας των στερεών, αυτά τοποθετούνται σε ποτήρι ζέσεως και προστίθεται ποσότητα νερού περίπου 100mL. Το μίγμα αναδεύεται για μία ώρα με τη βοήθεια μαγνητικού αναδευτήρα. Ακολουθεί φυγοκέντριση του διαλύματος στις 3000 στροφές ανά λεπτό, για 10 λεπτά και διήθηση υπό κενό με διηθητικό χαρτί Whatman 41 (20-25μm). Στη συνέχεια, τοποθετείται διηθητικό χαρτί Whatman 1, σε δύο τρυβλία τα οποία αποτελούν το τυφλό και το κανονικό δείγμα μέτρησης. Σε αυτά προστίθενται 10mL νερού και 10mL εκχυλίσματος (των στερεών) αντίστοιχα. Σε κάθε τρυβλίο τοποθετούνται 20 σπόροι μαρουλιού σε διάταξη ώστε να απέχουν ομοιόμορφα μεταξύ τους. Τα δύο τρυβλία τοποθετούνται σε ψυγείο (20±5°C) απουσία φωτός για διάστημα 5 ημερών. Μετά το πέρας του χρόνου αυτού, τα τρυβλία

Κεφ. 6 Πειραματικό Μέρος

απομακρύνονται από το ψυγείο και καταμετρώνται αφενός οι σπόροι που έχουν βλαστήσει και αφετέρου το μήκος των βλαστών με τη βοήθεια χάρακα. Ο δείκτης βλαστικότητα υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\Delta. B. = \frac{G * L}{100}$$

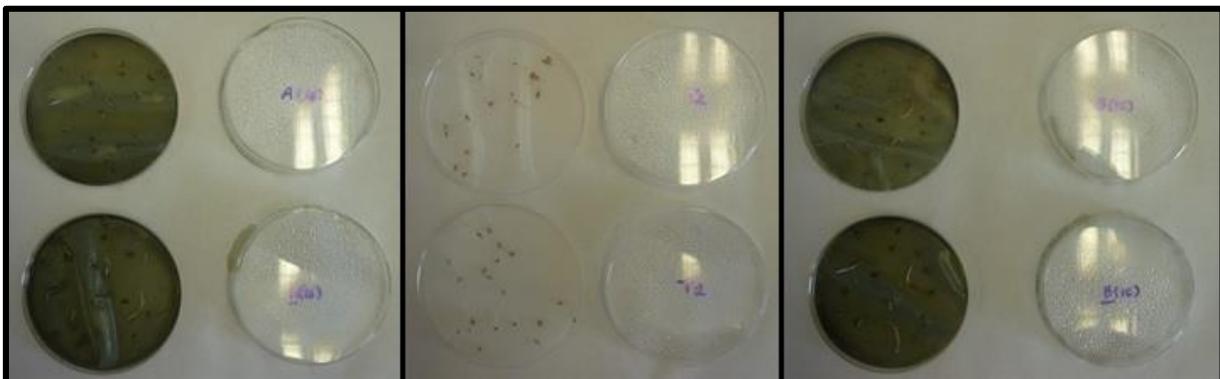
Όπου, G: (αριθμός των βλαστών του κανονικού δείγματος/αριθμός των βλαστών του τυφλού δείγματος)*100, L: (μήκος του βλαστού στο κανονικό δείγμα/μήκος του βλαστού στο τυφλό δείγμα)*100

Για το χαρακτηρισμό των δειγμάτων ως προς τη φυτοτοξικότητά τους ισχύει η παρακάτω κατηγοριοποίηση:

- $0 < \Delta. B. < 25$: *πολύ φυτοτοξικό*
- $26 < \Delta. B. < 65$: *φυτοτοξικό*
- $66 < \Delta. B. < 100$: *μη φυτοτοξικό*
- $\Delta. B. > 100$: *φυτοθρεπτικό*



Εικόνα 12: Τρυβλία με σπόρους πριν την έναρξη της μεθόδου φυτοτοξικότητας



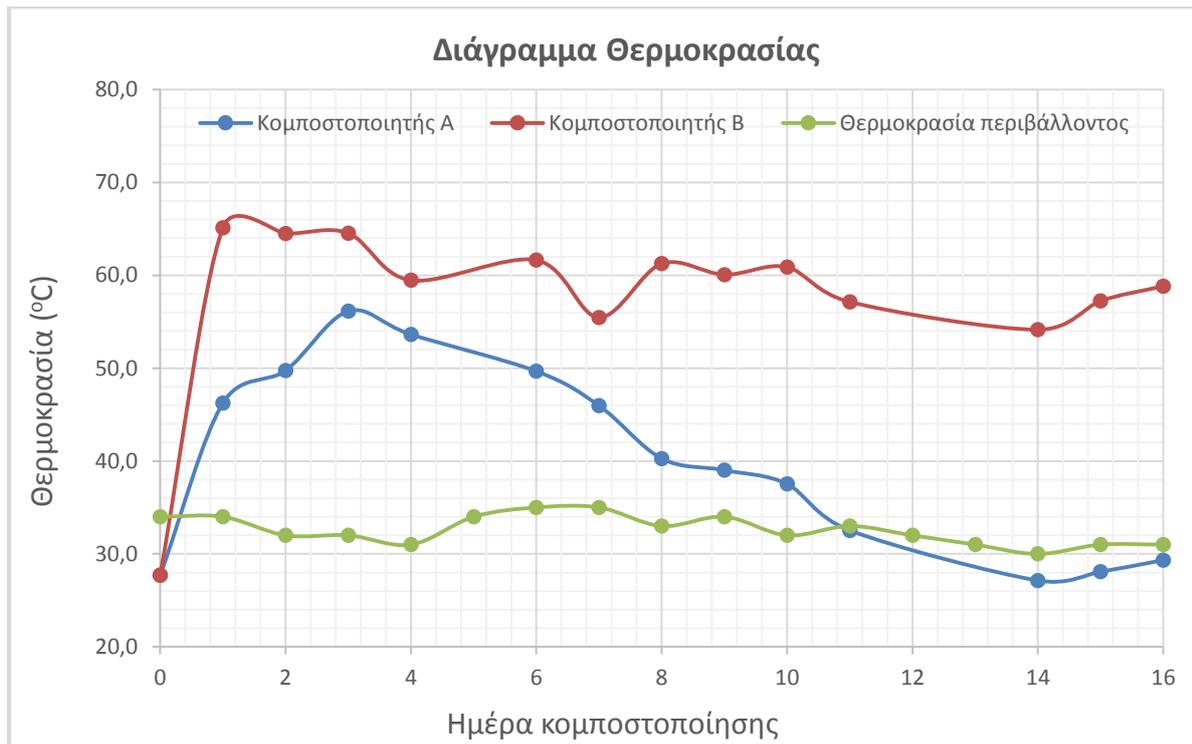
Εικόνα 13: Τρυβλία με βλαστούς μετά το πέρας της μεθόδου φυτοτοξικότητας

6.4 Πειραματικά Αποτελέσματα & Σχολιασμός

6.4.1 Θερμοκρασία

Πίνακας 24: Καταγραφή της θερμοκρασίας κατά την κομποστοποίηση στους δύο κομποστοποιητές

Κομποστοποιητής COMPOMATE (Κομποστοποιητής Α)						
Ημερ/νία	ΔΕΙΓΜΑ	T1	T2	T3	M.O.	Θερμοκρασία περιβάλλοντος
17-Ιουν	A0	27,7	27,7	27,7	27,7	34
18-Ιουν	A1	48,6	44,9	45,2	46,2	34
19-Ιουν	A2	48,1	52,2	48,9	49,7	32
20-Ιουν	A3	55,1	56,1	57,2	56,1	32
21-Ιουν	A4	55,2	54,0	51,7	53,6	31
22-Ιουν	A5	-	-	-	-	34
23-Ιουν	A6	48,7	51,2	49,1	49,7	35
24-Ιουν	A7	43,2	46,7	48,0	46,0	35
25-Ιουν	A8	40,4	39,9	40,5	40,3	33
26-Ιουν	A9	39,5	39,3	38,3	39,0	34
27-Ιουν	A10	37,5	38,1	37,0	37,5	32
28-Ιουν	A11	32,6	32,1	32,9	32,5	33
29-Ιουν	A12	-	-	-	-	32
30-Ιουν	A13	-	-	-	-	31
1-Ιουλ	A14	27,3	26,7	27,4	27,1	30
2-Ιουλ	A15	28,2	27,7	28,4	28,1	31
3-Ιουλ	A16	30,5	28,5	29,0	29,3	31
Κομποστοποιητής NATURE MILL (Κομποστοποιητής Β)						
Ημερ/νία	ΔΕΙΓΜΑ	T1	T2	T3	M.O.	Θερμοκρασία περιβάλλοντος
17-Ιουν	B0	27,7	27,7	27,7	27,7	34
18-Ιουν	B1	62,5	65,1	67,8	65,1	34
19-Ιουν	B2	69,1	62,5	61,9	64,5	32
20-Ιουν	B3	69,0	61,3	63,3	64,5	32
21-Ιουν	B4	60,8	60,4	57,2	59,5	31
22-Ιουν	B5	-	-	-	-	34
23-Ιουν	B6	59,1	63,0	62,8	61,6	35
24-Ιουν	B7	55,8	52,9	57,7	55,5	35
25-Ιουν	B8	60,6	60,6	62,6	61,3	33
26-Ιουν	B9	60,8	60,0	59,5	60,1	34
27-Ιουν	B10	61,9	60,0	60,8	60,9	32
28-Ιουν	B11	54,0	57,4	60,0	57,1	33
29-Ιουν	B12	-	-	-	-	32
30-Ιουν	B13	-	-	-	-	31
1-Ιουλ	B14	53,5	53,0	56,0	54,2	30
2-Ιουλ	B15	56,9	55,7	59,1	57,2	31
3-Ιουλ	B16	57,4	58,5	60,6	58,8	31



Διάγραμμα 7: Διακύμανση της θερμοκρασίας

Η θερμοκρασία αποτέλεσε ίσως τον κρίσιμότερο παράγοντα της διεργασίας, βάσει του οποίου καθορίστηκε τόσο η πορεία της κομποστοποίησης όσο και ο τερματισμός της. Η θερμοκρασία περιβάλλοντος κυμάνθηκε σε σχετικά σταθερές τιμές, με μέγιστη τιμή τους 35°C και ελάχιστη τιμή τους 30°C.

Η θερμοκρασία του **κομποστοποιητή Α**, από τους 28°C που είχε την πρώτη μέρα που ξεκίνησε η λειτουργία του, έφτασε τους 56°C σε διάστημα μόλις τριών ημερών. Από την τέταρτη μέρα άρχισε η σταδιακή μείωση της θερμοκρασίας, η οποία κατέληξε την 16^η μέρα στους 29°C, γεγονός που σηματοδότησε και την ολοκλήρωση της διεργασίας. Αρχικά, την 1^η και 2^η μέρα (μεσόφιλη φάση) αναπτύχθηκαν οι μεσόφιλοι μικροοργανισμοί, οι οποίοι κατανάλωσαν τις εύκολα βιοαποικοδομήσιμες ουσίες παράγοντας τα απαιτούμενα ποσά θερμότητας. Η παραγόμενη θερμότητα συντέλεσε στην έναρξη της κομποστοποίησης και την παραγωγή μικροοργανισμών περισσότερο ανθεκτικών σε υψηλότερες θερμοκρασίες. Άλλωστε, όπως έχει παρατηρηθεί, ο ρυθμός αποδόμησης των οργανικών σχεδόν διπλασιάζεται για κάθε αύξηση της θερμοκρασίας κατά 10°C. Τη 3^η μέρα ξεκίνησε το θερμόφιλο στάδιο (>50°C) και σε αυτή τη φάση οι θερμόφιλοι μικροοργανισμοί επικρατούσαν συγκριτικά με τους μεσόφιλους, που δεν κατάφεραν να επιβιώσουν με την απότομη αύξηση της θερμοκρασίας. Οι θερμόφιλοι μικροοργανισμοί κυριάρχησαν για 4 περίπου μέρες, προτού αρχίσει να μειώνεται σταδιακά η θερμοκρασία. Κατά το διάστημα των τεσσάρων αυτών

ημερών και ειδικότερα την 3^η μέρα, ο ρυθμός της αποσύνθεσης έλαβε την μέγιστη τιμή του. Μετά την 3^η μέρα η αποδόμηση συνεχίστηκε αλλά με χαμηλότερους ρυθμούς σε συνδυασμό με την μείωση της θερμοκρασίας.

Η μείωση αυτή που ακολούθησε το στάδιο της ταχύτερης αποσύνθεσης τη δεδομένη χρονική στιγμή, δεν μπορεί να αιτιολογηθεί στο σύνολό της διότι το σύστημα κομποστοποίησης αποτελεί ένα ζωντανό οργανισμό τόσο πολύπλοκο όσο και οι υπόλοιποι οργανισμοί του οικοσυστήματος. Ωστόσο, υπάρχουν διάφορες παραδοχές που μπορούν να εξηγήσουν το φαινόμενο της σταδιακής μείωσης της θερμοκρασίας. Μια εκδοχή είναι η ενδεχόμενη ανεπάρκεια οξυγόνου που μπορεί να παρατηρήθηκε στο μίγμα κομποστοποίησης κατά το θερμόφιλο στάδιο, λόγω της κατανάλωσης του υπάρχοντος οξυγόνου από τους μικροοργανισμούς σε συνδυασμό με μια ανεπαρκή συχνότητα αερισμού του μίγματος. Η πιθανότητα αυτή είναι ιδιαίτερα κρίσιμη καθώς όπως προαναφέρθηκε, ο έλεγχος του οξυγόνου ήταν ανέφικτος λόγω ανεπάρκειας του κατάλληλου εξοπλισμού. Το γεγονός αυτό, σε συνδυασμό με την έλλειψη μηχανικών μέσων ανάδευσης στους κομποστοποιητές, αποτελεί μια πιθανή αιτία πρόωρου τερματισμού της διεργασίας. Μια δεύτερη εκδοχή είναι η ενδεχόμενη ακαταλληλότητα του μίγματος κομποστοποίησης ως προς το περιεχόμενο φορτίο του, γεγονός που πιθανότατα τερμάτισε τη διεργασία πρόωρα μειώνοντας τη θερμοκρασία του μίγματος και απενεργοποιώντας στην ουσία τους θερμόφιλους οργανισμούς που αναπτύχθηκαν μέχρι τότε. Η ακαταλληλότητα του μίγματος έγκειται κυρίως στο τοξικό φορτίο των στερεών της λύσης, η οποία προέρχεται από έναν κλάδο της βιομηχανίας ιδιαίτερα βεβαρυμμένο με τοξικά παραπροϊόντα, που αποτελούν πρώτες ύλες της διεργασίας παραγωγής. Η τοξικότητα του φέροντος φορτίου του μίγματος κρίνεται ικανή να δηλητηριάσει τον πληθυσμό των μικροοργανισμών σταματώντας τη δράση και τη λειτουργία τους. Μια τρίτη παραδοχή είναι η πιθανότητα ολοκλήρωσης της διεργασίας ως προς την αποδόμηση της περιεχόμενης οργανικής ύλης των στερεών. Εντούτοις, η πιθανότητα αυτή κρίνεται μηδαμινή καθώς όπως αναφέρθηκε, το συγκεκριμένο μίγμα κομποστοποίησης που μελετήθηκε είναι ιδιαίτερα βεβαρυμμένο σε οργανικό φορτίο, γι' αυτό και οι 4 ημέρες του θερμόφιλου σταδίου δεν θα επαρκούσαν για την πλήρη αποικοδόμησή του. Η διατήρηση της θερμοκρασίας στα υψηλά επίπεδα που παρατηρήθηκαν ευνοήθηκε από το είδος της κατασκευής του κομποστοποιητή Α, που παρείχε πλήρη μόνωση στο μίγμα μέσω των μονωτικών τοιχωμάτων που περιέβαλαν τον κάδο κομποστοποίησης.

Από την 5^η μέρα και μετά, η θερμοκρασία μειωνόταν καθημερινά από 2^oC έως 5^oC, φτάνοντας τη 14^η μέρα στους 27^oC. Το θερμοκρασιακό αυτό προφίλ διατηρήθηκε και για τις επόμενες δύο μέρες (15^η και 16^η μέρα) γεγονός που σηματοδότησε το τέλος της διεργασίας την 16^η μέρα. Στο στάδιο αυτό οι

θερμόφιλοι μικροοργανισμοί εξουδετερώθηκαν λόγω των μειωμένων θερμοκρασιών και επικράτησαν εκ νέου οι μεσόφιλοι, μέχρι και τη σταθεροποίηση της διεργασίας.

Ο **κομποστοποιητής Β** διατήρησε πιο σταθερό θερμοκρασιακό προφίλ, λόγω του διαφορετικού του είδους ως προς τα χαρακτηριστικά θέρμανσης του μίγματος. Ο συγκεκριμένος κομποστοποιητής προσφέρει θερμότητα στο μίγμα της κομποστοποίησης καθώς συνδέεται με την παροχή του ρεύματος, χωρίς να εξαρτάται από την αυτόνομη αύξηση της θερμοκρασίας της ίδιας της διεργασίας και της μικροβιακής κοινότητας. Η θερμοκρασία κυμάνθηκε μεταξύ των τιμών 55-65°C, με την υψηλότερη θερμοκρασία να παρατηρείται τη 2^η μέρα (65,1°C) και τη χαμηλότερη την 7^η μέρα (55,5°C). Οι μικρές αυξομειώσεις της θερμοκρασίας οφείλονται πιθανότατα στο συνδυασμό δύο παραγόντων: πρώτον, στο τακτικό άνοιγμα και κλείσιμο του επάνω μέρους της συσκευής για την απομάκρυνση των στερεών και την ανάδευση του μίγματος και δεύτερον, στη σταδιακή μείωση της μάζας του μίγματος κομποστοποίησης εντός του κάδου, που τροποποιούσε κάθε φορά το χρόνο θέρμανσής του, στη θερμοκρασία λειτουργίας της συσκευής. Όπως φαίνεται και στο σχετικό διάγραμμα, μέχρι και τη τελευταία μέρα λειτουργίας του κομποστοποιητή, η θερμοκρασία δεν ακολούθησε κάποια συγκεκριμένη πορεία, επιβεβαιώνοντας το γεγονός ότι βρισκόταν σε άμεση εξάρτηση από την πρόσδοση θερμότητας που παρείχε η συσκευή κομποστοποίησης και όχι τόσο από τη δράση των μικροοργανισμών.

