

Μοντελοποίηση και προσομοίωση της
παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από καύση
αστικών στερεών απορριμάτων: Η
περίπτωση του νομού Χανίων

Παναγιωτίδου Ναταλία

1 Οκτωβρίου 2008

This page left blanc.

Περιεχόμενα

1	Εισαγωγή	2
2	Μέθοδοι Θερμικής Επεξεργασίας Αστικών Στερεών Αποβλήτων (Α-ΣΑ)	4
2.1	Τι είναι Αστικά Στερεά Απόβλητα	5
2.2	Καύση	7
2.3	Βασικές αρχές και έννοιες της καύσης	9
2.4	Ο Μηχανισμός της καύσης	11
2.5	Ενεργειακό ισοζύγιο και ανάκτηση ενέργειας	15
2.6	Πυρόλυση- Αεριοποίηση	17
3	Νομοθεσία	20
3.1	Ευρωπαϊκή Νομοθεσία	20
3.1.1	Πλαίσιο Διαχείρισης	21
3.1.2	Η ισχύουσα Νομοθεσία για την αποτέφρωση	22
3.2	Ελληνική Νομοθεσία	23
4	Μεθοδολογία και τεχνικές μοντελοποίησης	26
4.1	Η Μέθοδος του δυναμικού συστήματος (System dynamic modelling)	26
4.2	Μοντελοποίηση	27
4.2.1	Πληθυσμός	28
4.2.2	Ρυθμός Παραγωγής Απορριμάτων	30
4.2.3	Σύνθεση απορριμάτων	33
4.2.4	Ανακύκλωση	36
4.2.5	Θερμογόνος δύναμη απορριμάτων	39
4.2.6	Ωφέλιμη Ισχύς	39
4.2.7	Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας και ποσοστό κάλυψης ηλεκτρικής ενέργειας από την καύση των ΑΣΑ	41
4.3	Νομός Χανίων	44
4.3.1	Πληθυσμός	44
4.3.2	Ρυθμός Παραγωγής Απορριμάτων	47

4.3.3	Σύνθεση Απορριμάτων	49
4.3.4	Ανακύκλωση	50
4.3.5	Θερμογόνος Δύναμη Απορριμάτων	52
4.3.6	Ωφέλιμη Ισχύς	54
4.3.7	Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας και ποσοστό κάλυψης ηλεκτρικής ενέργειας από την καύση των ΑΣΑ . .	56
5	Αποτελέσματα- Συζήτηση	58
6	Συμπεράσματα	68
A'		70
B'		71

Κατάλογος σχημάτων

2.1	Γενική Διάκριση Στερεών Αποβλήτων.	6
2.2	Ανάκτηση ενέργειας από την θερμική επεξεργασία των απορριμάτων σε χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, (Πηγή: European Environment Agency (EEA) 1999).	7
2.3	Διαχείριση Αστικών Στερεών Απορριμάτων 2001, (Πηγή: Griffiths and Williams, 2005)	9
2.4	Τυπική στοιχειακή ανάλυση διαφόρων συστατικών απορριμάτων, (Πηγή: Σημειώσεις Μεταπτυχιακού μαθήματος “Διαχείριση Στερεών Απορριμάτων και ιλύος”, Α.Κατσίρη)	11
2.5	Disposal pathways of a waste incineration plant	13
2.6	Διάγραμμα ροής μιας τυπικής σύγχρονης εγκατάστασης αποτέφρωσης αστικών απορριμάτων, (Πηγή: Γιδαράκος Ε., 2006).	14
2.7	Μονάδα αποτέφρωσης Αστικών Στερεών Αποβλήτων του Αμβούργου.	14
2.8	Τυπική μονάδα αποτέφρωσης αστικών στερεών αποβλήτων με ταυτόχρονη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας	16
2.9	Μονάδα αεριοποίησης 500 kW στην Ιταλία	18
3.1	Ιεράρχηση επιλογών για τη διαχείριση στερεών αποβλήτων	21
4.1	Σχέση ΜΠΑ (pounds/capita/day) και Πληθυσμιακής Πυκνότητας, (Πηγή: Westerhoff 1970)	31
4.2	Επίδραση βιοτικού επιπέδου στην ΜΠΑ	31
4.3	ΜΠΑ (kg/capita/day) σε διάφορες Μεγαλουπόλεις, (Πηγή:(1) Tchobanoglous 1977, (2) ΕΣΔΚΝΑ 1980, (3) Scharff 1989)	32
4.4	Σύσταση Ελληνικών οικιακών απορριμάτων σε διάφορες πόλεις στην Ελλάδα-Ποσοστιαία κατανομή κατά βάρος, (Πηγή: Σημειώσεις Μεταπτυχιακού μαθήματος “Διαχείριση Στερεών Απορριμάτων και ιλύος”, Α.Κατσίρη)	34
4.5	Τυπική σύσταση και ενεργειακό περιεχόμενο των Ελληνικών οικιακών απορριμάτων, (Πηγή: Σκορδίλης, 1997)	34

4.6	Σύσταση οικιακών απορριμάτων σε διάφορες χώρες του κόσμου- Ποσοστιαία κατανομή κατά βάρος, (Πηγή: Σημειώσεις Μεταπτυχιακού μαθήματος “Διαχείριση Στερεών Απορριμάτων και ιλύος”, Α.Κατσίρη)	35
4.7	Μέση τυπική σύσταση αστικών απορριμάτων στην Ευρώπη και στην Ελλάδα	35
4.8	Σενάριο καύσης με ανάκτηση ενέργειας σε συνδυασμό με ανακύκλωση και κομποστοποίηση.	37
4.9	Ανακύκλωση σήμερα, (Πηγή: ΥΠΕΧΟΔΕ, Εναλλακτική Διαχείριση Συσκευασιών και άλλων προϊόντων)	37
4.10	Συνδυασμοί τεχνολογιών διαχείρισης αστικών απορριμάτων .	38
4.11	Συνολική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, 1996, 2006, (Πηγή: Eurostat). Όπου toe είναι μονάδα μέτρησης ενέργειας που αντιστοιχεί σε ενέργεια που απελευθερώνεται κατά την καύση ενός τόνου πετρελαίου. Κατά την International Energy Agency (IEA) ένα toe αντιστοιχεί σε 41.868 GJ ή σε 11.630 Mwh	42
4.12	Πρωτογενής Παραγωγή ενέργειας ανά πόρο στην Ευρώπη των 15	43
4.13	Πρωτογενής Παραγωγή Ηλεκτρικής ενέργειας από την βιομάζα και την καύση απορριμάτων, 1995, 2006, (Πηγή: Eurostat) . .	43
4.14	Κάλυψη της συνολικής κατανάλωσης Ηλεκτρικής ενέργειας από τις ΑΠΕ, 1996, 2006. (Πηγή: Eurostat)	44
4.15	Ετήσια κατανάλωση Ηλεκτρικής Ενέργειας ανά κάτοικο στην Ελλάδα, (Πηγή: ΔΕΗ)	44
4.16	Μεταβολή της συνολικής παραγόμενης ποσότητας ΑΣΑ και της ΜΠΑ στην Ελλάδα την περίοδο 1991-2001, (Πηγή: Η.Π. 50910/2727/2003, ΥΠΕΧΩΔΕ 2003) και προβλέψεις Ομάδας ΙΤΑ για το 2020	48
4.17	Ποιοτική σύσταση απορριμάτων στο Νομό Χανίων, 2005, (Πηγή: Πολυτεχνείο Κρήτης, Εργαστήριο Διαχείρισης Τοξικών και Επικίνδυνων Αποβλήτων	49
4.18	Συγκεντρωτικός πίνακας για τη μέση σύσταση ΑΣΑ για την ΕΕ, τη Σουηδία και την Ελλάδα	50
4.19	Τυπική σύσταση των Ελληνικών ΑΣΑ που προορίζονται για αποτέφρωση [8]	53
5.1	Ημερήσια παραγωγή απορριμάτων και συνολικός πληθυσμός .	59
5.2	Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας	60
5.3	Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από την καύση και αντίστοιχη ποσοστιαία ενεργειακή κάλυψη	61

5.4	Ρυθμοί μη ανακύκλωσης μετάλλου και γυαλιού και αντίστοιχη ενεργειακή απώλεια	62
5.5	Ρυθμοί αύξησης μόνιμου πληθυσμού και ξενοδοχειακού δυναμικού	63
5.6	Μεταβολή μοναδιαίας παραγωγής απορριμάτων για μόνιμους κατοίκους και τουρίστες	64
5.7	Μεταβολή ποσοστιαίας σύνθεσης απορριμάτων για οργανικά, πλαστικά, χαρτί και ΔΞΥ	65
5.8	Μεταβολή της απαιτούμενης ενέργειας για την προξήρανση απορριμάτων	66
A'.1	70

This page left blanc.

Περίληψη

Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται σημαντική στροφή στις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας σε παγκόσμιο επίπεδο, λόγω της ενεργειακής κρίσης, αλλά και της αυξανόμενης συνειδητοποίησης των έντονων περιβαλλοντικών αλλαγών που χαρακτηρίζουν τον 21ο αιώνα. Ένα από τα φλέγοντα περιβαλλοντικά ζητήματα της εποχής μας, που απασχολεί τις σύγχρονες κοινωνίες είναι η διαχείριση των αποβλήτων. Ο σύγχρονος τρόπος ζωής έχει οδηγήσει σε σημαντική αύξηση της ποσότητάς τους, με αποτέλεσμα να είναι αδύνατη η αφομοίωσή τους με φυσικές μεθόδους. Οι εθνικές κυβερνήσεις, αλλά και οι τοπικές αρχές, βρίσκονται σε αναζήτηση νέων τεχνικών και μεθόδων, οι οποίες θα μπορούσαν να δώσουν ολοκληρωμένες λύσεις στα θέματα διάθεσης και διαχείρισης των αστικών απορριμμάτων.

Η θερμική επεξεργασία αποβλήτων με την μέθοδο της καύσης για την ανάκτηση ηλεκτρικής ενέργειας θα μπορούσε να αντιμετωπίσει όχι μόνο τα προβλήματα διαχείρισης απορριμμάτων, αλλά και ζητήματα εξασφάλισης και εξοικονόμησης ενέργειας.

Η παρούσα διπλωματική εργασία αφορά στη μελέτη της προσομοίωσης της ενεργειακής απόδοσης μιας μονάδας καύσης απορριμμάτων στο νομό Χανίων, με τη βοήθεια των δυναμικών εξισώσεων του συστήματος. Προβλέποντας το ρυθμό μεταβολής του πληθυσμού, το ρυθμό μεταβολής της μοναδιαίας παραγωγής απορριμμάτων, το ρυθμό μεταβολής της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας και μια σειρά από άλλες κοινωνικοπολιτικές παραμέτρους για το νομό Χανίων στα έτη 2001 - 2030, μελετάται το μέσο ποσοστό κάλυψης της ζήτησης της ηλεκτρικής ενέργειας από την αποτέφρωση αστικών στερεών αποβλήτων στην τριακονταετία αυτή. Η παρούσα εργασία, η οποία εκπονήθηκε και προσομοιώθηκε στο προγραμματιστικό περιβάλλον STELLA, σε συνδυασμό με την οικονομοτεχνική μελέτη του συστήματος (η οποία δεν καλύπτεται στην παρούσα εργασία), συνιστούν τη μελέτη βιωσιμότητας μιας μονάδας καύσης απορριμμάτων στο νομό Χανίων.

This page left blanc.

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

Η ραγδαία τεχνολογική και οικονομική ανάπτυξη που έχει σημειωθεί τα τελευταία χρόνια στις βιομηχανικά προηγμένες χώρες, έχει οδηγήσει στην αλλαγή των καταναλωτικών και διατροφικών συνηθειών, και γενικότερα στον τρόπο ζωής που χαρακτηρίζεται από έντονο καταναλωτισμό. Αυτό είχε σαν άμεση συνέπεια την αύξηση της παραγόμενης ποσότητας των απορριμάτων, καθώς όλο και περισσότερο χρησιμοποιούνται υλικά συσκευασίας που τελικά απορρίπτονται. Το πρόβλημα αυτό γίνεται ακόμα πιο σοβαρό σε πυκνοκατοικημένες πόλεις, όπου η εναπόθεση των απορριμάτων σε χωματερές έχει φτάσει στα όριά της, λόγω έλλειψης διαθέσιμων εκτάσεων. Παράλληλα, δημιουργείται κίνδυνος μόλυνσης του εδάφους και των υδάτων και εντείνονται οι διαμαρτυρίες του ντόπιου πληθυσμού.

Οι μέθοδοι που προτείνονται για την διαχείριση στερεών αποβλήτων είναι οι τεχνικές θερμικής επεξεργασίας, όπως η καύση-αποτέφρωση, η πυρόλυση και η αεριοποίηση. Οι τεχνικές αυτές δίνουν την δυνατότητα ελάττωσης του όγκου των απορριμάτων, την μετατροπή τους σε υλικά αβλαβή για το περιβάλλον, και την αξιοποίηση της εκλυόμενης από αυτά ενέργειας για θέρμανση, για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος, ή ως καύσιμη ύλη.

Σημασία για την επιτυχημένη εφαρμογή των μεθόδων αυτών, έχει η γνώση της σύστασης των απορριμάτων και ο προσδιορισμός της θερμογόνου δύναμης τους, πράγμα δύσκολο λόγω της ανομοιογενούς και ασταθούς σύνθεσής τους, η οποία διαφέρει από περιοχή σε περιοχή και εξαρτάται και από εποχιακές διακυμάνσεις.

Στην παρούσα εργασία, σαν μέθοδος θερμικής επεξεργασίας των απορριμάτων, χρησιμοποιείται η καύση με σκοπό την ανάκτηση ηλεκτρικής ενέργειας. Ο στόχος της εργασίας είναι η πρόβλεψη για το νομό Χανίων, για το χρονικό διάστημα 2001-2030, της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας και του ποσοστού κάλυψης των ενεργειακών απαιτήσεων του νομού από την καύση των

απορριμάτων. Παραπλεύρως, μελετάται η μεταβολή του πληθυσμού και της τουριστικής κίνησης, ο ρυθμός παραγωγής απορριμάτων και η μεταβολή της σύνθεσης και της θερμογόνου δύναμής τους.

Ένας από τους παράγοντες που επηρεάζουν το σύστημα διαχείρισης απορριμάτων στην Ελλάδα είναι η Ευρωπαϊκή νομοθεσία. Οι στόχοι και οδηγίες που τίθενται προς την Ελλάδα από την Ευρωπαϊκή Ένωση έχουν ως σκοπό την μείωση των περιβαλλοντικών παραβιάσεων, στις οποίες πρωταγωνιστούσε η χώρα μας τα τελευταία χρόνια, και η στροφή προς μεθόδους διαχείρισης φιλικές προς το φυσικό περιβάλλον.

Κεφάλαιο 2

Μέθοδοι Θερμικής Επεξεργασίας Αστικών Στερεών Αποβλήτων (ΑΣΑ)

Μέχρι πρόσφατα, ο πιο διαδεδομένος τρόπος διαχείρισης των ΑΣΑ διεθνώς, ήταν η εναπόθεσή τους σε χωματερές. Στις μέρες μας, παράλληλα με την ανάπτυξη της τεχνολογίας, το πρόβλημα της διάθεσης των ΑΣΑ έχει οδηγήσει την Ευρωπαϊκή Ένωση στο να αναπτύξει και άλλες μεθόδους που να οδηγούν σε συστήματα ολοκληρωμένης διαχείρισης των ΑΣΑ με τις εξής βασικές αρχές, [18]:

- Η μείωση αποβλήτων ως μακροπρόθεσμος στόχος. Για αυτόν τον λόγο ενθαρρύνεται η χρήση βιολογικής συσκευασίας καθώς επίσης και η μείωση απαίτησης συσκευασίας εμπορικών προϊόντων.
- Ανακύκλωση και επαναχρησιμοποίηση υλικών, ειδικά όταν πρόκειται για υλικά συσκευασίας και για επικίνδυνα απόβλητα, όπως μπαταρίες, ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά απόβλητα.
- Θερμική επεξεργασία (ΘΕ) στην περίπτωση που δεν είναι δυνατή η ανακύκλωση ή η επαναχρησιμοποίηση ή επειδή κρίνεται πιο αναγκαία η ενεργειακή αξιοποίησή τους.
- Υγειονομική ταφή ως η λιγότερο επιθυμητή επιλογή που απαιτεί συνεχή έλεγχο, καθώς μπορεί εύκολα να οδηγήσει σε ρύπανση υδάτων και υπεδάφους.

Το γεγονός ότι τα απορρίμματα μπορούν να αποτελέσουν μια σημαντική πηγή ενέργειας, κάνει όλο και πιο πολλές χώρες να ενδιαφέρονται για τις μεθόδους θερμικής επεξεργασίας των ΑΣΑ. Επιπλέον η παράλληλη μείωση του

όγκου των αποβλήτων, που προκύπτει από την θερμική επεξεργασία, προσελκύει ειδικά τις χώρες που αντιμετωπίζουν πρόβλημα στην εύρεση καινούριων χωματερών.

Με τον όρο θερμική επεξεργασία των ΑΣΑ εννοούμε την μετατροπή τους σε αέρια, στερεά ή ενδεχομένως υγρά προϊόντα με ταυτόχρονη ή επακόλουθη απελευθέρωση θερμικής ενέργειας. Οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται με σκοπό την ανάκτηση ενέργειας από απόβλητα είναι η αποτέφρωση, η αεριοποίηση και πυρόλυση, με τις δύο τελευταίες να θεωρούνται οι πιο σύγχρονες.

2.1 Τι είναι Αστικά Στερεά Απόβλητα

Με τον όρο στερεά απόβλητα ή απορρίμματα, περιγράφονται τα υλικά που βρίσκονται σε στερεά ή ημιστερεά φυσική κατάσταση, τα οποία στερούνται άμεσης αξίας και είναι ανεπιθύμητα για τον κάτοχό τους, ο οποίος επιθυμεί να τα απορρίψει. Με την ευρύτερη έννοια, τα στερεά απόβλητα περιλαμβάνουν υλικά που παράγονται όχι μόνο σε αστικές περιοχές, αλλά και λόγω αγροτικών, βιομηχανικών και εξορυκτικών δραστηριοτήτων. Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας δίνεται έμφαση στα απορρίμματα αστικής προέλευσης. Πιο συγκεκριμένα στην κατηγορία των στερεών αποβλήτων (ΣΑ) περιλαμβάνονται όλα τα απόβλητα με εξαίρεση,[10]:

- Απόβλητα σε υγρή φάση (υγρά απόβλητα)
- Αέριους ρύπους

Επιπλέον τα ΣΑ διακρίνονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες:

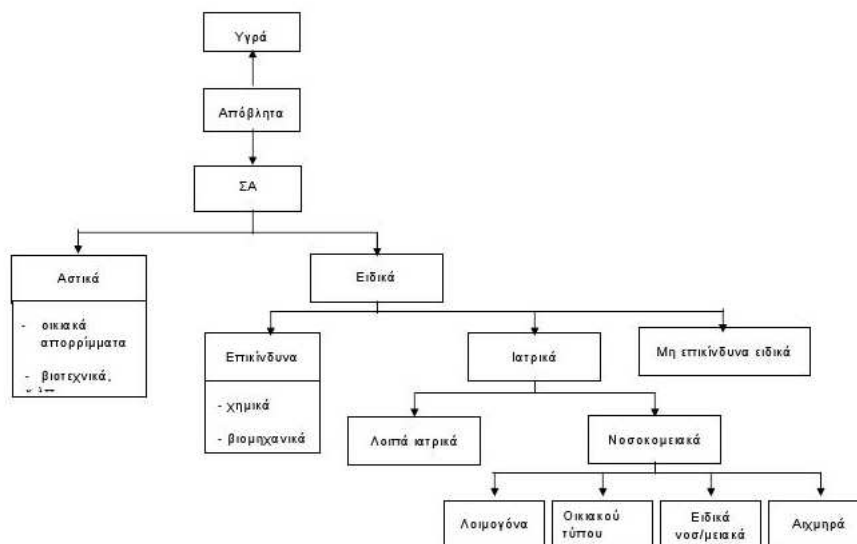
1. Αστικά απόβλητα (οικιακά, βιοτεχνικά, εμπορικά, οδοκαθαρισμού) τα οποία αποτελούνται από:
 - Ζυμώσιμα ή οργανικό κλάσμα
 - Χαρτί
 - Πλαστικό
 - Μέταλλα
 - Γυαλί
 - Δέρμα-Ξύλο-Λάστιχο-Ύφασμα (ΔΞΛΥ)
 - Αδρανή
 - Λοιπά

Τα παραπάνω υλικά θα μπορούσαν να ομαδοποιηθούν περαιτέρω σε δυο κατηγορίες: τα καύσιμα και τα αδρανή (μη καύσιμα). Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν τα ζυμώσιμα υλικά, πλαστικό, χαρτί, ελαστικά υλικά, δέρμα, υφάσματα, κ.λ.π, ενώ στην δεύτερη κατηγορία ανήκουν μέταλλα και γυαλιά.

2. Ειδικά απόβλητα:

- Επικίνδυνα απόβλητα (ελαστικά, χημικά, βιομηχανικά, πετρελαιοειδή που προέρχονται από την επεξεργασία πετρελαίου, διυλιστήρια, ναυπηγεία, κλπ.)
- Μη επικίνδυνα απόβλητα (απόβλητα οικοδομικών κατεδαφίσεων, εκσκαφών, γεωργικών και κτηνοτροφικών εκμεταλλεύσεων)
- Ιατρικά (νοσοκομειακά και φαρμακευτικά)

Παρακάτω φαίνεται σχηματικά η γενική διάκριση των στερεών αποβλήτων:

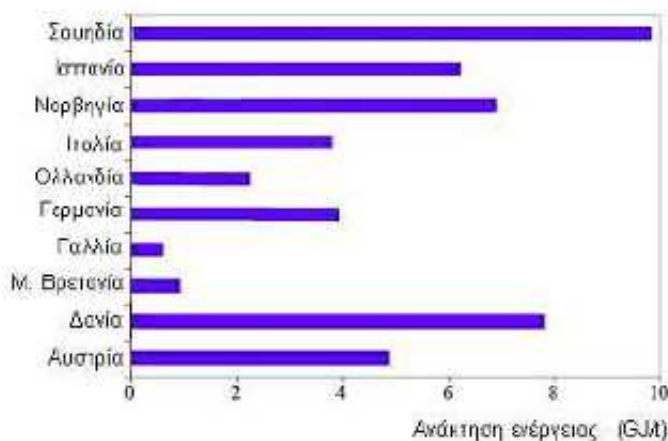


Σχήμα 2.1: Γενική Διάκριση Στερεών Αποβλήτων.

2.2 Καύση

Η καύση ως μέθοδος διαχείρισης των απορριμάτων είναι τόσο παλιά όσο και οι χωματερές. Τα τελευταία χρόνια έχει προχωρήσει με ταχύτατα βήματα και μπορεί πλέον να επιβεβαιωθεί ότι πρόκειται για μια ασφαλή μέθοδο, εφόσον πληρούνται οι προδιαγραφές της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τις ποσότητες αερίων ρύπων που εκπέμπονται κατά την καύση. Ο τομέας της καύσης βρίσκεται ακόμα σε ανάπτυξη λόγω της αυστηρότερης νομοθεσίας περί των εκπομπών στον αέρα και λόγω των νέων τεχνικών, που επιδιώκουν να μειώσουν τις δαπάνες και να βελτιώσουν τις περιβαλλοντικές επιδόσεις.

Καύση ονομάζεται η διαδικασία κατά την οποία επιτυγχάνεται οξείδωση των απορριμάτων σε υψηλή θερμοκρασία παρουσία οξυγόνου, με αποτέλεσμα την αποσύνθεση των απορριμάτων και την παραγωγή ατμού και καυσαερίων που μπορούν στη συνέχεια να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.



Σχήμα 2.2: Ανάκτηση ενέργειας από την θερμική επεξεργασία των απορριμάτων σε χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, (Πηγή: European Environment Agency (EEA) 1999).

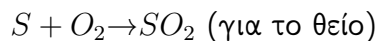
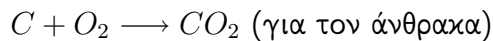
Η όλη διαδικασία λαμβάνει χώρα σε ειδικούς αποτεφρωτές, ο τύπος των οποίων ποικίλει, δεδομένου ότι κατά καιρούς έχουν αναπτυχθεί διάφορα είδη αποτεφρωτών, με διαφορετικά μειονεκτήματα και πλεονεκτήματα έκαστος. Οι

πλέον διαδεδομένοι τύποι αποτεφρωτών είναι,[10]:

- Αποτεφρωτής κινούμενων εσχάρων
- Αποτεφρωτής περιστρεφόμενου κλιβάνου
- Αποτεφρωτής ρευστοποιημένης κλίνης

Γενικότερα, τα συστήματα θερμικής επεξεργασίας μπορούν να διαχωριστούν με βάση τις ανάγκες τους σε οξυγόνο (αέρα). Η καύση, με την ακριβή ποσότητα οξυγόνου που χρειάζεται για πλήρη καύση είναι γνωστή ως στοιχειομετρική καύση. Η καύση με περισσότερο οξυγόνο από το αναγκαίο για την στοιχειομετρική καύση ονομάζεται καύση με περίσσεια οξυγόνου. Και στις δύο περιπτώσεις χρησιμοποιείται ο όρος αποτέφρωση.

