



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ II: Σχεδιασμός, Ανάλυση και Ανάπτυξη Διεργασιών και
Συστημάτων

**Μαθηματικός Προγραμματισμός με χρήση
του κριτηρίου Minimax Regret στη
διαχείριση Αστικών Στερεών
Απορριμμάτων**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Αναστασίου Αλιτζόγλου - Σπυρόπουλου

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΓΙΩΡΓΟΣ ΜΑΥΡΩΤΑΣ

ΑΘΗΝΑ 2015

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στο πλαίσιο της ολοκλήρωσης των σπουδών του συγγραφέως στη Σχολή Χημικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, στο εργαστήριο Βιομηχανικής και Ενεργειακής Οικονομίας, κατά την περίοδο 2014-15. Το αντικείμενο της εργασίας εντάσσεται στον τομέα Μαθηματικού Προγραμματισμού και θέμα της είναι ο «Μαθηματικός Προγραμματισμός με χρήση του κριτηρίου Minimax Regret στη διαχείριση Αστικών Στερεών Απορριμμάτων».

Θα ήθελα να ευχαριστήσω από καρδιάς τον επιβλέποντα της διπλωματικής εργασίας, επίκουρο καθηγητή της σχολής Χημικών Μηχανικών κ. Γεώργιο Μαυρωτά, για τη συνεχή βοήθεια και καθοδήγηση, καθώς και την οικογένειά μου, για την υποστήριξη.

Αναστάσιος Αλιτζόγλου - Σπυρόπουλος

Αθήνα, Σεπτέμβριος 2015

Περίληψη

Η διαχείριση των Αστικών Στερεών Αποβλήτων (ΑΣΑ) αποτελεί ένα τόσο σύνθετο, όσο και επίκαιρο πρόβλημα με σημαντικές συνέπειες, όχι μόνο περιβαλλοντικές, αλλά και οικονομικές. Συνεπώς, η ανάγκη για την ολοκληρωμένη σχεδίαση ενός συστήματος διαχείρισης ΑΣΑ είναι πρωταρχική. Στην παρούσα εργασία αναπτύσσεται, με τη χρήση Μαθηματικού Προγραμματισμού (ΜΠ), ένα τέτοιο σύστημα, σύστοιχο με τις οικονομικές, ενεργειακές και περιβαλλοντικές επιταγές. Το μοντέλο του ΜΠ στοχεύει στη δομική, διαστασιολογική και λειτουργική βελτιστοποίηση. Στο παρόν μοντέλο, η βελτιστοποίηση πραγματοποιείται με οικονομικό κριτήριο, βάσει της αντικειμενικής συνάρτησης που προσδιορίζει την Καθαρά Παρούσα Αξία του κόστους (ΚΠΑ), συνάρτηση την οποία επιθυμούμε να ελαχιστοποιήσουμε. Σημαντικό ρόλο έχουν οι περιορισμοί ως προς τα άνω όρια των συνολικών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και του παραγόμενου καυσίμου προς πώληση, για τα οποία δόθηκαν από δύο διαφορετικές τιμές, δημιουργώντας 4 συνδυασμούς, όσες και οι περιπτώσεις που μελετήθηκαν κατά την εκτέλεση του μοντέλου. Επίσης, ιδιαίτερη βαρύτητα δόθηκε στην εφαρμογή του κριτηρίου *minimax regret* για να διαχειριστούμε την αβεβαιότητα ως προς τις τιμές, καθώς και στη διαφοροποίηση των λύσεων που δίνει, σε κάθε μία από τις 4 περιπτώσεις, συγκρινόμενες με τις αντίστοιχες για πιο πιθανά σενάρια, σενάρια χαμηλών και υψηλών τιμών. Τα αποτελέσματα παρέχουν πληροφορίες, ως προς τη δομή του συστήματος (διεργασίες), τον σχεδιασμό (χωρητικότητα των μονάδων) και τη λειτουργία (ετήσιες ροές) του συστήματος διαχείρισης ΑΣΑ. Με βάση τις μεταβλητές απόφασης που είναι συνεχείς και ακέραιες, το μοντέλο αυτό κατατάσσεται σε μοντέλο Μικτού Ακέραιου Γραμμικού Προγραμματισμού (ΜΑΓΠ) και το υπολογιστικό εργαλείο που χρησιμοποιήθηκε είναι η γλώσσα μοντελοποίησης GAMS (General Algebraic Modeling System). Μεταξύ των τεχνολογιών που μελετήθηκαν, συγκαταλέγονται η υγειονομική ταφή (LDF), η θερμική επεξεργασία (WTE), η βιολογική –μηχανική επεξεργασία (MBT), η βιολογική ξήρανση (BD), η κομποστοποίηση (CMP), η αναερόβια χώνευση (AD) και η ανάκτηση υλικών (MRF). Η εφαρμογή του πραγματοποιήθηκε στην περιοχή της Αττικής, δηλαδή σε μία πόλη περίπου 5.000.000 κατοίκων με ελληνικά χαρακτηριστικά σε ότι αφορά στην ποσότητα και στη σύνθεση των απορριμμάτων. Στα συμπεράσματα που εξήχθησαν, ιδιαίτερη σημασία έχει η ευελιξία που συνιστά το κριτήριο *minimax regret*, ως προς την επιλογή και το συνδυασμό των τεχνολογιών, καθώς και η χρησιμότητά του σε συνθήκες αβεβαιότητας.

Λέξεις Κλειδιά: Μαθηματικός Προγραμματισμός (ΜΠ), κριτήριο *minimax regret*, Διαχείριση Αστικών Στερεών Αποβλήτων (ΑΣΑ)

Abstract

The Municipal Solid Waste (MSW) management is a complex up-to-date problem, with important consequences, not only in an environmental aspect, but also economic. Therefore, the need of the design of an integrated solid waste management system is of high importance. In this paper such a system, which applies economically, environmentally and in terms of energy to the modern needs and regulations is developed, by using Mathematical Programming (MP). The MP model aims at structural, design and operational optimization. In this model, the optimization is carried out based on economic criteria, due to the objective function which indicates the Net Present Value of cost (NPC), which we aim to minimize. Major role play the restrictions within the total emissions of CO₂ and the high limit of derivative fuel for sale, to each of which are given two values, making a total of four combinations, which were the four study cases of our model. Furthermore, emphasis was given to applying the minimax regret criteria and elaborating its solutions, in comparison to other scenarios, such as the most likely prices, the low prices and the high prices. The results provide data within the structure of the system (processes), the design (capacity of units) and the operation (annual flows) of the MP model. Due to the fact that the decision variables are continuous and integer, this model is classified into Mixed Integer Linear Programming (MILP), using the widely known modeling system GAMS (General Algebraic Modeling System). Among the technologies that are studied are Landfill (LDF), Waste to Energy (WTE), Mechanical & Biological Treatment (MBT), Biodrying (BD), Composting (CMP), Anaerobic Digestion (AD) and Material Recycling Facilities (MRF). The case study took place in Attica, a city of about 5.000.000 residents with Greek characteristics in terms of waste amounts and composition of garbage. Within the conclusions of this paper, of high importance is the flexibility which the minimax regret criteria indicates, regarding the selection and combination of process technologies, in addition to its usefulness under circumstances of uncertainty.

Key words: Mathematical Programming (MP), minimax regret criteria, Municipal Solid Waste Management (MSW)

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	2
Περίληψη	3
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	8
1.1 Σκοπός και Αντικείμενο.....	8
1.2 Δομή διπλωματικής.....	8
2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ - ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ	10
2.1 εισαγωγή.....	10
2.2 Υγειονομική ταφή.....	11
2.3 Κομποστοποίηση	12
2.4 Αναερόβια Επεξεργασία ΑΣΑ	15
2.5 Ανακύκλωση.....	16
2.6 θερμική επεξεργασία.....	19
2.6.1 Αποτέφρωση (καύση)	19
2.6.2 Πυρόλυση	21
2.6.3 Αεριοποίηση	22
2.7 Βιολογική ξύραση.....	22
2.8 Βιολογική Μηχανική Επεξεργασία.....	24
3. ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ.....	26
3.1 Εισαγωγή στον Μαθηματικό Προγραμματισμό.....	26
3.2 Minimax regret κριτήριο.....	28
4. Κατασκευή του μοντέλου	32
4.1 Συστατικά μοντέλου	34
4.2 Μεταβλητές Απόφασης	41
4.3 Περιορισμοί	42
4.3.1 Ισοζύγια μάζας στους κάδους.....	42
4.3.2 Ισοζύγια μάζας στις διεργασίες	42
4.3.3 Ισοζύγια μάζας στο χώρο υγειονομικής ταφής.....	44
4.3.4 Ισοζύγια ενέργειας	44
4.3.5 Περιορισμοί δυναμικότητας διεργασίας.....	45
4.3.6 Ποσοστά ανακύκλωσης	46
4.4 Παράμετροι.....	47

4.5 Αντικειμενική Συνάρτηση	47
4.5.1 Ετήσιο κόστος κάδων	47
4.5.2 Ετησιοποιημένο κόστος επένδυσης στη μεταφορά (φορτηγά).....	48
4.5.3 Ετήσιο λειτουργικό κόστος μεταφοράς (φορτηγά).....	48
4.5.4 Ετησιοποιημένο κόστος επένδυσης των διεργασιών	49
4.5.5 Ετήσιο λειτουργικό κόστος των διεργασιών	51
4.5.6 Ετήσιο εισόδημα από τα ανακυκλώσιμα	51
4.5.7 Ετήσιο εισόδημα από τον παραγόμενο ηλεκτρισμό	51
4.5.8 Καθαρά Παρούσα Αξία του κόστους της περιόδου των 20 χρόνων	51
4.6 Το κριτήριο minimax regret στο μοντέλο.....	52
5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	53
5.1 Αποτέλεσμα NPC Περιπτώσεων	54
5.2 Αποτελέσματα Δεικτών Ανακύκλωσης.....	55
5.2.2 Δείκτες Ανακύκλωσης για την περίπτωση 2	57
5.2.3 Δείκτες Ανακύκλωσης για την περίπτωση 3	59
5.2.4 Δείκτες Ανακύκλωσης για την περίπτωση 4	61
5.3 Αποτελέσματα Τεχνολογιών και Δυναμικότητας Μονάδων	63
5.3.1 Αποτελέσματα Τεχνολογιών και Δυναμικότητας Μονάδων, για την περίπτωση 1	63
5.3.2 Αποτελέσματα Τεχνολογιών και Δυναμικότητας Μονάδων, για την περίπτωση 2	65
5.3.3 Αποτελέσματα Τεχνολογιών και Δυναμικότητας Μονάδων, για την περίπτωση 3	66
5.3.4 Αποτελέσματα Τεχνολογιών και Δυναμικότητας Μονάδων, για την περίπτωση 4	68
5.3.5 Σχολιασμός Αποτελεσμάτων Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων και Υπολειμμάτων.....	69
5.3.6 Σχολιασμός Αποτελεσμάτων minimax regret ως προς Τεχνολογίες και Δυναμικότητα Μονάδων.....	70
6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	72
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	75
Αγγλική βιβλιογραφία	75
Ελληνική βιβλιογραφία.....	75
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	77
Παράρτημα Α1.....	77

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Σκοπός και Αντικείμενο

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται την εφαρμογή του Μαθηματικού Προγραμματισμού για τη δομική, διαστασιολογική και λειτουργική βελτιστοποίηση του μοντέλου διαχείρισης στερεών αστικών απορριμμάτων (ΑΣΑ), στην περιοχή της Αττικής, βάσει του κριτηρίου *minimax regret* με δεδομένο ότι υπάρχει αβεβαιότητα ως προς τις τιμές πώλησης των παραπροϊόντων της διαδικασίας (π.χ. ανακυκλώσιμα και ηλεκτρισμός). Η μοντελοποίηση και βελτιστοποίηση γίνεται με μαθηματικό προγραμματισμό και συγκεκριμένα με χρήση του εργαλείου GAMS. Ο σκοπός της εργασίας είναι διττός: Αφενός μεν, η δομική, διαστασιολογική και λειτουργική βελτιστοποίηση του μοντέλου διαχείρισης στερεών αστικών απορριμμάτων (ΑΣΑ) για την Αττικής, με την παροχή πληροφοριών, όσον αφορά τη δομή του συστήματος (διεργασίες), τον σχεδιασμό (χωρητικότητα των μονάδων) και τη λειτουργία (ετήσιες ροές) του συστήματος διαχείρισης ΑΣΑ, σε ορίζοντα εικοσαετίας. Αφετέρου δε, η σημαντική διαφοροποίηση των λύσεων του κριτηρίου *minimax regret*, ως προς την ευρύτητα και την ευελιξία, ανάλογα με τη φύση των εκάστοτε περιορισμών, για κάθε περίπτωση, καθώς και η ανάδειξη της σημασίας του στην εξαγωγή αποτελεσμάτων σε συνθήκες αβεβαιότητας.

1.2 Δομή διπλωματικής

Στο δεύτερο κεφάλαιο της παρούσας εργασίας γίνεται μία επισκόπηση των υφισταμένων τεχνολογιών διαχείρισης στερεών αποβλήτων, καθώς και η περιγραφή του προβλήματος.

Εν συνεχεία, στο κεφάλαιο 3 πραγματοποιείται μία εισαγωγή στο Μαθηματικό Προγραμματισμό, παρουσιάζεται το κριτήριο *minimax regret*, με κάποια χρήσιμα για την κατανόησή του παραδείγματα.

Στο επόμενο κεφάλαιο, αναπτύσσεται το μοντέλο βελτιστοποίησης στο οποίο χρησιμοποιήθηκε. Ο Μαθηματικός Προγραμματισμός χρησιμοποιείται για την δημιουργία του μαθηματικού μοντέλου του συστήματος διαχείρισης ΑΣΑ που μελετάται, το οποίο κατασκευάζεται με τη χρήση της γλώσσας μοντελοποίησης GAMS. Στο μοντέλο επιχειρείται η ελαχιστοποίηση της αντικειμενικής συνάρτησης της καθαρής παρούσας αξίας του κόστους (NPC), ενώ λαμβάνονται υπόψη περιορισμοί παραμέτρων, όπως οι συνολικές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα και τα άνω όρια παραγόμενου καυσίμου

Ακολούθως, στο κεφάλαιο 5 παρατίθενται και σχολιάζονται τα αποτελέσματα, που παρέχουν πληροφορίες, ως προς τη δομή του συστήματος (είδος διεργασιών και τις παραλλαγές αυτών με εναλλακτικές, κατά περίπτωση, τεχνολογίες), το σχεδιασμό (χωρητικότητα των μονάδων και συνδυασμός αυτών) και τη λειτουργία (ετήσιες ροές, δείκτες ανακύκλωσης) του συστήματος διαχείρισης ΑΣΑ, σε 4 βασικές παραλλαγές περιπτώσεων συνδυασμών των προαναφερθεισών παραμέτρων.

Εν κατακλείδι, στο κεφάλαιο 6 επιχειρείται η εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τους δείκτες ανακύκλωσης, τις κυρίαρχες, κατά περίπτωση και σενάριο, τεχνολογίες, καθώς και τη σημασία των λύσεων του κριτηρίου minimax regret.

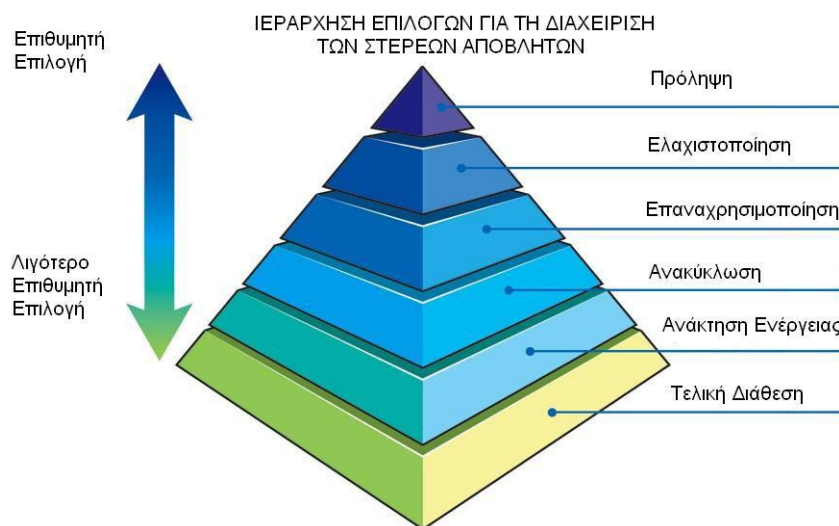
2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ - ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ

2.1 εισαγωγή

Η διαχείριση των αστικών στερεών αποβλήτων αφορά μετασχηματισμούς των χαρακτηριστικών τους, πριν και μετά την προσωρινή εναπόθεσή τους σε σακούλες ή σε κοινόχρηστους κάδους για αποκομιδή. Κάθε σύστημα διαχείρισης ΑΣΑ αποτελείται από ένα σύνολο διεργασιών, το οποίο στοχεύει στην εκμετάλλευση της χωρητικότητας του φυσικού περιβάλλοντος να απορροφήσει απόβλητα χωρίς υπέρβαση των κοινωνικά αποδεκτών ορίων για την ποιότητά του. Συνεπώς, αποσκοπεί στην ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, κάθε επιμέρους επεξεργασίας. Καμία από τις μεθόδους διαχείρισης δεν είναι τέλεια και καμία δεν είναι καταστροφική (Καρβούνης και Γεωργακέλλος 2003)

Σύμφωνα με τις βασικές αρχές της περιβαλλοντικής πολιτικής και νομοθεσίας, η ολοκληρωμένη διαχείριση των απορριμμάτων και γενικά των αποβλήτων, πρέπει να αναπτύσσεται με βάση τα εξής στάδια (με φθίνουσα σειρά προτεραιότητας):

- Πρόληψη παραγωγής αποβλήτων
- Μείωση παραγόμενης ποσότητας ή/και ρυπαντικού φορτίου
- Ανάκτηση υλικών με σκοπό την ανακύκλωση ή την επαναχρησιμοποίησή τους
- Ανάκτηση ενέργειας
- Αποτελεσματική επεξεργασία των αποβλήτων μετά την εφαρμογή διαδικασιών ανάκτησης
- Υγειονομική ταφή των υπολειμμάτων που προκύπτουν από τις παραπάνω διεργασίες (Λοϊζίδου 2006)



Εικόνα 2.1 : Ιεράρχηση επιλογών για τη διαχείριση των ΑΣΑ

2.2 Υγειονομική ταφή

Με τον όρο υγειονομική ταφή ονομάζεται η διαδικασία ταφής των στερεών απορριμμάτων, με την οποία ελαχιστοποιούνται οι επιπτώσεις στο περιβάλλον και στη δημόσια υγεία, μέσω κατάλληλων έργων υποδομής και συγκεκριμένων διαδικασιών λειτουργίας και ελέγχου. Ασφαλής ταφή καλείται η ταφή επικίνδυνων αποβλήτων. Βασικές παράμετροι για την εφαρμογή της τεχνικής της υγειονομικής ταφής αποτελούν η καταλληλότητα του προς επιλογή χώρου, καθώς και η χρήση αποτελεσματικής τεχνολογίας, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η προστασία του περιβάλλοντος και η ασφαλής επανένταξη του χώρου στη φύση μετά την ολοκλήρωση του χρόνου ζωής του.

Λόγω της συνεχούς αύξησης του μεγέθους των χώρων υγειονομικής ταφής (ΧΥΤΑ), καθώς και του φάσματος των υλικών προς ταφή υλικών, το ρυπαντικό δυναμικό των διηθημάτων αυξήθηκε και κατέστη αναγκαία η εισαγωγή διατάξεων περιβαλλοντικής προστασίας από τα διηθήματα. Οι διατάξεις αυτές εκφράζονται ως προδιαγραφές εγκλεισμού των διηθημάτων σε μορφή μέγιστης επιτρεπτής υδραυλικής διαπερατότητας του μανδύα στεγανοποίησης.

Η επιλογή του μεγέθους πρέπει να γίνεται αφού έχει γίνει μακροπρόθεσμος προγραμματισμός διαχείρισης των ΑΣΑ και έχουν ληφθεί υπόψη προγράμματα διαλογής στη πηγή και ανακύκλωσης των ΑΣΑ για την εκτίμηση μελλοντικών αναγκών σε χώρους ταφής. Εν γένει το μέγεθος ενός ΧΥΤΑ δεν πρέπει να προβλέπεται σε διάστημα μεγαλύτερο 25ετίας. Για μεγαλύτερα διαστήματα, ο βαθμός αβεβαιότητας και επομένως και διαχειριστικής επικινδυνότητας που εισάγεται αυξάνει υπερβολικά κυρίως λόγω της άγνοιας των τεχνολογικών δεδομένων που θα έχουν διαμορφωθεί μέχρι το χρονικό αυτό ορίζοντα αλλά και των αναγκών σε χώρους διάθεσης.

Βάσει των προαναφερθέντων, γίνεται σαφές ότι τα πρωτεύοντα ζητήματα που καλούμαστε να αντιμετωπίσουμε είναι η χωροθέτηση, ο σχεδιασμός και η λειτουργία τους.

Τα βασικά πλεονεκτήματα της υγειονομικής ταφής, έναντι άλλων μεθόδων επεξεργασίας και διάθεσης, είναι τα εξής:

- η σχετικά εύκολη τεχνολογία
- η μικρότερη δαπάνη υποδομής και λειτουργίας
- η επαναχρησιμοποίηση του χώρου μετά την απενεργοποίηση του ΧΥΤΑ-βιοαντιδραστήρα η πιθανή αξιοποίηση του παραγόμενου βιοαερίου.

Τα κύρια μειονεκτήματα είναι:

- οι μεγάλοι απαιτούμενοι χώροι
- η έκλυση (εφόσον δεν συλλέγονται για αξιοποίηση) αερίων θερμοκηπίου και συγκεκριμένα CH₄ και CO₂, αν δεν καίγεται για βιοαέριο, ή και CO₂ αν καίγεται (το μεθάνιο είναι πολλαπλασίως επιζήμιο απ' ό,τι το διοξείδιο του άνθρακα αναφορικά με το φαινόμενο του θερμοκηπίου) και
- το γεγονός ότι η περίοδος μεταφροντίδας είναι πολύ μεγαλύτερη από εκείνη άλλων μεθόδων. (Παναγιωτακόπουλος, 2002)

2.3 Κομποστοποίηση

Η κομποστοποίηση είναι η ελεγχόμενη (ως προς τον αερισμό, την υγρασία, το λόγο άνθρακα/άζωτο (C/N), το pH και τη θερμοκρασία) βιοξείδωση ετερογενών οργανικών υλικών, όπου ετερογενείς και κυρίως ετερότροφοι μικροοργανισμοί (βακτήρια, μύκητες) βιοαποδομούν οργανικές ενώσεις. Ως κύρια προϊόντα της κομποστοποίησης λαμβάνονται το νερό, το CO₂, αλλά κυρίως το κομπόστ, το οποίο είναι ένα πλούσιο σε οργανική ουσία υλικό. Αντίθετα, οι οσμές, ο θόρυβος, οι σκόνες, παθογόνοι μικροοργανισμοί, πτητική οργανική ύλη, στραγγίσματα κ.α. αποτελούν κάποια από τα ανεπιθύμητα «παραπροϊόντα».

Το κομπόστ χρησιμοποιείται (εφόσον πληροί τις προβλεπόμενες από την νομοθεσία ποιοτικές προδιαγραφές) ως εδαφοβελτιωτικό (ιδιαίτερα για αμμώδη, αργιλώδη, όξινα, πορώδη και ασβεστώδη εδάφη) ή ως υπόστρωμα για την καλλιέργεια φυτών. Αν ο στόχος της βιοεπεξεργασίας είναι απλώς η μείωση των ποσοτήτων στο ΧΥΤΑ χωρίς άλλη χρήση για το προϊόν, τότε αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για κάλυψη των ημερήσιων κελιών του ΧΥΤΑ (οπότε η ποιότητά του δεν έχει σημασία). Κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης, έχουμε «απώλεια» μάζας της τάξης του 50%.

Τεχνολογίες κομποστοποίησης

Βασική επιδίωξη του συνόλου των γνωστών τεχνικών κομποστοποίησης αποτελεί η δημιουργία βέλτιστων συνθηκών περιβάλλοντος για την ανάπτυξη των μικροοργανισμών εκείνων που ευθύνονται για την επιτυχή εφαρμογή της μεθόδου, ενώ η κύρια παράμετρος που επηρεάζεται από την τεχνολογία και με βάση την οποία σχεδιάζονται τα συστήματα είναι η διαθεσιμότητα του οξυγόνου.

Η αρχική ταξινόμηση των τεχνολογιών πραγματοποιείται σύμφωνα με το εάν το προς κομποστοποίηση υλικό τοποθετείται σε κλειστό αντιδραστήρα ή όχι. Στη συνέχεια, τα διάφορα συστήματα ταξινομούνται ανάλογα με το είδος του αντιδραστήρα, το μηχανισμό τροφοδοσίας των υλικών, τη διαστρωμάτωση του υλικού στον αντιδραστήρα και τη μέθοδο παροχής αέρα. Μία ταξινόμηση των εναλλακτικών τεχνολογιών/ συστημάτων κομποστοποίησης είναι η ακόλουθη (Γρηγοροπούλου et al, 2013) :

I. Ανοικτά συστήματα

A. Αναδευόμενα στρώματα (agitated solids bed system)

- α. Με φυσικό αερισμό
- β. Με δυναμικό αερισμό

B. Στατικά Στρώματα (static solids bed system)

- α. Με φυσικό αερισμό
- β. Με δυναμικό αερισμό

II. Κλειστά συστήματα (αντιδραστήρες)

A. Κατακόρυφοι αντιδραστήρες

1. Προωθούμενα και αναδευόμενα στρώματα
 - α. σε πολλαπλές κλίνες
 - β. σε πολλαπλά επίπεδα ή ζώνες
- B. Οριζόντιοι και κεκλιμένοι αντιδραστήρες
 1. Περιστρεφόμενα στρώματα (περιστροφικά τύμπανα ή κλίνες)
 - α. Με ροή διασποράς
 - β. Με εν σειρά τμήματα
 - γ. Με πλήρη ανάμιξη
 2. Αναδευόμενα στρώματα (Αναδευόμενα τμήματα, ανοικτά κανάλια)
 - α. Κυκλικού σχήματος
 - β. Ορθογώνιου σχήματος
 3. Στατικά στρώματα (σχήμα τούνελ)
 - α. Τύπος πλάκας πίεσης
 - β. Τύπος κυλιόμενου δαπέδου
- Γ. Αντιδραστήρες ασυνεχούς λειτουργίας

Τα στατικά ανοικτά συστήματα επιτυγχάνουν τον αερισμό της μάζας με φυσικό αερισμό ή δυναμική εισαγωγή αέρα από το περιβάλλον, χωρίς ανάδευση του υλικού. Το οργανικό υπόστρωμα, συνήθως, εμπλουτίζεται με κάποιο διογκωτικό μέσο (π.χ. πριονίδι), ώστε να παρέχεται δομική σταθερότητα, διαμορφώνεται σε σωρό και εγκαθίσταται σύστημα αερισμού εμφύσησης ή απορρόφησης, ή εναλλαγή των δύο.

Στις στατικές συνθήκες, ο αερισμός γίνεται με προδιαγεγραμμένη περιοδική ανάδευση του υποστρώματος, το οποίο έχει τοποθετηθεί σε διάφορους γεωμετρικούς σχηματισμούς ύψους μέχρι 2,5m, σε κανάλια ή ελεύθερα. Ο επιλεγόμενος σχηματισμός εξαρτάται από τις κλιματολογικές συνθήκες, το σύστημα ανάδευσης και τη συχνότητα ανάδευσης. Ένας τυπικός σχηματισμός είναι σειράδια, ελεύθερα ή σε κανάλια, μήκους μέχρι και 100m και πλάτους έως και 5m. Ο αναγκαίος χρόνος παραμονής κυμαίνεται από 3 έως 4 εβδομάδες, ενώ για την ωρίμανση χρειάζονται επιπλέον 4-6 εβδομάδες.

Αντίθετα, τα αναδευόμενα ανοικτά συστήματα βασίζουν την παροχή του απαραίτητου οξυγόνου για τις διεργασίες κυρίως στην τακτική ανάδευση (αναστροφή) του υλικού, ενώ μπορεί να προβλέπεται παροχή αέρα από το περιβάλλον με ιδιαίτερο σύστημα αερισμού. Το οργανικό υλικό τοποθετείται σε σειράδια, που υπόκεινται σε περιοδική ανάδευση από ειδικά μηχανήματα. Η παροχή οξυγόνου λαμβάνει χώρα κατά κύριο λόγο με φυσικό αερισμό που προκαλείται από τον θερμό και ελαφρύ αέρα των σειραδιών, αλλά και από εναλλαγή αέρα κατά την ανάδευση. Στα αναδευόμενα σειράδια με δυναμικό αερισμό, η προσφορά οξυγόνου υποβοηθείται από την εμφύσηση ή απορρόφηση αέρα από ειδικό εξοπλισμό.

Οι κλειστοί αντιδραστήρες εφαρμόζουν μηχανικά συστήματα για την επίτευξη: α) δυναμικού αερισμού, β) ανάδευσης ή γ) αναστροφής του υλικού. Οι κατακόρυφοι αντιδραστήρες ταξινομούνται περαιτέρω σύμφωνα με τις συνθήκες των στρωμάτων του υλικού εντός του αντιδραστήρα. Κάποια συστήματα επιτρέπουν την ανάδευση του υλικού κατά την προώθησή του κατά μήκος του αντιδραστήρα, ενώ σε άλλα συστήματα το υλικό δεν υπόκειται σε ανάδευση κατά την προώθησή του. Οι κατακόρυφοι κλειστοί αντιδραστήρες γενικά προβλέπουν σχετικά μικρούς χρόνους παραμονής του υλικού και δυναμικό αερισμό.

Στα κλειστά και ταχείας βιοαποδόμησης (κλειστούς βιοαντιδραστήρες), αλλά ακριβότερα συστήματα, το υλικό βιοαποδομείται υπό πλήρως ελεγχόμενες συνθήκες, με δυναμικές συνθήκες αερισμού και με συνεχή ανάδευση. Ο χρόνος παραμονής ποικίλει ανάλογα με την τεχνολογία (7 – 14 μέρες), ενώ ακολουθεί η περίοδος ωρίμανσης διάρκειας από 4 έως 12 εβδομάδες. Το τελικό προϊόν είναι καλύτερης ποιότητας από το προϊόν των ανοικτών συστημάτων, πλην όμως η τεχνολογία είναι πιο περίπλοκη.

Για τη διατήρηση του λόγου C/N στα επιθυμητά όρια με προσθήκη ειδικών υλικών (π.χ. ιλύος από βιολογικούς καθαρισμούς), πραγματοποιείται η βιοσταθεροποίηση. Έχει παρατηρηθεί ότι οι αρχικές χαμηλές τιμές του λόγου C/N (με τιμές μικρότερες από 10) έχουν ως αποτέλεσμα την επιβράδυνση της βιοαποδόμησης και την αύξηση των απωλειών αζώτου (μέσω απαερίωσης αμμωνίας, ειδικά υπό συνθήκες υψηλών τιμών pH και θερμοκρασίας). Αντίθετα, αν οι αρχικές τιμές του λόγου C/N είναι ιδιαίτερα υψηλές (μεγαλύτερες από 35), τότε απαιτούνται πολλοί βιοχημικοί κύκλοι (οι μικροοργανισμοί οξειδώνουν κάθε φορά την περίσσεια του άνθρακα), έως ότου επιτευχθεί ικανοποιητικός λόγος C/N.

Μετά τη βιοσταθεροποίηση ακολουθούν δύο αναγκαία στάδια για την παραγωγή του τελικού προϊόντος: Το στάδιο της ωρίμανσης και το στάδιο του εξευγενισμού. Στη μονάδα ωρίμανσης λαμβάνουν χώρα διεργασίες χουμοποίησης, όπου το υλικό, τοποθετημένο σε σωρούς ή σειράδια ύψους μέχρι 6m, αποκτά ιδιότητες εμφάνισης και οσμής που διευκολύνουν την αποδοχή του για γεωργικές χρήσεις. Στη μονάδα εξευγενισμού, το προϊόν καθαρίζεται με μηχανικούς διαχωριστές από ξένες προσμίξεις (αδρανή, χαρτί, χαλίκια, πλαστικά, κ.α.) καθώς και από μη αποδομημένα οργανικά (πλαστικά, λάστιχα, συνθετικές ίνες από υφάσματα, μη επαρκώς τεμαχισμένο χαρτί, κτλ.), η απομάκρυνση των οποίων αποτελεί σημαντικό πρόβλημα. Αν ο στόχος της κομποστοποίησης είναι η μείωση των ποσοτήτων στο ΧΥΤΑ, τότε η ποιότητα του κομπόστ δεν έχει σημασία και ο εξευγενισμός περιττεύει.

Το κομπόστ μετά τη διαδικασία εξευγενισμού του, οδηγείται για ωρίμανση, όπου παραμένει για επαρκές χρονικό διάστημα (συνήθως ένα μήνα) σε σωρούς. Το χρονικό διάστημα της ωρίμανσης βοηθά στη διάσπαση και των πλέον ανθεκτικών οργανικών υλικών και στην επανεμφάνιση μικροβιακών πληθυσμών που αναπτύσσονται σε χαμηλές θερμοκρασίες και οι οποίοι είναι χρήσιμοι για την περαιτέρω σταθεροποίηση του οργανικού προϊόντος.

Ως φυσική βιολογική διεργασία, η κομποστοποίηση απαιτεί σχετικά μεγάλους χρόνους για σταθεροποίηση και ωρίμανση των ΑΣΑ, με αποτέλεσμα την ανάγκη για μεγάλους χώρους. Προσεγγιστικά εκτιμάται ότι, για ανοιχτά συστήματα σε

‘αυτοδύναμες’ εγκαταστάσεις βιοεπεξεργασίας απαιτούνται τόσα τετραγωνικά μέτρα όσοι οι τόνοι των εισερχομένων τόνων ανά έτος. Για κλειστά συστήματα, ο απαιτούμενος χώρος μπορεί να μειωθεί στο ¼. (McDougall et al, 2001 ; Tchobanoglous et al, 1993)

2.4 Αναερόβια Επεξεργασία ΑΣΑ

Η αναερόβια επεξεργασία των ΑΣΑ είναι μια τεχνητά επιταχυνόμενη διεργασία που λαμβάνει χώρα σε κλειστούς αντιδραστήρες. Αν και η μέθοδος είναι διαδεδομένη στο χώρο της επεξεργασίας υγρών λυμάτων, στο χώρο των ΑΣΑ χρησιμοποιείται την τελευταία δεκαετία. Κατά τη διεργασία, τα βιοποδομήσιμα απόβλητα μετατρέπονται σε βιοαέριο που περιέχει μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα. Στη συνέχεια, το βιοαέριο χρησιμοποιείται ως καύσιμο, ενδεχομένως αντικαθιστώντας τα ορυκτά καύσιμα.

Η βιοαποδόμηση αναπτύσσεται σε δύο διακριτά στάδια, το οξυγενές και το μεθανογενές. Κατά το στάδιο της μεθανογένεσης, ο ρυθμός μετατροπής/διάσπασης της οργανικής ύλης είναι ανάλογος με τον ρυθμό παραγωγής βακτηρίων, το καθένα από τα οποία έχει περιορισμένα επίδραση σε συγκεκριμένες μόνο οργανικές ουσίες. Παράλληλα, για αρκετές πολύπλοκες οργανικές ουσίες απαιτείται η συνεργασία και δράση πολλών διαφορετικών βακτηρίων για να επιτευχθεί η αποδόμησή τους και η παραγωγή μεθανίου. Επίσης, ο ρυθμός αναπαραγωγής των μεθανογενών βακτηρίων είναι μικρότερος από αυτόν των οξυγενών, γεγονός που αποτελεί μία βασική παράμετρο για την επιτυχή ανάπτυξη της διεργασίας, καθώς εάν για κάποιο λόγο διακοπεί το στάδιο της μεθανογένεσης, τότε είναι αρκετά δύσκολο να ξαναρχίσει.

Ως προς τη διαδικασία της μεθόδου, μετά το μηχανικό διαχωρισμό και την ανάκτηση υλικών, το οργανικό κλάσμα των ΑΣΑ εισέρχεται στον αντιδραστήρα (χωνευτή) είτε όπως είναι (ξηρή μέθοδος) ή αναμειγμένο με νερό ή με ιλύ από εγκατάσταση βιολογικού καθαρισμού λυμάτων (υγρή μέθοδος). Το ποσοστό στερεών στο μείγμα και η θερμοκρασία και η διάρκεια της διεργασίας ποικίλουν ανάλογα με το σχεδιασμό της μονάδας, τη σύνθεση του υλικού και άλλους παράγοντες (διακυμάνσεις σχετικών τιμών, αντιστοίχως: 25-45% στερεά, 35-55°C, 1-4 εβδομάδες). Τα βασικά προϊόντα είναι βιοαέριο και ιλύς. Το βιοαέριο εκτιμάται σε 100-200m³ ανά τόνο εισερχόμενου οργανικού κλάσματος ΑΣΑ, αποτελούμενο από μεθάνιο (55-70%), διοξείδιο του άνθρακα (30-45%) και ίχνη άλλων αερίων. Μετά από ελάχιστη επεξεργασία (κυρίως για απομάκρυνση της υγρασίας και του υδρόθειου), το αέριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο για παραγωγή θερμότητας ή/και ηλεκτρικής ενέργειας. Το 20-40% της παραγόμενης ενέργειας καταναλώνεται κατά τη διεργασία, αφήνοντας 100-200kW ανά τόνο οργανικού κλάσματος για άλλες χρήσεις. Περαιτέρω αναβάθμιση της ποιότητας του βιοαερίου γίνεται με την απομάκρυνση του διοξειδίου του άνθρακα.

Στα κύρια πλεονεκτήματα της μεθόδου συγκαταλέγονται ο μικρότερος, σε σχέση με την κομποστοποίηση, απαιτούμενος χώρος (30-50% μικρότερος από τα ανοιχτά συστήματα κομποστοποίησης), η παραγωγή ενέργειας από το βιοαέριο, η μη δημιουργία στραγγισμάτων, η δυνατότητα συνδιαχείρισης με την ιλύ από εγκατάσταση βιολογικού καθαρισμού λυμάτων, καθώς και το ότι το βιοαέριο (και κυρίως το μεθάνιο)

συλλέγεται σχεδόν στο σύνολό του (συμβολή στον περιορισμό του φαινομένου του θερμοκηπίου). Επιπροσθέτως, η παραγόμενη χωμένη ιλύς μπορεί να μετατραπεί, με αερόβια επεξεργασία, σε κομπόστ. Δεδομένου ότι όσο πιο καθαρή είναι η εισερχόμενη οργανική ύλη τόσο αποτελεσματικότερη είναι η μέθοδος, η αναερόβια βιοεπεξεργασία είναι κατάλληλη για φυτικά υπολείμματα, για ιλύες από βιολογικούς καθαρισμούς (εφόσον έχει απομείνει επαρκής βιοαποδομήσιμη ύλη).

Αντιθέτως, ως μειονεκτήματα λογίζονται το σχετικά υψηλό κόστος και η (μέχρι σήμερα) περιορισμένη επιβεβαίωση της αξιοπιστίας της τεχνολογίας, δεδομένης και της μεταβλητότητας της σύνθεσης της πρώτης ύλης. Οι συνεχιζόμενες έρευνες και οι εμπειρίες υποδεικνύουν ότι η αναερόβια βιοεπεξεργασία έχει θετική προοπτική. (Warner and Anaerobic, 1998 ; Γρηγοροπούλου et al, 2013 ; Παναγιωτακόπουλος, 2002)

Αξίζει να αναφέρουμε ότι, σε αρκετές περιπτώσεις, μετά την εφαρμογή της αναερόβιας χώνευσης, το παραγόμενο στερεό προϊόν υφίσταται αερόβια επεξεργασία, με στόχο είναι την επίτευξη πλήρους σταθεροποίησης του προϊόντος και αύξηση της παρουσίας χουμικών συστατικών σε αυτό. Το τελικό προϊόν της συνδυασμένης επεξεργασίας παρουσιάζει σύσταση και χαρακτηριστικά παρόμοια με αυτά που έχει το κομπόστ και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε γεωργικές εφαρμογές (εδαφοβελτιωτικό). Εναλλακτικά, μπορεί να αξιοποιηθεί ως καύσιμο υλικό. (Γρηγοροπούλου et al, 2013)

2.5 Ανακύκλωση

Κατά τη διεργασία της ανακύκλωσης εκτρέπονται συστατικά από την ροή των αποβλήτων για την επαναχρησιμοποίηση των υλικών που περιέχονται σε αυτά, δηλαδή υλικά, που προορίζονταν για απόρριψη, συλλέγονται, υφίστανται επεξεργασία και αναπαράγονται ή επαναχρησιμοποιούνται. Σε αυτό το σημείο αξίζει να σημειωθεί ότι το σχετικό άρθρο της Κοινής Υπουργικής Απόφασης (ΚΥΑ) κάνει λόγο για αξιοποίηση και περιλαμβάνει την ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση (ως δευτερογενών) υλικών και ενέργειας, συμπεριλαμβανομένης της κομποστοποίησης του οργανικού κλάσματος για παραγωγή εδαφοβελτιωτικού. Δεν είναι σαφές, από νομική άποψη, αν η ανάκτηση ενέργειας δια μέσου της καύσης αποτελεί ανακύκλωση. Εν γένει, η ανακύκλωση συνεπάγεται διαχωρισμό των ΑΣΑ σε ομοιογενείς κατηγορίες συστατικών τους, ανάκτηση των υλικών και επαναχρησιμοποίησή τους, ενδεχομένως μετά από επεξεργασία.

Δεν είναι όλα τα υλικά των ΑΣΑ εξίσου εύκολο να διαχωριστούν, ούτε η αξιοποίησή τους εξίσου αποτελεσματική, στοιχεία που καθιστούν το στόχο και τη σκοπιά της ανάλυσης εξαιρετικά σημαντικά για τη διαμόρφωση και την αξιολόγηση της επίδοσης ενός προγράμματος ανακύκλωσης.

Σήμερα, η ανακύκλωση δεν είναι απόλυτα συνυφασμένη με την ύπαρξη οικονομικού οφέλους, καθώς το κόστος της επανεπεξεργασίας εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το υλικό προς επεξεργασία, τη κλίμακα που χρησιμοποιείται στη διαδικασία, η πολυπλοκότητα της τεχνολογίας επεξεργασίας και την ποιότητα των εισροών. Ενδεχομένως, θα μπορούσε να διαμορφωθεί από μια ειδική πηγή αποβλήτων

(βιομηχανία, αλυσίδα εστιατορίων, πολυκατάστημα κτλ.) ένα οικονομικά βιώσιμο πρόγραμμα ανάκτησης συγκεκριμένων υλικών. Είναι φανερό ότι η εξασφάλιση ανεκτού βαθμού σταθερότητας στην αγορά των ανακτώμενων υλικών και η ύπαρξη σταθερής ζήτησης με προβλέψιμες διακυμάνσεις των προσφερόμενων τιμών αποτελούν σημαντικές προϋποθέσεις επιτυχίας. (Sunberg and Gipperthand, 1993 ; Bovea et al, 2010)

Ως προς τον τρόπο και τον τόπο που λαμβάνει χώρα ο διαχωρισμός, αναφέρονται σε δύο περιπτώσεις:

1. Διαλογή στην πηγή
2. Διαλογή σε εγκατάσταση ανάκτησης υλικών

Εγκαταστάσεις ανάκτησης υλικών και ενέργειας

Κάθε πρόγραμμα εκτροπής και ανακύκλωσης προϋποθέτει την ύπαρξη κάποιας μορφής εγκατάστασης για την ταξινόμηση και ανάκτηση των υλικών και ενδεχομένως για ανάκτηση ενέργειας. Τύποι και μεγέθη μιας εγκατάστασης ανάκτησης υλικών και/ή ενέργειας ποικίλουν, με βασικές κατηγοριοποιήσεις να σχετίζονται με:

- Το βαθμό στον οποίο τα εισερχόμενα ΑΣΑ είναι διαχωρισμένα (από «πλήρη» διαχωρισμό μέχρι καθόλου)
- Την έκταση της χειροδιαλογής (από πλήρως χειρωνακτικό διαχωρισμό μέχρι «σχεδόν πλήρως» μηχανικό)
- Την ύπαρξη βιοεπεξεργασίας (αερόβια ή αναερόβια) και τον τύπο της
- Την ύπαρξη θερμικής επεξεργασίας, με ή χωρίς ανάκτηση ενέργειας.