Όλη τη διάρκεια της διεργασίας, το μίγμα παρέμεινε στο θερμόφιλο στάδιο, επομένως η όποια αποδόμηση του οργανικού φορτίου που πραγματοποιήθηκε, οφείλεται αποκλειστικά στο μεταβολισμό των θερμόφιλων μικροβιακών κοινοτήτων. Ο θερμόφιλος χαρακτήρας της διεργασίας του κομποστοποιητή Β ενδεχομένως να παρείχε ταυτόχρονα ουσιαστικότερη και πληρέστερη καταστροφή τυχόν παθογόνων μικροοργανισμών που εμφανίστηκαν στο μίγμα. Στο πειραματικό αυτό μέρος δεν πραγματοποιήθηκε σχετική μελέτη ως προς τα συγκεκριμένα είδη μικροοργανισμών, ωστόσο η πιθανή καταστροφή των παθογόνων μέσω των διαρκών υψηλών θερμοκρασιών αποτελεί αποτέλεσμα προγενέστερων μελετών.

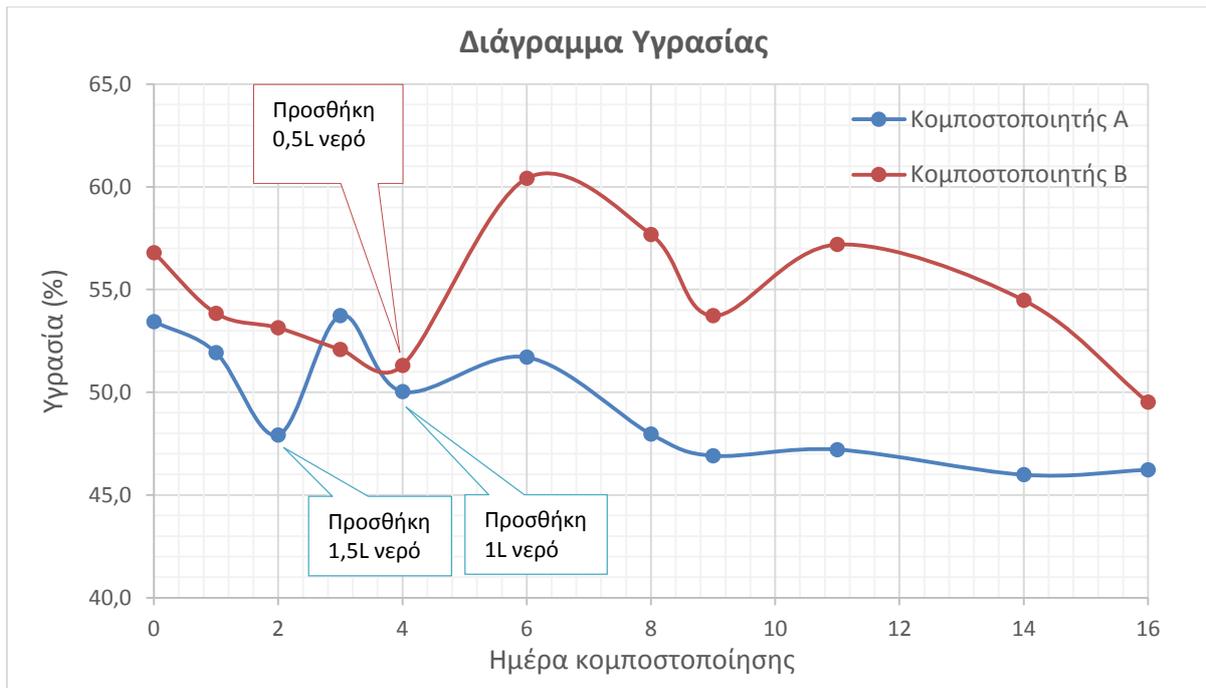
6.4.2 Υγρασία

Πίνακας 25: Ποσοστό υγρασίας των στερεών στους δύο κομποστοποιητές

Κομποστοποιητής COMPOMATE (Κομποστοποιητής Α)						
Ημερ/νία	ΔΕΙΓΜΑ	% Ξ.Β.	% Υ Ξ.β.	%Υ	Απομάκρυνση μάζας (g)	ΣΧΟΛΙΑ
17-Ιουν	A0	46,6	114,8	53,4	118,3	
18-Ιουν	A1	48,1	108,0	51,9	99,2	3 αναδεύσεις
19-Ιουν	A2	52,1	92,0	47,9	79,4	Προσθήκη 1,5L νερό 3 αναδεύσεις

Κεφ. 6 Πειραματικό Μέρος

20-Ιουν	A3	46,3	116,1	53,7	120,7	3 αναδεύσεις
21-Ιουν	A4	50,0	100,1	50,0	67,2	Προσθήκη 1L νερό 3 αναδεύσεις
23-Ιουν	A6	48,3	107,1	51,7	44,8	1 ανάδευση
25-Ιουν	A8	52,0	92,2	48,0	10,9	2 αναδεύσεις
26-Ιουν	A9	53,1	88,4	46,9	88,7	2 αναδεύσεις
28-Ιουν	A11	52,8	89,4	47,2	79,7	2 αναδεύσεις
1-Ιουλ	A14	54,0	85,1	46,0	112,7	2 αναδεύσεις
3-Ιουλ	A16	53,8	86,0	46,2	111,4	1 ανάδευση Εξαγωγή σε καφάσια
Συνολική μάζα που απομακρύνθηκε (g)					932,9	
Κομποστοποιητής NatureMill (Κομποστοποιητής Β)						
Ημερ/νία	ΔΕΙΓΜΑ	% Ξ.Β.	% Υ ξ.β.	%Υ	Απομάκρυνση μάζας (g)	ΣΧΟΛΙΑ
17-Ιουν	B0	43,2	131,4	56,8	52,0	Απομάκρυνση 820mL στραγγισμάτων
18-Ιουν	B1	46,2	116,6	53,8	80,8	3 αναδεύσεις Απομάκρυνση 30mL στραγγισμάτων
19-Ιουν	B2	46,9	113,4	53,1	80,8	3 αναδεύσεις
20-Ιουν	B3	47,9	108,7	52,1	55,0	3 αναδεύσεις
21-Ιουν	B4	48,7	105,4	51,3	60,4	Προσθήκη 0,5L νερό
23-Ιουν	B6	39,6	152,6	60,4	33,9	1 ανάδευση
25-Ιουν	B8	42,3	136,3	57,7	7,4	2 αναδεύσεις Απομάκρυνση 50mL στραγγισμάτων
26-Ιουν	B9	46,3	116,1	53,7	45,9	2 αναδεύσεις
28-Ιουν	B11	42,8	133,6	57,2	70,0	2 αναδεύσεις
1-Ιουλ	B14	45,5	119,7	54,5	96,0	2 αναδεύσεις
3-Ιουλ	B16	50,5	98,1	49,5	99,7	1 ανάδευση Εξαγωγή σε καφάσια
Συνολική μάζα που απομακρύνθηκε (g)					681,8	



Διάγραμμα 8: Διακύμανση της περιεχόμενης υγρασίας

Το αρχικό μίγμα που προορίζονταν να εισαχθεί στα δύο διαφορετικά συστήματα κομποστοποίησης είχε μειωμένα επίπεδα υγρασίας γι' αυτό και προστέθηκε σε αυτό ικανοποιητική ποσότητα νερού εξαρχής, μέσω ψεκασμού. Στον κομποστοποιητή Α είχε ήδη προστεθεί μια σημαντική ποσότητα τροφικών υπολειμμάτων υγρής βάσης που προσέδωσε κάποιο αρχικό ποσοστό υγρασίας στο μίγμα. Εντούτοις, κρίθηκε αναγκαίο να προστεθεί ακόμη 1L νερού υπό μορφή ψεκασμού για τα 13kg του μίγματος κομποστοποίησης. Παρόμοια, στο μίγμα του κομποστοποιητή Β προστέθηκε εξαρχής 1L νερό υπό μορφή ψεκασμού στα 2,4kg του μίγματος. Παρατηρήθηκε ότι στο συγκεκριμένο κομποστοποιητή, η μεγαλύτερη ποσότητα νερού που προστέθηκε, απομακρύνθηκε υπό την μορφή στραγγισμάτων, που αφαιρέθηκαν από το συρόμενο δοχείο της συσκευής κομποστοποίησης την ίδια μέρα (820mL). Η προσθήκη αυτού του όγκου νερού στο σχετικά μικρό μίγμα κομποστοποίησης κρίθηκε εκ του αποτελέσματος υπερβολική, ωστόσο δεν επηρέασε τη διεργασία καθώς αποτέλεσε τμήμα των εκρών της. Γενικότερα, η τάση που εμφάνισαν τα ποσοστά υγρασίας και στους δύο κομποστοποιητές ήταν πτωτική, κυρίως λόγω της αυξανόμενης θερμοκρασίας των μιγμάτων, που ήταν αποτέλεσμα αφενός της βιολογικής δράσης των μικροοργανισμών και αφετέρου της πρόσδοσης πρόσθετης θερμότητας στο σύστημα κομποστοποίησης όσον αφορά τον κομποστοποιητή Β. Η αυξημένη θερμοκρασία οδηγούσε στην εξάτμιση του υγρού κλάσματος εντός των κομποστοποιητών γι' αυτό και η αναπλήρωση του χαμένου νερού θεωρήθηκε απαραίτητη για

την ομαλή λειτουργία της διεργασίας. Για το σκοπό αυτό, και στα δύο συστήματα απαιτήθηκε η εισαγωγή πρόσθετων ποσοτήτων νερού κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης.

Στον **κομποστοποιητή Α** η υγρασία του μίγματος συνολικά κυμάνθηκε μεταξύ των ποσοστών 46-54%, εύρος τιμών που βρίσκεται οριακά εντός των βέλτιστων επιπέδων υγρασίας, που κυμαίνονται στο 50-60%, σύμφωνα με τη βιβλιογραφία. Το υψηλότερο ποσοστό υγρασίας παρατηρήθηκε την 3^η μέρα κομποστοποίησης (53,7%) καθώς την προηγούμενη μέρα είχε προηγηθεί η προσθήκη ακόμη 1,5L νερού, λόγω της αναγκαιότητας ύγρυνσης του μίγματος. Το χαμηλότερο ποσοστό υγρασίας μετρήθηκε την 14^η μέρα (46%), ποσοστό που διατηρήθηκε μέχρι και το τέλος της διεργασίας.

Ο προβληματισμός που υπήρξε σχετικά με την ύγρυνση, παρουσιάσθηκε όταν κρίθηκε απαραίτητη η προσθήκη πλεονάζοντος νερού στο μίγμα κομποστοποίησης τη 2^η και 4^η μέρα, λόγω των σχετικά χαμηλών ποσοστών υγρασίας των προηγούμενων ημερών. Οι περιορισμοί που εμφανίστηκαν όταν απαιτήθηκε η προσθήκη 2,5L νερού συνολικά και για τις δύο αυτές ημέρες, αφορούσαν κυρίως τον τρόπο ύγρυνσης του μίγματος: λόγω του σχετικά μεγάλου όγκου των στερεών (13kg) αλλά και λόγω άλλων πρακτικών ζητημάτων δεν ήταν εφικτή η εξαγωγή του μίγματος από τον κομποστοποιητή προκειμένου να πραγματοποιηθεί ομοιόμορφη ύγρυνση μέσω του ψεκασμού. Αντ' αυτού, το μίγμα υγράνθηκε με χειρωνακτικό ψεκασμό και ανάδευση, μέσα στον κάδο κομποστοποίησης, με ό,τι μέσα βρέθηκαν για το σκοπό αυτό. Το γεγονός αυτό, ενδέχεται να συνέβαλε κατά ένα μέρος είτε στην ανολοκλήρωτη ύγρυνση του μίγματος (ιδίως κοντά στον πυθμένα του κάδου που ήταν δύσκολα προσβάσιμος), είτε στην υπερβολική ύγρυνση αυτού σε άλλα σημεία. Μια ακόμη παρατήρηση σχετικά με την πρόσδοση υγρασίας στο μίγμα, αφορούσε την μορφή των στερεών πριν και μετά την ύγρυνση. Πριν την εισαγωγή του πρόσθετου νερού, το μίγμα είχε μια ανάλαφρη και αφράτη μορφή. Μετά την προσθήκη, αυτό απέκτησε μια πιο «βαριά» μορφή που οδήγησε στη συμπύκνωση και συμπίεση του μίγματος στο σύνολό του. Σε αυτό το αποτέλεσμα συνέβαλε και η μεταβαλλόμενη γεωμετρία των συστατικών του μίγματος: τα στερεά μετά από κάθε ύγρυνση σχημάτιζαν μεγαλύτερα συσσωματώματα αναμεταξύ τους, συμπιέζοντας τον όγκο τους.

Στον **κομποστοποιητή Β**, μετά την αρχική ύγρυνση του μίγματος απαιτήθηκε μονάχα μια προσθήκη επιπλέον ποσότητας νερού (0,5L) προκειμένου να επανέλθει το επίπεδο της υγρασίας σε ποσοστό >50%. Η υγρασία κυμάνθηκε μεταξύ των τιμών 49-60% και το μίγμα είχε περισσότερο υγρή και λασπώδη μορφή σε σχέση με αυτό του κομποστοποιητή Α. Υψηλότερο ποσοστό υγρασίας εμφάνισε την 5^η μέρα, αμέσως μετά δηλαδή την προσθήκη του μισού λίτρου νερού την 4^η κατά σειρά μέρα κομποστοποίησης. Αντίθετα, χαμηλότερο ποσοστό εμφάνισε τη τελευταία μέρα, κατά την οποία σταμάτησε και η λειτουργία της συσκευής.

Στο συγκεκριμένο τύπο κομποστοποιητή, το μίγμα διαχειριζόταν ευκολότερα λόγω του μικρού του όγκου και η προσθήκη επιπλέοντος νερού δεν εμφάνισε κανένα πρόβλημα ως προς την εφαρμογή της. Επιπλέον, δεν υπήρχε ο κίνδυνος υπερβολικής ύγρανσης του μίγματος, καθώς η πλεονάζουσα ποσότητα νερού απομακρύνονταν από το σύστημα μέσω του συρόμενου δοχείου στο κάτω μέρος της συσκευής. Γενικά, η υγρασία του μίγματος κυμάνθηκε στο βέλτιστο επίπεδο τιμών σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, χωρίς να αποκλίνει από το εύρος τιμών 50-60%.

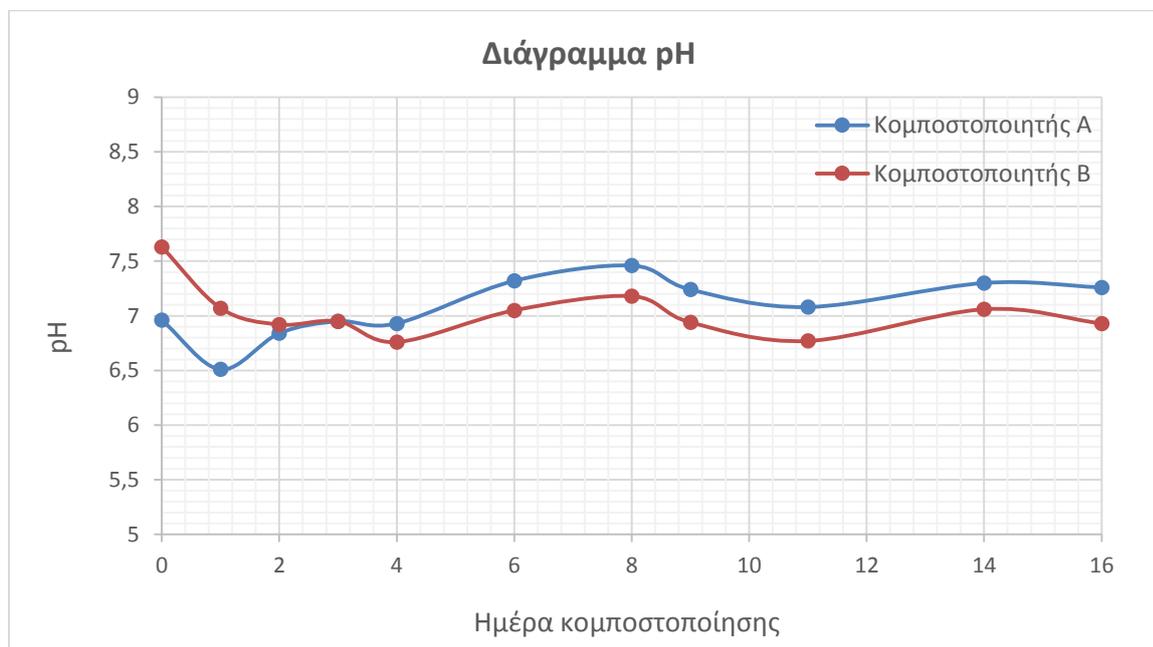
6.4.3 pH και Αγωγιμότητα

Πίνακας 26: Καταγραφή του pH και της αγωγιμότητας στους δύο κομποστοποιητές

Κομποστοποιητής COMPOMATE (Κομποστοποιητής A)					
Ημερ/νία	ΔΕΙΓΜΑ	pH - T (°C)		Αγωγιμότητα (mS/cm) - T (°C)	
17-Ιουν	A0	6,96	18,7	3,1	24,3
18-Ιουν	A1	6,51	25	3,19	23,7
19-Ιουν	A2	6,84	21,4	3,12	25,6
20-Ιουν	A3	6,95	18,9	3,27	23,7
21-Ιουν	A4	6,93	22,9	3,2	26,4
22-Ιουν	A5	-	-	-	-
23-Ιουν	A6	7,32	23,8	3,37	27,9
24-Ιουν	A7	-	-	-	-
25-Ιουν	A8	7,46	24,9	3,3	27,2
26-Ιουν	A9	7,24	23,1	3,32	26,9
27-Ιουν	A10	-	-	-	-
28-Ιουν	A11	7,08	21,8	3,32	24,2
29-Ιουν	A12	-	-	-	-
30-Ιουν	A13	-	-	-	-
1-Ιουλ	A14	7,3	22,3	3,34	24,4
2-Ιουλ	A16	7,26	25	3,75	29,7
Κομποστοποιητής NATURE MILL (Κομποστοποιητής B)					
Ημερ/νία	ΔΕΙΓΜΑ	pH - T(°C)		Αγωγιμότητα (mS/cm) - T (°C)	
17-Ιουν	B0	7,63	18,5	2,21	24,3
18-Ιουν	B1	7,07	25	2,75	23,6
19-Ιουν	B2	6,92	21,8	2,67	25
20-Ιουν	B3	6,95	18,9	2,91	23,5
21-Ιουν	B4	6,76	22,6	2,75	26,1
22-Ιουν	B5	-	-	-	-
23-Ιουν	B6	7,05	24,8	3,11	27,6
24-Ιουν	B7	-	-	-	-
25-Ιουν	B8	7,18	24,9	3,23	27,7
26-Ιουν	B9	6,94	23	3,06	26,9
27-Ιουν	B10	-	-	-	-
28-Ιουν	B11	6,77	22	3,28	24,2
29-Ιουν	B12	-	-	-	-

