

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ



ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

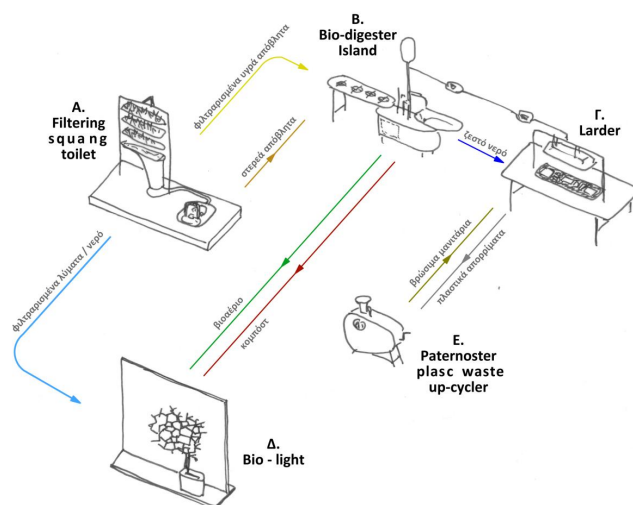
## ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΜΕ ΘΕΜΑ

# «Η ΜΙΚΡΟΒΙΑΚΗ ΟΙΚΙΑ ΩΣ ΕΝΑ ΑΥΤΟΝΟΜΟ ΚΥΚΛΙΚΟ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑ»

ΑΠΟ ΤΟΝ

ΤΣΙΛΙΓΚΙΡΙΔΗ ΣΤΑΥΡΟ ΤΟΥ ΓΕΩΡΓΙΟΥ



XANIA 2014

## **ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ**

κα. Βενιέρη Δανάη

## **ΜΕΛΗ ΤΡΙΜΕΛΟΥΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ**

κα. Βενιέρη Δανάη  
κ. Τσούτσος Θεοχάρης  
κ. Διαμαντόπουλος Ευάγγελος

## **ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΚΑΤΑΘΕΣΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ**

6 ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ 2014

## **ΚΟΣΜΗΤΟΡΑΣ ΣΧΟΛΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

κ. Καρατζάς Γεώργιος

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

|                                                                      |           |
|----------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>I. ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b>                                                   | <b>5</b>  |
| <b>II. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ I.</b>                                              |           |
| <b>1. ΕΝΕΡΓΕΙΑ</b>                                                   | <b>5</b>  |
| <b>1.1. Βιοαέριο</b>                                                 | <b>5</b>  |
| <b>1.1.1. Πλεονεκτήματα των τεχνολογιών βιοαερίου</b>                | <b>6</b>  |
| Ανανεώσιμη πηγή ενέργειας                                            |           |
| Ευέλικτη και αποδοτική τελική χρήση του βιοαερίου                    |           |
| Χαμηλές ανάγκες σε νερό                                              |           |
| <b>1.1.2. Περισσότερα στοιχεία για την Αναερόβια Χώνευση (ΑΧ)</b>    | <b>6</b>  |
| Υποστρώματα για την ΑΧ                                               |           |
| <b>1.1.3. Η βιοχημική διεργασία της ΑΧ</b>                           | <b>7</b>  |
| Υδρόλυση                                                             |           |
| Οξογένεση                                                            |           |
| Οξικογένεση                                                          |           |
| Μεθανογένεση                                                         |           |
| <b>1.1.4. Παράμετροι της ΑΧ</b>                                      | <b>8</b>  |
| Θερμοκρασία                                                          |           |
| Τιμές pH και βέλτιστα διαστήματα                                     |           |
| Πτητικά λιπαρά οξέα (VFA)                                            |           |
| Αμμωνία                                                              |           |
| Ιχνοστοιχεία, θρεπτικές ουσίες και τοξικές ενώσεις                   |           |
| <b>1.1.5. Μονάδες βιοαερίου οικογενειακής κλίμακας</b>               | <b>9</b>  |
| <b>1.1.6. Χρήση του βιοαερίου</b>                                    | <b>10</b> |
| Άμεση καύση και χρήση της θερμότητας                                 |           |
| <b>1.1.7. Εφαρμογή του χωνεμένου υπολείμματος ως εδαφοβελτιωτικό</b> | <b>10</b> |
| <b>1.1.8. Χωνευτές οικιακών εγκαταστάσεων</b>                        | <b>10</b> |
| Χωνευτές συνεχούς τύπου                                              |           |
| Οριζόντιοι χωνευτές                                                  |           |
| <b>1.1.9. Αποθήκευση του βιοαερίου</b>                               | <b>12</b> |
| Πυρσοί βιοαερίου                                                     |           |
| <b>1.2. Ψύξη μέσω εξάτμισης</b>                                      | <b>13</b> |
| <b>2. ΒΙΟΦΩΤΑΥΓΕΙΑ</b>                                               | <b>15</b> |
| <b>2.1. Βιοφωταυγής ιδιοσυχνότητα μεταφοράς ενέργειας</b>            | <b>16</b> |

|                                                          |           |
|----------------------------------------------------------|-----------|
| <b>3. ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ</b>           | <b>17</b> |
| <b>3.1. Κομποστοποίηση</b>                               | <b>17</b> |
| 3.1.1. Διαδικασία κομποστοποίησης                        | 17        |
| 3.1.2. Κομποστοποιησίμα απορρίμματα                      |           |
| <b>3.2. Μικρά συστήματα επεξεργασίας λυμάτων</b>         | <b>19</b> |
| 3.2.1. Συστήματα τεχνητών υγροτόπων επεξεργασίας λυμάτων | 19        |
| 3.2.2. Σηπτικές δεξαμενές                                | 19        |
| 3.2.3. Φίλτρα προηγμένης επεξεργασίας                    | 20        |
| 3.2.4. Στοιχεία σχεδιασμού                               | 21        |
| 3.2.5. Τύποι τεχνητών υγροτόπων                          | 23        |
| 3.2.6. Μηχανισμοί επεξεργασίας στους υγροτόπους          | 24        |
| <b>3.3. Αποδόμηση πλαστικού</b>                          | <b>25</b> |
| <b>III. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ II.</b>                                |           |
| <b>1. ΜΙΚΡΟΒΙΑΚΗ ΟΙΚΙΑ (Microbial Home)</b>              | <b>26</b> |
| 1.1. Filtering Squatting Toilet                          | 26        |
| 1.2. Bio-digester Island                                 | 27        |
| 1.3. Larder                                              | 30        |
| 1.4. Bio-light                                           | 33        |
| 1.5. Paternoster plastic waste up-cycler                 | 34        |
| <b>IV. ΕΠΙΛΟΓΟΣ</b>                                      | <b>36</b> |
| <b>V. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b>                                   | <b>37</b> |
| <b>VI. ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ</b>                                     |           |
| 1. ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ                                     | 39        |
| 2. ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ                                    | 39        |
| 3. ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ                                     | 39        |

## **I. ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Ένα από τα κύρια περιβαλλοντικά προβλήματα της κοινωνίας σήμερα είναι η συνεχώς αυξανόμενη παραγωγή αποβλήτων. Σε πολλές χώρες, η αειφόρος διαχείριση, η πρόληψη παραγωγής και η μείωση των αποβλήτων έχουν καταστεί σημαντικές προτεραιότητες της πολιτικής και αποτελούν ένα σημαντικό μέρος των προσπαθειών που καταβάλλονται για τη μείωση της ρύπανσης του περιβάλλοντος και των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου, αλλά και τη μετρίαση των αλλαγών του παγκόσμιου κλίματος. Οι πρακτικές της ανεξέλεγκτης εναπόθεσης των αποβλήτων δεν είναι πλέον αποδεκτές. Σήμερα η ελεγχόμενη διάθεση στους χώρους ταφής απορριμμάτων αλλά και η αποτέφρωση των οργανικών αποβλήτων δεν ενδείκνυνται ως μέθοδοι.

Ζητούμενο είναι η ανακύκλωση των θρεπτικών και οργανικών ουσιών των αποβλήτων με σκοπό την παραγωγή ποικίλων μορφών ενέργειας.

Η Μικροβιακή οικία δανειζόμενη εφαρμοσμένες πρακτικές, όπως την αναερόβια χώνευση, την κομποστοποίηση, την ψύξη μέσω εξάτμισης, τις σηπτικές δεξαμενές και τα συστήματα τεχνητών υγροτόπων, εκμεταλλεύεται τις ιδιότητες της φύσης συμβάλλοντας στην μείωση του προβλήματος διάθεσης των οικιακών απορριμμάτων.

Με κύριο συστατικό την χρήση βιοαερίου, παραγόμενο από οικιακά απόβλητα, η δημιουργία ενός κυκλικού οικοσυστήματος θα καταστήσει εφικτή την διαχείριση πόρων σε ποικίλες καθημερινές οικιακές διεργασίες.

## **II. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ I.**

### **1. ΕΝΕΡΓΕΙΑ**

#### **1.1. Βιοαέριο**

Η παραγωγή βιοαερίου από την αναερόβια χώνευση (ΑΧ) είναι μια μικροβιολογική διεργασία αποσύνθεσης της οργανικής ουσίας, απουσία οξυγόνου, η οποία είναι συνήθης σε πολλά φυσικά περιβάλλοντα και εφαρμόζεται σήμερα σε αεροστεγείς δεξαμενές που λειτουργούν ως αντιδραστήρες, οι κοινώς αποκαλούμενοι χωνευτές. Ένα ευρύ φάσμα μικροοργανισμών εμπλέκεται στην αναερόβια διεργασία που έχει δύο κύρια τελικά προϊόντα: το βιοαέριο και το χωνεμένο υπόλειμμα. Το βιοαέριο είναι ένα αέριο καύσιμο που αποτελείται από μεθάνιο, διοξείδιο του άνθρακα και από μικρές ποσότητες άλλων αερίων και ιχνοστοιχείων. Το χωνεμένο υπόλειμμα είναι το αποδομημένο υπόστρωμα, πλούσιο σε θρεπτικές ουσίες και έτσι χρησιμοποιείται ως εδαφοβελτιωτικό για τα φυτά.

Στην Ασία, αρκετά εκατομμύρια - πολύ απλοί και μικρής κλίμακας - χωνευτές βιοαερίου βρίσκονται σε λειτουργία σε χώρες όπως η Κίνα, η Ινδία, το Νεπάλ και το Βιετνάμ παράγοντας βιοαέριο για μαγείρεμα και φωτισμό. (Al Seadi, 2008)

### **1.1.1. Πλεονεκτήματα των τεχνολογιών βιοαερίου**

#### **Ανανεώσιμη πηγή ενέργειας**

Σε αντίθεση με τα ορυκτά καύσιμα, το βιοαέριο από την ΑΧ αποτελεί ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, καθώς έχει παραχθεί από βιομάζα, η οποία είναι μία έμβια αποθήκη της ηλιακής ενέργειας μέσω της φωτοσύνθεσης. Το βιοαέριο από την ΑΧ δεν βελτιώνει μόνο το ενεργειακό ισοζύγιο μιας χώρας αλλά συμβάλλει σημαντικά στη διατήρηση των φυσικών πόρων και στην προστασία του περιβάλλοντος.

#### **Ευέλικτη και αποδοτική τελική χρήση του βιοαερίου**

Το βιοαέριο είναι ένας ευέλικτος ενεργειακός φορέας, κατάλληλος για πολλές διαφορετικές εφαρμογές. Μία από τις απλούστερες εφαρμογές του βιοαερίου είναι το μαγείρεμα και ο φωτισμός, αλλά σε πολλές χώρες το βιοαέριο χρησιμοποιείται για τη συνδυασμένη παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας (ΣΗΘ) ή αναβαθμίζεται και τροφοδοτείται στα δίκτυα φυσικού αερίου.

#### **Χαμηλές ανάγκες σε νερό**

Ακόμα και όταν συγκρίνεται με άλλα βιοκαύσιμα, το βιοαέριο έχει μερικά πλεονεκτήματα. Ένα από αυτά είναι ότι για να γίνει η διεργασία της ΑΧ χρειάζεται μικρή ποσότητα νερού. Αυτή η πτυχή είναι τόσο σημαντική όσο η ενεργειακή αποδοτικότητα του βιοαερίου, λόγω των αναμενόμενων ελλείψεων υδάτινων πόρων σε πολλές περιοχές του κόσμου. (Agaritidis and Zafiris 2006)

### **1.1.2. Περισσότερα στοιχεία για την Αναερόβια Χώνευση (ΑΧ)**

Η ΑΧ είναι μια βιοχημική διεργασία κατά τη διάρκεια της οποίας σύνθετα οργανικά στοιχεία αποσυντίθενται απουσία οξυγόνου από διάφορους τύπους αναερόβιων μικροοργανισμών. Η διεργασία της ΑΧ είναι κοινή σε πολλά φυσικά περιβάλλοντα όπως τα ιζήματα θαλάσσιου ύδατος, το στομάχι των μηρυκαστικών ή τα έλη τύρφης. Σε μία μονάδα βιοαερίου, το αποτέλεσμα της διεργασίας της ΑΧ είναι το βιοαέριο και το χωνεμένο υπόλειμμα. Όταν το υπόστρωμα για την ΑΧ είναι ένα ομοιογενές μείγμα από δύο ή περισσότερους τύπους πρώτων υλών (π.χ. ζωικές υδαρείς κοπριές και οργανικά απόβλητα από τις βιομηχανίες τροφίμων) τότε έχουμε την λεγόμενη «συγχώνευση» ή «συνδυασμένη χώνευση», η οποία είναι συνήθης σε πολλές από τις εφαρμογές του βιοαερίου σήμερα.

