



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΊΔΡΥΜΑ

ΚΡΗΤΗΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΣΤΕΡΕΩΝ ΥΠΟΛΛΕΙΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΥΓΡΩΝ
ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Απομάκρυνση οσμών υγρών αποβλήτων με χρήση βιολογικών
φίλτρων»



ΑΝΔΡΕΔΑΚΗ ΕΜΜΑΝΟΥΕΛΑ

ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ: ΦΟΥΝΤΟΥΛΑΚΗΣ ΜΙΧΑΗΛ

ΗΡΑΚΛΕΙΟ

ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ 2010

Περιεχόμενα

Περιεχόμενα.....	
Εισαγωγή	4.
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	
ΟΣΜΑΕΡΙΑ – ΠΗΓΕΣ ΟΣΜΟΥΡΥΠΑΝΣΗΣ	5.
1.1 Υδρόθειο	
1.1.1 Ιδιότητες υδρόθειου	
1.1.2 Παραγωγή υδρόθειου	
1.1.3 Μέθοδοι απομάκρυνσης υδρόθειου	10
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΟΣΜΟΥΡΥΠΑΝΣΗΣ	
2.1 Συστήματα θερμικών διεργασιών	
2.2 Συστήματα προσρόφησης αερίων σε σταθεροποιημένη κλίνη.....	14.
2.3 Συστήματα απορρόφησης αερίων	14.
2.4 Βιολογικά συστήματα ελέγχου οσμоруπανσης	16.
2.5 Τύποι βιολογικών συστημάτων ελέγχου αέριας ρύπανσης	16.
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	
ΒΙΟΦΙΛΤΡΑ	19.
3.1 Αρχή λειτουργίας	
3.2 Σχεδιαστικές αρχές	
3.2.1.Απόδοση απομάκρυνσης RE	
3.2.2.Χρόνος παραμονής στην κενή κλίνη	
3.2.3.Επιφανειακή φόρτιση SL.....	
3.2.4.Ογκομετρική φόρτιση VL.....	
3.2.5.Ικανότητα εξάλειψης	
3.3 Παράμετροι σχεδιασμού & απαιτούμενες συνθήκες λειτουργίας	29
3.3.1.Επιλογή πληρωτικού υλικού	30.

3.3.2.Περιεχόμενη υγρασία κλίνης & αέρα	
3.3.3.Θερμοκρασία	
3.3.4.PH	
3.3.5.Πτώση πίεσης κατά μήκος του βιοφίλτρου	
3.3.6.Ανάπτυξη- Κατάπτυξη ροή	
3.4.Πειραματικά αποτελέσματα	
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ & ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	40
4.1 Εισαγωγή	
4.2 Περιγραφή βιολογικού φίλτρου.....	
4.3.Αποτελέσματα μετρήσεων απομάκρυνσης υδρόθειου από βιολογικό φίλτρο.....	
4.4 Μέτρηση υγρασίας	
4.4.1 Εισαγωγή	
4.4.2.Συσκευές	
4.4.3.Διαδικασία	
4.4.4.Υπολογισμοί	
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	47

Εισαγωγή

Ο έλεγχος της εκπομπής αερίων ρύπων με τη χρήση βιοτεχνολογίας είναι ένα νέο επίπεδο έρευνας. Ιδιαίτερα σήμερα με τη πληθώρα των διεθνών, κρατικών και τοπικών νόμων και απαγορεύσεων για την ποιότητα του αέρα που συχνά επιβάλλουν συγκεκριμένες μειώσεις αερίων ρύπων για κάποια νέα εργοστασιακή μονάδα ή μονάδα περισυλλογής. Τα τελευταία χρόνια έχουν γίνει πολλές προσπάθειες για τη συλλογή δεδομένων σχετικά με την απόδοση των συστημάτων ελέγχου οσμών και εκπομπής αερίων ρύπων με τη χρήση βιοτεχνολογίας για να γίνει αξιολόγηση των διαφόρων βιοφίλτρων καθώς αυτές οι τεχνολογίες έχουν εξελιχθεί σημαντικά. Ειδικότερα τα δεδομένα για την απόδοση των συστημάτων αντιμετώπισης των οσμών έχουν συλλεχθεί από βιοφίλτρα που χρησιμοποιούν στερεά οργανικά και ανόργανα μέσα και από βιοπύργους που χρησιμοποιούν αδρανή ανόργανα μέσα. Τα αποτελέσματα έχουν δείξει ότι τα συστήματα αντιμετώπισης οσμών με τη χρήση βιοτεχνολογίας είναι μία βιώσιμη και αξιόπιστη τεχνολογία ικανή να επιτύχει σημαντική μείωση των επιπέδων H_2S καθώς και πολλών άλλων ενώσεων που προκαλούν άσχημες οσμές. Στις περισσότερες περιπτώσεις, μια συγκεκριμένη βιοτεχνολογική συσκευή είναι ικανή να αφαιρεί τις οσμές σε πολύ υψηλό επίπεδο, αλλά δεν είναι και τόσο ικανή στην αντιμετώπιση των άλλων αερίων ρύπων

Οι εκπομπές οσμοαερίων από παραγωγικές και περιβαλλοντικές εγκαταστάσεις υποβαθμίζουν αισθητά την ποιότητα της τοπικής ατμόσφαιρας. Η όχληση από οσμές στην ευρύτερη περιοχή των εγκαταστάσεων γίνεται ιδιαίτερα έντονη κατά τη θερινή περίοδο, όπου η θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι αυξημένη. Το πρόβλημα της οσμορύπανσης επιδεινώνεται επιπλέον αν επικρατούν αρνητικές συνθήκες κάθετης ή/και οριζόντιας διασποράς αερίων ρύπων. Η νομοθεσία σε διάφορες χώρες έχει προβλέψει ως ελάχιστη ακτινική απόσταση από την περίμετρο της πηγής, την τιμή 500 μέτρα (Héroux et al., 2004). Στη Γερμανία για παράδειγμα, η απόσταση αυτή ορίζεται στα 300 μέτρα από την περίμετρο της πηγής, (30.BimSchV, 2001), όπου εντός της εκτιμωμένης ζώνης όχλησης συνίσταται η αποφυγή οποιασδήποτε δραστηριότητας, οικιστικής, γεωργικής ή/και τουριστικής. Η λειτουργία συστημάτων απόσμησης καθίσταται επιτακτική ανάγκη στην περίπτωση γειτνίασης υφιστάμενων πηγών οσμορύπανσης με οικιστικές ή/ και τουριστικές ζώνες. Πρόσθετα η αποδοτική λειτουργία συστημάτων απόσμησης μπορεί να συμβάλλει στη μείωση της κοινωνικής αντίδρασης στη διαδικασία χωροθέτησης περιβαλλοντικών ή /και παραγωγικών εγκαταστάσεων κοντά σε κατοικημένες ή /και κατοικημένες περιοχές.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Οσμάερια –Πηγές οσμορύπανσης

Οι οσμές είναι ανόργανες ή οργανικές ενώσεις, με κύρια οσμάερια το υδρόθειο, τα οργανικά σουλφίδια καθώς και τις πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCs), χλωριωμένες ή μη. Τα οσμάερια παράγονται είτε από βιογενετικές πηγές κατά τη βιοαποδόμηση στερεών, υγρών και αέριων αποβλήτων, είτε κατά τις διάφορες χημικές διεργασίες στο στάδιο παραγωγής. Βιογενετικές πηγές θεωρούνται οι περιβαλλοντικές εγκαταστάσεις όπως, εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων, εγκαταστάσεις κομποστοποίησης, χοιροστάσια και βουστάσια, σταθμοί μεταφόρτωσης απορριμμάτων και βιομηχανίες τροφίμων. Μη βιογενετικές πηγές μπορούν να θεωρηθούν οι φαρμακευτικές βιομηχανίες, τα διυλιστήρια, οι βιομηχανίες τροφίμων, οι χημικές εγκαταστάσεις κ.λπ. Στον πίνακα 1 παρουσιάζονται αναλυτικά οι πηγές οσμορύπανσης στο περιβάλλον.

Το υδρόθειο είναι ο σημαντικότερος παραγωγός οσμής στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων με πολύ χαμηλό όριο ανίχνευσης οσμής, ίσο με την τιμή 0,5 ppb (0,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Η συγκέντρωση εκλυόμενου υδρόθειου σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων και βιομηχανίες τροφίμων κυμαίνεται από 4 έως 70 ppmv, ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις η συγκέντρωση υδρόθειου προσεγγίζει την τιμή 3000 ppmv. Από τη σύγκριση του ορίου ανίχνευσης με το εύρος τιμών του H_2S σε Ε.Ε.Λ, διαφαίνεται το μέγεθος του προβλήματος οσμορύπανσης στην ευρύτερη περιοχή των Ε.Ε.Λ. Η οσμορύπανση σχετίζεται με μειωμένη όρεξη για φαγητό, χαμηλότερη κατανάλωση νερού, εξασθενημένη αναπνοή, ναυτία, εμετική προδιάθεση, νευρική διαταραχή. Σε ακραίες καταστάσεις, οι ενοχλητικές οσμές μπορούν να αποτρέψουν επενδύσεις κεφαλαίου στην περιοχή, να επιφέρουν σταμάτημα ανάπτυξης και γενικότερα κοινωνικοοικονομική υποβάθμιση στην ευρύτερη περιοχή.

Πίνακας 1.: Πηγές οσμορύπανσης στο περιβάλλον, Yuwono et al., 2004.

Πηγή	Αέρια –παραγωγή οσμής
Χημικές και πετρελαϊκές βιομηχανίες	Υδρόθειο, διοξείδιο του θείου, αμμωνία, οργανικά οξέα, υδρογονάνθρακες, μερκαπτάνες, αλδεύδες
Ανόργανα χημικά (εδαφοβελτιωτικά, παραγωγή φωσφορικού άλατος, σόδας, ασβέστη, θειικού οξέος)	Αμμωνία, αλδεύδες, διοξείδιο του θείου, υδρόθειο.

Οργανικά χημικά (βαφές, πλαστικά, λάστιχα, σαπούνια, απορρυπαντικά)	Αμμωνία, αλδεΐδες, υδρόθειο, διοξείδιο του θείου, μερκαπτάνες, οργανικά οξέα υφάσματα)
Φαρμακευτική βιομηχανία	Αλδεΐδες, αρωματικές, φαινόλες, αμμωνία, κ.λπ.
Βιομηχανία ελαστικών, πλαστικών γυαλιού	Αμίνες, οξείδια του αζώτου, διαλυτικά, Αλδεΐδες, ακετόνη, φαινόλη, αλκοόλες κ.λπ.
Μονάδες κομποστοποίησης	Αμμωνία, θειούχες ενώσεις, τερπένια, αλκοόλες, εστέρες, αλδεΐδες, λιπαρά πτητικά οξέα
Χοιροστάσια-Βουστάσια	Αμμωνία, αλδεΐδες, υδρόθειο, αλκοόλες, N ₂ O
Εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων (Ε.Ε.Λ)	Υδρόθειο, μερκαπτάνες, αμμωνία, αμίνες, αλκοόλες.

Ο πίνακας 2 παρουσιάζει κατάλογο με τα κυριότερα οσμαέρια καθώς και περιγραφή της χαρακτηριστική οσμή τους. Σε Ε.Ε.Λ οι οσμηρές αυτές ενώσεις είναι βιογενετικές λόγω της αποδόμησης του οργανικού υλικού από μ/ο υπό αναερόβιες συνθήκες. Η ανάπτυξη αναερόβιων συνθηκών στις Ε.Ε.Λ ευνοείται σε αυξημένες θερμοκρασίες, υψηλό BOD, υψηλά επίπεδα θεικών και στην ύπαρξη αναγωγικού περιβάλλοντος. Οι αναερόβιες συνθήκες οδηγούν στην παραγωγή μεθανίου και υδρόθειου, αμμωνίας, μερκαπτάνης, αμυνών, ινδόλης και σκατόλης.

Πίνακας 2: Κύρια οσμαέρια, περιγραφή οσμής και όριο αντίχνευσης τους.

