

ΘΕΡΜΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ ΜΕ ΤΑΥΤΟΧΡΟΝΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ**A. Ζητούνη-Πετρόγιαννη¹, Ε. Βουτσάς¹**

Σχολή Χημικών Μηχανικών, ΕΜΠ, Αθήνα, Ελλάδα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ανάκτηση ενέργειας από τα αστικά απορρίμματα με την παρουσία υψηλών θερμοκρασιών αποτελεί μία εναλλακτική μέθοδο στη διαχείριση ΑΣΑ σήμερα. Στην παρούσα εργασία μελετήθηκαν μέθοδοι διαχείρισης των αστικών απορριμμάτων (ΑΣΑ), οι οποίες θα προσαρμόζονται στις ανάγκες του πλανήτη για καλύτερη ενεργειακή διαχείριση των υφιστάμενων πόρων. Ειδικότερα εξετάζεται λεπτομερώς η λειτουργία μίας μονάδας αεριοποίησης ΑΣΑ με την τεχνική του πλάσματος για παραγωγή αερίου σύνθεσης, το οποίο θα αξιοποιείται προς παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Τελικός στόχος είναι η αξιόπιστη ανάλυση της αεριοποίησης με πλάσμα.

Πιο συγκεκριμένα, μελετήθηκε το θεωρητικό υπόβαθρο και η θερμοδυναμική ανάλυση της διεργασίας, καθώς και ο απαραίτητος εξοπλισμός για μία μονάδα αεριοποίησης με πλάσμα συμπεριλαμβανομένου του συστήματος καθαρισμού για το παραγόμενο αέριο σύνθεσης. Επίσης, δίνεται έμφαση στις δυνατότητες ενεργειακής αξιοποίησης των προϊόντων της αεριοποίησης και ειδικότερα του αερίου σύνθεσης.

Στη συνέχεια, γίνεται μελέτη εφαρμογής μίας μονάδας αεριοποίησης με την τεχνική του πλάσματος για την περίπτωση της διαχείρισης ΑΣΑ στην Ελλάδα. Μελετήθηκε η εξάρτηση των οικονομικών μεγεθών από τις βασικές παραμέτρους λειτουργίας και πραγματοποιήθηκε διαστασιολόγηση και κοστολόγηση της μονάδας, με σκοπό την οικονομική αξιολόγηση της επένδυσης.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η διαχείριση των απορριμμάτων αποτελεί ένα από τα πλέον σύνθετα και δύσκολα προβλήματα που καλείται να αντιμετωπίσει η χώρα μας, όπως και κάθε σύγχρονη κοινωνία. Η ολοένα αυξανόμενη παραγωγή υπερβολικών ποσοτήτων απορριμμάτων αποτελεί από μόνη της την πιο σοβαρή ένδειξη ασύμφορης και υπερβολικής χρήσης των διαθέσιμων πόρων παγκοσμίως. Ωστόσο η ανάκτηση των υλικών και της ενέργειας που βρίσκονται ενσωματωμένα στα στερεά απορρίμματα, αποτελεί έναν τρόπο για καλύτερη αξιοποίηση τους. Μια εναλλακτική μέθοδος στη διαχείριση των ΑΣΑ αποτελεί η ανάκτηση ενέργειας από αυτά με τη βοήθεια υψηλών θερμοκρασιών, γνωστή και ως waste-to energy (WTE) ^[1]. Τα τελευταία χρόνια έχει έρθει στο προσκήνιο των ερευνών η αεριοποίηση με την τεχνική του πλάσματος, ως μία τεχνολογία ιδιαίτερα αποδοτική και φιλική προς το περιβάλλον.

Η συγκεκριμένη τεχνολογία έχει στόχο την επεξεργασία στερεών απορριμμάτων προς παραγωγή καύσιμου αερίου, γνωστό με την ονομασία αέριο σύνθεσης (syngas), και αδρανούς υαλώδους στερεού υπολείμματος. Η τεχνολογία του πλάσματος έχει ήδη χρησιμοποιηθεί για την καταστροφή επικίνδυνων αποβλήτων, αλλά η εφαρμογή του για μαζικά απορρίμματα δεν είναι διαδεδομένη ακόμη.

