

## ΕΛΑΧΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΚΤΗΝΟΤΡΟΦΙΚΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΕΚΤΡΟΦΗΣ ΧΟΙΡΩΝ

Ι.Τσίκας<sup>1</sup>, Ε.Μ. Μπααραμπούτη<sup>2</sup>, Σ. Μάη<sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup>Σχολή Θετικών Επιστημών και Τεχνολογίας, ΕΑΠ, 26222, Πάτρα, Ελλάδα

<sup>2</sup>Σχολή Χημικών Μηχανικών, ΕΜΠ, Αθήνα, Ελλάδα

(\*[mai@cental.ntua.gr](mailto:mai@cental.ntua.gr))

### ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ανάγκη για διαχείριση μεγάλου όγκου γεωργικών αποβλήτων, τόσο στερεών όσο και υγρών, υψηλού ρυπαντικού φορτίου, τα οποία εγκυμονούν κινδύνους ρύπανσης των επιφανειακών και υπόγειων νερών και του εδάφους, όσο και εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου προς την ατμόσφαιρα είναι πλέον επιτακτική. Στόχος της παρούσας εργασίας ήταν ο σχεδιασμός ενός ολοκληρωμένου συστήματος διαχείρισης και αξιοποίησης των αποβλήτων μιας χοιροτροφικής μονάδας. Το σύστημα αυτό περιλαμβάνει μονάδα αναερόβιας χώνευσης της κοπριάς με τα υγρά απόβλητα υψηλού ρυπαντικού φορτίου παράγοντας ετησίως 125000 m<sup>3</sup> βιοαερίου με 65% μεθάνιο και χωνεμένη-σταθεροποιημένη λάσπη. Η τελευταία διαχωρίζεται με μηχανικό τρόπο σε στερεό και υγρό κλάσμα. Το στερεό κλάσμα σταθεροποιείται περαιτέρω ως εδαφοβελτιωτικό με κομποστοποίηση, ενώ το υγρό κλάσμα αξιοποιείται ως υγρό λίπασμα μετά από τη διέλευσή του από μεμβράνες μικροδιήθησης και σύστημα αντίστροφης όσμωσης. Τα προϊόντα λίπανσης που παράγονται (1500 tn/y κόμποστ, 3500m<sup>3</sup>/y υγρό λίπασμα) μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε παρακείμενες καλλιέργειες, μειώνοντας σημαντικά το περιβαλλοντικό αποτύπωμα της κτηνοτροφικής μονάδας.

### ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τις τελευταίες δεκαετίες στην Ελλάδα, οι παραδοσιακές μορφές άσκησης της γεωργίας και κτηνοτροφίας που είχαν σχετικά μικρό περιβαλλοντικό αντίκτυπο υποχώρησαν προς όφελος βιομηχανοποιημένων μεθόδων παραγωγής, με αυξημένο συνολικό αριθμό ζώων σε λιγότερες αλλά μεγαλύτερες εκτροφές<sup>[1]</sup>. Η τάση αυτή οδήγησε σε εκτενείς εγκαταστάσεις, με μεγάλους πληθυσμούς ζώων περιορισμένους σε κλειστές εντατικού τύπου εκτροφές. Ως συνέπεια, παράγονται μεγάλοι όγκοι στερεών, υγρών και αερίων αποβλήτων που έχουν αντίκτυπο τόσο σε τοπικό επίπεδο, ρυπαίνοντας το γύρω περιβάλλον, όσο και σε παγκόσμια κλίμακα επιδεινώνοντας την κλιματική αλλαγή λόγω της παραγωγής αερίων του θερμοκηπίου. Σύμφωνα με τη Διεθνή Οργάνωση Τροφίμων και Γεωργίας των Ηνωμένων Εθνών (FAO), ο τομέας της κτηνοτροφίας εκλύει ετησίως 7,1 Gt CO<sub>2</sub>-eq, ποσότητα που αντιστοιχεί στο 14,5% όλων των ανθρωπογενών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, γεγονός που αναδεικνύει τη συμμετοχή του κτηνοτροφικού τομέα στην κλιματική αλλαγή. Από αυτές τις εκπομπές, το 40% αντιστοιχεί στην παραγωγή βόειου κρέατος, το 20% στην παραγωγή γάλακτος και γαλακτοκομικών προϊόντων ενώ τα 9 και 8% αντιστοιχούν αντίστοιχα στην παραγωγή χοιρινού και ορνίθιου κρέατος και αυγών. Παράλληλα, η αυξητική τάση του παγκόσμιου πληθυσμού και η βελτίωση του βιοτικού επιπέδου αναπτυσσόμενων περιοχών του πλανήτη δημιουργούν ανοδική τάση στη ζήτηση κτηνοτροφικών προϊόντων, που πιθανώς θα ωθήσει σε ακόμη μεγαλύτερη εντατικοποίηση των μεθόδων παραγωγής προϊόντων ζωικής προέλευσης<sup>[2]</sup>.

