



# Διαχείριση Γεωργικών Αποβλήτων

Καθηγητής Θρασύβουλος Μανιός

Τμήμα Γεωπονίας

Σχολή Γεωπονικών Επιστημών

Ελληνικό Μεσογειακό Πανεπιστήμιο

# Διαχείριση Γεωργικών Αποβλήτων

Διάλεξη 6<sup>η</sup>

Αναερόβια Χώνευση #2

# Παράγοντες που επηρεάζουν αναερόβια χώνευση

- Δομή μικροβιακής κοινότητας
- Υπόστρωμα - Θρεπτικά
- Θερμοκρασία
- pH
- Χρόνος παραμονής
- Τοξικές ουσίες / παρεμποδιστές

# Παράγοντες που επηρεάζουν αναερόβια χώνευση

- ❑ Δομή μικροβιακής κοινότητας (αλληλεπίδραση μ/ο)
  - Καθορίζεται από το υπόστρωμα, την υγρασία και τη θερμοκρασία
  - Τα μεσόφιλα είδη υπερτερούν αριθμητικά των θεرمόφιλων και είναι επίσης περισσότερο ανθεκτικά σε αλλαγές των περιβαλλοντικών συνθηκών
  - Επιθυμητή η ύπαρξη ποικιλίας ειδών – ποικιλία βιοχημικών διεργασιών
- ❑ Υπόστρωμα - Θρεπτικά
- ❑ Θερμοκρασία
- ❑ pH
- ❑ Χρόνος παραμονής
- ❑ Τοξικές ουσίες / παρεμποδιστές

# Παράγοντες που επηρεάζουν αναερόβια χώνευση

Δομή μικροβιακής κοινότητας

Υπόστρωμα – Θρεπτικά

- Περιεκτικότητα σε στερεά (solid state / wet state)
- Υψηλή συγκέντρωση πτητικών στερεών
- Αναλογία C και N συνήθως εκφράζονται με το λόγο COD:N που πρέπει να κυμαίνεται από 400:7 έως 1000:7. Παρόμοια ο βέλτιστος λόγος N:P είναι 7:1.
- Οι περισσότεροι αναερόβιοι οργανισμοί δεν μπορούν να διασπάσουν τη λιγνίνη / κυταρρίνη

Θερμοκρασία

pH

Χρόνος παραμονής

Τοξικές ουσίες / παρεμποδιστές

# Παράγοντες που επηρεάζουν αναερόβια χώνευση

- Δομή μικροβιακής κοινότητας
- Υπόστρωμα - Θρεπτικά
- Θερμοκρασία
  - μεσόφιλες: 35-45 °C,
  - θερμόφιλες 55-65 °C
- pH
- Χρόνος παραμονής
- Τοξικές ουσίες / παρεμποδιστές

# Παράγοντες που επηρεάζουν αναερόβια χώνευση

- Δομή μικροβιακής κοινότητας
- Υπόστρωμα - Θρεπτικά
- Θερμοκρασία
- pH
  - 6,5 έως 8,5, 7 με 8 το βέλτιστο
  - Όπως και στην κομποστοποίηση η αποδόμηση της οργανικής ουσίας και η παραγωγή οξέων θα οδηγήσει σε μείωση του pH και για αυτό η αρχική αλκαλική τιμή είναι θετικό στοιχείο
- Χρόνος παραμονής
- Τοξικές ουσίες / παρεμποδιστές

# Παράγοντες που επηρεάζουν αναερόβια χώνευση

- Δομή μικροβιακής κοινότητας
- Υπόστρωμα - Θρεπτικά
- Θερμοκρασία
- pH
- Χρόνος παραμονής
  - Στις περισσότερες περιπτώσεις κυμαίνεται μεταξύ 15 και 40 ημέρων με συνηθέστερη τιμή τις 25 με 30 ημέρες
  - Αύξηση του χρόνου παραμονής οδηγεί σε περαιτέρω μείωση της οργανικής ουσίας αλλά τίθεται ένα θέμα οικονομικής βιωσιμότητας
- Τοξικές ουσίες / παρεμποδιστές