#### **Υποστρώματα για την ΑΧ**

Μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα ευρύ φάσμα τύπων βιομάζας ως υπόστρωμα (πρώτη ύλη) για την παραγωγή βιοαερίου από την ΑΧ. Οι πιο κοινές κατηγορίες πρώτης ύλης που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή του βιοαερίου στην Ευρώπη είναι οι εξής:

- Στερεή και υδαρή κοπριά,
- Γεωργικά υπολείμματα και υποπροϊόντα,
- Οργανικά απόβλητα που μπορούν να υποστούν χώνευση από τρόφιμα και αγροτοβιομηχανίες (φυτικής και ζωικής προέλευσης),
- Το οργανικό κλάσμα των αστικών αποβλήτων και των υπολειμμάτων εστίασης (φυτικής και ζωικής προέλευσης),

- Λυματολάσπη,
  - Ενεργειακές καλλιέργειες (π.χ. αραβόσιτος, μίσχανθος, σόργος, τριφύλλι).
- (Preibler et al. 2007)

### **1.1.3. Η βιοχημική διεργασία της ΑΧ**

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η ΑΧ είναι η μικροβιολογική διαδικασία αποσύνθεσης της οργανικής ύλης απουσία οξυγόνου. Τα βασικά προϊόντα αυτής της διεργασίας είναι το βιοαέριο και το χωνεμένο υπόλειμμα. Το βιοαέριο είναι ένα αέριο καύσιμο, αποτελούμενο κυρίως από μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα. Το χωνεμένο υπόλειμμα είναι το αποσυντεθειμένο υπόστρωμα, επακόλουθο της παραγωγής του βιοαερίου.

Κατά τη διάρκεια της ΑΧ παράγεται πολύ λίγη θερμότητα σε αντίθεση με την αερόβια αποσύνθεση (παρουσία οξυγόνου), όπως είναι η κομποστοποίηση. Η ενέργεια, που είναι χημικά δεσμευμένη μέσα στο υπόστρωμα, παραμένει κυρίως στο παραγόμενο βιοαέριο με τη μορφή μεθανίου. Η διεργασία σχηματισμού του βιοαερίου είναι ένα αποτέλεσμα συνδυαστικών σταδίων, στα οποία το αρχικό υλικό συνεχώς διασπάται σε μικρότερα στοιχεία. Ειδικές ομάδες μικροοργανισμών εμπλέκονται σε καθένα από τα μεμονωμένα αυτά στάδια. Αυτοί οι οργανισμοί αποσυνθέτουν διαδοχικά τα προϊόντα.

Τα στάδια της διεργασίας λαμβάνουν χώρα παράλληλα στο χώρο και το χρόνο, στη δεξαμενή χώνευσης. Η ταχύτητα της συνολικής διεργασίας αποσύνθεσης καθορίζεται από την πιο αργή αντίδραση της αλυσίδας.

#### **Υδρόλυση**

Η υδρόλυση είναι θεωρητικά το πρώτο βήμα της ΑΧ, κατά τη διάρκεια της οποίας η σύνθετη οργανική ουσία (πολυμερή) αποσυντίθεται σε μικρότερα στοιχεία (μονο- και ολιγομερή). Τα πολυμερή, όπως οι υδατάνθρακες, τα λιπίδια, τα νουκλεϊκά οξέα και οι πρωτεΐνες, μετατρέπονται σε γλυκόζη, γλυκερίνη, πουρίνες, πυριδίνες, κ.λπ. Τα υδρολυτικά βακτήρια εκκρίνουν υδρολυτικά ένζυμα, μετατρέποντας τα βιοπολυμερή σε απλούστερες και διαλυτές ενώσεις.

Μια μεγάλη ποικιλία μικροοργανισμών εμπλέκονται στην υδρόλυση, η οποία πραγματοποιείται από τα εξωένζυμα, που παράγονται από τους μικροοργανισμούς εκείνους που αποσυνθέτουν το αδιάλυτο μοριακό υλικό. Τα προϊόντα που προκύπτουν από την υδρόλυση αποσυντίθενται περαιτέρω από τους εμπλεκόμενους μικροοργανισμούς και χρησιμοποιούνται για τις δικές τους διεργασίες μεταβολισμού.

#### **Οξεογένεση**

Κατά τη διάρκεια της οξεογένεσης, τα προϊόντα της υδρόλυσης μετατρέπονται από οξεογενή βακτηρίδια σε μεθανογενή υποστρώματα. Τα απλά σάκχαρα, τα αμινοξέα και τα λιπαρά οξέα υποβιβάζονται σε οξικό άλας, διοξείδιο του άνθρακα και υδρογόνο (70%), καθώς επίσης και σε πτητικά λιπαρά οξέα (VfA) και αλκοόλες (30%).

#### **Οξικογένεση**

Κατά τη διάρκεια της οξικογένεσης, τα προϊόντα της οξεογένεσης που δεν μπορούν να μετατραπούν άμεσα σε μεθάνιο από τα μεθανογενή βακτηρίδια μετατρέπονται σε μεθανογενή υποστρώματα. Τα πτητικά λιπαρά οξέα και οι αλκοόλες οξειδώνονται σε μεθανογενή υποστρώματα, όπως οξικό οξύ, υδρογόνο και διοξείδιο του άνθρακα. Τα πτητικά λιπαρά οξέα με αλυσίδες άνθρακα με περισσότερους από δύο δεσμούς και οι αλκοόλες με αλυσίδες άνθρακα με περισσότερους από ένα δεσμό οξειδώνονται σε

οξικό οξύ και υδρογόνο. Η παραγωγή του υδρογόνου αυξάνει την μερική πίεσή του. Αυτό μπορεί να θεωρηθεί ως «υπόλειμμα» της οξικογένεσης και εμποδίζει το μεταβολισμό των οξικογενών βακτηρίων.

Κατά τη διάρκεια της μεθανογένεσης, το υδρογόνο μετατρέπεται σε μεθάνιο. Η οξικογένεση και η μεθανογένεση συνήθως λαμβάνουν χώρα παράλληλα, ως συμβίωση δύο ομάδων οργανισμών.

### **Μεθανογένεση**

Η παραγωγή του μεθανίου και του διοξειδίου του άνθρακα από ενδιάμεσα προϊόντα πραγματοποιείται από τα μεθανογενή βακτήρια. Το 70% του διαμορφωμένου μεθανίου προέρχεται από οξικό άλας, ενώ το υπόλοιπο 30% παράγεται από τη μετατροπή του υδρογόνου και του CO<sub>2</sub>.

Η μεθανογένεση είναι ένα κρίσιμο βήμα σε ολόκληρη τη διεργασία της χώνευσης, δεδομένου ότι είναι η πιο αργή βιοχημική αντίδραση της διεργασίας. Η μεθανογένεση επηρεάζεται σοβαρά από τις συνθήκες λειτουργίας. Η σύνθεση της πρώτης ύλης, ο ρυθμός τροφοδοσίας, η θερμοκρασία και το pH είναι παραδείγματα παραγόντων που επηρεάζουν τη μεθανογένεση. Η υπερπλήρωση του χωνευτή, οι αλλαγές θερμοκρασίας ή η μεγάλη είσοδος οξυγόνου οδηγούν συνήθως στον τερματισμό της παραγωγής μεθανίου. (Al Seadi 2008)

### **1.1.4. Παράμετροι της ΑΧ**

Η αποδοτικότητα της ΑΧ εξαρτάται από μερικές κρίσιμες παραμέτρους, οπότε είναι σημαντικό να παρέχονται οι κατάλληλες συνθήκες για τους αναερόβιους μικροοργανισμούς. Η ανάπτυξη και η δραστηριότητά τους επηρεάζεται σημαντικά από την απουσία οξυγόνου, τη θερμοκρασία, την τιμή του pH, τον ανεφοδιασμό με θρεπτικές ουσίες, την ένταση της ανάδευσης, καθώς και από την παρουσία και την ποσότητα ανασταλτικών παραγόντων (π.χ. αμμωνία). Τα βακτήρια μεθανίου είναι δύσκολοι αναερόβιοι οργανισμοί, οπότε πρέπει να αποφεύγεται αυστηρά η παρουσία οξυγόνου στη διεργασία της χώνευσης.

### **Θερμοκρασία**

Η διεργασία της ΑΧ μπορεί να πραγματοποιηθεί σε διαφορετικές θερμοκρασίες, που χωρίζονται σε τρία θερμοκρασιακά εύρη: ψυχρόφιλη (κάτω από 25°C), μεσόφιλη (25 - 45°C), και θερμόφιλη (45-70°C).

### **Τιμές pH και βέλτιστα διαστήματα**

Η τιμή του pH είναι το μέτρο της οξύτητας/αλκαλικότητας του διαλύματος (ανάλογα με το μείγμα του υποστρώματος, στην περίπτωση της ΑΧ) και εκφράζεται σε μέρη ανά εκατομμύριο (ppm). Το pH του υποστρώματος της ΑΧ επηρεάζει την αύξηση των μεθανογενών μικροοργανισμών και μπορεί να έχει επιπτώσεις στο διαχωρισμό μερικών ενώσεων που έχουν σημασία για τη διεργασία της ΑΧ (αμμωνία, σουλφίδιο, οργανικά οξέα). Η εμπειρία δείχνει ότι ο σχηματισμός του μεθανίου πραγματοποιείται μέσα σε ένα σχετικά μικρό εύρος pH, περίπου από 5,5 έως 8,5, με ένα βέλτιστο εύρος από 7 έως 8 για τους περισσότερους μεθανογενείς οργανισμούς. Οι οξικογενείς οργανισμοί έχουν, σε πολλές περιπτώσεις, μια χαμηλότερη τιμή του βέλτιστου pH.



### **Πτητικά λιπαρά οξέα (VFA)**

Η ευστάθεια της διεργασίας της ΑΧ επηρεάζεται από τη συγκέντρωση των ενδιάμεσων προϊόντων όπως είναι τα πτητικά λιπαρά οξέα (VfA)

### **Αμμωνία**

Η αμμωνία (NH<sub>3</sub>) είναι μια σημαντική ένωση, με ιδιαίτερη λειτουργία στη διεργασία της ΑΧ. Είναι μια σημαντική θρεπτική ουσία που χρησιμεύει ως προδρομικό υλικό των τροφίμων και των λιπασμάτων και κανονικά συναντάται ως αέριο, με τη χαρακτηριστική έντονη οσμή. Οι πρωτεΐνες είναι η κύρια πηγή αμμωνίας στη διεργασία της ΑΧ.

Η πολύ υψηλή συγκέντρωση αμμωνίας μέσα στο χωνευτή, ειδικότερα η ελεύθερη αμμωνία (στη μη ιονισμένη μορφή της), είναι υπεύθυνη για την παρεμπόδιση της διεργασίας. Γι' αυτό το λόγο, η συγκέντρωση της αμμωνίας πρέπει να διατηρείται κάτω από 80 mg/l.

### **Ιχνοστοιχεία, θρεπτικές ουσίες και τοξικές ενώσεις**

Τα ιχνοστοιχεία όπως το σίδηρο, το νικέλιο, το κοβάλτιο, το σελήνιο, το μολυβδαίνιο ή το βολφράμιο είναι εξίσου σημαντικά για την αύξηση και την επιβίωση των μικροοργανισμών της ΑΧ (άνθρακας, άζωτο, φώσφορος και θείο). Η βέλτιστη αναλογία των θρεπτικών στοιχείων άνθρακα, αζώτου, φωσφόρου, και θείου (C:N:P:S) είναι 600:15:5:1. (Moestedt 2013)

## **1.1.5. Μονάδες βιοαερίου οικογενειακής κλίμακας**

Σε χώρες όπως το Νεπάλ, η Κίνα ή η Ινδία λειτουργούν εκατομμύρια μονάδες βιοαερίου οικογενειακής κλίμακας, οι οποίες χρησιμοποιούν πολύ απλές τεχνολογίες. Η πρώτη ύλη της ΑΧ που χρησιμοποιείται σε αυτές τις μονάδες βιοαερίου προέρχεται από τα νοικοκυριά και/ή τη μικρή αγροτική τους δραστηριότητα και το παραγόμενο βιοαέριο χρησιμοποιείται για το μαγείρεμα και το φωτισμό.

Οι χωνευτές είναι απλοί, φθηνοί, γεροί, εύκολοι στη λειτουργία και τη συντήρησή τους, και μπορούν να κατασκευαστούν με διαθέσιμα επί τόπου υλικά. Συνήθως, δεν υπάρχουν όργανα ελέγχου και καμία διεργασία θέρμανσης (ψυχρόφιλη ή μεσόφιλη λειτουργία), καθώς πολλοί από αυτούς λειτουργούν σε θερμότερα κλίματα και έχουν μεγάλους χρόνους ΥΧΠ. Διακρίνονται οι εξής τύποι. (Al Seadi 2008):

α) Ο Κινέζικος τύπος είναι ένας υπόγειος αντιδραστήρας τυπικού όγκου 6 έως 8m<sup>3</sup>. Τροφοδοτείται με οικιακά λύματα, ζωική στερεή κοπριά και οργανικά οικιακά απόβλητα. Ο αντιδραστήρας λειτουργεί κατά έναν ημι-συνεχή τρόπο, όπου προστίθεται νέο υπόστρωμα μία φορά την ημέρα και αντίστοιχα αφαιρείται μία ανάλογη ποσότητα μεταγγισμένου αναμειγμένου υγρού μια φορά την ημέρα. Ο αντιδραστήρας δεν αναδεύεται, οπότε η ιζηματογένεση των αιωρούμενων στερεών πρέπει να αφαιρείται 2-3 φορές το χρόνο. Με την ευκαιρία αυτή, αφαιρείται ένα μεγάλο μέρος του υποστρώματος και αφήνεται ως μπόλιασμα ένα μικρό μέρος (περίπου το ένα πέμπτο της περιεκτικότητας του αντιδραστήρα). (Datong 1989)

β) Ο Ινδικός τύπος είναι παρόμοιος με τον κινέζικο τύπο, δεδομένου ότι είναι ένας απλός υπόγειος αντιδραστήρας για τα οικιακά απόβλητα και τα απόβλητα μικρών καλλιεργειών. Η διαφορά είναι ότι τα λύματα συλλέγονται στο κατώτατο σημείο του

αντιδραστήρα και ένας θάλαμος (καμπάνα) συλλογής αερίου λειτουργεί ως δεξαμενή του βιοαερίου.