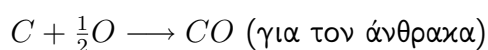
- Οι βασικές αντιδράσεις κατά την στοιχειομετρική καύση είναι οι εξής[7]:

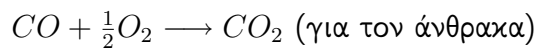


Λαμβάνοντας υπόψιν ότι αέρας είναι ένα μείγμα αζώτου, οξυγόνου, αεριοποιημένου νερού, ηλίου, διοξειδίου του άνθρακα και άλλων αερίων και με βάση την ποσοστιαία αναλογία των επιμέρους στοιχείων στη σύσταση των απορριμάτων, είναι δυνατή η εκτίμηση της απαιτούμενης ποσότητας αέρα για στοιχειομετρική καύση.

Λόγω της μεταβλητής φύσης των στερεών απορριμάτων, είναι πρακτικά αδύνατη η καύση τους με στοιχειομετρικές ποσότητες αέρα. Στα εφαρμοζόμενα συστήματα καύσης χρησιμοποιείται περίσσεια αέρα για την καλύτερη εξασφάλιση παροχής αέρα σε όλο τον όγκο των απορριμάτων. Η περίσσεια αέρα σε ποσοστό της στοιχειομετρικής απαίτησης, κυμαίνεται από 40-200% ανάλογα με τον τύπο αποτεφρωτή,[6].

- Οι βασικές αντιδράσεις κατά την καύση με περίσσεια οξυγόνου είναι οι εξής[7]:





Στην Ελλάδα η ανάκτηση ενέργειας από τα απορρίμματα είναι ανύπαρκτη. Με την επεξεργασία των ποσοτικών και ποιοτικών στοιχείων των απορριμμάτων διαμορφώνονται τα τελευταία χρόνια διάφορα σενάρια, τα οποία προσβλέπουν στην υλοποίηση προγραμμάτων ΘΕ στην Ελληνική επικράτεια, αλλά προσκρούουν σε έλλειψη πολιτικής βούλησης και τεχνογνωσίας, όπως επίσης και σε κακή ενημέρωση. Αντιθέτως όπως φαίνεται από τις Εικόνες 2.2 και 2.3 η μέθοδος της καύσης είναι ευρέως διαδεδομένη στην Ευρώπη και εφαρμόζεται επιτυχώς με σημαντική ανάκτηση ενέργειας.

Country/region	Landfilled (%)	Incinerated (%)	Recycled, composted or other treatment (%)
EU-25	54	16	20
EU-15	49	18	33
UK	80	7	12
France	43	32	25
Germany	25	22	53
Netherlands	8	33	59
Luxembourg	21	44	35
US	56	15	29
Japan	7	77	15

Σχήμα 2.3: Διαχείριση Αστικών Στερεών Απορριμμάτων 2001, (Πηγή: Griffiths and Williams, 2005)

2.3 Βασικές αρχές και έννοιες της καύσης

Οι παράμετροι που επηρεάζουν την διαδικασία της θερμικής επεξεργασίας απορριμμάτων είναι αυτές που αφορούν τις ιδιότητες των απορριμμάτων όπως[7]:

- Θερμογόνος δύναμη απορριμμάτων (κατώτερη και ανώτερη)
- Υγρασία, η οποία αποτελεί περίπου το 25-50% κατά βάρος των απορριμμάτων (απώλεια στους $105^{\circ}C$ σε μια ώρα)
- Πτητικές ουσίες (πρόσθετη απώλεια στους $950^{\circ}C$)

- Στάχτη (υπόλειμμα μετά την καύση που κυμαίνεται στην περιοχή 26-33% κατά βάρος των απορριμμάτων)
- Μόνιμος άνθρακας.
- Σημείο τήξης της στάχτης.
- Χημική ανάλυση των καυσίμων συστατικών, δηλαδή των ποσοστών άνθρακα (C), αζώτου (N), θείου (S) και στάχτης.

Θερμογόνος δύναμη των οικιακών απορριμμάτων, η οποία έχει ιδιαίτερη σημασία για την επιτυχημένη εφαρμογή της αποτέφρωσης, λέγεται η θερμότητα που απελευθερώνεται κατά την καύση μιας μονάδας βάρους και εκφράζεται σε χιλιοθερμίδες (kcal) ανά κιλό απορριμμάτων. Η τυπική θερμογόνος δύναμη των ΑΣΑ είναι περίπου 2500 kcal/kg [20] και αναλογεί με το 30-40% της αντίστοιχης δύναμης του άνθρακα, ο οποίος χρησιμοποιείται ως καύσιμο στη βιομηχανία. Τα Ελληνικά απόβλητα έχουν μειωμένη θερμογόνο δύναμη που κυμαίνεται περίπου μεταξύ 1750-2000 kcal/kg [6]. Η βασική πηγή της θερμογόνου δύναμης των ΑΣΑ είναι η κυτταρίνη, που περιέχεται κυρίως στο χαρτί, στο χαρτόνι και στα πλαστικά.

Ο υπολογισμός της μπορεί να γίνει με τους ακόλουθους τρόπους[6]:

1. Βάσει της σύστασης των απορριμμάτων: Με δεδομένα τη σύσταση των απορριμμάτων ως προς τα επιμέρους κλάσματα, τα ποσοστά υγρασίας κάθε κλάσματος και τη θερμογόνο δύναμή του (π.χ. η 1^η και 2^η στήλη στον πίνακα της Εικόνας 2.4), είναι δυνατή η εκτίμηση της θερμογόνου δύναμης ανά μονάδα μάζας απορριμμάτων.
2. Βάσει ανάλυσης της περιεκτικότητας των απορριμμάτων σε C, H, O, S . Έτσι με δεδομένη την στοιχειακή σύσταση, όπως φαίνεται στον πίνακα της Εικόνας 2.4 είναι δυνατή η εκτίμηση της θερμογόνου της δύναμης με εφαρμογή του τύπου Du Long[6]: .

$$kcal/kg = 80C + 340(H - \frac{1}{8}O) + 32S, \text{ όπου}$$

C = άνθρακας, ποσοστό επί τοις εκατό κατά βάρος

H_2 = υδρογόνο, ποσοστό επί τοις εκατό κατά βάρος

O_2 = οξυγόνο, ποσοστό επί τοις εκατό κατά βάρος

S = θείο, ποσοστό επί τοις εκατό κατά βάρος

Συστατικό	%κ.	Ενέργεια kj/kg*10 ³	%Ξηρού βάρους					
	Υγρασία		C	H	O	N	S	Τέφρα
<u>Ζυμώσιμα</u>	70	4,646	48	6,4	37,6	2,6	0,4	5
Χαρτί	6	16,747	43,5	6	44	0,3	0,2	6
Χαρτόνι	7	16,282	44	5,9	44,6	0,3	0,2	5
Πλαστικά	2	32,564	60	7,2	22,8	-	-	10
Υφάσματα	10	17,445	55	6,6	31,2	4,6	0,15	2,5
Ελαστικά	2	23,260	78	10	-	2	-	10
Δέρματα	10	17,445	60	8	11,6	10	0,4	10
Κλαδέματα Κήπων	60	6,513	47,8	6	38	3,4	0,3	4,5
Ξύλο	20	18,608	49,5	6	42,7	0,2	0,1	1,5
Ανόργανα								
Γυαλί	2	139	0,5	0,1	0,4	-	-	98,9
Μέταλλο	3	700	4,5	0,6	4,3	-	0,2	90,5

Σχήμα 2.4: Τυπική στοιχειακή ανάλυση διαφόρων συστατικών απορριμμάτων, (Πηγή: Σημειώσεις Μεταπτυχιακού μαθήματος “Διαχείριση Στερεών Απορριμμάτων και ιλύος”, Α.Κατσίρη)

3. Βάσει άμεσων πειραματικών μετρήσεων της θερμογόνου δύναμης

Επιπλέον κατά την διαδικασία της καύσης σημαντικό ρόλο παίζουν τα εξής [7]:

- η φλόγα (το μέτωπο της, η ταχύτητα της, η σταθερότητα της, η θερμοκρασία της).
- η θερμοκρασία του φλογοθαλάμου
- έλεγχος φλόγας
- δίνη αερίων στο φλογοθάλαμο
- χρόνος παραμονής της καύσιμης ύλης και των αερίων που παράγονται

Τέλος, το σύνολο απωλειών κατά την καύση δεν είναι αμελητέο, καθώς κυμαίνεται από 7-32% και αφορά: 6-20% τα καυσάερια, 0,5-3,5% τα άκαυστα υλικά και 0-3% τις απώλειες θερμότητας από τα άκαυστα αέρια καύσιμα.

2.4 Ο Μηχανισμός της καύσης

Μια τυπική μονάδα καύσης αποτελείται από παρακάτω τμήματα:

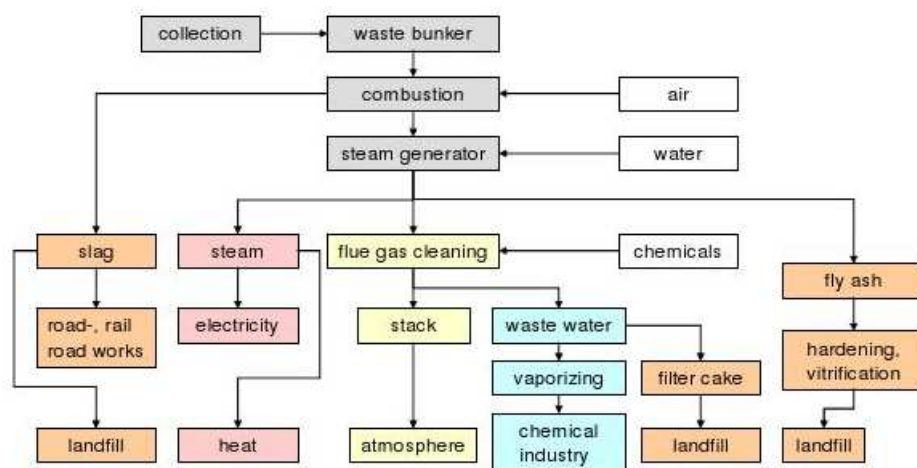
1. παραλαβής των απορριμάτων (χώρος υποδοχής)
2. προεπεξεργασίας (ομογενοποίηση μέσω θραύσης απορριμάτων, αφαίρεση μεγάλων μεταλλικών συσκευασιών μέσω μαγνητών, κατά επιλογή κομποστοποίηση ενός μέρους ζυμώσιμων)
3. τροφοδοσίας
4. εστίας καύσης
5. λέβητα-αξιοποίησης θερμότητας
6. απομάκρυνσης υπολειμμάτων
7. καθαρισμού αερίων-καπνοδόχου

Η διαδικασία της καύσης περνάει από τις εξής φάσεις[3]:

- Ξήρανση απορριμάτων σε περίπου 105°C . Η απαιτούμενη θερμότητα εξαρτάται από την σύνθεση απορριμάτων και κυρίως από την περιεκτικότητα τους σε υγρασία η οποία κυμαίνεται μεταξύ 15% με 50%.
- Εξαερίωση, κατά την οποία σε θερμοκρασία 250°C αρχίζει η θερμική διάσπαση των οργανικών ενώσεων και η απομάκρυνση του πτητικού κλάσματος. Πρόκειται δηλαδή, για την μετατροπή των ανθρακούχων υλικών σε αέριο καύσιμο υλικό σε θερμοκρασίες $250 - 900^{\circ}\text{C}$
- Έναυση, όπου ο άνθρακας μετατρέπεται σε αέρια προϊόντα στους $500 - 600^{\circ}\text{C}$
- Αποτέφρωση, όπου στους $800 - 1000^{\circ}\text{C}$ τα αέρια που προήλθαν από τις προηγούμενες φάσεις οξειδώνονται πλήρως, με αποτέλεσμα να παράγονται νερό, διοξείδιο του άνθρακα, οξείδια του θείου και του αζώτου. Σε αυτήν την φάση είναι σημαντικό η θερμοκρασία να διατηρείται στην περιοχή από 800°C μέχρι 1150°C , καθώς σε θερμοκρασία 450°C - 800°C είναι αυξημένες οι συγκεντρώσεις των προϊόντων ατελούς καύσης, όπως μονοξείδιο του άνθρακα, φουράνες (PCDF) και διοξίνες (PCDD). Εάν η θερμοκρασία είναι άνω των 1150°C δημιουργείται πρόβλημα από την τήξη της τέφρας και το κόλλημα των εσχαρών.

Τέλος η καύση μπορεί να ακολουθηθεί από επιπλέον επεξεργασία των παραπροϊόντων της, όπως: εξουδετέρωση μέσω καύσης ορισμένων οργανικών ουσιών πριν την έξοδό τους στην ατμόσφαιρα, ψύξη με νερό των πυρακτωμένων σταχτών, καθαρισμός των αερίων καύσης κ.ά.

Γενικότερα ως παραπροϊόντα της καύσης θεωρούνται[5]: (α) η στάχτη, η οποία γενικά θεωρείται τοξικό στερεό απόβλητο, επειδή περιέχει υψηλή συγκέντρωση βαρέων μετάλλων, (β) οι διοξίνες και τα φουράνια στα καυσαέρια, λόγω της καύσης των πλαστικών που περιέχουν χλώριο, και είναι γνωστά ως καρκινογόνα που έχουν την ικανότητα να βιοσυσσωρεύονται στους οργανισμούς, (γ) ιπτάμενη τέφρα στα καυσαέρια, και (δ) υδρατμός χαμηλής ενθαλπίας από τους πύργους ψύξεως, στη περίπτωση που η θερμική ενέργεια αξιοποιείται σε παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η διάθεση των τελικών προϊόντων της καύσης φαίνεται αναλυτικά στην Εικόνα 2.5.



Σχήμα 2.5: Disposal pathways of a waste incineration plant

Η εφαρμογή της καύσης των απορριμμάτων στην Ελλάδα προβλέπεται να έχει επιπλέον προβλήματα τόσο περιβαλλοντικά, διότι τα πλαστικά περιέχονται σε μεγαλύτερο ποσοστό, όσο και ενεργειακά, διότι τα απορρίμματα περιέχουν σημαντικά μεγαλύτερο ποσοστό υγρασίας από αυτά των αναπτυγμένων χωρών (το μέσο ποσοστό υγρασίας των Ελληνικών απορριμμάτων είναι 35%, ενώ αντίστοιχα των Ευρωπαϊκών είναι περίπου 25%).

Παρ' όλα αυτά, χρησιμοποιώντας μονάδες επεξεργασίας των παραγόμενων αερίων, οι οποίες εκπροσωπούνται από διάφορες διατάξεις, όπως πλυντρίδες, ηλεκτροστατικά φίλτρα, κυκλώνες, σακκόφιλτρα, κα., η επιλογή των οποίων βασίζεται στη σύσταση των προς επεξεργασία αερίων και στα επιτρεπτά όρια εκπομπών της όλης εγκατάστασης, μπορούμε να ελαχιστοποιήσουμε την εκπομπή αερίων ρύπων.

Οι παραπάνω διεργασίες που πραγματοποιούνται κατά την καύση περιγράφονται σχηματικά από το ακόλουθο διάγραμμα ροής:

Σε παγκόσμιο επίπεδο η καύση θεωρείται πλέον λιγότερο “επικίνδυνη”, τουλάχιστον σε σχέση με άλλες ανθρώπινες δραστηριότητες, όπως τη βιομηχανία



Σχήμα 2.6: Διάγραμμα ροής μιας τυπικής σύγχρονης εγκατάστασης αποτέφρωσης αστικών απορριμμάτων, (Πηγή: Γιδαράκος Ε., 2006).

και την κυκλοφοριακή κίνηση, και επομένως πλήρως αποδεκτή από περιβαλλοντικής πλευράς, ώστε να λειτουργεί ακόμη και στο κέντρο πόλεων όπως το Παρίσι, η Νέα Υόρκη, το Λονδίνο, η Βιέννη και το Αμβούργο, όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.7:



Σχήμα 2.7: Μονάδα αποτέφρωσης Αστικών Στερεών Αποβλήτων του Αμβούργου.

2.5 Ενεργειακό ισοζύγιο και ανάκτηση ενέργειας

Το ισοζύγιο μάζας σε μια μονάδα καύσης μπορούμε να το χωρίσουμε σε τρεις κατηγορίες:

- Απορρίμματα, υπολείμματα καύσης, σκόνη
- Αέρας - Απαέρια (Καυσαέρια)
- Νερό - Ατμός

Ό,τι εισέρχεται στην μονάδα καύσης είναι ισοδύναμο με τα προϊόντα τα οποία εξέρχονται. Στα εισερχόμενα περιλαμβάνονται τα απορρίμματα, ο αέρας και πρόσθετη καύσιμη ύλη. Τα καυσαέρια και ατμός που παράγονται κατά την καύση, δηλαδή ανήκουν στα εξερχόμενα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για ανάκτηση θερμικής ή ηλεκτρικής ενέργειας. Με γνωστά τα παρακάτω, μπορεί να προσδιοριστεί η θερμοκρασία των καυσαερίων και του ατμού που παράγονται κατά την καύση:

1. την ποσότητα των καυσαερίων και ατμών
2. τη θερμογόνο δύναμη του μίγματος καυσαερίων-ατμών
3. τις ειδικές θερμότητες των καυσαερίων και του ατμού ($\text{kcal/kg } ^\circ\text{C}$)

Η ειδική θερμότητα των καυσαερίων και του ατμού δίνεται από τις ακόλουθες σχέσεις [8]:

$$\text{καυσαέρια} \longrightarrow 0,245 + 0,24(T - 15,4)10^{-4} \text{ kcal/kg}$$

$$\text{ατμός} \longrightarrow 0,42 + (T - 15,4)10^{-4} \text{ kcal/kg,}$$

όπου T θερμοκρασία σε $^\circ\text{C}$.

Η θερμογόνο δύναμη των καυσαερίων και του ατμού προκύπτει ως το αλγεβρικό άθροισμα των κατωτέρω [8]:

(+) θερμογόνο δύναμη απορριμάτων

(+) θερμογόνο δύναμη ενδεχόμενου πρόσθετου καυσίμου

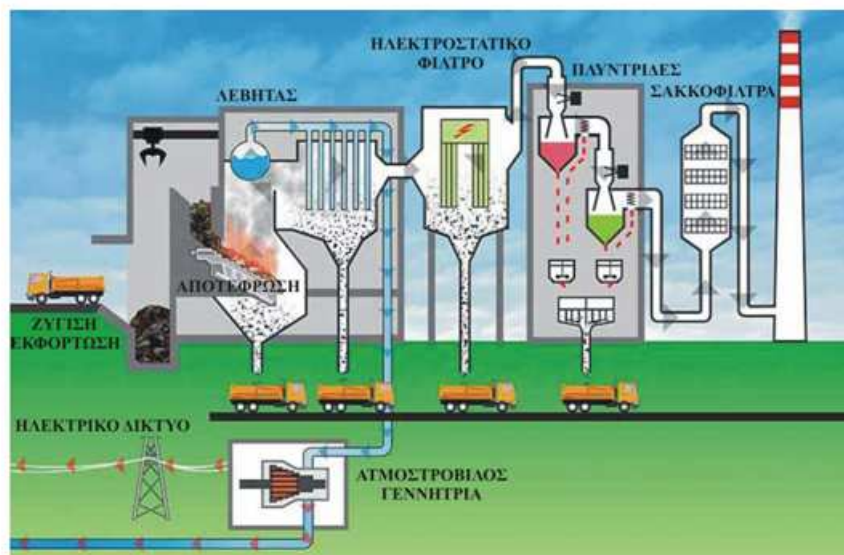
(+)θερμογόνος δύναμη εισερχόμενου στοιχειομετρικού και πρόσθετου α-
έρα (αμελητέα αν δεν γίνει προθέρμανση)

(-) θερμογόνος δύναμη ζεστής τέφρας

(-) θερμογόνος δύναμη άκαυστου άνθρακα της τέφρας

(-) απώλειες λόγω ακτινοβολίας που αποτελούν 4-5% της εισερχόμενης
θερμογόνου δύναμης

(-) ενέργεια που απαιτείται για την εξάτμιση της υγρασίας (περίπου 2449
kj/kg υγρασίας)



Σχήμα 2.8: Τυπική μονάδα αποτέφρωσης αστικών στερεών αποβλήτων με
ταυτόχρονη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας

Ένα μέρος της θερμογόνου τους δύναμης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για
προθέρμανση του εισερχόμενου στον αποτεφρωτή αέρα, όταν είναι επιθυμητή
η επίτευξη υψηλών θερμοκρασιών στα καυσάερια και τον ατμό (π.χ. για λόγους
πληρέστερης καύσης).

Για την περαιτέρω αξιοποίηση της παραγόμενης θερμότητας, όπως την α-
νάκτηση ενέργειας, οι σύγχρονοι αποτεφρωτές διαθέτουν ειδικούς λέβητες

(boilers), με τη βοήθεια των οποίων η παραγόμενη θερμότητα χρησιμοποιείται για την παραγωγή ατμού. Στη συνέχεια, ο παραγόμενος ατμός χρησιμοποιείται είτε ως πηγή θέρμανσης, είτε ως μέσο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με την χρήση ατμοστροβίλων και γεννητριών.

Η ενεργειακή απόδοση της γεννήτριας είναι περίπου 85%, με την έννοια ότι το 85% της θερμογόνου δύναμης των ατμών αποτελεί το άθροισμα της ωφέλιμης και αξιοποιήσιμης θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας. Ωστόσο μόνο το 31-32% της θερμογόνου δύναμης των ατμών μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια και το υπόλοιπο 53-54% προσδίδεται με τη μορφή αξιοποιήσιμης θερμικής ενέργειας (π.χ. για συμπληρωματική προθέρμανση του αέρα)[6]. Η διαδρομή που ακολουθούν τα απορρίματα από τον χώρο εκφόρτωσης μέχρι την τελική μετατροπή τους σε ενέργεια φαίνεται στην Εικόνα 2.8.

2.6 Πυρόλυση- Αεριοποίηση

Πρόκειται για σύγχρονες μεθόδους θερμικής επεξεργασίας που δεν θεωρούνται τόσο διαδεδομένοι. Πιο συγκεκριμένα, η πυρόλυση, αν και αναπτύχθηκε στα τέλη του 19^{ου} αιώνα, άρχισε να εφαρμόζεται σχετικά πρόσφατα και πολύ περιορισμένα λόγω της μειωμένης ενεργειακής απόδοσης και οικονομικής βιωσιμότητας της.

Η πυρόλυση συνήθως λαμβάνει χώρα σε κοινούς αποτεφρωτές, όπου απλά αναπτύσσονται χαμηλότερες θερμοκρασίες σε σχέση με την αποτέφρωση, διαθέτοντας όμως τις ίδιες δυνατότητες ανάκτησης ενέργειας και παράλληλα παραγωγής «καυσίμων» (αέριων και υγρών)[10].

Πιο αναλυτικά, με την μέθοδο της πυρόλυσης, η οποία προκαλείται με θέρμανση απουσία οξυγόνου και αποτελεί μη αντιστρεπτή χημική μεταβολή, λαμβάνουμε ανάλογα με τις ακριβείς συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης, πλήθος προϊόντων αέριας, υγρής ή στερεάς μορφής. Τα υγρής μορφής προϊόντα, στην ουσία είναι ένα είδος λαδιού, το οποίο όπως και το πετρέλαιο, περιέχει ένα ευρύ φάσμα συστατικών, τα οποία με κατάλληλη επεξεργασία, μπορούν να διαχωριστούν σε χρήσιμες χημικές ουσίες και καύσιμα, συμπεριλαμβανομένου και του υδρογόνου, ενώ τα παραγόμενα στερεά μπορούν να επεξεργαστούν περαιτέρω για την ανάκτηση υλικών.

Οι αρχικές αντιδράσεις της όλης διαδικασίας είναι ενδόθερμες, γεγονός το οποίο σημαίνει ότι για την πραγματοποίησή τους απαιτείται παροχή ενέργειας, είτε εξωτερικά, είτε εσωτερικά από την ελεγχόμενη καύση των προς επεξεργασία απορριμμάτων.