# Παράγοντες που επηρεάζουν αναερόβια χώνευση

- Δομή μικροβιακής κοινότητας
- Υπόστρωμα - Θρεπτικά
- Θερμοκρασία
- pH
- Χρόνος παραμονής
- Τοξικές ουσίες / παρεμποδιστές
  - Ενώσεις, οι οποίες επηρεάζουν μία ή περισσότερες από τις βακτηριακές ομάδες που είναι υπεύθυνες για τα διάφορα στάδια αποσύνθεσης
  - αμμωνία, σουλφίδια, ιόντα ελαφρών μετάλλων (Na, K, Mg, Ca, Al), βαριά μέταλλα, οργανικές ενώσεις (χλωροφαινόλες, αλογονωμένες αλιφατικές ενώσεις)
  - Οξυγόνο

# Αύξηση της απόδοσης της αναερόβιας χώνευσης

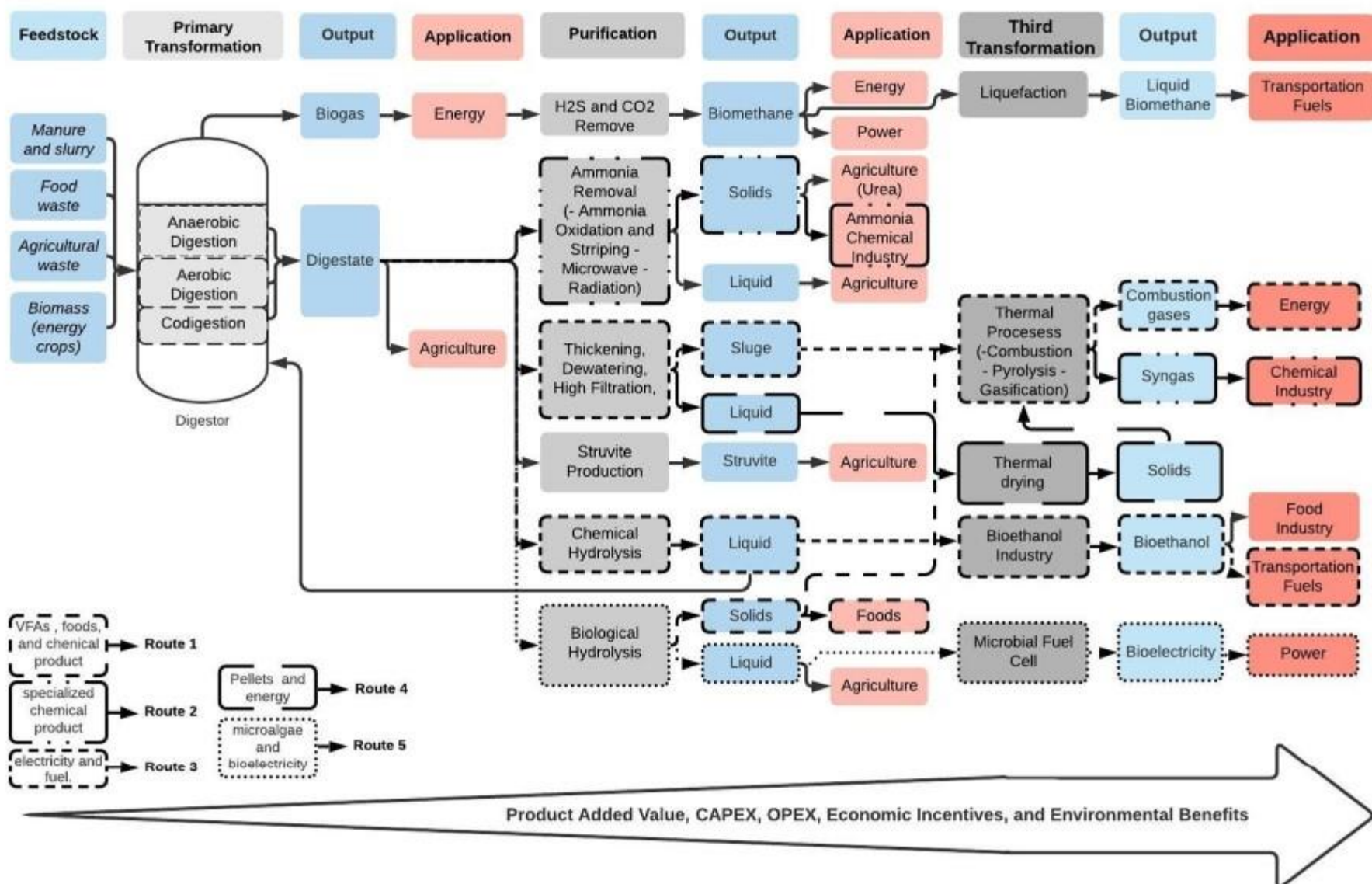
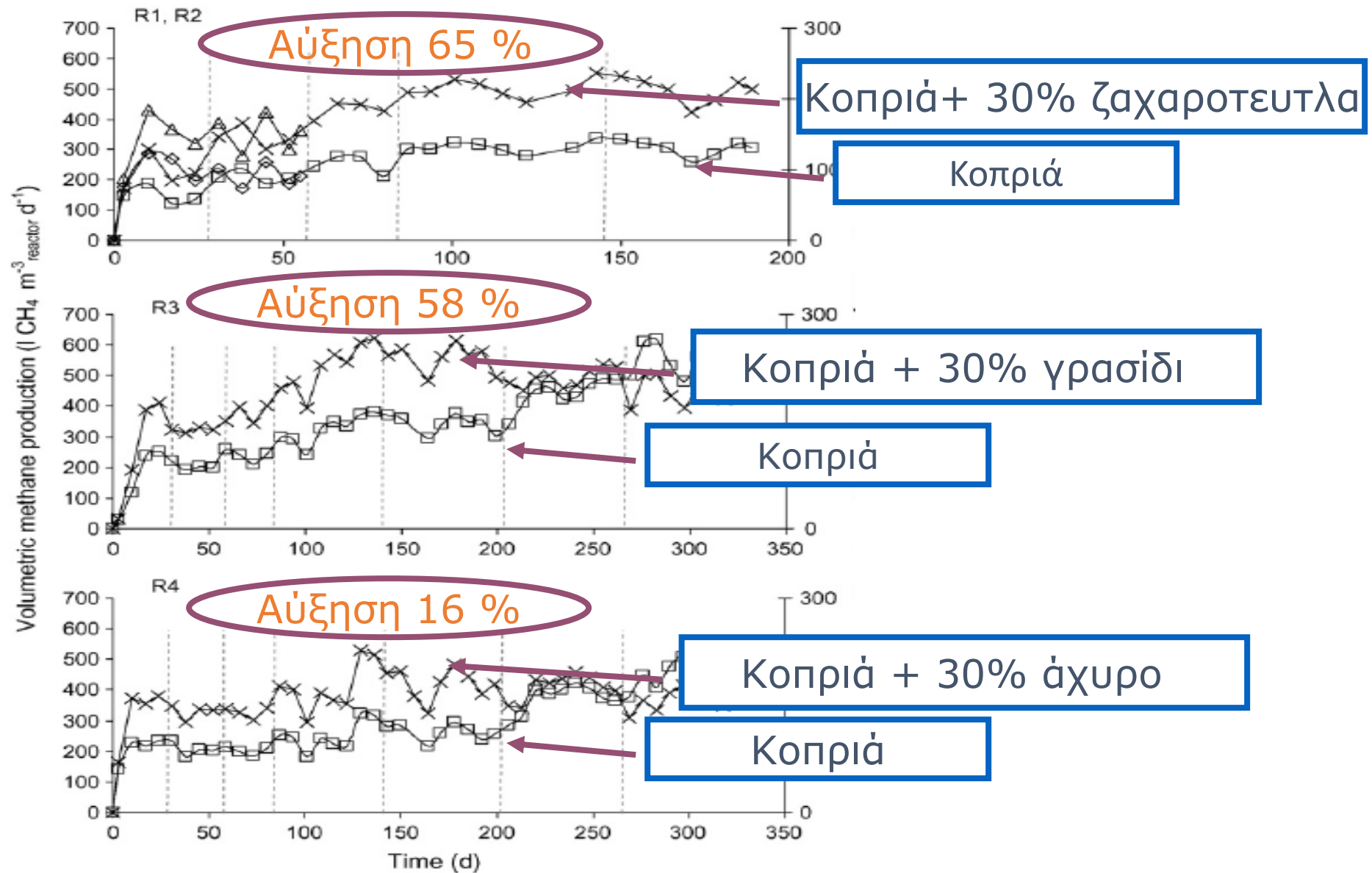


Fig. 1. A diversion map for the sustainable management of organic waste and the recovery of energy and value-added materials.