Χημική ένωση	Χημικός τύπος	Περιγραφή οσμής	Όριο αντίχνευσης ppm (v/v)
--------------	---------------	-----------------	----------------------------

Ακεταλδεΰδη	CH ₃ CHO	Έντονη, άρωμα φρούτου	0,067
Αμμωνία	NH ₃	Έντονη, ερεθιστική	47
Διαίθυλο-σουλφίδιο	C ₂ H ₅ C ₂ H ₅ S	Σκορδαλιά	0,001
Διμεθυλαμίνη	CH ₃ CH ₃ NH	Σάπιο, ιχθυοειδής	0,34
DMS	CH ₃ CH ₃ S	Αποσαθρωμένο λάχανο	0,001
Υδρόθειο	H ₂ S	Χαλασμένο αυγό	0,0005
Μεθυλική μερκαπτάνη	CH ₃ SH	Σάπιο, ιχθυοειδής	0,0005
Τριμεθυλαμίνη	CH ₃ CH ₃ CH ₃ N	Έντονη, ιχθυοειδής	0,0004

Ο πίνακας 3 παρέχει πληροφορίες σχετικά με το εύρος τιμών συγκεντρώσεων αέριων ρύπων σε Ε.Ε.Λ.

Πίνακας 3: Εύρος τιμών συγκεντρώσεων παραγόμενων αέριων ρυπαντών σε Ε.Ε.Λ.

<i>Αέριος ρύπος</i>	<i>Εύρος τιμών mg/m³</i>
H ₂ S	0,002 - 95 ppmv ή 0,01 - 200
Acetone	0,03 - 1,6
Toluene	0,077 - 2,3
Xylenes	0,18 - 1,3
DMS	0,02 - 8,8
DMDS	0,16 - 0,78
Mercaptans	0,16 - 3,8 ppm
Amines	2,5 - 6 ppm
Methanol	65
NH ₃	34 - 106 (σε μονάδα κομποστοποίησης)

1.1 Υδρόθειο

Το «υδρόθειο » ή «σουλφανίδιο» ή «υγροσουλφανίδιο» ή «σουλφανίδιο του υδρογόνου» είναι χημική ένωση του υδρογόνου και του θείου με χημικό τύπο H_2S . Είναι ένα άχρωμο, πολύ τοξικό και εύφλεκτο αέριο με τη χαρακτηριστική οσμή των κλούβιων αυγών. Είναι συχνά το αποτέλεσμα της αναερόβιας βακτηριακής αποικοδόμηση οργανικών ουσιών που περιέχουν θείο, σε έλη και αποχετεύσεις. Επίσης βρίσκεται στα ηφαιστειακά αέρια, στο φυσικό αέριο και στο νερό κάποιων πηγαδιών.

Ανακαλύφθηκε το 1773 από τον Γκιγιόμ Ρουέλ, ενώ η σύστασή του προσδιορίστηκε το 1777 από τον Κάρλ Σεελέ. Τη δεκαετία που πέρασε ανακαλύφθηκε ο σημαντικός ρόλος που παίζει σε μια σειρά διεργασιών στον ανθρώπινο οργανισμό, μεταξύ αυτών στον έλεγχο της αρτηριακής πίεσης και στη ρύθμιση του μεταβολισμού.

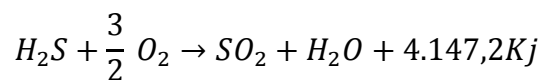
Λόγω της τοξικότητας του υδρόθειου, η βιολογική εξέλιξη έκανε τον άνθρωπο –που δεν διακρίνεται για την οξύτητα της αίσθησης της όσφρησης-να μπορεί να αντιλαμβάνεται την ύπαρξη του αερίου αυτού σε συγκεντρώσεις μόλις 0,0047 ppm. Στα 500 ppm, το υδρόθειο δυσκολεύει την αναπνοή ενώ η έκθεση σε συγκέντρωση 800 ppm επί πέντε λεπτά οδηγεί στο θάνατο.

1.1.1.Ιδιότητες υδρόθειου

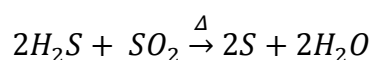
Το υδρόθειο είναι αέριο άχρωμο με δυσάρεστη οσμή. Χρησιμοποιείται στους $-60\text{ }^\circ\text{C}$ και στερεοποιείται στους $-80\text{ }^\circ\text{C}$. Επίσης υπό πίεση 17Atm είναι δυνατή η υγροποίηση του και στους $18\text{ }^\circ\text{C}$. Είναι διαλυτό στο νερό και στην αιθυλική αλκοόλη.

Είναι λίγο βαρύτερο από τον ατμοσφαιρικό αέρα.(Μοριακή μάζα υδρόθειου = 34,082 amu έναντι μέσης μοριακής μάζας ατμοσφαιρικού αέρα $\sim 28,8$ amu).

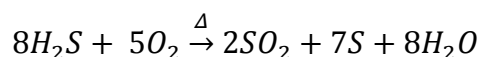
Ένα μίγμα υδρόθειου –αέρα είναι αναφλέξιμο. Το υδρόθειο καίγεται με το οξυγόνο με γαλάζια φλόγα σχηματίζοντας διοξείδιο του θείου (SO_2) και νερό :



Γενικά δρα σαν ένα αναγωγικό αντιδραστήριο. Σε υψηλή θερμοκρασία ή με παρουσία καταλυτών ανάγει το διοξείδιο του θείου σχηματίζοντας στοιχειακό θείο και νερό :



Αυτό είναι εκμεταλλεύσιμο με τη μέθοδο Claus που είναι η κύρια μέθοδος μετατροπής υδρόθειου (και ομοίως θειολών)σε στοιχειακό θείο:



1.1.2. Παραγωγή υδρόθειου.

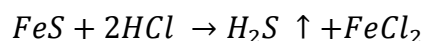
Το υδρόθειο μπορεί να σχηματιστεί (αποδεσμευτεί) από κάθε είδους υγρό απόβλητο. Τη σημαντικότερη όμως πηγή θείου για το σχηματισμό του υδρόθειου, κάτω από αναερόβιες συνθήκες αποτελούν οι θειούχες ενώσεις οι οποίες προέρχονται από τις οικιακές αποχετεύσεις και καταλήγουν στους αποχετευτικούς αγωγούς των αστικών λημμάτων. Οποσδήποτε όμως σημαντική πηγή θεικών αποτελούν τα υγρά απόβλητα από βιομηχανίες και βιοτεχνίες τροφίμων όπου το ποσοστό λευκωμάτων είναι υψηλό και τα οποία πολύ γρήγορα διασπώνται με συνέπεια την αποδέσμευση μεγάλων ποσοτήτων υδρόθειου. Στον πίνακα 4 καταγράφεται η περιεκτικότητα σε θειάφι σε μερικά τρόφιμα από τα οποία και αποδεσμεύεται αργότερα.

Πίνακας 4. Περιεκτικότητα θείου σε μερικά τρόφιμα

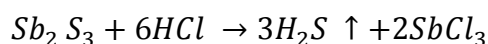
Τρόφιμα	Περιεκτικότητα Θείου
Τυροκομικά	250 mg s/kg
Πατάτα	340 mg s/kg
Κρεμμύδι	510 mg s/kg
Καφές	600 mg s/kg
Δημητριακά	800 mg s/kg
Ρύζι	1000 mg s/kg
Ψάρι	2300 mg s/kg
Ζύμη	3000 mg s/kg
Μπύρα	160 mg s/kg

Το υδρόθειο εργαστηριακά παρασκευάζεται:

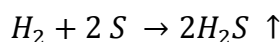
1. Με επίδραση αραιού υδροχλωρικού οξέος (HCl) σε θειούχο σίδηρο II (FeS):



2. Για καθαρότερη όμως λήψη υδρόθειου χρησιμοποιείται περισσότερο το θειούχο αντιμόνιο (Sb₂S₃) αντί του FeS:



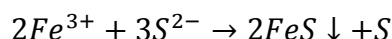
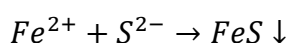
3. Παρασκευάζεται επίσης και με απευθείας ένωση υδρογόνου με ατμούς θείου :



1.1.3 Μέθοδοι απομάκρυνσης υδρόθειου.

Οι μέθοδοι που εφαρμόζονται μέχρι σήμερα για την καταστολή της δυσσομίας και την αποτροπή φαινομένων διάβρωσης επιδιώκουν τη βιολογική και χημική οξείδωση ή την κατακρήμνιση του παραγόμενου διαλυτού υδρόθειου με προσθήκη ισχυρών οξειδωτικών ή κατάλληλων αλάτων, αντίστοιχα. Δηλαδή οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται δεν προλαμβάνουν το πρόβλημα αλλά το αντιμετωπίζουν μετά την εμφάνιση του, χωρίς μάλιστα να έχουν την δυνατότητα να το καταστείλουν πλήρως

Η πιο γνωστή και ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδος είναι η κατακρήμνιση των θειούχων με προσθήκη αλάτων σιδήρου. Ο λόγος για τον οποίο το υδρόθειο δεσμεύεται από τα άλατα του σιδήρου είναι γιατί είναι πολύ ισχυρή χημική συγγένεια των ιόντων του σιδήρου προς τα θειούχα. Ανεξάρτητα από το σθένος στο οποίο βρίσκεται ο σίδηρος, στη μορφή άλατος που προστίθεται, παράγεται παρουσία θειούχων, θειούχος (δισθενής) σίδηρος (FeS). Εξαιτίας της δυσδιαλυτότητας του άλατος του θειούχου σιδήρου αποκλείονται οι σχηματισμοί ανταγωνιστικών ενώσεων από αντιδράσεις του σιδήρου με άλλες ενώσεις που περιέχονται στα λύματα. Το άλας του θειούχου σιδήρου είναι ιδιαίτερα δυσδιάλυτο, γι' αυτό και όταν σχηματίζεται από την αντίδραση του σιδήρου με τα θειούχα που περιέχονται στα υγρά απόβλητα καταλήγει στη λάσπη, καθιστώντας το έτσι εντελώς ακίνδυνο. Παρακάτω αναφέρονται χαρακτηριστικές χημικές αντιδράσεις κατακρήμνισης θειούχων.



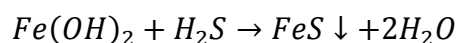
Συχνά διατυπώνεται ο απλουστευμένος ισχυρισμός από πολλούς ότι δεν είναι δυνατή η δέσμευση θειούχων και υδρόθειου από άλατα θεικού σιδήρου. Το επιχείρημα αυτό φαίνεται κατ' αρχήν να ευσταθεί είναι όμως λάθος. Η επεξήγηση που μπορεί να δοθεί γι' αυτό είναι ότι η συνήθης συγκέντρωση θεικών στα λύματα που οφείλονται σε άλλες πηγές, δεν είναι ο ελάχιστος που συντελεί στο βιολογικό σχηματισμό υδρόθειου. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι σε κάθε απόβλητο υπάρχει μια μεγάλη περίσσεια θεικών από τα οποία, και κάτω από τις κατάλληλες συνθήκες, μπορεί να προκύψει υδρόθειο. Έτσι, μια μικρή πρόσθεση θεικών, με τη χρήση κροκιδωτικού άλατος θεικού σιδήρου, δεν την επηρεάζει καθόλου. Η τελική ποσότητα των θειούχων που θα σχηματιστούν σε ένα υγρό απόβλητο εξαρτάται βασικά από την ποσότητά τους, τη θερμοκρασία, τις υδραυλικές και κατασκευαστικές παραμέτρους καθώς επίσης από τη συγκέντρωση απλών οργανικών ενώσεων μέσα σ'

αυτά όπως π.χ. συμβαίνει με τη συγκέντρωση των οργανικών οξέων και των αλκοολών κατά την απονιτροποίηση.

Η δράση των αλάτων έχει σαν αποτέλεσμα την κροκιδώση των διαλυμένων θειούχων ενώσεων στην υγρή φάση. Αυτό πρέπει να γίνει όσο το δυνατόν πιο γρήγορα και πριν ακόμα το υδρόθειο διαφύγει στην αέρια φάση και εντοπιστεί εκεί.

Σαν θέσεις έγχυσης του κροκιδωτικού διαλύματος αλάτων σιδήρου στο αποχετευτικό δίκτυο, επιλέγονται κατά προτίμηση τα αντλιοστάσια όπου το κροκιδωτικό μπορεί να αποθηκευτεί σε μικρές ποσότητες, να διακινηθεί και να δοσομετρηθεί. Εναλλακτικά μπορεί συχνά να επιλεγεί και η δυνατότητα της έγχυσης του απ' ευθείας μέσα στον καταθλιπτικό αγωγό. Η δοσομέτρηση μπορεί να γίνεται με τη βοήθεια κατάλληλων αντλιών μεμβράνης οι οποίες μπορούν να αναρροφούν έτοιμο διάλυμα από μικροσυσκευασίες, δεξαμενές αποθήκευσης, δοχεία όπου μέσα παρασκευάζεται το διάλυμα ή τέλος από ημιυπόγειες δεξαμενές διαλυτοποίησης.