Με τον όρο πλάσμα περιγράφεται κάθε αέριο, του οποίου τουλάχιστον ένα ποσοστό των ατόμων ή μορίων του είναι μερικά ή ολικά ιονισμένο. Δημιουργείται με την προσθήκη ενέργειας στο αέριο ώστε να αναδιοργανωθεί η ηλεκτρονική δομή των ατόμων των μορίων του ^[2]. Στην περίπτωση της επεξεργασίας αποβλήτων με την τεχνική του πλάσματος, το αέριο μεταπίπτει στην κατάσταση του πλάσματος με την παροχή ηλεκτρικού ρεύματος πολύ υψηλής τάσης σε δύο αντίθετα φορτισμένους πόλους-ηλεκτρόδια, μέσω των πυρσών πλάσματος.

Με την τεχνική του πλάσματος, υπό την επίδραση των πολύ υψηλών θερμοκρασιών, το οργανικό κλάσμα των απορριμμάτων αποσυντίθεται μέσω ενδόθερμων αντιδράσεων και παράγεται το αέριο σύνθεσης (κυρίως υδρογόνο και μονοξείδιο του άνθρακα), ενώ παράλληλα το ανόργανο

κλάσμα μετατρέπεται σε ένα υαλώδες στερεό υπόλειμμα. Λόγω των υψηλών θερμοκρασιών που επιβάλλονται στη διεργασία, προκαλείται η πλήρη αποσύνθεση πολύπλοκων χημικών ενώσεων και επομένως, αποφεύγεται, όπως στην περίπτωση της συμβατικής καύσης, η δημιουργία διοξινών και πίσσας. Τα εξερχόμενα καυσαέρια είναι καθαρότερα σε σύγκριση με άλλες θερμικές διεργασίες, ενώ δεν υπάρχουν στερεά σωματίδια στον πυθμένα του αντιδραστήρα.

ΣΤΟΧΟΙ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

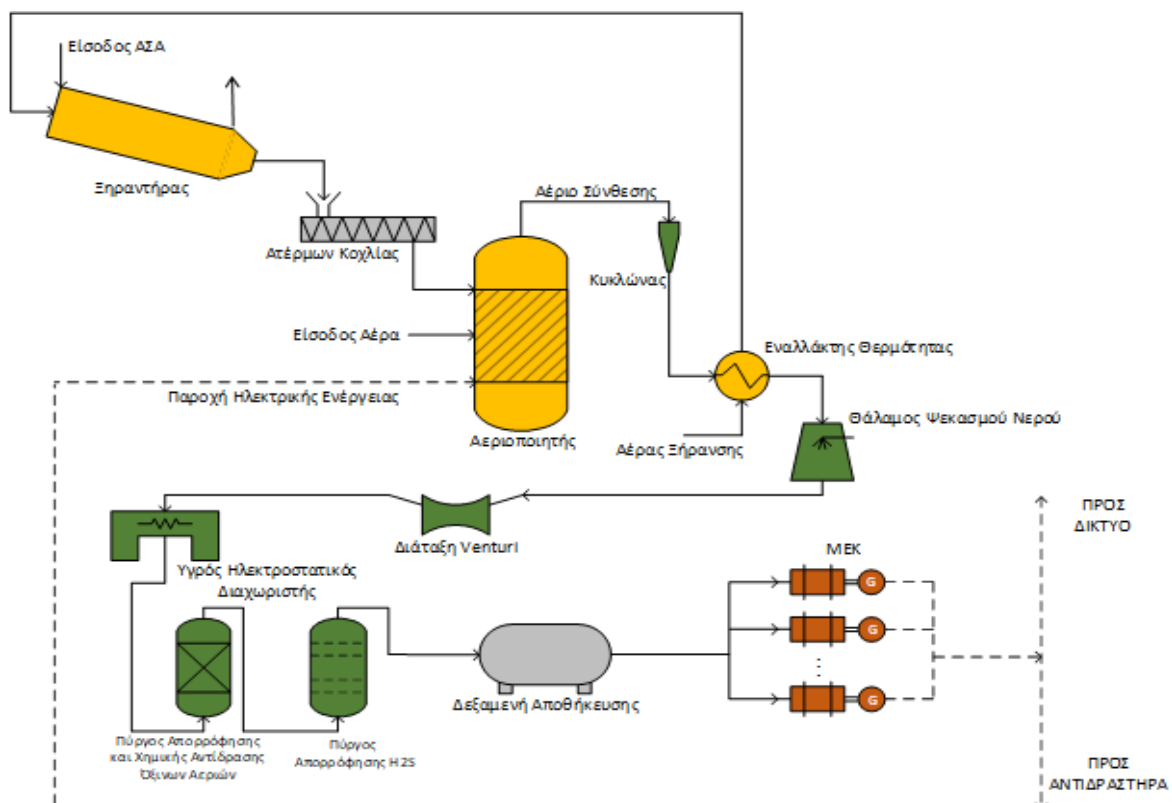
Σκοπός της εργασίας είναι η εξέταση και αξιολόγηση, ενεργειακή και οικονομική, της αεριοποίησης αστικών απορριμμάτων με την τεχνική του πλάσματος. Για το λόγο αυτό, πραγματοποιήθηκε υπολογιστική μελέτη μίας μονάδας αεριοποίησης ΑΣΑ με την τεχνική του πλάσματος. Παράλληλα, έγινε διαστασιολόγηση της μονάδας και οικονομική αξιολόγησή της, ενώ επίσης πραγματοποιήθηκε παραμετρική ανάλυση προκειμένου να προσδιοριστούν οι βέλτιστοι παράμετροι λειτουργίας της μονάδας.

ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ

Στην παρούσα εργασία, μελετήθηκε μονάδα η οποία επεξεργάζεται 750 τόνους ελληνικών αστικών απορριμμάτων ημερησίως.

Στο

Σχήμα 1 παρουσιάζεται το διάγραμμα ροής της μονάδας αεριοποίησης ΑΣΑ με πλάσμα, η οποία περιλαμβάνει τον αντιδραστήρα πλάσματος, στον οποίο παράγεται το αέριο σύνθεσης, τον εναλλάκτη θερμότητας, στον οποίο το αέριο σύνθεσης προσδίδει μέρος της λανθάνουσας θερμότητάς του προς τον αέρα που θα χρησιμοποιηθεί για την ξήρανση του απορρίμματος, τον ξηραντήρα, το σύστημα καθαρισμού του αερίου και τέλος το σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, το οποίο στην περίπτωσή μας έχει επιλεγθεί να είναι μηχανές εσωτερικής καύσης, λόγω της δυνατότητάς τους να αξιοποιούν καύσιμα χαμηλότερης θερμογόνου δύναμης.



Σχήμα 1. Διάγραμμα ροής μονάδας αεριοποίησης ΑΣΑ με την τεχνική του πλάσματος

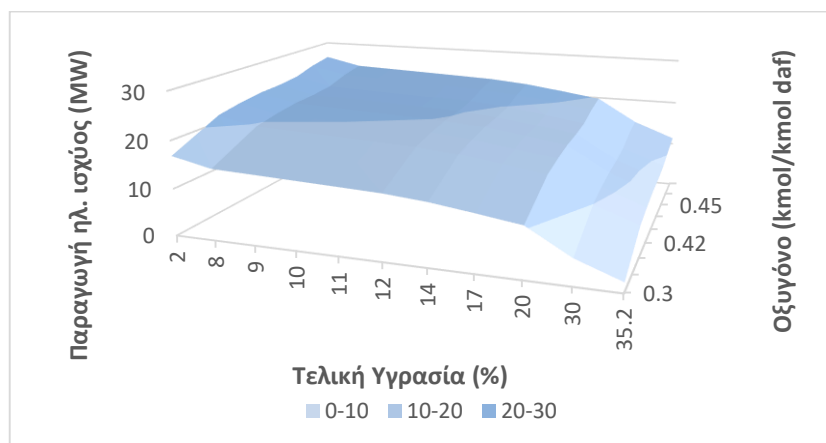
Στην παρούσα μοντελοποίηση, ως συστατικά του παραγόμενου αερίου σύνθεσης επιλέχθηκαν τα εξής: CO, H₂, CO₂, H₂O (g), CH₄, N₂, S(g), Cl₂, H₂S, HCl. Για την επίλυση του προβλήματος απαιτούνται οι ειδικές θερμοχωρητικότητες σταθερής πίεσης, οι πρότυπες ενθαλπίες σχηματισμού και οι πρότυπες ενέργειες σχηματισμού Gibbs. Τελικά το θερμοδυναμικό μοντέλο επιλύει το εξής σύστημα εξισώσεων: (i) Ισοζύγια μάζας, (ii) Ισοζύγιο ενέργειας και (iii) ανεξάρτητες αντιδράσεις [3]. Στη συνέχεια, προχωράμε στη διαστασιολόγηση και αναλυτική κοστολόγηση του εξοπλισμού της μονάδας και τελικά στην οικονομική αξιολόγησή της. Τα έξοδα της μονάδας περιλαμβάνουν τις δαπάνες προσωπικού, την συντήρηση του εξοπλισμού, τα αναλώσιμα κ.α. Επίσης τα ετήσια έσοδα της μονάδας περιλαμβάνουν τα έσοδα από την πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο και τα έσοδα διάθεσης απορριμμάτων ή αλλιώς τέλη εισόδου, τα οποία επιβαρύνουν τον παραγωγό των απορριμμάτων, π.χ. τη δημοτική αρχή.