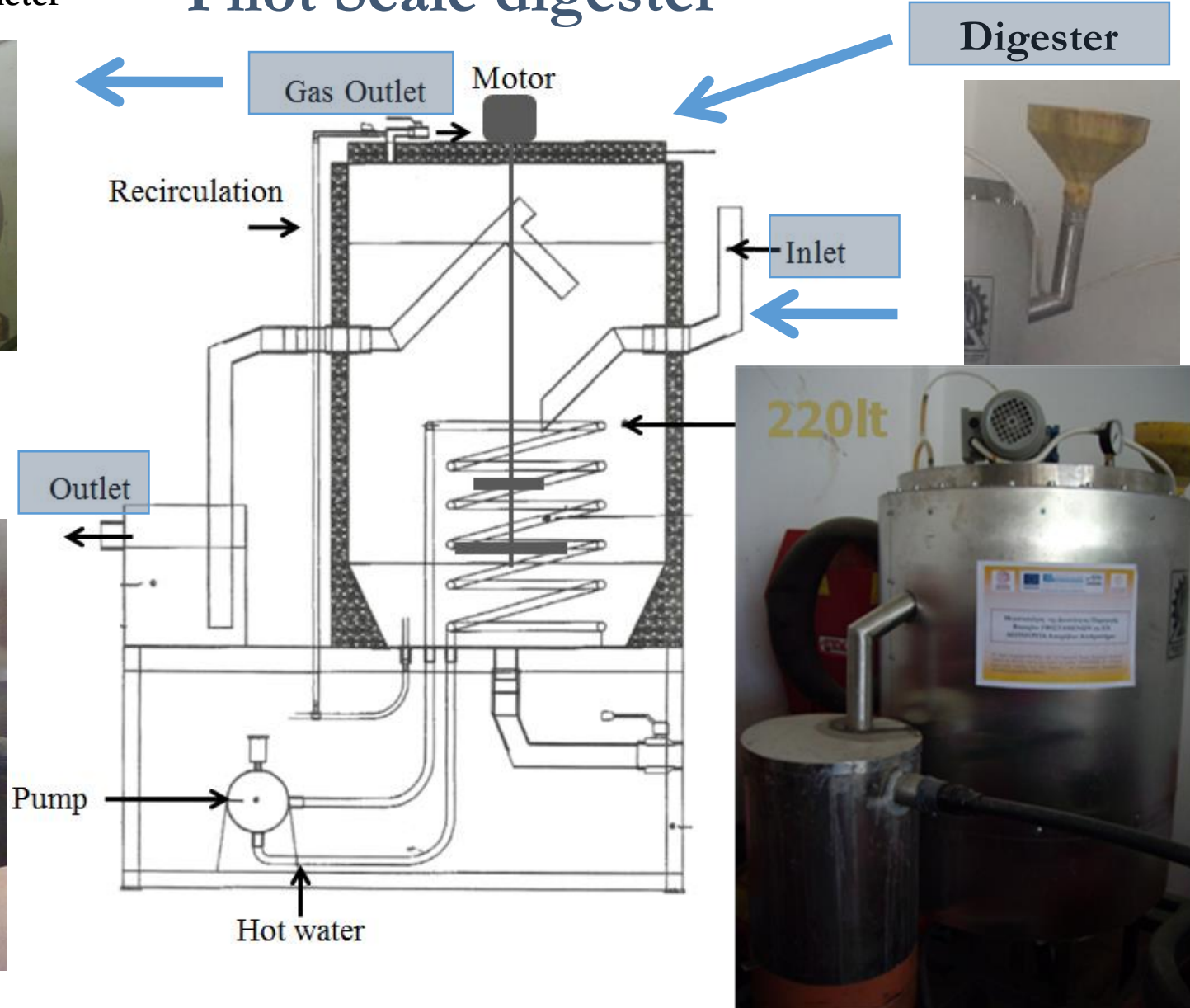
# Συν-χώνευση



Drum-type gas meter



# Pilot Scale digester



Digester

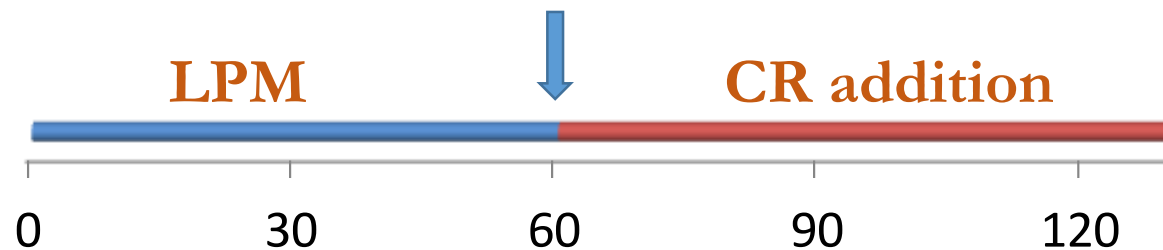


Outlet



## Experimental procedure

- ✓ **2 type of feedstock:**
  - ❖ **100%** liquid pig manure (**LPM**)
  - ❖ A mixture of 7 % Total Solids (TS)  
liquid pig manure (**LPM**) & coffee residues (**CR**)
  - ❖ Digesters were not operated parallel
- ✓ feeding volume **7.5L** daily
- ✓ Initial feed **LPM** for **60 days**  
and mixture (**LPM & CR**) for **70 days**



