



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΙΙ – ΑΝΑΛΥΣΗ, ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ  
ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΤΟΥ ΣΠΟΥΔΑΣΤΗ**

*ΝΙΚΗΤΑΚΗ – ΓΑΤΟΥ ΔΗΜΗΤΡΗ*

**Πολυφορικό σύστημα Αξιολόγησης και  
Προτυποποίησης οικονομικών και περιβαλλοντικών  
δράσεων στα πλαίσια της Κυκλικής Οικονομίας**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ**

*ΚΟΚΟΣΗΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ*

**ΑΘΗΝΑ**

ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2019

---





ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΙΙ – ΑΝΑΛΥΣΗ, ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ  
ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

## **Πολυφορικό σύστημα Αξιολόγησης και Προτυποποίησης οικονομικών και περιβαλλοντικών δράσεων στα πλαίσια της Κυκλικής Οικονομίας**

**Διπλωματική Εργασία του Σπουδαστή:** Δημήτριου Νικητάκη- Γάτου

**Επιβλέπων Καθηγητής:** Αντώνιος Κοκόσης

**Τριμελής Επιτροπή:** Αντώνιος Κοκόσης Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Κωνσταντίνος Μπέλτσιος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Άγγελος Τσακανίκας Επικ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

**ΑΘΗΝΑ**

ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2019

---



## Ευχαριστίες

*Καθώς με τη διπλωματική εργασία μου η φοιτητική ζωή μου στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο φτάνει στο τέλος της θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή Αντώνιο Κοκόση, αφενός για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον θέμα και αφετέρου για την εξαιρετική συνεργασία μας. Τα σχόλια και οι επισημάνσεις του καθώς και οι προκλήσεις που συνόδευαν το ερευνητικό αυτό εγχείρημα ήταν καίριας σημασίας και χωρίς αυτά δεν θα είχε υλοποιηθεί η παρούσα διπλωματική εργασία.*

*Ακόμα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον συνάδελφο Γιώργο Λιγνό για την υποστήριξη και τη βοήθεια που μου παρείχε, καθώς και όλο το ερευνητικό προσωπικό του εργαστηρίου για τις συμβουλές, τις επισημάνσεις και για το ευχάριστο κλίμα που διαμορφώθηκε μεταξύ μας.*

*Εκτός των ευχαριστιών δεν θα μπορούσα να έχω τους φίλους μου, οι οποίοι με στηρίζουν, πιστεύουν σε εμένα και είναι πάντα δίπλα μου. Τέλος, οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένειά μου τόσο για την στήριξη τόσων ετών όσο για όλα τα εφόδια που μου προσέφεραν για να πετύχω τους στόχους μου.*

# Περιεχόμενα

Κατάλογος Εικόνων.....	iii
Κατάλογος Διαγραμμάτων.....	iv
Κατάλογος Πινάκων.....	vii
Περίληψη.....	viii
Abstract.....	ix
<b>Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή</b> .....	1
<b>Κεφάλαιο 2: Παραγωγή Απορριμμάτων</b> .....	4
2.1 Υφιστάμενη Κατάσταση Παραγωγής Αποβλήτων στην ΕΕ και στην Ελλάδα.....	4
2.2 Δημοτικά αποβλήτα σε Ευρώπη και Ελλάδα.....	7
<b>Κεφάλαιο 3: Διαχείριση Απορριμμάτων</b> .....	9
3.1 Διαχείριση Απορριμμάτων στην ΕΕ και στην Ελλάδα.....	9
3.2 Διαχείριση Δημοτικών Απορριμμάτων σε ΕΕ και Ελλάδα.....	12
3.3 Παραγωγή και Διαχείριση Απορριμμάτων στην Ελλάδα (ΕΣΔΑ 2011).....	13
3.4 Κυκλική Οικονομία: Στόχοι και Δείκτες.....	17
<b>Κεφάλαιο 4: Agent Based Modelling</b> .....	22
4.1 ABMS: Agent-Based Modelling And Simulation.....	22
4.2 NetLogo.....	25
4.2.1 Περίληψη.....	25
4.2.2 Δομικοί Λίθοι NetLogo.....	25
<b>Κεφάλαιο 5: Αλγόριθμοι και Μέθοδος</b> .....	30
5.1 Low Level Analysis.....	30
5.1.1 Περιγραφή Μεταβλητών – Παραμέτρων – Δομικών Μονάδων του συστήματος.....	30
5.1.2 Αρχή λειτουργίας Low Level.....	38
5.2 High Level Analysis.....	42
5.2.1 Περιγραφή Μεταβλητών – Παραμέτρων – Δομικών Μονάδων High Level συστήματος.....	42
5.2.2 Αρχή λειτουργίας High Level.....	50
5.2.3 Μέθοδος και Πείραμα.....	56
5.2.4 Μέθοδος και πείραμα Low Level Analysis.....	58
5.2.5 Μέθοδος και πείραμα High Level Analysis.....	63
<b>Κεφάλαιο 6: Αποτελέσματα</b> .....	65
6.1 Αποτελέσματα Πειραμάτων Low Level Analysis.....	65
6.1.1 Απόσταση που διανύουν οι κάτοικοι σε σχέση με τις δομές που παρέχει ο Δήμος.....	65

6.1.2 Πληρότητα των κάδων σε σχέση με τις δομές που παρέχει ο Δήμος .....	77
6.1.3 Οικονομική ανάλυση συστήματος διαχείρισης απορριμμάτων .....	101
6.1.4 Ανάλυση αποτελεσμάτων.....	106
6.2 Αποτελέσματα High Level Analysis .....	109
6.2.1 Επιπτώσεις Δήμου στο σύστημα και οικονομική μελέτη.....	109
<b>Κεφάλαιο 7: Συμπεράσματα και μελλοντική έρευνα .....</b>	<b>113</b>
<b>Κεφάλαιο 8: Βιβλιογραφία .....</b>	<b>115</b>

## Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1 Ποσοστιαία Διάρθρωση Απορριμμάτων στην Ευρώπη ανά κατηγορία ( <b>Eurostat</b> ) .....	5
Εικόνα 2 Παραγωγή απορριμμάτων ανά κάτοικο στην ΕΕ ( <b>Eurostat</b> ) .....	6
Εικόνα 3 Παραγωγή απορριμμάτων ανά κάτοικο στην ΕΕ εξαιρώντας τα απορρίμματα εξορυκτικού και κατασκευαστικού τομέα (Eurostat).....	7
Εικόνα 4 Παραγωγή Δημοτικών Απορριμμάτων ανά χώρα ( <b>Eurostat</b> ).....	8
Εικόνα 5 Πορεία Ανάκτησης- Διάθεσης Αποβλήτων στην ΕΕ (έτος αναφοράς 2004 - Eurostat ).....	10
Εικόνα 6 Ποσοστιαία Διάρθρωση Ανάκτησης και Διάθεσης απορριμμάτων στην ΕΕ (Eurostat) .....	11
Εικόνα 7 Ανάκτηση και Διάθεση Δημοτικών Απορριμμάτων στην ΕΕ (έτη 1995- 2017 <b>Eurostat</b> ).....	12
Εικόνα 8 Διαχείριση δημοτικών απορριμμάτων στην Ευρώπη (kg/άτομο).....	12
Εικόνα 9 Επεξήγηση Δεικτών κυκλικής οικονομίας.....	18
Εικόνα 10 Χαρακτηριστικά ενός Agent [ <b>4</b> ] .....	24
Εικόνα 11 NetLogo's Wolf-Sheep Predator .....	25
Εικόνα 12 Διαχωρισμός απορριμμάτων από τους Δημότες σε σχέση με τους τύπους κάδων που προσφέρει ο Δήμος .....	33
Εικόνα 13 Interface Low Level Analysis .....	36
Εικόνα 14 Interface of High Level Analysis Algorithm .....	50
Εικόνα 15 Πορεία απορριμμάτων στο σύστημα .....	51
Εικόνα 16 Λειτουργία ΚΔΑΥ (Τα ποσοστά %AL etc καθορίζονται από το χρήστη) .....	53
Εικόνα 17 Λειτουργία εταιρείας ανακύκλωσης .....	53
Εικόνα 18 Συγκεντρωτικό Διάγραμμα αποτύπωσης της μεθόδου που προτείνεται και χρήσης των αλγορίθμων .....	57
Εικόνα 19 Παραδείγματα Δήμων, Types of Bins = 1 (Επάνω), Bins Density = 15, Bins Capacity = 500kg, NR of NONRec Trucks = 2 (Κάτω) Bins Density =21, Bins Capacity = 500kg, NR of NONRec Trucks = 5 .....	59
Εικόνα 20 Διάγραμμα πληρότητας κάδων αλγορίθμου Low Level Analysis, από το NetLogo .....	60

## Κατάλογος Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1 Μοναδιαίο Κόστος Κάδων συναρτήσει της χωρητικότητάς του .....	62
Διάγραμμα 2 Απόσταση Δημοτών - Σύστημα Διαχείρισης Απορριμμάτων Types of Bins = 1, NR of NONRec Trucks = 3.....	66
Διάγραμμα 3 Απόσταση Δημοτών – Συνολική Χωρητικότητα Συστήματος Types of Bins = 1, NR of NONRec Trucks = 3.....	68
Διάγραμμα 4 Συνολική Χωρητικότητα Συστήματος (Types of Bins = 1).....	68
Διάγραμμα 5 Μεγέθυνση Διαγράμματος 2 για 70tn <System’s Capacity < 300tn .....	69
Διάγραμμα 6 Απόσταση Δημοτών - Σύστημα Διαχείρισης Απορριμμάτων Types of Bins = 1, NR of NONRec Trucks = 30.....	70
Διάγραμμα 7 Απόσταση Δημοτών - Σύστημα Διαχείρισης Απορριμμάτων Types of Bins = 2, NR of NONRec Trucks = 3, NR of REC Trucks = 3 .....	71
Διάγραμμα 8 Απόσταση Δημοτών - Σύστημα Διαχείρισης Απορριμμάτων Types of Bins = 2, NR of NONRec Trucks = 15, NR of REC Trucks = 15 .....	73
Διάγραμμα 9 Απόσταση Δημοτών – Συνολική Χωρητικότητα Συστήματος Types of Bins = 2, NR of NONRec Trucks = 15, NR of REC Trucks = 15 .....	73
Διάγραμμα 10 Μεγέθυνση Διαγράμματος 7 για 70tn < System’s Capacity < 300tn .....	74
Διάγραμμα 11 Απόσταση Δημοτών - Σύστημα Διαχείρισης Απορριμμάτων Types of Bins = 3, NR of NONRec Trucks = 3, NR of REC Trucks = 3, NR of BIO Trucks = 3.....	76
Διάγραμμα 12 Απόσταση Δημοτών - Σύστημα Διαχείρισης Απορριμμάτων Types of Bins = 3, NR of NONRec Trucks = 15, NR of REC Trucks = 15, NR of BIO Trucks = 15.....	76
Διάγραμμα 13 Ποσοστό κάδων συστήματος για πληρότητες κάδων 80-100% και >100% NR OF TRUCKS: NON RECYCLING = 1.....	78
Διάγραμμα 14 Ποσοστό κάδων συστήματος για πληρότητες κάδων 80-100% και >100% NR OF TRUCKS: NON RECYCLING = 3.....	80
Διάγραμμα 15 Ποσοστό κάδων συστήματος για πληρότητες κάδων 80-100% και >100% NR OF TRUCKS: NON RECYCLING = 5.....	80
Διάγραμμα 16 Ποσοστό κάδων συστήματος για πληρότητες κάδων 80-100% και >100% NR OF TRUCKS: NON RECYCLING = 7.....	81
Διάγραμμα 17 Ποσοστό κάδων συστήματος για πληρότητες κάδων 80-100% και >100% NR OF TRUCKS: NON RECYCLING = 10.....	82
Διάγραμμα 18 Ποσοστό κάδων συστήματος για πληρότητες κάδων 80-100% και >100% NR OF TRUCKS: NON RECYCLING = 12.....	82
Διάγραμμα 19 Ποσοστό κάδων συστήματος για πληρότητες κάδων 80-100% και >100% NR OF TRUCKS: NON RECYCLING = 14.....	83
Διάγραμμα 20 Όριο ανοχής πυκνότητας και χωρητικότητας συστήματος σε σχέση με τον αριθμό απορριμματοφόρων, Σημεία που παρατηρείται οι κάδοι με πληρότητα 80-100% να αποτελούν άνω του 10% των κάδων του συστήματος .....	84
Διάγραμμα 21 Όριο ανοχής πυκνότητας και χωρητικότητας συστήματος σε σχέση με τον αριθμό απορριμματοφόρων, Σημεία που παρατηρείται οι κάδοι με πληρότητα 80-100% να αποτελούν άνω του 5% των κάδων του συστήματος.....	84



Διάγραμμα 22 Όριο ανοχής πυκνότητας και χωρητικότητας συστήματος σε σχέση με τον αριθμό απορριμματοφόρων, Σημεία που παρατηρείται οι κάδοι με πληρότητα 80-100% να αποτελούν άνω του 2% των κάδων του συστήματος.....	85
Διάγραμμα 23 Όριο ανοχής πυκνότητας και χωρητικότητας συστήματος σε σχέση με τον αριθμό απορριμματοφόρων, Σημεία που παρατηρείται οι κάδοι με πληρότητα >100% να αποτελούν άνω του 5% των κάδων του συστήματος.....	85
Διάγραμμα 24 Όριο ανοχής πυκνότητας και χωρητικότητας συστήματος σε σχέση με τον αριθμό απορριμματοφόρων, Σημεία που παρατηρείται οι κάδοι με πληρότητα >100% να αποτελούν άνω του 2% των κάδων του συστήματος.....	86
Διάγραμμα 25 Όριο ανοχής πυκνότητας και χωρητικότητας συστήματος σε σχέση με τον αριθμό απορριμματοφόρων, Σημεία που παρατηρείται οι κάδοι με πληρότητα >100% να αποτελούν άνω του 1% των κάδων του συστήματος.....	86
Διάγραμμα 26 Ποσοστό μη ανακυκλώσιμων κάδων συστήματος για πληρότητες κάδων 80-100% και >100% NR OF TRUCKS: NON RECYCLING = 1 Types of Bins = 2 .....	88
Διάγραμμα 27 Ποσοστό μη ανακυκλώσιμων κάδων συστήματος για πληρότητες κάδων 80-100% και >100% NR OF TRUCKS: NON RECYCLING = 3 Types of Bins = 2 .....	88
Διάγραμμα 28 Ποσοστό μη ανακυκλώσιμων κάδων συστήματος για πληρότητες κάδων 80-100% και >100% NR OF TRUCKS: NON RECYCLING = 5 Types of Bins = 2 .....	89
Διάγραμμα 29 Ποσοστό μη ανακυκλώσιμων κάδων συστήματος για πληρότητες κάδων 80-100% και >100% NR OF TRUCKS: NON RECYCLING = 7 Types of Bins = 2 .....	89
Διάγραμμα 30 Ποσοστό μη ανακυκλώσιμων κάδων συστήματος για πληρότητες κάδων 80-100% και >100% NR OF TRUCKS: NON RECYCLING = 10 Types of Bins = 2 .....	90
Διάγραμμα 31 Ποσοστό ανακυκλώσιμων κάδων συστήματος για πληρότητες κάδων 80-100% και >100% NR OF TRUCKS: RECYCLING = 1 Types of Bins = 2 .....	91
Διάγραμμα 32 Ποσοστό ανακυκλώσιμων κάδων συστήματος για πληρότητες κάδων 80-100% και >100% NR OF TRUCKS: RECYCLING = 3 Types of Bins = 2 .....	91
Διάγραμμα 33 Ποσοστό ανακυκλώσιμων κάδων συστήματος για πληρότητες κάδων 80-100% και >100% NR OF TRUCKS: RECYCLING = 5 Types of Bins = 2 .....	92
Διάγραμμα 34 Ποσοστό ανακυκλώσιμων κάδων συστήματος για πληρότητες κάδων 80-100% και >100% NR OF TRUCKS: RECYCLING = 7 Types of Bins = 2 .....	92
Διάγραμμα 35 Ποσοστό ανακυκλώσιμων κάδων συστήματος για πληρότητες κάδων 80-100% και >100% NR OF TRUCKS: RECYCLING = 9 Types of Bins = 2 .....	93
Διάγραμμα 36 Ποσοστό ανακυκλώσιμων κάδων συστήματος για πληρότητες κάδων 80-100% και >100% NR OF TRUCKS: RECYCLING = 10 Types of Bins = 2 .....	93
Διάγραμμα 37 Όριο ανοχής πυκνότητας και χωρητικότητας συστήματος σε σχέση με τον αριθμό απορριμματοφόρων, Σημεία που παρατηρείται οι κάδοι μη ανακυκλώσιμων, με πληρότητα 80-100% να αποτελούν άνω του 10% των κάδων του συστήματος. Types of Bins = 2 .....	94
Διάγραμμα 38 Όριο ανοχής πυκνότητας και χωρητικότητας συστήματος σε σχέση με τον αριθμό απορριμματοφόρων, Σημεία που παρατηρείται οι κάδοι μη ανακυκλώσιμων, με πληρότητα 80-100% να αποτελούν άνω του 5% των κάδων του συστήματος. Types of Bins = 2 .....	95
Διάγραμμα 39 Όριο ανοχής πυκνότητας και χωρητικότητας συστήματος σε σχέση με τον αριθμό απορριμματοφόρων, Σημεία που παρατηρείται οι κάδοι μη ανακυκλώσιμων, με πληρότητα 80-100% να αποτελούν άνω του 2% των κάδων του συστήματος. Types of Bins = 2 .....	95

Διάγραμμα 40 Όριο ανοχής πυκνότητας και χωρητικότητας συστήματος σε σχέση με τον αριθμό απορριμματοφόρων, Σημεία που παρατηρείται οι κάδοι μη ανακυκλώσιμων με πληρότητα >100% να αποτελούν άνω του 5% των κάδων του συστήματος. Types of Bins = 2 .....	96
Διάγραμμα 41 Όριο ανοχής πυκνότητας και χωρητικότητας συστήματος σε σχέση με τον αριθμό απορριμματοφόρων, Σημεία που παρατηρείται οι κάδοι μη ανακυκλώσιμων με πληρότητα >100% να αποτελούν άνω του 2% των κάδων του συστήματος. Types of Bins =2 .....	96
Διάγραμμα 42 Όριο ανοχής πυκνότητας και χωρητικότητας συστήματος σε σχέση με τον αριθμό απορριμματοφόρων, Σημεία που παρατηρείται οι κάδοι μη ανακυκλώσιμων με πληρότητα >100% να αποτελούν άνω του 1% των κάδων του συστήματος. Types of Bins = 2 .....	97
Διάγραμμα 43 Όριο ανοχής πυκνότητας και χωρητικότητας συστήματος σε σχέση με τον αριθμό απορριμματοφόρων, Σημεία που παρατηρείται οι κάδοι ανακυκλώσιμων, με πληρότητα 80-100% να αποτελούν άνω του 10% των κάδων του συστήματος. Types of Bins = 2 .....	98
Διάγραμμα 44 Όριο ανοχής πυκνότητας και χωρητικότητας συστήματος σε σχέση με τον αριθμό απορριμματοφόρων, Σημεία που παρατηρείται οι κάδοι ανακυκλώσιμων, με πληρότητα 80-100% να αποτελούν άνω του 5% των κάδων του συστήματος. Types of Bins = 2 .....	98
Διάγραμμα 45 Όριο ανοχής πυκνότητας και χωρητικότητας συστήματος σε σχέση με τον αριθμό απορριμματοφόρων, Σημεία που παρατηρείται οι κάδοι ανακυκλώσιμων, με πληρότητα 80-100% να αποτελούν άνω του 2% των κάδων του συστήματος. Types of Bins = 2 .....	99
Διάγραμμα 46 Όριο ανοχής πυκνότητας και χωρητικότητας συστήματος σε σχέση με τον αριθμό απορριμματοφόρων, Σημεία που παρατηρείται οι κάδοι σύμμεικτων με πληρότητα >100% να αποτελούν άνω του 5% των κάδων του συστήματος. Types of Bins =2 .....	99
Διάγραμμα 47 Όριο ανοχής πυκνότητας και χωρητικότητας συστήματος σε σχέση με τον αριθμό απορριμματοφόρων, Σημεία που παρατηρείται οι κάδοι σύμμεικτων με πληρότητα >100% να αποτελούν άνω του 2% των κάδων του συστήματος. Types of Bins =2 .....	100
Διάγραμμα 48 Όριο ανοχής πυκνότητας και χωρητικότητας συστήματος σε σχέση με τον αριθμό απορριμματοφόρων, Σημεία που παρατηρείται οι κάδοι σύμμεικτων με πληρότητα >100% να αποτελούν άνω του 1% των κάδων του συστήματος. Types of Bins =2 .....	100
Διάγραμμα 49 Συνολικό Κόστος Κάδων συστήματος (Types of Bins = 1) .....	101
Διάγραμμα 50 Συνολικό Κόστος Κάδων συστήματος (Types of Bins = 1) .....	102
Διάγραμμα 51 Μηνιαίο λειτουργικό κόστος συστήματος. Types of Bins = 1, Bins Capacity = 300 .....	103
Διάγραμμα 52 Μηνιαίο λειτουργικό κόστος απορριμματοφόρων συλλογής μη ανακυκλώσιμων απορριμμάτων. Types of Bins = 2, Bins Capacity = 300 .....	104
Διάγραμμα 53 Μηνιαίο λειτουργικό κόστος απορριμματοφόρων συλλογής σύμμεικτων απορριμμάτων. Types of Bins = 2, Bins Capacity = 300 .....	105
Διάγραμμα 54 Μεγέθυνση Διάγραμμα 6 στα όρια που τέθηκαν για να είναι αποδεκτό το σύστημα ...	106
Διάγραμμα 55 Χρόνος πλήρωσης ΧΥΤΑ σε σχέση με τον τύπο κάδων του δήμου .....	109
Διάγραμμα 56 Κόστος διαχείρισης απορριμμάτων του Δήμου ανά κάτοικο .....	110
Διάγραμμα 57 Δημοτικά τέλη για την διατήρηση του συστήματος διαχείρισης απορριμμάτων .....	110
Διάγραμμα 58 High Level Analysis, περιβαλλοντικοί δείκτες προς μελέτη δήμου .....	112

## Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1 Παραγωγή απορριμμάτων έτους 2011 [11].....	13
Πίνακας 2 Διάθεση και Ανάκτηση μη επικίνδυνων απορριμμάτων ΑΣΑ (Ελλάδα).....	15
Πίνακας 3 Δείκτες για την κυκλική οικονομία που περιλαμβάνονται στο πλαίσιο παρακαλούθησης [8] .....	19
Πίνακας 4 Χρωματισμός εικονιδίων Δήμου .....	46
Πίνακας 5 Χαρακτηριστικά Δήμου και δημοτών .....	61
Πίνακας 6 Global Παράμετροι πειράματος .....	61
Πίνακας 7 Τιμές ανακυκλώσιμων ροών .....	63
Πίνακας 8 Συστάσεις εξόδου ΚΔΑΥ, οφέλιμων ανακυκλώσιμων υλικών .....	64
Πίνακας 9 Διάρθρωση συστήματος High Level Analysis .....	64
Πίνακας 10 Τιμές Μεταβλητών και βήματα για Types of bins = 1 .....	65
Πίνακας 11 Τιμές Μεταβλητών και βήματα για Types of Bins = 2.....	71
Πίνακας 12 Τιμές Μεταβλητών και βήματα για Types of Bins = 3.....	75
Πίνακας 13 Τιμές Μεταβλητών Πειράματος, Types of Bins = 1 .....	77
Πίνακας 14 Τιμές Μεταβλητών Πειράματος, Types of Bins = 2 .....	87
Πίνακας 15 Αποτελέσματα προσομοίωσης του προς μελέτη Δήμου .....	107

## Περίληψη

Το μοντέλο της σημερινής οικονομίας είναι ένα μοντέλο γραμμικό και οι επιπτώσεις από την αλόγιστη χρήση πόρων που επιφέρει καθώς και της υπερπαραγωγής απορριμμάτων που παράγει έχουν δημιουργήσει ορατά προβλήματα. Υπερισχύουσα λύση αποτελεί η μετάβαση προς ένα κυκλικό μοντέλο οικονομίας, στο οποίο τα απορρίμματα θα επαναχρησιμοποιούνται αυξάνοντας τη διάρκεια ζωής των υλικών.

Η μετάβαση προς ένα μοντέλο κυκλικής οικονομίας απαιτεί σχεδιασμό και λόγω της διαφορετικής συμπεριφοράς των εμπλεκόμενων μελών στο σύστημα, η μοντελοποίηση παρόμοιου συστήματος είναι περίπλοκη. Από τα υπάρχοντα μοντέλα, τα πολυφορικά συστήματα (*Multiagent Systems*) είναι σε θέση να περιγράψουν τις διαφορετικές συμπεριφορές μέσα σε ένα σύστημα.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής είναι η ανάπτυξη ενός πολυφορικού συστήματος που θα αξιολογεί τις επιπτώσεις των διαφορετικών σχεδιασμών συστημάτων διαχείρισης απορριμμάτων. Με τη χρήση των προτεινόμενων πολυφορικών συστημάτων και της προτεινόμενης μεθοδολογίας είναι εφικτή η εξαγωγή ποιοτικών αποτελεσμάτων σε περιβαλλοντικό, οικονομικό και κοινωνικό επίπεδο. Η αξιολόγηση των ποιοτικών αποτελεσμάτων αυτών μπορεί να οδηγήσει σε λήψη στρατηγικών αποφάσεων για το σύστημα.

Η προτεινόμενη μεθοδολογία περιλαμβάνει την ανάλυση του συστήματος σε δύο επίπεδα. Το πρώτο επίπεδο αναφέρεται στις στρατηγικές αποφάσεις εντός των ορίων ενός δήμου (*low level*), ενώ το δεύτερο αναφέρεται σε ευρύτερο σύστημα και περιγράφει τις σχέσεις μεταξύ δήμων και εταιριών ανακύκλωσης, ενώ ταυτόχρονα υπολογίζει τις περιβαλλοντικές, οικονομικές και κοινωνικές επιπτώσεις των αποφάσεων (*high level*).

**Λέξεις Κλειδιά:** Διαχείριση απορριμμάτων, πολυφορικό σύστημα, πολυπρακτορικό σύστημα, προσομοίωση, Netlogo, Κυκλική Οικονομία, Σύστημα Αξιολόγησης, Στρατηγικό μοντέλο

## Abstract

Diploma Thesis, By Nikitakis – Gatos Dimitris

**“A multi-agent systems approach to analyze and study  
economic and environmental trade-offs  
in circular economy networks”**

The model of the current economy is a linear economic model and the consequences of the overexploitation of its resources and the overproduction of waste is creating visible problems. The key solution is to move towards a circular economy model in which waste will be reused, expanding therefore the lifespan of materials.

Switching to a circular economic model requires planning and, due to the behaviors of the different agents involved in the system, modeling such a system is complicated. From the existing models, the multi-agent system describes different behaviors within a system.

The aim of this thesis is to develop an agent-based system that will evaluate the impact of different strategic designs of waste management systems. By using the proposed agent-based systems and the proposed methodology one can get qualitative results at environmental, economic and social levels. Evaluating these qualitative results can lead to strategic decisions for the system.

The proposed methodology involves a two-level system analysis. The first level refers to strategic decisions within a municipality and takes into account the different behaviors of the residents (*low level*), while the second refers to a broader system describing the relationships between municipalities and the recycling industry, while simultaneously provides the environmental, economic and social impacts of the decisions (*high level*).

**Keywords:** Waste management, Municipal waste management, Agent- Based Modelling and Simulation, Netlogo, Circular Economy, Evaluation strategic model



## Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

Ο γενικός τίτλος της εργασίας «Πολυφορικό σύστημα αξιολόγησης και προτυποποίησης οικονομικών και περιβαλλοντικών δράσεων στα πλαίσια της κυκλικής οικονομίας: η περίπτωση των αστικών απορριμμάτων» εισάγει μία σειρά όρων που απαιτούν αποσαφήνιση και αυτό θα αποπειραθούμε στα κεφάλαια που ακολουθούν. Η παρούσα εργασία εστιάζεται στη δημιουργία ποιοτικών μοντέλων για την περιγραφή και απεικόνιση συμπεριφορών των ενδιαφερόμενων μελών στο σύστημα διαχείρισης απορριμμάτων. Παράλληλα, προτείνεται η μέθοδος και οι δείκτες για την μέτρηση οικονομικών και περιβαλλοντικών επιπτώσεων αναλόγως με το προς μελέτη σύστημα, με σκοπό την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων αυτών και την αξιοποίηση τους για τη λήψη στρατηγικών επιλογών.

Σήμερα, η κλιματική αλλαγή και η σύνδεσή της με το σύστημα διαχείρισης ρύπων και απορριμμάτων βρίσκονται στο επίκεντρο του κοινωνικού διαλόγου σε όλα τα μήκη και πλάτη του πλανήτη. Η συνεισφορά μίας προσπάθειας μοντελοποίησης του συστήματος διαχείρισης των αστικών απορριμμάτων εντάσσεται στο γενικότερο κλίμα προβληματισμού και θέλουμε να ελπίζουμε ότι η διπλωματική αυτή εργασία να συνεισφέρει έστω και λίγο θετικά στη μελέτη του τεράστιου ζητήματος των απορριμμάτων.

Το σύστημα διαχείρισης των απορριμμάτων είναι ιδιαίτερα περίπλοκο, και έχει ενδιαφερόμενα μέρη πολίτες, εταιρείες, δημοτικές αρχές και κράτος, όπου το κάθε μέρος έχει διαφορετική συμπεριφορά και διαφορετικούς στόχους. Η μελέτη της σχετικής βιβλιογραφίας δεν μας οδήγησε σε ένα ήδη υπάρχον μοντέλο ενός τέτοιου συστήματος. Για την δημιουργία αυτού του μοντέλου πρέπει σε πρώτο στάδιο να βρεθεί μία πλατφόρμα όπου να είναι εφικτός καθορισμός και η εφαρμογή των συμπεριφορών των ενδιαφερόμενων μερών. Ίσως ο μοναδικός τρόπος απεικόνισης του εν λόγω συστήματος να είναι με την βοήθεια πολυφορικών συστημάτων (*Agent Based Modelling*). Στόχος της παρούσας διπλωματικής είναι η δημιουργία ενός τέτοιου μοντέλου το οποίο θα βοηθήσει στη λήψη στρατηγικών αποφασέων, μεταβάλλοντας διάφορες σχεδιαστικές μεταβλητές και παραμέτρους με στόχο την ανάπτυξη ενός κυκλικού μοντέλου οικονομίας, με όσο το δυνατόν καλύτερη μεγιστοποίηση του οφέλους.

Για την αποτύπωση του προτεινόμενου συστήματος έγινε η χρήση του ελεύθερου λογισμικού Netlogo. Πρόκειται για μία πλατφόρμα πολυφορικού συστήματος. Κατά τη διάρκεια της διπλωματικής μελετήθηκε το σύστημα διαχείρισης απορριμμάτων, εντοπίστηκαν οι σημαντικές παράμετροι και προτάθηκε μία μεθοδολογία.

Κατά την παρούσα διπλωματική εργασία, καθορίστηκαν δύο διαφορετικά συστήματα. Το πρώτο που επικεντρώνεται στη συμπεριφορά των πολιτών και στις δομές των Δήμων, όπου μετριοούνται τα αποτελέσματα των επιλογών των εκάστοτε δομών του συστήματος διαχείρισης απορριμμάτων. Το δεύτερο, αποτυπώνει τις σχέσεις μεταξύ εταιρειών και Δήμων, καθορίζεται το πλαίσιο σχέσεων, και μετρούνται οι περιβαλλοντικές και οικονομικές επιπτώσεις των σχέσεων και του πλαισίου συνεργασίας. Ταυτόχρονα, προτάθηκε ένα σύμπλεγμα δεικτών για τη μέτρηση του οφέλους κάθε διαφορετικού σεναρίου.

Το σύστημα διαχείρισης απορριμμάτων δεν έχει σαφή όρια και επειδή σε αυτό εμπλέκονται αρκετά ενδιαφερόμενα μέρη η αποτύπωση ενός τέτοιου μοντέλου καθίσταται αρκετά δύσκολη ή ακόμα και

αδύνατη. Στο μοντέλο που δημιουργήσαμε για να μελετήσουμε ορισμένους από τους συσχετισμούς των εμπλεκόμενων μερών θελήσαμε να παραμετροποιήσουμε, επίσης, και τις συμπεριφορές των νοικοκυριών, κάτι που θεωρούμε ότι αποτελεί ένα βήμα παραπάνω προς τη σφαιρικότερη μελέτη οικονομικών και περιβαλλοντικών δράσεων.

Εν πολλοίς, η διαχείριση των απορριμμάτων ξεκινάει από τις καταναλωτικές συμπεριφορές των πολιτών, καθώς και από την περιβαλλοντική τους ευαισθησία. Από αυτούς καθορίζεται το πόση ανακύκλωση θα κάνουν, ενώ το εάν μπορούν να κάνουν ανακύκλωση εξαρτάται από τις δομές που παρέχουν οι δημοτικές αρχές, δηλαδή από το σύστημα συλλογής απορριμμάτων που προσφέρει ο εκάστοτε Δήμος. Τη διάσταση αυτή έχουμε αποτυπώσει στο μοντέλο που δημιουργήσαμε και επεξεργαστήκαμε στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας.

Ο Δήμος με τη σειρά του οφείλει να εξασφαλίζει ένα σύστημα διαλογής με το οποίο να επιτυγχάνεται η αποκομιδή των απορριμμάτων που παράγονται από τους πολίτες, να απομακρύνει τα απορρίμματα από τις κατοικήσιμες περιοχές, να τα οδηγεί για περαιτέρω επεξεργασία, φροντίζοντας ώστε οι πολίτες να είναι ευχαριστημένοι από τις υπηρεσίες καθαριότητας και διαχείρισης των απορριμμάτων. Στην περίπτωση που τα απορρίμματα που έχουν συλλεχθεί δεν έχουν κάποια αξία, οδηγούνται σε χώρους ταφής, όπου ο Δήμος χρεώνεται και με τη σειρά του χρεώνει τους πολίτες. Για να μπορέσει να δώσει μεγαλύτερη αξία στα συλλεχθέντα απορρίμματα, ο Δήμος οφείλει να δημιουργήσει ένα κατάλληλο σύστημα ξεχωριστών ροών απορριμμάτων. Σε αυτό το σημείο γίνεται ο τεχνοοικονομικός έλεγχος, εάν δηλαδή η απόφαση αλλαγής του συστήματος διαχείρισης θα επιφέρει οικονομικό όφελος και εν τέλει θα οδηγήσει στη βιωσιμότητα του Δήμου.

Όταν ο Δήμος δημιουργήσει αυτές τις ροές και διαθέτει πλέον υλικό μεγαλύτερης αξίας, μπορεί να παίξει έναν αναβαθμισμένο ρόλο στην αγορά των ανακυκλώσιμων και μπορεί να διαθέσει τα προϊόντα της ανακύκλωσης σε ενδιαφερόμενες εταιρείες ανακύκλωσης έναντι κάποιας ανταμοιβής. Φυσικά η αξία των υλικών που έχουν συλλεχθεί εξαρτάται από την ποιότητα ανακύκλωσης που έχουν κάνει οι κάτοικοι. Όσο καλύτερη είναι η ποιότητα των υλικών που έχουν συλλεχθεί, τόσο μεγαλύτερο είναι το όφελος για τον Δήμο και κατά συνέπεια για τον κάτοικο.

Οι Δήμοι μετά την συλλογή των απορριμμάτων αποκτούν τον ρόλο διαχειριστή (*stakeholder*) που μπορεί να πάρει αυτόνομες αποφάσεις για τη διάθεση του πολύτιμου υλικού, το οποίο έχει συλλέξει. Ταυτόχρονα, η κερδοφορία των εταιρειών ανακύκλωσης εξαρτάται από τις συμφωνίες που θα γίνουν με τους Δήμους, από την ποσότητα και την ποιότητα των υλικών που θα λάβει.

Πέρα όμως από τα οικονομικά κριτήρια (κέρδος Δήμου, χαμηλότερες χρεώσεις στους δημότες) υπάρχουν και τα περιβαλλοντικά κριτήρια, καθώς η απόθεση απορριμμάτων τόσων ετών στους χώρους υγειονομικής ταφής σε συνεργασία με την ολοένα αυξανόμενη παραγωγή απορριμμάτων έχει πλήξει το περιβάλλον. Στους ήδη υπάρχοντες παίχτες του συστήματος, το Κράτος λαμβάνει έναν εποπτικό ρόλο καθορίζοντας το νομοθετικό πλαίσιο και στόχος του είναι το μέγιστο δυνατό όφελος σε περιβαλλοντικό, οικονομικό και κοινωνικό επίπεδο. Στόχος του κράτους είναι η ώθηση της οικονομίας προς ένα κυκλικό μοντέλο οικονομίας. Με τη χρήση των συστημάτων που αναπτύχθηκαν είναι εφικτός ο έλεγχος των αποφάσεων που θα ληφθούν ανάλογα με τη συμπεριφορά των υπόλοιπων μελών.



Στο πρώτο κεφάλαιο της εν λόγω εργασίας αποτυπώνεται η υπάρχουσα κατάσταση παραγωγής απορριμμάτων στην Ευρώπη και στην Ελλάδα, ενώ στο δεύτερο αποτυπώνεται η κατάσταση της διαχείρισης των απορριμμάτων και τα αποτελέσματα της. Στη συνέχεια αποτυπώνεται το θεωρητικό υπόβαθρο των πολυφορικών συστημάτων (ABMS) και μετά ο τρόπος με τον οποίο αξιοποιήθηκαν για την ανάπτυξη των αλγορίθμων. Σε επόμενο κεφάλαιο περιγράφεται η μέθοδος που ακολουθήθηκε καθώς και ένα παράδειγμα υποθετικού Δήμου με τα αποτελέσματα από τη χρήση των μοντέλων που αναπτύχθηκαν. Τέλος, αναφέρονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν και οι διάφορες προτάσεις για μελλοντική έρευνα και περαιτέρω αξιοποίηση των δημιουργηθέντων συστημάτων.