Πίνακας 1. Κόστη μηχανολογικού εξοπλισμού

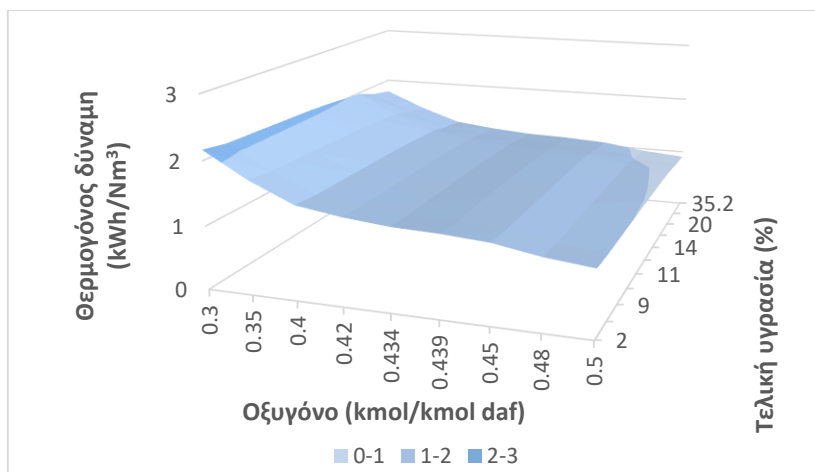
Εξοπλισμός	Πηγή
Ξηραντήρας	[4]
Εναλλάκτης θερμότητας	[4]
Δοχείο αντίδρασης	[5]
Πυρσοί Πλάσματος	[3]
Συστήματα Καθαρισμού	
Κυκλώνας	[6]
Venturi Scrubber	[6]
Water quench	[6]
Wet electrostatic precipitator	[6]
Packed bed scrubber	[6]
Impingement-Plate	[6]
Αποθηκευτικό δοχείο	[7]
Σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας	[3]

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Η επιλογή των τελικών τιμών για την υγρασία του απορριμματος μετά την ξήρανση και την παροχή οξυγόνου στον αντιδραστήρα πραγματοποιήθηκε μετά την παραμετρική ανάλυση και τη μελέτη της επίδρασής τους στην παραγωγή ενέργειας και τη θερμογόνο δύναμη του αερίου σύνθεσης.



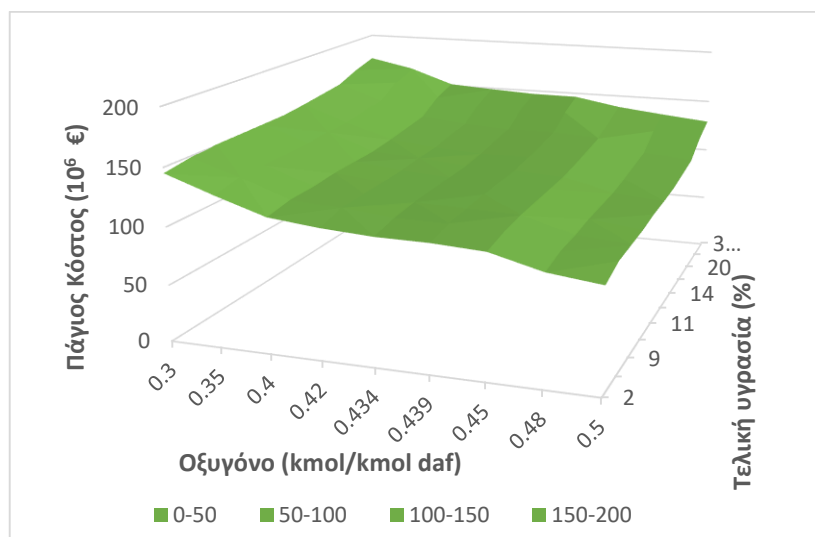
Διάγραμμα 1. Μεταβολή Καθαρής Παραγόμενης Ηλ. ισχύος συναρτήσει του Οξυγόνου και Υγρασίας