γ) Μια άλλη μικρής κλίμακας μονάδα βιοαερίου είναι ο τύπος μετατόπισης, ο οποίος αποτελείται από έναν οριζόντιο κυλινδρικό αντιδραστήρα. Το υπόστρωμα τροφοδοτείται από τη μία πλευρά και το χωνεμένο υπόλειμμα συλλέγεται στην αντίθετη πλευρά. Το υπόστρωμα κινείται σε συνεχή ροή μέσω του αντιδραστήρα, και ένα μέρος του κατά την έξοδο επανακυκλοφορεί για να αραιώσει τη νέα εισαγωγή και να παράσχει το αναγκαίο μπόλιασμα. (Raha 2014)

#### **1.1.6. Χρήση του βιοαερίου**

Το βιοαέριο έχει πολλές ενεργειακές χρήσεις, ανάλογα με τη φύση της πηγής και την τοπική ζήτηση για μια συγκεκριμένη μορφή ενέργειας. Γενικά, το βιοαέριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή θερμότητας μέσω άμεσης καύσης, παραγωγή ηλεκτρισμού από κυψέλες καυσίμου ή μικροστροβίλους, συνδυασμένη παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας (ΣΗΘ) ή ως καύσιμο οχημάτων.

##### **Άμεση καύση και χρήση της θερμότητας**

Ο απλούστερος τρόπος χρήσης του βιοαερίου είναι η άμεση καύση του σε λέβητες ή καυστήρες, που χρησιμοποιούνται κατά κόρον, για το βιοαέριο που παράγεται από μικρούς οικογενειακούς χωνευτές.

Η άμεση καύση εφαρμόζεται σε αρκετές χώρες, σε καυστήρες φυσικού αερίου. Το βιοαέριο μπορεί να καεί για την παραγωγή θερμότητας είτε επί τόπου, είτε να μεταφερθεί με σωληνώσεις στους τελικούς χρήστες. Για τις εφαρμογές θέρμανσης το βιοαέριο δεν χρειάζεται καμία αναβάθμιση, ενώ το επίπεδο μόλυνσής του δεν περιορίζει τη χρήση του αερίου τόσο όσο στην περίπτωση άλλων εφαρμογών. Ωστόσο, το βιοαέριο πρέπει να υποβληθεί σε συμπίκνωση και αφαίρεση των σωματιδίων, συμπίεση, ψύξη και ξήρανση. (Simeonov et al. 2006)

#### **1.1.7. Εφαρμογή του χωνεμένου υπολείμματος ως εδαφοβελτιωτικό**

Το χωνεμένο υπόλειμμα είναι πιο ομογενοποιημένο και περιέχει περισσότερο ανόργανο άζωτο ευκολότερα προσβάσιμο στα φυτά σε σχέση με την ακατέργαστη υδαρή κοπριά. Εάν το χωνεμένο υπόλειμμα χρησιμοποιείται ως εδαφοβελτιωτικό σύμφωνα με την ορθή γεωργική πρακτική, θα αυξηθεί αρκετά η αποδοτικότητα σε άζωτο και θα ελαχιστοποιηθούν οι απώλειες των θρεπτικών ουσιών από τη διύλιση και την εξάτμιση. (Al Seadi 2008)

#### **1.1.8. Χωνευτές οικιακών εγκαταστάσεων**

Ο πυρήνας μιας μονάδας βιοαερίου είναι ο χωνευτής: ένας αεροστεγής αντιδραστήρας όπου πραγματοποιείται η αποσύνθεση της πρώτης ύλης, απουσία οξυγόνου, και παράγεται το βιοαέριο. Τα κοινά χαρακτηριστικά όλων των χωνευτών, εκτός από την αεροστεγανότητα, είναι ότι διαθέτουν ένα σύστημα τροφοδότησης της πρώτης ύλης, καθώς και συστήματα εξαγωγής του βιοαερίου και του χωνεμένου υπολείμματος.

Η υγρή χώνευση περιλαμβάνει συνήθως την ΑΧ της κοπριάς και της λυματολάσπης, ενώ η ξηρή χώνευση εφαρμόζεται στην παραγωγή βιοαερίου από στερεή κοπριά με υψηλή

περιεκτικότητα σε άχυρο, από οικιακά απόβλητα και στερεά αστικά βιοαπόβλητα, κλαδέματα και χλόη από τη συντήρηση κήπων, ενεργειακές καλλιέργειες (φρέσκες ή αποθήκες σε σιλό).

Από την άποψη της εισαγωγής και εξαγωγής της πρώτης ύλης, υπάρχουν δύο βασικοί τύποι χωνευτών: ασυνεχούς τύπου και συνεχούς τύπου. Οι χωνευτές που θα μας απασχολήσουν στην Μικροβιακή Οικία είναι οι συνεχούς τύπου.

### **Χωνευτές συνεχούς τύπου**

Σε ένα χωνευτή συνεχούς τύπου τα υποστρώματα της πρώτης ύλης τροφοδοτούνται στο χωνευτή συνεχώς. Το υλικό κινείται μέσα στο χωνευτή είτε μηχανικά είτε υπό την πίεση του νεο-τροφοδοτούμενου υποστρώματος που εξωθεί το χωνεμένο υλικό. Αντίθετα από τους χωνευτές ασυνεχούς τύπου οι συνεχείς χωνευτές παράγουν βιοαέριο χωρίς διακοπή για τη φόρτωση νέας πρώτης ύλης και την εκφόρτωση των χωνεμένων υπολειμμάτων. Η παραγωγή βιοαερίου είναι σταθερή και προβλέψιμη.

Υπάρχουν τρία βασικά είδη συνεχών χωνευτών: κατακόρυφοι, οριζόντιοι και συστήματα πολλαπλών δεξαμενών. Ανάλογα με τη λύση που επιλέγεται για την ανάδευση του υποστρώματος ΑΧ, οι συνεχείς χωνευτές μπορούν να ταξινομηθούν στους χωνευτές πλήρους ανάμειξης και τους χωνευτές στρωτής ροής

Οι χωνευτές πλήρους ανάμειξης είναι κυρίως κατακόρυφοι και οι χωνευτές στρωτής ροής οριζόντιοι. (Al Seadi 2008)

| <b>Χωνευτές πλήρους ανάμειξης</b>                             | <b>Χωνευτές στρωτής ροής</b>                                           |
|---------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| Κυκλικοί, κατασκευή μονής δεξαμενής, κατακόρυφοι              | Επιμήκεις, οριζόντια δεξαμενή                                          |
| Πλήρης μείξη                                                  | Κατακόρυφης ανάμειξης                                                  |
| Κατάλληλοι για πρώτη ύλη                                      | Κατάλληλοι για δύσκολες πρώτες ύλες                                    |
| Τμήματα μη χωνεμένης πρώτης ύλης μπορεί να φθάσουν στην εκροή | Κανονικά καμία σύνδεση μεταξύ εισροής και εκροής-εξασφαλισμένη υγιεινή |
| Θερμοκρασία διεργασίας 20-37 °C                               | Θερμοκρασία διεργασίας 35-55 °C                                        |
| Χρόνος παραμονής 30 - 90 ημέρες                               | Χρόνος παραμονής 15 - 30 ημέρες                                        |

Πίνακας 1. Τύποι χωνευτών . Πηγή: Al Seadi 2008

### **Οριζόντιοι χωνευτές**

Οι οριζόντιοι χωνευτές έχουν οριζόντιο άξονα και κυλινδρικό σχήμα και είναι περιορισμένοι στο μέγεθος και τον όγκο. Μπορούν ωστόσο να λειτουργούν παράλληλα, προκειμένου να επιτευχθούν μεγαλύτερες τιμές ρυθμαπόδοσης. Λόγω της μορφής τους, εφαρμόζεται αυτόματα το ρεύμα στρωτής ροής. Η πρώτη ύλη ρέει αργά από την πλευρά εισόδου στην πλευρά εκκένωσης, διαμορφώνοντας μια στρωτή ροή στον χωνευτή. Έτσι ελαχιστοποιείται ο κίνδυνος της εκκένωσης μη χωνεμένου υποστρώματος και εξασφαλίζεται ένας συγκεκριμένος χρόνος παραμονής για όλο το υπόστρωμα μέσα στο χωνευτή.

Ο μονωμένος χωνευτής είναι εξοπλισμένος με σύστημα θέρμανσης, θόλο αερίου, σωλήνες στερεής κοπριάς και έναν αναδευτήρα.

Με την εξασφάλιση μιας συνεχούς προς τα μέσα και προς τα έξω ροής της πρώτης ύλης, μπορεί να επιτευχθεί ένας μέσος χρόνος παραμονής 15-30 ημερών. Η στάθμη πλήρωσης του χωνευτή φθάνει πάντα στο ίδιο ύψος και αυξομειώνεται μέσα στο θόλο αερίου κατά τη διάρκεια της πλήρωσης και της ανάδευσης. Η στάθμη ρυθμίζεται από ένα σιφόνι στην εκροή. (Coughtrie 2013)

### **1.1.9. Αποθήκευση του βιοαερίου**

Η παραγωγή του βιοαερίου πρέπει να διατηρείται όσο το δυνατόν πιο σταθερή και συνεχής. Μέσα στο χωνευτή, το βιοαέριο σχηματίζεται σε κυμαινόμενες ποσότητες και με αιχμές απόδοσης. Όταν το βιοαέριο χρησιμοποιείται, μπορεί να μεταβάλλεται η απαιτούμενη ποσότητά του. Για να αντισταθμιστούν όλα αυτά, είναι απαραίτητο να αποθηκεύεται προσωρινά το παραγόμενο βιοαέριο σε κατάλληλες εγκαταστάσεις αποθήκευσης.

Σήμερα υπάρχουν διάφορες επιλογές για τις εγκαταστάσεις αποθήκευσης του βιοαερίου. Η πιο απλή λύση είναι η αποθήκευση του βιοαερίου στο επάνω μέρος των χωνευτών με τη χρήση μιας ειδικής μεμβράνης, η οποία επίσης χρησιμοποιείται ως κάλυμμα του χωνευτή.

Όλες οι εγκαταστάσεις αποθήκευσης βιοαερίου πρέπει να είναι αεροστεγείς και, ανθεκτικές στην πίεση. Για λόγους ασφάλειας πρέπει να είναι εξοπλισμένες με βαλβίδες ασφαλείας (για υποπίεση και υπερπίεση) ώστε να αποτραπούν οι ζημιές και άλλοι κίνδυνοι ασφαλείας. Πρέπει επίσης να είναι εγγυημένη η προστασία από έκρηξη και απαιτείται η ύπαρξη ενός πυρσού έκτακτης ανάγκης. Η δεξαμενή πρέπει να έχει την ικανότητα να αποθηκεύει τουλάχιστον το ένα τέταρτο της ημερήσιας παραγωγής βιοαερίου. Συνήθως, προτείνεται η δυνατότητα αποθήκευσης του παραγόμενου βιοαερίου διάρκειας μίας ή δύο ημερών.

#### **Πυρσός βιοαερίου**

Υπάρχουν περιπτώσεις όπου παράγεται περισσότερο βιοαέριο απ' ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί για παραγωγή ενέργειας. Σε τέτοιες περιπτώσεις είναι απαραίτητη η ύπαρξη εφεδρικών λύσεων, όπως η πρόσθετη αποθήκευση βιοαερίου ή πρόσθετα συστήματα παραγωγής ενέργειας. Η αποθήκευση του βιοαερίου για μικρές χρονικές περιόδους είναι δυνατή χωρίς συμπίεση, αλλά για περιόδους της τάξης των μερικών ωρών γενικά δεν είναι εφικτή, λόγω του μεγάλου όγκου του αερίου. Για το λόγο αυτό, κάθε μονάδα βιοαερίου είναι εξοπλισμένη με έναν «πυρσό» βιοαερίου. Όταν υπάρχει περίσσεια βιοαερίου που δεν μπορεί να αποθηκευτεί ή να χρησιμοποιηθεί, η ανάφλεξη είναι η τελευταία λύση, απαραίτητη για την εξάλειψη οιασδήποτε κινδύνων ασφαλείας και για την προστασία του περιβάλλοντος. Σε εξαιρετικές καταστάσεις, όταν δεν είναι εφικτή η ανάκτηση ενέργειας, η ανάφλεξη θα μπορούσε να είναι η λύση για την ασφαλή διάθεση του βιοαερίου που παρήχθη από τις διεργασίες της ΑΧ.

Η διεργασία της καύσης καθορίζει τα πλεονεκτήματα ενός τύπου πυρσού σε σχέση με κάποιον άλλον. Η φλόγα του πυρσού ρυθμίζεται από τα πρότυπα εκπομπών και τα κριτήρια απόδοσης του εκάστοτε χρησιμοποιούμενου πυρσού. Δύο παράμετροι, η θερμοκρασία και ο χρόνος παραμονής, διαμορφώνουν τις προδιαγραφές απόδοσης για τους σύγχρονου τύπου πυρσούς. Ο σχεδιασμός των πυρσών πρέπει να στοχεύει στη μεγιστοποίηση της μετατροπής του μεθανίου προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί η απελευθέρωση άκαυστου μεθανίου και κάθε άλλου υποπροϊόντος της ατελούς καύσης

(π.χ. το μονοξείδιο του άνθρακα). Ανάλογα με το λόγο του αέρα, τη θερμοκρασία και την κινητική των αντιδράσεων της καύσης, ενδέχεται να σχηματισθούν αρκετά ανεπιθύμητα υποπροϊόντα της καύσης του βιοαερίου. Προκειμένου να μεγιστοποιηθούν οι επιθυμητές αντιδράσεις και να ελαχιστοποιηθούν οι ανεπιθύμητες, το εύρος της θερμοκρασίας, πρέπει να είναι 850-1.200 °C και ο χρόνος παραμονής 0,3 δευτερόλεπτα το ελάχιστο.

