

## WP2 Πλήρης χαρακτηρισμός του υγρού συμπυκνώματος που προκύπτει από τη διαδικασία ξήρανσης του οργανικού κλάσματος των Αστικών Στερεών Αποβλήτων

### ΕΙΣΑΓΩΓΗ

#### **Στερεά Αστικά Απόβλητα (Municipal Solid Waste MSW)**

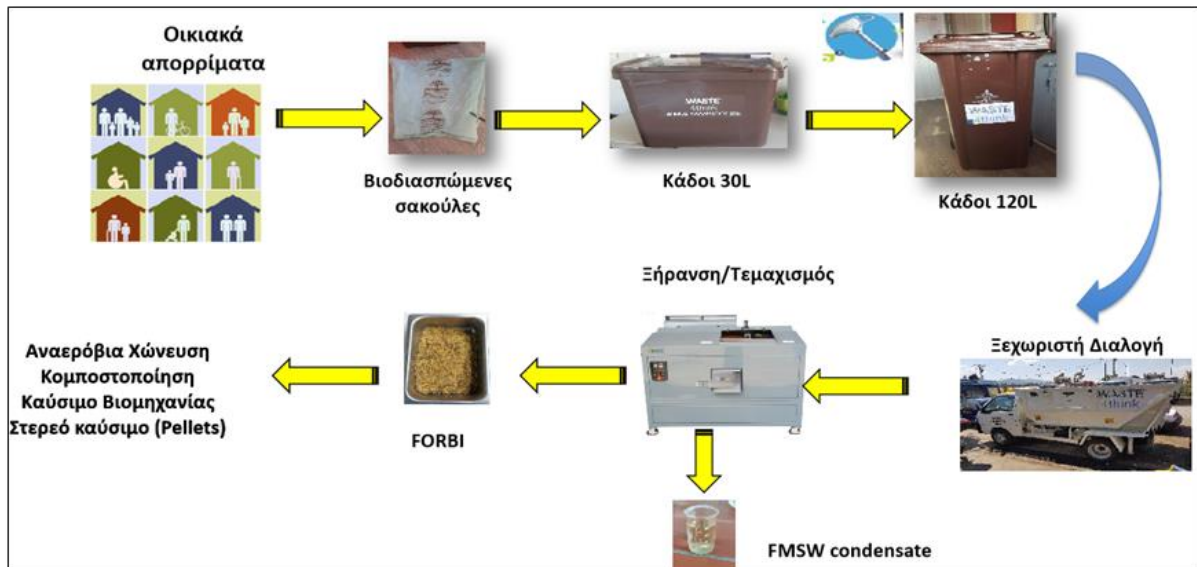
Τα στερεά αστικά απόβλητα αποτελούν το απότοκο των νοικοκυριών και επιχειρήσεων σε μία περιοχή. Στα στερεά απόβλητα συγκαταλέγεται μεγάλη ποικιλία απορριμμάτων όπως τρόφιμα, χαρτί, πλαστικό, γυαλί, μέταλλα, κατασκευαστικά υλικά και άλλα υλικά. Τα συγκεκριμένα απόβλητα μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε ανακυκλώσιμα υλικά, ζυμώσιμα απόβλητα και τον υπόλοιπο όγκο των αποβλήτων που δεν συγκαταλέγονται στις προηγούμενες κατηγορίες και χρήζουν ειδικής μεταχείρισης. Η διαχείριση των αστικών αποβλήτων αποτελεί μία από τις μεγαλύτερες προκλήσεις τις εποχής μας καθώς ο μεγάλος ρυθμός παραγωγής στερεών αποβλήτων εγκυμονεί κινδύνους τόσο για το περιβάλλον όσο και για την δημόσια υγεία. Κατά γενικό κανόνα ξεχωριστή συλλογή στην πηγή εφαρμόζεται μόνο για τα ανακυκλώσιμα υλικά με αποτέλεσμα τα ζυμώσιμα απόβλητα να οδηγούνται ως σύμμεκτα με τον υπόλοιπο όγκο των απορριμμάτων σε Χώρους Υγειονομικής Ταφής (ΧΥΤΑ) και Μονάδες Καύσης απορριμμάτων. Η συγκεκριμένη προσέγγιση είναι περιβαλλοντικά επιζήμια καθώς χάνεται η δυνατότητα αξιοποίησης της εσωτερικής χημικής ενέργειας των συγκεκριμένων απορριμμάτων ενώ ταυτόχρονα εκλύεται στην ατμόσφαιρα από τους ΧΥΤΑ μεθάνιο, το οποίο επιβαρύνει σημαντικά το φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Τα ζυμώσιμα στερεά αστικά απόβλητα (**Fermentable Municipal Solid Waste, FMSW**) ανήκουν στη κατηγορία των βιοαποικοδομήσιμων αποβλήτων. Βιοαποικοδομήσιμα υλικά είναι τα τροφικά, ζωικά απόβλητα και άλλα απόβλητα πλούσια σε οργανικά συστατικά. Τα ζυμώσιμα στερεά απόβλητα είναι ένας σημαντικός πόρος που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως υπόστρωμα αναερόβιας χώνευσης με υψηλές δυνατότητες ανάκτησης ενέργειας. Κατά αυτή τη διεργασία διασπάται η οργανική ύλη μέσω αναερόβιων μικροοργανισμών απουσία οξυγόνου, με ταυτόχρονη έκλυση βιοαερίου πλούσιο σε μεθάνιο. Τα ζυμώσιμα απόβλητα, επίσης, κομποστοποιούνται μέσω φυσικών διεργασιών με χρήση βακτηρίων, μυκήτων και σκουληκιών για την αποσύνθεση της οργανικής ύλης παράγοντας εδαφοβελτιωτικό χρήσιμο για τη γεωργία και τη κηπουρική. Μία κατηγορία ζυμώσιμων αποβλήτων που απασχολεί έντονα τη παγκόσμια κοινότητα τα τελευταία χρόνια αποτελούν τα τροφικά υπολείμματα. Οι αυξανόμενες απαιτήσεις σε τρόφιμα έχει ως αποτέλεσμα την ολοένα και αυξανόμενη δημιουργία τροφικών αποβλήτων. Τα τροφικά απόβλητα έχουν σημαντικό αντίκτυπο για το περιβάλλον και την δημόσια υγεία, διότι όταν τα τρόφιμα απορρίπτονται σε χωματερές, αποσυντίθενται και κάτω από αναερόβιες συνθήκες παράγουν μεθάνιο, το οποίο ενισχύει το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Μια πρώτη ερευνητική προσπάθεια αξιοποίησης του ρεύματος των οικιακών τροφικών υπολειμμάτων επιτεύχθηκε μέσω του προγράμματος Waste4Think. Στα πλαίσια του Waste4think με την συνδρομή κατοίκων και των δομών καθαριότητας του Δήμου Χαλανδρίου, οργανώθηκε από το Εργαστήριο Οργανικής Χημικής Τεχνολογίας του ΕΜΠ ένα πλάνο ξεχωριστής συλλογής και διαχείρισης των τροφικών υπολειμμάτων. Το προτεινόμενο διαχειριστικό πλάνο είχε ως αφετηρία την ξεχωριστή συλλογή στην πηγή των τροφικών υπολειμμάτων με την χρήση οικιακών καφέ κάδων χωρητικότητας 30 L. Στην συνέχεια οι οικιακοί καφέ κάδοι μεταφέρονταν από τους συμμετέχοντες στο πρόγραμμα σε αντίστοιχους καφέ κάδους σε συγκεκριμένα σημεία του Δήμου Χαλανδρίου όπου απορρίπτονταν τα τροφικά υπολείμματα. Οι δημοτικοί καφέ κάδοι έχουν χωρητικότητα 120 L και η δυνατότητα απόρριψης αποβλήτων σε αυτούς παρέχεται με την χρήση

ειδικού κλειδιού, ώστε να μην υπάρχουν επιμολύνσεις από άλλου είδους απόβλητα. Για τον ίδιο λόγο η διαλογή τους από την Υπηρεσία Καθαριότητας του δήμου διεξάγεται από συγκεκριμένο απορριματοφόρο το οποίο δεν συλλέγει άλλους τύπους αποβλήτων.

Αφού συλλεχθούν τα τροφικά υπολείμματα μεταφέρονται σε έναν ειδικά διαμορφωμένο χώρο όπου υπόκεινται σε ταυτόχρονη ξήρανση και τεμαχισμού. Μέσω της συγκεκριμένης διεργασίας παράγεται ένα προϊόν το οποίο ονομάζεται Food Residue Biomass (FORBI). Η μετατροπή τους σε FORBI, αντί της απευθείας χρήσης τους σε βιολογικές διεργασίες αυξάνει σημαντικά της δυνατότητας αξιοποίησης των τροφικών υπολειμμάτων. Αρχικά μέσω της ξήρανσης επιτυγχάνεται απομάκρυνση της υγρασίας η οποία συνεπάγεται μείωση του βάρους τους κατά 80% διατηρώντας παράλληλα το ενεργειακό τους περιεχόμενο. Επιπλέον μέσω της απομάκρυνσης της υγρασίας αυξάνεται η διάρκεια συντήρησης τους καθώς δεν υφίστανται πλέον μικροβιακές διεργασίες αποσύνθεσης. Γίνεται λοιπόν κατανοητό πώς μέσω της ξήρανσης χρησιμοποιώντας ως πρώτη ύλη ένα απόβλητο, παράγεται ένα προϊόν που παρουσιάζει ευκολία συντήρησης και μεταφοράς και ένα εύρη φάσμα δυνατοτήτων αξιοποίησης. Το FORBI έχει αξιοποιηθεί ως υπόστρωμα αναερόβιας χώνευσης για την παραγωγή ενέργειας υπό μορφή φυσικού αερίου κίνησης, ως πρώτη ύλη για την παραγωγή εδαφοβελτιωτικού και ως καύσιμο για βιομηχανικές διεργασίες. Στην Σχήμα 1 παρουσιάζεται το διάγραμμα ροής που ακολουθούν τα τροφικά απόβλητα κατά την εφαρμογή του πλάνου που πρότείνει το ερευνητικό πρόγραμμα Waste4Think.

Ωστόσο παράλληλα με την παραγωγή του FORBI κατά την ξήρανση των τροφικών αποβλήτων παράγεται ως προϊόν και το Fermentable Municipal Solid Waste condensate (FMSW condensate), το οποίο αποτελείται από την περιεχόμενη υγρασία και τις πτητικές ενώσεις των τροφικών υπολειμμάτων που συμπυκνώνονται στην έξοδο του ξηραντήρα. Τα βασικά χαρακτηριστικά του FMSW condensate είναι η υψηλή συγκέντρωση σε οργανικό φορτίο προερχόμενη από πτητικά λιπαρά οξέα και αιθανόλη, η όξινη φάση και η δυσάρεστη οσμή. Είναι κατανοητό πως το FMSW condensate αποτελεί ένα επικίνδυνο περιβαλλοντικά απόβλητο το οποίο χρήζει άμεσης επεξεργασίας πριν την απόρριψη του στο περιβάλλον.



Σχήμα 2. Διάγραμμα ροής τροφικών αποβλήτων κατά την εφαρμογή του διαχειριστικού πλάνου Waste4Think.

## **Υγρά Αστικά Λύματα ( Municipal Wastewater, MWW)**

Τα υγρά αστικά λύματα κατά κύριο λόγο παράγονται από τις ανθρώπινες δραστηριότητες και αποτελούν απειλή για το περιβάλλον και την ανθρώπινη υγεία. Η σύσταση των λυμάτων εμπεριέχει ένα μείγμα οργανικής και ανόργανης ύλης. Επιπρόσθετα, στη σύνθεση των αστικών αποβλήτων απαντώνται και χημικές ουσίες από απορρυπαντικά, φαρμακευτικά προϊόντα και φυτοφάρμακα καθώς και βαρέα μέταλλα. Η επεξεργασία του συγκεκριμένου τύπου αποβλήτων είναι μείζονος σημασίας για την ανθρώπινη υγεία και την περιβαλλοντική ευημερία. Σήμερα η κύρια προσέγγιση της διαχείρισης των Υγρών Αστικών Λυμάτων αφορά στην συλλογή τους μέσω αποχετευτικού δικτύου και την επεξεργασία τους σε μονάδες βιολογικού καθαρισμού για την αφαίρεση των αιωρούμενων στερεών και των θρεπτικών συστατικών τους (άζωτο, φώσφορο) μέσω διεργασιών καθίζησης, βιολογικής οξειδωσης του οργανικού φορτίου και απολύμανσης μέσω χλωρίωσης. Στη συνέχεια ένα μείγμα πρωτογενούς και δευτερογενούς ιλύος που παράγεται από την παραπάνω διεργασία οδηγείται για αναερόβια χώνευση πριν την τελική του διάθεση. Το κύριο λειτουργικό κόστος που φέρει το παραπάνω σύστημα επεξεργασίας βασίζεται, στον αερισμό της ιλύος που απαιτείται για την οξείδωση του οργανικού της φορτίου (Mohan et al., 2008). Για την εξομάλυνση του συγκεκριμένου κόστους έχει προταθεί, συνολική ή μερική σταθεροποίηση των αποβλήτων μέσω αναερόβιας χώνευσης με σκοπό την παραγωγή ενέργειας (Sosnowski et al., 2003) ωστόσο η συγκεκριμένη πρόταση έχει αποτελεσματική εφαρμογή μόνο για περιοχές με θερμό κλίμα (Μεσόφιλες συνθήκες), λόγω της χαμηλής συγκέντρωσης σε οργανικό φορτίο που περιέχετε στον συγκεκριμένο τύπο αποβλήτων .