Για τους λόγους αυτούς έχει θεσπιστεί νομοθετικό πλαίσιο τόσο σε εθνικό όσο και διακρατικό επίπεδο, που περιγράφει τις προϋποθέσεις λειτουργίας των εγκαταστάσεων και τις ενδεδειγμένες μεθόδους επεξεργασίας και διάθεσης των αποβλήτων τους. Ακόμη, η Εθνική Νομοθεσία προβλέπει κανόνες και προϋποθέσεις αδειοδότησης και λειτουργίας πτηνοκτηνοτροφικών εγκαταστάσεων. Στόχος των νομοθετημάτων αυτών είναι η προστασία της Δημόσιας Υγείας και του περιβάλλοντος, η προάσπιση των συνθηκών ευζωίας των ζώων και ο αειφορικός χαρακτήρας της ανάπτυξης. Τέτοια νομοθετήματα είναι η υιοθέτηση κανόνων ορθής γεωργικής πρακτικής, οι πρότυπες

περιβαλλοντικές δεσμεύσεις των φορέων λειτουργίας, οι αποφάσεις έγκρισης περιβαλλοντικών όρων και η υιοθέτηση των βέλτιστων διαθέσιμων τεχνικών κατά την παραγωγή.

Παράλληλα, έχουν αναπτυχθεί ποικίλες μέθοδοι επεξεργασίας αποβλήτων των σταβλικών εγκαταστάσεων έχοντας διττό στόχο. Αφ' ενός την προστασία του εδάφους, των επιφανειακών και υπόγειων νερών και της ατμόσφαιρας από τον όγκο των γεωργοκτηνοτροφικών αποβλήτων και αφ' ετέρου την κατάλληλη αξιοποίησή τους για την παραγωγή ενέργειας και προϊόντων που συνεισφέρουν στην αειφορική ανάπτυξη του γεωργοκτηνοτροφικού τομέα.

Στα πλαίσια αυτά, η παρούσα εργασία προτείνει ένα ολοκληρωμένο σύστημα διαχείρισης και αξιοποίησης των αποβλήτων μιας κτηνοτροφικής μονάδας χοίρων που αποτελείται από ενήλικα ζώα αναπαραγωγής και παχυνόμενους χοίρους μονάδας, έχοντας ως στόχο τη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος που συνεπάγεται η λειτουργία της.

### ΕΙΣΡΟΕΣ -ΕΚΡΟΕΣ ΧΟΙΡΟΤΡΟΦΙΚΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Για τον σχεδιασμό ενός συστήματος διαχείρισης αποβλήτων απαιτείται η εκτίμηση των εισροών και των εκροών του συστήματος. Για τον υπολογισμό του όγκου των απεκκρινόμενων αποβλήτων από το ζωικό πληθυσμό της εκτροφής και τον προσδιορισμό των τυπικών χαρακτηριστικών τους, μπορεί να χρησιμοποιήσει κανείς συγκεκριμένα πρότυπα όπου, αναλόγως της ηλικίας και του σταδίου ανάπτυξης των ζώων, εκτιμάται η συνολική ποσότητα της φρέσκιας κοπριάς χοίρων (κοπράνων και ούρων)<sup>[3]</sup>.

