



ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

**ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ**

**ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ ΣΤΗ ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΚΑΙ
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΤΩΝ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Μοντέλο μεταβολισμού αστικού συγκροτήματος με έλεγχο
ανατροφοδότησης**

ΕΛΕΥΘΕΡΙΑΔΟΥ Α. ΧΡΥΣΟΥΛΑ

Επιβλέποντες: Ευστάθιος Χατζηευθυμιάδης, Αναπληρωτής Καθηγητής

ΑΘΗΝΑ

ΙΟΥΛΙΟΣ 2015

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Μοντέλο μεταβολισμού αστικού συγκροτήματος με έλεγχο ανατροφοδότησης
Feedback controlled city metabolism model**

Χρυσούλα Α. Ελευθεριάδου

A.M.: ΜΟΠ381

ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΕΣ: Ευστάθιος Χατζηευθυμιάδης, Αναπληρωτής Καθηγητής

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ: Ευστάθιος Χατζηευθυμιάδης, Αναπληρωτής Καθηγητής
Δημήτριος Βαρουτάς, Επίκουρος Καθηγητής

ΙΟΥΛΙΟΣ 2015

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο Αστικός Μεταβολισμός μελετά σήμερα πολλά ζητήματα με στόχο να εξασφαλίσει μια βιώσιμη ανάπτυξη μια κοινότητας. Ο Αστικός Μεταβολισμός μελετά τις υλικές και ενεργειακές ροές και πως επιδρούν με κοινωνικές, οικονομικές και περιβαλλοντικές δυνάμεις μιας περιοχής. Μια από τις σημαντικές εκροές είναι αυτή των Στερεών Αποβλήτων γιατί επιδρούν σε σημαντικό βαθμό στην ποιότητα του περιβάλλοντος της κοινότητας.

Η διαχείριση των Αστικών Απορριμμάτων και ιδιαίτερα μια ολοκληρωμένη διαχείριση τους είναι ένα από τους σημαντικότερους παράγοντες που επηρεάζουν την βιώσιμη ανάπτυξη μιας περιοχής. Η αποκομιδή και διαχείριση απορριμμάτων είναι από τα πιο επίκαιρα ζητήματα που απασχολούν τις σύγχρονες κοινωνίες και καλούνται να αντιμετωπίσουν οι κοινοτικές υπηρεσίες.

Η σωστή οργάνωση ενός συστήματος ολοκληρωμένης διαχείρισης απορριμμάτων είναι ένα βασικό ζητούμενο των σύγχρονων κοινοτήτων, γιατί η έλλειψη σχεδιασμού οδηγεί σε αύξηση του κόστους διαχείρισης και σε υποβάθμιση του αστικού περιβάλλοντος. Είναι απαραίτητος ο σωστός σχεδιασμός ενός ολοκληρωμένου συστήματος διαχείρισης απορριμμάτων, γιατί οδηγεί στην ορθολογική και οικονομικά επωφελέστερη δρομολόγηση απορριματοφόρων και στην εύρεση του σωστού χώρου απόθεσης και διαχείρισης των απορριμμάτων. Για να είναι δυνατό αυτό, είναι αναγκαίο να γίνονται σωστές εκτιμήσεις των ποσοτήτων των απορριμμάτων που παράγονται σε μια περιοχή μέσα σε ένα χρονικό διάστημα.

Για την εκτίμηση των ποσοτήτων(όγκων) και της έντασης της οσμής των παραγόμενων απορριμμάτων, σημαντική επίδραση έχουν δημογραφικοί, οικονομικοί και κοινωνικοί παράγοντες. Η οικονομική δυνατότητα των κατοίκων μιας περιοχής, η οικονομική δραστηριότητα που υπάρχει στην περιοχή αλλά και ο τρόπος ζωής και η κουλτούρα των κατοίκων της περιοχής (life style) επηρεάζουν σε σημαντικό βαθμό την παραγωγή των απορριμμάτων. Μαθηματικά μοντέλα που σχετίζουν αυτούς τους παράγοντες μπορούν να κάνουν εκτιμήσεις για τον όγκο των παραγόμενων αστικών αποβλήτων.

Στην εργασία αυτή μελετήθηκαν τέτοιοι δείκτες και πως αυτοί επιδρούν στην παραγωγή απορριμμάτων, δημιουργώντας μαθηματικά μοντέλα που σχετίζουν αυτούς τους δείκτες. Με βάση τα μοντέλα αυτά μπορούν να γίνουν εκτιμήσεις και προβλέψεις των επομένων τιμών, σύγκριση τους με πραγματικές μετρήσεις και διόρθωση των μαθηματικών μοντέλων που χρησιμοποιήθηκαν

ΘΕΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ: Αστικός Μεταβολισμός, Συστήματα Αυτομάτου Ελέγχου, Πληροφορική Περιβάλλοντος

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: εκτίμηση , μαθηματικό μοντέλο, δρομολόγηση, πρόβλεψη, διόρθωση μοντέλου, διακριτό φίλτρο Kalman,

ABSTRACT

The Urban Metabolism studies a number of issues in order to ensure a sustainable development of a community. The Urban Metabolism follows the material and energy flows and their impact on social, economic and environmental potential of a region. One of the important outputs is the Solid Waste because it affects significantly on the quality of the community environment.

Waste management and especially integrated waste management is one of the most important factors affecting the sustainable development of a region. The removal and waste management are among the most topical issues facing modern societies and one of the important issues that community services have to face.

Proper organization of an integrated waste management system is a basic requirement for modern communities, because the lack of planning leads to an increase in management costs and a deterioration of the urban environment. It is necessary to design an integrated waste management system, because it leads to the rational and economically advantageous garbage routing. It is important to find the right place for deposition and management of waste. To make this possible, it is important to make precise estimates of the waste quantities in a region within a time interval.

For the prediction of the quantities (waste volumes) and the intensity of the waste odor, there is a major influence of demographic, economic and social factors. The economic potential of the citizens of a city, their economic activity and the culture of the people influence significantly the production of the waste. Mathematical models related to these factors can estimate the volume of generated municipal waste.

In this work, these factors were analyzed how they affect the waste generation, creating mathematical models using these indicators. Based on these models, estimations and forecasts of the aforementioned values are made, while comparisons with actual measurements and corrections of the mathematical models were made too.

SUBJECT AREA: Urban Metabolism, Automatic Control System, Environmental Computing

KEYWORDS: estimation, mathematical model, routing, prediction model correction, Discrete Kalman filter

Στη Μαριλίζα και τον Ορέστη .

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στον κύριο Χατζηευθυμιάδη, Αναπληρωτή Καθηγητή του Τμήματος Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών ΕΚΠΑ για την ανάθεση της Διπλωματικής αυτής Εργασίας και για την πολύτιμη βοήθειά του

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κύριο Κολομβάτσο Κώστα για την υποστήριξη του και τη βοήθεια του στην εκπόνηση αυτής της εργασίας.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περιεχόμενα

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	13
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	14
2. ΑΣΤΙΚΟΣ ΜΕΤΑΒΟΛΙΣΜΟΣ	16
2.1 Ορισμός Αστικού Μεταβολισμού	16
2.2 Ροές ενέργειας Emergy και αστικός Μεταβολισμός.....	17
2.3 Ροές Μάζας –Ενέργειας και Αστικός Μεταβολισμός.....	18
3. ΑΣΤΙΚΑ ΣΤΕΡΕΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ	21
3.1 Αστικός μεταβολισμός και Αστικά Στερεά Απόβλητα	21
3.2 Ορισμός Αστικών Στερεών Αποβλήτων.....	22
3.3 Διαχείριση Αστικών Στερεών Απορριμμάτων	23
3.4 Συστήματα Ολοκληρωμένης Διαχείρισης Αστικών Στερεών Αποβλήτων (ΑΣΑ)	32
3.5 Μοναδιαία Παραγωγή Απορριμμάτων (ΜΠΑ) και Ρυθμός Παραγωγής Απορριμμάτων (ΡΠΑ).	33
3.6 Οσμή και αστικές περιοχές	34
4. ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΑΣΤΙΚΩΝ ΣΤΕΡΕΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ	36
5. ΟΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ RFID, GPS, GPRS ΚΑΙ Η ΧΡΗΣΗ ΤΟΥΣ ΣΤΗΝ ΑΠΟΚΟΜΙΔΗ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ	38
5.1 Οι τεχνολογίες RFID, GPS, GPRS	38
5.2 Αποκομιδή απορριμμάτων με χρήση δεδομένων ανίχνευσης πραγματικού χρόνου	39
6. ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΟΦΟΡΩΝ-ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΣΥΛΛΟΓΗΣ	42
7. KALMAN ΦΙΛΤΡΟ	45

7.1 Διακριτό φίλτρο Kalman	46
7.2 Εκτεταμένο (extended) φίλτρο Kalman.....	49
8. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΝΟΣ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ ΤΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ ΣΕ ΜΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕ ΕΛΕΓΧΟ ΑΝΑΤΡΟΦΟΔΟΤΗΣΗΣ.....	52
9. ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΜΑΤΛΑΒ.....	58
10. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	77
ΠΙΝΑΚΑΣ ΟΡΟΛΟΓΙΑΣ	79
ΣΥΝΤΜΗΣΕΙΣ – ΑΡΚΤΙΚΟΛΕΞΑ – ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ	80
ΑΝΑΦΟΡΕΣ.....	81

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα1: Στάδια ενασχόλησης με τα ΣΑ[7].....	24
Σχήμα 2: Οικονομική χωροθέτηση [6].....	28
Σχήμα 3: Ιεράρχηση εναλλακτικών ΔΑ [8]	33
Σχήμα 4 φίλτρο Kalman.....	47
Σχήμα 5 :σχηματική αναπαράσταση της διαδικασίας του αλγορίθμου Kalman	48
Σχήμα 6 Μία πλήρης εικόνα της λειτουργίας του εκτεταμένου φίλτρου Kalman	50
Σχήμα 7 Σχηματική αναπαράσταση του μοντέλου.....	54
Σχήμα 8 Τα βάρη για τον πληθυσμό(όγκος).....	66
Σχήμα 9 Τα βάρη για το ακαθάριστο κατά κεφαλή εισόδημα(όγκος)	67
Σχήμα 10 Τα βάρη για την οικονομική δραστηριότητα.....	67
Σχήμα 11 Τα βάρη που σχετίζουν την περιοχή με αγροτική ή αστική ανάπτυξη:	68
Σχήμα 12 Τα βάρη για τον πληθυσμό για χίλιες επαναλήψεις	68
Σχήμα 13 Τα βάρη για το ακαθάριστο κατά κεφαλή εισόδημα για χίλιες επαναλήψεις ..	69
Σχήμα 14 Τα βάρη για την οικονομική δραστηριότητα για χίλιες επαναλήψεις	69
Σχήμα 15 Τα βάρη που σχετίζουν την περιοχή με αγροτική ή αστική ανάπτυξη μετά από χίλιες επαναλήψεις	70
Σχήμα 16 Τα βάρη για τον πληθυσμό ως προς την ένταση της οσμής που παράγεται των απορριμμάτων	70
Σχήμα 17 βάρη για το ακαθάριστο κατά κεφαλή εισόδημα	71
Σχήμα 18 Τα βάρη για την οικονομική δραστηριότητα.....	71
Σχήμα 19 Τα βάρη που σχετίζουν την περιοχή με αγροτική ή αστική ανάπτυξη	72
Σχήμα 20 Τα βάρη για τον πληθυσμό ως προς την ένταση της οσμής που παράγεται των απορριμμάτων (Χίλιες επαναλήψεις)	72
Σχήμα 21 Τα βάρη για το ακαθάριστο κατά κεφαλή εισόδημα για χίλιες επαναλήψεις στο φίλτρο για την ένταση οσμής.....	73
Σχήμα 22 οικονομική δραστηριότητα για χίλιες επαναλήψεις στο φίλτρο σχετικά με την οσμή.....	73

Σχήμα 23 Τα βάρη που σχετίζουν την περιοχή με αγροτική ή αστική ανάπτυξη (οσμή)	74
Σχήμα 24 Πρόβλεψη παραγωγής απορριμμάτων για 100 επαναλήψεις.....	74
Σχήμα 25 Πρόβλεψη παραγωγής απορριμμάτων για 1000 επαναλήψεις στις τέσσερις περιοχές	75

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1 Σύστημα επεξεργασίας αποβλήτων [5]	24
Εικόνα 2: Μονάδα αποτέφρωσης ΑΣΑ (Amsterdam) [6].....	30
Εικόνα 3 Χώρος Υγειονομικής Ταφής Δ. Κω [6]	31
Εικόνα 4 GPS συσκευή πλοήγησης σε ταμπλό αυτοκινήτου	39
Εικόνα 5 Εξισώσεις Kalman	55

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1 Κόστος Σταθμών Μεταφόρτωσης Απορριμμάτων [6]	27
Πίνακας 2 Τεχνολογίες διαχωρισμού αποβλήτων [6].....	29
Πίνακας 3 Τιμές του μοντέλου του φίλτρου Kalman σε σχέση με τον όγκο απορριμμάτων για τις δέκα πρώτες επαναλήψεις.....	62
Πίνακας 4 Τιμές του μοντέλου του φίλτρου Kalman σε σχέση με την ένταση οσμής των απορριμμάτων για τις δέκα πρώτες επαναλήψεις.....	63
Πίνακας 5 Προβλέψεις του φίλτρου Kalman σε σχέση με τον όγκο απορριμμάτων για τις δέκα πρώτες επαναλήψεις.....	63
Πίνακας 6 Προβλέψεις του φίλτρου Kalman σε σχέση με την ένταση της οσμής των απορριμμάτων για τις δέκα πρώτες επαναλήψεις.....	64
Πίνακας 7 Τιμές του μοντέλου του φίλτρου Kalman σε σχέση με τον όγκο απορριμμάτων για τις επαναλήψεις από 90-100	64
Πίνακας 8 Τιμές του μοντέλου του φίλτρου Kalman σε σχέση με την ένταση οσμής των απορριμμάτων για τις δέκα επαναλήψεις 90-100	65
Πίνακας 9 Προβλέψεις του φίλτρου Kalman σε σχέση με τον όγκο απορριμμάτων για τις δέκα τελευταίες επαναλήψεις.....	65
Πίνακας 10 Προβλέψεις του φίλτρου Kalman σε σχέση με την ένταση της οσμής των απορριμμάτων για τις δέκα τελευταίες επαναλήψεις.....	66

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η εργασία αυτή εκπονήθηκε στα πλαίσια της του μεταπτυχιακού προγράμματος που παρακολούθησα. Για την εκπόνηση αυτή της εργασία συνεργάστηκα με τον Αναπληρωτή Καθηγητή του τμήματος Πληροφορική και τηλεπικοινωνιών του ΕΚΠΑ, κ. Ευστάθιο Χατζιευθυμιάδη. Η συνεργασία αυτή διήρκησε περίπου έξι μήνες και ευχαριστώ τον κ. Χατζιευθυμιάδη για την άριστη συνεργασία μας που είχε ως αποτέλεσμα την παρούσα εργασία..

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο Αστικός Μεταβολισμός αποτελεί ένα από τα σύγχρονα ζητήματα που μελετώνται σήμερα με στόχο να εξασφαλίσουν μια βιώσιμη ανάπτυξη μια κοινότητας. Ο Αστικός Μεταβολισμός μελετά τις υλικές και ενεργειακές ροές και πως επιδρούν με κοινωνικές, οικονομικές και περιβαλλοντικές δυνάμεις μιας περιοχής. Ο κύκλος ζωής και λειτουργίας των αστικών περιοχών μετασχηματίζει τα εισερχόμενα ακατέργαστα υλικά, τρόφιμα, νερό και καύσιμα σε φυσικές κατασκευές, βιομάζα και απορρίμματα.

Μια αναθέρμανση των μελετών αυτών παρατηρείται τα τελευταία χρόνια λόγω όξυνσης των περιβαλλοντικών ζητημάτων που προέκυψαν. Στις σύγχρονες μελέτες, παρακολουθείται χωριστά η κάθε μία από τις εισροές και εκροές. Μια από τις σημαντικές εκροές είναι αυτή των Στερεών Αποβλήτων γιατί επιδρούν σε σημαντικό βαθμό στην ποιότητα του περιβάλλοντος της κοινότητας. Για το λόγω αυτό, μεγάλο μέρος της έρευνας του αστικού περιβάλλοντος επικεντρώνεται στην διαχείριση τους. Για την σωστή διαχείριση τους απαιτείται ένα ολοκληρωμένο σύστημα διαχείρισης απορριμμάτων, που εκτός από την αποτελεσματική αποκομιδή οφείλει να διαθέτει σύγχρονους τρόπους διαχείρισης των απορριμμάτων και κανάλια ανακύκλωσης. Μόνο με τον τρόπο αυτό βελτιώνεται το οικολογικό αποτύπωμα της περιοχής και παρατηρείται αναβάθμιση του αστικού περιβάλλοντος.

Στη διαχείριση αυτή των απορριμμάτων το μεγαλύτερο κόστος προκύπτει από την δρομολόγηση των απορριματοφόρων. Επιπλέον, η κυκλοφορία των απορριματοφόρων μέσα στο αστικό περιβάλλον, προκαλεί περισσότερη μόλυνση περιβάλλοντος λόγω εκπομπών καυσαερίων των οχημάτων, κυκλοφοριακή συμφόρηση και ηχορύπανση. Για όλους αυτούς τους λόγους καθίσταται αναγκαία η πιο αποτελεσματική δρομολόγηση τους. Όμως για να μπορούν οι κοινοτικές υπηρεσίες να προχωρήσουν σε οικονομικότερο, λειτουργικότερο και αποδοτικότερο τρόπο δρομολόγησης αυτών, θα πρέπει να έχουν μια σωστή εικόνα σχετικά με τους παραγόμενους όγκους απορριμμάτων και μια σωστή εκτίμηση και πρόβλεψη της παραγωγής τους. Καλούνται οι κοινότητες να υπολογίσουν σωστά τους όγκους απορριμμάτων ώστε να προχωρούν σε αποτελεσματική διαχείριση τους και επιμερισμό του κόστους στους πολίτες

Στόχος αυτής της εργασίας είναι η ανάλυση κάποιων παραγόντων που σχετίζονται με την παραγωγή απορριμμάτων, γεγονός που βοηθά στην ορθολογική διαχείριση τους. Επιπλέον, η εργασία αυτή σχεδιάζει ένα μαθηματικό μοντέλο για την εκτίμηση παραγωγής και τη συσχέτιση τους με . Για το σχεδιασμό και την υλοποίηση μοντέλων μελετώνται δημογραφικά, οικονομικά και κοινωνικά στοιχεία που σχετίζονται με την παραγωγή.

Στα πλαίσια αυτής της εργασίας, στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται μια αναφορά στον αστικό μεταβολισμό. Μελετάται ο τρόπος που ο αστικός μεταβολισμός μελετά και επιδιώκει μια αειφόρο και βιώσιμη ανάπτυξη στα πλαίσια μια αστικής περιοχής. Στο επόμενο κεφάλαιο, γίνεται αναφορά στα αστικά στερεά απόβλητα και στην ολοκληρωμένη διαχείριση αυτών, απαιτητή προϋπόθεση για μια αποτελεσματική τους διαχείριση. Η διαχείριση απορριμμάτων διακρίνεται σε διαφορετικά επίπεδα και ξεκινά από τους κάδους μέχρι την απόθεση τους σε Χώρων Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων (ΧΥΤΑ).

Στο κεφάλαιο 5 γίνεται μελέτη σχετικά με τους κοινωνικούς δημογραφικούς και οικονομικούς παράγοντες που επηρεάζουν την παραγωγή απορριμμάτων. Μελετάται ο τρόπος που αυτοί επιδρούν στην παραγωγή απορριμμάτων και κατ' επέκταση στην δρομολόγηση απορριματοφόρων. Στο επόμενο κεφάλαιο της εργασίας γίνεται αναφορά στις νέες τεχνολογίες RFID, GPS, GPRS, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν

Μοντέλο μεταβολισμού αστικού συγκροτήματος με έλεγχο ανατροφοδότησης

στην ολοκληρωμένη διαχείριση των απορριμμάτων και βοηθούν στην βελτιστοποίηση των αποτελεσμάτων αυτής. Στο κεφάλαιο 7 μελετάται ο τρόπος δρομολόγησης των απορριμματοφόρων και οι περιορισμοί που υπάρχουν και τόσο στη διαχείριση και στη χωρητικότητα των απορριμματοφόρων και των κάδων.

Στο κεφάλαιο 8 γίνεται αναφορά στο φίλτρο Kalman που θα χρησιμοποιηθεί στο μαθηματικό μοντέλο πρόβλεψης του όγκου και της έντασης της οσμής. Στα δύο επόμενα κεφάλαια υλοποιείται το μαθηματικό μοντέλο πρόβλεψης και διόρθωσης εκτιμήσεων σχετικά με τον όγκο των απορριμμάτων και της έντασης της οσμής. Έπειτα υλοποιείται αυτό το μοντέλο με τη χρήση της Matlab και καταλήγει σε χρήσιμες παρατηρήσεις.

2. Αστικός Μεταβολισμός

2.1 Ορισμός Αστικού Μεταβολισμού

Οι πόλεις στη σύγχρονη εποχή επεκτείνονται με μεγάλο σχετικά ρυθμό σε πληθυσμό και γιγαντώνονται τα τελευταία χρόνια σε παγκόσμιο επίπεδο. Αυτή η μεγάλη αύξηση του πληθυσμού των πόλεων, και ιδιαίτερα των μεγαλουπόλεων, έχει ως συνέπεια την αύξηση των απαιτούμενων ροών που εισέρχονται, εξέρχονται, διακινούνται ή συσσωρεύονται στα όρια του αστικού κέντρου σε καύσιμα, τρόφιμα, απορρίμματα, ηλεκτρισμό και άλλα είδη πρώτων υλών και ενέργειας.

Ο Abel Wolman ανέπτυξε το 1965 την ιδέα του **Αστικού Μεταβολισμού (AM)**. [1] Την όρισε ως την μέθοδο ανάλυσης των αστικών κέντρων και των κοινοτήτων μέσα από την ποσοτικοποίηση των εισροών (νερού, τροφίμων καυσίμων και άλλων), των εκροών (αποχέτευσης, στερεών αποβλήτων και μόλυνση υδάτινων πόρων), και την παρακολούθηση των αντίστοιχων μετασχηματισμών που υφίστανται οι ροές. Αναγνώρισε τρεις πιεστικές μεταβολικές προκλήσεις που αντιμετωπίζουν οι αστικές περιοχές όπως είναι η διαχείριση των υδάτινων αποθεμάτων, η διαχείριση αποβλήτων και ο έλεγχος της ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

Ο αστικός μεταβολισμός είναι μια διεπιστημονική και ολοκληρωμένη πλατφόρμα που μελετά την επίδραση των υλικών και ενεργειακών ροών στις κοινωνικές, οικονομικές και περιβαλλοντικές δυνάμεις μιας περιοχής. Παρόμοια με τους βιολογικούς οργανισμούς και τα οικοσυστήματα, ο κύκλος ζωής και λειτουργίας των αστικών περιοχών μετασχηματίζει τα εισερχόμενα ακατέργαστα υλικά, τρόφιμα, νερό και καύσιμα σε φυσικές κατασκευές, βιομάζα, απορρίμματα. Υπάρχουν και παράγοντες όπως η αστική δομή, η μορφή, το κλίμα, η ποιότητα και η ηλικία των αστικών κτηρίων, η χλωρίδα της αστικής περιοχής και η τεχνολογία μεταφορών που μπορούν να επηρεάσουν τον ρυθμό του AM μιας πόλης.

Οι πόλεις μετατρέπουν τις ροές υλικών, καυσίμων και νερού σε κατασκευές στο περιβάλλον, ανθρώπινη βιομάζα και απόβλητα.[2] Με άλλα λόγια θα μπορούσε κανείς να παρομοιάσει τις πόλεις με οργανισμούς που καταναλώνουν πόρους από το περιβάλλον τους και αποβάλλουν απορρίμματα, απόβλητα, εκπομπές αερίων και άλλα. Δηλαδή θα μπορούσε να παρομοιάσει η λειτουργία της αστικής περιοχής με ένα οικοσύστημα. Τα φυσικά οικοσυστήματα είναι ενεργειακά αυτάρκη. Ανάλογα χαρακτηριστικά οφείλουν να έχουν οι πόλεις για να καταστούν βιώσιμες. Οι σύγχρονες μεγαλουπόλεις παρουσιάζουν σήμερα γραμμικό μεταβολισμό που απαιτεί υψηλές ροές εισόδου ενέργειας και υλικών, παράγοντας αντίστοιχα υψηλές ροές εξόδου σε απορρίμματα, εκπομπές αερίων και βιομάζας.

Οι πρώτες μελέτες πάνω στον αστικό μεταβολισμό ξεκίνησαν τη δεκαετία του 1970 από μηχανικούς και επιστήμονες της οικολογίας. Επικεντρώθηκαν κυρίως οι αρχικές αυτές μελέτες στις μεγαλουπόλεις. Το ενδιαφέρον πάνω στον αστικό μεταβολισμό εξανεμίζεται τη δεκαετία του 1980. Από το 1990 το ενδιαφέρον αναζωπυρώνεται. Την τελευταία δεκαετία, η έρευνα και το ενδιαφέρον πάνω στη λειτουργία του AM διογκώνεται συνεχώς. Με τις μελέτες αυτές μπορούν να υποστηριχθούν οι αστικοί σχεδιασμοί με στόχο να αντιμετωπιστούν ενεργειακά και περιβαλλοντικά διλήμματα.[3] Αυτά τα διλήμματα γίνονται όλα και πιο επιτακτικά καθώς η επίδραση της ανθρώπινης δράσης στη ποιότητα του περιβάλλοντος και στις κλιματικές αλλαγές είναι και πιο εμφανής. Ταυτόχρονα, αυξάνεται το ενδιαφέρον των πολιτών όλο και πιο έντονα για την ποιότητα ζωής τους και το περιβάλλον μέσα στο οποίο ζουν.

Υπάρχουν δύο σχετιζόμενες, μη αντικρουόμενες σχολές πάνω στη μελέτη του ΑΜ.

Η πρώτη από αυτές βασίζεται κυρίως στη μελετητική εργασία του Η.Τ. Odum (1983) [1] που επιτρέπει να περιγραφεί ο αστικός μεταβολισμός με όρους ισοδύναμων ενέργειας. Χρησιμοποιεί δηλαδή τον αγγ. Όρο *emergy*, που ορίζεται ως η απαραίτητη ενέργεια που χρησιμοποιείται με άμεσο ή έμμεσο τρόπο για την κατασκευή ενός προϊόντος ή την παροχή μια υπηρεσίας. Μετρά την εργασία της φύσης και των ανθρώπων που παράγουν προϊόντα και υπηρεσίες και χρησιμεύουν ως κοινές μετρικές περιβαλλοντικών και οικονομικών αξιών (Odum 1996, Odum & Odum 2006) [1]. Η μονάδα που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση του είναι το ηλιακό *emergy* Joule (*seJ*). Στον τομέα του ΑΜ, ο όρος αυτός χρησιμοποιείται για να ενσωματώσει τις ροές με την ενέργεια στις πόλεις με βάση τους οικολογικούς πόρους που υφίστανται στην περιοχή.

Η άλλη προσέγγιση η μηχανική σχετίζει τις μελέτες αστικού μεταβολισμού και την εκτίμηση της ενέργειας και/ή των ροών των υλικών (πρώτων υλών, θρεπτικών συστατικών και τροφών) με τις καθιερωμένες μονάδες μάζας που μπορεί να εισέρχονται να συσσωρεύονται ή να εξέρχονται από το αστικό σύστημα. (**Ροές Μάζας –Ενέργειας**) [1]

2.2 Ροές ενέργειας *Emergy* και αστικός Μεταβολισμός

Η ενέργεια *Emergy* όπως αναφέρθηκε υπολογίζει την εργασία της φύσης και των ανθρώπων στη δημιουργία προϊόντων και υπηρεσιών. Η *Emergy* ανάλυση προσπαθεί να παρέχει ένα κοινό σύστημα αξιών για να μελετώνται οι ενεργειακές ροές σε κοινωνικό-οικονομικά συστήματα.

Στην ανάλυση *Emergy* που πραγματοποιείται στη μελέτη της Δυτικής Βιρτζίνια, οι Cambel et Al (2004) [1] σκιαγραφούνται τα πέντε (5) βασικά βήματα που είναι απαραίτητα για να ολοκληρώσουν μια τέτοια ανάλυση:

1. Αρχικά συμπληρώνεται ένα λεπτομερές διάγραμμα των συστημάτων αναπαριστώντας όλες τις διασυνδέσεις, τα συστατικά και τη διακίνηση χρημάτων καθώς, και τους δρόμους που ακολουθούν οι ροές μεταξύ ανθρώπων και φυσικών στοιχείων του συστήματος.
2. Μετατρέπονται οι μεταβλητές σε ένα συγκεντρωτικό διάγραμμα που διευθυνσιοδοτεί συγκεκριμένες διαδρομές
3. Στο βήμα αυτό μετατρέπονται οι διαδρομές σε ένα πίνακα ανάλυσης *Emergy*.
4. Στο βήμα αυτό συγκεντρώνονται στοιχεία και μια σειρά από δεδομένα από κυβερνητικές πηγές που είναι απαραίτητα για την *Emergy* ανάλυση. Τα δεδομένα αυτά μετατρέπονται σε μονάδες χρήσιμες στη μελέτη.
5. Υπολογισμός κάποιων δεικτών από υποσύνολα δεδομένων για να τους συγκρίνουν με τα συστήματα, να προβλέψουν τάσεις και να προτείνουν εναλλακτικές για να βελτιωθεί η αποτελεσματικότητα της ανάλυσης *Emergy* μέσα από τη μελέτη του συστήματος.

Μετά την πρώτη ανάδειξη το 1983, η μεθοδολογία ανάλυσης *Emergy* έχει εξελιχθεί και ωριμάσει ως μια μεθοδολογία έρευνας που αποκαλύπτει νέα στοιχεία προς διερεύνηση.

Παρόλο όμως που η μεθοδολογία ανάλυσης *Emergy* έχει αναπτυχθεί πολύ πριν από τις πιο δημοφιλείς μεθοδολογίες όπως η μέθοδος **Ανάλυσης Ροών Υλικών (Material Flow Analysis-MFA)** και η μέθοδος **Εκτίμησης του Κύκλου Ζωής (Life Cycle Assessment-LCA)** δεν εξελίχθηκε ως μια αξιόπιστη μεθοδολογία. Οι ειδικοί της

μεθόδου συνέχιζαν να συναντούν αντίσταση στην προσπάθειά τους να την προάγουν ως ένα αξιόπιστο πλαίσιο για διερεύνηση της φύσης, των οικοσυστημάτων, των συστημάτων που κυριαρχούν οι άνθρωποι και των συσχετιζόμενων διαδικασιών. Αυτή η αντίσταση είναι αποτέλεσμα του σκεπτικισμού σχετικά με τη θεωρία, αμφισβητώντας ότι οι υπολογισμοί μπορούν να συσχετιστούν με άλλες θερμοδυναμικές ποσότητες και ότι είναι δυνατή η ποσοτικοποίηση των παγκόσμιων ροών ενέργειας με ηλιακά ισοδύναμα.

2.3 Ροές Μάζας –Ενέργειας και Αστικός Μεταβολισμός

Μια βασική ιδέα πίσω από την ανάλυση του AM είναι ότι οι ροές των υλικών χρησιμοποιούνται για να κατασκευάσουν βιοφυσικές κατασκευές- ανθρώπινα σώματα, κτήρια, εργαλεία, αγροτικά προϊόντα, κτηνοτροφία και κατοικίδια ζώα- στην κοινωνία (Habel et al, 2001)[1]. Με την χρήση ενέργειας, οι ανθρώπινες κοινωνίες μετατρέπουν τις ροές υλικών και πηγών μέσα από οικονομικές διαδικασίες με στόχο να παρέχουν υλικά αγαθά και να καλύπτουν τις ανάγκες.

Υπάρχουν δύο βασικά εργαλεία που χρησιμοποιούνται για τις μελέτες Ροών Μάζας Ενέργειας στον Αστικό Μεταβολισμό: Η Ανάλυση των Ροών Υλικών και η Εκτίμηση του Κύκλου Ζωής.

Ανάλυση των Ροών των Υλικών (MFA)

Η MFA προσέγγιση χρησιμοποιείται ευρύτατα στην ανάλυση του AM από τότε που μετρήσεις για την εκτίμηση των αστικών υλικών, των ροών και των αποθεμάτων είναι διαθέσιμα. Η Ανάλυση ροών των Υλικών παρέχει ένα πλαίσιο που επιτρέπει να αναλυθούν οι τρόποι που οι αστικές περιοχές μετατρέπουν τις φυσικές πηγές και συχνά χρησιμοποιείται στο πεδίο της μηχανικής. Εντούτοις με τη μέθοδο έμφαση δίνεται στην μελέτη μιας συγκεκριμένης υπόστασης-ουσίας παρά σε ένα ολόκληρο σύστημα (Baccini & Brunner, 1991)[1]

Σκοπός της μεθόδου Ανάλυσης Ροών των Υλικών είναι να παρέχει ένα σύστημα κατανόησης του τρόπου που μια πόλη, μια περιοχή ή ένα έθνος λειτουργούν. Τα δεδομένα αναπαριστάνονται σε μάζα για να υπολογίζουν το βάρος των υλικών που εισέρχονται και εξέρχονται ως ροές. Αυτοί οι υπολογισμοί είναι βασισμένοι στην αρχή της μετατροπής μάζας όπου η εισερχόμενη μάζα ισούται με το άθροισμα της εξερχόμενης μάζας και των αυξομειώσεων των αποθεμάτων. Με τον τρόπο αυτό η MFA υπολογίζει τα υλικά που εισέρχονται σε ένα σύστημα, τα αποθέματα και τις ροές μέσα σε αυτό το σύστημα και τα εξερχόμενα αποτελέσματα από σύστημα σε άλλα συστήματα.