Σκοπός του ερευνητικού προγράμματος DENOMINATE είναι ο σχεδιασμός ενός καινοτόμου διαχειριστικού πλάνου επεξεργασίας, το οποίο βασιζόμενο στα ευρήματα του ερευνητικού προγράμματος Waste4Think θα θέσει τις βάσεις για την συν-διαχείριση υγρών αστικών λυμάτων και FMSW condensate. Η διεργασία που θα στηριχθεί το νέο μοντέλο διαχείρισης είναι η απευθείας αναερόβια χώνευση των αστικών λυμάτων μετά από ανάμιξη με το συμπύκνωμα της ξήρανσης των τροφικών αποβλήτων. Σκοπός του προτεινόμενου διαχειριστικού πλάνου είναι η μεταβολή των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών των αστικών λυμάτων μέσω της ανάμιξης τους με ρεύμα του FMSW condensate, ώστε το νέο αυτό απόβλητο να αποτελεί ευνοϊκότερο υπόστρωμα για την διεργασία της αναερόβιας χώνευσης.

Ο σχεδιασμός του νέου διαχειριστικού πλάνου περιλαμβάνει αρχικά τον χαρακτηρισμό των δύο ρευμάτων, FMSW condensate και υγρά αστικά λύματα, την επιλογή των παραμέτρων λειτουργίας των διεργασιών σε πιλοτικό επίπεδο. Στην συνέχεια πραγματοποιείται η απαραίτητη Τεχνοοικονομική Μελέτη με σκοπό την εφαρμογή του διαχειριστικού πλάνου σε περιοχή με πληθυσμιακό ισοδύναμο 100000 κατοίκων καθώς και ανάλυση του κύκλου ζωής του.

---

### **Αναλυτικές Μέθοδοι**

Παρακάτω παρουσιάζονται όλες οι αναλυτικές μέθοδοι, που χρησιμοποιήθηκαν για την παρακολούθηση των διεργασιών και την ολοκλήρωση των παραδοτέων αλλά και για την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων, όσο αφορά την αποτελεσματικότητα της λειτουργίας τους .

#### **Μέτρηση pH**

Η μέτρηση του pH των δειγμάτων πραγματοποιείται με την εμβάπτιση του ηλεκτροδίου του pH-μέτρου στο δείγμα, αφού αυτό προηγουμένως ανακινηθεί ελαφρώς, ενώ ολοκληρώνεται με την καταγραφή της τιμής στην οποία σταθεροποιείται το όργανο. Η συσκευή, που χρησιμοποιείται για τις μετρήσεις, είναι ένα φορητό, ηλεκτρονικό pH-μετρο τύπου inoLabWTWseriesPHS-3DMeter, το οποίο απεικονίζεται στην παρακάτω Εικόνα:



Εικόνα 1 Ηλεκτρονικό pH-μετρο

Ανά τακτά χρονικά διαστήματα πραγματοποιείται βαθμονόμηση του pH-μέτρου, χρησιμοποιώντας αρχικά ένα πρότυπο ουδέτερο διάλυμα με pH 7,0, στη συνέχεια ένα πρότυπο βασικό διάλυμα με pH 10,0 και τέλος ένα πρότυπο όξινο διάλυμα με pH 4,0.

### Μέτρηση Ολικής Αλκαλικότητας (Total Alkalinity, TA)

Η ολική αλκαλικότητα εκφράζει την ικανότητα ενός διαλύματος να αντιστέκεται στη μεταβολή του pH του και είναι το άθροισμα όλων των τιτλοδοτούμενων βάσεων του. Επειδή η αλκαλικότητα είναι κατά κύριο λόγο μία συνάρτηση των ανθρακικών ( $\text{CO}_3^{2-}$ ), των όξινων ανθρακικών ( $\text{HCO}_3^-$ ) και των ιόντων υδροξυλίου θεωρείται μία ένδειξη της συγκέντρωσης αυτών των συστατικών. Στις μετρούμενες τιμές μπορεί να συνεισφέρουν ακόμη βορικά άλατα, φωσφορικά άλατα, πυριτικά άλατα ή άλλες βάσεις, εάν υπάρχουν. Οι αναερόβιοι χωνευτήρες έχουν συνήθως αλκαλικότητα από 2000 μέχρι 4000 mgCaCO<sub>3</sub> /L.

Για την μέτρηση της αλκαλικότητας ενός δείγματος λαμβάνεται με χρήση πιπέτας γνωστός όγκος του δείγματος αυτού, ίσος με 10 mL. Ενώσω ο όγκος αυτός βρίσκεται υπό συνεχή ανάδευση, τιτλοδοτείται με πρότυπο διάλυμα θειικού οξέος  $\text{H}_2\text{SO}_4$  κανονικότητας 0,1 N μέχρι να φτάσει στο ισοδύναμο σημείο του, όπου στο pH-μετρο θα αναγράφεται η τιμή 4,5.

Έτσι, για τον υπολογισμό της ολικής αλκαλικότητας του κάθε δείγματος χρησιμοποιείται ο παρακάτω τύπος:

$$\text{Ολική αλκαλικότητα} = \frac{A \cdot N \cdot 50000}{\text{mL sample}}$$

όπου A είναι τα mL του πρότυπου διαλύματος θειικού οξέος, που χρησιμοποιείται ως τιτλοδότης, N είναι η κανονικότητα αυτού του διαλύματος και mL sample είναι τα mL του δείγματος που χρησιμοποιήθηκαν.

Με βάση τον παραπάνω τύπο υπολογίζεται η αλκαλικότητα του κάθε δείγματος σε  $\text{mgCaCO}_3 / \text{L}$ .

### Προσδιορισμός Ολικών και Πτητικών Αιωρούμενων Στερεών (TSS, VSS)

Ο όρος «στερεά» αναφέρεται στην ύλη που αιωρείται ή βρίσκεται διαλυμένη στο νερό ή τα λύματα και η οποία επηρεάζει την ποιότητα τους με διάφορους τρόπους. Τα ολικά στερεά(TS) είναι το υπόλειμμα που απομένει έπειτα από την εξάτμιση ενός δείγματος και την επακόλουθη ξήρανση του σε ένα φούρνο καθορισμένης θερμοκρασίας. Τα ολικά στερεά περιλαμβάνουν τα ολικά αιωρούμενα στερεά (TSS), δηλαδή το μέρος των ολικών στερεών, το οποίο συγκρατείται από το φίλτρο και τα ολικά διαλυμένα στερεά (TDS), τα οποία είναι το μέρος των στερεών που διαπερνά το φίλτρο. Η κατανομή των ολικών στερεών στις δύο αυτές κατηγορίες εξαρτάται από τον τύπο του φίλτρου, το μέγεθος των πόρων του, το πορώδες, την επιφάνεια και το πάχος του φίλτρου, καθώς επίσης και την φυσική κατάσταση, το μέγεθος των σωματιδίων και την ποσότητα του υλικού, που εναποτίθεται στο φίλτρο. Τα διαλυμένα στερεά είναι εκείνα που περνούν διαμέσου ενός φίλτρου με μέγεθος πόρων 2,0 μm ή λιγότερο κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες.

Για τον προσδιορισμό των ολικών αιωρούμενων στερεών, χρησιμοποιείται ηθμός ινών υάλου, ο οποίος τοποθετείται για 10 λεπτά σε φούρνο σταθερής θερμοκρασίας 550°C για την απομάκρυνση της όποιας υγρασίας μπορεί αυτός να περιέχει. Ο φούρνος αυτός απεικονίζεται στην παρακάτω Εικόνα:



Εικόνα 2: Φούρνος 550°C

Ακολουθεί η ψύξη του ηθμού αυτού σε ξηραντήρα απουσία υγρασίας για 15-20 λεπτά. Μετά το πέρας αυτού το χρονικού διαστήματος καταγράφεται το ξηρό βάρος του ηθμού.

Στη συνέχεια, ο ηθμός αυτός χρησιμοποιείται για την πραγματοποίηση διήθησης υπό κενό γνωστής ποσότητας καλώς αναμεμιγμένου δείγματος, η οποία είναι ίση με 10 mL. Το υλικό, που κατακρατείται στον ηθμό, ξηραίνεται μέχρι σταθερού βάρους σε φούρνο στους 105°C, ο οποίος απεικονίζεται στην παρακάτω Εικόνα:



Εικόνα 3: Φούρνος 105°C

Συνήθως για την ξήρανση αυτή απαιτείται μία ημέρα. Στη συνέχεια, ο ηθμός ψύχεται στον ξηραντήρα για 15-20 λεπτά και κατόπιν ζυγίζεται στον αναλυτικό ζυγό της παρακάτω Εικόνας.



Εικόνα 4: Αναλυτικός Ζυγός

Η εξίσωση υπολογισμού των ολικών αιωρούμενων στερεών είναι η ακόλουθη:

$$\frac{\text{mg Total Suspended Solids}}{\text{L}} = \frac{(A - B) \cdot 1000}{\text{sample volume, mL}}$$

όπου A είναι το βάρος του ηθμού και του ξηρού υπολείμματος σε mg και B είναι το βάρος του ηθμού σε mg.

Ο όρος πτητικά αιωρούμενα στερεά αναφέρεται στα στερεά, τα οποία εξαερώνονται σε θερμοκρασία 550°C. Για τον προσδιορισμό τους ο ηθμός, στον οποίο έχουν κατακρατηθεί τα ολικά αιωρούμενα στερεά και αφού έχει πραγματοποιηθεί η παραπάνω διαδικασία για τη μέτρηση τους, τοποθετείται σε φούρνο

στους 550°C για δέκα λεπτά. Κατόπιν, τοποθετείται για ψύξη σε ξηραντήρα για 15-20 λεπτά και μετά το πέρας αυτού του χρονικού διαστήματος πραγματοποιείται η ζύγιση του ηθμού στον αναλυτικό ζυγό.

Η εξίσωση υπολογισμού των πτητικών αιωρούμενων στερεών είναι η ακόλουθη:

$$\frac{\text{mg Total Suspended Solids}}{L} = \frac{(A - B) \cdot 1000}{\text{sample volume, mL}}$$

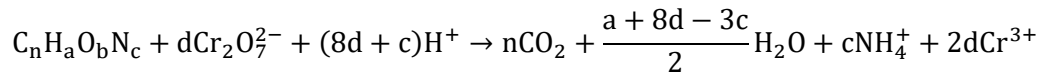
όπου A είναι το βάρος του ηθμού και του ξηρού υπολείμματος πριν την πυράκτωση στους 550°C σε mg και B είναι το βάρος του ηθμού και του ξηρού υπολείμματος μετά την πυράκτωση στους 550°C σε mg.

### Προσδιορισμός Χημικά Απαιτούμενου Οξυγόνου (COD)

Το χημικά απαιτούμενο οξυγόνο(COD) ορίζεται ως η ποσότητα ενός ορισμένου οξειδωτικού το οποίο αντιδρά με το δείγμα υπό ελεγχόμενες συνθήκες. Η ποσότητα του οξειδωτικού, που καταναλώνεται, εκφράζεται σε όρους ισοδυναμίας οξυγόνου. Εξαιτίας των μοναδικών χημικών ιδιοτήτων του, το διχρωμικό ιόν( $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ) είναι το οξειδωτικό που χρησιμοποιείται και το οποίο μετατρέπεται στο χρωμικό ιόν ( $\text{Cr}^{3+}$ ) κατά τη διάρκεια της μεθόδου.