Συνεπώς, σε μια μονάδα ανάκτησης υλικών (MRF) μπορεί να υπάρχει ένας ειδικός χώρος διαλογής στον ευρύτερο χώρο ενός σταθμού μεταφόρτωσης αποβλήτων, μία εγκατάσταση υποδοχής ανάμεικτων ΑΣΑ και ανάκτηση υλικών κυρίως με χειροδιαλογή και υποτυπώδη μηχανικό εξοπλισμό ή ένα ειδικά κατασκευασμένο εργοστάσιο μηχανικού διαχωρισμού και ανάκτησης υλικών, με ή χωρίς βιοεπεξεργασία και με ή χωρίς ανάκτηση ενέργειας, το οποίο μπορεί να δέχεται ανάμεικτα ή διαχωρισμένα ΑΣΑ κτλ.

Οι επιθυμητές και ανεπιθύμητες εκροές, ανάλογα με τη μορφή της εγκατάστασης, μπορεί να είναι:

- Διαχωρισμένα σε κατηγορίες υλικά για επαναχρησιμοποίηση (π.χ. χαρτί, πλαστικά, γυαλί, μέταλλα, οργανικά υλικά προς βιοεπεξεργασία, χαρτί και πλαστικά ως καύσιμη ύλη – RDF)
- Συμπιεσμένα δεμάτια αδρανών υλικών για εναπόθεση σε χώρους προσωρινής ή τελικής αποθήκευσης
- Εδαφοβελτιωτικό υλικό (κομπόστ) ή/και θερμική ενέργεια, εφόσον εμπεριέχεται στην εγκατάσταση αντίστοιχη μονάδα παραγωγής τους
- Τα στερεά υπολείμματα των διεργασιών (π.χ. τα μη ανακτώμενα υλικά ή οι στάχτες από καύση) τα οποία μεταφέρονται σε χώρους εδαφικής διάθεσης

- Οι διάφορες οχλήσεις στο κοινωνικό σύνολο (π.χ. θόρυβος και οσμές) οι οποίες ελέγχονται με ειδικά συστήματα
- Τα απόβλητα των διεργασιών: υγρά (συλλέγονται για επεξεργασία), αέρια από καύση ή από βιοεπεξεργασία που ελέγχονται, σκόνη, κ.α.
- Άλλες αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις, όπως π.χ. από τις εκπομπές ρύπων μετά το στάδιο λειτουργίας, η πιθανή ρύπανση ή μόλυνση από τη χρήση 'προϊόντων' (κομπόστ, RDF, βιοαερίου κτλ.) στη μορφολογία του χώρου, κ.α.

Όπως αναφέρθηκε και στην εισαγωγή της ανακύκλωσης, ο περαιτέρω διαχωρισμός και η επεξεργασία των αποβλήτων που έχουν διαχωριστεί στην πηγή και ο διαχωρισμός των αναμειγμένων αποβλήτων εμφανίζεται συνήθως σε εγκαταστάσεις ανάκτησης υλικών (MRF). Η επιτυχής ανάπτυξη και εφαρμογή ενός MRF απαιτεί να δοθεί δέουσα προσοχή στο σχεδιασμό λαμβάνοντας υπόψη τόσο τους τεχνικούς παράγοντες όσο και τους περιβαλλοντικούς. Ο τεχνικός σχεδιασμός και προγραμματισμός των MRF περιλαμβάνει τρία στάδια:

1. την ανάλυση σκοπιμότητας
2. την προκαταρκτική μελέτη
3. την τελική μελέτη.

Η λειτουργία μιας τυπικής μονάδας ανάκτησης υλικών (MRF) χρησιμοποιεί εγχειρίδια επεξεργασίας και/ή ημι-αυτόνομης επεξεργασίας για τη διαλογή των ανακυκλώσιμων υλικών από τα απόβλητα και την προετοιμασία τους σε μορφή κατάλληλη για τη χρησιμοποίησή τους από τους φορείς επανεπεξεργασίας υλικών. Μια μονάδα MRF είναι συνήθως εξοπλισμένη με συστήματα μεταφοράς/μετακίνησης υλικών, κυρίως ιμάντες, μηχανικούς διαχωριστές υλικών με βάση το μέγεθος, κυρίως με κοσκίνισμα (περιστροφικά ή δονητικά κόσκινα) για την απομάκρυνση σωματιδίων και εξοπλισμός δεματοποίησης. Μερικές μονάδες μπορεί να έχουν στον εξοπλισμό τους και μαγνητικούς διαχωριστές για την ανάκτηση των σιδηρούχων μετάλλων, διαχωριστές επαγωγικών ρευμάτων για την ανάκτηση αλουμινίου και συστήματα ανίχνευσης και διαχωρισμού των πλαστικών με βάση το είδος του πολυμερούς. Ακόμη πραγματοποιείται χειροδιαλογή για το διαχωρισμό των υλικών σε χαρτί, γυαλιά, πλαστικά, οργανικό κλάσμα και υπολείμματα. Τα συστήματα αυτά μπορούν να διαμορφωθούν με ποικίλους τρόπους, ανάλογα με το βαθμό διαχωρισμού των εισερχομένων ΑΣΑ και με το στόχο της εγκατάστασης.

Στις εγκαταστάσεις αυτές έχουμε πάντοτε χειροδιαλογή, τουλάχιστον για απόσυρση ογκωδών αντικειμένων ώστε να εξασφαλίζεται η ομαλή λειτουργία του μηχανολογικού εξοπλισμού. Επιπλέον, ο διαχωρισμός των πλαστικών κατά είδος, των ανάμεικτων χαρτιών και των γυαλιών κατά χρώμα μπορεί να γίνει μόνο με χειροδιαλογή. Η εξελισσόμενη τεχνολογία τείνει να μειώσει την ανάγκη χειροδιαλογής π.χ. με χρήση φωτοκύτταρων για το διαχωρισμό. Σε κάθε περίπτωση, η αντιστάθμιση χειρωνακτικής και μηχανικής διαλογής είναι κατ' ουσίαν αντιστάθμιση υψηλού αρχικού κόστους επένδυσης (περίπλοκη τεχνολογία) και υψηλού κόστους λειτουργίας (απλή τεχνολογία εντάσεως εργασίας) –συγκρινόμενα στη βάση της παρούσας αξίας

με αναφορά σε όλο το χρονικό ορίζοντα της ανάλυσης. Η απόδοση της χειροδιαλογής εκτιμάται, προσεγγιστικά, σε 0.5 τόνο ανά ώρα ανά άτομο.

Κατά την ίδια λογική, όσο περισσότερες είναι οι εισρέουσες ποσότητες και οι ώρες λειτουργίας του εξοπλισμού ανά περίοδο, τόσο μικρότερη είναι η ανά τόνο επιβάρυνση από το κόστος κεφαλαίου και απόσβεσης. Πλην όμως, υπάρχουν περιορισμοί στις ώρες λειτουργίας που αναφέρονται στην κυκλοφορία των οχημάτων, στο θόρυβο από τα οχήματα και τη λειτουργία, τους χρόνους διακοπών για συντήρηση, καθώς και στις εποχιακές διακυμάνσεις των εισερχόμενων ποσοτήτων αποβλήτων. (Schrijver, 2003 ; Γρηγοροπούλου et al, 2013 ; Παναγιωτακόπουλος, 2002)

2.6 Θερμική επεξεργασία

Η θερμική επεξεργασία των ΑΣΑ αποσκοπεί κυρίως στην ελάττωση του όγκου τους και τη μετατροπή τους σε λιγότερο επιβλαβή υλικά, και, δευτερευόντως, στην ανάκτηση του ενεργειακού περιεχομένου τους. Κατά την επεξεργασία αυτή, τα ΑΣΑ μετατρέπονται σε στερεά, υγρά και αέρια προϊόντα, ενώ θερμότητα εκλύεται. Ανάλογα με την ποσότητα του παρόντος οξυγόνου, διακρίνονται τα εξής είδη θερμικής επεξεργασίας:

- Αποτέφρωση (καύση): αναπτύσσεται παρουσία είτε στοιχειομετρικής αναλογίας οξυγόνου είτε με περίσσεια οξυγόνου, έτσι ώστε να επιτευχθεί πλήρης οξείδωση του άνθρακα των οργανικών συστατικών προς διοξείδιο του άνθρακα
- Πυρόλυση: αναπτύσσεται απουσία οξυγόνου και λαμβάνει χώρα θερμική διάσπαση των οργανικών στερεών αποβλήτων
- Αεριοποίηση: απαιτεί την τήρηση αυστηρών αναλογιών μεταξύ οργανικού άνθρακα των αποβλήτων και οξυγόνου, έτσι ώστε να επιτευχθεί ατελής καύση των οργανικών υλικών των αποβλήτων και να παραχθεί αέριο αποτελούμενο κυρίως από μονοξείδιο του άνθρακα, υδρογόνο και αέριους υδρογονάνθρακες
- Τεχνική πλάσματος: υπό την επίδραση πολύ υψηλών θερμοκρασιών, το οργανικό κλάσμα των αποβλήτων αεριοποιείται και σχηματίζει αέριο σύνθεσης (μίγμα μονοξειδίου του άνθρακα και υδρογόνου) και απαέρια, ενώ το ανόργανο τμήμα υλοποιείται.

2.6.1 Αποτέφρωση (καύση)

Η καύση αποτελεί μία βασική μέθοδο επεξεργασίας, μιας και μπορεί να μειώσει τον όγκο των απορριμμάτων κατά 85 – 95%, παράγοντας παράλληλα ενέργεια, με εξίσου σημαντικό πλεονέκτημα τις χαμηλές απαιτήσεις σε χώρο. Ο έλεγχος της ατμοσφαιρικής ρύπανσης που προκαλεί παραμένει, ωστόσο, το βασικό πρόβλημα της μεθόδου, παρά την ανάπτυξη της σχετικής τεχνολογίας κατά τα τελευταία χρόνια.

Πολύ σημαντική είναι η σύσταση των ΑΣΑ και ιδιαίτερα η θερμογόνο δύναμή τους. Συνήθως η θερμογόνο δύναμη είναι περίπου 2500kcal/kg απορριμμάτων, και είναι άμεση συνάρτηση της υγρασίας των απορριμμάτων. Στη χώρα μας, λόγω της

αυξημένης υγρασίας των απορριμμάτων η θερμογόνος δύναμή τους είναι περίπου 1750kcal/kg. (Smith et al, 2001 ; Βλυσίδης, 2010 ; Γρηγοροπούλου et al, 2013)

Γενικά, ως καύση ορίζεται η χημική αντίδραση μιας ουσίας με το οξυγόνο, κατά την οποία λαμβάνουν χώρα οι εξής φυσικές και χημικές διεργασίες:

- Η ξήρανση υλικού επιτυγχάνεται σε θερμοκρασία τουλάχιστον 100°C. Η απαιτούμενη για την ξήρανση θερμότητα εξαρτάται από τη σύνθεση των αποβλήτων και την περιεχόμενη σε αυτά υγρασία.
- Η θερμική διάσπαση των οργανικών ενώσεων επιτυγχάνεται σε θερμοκρασίες που κυμαίνονται από 250 - 900°C και κατά την ανάπτυξη της απομακρύνονται τα πτητικά οργανικά.
- Η απαερίωση περιλαμβάνει τη μετατροπή των οργανικών υλικών, κάτω από υψηλές θερμοκρασίες, σε αέριο καύσιμο υλικό. Η διεργασία αναπτύσσεται σε θερμοκρασίες που κυμαίνονται από 800 - 1150°C.

νης υγρασίας των απορριμμάτων η θερμογόνος δύναμή τους είναι περίπου 1750kcal/kg. (Smith et al, 2001 ; Βλυσίδης, 2010 ; Γρηγοροπούλου et al, 2013)

Η κύρια καύση περιλαμβάνει την πλήρη οξείδωση των αερίων που παράγονται κατά την απαερίωση των αποβλήτων σε διοξείδιο του άνθρακα και νερό. Ανάλογα με τη σύσταση των αποβλήτων παράγονται και άλλα αέρια προϊόντα όπως οξείδια του θείου και του αζώτου κ.λπ.

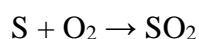
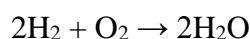
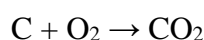
Η παραγόμενη ενέργεια ανακτάται μέσω εξάτμισης νερού που παράγει ατμό, και μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια μέσω γεννήτριας. Σήμερα οι περισσότεροι σταθμοί καύσης απορριμμάτων διαθέτουν σύστημα ανάκτησης ενέργειας, είτε με χρήση της θερμικής ενέργειας για θέρμανση, είτε με παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Τα τελικά προϊόντα της καύσης είναι απαέρια που μετά από επεξεργασία διοχετεύονται στην ατμόσφαιρα, ανόργανη τέφρα, υγρό απόβλητο το οποίο παράγεται κατά τις διαδικασίες σβέσης της τέφρας και ψύξης των αερίων και η θερμότητα που όπως έχει ήδη αναφερθεί μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ατμού ή ηλεκτρικής ενέργειας.

Οι μονάδες αποτέφρωσης χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες: τις μονάδες που απαιτούν ελάχιστη προεπεξεργασία των απορριμμάτων – στερεών αποβλήτων (μονάδες τύπου mass-fired) και τις μονάδες που λειτουργούν με προδιαχωρισμένο οργανικό υλικό π.χ. επεξεργασμένο RDF (Refuse Derived Fuel) ως καύσιμο. Διαφοροποιούνται τόσο σε σχέση με τον τύπο του συστήματος καύσης (κινούμενων εσχαρών, ρευστοποιημένης κλίνης) όσο και σε σχέση με το σύστημα ελέγχου της ρύπανσης (υγρή/ξηρή επεξεργασία απαερίων, σακκόφιλτρα κτλ.)

Ένα πολύ κρίσιμο θέμα δεν είναι άλλο από τον έλεγχο των εκπομπών, όπως τα πτητικά οργανικά, τα NO_x, το όξινο αέριο, τα σωματίδια, τα δευτερογενή πτητικά οργανικά και ο υδράργυρος, στον έλεγχο των οποίων η τεχνολογία έχει παρουσιάσει τρομερές βελτιώσεις τελευταία. Τα κύρια στοιχεία των απορριμμάτων πάντως είναι C, O, N και S. Μικρότερες ποσότητες πολλών ακόμη στοιχείων εμπεριέχονται στη

στάχτη. Υπό ιδανικές συνθήκες τα καυσαέρια θα περιέχουν κυρίως CO₂, H₂O, N₂ και μικρές ποσότητες SO₂. Στην πράξη, πολλές διαφορετικές αντιδράσεις είναι πιθανές, ανάλογα με την ακριβή φύση των απορριμμάτων και τα λειτουργικά χαρακτηριστικά του αντιδραστήρα καύσεως. Οι κύριες αντιδράσεις κατά την καύση είναι οι εξής:



Προκειμένου για να αποφύγουμε την ημιτελή καύση συνήθως λειτουργούμε με περίσσεια αέρα μέχρι και 100%. Όσο υψηλότερη η περίσσεια του αέρα, τόσο περισσότερη είναι η ενέργεια που θα αναλωθεί για θέρμανση των αερίων με αποτέλεσμα να επιτυγχάνουμε χαμηλότερη θερμοκρασία καύσης.

2.6.2 Πυρόλυση

Πυρόλυση ονομάζεται η θερμική των οργανικών ενώσεων και, ειδικότερα, η καταστρεπτική αποστακτική διαδικασία που διενεργείται απουσία οξυγόνου και σε θερμοκρασία 250 - 1000°C ανάλογα με τα επιθυμητά προϊόντα και χαρακτηρίζεται από έντονα ενδόθερμες αντιδράσεις και, κατά συνέπεια, απαιτεί τη διαρκή θέρμανση από εξωτερική πηγή θερμότητας, σε αντίθεση με την αποτέφρωση και την αεριοποίηση, οι οποίες χαρακτηρίζονται από έντονα εξώθερμες αντιδράσεις. Με την μέθοδο της πυρόλυσης τα αστικά στερεά απορρίμματα μετατρέπονται σε μία σειρά χρήσιμων προϊόντων στερεής, υγρής και αέριας φάσης. Η μέθοδος αυτή δεν επιβαρύνει το περιβάλλον όταν εφαρμόζεται σωστά.

Τα προϊόντα της πυρόλυσης των ΑΣΑ καταλαμβάνουν όγκο 50% μικρότερο του αρχικού και μετατρέπονται σε ενέργεια που καταναλώνει η ίδια η διαδικασία της πυρόλυσης ή παρέχεται προς διάθεση. Χρησιμοποιείται ευρέως σήμερα ως μία βιομηχανική διεργασία για την παραγωγή κάρβουνου από ξύλο, κοκ και αέριο κοκ από γαιάνθρακα, καθώς και υγρά καύσιμα και πίσσα από βαριά κλάσματα πετρελαίου. Παρά όμως την ευρεία εφαρμογή της στη βιομηχανία, η πυρόλυση δεν έχει πλήρως ξεπεράσει τα πολλαπλά προβλήματα που αντιμετωπίζει, κυρίως εξαιτίας της σημαντικής ανομοιογένειας των ΑΣΑ.

Πριν την εφαρμογή της μεθόδου είναι απαραίτητη η προεπεξεργασία των στερεών αποβλήτων, έτσι ώστε στο θάλαμο της πυρόλυσης να οδηγείται μόνο το οργανικό κλάσμα (απομάκρυνση μετάλλων, γυαλιού κ.λ.π.). Τα τελικά προϊόντα της πυρόλυσης είναι τριών ειδών:

- Αέρια: αποτελούνται από υδρογόνο, μεθάνιο, μονοξείδιο του άνθρακα, διοξείδιο του άνθρακα και άλλα αέρια που εξαρτώνται από τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά των στερεών αποβλήτων που υπόκεινται σε επεξεργασία.
- Υγρά: το υγρό κλάσμα των αποβλήτων αποτελείται από ένα ελαιώδες μίγμα, υψηλής πυκνότητας και ιξώδους, το οποίο περιέχει οξικό οξύ, ακετόνη, μεθανόλη και σύνθετους οξυγονωμένους υδρογονάνθρακες. Με περαιτέρω

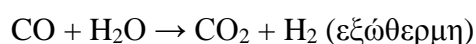
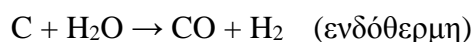
επεξεργασία, το υγρό κλάσμα των αποβλήτων μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως συνθετικό καύσιμο.

- Στερεά: το στερεό υπόλειμμα αποτελείται από σχεδόν καθαρό άνθρακα που συσσωματώνεται με τα αδρανή συστατικά που υπάρχουν στα στερεά απόβλητα.

Από τη λειτουργία μεγάλων μονάδων πυρόλυσης φαίνεται να προκύπτουν δύο προβλήματα: Αφενός, δυσκολία στην απομάκρυνση μετάλλων και γυαλιού, γεγονός που επιφέρει σημαντική αύξηση των λειτουργικών εξόδων της μονάδας και προϋποθέτει την επιτυχή εφαρμογή διαλογής στην πηγή ή μηχανικής διαλογής, αφετέρου, δυσκολία στην επίτευξη προδιαγραφών εμπορικού καυσίμου για τα παραγόμενα υγρά προϊόντα, κυρίως λόγω υψηλής υγρασίας που περιέχουν. Παρόλα αυτά, η πυρόλυση διευρύνεται σε σημαντικό βαθμό διεθνώς και επιδιώκεται η μετατροπή της σε τεχνολογία μεγάλης κλίμακας. Ιδιαίτερη σημασία δίδεται στην τεχνολογία της θερμόλυσης η οποία μία παραλλαγή της πυρόλυσης αλλά συγκεντρώνει συγκριτικά πλεονεκτήματα σε σχέση με την αποτέφρωση.

2.6.3 Αεριοποίηση

Η αεριοποίηση είναι μια διαδικασία ατελούς καύσης, στην οποία τα στερεά απόβλητα υπόκεινται σε θερμική επεξεργασία, με χρήση οξυγόνου, σε ποσότητα μικρότερη από τη στοιχειομετρικά απαιτούμενη. Κατά τη διάρκεια της αεριοποίησης, λαμβάνουν χώρα οι ακόλουθες αντιδράσεις:



Η θερμότητα η οποία συντηρεί τη συνολική διαδικασία της αεριοποίησης παράγεται από τις εξώθερμες αντιδράσεις, ενώ το μονοξείδιο του άνθρακα και το υδρογόνο, δηλαδή τα κύρια συστατικά του παραγόμενου αερίου, δημιουργούνται από τις ενδόθερμες αντιδράσεις.

Τα τελικά προϊόντα της αεριοποίησης είναι αέριο, στερεό υπόλειμμα και το συμπυκνωμένο υγρό. Το αέριο είναι πλούσιο σε μονοξείδιο του άνθρακα, υδρογόνο και κορεσμένους υδρογονάνθρακες (κυρίως μεθάνιο) που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο. Το στερεό υπόλειμμα που αποτελείται από άνθρακα και αδρανή. Ενώ, το συμπυκνωμένο υγρό υπόλειμμα, με χαρακτηριστικά και σύσταση παρόμοια με αυτό που παράγεται κατά την πυρόλυση. (Σκορδίλης, 1997 ; Karmpiris et al, 2013)

2.7 Βιολογική ξήρανση

Πρόκειται για μια παραλλαγή της Μηχανικής-Βιολογικής Επεξεργασίας, στην οποία η βιολογική επεξεργασία προηγείται της μηχανικής, με σκοπό την παραγωγή

στερεού καυσίμου με καλή ποιότητα, του οποίου οι προδιαγραφές ποικίλουν ανάλογα με τον τελικό χρήστη και είναι γνωστό ως Solid Recover Fuel (SRF). Η παραλλαγή αυτή περιληπτικά μπορούμε να πούμε ότι αποτελείται από:

- Την αερόβια επεξεργασία των αποβλήτων, κατά την οποία συνήθως γίνεται ελάττωση του μεγέθους με τεμαχισμό. Στο στάδιο αυτό γίνεται αποδόμηση των αποβλήτων, με παροχή οξυγόνου, αλλά σε αντίθεση με την κλασσική κομποστοποίηση δεν πραγματοποιείται προσθήκη νερού στα απόβλητα, με αποτέλεσμα την ελάττωση της περιεχόμενης υγρασίας, όσο προχωρά η δράση των μικροοργανισμών. Κατά συνέπεια, πραγματοποιείται μερική αποδόμηση των αποβλήτων και ένα μεγάλο μέρος του βιολογικού τους περιεχομένου διατηρείται. Μετά την εξάτμιση του εισερχόμενου νερού και λόγω της βιοαποδόμησης (συνολικά σε ποσοστό περίπου 24-30% κ.β της εισόδου), παράγεται ένα προϊόν το οποίο είναι απαλλαγμένο από οσμές και μικροοργανισμούς και έχει χαμηλή περιεκτικότητα σε υγρασία, λόγω των εξώθερμων αντιδράσεων που πραγματοποιούνται κατά το στάδιο της βιοξήρανσης (~50°C).
- Μετά το στάδιο της βιοξήρανσης, ακολουθεί μηχανική μετεπεξεργασία, η οποία γίνεται με συνδυασμούς μηχανολογικού εξοπλισμού και στόχο τη βελτίωση της σύστασης του υλικού μέσω της απομάκρυνσης μετάλλων και της μείωσης των μη καύσιμων υλικών, όπως οι πέτρες και τα γυαλιά. Το SRF/RDF, το οποίο αποτελεί το τελικό προϊόν της βιοξήρανσης, είναι ένα δευτερογενές καύσιμο με αρκετά σημαντική θερμογόνο δύναμη, περίπου (15-18 MJ/kg), ενώ παράλληλα λόγω της χαμηλής περιεκτικότητας σε υγρασία, γίνονται πιο εύκολα οι μηχανικοί διαχωρισμοί, με αποτέλεσμα το τελικό προϊόν να έχει χαμηλό ποσοστό προσμίξεων.

Σε αυτό το σημείο αξίζει να αναφερθεί ότι η προσωρινή αποθήκευση ή μεταφορά του SRF πριν από τη χρήση του ως καύσιμο θα μπορούσε να οδηγήσει σε ανεπιθύμητα προβλήματα, δηλαδή την αυθόρμητη ανάφλεξη, τις εκπομπές οσμών κτλ με συνέπεια υλικών ζημιών, τη μόλυνση του περιβάλλοντος και τις επιπτώσεις για την υγεία. Τα βιοαποικοδομήσιμα οργανικής ύλης που περιέχονται στα ΑΣΑ/ SRF είναι υπεύθυνα για αυτές τις επιπτώσεις, λόγω της μικροβιακής δραστηριότητας. Ωστόσο, αναστέλλοντας τις συνθήκες για μικροβιακή δραστηριότητα αποφεύγονται ή μειώνονται όλες οι ανεπιθύμητες επιπτώσεις. Στο πλαίσιο αυτό, τα αποξηραμένα απόβλητα και τα παράγωγα SRFs, λόγω της χαμηλής τους περιεκτικότητας σε υγρασία που περιορίζει τη μικροβιακή δραστηριότητα, έχουν το πλεονέκτημα, σε σχέση με τα μαζικά ΑΣΑ και / ή SRFs που προέρχονται από τη διαδικασία MBT, να μειώνουν τις πιθανές επιπτώσεις, όταν αποθηκεύονται ή μεταφέρονται. (Παναγιωτακόπουλος, 2002)

Οι κύριες διαφοροποιήσεις των διαφόρων συστημάτων που εφαρμόζονται έγκειται κυρίως ως προς το πώς διαμορφώνεται ο χώρος της ξήρανσης. Τα βασικά συστήματα είναι τρία:

- Η βιολογική ξήρανση σε καλυμμένους σωρούς
- Εντός ενιαίας δεξαμενής

➤ Σε κουτιά

2.8 Βιολογική Μηχανική Επεξεργασία

Η βιολογική επεξεργασία των οργανικών αποβλήτων, αποτελεί μια τεχνολογία που λαμβάνει χώρα σε συνδυασμό με κάποια άλλη (και όχι αυτόνομα), καθώς για την επίτευξη των επιθυμητών αποτελεσμάτων, εκτός από την βιολογική επεξεργασία, είναι απαραίτητος και μηχανολογικός εξοπλισμός με τον οποίο πραγματοποιείται η αφαίρεση προσμίξεων από τα οργανικά απόβλητα (κοσκίνηση) αλλά και η ομογενοποίησή τους (ανάμειξη και τεμαχισμός).

Από την άλλη, ούτε η Μηχανολογική Διαλογή αποτελεί ολοκληρωμένη επιλογή, καθώς απαιτείται περαιτέρω επεξεργασία των υπολοίπων ρευμάτων προς διαχωρισμό. Η διαφορά μεταξύ των συστημάτων βιολογικής επεξεργασίας οργανικών αποβλήτων και των συστημάτων MBT (των συστημάτων δηλαδή που συνδυάζουν μηχανική διαλογή και βιολογική επεξεργασία), έγκειται στην πολυπλοκότητα των απαιτούμενων μηχανικών διαχωρισμών αλλά και τα προϊόντα τα οποία παράγονται.

Συνεπώς, αναφορικά με τα «καθαρά» ρεύματα οργανικών αποβλήτων (π.χ. απόβλητα κήπου κ.λ.π), στον μηχανολογικό εξοπλισμό περιλαμβάνονται κάποια στάδια, όπως ο τεμαχισμός και η κοσκίνηση, κατά τα οποία προετοιμάζονται τα απόβλητα με σκοπό να την μεγιστοποίηση της καθαρότητάς τους. Στην περίπτωση επεξεργασίας ΑΣΑ, το τμήμα της μηχανικής διαλογής, αποτελεί βασικό μέρος της επεξεργασίας και το κόστος επένδυσης και λειτουργίας του είναι ιδιαίτερα υψηλό. Επίσης, για να επιτευχθούν οι κατάλληλες συνθήκες για τη βιοσταθεροποίηση του οργανικού κλάσματος των ΑΣΑ, που έχει διαχωριστεί κατά τη μηχανική διαλογή, το τμήμα της βιολογικής επεξεργασίας εμφανίζει μεγαλύτερη πολυπλοκότητα

Στη συνέχεια, τη μηχανική επεξεργασία των Α.Σ.Α, ακολουθεί η βιολογική επεξεργασία ενός κλάσματος το οποίο είναι εμπλουτισμένο σε βιοαποδομήσιμα υλικά και η ποιότητά του εξαρτάται από τις αντίστοιχες διεργασίες της μηχανικής διαλογής. Σε αυτή την περίπτωση η βιολογική επεξεργασία μπορεί να λειτουργήσει εξ ίσου καλά όσον αφορά τις βιολογικά εξαρτώμενες παραμέτρους (καταστροφή παθογόνων – υγειονομοποίηση και βιοσταθεροποίηση), όμως στο τελικό προϊόν θα περιλαμβάνονται όλες οι μη βιοδιασπώμενες προσμείξεις και ρύποι του υλικού εισόδου. Παράλληλα λόγω του ότι μέρος του οργανικού υλικού έχει αποδομηθεί σε CO₂, είναι πολύ πιθανό αυτό να συμβεί σε υψηλότερες συγκεντρώσεις.

Στην ουσία, τα υλικά που δεν βιοαποδομούνται και εισέρχονται σε μια μονάδα βιολογικής επεξεργασίας, θα ληφθούν ως έχουν στην έξοδο της. Στην περίπτωση των ΑΣΑ αυτά τα υλικά περιλαμβάνουν προσμείξεις ξένων σωμάτων, όπως πλαστικό φιλμ και γυαλί, καθώς επίσης και μη βιοδιασπάσιμους ρύπους (βαρέα μέταλλα, εμμένοντες οργανικούς ρύπους), που εντοπίζονται στο τελικό προϊόν κι έχουν σαν αποτέλεσμα να υποβαθμίζουν την αξία του και να περιορίζουν τις δυνατότητες χρήσης του. Επομένως η ποιότητα του τελικού προϊόντος εξαρτάται κατά ένα μεγάλο ποσοστό από την καθαρότητα των υλικών εισόδου.

Τέτοια συστήματα, στα οποία γίνεται συνδυασμός των μηχανικών διαχωρισμών και της επεξεργασίας του διαχωρισμένου οργανικού κλάσματος, ονομάζονται συστήματα Μηχανικής Βιολογικής Επεξεργασίας (Mechanical Biological Treatment - MBT).

Σε πολλές χώρες έχουν αναπτυχθεί πολύπλοκα συστήματα ΜΒΕ τα οποία έχουν ως αποτέλεσμα την παραγωγή εδαφοβελτιωτικού χαμηλής ποιότητας (χρήση ως υλικό αποκαταστάσεων, τελικής κάλυψης, κ.λ.π), δευτερογενούς καυσίμου (το γνωστό RDF, το οποίο είναι ένα ξηρό κλάσμα υψηλότερης θερμογόνου δύναμης από τα σύμμεκτα ΑΣΑ το οποίο περιέχει χαρτί, πλαστικό, οργανικά σε μικρότερο βαθμό και άλλα καύσιμα και μη καύσιμα υλικά), σιδηρούχων και μη μετάλλων, καθώς και χαρτιού και πλαστικών (σε μικρότερο βαθμό, τα οποία είναι ανακυκλώσιμα υλικά), αλλά και βιοαερίου (σε περίπτωση που η βιολογική επεξεργασία γίνει με τη μέθοδο της αναερόβιας χώνευσης).

Άξιον αναφοράς είναι το ότι η χρήση της αερόβιας ΜΒΤ, γνωρίζει μεγάλη άνθιση τα τελευταία χρόνια καθώς είναι συμβατή με τους στόχους που θέτει η Ε.Ε, όσον αφορά τις εγκαταστάσεις που επεξεργάζονται απορρίμματα, λόγω των πολλών πλεονεκτημάτων αυτής της μεθόδου, όπως παραγωγή ποικίλων προϊόντων (εδαφοβελτιωτικά, καύσιμα (SRF) υψηλής θερμογόνου δύναμης κτλ), δυνατότητα ανάκτησης σιδηρούχων υλικών και μετάλλων, συμβολή στην ανακύκλωση. Αντίθετα, τα κυριότερα μειονεκτήματα είναι η περιορισμένη αγορά στην οποία απευθύνονται τα RDF και SRF, ο υψηλός βαθμός εξάρτησης από την εφαρμοσμένη τεχνολογία και η αδυναμία ανάπτυξης αγοράς για τα προϊόντα επεξεργασίας με αποτέλεσμα να οδηγούνται σε ΧΥΤΑ. (Karmperis et al, 2013 ; Bovea, 2010; Παναγιωτακόπουλος, 2002 ; Μυρωδιά, 2014)

3. ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ

3.1 Εισαγωγή στον Μαθηματικό Προγραμματισμό

Ο Μαθηματικός Προγραμματισμός (Mathematical Programming) αποτελεί ένα ιδιαίτερα ενδιαφέρον πεδίο της Επιστήμης των Αποφάσεων (Decision Science) και της επιχειρησιακής έρευνας με εφαρμογές στα Μαθηματικά, τα Οικονομικά και την Πληροφορική και σκοπό την αντιμετώπιση και επίλυση προβλημάτων, καθώς και τη συμβολή στη λήψη αποφάσεων μέσω της βελτιστοποίησης και της εύρεσης της άριστης λύσης στο εκάστοτε πρόβλημα.

Ασχολείται με προβλήματα βελτιστοποίησης ή αλλιώς αριστοποίησης (optimization), τα οποία διαθέτουν μια συγκεκριμένη εν γένει μορφή και αποσκοπούν στη μεγιστοποίηση (maximize) ή ελαχιστοποίηση (minimize) μιας αντικειμενικής συνάρτησης (objective function), που υπόκειται σε ένα σύνολο περιορισμών (constraints). Η αντικειμενική συνάρτηση και οι περιορισμοί είναι μαθηματικές σχέσεις-συναρτήσεις των μεταβλητών απόφασης (decision variables) και των παραμέτρων (parameters) του εκάστοτε προβλήματος Μαθηματικού Προγραμματισμού. Οι μεταβλητές απόφασης είναι τα άγνωστα και ελέγξιμα μεγέθη του συστήματος ενώ οι παράμετροι αποτελούν τις γνωστές εκ των προτέρων ποσότητες οι οποίες και δε μεταβάλλονται (Cohon 2003). Οι τιμές τις οποίες λαμβάνουν οι μεταβλητές απόφασης δύνανται να είναι συνεχείς, ακέραιες ή δυαδικές. Οι τιμές των παραμέτρων μπορεί να είναι ρητά δοσμένες ή να περιγράφονται ως ασαφείς αριθμοί ή να αποδίδονται μέσω της χρήσης πιθανοτήτων.

Ο Μαθηματικός Προγραμματισμός παρέχει το επιστημονικό πλαίσιο για την αποτύπωση ενός πραγματικού προβλήματος μέσω της χρήσης μαθηματικών σχέσεων και την κατασκευή ενός ολοκληρωμένου μαθηματικού μοντέλου το οποίο να περιγράφει όσο το δυνατόν καλύτερα το αρχικό πραγματικό σύστημα. Σκοπός του Μαθηματικού Προγραμματισμού είναι η κατασκευή και η επίλυση του μαθηματικού μοντέλου (μαθηματικού προγράμματος) και η ανακάλυψη εκείνων των αποφάσεων του μελετώμενου συστήματος οι οποίες θεωρούνται βέλτιστες (Cohon 2003). Με την έννοια βέλτιστο ή άριστο ορίζεται είτε η μέγιστη τιμή ενός μεγέθους (η μιας ποσότητας) η οποία είναι επιθυμητή είτε αντίστοιχα η ελάχιστη τιμή του η οποία είναι ανεπιθύμητη.

Η λύση ενός μαθηματικού προγράμματος από τις τιμές τις οποίες λαμβάνουν όντας αριστοποιημένες οι μεταβλητές απόφασης. Μια λύση η οποία ικανοποιεί όλους τους ισχύοντες περιορισμούς καλείται εφικτή λύση (feasible solution) ενώ αν δεν ανήκει στο εφικτό χωρίο των περιορισμών τότε χαρακτηρίζεται ως μη εφικτή λύση (Μαυρωτάς Γ. 2000, Holzman 1981). Γενικά υφίσταται μεγάλος αριθμός εφικτών λύσεων και γι αυτό το λόγο ο ρόλος της αντικειμενικής συνάρτησης είναι η αξιολόγηση αυτών των εφικτών λύσεων. Συγκεκριμένα η εφικτή λύση η οποία αποδίδει τη βέλτιστη τιμή-είτε μέγιστη είτε ελάχιστη- στην αντικειμενική συνάρτηση ονομάζεται βέλτιστη ή άριστη λύση (optimal solution) του προβλήματος (Cohon 2003). Επισημαίνεται ότι είναι δυνατόν να ενυπάρχουν περισσότερες από μια άριστες λύσεις σε ένα πρόβλημα

Μαθηματικού Προγραμματισμού (Holzman 1981) οι οποίες ονομάζονται και εναλλακτικά βέλτιστα (alternative optima). (Διακουλάκη, 2003 ; Μαυρωτάς, 2000)

Εκφρασμένο σε μαθηματική γλώσσα ένα πρόβλημα Μαθηματικού Προγραμματισμού διατυπώνεται υπό την ακόλουθη μορφή:

$$\begin{aligned} \min \text{ or } \max \quad & Z(x_1, x_2, \dots, x_n) \\ \text{st:} \quad & g_1(x_1, x_2, \dots, x_n) \begin{matrix} \leq \\ \geq \end{matrix} b_1 \\ & g_2(x_1, x_2, \dots, x_n) \begin{matrix} \leq \\ \geq \end{matrix} b_2 \\ & \dots \\ & g_m(x_1, x_2, \dots, x_n) \begin{matrix} \leq \\ \geq \end{matrix} b_m \end{aligned}$$

όπου : ο αριθμός των μεταβλητών απόφασης

: οι μεταβλητές απόφασης

: η αντικειμενική συνάρτηση

: ο αριθμός των περιορισμών

: οι περιορισμοί

: το δεξί μέλος των περιορισμών

Προφανώς οι περιορισμοί ενός προβλήματος Μαθηματικού Προγραμματισμού μπορεί να είναι είτε ισότητες είτε ανισότητες ενώ οι μαθηματικές σχέσεις ενδέχεται να μην είναι πάντα γραμμικές συναρτήσεις των μεταβλητών απόφασης. Επίσης ένα πρόγραμμα Μαθηματικού Προγραμματισμού μπορεί να περιλαμβάνει περισσότερες από μία αντικειμενικές συναρτήσεις οπότε σε αυτή την περίπτωση ανήκει στην κατηγορία του Πολυκριτηριακού Μαθηματικού Προγραμματισμού.

Ο Μαθηματικός Προγραμματισμός αποτελεί ένα ευρύτερο σύνολο μαθηματικών τεχνικών, μεθόδων και μοντέλων ο οποίος μπορεί να διακριθεί σε πολλές κατηγορίες ανάλογα με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους. Η κατηγοριοποίηση αυτή οφείλεται σε διάφορους κανόνες όπως η γραμμικότητα των σχέσεων, η ύπαρξη ακέραιων μεταβλητών, η χρήση ρητών αριθμών κ.ο.κ. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία οι περισσότερες δεδομένες κατηγορίες Γραμμικού Προγραμματισμού είναι οι ακόλουθες:

- Γραμμικός Προγραμματισμός (ΓΠ| Linear Programming, LP)
- Ακέραιος Γραμμικός Προγραμματισμός (ΑΓΠ| Integer Linear Programming, ILP)
- Μικτός Ακέραιος Γραμμικός Προγραμματισμός (ΜΑΓΠ| Mixed Linear Integer Programming, MILP)
- Μη Γραμμικός Προγραμματισμός (ΜΓΠ| Non-Linear Programming, NLP)
- Ακέραιος Μη Γραμμικός Προγραμματισμός (ΑΚΓΠ| Integer Non-Linear Programming, INLP)
- Μικτός Ακέραιος Μη Γραμμικός Προγραμματισμός (ΜΑΜΓΠ| Mixed Integer Non Linear Programming, MINLP)

- Δυναμικός Προγραμματισμός (ΔΠ Dynamic Programming, DP)
- Στοχαστικός Προγραμματισμός (ΣΠ Stochastic Programming, SP)
- Ασαφής Προγραμματισμός (ΑΠ Fuzzy programming, FP)
- Δευτεροβάθμιος ή Τετραγωνικός Προγραμματισμός (Quadratic Programming, QP)
- Προγραμματισμός Στόχων (en > Goal Programming)

Εκτός του Προγραμματισμού των Στόχων ο οποίος ήδη αποτελεί γνώριμο εκπρόσωπο του ΠΚΜΠ, οι προαναφερθείσες κατηγορίες απαντώνται στην πλειοψηφία τους και σε πολυκριτηριακά προβλήματα.

Γενικά όλα τα προβλήματα Μαθηματικού Προγραμματισμού διακρίνονται από δύο βασικές φάσεις, της φάσης της κατασκευής του μαθηματικού μοντέλου και τη φάση της επίλυσής του. Η ανάπτυξη των μαθηματικών προγραμμάτων υλοποιείται με τη χρήση γλωσσών μοντελοποίησης ή ακόμη και γλωσσών προγραμματισμού, οι οποίες είναι ιδιαίτερα εξελιγμένες και οι οποίες προσφέρουν σημαντικές δυνατότητες στους χρήστες και κυρίως μεγαλύτερη ευχέρεια στην αναπαράσταση των πραγματικών προβλημάτων και την κατασκευή των μαθηματικών μοντέλων.

Η επίλυση των προβλημάτων αυτών συνιστά τον σκοπό του Μαθηματικού Προγραμματισμού και για αυτό έχει αναπτυχθεί μια πληθώρα από μεθόδους και τεχνικές επίλυσης οι οποίες συνεχώς βελτιώνονται. Οι μέθοδοι ή αλλιώς αλγόριθμοι επίλυσης καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα προβλημάτων εξειδικευμένοι ανά κατηγορία Μαθηματικού Προγραμματισμού και αποτελούν συνήθως ανεξάρτητα προγράμματα τα οποία είτε συμπεριλαμβάνονται στις γλώσσες μοντελοποίησης είτε καλούνται με εξωγενή τρόπο από αυτές.

Οι αυξημένες δυνατότητες των υπολογιστικών συστημάτων έχουν δώσει τεράστια ώθηση στην επίλυση των πολύπλοκων αυτών προβλημάτων τα οποία τα οποία πρωτότερα θεωρούνταν πρακτικά ανεπίλυτα λόγω απειρισμού των απαιτούμενων υπολογιστικών χρόνων, έλλειψης πόρων μνήμης, υπολογιστικής ισχύος και αποθηκευτικού χώρου κλπ ενώ τώρα μπορούν να επιλυθούν σε ταχύτερους χρόνους εξασφαλίζοντας ταυτόχρονα ακριβέστερες και πληρέστερες λύσεις.

3.2 Minimax regret κριτήριο

Το κριτήριο Minimax Regret βασίζεται στην ελαχιστοποίηση του μέγιστου κόστους ευκαιρίας που συνεπάγεται η επιλογή κάθε εναλλακτικής απόφασης. Για κάθε τιμή της μη ελεγχόμενης παραμέτρου, προσδιορίζονται, αρχικά η απόφαση με το καλύτερο αποτέλεσμα, εν συνεχεία η διαφορά μεταξύ του αποτελέσματος της παραπάνω απόφασης και των αποτελεσμάτων των υπολοίπων (κόστος ευκαιρίας). Έπειτα, για κάθε απόφαση, εντοπίζεται το μέγιστο κόστος ευκαιρίας ως προς όλες της τιμές της παραμέτρου. Τελικά, επιλέγεται η απόφαση με το μικρότερο «μέγιστο κόστος ευκαιρίας».

Το κριτήριο γίνεται καλύτερα αντιληπτό στα ακόλουθα παραδείγματα. Στο πρώτο παράδειγμα δίδεται ένας πίνακας τριών λύσεων για πέντε σενάρια.

Πίνακας 3.1 : Αρχικός πίνακας παραδείγματος

	Σενάριο1	Σενάριο2	Σενάριο3	Σενάριο4	Σενάριο5
Λύση 1	3	12	14	6	6
Λύση 2	11	8	7	6	10
Λύση 3	8	8	11	9	5

Χρωματίζεται η μέγιστη λύση για το κάθε σενάριο και, στη συνέχεια, βρίσκεται η διαφορά (απόκλιση) της από κάθε τιμή.

Πίνακας 3.2 : Πίνακας απόκλισης από μέγιστο

	Σενάριο1	Σενάριο2	Σενάριο3	Σενάριο4	Σενάριο5	Worst case
Λύση 1	8	0	0	3	4	8
Λύση 2	0	4	7	3	0	7
Λύση 3	3	4	3	0	5	5

Έπειτα λαμβάνεται το σενάριο της χειρότερης περίπτωσης για κάθε λύση. Η λύση του minimax regret είναι η ελάχιστη αυτού του συνόλου, δηλαδή η 5 στην περίπτωσή μας.

Κατά την προσέγγιση Kouvelis & Yu η διαδικασία αυτή επιτυγχάνεται όχι μόνο για πεπερασμένο αριθμό λύσεων, αλλά και για άπειρο, σύμφωνα με τα όρια εφικτότητας του προβλήματος. Διαφοροποιώντας τη βαρύτητα στάθμισης, μπορούμε να έχουμε το σύνολο των minimax regret λύσεων (portfolio), σε αντιπροσωπευτικά σημεία του κατά παρέτο συνόλου.