Ως πλεονεκτήματα της μεθόδου θεωρείται το γεγονός ότι επιτυγχάνεται σημαντική μείωση του όγκου απορριμμάτων, παραγωγή καύσιμης ύλης και μετατροπή αυτών σε υλικά που διατιθέμενα δεν ρυπαίνουν το περιβάλλον. Επίσης

το αέριο που παράγεται κατά την πυρόλυση, παρ' όλο που έχει χαμηλή θερμογόνος δύναμη, μπορεί να χρησιμοποιηθεί βοηθητικά μαζί με το φυσικό αέριο, λόγω της πολύ χαμηλής περιεκτικότητας του σε αιωρούμενα σωματίδια. Ένα άλλο πλεονέκτημα της μεθόδου είναι ότι από την καύση του αερίου της πυρόλυσης δεν παράγεται τέφρα και ο καθαρισμός των απαερίων είναι σχετικά απλός.

Αεριοποίηση ονομάζεται η διαδικασία κατά την οποία υλικά πλούσια σε άνθρακα, όπως το κάρβουνο, το πετρέλαιο και βιομάζα, μετατρέπονται σε μονοξείδιο του άνθρακα και υδρογόνο μέσω μερικής οξειδωσής τους σε υψηλές θερμοκρασίες (400 έως 1500°C)[7].

Τα προϊόντα της αεριοποίησης μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως καύσιμο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ή ατμού, ή ως βασικό χημικό δομικό στοιχείο για ένα μεγάλο αριθμό χρήσεων στην χημική βιομηχανία και σε βιομηχανίες διύλισης. Η μέθοδος με την οποία γίνεται η μετατροπή αυτή, είναι η καύση ενός υλικού παρουσία αέρα, ο οποίος είναι λιγότερος από τον απαιτούμενο στοιχειομετρικό. Μια τέτοια μονάδα αεριοποίησης φαίνεται στην Εικόνα 2.9.



Σχήμα 2.9: Μονάδα αεριοποίησης 500 kW στην Ιταλία

Πρόσφατα η αεριοποίηση άρχισε να χρησιμοποιείται για την επεξεργασία στερεών αποβλήτων, με σκοπό την μείωση του όγκου τους και την ανάκτηση ενέργειας. Πρόκειται για μερική καύση απορριμάτων, κατά την οποία παράγεται ένα αέριο καύσιμο, το οποίο είναι πλούσιο σε μονοξείδιο του άνθρακα, υδρογόνο και μερικούς κορεσμένους υδρογονάνθρακες (κυρίως μεθάνιο) και επομένως παρουσιάζει υψηλό θερμικό περιεχόμενο.

Σε αντίθεση με την πυρόλυση, η αεριοποίηση είναι αυτοσυντηρούμενη (χωρίς εξωτερική πηγή ενέργειας μετά το στάδιο της ανάφλεξης) και χρησιμοποιεί πρόσθετο καύσιμο αέριο, όπως για παράδειγμα ατμό, διοξείδιο του άνθρακα, αέρα ή οξυγόνο, για την επιπλέον μετατροπή των οργανικών υπολειμμάτων σε αέρια προϊόντα.

Η αεριοποίηση αποτελεί θεωρητικά, το επόμενο στάδιο της πυρόλυσης, κατά το οποίο το υπολειμματικό κωκ της πυρόλυσης οξειδώνεται σε θερμοκρασίες $>800^{\circ}\text{C}$, παρουσία περιορισμένων (μη στοιχειομετρικών) ποσοτήτων οξυγόνου. Η αεριοποίηση, όπως και η πυρόλυση, είναι μια διεργασία, η οποία μπορεί να αποτελέσει είτε τμήμα (σε συνδυασμό με τη διεργασία της αποτέφρωσης), είτε το σύνολο της θερμικής επεξεργασίας ΑΣΑ.

Κεφάλαιο 3

Νομοθεσία

3.1 Ευρωπαϊκή Νομοθεσία

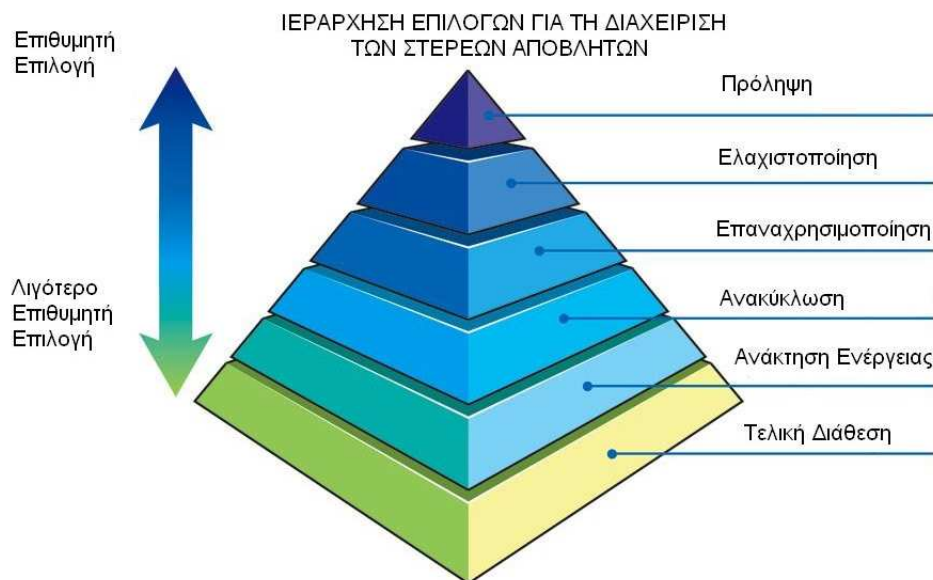
Η έντονη ευαισθητοποίηση για τα περιβαλλοντικά ζητήματα δεν είναι πρόσφατο φαινόμενο στην Ευρώπη. Εδώ και πολλές δεκαετίες η Ευρώπη προσπαθεί μέσα από το πλήθος κανονισμών, οδηγιών και αποφάσεων προς τα κράτη-μέλη, να διασφαλίσει μια ασπίδα για το περιβάλλον από καταστροφικές συνέπειες της ανθρώπινης δραστηριότητας πάνω στον πλανήτη μας. Τα βασικότερα σημεία της περιβαλλοντικής πολιτικής της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ) είναι τα εξής:

- Η πρόληψη είναι προτιμότερη από τη λήψη διορθωτικών μέτρων
- Τα περιβαλλοντικά προβλήματα πρέπει να αντιμετωπίζονται στην πηγή τους
- Ο ρυπαίνων πρέπει να πληρώνει το κόστος των μέτρων που θα ληφθούν για την προστασία του περιβάλλοντος
- Η περιβαλλοντική πολιτική πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και να αποτελεί τμήμα των άλλων πολιτικών της Ευρωπαϊκής Κοινότητας

Ολόκληρη η περιβαλλοντική πολιτική της Ε.Ε. βασίζεται στην αρχή "ο ρυπαίνων πληρώνει". Οι πληρωμές μπορεί να πραγματοποιηθούν με τη μορφή επενδύσεων για να επιτευχθεί συμμόρφωση προς αυστηρότερα πρότυπα ή με τη μορφή φόρου επιβαλλόμενου στις επιχειρήσεις ή στους καταναλωτές που χρησιμοποιούν μη οικολογικά προϊόντα (π.χ. ορισμένους τύπους συσκευασιών).

Όταν οι κίνδυνοι που απειλούν το περιβάλλον είναι περισσότερο δυνητικοί παρά αποδεδειγμένα υπαρκτοί, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή εφαρμόζει αυτό που είναι γνωστό ως "αρχή της προφύλαξης", δηλαδή προτείνει μέτρα προστασίας,

αν ο κίνδυνος φαίνεται πραγματικός, ακόμα και αν δεν υπάρχει απόλυτη επιστημονική βεβαιότητα. Ειδικότερα για τη διαχείριση των στερεών αποβλήτων, αυτή με βάση τις κοινοτικές Οδηγίες θα πρέπει να βασίζεται στις εξής αρχές με φθίνουσα σπουδαιότητα, όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.1:



Σχήμα 3.1: Ιεράρχηση επιλογών για τη διαχείριση στερεών αποβλήτων

3.1.1 Πλαίσιο Διαχείρισης

Η Οδηγία πλαίσιο 2006/12/ΕΚ (υπό αναθεώρηση) περί των στερεών αποβλήτων ορίζει τις έννοιες των στερεών αποβλήτων και των μεθόδων διαχείρισης αυτών, όπως η επεξεργασία και ανακύκλωση. Με βάση την προσπάθεια για κοινή στρατηγική στο θέμα της διαχείρισης των αποβλήτων, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή υιοθέτησε τον Ευρωπαϊκό Κατάλογο Αποβλήτων (Ε.Κ.Α.) με την Απόφαση 94/3/ΕΚ. Ο Ε.Κ.Α. είναι ένας εναρμονισμένος, μη εξαντλητικός κατάλογος αποβλήτων, ο οποίος πρόκειται ανά τακτά διαστήματα να αναθεωρείται και εφόσον είναι απαραίτητο, να ανασκευάζεται σύμφωνα με την διαδικασία της Επιτροπής.

Η Οδηγία 1999/31/ΕΚ περί υγειονομικής ταφής των αποβλήτων, στοχεύει στην πρόληψη ή στη μείωση των αρνητικών επιπτώσεων της ταφής αποβλήτων στο περιβάλλον, και ειδικότερα στις επιπτώσεις στα επιφανειακά ύδατα, στα

υπόγεια ύδατα, στο έδαφος, στον αέρα ή στην υγεία του ανθρώπου. Η Οδηγία ταξινομεί τους χώρους ταφής σε τρεις κατηγορίες[18]:

- χώροι ταφής επικινδύνων αποβλήτων
- χώροι ταφής μη επικινδύνων αποβλήτων
- χώροι ταφής αδρανών αποβλήτων

Επιπροσθέτως, αποσκοπώντας στη διασφάλιση της ελεγχόμενης διάθεσης των αποβλήτων, απαγορεύει τη διάθεση των ελαστικών, των νοσοκομειακών και άλλων τύπων αποβλήτων και καθορίζει τη διαδικασία για τη χορήγηση αδειών εκμετάλλευσης χώρων ταφής. Τέλος θεσπίζονται συγκεκριμένοι ποσοτικοί στόχοι για τη μείωση της ποσότητας των βιοαποδομήσιμων αποβλήτων και επιβάλλεται η διαμόρφωση εθνικής στρατηγικής από τα κράτη μέλη, για την προσέγγιση των παραπάνω στόχων.

3.1.2 Η ισχύουσα Νομοθεσία για την αποτέφρωση

Η μέθοδος της αποτέφρωσης άρχισε να εφαρμόζεται στην Ευρώπη στα τέλη του 19^{ου} αιώνα για λόγους υγιεινής, ως ένας τρόπος για την καταπολέμηση μεταδοτικών ασθενειών. Στις αρχές του 20^{ου} αιώνα χρησιμοποιείται πλέον για την μείωση του αυξανόμενου όγκου απορριμάτων. Στις μέρες έχει συνδεθεί πλέον με την ιδέα ανάκτησης ενέργειας. Παρόλο αυτά η αποτέφρωση αντιμετωπίζεται αρνητικά λόγω του ότι μπορεί να προκαλέσει σημαντική περιβαλλοντική ρύπανση. Έτσι για την αποφυγή της έκλυσης επιβλαβών ρύπων η ΕΕ καλείται να λάβει μέτρα σχετικά με τα εξής:

- αποτέφρωση μόνο των επικίνδυνων και αστικών απορριμάτων που καλύπτονται από την νομοθεσία της ΕΕ
- κοινοτικές οριακές τιμές για τις εκπομπές διοξινών και φουρανίων από την αποτέφρωση μη επικίνδυνων αποβλήτων
- έλεγχος για την προστασία των υδάτων που προκαλείται από την αποτέφρωση των μη επικίνδυνων αποβλήτων
- Το ποσοστό των αποβλήτων που οδηγούνται στην αποτέφρωση να αυξάνεται αντίθετα από αυτό που καταλήγει στην υγειονομική ταφή

Αναφορικά με την αποτέφρωση των στερεών αποβλήτων, αυτή καλύπτεται από τις Οδηγίες 89/369/ΕΟΚ, 89/429/ΕΟΚ και 2000/76/ΕΚ. Στόχος της τελευταίας Οδηγίας είναι η πρόληψη και ο περιορισμός των επιπτώσεων

στο περιβάλλον από την αποτέφρωση και τη συνδυασμένη αποτέφρωση αποβλήτων, καθώς και των κινδύνων που απορρέουν για την ανθρώπινη υγεία. Η Οδηγία αφορά όχι μόνο τις προοριζόμενες για την αποτέφρωση αποβλήτων εγκαταστάσεις («ειδικευμένες εγκαταστάσεις αποτέφρωσης»), αλλά και τις εγκαταστάσεις «συνδυασμένης αποτέφρωσης». Οι τελευταίες είναι εγκαταστάσεις των οποίων βασικός σκοπός είναι η παραγωγή ενέργειας ή υλικών προϊόντων και οι οποίες χρησιμοποιούν ως κύριο ή βοηθητικό καύσιμο τα απόβλητα, αφού αυτά υποβληθούν σε θερμική επεξεργασία για την τελική διάθεσή τους.

3.2 Ελληνική Νομοθεσία

Η πρώτη προσπάθεια προσαρμογής της Ελληνικής Νομοθεσίας για τη διαχείριση των απορριμμάτων με την αντίστοιχη Κοινοτική έγινε με την ΚΥΑ 49541/1424/86 «Στερεά απόβλητα σε συμμόρφωση με την Οδηγία 75/442/ΕΟΚ». Με την ΚΥΑ αυτή, διατυπώνονται οι βασικές αρχές που πρέπει να διέπουν τη διαχείριση των απορριμμάτων, ώστε να μην τίθεται σε κίνδυνο, άμεσα ή έμμεσα η Δημόσια Υγεία και να μην δημιουργούνται βλάβες στο περιβάλλον, ενώ περιγράφεται για πρώτη φορά η αναγκαιότητα σύνταξης Σχεδίων Διαχείρισης, καθώς και οι διαδικασίες που πρέπει να τηρούνται.

Το 1996 εκδίδεται η ΚΥΑ 69728/824 (καταργήθηκε) στην οποία εκτός από τις γενικές κατευθύνσεις και την κατάρτιση πλαισίου τεχνικών προδιαγραφών, δίδεται ιδιαίτερη σημασία στη σύνταξη Σχεδίων Διαχείρισης των αποβλήτων και ορίζονται οι αρμόδιοι φορείς τόσο για τον σχεδιασμό, όσο και για την εφαρμογή τους. Δίνεται ιδιαίτερη σημασία στην εξυγίανση των χώρων διάθεσης, μετά το τέλος της λειτουργίας τους και στην αποκατάσταση ανεξέλεγκτων χώρων διάθεσης. Τέλος, προσαρτώνται σ' αυτήν ως παραρτήματα οι Ευρωπαϊκοί κατάλογοι αποβλήτων (ΕΚΑ), όπως καταγράφονται στην Απόφαση 94/3/ΕΚ. Ένα χρόνο αργότερα με την έκδοση της ΚΥΑ 113944/97 (καταργήθηκε) για τον Εθνικό Σχεδιασμό Διαχείρισης των Στερεών Αποβλήτων και της ΚΥΑ 114218/97 για την Κατάρτιση πλαισίου προδιαγραφών και γενικών προγραμμάτων ολοκληρώνεται και εξειδικεύεται το νομοθετικό πλαίσιο για την διαχείριση των στερεών αποβλήτων.

Λίγα χρόνια αργότερα ο Νόμος 2939/2001 διαμορφώνει το θεσμικό πλαίσιο για την εναλλακτική διαχείριση συσκευασιών και άλλων προϊόντων. Με τον νόμο αυτόν, ενσωματώνεται η Οδηγία 94/62/ΕΟΚ στο Εθνικό Δίκαιο, και καθορίζεται το πλαίσιο για την υλοποίηση προγραμμάτων ανακύκλωσης / επαναχρησιμοποίησης / αξιοποίησης συσκευασιών και άλλων προϊόντων (μπαταρίες, ηλεκτρονικά, ελαστικά κ.α.), με τη θέσπιση συγκεκριμένων ποσοτικών στόχους και χρονικών ορίων για την προσέγγισή τους. Ειδικά, τα σχετικά προ-

εδρικά διατάγματα (Π.Δ. 82/2004, 109/2004, 115/2004, 116/2004. 117/2004 και 15/2006) καθορίζουν τους επιμέρους όρους για το κάθε ρεύμα αποβλήτου.

Το 2003 δημοσιεύονται η ΚΥΑ 37591/2031/2003 για τη διαχείριση των αποβλήτων από υγειονομικές μονάδες και η ΚΥΑ 50910/2727/2003 «Μέτρα και Όροι για τη Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων, Εθνικός και Περιφερειακός Σχεδιασμός Διαχείρισης» για την πλήρη συμμόρφωση με τις διατάξεις της Οδηγίας 91/156/ΕΟΚ. Στην προαναφερθείσα ΚΥΑ καθορίζονται οι στόχοι και οι αρχές της διαχείρισης των στερεών αποβλήτων, καθώς και οι προδιαγραφές του εθνικού (ΕΣΔΑ) αλλά και των περιφερειακών σχεδίων (ΠΕΣΔΑ) για την ολοκληρωμένη διαχείριση των αποβλήτων.

Οι πιο πρόσφατες νομοθετικές ρυθμίσεις αφορούν στη δημοσίευση της ΚΥΑ 13588/725/2006 «Μέτρα όροι και περιορισμοί για την διαχείριση επικινδύνων αποβλήτων», την έγκριση του Εθνικού Σχεδιασμού Διαχείρισης Επικινδύνων Αποβλήτων (Υ.Α. 8668/2007).

Το θέμα της αποτέφρωσης αστικών στερεών απορριμάτων καλύπτεται με το νομοθέτημα ΚΥΑ 22912/1117/2005 (ΦΕΚ Β 759/06.06.2005) «Μέτρα και όροι για την πρόληψη και τον περιορισμό της ρύπανσης του περιβάλλοντος από την αποτέφρωση των αποβλήτων». Με την απόφαση αυτή αποσκοπείται η εφαρμογή των διατάξεων των άρθρων 8, 10, 11 και 12 του νόμου 1650/1986 και συγχρόνως η εναρμόνισή του με τις διατάξεις της οδηγίας 2006/76/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου. Με την λήψη των ενδεδειγμένων μέτρων και μεθόδων για την αποτέφρωση και συναποτέφρωση αποβλήτων επιδιώκεται η πρόληψη ή ο περιορισμός, όσο είναι εφικτό, των αρνητικών επιπτώσεων στο περιβάλλον και ειδικότερα, της ρύπανσης από εκπομπές στον ατμοσφαιρικό αέρα, στο έδαφος και στα επιφανειακά και υπόγεια νερά, καθώς και των επιπτώσεων στην υγεία του ανθρώπου[18,19].

This page was intentionally left blank

Κεφάλαιο 4

Μεθοδολογία και τεχνικές μοντελοποίησης

4.1 Η Μέθοδος του δυναμικού συστήματος (System dynamic modelling)

Η εξέταση της δυναμικής της μεθόδου ανάκτησης ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΣΑ απαιτεί μια σφαιρική αντιμετώπιση του θέματος που να λαμβάνει υπόψιν ένα πλήθος από κοινωνικοπολιτικούς και οικονομικούς παράγοντες, την διαθέσιμη τεχνολογία και τους περιβαλλοντικούς στόχους της εκάστοτε χώρας. Με τον τρόπο αυτό, η ανάκτηση ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΣΑ αποκτά την έννοια της μοντελοποίησης ενός δυναμικού συστήματος (system dynamic modelling).

Τέτοια συστήματα είχαν αναπτυχθεί από την ομάδα Δυναμικών Συστημάτων που ιδρύθηκε στις αρχές της δεκαετίας του 1960 από τον καθηγητή Jay W. Forrester, στο MIT. Αυτό που κάνει τη χρήση των δυναμικών συστημάτων διαφορετική από άλλες προσεγγίσεις στη μελέτη των πολύπλοκων συστημάτων, είναι η χρήση βρόχων ανάδρασης. Αποθέματα και ροές βοηθούν στο να περιγραφεί πώς ένα σύστημα είναι συνδεδεμένο με βρόχους ανατροφοδότησης, κάτι το οποίο δημιουργεί έντονη μη γραμμικότητα (nonlinearity), που χαρακτηρίζει πολύ συχνά τα σύγχρονα προβλήματα. Με προσομοιώσεις δοκιμάζονται ορισμένες τεχνικές σχετικά με ένα τέτοιο μοντέλο, οι οποίες μπορούν σε μεγάλο βαθμό να βοηθήσουν στην ενίσχυση της κατανόησης του τρόπου λειτουργίας του συστήματος που μεταβάλλεται με την πάροδο του χρόνου.

Η μεθοδολογία που ακολουθείται είναι η εξής:

1. Προσδιορισμός του προβλήματος

2. Ανάπτυξη της δυναμικής υπόθεσης που να εξηγεί την αιτία του προβλήματος
3. Ανάπτυξη στον υπολογιστή του μοντέλου που να προσομοιώνει το σύστημα στην ρίζα του προβλήματος
4. Δοκιμές του μοντέλου για να επιβεβαιωθεί ότι η συμπεριφορά του συστήματος είναι ίδια με αυτήν στον πραγματικό κόσμο
5. Εύρεση εναλλακτικών τεχνικών που θα μπορούσαν να επιλύσουν το πρόβλημα και οι δοκιμές τους πάνω σε μοντέλο
6. Υλοποίησή τους

Η χρήση της συγκεκριμένης μεθοδολογίας γίνεται για μια μεγάλη γκάμα σύγχρονων θεμάτων και πλέον εφαρμόζεται επιτυχώς στους παρακάτω τομείς:

- Εταιρικός προγραμματισμός και σχεδιασμός της πολιτικής
- Δημόσια διαχείριση
- Μοντελοποίηση ιατρικών και βιολογικών εφαρμογών
- Ενέργεια και περιβάλλον
- Θεωρητική ανάπτυξη στις φυσικές και κοινωνικές επιστήμες
- Δυναμική πολύπλοκων μη γραμμικών συστημάτων

4.2 Μοντελοποίηση

Το δυναμικό σύστημα που εξετάζεται αποτελείται από τα εξής βασικά μέρη:

1. Πληθυσμός
2. Ρυθμός Παραγωγής Απορριμάτων (ΡΠΑ)
3. Σύνθεση απορριμάτων
4. Ανακύκλωση
5. θερμογόνο δύναμη απορριμάτων
6. Ωφέλιμη ισχύς

7. Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας και ποσοστό κάλυψης ηλεκτρικής ενέργειας από την καύση των ΑΣΑ

Τα παραπάνω μέρη του συστήματος εξετάζονται ως οντότητες που μεταβάλλονται σε συνάρτηση με τον χρόνο, που αλληλοεξαρτώνται και επηρεάζονται από ένα σύνολο παραγόντων, το πλήθος και η φύση των οποίων θεωρούνται επίσης μεταβαλλόμενες παράμετροι.

4.2.1 Πληθυσμός

Το πως θα μεταβληθεί ο πληθυσμός τα επόμενα χρόνια είναι το σημείο από το οποίο ξεκινάει το εξεταζόμενο σύστημα αφού ουσιαστικά, οι προβλέψεις των ποσοτήτων αστικών αποβλήτων στηρίζονται σε προβλέψεις του πληθυσμού και της κατ' άτομο παραγωγής απορριμάτων. Υπάρχουν διάφορα μαθηματικά μοντέλα για τις εκτιμήσεις της αύξησης του πληθυσμού, όπως π.χ το εκθετικό μοντέλο που χρησιμοποιείται και στην παρούσα εργασία [1]:

$$P_{i+k} = P_i(1 + r/100)^x, \text{ όπου}$$

P_i ο πληθυσμός βάσης και r η ανά περίοδο ποσοστιαία αύξηση, x ο αριθμός των περιόδων, και P_{i+k} ο πληθυσμός μετά από x περιόδους. Η χρήση μοντέλων πρόβλεψης πληθυσμού απαιτεί διασφάλιση ότι οι προϋποθέσεις αξιοπιστίας τους ισχύουν στην υπό εξέταση περίπτωση.