Η ανάγκη για καθαρισμό ή βελτίωση του αερίου εξαρτάται από την ποιότητα του αερίου και εάν το αέριο χρησιμοποιείται σε μια εγκατάσταση ανάκτησης της ενέργειας, όπου υπάρχει χαμηλότερη ανοχή για τα παρασυρόμενα σωματίδια τα διάφορα όξινα αέρια που σχηματίζονται κατά τη διάρκεια της καύσης.

Οι κλειστού τύπου πυρσοί συνήθως τοποθετούνται στο έδαφος, σε μόνιμες εγκαταστάσεις που στεγάζουν ένα μόνο καυστήρα ή μια σειρά καυστήρων οι οποίοι εσωκλείονται μέσα σε ένα κυλινδρικό περίβλημα που καλύπτεται από πυρίμαχο υλικό. Σχεδιασμένο για το σκοπό αυτό, το περίβλημα αποτρέπει την διακοπή και, κατά συνέπεια, η καύση είναι πιο ομοιόμορφη και οι εκπομπές χαμηλές. Ο έλεγχος της διεργασίας είναι σχετικά απλός και εν γένει περιλαμβάνει συνεχή έλεγχο της θερμοκρασίας, των υδρογονανθράκων και του μονοξειδίου του άνθρακα.

(Baciocchi 2013)

## 1.2. Ψύξη μέσω εξάτμισης

Ο Mohammed Bah Aba εφεύρε τη συσκευή το 1995 και βραβεύτηκε με Rolex Laureate (Rolex Awards for Enterprise) το 2000 για την ανάπτυξη του συστήματος συντήρησης/ψύξης «δοχείου-σε-δοχείου».

Το ψυγείο «δοχείο σε δοχείο», είναι μια συσκευή ψύξης που κρατά τα τρόφιμα δροσερά χωρίς ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιώντας την ψύξη που δημιουργεί η εξάτμιση του νερού.

Κατασκευάζεται με την τοποθέτηση ενός πήλινου δοχείου μέσα σε ένα μεγαλύτερο πήλινο δοχείο, με βρεγμένη άμμο αναμεταξύ τους και με ένα υγρό ύφασμα στο πάνω μέρος. Όταν το νερό εξατμίζεται τραβά τη θερμότητα προς τα έξω και δροσίζει το εσωτερικό, επιτρέποντας στα τρόφιμα που αποθηκεύονται στο εσωτερικό δοχείο να διατηρηθούν φρέσκα, για πολύ περισσότερο καιρό σε ένα καυτό, ξηρό κλίμα. Πρέπει να τοποθετηθεί σε ένα ξηρό, αερισμένο χώρο, για να εξατμιστεί το νερό αποτελεσματικά προς τα έξω.



Εικόνα 1. Οικολογικό ψυγείο χωρίς ηλεκτρισμό  
Πηγή: Bah Aba 1995



Εικόνα 2. Pot in pot cooler  
Πηγή: Willems 2000

### **Το ψυγείο «δοχείο σε δοχείο» ξανασχεδιασμένο από τον Ricky Willems**

Οι προτεινόμενες βελτιώσεις είναι σχεδόν τόσο απλές όσο η έννοια της εξατμιστικής ψύξης. Επιδιώχτηκε κυρίως να βελτιωθεί και να αυξηθεί το ποσό εξάτμισης νερού στη συσκευή, και η μόνωση του σχεδίου. Η δυνατότητα του συστήματος να χρησιμοποιήσει καλύτερα την δροσερή άμμο έχει επίσης αυξηθεί, με την προσθήκη των κορυφογραμμών στο εσωτερικό δοχείο, οι οποίες βοηθούν στη βύθιση της θερμότητας από το εσωτερικό δοχείο στην πιο δροσερή άμμο.

Το ποσό της εξάτμισης αυξήθηκε από την προσθήκη των εξατμιστικών διεξόδων στο εξωτερικό δοχείο. Οι διέοδοι αυξάνουν την περιοχή επιφάνειας του εξωτερικού κεραμικού δοχείου και την περιοχή επιφάνειας της άμμου μέσω της οποίας το νερό μπορεί να εξατμίσει. Αφού «η αποδοτικότητα ενός (εξατμιστικού) συστήματος ψύξης εξαρτάται από τον αέρα που κινείται» (Bucklin 1993), ο βαθμός ψύξης πρέπει να αυξηθεί αισθητά με αυτήν την προσθήκη.

(Willems 2000)



## 2. ΒΙΟΦΩΤΑΥΓΕΙΑ

Βιοφωταύγεια ή βιοφωτισμός (bioluminescence) χαρακτηρίζεται η δημιουργία φωτός σε διάφορα μήκη κύματος που εκπέμπεται από διάφορους ζώντες οργανισμούς, που συχνά καλείται εσφαλμένα φωσφορισμός.

Το φαινόμενο της βιοφωταύγειας παρουσιάζεται σε πολλές βιο-ομάδες πολύ διαφορετικές μεταξύ τους όπως τα βακτήρια, οι μύκητες, οι πυγολαμπίδες (και άλλα κολεόπτερα) καθώς και σε διάφορους θαλάσσιους οργανισμούς.

Ερευνήθηκε και διαπιστώθηκε ότι αιτία της φωτοβολίας αυτής των ζωντανών οργανισμών είναι η οξειδωση της πρωτεΐνης λουκιφερίνης. Αυτή η βιοχημική αντίδραση απαιτεί τριφωσφάτη αδενοσίνη (ATP), που καταλύεται από τη λουκιφεράση.



Εικόνα 3. μύκητας *Panellus stipticus* παρουσιάζει

βιοφωταυγεία. Πηγή: Wikipedia



Εικόνα 4. εκατομμύρια μικροοργανισμών όπως τα

*Noctiluca* κάνουν τον ωκεανό να φωτίζει. Πηγή: WebEcoist



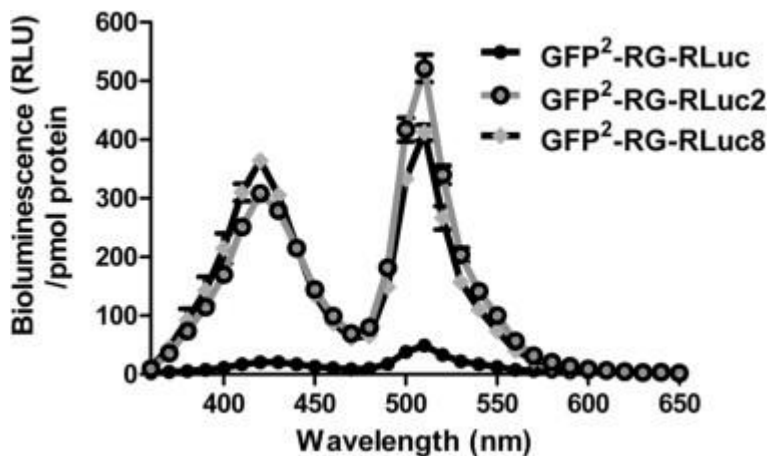
Εικόνα 5. ο βιοφωταυγής μικροοργανισμός *Noctiluca*

*scintillans* Πηγή: Marine animal encyclopedia, OCEANA

## 2.1. Βιοφωταυγής ιδιοσυχνότητα μεταφοράς ενέργειας

Η Βιοφωταυγής ιδιοσυχνότητα μεταφοράς ενέργειας (Bioluminescence resonance energy transfer (BRET)) είναι ένα φυσικό φαινόμενο που απαντάται σε μια ποικιλία θαλασσινών οργανισμών όπως ο *Aequorea victoria* και ο *Renilla reniformis* και προκύπτει από την δίχως ακτινοβολία μεταφορά ενέργειας από τον βιοφωταυγή δότη *Renilla luciferase* (RLuc) στον δέκτη φθορισμού green fluorescent protein (GFP).

Χάρη στην βιοτεχνολογία κατασκευάζονται πλέον πρωτεΐνες BRET και το φαινόμενο της βιοφωταύγειας αναπαράγεται στο εργαστήριο σε συγκεκριμένες κλίμακες έντασης της φωταύγειας. (Dacres 2012)



Σχήμα 1. Emission spectra of 1  $\mu$ M of the specified GFP<sup>2</sup>-RG-RLuc, GFP<sup>2</sup>-RG-RLuc2, and GFP<sup>2</sup>-RG-RLuc8.

Πηγή: Dacres 2012



### **3. ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ**

#### **3.1. Κομποστοποίηση**

Η κομποστοποίηση είναι μια φυσική διαδικασία η οποία μετατρέπει τα οργανικά υλικά σε μια πλούσια σκούρα ουσία. Αυτή η ουσία λέγεται κομπόστ ή χούμους ή εδαφοβελτιωτικό. Η κομποστοποίηση είναι ένας πολύ άμεσος και σημαντικός τρόπος ανακύκλωσης. Έχει υπολογιστεί ότι το 35% των οικιακών απορριμμάτων μπορούν να κομποστοποιηθούν.

##### **3.1.1. Διαδικασία κομποστοποίησης**

Τα βακτήρια, οι μύκητες και άλλα μικρόβια είναι οι 'εργάτες' της κομποστοποίησης. Αυτοί υποβοηθούνται κι από πολλούς άλλους μεγαλύτερους οργανισμούς. Κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης, αυτά τα μικρόβια παράγουν διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>), θερμότητα και νερό καθώς αποικοδομούν τα οργανικά υλικά του σωρού. Το τελικό αποτέλεσμα είναι το κομπόστ (πλούσιο, σκούρο, θριφτό και άοσμο), τέλειο λίπασμα για τον κήπο. Για την αποτελεσματική κομποστοποίηση χρειάζεται:

Σωστό μίγμα υλικών (σε σωστές αναλογίες)

Σωστό αερισμό

Σωστή υγρασία

Σωστό μέγεθος υλικών

##### **3.1.2. Κομποστοποιήσιμα απορρίμματα**

Ενώ οτιδήποτε ήταν κάποτε ζωντανό μπορεί να κομποστοποιηθεί, κάποια υλικά είναι καλύτερα να τα χειριστούν επαγγελματίες και να μείνουν μακριά από τον οικιακό κομποστοποιητή. Η επιλογή λοιπόν των υλικών της κομποστοποίησης δεν πρέπει να περιλαμβάνει:

- Απορρίμματα που προσελκύουν ενοχλητικά ζώδια
- Άρρωστα ή μολυσμένα από έντομα φυτά

Τα λιπαρά φαγητά, όπως το κρέας και τα τυροκομικά, πρέπει να αποφεύγονται επειδή προσελκύουν τρωκτικά, σκυλιά, γάτες, μύγες κ.α.. Τα απορρίμματα των σκύλων και των γατών δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται γιατί μπορούν να μεταδώσουν ασθένειες. Καλό είναι επίσης να αποφευχθεί η προσθήκη άρρωστων φυτών ή φυτών που έχουν προσβληθεί έντονα από έντομα, εκτός κι αν επικρατεί υψηλή θερμοκρασία στον κομποστοποιητή, οπότε αν μείνουν για μεγάλο χρονικό διάστημα θα διασπαστούν τελείως και δεν θα υπάρξει κάποιο πρόβλημα. Αυτό ισχύει και για τα αναπαραγωγικά μέρη των φυτών όπως οι ρίζες και οι σπόροι, τα οποία καλό είναι να αποφεύγονται εκτός αν η θερμοκρασία του κομποστοποιητή είναι υψηλή οπότε θα διασπαστούν. (Οικολογική Εταιρεία Ανακύκλωσης Ecorec 2005)

|                                                                                 |                          |                                 |                                 |
|---------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| Πράσινα (πολύ άζωτο)                                                            | Καφετιά (πολύς άνθρακας) | Υπό προϋποθέσεις                | Όχι                             |
| γκαζόν                                                                          | χαρτί κουζίνας           | Ξύλα                            | Κόκαλα                          |
| κλαδέματα, ξερά φύλλα                                                           | φλούδες κορμών           | Λεμονόκουπες – πορτοκαλόφλουδες | απορρίμματα σκύλων/γατών        |
| φρούτα και λαχανικά                                                             | άχυρα                    | άρρωστα φυτά                    | Λάδια                           |
| οικιακά φυτά                                                                    | πριονίδια                |                                 | Λίπη                            |
| φύλλα                                                                           | ξεραμένη χλόη            |                                 | λιπαρές ουσίες                  |
| απορρίμματα κουζίνας π.χ. τσόφλια αβγών, υπολείμματα καφέ, φίλτρα γαλλικού καφέ | χαρτοπετσέτες            |                                 | υπολείμματα από κρέατα/ψάρια    |
| υπολείμματα από αφέψημα                                                         | στέλεχος καλαμποκιού     |                                 | γαλακτοκομικά                   |
| φλούδες, κοτσάνια από φρούτα και λαχανικά                                       | στάχτες                  |                                 | σπόρους ζιζανίων                |
| κοπριά ( π.χ. από αγελάδες, άλογα, κότες ή κουνέλια)                            |                          |                                 | ψωμί – ζυμαρικά                 |
| φύκια ξεπλυμένα από τα άλατα με νερό                                            |                          |                                 | μεταλλικά αντικείμενα           |
|                                                                                 |                          |                                 | πλαστικά                        |
|                                                                                 |                          |                                 | γυάλινα υλικά                   |
|                                                                                 |                          |                                 | υπολείμματα μαγειρεμένων τροφών |
|                                                                                 |                          |                                 |                                 |

Πίνακας 2. Λίστα απόδοσης υλικών προς κομποστοποίηση. Πηγή: Οικολογική Εταιρεία Ανακύκλωσης Ecorec 2005