Τα δύο μοντέλα του κριτηρίου minimax regret που χρησιμοποιούνται στο Μαθηματικό Προγραμματισμό, σύμφωνα με Kouvelis & Yu είναι αυτό του relative regret model (σχετικό μοντέλο) και του deviation regret model (μοντέλο απόκλισης).

$$\begin{array}{ll}
 \max z = cx & z_{MMR} = \min y \\
 \text{st} & \rightarrow \text{st} \\
 x \in F & c^s x \geq (1-y)z^s \quad s \in S \\
 & x \in F \\
 & \text{relative regret model} \\
 \max z = cx & z_{MMR} = \min y \\
 \text{st} & \rightarrow \text{st} \\
 x \in F & c^s x \geq z^s - y \quad s \in S \\
 & x \in F \\
 & \text{deviation regret model.}
 \end{array}$$

όπου z^s το maximum του s σεναρίου

(* στην περίπτωση προβλήματος ελαχιστοποίησης, όπως στο μοντέλο μας, θα είναι $\min z = cx$ και $c^s x \leq (1+y)z^s$)

Σημαντική είναι η διαφορά του κριτηρίου minimax regret σε σχέση με το κριτήριο maximin.

$$\begin{array}{lcl}
 \max z = cx & & z_{\text{MMR}} = \min y & & z_{\text{MAXIMIN}} = \max y \\
 \text{st} & \rightarrow & \text{st} & & \text{st} \\
 x \in F & & c^s x \geq z^s - y \quad s \in S & & c^s x \geq y \quad s \in S \\
 \text{s σενάρια για το c} & & x \in F & & x \in F \\
 & & \text{minimax regret} & & \text{maximin} \\
 & & & & \text{όπου } z^s \text{ το maximum του } s \text{ σεναρίου}
 \end{array}$$

Στο δεύτερο παράδειγμα υποθέτουμε το ακόλουθο πακέτο σεναρίων c_j :

$c_1=(3, 2, 4)$, $c_2=(2, 4, 1)$, $c_3=(4,1,1)$, όπου επιδιώκεται η μεγιστοποίηση της αντικειμενικής συνάρτησης $c_1^s x_1 + c_2^s x_2 + c_3^s x_3$, με τους ακόλουθους περιορισμούς

$$X_1 + X_2 + X_3 = 1$$

$$2X_1 + 3X_2 \leq 2$$

$$X_2 + 3X_3 \leq 2$$

$$2X_1 + X_2 \leq 2$$

Και λύση $z_1^*=3.667$, $z_2^*=3$, $z_3^*=4$

$$x_1^*=(0.33, 0, 0.67)$$

$$x_2^*=(0, 0.67, 0.33)$$

$$x_3^*=(1, 0, 0)$$

εφαρμόζοντας το minimax regret έχουμε : $z^{\text{MMR}} = \min y$, όπου

$$3X_1 + 2X_2 + 4X_3 \geq 3.67(1 - y)$$

$$2X_1 + 2X_2 + 1X_3 \geq 3(1 - y)$$

$$4X_1 + 1X_2 + 1X_3 \geq 4(1 - y)$$

$$X_1 + X_2 + X_3 = 1$$

$$2X_1 + 3X_2 \leq 2$$

$$X_2 + 3X_3 \leq 2$$

$$2X_1 + X_2 \leq 2$$

Με λύση του minimax :

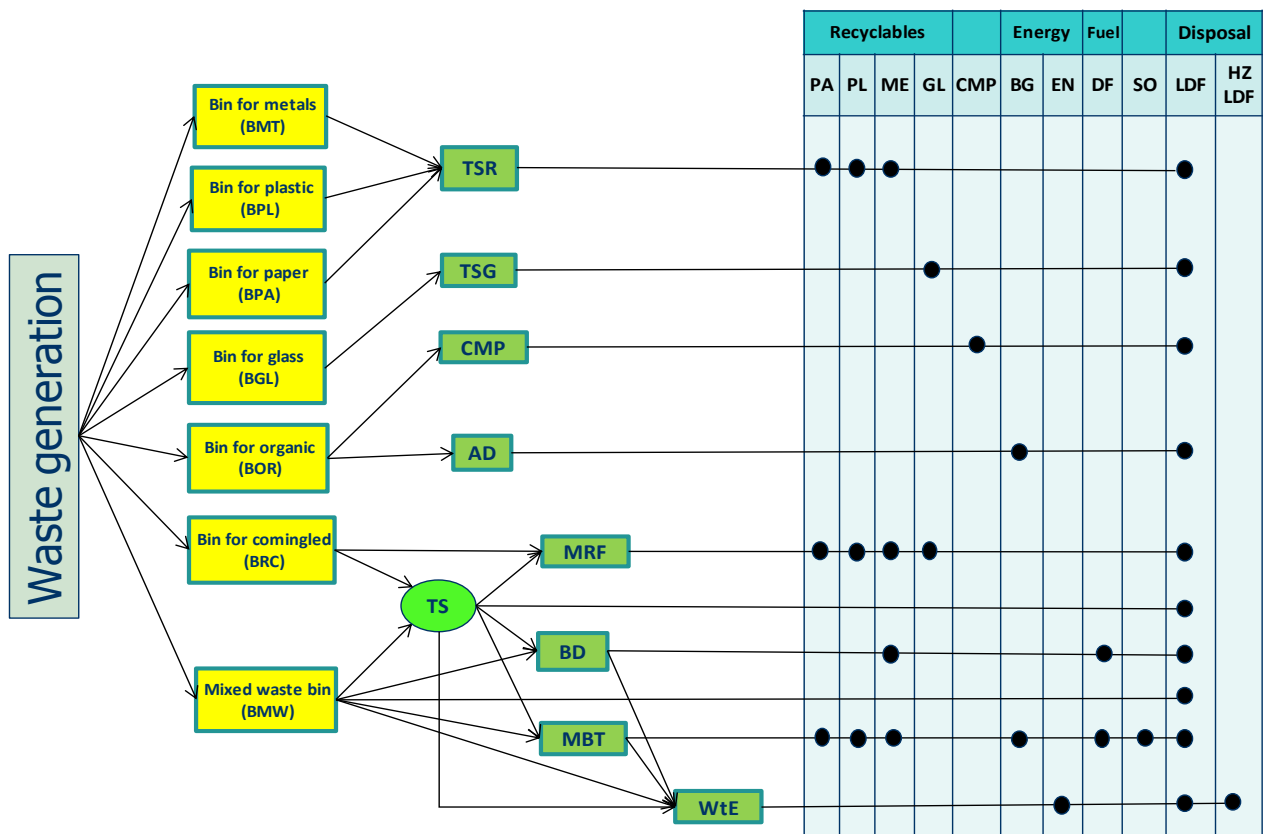
$$z^{\text{MMR}*}=0.23 \quad x^{\text{MMR}*}=(0.69, 0.21, 0.10)$$

Γίνεται αντιληπτό ότι το minimax regret κριτήριο είναι λιγότερο συντηρητικό σε σχέση με το maximin, γεγονός που φανερώνει και τη σημασία του. (Mavrotas et al, 2013 ; Kouvelis and Yu, 1997)

4. Κατασκευή του μοντέλου

Το μαθηματικό μοντέλο που περιγράφει το σύστημα διαχείρισης αστικών στερεών απορριμμάτων (ΑΣΑ) βασίζεται στις αρχές του Μαθηματικού Προγραμματισμού (Mathematical Programming, MP). Όλες οι διαθέσιμες τεχνολογίες και μέθοδοι του συστήματος διαχείρισης των ΑΣΑ εκφράζονται με τις κατάλληλες σχέσεις (ισότητες και ανισότητες). Το αποτέλεσμα του, η βέλτιστη, δηλαδή, λύση αποτελείται από τα ακόλουθα στοιχεία: (1) τεχνολογικές μονάδες που χρησιμοποιούνται μαζί με τις αλληλοσυνδέσεις τους για το σύστημα διαχείρισης των ΑΣΑ, (2) δυναμικότητα αυτών των μονάδων και (3) ισοζύγια μάζας, ενέργειας και φορτία από και προς τις μονάδες (λειτουργική βελτιστοποίηση). Κάθε εισροή στο σύστημα γίνεται σε προκαθορισμένο χρονικό διάστημα.

Το σύστημα διαχείρισης των ΑΣΑ μπορεί να γίνει ευκολότερα αντιληπτό από το ακόλουθο διάγραμμα ροής. Οι κόμβοι παρουσιάζουν τις διεργασίες και τα βέλη δηλώνουν τις συνδέσεις ή τις ροές ανάμεσα στις διεργασίες. Τα όρια του συστήματος ξεκινούν από την παραγωγή των απορριμμάτων μέχρι και την τελική διάθεσή τους. Το μοντέλο αυτό παρουσιάζει την υπερδομή του συστήματος, δηλαδή όλες τις διαθέσιμες διεργασίες με τις αλληλοσυνδέσεις τους. Επίσης, γίνεται εμφανής ο τρόπος με τον οποίον οι κάδοι συνδέονται με τις διεργασίες, οι διεργασίες αλληλοσυνδέονται και την κύρια εκροή από κάθε διεργασία. Εδώ πρέπει να τονιστεί πως για κάθε διεργασία της εκάστοτε μονάδας, αντιστοιχούν περισσότερες από μία μονάδες, οι οποίες διαφοροποιούνται όχι μόνο ως προς το σύνολο τους (δυναμικότητα κλπ.), αλλά και ως προς τις διάφορες τεχνολογικές παραλλαγές που εφαρμόζονται. Στην κομποστοποίηση (Composting, CMP), λόγω χάρη, μπορούν να υπάρξουν μέχρι και 5 διαφορετικοί τύποι της μονάδας αυτής, ενώ, για την μηχανική και βιολογική διαχείριση (MBT) οι τύποι των μονάδων με διαφορετικά χαρακτηριστικά μπορεί να φθάνουν μέχρι και τους 18. Κάθε φορά επιλέγεται η βέλτιστη μονάδα από κάθε τεχνολογία με σκοπό τη βελτιστοποίηση του μοντέλου.



Εικόνα 4.1 Γραφική απεικόνιση της υπερδομής του συστήματος διαχείρισης των ΑΣΑ

Ακρωνύμια για τις Διεργασίες: TSR: Temporary Storage for Metals, Plastic and Paper, TSG: Temporary Storage for Glass, CMP: Composting, AD: Anaerobic Digestion, MRF: Material Recycle Facility, WtE: Waste to Energy, BD: Biodrying, MBT: Mechanical and Biological Treatment, TS: Transfer Station, LDF: Landfill, HZLDF: Landfill for Hazardous Waste.

Ακρωνύμια για τα Προϊόντα: PA: paper, PL: Plastic, ME: Metals, GL: Glass, CMP: Compost, BG: Biogas, EN: Energy, DF: Derived Fuel, SO: Stabilized Organic

Το μοντέλο είναι δομημένο με τρόπο τέτοιο, ώστε να εκτελεί δομική, σχεδιαστική και λειτουργική βελτιστοποίηση. Συνεπώς, μέσω της βελτιστοποίησης απαντώνται τα εξής: (α) ποιες διεργασίες, (β) ποια θα είναι η χωρητικότητά τους και (γ) ποιο θα είναι το ετήσιο λειτουργικό τους φορτίο. Όλα αυτά τα στοιχεία θα υπολογίζονται κατά περιόδους. (Κατσή, 2012 ; Μυρωδιά, 2014)

4.1 Συστατικά μοντέλου

Στο συγκεκριμένο σύστημα διαχείρισης των ΑΣΑ έχουμε θεωρήσει 34 υλικά ως συστατικά των αστικών στερεών αποβλήτων, όπως φαίνεται και στον πίνακα.

Πίνακας 4. 1 Τα συστατικά των αποβλήτων που μελετήθηκαν

Οργανικά (Organic)	Γυαλί (Glass)	Πλαστικά (Plastic)
Απόβλητα τροφίμων (Food waste)	Μικτές γυάλινες συσκευασίες (Mixed packaging glass)	Μικτές Πλαστικές Συσκευασίες (Mixed packaging plastic)
Απόβλητα κήπου (Garden & park waste)	Άλλο είδος γυαλιού (Other glass)	Άλλο είδος πλαστικού (Other plastic)
Άλλα οργανικά (Other organics)	Πράσινα μπουκάλια (Green bottles)	Τσάντες (Bags)
Δέρμα-Ξύλο-Υφασμα (Leather-Wood-Textile)	Καφέ μπουκάλια (Brown bottles)	Ταινία συσκευασίας (Packaging Film)
Καουτσούκ (Rubber)	Διαφανή μπουκάλια (Clear bottles)	Άλλο είδος ταινίας (Other film)
Δέρμα (Leather)	Μέταλλα (Metals)	PET μπουκάλια (PET bottles)
Ξύλινη συσκευασία (Wood packaging)	Σιδηρούχες μεταλλικές συσκευασίες (Ferrous metals packaging)	PVC μπουκάλια (PVC bottles)
Άλλο είδος ξύλου (Other wood)	Άλλα είδη σιδηρούχων μετάλλων (Other Ferrous metals)	Άλλα πυκνά πλαστικά (Other dense plastic)
Υφασμα (Textile)	Αλουμινένιες συσκευασίες (Aluminum packaging)	Άλλα (Other)
Χαρτί (Paper)	Άλλο είδος αλουμινίου (Other Ferrous metals)	Χάρτινα κουτιά αναψυκτικών (Drink Cartons)
Χάρτινη συσκευασία (Packaging paper)	Φύλο (Foil)	Ανόργανα (Inorganic)
Χαρτόνι (Cardboard)		Μικρά υλικά < 10mm (Fine materials<10mm)
Χαρτί εκτύπωσης (Print paper)		Άλλα (Other)
Άλλο είδος χαρτιού (Other paper)		

Επίσης έχουν θεωρηθεί οι ακόλουθοι τύποι κάδων απορριμμάτων για την συλλογή των ΑΣΑ του συγκεκριμένου συστήματος διαχείρισης. Οι κάδοι αυτοί είναι:

- Γυαλιού – BGL
- Μετάλλων – BMT
- Πλαστικού – BPL
- Χαρτιού – BPA
- Συσκευασιών – BRC
- Οργανικών – BOR
- Μικτών αποβλήτων – BMW

Κάθε συνδυασμός των κάδων μπορεί να θεωρηθεί ένα διαφορετικό σενάριο συλλογής στο μοντέλο αυτό. Η επεξεργασία των αποβλήτων από τους κάδους στον χώρο υγειονομικής ταφής μπορεί να συγχωνευτεί σε 10 διαφορετικές, κύριες τεχνολογίες/διεργασίες όπου η κάθε μία έχει έναν αριθμό διαφορετικών εκδοχών όπως φαίνεται και στον πίνακα.

Πίνακας 4. 2 Τεχνολογίες/Διεργασίες

Τεχνολογία	Εκδοχή/Τύπος	Κωδικός
Προσωρινή αποθήκευση ανακυκλώσιμων	1	TSR
Προσωρινή αποθήκευση γυαλιού	1	TSG
Κομποστοποίηση	5	CMP
Αναερόβια χώνευση	5	AD
Μονάδα ανάκτησης υλικών	3	MRF
Θερμική επεξεργασία αποβλήτων με ανάκτηση ενέργειας	4	WTE
Βιολογική ξήρανση	3	BD
Βιολογική μηχανική επεξεργασία	18	MBT
Υγειονομική ταφή	2	LDF
Σταθμός μεταφοράς	1	TS

Πίνακας 4.3 : Περιγραφή τεχνολογιών

Κωδικός	Τεχνολογία	Technology
tsr1	Προσωρινή αποθήκευση ανακυκλώσιμων εκτός γυαλιού	Temporary Storage separely collected recyclables except glass
tsg1	Προσωρινή αποθήκευση ανακυκλώσιμου γυαλιού	Temporary Storage separely collected glass
mrf1	Τυπική μονάδα ανάκτησης υλικών με χαμηλή μηχανική ένταση (Χειροδιαλογή)	Material Recovery Facility with low mechanical intensity (Handpicking)
mrf2	Τυπική μονάδα ανάκτησης υλικών με μεσαία μηχανική ένταση -χρήση μαγνητικού διαχωριστή για Fe και διαχωριστή με επαγωγικά ρεύματα για Al	Material Recovery Facility with medium mechanical intensity -Magnet for Fe and eddy current for Al
mrf3	Τυπική μονάδα ανάκτησης υλικών με υψηλή μηχανική ένταση -χρήση μαγνητικού διαχωριστή, διαχωριστή με επαγωγικά ρεύματα και διαχωριστή αισθητήρων υπερύθρων για πλαστικά	Material Recovery Facility with high mechanical intensity -Magnet, Eddy Current & NIR for plastics
cmp1	Κομποστοποίηση με ανοικτού τύπου σειράδια	Composting with open air windrows
cmp2	Κομποστοποίηση με κλειστού τύπου σειράδια	Composting with covered windrows
cmp3	Κομποστοποίηση σε τούνελ	Composting with tunnels
cmp4	Κομποστοποίηση με κουτιά κομποστοποίησης	Composting with boxes
cmp5	Κομποστοποίηση σε κλειστή τράπεζα	Composting with closed halls
and1	Ξηρή αναερόβια χώνευση και ανοιχτού τύπου κομποστοποίηση	Dry AD and open air composting
and2	Ξηρή αναερόβια χώνευση και κλειστού τύπου κομποστοποίηση	Dry AD and covered windrows composting
and3	Υγρή αναερόβια χώνευση και ανοιχτού τύπου κομποστοποίηση	Wet AD and open air composting
and4	Υγρή αναερόβια χώνευση και κλειστού τύπου κομποστοποίηση	Wet AD and covered windrows composting

and5	Ολοκληρωμένη ξηρή αναερόβια χώνευση και ανοιχτού τύπου κομποστοποίηση	Complete dry AD and covered windrows composting
wte1	Θερμική επεξεργασία αποβλήτων με ανάκτηση ενέργειας -κλίβανος με κυλιόμενες εσχάρες και παραγωγή μόνο ηλεκτρικής ενέργειας	Waste To Energy -rolling grates furnaces only power generation
wte2	Θερμική επεξεργασία αποβλήτων με ανάκτηση ενέργειας- κλίβανος με κυλιόμενες εσχάρες και συμπαραγωγή ηλεκτρισμού θερμότητας (ΣΗΘ)	Waste To Energy with rolling grates furnaces combined heat power generation
wte3	Θερμική επεξεργασία αποβλήτων με ανάκτηση ενέργειας- κλίβανος ρευστοποιημένης κλίνης και παραγωγή μόνο ηλεκτρικής ενέργειας	Waste To Energy with fluidized bed furnaces only power generation
wte4	Θερμική επεξεργασία αποβλήτων με ανάκτηση ενέργειας- κλίβανος ρευστοποιημένης κλίνης και συμπαραγωγή ηλεκτρισμού θερμότητας (ΣΗΘ)	Waste To Energy with fluidized bed furnaces combined heat power generation
mbt1 (mbt1+cmp2)	Βιολογική Μηχανική Επεξεργασία-βαλλιστικός διαχωριστής, κόσκινα δύο βαθμίδων, μαγνητικός διαχωριστής, διαχωριστής με επαγωγικά ρεύματα και διαχωριστής με αισθητήρες υπέρυθρων. Κομποστοποίηση κλειστού τύπου σειράδια	Mechanical Biological Treatment-Ballistic separator, 2 stages sieving, magnet, eddy current & NIR Composting with covered air windrows
mbt2 (mbt1+cmp3)	Βιολογική Μηχανική Επεξεργασία-βαλλιστικός διαχωριστής, κόσκινα δύο βαθμίδων, μαγνητικός διαχωριστής, διαχωριστής με επαγωγικά ρεύματα και διαχωριστής με αισθητήρες υπέρυθρων. Κομποστοποίηση σε τούνελ	Mechanical Biological Treatment-ballistic separator, 2 stages sieving, magnet, eddy current & NIR Composting with tunnels
mbt3 (mbt1+cmp5)	Βιολογική Μηχανική Επεξεργασία-βαλλιστικός διαχωριστής, κόσκινα δύο βαθμίδων, μαγνητικός διαχωριστής, διαχωριστής με επαγωγικά ρεύματα και διαχωριστής με αισθητήρες υπέρυθρων. Κομποστοποίηση σε κλειστή τράπεζα	Mechanical Biological Treatment-Ballistic separator, 2 stages sieving, magnet, eddy current & NIR Composting with closed halls
mbt4 (mbt1+ad2)	Βιολογική Μηχανική Επεξεργασία-βαλλιστικός διαχωριστής, κόσκινα δύο	Mechanical Biological Treatment-ballistic

	βαθμίδων, μαγνητικός διαχωριστής, διαχωριστής με επαγωγικά ρεύματα και διαχωριστής με αισθητήρες υπερύθρων. Ξηρή αναερόβια χώνευση και κομποστοποίηση κλειστού τύπου σειράδια.	separator, 2 stages sieving, magnet, eddy current & NIR Dry AD and covered windrows composting
mbt5 (mbt1+ad4)	Βιολογική Μηχανική Επεξεργασία-βαλλιστικός διαχωριστής, κόσκινα δύο βαθμίδων, μαγνητικός διαχωριστής, διαχωριστής με επαγωγικά ρεύματα και διαχωριστής με αισθητήρες υπερύθρων. Υγρή αερόβια χώνευση και κομποστοποίηση με κλειστού τύπου σειράδια	Mechanical Biological Treatment-ballistic separator, 2 stages sieving, magnet, eddy current & NIR Wet AD and covered windrows composting
mbt6 (mbt1+ad5)	Βιολογική Μηχανική Επεξεργασία-βαλλιστικός διαχωριστής, κόσκινα δύο βαθμίδων, μαγνητικός διαχωριστής, διαχωριστής με επαγωγικά ρεύματα και διαχωριστής με αισθητήρες υπερύθρων. Ολοκληρωμένη ξηρή αερόβια χώνευση και κομποστοποίηση με κλειστού τύπου σειράδια	Mechanical Biological Treatment-ballistic separator, 2 stages sieving, magnet, eddy current & NIR Complete dry AD and covered windrows composting
mbt7 (mbt2+cmp2)	Βιολογική Μηχανική Επεξεργασία-βαλλιστικός διαχωριστής, κόσκινα δύο βαθμίδων, μαγνητικός διαχωριστής, διαχωριστής με επαγωγικά ρεύματα. Κομποστοποίηση με ανοιχτού τύπου σειράδια	Mechanical Biological Treatment-ballistic separator, 2 stages sieving, magnet, eddy current Composting with covered air windrows
mbt8 (mbt2+cmp3)	Βιολογική Μηχανική Επεξεργασία-βαλλιστικός διαχωριστής, κόσκινα δύο βαθμίδων, μαγνητικός διαχωριστής, διαχωριστής με επαγωγικά ρεύματα. Κομποστοποίηση σε τούνελ	Mechanical Biological Treatment-ballistic separator, 2 stages sieving, magnet, eddy current Composting with tunnels
mbt9 (mbt2+cmp5)	Βιολογική Μηχανική Επεξεργασία-βαλλιστικός διαχωριστής, κόσκινα δύο βαθμίδων, μαγνητικός διαχωριστής, διαχωριστής με επαγωγικά ρεύματα. Κομποστοποίηση σε κλειστή τράπεζα	Mechanical Biological Treatment-ballistic separator, 2 stages sieving, magnet, eddy current Composting with closed halls
mbt10 (mbt2+ad2)	Βιολογική Μηχανική Επεξεργασία-βαλλιστικός διαχωριστής, κόσκινα δύο βαθμίδων, μαγνητικός διαχωριστής, διαχωριστής με επαγωγικά ρεύματα.	Mechanical Biological Treatment-ballistic separator, 2 stages sieving, magnet, eddy current

	Ξηρή αναερόβια χώνευση και κομποστοποίηση κλειστού τύπου σειράδια.	Dry AD and covered windows composting
mbt11 (mbt2+ad4)	Βιολογική Μηχανική Επεξεργασία-βαλλιστικός διαχωριστής, κόσκινα δύο βαθμίδων, μαγνητικός διαχωριστής, διαχωριστής με επαγωγικά ρεύματα. Υγρή αερόβια χώνευση και κομποστοποίηση με κλειστού τύπου σειράδια	Mechanical Biological Treatment-ballistic separator, 2 stages sieving, magnet, eddy current Wet AD and covered windows composting
mbt12 (mbt2+ad5)	Βιολογική Μηχανική Επεξεργασία-βαλλιστικός διαχωριστής, κόσκινα δύο βαθμίδων, μαγνητικός διαχωριστής, διαχωριστής με επαγωγικά ρεύματα. Ολοκληρωμένη ξηρή αερόβια χώνευση και κομποστοποίηση με κλειστού τύπου σειράδια	Mechanical Biological Treatment-ballistic separator, 2 stages sieving, magnet, eddy current Complete dry AD and covered windows composting
mbt13 (mbt2+cmp2)	Βιολογική Μηχανική Επεξεργασία-κόσκινα δύο βαθμίδων, μαγνητικός διαχωριστής, διαχωριστής με επαγωγικά ρεύματα. Κομποστοποίηση με κλειστού τύπου σειράδια	Mechanical Biological Treatment- 2 stages sieving, magnet, eddy current Composting with covered air windows
mbt14 (mbt3+cmp3)	Βιολογική Μηχανική Επεξεργασία-κόσκινα δύο βαθμίδων, μαγνητικός διαχωριστής, διαχωριστής με επαγωγικά ρεύματα. Κομποστοποίηση με τούνελ	Mechanical Biological Treatment- 2 stages sieving, magnet, eddy current Composting with tunnels
mbt15 (mbt3+cmp5)	Βιολογική Μηχανική Επεξεργασία-κόσκινα δύο βαθμίδων, μαγνητικός διαχωριστής, διαχωριστής με επαγωγικά ρεύματα. Κομποστοποίηση σε κλειστή τράπεζα	Mechanical Biological Treatment- 2 stages sieving, magnet, eddy current Composting with closed halls
mbt16 (mbt3+ad2)	Βιολογική Μηχανική Επεξεργασία-κόσκινα δύο βαθμίδων, μαγνητικός διαχωριστής, διαχωριστής με επαγωγικά ρεύματα. Ξηρή αερόβια χώνευση και κομποστοποίηση με κλειστού τύπου σειράδια	Mechanical Biological Treatment- 2 stages sieving, magnet, eddy current Dry AD and covered windows composting

mbt17 (mbt3+ad4)	Βιολογική Μηχανική Επεξεργασία-κόσκινα δύο βαθμίδων, μαγνητικός διαχωριστής, διαχωριστής με επαγωγικά ρεύματα. Υγρή αερόβια χώνευση και κομποστοποίηση με κλειστού τύπου σειράδια	Mechanical Biological Treatment- 2 stages sieving, magnet, eddy current Wet AD and covered windows composting
mbt18 (mbt3+ad5)	Βιολογική Μηχανική Επεξεργασία-κόσκινα δύο βαθμίδων, μαγνητικός διαχωριστής, διαχωριστής με επαγωγικά ρεύματα. Ολοκληρωμένη ξηρή αερόβια χώνευση και κομποστοποίηση με κλειστού τύπου σειράδια	Mechanical Biological Treatment- 2 stages sieving, magnet, eddy current Complete dry AD and covered windows composting
bdr1	Βιολογική Ξήρανση με αναγεννητική θερμική οξείδωση, αεροδιαχωριστής, κόσκινα δύο βαθμίδων, μαγνητικός διαχωριστής, διαχωριστής με επαγωγικά ρεύματα	Biodrying with RTO, air separator, 2 stages sieving, magnet, eddy current
bdr2	Βιολογική Ξήρανση με βιοφίλτρο, κόσκινα δύο βαθμίδων, μαγνητικός διαχωριστής, διαχωριστής με επαγωγικά ρεύματα	Biodrying with biofilter, 2 stages sieving, magnet, eddy current
bdr3	Βιολογική Ξήρανση, διπλός έλεγχος, αεροδιαχωριστήρας, οπτικός διαχωριστής και δονούμενη τράπεζα, μαγνητικός διαχωριστής, διαχωριστής με επαγωγικά ρεύματα	Biodrying, double screening, air separator, optical scanner & vibrating plates, magnet, eddy current
ldf1	Χώρος υγειονομικής ταφής απορριμμάτων και υπολειμμάτων	Landfill
ldf2	Χώρος υγειονομικής ταφής επικίνδυνων υπολειμμάτων (από wte)	Hazardous Landfill

Τα αποτελέσματα από κάθε μία διεργασία ομαδοποιούνται σε επτά κατηγορίες:

- Ανακυκλώσιμα (recyclables)
- Κομπόστ (compost)
- Σταθεροποιημένο οργανικό (stabilized organic)
- Παραγόμενο καύσιμο (derived fuel)
- Βιοαέριο (biogas)
- Απώλειες (losses)

- Υπόλειμμα (residual)

Δεδομένων όλων των πιθανών διατάξεων των κάδων και των τεχνολογικών διαδικασιών μπορεί να σχεδιαστεί η δομή του συστήματος (με όλες τις διαθέσιμες τεχνολογίες και τις αλληλοσυνδέσεις τους, βλ. Εικόνα 4.1). Οι αρχικές μεταβλητές απόφασης είναι η ροή των απορριμμάτων, η ύπαρξη των διεργασιών και η δυναμική τους. Οι κύριοι περιορισμοί είναι τα ισοζύγια μάζας και ενέργειας και η ικανότητα των διεργασιών. Ο σχεδιασμός του χώρου υγειονομικής ταφής είναι διαφορετικό αλλά εξίσου σημαντικό κομμάτι του μοντέλου. Το μοντέλο είναι πολλών χρονικών περιόδων δηλαδή έχει δομηθεί σε τέσσερις πενταετείς περιόδους που καλύπτουν 20 χρόνια. Με αυτό τον τρόπο μπορούμε να έχουμε μία ποικιλία στην συμπεριφορά του συστήματος διαχείρισης των ΑΣΑ. Με άλλα λόγια, η λύση παρέχει το χρόνο εισαγωγής κάθε διαδικασίας δεδομένου του προφίλ της παραγωγής απορριμμάτων στις τέσσερις περιόδους.

Για να διευκολύνουμε την ανάγνωση του μοντέλου χρησιμοποιήσαμε κεφαλαία γράμματα για τις μεταβλητές απόφασης (οι άγνωστοι του προβλήματος) και πεζά για τις παραμέτρους (δεδομένα). Επίσης, χρησιμοποιήθηκαν οι ακόλουθοι δείκτες:

i: τα συστατικά των αποβλήτων, $i=1..I$ ($\max(I)=34$)

j: οι τύποι των κάδων, $j=1..J$ ($\max(J)=7$)

p: οι διεργασίες $p=1..P$ ($\max(P)=42$)

o: τα παράγωγα των διεργασιών, $o=1..O$ ($\max(O)=7$)

t: οι χρονικοί περίοδοι, $t=1..4$

e: οι εξεταζόμενες εκπομπές (CO_2 , CH_4 , N_2O , NH_3 , PM_{10} , SO_x , NO_x , NMVOC , PCDDs), $e=1..9$

f: τα περιλαμβανόμενα καύσιμα (όπως ντίζελ, φυσικό αέριο, ηλεκτρισμός), $f=1..3$ (Μυρωδιά, 2014)

4.2 Μεταβλητές Απόφασης

Τις μεταβλητές απόφασης του μοντέλου αποτελούν, στην πραγματικότητα, οι άγνωστοι του προβλήματος, δηλαδή οι μεταβλητές των οποίων τις βέλτιστες τιμές επιχειρούμε να προσδιορίσουμε. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, έχουμε διακριτές (δυαδικούς και ακέραιους αριθμούς) και συνεχείς μεταβλητές. Οι πρώτες συνδέονται κυρίως με τα δομικά χαρακτηριστικά (κατά πόσον χρησιμοποιείται η i-οστή τεχνολογία στο βελτιστοποιημένο και πόσες διεργασίες θα χρειασθούν). Οι συνεχείς μεταβλητές σχετίζονται κυρίως με τα χαρακτηριστικά σχεδιασμού και τα λειτουργικά χαρακτηριστικά (ποια είναι η δυναμικότητα της i-οστής διεργασίας κατά την t περίοδο; Ποια είναι η ποσότητα των αποβλήτων που μεταφέρονται από την j-οστή μονάδα στην p-οστή μονάδα; (Μυρωδιά, 2014)

4.3 Περιορισμοί

Στους βασικούς περιορισμούς του μοντέλου συγκαταλέγονται τα ισοζύγια μάζας, τα οποία πρέπει να ικανοποιούνται μεταξύ κόμβων (περιορισμοί ισορροπίας), οι περιορισμοί χωρητικότητας, καθώς και τεχνικοί περιορισμοί, όπως τα ισοζύγια ενέργειας. Ειδική αναφορά πρέπει να γίνει στην εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα, καθώς αποτελεί ιδιαίτερο περιορισμό στη δόμηση του μοντέλου, αφού δύο τιμές δόθηκαν ως πλαφόν στις παραλλαγές των περιπτώσεων (βλ. Αποτελέσματα). Υπάρχουν, επίσης, περιορισμοί πολιτικής (το ποσοστό ανακύκλωσης του χαρτιού), όπως και λογικοί περιορισμοί προκειμένου να εφαρμόζονται οι όροι για αμοιβαία αποκλειόμενες εναλλακτικές λύσεις.

4.3.1 Ισοζύγια μάζας στους κάδους

Η ροή των αποβλήτων στους κάδους περιγράφεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$\text{inbin}_{j,t} = \sum_{i=1}^I q_{i,j,t} \times \text{bin}_j \quad j=1..J, t=1..4 \quad (4.1)$$

όπου $q_{i,j,t}$ είναι το i συστατικό των αποβλήτων που πηγαίνει στο j τύπου κάδο την t περίοδο, bin_j είναι η δυαδική παράμετρος όπου δείχνει εάν οι j τύποι κάδων έχουν επιλεγθεί ή όχι στο συγκεκριμένο σενάριο και $\text{inbin}_{j,t}$ είναι η υπολογίσιμη παράμετρος για το συνολικό ποσό των ΑΣΑ στο j τύπο κάδου που έχει θεωρηθεί στο μοντέλο βελτιστοποίησης. Η έξοδος από τους κάδους δίνεται από την κάτωθι εξίσωση:

$$\text{OUTBIN}_{j,t} = \sum_{p=1}^P (\text{link}_{p,j} \times W_{j,p,t}) \quad j=1..J, t=1..4 \quad (4.2)$$

όπου $\text{link}_{p,j}$ είναι η ενδεικτική παράμετρος η οποία αποδίδει τιμή 1 αν ο j τύπος κάδου είναι συνδεδεμένος με την p διεργασία και 0 σε αντίθετη περίπτωση, $W_{j,p,t}$ είναι η ποσότητα των αποβλήτων που έχουν μεταφερθεί από τον j τύπο κάδου στην p διεργασία την t χρονική περίοδο (σε ετήσια βάση) και $\text{OUTBIN}_{j,t}$ είναι η συνολική ποσότητα των αποβλήτων για τον j τύπο κάδου την t περίοδο.

Δεδομένου ότι δεν υπάρχει συσσώρευση ή απώλειες στους κάδους η ακόλουθη εξίσωση ισορροπίας πρέπει να διατηρηθεί:

$$\text{inbin}_{j,t} = \text{OUTBIN}_{j,t} \quad j=1..J, t=1..4 \quad (4.3)$$

4.3.2 Ισοζύγια μάζας στις διεργασίες

Η εισροή στις διεργασίες περιγράφεται από τις εξισώσεις που ακολουθούν. Αρχικά, θεωρούμε ότι οι διεργασίες λαμβάνουν δεδομένα μόνο από τους κάδους (αυτοί είναι TSR, TSG, CMP, AD, TS). Οι εισροές ($\text{INPROC}_{p,t}$) στις διεργασίες είναι:

$$\text{INPROC}_{p,t} = \sum_{j=1}^J (\text{bin}_j \times \text{link}_{p,j} \times W_{j,p,t}) \quad p= \text{TSR, TSG, CMP, AD, TS}, t=1..4 \quad (4.4)$$

Οι εξερχόμενες ροές για τις διεργασίες όπου υπάρχει αλλαγή στη σύνθεση δίδονται από:

$$\text{OUTPROC}_{p,o,t} = \sum_{i=1}^I (\text{cc}_{p,i,o} \times \sum_{j=1}^J (\text{sh}_{i,j,t} \times \text{link}_{p,j} \times W_{j,p,t})) \quad (4.5)$$

$p= \text{TSR, TSG, CMP, AD}$ $o= 1..O$ $t=1..4$

όπου $cc_{p,i,o}$ είναι ο συντελεστής μετατροπής στην p διεργασία για το i συστατικό σε ο εξερχόμενο προϊόν, $sh_{i,j,t}$ είναι ο καταμερισμός του i συστατικού σε j τύπου κάδο κατά τη διάρκεια της t περιόδου και $link_{p,j}$ και $W_{j,p,t}$ όπως έχουν οριστεί παραπάνω.

Για το στάδιο μεταφοράς (TS) όπου δεν υπάρχει αλλαγή στη σύνθεση η εξερχόμενη ροή δίνεται απευθείας από την ισότητα με την εισερχόμενη ροή:

$$W_{bmt,ts,t} = WTS_{mbt,t} + WTS_{bd,t} + WTS_{wte,t} + WTS_{ldf1,t} \quad t=1..4 \quad (4.6)$$

$$W_{brc,ts,t} = WTS_{mrf,t} \quad t=1..4 \quad (4.7)$$

όπου $WTS_{p,t}$ είναι η ποσότητα των αποβλήτων που μεταφέρεται από το σταθμό μεταφοράς (TS) στη διεργασία p τη χρονική περίοδο t και το $W_{j,p,t}$ όπως ορίστηκε παραπάνω. Για τις MRF, MBT, BD η εισερχόμενη ροή έχει οριστεί ως:

$$INPROC_{mrf,t} = W_{brc,mrf,t} + WTS_{mrf,t} \quad t=1..4 \quad (4.8)$$

$$INPROC_{mbt,t} = W_{bmw,mbt,t} + WTS_{mbt,t} \quad t=1..4 \quad (4.9)$$

$$INPROC_{bd,t} = W_{bmw,bd,t} + WTS_{bd,t} \quad t=1..4 \quad (4.10)$$

Οι εξερχόμενες ροές είναι:

$$OUTPROC_{p,o,t} = \sum_{i=1}^I (cc_{p,i,o} \times sh_{i,f,t} \times link_{p,j} \times (W_{j,p,t} + WTS_{p,t}))$$

$$p = \text{MRF, BD, MBT} \quad o = 1..O \quad t = 1..4 \quad (4.11)$$

Οι ανακυκλώσιμες ποσότητες προσδιορίζονται επίσης και από τους συντελεστές μετατροπής και δίνονται στη συνέχεια:

$$RECPROC_{p,i,t} = cc_{p,i,'recy'} \times \sum_{j=1}^J (sh_{i,j,t} \times link_{p,j} \times W_{j,p,t}) \quad (4.12)$$

$i = 1..I, p = \text{TSR, TSG, CMP, AD}, t = 1..4$

$$RECPROC_{p,i,t} = cc_{p,i,'recy'} \times sh_{i,j,t} \times link_{p,j} \times (W_{j,p,t} + WTS_{p,t}) \quad (4.13)$$

$i = 1..I, p = \text{MRF, BD, MBT}, t = 1..4$

Για τη διεργασία της θερμικής επεξεργασίας αποβλήτων με ανάκτηση ενέργειας (WTE) οι εισροές, εκτός από τους κάδους και το σταθμό μεταφοράς, μπορούν επίσης να προέρχονται από τα παραγόμενα καύσιμα, από τη βιολογική ξήρανση (BD) και από τις διεργασίες της βιολογικής μηχανικής επεξεργασίας (MBT). Το παραγόμενο καύσιμο (DF) αποτελεί εκροή από αυτές τις διεργασίες. Επειδή η σύσταση του είναι απαραίτητη για τα ισοζύγια ενέργειας στις διεργασίες θερμικής επεξεργασίας των αποβλήτων, πρέπει να διατυπωθεί το ισοζύγιο μάζας για το παραγόμενο καύσιμο από κάθε ένα από τα υλικά.

Όσον αφορά στη διεργασία MBT, κάθε συστατικό που εμπεριέχεται σε αυτές τις ροές περιγράφεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$DF_{mbt,wte,i,t} + DF_{mbt,sell,i,t} = cc_{mbt,i,'derf'} \times sh_{i,bmw,t} \times (W_{bmw,mbt,t} + WTS_{mbt,t}) \quad i=1..I, t=1..4 \quad (4.14)$$

$$\sum_{i=1}^I DF_{mbt,wte,i,t} = WTE_{mbt,t} \quad t=1..4 \quad (4.15)$$

όπου $DF_{mbt,wte,i,t}$ είναι η ποσότητα του i υλικού στη DF ροή που πηγαίνει από το MBT στο WTE τη χρονική περίοδο t , $DF_{mbt,sell,i,t}$ είναι η ποσότητα του i υλικού στη DF ροή

από το MBT στην αγορά (με αρνητικό κόστος) ή σε διαθεσιμότητα (με θετικό κόστος), $WWTE_{mbt,t}$ είναι η συνολική ποσότητα του DF που πηγαίνει από το MBT στο WTE.

Ομοίως για το BD έχουμε:

$$DF_{bd,wte,i,t} + DF_{bd,sell,i,t} = cc_{bd,i,'derf'} \times sh_{i,bmw,t} \times (W_{bmw,bd,t} + WTS_{bd,t}) \quad i=1..I, \quad t=1..4$$

$$\sum_{i=1}^I DF_{bd,wte,i,t} = WWTE_{bd,t} \quad t=1..4 \quad (4.16)$$

Ενώ η συνολική εισροή για το WTE δίνεται από:

$$INPROC_{wte,t} = W_{bmw,wte,t} + WTS_{wte,t} + WWTE_{mbt,t} + WWTE_{bd,t} \quad t=1..4 \quad (4.17)$$

4.3.3 Ισοζύγια μάζας στο χώρο υγειονομικής ταφής

Υπάρχουν δύο είδη χώρων υγειονομικής ταφής, ένας για τα συνηθισμένα υπολείμματα (LDF1) και ο άλλος για τα επικίνδυνα υπολείμματα που προέρχονται από τη θερμική επεξεργασία των αποβλήτων με ανάκτηση ενέργειας (LDF2). Τα ισοζύγια μάζας που σχετίζονται με τη συμβατική LDF περιλαμβάνουν τον υπολογισμό των υπολειμμάτων από κάθε διεργασία:

$$WLDF_{p,ldf,t} = OUTPROC_{p,'resd',t} \quad p=1..P \setminus \{LDF,HZLDF\}, \quad t=1..4 \quad (4.18)$$

όπου $WLDF_{p,ldf,t}$ είναι η ποσότητα του υπολείμματος που πηγαίνει από την p διαδικασία στη συμβατική LDF τη χρονική περίοδο t .

Η ροή των υπολειμμάτων που πηγαίνει στην επικίνδυνη LDF σχετίζεται μόνο με την WTE διεργασία:

$$WLDF_{wte,hzldf,t} = \sum_{i=1}^I cc_{wte,i,'resdh'} \times (DF_{mbt,wte,i,t} + DF_{bd,wte,i,t} + sh_{i,bmw,t} \times (W_{bmw,wte,t} + WTS_{wte,t}))$$

$$t=1..4 \quad (4.19)$$

όπου $DF_{mbt,wte,i,t}$ είναι η ποσότητα του i υλικού που πηγαίνει από το MBT στο WTE τη χρονική περίοδο t και $DF_{bd,wte,i,t}$ είναι η ποσότητα του i υλικού που πηγαίνει από το BD στο WTE τη χρονική περίοδο t . Το σύνολο αυτών των υπολειμμάτων που οδηγούνται στο χώρο υγειονομικής ταφής σύμφωνα με την ακόλουθη εξίσωση είναι:

$$INPROC_{ldf,t} = \sum_{p=1}^{P \setminus \{LDF,HZLDF\}} WTDF_{p,ldf,t} + W_{bmw,ldf,t} + WTS_{ldf,t} \quad t=1..4 \quad (4.20)$$

$$INPROC_{hzldf,t} = WLDF_{wte,hzldf,t} \quad t=1..4 \quad (4.21)$$

4.3.4 Ισοζύγια ενέργειας

Τα ισοζύγια ενέργειας έχουν διατυπωθεί για τις διεργασίες στις οποίες υπάρχει παραγωγή ενέργειας. Αυτές είναι οι AD, κάποιες από τις MBT και φυσικά οι WTE. Για τις AD και MBT η ενέργεια παράγεται από το παραγόμενο βιοαέριο και το ισοζύγιο ενέργειας είναι:

$$ELPROD_{p,t} = elef_{bg} \times OUTPROC_{p,'biog',t} \quad p = AD, MBT \quad t = 1..4 \quad (4.22)$$

όπου $elef_{bg}$ είναι ο συντελεστής απόδοσης για παραγωγή ηλεκτρισμού από βιοαέριο και $OUTPROC_{p,'biog',t}$ είναι το παραγόμενο βιοαέριο από την αντίστοιχη διεργασία.