Το χημικά απαιτούμενο οξυγόνο είναι μία καθορισμένη δοκιμή, κατά την οποία η έκταση της οξείδωσης του δείγματος μπορεί να επηρεαστεί από διάφορους παράγοντες και η οποία χρησιμοποιείται συχνά για τη μέτρηση των ρύπων στα λύματα αλλά και τα φυσικά νερά

Για την μέτρηση του ισοδύναμου οξυγόνου του οργανικού υλικού, το οποίο μπορεί να οξειδωθεί χημικά, χρησιμοποιείται η παρακάτω εξίσωση<sup>41</sup>:



όπου ισχύει ότι:

$$d = \frac{2n}{3} + \frac{a}{6} - \frac{b}{3} - \frac{c}{2}$$

Κατά την μέθοδο κλειστής επαναρροής με φωτομέτρηση, όταν ένα δείγμα χωνεύεται το διχρωμικό ιόν οξειδώνει το οργανικό υλικό που υπάρχει στο δείγμα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την μεταβολή του χρωμίου από εξασθενές σε τρισθενές. Και τα δύο αυτά είδη χρωμίου έχουν χρώμα και απορροφούν στην ορατή περιοχή του φάσματος. Συγκεκριμένα, το διχρωμικό ιόν απορροφά ισχυρά στην περιοχή των 400 nm, όπου η απορρόφηση του χρωμικού ιόντος είναι πολύ μικρή. Αντίστοιχα, εκείνο απορροφά ισχυρά στην περιοχή των 600nm, όπου η απορρόφηση του διχρωμικού ιόντος είναι σχεδόν μηδενική. Για τιμές χημικά απαιτούμενου οξυγόνου μεταξύ 100 και 900 mg/L, μπορεί να καθοριστεί η αύξηση των χρωμικών ιόντων στα 600nm. Μεγαλύτερες τιμές μπορούν να μετρηθούν, αφού γίνει αραιώση του δείγματος.

Προκειμένου να εφαρμοστεί η συγκεκριμένη διαδικασία, πρέπει να απουσιάζουν όλες οι ορατές παρεμβολές απορρόφησης ή να αντισταθμίζονται. Αυτές οι παρεμβολές αφορούν αδιάλυτη αιωρούμενη ύλη όπως και συστατικά, που διαθέτουν χρώμα.



Ξεκινώντας τη διαδικασία, προστίθενται σε φιαλίδια 2,8 mLκαταλύτη θειικού οξέος, 1,2 mLαπό το αντιδραστήριο χώνευσης, δηλαδή το διχρωμικό κάλιο και 2mLδείγματος. Σε κάθε σειρά μετρήσεων παρασκευάζεται και ένα τυφλό δείγμα, το οποίο αντί για 2mLδείγματος περιέχει 2mLαπιονισμένου νερού, το οποίο πρέπει να είναι το νερό που χρησιμοποιείται για τις εκάστοτε πιθανές αραιώσεις. Εξαιρετικά σημαντικό κατά τη διάρκεια παρασκευής των δειγμάτων είναι ο σχηματισμός τριών διακριτών, μη επικαλυπτόμενων φάσεων, γεγονός που επιτυγχάνεται με τη προσθήκη του διχρωμικού καλίου και αργότερα του δείγματος στο φιαλίδιο με αργό και σταθερό ρυθμό. Μετά την παρασκευή των δειγμάτων, αυτά τοποθετούνται σε φούρνο των 150°C(HachCODReactor) για δύο ώρες και αφού κρυώσουν, φωτομετρούνται στα 600 nm. Ο φούρνος και το φωτόμετρο, που χρησιμοποιούνται δίνονται στις παρακάτω Εικόνες:



Εικόνα 5 Φούρνος στους 150 C για θέρμανση των δειγμάτων και πραγματοποίηση της αντίδρασης μεταξύ οργανικού υλικού και διχρωμικού ιόντος



Εικόνα 6\_Φωτόμετρο υπεριώδους-ορατού

Όσο αφορά την παρασκευή του αντιδραστήριου χώνευσης, δηλαδή του διχρωμικού καλίου, σε περίπου 500mLαπιονισμένου νερού προστίθενται 10,216 gK<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>, το οποίο έχει υποστεί ξήρανση στους 105°C, 167 mL πυκνού H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>και 33,3 gHgSO<sub>4</sub>. Το διάλυμα αναμιγνύεται και αφού διαλυθεί καλά, αφήνεται να κρυώσει σε θερμοκρασία δωματίου και αραιώνεται μέχρι το 1 L. Επίσης, για την παρασκευή του



καταλύτη, προστίθεται  $\text{Ag}_2\text{SO}_4$  σε πυκνό  $\text{H}_2\text{SO}_4$  σε αναλογία  $5,5\text{gAg}_2\text{SO}_4/\text{kgH}_2\text{SO}_4$ . Το διάλυμα αφήνεται για 1-2 μέρες σε ανάδευση για να διαλυθεί ο  $\text{Ag}_2\text{SO}_4$ .

Σχετικά με τον τρόπο εύρεσης της ποσότητας του οργανικού υλικού σε κάθε δείγμα, αρχικά λαμβάνεται υπόψη ότι όσο περισσότερο διχρωμικό κάλιο έχει αντιδράσει με το οργανικό υλικό, τόσο μεγαλύτερη είναι η απορρόφηση που λαμβάνεται κατά τη φωτομέτρηση των ιόντων  $\text{Cr}^{3-}$ . Προκειμένου να πραγματοποιηθεί ο ποσοτικός προσδιορισμός της συγκέντρωσης του χημικά απαιτούμενου οξυγόνου γίνεται αναγωγή της απορρόφησης σε συγκέντρωση μέσω μίας πρότυπης καμπύλης βαθμονόμησης, η οποία προκύπτει με τη φωτομέτρηση 10 περίπου πρότυπων δειγμάτων, τα οποία περιέχουν γνωστή ποσότητα χημικά απαιτούμενου οξυγόνου.

Συγκεκριμένα, για την κατασκευή της καμπύλης χρησιμοποιείται πρότυπο διάλυμα όξινου φθαλικού καλίου (KHP), το οποίο ξηραίνεται για δύο ώρες στους  $120^\circ\text{C}$ . Από το πρότυπο διάλυμα λαμβάνονται 850 mg, τα οποία αραιώνονται με απιονισμένο νερό μέχρι το 1 L. Κάνοντας τις κατάλληλες αραιώσεις σε αυτό το διάλυμα, παρασκευάζονται τα πρότυπα διαλύματα για την κατασκευή της πρότυπης καμπύλης, τα οποία έχουν γνωστή συγκέντρωση χημικά απαιτούμενου οξυγόνου από 20 μέχρι  $900\text{mgO}_2/\text{L}$ .

### **Προσδιορισμός Παροχής Βιοαερίου**

Ο προσδιορισμός της παροχής του βιοαερίου, που παράγεται εξαιτίας της πραγματοποίησης της αναερόβιας χώνευσης μέσα στον αντιδραστήρα, είναι καθοριστικής σημασίας, προκειμένου να επιβεβαιωθεί η καλή λειτουργία του.

Για αυτό το λόγο πραγματοποιείται συνεχής μέτρηση της παροχής του βιοαερίου. Ειδικότερα, χρησιμοποιείται μία ειδική διάταξη με τη βοήθεια της οποίας, σε συνδυασμό με ορισμένους απλούς υπολογισμούς, μετριέται η ημερήσια παροχή του αντιδραστήρα σε βιοαέριο. Η διάταξη αυτή, η οποία ονομάζεται κλικογράφος, αποτελείται από έναν γυάλινο σωλήνα σχήματος «U», ο οποίος περιέχει συγκεκριμένη ποσότητα ορυκτελαίου, από ένα φωτοκύτταρο και μία τρίοδη βάνα, η οποία συνδέεται με τον πίνακα ελέγχου του συστήματος.

Όλο το βιοαέριο, που παράγεται μέσα στον αντιδραστήρα, είναι αναγκασμένο να διέλθει μέσω ειδικών σωληνώσεων και να φτάσει στο γυάλινο σωλήνα. Όταν μία ποσότητα βιοαερίου εισέλθει στην δεξιά πλευρά του γυάλινου σωλήνα εκτοπίζει σταδιακά το ορυκτέλαιο προς την πλευρά του φωτοκύτταρου. Όταν η στάθμη του ορυκτελαίου φτάσει σε ένα συγκεκριμένο σημείο και εντοπιστεί από το φωτοκύτταρο, τότε ο πίνακας ελέγχου καταγράφει ένα κλικ και ταυτόχρονα η τρίοδη βάνα ανοίγει την είσοδο προς το περιβάλλον και απελευθερώνει αυτή την ποσότητα του βιοαερίου στο περιβάλλον. Τότε, το ορυκτέλαιο επανέρχεται στην αρχική του κατάσταση. Ο όγκος του βιοαερίου, που αντιστοιχεί σε ένα κλικ, προκύπτει έπειτα από βαθμονόμηση και επιλέγεται να είναι σταθερά ίσος με  $0,6\text{mL}$ . Με αυτό τον τρόπο, καταγράφονται τα κλικ που έχουν πραγματοποιηθεί κάθε ημέρα και υπολογίζεται η παροχή του βιοαερίου για κάθε 24 ώρες, πολλαπλασιάζοντας τον αριθμό των κλικ, που αναγράφονται στον Πίνακα Ελέγχου στο τέλος της ημέρας, με την ποσότητα του βιοαερίου, που αντιστοιχεί σε ένα κλικ. Είναι εφικτό, κάθε μέρα μετά την καταγραφή των κλικ, αυτά να μηδενίζονται προκειμένου να γίνεται ευκολότερα η καταγραφή των κλικ της επόμενης ημέρας.

### **Χρήση Αέριας Χρωματογραφίας**

Η χρωματογραφία περιλαμβάνει ένα μεγάλο αριθμό μεθόδων, οι οποίες χρησιμοποιούνται για το διαχωρισμό ουσιών με παραπλήσιες χημικές ιδιότητες από σύνθετα μίγματα. Σε κάθε είδους χρωματογραφικό διαχωρισμό το δείγμα διαλύεται σε μία κινητή φάση, η οποία είναι ένα αέριο ή ένα υγρό ή ένα υπερκρίσιμο ρευστό. Η κινητή αυτή φάση εξαναγκάζεται να διέλθει μέσα από μία στατική φάση, η οποία είναι προσκολλημένη σε μία στήλη ή σε μία στερεή επιφάνεια. Η επιλογή των δύο φάσεων έχει ως στόχο την κατανομή των συστατικών του δείγματος μεταξύ της κινητής και της στατικής φάσης σε διαφορετικό βαθμό. Η διαφορετική κατανομή των συστατικών βασίζεται στο γεγονός ότι τα συστατικά που κατακρατούνται ισχυρότερα από τη στατική φάση κινούνται με αργό ρυθμό κατά τη ροή της κινητής φάσης, ενώ τα συστατικά που κατακρατούνται ασθενέστερα από τη στατική φάση, κινούνται πιο γρήγορα στην κινητή φάση. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τον διαχωρισμό των συστατικών, με το καθένα να καταλαμβάνει μία ξεχωριστή ζώνη, γεγονός που δίνει τη δυνατότητα για ποιοτικό ή και ποσοτικό προσδιορισμό του.

Υπάρχουν δύο είδη χρωματογραφίας: η χρωματογραφία αερίου-στερεού (gas-solid chromatography, GSC) και η χρωματογραφία αερίου-υγρού (gas-liquid chromatography, GLC), η οποία συχνά αναφέρεται απλά ως αεριοχρωματογραφία (gas chromatography, GC). Η αεριοχρωματογραφία βασίζεται στην κατανομή του αναλύτη μεταξύ της αέριας κινητής και μίας υγρής φάσης, που είναι ακινητοποιημένη πάνω σε ένα αδρανές στερεό ή στα τοιχώματα ενός τριχοειδούς σωλήνα.<sup>42</sup>

### **Προσδιορισμός Περιεκτικότητας Μεθανίου (%)**

Ένας από τους πιο βασικούς δείκτες για την αξιολόγηση της αποδοτικότητας της αναερόβιας χώνευσης αλλά και για την εξασφάλιση της καλής λειτουργίας του αντιδραστήρα και του συστήματος συνολικά είναι η περιεκτικότητα του παραγόμενου βιοαερίου σε μεθάνιο.

Για να μετρηθεί η συγκεκριμένη περιεκτικότητα λαμβάνεται δείγμα από τον αντιδραστήρα με ένεση από την παγίδα, που υπάρχει ανάμεσα στον αντιδραστήρα και στον κλικογράφο. Το δείγμα αυτό εισάγεται σε αεριοχρωματογράφο ShimadzuGC-2014, ο οποίος διαθέτει χρωματογραφική στήλη Carboxen 1000 μήκους 5 μέτρων και εσωτερικής διαμέτρου 2,1 mm, ενώ και σε αυτή την περίπτωση το φέρον αέριο είναι το ήλιο. Ο συγκεκριμένος αεριοχρωματογράφος φαίνεται στην παρακάτω Εικόνα 7



Εικόνα 7 Αέριος Χρωματογράφος για εύρεση σύστασης βιοαερίου

Αρχικά, ο θάλαμος του χρωματογράφου βρίσκεται στους 40°C. Το θερμοκρασιακό πρόγραμμα, που χρησιμοποιείται στη στήλη, ξεκινάει από αυτή τη θερμοκρασία και στη συνέχεια την αυξάνει με ρυθμό 10°C/μίνιμέχρι αυτή να φτάσει στους 185°C, θερμοκρασία η οποία διατηρείται σταθερή για 5 λεπτά.