Κεφ. 6 Πειραματικό Μέρος

30-Ιουν	B13	-	-	-	-
1-Ιουλ	B14	7,06	21,3	3,12	24,6
2-Ιουλ	B16	6,93	25	3,59	27



Διάγραμμα 9: Διακύμανση του pH

Το αρχικό pH στα δύο συστήματα κομποστοποίησης διαφέρει, λόγω της διαφορετικής σύστασης των μιγμάτων στην αρχή της διεργασίας. Το μίγμα του κομποστοποιητή B περιέχει ελαφρώς υψηλότερο ποσοστό σε περλίτη ενώ το μίγμα του κομποστοποιητή A συμπεριλαμβάνει και κάποιες ποσότητες οργανικών τροφικών υπολειμμάτων που ενδεχομένως συγκράτησαν το pH σε ουδέτερες και όχι πολύ αλκαλικές τιμές. Από την 3^η μέρα και μετά, η πορεία του pH των δύο συστημάτων είναι σχεδόν παρόμοια, με αυτή του κομποστοποιητή A να κυμαίνεται σε ελαφρώς υψηλότερα επίπεδα. Γενικά, κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης δεν παρατηρήθηκαν εξαιρετικά χαμηλές ή υψηλές τιμές γεγονός που ευνόησε την επιβίωση των μικροοργανισμών. Οι διαφορετικές συνθήκες θέρμανσης των δύο διαφορετικών μιγμάτων δεν φαίνεται να επηρέασαν ιδιαίτερα το pH.

Στον **κομποστοποιητή A**, το pH του μίγματος κυμάνθηκε σε ουδέτερα επίπεδα στην αρχή της διεργασίας. Η υψηλότερη τιμή του ήταν 7,46 (8^η μέρα) ενώ η χαμηλότερη 6,51 (1^η μέρα), δηλαδή διαφορά μικρότερη της μιας μονάδας, στην κλίμακα του pH. Την 1^η μέρα παρατηρήθηκε η μείωση της τιμής του pH που πιθανότατα οφείλεται στην αρχή της αποδόμησης της οργανικής ύλης η οποία συνοδεύεται πάντοτε από την παραγωγή οργανικών οξέων (λόγω των έντονων διεργασιών ζύμωσης των υδρογονανθράκων) και συνεπακόλουθα από τη δημιουργία όξινων συνθηκών. Οι όξινες

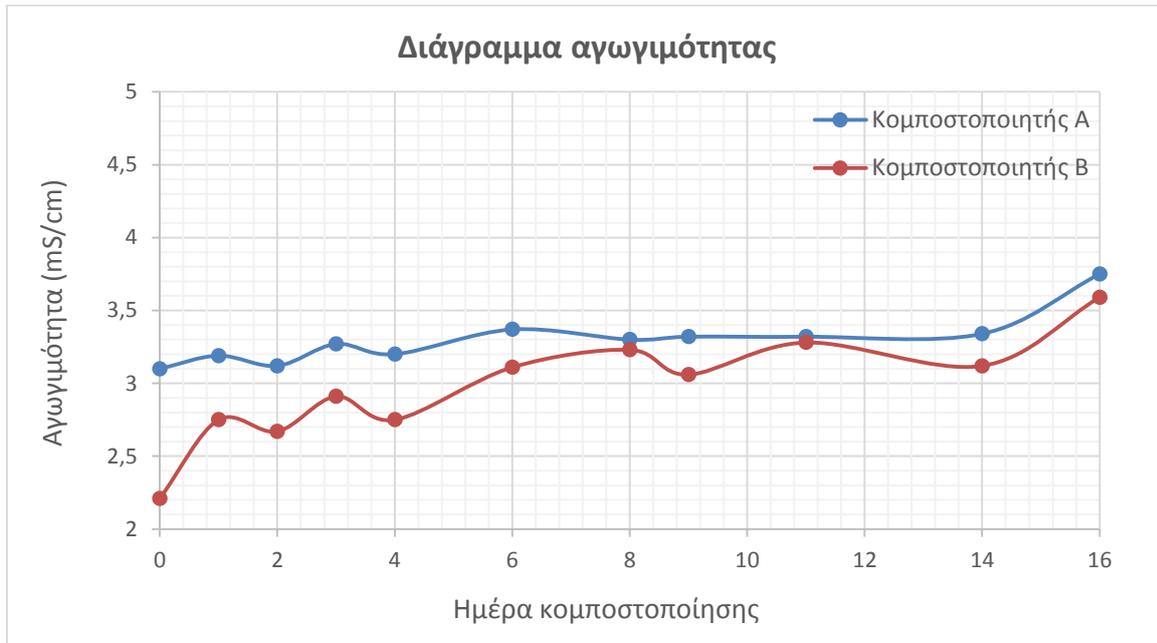
συνθήκες ευνοούν την ανάπτυξη μυκήτων αλλά και τη διάσπαση του λιγνοκυτταρινούχου κλάσματος των στερεών, που αποτελεί το κύριο συστατικό των οργανικών αποβλήτων.

Η αύξουσα πορεία του pH που ακολούθησε, πιθανώς οφείλεται στην μικροβιακή δραστηριότητα που αναπτύχθηκε και που οδήγησε στο σχηματισμό αμμωνίας, ως αποτέλεσμα της αμμωνιοποίησης του οργανικού αζώτου των στερεών. Από τη βιβλιογραφία γνωρίζουμε ότι η αμμωνία έχει σταθερά διάστασης pK_a ίση με 9,24 στους 25°C, γι' αυτό και ο σχηματισμός της στο σύστημα κομποστοποίησης συνεπάγεται την αύξηση του pH προς αντίστοιχες τιμές. Εκτός από την περίπτωση της βιο-μετατροπής του οργανικού αζώτου σε αμμωνία, η αύξηση του pH πιθανώς να προήλθε από την υποβάθμιση των πρωτεϊνών των στερεών και την αποσύνθεση των παραγόμενων οργανικών οξέων που οδήγησαν από κοινού στην παραγωγή ποσοτήτων αμμωνίας.

Η αμμωνία που παράγεται στο μίγμα κομποστοποίησης, είτε διαλυτοποιείται (εάν η υγρασία του μίγματος είναι ικανοποιητική) και μετατρέπεται σε αμμωνιακά συμβάλλοντας στην αύξηση του pH, είτε εξαερώνεται και απομακρύνεται από το σύστημα, ιδιαίτερα υπό συνθήκες υψηλής θερμοκρασίας και χαμηλού λόγου C/N. Στη συγκεκριμένη περίπτωση η αύξουσα πορεία του pH πιθανότατα να οφείλεται στη συνεχιζόμενη διαλυτοποίηση της αμμωνίας και την μετατροπή της σε αμμωνιακά, καθώς η περιεχόμενη υγρασία του μίγματος ενδεχομένως να μην επέτρεπε την μεταφορά της αμμωνίας στην αέρια φάση. Το φαινόμενο αυτό σε συνδυασμό με την κατανάλωση των οργανικών οξέων από τους μικροοργανισμούς που τα χρησιμοποίησαν ως υπόστρωμα για την αερόβια οξείδωση που ακολούθησε, οδήγησε στη συνεχιζόμενη αύξηση του pH και τη διατήρησή του σε σχετικά υψηλά επίπεδα. Η σχετική μείωση που παρατηρήθηκε από την 8^η μέρα και μετά ενδεχομένως να οφείλεται στην απομάκρυνση μέρους της παραγόμενης αμμωνίας μέσω της αέριας και όχι της υγρής φάσης, φαινόμενο που δικαιολογείται και από τη σταδιακή μείωση της υγρασίας που παρατηρήθηκε κατά το διάστημα αυτό στο συγκεκριμένο μίγμα.

Στον **κομποστοποιητή Β**, το pH ξεκίνησε από υψηλή σχετικά τιμή (7,63), μειώθηκε μέχρι και τη 4^η μέρα κομποστοποίησης στο 6,76 κι έπειτα ακολούθησε μια πορεία αυξομείωσης μεταξύ του εύρους τιμών 6,8-7,2 για να καταλήξει τη τελευταία μέρα στη τιμή 6,93. Και σε αυτή την περίπτωση, η μείωση των τεσσάρων πρώτων ημερών οφείλεται στην αποδόμηση των οργανικών ενώσεων προς την παραγωγή οργανικών οξέων. Η συγκέντρωση σε οξέα στο μίγμα οφείλεται τόσο στο σχηματισμό των οργανικών οξέων, όσο και στην καταστροφή τους. Από την 4^η μέρα μέχρι και την 8^η, δεν ευνοήθηκε τόσο ο σχηματισμός των οξέων όσο η καταστροφή τους, γεγονός που το αποδεικνύει η σχετική αύξηση του pH, προτού πάλι ακολουθήσει μια ακόμη αυξομείωση των τιμών του. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, από την 4^η μέρα κι έπειτα, η διακύμανση του pH είναι παρόμοια και στους δύο κομποστοποιητές. Γενικά, κατά την κομποστοποίηση διατηρήθηκε το βέλτιστο εύρος

pH (τιμές 6-8) και στις δύο περιπτώσεις, ωστόσο η σχετικά ασταθής πορεία του τις τελευταίες μέρες αποτελεί ένδειξη ότι τα προϊόντα δεν ήταν πλήρως σταθεροποιημένα, γι' αυτό και απαιτήθηκε η περαιτέρω σταθεροποίησή τους μετά την ολοκλήρωση των 16 ημερών κομποστοποίησης. Αυτό πραγματοποιήθηκε με την εξαγωγή των στερεών σε ανοιχτά δοχεία που είχαν άμεση επαφή με τις συνθήκες περιβάλλοντος.



Διάγραμμα 10: Διακύμανση της αγωγιμότητας

Η αγωγιμότητα αντανακλά την περιεκτικότητα του μίγματος κομποστοποίησης σε άλατα και την πιθανή καταλληλότητα ή ακαταλληλότητα του παραγόμενου προϊόντος για εφαδοβελτιωτικές εφαρμογές. Τα ακατάλληλα επίπεδα αλατότητας ενός κόμπους είναι ικανά να επηρεάσουν αρνητικά τη βλάστηση των φυτών, εάν το παραγόμενο προϊόν χρησιμοποιηθεί ως μέσο ανάπτυξης σε αυτά. Τα αρχικά μίγματα στους δύο κομποστοποιητές παρουσίασαν διαφορετικές τιμές αγωγιμότητας που οφείλονταν στη διαφορετική αρχική περιεκτικότητά τους σε διαλυμένα άλατα. Κατά τη μέση περίπου της διεργασίας, η αγωγιμότητα εμφάνισε παρόμοιες τιμές και για τα δύο συστήματα, φαινόμενο που συνεχίστηκε μέχρι και το τέλος του κύκλου κομποστοποίησης με ελαφρώς αυξημένες -και για τα δύο συστήματα- τιμές.

Στον **κομποστοποιητή Α**, η αγωγιμότητα ακολούθησε περισσότερο σταθερή πορεία χωρίς έντονες διακυμάνσεις μέχρι και το τέλος. Η σταθερή πορεία οφείλεται στην παρουσία σταθερών συγκεντρώσεων διαλυτών αλάτων στο μίγμα κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης. Στον

κομποστοποιητή Β, η αγωγιμότητα εμφάνισε χαμηλή τιμή κατά το αρχικό στάδιο της διεργασίας που σταδιακά αυξήθηκε μέχρι και το τέλος.

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα χρησιμοποιήθηκε ως μέτρο της ικανότητας των διαλυμάτων των στερεών να μεταφέρουν το ηλεκτρικό φορτίο, χρησιμοποιήθηκε δηλαδή ως ένα μέτρο της περιεκτικότητάς τους σε διαλυτά άλατα. Τα διαλυτά άλατα είναι ένας όρος που χρησιμοποιείται για τις χημικές ενώσεις (ιδίως για τα θρεπτικά συστατικά) οι οποίες διαλύονται στο νερό και σχηματίζουν ιόντα. Τα άλατα των κόμποστ που βρίσκονται σε διαλυμένη κυρίως μορφή είναι το χλωριούχο κάλιο, το χλωριούχο νάτριο, διαφόρων ειδών νιτρικά, ενώσεις που περιλαμβάνουν θειικά, άλατα ασβεστίου, μαγνησίου, καλίου καθώς και ανθρακικά άλατα. Η προέλευση των πρώτων υλών του κόμποστ επηρεάζει και το είδος των αλάτων που θα κυριαρχήσουν εν τέλει. Στη συγκεκριμένη μελέτη δεν πραγματοποιήθηκε λεπτομερής ανάλυση των διαλυμένων αλάτων, ωστόσο επειδή το μίγμα κομποστοποίησης και στις δύο περιπτώσεις απαρτίζεται από πλούσιες σε θρεπτικά πρώτες ύλες, το τελικό προϊόν από τη διεργασία αναμένεται να περιλαμβάνει υψηλό ποσοστό σε διαλυτά άλατα, όπως και αποδείχθηκε από την σταδιακή αύξηση της αγωγιμότητας.

Η αύξουσα πορεία της αγωγιμότητας στα δύο συστήματα κομποστοποίησης μπορεί να εξηγηθεί επίσης από την απώλεια της οργανικής ύλης που συντέλεσε στην αύξηση της συγκέντρωσης των μεταλλικών κατιόντων, η οποία δεν εξασθένησε από την έκπλυση των αλάτων ή τη σύνδεσή τους σε σταθερά οργανικά σύμπλοκα. Η αποσύνθεση δηλαδή του οργανικού κλάσματος οδήγησε στο σχηματισμό αλάτων που διαλύθηκαν και συντέλεσαν τελικά στην αύξηση της αγωγιμότητας του κόμποστ.

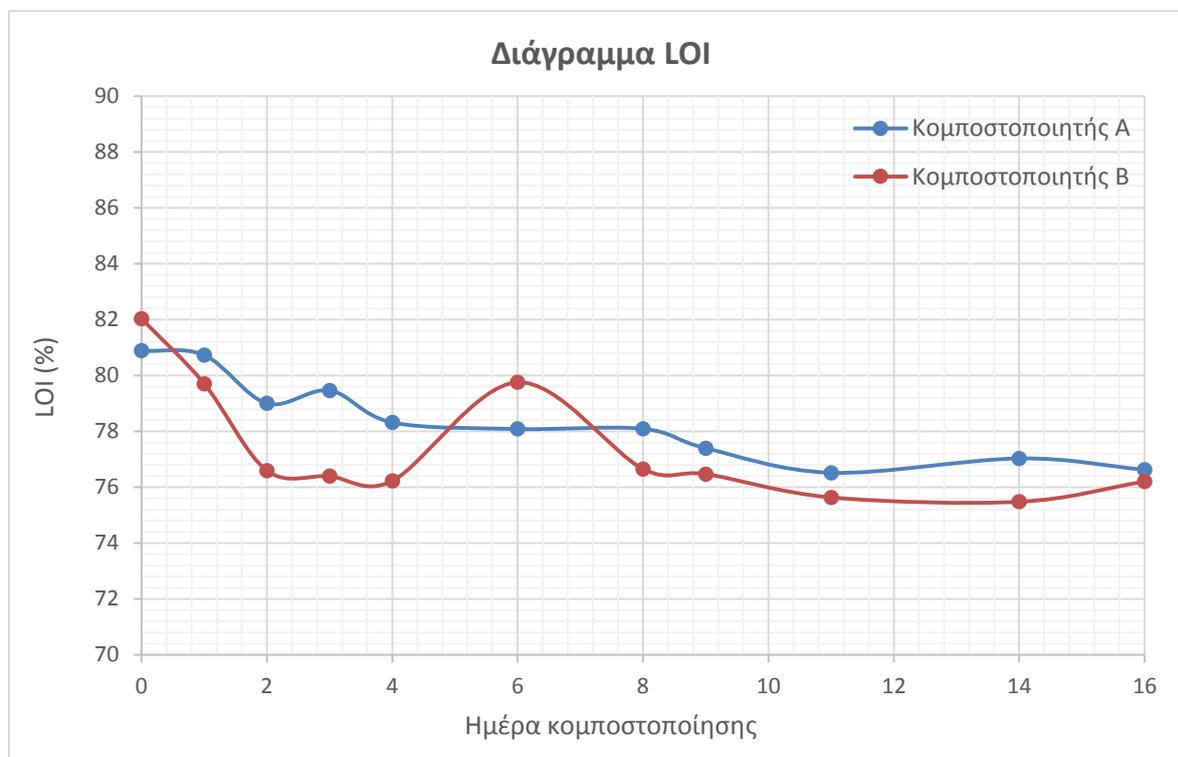
6.4.4 LOI

Πίνακας 27: Καταγραφή της παραμέτρου LOI για τους δύο κομποστοποιητές

<i>Κομποστοποιητής COMPOMATE (Κομποστοποιητής Α)</i>			<i>Κομποστοποιητής NATURE MILL (Κομποστοποιητής Β)</i>	
Ημερ/νία	ΔΕΙΓΜΑ	LOI (%)	ΔΕΙΓΜΑ	LOI (%)
17-Ιουν	A0	80,89	B0	82,04
18-Ιουν	A1	80,73	B1	79,71
19-Ιουν	A2	79,00	B2	76,60
20-Ιουν	A3	79,46	B3	76,40
21-Ιουν	A4	78,32	B4	76,23
23-Ιουν	A6	78,09	B6	79,76
25-Ιουν	A8	78,09	B8	76,65
26-Ιουν	A9	77,40	B9	76,47
28-Ιουν	A11	76,52	B11	75,64