Η περίπτωση της WTE είναι πιο περίπλοκη, καθώς οι εισροές της διεργασίας αυτής προέρχονται από διαφορετικές διεργασίες (BD και MBT) ή απευθείας από τους

κάδους ή το σταθμό μεταφοράς. Επομένως, η σύνθεση της εισροής δεν είναι σταθερή αλλά εξαρτάται από το μείγμα των εισροών. Για να διατηρηθούν σε σειρά τα ενεργειακά περιεχόμενα των εισροών, τα υπολογίζουμε σύμφωνα με την ακόλουθη εξίσωση:

$$NCVDF_{mbt,t} = \sum_{i=1}^I ncv_i \times (1 - moist_i) \times DF_{mbt,wte,i,t} \quad t = 1..4 \quad (4.23)$$

όπου $NCVDF_{mbt,t}$ είναι η καθαρή θερμική αξία (ενεργειακό περιεχόμενο) του παραγόμενου καυσίμου από MBT σε WTE, ncv_i είναι η καθαρή θερμική αξία του i συστατικού, $moist_i$ είναι η υγρασία του i συστατικού και $DF_{mbt,wte,i,t}$ είναι η ποσότητα του i συστατικού στο παραγόμενο καύσιμο όπως έχει υπολογιστεί από την εξίσωση (4.16).

Για τη διεργασία της βιολογικής ξήρανσης (BD) η εξίσωση είναι επίσης περίπλοκη, αφού υπάρχει απώλεια υγρασίας σε κάθε συστατικό. Δηλώνουμε σαν $bdmlos_i$ την παράμετρο που εκφράζει την απώλεια της υγρασίας στο i συστατικό, έτσι ώστε το ισοζύγιο ενέργειας γίνεται (υποθέτοντας ότι όλες οι απώλειες στη βιολογική ξήρανση είναι εξαιτίας της υγρασίας):

$$NCVDF_{bd,t} = \sum_{i=1}^I ncv_i \times (1 - moist_i) \times \frac{(1 - bdmlos_i)}{(1 - cc_{bd,i,'loss'})} \times DF_{bd,wte,i,t} \quad t = 1..4 \quad (4.24)$$

Το ενεργειακό περιεχόμενο του μεικτού αποβλήτου από τον κάδο BMW και το σταθμός μεταφοράς TS που πηγαίνει στη μονάδα WTE δίνεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$NCVMW_t = \sum_{i=1}^I ncv_i \times (1 - moist_i) \times sh_{i,bmw,t} \times (W_{bmw,wte,t} + WTS_{wte,t}) \quad t = 1..4 \quad (4.25)$$

Άρα, η παραγόμενη ισχύς στη WTE δίνεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$ELPROD_{wte,t} = elef_{wte} \times (NCVDF_{mbt,t} + NCVDF_{bd,t} + NCVMW_t) \quad t = 1..4 \quad (4.26)$$

όπου $elef_{wte}$ είναι η ηλεκτρική απόδοση της μονάδας WTE.

4.3.5 Περιορισμοί δυναμικότητας διεργασίας

Η εισροή σε κάθε μία από τις διεργασίες πρέπει να είναι μικρότερη ή ίση με την ήδη εγκατεστημένη δυναμικότητα, όπως περιγράφεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$INPROC_{p,t} \leq \sum_{tt=1}^t CAP_{p,tt} \quad p = 1..P_{LDF}, \quad t = 1..4 \quad (4.27)$$

όπου $CAP_{p,tt}$ είναι η δυναμικότητα της διεργασίας p εγκατεστημένη την περίοδο tt . Η παραπάνω εξίσωση ισχύει για όλες τις διεργασίες εκτός από τους χώρους υγειονομικής ταφής. Για τους χώρους υγειονομικής ταφής για κάθε περίοδο η διαθέσιμη ποσότητα προστίθεται στην ποσότητα των προηγούμενων περιόδων. Άρα, η εξίσωση γίνεται:

$$5 \times INPROC_{ldf,t} \leq CAP_{ldf,t} \quad t = 1..4 \quad (4.28)$$

(Ο πολλαπλασιαστής «5» είναι ίσος με τη διάρκεια κάθε περιόδου σε χρόνια)

Κάθε τεχνολογία (διεργασία) έχει ένα ελάχιστο και ένα μέγιστο όριο δυναμικότητας το οποίο σημαίνει ότι η δυναμικότητα της απαιτούμενης διεργασίας πρέπει να είναι μεταξύ αυτών των δύο ορίων όπως περιγράφεται στις ακόλουθες εξισώσεις:

$$CAP_{p,t} \geq capmin_p \times N_{p,t} \quad p = 1..P, \quad t = 1..4 \quad (4.29)$$

$$CAP_{p,t} \leq capmax_p \times N_{p,t} \quad p = 1..P, \quad t = 1..4 \quad (4.30)$$

όπου $capmin_p$ και $capmax_p$ είναι η ελάχιστη και η μέγιστη δυναμικότητα αντιστοίχως της διεργασίας p , $N_{p,t}$ είναι σταθερά απόφασης που εκφράζει τον αριθμό των μονάδων της διεργασίας p που έχουν εγκατασταθεί στην περίοδο t . Εξαιτίας της κλίμακας των οικονομικών είναι προτιμότερο να εγκατασταθεί ο ελάχιστος αριθμός μονάδων που χρειάζονται για να καλύψουν μία συγκεκριμένη συνολική δυναμικότητα. Για να εγγυηθούμε αυτή τη λογική συμπεριφορά του μοντέλου προσθέτουμε επίσης τους ακόλουθους περιορισμούς:

$$N_{p,t} \leq 1 + \frac{CAP_{p,t}}{capmax_p} \quad p = 1..P, \quad t = 1..4 \quad (4.31)$$

ώστε ο αριθμός των μονάδων να πάρει την ελάχιστη τιμή του δεδομένου της μέγιστης δυναμικότητας για κάθε μονάδα και την απαιτούμενη συνολική δυναμικότητα της τεχνολογίας.

4.3.6 Ποσοστά ανακύκλωσης

Τα ποσοστά ανακύκλωσης των ανακυκλώσιμων υλικών πρέπει να ελέγχονται από τον χρήστη. Υπάρχουν δύο είδη επιλογών που ελέγχουν τα ποσοστά ανακύκλωσης. Η πρώτη είναι οι νομοθετικοί περιορισμοί που εκφράζονται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$\sum_{p=1}^P RECPROC_{p,i,t} \geq lrb_{i,t} \times tquant_{i,t} \quad i = pa, pl, mt, gl, wd \quad t = 1..4 \quad (4.32)$$

όπου $lrb_{i,t}$ είναι το νομοθετικό όριο ανακύκλωσης για το i υλικό την περίοδο t και $tquant_{i,t}$ είναι η ολική ποσότητα που συλλέχθηκε από το i υλικό την t περίοδο και $RECPROC_{p,i,t}$ είναι η ανακυκλώσιμη ποσότητα του i συστατικού που αποκτήθηκε από την διεργασία p την χρονική περίοδο t .

Η δεύτερη επιλογή είναι ότι ο χρήστης μπορεί να επιβάλλει κάποιους περιορισμούς πολιτικής (για όλα ή κάποια από τα ανακυκλώσιμα υλικά) που μπορεί να είναι πιο φιλόδοξοι από τους νομοθετικούς περιορισμούς. Η διατύπωση είναι η ίδια:

$$\sum_{p=1}^P RECPROC_{p,i,t} \geq prb_{i,t} \times tquant_{i,t} \quad i = PA, PL, MT, GL \quad t = 1..4 \quad (4.33)$$

όπου $prb_{i,t}$ είναι ο στόχος ανακύκλωσης που συνεπάγεται από μία συγκεκριμένη πολιτική ανακύκλωσης για το i υλικό την t περίοδο. Η διαφορά μεταξύ των δύο ειδών των περιορισμών είναι ότι η πρώτη εξίσωση είναι υποχρεωτική ενώ η δεύτερη είναι προαιρετική. Πρέπει να αναφερθεί ότι εάν υπάρχουν νομοθετικοί στόχοι ή στόχοι

πολιτικής για κάθε μία κατηγορία υλικών (π.χ. ανακυκλώσιμα γενικά) μπορούν εύκολα να ενσωματωθούν στο μοντέλο συσσωρεύοντας τα υλικά όπως περιγράφεται παρακάτω:

$$\sum_{rec(i)} \sum_{p=1}^P RECPROC_{p,rec,t} \geq lrbtot_t \times \sum_{rec} tquant_{rec,t} \quad t = 1..4 \quad (4.34)$$

όπου $rec(i)$ είναι η ομάδα των ανακυκλώσιμων υλικών (χαρτί, πλαστικό, γυαλί και μέταλλο) και $lrbtot_t$ είναι το όριο για τα συνολικά ανακυκλώσιμα την περίοδο t . (Μυρωδιά, 2014)

4.4 Παράμετροι

Οι παράμετροι του μοντέλου δεν είναι άλλες από τα δεδομένα. Είναι, δηλαδή, τα οικονομικά και τεχνολογικά χαρακτηριστικά των διεργασιών, οι τιμές των ανακυκλώσιμων υλικών και της παραγόμενης ενέργειας, ο συντελεστής μετατροπής του κάθε υλικού σε κάθε μία από τις υποψήφιες τεχνολογίες κτλ. Η σύνθεση των κάδων θεωρείται επίσης δεδομένη στο μοντέλο, στοιχείο στο οποίο συμπεριλαμβάνονται οι τύποι των κάδων που χρησιμοποιούνται, όπως επίσης και η δυναμικότητά τους. Η αρχική ποσότητα των ΑΣΑ κατατάσσεται σε 34 συστατικά και η σύνθεσή της θεωρείται γνωστή για το μοντέλο.

4.5 Αντικειμενική Συνάρτηση

Η συνάρτηση της Καθαρής Παρούσας Αξίας του κόστους (ΚΠΑ) είναι η αντικειμενική συνάρτηση του μοντέλου και η ελαχιστοποίησή της ο σκοπός. Η ΚΠΑ του κόστους (αναγράφεται ως NPC, κατά το Net Present Cost) εκφράζει τα λειτουργικά και τα επενδυτικά κόστη, όπως επίσης και την εισροή από τα ανακυκλώσιμα, τον ηλεκτρισμό και άλλα προϊόντα, στην περίοδο μίας εικοσαετίας.

Για τον υπολογισμό της συνάρτησης ΚΠΑ, απαιτείται η ετήσια ροή μετρητών. Για αυτό το λόγο, όλα τα κόστη των επενδύσεων (κάδοι, διεργασίες, φορτηγά κτλ.) ανάγονται σε ετήσια βάση με σκοπό να μπορεί να ενσωματωθεί το ετήσιο λειτουργικό κόστος και η εισροή από την ανακύκλωση ή τις πωλήσεις ηλεκτρισμού σε ροή μετρητών ετησίως.

4.5.1 Ετήσιο κόστος κάδων

Το κόστος των κάδων σχετίζεται άμεσα με την απαιτούμενη δυναμικότητα. Το ετήσιο επενδυτικό κόστος ανά τόνο αποβλήτων στην εισροή ανά χρόνο υπολογίζεται για κάθε τύπο κάδου (βλ. Appendix) και ο υπολογισμός του συνολικού κόστους δίνεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$BNANCAPEX_t = \sum_{j=1}^J binaicpt_j \times OUTBIN_{j,t} \quad t = 1..4 \quad (4.35)$$

όπου $BNCAPEX_t$ είναι το ετήσιο επενδυτικό κόστος των κάδων, $binaicr_{jt}$ είναι το ετήσιο επενδυτικό κόστος για τον j τύπο κάδου ανά τόνο εισροής και $OUTBIN_{j,t}$ είναι το ετήσιο φορτίο για τον j τύπο κάδου την χρονική περίοδο t .

4.5.2 Ετησιοποιημένο κόστος επένδυσης στη μεταφορά (φορτηγά)

Το επενδυτικό κόστος για τη μεταφορά αφορά τα φορτηγά που χρειάζονται για να πραγματοποιηθεί η μεταφορά από τους κάδους στις διεργασίες, από διεργασία σε διεργασία και από τις διεργασίες στο χώρο υγειονομικής ταφής. Ο αριθμός των απαιτούμενων φορτηγών είναι άμεσα συνδεδεμένος με την ποσότητα που μεταφέρεται από τον ένα κόμβο στον άλλο σε ένα σύστημα διαχείρισης ΑΣΑ. Η μοναδική μεταβλητή απόφασης στην υπομονάδα μεταφοράς είναι η ποσότητα αποβλήτων που μεταφέρεται (το είδος των φορτηγών, μαζί με το κόστος και τη δυναμικότητά τους, η απόσταση μεταξύ των κόμβων, οι ώρες φόρτωσης, η μέση ταχύτητα μεταφοράς κτλ. θεωρούνται γνωστές παράμετροι). Η ακόλουθη εξίσωση περιγράφει το κόστος δυναμικότητας μεταφοράς:

$$\begin{aligned}
 TRANCAPEX_t = & \sum_{n=1}^t \sum_{p=1}^P \sum_{j=1}^J tcbin_p \times W_{j,p,t} + \\
 & \sum_{n=1}^t \sum_{p=1}^P tcldf_p \times WLDF_{p,ldf,t} + \\
 & \sum_{n=1}^t \sum_{p=1}^P tcts_p \times WTS_{p,t} + \\
 & \sum_{n=1}^t \sum_{p=bd,mbt} tcwte_p \times WWTE_{p,t} \quad t=1..4
 \end{aligned} \tag{4.36}$$

όπου $TRANCAPEX_t$ είναι το ολικό ετήσιο κόστος δυναμικότητας του συστήματος μεταφοράς, $tcbin_p$ είναι το ετήσιο κόστος δυναμικότητας μεταφοράς από τους κάδους στη διεργασία p ανά τόνο μεταφερόμενου αποβλήτου, $tcldf_p$ είναι το ετήσιο κόστος δυναμικότητας μεταφοράς από τη διεργασία p στο χώρο υγειονομικής ταφής ανά τόνο μεταφερόμενου αποβλήτου, $tcts_p$ είναι το ετήσιο κόστος δυναμικότητας μεταφοράς από το σταθμό μεταφοράς στη διεργασία p ανά τόνο μεταφερόμενου αποβλήτου, $tcwte_{bd}$ και $tcwte_{mbt}$ είναι το ετήσιο κόστος δυναμικότητας μεταφοράς από τις διεργασίες BD και MBT αντιστοίχως στη διεργασία WTE . Ο υπολογισμός όλων των παραμέτρων από τα ακατέργαστα εισερχόμενα δεδομένα δίνεται στο Παράρτημα Α1

4.5.3 Ετήσιο λειτουργικό κόστος μεταφοράς (φορτηγά)

Το ετήσιο λειτουργικό κόστος για τη μεταφορά σχετίζεται άμεσα με τις αποστάσεις ανάμεσα στους κόμβους των διεργασιών, δεδομένων των αποστάσεων και των τύπων των φορτηγών (δυναμικότητα και ειδική κατανάλωση) μπορεί να εκφραστεί το λειτουργικό κόστος σαν συνάρτηση της ποσότητας των αποβλήτων που μεταφέρονται. Οι μοναδικές μεταβλητές απόφασης είναι πάλι η ποσότητα των αποβλήτων που μεταφέρονται όπως περιγράφεται και στην επόμενη εξίσωση:

$$\begin{aligned}
TROPEX_t = & \sum_{p=1}^P \sum_{j=1}^J cpkmbin_p \times dpybin_p \times W_{j,p,t} + \\
& \sum_{p=1}^P cpkmldf_p \times dpyldf_p \times WLDF_{p,ldf,t} + \\
& \sum_{p=1}^P cpkmts_p \times dpyts_p \times WTS_{p,t} + \\
& \sum_{p=bd,mbt} cpkmwte_p \times dpywte_p \times WWTE_{p,t} \quad t = 1..4
\end{aligned} \tag{4.37}$$

όπου $TROPEX_t$ είναι το ολικό ετήσιο λειτουργικό κόστος του συστήματος μεταφοράς, $cpkmbin_p$ είναι το λειτουργικό κόστος ανά km (€/km) για τα απόβλητα που μεταφέρονται από τους κάδους στη διεργασία p , $dpybin_p$ είναι η απόσταση από τους κάδους στη διεργασία p διαιρούμενη από το ειδικό φορτίο του φορτηγού (km/tn). Επομένως, οι υπόλοιπες παράμετροι ορίζονται για τη μεταφορά από τις διεργασίες στο χώρο υγειονομικής ταφής, από το σταθμό μεταφοράς στις διεργασίες και από το BD και MBT στη WTE. Ο υπολογισμός όλων αυτών των παραμέτρων από τα ακατέργαστα εισερχόμενα δεδομένα δίνεται από το Παράρτημα A1 στην αναλυτική παράθεση του μοντέλου.

4.5.4 Ετησιοποιημένο κόστος επένδυσης των διεργασιών

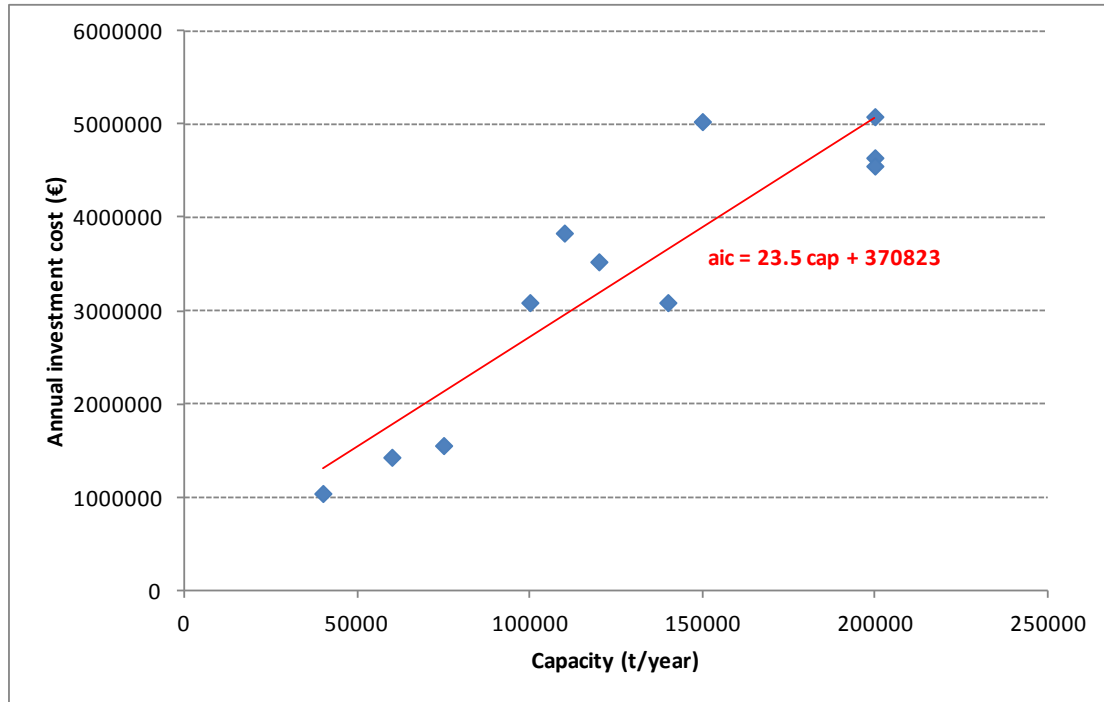
Όπως έχει αναφερθεί το επενδυτικό κόστος των διεργασιών αναλύεται σε ετήσια βάση με σκοπό να επιτευχθεί η ετήσια ανάλυση του κόστους δυναμικότητας. Το επενδυτικό κόστος είναι ανάλογο με τη δυναμικότητα της κάθε διεργασία, αυξημένο κατά ένα σταθερό κόστος. Η κλίση και η υποτέμνουσα της γραμμής του κόστους δυναμικότητας υπολογίζονται χρησιμοποιώντας γραμμική παλινδρόμηση από τα δεδομένα των μονάδων που υπάρχουν για κάθε μία ειδική διεργασία. Για κάθε τύπο διεργασίας p έχουμε ένα σύνολο K διαθέσιμων μονάδων για τις οποίες έχουμε το επενδυτικό κόστος και τη δυναμικότητά τους. Υπολογίζεται το ετήσιο επενδυτικό κόστος ($aic_{p,i}$) για κάθε μία από αυτές χρησιμοποιώντας την εξίσωση:

$$aic_{p,k} = CRF \times ic_{p,k} \quad k = 1..K \tag{4.38}$$

όπου $ic_{p,k}$ είναι το επενδυτικό κόστος της k μονάδας του p τύπου και CRF είναι ο συντελεστής αναγωγής σε ετήσιο κόστος (Capital Recovery Factor) το οποίο είναι μία συνάρτηση της διάρκειας ζωής (T) και του συνεπαγόμενου παράγοντα προεξόφλησης (r) που δίνεται από:

$$CRF = \frac{r \times (1+r)^T}{(1+r)^T - 1} \tag{4.39}$$

Σχεδιάζοντας το $aic_{p,k}$ συναρτήσει της δυναμικότητας έχουμε το διάγραμμα



Διάγραμμα 4. 1 Εξαγωγή αποτελεσμάτων από το γραμμικό μοντέλο για το ετήσιο επενδυτικό κόστος με βάση τα διαθέσιμα δεδομένα

Σχεδιάζοντας τη γραμμή παλινδρόμησης έχουμε το γραμμικό μοντέλο που εκφράζει το ετήσιο επενδυτικό κόστος (aic) ως συνάρτηση της δυναμικότητας (cap) για τη διεργασία p. Η δυναμικότητα των διεργασιών πάντα εκφράζεται σε τόνους ανά έτος (t/y). Η κλίση της γραμμής είναι η παράμετρος $aicslope_p$ και η υποθέτουσα δηλώνεται ως $aicicpt_p$ (σχήμα 4-1: $aicslope_p=23.5$ και $aicicpt_p=370823$).

Σε περίπτωση που δεν υπάρχουν τόσα διαθέσιμα δεδομένα, αλλά μόνο μία μικρή και μία μεγάλη μονάδα για κάθε τύπο η $aicslope_p$ και η $aicicpt_p$ υπολογίζονται από τις ακόλουθες εξισώσεις:

$$aicslope_p = \frac{aic_p^{\max} - aic_p^{\min}}{cap_p^{\max} - cap_p^{\min}} \quad (4.40)$$

$$aicicpt_p = aic_p^{\min} - aicslope_p \times cap_p^{\min} \quad (4.41)$$

όπου aic_p^{\max} , aic_p^{\min} είναι τα ετήσια επενδυτικά κόστη για τις μικρές και τις μεγάλες μονάδες και cap_p^{\max} , cap_p^{\min} είναι οι αντίστοιχες δυναμικότητες (σε t/y) για τις συγκεκριμένες μονάδες τύπου p.

Συνεπώς, το ετήσιο επενδυτικό κόστος για τις διεργασίες δίνεται από την εξίσωση:

$$PRANCAPEX_t = \sum_{tt=1}^t \sum_{p=1}^P aicicpt_p \times N_{p,tt} + aicslope_p \times CAP_{p,tt} \quad t=1..4 \quad (4.42)$$

4.5.5 Ετήσιο λειτουργικό κόστος των διεργασιών

Το λειτουργικό κόστος των διεργασιών αναλύεται σε δύο συνιστώσες: το πάγιο και το μεταβλητό λειτουργικό κόστος. Το πάγιο λειτουργικό κόστος είναι ανάλογο με την εγκατεστημένη δυναμικότητα και το μεταβλητό λειτουργικό κόστος είναι ανάλογο με το φορτίο της διεργασίας. Η εξίσωση που εκφράζει το ολικό λειτουργικό κόστος των διεργασιών είναι η ακόλουθη:

$$PROPEX_t = \sum_{n=1}^t \sum_{p=1}^P (aocicpt_p \times N_{p,n} + aocslope_p \times CAP_{p,n}) + \sum_{p=1}^P pncost_p \times INPROC_{p,t} \quad t=1..4 \quad (4.43)$$

όπου οι παράμετροι $aocslope_p$ και $aocicpt_p$ είναι η κλίση και η υποτέμνουσα αντίστοιχα του ετήσιου λειτουργικού κόστους τα οποία υπολογίζονται από τα εισερχόμενα δεδομένα με τον ίδιο τρόπο όπως οι $aicslope_p$ και $aicicpt_p$. Η παράμετρος $pncost_p$ είναι το μεταβλητό λειτουργικό κόστος της διεργασίας p (πολλαπλασιασμένο με το φορτίο κάθε διεργασίας).

4.5.6 Ετήσιο εισόδημα από τα ανακυκλώσιμα

Το εισόδημα από τα ανακυκλώσιμα δίδεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$RECINC_t = \sum_{i=1}^I \sum_{p=1}^P pricerm_i \times RECPROC_{p,i,t} + \sum_{o=1}^J \sum_{p=1}^P priceout_o \times OUTPROC_{p,o,t} + pricedf \times DFSELL_t \quad t=1..4 \quad (4.44)$$

όπου $pricerm_i$ είναι η τιμή του ακατέργαστου ανακυκλωμένου υλικού i , $priceout_o$ είναι η τιμή του o προϊόντος και $pricedf$ είναι η τιμή του παραγόμενου καυσίμου και $DFSELL_t$ η ποσότητα του πουλημένου παραγόμενου καυσίμου.

4.5.7 Ετήσιο εισόδημα από τον παραγόμενο ηλεκτρισμό

Τα έσοδα από τον παραγόμενο ηλεκτρισμό που πουλήθηκε στο ηλεκτρικό δίκτυο δίδονται από:

$$ELINC_t = \sum_{p=ad,mbt,wte} pricel \times ELPROD_{p,t} \quad t=1..4 \quad (4.45)$$

όπου $pricel$ είναι τιμή που πουλήθηκε ο ηλεκτρισμός στο δίκτυο.

4.5.8 Καθαρά Παρούσα Αξία του κόστους της περιόδου των 20 χρόνων

Μετά τον υπολογισμό των ετήσιων ροών, μπορούμε να υπολογίσουμε και την καθαρά παρούσα αξία του κόστους (NPC) της εικοσαετίας. Αρχικά, υπολογίζουμε τα ολικά ετήσια κόστη όπως φαίνεται:

$$ANNCOST_t = BNANCAPEX_t + TRANCAPEX_t + TROPEX_t + PRANCAPEX_t + PROPEX_t - RECINC_t - ELINC_t \quad t = 1..4 \quad (4.46)$$

Τελικά, το καθαρό παρόν κόστος εκφράζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$NPC = \sum_{t=1}^4 \frac{5 \times ANNCOST_t}{(1+r)^{(5 \times t - 2)}} \quad (4.47)$$

Στην παραπάνω εξίσωση εστιάζουμε στη ροή ρευστού σε μία από τις τέσσερις περιόδους στη μεσαία χρονιά (3^η χρονιά για την πρώτη περίοδο, 8^η για την δεύτερη κ.ο.κ). (Μυρωδιά, 2014)

4.6 Το κριτήριο minimax regret στο μοντέλο

Ακολουθούμε την μεθοδολογία που περιγράφηκε στην παράγραφο 3.2. Πρώτα υπολογίζουμε το βέλτιστο για κάθε σενάριο ελαχιστοποιώντας τη μεταβλητή NPCALL που ορίζεται παρακάτω:

$$NPCALL = \sum wsc(s) * NPC(s) \quad (4.48)$$

Χρησιμοποιείται το σταθμισμένο άθροισμα έτσι ώστε κάθε φορά να μπορεί να γίνεται η βελτιστοποίηση για κάθε σενάριο θέτοντας τον αντίστοιχο $wsc(S)=1$ και τους υπόλοιπους ίσους με 0 μέσα σε έναν βρόγχο. Έτσι κάθε φορά το NPCALL μας δίνει το αντίστοιχο βέλτιστο (ελάχιστη τιμή για το NPC του σεναρίου). Το βέλτιστο κάθε σεναρίου αποθηκεύεται στην παράμετρο $scenmin(S)$.

Στη συνέχεια εφαρμόζουμε τις εξισώσεις της παραγράφου 3.2 για το relative regret model. Προσθέτουμε τις S ανισότητες στο μοντέλο:

$$NPC(S) \leq (1 + MMR) * scenmin(S) \quad (4.49)$$

(Οι διαφορές σε σχέση με τις εξισώσεις της παραγράφου 3.2 οφείλονται στο ότι εδώ έχουμε πρόβλημα ελαχιστοποίησης). Με τον τρόπο αυτό η μεταβλητή MMR εκφράζει τη μέγιστη απόκλιση από το αντίστοιχο βέλτιστο του σεναρίου (το max regret).

Στη συνέχεια ελαχιστοποιούμε την μεταβλητή MMR και το αποτέλεσμα που θα πάρουμε εκφράζει πλέον το minimax regret σε ποσοστό.

$$\min MMR \quad (4.50)$$

5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Εφαρμόσαμε το μοντέλο του κεφαλαίου 3 στην περίπτωση του σχεδιασμού διαχείρισης ΑΣΑ για την Αττική. Επιλύθηκε το μοντέλο για 4^{εις} διαφορετικές περιπτώσεις (cases), με παραλλαγές για δύο παραμέτρους που αφορούν τόσο στην τιμή του άνω ορίου του παραγόμενου καυσίμου (derivative fuel) το οποίο μπορεί να πωληθεί (π.χ. τσιμεντοβιομηχανίες), όσο και στην αντίστοιχη του ορίου συνολικών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Η τιμή του άνω ορίου του παραγόμενου καυσίμου έλαβε τιμές 0 (περιπτώσεις χωρίς παραγόμενο καύσιμο) και 500000 tn/year, ενώ η αντίστοιχη για το διοξείδιο του άνθρακα έλαβε τιμές 7000 και 15000 tn/year, όπως φαίνεται και στον ακόλουθο πίνακα. Για κάθε μία από τις προαναφερθείσες περιπτώσεις, λαμβάνουμε λύσεις για 4 σενάρια: το πιο πιθανό (most likely), το σενάριο χαμηλών τιμών (low prices), το σενάριο υψηλών τιμών (high prices) και το minimax regret (Πίνακας 5.2).

Πίνακας 5.1 : Περιπτώσεις (Cases) παραλλαγών για τις τιμές παραγόμενου καυσίμου και ορίου συνολικών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα

case	Derfsellup (tn)	totCO2 (tn)
C1	0	15000
C2	500000	15000
C3	500000	7000
C4	0	7000

Πίνακας 5.2 : τιμές ανά σενάριο

	most likely	low prices	high prices
PAPP (€/tn)	70	40	100
PACB (€/tn)	70	40	100
PAPR (€/tn)	70	40	100
PAOT (€/tn)	70	40	100
GLMX (€/tn)	15.4	10	25
GLOT (€/tn)	15.4	10	25
GLGR (€/tn)	15.4	10	25
GLBR (€/tn)	15.4	10	25
GLCB (€/tn)	15.4	10	25
FEPA (€/tn)	154	100	200
FEOT (€/tn)	154	100	200
ALPC (€/tn)	700	400	1000
ALOA (€/tn)	700	400	1000
ALFL (€/tn)	0	0	0
PLMX (€/tn)	110	50	150
PLOT (€/tn)	110	50	150
PLBG (€/tn)	77	30	100
PLPF (€/tn)	77	30	100

PLOF (€/tn)	77	30	100
PLPT (€/tn)	315	250	400
PLPV (€/tn)	210	150	300
PLOD (€/tn)	210	150	300
OTDC (€/tn)	70	50	120
OCMP (€/tn)	5	0	20
STOR (€/tn)	-5	-10	20
l_pr biogass (€/Mwh)	110	80	130
l_price_s (€/Mwh)	56.7	40	70
excstco2eq_s (€/tn)	5	0	15
excstWTE_s (€/Mwh)	0.68125	0	15
excstldf_s (€/tn)	0.55	0.4	0.6
excsthzldf_s (€/tn)	1.35	1	2
exbenefitel_s (€/Mwh)	16.5	12	20
derfprice_s (€/tn)	-30	-50	0

5.1 Αποτέλεσμα NPC Περιπτώσεων

Παρουσιάζεται ο συνοπτικός πίνακας στον οποίον περιέχεται η ΚΠΑ του κόστους (NPC) ανά σενάριο και περίπτωση

Πίνακας 5.3 : Πίνακας αποτελεσμάτων NPC

	Most likely (€)	Low Prices (€)	High Prices (€)	Minimax regret (%)			
Case1	2285933	2744217	2142492	53.6%	(3334925,	3719357,	3291659)
Case2	2185398	2677383	1677671	34,58%	(2690072,	3110613,	2257767)
Case3	2205485	2709580	1677671	25,84%	(2566515,	2997970,	2111120)
Case4	2856530	3232098	2476078	6,79%	(3008114,	3371860,	2644310)

Στον παραπάνω πίνακα παρατηρούμε πως η περίπτωση που εμφανίζεται ως αυτή με το χαμηλότερο κόστος είναι η περίπτωση 2, γεγονός που βασίζεται στους πιο χαλαρούς περιορισμούς, ως προς το παραγόμενο καύσιμο και τις συνολικές εκπομπές. Αντίστοιχα, η περίπτωση 4 είναι αυτή με το υψηλότερο κόστος, καθώς ο πιο αυστηρός διπλός περιορισμός και στις δύο παραμέτρους μας οδηγεί σε λύσεις τεχνολογιών πιο φιλικών προς το περιβάλλον, μεν, πιο ασύμφορων, δε. Όσο αυστηρότεροι είναι οι περιορισμοί, τόσο λιγότεροι οι βαθμοί ελευθερίας του μοντέλου. Ως minimax regret (%) ορίζεται η απόκλιση από το βέλτιστο του κάθε σεναρίου. Στην ουσία, εφαρμόζοντας το κριτήριο, επιχειρούμε να ελαχιστοποιήσουμε τη μέγιστη από τη λύση

που υιοθετείται ως η βέλτιστη για το κάθε σενάριο. Συγκεκριμένα, για την πρώτη περίπτωση παρουσιάζει απόκλιση της τάξης του 53,6%. Αυτό σημαίνει ότι η λύση που βρήκαμε απέχει 53,6% από το βέλτιστο του σεναρίου της “χειρότερης” περίπτωσης (το οποίο είναι ένα από τα τρία σενάρια). Η “χειρότερη περίπτωση” ορίζεται ως το σενάριο το οποίο αποκλίνει περισσότερο από το βέλτιστο αν υιοθετήσουμε τη λύση αυτή. Η χρησιμότητα του κριτηρίου minimax regret ως προς τη διαχείριση καταστάσεων με υψηλή αβεβαιότητα επαληθεύεται και σε αυτή του την εφαρμογή, καθώς η χαμηλότερη απόκλιση παρουσιάζεται στην περίπτωση των εντονότερων περιορισμών, ως προς τις παραμέτρους (περίπτωση 4).

5.2 Αποτελέσματα Δεικτών Ανακύκλωσης

Παρατίθενται τα αποτελέσματα των δεικτών ανακύκλωσης για κάθε μία από τις ανωτέρω περιπτώσεις, που εμφανίζονται με σειρά πιο πιθανό, χαμηλών τιμών, υψηλών τιμών, minimax regret, σε τέσσερις περιόδους σε ορίζοντα 20ετίας.

5.2.1 Δείκτες Ανακύκλωσης για την περίπτωση 1

5.2.1.1 Δείκτες Ανακύκλωσης για την περίπτωση 1, για το σενάριο πιο πιθανών τιμών

Πίνακας 5.4 : Δείκτες Ανακύκλωσης για την περίπτωση 1, σενάριο πιο πιθανών τιμών

Recycling_rates	Περίοδος 1 (2011-2015)	Περίοδος 2 (2016-2020)	Περίοδος 3 (2021-2025)	Περίοδος 4 (2026-2030)
wood_packaging:	0,01	0,01	0,01	0,01
paper_packaging:	0,67	0,67	0,84	0,84
glass_packaging:	0,7	0,76	0,77	0,8
metal_packaging:	0,91	0,92	0,92	0,92
plastic_packaging:	0,47	0,51	0,61	0,61
packaging_to_recycle_&_energy:	0,89	0,89	0,88	0,88
paper_total:	0,43	0,36	0,55	0,55
glass_total:	0,68	0,74	0,76	0,78
metal_total:	0,91	0,92	0,92	0,92
plastic_total:	0,42	0,47	0,58	0,57

5.2.1.2 Δείκτες Ανακύκλωσης για την περίπτωση 1, για το σενάριο χαμηλών τιμών

Πίνακας 5.5 : Δείκτες Ανακύκλωσης για την περίπτωση 1, σενάριο χαμηλών τιμών

Recycling_rates	Περίοδος 1 (2011-2015)	Περίοδος 2 (2016-2020)	Περίοδος 3 (2021-2025)	Περίοδος 4 (2026-2030)
wood_packaging:	0,01	0,01	0,01	0,01
paper_packaging:	0,67	0,67	0,84	0,84
glass_packaging:	0,7	0,76	0,77	0,8

metal_packaging:	0,91	0,92	0,92	0,92
plastic_packaging:	0,47	0,51	0,61	0,61
packaging_to_recycle_&_energy:	0,89	0,89	0,88	0,88
paper_total:	0,43	0,36	0,55	0,55
glass_total:	0,68	0,74	0,76	0,78
metal_total:	0,91	0,92	0,92	0,92
plastic_total:	0,42	0,47	0,58	0,57

5.2.1.3 Δείκτες Ανακύκλωσης για την περίπτωση 1, για το σενάριο υψηλών τιμών

Πίνακας 5.6 : : Δείκτες Ανακύκλωσης για την περίπτωση 1, σενάριο υψηλών τιμών

Recycling_rates	Περίοδος 1 (2011-2015)	Περίοδος 2 (2016-2020)	Περίοδος 3 (2021-2025)	Περίοδος 4 (2026-2030)
wood_packaging:	0,01	0,01	0,01	0,01
paper_packaging:	0,69	0,69	0,85	0,84
glass_packaging:	0,7	0,76	0,77	0,8
metal_packaging:	0,91	0,92	0,92	0,92
plastic_packaging:	0,51	0,55	0,63	0,63
packaging_to_recycle_&_energy:	0,78	0,79	0,82	0,82
paper_total:	0,45	0,39	0,55	0,55
glass_total:	0,69	0,74	0,76	0,78
metal_total:	0,9	0,91	0,92	0,92
plastic_total:	0,47	0,51	0,59	0,6

5.2.1.4 Δείκτες Ανακύκλωσης για την περίπτωση 1, για το σενάριο minimax regret

Πίνακας 5.7 : Δείκτες Ανακύκλωσης για την περίπτωση 1, σενάριο minimax regret

Recycling_rates	Περίοδος 1 (2011-2015)	Περίοδος 2 (2016-2020)	Περίοδος 3 (2021-2025)	Περίοδος 4 (2026-2030)
wood_packaging:	0,01	0,01	0,01	0,01
paper_packaging:	0,66	0,68	0,84	0,84
glass_packaging:	0,7	0,76	0,77	0,8
metal_packaging:	0,83	0,88	0,86	0,87
plastic_packaging:	0,44	0,56	0,6	0,6
packaging_to_recycle_&_energy:	0,77	0,81	0,79	0,79
paper_total:	0,43	0,38	0,55	0,55
glass_total:	0,68	0,74	0,76	0,78
metal_total:	0,81	0,87	0,85	0,86
plastic_total:	0,39	0,52	0,57	0,56

5.2.1.5 Σχολιασμός Δεικτών Ανακύκλωσης για την περίπτωση 1

Κατά την πρώτη περίπτωση παρατηρούνται σταθερά αποτελέσματα στους δείκτες wood packaging, glass packaging, glass total, metal packaging, metal total. Υψηλότερες τιμές δεικτών στο τρίτο σενάριο (υψηλών τιμών) σημειώνονται στους δείκτες paper packaging, plastic packaging, paper total, plastic total. Αυτό είναι φυσιολογικό γιατί έχουν υψηλότερη τιμή τα ανακυκλώσιμα οπότε συμφέρει το σύστημα να πάει σε υψηλότερους ρυθμούς ανάκτησης. Μείωση στο σενάριο υψηλών τιμών παρατηρείται στο δείκτη του packaging to recycle & energy, γεγονός που είναι αναμενόμενο, καθώς συμφέρει το μοντέλο να ανακυκλώνει τα εν λόγω υλικά αντί να τα προωθεί για παραγωγή ενέργειας.

5.2.2 Δείκτες Ανακύκλωσης για την περίπτωση 2

5.1.2.1 Δείκτες Ανακύκλωσης για την περίπτωση 2, για το σενάριο πιο πιθανών τιμών

Πίνακας 5.8 : Δείκτες Ανακύκλωσης για την περίπτωση 2, σενάριο πιο πιθανών τιμών

Recycling_rates	Περίοδος 1 (2011-2015)	Περίοδος 2 (2016-2020)	Περίοδος 3 (2021-2025)	Περίοδος 4 (2026-2030)
wood_packaging:	0,01	0,01	0,01	0,01
paper_packaging:	0,69	0,69	0,85	0,84
glass_packaging:	0,7	0,76	0,77	0,8
metal_packaging:	0,9	0,91	0,91	0,91
plastic_packaging:	0,61	0,64	0,7	0,71
packaging_to_recycle_&_energy:	0,88	0,88	0,87	0,87
paper_total:	0,46	0,4	0,55	0,55
glass_total:	0,68	0,74	0,76	0,78
metal_total:	0,9	0,91	0,91	0,91
plastic_total:	0,58	0,61	0,68	0,69

5.2.2.2 Δείκτες Ανακύκλωσης για την περίπτωση 2, για το σενάριο χαμηλών τιμών

Πίνακας 5.9 : Δείκτες Ανακύκλωσης για την περίπτωση 2, σενάριο χαμηλών τιμών

Recycling_rates	Περίοδος 1 (2011-2015)	Περίοδος 2 (2016-2020)	Περίοδος 3 (2021-2025)	Περίοδος 4 (2026-2030)
wood_packaging:	0,01	0,01	0,01	0,01
paper_packaging:	0,69	0,69	0,85	0,84
glass_packaging:	0,7	0,76	0,77	0,8
metal_packaging:	0,9	0,91	0,91	0,91
plastic_packaging:	0,61	0,64	0,72	0,71

packaging_to_recycle_&_energy:	0,88	0,88	0,87	0,87
paper_total:	0,46	0,4	0,55	0,55
glass_total:	0,68	0,74	0,76	0,78
metal_total:	0,9	0,91	0,91	0,91
plastic_total:	0,58	0,61	0,7	0,69

5.2.2.3 Δείκτες Ανακύκλωσης για την περίπτωση 2, για το σενάριο υψηλών τιμών

Πίνακας 5.10 : Δείκτες Ανακύκλωσης για την περίπτωση 2, σενάριο υψηλών τιμών

Recycling_rates	Περίοδος 1 (2011-2015)	Περίοδος 2 (2016-2020)	Περίοδος 3 (2021-2025)	Περίοδος 4 (2026-2030)
wood_packaging:	0,01	0,01	0,01	0,01
paper_packaging:	0,69	0,69	0,85	0,84
glass_packaging:	0,7	0,76	0,77	0,8
metal_packaging:	0,9	0,91	0,91	0,91
plastic_packaging:	0,61	0,63	0,7	0,7
packaging_to_recycle_&_energy:	0,83	0,83	0,84	0,84
paper_total:	0,46	0,4	0,55	0,55
glass_total:	0,68	0,74	0,76	0,78
metal_total:	0,9	0,91	0,9	0,91
plastic_total:	0,58	0,6	0,68	0,67

5.2.2.4 Δείκτες Ανακύκλωσης για την περίπτωση 2, για το σενάριο minimax regret

Πίνακας 5.11 : Δείκτες Ανακύκλωσης για την περίπτωση 2, σενάριο minimax regret

Recycling_rates	Περίοδος 1 (2011-2015)	Περίοδος 2 (2016-2020)	Περίοδος 3 (2021-2025)	Περίοδος 4 (2026-2030)
wood_packaging:	0,01	0,01	0,01	0,01
paper_packaging:	0,68	0,69	0,84	0,84
glass_packaging:	0,7	0,76	0,77	0,8
metal_packaging:	0,82	0,88	0,86	0,87
plastic_packaging:	0,52	0,61	0,59	0,58
packaging_to_recycle_&_energy:	0,72	0,78	0,79	0,79
paper_total:	0,44	0,39	0,55	0,55
glass_total:	0,68	0,74	0,76	0,78
metal_total:	0,8	0,86	0,85	0,85
plastic_total:	0,48	0,57	0,55	0,55

5.2.2.5 Σχολιασμός Δεικτών Ανακύκλωσης για την περίπτωση 2

Στη δεύτερη περίπτωση γίνεται αντιληπτή η μεγαλύτερη σταθεροποίηση των αποτελεσμάτων των δεικτών μεταξύ και των τριών σεναρίων, με τη διαφοροποίηση των δεικτών packaging to recycle & energy (όπως και στην πρώτη περίπτωση) και

plastic total (μικρή μείωση), καθώς προτιμάται η ανακύκλωση των εν λόγω υλικών, από την προώθησή τους για παραγωγή ενέργειας που θα ήταν λιγότερο συμφέρουσα, ειδικά στο σενάριο των υψηλών τιμών.