Η μονάδα που μελετήθηκε είναι μία τυπική χοιροτροφική εγκατάσταση αποτελούμενη από 230 θηλυκά ζώα αναπαραγωγής (χοιρομητέρες), 5 κάπρους και χοιρίδια δύο σταδίων ανάπτυξης: χοιρίδια πρώτου σταδίου ανάπτυξης (έως 12,5 kg) και παχυνόμενους χοίρους μέχρι του σταδίου της τελικής ανάπτυξης (μέσου σωματικού βάρους 70 kg). Οι χοιρομητέρες διακρίνονται σε εγκυμονούσες (μέσου σωματικού βάρους 200 kg) και θηλάζουσες (μέσου σωματικού βάρους 192 kg).

Υπολογίστηκε ότι κάθε θηλυκό αποδίδει 2,2 τοκετοομάδες των 12 χοιριδίων ετησίως, τυπικές τιμές για Ελληνικές χοιροτροφικές μονάδες υπό τις συνηθισμένες συνθήκες εκτροφής<sup>[4]</sup>. Έστω επίσης ότι η θνησιμότητα και οι απώλειες κυμαίνονται σε χαμηλά επίπεδα, 2% συνολικά, για όλα τα στάδια ανάπτυξης από τη γαλουχία έως την τελική πάχυνση. Ο μέσος όρος της διάρκειας της εγκυμοσύνης υπολογίστηκε σε 115 ημέρες, ενώ ο απογαλακτισμός γίνεται στις 28 ημέρες, συνηθισμένη πρακτική σε πολλές εγκαταστάσεις. Με βάση την απόδοση των 2,2 τοκετοομάδων ανά θηλυκό, κάθε χοιρομητέρα διανύει ετησίως 253 ημέρες κυοφορίας και 62 ημέρες γαλουχίας των χοιριδίων.

Για 230 χοιρομητέρες αντιστοιχούν ετησίως 6072 παχυνόμενοι χοίροι, και υπολογίζοντας συνολικό ποσοστό απωλειών 2%, έστω ότι φτάνουν στο τελικό στάδιο πάχυνσης 5950 χοίροι. Λαμβάνοντας υπόψη τα δεδομένα αυτά και βάσει του προτύπου<sup>[3]</sup> προκύπτει η συνολική ποσότητα των αποβλήτων ετησίως, που ανέρχεται σε 4086605 kg. Λαμβάνοντας υπόψη ως πυκνότητα αποβλήτων χοιροστασιών τα 0,977 kg/L ο αρχικός όγκος των αποβλήτων όπως απεκκρίνονται από τα ζώα ανέρχεται σε 4182,81 m<sup>3</sup> ετησίως, δηλαδή αντιστοιχεί σε 11,46 m<sup>3</sup>/d ημερησίως. Τα απόβλητα ανά κατηγορία ζώων φαίνονται στον Πίνακα 1.

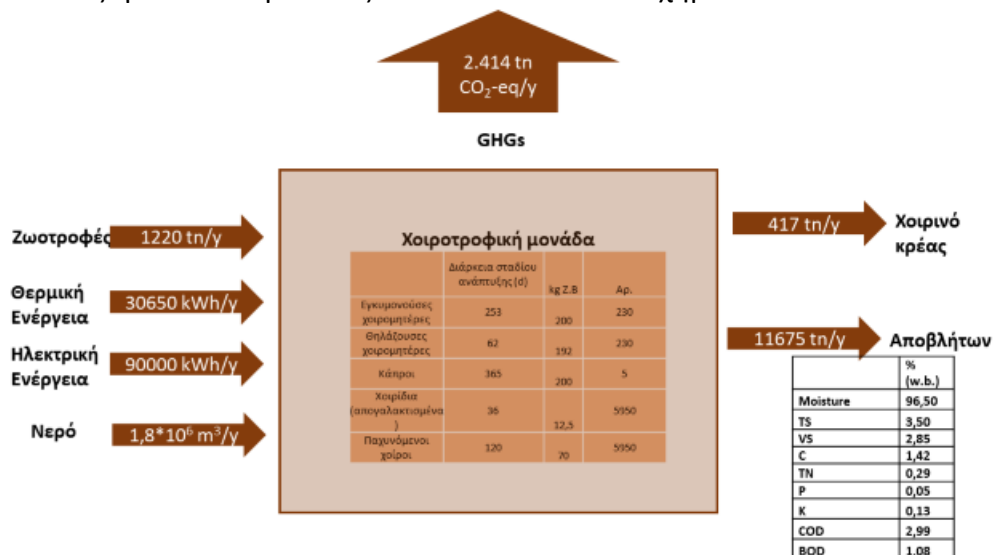
**Πίνακας 1.** Ποσότητες αποβλήτων χοιροστασίου ανά κατηγορία ζώων.