Οι Baccini και Brunner το 1991 σκιαγράφησαν τα γενικά βήματα του AM χρησιμοποιώντας την Ανάλυση Ροών των Υλικών (MFA):

1. Αρχικά προχωρά σε ορισμό των στόχων και διερεύνηση των ερωτημάτων της μελέτης.
2. Περιγράφεται το σύστημα-Τα όρια του χώρου και του χρόνου πρέπει να ορίζονται όπως και οι σχετιζόμενες διαδικασίες, τα αγαθά και καθορίζονται οι συσχετισμοί. Δείκτες κάποιων υλικών όπως άνθρακας, άζωτο, φώσφορος επιλέγονται ανάλογα με τη φύση του συστήματος.
3. Συλλέγονται δεδομένα- Χρησιμοποιούνται μετρήσεις, έρευνα αγοράς, κρίσεις ειδικών, βέλτιστες εκτιμήσεις και άλλα.
4. Επιδιώκεται ισορροπία υλικών, χρησιμοποιούνται δυναμικά μαθηματικά μοντέλα σχεδιάζονται σενάρια. Τα αποτελέσματα αυτών ενσωματώνονται σε στατικά και δυναμικά μοντέλα για να αξιολογήσουν τον αντίκτυπο διάφορων αποφάσεων πάνω σε συγκεκριμένα υλικά, αποθέματα και ροές.

5. Τέλος προχωρούν σε ερμηνεία των αποτελεσμάτων –Δηλαδή υπολογίζονται οι χρησιμοποιούμενες ποσότητες. και πραγματοποιούνται συγκρίσεις ανάμεσα στα αποτελέσματα έναντι περιβαλλοντικών σταθερών, δείκτες βιωσιμότητας και άλλων προσεγγίσεων.

Η Ανάλυση Ροών των Υλικών καθιερώθηκε ως μια προτυποποιημένη προσέγγιση για να αξιολογεί τον μεταβολισμό των ροών των υλικών σε εθνική κλίμακα (Eurostat, 2001). Παρέχει μια ποσοτικοποιημένη κατανόηση και μελέτη των πηγών που διατίθενται για μια βιώσιμη μεταβολική διαδικασία σε αστικά συστήματα και αναδεικνύει την σημασία της διαχείρισης των πρώτων υλών στην ανάλυση πολιτικής. Επειδή η μέθοδος αυτή παρέχει μια επισκόπηση του συστήματος είναι αναγκαίο να συσσωματωθούν οι ροές των υλικών. Η συσσωμάτωση αυτή αγνοεί τις ιδιαίτερες ταυτότητες των υλικών και μπορεί να οδηγήσουν σε ανακριβή αποτελέσματα δεδομένων, δεικτών και αποφάσεων πολιτικής.

Επειδή η ανάλυση MFA επικεντρώνεται στα υλικά, τα ενεργειακά θέματα του μεταβολισμού δε συμμετέχουν στο να περιορίσουν το πεδίο εφαρμογής και δε βοηθούν στη κατανόηση του AM ενός συστήματος. (Haberl, 2001)[1]. Για το λόγο αυτό το 2001 ο Haberl προτείνει την μέθοδο υπολογισμού των **Ροών των Υλικών- Ενέργειας (MEFA)** για να αναλύσει τις ενεργειακές ροές που εισέρχονται και εξέρχονται από μια εθνική οικονομία. Ωστόσο, η ανάλυση περιορίζεται σε μια λογιστική άσκηση και δεν αξιολογεί τη σχετική συμβολή των ροών, ούτε την αντιμετώπιση των εξωτερικών παραγόντων.

Εκτίμηση του Κύκλου Ζωής (Life-Cycle Assessment-LCA)

Η Εκτίμηση του Κύκλου Ζωής χρησιμοποιείται για να παρέχει αξιολόγηση μια διαδικασίας ή ενός μεγαλύτερου συστήματος συμπεριλαμβάνοντας άμεσα ή έμμεσα αποτελέσματα την εφοδιαστική αλυσίδα και αναλύει το σχετιζόμενο περιβαλλοντικό αντίκτυπο από την εξαγωγή για τελική διάθεση.

Ο Οργανισμός Διεθνών Προτύπων (ISO) ορίζει την Εκτίμηση του Κύκλου Ζωής ως σύμπραξη και αξιολόγηση των εισροών, των εκροών και των πιθανών περιβαλλοντικών επιπτώσεων ενός συστήματος προϊόντων καθόλη τη διάρκεια ζωής τους. Είναι ένα νέο πεδίο έρευνας που προέρχεται από τις μελέτες που σχετίζονται με τις απαιτήσεις ενέργειας και την πρόβλεψη μόλυνσης των δεκαετιών 1960 και 1970 (Rebitzer et al., 2004) [1].

Το ποσοτικό αυτό εργαλείο χρησιμοποιείται ευρέως από διάφορους τομείς-βιομηχανίες για να μετρήσουν, να συγκρίνουν τον περιβαλλοντικό αντίκτυπο όλης της ζωής των υλικών και των διαδικασιών ξεκινώντας με τη σχεδίαση /ανάπτυξη ενός προϊόντος ακολουθούμενο από την εξόρυξη πόρων, παραγωγή, χρήση/ κατανάλωση και το τέλος της ζωής των δραστηριοτήτων

Το LCA είναι ένα εργαλείο με αξιόπιστα αποτελέσματα, το οποίο μπορεί να ποσοτικοποιήσει όλα τα πιθανά περιβαλλοντικά φορτία σε σχέση με μια λειτουργική μονάδα. Η προσοχή της μεθόδου στα όρια του συστήματος και η σύλληψη των άμεσων ή έμμεσων αποτελεσμάτων της αλυσίδας των προμηθειών μπορούν να βοηθήσουν, να συμπληρώσουν τα κενά της MFA προσέγγισης.

Μελέτες Αστικού μεταβολισμού με τη χρήση ροών μάζας ενέργειας

Καθώς πίεση και ανησυχία για το περιβάλλον προκλήθηκε από τη συνεχή επέκταση των αστικών πληθυσμών, αναθέρμανση του ενδιαφέροντος πάνω στις μελέτες AM εμφανίστηκε στην αλλαγή του αιώνα. Η ερευνητική κοινότητα ξεκίνησε να χτίζει πάνω στα δεδομένα και τα ευρήματα των προηγούμενων μελετών σε διάφορες πόλεις.

Οι εργασίες, που έγιναν μελετώντας διαφορετικές πόλεις, περιέγραφαν αυξημένη επίπτωση κατά τη μετάβαση από μία κατασκευαστική οικονομία σε μία οικονομία παροχής υπηρεσιών. Η αύξηση του πλούτου σχετιζόταν με μεγαλύτερους ρυθμούς κατανάλωσης τροφίμων, νερών και υλικών ανά κεφαλή. Ταυτόχρονα, παρατηρείται μεγάλη αύξηση των εκπομπών αερίων του CO₂ (διοξειδίου του άνθρακα) και των αστικών απορριμμάτων. Η προσέγγιση από την πλευρά της μηχανικής είχε προχωρήσει από νωρίς, περιλαμβάνοντας κατανοητές ποσοτικοποιήσεις για την ισορροπία της ενέργειας της φύσης, μιας ενεργειακής ανάλυσης των υλικών κατασκευών και των εισροών-εκροών των κατασκευαζόμενων προϊόντων.

Πολλές μελέτες όπου ποσοτικοποιούσαν τον Αστικό Μεταβολισμό έχουν υλοποιηθεί τα τελευταία χρόνια. Όπως αυτή από τους Sahely et al (2003)[1] για την ευρύτερη περιοχή του Τορόντο, η οποία ταυτοποίησε μεγάλη αύξηση του ρυθμού των εισροών και των εκροών για τα χρόνια από το 1987-1999. Οι εισροές νερού και ηλεκτρικής ενέργειας αυξήθηκαν οριακά λιγότερο από το ρυθμό αύξησης του πληθυσμού. Με εξαίρεση το πετρέλαιο, οι εισροές βενζίνης και τροφίμων αυξήθηκαν οριακά με μεγαλύτερο ποσοστό από τον πληθυσμό. Όλες οι μετρούμενες εκροές εκτός από αυτή των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα αυξήθηκαν πιο αργά από τον πληθυσμό. Συγκρίσεις έγιναν ανάμεσα στο Τορόντο και το Hong Kong. Η μελέτη και η σύγκριση αυτή συνείσφερε στην έρευνα οδηγώντας σε μια αυξανόμενη αποτελεσματικότητα των παραμέτρων μεταβολισμού. Αυτό επιτεύχθηκε φωτίζοντας κατάλληλες πολιτικές, όπως συνετές επενδύσεις, αύξηση της ανακύκλωσης και βελτίωση των υποδομών.

3. Αστικά Στερεά Απόβλητα

3.1 Αστικός μεταβολισμός και Αστικά Στερεά Απόβλητα

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, ο AM αποτελεί ένα μοντέλο που ποσοτικοποιεί τις εισροές φυσικών πόρων, υλικών και ενέργειας- όπως το νερό, τα υλικά μακράς διάρκειας (υποδομές)- και εκροών, όπως τα απορριπτόμενα απόβλητα μιας αστικής περιοχής.

Η εξέλιξη του μοντέλου του AM και η εφαρμογή του σε διάφορες πόλεις διαμορφώνει την οπτική για τη βιώσιμη λειτουργία και ανάπτυξη των πόλεων . Η βιώσιμη αυτή λειτουργία πλέον βασίζεται σε αρχές της αστικής οικολογίας, λαμβάνοντας υπόψη ένα ευρύ φάσμα κοινωνικό-οικονομικών συνιστωσών όπως είναι η ποιότητα του περιβάλλοντος και η ποιότητα ζωής- ευημερία.

Η λειτουργία ενός πολύπλοκου αστικού περιβάλλοντος περιγράφεται από τις παρακάτω συνιστώσες:

- Εισροές πόρων (περιλαμβάνει ανανεώσιμους και μη ανανεώσιμους φυσικούς πόρους)
- Αστικό σύστημα και αστικές διεργασίες (Περιλαμβάνει όλες τις αστικές υποδομές- όπως ύδρευση, ενέργεια, τηλεπικοινωνιών μεταφορών.
- Ποιότητα περιβάλλοντος
- Ποιότητας ζωής και ευημερία
- Απόβλητα και εκπομπές

Η τελευταία παράμετρος είναι ιδιαίτερα κρίσιμη σε ένα σύγχρονο αστικό σύστημα. Οι σύγχρονες τάσεις στη διαχείριση των απορριμμάτων επιτάσσουν την επανεισαγωγή των αποβλήτων στο αστικό περιβάλλον ως ρεύματα πόρων. Η πιο διαδομένη τάση σήμερα είναι η ανακύκλωση, ωστόσο υπάρχουν και άλλες- όπως η επεξεργασία και επαναχρησιμοποίηση των απορριμμάτων. Η εισαγωγή οικολογικών αρχών στη βιομηχανία για την παραγωγή φιλικών προς το περιβάλλον προϊόντων είναι άλλη μια ανερχόμενη τάση. Όλες αυτές οι τάσεις συνυπάρχουν παράλληλα με τη προσπάθεια μείωση του όγκου των παραγόμενων αποβλήτων.

Στις μελέτες του αστικού μεταβολισμού, η ανάλυση μπορεί να επικεντρώνεται στα ποιοτικά και ποσοτικά χαρακτηριστικά των συνιστωσών και χρησιμοποιείται μια προσέγγιση, η οποία στηρίζεται στον υπολογισμό ποσοτικών και ποιοτικών δεδομένων. Η επισκόπηση των μελετών αυτών αναδεικνύει τη χρήση υπολογιστικών μαθηματικών μοντέλων ανάλυσης των εισροών και εκροών των αστικών συστημάτων.

Ένας μεγάλος αριθμός μεθόδων, προσεγγίσεων και εργαλείων μοντελοποίησης έχουν αναπτυχθεί και χρησιμοποιούνται στον τομέα της διαχείρισης απορριμμάτων. Οι μέθοδοι αυτές- που χρησιμοποιούνται ως εργαλεία ανάλυσης του AM σε σχέση με τα απορρίμματα- δεν οδηγούν πάντα σε ασφαλή συμπεράσματα γιατί υπάρχουν αρκετοί περιορισμοί:

- **Περιορισμοί στις πιθανότητες πρόβλεψης του μέλλοντος.** Οι επενδύσεις στο χώρο της διαχείρισης απορριμμάτων πραγματοποιούνται σε βάθος χρόνου. Τα αποτελέσματα μιας τέτοιας επένδυσης εξαρτώνται από μελλοντικές εκτιμήσεις που είναι δύσκολο να προβλεφθούν.

- **Περιορισμοί στη γνώση σχετικά με τη σύσταση των απορριμμάτων.** Υπάρχει περιορισμένη γνώση των συστατικών των διαφορετικών αποβλήτων. Η άγνοια των υλικών που καταλήγουν στους Χώρους Υγειονομικής Ταφής (ΧΥΤΑ), τότε δεν είναι δυνατό να εκτιμηθούν οι εκπομπές ρύπων στους ΧΥΤΑ.
- **Περιορισμοί στην κατανόηση των διεργασιών.** Υπάρχουν ρύποι για τους οποίους υπάρχει περιορισμένη γνώση. Επιπλέον, η εξέλιξη των τεχνολογιών που χρησιμοποιούνται δυσχεραίνει την κατανόηση των διεργασιών. Για παράδειγμα, σε αρκετές χώρες, η τελική απόθεση απορριμμάτων σε ΧΥΤΑ δεν περιλαμβάνει οργανικά στοιχεία. Οι -μέχρι τώρα -μελέτες αφορούσαν ΧΥΤΑ σύμμεικτων Στερεών Απορριμμάτων. Άρα, η συμπεριφορά ενός ΧΥΤΑ χωρίς οργανικά υλικά δεν έχει μελετηθεί σε βάθος χρόνου και δε μπορεί να προβλεφτεί η συμπεριφορά του.
- **Επιλογή χρονικού πλαισίου.** Για την εκτίμηση της επικινδυνότητας των εκπομπών και των συστατικών των απορριμμάτων, τα αποτελέσματα πάντα κρίνονται σε συνάρτηση του χρόνου. Ένα ερώτημα που αναδεικνύει το θέμα είναι ο τρόπος που αξιολογούνται οι μελλοντικές εκπομπές σε σχέση με τις παρούσες σε ένα ΧΥΤΑ, παρόλο που οι εκπομπές ενός ΧΥΤΑ μπορούν να συνεχίζονται για χιλιάδες χρόνια.

3.2 Ορισμός Αστικών Στερεών Αποβλήτων

Τα στερεά απόβλητα ορίζονται ως στερεά ή ημιστερεά υλικά τα οποία κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες, δεν έχουν αρκετή αξία ή χρησιμότητα για τον κάτοχό τους ώστε αυτό να συνεχίσει να υφίσταται τη δαπάνη, τη μέριμνα ή το βάρος της διατήρησής τους. Βασικό χαρακτηριστικό τους από οικονομικής άποψης είναι ότι το κόστος απόρριψης ή αποβολής των υλικών αυτών είναι μικρότερο από το κόστος διατήρησής τους ή απλούστερα, είναι τα αντικείμενα εκείνα που ο κάτοχος τους θέλει ή επείγεται ή υποχρεούται να απαλλαγεί [4]

Συγκεκριμένα στην κατηγορία των στερεών αποβλήτων περιλαμβάνονται όλα τα απόβλητα με εξαίρεση:

- Απόβλητα σε υγρή φάση χωρίς αιωρούμενους ρύπους (σε αξιόλογο ποσοστό)-υγρά απόβλητα
- Αέριοι ρύποι

Τα στερεά απόβλητα μπορούν να ομαδοποιηθούν σε δύο μεγάλες κατηγορίες:

- Αστικά Απόβλητα
- Ειδικά απόβλητα όπως επικίνδυνα, μη επικίνδυνα ειδικά και ιατρικά απόβλητα.

Τα Αστικά Στερεά Απόβλητα (ΑΣΑ) περιλαμβάνουν απόβλητα που παράγονται από τις δραστηριότητες των νοικοκυριών, εμπορικές δραστηριότητες και από αυτά που προκύπτουν από τον καθαρισμό των κοινόχρηστων χώρων και των οδών καθώς και στερεών αποβλήτων που η φύση τους ή η σύνθεσή τους εξομοιώνεται με τα οικιακά απόβλητα. [4]

Ένα χαρακτηριστικό που έχουν τα αστικά απόβλητα είναι η συνύπαρξη ετερογενών υλικών. Η ποικιλία αυτή διαμορφώνεται από το βιοτικό επίπεδο την τεχνολογική εξέλιξη, την εποχή του έτους και άλλα. Η σύνθεση αποβλήτων διαφοροποιείται ανάλογα με την περιοχή παραγωγής τους. Οι τουριστικές περιοχές παράγουν μεγαλύτερη ποσότητα απορριμμάτων. Επιπλέον τα απορρίμματα των

τουριστικών περιοχών περιέχουν μεγαλύτερες ποσότητες υλικών συσκευασίας σε σύγκριση με μη τουριστικές.

Πιο συγκεκριμένα στις φτωχές περιοχές, είναι μικρότερη η κατανάλωση προκαθορισμένων και συσκευασμένων προϊόντων (λαχανικά, φρούτα, κλπ), η χρήση περιοδικών και εφημερίδων και η αγορά καταναλωτικών αγαθών από αυτή των πλουσιότερων περιοχών. Επομένως, τα ζυμώσιμα απορρίμματα (υπολείμματα κουζίνας και κήπου) είναι περισσότερα στις φτωχές περιοχές ενώ, στις πιο πλούσιες περιοχές υπάρχει περισσότερο πλαστικό, χαρτί και άλλα υλικά.

Παρόλα αυτά, η σύσταση των απορριμμάτων σε κάθε περιοχή δεν διαφοροποιείται μόνο χρονικά και σύμφωνα με την υφιστάμενη οικονομική κατάσταση αυτής, αλλά μπορεί να διαφοροποιείται και από εποχή σε εποχή. Για παράδειγμα, τα ελληνικά απορρίμματα παρουσιάζουν αύξηση του ποσοστού του οργανικού κλάσματος κατά τους θερινούς μήνες, λόγω της αυξημένης κατανάλωσης φρούτων και λαχανικών

Οι αγροτικές περιοχές παράγουν μικρότερες ποσότητες απορριμμάτων λόγω διαφορετικών καταναλωτικών προτύπων σε σύγκριση με τα αστικά κέντρα και επιπλέον μέρος των απορριμμάτων στις περιοχές αυτές χρησιμοποιούνται ως ζωοτροφές.

Η παραγωγή αστικών αποβλήτων επηρεάζεται από οικονομικούς, γεωγραφικούς, κοινωνικούς και τεχνολογικούς παράγοντες. Όταν οι παράγοντες αυτοί μεταβάλλονται, επηρεάζεται και ο βαθμός κατανάλωσης και κατά συνέπεια η παραγωγή απορριμμάτων. Κάποιοι από τους σημαντικότερους παράγοντες είναι οι παρακάτω:

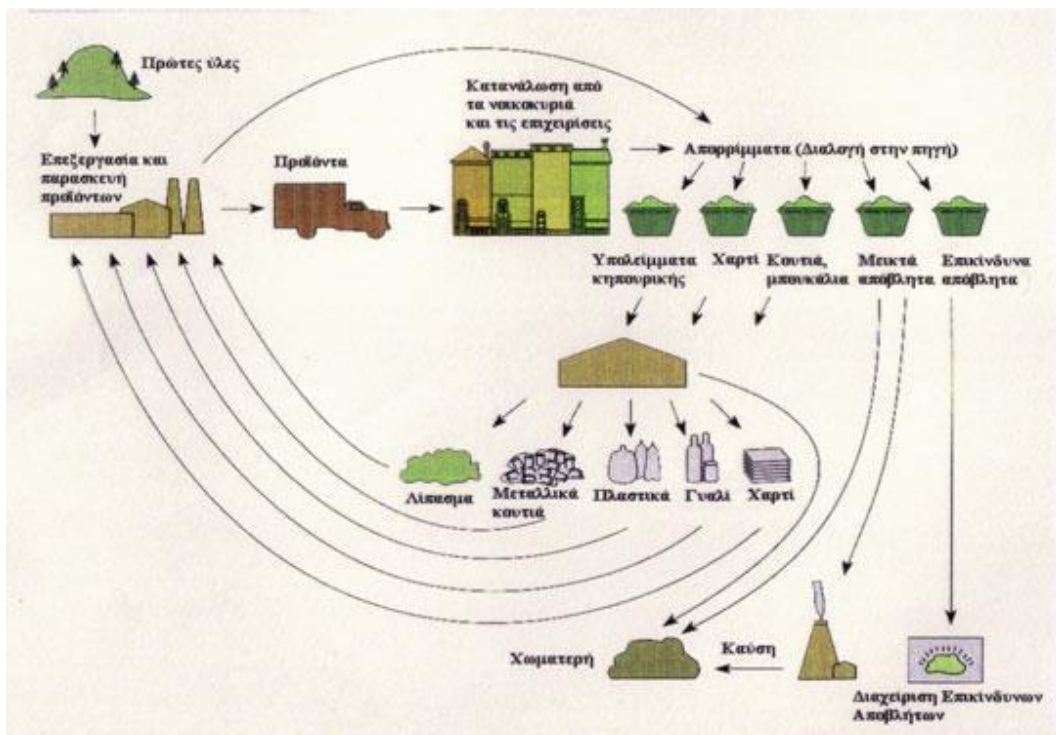
- Τα νοικοκυριά όσον αφορά τις καταναλωτικές συνήθειες των κατοίκων, το βιοτικό επίπεδο, το μορφωτικό επίπεδο, τον τρόπο ζωής, τον αριθμό των μελών κάθε περιοχής.
- Τα χαρακτηριστικά της περιοχής όπως τα πολεοδομικά χαρακτηριστικά την τουριστική κίνηση και τη συχνότητα συλλογής των απορριμμάτων
- Τα οικονομικά στοιχεία (οικογενειακό εισόδημα, ρυθμός οικονομικής ανάπτυξης).
- Οι πρώτες ύλες-, η συσκευασία των προϊόντων ο κύκλος ζωής τους κ.α

3.3 Διαχείριση Αστικών Στερεών Απορριμμάτων

Τα αστικά στερεά απόβλητα είναι μια μεγάλη πρόκληση για τις περισσότερες πόλεις σε όλες τις χώρες του κόσμου. Η λειτουργία αυτή που αποτελεί πρόκληση περιλαμβάνει τη διαδικασία της αποκομιδής, μεταφοράς, διαχείρισης και ανακύκλωσης. Τα ΑΣΑ διακρίνονται σε δύο κατηγορίες:

- Αυτά που είναι οικιακά και
- αυτά που προέρχονται από παραγωγή προϊόντων.

Τα οικιακά απορρίμματα είναι το μεγαλύτερο μέρος των συνολικών αστικών απορριμμάτων. Μπορεί κάποιος να τα διακρίνει σε οργανικά απορρίμματα, σε ανόργανα και σε επικίνδυνα απορρίμματα. Η διαχείριση των Αστικών αποβλήτων όταν αναφέρεται αφορά κυρίως στη συλλογή τους, τη μεταφορά τους και την διαχείρισή τους.



Εικόνα 1 Σύστημα επεξεργασίας αποβλήτων [5]

Η Διαχείριση των ΑΣΑ περιγράφει τις τεχνικές διαδικασίες και μεθόδους, οι οποίες σχετίζονται με την προσωρινή αποθήκευση, συλλογή, μεταφορά, μεταφόρτωση, επεξεργασία, αξιοποίηση ή τελική διάθεση σε φυσικούς αποδέκτες και την φροντίδα των χώρων διάθεσης. [4]. Οι διαδικασίες και οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται πρέπει να είναι αποδεκτές από τεχνικής, οικονομικής και περιβαλλοντικής πλευράς.

Η διαχείριση των απορριμμάτων περιλαμβάνει τους διαδικασίες:

- Τους προσωρινής αποθήκευσης
- Τους συλλογής
- Τους μεταφοράς
- Την κατά περίπτωση μεταφόρτωσης τους
- Την επεξεργασία τους με ανακύκλωση ή/ και την ανάκτηση ενέργειας από αυτά
- Την τελική διάθεσή τους

Προσωρινή αποθήκευση	Συλλογή	Μεταφορά	Ταφή, λιπασματοποίηση
	Αποκαμιδιά		ή καύση/ διάθεση ανακυκλωμένων υλικών
			Επεξεργασία και διάθεση
Διαχείριση			

Σχήμα1: Στάδια ενασχόλησης με τα ΣΑ[7]

Προσωρινή αποθήκευση Αστικών Στερεών Αποβλήτων

Με τον όρο προσωρινή αποθήκευση νοείται η τοποθέτηση των παραγόμενων αποβλήτων σε κατάλληλο χώρο μέχρι να πραγματοποιηθεί η συλλογή αυτών. Δηλαδή, είναι το σημείο όπου τα απόβλητα αφήνουν τα νοικοκυριά και εισάγονται στο σύστημα διαχείρισης αποβλήτων.

Για την προσωρινή αποθήκευση χρησιμοποιούνται διάφορα μέσα όπως μεταλλικά ή πλαστικά δοχεία μικρού μεγέθους, σακούλες και χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με κάδους προσωρινής αποθήκευσης. Τα απορρίμματα αφού συλλεχθούν σε σακούλες, τοποθετούνται στη συνέχεια σε κάδους. Μελέτες δείχνουν ότι το μέγεθος και ο τύπος του κάδου αυξάνει το ρυθμό απόρριψης απορριμμάτων. Οι μεγάλοι κάδοι αυξάνουν την ποσότητα των απορριμμάτων λόγω του ότι στους μεγάλους κάδους απορρίπτονται ογκώδη απόβλητα που δεν θα πραγματοποιούνταν σε μικρότερους κάδους

Παράγοντες που επηρεάζουν στην επιλογή του κάδου είναι οι παρακάτω:

- Ο πληθυσμός της περιοχής που καλύπτεται
- Αριθμός των νοικοκυριών
- Οικιστική και κτηριακή δόμηση
- Το μέσο ημερήσιο συλλεγόμενο φορτίο

Για παράδειγμα σε πυκνοδομημένη οίκηση προκρίνεται η επιλογή ενός κάδου μεγαλύτερης χωρητικότητας.

Συλλογή Αστικών Στερεών Αποβλήτων

Η διαδικασία της συλλογής των απορριμμάτων είναι ένα σημαντικό τμήμα της διαδικασίας της διαχείρισης αυτών. Η σημασία αυτής της λειτουργίας έγκειται στο γεγονός ότι το συνολικό κόστος της διαδικασίας μπορεί να φτάνει το 70-100% του συνολικού κόστους και επιπλέον επηρεάζει την ποιότητα των παρεχόμενων υπηρεσιών της κατοίκους.

Η συλλογή περιλαμβάνει δύο μοντέλα: (α) συγκέντρωση των μικτών απορριμμάτων και (β) διαχωρισμένων. Εάν ο πολίτης αποθηκεύσει όλα τα απορρίμματα σε ένα κάδο, τότε το σύστημα συλλογής που εφαρμόζεται είναι η μεικτή συλλογή. Στην περίπτωση της μεικτής συλλογής, τα σύμμεικτα απορρίμματα μπορούν να οδηγηθούν σε μονάδες μηχανικής διαλογής για περαιτέρω επεξεργασία. Η διαχείριση αυτή είναι απλή και σχετικά φθηνή και χρησιμοποιείται ευρύτατα σε αναπτυσσόμενες χώρες.

Όταν, ο πολίτης αποθηκεύσει ξεχωριστά κάποια υλικά που μπορούν να ανακυκλωθούν από τα υπόλοιπα απορρίμματα, τότε το σύστημα συλλογής που εφαρμόζεται είναι η διαλογή στην πηγή. Η διαλογή στην πηγή έχει στόχο το χωρισμό των υλικών που υπάρχουν, των πλαστικών, του γυαλιού, του χαρτιού, και άλλων ανακυκλώσιμων υλικών (μέταλλα μπαταρίες και άλλα)

Η διαχωρισμένη συλλογή είναι η άλλη μέθοδος που ξεκινά από την πηγή των παραγόμενων σκουπιδιών, τα νοικοκυριά. Σύμφωνα με της απαιτήσεις των διαφορετικών μεθόδων απόθεσης, τα απορρίμματα συλλέγονται, μεταφέρονται και ακολουθείται μια επιστημονική τελική διαδικασία μετά τη συλλογή. Αυτή η μέθοδος συλλογής είναι σημαντική και μέρος μιας περιβαλλοντικά υγιούς διεργασίας. Για το λόγο αυτό πόλεις στις ΗΠΑ, στη Γερμανία, στο Ηνωμένο Βασίλειο, στη Κίνα και σε άλλα κράτη χρησιμοποιούν τη μεθοδολογία αυτή για την αποκομιδή των απορριμμάτων έναντι της πρώτης. Οι περισσότερες προσεγγίσεις πάνω στη μεθοδολογία αυτή

θεωρούν ότι ο στόχος είναι ευκολότερο να επιτευχθεί με τη χρήση διαφορετικού χρώματος κάδου.

Μεταφορά των Αστικών Στερεών Αποβλήτων.

Υπάρχουν πολλές διαφορετικές προσεγγίσεις για τη μεθοδολογία που μπορεί να ακολουθηθεί σχετικά με τη μεταφορά των απορριμμάτων.

Τα πρόσφατα χρόνια, αρκετές κοινότητες, ιδιαίτερα στις βιομηχανικές χώρες, οδηγήθηκαν στο να αξιολογήσουν την διαχείριση των απορριμμάτων και να εξετάσουν τη σχέση κόστος- αποτελεσματικότητα και τον περιβαλλοντικό αντίκτυπο. Όλα αυτά υλοποιούνται κάτω από το πρίσμα να σχεδιαστούν δρόμοι αποκομιδής λαμβάνοντας υπόψη έναν σύνολο από παραμέτρους όπως κόστος, υγεία και περιβάλλον. Η πιο κοινή δυσκολία που απαντάται στη διαχείριση της αποκομιδής απορριμμάτων είναι η βελτιστοποίηση των πόρων για ένα αποτελεσματικό σύστημα διαχείρισης.

Ειδικά οχήματα με ενσωματωμένους συμπιεστές είναι σχεδιασμένα για να συλλέγουν τα ΑΣΑ έχοντας όμως ένα σημαντικό λειτουργικό κόστος. Για το λόγο αυτό, η σχεδίαση αποτελεσματικών στρατηγικών συγκομιδής είναι ζωτικής σημασίας, όχι μόνο για να μειωθεί το λειτουργικό κόστος και οι εκπομπές αερίων των οχημάτων αυτών, αλλά είναι σημαντικό να μεγιστοποιήσει το ποσοστό της ανακύκλωσης και να ελαχιστοποιήσει την ύπαρξη κυκλοφοριακής συμφόρησης που να σχετίζεται με τα οχήματα συλλογής απορριμμάτων. Καθώς προσπαθούν να φορτώσουν και να ξεφορτώσουν τους κάδους τους, τα φορτηγά έχουν μόνιμα τις μηχανές τους σε λειτουργία, δημιουργώντας θόρυβο και κυκλοφοριακή συμφόρηση.

Το ποσοστό του χρόνου που δαπανούν για την φόρτωση και εκφόρτωση του κάδου τους, εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως η χρησιμοποιούμενη τεχνολογία, το μέγεθος και η τοποθεσία της λειτουργίας συγκέντρωσης των απορριμμάτων και άλλα. Σε περιοχές με υψηλή πυκνότητα πληθυσμού και μεγάλης κυκλοφοριακής συμφόρησης, ο χρόνος που δε σχετίζεται με τη μεταφορά, ο οποίος περιλαμβάνει τον χρόνο που δαπανάται για λειτουργίες φόρτωσης και εκφόρτωσης και άλλες ανενεργές χρονικές στιγμές μπορεί να προσεγγίζουν και το 50% του συνολικού χρόνου. Αυτή η παρατήρηση καθιστά σημαντική τη μείωση όχι μόνο των διαδρομών αλλά και του αριθμού των στάσεων για φόρτωση και εκφόρτωση.

Το κόστος για την συγκέντρωση των απορριμμάτων μιας κοινότητας είναι συνήθως με όρους κόστος / τόνο, χρησιμοποιώντας μια αντίστροφη σχέση ανάμεσα στο κόστος και τον όγκο. Άρα η αποκομιδή από κάδους που είναι μερικώς γεμάτοι μοιάζει με μια μη απαραίτητη δυσλειτουργία, κακοδιαχείριση πόρων και παραγωγή μολυσματικών εκπομπών που θα έπρεπε να αποφευχθούν.