Ακόμη, για να προσδιοριστεί η περιεκτικότητα του βιοαερίου σε μεθάνιο χρησιμοποιούνται πρότυπα δείγματα αερίων, τα οποία διαθέτουν συγκεκριμένες γνωστές συγκεντρώσεις μεθανίου.

## D.2.1. Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά της συνθετικής πρώτης ύλης με βάσει τα αστικά λύματα/συμπύκνωμα FMSW

### Παραγωγή συμπυκνώματος κατά την διάρκεια της ξήρασης

Στην έναρξη κάθε κύκλου λειτουργίας του ξηραντήρα πραγματοποιείται χειροκίνητη προσθήκη του νωπού ζυμώσιμου αστικού αποβλήτου στον ξηραντήρα. Η ξήρανση πραγματοποιείται υπό ατμοσφαιρική πίεση σε θερμοκρασία 98°C για χρονικό διάστημα 9 ωρών και στη συνέχεια το υλικό αφήνεται στον ξηραντήρα απουσία θέρμανσης για 2 ώρες έως την πτώση της θερμοκρασίας. Η θέρμανση πραγματοποιείται με τη χρήση ηλεκτρικών αντιστάσεων ενώ καθ' όλη τη διάρκεια των έντεκα ωρών οι υδρατμοί συμπυκνώνονται και απομακρύνονται από το θάλαμο της ξήρασης μέσω του condenser. Προκειμένου να προσδιορίσουμε την απώλεια της μάζας κατά την διάρκεια ενός τυπικού κύκλου ξήρασης και την ταυτόχρονη κατανάλωση ενέργειας πραγματοποιείται καταμέτρηση της μεταβολής της μάζας σε κάθε ώρα της ξήρασης και καταγραφή των kWh που καταναλώθηκαν. Για την καταγραφή των

KWh που καταναλώθηκαν χρησιμοποιήθηκε ειδικός μετρητής κατανάλωσης ενέργειας που τοποθετήθηκε στην τριφασική παροχή του ξηραντήρα.



Σχήμα 3. Μονάδα ξήρανσης και τεμαχισμού τροφικών αποβλήτων στο Δήμο Χαλανδρίου

### Μεταβολή μάζας οργανικών αποβλήτων κατά την ξήρανση

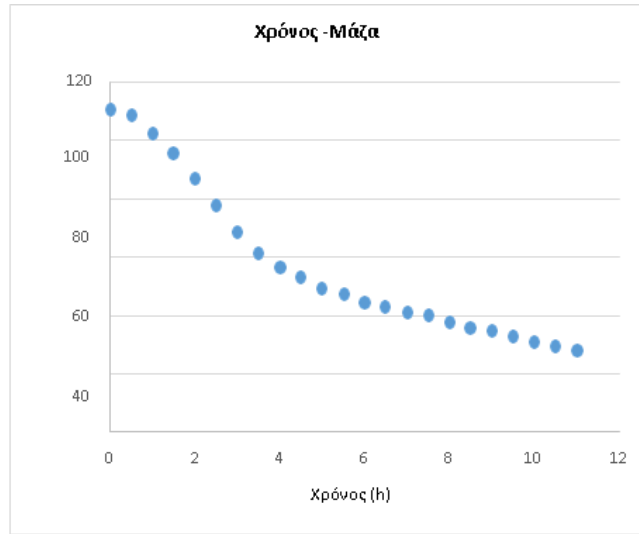
Η αρχική μάζα των νωπών αποβλήτων που εισήχθη στον ξηραντήρα μετρήθηκε ίση με 110,5 κιλά. Στο τέλος του κύκλου ξήρανσης η συνολική μάζα των αποβλήτων ήταν ίση με 27,8 κιλά. Επομένως υπήρξε μείωση της μάζας του αποβλήτου κατά 82,7 κιλά, το οποίο αντιστοιχεί στο 75% του αρχικού βάρους. Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται αναλυτικά οι μεταβολές της μάζας του αποβλήτου ανά μισή ώρα καθώς και το αντίστοιχο ποσοστό μείωσης της μάζας.

Πίνακας 2. Μεταβολή της μάζας του αποβλήτου

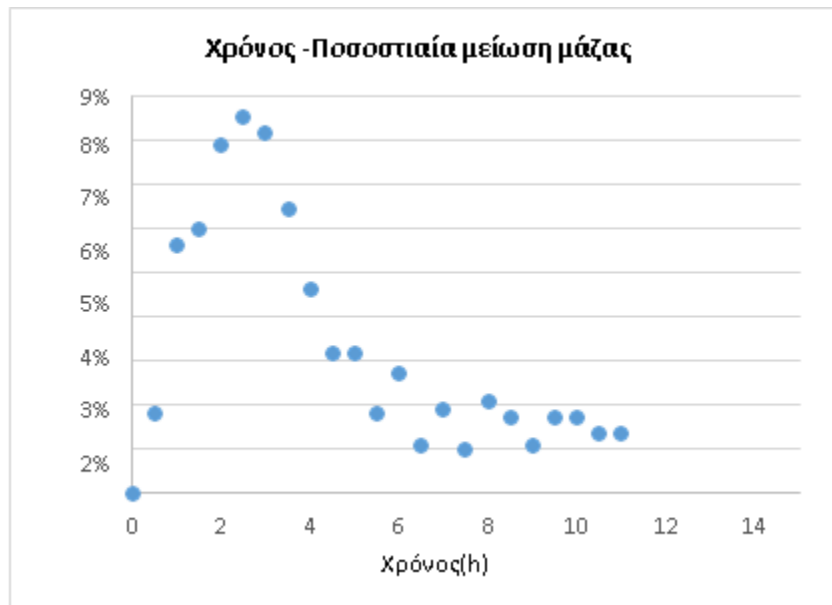
Χρόνος (h)	Μάζα (kg)	Ποσοστιαία μείωση μάζας
0	110,5	0
0,5	108,5	1,81%
1	102,	5,71%
1,5	95,7	6,45%
2	87,0	9,09%
2,5	77,6	10,80%
3	68,6	11,60%

3,5	61,5	10,35%
4	56,4	8,29%
4,5	52,9	6,21%
5	49,4	6,62%
5,5	47,4	4,05%
6	44,4	6,33%
6,5	43,2	2,70%
7	41,1	4,86%
7,5	40,0	2,68%
8	37,7	5,75%
8,5	35,8	5,04%
9	34,6	3,35%
9,5	32,7	5,49%
10	30,8	5,81%
10,5	29,3	4,87%
11	27,8	5,12%
Συνολικά	-	75%

Ακολούθως παρουσιάζονται τα διαγράμματα που απεικονίζουν την μάζα του αποβλήτου κατά τη διάρκεια των 11 ωρών καθώς και η αντίστοιχη ποσοστιαία μείωση της μάζας



Σχήμα 4. Μεταβολή της μάζας του νωπού αποβλήτου ανά ώρα ξήρανσης



Σχήμα 5. Ποσοστιαία μείωση της μάζας του νωπού αποβλήτου ανά ώρα ξήρανσης

Με βάση τα αποτελέσματα των μετρήσεων το απόβλητο χάνει το 75 % του βάρους του κατά τη διάρκεια ενός κύκλου ξήρανσης. Η μάζα του αποβλήτου, αρχικά, μειώνεται με αυξανόμενο ρυθμό και το μεγαλύτερο ποσοστό μείωσης, 11,6%, παρατηρείται κατά την τρίτη ώρα. Μετά το πέρας της τρίτης ώρας ο ρυθμός μείωσης της μάζας ελαττώνεται. Τέλος μετά την έκτη ώρα έχουμε σχεδόν σταθερό ποσοστό μείωσης που κυμαίνεται από 1-2 %.

## Κατανάλωση ενέργειας

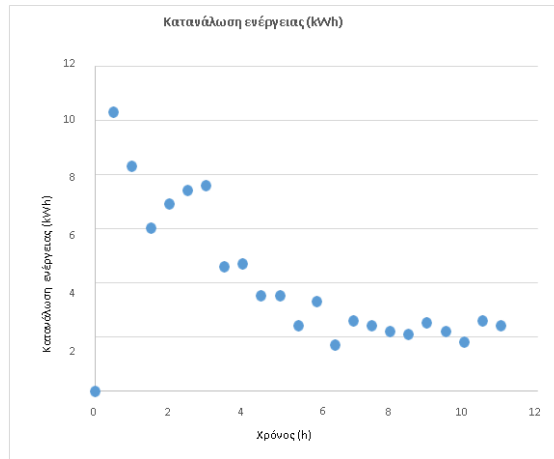
Στον ακόλουθο πίνακα παρουσιάζεται η κατανάλωση ενέργειας ανά ώρα καθώς και η συνολική κατανάλωση.

Πίνακας 3 Κατανάλωση ενέργειας ανά ώρα

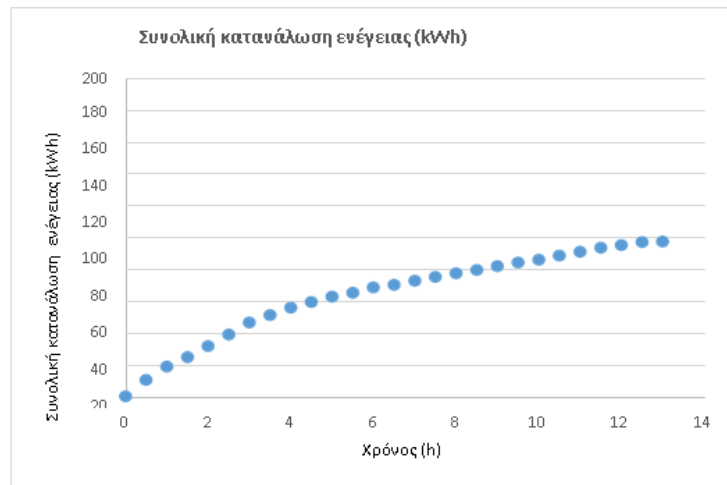
Χρόνος (h)	Κατανάλωση ενέργειας (kWh)	Συνολική κατανάλωση ενέργειας (kWh)	Χρόνος (h)	Κατανάλωση ενέργειας (kWh)	Συνολική κατανάλωση ενέργειας (kWh)
0	0	0	6	3,3	68,5
0,5	10,3	10,3	6,5	1,7	70,2
1	8,3	18,6	7	2,6	72,8
1,5	6	24,6	7,5	2,4	75,2
2	6,9	31,5	8	2,2	77,4
2,5	7,4	38,9	8,5	2,1	79,5
3	7,6	46,5	9	2,5	82,0
3,5	4,6	51,1	9,5	2,2	84,2
4	4,7	55,8	10	1,8	86,0
4,5	3,5	59,3	10,5	2,6	88,6
5	3,5	62,8	11	2,4	91,0
5,5	2,4	65,2			

Ακολούθως παρουσιάζονται τα διαγράμματα που απεικονίζουν την κατανάλωση ενέργειας ανά ώρα λειτουργίας καθώς και τη συνολική κατανάλωση.





Σχήμα 6. Κατανάλωση ενέργειας ανά ώρα κατά τη διεργασία της ξήρανσης



Σχήμα 7. Συνολική κατανάλωση ενέργειας κατά τη διεργασία της ξήρανσης

Η συνολική ενέργεια που καταναλώνεται κατά τη διάρκεια ενός κύκλου είναι 91 kWh. Σε ότι αναφορά την κατανάλωση ενέργειας η μεγαλύτερη κατανάλωση αντιστοιχεί στην πρώτη ώρα της διεργασίας (18,6 kWh ) για την επίτευξη της αύξησης της θερμοκρασίας των ηλεκτρικών αντιστάσεων από θερμοκρασία περιβάλλοντος στους 178οC. Επιπρόσθετα, παρατηρείται ότι τις τελευταίες 5 ώρες της διεργασίας παρουσιάζεται η μικρότερη κατανάλωση ενέργειας (4-5 kWh). Η παραπάνω παρατήρηση συνάδει με τη μειωμένη λειτουργία των ηλεκτρικών αντιστάσεων κατά τις 3 τελευταίες ώρες της 9ώρης ξήρανσης (λόγω χαμηλής υγρασίας) και την πλήρη απενεργοποίησή τους κατά τις 2 τελευταίες ώρες της λειτουργίας του ξηραντήρα.