Κατηγορία ζώων	Ολική κοπριά ανά ζώο/ημέρα (kg/d-a)	Πληθυσμός ανά κατηγορία	Ετήσια απόβλητα κατηγορίας (kg)
Εγκυμονούσες θηλυκές (253 d)	5	230	290.950
Θηλάζουσες θηλυκές (62 d)	12	230	171.120
Κάπροι	3,8	5	6.935
Χοιρίδια (απογαλακτισμένα)	48	5950	285.600
Παχυνόμενοι χοίροι	560	5950	3.332.000
Σύνολο εγκατάστασης			4.086.605

Για τον υπολογισμό του τελικού όγκου θεωρήθηκε αραίωση λόγω νερών πλυσίματος και διαρροών των συστημάτων καθαρισμού και ύδρευσης τέτοια ώστε να μειωθεί το ποσοστό των ολικών στερεών των αποβλήτων από 10% σε 3,5%<sup>[5]</sup>. Έτσι ο τελικός όγκος των αποβλήτων που προκύπτει είναι 32,74 m<sup>3</sup>/d. Τα χαρακτηριστικά των αποβλήτων που παράγονται από τη χοιροτροφική μονάδα μετά την αραίωση παρουσιάζονται στο Σχήμα 1.

Σε ό, τι αφορά τις αέριες εκπομπές, για τις χοιροτροφικές εκμεταλλεύσεις ανέρχονται σε 3,5 kg CO<sub>2</sub>-eq ανά κιλό προϊόντος<sup>[6]</sup>. Όμως οι εκτιμήσεις των ερευνητών ποικίλουν καθώς οι συνθήκες εκτροφής, όπως για παράδειγμα εάν τα ζώα διαβιούν σε δάπεδο με στρωμένη ή σχαρωτό δάπεδο, που είναι η συνηθέστερη πρακτική, επηρεάζουν τις εκπομπές. Έτσι, άλλες έρευνες ανεβάζουν τις εκπομπές GHGs σε 4,87 kg CO<sub>2</sub>-eq/kg παραγόμενων σφαγίων<sup>[7]</sup>. Οι Philippe & Nicks<sup>[7]</sup> σε ανασκόπηση ερευνητικών εργασιών από 8 χώρες με εκτεταμένο χοιροτροφικό τομέα, υπολόγισαν το μέσο όρο των ευρημάτων των ερευνών σχετικά με τις αέριες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου για χοιροτροφικές εγκαταστάσεις όπου τα ζώα διαμένουν σε σχαρωτά δάπεδα. Για τους κάπρους καθώς δεν υπάρχουν αντίστοιχα δεδομένα, θεωρήθηκε ότι οι αέριες εκπομπές που οφείλονται σε αυτούς προσομοιάζουν με εκείνες των εγκυμονούντων θηλυκών λόγω παρεμφερούς σωματικού βάρους. Βάσει αυτών των δεδομένων εκτιμήθηκαν οι αέριες εκπομπές της εγκατάστασης ανά κατηγορία ζώων.

Συνοψίζοντας τις εισροές και εκροές της εξεταζόμενης τυπικής χοιροτροφικής Ελληνικής μονάδας, προκύπτουν τα ισοζύγια που παρουσιάζονται στο ακόλουθο σχήμα.