Η επιχείρηση της αποκομιδής των απορριμμάτων διακρίνεται σε τρεις βασικές κατηγορίες: εμπορικά, οικιακά, εισερχόμενα και εξερχόμενα. Κάθε περιοχή περιλαμβάνει αστικά στερεά απόβλητα και ανακυκλώσιμα υλικά τα οποία το ένα είναι πολύ διαφορετικό από το άλλο. Η αποκομιδή των οικιακών απορριμμάτων γενικά συμπεριλαμβάνει υπηρεσίες για ιδιωτικές κατοικίες, ενώ η συλλογή των εμπορικών απορριμμάτων σχετίζεται με την εξυπηρέτηση πελατών όπως εμπορικά κέντρα, εστιατόρια και κτήρια μικρών επιχειρήσεων. Η διαφορά μεταξύ των εισερχόμενων-εξερχόμενων απορριμμάτων και των εμπορικών απορριμμάτων είναι το μέγεθος του κάδου.

Στόχος λοιπόν όλων των μελετών είναι η βελτιστοποίηση των πλάνων δρομολόγησης, η ελαχιστοποίηση των αποστάσεων που καλύπτονται, καθώς και του αριθμού των απαιτούμενων οχημάτων. Όλα αυτά θα είχαν ως αποτέλεσμα την ελαχιστοποίηση του χρόνου κίνησης, του αριθμού των στάσεων φόρτωσης και εκφόρτωσης, τις εκπομπές αερίων, το θόρυβο και την κυκλοφοριακή συμφόρηση.

Μοντέρνες συσκευές ιχνηλασιμότητας όπως ογκομετρικοί αισθητήρες, RFID αναγνώρισης, GPRS και GPS τεχνολογίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να επιτύχουν να συλλέξουν τα απαραίτητα δεδομένα.

Σταθμοί μεταφόρτωσης Αστικών Στερεών Απορριμμάτων

Σταθμός μεταφόρτωσης απορριμμάτων είναι μια εγκατάσταση όπου τα αστικά απόβλητα, που συλλέγονται από τα απορριμματοφόρα, στην εγκατάσταση αυτή μεταφορτώνονται σε άλλα οχήματα για να μεταφερθούν σε μονάδες επεξεργασίας ή/και τελικής διάθεσης. Οι σταθμοί αυτοί χωροθετούνται σε σημεία σε σχέση με τις πηγές απορριμμάτων, με ζητούμενο τα απορριμματοφόρα οχήματα μετά την συμπλήρωση του φορτίου τους να διανύουν την ελάχιστη δυνατή απόσταση μέχρι το σταθμό μεταφόρτωσης. Εκεί ξεφορτώνουν και επιστρέφουν στο έργο της αποκομιδής.

Οι σταθμοί μπορούν να έχουν εξοπλισμό με συστήματα συμπίεσης αποβλήτων, με στόχο τη μείωση του όγκου των απορριμμάτων, άρα και την μείωση της απαιτούμενης έκτασης για τελική διάθεση. Εκτός από την συμπίεση στους σταθμούς μεταφόρτωσης μπορεί επίσης να υλοποιείται μερική διαλογή υλικών, όπως μετάλλων με τη χρήση μεταφορικών ταινιών και συστημάτων διαλογής.

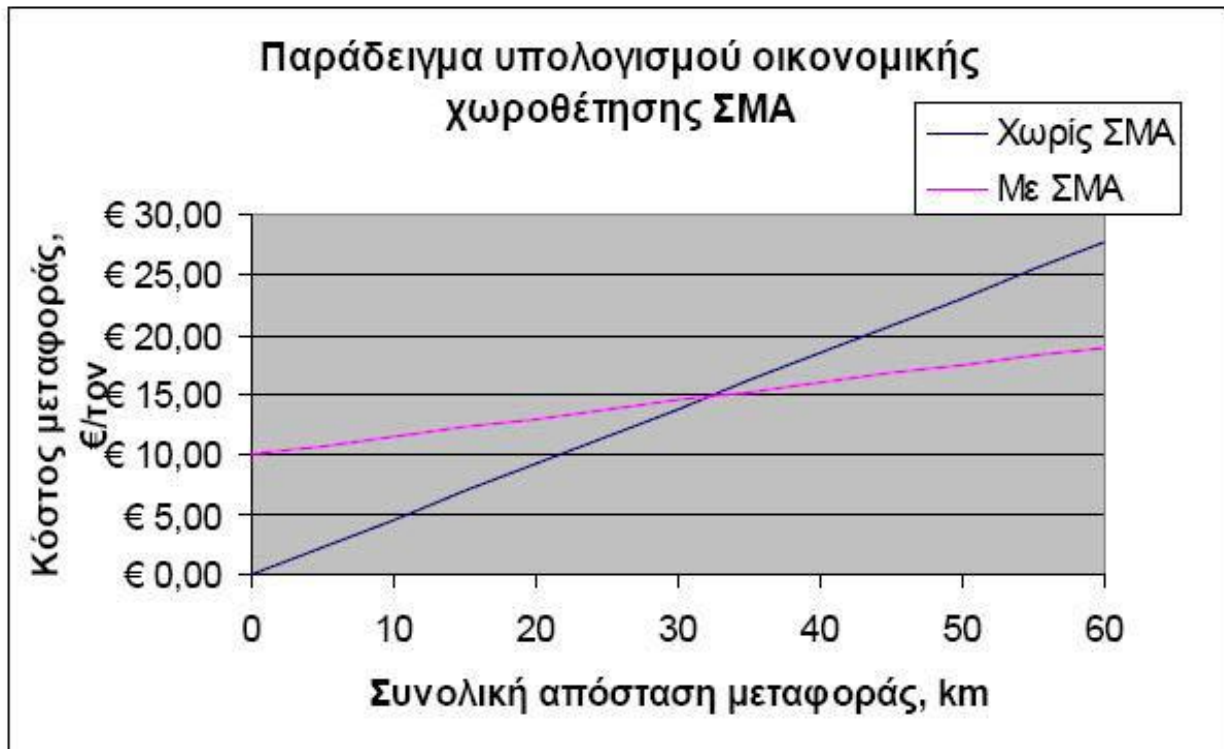
Οι σταθμοί μεταφόρτωσης μπορούν να διακριθούν σε σταθερούς και κινητούς. Σταθερός θεωρείται ο σταθμός μεταφόρτωσης στον οποίο οι διαδικασίες εκτελούνται σε συγκεκριμένο χώρο με τη χρήση πάγιας εγκατάστασης και τεχνικής υποδομής. Κινητός σταθμός μεταφόρτωσης είναι κάθε τύπος οχήματος ή συνδυασμός οχημάτων, ο οποίος διαθέτει τον κατάλληλο εξοπλισμό για την υποδοχή αποβλήτων χωρίς την χρήση πάγιων εγκαταστάσεων.

Η εγκατάσταση σταθμού μεταφόρτωσης είναι αποδοτική όταν η απόσταση του χώρου διάθεσης είναι μεγαλύτερη των 30km και η ημερήσια ποσότητα των απορριμμάτων ξεπερνά τους 20 τόνους.[7]

Πίνακας 1 Κόστος Σταθμών Μεταφόρτωσης Απορριμμάτων [6]

Κόστος κατασκευής και λειτουργίας ΣΜΑ	10 €/τόνο
Κόστος μεταφοράς απορριμματοφόρου ή ΣΜΑ	3 €/Km
Δυναμικότητα απορριμματοφόρου	6,5 τόνοι
Δυναμικότητα Container ΣΜΑ	20 τόνοι

Σημ.: Το κόστος μεταφοράς ανά τόνο υπολογίζεται αν πολλαπλασιάσουμε το κόστος ανά Km επί τα διανυόμενα Km και διαιρέσουμε δια του μεταφερόμενου φορτίου σε τόνους.



Σχήμα 2: Οικονομική χωροθέτηση [6]

Επεξεργασία των Αστικών στερεών Απορριμμάτων

Τα μεγάλα αστικά κέντρα παράγουν πολύ μεγάλες ποσότητες στερεών αποβλήτων σε μια μικρή περιοχή. Για το λόγο αυτό η αναζήτηση πιο αποτελεσματικών μεθόδων διαχείρισης των στερεών αποβλήτων που να λειτουργούν με αποδοτικότερο τρόπο από τους χώρους ταφής είναι το ζητούμενο των ερευνών τα τελευταία χρόνια.

Για το σκοπό αυτό αναπτύχθηκαν τα Συστήματα Ολοκληρωμένης Διαχείρισης Αστικών Αποβλήτων, των οποίων βασική αρχή είναι η αποτροπή της τελικής διάθεσης στο έδαφος μεγάλης ποσότητας απορριμμάτων σύμφωνα με μια ποικιλία οικονομικών, περιβαλλοντικών, τεχνολογικών, πολιτικών και κοινωνικών κριτηρίων.

Με τον όρο επεξεργασία περιγράφεται η υλοποίηση μίας ή συνδυασμός περισσότερων διεργασιών, φυσικών, θερμικών και βιολογικών που μεταβάλλουν τα χαρακτηριστικά των αστικών στερεών αποβλήτων έτσι ώστε να περιορίζεται ο όγκος τους ή οι επικίνδυνες ιδιότητες τους, να διευκολύνεται ο χειρισμός τους και να επιτυγχάνεται ανάκτηση υλικών κα ενέργειας. Αναπτύσσεται κατά συνέπεια μια ολοκληρωμένη ιεραρχία διαχείρισης. Ένα Σύστημα Διαχείρισης ΑΣΑ περιλαμβάνει την εφαρμογή προγραμμάτων για την βελτίωση της διαδικασίας συλλογής, τον περιορισμό της παραγωγής, τη διαλογή στην πηγή, την ανακύκλωση, την εφαρμογή συστημάτων μεταφόρτωσης τη χρήση μεθόδων επεξεργασίας που να επιτρέπουν την ενεργειακή αξιοποίηση ή την επαναχρησιμοποίηση υλικών και τη διάθεση σε συγχρόνους Χώρους Υγειονομικής Ταφής Υπολειμμάτων (ΧΥΤΥ).

Οι βασικές μέθοδοι επεξεργασίας των αστικών στερεών απορριμμάτων είναι:

- Διαλογή στη πηγή
- Μηχανική διαλογή
- Θερμική Επεξεργασία
- Βιολογική Επεξεργασία
- Υγειονομική ταφή

Διαλογή στην πηγή

Με τον όρο **διαλογή στην πηγή** περιγράφεται η διαδικασία της ανακύκλωσης με την οποία επιτυγχάνεται η διάκριση των χρήσιμων ανακυκλώσιμων υλικών πριν την ανάμειξη τους με την υπόλοιπη μάζα των σκουπιδιών. Με την διαλογή των υλικών στην πηγή παραγωγής επιτυγχάνεται η μείωση στην ποσότητα που οδηγείται προς τελική διάθεση. Ταυτόχρονα πραγματοποιείται παράλληλα αξιοποίηση των υλικών. Προϋποθέτει την ενεργό συμμετοχή των πολιτών, οι οποίοι καλούνται να τοποθετούν τα διαχωρισμένα υλικά σε διαφορετικά δοχεία.

Μηχανική διαλογή

Πίνακας 2 Τεχνολογίες διαχωρισμού αποβλήτων [6]

Τεχνολογία	Ιδιότητα διαχωρισμού	Στοχευόμενα υλικά	Προβλήματα-Περιορισμοί
Κόσκινα (Trommels and screens)	Μέγεθος και πυκνότητα	Υπερμεγέθη: χαρτί, πλαστικό Μικρά: οργανικά, γυαλί, λεπτόκοκκα υλικά (fines)	Καθαρισμός
Χειρωνακτικός διαχωρισμός	Οπτική εξέταση	Πλαστικά, προσμίξεις, υπερμεγέθη, ξένα σώματα	Υγιεινή και ασφάλεια εργασίας, ηθικά θέματα
Μαγνητικοί διαχωριστές	Μαγνητικές ιδιότητες	Σιδηρούχα μέταλλα	
Διαχωριστές με επαγωγικά ρεύματα	Ηλεκτρική αγωγιμότητα	Μη σιδηρούχα μέταλλα	
Διαχωριστές επίπλευσης αφρού	Διαφορές πυκνότητας	Επιπλέοντα: πλαστικά, Οργανικά Βυθιζόμενα: πέτρες, γυαλί	Δημιουργεί υγρά ρεύματα αποβλήτων
Αεροδιαχωριστές	Βάρος	Ελαφρά: πλαστικά, χαρτί Βαρέα: πέτρες, γυαλί	Απαιτείται καθαρισμός του αέρα
Βαλλιστικοί διαχωριστές	Πυκνότητα και ελαστικότητα	Ελαφρά: πλαστικά, χαρτί Βαρέα: πέτρες, γυαλί	
Οπτικοί διαχωριστές	Οπτικές ιδιότητες	Καθορισμένα πλαστικά πολυμερή	Απόδοση

Με τη μέθοδο της μηχανικής διαλογής διαχωρίζονται με μηχανικά μέσα τα αξιοποιήσιμα υλικά μέσα από τα σύμμεικτα αστικά στερεά απόβλητα. Ο διαχωρισμός βασίζεται στις διαφορές που έχουν τα συστατικά των απορριμμάτων αλλά και στις φυσικοχημικές ιδιότητές τους, για παράδειγμα τη χρήση μαγνητισμού για διαχωρισμό των σιδηρούχων συστατικών κάποιων απορριμμάτων.

Θερμική επεξεργασία

Η θερμική επεξεργασία θα μπορούσε να οριστεί ως η διαδικασία μετατροπής των στερεών αποβλήτων σε αέρια, υγρά και στερεά προϊόντα, με αποδέσμευση θερμικής ενέργειας. Οι βασικότερες μέθοδοι είναι: i) η αποτέφρωση, ii) η πυρόλυση και iii) η αεριοποίηση.



Εικόνα 2: Μονάδα αποτέφρωσης ΑΣΑ (Amsterdam) [6]

Βιολογική επεξεργασία

Η βιολογική επεξεργασία των αστικών αποβλήτων στοχεύει στην εκτροπή των οργανικών αποβλήτων από το χώρο τελικής διάθεσης και στην ανάκτηση εδαφοβελτιωτικού (compost) ή/και ενέργειας (Παναγιωτακόπουλος, 2002). Μπορούν να εφαρμοστούν αερόβιες ή αναερόβιες συνθήκες, οπότε εφαρμόζεται αντίστοιχα αερόβια (κομποστοποίηση) ή αναερόβια (χώνευση) βιολογική επεξεργασία.

Υγειονομική ταφή

Είναι η διαδικασία ταφής των στερεών αποβλήτων με την οποία ελαχιστοποιούνται οι επιπτώσεις στο περιβάλλον και στη δημόσια υγεία μέσα από την κατασκευή κατάλληλων έργων υποδομής και την εφαρμογή καινοτόμων διαδικασιών λειτουργίας και ελέγχου. Η απόθεση των απορριμμάτων στους ΧΥΤΑ γίνεται σε ειδικά διαμορφωμένους χώρους αρκετά μετρά κάτω από την επιφάνεια του εδάφους. Ο πυθμένας μονώνεται για να μη περνούν τα υγρά, ενώ τοποθετούνται σωλήνες οι οποίοι θα συλλέγουν τα υγρά και τα οδηγούν σε βιολογικό καθαρισμό. Τα απορρίμματα, όταν εναποτίθενται στο χώρο, συμπιέζονται και σκεπάζονται με χώμα, ώστε να επιταχυνθούν οι ζυμώσεις που λαμβάνουν χώρα και οδηγούν στην αποσύνθεσή τους.

Όταν πλήρωση του χώρου υγειονομικής ταφής απαιτείται η αποκατάστασή του για την επανένταξή του στο περιβάλλον και ο έλεγχος για την μετέπειτα συμπεριφορά του.

Τελική διάθεση των Αστικών Στερεών Αποβλήτων

Με τον όρο διάθεση ως τελικό στάδιο των Αστικών Στερεών Αποβλήτων περιγράφει την φάση που τα απόβλητα δεν μπορούν να υποστούν περαιτέρω επεξεργασία με σκοπό να μεταβληθούν οι ιδιότητες τους ή να προκύψουν χρήσιμα προϊόντα από αυτά. Η υγειονομική ταφή των απορριμμάτων είναι η πιο διαδεδομένη και αρκετά απλοποιημένη μέθοδος διαχείρισής τους.

Η Κοινοτική περιβαλλοντική πολιτική εστιάζει στο σχεδιασμό, εγκατάσταση και λειτουργία χώρων ελεγχόμενης απόθεσης των στερεών αποβλήτων – απορριμμάτων, μέσω εφαρμογής της μεθόδου της υγειονομικής ταφής. Όλες οι άλλες μέθοδοι διαχείρισης των στερεών αποβλήτων (θερμικές μέθοδοι, μηχανική διαλογή, βιολογικές μέθοδοι) οδηγούν ανάμεσα σε άλλα, στην παραγωγή καταλοίπων για τα οποία είναι απαραίτητη η τελική διάθεση. Έτσι η υγειονομική ταφή δεν είναι απλά μια εναλλακτική τεχνική διάθεσης στερεών αποβλήτων, αλλά αποτελεί αναπόσπαστο στάδιο της συνολικής διαχείρισής τους. Ένας σύγχρονος χώρος διάθεσης θα πρέπει να έχει σχεδιαστεί με γνώμονα τη διασφάλιση συνθηκών ευστάθειας, να διαθέτει σύστημα αντιπυρικής προστασίας, δίκτυο απορροής όμβριων υδάτων και σύστημα διαχείρισης των στραγγισμάτων, σύστημα μόνωσης και στεγανοποίησης για την αποφυγή ρύπανσης των υπογείων υδάτων, σύστημα αξιοποίησης του παραγόμενου βιοαερίου και σύστημα ελέγχου και παρακολούθησης του Χ.Υ.Τ.Α.



Εικόνα 3 Χώρος Υγειονομικής Ταφής Δ. Κω [6]

Υγειονομική ταφή είναι η διαδικασία διάθεσης όπου τα απορρίμματα διαστρώνονται σε στρώσεις, συμπιέζονται και καλύπτονται με κατάλληλο αδρανές υλικό στο τέλος της καθημερινής λειτουργίας. Και όλα αυτά υλοποιούνται με τέτοιο τρόπο ώστε να εξασφαλίζεται η ασφαλής διάθεση των αποβλήτων, με ελάχιστες περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

3.4 Συστήματα Ολοκληρωμένης Διαχείρισης Αστικών Στερεών Αποβλήτων (ΑΣΑ)

Επειδή μεγάλος όγκος στερεών αποβλήτων παράγονται σε μια μικρή σχετικά έκταση, γίνεται αναγκαία η αναζήτηση αποτελεσματικότερων μεθόδων διαχείρισης των στερεών αποβλήτων που να υπερβαίνουν απλά τη διαχείριση μόνο τους χώρους υγειονομικής ταφής. Άρα εμφανίζεται η αναγκαιότητα **Συστημάτων Ολοκληρωμένης Διαχείρισης ΑΣΑ**.

Βασική αρχή της **Ολοκληρωμένης Διαχείρισης ΑΣΑ** είναι η αποτροπή της ρίψης μεγάλων όγκων απορριμμάτων την τελική διάθεση στο έδαφος, χρησιμοποιώντας μια σειρά από οικονομικά, περιβαλλοντικά τεχνολογικά πολιτικά και κοινωνικά κριτήρια. Για το λόγο αυτό υπάρχει μια ολοκληρωμένη ιεραρχία διαχείρισης. Κάθε τέτοιο σύστημα είναι από τη φύση του σύνθετο γιατί καλύπτει διαφορετικά αλληλοσυνδεόμενα προβλήματα και καλείται να ανταποκριθεί σε διαφορετικούς και συχνά αντικρουόμενους στόχους.

Ως **σχεδιασμός** στο πεδίο της διαχείρισης απορριμμάτων αλλά και γενικότερα ορίζεται η διαδικασία μέσω της οποίας μετρούνται και αξιολογούνται οι σχετικές ανάγκες της κοινωνίας, ενώ αναπτύσσονται υλοποιήσιμες εναλλακτικές λύσεις προς παρουσίαση στους αποφασίζοντες. Σε αυτό το είδος σχεδιασμού έχουν μόνον εν μέρει κατανοηθεί μέχρι σήμερα οι περισσότεροι από τους εμπλεκόμενους τεχνικούς, περιβαλλοντικούς, οικονομικούς, κοινωνικούς και πολιτικούς παράγοντες. Επιπλέον, η φύση όλων των παραπάνω παραγόντων και αλληλοσυσχετίσεων είναι τόσο δυναμική, ώστε είναι ιδιαίτερα δύσκολη και χρονοβόρα η συγκέντρωση των σχετικών δεδομένων. Παρά όμως τις δυσκολίες αυτές, έχουν προσδιορισθεί ορισμένες κατευθυντήριες γραμμές σχεδιασμού και μέθοδοι προσέγγισης του προβλήματος.

Επί του παρόντος, το μοντέλο διαχείρισης των ΑΣΑ ερευνητικά βασίζεται στην προοπτική της κυκλικής οικονομίας και της αειφόρου ανάπτυξης.



Σχήμα 3: Ιεράρχηση εναλλακτικών ΔΑ [8]

3.5 Μοναδιαία Παραγωγή Απορριμμάτων (ΜΠΑ) και Ρυθμός Παραγωγής Απορριμμάτων (ΡΠΑ).

Το χαρακτηριστικότερα μεγέθη που περιγράφουν την παραγωγή απορριμμάτων είναι η **Μοναδιαία Παραγωγή Απορριμμάτων (ΜΠΑ)** και ο αντίστοιχος **Ρυθμός Παραγωγής Απορριμμάτων (ΡΠΑ)**. Η ΜΠΑ εκφράζεται από το βάρος των απορριμμάτων που παράγει ένα άτομο σε μια ημέρα (kg/cap.day). Η ποσότητα των απορριμμάτων που παράγονται ανά κάτοικο ποικίλλει πολύ ανάλογα με τη χώρα και την περιοχή. Η ποσότητα, όπως είναι ευνόητο είναι μεγαλύτερη στις πλούσιες χώρες και στις πλούσιες περιοχές της ίδιας χώρας. Ακόμα, στις αγροτικές περιοχές η ποσότητα των σκουπιδιών είναι μικρότερη από ότι στις αστικές περιοχές. Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται παγκοσμίως μία αύξηση των ΜΠΑ και ΡΠΑ.

Ο ΡΠΑ είναι η ποσότητα των απορριμμάτων που παράγει μία κοινότητα στη διάρκεια μιας ημέρας. Ο ΡΠΑ εκτιμάται για μια περιοχή πολλαπλασιάζοντας την ΜΠΑ με τον εξυπηρετούμενο πληθυσμό της:

$$\text{ΡΠΑ} = \text{Πληθυσμός} \times \text{ΜΠΑ (kg/day)} \quad (3.1)$$

Είναι απαραίτητη η γνώση του ΡΠΑ για την περίοδο παραμονής των απορριμμάτων στα **Μέσα Προσωρινής Αποθήκευσης (ΜΠΑ)** έως τη συλλογή τους από το συνεργείο. Ο ΡΠΑ εξαρτάται από πληθώρα παραγόντων, μεταξύ των οποίων:[9]

- Πληθυσμιακή πυκνότητα.
- Πληθυσμιακές διακυμάνσεις (ιδιαίτερα για τουριστικές περιοχές).
- Εποχές χρόνου.
- Συχνότητα συλλογής.
- Κοινωνικό-οικονομικό επίπεδο κατοίκων.
- Πολιτισμικό επίπεδο κατοίκων και κοινότητας.
- Μορφωτικό επίπεδο κατοίκων.

- Γεωγραφική περιοχή αναφοράς.
- Ηλικία και φύλο καταναλωτών.
- Εμπορική δραστηριότητα.
- Βιομηχανική δραστηριότητα.
- Ύπαρξη προγραμμάτων ανακύκλωσης και κομποστοποίησης.
- Ενημέρωση καταναλωτών.
- Όγκος και είδη κάδων.
- Εφαρμογή και άλλων δυνατοτήτων διάθεσης.

3.6 Οσμή και αστικές περιοχές

Η επίδραση των οσμών από μια ποικιλία από πηγές προκαλεί ένα αυξανόμενο αριθμό από δημόσιες διαμαρτυρίες και ανησυχία σε όλους τους πολίτες. Πάντοτε οι κοινότητες έπρεπε να ζήσουν με τις οσμές, όμως παρουσιάζεται το φαινόμενο πολλοί άνθρωποι να έχουν γίνει πιο ευαίσθητοι στο φαινόμενο και να απαιτούν μεγαλύτερο έλεγχο και μέτρα μείωσης των πηγών οσμής.

Στις αστικές περιοχές υπάρχουν σημαντικοί παράγοντες που οδήγησαν στην βελτίωση του κανονισμού για τον έλεγχο της ρύπανσης των οσμών. Τέτοιος παράγοντας είναι η συνειδητοποίηση της ποιότητας του περιβάλλοντος ως υψηλή κοινωνική και οικονομική αξία.

Ωστόσο, η ποσοτική εκτίμηση των επιπτώσεων της οσμής παραμένει ένα σημαντικό πρόβλημα. Παρά την προσπάθεια εξακολουθεί να είναι δύσκολο i)να μετρήσουν την οσμή, ii)να προσδιορίσουν την μεταφορά στον αέρα και iii)να οδηγηθούν σε προβλέψεις σχετικά με τις επιδράσεις.

Η μέτρηση της οσμής είναι απαραίτητη για την ρύθμιση και τον έλεγχο των οσμών .Η εκπομπή των οσμών συχνά είναι ένα σύνθετο μείγμα πολλών οσμών. Αναλυτική παρακολούθηση των επιμέρους χημικών ενώσεων που υπάρχουν στις οσμές δεν είναι συνήθως πρακτικό.

Η αίσθηση της οσμής έχει τέσσερις(4) ιδιότητες που σχετίζονται με το κατώτατο όριο και την ανοχή: [10]

- Συγκέντρωση οσμής
- Ένταση οσμής
- Ποιότητα οσμής
- Ηδονικός τόνος

Συγκέντρωση οσμής: Είναι η διεισδυτικότητα μιας μυρωδιάς. Για τη μέτρηση της, μια μυρωδιά βρίσκεται σε μια συγκεκριμένη συγκέντρωση για να είναι ανιχνεύσιμη ή αναγνωρίσιμη. Το κατώφλι ανίχνευσης είναι η συγκέντρωση μιας οσμής στον αέρα, την οποία το 50% του πληθυσμού μπορεί να την διακρίνει από ένα δείγμα χωρίς οσμή

Η μέτρηση της συγκέντρωσης της οσμής είναι η πιο διαδεδομένη μέθοδος για τη ποσοτικοποίηση των οσμών .Τυποποιείται σε CEN EN 13725:2003. Η μέθοδος βασίζεται στην μέτρηση της αραίωσης του δείγματος οσμής συγκρινόμενη με το όριο κατώφλι οσμής (στο σημείο δηλαδή που η οσμή είναι ανιχνεύσιμη στο 50% της ομάδας ελέγχου). Η αριθμητική τιμή της συγκέντρωσης είναι ίση με το συντελεστή αραίωσης που είναι απαραίτητη για την επίτευξη του κατωφλίου οσμής. Μονάδα της είναι η Ευρωπαϊκή Μονάδα Οσμής (OUE).Ως εκ τούτου, η συγκέντρωση οσμής στο κατώφλι-όριο οσμής είναι 1 OUE εξ ορισμού.

Ένταση της οσμής: είναι η αντιληπτική δύναμη της αίσθησης της οσμής. Η ιδιότητα της έντασης χρησιμοποιείται για να εντοπίσει την πηγή των οσμών και ίσως σχετίζονται πιο άμεσα με την ενόχληση της οσμής.

Η ένταση της οσμής μπορεί να εκφραστεί χρησιμοποιώντας μια κλίμακα έντασης οσμής, η οποία είναι μια λεκτική περιγραφή της αίσθησης της οσμής στην οποία έχει εκχωρηθεί μια αριθμητική τιμή. Η ένταση της οσμής μπορεί να διακριθεί στις ακόλουθες κατηγορίες ανάλογα με την ένταση:

- | | |
|---|---------------------------|
| 0 | δεν υπάρχει οσμή |
| 1 | πολύ αδύναμη (όριο οσμής) |
| 2 | αδύναμη |
| 3 | διακριτή |
| 4 | δυνατή |
| 5 | πολύ δυνατή |
| 6 | αφόρητη |

Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται στο εργαστήριο από κατάλληλα εκπαιδευμένα μέλη.

Ηδονικού τόνου αξιολόγηση: είναι η διαδικασία της κλιμάκωσης των οσμών σε μια κλίμακα που κυμαίνεται από εξαιρετικά δυσάρεστες σε ουδέτερες ως πολύ ευχάριστες οσμές. Είναι πολύ σημαντικό να σημειωθεί ότι η ένταση και ο ηδονικός τόνος ενώ είναι παρόμοια αναφέρονται σε διαφορετικά πράγματα. Δηλαδή, το ένα αφορά την ισχύ της οσμής(ένταση) ανεξάρτητα αν είναι ευχάριστη ή δυσάρεστη, ενώ ο ηδονικός τόνος αφορά την τερπνότητα της οσμής.

Ο έλεγχος των οσμών είναι ίσως η μεγαλύτερη πρόκληση η βιομηχανία επεξεργασίας οργανικών αποβλήτων που αντιμετωπίζει. Συχνά, οι λειτουργίες της μονάδας μπορεί να ανασταλούν ή να υπάρχουν συγκρούσεις για τη χωροθέτηση του εργοστασίου, οι οσμές και ανησυχία για πιθανές επιπτώσεις της οσμής είναι η αιτία. Οι κομποστοποίηση και η Αναερόβια Χώνευση (ΑΧ) διεργασίες είναι εγγενώς δύσοσμες εξαιτίας δύσοσμων πτητικών προϊόντων που δημιουργούνται από τη διαδικασία αποσύνθεσης. Ωστόσο, μια σωστά σχεδιασμένη λειτουργία μπορεί να διαχειριστεί αποτελεσματικά και να θεραπεύσει αυτές τις οσμές για την εξάλειψη ή σημαντική μείωση των οχλήσεων των επιπτώσεων στις γειτονικές περιοχές.

4. Πρόβλεψη παραγωγής Αστικών Στερεών Αποβλήτων

Η πρόβλεψη του ακριβούς ποσού των απορριμμάτων είναι η αρχική συνθήκη για να μπορέσει να κατασκευαστεί και να λειτουργήσει ένα σύστημα διαχείρισης απορριμμάτων. Η παραγωγή των απορριμμάτων εξαρτάται από κοινωνικούς πληθυσμιακούς και οικονομικούς παράγοντες. Θα μπορούσε να παρατηρηθεί ότι οι παράγοντες αυτοί διακρίνονται βασικά στις παρακάτω κατηγορίες:

Κοινωνικοί παράγοντες (ηλικία και φύλο)- οικονομικοί παράγοντες (βιοτικό επίπεδο)

Η ποσότητα και η ποιότητα των απορριμμάτων εξαρτάται από τους παραγωγικούς τομείς που κυριαρχούν στο μέρος αυτό του πληθυσμού. Για παράδειγμα αν στην περιοχή κυριαρχεί ο αγροτικός τομέας, η ποσότητα και η ποιότητα των απορριμμάτων θα διαφέρει πολύ σε σύγκριση με μια περιοχή, όπου ο παραγωγικό τομέας είναι ο τουρισμός ή οι εταιρείες παροχής υπηρεσιών.

Κάποιες άλλες παράμετροι που παίζουν ρόλο είναι το οικονομικό και κοινωνικό προφίλ των κατοίκων. Με βάση αυτές τις παραμέτρους θα μπορούσαμε να διακρίνουμε τους κατοίκους σε χαμηλού, μέσου και υψηλού βιοτικού επιπέδου. Το βιοτικό επίπεδο των πολιτών εξαρτάται άμεσα από την οικονομική του κατάσταση αλλά και από το μορφωτικό τους επίπεδο. Για παράδειγμα σε μια περιοχή που διαμένουν αθίγγανοι παράγεται διαφορετική ποσότητα και ποιότητα απορριμμάτων από μια περιοχή που διαμένουν πολίτες με υψηλό βιοτικό επίπεδο και οικονομικό επίπεδο.

Πληθυσμός και πυκνότητα

Τα πληθυσμιακά χαρακτηριστικά μιας περιοχής περιγράφονται από την κατανομή του πληθυσμού, την πυκνότητα των νοικοκυριών, την ηλικία-, το φύλο και τους κλάδους απασχόλησης των κατοίκων της περιοχής. Τα στοιχεία αυτά πρέπει να λαμβάνονται υπόψη γιατί επηρεάζουν την ποσότητα και την ποιότητα των απορριμμάτων που παράγονται.

Η πληθυσμιακή κατανομή διακρίνει τους κατοίκους σε μεμονωμένα άτομα ή οικογένειες, σε εργαζόμενους ή συνταξιούχους -σε νέους ή μεγαλύτερης ηλικίας άτομα. Σημαντικό για τον προσδιορισμό της πληθυσμιακής κατανομής είναι ο αριθμός των ατόμων ανά κατοικία.