Επίσης αν στην παραπάνω εξίσωση θέσουμε το $x = 1$ και λύσουμε ως προς το r θα προκύψει ετήσιος ρυθμός μεταβολής πληθυσμού. Επιπλέον, αν έχουμε τον μέσο ετήσιο ρυθμό μεταβολής πληθυσμού που υπολογίζεται μέσα στην περίοδο που είναι κοντά στην τελευταία απογραφή, π.χ το 2001, τότε με βάση αυτό μπορούμε να κάνουμε αρκετά αξιόπιστη πρόβλεψη πληθυσμού:

$$P_{i+k} = P_i(1 + r/100)^x, \text{ όπου } \overset{x=1}{\Rightarrow} P_{i+1} = P_i(1 + r/100) \Rightarrow r/100 = (P_{i+1} - P_i)/P_i$$

Γενικότερα αν και σε παγκόσμιο επίπεδο παρατηρούμε ότι υπάρχει έντονη αύξηση του πληθυσμού, στη περίπτωση της Ελλάδας δεν προβλέπεται να υπάρχει ραγδαία αύξηση, λόγω του έντονου δημογραφικού προβλήματος που αντιμετωπίζει η χώρα μας τα τελευταία χρόνια. Εκείνο που μας ενδιαφέρει στη προκειμένη περίπτωση είναι η αύξηση του πραγματικού πληθυσμού της Ελλάδας.

Καταρχάς, ως πραγματικός πληθυσμός μιας περιφέρειας (δήμου, κοινότητας ή οικισμού) θεωρείται το σύνολο των, για οποιαδήποτε αιτία, παρόντων σ' αυτή προσώπων κατά την ημέρα της απογραφής, είτε αυτά διαμένουν μονίμως στην

περιφέρεια αυτή είτε βρέθηκαν να διαμένουν προσωρινώς ή τυχαίως. Επειδή οι περιοχές με την έντονη τουριστική κίνηση παρουσιάζουν εποχιακές διακυμάνσεις του πληθυσμού τους πρέπει να διακρίνουμε δυο βασικές κατηγορίες που συνεισφέρουν στο πραγματικό πληθυσμό[2]:

1. Ο μόνιμος πληθυσμός ο οποίος με την σειρά του οφείλεται σε ντόπιους κατοίκους και κατοίκους λόγω της μεταναστευτικής κίνησης
2. Ο πληθυσμός που οφείλεται σε τουριστική κίνηση

Για να προσδιορίσουμε τον μόνιμο πληθυσμό πρέπει να ξέρουμε τον αρχικό μόνιμο πληθυσμό, έτσι όπως έχει προκύψει από την τελευταία απογραφή και τον συντελεστή της φυσικής κίνησης. Ο συγκεκριμένος συντελεστής εκφράζει την ποσοστιαία μεταβολή του πληθυσμού μιας χωρικής ενότητας κατά τη διάρκεια μιας περιόδου, ως αποτέλεσμα του ισοζυγίου του ποσοστού γεννητικότητας και του ποσοστού θνησιμότητας για την εξεταζόμενη περίοδο [2].

Το ποσοστό γεννητικότητας αντιπροσωπεύει τον αριθμό γεννήσεων στη διάρκεια ενός έτους προς το μέσο πληθυσμό του ίδιου έτους, ενώ το ποσοστό της θνησιμότητας αντιπροσωπεύει τον αριθμό θανάτων στη διάρκεια ενός έτους προς το μέσο πληθυσμό του ίδιου έτους [2].

Τέλος, ο συντελεστής μεταναστευτικής κίνησης καθορίζεται από την διαφορά μεταξύ των μεταναστευτικών εισόδων και εξόδων σε μια χωρική ενότητα στη διάρκεια ενός έτους προς το μέσο πληθυσμό του ίδιου έτους [2].

Στην περίπτωση της τουριστικής κίνησης, αυτό που μας ενδιαφέρει είναι το σύνολο των διανυκτερεύσεων που έχουν γίνει κατά την διάρκεια του έτους στα συλλογικά τουριστικά καταλύματα, όπως τα ξενοδοχεία, ενοικιαζόμενα δωμάτια, χώροι για camping κ.ά. Ένας τρόπος για να υπολογίσουμε τον αριθμό των διανυκτερεύσεων ανά μήνα είναι να πολλαπλασιάσουμε τον συνολικό αριθμό των διαθέσιμων κλινών με την ποσοστιαία πληρότητα των κλινών ανά μήνα επί τις 30 ή 31 μέρες που αντιστοιχεί σε κάθε μήνα [1].

Μελλοντικά, για να μπορούμε να εκτιμήσουμε τον αριθμό των διανυκτερεύσεων, πρέπει να εξετάσουμε πρώτα τις δυνατότητες που έχει η εξεταζόμενη περιοχή για περαιτέρω τουριστική ανάπτυξη. Ένας τρόπος είναι να υπολογίσουμε τον μέσο ρυθμό της τουριστικής ανάπτυξης από τα στατιστικά στοιχεία για το ξενοδοχειακό δυναμικό ή αλλιώς για το σύνολο των κλινών στα τουριστικά καταλύματα, έτσι όπως έχουν καταγραφεί μέχρι σήμερα. Παρ' όλα αυτά, η περίοδος για την οποία μας παρέχονται στατιστικά στοιχεία, συμπίπτει με την προετοιμασία των Ολυμπιακών αγώνων, και επομένως δεν προσφέρεται για ακριβή υπολογισμό του μέσου των ετήσιων ρυθμών μεταβολής. Έτσι, για

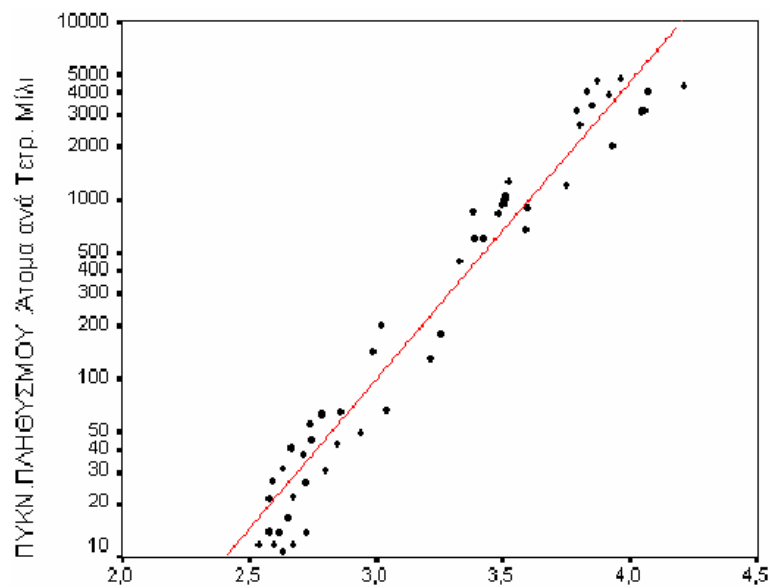
να υποστηρίξουμε συντηρητικό και πιο αξιόπιστο μοντέλο πρόβλεψης για περαιτέρω τουριστική ανάπτυξη, επιλέγουμε ως μέσο ετήσιο ρυθμό μεταβολής, το μικρότερο ρυθμό της υπό εξέταση χρονικής περιόδου.

Θεωρητικά ο ρυθμός τουριστικής ανάπτυξης εκφράζει την πολιτική της εκάστοτε χώρας σε θέματα τουρισμού, τις επενδύσεις της στη τουριστική βιομηχανία, καθώς επίσης τις προοπτικές που υπάρχουν για την μεγαλύτερη προσέλκυση τουριστών.

4.2.2 Ρυθμός Παραγωγής Απορριμάτων

Για το σχεδιασμό ενός Συστήματος Διαχείρισης Απορριμάτων, απαραίτητο στοιχείο είναι ο προσδιορισμός της παραγόμενης ποσότητας από ένα κοινωνικό σύνολο στη μονάδα του χρόνου. Για το λόγο αυτό εισάγεται το μέγεθος “Ρυθμός Παραγωγής Απορριμάτων”, ο οποίος αφορά το σύνολο της εξυπηρετούμενης περιοχής, που μπορεί να είναι ένας μόνο Οργανισμός Τοπικής Αυτοδιοίκησης (ΟΤΑ) ή μια ευρύτερη περιοχή που περιλαμβάνει περισσότερους ΟΤΑ. Ένα συνηθισμένο μέγεθος, που χρησιμοποιείται για την εκτίμηση του ρυθμού παραγωγής, είναι η Μοναδιαία Παραγωγή Απορριμάτων (ΜΠΑ) που εκφράζεται σαν μάζα απορριμάτων ανά ημέρα ανά άτομο. Ο ρυθμός παραγωγής (ΡΠΑ) εκτιμάται για μια περιοχή πολλαπλασιάζοντας την ΜΠΑ επί τον εξυπηρετούμενο πληθυσμό (Π) της [3]: $ΡΠΑ = Π * ΜΠΑ$. Σε παγκόσμια κλίμακα, και για τις τρεις τελευταίες δεκαετίες παρατηρείται αύξηση του ΡΠΑ και της ΜΠΑ. Ειδικότερα, στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, η παραγωγή απορριμάτων στο διάστημα 1995 έως το 2002 έχει αυξηθεί κατά 42,5%, παρά τις προσπάθειες για την μείωση παραγωγής απορριμάτων. Οι παράγοντες που επηρεάζουν τον ρυθμό παραγωγής απορριμάτων είναι[1]:

- Πληθυσμιακές διακυμάνσεις. Είναι παράμετρος σημαντική για τουριστικές περιοχές. Και ανάλογα με την περιοχή ο καλοκαιρινός πληθυσμός μπορεί να είναι και παραπάνω από τον διπλάσιο σε σχέση με τον χειμερινό πληθυσμό.
- Συχνότητα συλλογής. Έχει παρατηρηθεί ότι η αύξηση της συχνότητας συλλογής έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της παραγόμενης ποσότητας απορριμάτων.
- Πληθυσμιακή πυκνότητα. Έχει παρατηρηθεί ότι η ΜΠΑ αυξάνεται με την αύξηση της πληθυσμιακής πυκνότητας (Εικόνα 4.1). Αυτό ερμηνεύεται με την αύξηση της κατανάλωσης συσκευασμένων τροφίμων στις αστικές περιοχές σε αντίθεση με τις μη αστικές ή αγροτικές. Για τα Ελληνικά δεδομένα η διαφορά το ΜΠΑ του λεκανοπεδίου Αττικής μπορεί να ξεπερνά το ΜΠΑ στις μικρές κοινότητες έως και 0,5 Kg/άτομο/ημέρα.



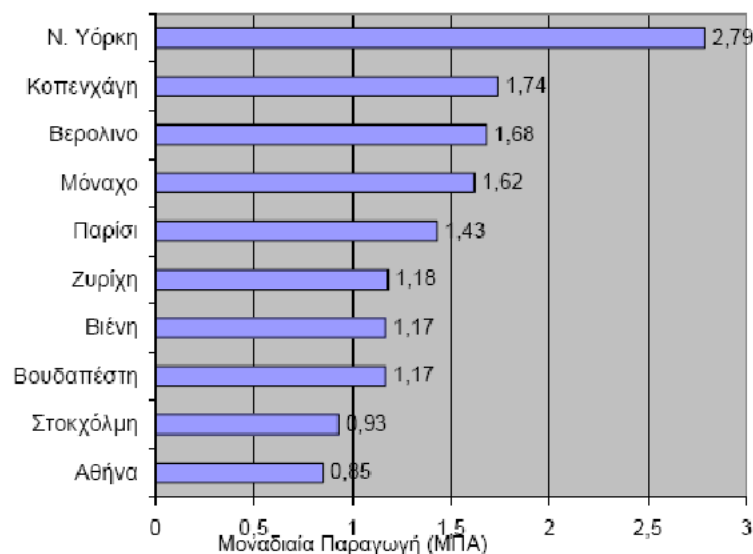
Σχήμα 4.1: Σχέση ΜΠΑ (pounds/capita/day) και Πληθυσμιακής Πυκνότητας, (Πηγή: Westerhoff 1970)

- Κοινωνικοί και οικονομικοί παράγοντες. Σημαντική επίδραση στην ποσότητα παραγόμενων απορριμμάτων έχει το βιοτικό επίπεδο του εξυπηρετούμενου πληθυσμού. Έχει παρατηρηθεί ότι η ΜΠΑ απορριμμάτων αυξάνει ανάλογα με το βιοτικό επίπεδο[4], όπως φαίνεται από την Εικόνα 4.2.

Ομάδα (Βιοτικό Επίπεδο)	Δήμοι	ΜΠΑ (kg/capita/day)		
		1985	1990	1996
I	N. Λιόσια	0,64	0,74	0,86
II	Αθήνα	0,92	1,08	1,22
III	Κηφισιά	1,07	1,48	1,72

Σχήμα 4.2: Επίδραση βιοτικού επιπέδου στην ΜΠΑ

- Ισχύουσα νομοθεσία. Μπορεί να έχει έμμεση επίδραση στην ποσότητα παραγόμενων απορριμμάτων θέτοντας προδιαγραφές συσκευασίας ή άμεση επίδραση όπως απαγορεύοντας την χρήση σκουπιδοφάγων.
- Προβλέψεις Ποσοτικών και Ποιοτικών Χαρακτηριστικών. Στο στάδιο



Σχήμα 4.3: ΜΠΑ (kg/capita/day) σε διάφορες Μεγαλουπόλεις, (Πηγή:(1) Tchobanoglous 1977, (2) ΕΣΔΚΝΑ 1980, (3) Scharff 1989)

του σχεδιασμού, η μεταβολή ποιοτικών χαρακτηριστικών των ΑΣΑ καλύπτεται αναλυτικά στην επόμενη ενότητα, ενώ για την εκτίμηση των ποσοτήτων των οικιακών αποβλήτων σε ένα χρονικό ορίζοντα N ετών, ακολουθείται η εξής διαδικασία:

Αν w_i μέση παραγόμενη ποσότητα ανά κάτοικο ανά ημέρα στο έτος i και P_i = πληθυσμός στο έτος i , τότε:

$w_i \times P_i$ είναι μέση ποσότητα αστικών αποβλήτων ανά ημέρα στο έτος i ,

$\sum w_i \times P_i$ είναι ποσότητα αστικών αποβλήτων ανά ημέρα στο χρονικό ορίζοντα των N ετών.

Τα συνήθη στατιστικά μοντέλα, όπως το συγκεκριμένο, ουσιαστικά υποθέτουν "επανάληψη" του παρελθόντος και για αυτό δεν επαρκούν για να δώσουν αξιόπιστα αποτελέσματα. Δηλαδή αν ακολουθήσουμε πιστά το συγκεκριμένο μοντέλο, ο ΡΠΑ θα αυξάνεται επ' άπειρον. Επομένως, την ίδια μεταβολή θα ακολουθεί και η συνολική παραγωγή απορριμάτων, δεδομένου ότι ο πληθυσμός έχει την ίδια τάση να αυξάνεται.

Για αυτόν τον λόγο εισάγουμε την έννοια "περιβαλλοντική συνείδηση" (environmental awareness) στην οποία συνοψίζονται οι εθνικοί στόχοι ως προς τα θέματα ανάκτησης υλικών συσκευασιών και μείωσης της συνολικής κατά βάρος ποσότητας των βιοδιασπάσιμων αστικών αποβλήτων (χαρτί και

υπολείμματα κουζίνας) αλλά και ανταπόκριση πολιτών ως προς την περιβαλλοντική πολιτική που ακολουθείται. Υποθέτοντας ότι εάν οι συγκεκριμένοι στόχοι πληρωθούν τουλάχιστον εν μέρει, μακροπρόθεσμα αυτό θα έχει σαν αποτέλεσμα ο ΜΠΑ και ο ΡΠΑ να αυξάνονται αλλά με μικρότερο ρυθμό.

Γενικότερα η παραγωγή σήμερα κυμαίνεται από σχεδόν μηδενική (σε πολύ φτωχές χώρες), μέχρι 4 Kg/άτομο/μέρα σε ορισμένες περιοχές των ΗΠΑ. Στην Ελλάδα για το 2002 εκτιμάται ότι, σε χωριά με πληθυσμό κάτω των 2000 κατοίκων, η μέση σε ετήσια βάση παραγωγή αστικών αποβλήτων οικιακών και εμπορικών είναι από 0.6 έως 0.8 Kg/άτομο/μέρα. Σε πόλεις μέχρι 100000 κατοίκους, η μέση παραγωγή κυμαίνεται από 0.8 έως 1.2 Kg /άτομο/μέρα. Σε μεγαλύτερες πόλεις η μέση μοναδιαία παραγωγή εκτιμάται από 1.2 έως 1.4 Kg /άτομο/ μέρα. Για τον Τουριστικό πληθυσμό η ΜΠΑ μπορεί να φτάσει μέχρι και 1,3Kg/άτομο /ημέρα, ενώ για τον παραθεριστικό 1,1 Kg/άτομο /ημέρα.[1] Γενικότερα η εκτίμηση της ΜΠΑ γίνεται με μέσες τιμές καθώς η ΜΠΑ μπορεί διαφοροποιείται από περιοχή σε περιοχή ακόμα και μέσα στην ίδια πόλη, γεγονός που καθιστά την πρόβλεψη της ΜΠΑ και συνεπώς του ΡΠΑ πολύ δύσκολη.

4.2.3 Σύνθεση απορριμάτων

Όπως η ποσότητα, έτσι και η σύνθεση των απορριμάτων που παράγονται ανά κάτοικο ποικίλλει ανάλογα με τη χώρα και την περιοχή και εξαρτάται από το βιοτικό επίπεδο, τις καταναλωτικές συνήθειες και τον τρόπο ζωής των κατοίκων. Έτσι π.χ στις υπανάπτυκτες χώρες τα ζυμώσιμα είναι περισσότερα, ενώ στις πιο αναπτυγμένες υπάρχει πολύ χαρτί όπως και άλλα υλικά π.χ. πλαστικά. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι, ειδικά στις βιομηχανικά προηγμένες χώρες, για λόγους προώθησης πωλήσεων ή "αισθητικούς" ή πρακτικούς χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερα πλαστικά και χάρτινα υλικά συσκευασίας τα οποία τελικά απορρίπτονται.

Στην περίπτωση της Ελλάδας η σύνθεση απορριμάτων παρουσιάζει αυξημένα ποσοστά σε ζυμώσιμα υλικά και πλαστικά, όπως φαίνεται στην Εικόνα , και αναμένεται να αλλάξει στα επόμενα χρόνια λόγω αλλαγής τρόπου ζωής και καταναλωτικών και διατροφικών συνηθειών.

Από τα παρακάτω φαίνεται ότι αν στο μέλλον η Ελλάδα ακολουθήσει τις Ευρωπαϊκές χώρες, όσον αφορά τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των παραγόμενων απορριμάτων, θα υπάρχει μείωση στην χρήση των πλαστικών συσκευασιών και στην παραγωγή ζυμωσίμων, ενώ παράλληλα θα αυξηθεί αρκετά η χρήση των χάρτινων συσκευασιών.

Συστατικό	Αθήνα (1985)	Αθήνα (1990)	Μαρόπουλο (1985)	Θεσ/νίκη (1987)	Ηράκλειο (1987)	Ρόδος (1988)	Χανιά (1991)	Κως	Νάξος (1994)	Καλαμιάτα
Ζυμώσιμα	58,8	48,5	60,4	51,7	52,5	43	55,2	37	47	47
Χαρτί	19,2	22	17,8	17,7	17,2	17	18,9	25	21,5	25
Γυαλί	2,5	3,5	2,3	4,1	1,4	14	3,8	12	5,4	3
Πλαστικά	7	10,5	6,8	7,0	14,3	10	8,6	11	10,2	7,5
Μεταλλά	3,75	4,2	4,1	5,9	2,8	10	3,8	5	3,4	3,5
Ράκη	3,5	3,5	4,1	7,6		4	4	5	0	6
Αδρανή	5,55	7,8	4,5	6	11,8	2	5,7	5	12,5	8

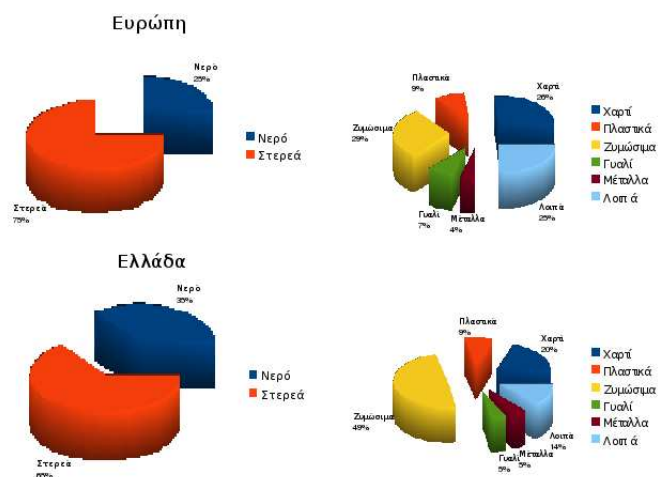
Σχήμα 4.4: Σύσταση Ελληνικών οικιακών απορριμάτων σε διάφορες πόλεις στην Ελλάδα-Ποσοστιαία κατανομή κατά βάρος, (Πηγή: Σημειώσεις Μεταπτυχιακού μαθήματος “Διαχείριση Στερεών Απορριμάτων και ιλύος”, Α.Κατσιρή)

Υλικά	% κ.β.	Κατώτερη θερμογόνο δύναμη (kcal/kg)	Ενέργεια (kcal/100kg) απορριμάτων	Συμμετοχή στην ενέργεια (%)
Χαρτί	20,0	3960	79300	32,3
Πλαστικά	8,5	7700	65450	26,7
<u>Ζυμώσιμα</u>	49,0	1100	53900	22,0
Γυαλί	4,5	33	748	0
Μέταλλα	4,5	165	742	0
Δ-Ξ-Λ-Υ	3,0	4400	13200	5,4
Αδρανή	5,0	30	150	0
Λοιπά	5,5	5770	31735	12,9

Σχήμα 4.5: Τυπική σύσταση και ενεργειακό περιεχόμενο των Ελληνικών οικιακών απορριμάτων, (Πηγή: Σκορδίλης, 1997)

Συστατικό	Σουηδία	Μ. Βρετανία	Γερμανία	Ολλανδία	Ιταλία	Ισπανία	ΗΠΑ	Ιαπωνία	Ινδία	Αίγυπτος	Υεμένη	Βραζιλία	Μεξικό
Ζυμώσιμα	25-35	23,4	28,3	52,4	42,1	50	29	10-16	70	60	57	47,7	56,4
Χαρτί	34-45	33,9	20,8	24,2	22,3	15	35,6	31-37	7	13	15,6	31,5	16,7
Γυαλί	6-8	14,4	10,4	7,2	7,1	9	8,4	14-16	0,2	2,5	2,6	4,7	3,7
Πλαστικά	8-10	4,2	7,7	7,1	7,2	5	7,3	14-16	1	1,5	3	3,9	5,8
Μεταλλά	2-4	7,1	3,9	3,2	3	3	9	6	0,1	3	13	5,9	5,7
Ράση	2	4,1	0	2,9	0	0	2	4	3	2,5	6,8	4,1	6
Αόρανη	6-9	12,9	28,9	3,0	18,3	18	8,7	-	18,7	17,5	2	2,2	5,7

Σχήμα 4.6: Σύσταση οικιακών απορριμμάτων σε διάφορες χώρες του κόσμου- Ποσοστιαία κατανομή κατά βάρος, (Πηγή: Σημειώσεις Μεταπτυχιακού μαθήματος “Διαχείριση Στερεών Απορριμμάτων και ιλύος”, Α.Κατσίρη)



Σχήμα 4.7: Μέση τυπική σύσταση αστικών απορριμμάτων στην Ευρώπη και στην Ελλάδα

4.2.4 Ανακύκλωση

Τα τελευταία χρόνια η ΕΕ έχει βάλει ως στόχο τη αύξηση των ποσοστών της ανακύκλωσης στην προσπάθειά της να μειώσει τον όγκο των απορριμάτων και την ρύπανση που προκαλείται από αυτά. Πρόκειται για μια από τις μεθόδους διαχείρισης απορριμάτων που θεωρείται από την ΕΕ ως πιο αποτελεσματικότερη και προσιτή. Πολλές χώρες της ΕΕ έχουν ήδη καταφέρει να ανακυκλώνουν πάνω από το 50% των υλικών συσκευασίας.