**Σχήμα 1.** Βασικές εισροές και εκροές τυπικής ελληνικής χοιροτροφικής μονάδας

## ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΤΗΝΟΤΡΟΦΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

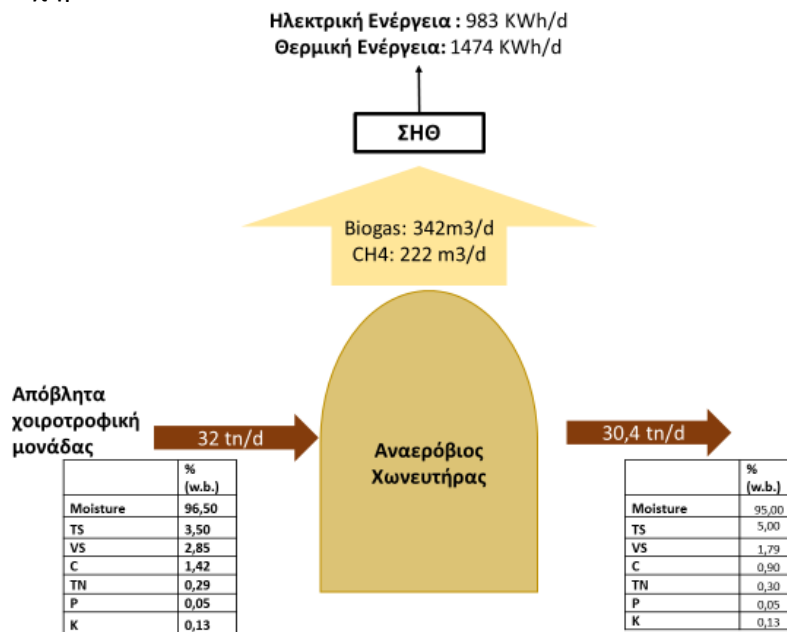
Το ολοκληρωμένο σύστημα αξιοποίησης των κτηνοτροφικών αποβλήτων περιλαμβάνει αναερόβια χώνευση της κοπριάς μαζί με τα υγρά απόβλητα υψηλού ρυπαντικού φορτίου, η οποία υπολογίζεται να αποδώσει 0,25-0,50 m<sup>3</sup> βιοαερίου/kg VS με περιεκτικότητα 65% μεθάνιο και χωνεμένη-σταθεροποιημένη λάσπη. Η τελευταία προτείνεται να διαχωριστεί με μηχανικό τρόπο σε στερεό και υγρό κλάσμα. Το στερεό κλάσμα θα σταθεροποιηθεί περαιτέρω ως εδαφοβελτιωτικό με κομποστοποίηση, ενώ το υγρό κλάσμα θα συμπυκνωθεί με χρήση μονάδας μεμβρανών σε υγρό λίπασμα. Η προτεινόμενη μονάδα θα παράγει ενέργεια από το βιοαέριο και προϊόντα λίπανσης που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε παρακείμενες καλλιέργειες, μειώνοντας σημαντικά το περιβαλλοντικό αποτύπωμα της κτηνοτροφικής εγκατάστασης. Το κάθε στάδιο της προτεινόμενης μονάδας αξιοποίησης των κτηνοτροφικών αποβλήτων παρουσιάζεται στη συνέχεια.

*Μονάδα αναερόβιας χώνευσης*

Τα κτηνοτροφικά απόβλητα της χοιροτροφικής μονάδας εισέρχονται σε μονάδα αναερόβια χώνευσης τύπου CSTR στη μεσόφιλη περιοχή. Προκειμένου να καταρτιστούν τα βασικά ισοζύγια μάζας, πραγματοποιήθηκαν οι ακόλουθες υποθέσεις:

- Δυναμικό παραγωγής βιοαερίου 375 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/tnVS
- Σύσταση βιοαερίου 65% μεθάνιο
- Απόδοση μονάδας ΣΗΘ 40% ηλεκτρική ενέργεια, 60% θερμική ενέργεια.