## Κεφάλαιο 2: Παραγωγή Απορριμμάτων

Η αύξηση του πληθυσμού και η διαρκής βελτίωση του επιπέδου ζωής των ανθρώπων παράγει όλο και περισσότερα απορρίμματα τόσο από τον πληθυσμό, όσο και από τις βιομηχανίες. Σε παγκόσμιο επίπεδο ακολουθείται μία γραμμική μορφή παραγωγής απορριμμάτων, καθώς τα προϊόντα που παράγονται από τη βιομηχανία, χρησιμοποιούνται και στη συνέχεια απορρίπτονται χωρίς περαιτέρω επεξεργασία ή εκμετάλλευση.

Για να επιβιώνουν και να ευημερούν οι βιομηχανίες καλούνται να αυξάνουν διαρκώς την παραγωγικότητά τους. Αυτό οδηγεί στην αύξηση των απορριμμάτων τους, στη μείωση των διαθέσιμων προς εκμετάλλευση πόρων, καθώς και στην υποβάθμιση του περιβάλλοντος λόγω των εκπομπών τους. Ταυτόχρονα, κύρια στρατηγική των εταιρειών ήταν η ανάπτυξη νέων, καλύτερων προϊόντων όπου ο καταναλωτής «όφειλε να αγοράσει» οδηγώντας σε υπερκατανάλωση, κατασπατάληση πόρων και μειώνοντας τη διάρκεια ζωής των προϊόντων.

Απόρροια της στρατηγικής αυτής ήταν η αύξηση της ποσότητας των απορριμμάτων, η οποία πέρα από τη μόλυνση στο περιβάλλον δημιουργεί, επίσης, και ένα μεγάλο θέμα διαχείρισης, σε τοπικό, περιφερειακό, εθνικό ακόμα και παγκόσμιο επίπεδο. Είναι επιτακτική συνεπώς η ανάγκη για την κατάλληλη στρατηγική διαχείρισης των απορριμμάτων, που θα μπορέσει να μεγιστοποιήσει τα οφέλη και να ελαχιστοποιήσει τις αρνητικές επιπτώσεις.

### 2.1 Υφιστάμενη Κατάσταση Παραγωγής Αποβλήτων στην ΕΕ και στην Ελλάδα

Σύμφωνα με στοιχεία της Eurostat, κάθε χρόνο χρησιμοποιούνται σχεδόν 15 τόνοι υλικών ανά άτομο, ενώ κάθε πολίτης παράγει κατά μέσο όρο πάνω από 4,5 τόνους αποβλήτων εκ των οποίων το μισό καταλήγει σε χώρους υγειονομικής ταφής. [15] Τα δεδομένα της Eurostat σχετικά με την παραγωγή των αποβλήτων ανανεώνονται ανά 2 χρόνια. Η πιο πρόσφατη μελέτη της Eurostat (Ιούνιος 2019), περιέχει συγκεντρωτικά στοιχεία των χωρών της ΕΕ μέχρι το 2016. Από αυτή τη στατιστική ανάλυση προκύπτει ότι το έτος 2016 τα συνολικά παραγόμενα από όλες τις οικονομικές δραστηριότητες απόβλητα και τα νοικοκυριά εκτιμώνται στα 2.538 εκατομμύρια τόνους. Όπως είναι αναμενόμενο, το συνολικό παραγόμενο απόβλητο εξαρτάται από τον πληθυσμό, ενώ φαίνεται να συνδέεται και με το οικονομικό μέγεθος μίας χώρας. Όπως απεικονίζεται και στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 2), οι μικρότερες χώρες της ΕΕ-28 ανέφεραν χαμηλότερα επίπεδα παραγωγής αποβλήτων και οι μεγαλύτερες χώρες υψηλότερα. Εξαίρεση αποτελούν η Βουλγαρία και η Ρουμανία που φαίνεται να παράγουν μεγάλη ποσότητα απορριμμάτων σε σχέση με το μέγεθος τους. Αντίστοιχα, αρκετά χαμηλή ποσότητα απορριμμάτων παρατηρείται στη Ιταλία. Αυτά τα μεγέθη παραμένουν διαχρονικά σχετικά σταθερά, ενώ φαίνεται ότι η ΕΕ-28 το 2014 παρήγαγε 2.503 εκατομμύρια τόνους αποβλήτων.

Όπως αποδεικνύεται και από τα στοιχεία της Eurostat (Εικόνα 1) είναι προφανές ότι το μεγαλύτερο ποσοστό των απορριμμάτων αντιστοιχεί στον χώρο των εξορύξεων και στον κατασκευαστικό τομέα, ενώ ταυτόχρονα, παρατηρείται σε όλη την Ευρώπη, ότι τα απόβλητα των νοικοκυριών σε σχέση με τα συνολικά απόβλητα αντιστοιχούν σε πολύ μικρό ποσοστό. Τέλος, προκύπτει ότι (Εικόνα 1) η Ελλάδα έχει αρκετά υψηλότερα ποσοστά απορριμμάτων στον τομέα των εξορύξεων και των λατομείων σε σχέση με τον ευρωπαϊκό μέσο όρο, λόγω της μεγάλης εξορυκτικής δραστηριότητας της χώρας.

**Waste generation by economic activities and households, 2016**  
(%)

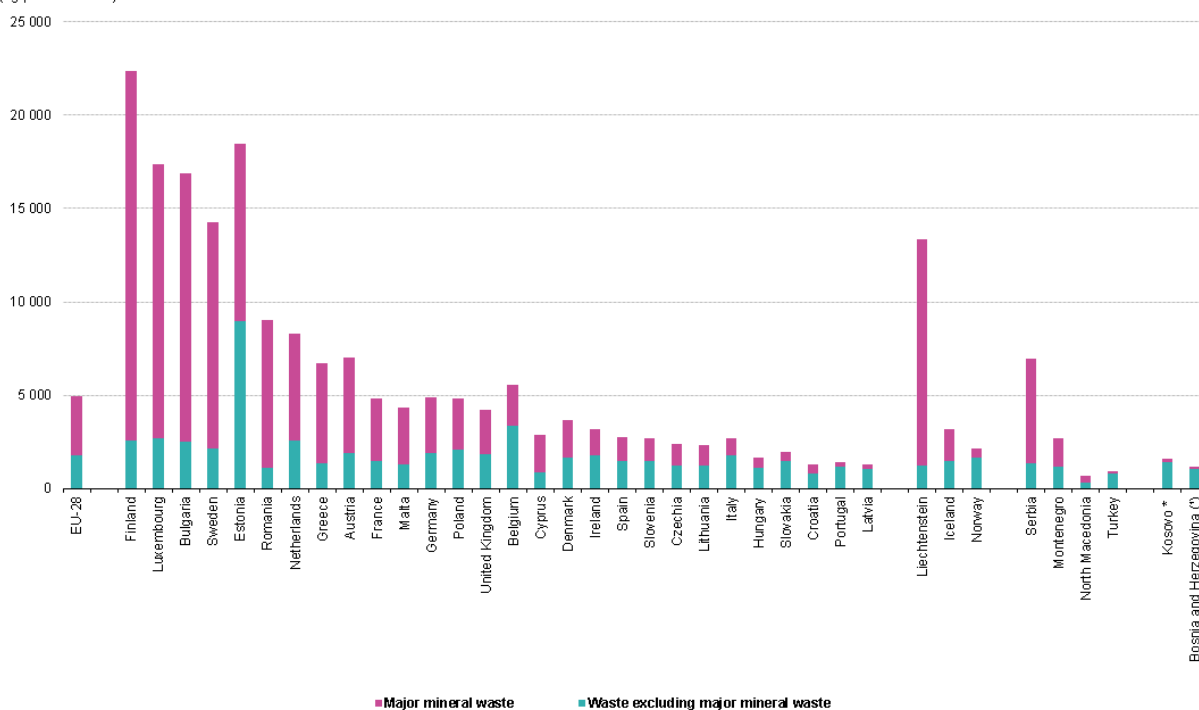
	Mining and quarrying	Manufacturing	Energy	Construction and demolition	Other economic activities	Households
<b>EU-28</b>	25	10	3	36	16	8
Belgium	0	23	1	31	36	8
Bulgaria	82	3	8	2	3	2
Czechia	1	18	4	40	23	14
Denmark	0	5	4	58	16	17
Germany	2	14	3	55	17	9
Estonia	26	37	25	5	6	2
Ireland	16	35	2	10	28	10
Greece	78	6	4	1	4	7
Spain	16	11	3	28	26	17
France	1	7	0	69	14	9
Croatia	12	8	2	24	31	22
Italy	0	17	2	33	29	18
Cyprus	5	33	0	36	10	16
Latvia	0	19	11	4	30	34
Lithuania	1	41	2	8	32	17
Luxembourg	0	7	0	75	11	6
Hungary	1	17	16	23	25	18
Malta	8	1	0	69	13	8
Netherlands	0	10	1	70	13	6
Austria	0	9	1	73	10	7
Poland	39	17	11	10	18	5
Portugal	3	17	1	12	35	33
Romania	87	4	4	0	3	2
Slovenia	0	26	14	10	38	12
Slovakia	3	32	9	9	29	18
Finland	76	8	1	11	3	1
Sweden	77	4	1	7	7	3
United Kingdom	6	4	0	49	30	10
Iceland	0	25	0	4	31	40
Liechtenstein	3	2	0	88	1	5
Norway	3	14	2	27	32	22
Montenegro	19	2	18	37	10	13
North Macedonia	49	51	0	0	0	0
Serbia	79	3	12	1	2	3
Turkey	11	.	26	.	.	37
Bosnia and Herzegovina (*)	2	27	71	0	0	0
Kosovo (*)	14	20	40	6	10	11

(\*) 2012.

(\*) This designation is without prejudice to positions on status, and is in line with UNSCR 1244/1999 and the ICJ Opinion on the Kosovo Declaration of Independence.  
Source: Eurostat (online data code: env\_wasgen)

*Εικόνα 1 Ποσοστιαία Διάρθρωση Απορριμμάτων στην Ευρώπη ανά κατηγορία (Eurostat)*

**Waste generation, 2016**  
(kg per inhabitant)



(\*) This designation is without prejudice to positions on status, and is in line with UNSCR 1244/1999 and the ICJ Opinion on the Kosovo Declaration of Independence.  
(\*) 2012.  
Source: Eurostat (online data code: env\_wasgen)

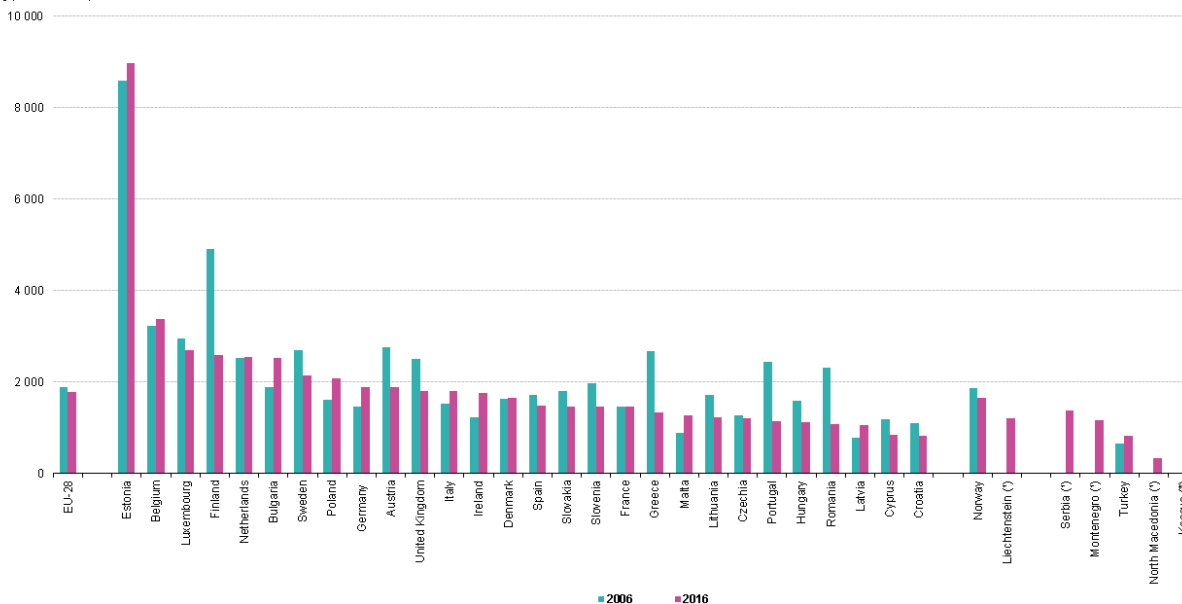
**Εικόνα 2 Παραγωγή απορριμμάτων ανά κάτοικο στην ΕΕ (Eurostat)**

Αφαιρώντας από την ανάλυση τα απορρίμματα που αντιστοιχούν στον κατασκευαστικό και τον εξορυκτικό τομέα, η παραγωγή των απορριμμάτων στην ΕΕ-28 κατά το 2016 ήταν 908 εκατομμύρια τόνοι, το οποίο αντιστοιχεί στο 36% των συνολικών απορριμμάτων που παρήχθησαν, και ισοδυναμεί σε παραγωγή 1,8 τόνων ανά κάτοικο.

Στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 3) φαίνεται η μέση παραγωγή απορριμμάτων ανά κάτοικο και χώρα. Παρατηρούνται ορισμένες χώρες να έχουν πολύ μεγαλύτερη παραγωγή απορριμμάτων ανά κάτοικο σε σχέση με άλλες χώρες ή σε σχέση με τον ευρωπαϊκό μέσο όρο. Η Ελλάδα φαίνεται να βρίσκεται κοντά στον ευρωπαϊκό μέσο όρο. Το 2016 παρατηρήθηκε στην Ελλάδα μείωση της ποσότητας των απορριμμάτων που παρήχθησαν ανά κάτοικο συγκριτικά με το 2006. Κάτι τέτοιο ενδεχομένως να οφείλεται και στην οικονομική ύφεση που έπληξε την χώρα μας την ενδιάμεση περίοδο. Από την Εικόνα 3, προκύπτει ότι κατά μέσο όρο, στην Ευρώπη, το 2016 μειώθηκε η παραγωγή απορριμμάτων ανά κάτοικο σε σχέση με το 2006, παρόλαυτα, η αύξηση του πληθυσμού της Ευρώπης οδηγεί σε αύξηση της συνολικής παραγόμενης ποσότητας των απορριμμάτων.

### Waste generation, excluding major mineral wastes, 2006 and 2016

(kg per inhabitant)



(\*) 2006: not available.

(\*) This designation is without prejudice to positions on status, and is in line with UNSCR 1244/1999 and the ICJ Opinion on the Kosovo Declaration of Independence.

Source: Eurostat (online data code: env\_wasgen)

eurostat

Εικόνα 3 Παραγωγή απορριμμάτων ανά κάτοικο στην ΕΕ εξαιρώντας τα απορρίμματα εξορυκτικού και κατασκευαστικού τομέα (Eurostat)

## 2.2 Δημοτικά απόβλητα σε Ευρώπη και Ελλάδα

Με τον όρο δημοτικά απόβλητα περιγράφουμε τα απόβλητα που συλλέγονται από τους Δήμους. Τα απορρίμματα αυτά κύριως προέρχονται από νοικοκυριά και περιλαμβάνουν και τα απορρίμματα κάποιων εταιρειών και δημοσίων φορέων. Από τα στοιχεία της Eurostat παρατηρείται ότι τα δημοτικά απορρίμματα που παράγονται κατά μέσο όρο στην Ευρώπη είναι 486kg/κάτοικο ενώ τα δημοτικά απορρίμματα στην Ελλάδα είναι 504kg/κάτοικο πράγμα το οποίο σημαίνει ότι η Ελλάδα δεν απέχει ιδιαίτερα από τον μέσο όρο. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, τα δημοτικά απορρίμματα ή αλλιώς απορρίμματα «νοικοκυριού» αντιστοιχούν περίπου στο 8-10% των αποβλητων. Παρά το σχετικά μικρό ποσοστό που αντιπροσωπεύουν τα δημοτικά απορρίμματα, η σημασία τους είναι μεγάλη, καθώς συνδέονται άμεσα με διαδικασίες συγκομιδής το οποίο μεταφράζεται σε κρατικές δαπάνες (πχ στην Ελλάδα, το σύστημα συλλογής απορριμμάτων ανήκει κατά βάση στο δημόσιο) αλλά συνδυάζεται επίσης με την κατανάλωση των κατοίκων. Τα δημοτικά απορρίμματα σε αντίθεση με τα βιομηχανικά δεν περιέχουν μεγάλες ποσότητες επικίνδυνων ουσιών, πράγμα το οποίο τα καθιστά πιο εύκολα ανακυκλώσιμα. Στη παρακάτω εικόνα (Εικόνα 4) απεικονίζεται η ποσότητα παραγωγής απορριμμάτων από τις χώρες της ΕΕ-28 κατά την περίοδο 1995-2017.

**Municipal waste generated, in selected years, 1995-2017**  
(kg per capita)

	1995	2000	2005	2011	2017	Change 2017/1995 (%)
<b>EU-28</b>	470	521	515	497	486	3.4
Belgium	455	471	482	453	410	-9.9
Bulgaria	694	612	588	508	435	-37.3
Czechia	302	335	289	320	344	13.9
Denmark	521	664	736	781	781	49.9
Germany	623	642	565	626	633	1.6
Estonia	371	453	433	301	390	5.1
Ireland	512	599	731	616	.	.
Greece	303	412	442	503	504	66.3
Spain	505	653	588	485	462	-8.5
France	475	514	529	534	514	8.2
Croatia	.	262	336	384	416	.
Italy	454	509	546	529	489	7.7
Cyprus	595	628	688	672	637	7.1
Latvia	264	271	320	350	438	65.9
Lithuania	426	365	387	442	455	6.8
Luxembourg	587	654	672	666	607	3.4
Hungary	460	446	461	382	385	-16.3
Malta	387	533	623	589	604	56.1
Netherlands	539	598	599	568	513	-4.8
Austria	437	580	575	573	570	30.4
Poland	285	320	319	319	315	10.5
Portugal	352	457	452	490	487	38.4
Romania	342	355	383	259	272	-20.5
Slovenia	596	513	494	415	471	-21.0
Slovakia	295	254	273	311	378	28.1
Finland	413	502	478	505	510	23.5
Sweden	386	428	477	449	452	17.1
United Kingdom	498	577	581	491	468	-6.0
Iceland	426	462	516	495	656	54.0
Norway	624	613	426	485	748	19.9
Switzerland	600	656	661	689	706	17.7
Montenegro	.	.	.	524	.	.
North Macedonia	.	.	.	357	344	.
Albania	.	.	.	.	436	.
Serbia	.	.	.	375	306	.
Turkey	441	465	458	416	425	-3.6
Bosnia and Herzegovina	.	.	.	340	352	.
Kosovo*	.	.	.	.	228	.

\* This designation is without prejudice to positions on status, and is in line with UNSCR 1244/1999 and the ICJ Opinion on the Kosovo declaration of independence

Source: Eurostat (online data code: env\_wasmun)

eurostat 

Εικόνα 4 Παραγωγή Δημοτικών Απορριμμάτων ανά χώρα (Eurostat)

## Κεφάλαιο 3: Διαχείριση Απορριμμάτων

Η αύξηση της παραγωγής των απορριμμάτων έχει δημιουργήσει προβλήματα στη διαχείριση αυτών. Τα προηγούμενα χρόνια ο βασικότερος τρόπος διαχείρισης των απορριμμάτων ήταν η ώθησή τους προς υγειονομική ταφή. Έχει γίνει όμως πλέον κατανοητό ότι η συγκεκριμένη μέθοδος δεν είναι αποδοτική καθώς πέρα από την υποβάθμιση του περιβάλλοντος, χάνεται πολύτιμη ύλη η οποία θα μπορούσε να ανακυκλωθεί παράγοντας νέα πρώτη ύλη. Η ανάπτυξη νέων τεχνολογιών επιτρέπει την ανακύκλωση ορισμένων εκ των υλικών που οδηγούνται προς ταφή. Σε κάθε περίπτωση όμως θα πρέπει να υπάρχει και το αντίστοιχο «περιβάλλον» για ανακύκλωση των υλικών, δηλαδή οι αντίστοιχες υποδομές σε εταιρείες ανακύκλωσης και σε συστήματα συλλογής απορριμμάτων.

Ήδη η στρατηγική της ΕΕ για την μείωση των απορριμμάτων είναι η υιοθέτηση ενός κυκλικού μοντέλου οικονομίας. Στόχος της κυκλικής οικονομίας είναι να μετατρέψει αυτή τη γραμμική σχέση που υπάρχει σε ένα κυκλικό μοντέλο (*“Closing the loop”*). Η κυκλική οικονομία στοχεύει την αύξηση της διάρκειας ζωής των υλικών εντός της οικονομίας και τη σταδιακή μείωση των απορριμμάτων. Κάτι τέτοιο επιτυγχάνεται με την μείωση της κατανάλωσης από τους κατοίκους, την επαναχρησιμοποίησή, την επισκευή και την ανακύκλωση υφιστάμενων υλικών. Δηλαδή, ότι θεωρείται ως «απόβλητο» να μετατρέπεται σε πρώτη ύλη. [9, 14] Ήδη παρατηρούνται μεγάλες αλλαγές σε ευρωπαϊκό επίπεδο, αλλά ταυτόχρονα παρατηρείται μία τάση ανάπτυξης του μοντέλου της κυκλικής οικονομίας σε όλο το κόσμο. Παρ’ όλα αυτά, υπάρχουν ακόμα αρκετά περιθώρια βελτίωσης όπως θα αποδειχτεί και στη συνέχεια.

Τα τελευταία χρόνια τα αποτελέσματα της διαχείρισης των απορριμμάτων στην ΕΕ φαίνονται καλύτερα. Παρ’ όλα αυτά, στην ΕΕ υπάρχουν αρκετές χώρες οι οποίες βρίσκονται αρκετά πίσω στο θέμα διαχείρισης των απορριμμάτων και έχουν σημαντικό περιθώριο βελτίωσης. Το πρόβλημα σε αυτές τις περιπτώσεις είναι ότι δεν υπάρχουν οι κατάλληλες δομές για να υποστηρίξουν το σύστημα διαχείρισης. Για την δημιουργία κατάλληλων δομών στις χώρες αυτές, θα πρέπει να εφαρμοστεί και η ανάλογη κατάλληλη στρατηγική.

### 3.1 Διαχείριση Απορριμμάτων στην ΕΕ και στην Ελλάδα

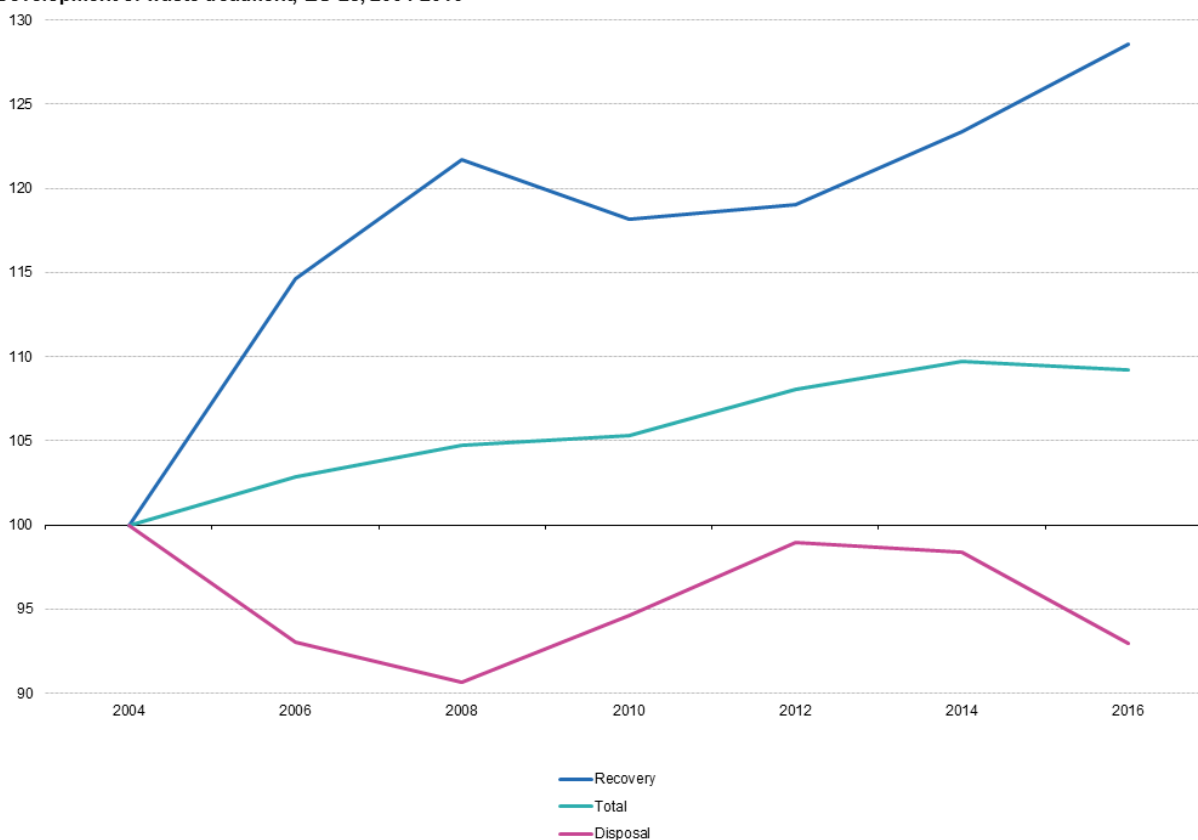
Όσον αφορά την επεξεργασία των αποβλήτων σε ευρωπαϊκό επίπεδο, τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μία ανοδική τάση στην ανάκτηση των αποβλήτων. Ως ανάκτηση αποβλήτων συμπεριλαμβάνεται η αποτέφρωση για ανάκτηση ενέργειας, η ανακύκλωση και η επίχωση<sup>1</sup>. Πιο συγκεκριμένα στην ΕΕ-28, 2.312 εκατομμύρια τόνοι υπέστησαν επεξεργασία. Σε αυτό το σημείο αξίζει να αναφερθεί ότι συμπεριλαμβάνονται στην παραπάνω ποσότητα και τα απόβλητα που εισάχθηκαν στην ΕΕ και όχι τα απόβλητα που προωθήθηκαν για επεξεργασία εκτός αυτής. Σε σχέση με το 2004, υπήρξε αύξηση σε ποσοστό 24,7 % στην ανάκτηση απορριμμάτων από 960 εκατομμύρια τόνους σε 1198 εκατομμύρια τόνους, ενώ η διάθεση η οποία περιλαμβάνει ταφή απορριμμάτων χωρίς αποτέφρωση για ανάκτηση ενέργειας, μειώθηκε κατά 10,1%, από 1.154 εκατομμύρια τόνους σε 1.038 εκατομμύρια τόνους. [10]

---

<sup>1</sup> Ως **επίχωση** χαρακτηρίζεται κάθε ενέργειες χρήσης απορριμμάτων σε χώρους εκσκαφής για σκοπούς αποκατάστασης της κλίσης ή ασφάλειας ή για λόγους μηχανικής αρχιτεκτονικής τοπίου.

Στην ΕΕ-28, περισσότερα από τα μισά απόβλητα (53,3%) κατευθύνθηκαν προς ανάκτηση. Από αυτά το 37,8% των απορριμμάτων ανακυκλώθηκαν, το 9,9% χρησιμοποιήθηκε για επίχωση ενώ το 5,6% χρησιμοποιήθηκε για ανάκτηση ενέργειας. Το υπόλοιπο 45,7% οδηγήθηκε σε χώρους υγειονομικής ταφής. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, υπάρχει μεγάλη διαφορά μεταξύ ορισμένων χωρών στην ΕΕ, καθώς όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 6) η Ιταλία και το Βέλγιο έχουν μεγάλα ποσοστά ανακύκλωσης σε αντίθεση με τις Ελλάδα, Βουλγαρία, Ρουμανία, Φιλανδία και Σουηδία οι οποίες φαίνεται να προωθούν τα απορρίμματα τους για υγειονομική ταφή. Αξίζει να σημειωθεί, ότι ενδεχομένως το ποσοστό απορριμμάτων που οδηγήθηκε για ταφή στην Ελλάδα να είναι ελαφρώς αυξημένο καθώς όπως απεικονίζεται και στον παρακάτω πίνακα, το ποσοστό των αποβλήτων που οδηγήθηκαν για επίχωση είναι 0%, ενώ στην έρευνα που διεξήχθη από την ΕΕ το έτος 2014, το ποσοστό επίχωσης ήταν αντίστοιχα 8,1%.

Development of waste treatment, EU-28, 2004-2016



Source: Eurostat (online data code: env\_wastrt)

eurostat 

Εικόνα 5 Πορεία Ανάκτησης- Διάθεσης Αποβλήτων στην ΕΕ (έτος αναφοράς 2004 - Eurostat)



**Waste treatment, 2016**  
(% of total)

	Recovery			Disposal	
	Recycling	Backfilling	Energy recovery	Landfill and other	Incineration without energy recovery
<b>EU-28</b>	37.8	9.9	5.6	45.7	1.0
Belgium	76.9	0.0	12.6	6.4	4.1
Bulgaria	5.2	0.0	0.4	94.4	0.0
Czechia	49.5	29.0	4.5	16.6	0.4
Denmark	51.4	0.0	19.5	29.1	0.0
Germany	42.7	26.6	11.3	18.1	1.2
Estonia	21.6	11.2	2.5	64.7	0.0
Ireland	10.6	46.0	4.8	38.4	0.3
Greece	4.8	0.0	0.3	94.8	0.0
Spain	37.1	5.7	3.6	53.6	0.0
France	55.0	10.3	5.4	27.6	1.6
Croatia	47.2	4.0	1.0	47.8	0.0
Italy	78.9	0.1	4.0	14.2	2.7
Cyprus	10.4	28.0	3.8	57.8	0.0
Latvia	71.7	1.1	6.8	20.3	0.0
Lithuania	33.4	4.1	5.8	56.6	0.0
Luxembourg	34.8	24.2	2.1	39.0	0.0
Hungary	54.1	3.7	7.4	34.2	0.6
Malta	19.1	63.4	0.0	17.2	0.4
Netherlands	45.6	0.0	7.6	46.0	0.9
Austria	37.0	11.0		45.9	
Poland	46.2	22.2	3.3	28.0	0.4
Portugal	43.5	9.5	12.1	34.7	0.2
Romania	4.0	0.4	1.4	94.1	0.1
Slovenia	60.2	27.2	4.8	6.9	0.8
Slovakia	40.0	4.7	7.0	47.8	0.5
Finland	7.4	0.0	4.5	88.0	0.0
Sweden	12.0	4.9	6.6	76.3	0.2
United Kingdom	48.5	7.8	3.4	37.5	2.7
Iceland	25.0	51.0	0.4	22.3	1.3
Norway	43.5	2.6	34.0	19.5	0.5
Montenegro	0.8	0.0	0.2	98.9	0.0
Serbia	2.8	0.8	0.2	96.3	0.0
Turkey	33.0	0.0	0.8		0.2
Kosovo (*)	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0

(\*) This designation is without prejudice to positions on status, and is in line with UNSCR 1244/1999 and the ICJ Opinion on the Kosovo Declaration of Independence.

Source: Eurostat (online data code: env\_wastrt)

### 3.2 Διαχείριση Δημοτικών Απορριμμάτων σε ΕΕ και Ελλάδα

Παρόλο που παρατηρείται αύξηση στην παραγωγή αποβλήτων στην Ευρώπη-28, η ταφή των αποβλήτων μειώθηκε. Πιο συγκεκριμένα, στο διάστημα που μελετάται (1995-2017) έχει μειωθεί η ποσότητα απορριμμάτων που θάβεται κατά 88 εκατομμύρια τόνους ή αλλιώς κατά 60%, αφού το 1995 τάφηκαν 145 εκατομμύρια τόνοι ενώ το 2017 58 εκατομμύρια τόνοι. Αυτό μεταφράζεται σε μείωση κάθε χρόνο κατά 4,1%, ενώ παρατηρείται ότι κάποιες χρονιές υπήρξε μείωση μέχρι και 5,6%. Η ποσότητα που οδηγείται για ταφή σχετικά με την παραγωγή των δημοτικών απορριμμάτων μειώθηκε από το 67% το 1995, στο 23% το 2017. Η ποσοτική διαφορά των δημοτικών απορριμμάτων που οδηγήθηκαν προς ταφή παρατηρείται και στο παρακάτω διάγραμμα:

Municipal waste landfilled, incinerated, recycled and composted, EU-28, 1995-2017

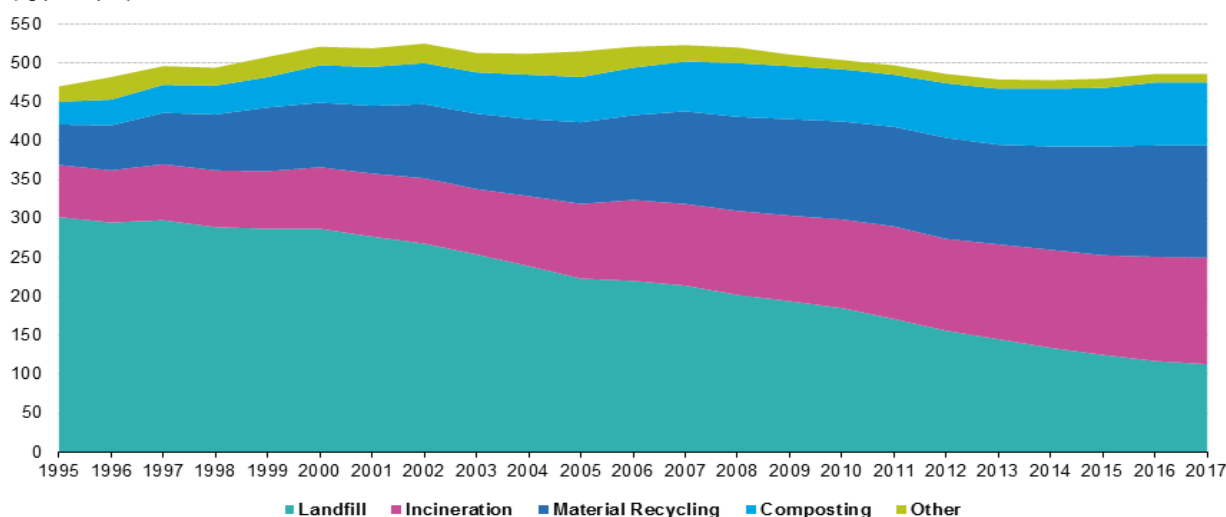
	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Change 2017/1995 (%)
million tonnes																								
Landfill	145	143	144	140	140	140	135	131	125	118	110	109	107	101	98	93	86	79	73	68	64	60	58	-60
Incineration	32	32	35	35	36	39	40	41	41	44	48	52	52	54	55	57	60	59	62	64	65	68	70	118
Material Recycling	25	28	32	35	40	40	43	47	48	49	52	54	60	61	62	63	64	66	65	68	71	73	74	195
Composting	14	16	17	18	19	24	24	26	26	28	29	30	32	35	34	34	34	35	36	38	38	41	42	196
Other	10	14	12	12	12	12	12	12	12	13	17	14	11	10	7	6	6	6	6	5	6	6	6	-44
kg per capita																								
Landfill	302	295	298	289	287	287	277	268	254	239	223	220	214	202	194	185	171	156	145	134	125	117	113	-63
Incineration	67	67	72	73	74	79	81	84	84	90	96	104	105	108	110	114	119	118	122	126	128	134	137	104
Material Recycling	52	58	66	72	82	83	87	95	97	99	105	109	119	121	124	126	128	130	128	133	140	143	144	177
Composting	29	33	36	37	39	48	50	53	53	57	58	61	64	69	68	67	67	70	72	74	75	81	81	179
Other	20	29	24	23	26	24	24	25	25	27	33	27	21	20	15	12	12	12	12	11	12	11	11	-45

Source: Eurostat (online data code: env\_wasmun)

eurostat

Εικόνα 7 Ανάκτηση και Διάθεση Δημοτικών Απορριμμάτων στην ΕΕ (έτη 1995- 2017 Eurostat)

Municipal waste treatment, EU-28, 1995-2017 (kg per capita)



Source: Eurostat (online data code: env\_wasmun)

eurostat

Εικόνα 8 Διαχείριση δημοτικών απορριμμάτων στην Ευρώπη (kg/άτομο)

Ενώ στην Ευρώπη τα στοιχεία δείχνουν ότι υπάρχει τάση για την αύξηση της ανακύκλωσης και της εύρεσης νέων μεθόδων αξιοποίησης αλλά και σταδιακή μείωση των απορριμμάτων που οδηγούνται προς ταφή καθώς προτιμώνται άλλες μέθοδοι, η Ελλάδα, αλλά και άλλες χώρες της ΕΕ ( *Βουλγαρία, Σουηδία, Φιλανδία, Ρουμανία*), βρίσκονται αρκετά πίσω. Στην Ελλάδα, η ποσότητα απορριμμάτων που οδηγείται στα ΧΥΤΑ είναι αρκετά μεγάλη, και παρά τις επισημάνσεις της ΕΕ, τα αποτελέσματα δεν είναι τόσο θετικά και υπάρχουν αρκετά μεγάλα περιθώρια βελτίωσης.

Το 2011, το Υπουργείο Περιβάλλοντος συνέταξε το Εθνικό Σχέδιο Διαχείρισης Απορριμμάτων (ΕΣΔΑ) σύμφωνα με την Οδηγία 2008/98/ΕΚ της Ευρωπαϊκής Ένωσης.<sup>[11]</sup> Το ΕΣΔΑ αναφέρεται στην πολιτική, στη στρατηγική και στους στόχους διαχείρισης απορριμμάτων που πρέπει να ακολουθηθούν σε εθνικό επίπεδο. Για την επίτευξη του Εθνικού Σχεδιασμού Διαχείρισης Απορριμμάτων θα πρέπει η κάθε Περιφέρεια να εφαρμόσει το Περιφερειακό Σχέδιο Διαχείρισης Αποβλήτων (ΠΕΣΔΑ) το οποίο αναφέρεται στην ολοκληρωμένη διαχείριση του συνόλου των αποβλήτων που παράγονται στη γεωγραφική τους ενότητα. Υπεύθυνοι για την εκπλήρωση του ΠΕΣΔΑ είναι οι Φορείς Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων (ΦοΣΔΑ), ενώ σε περίπτωση που ο εν λόγω φορέας δεν υφίσταται ή δεν λειτουργεί, υπεύθυνοι για την εκπόνηση του ΠΕΣΔΑ είναι οι αντίστοιχες Περιφέρειες.