## **3.2. Μικρά συστήματα επεξεργασίας λυμάτων**

### **3.2.1.Συστήματα τεχνητών υγροτόπων επεξεργασίας λυμάτων**

Τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούνται για περαιτέρω επεξεργασία ήδη επεξεργασμένων λυμάτων. Αποτελούνται από λεκάνες μικρού βάθους, στις οποίες τοποθετείται μια εδαφική στρώση και καλλιεργούνται διάφορα υδροχαρή φυτά, όπως είναι οι κοινές καλαμιές (*Phragmites communis*), τα διάφορα είδη βούρλων (*Juncus* spp.), οι σύφες (*Scirpus* spp.) και διάφορα είδη ψαθών (*Typha* spp)

### **3.2.2. Σηπτικές δεξαμενές**

Οι κλασσικές παλαιού τύπου σηπτικές δεξαμενές είναι δύο χώρων, με πολύ απλή κατασκευή. Ο πρώτος χώρος είναι μεγαλύτερος και συνήθως διπλάσιος από το δεύτερο. Σε πιο σύγχρονες κατασκευές έχουν προστεθεί δύο κατακόρυφα φρεάτια από πλαστικούς σωλήνες για την επίβλεψη και τη συντήρηση της δεξαμενής. Έτσι εύκολα παρακολουθούνται οι ακαθαρσίες των λιπών και των αφρών που επιπλέουν στην ανώτερη στρώση, η ζώνη με το διαυγές νερό των λυμάτων στη μέση και το στρώμα της ιλύος στο πυθμένα. Το σημαντικότερο απ' όλα όμως αφορά στην κατασκευή και προσθήκη ενός κατακόρυφου μηχανικού φίλτρου από κόσκινα. Καθώς τα λύματα μπαίνουν στη σηπτική δεξαμενή, τα στερεά καθιζάνουν στον πυθμένα και τα λίπη και ο αφρός ανέρχονται στην επιφάνεια. Το διαυγές νερό των λυμάτων, που καταλαμβάνει τη μεσαία στρώση της σηπτικής δεξαμενής, ρέει μέσα από μικρές οπές του τοιχώματος που περιβάλλει το φίλτρο προς το εσωτερικό του και από εκεί προς το σωλήνα εκροής της δεξαμενής. Αυτή η διαδικασία αλλάζει την όλη δυναμική επεξεργασίας των λυμάτων στις σηπτικές δεξαμενές.

Η βελτίωση του φίλτρου αφορά στην κατασκευή ενός νέου φίλτρου που αποτελείται από πολλούς διάτρητους σωλήνες, με τους οποίους αυξάνεται η επιφάνεια επεξεργασίας. Αυτό συντελεί στη συγκράτηση των στερεών, με αποτέλεσμα να εξέρχεται προς το σωλήνα εκροής και από εκεί για την περιοχή διάθεσης, μόνο διαυγές νερό των λυμάτων. Με αυτήν τη διαδικασία παρέχεται η δυνατότητα χρησιμοποίησης σωλήνων υπό πίεση διαμέτρου μέχρι 25 mm, για την μεταφορά των λυμάτων από τη σηπτική δεξαμενή, καθώς δεν υφίσταται πλέον πρόβλημα παρουσίας στερεών σ' αυτά. Επιπρόσθετα είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν αντλίες υψηλού μανομετρικού φυγοκεντρικού τύπου, αντίστοιχες με τις χρησιμοποιούμενες στην άντληση καθαρού νερού, κάτι που αλλάζει τη δυναμική, όχι μόνο για τις μεμονωμένες κατοικίες, αλλά και τις μικρές κοινότητες.

Ο καθαρισμός του φίλτρου γίνεται με περιοδικές επισκέψεις στη σηπτική δεξαμενή, κατά τις οποίες εξάγεται το φίλτρο, πλένεται μέσα στη δεξαμενή και επανατοποθετείται στη θέση του, περιορίζοντας έτσι την έξοδο των στερεών των λυμάτων από τη δεξαμενή προς το σημείο διάθεσης ή προς μία μονάδα επεξεργασίας. Τέτοιες δεξαμενές λειτουργούν για περισσότερα από είκοσι χρόνια και δίνουν πολύ καλά αποτελέσματα. (Καραμούζης 2003)

### 3.2.3. Φίλτρα προηγμένης επεξεργασίας

Στην επεξεργασία των λυμάτων με μικρά συστήματα, μπορούν επιπρόσθετα να χρησιμοποιηθούν φίλτρα άμμου διακοπτόμενης παροχής ή φίλτρα ανακυκλοφορίας των λυμάτων. Σ' αυτά διακρίνονται ο σωλήνας εισροής, το φίλτρο άμμου, όπου γίνεται η επεξεργασία των λυμάτων, ο σωλήνας εκροής, ο σωλήνας καθαρισμού του φίλτρου άμμου και οι σωλήνες εξαερισμού.

| Στρώσεις | Πορώδες μέσο          | Πάχος (cm) | Διάμετρος (mm) |
|----------|-----------------------|------------|----------------|
| 1        | Διαβαθμισμένα χαλίκια | > 25       | 20-60          |
| 2        | φίλτρο άμμου          | 60-90      | 0.5-1          |
| 3        | λεπτά χαλίκια         | > 8        | 3-6            |
| 4        | διαβαθμισμένα χαλίκια | > 25       | 6-40           |

Πίνακας 3. Διαβάθμιση στρώσεων αδρανών υλικών. Πηγή: ΥΠΕΚΑ Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2012

Καθώς σήμερα υπάρχουν στην αγορά γεωμεμβράνες και φύλλα πολυαιθυλενίου, απλοποιείται πάρα πολύ η κατασκευή τους. Τα τοιχία των φίλτρων μπορούν να κατασκευαστούν από ξύλο.

Μια ακόμη πιο σύγχρονη εξέλιξη είναι η χρήση του φίλτρου άμμου με δυνατότητα ανακυκλοφορίας των λυμάτων. Τα πλεονεκτήματα του φίλτρου αυτού είναι η αύξηση του εφαρμοζόμενου φορτίου 5 έως 7 φορές. Αυτές οι μονάδες παραδίδονται πλήρως εγκαταστημένες στις κατοικίες. Τα λύματα καθαρίζονται σε τέτοιο βαθμό ώστε, κατά τη διάθεση το νερό να φαίνεται σαν πόσιμο. Η θολότητα είναι μικρότερη από 1 FTU, ενώ το B.O.D. και τα αιωρούμενα στερεά είναι τυπικά μικρότερα από 5 ppm., αν και μικρότερα του 5 δεν αναφέρονται, καθώς η τιμή αυτή είναι εντός της ακρίβειας των διενεργούμενων μετρήσεων.

Μια άλλη εξέλιξη των φίλτρων αφορά σε αυτά που κατασκευάζονται από τεμαχισμένα σφουγγάρια (αφρολέξ). Το μεγάλο πλεονέκτημα του υλικού αυτού αποδίδεται στη λειτουργική ικανότητα των μικρών σφουγγαριών να συγκρατούν για μεγαλύτερο χρόνο το νερό. Έτσι το νερό των προεπεξεργασμένων λυμάτων ρέει με βαρύτητα μέσα από το φίλτρο του τεμαχισμένου σε μικρούς κύβους αφρολέξ, επιτυγχάνοντας ένα χρόνο παραμονής σ' αυτό 22 έως 24 ωρών. Καθώς αυτοί οι χρόνοι παραμονής είναι μεγάλοι, λαμβάνει χώρα απονιτροποίηση, κάτι που φαίνεται από το πορτοκαλί χρώμα που παίρνουν οι κύβοι του αφρολέξ.

Μια άλλη επιπρόσθετη εξέλιξη των χρησιμοποιούμενων φίλτρων αφορά στην κατασκευή υφασμάτων φίλτρων, υλικά τα οποία, ως προς τις λειτουργικές τους ιδιότητες, προσομοιάζουν προς την προηγούμενα αναφερθείσα ομάδα φίλτρων. Στην ομάδα αυτή το υφασμάτινο υλικό τεμαχίζεται σε τετράγωνα 2,5 εκατοστών και τοποθετείται σ' ένα κυλινδρικό δοχείο, διαμέτρου 100 έως 150 εκατοστών. Αυτή η κατασκευή μπορεί να επεξεργάζεται τα λύματα ενός σπιτιού, στο οποίο διαμένουν μέχρι 6 άτομα. Πρόκειται για μια μικρή μονάδα που μπορεί να παραδοθεί

εγκαταστημένη στο οικόπεδο της κατοικίας. Αυτό όμως που την κάνει ακόμα περισσότερο ενδιαφέρουσα είναι το γεγονός ότι στην περίπτωση που η ανώτερη στρώση τόσο του υφασμάτινου φίλτρου όσο και εκείνου με αφρολέξ αποφραγεί από τα ενυπάρχοντα ακόμη αιωρούμενα στερεά, απλώς απομακρύνεται και αντικαθίσταται από ένα άλλο, διαδικασία όμοια με αυτή της αλλαγής του φίλτρου λαδιού ενός αυτοκινήτου. (ΥΠΕΚΑ Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2012)

### 3.2.4. Στοιχεία σχεδιασμού

Ένα τυπικό σύστημα επεξεργασίας και διάθεσης των λυμάτων μιας κατοικίας πρέπει να συμπεριλαμβάνει τη σηπτική δεξαμενή, ένα φίλτρο από τα διάφορα αναπτυχθέντα συστήματα για περαιτέρω επεξεργασία των λυμάτων, μια δεξαμενή ανακυκλοφορίας, ένα φίλτρο άμμου χωρίς ή με δυνατότητα ανακυκλοφορίας των επεξεργαζόμενων λυμάτων, μια συσκευή χλωρίωσης ή UV για απολύμανση των εκροών και τέλος μια εγκατάσταση διάθεσης με επαναχρησιμοποίηση σε υπόγεια άρδευση με σταγόνες.

| Παράμετρος           | Φορτία<br>(g/κάτοικο/ημέρα)      | Συγκέντρωση<br>(mg/L) |
|----------------------|----------------------------------|-----------------------|
| Ολικά στερεά         | 115-117                          | 680-1000              |
| Αιωρούμενα στερεά    | 35-50                            | 200-290               |
| BOD5                 | 35-50                            | 200-290               |
| COD                  | 115-125                          | 680-730               |
| Ολικό άζωτο          | 6-17                             | 35-100                |
| Αμμωνιακό άζωτο      | 1-3                              | 6-18                  |
| Ολικός φωσφόρος      | 3-5                              | 18-29                 |
| Ολικά κολοβακτηρίδια | $10^{11}$ - $4.0 \times 10^{12}$ | $10^7$ - $10^9$       |

Πίνακας 4. Τιμές των παραμέτρων, που αφορούν στην ποιότητα των αστικών λυμάτων της εισροής σε μια σηπτική δεξαμενή. Πηγή: ΥΠΕΚΑ Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2012

Όσον αφορά στο μέγεθος μιας σηπτικής δεξαμενής, οι περισσότεροι κανονισμοί των υπηρεσιών περιβάλλοντος επιβάλλουν έναν ελάχιστο όγκο 4,50 m<sup>3</sup>. Αν δεν καθορίζεται διαφορετικά το μέγεθός της, τότε για το σχεδιασμό της μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα στοιχεία που δίνονται στο Πίνακα 4. Σχετικά με τα χωρίσματα μιας δεξαμενής συνηθίζεται, όταν δεν χρησιμοποιείται μηχανικό φίλτρο στον αγωγό εκροής της δεξαμενής, να χρησιμοποιούνται δύο ή τρία χωρίσματα. Παρόλα αυτά θα πρέπει εδώ να τονιστεί ότι πειραματικά δεδομένα νεώτερων επιστημονικών ερευνών, έδειξαν (Crites and Tchobanoglous, 1998) ότι η σηπτική δεξαμενή χωρίς χώρισμα δίνει τα ίδια ή και καλύτερα αποτελέσματα, στο διαχωρισμό τις ιλύος και των λιπών από το νερό, από μια αντίστοιχη δεξαμενή δύο χωρισμάτων, της ίδιας με την προηγούμενη

χωρητικότητας, πετυχαίνοντας έτσι καλύτερη πρωτοβάθμια επεξεργασία. Στην περίπτωση που τελικά επιλεγεί η δεξαμενή δύο χώρων, θα πρέπει το μεγαλύτερο χώρισμα μιας σηπτικής δεξαμενής να καταλαμβάνει τα δύο τρίτα του συνολικού όγκου της.