Το είδος της κατοικίας (μονοκατοικίες- πολυκατοικίες)

Σε κατοικίες του ενός ατόμου παρατηρείται παραγωγή περισσότερων απορριμμάτων συσκευασίας κατ' άτομο σε σύγκριση με κατοικίες περισσότερων ατόμων, που μπορεί να οφείλεται σε συχνότερη κατανάλωση έτοιμων ή κατεψυγμένων φαγητών.

Διαθέσιμοι δείκτες σε εθνικό επίπεδο και επίπεδο πόλης	
• Συνολικός πληθυσμός	• Πυκνότητα πληθυσμού
• Ηλικιακή δομή του πληθυσμού (0 έως 14 έτη / 15 έως 59 έτη / 60 και πλέον έτη)	• Απασχόληση ανά τομέα (γεωργία / βιομηχανία / υπηρεσίες) ^a
• Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν	• Ρυθμός βρεφικής θνησιμότητας
• Διανυκτερεύσεις	• Προσδοκώμενη διάρκεια ζωής
• Μέσο μέγεθος νοικοκυριού	• Ποσοστό ανεργίας

^a Διαθέσιμα (και επίσης χρήσιμα) στοιχεία μόνο σε εθνικό επίπεδο.

Πίνακας3 Δείκτες που επηρεάζουν την παραγωγή των απορριμμάτων[11]

Ο Zhang Lei και άλλοι στη μελέτη τους [12] για τα δυναμικά συστήματα στα συστήματα αστικών στερεών αποβλήτων, ανέλυσαν τους παράγοντες και τις αλληλεπιδράσεις ανάμεσα στους παράγοντες αυτούς. Κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η χρήση δυναμικών μεθόδων είναι ένας καλός τρόπος για την πρόβλεψη της ποσότητας των απορριμμάτων. Κατευθύνθηκαν στο συμπέρασμα ότι η ακρίβεια στην πρόβλεψη των απορριμμάτων μπορεί να εξαρτάται από την ύπαρξη ή την έλλειψη δεδομένων.

Η διαδικασία διάθεσης που επιλέγεται και ο καθορισμός του μεγέθους μπορεί επίσης να συμβάλει στο να προβλεφτεί το ποσό των αποβλήτων, που παράγονται με βάση τη συμπεριφορά του συστήματος κάτω από διαφορετικές προσομοιώσεις πολιτικής που μπορούν να εφαρμοστούν.

5. Οι τεχνολογίες RFID, GPS, GPRS και η χρήση τους στην αποκομιδή απορριμμάτων

5.1 Οι τεχνολογίες RFID, GPS, GPRS

RFID

Το **RFID** είναι τα αρχικά του όρου **Radio Frequency Identification**, η απόδοση του στα ελληνικά ορίζεται ως «*ταυτοποίηση μέσω ραδιοσυχνότητων*». Τα συστήματα RFID αποτελούν ένα υποσύνολο των **Συστημάτων Αυτόματου Προσδιορισμού** (Automatic Identification Systems)[13]. Ειδικότερα λειτουργεί ως γενικός όρος των τεχνολογιών που χρησιμοποιούν ραδιοκύματα για να προσδιορίσουν αυτόματα ανθρώπους ή αντικείμενα και αποτελεί την τεχνολογική εξέλιξη των ραβδωτών κωδίκων (barcode). Η τεχνολογία RFID είναι γνωστή εδώ και 50 χρόνια. Χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά από την πολεμική αεροπορία της Αγγλίας κατά τη διάρκεια του Β' Παγκοσμίου, για την αναγνώριση και τη διάκριση των εχθρικών από τα φιλικά αεροπλάνα. Αρχικά, σε πειραματικό στάδιο και σε εργαστηριακό επίπεδο, για να φτάσουμε στο σήμερα, όπου γίνεται λόγος για εφαρμογή της τεχνολογίας RFID στην καθημερινή ζωή των ανθρώπων, κυρίως μέσω του εμπορίου. Παράλληλα αναπτύσσεται το ενδεχόμενο της ευρείας εφαρμογής του, με την καθιέρωση προτύπων και την λειτουργία της σε παγκόσμιο επίπεδο.

Τα συστήματα RFID απαρτίζονται από δύο κύρια μέρη. Το πρώτο είναι οι πομποδέκτες (transponders) που συχνά αναφέρονται και ως ετικέτες RFID (RFID tags). Οι ετικέτες RFID είναι μικρά chips που αποτελούνται από ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα, το οποίο περιλαμβάνει μνήμη ώστε να αποθηκεύει δεδομένα - πληροφορίες, και μία κεραία. Το μέγεθός τους μπορεί να είναι τόσο μικρό όσο το μισό ενός κόκκου άμμου (1/3 του χιλιοστού), ανάλογα με το τύπο τις ετικέτας. Το δεύτερο μέρος είναι οι αναγνώστες ή αισθητήρες (readers), οι οποίοι ανακτούν τα δεδομένα από τις ετικέτες RFID. Οι αναγνώστες RFID έχουν ενσωματωμένα μια κεραία και μια μονάδα ελέγχου.

Η λειτουργία των συστημάτων RFID είναι απλή και βασίζεται στη δυναμική και αμφίδρομη επικοινωνία των ετικετών και των αναγνώστων. Όταν οι ετικέτες RFID βρεθούν στην εμβέλεια της κεραίας του αναγνώστη, η μονάδα ελέγχου επικοινωνεί με ραδιοκύματα με την κεραία των ετικετών RFID. Οι ετικέτες RFID ενεργοποιούνται με τη σειρά τους και επιστρέφουν τα αναζητούμενα δεδομένα στους αναγνώστες. Στη συνέχεια παρεμβάινει ένα ενδιάμεσο λογισμικό, το οποίο κατανοεί τις πληροφορίες, οι οποίες αποστέλλονται από τη μονάδα ελέγχου του αναγνώστη. Ο αναγνώστης τις μεταφέρει στο εκάστοτε Πληροφοριακό Σύστημα (ΠΣ).

Global Positioning System

Το **GPS (Global Positioning System), Παγκόσμιο Σύστημα Στιγματοθέτησης**, - ή **Θεσιθεσίας** είναι ένα παγκόσμιο σύστημα εντοπισμού γεωγραφικής θέσης-, (στίγματος), ακίνητου ή κινητού χρήστη, το οποίο βασίζεται σε ένα "πλέγμα" εικοσιπτεσσάρων δορυφόρων της Γης, εφοδιασμένων με ειδικές συσκευές εντοπισμού, οι οποίες ονομάζονται "πομποδέκτες GPS". Οι πομποδέκτες αυτοί παρέχουν ακριβείς πληροφορίες για τη θέση ενός σημείου, το υψόμετρό του, την ταχύτητα και την κατεύθυνση της κίνησης του. Επίσης, σε συνδυασμό με ειδικό λογισμικό χαρτογράφησης μπορούν να απεικονίσουν γραφικά τις πληροφορίες αυτές.

Το σύστημα ξεκίνησε από το Υπουργείο Άμυνας των ΗΠΑ και ονομάστηκε "NAVSTAR GPS" (Navigation Signal Timing and Ranging Global Positioning System).



Εικόνα 4 GPS συσκευή πλοήγησης σε ταμπλό αυτοκινήτου

Η μεγάλη εξάπλωση της χρήσης του GPS οφείλεται και στη διάδοση των, οικονομικά προσιτών, φορητών δεκτών GPS για πεζούς ή οχήματα και των γενικών υπολογιστικών συσκευών (όπως τα PDA) με ενσωματωμένο δέκτη GPS [14].

GPRS

Το General Packet Radio Service (GPRS) είναι ένα προσανατολισμένο στα δεδομένα πακέτο υπηρεσιών κινητής τηλεφωνίας στο παγκόσμιο σύστημα του κυψελωτού συστήματος επικοινωνίας 2G και 3G για κινητές επικοινωνίες (GSM). Το GPRS αρχικά είχε τυποποιηθεί από το Ευρωπαϊκό Ινστιτούτο Τηλεπικοινωνιακών Προτύπων (ETSI) [15].

Το GPRS είναι μια υπηρεσία καλύτερης προσπάθειας, γεγονός που συνεπάγεται μεταβλητή απόδοση και καθυστέρηση που εξαρτάται από τον αριθμό των χρηστών που μοιράζονται την υπηρεσία ταυτόχρονα, σε αντίθεση με μεταγωγή κυκλώματος, όπου η ποιότητα της υπηρεσίας (QoS) είναι εγγυημένη κατά τη διάρκεια της σύνδεσης. Στα συστήματα 2G, το GPRS παρέχει ταχύτητες δεδομένων των 56-114 kbit / δευτερόλεπτο. Η 2G κινητή τεχνολογία σε συνδυασμό με το GPRS μερικές φορές περιγράφεται ως 2.5G, δηλαδή μια τεχνολογία μεταξύ της δεύτερης (2G) και τρίτης (3G) γενιάς κινητής τηλεφωνίας. Παρέχει μεταφορά δεδομένων μέτριας ταχύτητας, με τη χρήση αχρησιμοποίητων καναλιών μέσω της μεθόδου πολλαπλής πρόσβασης με διαίρεση χρόνου (TDMA).

5.2 Αποκομιδή απορριμμάτων με χρήση δεδομένων ανίχνευσης πραγματικού χρόνου

Σε ένα περιβαλλοντικό πλαίσιο, η χρήση των συσκευών ανίχνευσης μπορούν να υιοθετηθεί όχι μόνο για τη μείωση του κόστους διαχείρισης απορριμμάτων, αλλά ταυτόχρονα μπορεί να διευκολυνθεί η δημιουργία μια αλυσίδας διαχείρισης απορριμμάτων (για παράδειγμα αποκομιδή στερεών λυμάτων, ανακύκλωση, αποκατάσταση χώρων απόθεσης απορριμμάτων) και την αυτοματοποίηση αυτών.

Βοηθά επίσης στην ταυτοποίηση και στις διαδικασίες υπολογισμού του βάρους των απορριμμάτων, για να μπορούν να σχεδιάσουν έξυπνα συστήματα από τον διαχειριστή απορριμμάτων. Τα συστήματα ανίχνευσης και αισθητήρων μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να σχεδιαστεί ένα σύστημα πραγματικού χρόνου διαχείρισης αποβλήτων.

Συνήθως, στα σύγχρονα συστήματα, οι κοινότητες χρεώνουν φόρους ή υιοθετούν χρεώσεις που βασίζονται στο βάρος των απορριμμάτων για προκαθορισμένους δρόμους και προάστια επιμερισμένα σε κάθε νοικοκυριό ή καταναλωτή. Αυτός ο επιμερισμός δεν είναι ακριβής και ανάλογος με την παραγωγή απορριμμάτων του κάθε καταναλωτή. Αυτό το γεγονός, καθώς και το δεδομένο ότι το κόστος για την αποκομιδή και διαχείριση των απορριμμάτων αυξάνει με την πάροδο του χρόνου, οδηγεί τους καταναλωτές να ζητούν όλο και πιο επιτακτικά οι χρεώσεις να μη γίνονται με ένα σταθερό ποσοστό ανά καταναλωτή. Επιπλέον αρκετές κοινοτικές υπηρεσίες και πολίτες διαμαρτύρονται ότι ένας μεγάλος αριθμός κάδους χάνεται ή γίνεται αντικείμενο κλοπής, με αποτέλεσμα να προκύπτουν μεγάλα κόστη αντικατάστασης για τις κοινοτικές υπηρεσίες κάθε χρόνο.

Για να μειωθούν τα κόστη και βελτιωθεί η αποτελεσματικότητα, έξυπνα συστήματα μπορούν να παίξουν σημαντικό ρόλο στην παροχή έξυπνων διαδικασιών και πληροφοριών πιο εξατομικευμένων σχετικά με τους καταναλωτές, τη διαχείριση απορριμμάτων και τις υπηρεσίες.

Το πρόβλημα της διαχείρισης απορριμμάτων από την κοινότητα μπορεί να βελτιστοποιηθεί λαμβάνοντας υπόψη δεδομένα εισόδου σε πραγματικό χρόνο. Ένα σχήμα που μπορεί να περιγράψει τη λύση του προβλήματος διαχείρισης είναι αυτό που τα δεδομένα εισόδου μπορούν να διακριθούν σε δύο βασικούς τύπους: (α) στατικά δεδομένα εισόδου και (β) πραγματικού χρόνου ανιχνεύσιμα δεδομένα.

- Τα στατικά δεδομένα αφορούν πληροφορίες σχετικά με τον τύπο των κάδων, τη θέση, τη μέγιστη χωρητικότητα και τον τύπο των απορριμμάτων που αποθηκεύονται. Σε επόμενη φάση είναι σχετικά με τα οχήματα, τον τύπο τους και την μέγιστη χωρητικότητα.
- Τα πραγματικού χρόνου δεδομένα λαμβάνονται από συσκευές ανιχνευσιμότητας που είναι τοποθετημένες πάνω στους κάδους και σχετίζονται με την αποτελεσματική πλήρωση τους και των οχημάτων- απορριμματοφόρων.

Όλες αυτές τις πληροφορίες μπορούν να τύχουν άμεσης επεξεργασίας από μοντέλα ευριστικού σχεδιασμού ώστε να είναι ικανοί οι υπεύθυνοι διαχείρισης απορριμμάτων να επιτύχουν τη βέλτιστη δρομολόγηση για κάθε όχημα, με σκοπό να μειώσουν τον αριθμό των κάδων που επισκέπτεται κάθε όχημα, να ελαχιστοποιήσουν την καλυπτόμενη απόσταση, τον αριθμό των χρησιμοποιούμενων οχημάτων και το χρόνο συλλογής.

Τα πραγματικού χρόνου συστήματα ανίχνευσης βασίζονται σε τρία λειτουργικά επίπεδα που το ένα συνδέεται με το άλλο

- Κάδοι
- Οχήματα-Απορριμματοφόρα
- Κέντρο Διαχείρισης

Περιοδικά, οι αισθητήρες που υπάρχουν στους κάδους επικοινωνούν με τα επιχειρησιακά κέντρα πληροφορώντας για τα επίπεδα πλήρωσης τους από απορρίμματα με όρους όγκου. Κάθε τέτοια στιγμή τα οχήματα αδειάζουν ένα κάδο και ο κάδος ενημερώνει το όχημα τον αριθμό ταυτοποίησης του και τον τύπο απορριμμάτων. Συχνά, στο επίπεδο των κάδων, οι συσκευές ανίχνευσης μπορούν να τροφοδοτηθούν με επαναφορτιζόμενες μπαταρίες που δύνανται να φορτίζονται με ηλιακή ενέργεια.

Το επιχειρησιακό κέντρο γνωρίζει σε πραγματικό χρόνο τη θέση των οχημάτων και για κάθε κάδο που εξυπηρετείται το όχημα επικοινωνεί με το επιχειρησιακό κέντρο και ενημερώνει για το βάρος του φορτίου που φορτώθηκε, την ταυτότητα του κάδου και την εναπομείνουσα διαθέσιμη χωρητικότητα του απορριμματοφόρου σε βάρος.

Τα δεδομένα πραγματικού χρόνου απαιτούν την εφαρμογή διαφορετικών συσκευών ανίχνευσης, όπως ογκομετρικούς αισθητήρες, RFID, GPRS και GPS. Αν και οι GPRS και GPS τεχνολογίες είναι σήμερα ευρύτατα διαθέσιμες και διαχεόμενες ακόμη και στην καθημερινή ζωή (κινητά τηλέφωνα, δορυφορικοί πλοηγοί), οι συσκευές RFID δεν είναι τόσο δημοφιλείς ή φιλικές στο χρήστη. Τα τελευταία χρόνια πολλές εφαρμογές σε βιομηχανικά και περιβάλλοντα εμπορικών μεταφορών (logistics) αναπτύχθηκαν χρησιμοποιώντας τεχνολογίες RFID, εκεί όπου κοινές αυτόματες συσκευές ταυτοποίησης όπως bar-codes, μαγνητικές γραμμές και βιομετρικά συστήματα που απαιτούν οπτική επαφή με το αντικείμενο, δεν είναι δυνατή. Αυτά τα συστήματα όσο βολικά και αν εμφανίζονται στην πραγματικότητα περιγράφουν μια περιορισμένη σειρά από πιθανές εφαρμογές.

Για να είναι πετυχημένη μια εφαρμογή πρέπει να δοθεί προσοχή στις μεταβλητές της εφαρμογής και στις συνθήκες της εφαρμογής.[16]

Οι μεταβλητές που παίζουν σημαντικό ρόλο στην συλλογή απορριμμάτων είναι:

- Ο τύπος των ετικετών που χρησιμοποιούνται στο επίπεδο του κάδου για την ταυτοποίηση του.
- Ο τύπος ανάγνωσης: μια μέσης συχνότητας RFID κεραίας που τοποθετείται στο απορριμματοφόρο.
- Το λογισμικό και τα συστήματα ολοκλήρωσης: Το RFID σύστημα συλλειτουργεί με άλλες συσκευές μέσα από συστήματα ανταλλαγής δεδομένων και με εφαρμογές λογισμικού ανίχνευσης στα επιχειρησιακά κέντρα

6. Δρομολόγηση απορριμματοφόρων-Συχνότητα συλλογής

Η συχνότητα συλλογής των απορριμμάτων ανά τομέα αποκομιδής πρέπει να αποφασίζεται σύμφωνα με τα παρακάτω κριτήρια:[17]

- Ρυθμό ΠΑ (ΡΠΑ).
- Εμπορική – βιοτεχνική- βιομηχανική δραστηριότητα.
- Κλιματικές συνθήκες.
- Ωράριο συλλογής.
- Εποχικές διακυμάνσεις – τουριστική κίνηση.
- Ύπαρξη χώρων ιστορικού ενδιαφέροντος.
- Πολυσύχναστες περιοχές.
- Σχολεία, πάρκα, παιδικές χαρές.
- Καταστήματα υγειονομικού ενδιαφέροντος.
- Κέντρα περίθαλψης.
- Δυνατότητες Υπηρεσιών Καθαριότητας (διαθέσιμος εξοπλισμός και προσωπικό).
- Απαιτήσεις κατοίκων.
- Πολιτική δημοτικής αρχής.

Λανθασμένη συχνότητα συλλογής των απορριμμάτων επιφέρει τις ίδιες δυσμενείς επιπτώσεις όπως η λανθασμένη επιλογή του ωραρίου συλλογής. Υψηλή συχνότητα αποκομιδής δε συνεπάγεται κατ' ανάγκη και υψηλή στάθμη προσφερόμενης υπηρεσίας. Κάθε Δημοτική Αρχή καθορίζει ανάλογα με τις προκύπτουσες ανάγκες και τις δυνατότητές του, τη συχνότητα συλλογής των απορριμμάτων που παράγονται εντός των ορίων του.

Πιθανά οφέλη από την καλύτερη δρομολόγηση κατά την αποκομιδή των στερεών αποβλήτων τόσο σε οικονομική όσο και σε περιβαλλοντική προσέγγιση είναι τα παρακάτω:[18]

- Μείωση του κόστους των επενδύσεων για στόλο οχημάτων, μπορεί να πραγματοποιηθεί με προγραμματισμένη κατά απαίτηση συγκέντρωση σύμφωνα με την αποτελεσματική διαχείριση.
- Μείωση του λειτουργικού κόστους (βενζίνη, συντήρηση ,κτλ) εξαιτίας της μείωσης των οχημάτων, την καλυπτόμενη απόσταση, τους χρόνους εκφόρτωσης και τα σταθερά φορτία.
- Ο περιορισμός των μη αναγκαίων στάσεων, που σημαίνει μείωση των εκπομπών αερίων των μηχανών.
- Μείωση του θορύβου, ιδιαίτερα σε αστικές περιοχές.

Υπάρχουν διάφορες μελέτες που προσπαθούν να προσεγγίσουν ποιος είναι ο βέλτιστος τρόπος δρομολόγησης των οχημάτων αποκομιδής συγκρίνοντας το σταθερό προγραμματισμό με το δυναμικό προγραμματισμό του στόλου των απορριμματοφόρων. Το πρώτο μοντέλο αφορά την κλασική δρομολόγηση οχημάτων όπου για την αποκομιδή τα απορριμματοφόρα επισκέπτονται όλες τις περιοχές σε κάθε διαδρομή.

- Ο κανόνας αποκομιδής είναι ότι το κάθε όχημα επισκέπτεται γειτονικές περιοχές.
- Πραγματικού χρόνου δεδομένα εισόδου δεν είναι απαραίτητα.
- Τα απορριμματοφόρα επισκέπτονται όλους τους κάδους.

Τα δυναμικά μοντέλα προγραμματισμού μπορούν να διαφοροποιούνται και να ακολουθούν διαφορετικούς τρόπους δρομολόγησης. Όμως σε κάθε περίπτωση θα πρέπει:

- Ο κανόνας αποκομιδής είναι ότι η αποκομιδή πραγματοποιείται όταν στον κάδο υπάρχει μέγιστο ποσοστό όγκου, βάρους ή άλλου ορισμένου δείκτη.
- Πραγματικού χρόνου δεδομένα που προκύπτουν από συσκευές ανιχνευσιμότητας είναι απαραίτητα.
- Τα οχήματα θα επισκεφτούν μόνο τους κάδους που έχουν ξεπεράσει το όριο που έχει οριστεί είτε ως ποσότητα απορριμμάτων είτε ως προς κάποιον άλλο δείκτη.

Σε αυτά τα μοντέλα ιδιαίτερα αυτά που είναι δυναμικά, πρέπει να ληφθούν υπόψη οι παρακάτω κύριοι περιορισμοί:

Περιορισμοί οχημάτων

- Ο περιορισμός της χωρητικότητας. Αυτή η παράμετρος είναι προκαθορισμένη σε βάρος. Το βάρος του κάθε κάδου δίνεται από συσκευές ανιχνευσιμότητας που είναι εγκατεστημένα στο όχημα.
- Οι περιορισμοί της απόστασης. Κάθε όχημα μπορεί να κάνει πολλαπλές διαδρομές απόθεσης κάθε μέρα. Όταν το όχημα προσεγγίσει τη μέγιστη ημερήσια απόσταση που μπορεί να καλύψει, ένα άλλο όχημα θα πρέπει να αναλάβει.
- Τον περιορισμό των χρονικών παραθύρων. Σε περίπτωση μεγάλου αριθμού οχημάτων το πρόβλημα της ουράς στο χώρο αποκομιδής πρέπει να ληφθεί υπόψη στη διαχείριση των οχημάτων.
- Ο χρονικός περιορισμός. Στη μελέτη δρομολόγησης πρέπει να ληφθεί υπόψη η μέση ταχύτητα και ο μέσος χρόνος εκφόρτωσης για κάθε φορτίο

Περιορισμοί κάδων[17]

- Ο περιορισμός της χωρητικότητας. Ο κάθε κάδος έχει μια περιορισμένη χωρητικότητα. Η χωρητικότητα συνήθως μετρείται σε όγκο. Το επίπεδο αναπλήρωσης του κάδου δίνεται από συσκευές ανιχνευσιμότητας, που είναι τοποθετημένες μέσα στους κάδους.
- Η γεωγραφική θέση του κάθε κάδου, η τοποθεσία του σταθμού απόθεσης και η απόσταση μεταξύ τους.

Οριακές συνθήκες

- Η παραγωγή απορριμμάτων σε κάθε περίοδο εξαρτάται από το υπόδειγμα δημιουργίας απορριμμάτων για τον συγκεκριμένο κάδο. Αυτή είναι μια πληροφορία που εξάγεται από πραγματικού χρόνου δεδομένα που δίνονται από αντίστοιχες συσκευές αλλά και από την παρατήρηση των ιστορικών δεδομένων που μπορεί να είναι διαθέσιμα.
- Η αναλογία βάρους όγκου για τα συλλεγόμενα απορρίμματα, εξαρτώνται από διαφορετικές παραμέτρους ανάλογα με την περιοχή που βρίσκεται ο κάδος, την δραστηριότητα της περιοχής και την περίοδο του χρόνου και οδηγούν στον κορεσμό των κάδων και στα απορριμματοφόρα με διαφορετικό ρυθμό. Τα δεδομένα αυτά λαμβάνονται από πραγματικού χρόνου συσκευές ανίχνευσης.

Οι βασικές διεργασίες της δρομολόγησης είναι ο προσδιορισμός ευνοϊκών μονοπατιών και η μεταφορά πακέτων πληροφορίας ή δεδομένων διαμέσου ενός δικτύου.

Η δρομολόγηση στόλου οχημάτων αποτελεί εφαρμογή του γενικότερου προβλήματος διανομής και συλλογής αγαθών από ένα σύνολο οχημάτων εξυπηρέτησης πελατών. Τα οχήματα ξεκινούν από ένα ή και περισσότερους κεντρικούς σταθμούς και τους αντιστοιχεί ένα συγκεκριμένο πλήρωμα και μπορούν να εξυπηρετήσουν ανάλογα με τη χωρητικότητα τους συγκεκριμένο αριθμό πελατών. Η διακίνηση γίνεται μέσω ενός πραγματικού οδικού δικτύου, στο οποίο η κυκλοφοριακή

Μοντέλο μεταβολισμού αστικού συγκροτήματος με έλεγχο ανατροφοδότησης

κίνηση και άλλοι παράγοντες επηρεάζουν σημαντικά τις αποφάσεις που σχετίζονται με τον αποδοτικότερο σχεδιασμό της δρομολόγησης.

Η δρομολόγηση και ο προγραμματισμός ενός στόλου οχημάτων είναι μια απαραίτητη και χρονοβόρα διαδικασία. Το **Πρόβλημα Δρομολόγησης Οχημάτων** (ΠΔΟ) αποτελεί ένα σύνθετο πρόβλημα βελτιστοποίησης η πολυπλοκότητα του οποίου οφείλεται στην ύπαρξη μεγάλου πλήθους παραμέτρων. Σχετίζεται με την εύρεση αποδοτικότερων διαδρομών για τη διανομή και συλλογή αγαθών σε καθορισμένα σημεία του οδικού δικτύου μιας περιοχής με στόχο την ελαχιστοποίηση του κόστους.

Η συλλογή και μεταφορά των αποβλήτων είναι μια σημαντική αλλά ακριβή δημοτική υπηρεσία, ειδικά όσον αφορά τα κόστη επένδυσης, τα λειτουργικά κόστη και τον περιβαλλοντικό αντίκτυπο που έχει. Μοντέρνες συσκευές όπως ογκομετρικοί αισθητήρες, συστήματα αναγνώρισης RFID, GPS και GPRS τεχνολογίες επιτρέπουν να επιτευχθούν δεδομένα πραγματικού χρόνου. Η διαδικασία συλλογής αυτών των δεδομένων είναι θεμελιώδης για την εφαρμογή ενός αποτελεσματικού και καινοτόμου μοντέλου δρομολόγησης για την αποκομιδή των απορριμμάτων.

7. Kalman Φίλτρο

Το Kalman φίλτρο, επίσης γνωστό ως Γραμμική Τετραγωνική Εκτίμηση (ΓΤΕ) είναι ένας αλγόριθμος που χρησιμοποιεί μια σειρά μετρήσεων που παρατηρούνται μέσα στο χρόνο, που περιέχουν θόρυβο (τυχαίες παραλλαγές) και άλλες ανακρίβειες, και παράγει εκτιμήσεις άγνωστων μεταβλητών που τείνουν να είναι πιο ακριβής από εκείνες που βασίζονται σε μια ενιαία μέτρηση μόνο. Πιο τυπικά, το φίλτρο Kalman λειτουργεί αναδρομικά σε ροές δεδομένων με θορυβώδη είσοδο για να παράγει μία στατιστικά βέλτιστη εκτίμηση της υποκείμενης κατάστασης του συστήματος. Το φίλτρο πήρε το όνομά του από τον Rudolf (Rudy) E Kalman, έναν από τους κύριους κατασκευαστές της θεωρίας του.

Το φίλτρο Kalman είναι μια ευρέως εφαρμοσμένη έννοια στην ανάλυση χρονοσειρών που χρησιμοποιούνται σε τομείς όπως η επεξεργασία σήματος και οικονομετρίας. Τα φίλτρα Kalman, επίσης, είναι ένα από τα κύρια θέματα στον τομέα της ρομποτικής προγραμματισμού κίνησης και ελέγχου, και μερικές φορές περιλαμβάνονται στο σχεδιασμό και τη βελτιστοποίηση της τροχιάς αυτόνομων συστημάτων.

Ο αλγόριθμος λειτουργεί σε μια διαδικασία δύο σταδίων. Στο **βήμα πρόβλεψης**, το φίλτρο Kalman παράγει εκτιμήσεις των τρεχουσών μεταβλητών κατάστασης, μαζί με τις αβεβαιότητες τους. Μόλις παρατηρηθεί το αποτέλεσμα της επόμενης μέτρησης (που αναγκαστικά επηρεάζεται με κάποιο ποσό σφάλματος, συμπεριλαμβανομένου του τυχαίου θορύβου), ενημερώνεται χρησιμοποιώντας ένα σταθμισμένο μέσο όρο, με περισσότερο βάρος να δίνεται στις εκτιμήσεις με την υψηλότερη βεβαιότητα. Λόγω της επαναληπτικής φύσης του αλγορίθμου, μπορεί να τρέξει σε πραγματικό χρόνο χρησιμοποιώντας μόνο τις σημερινές μετρήσεις εισόδου και την υπολογιζόμενη προηγούμενης κατάστασης καθώς και τη μήτρα του κέρδους Kalman και χωρίς πρόσθετη από το παρελθόν απαιτούμενη πληροφορία.

Επεκτάσεις και γενικεύσεις στη μέθοδο έχουν επίσης αναπτυχθεί, όπως το εκτεταμένο φίλτρο Kalman και άοσμο φίλτρο Kalman που εργάζονται σε μη γραμμικά συστήματα. Το βασικό μοντέλο είναι ένα Bayesian μοντέλο παρόμοιο με ένα κρυμμένο μοντέλο Markov.[19]

Ο όρος αναδρομικός αλγόριθμος ή φίλτρο αναφέρεται στην ιδιότητα του να χρησιμοποιεί μέρος της προηγούμενης πληροφορίας χωρίς να χρειάζεται όλη η προσφερόμενη πληροφορία να αποθηκευτεί και να την επεξεργαστεί ξανά σε κάθε νέα μέτρηση. Πολλές φορές όμως σε ένα σύστημα, οι μεταβλητές οι οποίες περιγράφουν την κατάσταση του, μπορεί να μην είναι μετρήσιμες. Επιπλέον, είναι γνωστό πως σε κάθε μέτρηση εισάγεται και κάποιο σφάλμα. Αυτό μπορεί να προκύψει ως συνάρτηση θορύβου που προέρχεται από το ίδιο το σύστημα, αλλά και σφάλμα που εισάγεται από τις ίδιες τις συσκευές μέτρησης. Είναι αναγκαία η ύπαρξη κάποιου φίλτρου, ικανού να απαλείψει κάθε παράγοντα παραμόρφωσης της εκτίμησης της κατάστασης του συστήματος. Το φίλτρο Kalman μπορεί να ανταποκριθεί στην αναγκαιότητα αυτή, παρέχοντας μια βέλτιστη εκτίμηση των μεταβλητών που ενδιαφέρουν το σύστημα με τρόπο που να ελαχιστοποιεί το σφάλμα στατιστικά.

Μια μεγάλη ποικιλία από φίλτρα Kalman έχουν ήδη αναπτυχθεί, από την αρχική διατύπωση Kalman, τώρα ονομάζεται "απλό" φίλτρο Kalman, 'όπως το φίλτρο Kalman-Bucy, το "εκτεταμένο" φίλτρο Schmidt, το φίλτρο των πληροφοριών, καθώς και μια ποικιλία από «τετραγωνικής ρίζας» φίλτρα που αναπτύχθηκαν από τους Bierman, Thornton και πολλά άλλα.[20]

Τα φίλτρα Kalman είναι βασισμένα σε γραμμικά δυναμικά συστήματα διακριτά στο πεδίο του χρόνου. Είναι το πρότυπο μιας αλυσίδας Markov χτισμένο σε

γραμμικούς φορείς που διαταράσσονται από τα λάθη που μπορεί να περιλαμβάνουν θόρυβο Gauss. Η κατάσταση του συστήματος αναπαρίσταται ως ένα διάνυσμα πραγματικών αριθμών. Σε κάθε διακριτό χρόνο αύξησης, ένας γραμμικός τελεστής εφαρμόζεται στην κατάσταση για τη δημιουργία της νέας κατάστασης, με κάποιο θόρυβο να αναμιγνύεται, και προαιρετικά κάποιες πληροφορίες από τους ελέγχους στο σύστημα, εφόσον είναι γνωστές.