**Χρονική διακύμανση της σύστασης του συμπυκνώματος κατά τη διάρκεια ενός κύκλου ξήρανσης**

Κατά την διάρκεια του προαναφερθέντος κύκλου ξήρανσης, λαμβάνονταν επίσης δείγματα του υγρού συμπυκνώματος ανά ώρα. Στα δώδεκα αυτά δείγματα προσδιορίστηκαν τα ολικά και πτητικά αιωρούμενα στερεά, το pH, τα πτητικά λιπαρά οξέα, το ολικό COD, το γαλακτικό οξύ και η αιθανόλη.

### **Ολικά αιωρούμενα στερεά**

Η συγκέντρωση των ολικών αιωρούμενων στερεών του συμπυκνώματος καθ' όλη τη διάρκεια της ξήρανσης κυμαίνεται μεταξύ 0,1-0,6 g/L. Αναλυτικά η διακύμανση των ολικών αιωρούμενων στερεών στο συμπύκνωμα, ανά ώρα, φαίνεται στον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 4 Μεταβολή των ολικών αιωρούμενων στερεών του συμπυκνώματος ανά ώρα

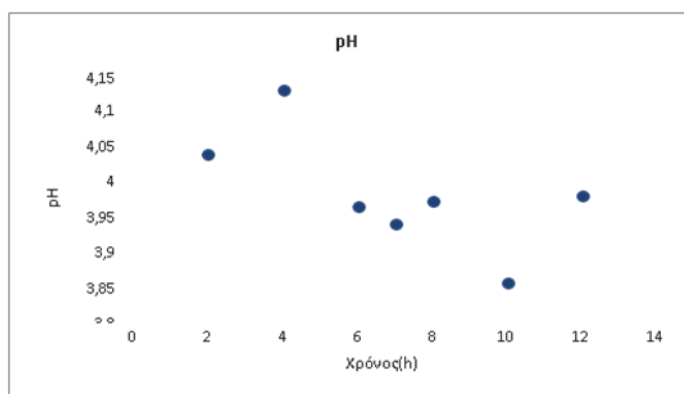
<b>Χρόνος (h)</b>	<b>Ολικά αιωρούμενα στερεά(g/L)</b>	<b>Χρόνος (h)</b>	<b>Ολικά αιωρούμενα στερεά(g/L)</b>
<b>0</b>	0,6	<b>6</b>	0,4
<b>1</b>	0,1	<b>7</b>	0,2
<b>2</b>	0,1	<b>8</b>	0,4
<b>3</b>	0,1	<b>9</b>	0,3
<b>4</b>	0,4	<b>10</b>	0,1
<b>5</b>	0,2	<b>11</b>	0,6

### **pH**

Σε όλη τη διάρκεια της διεργασίας το συμπύκνωμα έχει όξινο pH με μικρές διακυμάνσεις και κυμαίνεται από 3,77 μέχρι 4,13. Αναλυτικά η διακύμανση φαίνεται στον ακόλουθο πίνακα .

Πίνακας 5 Μεταβολή pH συμπυκνώματος ανά ώρα

Χρόνος (h)	pH	Χρόνος (h)	pH
0	3,99	6	3,9
1	4,02	7	3,94
2	4,09	8	3,88
3	4,13	9	3,8
4	3,91	10	3,77
5	3,93	11	3,95



Σχήμα 8. Μεταβολή pH συμπυκνώματος ανά ώρα

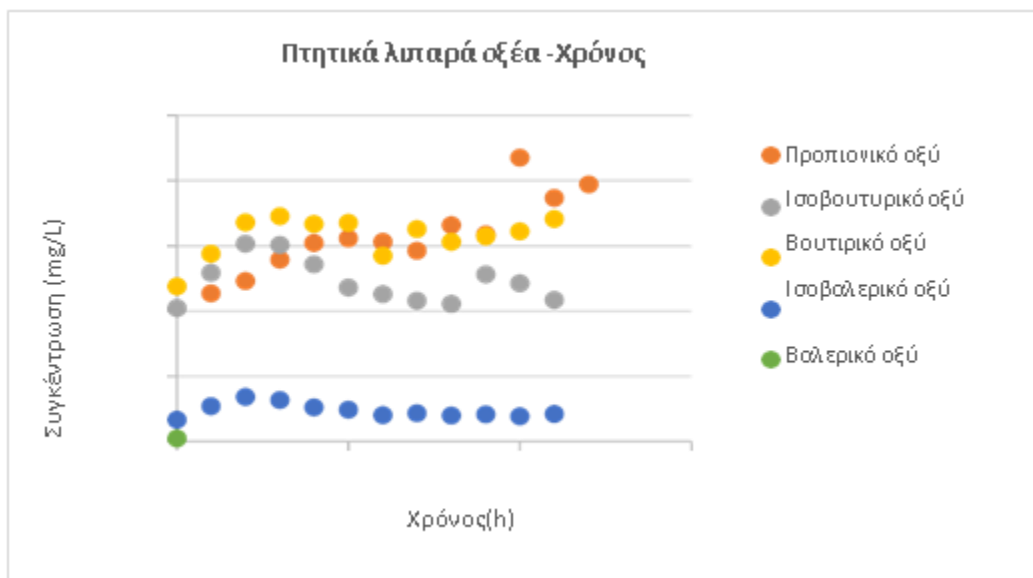
### Πτητικά λιπαρά οξέα

Το κύριο πτητικό λιπαρό οξύ που περιέχεται στο συμπύκνωμα είναι το οξικό οξύ ενώ δεν περιέχεται καθόλου βαλερικό οξύ. Πιο συγκεκριμένα το οξικό οξύ περιέχεται σε συγκεντρώσεις μεγαλύτερες των

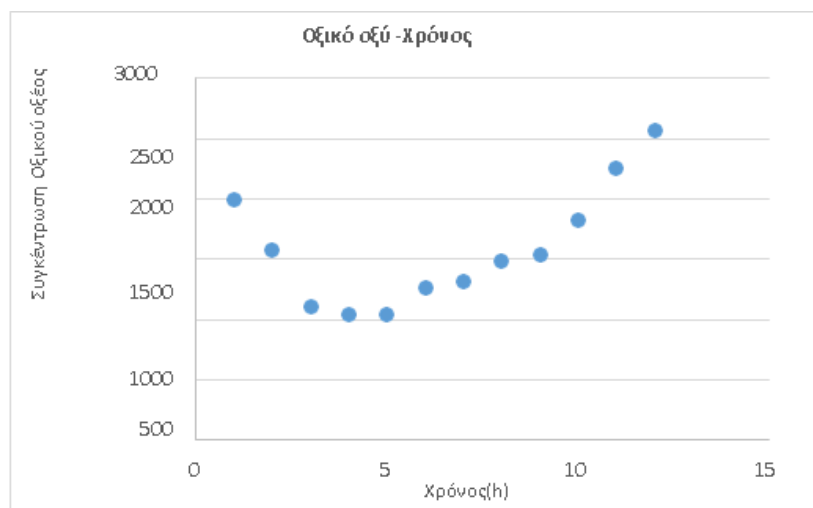
1000 mg/ L καθ' όλη την διάρκεια του κύκλου ενώ τα υπόλοιπα πτητικά λιπαρά οξέα σε συγκεντρώσεις που δεν ξεπερνούν τα 90 mg/ L. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται αναλυτικά οι συγκεντρώσεις των πτητικών λιπαρών οξέων στα δείγματα που λαμβάνονταν ανά ώρα.

Πίνακας 6: Μεταβολή της συγκέντρωσης των πτητικών λιπαρών οξέων στο συμπύκνωμα ανά ώρα

Χρόνος (h)	Πτητικά λιπαρά οξέα (mg/L)					
	Οξικό οξύ	Προπιονικό οξύ	Ισοβουτυρικό οξύ	Βουτυρικό οξύ	Ισοβαλερικό οξύ	Βαλερικό οξύ
0	1990,0	45,4	40,9	47,5	6,65	0
1	1570,0	49,3	51,8	57,6	10,8	0
2	1110,0	55,8	60,7	67,2	13,7	0
3	1040,0	60,9	60,3	69,1	12,8	0
4	1030,0	62,3	54,4	66,3	10,5	0
5	1260,0	61,3	47,3	67,1	9,77	0
6	1310,0	58,4	45,2	57,0	8,16	0
7	1490,0	66,3	43,2	65,2	8,74	0
8	1540,0	63,5	42,2	61,3	8,03	0
9	1830,0	87,1	51,3	62,9	8,37	0



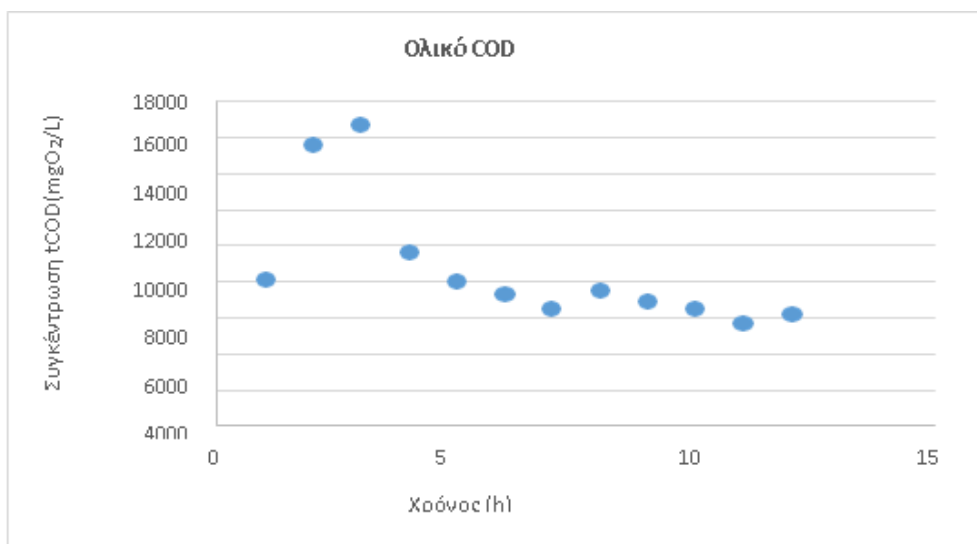
Σχήμα 9. Μεταβολή της συγκέντρωσης του προπιονικού , του ισοβουτυρικού , του βουτυρικού, του ισοβαλερικού και του βαλερικού οξέος στο συμπύκνωμα ανά ώρα



Σχήμα 10. Μεταβολή της συγκέντρωσης του οξικού οξέος του συμπυκνώματος ανά ώρα

### Ολικό χημικά απαιτούμενο οξυγόνο ( tCOD )

Το συμπύκνωμα έχει υψηλές τιμές ολικού χημικά απαιτούμενου οξυγόνου σε όλη τη διάρκεια της διεργασίας. Επιπλέον φαίνεται ότι οι συγκεντρώσεις του COD παρουσιάζουν μεγάλο εύρος. Πιο συγκεκριμένα η χαμηλότερη τιμή εμφανίζεται κατά την 10η ώρα και είναι 5680 mgO<sub>2</sub>/L και η υψηλότερη κατά την 2η ώρα και είναι ίση με 15630 mgO<sub>2</sub>/L. Αναλυτικά οι τιμές της συγκέντρωσης του ολικού COD ανά ώρα φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα .



Σχήμα 11. Μεταβολή της συγκέντρωσης του ολικού χημικά απαιτούμενου οξυγόνου στο συμπύκνωμα ανά ώρα

Πίνακας 7. Μεταβολή του tCOD στο συμπύκνωμα ανά ώρα

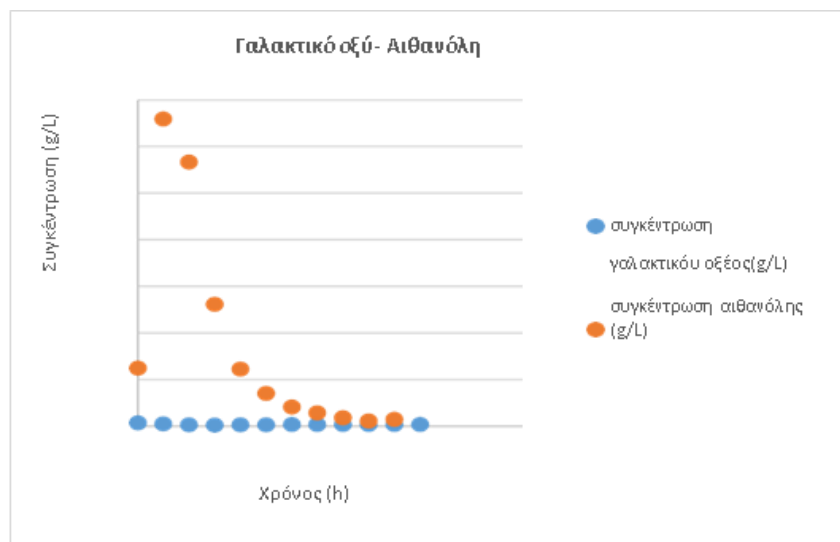
Χρόνος (h)	tCOD(mgO <sub>2</sub> /L)	Χρόνος (h)	tCOD(mgO <sub>2</sub> /L)
0	8160	6	6510
1	15600	7	7480
2	16800	8	6960
3	9700	9	6510
4	8000	10	5680
5	7270	11	6180

Γαλακτικό οξύ –Αιθανόλη

Η συγκέντρωση του γαλακτικού οξέος στο συμπύκνωμα είναι ιδιαίτερα χαμηλή σε όλη τη διάρκεια της διεργασίας και δεν ξεπερνά τα 0,07 g/L. Η συγκέντρωση δε της αιθανόλης εμφανίζει μέγιστη συγκέντρωση την πρώτη ώρα της διεργασίας (6,59 g/L) ενώ στη συνέχεια αυτή μειώνεται συνεχώς και φτάνει σε τελική συγκέντρωση περίπου ίση με 0,1 g/L . Αναλυτικά οι τιμές της συγκέντρωσης της αιθανόλης και του γαλακτικού οξέος φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα .

Πίνακας 8 Μεταβολή της συγκέντρωσης της αιθανόλης και του γαλακτικού οξέος στο συμπύκνωμα ανά ώρα

Χρόνος (h)	Συγκέντρωση γαλακτικού οξέος (g/L)	Συγκέντρωση αιθανόλης (g/L)	Χρόνος (h)	Συγκέντρωση γαλακτικού οξέος (g/L)	Συγκέντρωση αιθανόλης (g/L)
0	0,067	1,24	6	0,029	0,41
1	0,047	6,59	7	0,031	0,28
2	0,024	5,66	8	0,031	0,18
3	0,016	2,61	9	0,031	0,11
4	0,021	1,22	10	0,032	0,14
5	0,027	0,7	11	0,033	0,12



Σχήμα 12. Μεταβολή συγκέντρωσης της αιθανόλης και του γαλακτικού οξέος στο συμπύκνωμα ανά ώρα



### Διακύμανση της σύστασης του συμπυκνώματος σε διαφορετικούς κύκλους

Προκειμένου να μελετηθεί η διακύμανση της σύστασης του συμπυκνώματος μεταξύ διαφορετικών κύκλων ξήρανσης λήφθηκαν και αναλύθηκαν ως προς τη σύστασή τους 5 δείγματα από διαφορετικούς κύκλους ξήρανσης στη διάρκεια ενός μήνα. Τα δείγματα αναφέρονται στην συνολική ποσότητα του συμπυκνώματος που προκύπτει στο τέλος της ξήρανσης. Σε όλα τα δείγματα πραγματοποιήθηκε προσδιορισμός των ολικών και των πτητικών αιωρούμενων στερεών, του pH, των πτητικών λιπαρών οξέων, του ολικού COD, του γαλακτικού οξέος, της αιθανόλης και του TKN.

### **Ολικά Αιωρούμενα Στερεά**

Η συγκέντρωση των ολικών αιωρούμενων στερεών του συμπυκνώματος και στα πέντε δείγματα είναι ιδιαίτερα χαμηλή. Σε κάθε δείγμα η συγκέντρωση των στερεών ήταν μικρότερη από 0,1 g/L. Στον ακόλουθο πίνακα φαίνονται αναλυτικά οι ποσοότητες ολικών στερεών που μετρήθηκαν σε κάθε δείγμα.

Πίνακας 9 Ολικά στερεά στο συμπύκνωμα που προκύπτει από διαφορετικούς κύκλους ξήρανσης

<b>Δείγμα</b>	<b>Ολικά στερεά (g/L)</b>
<b>1<sup>ο</sup></b>	0,06
<b>2<sup>ο</sup></b>	0,03
<b>3<sup>ο</sup></b>	0,03
<b>4<sup>ο</sup></b>	0,09
<b>5<sup>ο</sup></b>	0,05

### **pH**

Τα πέντε δείγματα που αναλύθηκαν είχαν όξινο pH. Το εύρος των τιμών ήταν αρκετά μικρό, με μέγιστη τιμή pH ίση με 4,62 και ελάχιστη 3,84. Στον ακόλουθο πίνακα φαίνονται αναλυτικά οι τιμές pH που μετρήθηκαν σε κάθε δείγμα.

Πίνακας 10 Τιμές pH του συμπυκνώματος

Δείγμα	pH
1 <sup>ο</sup>	4,39
2 <sup>ο</sup>	4,62
3 <sup>ο</sup>	4,93
4 <sup>ο</sup>	3,84
5 <sup>ο</sup>	4,49

#### Πτητικά λιπαρά οξέα

Το κύριο πτητικό λιπαρό οξύ όλων των δειγμάτων είναι το οξικό οξύ ενώ σε κανένα από τα δείγματα δεν βρέθηκε βαλερικό οξύ. Πιο συγκεκριμένα σε όλα τα δείγματα η συγκέντρωση του οξικού οξέος είναι μεγαλύτερη από 1000 mg/L .Επιπρόσθετα η συγκέντρωση του προπιονικού , του ισοβουτυρικού , του βουτυρικού και του ισοβαλερικού οξέος σε κανένα δείγμα δεν ξεπερνά τα 130mg/L. Μεταξύ των τεσσάρων οξέων τη χαμηλότερη συγκέντρωση σε όλα τα δείγματα είχε το ισοβαλερικό οξύ. Στον ακόλουθο πίνακα φαίνονται αναλυτικά οι συγκεντρώσεις των λιπαρών οξέων σε κάθε δείγμα .

Πίνακας 11 Συγκέντρωση λιπαρών οξέων στο συμπύκνωμα

Δείγμα	Πτητικά λιπαρά οξέα (mg/L)					
	Οξικό οξύ	Προπιονικό οξύ	Ισοβουτυρικό οξύ	Βουτυρικό οξύ	Ισοβαλερικό οξύ	Βαλερικό οξύ
1 <sup>ο</sup>	1150,0	36,6	40,5	36,4	6,91	0
2 <sup>ο</sup>	1360,0	36,2	37,2	35,7	6,95	0
3 <sup>ο</sup>	1030,0	49,8	48,9	65,6	14,3	0
4 <sup>ο</sup>	1830,0	105,3	117,0	101,0	25,3	0
5 <sup>ο</sup>	1630,0	67,5	75,0	127,0	21,5	0

## Ολικό COD

Σε όλα τα δείγματα που αναλύθηκαν οι τιμές του χημικά απαιτούμενου οξυγόνου είναι αρκετά υψηλές και εμφανίζουν μεγάλο εύρος τιμών. Η διακύμανση των τιμών σχετίζεται με τη διακύμανση στην σύσταση των ζυμώσιμων αστικών αποβλήτων που προστίθεντο στον ξηραντήρα σε κάθε κύκλο. Πιο συγκεκριμένα, η υψηλότερη τιμή που μετρήθηκε σε δείγμα είναι 16,1 (gO<sub>2</sub>/L) και είναι σχεδόν διπλάσια της χαμηλότερης που είναι 8,7 (gO<sub>2</sub>/L). Στον ακόλουθο πίνακα φαίνονται αναλυτικά οι τιμές του ολικού σε κάθε δείγμα. Η μέση συγκέντρωση του tCOD αντιστοιχεί σε 11,7 g O<sub>2</sub>/L

Πίνακας 12: Ολικά χημικά απαιτούμενο οξυγόνο στο συμπύκνωμα

Δείγμα	t COD (gO <sub>2</sub> /L)
1 <sup>ο</sup>	8,7
2 <sup>ο</sup>	11,9
3 <sup>ο</sup>	8,9
4 <sup>ο</sup>	16,1
5 <sup>ο</sup>	12,9

## Γαλακτικό οξύ –Αιθανόλη

Το συμπύκνωμα σε όλα τα δείγματα περιέχει ελάχιστη ποσότητα γαλακτικού οξέος, η οποία δεν ξεπερνά τα 0,03 g/L. Η μέση συγκέντρωση της αιθανόλης στο συμπύκνωμα είναι ίση με 3,09 g/L και κυμαίνεται από 2,27 έως 4,42 στα δείγματα που αναλύθηκαν.

Αναλυτικά οι τιμές της συγκέντρωσης της αιθανόλης και του γαλακτικού οξέος φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 13: Συγκέντρωση αιθανόλης και γαλακτικού οξέος στο συμπύκνωμα

Δείγμα	Συγκέντρωση γαλακτικού οξέος (g/L)	Συγκέντρωση αιθανόλης (g/L)
--------	--	--------------------------------

1 <sup>ο</sup>	0,02	2,96
2 <sup>ο</sup>	0,03	3,34
3 <sup>ο</sup>	0,02	2,27
4 <sup>ο</sup>	0,02	4,42
5 <sup>ο</sup>	0,01	2,47

#### Ολικό άζωτο ( TKN )

Σε όλα τα δείγματα η συγκέντρωση του αζώτου είναι ελάχιστη και δεν ξεπερνά τα 15 mg/L. Αναλυτικά οι τιμές της συγκέντρωσης του αζώτου φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 14 Συγκέντρωση αζώτου στο συμπύκνωμα

Δείγμα	Συγκέντρωση ολικού αζώτου (mg/L)
1 <sup>ο</sup>	12,4
2 <sup>ο</sup>	7,45
3 <sup>ο</sup>	5,04
4 <sup>ο</sup>	14,6
5 <sup>ο</sup>	15,0

---

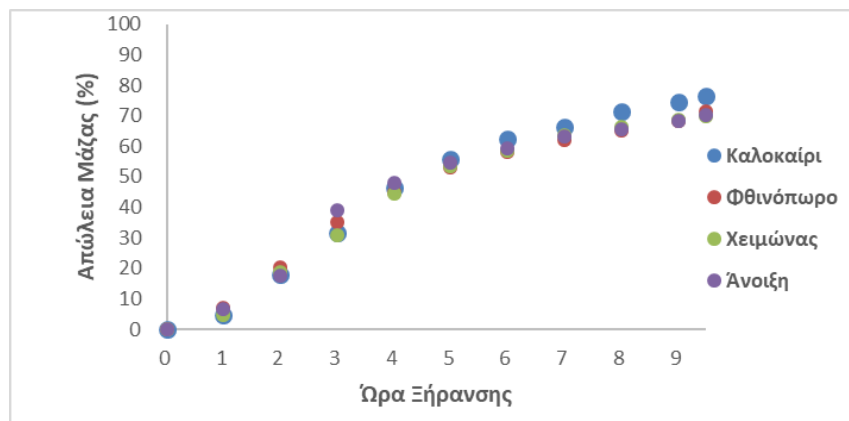
## **D.2.2. Ο εποχιακός χαρακτηρισμός του συμπυκνώματος και η επίδρασή του στη συνθετική πρώτη ύλη**

Στόχος του ερευνητικού προγράμματος DENOMINATE είναι η ανάπτυξη μιας καινοτόμου προσέγγισης για την από κοινού διαχείριση των ζυμώσιμων στερεών αστικών αποβλήτων (Fermentable Municipal Solid Waste - FMSW) και των υγρών αστικών λυμάτων (Municipal Wastewater – MWW). Η νέα μέθοδος βασίζεται στην χημική συγγένεια που παρουσιάζουν τα δύο αυτά είδη αποβλήτων, ως προς την οργανική τους φύση καθώς και στο γεγονός πως παρά την στερεά κατάσταση στην οποία βρίσκονται τα ζυμώσιμα οικιακά απόβλητα περιέχουν σημαντικές ποσότητες υγρασίας. Το ερευνητικό έργο DENOMINATE λοιπόν προτείνει τον διαχωρισμό της υγρής φάσης των FMSW από την στερεή μέσω θερμικής επεξεργασίας και στην συνέχεια την ανάμιξη της υγρής φάσης, η οποία καλείται FMSW condensate, με συγκεκριμένη ποσότητα υγρών αστικών λυμάτων. Η συγκεκριμένη ανάμιξη αποσκοπεί στην δημιουργία ενός κατάλληλου υποστρώματος για την Αναερόβια χώνευση.