Κεφ. 6 Πειραματικό Μέρος

1-Ιουλ	A14	77,03	B14	75,48
3-Ιουλ	A16	76,63	B16	76,20



Διάγραμμα 11: Διακύμανση της παραμέτρου LOI

Η παράμετρος LOI χρησιμοποιήθηκε ως μια ένδειξη της περιεχόμενης οργανικής ύλης (OM%) των στερεών. Η μέθοδος αποτέλεσε έναν εύκολο τρόπο προσδιορισμού της πορείας του οργανικού φορτίου μέσω σχετικά απλών διαδικασιών υπολογισμού, συγκριτικά με τις υπόλοιπες μεθόδους που χρησιμοποιούνται για το σκοπό αυτό. Χαρακτηριστικό είναι ότι το γεγονός ότι η μέθοδος δεν απαιτεί την κατανάλωση αντιδραστηρίων, παρά μόνο τη χρήση ενός κλίβανου. Πριν τοποθετηθούν τα δείγματα στον κλίβανο, περιείχαν κάποιο αρχικό ποσοστό οργανικής ύλης. Κατά την παραμονή τους στον κλίβανο με τις ιδιαίτερα υψηλές θερμοκρασίες (550°C), τα στερεά απαλλάχθηκαν σταδιακά από το οργανικό τους φορτίο. Κατά την καύση οξειδώθηκαν πρακτικά όλες οι οργανικές ουσίες, επομένως η απώλεια βάρους αποτέλεσε εν μέρει μέτρο των οργανικών ουσιών των στερεών αλλά και ένδειξη της αποσύνθεσης της οργανικής ύλης τους. Έτσι, μια εκτίμηση του ποσοστού της περιεχόμενης οργανικής ύλης υπολογίστηκε από την απώλεια μάζας πριν και μετά την είσοδο των στερεών στον κλίβανο. Και τα δύο συστήματα κομποστοποίησης εμφάνισαν πτωτική τάση ως προς την παράμετρο LOI των στερεών τους.

Στον **κομποστοποιητή Α**, το ποσοστό της απώλειας της οργανικής ύλης των στερεών μειώθηκε σταδιακά χωρίς έντονες διακυμάνσεις, ενώ σταθερή σχετικά πορεία ακολούθησε και ο ρυθμός αποδόμησης του οργανικού φορτίου. Ξεκινώντας από ποσοστό 80,9%, μέχρι και την 4^η μέρα, το οργανικό φορτίο εμφάνισε έντονες απώλειες σε σχέση με τη συνολική του πορεία. Από την 4^η μέχρι και την 8^η μέρα το οργανικό φορτίο δεν εμφάνισε αξιοσημείωτη ποσοστιαία μεταβολή, ενώ από την 8^η μέρα μέχρι και το τέλος, μειώθηκε λίγο για να καταλήξει σε ποσοστό απώλειας μάζας, άρα και οργανικού φορτίου, της τάξεως του 77%.

Στον **κομποστοποιητή Β**, η απώλεια οργανικού φορτίου στο αρχικό στάδιο κυμάνθηκε σε ποσοστό του 82%, υψηλότερο δηλαδή από την αρχική απώλεια που παρατηρήθηκε στον κομποστοποιητή Α. Αυτό οφείλεται πιθανότατα στη διαφορετική σύσταση των αρχικών μιγμάτων: το μίγμα του κομποστοποιητή Β περιλάμβανε υψηλότερο ποσοστό λύος (80%), δηλαδή ήταν περισσότερο βεβαρυμμένο σε οργανικό φορτίο, γεγονός που δικαιολογεί και την υψηλότερη αποδόμηση/απώλεια του κλάσματος αυτού. Μέχρι και τη 4^η μέρα, η απώλεια οργανικού υλικού μειώθηκε με έντονο σχετικά ρυθμό, φτάνοντας το ποσοστό του 76,2%. Η απώλεια το διάστημα αυτό εμφάνισε έντονη διακύμανση διότι κατά τις πρώτες μέρες της κομποστοποίησης αποσυντίθεται το μεγαλύτερο μέρος των οργανικών ουσιών, διάστημα κατά το οποίο η θερμοκρασία είναι υψηλή και οι ρυθμοί αποδόμησης έντονοι. Στην αρχή της κομποστοποίησης εξάλλου, υπάρχει η μέγιστη ποσότητα οργανικού φορτίου στο υπόστρωμα που αποτελεί και την πρώτη ύλη των μικροοργανισμών. Όταν η οργανική ύλη αρχίζει να καταναλώνεται σταδιακά, ο ρυθμός αποδόμησης της μειώνεται λόγω της έλλειψης υποστρώματος (τροφής) που αντιμετωπίζουν οι μικροοργανισμοί. Έτσι, μετά την 4^η μέρα και μέχρι το τέλος της διεργασίας οι απώλειες εμφάνισαν σταθερή πτωτική πορεία, λόγω της σταδιακής -αλλά μειωμένου ρυθμού- αποσύνθεσης που συνεχίστηκε μέχρι και την ολοκλήρωση του κύκλου κομποστοποίησης.

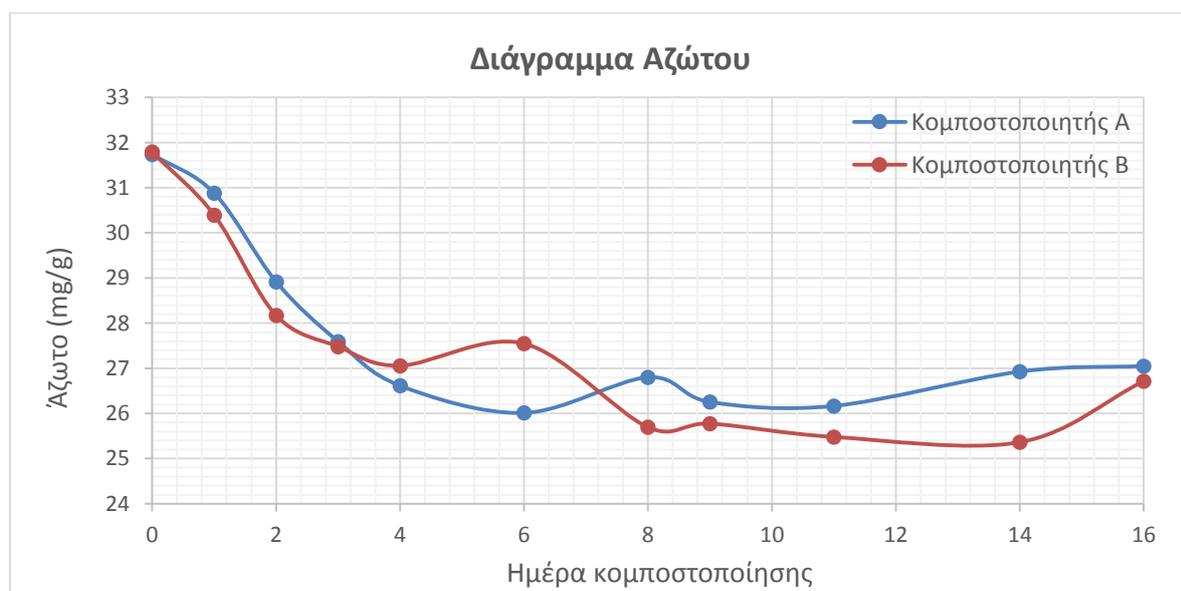
Εξαίρεση αποτέλεσε η 6^η μέρα, κατά την οποία οι απώλειες οργανικού φορτίου υπολογίστηκαν στο 79,8% που αποτέλεσε σχετικά υψηλή τιμή σε σχέση με την υπόλοιπη πορεία της διεργασίας. Μάλιστα, οι μετρήσεις επαναλήφθηκαν για τα δείγματα της συγκεκριμένης μέρας, ωστόσο δεν παρατηρήθηκε ιδιαίτερη μεταβολή ως προς τα αποτελέσματα. Μια εξήγηση που αποδίδεται στο φαινόμενο αυτό είναι η περιεχόμενη υγρασία του δείγματος της συγκεκριμένης μέρας. Η υγρασία του δείγματος που απομακρύνθηκε από τον κομποστοποιητή Β την 6^η μέρα κομποστοποίησης εμφάνισε το υψηλότερο ποσοστό, σε σχέση με τα υπόλοιπα δείγματα και συγκεκριμένα υπολογίστηκε σε 60,4%, κάτι βέβαιο που οφείλεται στην επιπλέον ποσότητα νερού που προστέθηκε στο μίγμα την προηγούμενη μέρα. Ενδεχομένως κατά την μέθοδο υπολογισμού της υγρασίας να μην απομακρύνθηκε ολοκληρωτικά η περιεχόμενη υγρασία του συγκεκριμένου μίγματος και να

παρέμεινε κάποιο μέρος της σε αυτό, ακόμη και μετά την ξήρανση στους 105⁰C. Έτσι, καθώς το δείγμα υποβλήθηκε στη θερμοκρασία των 550⁰C, απέβαλλε το υπολειπόμενο ποσοστό υγρασίας το οποίο προσμετρήθηκε ως μαζική απώλεια και συνεπακόλουθα ως απώλεια οργανικής ύλης, κάτι βέβαια που δεν ισχύει, καθώς η απώλεια οφείλεται στην εξάτμιση του επιπλέοντος νερού του δείγματος.

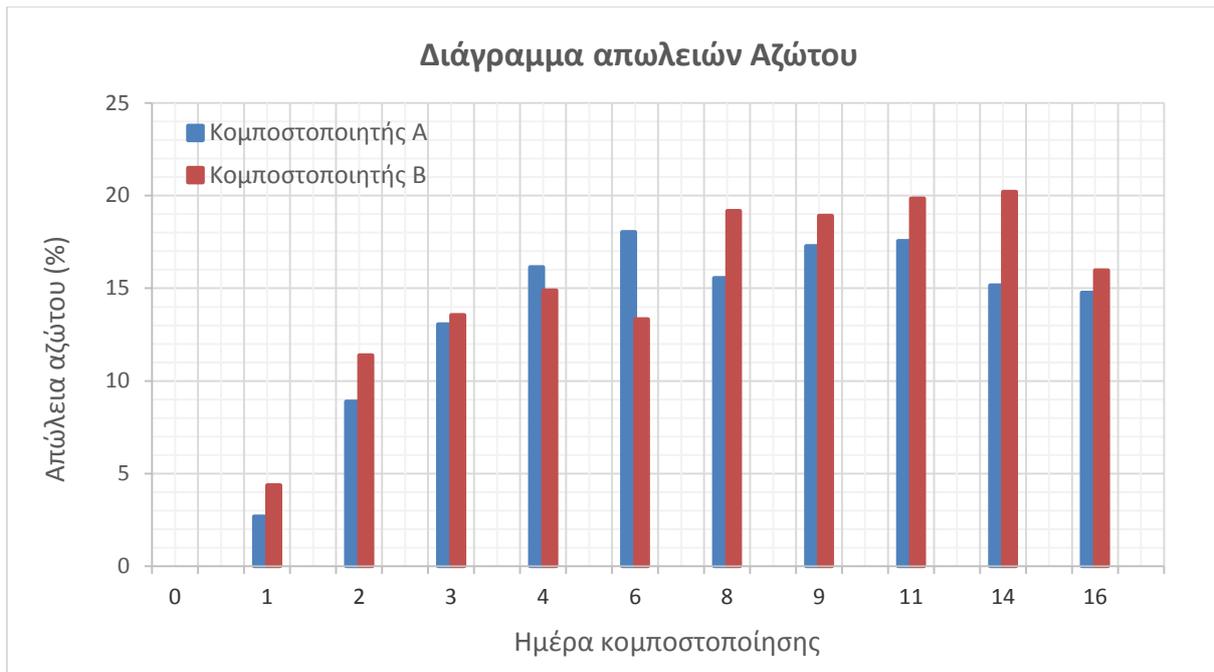
6.4.5 Άζωτο

Πίνακας 28: Καταγραφή του περιεχόμενου αζώτου των στερεών στους δύο κομποστοποιητές

Κομποστοποιητής COMPOMATE (Κομποστοποιητής Α)				Κομποστοποιητής NATURE MILL (Κομποστοποιητής Β)		
Ημερ/νία	ΔΕΙΓΜΑ	TN (mg/g)	TN (%)	ΔΕΙΓΜΑ	TN (mg/g)	TN (%)
17-Ιουν	A0	31,74	3,2	B0	31,79	3,2
18-Ιουν	A1	30,88	3,1	B1	30,40	3,0
19-Ιουν	A2	28,92	2,9	B2	28,17	2,8
20-Ιουν	A3	27,59	2,8	B3	27,48	2,7
21-Ιουν	A4	26,61	2,7	B4	27,06	2,7
23-Ιουν	A6	26,01	2,6	B6	27,55	2,8
25-Ιουν	A8	26,80	2,7	B8	25,69	2,6
26-Ιουν	A9	26,25	2,6	B9	25,77	2,6
28-Ιουν	A11	26,17	2,6	B11	25,48	2,5
1-Ιουλ	A14	26,93	2,7	B14	25,36	2,5
3-Ιουλ	A16	27,05	2,7	B16	26,71	2,7



Διάγραμμα 12: Διακύμανση του αζώτου



Διάγραμμα 13: Διακύμανση της απώλειας αζώτου

Καταγράφηκε η πορεία του ολικού αζώτου των μιγμάτων καθ' όλη τη διάρκεια της κομποστοποίησης. Οι μετρήσεις αφορούν αποκλειστικά και μόνο το περιεχόμενο άζωτο των δειγμάτων, σε ό,τι μορφή αυτό είχε. Ως γνωστόν, το ολικό άζωτο διαχωρίζεται σε τέσσερις συνιστώσες: το οργανικό άζωτο (N-org), τα αμμωνιακά (N-NH₄⁺), τα νιτρικά (N-NO₃⁻) και τα νιτρώδη (N-NO₂⁻), ωστόσο, οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν δεν συντέλεσαν στον καθορισμό των επιμέρους μορφών του αζώτου, παρά μόνο στη συνολική συγκέντρωση αυτού. Και στα δύο συστήματα κομποστοποίησης η συγκέντρωση αζώτου των στερεών εμφάνισε πτωτική πορεία, εντονότερη κατά τις πρώτες τέσσερις μέρες και πιο ομαλή τις υπόλοιπες.

Στον **κομποστοποιητή Α**, η συγκέντρωση του αζώτου μειώθηκε σταδιακά μέχρι και την 6^η μέρα, ενώ μέχρι και το τέλος διακυμάνθηκε μεταξύ των τιμών 26-27mg/g, διατήρησε δηλαδή σχετικά σταθερή πορεία. Το σύστημα κομποστοποίησης, μέχρι και την 4^η μέρα διατήρησε το υψηλότερο εύρος θερμοκρασιών του, κατά το οποίο διατηρήθηκαν και οι υψηλότεροι ρυθμοί αποδόμησης οργανικής ύλης. Επομένως, η σταθερή μείωση του αζώτου κατά το διάστημα αυτό ταυτίζεται χρονικά με τις διεργασίες αποσύνθεσης, που επηρέασαν όχι μόνο τον περιεχόμενο άνθρακα αλλά και το αζωτούχο τμήμα των στερεών. Στον **κομποστοποιητή Β**, το άζωτο μειώθηκε κατά παρόμοιο τρόπο, περισσότερο έντονα κατά τις πρώτες τέσσερις μέρες και πιο σταδιακά τις υπόλοιπες. Η αρχική τιμή του αζώτου εμφάνισε παρόμοια τιμή με αυτή του αρχικού μίγματος του κομποστοποιητή Α, παρόλο που στον τελευταίο προστέθηκε ποσότητα τροφικών υπολειμμάτων που τυπικά αυξάνουν την

περιεκτικότητα σε άζωτο. Πιθανότατα λόγω του σχετικά μεγάλου όγκου του μίγματος σε σχέση με την προστιθέμενη ποσότητα των τροφίμων, δεν παρατηρήθηκε μεταβολή ως προς το αζωτούχο κλάσμα των στερεών.