### 3.3 Παραγωγή και Διαχείριση Απορριμμάτων στην Ελλάδα (ΕΣΔΑ 2011)

Το έτος αναφοράς και έκδοσης του Εθνικού Σχεδιασμού Διαχείρισης Απορριμμάτων (ΕΣΔΑ) είναι το 2011, ενώ οι στόχοι που αναφέρονται στο ΕΣΔΑ προβλέπουν και καλύπτουν την στρατηγική για την διαχείριση των απορριμμάτων έως το 2020. Ο εθνικός σχεδιασμός οδηγεί προς μία οικονομία και μία κοινωνία με μηδενικά απόβλητα, μία κοινωνία που θα μετατρέπει τα απόβλητα σε πόρους προάγοντας την έννοια της Κυκλικής Οικονομίας στην πράξη. Η παρούσα μελέτη αναφέρει μεν τα στοιχεία των παραγόμενων απορριμμάτων από τις βιομηχανίες επικεντρώνεται ωστόσο περισσότερο στην ανάλυση των αστικών στερεών αποβλήτων, καθώς επίσης και στους στόχους πάνω σε αυτά. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται η παραγωγή των απορριμμάτων κατά το έτος 2011 ανά κατηγορία απορρίμματος.

*Πίνακας 1 Παραγωγή απορριμμάτων έτους 2011 [11]*

<b>Κατηγορία Αποβλήτων</b>	<b>Μη επικίνδυνα απόβλητα (χιλ. τόνοι)</b>	<b>Επικίνδυνα Απόβλητα (χιλ. τόνοι)</b>	<b>Σύνολο Αποβλήτων (χιλ. τόνοι)</b>
Απόβλητα Αστικού Τύπου	5.743	6,5	5.749
Αστικά Στερεά Απόβλητα (ΑΣΑ)	5.569	6,5	5.575
-Βιοαπόβλητα	2.470		2.470
-Απόβλητα Συσκευασιών	866		866
-Λοιπά Ανακυκλώσιμα Απόβλητα	1.860		1.860
-Απόβλητα Ηλεκτρονικού εξοπλισμού οικιακής Προέλευσης	66	1,1	67

-Απόβλητα φορητών ηλεκτρικών στηλών και συσσωρευτών		1,1	1,1
-Λοιπά ΑΣΑ	307	4,3	311
<i>Ιλύς αστικού τύπου</i>	<i>174</i>		<i>174</i>
Βιομηχανικά Απόβλητα	17.186	272	17.459
Απόβλητα Εκσκαφών Κατασκευών Κατεδαφίσεων	1.306	0,6	1.307
Γεωργοκτηνοτροφικά Απόβλητα	10.781		10.781

Στα απόβλητα αστικού τύπου σύμφωνα με το ΕΣΔΑ περιλαμβάνονται τα αστικά στερεά απόβλητα (ΑΣΑ) και οι ιλύες αστικού τύπου. **[11]**

Τα ΑΣΑ περιλαμβάνουν:

(α) τα απόβλητα των νοικοκυριών,

(β) τα απόβλητα του κεφαλαίου 20 του ΕΚΑ που παράγονται από τις εμπορικές επιχειρήσεις, τους κοινωφελείς οργανισμούς (π.χ. λιμάνια, αεροδρόμια, σιδηροδρομικοί σταθμοί), τις βιομηχανίες, τις υγειονομικές μονάδες και τις μονάδες των ενόπλων δυνάμεων.

Στο ρεύμα των ΑΣΑ εμπεριέχονται:

- Απόβλητα συσκευασιών,
- Απόβλητα ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού (ΑΗΗΕ) οικιακής προέλευσης, καθώς και
- Μικρές ποσότητες επικίνδυνων αποβλήτων (ΜΠΕΑ) στις οποίες συμπεριλαμβάνονται μεταξύ άλλων τα απόβλητα φορητών ηλεκτρικών στηλών και συσσωρευτών (ΗΣ&Σ), οι λαμπτήρες φθορισμού, τα αποσυρόμενα φάρμακα, τα μελανοδοχεία και διάφορα απορρυπαντικά προϊόντα (μαζί με τη συσκευασία τους) που χρησιμοποιούνται για τον καθαρισμό, την απολύμανση και τη συντήρηση των νοικοκυριών.

Οι ιλύες αστικού τύπου περιλαμβάνουν τις ιλύες που παράγονται από τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας υγρών αποβλήτων:

(α) αστικής προέλευσης,

(β) τουριστικών μονάδων,

(γ) βιομηχανιών του κλάδου τροφίμων και ποτών, όπως ορίζονται στο Παράρτημα ΙΙΙ της ΚΥΑ 5673/400/1997 (Β' 192, καθώς και

(δ) κοινωφελών οργανισμών και άλλων πηγών.

Στη συνέχεια αποτυπώνεται η διάθεση και η ανάκτηση των μη επικίνδυνων αποβλήτων αστικού τύπου κατά το έτος 2011.

Πίνακας 2 Διάθεση και Ανάκτηση μη επικίνδυνων απορριμμάτων ΑΣΑ (Ελλάδα)

Κατηγορία αποβλήτων	Ανάκτηση (χιλ. τόνους)	Διάθεση (χιλ. τόνους)	Αποθήκευση (χιλ. τόνους)	Μη καταγεγραμμένη διαχείριση
<b>Μη Επικίνδυνα Απόβλητα</b>				
Απόβλητα Αστικού Τύπου	1.068	4.609	22	44
<b>ΑΣΑ</b>	1.004	4.565		
-Βιοαπόβλητα	175	4.565		
-Ανακυκλώσιμα Υλικά	787			
-ΑΗΗΕ οικιακής προέλευσης	43			
-Λοιπά μη Επικίνδυνα Αποβ.				
<b>Ιλύες Αστικού Τύπου</b>	64	44	22	

Τα επικίνδυνα απορρίμματα αστικού τύπου αντιστοιχούν σε πολύ μικρή ποσότητα σε σχέση με τα μη επικίνδυνα (6.300 τόνους) και στην κατηγορία αυτή ανήκουν κατά κύριο λόγο οι ηλεκτρικές στήλες και λαμπτήρες. Από αυτά, οδηγήθηκαν σε διάθεση οι 4.900 τόνοι, ενώ οι υπόλοιποι 1.600 τόνοι οδηγήθηκαν προς ανάκτηση.

Αξίζει να αναφερθεί, ότι το σύστημα συλλογής των ΑΣΑ είναι πλήρες και καλύπτει το 100% της επικράτειας. Η πληρότητα του συστήματος έγκειται στο ότι οι κάδοι και τα απορριμματοφόρα που χρησιμοποιούνται στην επικράτεια είναι αρκετά ώστε να καλύπτουν την παραγωγή απορριμμάτων των κατοίκων. Βέβαια, το υπάρχον σύστημα αποτελείται κυρίως από πράσινους κάδους (*συλλογή σύμμεικτων, χωρίς διαλογή*) σε ορισμένους δήμους της επικράτειας γίνεται η χρήση μπλε κάδων για την συλλογή ανακυκλώσιμων, και τέλος ελάχιστοι δήμοι κάνουν ξεχωριστή συλλογή ανακυκλώσιμων και βιοαποβλήτων. Ταυτόχρονα, συνολικά για το έτος αναφοράς 2011 από τις 4 μονάδες μηχανικής ανακύκλωσης που λειτουργούσαν (ΜΕΑ), εκτράπηκε το 4,7% των συνολικών αστικών στερεών αποβλήτων που παράχθηκαν ως σύμμεικτη ροή ανακυκλωσιμων και οδηγήθηκαν στα Κέντρα Διαλογής ανακυκλώσιμων υλικών (ΚΔΑΥ) για να διαχωριστούν σε επιμέρους κατηγορίες και να οδηγηθούν προς ανακύκλωση. Αντίστοιχα στα ΚΔΑΥ της επικράτειας οδηγείται το 11,6% των συνολικών αστικών στερεών αποβλήτων και αφαιρώντας το 4,7% που προέρχεται από τις μονάδες μηχανικής ανακύκλωσης (ΜΕΑ), στα Κέντρα Διαλογής ανακυκλώσιμων Υλικών οδηγείται το 6,9% των συνολικών αστικών στερεών αποβλήτων.

Τα ποσοστά ανακύκλωσης όπως φαίνεται και παραπάνω είναι αρκετά χαμηλά. Σύμφωνα με τα στοιχεία του Υπουργείου, το 2011, μόλις το 15% της παραγωγής οδηγήθηκε προς ανακύκλωση, ενώ το οργανικό κλάσμα που αξιοποιήθηκε μέσω χωριστής διαλογής αντιστοιχεί μόλις στο 3% των συνολικών αστικών στερεών αποβλήτων (ΑΣΑ) παρόλο που τα βιοαπόβλητα αντιστοιχούν περίπου στο 50% των ΑΣΑ. Υπολογίζεται ότι η καθαρότητα των κέντρων διαλογής ανακυκλώσιμων υλικών (ΚΔΑΥ) είναι περίπου 60%, επομένως, από το παραπάνω ποσοστό που αναφέρθηκε (6,9%) και δεδομένης της καθαρότητας, μόνο το 4,14% των συνολικών αστικών στερεών αποβλήτων ανακυκλώθηκε από τα κέντρα διαλογής

ανακυκλώσιμων υλικών στο σύνολο της επικράτειας. Η ροή των σύμμεικτων που προέρχεται από τα ΜΕΑ είναι καθαρότητας 3%, επομένως η συνολική ανακύκλωση που πραγματοποιείται είναι 4,28% (4,14% + 0,14%). Το υπόλοιπο 10,72% που ανακυκλώθηκε αντιστοιχεί σε ροή βιομηχανικών συσκευασιών, έντυπο χαρτί και άλλα ρεύματα ανακύκλωσης. Το ποσοστό των αποβλήτων που ανακυκλώθηκε στα ΚΔΑΥ αντιστοιχεί κυρίως στις ροές που έχουν δημιουργηθεί από τους μπλε κάδους (κάδους ανακύκλωσης) που υπάρχουν στο σύστημα, δηλαδή πρακτικά αναφέρεται στην ανακύκλωση που πραγματοποιείται από τους κατοίκους. Σε μελέτη που διεξήχθη για τους Δήμους της Αττικής, φαίνεται ότι κατά μέσο όρο, μόνο το 2,64% οδηγήθηκε προς ανακύκλωση, ποσοστό αρκετά χαμηλό ειδικά σε σύγκριση με άλλες μεγάλες ευρωπαϊκές πόλεις (Ρώμη, Βερολίνο).

Το πραγματικό ποσοστό ανακύκλωσης ενδεχομένως να είναι υψηλότερο, καθώς υπάρχει μεγάλη εκτροπή ανακυκλώσιμων υλικών υψηλής αξίας από τους πλανόδιους ρακοσυλλέκτες, που συλλέγουν τα ανακυκλώσιμα και τα προωθούν σε μάντρες για ανακύκλωση με κάποια μικρή ανταμοιβή. [14] Το θετικό στοιχείο είναι ότι αυτές οι ποσότητες οδηγούνται εν τέλει σε ανακύκλωση βοηθώντας το περιβάλλον. Παρ' όλα αυτά η κατάσταση αυτή έχει ως αποτέλεσμα να αλλοιώνονται αρκετά τα στατιστικά στοιχεία, ώστε εν τέλει να μην επιτυγχάνονται οι στόχοι που έχουν τεθεί για την Ελλάδα, καθώς δεν είναι εφικτή η συλλογή στοιχείων από τις μάντρες όπου οδηγούνται τα ανακυκλώσιμα. Ταυτόχρονα, η εν λόγω κατάσταση πλήττει τις εταιρείες ανακύκλωσης και τα ΚΔΑΥ, καθώς χάνεται πολύτιμο προϊόν και επίσης δεν βοηθάει στην διεξαγωγή ενός ορθότερου σχεδιασμού συστήματος διαχείρισης απορριμμάτων. Θα πρέπει σε κάθε περίπτωση να ληφθεί υπόψη ότι οι πλανόδιοι ρακοσυλλέκτες ωθούνται σε αυτή την εργασία επειδή βρίσκονται σε πολύ χαμηλή οικονομική κατάσταση, και θέτουν σε πολύ μεγάλο βαθμό την υγεία τους σε κίνδυνο. Αξίζει να επισημανθεί ότι πολλές φορές οι άνθρωποι αυτοί γίνονται θύματα εκμετάλλευσης από τις «εταιρείες» που διανέμουν τα συλλεχθέντα απορρίμματα προσφέροντας λιγότερα χρήματα σε αυτούς από την πραγματική αξία των υλικών. Το κράτος οφείλει να προσφέρει καλύτερη ποιότητα ζωής στους ανθρώπους αυτούς και ταυτόχρονα να περιορίσει το φαινόμενο αυτό, έτσι ώστε να είναι εφικτός ένας ορθότερος σχεδιασμός μοντέλων διαχείρισης απορριμμάτων.

Όπως προκύπτει από τα στοιχεία, η επιλογή των δύο κάδων στο σύστημα, μη ανακυκλώσιμων και ανακυκλώσιμων, δημιουργεί αρκετά προβλήματα και δεν λειτουργεί τόσο αποδοτικά όσο αναμενόταν, οδηγεί εν δυνάμει χρήσιμο προϊόν προς ταφή και υποβαθμίζει το περιβάλλον ενώ ταυτόχρονα χάνεται πολύτιμη πρώτη ύλη μειώνοντας την παραγωγικότητα των πόρων. Από τον Εθνικό Σχεδιασμό Διαχείρισης Απορριμμάτων επισημαίνονται οι εξής κύριοι πυρήνες αλλαγών [11]:

1. Καθιέρωση της χωριστής συλλογής ανακυκλώσιμων υλικών σε διακριτά ρεύματα, σε εφαρμογή του άρθρου 27 του ν. 4042/2012, το οποίο ενσωματώνει το άρθρο 11 της οδηγίας 2008/98/ΕΚ. Σύμφωνα με το ανωτέρω άρθρο, επιβάλλεται η λήψη μέτρων για την προώθηση ανακύκλωσης υψηλής ποιότητας με την καθιέρωση χωριστής συλλογής αποβλήτων τουλάχιστον για τα ακόλουθα υλικά: χαρτί, γυαλί, πλαστικά, μέταλλα
2. Καθιέρωση της χωριστής συλλογής κυρίως με τη δημιουργία σε πανελλαδικό επίπεδο των Πράσινων Σημείων και των Κέντρων Ανακύκλωσης Εκπαίδευσης Διαλογής στην Πηγή (ΚΑΕΔΙΣΠ)
3. Ξεχωριστή συλλογή οργανικού κλάσματος (Βιοαποβλήτων) για την μείωση της εκτροπής βιοαποβλήτων προς ταφή και παράλληλα ανάπτυξη δικτύων για την παραγωγή υψηλής ποιότητας κομπόστ.

4. Συνεχής ενημέρωση των καταναλωτών και προώθηση της ανακύκλωσης
5. Αναβάθμιση του εξοπλισμού των πόλεων σχετικά ως προς το σύστημα διαχείρισης απορριμμάτων που διαθέτουν.

Όπως φαίνεται, γενική γραμμή της ΕΕ είναι η καθιέρωση ενός κυκλικού μοντέλου οικονομίας έτσι ώστε όλοι να επωφελούνται από τα αυτό. Η εικόνα της Ελλάδας δεν είναι τόσο καλή και παρουσιάζεται να υστερεί σημαντικά σε θέματα ανακύκλωσης και κυκλικής οικονομίας.

### **3.4 Κυκλική Οικονομία: Στόχοι και Δείκτες**

Ήδη η στρατηγική της ΕΕ και των κρατών μελών της κινείται προς αυτή τη κατεύθυνση, καθώς υπάρχει εκτεταμένη πολιτική υποστήριξη τόσο σε ευρωπαϊκό, όσο και σε εθνικό και περιφερειακό επίπεδο. Πιο συγκεκριμένα το 2015 αποφασίστηκε η υιοθέτηση του πλάνου της Κυκλικής Οικονομίας [8] το οποίο θα βοηθήσει την Ευρώπη να αποτελέσει έναν παγκόσμιο ηγέτη, να προωθήσει τη συμβίωση, την οικονομική ανάπτυξή της και τη δημιουργία νέων θέσεων εργασίας. Οι κυριότεροι στόχοι του πλάνου της Κυκλικής Οικονομίας είναι [6,9]:

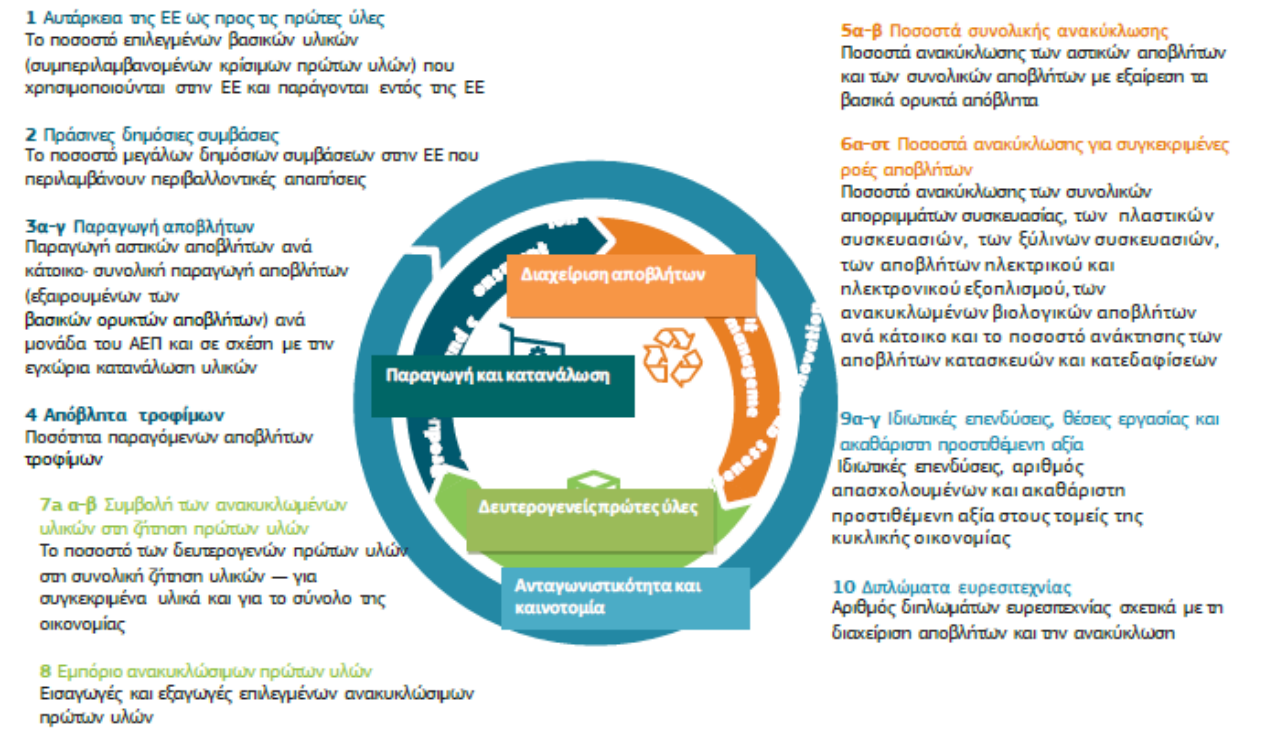
- Η ανακύκλωση του 65% των δημοτικών απορριμμάτων έως το 2035
- Η ανακύκλωση του 75% των αποβλήτων συσκευασίας έως το 2030 και πιο συγκεκριμένα για τα επιμέρους υλικά των συσκευασιών:
  - Ανακύκλωση Χαρτιού και χαρτονιού: 85%
  - Μεταλλικά υλικά: 80%
  - Αλουμίνιο: 60%
  - Γυαλί: 75%
  - Πλαστικό: 55%
  - Ξύλο: 30%
- Ο περιορισμός στην ταφή απορριμμάτων το πολύ στο 10% της παραγωγής δημοτικών απορριμμάτων.
- Η προώθηση ξεχωριστής διαλογής υλικών (*βιοκαύσιμων μέχρι το τέλος του 2023, υφασμάτων μέχρι το τέλος του 2025*)

Τα μέτρα όπως ο βελτιωμένος οικολογικός σχεδιασμός και η πρόληψη και επαναχρησιμοποίηση αποβλήτων σύμφωνα με τα στοιχεία της Eurostat, μπορούν να επιφέρουν καθαρή εξοικονόμηση για τις επιχειρήσεις στην ΕΕ έως και 604 δισεκατομμύρια και μείωση των συνολικών εκπομπών του θερμοκηπίου κατά 2-4%. Ταυτόχρονα μπορεί να οδηγήσει στην αύξηση της παραγωγικότητα των πόρων κατά 30%, στην ενίσχυση του ΑΕΠ κατά 1%, αλλά και στη δημιουργία πλέον των 2 εκατομμυρίων νέων θέσεων εργασίας. Ταυτόχρονα, με τα προγράμματα και την πολιτική που προωθείται από την ΕΕ-28, προσφέρονται νέες ευκαιρίες για ανάπτυξη της καινοτομίας, καθώς ερευνητικά κέντρα και εταιρείες, αναζητούν νέες τεχνολογίες ανακύκλωσης και δημιουργίας πιο φιλικών προς το περιβάλλον προϊόντων. Με αυτή την ανάπτυξη καινοτομιών, δημιουργείται ένα ανταγωνιστικό πλεονέκτημα για την ΕΕ στην παγκόσμια αγορά.

Ο μακροπρόθεσμος στόχος της ΕΕ είναι η μετατροπή της σε μία κοινωνία ανακύκλωσης με αποφυγή της παραγωγής αποβλήτων και χρησιμοποίηση των αναπόφευκτων αποβλήτων ως πόρου όπου αυτό είναι

δυνατό. Ο σκοπός είναι να επιτευχθούν πολύ μεγαλύτερα επίπεδα ανακύκλωσης και να ελαχιστοποιηθεί η άντληση πρόσθετων φυσικών πόρων. Έτσι με κατάλληλη διαχείριση των αποβλήτων είναι δυνατή η εξασφάλιση αποδοτικής χρήσης των πόρων και η βελτίωση της επάρκειας της ΕΕ σε πόρους. [8]

Πέρα από τους στόχους που έχουν τεθεί, θα πρέπει με κάποιον τρόπο να μετρείται και η πρόοδος που συντελείται προς την κατεύθυνση της κυκλικής οικονομίας. Το δύσκολο σε αυτό το σημείο είναι ότι δεν υπάρχει ένας δείκτης «κυκλικότητας» και επιπλέον λόγω της πολυπλοκότητας της παρακολούθησης, δεν γίνεται να μετρείται ένας μόνο δείκτης για να προσδιοριστεί η πρόοδος της κυκλικής οικονομίας. Με κάποιον τρόπο πρέπει να γίνονται αυτές οι μετρήσεις σε όλα τα στάδια κύκλου ζωής των πόρων, προϊόντων και υπηρεσιών. Έτσι υιοθετήθηκαν από την ΕΕ ορισμένοι δείκτες μέτρησης προόδου της κυκλικής οικονομίας οι οποίοι παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 3). Όπως φαίνεται προτείνεται από ένα σύμπλεγμα αρκετών δεικτών, διαφορετικών μέτρων που κατατάσσονται σε τέσσερα στάδια: 1) παραγωγή και κατανάλωση, 2) διαχείριση αποβλήτων 3) δευτερογενείς πρώτες ύλες 4) ανταγωνιστικότητα και καινοτομία.



Εικόνα 9 Επεξήγηση Δεικτών κυκλικής οικονομίας



Πίνακας 3 Δείκτες για την κυκλική οικονομία που περιλαμβάνονται στο πλαίσιο παρακαλούθησης [8]

Αριθμ.	Ονομασία	Συνάφεια	Ενωσιακά Μέτρα (Παραδείγματα)
<b>Παραγωγή και Κατανάλωση</b>			
1	Αυτάρκεια της ΕΕ ως προς τις πρώτες ύλες	Η κυκλική οικονομία αναμένεται ότι θα συμβάλει στην αντιμετώπιση των κινδύνων εφοδιασμού με πρώτες ύλες, ιδίως με κρίσιμες πρώτες ύλες.	Πρωτοβουλία για τις πρώτες ύλες· χάρτης πορείας για την αποτελεσματική χρήση των πόρων
2	Πράσινες δημόσιες συμβάσεις*	Οι δημόσιες συμβάσεις αποτελούν μεγάλο ποσοστό της κατανάλωσης και μπορεί να λειτουργήσουν ως μοχλός της κυκλικής οικονομίας.	Στρατηγική για τις δημόσιες συμβάσεις· ενωσιακά καθεστώτα στήριξης και εθελοντικά κριτήρια για τις πράσινες δημόσιες συμβάσεις
3α-γ	Παραγωγή αποβλήτων	Σε μια κυκλική οικονομία, η παραγωγή αποβλήτων περιορίζεται στο ελάχιστο.	Οδηγία-πλαίσιο για τα απόβλητα· οδηγίες για συγκεκριμένες ροές αποβλήτων· στρατηγική για τις πλαστικές ύλες
4	Απόβλητα τροφίμων*	Η απόρριψη τροφίμων έχει αρνητικές περιβαλλοντικές, κλιματικές και οικονομικές επιπτώσεις.	Γενική νομοθεσία για τα τρόφιμα· οδηγία-πλαίσιο για τα απόβλητα· διάφορες πρωτοβουλίες (π.χ. η πλατφόρμα της ΕΕ για την απώλεια και τη σπατάλη τροφίμων)
<b>Διαχείριση αποβλήτων</b>			
5α-β	Ποσοστά συνολικής ανακύκλωσης	Η αύξηση της ανακύκλωσης αποτελεί μέρος της μετάβασης σε μια κυκλική οικονομία.	Οδηγία-πλαίσιο για τα απόβλητα
6α-στ	Αυτό αντικατοπτρίζει την πρόοδο όσον αφορά την ανακύκλωση βασικών ροών αποβλήτων.	Οδηγία-πλαίσιο για τα απόβλητα· οδηγία για την υγειονομική ταφή των αποβλήτων· οδηγίες για συγκεκριμένες ροές αποβλήτων	Αυτό αντικατοπτρίζει την πρόοδο όσον αφορά την ανακύκλωση βασικών ροών αποβλήτων.
<b>Δευτερογενείς Πρώτες Ύλες</b>			
7α-β	Σε μια κυκλική οικονομία, οι δευτερογενείς πρώτες ύλες χρησιμοποιούνται συνήθως για την παραγωγή νέων προϊόντων.	Οδηγία-πλαίσιο για τα απόβλητα· οδηγία για τον οικολογικό σχεδιασμό· οικολογικό σήμα της ΕΕ· REACH· πρωτοβουλία για τη διεπαφή μεταξύ των χημικών ουσιών, των προϊόντων και των πολιτικών για τα απόβλητα· στρατηγική για τις πλαστικές ύλες· πρότυπα ποιότητας για τις δευτερογενείς πρώτες ύλες	Σε μια κυκλική οικονομία, οι δευτερογενείς πρώτες ύλες χρησιμοποιούνται συνήθως για την παραγωγή νέων προϊόντων.
8	Το εμπόριο ανακυκλώσιμων υλικών αντικατοπτρίζει τη σημασία της εσωτερικής αγοράς και της παγκόσμιας	Πολιτική για την εσωτερική αγορά· κανονισμός για τις μεταφορές αποβλήτων· εμπορική πολιτική	Το εμπόριο ανακυκλώσιμων υλικών αντικατοπτρίζει τη σημασία της εσωτερικής αγοράς και της παγκόσμιας συμμετοχής στην κυκλική οικονομία.

	συμμετοχής στην κυκλική οικονομία.		
<b>Ανταγωνιστικότητα και Καινοτομία</b>			
9α-γ	Αυτό αντικατοπτρίζει τη συμβολή της κυκλικής οικονομίας στη δημιουργία θέσεων εργασίας και στην ανάπτυξη.	Επενδυτικό Σχέδιο για την Ευρώπη· Διαρθρωτικά και Επενδυτικά Ταμεία· InnonFin· πλατφόρμα για τη χρηματοδότηση της κυκλικής οικονομίας· στρατηγική για τη βιώσιμη χρηματοδότηση· πρωτοβουλία για την πράσινη απασχόληση· νέο θεματολόγιο δεξιοτήτων για την Ευρώπη· πολιτική για την εσωτερική αγορά	Αυτό αντικατοπτρίζει τη συμβολή της κυκλικής οικονομίας στη δημιουργία θέσεων εργασίας και στην ανάπτυξη.
10	Οι καινοτόμες τεχνολογίες που σχετίζονται με την κυκλική οικονομία ενισχύουν την παγκόσμια ανταγωνιστικότητα της ΕΕ.	«Ορίζοντας 2020»	Οι καινοτόμες τεχνολογίες που σχετίζονται με την κυκλική οικονομία ενισχύουν την παγκόσμια ανταγωνιστικότητα της ΕΕ.

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι οι αλλαγές τόσο στην Ελλάδα όσο και σε άλλες χώρες της ΕΕ, είναι αναγκαίες. Ταυτόχρονα, από τα στοιχεία και τις μελέτες της ΕΕ, υπάρχει αρκετά προσοδοφόρο έδαφος στον τομέα της κυκλικής οικονομίας και τα οφέλη θα είναι σε αρκετά επίπεδα. Ήδη από τον ΕΣΔΑ αποτυπώνονται οι στρατηγικές τις οποίες οφείλει να ακολουθήσει η Ελλάδα για να είναι εντός των στόχων της στατηγικής κυκλικής οικονομίας της ΕΕ, ενώ παράλληλα δημιουργείται ένα εύφορο έδαφος για επενδύσεις. Τα θετικά αποτελέσματα αποτυπώνονται τόσο στο περιβαλλοντικό, όσο στον κοινωνικό και οικονομικό τομέα. Η μεταστροφή της Ελλάδας σε μία χώρα που θα ακολουθήσει το μοντέλο της κυκλικής οικονομίας, θα οδηγήσει σε αύξηση της επιχειρηματικής δραστηριότητας στον κλάδο διαχείρισης απορριμμάτων, δημιουργώντας νέες θέσεις εργασίας, θα μειώσει την υποβάθμιση του περιβάλλοντος μειώνοντας τα απορρίμματα στις χωματερές και την ρύπανση στην ατμόσφαιρα που προκαλούνται από τις εταιρείες παραγωγής προϊόντων και εν τέλει θα δημιουργήσει διαθέσιμο χώρο για αύξηση της καινοτομίας ανοίγοντας τον δρόμο στην ίδρυση νέων εταιρειών που θα αναζωογονήσουν την οικονομία.

Τα οφέλη όπως αναφέρονται είναι πολλά, αλλά οι αλλαγές αυτές πρέπει να πραγματοποιηθούν με συγκεκριμένο και λεπτομερή σχεδιασμό έτσι ώστε να επιλεγεί το καλύτερο δυνατό σενάριο. Το όλο σύστημα διαχείρισης των απορριμμάτων είναι αρκετά περίπλοκο και εμπεριέχει αρκετά διαφορετικά ενδιαφερόμενα μέρη το καθένα με διαφορετικούς στόχους και διαφορετικά χαρακτηριστικά.

Για παράδειγμα, η διαχείριση των αστικών απορριμμάτων ξεκινάει από τους πολίτες οι οποίοι διαθέτουν τα απορρίμματα τους στους κάδους που προσφέρονται από τις δομές του Δήμου. Τι δομές όμως θα επιλέξει κάθε Δήμος προϋποθέτει στρατηγική και συνδέεται άμεσα με τα οικονομικά του και την εικόνα του προς τους δημότες. Ταυτόχρονα, ανεξάρτητα από τις δομές του Δήμου, η διαλογή στην πηγή εξαρτάται από την περιβαλλοντική συνείδηση του κάθε πολίτη. Το σύστημα διαχείρισης των απορριμμάτων σε έναν δήμο φαντάζει μία απλή διαδικασία, καθώς οι δημότες παράγουν απορρίμματα,

τα ρίχνουν σε κάδους που βρίσκονται συνήθως κοντά στο σπίτι τους, από εκεί περνάνε τα απορριμματοφόρα με ένα συγκεκριμένο πρόγραμμα για να αδειάσουν τους κάδους. Όταν με τη σειρά τους τα απορριμματοφόρα γεμίσουν, κατευθύνονται σε κάποιο ειδικό σημείο για να αδειάσουν, στα ΣΜΑ (Σταθμούς Μεταφόρτωσης Απορριμματοφόρων). Στην πραγματικότητα, όμως, η προσομοίωση ενός τέτοιου συστήματος καθώς και η αναγνώριση των παραμέτρων που επηρεάζουν όλο αυτό το σύστημα είναι μία αρκετά δύσκολη και περίπλοκη διαδικασία.

Η ροή των απορριμμάτων βέβαια συνεχίζεται. Μετά τη συλλογή από το σύστημα διαχείρισης των Δήμων, τα απορρίμματα οδηγούνται για μετέπειτα επεξεργασία σε εταιρείες ανακύκλωσης ή προς διάθεση. Τα απορρίμματα αυτά έχουν κάποια αξία, η οποία μεταβάλλεται αναλόγως της διαλογής που έχει γίνει από τους πολίτες και από τις δομές που προσφέρει ο Δήμος. Οι δήμοι επομένως λαμβάνουν πλέον ένα ρόλο «stakeholder», όπου διαθέτουν εν δυνάμει ποσότητα με κάποια αξία. Η αξία της διαμορφώνεται από το πόσο καλή διαλογή έχουν κάνει οι δημότες, καθώς και από τις συνθήκες της αγοράς (*ανταγωνισμός, διαθέσιμες εταιρείες, ζήτηση*). Επομένως πλέον παρέχεται στο Δήμο η επιλογή διαχείρισης αυτής της ποσότητας.

Στο παρελθόν για την αντιμετώπιση τέτοιου είδους συστημάτων έχει γίνει η χρήση του Agent Based Modelling, καθώς πρόκειται για ένα περιβάλλον όπου καθορίζονται τα χαρακτηριστικά των ενδιαφερόμενων μελών και παρατηρείται που οδηγείται το εκάστοτε σύστημα. (*πχ αξία μετοχών αναλόγως με την συμπεριφορά των μετόχων*)

Η χρήση του agent based modelling θα βοηθήσει στη δημιουργία ενός μοντέλου προσομοίωσης του συστήματος διαχείρισης, όπου θα καθορίζονται οι συνθήκες του περιβάλλοντος, θα λαμβάνονται τα αποτελέσματα από αυτό και με τον τρόπο αυτό θα συμβάλλει στον στρατηγικό σχεδιασμό και στις στρατηγικές αποφάσεις.

## Κεφάλαιο 4: Agent Based Modelling

Το Agent Based Modelling Simulation (ABMS) αποτελεί ένα σχετικά καινοτόμο τρόπο προσομοίωσης και σύμφωνα με ορισμένους επιστήμονες θεωρείται «ο τρίτος τρόπος για να κάνουμε επιστήμη – στο γενικότερο πλαίσιο του “in silico”»<sup>2</sup>» (πέραν των *in vitro* και *in vivo*). Καθώς τα συστήματα τόσο οικονομικά, όσο και κοινωνικά γίνονται ολοένα πιο πολύπλοκα, παρατηρείται πολλές φορές αδυναμία σωστής αποτύπωσης αυτών από τις κλασσικές μεθόδους μοντελοποίησης. Έτσι το ABMS είναι πολλά υποσχόμενο και φαίνεται στο άμεσο μέλλον να έχει σημαντική επίδραση στη λειτουργία των εργαστηρίων καθώς επίσης και στην λειτουργία επιχειρήσεων. Το ABMS δύναται να προσομοιάσει πλήθος εφαρμογών όπως χρηματιστηριακή αγορά, διαχείριση επιχειρήσεων, εφοδιαστική διαχείριση, κοινωνικά συστήματα μέχρι και προσομοίωση εξάπλωσης μίας ασθένειας. [4]

Πρόγονος του ABMS θεωρείται η μελέτη των Complex Adaptive Systems (CAS), καθώς χρησιμοποιήθηκε σαν βάση για την ανάπτυξη των ABMS. Η γενική ιδέα λειτουργίας των CAS είναι ότι ορισμένα συστήματα κατασκευάζονται από «κάτω προς τα πάνω» και ότι ένα CAS σύστημα προσαρμόζει την συμπεριφορά του με την εμπειρία που έχει, με τον περίγυρο του καθώς και με τα νέα δεδομένα του περιβάλλοντος του. Αρχικά τα CAS συστήματα αναπτύχθηκαν για να αποτυπώσουν την προσαρμογή βιολογικών συστημάτων

### 4.1 ABMS: Agent-Based Modelling And Simulation

Η μοντελοποίηση των Agent Based προσομοιώσεων γίνεται ολοένα και πιο διαδεδομένη, καθώς τα προβλήματα που εξετάζονται έχουν αυξημένη πολυπλοκότητα, και οι παραδοσιακές τεχνικές μοντελοποίησης δεν μπορούν να την αποτυπώσουν. Ο τρόπος με τον οποίο αλληλοεπιδρούν οι δομικές μονάδες του συστήματος, επιφέρει στιγμιαίες μεταβολές που τυχόν να ξεπεράσουν τις ανοχές του συστήματος, όπως και μετασταθείς ισορροπίες – που μόνο με μια τέτοια προσέγγιση μπορούν να περιγραφούν. Για παράδειγμα, η ανεξαρτησία των δομικών μονάδων της κοινωνίας αυξάνεται και οι σχέσεις μεταξύ τους είναι ολοένα και πιο πολύπλοκες. Ένα παράδειγμα αύξησης της πολυπλοκότητας του συστήματος όπου βρίσκει εφαρμογή το ABMS, είναι η αύξηση των αποκεντρωμένων συστημάτων. Για παράδειγμα, παλαιότερα υπήρχε το κεντρικό σύστημα διάθεσης ηλεκτρικού ρεύματος, συνήθως δημοσίου φορέα, όπου όλοι οι κάτοικοι λάμβαναν ενέργεια μέσω αυτού. Τώρα πια, με τις νέες τάσεις της αγοράς, έχοντας μπει στην αγορά ενέργειας και άλλα ενδιαφερόμενα μέρη (*agents*), δημιουργείται ένα σύστημα όπου οι ενδιαφερόμενοι του συστήματος παράγουν ηλεκτρική ενέργεια, την μοιράζουν και είναι ελεύθεροι να κάνουν τις επενδύσεις που επιθυμούν και να θέσουν οι ίδιοι την τιμολόγηση. Ένας ακόμα λόγος ανάπτυξης των ABMSs είναι ότι παλαιότερα για να είναι εφικτή η προσομοίωση συστημάτων, λάμβαναν χώρα παραδοχές για την απλοποίηση των συστημάτων, χωρίς να είναι απόλυτα ρεαλιστικές, όπως για παράδειγμα ότι η αγορά λειτουργεί «τέλεια» και τα συνεργαζόμενα μέρη λειτουργούν με κοινούς στόχους και χαρακτηριστικά. Με την ανάπτυξη των ABMS είναι πλέον εφικτή η παρέκκλιση από αυτές τις γενικεύσεις, και η δημιουργία ποικιλίας στα χαρακτηριστικά των συνεργαζόμενων μελών, πραγματοποιώντας μία πιο ρεαλιστική μελέτη του συστήματος. Τέλος, ένας

---

<sup>2</sup> “In silico”: Είναι ο όρος που χρησιμοποιείται για τα πειράματα που έχουν προκύψει από προσομοίωση βιολογικών συστημάτων στον υπολογιστή.