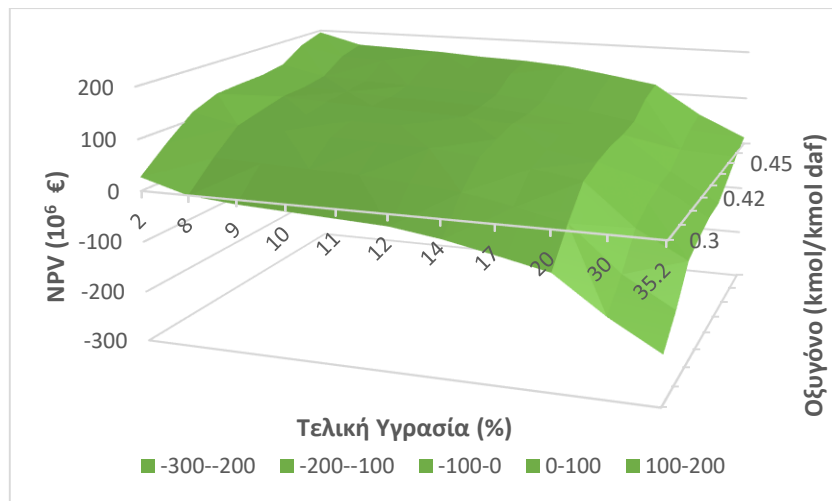
Διάγραμμα 2. Μεταβολή Θερμογόνου Δύναμης αερίου σύνθεσης συναρτήσει του Οξυγόνου και Υγρασίας

Στο Διάγραμμα 1 παρατηρείται ότι η αύξηση της παροχής του οξυγόνου οδηγεί σε μεγαλύτερη παραγωγή καθαρής ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ η αύξηση της υγρασίας των απορριμμάτων απαιτεί μεγαλύτερη κατανάλωση ηλεκτρικής ισχύος στους πυρσούς πλάσματος και επομένως μείωση της καθαρής παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος. Παράλληλα, σύμφωνα με το Διάγραμμα 2, η θερμογόνος δύναμη του αερίου σύνθεσης μειώνεται όσο αυξάνεται η υγρασία (μειώνεται η θερμογόνος δύναμη του εισερχόμενου απορρίμματος), καθώς και όσο αυξάνεται το παρεχόμενο οξυγόνο.

Επίσης, όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 3, το μέγιστο πάγιο κόστος προκύπτει για τη μέγιστη τιμή υγρασίας και την ελάχιστη ποσότητα παρεχόμενου οξυγόνου. Από το Διάγραμμα 4, συμπεραίνουμε ότι η καθαρή παρούσα αξία έχει άμεση σχέση με την ποσότητα της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος από τη μονάδα (Διάγραμμα 1).