Τα υλικά συσκευασίας που μπορούν να ανακυκλωθούν είναι τα εξής:

- Χαρτί
- Πλαστικό
- Μέταλλα
- Γυαλί

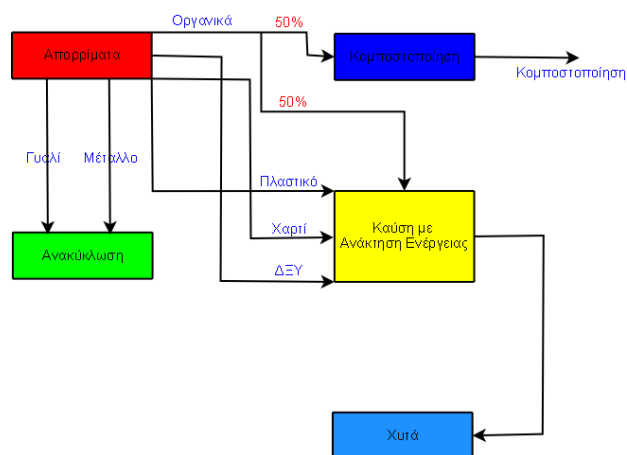
Εκτός από τα παραπάνω, μπορούν να ανακυκλώνονται μπαταρίες, ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά απόβλητα. Για να μεγιστοποιήσουμε την ανάκτηση ηλεκτρικής ενέργειας από την καύση απορριμάτων στην παρούσα εργασία επιλέγουμε το χαρτί και πλαστικό λόγω της μεγάλης θερμογόνου δύναμής τους να καίγονται μαζί με το υπόλοιπο των απορριμάτων αντί να ανακυκλώνονται. Για τον ίδιο λόγο επιλέγουμε να καίγεται μόνο το 1/2 του οργανικού κλάσματος που χαρακτηρίζεται από μεγάλη περιεκτικότητα σε υγρασία και το υπόλοιπο να χρησιμοποιηθεί για την κομποστοποίηση που ήδη εφαρμόζεται επιτυχώς στο Νομό Χανίων από την Διαδημοτική Επιχείρηση ΔΙΑχείρισης Στερεών Αποβλήτων (ΔΕΔΙΣΑ).

Επιπλέον, το γυαλί και μέταλλο προτείνεται να ανακυκλώνονται για το λόγο ότι αν καίγονται μένουν ως υπόλειμμα κατά την καύση. Επιπλέον το λάστιχο που ανήκει στην κατηγορία ΔΞΥΛ απαιτεί ιδιαίτερη μεταχείριση καθώς απαγορεύεται η καύση του λόγω εκπομπής επικίνδυνων τοξικών ουσιών, ενώ παράλληλα δεν μπορεί να ανακυκλωθεί καθώς δεν είναι βιοδιασπάσιμο υλικό. Στην παρούσα εργασία επιλέγουμε από την κατηγορία ΔΞΥΛ να καίγεται μόνο το ΔΞΥ.

Οι βασικοί συνδυασμοί τεχνολογιών διάθεσης, επεξεργασίας και αξιοποίησης των ΑΣΑ φαίνονται στην Εικόνα 4.10[5]:

Στο μοντέλο μας ο τρόπος που επιλέγουμε να εφαρμόζεται η καύση είναι η μέθοδος Β με μόνη διαφορά ότι το $\frac{1}{2}$ του οργανικού κλάσματος χρησιμοποιείται για την κομποστοποίηση (Εικόνα 4.8).

Η Ελλάδα βρίσκεται ακόμα σε εμβρυακό στάδιο και έτσι μαζί με την Πορτογαλία κατέχει την τελευταία θέση στον τομέα της ανακύκλωσης. Μολονότι

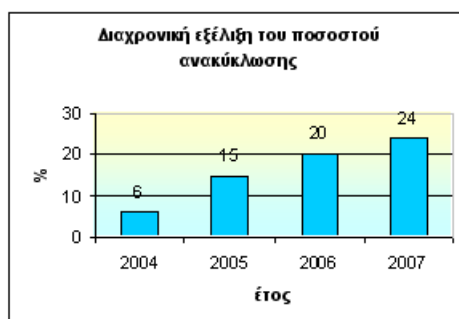


Σχήμα 4.8: Σενάριο καύσης με ανάκτηση ενέργειας σε συνδυασμό με ανακύκλωση και κομποστοποίηση.

ο δρόμος για το στόχο του 2011 της χώρας μας, που είναι να ανακυκλώνονται 550.000 τόνοι, είναι μακρύς, το τοπίο φαίνεται θετικό ως προς το σύνολο του γενικότερου μηχανισμού, αλλά και των αποτελεσμάτων ανακύκλωσης και αξιοποίησης των υλικών συλλογής, κατά βάση σε γυαλί και χαρτί.

Σύμφωνα με την ετήσια έκθεση της Ελληνικής Εταιρείας Αξιοποίησης Ανακύκλωσης (ΕΕΑΑ), ο εξυπηρετούμενος πληθυσμός από προγράμματα ανακύκλωσης που λειτουργούν σε ολόκληρη τη χώρα, ως την 31/12/2006 ανέρχονταν σε περίπου 4,3 εκατομμύρια κατοίκους ενώ παράλληλα, οι ποσότητες των αποβλήτων συσκευασίας που αξιοποιήθηκαν το 2006 υπερτριπλασιάστηκαν σε σχέση με το 2005 και ανήλθαν σε 266.623 τόνους.

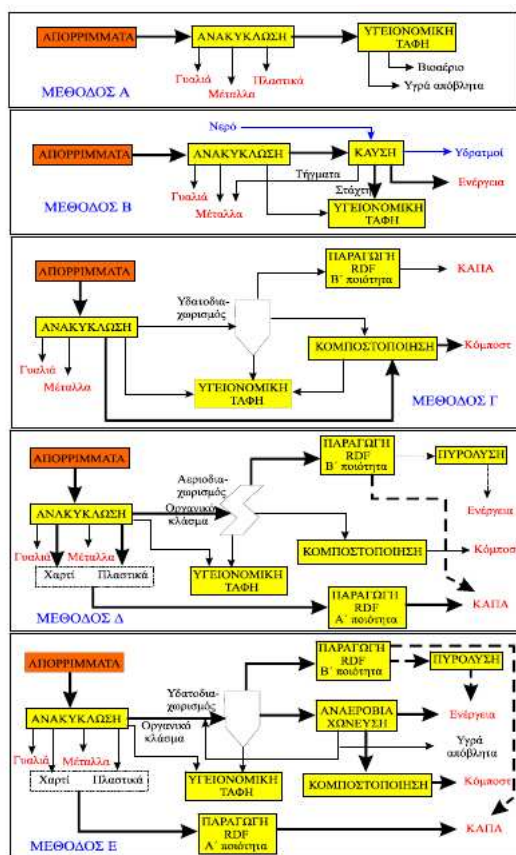
Σύμφωνα με την ΥΠΕΧΟΔΕ παρακάτω φαίνεται η ανοδική πορεία της ανακύκλωσης στην χώρα μας:



Σχήμα 4.9: Ανακύκλωση σήμερα, (Πηγή: ΥΠΕΧΟΔΕ, Εναλλακτική Διαχείριση Συσκευασιών και άλλων προϊόντων)

Στο δυναμικό σύστημα που εξετάζεται έχουν ληφθεί υπόψη τα ποσοστά ανακύκλωσης που έχουν επιτευχθεί μέχρι τώρα, καθώς επίσης και τα θεσπισμένα ποσοστά ανάκτησης υλικών μέχρι το 2011 για την Ελλάδα, όπως αυτά προβλέπονται από την οδηγία 2004/12/ΕΚ και είναι τα εξής:

- 60%κ.β του χαρτιού
- 60%κ.β του γυαλιού
- 50%κ.β των μετάλλων
- 22,5%κ.β των πλαστικών
- 15%κ.β των ξύλων



Σχήμα 4.10: Συνδυασμοί τεχνολογιών διαχείρισης αστικών απορριμμάτων

Από τα παραπάνω κρατάμε ως επιδιωκόμενα ποσοστά ανακύκλωσης μέχρι το 2011 για το δυναμικό σύστημά μας το 60%κ.β του γυαλιού και 50%κ.β των μετάλλων.

4.2.5 Θερμογόνος δύναμη απορριμάτων

Η καύση και γενικότερα η ενεργειακή αξιοποίηση απορριμάτων συνδέεται με το ποσό της θερμότητας που μπορεί να εκλυθεί κατά την καύση τους. Ως θερμογόνος δύναμη απορριμάτων ορίζεται το ποσό της θερμότητας που μπορεί να εκλυθεί κατά την καύση μιας μονάδας μάζας των απορριμάτων. Ανάλογα με την φυσική κατάσταση των υδρατμών που παράγονται κατά την καύση, η θερμογόνος δύναμη αναφέρεται ως ανώτερη (Higher Heating Value ή HHV) ή κατώτερη (Lower Heating Value ή LHV). Έτσι όταν οι υδρατμοί βρίσκονται σε υγρή φάση αναφερόμαστε σε κατώτερη θερμογόνο δύναμη, καθώς η απαιτούμενη ενέργεια ατμοποίησης δεν συνυπολογίζεται ως θερμότητα. Αντίθετα όταν υδρατμοί είναι σε αέρια φάση αναφερόμαστε σε ανώτερη θερμογόνο δύναμη στην οποία συνυπολογίζεται η απαιτούμενη ενέργεια ατμοποίησης. Η σχέση μεταξύ της LHV και HHV είναι η εξής [8]:

$$HHV = LHV + w \times H_s,$$

όπου w είναι το ποσοστό της αρχικής υγρασίας στο σύνολο των ΑΣΑ και $H_s = 2500 \text{ kJ/kg}$ λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης νερού.

Η LHV υπολογίζεται με βάση τη τυπική σύσταση των Ελληνικών ΑΣΑ.

Επιπλέον θεωρούμε ότι τα απορρίμματα μπορούν να καούν εφόσον η περιεκτικότητά τους σε υγρασία δεν ξεπερνά το 50%, η περιεκτικότητα σε τέφρα το 60% και η καύσιμη ύλη να είναι τουλάχιστον 25%, που συνεπάγεται ότι η κατώτερη θερμογόνος δύναμη πρέπει να είναι τουλάχιστον 3350 kJ/kg. Επειδή στην περίπτωση των ελληνικών απορριμάτων το ποσοστό της υγρασίας είναι αυξημένο, απαιτείται η προξήρανσή τους πριν την καύση. Με αυτόν τον τρόπο, το ποσοστό της υγρασίας μπορεί να μειωθεί μέχρι και 15%, το οποίο θεωρητικά αποτελεί βέλτιστο ποσοστό υγρασίας που πρέπει να έχουν τα ΑΣΑ πριν την καύση τους [7].

4.2.6 Ωφέλιμη Ισχύς

Για να υπολογίσουμε την ωφέλιμη ισχύ πρέπει να βρούμε πως διαμορφώνεται το ενεργειακό ισοζύγιο κατά την διάρκεια της καύσης. Οι παράγοντες που επηρεάζουν την ροή της ενέργειας είναι οι εξής [7]-[9]:

- Η θερμογόνος δύναμη απορριμάτων, η $LHV_{\text{αρχική}}$ και η HHV με βάση την αρχική υγρασία απορριμάτων.

- Η προξήρανση των απορριμάτων για την μείωση της υγρασίας μέχρι και το 15%. Επομένως η LHV των απορριμάτων πριν την καύση τους αλλάζει. Η καινούρια LHV ($LHV_{\text{τελική}}$) καθορίζει την $Q_{\text{απορριμάτων}}$ και μπορεί να υπολογιστεί με τον εξής τρόπο:

$$LHV_{\text{τελική}} = LHV_{\text{αρχική}} + (w - 15\%) * H_s,$$

$$Q_{\text{απορριμάτων}} = mf * LHV_{\text{τελική}}$$

Σε αυτό το σημείο μπορούμε να προσδιορίσουμε την απαιτούμενη ενέργεια για την προξήρανση $Q_{\text{προξήρανσης}}$, η οποία χωρίζεται σε αισθητή $Q_{\text{λανθάνουσα}}$ και λανθάνουσα $Q_{\text{αισθητή}}$.

Η λανθάνουσα θερμότητα σύμφωνα με τις θερμοδυναμικές ιδιότητες του νερού είναι η ενέργεια που απαιτείται για μετάβαση του νερού από υγρή σε αέρια φάση.

$$Q_{\text{λανθάνουσα}} = LHV_{\text{τελική}} - LHV_{\text{αρχική}} = (w - 15\%) * H_s \text{ και}$$

$$Q_{\text{αισθητή}} = mf * C_p * \Delta T, \text{ όπου}$$

mf είναι παροχή καυσίμου, δηλαδή απορριμάτων (tn/day), C_p ειδική θερμότητα απορριμάτων η οποία ισούται με $2,1 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{C}$ και ΔT η διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα σε ατμοσφαιρικό και θερμαινόμενο αέρα από τα καυσαέρια που παρέχεται για την προξήρανση. Αν θεωρήσουμε ότι η αρχική θερμοκρασία απορριμάτων είναι 30°C και η θερμοκρασία των καυσαερίων είναι 80°C (η ελάχιστη απαιτούμενη θερμοκρασία για την προξήρανση), τότε $\Delta T = 80^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C} = 50^\circ\text{C}$.

- Η προθέρμανση του εισερχόμενου στον καυστήρα αέρα για λόγους πληρέστερης καύσης. Ένα μέρος της θερμογόνου δύναμης των καυσαερίων και ατμού που παράγονται κατά την καύση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για προθέρμανση του εισερχόμενου στον αποτεφρωτή αέρα και υπολογίζεται με τον εξής τρόπο:

$$Q_{\text{προθέρμανσηςαέρα}} = (1 + a)C_{p_{\text{αέρα}}} \Delta T,$$

όπου ο συντελεστής $a = 20$ εκφράζει την αναλογία μάζα απορριμάτων-αέρα, δηλαδή ο απαιτούμενος αέρας για την καύση πρέπει να είναι 20πλάσιος

της μάζας των ΑΣΑ, $C_{p_{αέρα}} = 1 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{C}$ και ΔT η διαφορά θερμοκρασίας του ατμοσφαιρικού με τον θερμαινόμενο από τα καυσαέρια αέρα που παρέχεται στον καυστήρα, δηλαδή $\Delta T = 80^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C} = 50^\circ\text{C}$.

- Απώλειες που μπορούν να φτάσουν στο 10% της συνολικής ενέργειας απορριμμάτων και περιλαμβάνουν τις απώλειες λόγω ακτινοβολίας οι οποίες αποτελούν συνήθως 4%-5% της εισερχόμενης θερμογόνου δύναμης συν τις απώλειες λόγω της δημιουργίας της τέφρας κατά την καύση. Η εξίσωση που περιγράφει την ενεργειακή ροή κατά την καύση είναι η εξής:

$$Q_{\text{συνολική}} = Q_{\text{απορριμμάτων}} + Q_{\text{προθέρμανσηςαέρα}} = Q_{\text{προξήρανσης}} + Q_{\text{ωφέλιμη}} + \text{Απώλειες}$$

Σύμφωνα με τα παραπάνω επειδή για την προθέρμανση του αέρα χρησιμοποιούμε ένα μέρος της θερμογόνου δύναμης των καυσαερίων και ατμού που παράγονται κατά την καύση η παραπάνω εξίσωση διαμορφώνεται ως εξής:

$$Q_{\text{συνολική}} = Q_{\text{απορριμμάτων}} = Q_{\text{προθέρμανσηςαέρα}} + Q_{\text{προξήρανσης}} + Q_{\text{ωφέλιμη}} + \text{Απώλειες}$$

Ως ωφέλιμη ενέργεια θεωρείται το άθροισμα της αξιοποιήσιμης ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας. Παρόλο που θεωρητικά η γεννήτρια έχει την δυνατότητα να αξιοποιήσει το 31-32% της θερμογόνου δύναμης των ατμών για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας περιοριζόμαστε στο 29%, που είναι συντηρητικό σενάριο ανάκτησης ενέργειας, ενώ η αξιοποιήσιμη θερμική ενέργεια μπορεί να φτάσει στο 53%-54% στο σύνολο της ωφέλιμης ενέργειας. Το υπόλοιπο είναι οι απώλειες που οφείλονται στην γεννήτρια [6]:

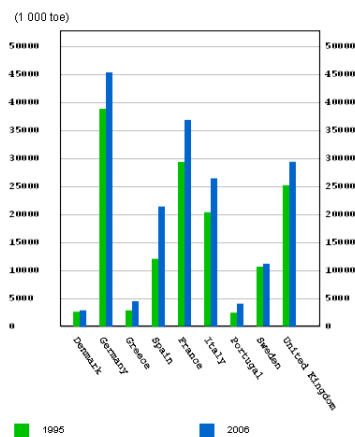
$$Q_{\text{ωφέλιμη}} = Q_{\text{θερμική}} + Q_{\text{ηλεκτρική}} + \text{Απώλειες Γεννήτριας, όπου}$$

$$Q_{\text{ηλεκτρική}} = 0,29 * Q_{\text{ωφέλιμη}}$$

$$Q_{\text{θερμική}} = [0,53, 0,54] * Q_{\text{ωφέλιμη}}$$

4.2.7 Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας και ποσοστό κάλυψης ηλεκτρικής ενέργειας από την καύση των ΑΣΑ

Η κατακόρυφη άνοδος του επιπέδου ζωής στην Ευρώπη μετά το 1945 βασίστηκε στην βιομηχανική ανάπτυξη χάρη στην διάδοση της χρήσης "ενεργοβόρων"

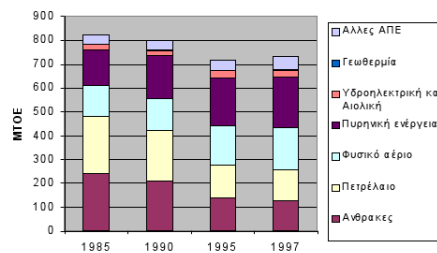


Σχήμα 4.11: Συνολική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, 1996, 2006, (Πηγή: Eurostat). Όπου toe είναι μονάδα μέτρησης ενέργειας που αντιστοιχεί σε ενέργεια που απελευθερώνεται κατά την καύση ενός τόνου πετρελαίου. Κατά την International Energy Agency (IEA) ένα toe αντιστοιχεί σε 41.868 GJ ή σε 11.630 Mwh

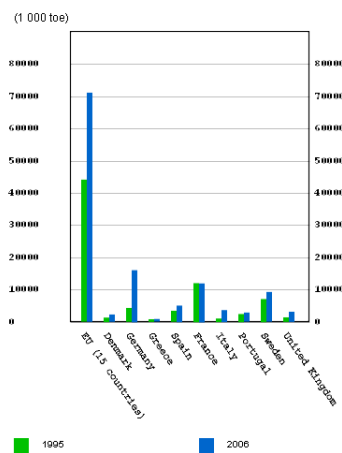
καταναλωτικών και βιομηχανικών αγαθών. Το σύνολο αυτών των αγαθών βασίστηκε, μεταξύ άλλων, στην παρουσία ενέργειας σε ποσότητες μεγαλύτερες από ποτέ, και μάλιστα συγκεκριμένης μορφής. Η διατήρηση καταναλωτικού τρόπου ζωής εξακολουθεί να βασίζεται στην ενεργειακή επάρκεια, συνδυαζόμενη με την ανάγκη επίτευξης του χαμηλού κόστους της ενέργειας, αλλά και της μείωσης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από τη χρήση της. Όπως φαίνεται από τα παρακάτω διαγράμματα οι απαιτήσεις σε ενέργεια στο σύνολο των Ευρωπαϊκών χωρών συνεχώς αυξάνονται. Μόνο στο οικιστικό τομέα η κατανάλωση ενέργειας στις χώρες της ΕΕ έχει αυξηθεί κατά 14% στο διάστημα 1990-2000.

Οι ενεργειακοί πόροι που συμμετέχουν στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι οι εξής:

- Ο άνθρακας για καύση (πχ στη χαλυβουργία).
- Το πετρέλαιο για μεταφορές και θέρμανση
- Το φυσικό αέριο για καύση στη βιομηχανία
- Ο ηλεκτρισμός που προέρχεται από άνθρακα και πυρηνική ενέργεια
- Αιολικά και υδροηλεκτρικά «μεγάλα» συστήματα ΑΠΕ , καύση αποβλήτων μέσω των αποτεφρωτήρων, η γεωθερμία για θέρμανση κτιρίων



Σχήμα 4.12: Πρωτογενής Παραγωγή ενέργειας ανά πόρο στην Ευρώπη των 15

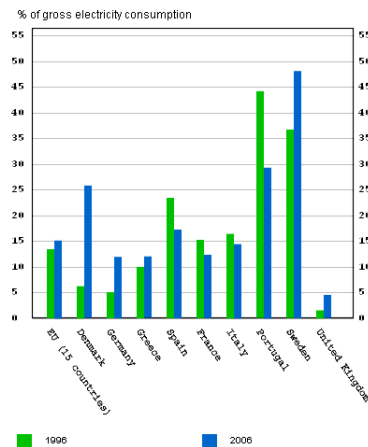


Σχήμα 4.13: Πρωτογενής Παραγωγή Ηλεκτρικής ενέργειας από την βιομάζα και την καύση απορριμάτων, 1995, 2006, (Πηγή: Eurostat)

και γεωργικές εφαρμογές, οι «μικρότερες» ΑΠΕ όπως οι ηλιακοί συλλέκτες, τα αυτόνομα φωτοβολταϊκά στοιχεία

Από τα παραπάνω διαγράμματα φαίνεται ότι από το 1985 η Ευρώπη άρχισε να επενδύει στις ΑΠΕ και συνεχώς μειώνει την χρήση των συμβατικών μορφών ενέργειας. Οι χώρες που έχουν την μεγαλύτερη αξιοποίηση των ΑΠΕ είναι η Σουηδία, η Πορτογαλία, η Δανία και η Ισπανία με ποσοστό κάλυψης 48,2%, 29,4%, 25,9%, 17,3% αντίστοιχα.

Στην Ελλάδα όπως και στην Ευρώπη συνεχίζεται η αύξηση στη συνολική κατανάλωση τελικών μορφών ενέργειας, φτάνοντας το 2003 σε 21,22 εκατομμύρια τόνους ισοδύναμου πετρελαίου (Εικόνα 4.15). Όμως, σε αντίθεση με την Ευρώπη, η συμμετοχή των πετρελαιοειδών στην Ελλάδα παραμένει υπερβολικά μεγάλη καθώς ανέρχεται στο 70% της συνολικής τελικής κατανάλωσης, υποδεικνύοντας τη βαρύτητά τους στο ενεργειακό ισοζύγιο και την



Σχήμα 4.14: Κάλυψη της συνολικής κατανάλωσης Ηλεκτρικής ενέργειας από τις ΑΠΕ, 1996, 2006. (Πηγή: Eurostat)

Ετήσια κατανάλωση Ηλεκτρικής Ενέργειας ανά κάτοικο (kwh)						
1950	1960	1970	1980	1990	2000	2007
88	265	976	2.106	2.923	4.113	4.970

Σχήμα 4.15: Ετήσια κατανάλωση Ηλεκτρικής Ενέργειας ανά κάτοικο στην Ελλάδα, (Πηγή: ΔΕΗ)

άμεση ανάγκη να ληφθούν τα κατάλληλα μέτρα για τη σταδιακή μείωση της ενεργειακής εξάρτησης της χώρας από τα πετρελαιοειδή προϊόντα.