5.2.3 Δείκτες Ανακύκλωσης για την περίπτωση 3

5.2.3.1 Δείκτες Ανακύκλωσης για την περίπτωση 3, για το σενάριο πιο πιθανών τιμών

Πίνακας 5.12 : Δείκτες Ανακύκλωσης για την περίπτωση 3, σενάριο πιο πιθανών τιμών

Recycling_rates	Περίοδος 1 (2011-2015)	Περίοδος 2 (2016-2020)	Περίοδος 3 (2021-2025)	Περίοδος 4 (2026-2030)
wood_packaging:	0,01	0,01	0,01	0,01
paper_packaging:	0,69	0,69	0,85	0,84
glass_packaging:	0,7	0,76	0,77	0,8
metal_packaging:	0,9	0,91	0,91	0,91
plastic_packaging:	0,61	0,63	0,7	0,69
packaging_to_recycle_&_energy:	0,83	0,83	0,84	0,84
paper_total:	0,46	0,4	0,55	0,55
glass_total:	0,68	0,74	0,76	0,78
metal_total:	0,9	0,91	0,9	0,91
plastic_total:	0,58	0,6	0,68	0,67

5.2.3.2 Δείκτες Ανακύκλωσης για την περίπτωση 3, για το σενάριο χαμηλών τιμών

Πίνακας 5.13 : Δείκτες Ανακύκλωσης για την περίπτωση 3, σενάριο χαμηλών τιμών

Recycling_rates	Περίοδος 1 (2011-2015)	Περίοδος 2 (2016-2020)	Περίοδος 3 (2021-2025)	Περίοδος 4 (2026-2030)
wood_packaging:	0,01	0,01	0,01	0,01
paper_packaging:	0,69	0,69	0,85	0,84
glass_packaging:	0,7	0,76	0,77	0,8
metal_packaging:	0,9	0,91	0,91	0,92
plastic_packaging:	0,61	0,63	0,69	0,69
packaging_to_recycle_&_energy:	0,83	0,83	0,84	0,84
paper_total:	0,46	0,4	0,55	0,55
glass_total:	0,68	0,74	0,76	0,78
metal_total:	0,9	0,91	0,91	0,91
plastic_total:	0,58	0,6	0,66	0,66

5.2.3.3 Δείκτες Ανακύκλωσης για την περίπτωση 3, για το σενάριο υψηλών τιμών

Πίνακας 5.14 : Δείκτες Ανακύκλωσης για την περίπτωση 3, σενάριο υψηλών τιμών

Recycling_rates	Περίοδος 1 (2011-2015)	Περίοδος 2 (2016-2020)	Περίοδος 3 (2021-2025)	Περίοδος 4 (2026-2030)
wood_packaging:	0,01	0,01	0,01	0,01
paper_packaging:	0,69	0,69	0,85	0,84
glass_packaging:	0,7	0,76	0,77	0,8
metal_packaging:	0,9	0,91	0,91	0,91
plastic_packaging:	0,61	0,63	0,7	0,7
packaging_to_recycle_&_energy:	0,83	0,83	0,84	0,84
paper_total:	0,46	0,4	0,55	0,55
glass_total:	0,68	0,74	0,76	0,78
metal_total:	0,9	0,91	0,9	0,91
plastic_total:	0,58	0,6	0,68	0,67

5.2.3.4 Δείκτες Ανακύκλωσης για την περίπτωση 3, για το σενάριο *minimax regret*

Πίνακας 5.15 : Δείκτες Ανακύκλωσης για την περίπτωση 3, σενάριο *minimax regret*

Recycling_rates	Περίοδος 1 (2011-2015)	Περίοδος 2 (2016-2020)	Περίοδος 3 (2021-2025)	Περίοδος 4 (2026-2030)
wood_packaging:	0,01	0,01	0,01	0,01
paper_packaging:	0,67	0,67	0,84	0,84
glass_packaging:	0,7	0,76	0,77	0,8
metal_packaging:	0,84	0,87	0,86	0,91
plastic_packaging:	0,47	0,51	0,59	0,62
packaging_to_recycle_&_energy:	0,73	0,76	0,79	0,83
paper_total:	0,43	0,36	0,55	0,55
glass_total:	0,68	0,74	0,76	0,78
metal_total:	0,82	0,86	0,85	0,91
plastic_total:	0,42	0,47	0,55	0,59

5.2.3.5 Σχολιασμός Δεικτών Ανακύκλωσης για την περίπτωση 3

Γίνεται σαφές ότι σε αυτή την περίπτωση το σύνολο των δεικτών παραμένει σταθερό, σε όλα τα σενάρια τιμών.

5.2.4 Δείκτες Ανακύκλωσης για την περίπτωση 4

5.2.4.1 Δείκτες Ανακύκλωσης για την περίπτωση 4, για το σενάριο πιο πιθανών τιμών

Πίνακας 5.16 : Δείκτες Ανακύκλωσης για την περίπτωση 4, σενάριο πιο πιθανών τιμών

Recycling_rates	Περίοδος 1 (2011-2015)	Περίοδος 2 (2016-2020)	Περίοδος 3 (2021-2025)	Περίοδος 4 (2026-2030)
wood_packaging:	0,01	0,01	0,01	0,01
paper_packaging:	0,73	0,73	0,85	0,85
glass_packaging:	0,73	0,78	0,8	0,82
metal_packaging:	0,88	0,89	0,88	0,89
plastic_packaging:	0,62	0,65	0,71	0,71
packaging_to_recycle_&_energy:	0,72	0,74	0,79	0,79
paper_total:	0,47	0,42	0,55	0,55
glass_total:	0,72	0,76	0,78	0,8
metal_total:	0,87	0,88	0,88	0,88
plastic_total:	0,59	0,62	0,69	0,69

5.2.4.2 Δείκτες Ανακύκλωσης για την περίπτωση 4, για το σενάριο χαμηλών τιμών

Πίνακας 5.17 : Δείκτες Ανακύκλωσης για την περίπτωση 4, σενάριο χαμηλών τιμών

Recycling_rates	Περίοδος 1 (2011-2015)	Περίοδος 2 (2016-2020)	Περίοδος 3 (2021-2025)	Περίοδος 4 (2026-2030)
wood_packaging:	0,01	0,01	0,01	0,01
paper_packaging:	0,73	0,73	0,85	0,85
glass_packaging:	0,73	0,78	0,8	0,82
metal_packaging:	0,88	0,89	0,88	0,89
plastic_packaging:	0,62	0,65	0,71	0,71
packaging_to_recycle_&_energy:	0,72	0,74	0,79	0,79
paper_total:	0,47	0,42	0,55	0,55
glass_total:	0,72	0,76	0,78	0,8
metal_total:	0,87	0,88	0,88	0,88
plastic_total:	0,59	0,62	0,69	0,69

5.2.4.3 Δείκτες Ανακύκλωσης για την περίπτωση 4, για το σενάριο υψηλών τιμών

Πίνακας 5.18 : Δείκτες Ανακύκλωσης για την περίπτωση 4, σενάριο υψηλών τιμών

Recycling_rates	Περίοδος 1 (2011-2015)	Περίοδος 2 (2016-2020)	Περίοδος 3 (2021-2025)	Περίοδος 4 (2026-2030)
wood_packaging:	0,01	0,01	0,01	0,01
paper_packaging:	0,73	0,73	0,85	0,85
glass_packaging:	0,74	0,78	0,8	0,82
metal_packaging:	0,87	0,89	0,88	0,89
plastic_packaging:	0,63	0,65	0,71	0,71
packaging_to_recycle_&_energy:	0,71	0,72	0,79	0,79
paper_total:	0,47	0,42	0,55	0,55
glass_total:	0,72	0,77	0,78	0,8
metal_total:	0,86	0,88	0,88	0,88
plastic_total:	0,6	0,62	0,69	0,69

5.2.4.4 Δείκτες Ανακύκλωσης για την περίπτωση 4, για το σενάριο *minimax regret*

Πίνακας 5.19 : Δείκτες Ανακύκλωσης για την περίπτωση 4, σενάριο *minimax regret*

Recycling_rates	Περίοδος 1 (2011-2015)	Περίοδος 2 (2016-2020)	Περίοδος 3 (2021-2025)	Περίοδος 4 (2026-2030)
wood_packaging:	0,01	0,01	0,01	0,01
paper_packaging:	0,72	0,73	0,85	0,85
glass_packaging:	0,73	0,78	0,8	0,82
metal_packaging:	0,86	0,89	0,88	0,89
plastic_packaging:	0,61	0,65	0,7	0,7
packaging_to_recycle_&_energy:	0,71	0,72	0,79	0,79
paper_total:	0,47	0,42	0,55	0,55
glass_total:	0,72	0,77	0,78	0,8
metal_total:	0,85	0,88	0,88	0,88
plastic_total:	0,58	0,62	0,68	0,68

5.2.4.5 Σχολιασμός Δεικτών Ανακύκλωσης για την περίπτωση 4

Οι δείκτες ανακύκλωσης στην τέταρτη περίπτωση παραμένουν γενικά σταθεροί. Πολύ μικρή είναι η μείωση που παρουσιάζει ο δείκτης *packaging to recycle & energy*, που επίσης, όπως προαναφέρθηκε, έγκειται στο γεγονός ότι συμφέρει το μοντέλο να ανακυκλώνει τα εν λόγω υλικά, αντί να τα προωθεί για παραγωγή ενέργειας.

5.3 Αποτελέσματα Τεχνολογιών και Δυναμικότητας Μονάδων

Στους ακόλουθους πίνακες παρουσιάζονται κατά περίπτωση οι βέλτιστες λύσεις, για κάθε σενάριο, όσον αφορά συνδυασμούς μονάδων αντίστοιχων τεχνολογιών και συγκεκριμένων δυναμικοτήτων (σε τόνους το χρόνο, tn/year), όπως αυτές εμφανίστηκαν, κατά την επίλυση.

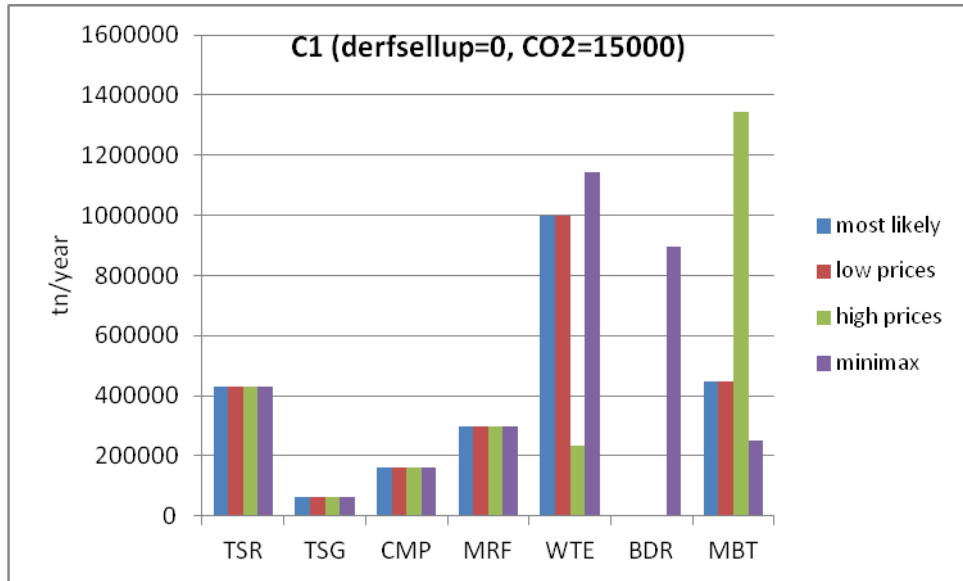
5.3.1 Αποτελέσματα Τεχνολογιών και Δυναμικότητας Μονάδων, για την περίπτωση 1

Πίνακας 5.20 : Πίνακας Τεχνολογιών και Δυναμικότητας Μονάδων, περίπτωση 1 (tn/year)

	most likely	low prices	high prices	minimax
tec1				
TSR1	428950	428950	428950	431300
TSG1	61148	61148	61148	61148
CMP1	160000	160001	160001	
CMP2				160001
AND5				
MRF1	228659	228659	228659	296350
MRF3	67691	67691	67691	
WTE1	1000000	1000000	236037	
WTE2				421614
WTE3				722241
BDR1				667944
BDR2				230000
MBT1	250000	250000	250000	250000
MBT6			300000	
MBT10	197139	196377	595852	
MBT12				
MBT13				
MBT16			200000	
LDF1	6176899	6180867	10332576	13477919
LDF2	164800	164804	28091	355336
TS	500000	500000	500000	500000

Με βάση τον παραπάνω πίνακα, κοινές παρουσιάζονται οι τεχνολογίες μεταξύ των δύο πρώτων σεναρίων στο σύνολό τους. Σταθερές, επίσης, παρατηρούνται και στα τέσσερα σενάρια οι δυναμικότητες προσωρινής αποθήκευσης ανακυκλώσιμων εκτός γυαλιού (TSR1), προσωρινής αποθήκευσης ανακυκλώσιμου γυαλιού (TSG1) και TS. Ως προς την κομποστοποίηση με ανοικτού τύπου σειράδια (CMP1), που παραμένει σταθερής δυναμικότητας και προτείνεται η χρήση της στα τρία πρώτα σενάρια, στο minimax regret προτείνεται εναλλακτικά η χρήση κομποστοποίησης με κλειστού τύπου

σειράδια (CMP2) ίδιας δυναμικότητας. Η τυπική μονάδα ανάκτησης υλικών με χαμηλή μηχανική ένταση (Χειροδιαλογή) (MRF1) παραμένει σταθερή για τα τρία πρώτα σενάρια και αυξάνεται για το τέταρτο, ενώ η τυπική μονάδα ανάκτησης υλικών με υψηλή μηχανική ένταση -χρήση μαγνητικού διαχωριστή, διαχωριστή με επαγωγικά ρεύματα και διαχωριστή αισθητήρων υπερύθρων για πλαστικά (MRF3) παραμένει, επίσης, σταθερή για τα τρία πρώτα σενάρια, όμως δεν εμφανίζεται στο τρίτο. Η Θερμική επεξεργασία αποβλήτων με ανάκτηση ενέργειας -κλίβανος με κυλιόμενες εσχάρες και παραγωγή μόνο ηλεκτρικής ενέργειας (WTE1) μειώνεται από τα δύο πρώτα σενάρια στο τρίτο, ενώ δε συνιστάται στο τέταρτο, στο οποίο συνιστώνται θερμική επεξεργασία αποβλήτων με ανάκτηση ενέργειας- κλίβανος με κυλιόμενες εσχάρες και συμπαραγωγή ηλεκτρισμού θερμότητας (ΣΗΘ) (WTE2) και θερμική επεξεργασία αποβλήτων με ανάκτηση ενέργειας- κλίβανος ρευστοποιημένης κλίνης και παραγωγή μόνο ηλεκτρικής ενέργειας (WTE3). Επιπρόσθετα, στο τέταρτο σενάριο μόνο εμφανίζονται Βιολογική Ξήρανση με αναγεννητική θερμική οξείδωση, αεροδιαχωρηστής, κόσκινα δύο βαθμίδων, μαγνητικός διαχωριστής, διαχωριστής με επαγωγικά ρεύματα (BDR1) και βιολογική Ξήρανση με βιοφίλτρο, κόσκινα δύο βαθμίδων, μαγνητικός διαχωριστής, διαχωριστής με επαγωγικά ρεύματα (BDR2). Όσον αφορά τη μηχανική βιολογική επεξεργασία, σταθερή και στα τέσσερα σενάρια εμφανίζεται η Βιολογική Μηχανική Επεξεργασία- βαλλιστικός διαχωριστής, κόσκινα δύο βαθμίδων, μαγνητικός διαχωριστής, διαχωριστής με επαγωγικά ρεύματα και διαχωριστής με αισθητήρες υπερύθρων-κομποστοποίηση κλειστού τύπου σειράδια (MBT1), μόνο στο σενάριο υψηλών τιμών εμφανίζονται Βιολογική Μηχανική Επεξεργασία- βαλλιστικός διαχωριστής, κόσκινα δύο βαθμίδων, μαγνητικός διαχωριστής, διαχωριστής με επαγωγικά ρεύματα και διαχωριστής με αισθητήρες υπερύθρων - ολοκληρωμένη ξηρή αερόβια χώνευση και κομποστοποίηση με κλειστού τύπου σειράδια (MBT6) και Βιολογική Μηχανική Επεξεργασία- κόσκινα δύο βαθμίδων, μαγνητικός διαχωριστής, διαχωριστής με επαγωγικά ρεύματα - ξηρή αερόβια χώνευση και κομποστοποίηση με κλειστού τύπου σειράδια (MBT16), ενώ αυξάνεται στο τρίτο σενάριο, εκλείποντας από το τέταρτο η βιολογική Μηχανική Επεξεργασία- βαλλιστικός διαχωριστής, κόσκινα δύο βαθμίδων, μαγνητικός διαχωριστής, διαχωριστής με επαγωγικά ρεύματα - ξηρή αναερόβια χώνευση και κομποστοποίηση κλειστού τύπου σειράδια. Παρατηρείται μεγάλος βαθμός ανάκτησης λόγω των διαφορετικών τεχνολογιών μηχανικής επεξεργασίας που προτείνονται. Τέλος, η δυναμικότητα της μονάδας υγειονομικής ταφής (LDF1) αυξάνεται και μεγιστοποιείται στο τέταρτο σενάριο, κατ' αντιδιαστολή με την LDF2 που αφορά τα επικίνδυνα υλικά και μειώνεται στα 2 τελευταία σενάρια.



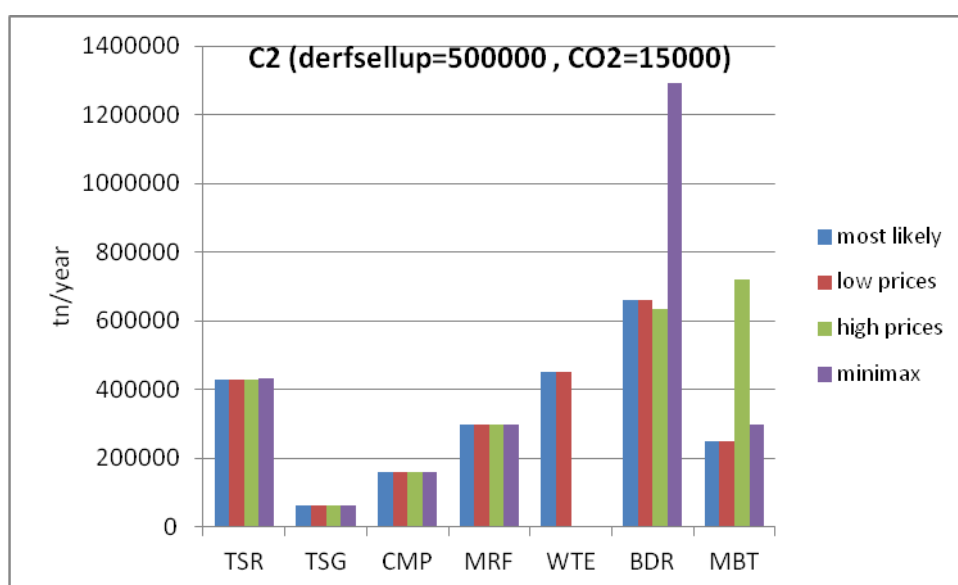
Διάγραμμα 5.1 : Δυναμικότητα μονάδων, περίπτωση 1

5.3.2 Αποτελέσματα Τεχνολογιών και Δυναμικότητας Μονάδων, για την περίπτωση 2

Πίνακας 5.21 : Πίνακας Τεχνολογιών και Δυναμικότητας Μονάδων, περίπτωση 2 (tn/year)

	most likely	low prices	high prices	minimax
tec2				
TSR1	428950	428950	428950	431300
TSG1	61148	61148	61148	61148
CMP1	160000	160001	160001	160001
CMP2				
AND5				
MRF1	228659	228659	228659	296350
MRF3	67691	67691	67691	
WTE1	452007	452007		
WTE2				
WTE3				
BDR1				832134
BDR2	661866	660097	635253	460000
MBT1	250000	250000	250000	297600
MBT6				
MBT10			397133	
MBT12			75000	
MBT13				
LDF1	5477169	5544761	7205743	13449327
LDF2	76299	74111		
TS	500000	500000	500000	500000

Όμοια αποτελέσματα με την πρώτη περίπτωση έχουμε, συνολικά, στις δυναμικότητες διεργασιών TSR1, TSG1, MRF1, MRF3, TS. Σταθερό παραμένει και το CMP1 και στα 4 σενάρια (ελλείπει cmp2 στο τέταρτο). Παρατηρείται η ομοιότητα στα αποτελέσματα ως προς τις τεχνολογίες των δύο πρώτων σεναρίων. Αποτέλεσμα WTE εμφανίζεται μόνο στα δύο πρώτα σενάρια (WTE1) και όχι στα δύο τελευταία, καθώς υπάρχει ο περιορισμός για το παραγόμενο καύσιμο, το οποίο δε διατίθεται προς πώληση. Ως προς τη βιοζήρανση, εμφανίζει BDR1 μόνο στο τέταρτο σενάριο (ύπαρξη δύο βιοξηραντήρων), καθώς το BDR2 είναι σταθερό στα τρία πρώτα σενάρια, για να μειωθεί στο τρίτο. Το MBT1 παραμένει σταθερό στα τρία πρώτα σενάρια, για να αυξηθεί στο τέταρτο, ενώ μόνο για τις υψηλές τιμές εμφανίζονται MBT10, MBT12. Το LDF1 αυξάνεται κατά το τέταρτο σενάριο, ενώ το LDF2 εμφανίζεται μόνο στα δύο πρώτα, καθώς στα άλλα δεν έχουμε WTE.



Διάγραμμα 5.2 : Δυναμικότητα μονάδων, περίπτωση 2

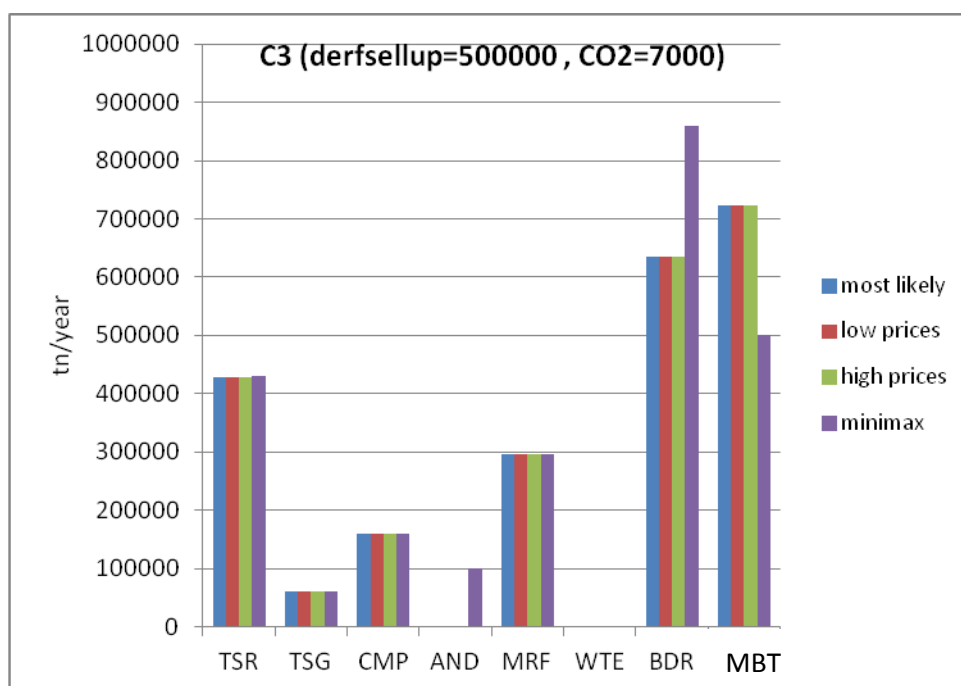
5.3.3 Αποτελέσματα Τεχνολογιών και Δυναμικότητας Μονάδων, για την περίπτωση 3

Πίνακας 5.22 : Πίνακας Τεχνολογιών και Δυναμικότητας Μονάδων, περίπτωση 3 (tn/year)

	most likely	low prices	high prices	minimax
tec3				
TSR1	428950	428950	428950	431300
TSG1	61148	61148	61148	61148
CMP1	160001	160001	160001	160001
CMP2				
AND5				100325
MRF1	228659	228659	228659	296350
MRF3	67691	67691	67691	
WTE1				

WTE2				
WTE3				
BDR1				858871
BDR2	635253	635253	635253	
MBT1	250000	250000	250000	500000
MBT6				
MBT10	397133	397133	397133	
MBT12	75000	75000	75000	
MBT13				
LDF1	7235322	7417450	7205743	11370350
LDF2				
TS	500000	500000	500000	500000

Τα αποτελέσματα παραμένουν ίδια και σε αυτήν την περίπτωση όσον αφορά τα TSR1, TSG1, CMP1, MRF1, MRF3, TS. Έχουμε αποτέλεσμα ως προς την τεχνολογία στο AND5 μόνο στο minimax regret, όπως και στο BDR1, ενώ τα τρία πρώτα σενάρια δίνουν αποτελέσματα στο BDR2 (παρεμφερή αυτών της 2^{ης} περίπτωσης). Το MBT1 παραμένει σταθερό στα τρία πρώτα σενάρια (όπως και στις άλλες περιπτώσεις), όμως διπλασιάζεται στο minimax regret. Σταθερά αποτελέσματα (όμοια με το σενάριο υψηλών τιμών της 2^{ης} περίπτωσης) λαμβάνουμε και για τα 3 πρώτα σενάρια, εκτός minimax regret, για τα MBT10, MBT12. Τέλος το LDF1 αυξάνεται σημαντικά στο minimax regret σε σχέση με τα τρία πρώτα σενάρια.



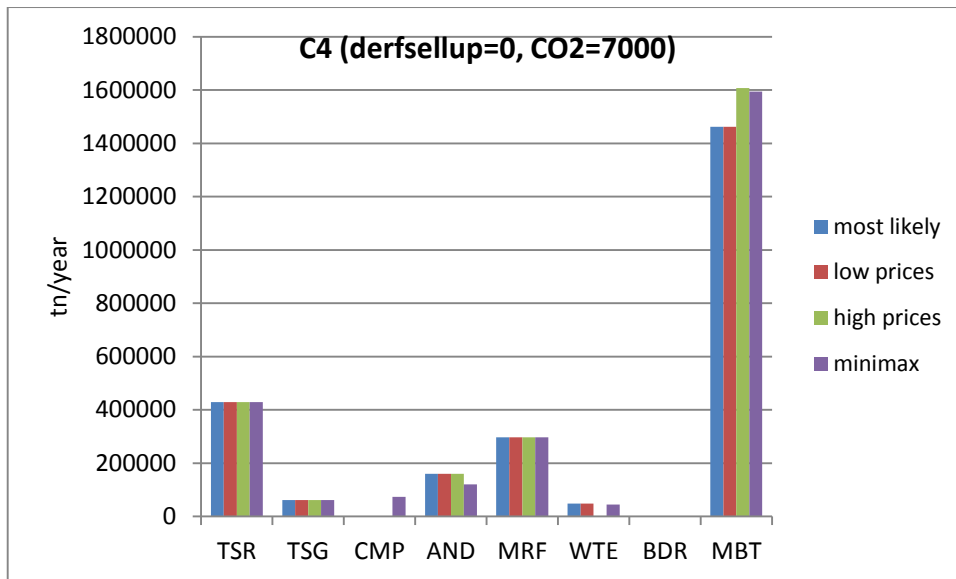
Διάγραμμα 5.3 : Δυναμικότητα μονάδων, περίπτωση 3

5.3.4 Αποτελέσματα Τεχνολογιών και Δυναμικότητας Μονάδων, για την περίπτωση 4

Πίνακας 5.23 : Πίνακας Τεχνολογιών και Δυναμικότητας Μονάδων, περίπτωση 4 (tn/year)

	most likely	low prices	high prices	minimax
tec4				
TSR1	428950	428950	428950	428950
TSG1	61148	61148	61148	61148
CMP1				73754
CMP2				
AND5	160001	160001	160001	120000
MRF1	228659	228659	228659	296350
MRF3	67691	67691	67691	
WTE1				
WTE2				44500
WTE3	48498	48498		
BDR1				
BDR2				
MBT1	250000	250000	250000	250000
MBT6				
MBT10				
MBT12				
MBT13	1212046	1212046	957738 400000	1344028
LDF1	15188195	15188195	15700694	15888912
LDF2	15372	15372		5000
TS	500000	500000	500000	500000

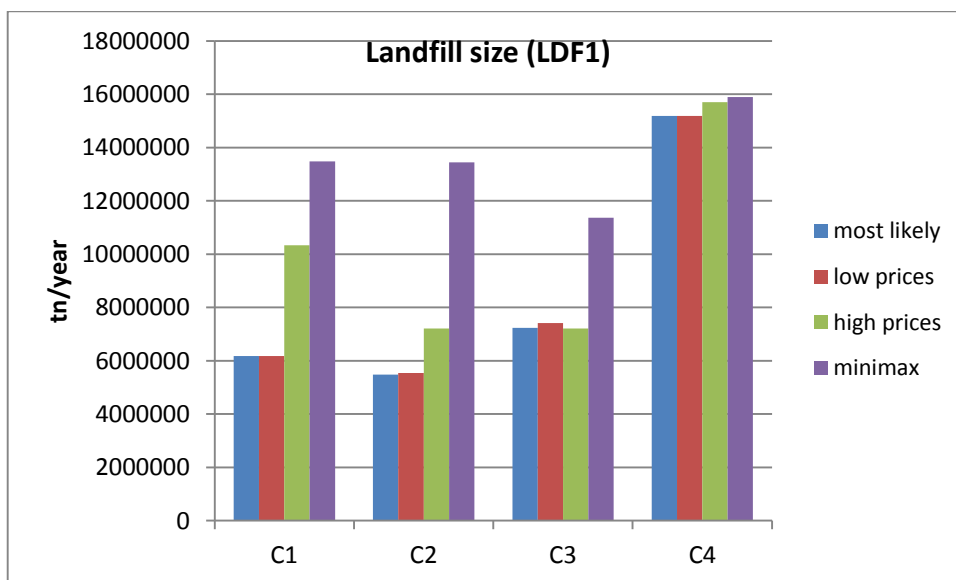
Όμοια αποτελέσματα με όλες τις περιπτώσεις λαμβάνουμε ως προς τα TSR1 (μικρή μείωση στο τέταρτο σενάριο που εξισώνει τη δυναμικότητα με τα άλλα τρία), TSG1, TS, ενώ στα ίδια επίπεδα με τις προηγούμενες περιπτώσεις (εξαιρουμένου του διπλασιασμού του στο minimax της προηγούμενης περίπτωσης) παραμένει στο σύνολο των σεναρίων το MBT1, ενώ το MBT13 εμφανίζει δυναμικότητες και στα 4 σενάρια. Τα αποτελέσματα MRF1, MRF3 παραμένουν ακριβώς ίδια σε τιμή δυναμικότητας και σε εμφάνιση ανά σενάριο με την προηγούμενη περίπτωση. Ως προς το compost, παρατηρούμε αποτέλεσμα μόνο στο minimax regret στο CMP1, όμως στο AND5 (συναφής τεχνολογία με το CMP) τα αποτελέσματα εμφανίζονται και στα τέσσερα σενάρια, σταθερά στα τρία πρώτα με μείωση στο τέταρτο σενάριο. Αναφορικά με τα ενεργειακά, αποτελέσματα παρατηρούμε μόνο στο minimax για το WTE2 και στο πιο πιθανό σενάριο, καθώς και σε αυτό των χαμηλών τιμών για το WTE3. Αυξημένη τιμή, ως προς τη δυναμικότητα, σε σχέση με τις άλλες περιπτώσεις εμφανίζεται σε όλα τα σενάρια για το LDF1, ενώ το LDF2 είναι χαμηλό, ως προς τη δυναμικότητα, για τα δύο πρώτα σενάρια και ελαχιστοποιείται στο τέταρτο. Παρατηρούμε την μεγάλη δυναμικότητα μονάδας υγειονομικής ταφής, λύση στην οποία οδηγούμαστε, καθώς δεν είναι δυνατή η καύση όλου του παραγόμενου καυσίμου, ενώ υπάρχει και ο περιορισμός στο ύψος των συνολικών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα.



Διάγραμμα 5.4 : Δυναμικότητα μονάδων, περίπτωση 4

5.3.5 Σχολιασμός Αποτελεσμάτων Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων και Υπολειμμάτων

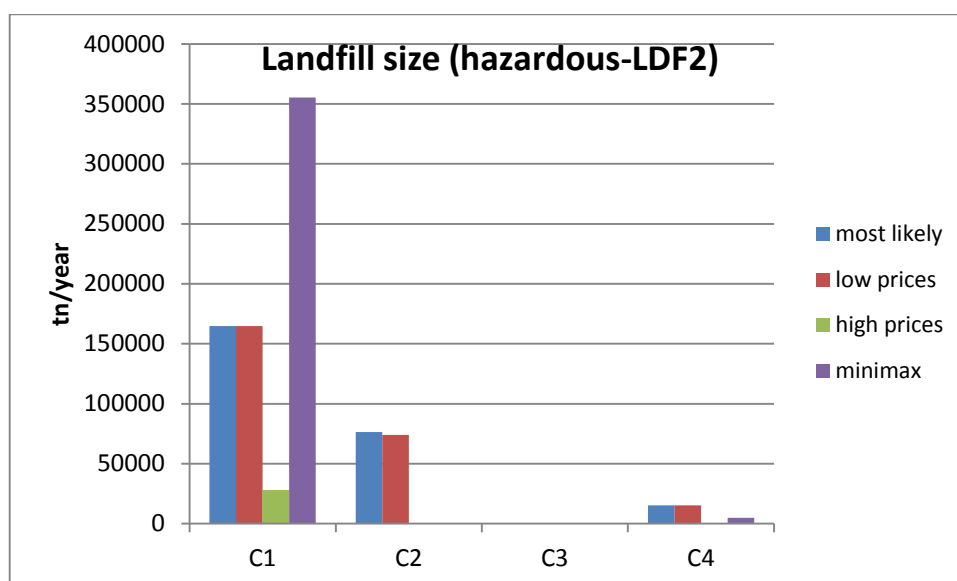
Στα ακόλουθα διαγράμματα παρατίθενται τα αποτελέσματα αποτελέσματα που αφορούν την υγειονομική ταφή των απορριμμάτων. Η ροή εισόδου της υγειονομικής ταφής (Landfill), όπως προαναφέρθηκε διαχωρίζεται σε δύο ρεύματα βάσει του αν περιέχει ή όχι επικίνδυνα υλικά (hazardous materials), το LDF2 και το LDF1, αντίστοιχα.



Διάγραμμα 5.5 : Δυναμικότητα μονάδων Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων και Υπολειμμάτων

Στο παραπάνω διάγραμμα αποτυπώνεται η δυναμικότητα των μονάδων υγειονομικής ταφής απορριμμάτων και υπολειμμάτων που δε φέρουν επικίνδυνα υλικά (LDF1), για

κάθε σενάριο και κάθε περίπτωση συνολικά. Παρατηρούμε ότι τα αποτελέσματα του μοντέλου για τις τρεις πρώτες περιπτώσεις είναι αρκετά συναφή, ενώ έχουμε αισθητή αύξηση (και για τα 4 σενάρια) δυναμικότητας στην τέταρτη περίπτωση, γεγονός που οφείλεται στο διπλό περιορισμό, ως προς το σύνολο του παραγόμενου προς πώληση καυσίμου και των συνολικών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Ως προς τα σενάρια τιμών, παρατηρούμε πως τα δύο πρώτα, των πιο πιθανών και χαμηλών τιμών βρίσκονται κοντά, ενώ πιο αυξημένη είναι η δυναμικότητα για το τρίτο, καθώς αυτό συμφέρει το μοντέλο στις υψηλές τιμές. Ωστόσο, η μέγιστη δυναμικότητα, και στις 4 περιπτώσεις, παρουσιάζεται στις λύσεις του *minimax regret*, καθώς λόγω ευελιξίας έχουμε περισσότερες τεχνολογίες και μονάδες, που συνεπάγονται περισσότερη ροή προς την υγειονομική ταφή.



Διάγραμμα 5.5 : Δυναμικότητα μονάδων Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων και Υπολειμμάτων επικίνδυνων υλικών

Στο διάγραμμα που προηγήθηκε παρουσιάζεται η δυναμικότητα των μονάδων υγειονομικής ταφής απορριμμάτων και υπολειμμάτων που φέρουν επικίνδυνα υλικά (LDF2), για κάθε σενάριο και κάθε περίπτωση συνολικά. Παρατηρούμε, πως η μέγιστη δυναμικότητα παρουσιάζεται στην περίπτωση των χαλαρών περιορισμών (1^η), ενώ η τεχνολογία δεν εμφανίζεται σε δύο σενάρια της περίπτωσης 2, σε ένα της 4^{ης} και καθόλου στην 3^η. Αυτό συμβαίνει καθώς σε αυτές τις λύσεις δε συνιστώνται τεχνολογίες WTE που τροφοδοτούν την LDF2.

5.3.6 Σχολιασμός Αποτελεσμάτων *minimax regret* ως προς Τεχνολογίες και Δυναμικότητα Μονάδων

Γενικότερα στις λύσεις τους παρατηρούμε την ύπαρξη περισσότερων τεχνολογιών, καθώς επιδιώκεται μεγαλύτερη ευελιξία, δεδομένων των συνθηκών αβεβαιότητας, ενώ όσο λιγότεροι περιορισμοί υπάρχουν για το κάθε σενάριο, αυξάνονται οι βαθμοί ελευθερίας. Στο πρώτο σενάριο έχουμε το μεγαλύτερο πλήθος τεχνολογιών. Για το τέταρτο σενάριο, όπου και έχουμε τους περισσότερους

περιορισμούς, παρατηρούμε σταθερά αποτελέσματα ως προς τα TSR1(με μικρή μείωση στην τέταρτη περίπτωση), TSG1, MRF1, TS και στις τέσσερις περιπτώσεις. Κατά τη δεύτερη και την τρίτη περίπτωση το CMP1 είναι ίσης δυναμικότητας, για να μειωθεί στο μισό στην τέταρτη περίπτωση, ενώ στην πρώτη εμφανίζεται μόνο CMP2 (ίσης δυναμικότητας με το CMP1). AND5 εμφανίζεται μόνο στις περιπτώσεις τρία και τέσσερα (κοινός περιορισμός στο όριο εκπεμπόμενου διοξειδίου του άνθρακα), ενώ WTE2 μόνο στις ένα και τέσσερα και WTE3 μόνο στην πρώτη. Ως προς την BDR1 παρουσιάζεται στις τρεις πρώτες με μέγιστη τιμή δυναμικότητας στην τρίτη, ενώ η BDR2 στις δύο πρώτες με ελάχιστη στην πρώτη. Το MBT1 έχει ίδια τιμή στις περιπτώσεις ένα και τέσσερα, για να αυξηθεί λίγο στη δεύτερη και να διπλασιαστεί στην τρίτη. Τέλος το LDF1 παρουσιάζεται και στις τέσσερις περιπτώσεις με μικρές αποκλίσεις, ενώ το LDF2 μόνο στην πρώτη και στην τέταρτη, όπου και ελαχιστοποιείται.

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σε ένα πρόβλημα με έντονη πολυπλοκότητα, όπως αυτό της διαχείρισης Αστικών Στερεών Αποβλήτων (ΑΣΑ), και διαστάσεις περιβαλλοντικές, οικονομικές και τεχνολογικές, επιχειρήθηκε η σχεδίαση και ανάπτυξη ενός συστήματος διαχείρισης ΑΣΑ, με χρήση μαθηματικού προγραμματισμού. Η εφαρμογή του πραγματοποιήθηκε για την περιοχή της Αττικής, δηλαδή σε μία πόλη περίπου 5.000.000 κατοίκων, σε ορίζοντα 20ετίας, με ελληνικά χαρακτηριστικά σε ότι αφορά στην ποσότητα και στη σύνθεση των απορριμμάτων, ενώ επιτεύχθηκε δομική (είδος διεργασιών), διαστασιολογική (χωρητικότητα των μονάδων) και λειτουργική (ετήσιες ροές) βελτιστοποίηση σε ικανοποιητικό βαθμό.

Το πρόβλημα διέπεται από αβεβαιότητα, ως προς τα σενάρια τιμών, βάσει των οποίων επιχειρήθηκε η αντιμετώπιση του (καθώς αναφερόμαστε σε ορίζοντα 20ετίας), γεγονός που κατέστησε απαραίτητη την εφαρμογή του κριτηρίου *minimax regret* για τη διαχείρισή της. Σημαντικότερο συμπέρασμα, συνεπώς, είναι η συμβολή του *minimax regret* σε συνθήκες αβεβαιότητας, κάτι που γίνεται αντιληπτό στις λύσεις του με τη μεγαλύτερη ευελιξία και ευρύτητα, ως προς την επιλογή τεχνολογιών, να επιτυγχάνεται.

Η βελτιστοποίηση πραγματοποιήθηκε με οικονομικό κριτήριο, μέσω της ελαχιστοποίησης της αντικειμενικής συνάρτησης που προσδιορίζει την Καθαρά Παρούσα Αξία του κόστους (ΚΠΑ). Το χαμηλότερο κόστος παρουσιάστηκε στην περίπτωση των πιο χαλαρών περιορισμών, ως προς το όριο του προς πώληση παραγόμενου καυσίμου και των συνολικών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (περίπτωση 2), ενώ το υψηλότερο στην περίπτωση των αυστηρών περιορισμών (περίπτωση 4), όπου το μοντέλο κατέφυγε σε λύσεις πιο φιλικές προς το περιβάλλον, αλλά πιο ασύμφορες. Σημειώνεται ότι μεγαλύτερη απόκλιση από το *minimax regret* είχε η πρώτη περίπτωση. Όσο αυστηρότεροι είναι οι περιορισμοί, τόσο λιγότεροι οι βαθμοί ελευθερίας του μοντέλου.

Ως προς τους δείκτες ανακύκλωσης, αξιοσημείωτο είναι ότι κατά την 1^η περίπτωση, έχουμε αύξηση στο σενάριο των υψηλών τιμών, καθώς η υψηλότερη τιμή των ανακυκλώσιμων οδηγεί το σύστημα σε υψηλότερους ρυθμούς ανάκτησης, αφού αυτό το συμφέρει. Από την άλλη, η μείωση των ποσοτήτων από το *packaging* που προωθούνται για παραγωγή ενέργειας συνηγορεί επίσης στην επιλογή του συστήματος σε εκ νέου ανακύκλωση, όταν οι υψηλές τιμές πώλησης ανακυκλώσιμων το «επιτάσσουν», παρά την προώθηση για παραγωγή ενέργειας. Προτιμάει δηλαδή το σύστημα να εξαντλεί τη δυνατότητα ανακύκλωσης παρά να χρησιμοποιεί για παραγωγή ενέργειας τα αντίστοιχα υλικά.