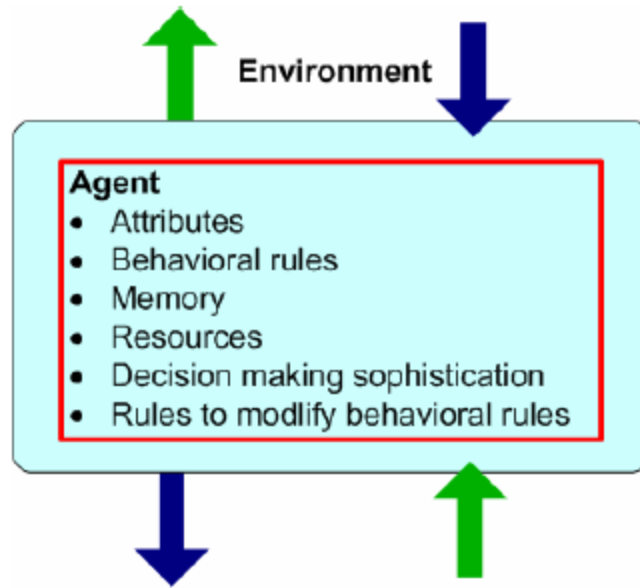
ακόμα λόγος ανάπτυξης των ABMS είναι η ραγδαία ανάπτυξη των πληροφορικών συστημάτων ,αφού η υπολογιστική ισχύ έχει φτάσει σε ένα επίπεδο όπου επιτρέπει τη προσομοίωση τέτοιων πολύπλοκων συστημάτων.

Το ABMS έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε να υποστηρίζει τη δυναμική (dynamic) μελέτη συστημάτων. Σε κάθε προσομοίωση υπάρχουν δομικές μονάδες που αλληλοεπιδρούν με το περιβάλλον καθώς και μεταξύ τους. Οι δομικές αυτές μονάδες ονομάζονται agents, και έχουν μεταφραστεί ποικιλοτρόπως στα ελληνικά, όπως: πράκτορες, φορείς κλπ. Οι agents έχουν την ικανότητα να μετακινούνται στον χώρο, να αναγνωρίζουν τις τοπικές συνθήκες, και με βάση τα ερεθίσματα που λαμβάνουν από το περιβάλλον και άλλους agents, να εκτελούν συγκεκριμένες λειτουργίες. Ο περιβάλλον χώρος, στον οποίο κινούνται, αποτελείται από patches. Τα patches έχουν την ικανότητα να χρωματίζονται και να φέρουν πλήθος μεταβλητών που ορίζει ο προγραμματιστής. Οι agents μεταξύ τους συνδέονται με δύο είδη links: συνδέσμους με κατεύθυνση και συνδέσμους χωρίς κατεύθυνση. Πολλοί agents του ίδιου γένους μπορούν να οργανωθούν σε agentsets. Οι ομάδες αυτές φέρουν, όπως στον αντικειμενοστραφή προγραμματισμό, κοινές ιδιότητες: όπως σχήμα και μεταβλητές.

Στον τομέα της Επιστήμης των Υπολογιστών, ο καθένας χαρακτηρίζει διαφορετικά την έννοια του Agent αναλόγως του επιστημονικού κλάδου που ανήκει. Φαίνεται όμως ότι οι επιστήμονες συμφωνούν σε περισσότερα από ότι διαφωνούν, και οι διαφορές τους έγκειται περισσότερο στη βαρύτητα των χαρακτηριστικών τους. Τα κοινά χαρακτηριστικά που περιγράφουν τους Agents φαίνονται στη συνέχεια:

[4]

- Ένας agent είναι διακριτός, αναγνωρίσιμος και ανεξάρτητος με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά και ακολουθεί συγκεκριμένους κανόνες που καθορίζουν την συμπεριφορά του αλλά και τις δυνατότητες επιλογής που έχει. Με την έννοια διακριτός εννοείται ότι ένας agent διαθέτει όρια, και μπορεί να ξεχωρίσει εάν κάτι αποτελεί δικό του χαρακτηριστικό.
- Ένας agent είναι αυτόνομος και κατευθυνόμενος από μόνος του. Ένας agent έχει την δυνατότητα να αλληλεπιδρά με το περιβάλλον του αλλά και με άλλους agents για ένα συγκεκριμένο εύρος περιπτώσεων σχετικές με τους στόχους και τα ενδιαφέροντά του.
- Οι agents έχουν την δυνατότητα επικοινωνίας με άλλους agents, και μπορούν να διακρίνουν και να ξεχωρίσουν τα αποτυπώματα άλλων agents.
- Οι agents ζουν σε ένα καθορισμένο εξωτερικό περιβάλλον με το οποίο μπορούν και επικοινωνούν
- Οι agents προσπαθούν να επιτυγχάνουν τους προσωπικούς στόχους τους και ταυτόχρονα έχουν την δυνατότητα να συγκρίνουν εάν οι κινήσεις που κάνουν επιφέρουν καλύτερο ή χειρότερο αποτέλεσμα και να προσαρμόσουν αντιστοίχως την συμπεριφορά τους.
- Οι agents έχουν την ικανότητα μνήμης, πράγμα το οποίο σημαίνει ότι ένας agent έχει την δυνατότητα να μαθαίνει και να προσαρμόζει τις συμπεριφορές του αναλόγως με την εμπειρία του. Δηλαδή με τις κινήσεις που έχει κάνει στο παρελθόν και έχει σχηματίσει εικόνα στο ποια κατάληξη έχουν. Έτσι επηρεάζει την λειτουργία του αναλόγως με τα αποτελέσματα που είχαν ληφθεί στο παρελθόν.



Εικόνα 10 Χαρακτηριστικά ενός Agent [4]

Δεν είναι απαραίτητο να ισχύουν όλα τα παραπάνω σε κάθε προσομοίωση. Ο πιο χαρακτηριστικός τρόπος προγραμματισμού των agents είναι με την μέθοδο “if- then”, συσχετίζοντας τις πράξεις τους με τα εξωτερικά ερεθίσματα. Αναλύοντας αυτά τα χαρακτηριστικά φανερώνεται και η δυσκολία του ορισμού του, καθώς τα δύο τελευταία χαρακτηριστικά αποτελούν το βασικότερο χαρακτηριστικό στο τομέα της τεχνητής νοημοσύνης σε σχέση με τα υπόλοιπα. Ταυτόχρονα, το ABMS έχει ρίζες από το τομέα του Multi Agent System (Πολυφορικά ή πολυπρακτορικά συστήματα) και από την ρομποτική στον τομέα της Τεχνητής Νοημοσύνης (Artificial Intelligence). Βέβαια αξίζει να αναφερθεί ότι βασικό αντικείμενο μελέτης των ABMS είναι η μοντελοποίηση συμπεριφορών σε οργανωτικό και κοινωνικό επίπεδο των ανθρώπων.

Υπάρχουν διάφορα προγράμματα τα οποία μπορεί κανείς να χρησιμοποιήσει για να διαμορφώσει κάποιος ένα ABMS. Τα πλέον γνωστότερα είναι τα: MASON, NetLogo και το Repast.

Το Repast (symphony) θεωρείται το καλύτερο πρόγραμμα για την απεικόνιση ενός Πολυφορικού συστήματος (Multiagent System). Η γλώσσα προγραμματισμού που χρησιμοποιείται είναι Java, υπάρχει δυνατότητα απεικόνισης, δυνατότητα δημιουργίας υποπρογραμμάτων και από άποψη ταχύτητας βρίσκεται στα ίδια επίπεδα με το NetLogo. Παρόλαυτα, το συγκεκριμένο πρόγραμμα χρησιμοποιείται από άτομα που έχουν ήδη γνώσεις Java και έχουν μεγαλύτερες απαιτήσεις. Αντίστοιχα το MASON είναι πιο γρήγορο στην εκτέλεση και από τα υπόλοιπα δύο, αλλά και αυτό απαιτεί ήδη υπάρχουσες γνώσεις JAVA και προορίζεται για έναν πιο εξοικειωμένο χρήστη. Έτσι προτιμήθηκε το NetLogo λόγω της ευκολίας στη χρήση του, καλό UI καθώς επίσης και μία μεγάλη επιλογή έτοιμων κωδίκων στη βιβλιοθήκη για να γίνεται ακόμα ευκολότερη η εκμάθηση του προγράμματος.

## 4.2 NetLogo

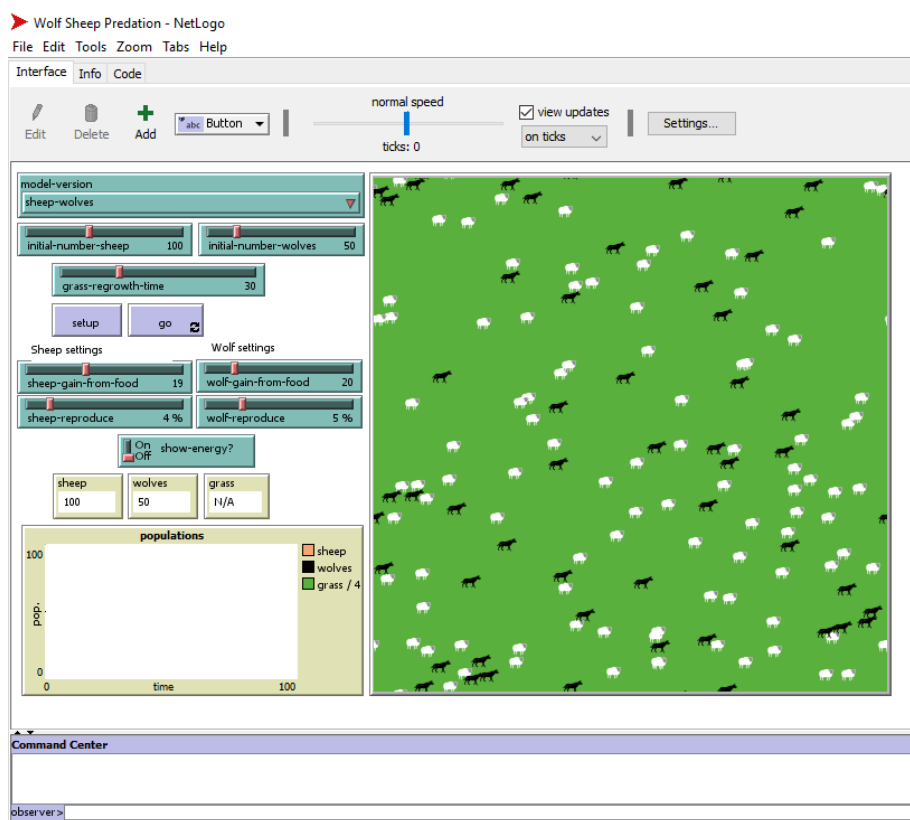
### 4.2.1 Περίληψη

Το NetLogo αποτελεί ένα προγραμματιστικό περιβάλλον στο οποίο ο χρήστης είναι δυνατόν να προσομοιάσει φυσικά και κοινωνικά φαινόμενα. Είναι κατάλληλο για την μοντελοποίηση σχετικά περίπλοκων συστημάτων, καθώς παρέχει τη δυνατότητα προσομοίωσης της συμπεριφοράς χιλιάδων “agents” «ταυτόχρονα» οι οποίοι να αντιδρούν αυτόνομα. Έτσι παρέχεται η δυνατότητα παρακολούθησης συμπεριφορών μικροσκοπικά (agent ή ανά υποομάδα agents), αλλά και μακροσκοπικά καθώς το σύνολο των agents του συστήματος επηρεάζει το υπό εξέταση φαινόμενο. Δημιουργός του Netlogo είναι ο Wilensky Uri και είχε διδακτικούς σκοπούς για τη συγκεκριμένη πλατφόρμα. [5]

### 4.2.2 Δομικοί Λίθοι NetLogo

Ανοίγοντας το πρόγραμμα μπορούμε να πούμε ότι διακρίνουμε 3 Βασικά σημεία:

Τον Χάρτη, Το command Center, και τις καρτέλες πάνω αριστερά. Στη συνέχεια παρουσιάζεται μία εικόνα από το λογισμικό NetLogo όπου φαίνονται τα χαρακτηριστικά μέρη του.



Εικόνα 11 NetLogo's Wolf-Sheep Predator

## Ο Χάρτης

Το Netlogo είναι ιδανικό για την εφαρμογή συστημικής ανάλυσης σύνθετων προβλημάτων. Κάθε σύστημα έχει κάποια γεωγραφικά ή νοητικά σύνορα, μέσα στα οποία αλληλεπιδρούν οι agents. Τα σύνορα αυτά ορίζουν τον Χάρτη. Ο χάρτης είναι ο περιβάλλον χώρος στον οποίο δρουν οι agents. Όσο τρέχει ένα πρόγραμμα παρέχεται μία οπτική εικόνα του συστήματος, των σχέσεων που δημιουργούνται μεταξύ των agents καθώς και την αλληλεπίδραση τους με το περιβάλλον. Στο χάρτη τοποθετούνται 2 μεγάλες κατηγορίες. Τα “**patches**” και οι “**agents**” η κάθε κατηγορία έχει μία σειρά εγγενών μεταβλητων-χαρακτηριστικών.

### Patches

Ο Χάρτης αποτελείται από Patches τα οποία μπορούν να παρομοιαστούν με pixels σε μία εικόνα. Δεν μετακινούνται και έχουν συγκεκριμένες συντεταγμένες ανάλογα με την θέση στην οποία βρίσκονται. Μία εγγενής ιδιότητα των Patches είναι το “*pcolor*” όπου αντιστοιχεί στη μεταβλητή που καθορίζει το χρώμα που έχουν. Το χρώμα κάθε Patch μπορεί να επιλεγθεί να παραμένει σταθερό ή να αλλάζει όταν προκύπτει μία κατάσταση, όπως «Αν ένας agent βρίσκεται επάνω στο συγκεκριμένο patch να λαμβάνει ένα συγκεκριμένο χρώμα». Εκτός από τις εγγενείς ιδιότητες, τα Patches μπορούν να έχουν και άλλες που προκύπτουν από το είδος της ανάλυσης που πραγματοποιείται: πχ επίπεδο μόλυνσης, συγκέντρωση μιας ουσίας, υψόμετρο, ταχύτητα ανέμων κλπ.

Στη Low Level προσομοίωση που έχει γίνει, στο επίπεδο Δήμου, ο χρωματισμός των Patches γύρω από τους κάδους αποτελεί το μέγεθος μόλυνσης.

### Agents

Οι Agents χωρίζονται σε 2 βασικές κατηγορίες: **Turtles** και **Links**

Τα **Turtles** αποτελούν τους Agents οι οποίοι κινούνται στον χώρο. Η κίνηση τους μπορεί να είναι στοχαστική ή ντετερμινιστική (πχ μόνο ευθεία ή και ακίνητα). Έχουν περισσότερα εγγενή χαρακτηριστικά πέρα από το χρώμα (*συγκεκριμένη αρίθμηση, κατεύθυνση, σχήμα, συντεταγμένες, label, μέγεθος*). Ένα ακόμα χαρακτηριστικό των Turtles είναι ότι μπορούν να αναπαράγονται (*δηλαδή να δημιουργούν και άλλα όμοια turtles*) και να πεθαίνουν (*εξαφανίζονται από τον Χάρτη*).

Τα **Links** αποτελούν σχέση ανάμεσα σε 2 ή και περισσότερα Turtles. Αποτελούνται και αυτά από συγκεκριμένες μεταβλητές και μπορούν να τους δοθούν και ορισμένα χαρακτηριστικά (*σχήμα, χρώμα, πάχος, label κτλ*). Ομοίως με τα Turtles τα Links μπορούν να κοπούν ή να δημιουργηθούν εκ νέου. Τα Links δεν κινούνται. Υπάρχουν δύο είδη links αυτά που έχουν κατεύθυνση και φορά (από ποίο Turtle σε ποιο) και αυτά που δεν έχουν. Και στις δύο περιπτώσεις αν κινούνται στον χώρο τα Turtles που είναι ενωμένα, κινούνται και αυτά μαζί τους. Μπορούν για παράδειγμα τα links να παρομοιάζουν μία σχέση μεταξύ turtles ή δεσμούς σε μόρια.

Αξίζει να αναφερθεί ότι τα παραπάνω μπορούν να διακριθούν περαιτέρω και να τα ομαδοποιηθούν ανάλογα με την φύση τους, τα κοινά τους χαρακτηριστικά, ή τους κοινούς στόχους τους. Για παράδειγμα, τα Turtles μπορούν να χωριστούν σε τρία είδη παικτών ενός οικοσυστήματος παικτών: ποντίκια, φίδια



και γάτες. Ομοίως και τα Links. Επιπλέον, πέρα από τις εγγενείς μεταβλητές, ο προγραμματιστής δύναται να προσθέσει επιπλέον χαρακτηριστικά τους με την μορφή μεταβλητών.

### **Command Center**

Το command Center δίνει την δυνατότητα να εκτελεστούν νέες εντολές, είτε για δοκιμαστικούς λόγους, είτε για έλεγχο του συστήματος. Αυτές οι εντολές εκτελούνται όταν υπάρξει παύση της ροής του προγράμματος. Για παράδειγμα «δημιούργησε 3 Turtles», «εμφανισε κάποιες τιμές», «παρακολούθησε ένα συγκεκριμένο Turtle» κοκ.

### **Καρτέλες**

Κάθε πρόγραμμα Netlogo έχει 3 καρτέλες (*tabs*). Στο 1<sup>ο</sup> tab υπάρχει το Interface (εκεί όπου υπάρχει ο χάρτης και το command Center), στο 2<sup>ο</sup> tab οι πληροφορίες για το εκάστοτε σύστημα και στο τελευταίο Tab είναι ο κώδικας της προσομοίωσης (*Εικόνα 11*)

Ο προγραμματιστής μπορεί να χρησιμοποιήσει διάφορα εργαλεία του NetLogo, και να τα συνδέσει με κύριες μεταβλητές της προσομοίωσης, χρήσει κουμπιών ροοστατών και διακοπών. Όλες οι μεταβλητές μπορούν να αποτυπωθούν σε διαγράμματα ως προς το χρόνο.

Στην (*Εικόνα 11*) απεικονίζεται ένα από τα πιο χαρακτηριστικά παραδείγματα του Netlogo και περιγράφεται στη συνέχεια έτσι ώστε να γίνει πιο κατανοητή η λειτουργία των ABMS. Έχει γίνει η προσομοίωση ενός οικοσυστήματος με τρεις βασικούς παίχτες: πρόβατα, λύκους και έδαφος. Τα πρόβατα και οι λύκοι αντιστοιχούν στους Agents του συστήματος, ενώ τα Patches αντιστοιχούν στο έδαφος. Σε πρώτο στάδιο θα πρέπει να γίνει κατανοητό τι ακριβώς μελετάται. Στο εν λόγω παράδειγμα γίνεται η προσομοίωση ενός κλασσικού οικοσυστήματος «θυρευτής-θυράματος» και μελετούνται οι αυξομειώσεις του πληθυσμού σε κάθε κατηγορία. Ο χρήστης μπορεί να μεταβάλλει τις σχεδιαστικές παραμέτρους του πειράματος και να μελετάει τα αποτελέσματα στο οικοσύστημα αυτό. Η αρχή λειτουργίας του συστήματος είναι: οι λύκοι μετακινούνται αναζητώντας τροφή (*πρόβατα*) αναπαράγονται και σε περίπτωση που δεν βρουν τροφή, πεθαίνουν. Αντίστοιχα τα πρόβατα αναζητούν τροφή από το έδαφος, αναπαράγονται και πεθαίνουν. Τα Patches, αναλόγως με το χρωματισμό τους διακρίνονται σε πράσινα που έχουν γρασίδι (*τροφή προβάτων*) και τα καφέ που αντιστοιχούν σε έδαφος χωρίς γρασίδι.

Ένα χαρακτηριστικό των Agents (*πρόβατα, λύκοι*) είναι η «ενέργεια» που διαθέτουν. Η ενέργεια αντιστοιχεί σε έναν μετρητή ο οποίος αυξάνεται με ορισμένο ρυθμό όταν τρέφονται οι agents και μειώνονται κάθε φορά από την μετακίνηση των agents. Όταν η ενέργεια των agents φτάσει σε συγκεκριμένα επίπεδα, οι agents αναπαράγονται: στη θέση του ενός agent δημιουργείται άλλος ένας μοιράζοντας τα αρχικά επίπεδα ενέργειας, όταν αντίστοιχα η ενέργεια μηδενιστεί, πεθαίνουν.

Σε κάθε tick (*μετρητής προόδου της προσομοίωσης*) οι λύκοι και τα πρόβατα μετακινούνται σε τυχαίες κατευθύνσεις. Για την μετακίνηση των agents δαπανάται ενέργεια. Όταν ένας λύκος βρεθεί στο ίδιο Patch με ένα πρόβατο το «τρώει» με αποτέλεσμα το πρόβατο να εξαφανίζεται από το χάρτη και τα ποσά ενέργειας του λύκου αυξάνονται. Αντίστοιχα όταν το πρόβατο βρεθεί σε ένα Patch με γρασίδι, το «τρώει», το Patch αλλάζει χρώμα σε καφέ και το πρόβατο αυξάνει την ενέργεια του.

Ο χρήστης μπορεί να μεταβάλλει ορισμένες σχεδιαστικές παραμέτρους έτσι ώστε να δει τα αποτελέσματα του συστήματος, όπως:

- Ποσό ενέργειας που λαμβάνουν τα πρόβατα από το γρασίδι
- Ποσό ενέργειας που λαμβάνουν οι λύκοι από τα πρόβατα
- Ρυθμός αύξησης στο γρασίδι (*Μετατροπή από καφέ patch, σε πράσινο, όπου μπορεί το πρόβατο να το καταναλώσει*)
- Αριθμός προβάτων κατά την εκκίνηση της προσομοίωσης
- Αριθμός λύκων κατά την εκκίνηση της προσομοίωσης

Παρατηρώντας την λειτουργία της προσομοίωσης, υπάρχουν τιμές στις σχεδιαστικές μεταβλητές όπου το σύστημα βρίσκεται σε δυναμική ισορροπία. Στο στάδιο ισορροπίας φαίνεται ότι ο αριθμός των προβάτων αυξάνεται όπου οδηγεί σε μεταγενέστερη αύξηση του πληθυσμού των λύκων καθώς οι λύκοι αποκτούν εύκολα τροφή. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση του πληθυσμού των προβάτων το οποίο οδηγεί σε μείωση του πληθυσμού των λύκων, καθώς η εύρεση τροφής καθίσταται δύσκολη, το οποίο με τη σειρά του οδηγεί σε αύξηση του πληθυσμού των προβάτων κ.ο.κ. Αντιθέτως υπάρχουν και τιμές οι οποίες οδηγούν το σύστημα εκτός ισορροπίας όπου αυξάνεται πολύ ο πληθυσμός των λύκων με αποτέλεσμα να εξαφανίσουν όλα τα πρόβατα, οδηγώντας σε σταδιακή εξαφάνιση και των λύκων, καθώς δεν θα έχουν τη δυνατότητα να τραφούν.

Με βάση αυτή τη λογική είναι δυνατό με τη χρήση ABMS και συνεπώς και του Netlogo, να σχεδιαστούν διάφορα συστήματα προς μελέτη: η μετάδοση ενός ιού, μοριακές σχέσεις, πυρκαγιά σε δάσος, εφοδιστική αλυσίδα. Από τη βιβλιογραφία παρατηρήθηκε ότι έχουν δημιουργηθεί ορισμένα μοντέλα προσομοίωσης κινδύνου σε κατασκευαστικούς χώρους με στόχο τον υπολογισμό ποσοστού κινδύνου αλλά και τα αποτελέσματα που προκύπτουν στα διάφορα σενάρια. Αυτή η μελέτη οδηγεί σε καλύτερο έλεγχο των κινδύνων που υπάρχουν, δημιουργώντας κατάλληλα μέτρα για την αποφυγή τους. [3] Ακόμα, από τη βιβλιογραφία φαίνεται η δημιουργία ενός πολυφορικού μοντέλου αποτύπωσης των σχέσεων μεταξύ μεγάλων προμηθευτών βιοαποβλήτων και εταιρειών ανακυκλώσεως βιοαποβλήτων στη Φιλανδία, επικεντρωμένο στην αλυσίδα αξίας αποβλήτων (*Waste Value Chain Model*). [16]

Στην παρούσα διπλωματική έγινε η χρήση του Netlogo για την αποτύπωση του συστήματος διαχείρισης των απορριμμάτων στο πλαίσιο ενός Δήμου (*Κεφ. 5.1 Σελ.30*) και στο πλαίσιο μίας περιφέρειας (*πολλών Δήμων*) (*Κεφ. 5.2 Σελ.42*). Η συγκεκριμένη απόπειρα από την έρευνα που πραγματοποιήθηκε θα μπορούσε να χαρακτηριστεί πρωτότυπη, καθώς δεν φαίνεται να έχει γίνει με αντίστοιχο τρόπο στο παρελθόν και για αυτό, για την ανάπτυξη του δεν έχει γίνει η χρήση βιβλιογραφίας ή κάποιας άλλης μελέτης.

Ο λόγος ανάπτυξης αυτών των μοντέλων πραγματοποιήθηκε με σκοπό την αποτύπωση μίας μεθοδολογίας για την λήψη στατηγικών αποφάσεων, καθώς και για την απεικόνιση των σχέσεων μεταξύ αποτελεσμάτων και σχεδιαστικών μεταβλητών. Για την ανάπτυξη ενός τέτοιου μοντέλου καθώς και της αποτύπωσης μίας μεθοδολογίας μελετάται ένα πραγματικό σύστημα, στη περίπτωση μας, αυτό της διαχείρισης των απορριμμάτων. Μελετώντας το σύστημα πρέπει να αναγνωριστούν οι καίριες μεταβλητές που επηρεάζουν το σύστημα, ποιές είναι οι δομικές μονάδες που ανήκουν στο σύστημα διαχείρισης, και ποιά είναι τα χαρακτηριστικά τους, καθώς και να προταθεί ένα σύμπλεγμα δεικτών για

την μέτρηση των αποτελεσμάτων. Η χρήση παραμέτρων βοηθάει στην ακριβέστερη αποτύπωση του προς μελέτη συστήματος, ενώ οι σχεδιαστικές μεταβλητές που αποτελούν τον πυρήνα αποτύπωσης του συστήματος, είναι μεγάλης σημασίας και οι αλλαγές τους επιφέρουν και αλλαγές στα αποτελέσματα. Οι αλγόριθμοι που δημιουργήθηκαν, η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε και τα αποτελέσματα των πειραμάτων που διεξήχθησαν θα αναλυθούν εκτενέστερα στα Κεφάλαια 5 και 6 της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

## Κεφάλαιο 5: Αλγόριθμοι και Μέθοδος

Αποτύπωση του συστήματος διαχείρισης των απορριμμάτων επιλέχθηκε η διάκριση του σε δύο μέρη. Το πρώτο μέρος προσεγγίζεται από την πλευρά των κατοίκων στην παραγωγή και τη διαλογή των απορριμμάτων, αλλά και των παρεχόμενων δομών συστήματος διαχείρισης απορριμμάτων από την πλευρά της διοίκησης του Δήμου. Το δεύτερο μέρος, επικεντρώνεται στην μετέπειτα πορεία των απορριμμάτων, δηλαδή στην επεξεργασία από τις εταιρείες ανακύκλωσης που υπάρχουν στο σύστημα στην ταφή των απορριμμάτων και εν τέλει στην μέτρηση των περιβαλλοντικών, οικονομικών και κοινωνικών επιπτώσεων. Με αυτή τη διάκριση, εστιάστηκε η διαφορετική φύση των συστημάτων, καθώς διευκολύνθηκε το επίπεδο μελέτης και μειώθηκε ο υπολογιστικός χρόνος.

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, ο πρώτος αλγόριθμος (Low Level Analysis) πραγματοποιήθηκε για την αποτύπωση της διαχείρισης των απορριμμάτων εντός των ορίων ενός Δήμου, και ορισμένα από τα αποτελέσματά του, μπορούν να αποτελούν είσοδο για την προσομοίωση στον δεύτερο αλγόριθμο (High Level Analysis), ο οποίος αναφέρεται σε ένα μεγαλύτερο σύστημα που αποτελείται από έναν αριθμό Δήμων και πλέον η μελέτη γίνεται σε ένα εκτενέστερο επίπεδο.

Στο Low Level Analysis έχει γίνει εστίαση στην προσομοίωση της συμπεριφοράς των δημοτών, αλλά και του μηχανισμού διαχείρισης απορριμμάτων ενός Δήμου. Από αυτό το στάδιο ο χρήστης καθορίζοντας το προφίλ του Δήμου, αλλά και την συμπεριφορά των κατοίκων, μπορεί να υπολογίσει ορισμένους κοινωνικούς δείκτες καθώς και το κόστος του Δήμου για τη συντήρηση του συστήματος διαχείρισης απορριμμάτων.

### 5.1 Low Level Analysis

Το Low Level Analysis, αναφέρεται αποκλειστικά στα όρια ενός Δήμου. Έχει θεωρηθεί ότι ο Χάρτης αποτελεί τα όρια του Δήμου και επομένως τα Patches έχουν συγκεκριμένο μέγεθος που το καθένα τους αντιστοιχεί σε μία συγκεκριμένη έκταση. Σε πρώτο στάδιο καθορίζονται οι δομικές μονάδες που αποτελούν έναν Δήμο. Οι δομικές μονάδες<sup>3</sup> αλλά και η λειτουργία τους παρουσιάζονται στη συνέχεια.

#### **5.1.1 Περιγραφή Μεταβλητών – Παραμέτρων – Δομικών Μονάδων του συστήματος**

Οι παρακάτω δομικές μονάδες αποτελούν τους φορείς (*agents*) στο σύστημα:

##### ➤ **Κάτοικοι (Residents)**

Είναι οι κάτοικοι ενός Δήμου και απεικονίζονται στον χάρτη με τη μορφή ανθρώπων. Αξίζει να αναφερθεί ότι για εξοικονόμηση χώρου, αλλά και χρόνου της προσομοίωσης, το κάθε εμφανιζόμενο εικονίδιο ανθρώπου μπορεί να αντιστοιχεί σε περισσότερους από έναν κατοίκους. Οι κάτοικοι (*residents*) προσομοιάζουν την λειτουργία των κατοίκων σε έναν Δήμο και ο ρόλος τους είναι να παράγουν απορρίμματα και να κατευθύνονται προς τους κάδους για την απόρριψή τους σε αυτούς.

---

<sup>3</sup> Σχόλιο: Οι φορείς (*agents*) περιγράφονται με **bold italic**, οι σχεδιαστικές μεταβλητές με **bold** και οι παράμετροι με underline italic

### ➤ **Σημεία κάδων (Bin's Spots)**

Αντιστοιχούν στους χώρους διάθεσης απορριμμάτων που προσφέρονται από τις αρμόδιες αρχές στους κατοίκους. Εκεί βρίσκονται οι κάδοι που διαθέτει ο κάθε Δήμος και απεικονίζονται στον χάρτη σαν άσπρα τετράγωνα. Παρόλο που τα Bin's Spots δεν κινούνται, επιλέχθηκε να αποτυπωθούν σαν φορείς (*Agents*), καθώς σε διαφορετική περίπτωση θα έπρεπε να αποτυπωθούν σαν patches, αφού αποτελούνται από ορισμένα κοινά χαρακτηριστικά. Η επιλογή της απεικόνισης σαν patch, δεν θεωρήθηκε κατάλληλη, καθώς ήδη είχε καθοριστεί ότι το patch αντιστοιχεί σε έκταση Δήμου.

### ➤ **Απορριμματοφόρα (Trucks)**

Αντιστοιχούν στα απορριμματοφόρα που διαθέτει ο Δήμος για τη συλλογή των απορριμμάτων από τους κάδους. Στο χάρτη αποτυπώνονται σαν φορητά με διάφορα χρώματα ανάλογα από το είδος των απορριμμάτων που συλλέγουν. Επιλέχθηκε η αποτύπωση ως φορείς (*agents*), καθώς τα απορριμματοφόρα κατευθύνονται στους κάδους και τους αδειάζουν. Η μετακίνηση αποτελεί χαρακτηριστικό μόνο των **Agents**.

### ➤ **Σταθμός Μεταφόρτωσης Απορριμμάτων (SMA)**

Αποτελεί τον χώρο συλλογής απορριμμάτων όταν τα απορριμματοφόρα γεμίσουν. Τα απορριμματοφόρα όταν γεμίσουν κατά τη διάρκεια της συγκομιδής των απορριμμάτων σε έναν Δήμο, κατευθύνεται σε αυτό για να απορρίψουν τα απορρίμματα που σύλλεξαν. Κάτι τέτοιο προτιμάται ώστε ο Δήμος να εξοικονομεί καύσιμα και χρόνο, αφού έτσι τα απορριμματοφόρα δεν κατευθύνονται στα ΧΥΤΑ κάθε φορά που γεμίζουν.

### Σχεδιαστικές Παράμετροι Συστήματος:

#### ➤ **Πληθυσμός (Population)**

Αναφέρεται στο πόσο μεγάλος είναι ο πληθυσμός του εξεταζόμενου Δήμου.

#### ➤ **Πυκνότητα Δικτύου κάδων (Bins density)**

Αναφέρεται στη πυκνότητα δικτύου των **σημείων κάδων (bins spot)** που φαίνεται στο Χάρτη και έμμεσα καθορίζεται ο αριθμός των spot που θα έχει ο κάθε Δήμος. Πιο συγκεκριμένα, ανάλογα με τον αριθμό της πυκνότητας κάδων, υπάρχει αντίστοιχος αριθμός σειρών και στηλών σημείων κάδων. Για παράδειγμα αν η μεταβλητή πυκνότητα δικτύου κάδων (**Bins Density**) ισούται με 10, θα δημιουργηθούν στον χάρτη 10 σειρές από σημεία κάδων, με 10 σημεία κάδων στη κάθε σειρά.

#### ➤ **Τύποι κάδων (Types of bins)**

Αντιστοιχεί στους τύπους των κάδων που έχει το κάθε **σημείο κάδων** στον Δήμο και ουσιαστικά καθορίζει τον τρόπο που οι δημότες θα διαχωρίσουν τα απορρίμματα που παράγουν (*Εικόνα 12*).

- **Τύποι κάδων = 1.** Ο Δήμος προσφέρει έναν κάδο σε κάθε σημείο κάδων. Ο δημότης, ανεξάρτητα από το αν ανακυκλώνει ή όχι, αναγκάζεται να απορρίπτει τα σκουπίδια του σε έναν κάδο. Έτσι συνεπάγεται ότι ο κάθε κάτοικος παράγει μόνο μη ανακυκλώσιμα απορρίμματα τα οποία τα απορρίπτει στον κάδο.

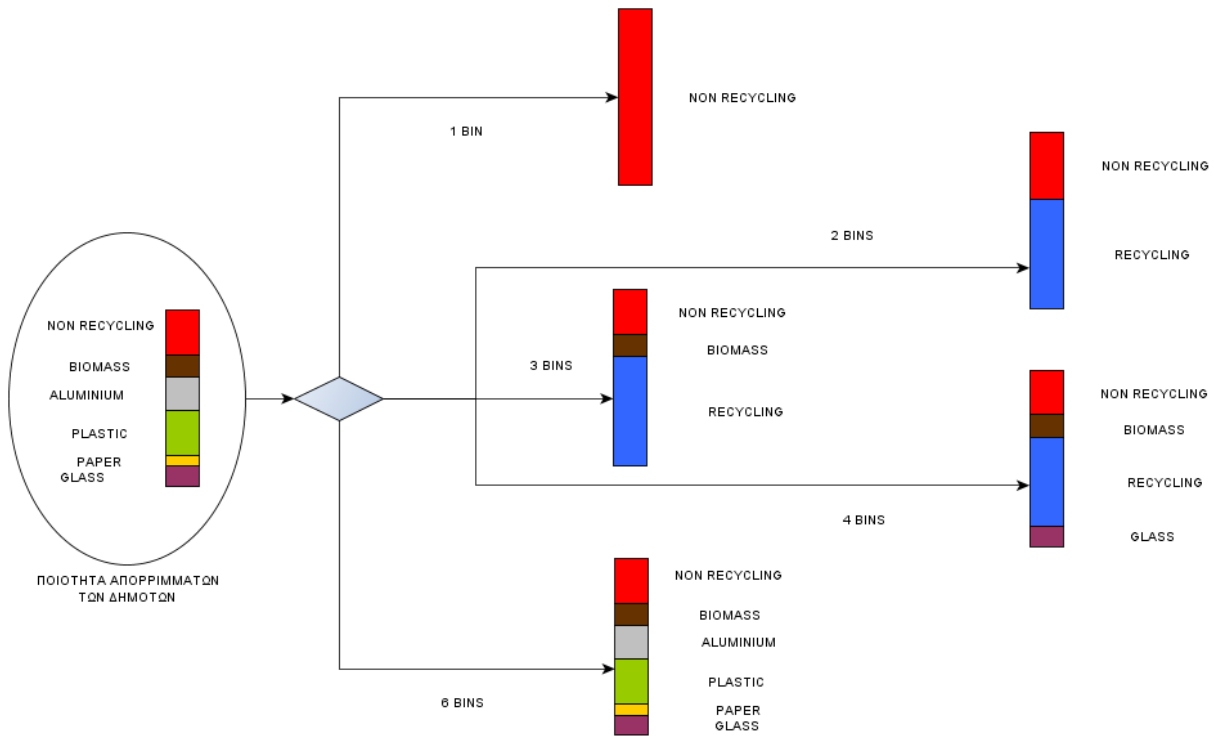
- **Τύποι κάδων = 2.** Ο Δήμος προσφέρει δύο κάδους σε κάθε σημείο. Συνεπώς, θεωρείται πως ο κάθε κάτοικος παράγει δύο τύπους απορριμμάτων. Ανακυκλώσιμα και Μη ανακυκλώσιμα (*Recycling, Non\_recycling*). Ο δημότης κάνει τον διαχωρισμό των απορριμμάτων όπως φαίνεται παρακάτω (*Εικόνα 12*)).