Οι απώλειες του αζώτου κατά την κομποστοποίηση οφείλονται σε ποικίλες παραμέτρους, ο συνδυασμός των οποίων ορίζει κάθε φορά και την πορεία του αζώτου. Για το λόγο αυτό, είναι αρκετά δύσκολο να εκτιμηθούν επακριβώς τα αίτια της μεταβολής του αζώτου, πόσο μάλλον όταν δεν έχουν πραγματοποιηθεί μετρήσεις σχετικά με το είδος και την ποσότητα των επιμέρους μορφών του. Ωστόσο, θα γίνει μια προσπάθεια διερεύνησης της πορείας του αζώτου στο σύνολό του, παράλληλα με αναφορές από τη βιβλιογραφία.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η δράση των μικροοργανισμών επιφέρει την αμμωνιοποίηση του οργανικού αζώτου που περιέχεται στα στερεά, δηλαδή συντελεί στο σχηματισμό της αμμωνίας. Έπειτα, η αμμωνία υπό κατάλληλες συνθήκες, είτε οξειδώνεται βιολογικά με τη σταδιακή μετατροπή της σε αμμωνιακά, νιτρώδη και εν τέλει νιτρικά, είτε περνά στην αέρια φάση και απομακρύνεται από το σύστημα. Γενικά, η απώλεια αζώτου μέσω της εξαέρωσης της αμμωνίας ευνοείται όταν επικρατούν υψηλές τιμές του pH (>7,5) διότι υπό αυτές τις συνθήκες επικρατεί η αέρια μορφή της αμμωνίας (Bustamante et al., 2008). Και στα δύο συστήματα κομποστοποίησης οι τιμές του pH δεν υπερέβησαν το 7,5, γεγονός που υποδηλώνει ότι πιθανότατα η μεγαλύτερη ποσότητα του αζώτου που απομακρύνθηκε δεν οφείλεται στην απομάκρυνσή του υπό την αέρια μορφή της αμμωνίας. Η πτητικότητα της αμμωνίας προωθείται επίσης από την υψηλή συγκέντρωση σε αμμωνιακά, τις υψηλές θερμοκρασίες και την μακρά περίοδο αερισμού όπως εξακριβώθηκε από τους Paredes et al. (2002) κατά τη συγκομποστοποίηση μεγάλης κλίμακας αποβλήτων ελαιοτριβείου με αγροτικά υπολείμματα. Η παρατήρηση αυτή βέβαια δύσκολα επαληθεύεται στη συγκεκριμένη περίπτωση όπου το μέγεθος των μιγμάτων είναι αισθητά πιο μικρό, οι χρόνοι κομποστοποίησης συντομότεροι και η συγκέντρωση σε αμμωνιακά άγνωστη. Η θετική επίδραση του αερισμού στην μετατροπή των NH_4^+ σε NO_3^- επιβεβαιώνεται και από τους Haug & Ellsworth (1991) σύμφωνα με τους οποίους ο αερισμός ενισχύει τις διεργασίες νιτροποίησης. Η απομάκρυνση του αζώτου, πραγματοποιείται επίσης μέσω της απονιτροποίησης, διεργασία κατά την οποία τα νιτρικά μετατρέπονται σε αέριο άζωτο N_2 , με τη βοήθεια των απονιτροποιητών. Η παρακολούθηση της συγκέντρωσης των νιτρικών και σε αυτό το σημείο θα διευκόλυνε τη διερεύνηση της πορείας του αζώτου.

Μια ακόμη παρατήρηση σχετικά με τις απώλειες αζώτου αφορά την περιεχόμενη υγρασία των στερεών. Σύμφωνα με τους Hwang & Hanaki (2000) τα υψηλά επίπεδα υγρασίας έχουν θετική επίδραση στην προώθηση των διεργασιών απώλειας αζώτου. Το φαινόμενο αυτό επαληθεύεται πειραματικά και στη συγκεκριμένη μελέτη αφού, όπως φαίνεται και στο σχετικό διάγραμμα, τα

υψηλότερα ποσοστά απώλειας αζώτου παρατηρήθηκαν στο μίγμα του κομποστοποιητή Β, που διατήρησε αισθητά υψηλότερα ποσοστά υγρασίας σε σχέση με αυτό του κομποστοποιητή Α.

6.4.6 Βαρέα Μέταλλα

Πίνακας 29: Συγκέντρωση βαρέων μετάλλων στα αρχικά δείγματα και στα δείγματα της 14^{ης} ημέρας κομποστοποίησης

<i>Συγκέντρωση μετάλλων (mg/kg)</i>				
<i>Δείγμα</i> Μέταλλα	A0	A14	B0	B14
Cr	82,5	89,0	78,2	96,1
Cu	708,4	653,4	720,6	698,0
Mn	54,4	53,8	51,7	54,8
Ni	18,7	20,7	17,9	20,3
Cd	3,0	4,1	2,3	0,5
Pb	478,9	442,2	411,3	412,2
Zn	152,1	150,0	149,1	149,6

Η κομποστοποίηση μπορεί είτε να αραιώσει είτε να συμπυκνώσει την ιλύ ως προς την περιεκτικότητά της σε βαρέα μέταλλα. Η μεταβολή της συγκέντρωσης των μετάλλων αποδίδεται κυρίως στην *απώλεια τους μέσω της έκπλυσης*, όπου και παρατηρείται η αραιώση, και στην *καταστροφή της οργανικής ύλης*, που επιφέρει την αύξηση της συγκέντρωσής τους. Τα μέταλλα δεν βιοαποικοδομούνται και γι' αυτόν ακριβώς το λόγο, η βιοαποικοδόμηση της οργανικής ύλης επιφέρει την αύξηση της συγκέντρωσής τους σε δείγμα που έχει υποστεί αερόβια βιολογική επεξεργασία.

Γενικά, οι ολικές συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων υποδεικνύουν την έκταση της μόλυνσης των δειγμάτων, αλλά παρέχουν ελάχιστες πληροφορίες σχετικά με τις μορφές των μετάλλων και τη τάση τους για κινητικότητα ή βιοδιαθεσιμότητα στο περιβάλλον. Επειδή πρόκειται για μη βιοαποικοδομήσιμες ουσίες, η κινητικότητα και η βιοδιαθεσιμότητά τους στο μέσο στο οποίο βρίσκονται, αποτελούν πολύ σημαντικές παραμέτρους. Επομένως, προκειμένου να γίνει σωστή περιβαλλοντική αποτίμηση των επιπτώσεων των μετάλλων, εξίσου σημαντική κρίνεται και η μελέτη της χημικής δομής των ουσιών αυτών.

Κατά τη διαδικασία της κομποστοποίησης, η κατανομή των βαρέων μετάλλων επηρεάζεται από μια σειρά παραγόντων: την απελευθέρωση των μετάλλων κατά τη φάση της μετατροπής του οργανικού άνθρακα στις ανόργανες μορφές του, τη διαλυτοποίηση τους από την μείωση του pH, τη βιο-ρόφηση των μετάλλων από την μικροβιακή μάζα ή τη συμπλοκοποίηση τους με τις πρόσφατα σχηματισμένες χουμικές ή άλλες ενώσεις (Zorpas et al., 2003; Hsu & Lo, 2001).

Η χημική δομή των περιεχόμενων μετάλλων της ιλύος δεν αποτέλεσε αντικείμενο της συγκεκριμένης εργασίας επομένως, τα μοναδικά στοιχεία σχετικά με την ύπαρξη βαρέων μετάλλων αφορούν τις συνολικές συγκεντρώσεις τους στο αρχικό και τελικό προϊόν κομποστοποίησης, χωρίς να γνωρίζουμε σε ποιες μορφές βρίσκονται. Από τις τιμές αυτές μπορεί ωστόσο να γίνει μια άμεση σύγκριση με τιμές συγκεντρώσεων ιλύων παρόμοιων βιομηχανιών από τη βιβλιογραφία. Επίσης, μπορεί να γίνει μια σύγκριση με τις προδιαγραφές της ιλύος που προέρχεται από οικιακά και αστικά λύματα και δύναται να χρησιμοποιηθεί για γεωργικούς σκοπούς (εφόσον πληρούνται οι όροι και περιορισμοί που αναφέρονται στην ΚΥΑ 80568/4225/91).

Τα δείγματα, πριν και μετά την κομποστοποίηση εμφανίζουν παραπλήσιες τιμές συγκεντρώσεων μετάλλων γεγονός που σημαίνει ότι η βιολογική δραστηριότητα που εξελίχθηκε κατά το διάστημα των 16 ημερών επηρέασε ελάχιστα τη συγκέντρωση των περιεχόμενων βαρέων μετάλλων των δειγμάτων. Ο χαλκός εμφάνισε την μεγαλύτερη συγκέντρωση και στα δύο δείγματα, ενώ ακολούθησαν ο μόλυβδος, ο ψευδάργυρος και το χρώμιο. Τα υπόλοιπα μέταλλα εμφάνισαν σχετικά χαμηλές τιμές συγκεντρώσεων (0-55mg/kg) εξίσου και για τα δύο είδη δειγμάτων. Ειδικά για τον κομποστοποιητή Β, η ενδεχόμενη μείωση που εμφανίζεται σε μερικά μέταλλα ενδέχεται να οφείλεται στην έκπλυση αυτών, καθώς από το μίγμα του συγκεκριμένου κομποστοποιητή απομακρύνονταν ποσότητες εκρών ιδιαίτερα όταν πραγματοποιούνται προσθήκη επιπλέοντος νερού στο μίγμα (όποτε κρινόταν αναγκαίο). Εντούτοις, επειδή στις εκροές δεν πραγματοποιήθηκε στοιχειακή ανάλυση, δεν μπορεί να επιβεβαιωθεί το γεγονός αυτό στην πράξη.

Με βάση τις οριακές τιμές συγκεντρώσεων μετάλλων για γεωργική χρήση της ιλύος αστικών και οικιακών λυμάτων (ΚΥΑ 80568/4225/91), το μίγμα ιλύος τόσο του κομποστοποιητή Α όσο και αυτό του κομποστοποιητή Β, εμφανίζει μικρότερες συγκεντρώσεις για τα μέταλλα Cr, Cu, Ni, Cd, Pb, και Zn από αυτές που ορίζονται από την Οδηγία (εξαιρέση αποτελεί το μαγγάνιο, για το οποίο δεν αναφέρονται οριακές συγκεντρώσεις στην ΚΥΑ). Επειδή ωστόσο δεν πρόκειται για αστικά ή οικιακά λύματα, αλλά για βιομηχανικά, η αναφορά στην ΚΥΑ γίνεται μόνο για τη σύγκριση των παρατηρούμενων συγκεντρώσεων.

Κεφ. 6 Πειραματικό Μέρος

Στον Πίνακα 30, παρατίθενται δεδομένα από 9 βαφεία υφασμάτων αναφορικά με το είδος των πρώτων και βοηθητικών υλών που χρησιμοποιούν, τη δυναμικότητα, την μέθοδο επεξεργασίας λυμάτων και αφυδάτωσης ιλύος καθώς και τη συγκέντρωση της αφυδατωμένης ιλύος στα ακόλουθα βαρέα μέταλλα: Cu, Pb, Ni, Cd, Cr, Zn.

Πίνακας 30: Χαρακτηριστικά παραγωγικής διεργασίας και συγκέντρωσης βαρέων μετάλλων ιλύος 9 μονάδων βαφείων (Liang et al., 2013)

Βιομ/νία	Κύρια ακατέργαστη ύλη	Βαφές	Δυναμικότητα (m ³ /d)	Επεξεργασία λυμάτων	Μέθοδος αφυδάτωσης ιλύος	
S1	Συνθετική ίνες	Βαφές αντιδράσεως	30000	Κροκίδωση A/O Απολύμανση	Ταινιόπρεσες	
S2	Βαμβάκι	Βαφές αντιδράσεως	15000	Αναερόβια επεξεργασία Κροκίδωση	Ταινιόπρεσες	
S3	Συνθετική ίνες	Ιονικές βαφές	10000	A/O Κροκίδωση	Ταινιόπρεσες, θερμική ξήρανση	
S4	Βαμβάκι	Αζωικές βαφές	600	Κροκίδωση A ² /O	Φιλτρόπρεσες	
S5	Βαμβάκι	-	400	A/O Κροκίδωση	Φιλτρόπρεσες	
S6	Βαμβάκι	Βαφές αντιδράσεως	25000	Κροκίδωση A/O	Φιλτρόπρεσες	
S7	Βαμβάκι	Μίγμα βαφών	60000	Καθίζηση A ² /O	Ταινιόπρεσες	
S8	Συνθετικές ίνες	Μίγμα βαφών	50000	Κροκίδωση A/O	Ταινιόπρεσες, θερμική ξήρανση	
S9	Βαμβάκι	Μίγμα βαφών	85000	Κροκίδωση A/O	Ταινιόπρεσες	
Συγκέντρωση βαρέων μετάλλων (mg/kg)						
Βιομ/νία	Cu	Pb	Ni	Cd	Cr	Zn
S1	317	30,2	126	4,08	151	1210
S2	441	36,9	62,0	2,60	75,1	639
S3	61,5	19,2	193	1,16	577	963
S4	571	20,1	80,9	5,66	69,2	351
S5	66,5	6,32	31,5	2,45	530	42,5
S6	222	36,5	90,7	4,75	129	328
S7	115	32,9	46,8	3,47	354	468
S8	230	26,8	57,8	4,54	106	938
S9	105	23,4	57,1	4,80	210	685

Αν συγκριθούν τα πειραματικά δεδομένα της συγκέντρωσης μετάλλων του μίγματος των κομποστοποιητών με αυτά που παρουσιάζονται στον παραπάνω πίνακα, διαπιστώνεται ότι η συγκέντρωση μετάλλων της ιλύς που προέρχεται από τη βιομηχανία που εξετάζεται στην παρούσα εργασία, κυμαίνεται μεταξύ των συνήθων συγκεντρώσεων μετάλλων που παρατηρούνται σε βιομηχανίες αυτού του κλάδου. Τις περισσότερες ομοιότητες με την αναλυόμενη ιλύ, εμφάνισε η βιομηχανία S4, η οποία χρησιμοποιεί αζωικές βαφές και έχει την μικρότερη δυναμικότητα (600m³/d) συγκριτικά με τις υπόλοιπες βιομηχανίες.

6.4.7 Φυτοτοξικότητα

Πίνακας 31: Μήκος βλαστών κατά την μέτρηση της φυτοτοξικότητας

<i>Μήκος βλαστών (cm)</i>						
Δείγμα Σπόρος	T1 (τυφλό)	T2 (τυφλό)	A16	A16'	B16	B16'
1	3,8	4,3	2,4	2,5	2,9	2,8
2	3,7	4,4	1,2	1,1	1,1	3,6
3	0,7	2,8	1,7	1,8	1,3	3,5
4	0,9	1,1	0,4	1,1	0,1	0,6
5	1,2	2,5	0,4	1,2	0,2	0,7
6	0,4	1,1	0,6	1,5	0	0,5
7	2,3	1,7	0,3	1,2	0	0,2
8	0,9	0,4	0,4	1,4	0	1,2
9	0,5	0,6	0,9	0,5	0	0,3
10	0,8	0,2	0,2	0,6	0	0,4
11	0,5	0,1	0	0,1	0	0
12	0,6	0,3	0	0	0	0
13	1,5	0,6	0	0	0	0
14	0,5	1,1	0	0	0	0
15	0,7	0,4	0	0	0	0
16	0,6	0,5	0	0	0	0
17	0,1	0,1	0	0	0	0
18	0,1	0,3	0	0	0	0
19	0,1	0,1	0	0	0	0
20	0	0	0,1	0	0	0,2
Μ.Ο. Τιμών	0,995	1,13	0,43	0,65	0,28	0,7
Γενικός Μ.Ο.	1,0625		0,54		0,49	

Πίνακας 32: Αποτελέσματα φυτοτοξικότητας δειγμάτων την τελευταία μέρα της κομποστοποίησης

Παράμετρος \ Δείγμα	A16	B16	T (τυφλό)
Αριθμός βλαστών (μέσος όρος)	11	8	19
$G = \frac{\text{αριθμός βλαστών δείγματος}}{\text{αριθμός βλαστών τυφλού}} * 100$	57,9	42,1	-
$L = \frac{\text{μήκος βλαστών δείγματος}}{\text{μήκος βλαστών τυφλού}} * 100$	50,8	46,1	-
$\Delta. B. = (G * L)/100$	29,4	19,4	-

Με βάση το Δείκτη Βλαστικότητας που υπολογίστηκε για τα δύο είδη δειγμάτων της τελευταίας μέρας κομποστοποίησης, τόσο το μίγμα του κομποστοποιητή Α, όσο και αυτό του κομποστοποιητή Β, εμφανίζουν υψηλή φυτοτοξικότητα. Συγκεκριμένα, το μίγμα του κομποστοποιητή Β εμφανίζει υψηλότερο δείκτη φυτοτοξικότητας κατά 10 μονάδες, σε σύγκριση με αυτόν του δείγματος Α, γεγονός που κατατάσσει το πρώτο στην κατηγορία των πολύ φυτοτοξικών ουσιών. Το δείγμα του κομποστοποιητή Α κατατάσσεται στην κατηγορία των φυτοτοξικών ουσιών. Τα υψηλά επίπεδα φυτοτοξικότητας των δύο δειγμάτων οφείλονται πιθανότητα στη φύση του στερεού αποβλήτου που περιέχεται στο μίγμα των κομποστοποιητών. Ο κλάδος της επεξεργασίας υφασμάτων βρίσκεται σε άμεση αλληλεπίδραση με μια ποικιλία χημικών υλών που καταλήγουν στα απόβλητα των αντίστοιχων βιομηχανιών, επιβαρύνοντάς τα με παραπροϊόντα πολλές φορές δύσκολα αποικοδομήσιμα. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, τα περιεχόμενα μέταλλα των χρησιμοποιούμενων υλών, αλλά και άλλες ίσως ουσίες δύσκολα βιοδιασπάσιμες, κατέληξαν στην ιλύ της βιομηχανίας με αποτέλεσμα αφενός να χαρακτηρίσουν τα στερεά φυτοτοξικά ακόμη και μετά τη βιολογική τους επεξεργασία και αφετέρου, να δυσχεράνουν αναπόφευκτα τη δράση των βιολογικών μεθόδων επεξεργασίας στο σύνολό τους.

Όσον αφορά τη σχετική διαφορά στη τιμή του δείκτη βλαστικότητας που εμφάνισαν τα δύο δείγματα, αυτή οφείλεται ενδεχομένως στη διαφορετική σύσταση των συγκεκριμένων δειγμάτων. Το δείγμα του **κομποστοποιητή Α**, εκτός από την ιλύ η οποία προστέθηκε σε ποσοστό 57% του συνολικής μάζας, περιείχε και τροφικά υπολείμματα σε ποσοστό 29%, που αποτέλεσαν ένα εύκολο βιοδιασπάσιμο κλάσμα, μη φυτοτοξικό. Αντίθετα, ο **κομποστοποιητής Β** περιείχε ιλύ σε ποσοστό 80% και μηδενική ποσότητα οργανικών υπολειμμάτων, γεγονός που προσαύξησε τα επίπεδα φυτοτοξικότητας του συγκεκριμένου δείγματος.