Ως θέση έγχυσης του κροκιδωτικού διαλύματος πρέπει να επιλεγεί ένα τέτοιο σημείο όπου θα εξασφαλίζεται η κατά το δυνατόν καλύτερη ανάμειξη του στο ρεύμα του υγρού λύματος. Σε περίπτωση που δεν υπάρχει σχετικά σταθερή ροή λύματος τότε η έγχυση του κροκιδωτικού διαλύματος πρέπει να προσαρμοστεί στην ποσότητα του λύματος που εισέρχεται στο αποχετευτικό δίκτυο, δηλαδή θα πρέπει να προβλεφθεί μανδάλωση π.χ. της αντλίας προώθησης του λύματος και της δοσομετρικής αντλίας έγχυσης του κροκιδωτικού διαλύματος. Μια πρόωρη έγχυση ή λίγο μεγαλύτερη δοσολογία κροκιδωτικού δεν μπορεί να επηρεάσει αρνητικά την διεργασία γιατί και τα προϊόντα της υδρόλυσης του σιδήρου (υδροξείδια) μπορούν να δεσμεύουν τις θειούχες ενώσεις



Η κατακρήμνιση των θειούχων, που βρίσκονται διαλυμένα μέσα στα υγρά απόβλητα, με χρήσης αλάτων σιδήρου, αποτελεί μια φερέγγυα διεργασία απομάκρυνσης τους. Η ιδιαιτερότητα της μεθόδου έγκειται στο ότι η προσθήκη των κροκιδωτικών αλάτων σιδήρου πρέπει να γίνεται σε τέτοια θέση μέσα στην υγρή φάση όπου ακόμα δεν έχει σχηματιστεί υδρόθειο. Για το λόγο αυτό η επιλογή της κατάλληλης θέσης έγχυσης αποτελεί πρωτεύοντα ρόλο για την εφαρμογή της μεθόδου και το βαθμό της επιτυχίας της. Η θέση έγχυσης ,παράλληλα προς την απαίτηση να βρίσκεται στο δίκτυο πριν από την περιοχή όπου εντοπίζεται το πρόβλημα του σχηματισμού και της αποδέσμευσης υδρόθειου (δυσοσμίας), πρέπει να παρέχει και τις δυνατότητες για ασφαλή αποθήκευση, διαλυτοποίησης και γενικά διακίνησης του κροκιδωτικού μέσου. Εξάλλου από την κατασκευή του δικτύου των συλλεκτήριων αγωγών λυμάτων, και την επιμέρους επιβάρυνση τους, εξαρτάται αν θα χρειαστεί να γίνεται έγχυσης του κροκιδωτικού σε περισσότερες θέσεις.

Τέλος ο βαθμός απόδοσης της μεθόδου εξαρτάται τελικά και από το πόσο πετυχημένη θα είναι η προσαρμογή της δοσολογίας του κροκιδωτικού άλατος σιδήρου προς τα διαφορετικά φορτία θειούχων στη διάρκεια του 24-ώρου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Τεχνολογίες ελέγχου οσμορύπανσης.

Διάφορες τεχνολογίες ελέγχου οσμορύπανσης για τη μείωση ή τον περιορισμό εκπομπών έχουν αναπτυχθεί μέχρι σήμερα. Οι τεχνολογίες απόσμησης διακρίνονται σε φυσικοχημικές και βιολογικές διεργασίας. Οι φυσικοχημικές είναι:

1. Θερμική οξείδωση.
2. Καταλυτική οξείδωση.
3. Φυσική προσρόφηση - χημειορόφηση σε ενεργές επιφάνειες με περιοδική αναγέννηση του υλικού προσρόφησης.
4. Χημική απορρόφηση με προσθήκη οξειδωτικών ή άλλων χημικών που σχηματίζουν μεταλλικά σουλφίδια που καθιζάνουν.

Οι βιολογικές μέθοδοι, περιλαμβάνουν τα βιολογικά συστήματα απόσμησης που βασίζονται στην ικανότητα αερόβιων μικροοργανισμών να βιοαποδομούν οσμές.

Στον πίνακα 5 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά οι διαθέσιμες τεχνολογίες απόσμησης με τα βιόφιλτρα να ανταποκρίνονται στην επεξεργασία των μικρότερων συγκεντρώσεων ρευμάτων αέριων αποβλήτων.

Πίνακας 5: Υφιστάμενες τεχνολογίες ελέγχου αέριας ρύπανσης (Rakesh Govind, 2004).

Τύπος τεχνολογίας	Παροχή αέρα σε m ³ /h	Συγκέντρωση επεξεργασίας σε ppm
Υγροποίηση (condensation)	200 – 20 000	50 – 200 g/m ³ 2,8%-11,2% by volume
Πλυντρίδα (scrubbing)	200 – 20 000	10 – 40 g/m ³ 0,56%-2,3% by volume
Καύση	10 000 – 100 000	8 – 140 g/m ³
Καταλυτική οξείδωση	10 000 – 100 000	1 – 10 g/m ³ 500-6000ppm _v

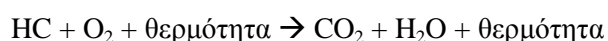
Προσρόφηση αναγέννηση	με	100 – 10 000	1 – 10 g/m ³ 500-6000ppm _v
Προσρόφηση αναγέννηση	χωρίς	10 – 60 m ³ /h	0 – 50 g/m ³ <1-2800ppm _v
Βιόφιλτρο από κομπόστ		60 – 300 000	< 1ppm – 25 ppm _v
Βιοτριφασικό φίλτρο		10 – 300 000	0 – 8,3 g/m ³ 20-5000ppm _v

2.1 Συστήματα Θερμικών διεργασιών.

Δύο συστήματα θερμικών διεργασιών έχουν χρησιμοποιηθεί:

(1) Θερμική οξείδωση και (2) καταλυτική οξείδωση.

Στην θερμική οξείδωση, το οσμαέρια μετατρέπεται σε διοξείδιο του άνθρακα και ατμούς νερού παρουσία οξυγόνου, σε θερμοκρασία από 425 έως 760 ° C σύμφωνα με την ακόλουθη γενική αντίδραση,



Η μονάδα θερμικής οξείδωσης ή αλλιώς μετακαυστήρας VOC, χρησιμοποιείται για την επεξεργασία πολύ ρυπασμένων ρευμάτων αέρα, όπως στην περίπτωση καύσης απορριμμάτων που τοποθετείται μετά τον πυρολυτικό κλίβανο. Συχνά ωστόσο παρατηρείται η καύση να είναι ατελής λόγω μεταβλητών συνθηκών λειτουργίας (υγρασία, θερμοκρασία, τύρβη κλπ).

Οι μονάδες καταλυτικής οξείδωσης μπορούν να μειώσουν την απαιτούμενη θερμοκρασία εκατοντάδες βαθμούς και να εξοικονομήσουν σημαντικό χώρο για εξοπλισμό συγκρινόμενες με τις μονάδες θερμικής οξείδωσης. Με την προσθήκη καταλύτη, συνήθως ευγενές μέταλλο όπως παλλάδιο ή πλατίνα, οι ενεργειακές απαιτήσεις μειώνονται με την αντίδραση να πραγματοποιείται σε θερμοκρασία από 310 σε 425°C. Ωστόσο, η διάρκεια του χρόνου ζωής

του καταλύτη είναι περιορισμένη, ακόμη και με πρότερη απαλλαγή του ρεύματος αέρα από αιωρούμενα σωματίδια για την κατά το δυνατόν αποτροπή απενεργοποίησης/δηλητηρίασης του καταλύτη, με αποτέλεσμα η καταλυτική οξείδωση να είναι αντισυμβατική τεχνική για την επεξεργασία ρυπασμένων αέριων ρευμάτων.

2.2 Συστήματα προσρόφησης αερίων σε σταθεροποιημένη κλίνη.

Η προσρόφηση (φυσική προσρόφηση και χημειορόφηση) αφορά στην προσκόλληση χαμηλών συγκεντρώσεων αερίων στην επιφάνεια πορωδών στερεών. Με κατάλληλη εκλογή του προσροφητικού στερεού και του χρόνου επαφής μεταξύ του στερεού και των ατμών ενός ρεύματος εξόδου, είναι εφικτές πολύ υψηλές αποδόσεις απομάκρυνσης. Ευρέως χρησιμοποιούμενα προσροφητικά υλικά είναι ο ενεργός άνθρακας (κάθε ανθρακούχο υλικό όπως τσόφλι καρύδας, οστά, ξύλο, κάρβουνο, πετρελαϊκός οπτάνθρακας, λιγνίνη και λιγνίτης) και η ενεργοποιημένη αλουμίνα. Οι περισσότερες σταθεροποιημένες κλίνες άνθρακα αναγεννιούνται με ατμό.

2.3.Σύστημα απορρόφησης αερίων.

Η απορρόφηση αφορά στην επιλεκτική μεταφορά μιας ουσίας από ένα αέριο σε ένα υγρό με το οποίο βρίσκεται σε επαφή. Η αρχή του διαχωρισμού βασίζεται στην κατά προτίμηση διαλυτότητα ενός συστατικού του αερίου στο υγρό. Στην πλειοψηφία των εφαρμογών το υγρό επαφής είναι το νερό και η διεργασία μερικές φορές αναφέρεται ως καθαρισμός αερίου (scrubbing) ή πλύση (washing). Η απορρόφηση ενός αερίου περιλαμβάνει τη διάχυση της ουσίας από ένα αέριο διαμέσου της διεπιφάνειας αερίου-υγρού με τελική κατάληξη τη διασπορά της στο υγρό. Η χημική πλυντρίδα αφορά στην προσθήκη χημικού για να γίνει η αντίδραση οξείδωσης του οσμαερίου από το χημικό αντιδραστήριο επεξεργασίας στην υγρή φάση. Για παράδειγμα, κατά τη χημική επεξεργασία του οσμαερίου H_2S μπορεί να προστεθεί Cl_2 , $NaOCl$ ή $KMnO_4$ & H_2O_2 . Τα μειονεκτήματα της χημικής επεξεργασίας είναι ότι απαιτούνται σημαντικές ποσότητες χημικών, με ταυτόχρονη παραγωγή υγρών αποβλήτων, μεταφέροντας το πρόβλημα ουσιαστικά από την αέρια στην υγρή φάση.

Στον πίνακα 6 διαφαίνονται τα τυπικά κριτήρια σχεδιασμού για μια χημική πλυντρίδα.

Πίνακας 6: Τυπικά κριτήρια σχεδιασμού για τη χημική πλυντρίδα, Metcalf & Eddy, 2003.

	Μονάδες	Εύρος τιμών
Ύψος κλίνης	M	1,8 - 3
Χρόνος παραμονής στην κλίνη	S	1,3 - 2
Παροχή υγρού πλύσης	Kg H ₂ O/kg αέρα	1,5 – 2,5
	L/s ανά m ³ /s αέρα	2 – 3
Makeup water flow	L/s ανά kg S σε pH 11	0,075
	L/s ανά kg S σε pH 12,5	0,004
pH		11 – 12,5
Θερμοκρασία	°C	15 - 40
Προσθήκη βάσης	Kg NaOH/kg S	2 – 3

2.4 Βιολογικά συστήματα ελέγχου οσμоруπάνσης.