- **Τύποι κάδων = 3.** Ο Δήμος προσφέρει 3 κάδους σε κάθε σημείο. Επομένως, ο κάθε κάτοικος παράγει τρεις τύπους απορριμμάτων. Μη ανακυκλώσιμα, Ανακυκλώσιμα και Βιοδιασπώμενα (*Non\_recycling, Recycling, Biodegradable*). Ο δημότης χωρίζει τα απορρίμματα του σε αυτές τις τρεις κατηγορίες.

- **Τύποι κάδων = 4.** Ο Δήμος προσφέρει 4 τύπους κάδων σε κάθε σημείο. Ο κάθε κάτοικος χωρίζει τα απορρίμματα του σε τέσσερις κατηγορίες. Μη ανακυκλώσιμα, Ανακυκλώσιμα, Βιοδιασπώμενα και έναν τύπο ανακυκλώσιμου ξεχωριστό. Ο αλγόριθμος έχει στηθεί έτσι ώστε η ξεχωριστή διαλογή ανακυκλώσιμου να είναι το Γυαλί.

- **Τύποι κάδων = 6.** Ο Δήμος προσφέρει 6 τύπους κάδων σε κάθε σημείο. Επομένως, ο κάθε δημότης ξεχωρίζει τα απορρίμματα του σε 6 είδη: Μη ανακυκλώσιμα, Βιοδιασπώμενα, Γυαλί, Χαρτί, Πλαστικό και Αλουμίνιο. Αξίζει να αναφερθεί ότι στη συγκεκριμένη περίπτωση δεν υπάρχει ξεχωριστή συλλογή ανακυκλώσιμων, καθώς το κάθε ανακυκλώσιμο απόβλητο που παράγουν οι κάτοικοι υπόκειται σε ξεχωριστή διαλογή. Ουσιαστικά πρόκειται για την βέλτιστη περίπτωση διαλογής στην πηγή.

Στο παρακάτω διάγραμμα, για καλύτερη κατανόηση, φαίνεται εικονικά πώς διαχωρίζουν οι κάτοικοι τα απορρίμματά τους αναλόγως με τον αριθμό των τύπων των κάδων που προσφέρει ο Δήμος (*Εικόνα 12*). Αξίζει να σημειωθεί επιπλέον ότι επιλέχθηκε η συγκεκριμένη διάκριση των τύπων απορριμμάτων ως την βασικότερη. Είναι προφανές ότι η διάκριση των απορριμμάτων είναι πολύ πιο πολύπλοκη και μπορεί να έχει πολύ περισσότερες κατηγορίες. Ταυτόχρονα, η επιπλέον αναφορά σε άλλες κατηγορίες απορριμμάτων δεν προσφέρει κάτι πέρα από αύξηση της πολυπλοκότητας του συστήματος, έτσι επιλέχθηκαν τα παρακάτω είδη απορριμμάτων.



Εικόνα 12 Διαχωρισμός απορριμμάτων από τους Δημότες σε σχέση με τους τύπους κάδων που προσφέρει ο Δήμος

➤ **Χωρητικότητα κάθε κάδου (Capacity of each bin) (kg)**

Αναφέρεται στην χωρητικότητα που έχει ο κάθε κάδος που βρίσκεται στα σημεία κάδων (*Bins Spot*). Επιπλέον για λόγους απλούστευσης όλοι οι κάδοι ανεξαρτήτως τύπου έχουν την ίδια χωρητικότητα. Φυσικά κάτι τέτοιο πιθανότατα δεν είναι τεχνοοικονομικά ορθό, καθώς θα πρέπει να πραγματοποιηθεί εκτενέστερη μελέτη ποσοτήτων ανά τύπο απορρίμματος. Η συγκεκριμένη παράμετρος αντιστοιχεί στην οντότητα των **Σημείων κάδων (*Bins Spot*)**

➤ **Αριθμός απορριματοφόρων (Nr of trucks)**

Αντιστοιχεί στον αριθμό των απορριματοφόρων που διαθέτει ο Δήμος. Από αυτή τη παράμετρο καθορίζεται ο αριθμός των απορριματοφόρων που θα δημιουργηθεί στο σύστημα. Υπάρχει ένας ξεχωριστός τύπος απορριματοφόρων ανάλογα με τους διαφορετικούς τύπους κάδων (**Τύποι κάδων**). Τα είδη αντίστοιχα είναι:

- **Αριθμός απορριματοφόρων Μη ανακυκλώσιμων απορριμμάτων:** Ο αριθμός των απορριματοφόρων για τη συλλογή των κάδων συλλογής Μη Ανακυκλώσιμων. Δημιουργούνται σε κάθε περίπτωση.
- **Αριθμός απορριματοφόρων Ανακυκλώσιμων απορριμμάτων:** Ο αριθμός των απορριματοφόρων για τη συλλογή των κάδων συλλογής Ανακυκλώσιμων απορριμμάτων. Δημιουργούνται για τύπους κάδων = 2,3,4

- **Αριθμός απορριμματοφόρων Βιοαποβλήτων:** Ο αριθμός των απορριμματοφόρων για τη συλλογή των κάδων συλλογής Βιοδιασπώμενων απορριμμάτων. Δημιουργούνται για τύπους κάδων = 3,4,6
- **Αριθμός απορριμματοφόρων συλλογής Γυαλιού:** Ο αριθμός των απορριμματοφόρων για τη συλλογή των κάδων συλλογής Γυαλιού. Δημιουργούνται για τύπους κάδων = 4,6
- **Αριθμός απορριμματοφόρων συλλογής Αλουμινίου:** Ο αριθμός των απορριμματοφόρων για τη συλλογή των κάδων συλλογής Αλουμινίου. Δημιουργούνται για τύπους κάδων = 6
- **Αριθμός απορριμματοφόρων συλλογής Πλαστικού:** Ο αριθμός των απορριμματοφόρων για τη συλλογή των κάδων συλλογής Πλαστικού. Δημιουργούνται για τύπους κάδων = 6
- **Αριθμός απορριμματοφόρων συλλογής Χαρτιού:** Ο αριθμός των απορριμματοφόρων για τη συλλογή των κάδων συλλογής Χαρτιού. Δημιουργούνται για τύπους κάδων = 6

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι από τις παραπάνω οντότητες, η μόνη της οποίας η συμπεριφορά μπορεί να μεταβληθεί είναι η οντότητα **κάτοικοι (Residents)**. Ο χρήστης καλείται πριν από την εκκίνηση της προσομοίωσης να θέσει τιμές σε ορισμένες παραμέτρους, έτσι ώστε να διαμορφώσει το προφίλ του Δήμου και των κατοίκων στο επίπεδο που επιθυμεί να μελετήσει. Οι σχεδιαστικές παράμετροι που πρέπει να ορίσει είναι:

### **Residents**

Οι σχεδιαστικές παράμετροι που αναφέρονται στους **κατοίκους (residents)** είναι οι εξής:

➤ **Ρυθμός παραγωγής απορριμμάτων των κατοίκων ανά μέρα (Trash rate per citizen per day) (kg/day)**

Αναφέρεται στο ρυθμό παραγωγής απορριμμάτων κάθε κάτοικου την μέρα. Σε περίπτωση που ο κάθε **κάτοικος (resident)** αντιστοιχεί σε περισσότερους από έναν κατοίκους, ο ρυθμός παραγωγής πολλαπλασιάζεται αναλόγως. Όλοι οι **κάτοικοι (residents)** παράγουν την ίδια ποσότητα απορριμμάτων.

➤ **Συντελεστής ανακύκλωσης R (%)**

Οι δημότες παράγουν απορρίμματα με μία συγκεκριμένη σύσταση. Η σχεδιαστική παράμετρος R αντιστοιχεί στο ποσοστό των απορριμμάτων που ο δημότης τοποθετεί στον σωστό κάδο. Πρόκειται για ένα μέτρο περιβαλλοντικής συνείδησης των δημοτών και εκφράζει την ικανότητα του δημότη να αναγνωρίζει την ποιότητα των απορριμμάτων που παράγει και να τα αντιστοιχεί στη σωστή ροή ανακυκλώσιμων (φυσικά στη περίπτωση που αυτή παρέχεται από τον Δήμο). Εάν θεωρηθεί ότι το R ισούται με 50%, σημαίνει ότι η μισή ποσότητα του κάθε χρήσιμου υλικού που παράγεται οδηγείται στην κατάλληλη ροή, ενώ το υπόλοιπο 50% οδηγείται σε λάθος κάδους με αποτέλεσμα στην μετέπειτα πορεία των απορριμμάτων να μην είναι εφικτή η εκμετάλλευσή τους ώστε τελικά να καταλήγουν σε χώρους υγειονομικής ταφής.

➤ **Καθαρότητα (Purity) (%)**

Πέρα από την ικανότητα διαλογής του δημότη να επιλέγει τα σωστά απορρίμματα για τις σωστές ροές, πρέπει να καθοριστεί και η ποιότητα ανακύκλωσης που πραγματοποιείται από τους δημότες. Η παράμετρος **καθαρότητας (Purity)** καθορίζει το ποσοστό χρήσιμων απορριμμάτων προς συνολικών απορριμμάτων σε μία ροή. Για παράδειγμα, ο κάδος των ανακυκλώσιμων με **καθαρότητα (purity) = 40%**



σημαίνει ότι μόνο το 40% των απορριμμάτων που βρίσκονται σε αυτή την ροή είναι ανακυκλώσιμα υλικά, ενώ το υπόλοιπο 60% πρόκειται για προσμίξεις οι οποίες δεν επιτρέπουν περαιτέρω εκμετάλλευση.

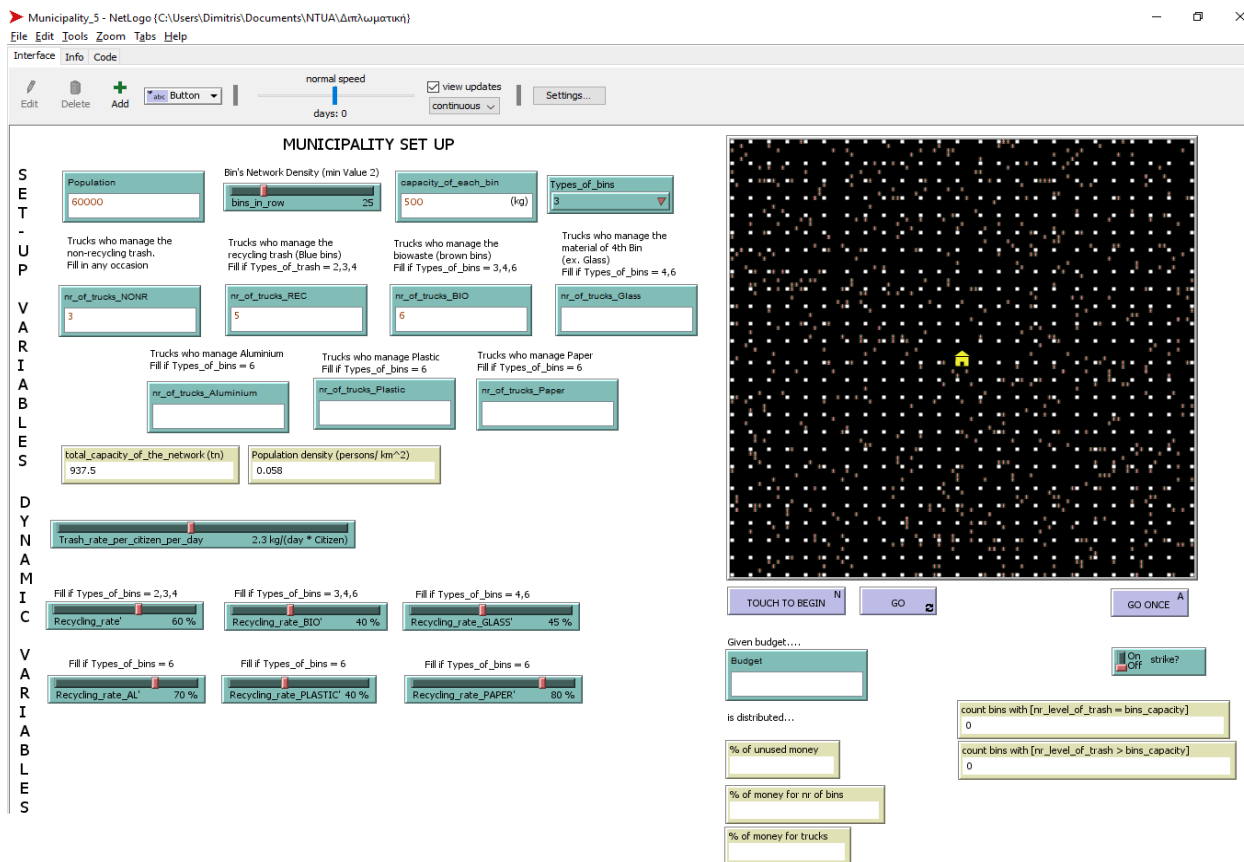
Όπως παρατηρείται υπάρχει μία συσχέτιση μεταξύ των δύο μεγεθών (**R** και **Purity**). Υπάρχει περίπτωση ένας δημότης να κάνει πολύ καλή ανακύκλωση, χωρίς προσμίξεις μη ανακυκλώσιμων στους μπλε κάδους (υψηλό purity), αλλά, να απορρίπτει μόνο λίγα από τα ανακυκλώσιμα απορρίμματα που παράγει (χαμηλό R). Οι παράμετροι Purity και R καθορίζουν την περιβαλλοντική συνείδηση του πολίτη και δεν εξαρτάται από την φύση της ροής των απορριμμάτων, δηλαδή δεν διαφέρει αν το ανακυκλώσιμο υλικό που υπόκειται σε ξεχωριστή συλλογή είναι γυαλί ή βιοαπόβλητα. Έτσι έχει θεωρηθεί ότι οι παραπάνω παράμετροι είναι σταθερές για όλες τις ροές χρήσιμων απορριμμάτων. Τέλος, αξίζει να επισημανθεί ότι υπάρχει συσχέτιση ανάμεσα στα δύο μεγέθη. Αξίζει να αναφερθεί ότι αναλόγως με την ποιότητα των απορριμμάτων που παράγουν οι δημότες, καθορίζεται και η ελάχιστη τιμή που μπορεί να λάβει η καθαρότητα (Purity) για κάθε τιμή του συντελεστή ανακύκλωσης (R).

➤ **Μέγιστος αριθμός κάδων (Max bin changes):**

Αποτελεί και αυτό ένα μέτρο περιβαλλοντικής συνείδησης των πολιτών. Αντιστοιχεί στον μέγιστο αριθμό αλλαγών που μπορεί να κάνει ένας δημότης για να πετάξει τα απορρίμματα του σε περίπτωση που συναντήσει γεμάτο κάδο. Αν ξεπεραστεί αυτό το όριο, τότε ο δημότης θα πετάξει τα απορρίμματα του ανεξάρτητα από το αν ο κάδος είναι γεμάτος ή άδειος. Για παράδειγμα, αν η παράμετρος ισούται με 3, οι δημότες έχουν ανεκτικότητα να κατευθυνθούν σε 3 κάδους για να πετάξουν όλα τους τα απορρίμματα. Σε πρώτο στάδιο, ο δημότης διαχωρίζει τα απορρίμματα αναλόγως με τους τύπους κάδων που υπάρχουν στο σύστημα, για καλύτερη περιγραφή έστω ότι η τιμή του **τύπου κάδων** είναι 2. Σε αυτή τη περίπτωση, ο δημότης κατευθύνεται προς το πρώτο **σημείο κάδων (Bins spot)** για να απορρίψει τα απορρίμματά του. Έστω ότι ο ένας από τους κάδους είναι γεμάτος, ενώ ο άλλος έχει χώρο για να απορριφθούν τα απορρίμματα του. Ο δημότης θα διαθέσει τα απορρίμματα στον κάδο που μπορεί και έπειτα, θα κατευθυνθεί σε άλλο **σημείο κάδων (Bins Spot)** για να μπορέσει να απορρίψει και τα υπόλοιπα απορρίμματα στον κάδο του άλλου τύπου. Αντίστοιχα, αν είναι άδειος, θα πετάξει τα απορρίμματα του ενώ αν είναι πάλι γεμάτος, θα κατευθυνθεί σε τρίτο **σημείο κάδων** και θα πετάξει τα απορρίμματα του ανεξάρτητα από το αν είναι γεμάτος ο κάδος ή όχι. Έτσι ακριβώς δημιουργούνται και οι ξεχειλισμένοι κάδοι. Αντίθετα, αν η τιμή της παραμέτρου **μεγίστου αριθμού κάδων (max changes)** ισούται με 1, σημαίνει ότι ο κάθε δημότης, απορρίπτει τα σκουπίδια του στο πρώτο **σημείο κάδων** που συνάντησε. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να παρατηρούνται πιο έντονα, τοπικά σημεία όπου ξεχειλίζουν οι κάδοι.

Η κατασκευή του αλγορίθμου πραγματοποιήθηκε έτσι ώστε ορισμένες μεταβλητές να έχουν δυναμική συμπεριφορά και να μπορεί ο χρήστης να μεταβάλλει τις τιμές τους και να παρακολουθήσει καθώς τρέχει το σύστημα, τα αποτελέσματα των αλλαγών αυτών. Οι μεταβλητές αυτές είναι ο **ρυθμός παραγωγής απορριμμάτων ανά κάτοικο (Trash rate per citizen per day)**, καθώς και όλες οι συμπεριφορικές μεταβλητές **συντελεστή ανακύκλωσης (R)** και **καθαρότητας (Purity)**

Στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 13) παρατηρείται το Interface του αλγορίθμου.



Εικόνα 13 Interface Low Level Analysis

Για τον πλήρη καθορισμό του συστήματος θα πρέπει να καθοριστούν και άλλες παράμετροι. Υπάρχουν επομένως ακόμα και οι global παράμετροι τις οποίες μπορεί ο χρήστης να μεταβάλλει από την καρτέλλα «Code». Οι παράμετροι αυτές δημιουργήθηκαν έτσι ώστε να περιγραφούν τα χαρακτηριστικά του συστήματος. Παρακάτω εμφανίζονται οι εν λόγω παράμετροι που υπάρχουν στον αλγόριθμο που σχεδιάστηκε:

- Χωρητικότητα Απορριμματοφόρων (Truck capacity): Πρόκειται για την παράμετρο που καθορίζει τη χωρητικότητα του κάθε απορριμματοφόρου. Αποτελεί άξιο αναφοράς ότι για λόγους απλοποίησης της διαδικασίας, τα απορριμματοφόρα ανεξαρτήτως τύπου έχουν ίδια χωρητικότητα.
- sqmeters/patch: Ο χάρτης έχει συγκεκριμένο αριθμό patches. Αυτό που μπορεί να αλλάξει ο χρήστης, αν το επιθυμεί, είναι η αντιστοιχία μεγέθους του κάθε Patch. Έτσι μπορεί να καθοριστεί η έκταση του Δήμου και αντίστοιχα να προσαρμοστεί η μέση δημογραφική πυκνότητα του Δήμου.
- Κόστος καυσίμων (Gas cost): Εκφράζει το κόστος ανά λίτρο καυσίμου.
- Ποσότητα καυσίμου ανά χιλιόμετρο (Gas per km): Αντιστοιχεί στην κατανάλωση καυσίμου του κάθε απορριμματοφόρου.
- C (συντελεστής συντήρησης απορριμματοφόρων - maintance cost): Αντιστοιχεί στο κόστος συντήρησης ανά km του κάθε απορριμματοφόρου.
- Κόστος αγοράς απορριμματοφόρου (Trucks cost): Το κόστος απόκτησης κάθε απορριμματοφόρου από τον Δήμο.

➤ Κόστος κάδων (Bins cost): Το κόστος απόκτησης κάθε κάδου από τον Δήμο. Το κόστος του κάθε κάδου εξαρτάται από το μέγεθος του. Ο χρήστης μπορεί να μεταβάλλει την συνάρτηση κόστους συναρτήσει του μεγέθους των κάδων. Για την πραγματοποίηση της προσομοίωσης τέθηκε μία τυχαία συνάρτηση κόστους της μορφής:

$$Cost_{Bins} = A * \sqrt[B]{Capacity_{Bins}}$$

Δεδομένου ότι οι τιμές προέκυψαν πειραματικά, η συνάρτηση κόστους έχει αυτή την μορφή προκειμένου να έχει λογική συνέπεια και να ισχύει η θεωρία της οικονομίας κλίμακος (όσο αυξάνεται το μέγεθος του κάδου να μειώνεται ο ρυθμός αύξησης του κόστους). Σε πραγματικούς ρυθμούς οικονομίας, και όσο περισσότερους κάδους παραγγείλει ένας Δήμος, τόσο θα μικραίνει το μοναδιαίο κόστος του κάδου, αλλά αυτό δεν συμπεριλήφθηκε στην εν λόγω μελέτη.

➤ Μισθός (Salary):

Ο μέσος μισθός που πληρώνει ο Δήμος τους δημοτικούς υπαλλήλους για την συλλογή απορριμμάτων.

➤ Χρονικές παράμετροι απορριμματοφόρων (Time parameters (Unloading Time, Loading Time, Time per patch)):

Οι χρονικές παράμετροι που απαιτούνται για το κάθε απορριμματοφόρο, έτσι ώστε να ξεφορτώσει τα συλλεχθέντα απορρίμματα στο ΣΜΑ, να αδειάσει τον κάθε κάδο και να μετακινηθεί σε κάθε Patch, αντίστοιχα. Ο χρόνος μετακίνησης του απορριμματοφόρου εξαρτάται από το μέγεθος του κάθε patch, δηλαδή από το μέγεθος του κάθε Δήμου.

➤ Σύσταση παραγόμενων απορριμμάτων των Δημοτών:

Η σύσταση των απορριμμάτων, μπορεί να είναι συγκεκριμένη και να καθοριστεί από την καρτέλλα «code» αλλά το netlogo παρέχει και τη δυνατότητα να προκύπτει από κανονική κατανομή και να διαφέρει για τον κάθε κάτοικο.

- Μη ανακυκλώσιμα
  - Non\_Rec\_percentage\_Trash
  - Biowaste\_percentage\_Trash
- Ανακυκλώσιμα
  - Glass\_percentage\_Trash
  - Aluminium\_percentage\_Trash
  - Paper\_percentage\_Trash
  - Plastic\_percentage\_Trash

### 5.1.2 Αρχή λειτουργίας Low Level

#### Εκκίνηση – Set Up

Σε αυτό το στάδιο ο χρήστης, αφού έχουν τεθεί οι παράμετροι του συστήματος, πατώντας το κουμπί «Set up» ξεκινάει την κατασκευή του χάρτη και μπορεί να αρχίσει η προσομοίωση. Σε αυτό το στάδιο πραγματοποιούνται τα εξής βήματα:

1. Δημιουργούνται τα spots στον Χάρτη ανάλογα με την πυκνότητα που έχει θέσει ο χρήστης.
2. Δημιουργείται το εικονίδιο του Δήμου που αντιστοιχεί στον χάρτη στο **ΣΜΑ (SMA)** που χρησιμοποιεί ο Δήμος.
3. Δημιουργούνται οι **κάτοικοι (Residents)** αναλόγως του **Πληθυσμού (Population)** που έχει τεθεί και τοποθετούνται σε τυχαίες θέσεις στο χάρτη. Εξαιτίας της τυχαίας τοποθέτησης των **residents** στο χάρτη, παρατηρείται να δημιουργούνται «χώροι» με διαφοροποιημένη πυκνότητα (σε ορισμένα σημεία περισσότεροι κάτοικοι ενώ σε άλλα λίγοι έως και καθόλου). Λόγω αυτής της τυχαιότητας της διαδικασίας μπορεί να εμφανίζονται ελαφρώς διαφορετικά αποτελέσματα σε κάθε διαφορετικό set up του Δήμου. Ταυτόχρονα, το σημείο όπου τοποθετούνται αρχικά οι **residents** αντιστοιχεί στο «home patch», δηλαδή στο “σπίτι” των κατοίκων, όπου είναι το σημείο εκκίνησής τους, αλλά και κατάληξής τους, αφού πετάξουν τα απορρίμματα στους κάδους.
4. Δημιουργούνται τα απορριμματοφόρα διαφόρων τύπων, αναλόγως των σχεδιαστικών παραμέτρων που έχουν τεθεί. Αξίζει να επισημανθεί ότι το καθημερινό σημείο εκκίνησης και κατάληξης των απορριμματοφόρων είναι το **Σημείο Μεταφόρτωσης Απορριμμάτων (SMA)**.
5. Καθορίζεται η ποιότητα των απορριμμάτων που παράγουν οι δημότες (συστάσεις απορριμμάτων).
6. Καθορίζεται η διαδρομή των απορριμματοφόρων. Σε αυτό το στάδιο, ανάλογα με τον τύπο των απορριμμάτων που συλλέγει ο Δήμος, αλλά και από τον αριθμό των απορριμματοφόρων για κάθε τύπου απόβλητο καθορίζεται προς ποια σημεία θα κατευθυνθούν τα απορριμματοφόρα. Στη προσομοίωση, τα απορριμματοφόρα κατευθύνονται σε σειρά στο κάθε **σημείο κάδου (Bin spot)** και συλλέγουν από τους κάδους τα απορρίμματα του τύπου που συλλέγουν. Ο λόγος που προγραμματίστηκε να κατευθύνονται σε κάδους που είναι σε σειρά είναι ο ίδιος που επιβάλλει τα απορριμματοφόρα σε ένα πραγματικό σενάριο να κατευθύνονται σε κοντινές περιοχές- γειτονιές. Σε ένα υποθετικό σενάριο όπου ένας Δήμος έχει τρεις τύπους απορριμμάτων (*Μη ανακυκλώσιμα, Ανακυκλώσιμα και Βιοδιασπώμενα*) και για τον κάθε τύπο απορριμμάτων ο Δήμος διαθέτει 4, 2 και 1 απορριμματοφόρα, αντίστοιχα. Το κάθε απορριμματοφόρο για τα Μη Ανακυκλώσιμα απορρίμματα αναλαμβάνει το 25% των σημείων επειδή είναι 4 στο σύνολο, κατευθύνεται σε αυτά και αδειάζει τους κάδους με τα Μη Ανακυκλώσιμα. Έπειτα, τα απορριμματοφόρα τα οποία αντιστοιχούν στα Ανακυκλώσιμα απορρίμματα αναλαμβάνει το καθένα το 50% των κάδων με τα Ανακυκλώσιμα επειδή είναι 2 απορριμματοφόρα στο σύνολο και τέλος, το απορριμματοφόρο που είναι υπεύθυνο για τα Βιοδιασπώμενα αναλαμβάνει να κατευθυνθεί σε όλα τα **σημεία κάδων** και να αδειάζει τους κάδους συλλογής των Βιοδιασπώμενων.

7. Τέλος, καθορίζονται οι τιμές ορισμένων παραμέτρων οι οποίες χρειάζονται για να ξεκινήσει η προσομοίωση και επιπλέον καθορίζεται η μεταβλητή peoples radius που αντιστοιχεί στην ακτίνα εύρεσης κάδων από τους κατοίκους (**residents**). Οι κάτοικοι αναζητούν τους κάδους που βρίσκονται σε αυτήν την ορισμένη ακτίνα από το αρχικό patch (*home patch*) και κατευθύνονται τυχαία προς έναν από αυτούς. Ανάλογα με την ακτίνα δράσης των κατοίκων (peoples radius) και το αρχικό patch του κατοίκου, ενδέχεται εντός ακτίνας να είναι μόνο ένας κάδος ή περισσότεροι, στους οποίους οι **κάτοικοι** (**residents**) κατευθύνονται τυχαία.

### Τρέξιμο Προσομοίωσης – Go

Σε αυτό το στάδιο έχει γίνει η προσπάθεια κατασκευής μίας προσομοίωσης της καθημερινής διαχείρισης των απορριμμάτων σε επίπεδο Δήμου. Αποτελείται από δράσεις των **κατοίκων** (**residents**) για να πετάξουν τα απορρίμματα και από δράσεις των **απορριμματοφόρων** (**Trucks**) για να συλλέξουν τα απορρίμματα των κάδων. Σε αυτό το στάδιο πραγματοποιούνται τα εξής βήματα:

1. Σε αυτό το στάδιο, οι δημότες παράγουν τα καθημερινά απορρίμματά τους. Οι κάτοικοι ανάλογα με τους τύπους των κάδων που διαθέτει ο Δήμος (**Τύποι κάδων - Types of bins**) καθορίζεται, όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω, πώς θα χωρίζουν τα απορρίμματα τους. Αξίζει να σημειωθεί ότι αν η τιμή του **συντελεστή ανακύκλωσης (R)** ισούται με 60%, το 60% των ανακυκλώσιμων που παράγονται κατευθύνονται στους κάδους με τα ανακυκλώσιμα, ενώ το άλλο 40% κατευθύνεται σε κάδους λανθασμένης ροής. (πχ ποσότητα γυαλιού στους κάδους συλλογής αλουμινίου)

2. Έπειτα, χρωματίζονται τα Patches σε κάποια ακτίνα από τον κάδο ανάλογα με το πόσο περισσότερο γεμάτοι είναι οι κάδοι από την χωρητικότητα τους. Κάτι τέτοιο δίνει στο χρήστη μία οπτική εικόνα σε ποια σημεία οι κάδοι γεμίζουν, ξεχειλίζουν ή είναι άδειοι.

3. Σε αυτό το στάδιο ο δημότης αναζητάει κάδο ή κάδους για να διαθέσει τα απορρίμματα του. Αξίζει να σημειωθεί ότι ο δημότης κατευθύνεται τυχαία προς έναν **σημείο κάδου (Bin spot)** όπου βρίσκεται εντός της ακτίνας δράσης των κατοίκων (peoples radius) που έχει καθοριστεί. Αφού κατευθυνθεί εκεί, εάν ο κάδος χωράει τα απορρίμματα που θέλει να απορρίψει, τα πετάει στον κάδο που αντιστοιχεί στον τύπο απορριμμάτων που θέλει να απορρίψει. Εάν ο κάδος είναι γεμάτος θα κατευθυνθεί προς έναν άλλον κάδο πάλι εντός της ακτίνας δράσης των κατοίκων (peoples radius). Αν δεν υπάρχει άλλο **σημείο κάδων (Bin Spot)** σε αυτή την ακτίνα ή αν έχει κατευθυνθεί σε **μέγιστο αριθμό κάδων (max changes)** κάδους (βλέπε σελίδα 34: *Max Bin Changes*), θα απορρίψει τα απορρίμματά του ανεξάρτητα από το εάν ο κάδος είναι γεμάτος ή όχι. Εάν δεν ικανοποιούνται οι παραπάνω συνθήκες διαδικασία θα επαναλαμβάνεται. Στόχος του δημότη είναι να απορρίψει τα απορρίμματα που έχει παραγάγει, όπως και στην πραγματική ζωή, ο δε δημότης θα απορρίψει τα απορρίμματα που έχει παραγάγει είτε εάν οι κάδοι είναι γεμάτοι, είτε όχι. Έπειτα, ο δημότης κατευθύνεται προς το αρχικό patch (*home Patch*).

4. Στη συνέχεια πραγματοποιείται η αποκομιδή των απορριμμάτων από τους κάδους. Τα απορριμματοφόρα διαφόρων τύπων κατευθύνονται προς τους κάδους που έχουν καθοριστεί από το set up stage. Τα απορριμματοφόρα σταματούν τη λειτουργία τους είτε όταν τελειώσει ο χρονικός περιορισμός που έχει τεθεί, είτε εάν έχουν κατευθυνθεί προς όλους τους κάδους και έχουν συλλέξει τα απορρίμματα από αυτούς. Τα απορριμματοφόρα, μόλις γεμίσουν,

κατευθύνονται στο ΣΜΑ όπου και αδειάζουν. Έπειτα συνεχίζουν την διαδικασία και κατευθύνονται στους υπόλοιπους κάδους για να συνεχίσουν το πρόγραμμα που έχει οριστεί από το set up stage. Είναι άξιο αναφοράς, ότι στην περίπτωση που ένα απορριμματοφόρο γεμίσει, αλλά ο κάδος παρ' όλα αυτά δεν έχει αδειάσει, κατευθύνεται στο ΣΜΑ όπου αδειάζει και επιστρέφει στον κάδο για να τον αδειάσει εντελώς. Τα απορριμματοφόρα όπως αναφέρθηκε, σταματούν μόλις τελειώσει ο χρονικός περιορισμός που έχουν. Υπάρχει συνεπώς μία μεταβλητή η οποία μετράει το χρόνο λειτουργίας των απορριμματοφόρων. Αυτή η μεταβλητή αυξάνεται κάθε φορά που το απορριμματοφόρο μετακινείται, αδειάζει κάποιον κάδο και αδειάζει το περιεχόμενο του στο **Σημείο Μεταφόρτωσης Απορριμμάτων (SMA)**. Αυτές οι παράμετροι καθορίζονται στο 7<sup>ο</sup> στάδιο του set up.

5. Επαναλαμβάνεται ο χρωματισμός των patches ανάλογα με το πόσο έχει ξεπεραστεί η χωρητικότητα των απορριμματοφόρων.

6. Προκύπτουν τα κόστη του Δήμου και μετρούνται οι διάφοροι δείκτες, οι οποίοι αναφέρονται και παρακάτω.

### Αποτελέσματα από την προσομοίωση

Η συγκεκριμένη προσομοίωση πραγματοποιείται με στόχο να επιτρέψει να μετρηθούν ορισμένοι κοινωνικοί οικονομικοί και περιβαλλοντικοί δείκτες. Από την προσομοίωση σε Low Level, λαμβάνονται τα εξής αποτελέσματα:

- Μέση Διανυόμενη απόσταση (Mean Covered Distance) των κατοίκων: Μετριέται η μέση απόσταση που διανύουν οι πολίτες κάθε μέρα για τη ρίψη των απορριμμάτων. Αντιστοιχεί σε έναν κοινωνικό δείκτη «Ευκολίας» που προσφέρεται από τις αρχές του Δήμου στους κατοίκους για την διάθεση των απορριμμάτων τους.
- Πληρότητα των κάδων για κάθε τύπου απορρίμματος: Μετράται τι ποσοστό των κάδων που υπάρχουν στο σύστημα έχουν γεμίσει σε ποσοστά <20%, 20-40%, 40-60%, 60-80%, 80-100%, >100%. Αξίζει να αναφέρουμε ότι μετράται αφού ολοκληρωθεί και η συγκομιδή των απορριμμάτων από τα απορριμματοφόρα. Πρόκειται για έναν κοινωνικό δείκτη καθώς και έναν δείκτη αποδοτικότητας της λειτουργίας των απορριμματοφόρων.
- Χρωματισμός Patches: Πρόκειται για έναν ποιοτικό δείκτη που εμφανίζεται κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης. Αναλόγως με τον χρωματισμό στο Χάρτη φαίνεται σε ποιους κάδους συλλέγονται περισσότερα απορρίμματα και «μολύνεται» περισσότερο η περιοχή. (Εικόνα 19, Σελίδα 59)
- Ύψος μηνιαίων εξόδων του Δήμου για την συντήρηση του συστήματος διαχείρισης απορριμμάτων.

$$Cost\_per\_km_{trucks} = Gas\_per\_km_{trucks} * Gas\_cost$$

$$Operational\_Cost = distance_{trucks} * (Cost_{per\_km\_trucks} + C) + (NR_{trucks} * 2 * salary)_{each\ Month}$$

- Ημερήσιες ποσότητες απορριμμάτων που φτάνουν στο ΣΜΑ: Ουσιαστικά αφορά την ποσότητα των απορριμμάτων που συλλέγεται καθημερινά από τους κάδους. Έτσι είναι εφικτός ο υπολογισμός του ρυθμού παραγωγής απορριμμάτων του Δήμου. Για παράδειγμα, εάν τα απορριμματοφόρα και οι κάδοι είναι αρκετοί για το σύστημα, οι ημερήσιες ποσότητες που φτάνουν στο **Σημείο Μεταφόρτωσης**

**Απορριμμάτων (SMA)** συμπίπτουν με την ποσότητα παραγωγής απορριμμάτων των δημοτών. Η συγκεκριμένη μεταβλητή μπορεί να αποτελέσει είσοδο και για το High Level σύστημα.

## 5.2 High Level Analysis

Η ροή των απορριμμάτων, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, δεν σταματάει στη μεταφορά των απορριμμάτων στα σημεία μεταφόρτωσης απορριμμάτων (ΣΜΑ). Στη συνέχεια οι Δήμοι αναλαμβάνουν την μεταφορά τους στα προς επεξεργασία σημεία.