Όσον αφορά τις τεχνολογίες και τη δυναμικότητα των μονάδων, κατά την πρώτη περίπτωση παρατηρούνται σταθερά αποτελέσματα στα δύο πρώτα σενάρια τιμών (πιο πιθανές και χαμηλές), τη στιγμή που σημαντική διαφοροποίηση αποτελεί ότι στις υψηλές τιμές προτιμάται η μηχανική βιολογική επεξεργασία και κομποστοποίηση (MBT), έναντι τις θερμικής επεξεργασίας των αποβλήτων για ανάκτηση ενέργειας (WTE), ενώ στο *minimax regret* συμβαίνει ακριβώς το αντίθετο. Στην περίπτωση 2, κυρίαρχη τεχνολογία είναι η βιολογική ξήρανση (BDR), ειδικά στις λύσεις του *minimax regret*, ενώ αυξημένη είναι η δυναμικότητα της μηχανικής

βιολογικής επεξεργασίας και κομποστοποίησης στις υψηλές τιμές, απουσία θερμικής επεξεργασίας αποβλήτων και στα δύο αυτά σενάρια. Στην 3^η περίπτωση επιλέγεται συνδυασμός βιολογικής ζήρανσης (μέγιστη δυναμικότητα στο minimax regret) και μηχανικής βιολογικής επεξεργασίας (μέγιστη στις υψηλές τιμές), ενώ δε συνιστάται καθόλου θερμική επεξεργασία. Τέλος, στην περίπτωση των πιο αυστηρών περιορισμών (4^η), κυριαρχεί η μηχανική βιολογική επεξεργασία, με όλες της άλλες σαφώς μειωμένες, απουσία θερμικής επεξεργασίας και αποξήρανσης. Η συμβατική υγειονομική ταφή (για μη επικίνδυνα φορτία απορριμμάτων και υπολειμμάτων - LDF1) υπάρχει πάντα κι αυξάνεται η δυναμικότητά της στις λύσεις του minimax regret ενώ η υγειονομική για τα επικίνδυνα φορτία (LDF2), παρουσιάζεται όπου εμφανίζεται και θερμική επεξεργασία.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Αγγλική βιβλιογραφία

Athanasios C. Karmperis, Konstantinos Aravossis, Ilias P. Tatsiopoulos, Anastasios Sotirchos, Decision support models for solid waste management: Review and game – theoretic approaches, 2013

Gian Andrea Blengini, Moris Fantomi, Mirko Busto, Giuseppe Genon, Maria Chiara Zanetti, Participatory approach, acceptability and transparency of waste management LCAs: Case studies of Torino and Cuneo, 2012

J. Sunberg, P. Gipperthand C.O Wene, A System's approach to municipal solid waste management: a pilot study of Goteborg, January 1993

Kouvelis P, Yu G, Robust Discrete Optimization and Its Applications, Springer-Science+Business Media, B.Y., 1997

Mavrotas G., Xidonas P., Doukas H., Psarras J., Constructing robust efficient frontiers for portfolio selection under various future return scenarios, 2013

McDougall F., White P., Franke M., Hindle P., Integrated solid waste management: a Life Cycle Inventory, Blackwell Publishing, 2001

M.D.Bovea, V. Ibanez- Fores, A. Gallardo, F.J. Colomer – Mendoza, Environmental assessment of alternative municipal solid waste management strategies. A Spanish case study, 2010

Rachal E. Marshall, Khosrow Farahbakhsh, Systems approaches to integrated solid waste management in developing countries, January 2013

Schrijver A., Combinatorial Optimization, Polyhedra and Efficiency (vol. A), Springer, New York, 2003

Smith A., Brown K., Ogilvie S., Rushton K., Bates J., Waste Management Operations and Climate Change, final report to the European Commission, DG Environment, July 2001

Tchobanoglous G., Theisen H., Vigil S.A., Integrated solid waste management: Engineering principles and Management issues, McGraw-Hill International Editions, 1993

Warmer Bulletin, Anaerobic Digestion –Systems and Markets, July 1998

Ελληνική βιβλιογραφία

Βλυσίδης Απόστολος Καθηγητής ΕΜΠ, Περιβαλλοντική Μηχανική Μέρος ΙΙΙ: Στερεά Απόβλητα, εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα 2010

Γεωργίου Ν. Παρασκευάς, Ανάπτυξη μοντέλου μαθηματικού προγραμματισμού και κατασκευή πληροφοριακού συστήματος υποστήριξης αποφάσεων για το μακροχρόνιο

ενεργειακό σχεδιασμό του ελληνικού συστήματος ηλεκτροπαραγωγής, ΕΜΠ, Αθήνα 2010

Γρηγοροπούλου Ε., Λυμπεράτος Γ., Χαλουλάκου Α., Βλυσίδης Α., Περιβαλλοντική Μηχανική, εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα 2013

Διακουλάκη Δ., Ανάλυση Συστημάτων και Λήψη Αποφάσεων, ΕΜΠ, Αθήνα 2003

Καρβούνης Σ., Γεωργακέλλος Δ., Διαχείριση του Περιβάλλοντος Επιχειρήσεις και Βιώσιμη Ανάπτυξη, εκδόσεις Αθ. Σταμούλης, Αθήνα 2003

Κατσή Χριστίνα, Σχεδιασμός διαχείρισης Αστικών Στερεών Αποβλήτων (ΑΣΑ) με τη χρήση Πολυκριτηριακού Μαθηματικού Προγραμματισμού, Αθήνα 2012

Κοινή Υπουργική Απόφαση (ΚΥΑ) 113944/ΦΕΚ 1016/17-11-1997 (Γενικές Κατευθύνσεις της Πολιτικής Διαχείρισης των Στερεών Αποβλήτων)

Κοινή Υπουργικά Απόφαση (ΚΥΑ) 14312/1302/ΦΕΚ 723/9-6-2000

Κοινοτική οδηγία 99/31 (Περί Υγειονομικής Ταφής των Αποβλήτων)

Λοϊζίδου Μαρία Καθηγήτρια ΕΜΠ, Στερεά Απόβλητα, εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα 2006

Μαυρωτάς Γ. Πολυκριτηριακός Προγραμματισμός σε Συνθήκες Αβεβαιότητας, Κατασκευή Συστήματος Υποστήριξης αποφάσεων και Εφαρμογή στον Ενεργειακό Σχεδιασμό, ΕΜΠ, Αθήνα 2000

Μυρωδιά Βασιλική, Ο Μαθηματικός Προγραμματισμός στη διαχείριση Στερεών Απορριμμάτων (ΑΣΑ): Η περίπτωση της Αττικής, Αθήνα 2014

Παναγιωτακόπουλος Δ., Βιώσιμη Διαχείριση Αστικών Αποβλήτων, Εκδόσεις Συγός, 2002

Σίσκος Γ., Γραμμικός προγραμματισμός, εκδόσεις Νέων Τεχνολογιών, Αθήνα 1998

Σκορδίλης Α., Η θερμική Επεξεργασία Απορριμμάτων και RDF, εκδόσεις Κόσμος 1997

Τσιλέμου Κ., Κοστολόγηση Εγκαταστάσεων Ανάκτησης Υλικών και Κομποστοποίησης Στερεών Αποβλήτων, Μεταπτυχιακή Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, ΔΠΘ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Παράρτημα Α1

\$TITLE WASTE MANAGEMENT

\$eolcom //

SETS

I 34 waste ingredients
/ORFW,ORGP,OROT,LWRB,LWLT,LWWP,LWOW,LWTX,PAPP,PACB,PAPR,PAOT,GLMX,GLOT,GLGR,GLBR,GLCB,
FEPA,FEOT,ALPC,ALOA,ALFL,PLMX,PLOT,PLBG,PLPF,PLOF,PLPT,PLPV,PL
OD,OTDC,OTIN,OT10,OTOT/

*subsets of recycled and other set of materials involved in legislation

ORG(I) organics /ORFW,ORGP,OROT/

PAP(I) paper /PAPP,PACB/

GLS(I) glass / GLMX,GLGR,GLBR,GLCB/

MET(I) metal - ferrous and aluminum / FEPA,ALPC/

PLA(I) plastic / PLMX,PLBG,PLPF,PLPT,PLPV/

PAPTOT(I) paper total /PAPP,PACB,PAPR,PAOT/

GLSTOT(I) glass total /GLMX,GLOT,GLGR,GLBR,GLCB/

METTOT(I) metal - ferrous and aluminum total /FEPA,FEOT,ALPC,ALOA,ALFL/

PLATOT(I) plastic total/PLMX,PLOT,PLBG,PLPF,PLOF,PLPT,PLPV,PLOD/

RECYC(I) recyclables

/LWWP,PAPP,PACB,GLMX,GLGR,GLBR,GLCB,FEPA,ALPC,PLMX,PLBG,PL
F,PLPT,PLPV/

* subsets related to landfill

LDFOOD(I) food that is going to landfill /ORFW, OROT/

LDFPAP(I) paper that is going to landfill /PAPP,PACB,PAPR,PAOT/

LDFLWT(I) wood going to landfill /LWWP,LWOW/

BDEGR(I) biodegradable organics going to landfill use for the 1995 constraint
/ORFW,ORGP,OROT,LWWP,PAPP,PACB,PAPR,PAOT/

LDFDOC 5(x2) categories for landfill CH4 calculation

/FUD1,FUD2,GRD1,GRD2,PAP1,PAP2,WDS1,WDS2,TXT1,TXT2/

//,NAP1,NAP2/

T time period /1*4/

J type of bins /BGL, BMT, BPL, BPA, BRC, BOR, BMW/

P processes /TSR1, TSG1, CMP1*CMP5, AND1*AND5, MRF1*MRF3,
WTE1*WTE4, BDR1*BDR2, MBT1*MBT18, LDF1*LDF2, TS/

TSR(P) Temporary storage paper-plastic-metal /TSR1/

TSG(P) Temporary storage glass /TSG1/

CMP(P) Composting /CMP1*CMP5/

AD(P) Anaerobic digestion /AND1*AND5/

MRF(P) Material Recycling Facilities for comingled /MRF1*MRF3/

WTE(P) Waste to Energy /WTE1*WTE4/

BD(P) Biodrying /BDR1*BDR2/

MBT(P) Mechanical and Biological Treatment /MBT1*MBT18/

LDF(P) Landfill /LDF1*LDF2/

PONLYBIN(P) processes that receive input only from bins /TSR1, TSG1, CMP1*CMP5, AND1*AND5, TS/
 OUTWTE types of output from process WTE /RECY, OCOMP, STOR, DERF, BIOG, LOSS, RESD, RESDH/
 O(OUTWTE) types of output from processes /RECY, OCOMP, STOR, DERF, BIOG, LOSS, RESD/
 EMS emissions /CO2,CH4,N2O,NH3,PM10,SOX,NOX,NMVOC,PCDD/
 TFL fuels in transportation /DSL, NG/

K objective functions /1*2/

S scenarios /1*3/

alias(T,TT)

alias(I,II)

alias(S,SS)

;

parameter bin(J) configuration of bins

/

\$include C:\gams\waste\attica3\bin_j.txt

/

;

table lnk(P,J) links of bins to processes

	BGL	BMT	BPL	BPA	BRC	BOR	BMW
TSR1	0	1	1	1	0	0	0
TSG1	1	0	0	0	0	0	0
CMP1	0	0	0	0	0	1	0
CMP2	0	0	0	0	0	1	0
CMP3	0	0	0	0	0	1	0
CMP4	0	0	0	0	0	1	0
CMP5	0	0	0	0	0	1	0
AND1	0	0	0	0	0	1	0
AND2	0	0	0	0	0	1	0
AND3	0	0	0	0	0	1	0
AND4	0	0	0	0	0	1	0
AND5	0	0	0	0	0	1	0
MRF1	0	0	0	0	1	0	0
MRF2	0	0	0	0	1	0	0
MRF3	0	0	0	0	1	0	0
WTE1	0	0	0	0	0	0	1
WTE2	0	0	0	0	0	0	1
WTE3	0	0	0	0	0	0	1
WTE4	0	0	0	0	0	0	1
BDR1	0	0	0	0	0	0	1
BDR2	0	0	0	0	0	0	1
MBT1	0	0	0	0	0	0	1
MBT2	0	0	0	0	0	0	1

```

MBT3 0 0 0 0 0 0 1
MBT4 0 0 0 0 0 0 1
MBT5 0 0 0 0 0 0 1
MBT6 0 0 0 0 0 0 1
MBT7 0 0 0 0 0 0 1
MBT8 0 0 0 0 0 0 1
MBT9 0 0 0 0 0 0 1
MBT10 0 0 0 0 0 0 1
MBT11 0 0 0 0 0 0 1
MBT12 0 0 0 0 0 0 1
MBT13 0 0 0 0 0 0 1
MBT14 0 0 0 0 0 0 1
MBT15 0 0 0 0 0 0 1
MBT16 0 0 0 0 0 0 1
MBT17 0 0 0 0 0 0 1
MBT18 0 0 0 0 0 0 1
LDF1 0 0 0 0 0 0 1
LDF2 0 0 0 0 0 0 0
TS 0 0 0 0 1 0 1
;

```

scalar

```

yp years per period /5/
$include C:\gams\waste\attica3\scalarvalues.txt
$include C:\gams\waste\attica3\excstflag.txt
crfbn, crftr, crfpr crf for bins transport and processes
;

```

```

crfbn = (df*(1+df)**4)/((1+df)**4-1);
crftr = (df*(1+df)**12)/((1+df)**12-1);
crfpr = (df*(1+df)**20)/((1+df)**20-1);

```

parameter dfc(T) coefficient for discounted cashflows in period T centered in the mid year of perion ;

$$\text{dfc}(T) = 1/(1+\text{df})^{*(\text{yp}*\text{ord}(T)-2)} \quad ;$$

parameter dens(TFL) density of fuel TFL in transport (kg per lt)

```

/
$include C:\gams\waste\attica3\dslng.txt
/
;

```

parameters

* for reporting after optimization, not included in the calculations

param_orgldf(T) parameter for calculation of the share of organics going to the landfill

param_rr_wood(T) parameter for calculation of wood recycle

param_rr_paper(T) parameter for calculation of paper recycle

param_rr_glass(T) parameter for calculation of glass recycle

param_rr_metal(T) parameter for calculation of metal recycle

param_rr_plast(T) parameter for calculation of plastic recycle

param_rr_recenrg(T) parameter for calculation of materials going to recycle and energy

param_rr_papertot(T) parameter for calculation of paper recycle

param_rr_glasstot(T) parameter for calculation of glass recycle

param_rr_metalstot(T) parameter for calculation of metal recycle

param_rr_plaststot(T) parameter for calculation of plastic recycle

;

TABLE tquant(I,T) estimated quantity per waste ingredient in tons (obtained from excel)

\$include C:\gams\waste\attica3\quant_it.txt

;

parameter totwaste(T) total amount of waste in period T (tn per year) ;

totwaste(T)=sum(I,tquant(I,T))

;

parameter bfcost(J) annual cost for the bins (euro per tn input-INBIN calculated in excel)

/

\$include C:\gams\waste\attica3\bfcost_j.txt

/

;

parameter capmin(P) minimum capacity for process P (tn per year)

/

\$include C:\gams\waste\attica3\capmin_p.txt

/

;

parameter capmax(P) maximum capacity for process P (tn per year)

/

\$include C:\gams\waste\attica3\capmax_p.txt

/

;

parameter aicslope(P) slope for annual investment cost (euro per tn of capacity)

/

\$include C:\gams\waste\attica3\aicslope_p.txt

/

;

parameter aicintercept(P) intercept for annual investment cost (euro)

/

\$include C:\gams\waste\attica3\aicintercept_p.txt

/

;

parameter aocslope(P) slope for annual operational cost (euro per tn of capacity)

/

\$include C:\gams\waste\attica3\aocslope_p.txt

/

;

parameter aocintercept(P) intercept for annual operational cost (euro)

/

\$include C:\gams\waste\attica3\aoicintercept_p.txt

/


```

;
parameter pvcost(P) annual operation cost for process P (euro per tn input)
/
$include C:\gams\waste\attica3\pvcost_p.txt
/
;

// prices for each scenario S for input and output - new 15.06.14
table price_i_s(I,S) in euro per tn
$include C:\gams\waste\attica3\price_i_s.txt
;
table price_o_s(O,S) in euro per tn
$include C:\gams\waste\attica3\price_o_s.txt
;

parameter ncv(I) energy content MWh per ton
/
$include C:\gams\waste\attica3\ncv_i.txt
/
;
parameter moist(I) energy content MWh per ton
/
$include C:\gams\waste\attica3\moist_i.txt
/
;
parameter tc(P) annual investment transportation cost from bins to process P in euro per
tn
/
$include C:\gams\waste\attica3\tc_p.txt
/
;
parameter tcts(P) annual investment transportation cost from bins to process P in euro
per tn
/
$include C:\gams\waste\attica3\tctsp_p.txt
/
table tcldf(P,LDF) annual investment transportation cost from process P to landfill in
euro per tn
$include C:\gams\waste\attica3\tcldf_pldf.txt
;
parameter dpybp(P) distance per year for transportation from bins to process P (km per
tn)
/
$include C:\gams\waste\attica3\dpybp_p.txt
/
;
parameter dpytsp(P) distance per year for transportation from bins to process P (km per
tn)
/
$include C:\gams\waste\attica3\dpytsp_p.txt

```

```

/
;
table dpypl(P,LDF) distance per year for transportation from process P to landfill (km
per tn)
$include C:\gams\waste\attica3\dpypl_pldf.txt
;
parameter cpkmbp(P) operational cost for transport from bins to process P ($ per km)
/
$include C:\gams\waste\attica3\cpkmbp_p.txt
/
;
parameter cpkmpl(P) operational cost for transport from process P to landfills($ per km)
/
$include C:\gams\waste\attica3\cpkmpl_p.txt
/
;
parameter cpkmts(P) operational cost for TS to process P ($ per km)
/
$include C:\gams\waste\attica3\cpkmts_p.txt
/
;
table emtrans(EMS,TFL) emission factor from transportation for pollutant EMS for
fuel TFL (kg per kg fuel)
$include C:\gams\waste\attica3\emtrans_EMSTFL.txt
;
TABLE emswte(I,EMS) emission factor of polutant EMS in process WTE for material
I (g per tn except PDCC that iS mg per tn))
$include C:\gams\waste\attica3\emswte_IEMS.txt
;
table efprocems(P,EMS) emission factor for process P and pollutant EMS(g per tn)
$include C:\gams\waste\attica3\efprocems_PEMS.txt
;
parameter efelproc(EMS) emission factor of electricity in process (g per kWh)
/
$include C:\gams\waste\attica3\efelproc_EMS.txt
/
;
parameter efngproc(EMS) emission factor of natural gas in process (g per Nm3)
/
$include C:\gams\waste\attica3\efngproc_EMS.txt
/
;
parameter efdlproc(EMS) emission factor of diesel in process (g per kg)
/
$include C:\gams\waste\attica3\efdlproc_EMS.txt
/
;
parameter spcel(P) specific consumption of electricity for process P (kWh per tn)
/
$include C:\gams\waste\attica3\spcel_P.txt

```

```

/
;
parameter spcng(P) specific consumption of natural gas for process P (Nm3 per tn)
/
$include C:\gams\waste\attica3\spcng_P.txt
/
;
parameter spcdl(P) specific consumption of diesel gas for process P (lt per tn)
/
$include C:\gams\waste\attica3\spcdl_P.txt
/
;
parameter fc(I) fossil carbon in material I (%)
/
$include C:\gams\waste\attica3\fc_I.txt
/
;
parameter cc(I) carbon content in material I (%)
/
$include C:\gams\waste\attica3\cc_I.txt
/
;
parameter dmc(I) dry matter content in material I (%)
/
$include C:\gams\waste\attica3\dmc_I.txt
/
;
table ch4ldf(LDFDOC,T) table with the CH4 coefficients for DDOC base on time lag
T-1
$include C:\gams\waste\attica3\ch4ldf_ddoc_t.txt
;
table ch4ldf_upto40(LDFDOC,T) table with the CH4 coefficients for DDOC base on
time lag T-1
$include C:\gams\waste\attica3\ch4ldf_upto40.txt
;
table rectarget(I,T) recycling targets per material I
$include C:\gams\waste\attica3\rectarget_it.txt
;
TABLE q(I,J,T) quantity of material I in bin J in period T // from excel
"collection&transportation.xls"
$include C:\gams\waste\attica3\quant_ijt.txt
;
parameter sh(I,J,T) share of material I in bin J in period T;
sh(I,J,T)= q(I,J,T)/max(0.001,sum(II,q(II,J,T)));
;
TABLE tsrcc(TSR,I,O) conversion coefficients of ingredient I to output O in TSR
process
$include C:\gams\waste\attica3\tsrcc.txt
;

```

```

TABLE tsgcc(TSG,I,O) conversion coefficients of ingredient I to output O in TSG
process
$include C:\gams\waste\attica3\tsgcc.txt
;
TABLE mrfcc(MRF,I,O) conversion coefficients of ingredient I to output O in MRF
process
$include C:\gams\waste\attica3\mrfcc.txt
;
TABLE cmpcc(CMP,I,O) conversion coefficients of ingredient I to output O in CMP
process
$include C:\gams\waste\attica3\cmpcc.txt
;
TABLE cmpcoef(I,CMP) coefficients of treated material I in residual from process
CMP
$include C:\gams\waste\attica3\cmpcoef_ICMP.txt
;
TABLE adcc(AD,I,O) conversion coefficients of ingredient I to output O in AD process
$include C:\gams\waste\attica3\adcc.txt
;
TABLE adcoef(I,AD) coefficients of treated material I in residual from process AD
$include C:\gams\waste\attica3\adcoef_IAD.txt
;
TABLE bdcc(BD,I,O) conversion coefficients of ingredient I to output O in BD process
$include C:\gams\waste\attica3\bdcc.txt
;
TABLE mbtcc(MBT,I,O) conversion coefficients of ingredient I to output O in MBT
process
$include C:\gams\waste\attica3\mbtcc.txt
;
TABLE mbtcoef(I,MBT) coefficients of treated material I in residual from process
MBT
$include C:\gams\waste\attica3\mbtcoef_IMBT.txt
;
TABLE wtecc(WTE,I,OUTWTE) conversion coefficients of ingredient I to output O
in WTE process
$include C:\gams\waste\attica3\wtecc.txt
;
table sctrw(P,TFL) specific consumption from bins to process P for fuel TFL
$include C:\gams\waste\attica3\sctrw_PTFL.txt
;
table sctrwldf(P,TFL) specific consumption from process P to landfill for fuel TFL
$include C:\gams\waste\attica3\sctrwldf_PTFL.txt
;
table sctrwts(P,TFL) specific consumption from transfer station to process P for fuel
TFL
$include C:\gams\waste\attica3\sctrwts_PTFL.txt
;
parameter sctrwbdwte(TFL) specific consumption from BD to WTE for fuel TFL
/
$include C:\gams\waste\attica3\sctrwbdwte_TFL.txt

```

```

/
;
parameter scrwmbtwte(TFL) specific consumption from MBT to WTE for fuel TFL
/
$include C:\gams\waste\attica3\scrwmbtwte_TFL.txt
/
;
parameter bdmlos(I) proportion of moisture of material I that is lost in Biodrying
/
$include C:\gams\waste\attica3\bdmlos_I.txt
/
;
parameter excostql(P) proportion of moisture of material I that is lost in Biodrying
/
$include C:\gams\waste\attica3\excostql_P.txt
/
;
parameter dfmbt(I,MBT,T) coefficient that provides share of i-th material in DERF
from MBT ;
dfmbt(I,MBT,T)=
mbtcc(MBT,I,'DERF')*sh(I,'BMW',T)/max(0.001,sum(II,mbtcc(MBT,II,'DERF')*sh(I
I,'BMW',T)));

parameter dfbd(I,BD,T) coefficient that provides share of i-th material in DERF from
BD ;
dfbd(I,BD,T)=
bdcc(BD,I,'DERF')*sh(I,'BMW',T)/max(0.001,sum(II,bdcc(BD,II,'DERF')*sh(II,'BM
W',T)));

$include C:\gams\waste\attica3\reclegisl_T.txt
;

*scenario prices from scalar values lower (=2) and upper (=3)
parameter el_price_s(S);
el_price_s('1')=el_price ; el_price_s('2')=40; el_price_s('3')=70;
parameter el_price_biog_s(S);
el_price_biog_s('1')=el_price_biog ; el_price_biog_s('2')=80;
el_price_biog_s('3')=130;
parameter excostco2eq_s(S);
excostco2eq_s('1')=excostco2eq; excostco2eq_s('2')=0; excostco2eq_s('3')=15;
parameter excostWTE_s(S);
excostWTE_s('1')=excostWTE; excostWTE_s('2')=0; excostWTE_s('3')=15;
parameter excostldf_s(S);
excostldf_s('1')=excostldf; excostldf_s('2')=0.4; excostldf_s('3')=0.6;
parameter excosthzldf_s(S);
excosthzldf_s('1')=excosthzldf; excosthzldf_s('2')=1; excosthzldf_s('3')=2;
parameter exbenefitel_s(S);
exbenefitel_s('1')=exbenefitel ; exbenefitel_s('2')=12; exbenefitel_s('3')=20;
parameter derfprice_s(S);
derfprice_s('1')=derfprice ; derfprice_s('2')=-50; derfprice_s('3')=0;

```

positive variables

W(J,P,T) waste flow from bin J to process P in period T

WLDF(P,LDF,T) waste flow from process P to landfill LDF in period T

WTS(P,T)

INBIN(J,T) input in bin J in period T in annual base (t)

INPROC(P,T) Input in process P in period T in annual base (t)

OUTPROC(P,O,T) Output of type O from process P in period T in annual base (t)

RECPROC(P,I,T) Recyclable of type I from process P in period T in annual base (t)

NCVMBTDF(MBT,T) energy content of DF from MBT going to WTE in period T in annual base (MWh)

NCVBDDF(BD,T) energy content of DF from BD going to WTE in period T in annual base (MWh)

NCVMWWTE(WTE,T) energy content of waste from bin BMW going directly to WTE in period T in annual base (MWh)

WMBTWTE(MBT,WTE,T) waste flow from MBT to WTE (t)

WBDWTE(BD,WTE,T) waste flow from BD to WTE (t)

DERFMBTWTE(MBT,WTE,T) calculation of DERF from MBT going to WTE in period T

DERFMBTSELL(MBT,T) calculation of DERF from MBT going to be sold in period T

DERFEMSMBT(MBT,EMS,T) emissions of EMS in WTE from derived fuel from MBT in period T (kg)

DERFCO2MBT(MBT,T) emissions of CO2 in WTE from derived fuel from MBT in period T (tn)

DERFBDWTE(BD,WTE,T) calculation of I material in DERF from BD going to WTE in period T

DERFBDSELL(BD,T) calculation of DERF from BD going to WTE in period T

DERFSELL(T) calculation of DERF from BD going to be sold

DERFEMSBD(BD,EMS,T) emissions of EMS in WTE from derived fuel from BD in period T (kg)

DERFCO2BD(BD,T) emissions of CO2 in WTE from derived fuel from MBT in period T (tn)

WTEEMSMW(EMS,T) emissions of EMS in WTE from mixed waste bin in period T (kg)

WTECO2MW(T) emissions of EMS in WTE from mixed waste bin in period T (tn)

DFINWTE(WTE,T) Derived fuel going to process WTE

ELPROD_MBT(T) electricity production from biogas in MBT

ELPROD_AD(T) electricity production from biogas in anaerobic digestion

ELPROD(WTE,T) produced electricity in WTE in period T in annual base (MWh)

CAP(P,T) capacity of process P installed in period T

RECRAT(I,T) recycling rate for material I in period T

BDEGRLDF(T) biodegradables going to LDF

RECTOENRG(T) recyclables materials going to energy

REC_RATE_PACK(T) recycle rate of packaging materials

EM_DIES(EMS,T) emissions of EMS from diesel in energy production of processes (kg)

EM_NATG(EMS,T) emissions of EMS from natural gas in energy production of processes (kg)

EM_ELEC(EMS,T) emissions of EMS from electricity in energy production of processes (kg)

EM_PROC(EMS,T) emissions of EMS from process(kg)

EM_WTE_CO2(T) emissions of CO2 from WTE (tn)

*EM_WTE_CH4(T) emissions of CH4 from WTE (kg)

*EM_WTE_N2O(T) emissions of N2O from WTE (kg)

EM_WTE_NH3(T) emissions of NH3 from WTE (kg)

EM_WTE_PM10(T) emissions of PM10 from WTE (kg)

EM_WTE_SOX(T) emissions of SOX from WTE (kg)

EM_WTE_NOX(T) emissions of NOX from WTE (kg)

EM_WTE_NMVOC(T) emissions of NMVOC from WTE (kg)

EM_WTE_PCDD(T) emissions of PCDD from WTE (kg)

EM_TRANS(EMS,T) emissions of EMS from transport (kg)

EM_NH3(T) annual NH3 emissions (t)

EM_PM10(T) annual PM10 emissions (t)

EM_SOX(T) annual SOx emissions (t)

EM_NOX(T) annual NOx emissions (t)

EM_NMVOC(T) annual NMVOC emissions (t)

EM_PCDD(T) annual PCDD emissions (kg)

FOOD1LDF(T) food ingredients going to landfill - from type 1 process

FOOD2LDF(T) food ingredients going to landfill - from type 2 process

GARD1LDF(T) garden ingredients going to landfill - from type 1 process

GARD2LDF(T) garden ingredients going to landfill - from type 2 process

PAP1LDF(T) paper ingredients going to landfill - from type 1 process

PAP2LDF(T) paper ingredients going to landfill - from type 2 process

WDS1LDF(T) wood and straw ingredients going to landfill - from type 1 process

WDS2LDF(T) wood and straw ingredients going to landfill - from type 2 process

TXT1LDF(T) textile ingredients going to landfill - from type 1 process

TXT2LDF(T) textile ingredients going to landfill - from type 2 process

NAP1LDF(T) nappier ingredients going to landfill - from type 1 process

NAP2LDF(T) textile ingredients going to landfill - from type 2 process

LDF_CH4_FOOD(T) CH4 emissions from food in the landfill

LDF_CH4_GARD(T) CH4 emissions from garden in the landfill

LDF_CH4_PAP(T) CH4 emissions from paper in the landfill

LDF_CH4_WDS(T) CH4 emissions from wood and straw in the landfill

LDF_CH4_TXT(T) CH4 emissions from textile in the landfill

LDF_CH4_NAP(T) CH4 emissions from nappier in the landfill

CO2EQENRGY(T) annual emissions of CO2 equivalent from energy in processes in period T (kt)

CO2EQPROC(T) annual emissions of CO2 equivalent from process (except landfill) in period T (kt)

CO2EQTRANS(T) annual emissions of CO2 equivalent from transport in period T (kt)

CO2EQLDF(T) emissions of CO2 equivalent from landfill in whole period T (kt)

CO2LDF20_40 emissions of CO2 equivalent from landfill outside horizon (from year 20 to year 40)

L_ORGLDF(T) deviation from organic to landfill target
L_WOOD(T) deviation from wood recycle target
L_PAPER(T) deviation from paper recycle target
L_GLASS(T) deviation from glass recycle target
L_METAL(T) deviation from metal recycle target
L_PLAST(T) deviation from plastic recycle target
L_PAPERTOT(T) deviation from total paper recycle target
L_GLASSTOT(T) deviation from total glass recycle target
L_METALTOT(T) deviation from total metal recycle target
L_PLASTTOT(T) deviation from total plastic recycle target

L_RECENRG(T) deviation from recyclable to energy target

ANNBNCAPEX(T) annual investment cost for bins in period T (keuro)
ANNTRCAPEX(T) annual investment cost for trucks in period T (keuro)
ANNPRCAPEX(T) annual investment cost for processes in period T (keuro)
ANNTROPEX(T) annual operation cost for transportation in period T (keuro)
ANNPROPEX(T) annual operation cost for processes in period T (keuro)
// add scenarios to income and external cost
ANNINCMREC(T,S) annual income from recyclables in period T (keuro)
ANNINCMEL(T,S) annual income from recyclables in period T (keuro)
INVCN(T) investment in bins for period T (keuro)
INVPR(T) investment in processes for period T (keuro)
ANNEXCOST(T,S) annual external cost for period T (keuro)

integer variables

B(P,T) number of installations of process P in period T

binary variables

EXIST(P) existence or not of the p-th technology

free variables

NPC(S) net present cost in keuros
NPC_ECON(S) net present cost without the external cost in keuros
NPC_EXC(S) net present external cost in keuros
NPC_EXC_20_40(S) net present external cost for emissions 20_40 in keuros
ANNCOST(T,S) annual cost in keuros in period T
TOTCO2 total CO2 emissions for 20 years
INVTR(T) investment in trucks for period T (keuro)
LAMDA maximum tolerance for legislation thresholds
Z(K) objective functions

EQUATIONS

EQ_INPUTBIN(J,T) flow of the waste to the bins for period T
EQ_BALBINOUT(J,T) flow of the waste from the bins to processes - definition of W(J-P-T)
EQ_BALPROCIN(PONLYBIN,T) definition of the inflow to the processes (INPROC)
EQ_BALTS1(T) balance from BMW to TS

EQ_BALTS2(T) balance from BRC to TS
 EQ_TSEXIST(T) condition for existence of TS
 EQ_CAPMIN(P,T) lower bound for capacity addition for process P in period T
 EQ_CAPMAX(P,T) upper bound for capacity addition for process P in period T
 EQ_INTCAPMAX(P,T) use the minimum number expoliting full capacity for process P in period T
 EQ_PEXIST1(P) flag-equation 1 if P-process exists
 EQ_PEXIST2(P) flag-equation 2 if P-process exists

EQ_OUTTSR(TSR,O,T) definition of outputs from process TSR in period T
 EQ_RECTSR(TSR,I,T) definition of recycling of material I in process TSR in period T
 EQ_TSREXIST(TSR,T) capacity limit that must be satisfied by operation load
 EQ_OUTTSG(TSG,O,T) definition of outputs from process TSG in period T
 EQ_RECTSG(TSG,I,T) definition of recycling of material I in process TSG in period T
 EQ_TSGEXIST(TSG,T) capacity limit that must be satisfied by operation load
 EQ_OUTCMP(CMP,O,T) definition of outputs from process CMP in period T
 EQ_RECCMP(CMP,I,T) definition of recycling of material I in process CMP in period T
 *EQ_ELPROD_CMP(T) electricity production from process CMP in period T
 EQ_CMPEXIST(CMP,T) capacity limit that must be satisfied by operation load
 EQ_OUTAD(AD,O,T) definition of outputs from process AND in period T
 EQ_RECAD(AD,I,T) definition of recycling of material I in process AND in period T
 EQ_ELPROD_AD(T) electricity production from process AND in period T
 EQ_ADEXIST(AD,T) capacity limit that must be satisfied by operation load
 EQ_INMRF(MRF,T)
 EQ_OUTMRF(MRF,O,T) definition of outputs from process MRF in period T
 EQ_RECMRF(MRF,I,T) definition of recycling of material I in process MRF in period T
 EQ_MRFEXIST(MRF,T) capacity limit that must be satisfied by operation load
 EQ_INMBT(MBT,T)
 EQ_OUTMBT(MBT,O,T) definition of outputs from process MBT in period T
 EQ_RECMBT(MBT,I,T) definition of recycling of material I in process MBT in period T
 EQ_MBTEXIST(MBT,T) capacity limit that must be satisfied by operation load
 EQ_NCVDFMBT(MBT,T) calculation of calorific value for Derived Fuel DERF from MBT
 EQ_ELPROD_MBT(T) electricity production from process MBT in period T

EQ_WMBTWTE(MBT,WTE,T) definition of flow from MBT to WTE in period T
 EQ_DERFMBT(MBT,T) calculation of i-material in DERF from MBT in period T
 EQ_DERFEMSBT(MBT,EMS,T) calculation of emitted quantity EMS in derived fuel from MBT
 EQ_DERFCO2MBT(MBT,T) calculation of emitted quantity of CO2 in derived fuel from MBT
 EQ_WBDWTE(BD,WTE,T) definition of flow from BD to WTE in period T
 EQ_DERFBD(BD,T) calculation of i-material in DERF from BD in period T

EQ_DERFEMSBD(BD,EMS,T) calculation of emitted quantity EMS in derived fuel from BD

EQ_DERFCO2BD(BD,T) calculation of emitted quantity of CO2 in derived fuel from BD

EQ_DERFSELL(T)

EQ_INBD(BD,T)

EQ_OUTBD(BD,O,T) definition of outputs from process BD in period T

EQ_RECBD(BD,I,T) definition of recycling of material I in process BD in period T

EQ_BDEXIST(BD,T) capacity limit that must be satisfied by operation load

EQ_NCVDFBD(BD,T) calculation of calorific value for Derived Fuel DERF from BD

EQ_INWTE(WTE,T) inflow to the WTE process in period T

EQ_NCVMWTE(WTE,T) calculation of calorific value for Mixed Waste going to WTE in period T

EQ_DFINWTE(T) calculation of DERF from BD and MBT going into WTE in period T

EQ_OUTWTE(WTE,O,T) definition of outputs from process WTE in period T

EQ_RECWTE(WTE,I,T) definition of recycling of material I in process WTE in period T

EQ_WTEEXIST(WTE,T) capacity limit that must be satisfied by operation load

EQ_WTEEMSMW(EMS,T) calculation of emitted quantity of EMS from BMW going to WTE

EQ_WTECO2MW(T) calculation of emitted quantity of CO2 in derived fuel from BMW

EQ_ELPROD(WTE,T) electricity production from process WTE in period T

EQ_BALWLDF1(P,T) calculation of streams from processes to landfill1 - definition of W(P-LDF1-T)

EQ_BALWLDF2(WTE,T) calculation of streams from processes to hazardous landfill2 - definition of W(WTE-LDF2-T)

EQ_INLDF(T) input in LDF1

EQ_INHZLDF(T) input in LDF2

EQ_OUTLDF(LDF,O,T) outflow from landfill (= 0)

EQ_RECLDF(LDF,I,T) recycling from landfill (=0)

EQ_LDFEXIST(LDF,T) capacity limit that must be satisfied by operation load

EQ_FOOD1_TO_LDF(T) calculation of food going to landfill as residual type 1

EQ_FOOD2_TO_LDF(T) calculation of food going to landfill as residual type 2

EQ_GARD1_TO_LDF(T) calculation of garden going to landfill as residual type 1

EQ_GARD2_TO_LDF(T) calculation of garden going to landfill as residual type 2

EQ_PAP1_TO_LDF(T) calculation of paper going to landfill as residual type 1

EQ_PAP2_TO_LDF(T) calculation of paper going to landfill as residual type 2

EQ_WDS1_TO_LDF(T) calculation of wood&straw going to landfill as residual type 1

EQ_WDS2_TO_LDF(T) calculation of wood&straw going to landfill as residual type 2

EQ_TXT1_TO_LDF(T) calculation of textile going to landfill as residual type 1

EQ_TXT2_TO_LDF(T) calculation of textile going to landfill as residual type 2

EQ_LDF_CH4_FOOD(T) calculation of CH4 emissions from food in the landfill in period T

EQ_LDF_CH4_GARD(T) calculation of CH4 emissions from garden in the landfill in period T
EQ_LDF_CH4_PAP(T) calculation of CH4 emissions from paper in the landfill in period T
EQ_LDF_CH4_WDS(T) calculation of CH4 emissions from wood&straw in the landfill in period T
EQ_LDF_CH4_TXT(T) calculation of CH4 emissions from textile in the landfill in period T

EQ_EM_DIES(EMS,T) calculation of energy emissions of processes from diesel
EQ_EM_NATG(EMS,T) calculation of energy emissions of processes from natural gas
EQ_EM_ELEC(EMS,T) calculation of energy emissions of processes from electricity

EQ_EM_PROC(EMS,T) calculation of process emissions except WTE and LDF
EQ_EM_WTE_CO2(T) calculation of WTE process CO2 emissions
EQ_EM_WTE_NH3(T) calculation of WTE process NH3 emissions
EQ_EM_WTE_PM10(T) calculation of WTE process PM10 emissions
EQ_EM_WTE_SOX(T) calculation of WTE process SOX emissions
EQ_EM_WTE_NOX(T) calculation of WTE process NOX emissions
EQ_EM_WTE_NMVOC(T) calculation of WTE process NMVOC emissions
EQ_EM_WTE_PCDD(T) calculation of WTE process PCDD emissions
EQ_EM_TRANS(EMS,T) calculation of EMS emissions from transport
EQ_EM_NH3(T) calculation of annual NH3 emissions
EQ_EM_PM10(T) calculation of annual PM10 emissions
EQ_EM_SOX(T) calculation of annual SOx emissions
EQ_EM_NOX(T) calculation of annual NOx emissions
EQ_EM_NMVOC(T) calculation of annual NMVOC emissions
EQ_EM_PCDD(T) calculation of annual PCDD emissions

EQ_REC_RATE(I,T) calculation of the recycling rate for material I in period T

EQ_BDEGR_TO_LDF(T) calculation of organics going to LDF
EQ_REC_TO_ENRG(T) calculation of recyclables going to energy
EQ_REC_RATE_WOOD(T) constraint on the recycling of wood
EQ_REC_RATE_PAPER(T) constraint on the recycling of paper
EQ_REC_RATE_GLASS(T) constraint on the recycling of glass
EQ_REC_RATE_METAL(T) constraint on the recycling of metal
EQ_REC_RATE_PLASTIC(T) constraint on the recycling of plastic
EQ_REC_RATE_PAPERTOT(T) constraint on the total paper
EQ_REC_RATE_GLASSTOT(T) constraint on the total glass
EQ_REC_RATE_METALTOT(T) constraint on the total metal
EQ_REC_RATE_PLASTICTOT(T) constraint on the total plastic
EQ_RATE_REC_ENRG(T) constraint on the recyclables going to energy
EQ_RATE_REC_PACK(T) constraint for the recycling of packaging materials
EQ_LAMDA definition of LAMDA as average tolerance for deviation from recycling target

EQ_ANNBNCAPEX(T) equation for annual investment cost for bins in period T
EQ_ANNTRCAPEX(T) equation for annual investment cost for trucks in period T

EQ_ANNPRCAPEX(T) equation for annual investment cost for processes in period T (keuro)
 EQ_ANNTROPEX(T) equation for annual operation cost for transportation in period T (keuro)
 EQ_ANNPROPEX(T) equation for annual operation cost for processes in period T (keuro)
 EQ_AMMINCMREC(T,S) equation for annual income from recyclables in period T (keuro)
 EQ_AMMINCMEL(T,S) equation for annual income from recyclables in period T (keuro)
 EQ_INVBN(T) equation for investment in bins for period T (keuro)
 EQ_INVTR1 equation for investment in trucks for period 1 (keuro)
 EQ_INVTR(T) equation for investment in trucks for period $T > 1$ (keuro)
 EQ_INVPR(T) equation for investment in processes for period T (keuro)
 EQ_ANNCOST(T,S) equation for total annual cost in period T (keuro)
 EQ_ANNEXCOST(T,S) equation for the annual external cost in period T (keuro)
 EQ_NPC(S) calculation of Net Present Cost during the 20 years
 EQ_NPC_ECON(S) calculation of Net Present Cost during the 20 years (only the economic without the external cost)
 EQ_NPC_EXC(S) calculation of Net External Cost including external cost for landfill emissions from year 20 to 40
 EQ_NPC_EXC_20_40(S) calculation of Net External Cost for landfill emissions from year 20 to 40

EQ_CO2EQENRGY(T) calculation of annual CO2 equivalent emissions from energy consumption in processes in period T
 EQ_CO2EQPROC(T) calculation of annual CO2 equivalent emissions from process in period T
 EQ_CO2EQTRANS(T) calculation of annual CO2 equivalent emissions from transportation in period T
 EQ_CO2EQLDF(T) calculation of CO2 equivalent emissions from landfill in period T
 EQ_CO2EQLDF20_40 calculation of CO2 equivalent emissions from landfill for years 20-40
 EQ_TOTCO2 calculation of total CO2 emissions of the 20 years period
 *obj1 first objective function
 *obj2 second objective function

*constraints imposed by user's preferences
 \$include C:\gams\waste\attica3\usc_decl.txt

;
 *balances for the ingredients
 EQ_INPUTBIN(J,T).. INBIN(J,T)=e=sum(I,q(I,J,T)*bin(J));
 EQ_BALBINOUT(J,T).. INBIN(J,T) =e= sum(P,lnk(P,J)*W(J,P,T));
 EQ_BALPROCIN(PONLYBIN,T).. INPROC(PONLYBIN,T) =e= sum(J,bin(J)*lnk(PONLYBIN,J)*W(J,PONLYBIN,T));
 EQ_BALTS1(T)..
 W('BMW','TS',T)=e=sum(MBT,WTS(MBT,T))+sum(BD,WTS(BD,T))+sum(WTE,WTS(WTE,T))+WTS('LDF1',T);
 EQ_BALTS2(T).. W('BRC','TS',T)=e=sum(MRF,WTS(MRF,T));

EQ_TSEXIST(T).. INPROC('TS',T) =l= sum(TT\$(ord(TT)<=ord(T)),
CAP('TS',TT));

EQ_CAPMIN(P,T).. CAP(P,T)=g=capmin(P)*B(P,T);
EQ_CAPMAX(P,T).. CAP(P,T)=l=capmax(P)*B(P,T);
EQ_INTCAPMAX(P,T).. B(P,T)=l= CAP(P,T)/capmax(P)+1;
EQ_PEXIST1(P).. sum(T,B(P,T))=g= EXIST(P);
EQ_PEXIST2(P).. sum(T,B(P,T))=l= 1000*EXIST(P);

EQ_OUTTSR(TSR,O,T).. OUTPROC(TSR,O,T)=e=
sum(I,tsrcc(TSR,I,O)*sum(J,sh(I,J,T)*lnk(TSR,J)*W(J,TSR,T)));
EQ_RECTSR(TSR,I,T)..
RECPROC(TSR,I,T)=e=tsrcc(TSR,I,'RECY')*sum(J,sh(I,J,T)*lnk(TSR,J)*W(J,TSR,
T));;
EQ_TSREXIST(TSR,T).. INPROC(TSR,T) =l= sum(TT\$(ord(TT)<=ord(T)),
CAP(TSR,TT));

EQ_OUTTSG(TSG,O,T).. OUTPROC(TSG,O,T)=e=
sum(I,tsgcc(TSG,I,O)*sum(J,sh(I,J,T)*lnk(TSG,J)*W(J,TSG,T)));
EQ_RECTSG(TSG,I,T)..
RECPROC(TSG,I,T)=e=tsgcc(TSG,I,'RECY')*sum(J,sh(I,J,T)*lnk(TSG,J)*W(J,TSG
,T));;
EQ_TSGEXIST(TSG,T).. INPROC(TSG,T) =l= sum(TT\$(ord(TT)<=ord(T)),
CAP(TSG,TT));

EQ_OUTCMP(CMP,O,T)..
OUTPROC(CMP,O,T)=e=sum(I,cmpcc(CMP,I,O)*sum(J,sh(I,J,T)*lnk(CMP,J)*W(J,
CMP,T)));
EQ_RECCMP(CMP,I,T)..
RECPROC(CMP,I,T)=e=cmpcc(CMP,I,'RECY')*sum(J,sh(I,J,T)*lnk(CMP,J)*W(J,C
MP,T));
EQ_CMPEXIST(CMP,T).. INPROC(CMP,T) =l= sum(TT\$(ord(TT)<=ord(T)),
CAP(CMP,TT));

EQ_OUTAD(AD,O,T)..
OUTPROC(AD,O,T)=e=sum(I,adcc(AD,I,O)*sum(J,sh(I,J,T)*lnk(AD,J)*W(J,AD,T)
));
EQ_RECAD(AD,I,T)..
RECPROC(AD,I,T)=e=adcc(AD,I,'RECY')*sum(J,sh(I,J,T)*lnk(AD,J)*W(J,AD,T));
EQ_ELPROD_AD(T).. ELPROD_AD(T)=e=sum(AD,
el_eff_bg*OUTPROC(AD,'BIOG',T));
EQ_ADEXIST(AD,T).. INPROC(AD,T) =l= sum(TT\$(ord(TT)<=ord(T)),
CAP(AD,TT));

EQ_INMRF(MRF,T).. INPROC(MRF,T)=e= W('BRC',MRF,T) + WTS(MRF,T);
EQ_OUTMRF(MRF,O,T).. OUTPROC(MRF,O,T)=e=
sum(I,mrfcc(MRF,I,O)*sh(I,'BRC',T)*(W('BRC',MRF,T)+WTS(MRF,T)));
EQ_REC MRF(MRF,I,T).. RECPROC(MRF,I,T)=e=
mrfcc(MRF,I,'RECY')*sh(I,'BRC',T)*(W('BRC',MRF,T)+WTS(MRF,T));

EQ_MRFEXIST(MRF,T).. INPROC(MRF,T) =I= sum(TT\$(ord(TT)<=ord(T)),
CAP(MRF,TT));

EQ_INMBT(MBT,T).. INPROC(MBT,T)=e= W('BMW',MBT,T) + WTS(MBT,T);
EQ_OUTMBT(MBT,O,T).. OUTPROC(MBT,O,T)=e=
sum(I,mbtcc(MBT,I,O)*sh(I,'BMW',T)*(W('BMW',MBT,T)+WTS(MBT,T)));

EQ_RECMBT(MBT,I,T).. RECPROC(MBT,I,T)=e=
mbtcc(MBT,I,'RECY')*sh(I,'BMW',T)*(W('BMW',MBT,T)+WTS(MBT,T));
EQ_MBTEXIST(MBT,T).. INPROC(MBT,T) =I= sum(TT\$(ord(TT)<=ord(T)),
CAP(MBT,TT));

EQ_DERFMBT(MBT,T).. sum(WTE,DERFMBTWTE(MBT,WTE,T))+
DERFMBTSELL(MBT,T)=e=sum(I,mbtcc(MBT,I,'DERF')*sh(I,'BMW',T)*(W('BM
W',MBT,T)+WTS(MBT,T)));

EQ_WMBTWTE(MBT,WTE,T)..
DERFMBTWTE(MBT,WTE,T)=e=WMBTWTE(MBT,WTE,T);

EQ_NCVDFMBT(MBT,T).. NCVMBTDF(MBT,T)=e=sum(I,ncv(I)*(1-
moist(I))*dfmbt(I,MBT,T)*sum(WTE,DERFMBTWTE(MBT,WTE,T)));

EQ_DERFEMSMBT(MBT,EMS,T)..
DERFEMSMBT(MBT,EMS,T)=e=sum(I,emswte(I,EMS)*dfmbt(I,MBT,T)*sum(WT
E,DERFMBTWTE(MBT,WTE,T)));

EQ_DERFCO2MBT(MBT,T).. DERFCO2MBT(MBT,T)=e= sum(I,
dmc(I)*cc(I)*fc(I)*44/12*dfmbt(I,MBT,T)*sum(WTE,DERFMBTWTE(MBT,WTE,
T)));

EQ_ELPROD_MBT(T).. ELPROD_MBT(T)=e=sum(MBT,
el_eff_bg*OUTPROC(MBT,'BIOG',T));

EQ_INBD(BD,T).. INPROC(BD,T)=e= W('BMW',BD,T) + WTS(BD,T);
EQ_OUTBD(BD,O,T).. OUTPROC(BD,O,T)=e=
sum(I,bdcc(BD,I,O)*sh(I,'BMW',T)*(W('BMW',BD,T)+WTS(BD,T)));

EQ_RECBD(BD,I,T).. RECPROC(BD,I,T)=e=
bdcc(BD,I,'RECY')*sh(I,'BMW',T)*(W('BMW',BD,T)+WTS(BD,T));

EQ_BDEXIST(BD,T).. INPROC(BD,T) =I= sum(TT\$(ord(TT)<=ord(T)),
CAP(BD,TT));

EQ_DERFBD(BD,T).. sum(WTE,DERFBDWTE(BD,WTE,T))+
DERFBDSELL(BD,T)=e=sum(I,bdcc(BD,I,'DERF')*sh(I,'BMW',T)*(W('BMW',BD,
T)+WTS(BD,T)));

EQ_WBDWTE(BD,WTE,T)..
DERFBDWTE(BD,WTE,T)=e=WBDWTE(BD,WTE,T);

EQ_NCVDFBD(BD,T).. NCVBDDF(BD,T)=e= sum(I,ncv(I)*(1-moist(I)*(1-
bdmlos(I))/(bdcc(BD,I,'DERF')+bdcc(BD,I,'RESD')+bdcc(BD,I,'RECY')))*dfbd(I,BD
,T)*sum(WTE,DERFBDWTE(BD,WTE,T)));

EQ_DERFEMSBD(BD,EMS,T)..
DERFEMSBD(BD,EMS,T)=e=sum(I,emswte(I,EMS)*dfbd(I,BD,T)*sum(WTE,DER
FBDWTE(BD,WTE,T)));

EQ_DERFCO2BD(BD,T).. DERFCO2BD(BD,T)=e= sum(I,
dmc(I)*cc(I)*fc(I)*44/12*dfbd(I,BD,T)*sum(WTE,DERFBDWTE(BD,WTE,T)));

EQ_DERFSELL(T)..