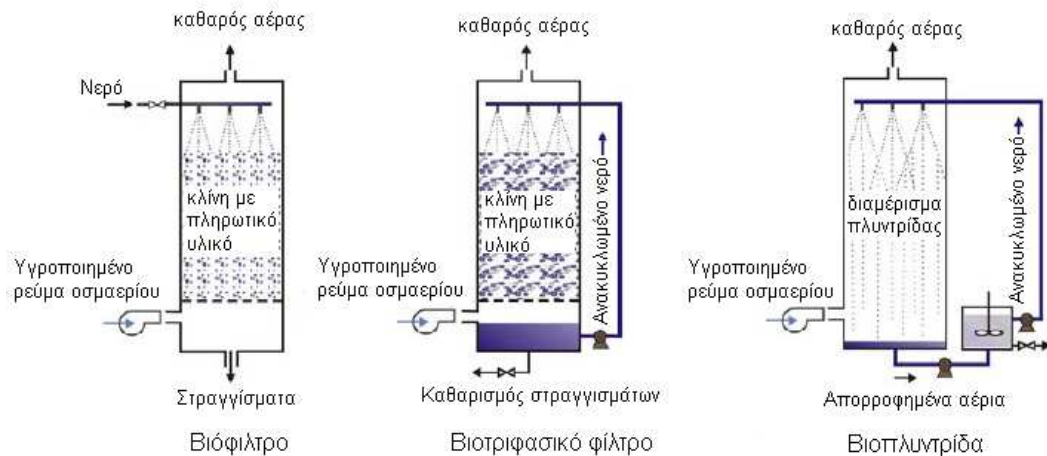
Τα βιολογικά συστήματα επεξεργασίας είναι οικονομικά και περιβαλλοντικά βιώσιμα συστήματα, αφού έχουν χαμηλό λειτουργικό κόστος, δεν παράγουν παραπροϊόντα, όπως οξείδια του αζώτου (NO_x), σωματιδιακούς ρύπους, οξείδια του θείου (SO₂), και μονοξείδιο του άνθρακα (CO), έχουν χαμηλές ενεργειακές ανάγκες, δεν υπάρχει η ανάγκη χρήσης ενεργού άνθρακα, ενώ ταυτόχρονα αξιοποιούνται υλικά μηδενικής αξίας (βιοαποδομήσιμα απορρίμματα, κομματιασμένα γυαλιά και πλαστικά, ιλύς εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων κ.λπ.). Τα προϊόντα ενός βιόφιλτρου που επεξεργάζεται HC είναι νερό και διοξείδιο

του άνθρακα (CO₂). Η βιολογική επεξεργασία εξασφαλίζει υψηλές αποδόσεις απομάκρυνσης για μεγάλο εύρος χρόνου όταν ανταποκρίνεται σε υψηλές ογκομετρικές παροχές αέρα και χαμηλή συγκέντρωση ρύπων. Αν και η βιολογική επεξεργασία είναι απλή, η αποτελεσματικότητά της βασίζεται στη βελτιστοποίηση παραμέτρων σχεδιασμού και συνθηκών λειτουργίας καθώς και στην επιλογή του κατάλληλου πληρωτικού υλικού.

Τα βιολογικά συστήματα βασίζονται στην θεμελιώδη αρχή της βιοαποδόμησης του οσμαερίου από αερόβιους μ/ο, που είναι είτε καθηλωμένοι είτε αιωρούμενοι ή/και καθηλωμένοι στην πληρωμένη κλίνη. Οι αέριοι ρύποι (υπόστρωμα) χρησιμοποιούνται από τους αερόβιους μ/ο ως πηγή τροφής και ενέργειας. Στην περίπτωση διακοπής παροχέτευσης οσμαερίου, η ανάπτυξη και η συντήρηση του μικροβιακού πληθυσμού γίνεται αποκλειστικά από το πληρωτικό μέσο.

2.5. Τύποι βιολογικών συστημάτων ελέγχου αέριας ρύπανσης.

Η βιβλιογραφία περιγράφει τρία βασικά βιολογικά συστήματα για την επεξεργασία οσμαερίων : τη βιοπλυντρίδα, το βιοτριφασικό φίλτρο και το βιόφιλτρο. Οι βιοπλυντρίδες χρησιμοποιούν σύστημα αντιρροής αέρα – υγρής φάσης, με τους μ/ο να αιωρούνται στην υδατική φάση. Τα βιόφιλτρα και βιοτριφασικά φίλτρα χρησιμοποιούν μικροβιακούς πληθυσμούς καθηλωμένους στο πληρωτικό υλικό για την βιοαποδόμηση του ρυπασμένου ρεύματος αέρα. Οι τρεις τύποι βιολογικών συστημάτων ελέγχου αέριας ρύπανσης, περιγράφονται στο σχήμα 1 .



Σχήμα 1: Τρεις κύριοι τύποι βιολογικών συστημάτων ελέγχου αέριας ρύπανσης, Yuwono et al., 2004.

Οι διαφορές μεταξύ των τριών τύπων βιοαντιδραστήρων παρουσιάζονται στον πίνακα 7, ενώ στον πίνακα 8 δείχνονται τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα κάθε τύπου βιοαντιδραστήρα.

Πίνακας 7: Διαφορές μεταξύ των τριών τύπων βιολογικών συστημάτων ελέγχου αέριας ρύπανσης βάσει βιομάζας και φάσης νερού, Yuwono et al., 2004.

Βιοαντιδραστήρας	Βιομάζα	Φάση νερού
Βιόφιλτρο	Σταθεροποιημένη	Σταθερή
Βιοτριφασικό φίλτρο	Σταθεροποιημένη	Κινούμενη
Βιοπλυντρίδα	Αιωρούμενη	Κινούμενη

Πίνακας 8: Συγκριτικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα βιοαντιδραστήρων αέριας φάσης, Yuwono et al., 2004.

Βιόφιλτρα	Βιοτριφασικό φίλτρο	Βιοπλυντρίδα
Πλεονεκτήματα		
Απλή λειτουργία	Απλή λειτουργία	Δυνατότητα καλής επεξεργασίας

Χαμηλό κόστος επένδυσης	Χαμηλό κόστος επένδυσης	Καλή μεταφορά μάζας
Χαμηλό κόστος λειτουργίας	Χαμηλό κόστος λειτουργίας	Κατάλληλο για πολύ ρυπασμένο ρεύμα οσμαερίου
Αποδόμηση λιγότερο διαλυτών ρύπων στο νερό	Κατάλληλο για μέτρια ρυπασμένο ρεύμα αέρα	Σταθερές συνθήκες λειτουργίας
Κατάλληλο για την αποδόμηση οσμαερίων	Δυνατότητα ελέγχου pH	Δυνατότητα προσθήκης θρεπτικών
	Δυνατότητα προσθήκης θρεπτικών	
Μειονεκτήματα		
Χαμηλή ογκομετρική παροχή ρυπασμένου ρεύματος αέρα	Περιορισμένος έλεγχος επεξεργασίας	Υψηλό κόστος επένδυσης
Χαμηλή συγκέντρωση ρύπου	Φαινόμενο καναλοποίησης	Υψηλό λειτουργικό κόστος
Μη δυνατός ο έλεγχος επεξεργασίας	Περιορισμένος χρόνος ζωής πληρωτικού υλικού	Παραγωγή μεγάλης ποσότητας βιομάζας
Περιορισμένος χρόνος ζωής πληρωτικού υλικού	Σημαντική παραγωγή βιομάζας, δυσκολία προς τη διάθεση της βιομάζας	Παραγωγή-Διάθεση νερού
Σημαντική παραγωγή βιομάζας-δυσκολία προς τη διάθεση της βιομάζας		Ενδεχόμενη έμφραξη κατά την προσρόφηση

Στα βιοτριφασικά φίλτρα και τις βιοπλυντρίδες, τα οσμαέρια απορροφούνται σε κινούμενη υγρή φάση πριν την βιοαποδόμηση από καθηλωμένους ή αιωρούμενους μ/ο. Στα βιοτριφασικά φίλτρα, καθηλωμένοι μ/ο σε ανόργανο πληρωτικό υλικό και αιωρούμενοι μ/ο

στην φάση του νερού βιοαποδομούν τα απορροφημένα αέρια. Στις βιοπλυντρίδες, μετά την αρχική απορρόφηση του οσμαερίου, η βιοαποδόμηση του οσμαερίου επιτυγχάνεται από τον αιωρούμενο μικροβιακό πληθυσμό σε ξεχωριστό δοχείο.

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, τα βιοτριφασικά φίλτρα λειτουργούν σε μικρότερους χρόνους παραμονής (στην κενή κλίνη) και σε υψηλότερες σχετικά συγκεντρώσεις εισόδου. Η μέγιστη ικανότητα εξάλειψης EC παρατηρήθηκε σε βιοτριφασικά φίλτρα, λόγω καλύτερου ελέγχου των συνθηκών της βιοαποδόμησης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.

Βιόφιλτρα.

Τα βιόφιλτρα είναι τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα συστήματα βιολογικής επεξεργασίας με συστηματική λειτουργία σε πολλές χώρες του κόσμου για περισσότερο από 30 χρόνια. Υπάρχει πληθώρα εργαστηριακών/ πιλοτικών εφαρμογών με βιόφιλτρα για την αντιμετώπιση των οσμών όπως διαφαίνεται παρακάτω στον πίνακα 9

Πίνακας 9: Εργαστηριακές/πιλοτικές εφαρμογές με βιόφιλτρα για την αντιμετώπιση των οσμών.

Πληρωτικό υλικό	Σύσταση αέρα		Απόδοση			Παρατηρήσεις	
	Πηγή	Συγκέντρωση (mg m^{-3})	EBTR (s)	RE (%)	EC ($\text{gm}^{-3}\text{h}^{-1}$)		
Non-chlorinated VOCs							
Τύρφη ψημένο	με πηλό	Styrene	250	81	70	12	Προσθήκη θρεπτικού και

και ασβέστη						προσθήκη ασβέστη για ρύθμιση του pH
Τύρφη	Ethanol	3700	150	30	30	Περιεχόμενη υγρασία 50-70 %, EC= 4gm ⁻³ h ⁻³ σε 35% νερού
Βελτιωμένη τύρφη	Xylene- isomers	2300	102	52	43	EC m-xylene> p- xylene> o-xylene
50% Κόμποστ, 50% περλίτης	Hexane	17-700	30- 120	>95	21	
40% Κόμποστ, 60% περλίτης	Toluene	620-2810	162- 516	66- 100	5-25	
66% τύρφη, 33% γυάλινες σφαίρες	Phenol	1000-1500	54	>93	124	

Chlorinated VOCs

50% Κόμποστ, 50% περλίτης, σπασμένα κελύφη οστράκων	DCM	10-175	42-60	>98	15	Ταχεία οξίνιση και μείωση του RE στα 50 ppm
50% Κόμποστ, 50% περλίτης, σπασμένα κελύφη οστράκων	DCM., TCE, PCE	0.35-0.7 (καθένα)	30- 120	11- 49		Τουλουόλιο & βενζόλιο 2 mg/m ³ με RE = 10-80%
Κόμποστ από	TCE	25-250	336	>95	2.4	

φύλλα 10%						
CAC						
Αζωτούχα & θειούχα αέρια						
33% τύρφη, 33% περλίτης, 33% fem chips	μεθυλαμίνη	136	220	100	26	
36% Κόμποστ, 36% ενεργό ίλυ, 27% GAC	NH ₃	14-350	68	92- 100	17	
Κόμποστ, 10% ασβεστόλιθο	DMS	400	27	97	48	
50% Κόμποστ, 50% chaff	Triethylamine	320-3450	11-60	100	140	
Κόμποστ από διάφορες πηγές	H ₂ S	7-3750	23- 200	>99.9	12- 130	Απόδοση εξαρτώμενη σημαντικά από τον τύπο κομπόστ

3.1 Αρχή λειτουργίας

Η αρχή λειτουργίας του βιόφιλτρου βασίζεται στην ικανότητα αερόβιων μ/ο να βιοαποδομούν οσμάερια. Δύο είναι οι απαραίτητες συνθήκες για την εξάλειψη της οσμής:

- Η δυνατότητα μεταφοράς του αερίου στις εσωτερικές επιφάνειες του υγρού υμένα νερού: ρόφηση (απορρόφηση/ προσρόφηση),

- Η δυνατότητα βιοαποδόμησης του ροφημένου αερίου (υπόστρωμα) από τους μ/ο (βακτήρια, ακτινομύκητες, μύκητες).

Η συνολική αντίδραση εξάλειψης των οσμών συνίσταται από τις ακόλουθες δύο διαδικασίες:

- Μεταφορά οσμαερίου από την αέρια φάση στην υγρή φάση με προσρόφηση/απορρόφηση,
- Βιοαποδόμηση του ροφημένου αερίου (υπόστρωμα) με οξείδωση από τους καθηλωμένους αερόβιους μ/ο.

Η διάχυση στο ενεργό φιλμ (biofilm) είναι ο μηχανισμός ελέγχου του ρυθμού μεταφοράς μάζας. Ο ρυθμός προσρόφησης είναι πιο γρήγορος από το ρυθμό βιοαποδόμησης, άρα η σταθερά αντίδρασης βιοαποδόμησης είναι η καθοριστική του συνολικού ρυθμού αντίδρασης απόσμισης (ρυθμιστικό βήμα – βραδύ).