Με τον τρόπο αυτό υπολογίστηκε ότι από την μονάδα αναερόβια χώνευσης μπορεί να παραχθούν 342 m<sup>3</sup>/d βιοαέριο και 30,4 tn/d σταθεροποιημένη λάσπη (digestate). Από την αξιοποίηση του ενεργειακού περιεχομένου του βιοαερίου υπάρχει η δυνατότητα παραγωγής 983 kWh/d ηλεκτρική ενέργειας και 1474 kWh/d θερμικής ενέργειας. Λαμβάνοντας υπόψη τα δεδομένα της βιβλιογραφίας υπολογίζεται και η σύσταση της σταθεροποιημένης λάσπης που θα προκύψει, όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.



**Σχήμα 2.** Μονάδα μηχανικού διαχωρισμού με κοχλία της σταθεροποιημένης λάσπης του αναερόβιου αντιδραστήρα

Η μονάδα μηχανικού διαχωρισμού της σταθεροποιημένης λάσπης του αναερόβιου αντιδραστήρα του συγκεκριμένου συστήματος επεξεργασίας βασίζεται σε κοχλία συμπίεσης. Οι διαχωριστήρες αυτοί είναι κατάλληλοι ιδίως όταν το υλικό είναι πλούσιο σε ίνες. Βασίζεται σε απλή τεχνολογία (άσκησης πίεσης από τον κοχλία) και έχει χαμηλό κόστος αρχικής επένδυσης αλλά και λειτουργίας. Στη βιβλιογραφία σχετικά με τη σταθεροποιημένη λάσπη αναφέρεται ο βαθμός διαχωρισμού που επιτυγχάνει ο κοχλίας και τα χαρακτηριστικά των δύο ρευμάτων<sup>[8]</sup>. Με βάση αυτά, τα αποτελέσματα του μηχανικού διαχωρισμού φαίνονται στο Σχήμα 3.

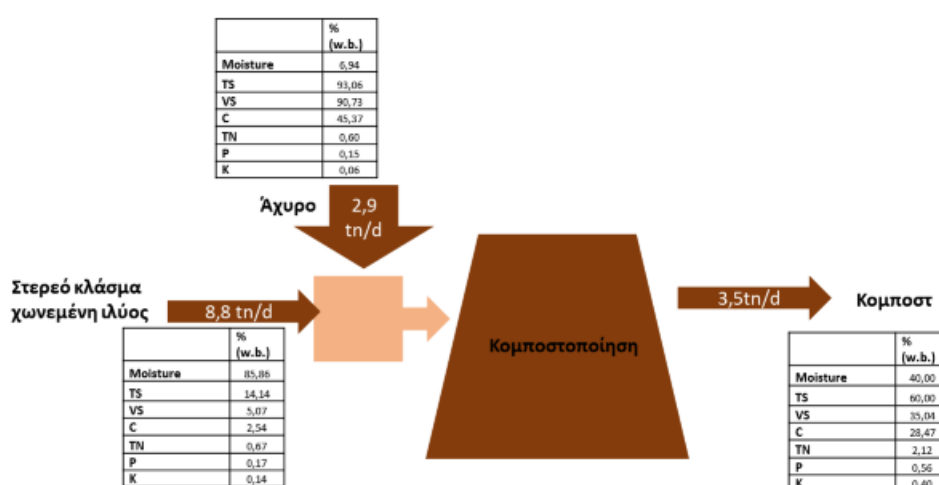


**Σχήμα 3.** Μηχανικός διαχωρισμός σταθεροποιημένης λάσπης με κοχλία

### Μονάδα κομποστοποίησης

Το στερεό κλάσμα που προκύπτει από το μηχανικό διαχωρισμό θα οδηγηθεί σε μονάδα κομποστοποίησης με στόχο τη μετατροπή του σε στερεό σταθεροποιημένο λίπασμα. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των ισοζυγίων μάζας η αναλογία άνθρακα άζωτου στο εν λόγω ρεύμα είναι ίση με 3,8, ενώ ο βέλτιστος λόγος για τη διεργασία της κομποστοποίησης σύμφωνα με τη βιβλιογραφία<sup>[9]</sup> ανέρχεται στο 30. Συνεπώς είναι σαφές ότι θα πρέπει το στερεό κλάσμα της χωνεμένης λάσπης να συγκομποστοποιηθεί με κάποιο αγροτικό υπόλειμμα, έτσι ώστε να εμπλουτιστεί σε άνθρακα. Επιλέγεται η προσθήκη αχύρου με σύσταση που φαίνεται στο Σχήμα με στόχο να ρυθμιστεί ο λόγος άνθρακα προς άζωτο στη τιμή 20, ώστε οι αερόβιες βιολογικές δράσεις να εξελίσσονται χωρίς παρεμπόδιση από το άζωτο.