Ο υπολογισμός της εκροής από μια μονοκατοικία βασίζεται στην κατανομή της συνολικής χρήσης νερού μεταξύ του νοικοκυριού και των προσωπικών αναγκών των κατοίκων της. Αυτή η λογική οδηγεί στη σχέση  $Q_{εκ} = Q_{νο} + Q_{ατ} \times N$  (1) όπου  $Q_{εκ}$  είναι η παροχή εκροής από τη μονοκατοικία σε λίτρα ανά ημέρα,  $Q_{νο}$  είναι η παροχή των απαιτήσεων του νοικοκυριού σε λίτρα ανά ημέρα,  $Q_{ατ}$  είναι η παροχή των απαιτήσεων ενός ατόμου σε λίτρα ανά ημέρα και  $N$  είναι ο αριθμός των κατοίκων που διαμένουν στη μονοκατοικία.

| Παράμετροι σχεδιασμού                      | Μονάδες        | Πεδίο τιμών | Τυπική τιμή |
|--------------------------------------------|----------------|-------------|-------------|
| Όγκος λυμάτων                              |                |             |             |
| Ελάχιστος                                  | m <sup>3</sup> | 2.5-4.0     | 2.5         |
| 1-2 υπνοδωμάτια                            | m <sup>3</sup> | 2.5-4.0     | 2.5         |
| 3 υπνοδωμάτια                              | m <sup>3</sup> | 3.5-5.7     | 4.5         |
| 4 υπνοδωμάτια                              | m <sup>3</sup> | 3.5-7.6     | 5.7         |
| 5 υπνοδωμάτια                              | m <sup>3</sup> | 4.5-7.6     | 5.7         |
| Επιπρόσθετα υπνοδωμάτια                    | m <sup>3</sup> | 0.6-1.0     | 1.0         |
| Χωρίσματα                                  |                |             |             |
| Αριθμός                                    |                | 1-3         | 2           |
| Όγκος χώρων δεξαμενής                      |                |             |             |
| Δύο χώρων                                  | % 1η, 2η       | 67, 33      | 67, 33      |
| Τριών χώρων                                | % 1η, 2η, 3η   | 33, 33, 33  | 33, 33, 33  |
| Μήκος προς πλάτος                          | λόγος          | 2:1-4:1     | 3:1         |
| Βάθος                                      | m              | 0.5-2.0     | 1.5         |
| Ανώτερος ελεύθερος χώρος                   | cm             | 25-30       | 25          |
| Βάθος επιφάνειας υγρού κάτω από την είσοδο | cm             | 7-10        | 8           |
| Θυρίδες επιθεώρησης                        |                | 2-3         | 2           |
| Είσοδοι και έξοδοι                         |                | 1           | 1           |
| Ποιότητα εκροής                            |                |             |             |
| BOD <sub>5</sub>                           | mg/L           | 120-140     | 130         |
| TSS                                        | mg/L           | 50-100      | 90          |

|                      |            |                                  |                 |
|----------------------|------------|----------------------------------|-----------------|
| NH3B-N               | mg/L       | 20-50                            | 40              |
| NO3B-N               | mg/L       | <1                               | <1              |
| TN                   | mg/L       | 25-80                            | 50              |
| TP                   | mg/L       | 10-20                            | 15 26           |
| Ολικά κολοβακτηρίδια | MPN/100 mL | 10 <sup>3</sup> -10 <sup>6</sup> | 10 <sup>5</sup> |
| Ιοί                  | PFU/mL     | 10 <sup>5</sup> -10 <sup>7</sup> | 10 <sup>6</sup> |

Πίνακας 5. Παράμετροι Σχεδιασμού Πηγή: ΥΠΕΚΑ Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2012

Οι μέσες τιμές των απαιτήσεων κατανάλωσης του νοικοκυριού είναι 40 l/ημέρα για το πλυντήριο πιάτων, 95 l/ημέρα για το πλυντήριο ρούχων και 15 l/ημέρα για διάφορες άλλες χρήσεις. Επιπρόσθετα οι μέσες ανά άτομο απαιτήσεις κατανάλωσης είναι 10 l/ημέρα για πόσιμο νερό και ετοιμασία φαγητού, 10 l/ημέρα για την ατομική υγιεινή, 65 l/ημέρα για λουτρό και 65 l/ημέρα για τουαλέτα.

Η εκροή λοιπόν από μια μέση μονοκατοικία δίνεται από τον τύπο:

$$Q_{εκ} = 150 + 150 N \text{ l/ημέρα} \quad (2)$$

Γενικά τώρα γίνεται αποδεκτό ότι η ογκομετρική ικανότητα απόδοσης μιας μεγάλης σηπτικής δεξαμενής είναι ίση με το πενταπλάσιο της μέσης τιμής της παροχής των προς επεξεργασία λυμάτων. Έτσι ο όγκος  $V_{ολ}$  μιας μεγάλης σηπτικής δεξαμενής, με τη βοήθεια των εξισώσεων (1) ή (2) θα είναι αντίστοιχα

$$V_{ολ} = 5Q_{εκ} \quad (3)$$

Οι τιμές που υπολογίζονται από τις εξισώσεις (1), (2) και (3) είναι πολύ κοντά στις τιμές που λαμβάνονται με χρήση του Πίνακα 5.

(ΥΠΕΚΑ Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2012)

### 3.2.5. Τύποι τεχνητών υγροτόπων

Οι τεχνητοί υγρότοποι κατασκευάζονται και λειτουργούν σε μεγάλη ποικιλία σχημάτων, υποστρώματος βλάστησης και ροής των λυμάτων. Με βάση τις συνθήκες ροής τα συστήματα των τεχνητών υγροτόπων διακρίνονται σε τρεις μεγάλες κατηγορίες. Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει τα συστήματα υπόγειας ροής. Στα συστήματα αυτά η κίνηση των λυμάτων γίνεται κατά την οριζόντια διεύθυνση. Η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει τα συστήματα των τεχνητών υγροτόπων σε λεκάνες με ελεύθερη επιφάνεια νερού. Στα συστήματα αυτά τα λύματα υπερκαλύπτουν το πορώδες υλικό των λεκανών και δημιουργούν ελεύθερη επιφάνεια. Η κίνησή τους γίνεται, όπως και στην πρώτη κατηγορία κατά την οριζόντια διεύθυνση. Τέλος η τρίτη κατηγορία η οποία και θα μας απασχολήσει στην Μικροβιακή Οικία περιλαμβάνει τα συστήματα με λεκάνες διαδοχικής κατάκλισης. Στα συστήματα αυτά η κίνηση των υγρών αποβλήτων γίνεται μέσα από το πορώδες υλικό των λεκανών κατά την κατακόρυφη διεύθυνση και η στάθμη των λυμάτων βρίσκεται κάτω από την επιφάνεια του πορώδους μέσου των λεκανών.

**Τα συστήματα των τεχνητών υγροτόπων με λεκάνες περιοδικής κατάκλισης (Intermittent Flooding Beds - IFB) είναι γνωστά και ως συστήματα με λεκάνες κατακόρυφης ροής (Vertical Flow Beds - VFB) και ήδη αριθμούν αρκετές χιλιάδες τόσο στην Ευρώπη, όσο και στις Ηνωμένες Πολιτείες και στον Καναδά. Τα συστήματα αυτά χαρακτηρίζονται από την κατακόρυφη ροή των προς επεξεργασία λυμάτων μέσα από τις εδαφικές στρώσεις των λεκανών τους. Η λειτουργία τους προσομοιάζει αρκετά με το περιοδικό πότισμα μιας γλάστρας, στην οποία το νερό αρχικά πλημμυρίζει τη λεκάνη και εν συνέχεια αφήνεται να στραγγίσει, όπως και με τη λειτουργία των σταθμών επεξεργασίας νερού με το σύστημα των λεκανών διαδοχικής κατάκλισης. Οι λεκάνες στα συστήματα αυτά κατασκευάζονται με ένα βάθος 0,70 έως 0,90 για αβαθείς λεκάνες καθώς και ένα βάθος 1,20 έως 1,50 μέτρων για βαθιές λεκάνες, με μία μέση κλίση του πυθμένα τους 1% περίπου. Ο πυθμένας και τα πρανή τους καλύπτονται και εδώ από γεωμεμβράνη ή κατασκευάζονται από σκυρόδεμα. Στη συνέχεια γίνεται πλήρωση των λεκανών με αδρανή υλικά συνολικού βάθους μέχρι ενός μέτρου, μειούμενης κοκκομετρίας από τον πυθμένα προς την επιφάνεια. Το επιφανειακό στρώμα της λεκάνης, βάθους 10 έως 30 cm, καλύπτεται με άμμο, μέσα στην οποία φυτεύονται και αναπτύσσονται καλαμιές (*Phragmites australis*). (Pérez Villar 2012)**

### **3.2.6. Μηχανισμοί επεξεργασίας στους υγροτόπους**

Η βιοχημική και φυσική αποικοδόμηση των ρύπων, συνιστά την καρδιά ενός συστήματος τεχνητών υγροτόπων και επιτυγχάνεται κατά την δίοδο των λυμάτων σε μια ή περισσότερες λεκάνες επεξεργασίας. Υπενθυμίζεται εδώ ότι, στο κατάλληλο υπόστρωμα που έχει τοποθετηθεί στις λεκάνες, έχουν φυτευτεί τα κατάλληλα σε κάθε περίπτωση υδροχαρή φυτά. Η διεργασία αφομοίωσης των ρύπων και καθαρισμού των λυμάτων, με το επιθυμητό αποτέλεσμα "καθαρού" νερού στην εκροή, λαμβάνει χώρα στο σύστημα υπόστρωμα λεκανών - φυτό - βακτήρια - ατμόσφαιρα - λύματα.

Οι κυριότεροι μηχανισμοί απομάκρυνσης ή επεξεργασίας των διαφόρων ρύπων σε συστήματα επεξεργασίας λυμάτων με τεχνητούς υγροτόπους ελεύθερης επιφάνειας (FWS) και υπόγειας ροής (SFS) περιγράφονται συνοπτικά, στον Πίνακα 6. (ΥΠΕΚΑ Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2012)

| Μελετώμενη Παράμετρος      | Είδος τεχνητού υγροτόπου                                                                                                                                                 |                                                                                      |
|----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
|                            | Ελεύθερης επιφάνειας                                                                                                                                                     | Υπόγειας ροής                                                                        |
| Βιοαποικοδομήσιμα Οργανικά | Βιοαποικοδόμηση διαλυμένου BOD5 με αερόβια, επαμφοτερίζοντα και αναερόβια βακτήρια στα φυτά και στο υπόστρωμα. Προσρόφηση, φιλτράρισμα και καθίζηση του εν αιωρήσει BOD5 | Βιοαποικοδόμηση με επαμφοτερίζοντα και αναερόβια βακτήρια στα φυτά και στο υπόστρωμα |
| Αιωρούμενα στερεά          | Καθίζηση, διήθηση                                                                                                                                                        | Καθίζηση, διήθηση                                                                    |
| Άζωτο                      | Νιτροποίηση-απονιτροποίηση, αφομοίωση από το φυτό, αεριοποίηση                                                                                                           | Νιτροποίηση-απονιτροποίηση, αφομοίωση από το φυτό, αεριοποίηση                       |
| Φωσφόρος                   | Καθίζηση, αφομοίωση από το φυτό                                                                                                                                          | Φιλτράρισμα, καθίζηση, αφομοίωση από το φυτό                                         |

Πίνακας 6. Μηχανισμοί απομάκρυνσης διαφόρων ρύπων σε συστήματα επεξεργασίας λυμάτων.  
Πηγή: ΥΠΕΚΑ Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2012



### **3.3. Αποδόμηση πλαστικού**

Τα πλαστικά αποτελούν το μεγαλύτερο πρόβλημα στον τομέα της διαχείρισης αποβλήτων παγκοσμίως γιατί διασπώνται έπειτα από πάρα πολλά χρόνια. Ωστόσο μια νέα ανακάλυψη από ερευνητές του Πανεπιστημίου Γέιλ ενδέχεται να επιταχύνει τη διαδικασία, εξαφανίζοντας τα πλαστικά πολύ πιο σύντομα.

Στο πλαίσιο ερευνητικής αποστολής στο τροπικό δάσος του Εκουαδόρ, φοιτητές του Τμήματος Μοριακής Βιοφυσικής και Βιοχημείας του Γέιλ ανακάλυψαν έναν μύκητα που πεινά για πολυουρεθάνη (πλαστικό) και μέχρι σήμερα ήταν άγνωστος. Πρόκειται για τον πρώτο μύκητα που διαπιστωμένα επιβιώνει μόνο με πολυουρεθάνη και μάλιστα σε αναερόβιο περιβάλλον (χωρίς οξυγόνο), κάτι που σημαίνει ότι θα μπορούσε να καλλιεργηθεί στον πάτο των χωματερών.

Η πολυουρεθάνη συγκαταλέγεται στα πολυμερή και χρησιμοποιείται σε μια ευρεία γκάμα προϊόντων και υλικών, από σκληρό πλαστικό μέχρι συνθετικά υφάσματα. Ο κύριος λόγος για τον οποίο τα πλαστικά, όπως η πολυουρεθάνη, χαρακτηρίζονται «αθάνατα» είναι ότι οι μικροοργανισμοί δεν τα αναγνωρίζουν ως τροφή με αποτέλεσμα να επιβαρύνουν για αιώνες το περιβάλλον μέχρι να διασπαστούν.

Η ανακάλυψη όμως του μύκητα ***Pestalotiopsis microspora*** ενδέχεται να αλλάξει τον τρόπο διαχείρισης των πλαστικών απορριμμάτων. Μάλιστα οι ερευνητές έχουν ήδη απομονώσει και μελετούν το θαυματουργό ένζυμο που δίνει την ικανότητα στον μύκητα να διασπά το πλαστικό.

(Econews.gr, 16 Μαΐου 2012)

### III. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ II.

#### 1. ΜΙΚΡΟΒΙΑΚΗ ΟΙΚΙΑ (Microbial Home)

##### 1.1. Filtering Squatting Toilet

Η τουαλέτα διαχωρισμού λυμάτων, διαχωρίζει τα οργανικά λύματα χρησιμοποιώντας μια σηπτική δεξαμενή μικρού όγκου και έναν τεχνητό υγρότοπο με λεκάνες κατακόρυφης ροής.



Εικόνα 6 Filtering Squatting Toilet Πηγή: Philips – Design Probes 2011

Τα λύματα περνούν από μια σειρά κεραμικών φίλτρων από κάρβουνο και άμμο , καθώς και από μια ποικιλία φυτών για καθαρισμό.

Ο μηχανισμός πλύσης βασίζεται πάνω στην «one liter flash toilet» (μηχανισμός πλύσης τουαλέτας με κατανάλωση μόλις ενός λίτρου νερού) του India 's Sulabh Foundation, ο οποίος απαιτεί μηδενική ενέργεια και μειώνει δραστικά την κατανάλωση νερού.