### Mesophilic AD

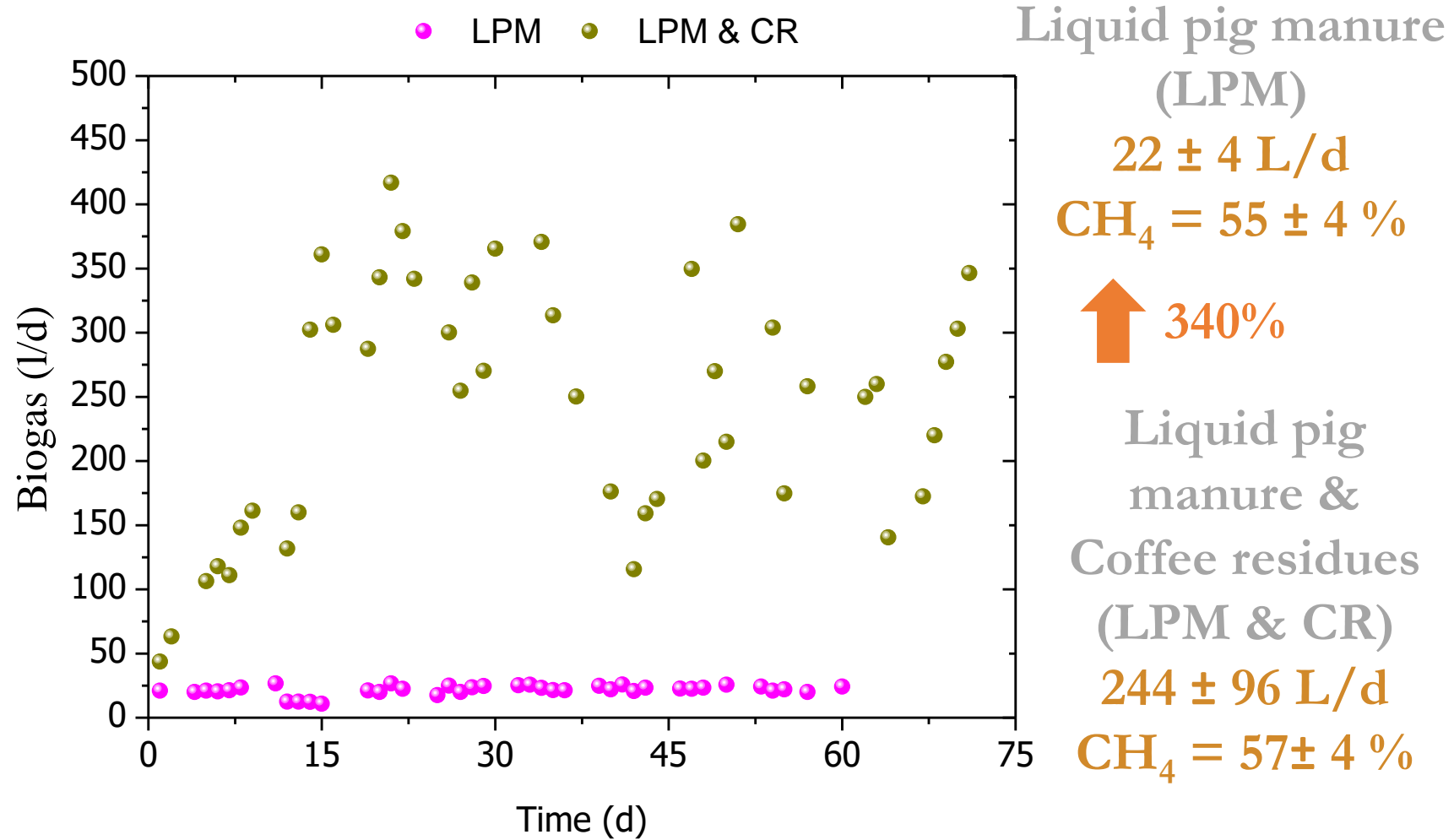
Time (d)