Με τελικό σκοπό τον προσδιορισμό του τελικού μίγματος που θα αποτελέσει και το υπόστρωμα της αναερόβιας χώνευσης στον PABR, πραγματοποιήθηκε πλήρης φυσικοχημικός χαρακτηρισμός του FMSW condensate. Αντικείμενο έρευνας αποτέλεσε επίσης η ύπαρξη εποχιακής διακύμανσης των χαρακτηριστικών του FMSW condensate και η επίδραση αυτής στα χαρακτηριστικά του τελικού μίγματος τροφοδοσίας. Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκε αντί πραγματικού αστικού λύματος ένα συνθετικό μίγμα η συνταγή του οποίου αντλήθηκε βιβλιογραφικά ώστε να προσομοιάζει τα χαρακτηριστικά των πραγματικών αστικών λυμάτων. Η συγκεκριμένη επιλογή έγινε για λόγους υγειονομικής διαχείρισης καθώς και για να έχει το απόβλητο σταθερά φυσικοχημικά χαρακτηριστικά κατά την διάρκεια της μελέτης.

### **Χαρακτηρισμός του συμπυκνώματος**

Για διάστημα ενός έτους πραγματοποιήθηκαν μηνιαίες συλλογές ζυμώσιμων οικιακών αποβλήτων τα οποία στην συντριπτική πλειοψηφία τους απαρτίζονταν από τροφικά υπολείμματα. Κατά την διάρκεια της διεργασίας η υγρασία των αποβλήτων απομακρύνονταν από τον ξηραντήρα με την μορφή υδρατμών οι οποίοι στην συνέχεια συμπυκνώνονταν. Καθ' όλη την διάρκεια του κύκλου ξήρανσης συλλέγονταν ωριαία δείγματα από το συμπύκνωμα (condensate) με ταυτόχρονη παρατήρηση της απώλειας βάρους του αποβλήτου (παραδοτέο D2.1). Μέσω της συγκεκριμένης διεργασίας επιτεύχθηκε ο χημικός χαρακτηρισμός του συμπυκνώματος καθώς και η μελέτη της εποχιακής διακύμανσης των χαρακτηριστικών του. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται η μέση ωριαία απώλεια μάζας των τροφικών αποβλήτων για κάθε περίοδο συλλογής. Στο Σχήμα 13 παρουσιάζεται η μέση απώλεια βάρους του αποβλήτου για κάθε περίοδο συλλογής κατά την διάρκεια της ξήρανσης. Η Εικόνα 3 παρουσιάζει ξεκάθαρα ότι το μοτίβο απομάκρυνσης της υγρασίας των αποβλήτων και κατά συνέπεια παραγωγής του FMSW condensate κατά την διάρκεια της ξήρανσης δεν παρουσιάζει εποχιακή διακύμανση. Καθ' όλη την διάρκεια των πειραμάτων παρουσιάζεται ταχεία μείωση της μάζας των αποβλήτων κατά της πρώτες πέντε ώρες τις ξήρανσης και στην συνέχεια παρατηρείται μείωση του ρυθμού απομάκρυνσης της υγρασίας με τάση σταθεροποίησης προς το τέλος της ξήρανσης. Όσον αφορά το συνολικό ποσοστό περιεχόμενης υγρασίας στα τροφικά απόβλητα, παρουσιάζεται μια αύξηση τους καλοκαιρινούς μήνες γεγονός που οφείλετε στην μεγαλύτερη παραγωγή, διάθεση και κατά συνέπεια απόρριψη υπολειμμάτων φρούτων και λαχανικών.



Σχήμα 13 Μέση ωριαία απώλεια μάζας τροφικών αποβλήτων κατά την διάρκεια της ξήρανσης ανά περίοδο συλλογής

Πίνακας 15 Μέση ωριαία απώλεια μάζας και τυπική απόκλιση των τροφικών αποβλήτων για κάθε περίοδο συλλογής.

Ώρα Ξήρανσης	Καλοκαίρι		Φθινόπωρο		Χειμώνας		Άνοιξη	
	Μέση Απώλεια Μάζας (%)	Τυπική απόκλιση (%)	Μέση Απώλεια Μάζας (%)	Τυπική απόκλιση (%)	Μέση Απώλεια Μάζας (%)	Τυπική απόκλιση (%)	Μέση Απώλεια Μάζας (%)	Τυπική απόκλιση (%)
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1	4,7	0,8	7,0	5,9	4,6	1,3	6,6	5,0
2	17,9	0,6	20,1	2,8	18,6	1,3	17,5	4,1
3	31,8	2,3	35,0	3,4	30,8	0,2	39,0	9,8
4	46,4	2,2	45,0	4,2	44,6	2,9	47,9	3,5
5	55,7	1,0	53,2	4,9	53,3	2,5	54,5	2,7
6	62,6	0,9	58,0	5,3	58,5	1,4	59,4	0,6
7	66,4	0,6	61,9	5,3	63,5	1,3	63,4	0,6
8	71,5	1,5	65,1	5,2	66,3	1,1	65,6	0,5
9	74,4	1,0	68,4	4,6	68,8	0,5	68,4	0,6

9,5	76,4	1,4	71,4	4,1	70,0	0,3	70,2	0,4
-----	------	-----	------	-----	------	-----	------	-----

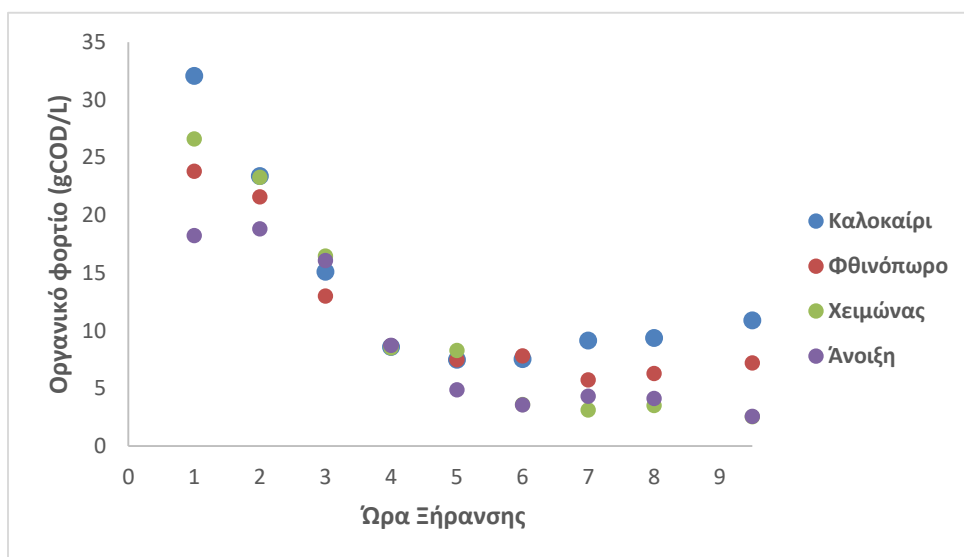
Τα παραπάνω πειραματικά δεδομένα βρίσκονται σε συμφωνία με παρόμοια αποτελέσματα από μελέτες στον Ελληνικό χώρο και στο εξωτερικό όπως παρουσιάζεται στον Πίνακα 16. Η απόπειρα χαρακτηρισμού ενός αποβλήτου εξαρτάται σημαντικά από το πληθυσμιακό δυναμικό από το οποίο παράγεται. Συγκεκριμένα, όσον αφορά τα τροφικά υπολείμματα αυτά προκύπτουν από τις διατροφικές συνήθειες κάθε ατόμου γεγονός που οδηγεί σε διακυμάνσεις τόσο στην ποσότητα παραγωγής τους όσο και στα ποιοτικά χαρακτηριστικά τους. Για την παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκαν τροφικά υπολείμματα που συλλέχθηκαν από 1000 οικίες που βρίσκονται στον Δήμο Χαλανδρίου. Το γεγονός αυτό δίνει την δυνατότητα τα δεδομένα που αντλούνται από τις αναλύσεις του συλλεγόμενου δείγματος να θεωρηθούν ασφαλή.

Πίνακας 16. Μέσα ποσοστά υγρασίας τροφικών αποβλήτων.

Χώρα	Υγρασία %w/w	Πηγή
Ελλάδα	81,5	Vavouraki et al., 2013
Ιρλανδία	70,6	Allen et al., 2013
Κίνα	81,3	Tang et al., 2008
Κορέα	85,7	Zhang et al., 2011
Κολομβία	69,4	Solarte 2017

Ενδιαφέρον παρουσιάζει επίσης η σύσταση του συμπυκνώματος που παράγεται ανά ώρα σε οργανικό φορτίο. Όπως παρατηρείται στην Εικόνα 4 το συμπύκνωμα που παράγεται κατά τις αρχικές ώρες τις ξήρανσης εμφανίζει αρκετά υψηλότερες τιμές οργανικού φορτίου σε σχέση με το condensate που παράγεται στην συνέχεια. Εάν γίνει συσχέτιση με το διάγραμμα απώλειας μάζας ανά ώρα ξήρανσης γίνεται αντιληπτό ότι αρχικά απομακρύνονται από τα τροφικά απόβλητα οι πτητικές ουσίες ( Πτητικά Λιπαρά Οξέα, Αιθανόλη) και στην συνέχεια καθώς τα απόβλητα παραμένουν στο θάλαμο ξήρανσης απομακρύνεται η μεγαλύτερη ποσότητα νερού. Υψηλότερες κατά κανόνα τιμές σε οργανικό φορτίο παρουσιάζονται κατά την καλοκαιρινή περίοδο. Οι αντίστοιχες τιμές παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.





Σχήμα 13 Μέση συγκέντρωση ολικού οργανικού φορτίου FMSW condensate ανά ώρα ξήρανσης.

Πίνακας 1. Μέση συγκέντρωση ολικού οργανικού φορτίου και τυπική απόκλιση FMSW condensate ανά ώρα ξήρανσης.

Ώρα Ξήρανσης	Καλοκαίρι		Φθινόπωρο		Χειμώνας		Άνοιξη	
	Μέση τιμή COD (g/L)	Τυπική Απόκλιση (g/L)	Μέση τιμή COD (g/L)	Τυπική Απόκλιση (g/L)	Μέση τιμή COD (g/L)	Τυπική Απόκλιση (g/L)	Μέση τιμή COD (g/L)	Τυπική Απόκλιση (g/L)
1	32,1	7,0	23,8	3,5	22,8	0,4	18,3	1,9
2	23,4	5,6	21,6	2,3	27,1	2,1	18,9	0,92
3	15,1	3,5	13,0	1,1	16,5	2,1	16,1	0,71
4	8,6	2,1	8,7	1,8	8,5	2,8	8,8	0,64
5	7,5	1,1	7,5	1,9	8,3	6,8	4,9	0,14
6	7,5	1,1	7,8	1,4	3,6	1,7	3,6	0,42
7	9,2	1,2	5,8	1,7	3,1	1,3	4,4	0,21
8	9,4	2,3	6,3	0,9	3,5	1,5	4,2	0,07
9.5	10,9	1,2	7,2	1,1	2,6	1,5	2,6	0,14

Συμπερασματικά για κάθε ώρα ξήρανσης το FMSW condensate που παράγεται την καλοκαιρινή περίοδο τείνει να έχει υψηλότερη συγκέντρωση οργανικού φορτίου, ενώ χαμηλότερες συγκεντρώσεις παρουσιάζονται την άνοιξη. Δεν παρουσιάζεται μεγάλη διακύμανση ανάμεσα στην χειμερινή και φθινοπωρινή περίοδο.

Όσον αφορά τον χαρακτηρισμό του συνόλου του FMSW condensate τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 18.

Πίνακας 18. Φυσικοχημικός χαρακτηρισμός FMSW condensate.