4.3 Νομός Χανίων

4.3.1 Πληθυσμός

Βασιζόμενοι στα στοιχεία της ΕΣΥΕ που υπάρχουν μέχρι το έτος 2006 και στην πιο πρόσφατη απογραφή που έγινε το 2001 μπορούμε να προσδιορίσουμε μέσες τιμές για τις εξής μεταβλητές:

1. Μόνιμος Πληθυσμός:

- Ποσοστό Γεννητικότητας_i = Γεννήσεις_i / Μέσος Πληθυσμός_i
- Ποσοστό Θνησιμότητας_i = Θάνατοι_i / Μέσος Πληθυσμός_i, όπου i είναι έτη = :2001-2006

- Μέσο Ποσοστό Γεννητικότητας = $\Sigma \text{ποσοστό γεννητικότητας} / \text{Σύνολο ετών}$
- Μέσο Ποσοστό Θνησιμότητας = $\Sigma \text{ποσοστό θνησιμότητας} / \text{Σύνολο ετών}$, όπου το σύνολο ετών = 2006-2001=5 έτη
- Μέσος Συντελεστής Φυσικής κίνησης¹ = Μέσο Ποσοστό Γεννητικότητας - Μέσο Ποσοστό Θνησιμότητας

Στη συνέχεια βασιζόμενοι στις προβολές πληθυσμού που έχει γίνει από την ΕΣΥΕ μέχρι το 2007 και χρησιμοποιώντας την εξίσωση της ενότητας 4.2.1 υπολογίζουμε για κάθε έτος από το 2002 έως 2006 τον ετήσιο ρυθμό μεταβολής. Ακολουθώντας, βρίσκουμε τον μέσο αυτών των ετήσιων ρυθμών μεταβολής πληθυσμού και τον χρησιμοποιούμε στη συνέχεια για την πρόβλεψη πληθυσμού μέχρι το 2030. Επίσης λόγω ελλειπών στατιστικών στοιχείων για την κίνηση μεταναστών στο Νομό Χανίων στο διάστημα 2001-2007 υπολογίσαμε τον συντελεστή μεταναστευτικής κίνησης χρησιμοποιώντας τον μέσο ετήσιο ρυθμό μεταβολής. Η διαδικασία που ακολουθήσαμε φαίνεται παρακάτω:

- Ετήσιος Ρυθμός Μεταβολής Πληθυσμού_i² = $\text{Πληθυσμός}_i - \text{Πληθυσμός}_{i-1} / \text{Πληθυσμός}_{i-1}$, όπου i =: 2002-2006
- Μέσος Ετήσιος Ρυθμός Μεταβολής Πληθυσμού = $\Sigma \text{Ετήσιος Ρυθμός Μεταβολής Πληθυσμού} / \text{Σύνολο ετών}$, όπου το σύνολο των ετών είναι 2006-2002 = 4 έτη
- Μέσος Συντελεστής Μεταναστευτικής κίνησης_i³ = Μέσος Ετήσιος Ρυθμός Μεταβολής Πληθυσμού - Μέσος Συντελεστής Φυσικής κίνησης
- Μόνιμος Πληθυσμός_{i+1}⁴ = $\text{Μόνιμος Πληθυσμός}_i + \text{Μέσος Ετήσιος Ρυθμός Μεταβολής Πληθυσμού} * \text{Μόνιμος Πληθυσμός}_i$, όπου i είναι έτος = :2001-2029

2. Πληθυσμός που οφείλεται στην τουριστική κίνηση στο Νομό Χανίων:

Με βάση τα στοιχεία της ΕΣΥΕ που υπάρχουν για το διάστημα 1998-2006 για την δυναμικότητα Συλλογικών Τουριστικών Καταλυμάτων (ΣΤΚ) στο νομό Χανίων και την Πληρότητα των κλινών κατά μήνα

¹Natural Growth στο Παράρτημα Α

²Growth Factor (GF) for Base Population (BP) στο Παράρτημα Α

³Migration Growth στο Παράρτημα Α

⁴Base Population στο Παράρτημα Α

από το έτος 2003 έως και το 2006 για όλην την Ελλάδα, μπορούν να προσδιοριστούν τα παρακάτω:

- Ετήσιος Ρυθμός Μεταβολής $\Sigma TK_i = \Sigma TK_i - \Sigma TK_{i-1} / \Sigma TK_{i-1}$, όπου $i = 1999-2006$.
- Μέσος Ετήσιος ρυθμός μεταβολής $\Sigma TK = \min$ Ετήσιος Ρυθμός Μεταβολής ΣTK_i , όπου το σύνολο των ετών είναι $1999-2006 = 7$ έτη.
Όπως ήδη έχει αναφερθεί ο ρυθμός μεταβολής ΣTK εκφράζει την οικονομική δυνατότητα της περιοχής για περαιτέρω τουριστική ανάπτυξη και αναφέρεται στο δυναμικό μας σύστημα ως "Standard of living multiplier".
- Μέση Πληρότητα $\Sigma TK_{\text{κατά μήνα}}^5 = \sum \text{πληρότητα κατά μήνα } \Sigma TK / \text{Σύνολο ετών}$, όπου το σύνολο των ετών είναι $2006-2003 = 3$ έτη.
Γενικότερα θεωρούμε ότι η πληρότητα των ΣTK δεν έχει τάση να μεταβάλλεται σημαντικά εφ' όσον η περίοδος της έντονης τουριστικής κίνησης είναι δεδομένη, ξεκινάει τον Μάιο και τελειώνει τον Οκτώβρη. Ενώ ο μήνας που έχει την μέγιστη τουριστική κίνηση είναι Αύγουστος.
- $\Sigma TK_{i+1}^6 = \Sigma TK_i + \Sigma TK_i * \text{Μέσος Ετήσιος ρυθμός μεταβολής } \Sigma TK_i$, όπου $i = 2001-2029$
- Τουρίστες i κατά μήνα = Μέση Πληρότητα $\Sigma TK_{\text{κατά μήνα}} * \Sigma TK_i * (30 \text{ ή } 31 \text{ μέρες του μήνα})$, όπου $i = 2001-2030$
- Σύνολο τουριστών $_i^7 = \sum \text{τουρίστες } i \text{ κατά μήνα}$, όπου $i = 2001-2030$

Αν θεωρήσουμε ότι οι Τουρίστες i κατά μήνα είναι ένας δισδιάστατος πίνακας τότε ουσιαστικά υπολογίζουμε το άθροισμα ως προς την διάσταση "μήνας" για κάθε έτος i . Επομένως ο συνολικός πληθυσμός προκύπτει ως εξής:

Συνολικός Πληθυσμός $_i^8 = \text{Μόνιμος Πληθυσμός}_i + \text{Σύνολο τουριστών}_i$,
όπου $i = 2001-2030$

ή

⁵Plentitude στο Παράρτημα Α

⁶Total Tourist Growth στο Παράρτημα Α

⁷Tourists per year στο Παράρτημα Α

⁸Total Population

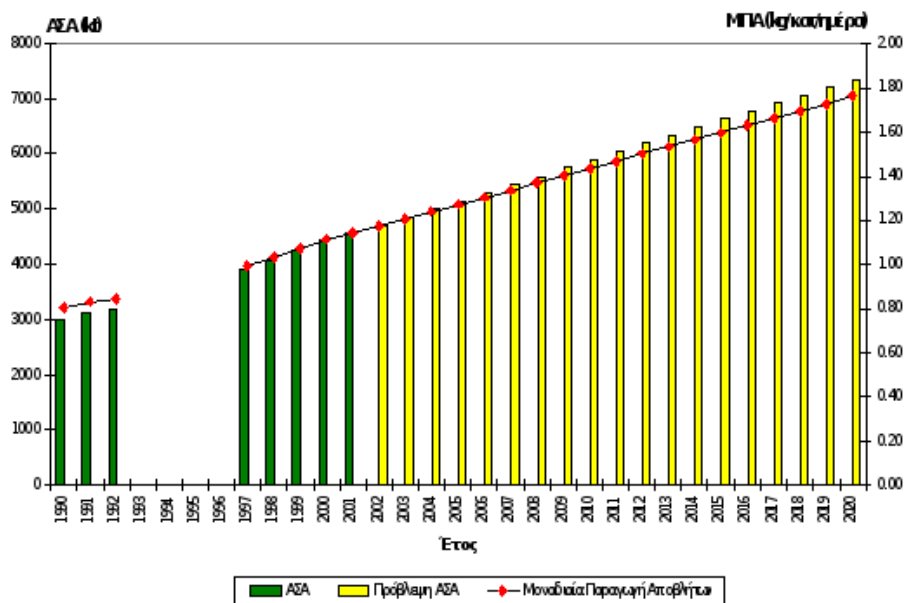
$\text{Συνολικός Πληθυσμός}_i \text{ ανά ημέρα} = \text{Μόνιμος Πληθυσμός}_i + \text{Σύνολο τουριστών}_i / 365 \text{ μέρες, όπου } i := 2001-2030$

4.3.2 Ρυθμός Παραγωγής Απορριμάτων

Για τον προσδιορισμό του ρυθμού παραγωγής απορριμάτων βασιζόμαστε στις πληροφορίες που μας παρέχει η ΔΕΔΙΣΑ σχετικά με την αποκομιδή απορριμάτων στο Νομό Χανίων, οι οποίες όμως περιορίζονται στο χρονικό διάστημα 2005-2007 καθώς η ολοκληρωμένη καταγραφή δεδομένων ξεκίνησε ουσιαστικά το 2004. Επίσης η αποκομιδή απορριμάτων από την ΔΕΔΙΣΑ γίνεται σε 18 δήμους από τους 23 που ανήκουν στον Νομό Χανίων. Θεωρούμε ότι ο Δήμος Αρμένων, Σφακίων, Ανατολικού Σελίνου, Πελικάνου, Κανδάνου στους οποίους δε γίνεται συλλογή απορριμάτων από την ΔΕΔΙΣΑ συμμετέχουν στην συνολική παραγωγή απορριμάτων στο Νομό Χανίων κατά 0,079% σύμφωνα με την πληθυσμιακή αναλογία, όπως προκύπτει με την απογραφή το 2001. Επιπλέον στο δυναμικό μοντέλο για το χρονικό διάστημα 2001-2030 στηρίζόμαστε στις εξής υποθέσεις:

1. ΜΠΑ_{2001} (για τους μόνιμους κάτοικους) είναι περίπου $1,2 \text{ kg/ημέρα/κάτοικο}$ [1]
2. ΜΠΑ_{2001} (για τους τουρίστες) είναι περίπου $1,3 \text{ kg/ημέρα/κάτοικο}$ [1]
3. ΜΠΑ_{2030} (για τους μόνιμους κάτοικους) είναι περίπου $2,1-2,2 \text{ kg/ημέρα/κάτοικο}$ και είναι μέγιστη τιμή που μπορεί να πάρει. (Όπως φαίνεται από την Εικόνα 4.16 η ΜΠΑ αυξάνεται με σταθερό ρυθμό και φτάνει $1,82-1,85 \text{ kg/capita/day}$ σύμφωνα με την πρόβλεψη από την ομάδα ΙΤΑ μέχρι το 2020)
4. ΜΠΑ_{2030} (για τους τουρίστες) είναι περίπου $2,2-2,3 \text{ kg/ημέρα/κάτοικο}$ και είναι μέγιστη τιμή που μπορεί να πάρει.
5. Όπως αναφέρθηκε αναλυτικά και πιο πάνω, λαμβάνοντας υπόψη τους στόχους για το 2011 για την ανακύκλωση, και δεδομένου ότι η ΜΠΑ πρακτικά δεν μπορεί να αυξάνεται επ' άπειρον, θεωρούμε ότι η ΜΠΑ θα συνεχίζει να αυξάνεται αλλά με μικρότερο ρυθμό σε σχέση με αυτόν που ισχύει για το χρονικό διάστημα 2001-2011. Στο μοντέλο μας, ο παράγοντας που επηρεάζει την μεταβολή της ΜΠΑ αναφέρεται ως "Περιβαλλοντική Συνείδηση" και υπολογίζεται με τον εξής τρόπο:

Με βάση τα στοιχεία για το 2007 από την Δ.Ε.ΔΙ.Σ.Α και τον υπολογιζόμενο πληθυσμό για το έτος 2007 υπολογίζουμε:



Σχήμα 4.16: Μεταβολή της συνολικής παραγόμενης ποσότητας ΑΣΑ και της ΜΠΑ στην Ελλάδα την περίοδο 1991-2001, (Πηγή: Η.Π. 50910/2727/2003, ΥΠΕΧΩΔΕ 2003) και προβλέψεις Ομάδας ΙΤΑ για το 2020

- $ΜΠΑ_{2007} = ΡΠΑ_{2007} / Π2_{2007}$

$$\text{Περιβαλλοντική Συνείδηση}_{2001-2011}^9 = ΜΠΑ_{2007} - ΜΠΑ_{2001} / 2007 - 2001$$

$$\text{Περιβαλλοντική Συνείδηση}_{2012-2030} = ΜΠΑ_{2030} - ΜΠΑ_{2011} / 2030 - 2011$$

$$\text{Μέσος Ετήσιος ρυθμός μεταβολής } ΜΠΑ_i^{10} = \text{Περιβαλλοντική Συνείδηση}_{2001-2011} \text{ για } i := 2001-2011 \text{ και}$$

$$\text{Μέσος Ετήσιος ρυθμός μεταβολής } ΜΠΑ_i = \text{Περιβαλλοντική Συνείδηση}_{2012-2030} \text{ για } i := 2011-2030$$

$$ΜΠΑ_{i+1} = ΜΠΑ_i + ΜΠΑ_i * \text{Μέσος Ετήσιος ρυθμός μεταβολής } ΜΠΑ_i, \text{ όπου } i := 2001-2030$$

Στο δυναμικό σύστημα υπολογίζουμε χωριστά την ΡΠΑ ανά ημέρα για τους τουρίστες και τους μόνιμους κατοίκους ακολουθώντας την παρακάτω

⁹Environmental awareness στο Παράρτημα Α

¹⁰Growth Rate (GR) of Waste Generation (WG) per Capita/Tourists στο Παράρτημα Α

διαδικασία:

- $RPA_i(\text{Μόνιμοι κάτοικοι})^{11} = MPA_i(\text{Μόνιμοι κάτοικοι}) * \Pi_i(\text{Μόνιμοι κάτοικοι})$
 $RPA_i(\text{Τουρίστες})^{12} = MPA_i(\text{Τουρίστες}) * \Pi_i(\text{Τουρίστες})$
 $RPA_i = RPA_i(\text{Μόνιμοι κάτοικοι}) + RPA_i(\text{Τουρίστες})$, όπου $i := 2001-2030$

4.3.3 Σύνθεση Απορριμάτων

Σύμφωνα με τα στοιχεία της ΔΕΔΙΣΑ η σύσταση απορριμάτων (ΣΑ) στο Νομό Χανίων φαίνεται παρακάτω:



Σχήμα 4.17: Ποιοτική σύσταση απορριμάτων στο Νομό Χανίων, 2005, (Πηγή: Πολυτεχνείο Κρήτης, Εργαστήριο Διαχείρισης Τοξικών και Επικίνδυνων Αποβλήτων)

Θεωρούμε ότι η παραπάνω σύσταση ισχύει για το 2001 και τείνει θεωρητικά να προσεγγίσει αυτήν της Σουηδίας το 2030 που δίνεται αναλυτικά στο παρακάτω σχήμα. Έτσι στο σύστημα δυναμικής η ΣA_{2001} αναφέρεται ως αρχική σύσταση απορριμάτων και ΣA_{2030} αναφέρεται ως αναμενόμενη.

Από τον παρακάτω πίνακα φαίνεται ότι αναμένεται η μείωση σε ζυμώσιμα υλικά και πλαστικά με παράλληλη αύξηση του χαρτιού. Για την αναμενόμενη ΣΑ έχει επιλεγθεί η Σουηδία για τον λόγο ότι αποκλίνει ελάχιστα από την μέση σύνθεση απορριμάτων που ισχύει για την Ευρώπη, που φαίνεται στο

¹¹Waste Generation of BP per day στο Παράρτημα Α

¹²Waste Generation of Tourists per day στο Παράρτημα Α

Σύσταση Απορριμάτων	Σουηδία	Ευρώπη	Νομός Χανίων 2001	Νομός Χανίων 2030
ΖΥΜΩΣΙΜΑ	25%-35%	29%	41%	28%
ΠΛΑΣΤΙΚΑ	8%-10%	9%	15%	9%
ΧΑΡΤΙ	34%-45%	26%	16%	38%
ΜΕΤΑΛΛΑ	4%	4%	7%	3%
ΓΥΑΛΙ	6%-8%	7%	7%	6%
ΔΕΥΛ	-%	-%	12%	11%
ΛΟΙΠΑ	6%-9%	-%	1%	5%

Σχήμα 4.18: Συγκεντρωτικός πίνακας για τη μέση σύσταση ΑΣΑ για την ΕΕ, τη Σουηδία και την Ελλάδα

παρακάτω σχήμα, και έχει αρκετά μειωμένα ποσοστά πλαστικών και αυξημένα ποσοστά χαρτιού, κάτι το οποίο επιδιώκεται τα τελευταία χρόνια στην Ελλάδα[3],[13].

Επομένως ο Ρυθμός Μεταβολής της ΣΑ υπολογίζεται ως εξής:

Μέσος Ετήσιος Ρυθμός Μεταβολής ΣΑ¹³ = $\frac{\Sigma A_{2001}^{14} - \Sigma A_{2030}^{15}}{2030 - 2001}$

$\Sigma A_{i+1}^{16} = \Sigma A_i + \Sigma A_i * \text{Μέσος Ετήσιος Ρυθμός Μεταβολής ΣΑ}$, όπου $i := 2001 - 2029$

Το επόμενο βήμα είναι να υπολογίσουμε την ημερήσια παραγωγή απορριμάτων (ΠΑ) ανά υλικό από το 2001-2030

ΠΑ ανά υλικό $i^{17} = PPA_i * \Sigma A_i$, όπου $i := 2001 - 2029$

4.3.4 Ανακύκλωση

Όπως έχει αναφερθεί και πιο πάνω, η ανακύκλωση ως μέθοδος διαχείρισης απορριμάτων άρχισε να εφαρμόζεται πρόσφατα στην Ελλάδα, ξεκινώντας από τις μεγαλουπόλεις και φτάνοντας στις επαρχιακές πόλεις. Τα αποτελέσματα της ανακύκλωσης είναι αρκετά ελπιδοφόρα για την πλήρωση Εθνικών στόχων

¹³Range of Change of Waste Composition (WC) στο Παράρτημα Α

¹⁴Initial Composition στο Παράρτημα Α

¹⁵Final Composition στο Παράρτημα Α

¹⁶Waste Composition στο Παράρτημα Α

¹⁷Waste Composition per day στο Παράρτημα Α

μέχρι το 2011 καθώς τα ποσοστά της ανακύκλωσης (ΠΑ) συνεχώς αυξάνονται και το σύνολο των υλικών που μπορούν να ανακυκλωθούν διευρύνεται.

Στο Νομό Χανίων η ανακύκλωση άρχισε να εφαρμόζεται από το 2005 για τα υλικά συσκευασίας όπως το χαρτί, πλαστικό και μέταλλο. Από το 2006 άρχισε να ανακυκλώνεται και το γυαλί. Ο αριθμός των Δήμων του Νομού Χανίων που συμμετέχουν στην ανακύκλωση συνεχώς μεγαλώνει. Το 2005 ήταν μόλις 5 Δήμοι ενώ το 2007 έχει φτάσει στους 21, ενώ τελευταία η αποκομιδή ανακυκλώσιμων γίνεται και σε Δήμους του Ρεθύμνου.

Επειδή στο δυναμικό σύστημά μας επιλέγουμε το χαρτί και το πλαστικό να καίγονται αντί να ανακυκλώνονται, τα υλικά που είναι προς ανακύκλωση είναι το γυαλί και το μέταλλο. Για να υπολογίσουμε τις ποσότητες του γυαλινών και μεταλλικών συσκευασιών προς ανακύκλωση, βασιζόμαστε στα στοιχεία της Δ.Ε.ΔΙ.Σ.Α για το 2006, 2007. Στο σύστημα θεωρούμε ότι πρόκειται για αρχικά ΠΑ για το 2001 που θα ίσχυαν εάν η ανακύκλωση εφαρμοζόταν από το 2001 λόγω έλλειψης δεδομένων για το χρονικό διάστημα 2001-2005. Επίσης από το 2011 θεωρούμε ότι τα ποσοστά ανακύκλωσης για γυαλί και μέταλλο είναι αυτά που έχουν τεθεί από την ΕΕ και τα οποία στο δυναμικό σύστημα αναφέρονται ως αναμενόμενα ΠΑ για το χρονικό διάστημα 2012-2030.

Επιπλέον εισάγουμε στο δυναμικό σύστημά μας την μεταβλητή “Environmental Behavior” για να περιγράψουμε την ανταπόκριση των κατοίκων και τουριστών στην διαδικασία της ανακύκλωσης[12].

Έτσι έχουμε τα παρακάτω:

- Για το χρονικό διάστημα 2001-2011:

$$\text{Περιβαλλοντική Συμπεριφορά}^{18}_{2001-2011} = \text{Μέσος Ετήσιος Ρυθμός Μεταβολής ΠΑ}_{2001-2011}^{19} = \text{Αρχικά ΠΑ}_{2001}^{20} - \text{Αναμενόμενα ΠΑ}_{2011}^{21} / 2011 - 2001$$

$$\text{ΠΑ}_{i+1}^{22} [\text{Γυαλί, Μέταλλο}]_{2001-2011} = \text{ΠΑ}_i [\text{Γυαλί, Μέταλλο}]_{2001-2011} + \text{ΠΑ}_{i+1} [\text{Γυαλί, Μέταλλο}]_{2001-2011} * \text{Μέσος Ετήσιος Ρυθμός Μεταβολής ΠΑ}_{2001-2011}, \text{ όπου } i := 2001-2011$$

Αν θεωρήσουμε ότι στην περίπτωση της πλήρωσης Εθνικών στόχων μέχρι

¹⁸Environmental Behavior στο Παράρτημα Α

¹⁹GF of Recycling Rate (RR) στο Παράρτημα Α

²⁰Initial RR Παράρτημα Α

²¹Final RR Παράρτημα Α

²²Recycling Rate Παράρτημα Α

το 2011 τα ΠΑ είναι αρκετά μεγάλα και δεν πρόκειται να μεταβληθούν σημαντικά τα επόμενα χρόνια, τότε:

- Για το χρονικό διάστημα 2001-2011:

$$\text{ΠΜΑ}_{i+1}^{23} [\text{Γυαλί, Μέταλλο}]_{2001-2011} = [100\%, 100\%] - \text{ΠΑ}_{i+1} [\text{Γυαλί, Μέταλλο}]_{2001-2011}, \text{ όπου } i := 2001-2011$$

- Για το χρονικό διάστημα 2012-2030:

$$\begin{aligned} \text{ΠΜΑ}_i [\text{Γυαλί, Μέταλλο}]_{2012-2030} &= [1, 1] - \text{ΠΑ}_i [\text{Γυαλί, Μέταλλο}]_{2012-2030} \\ &= [100\%, 100\%] - [60\%, 50\%] = [40\%, 50\%] \end{aligned}$$

Το σύνολο απορριμάτων που δεν ανακυκλώνονται αλλά καταλήγουν στους κάδους μαζί με τα υπόλοιπα απορρίμματα είναι:

$$\text{ΜΑ}_i^{24} = \text{ΡΠΑ}_i * \text{ΠΜΑ}_i [\text{Γυαλί, Μέταλλο}]_i, \text{ όπου } i := 2001-2030$$

4.3.5 Θερμογόνος Δύναμη Απορριμάτων

Για τον προσδιορισμό της θερμογόνου δύναμης απορριμάτων λαμβάνουμε υπόψη τα συστατικά που προορίζονται για την καύση:

- Οργανικά υπολείμματα
- Χαρτί
- Πλαστικό
- ΔΞΥ

Επίσης για τον υπολογισμό της HHV και LHV βασιζόμαστε στις τυπικές θερμογόνες τιμές και στην τυπική σύσταση των Ελληνικών ΑΣΑ που προορίζονται για αποτέφρωση όπως φαίνεται παρακάτω:

Η LHV των απορριμάτων πριν την προξηρανσή τους (LHV_{αρχική}) υπολογίζεται με βάση τη τυπική σύσταση των Ελληνικών ΑΣΑ ως εξής:

²³Untreated RR στο Παράρτημα Α

²⁴Untreated Recycable στο Παράρτημα Α

Συστατικό	% <u>κ.β</u> υγρασία	Τυπική θερμογόνοος δύναμη MJ/kg
Οργανικά υπολείματα	65	5
Χαρτί	5,5	16,5
Πλαστικό	0	32
ΔΞΥΛ	8	20

Σχήμα 4.19: Τυπική σύσταση των Ελληνικών ΑΣΑ που προορίζονται για αποτέφρωση [8]

- $LHV_{αρχική}(MJ/kg) = (ΠΑ_i[οργανικά] * 50\% * 5MJ/kg + ΠΑ_i [Χαρτί] * 16,5MJ/kg + ΠΑ_i [Πλαστικό] * 32MJ/kg + ΠΑ_i [ΔΞΥ] * 20MJ/kg) / ΣΑ_i$, όπου

$ΣΑ_i^{25} = ΠΑ_i[Οργανικά] + ΠΑ_i [Χαρτί] + ΠΑ_i [Πλαστικό] + ΠΑ_i[ΔΞΥ]$, όπου $ΠΑ_i[συστατικό](kg)$ είναι παραγωγή απορριμάτων ανά συστατικό και $ΣΑ_i$ είναι το σύνολο απορριμάτων προς καύση για έτος $i := 2001-2030$

- $HHV = LHV_{αρχική} + w * H_s^{26}$, όπου w είναι το ποσοστό της αρχικής υγρασίας στο σύνολο των ΑΣΑ και $H_s = 2500kJ/kg$ η λανθάνουσα θερμότητα εξατμίσης νερού. Το ποσοστό της αρχικής υγρασίας στο σύνολο των ΑΣΑ υπολογίζεται με τον εξής τρόπο:

$$w_i^{27} = (ΠΑ_i [οργανικά] * 50\% * 65\% + ΠΑ_i [Χαρτί] * 5,5\% + ΠΑ_i [ΔΞΥ] * 8\%) / ΣΑ_i, \text{ όπου } i := 2001-2030.$$

- Όπως έχουμε ήδη αναφέρει, λόγω της αυξημένης υγρασίας των Ελληνικών απορριμάτων, απαιτείται η προξηρανσή τους πριν την καύση. Θεωρούμε ότι το βέλτιστο ποσοστό υγρασίας των ΑΣΑ μετά την προξηρανση τους είναι το 15%. Επομένως η καινούρια τιμή LHV μετά την

²⁵Total Waste for LHV στο Παράρτημα Α

²⁶Heat of Vaporization of Waste Moisture (WM) στο Παράρτημα Α

²⁷WM for Vaporization στο Παράρτημα Α

προξήρανση προκύπτει ως εξής:

$LHV_{τελική}(MJ/kg)^{28} = LHV_{αρχική} + (w-15\%)*H_s$, όπου w είναι το ποσοστό της αρχικής υγρασίας στο σύνολο των ΑΣΑ και $H_s = 2500kJ/kg$ λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης νερού.