- ✓ Approximately 37° C
- ✓ Retention time of 24 days

## Results

Characteristics of experimental materials as feedstock		
Parameters	LPM (100 %)	LPM & CR
pH	$8.2 \pm 0.3$	$7.3 \pm 0.2$
TS (g/l)	$26.5 \pm 5.3$	$70.5 \pm 11.8$
VS (g/l)	$18.6 \pm 4.3$	$57.1 \pm 9.0$
t-COD (g/l)	$24.6 \pm 4.0$	$74.3 \pm 12.3$
d-COD (g/l)	$2.2 \pm 0.2$	$8.6 \pm 1.1$

# Results



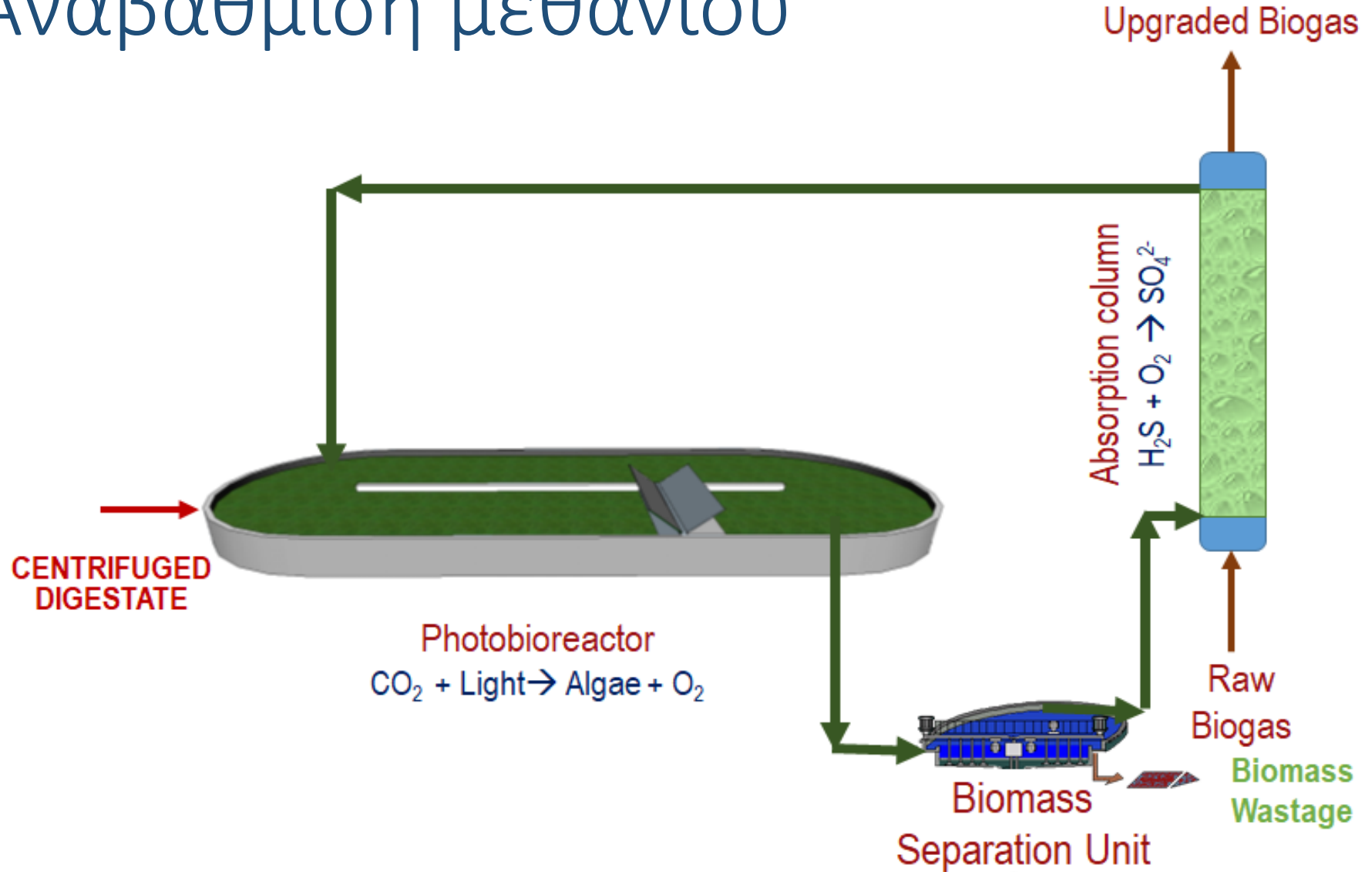
# Αναβάθμιση μεθανίου

- ✓ Καθαρισμός/απομάκρυνση
  - ✓ Νερού
    - ✓ Ψύξη
    - ✓ Συμπύκνωση
  - ✓ Υδροθείου
    - ✓ Κατακρήμνιση
    - ✓ Προσρόφηση σε ενεργό άνθρακα
    - ✓ Βιολογικά
  - ✓ Οξυγόνου και αζώτου
    - ✓ Προσρόφηση σε ενεργό άνθρακα
  - ✓ Αμμωνία
    - ✓ Ψύξη
    - ✓ άλλο

# Αναβάθμιση μεθανίου

- ✓ Καθαρισμός/απομάκρυνση
  - ✓ Siloxanes
    - ✓ Ψύξη
    - ✓ Προσρόφηση σε ενεργό άνθρακα
    - ✓ Προσρόφηση σε ενεργή αλουμίνα
    - ✓ Προσρόφηση σε silica gel
  - ✓ Σωματίδια
    - ✓ Μηχανικά φίλτρα
  - ✓ Διοξείδιο του άνθρακα
    - ✓ PSA (Pressure Swing Adsorption)
    - ✓ Προσρόφηση
    - ✓ Καθαρισμός με νερό
    - ✓ Χημικός καθαρισμός
    - ✓ Μεμβράνες

# Αναβάθμιση μεθανίου



# Διαστασιολόγηση αναερόβιου αντιδραστήρα

## Δεδομένα:

Ποσότητα αποβλήτων : **4000 m<sup>3</sup> /έτος**

Πυκνότητα αποβλήτων : **1.05 t/ m<sup>3</sup>**

Υδραυλικός χρόνος παραμονής : **25 ημέρες**