Προκειμένου να χρησιμοποιηθεί το φίλτρο Kalman για να εκτιμηθεί η εσωτερική κατάσταση της διαδικασίας δίνεται μόνο μια ακολουθία από θορυβώδεις παρατηρήσεις, πρέπει κανείς να διαμορφώσει τη διαδικασία σύμφωνα με το πλαίσιο του φίλτρου Kalman

7.1 Διακριτό φίλτρο Kalman

Ο αλγόριθμος του Kalman στην αρχική του διατύπωση (Kalman 1960) στοχεύει στην εκτίμηση της κατάστασης x ($x \in \mathbb{R}^n$) μια ελεγχόμενης διαδικασίας διακριτού χρόνου η οποία περιγράφεται από μία γραμμική στοχαστική εξίσωση της μορφής

$$X_k = A X_{k-1} + B u_{k-1} + w_{k-1} \quad (8.1)$$

για την οποία μια μέτρηση z ($z \in \mathbb{R}^m$)

$$z_k = H X_k + u_k \quad (8.2)$$

όπου οι τυχαίες μεταβλητές w_k και u_k αναπαριστούν τον θόρυβο συστήματος και μέτρησης αντίστοιχα και τις οποίες τις θεωρούμε ασυσχέτιστες με το χρόνο (λευκός θόρυβος) και μεταξύ τους. Ο θόρυβος θεωρείται ότι ακολουθεί την κανονική κατανομή πιθανότητας

$$p(w) \sim N(0, Q) \quad (8.3)$$

$$p(u) \sim N(0, R) \quad (8.4)$$

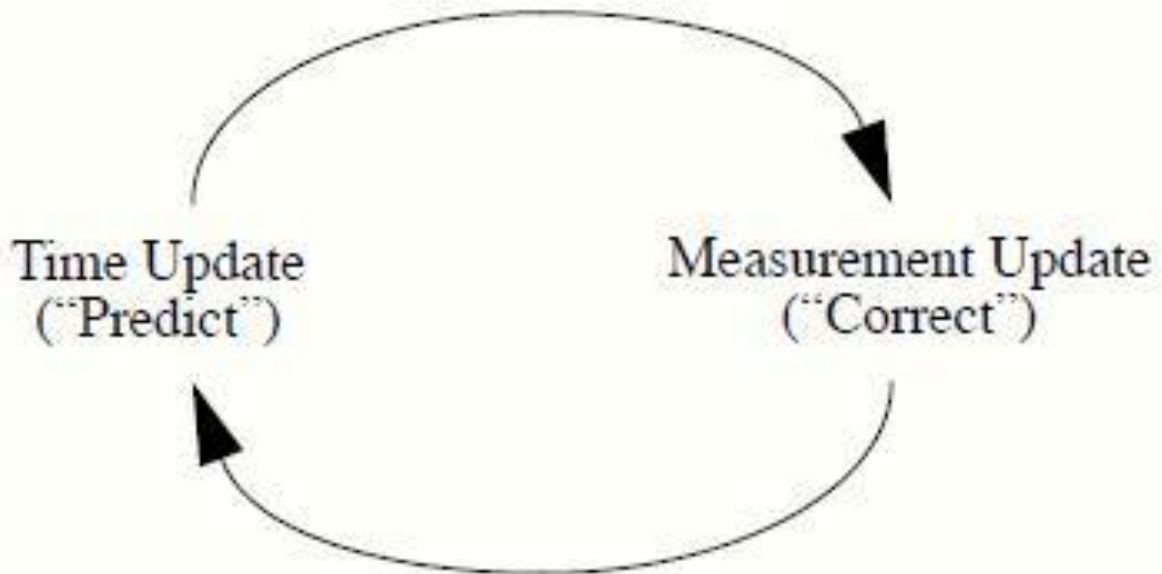
με πίνακες συνδιακύμανσης (covariance matrices) θορύβου συστήματος και μέτρησης Q και R αντίστοιχα. Ο $n \times n$ πίνακας A συσχετίζει την προηγούμενη κατάσταση κατά την διακριτή στιγμή $k - 1$ με την τρέχουσα κατάσταση του συστήματος την στιγμή k χωρίς ο θόρυβος συστήματος να αποτελεί παράμετρο στην σχέση. Ο $n \times 1$ πίνακας B σχετίζει την είσοδο ελέγχου u με την κατάσταση του συστήματος X και τέλος ο $m \times n$ πίνακας H συσχετίζει την μέτρηση Z με την κατάσταση του συστήματος X .

Η αποτελεσματικότητα του αλγορίθμου βασίζεται στην αναδρομικότητα του. Η εκτίμηση την κατάστασης του συστήματος από το φίλτρο Kalman επιτυγχάνεται με τη χρήση της ανάδρασης. Το φίλτρο αρχικά κάνει μια πρώτη εκτίμηση της κατάστασης σε μια διακριτή στιγμή, δηλαδή κάνει μια πρόβλεψη και στη συνέχεια υλοποιεί μια ενθόρυβη μέτρηση και προχωρά σε διόρθωση για την βέλτιστη εκτίμηση της τρέχουσας κατάστασης. Υφίσταται δηλαδή ένα διαχωρισμός μεταξύ των εξισώσεων που απαρτίζουν το φίλτρο, διακρίνοντας τις εξισώσεις που ενημερώνονται για την μεταβολή του χρόνου (time update) και εξισώσεις που ενημερώνονται για μεταβολές μετρήσεων (measurement update). Οι εξισώσεις time update παράγουν την τρέχουσα κατάσταση του συστήματος, όπως εκτιμήθηκε τη στιγμή $k - 1$ καθώς και τις συνδιακυμάνσεις των a priori και a posteriori εκτιμήσεων σφάλματος για τον υπολογισμό τα a priori εκτίμησης της κατάστασης X , για να χρησιμοποιηθεί στο επόμενο χρονικό βήμα. Οι εξισώσεις

Μοντέλο μεταβολισμού αστικού συγκροτήματος με έλεγχο ανατροφοδότησης

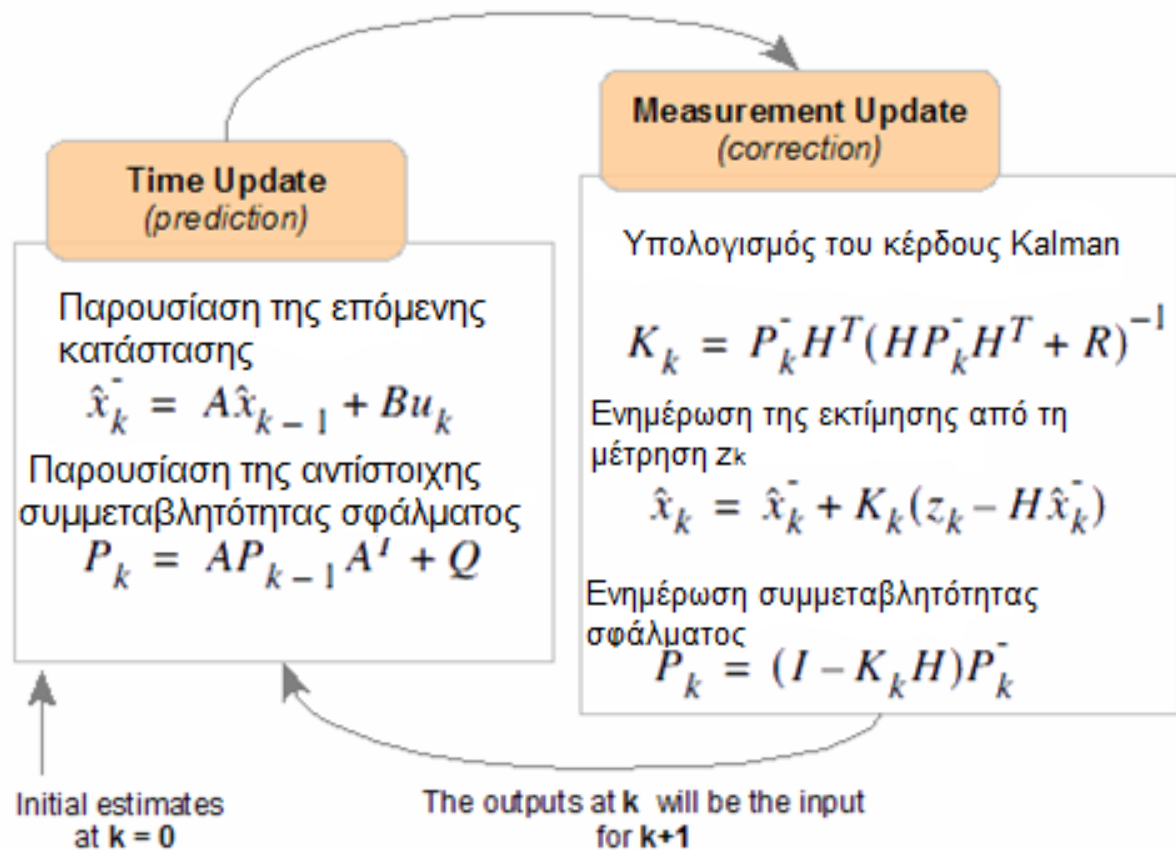
επικαιροποίησης μέτρησης αναλαμβάνουν να υπολογίσουν την επόμενη μέτρηση χρησιμοποιώντας το σύστημα ανάδρασης που υπολογίζει μια *a posteriori* εκτίμηση.

Οι εξισώσεις χρονικών αναπροσαρμογών μπορούν επίσης να θεωρηθούν και ως εξισώσεις πρόβλεψης, ενώ οι εξισώσεις επικαιροποίησης μέτρησης μπορούν να θεωρηθούν ως εξισώσεις διόρθωσης. Πράγματι, ο τελικός αλγόριθμος εκτίμησης μοιάζει με ένα αλγόριθμο πρόβλεψης - διόρθωσης για την επίλυση αριθμητικών προβλημάτων όπως φαίνεται παρακάτω στο Σχήμα



Σχήμα 4 φίλτρο Kalman

Ο αλγόριθμος λειτουργεί επαναληπτικά και μπορούμε να διακρίνουμε ως σημαντικό βήμα των διορθωτικών εξισώσεων τον υπολογισμό του κέρδους K_k . Ο $m \times m$ πίνακας K υπολογίζεται ώστε να ελαχιστοποιείται η συνδιακύμανση (covariance) της *a posteriori* εκτίμησης σφάλματος P_k . Στη συνέχεια λαμβάνεται μια μέτρηση z_k και υπολογίζεται η εκ των υστέρων εκτίμηση της κατάσταση με βάση τη νέα μέτρηση. Έπειτα υπολογίζεται η συνδιακύμανση της εκ των υστέρων εκτίμησης σφάλματος P_k . Μετά από κάθε κύκλο λειτουργίας η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται προωθώντας την τελευταία εκ των υστέρων εκτίμηση στις εξισώσεις πρόβλεψης ώστε να προκύπτει μια νέα εκ των προτέρων εκτίμηση. Αυτό αναδεικνύει ότι η αναδρομική φύση του αλγορίθμου Kalman και η ευρωστία που προσφέρει, καθιστούν το φίλτρο εύκολα και άρτια χρησιμοποιήσιμο σε πολλά και πρακτικά προβλήματα.



Σχήμα 5 :σχηματική αναπαράσταση της διαδικασίας του αλγορίθμου Kalman

Για να υλοποιηθεί το φίλτρο πρέπει ο πίνακας συνδιακύμανσης του θορύβου της μέτρησης να έχει διαμορφωθεί πριν από τη λειτουργία του φίλτρου. Αυτό μπορεί να γίνει καθώς μπορεί να υπάρχουν δείγματα που παρέχουν πληροφορίες για τις μεταβλητές κατάστασης του συστήματος-, ώστε να καθοριστεί η στατιστική διακύμανση του θορύβου της μέτρησης.

Όσο αφορά τη διαμόρφωση του πίνακα συνδιακύμανσης θορύβου του συστήματος Q επειδή δε μπορεί να παρατηρηθεί το σύστημα με άμεσο και ευθύ τρόπο, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα απλοϊκό μοντέλο συστήματος που να παράγει αποδεκτά αποτελέσματα συμπεριλαμβάνοντας το βαθμό αβεβαιότητας του μοντέλου που επιλέχθηκε. Όταν οι πίνακες Q και R παραμένουν σταθεροί τότε η εκτίμηση σφάλματος P_k και το κέρδος Kalman K_k σταθεροποιούνται σε κάποια τιμή. Σε αυτή την περίπτωση οι παράμετροι του φίλτρου μπορούν να υπολογιστούν όταν το φίλτρο λειτουργεί χωρίς να παρεμβάλλονται ενθόρυβες μετρήσεις(off-line), ή όταν είναι εφικτό να προϋπολογιστεί η τιμή της σταθερής κατάστασης (steady-state) της P_k .

Συχνά συμβαίνει το σφάλμα της μέτρησης να μην είναι σταθερό λόγω των διαφορετικών πηγών μέτρησης. Τότε ο πίνακας Q μπορεί να μεταβάλλεται δυναμικά κατά τη λειτουργία του φίλτρου όταν το μοντέλο του συστήματος βιώνει ακραίες καταστάσεις. Σε αυτές τις περιπτώσεις επιλέγεται το Q με βάση το βαθμό αβεβαιότητας του μοντέλου και του παρατηρούμενου συστήματος.

7.2 Εκτεταμένο (extended) φίλτρο Kalman

Αρχικά, ο αλγόριθμος Kalman σχεδιάστηκε για την αντιμετώπιση ζητημάτων που αφορούν την εκτίμηση της κατάστασης γραμμικών συστημάτων. Στην περίπτωση όμως προβλημάτων πρόβλεψης για συστήματα μη-γραμμικών μοντέλων ή διαδικασιών μέτρησης και θορύβου. Σε αυτές τις περιπτώσεις χρησιμοποιείται ο αλγόριθμος που ονομάζεται **Εκτεταμένο Φίλτρο Kalman** (Extended Kalman Filter, EKF).. Η μεθοδολογία του είναι να διαμορφώνει όσο το δυνατό πιο γραμμικά την τελευταία τιμή του μέσου (mean) και της συνδιακύμανσης (covariance).

Έστω $x \in R^n$ το διάνυσμα κατάστασης του στόχου και την διαδικασία να περιγράφεται από την μη γραμμική στοχαστική εξίσωση διαφορών

$$x_k = f(x_{k-1}, u_k, w_{k-1}) \quad (8.5)$$

Το διάνυσμα μέτρησης είναι $z \in R^n$ και η διαδικασία μέτρησης περιγράφεται από την μη γραμμική εξίσωση

$$z_k = h(x_k, u_k) \quad (8.6)$$

Στο EKF οι κατανομές πιθανότητας (ή πυκνότητες πιθανότητας) των τυχαίων μεταβλητών w, u δεν είναι πλέον κανονικές αφού υπεισέρχονται σε μη γραμμικές διαδικασίες. Στην πράξη είναι αδύνατο να προσδιορισθούν οι τιμές θορύβου, αλλά μπορεί να προσεγγισθεί η κατάσταση και η μέτρηση χωρίς αυτές, ως εξής :

$$\tilde{x}_k = f(\hat{x}_{k-1}, u_k, 0) \quad (8.7)$$

$$\tilde{z}_k = h(\tilde{x}_k, 0) \quad (8.8)$$

όπου \hat{x}_{k-1} κάποια *a posteriori* εκτίμηση της κατάστασης.

Όπως και στο απλό φίλτρο Kalman, έτσι και στο EKF υπάρχουν οι δύο ομάδες εξισώσεων. Για λόγους ομοιομορφίας στην παρουσίαση των αλγορίθμων των δύο φίλτρων, το προσεγγιζόμενο διάνυσμα κατάστασης \tilde{x}_k συμβολίζεται ως \hat{x}_{k-1} (*a priori* διάνυσμα εκτίμησης) και οι εξισώσεις ενημέρωσης χρόνου του EKF είναι

$$\hat{x}_{\bar{k}} = f(x_{k-1}, u_k, 0) \quad (8.9)$$

$$P_{\bar{k}} = A_k P_{k-1} A_k^T + W_k Q_{k-1} W_k^T \quad (8.10)$$

Με πίνακες συνδιακύμανσης σφάλματος WQW^T , VRV^T και τα Q, R να ορίζονται όπως στο απλό φίλτρο.

Οι εξισώσεις ενημέρωσης μέτρησης είναι :

$$K_k = P_{\bar{k}} H_k^T (H_k P_{\bar{k}} H_k^T + V_k R_k V_k^T)^{-1} \quad (8.11)$$

$$\hat{x}_k = \hat{x}_{\bar{k}} + K_k [z_k - h(\hat{x}_{\bar{k}}, 0)] \quad (8.12)$$

$$P_k = (I - K_k H_k) P_{\bar{k}} \quad (8.13)$$

Η λειτουργία του EKF είναι ίδια με αυτή του απλού φίλτρου και οι δύο ομάδες εξισώσεων υλοποιούν την τεχνική της πρόβλεψης – διόρθωσης. Επομένως οι εξισώσεις ενημέρωσης χρόνου, παράγουν τις νέες εκτιμήσεις κατάστασης και συνδιακύμανσης με βάση το προηγούμενο βήμα και οι εξισώσεις ενημέρωσης μέτρησης διορθώνουν τις προβλέψεις αυτές, με βάση τις νέες μετρήσεις.

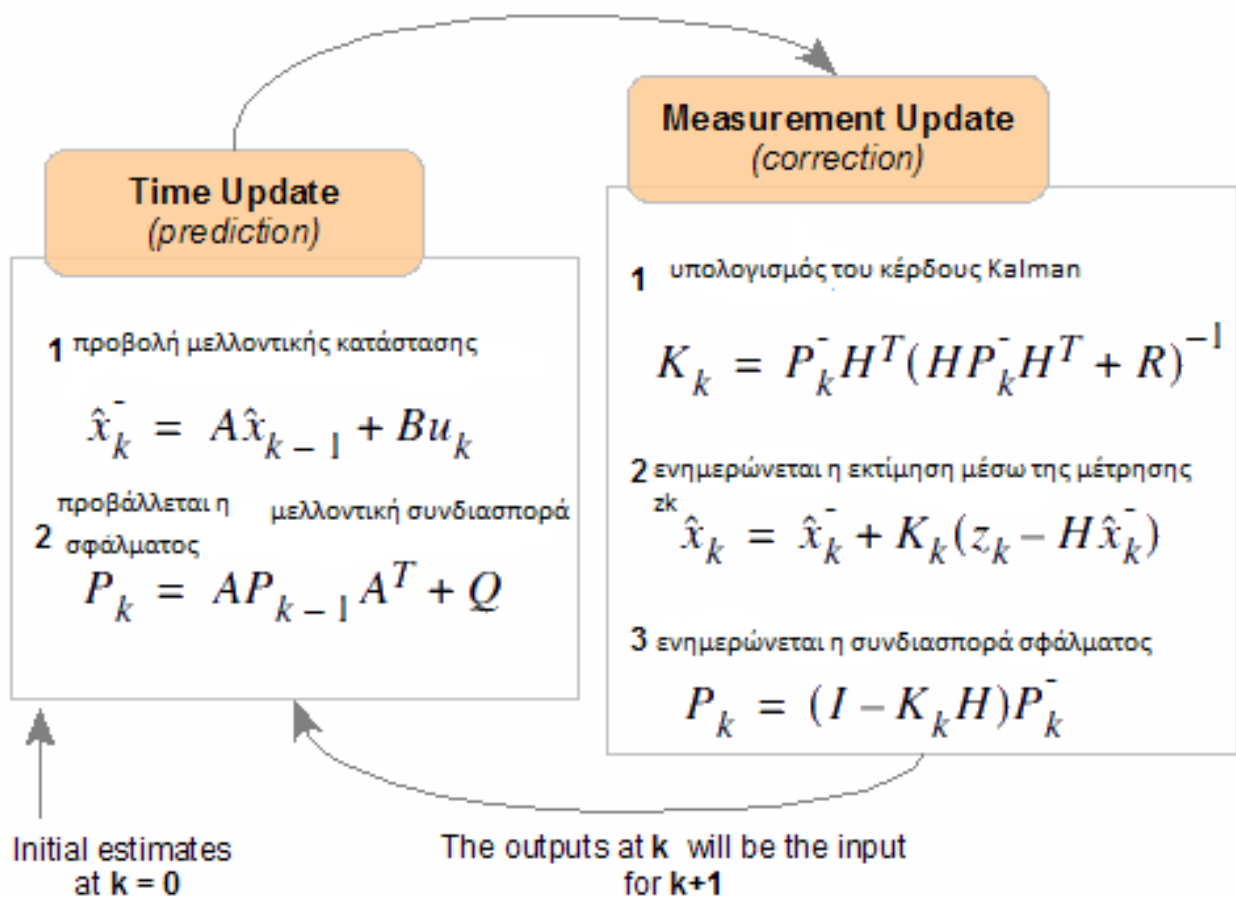
Όπως και στο γραμμικό Kalman φίλτρο, κάθε επανάληψη έχει δύο κύκλους, μία πρόβλεψη και μια διόρθωση. Η διαφορά είναι ότι κατά τον κύκλο πρόβλεψης, η εκτίμηση του διανύσματος κατάστασης γίνεται με το μη γραμμικό μοντέλο ενώ για την εκτίμηση του πίνακα σφάλματος συνδιακύμανσης γίνεται πρώτα γραμμικοποίησης. Η γραμμικοποίηση του διανύσματος κατάστασης γίνεται Χρησιμοποιώντας τον πίνακα Ιακωβιανών:

$$A_{k-1} = \left[\frac{\delta f(x,u)}{dx} \right]_{\hat{x}_{k-1}} \quad (8.14)$$

Για τον κύκλο διόρθωσης πρέπει να γραμμικοποιηθεί το διάνυσμα των μετρήσεων με τη χρήση των Ιακωβιανών πινάκων

$$H_k = \left[\frac{\delta h(x,u)}{dx} \right]_{\hat{x}_k} \quad (8.15)$$

Έτσι προκύπτουν οι εξισώσεις του Εκτεταμένου Φίλτρου Kalman όπως περιγράφονται στις εξισώσεις (8.10), (8.11), (8.12), (8.13).



Σχήμα 6 Μία πλήρης εικόνα της λειτουργίας του εκτεταμένου φίλτρου Kalman

Μοντέλο μεταβολισμού αστικού συγκροτήματος με έλεγχο ανατροφοδότησης

Βασικό μειονέκτημα του Εκτεταμένου Φίλτρου Kalman σε αντίθεση με το διακριτό, είναι πως οι διάφορες μεταβλητές που περιγράφουν το σύστημα παύουν να ακολουθούν κανονική κατανομή τη στιγμή που διαφοροποιούνται μη γραμμικά.

Για το λόγο αυτό το EKF φίλτρο εκτιμά την κατάσταση του συστήματος προσεγγίζοντας την γραμμικά με γνώμονα την ευνοϊκότερη δυνατή συνθήκη, κατά Bayes.

8. Σχεδιασμός ενός Μοντέλου πρόβλεψης της παραγωγής απορριμμάτων σε μια περιοχή με έλεγχο ανατροφοδότησης

Στα πλαίσια της διπλωματικής αυτής έγινε προσπάθεια να δημιουργηθούν δύο μοντέλα πρόβλεψης παραγωγής απορριμμάτων, (i) ένα που προβλέπει τον όγκο τους όσο, (ii) και ένα άλλο την ένταση της οσμής τους. Το πρώτο από τα μοντέλα σχετίζει την μέση παραγωγή αστικών απορριμμάτων κατά άτομο με παράγοντες που μπορούν να επηρεάζουν την παραγωγή. Ένας από τους παράγοντες που μπορεί να θεωρηθεί ότι συμβάλλει στην αύξηση της παραγωγής αστικών απορριμμάτων είναι ο πληθυσμός αυτής της περιοχής και η πυκνότητά του.

Ένας άλλος παράγοντας που επηρεάζει το ρυθμό παραγωγής αστικών απορριμμάτων είναι το μέσο κατά κεφαλή εισόδημα των κατοίκων της περιοχής. Η αύξηση αυτού έχει παρατηρηθεί ότι οδηγεί σε αύξηση τη παραγωγής τους.

Ένας ακόμη δείκτης που μπορεί να ληφθεί υπόψη στο μοντέλο είναι η οικονομική δραστηριότητα της περιοχής. Διαφορετικό ρυθμό παραγωγής αστικών απορριμμάτων παρατηρείται σε μια αστική περιοχή που κυριαρχείται από κατοικίες και άλλη παραγωγή σε περιοχή όπου δραστηριοποιούνται εταιρείες, γραφεία, επιχειρήσεις εστίασης και καφέ. Παράγεται επίσης διαφορετική ποιότητα απορριμμάτων και η παραγωγή κορυφώνεται σε διαφορετικές περιόδους, είτε της ημέρας, είτε του έτους.

Τέλος, ένας ακόμη δείκτης που μπορεί να επηρεάσει το ρυθμό παραγωγής είναι το κατά πόσο η κοινότητα που μελετάται είναι αστική, ημιαστική ή αγροτική. Το χαρακτηριστικό αυτό επηρεάζει τον τρόπο ζωής των ανθρώπων και τον τρόπο προμήθειας προϊόντων. Στις αγροτικές περιοχές, τρόφιμα μπορούν οι κάτοικοι να τα παράγουν ή να τα μοιραστούν με την κοινότητα, ενώ σε αστικές περιοχές τα τρόφιμα τα αγοράζουν οι κάτοικοι. Κατά συνέπεια, έχει παρατηρηθεί μεγαλύτερη παραγωγή απορριμμάτων, πλαστικών κυρίως συσκευασιών ή χάρτινων που περιέχουν τρόφιμα σε σχέση με τις ημιαστικές και τις αγροτικές περιοχές.

Ένα γραμμικό μοντέλο που θα μπορούσε να περιγράψει την σχέση μέσης παραγωγής αστικών λυμάτων κατά άτομο με βάση τους παραπάνω δείκτες θα μπορούσε να είναι της μορφής:

$$y_1 = \alpha_1 * x_1 + \alpha_2 * x_2 + \alpha_3 * x_3 + \alpha_4 * x_4 \quad (9.1)$$

Το y_1 υπολογίζει την Μέση Παραγωγή Απορριμμάτων / άτομο. Οι μεταβλητές x_1 και x_2 περιγράφουν τον πληθυσμό της περιοχής και το ακαθάριστο κατά κεφαλή εισόδημα αντίστοιχα. Το x_3 περιγράφει την οικονομική δραστηριότητα και x_4 που περιγράφει αν μια περιοχή είναι αστική ή αγροτική Τα $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$ είναι τα βάρη της γραμμικής εξίσωσης

Στα πλαίσια της εργασίας θα σχεδιαστεί ένα δεύτερο μοντέλο που θα περιγράψει με τη γραμμική εξίσωση τη σχέση που συνδέει την οσμή και τους δείκτες που περιγράφηκαν παραπάνω:

$$y_2 = \beta_1 * x_1 + \beta_2 * x_2 + \beta_3 * x_3 + \beta_4 * x_4 \quad (9.2)$$

Το y_2 υπολογίζει την ένταση της οσμής. Όπου $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$ οι παράγοντες - βάρη της εξίσωσης (2). Οι μεταβλητές x_1, x_2, x_3 και x_4 είναι περιγράφουν τον πληθυσμό της περιοχής και το ακαθάριστο κατά κεφαλή εισόδημα, την οικονομική δραστηριότητα και αν μια περιοχή είναι αστική ή αγροτική.

Στα πλαίσια της εργασίας το καθένα από τα μοντέλα στοχεύει στην πρόβλεψη των επόμενων τιμών όγκου και έντασης οσμής απορριμμάτων, τα οποία μπορούν να συγκριθούν με μετρήσεις από συστήματα ανιχνευσιμότητας. Ένας δεύτερος στόχος

είναι η πρόβλεψη της επόμενης τιμής που μπορεί το φίλτρο να κάνει για την ποσότητα των απορριμμάτων και για την οσμή.

Εξαιτίας της ανυπαρξίας προγενέστερων μετρήσεων αλλά και της ευκολίας χρήσης του, από τη μεγάλη εργαλειοθήκη των μαθηματικών εργαλείων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την στοχαστική εκτίμηση για θορυβώδεις μετρήσεις αισθητήρων θα χρησιμοποιηθεί το φίλτρο Kalman. Το φίλτρο υλοποιεί ένα προγνωστικό διορθωτικό εκτιμητή που είναι ο βέλτιστος με τη έννοια ότι ελαχιστοποιεί το εκτιμώμενο σφάλμα.

Για τη μελέτη αυτή θεωρείται ότι υπάρχουν τέσσερις διαφορετικές περιοχές. Κάθε μια από τις περιοχές αυτές έχει τα χαρακτηριστικά μεγάλων πόλεων του κόσμου. Στην πρώτη περιοχή περιγράφεται μια περιοχή με τα χαρακτηριστικά της Αθήνας. Δηλαδή ο πληθυσμός είναι 4124070 και το μέσο ακαθάριστο κατά κεφαλή εισόδημα \$26000. Αντίστοιχα στη δεύτερη περιοχή περιγράφεται το Τόκιο με πληθυσμό 35682460 και κατά κεφαλή εισόδημα \$35530. Στην Τρίτη περιοχή είναι το Σύδνεϋ στην Αυστραλία με 4840600 κατοίκους και εισόδημα \$36910 δολάρια. Τέλος στην τέταρτη περιοχή περιγράφεται το Νέο Δελχί στην Ινδία με πληθυσμό 21753486 και μέσο κατά κεφαλή εισόδημα \$1800.[21]

Για να περιγραφεί η οικονομική δραστηριότητα θα χρησιμοποιηθεί μια πενταβάθμια κλίμακα όπου το 1 περιγράφει την λιγότερη ένταση στην οικονομική δραστηριότητα και φτάνει στο 5 όπου περιγράφει τη μεγαλύτερη οικονομική δραστηριότητα στα πλαίσια μιας περιοχής. Ως αποτέλεσμα παράγεται μια κλίμακα βαθμονόμησης ως εξής:

- 1 μηδενικής ή ελάχιστης έντασης οικονομική δραστηριότητα
- 2 χαμηλής έντασης οικονομική δραστηριότητα
- 3 μεσαίας έντασης οικονομική δραστηριότητα
- 4 υψηλής έντασης οικονομική δραστηριότητα
- 5 πολύ υψηλής έντασης οικονομική δραστηριότητα

Κατά αντιστοιχία θα χρησιμοποιηθεί μια κλίμακα για να περιγράψει κατά πόσο η κάθε μια από τις περιοχές έχει τα χαρακτηριστικά μιας αστικής, ημιαστικής ή αγροτικής περιοχής. Θα υιοθετηθεί μια κλίμακα με πέντε διαφορετικές βαθμίδες. Η κάθε μια από αυτές θα δηλώνει τα χαρακτήρα της περιοχής. Ορίζεται λοιπόν η κλίμακα ως εξής:

- 1 αραιοκατοικημένη αγροτική περιοχή
- 2 αγροτική περιοχή
- 3 ημιαστική περιοχή
- 4 αστική περιοχή με μονοκατοικίες
- 5 αστική περιοχή με πολυώροφα κτήρια

Σε κάθε μια από αυτές τις τέσσερις περιοχές υπάρχουν 15 διαφορετικές μετρήσεις για την οσμή και τον όγκο των απορριμμάτων. Για κάθε μια από αυτές υπολογίζεται ο μέσος όρος των τιμών αυτών και για τα δύο μεγέθη.

Περιοχή 1 15 μετρήσεις για τον όγκο και 15 για τις οσμές	Περιοχή 2 15 μετρήσεις για τον όγκο και 15 για τις οσμές
Περιοχή 3 15 μετρήσεις για τον όγκο και 15 για τις οσμές	Περιοχή 4 15 μετρήσεις για τον όγκο και 15 για τις οσμές

Σχήμα 7 Σχηματική αναπαράσταση του μοντέλου

Για τον όγκο των απορριμμάτων οι εξισώσεις που περιγράφουν το μοντέλο χρησιμοποιώντας το φίλτρο Kalman είναι

$$x_{1k} = A_1 * x_{1k-1} + w_{1k-1} \quad (9.3)$$

Η εξίσωση που περιγράφει το μοντέλο για τον όγκο των απορριμμάτων είναι

$$y_1 = C * x_1 \quad (9.2)$$

$$y_{1k} = C * x_{1k} + u_{1k} \quad (9.3)$$

Όπου x_{1k} (εξίσωση 9.3) είναι ένας 4×1 πίνακας που περιγράφει του συντελεστές του μοντέλου. Αρχικά ορίζεται ως

$$x_1 = \begin{bmatrix} 0.000015 \\ 0.01 \\ 10 \\ 10 \end{bmatrix}$$

Και περιγράφει του συντελεστές βάρη του κάθε ενός από τους δείκτες που επηρεάζουν το μοντέλο. Ο πίνακας A_1 είναι ένας 4×4 μοναδιαίος πίνακας. Με τον όρο w περιγράφεται ο θόρυβος προκύπτει. Το y_1 είναι ένας 4×1 πίνακας που περιγράφει την εκτιμώμενη τιμή του παραγόμενου όγκου απορριμμάτων που προκύπτει από το μοντέλο. Ο πίνακας C είναι ένας 4×4 πίνακας που περιέχει όλους τους δείκτες που χρησιμοποιήθηκαν στο μοντέλο για τις τέσσερις περιοχές

$$C = \begin{bmatrix} 4124070 & 26000 & 3 & 2 \\ 35682460 & 35530 & 4 & 4 \\ 4840600 & 36910 & 4 & 3 \\ 21753486 & 1840 & 3 & 1 \end{bmatrix}$$

Οι τυχαίες μεταβλητές w_{1k} και u_{1k} αναπαριστούν τον θόρυβο συστήματος και μέτρησης αντίστοιχα και τις οποίες τις θεωρούμε ασυσχέτιστες με το χρόνο(λευκός θόρυβος) και μεταξύ τους. Ο θόρυβος θεωρείται ότι ακολουθεί την κανονική κατανομή πιθανότητας

$$p(w) \sim N(0, Q1)$$

$$p(u) \sim N(0, R1)$$

με πίνακες συνδιακύμανσης (covariance matrices) θορύβου συστήματος και μέτρησης Q_1 και R_1 αντίστοιχα.