SUM(MBT,DERFMBTSELL(MBT,T))+SUM(BD,DERFBDSELL(BD,T))=E=DER
FSELL(T);

EQ_NCVMMWWTE(WTE,T).. NCVMMWWTE(WTE,T)=e= sum(I,ncv(I)*(1-
 moist(I))*sh(I,'BMW',T)*(W('BMW',WTE,T)+WTS(WTE,T)));
 EQ_WTEEMSMW(EMS,T)..
 WTEEMSMW(EMS,T)=e=sum(I,emswte(I,EMS))*sum(WTE,sh(I,'BMW',T)*(W('B
 MW',WTE,T)+WTS(WTE,T))));
 EQ_WTECO2MW(T)..
 WTECO2MW(T)=e=sum(I,dmc(I)*cc(I)*fc(I)*44/12*sum(WTE,sh(I,'BMW',T)*(W(
 BMW',WTE,T)+WTS(WTE,T))));
 EQ_DFINWTE(T).. sum(MBT,
 NCVMBTDF(MBT,T))+sum(BD,NCVBDDF(BD,T))=e= sum(WTE,
 DFINWTE(WTE,T));
 EQ_INWTE(WTE,T).. INPROC(WTE,T)=e=W('BMW',WTE,T)+ sum(BD,
 WBDWTE(BD,WTE,T))+sum(MBT, WMBTWTE(MBT,WTE,T))+WTS(WTE,T);
 EQ_OUTWTE(WTE,O,T).. OUTPROC(WTE,O,T)=e=
 sum(I,wtecc(WTE,I,O))*(SUM(MBT,dfmbt(I,MBT,T)*DERFMBTWTE(MBT,WTE,
 T))+
 SUM(BD,dfbd(I,BD,T)*DERFBDWTE(BD,WTE,T))+
 sh(I,'BMW',T)*(W('BMW',WTE,T)+WTS(WTE,T))));
 EQ_RECWTE(WTE,I,T).. RECPROC(WTE,I,T)=e=
 wtecc(WTE,I,'RECY')*sh(I,'BMW',T)*(W('BMW',WTE,T)+WTS(WTE,T));
 EQ_ELPROD(WTE,T)..
 ELPROD(WTE,T)=e=el_eff*(DFINWTE(WTE,T)+NCVMMWWTE(WTE,T));
 EQ_WTEEXIST(WTE,T).. INPROC(WTE,T) =l= sum(TT\$(ord(TT)<=ord(T)),
 CAP(WTE,TT));
 EQ_BALWLDF1(P,T).. WLDF(P,'LDF1',T)=e=OUTPROC(P,'RESD',T);
 EQ_BALWLDF2(WTE,T)..
 WLDF(WTE,'LDF2',T)=e=sum(I,wtecc(WTE,I,'RESDH')*(SUM(MBT,dfmbt(I,MBT
 ,T)*DERFMBTWTE(MBT,WTE,T))+
 SUM(BD,dfbd(I,BD,T)*DERFBDWTE(BD,WTE,T))+
 sh(I,'BMW',T)*(W('BMW',WTE,T)+WTS(WTE,T))));
 EQ_INLDF(T)..
 INPROC('LDF1',T)=e=sum(P,WLDF(P,'LDF1',T))+W('BMW','LDF1',T)+WTS('LDF
 1',T);
 EQ_INHZLDF(T).. INPROC('LDF2',T)=e=sum(WTE,WLDF(WTE,'LDF2',T));
 EQ_OUTLDF(LDF,O,T).. OUTPROC(LDF,O,T)=e= 0;
 EQ_RECLDF(LDF,I,T).. RECPROC(LDF,I,T)=e= 0;
 EQ_LDFEXIST(LDF,T).. INPROC(LDF,T)*yp =l= CAP(LDF,T);

 * The following is for landfill CH4 emissions
 EQ_FOOD1_TO_LDF(T).. FOOD1LDF(T)=e=
 sum((LDFOOD,TSR),tsrcc(TSR,LDFOOD,'RESD')*sum(J,sh(LDFOOD,J,T)*lnk(TS
 R,J)*W(J,TSR,T)))+

$$\begin{aligned} & \text{sum}((\text{LDFOOD}, \text{TSG}), \text{tsgcc}(\text{TSG}, \text{LDFOOD}, ' \text{RESD}')) * \text{sum}(\text{J}, \text{sh}(\text{LDFOOD}, \text{J}, \text{T}) * \text{lnk}(\text{T} \\ & \text{SG}, \text{J}) * \text{W}(\text{J}, \text{TSG}, \text{T}))) + \\ & \quad \text{sum}((\text{LDFOOD}, \text{CMP}), (1 - \\ & \text{cmpcoef}(\text{LDFOOD}, \text{CMP})) * \text{cmpcc}(\text{CMP}, \text{LDFOOD}, ' \text{RESD}')) * \text{sum}(\text{J}, \text{sh}(\text{LDFOOD}, \text{J}, \text{T}) \\ & * \text{lnk}(\text{CMP}, \text{J}) * \text{W}(\text{J}, \text{CMP}, \text{T}))) + \\ & \quad \text{sum}((\text{LDFOOD}, \text{AD}), (1 - \\ & \text{adcoef}(\text{LDFOOD}, \text{AD})) * \text{adcc}(\text{AD}, \text{LDFOOD}, ' \text{RESD}')) * \text{sum}(\text{J}, \text{sh}(\text{LDFOOD}, \text{J}, \text{T}) * \text{lnk}(\text{A} \\ & \text{D}, \text{J}) * \text{W}(\text{J}, \text{AD}, \text{T}))) + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{sum}((\text{LDFOOD}, \text{MRF}), \text{mrfcc}(\text{MRF}, \text{LDFOOD}, ' \text{RESD}')) * \text{sh}(\text{LDFOOD}, ' \text{BRC}', \text{T}) * (\text{W}(' \text{B} \\ & \text{RC}', \text{MRF}, \text{T}) + \text{WTS}(\text{MRF}, \text{T}))) + \\ & \quad \text{sum}((\text{LDFOOD}, \text{MBT}), (1 - \\ & \text{mbtcoef}(\text{LDFOOD}, \text{MBT})) * \text{mbtcc}(\text{MBT}, \text{LDFOOD}, ' \text{RESD}')) * \text{sh}(\text{LDFOOD}, ' \text{BMW}', \text{T}) * \\ & (\text{W}(' \text{BMW}', \text{MBT}, \text{T}) + \text{WTS}(\text{MBT}, \text{T}))) + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{sum}((\text{LDFOOD}, \text{BD}), \text{bdcc}(\text{BD}, \text{LDFOOD}, ' \text{RESD}')) * \text{sh}(\text{LDFOOD}, ' \text{BMW}', \text{T}) * (\text{W}(' \text{BM} \\ & \text{W}', \text{BD}, \text{T}) + \text{WTS}(\text{BD}, \text{T}))) + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{sum}((\text{LDFOOD}, \text{WTE}), \text{wtecc}(\text{WTE}, \text{LDFOOD}, ' \text{RESD}')) * \text{sh}(\text{LDFOOD}, ' \text{BMW}', \text{T}) * (\text{W}(' \\ & \text{BMW}', \text{WTE}, \text{T}) + \text{WTS}(\text{WTE}, \text{T}))) + \\ & \quad \text{sum}((\text{LDFOOD}, \text{LDF}), \\ & \text{sh}(\text{LDFOOD}, ' \text{BMW}', \text{T}) * \text{lnk}(\text{LDF}, ' \text{BMW}')) * (\text{W}(' \text{BMW}', \text{LDF}, \text{T}) + \text{WTS}(\text{LDF}, \text{T}))); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{EQ_FOOD2_TO_LDF}(\text{T}).. & \quad \text{FOOD2LDF}(\text{T}) = e = \\ & \text{sum}((\text{LDFOOD}, \text{CMP}), \text{cmpcoef}(\text{LDFOOD}, \text{CMP}) * \text{cmpcc}(\text{CMP}, \text{LDFOOD}, ' \text{RESD}')) * \text{s} \\ & \text{um}(\text{J}, \text{sh}(\text{LDFOOD}, \text{J}, \text{T}) * \text{lnk}(\text{CMP}, \text{J}) * \text{W}(\text{J}, \text{CMP}, \text{T}))) + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{sum}((\text{LDFOOD}, \text{AD}), \text{adcoef}(\text{LDFOOD}, \text{AD}) * \text{adcc}(\text{AD}, \text{LDFOOD}, ' \text{RESD}')) * \text{sum}(\text{J}, \text{sh}(\text{L} \\ & \text{DFOOD}, \text{J}, \text{T}) * \text{lnk}(\text{AD}, \text{J}) * \text{W}(\text{J}, \text{AD}, \text{T}))) + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{sum}((\text{LDFOOD}, \text{MBT}), \text{mbtcoef}(\text{LDFOOD}, \text{MBT}) * \text{mbtcc}(\text{MBT}, \text{LDFOOD}, ' \text{RESD}')) * \text{sh} \\ & (\text{LDFOOD}, ' \text{BMW}', \text{T}) * (\text{W}(' \text{BMW}', \text{MBT}, \text{T}) + \text{WTS}(\text{MBT}, \text{T}))); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{EQ_GARD1_TO_LDF}(\text{T}).. & \quad \text{GARD1LDF}(\text{T}) = e = \\ & \text{sum}(\text{TSR}, \text{tsrcc}(\text{TSR}, ' \text{ORGP}', ' \text{RESD}')) * \text{sum}(\text{J}, \text{sh}(' \text{ORGP}', \text{J}, \text{T}) * \text{lnk}(\text{TSR}, \text{J}) * \text{W}(\text{J}, \text{TSR}, \text{T} \\ &)) + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{sum}(\text{TSG}, \text{tsgcc}(\text{TSG}, ' \text{ORGP}', ' \text{RESD}')) * \text{sum}(\text{J}, \text{sh}(' \text{ORGP}', \text{J}, \text{T}) * \text{lnk}(\text{TSG}, \text{J}) * \text{W}(\text{J}, \text{TSG}, \text{T} \\ &)) + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \quad \text{sum}(\text{CMP}, (1 - \\ & \text{cmpcoef}(' \text{ORGP}', \text{CMP})) * \text{cmpcc}(\text{CMP}, ' \text{ORGP}', ' \text{RESD}')) * \text{sum}(\text{J}, \text{sh}(' \text{ORGP}', \text{J}, \text{T}) * \text{lnk}(\text{C} \\ & \text{MP}, \text{J}) * \text{W}(\text{J}, \text{CMP}, \text{T}))) + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \quad \text{sum}(\text{AD}, (1 - \\ & \text{adcoef}(' \text{ORGP}', \text{AD})) * \text{adcc}(\text{AD}, ' \text{ORGP}', ' \text{RESD}')) * \text{sum}(\text{J}, \text{sh}(' \text{ORGP}', \text{J}, \text{T}) * \text{lnk}(\text{AD}, \text{J}) * \text{W} \\ & (\text{J}, \text{AD}, \text{T}))) + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{sum}(\text{MRF}, \text{mrfcc}(\text{MRF}, ' \text{ORGP}', ' \text{RESD}')) * \text{sh}(' \text{ORGP}', ' \text{BRC}', \text{T}) * (\text{W}(' \text{BRC}', \text{MRF}, \text{T}) + \text{W} \\ & \text{TS}(\text{MRF}, \text{T}))) + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{sum}(\text{MBT}, (1 - \text{mbtcoef}(\text{'ORGP'}, \text{MBT})) * \text{mbtcc}(\text{MBT}, \text{'ORGP'}, \text{'RESD'}) * \text{sh}(\text{'ORGP'}, \text{'BMW'}, \text{T}) * (\text{W}(\text{'BMW'}, \text{MBT}, \text{T}) + \text{WTS}(\text{MBT}, \text{T}))) + \\ & \text{sum}(\text{BD}, \text{bdcc}(\text{BD}, \text{'ORGP'}, \text{'RESD'}) * \text{sh}(\text{'ORGP'}, \text{'BMW'}, \text{T}) * (\text{W}(\text{'BMW'}, \text{BD}, \text{T}) + \text{WTS}(\text{BD}, \text{T}))) + \\ & \text{sum}(\text{WTE}, \text{wtecc}(\text{WTE}, \text{'ORGP'}, \text{'RESD'}) * \text{sh}(\text{'ORGP'}, \text{'BMW'}, \text{T}) * (\text{W}(\text{'BMW'}, \text{WTE}, \text{T}) + \text{WTS}(\text{WTE}, \text{T}))) + \\ & \text{sh}(\text{'ORGP'}, \text{'BMW'}, \text{T}) * \text{lnk}(\text{LDF}, \text{'BMW'}) * (\text{W}(\text{'BMW'}, \text{LDF}, \text{T}) + \text{WTS}(\text{LDF}, \text{T}))); \\ \text{EQ_GARD2_TO_LDF}(\text{T}).. & \text{GARD2LDF}(\text{T}) = \text{e} = \\ & \text{sum}(\text{CMP}, \text{cmpcoef}(\text{'ORGP'}, \text{CMP}) * \text{cmpcc}(\text{CMP}, \text{'ORGP'}, \text{'RESD'}) * \text{sum}(\text{J}, \text{sh}(\text{'ORGP'}, \text{J}, \text{T}) * \text{lnk}(\text{CMP}, \text{J}) * \text{W}(\text{J}, \text{CMP}, \text{T}))) + \\ & \text{sum}(\text{AD}, \text{adcoef}(\text{'ORGP'}, \text{AD}) * \text{adcc}(\text{AD}, \text{'ORGP'}, \text{'RESD'}) * \text{sum}(\text{J}, \text{sh}(\text{'ORGP'}, \text{J}, \text{T}) * \text{lnk}(\text{AD}, \text{J}) * \text{W}(\text{J}, \text{AD}, \text{T}))) + \\ & \text{sum}(\text{MBT}, \text{mbtcoef}(\text{'ORGP'}, \text{MBT}) * \text{mbtcc}(\text{MBT}, \text{'ORGP'}, \text{'RESD'}) * \text{sh}(\text{'ORGP'}, \text{'BMW'}, \text{T}) * (\text{W}(\text{'BMW'}, \text{MBT}, \text{T}) + \text{WTS}(\text{MBT}, \text{T}))); \\ \text{EQ_PAP1_TO_LDF}(\text{T}).. & \text{PAP1LDF}(\text{T}) = \text{e} = \\ & \text{sum}((\text{LDFPAP}, \text{TSR}), \text{tsrcc}(\text{TSR}, \text{LDFPAP}, \text{'RESD'}) * \text{sum}(\text{J}, \text{sh}(\text{LDFPAP}, \text{J}, \text{T}) * \text{lnk}(\text{TSR}, \text{J}) * \text{W}(\text{J}, \text{TSR}, \text{T}))) + \\ & \text{sum}((\text{LDFPAP}, \text{TSG}), \text{tsgcc}(\text{TSG}, \text{LDFPAP}, \text{'RESD'}) * \text{sum}(\text{J}, \text{sh}(\text{LDFPAP}, \text{J}, \text{T}) * \text{lnk}(\text{TSG}, \text{J}) * \text{W}(\text{J}, \text{TSG}, \text{T}))) + \\ & \text{sum}((\text{LDFPAP}, \text{CMP}), (1 - \text{cmpcoef}(\text{LDFPAP}, \text{CMP})) * \text{cmpcc}(\text{CMP}, \text{LDFPAP}, \text{'RESD'}) * \text{sum}(\text{J}, \text{sh}(\text{LDFPAP}, \text{J}, \text{T}) * \text{lnk}(\text{CMP}, \text{J}) * \text{W}(\text{J}, \text{CMP}, \text{T}))) + \\ & \text{sum}((\text{LDFPAP}, \text{AD}), (1 - \text{adcoef}(\text{LDFPAP}, \text{AD})) * \text{adcc}(\text{AD}, \text{LDFPAP}, \text{'RESD'}) * \text{sum}(\text{J}, \text{sh}(\text{LDFPAP}, \text{J}, \text{T}) * \text{lnk}(\text{AD}, \text{J}) * \text{W}(\text{J}, \text{AD}, \text{T}))) + \\ & \text{sum}((\text{LDFPAP}, \text{MRF}), \text{mrfcc}(\text{MRF}, \text{LDFPAP}, \text{'RESD'}) * \text{sh}(\text{LDFPAP}, \text{'BRC'}, \text{T}) * (\text{W}(\text{'BRC'}, \text{MRF}, \text{T}) + \text{WTS}(\text{MRF}, \text{T}))) + \\ & \text{sum}((\text{LDFPAP}, \text{MBT}), (1 - \text{mbtcoef}(\text{LDFPAP}, \text{MBT})) * \text{mbtcc}(\text{MBT}, \text{LDFPAP}, \text{'RESD'}) * \text{sh}(\text{LDFPAP}, \text{'BMW'}, \text{T}) * (\text{W}(\text{'BMW'}, \text{MBT}, \text{T}) + \text{WTS}(\text{MBT}, \text{T}))) + \\ & \text{sum}((\text{LDFPAP}, \text{BD}), \text{bdcc}(\text{BD}, \text{LDFPAP}, \text{'RESD'}) * \text{sh}(\text{LDFPAP}, \text{'BMW'}, \text{T}) * (\text{W}(\text{'BMW'}, \text{BD}, \text{T}) + \text{WTS}(\text{BD}, \text{T}))) + \\ & \text{sum}((\text{LDFPAP}, \text{WTE}), \text{wtecc}(\text{WTE}, \text{LDFPAP}, \text{'RESD'}) * \text{sh}(\text{LDFPAP}, \text{'BMW'}, \text{T}) * (\text{W}(\text{'BMW'}, \text{WTE}, \text{T}) + \text{WTS}(\text{WTE}, \text{T}))) + \\ & \text{sh}(\text{LDFPAP}, \text{'BMW'}, \text{T}) * \text{lnk}(\text{LDF}, \text{'BMW'}) * (\text{W}(\text{'BMW'}, \text{LDF}, \text{T}) + \text{WTS}(\text{LDF}, \text{T}))); \end{aligned}$$

$$\text{EQ_PAP2_TO_LDF}(T).. \quad \text{PAP2LDF}(T)=e=$$

$$\text{sum}((\text{LDFPAP},\text{CMP}),\text{cmpcoef}(\text{LDFPAP},\text{CMP})*\text{cmpcc}(\text{CMP},\text{LDFPAP},\text{'RESD'})*\text{sum}$$

$$(J,\text{sh}(\text{LDFPAP},J,T)*\text{lnk}(\text{CMP},J)*W(J,\text{CMP},T)))+$$

$$\text{sum}((\text{LDFPAP},\text{AD}),\text{adcoef}(\text{LDFPAP},\text{AD})*\text{adcc}(\text{AD},\text{LDFPAP},\text{'RESD'})*\text{sum}(J,\text{sh}(\text{LDFPAP},J,T)*\text{lnk}(\text{AD},J)*W(J,\text{AD},T)))+$$

$$\text{sum}((\text{LDFPAP},\text{MBT}),\text{mbtcoef}(\text{LDFPAP},\text{MBT})*\text{mbtcc}(\text{MBT},\text{LDFPAP},\text{'RESD'})*\text{sh}(\text{LDFPAP},\text{'BMW'},T)*(W(\text{'BMW'},\text{MBT},T)+\text{WTS}(\text{MBT},T)));$$

$$\text{EQ_WDS1_TO_LDF}(T).. \quad \text{WDS1LDF}(T)=e=$$

$$\text{sum}((\text{LDFLWT},\text{TSR}),\text{tsrcc}(\text{TSR},\text{LDFLWT},\text{'RESD'})*\text{sum}(J,\text{sh}(\text{LDFLWT},J,T)*\text{lnk}(\text{TSR},J)*W(J,\text{TSR},T)))+$$

$$\text{sum}((\text{LDFLWT},\text{TSG}),\text{tsgcc}(\text{TSG},\text{LDFLWT},\text{'RESD'})*\text{sum}(J,\text{sh}(\text{LDFLWT},J,T)*\text{lnk}(\text{TSG},J)*W(J,\text{TSG},T)))+$$

$$\text{sum}((\text{LDFLWT},\text{CMP}),(\text{1-}$$

$$\text{cmpcoef}(\text{LDFLWT},\text{CMP}))*\text{cmpcc}(\text{CMP},\text{LDFLWT},\text{'RESD'})*\text{sum}(J,\text{sh}(\text{LDFLWT},J,T)*\text{lnk}(\text{CMP},J)*W(J,\text{CMP},T)))+$$

$$\text{sum}((\text{LDFLWT},\text{AD}),(\text{1-}$$

$$\text{adcoef}(\text{LDFLWT},\text{AD}))*\text{adcc}(\text{AD},\text{LDFLWT},\text{'RESD'})*\text{sum}(J,\text{sh}(\text{LDFLWT},J,T)*\text{lnk}(\text{AD},J)*W(J,\text{AD},T)))+$$

$$\text{sum}((\text{LDFLWT},\text{MRF}),\text{mrfcc}(\text{MRF},\text{LDFLWT},\text{'RESD'})*\text{sh}(\text{LDFLWT},\text{'BRC'},T)*(W(\text{'BRC'},\text{MRF},T)+\text{WTS}(\text{MRF},T)))+$$

$$\text{sum}((\text{LDFLWT},\text{MBT}),(\text{1-}$$

$$\text{mbtcoef}(\text{LDFLWT},\text{MBT}))*\text{mbtcc}(\text{MBT},\text{LDFLWT},\text{'RESD'})*\text{sh}(\text{LDFLWT},\text{'BMW'},T)*(W(\text{'BMW'},\text{MBT},T)+\text{WTS}(\text{MBT},T)))+$$

$$\text{sum}((\text{LDFLWT},\text{BD}),\text{bdcc}(\text{BD},\text{LDFLWT},\text{'RESD'})*\text{sh}(\text{LDFLWT},\text{'BMW'},T)*(W(\text{'BMW'},\text{BD},T)+\text{WTS}(\text{BD},T)))+$$

$$\text{sum}((\text{LDFLWT},\text{WTE}),\text{wtecc}(\text{WTE},\text{LDFLWT},\text{'RESD'})*\text{sh}(\text{LDFLWT},\text{'BMW'},T)*(W(\text{'BMW'},\text{WTE},T)+\text{WTS}(\text{WTE},T)))+$$

$$\text{sum}((\text{LDFLWT},\text{LDF}),\text{sh}(\text{LDFLWT},\text{'BMW'},T)*\text{lnk}(\text{LDF},\text{'BMW'})*(W(\text{'BMW'},\text{LDF},T)+\text{WTS}(\text{LDF},T)));$$

$$\text{EQ_WDS2_TO_LDF}(T).. \quad \text{WDS2LDF}(T)=e=$$

$$\text{sum}((\text{LDFLWT},\text{CMP}),\text{cmpcoef}(\text{LDFLWT},\text{CMP})*\text{cmpcc}(\text{CMP},\text{LDFLWT},\text{'RESD'})*\text{sum}$$

$$(J,\text{sh}(\text{LDFLWT},J,T)*\text{lnk}(\text{CMP},J)*W(J,\text{CMP},T)))+$$

$$\text{sum}((\text{LDFLWT},\text{AD}),\text{adcoef}(\text{LDFLWT},\text{AD})*\text{adcc}(\text{AD},\text{LDFLWT},\text{'RESD'})*\text{sum}(J,\text{sh}(\text{LDFLWT},J,T)*\text{lnk}(\text{AD},J)*W(J,\text{AD},T)))+$$

$$\text{sum}((\text{LDFLWT},\text{MBT}),\text{mbtcoef}(\text{LDFLWT},\text{MBT})*\text{mbtcc}(\text{MBT},\text{LDFLWT},\text{'RESD'})*\text{sh}(\text{LDFLWT},\text{'BMW'},T)*(W(\text{'BMW'},\text{MBT},T)+\text{WTS}(\text{MBT},T)));$$

$$\text{EQ_TXT1_TO_LDF}(T).. \quad \text{TXT1LDF}(T)=e=$$

$$\text{sum}(\text{TSR},\text{tsrcc}(\text{TSR},\text{'LWTX'},\text{'RESD'})*\text{sum}(J,\text{sh}(\text{'LWTX'},J,T)*\text{lnk}(\text{TSR},J)*W(J,\text{TSR},T)))+$$

sum(TSG,tsgcc(TSG,'LWTX','RESD')*sum(J,sh('LWTX',J,T)*lnk(TSG,J)*W(J,TSG,T)))+

sum(CMP,(1-cmpcoef('LWTX',CMP))*cmpccc(CMP,'LWTX','RESD')*sum(J,sh('LWTX',J,T)*lnk(CMP,J)*W(J,CMP,T)))+

sum(AD,(1-adcoef('LWTX',AD))*adccc(AD,'LWTX','RESD')*sum(J,sh('LWTX',J,T)*lnk(AD,J)*W(J,AD,T)))+

sum(MRF,mrfccc(MRF,'LWTX','RESD')*sh('LWTX','BRC',T)*(W('BRC',MRF,T)+WTS(MRF,T)))+

sum(MBT,(1-mbtcoef('LWTX',MBT))*mbtccc(MBT,'LWTX','RESD')*sh('LWTX','BMW',T)*(W('BMW',MBT,T)+WTS(MBT,T)))+

sum(BD,bdccc(BD,'LWTX','RESD')*sh('LWTX','BMW',T)*(W('BMW',BD,T)+WTS(BD,T)))+

sum(WTE,wteccc(WTE,'LWTX','RESD')*sh('LWTX','BMW',T)*(W('BMW',WTE,T)+WTS(WTE,T)))+

sum(LDF,sh('LWTX','BMW',T)*lnk(LDF,'BMW')*(W('BMW',LDF,T)+WTS(LDF,T)));

EQ_TXT2_TO_LDF(T).. TXT2LDF(T)=e= sum(CMP,cmpcoef('LWTX',CMP))*cmpccc(CMP,'LWTX','RESD')*sum(J,sh('LWTX',J,T)*lnk(CMP,J)*W(J,CMP,T)))+

sum(AD,adcoef('LWTX',AD))*adccc(AD,'LWTX','RESD')*sum(J,sh('LWTX',J,T)*lnk(AD,J)*W(J,AD,T)))+

sum(MBT,mbtcoef('LWTX',MBT))*mbtccc(MBT,'LWTX','RESD')*sh('LWTX','BMW',T)*(W('BMW',MBT,T)+WTS(MBT,T))));

EQ_LDF_CH4_FOOD(T).. LDF_CH4_FOOD(T)=e= sum(TT\$(ord(TT)<= ord(T)),(ch4ldf('fud1',T-(ord(TT)-1))*FOOD1LDF(TT)+ch4ldf('fud2',T-(ord(TT)-1))*FOOD2LDF(TT)));

EQ_LDF_CH4_GARD(T).. LDF_CH4_GARD(T)=e= sum(TT\$(ord(TT)<= ord(T)),(ch4ldf('grd1',T-(ord(TT)-1))*GARD1LDF(TT)+ch4ldf('grd2',T-(ord(TT)-1))*GARD2LDF(TT)));

EQ_LDF_CH4_PAP(T).. LDF_CH4_PAP(T)=e= sum(TT\$(ord(TT)<= ord(T)),(ch4ldf('pap1',T-(ord(TT)-1))*PAP1LDF(TT)+ch4ldf('pap2',T-(ord(TT)-1))*PAP2LDF(TT)));

EQ_LDF_CH4_WDS(T).. LDF_CH4_WDS(T)=e= sum(TT\$(ord(TT)<= ord(T)),(ch4ldf('wds1',T-(ord(TT)-1))*WDS1LDF(TT)+ch4ldf('wds2',T-(ord(TT)-1))*WDS2LDF(TT)));

EQ_LDF_CH4_TXT(T).. LDF_CH4_TXT(T)=e= sum(TT\$(ord(TT)<= ord(T)),(ch4ldf('txt1',T-(ord(TT)-1))*TXT1LDF(TT)+ch4ldf('txt2',T-(ord(TT)-1))*TXT2LDF(TT)));

* The following is for calculating ALL emissions

EQ_EM_DIES(EMS,T).. EM_DIES(EMS,T)*1000=e= sum(P,
 spcdl(P)*dens('DSL')*efdlproc(EMS)*INPROC(P,T));
 EQ_EM_NATG(EMS,T).. EM_NATG(EMS,T)*1000=e= sum(P,
 spcng(P)*efngproc(EMS)*INPROC(P,T));
 EQ_EM_ELEC(EMS,T).. EM_ELEC(EMS,T)*1000=e= sum(P,
 spcel(P)*efelproc(EMS)*INPROC(P,T));

EQ_EM_PROC(EMS,T).. EM_PROC(EMS,T)=e=sum(P,
 efprocems(P,EMS)*INPROC(P,T));

EQ_EM_WTE_CO2(T)..
 EM_WTE_CO2(T)=e=sum(BD,DERFCO2BD(BD,T))+sum(MBT,DERFCO2MBT(
 MBT,T))+ WTECO2MW(T) ;

EQ_EM_WTE_NH3(T)..
 EM_WTE_NH3(T)=e=sum(BD,DERFEMSBD(BD,'NH3',T))+sum(MBT,DERFEMS
 MBT(MBT,'NH3',T))+ WTEEMSMW('NH3',T) ;

EQ_EM_WTE_PM10(T)..
 EM_WTE_PM10(T)=e=sum(BD,DERFEMSBD(BD,'PM10',T))+sum(MBT,DERFE
 MSMBT(MBT,'PM10',T))+ WTEEMSMW('PM10',T) ;

EQ_EM_WTE_SOX(T)..
 EM_WTE_SOX(T)=e=sum(BD,DERFEMSBD(BD,'SOX',T))+sum(MBT,DERFEM
 SMBT(MBT,'SOX',T))+ WTEEMSMW('SOX',T) ;

EQ_EM_WTE_NOX(T)..
 EM_WTE_NOX(T)=e=sum(BD,DERFEMSBD(BD,'NOX',T))+sum(MBT,DERFEM
 SMBT(MBT,'NOX',T))+ WTEEMSMW('NOX',T) ;

EQ_EM_WTE_NMVOC(T)..
 EM_WTE_NMVOC(T)=e=sum(BD,DERFEMSBD(BD,'NMVOC',T))+sum(MBT,D
 ERFEMSMBT(MBT,'NMVOC',T))+ WTEEMSMW('NMVOC',T) ;

EQ_EM_WTE_PCDD(T)..
 EM_WTE_PCDD(T)=e=sum(BD,DERFEMSBD(BD,'PCDD',T))+sum(MBT,DERFE
 MSMBT(MBT,'PCDD',T))+ WTEEMSMW('PCDD',T) ;

EQ_EM_TRANS(EMS,T).. EM_TRANS(EMS,T) =e=
 sum(TFL,emtrans(EMS,TFL))*(
 sum((P,J),sctrw(P,TFL)*dens(TFL)*dpybp(P)*W(J,P,T))+
 sum((P,LDF),sctrwldf(P,TFL)*dens(TFL)*dpypl(P,LDF)*WLDF(P,LDF,T))+
 sum(P,sctrwts(P,TFL)*dens(TFL)*dpytsp(P)*WTS(P,T))+
 sctrwbwte(TFL)*dens(TFL)*dpybdwte*sum((BD,WTE),WBDWTE(BD,WTE,T))+
 sctrwmbtwte(TFL)*dens(TFL)*dpymbtwte*sum((MBT,WTE),WMBTWTE(MBT,W
 TE,T))
));

*total quantities of emissions in tons/year except from PCDD which is kg/year

EQ_EM_NH3(T)..
EM_NH3(T)*10**3=e=EM_DIES('NH3',T)+EM_NATG('NH3',T)+EM_ELEC('NH3',T)+EM_PROC('NH3',T)+EM_TRANS('NH3',T)+EM_WTE_NH3(T);
EQ_EM_PM10(T)..
EM_PM10(T)*10**3=e=EM_DIES('PM10',T)+EM_NATG('PM10',T)+EM_ELEC('PM10',T)+EM_PROC('PM10',T)+EM_TRANS('PM10',T)+EM_WTE_PM10(T);
EQ_EM_SOX(T)..
EM_SOX(T)*10**3=e=EM_DIES('SOX',T)+EM_NATG('SOX',T)+EM_ELEC('SOX',T)+EM_PROC('SOX',T)+EM_TRANS('SOX',T)+EM_WTE_SOX(T);
EQ_EM_NOX(T)..
EM_NOX(T)*10**3=e=EM_DIES('NOX',T)+EM_NATG('NOX',T)+EM_ELEC('NOX',T)+EM_PROC('NOX',T)+EM_TRANS('NOX',T)+EM_WTE_NOX(T);
EQ_EM_NMVOC(T)..
EM_NMVOC(T)*10**3=e=EM_DIES('NMVOC',T)+EM_NATG('NMVOC',T)+EM_ELEC('NMVOC',T)+EM_PROC('NMVOC',T)+EM_TRANS('NMVOC',T)+EM_WTE_NMVOC(T);
EQ_EM_PCDD(T)..
EM_PCDD(T)=e=EM_DIES('PCDD',T)+EM_NATG('PCDD',T)+EM_ELEC('PCDD',T)+10**(-9)*EM_PROC('PCDD',T)+EM_TRANS('PCDD',T)+10**(-6)*EM_WTE_PCDD(T);

* The following is for calculating recycling rates and compliance with legislation

EQ_BDEGR_TO_LDF(T).. BDEGR_LDF(T)=e=
sum((BDEGR,TSR),tsrcc(TSR,BDEGR,'RESD')*sum(J,sh(BDEGR,J,T)*lnk(TSR,J)*W(J,TSR,T)))+

sum((BDEGR,TSG),tsgcc(TSG,BDEGR,'RESD')*sum(J,sh(BDEGR,J,T)*lnk(TSG,J)*W(J,TSG,T)))+

sum((BDEGR,CMP),(1-cmpcoef(BDEGR,CMP))*cmpcc(CMP,BDEGR,'RESD')*sum(J,sh(BDEGR,J,T)*lnk(CMP,J)*W(J,CMP,T)))+

sum((BDEGR,AD),(1-adcoef(BDEGR,AD))*adcc(AD,BDEGR,'RESD')*sum(J,sh(BDEGR,J,T)*lnk(AD,J)*W(J,AD,T)))+

sum((BDEGR,MRF),mrfcc(MRF,BDEGR,'RESD')*sh(BDEGR,'BRC',T)*(W('BRC',MRF,T)+WTS(MRF,T)))+

sum((BDEGR,MBT),(1-mbtcoef(BDEGR,MBT))*mbtcc(MBT,BDEGR,'RESD')*sum(J,sh(BDEGR,J,T)*lnk(MBT,J)*W(J,MBT,T)))+

sum((BDEGR,BD),bdcc(BD,BDEGR,'RESD')*sh(BDEGR,'BMW',T)*(W('BMW',BD,T)+WTS(BD,T)))+

$$\begin{aligned} & \text{sum}((\text{BDEGR}, \text{WTE}), \text{wtecc}(\text{WTE}, \text{BDEGR}, ' \text{RESD}')) * \text{sh}(\text{BDEGR}, ' \text{BMW}', \text{T}) * (\text{W}(' \text{BMW}', \text{WTE}, \text{T}) + \text{WTS}(\text{WTE}, \text{T})) + \\ & \quad \text{sum}((\text{BDEGR}, \text{LDF}), \\ & \text{sh}(\text{BDEGR}, ' \text{BMW}', \text{T}) * \text{lnk}(\text{LDF}, ' \text{BMW}')) * (\text{W}(' \text{BMW}', \text{LDF}, \text{T}) + \text{WTS}(\text{LDF}, \text{T})); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{EQ_REC_TO_ENRG}(\text{T}).. \quad \text{RECTOENRG}(\text{T}) = e = \\ & \text{sum}((\text{RECYC}, \text{TSR}), \text{tsrcc}(\text{TSR}, \text{RECYC}, ' \text{DERF}')) * \text{sum}(\text{J}, \text{sh}(\text{RECYC}, \text{J}, \text{T}) * \text{lnk}(\text{TSR}, \text{J}) * \\ & \text{W}(\text{J}, \text{TSR}, \text{T})) + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{sum}((\text{RECYC}, \text{TSG}), \text{tsgcc}(\text{TSG}, \text{RECYC}, ' \text{DERF}')) * \text{sum}(\text{J}, \text{sh}(\text{RECYC}, \text{J}, \text{T}) * \text{lnk}(\text{TSG}, \text{J}) \\ & * \text{W}(\text{J}, \text{TSG}, \text{T})) + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{sum}((\text{RECYC}, \text{CMP}), \text{cmpcc}(\text{CMP}, \text{RECYC}, ' \text{DERF}')) * \text{sum}(\text{J}, \text{sh}(\text{RECYC}, \text{J}, \text{T}) * \text{lnk}(\text{CMP}, \text{J}) \\ & * \text{W}(\text{J}, \text{CMP}, \text{T})) + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{sum}((\text{RECYC}, \text{AD}), \text{adcc}(\text{AD}, \text{RECYC}, ' \text{DERF}')) * \text{sum}(\text{J}, \text{sh}(\text{RECYC}, \text{J}, \text{T}) * \text{lnk}(\text{AD}, \text{J}) * \text{W}(\text{J}, \\ & \text{AD}, \text{T})) + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{sum}((\text{RECYC}, \text{MRF}), \text{mrfcc}(\text{MRF}, \text{RECYC}, ' \text{DERF}')) * \text{sh}(\text{RECYC}, ' \text{BRC}', \text{T}) * (\text{W}(' \text{BRC}', \text{MRF}, \text{T}) + \\ & \text{WTS}(\text{MRF}, \text{T})) + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{sum}((\text{RECYC}, \text{MBT}), \text{mbtcc}(\text{MBT}, \text{RECYC}, ' \text{DERF}')) * \text{sh}(\text{RECYC}, ' \text{BMW}', \text{T}) * (\text{W}(' \text{BMW}', \text{MBT}, \text{T}) + \\ & \text{WTS}(\text{MBT}, \text{T})) + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{sum}((\text{RECYC}, \text{BD}), \text{bdcc}(\text{BD}, \text{RECYC}, ' \text{DERF}')) * \text{sh}(\text{RECYC}, ' \text{BMW}', \text{T}) * (\text{W}(' \text{BMW}', \text{BD}, \text{T}) + \\ & \text{WTS}(\text{BD}, \text{T})) + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{sum}((\text{RECYC}, \text{WTE}), \text{wtecc}(\text{WTE}, \text{RECYC}, ' \text{DERF}')) * \text{sh}(\text{RECYC}, ' \text{BMW}', \text{T}) * (\text{W}(' \text{BMW}', \text{WTE}, \text{T}) + \\ & \text{WTS}(\text{WTE}, \text{T})) + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{sum}((\text{RECYC}, \text{TSR}), \text{tsrcc}(\text{TSR}, \text{RECYC}, ' \text{BIOG}')) * \text{sum}(\text{J}, \text{sh}(\text{RECYC}, \text{J}, \text{T}) * \text{lnk}(\text{TSR}, \text{J}) * \\ & \text{W}(\text{J}, \text{TSR}, \text{T})) + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{sum}((\text{RECYC}, \text{TSG}), \text{tsgcc}(\text{TSG}, \text{RECYC}, ' \text{BIOG}')) * \text{sum}(\text{J}, \text{sh}(\text{RECYC}, \text{J}, \text{T}) * \text{lnk}(\text{TSG}, \text{J}) \\ & * \text{W}(\text{J}, \text{TSG}, \text{T})) + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{sum}((\text{RECYC}, \text{CMP}), \text{cmpcc}(\text{CMP}, \text{RECYC}, ' \text{BIOG}')) * \text{sum}(\text{J}, \text{sh}(\text{RECYC}, \text{J}, \text{T}) * \text{lnk}(\text{CMP}, \text{J}) \\ & * \text{W}(\text{J}, \text{CMP}, \text{T})) + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{sum}((\text{RECYC}, \text{AD}), \text{adcc}(\text{AD}, \text{RECYC}, ' \text{BIOG}')) * \text{sum}(\text{J}, \text{sh}(\text{RECYC}, \text{J}, \text{T}) * \text{lnk}(\text{AD}, \text{J}) * \text{W}(\text{J}, \\ & \text{AD}, \text{T})) + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{sum}((\text{RECYC}, \text{MRF}), \text{mrfcc}(\text{MRF}, \text{RECYC}, ' \text{BIOG}')) * \text{sh}(\text{RECYC}, ' \text{BRC}', \text{T}) * (\text{W}(' \text{BRC}', \text{MRF}, \text{T}) + \\ & \text{WTS}(\text{MRF}, \text{T})) + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{sum}((\text{RECYC}, \text{MBT}), \text{mbtcc}(\text{MBT}, \text{RECYC}, ' \text{BIOG}')) * \text{sh}(\text{RECYC}, ' \text{BMW}', \text{T}) * (\text{W}(' \text{BMW}', \text{MBT}, \text{T}) + \\ & \text{WTS}(\text{MBT}, \text{T})) + \end{aligned}$$

sum((RECYC,BD),bdcc(BD,RECYC,'BIOG')*sh(RECYC,'BMW',T)*(W('BMW',BD,T)+WTS(BD,T)))+

sum((RECYC,WTE),wtecc(WTE,RECYC,'BIOG')*sh(RECYC,'BMW',T)*(W('BMW',WTE,T)+WTS(WTE,T)))+

sh(RECYC,'BMW',T)*lnk(WTE,'BMW')*(W('BMW',WTE,T)+WTS(WTE,T));