Παραγωγή βιοαερίου : **0.6 m<sup>3</sup>/kg οργανικού υλικού**

Υγρασία αποβλήτων : **80%**

Οργανικά αποβλήτων : **90% των στερεών**

Σύσταση βιοαερίου : **60% CH<sub>4</sub> , 40% CO<sub>2</sub>**

Κατώτερη θερμογόνος δύναμη μεθανίου : **35,7 MJ/m<sup>3</sup>**

## Ζητούμενα:

α) Όγκος/ διαστάσεις αντιδραστήρα

β) Ημερήσια ποσότητα του μεθανίου που παράγεται

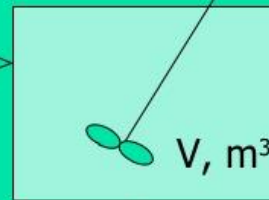
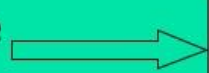
γ) Ενέργεια που παράγεται σε μια μονάδα CHP (32% ηλεκτρική, 52% θερμική) ετησίως.

δ) Έσοδα από την πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας (0,22€/kWh)

# Διαστασιολόγηση αναερόβιου αντιδραστήρα



Influent flow rate  
(Q), m<sup>3</sup>/day



$$\text{HRT, days} = \frac{\text{Volume}}{\text{Flow rate}} = \frac{V \text{ (m}^3\text{)}}{Q \text{ (m}^3\text{/day)}} \text{ day}$$

HRT : Υδραυλικός χρόνος παραμονής

V : Όγκος αντιδραστήρα

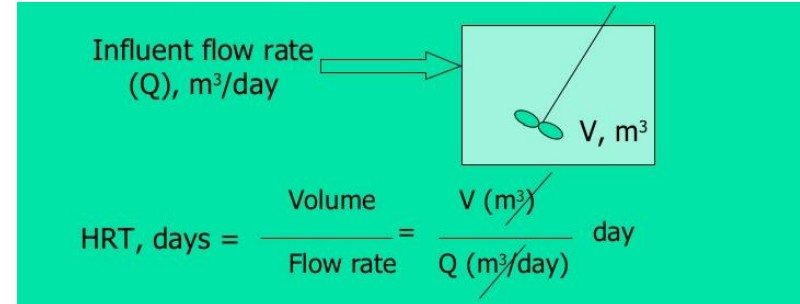
Q : Παροχή

# Διαστασιολόγηση αναερόβιου αντιδραστήρα

## Λύση

Όγκος/ διαστάσεις αντιδραστήρα

$$\text{HRT} = V/Q \rightarrow V = \text{HRT} \times Q$$



Υδραυλικός χρόνος παραμονής : **25 ημέρες**

Ποσότητα αποβλήτων : **4000 m<sup>3</sup> /έτος**

$$Q = 4000 \text{ m}^3 / (\text{έτος} \times 365 \text{ ημέρες/έτος}) = 10,96 \text{ m}^3 / \text{ημέρα}$$