Οι αρχικές εξισώσεις που θεωρήθηκε ότι περιγράφουν το μοντέλο για κάθε μια από τις τέσσερις περιοχές είναι:

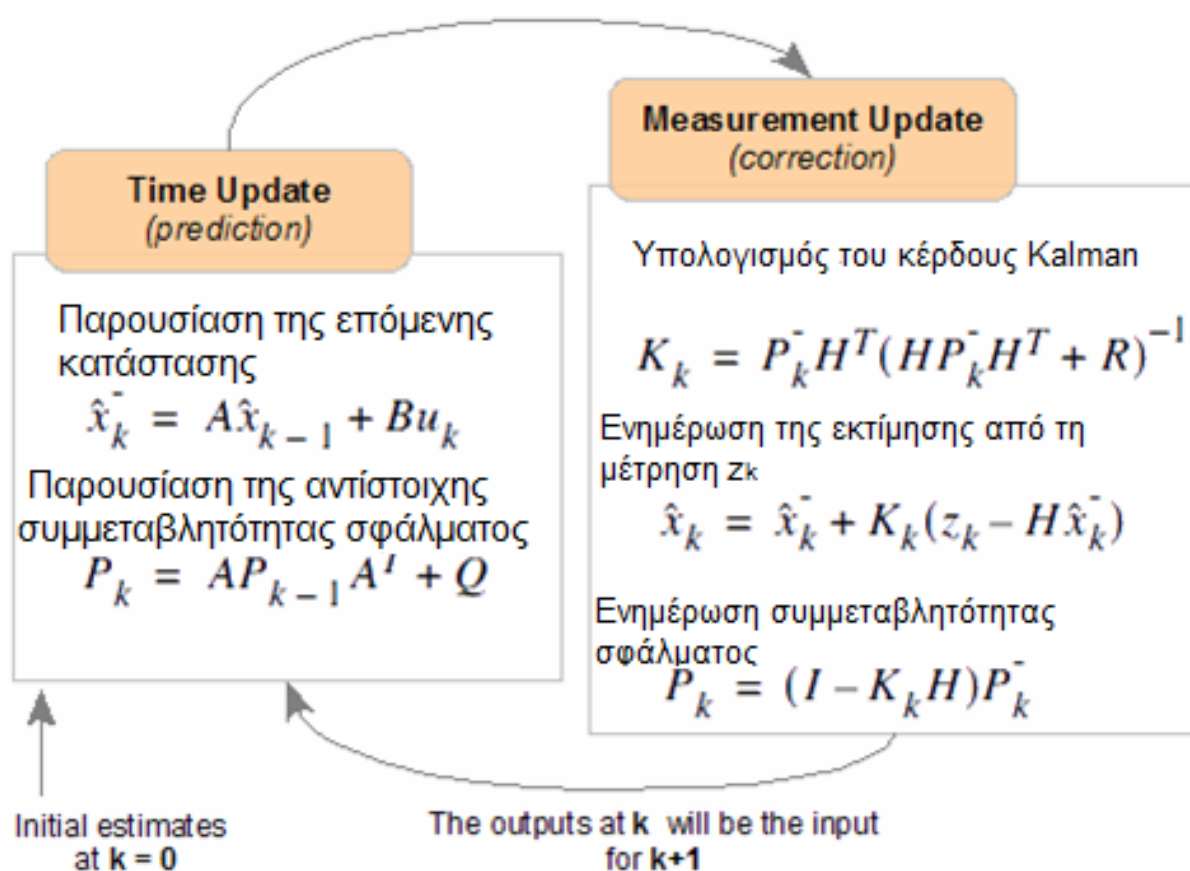
$$y_{11} = 0.000015 * 4124070 + 0.01 * 26000 + 3 * 10 + 2 * 10 \quad (9.4)$$

$$y_{12} = 0.000015 * 35682460 + 0.01 * 35530 + 10 * 4 + 10 * 4 \quad (9.5)$$

$$y_{13} = 0.000015 * 4840600 + 0.01 * 36910 + 10 * 4 + 10 * 3 \quad (9.6)$$

$$y_{14} = 0.000015 * 21753486 + 0.01 * 1840 + 10 * 3 + 10 * 1 \quad (9.7)$$

Οι εξισώσεις που περιγράφουν το μοντέλο Kalman παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα



Εικόνα 5 Εξισώσεις Kalman

Στην εξίσωση της επόμενης κατάστασης, όπου B είναι μηδενικός πίνακας άρα η εξίσωση της επόμενης κατάστασης θα είναι

$$\hat{x}_{1k} = A \hat{x}_{1k-1} \quad (9.8)$$

όπου A μοναδιαίος πίνακας. Η τιμή του Q_1 και του R_1 είναι $Q_1=5.0$ και $R_1=5.0$. Άρα οι εξισώσεις του φίλτρου του Kalman γίνονται:

$$K_{1k} = P_{1k}^- * C^T (C * P_{1k}^- * C^T + R_1)^{-1} \quad (9.9)$$

$$\hat{x}_{1k} = A \hat{x}_{1k-1} \quad (9.10)$$

Μοντέλο μεταβολισμού αστικού συγκροτήματος με έλεγχο ανατροφοδότησης

$$P_{1k} = A_1 * P_{1k-1} * A_1^T + Q_1 \quad (9.11)$$

$$\hat{x}_{1k} = \hat{x}_{1\bar{k}} + K_{1k} * (aver_{1k} - C * \hat{x}_{1\bar{k}}) \quad (9.12)$$

$$P_{1k} = (I - K_{1k} * C) * P_{1\bar{k}} \quad (9.13)$$

Στην εξίσωση (9.12) η μεταβλητή $aver_{1k}$ είναι η μέση τιμή του όγκου που προκύπτει από τις δεκαπέντε μετρήσεις των αισθητήρων όγκου απορριμμάτων.

Κατά αντιστοιχία για την οσμή θα προκύψουν οι εξισώσεις που περιγράφουν το μοντέλο

$$x_{2k} = A_2 * x_{2k-1} + w_{2k-1} \quad (9.14)$$

Η εξίσωση που περιγράφει το μοντέλο για την οσμή των απορριμμάτων είναι

$$y_2 = C * x_2 \quad (9.15)$$

ή με θόρυβο

$$y_{2k} = C * x_{2k} + u_{2k} \quad (9.16)$$

Οπού x_{2k} είναι ένας 4×1 πίνακας που περιγράφει του συντελεστές του μοντέλου. Αρχικά ορίζεται ως

$$x_2 = \begin{bmatrix} 0.0000001 \\ 0.00002 \\ 0.5 \\ 0.5 \end{bmatrix}$$

Και περιγράφει του συντελεστές- βάρη του κάθε ενός από τους δείκτες που επηρεάζουν το μοντέλο. Ο πίνακας A_2 (εξίσωση 9.14) είναι ένας 4×4 μοναδιαίος πίνακας. Με τον όρο w_2 (εξίσωση 9.14) περιγράφεται ο θόρυβος. Το y_2 (εξίσωση 9.15) είναι ένας 4×1 πίνακας που περιγράφει την εκτιμώμενη τιμή της οσμής των απορριμμάτων που προκύπτει από το μοντέλο. Ο πίνακας C είναι ο ίδιος 4×4 πίνακας που περιέχει όλους τους δείκτες που χρησιμοποιηθήκαν αρχικά στο μοντέλο για να περιγράψουν τις τέσσερις περιοχές

$$C = \begin{bmatrix} 4124070 & 26000 & 3 & 2 \\ 35682460 & 35530 & 4 & 4 \\ 4840600 & 36910 & 4 & 3 \\ 21753486 & 1840 & 3 & 1 \end{bmatrix}$$

Οι αρχικές εξισώσεις που θεωρήθηκε ότι περιγράφουν το μοντέλο για κάθε μια από τις τέσσερις περιοχές είναι:

$$y_{21} = 0.0000001 * 4124070 + 0.00002 * 26000 + 3 * 0.5 + 2 * 0.5 \quad (9.17)$$

$$y_{22} = 0.0000001 * 35682460 + 0.00002 * 35530 + 0.5 * 4 + 0.5 * 4 \quad (9.18)$$

$$y_{23} = 0.0000001 * 4840600 + 0.00002 * 36910 + 0.5 * 4 + 0.5 * 3 \quad (9.19)$$

$$y_{24} = 0.0000001 * 21753486 + 0.00002 * 1840 + 0.5 * 3 + 0.5 * 1 \quad (9.20)$$

Και u_2 (εξίσωση 9.15) είναι ένας 4×1 πίνακας που περιγράφει το θόρυβο που μπορεί να προκύψει κατά τη μέτρηση των πραγματικών μετρήσεων που προκύπτουν

Μοντέλο μεταβολισμού αστικού συγκροτήματος με έλεγχο ανατροφοδότησης

από τους αισθητήρες. Ενώ w_2 είναι ο θόρυβος του συστήματος. Οι w_2 και u_2 μπορούν να προκύψουν από την συνδιακύμανση θορύβου R_2 και Q_2 , Οι δύο αυτές τιμές θεωρούμε ότι είναι ασυσχέτιστες με το χρόνο(λευκός θόρυβος) και μεταξύ τους. Ο θόρυβος θεωρείται ότι ακολουθεί την κανονική κατανομή πιθανότητας

$$p(w) \sim N(0, Q_2)$$

$$p(u) \sim N(0, R_2)$$

με πίνακες συνδιακύμανσης (covariance matrices) θορύβου συστήματος και μέτρησης Q_1 και R_1 αντίστοιχα.

Η τιμή του Q_2 και του R_2 ορίζονται αντίστοιχα $Q_2=5.0$ και $R_2=5.0$. Άρα οι εξισώσεις του φίλτρου του Kalman γίνονται:

$$K_{2k} = P_{2\bar{k}} * C^T * (C * P_{2\bar{k}} * C^T + R_2)^{-1} \quad (9.21)$$

$$\hat{\chi}_{2\bar{k}} = A_2 \hat{\chi}_{2k-1}; \quad (9.22)$$

$$P_{2k} = A_2 * P_{2k-1} * A_2^T + Q_2 \quad (9.23)$$

$$\hat{x}_{2k} = \hat{\chi}_{2\bar{k}} + K_{2k} * (\text{aver}_{2k} - C * \hat{\chi}_{2\bar{k}}) \quad (9.24)$$

$$P_{2k} = (I - K_{2k} * C) * P_{2\bar{k}} \quad (9.25)$$

Στην εξίσωση (9.24) η μεταβλητή aver_{2k} είναι η μέση τιμή της οσμής που προκύπτει από τις δεκαπέντε μετρήσεις των αισθητήρων οσμής απορριμμάτων

Στα μοντέλα που υλοποιούνται σε αυτή την εργασία το φίλτρο Kalman επαναλαμβάνεται εκατό (100) φορές. Στις επαναλήψεις αυτές ο πληθυσμός της περιοχής και το μέσο κατά κεφαλή εισόδημα δε θεωρούνται σταθερά, αλλά μεταβάλλονται κατά ένα σταθερό ρυθμό σε κάθε επανάληψη.

Ορίζεται ότι ο πληθυσμός στην περιοχή 1 αυξάνει κατά 1000 (χίλια) άτομα ενώ το κατά κεφαλή εισόδημα αυξάνεται κατά \$200. Στην δεύτερη περιοχή, ο πληθυσμός μεταβάλλεται κατά 1200 άτομα ενώ το GDP κατά \$300. Στην επόμενη περιοχή το μέσο εισόδημα αυξάνεται κατά \$400 ενώ ο πληθυσμός της περιοχής αυξάνεται κατά 1200 κατοίκους. Τέλος, στην τέταρτη περιοχή, και τα δύο μεγέθη μεταβάλλονται κατά 3200 κατοίκους και 80 δολάρια.

9. Υλοποίηση των μοντέλων με τη χρήση Matlab

Για να υλοποιηθούν τα δύο μοντέλα Kalman χρησιμοποιείται το προγραμματιστικό εργαλείο της Matlab.

Για να παρέχονται στα φίλτρα τιμές για πραγματικές μετρήσεις στα δεκαπέντε (15) διαφορετικά σημεία στις περιοχές μελέτης, θα χρησιμοποιηθούν γεννήτριες συναρτήσεων. Αυτές θα παράγουν τις πραγματικές τιμές και θα υπολογίζεται μέσος όρος κάθε περιοχής σε κάθε επανάληψη του φίλτρου Kalman.

Έτσι, για τον όγκο των απορριμμάτων η γεννήτριες συναρτήσεων θα παράγουν 15 διαφορετικές πραγματικές μετρήσεις και θα υπολογίζουν των μέσο όρο αυτών για τις περιοχές της μελέτης άρα θα παράγουν τέσσερις (4) μέσους όρους:

Στην **πρώτη περιοχή** η μέση παραγωγή απορριμμάτων κατά άτομο είναι 503kg/p και θεωρείται διασπορά 10. Οι 15 τιμές και ο μέσος όρος παράγονται από τον παρακάτω κώδικα:

```
rng(0,'twister');  
diaspora1 = 10;  
meshtimh1= 503;  
ogkos1 = diaspora1.*randn(15,1) + meshtimh1;  
aver1(1,1)=mean(ogkos1);
```

Κατά αντιστοιχία στη **δεύτερη περιοχή** η μέση παραγωγή απορριμμάτων είναι 356,2 kg/άτομο. Ο κώδικας που παράγει το μέσο όρο που απαιτείται είναι ο εξής:

```
rng(0,'twister');  
diaspora2 = 5;  
meshtimh2= 356.2;  
ogkos2 = diaspora2.*randn(15,1) + meshtimh2;  
aver1(2,1)=mean(ogkos2);
```

Στην **τρίτη περιοχή** ο όγκος είναι 640 kg/άτομο και παράγεται ο μέσος όρος της περιοχής:

```
rng(0,'twister');  
diaspora3 = 12;  
meshtimh3= 640;  
ogkos3 = diaspora3.*randn(15,1) + meshtimh3;  
aver1(3,1)=mean(ogkos3);
```

Τέλος, στην **τέταρτη περιοχή**, ή μέση παραγωγή αστικών λυμάτων ανά άτομο είναι 184 κιλά:

```
rng(0,'twister');  
diaspora4 = 5;  
meshtimh4= 184;  
ogkos4 = diaspora4.*randn(15,1) + meshtimh4;  
aver1(4,1)=mean(ogkos4);
```

Με αντίστοιχη διαδικασία παράγονται οι τιμές για την οσμή και ο μέσος όρος για κάθε περιοχή:

1^η περιοχή

```
rng(0,'twister');  
diaspo1 = 0.1;  
odormean1= 2;  
odor1 = diaspo1.*randn(15,1) + odormean1;  
aver2(1,1)=mean(odor1);
```

2^η περιοχή

```
rng(0,'twister');  
diaspo2 = 0.1;  
odormean2= 1;  
odor2 = diaspo2.*randn(15,1) + odormean2;  
aver2(2,1)=mean(odor2);
```

3^η περιοχή

```
rng(0,'twister');  
diaspo3 = 0.2;  
odormean3= 2;  
odor3 = diaspo3.*randn(15,1) + odormean3;  
aver2(3,1)=mean(odor3);
```

4^η περιοχή

```
rng(0,'twister');  
diaspo4 = 0.2;  
odormean4= 3;  
odor4 = diaspo4.*randn(15,1) + odormean4;  
aver2(4,1)=mean(odor4);
```

Μοντέλο μεταβολισμού αστικού συγκροτήματος με έλεγχο ανατροφοδότησης

Ακολουθεί το φίλτρο Kalman για τα δύο γραμμικά συστήματα που περιγράφουν το μοντέλο σε matlab:

```
for i=2:length(t)
%
% theoroume oti auxanete me ena stathero rythmo oi 2 deiktes apo tous 4
%
C=[ 4124070+1000*i 26000+200*i 3 2
35682460+1200*i 35530+300*i 4 4
4840600+1200*i 36910+400*i 4 3
21753486+3000*i 1840+80*i 3 1];
%
%gennitries synarthseis gia proto systema
rng(0,'twister');
diaspora1 = 10;
meshtimh1= 503;
ogkos1 = diaspora1.*randn(15,1) + meshtimh1;
aver1(1,1)=mean(ogkos1);

rng(0,'twister');
diaspora2 = 5;
meshtimh2= 356.2;
ogkos2 = diaspora2.*randn(15,1) + meshtimh2;
aver1(2,1)=mean(ogkos2);

rng(0,'twister');
diaspora3 = 12;
meshtimh3= 640;
ogkos3 = diaspora3.*randn(15,1) + meshtimh3;
aver1(3,1)=mean(ogkos3);

rng(0,'twister');
diaspora4 = 5;
meshtimh4= 184;
ogkos4 = diaspora4.*randn(15,1) + meshtimh4;
aver1(4,1)=mean(ogkos4);
```

Μοντέλο μεταβολισμού αστικού συγκροτήματος με έλεγχο ανατροφοδότησης

%gennitries synarthseis gia deytero systhma

```
rng(0,'twister');  
diaspo1 = 0.1;  
odormean1= 2;  
odor1 = diaspo1.*randn(15,1) + odormean1;  
aver2(1,1)=mean(odor1);
```

```
rng(0,'twister');  
diaspo2 = 0.1;  
odormean2= 1;  
odor2 = diaspo2.*randn(15,1) + odormean2;  
aver2(2,1)=mean(odor2);
```

```
rng(0,'twister');  
diaspo3 = 0.2;  
odormean3= 2;  
odor3 = diaspo3.*randn(15,1) + odormean3;  
aver2(3,1)=mean(odor3);
```

```
rng(0,'twister');  
diaspo4 = 0.2;  
odormean4= 3;  
odor4 = diaspo4.*randn(15,1) + odormean4;  
aver2(4,1)=mean(odor4);
```

%to proto filtro kalman gia ton ogko aporrimmaton

```
K1=P1fore*C'/(C*P1fore*C'+R1*eye(4));  
X1fore(:,i)=A1*X1meso(:,i-1);  
P1fore=A1*P1meso*A1'+Q1*eye(4);  
X1meso(:,i)=X1fore(:,i)+K1*(aver1-C*X1fore(:,i));  
P1meso=(eye(4)-K1*C)*P1fore;  
y1(:,i)=C*X1meso(:,i);  
yv1(:,i)=y1(:,i)+v1(:,i);
```

%deutero filtro gia thn metrhsh tiw osmis

```
K2=P2fore*C'/(C*P2fore*C'+R2*eye(4));  
X2fore(:,i)=A2*X2meso(:,i-1);
```

Μοντέλο μεταβολισμού αστικού συγκροτήματος με έλεγχο ανατροφοδότησης

$$P2fore=A2*P2meso*A2'+Q2*eye(4);$$

$$X2meso(:,i)=X2fore(:,i)+K2*(aver2-C*X2fore(:,i));$$

$$P2meso=(eye(4)-K2*C)*P2fore;$$

$$y2(:,i)=C*X2meso(:,i);$$

$$yv2(:,i)=y2(:,i)+v2(:,i);$$

end

Στο μοντέλο αυτό, μετά από 10 επαναλήψεις οι πίνακες κατάστασης των δύο συστημάτων μεταβάλλονται σύμφωνα με τους παρακάτω πίνακες

X1(μέση τιμή για τις πρώτες δέκα επαναλήψεις)

Πίνακας 3 Τιμές του μοντέλου του φίλτρου Kalman σε σχέση με τον όγκο απορριμμάτων για τις δέκα πρώτες επαναλήψεις

	1η επανάληψη	2η επανάληψη	3η επανάληψη	4η επανάληψη	5η επανάληψη	6η επανάληψη	7η επανάληψη	8η επανάληψη	9η επανάληψη	10η επανάληψη
1ος δείκτης	1,50E-05	-5,18E-06	-9,03E-06	-9,58E-06	-9,30E-06	-8,91E-06	-8,46E-06	-7,94E-06	-7,42E-06	-6,86E-06
2ος δείκτης	0,01	0,011399 89	0,005812 383	0,005156 524	0,0056186	0,0063178 63	0,0071157 05	0,0079325 88	0,0088231 74	0,0097497 21
3ος δείκτης	10	45,83180 541	114,9691 803	127,9240 039	129,25472 1	129,09672 71	128,88785 93	128,91668 36	128,66655 53	128,13905 37
4ος δείκτης	10	9,869110 675	6,600937 949	0,308800 832	- 8,3502208 51	- 18,820113 93	- 30,742711 04	- 43,626392 06	- 57,292088 18	- 71,407082 64

Χ2(μέση τιμή για τις δέκα πρώτες επαναλήψεις)

Πίνακας 4 Τιμές του μοντέλου του φίλτρου Kalman σε σχέση με την ένταση οσμής των απορριμμάτων για τις δέκα πρώτες επαναλήψεις

	1η επανάληψη	2η επανάληψη	3η επανάληψη	4η επανάληψη	5η επανάληψη	6η επανάληψη	7η επανάληψη	8η επανάληψη	9η επανάληψη	10η επανάληψη
1ος δείκτης	0,000000 1	-5,46748E- 08	-5,59691E- 08	5,17822E- 08	4,75474E- 08	-4,30763E- 08	-3,82844E- 08	-3,38165E- 08	-2,91436E- 08	-2,51452E- 08
2ος δείκτης	0,00002	- 0,0001079 35	- 0,0001065 85	- 9,84921E- 05	- 8,93762E- 05	- -7,99896E- 05	- -7,09689E- 05	- -6,18106E- 05	- -5,34216E- 05	- -4,5661E- 05
3ος δείκτης	0,5	1,3315483 51	1,4163712 35	1,4285801 17	1,4338396 17	1,4361174 09	1,4386448 07	1,4368202 72	1,4376585 16	1,4397590 25
4ος δείκτης	0,5	0,4228077 14	0,3195400 57	0,2037552 39	0,0815356 13	0,0427980 42	0,1656772 01	0,2859778 01	0,4019731 49	0,5125031 06

Η πρόβλεψη των επόμενων τιμών μετά από κάθε επανάληψη του φίλτρου για τα 10 πρώτα βήματα είναι:

Υ1(πρόβλεψη επόμενης μέτρησης του όγκου απορριμμάτων για τις δέκα πρώτες επαναλήψεις)

Πίνακας 5 Προβλέψεις του φίλτρου Kalman σε σχέση με τον όγκο απορριμμάτων για τις δέκα πρώτες επαναλήψεις

	1η επανάληψη	2η επανάληψη	3η επανάληψη	4η επανάληψη	5η επανάληψη	6η επανάληψη	7η επανάληψη	8η επανάληψη	9η επανάληψη	10η επανάληψη
1η περιοχή	436,82	475,43	483,04	484,36	484,70	485,19	485,61	486,03	486,23	486,41
2η περιοχή	449,82	375,63	360,48	359,73	359,01	358,30	358,49	357,96	357,67	357,25
3η περιοχή	617,74	657,43	664,79	665,51	665,09	664,85	664,43	664,22	663,90	663,74
4η περιοχή	57,44	166,99	186,72	189,53	189,17	188,73	189,78	189,68	189,28	188,82

Μοντέλο μεταβολισμού αστικού συγκροτήματος με έλεγχο ανατροφοδότησης

Υ2(πρόβλεψη της επόμενης μέτρησης της οσμής των απορριμμάτων για τις δέκα πρώτες επαναλήψεις)

Πίνακας 6 Προβλέψεις του φίλτρου Kalman σε σχέση με την ένταση της οσμής των απορριμμάτων για τις δέκα πρώτες επαναλήψεις

	1η επανάληψη	2η επανάληψη	3η επανάληψη	4η επανάληψη	5η επανάληψη	6η επανάληψη	7η επανάληψη	8η επανάληψη	9η επανάληψη	10η επανάληψη
1η περιοχή	1,76519	1,82204	1,83990	1,85511	1,86913	1,88188	1,89280	1,90346	1,91181	1,76519
2η περιοχή	1,16668	1,06344	1,06376	1,05501	1,04989	1,05491	1,05192	1,06020	1,05216	1,16668
3η περιοχή	2,25961	2,29102	2,28175	2,27189	2,26286	2,25373	2,24611	2,23922	2,23152	2,25961
4η περιοχή	3,01189	3,12893	3,14969	3,14782	3,14214	3,14631	3,13475	3,13948	3,13848	3,01189

Οι αντίστοιχοι πίνακες για τις 10 τελευταίες επαναλήψεις (90-100) είναι οι παρακάτω:

X1(μέση τιμή επαναλήψεις 90-100)

Πίνακας 7 Τιμές του μοντέλου του φίλτρου Kalman σε σχέση με τον όγκο απορριμμάτων για τις επαναλήψεις από 90-100

	91η επανάληψη	92η επανάληψη	93η επανάληψη	94η επανάληψη	95η επανάληψη	96η επανάληψη	97η επανάληψη	98η επανάληψη	99η επανάληψη	100η επανάληψη
1ος δείκτης	-2,22E-05	-0,000022	-0,000022	-0,000022	-0,000022	-0,000022	-0,000021	-0,000021	-0,000021	-0,000021
2ος δείκτης	-0,01026	-0,010074	-0,009899	-0,009731	-0,009570	-0,009411	-0,009259	-0,009113	-0,008971	-0,008835
3ος δείκτης	159,4759	159,32196 1	159,15198 6	158,99043 7	158,89319 3	158,71330 6	158,59799 1	158,44721 7	158,33029 2	158,23785 4
4ος δείκτης	289,8576	286,79204 2	283,86409 2	281,04644 3	278,29478 2	275,66463 1	273,10185 8	270,66897 8	268,29412 5	265,99038 2

Χ2(μέση τιμή επαναλήψεις 90-100)

Πίνακας 8 Τιμές του μοντέλου του φίλτρου Kalman σε σχέση με την ένταση οσμής των απορριμμάτων για τις δέκα επαναλήψεις 90-100

	91η επανάληψη	92η επανάληψη	93η επανάληψη	94η επανάληψη	95η επανάληψη	96η επανάληψη	97η επανάληψη	98η επανάληψη	99η επανάληψη	100η επανάληψη
1ος δείκτης	-3,59E-08	-3,54E-08	-3,49E-08	-3,45E-08	-3,41E-08	-3,37E-08	-3,33E-08	-3,29E-08	-3,26E-08	-3,22E-08
2ος δείκτης	-3,82E-05	-3,75E-05	-3,69E-05	-3,63E-05	-3,57E-05	-3,51E-05	-3,45E-05	-3,40E-05	-3,34E-05	-3,29E-05
3ος δείκτης	1,536658	1,5358	1,5353	1,5346	1,5343	1,5335	1,5332	1,5327	1,5322	1,5315
4ος δείκτης	-0,34946	-0,3608	-0,3718	-0,3822	-0,3925	-0,4022	-0,4117	-0,4209	-0,4297	-0,4381

Υ1(πρόβλεψη επόμενης μέτρησης του όγκου απορριμμάτων Επαναλήψεις 90-100)

Πίνακας 9 Προβλέψεις του φίλτρου Kalman σε σχέση με τον όγκο απορριμμάτων για τις δέκα τελευταίες επαναλήψεις

	91η επανάληψη	92η επανάληψη	93η επανάληψη	94η επανάληψη	95η επανάληψη	96η επανάληψη	97η επανάληψη	98η επανάληψη	99η επανάληψη	100η επανάληψη
1η περιοχή	511,42	511,34	511,24	511,16	511,09	511,04	510,98	510,90	510,84	510,81
2η περιοχή	359,67	359,69	359,57	359,61	359,41	359,57	359,65	359,60	359,58	359,63
3η περιοχή	645,92	645,98	646,01	646,06	646,08	646,18	646,22	646,25	646,29	646,34
4η περιοχή	186,55	186,61	186,52	186,53	186,53	186,53	186,64	186,56	186,57	186,66

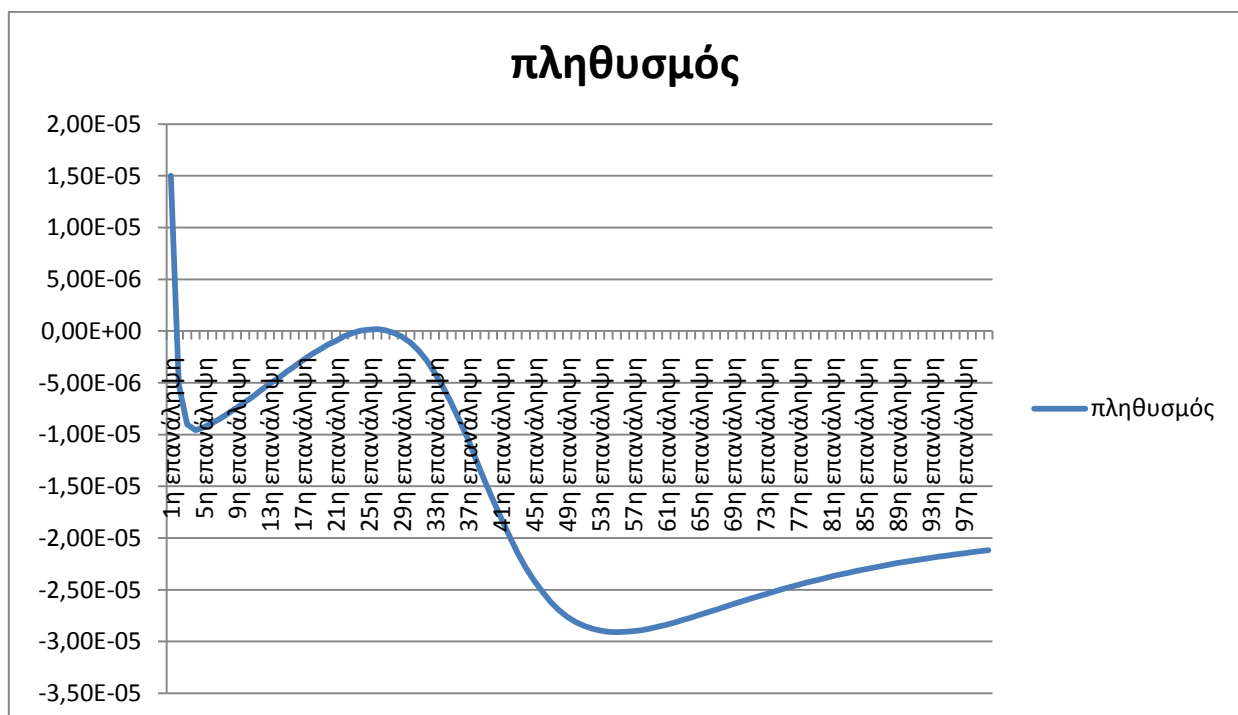
Υ2(πρόβλεψη επόμενης μέτρησης της οσμής απορριμμάτων Επαναλήψεις 90-100)

Πίνακας 10 Προβλέψεις του φίλτρου Kalman σε σχέση με την ένταση της οσμής των απορριμμάτων για τις δέκα τελευταίες επαναλήψεις

	91η επανάληψη	92η επανάληψη	93η επανάληψη	94η επανάληψη	95η επανάληψη	96η επανάληψη	97η επανάληψη	98η επανάληψη	99η επανάληψη	100η επανάληψη
1η περιοχή	2,07021	2,06988	2,06959	2,06931	2,06915	2,06877	2,06853	2,06839	2,06815	2,06788
2η περιοχή	1,06299	1,06334	1,06324	1,06303	1,06318	1,06311	1,06260	1,06258	1,06286	1,06271
3η περιοχή	2,11827	2,11858	2,11875	2,11899	2,11910	2,11936	2,11933	2,11965	2,11978	2,11998
4η περιοχή	3,12169	3,12161	3,12183	3,12159	3,12246	3,12179	3,12212	3,12212	3,12238	3,12193