6.4.8 Τελικά αποτελέσματα μετρήσεων

Τα μίγματα από τους κομποστοποιητές Α και Β, αφού αφαιρέθηκαν από αυτούς, τοποθετήθηκαν σε καφάσια, το μεν δείγμα Α σε ανοιχτό –μη προφυλαγμένο χώρο– το δε δείγμα Β, εντός εργαστηρίου. Μετά το πέρας 5 μηνών, πραγματοποιήθηκε μια σειρά μετρήσεων για τις παραμέτρους LOI, TN, MC, pH και αγωγιμότητας. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 33.

Πίνακας 33: Αποτελέσματα μετρήσεων στα τελικά δείγματα κομποστοποίησης (μετά από 5 μήνες)

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	Α _{ΤΕΛΙΚΟ}	Β _{ΤΕΛΙΚΟ}
LOI (%)	75,54	73,41
TN (mg/g)	25,30	25,54
MC (%)	67,5	7,9
pH	7,35	6,71
Αγωγιμότητα (mS/cm)	2,85	4,39

Η παράμετρος LOI δεν εμφάνισε ουσιαστική διαφορά από τις αντίστοιχες τιμές που είχαν μετρηθεί στα δείγματα την τελευταία μέρα της κομποστοποίησης, κάτι που ισχύει και για το pH των δειγμάτων. Η αγωγιμότητα του δείγματος Α εμφάνισε μείωση μισής περίπου μονάδας σε σύγκριση με την αντίστοιχη τιμή προ 5 μηνών, ενώ το δείγμα Β εμφάνισε το αντίθετο αποτέλεσμα, αυξάνοντας κατά μισή περίπου μονάδα την αγωγιμότητά του. Οι δείκτες TN και LOI συνέχισαν την πτωτική τους πορεία αλλά με σταδιακούς, μη αξιοσημείωτους ρυθμούς. Τέλος, η υγρασία του δείγματος Β μειώθηκε σε μεγάλο βαθμό, ενώ του δείγματος Α εμφάνισε σημαντικά αυξημένη τιμή, λόγω των καιρικών συνθηκών της προηγούμενης ημέρας που συντέλεσαν στην υπερβολική ύγρανση του μίγματος.

Το παραγόμενο προϊόν περιέχει ποσότητες βαρέων μετάλλων και χαρακτηρίζεται ως φυτοτοξικό. Εντούτοις, υπάρχει μια ποικιλία διαθέσιμων εφαρμογών για την αξιοποίησή του. Σε περίπτωση που επιλεγεί η ταφή ως μέθοδος διαχείρισης, θα πρέπει πρωτίστως να πραγματοποιηθεί έλεγχος στο προϊόν σχετικά με το αν πληροί τα κριτήρια που ορίζει η απόφαση 2003/33/ΕΚ, για τα επικίνδυνα απόβλητα που γίνονται δεκτά στους χώρους υγειονομικής ταφής. Σε αντίθετη περίπτωση, το προϊόν θεωρείται και αντιμετωπίζεται ως ένα κλάσμα αποβλήτων που, εφόσον πρόκειται να ταφεί, θα πρέπει να οδηγηθεί σε ΧΥΤΕΑ. Το υλικό αυτό εκτός από την ταφή, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την επικάλυψη σε Χώρους Υγειονομικής Ταφής (ΧΥΤ), για την αποκατάσταση Χώρων Ανεξέλεγκτης Διάθεσης Απορριμμάτων (ΧΑΔΑ), για τη διαμόρφωση του περιβάλλοντος και επιφανειών πρασίνου

Κεφ. 6 Πειραματικό Μέρος

σε αστικές περιοχές καθώς και σε εφαρμογές οδοποιίας, κατασκευής αντιθορυβικών φραγμάτων και έργων κατά της απερίμωσης. Οι παραπάνω τεχνικές προϋποθέτουν τη διενέργεια λεπτομερών ελέγχων αναφορικά με την καταλληλότητα του προϊόντος για κάθε τελική χρήση στην οποία αυτό προορίζεται.

7. Συμπεράσματα

- Η Κλωστοϋφαντουργία αποτελούσε έναν από τους βασικότερους πυλώνες της ελληνικής οικονομίας. Ωστόσο, την τελευταία 20ετία ο κλάδος βρίσκεται σε ύφεση, γεγονός που έχει επιφέρει συρρίκνωση της εγχώριας παραγωγής και έξοδο εκατοντάδων επιχειρήσεων από το χώρο της κλωστοϋφαντουργίας. Η ύφεση επηρέασε αντίστοιχα και τον κλάδο της τελικής επεξεργασίας υφασμάτων, συγκεντρώνοντας τις λιγότερες πλέον βιομηχανίες στις περιφέρειες της Στερεάς Ελλάδας (κυρίως Βοιωτία) και της Κεντρικής Μακεδονίας. Οι υπάρχουσες βιομηχανίες συνιστούν κυρίως μικρομεσαίες μονάδες επεξεργασίας υφασμάτων που απευθύνονται στην εγχώρια αγορά κατανάλωσης.
- Τα κυριότερα προβλήματα που αντιμετωπίζουν τα Βαφεία–Φινιστήρια είναι α) το ενεργειακό κόστος των μονάδων, β) η απουσία προδιαγραφών για τα εισερχόμενα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα που εισέρχονται από τρίτες χώρες, γ) η έλλειψη ενδιαφέροντος από την μεριά των καταναλωτών, δ) οι υψηλές ασφαλιστικές και εργοδοτικές εισφορές συγκριτικά με ανταγωνίστριες χώρες του κλάδου και ε) το ασταθές περιβάλλον εργασίας που δυσχεραίνει την ομαλή λειτουργία των επιχειρήσεων.
- Τα υφάσματα, προκειμένου να αποκτήσουν τη τελική μορφή τους, υφίστανται μια σειρά από επεξεργασίες που περιλαμβάνουν την προκατεργασία, τη βαφή και το φινίρισμα. Ο συνδυασμός των τριών αυτών επεξεργασιών διαφοροποιείται ανάλογα με την προέλευση του υφάσματος και τις επιθυμητές ιδιότητες του τελικού προϊόντος. Η προκατεργασία καθιστά το υπόστρωμα κατάλληλο για τις μετέπειτα επεξεργασίες, η βαφή προσδίδει σε αυτό την επιθυμητή απόχρωση ενώ το φινίρισμα βελτιώνει τα τελικά χαρακτηριστικά του προϊόντος και προσδίδει επιπλέον ιδιότητες σε αυτό, όποτε κρίνεται επιθυμητό.
- Τα τρία στάδια επεξεργασίας υφασμάτων συμμετέχουν στη ρύπανση κυρίως μέσω των υγρών εκροών τους. Η προκατεργασία συμμετέχει συνολικά με ποσοστό 60-70% στο παρατηρούμενο φορτίο COD των λυμάτων που απορρέουν από τη βιομηχανία. Οι πιο ρυπογόνες διεργασίες της προκατεργασίας αφορούν τα στάδια του αποκολλαρίσματος, του πλυσίματος, της λεύκανσης και του μερσερισμού. Όσον αφορά τη βαφή, η κατηγορία των χρωμάτων που χρησιμοποιείται σήμερα σε ποσοστό 60-70%, είναι αυτή των είναι αυτή των αζωικών χρωμάτων. Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις του σταδίου της βαφής σχετίζονται άμεσα με τα χαρακτηριστικά των χρωμάτων που χρησιμοποιούνται, εκ των οποίων τα πιο σημαντικά είναι το ποσοστό στερέωσής τους, η αντοχή χρώματός τους και η περιεκτικότητα σε μέταλλα. Τέλος, τα φινιριστικά προϊόντα, κατέχοντας το μεγαλύτερο μερίδιο αγοράς συγκριτικά με τα υπόλοιπα βοηθητικά μέσα της κλωστοϋφαντουργίας συμμετέχουν και αυτά στην επιμόλυνση των υγρών απορροών ενός

Βαφείου–Φινιστηρίου, με τα μαλακτικά μέσα να καταλαμβάνουν το συνηθέστερο φινιριστικό βοήθημα που χρησιμοποιείται ευρέως.

- Οι τελικές εκροές λυμάτων των Βαφείων–Φινιστηρίων είναι επιμολυσμένες με ουσίες προερχόμενες από πολλά και διαφορετικά στάδια, γεγονός που μετατρέπει την ανίχνευση της πηγής των ρυπαντών και την καταπολέμησή των ουσιών αυτών, σε ένα πολύ σύνθετο πρόβλημα. Συνίσταται η εστίαση στα μεμονωμένα ρεύματα αποβλήτων καθώς και στις συνθήκες παραγωγής τους με προσπάθεια μείωσης στο ελάχιστο, τόσο των ρυπογόνων υλών, όσο και της κατανάλωσης νερού και ενέργειας.
- Η ΟΠΠ αποτελεί μια στρατηγική που στοχεύει στην επίτευξη της αειφόρου ανάπτυξης στην Ευρώπη μέσω του περιορισμού των περιβαλλοντικών επιπτώσεων του κύκλου ζωής των προϊόντων. Αντικείμενο της ΟΠΠ αποτελεί η εξεύρεση του αποτελεσματικότερου τρόπου με τον οποίο επιτυγχάνεται η ανάπτυξη οικολογικότερων προϊόντων αλλά και η υιοθέτησή τους από τους καταναλωτές μέσω της κατάλληλης ενημέρωσης και παροχής κινήτρων. Η Οδηγία IPPC εκδόθηκε με κύριο στόχο την πρόληψη της ρύπανσης. Η αντιμετώπιση της ρύπανσης στην πηγή ενισχύεται μέσω της εφαρμογής των Βέλτιστων Διαθέσιμων Τεχνικών που προτείνονται από την Οδηγία και αφορούν έναν ευρύ τομέα βιομηχανικών δραστηριοτήτων. Με τον τρόπο αυτό, η προσέγγιση της Οδηγίας IPPC συνδράμει στην επίτευξη των στόχων της Ολοκληρωμένης Πολιτικής Προϊόντων.
- Για τον κλάδο της τελικής επεξεργασίας υφασμάτων, προτεινόμενη Βέλτιστη Διαθέσιμη Τεχνική διαχείρισης της παραγόμενης –από τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων– ιλύος, αποτελεί η κομποστοποίηση, η αναερόβια χώνευση με ανάκτηση του παραγόμενου μεθανίου, η αξιοποίησή της στην πλινθοποιία, η καύση με ανάκτηση θερμότητας και οποιαδήποτε άλλη τεχνική ανακύκλωσης της ιλύος που συμμορφώνεται με την Οδηγία.
- Η κομποστοποίηση θεωρείται τόσο ως μια μέθοδος διαχείρισης των οργανικών αποβλήτων όσο και ως μια διαδικασία παραγωγής ενός χρήσιμου και αξιοποιήσιμου τελικού προϊόντος. Αποτελεί μια διεργασία η οποία εφαρμόζεται ευρέως σε οργανικά απόβλητα προερχόμενα από μια μεγάλη κατηγορία βιομηχανικών κλάδων, ωστόσο, ελάχιστες πληροφορίες παρέχονται από τη βιβλιογραφία σχετικά με την κομποστοποίηση της ιλύος που παράγεται από εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων μονάδων Βαφείων–Φινιστηρίων.
- Προκειμένου να πραγματοποιηθεί το πειραματικό μέρος της εργασίας, απαραίτητη κρίθηκε η προκατεργασία της αφυδατωμένης ιλύος αλλά και η προετοιμασία του μίγματος κομποστοποίησης. Η προκατεργασία περιλάμβανε την άλεση της αφυδατωμένης ιλύος ώστε να συντελέσει στην ομοιόμορφη κατανομή του μίγματος και την αποτελεσματικότερη βιολογική αποδόμηση του οργανικού μέρους της. Η προετοιμασία του μίγματος πραγματοποιήθηκε με την

προσθήκη τροφικών υπολειμμάτων για πρόσδοση υγρασίας και αζώτου, πράσινων απορριμμάτων για πρόσδοση ποσοτήτων άνθρακα και ευχερέστερο αερισμό, περλίτη για έλεγχο της υγρασίας και του αερισμού και επιπλέοντος νερού για την επίτευξη της απαιτούμενης ύγρανσης. Συγκεκριμένα, η προσθήκη του περλίτη και των φύλλων έδωσαν στο μίγμα μια περισσότερο ανάλαφρη και μαλακή μορφή με βελτιωμένα χαρακτηριστικά.

- Τα δύο συστήματα κομποστοποίησης εμφάνισαν ικανοποιητικά αποτελέσματα ως προς το σύνολο των παραμέτρων που μελετήθηκαν, εμφανίζοντας ομοιότητες με διαφορετικά συστήματα κομποστοποίησης που έχουν εφαρμοστεί κατά καιρούς σε βιομηχανικά απόβλητα.
- Η πορεία της θερμοκρασίας καθόρισε και τη χρονική διάρκεια της κομποστοποίησης και για τα δύο συστήματα. Και οι δύο κομποστοποιητές ανέπτυξαν θερμοκρασίες μεταξύ των τιμών 50-70°C, που αποτελεί και το βέλτιστο εύρος θερμοκρασίας του θερμόφιλου σταδίου. Η θερμοκρασία στο σύστημα Α εμφάνισε αυξητική πορεία μέχρι και την 3^η μέρα (56°C), όποτε και άρχισε να μειώνεται σταδιακά. Το σύστημα Β παρουσίασε ένα ομαλότερο αλλά υψηλότερο θερμοκρασιακό προφίλ που διατηρήθηκε μέχρι και το τέλος της διεργασίας, λόγω των σταθερών συνθηκών του κομποστοποιητή. Οι θερμοκρασιακές συνθήκες που επικράτησαν στον κομποστοποιητή Α μαρτυρούν την ύπαρξη βιολογικής δραστηριότητας στο μίγμα, η οποία εμφάνισε εντονότερο ρυθμό κατά τις 8 πρώτες μέρες της διεργασίας.
- Η υγρασία του μίγματος Α κυμάνθηκε μεταξύ 46-54% ενώ του μίγματος Β μεταξύ 50-60%. Κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης χρειάστηκε να γίνει ρύθμιση της υγρασίας με προσθήκη επιπρόσθετης ποσότητας νερού και για τα δύο δείγματα. Η μείωση της υγρασίας κατά τις πρώτες μέρες οφείλονταν στη δράση των μικροοργανισμών οι οποίοι αύξησαν τη θερμοκρασία των συστημάτων και μειώθηκε έτσι η περιεχόμενη υγρασία τους.
- Το pH των δειγμάτων κυμάνθηκε σε φυσιολογικά επίπεδα (6-8), που αποτέλεσαν ευνοϊκές συνθήκες για την δράση των αερόβιων βακτηρίων αλλά και για τη διεργασία της κομποστοποίησης στο σύνολό της. Η αγωγιμότητα ακολούθησε αυξητική πορεία και για τα δύο δείγματα, η οποία αντικατόπτρισε την υψηλή συγκέντρωσή τους σε διαλυτά άλατα, που ενδεχόμενα οφείλεται κατά ένα μέρος στην αποσύνθεση του οργανικού κλάσματος.
- Η πορεία του οργανικού φορτίου καταγράφηκε μέσω του δείκτη LOI, ο οποίος σημείωσε σταθερή πτωτική τάση και για τα δύο δείγματα που κυμάνθηκε μεταξύ των τιμών 6-10%, με βάση τις αρχικές μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στα μίγματα την ημέρα 0. Ο δείκτης LOI αποτέλεσε το μέτρο αξιολόγησης της διεργασίας ως προς την αποσύνθεση της οργανικής ύλης των στερεών. Η πτωτική του πορεία επιβεβαιώνει την ύπαρξη μικροοργανισμών που κυριάρχησαν στα μίγματα και επέφεραν την βιοαποικοδόμηση μέρους των οργανικών. Ωστόσο, η

αποικοδόμηση αυτή δεν εμφάνισε έντονο χαρακτήρα γεγονός που καθιστά τη διεργασία ανεπαρκή, όσον αφορά την μείωση του οργανικού φορτίου.

- Το περιεχόμενο άζωτο των δειγμάτων ελαττώθηκε σταδιακά κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης, καταγράφοντας συνολικά 20% μείωση και για τα δύο συστήματα, με βάση τις αρχικές συγκεντρώσεις ολικού αζώτου. Η μείωση αυτή οφείλεται στην μικροβιακή δράση, μέσω των διεργασιών της νιτροποίησης και απονιτροποίησης. Λόγω της απουσίας πειραματικής παρακολούθησης των διαφορετικών μορφών αζώτου που επικράτησαν στο μίγμα δεν γνωρίζουμε ποιες διεργασίες απώλειας αζώτου, επικράτησαν ωστόσο οι υψηλότερες απώλειες που παρατηρήθηκαν στο μίγμα Β, οφείλονται ενδεχομένως στα υψηλότερα ποσοστά υγρασίας του, σε σύγκριση με το μίγμα του κομποστοποιητή Α.
- Η περιεκτικότητα του μίγματος σε βαρέα μέταλλα κρίθηκε σημαντική, γεγονός που επηρέασε τόσο την ποιότητα του τελικού προϊόντος, όσο και τη διεργασία στο σύνολό της. Η ύπαρξη βαρέων μετάλλων επίδρασε στην κομποστοποίηση επιμολύνοντας την αρχική μάζα στερεών με τοξικές ενώσεις, που πιθανότατα επηρέασαν δυσμενώς τη δράση των μικροβιακών κοινοτήτων. Η βιολογική διεργασία επομένως ενδέχεται να διακόπηκε κατά τις πρώτες μέρες λειτουργίας των κομποστοποιητών, λόγω της εγγενούς τοξικότητας της ιλύος που προστέθηκε στα μίγματα. Η μεταβολή των βαρέων μετάλλων δεν σημείωσε αξιοσημείωτες αλλαγές κατά την κομποστοποίηση, με εξαίρεση το χαλκό, ο οποίος και στα δύο συστήματα εμφάνισε μείωση, που πιθανώς οφείλεται στη χημική δομή της συγκεκριμένης ουσίας, η μελέτη της οποίας θα χρησίμευε ιδιαίτερα στο σημείο αυτό.
- Η τοξικότητα των τελικών δειγμάτων οφείλεται κατά κύριο λόγο στη δράση των περιεχόμενων βαρέων μετάλλων τους. Το τελικό προϊόν δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μέσο λιπασματοποίησης και πρόσδοσης θρεπτικών ουσιών, καθώς τόσο το δείγμα του κομποστοποιητή Α, όσο και αυτό του Β, χαρακτηρίζονται από φυτοτοξικά έως πολύ φυτοτοξικά προϊόντα.
- Οι παράμετροι LOI, TN, MC, pH και αγωγιμότητας των δειγμάτων δεν διαφοροποιήθηκαν αισθητά μετά από διάστημα 5 μηνών παραμονής τους σε συνθήκες περιβάλλοντος.
- Παράγοντες που επηρέασαν την παρακολούθηση της διεργασίας αλλά και την αποτελεσματικότητά της: α) Η απουσία μηχανισμού αερισμού στον κομποστοποιητή Α και η δυσκολία χειροκίνητης ανάμιξης του μίγματος, συντέλεσε στη δημιουργία αναερόβιων συνθηκών στον πυθμένα του κάδου που συνοδεύτηκε από έκλυση δυσοσμίας και απουσία μικροβιακής δραστηριότητας στο σημείο αυτό. β) Η αδυναμία μέτρησης του διαθέσιμου οξυγόνου στο μίγμα αλλά και του ολικού οργανικού άνθρακα των δειγμάτων μέσω του δείκτη TOC, λόγω της μη διαθεσιμότητας των σχετικών οργάνων την περίοδο της μελέτης. Αντ' αυτού, χρησιμοποιήθηκε ο

δείκτης LOI για την καταγραφή της πορείας του άνθρακα και πραγματοποιούνταν συχνή ανάδευση των μιγμάτων, χωρίς όμως να γνωρίζουμε εάν η συχνότητα αυτή επαρκούσε για την εξασφάλιση αερόβιων συνθηκών καθ' όλη τη διάρκεια της κομποστοποίησης.