Οι Δήμοι, μετά την αποκομιδή των απορριμμάτων μπορούν να παρουσιαστούν ως «Διαχειριστές» απορριμμάτων, καθώς επιλέγουν με ποιες εταιρείες θα συνεργαστούν, που θα κατευθύνουν τις ποσότητες απορριμμάτων που συλλέχθηκαν και με τι αντάλλαγμα. Φυσικά, οι συνεργασίες εξαρτώνται και από ποιες διαθέσιμες εταιρείες υπάρχουν στο σύστημα. Ταυτόχρονα, αναλόγως της καθαρότητας των απορριμμάτων (*δηλαδή του επιπέδου διαλογής στην πηγή των δημοτών*), μεταβάλλεται αντίστοιχα και η αξία των απορριμμάτων. Ανεξαρτήτως όμως της ποιότητας των απορριμμάτων ο Δήμος θα πρέπει να προσφέρει τα απορρίμματα που έχει συλλέξει είτε σε κάποιο Χώρο Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων, είτε τα ανακυκλώσιμα σε Κέντρο Διαλογής Ανακυκλώσιμων Υλικών, είτε απευθείας σε εργοστάσια ανακύκλωσης.

Επομένως το High Level Analysis αποτελεί μία προσπάθεια δημιουργίας ενός αλγορίθμου που θα περιγραφεί το παραπάνω σύστημα. Σε αυτό το επίπεδο μελετιέται πώς οι επιλογές των εταιρειών στο σύστημα και τα χαρακτηριστικά κάθε Δήμου επηρεάζουν το σύστημα σε περιβαλλοντικό, οικονομικό και κοινωνικό επίπεδο. Ο σκοπός δημιουργίας του αλγορίθμου είναι η πραγματοποίηση μίας «πλατφόρμας μελέτης» όπου μεταβάλλοντας τις σχεδιαστικές παραμέτρους, λαμβάνονται αποτελέσματα, συγκρίνονται και βοηθούν στη λήψη στρατηγικών αποφάσεων. Για παράδειγμα εάν υπάρχει λόγος ύπαρξης ξεχωριστής συλλογής κάθε τύπου απορρίμματος, εάν υπάρχει λόγος επένδυσης για τη δημιουργία ενός ΚΔΑΥ σε σχέση με τις ποσότητες απορριμμάτων που παράγονται και από το ύψος περιβαλλοντικής συνείδησης των πολιτών ενός Δήμου.

Στην εν λόγω προσομοίωση θεωρήθηκε ότι υπάρχει μόνο μία εταιρεία ανακύκλωσης για κάθε τύπο απορρίμματος. Όπως είναι ευκόλως κατανοητό, οι σχέσεις μεταξύ των εταιρειών και των Δήμων, είναι αρκετά περίπλοκες. Θα πρέπει πρωτίστως να υπογραφούν συμβάσεις μεταξύ των εταιρειών και των Δήμων, καθώς και μεταξύ των ΚΔΑΥ και των Δήμων. Έτσι, έγιναν αρκετές παραδοχές ώστε το σύστημα να απλοποιηθεί αρκετά. Οι παραδοχές αυτές θα περιγραφούν αναλυτικότερα στη συνέχεια μαζί με την περιγραφή του αλγορίθμου.

### **5.2.1 Περιγραφή Μεταβλητών – Παραμέτρων – Δομικών Μονάδων High Level συστήματος**

Η μελέτη στο συγκεκριμένο στάδιο ανάλυσης εστιάζει στην αλληλεπίδραση μεταξύ πολλών Δήμων, εταιρειών ανακύκλωσης, ΚΔΑΥ και Χώρου Υγειονομικής Ταφής. Για την προσομοίωση, θεωρήθηκε ότι ο χάρτης αντιστοιχεί στον χώρο όπου συνυπάρχουν οι Δήμοι και οι εταιρείες. Σε αυτή την προσομοίωση, πραγματοποιείται χρωματικός διαχωρισμός των Patches έτσι ώστε να διακριθεί η κατοικίσιμη από τη βιομηχανική περιοχή. Τα Patches αποτυπώνουν έκταση και σε αυτό το επίπεδο, αλλά δεν έχει οριστεί κάποια συγκεκριμένη τιμή όπως στον Low Level Αλγόριθμο. Πιο συγκεκριμένα, οι δομικές μονάδες και οι μεταβλητές που αποτελούν αυτό το σύστημα είναι οι εξής:



## Φορείς (Agents)

### ➤ **Δήμοι (Municipalities)**

Πρόκειται για τους Δήμους του συστήματος. Οι Δήμοι απεικονίζονται σε τυχαίες θέσεις στον χάρτη και έχουν σύμβολο ένα σπιτι. Στο σύστημα που μελετάται, αντιστοιχούν στους παραγωγείς απορριμμάτων.

### ➤ **Εταιρείες ανακύκλωσης**

Μέσα σε ένα σύστημα, υπάρχουν οι εταιρείες που έχουν ως στόχο την απόκτηση κέρδους από την ανακύκλωση απορριμμάτων. Αυτές οι εταιρείες λαμβάνουν ως πρώτη ύλη Ανακυκλώσιμα απορρίμματα, τα οποία επεξεργάζονται παράγοντας πρώτη ύλη και έπειτα τα επαναδιαθέτουν στην αγορά. Συνήθως οι εταιρείες αυτές είναι επικεντρωμένες σε ένα είδος υλικού (πχ Αλουμίνιο, Πλαστικό, κ.α.). Ο αλγόριθμος διαθέτει τη δυνατότητα επιλογής των εταιρειών που αποτελούν στο μελετώμενο σύστημα. Απεικονίζονται στο Χάρτη με το σύμβολο εργοστασίου (industry) και ο χρωματισμός τους εξαρτάται από τον τύπο απορρίμματος που επεξεργάζονται. Οι επιλογές στις εταιρείες ανακύκλωσης είναι οι εξής:

- **Εταιρείες ανακύκλωσης Βιοαποβλήτων (Compost Industries):** Αναλαμβάνουν την ανακύκλωση των Βιοδιασπώμενων. Οι εταιρείες αυτού του τύπου λαμβάνουν τη βιομάζα και με κατάλληλη επεξεργασία παράγουν λίπασμα ή εδαφοβελτιωτικό.
- **Εταιρείες ανακύκλωσης Γυαλιού (Glass Industries):** Αναλαμβάνουν την ανακύκλωση των γυάλινων συσκευασιών – μπουκαλιών και παράγουν πρώτη ύλη για γυαλί ή καινούρια μπουκάλια.
- **Εταιρείες ανακύκλωσης Χαρτιού (Paper Industries):** Αναλαμβάνουν την ανακύκλωση του Χαρτιού αναλόγως με την ποιότητα της πρώτης ύλης την οποία λαμβάνουν και κατασκευάζουν από αυτά χαρτόνια και άλλα χάρτινα υλικά.
- **Εταιρείες ανακύκλωσης Πλαστικού (Plastic Industries):** Αναλαμβάνουν την ανακύκλωση του πλαστικού. Υπάρχουν αρκετά είδη πλαστικού και η τεχνογνωσία σε αυτή την αγορά είναι αρκετά εκτεταμένη.
- **Εταιρείες ανακύκλωσης Αλουμινίου (Aluminium Industries):** Αναλαμβάνουν την ανακύκλωση του αλουμινίου.

### ➤ **Χώρος Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων (ΧΥΤΑ)**

Πρόκειται για τους χώρους υγειονομικής ταφής όπως έχουν αναφερθεί και προηγουμένως. Σε αυτά κατευθύνονται τα απορρίμματα των οποίων η εκμετάλλευση δεν είναι δυνατή. Στο ΧΥΤΑ κατευθύνονται τρία ξεχωριστά είδη απορριμμάτων. Α) Τα απορρίμματα τα οποία έχουν συλλεχθεί από τους κάδους των μη ανακυκλώσιμων, Β) τα υπολείμματα από τις εταιρείες ανακύκλωσης και τα ΚΔΑΥ, και Γ) τα μη εκμεταλλεύσιμα απορρίμματα.

Τα υπολείμματα από τις εταιρείες και τα ΚΔΑΥ αντιστοιχούν σε απορρίμματα τα οποία είτε δεν έχουν κάποια προστιθέμενη αξία και δεν μπορούν να ανακυκλωθούν περαιτέρω, είτε δεν γίνεται να ανακυκλωθούν εξαιτίας του τεχνολογικού επιπέδου των εταιρειών, είτε πρόκειται για μη ανακυκλώσιμα απορρίμματα, όπου λόγω κακής διαλογής στην πηγή από τους κατοίκους βρέθηκαν σε λάθος κάδο. Τα μη εκμεταλλεύσιμα απορρίμματα (*unexploited Trash "Type"*) αντιστοιχούν στα απορρίμματα τα οποία

έχουν διαχωριστεί από τους δημότες, αλλά η δυναμικότητα που έχουν οι εταιρείες ανακύκλωσης έχει εξαντληθεί με αποτέλεσμα το σύστημα να μην επιτρέπει την περαιτέρω εκμετάλλευσή τους. Έχει γίνει επομένως η παραδοχή ότι τα απορρίμματα αυτά οδηγούνται στο ΧΥΤΑ. Όλα τα απορρίμματα τα οποία οδηγούνται στο ΧΥΤΑ, θάβονται.

#### ➤ **Κέντρο Διαλογής Ανακυκλώσιμων Υλικών (ΚΔΑΥ)**

Το ΚΔΑΥ είναι η μονάδα διαχωρισμού των ανακυκλώσιμων υλικών σε επιμέρους υλικά. Στο σύστημα το ΚΔΑΥ λαμβάνει τα σύμμεικτα ανακυκλώσιμα απορρίμματα που έχουν συλλεχθεί από το σύστημα διαχείρισης απορριμμάτων των Δήμων (τα οποία δεν έχουν ξεχωριστεί, δηλαδή στις περιπτώσεις όπου ο Δήμος έχει **Τύπους κάδων (Types\_of\_bins) = 2, 3, 4**). Ο Δήμος αποστέλλει αυτά σύμμεικτα απορρίμματα στο ΚΔΑΥ όπου ξεχωρίζονται σε επιμέρους υλικά και προωθούνται προς τις εταιρείες ανακύκλωσης.

#### ➤ **Απορριματοφόρα (Trucks)**

Τα απορριματοφόρα μεταφέρουν τα απορρίμματα από τους Δήμους προς τις αντίστοιχες μονάδες του συστήματος. Επιλέχθηκαν να συμπεριληφθούν στην προσομοίωση έτσι ώστε να είναι εφικτή η μελέτη του περιβαλλοντικού αποτυπώματος από την μεταφορά των απορριμμάτων, αλλά και για να είναι επίσης δυνατή η ποιοτική κοστολόγηση των εξόδων για μεταφορά των απορριμμάτων από τον Δήμο και το ΚΔΑΥ προς τις εταιρείες ανακύκλωσης (με αντίστοιχες συναρτήσεις κόστους όπως στην περίπτωση του *Low Level Analysis*).

Στο σύστημα επιτρέπεται η ύπαρξη μίας μόνο εταιρείας για κάθε τύπο απορρίμματος. Αυτό επιλέχθηκε παρ' όλο που δεν περιγράφει ένα ρεαλιστικό σύστημα, στο οποίο υπάρχουν αρκετές εταιρείες ανακύκλωσης ίδιου τύπου απορρίμματος, καθώς είναι δύσκολη η αποτύπωση των στοιχείων ανταγωνισμού, αγοράς και των σχέσεων μεταξύ αυτών. Το ίδιο ισχύει για το ΚΔΑΥ. Δημιουργείται ένα κεντρικό ΚΔΑΥ που αναλαμβάνει το διαχωρισμό των Ανακυκλώσιμων απορριμμάτων από τους Δήμους του συστήματος. Παρ' όλα αυτά, ο αλγόριθμος που δημιουργήθηκε μπορεί να αποτελέσει μία βάση για να αναπτυχθεί περαιτέρω στο πλαίσιο μελλοντικής έρευνας, έτσι ώστε να γίνει η μελέτη της αγοράς των ανακυκλωσίμων.

#### Σχεδιαστικές Παράμετροι

Σε πρώτο στάδιο πρέπει να καθοριστούν οι σχεδιαστικές παράμετροι, έτσι ώστε να διαμορφωθεί το προς μελέτη σύστημα. Οι παράμετροι οι οποίες πρέπει να καθοριστούν είναι οι εξής:

#### ➤ **Εργοστάσια (Industries) Συστήματος**

Πρωτίστως καθορίζονται τα είδη εταιρειών που θα δημιουργηθούν στο προς μελέτη μοντέλο. Ο μελετητής έχει την δυνατότητα να επιλέξει ποιες εταιρείες θα υπάρχουν στο σύστημα και ποιες όχι με τη χρήση διακοπών που προσφέρονται από το περιβάλλον του Netlogo. Για παράδειγμα, μπορεί ένα σύστημα να μην έχει ΚΔΑΥ, καθώς οι δημότες διαχωρίζουν όλα τα απορρίμματα τους, ή ένα σύστημα όπου να μην υπάρχει ένας συγκεκριμένος τύπος εταιρείας. Για την κάθε εταιρεία του συστήματος θα πρέπει να καθοριστούν οι εξής παράμετροι:

- Ημερήσια δυναμικότητα εταιρειών ανακύκλωσης (Capacity of industry “X”)

Καθορίζεται η ημερήσια δυναμικότητα για το κάθε εργοστάσιο ανακύκλωσης. Το κάθε εργοστάσιο θεωρείται ότι έχει μία συγκεκριμένη ημερήσια δυναμικότητα. Ο κάθε **Δήμος** (ή το **ΚΔΑΥ**) αποστέλλει τα Ανακυκλώσιμα απορρίμματα στις **εταιρείες**. Σε περίπτωση που καλυφθεί η ημερήσια δυναμικότητά τους, τα απορριμματοφόρα του Δήμου κατευθύνονται προς το ΧΥΤΑ και επομένως τα απορρίμματα τάφονται ανεκμετάλλευτα παρόλο που είναι διαχωρισμένα είτε στη πηγή (στο Δήμο) είτε στο ΚΔΑΥ. Όπως είναι προφανές, μία τέτοια κατάσταση δεν είναι επιθυμητή, καθώς υπάρχει μεγάλη απώλεια πόρων και ταυτόχρονα σε περίπτωση που γνωστοποιηθεί μία τέτοια κατάσταση στους κατοίκους οδηγεί σε μείωση της διαλογής στη πηγή και σε μείωση της περιβαλλοντικής συνείδησης αυτών. Αυτή η μεταβολή συμπεριφοράς των κατοίκων δεν εξετάστηκε στη παρούσα διπλωματική.

- Συντελεστής Μετατροπής εταιρειών ανακύκλωσης (“X industries” Conversion)

Πρόκειται για την αποτύπωση του τεχνολογικού επιπέδου που έχει ένα εργοστάσιο. Σε ένα εργοστάσιο ανακύκλωσης δεν ανακυκλώνεται το 100% της ποσότητας ανακυκλώσιμων που λαμβάνεται, καθώς ανάλογα με την διεργασία που χρησιμοποιείται, αλλά και την ποιότητα της πρώτης ύλης που δέχεται από τους Δήμους υπάρχουν ορισμένες απώλειες. Πρόκειται ουσιαστικά για συντελεστή απόδοσης του εργοστασίου. Να σημειωθεί όμως ότι αποτελεί ξεχωριστό κομμάτι από τον διαχωρισμό των αναμειγμένων απορριμμάτων που έχουν ληφθεί λόγω κακής διαλογής στην πηγή. Η έννοια του συντελεστή μετατροπής (Conversion) αποτυπώνεται στην *Εικόνα 17 Λειτουργία εταιρείας ανακύκλωσης (Σελίδα 53)*, καθώς και στις εξισώσεις που παρατίθενται παρακάτω.

- Εργαζόμενοι (Employers)

Αναλόγως με τη δυναμικότητα της εταιρείας καθορίζεται ο αριθμός των εργαζομένων αυτής. Η σχέση ανάμεσα στην δυναμικότητα της εταιρείας και του αριθμού των εργαζομένων καθορίζεται στη καρτέλα “Code”. Η συγκεκριμένη προσθήκη πραγματοποιήθηκε για τη μέτρηση των θέσεων εργασίας που ενδέχεται να δημιουργηθούν, ενώ αποτελεί έναν σημαντικό κοινωνικό δείκτη για την προσμέτρηση του κόστους εργασίας των εταιρειών στα έξοδα λειτουργίας

- **Central\_KDAY**

- Δυναμικότητα ΚΔΑΥ (Capacity KDAY)

Αντιστοιχεί στην καθημερινή δυναμικότητα που έχει το κεντρικό ΚΔΑΥ στο διαχωρισμό απορριμμάτων που δέχεται.

- **ΧΥΤΑ**

- Landfills Total capacity

Καθορίζεται η ποσότητα που χωράει ο Χώρος ταφής των απορριμμάτων. Στην εν λόγω προσομοίωση, όταν γεμίσει το ΧΥΤΑ, θεωρείται ότι λήγει η προσομοίωση καθώς οι **Δήμοι** και οι **εταιρείες** δεν θα μπορούν πλέον να εναποθέσουν τα Μη ανακυκλώσιμα απορρίμματα τους.

Θα πρέπει να καθοριστεί μέσω της μεταβλητής **Τύποι κάδων συστήματος (Types of bins system)**, πόσους τύπους κάδων θα έχουν οι Δήμοι. Θεωρήθηκε, ότι όλοι οι Δήμοι στο σύστημα, έχουν ίδιους τύπους κάδου. Ομοίως όπως και στο Low Level Analysis, οι επιλογές:

- **Types of bins system = 1, 2, 3, 4, 6**

Ανάλογα με την τιμή της μεταβλητής καθορίζεται το χρώμα του εικονιδίου του Δήμου

Πίνακας 4 Χρωματισμός εικονιδίων Δήμου

Types_of_bins_system = 1	Κόκκινο
Types_of_bins_system = 2	Μπλε
Types_of_bins_system = 3	Καφέ
Types_of_bins_system = 4	Μωβ
Types_of_bins_system = 6	Πράσινο

- **Δήμοι (Municipalities)**

Τα χαρακτηριστικά του κάθε Δήμου (εκτός της μεταβλητής *Purity*), καθορίζεται στη καρτέλα του «Code». Επιπλέον, αξίζει να αναφερθεί ότι εφόσον υπάρχει μία κεντρική σχεδιαστική μεταβλητή (**Τύποι κάδων συστήματος Types of bins system**), η οποία καθορίζει τους τύπους των κάδων που έχει ο κάθε Δήμος, υπάρχουν ξεχωριστές τιμές σε ορισμένες παραμέτρους για κάθε έναν Δήμο (ο αλγόριθμος έχει σχεδιαστεί έτσι να υποστηρίζει 5 Δήμους, είναι δυνατόν με αλλαγή στο πρόγραμμα να υποστηρίζει με την ίδια λογική περισσότερους). Σε αυτό το σημείο καθορίζονται για τον κάθε Δήμο τα εξής χαρακτηριστικά και οι εξής παράμετροι:

- Πληθυσμός Δήμου (Population)

Καθορίζεται ο αριθμός κατοίκων που έχει ο Δήμος. Απαιτείται ώστε να προκύψουν τα δημοτικά τέλη, τα οποία θα πρέπει να καταβάλλει ο κάθε δημότης για τη διαχείριση των απορριμμάτων από τον Δήμο. Ανεξάρτητα από την επιλογή του **Τύπου κάδων συστήματος (Types of bins system)** ο πληθυσμός είναι συγκεκριμένος.

- Μηνιαίο κόστος κεφαλαίου συστήματος διαχείρισης απορριμμάτων στο εσωτερικό του Δήμου (Investment Cost monthly)

Καθορίζεται το κόστος επένδυσης το οποίο έχει κάνει ο Δήμος για το κάθε σύστημα διαχείρισης απορριμμάτων. Αυτό μπορεί να προκύψει από τα αποτελέσματα του Low Level Analysis. Η συγκεκριμένη παραμέτρος καθορίζεται έτσι ώστε να διαμορφώνονται τα δημοτικά τέλη που θα πρέπει να καταθέσει ο κάθε δημότης, για την αποπληρωμή της όποιας επένδυσης έχει κάνει ο Δήμος για τη δημιουργία του συστήματος που διαθέτει.

- Ποσότητα παραγωγής απορριμμάτων κάθε ροής (Trash rates (of each type of trash)

Ο καθημερινός ρυθμός παραγωγής απορριμμάτων σε τόνους από το Δήμο για Μη Ανακυκλώσιμα, Ανακυκλώσιμα, Βιομάζα, Αλουμινίου, Γυαλί, Πλαστικό και Χαρτί (Non recycling rate, Recycling rate, Biowaste rate, Aluminium rate, Glass rate, Plastic rate, Paper rate). Για επιλογή **Τύπων κάδων συστήματος (Types of Bins System) = 1**, λαμβάνεται η περίπτωση παραγωγής μόνο μη

ανακυκλώσιμων απορριμμάτων (έστω 60tn/day) ενώ για Τύπων κάδων συστήματος **Types of Bins System** = 3 λαμβάνεται η περίπτωση παραγωγής Μη Ανακυκλώσιμων, Ανακυκλώσιμων και Βιοδιασπώμενων (έστω 20tn, 15tn, 25tn).

ο Μηνιαίο Λειτουργικό κόστος συστήματος διαχείρισης Δήμου (Operational in)

Αντιστοιχεί στο καθημερινό κόστος που έχει ο Δήμος για την διαχείριση των απορριμμάτων. Αυτό το μέγεθος μπορεί να προκύψει από το Low Level Analysis και αντιστοιχεί στο κόστος μεταφοράς των απορριμματοφόρων, το κόστος του προσωπικού του Δήμου υπεύθυνων για την καθαριότητα και το κόστος συντήρησης των απορριμματοφόρων.

➤ **Καθαρότητα ροών απορριμμάτων «για κάθε Δήμο» (Purity “MUN. NR”):**

Αντιστοιχεί σε σχεδιαστική μεταβλητή που αναφέρεται στον κάθε Δήμο και αποτυπώνει ένα μέτρο περιβαλλοντικής συνείδησης των πολιτών ενός Δήμου, καθώς αντιστοιχεί στο ποσοστό καθαρότητας των απορριμμάτων που παράγονται από τον κάθε Δήμο. Έτσι όπως έχει δομηθεί ο αλγόριθμος, παρέχεται η δυνατότητα η καθαρότητα των ροών απορριμμάτων (**Purity**) του κάθε Δήμου να μπορεί να μεταβληθεί από το χρήστη κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης ώστε να μελετώνται οι επιπτώσεις που έχει στο σύστημα σε οικονομικό και περιβαλλοντικό επίπεδο.

Έχει θεωρηθεί ότι η **καθαρότητα (Purity)** επηρεάζει κάθε είδος απορρίμματος, καθώς ο ορθός διαχωρισμός απορριμμάτων από τους δημότες δεν διακρίνεται από το είδος των απορριμμάτων αλλά από τη γενικότερη παιδεία των κατοίκων. Για παράδειγμα, θεωρώντας ότι η τιμή της **καθαρότητας (Purity)** = 50%, και η συλλογή του Αλουμινίου στα ΣΜΑ είναι 10tn/day, οι 5tn αντιστοιχούν σε καθαρό αλουμίνιο, το οποίο μπορεί να ανακυκλωθεί, ενώ οι υπόλοιποι 5tn, αντιστοιχούν σε μη χρησιμοποιηθέντα υλικά και χαρακτηρίζονται ως απόβλητο για την εταιρεία ανακύκλωσης αλουμινίου.

$$\begin{aligned} Exploited_{Trash\ type} &= Purity_{Mun. i} * Producted_{Trash\ type} \\ Non\ Recycled_{mixed} &= (100 - Purity) * Producted_{Trash\ type} \end{aligned}$$

➤ **Χρέωση ταφής απορριμμάτων στο ΧΥΤΑ (Gatefee) (€/tn)**

Πρόκειται για το κόστος κάθε Δήμου αναφορικά με τη διάθεση των απορριμμάτων στο Χώρο Υγειονομικής ταφής ανά τόνο.

➤ **Οι εταιρείες προσφέρουν χρήματα για την αγορά ανακυκλώσιμων; (ΝΑΙ ή ΟΧΙ)**  
**does\_industries\_buy\_rec? (“YES” or “NO”)**

Με την συγκεκριμένη επιλογή καθορίζεται αν οι εταιρείες θα προσφέρουν χρήματα για την απόκτηση των Ανακυκλώσιμων απορριμμάτων. Σε περίπτωση που η επιλογή στη σχεδιαστική μεταβλητή είναι «YES» τότε υπάρχει χρέωση στην εκάστοτε εταιρεία και κέρδος στον εκάστοτε Δήμο, ανάλογα με την τιμή που έχει καθοριστεί για τον κάθε τύπο αποβλήτου. Αντιθέτως, σε περίπτωση «NO», δεν υπάρχει καμία χρέωση για την απόκτηση των ανακυκλωμένων απορριμμάτων στις εταιρείες τόσο από τους Δήμους, όσο και από το ΚΔΑΥ.

➤ **Συμμετοχή όλων των Δήμων στο σύστημα για την επένδυση του ΚΔΑΥ (ΝΑΙ ή ΌΧΙ)**  
**(All\_participated\_for\_KDAYs\_Investment?) (“YES” or “NO”)**

Σε περίπτωση που υπάρχει ΚΔΑΥ στην προσομοίωση υπάρχουν 2 επιλογές. Είτε στην επένδυση για την κατασκευή του ΚΔΑΥ να έχουν συμβάλει όλοι οι Δήμοι στο σύστημα ισόποσα, περίπτωση στην οποία τα κέρδη (ή οι ζημιές) μοιράζονται αντιστοίχως ισόποσα. Είτε μόνο ένας Δήμος ανέλαβε την επένδυση του ΚΔΑΥ και επομένως αυτός λαμβάνει όλα τα κέρδη (ή επωμίζεται τις ζημιές). Στη δεύτερη περίπτωση θεωρείται ότι οι Δήμοι δεν πωλούν τα ανακυκλώσιμα απορρίμματα τους στο ΚΔΑΥ. Στην περίπτωση που η επιλογή είναι «NO» θα πρέπει να καθοριστεί η μεταβλητή **Municipality\_NR**, που καθορίζει σε ποιον Δήμο ανήκει το ΚΔΑΥ.

Ακόμα, στην προσομοίωση πέραν των σχεδιαστικών τιμών, έχουν δοθεί ορισμένες τιμές σε global μεταβλητές οι οποίες αποτελούν παραμέτρους οι οποίες δεν είναι καίριας σημασίας για τον σχεδιασμό του συστήματος, αλλά είναι απαραίτητες καθώς αποτελούν ένα μέγεθος που πρέπει να καθοριστεί και αντιπροσωπεύει μία συγκεκριμένη ποσότητα. Οι Global μεταβλητές στο σύστημα μας, οι οποίες μπορούν να αλλάξουν από την καρτέλα “Code” είναι οι εξής:

Global Μεταβλητές

- Κόστος επεξεργασίας εταιρειών ανά τόνο «για την κάθε εταιρεία ανακύκλωσης» Operational cost per ton «X Industry»:

Αντιστοιχεί στο κόστος ανά τόνο επεξεργασίας των Ανακυκλωμένων απορριμμάτων για κάθε εταιρεία. Όλες οι εταιρείες (συμπεριλαμβανομένου και του ΚΔΑΥ) έχουν ένα κόστος που συνδέεται με την παραγωγή. Είναι αξιοσημείωτο, ότι το συγκεκριμένο κόστος αντιστοιχεί ανά τόνο τροφοδοσίας, και όχι ανά τόνο καθαρού υλικού, καθώς μια εταιρεία αξιοποιεί πόρους για να κάνει την διαλογή των χρήσιμων από τα μη χρήσιμα συστατικά. Έτσι οι εταιρείες με αύξηση της καθαρότητας των απορριμμάτων που λαμβάνουν από τους Δήμους αυξάνουν το κέρδος τους, καθώς χρειάζονται λιγότερους πόρους για διαχωρισμό χρήσιμων και άχρηστων υλικών, μειώνονται τα έξοδα στο ΧΥΤΑ και αυξάνεται η πρώτη ύλη που παράγεται η οποία οδηγείται προς πώληση. Πριν την εκκίνηση της προσομοίωσης πρέπει να καθοριστεί η τιμή για το κόστος επεξεργασίας ανά τόνο απορρίμματος για κάθε εταιρεία που βρίσκεται εντός του συστήματος που έχει καθοριστεί.

- Τιμή ανακυκλώσιμου υλικού την αγορά (Price “Recycled Material”)

Αντιστοιχεί στην τιμή ανά τόνο πρώτης ύλης που παράγεται από τις εταιρείες και πωλείται στην αγορά. Σε πραγματικούς ρυθμούς αγορά, η τιμή αλλάζει και εξαρτάται από πολλούς παράγοντες (ποιότητα, συνθήκες αγοράς, προϊόν που παράγεται), θεωρείται σταθερή τόσο για λόγους απλοποίησης της διαδικασίας όσο και γιατί δεν αποτελεί μελέτη της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας. Ταυτόχρονα, θεωρείται ότι οι πρώτες ύλες που παράγονται από την ανακύκλωση, πωλούνται.

- Τιμή ανακυκλώσιμου υλικού (Purchase price «Type»)

Αντιστοιχεί στην τιμή ανά τόνο αγοράς των ανακυκλωμένων από τις εταιρείες ανακύκλωσης στους Δήμους και στο ΚΔΑΥ. Σε πραγματικούς ρυθμούς αγοράς, η τιμή αυτή καθορίζεται από την ποιότητα

του απορρίμματος, τις συμφωνίες μεταξύ των εταιρειών, των Δήμων και ΚΔΑΥ. Για λόγους απλοποίησης, θεωρήθηκε ότι η τιμή είναι σταθερή ανά τόνο. Στη περίπτωση που η σχεδιαστική μεταβλητή **does industries buy rec?** = “NO”, η τιμή ισούται με 0€/tn.

- Κόστος μετακίνησης απορριμματοφόρων ανά Patch (Gas cost)

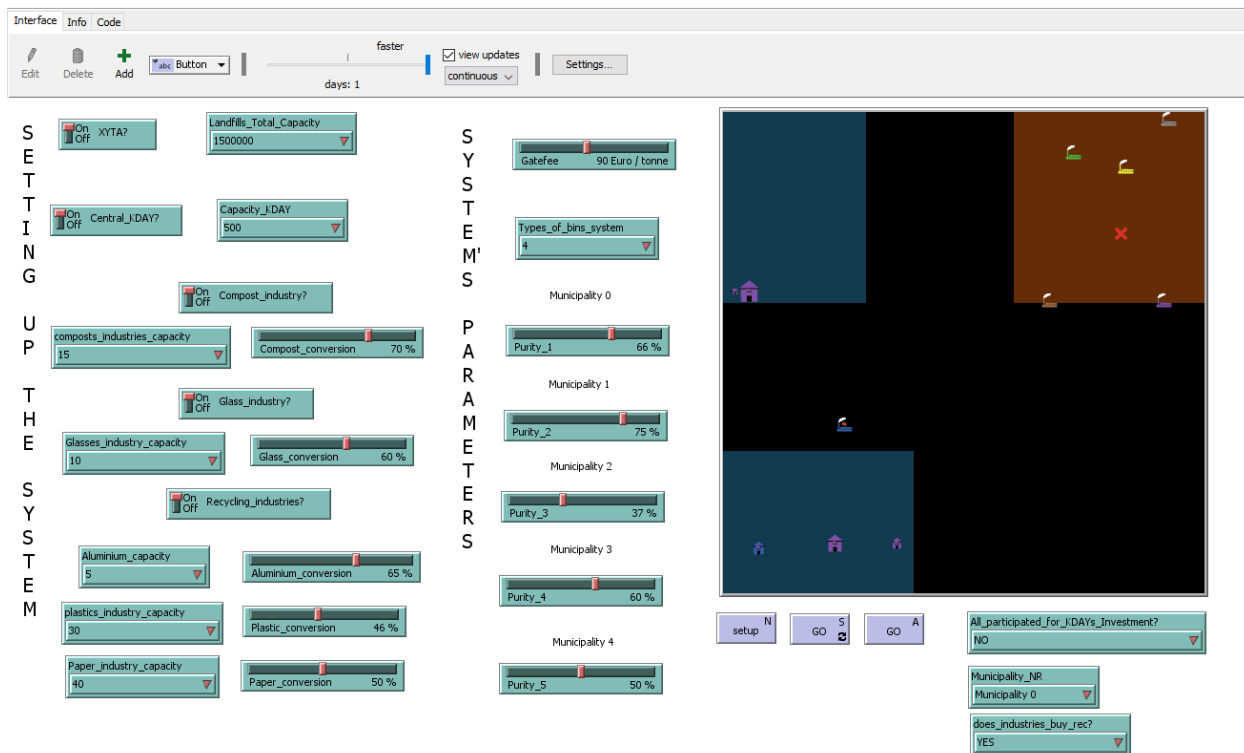
Αντιστοιχεί στο κόστος καυσίμου ανά Patch των απορριμματοφόρων για τη μετακίνησή τους από τους Δήμους, προς τις εταιρείες- ΚΔΑΥ. Για απλοποίηση της διαδικασίας θεωρήθηκε σταθερό.

- Μισθός υπαλλήλων (Salary)

Αντιστοιχεί στο μέσο μισθό των εργαζομένων. Στα λειτουργικά έξοδα της εταιρείας συμπεριλαμβάνονται και τα έξοδα μισθοδοσίας των υπαλλήλων της. Τα έξοδα μισθοδοσίας υπολογίζονται από:

$$Salary\ Cost_{Ind\ X} = Salary * NR\ of\ Employees_{Ind\ X}$$

Είναι εμφανές ότι οι global μεταβλητές στο High Level Analysis είναι εμφανώς λιγότερες από την περίπτωση Low Level Analysis. Κάτι τέτοιο συμβαίνει καθώς το αντικείμενο μελέτης του High Level Analysis δεν εστιάζεται στο κόστος μεταφοράς από τα απορριμματοφόρα, ή στους χρόνους παράδοσης. Αντικείμενο μελέτης της εν λόγω προσομοίωσης είναι η μελέτη ροής των απορριμμάτων και οι επιπτώσεις του κάθε στρατηγικού σχεδιασμού σε οικονομικό και περιβαλλοντικό επίπεδο. Στην *Εικόνα 14* παρουσιάζεται το Interface του αλγορίθμου όπου στα αριστερά φαίνονται οι σχεδιαστικές παράμετροι και ο Χάρτης με τους Agents. Αξίζει να αναφερθεί ότι στο παρακάτω παράδειγμα οι Δήμοι έχουν μωβ χρώμα λόγω της μεταβλητής **Τύπων κάδων συστήματος Types of Bins system** εκτός από έναν Δήμο χρώματος μπλε. Αυτό προκύπτει καθώς υπάρχει ΚΔΑΥ στο σύστημα και ανήκει στο συγκεκριμένο Δήμο. Ταυτόχρονα παρατηρείται η ύπαρξη όλων των τύπων εταιρειών στο σύστημα και ο ΧΥΤΑ που συμβολίζεται με κόκκινο «X».



Εικόνα 14 Interface of High Level Analysis Algorithm

### 5.2.2 Αρχή λειτουργίας High Level

#### Εκκίνηση – Set Up

Ομοίως με το Low Level, αφού έχει συγκεκριμενοποιηθεί το σύστημα και έχουν καθοριστεί οι φορείς (Agents) και οι σχεδιαστικές παράμετροι, πατώντας το κουμπί «Set up» ξεκινάει η κατασκευή του Χάρτη. Σε αυτό το στάδιο πραγματοποιούνται τα παρακάτω βήματα:

1. Καθορισμός ορίων Βιομηχανικής και Κατοικήσιμης περιοχής.
2. Δημιουργία των Δήμων. Οι Δήμοι τοποθετούνται τυχαία στη κατοικήσιμη περιοχή, το χρώμα τους καθορίζεται από την σχεδιαστική παράμετρο **Τύπων κάδων συστήματος (Types of bins system)** σύμφωνα με τον Πίνακα 4 Χρωματισμός εικονιδίων Δήμου και το μέγεθος τους στο χάρτη είναι ανάλογο με τον πληθυσμό του κάθε Δήμου. Όσο περισσότεροι είναι οι δημότες σε έναν Δήμο, τόσο μεγαλύτερος παρουσιάζεται στον χάρτη. Επιπλέον, καθορίζονται οι τιμές στον κάθε Δήμο για τους ρυθμούς παραγωγής απορριμμάτων κάθε τύπου στον κάθε Δήμο, η καθαρότητα των απορριμμάτων, καθώς και το καθημερινό κόστος του κάθε Δήμου για το σύστημα εσωτερικής διαχείρισης (*Μηνιαίο λειτουργικό κόστος εσωτερικό Δήμου, Μηνιαίο κόστος κεφαλαίου εσωτερικού συστήματος Δήμου (Operational in, Investment Cost monthly)*)
3. Αναλόγως με τις σχεδιαστικές μεταβλητές, καθορίζεται το σύμπλεγμα των εταιρειών που υπάρχουν στο σύστημα. Η τοποθέτησή τους γίνεται τυχαία στο χάρτη, εντός των ορίων της βιομηχανικής περιοχής. Σε αυτό το στάδιο καθορίζεται η καθημερινή δυναμικότητα που έχει επιλεγεί για την κάθε εταιρεία, καθώς και ο αριθμός εργαζομένων.