Ισοζύγιο μάζας σε μικρό όγκο βιοφίλτρου:

$$\text{Συσσωρευση} = \text{Εισροή} - \text{Εκροή} \pm \text{Αντιδράσεις}$$

$$\frac{\partial C_i}{\partial t} = D_z \frac{\partial^2 C_i}{\partial x^2} - r_i = 0, \text{ (μόνιμες συνθήκες)}$$

Όπου,

$$\frac{\partial C_i}{\partial t}, \text{ όρος συσσωρευσης στο ενεργό φιλμ,}$$

C_i συγκέντρωση αερίου ρύπου i , [g m^{-3}],

$$D_z^j \frac{\partial^2 C_i^j}{\partial z^2}, \text{ όρος διάχυσης στο βιοφίλμ,}$$

D , συντελεστές διάχυσης ρύπου i στο βιοφίλμ, ($\text{m}^2 \text{min}^{-1}$),

r_i , ρυθμός μεταβολικής αποδόμησης αερίου ρύπου i , (min^{-1}), συγκέντρωσης S (substrate).

Ο ρυθμός βιοαποδόμησης r ακολουθεί κινητική πρώτης τάξεως και είναι ίσος με $r = \mu S$,

όπου $\mu = \frac{\mu_{max}[S]}{K_s + [S]}$, (κινητική Monod),

Όπου,

μ ειδικός ρυθμός ανάπτυξης (specific growth rate) και περιγράφει τη μεταβολή του αριθμού των κυττάρων ή της κυτταρικής βιομάζας στη μονάδα του χρόνου,

K_s , σταθερά κορεσμού, αντιστοιχεί στην συγκέντρωση του υποστρώματος S , που ο ρυθμός ανάπτυξης είναι στο μισό του μεγίστου μ_{max} .

Το υπόστρωμα ρυθμίζει την αύξηση της μικροβιακής καλλιέργειας.

Αυξάνοντας τη συγκέντρωση εισόδου, ο ρυθμός βιοαποδόμησης σταματά να ακολουθεί κινητική πρώτης τάξης και γίνεται μηδενικής τάξης. Στην περίπτωση αυτή ο ρυθμός βιοαποδόμησης είναι ανεξάρτητος της συγκέντρωσης του υποστρώματος (οσμαέριο). Εργαστηριακές/πυλοτικές εφαρμογές με βιόφιλτρα για την αντιμετώπιση των οσμών καταγράφονται παραπάνω στον πίνακα 9.

Για την επίλυση της εξίσωσης του ισοζυγίου απαιτείται η ύπαρξη οριακών συνθηκών,

- Νόμος του Henry στην διεπιφάνεια του αερίου-υγρού ($C_{i(gas)}/C_{i(liquid)} = H$)
- Η κλίση του προφίλ της συγκέντρωσης στο υγρό πλησιάζει το μηδέν στην διεπιφάνεια υγρού – στερεού, ($dC/dx = 0$ στη διεπιφάνεια υγρού στερεού).

Μερικές σημαντικές βιολογικές μετατροπές στην επεξεργασία οσμών με βιόφιλτρα παρουσιάζονται στον πίνακα 10.

Πίνακας 10: Βιολογικές μετατροπές στην επεξεργασία οσμών με βιόφιλτρα.

Μετατροπή	Τυπικά βακτήρια	Συνθήκες περιβάλλοντος
VOC → CO ₂ , H ₂ O	Χημειοετερότροφα	Αερόβιες
NH ⁴⁺ → NO ²⁻ , NO ³⁻	Νιτροποιητικά (Nitrosomonas)	Αερόβιες
H ₂ S → S, SO ₄ ²⁻	Παραλαβή ενέργειας από οξείδωση θειούχων ενώσεων	Αερόβιες
NO ³⁻ → N ₂	Απονιτροποιητικά (Nitrobacteria)	Αναερόβιες

3.2 Σχεδιαστικές αρχές.

Για τον σχεδιασμό ενός βιολογικού φίλτρου ή την εκτίμηση της απόδοσης λειτουργίας του, χρησιμοποιούνται οι παρακάτω όροι:

3.2.1. Απόδοση απομάκρυνσης RE.

Η απόδοση απομάκρυνσης RE (Removal efficiency) στο βιολογικό φίλτρο έχει σχέση με τις συγκεντρώσεις του εισερχόμενου και του εξερχόμενου αερίου:

$$RE = \frac{C_i - C_e}{C_i}$$

Όπου,

C_i = εισερχόμενη συγκέντρωση αερίου, g/m³,

C_e = εξερχόμενη συγκέντρωση αερίου, g/m³.

Η απόδοση απομάκρυνσης, RE δεν δείχνει την ποσότητα ρύπου που απομακρύνεται. Για παράδειγμα, βιόφιλτρο με απόδοση απομάκρυνσης ίση με την τιμή 99% και συγκέντρωση εισαγωγής 10 ppm αμμωνίας δεν ξεχωρίζει από βιόφιλτρο με απόδοση απομάκρυνσης και πάλι 99% αλλά με συγκέντρωση εισαγωγής αμμωνίας 1000 ppm. Το δεύτερο φυσικά βιόφιλτρο απομακρύνει πολύ μεγαλύτερη ποσότητα οσμαερίου στην ίδια παροχή αέρα. Ωστόσο, αυξάνοντας τη συγκέντρωση εισόδου, ο ρυθμός βιοαποδόμησης γίνεται μηδενικής τάξης αντί πρώτης, δηλ. ανεξάρτητος της συγκέντρωσης εισόδου, με αποτέλεσμα να υπάρχει σημείο μέγιστης φόρτισης πάνω από το οποίο η απόδοση του βιόφιλτρου δεν αυξάνει άλλο.

3.2.2.Χρόνος παραμονής στην κενή κλίνη

Χρόνος παραμονής στην κενή κλίνη (EBTR) – Empty Bed Residence Time-

$$EBTR = \frac{V_f}{Q}$$

Όπου,

V_f = όγκος κενής κλίνης φίλτρου, m³

Q = ογκομετρική παροχή αέρα, m³/min

Οι κλίνες πρέπει να έχουν μέγεθος τέτοιο που να καλύπτει χρόνο παραμονής στην κενή κλίνη από 30s ως 2 in ή και περισσότερο σε περιπτώσεις με υψηλές συγκεντρώσεις οργανικών συστατικών.

$$\tau = \text{EBTR} \times \theta$$

Όπου,

τ = πραγματικός χρόνος παραμονής, min

θ = πορώδες κλίνης, (= όγκος των κενών / όγκο κενής κλίνης)

3.2.3 Επιφανειακή φόρτιση SL

Επιφανειακή φόρτιση SL (Surface Load, m/min), ισοδύναμη με την επιφανειακή ταχύτητα.

$$\text{SL} = \frac{Q}{A}$$

Όπου,

A = κάθετη επιφάνεια κενής κλίνης προς την παροχή αέρα, m²

3.2.4 Ογκομετρική φόρτιση VL

Ογκομετρική φόρτιση VL (Volumetric Load), min⁻¹ (VL = 1/ EBTR).

$$\text{VL} = \frac{Q}{V_f}$$

Επιπρόσθετα της επιφανειακής φόρτισης (SL) και της ογκομετρικής φόρτισης (VL), χρησιμοποιούνται και οι όροι **μαζική επιφανειακή φόρτιση** (MLS, g/m²-hr) και **μαζική ογκομετρική φόρτιση** (MVL, g/m³-hr), όπου οι μαζικές φορτίσεις είναι τα SL και VL, αντίστοιχα, πολλαπλασιασμένα με τη συγκέντρωση του ρύπου στο εισερχόμενο ρεύμα αέρος C_i (g/m³), αντίστοιχα.

$$MLS = SL \times C_i \quad \& \quad MVL = VL \times C_i$$

3.2.5. Ικανότητα εξάλειψης

Η ικανότητα εξάλειψης (EC, elimination capacity)

Η ικανότητα εξάλειψης (EC, elimination capacity) του βιολογικού φίλτρου είναι:

$$EC = \frac{Q_x(C_i - C_e)}{V_f}, \quad \text{όπου EC (g/m}^3\text{-hr)}.$$

Το EC υπολογίζεται επίσης από $VL \times (C_i - C_e)$ ή $(C_i - C_e) / EBTR = MVL \times RE$

Η ικανότητα εξάλειψης είναι συχνά καλύτερη από την απόδοση απομάκρυνσης (RE) για τη μέτρηση της απόδοσης βιόφιλτρου, διότι αυτή λαμβάνει υπόψη τον όγκο της κλίνης και την παροχή. Εντούτοις, η ικανότητα εξάλειψης μεταβάλλεται με την εισερχόμενη μαζική ογκομετρική φόρτιση. Η ικανότητα εξάλειψης σχετίζεται γραμμικά με τη μαζική ογκομετρική φόρτιση σε χαμηλούς ρυθμούς φόρτισης. Αυτό σημαίνει ότι η απόδοση παραμένει σταθερή καθώς η μαζική ογκομετρική φόρτιση αυξάνει πέρα από ένα σημείο. Το σημείο στο οποίο η ικανότητα εξάλειψης αρχίζει να εξισορροπείται (όπου η απόδοση αρχίζει να μειώνεται) καθώς το MVL συνεχίζει να αυξάνει ονομάζεται **κρίσιμη φόρτιση (critical load)**.

Η μέτρηση της ικανότητας εξάλειψης διαρκεί δύο με τρεις μήνες εργασίας στο εργαστήριο ή σε πιλοτική εγκατάσταση για την απόκτηση δεδομένων από βιολογικό φίλτρο για ένα είδος ρύπου. Οι Deshusses και Johnson (2000) ανέπτυξαν ένα πρωτόκολλο για γρήγορο (λιγότερο από 48 ώρες) υπολογισμό της ικανότητας εξάλειψης και της κρίσιμης φόρτισης και εφάρμοσαν την τεχνική τους σε διάφορα VOCs για να υπάρξουν δεδομένα για αυτές τις παραμέτρους. Ο πίνακας 11 παρουσιάζει τα δεδομένα τους και δίνει την περιοχή των ECs που παρατηρήθηκαν από άλλους.

Πίνακας 11: Μέγιστη Δυναμικότητα Εξάλειψης και Κρίσιμη Φόρτιση για ορισμένες χημικές ενώσεις, Deshusses et al., 2000.

Χημικές ενώσεις	Από Deshusses & Johnson		Από άλλους
	EC _{max} g/m ³ -hr	Κρίσιμη φόρτιση g/m ³ -hr	EC _{max} g/m ³ -hr
Μεθανόλη	135-150	32-34	30-65, 100-120
Αιθανόλη	148-150	78-80	20-40, 18-40, 90-130
Βουτανόλη	140	80-85	24-26, 70-76
Ακετόνη	65-70	21-23	40-45, 100-150
MEK	30-35	20-22	22-43, 120
MIBK	40-50	13-15	25-30
Οξικό αιθύλιο	140-240	175-180	79-96, 170-200, 150-250, 280-350

Οξικό βουτύλιο	32-34	28-32	40
Βενζόλιο	7-8	1	2-5, 23, 31-47
Τουλουόλιο	8-20	6-8	5-18, 10-40, 20-25, 23-32, 45-55
Εξάνιο	3-8	1	1.5, 2.1, 2.5
Ισοπεντάνιο	7-8	1-2	18-28, 2-3.5 (n-pentane)

3.3 Παράμετροι σχεδιασμού & απαιτούμενες συνθήκες λειτουργίας.

Οι παράμετροι σχεδιασμού που πρέπει να ληφθούν υπόψη καθώς και οι απαιτούμενες συνθήκες λειτουργίας που πρέπει να εξασφαλιστούν για την ασφαλή και αποδοτική λειτουργία των βιολογικών φίλτρων είναι :

- 1) ο τύπος και η σύνθεση του πληρωτικού υλικού,
- 2) οι εγκαταστάσεις διανομής αέριου ρεύματος για την επίτευξη ομοιόμορφης ροής,
- 3) η διατήρηση της περιεχόμενης υγρασίας εντός του βιόφιλτρου,
- 4) ο έλεγχος θερμοκρασίας και
- 5) το pH.