4.3.6 Ωφέλιμη Ισχύς

Όπως έχουμε αναφέρει πιο πάνω η ωφέλιμη ενέργεια υπολογίζεται σύμφωνα με τις παρακάτω εξισώσεις:

- $Q_{συνολική} = Q_{απορριμάτων} = Q_{προθέρμανσηςαέρα} + Q_{προξήρανσης} + Q_{ωφέλιμη} + Απώλειες_i$
- $Q_{ωφέλιμη} = Q_{θερμική} + Q_{ηλεκτρική} + Απώλειες Γεννήτριας_i$, όπου $Q_{ηλεκτρική} = 0,29 * Q_{ωφέλιμη}$ και $i:=2001-2030$
- Η θερμική ισχύς των απορριμάτων $Q_{απορριμάτων}$:

$Q_{απορριμάτων}^{29} = m f_i^{30} * LHV_{τελική}_i$, όπου $i:=2001-2030$ και $m f$ είναι παροχή καυσίμου, δηλαδή απορριμάτων (tn/day)

- Η απαιτούμενη ενέργεια για την προξήρανση $Q_{προξήρανσης}$, η οποία χωρίζεται σε αισθητή $Q_{λανθάνουσα}^{31}$ και λανθάνουσα $Q_{αισθητή}$:

$$Q_{προξήρανσης}^{32} = Q_{λανθάνουσα} + Q_{αισθητή}$$

$Q_{λανθάνουσα} = LHV_{τελική}_i - LHV_{αρχική}_i = (w_i - 15\%) * H_s$ και $Q_{αισθητή} = m f_i * C_p * \Delta T$, όπου $m f_i$ είναι παροχή καυσίμου, δηλαδή απορριμάτων (tn/day) το έτος $i:=2001-2030$, C_p ειδική θερμότητα απορριμάτων η οποία ισούται με $2,1 KJ/Kg^{\circ}C$ και $\Delta T = T_{θερμαιν.αέρα} - T_{ατμοσφ.αέρα} = 80^{\circ}C - 30^{\circ}C = 50^{\circ}C$, η διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα σε ατμοσφαιρικό και θερμαινόμενο αέρα από τα καυσαέρια που παρέχεται για την προξήρανση.

²⁸LHV Final στο Παράρτημα Α

²⁹Q of Waste στο Παράρτημα Α

³⁰Total Waste for LHV στο Παράρτημα Α

³¹Q drying or Vaporization στο Παράρτημα Α

³²Q Total Drying στο Παράρτημα Α

- Η ενέργεια που απαιτείται για την προθέρμανση του εισερχόμενου στον καυστήρα αέρα για λόγους πληρέστερης καύσης. Για αυτόν τον λόγο χρησιμοποιείται ένα μέρος της θερμογόνου δύναμης των καυσαερίων και ατμού που παράγονται κατά την καύση:

$Q_{\text{προθέρμανσηςαέρα}}^{33} = m \cdot f_i \cdot (1+a) \cdot C_{\text{ραέρα}} \cdot \Delta T$, όπου ο συντελεστής $a=20$ εκφράζει την αναλογία μάζα απορριμάτων-αέρα, δηλαδή ο απαιτούμενος αέρας για την καύση πρέπει να είναι 20πλάσιος της μάζας των ΑΣΑ, $C_{\text{ραέρα}} = 1 \text{Kj/Kg}^\circ\text{C}$, ΔT η διαφορά θερμοκρασίας του ατμοσφαιρικού με τον θερμαινόμενο από τα καυσαέρια αέρα που παρέχεται στον καυστήρα, δηλαδή $\Delta T = 80^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C} = 50^\circ\text{C}$.

- Απώλειες σε ενέργεια που οφείλονται στην καύση των ανακυκλώσιμων υλικών όπως γυαλί και μέταλλο λόγω του ότι η ανακύκλωση πρακτικά δεν είναι ποτέ 100% στο σύνολο των ανακυκλώσιμων υλικών:

$\text{Απώλειες}_{\text{μηανακύκλωση}}^{34} = \text{HV}_{\text{γυαλί}}^{35} \cdot m_{i\text{γυαλί}} + \text{HV}_{\text{μέταλλο}}^{36} \cdot m_{i\text{μέταλλο}}$, όπου $\text{HV}_{\text{γυαλί}} = 628 \text{ kj/kg}$, $\text{HV}_{\text{μέταλλο}} = 544 \text{ kj/kg}$ [14], $m_{i\text{γυαλί}}$ είναι η παροχή γυάλινων συσκευασιών που δεν έχουν ανακυκλωθεί και αντίστοιχα $m_{i\text{μέταλλο}}$ είναι η παροχή μεταλλικών συσκευασιών που δεν έχουν ανακυκλωθεί και προκύπτουν από MA_i όπως έχει υπολογιστεί στο προηγούμενο κεφάλαιο.

Επίσης έχουμε απώλειες μπορούν να φτάσουν στο 10% της συνολικής ενέργειας απορριμάτων και αφορούν τις απώλειες που οφείλονται στη ζεστή τέφρα, στον άκαυστο άνθρακα και τις απώλειες λόγω ακτινοβολίας που αντιστοιχούν στο 4%-5% της εισερχόμενης θερμογόνου δύναμης:

$\text{Απώλειες}_{\text{τέφρα, ακτινοβολία}} = 10\% \cdot Q_{\text{συνολική}i}$, όπου $i:=2001-2030$

Επιπλέον απώλειες είναι αυτές που αφορούν την γεννήτρια κατά την ανάκτηση ενέργειας από την θερμογόνο δύναμη των ατμών.

- Αξιοποιήσιμη ηλεκτρική ενέργεια:

³³Q incinerator στο Παράρτημα Α

³⁴Loss Due to non-Recycling στο Παράρτημα Α

³⁵HV non-Combustible στο Παράρτημα Α

³⁶HV non-Combustible στο Παράρτημα Α

$$Q_{\omega\phi\epsilon\lambda\iota\mu\eta i}^{37} = Q_{\theta\epsilon\rho\mu\iota\kappa\eta i} + Q_{\eta\lambda\epsilon\kappa\tau\rho\iota\kappa\eta i} + \text{Απώλειες Γεννήτριας}_i, \text{ όπου } Q_{\eta\lambda\epsilon\kappa\tau\rho\iota\kappa\eta i} = 0,29 * Q_{\omega\phi\epsilon\lambda\iota\mu\eta i}$$

Επομένως το ενεργειακό ισοζύγιο διαμορφώνεται ως εξής:

$$Q_{\sigma\upsilon\nu\omicron\lambda\iota\kappa\eta i} = Q_{\alpha\pi\omicron\rho\rho\iota\mu\acute{\alpha}\tau\omega\nu i} = Q_{\pi\rho\omicron\theta\acute{\epsilon}\rho\mu\alpha\nu\sigma\eta\varsigma\alpha\acute{\epsilon}\rho\alpha i} + Q_{\pi\rho\omicron\zeta\eta\rho\alpha\nu\sigma\eta\varsigma i} + Q_{\theta\epsilon\rho\mu\iota\kappa\eta i} + Q_{\eta\lambda\epsilon\kappa\tau\rho\iota\kappa\eta i} + \text{Απώλειες}_{\gamma\epsilon\nu\eta\eta\tau\rho\iota\alpha i} + \text{Απώλειες}_{\tau\acute{\epsilon}\phi\rho\alpha, \alpha\kappa\tau\iota\nu\omicron\beta\omicron\lambda\iota\alpha i} + \text{Απώλειες}_{\mu\eta\alpha\nu\alpha\kappa\upsilon\lambda\omega\sigma\eta i}, \text{ όπου } i:= 2001-2030.$$

4.3.7 Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας και ποσοστό κάλυψης ηλεκτρικής ενέργειας από την καύση των ΑΣΑ

Σύμφωνα με τα στοιχεία της ΕΣΥΕ για την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας (ΚΗΕ) στο Νομό Χανίων στο χρονικό διάστημα 1993-2006 μπορούμε να προσδιορίσουμε τον ετήσιο ρυθμό μεταβολής για αυτό το χρονικό διάστημα:

- Ετήσιος Ρυθμός Μεταβολής ΚΗΕ_i³⁸ = ΚΗΕ_i - ΚΗΕ_{i-1} / ΚΗΕ_{i-1}, όπου i:= 1994-2005
- Μέσος Ετήσιος ρυθμός μεταβολής ΚΗΕ = \sum Ετήσιος ρυθμός μεταβολής ΚΗΕ / Σύνολο ετών, όπου το σύνολο των ετών είναι 1993-2006 = 13 έτη. Στο δυναμικό μοντέλο ως μέσο ετήσιο ρυθμό μεταβολής ΚΗΕ για το 2001-2030 χρησιμοποιούμε αυτόν που ισχύει για το 1993=2006.
- Η ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας σε MWh:

$$\text{ΚΗΕ}_{i+1}(\text{Mwh})^{39} = \text{ΚΗΕ}_i + \text{ΚΗΕ}_i * \text{Μέσος Ετήσιος ρυθμός μεταβολής ΚΗΕ}, \text{ όπου } i:= 2001-2029$$

- Ποσοστό κάλυψης ΗΕ από την ανάκτηση της ΗΕ από τα ΑΣΑ στο νομό Χανίων: Κάλυψη ΗΕ⁴⁰ = $Q_{\eta\lambda\epsilon\kappa\tau\rho\iota\kappa\eta i} / \text{ΚΗΕ}_i$, όπου i:= 2001-2030.

³⁷Q Thermal and Electric στο Παράρτημα Α

³⁸GR of Electrical Energy Consumption (EEC) στο Παράρτημα Α

³⁹Electric Energy Consumption στο Παράρτημα Α

⁴⁰Percentage of Electricity Demand Supplied by Waste στο Παράρτημα Α

This page left blanc.

Κεφάλαιο 5

Αποτελέσματα- Συζήτηση

Στο δυναμικό μας σύστημα χρησιμοποιήσαμε ένα σύνολο μεταβλητών και παραμέτρων, η μελλοντική συμπεριφορά των οποίων, σε πολλές περιπτώσεις, βασίστηκε σε μέσους ρυθμούς μεταβολής, όπως έχουν προκύψει από τα τελευταία στατιστικά στοιχεία, και σε υποθέσεις που σε κάθε περίπτωση στηρίζονται σε συντηρητικά σενάρια.

Για να επαληθεύσουμε την σωστή λειτουργία του μοντέλου, συγκρίνουμε τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την προσομοίωση με τα στατιστικά δεδομένα και εξετάζουμε αν η συμπεριφορά των μεταβλητών, και συνολικά του μοντέλου, είναι επιθυμητή και ανταποκρίνεται σε πραγματικά δεδομένα.

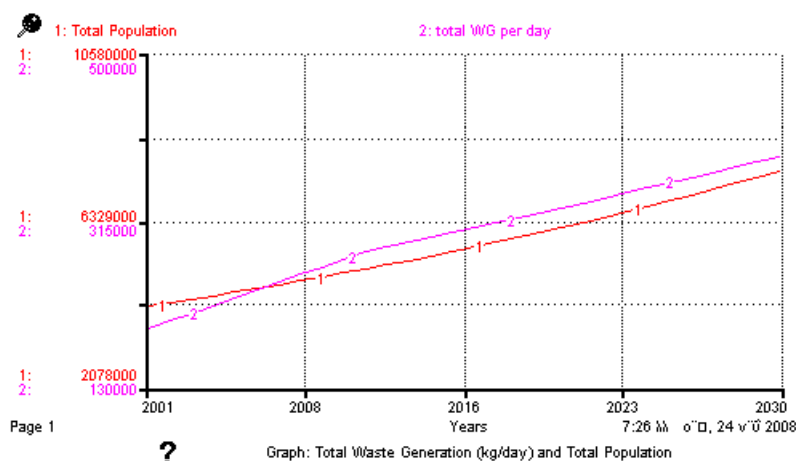
Παρακάτω¹ φαίνεται η προβολή του συνολικού πληθυσμού για το διάστημα 2001-2030 και η αντίστοιχη παραγωγή απορριμάτων ανά ημέρα (ΡΠΑ):

Όπως μπορούμε να παρατηρήσουμε, η παραγωγή απορριμάτων ανά ημέρα και ο συνολικός πληθυσμός, που συμπεριλαμβάνει τον μόνιμο πληθυσμό και τουριστική κίνηση (ξένοι τουρίστες και Έλληνες παραθεριστές), αυξάνονται με τον χρόνο.

Συγκεκριμένα ο συνολικός πληθυσμός αυξάνεται με τον χρόνο, ξεκινώντας το 2001 με 148450 μόνιμους κατοίκους και 4077856 εποχιακό πληθυσμό, που έχουν επισκεφτεί τον νομό Χανίων στην διάρκεια του έτους, και φτάνοντας το 2030 στους 157734 και 7417393 αντίστοιχα.

Παρατηρούμε ότι ο ΡΠΑ ("total WG per day") αυξάνεται στο διάστημα 2001-2011 με ρυθμό μεγαλύτερο από ότι στο διάστημα 2012-2030 λόγω της παραμέτρου "Περιβαλλοντική συνείδηση"(environmental awareness). Η ημερήσια παραγωγή απορριμάτων το 2001 είναι 193408 kg/day και με την προσομοίωση φτάνει το 2030 στους 359385 kg/day. Για να μπορούμε να συγ-

¹Σε όλα τα σχήματα του κεφαλαίου το αγγλικό σύμβολο για το ερωτηματικό οφείλεται στο πρόγραμμα Stella και είναι προεπιλογή σε όλες τις γραφικές παραστάσεις που παράγονται από το πρόγραμμα αυτό.



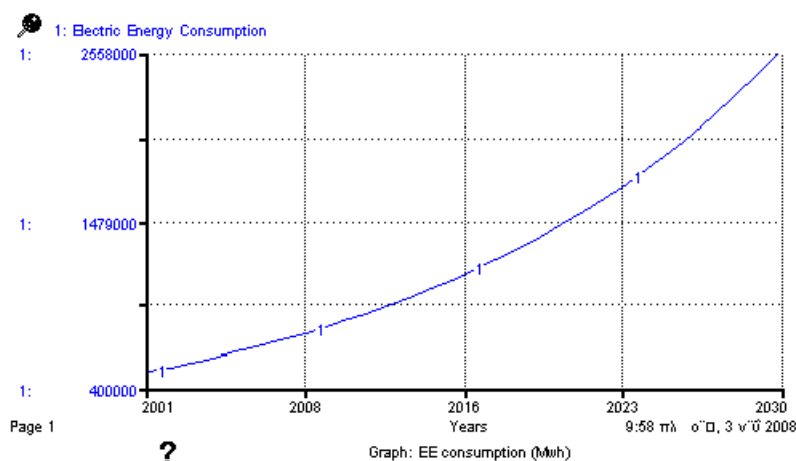
Σχήμα 5.1: Ημερήσια παραγωγή απορριμάτων και συνολικός πληθυσμός

κρίνουμε τα αποτελέσματα της προσομοίωσης με τα δεδομένα της ΔΕΔΙΣΑ για το 2006 και 2007 λαμβάνουμε υπόψη ότι η συλλογή απορριμάτων από την ΔΕΔΙΣΑ προς το παρόν γίνεται στους 18 από τους 23 δήμους του νομού Χανίων οι οποίοι συμμετέχουν στην συνολική παραγωγή απορριμάτων κατά 92,1%, όπως προκύπτει από την πληθυσμιακή αναλογία. Αντίθετα, το σύστημά μας στηρίζεται στην υπόθεση ότι η συγκομιδή απορριμάτων γίνεται σε όλους τους δήμους του νομού Χανίων.

Σύμφωνα με την ΔΕΔΙΣΑ το 2006 έχουν παραχθεί 80250 tn/year ή 219,863 tn/day και το 2007 81400 tn/year ή αλλιώς 223,014 tn/day. Αντίστοιχα με την προσομοίωση προκύπτει ότι το 2006 παράγονται 234,89 tn/day από τους 23 δήμους ή αλλιώς $234,89 \text{ tn/day} * 92,1\% = 216,33 \text{ tn/day}$ από τους 18 δήμους, ενώ για το 2007 έχουμε 243,63 tn/day από τους 23 δήμους ή αλλιώς $243,63 \text{ tn/day} * 92,1\% = 224,38 \text{ tn/day}$. Δηλαδή το σφάλμα του συστήματος για το 2006 είναι 1,6% και για το 2007 0,61%. Τα δεδομένα που μας παρέχει η ΔΕΔΙΣΑ δεν επαρκούν για να την εκτίμηση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από την προσομοίωση καθώς αφορούν μόνο τα έτη 2006, 2007.

Η καμπύλη που εκφράζει την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας στο χρονικό διάστημα 2001-2030 φαίνεται στην Εικόνα 5.2:

Όπως φαίνεται η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας (ΚΗΕ) αυξάνεται εκθετικά με τον χρόνο. Σύμφωνα με την ΕΣΥΕ η συνολική ΚΗΕ το 2001 ήταν 485158 MWh και το 2006 αυξήθηκε σε 654036 MWh. Έτσι εάν η ΚΗΕ συνεχίζει να αυξάνεται με τον ίδιο ρυθμό όπως στο διάστημα 2001-2006 τότε



Σχήμα 5.2: Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας

πρόκειται να αντιμετωπίσουμε την προβλεπόμενη από το σύστημα δυναμικής εκθετική αύξηση της ΚΗΕ.

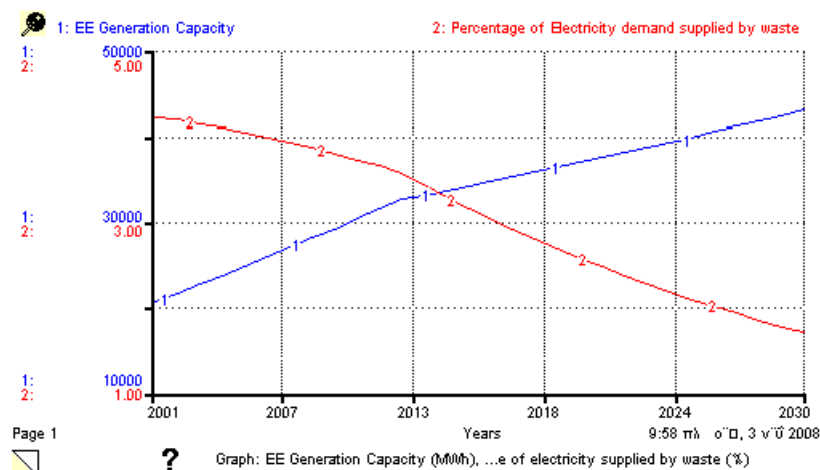
Το σύστημά μας με την προσομοίωση, υπολογίζει ότι η συνολική ΚΗΕ το 2006 είναι 646194 MWh με σφάλμα του συστήματος 1,2% για το 2006 και το μέσο σφάλμα 0,5% για το χρονικό διάστημα 2001-2006.

Η Εικόνα 5.3 δείχνει την δυναμικότητα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από μια μονάδα καύσης και αντίστοιχη ποσοστιαία κάλυψη σε ηλεκτρική ενέργεια του νομού Χανίων στο χρονικό διάστημα 2001-2030:

Παρατηρούμε ότι ενώ η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (ΠΕΕ) από την καύση απορριμάτων αυξάνεται, η αντίστοιχη κάλυψη από την ανάκτηση ηλεκτρικής ενέργειας μειώνεται. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ο ρυθμός ΠΕΕ αυξάνεται με ρυθμό μικρότερο από αυτόν που αυξάνεται η ΚΕΕ. Η ΠΕΕ αυξάνεται από 20373 MWh το 2001 σε 46274 MWh το 2030, ενώ το αντίστοιχο ποσοστό κάλυψης μειώνεται από 4,20% το 2001 σε 1,81% το 2030.

Στην Εικόνα 5.4 δίνονται τα ποσοστά του γυαλιού και μετάλλου που δεν ανακυκλώνονται και η αντίστοιχη απώλεια ενέργειας λόγω της καύσης τους:

Όπως μπορούμε να παρατηρήσουμε τα ποσοστά μετάλλου και γυαλιού που δεν ανακυκλώνονται αλλά απορρίπτονται μαζί με τα υπόλοιπα υλικά, ξεκινώντας με ποσοστά μη ανακύκλωσης 82,12% και 97,58% αντίστοιχα, συνεχώς μειώνονται μέχρι το 2011 και σταθεροποιούνται στο διάστημα 2012-2030 με ποσοστό 50% μη ανακύκλωσης μεταλλικών συσκευασιών και 40% του γυαλιού. Το διάστημα 2001-2011 μας δείχνει ότι οι κάτοικοι ανταποκρίνονται αρκετά καλά στην ανακύκλωση, ενώ η ανακύκλωση από το 2012 μέχρι 2030

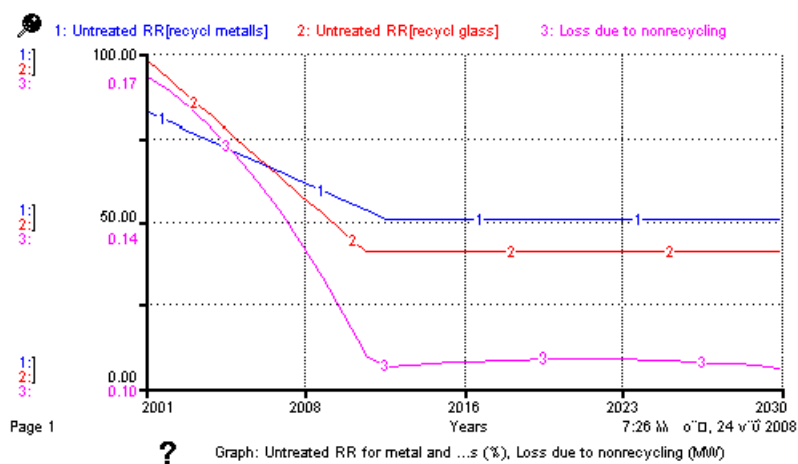


Σχήμα 5.3: Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από την καύση και αντίστοιχη ποσοστιαία ενεργειακή κάλυψη

καθορίζεται από τους στόχους που έχουν τεθεί από την ΕΕ και επιπλέον υιοθετούμε το συντηρητικό σενάριο ότι η ανακύκλωση είναι πρακτικά αδύνατον να φτάσει στο 100% στο σύνολο των ανακυκλώσιμων υλικών.

Όσον αφορά τα πραγματικά ποσοστά της ανακύκλωσης το 2006 η ΔΕΔΙΣΑ ξεκίνησε με ποσοστό ανακύκλωσης 8,59% (ή με την μη ανακύκλωση 91,41%) στο σύνολο μεταλλικών συσκευασιών και 1,95% (ή με την μη ανακύκλωση 98,05%) στο σύνολο γυαλιού. Τα αντίστοιχα ποσοστά ανακύκλωσης για το 2007 έχουν αυξηθεί μέχρι 20,27% (ή με την μη ανακύκλωση 79,73%) για το μέταλλο και 2,60% (ή με την μη ανακύκλωση 97,4%) για το γυαλί. Όπως βλέπουμε στην γραφική παράσταση τα ποσοστά ανακύκλωσης της ΔΕΔΙΣΑ που ισχύουν για το 2007 χρησιμοποιήθηκαν στο σύστημά μας σαν βάση για την ανακύκλωση το 2001 επειδή στο διάστημα 2005-2006 η ανακύκλωση δεν εφαρμοζόταν ολοκληρωμένα σε όλους τους δήμους του νομού Χανίων.