*constraints for recycling targets

EQ_REC_RATE(I,T).. RECRAT(I,T)*tquant(I,T)=e=sum(P, RECPROC(P,I,T)) ;

RECRAT.LO(I,T)=rectarget(I,T);

*packing recyclables

EQ_REC_RATE_WOOD(T).. (rr_wood(T) - L_WOOD(T))*tquant('LWWP',T) =l= sum(P, RECPROC(P,'LWWP',T));

EQ_REC_RATE_PAPER(T).. (rr_paper(T) - L_PAPER(T))*sum(PAP,tquant(PAP,T)) =l= sum((P,PAP), RECPROC(P,PAP,T));

EQ_REC_RATE_GLASS(T).. (rr_glass(T) - L_GLASS(T))*sum(GLS,tquant(GLS,T)) =l= sum((P,GLS), RECPROC(P,GLS,T));

EQ_REC_RATE_METAL(T).. (rr_metal(T) - L_METAL(T))*sum(MET,tquant(MET,T)) =l= sum((P,MET), RECPROC(P,MET,T));

EQ_REC_RATE_PLASTIC(T).. (rr_plast(T) - L_PLAST(T))*sum(PLA,tquant(PLA,T)) =l= sum((P,PLA), RECPROC(P,PLA,T));

*total recyclables

EQ_REC_RATE_PAPERTOT(T).. (rr_papertot(T) - L_PAPERTOT(T))*sum(PAPTOT,tquant(PAPTOT,T)) =l= sum((P,PAPTOT), RECPROC(P,PAPTOT,T));

EQ_REC_RATE_GLASSTOT(T).. (rr_glasstot(T) - L_GLASSTOT(T))*sum(GLSTOT,tquant(GLSTOT,T)) =l= sum((P,GLSTOT), RECPROC(P,GLSTOT,T));

EQ_REC_RATE_METALTOT(T).. (rr_metaltot(T) - L_METALTOT(T))*sum(METTOT,tquant(METTOT,T)) =l= sum((P,METTOT), RECPROC(P,METTOT,T));

EQ_REC_RATE_PLASTICTOT(T).. (rr_plasttot(T) - L_PLASTTOT(T))*sum(PLATOT,tquant(PLATOT,T)) =l= sum((P,PLATOT), RECPROC(P,PLATOT,T));

* recycle and energy

EQ_RATE_REC_ENRG(T).. (p_recenrg(T) - L_RECENRG(T))*sum(RECYC,tquant(RECYC,T))=l= sum((P,RECYC), RECPROC(P,RECYC,T))+ RECTOENRG(T);

* total packing

EQ_RATE_REC_PACK(T).. REC_RATE_PACK(T)*sum(RECYC,tquant(RECYC,T))=e= sum((P,RECYC), RECPROC(P,RECYC,T));

REC_RATE_PACK.LO(T)=(1-rectargmaxdev)*rr_pack_min(T);

REC_RATE_PACK.UP(T)=(1+rectargmaxdev)*rr_pack_max(T);

EQ_LAMDA.. LAMDA =e= 100*sum(T,
(L_WOOD(T)+L_PAPER(T)+L_GLASS(T)+L_METAL(T)+L_PLAST(T)))/(CARD
(T)*5); //+ 10**(-9)*NPC;
L_RECENRG.UP(T) = rectargmaxdev*p_recenrg(T); //0;
L_WOOD.up(T) = rectargmaxdev*rr_wood(T); //0;
L_PAPER.up(T) = rectargmaxdev*rr_paper(T); //0;
L_GLASS.up(T) = rectargmaxdev*rr_glass(T); //0;
L_METAL.up(T) = rectargmaxdev*rr_metal(T); //0;
L_PLAST.up(T) = rectargmaxdev*rr_plast(T); //0;

* regulation for Biodegradables going to landfill in relation to 1995 amounts
BDEGRLLDF.UP(T)=bdegrprop(T)*bdegrldf1995*(1+rectargmaxdev);

* The following is for calculating costs

EQ_ANNBNCAPEX(T).. 1000*ANNBNCAPEX(T)=e=
sum(J,bfcost(J)*INBIN(J,T));
EQ_ANNTRCAPEX(T).. 1000*ANNTRCAPEX(T)=e=
SUM(TT\$(ord(TT)<=ord(T)),sum((P,J),tc(P)*W(J,P,TT)))+

SUM(TT\$(ord(TT)<=ord(T)),sum((P,LDF),tcldf(P,LDF)*WLDF(P,LDF,TT)))+
SUM(TT\$(ord(TT)<=ord(T)),sum(P,tcts(P)*WTS(P,TT)))+
tcbdwte*SUM(TT\$(ord(TT)<=ord(T)),sum((BD,WTE),
WBDWTE(BD,WTE,TT)))+

tcmbtwte*SUM(TT\$(ord(TT)<=ord(T)),sum((MBT,WTE),WMBTWTE(MBT,WTE,
TT)));

EQ_ANNPRCAPEX(T).. 1000*ANNPRCAPEX(T)=e=
sum(TT\$(ord(TT)<=ord(T)),sum(P,
(aicintercept(P)*B(P,TT)+aicslope(P)*CAP(P,TT))));

EQ_ANNTROPEX(T).. 1000*ANNTROPEX(T)=e=
sum((P,J),cpkmbp(P)*dpybp(P)*W(J,P,T))+
sum((P,LDF),cpkmpl(P)*dpypl(P,LDF)*WLDF(P,LDF,T))+
sum(P,cpkmts(P)*dpytsp(P)*WTS(P,T))+

cpkmbdwte*dpybdwte*sum((BD,WTE),WBDWTE(BD,WTE,T))+

cpkmbtwte*dpybwtwte*sum((MBT,WTE),WMBTWTE(MBT,WTE,T));

EQ_ANNPROPEX(T).. 1000*ANNPROPEX(T)=e=
sum(TT\$(ord(TT)<=ord(T)),sum(P\$(not LDF(P)),
(aocintercept(P)*B(P,TT)+aocslope(P)*CAP(P,TT))))

+
sum(LDF(P),(aocintercept(P)*B(P,T)+aocslope(P)*CAP(P,T))) +sum(P,
pvcost(P)*INPROC(P,T));

EQ_AMMINCMREC(T,S).. 1000*ANNINCMREC(T,S)=e=
sum((I,P),price_i_s(I,S)*RECPROC(P,I,T))+
sum((O,P),price_o_s(O,S)*OUTPROC(P,O,T))+
derfprice_s(S)*DERFSELL(T);

EQ_AMMINCMEL(T,S).. 1000*ANNINCMEL(T,S)=e=
(ELPROD_MBT(T)+ELPROD_AD(T))*el_price_biog_s(S) +
sum(WTE,ELPROD(WTE,T))*el_price_s(S) ;

EQ_ANNCOST(T,S)..
ANNCOST(T,S)=e=ANNBNCAPEX(T)+ANNTRCAPEX(T)+ANNPRCAPEX(T)+
ANNTROPEX(T)+ANNPROPEX(T)-ANNINCMREC(T,S)-
ANNINCMEL(T,S)+excostflag*ANNEXCOST(T,S);

EQ_ANNEXCOST(T,S).. 1000*ANNEXCOST(T,S)=e=
1000*excostco2eq_s(S)*(CO2EQENRGY(T)+CO2EQPROC(T)+CO2EQTRANS(T)
+CO2EQLDF(T)/card(T))+
excostWTE_s(S)*(sum(MBT,
NCVMBTDF(MBT,T))+sum(BD,NCVBDDF(BD,T))+sum(WTE,NCVMWWTE(W
TE,T)))+

excostldf_s(S)*INPROC('LDF1',T)+excosthzldf_s(S)*INPROC('LDF2',T)+
sum(P,excostql(P)*INPROC(P,T))-
exbenefitel_s(S)*(ELPROD_MBT(T)+ELPROD_AD(T) +
sum(WTE,ELPROD(WTE,T)))-
exbenefitcmp*(sum(P,
OUTPROC(P,'OCMP',T))+sum(P,OUTPROC(P,'STOR',T)));

EQ_INVBN(T).. 1000*crfbn*INVBN(T)=e=sum(J,bfcost(J)*INBIN(J,T));
EQ_INVTR1.. 1000*crftr*INVTR('1') =e= sum((P,J),tc(P)*W(J,P,'1'))+
sum((P,LDF),tcldf(P,LDF)*WLDF(P,LDF,'1'))+sum(P,tcts(P)*WTS(P,'1'))+
tcbdwtw*sum((BD,WTE),
WBDWTE(BD,WTE,'1'))+tcmbtwte*sum((MBT,WTE),WMBTWTE(MBT,WTE,'1')
);

EQ_INVTR(T)\$(ord(T)>1).. 1000*crftr*INVTR(T) =e= sum((P,J),tc(P)*(W(J,P,T)-
W(J,P,T-1)))+ sum((P,LDF),tcldf(P,LDF)*(WLDF(P,LDF,T)-WLDF(P,LDF,T-1)))+
sum(P,tcts(P)*(WTS(P,T)-WTS(P,T-1)))+
tcbdwtw*sum((BD,WTE), (WBDWTE(BD,WTE,T)-
WBDWTE(BD,WTE,T-1)))+
tcmbtwte*sum((MBT,WTE),(WMBTWTE(MBT,WTE,T)-
WMBTWTE(MBT,WTE,T-1)));

EQ_INVPR(T).. 1000*crfpr*INVPR(T)=e= sum(P,
(aicintercept(P)*B(P,T)+aicslope(P)*CAP(P,T)));

* The following is for calculating CO2 equivalent

EQ_CO2EQENRGY(T).. CO2EQENRGY(T)*10**6 =e=
eqfac_co2*(EM_DIES('CO2',T) + EM_NATG('CO2',T)+ EM_ELEC('CO2',T))+

```

eqfac_ch4*(EM_DIES('CH4',T) + EM_NATG('CH4',T)+
EM_ELEC('CH4',T)) +
eqfac_n20* (EM_DIES('N2O',T) + EM_NATG('N2O',T)+
EM_ELEC('N2O',T));
EQ_CO2EQPROC(T).. CO2EQPROC(T)*10**6 =e=
eqfac_co2*(EM_PROC('CO2',T)+ 10**3*EM_WTE_CO2(T))+
eqfac_ch4*(EM_PROC('CH4',T))+
eqfac_n20*(EM_PROC('N2O',T));
EQ_CO2EQTRANS(T).. CO2EQTRANS(T)*10**6 =e=
eqfac_co2*EM_TRANS('CO2',T)+21*EM_TRANS('CH4',T)+eqfac_n20*EM_TRANS('N2O',T);
EQ_CO2EQLDF(T).. 10**3*CO2EQLDF(T)=e= (1-
flareprop)*eqfac_ch4*(LDF_CH4_FOOD(T)+LDF_CH4_GARD(T)+LDF_CH4_PAP(T)+LDF_CH4_WDS(T)+LDF_CH4_TXT(T)+LDF_CH4_NAP(T));
EQ_CO2EQLDF20_40.. 10**3*CO2LDF20_40=e=(1-
flareprop2)*eqfac_ch4*sum(T,
FOOD1LDF(T)*ch4ldf_upto40('FUD1',T)+FOOD2LDF(T)*ch4ldf_upto40('FUD2',T)
)+
GARD1LDF(T)*ch4ldf_upto40('GRD1',T)+GARD2LDF(T)*ch4ldf_upto40('GRD2',
T)+
PAP1LDF(T)*ch4ldf_upto40('PAP1',T)+PAP2LDF(T)*ch4ldf_upto40('PAP2',T)+
WDS1LDF(T)*ch4ldf_upto40('WDS1',T)+WDS2LDF(T)*ch4ldf_upto40('WDS2',T)
+
TXT1LDF(T)*ch4ldf_upto40('TXT1',T)+TXT2LDF(T)*ch4ldf_upto40('TXT2',T));
*****
*****
*****
EQ_TOTCO2.. TOTCO2 =e=
sum(T,yp*(CO2EQENRGY(T)+CO2EQPROC(T)+CO2EQTRANS(T))+CO2EQLDF(T)+CO2LDF20_40 ; //+10**(-7)*NPC;
EQ_NPC_EXC_20_40(S).. NPC_EXC_20_40(S) =e=
(excstco2eq_s(S)*CO2LDF20_40)/(1+df)**30 ; // calculation of external cost for
the 20_40 emissions centered to year 30
EQ_NPC_EXC(S).. NPC_EXC(S) =e=
sum(T,yp*ANNEXCOST(T,S)*dfc(T))+NPC_EXC_20_40(S) ; // calculation of
total external cost (annual external cost and ternal cost for the 20_40 emissions
EQ_NPC(S).. NPC(S) =e=
sum(T,yp*ANNCOST(T,S)*dfc(T))+(excstflag*NPC_EXC_20_40(S)); //
calculation of total cost (private & external) depending on excstflag
EQ_NPC_ECON(S).. NPC_ECON(S) =e= sum(T,yp*(ANNCOST(T,S)-
excstflag*ANNEXCOST(T,S))*dfc(T)); // calculation of private cost only (ignoring
external cost)
TOTCO2.up=7000;

```

```
OUTPROC.FX('TS',O,T)= 0; // output from TS is already taken into account
RECPROC.FX('TS',I,T)= 0; // no recycle from TS
```

```
* files with the user defined constraints
* existent units - (lower bounds)
$include C:\gams\waste\attica3\usc_descr.txt
*excluded units (fixed bounds)
$include C:\gams\waste\attica3\usc_descrexclu.txt
* upper bound for derived fuel sold (upper bound)
$include C:\gams\waste\attica3\usc_descrR.txt
* restriction on flows through appropriate bounds
$include C:\gams\waste\attica3\usc_desflows.txt
```

```
W.FX(J,P,T)$ (lnk(P,J)=0)=0;
DERFSELL.UP(T) = derfsellup;
```

```
model waste /all/;
```

```
*-----
$title minimax regret
scalar
first auxiliary scalar for output

parameters
wsc(s) weight for each scenario S
scenmin(s) minimum of NPC for scenario S
;
free variables
NPCALL current weighted sum
MMR minimax regret
;
equations
EQ_NPCALL all scenarios in a weighted sum
EQ_MAXDIST(S) calculation of maximum distance from scenarios S ideal
;
EQ_NPCALL.. sum(S, wsc(S)*NPC(S))=e= NPCALL;
*EQ_MAXDIST(S).. NPC(S) =l= scenmin(S)+MMR ; // deviation;
EQ_MAXDIST(S).. NPC(S) =l= (1+MMR)*scenmin(S) ; // relative;

model mmr_waste /waste, EQ_NPCALL, EQ_MAXDIST/ ;
```

```
option limrow=2, limcol=2;
option optcr=0.000;
```

```
*start=jnow;
```

```
File vx / c:\gams\waste\waste_mmr_attica3.out /;
vx.pw=2000;
```

```

put vx 'Individual scenario optimizations'/;
scenmin(S)=1e9;
loop(SS,
  loop(S, wsc(S)=0);
  wsc(SS)=1;
  solve mmr_waste using mip minimizing NPCALL ;
  if (mmr_waste.modelstat<>1 and mmr_waste.modelstat<>8, abort 'no optimal
solution for wsum_model' );
  put vx SS.tl:5:0;
  put 'NPC= ',NPCALL.L:12:2;
  put ' TOTCO2= ',TOTCO2.L: 8:2;
  put /;
  scenmin(SS)=NPCALL.L;

param_orgldf(T)=BDEGR.LDF.L(T)/(bdegrldf1995+0.1);
param_rr_wood(T)=sum(P, RECPROC.L(P,'LWWP',T))/(tquant('LWWP',T)+0.1);
param_rr_paper(T)=sum((P,PAP), RECPROC.L(P,PAP,T))/
(sum(PAP,tquant(PAP,T))+0.1);
param_rr_glass(T)= sum((P,GLS),
RECPROC.L(P,GLS,T))/(sum(GLS,tquant(GLS,T))+0.1);
param_rr_metal(T)=sum((P,MET),
RECPROC.L(P,MET,T))/(sum(MET,tquant(MET,T))+0.1) ;
param_rr_plast(T)=sum((P,PLA),
RECPROC.L(P,PLA,T))/(sum(PLA,tquant(PLA,T))+0.1);
param_rr_recenrg(T)=(sum((P,RECYC), RECPROC.L(P,RECYC,T))+
RECTOENRG.L(T))/(sum(RECYC,tquant(RECYC,T))+0.1);

param_rr_papertot(T)=sum((P,PAPTOT), RECPROC.L(P,PAPTOT,T))/
(sum(PAPTOT,tquant(PAPTOT,T))+0.1);
param_rr_glasstot(T)= sum((P,GLSTOT),
RECPROC.L(P,GLSTOT,T))/(sum(GLSTOT,tquant(GLSTOT,T))+0.1);
param_rr_metaltot(T)=sum((P,METTOT),
RECPROC.L(P,METTOT,T))/(sum(METTOT,tquant(METTOT,T))+0.1) ;
param_rr_plasttot(T)=sum((P,PLATOT),
RECPROC.L(P,PLATOT,T))/(sum(PLATOT,tquant(PLATOT,T))+0.1);

put vx /;
put vx 'Annual_costs_and_income_by_category_(keuros)'/;
put vx '*****'/;
put vx 'Bins: ',loop(T, put ANNBNCAPEX.L(T):10:0); put /;
put vx 'Transportation_(capacity): ',loop(T, put ANNTRCAPEX.L(T):10:0); put /;
put vx 'Transportation_(operation): ',loop(T, put ANNTROPEX.L(T):10:0); put /;
put vx 'Processes_(capacity): ',loop(T, put ANNPRCAPEX.L(T):10:0); put /;
put vx 'Processes_(operation): ',loop(T, put ANNPROPEX.L(T):10:0); put /;
put vx 'Income_from_recycle: ',loop(T, put ANNINCMREC.L(T,SS):10:0); put /;
put vx 'Income_from_electricity: ',loop(T, put ANNINCMEL.L(T,SS):10:0); put /;
put vx 'Annual_total_cost: ',loop(T, put ANNCOST.L(T,SS):10:0); put /;
put vx 'External_cost: ',loop(T, put ANNEXCOST.L(T,SS):10:0); put /;

```

```

put vx 'Ext_cost_for_next_20_years: ',NPC_EXC_20_40.L(SS):10:0 /;
put vx 'Derived_fuel_sold_(t):      ',loop(T, put DERFSELL.L(T):10:0); put /;
put vx /;
put vx 'Investment_costs'/;
put vx '*****'/;
put vx 'Bins:          ',loop(T, put INVBN.L(T):10:0); put /;
put vx 'Transportation: ',loop(T, put (max(INVTR.L(T),0)):10:0); put /;
put vx 'Processes:     ',loop(T, put INVPR.L(T):10:0); put /;
put vx /;
put vx 'Recycling_rates'/;
put vx '*****'/;
put vx 'wood_packaging:      ',loop(T, put param_rr_wood(T):6:2); put /;
put vx 'paper_packaging:     ',loop(T, put param_rr_paper(T):6:2); put /;
put vx 'glass_packaging:     ',loop(T, put param_rr_glass(T):6:2); put /;
put vx 'metal_packaging:     ',loop(T, put param_rr_metal(T):6:2); put /;
put vx 'plastic_packaging:   ',loop(T, put param_rr_plast(T):6:2); put /;
put vx 'packaging_to_recycle_&_energy: ',loop(T, put param_rr_recenrg(T):6:2); put
/;
put vx 'paper_total:        ',loop(T, put param_rr_papertot(T):6:2); put /;
put vx 'glass_total:        ',loop(T, put param_rr_glasstot(T):6:2); put /;
put vx 'metal_total:        ',loop(T, put param_rr_metaltot(T):6:2); put /;
put vx 'plastic_total:      ',loop(T, put param_rr_plasttot(T):6:2); put /;

```

*CO2 report

```

put vx /;
put vx 'Annual_CO2-equivalent_emissions_by_category_(kt)'/;
put vx '*****'/;
put vx 'From_energy_in_processes:',loop(T, put CO2EQENRGY.L(T):10:2); put /;
put vx 'From_processes_(no_LDF): ',loop(T, put CO2EQPROC.L(T):10:2); put /;
put vx 'From_transportation:      ',loop(T, put CO2EQTRANS.L(T):10:2); put /;
put vx 'From_Landfill:            ',loop(T, put (CO2EQLDF.L(T)/yp):10:2); put /;
put vx 'CO2eq_for_next_20_years: ', CO2LDF20_40.L:10:2 /;

```

```

put vx /;
put vx 'Load_in_the_bins_(tons)'/;
put vx '*****'/;
loop(J,
  put vx J.TL:5:0,
  loop(T, put INBIN.L(J,T):10:0);
  put /;
);

```

put vx /;

*\$ontext

```

put vx /;
put vx 'Capacity_of_processes_(in_tons/year)'/;
put vx '*****'/;

```

```

loop(P,
  first=1;
  loop(T,
    if(CAP.L(P,T)>1 and first=1,
      put P.tl:5:0,
      loop(TT, put CAP.L(P,TT):10:0);
    *
      loop(TT, put (100*round(CAP.L(P,TT)/100)):10:0);
      put /;
      first=0;
    );
  );
);

put vx /;
put vx 'Input_in_processes_(in tons/year)'/;
put vx '*****'/;
loop(P,
  first=1;
  loop(T,
    if(CAP.L(P,T)>1 and first=1,
      put P.tl:5:0,
      loop(TT, put INPROC.L(P,TT):10:0);
      put /;
      first=0;
    );
  );
);
put
'*****'/;
put /;

put vx 'Flows from bin to process - from process to process - from process to landfill(in
tons/year)'/;
put
'*****'/;
loop(J,
  loop(P,
    first=1;
    loop(T,
      if(W.L(J,P,T)>1 and first=1, // "and first=1" in order not to repeat the output
for all T
      put "Flow from ", J.tl, " to ", P.tl, " : "
      loop(TT, put W.L(J,P,TT):10:0);
      put /;
      first = 0;
    );
  );
);
);

```

```

);
*put vx 'Flows from TS to processes(in tons/year)'/;
loop(P,
  first=1;
  loop(T,
    if(WTS.L(P,T)>1 and first=1,
      put "Flow from TS    to ", P.tl, " : "
      loop(TT, put WTS.L(P,TT):10:0);
      put /;
      first=0;
    );
  );
);

*put vx 'Flows from MBT to WTE(in tons/year)'/;
loop(MBT,
  loop(WTE,
    first=1;
    loop(T,
      if(WMBTWTE.L(MBT,WTE,T)>1 and first=1,
        put "Flow from ", MBT.tl, " to ", WTE.tl, " : "
        loop(TT, put WMBTWTE.L(MBT,WTE,TT):10:0);
        put /;
        first=0;
      );
    );
  );
);

*put vx 'Flows from BD to WTE(in tons/year)'/;
loop(BD,
  loop(WTE,
    first=1;
    loop(T,
      if(WBDWTE.L(BD,WTE,T)>1 and first=1,
        put "Flow from ", BD.tl, " to ", WTE.tl, " : "
        loop(TT, put WBDWTE.L(BD,WTE,TT):10:0);
        put /;
        first=0;
      );
    );
  );
);

*put vx 'Flows from processes to conventional landfill (in tons/year)'/;
loop(LDF,
  loop(P,
    first=1;
    loop(T,
      if(WLDF.L(P,LDF,T)>1 and first=1,

```

```

        put "Flow from ", P.tl, " to ", LDF.tl, " : "
        loop(TT, put WLDF.L(P,LDF,TT):10:0);
        put /;
        first=0;
    );
);
);
);
put
'*****
*****'/;
put /;
put 'Other_ emissions (annual amounts)' /;
put 'NH3_(t): ' ; loop(T, put EM_NH3.L(T):10:0); put /;
put 'PM10_(t): ' ; loop(T, put EM_PM10.L(T):10:0); put /;
put 'SOx_(t): ' ; loop(T, put EM_SOX.L(T):10:0); put /;
put 'NOx_(t): ' ; loop(T, put EM_NOX.L(T):10:0); put /;
put 'NMVOC_(t): ' ; loop(T, put EM_NMVOC.L(T):10:0); put /;
put 'PCDD_(kg): ' ; loop(T, put EM_PCDD.L(T):10:4); put /;
put
'*****
*****'/;
put
'*****
*****'/;
);
put 'Minimax Regret solution'/;
solve mmr_waste using mip minimizing MMR;
if (mmr_waste.modelstat<>1 and mmr_waste.modelstat<>8, abort 'no optimal solution
for wsum_model' );
put 'MMR= ',MMR.L:8:4 /; // the MMR of the solution
loop(S, put 'NPC= ', NPC.L(S):12:2/);
put 'TOTCO2= ',TOTCO2.L: 8:2/;

*finish=jnow;

param_orgldf(T)=BDEGRDF.L(T)/(bdegrldf1995+0.1);
param_rr_wood(T)=sum(P, RECPROC.L(P,'LWWP',T))/(tquant('LWWP',T)+0.1);
param_rr_paper(T)=sum((P,PAP), RECPROC.L(P,PAP,T))/
(sum(PAP,tquant(PAP,T))+0.1);
param_rr_glass(T)= sum((P,GLS),
RECPROC.L(P,GLS,T))/(sum(GLS,tquant(GLS,T))+0.1);
param_rr_metal(T)=sum((P,MET),
RECPROC.L(P,MET,T))/(sum(MET,tquant(MET,T))+0.1) ;
param_rr_plast(T)=sum((P,PLA),
RECPROC.L(P,PLA,T))/(sum(PLA,tquant(PLA,T))+0.1);

```


param_rr_recenrg(T)=(sum((P,RECYC), RECPROC.L(P,RECYC,T))+
RECTOENRG.L(T))/(sum(RECYC,tquant(RECYC,T))+0.1);

param_rr_papertot(T)=sum((P,PAPTOT), RECPROC.L(P,PAPTOT,T))/
(sum(PAPTOT,tquant(PAPTOT,T))+0.1);

param_rr_glasstot(T)= sum((P,GLSTOT),
RECPROC.L(P,GLSTOT,T))/(sum(GLSTOT,tquant(GLSTOT,T))+0.1);

param_rr_metaltot(T)=sum((P,METTOT),
RECPROC.L(P,METTOT,T))/(sum(METTOT,tquant(METTOT,T))+0.1) ;

param_rr_plasttot(T)=sum((P,PLATOT),
RECPROC.L(P,PLATOT,T))/(sum(PLATOT,tquant(PLATOT,T))+0.1);

put vx /;

put vx 'Annual_costs_and_income_by_category_(keuros)'/;

put vx '*****'/;

put vx 'Bins: ',loop(T, put ANNBNCAPEX.L(T):10:0); put /;

put vx 'Transportation_(capacity): ',loop(T, put ANNTRCAPEX.L(T):10:0); put /;

put vx 'Transportation_(operation): ',loop(T, put ANNTROPEX.L(T):10:0); put /;

put vx 'Processes_(capacity): ',loop(T, put ANNPRCAPEX.L(T):10:0); put /;

put vx 'Processes_(operation): ',loop(T, put ANNPROPEX.L(T):10:0); put /;

*put vx 'Income_from_recycle: ',loop(T, put ANNINCMREC.L(T,S):10:0); put /;

*put vx 'Income_from_electricity: ',loop(T, put ANNINCMEL.L(T,S):10:0); put /;

*put vx 'Annual_total_cost: ',loop(T, put ANNCOST.L(T,S):10:0); put /;

*put vx 'External_cost: ',loop(T, put ANNEXCOST.L(T,S):10:0); put /;

*put vx 'Ext_cost_for_next_20_years: ',NPC_EXC_20_40.L:10:0 /;

put vx 'Derived_fuel_sold_(t): ',loop(T, put DERFSELL.L(T):10:0); put /;

put vx /;

put vx 'Investment_costs'//;

put vx '*****'/;

put vx 'Bins: ',loop(T, put INVBN.L(T):10:0); put /;

put vx 'Transportation: ',loop(T, put (max(INVTR.L(T),0)):10:0); put /;

put vx 'Processes: ',loop(T, put INVPR.L(T):10:0); put /;

put vx /;

put vx 'Recycling_rates'//;

put vx '*****'/;

put vx 'wood_packaging: ',loop(T, put param_rr_wood(T):6:2); put /;

put vx 'paper_packaging: ',loop(T, put param_rr_paper(T):6:2); put /;

put vx 'glass_packaging: ',loop(T, put param_rr_glass(T):6:2); put /;

put vx 'metal_packaging: ',loop(T, put param_rr_metal(T):6:2); put /;

put vx 'plastic_packaging: ',loop(T, put param_rr_plast(T):6:2); put /;

put vx 'packaging_to_recycle_&_energy: ',loop(T, put param_rr_recenrg(T):6:2); put /;

put vx 'paper_total: ',loop(T, put param_rr_papertot(T):6:2); put /;

put vx 'glass_total: ',loop(T, put param_rr_glasstot(T):6:2); put /;

put vx 'metal_total: ',loop(T, put param_rr_metaltot(T):6:2); put /;

put vx 'plastic_total: ',loop(T, put param_rr_plasttot(T):6:2); put /;

*CO2 report

```

put vx /;
put vx 'Annual_CO2-equivalent_emissions_by_category_(kt)'/;
put vx '*****'/;
put vx 'From_energy_in_processes:',loop(T, put CO2EQENRGY.L(T):10:2); put /;
put vx 'From_processes_(no_LDF): ',loop(T, put CO2EQPROC.L(T):10:2); put /;
put vx 'From_transportation: ',loop(T, put CO2EQTRANS.L(T):10:2); put /;
put vx 'From_Landfill: ',loop(T, put (CO2EQLDF.L(T)/yp):10:2); put /;
put vx 'CO2eq_for_next_20_years: ', CO2LDF20_40.L:10:2 /;

```

```

put vx /;
put vx 'Load_in_the_bins_(tons)'/;
put vx '*****'/;
loop(J,
  put vx J.TL:5:0,
  loop(T, put INBIN.L(J,T):10:0);
  put /;
);

```

```

put vx /;

```

```

*$ontext

```

```

put vx /;
put vx 'Capacity_of_processes_(in_tons/year)'/;
put vx '*****'/;
loop(P,
  first=1;
  loop(T,
    if(CAP.L(P,T)>1 and first=1,
      put P.tl:5:0,
      loop(TT, put CAP.L(P,TT):10:0);
    * loop(TT, put (100*round(CAP.L(P,TT)/100)):10:0);
      put /;
      first=0;
    );
  );
);

```

```

put vx /;
put vx 'Input_in_processes_(in_tons/year)'/;
put vx '*****'/;
loop(P,
  first=1;
  loop(T,
    if(CAP.L(P,T)>1 and first=1,
      put P.tl:5:0,
      loop(TT, put INPROC.L(P,TT):10:0);
      put /;
      first=0;
    );
  );

```

```

    );
  );
  put
  '*****';
  '*****'/;
  put /;

  put vx 'Flows from bin to process - from process to process - from process to landfill(in
  tons/year)'/;
  put
  '*****';
  '*****'/;
  loop(J,
    loop(P,
      first=1;
      loop(T,
        if(W.L(J,P,T)>1 and first=1, // "and first=1" in order not to repeat the output
for all T
          put "Flow from ", J.tl, " to ", P.tl, " : "
          loop(TT, put W.L(J,P,TT):10:0);
          put /;
          first = 0;
        );
      );
    );
  );
  *put vx 'Flows from TS to processes(in tons/year)'/;
  loop(P,
    first=1;
    loop(T,
      if(WTS.L(P,T)>1 and first=1,
        put "Flow from TS    to ", P.tl, " : "
        loop(TT, put WTS.L(P,TT):10:0);
        put /;
        first=0;
      );
    );
  );

  *put vx 'Flows from MBT to WTE(in tons/year)'/;
  loop(MBT,
    loop(WTE,
      first=1;
      loop(T,
        if(WMBTWTE.L(MBT,WTE,T)>1 and first=1,
          put "Flow from ", MBT.tl, " to ", WTE.tl, " : "
          loop(TT, put WMBTWTE.L(MBT,WTE,TT):10:0);
          put /;
          first=0;
        );
      );
    );
  );

```

```

    );
  );
);

*put vx 'Flows from BD to WTE(in tons/year)'/;
loop(BD,
  loop(WTE,
    first=1;
    loop(T,
      if(WBDWTE.L(BD,WTE,T)>1 and first=1,
        put "Flow from ", BD.tl, " to ", WTE.tl, " : "
        loop(TT, put WBDWTE.L(BD,WTE,TT):10:0);
        put /;
        first=0;
      );
    );
  );
);

*put vx 'Flows from processes to conventional landfill (in tons/year)'/;
loop(LDF,
  loop(P,
    first=1;
    loop(T,
      if(WLDF.L(P,LDF,T)>1 and first=1,
        put "Flow from ", P.tl, " to ", LDF.tl, " : "
        loop(TT, put WLDF.L(P,LDF,TT):10:0);
        put /;
        first=0;
      );
    );
  );
);

put
'*****';
'*****'/;

put /;
put 'Other_emissions (annual amounts)' /;
put 'NH3_(t):  '; loop(T, put EM_NH3.L(T):10:0); put /;
put 'PM10_(t):  '; loop(T, put EM_PM10.L(T):10:0); put /;
put 'SOx_(t):  '; loop(T, put EM_SOX.L(T):10:0); put /;
put 'NOx_(t):  '; loop(T, put EM_NOX.L(T):10:0); put /;
put 'NMVOC_(t):  '; loop(T, put EM_NMVOC.L(T):10:0); put /;
put 'PCDD_(kg):  '; loop(T, put EM_PCDD.L(T):10:4); put /;

put
'*****';
'*****'/;

put
'*****';
'*****'/;

```

```

*elapsed_time=(finish-start)*86400;
*put fx 'Elapsed time: ',elapsed_time:7:2, ' seconds' / ;
putclose vx; // close the point file

```

\$ontext

```

param_orgldf(T)=BDEGRDF.L(T)/(bdegrldf1995+0.1);
param_rr_wood(T)=sum(P, RECPROC.L(P,'LWWP',T))/(tquant('LWWP',T)+0.1);
param_rr_paper(T)=sum((P,PAP), RECPROC.L(P,PAP,T))/
(sum(PAP,tquant(PAP,T))+0.1);
param_rr_glass(T)= sum((P,GLS),
RECPROC.L(P,GLS,T))/(sum(GLS,tquant(GLS,T))+0.1);
param_rr_metal(T)=sum((P,MET),
RECPROC.L(P,MET,T))/(sum(MET,tquant(MET,T))+0.1) ;
param_rr_plast(T)=sum((P,PLA),
RECPROC.L(P,PLA,T))/(sum(PLA,tquant(PLA,T))+0.1);
param_rr_recenrg(T)=(sum((P,RECYC), RECPROC.L(P,RECYC,T))+
RECTOENRG.L(T))/(sum(RECYC,tquant(RECYC,T))+0.1);

```

```

param_rr_papertot(T)=sum((P,PAPTOT), RECPROC.L(P,PAPTOT,T))/
(sum(PAPTOT,tquant(PAPTOT,T))+0.1);
param_rr_glasstot(T)= sum((P,GLSTOT),
RECPROC.L(P,GLSTOT,T))/(sum(GLSTOT,tquant(GLSTOT,T))+0.1);
param_rr_metaltot(T)=sum((P,METTOT),
RECPROC.L(P,METTOT,T))/(sum(METTOT,tquant(METTOT,T))+0.1) ;
param_rr_plasttot(T)=sum((P,PLATOT),
RECPROC.L(P,PLATOT,T))/(sum(PLATOT,tquant(PLATOT,T))+0.1);

```

```

put vx /;
put vx 'Annual_costs_and_income_by_category_(keuros)';
put vx '*****'/;
put vx 'Bins: ',loop(T, put ANNBNCAPEX.L(T):10:0); put /;
put vx 'Transportation_(capacity): ',loop(T, put ANNTRCAPEX.L(T):10:0); put /;
put vx 'Transportation_(operation): ',loop(T, put ANNTROPEX.L(T):10:0); put /;
put vx 'Processes_(capacity): ',loop(T, put ANNPRCAPEX.L(T):10:0); put /;
put vx 'Processes_(operation): ',loop(T, put ANNPROPEX.L(T):10:0); put /;
put vx 'Income_from_recycle: ',loop(T, put ANNINCMREC.L(T):10:0); put /;
put vx 'Income_from_electricity: ',loop(T, put ANNINCMEL.L(T):10:0); put /;
put vx 'External_cost: ',loop(T, put ANNEXCOST.L(T):10:0); put /;
put vx 'Ext_cost_for_next_20_years: ',NPC_EXC_20_40.L:10:0 /;

```

```

put vx 'Derived_fuel_sold_(t):      ',loop(T, put DERFSELL.L(T):10:0); put /;
put vx /;
put vx 'Investment_costs'/;
put vx '*****'/;
put vx 'Bins:          ',loop(T, put INVBN.L(T):10:0); put /;
put vx 'Transportation: ',loop(T, put (max(INVTR.L(T),0)):10:0); put /;
put vx 'Processes:     ',loop(T, put INVPR.L(T):10:0); put /;
put vx /;
put vx 'Recycling_rates'/;
put vx '*****'/;
put vx 'wood_packaging:      ',loop(T, put param_rr_wood(T):6:2); put /;
put vx 'paper_packaging:     ',loop(T, put param_rr_paper(T):6:2); put /;
put vx 'glass_packaging:     ',loop(T, put param_rr_glass(T):6:2); put /;
put vx 'metal_packaging:     ',loop(T, put param_rr_metal(T):6:2); put /;
put vx 'plastic_packaging:   ',loop(T, put param_rr_plast(T):6:2); put /;
put vx 'packaging_to_recycle_&_energy: ',loop(T, put param_rr_recenrg(T):6:2); put /;
put vx 'paper_total:        ',loop(T, put param_rr_papertot(T):6:2); put /;
put vx 'glass_total:        ',loop(T, put param_rr_glasstot(T):6:2); put /;
put vx 'metal_total:        ',loop(T, put param_rr_metaltot(T):6:2); put /;
put vx 'plastic_total:      ',loop(T, put param_rr_plasttot(T):6:2); put /;

```

*CO2 report

```

put vx /;
put vx 'Annual_CO2-equivalent_emissions_by_category_(kt)'/;
put vx '*****'/;
put vx 'From_energy_in_processes:',loop(T, put CO2EQENRGY.L(T):10:2); put /;
put vx 'From_processes_(no_LDF): ',loop(T, put CO2EQPROC.L(T):10:2); put /;
put vx 'From_transportation:     ',loop(T, put CO2EQTRANS.L(T):10:2); put /;
put vx 'From_Landfill:           ',loop(T, put (CO2EQLDF.L(T)/yp):10:2); put /;
put vx 'CO2eq_for_next_20_years: ', CO2LDF20_40.L:10:2 /;

```

```

put vx /;
put vx 'Load_in_the_bins_(tons)'/;
put vx '*****'/;
loop(J,
  put vx J.TL:5:0,
  loop(T, put INBIN.L(J,T):10:0);
  put /;
);

```

put vx /;

*\$ontext

```

put vx /;
put vx 'Capacity_of_processes_(in_tons/year)'/;
put vx '*****'/;
loop(P,

```

```

first=1;
loop(T,
  if(CAP.L(P,T)>1 and first=1,
    put P.tl:5:0,
    loop(TT, put CAP.L(P,TT):10:0);
*   loop(TT, put (100*round(CAP.L(P,TT)/100)):10:0);
    put /;
    first=0;
  );
);
);

put vx /;
put vx 'Input_in_processes_(in tons/year)'/;
put vx '*****'/;
loop(P,
  first=1;
  loop(T,
    if(CAP.L(P,T)>1 and first=1,
      put P.tl:5:0,
      loop(TT, put INPROC.L(P,TT):10:0);
      put /;
      first=0;
    );
  );
);
put
'*****'
'*****'/;
put /;

put vx 'Flows from bin to process - from process to process - from process to landfill(in
tons/year)'/;
put
'*****'
'*****'/;
loop(J,
  loop(P,
    first=1;
    loop(T,
      if(W.L(J,P,T)>1 and first=1, // "and first=1" in order not to repeat the output
for all T
        put "Flow from ", J.tl, " to ", P.tl, " : "
        loop(TT, put W.L(J,P,TT):10:0);
        put /;
        first = 0;
      );
    );
  );
);
);

```

```

*put vx 'Flows from TS to processes(in tons/year)'/;
loop(P,
  first=1;
  loop(T,
    if(WTS.L(P,T)>1 and first=1,
      put "Flow from TS    to ", P.tl, " : "
      loop(TT, put WTS.L(P,TT):10:0);
      put /;
      first=0;
    );
  );
);

*put vx 'Flows from MBT to WTE(in tons/year)'/;
loop(MBT,
  loop(WTE,
    first=1;
    loop(T,
      if(WMBTWTE.L(MBT,WTE,T)>1 and first=1,
        put "Flow from ", MBT.tl, " to ", WTE.tl, " : "
        loop(TT, put WMBTWTE.L(MBT,WTE,TT):10:0);
        put /;
        first=0;
      );
    );
  );
);

*put vx 'Flows from BD to WTE(in tons/year)'/;
loop(BD,
  loop(WTE,
    first=1;
    loop(T,
      if(WBDWTE.L(BD,WTE,T)>1 and first=1,
        put "Flow from ", BD.tl, " to ", WTE.tl, " : "
        loop(TT, put WBDWTE.L(BD,WTE,TT):10:0);
        put /;
        first=0;
      );
    );
  );
);

*put vx 'Flows from processes to conventional landfill (in tons/year)'/;
loop(LDF,
  loop(P,
    first=1;
    loop(T,
      if(WLDF.L(P,LDF,T)>1 and first=1,
        put "Flow from ", P.tl, " to ", LDF.tl, " : "

```



```

        loop(TT, put WLDF.L(P,LDF,TT):10:0);
        put /;
        first=0;
    );
);
);
put
'*****
*****'/;
put /;
put 'Other_emissions (annual amounts)' /;
put 'NH3_(t):  '; loop(T, put EM_NH3.L(T):10:0); put /;
put 'PM10_(t):  '; loop(T, put EM_PM10.L(T):10:0); put /;
put 'SOx_(t):  '; loop(T, put EM_SOX.L(T):10:0); put /;
put 'NOx_(t):  '; loop(T, put EM_NOX.L(T):10:0); put /;
put 'NMVOC_(t):  '; loop(T, put EM_NMVOC.L(T):10:0); put /;
put 'PCDD_(kg):  '; loop(T, put EM_PCDD.L(T):10:4); put /;
put
'*****
*****'/;
put
'*****
*****'/;

```

\$offtext