Οι παράμετροι και οι συνθήκες λειτουργίας αναλύονται συνοπτικά παρακάτω.

3.3.1 Επιλογή πληρωτικού υλικού.

Ο ρόλος του πληρωτικού υλικού είναι διπλός:

- 1) Στήριξη βιομάζας και
- 2) Προσρόφηση/απορρόφηση νερού, θρεπτικών, ρυπαντών.

Οι απαιτήσεις που πρέπει να έχουν τα πληρωτικά υλικά προς χρήση σε βιολογικά φίλτρα συνοψίζονται στα ακόλουθα εννέα φυσικά, χημικά και βιολογικά χαρακτηριστικά:

- 1) Αυξημένο πορώδες & ομοιόμορφο μέγεθος σωματιδίων,
- 2) Σωματίδια με μεγάλη ειδική επιφάνεια για την ανάπτυξη της βιομάζας,
- 3) Ικανότητα υποστήριξης μεγάλου αριθμού μ/ο,
- 4) Ικανοποιητική ποσότητα θρεπτικών, N, P, K,
- 5) Ουδέτερο ή αλκαλικό pH (pH –buffering capacities),
- 6) Ελαφρύ υλικό,
- 7) Καλές δομικές ιδιότητες μέσου,
- 8) Ικανότητα απορρόφησης νερού,
- 9) Ικανότητα συγκράτησης νερού στο μέσο.

Το πορώδες πληρωτικό υλικό παρέχει στους μ/ο ευνοϊκές περιβαλλοντικές συνθήκες όσον αφορά στην υγρασία, τα θρεπτικά και τη διαθεσιμότητα οξυγόνου. Διάφοροι τύποι βιοφίλτρων βασισμένοι σε διαφορετικά πληρωτικά υλικά αναφέρονται στη βιβλιογραφία. Το πληρωτικό μέσο μπορεί να είναι οργανικό μέσο όπως, τύρφη, κοπρόχωμα, αφυδατωμένη/σταθεροποιημένη ιλύς Ε.Ε.Λ, κομπόστ από βιοαποδομήσιμα στερεά απόβλητα, ενδεχόμενα αναμεμειγμένα με φυσικά διογκωτικά μέσα (bulking materials),

(δενρδόφλουδες, φύλλα, κομματάκια ξύλου, χαμόκλαδα) ή συνθετικά (πλαστικοί δακτύλιοι, κεραμικό υλικό, σφαίρες πολυεστυρενίου –Styrofoam pellets-, γυάλινες χάντρες). Τα διογκωτικά υλικά διατηρούν ή/και αυξάνουν το πορώδες του πληρωτικού υλικού, μειώνουν την πτώση πίεσης, εμποδίζουν την έμφραξη και την καναλοποίηση του φίλτρου, ενώ ταυτόχρονα αυξάνουν το χρόνο ζωής του φίλτρου. Οργανικά πληρωτικά υλικά, όπως συνδυασμός τύρφης με κομπόστ είναι επιδεκτικά σε καναλοποίηση γι' αυτό χρειάζονται περιοδική αντικατάσταση ή ανάμειξη με ανόργανα υλικά όπως κεραμικά υλικά που εμποδίζουν την υποβάθμιση στην απόδοση λειτουργίας λόγω αυξημένης χημικής αντίστασης και φυσικής αντοχής.

Πρόσφατες μελέτες έχουν αποδείξει ότι το οργανικό πληρωτικό υλικό είναι πιο αποτελεσματικό σε σχέση με το ανόργανο υλικό όσον αφορά στην απομάκρυνση των ρυπαντών και στη συγκράτηση νερού, επιπλέον έχουν μεγαλύτερη ικανότητα διατήρησης σταθερού του pH και είναι πλούσια σε θρεπτικά συστατικά ικανά να υποστηρίξουν το μεταβολισμό των μ/ο.

Σημειώνεται ότι στην περίπτωση που το πληρωτικό υλικό είναι κομπόστ, καλές αποδόσεις επιτυγχάνονται όταν αυτό έχει σταθεροποιηθεί. Βέλτιστες συνθήκες αναφέρονται σε θερμοκρασίας 29-30 °C και περιεχόμενη υγρασία μεταξύ 25 και 50% κ.β. σε υγρή βάση.

Το μέγεθος των σωματιδίων και η φύση των οργανικών ή ανόργανων έχουν σημαντική επίδραση στις μηχανικές ιδιότητες του πληρωτικού υλικού καθώς οι παροχές αέρα είναι συνήθως υψηλές (1000 και 10 000 N m³ h⁻¹). Αν τα σωματίδια είναι πολύ λεπτά, εύκολα συμβαίνει συμπίεση της κλίνης με αύξηση της πτώσης πίεσης και πιθανή έμφραξη της κλίνης.

Προβλήματα στα βιόφιλτρα, όπως είναι η περιορισμένη επεξεργασία υδροφοβικών συστατικών, αντιμετωπίζονται με μύκητες σε ανενεργό πληρωτικό υλικό. Οι μύκητες είναι περισσότερο ανθεκτικοί σε όξινες και ξηρές συνθήκες σε σχέση με τα βακτήρια. Ο περλίτης,

το οποίο είναι αδρανές κοκκώδες κεραμικό πορώδες υλικό, συστήνεται ως ένα από τα πιο κατάλληλα υλικά στήριξης για την ανάπτυξη του πληθυσμού των μυκήτων.

Το βιόφιλτρο δεν παρουσιάζει κανένα πρόβλημα στην απόδοση λειτουργίας σε περίπτωση επανεκκίνησής του έπειτα από πολλές εβδομάδες διακοπής λειτουργίας του, από τη στιγμή που έχει επέλθει εγκλιματισμός των μ/ο. Κατά τη διάρκεια μη λειτουργίας του βιόφιλτρου, οι μ/ο συντηρούνται από το ίδιο το βιολογικό υλικό.

3.3.2.Περιεχόμενη υγρασία κλίνης και αέρα.

Ίσως η πιο κρίσιμη παράμετρος για την επιτυχή λειτουργία του βιόφιλτρου. Η βέλτιστη περιεχόμενη υγρασία για τη λειτουργία του βιόφιλτρου είναι 50–65 % και ορίζεται ως ακολούθως:

$$\text{Περιεχόμενη υγρασία, \%} = \left(\frac{\text{μάζα νερού}}{\text{μάζα νερού} + \text{μάζα ξηρού υλικού}} \right) \times 100$$

Η βιολογική δραστηριότητα περιορίζεται αν η περιεχόμενη υγρασία είναι χαμηλή. Αν πάλι η περιεχόμενη υγρασία είναι πολύ υψηλή, η παροχή αέρα μειώνεται και αναερόβιες συνθήκες αναπτύσσονται μέσα στην κλίνη. Η προεπεξεργασία εφύγρανσης (conditioning) του βιόφιλτρου περιλαμβάνει πύργο απορρόφησης/θάλαμο ψεκασμού. Συμπληρωματικά, μπορεί να υπάρχει σύστημα ψεκασμού (sparging) στο πάνω μέρος της κλίνης. Η σχετική υγρασία του αέρα που εισάγεται στο βιόφιλτρο πρέπει να είναι 100% στη θερμοκρασία λειτουργίας. Στο συστήματα βραδείας εφαρμογής το υδραυλικό φορτίο εφαρμογής νερού είναι τυπικά 0.75 έως 1.25 m³/m²-d.

Για την καλή λειτουργία του βιόφιλτρου είναι απαραίτητη η ύπαρξη ομοιόμορφα κατανεμημένης υγρασίας και pH μέσα στο πληρωτικό υλικό. Η βέλτιστη περιεχόμενη υγρασία είναι απαραίτητη για να εξασφαλιστεί βέλτιστη ισορροπία ανάμεσα στη ρόφηση και

την ταχύτητα ξήρανσης. Επιπλέον, η βιομάζα μπορεί να αναπτυχθεί ικανοποιητικά μόνο υπό τις παραπάνω αναφερόμενες συνθήκες.

3.3.3.Θερμοκρασία.

Η θερμοκρασία λειτουργίας του βιόφιλτρου είναι μεταξύ 15 και 45 °C, με βέλτιστο εύρος τιμών μεταξύ 25 και 35 °C. Σε κρύα κλίματα τα βιόφιλτρα πρέπει να θερμομονώνονται με το εισερχόμενο αέριο να θερμαίνεται πριν την εισαγωγή του στο βιόφιλτρο. Ισχύει η εξίσωση Arrhenius βάσει της οποίας η αύξηση της θερμοκρασίας, οδηγεί στην ακόλουθη αύξηση της απόδοσης απομάκρυνσης. Θερμοκρασία μεγαλύτερη από 45 °C μπορεί να εξαφανίσει το μικροβιακό πληθυσμό. Σημειώνεται ότι η οξείδωση των οργανικών ενώσεων, παράγει θερμότητα που επηρεάζει σημαντικά τη θερμοκρασία και υγρασία του αέρα καθώς αυτός κινείται μέσα στο βιολογικό φίλτρο. Για παράδειγμα, η πλήρης οξείδωση 1gr αιθανόλης σε 1m³ αέρα, σε 20 °C, παράγει θεωρητικά αρκετή θερμότητα ικανή να αυξήσει τη θερμοκρασία κατά 18 °C (σε 38 °C), η οποία παράλληλα μειώνει τη σχετική υγρασία του αέρα με αποτέλεσμα την εξάτμιση του νερού μέσα στην κλίνη.

3.3.4. pH.

Η βέλτιστη τιμή για το pH του πληρωτικού υλικού είναι μεταξύ 7 και 8. Οι Brennan et al. ανέφεραν μείωση του pH από 6,5–7 σε 3,6–4,8 μετά από 3 εβδομάδες λειτουργίας βιόφιλτρου που εκτίθεται σε υδρόθειο και μεθυλο-μερκαπτάνη. Σημειώνεται ότι βέλτιστη βιοαποδόμηση των VOC πετυχαίνεται σε ουδέτερο pH.

3.3.5. Πτώσης πίεσης κατά μήκος του βιοφίλτρου.

Οι Yang & Allen αναφέρουν γραμμική αύξηση της πτώσης πίεσης 0–35 kPa m⁻¹ με την αύξηση της επιφανειακής ταχύτητας 0–0.3ms⁻¹ για μέγεθος σωματιδίων πληρωτικού υλικού 1–12 mm. Οι Ergas et al. αναφέρουν πτώση πίεσης 0.1–0.6 Pa m⁻¹ για αντίστοιχες επιφανειακές ταχύτητες 0.3–1.8 m³ m⁻² min⁻¹. Η πτώση πίεσης συναρτήσει της παροχής αερίου περιγράφεται από την εξίσωση του Ergun σύμφωνα με την οποία:

$$\frac{DP}{\rho} = \frac{150(1-\varepsilon)^2 \mu U_o L}{g_c \varepsilon^3 d_p^2 \rho} + \frac{1,75(1-\varepsilon) U_o^2 L}{g_c \varepsilon^3 d_p}, \text{ (Εξίσωση Ergun, 1952)}$$

Όπου,

ΔP , πτώση πίεσης, (cm H₂O),

U_o , επιφανειακή φόρτιση, m/sec, ($1.52 \cdot 10^{-2}$ m/s),

μ , ιξώδες αερίου, ($1.83 \cdot 10^{-5}$ kg/m-s),

d_p , διάμετρο σωματιδίου, m, ($4 \cdot 10^{-3}$ m),

g_c , σταθερά βαρύτητας (1kg m/s² N),

ε , ενεργό πορώδες,

L , μήκος κλίνης, (m),

ρ , πυκνότητα ρεύματος αέρα, kg/m³, (0.927 kg/m³).

Για τη μέτρηση της πτώσης πίεσης χρησιμοποιείται διαφορικό μανόμετρο νερού (Differential Digital Manometer 0-52" H₂O). Έχει παρατηρηθεί ότι για κάθε 20cm ύψους βιόφιλτρου (με 10 cm διάμετρο) συμβαίνει μέση πτώση πίεσης 0,87±0,11 cm H₂O.

3.3.6 Ανάντη/κατάντη ροή.