Όπως φαίνεται από την γραφική παράσταση παράλληλα με την αύξηση της ανακύκλωσης, παρατηρείται μείωση των απωλειών λόγω καύσης μετάλλου και γυαλιού. Πιο συγκεκριμένα, οι απώλειες σε ενέργεια μειώνονται από 0,16 MW το 2001 σε 0,10MW το 2030. Επίσης, ο ρυθμός με τον οποίο μειώνονται οι απώλειες σε ενέργεια λόγω μη ανακύκλωσης στο χρονικό διάστημα 2001-2011 είναι μεγαλύτερος από αυτόν που ισχύει για το χρονικό διάστημα 2012-2030. Αυτό οφείλεται στο ότι στο χρονικό διάστημα 2001-2011 η μη ανακύκλωση μειώνεται με ρυθμό μεγαλύτερο από αυτό που ισχύει στο χρονικό διάστημα 2012-2030, όπου όπως ήδη έχουμε αναφέρει η μη ανακύκλωση παραμένει



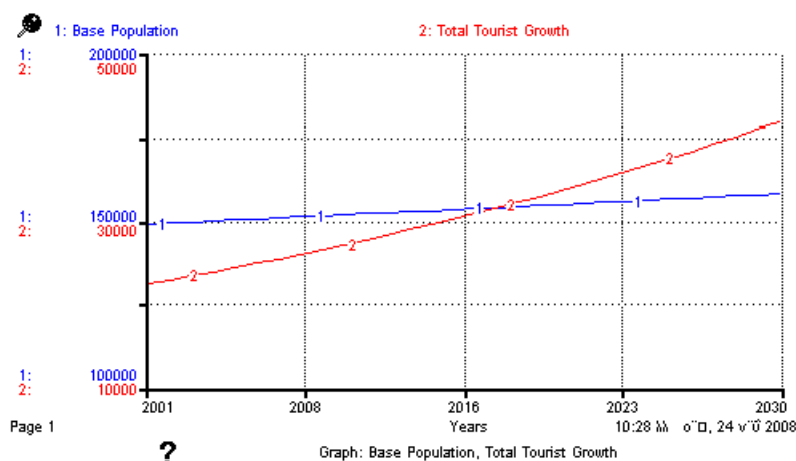
Σχήμα 5.4: Ρυθμοί μη ανακύκλωσης μετάλλου και γυαλιού και αντίστοιχη ενεργειακή απώλεια

σταθερή.

Στην Εικόνα 5.5 παρατηρούμε την αύξηση στο μόνιμο πληθυσμό (“Base Population”) και στην Δυναμικότητα Συλλογικών Τουριστικών καταλυμάτων (“Total Tourist Growth”). Πιο συγκεκριμένα η μεταβολή στην δυναμικότητα ΣΤΚ αυξάνεται σχεδόν εκθετικά με τον χρόνο, εκφράζοντας έτσι δυνατότητα για περαιτέρω τουριστική ανάπτυξη.

Από την άλλη πλευρά, η αύξηση του μόνιμου πληθυσμού είναι πιο συγκρατημένη, γεγονός που οφείλεται στο δημογραφικό πρόβλημα που αντιμετωπίζει η Ελλάδα. Η ΕΣΥΕ μετά την απογραφή το 2001 μας παρέχει πληροφορίες σχετικά με τον υπολογιζόμενο πληθυσμό στο νομό Χανίων μέχρι το 2007. Η εκτίμηση που γίνεται από την STELLA έχει σφάλμα 0,25% που σημαίνει ότι ο εκτιμώμενος πληθυσμός είναι κατά 0,25% μικρότερος από ότι είναι στην πραγματικότητα. Επίσης το 2001 το σύστημά μας ξεκινά με 148450 μόνιμους κατοίκους και το 2030 ο υπολογιζόμενος πληθυσμός φτάνει στους 157734 κατοίκους.

Για να υπολογίσουμε το αντίστοιχο σφάλμα του συστήματος για την δυναμικότητα ΣΤΚ, λαμβάνουμε υπόψη ότι χρησιμοποιήσαμε ως μέσο ετήσιο ρυθμό μεταβολής τον μικρότερο από τους ετήσιους ρυθμούς μεταβολής ΣΤΚ, που υπολογίστηκαν στο διάστημα 1999-2006. Επομένως η απόκλιση από τις πραγματικές τιμές ΣΤΚ θα είναι αναμενόμενη. Ενδεικτικά, σύμφωνα με την ΕΣΥΕ το 2006 τα ΣΤΚ φτάνουν στις 34452 κλίνες, ενώ σύμφωνα με την προσομοίωση εκτιμώμενος αριθμός τους είναι 24636 κλίνες, δηλαδή με



Σχήμα 5.5: Ρυθμοί αύξησης μόνιμου πληθυσμού και ξενοδοχειακού δυναμικού

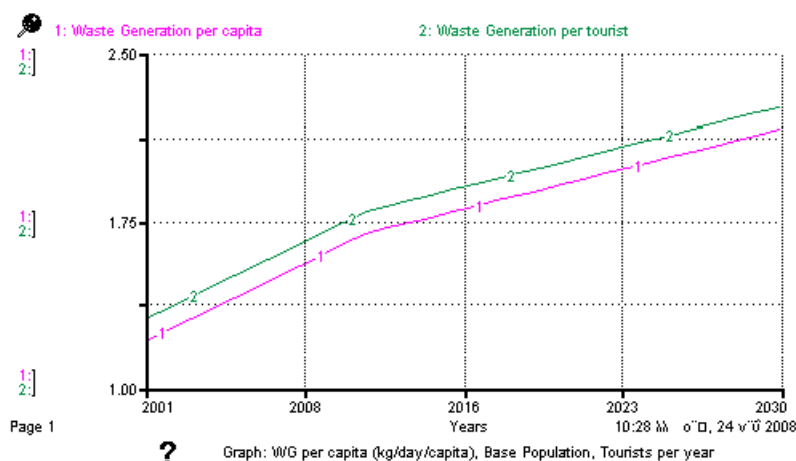
σφάλμα 28,5%.

Η Εικόνα 5.6 δείχνει πως μεταβάλλεται η ΜΠΑ για τον μόνιμο πληθυσμό και τους τουρίστες:

Παρατηρούμε ότι οι εθνικοί στόχοι για την ανακύκλωση και γενικότερα για καλύτερη διαχείριση απορριμάτων μέχρι το 2011 επηρεάζουν τον ρυθμό μεταβολής της ΜΠΑ, με αποτέλεσμα από το 2012 η ΜΠΑ για τον μόνιμο πληθυσμό και τους τουρίστες να αυξάνεται, αλλά με μικρότερο ρυθμό σε σύγκριση με αυτόν που ισχύει μέχρι το 2011. Στο δυναμικό σύστημα αυτές οι επιρροές εκφράζονται με τη παράμετρο "Περιβαλλοντική συνείδηση" (environmental awareness). Το 2001 η ΜΠΑ έχει αρχική τιμή 1,2 kg/day/capita για τους μόνιμους κατοίκους και 1,3 kg/day/tourist για τους τουρίστες. Το 2030 η ΜΠΑ έχει φτάσει στα 2,25 kg/day/capita για τους μόνιμους κατοίκους και 2,15 kg/day/tourist για τους τουρίστες.

Στην Εικόνα 5.7 φαίνεται πως μεταβάλλεται η σύνθεση των απορριμάτων ως προς το κλάσμα οργανικών, χαρτιού, πλαστικών και ΔΞΥ:

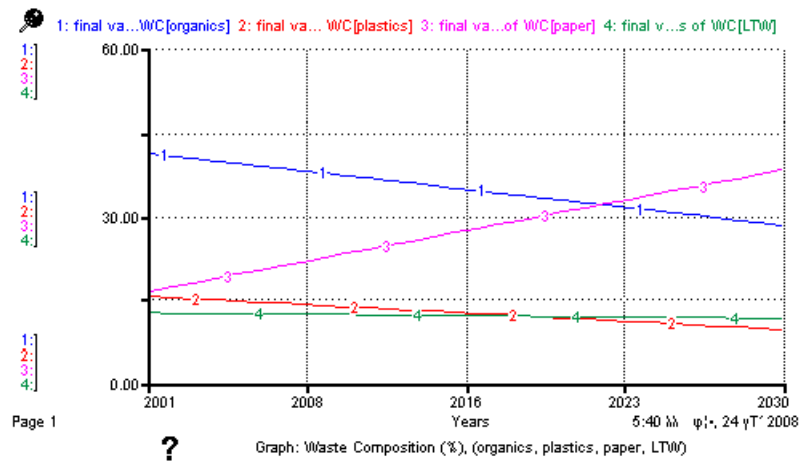
Τα οργανικά, τα πλαστικά, το χαρτί και το ΔΞΥ είναι τα υλικά που επιλέγονται για την καύση και για αυτόν τον λόγο οι ποσοστιαίες μεταβολές τους στο σύνολο απορριμάτων έχουν ιδιαίτερη σημασία για την ανάκτηση ενέργειας. Πιο συγκεκριμένα το 2001 το ποσοστό των οργανικών είναι 41%, των πλαστικών το 15%, του χαρτιού 16% και ΔΞΥ 12%. Ενώ το 2030 έχουμε 28% οργανικά, 9% πλαστικά, 38% χαρτί και ΔΞΥ 11%. Αυτό έχει ως άμεση συνέπεια την μεταβολή της υγρασίας στο σύνολο των απορριμάτων και της ενέργειας που απαιτείται για την προξήρανση όπως φαίνεται στην Εικόνα ??:



Σχήμα 5.6: Μεταβολή μοναδιαίας παραγωγής απορριμάτων για μόνιμους κατοίκους και τουρίστες

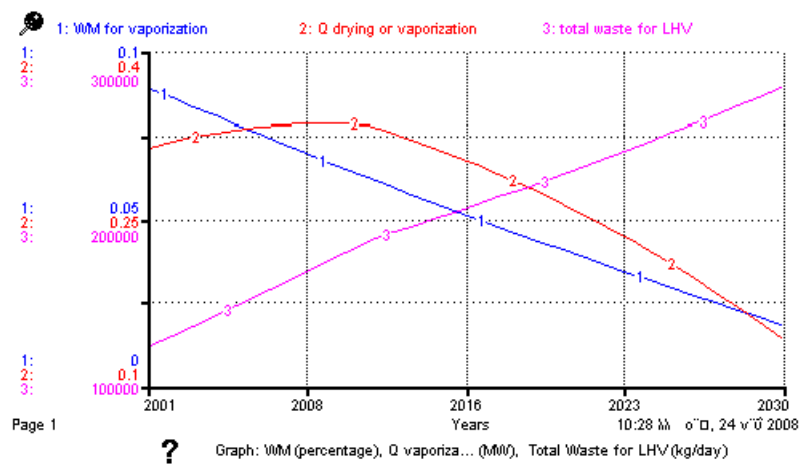
Όπως παρατηρούμε το ποσοστό της υγρασίας στο σύνολο των απορριμάτων πριν την καύση μειώνεται, καθώς μειώνεται το ποσοστό των οργανικών τα οποία χαρακτηρίζονται από την αυξημένη περιεκτικότητα σε υγρασία σε σύγκριση με τα υπόλοιπα συστατικά των απορριμάτων. Δεδομένου ότι το βέλτιστο ποσοστό υγρασίας των απορριμάτων πριν την καύση είναι 15% και επιλέγουμε να καίγεται το $\frac{1}{2}$ του οργανικού κλάσματος προκύπτει ότι το 2001 η επιπλέον υγρασία των απορριμάτων που πρέπει να εξατμιστεί είναι 8% (δηλ., η συνολική υγρασία είναι $15\% + 8\% = 23\%$) ενώ το 2030 μειώνεται μέχρι και το 1,7% (με συνολική υγρασία $15\% + 1,7\% = 16,7\%$).

Το σύνολο απορριμάτων που προορίζεται για την καύση, όπως τα οργανικά, πλαστικά, χαρτί και ΔΞΥ αυξάνεται στο διάστημα 2001-2011 με ρυθμό μεγαλύτερο από ότι στο διάστημα 2012-2030, λόγω της υπόθεσης που εκφράζεται στο σύστημα με την παράμετρο "Περιβαλλοντική συνείδηση" (environmental awareness), ότι ο ΡΠΑ δεν μπορεί να αυξάνεται επ' άπειρον και πάντα με το ίδιο ρυθμό. Επίσης η ίδια παράμετρος επηρεάζει σημαντικά την απαιτούμενη ενέργεια για την προξήρανση απορριμάτων ($Q_{\text{λανθάνουσα}}$ ή στο σύστημα $Q_{\text{drying or vaporization}}$). Πιο συγκεκριμένα στο διάστημα 2001-2011 παρατηρούμε αύξηση στη $Q_{\text{drying or vaporization}}$ από 0,313 MW στα 0,333 MW ενώ 2012-2030 η $Q_{\text{drying or vaporization}}$ μειώνεται από 0,333 MW στα 0,139 MW. Επιπλέον οι συγκεκριμένες μεταβολές που παρατηρούνται στη καμπύλη $Q_{\text{drying or vaporization}}$ προκύπτουν ως αποτέλεσμα πολλαπλασιασμού της καμπύλης "WM for vaporization" με την καμπύλη "total waste for LHV" και τη



Σχήμα 5.7: Μεταβολή ποσοστιαίας σύνθεσης απορριμάτων για οργανικά, πλαστικά, χαρτί και ΔΞΥ

σταθερά 2,5 MJ/kg που εκφράζει την ενέργεια που απαιτείται για την εξάτμιση ενός kg την υγρασίας των απορριμάτων. Τέλος επειδή το αποτέλεσμα που θα προκύψει θα είναι σε MJ για να το μετατρέψουμε σε MW κάνουμε διαίρεση με 86400 sec ($1\text{MW} = 1\text{MJ/sec} \Rightarrow 1\text{MW} = 1\text{MJ/day} = 1\text{MJ}/86400 \text{ sec}$).



Σχήμα 5.8: Μεταβολή της απαιτούμενης ενέργειας για την προξήρανση απορριμάτων

This page left blanc.

Κεφάλαιο 6

Συμπεράσματα

Όπως προκύπτει από την μοντελοποίηση, υπάρχει θετική τάση όσο αφορά την μεταβολή στη σύνθεση των απορριμάτων, η οποία προσφέρεται για μεγαλύτερη ενεργειακή αξιοποίηση σε σύγκριση με το παρελθόν. Το ίδιο ελπιδοφόρο φαίνεται και το πεδίο της ανακύκλωσης η οποία αυξάνεται συνεχώς. Επίσης ο ΡΠΑ αυξάνεται με τον χρόνο με αποτέλεσμα να υπάρχει σταθερή αυξανόμενη ροή απορριμάτων για την μονάδα καύσης με επακόλουθη αύξηση στην δυνατότητα ανάκτησης ενέργειας.

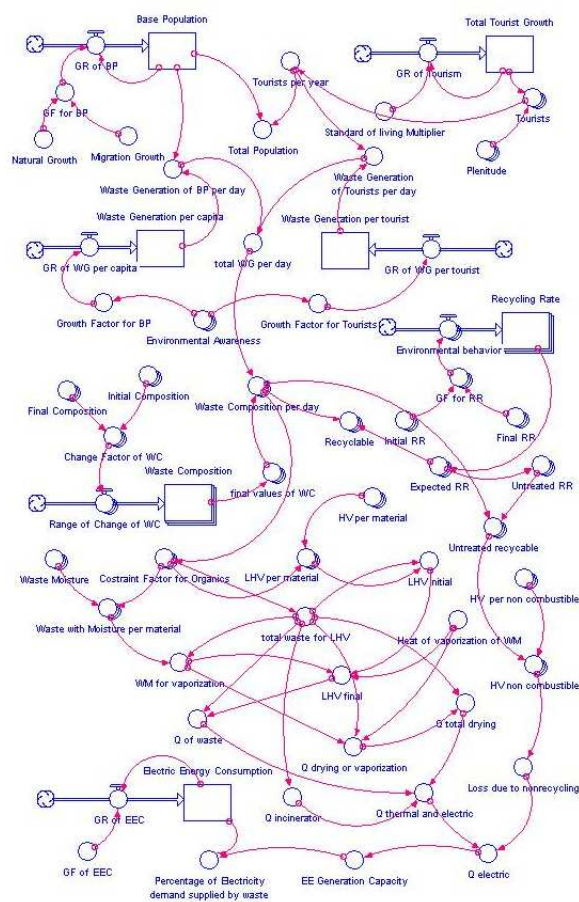
Από την άλλη πλευρά, σύμφωνα με την προσομοίωση, η μονάδα καύσης με ανάκτηση ενέργειας από τα ΑΣΑ στο νομό Χανίων θα αποδίδει ηλεκτρική ισχύ μεγέθους 11,98 MW το 2030. Επομένως προκύπτει ότι μια τέτοια μονάδα καύσης συνεισφέρει αρκετά μικρή ισχύ στο συνολικό ενεργειακό σύστημα. Συγκριτικά, επειδή ο νομός Χανίων ανήκει στο Νησιωτικό ηλεκτρικό σύστημα, έχει αυτόνομο σταθμό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με εγκατεστημένη ισχύ 328,4 MW, η οποία δεν καλύπτει την ενεργειακή ζήτηση στο Νομό Χανίων.

Όμως, παρόλο που η ανάκτηση ενέργειας με την μέθοδο καύσης δεν μπορεί να λύσει το ενεργειακό πρόβλημα της Κρήτης, έχει την δυνατότητα μαζί με άλλες ΑΠΕ να αντισταθμίσει το ενεργειακό ισοζύγιο ανάμεσα στη ζήτηση και προσφορά.

Επιπλέον, η κάλυψη σε ηλεκτρική ενέργεια, όπως φαίνεται από την προσομοίωση, δεν αναμένεται να φτάσει σε ικανοποιητικό επίπεδο, καθώς η κατανάλωση ενέργειας αυξάνεται με ραγδαίους ρυθμούς. Επειδή όμως η χώρα μας αντιμετωπίζει προβλήματα με την διάθεση των απορριμάτων, ίσως θα έπρεπε να δούμε την κατασκευή μιας μονάδος καύσης πιο πολύ από την σκοπιά της αποτελεσματικής διαχείρισης των ΑΣΑ. Μια τέτοια προσέγγιση εξαρτάται από την περιβαλλοντική συνείδηση των κατοίκων, τους οικονομικούς παράγοντες, και την κυβερνητική περιβαλλοντική πολιτική που ακολουθείται. Η πολιτική

αυτή τείνει να αλλάξει τα τελευταία χρόνια στην Ελλάδα και ίσως οδηγήσει στο μέλλον στην κατασκευή μιας σύγχρονης μονάδας καύσης απορριμάτων με δυνατότητα ανάκτησης ενέργειας.

Παράρτημα Α΄



Σχήμα Α΄.1:

Παράρτημα Β΄

STELLA (SYSTEM THINKING FOR EDUCATION AND RESEARCH)

Πρόκειται για ένα γραφικό περιβάλλον που παρέχει την δυνατότητα σχεδιασμού, προσομοίωσης, υλοποίησης και δοκιμής για μια σειρά των σύνθετων χρονικά μεταβαλλόμενων δυναμικών συστημάτων βασισμένο σε block-diagrams. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την προσομοίωση μπορούν να απεικονιστούν σε μορφή πινάκων και γραφικών παραστάσεων σε συνάρτηση με τον χρόνο. Τα κύρια χαρακτηριστικά της μοντελοποίησης σε περιβάλλον του STELLA είναι:

- Χρήση των διαγραμμάτων βαθμίδων (block-diagrams). Τα βασικότερα από αυτά είναι τα διαγράμματα ροής (flow) και τα stock diagrams, καθένα από τα οποία εκφράζει ένα συγκεκριμένο τύπο μεταβλητών του συστήματος. Πιο συγκεκριμένα οι "stock" μεταβλητές που συμβολίζονται στο STELLA με τετράγωνο είναι οι μεταβλητές κατάστασης που αντιπροσωπεύουν κάποιο άθροισμα ή συσσώρευση μέσα στο σύστημα. Τέτοιες μεταβλητές στο δυναμικό σύστημά μας είναι "Base Population" (BP), "Total Tourist Growth", "Waste Generation (WG) per capita", "Waste Generation per tourist", "Waste Composition" (WC), "Recycling Rate" (RR), "Electric Energy Consumption" (EEC). Ενώ οι μεταβλητές ροής που συμβολίζονται στο STELLA με υδραυλική βαλβίδα αντιπροσωπεύουν τον ρυθμό μεταβολής μιας μεταβλητής κατάστασης και εκφράζουν κάποια ενέργεια ή κάποια συνάρτηση μεταβολής πάνω σε αυτήν. Π.χ στο σύστημα δυναμικής μας τέτοιες μεταβλητές είναι "Growth Rate of BP" (GR of BP), "GR of Tourists", "GR of WG per capita", "GR of WG per tourist", "Range of Change of WC", "Environmental behavior", "GR of EEC". Επίσης πρέπει να σημειώσουμε ότι στις εξισώσεις που έχουμε περιγράψει στα προηγούμενα κεφάλαια οι συγκεκριμένοι ρυθμοί μεταβολής αναφέρονται ως "μέσοι ετήσιοι ρυθμοί μεταβολής".
- Χρήση των μετατροπών (convertors) και συνδετών (connectors). Οι "convertors" που συμβολίζονται στο STELLA με κύκλο είναι ενδιάμε-

σες ή βοηθητικές μεταβλητές οι οποίες μπορούν να είναι σταθερές ή συναρτήσεις κάποιων άλλων μεταβλητών και χρησιμοποιούνται για διάφορους υπολογισμούς. Αναφέρουμε κάποιες από τέτοιου είδους μεταβλητές που χρησιμοποιούνται στο STELLA: “Natural Growth”, “Migration Growth”, “Total Population”, “Total WG per day”, “ $Q_{electric}$ ”. Τέλος οι connectors που συμβολίζονται με βέλος χρησιμοποιούνται για να συνδέουν τις μεταβλητές που έχουν σχέση τύπου αίτιο-αποτέλεσμα.

This page was intentionally left blank

Βιβλιογραφία

- [1] Ξενιτέλλης Δ., “Μελέτη Σκοπιμότητας Για Δημιουργία Σταθμών Μεταφόρτωσης Απορριμάτων (ΣΜΑ) στη Λέσβο”. Μεταπτυχιακή Εργασία, Τμήμα Περιβάλλοντος, Τομέας Περιβαλλοντικής και Οικολογικής Μηχανικής, Πανεπιστήμιο Αιγαίου.
- [2] Κοτζαμάνης Β., Βανταλή Μ., Λεξικό Τεχνικών Δημογραφικών Όρων, Εργαστήριο Δημογραφικών και Κοινωνικών Αναλύσεων (ΕΔΚΑ). <http://www.demography-lab.prd.uth.gr/Index-gr.htm>
- [3] Μουσιόπουλος Ν., Καραγιαννίδης Α., Σημειώσεις για το μάθημα: “Διαχείριση Αποβλήτων”. Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 2002
- [4] Κατσίρη Α., Σημειώσεις για το μεταπτυχιακό μάθημα: “Διαχείριση Στερεών Απορριμάτων και ιλύος”. Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Α' Τετράμηνο 2001-2002
- [5] Βλυσίδης Α., Σημειώσεις για το μάθημα: “Τεχνολογίες Διαχείρισης, Ανακύκλωσης και Ενεργειακής Αξιοποίησης Αστικών Απορριμάτων”. Τμήμα Χημικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2005
- [6] Ανδρεαδάκης Α., Σημειώσεις για το μεταπτυχιακό μάθημα: “Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων και ιλύος”. Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- [7] Σπερέζη Χ., θερμική Επεξεργασία Στερεών Απορριμάτων, Καύση-Πυρόλυση-Αεριοποίηση. Μεταπτυχιακή Εργασία, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πολυτεχνείο Κρήτης, 2007
- [8] Γκέκας Β., Σημειώσεις για το μάθημα: “Θερμικές Διεργασίες Στερεών απορριμάτων”. Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πολυτεχνείο Κρήτης, 2008

- [9] Καρούκη Ε., “Εφαρμογή Τηλεψήξης στα Χανιά από καύση απορριμάτων”. Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πολυτεχνείο Κρήτης, 2007
- [10] Γιδαράκος Ε. Σημειώσεις για το μάθημα: “Διαχείριση και Επεξεργασία Στερεών απορριμάτων”. Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πολυτεχνείο Κρήτης, 2007
- [11] Sufian M.A., Bala B.K., Modelling of electrical energy recovery from urban solid waste system: The case of Dhaka city. Renewable energy, pages 1573-1580, 2006
- [12] Karavezyris V., Timpe K.-T., Marzi R., Application of system dynamics and fuzzy logic to forecasting of municipal solid waste. Mathematics and computers in simulation, 2002
- [13] I. Körner, R. Stegmann et al., TEACHING AND TRAINING MODULES FOR HIGHER EDUCATION IN THE WASTE MANAGEMENT SECTOR. ebook
- [14] Nickolas J. Themelis, Young Hwan Kim, Mark H. Brady, “Energy recovery New York City solid wastes”. ISWA journal: Waste Management and Research, 2002:20, 223-233.
- [15] Forrester JW. Principles of system. MIT, Massachusetts: Wright-Allen Press; 1968.
- [16] Cornwell D., Introduction to Environmental Engineering. Third Edition, McGraw-Hill Series in Water Resources and Environmental Engineering, 1998.
- [17] Anonymus, Gasification process, <http://www.gasification.org>
- [18] Anonymus, Environmental Laws, <http://www.eedsa.gr>
- [19] Anonymus, Environmental Laws and Statistical Facts, <http://www.minenv.gr>
- [20] Μαρνέλλος Γ., Σημειώσεις για το μάθημα "Εισαγωγή στην Τεχνολογία Περιβάλλοντος". Τμήμα Μηχανικών Διαχείρισης Ενέργειακών Πόρων, Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας, 2006