Για τη διεργασία της κομποστοποίησης θεωρήθηκε απόδοση βιοαποικοδόμησης 60% των οργανικών στερεών και υγρασία τελικού κόμποστ 40%. Το τελικό κόμποστ που παράγεται ανέρχεται σε 3,5 tn/d με σύσταση όπως παρουσιάζεται στο σχήμα. Σύμφωνα με τη νομοθεσία της Ευρωπαϊκής ένωσης το συγκεκριμένο προϊόν μπορεί να χαρακτηριστεί ως οργανικό λίπασμα.

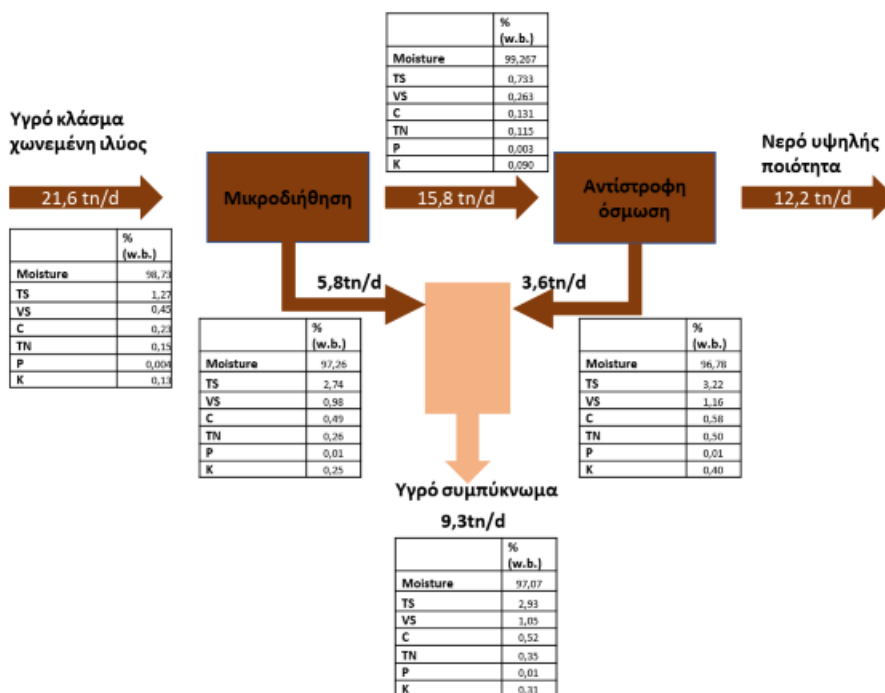


Σχήμα 4. Μονάδα συγκομποστοποίησης στερεού κλάσματος χωνεμένης ιλύος και αχύρου

### Μονάδα μεμβρανών

Το υγρό κλάσμα από την μονάδα μηχανικού διαχωρισμού με κοχλία θα οδηγηθεί σε σύστημα μεμβρανών. Από την εκτενή βιβλιογραφική ανασκόπηση επιλέχθηκε το σύστημα που έχει προταθεί από τους Bonzonella et al.<sup>[10]</sup> δεδομένου ότι έχει εφαρμοστεί σε μεγάλη κλίμακα και σε σταθεροποιημένη ιλύ από αναερόβιο χωνευτήρα που επεξεργαζόταν ζωικά απόβλητα με πολύ καλές αποδόσεις.