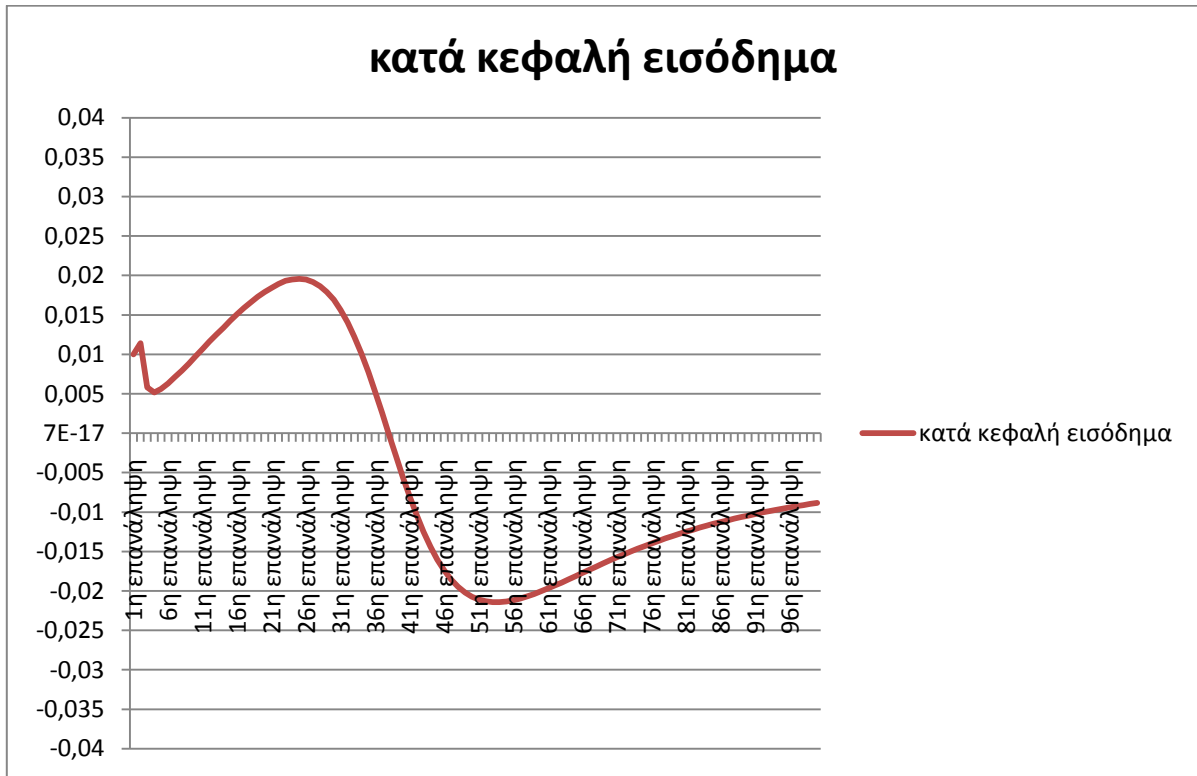
Παρατίθενται παρακάτω γραφήματα που υποδεικνύουν τον τρόπο που μεταβάλλονται τα βάρη των δεικτών που μοντέλου που χρησιμοποιήθηκαν ως παράμετροι που επηρεάζουν την παραγωγή ως προς τον όγκο των Αστικών αποβλήτων:

A. Τα βάρη για τον πληθυσμό ως προς τον όγκο που παράγεται απορριμμάτων



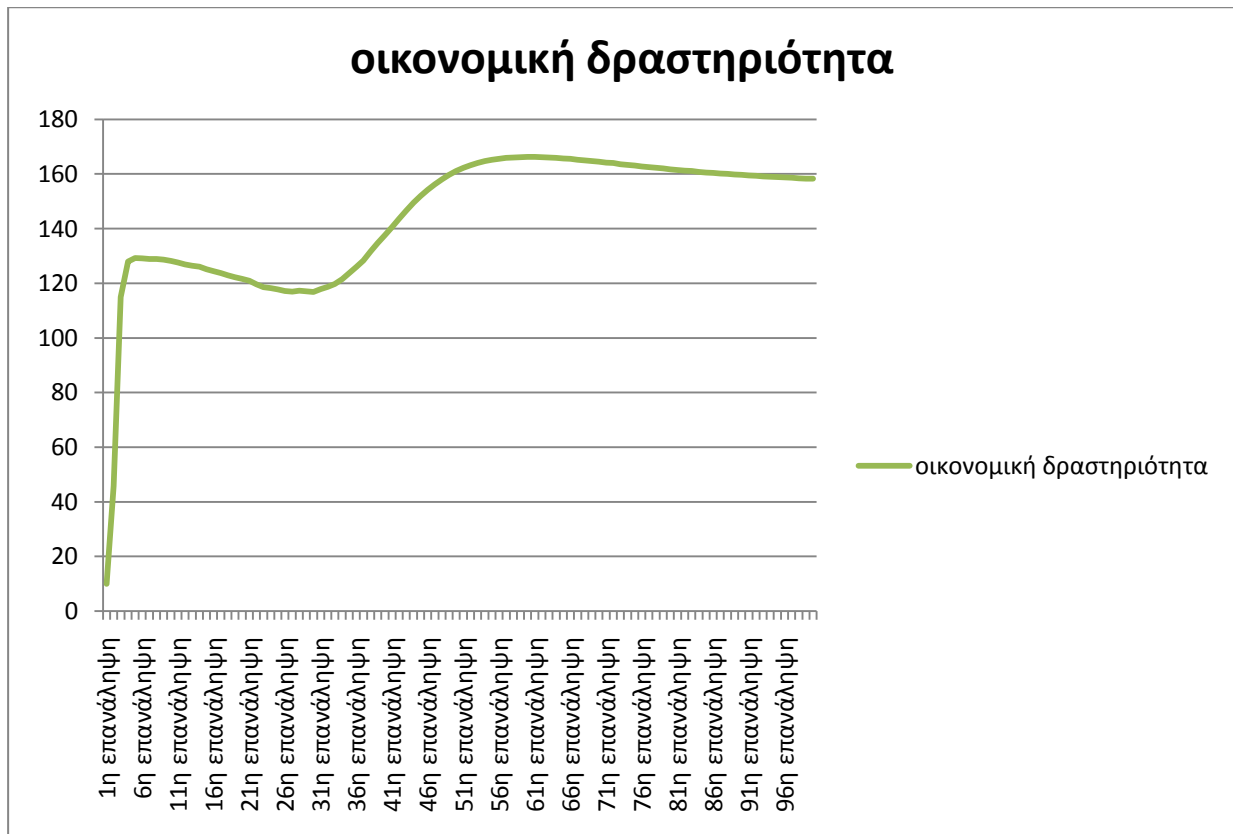
Σχήμα 8 Τα βάρη για τον πληθυσμό(όγκος)

Β. Τα βάρη για το ακαθάριστο κατά κεφαλή εισόδημα σε συνάρτηση με τον όγκο των παραγόμενων απορριμμάτων



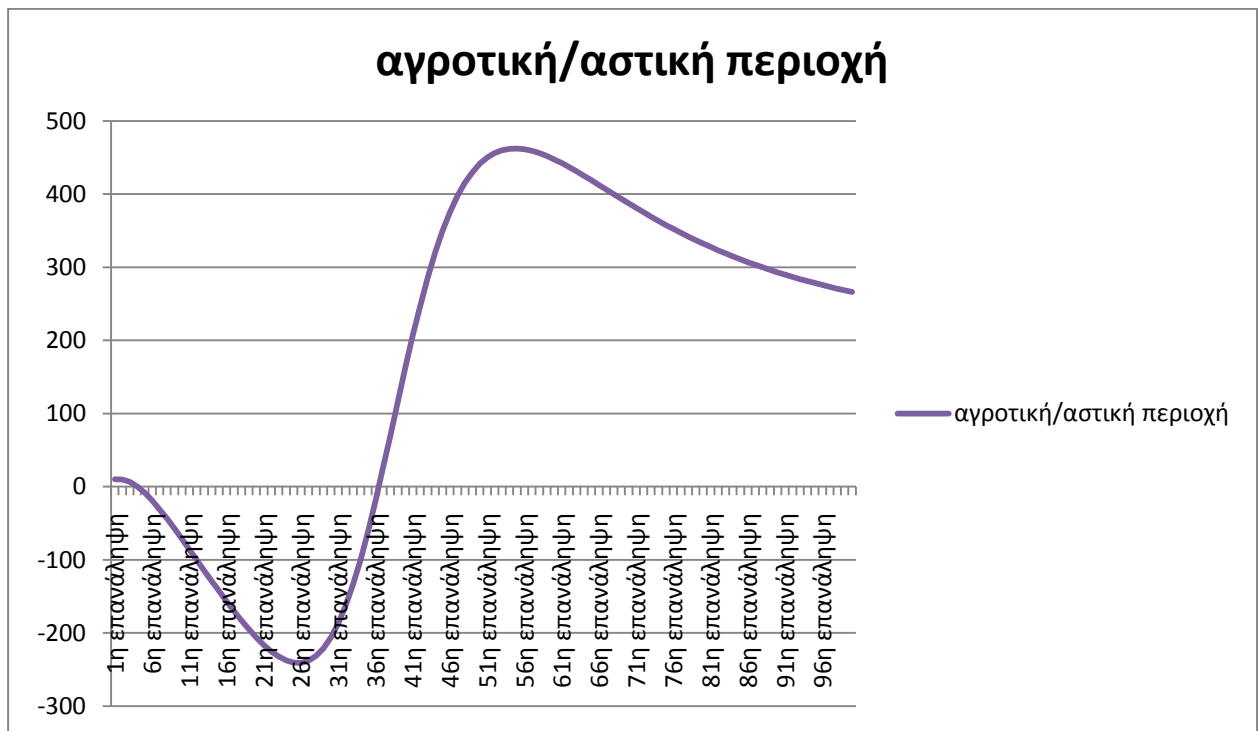
Σχήμα 9 Τα βάρη για το ακαθάριστο κατά κεφαλή εισόδημα(όγκος)

Γ. Τα βάρη για την οικονομική δραστηριότητα



Σχήμα 10 Τα βάρη για την οικονομική δραστηριότητα

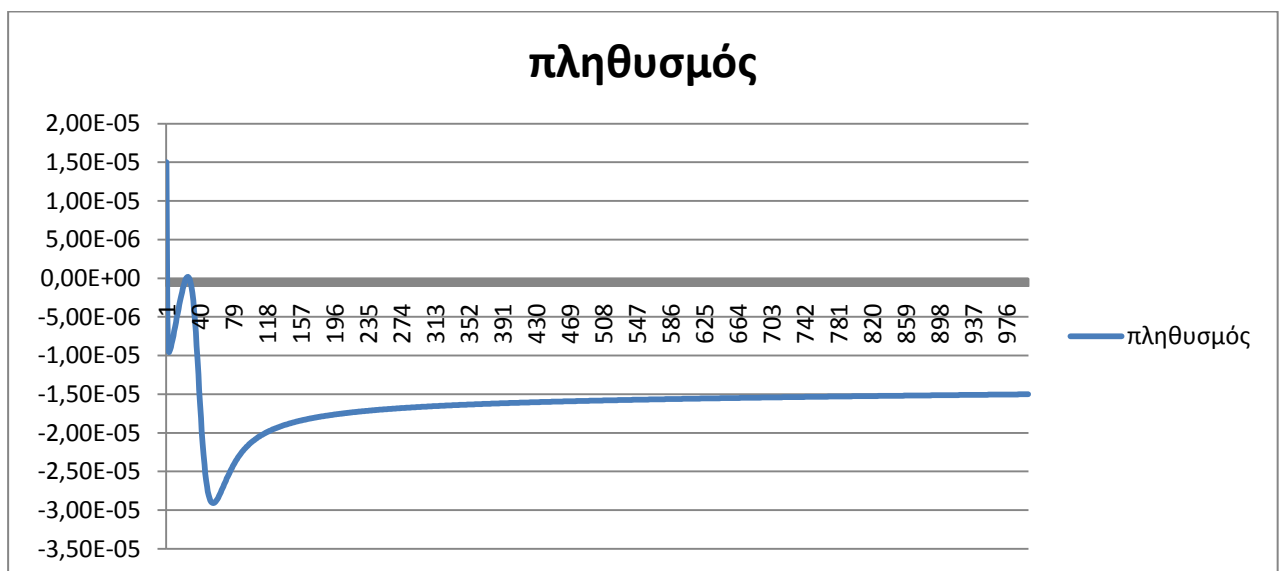
Δ. Τα βάρη που σχετίζουν την περιοχή με αγροτική ή αστική ανάπτυξη:



Σχήμα 11 Τα βάρη που σχετίζουν την περιοχή με αγροτική ή αστική ανάπτυξη:

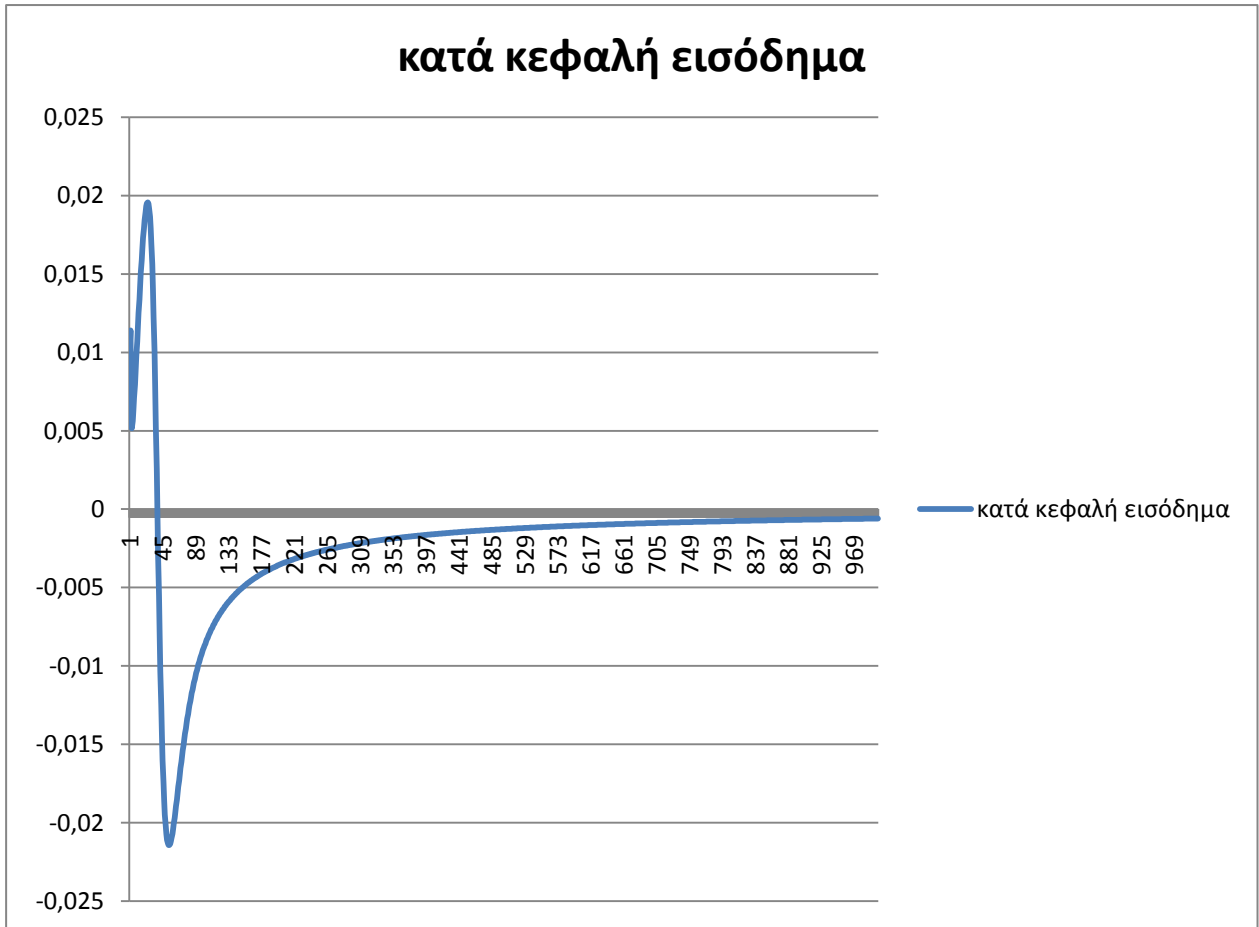
Τα αντίστοιχα γραφήματα που προκύπτουν μετά από χίλιες επαναλήψεις είναι τα παρακάτω:

Α. Τα βάρη για τον πληθυσμό για χίλιες επαναλήψεις



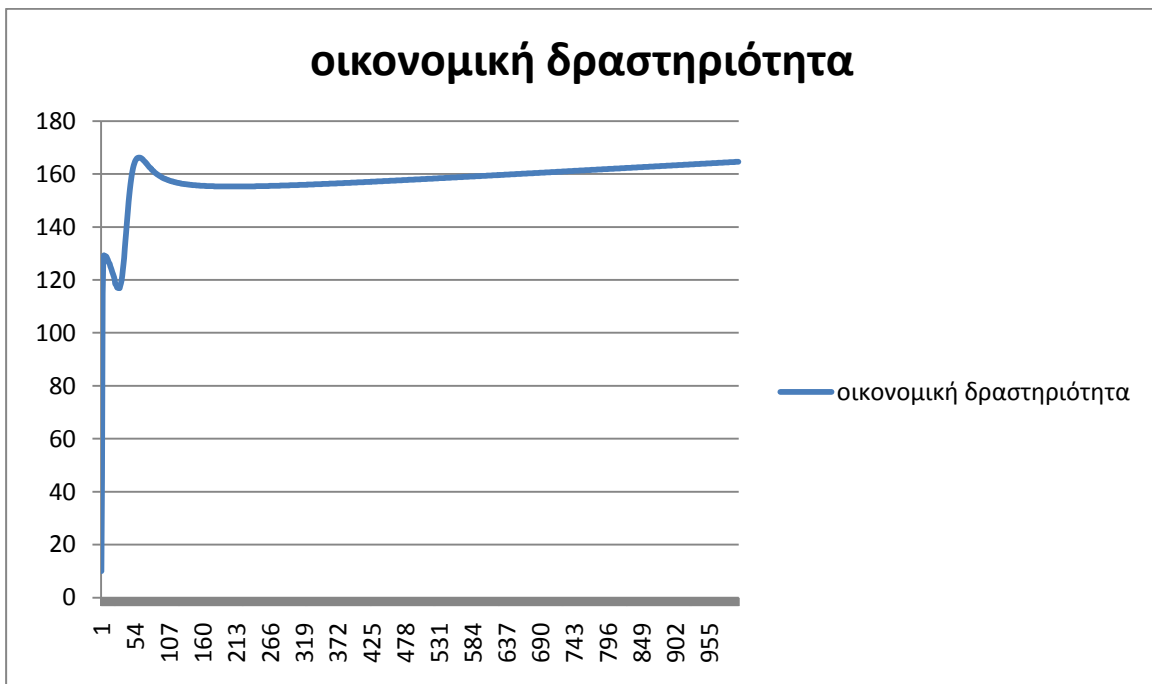
Σχήμα 12 Τα βάρη για τον πληθυσμό για χίλιες επαναλήψεις

Β. Τα βάρη για το ακαθάριστο κατά κεφαλή εισόδημα για χίλιες επαναλήψεις



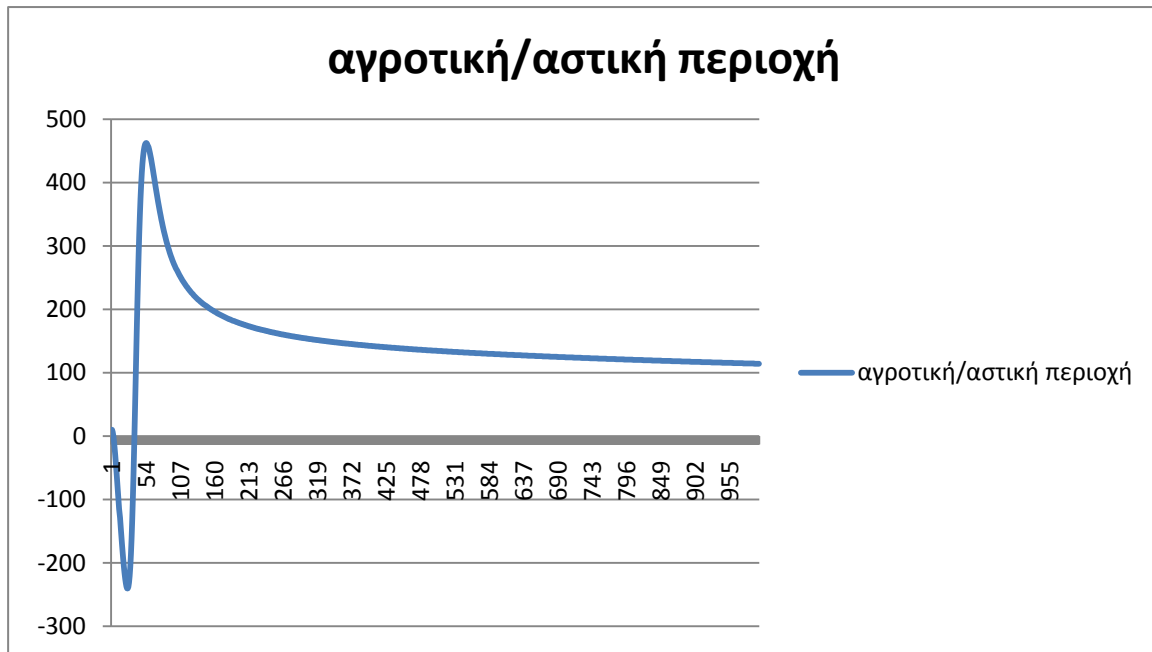
Σχήμα 13 Τα βάρη για το ακαθάριστο κατά κεφαλή εισόδημα για χίλιες επαναλήψεις

Γ. Τα βάρη για την οικονομική δραστηριότητα



Σχήμα 14 Τα βάρη για την οικονομική δραστηριότητα για χίλιες επαναλήψεις

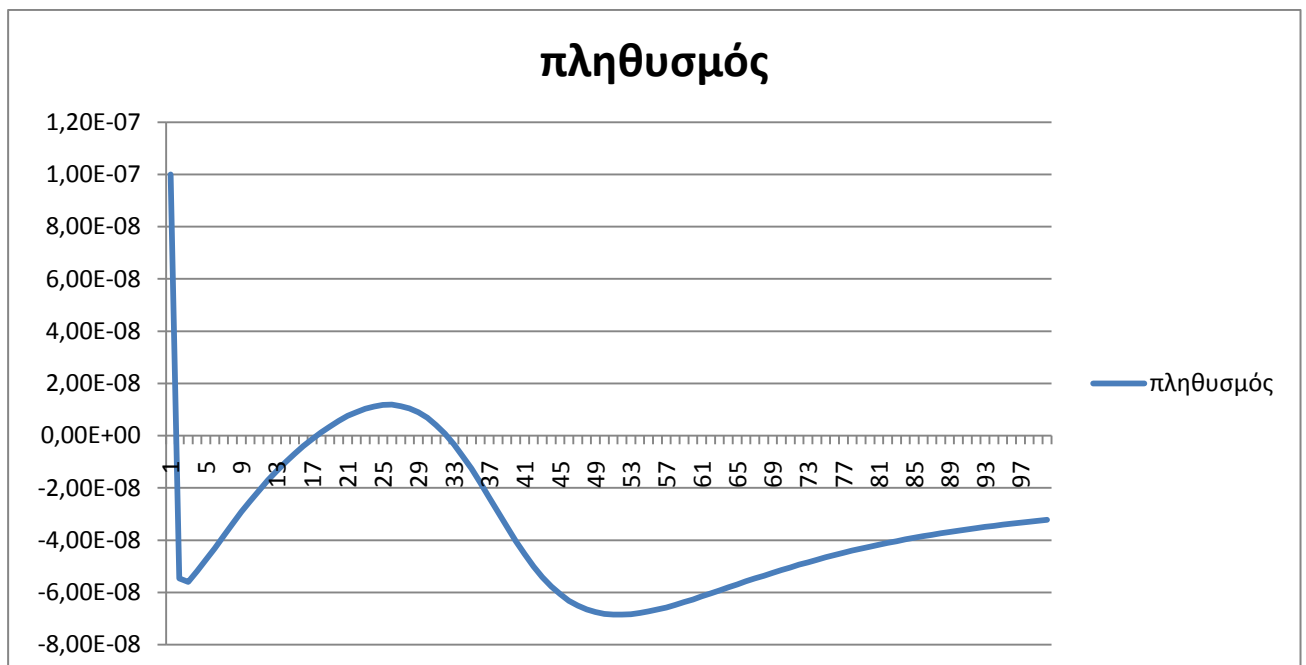
Δ. Τα βάρη που σχετίζουν την περιοχή με αγροτική ή αστική ανάπτυξη:



Σχήμα 15 Τα βάρη που σχετίζουν την περιοχή με αγροτική ή αστική ανάπτυξη μετά από χίλιες επαναλήψεις

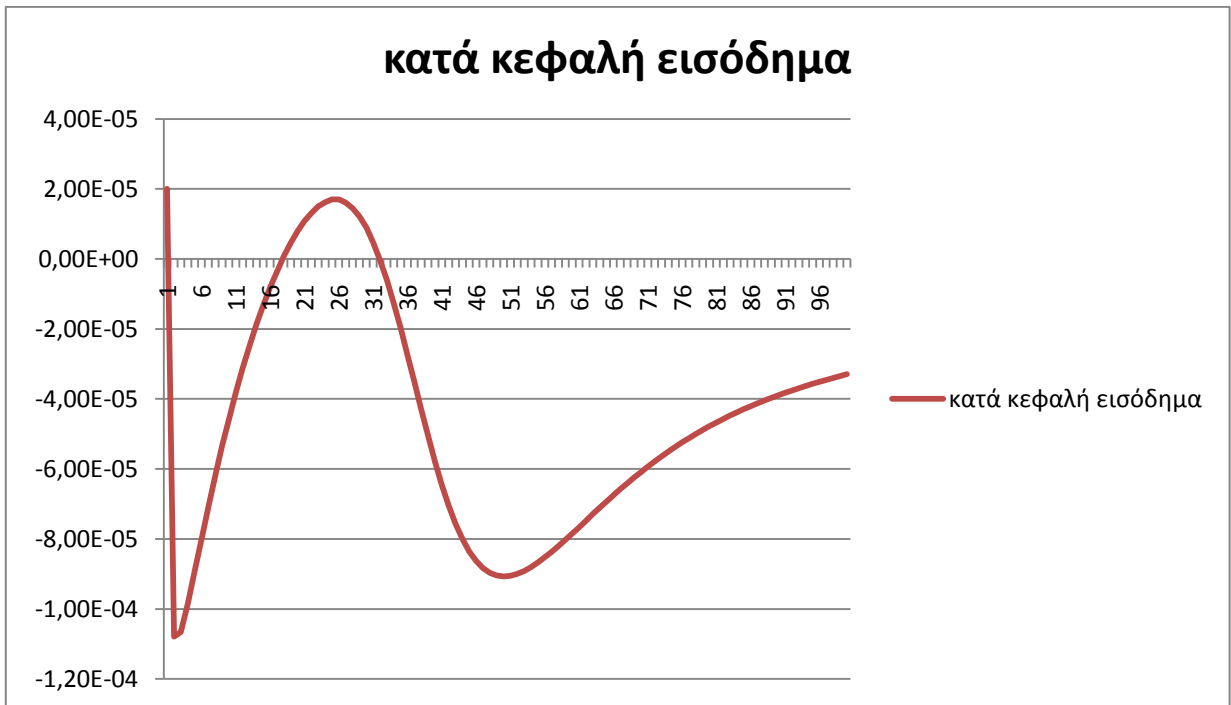
Κατά αντιστοιχία στο δεύτερο φίλτρο Kalman που αφορά την ένταση της οσμής τα βάρη των ίδιων παραγόντων για εκατό (100) αλλά και χίλιες επαναλήψεις παρουσιάζονται παρακάτω:

Α. Τα βάρη για τον πληθυσμό ως προς την ένταση της οσμής που παράγεται των απορριμμάτων:



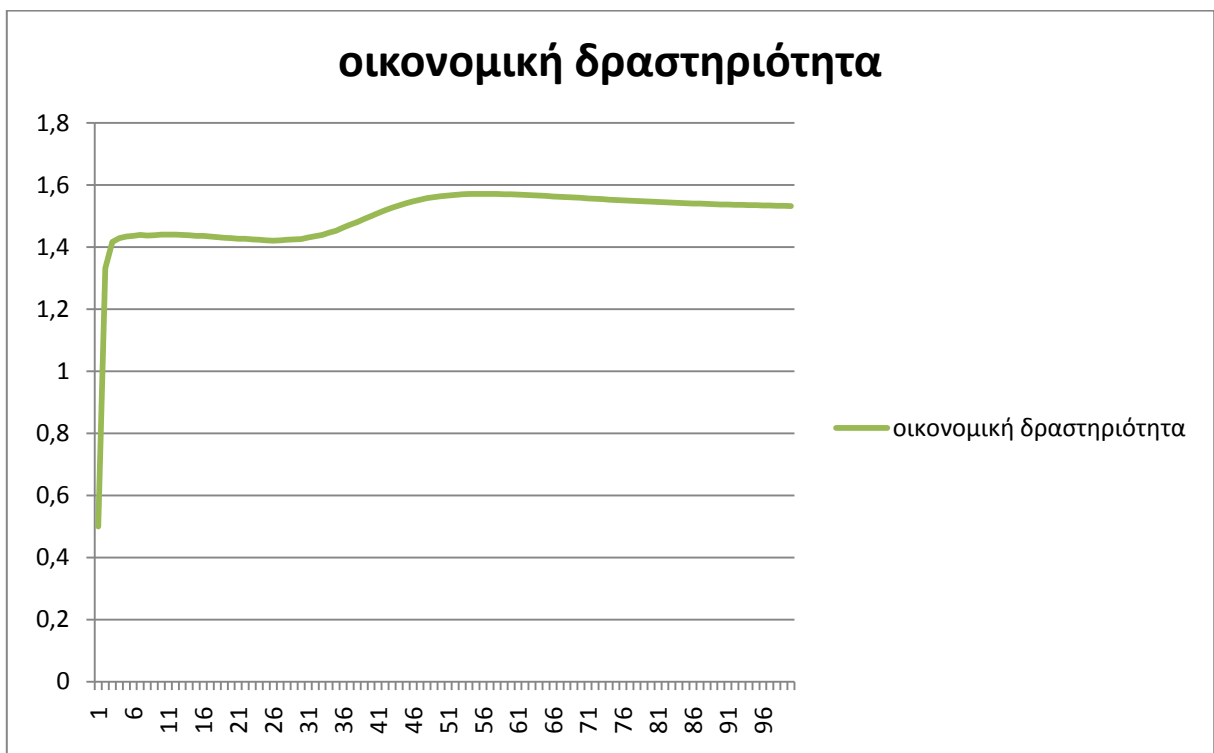
Σχήμα 16 Τα βάρη για τον πληθυσμό ως προς την ένταση της οσμής που παράγεται των απορριμμάτων

Β. Τα βάρη για το ακαθάριστο κατά κεφαλή εισόδημα για εκατό επαναλήψεις



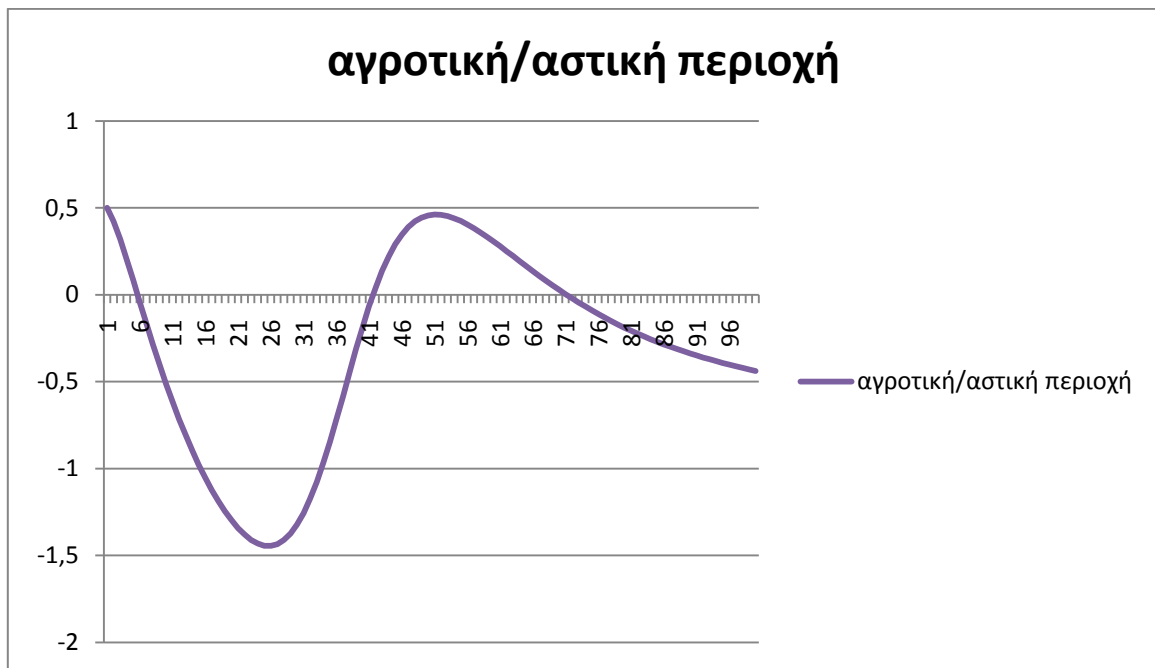
Σχήμα 17 βάρη για το ακαθάριστο κατά κεφαλή εισόδημα