	Καλοκαίρι		Φθινόπωρο		Χειμώνας		Άνοιξη	
	Μέση Τιμή (mg/L)	Τυπική Απόκλιση	Μέση Τιμή (mg/L)	Τυπική Απόκλιση	Μέση Τιμή (mg/L)	Τυπική Απόκλιση	Μέση Τιμή (mg/L)	Τυπική Απόκλιση
<b>pH</b>	3,09	0,04	3,29	0,09	3,24	0,07	3,47	0,04
<b>Ολικό COD</b>	15860	1992,76	10733	1270	13073,33	1106,77	11643,10	456,94
<b>Διαλυτό COD</b>	14780	2305,91	9010	115,3	11879,07	1735,47	10704,84	176,56
<b>Διαλυτό TOC</b>	4188	230,66	3399	221,5	4075,33	273,91	3573,20	730,87
<b>Διαλυτό TN</b>	10,16	5,58	15,40	8,19	16,93	4,97	12,62	0,85
<b>Πτητικά Λιπαρά Οξέα – Αιθανόλη –Γαλακτικό οξύ (mg/L)</b>								
<b>Οξικό</b>	1568	363,51	1447	333,5	282,25	204,74	1198,27	33,04
<b>Προπιονικό</b>	738,1	10,53	338,7	373,2	19,38	5,31	69,43	13,84
<b>Ισο-βουτυρικό</b>	79,82	23,49	57,30	13,99	32,17	16,80	77,40	17,08
<b>Βουτυρικό οξύ</b>	37,06	11,89	208,5	99,60	37,13	33,54	13,91	1,91
<b>Ισο-βαλερικό</b>	11,19	3,99	56,36	59,18	16,46	15,32	11,29	0,08

<b>Βαλερικό οξύ</b>	12,32	0,89	40,51	56,09	8,96	2,53	15,00	6,71
<b>Γαλακτικό οξύ</b>	35,66	14,24	85,25	9,38	63,87	4,68	26,73	2,09
<b>Αιθανόλη</b>	3600	327,87	3434	411,1	5503,00	859,92	3489,25	83,79

Με βάσει τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στον Πίνακα 18 διακρίνεται η όξινη φύση του συμπυκνώματος των τροφικών αποβλήτων καθώς και η υψηλή περιεκτικότητα του σε οργανικό φορτίο. Η συγκέντρωση σε άζωτο είναι ισχνή συγκρινόμενη με το οργανικό φορτίο γεγονός που οφείλετε στον θερμικό διαχωρισμό του συμπυκνώματος από την στερεή φάση των αποβλήτων. Ουσιαστικά το σύνολο του πρωτεϊνικού περιεχομένου των τροφικών αποβλήτων παραμένει στην στερεή φάση. Παρατηρούνται επίσης σταθερά υψηλές ποσότητες αιθανόλης και πτητικών λιπαρών οξέων με κύριο το οξικό οξύ. Με βάσει τα αποτελέσματα του Πίνακα 18 δεν παρατηρείται σημαντική εποχιακή διακύμανση στο συμπύκνωμα τον τροφικών αποβλήτων. Σημαντικό χαρακτηριστικό του FMSW condensate το οποίο επηρεάζει την ικανότητα του να αποτελέσει υπόστρωμα αναερόβιας χώνευσης είναι ο λόγος C/N. Η συγκεκριμένη παράμετρος αποκλίνει σημαντικά από την προτεινόμενο εύρος τιμών (Algarani et al., 2018). Επίσης το χαμηλό pH που παρουσιάζει λειτουργεί παρεμποδιστικά για την διεργασία της αναερόβιας χώνευσης (Clark et al., 1970). Η λύση που προτείνεται λοιπόν είναι η αναερόβια συν-χώνευση του condensate με Υγρά Αστικά Λύματα. Η ανάμιξη των δυο αυτών αποβλήτων θα δημιουργήσει ένα μίγμα με κατάλληλο pH και λόγο C/N. Ωστόσο στην παρούσα μελέτη για λόγους διαχείρισης και σταθερότητας των χαρακτηριστικών της τροφοδοσίας χρησιμοποιήθηκε ένα συνθετικό μίγμα που προσομοιάζει τα χαρακτηριστικά των αστικών λυμάτων, αντί για το πραγματικό απόβλητο.

### **Συνθετικό Αστικό Λύμα ( synthetic Municipal Wastewater – sMWW)**

Τα συνθετικό λύμα που χρησιμοποιήθηκε αποσκοπεί στο να προσομοιάσει τα φυσικά χαρακτηριστικά των MWW όπως το ουδέτερο pH, την χαμηλή συγκέντρωση σε στερεά καθώς και την σύσταση στους στα τρία βασικά θρεπτικά συστατικά, άνθρακας, άζωτο και φώσφορος. Ανάλογα με τις τυπικές συγκεντρώσεις στα τρία αυτά συστατικά τα αστικά λύματα χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες, τα ασθενή, τα μέσης ισχύος και τα ισχυρά, όπως παρουσιάζονται στον Πίνακα 19.

Πίνακας 19. Κατηγοριοποίηση αστικών λυμάτων με βάσει την συγκέντρωσή τους σε θρεπτικά (Γ. Λυμπεράτος 2016).

<b>Συγκέντρωση mg/L</b>			
<b>Χαρακτηριστικά</b>	<b>Weak</b>	<b>Medium</b>	<b>Strong</b>
<b>COD</b>	350	720	1200

<b>TOC</b>	80	160	290
<b>TN</b>	20	40	85
<b>TSS</b>	100	220	350
<b>VSS</b>	80	165	275
<b>Alkalinity(mgCaCO<sub>3</sub>/L)</b>	50	100	200

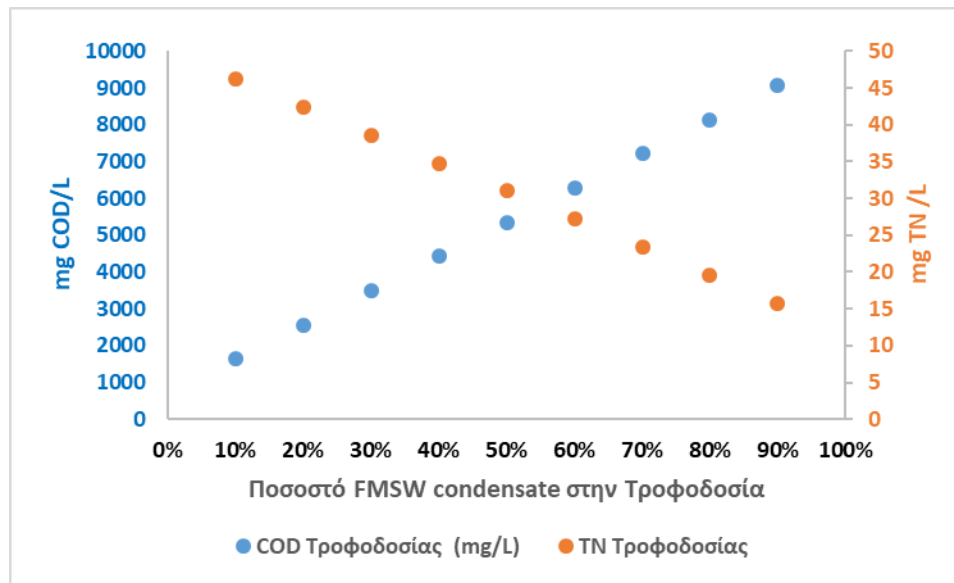
Για την παρούσα μελέτη επιλέχθηκε η δημιουργία συνθετικού μίγματος που θα προσομοιάζει τα χαρακτηριστικά συνθετικού αστικού λύματος μέσης ισχύος. Το συνθετικό απόβλητο έχει την παρακάτω σύσταση : 0.7 g/L C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub>, 0.191 g/L NH<sub>4</sub>Cl, 0.08 g/L CH<sub>3</sub>COONa, 0.022 g/L KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, 0.0275 g/L MgSO<sub>4</sub>\*7H<sub>2</sub>O, 0.0025 g/L CaCl<sub>2</sub>, 0.004 g/L KCl, 0.125 g/L NaHCO<sub>3</sub>, 1.875 mg/L FeCl<sub>3</sub>\*6H<sub>2</sub>O, 0.1875 mg/L H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>, 0.225 mg/L KI, 0.15 mg/L MnSO<sub>4</sub>, 0.0275 mg/L ZnSO<sub>4</sub>\*7H<sub>2</sub>O, 0.0375 mg/L CuSO<sub>4</sub>\*5H<sub>2</sub>O και 12.5 mg/L EDTA (Liu et al., 2013). Το μίγμα που προέκυψε είχε τα εξής φυσικοχημικά χαρακτηριστικά που παρουσιάζονται στον Πίνακα 20.

Πίνακας 20 Φυσικοχημικά Χαρακτηριστικά συνθετικού αστικού λύματος.

<b>Χαρακτηριστικά</b>	<b>Συγκέντρωση</b>
<b>COD</b>	695 mg/L
<b>TOC*</b>	267 mg/L
<b>TN</b>	47 mg/L
<b>Ph</b>	7.14
<b>Alkalinity(mgCaCO<sub>3</sub>/L)</b>	100 mg/L

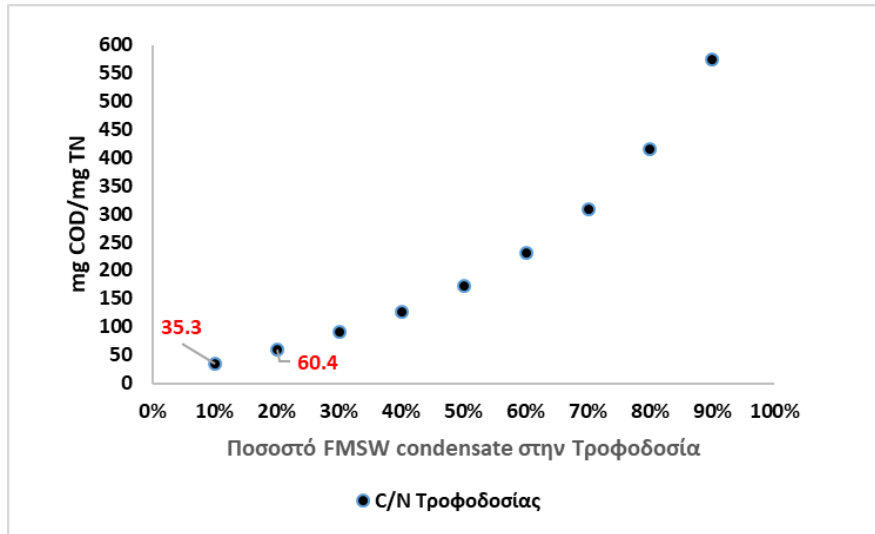
Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του χαρακτηρισμού του FMSW condensate και του προσδιορισμού της συγκέντρωσης του συνθετικού αστικού λύματος μπορούν να εξαχθούν δυο βασικά συμπεράσματα. Αρχικά το συμπύκνωμα που προκύπτει από την ξήρανση των τροφικών αποβλήτων έχει υψηλή περιεκτικότητα σε οργανικό φορτίο ( κυρίως αιθανόλη και πτητικά λιπαρά οξέα) αλλά ισχνή συγκέντρωση αζώτου. Αντίθετα τα αστικά λύματα και κατά συνέπεια το συνθετικό μίγμα που τα προσομοιάζει, παρά την συγκριτικά χαμηλότερη συγκέντρωση οργανικού φορτίου, παρουσιάζουν μεγαλύτερη αναλογία αζώτου/ άνθρακα. Με βάσει τα παραπάνω αποτελέσματα υπολογίζεται η σύσταση της τροφοδοσίας του PABR στα δύο αυτά απόβλητα. Η επιλογή της αναλογίας synthetic MWW/ FMSW condensate επιλέχθηκε με κριτήριο την μεγαλύτερη δυνατή χρήση συνθετικού λύματος και την δημιουργία ενός υποστρώματος με αναλογία C/N ευνοϊκή για την διεργασία της αναερόβιας χώνευσης.

Στην Εικόνα 5 απεικονίζεται η τελική σύσταση της τροφοδοσίας σε οργανικό φορτίο και ολικό άζωτο σε συνάρτηση του ποσοστού FMSW condensate σε αυτήν. Για χάρη ευκολίας των υπολογισμών ως συγκέντρωση οργανικού φορτίου για το FMSW condensate επιλέχθηκε η τιμή 10000 mg/L και η τιμή 12 mg/L για την συγκέντρωση του ολικού αζώτου. Αντίστοιχα για το συνθετικό αστικό λύμα επιλέχθηκαν οι τιμές 700mg COD/L και 50mg TN/L. Με βάσει τις παραπάνω τιμές στην Σχήμα 14 απεικονίζεται ο λόγος άνθρακας – αζώτου συναρτήσει του κλάσματος του FMSW condensate στο τελικό μίγμα τροφοδοσίας.



Σχήμα 14. Σύσταση τροφοδοσίας σε COD και TN συνάρτηση ποσοστού FMSW condensate στο τελικό μίγμα.

Από το παραπάνω Σχήμα 14 είναι προφανές πως αύξηση του κλάσματος του FMSW condensate στην τελική τροφοδοσία συνεπάγεται αύξηση της συγκέντρωσης του οργανικού φορτίου με ταυτόχρονη μείωση συγκέντρωσης ολικού αζώτου. Με βάσει τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται γίνεται αντιληπτό ότι ικανοποιητικοί λόγοι C/N προκύπτουν για τις συστάσεις 10% και 20% FMSW condensate. Συμπερασματικά από τα συγκεκριμένα αποτελέσματα καθώς και με βάσει τα κριτήρια επιλογής της σύστασης της τελικής τροφοδοσίας επιλέχθηκε η αναλογία 10% FMSW condensate - 90% synthetic MWW.



Σχήμα 15 Τιμές λόγου άνθρακα προς άζωτο της τελικής τροφοδοσίας συναρτήσει του κλάσματος FMSW condensate.

---