4. Πάλι αναλόγως των σχεδιαστικών παραμέτρων καθορίζεται η ύπαρξη ή όχι του ΚΔΑΥ. Το ΚΔΑΥ τοποθετείται τυχαία στο χάρτη, εκτός της κατοικήσιμης περιοχής. Αναλόγως των σχεδιαστικών μεταβλητών **Συμμετοχή όλων των Δήμων στο σύστημα για την επένδυση του ΚΔΑΥ (All participated for KDAYs Investment?)** και **Municipality NR**, καθορίζεται το κόστος της επένδυσης του ΚΔΑΥ και ο διαμοιρασμός του κόστους επένδυσης. Αξίζει να αναφέρουμε ότι σε αυτό το σημείο στον αλγόριθμο έχουν δοθεί τιμές για το κόστος επένδυσης (*investment*) για την κατασκευή του ΚΔΑΥ καθώς επίσης και ο χρόνος αποπληρωμής της επένδυσης (*Payback time*). Το κόστος επένδυσης του ΚΔΑΥ στη περίπτωση που συμμετέχουν όλοι οι Δήμοι δίνεται από τις παρακάτω σχέσεις:

$$Kdays\ Investment\ Cost_{Mun.X} = \frac{Investment}{NR\ of\ municipalities}$$

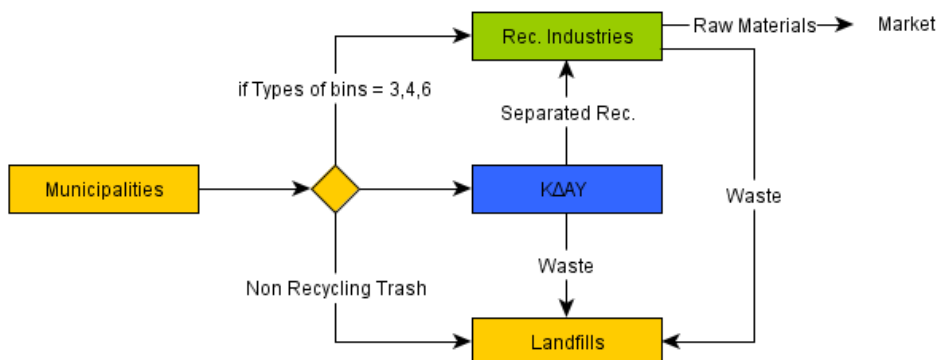
$$investment\ Kday_{Mun.\frac{X}{month}} = \frac{Kdays\ Investment\ Cost_{Mun.X}}{payback\ Time * 12}$$

Ενώ σε περίπτωση που το ΚΔΑΥ ανήκει μόνο σε ένα Δήμο, ο Δήμος που έχει καθοριστεί από τη σχεδιαστική παράμετρο **Municipality NR** επωμίζεται όλο το κόστος.

5. Δημιουργούνται τα απορριμματοφόρα. Απορριμματοφόρα υπάρχουν σε κάθε Δήμο και στο ΚΔΑΥ, ενώ υπάρχει χρωματική διάκριση αναλόγως του τύπου των απορριμμάτων που μεταφέρουν (*ομοίως όπως στο Low Level*). Τα απορριμματοφόρα αναλαμβάνουν τη μεταφορά των απορριμμάτων από τον Δήμο προς το ΚΔΑΥ, τις εταιρείες ή το ΧΥΤΑ. Αντίστοιχα και από το ΚΔΑΥ, τα απορριμματοφόρα αναλαμβάνουν την μεταφορά των απορριμμάτων προς τις εταιρείες και το ΧΥΤΑ. Οι εταιρείες δεν έχουν απορριμματοφόρα, και έχει γίνει η παραδοχή ότι τα απόβλητα που δημιουργούνται με κάποιον τρόπο κατευθύνονται στο ΧΥΤΑ, χωρίς να υπάρχει απεικόνιση αυτού.
6. Τέλος, καθορίζονται οι τιμές των global παραμέτρων που αναφέρθηκαν και προηγουμένως (*Global Μεταβλητές*).

### Τρέξιμο Προσομοίωσης – Go

Τα στάδια τα οποία ακολουθούνται είναι η παραλαβή των απορριμμάτων στα ΣΜΑ, η κατεύθυνση των απορριμματοφόρων αναλόγως του τύπου απορρίμματος που έχουν συλλέξει, η επεξεργασία από τις



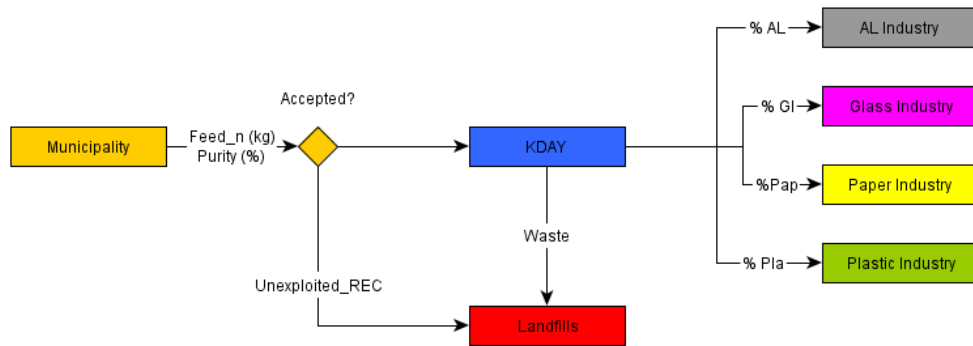
Εικόνα 15 Πορεία απορριμμάτων στο σύστημα

εταιρείες και η προώθησή τους στην αγορά. Παράλληλα τα μη εκμεταλλεύσιμα απορρίμματα ή τα απόβλητα από τις εταιρείες οδηγούνται στο ΧΥΤΑ προς ταφή.

Παρακάτω εξηγούνται τα στάδια που πραγματοποιούνται στον αλγόριθμο:

1. Σε πρώτο στάδιο πραγματοποιείται έλεγχος αλλαγής κάποια τιμή από τις σχεδιαστικές παραμέτρους. Έτσι όπως είναι σχεδιασμένος ο αλγόριθμος, ορισμένες σχεδιαστικές μεταβλητές παρουσιάζουν δυναμική συμπεριφορά και δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να μεταβάλλει τη τιμή τους κατά τη διάρκεια τρεξίματος του αλγορίθμου. Μία μεταβλητή που έχει σχεδιαστεί να έχει δυναμική συμπεριφορά είναι αυτή της καθαρότητας των ρών του Δήμου (*Purity*) Αξίζει να αναφερθεί ότι σε αυτό το στάδιο γίνεται και ο έλεγχος των συμφωνιών που έχουν συναφθεί μεταξύ εταιρειών, Δήμων και ΚΔΑΥ ο οποίος πραγματοποιείται μία φορά το χρόνο. Επίσης καθορίζονται οι τιμές αγοράς των απορριμμάτων από τους Δήμους και το ΚΔΑΥ. Ο τομέας των συμφωνιών και συμβάσεων, η αγορά, καθώς επίσης και τα στοιχεία «διαπραγμάτευσης» μεταξύ των δομικών μονάδων στο σύστημα είναι αρκετά ευρύς, και περίπλοκος ενώ επιλέχθηκε να μην αποτελέσει αντικείμενο μελέτης στην παρούσα διπλωματική εργασία αλλά θα αποτελέσει αντικείμενο μελέτης για περαιτέρω έρευνα. Στην παρούσα εργασία, θεωρείται ότι υπάρχει συμφωνία από την στιγμή που ο Δήμος κάνει ξεχωριστή διαλογή απορριμμάτων, δηλαδή υπάρχει συμφωνία με τους Δήμους, τις εταιρείες και το ΚΔΑΥ ανάλογα με τον αριθμό των κάδων που διαθέτουν οι Δήμοι (**Τύποι κάδων συστήματος- Types of bins system**).
2. Σε αυτό το σημείο πραγματοποιείται η μεταφορά των απορριμμάτων από το ΣΜΑ στα απορριμματοφόρα. Όπως προαναφέρθηκε, ο κάθε Δήμος έχει τόσα απορριμματοφόρα όσους διαφορετικούς τύπους απορριμμάτων παράγει. Επομένως, ο κάθε τύπος απορρίμματος αντιστοιχεί σε έναν τύπο απορριμματοφόρου. Έπειτα τα απορριμματοφόρα, κατευθύνονται αναλόγως της συμφωνίας που έχουν συνάψει οι εταιρείες με τον Δήμο που ανήκουν, στην αντίστοιχη εταιρεία.
3. Η κάθε εταιρεία ελέγχει εάν η δυναμικότητά της επιτρέπει την παραλαβή των απορριμμάτων από το απορριμματοφόρο. Εάν η δυναμικότητα που έχει η εταιρεία δεν επιτρέπει την παραλαβή των απορριμμάτων, το απορριμματοφόρο κατευθύνεται στο ΧΥΤΑ, όπου θάβονται τα απορρίμματα που έχουν προκύψει από ξεχωριστή διαλογή και το κόστος το επωμίζεται ο Δήμος. Τα απορρίμματα τα οποία έχουν υποστεί διαλογή και θάβονται μαζί με όλα τα υπόλοιπα στο ΧΥΤΑ, μετριοούνται με τον δείκτη *Unexploited Trash "Type"*.
4. Σε αυτό το στάδιο αποτυπώνεται η λειτουργία των εταιρειών και του ΚΔΑΥ.
  - a. ΚΔΑΥ  
Διαχωρίζει τα Ανακυκλώσιμα απορρίμματα από τα Μη ανακυκλώσιμα με βάση τη καθαρότητα των υλικών (*Purity*) που έχει παραλάβει από τον κάθε Δήμο. Έπειτα, διαχωρίζονται σε επιμέρους υλικά. Είναι άξιο αναφοράς, ότι ο διαχωρισμός προκύπτει από ποσοστά που θέτει ο χρήστης στην καρτέλα "Code". Σε αυτό το στάδιο υπολογίζεται το κόστος για τον διαχωρισμό των Ανακυκλώσιμων στα επί μέρους υλικά. Αφού γίνει ο διαχωρισμός, τα απορρίμματα κατευθύνονται μέσω των απορριμματοφόρων στις αντίστοιχες εταιρείες ανακύκλωσης (*Όσες υπάρχουν στο σύστημα, εάν κάποια δεν υπάρχει στο σύστημα, τα απορρίμματα που προορίζονται για αυτήν, καταλήγουν στο*

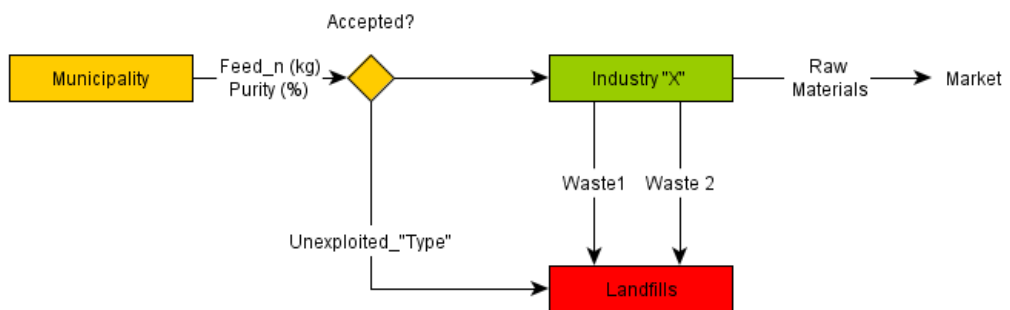
ΧΥΤΑ). Τα απορρίμματα που προέρχονται από το ΚΔΑΥ θεωρείται ότι έχουν καθαρότητα 100%.



Εικόνα 16 Λειτουργία ΚΔΑΥ (Τα ποσοστά %AL etc καθορίζονται από το χρήστη)

b. Εταιρείες Ανακύκλωσης

Τα ανακυκλώσιμα απορρίμματα που έχουν παραληφθεί από τις εταιρείες, θα πρέπει σε πρώτο στάδιο να διαχωριστούν από τα αναμειγμένα απόβλητα. Αφού γίνει αυτό, το ωφέλιμο απόβλητο ανακυκλώνεται με βάση την τιμή «Conversion», που έχει η κάθε εταιρεία και παράγεται η πρώτη, ύλη η οποία οδηγείται προς πώληση. Τα απόβλητα από τους δύο προαναφερθέντες διαχωρισμούς οδηγούνται στα ΧΥΤΑ και η εταιρεία επιβαρύνεται με το Gatefee που έχει καθοριστεί.



Εικόνα 17 Λειτουργία εταιρείας ανακύκλωσης

$$Waste_1 = \sum_{\substack{NR\ of \\ Municipalities}} ((1 - Purity_{Mun. i}) * Feed_{Mun. i})$$

$$Waste_2 = \left( \sum_{\substack{NR\ of \\ Municipalities}} (Purity_{Mun. i} * Feed_{Mun. i}) + Feed_{KDAYs} \right) * Conversion_{Industry}$$

$$Raw\ Material = Feed_{total} - Waste_{total}$$

5. Υπολογισμός των μετρούμενων δεικτών
6. Υπολογισμός της κερδοφορίας των εταιρειών και του ΚΔΑΥ, καθώς επίσης και εξαγωγή του κόστους των πολιτών (*Municipal Fee*) για τους Δήμους. Έχει θεωρηθεί ότι οι δημότες πληρώνουν κάθε μήνα δημοτικά τέλη για την συντήρηση του συστήματος διαχείρισης των απορριμμάτων, επομένως τα συνολικά κόστη συστήματος διαχείρισης απορριμμάτων του Δήμου καθορίζουν το ύψος των δημοτικών τελών.

$$\begin{aligned} Total\ Cost_{Mun.X} \\ = Landfill_{Cost} + Transportation_{Cost} + Operational_{Cost\ Indoor} \\ + Investment_{Kday} + Investment_{Indoor} \end{aligned}$$

$$Transportation_{Cost} = Covered\ Distance_{Trucks\ Mun.} * Gas\ Cost$$

Άρα

$$Municipal\ Fee_{mun} = \frac{Total\ Cost_{mun} - (Trash\ Sales_{Mun} + Trash\ Sales_{Kday})}{Population_{Mun}}$$

Όπου,

Κόστος ταφής απορριμμάτων (Landfill Cost): Αντιστοιχεί στο κόστος του κάθε Δήμου στα ΧΥΤΑ για τα απορρίμματα που οδηγήθηκαν προς ταφή

$$Landfills\ Cost_{Industry} = Total\ Waste_{Industry} * Gate\ fee$$

Έξοδα μεταφοράς απορριμμάτων (Transportation Cost): Αντιστοιχεί στο κόστος μεταφοράς των απορριμματοφόρων, για την μεταφορά των ροών στις ανάλογες εταιρείες

Λειτουργικά έξοδα στο εσωτερικό του Δήμου (Operational Indoor): Αντιστοιχεί στο κόστος συστήματος διαχείρισης απορριμμάτων του Δήμου (*Low Level Analysis*)

Έσοδα από πώληση ανακυκλώσιμων (Trash Sales): Αντιστοιχεί στο κέρδος του Δήμου από την πώληση απορριμμάτων απευθείας στις εταιρείες

Έσοδα ΚΔΑΥ από πώληση ανακυκλώσιμων (Trash Sales kday): Αντιστοιχεί στο μερίδιο του Δήμου από την πώληση απορριμμάτων μέσω του ΚΔΑΥ. Αξίζει να αναφερθεί ότι στη περίπτωση που το

ΚΔΑΥ ανήκει σε όλους τους Δήμους, τότε όλοι οι Δήμοι έχουν το μερίδιό τους. Σε αντίθετη περίπτωση το κέρδος ή τη ζημία την επωμίζεται μόνο ο Δήμος που είναι υπεύθυνος για το ΚΔΑΥ.

Αντίστοιχα για τις εταιρείες ανακύκλωσης:

$$\begin{aligned}Income_{Ind.} &= Raw\ Material_{Ind.} * Price\ Material \\Landfills\ Cost_{Ind} &= Total\ Waste_{Ind} * Gate\ fee \\Wage\ Cost_{Ind.} &= Employers_{Ind} * Wage \\Operational\ Cost_{Ind} &= Feed_{Ind} * Operational\ Cost\ "Type"\ per\ tn \\Trash\ Purchase_{Ind} &= Feed_{Ind} * Purchase\ price\ "Type"\ per\ tn \\Total\ Cost &= Landfills\ Cost + Wage\ Cost + Operational\ Cost + Trash\ Purchase \\Profit &= Income_{Ind.} - Total\ Cost_{Ind.}\end{aligned}$$

Τα παραπάνω υπολογίζονται μηνιαίως και προκύπτουν τα διαγράμματα κερδοφορίας των εταιρειών και του ΚΔΑΥ ανά μήνα. Ομοίως κατασκευάζονται τα διαγράμματα για τα δημοτικά τέλη τα οποία θεωρείται ότι καταβάλλονται μηνιαίως.

#### Αποτελέσματα από την προσομοίωση

Όπως αναφέρθηκε, η συγκεκριμένη προσομοίωση πραγματοποιήθηκε για τη μέτρηση των περιβαλλοντικών, οικονομικών και κοινωνικών επιπτώσεων, σε ένα μεγαλύτερο επίπεδο συστήματος και όχι ενός μεμονωμένου Δήμου. Ο αλγόριθμος παρέχει την δυνατότητα μελέτης των αποτελεσμάτων που προκύπτουν αναλόγως της επιλογής των εταιρειών στο σύστημα, της περιβαλλοντικής συμπεριφορά των Δήμων, της χωρητικότητας και δυναμικότητας των εταιρειών. Πιο συγκεκριμένα:

- *Πλήρωση του ΧΥΤΑ (Xytas Fullness)*  
Όταν ο ΧΥΤΑ γεμίσει, καθορίζεται και η λήξη της προσομοίωσης καθώς θεωρείται ότι δεν γίνεται η περαιτέρω διαχείριση των απορριμμάτων των Δήμων. Επομένως, ένα μέτρο περιβαλλοντικού αποτελέσματος είναι ο **χρόνος πλήρωσης του ΧΥΤΑ** αλλά και ο ρυθμός πλήρωσης που αποτυπώνεται στα διαγράμματα.
- *Δείκτης Ταφής & Αθροιστικής ταφής (Buried Index & Buried Index Cumulative)*  
Ορίζεται ως ο λόγος ποσότητας απορριμμάτων που θάβονται σε σχέση με τα συνολικά παραγόμενα απορρίμματα από τους Δήμους. Αποτελεί τον πιο γενικό δείκτη, που προσδιορίζει την αποδοτικότητα του συστήματος ανακύκλωσης και της ποιότητας των απορριμμάτων που παράγονται από τους Δήμους. Εάν η τιμή του είναι 1, σημαίνει ότι όσα απορρίμματα παράγονται οδηγούνται στους χώρους υγειονομική ταφής. Πρόκειται για το χειρότερο δυνατό σενάριο.
- *Δείκτης υπολλειμμάτων & Αθροιστικών υπολλειμμάτων (Residue Index & Residue Index Cumulative)*  
Πρόκειται για το ποσοστό των αποβλήτων που θάβονται έπειτα από επεξεργασία σε σχέση με τα συνολικά απορρίμματα που θάφτηκαν. Ο συγκεκριμένος δείκτης μετριέται για κάθε μέρα προσομοίωσης, για τα απόβλητα των εργοστασίων και του ΚΔΑΥ και συγκρίνεται σε σχέση με τα συνολικά που θάφτηκαν. Αντιστοιχεί σε ένα μέτρο απόδοσης των εργοστασίων και απόδοσης

των Δήμων, καθώς εξαρτάται και από την απόδοση της κάθε εταιρείας και την καθαρότητα που προσφέρουν οι Δήμοι.

- *Δείκτης ανακύκλωσης & Δείκτης Αθροιστικής ανακύκλωσης (Recycling Index & Recycling Index Cumulative)*

Πρόκειται για το ποσοστό αυτών που ανακυκλώθηκαν σε σχέση με αυτά που θα μπορούσαν να ανακυκλωθούν. Πρόκειται για ένα μέτρο απόδοσης των εργοστασίων και απόδοσης ανακύκλωσης των Δήμων.

- *Δημοτικά τέλη (Municipal Fee)*

Συγκρίνεται το κόστος μεταξύ των Δήμων, αλλά και ποια συμπεριφορά είναι πιο αποδοτική. Σε περίπτωση που τα δημοτικά τέλη είναι αρνητικά, σημαίνει ότι ο Δήμος από την πώληση των συλλεγμένων απορριμμάτων λαμβάνει μεγαλύτερο κέρδος από τα έξοδα για την διατήρηση του συστήματος διαχείρισης των απορριμμάτων.

- *Μηνιαία κερδοφορία Εταιρειών*

Από τα συγκεκριμένα διαγράμματα μελετάται η κερδοφορία των εταιρειών ανακύκλωσης και του ΚΔΑΥ. Με τη χρήση του αλγορίθμου είναι εφικτή η παρακολούθηση της εξάρτησης της καθαρότητας απορριμμάτων που προσφέρουν οι Δήμοι, στην οικονομική κατάσταση των εταιρειών και του ΚΔΑΥ. Βέβαια αξίζει να επισημανθεί ότι πρόκειται για αρκετά απλοϊκή ανάλυση κερδοφορίας εταιρειών.

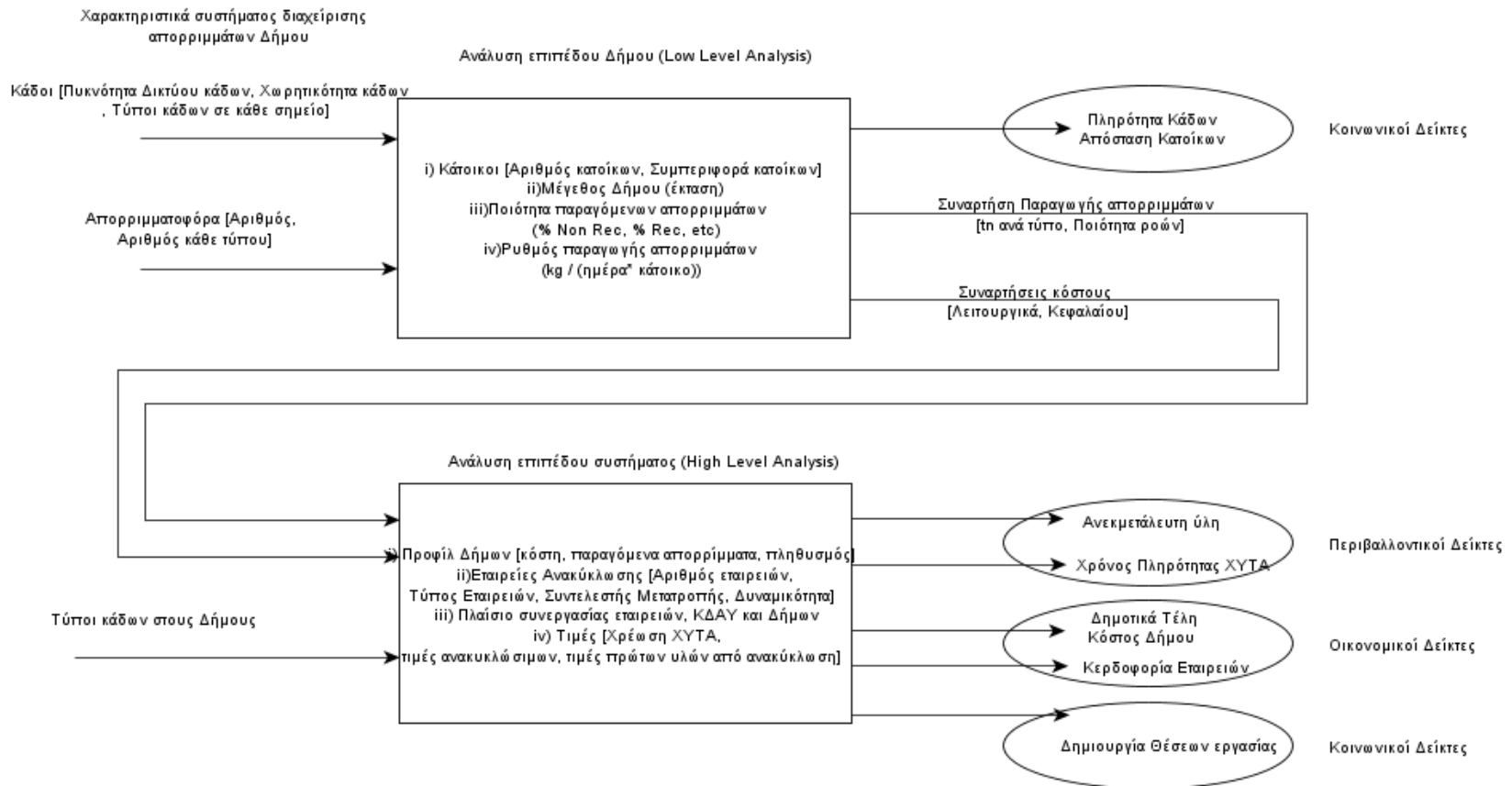
- *Δημιουργηθείσες θέσεις εργασίας*

Αναγράφεται στο σύστημα ο συνολικός αριθμός θέσεων εργασίας για κάθε επιλογή συστήματος. Οι θέσεις εργασίας δημιουργούνται στις εταιρείες και το ΚΔΑΥ αναλόγως της δυναμικότητας τους. Αντιστοιχεί σε έναν σημαντικό κοινωνικό δείκτη.

Ταυτόχρονα, από την προσομοίωση μπορεί να μελετηθεί η επίπτωση που προκαλείται από την κακή διαλογή απορριμμάτων (*μειωμένο Purity*), τόσο στο περιβάλλον όσο και της λειτουργίας του ΚΔΑΥ στους υπόλοιπους Δήμους.

### **5.2.3 Μέθοδος και Πείραμα**

Η αξιολόγηση της αποδοτικότητας ενός συστήματος διαχείρισης απορριμμάτων, δεν μπορεί να αποτελεί αντικείμενο μονοδιάστατης μελέτης, καθώς σε αυτήν θα πρέπει να ληφθεί υπόψη η επίπτωση των επιλογών στο περιβάλλον, στα έξοδα του Δήμου καθώς και στην ικανοποίηση των πολιτών. Για τη μελέτη σε οικονομικό περιβαλλοντικό και κοινωνικό επίπεδο επιλέχθηκε να γίνει η χρήση των δύο παραπάνω αλγορίθμων που περιγράφηκαν με την βάση την εξής μέθοδο και λογική:



Εικόνα 18 Συγκεντρωτικό Διάγραμμα αποτύπωσης της μεθόδου που προτείνεται και χρήσης των αλγορίθμων

Στην *Εικόνα 18* παρατηρείται η μέθοδος που προτείνεται για την αποτύπωση του συστήματος, των αποτελεσμάτων του συστήματος αλλά και την περιγραφή της μεθοδολογίας χρήσης των αλγορίθμων. Όπως φαίνεται και από το διάγραμμα, σε πρώτο στάδιο καθορίζεται ο προς μελέτη Δήμος και τα χαρακτηριστικά του (έκταση, συμπεριφορά κατοίκων κτλ.). Μεταβάλλοντας τις δομές του συστήματος διαχείρισης των απορριμμάτων στον Δήμο (κάδοι, απορριμματοφόρα) είναι δυνατόν να πραγματοποιηθεί η μελέτη των κοινωνικών επιπτώσεων. Ταυτόχρονα, από αυτό το επίπεδο δύναται να εξαχθούν οι συναρτήσεις κόστους στο εσωτερικό του Δήμου και οι αντίστοιχες συναρτήσεις παραγωγής απορριμμάτων.

Οι συναρτήσεις παραγωγής απορριμμάτων (ποσότητες και καθαρότητες ρών) και οι συναρτήσεις κόστους, χρησιμοποιούνται ως είσοδος στο High Level Analysis. Και σε αυτό το επίπεδο ανάλυσης θα πρέπει πρώτα να καθοριστεί το σύστημα (ποιες εταιρείες υπάρχουν στο σύστημα, τι δυναμικότητα έχουν κτλ) και μετά από το τρέξιμο του δευτέρου αλγορίθμου είναι δυνατή η εξαγωγή δεικτών σε περιβαλλοντικό, κοινωνικό και οικονομικό επίπεδο για τον κάθε Δήμο του συστήματος.

Αξίζει να αναφερθεί ότι παραπάνω εμφανίζεται μία μεθοδολογία. Σε μία άλλη μελέτη μπορεί να γίνει η επιλογή χρήσης των αλγορίθμων που περιγράφηκαν για την εστίαση άλλων αποτελεσμάτων. Για παράδειγμα, σε μία άλλη μέθοδο ενδέχεται να μελετάται σε έναν υποθετικό Δήμο όπου διαθέτει συγκεκριμένες δομές διαχείρισης απορριμμάτων, τον τρόπο με τον οποίο επηρεάζει τα αποτελέσματα ο αριθμός των δημοτών ή οι συμπεριφορές τους σε κοινωνικό και οικονομικό επίπεδο (*Ανάλυση ευαισθησίας συστήματος διαχείρισης απορριμμάτων Δήμου*). Ουσιαστικά, η παραπάνω μεθοδολογία δεν μπορεί να θεωρηθεί ότι αποτελεί τη βέλτιστη επιλογή αλλά δείχνει ένα παράδειγμα χρήσης των αλγορίθμων.

#### **5.2.4 Μέθοδος και πείραμα Low Level Analysis**

Στην παρούσα πειραματική διαδικασία επιλέχθηκε να μελετηθεί η εξάρτηση των κοινωνικών και οικονομικών επιπτώσεων σε σχέση με τις δομές του συστήματος που παρέχει ένας υποθετικός Δήμος και η αξιολόγηση αυτών. Σε πρώτο στάδιο είναι σημαντικό να γίνει η επιλογή των δεικτών που θα μελετηθούν. Θεωρήθηκε ότι η συμπεριφορά των δημοτών είναι σταθερή επομένως επικεντρωθήκαμε στους κοινωνικούς δείκτες. Στο συγκεκριμένο πείραμα έγινε η θεώρηση ενός Δήμου και μελετήθηκε η απόσταση που διανύουν οι κάτοικοι, η πληρότητα των κάδων μετά από τη λειτουργία των απορριμματοφόρων του Δήμου, καθώς επίσης και το λειτουργικό κόστος του Δήμου για την κάθε περίπτωση.

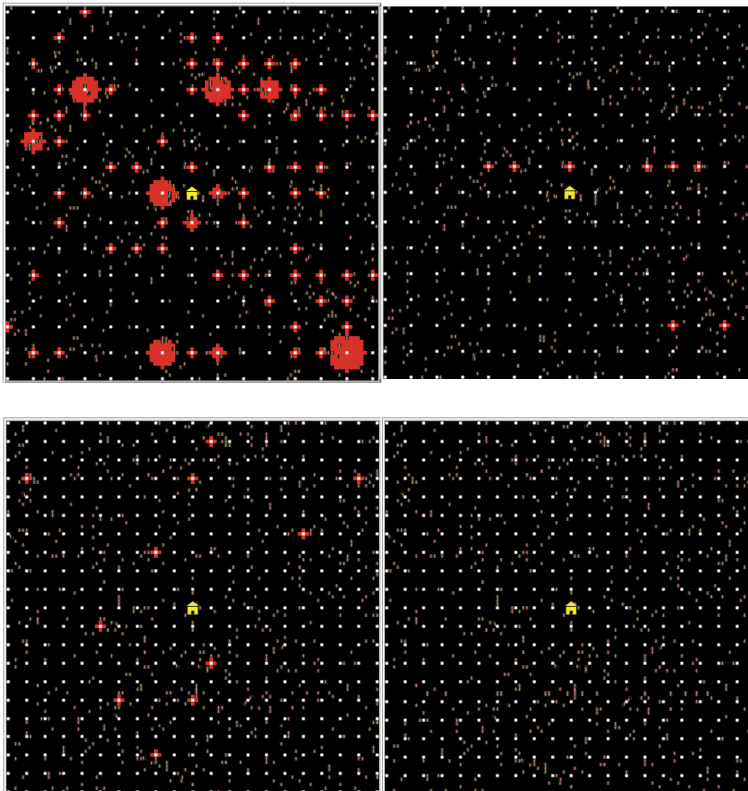
Επιλέχθηκε η απόσταση που διανύουν οι κάτοικοι ως ένας σημαντικός κοινωνικός δείκτης καθώς παρουσιάζει το μέγεθος ευκολίας απόρριψης των απορριμμάτων από τους δημότες. Όσο πιο καλές είναι οι δομές του Δήμου και όσο πιο πλήρες είναι το σύστημα διαχείρισης, τόσο περισσότερο επωφελείται ο δημότης και τόσο πιο ικανοποιημένος είναι.

Ένας ακόμα δείκτης κοινωνικού χαρακτήρα αλλά και μέτρησης απόδοσης του συστήματος διαχείρισης απορριμμάτων αποτελεί ο έλεγχος της πληρότητας των κάδων του συστήματος. Πιο συγκεκριμένα, μελετείται ανάλογα με τις τιμές των σχεδιαστικών παραμέτρων, πόσοι κάδοι του συστήματος είναι γεμάτοι και πόσοι ξεχειλισμένοι. Σε πραγματικούς ρυθμούς της κοινωνίας, οι γεμάτοι και ξεχειλισμένοι



κάδοι δημιουργούν άσχημες εντυπώσεις στους δημότες και ταυτόχρονα δεν είναι το πλέον ενδεδειγμένο από υγειονομικής πλευράς.

Πιο συγκεκριμένα, για να μπορέσει να γίνει η μελέτη απόδοσης του συστήματος δεν αρκεί μόνο να παρατηρείται η απόσταση που διανύουν οι κάτοικοι, αλλά να μελετάται εάν το σύστημα καλύπτει την παραγόμενη ποσότητα απορριμμάτων των δημοτών, και εάν ο αριθμός των απορριμματοφόρων καλύπτει τη διαχείριση του συστήματος που έχει καθιερωθεί. Κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης, όπως περιγράφηκε παραπάνω όταν ένας κάδος γεμίσει, τα γειτονικά Patches αλλάζουν χρώμα ενώ εάν ξεχειλίσει, ανάλογα με την ποσότητα σκουπιδιών που έχει ο κάδος, χρωματίζεται και αντίστοιχη ακτίνα Patches γύρω από αυτόν. Ο χρωματισμός αυτός λαμβάνει χώρα σε δύο σημεία. Μετά τη διάθεση των απορριμμάτων στους κάδους και μετά από τη συλλογή τους από τα απορριμματοφόρα. Έτσι, το περιβάλλον του αλγορίθμου προσφέρει την οπτική δυνατότητα στο χρήστη για την εικόνα των κάδων πριν και αφού συλλεχθούν. Παρακάτω φαίνονται 2 περιπτώσεις πριν και μετά την συλλογή των απορριμμάτων σε μία περίπτωση ενός Δήμου με αποδοτικό σύστημα διαχείρισης απορριμμάτων και μία περίπτωση λιγότερου αποδοτικού συστήματος.



Εικόνα 19 Παραδείγματα Δήμων, Types of Bins = 1  
(Επάνω), Bins Density = 15, Bins Capacity = 500kg, NR of NONRec Trucks = 2  
(Κάτω) Bins Density = 21, Bins Capacity = 500kg, NR of NONRec Trucks = 5

Στα αριστερά απεικονίζονται δύο διαφορετικές δομές συστήματος διαχείρισης απορριμμάτων ενός Δήμου.

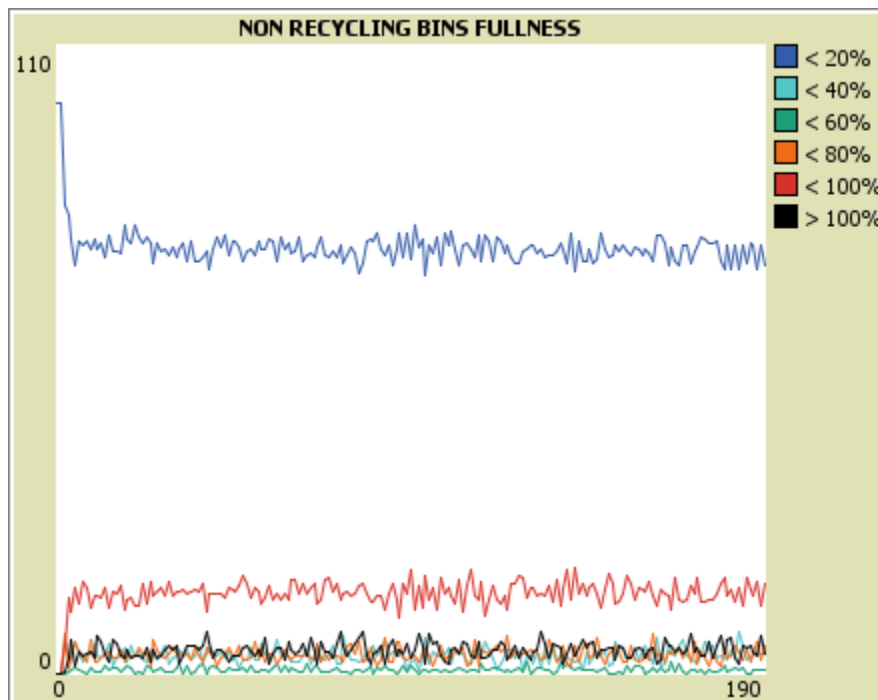
Επάνω, παρατηρείται ένας Δήμος μικρότερης πυκνότητας Δικτύου και με μικρό αριθμό απορριμματοφόρων.

Έτσι παρατηρούνται στο σύστημα γεμάτοι κάδοι ενώ ταυτόχρονα υπάρχουν και ξεχειλισμένοι κάδοι. Ταυτόχρονα, ο αριθμός των απορριμματοφόρων δεν καλύπτει το σύστημα πλήρως, καθώς παρατηρούνται ορισμένοι κάδοι να παραμένουν γεμάτοι μετά τη λειτουργία των απορριμματοφόρων.

Στην περίπτωση που απεικονίζεται κάτω, η πυκνότητα του δικτύου των κάδων είναι ελαφρώς αυξημένη, με αποτέλεσμα να μην υπάρχουν κάδοι που ξεχειλίζουν, ενώ ο στόλος των απορριμματοφόρων

είναι επαρκής ώστε το σύστημα να μην έχει γεμάτους κάδους μετά τη λειτουργία των απορριμματοφόρων. Οι τιμές των σχεδιαστικών παραμέτρων στις δύο περιπτώσεις διακρίνονται στη λεζάντα της Εικόνα 19.

Πέρα από την οπτική διάκριση θα πρέπει να μετρηθεί και η πληρότητα των κάδων. Στο σύστημα υπάρχει διάγραμμα το οποίο παρουσιάζει τα ποσοστά των κάδων του συστήματος με συγκεκριμένα όρια πληρότητας



Εικόνα 20 Διάγραμμα πληρότητας κάδων αλγορίθμου Low Level Analysis, από το NetLogo

Οι δείκτες που επιλέχθηκαν να μελετηθούν είναι: Α) Το ποσοστό των κάδων του συστήματος που έχει πληρότητα κάτω του 80%, Β) από 80-100% και Γ) το ποσοστό κάδων με περισσότερα απορρίμματα από τη χωρητικότητά τους. Ταυτόχρονα, στα διαγράμματα που ακολουθούν απεικονίζεται το σύστημα μετά τη συλλογή των απορριμμάτων από τα απορριμματοφόρα.