Εικόνα 7 Filtering Squatting Toilet Πηγή: Philips – Design Probes 2011

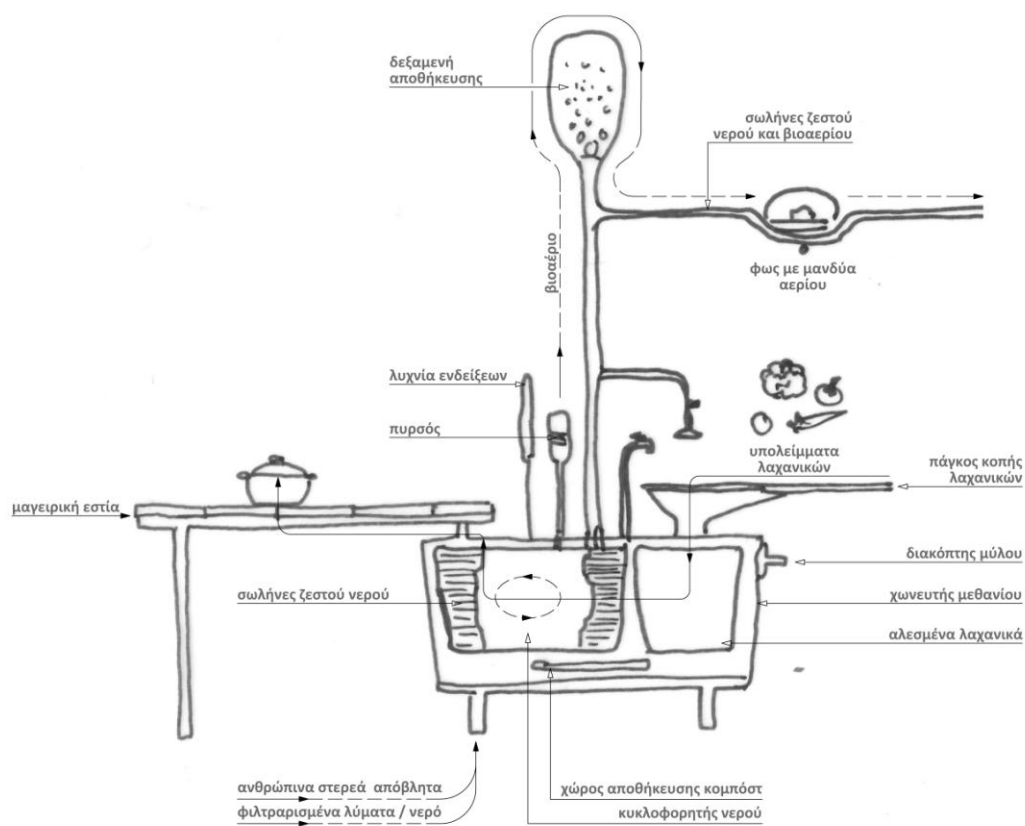
Αντί λοιπόν απλά να παράγει απόβλητα, καθιστά δυνατή την εκμετάλλευση της ενεργειακής αξίας των βιολογικών λυμάτων μετατρέποντάς τα σε χρησιμοποιήσιμη ενέργεια, τροφοδοτώντας έναν χωνευτή με στερεά και υγρά απόβλητα και το βιοφωταυγές σύστημα φωτισμού με φιλτραρισμένα λύματα και νερό.

## **1.2. Bio-digester Island**

Η κουζίνα βιο-χώνευσης, είναι ο κεντρικός διανομέας ενέργειας της μικροβιακής οικίας. Αποτελείται από έναν οριζόντιο χωνευτή βιοαερίου, συνεχούς τύπου και στρωτής ροής, ο οποίος μετατρέπει τα στερεά απόβλητα της τουαλέτας και τα οργανικά απόβλητα της κουζίνας σε αέριο μεθανίου, το οποίο χρησιμοποιείται για μια σειρά λειτουργιών της οικίας.



Εικόνα 8 Bio-digester Island Πηγή: Philips – Design Probes 2011



Σχήμα 2. Bio-digester Island Πηγή: Philips – Design Probes 2011

Η κουζίνα βιο-χώνευσης είναι μια εναλλακτική πρόταση η οποία περιλαμβάνει έναν πάγκο κοπής με πολτοποιητή υπολειμμάτων λαχανικών, εστίες αερίου, μια γυάλινη δεξαμενή αποθήκευσης βιοαερίου με ένδειξη όγκου, δύο πυρσούς κλειστού τύπου για την καύση περίσσειας ποσότητας βιοαερίου και γυάλινα στοιχεία μέτρησης της πίεσης, του όγκου έκχυσης και της λιπασματοποίησης (κομποστ) του χωνευτή.



Εικόνα 9 Bio-digester Island Πηγή: Philips – Design Probes 2011

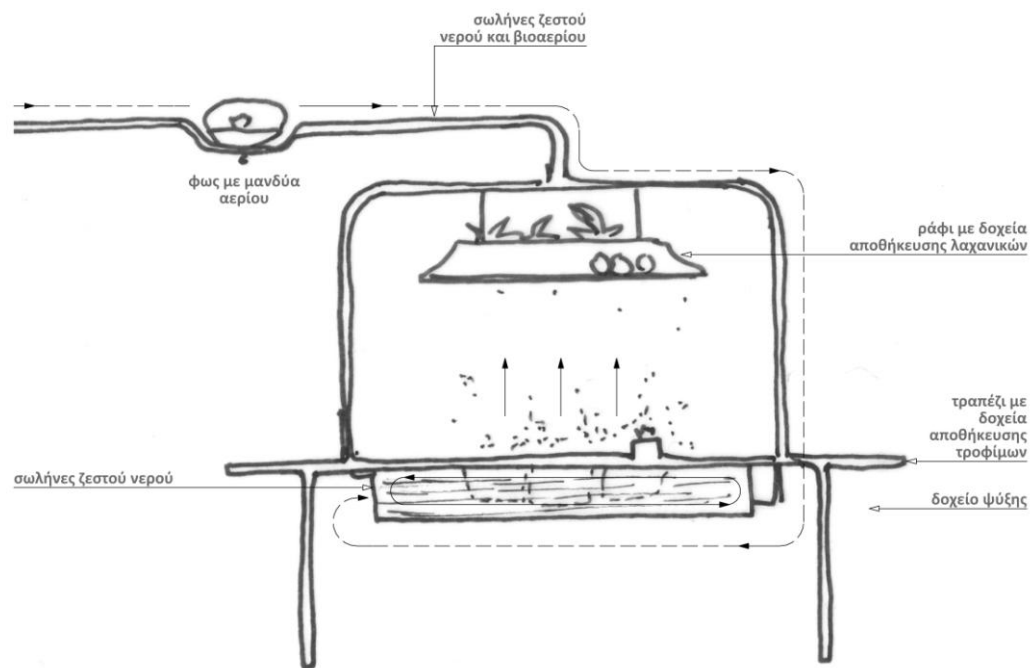
Το βιοαέριο από τον χωνευτή, τροφοδοτεί τις εστίες, τα φώτα με μανδύα αερίου, και τον βιοφωταυγή φωτισμό. Σωλήνες ύδρευσης προθερμαίνονται από τον χωνευτή και οδηγούνται σε άλλα στοιχεία της οικίας. Ο χωνευτής χρειάζεται διαρκή τροφοδοσία αποβλήτων και νερού. Το αποξηραμένη ίζημα μπορεί να απομακρυνθεί από τον χωνευτή και να χρησιμοποιηθεί ως κομπόστ.

### 1.3. Larder

Το “κελάρι” είναι ένα σύστημα διατήρησης φρεσκάδας στα «ζωντανά» τρόφιμα, χρησιμοποιώντας φυσικές διεργασίες. Αποτελείται από ένα σύστημα ψύξης μέσω εξάτμισης του νερού και έναν σύστημα αποθήκευσης λαχανικών, ενώ χρησιμοποιείται παράλληλα και ως τραπεζαρία.



Εικόνα 10 Larder Πηγή: Philips – Design Probes 2011



Σχήμα 3 Larder Πηγή: Philips – Design Probes 2011

Το σύστημα ψύξης αποτελείται από δύο τοιχίων τερακότας δοχεία, με διαφορετικά πάχη και όγκους, ώστε να μπορούν να υποστηρίξουν την διατήρηση τροφίμων σε διαφορετικές θερμοκρασίες.





Εικόνα 11 Larder Πηγή: Philips – Design Probes 2011

Η εξωτερική επιφάνεια των «ψυγείων» θερμαίνεται από τους ζεστούς σωλήνες ύδρευσης, οι οποίοι έχουν ήδη θερμανθεί στον χωνευτή μεθανίου. Πάνω στο τραπέζι βρίσκεται ένας κεραμικός «κήπος» και ένα κελάρι όπου οι ομάδες λαχανικών ωριμάζουν και αποθηκεύονται σύμφωνα με την χημική συμβιωτική τους βάση.



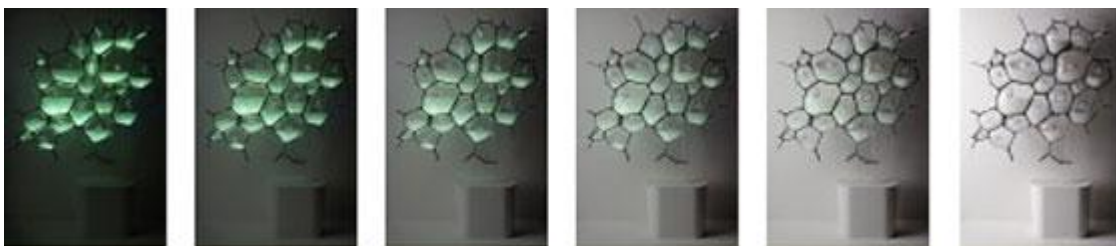
## 1.4. Bio-light

Το βιο-φώς είναι ιδέα που χρησιμοποιεί διαφορετικές βιολογικές τεχνολογίες για να δημιουργήσει φωτισμό περιβάλλοντος. Κάνει χρήση των βιοφωταυγών βακτηριδίων, τα οποία τα τρέφει με μεθάνιο και κομποστοποιημένα υλικά (από τον χωνευτή μεθανίου). Εναλλακτικά, μπορεί να τροφοδοτηθεί με φωσφορούχες πρωτεΐνες που εκπέμπουν διαφορετικές συχνότητες φωτός.



Εικόνα 12 Biolight Πηγή: Philips – Design Probes 2011

Αποτελείται από γυάλινα δοχεία που περιέχουν καλλιέργειες ζωντανών βιοφωταυγών βακτηριδίων και συνδέονται μεμονωμένα σε ένα δοχείο αποθήκευσης τροφής μέσω σωληνώσεων σιλικόνης. Το δοχείο προέρχεται από τον χωνευτή μεθανίου και αντικαθιστά την δεξαμενή λήψης ιζήματος.



Εικόνα 13 Biolight Πηγή: Philips – Design Probes 2011

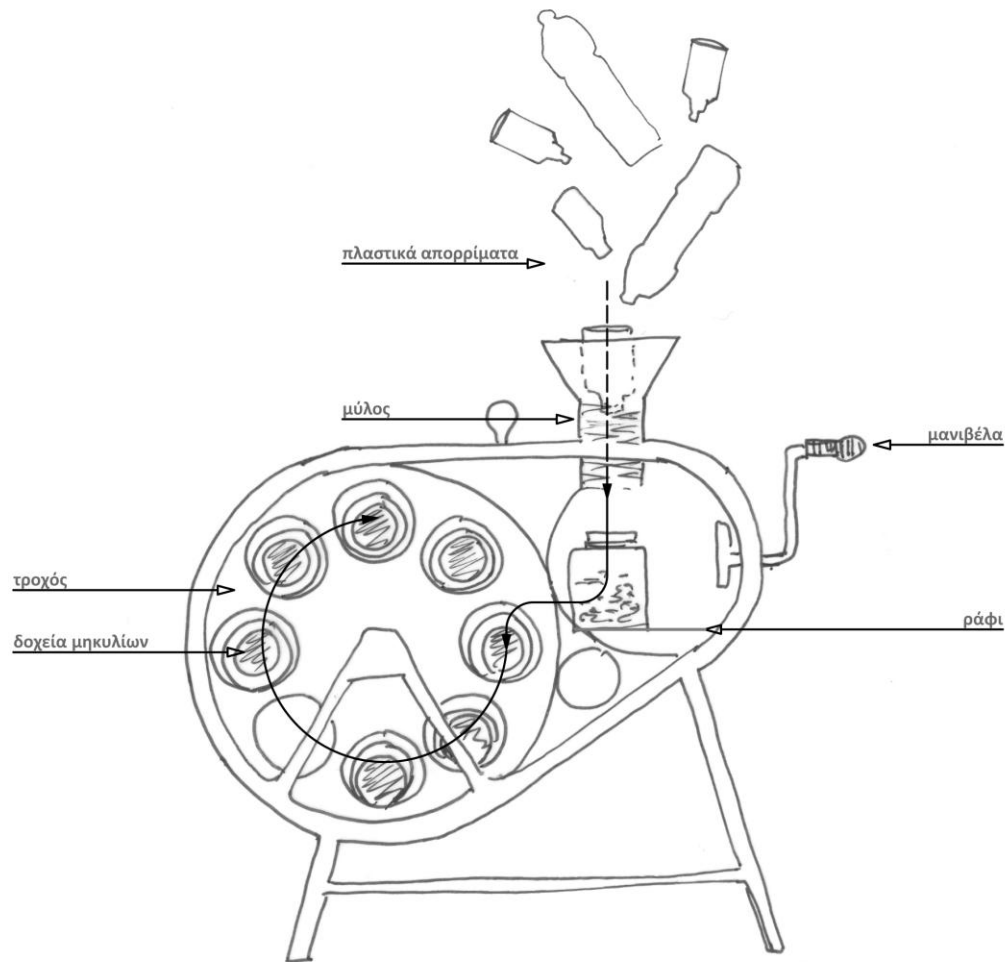
### **1.5. Paternoster plastic waste up-cycler**

Ο κάδος ανακύκλωσης πλαστικών, χρησιμοποιεί τις ιδιότητες των ενζύμων ορισμένων μικκυλίων για την βιοδιάσπαση των πλαστικών απορριμμάτων. Τα μικκύλια που προσκολλούνται πάνω στο πλαστικό, έχουν την ικανότητα να το αποσυνθέτουν και να μεταβολίζονται.