Γ. Τα βάρη για την οικονομική δραστηριότητα στο φίλτρο για την οσμή



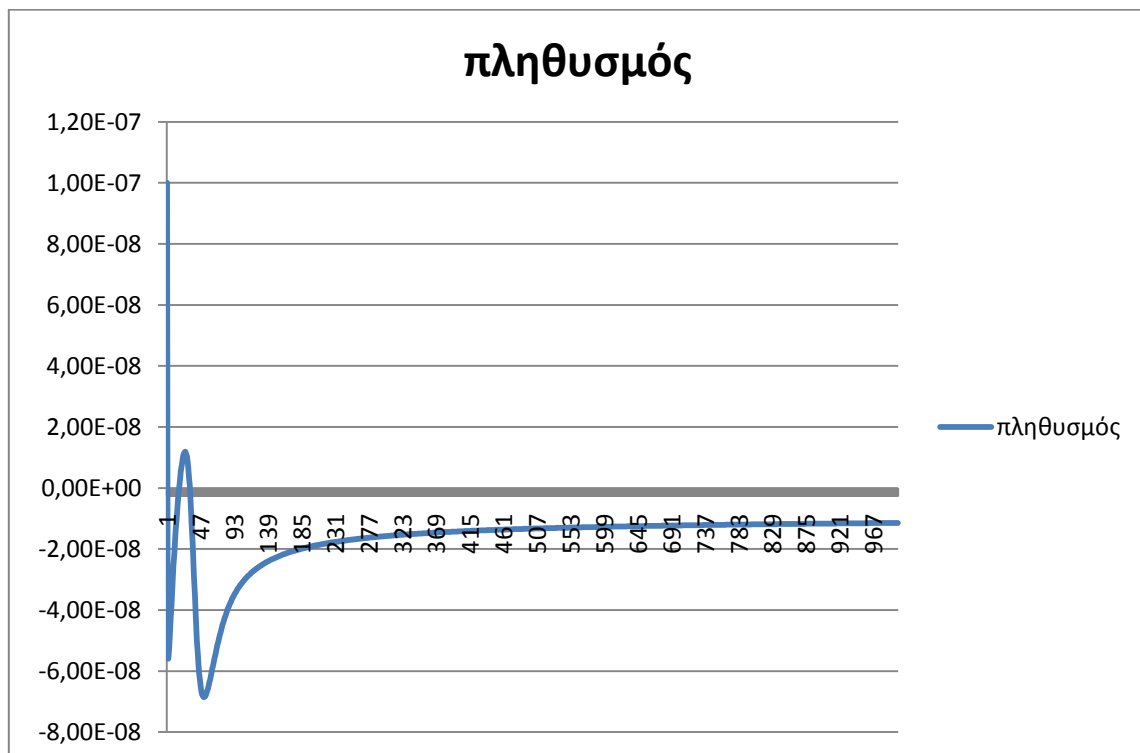
Σχήμα 18 Τα βάρη για την οικονομική δραστηριότητα

Δ. Τα βάρη που σχετίζουν την περιοχή με αγροτική ή αστική ανάπτυξη (οσμή):



Σχήμα 19 Τα βάρη που σχετίζουν την περιοχή με αγροτική ή αστική ανάπτυξη

Α. Τα βάρη για τον πληθυσμό ως προς την ένταση της οσμής που παράγεται των απορριμμάτων (Χίλιες επαναλήψεις)



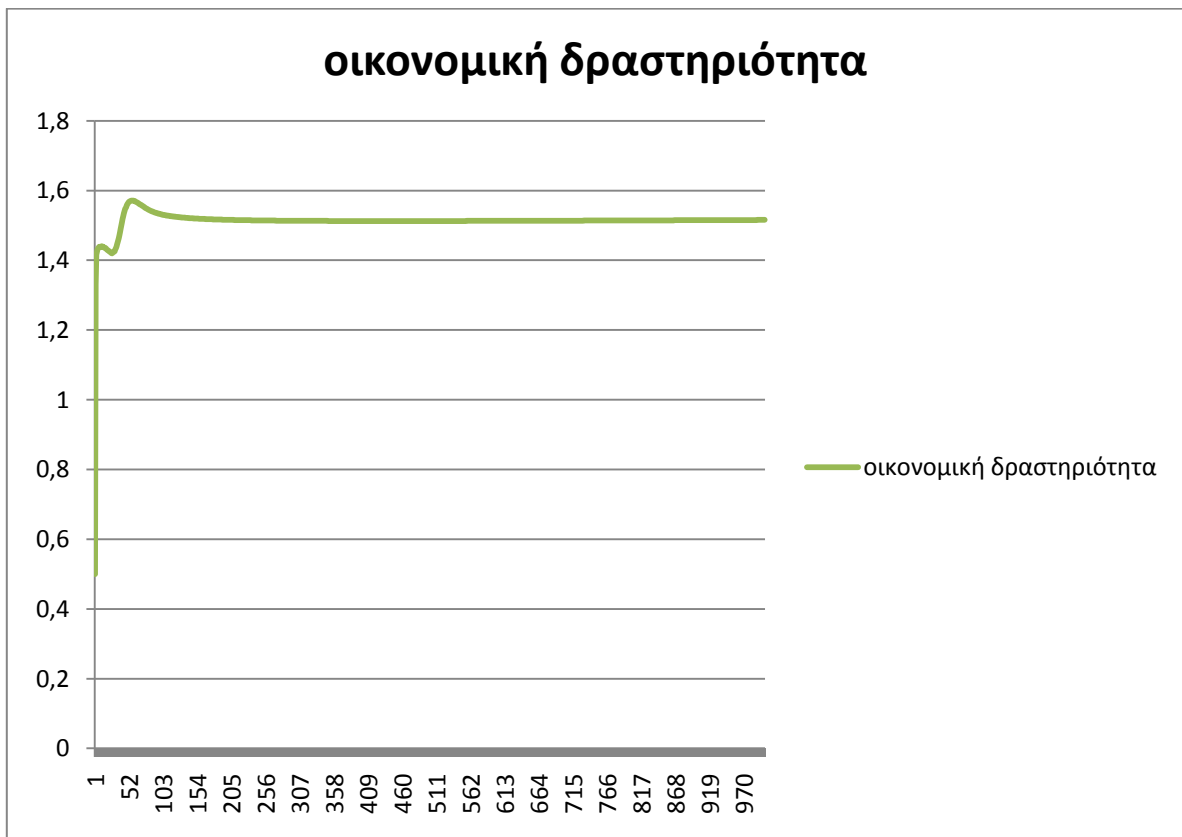
Σχήμα 20 Τα βάρη για τον πληθυσμό ως προς την ένταση της οσμής που παράγεται των απορριμμάτων (Χίλιες επαναλήψεις)

Β. Τα βάρη για το ακαθάριστο κατά κεφαλή εισόδημα για χίλιες επαναλήψεις



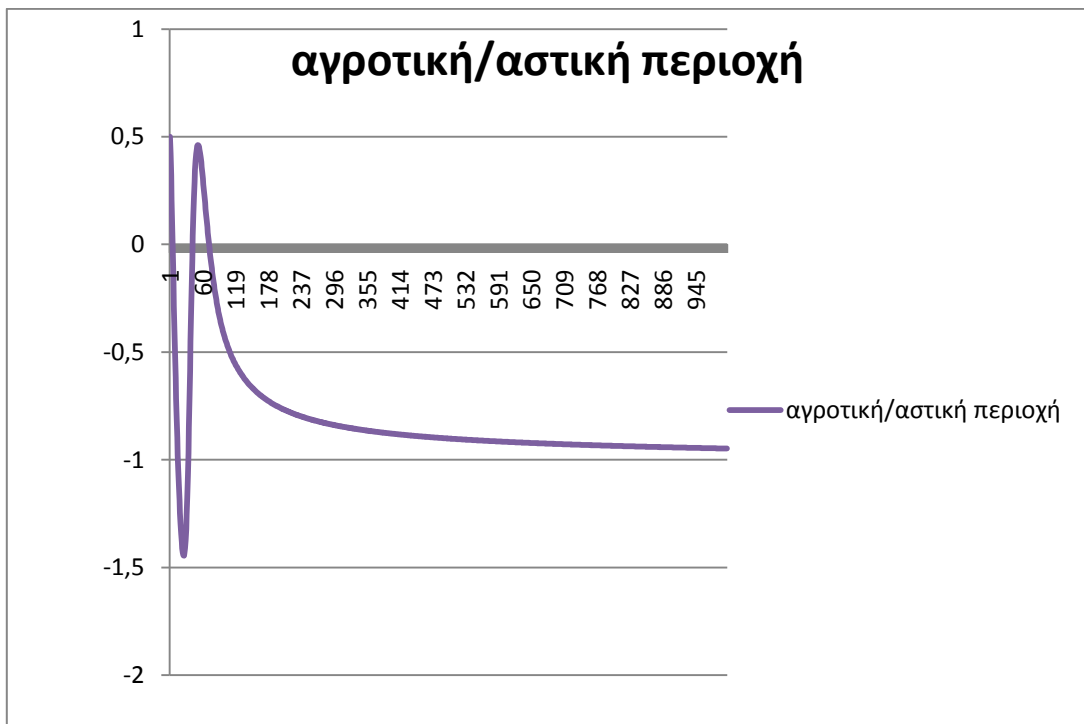
Σχήμα 21 Τα βάρη για το ακαθάριστο κατά κεφαλή εισόδημα για χίλιες επαναλήψεις στο φίτρο για την ένταση οσμής

Γ. Τα βάρη για την οικονομική δραστηριότητα για χίλιες επαναλήψεις



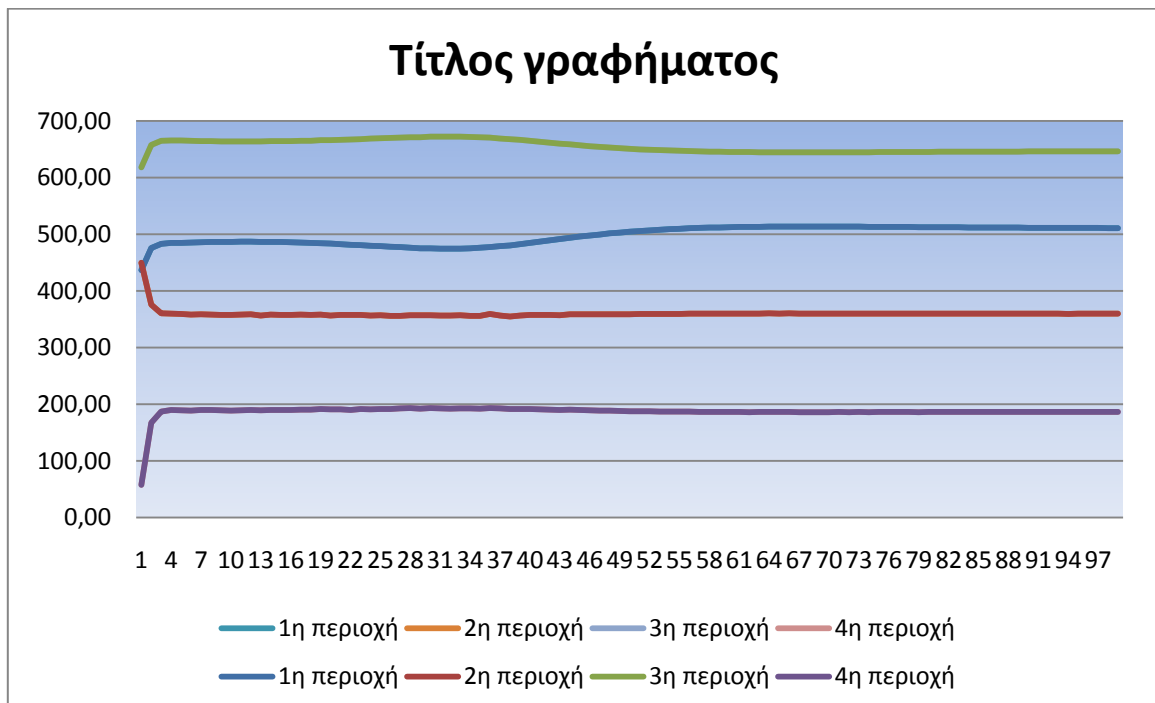
Σχήμα 22 οικονομική δραστηριότητα για χίλιες επαναλήψεις στο φίλτρο σχετικά με την οσμή

Δ. Τα βάρη που σχετίζουν την περιοχή με αγροτική ή αστική ανάπτυξη:



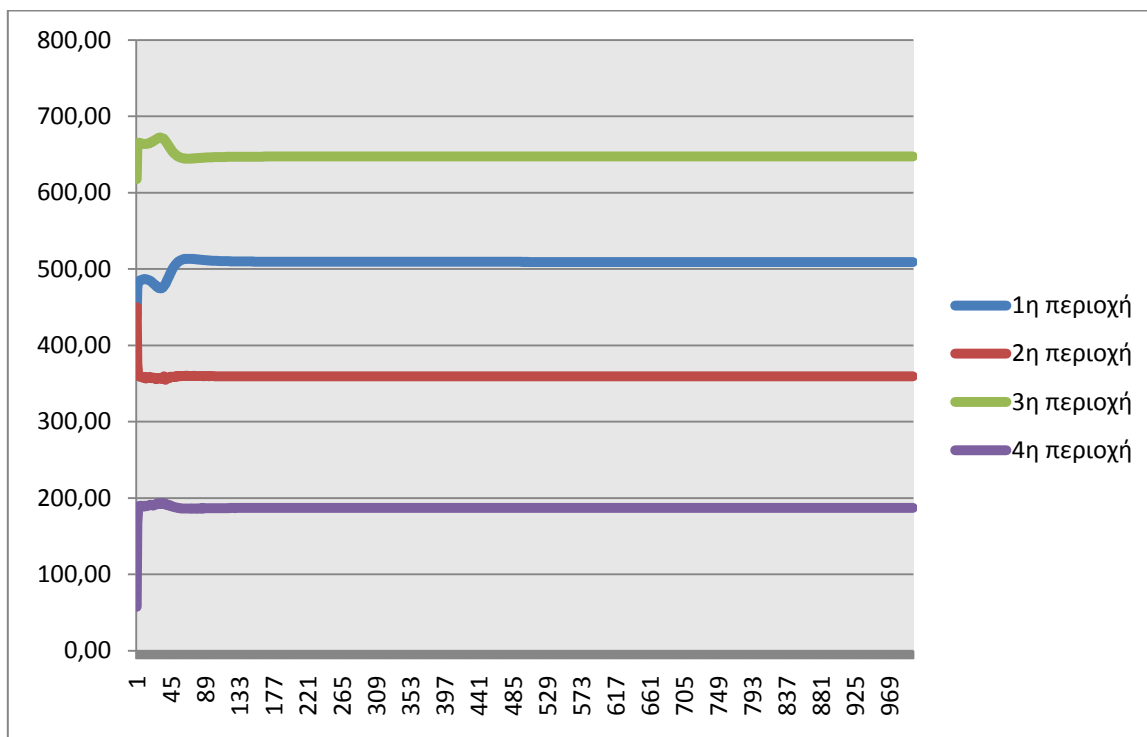
Σχήμα 23 Τα βάρη που σχετίζουν την περιοχή με αγροτική ή αστική ανάπτυξη (οσμή)

Πρόβλεψη παραγωγής απορριμμάτων για 100 επαναλήψεις στις τέσσερις περιοχές



Σχήμα 24 Πρόβλεψη παραγωγής απορριμμάτων για 100 επαναλήψεις

Πρόβλεψη παραγωγής απορριμμάτων για 1000 επαναλήψεις στις τέσσερις περιοχές



Σχήμα 25 Πρόβλεψη παραγωγής απορριμμάτων για 1000 επαναλήψεις στις τέσσερις ΠΕΡΙΟΧΕΣ

Παρατηρήσεις

Μια παρατήρηση που μπορεί κανείς να κάνει, είναι ότι το φίλτρο Kalman είναι κατάλληλο να περιγράψει το μοντέλο που μελετάται γιατί δεν είναι απαραίτητο να υπάρχει βάση δεδομένων με προγενέστερες μετρήσεις για να σχεδιαστεί. Επιπλέον, περιγράφοντας ακόμη και με λάθος τρόπο τα μοντέλα, το φίλτρο μπορεί να προχωρήσει σε διόρθωση του με βάση τις μεταγενέστερες μετρήσεις

Μια άλλη παρατήρηση που μπορεί κάποιος να κάνει είναι το γεγονός ότι οι δείκτες του μοντέλου που χρησιμοποιήθηκαν όπως ο πληθυσμός, το ακαθάριστο κατά κεφαλή εισόδημα, η οικονομική δραστηριότητα της περιοχής και το πληθυσμιακό προφίλ της περιοχής, διαφοροποιούνται σε μεγάλο βαθμό από περιοχή σε περιοχή τόσο στον πληθυσμό, όσο και στα στοιχεία τα οικονομικά, όπως και στο καταναλωτικό προφίλ. Επιπλέον, κάποιες από τις περιοχές αυτές ανήκουν στον αναπτυσσόμενο κόσμο και άλλες στον αναπτυσσόμενο. Σε άλλες περιοχές το καταναλωτικό προφίλ και η οικονομική δυνατότητα κατανάλωσης προσεγγίζουν τα δυτικά πρότυπα ενώ στις δύο άλλες περιοχές παρόλο που η μια περιοχή είναι αναπτυσσόμενη και μια να αναπτυσσόμενη έχουν μια διαφορετική κουλτούρα ζωής που φαίνεται να διαφέρει από την Ευρώπη και την Αυστραλία. Γεγονός που μπορεί κανείς να το παρατηρήσει παρακολουθώντας τουλάχιστον τον μέσο όγκο απορριμμάτων που παράγονται κατά κεφαλή αντίστοιχα στις δύο δυτικές κοινωνίες και στην Ιαπωνία και Ινδία.

Θα μπορούσε κανείς λοιπόν να δει ότι στα μοντέλα που εφαρμόστηκε το φίλτρο Kalman, στις δέκα πρώτες επαναλήψεις υπάρχουν μεγάλες διαφοροποιήσεις στα διανύσματα κατάστασης. Επιπρόσθετα, οι προβλέψεις των επόμενων τιμών

διαφοροποιούνται αρκετά από τις πραγματικές τιμές που έχει το μοντέλο. Μπορεί να διαπιστωθεί ότι η σύγκλιση των μοντέλων με τα στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν παρατηρείται γύρω στην εξηκοστή επανάληψη του μοντέλου Kalman όσο αφορά την παραγωγή απορριμμάτων εκφρασμένο σε όγκο. Σε αντίστοιχο αριθμό επαναλήψεων παρατηρείται μια σταθεροποίηση του μοντέλου για την οσμή. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, οι προβλεπόμενες τιμές των απορριμμάτων τόσο σε σχέση με τον όγκο των απορριμμάτων όσο και την οσμή προσεγγίζουν τις πραγματικές μετρήσεις στα αντίστοιχα βήματα του επαναληπτικού διακριτού φίλτρου.

Η σύγκλιση αυτή θα υλοποιούνταν σε ποιο σύντομο χρονικό διάστημα αν οι περιοχές είχαν πιο κοινά χαρακτηριστικά τόσο σε σχέση με τον πληθυσμό όσο και με το οικονομικό προφίλ της περιοχής όσο και τα καταναλωτικά πρότυπα της κάθε περιοχής.

Στην περίπτωση των τελευταίων επαναλήψεων από 90-100 των δύο μοντέλων θα παρατηρούσε κανείς ότι τα διανύσματα κατάστασης μεταβάλλονται σε μικρότερο βαθμό άρα καταλήγει σε ένα πιο σταθερό μοντέλο που να ικανοποιεί τις συνθήκες και δε επηρεάζεται από την συνδιαμόρφωση των τιμών.

Τα δύο φίλτρα Kalman προσπαθούν να κάνουν πρόβλεψη της επόμενης τιμής που αναμένεται να προκύψουν για τα δύο συγκεκριμένα μοντέλα που χρησιμοποιήθηκαν. Η πρόβλεψη αυτή επηρεάζεται κυρίως από την τελευταία μέτρηση που διορθώνεται από το κέρδος Kalman. Άρα οι προγενέστερες τιμές διαδραματίζουν ρόλο στην πρόβλεψη αλλά το σημαντικότερο βάρος πέφτει στην μέση τιμή που έχει προκύψει μέχρι εκείνη τη στιγμή. Παρατηρείται ότι όσο παλαιότερη είναι η μέτρηση τόσο μικρότερη επίδραση έχει στο κέρδος Kalman και κατά προέκταση στην πρόβλεψη.

Λαμβάνοντας αυτό υπόψη, θα μπορούσε κανείς να παρατηρήσει ότι το φίλτρο μπορεί εύκολα να χρησιμοποιηθεί και σε περιπτώσεις μεταβάλλονται τόσο το μοντέλο όσο και οι συνθήκες, οι δείκτες του μοντέλου γιατί μπορεί να απαλείψει και να λειάνει τις επιδράσεις του θορύβου στην πρόβλεψη μέσα από το κέρδος Kalman. Άρα το κέρδος Kalman βοηθάει στο να περιγραφούν μοντέλα μεταβαλλόμενα στο χρόνο όπως είναι τα δύο μοντέλα που χρησιμοποιήθηκαν στην εργασία.

10. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην εργασία αυτή μελετάται ο αστικός μεταβολισμός και ιδιαίτερα οι ροές και εκροές που εισέρχονται και εξέρχονται μέσα από ένα αστικό συγκρότημα όπως είναι οι πρώτες ύλες, το νερό, η βιομάζα, οι εκπομπές καυσαερίων, απορρίμματα και άλλα. Ιδιαίτερα μελετάται η εκροή απορριμμάτων από ένα αστικό συγκρότημα.

Τα αστικά στερεά απόβλητα είναι μια μεγάλη πρόκληση για τις περισσότερες κοινότητες σε όλες τις χώρες του κόσμου. Η λειτουργία αυτή που αποτελεί πρόκληση περιλαμβάνει τη διαδικασία της αποκομιδής, της μεταφοράς, της διαχείρισης και ανακύκλωσης. Στη διαχείριση των αστικών αποβλήτων, γίνεται αναγκαία η αναζήτηση αποτελεσματικότερων μεθόδων διαχείρισης των στερεών αποβλήτων που να υπερβαίνουν απλά τη διαχείριση μόνο τους χώρους υγειονομικής ταφής. Άρα εμφανίζεται η αναγκαιότητα Συστημάτων Ολοκληρωμένης Διαχείρισης Αστικών Αποβλήτων

Έχει, ήδη, αναφερθεί ότι στην Ολοκληρωμένη Διαχείριση Αστικών Αποβλήτων η δρομολόγηση των απορριμματοφόρων είναι ίσως η πιο δαπανηρή και πιο δύσκολη διαδικασία που καλείται να αντιμετωπίσει η δημοτική υπηρεσία κάθε αστικού συγκροτήματος. Για να μπορεί να καθοριστεί η συχνότητα και ο χρόνος στον οποίο πρέπει τα απορριμματοφόρα να κινηθούν προς κάθε κάδο. Ακόμη πρέπει να επιλεγεί το απορριμματοφόρο που θα επισκεφτεί τον κάδο. Όλες αυτές οι αποφάσεις πρέπει να αποφασιστούν με γνώμονα το όχημα να κάνει την μικρότερη απόσταση να μη μετακινείται άδαιο προς το χώρο απόθεσης.

Για να είναι δυνατό να υλοποιηθεί η αποτελεσματική δρομολόγηση, είναι απαραίτητη η πληροφόρηση σχετικά με την παραγωγή απορριμμάτων σε κάθε κάδο και για την ποιότητα αυτών. Όταν η πρόβλεψη που έχει η δημοτική επιχείρηση σχετικά με τον όγκο των απορριμμάτων και την ένταση της οσμής τους στον κάδο ξεπερνά ένα όριο που έχει ορίσει η υπηρεσία τότε δρομολογείται το επόμενο απορριμματοφόρο που θα αδειάσει τον κάδο.

Στα πλαίσια αυτής της εργασίας, με στόχο να προβλεφθεί η ποσότητα και η ένταση της οσμής των Αστικών Αποβλήτων που παράγονται μέσα σε ένα αστικό συγκρότημα, υλοποιήθηκαν δύο μοντέλα πρόβλεψης του όγκου της και της οσμής των Αστικών Αποβλήτων που παράγονται. Αυτά τα μοντέλα λαμβάνουν υπόψη κάποιους από τους δείκτες που επηρεάζουν την παραγωγή των απορριμμάτων. Από τους παράγοντες αυτούς λήφθηκαν υπόψη ο πληθυσμός της αστικής περιοχής, η οικονομική δραστηριότητα που υφίσταται στην περιοχή, το ακαθάριστο κατά κεφαλή εισόδημα, και κατά πόσο η περιοχή έχει αστικά ή αγροτικά χαρακτηριστικά.

Για να μελετηθεί το μοντέλο αυτό χρησιμοποιήθηκε το διακριτό φίλτρο Kalman. Το φίλτρο αυτό δε απαιτεί προγενέστερες μετρήσεις για το σχεδιασμό του μοντέλου. Το μοντέλο που υλοποιήθηκε θεωρήθηκε και σχεδιάστηκε με τρόπο που να περιγράφεται με γραμμικές εξισώσεις. Το φίλτρο αυτό είναι βολικό γιατί μπορεί να περιγράψει και δυναμικά μοντέλα με θόρυβο τόσο στις μετρήσεις όσο και στον υπολογισμό. Το φίλτρο αυτό μπορεί και διορθώνει το μοντέλο που έχει σχεδιαστεί ή για κάποιο λόγο έχει μεταβληθεί.

Το μοντέλο μελετά τέσσερις διαφορετικές περιοχές με διαφορετικά χαρακτηριστικά και πολύ διαφορετικούς δείκτες που το περιγράφουν. Λαμβάνονται επιπλέον πραγματικές τιμές από δεκαπέντε διαφορετικούς κάδους σε κάθε περιοχή. Υπολογίζεται η μέση τιμή των πραγματικών τιμών και με αυτά τα στοιχεία το φίλτρο προβλέπει την επόμενη μέση τιμή και διορθώνει το διάνυσμα κατάστασης του μοντέλου.

Μετά από την υλοποίηση του μοντέλου με τη χρήση Matlab και την εκτέλεση του επαναληπτικά για εκατό φορές, μπορεί να παρατηρήσει κανείς ότι αρχικά οι προβλέψεις των επόμενων τιμών διαφέρουν αρκετά απ' τις πραγματικές τιμές που προκύπτουν. Αντίστοιχα, παρατηρείται ότι και το διάνυμα κατάστασης των δύο φίλτρων διαφοροποιείται έντονα αρχικά αλλά καταλήγει σε ένα πιο σταθερό μοντέλο προς το τέλος των επαναλήψεων. Οι προβλεπόμενες τιμές προσεγγίζουν τις πραγματικές όσο προχωρούν οι επαναλήψεις. Αντίστοιχες παρατηρήσεις θα μπορούσαν να γίνουν και όταν τα φίλτρα εκτελούνται για χίλιες επαναλήψεις.

Μελετώντας τις επόμενες τιμές που προκύπτουν απ' τα δύο φίλτρα οι υπηρεσίες του δήμου μπορούν να σχεδιάσουν τη δρομολόγηση των οχημάτων αποκομιδής με αποτελεσματικό τρόπο.

Στη μελέτη αυτή λήφθησαν υπόψη κάποιοι από τους δείκτες που επηρεάζουν τον όγκο και την ένταση της οσμής των απορριμμάτων που παράγονται σε ένα αστικό συγκρότημα. Σε μια μελλοντική εργασία, θα μπορούσαν να συμπεριληφθούν και άλλοι παράγοντες, όπως οι ροές των πληθυσμών που εισέρχονται και εξέρχονται από μια περιοχή, τα ποιοτικά χαρακτηριστικά που έχουν τα απορρίμματα και η διαχωρισμένη αποκομιδή τους. Θα μπορούσε επίσης να σχεδιαστεί ένας αλγόριθμος δρομολόγησης απορριμμάτων.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΟΡΟΛΟΓΙΑΣ

Ξενόγλωσσος όρος	Ελληνικός Όρος
Material Flow Analysis	Ανάλυση Ροών Υλικών
Life Cycle Assessment	Εκτίμηση Κύκλου Ζωής
Material Energy Flow Analysis	Ανάλυση Ροών Υλικών Ενέργειας
Barcode	Ραβδωτός Κώδικας
Radio Frequency Identification	Ταυτοποίηση μέσω Ραδιοσυχνοτήτων
Automatic Identification System	Συστήματα Αυτόματου Προσδιορισμού
Extended Kalman Filter	Εκτεταμένο Φίλτρο Kalman

ΣΥΝΤΜΗΣΕΙΣ – ΑΡΚΤΙΚΟΛΕΞΑ – ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ

ΧΥΤΑ	Χώρος Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων
RFID	Radio frequency Identification
GPS	Global Positioning System
GPRS	General Packet Radio Service
TDMA	Time division multiple access
ΑΜ	Αστικός Μεταβολισμός
MFA	Material Flow Analysis
MEFA	Material Energy Flow Analysis
LCA	Life Cycle Assessment
ΑΣΑ	Αστικά Στερεά Απόβλητα
ΣΜΑ	Σταθμός Μεταφόρτωσης Απορριμμάτων
ΧΥΤΥ	Χώρος Υγειονομικής Ταφής Υπολειμμάτων
ΜΠΑ	Μοναδιαία Παραγωγή Απορριμμάτων
ΡΠΑ	Ρυθμός Παραγωγής Απορριμμάτων
ΠΔΟ	Πρόβλημα Δρομολόγησης Οχημάτων
ΓΤΕ	Γραμμική Τετραγωνική Εκτίμηση
EKF	Extended Kalman Filter
ISO	International Organization for Standardization
ΗΠΑ	Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [1] Urban Metabolism Literature Review, Tisha Holmes, Stephanie Pincetl UCLA Institute of the Environment, 2012
- [2] The study of urban metabolism and its applications to urban planning and design, Environmental Pollution C. Kennedy, S. Pincetl, P. Bunje, 2010
- [3] Sustainable urban metabolism as a link between bio-physical sciences and urban planning: The BRIDIGE project, Landscape and Urban Planning, Nektarios Chrysoulakis, Myriam Lopes, Roberto San Jose, C. Grimmond M. Jones, and al, 2012
- [4] Βιώσιμη Διαχείριση Αστικών Στερεών Αποβλήτων, Παναγιωτακόπουλος Δ., 2007
- [5] Κέντρο Εκπαιδευτικής Έρευνας www.kee.gr/perivallontiki/teacher8_4.html (προσπελάστηκε 1-7-2015)
- [6] Ελληνική Εταιρεία Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων www.eedsa.gr/Contents.aspx?CatId=96 (προσπελάστηκε 1-7-2015)
- [7] aix.meng.auth.gr/lhtee/education/swm1.pdf
Σύνδεσμος Διαχείρισης Απορριμμάτων Ν. Φωκίδας www.ecofokida.gr/node/40 (προσπελάστηκε 1-7-2015)
- [8] Τεχνικές Διαχείρισης Αστικών Αποβλήτων ΦοΣΔΑ www.eedsa.gr/Contents.aspx?CatId=96 (προσπελάστηκε 1-7-2015)
- [9] Odor-Wikipedia the encyclopedia en.wikipedia.org/wiki/Odor (προσπελάστηκε 1-7-2015)
- [10] Σχεδιασμός και Βελτιστοποίηση Συστημάτων Διαχείρισης Αστικών Αποβλήτων, Εγχειρίδιο για την πρόγνωση των αστικών αποβλήτων και την αξιολόγηση της βιωσιμότητας των συστημάτων διαχείρισης των, Κωνσταντινιά Τσιλέμου, Δημητριος Παναγιωτακόπουλος, ΔΠΘ Εργαστήριο οργάνωσης και προγραμματισμού, 2005 ερευνητική εργασία
- [11] Municipal Solid Waste Recycle Management Information Platform Based on Internet Of Things Technology, 2010 International Conference on Multimedia Information Networking and Security, Chen Tap, Li Xiang, 2010
- [12] Παραγωγή Στερεών Αποβλήτων LABORATORY OF HEAT TRANSFER AND ENVIRONMENTAL ENGINEERING (LHTEE) aix.meng.auth.gr/lhtee/ (προσπελάστηκε 1-7-2015)
- [13] RFID-Wikipedia, el.wikipedia.org/wiki/RFID (προσπελάστηκε 1-7-2015)
- [14] General Packet Radio Service-Wikipedia, en.wikipedia.org/wiki/General_Packet_Radio_Service (προσπελάστηκε 1-7-2015)
- [15] Global Positioning System – Wikipedia en.wikipedia.org/wiki/Global_Positioning_System (προσπελάστηκε 1-7-2015)
- [16] Waste collection multi objective model with real time traceability data, Waste Management 31, Maurizio Faccio, Alessandro Persona, Giorgia Zanin, 2011
- [17] Διαχείριση Απορριμμάτων και Αστικό περιβάλλον, ΤΕΕ ,Αβραάμ Καραγιαννίδης, Άννα Ξηρογιαννοπούλου, Παναγιώτα Αδελινίδου, 2006

Μοντέλο μεταβολισμού αστικού συγκροτήματος με έλεγχο ανατροφοδότησης

[18] The effect of Dynamic scheduling and routing in a solid waste management system, Waste Management 26, Ola M. Johansson, 2005

[19] An Introduction to the Kalman Filter, Greg Welch and Gary Bishop, 2006

[20] Kalman Filter – Wikipedia, en.wikipedia.org/wiki/Kalman_filter (προσπελάστηκε 1-7-2015)

[21] Στοιχεία περιοχών www.atlas.d-waste.com/