- Η επέκταση του συστήματος Β σε βιομηχανική κλίμακα δεν συνίσταται λόγω του αυξημένου ενεργειακού κόστους που συνεπάγεται η λειτουργία ενός συστήματος που απαιτεί εξωτερική πηγή θέρμανσης του μίγματος κομποστοποίησης. Οι παράμετροι που μελετήθηκαν εμφάνισαν παραπλήσιες τιμές και για τα δύο συστήματα, γεγονός που ευνοεί τη χρησιμοποίηση του αυτόνομου (από ενεργειακής σκοπιάς) συστήματος.
- Η κομποστοποίηση της ιλύος από την εξεταζόμενη βιομηχανία θα εμφάνιζε πληρέστερα και ικανοποιητικότερα αποτελέσματα, εάν τα λύματα της βιομηχανίας επεξεργάζοντουσαν με κάποια μέθοδο που θα επέφερε μείωση της συγκέντρωσης των μετάλλων τους. Αυτό θα μπορούσε να επιτευχθεί μέσω ενός συστήματος MBR, εμβαπτισμένο στην υπάρχουσα δεξαμενή αερισμού της εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων.
- Το παραγόμενο προϊόν, μπορεί είτε να οδηγηθεί για ταφή, είτε να αξιοποιηθεί σε εφαρμογές που περιλαμβάνουν: επικάλυψη των Χώρων Υγειονομικής Ταφής, αποκατάσταση των Χώρων Ανεξέλεγκτης Διάθεσης Απορριμμάτων, διαμόρφωση του περιβάλλοντος των αστικών περιοχών, κατασκευή έργων οδοποιίας και έργων κατά της απερήμωσης.
- Η ελληνική νομοθεσία δεν περιλαμβάνει ολοκληρωμένο νομοθετικό πλαίσιο σχετικά με την αξιοποίηση της παραγόμενης ιλύος από τις βιομηχανίες επεξεργασίας υφασμάτων, γεγονός που καθιστά δυσκολότερη τη σωστή διαχείριση της ιλύος από μέρους των βιομηχανιών, οι οποίες συχνά καταλήγουν να εναποθέτουν το συγκεκριμένο κλάσμα αποβλήτων σε ΧΥΤΑ.
- Αντικείμενο περαιτέρω έρευνας μπορεί να αποτελέσει η διερεύνηση των βέλτιστων συνθηκών της διεργασίας της κομποστοποίησης βιομηχανικών αποβλήτων μέσω περισσότερων κύκλων κομποστοποίησης, καθώς και η συγκομποστοποίηση της ιλύος που προέρχεται από τα Βαφεία-Φινιστήρια με διαφορετικά είδη αποβλήτων (ιλύ από βιολογικό καθαρισμό κτλ.). Ιδιαίτερα σημαντική κρίνεται η περαιτέρω έρευνα στο τομέα των βαρέων μετάλλων, είτε μέσω της μελέτης των διαφορετικών μορφών που λαμβάνουν κατά την κομποστοποίηση, είτε μέσω της αποτύπωσης και εξέτασης μεθόδων εξευγενισμού της ιλύος από τα περιεχόμενα μέταλλα, που αποτελούν και τον σημαντικό ανασταλτικό παράγοντα της συνολικής διεργασίας.

8. Βιβλιογραφία

ΕΛΛΗΝΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Γεωργιοπούλου, Γ.Μ. (2007) *Ανάπτυξη μεθόδων για την επιλογή της καλύτερης διαθέσιμης τεχνολογίας για την επεξεργασία υγρών βιομηχανικών αποβλήτων*. Διδακτορική διατριβή. Πανεπιστήμιο Πάτρας.

Γκάργκουλας, Ν. (2002) *Ολοκληρωμένη πρόληψη και έλεγχος της ρύπανσης στη βιομηχανία (IPPC)*. Παρουσίαση. Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος. Αθήνα.

Επιτροπή των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων (2001) *Πράσινη βίβλος σχετικά με την ολοκληρωμένη πολιτική προϊόντων*. Βρυξέλλες.

Ευρωπαϊκή Επιτροπή (2003) Έγγραφο αναφοράς σχετικά με τις Βέλτιστες Διαθέσιμες Τεχνικές στη βιομηχανία των υφασμάτων. *Ολοκληρωμένη πρόληψη και έλεγχος της ρύπανσης*.

Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο (2008) *Οδηγία 2008/1/ΕΚ σχετικά με την ολοκληρωμένη πρόληψη και τον έλεγχο της ρύπανσης*. Στρασβούργο.

Ημερησία (26 Οκτωβρίου 2012) Κλωστοϋφαντουργία: Με ρυθμό πάνω από 20% μειώνεται η παραγωγή το 2012. *Ημερησία*. Ηλεκτρονική μορφή:

<http://www.imerisia.gr/article.asp?catid=26524&subid=2&pubid=112940945>

ΙΟΒΕ (2010), *Δελτίο τύπου* από το Ίδρυμα Οικονομικών & Βιομηχανικών Ερευνών, Γ. Μανιάτης

Κέρδος (2012) Μέτρα ενίσχυσης των κλωστοϋφαντουργών ζητά από τον πρωθυπουργό ο συλλογικός τους φορέας, *Κέρδος «News Room»*. Ηλεκτρονική μορφή:

<http://www.kerdos.gr/default.aspx?id=1889768&nt=103>

Κιμούλη, Μ. (n.d.) *Παρασκευή δειγμάτων για το φωτονικό μικροσκόπιο–Μικροσκοπική εξέταση νωπού–παρασκευάσματος–Είδη χρώσεων μικροβίων και διαγνωστικές εφαρμογές*. Μικροβιολογικό εργαστήριο Ι. Γ. Ρούτσια. Ηλεκτρονική μορφή:

<http://www.routsias->

[lab.gr/files/Download/%CE%9C%CE%B9%CE%BA%CF%81%CE%BF%CF%83%CE%BA%CE%BF%CF%80%CE%B9%CE%BA%CE%AE%20%CE%B5%CE%BE%CE%AD%CF%84%CE%B1%CF%83%CE%B7.pdf](http://www.routsias-lab.gr/files/Download/%CE%9C%CE%B9%CE%BA%CF%81%CE%BF%CF%83%CE%BA%CE%BF%CF%80%CE%B9%CE%BA%CE%AE%20%CE%B5%CE%BE%CE%AD%CF%84%CE%B1%CF%83%CE%B7.pdf)

Λοϊζίδου, Μ. (2011) *Εργαλεία Διασφάλισης Περιβαλλοντικής Ποιότητας*. Σημειώσεις στο μάθημα «Διαχείριση και έλεγχος περιβάλλοντος». Μονάδα Περιβαλλοντικής Επιστήμης & Τεχνολογίας. Σχολή Χημικών Μηχανικών. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Κωτσοβίνος, Ν., Γκράτζιου, Μ. (n.d.) *Ενεργός ύψς. Εγκαταστάσεις καθαρισμού λυμάτων Ι*. Σημειώσεις μαθήματος. Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών. Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης. Ηλεκτρονική μορφή:

<http://diocles.civil.duth.gr/links/home/veltiomeno/nees/KatharismosLimaton/energosisilis.pdf>

Ντακαράς, Ε. (2010) Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων. *Διεργασίες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων*. Θεσσαλονίκη, Τομέας Υδραυλικής & Μηχανικής Περιβάλλοντος, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

Ντακαράς, Ε. (2006) *Επεξεργασία βιομηχανικών αποβλήτων*. Θεσσαλονίκη, Τομέας Υδραυλικής & Μηχανικής Περιβάλλοντος, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

Πέππας, Θ., Βασιλειάδης, Σ. (2003) *Τεχνολογία Βαφής και Φινιρίσματος: Εισαγωγή στην Κλωστοϋφαντουργία*, Τόμος 4^{ος}, Αθήνα.

ΣΕΠΕΕ (Σύνδεσμος Επιχειρήσεων Πλεκτικής - Ετοιμού Ενδύματος Ελλάδος) Θετικά σημάδια στις εξαγωγές ένδυσης – κλωστοϋφαντουργίας. *GreekFashion Magazine*. Ηλεκτρονική μορφή:

<http://www.greekfashion.gr/default.asp?pid=10&newsID=191&la=1>

ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Adhikari, B.K., Barrington, S., Martinez, J., King, S. (2008) *Characterization of food waste and bulking agent for composting*. *Waste Manage.* 28, 795–804.

Barrena, G., Vázquez Lima, F., Gordillo Bolasell, M.A., Gea, T., Sánchez Ferrer, A. (2005) *Respirometric assay at fixed and process temperatures to monitor composting process*. *Bioresource Technol.* 96, 1153–1159.

Barrington, S., Choinière, D., Trigui, M., Knight, W. (2003.) *Compost convective airflow under passive aeration*. *Bioresour. Technol.* 86, 259–266.

Beck-Friis, B., Smårs, S., Jönsson, H., Kirchmann, H. (2001) *Gaseous emissions of carbon dioxide, ammonia and nitrous oxide from organic household waste in a composting reactor under different temperatures regimes*. *Journal of Agricultural Engineering Research* 78, 423–430.

- Bertran, E.**, et al. (2004) *Composting winery waste: sludges and grape stalks*. *Bioresource Technology* 95.2: 203-208.
- Bipul** (2011) Apparel-Merchandising. *Different Dyeing Machines*. [Weblog]. [Online] Available from: <http://www.apparel-merchandising.com/2011/09/different-dyeing-machines.html>
- Bisschops, I.**, Spanjers, H. (2003) *Literature Review on Textile Wastewater Characterisation*, *Environmental Technology*, Vol. 24, pp 1399-1411
- Bueno, P.**, Tapias, R., López, F., Díaz, M.J. (2008) *Optimizing composting parameters for nitrogen conservation in composting*. *Bioresour. Technol.* 99, 5069-5077.
- Bueno, P.**, Yañez, R., Rivera, A., Díaz, M.J. (2009) *Modelling of parameters for optimization of maturity in composting trimming residues*. *Bioresour. Technol.* 100, 5859-5864.
- Bustamante, M.A.**, Paredes C., Marhuenda-Egea F.C., Perez-Espinosa A., Bernal, M.P., Moral, R. (2008) *Co-composting of distillery wastes with animal manures: Carbon and nitrogen ransformations in the evaluation of compost stability*. *Chemosphere* 72, 551–557.
- Calloni, L.** (2007) *Hydraulic control circuit for a fabric treatment jigger*, EP 1264924 (Patent)
- Carliell, C.M.**, Barclay, S.J., Naidoo, N., Buckley, C.A., Mulholland, D.A., Senior, E. (1995) *Microbial decolourisation of a reactive azo dye under anaerobic conditions*, *Water SA* 21 (1)
- Carr, C.** (1995) *Chemistry of the Textiles Industry*, Blackie Academic & Professional.
- Cayuela, M.L.**, Sánchez-Monedero, M.A., Roig, A., Sinicco, T., Mondini, C. (2012) *Biochemical changes and GHG emissions during composting of lignocellulosic residues with different N-rich by-products*. *Chemosphere* 88, 196–203.
- CCQC** (California Compost Quality Council) (2001) Compost maturity index. Online. Available in: <http://www.calrecycle.ca.gov/organics/products/quality/comp maturity.pdf> [Last Access: 19.10.2013]
- Cekmecelioglu, D.**, Demirci, A., Graves, R.E., Davitt, N.H. (2005) *Applicability of optimised in-vessel food waste composting for windrow systems*. *Biosyst. Eng.* 91, 479–486.
- Chang, J.I.**, Chen, Y.J. (2010) *Effects of bulking agents on food waste composting*. *Bioresour. Technol.* 101, 5917-5924.
- Chang, J.I.**, Hsu, T.-E. (2008). *Effects of compositions on food waste composting*. *Bioresource Technol.* 99 (17), 8068–8074.

Chefetz, B., Hatcher, P.G., Hadar, Y., Chen, Y. (1996) *Chemical and biological characterization of organic matter during composting of municipal solid waste*. J. Environ. Qual. 25, 776–785.

Ciavatta, C., Govi, M., Pasotti, L., Sequi, P. (1993) *Changes in organic matter during stabilization of compost from municipal solid wastes*. Bioresource Technol. 43, 141–145.

Clark, M. (2011) *Handbook of Textile and Industrial Dyeing*, Vol. 1, Woodhead Publishing Limited.

Danti Paolo Company, *Technology of Shearing*, Textile Finishing Machinery, Italy. [Online]. Available from: <http://www.danti.it> [Last Access: 8th September 2013]

Delgado-Rodríguez, M., Ruiz-Montoya, M., Giraldez, I., Cabeza, I.O., López, R., Díaz, M.J. (2010) *Effect of control parameters on emitted volatile compounds in municipal solid waste and pine trimmings composting*. J. Environ. Sci. Health 45, 855-862.

Domínguez, J., Edwards, C.A., Subler, S. (1997) *A comparison of composting and vermicomposting*. Biocycle 4, 57–59.

Dorado, A.D., Lafuente, F.J., Gabriel, D., Gamisans, X. (2010) *A comparative study based on physical characteristics of suitable packing materials in biofiltration*. Environ. Technol. 31, 193-204.

Doublet, J., Francou, C., Poitrenaud, M., Houot, S. (2011) *Influence of bulking agents on organic matter evolution during sewage sludge composting; consequences on compost organic matter stability and N availability*. Bioresour. Technol. 102, 1298-1307.

Eftoda, G., McCartney, D., 2004. *Determining the critical bulking agent requirement for municipal biosolids composting*. Compost Sci. Util. 12, 208-218.

Ekinci, K., Keener, H.M., Elwell, D.L. (2000) *Composting short paper fiber with broiler litter and additives*. Compos. Sci. Util. 8, 160–172.

Energy Manager Training (n.d.), Bureau of Energy Efficiency. *Textile Process*. [Online]. Available from: <http://www.emt-india.net/process/textiles/Textilep.htm>, http://www.energymanagertraining.com/bee_draft_codes/best_practices_manual-DRYERS.pdf [Last Access: 08.09.2013]

Fernandez, F.J., et al. (2008) *Evaluation of carbon degradation during co-composting exhausted grape marc with different biowastes*. Chemosphere 73.5, 670-677.

Fornes, F., Mendoza-Hernández, D., García-de-la-Fuente, R., Abad, M., Belda, R.M. (2012) *Composting versus vermicomposting: A comparative study of organic matter evolution through straight and combined processes*. *Bioresource Technology* 118, 296–305.

Gali, E., et al. (1997) *Olive-mill wastewater composting: microbiological aspects*. *Waste management & Research* 15.3, 323-330.

Gao, M.C., Li, B., Yu, A., Liang, F.Y., Yang, L.J., Sun, Y.X., 2010. *The effect of aeration rate on forced-aeration composting of chicken manure and sawdust*. *Bioresour. Technol.* 101, 1899–1903.

Gaur, A.C. (1987) *Recycling of organic wastes by improved techniques of composting and other methods*. *Resources, Conservation and Recycling* 13, 157–174.

Gea, T., Barrena, R., Artola, A., Sánchez, A. (2007a) *Optimal bulking agent particle size and usage for heat retention and disinfection in domestic wastewater sludge composting*. *Waste Manage. (Oxford)* 27, 1108-1116.

Gea, T., et al. (2007b) *Co-composting of sewage sludge: Fats mixtures and characteristics of the lipases involved*. *Biochemical engineering Journal* 33.3, 275-283.

Gillett, J.W. (1992) *Issues in risk assessment of compost from municipal solid waste: occupational health and safety, public health, and environmental concerns*. *Biomass and Bioenergy* 3 (3–4), 145–162.

González, M., Gómez, E., Comese, R., Quesada, M., Conti, M. (2010) *Influence of organic amendments on soil quality potential indicators in an urban horticultural system*. *Bioresour. Technol.* 101, 8897–8901.

Govi, M., Ciavatta, C., Gessa, C. (1993) *Evolution of organic matter in sewage sludge: a study based on the use of humification parameters and analytical electrofocusing*. *Bioresource Technol.* 44, 175–180.