Με την προϋπόθεση ότι τα πλαστικά δεν περιέχουν μελάνη με τοξικά βαρέα μέταλλα, τα παραπάνω μικκύλια , μπορούν να μεταβολίσουν το πλαστικό σε βρώσιμα μανιτάρια.



Εικόνα 14 Paternoster plastic waste up-cycler Πηγή: Philips – Design Probes 2011



Σχήμα 4 Paternoster plastic waste up-cycler Πηγή: Philips – Design Probes 2011

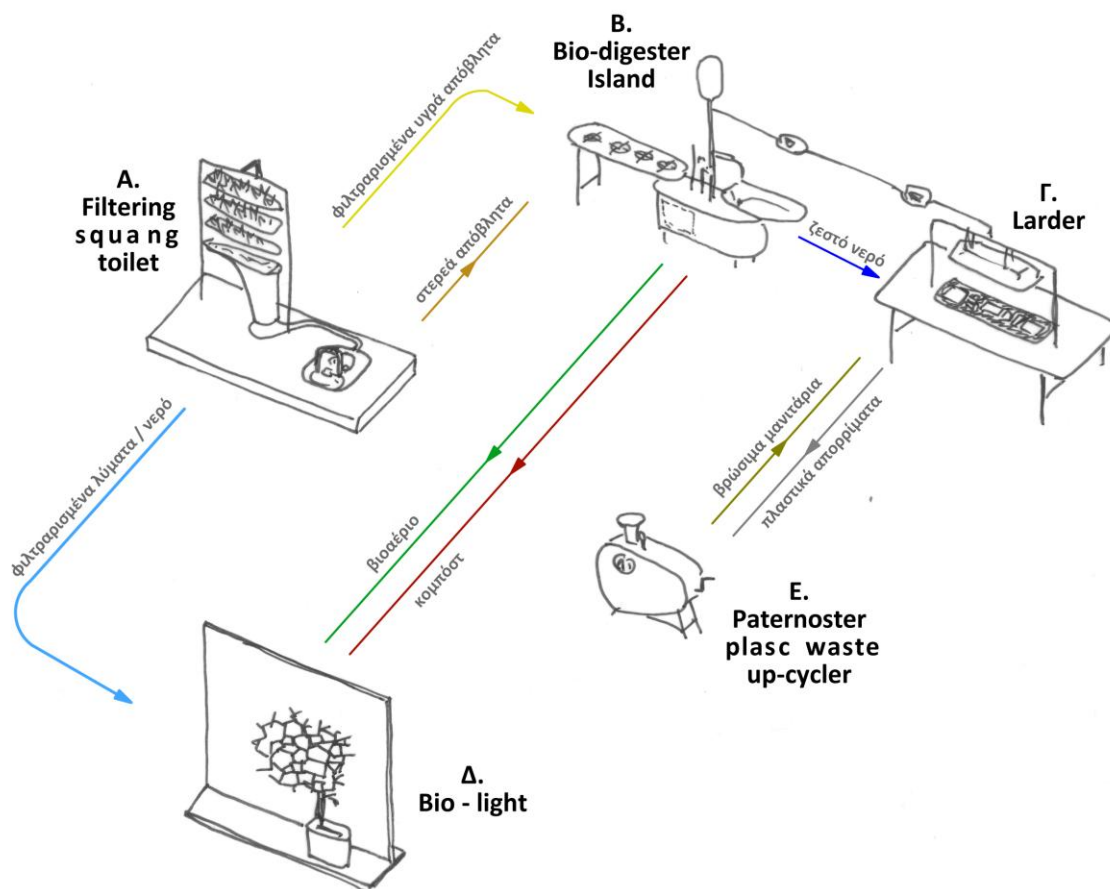
Σε αυτήν την ιδέα, τα πλαστικά αντικείμενα αλέθονται σε μικρά κομμάτια και αναμειγνύονται με την καλλιέργεια μικκυλίων σε ένα γυάλινο αφαιρετό δοχείο. Με ένα χειροκίνητο μηχανισμό μεταφέρεται το δοχείο σε μια σκοτεινή κοιλότητα. Κάθε εβδομάδα, κομμάτια πλαστικού ανακατεύονται με μικκύλια. Χρειάζονται αρκετές εβδομάδες να αποσυντεθεί το πλαστικό. Στα τελευταία στάδια του κύκλου, το περιεχόμενο εκτίθεται σε ηλιακό φως και αέρα (μέσω ενός διαφράγματος), επιτρέποντας στα μικκύλια να βλαστήσουν βρώσιμα μανιτάρια. Τα απόβλητα της αποσύνθεσης μπορούν να φορμαριστούν σε σχήματα.

(Philips – Design Probes 2011, design futures)

#### IV. ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Η δημιουργία ενός κυκλικού οικοσυστήματος σε μια οικία καθιστά εφικτή την διαχείριση πόρων σε ποικίλες καθημερινές οικιακές διεργασίες. Μια πρακτική όπου σχεδόν κάθε "έξοδος" μιας διεργασίας (στερεά και υγρά απόβλητα) αποτελεί "είσοδο" κάποιας άλλης. Μια άλλη οπτική της μέχρι τώρα λειτουργίας του χώρου και του τρόπου όπου ζούμε, που αξιοποιεί τις ανεξάντλητες εφαρμογές της βιολογίας ώστε οι έννοιες ανακύκλωση, επεξεργασία, διύλιση, να αποκτήσουν καθημερινές και εύκολες πρακτικές.

Εν τέλει μια πρόταση χρήσης μικρού μέρους της σοφίας της φύσης γύρω μας για δικό μας όφελος.



Η Μικροβιακή οικία

Σχήμα 5 Microbial Home Πηγή: Philips – Design Probes 2011

## V. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

**Agapitidis I. and Zafiris C. (2006).** 'Energy Exploitation of Biogas: European and National perspectives'. 2nd International Conference of the Hellenic Solid Waste Management Association.

**Preißler, D. et al. (2007).** Anaerobic digestion of energy crops without manure addition. Symposium "Actual Tasks of an Agricultural Engineering", Opatija, Croatia, S. 363-370.

**Teodorita Al Seadi, Dominik Rutz, Heinz Prassl, Michael Köttner, Tobias Finsterwalder, Silke Volk, Rainer Janssen, Κωνσταντίνος Σιούλας,** εγχειρίδιο βιοαερίου big>east, biogas for eastern europe company **Οκτώβριος 2008**

**Jan Moestedt,** The effect of substrate and operational parameters on the abundance of sulphate-reducing bacteria in industrial anaerobic biogas digesters, **March 2013**

**Zhang Datong, An analysis of domestic biogas storage installations** in China **1989**

**Debadayita Raha,** The implementation of decentralised biogas plants in Assam, NE India: The impact and effectiveness of the National Biogas and Manure Management Programme **May 2014**

**A.R. Coughtrie** Effects of turbulence modelling on prediction of flow characteristics in a bench-scale anaerobic gas-lift digester **June 2013**

**Ivan Simeonov, Dencho Denchev and Bayko Baykov (2006).** "Development of new technologies for production of heat and electric power from organic wastes for increasing the economic efficiency of the final products", Advances in Bulgarian Science, № 1, 15-24.

**Renato Baciocchi** Pilot-Scale Investigation of an Innovative Process for Biogas Upgrading with CO<sub>2</sub> Capture and Storage **2013**

**Mohammed Bah Abba,** 2000 Laureate, Applied Technology , ROLEX award for enterprise , location : Nigeria

**Helen Dacres,** Comparison of enhanced bioluminescence energy transfer donors for protease biosensors, **15 May 2012**

**Οικολογική Εταιρεία Ανακύκλωσης Ecorec ,** [www.ecorec.gr](http://www.ecorec.gr) : Home>Κομποστοποίηση

**Καραμούζης Δ.Ν.**, Φυσικά Συστήματα Επεξεργασίας Λυμάτων, Τεύχος 1, Τεχνητοί Υγρότοποι, Θεσσαλονίκη, 2003.

**ΥΠΕΚΑ Ειδική Γραμματεία Υδάτων**, Κείμενο Κατευθυντήριων Γραμμών για τη Διαχείριση Λυμάτων Μικρών Οικισμών, **Απρίλιος 2012 σελ. 11-68**

**M.M. Pérez Villar** Vertical Subsurface Wetlands for Wastewater Purification **2012**

**Econews.gr**, Ρύπανση> Μύκητας που τρέφεται με πλαστικό ανακαλύφθηκε στο Εκουαδόρ, **16 Μαΐου 2012**

**Philips – Design Probes 2011**, design futures

[http://www.design.philips.com/about/design/designportfolio/design\\_futures/microbial\\_home.page](http://www.design.philips.com/about/design/designportfolio/design_futures/microbial_home.page)

## VI. ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ

### 1. ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

|                                                                                                                                  |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Εικόνα 1.</b> Οικολογικό ψυγείο χωρίς ηλεκτρισμό . Πηγή: <i>Bah Aba 1995</i>                                                  | <b>14</b> |
| <b>Εικόνα 2.</b> Pot in pot cooler. Πηγή: <i>Willems 2000</i>                                                                    | <b>14</b> |
| <b>Εικόνα 3.</b> μύκητας <i>Panellus stipticus</i> παρουσιάζει βιοφωταυγεία.<br>Πηγή: <i>Wikipedia</i>                           | <b>15</b> |
| <b>Εικόνα 4.</b> εκατομμύρια μικροοργανισμών όπως τα <i>Noctiluca</i> κάνουν τον ωκεανό να φωτίζει. Πηγή: <i>WebEcoist</i>       | <b>15</b> |
| <b>Εικόνα 5.</b> ο βιοφωταυγής μικροοργανισμός <i>Noctiluca scintillans</i> .<br>Πηγή: <i>Marine animal encyclopedia, OCEANA</i> | <b>15</b> |
| <b>Εικόνα 6.</b> Filtering Squatting Toilet. Πηγή: <i>Philips – Design Probes 2011</i>                                           | <b>26</b> |
| <b>Εικόνα 7.</b> Filtering Squatting Toilet. Πηγή: <i>Philips – Design Probes 2011</i>                                           | <b>27</b> |
| <b>Εικόνα 8.</b> Bio-digester Island. Πηγή: <i>Philips – Design Probes 2011</i>                                                  | <b>28</b> |
| <b>Εικόνα 9.</b> Bio-digester Island. Πηγή: <i>Philips – Design Probes 2011</i>                                                  | <b>29</b> |
| <b>Εικόνα 10.</b> Larder. Πηγή: <i>Philips – Design Probes 2011</i>                                                              | <b>30</b> |
| <b>Εικόνα 11.</b> Larder. Πηγή: <i>Philips – Design Probes 2011</i>                                                              | <b>32</b> |
| <b>Εικόνα 12.</b> Biolight. Πηγή: <i>Philips – Design Probes 2011</i>                                                            | <b>33</b> |
| <b>Εικόνα 13.</b> Biolight. Πηγή: <i>Philips – Design Probes 2011</i>                                                            | <b>33</b> |
| <b>Εικόνα 14.</b> Paternoster plastic waste up-cycler. Πηγή: <i>Philips – Design Probes 2011</i>                                 | <b>34</b> |

### 2. ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

|                                                                                                                                                                               |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Σχήμα 1.</b> Emission spectra of 1 $\mu$ M of the specified GFP <sup>2</sup> -RG-RLuc, GFP <sup>2</sup> -RG-RLuc2 and GFP <sup>2</sup> -RG-RLuc8. Πηγή: <i>Dacres 2012</i> | <b>16</b> |
| <b>Σχήμα 2.</b> Bio-digester Island. Πηγή: <i>Philips – Design Probes 2011</i>                                                                                                | <b>28</b> |
| <b>Σχήμα 3.</b> Larder. Πηγή: <i>Philips – Design Probes 2011</i>                                                                                                             | <b>31</b> |
| <b>Σχήμα 4.</b> Paternoster plastic waste up-cycler. Πηγή: <i>Philips – Design Probes 2011</i>                                                                                | <b>35</b> |
| <b>Σχήμα 5.</b> Microbial Home. Πηγή: <i>Philips – Design Probes 2011</i>                                                                                                     | <b>36</b> |

### 3. ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

|                                                                                                                                                                                 |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Πίνακας 1.</b> Τύποι χωνευτών. Πηγή: <i>Al Seadi 2008</i>                                                                                                                    | <b>11</b> |
| <b>Πίνακας 2.</b> Λίστα απόδοσης υλικών προς κομποστοποίηση.<br>Πηγή: <i>Οικολογική Εταιρεία Ανακύκλωσης Ecorec 2005</i>                                                        | <b>18</b> |
| <b>Πίνακας 3.</b> Διαβάθμιση στρώσεων αδρανών υλικών.<br>Πηγή: <i>ΥΠΕΚΑ Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2012</i>                                                                      | <b>20</b> |
| <b>Πίνακας 4.</b> Τιμές των παραμέτρων, που αφορούν στην ποιότητα των αστικών λυμάτων της εισροής σε μια σηπτική δεξαμενή.<br>Πηγή: <i>ΥΠΕΚΑ Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2012</i> | <b>21</b> |
| <b>Πίνακας 5.</b> Παράμετροι Σχεδιασμού.<br>Πηγή: <i>ΥΠΕΚΑ Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2012</i>                                                                                   | <b>22</b> |
| <b>Πίνακας 6.</b> Μηχανισμοί απομάκρυνσης διαφόρων ρύπων σε συστήματα επεξεργασίας λυμάτων. Πηγή: <i>ΥΠΕΚΑ Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2012</i>                                   | <b>24</b> |