Η μονάδα προτείνεται να απαρτίζεται από μεμβράνες μικροδιάθησης και αντίστροφη όσμωση εξασφαλίζοντας στην κτηνοτροφική μονάδα παροχή νερού υψηλής ποιότητας και ένα συμπυκνωμένο υγρό πλούσιο σε θρεπτικά. Το τελευταίο μπορεί να αξιοποιηθεί είτε εμπλουτίζοντας το προς κομποστοποίηση υλικό είτε ως υγρό λίπασμα. Τα ισοζύγια μάζας της μονάδας μεμβρανών παρουσιάζονται στο Σχήμα 5.



**Σχήμα 5.** Σύστημα μεμβρανών για την αξιοποίηση του υγρού κλάσματος χωνεμένης ιλύος

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συνοψίζοντας, λαμβάνοντας υπόψη την εκτενή ανασκόπηση της βιβλιογραφίας καθώς και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά και το μέγεθος των χοιροτροφικών μονάδων που λειτουργούν στην Ελλάδα, προτάθηκε σύστημα ολοκληρωμένης διαχείρισης των αποβλήτων συμβαδίζοντας με τις αρχές της κυκλικής οικονομίας. Η μονάδα προτείνεται να περιλαμβάνει μονάδα αναερόβιας χώνευσης με ενεργειακή αξιοποίηση του παραγόμενου βιοαερίου, μηχανικό διαχωρισμό με κοχλία της σταθεροποιημένης αναερόβιας ιλύος, κομποστοποίηση του στερεού κλάσματος και μονάδα μεμβρανών για την αξιοποίηση του υγρού κλάσματος. Με βάση τα ισοζύγια μάζας που καταρτίστηκαν, μια τυπική χοιροτροφική μονάδα εκτροφής 230 χοιρομητέρων μπορεί να παράγει ετησίως με αξιοποίηση των αποβλήτων της 360MWh ηλεκτρική ενέργεια, 540 MWh θερμική ενέργεια, 4500m<sup>3</sup> νερό υψηλής ποιότητας, 1500tn κόμποστ, 3500 m<sup>3</sup> υγρού λιπάσματος. Επομένως θα μπορούσαν να καλυφθούν πλήρως οι ανάγκες της μονάδας σε ενέργεια και μόλις κατά 0,25% σε νερό.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] J.R. Bicudo. In P. McNutly & P.M. Grace (Eds.) Agricultural Mechanization and Automation, Vol II. Encyclopedia of Life Support Systems Oxford, United Kingdom: UNESCO (2009) 268-298.
- [2] P.J. Gerber, H. Steinfeld, B. Henderson, A. Mottet, C. Opio, J. Dijkman, A. Falcucci, G. Tempio. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome (2013).
- [3] American Society of Agricultural and Biological Engineers, ASABE Manure production and characteristics. ASAE D384.2, St. Joseph, MI. United States: American Society of Agricultural Engineers (2005) 1-20.
- [4] Γ. Μαλλιώρης, Εκτίμηση των δεικτών υγείας και παραγωγικής ικανότητας σε χοιροτροφικές εκμεταλλεύσεις της Β. Ελλάδος. Μεταπτυχιακή Εργασία, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο, Θεσσαλονίκη. (2013).
- [5] Δ. Γεωργακάκης. Στερεά Γεωργικά Απόβλητα. Πάτρα, Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο (2003).
- [6] J.P. Lesschenet, M. Van den Berg, H.J. Westhoek, H.P. Witzke, G.L. Velthof, O. Oenema. Anim. Feed Sci.Tech., 166-167 (2011) 16-28.
- [7] F.-X. Philippe, B. Nicks. Agric Ecosyst Environ. 199 (2015) 10-25.
- [8] B. Drosig, W. Fuchs, T. Al Seadi, M. Madsen, B. Linke. IEA Bioenergy, Task 37 Technical Report, (2015) 1-40.
- [9] A. Vlyssides, E.M. Barampouti, S. Mai, M. Loizides. Biodegradation 21(6) (2010) 957–965.
- [10] D. Bolzonella, F. Fatone, M. Gottardo, N. Frison. J Environ Manage. 216 (2018) 111-119.