Η τροφοδοσία του οσμαερίου μπορεί να γίνει είτε με ανάντη είτε με κατάντη ροή, με προσοχή στην επίτευξη ομοιόμορφη ροής μέσα στην κλίνη. Τα πλεονεκτήματα στην περίπτωση ανοδικής ροής αέρα είναι η αποφυγή συσσώρευσης αλάτων, οξέων και στερεών στην είσοδο της κλίνης αφού εύκολα μπορούν να απομακρυνθούν με ξέπλυμα, καθώς και το χαμηλότερο κόστος σε περίπτωση ανοιχτής οροφής. Τα μειονεκτήματα από την άλλη της ανοδικής ροής είναι ότι η επιφάνεια διαβροχής (στην κορυφή της κλίνης) δεν ταυτίζεται με την επιφάνεια του υψηλότερου ρυθμού βιοαποδόμησης (στη βάση της κλίνης) καθώς και το γεγονός ότι ο αέρας και το νερό κινούνται αντίθετα, γι' αυτό μπορεί να υπάρξουν τοπικές περιοχές παρεμπόδισης του νερού και δημιουργίας καναλιών αέρα μέσω ξηρών περιοχών. Τα πλεονεκτήματα της καθοδικής ροής είναι ότι η επιφάνεια διαβροχής και η επιφάνεια του υψηλότερου ρυθμού βιοαποδόμησης εμφανίζονται στο ίδιο μέρος της κλίνης πράγμα που μειώνει την πιθανότητα δημιουργίας ξηρών περιοχών. Ωστόσο, τα μειονεκτήματα αναφέρονται στη συγκέντρωση αλάτων, οξέων και στερεών στο κάτω μέρος της κλίνης, απαιτείται πλήρες κλειστό κύκλωμα το οποίο επιφέρει υψηλότερα κόστη κεφαλαίου.

3.4 Πειραματικά αποτελέσματα.

Η απόδοση των βιόφιλτρων ως προς την απομάκρυνση της NH₃, όπως περιγράφεται στην βιβλιογραφία, παρουσιάζεται στον πίνακα 12. Οι αναφορές στην απομάκρυνση αμμωνίας στα βιόφιλτρα είναι περιορισμένη, ίσως εξαιτίας του ότι τα νιτροποιητικά βακτήρια (nitrosomonas), υπεύθυνα για την οξείδωση της αμμωνίας, παρουσιάζουν πολύ χαμηλούς ρυθμούς ανάπτυξης.

Πίνακας 12: Απόδοση απομάκρυνσης NH₃ σε βιοφίλτρο, McNevin et al., 2000.

Απόδοση	Μέγιστη συγκέντρωση mg m ⁻³	Ικανότητα εξάλειψης g m ⁻³ h ⁻¹	Πληρωτικό υλικό
-	3	1	Compost, bark mulch, wood chips (estimated from nitrate production)
0,964	580	10,6	Compost, oyster shell and perlite blend at landfill
0,983	1,43	0,2388 gm ² h ⁻¹	Peat biofilter at wastewater treatment plant

Η απόδοση των βιοφίλτρων ως προς την απομάκρυνση του H₂S, όπως περιγράφεται στην βιβλιογραφία, παρουσιάζεται στον πίνακα 13.

Πίνακας 13: Απόδοση των βιοφίλτρων ως προς την απομάκρυνση του H₂S, McNevin et al., 2000.

Απόδοση	Μέγιστη συγκέντρωση mg m ⁻³	Ικανότητα εξάλειψης g m ⁻³ h ⁻¹	Πληρωτικό υλικό
0,999	3690	130	Compost, bench scale

0,999	28	420	Compost, oyster shell and perlite
0,99	83	8,3	Peat, bench scale
-	0,0308	2,361	Compost, bark mulch, wood chips
0,99	32	10	Peat biofilter at wastewater treatment plant

Η απόδοση των βιοφίλτρων ως προς την απομάκρυνση των VOCs, όπως περιγράφεται στην βιβλιογραφία, παρουσιάζεται στον πίνακα. 14.

Πίνακας 14: Απόδοση των βιοφίλτρων ως προς την απομάκρυνση των VOC, McNevin et al., 2000.

Απόδοση	Μέγιστη συγκέντρωση mg m^{-3}	Ικανότητα εξάλειψης $\text{g m}^{-3}\text{h}^{-1}$	Παρατηρήσεις
0.95	0.14 (organic C)	20	Exhaust air from a hardboard production plant
0,95	2,656	0,130	Benzene from sewage treatment plant
1	2	140	Triethylamine

0,86	40 (ppm _v)	0,314	Non-methane hydrocarbons at landfill
0,95	-	175	Ethanol, bench scale
0,4	4,4	29	Ethanol, bench scale
-	-	121	Methyl ethyl ketone
0,9	6,1	80g C m ⁻³ h ⁻¹	Printing solvents; peat ball medium

Τα τυπικά κριτήρια σχεδιασμού για τα βιόφιλτρα παρουσιάζονται στον πίνακα 15.

Πίνακας 15: Τυπικά κριτήρια σχεδιασμού για τα βιόφιλτρα, Metcalf & Eddy, 2003.

Παράμετροι σχεδιασμού	Μονάδες	Εύρος τιμών
Υγρασία		
Οργανικό φίλτρο	%	50-65
Συνθετικό μέσο	%	55-65
Θερμοκρασία, βέλτιστη	°C	15-35
pH		6-8

Πορώδες	%	35-50
Χρόνος παραμονής αερίου	s	30-60
Βάθος μέσου	m	1-1.25
Συγκέντρωση οσµαερίου στην είσοδο	g/m ³	0.01 -0.5
Επιφανειακή φόρτιση	m ³ /m ² -h	10-100
Ογκομετρική φόρτιση	m ³ /m ³ -h	10-100
Ικανότητα εξάλειψης		
H ₂ S (σε φίλτρο από κομπόστ)	g/m ³ -h	80 – 130
Άλλα οσµαέρια	g/m ³ -h	20 – 100
Back pressure	mm H ₂ O	50 – 100

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Αποτελέσματα & Συμπεράσματα

4.1.Εισαγωγή.

Η ολοένα αυξανόμενη συχνότητα εμφάνισης προβλημάτων οσμορύπανσης και η ανάγκη λύσης με ταυτόχρονη απαίτηση για πιο οικονομικά και αποδοτικά συστήματα ελέγχου παραγόμενων οσμών, έχουν στρέψει το ενδιαφέρον στις βιολογικές μεθόδους επεξεργασίας. Μεταξύ των βιολογικών τεχνικών, τα βιοφίλτρα εμφανίζονται ως η καλύτερη πρακτική αντιμετώπισης εξαιτίας του χαμηλού κόστους επένδυσης και λειτουργίας, των χαμηλών ενεργειακών απαιτήσεων, της υψηλής απόδοσης απομάκρυνσης για μεγάλο εύρος χρόνου, της μηδενικής αέριας ρύπανσης, της χρήσης και αξιοποίησης υλικών μηδενικής αξίας.

Αν και η βιολογική επεξεργασία είναι απλή, η αποτελεσματικότητά της βασίζεται στη βελτιστοποίηση διαφόρων παραμέτρων σχεδιασμού και λειτουργίας των βιολογικών φίλτρων αφορούν στα ακόλουθα:

1. Στην επιλογή βέλτιστων παραμέτρων σχεδιασμού και συνθηκών λειτουργίας και ταυτόχρονα επιλογή κατάλληλου πληρωτικού υλικού. Οι βελτιώσεις αφορούν στον καλύτερο έλεγχο παραμέτρων-κλειδιά όπως είναι η περιεχόμενη υγρασία, η θερμοκρασία, το pH, η επιλογή του πληρωτικού υλικού, ο τρόπος εφύγρανσης με επίτευξη ομοιόμορφης ροής κατά μήκος της κλίνης, ικανοποιητικά επίπεδα οξυγόνου, αντίσταση στη συμπίεση και τη φυσική φθορά του μέσου πλήρωσης
2. Ανάγκη παρακολούθησης της μικροβιολογίας των βιοφίλτρων προκειμένου να βελτιωθεί η απόδοση λειτουργίας τους, ενδεχόμενα ενίσχυσης της μικροβιακής κοινότητας με εμβολιασμό άλλων μικροβίων.
3. Ανάγκη εκτίμησης απόδοσης βιοφίλτρου με στρωμάτωση υλικών με σκοπό τον έλεγχο του pH, την αποφυγή συμπίεσεων και δημιουργία φαινομένων καναλοποίησης.
4. Ανάγκη μείωσης του υδραυλικού χρόνου επεξεργασίας των οσμαερίων.
5. Επίσης παρουσιάζει ερευνητικό ενδιαφέρον η συνεπεξεργασία VOCs με H₂S σε κλίνη με στρωματοποιημένο πληρωτικό υλικό για την εκτίμηση της ικανότητας εξάλειψης του βιοφίλτρου, μιας και η απόδοση των VOCs απαιτεί ετερότροφα βακτήρια, ενώ η αποδόμηση του H₂S απαιτεί αυτότροφους μ/ο σε χαμηλότερο pH.

Κατά την διάρκεια της πειραματικής μας εργασίας μελετήσαμε τη δυνατότητα απομάκρυνσης υδρόθειου από βιολογικό φίλτρο. Χρησιμοποιήθηκαν δυο διαφορετικά υποστρώματα: α) compost και β) μίγμα compost με περλίτη. Στη

συνέχεια με βάση τις αποδόσεις που βρέθηκαν από τα πειραματικά αποτελέσματα και από τις αποδόσεις απομάκρυνσης που είναι γνωστές από την βιβλιογραφία κατασκευάστηκε ένα μοντέλο πρόβλεψης που μπορεί να εκτιμήσει τις αναμενόμενες εκπομπές ρύπων από διάφορες βιολογικές μονάδες και να υπολογίσει τις τελικές συγκεντρώσεις του υδρόθειου και άλλων αέριων ρύπων μετά την επεξεργασία τους με βιολογικά φίλτρα.

4.1.Περιγραφή βιολογικού φίλτρου.

Με απλά εργαστηριακά υλικά δημιουργήσαμε ένα πρότυπο βιολογικού φίλτρου (εικόνα 1).

Σε ογκομετρικό κύλινδρο τοποθετήσαμε το υπόστρωμά μας και στην συνέχεια τον κλείσαμε αεροστεγώς και από τις δύο επιφάνειες. Σε μικρό ύψος από την επιφάνεια του κυλίνδρου δημιουργήσαμε μια οπή προκειμένου να εισέρχεται το αέριο. Στην ίδια πλευρά του κυλίνδρου και λίγα εκατοστά από την επιφάνεια του υποστρώματος δημιουργήσαμε μια αντίστοιχη οπή προκειμένου να μετράμε την ποσότητα υδρόθειου που εξέρχεται πλέον από το φίλτρο.



Εικόνα 1. Πειραματική διάταξη του βιοφίλτρου

Μείγμα τεχνητού υδρόθειου σε υγρή μορφή βρισκόταν τοποθετημένο σε ξεχωριστό δοχείο. Με σταθερή πίεση προκαλούσαμε συνεχή ανάδευση του μίγματος αναγκάζοντας το να εξατμιστεί και στην συνέχεια να διαφύγει μέσω ενός λεπτού σωλήνα στον ογκομετρικό κύλινδρο. Κατόπιν το αέριο περνούσε μέσα από το υπόστρωμα και εμείς με ειδικό μηχάνημα καταγράφαμε τόσο τις ποσότητες του υδρόθειου που εισέρχονταν όσο και τις ποσότητες που εξέρχονταν από το φίλτρο. Τα πειράματά μας συνοψίστηκαν σε δύο σκέλη:

1. Στη μελέτη και σύγκριση δύο διαφορετικών υποστρωμάτων , compost και perlite & compost (εικόνα 2)
2. Στη μέτρηση και στην καταγραφή της απώλειας υγρασίας .



Εικόνα 2. Περγλίτης που χρησιμοποιήθηκε στο βιόφιλτρο.

4.3 Μέτρηση υγρασίας.

4.3.1. Εισαγωγή.

Ο προσδιορισμός-μέτρηση της υγρασίας σε υλικά προς κομποστοποίηση ή δείγματα κομπόστ αποσκοπεί στο να εκτιμηθεί κατά πόσο η έλλειψη ή περίσσεια νερού αποτελεί περιοριστικό παράγοντα στη διαδικασία. Υγρασία κάτω από το 45% δημιουργεί πρόβλημα στους μικροοργανισμούς που αποδομούν την οργανική ουσία, ενώ υγρασία πάνω από 70% δημιουργεί αναερόβιες συνθήκες.

4.3.2. Συσκευές.

- ✓ Φούρνος Ξήρανσης ρυθμιζόμενος στους 105°C.
- ✓ Πυρίμαχες κάψες
- ✓ Ζυγαριά

4.3.3. Διαδικασία.