Grady, L., Daigger, G., Lim, H. (1999) *Aerobic digestion*. In: *Biological wastewater treatment*. 2nd edition. Marcel Dekker, Inc. USA.

Grigatti, M., Cavani, L., Ciavatta, C. (2007) *A multivariate approach to the study of the composting process by means of analytical electrofocusing*. *Waste Manage.* 27, 1072–1082.

Grigatti, M., Cavani, L., Ciavatta, C. (2011) *The evaluation of stability during the composting of different starting materials: Comparison of chemical and biological parameters*. *Chemosphere* 83, 41–48.

- Guo**, R., Li, G.X., Jiang, T., Schuchardt, F., Chen, T.B., Zhao, Y.Q., Shen, Y.J. (2012) *Effect of aeration rate, C/N ratio and moisture content on the stability and maturity of compost*. *Bioresour. Technol.* 112, 171–178.
- Habart**, J., Tlustos, P., Hanc, A., Svehla, P., Vána, J., Tluka, P., Jelínek, F. (2010) *The role of aeration intensity, temperature regimes and composting mixture on gaseous emission during composting*. *Compost Sci. Util.* 18, 194-200.
- Hassan**, M.A., Idris, A., Ariff, A., Abdul Karim, M.I., Abdul Razak, A.R., Baharum, Z. (2001) *Cocomposting of sewage sludges and municipal solid wastes*. Research on sludge. Final report. Indah Water Konsortium and Universiti Putra. Malaysia.
- Haug**, R.T. (1980) *Compost engineering principle and practice*. Ann Arbor Publisher, Inc. Michigan.
- Haug**, R.T. (1993) *The Practical Book of Compost Engineering*. Lewis Publishers, Boca Raton.
- Haug**, R.T., Ellsworth, W.F. (1991) *Measuring compost substrate degradability*. *Biocycle* 32, 56-60, 62.
- Hellebrand**, H.J. (1998) *Emission of nitrous oxide and other trace gases during composting of grass and green waste*. *J. Agric. Eng. Res.* 69, 365–375.
- Huang**, G.F., Wong, J.W.C., Wu, Q.T., Nagar, B.B. (2004) *Effect of C/N on composting of pig manure with sawdust*. *Waste Manage.* 24, 805–813.
- Hsu**, J.H., Lo, S.L. (2001) *Effect of composting on characterization and leaching of copper, manganese, and zinc from swine manure*. *Environ. Pollut.* 114, 119–127.
- Huet**, J., Druilhe, C., Trémier, A., Benoist, J.C., Debenest, G. (2012) *The impact of compaction, moisture content, particle size and type of bulking agent on initial physical properties of sludge-bulking agent mixtures before composting*. *Bioresour. Technol.* 114, 428–436.
- Hwang**, S., Hanaki, K. (2000) *Effects of oxygen concentration and moisture content of refuse on nitrification, denitrification and nitrous oxide production*. *Bioresour. Technol.* 71, 159-165.
- Iannotti**, D.A., Grebus, M.E., Toth, B.L., Madden, L.V., Hoitink, H.A.J. (1994) *Oxygen respirometry to assess stability and maturity of composted municipal solid waste*. *J. Environ. Qual.* 23, 1177–1183.
- Idris**, A., Saed, K., Hung, Y.T. (2010) Biotreatment of sludge and reuse. In: Wang, L., Tay, Joo-Hwa, Tay, S. Tiong-Lee, Hung, Yung-Tse. *Environmental Bioengineering*. Handbook of environmental engineering, Volume 11. Humana Press. USA.

Illa, J., Sole-Mauri, F. (2008) Modeling the composting process: coupling physical and biological processes. In: Huerta, O., Lopez, M., Martinez, F. (Eds.), *Proceso y destino del compost, formación, información e interrelaciones entre los agentes del sector*. Red Española de Compostaje, Spain.

Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques (n.d.) *Fabric in rope form*. [Online]. Available from:

http://www.ineris.fr/ippc/sites/default/interactive/bref_text/breftext/anglais/bref/BREF_tex_gb55.html [Last Access: 08.09.2013]

IPPC (2003), *Reference Document on Best Available Techniques for the Textiles Industry*, Integrated Pollution Prevention and Control.

Iqbal, K.M., Shafiq, T., Ahmed, K. (2010) *Characterization of bulking agents and its effects on physical properties of compost*. *Bioresour. Technol.* 101, 1913–1919.

Ishii, K., Fukui, M., Takii, S. (2000) *Microbial succession during a composting process as evaluated by denaturing gradient gel electrophoresis analysis*. *Journal of Applied Microbiology* 89, 768–777.

Ishii, K., Takii, S. (2003) *Comparison of microbial communities in four different composting processes as evaluated by denaturing gradient gel electrophoresis analysis*. *Journal of Applied Microbiology* 95, 109–119

Jeong, Y.K., Kim, J.S. (2001) *A new method for conservation of nitrogen in aerobic composting processes*. *Bioresour. Technol.* 79, 129–133.

Jiang, T., Schuchardt, F., Li, G., Guo, R., Zhao, Y. (2011) *Effect of C/N ratio, aeration rate and moisture content on ammonia and greenhouse gas emission during the composting*. *J. Environ. Sci.* 23, 1754–1760.

Kehres, B. (1992) New standards and compost quality in the federal republic of Germany: the standards, the organisation for control, acceptance in practice. In: Jackson, D.V., Merillot, J.M., L' Hermite, P. (Eds.) *Composting and Compost Quality Assurance Criteria*. Commission of the European Communities. Luxembourg, pp. 184–187.

Klammer, M., Baath, E. (1998) *Microbial community dynamics during composting of straw material studied using phospholipid fatty acid analysis*. *FEMS Microbiology Ecology* 27, 9–20.

Komilis, D.P., Ham, R.K., Park, J.K. (2004) *Emission of volatile organic compounds during composting of municipal solid wastes*. *Water Res.* 38, 1707–1714.

- Körner**, I., Braukmeier, J., Herrenklage, J., Leikam, K., Ritzkowski, M., Schlegelmilch, M., Stegmann, R. (2003) *Investigation and optimization of composting processes - test systems and practical examples*. Waste Manage. (Oxford) 23, 17-26.
- Križanec**, B., Majcen, A., Vončina, E., Brodnjak, D. (2005) *Presence of dioxins in textile dyes and their fate during the dyeing processes*, Acta Chimica Slovenica, Vol. 52, pp. 111-118.
- Kulkarni**, S. et al. (1985) *Textiles Dyes and Dyeing Equipment: Classification, Properties and Environmental Aspects*, US Environmental Protection Agency.
- Kumar**, M., Ou, Y.L., Lin, J.G. (2010) *Co-composting of green waste and food waste at low C/N ratio*. Waste Manage. 30, 602–609.
- Lasaridi**, K.E. (1998) *Compost stability: a comparative evaluation of respirometric techniques*. PhD Thesis. Department of Civil Engineering. University of Leeds. Leeds, UK.
- Lasaridi**, K.E., Stentiford, E.I. (1998) *A simple respirometric technique for assessing compost stability*. Water Res. 32, 3717–3723.
- Lazcano**, C., Gómez-Brandón, M., Domínguez, J. (2008) *Comparison of the effectiveness of composting and vermicomposting for the biological stabilization of cattle manure*. Chemosphere 72, 1013–1019.
- Liang**, Y. (2000) *Nitrogen retention in the high stage of composting*. Ph.D. Dissertation, University of Alberta, Edmonton, Alberta, Canada.
- Liang**, C., Das, K.C., McClendon, R.W. (2003) *The influence of temperature and moisture contents regimes on the aerobic microbial activity of a biosolids composting blend*. Bioresour. Technol. 86, 131–137.
- Liang**, X., Ning, X., Chen, G., Lin, M., Liu, J., Wang, Y. (2013) *Concentrations and speciation of heavy metals in sludge from nine textile dyeing plants*. Ecotoxicology and Environmental Safety 98, 128-134.
- Lin**, C. (2008) *A negative-pressure aeration system for composting food wastes*. Bioresour. Technol. 99, 7651–7656.
- López**, R., Cabeza, I.O., Giráldez, I., Díaz, M.J. (2011) *Biofiltration of composting gases using different municipal solid waste-pruning residue composts: monitoring by using an electronic nose*. Bioresour. Technol. 102, 7984-7993.
- Lores**, M., Gómez-Brandón, M., Pérez, D., Domínguez, J. (2006) *Using FAME profiles for the characterization of animal wastes and vermicomposts*. Soil Biol. Biochem. 38, 2993–2996.

- Lu, L.G., Imai, T., Li, H.F., Ukita, M., Sekine, M., Higuchi, T. (2001)** *Effect of enforced aeration on in-vessel food waste composting*. Environ. Technol. 22, 1177–1182.
- Madejón, E., Jesús Díaz, M., López, R., Cabrera, F., 2002.** New approaches to establish optimum moisture content for compostable materials. Bioresour. Technol. 85, 73-78.
- Majcen, A., Križanec, B., Vajnhandl, S., Volmajer, J. (n.d.)** *Textile Finishing Industry as an Important Source of Organic Pollutants*, Faculty of Mechanical Engineering, University of Maribor, Environmental Protection Institute, Slovenia.
- Mari, I., et al. (2003)** *Respiration profiles in monitoring the composting of by-products from the olive oil agro-industry*. Bioresource Technology 87.3: 331-336.
- Mengchun, G., Fangyuan, L., An, Y., Bing L., Lijuan, Y. (2010)** *Evaluation of stability and maturity during forced-aeration composting of chicken manure and sawdust at different C/N ratios*. Chemosphere 78, 614–619.
- Moore, S., Ausley, L. (2003)** *Systems thinking and green chemistry in the textile industry: concepts, technologies and benefits*.
- Morgan-Sagastume, J.M., Noyola, A. (2006)** *Hydrogen sulfide removal by compost biofiltration: effect of mixing the filter media on operational factors*. Bioresour. Technol. 97, 1546-1553.
- Murillo, J.M., Cabrera, F., López, R. (1997)** *Response of clover Trifolium fragiferum L. cv. 'Salina' to a heavy urban compost application*. Compost Sci. Util. 5, 15-25.
- Nakasaki, K., Akiyama, T. (1988)** *Effects of seeding on thermophilic composting of household organic waste*. J. Ferment. Technol. 66, 37–42.
- Needles, H. (1986)** *Textiles Fibers, Dyes, Finishes and Processes: A Concise Guide*. University of California. Noyes Publications, USA.
- Ndegwa, P.M., Thompson, S.A. (2001)** *Integrating composting and vermicomposting in the bioconversion of biosolids*. Bioresour. Technol. 76, 107–112.
- Ngo, T.N., Rumpel, C., Dignac, M.F., Billou, D., Jouquet, P. (2011)** *Transformation of buffalo manure by composting or vermicomposting to rehabilitate degraded tropical soils*. Ecol. Engineer. 37, 269–276.
- Nogueira, W.A., Nogueira, F.N., Devens, D.C. (1999)** *Temperature and pH control in composting of coffee and agricultural wastes*. Water Science and Technology 40.1, 113-119.

Ostos, J.C., López-Garrido, R., Murillo, J.M., López, R. (2008) *Substitution of peat for municipal solid waste- and sewage sludge-based composts in nursery growing media: effects on growth and nutrition of the native shrub Pistacia lentiscus L.* Bioresour. Technol. 99, 1793-1800.

Pagans, E., Barrena, R., Font, X., Sanchez, A. (2005) *Ammonia emissions from the composting of different organic wastes: Dependency on process temperature.* Chemosphere 62, 1534–1542.

Paredes, C., Bernal, M.P., Cegarra, J., Roig, A. (2002) *Bio-degradation of olive mill wastewater sludge by its co-composting with agricultural wastes.* Bioresource Technology 85, 1–8.

Parvathi, C., Maruthavanan, T., Prakash, C. (2009) *Environmental impacts of textile industries, The Indian Textile Journal.* [Online]. Available from:

<http://www.indiantextilejournal.com/articles/FAdetails.asp?id=2420>

Paul, J. (2008) *Carbon Credits from Composting: Is Nitrous Oxide Emission a Lurking Laughing Monster?* [Online]. Available from:

<http://www.transformcompostsystems.com/articles/Nitrous%20Oxide%20Emission%20During%20Composting%20March%202008.pdf> [Last Access: 09.11.2013]

Pohjola, P. (n.d.) *Operating Instructions. L&T Compomate indoor composter.*

Raichura, A., McCartney, D. (2006) *Composting of municipal biosolids: effect of bulking agent particle size on operating performance.* J. Environ. Eng. Sci. 5, 235–241.

Rasapoor, M., Nasrabadi, T., Kamali, M., Hoveidi, H., 2009. *The effects of aeration rate on generated compost quality, using aerated static pile method.* Waste Manage. 29, 570–573.

Ruggieri, L., et al. (2008) *Biodegradation of animal fats in a co-composting process with wastewater sludge.* International Biodeterioration & Biodegradation 62.3: 297-303.

Saatci, Y., Arslan, E.I., Konar, V. (2003) *Removal of total lipids and fatty acids from sunflower oil factory effluent by uasb reactor.* Bioresource Technology 87.3: 269-272.

Sasaki, N., et al. (2003) *Effects of C/N ratio and pH of raw materials on oil degradation efficiency in a compost fermentation process.* Journal of Bioscience and Bioengineering 96.1: 47-52.

Schindler, W., Hauser, P. (2004) *Chemical Finishing of Textiles*, Woodhead Publishing Limited

Seo, J.Y., Heo, J.S., Kim, T.H., Joo, W.H., Crohn, D.M. (2004) *Effect of vermiculite addition on compost produced from Korean food waste.* Waste Manage. 24, 981–987.

- Stentiford**, E.I. (1996) Composting control: principles and practice. In: de Bertoldi, M., Sequi, P., Lemmes, B., Papi, T. (Eds.), *The Science of composting*, Part 1. Blackie, Glasgow, pp. 56–59.
- Stoffella**, P.J., Kahn, B.A. (2005) *Utilización de Compost en los Sistemas de Cultivo Hortícola*. Ediciones Mundi-Prensa, Spain.
- Supreme Perlite Company** (n.d.) *Uses of perlite*. [Online]. Available from: <http://www.perlite.com/> [Last Access: 25.10.2013]
- Swan**, L. (1995) *Pollution Prevention in Textile Industries*, Industrial Pollution Prevention Handbook, McGraw-Hill, US Environmental Protection Agency.
- Tanveer**, H. (2008) *Singeing fundamentals*. [Online]. Available from: <http://www.fibre2fashion.com/industry-article/13/1226/singeing-fundamentals2.asp> [Published 08.07.2008]
- The Sanforized Company** (n.d.) *Sanforized & Sanfor Trademark*. [Online]. Available from: <http://www.sanforized.biz/BrchreEng.pdf> [Last Access: 08.09.2013]
- Tchobanoglous**, G., Burton, F., Stensel, D. (2003) *Wastewater Engineering, Treatment and Reuse*. 4th Edition. Metcalf & Eddy, Inc.
- Tognetti**, C., Mazzarino, M.J., Laos, F. (2007a) *Cocomposting biosolids and municipal organic waste: effects of process management on stabilization and quality*. *Biology and fertility of soils* 43.4: 387-397.
- Tognetti**, C., Mazzarino, M.J., Laos, F. (2007b) *Improving the quality of municipal organic waste compost*. *Bioresource Technology* 98.5: 1067-1076.
- Tontti**, T., Heinonen-Tanski, H., Karinen, P., Reinikainen, O., Halinen, A. (2010) *Maturity and hygiene quality of composts and hygiene indicators in agricultural soil fertilised with municipal waste or manure compost*. *Waste Manage. Res.* Doi: 10.1177/0734242X10361511.
- Van der Bruggen**, B., Curcio, E., Drioli, E., (2004) *Process intensification in the textile industry: the role of membrane technology*, *Journal of Environmental Management* 73, pp. 267–274.
- Veijalainen**, A.M. (2007) *Sustainable Organic Waste Management in Tree-seedling Production*, vol. 217. *Natural and Environmental Sciences. Doctoral Dissertation*. Kuopio University Publications C, p. 114.

- Verdonck, O.** (1998) *Compost from organic waste materials as substitute for the usual horticultural substrate*. *Biol. Waste* 26:325–330.
- Wiesmann, U., Choi, In Su, Dombrowski, E.M.** (2007) *Wastewater Characterization and Regulations. Fundamentals of Biological Wastewater Treatment*. Weinheim, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA
- Woodard & Curran Inc.** (2006) *Methods for treating wastewaters from industry, Solid waste treatment and disposal*. In: *Industrial Waste Treatment Handbook*. 2nd edition. USA.
- Wun Jern, NG** (2006) *Introduction*. In: *Industrial Wastewater Treatment*. London, Imperial College Press.
- Yañez, R., Bueno, P., Rivera, A., García-Barneto, A., Díaz, M.J.,** 2010. *Selective organic compounds degradation under controlling composting conditions*. *Waste Manage. (Oxford)* 30, 755-763.
- Yu, H., Huang, G.H.** (2009) *Effect of sodium as a PH control amendment on the composting of food waste*. *Bioresour. Technol.* 100, 2005–2011.
- Zhang, Y.M., Huang, G.H., He, L.** (2011) *An inexact reverse logistics model for municipal solid waste management systems*. *J. Environ. Manage.* 92, 522-530.
- Zheng, G.D., Gao, D., Chen, T.B., Luo, W.** (2007) *Stabilization of nickel and chromium in sewage sludge during aerobic composting*. *Journal of Hazardous Materials* 142:216–221.
- Zhu, N.** (2007) *Effect of low initial C/N ratio on aerobic composting of swine manure with rice straw*. *Bioresour. Technol.* 98, 9–13.
- Zmora-Nahum, S., Markovitch, O., Tarchitzky, J., Chen, Y.** (2005) *Dissolved organic carbon (DOC) as a parameter of compost maturity*. *Soil Biol. Biochem.* 37, 2109–2116.
- Zorpas, A., Arapoglou, D., Panagiotis, K.** (2003) *Waste paper and clinoptilolite as a bulking material with dewatered anaerobically stabilized primary sewage sludge (DASPSS) for compost production*. *Waste Manag.* 23, 27–35.