$$V = \text{HRT} \times Q = 25 \text{ ημέρες} \times 10,96 \text{ m}^3 / \text{ημέρα} = \underline{\underline{274 \text{ m}^3}}$$

# Διαστασιολόγηση αναερόβιου αντιδραστήρα

## Λύση

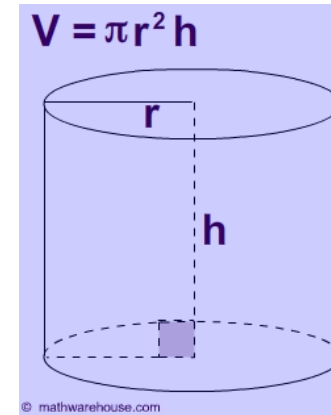
Όγκος/ διαστάσεις αντιδραστήρα

$$V=274 \text{ m}^3 = \pi r^2 h = 2\pi r^3$$

$$r = (274/6,28)^{1/3} = \underline{\underline{3,52 \text{ m}}}$$

$$\text{Ύψος} = 7.04 \text{ m}$$

$$\text{Διάμετρος} = 7,04 \text{ m}$$



$$r = h/2$$

# Διαστασιολόγηση αναερόβιου αντιδραστήρα

## Λύση

**Ημερήσια ποσότητα του μεθανίου που παράγεται**

Ποσότητα αποβλήτων : **4000 m<sup>3</sup> /έτος**

Πυκνότητα αποβλήτων : **1.05 t/ m<sup>3</sup>**

Παραγωγή βιοαερίου : **0.6 m<sup>3</sup>/kg οργανικού υλικού**

Υγρασία αποβλήτων : **80%**

Οργανικά αποβλήτων : **90% των στερεών**

Σύσταση βιοαερίου : **60% CH<sub>4</sub> , 40% CO<sub>2</sub>**

**Q= 10,96 (m<sup>3</sup> / ημέρα) × 1.05 (t/ m<sup>3</sup>)=11,508 t/ημέρα**

Ποσότητα οργανικού υλικού = 11,508 t (αποβλήτων/ημέρα) × 20%  
(στερεά/απόβλητα) × 90% (οργανικά/στερεά)

Ποσότητα οργανικού υλικού = 2,07 t οργανικών/ημέρα = 2070 kg οργανικών /ημέρα

Παραγωγή βιοαερίου = 0.6 m<sup>3</sup>/kg οργανικού υλικού × 2070 kg οργανικών /ημέρα=1242 m<sup>3</sup>/ ημέρα

Παραγωγή μεθανίου = 60% μεθάνιο/βιοαέριο × 1242 m<sup>3</sup> βιοαερίου/ ημέρα = **745 m<sup>3</sup> μεθάνιο/ημέρα**

# Διαστασιολόγηση αναερόβιου αντιδραστήρα

## Λύση

Ενέργεια που παράγεται σε μια μονάδα CHP (32% ηλεκτρική, 52% θερμική) ετησίως

Κατώτερη θερμογόνο δύναμη μεθανίου : **35,7 MJ/m<sup>3</sup>**

1 MJ = 0.277777778 KWh

Παραγωγή μεθανίου = **745 m<sup>3</sup> μεθάνιο/ημέρα**

Ενέργεια = 35,7 MJ/m<sup>3</sup> × 745 m<sup>3</sup> /ημέρα × 365 ημέρες/έτος =  
9.707. 722 MJ/έτος

Ηλεκτρική ενέργεια = 32% × 9.707. 722 MJ/έτος × 0,27778  
KWh/MJ = **862.915 KWh/έτος**

# Διαστασιολόγηση αναερόβιου αντιδραστήρα

## Λύση

Έσοδα από την πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας (0,22€/kWh)

$$\text{Έσοδα} = 862.915 \text{ kWh/έτος} \times 0,22 \text{ €/kWh} = \underline{\underline{189.841 \text{ €/έτος}}}$$