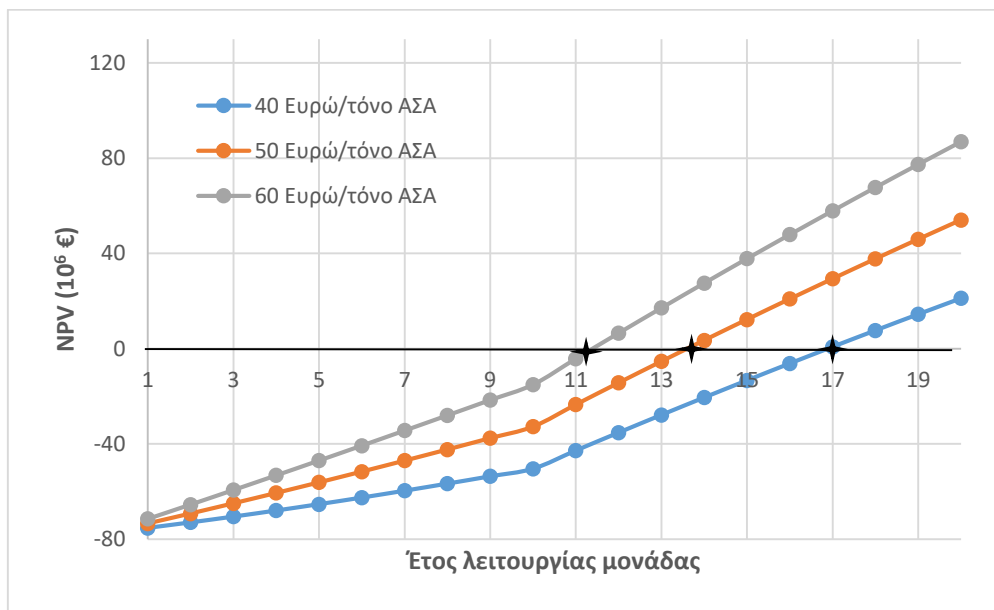


Διάγραμμα 3. Μεταβολή Πάγιου Κόστους εγκατάστασης συναρτήσει του Οξυγόνου και Υγρασίας



Διάγραμμα 4. Μεταβολή Καθαρής Παρούσας Αξίας συναρτήσει του Οξυγόνου και Υγρασίας

Επιπλέον εξετάζεται η επίδραση της τιμής διάθεσης των απορριμμάτων ανά τόνο ΑΣΑ (πάγια αμοιβή) στην καθαρή παρούσα αξία της επένδυσης. Αν θεωρήσουμε ότι περίπου τα 10 χρόνια είναι ένας αποδεκτός χρόνος απόσβεσης για μία επένδυση τέτοιου μεγέθους, διαπιστώνουμε ότι απαιτείται τέλος διάθεσης απορριμμάτων ίσο με 60 €/τόνο (για 11 χρόνια απόσβεσης). Ενώ ακόμα και για 40 €/τόνο ΑΣΑ, η καθαρή παρούσα αξία μηδενίζεται στα 17 έτη και άρα η επένδυση αρχίζει να βγάζει κέρδος στο 17ο έτος λειτουργίας. Είναι προφανές ότι όσο αυξάνεται η πάγια αμοιβή τόσο αυξάνονται τα έσοδα του συστήματος, κάνοντας την επένδυση πιο βιώσιμη (Διάγραμμα 5).



Διάγραμμα 5. Μεταβολή της καθαρής παρούσας αξίας για διαφορετικές τιμές πάγια αμοιβής – Με επιχορήγηση της μονάδας 40%.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε μελέτη μίας μονάδας αεριοποίησης ελληνικών ΑΣΑ με πλάσμα. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η οικονομική αξιολόγηση της μονάδας εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στη μονάδα, η οποία με τη σειρά της αυξάνεται με την αύξηση του οξυγόνου και με τη μείωση της υγρασίας στις χημικές αντιδράσεις.

Επίσης συμπεραίνουμε ότι η εγκατάσταση μία τέτοιας μονάδας αποτελεί ενδιαφέρουσα επένδυση με χρόνο αποπληρωμής τα 13 χρόνια. Σημαντικά κίνητρα για την υλοποίηση μίας τέτοιας επένδυσης μπορούν να αποτελέσουν τόσο η τιμή πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας όσο και το τέλος διάθεσης απορριμμάτων, τα οποία παίζουν σημαντικό ρόλο στο κατά πόσο η συγκεκριμένη επένδυση μπορεί να θεωρηθεί συμφέρουσα ή όχι.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Efstratios N. Kalogirou: Waste-to-Energy Technologies and Global Applications, Taylor & Francis Group.
- [2] Caroline Ducharme: Technical and economic analysis of Plasma-assisted Waste-to-Energy processes, Earth Engineering Center, Columbia University, 2010.
- [3] Νικολάου Ανδρέας: Θερμοδυναμική Προσομοίωση και Τεχνοοικονομική Μελέτη της Αεριοποίησης Πλάσματος για την επεξεργασία Στερεών Αστικών Απορριμμάτων, Σχολή Χημικών Μηχανικών Ε.Μ.Π., 2010.
- [4] Gustavo Barbosa-Canovas: Handbook of Food Processing Equipment, Washington State University 2000.
- [5] Ι. Κούκος: Εισαγωγή στο σχεδιασμό χημικών εργοστασίων, Εκδόσεις Τζιόλα, 2009.
- [6] John Rezaiyan, Nicholas Cheremisinoff: Gasification Technologies, A Primer for Engineers and Scientists, 2005.
- [7] Bennet N.: MB Engineering Services, Clayton Walker Gasholder Division (2006).