Ο προσδιορισμός της υγρασίας έγινε και για τα δύο υποστρώματα που χρησιμοποιήθηκαν στο πείραμά μας, compost & perlite και compost. Τα δείγματα στα οποία έγιναν οι μετρήσεις τα συλλέξαμε από την βάση και από την κορυφή του

φίλτρου και αυτό γιατί οι συγκεντρώσεις υδρόθειου στα δυο διαφορετικά σημεία διέφεραν κατά πολύ. Η διαδικασία που ακολουθήσαμε ήταν η εξής:

- ✓ Τεμαχίζουμε το υλικό μας σε όσο το δυνατόν μικρότερα τεμάχια με προσοχή να μην αλλοιώσουμε τα χαρακτηριστικά του.
- ✓ Ζυγίζουμε τις κάψες άδειες, στεγνές και καθαρές(Τιμή Α)
- ✓ Τοποθετούμε μικρή ποσότητα δείγματος σε κάθε κάψα στην οποία και σημειώνουμε με κάποιο κωδικό το υλικό που μετράμε.
- ✓ Επαναζυγίζουμε τις κάψες (Τιμή Β)
- ✓ Τοποθετούμε την κάψα στον φούρνο στους 105°C για 24 ώρες.
- ✓ Βγάζουμε τις κάψες από το φούρνο και τις αφήνουμε σε ειδικά δοχεία για όση ώρα χρειαστεί ώστε να αποκτήσουν θερμοκρασία περιβάλλοντος.
- ✓ Ζυγίζουμε τις κάψες (Τιμή Γ)

4.3.4.Υπολογισμοί.

Ο πίνακας 18 αναφέρει τα αποτελέσματα των μετρήσεων μας για την υγρασία στα δύο υποστρώματα.

Πίνακας 18: Μέτρηση υγρασίας στα υποστρώματα Compost και Compost & Περλίτης

	Compost	Compost & Περλίτης
Βάρος Κάψας (Τιμή Α)	17.7515	16.57203
Βάρος Κάψας με δείγμα (Τιμή Β)	19.3029	18.2456
Βάρος κάψας & δείγματος μετά την ξήρανση (Τιμή Γ)	18.924	17.6312
Υγρασία (%)	20,5	36,7

Η υγρασία στο υλικό πλήρωσης του βιόφιλτρου μετά και από την προσθήκη νερού ήταν 36.7%.

4.4.Αποτελέσματα μετρήσεων απομάκρυνσης υδρόθειου από βιολογικό φίλτρο.

Παρακολουθώντας τα σημεία εισόδου και εξόδου του οσμαερίου ανά τακτά χρονικά διαστήματα καταφέραμε σταδιακά να μηδενίσουμε την ποσότητα του υδρόθειου που

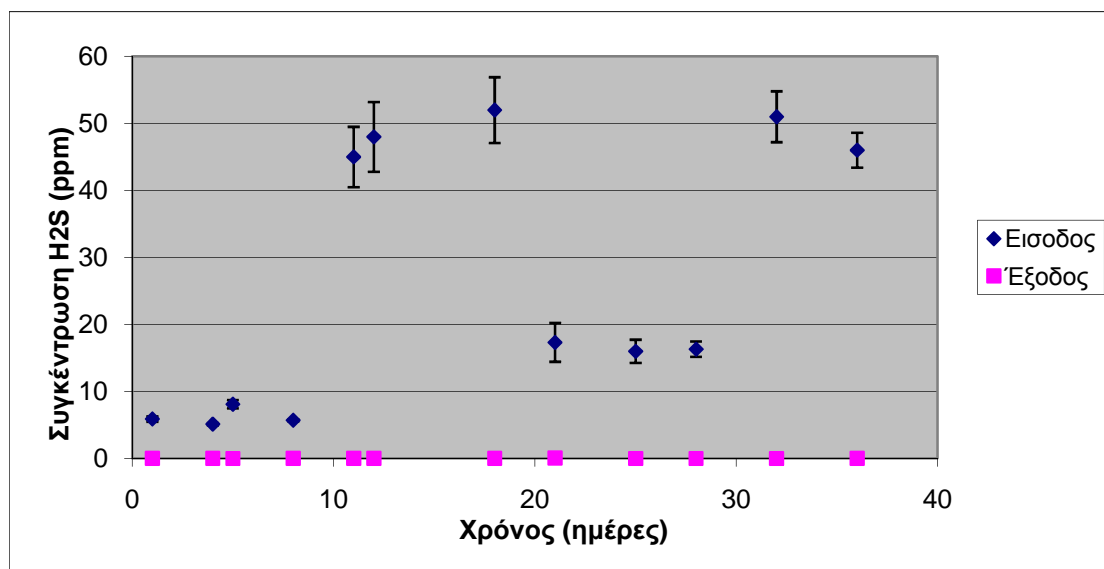
εξέρχεται μέσα από το βιολογικό φίλτρο. Τα αποτελέσματα συνοψίζονται και παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 16: Μετρήσεις υδρόθειου στα σημεία εισόδου και εξόδου του βιολογικού φίλτρου.

Χρόνος	Είσοδος		Έξοδος
1	5,9	0,4	0,0047
4	5,13	0,15	0,0047
5	8,1	0,62	0,0023
8	5,7	0,17	0,0040
11	45,00	4,5	0,0237
12	48,00	5,2	0,0160
18	52,00	4,9	0,0167
21	17,33	2,89	0,0537
25	16	1,73	0,0010
28	16,33	1,15	0,0023
32	51	3,8	0,0010
36	46	2,6	0,0043

Στο διάγραμμα 1 απεικονίζεται σχηματικά η συγκέντρωση του υδρόθειου στα σημεία εισόδου και εξόδου καθ' όλη την διάρκεια των μετρήσεων μας.

Διάγραμμα 1: Διαγραμματική απεικόνιση της συγκέντρωσης υδρόθειου στα σημεία εισόδου και εξόδου του βιολογικού φίλτρου.



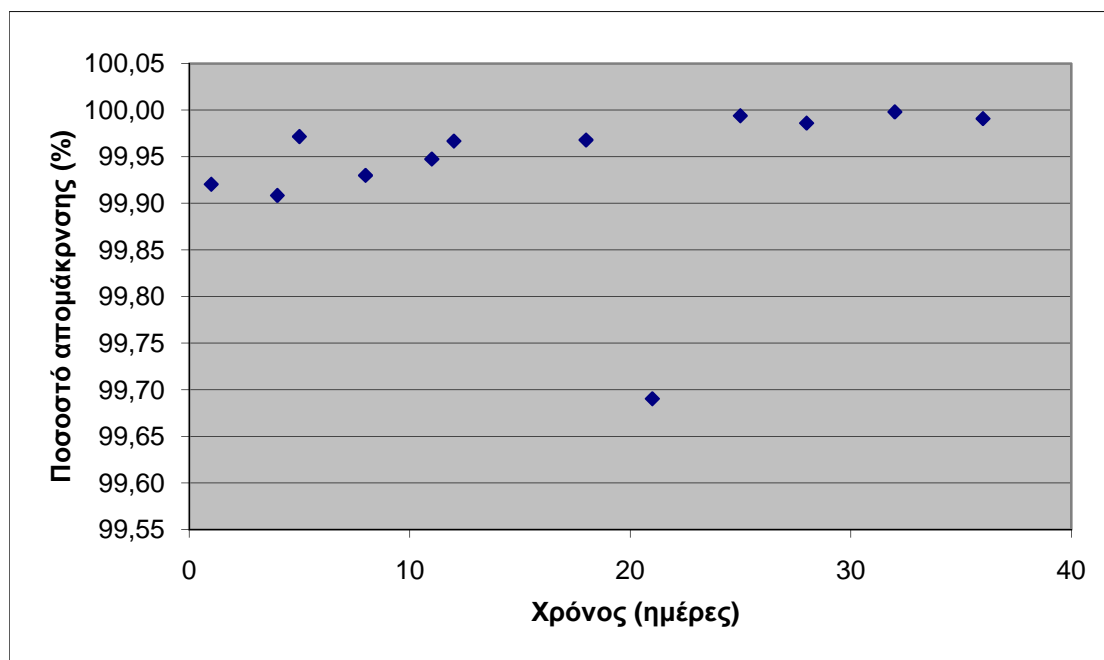
Στον πίνακα 17 και στο διάγραμμα 2 απεικονίζεται το ποσοστό επί τις εκατό της απομάκρυνσης του υδρόθειου από το βιολογικό φίλτρο.

Πίνακας 17: Ποσοστό % της απομάκρυνσης του υδρόθειου από το βιολογικό φίλτρο.

Χρόνος	Ποσοστό απομάκρυνσης
1	99,92
4	99,91
5	99,97
8	99,93
11	99,95
12	99,97
18	99,97
21	99,96

25	99,99
28	99,99
32	100
36	99,99

Διάγραμμα 1: Διαγραμματική απεικόνιση της ποσοστιαίας συγκέντρωσης απομάκρυνσης υδροθείου από τα σημεία εισόδου και εξόδου του βιολογικού φίλτρου.



Συμπερασματικά μπορούμε να πούμε ότι

- το βιόφιλτρο είχε ικανοποιητικές αποδόσεις απομάκρυνσης υδροθείου τόσο σε υψηλές όσο και σε χαμηλές συγκεντρώσεις εισόδου.
- Τα βιολογικά φίλτρα είναι μια οικονομικά προσιτή λύση για την απομάκρυνση H₂S.
- Η προσθήκη περλίτη στο κόμποστ φαίνεται να αυξάνει την απόδοση του συστήματος
- Απαιτείται περαιτέρω μελέτη για το καθορισμό των βέλτιστων συνθηκών λειτουργίας των βιοφίλτρων που χρησιμοποιούν περλίτη με κόμποστ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

5.1 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Cooper C. David, F.C. Alleym, Έλεγχος αέριας ρύπανσης – Σχεδιασμός αντιρροπαντικής τεχνολογίας, 3^η έκδοση, ISBN 960-418-039-8.
- EPA, Using bioreactors to control air pollution, EPA-456/R-03-003, September 2003.
- Erik Smet, Herman Van Langenhove, Inge De Bo, “The emission of volatile compounds during the aerobic and the combined anaerobic/aerobic composting of biowaste”, Atmospheric Environment 33 (1999), 1295-1303.
- Freeman Tracy and Cudmore Roger Technical Report, Review of Odor Management in New Zealand, Air Quality Technical Report, No. 24, Ministry for the Environment, August 2002
- Héroux, M., T. Pagé, C. Gélinas, and C. Guy, 2004. Evaluating odour impacts from a landfilling and composting site: involving citizens in the monitoring. Water Science and Technology Vol 50, No 4, 131-137.
- Iranpour, Cox, Deshusses, and Edward D. Schroeder, “Literature Review of Air Pollution Control Biofilters and Biotrickling Filters for Odor and Volatile Organic Compound Removal”, March 2005, Wiley, Environmental Progress (Vol.24, No.3), American Institute of Chemical Engineers, 254 October 2005, DOI 10.1002/ep.10077.
- Keller Paul E. Battelle, Overview of Electronic Nose Algorithms, Pacific Northwest Division, WA 99352, USA.
- McNevin Dennis, John Barford, “Biofiltration as an odour abatement strategy”- Biochemical Engineering Journal 5 (2000) 231–242.
- Metcalf & Eddy, Wastewater engineering, Treatment and Reuse, Fourth Edition, 2003.
- Pearce T. C., S. S. Schiffman, H. T. Nagle, J. W. Gardner, Handbook of Machine Olfaction: Electronic Nose Technology.
- Rakesh Govind, “Biotreatment of Odors and Volatile Compound, Emissions from Wastewater Treatment Plants”, University of Cincinnati, OH 45221-0171, Paper for the On-Line IDS Conference, 2004.
- Victor J. Godlewski, Jr., P.E., Ray Hanson, P.E., Mark Koletzke, P.E., and Neil Webster Odor Investigation and Control at a WWTP in Orange County, Florida, C. David Cooper, P.E., QEP, , P.E., Environmental Progress (Vol.20, No.3, October 2001).
- Yuwono A. and P. Schulze Lammers, “Odor Pollution in the Environment and the Detection Instrumentation”. Agricultural Engineering International: the CIGR Journal of Scientific Research and Development, Invited Overview Paper. Vol.VI. July, 2004.