Οι σχεδιαστικές μεταβλητές του συστήματος είναι: Η πυκνότητα του συστήματος των Bins Spot (*Bins Density*), η χωρητικότητα των κάδων (*Bins Capacity*), οι τύποι των κάδων (*Types of Bins*) και ο αριθμός των απορριμματοφόρων (*NR of Trucks "TYPE"*). Αξίζει να αναφερθεί ότι εάν ο Δήμος έχει διαφορετικούς τύπους κάδων, θα πρέπει να έχει και το αντίστοιχο σύστημα συλλογής των απορριμμάτων αυτών, δηλαδή και τους αντίστοιχους τύπους απορριμματοφόρων και η χωρητικότητα των κάδων κάθε τύπου να μελετηθεί ξεχωριστά.

Για κάθε αλλαγή μεταβλητής σχεδιασμού στο σύστημα (τύποι κάδων, δίκτυο κάδων, αριθμός απορριμματοφόρων και χωρητικότητα κάδων) επιλέχθηκε ο χρόνος εξέτασης να είναι μισός χρόνος προσομοίωσης (180 ημέρες) και από τα αποτελέσματα που προέκυψαν λήφθηκαν οι μέσες τιμές. Να αναφερθεί ότι είχε γίνει στο παρελθόν όμοια ανάλυση για μέσες τιμές ενός χρόνου, αλλά επειδή το σύστημα φτάνει αρκετά γρήγορα σε σταθερές συνθήκες, το σφάλμα είναι αρκετά μικρό και επιλέχθηκε να περιοριστούν οι επαναλήψεις σε μισό χρόνο προσομοίωσης. Στην εν λόγω προσομοίωση έχει γίνει η θεώρηση ότι το κάθε tick αντιστοιχεί σε μία μέρα.

Το προφίλ του Δήμου και οι τιμές των Global παραμέτρων του πειράματος εμφανίζονται στους παρακάτω πίνακες (Πίνακας 5, Πίνακας 6). Αυτές οι τιμές αντιστοιχούν στο προφίλ του Δήμου και δεν αλλάζουν με τις αλλαγές μεταβλητών σχεδιασμού.

Πίνακας 5 Χαρακτηριστικά Δήμου και δημοτών

<i>Population</i>	60.000 citizens	<i>Sq Meters</i>	5,1 km <sup>2</sup>
<i>Persons per Resident appeared</i>	100 persons/resident		
<i>Trash Rate per citizen</i>	1,2kg/day		
<b>Ποιότητα απορριμμάτων των δημοτών [1]</b>			
<i>Non Recycling</i>	14%	<i>Aluminium</i>	3%
<i>Biowaste</i>	40%	<i>Plastic</i>	17%
<i>Glass</i>	6%	<i>Paper</i>	20%
<b>Συμπεριφορικές παράμετροι δημοτών</b>			
<i>R</i>	40%	<i>Purity Bin</i>	50%
<i>Max Bin Changes</i>	3		

Πίνακας 6 Global Παράμετροι πειράματος

Global Parameters			
Salary Cost per employee	1.000 €	Gas Cost	1 € /lt
Trucks Cost	50.000 €	Gas per km	3 lt/km
Trucks Capacity	5.000 kg	Maintance cost	0,02 € / km
Average Speed of truck	20km/hr	Loading Time	2 min
Sq meters per Patch	500m <sup>2</sup>	Unloading Time	5 min
Bins Cost Equation		$20 * \sqrt[3]{Capacity_{Bin}}$	
Payback time (απορριμματοφόρα και κάδοι)		5 χρόνια	

Η εξέταση ενός συστήματος διαχείρισης απορριμμάτων δεν μπορεί να μελετηθεί μόνο από κοινωνικής πλευράς, καθώς πρέπει να ληφθούν υπόψη και οι οικονομικοί παράγοντες. Το κόστος επένδυσης και το κόστος λειτουργίας του συστήματος αναλύονται από τις εξισώσεις του προηγούμενου υποκεφαλαίου της παρούσας διπλωματικής. Το κόστος επένδυσης του συστήματος διαχείρισης απορριμμάτων του Δήμου υπολογίζεται συναρτήσει του αριθμού των απορριμματοφόρων, της πυκνότητας δικτύου των κάδων, καθώς και της χωρητικότητας των κάδων. Εκτός από το κόστος επένδυσης, θα πρέπει να συμπεριληφθούν και τα λειτουργικά κόστη που προκύπτουν σε κάθε περίπτωση και να μελετηθεί η επιρροή από τις υπόλοιπες σχεδιαστικές μεταβλητές. Στη συνέχεια αναπτύσσονται οι εξισώσεις κόστους.

Το κόστος επένδυσης για την απόκτηση των απορριμματοφόρων εξαρτάται γραμμικά από τον αριθμό των απορριμματοφόρων, αφού έχει θεωρηθεί (Πίνακας 6) ότι το κόστος επένδυσης για την απόκτηση του

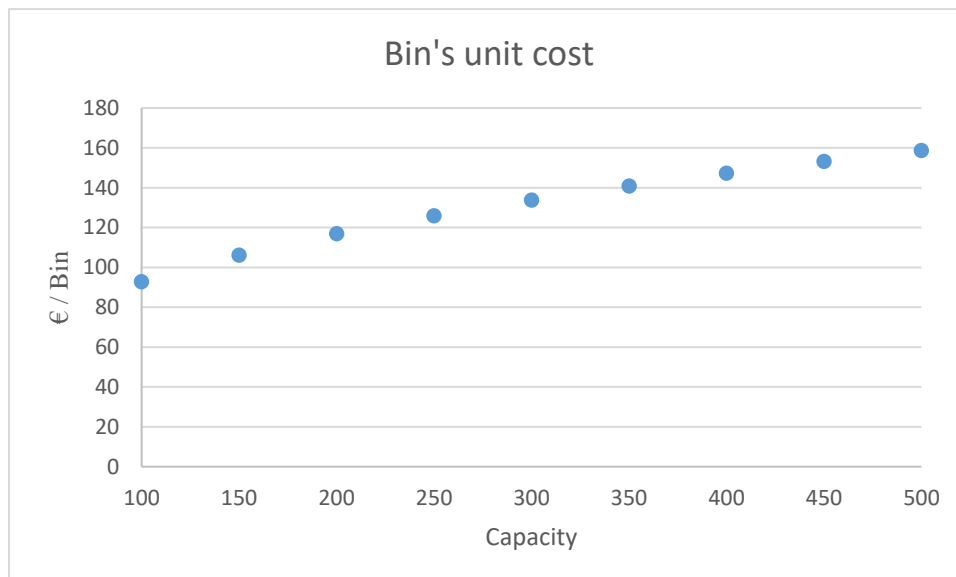
κάθε απορριματοφόρου αντιστοιχεί σε 50.000 €. Ταυτόχρονα, έχει τεθεί ότι τα απορριματοφόρα έχουν περιορισμό λειτουργίας 8 ωρών. Έτσι η εξίσωση κόστους των απορριματοφόρων δίνεται από τη σχέση:

$$Trucks\ Investment\ Cost = Nr\ of\ trucks_{total} * 50.000$$

Αντίστοιχα το κόστος του κάθε κάδου εξαρτάται από την χωρητικότητα του και δίνεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$Bin\ Cost_{unit} = 20 * \sqrt[3]{Capacity}$$

Παρακάτω παρουσιάζεται το διάγραμμα του μοναδιαίου κόστους του κάθε κάδου:



Διάγραμμα 1 Μοναδιαίο Κόστος Κάδων συναρτήσει της χωρητικότητάς του

Αντίστοιχα το μηνιαίο κόστος κεφαλαίου για τα απορριματοφόρα και τους κάδους προκύπτει από τις εξής σχέσεις:

$$CapEx_{monthly} = \frac{Trucks\ Investment\ Cost}{Payback\ time_{truck} * 12} + \frac{Bins\ Investment\ Cost}{Payback\ time_{Bin} * 12}$$

Ενώ το μηνιαίο λειτουργικό κόστος δίνεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$Cost\_per\_km_{trucks} = Gas\_per\_km_{trucks} * Gas\_cost$$

$$Operational_{Cost} = distance_{trucks} * (Cost_{per\_km_{trucks}} + C) + (NR_{trucks} * 2 * salary)_{each\ Month}$$

Πιο συγκεκριμένα, έγινε μελέτη και αξιολόγηση των δομών για τύπους κάδων: 1, 2, 3, 4 και 6 και έγινε η διεξαγωγή της πληρότητας των κάδων, της απόστασης που διανύουν οι δημότες, της παραγωγής των ρών απορριμμάτων και των οικονομικών συναρτήσεων. Ταυτόχρονα, μελετήθηκε η εξάρτηση των δομών του συστήματος διαχείρισης απορριμμάτων σε σχέση με τις εξής σχεδιαστικές μεταβλητές: Τύποι κάδων, Πυκνότητα δικτύου κάδων, Χωρητικότητα κάδων, Αριθμός απορριματοφόρων κάθε τύπου. Τα

αποτελέσματα του πειράματος καθώς και ο σχολιασμός αποτυπώνεται στο επόμενο κεφάλαιο της παρούσας διπλωματικής.

### 5.2.5 Μέθοδος και πείραμα High Level Analysis

Στην High Level Analysis, λαμβάνονται ως είσοδο οι συναρτήσεις παραγωγής απορριμμάτων από τους Δήμους που έχουν μελετηθεί, καθώς και τα λειτουργικά κόστη και τα κόστη κεφαλαίου. Καθορίζεται στο σύστημα το πλαίσιο συνεργασίας με τους Δημότες (*agreements*) καθώς επίσης καθορίζεται από ποιες εταιρείες θα αποτελείται το σύστημα διαχείρισης απορριμμάτων. Στις εταιρείες που θα επιλεγθούν εάν υπάρχουν στο οικοσύστημα που μελετάται καθορίζονται τα χαρακτηριστικά τους (συντελεστής μετατροπής, δυναμικότητα). Τέλος, καθορίζονται οι τιμές αγοράς των απορριμμάτων και των παραγόμενων πρώτων υλών καθώς και το κόστος για την υγειονομική ταφή των απορριμμάτων.

Αξίζει να αναφερθεί ότι το High Level Analysis παρέχει τη δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί και αυτόνομα, χωρίς να απαιτείται είσοδος από το Low Level Analysis, αρκεί να καθοριστούν τα χαρακτηριστικά των Δήμων που επιθυμούνται να μελετηθούν.

Στο παράδειγμα που μελετήθηκε, θεωρήθηκε ότι υπάρχει μόνο ένας Δήμος στο σύστημα με ένα συνεργαζόμενο ΚΔΑΥ που ανήκει στον Δήμο έτσι ώστε να γίνει υπολογισμός των οικονομικών και περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

Έγιναν οι εξής παραδοχές για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων:

- Υπάρχει κάθε τύπος εταιρείας ανακύκλωσης στο σύστημα
- Ο Δήμος επωμίζεται το κόστος μεταφοράς των ανακυκλώσιμων ρών στις εταιρείες ανακύκλωσης.
- Η δυναμικότητα των εταιρειών καλύπτει τις παραγόμενες ροές απορριμμάτων του Δήμου όπως φαίνεται και στην (Πίνακα 9)
- Ο Δήμος από τη στιγμή που προσφέρει αυτόνομη ροή συνεργάζεται και με την αντίστοιχη εταιρεία ανακύκλωσης. Δηλαδή, εάν ένας Δήμος παράγει βιοαπόβλητα μπορεί να τα αποστείλει στην εταιρεία ανακύκλωσης βιοαποβλήτων.
- Οι εταιρείες ανακύκλωσης προσφέρουν χρήματα για την απόκτηση των ανακυκλώσιμων ρών
- Το κόστος ανά τόνο υλικού αποτυπώνεται στον παρακάτω πίνακα και δεν εξαρτάται από την καθαρότητα ροής:

Πίνακας 7 Τιμές ανακυκλώσιμων ρών

Τιμή Βιοαποβλήτων (€/ανά τόνο)	10
Τιμή Γυαλιού (€/ανά τόνο)	15
Τιμή Πλαστικού (€/ανά τόνο)	20
Τιμή Αλουμινίου (€/ανά τόνο)	10
Τιμή Χαρτιού (€/ανά τόνο)	30

- Η διάρθρωση και τα χαρακτηριστικά των εταιρειών που υπάρχουν στο σύστημα High Level Analysis αποτυπώνονται στον παρακάτω πίνακα

- Το ΚΔΑΥ διαχωρίζει τα απορρίμματα σε συστάσεις (Πίνακας 8) και η ροή ανακυκλώσιμων που προσφέρει στις εταιρείες είναι καθαρότητας 100%.
- Το κόστος ταφής απορριμμάτων στο ΧΥΤΑ είναι 50 €/tn

Πίνακας 8 Συστάσεις εξόδου ΚΔΑΥ, οφέλιμων ανακυκλώσιμων υλικών

Κέντρο Διαλογής Ανακυκλώσιμων Υλικών <sup>4</sup>		
Types of Bins	2, 3	4 <sup>5</sup>
Aluminium	7%	7,5%
Plastic	37%	37%
Glass	13%	-
Paper	43%	50%

Πίνακας 9 Διάρθρωση συστήματος High Level Analysis

Εταιρείες συστήματος	Χωρητικότητα/ Δυναμικότητα <sup>6</sup> (tn)	Βαθμός μετατροπής (%)
Χώρος Υγειονομικής Ταφής (ΧΥΤΑ)	300.000	
Κέντρο Διαλογής Ανακυκλώσιμων Υλικών (ΚΔΑΥ)	100	70
Εταιρεία Ανακύκλωσης Βιοαποβλήτων	200	70
Εταιρεία Ανακύκλωσης Γυαλιού	20	70
Εταιρεία Ανακύκλωσης Αλουμινίου	100	70
Εταιρεία Ανακύκλωσης Πλαστικού	150	70
Εταιρεία Ανακύκλωσης Χαρτιού	500	70

<sup>4</sup> Τα ποσοστά προκύπτουν με βάση τις συστάσεις παραγωγής απορριμμάτων των δημοτών.

<sup>5</sup> Στην περίπτωση των τεσσάρων τύπων κάδων στο σύστημα, θεωρείται ότι ο Δήμος έχει τις απαραίτητες υποδομές για τη συλλογή γυαλιού και έτσι έγινε η παραδοχή ότι σε αυτή τη περίπτωση δεν πραγματοποιείται διαλογή γυαλιού στο ΚΔΑΥ.

<sup>6</sup> Η χωρητικότητα αναφέρεται στη συνολική χωρητικότητα που έχει ο χώρος υγειονομικής ταφής του συστήματος (ΧΥΤΑ), ενώ η δυναμικότητα αναφέρεται στις υπόλοιπες εταιρείες και στην ημερήσια δυναμικότητα που έχει κάθε Δήμος.

## Κεφάλαιο 6: Αποτελέσματα

### 6.1 Αποτελέσματα Πειραμάτων *Low Level Analysis*

Το προφίλ του Δήμου και οι τιμές των Global παραμέτρων του πειράματος αποτυπώθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο (Πίνακας 5, Πίνακας 6) και παραμένουν σταθερά. Παρακάτω αποτυπώνονται τα αποτελέσματα της πειραματικής διαδικασίας.

Θεωρήθηκαν 5 βασικά σενάρια, με το σύστημα διαχείρισης απορριμμάτων να προσφέρει 1, 2, 3, 4 και 6 τύπους κάδων. Αποτυπώθηκαν τα διαγράμματα από τις περιπτώσεις 1, 2 και 3 τύπων κάδων, δεδομένου ότι στα σενάρια 4 και 6 τύπων κάδων, τα αποτελέσματα δεν διέφεραν σημαντικά και δεν προσέφεραν κάτι επιπλέον σε αυτή την ερευνητική διαδικασία.

Στο σενάριο του ενός τύπου κάδων (**Types of bins** = 1) υπενθυμίζεται ότι ο Δήμος προσφέρει στους κατοίκους μόνο ένα τύπο κάδου, με τους δημότες να αναγκάζονται να απορρίψουν όλα τους τα απορρίμματα σε έναν κάδο Μη ανακυκλώσιμων και τον Δήμο να μην παράγει Ανακυκλώσιμα. Στο δεύτερο σενάριο, (**Types of bins** = 2) το σύστημα διαχείρισης απορριμμάτων προσφέρει στους δημότες δύο τύπους κάδων. Σε αυτή τη περίπτωση, οι δημότες έχουν την επιλογή να τοποθετήσουν τα Μη ανακυκλώσιμα και τα Ανακυκλώσιμα απορρίμματα σε ξεχωριστούς κάδους. Στην περίπτωση 3 τύπων κάδων, το σύστημα διαχείρισης απορριμμάτων προσφέρει στους δημότες την επιλογή απόθεσης και των Βιοαποβλήτων πέρα από τα Μη ανακυκλώσιμα και τα Ανακυκλώσιμα απορρίμματα. Για κάθε μία από τις παραπάνω περιπτώσεις, μελετήθηκε το δίκτυο των κάδων που προσφέρει ο Δήμος στους δημότες, η χωρητικότητα των κάδων και ο αριθμός των απορριμματοφόρων.

#### 6.1.1 Απόσταση που διανύουν οι κάτοικοι σε σχέση με τις δομές που παρέχει ο Δήμος

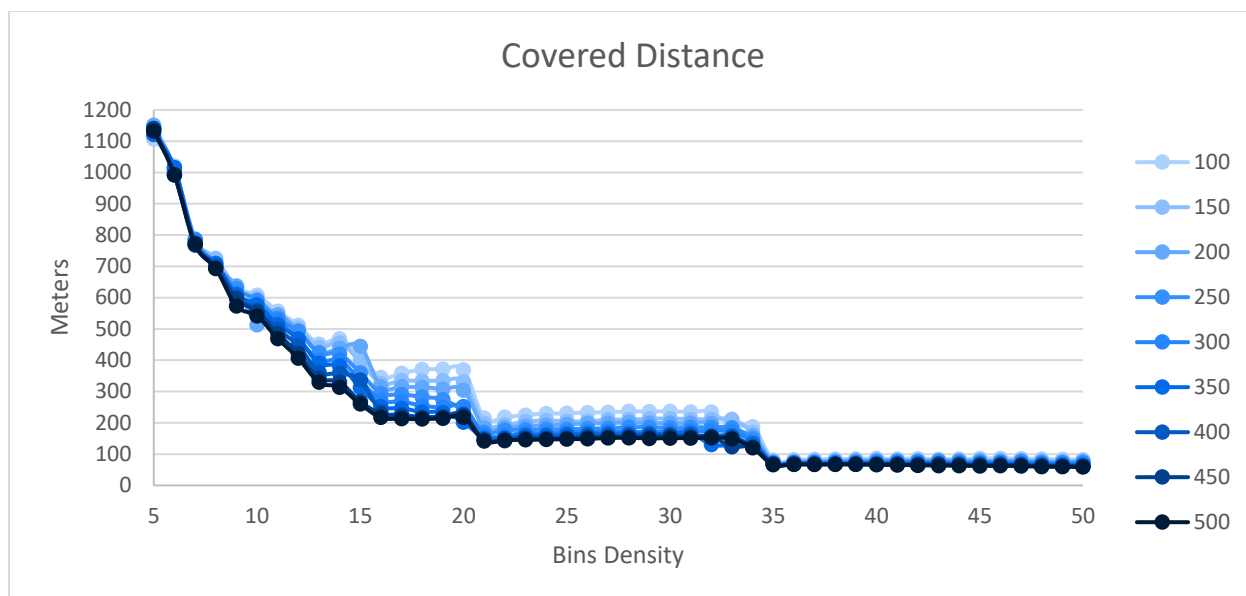
*Types of Bins* = 1

Οι τιμές των μεταβλητών του πειράματος παρουσιάζονται στο παρακάτω πίνακα (Πίνακας 10):

Πίνακας 10 Τιμές Μεταβλητών και βήματα για *Types of bins* = 1

	Types of Bins	1	
Όνομα Μεταβλητής	Αρχική Τιμή	Βήμα	Τελική Τιμή
Bins Density (Πυκνότητα Δικτύου)	5	1	50
NR of NON REC Trucks (Αριθμός απορριμματοφόρων μη ανακυκλώσιμων απορριμμάτων)	3		30
Bins Capacity (Χωρητικότητα κάδων)	100	50	500

Στα επόμενα διαγράμματα παρουσιάζεται η σχέση της απόστασης που διανύουν οι κάτοικοι σε σχέση με τη πυκνότητα δικτύου κάδων (*Bins Density*) και της χωρητικότητας (*Bins Capacity*) των κάδων.



Διάγραμμα 2 Απόσταση Δημότην - Σύστημα Διαχείρισης Απορριμμάτων  
Types of Bins = 1, NR of NONRec Trucks = 3

Σε πρώτο στάδιο πραγματοποιήθηκε η μελέτη του ενός κάδου ανά **Bin Spot**. Στον οριζόντιο κάθετο άξονα απεικονίζεται η πυκνότητα δικτύου των κάδων, στον κατακόρυφο κάθετο άξονα η απόσταση σε μέτρα, ενώ η χρωματική διάκριση αντιστοιχεί σε διαφορετικές τιμές χωρητικότητας των κάδων του συστήματος. Ταυτόχρονα, όσο πιο ανοιχτό είναι το χρώμα, τόσο μικρότερης χωρητικότητας είναι οι κάδοι που παρέχονται στους δημότες. Οι τιμές χωρητικότητας των κάδων απεικονίζονται στη δεξιά πλευρά του Διάγραμμα 2.

Αρχικά παρατηρείται η μορφή καμπύλης να επιβεβαιώνει την υπόθεση, καθώς «όσο αυξάνεται το δίκτυο κάδων, τόσο μειώνεται η απόσταση που διανύουν οι κάτοικοι». Ταυτόχρονα, παρατηρείται ότι στις μικρές τιμές πυκνότητας δικτύου (*Bins Density*), ο ρυθμός μείωσης είναι αρκετά μεγαλύτερος σε σχέση με τις μεγαλύτερες, ενώ παρατηρούνται ορισμένα σημεία (*Bins Density = 21* και *Bins Density = 35*) όπου μετά από ταυτά τα σημεία η μέση απόσταση που διανύουν οι κάτοικοι διαφέρει ελάχιστα. Αξίζει να επισημανθεί ότι ο αριθμός των κάδων αυξάνεται με εκθετικό ρυθμό

Επιπλέον, εμφανίζεται ότι για ίδια πυκνότητα δικτύου, όσο μεγαλύτερη είναι η χωρητικότητα των κάδων, τόσο μικρότερη μέση απόσταση διανύουν οι κάτοικοι. Πρόκειται για μία αναμενόμενη συμπεριφορά, καθώς οι κάδοι συμπληρώνουν τη χωρητικότητά τους δυσκολότερα όσο μεγαλύτερη είναι αυτή. Για παράδειγμα, όταν ο δημότης κατευθυνθεί σε έναν κάδο μικρής χωρητικότητας υπάρχει μεγαλύτερη πιθανότητα να είναι γεμάτος σε σχέση με έναν κάδο μεγαλύτερης χωρητικότητας. Δεδομένου ότι στην περίπτωση που ο κάδος είναι γεμάτος, ο δημότης καλείται να κατευθυνθεί σε άλλον κάδο (λόγω της τιμής του *max bin change*) είναι επόμενο να διασχίσει μεγαλύτερη απόσταση για να αποθέσει τα απορρίμματά του.

Εξάιρεση στον παραπάνω συλλογισμό παρατηρείται για πυκνότητα δικτύου (*Bins Density*) μεταξύ 5 και 8 καθώς δεν διακρίνεται στο Διάγραμμα 2 να υπάρχει επίδραση στην απόσταση που διανύουν οι δημότες από την χωρητικότητα των κάδων για ίσο αριθμό κάδων.



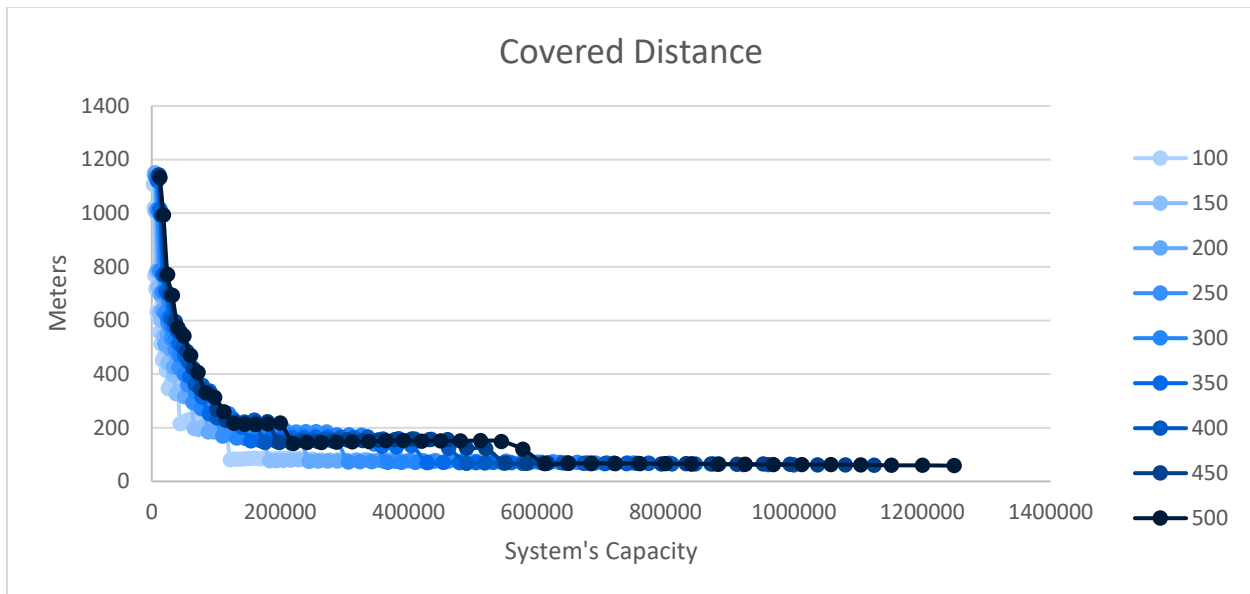
Κάτι τέτοιο παρατηρείται καθώς σε αυτό το εύρος πυκνότητας δικτύου η χωρητικότητα του συστήματος είναι μικρότερη από την καθημερινή παραγωγή απορριμμάτων από τους δημότες ανεξαρτήτως μεγέθους των κάδων στο εύρος που μελετήθηκε. Το σύστημα των κάδων, θα έχει μικρότερη χωρητικότητα από την παραγόμενη ποσότητα των δημοτών ανεξάρτητα από το μέγεθος των κάδων που μελετιέται αφού:

$$\begin{aligned} Total\ Capacity_{Bins} &= Density^2 * Capacity = 8^2 * [100:500] = \\ &[6.400:32.000]kg < Trash\ Production_{Residents} = 72.000kg \end{aligned}$$

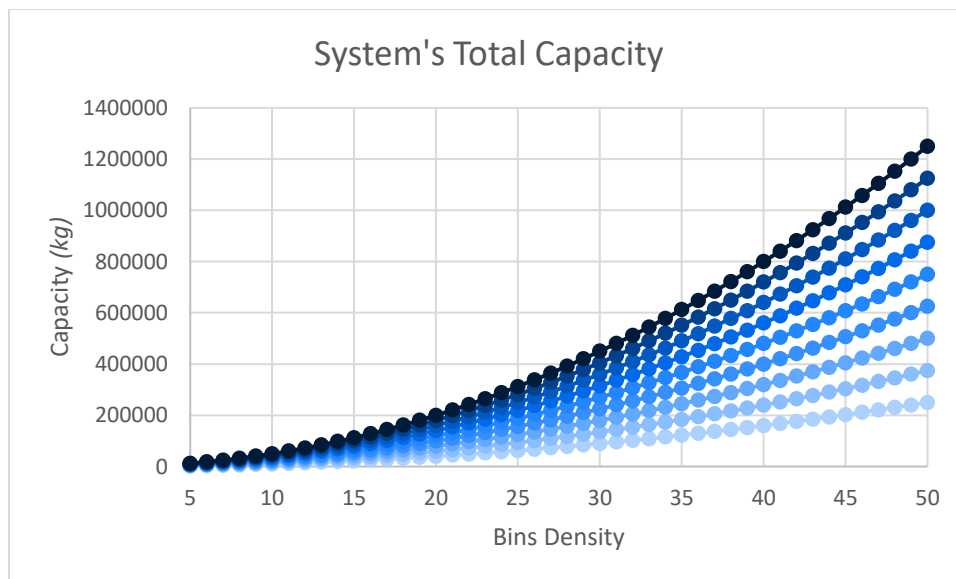
Έτσι οι κάδοι γεμίζουν και ξεχειλίζουν αρκετά γρήγορα σε αυτό το εύρος χωρητικότητας. Όπως αναφέρθηκε και στην περιγραφή του αλγορίθμου (Κεφ.5.1.1) όταν οι δημότες κατευθυνθούν σε ξεχειλισμένους κάδους θα πετάξουν τα απορρίμματά τους χωρίς να κατευθυνθούν σε άλλον κάδο. Έτσι είτε επιλεγθεί η χωρητικότητα των κάδων να είναι 100 είτε 500, οι κάδοι θα γεμίσουν και οι κάτοικοι θα αναγκαστούν να κατευθυνθούν σε 3 (*max bin changes*) κάδους όπου θα πετάξουν τα απορρίμματα τους και θα ξεχειλίσουν οι κάδοι με τους δημότες να διανύουν περίπου την ίδια απόσταση.

Αντίστοιχα, για πυκνότητα δικτύου κάδων (Bins Density) >35 παρατηρείται πάλι ότι δεν υπάρχει διάκριση της μέσης απόστασης που διανύουν οι κάτοικοι για διαφορετικές χωρητικότητες κάδων. Κάτι τέτοιο συμβαίνει καθώς στο παρόν δίκτυο κάδων, η συνολική χωρητικότητα είναι πολύ μεγάλη λόγω του μεγάλου αριθμού κάδων, όπου το πιθανότερο είναι ένας δημότης να κατευθυνθεί σε έναν κάδο και να είναι άδειος. Αντίθετως, στην περίπτωση που ο κάδος είναι γεμάτος, θα κατευθυνθεί σε έναν άλλον κάδο ο οποίος βρίσκεται σε σχετικά κοντινή απόσταση μη μεταβάλλοντας ιδιαίτερα τον μέσο όρο διανυόμενης απόστασης δημοτών.

Αξίζει να αναφερθεί ότι το *Διάγραμμα 2* δεν μεταφέρει εξ' ολοκλήρου την εικόνα του Δήμου, καθώς στον οριζόντιο άξονα, αναφέρεται η πυκνότητα του δικτύου η οποία αποτελεί τη σχεδιαστική μεταβλητή στο σύστημα, χωρίς να είναι ευδιάκριτη η συνολική χωρητικότητα του συστήματος. Για παράδειγμα, το σημείο πυκνότητας κάδων (Bins Density) 15 για κάδους χωρητικότητας 150kg αντιστοιχεί σε συνολική χωρητικότητα  $15^2 \times 150 = 33,75$  tn, ενώ για την ίδια πυκνότητα δικτύου και για κάδους των 300kg η συνολική χωρητικότητα του συστήματος διαχείρισης είναι η διπλάσια  $15^2 \times 300 = 67,50$  tn. Για αυτόν τον λόγο στη συνέχεια παρουσιάζεται το *Διάγραμμα 3* όπου έχει αντικατασταθεί ο οριζόντιος άξονας με τη συνολική χωρητικότητα δικτύου και το *Διάγραμμα 4* συσχέτισης της πυκνότητας δικτύου με την χωρητικότητα του συστήματος.

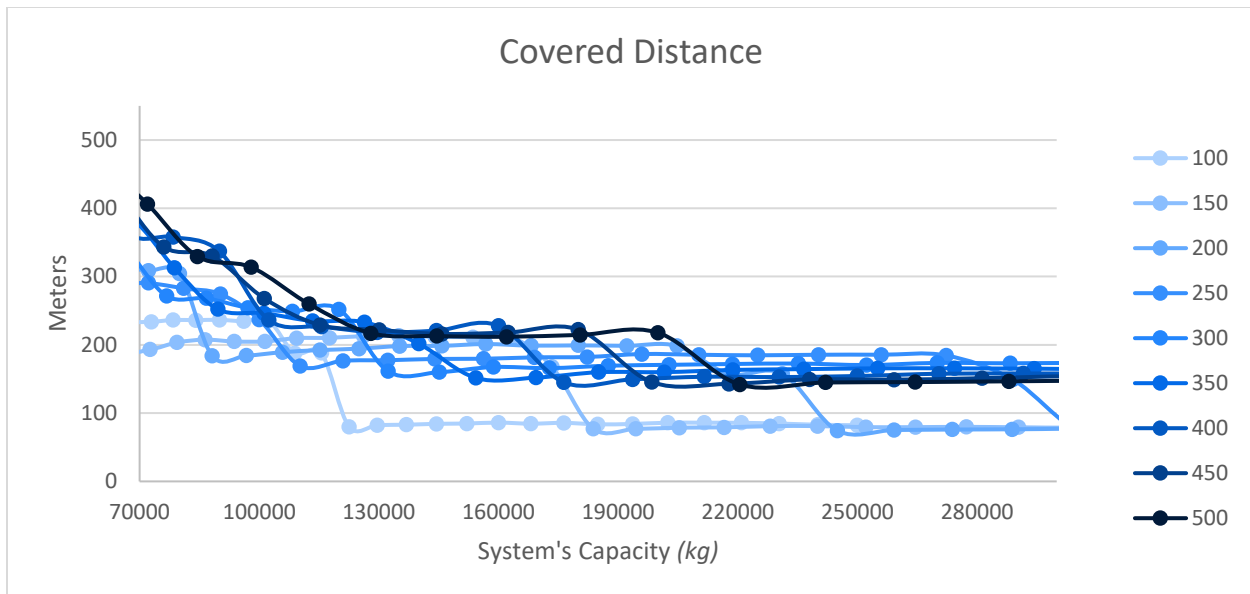


Διάγραμμα 3 Απόσταση Δημοτών – Συνολική Χωρητικότητα Συστήματος  
Types of Bins = 1, NR of NONRec Trucks = 3



Διάγραμμα 4 Συνολική Χωρητικότητα Συστήματος (Types of Bins = 1)

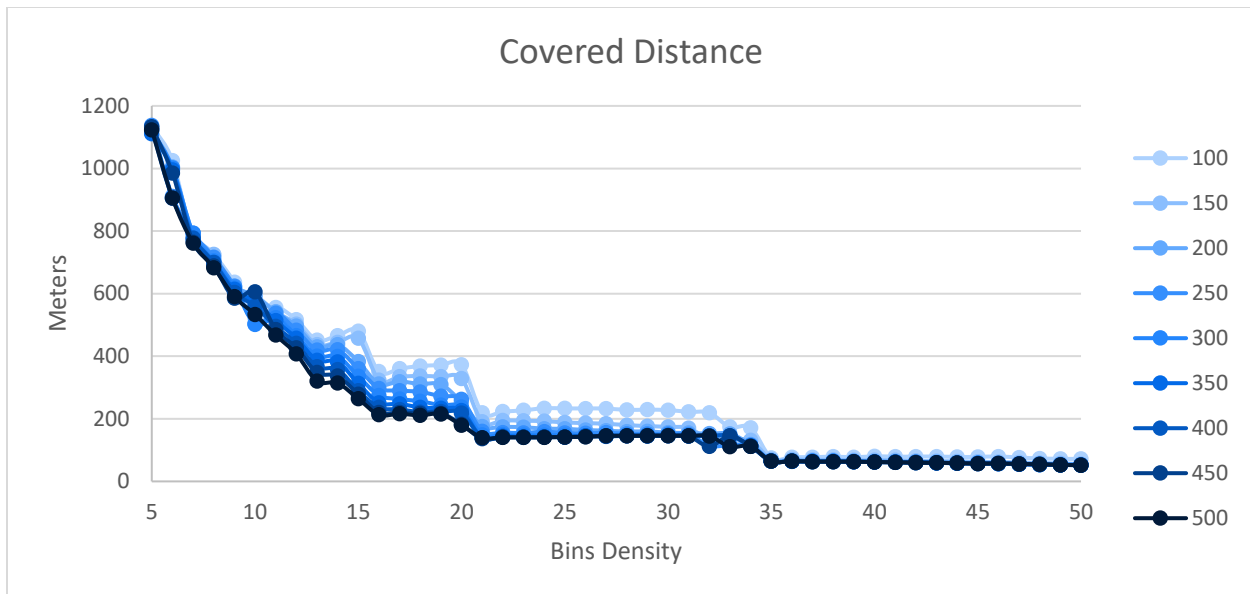
Όπως φαίνεται η μέγιστη τιμή του οριζόντιου άξονα είναι περίπου 1.250tn που αντιστοιχεί σε πολύ μεγάλη χωρητικότητα συστήματος, η οποία δεν έχει τόσο νόημα να περιλαμβάνεται σαν πιθανή επιλογή, καθώς η ημερήσια ποσότητα απορριμμάτων που παράγεται στο σύστημα μας είναι 72tn. Θεωρώντας ότι ένα σύστημα είναι αποδεκτό, εάν η χωρητικότητα του συστήματος είναι μεγαλύτερη από την ημερήσια ποσότητα απορριμμάτων που παράγεται και μέχρι τετραπλάσια της ημερήσιας παραγόμενης ποσότητας, δηλαδή μέχρι περίπου 300tn, τότε κάνοντας μία μεγέθυνση στο Διάγραμμα 3 είναι ευκολότερη η μελέτη του δικτύου.



Διάγραμμα 5 Μεγέθυνση Διαγράμματος 2 για 70tn <System's Capacity < 300tn

Περιορίζοντας το εύρος χωρητικότητας του δικτύου, είναι δυνατή η εστίαση σε πιο ρεαλιστικές συνθήκες. Όσο είναι γνωστή η επιθυμητή συνολική χωρητικότητα του συστήματος με τη βοήθεια του Διάγραμμα 3 γίνεται η επιλογή της χωρητικότητας των κάδων, και έπειτα από το Διάγραμμα 4 μπορεί να υπολογιστεί η πυκνότητα δικτύου (**Bins Density**) για το σύστημα διαχείρισης απορριμμάτων του Δήμου.

Για να πραγματοποιηθεί μελέτη εξάρτησης της απόστασης που διανύουν οι κάτοικοι σε σχέση με τον αριθμό των απορριμματοφόρων, επαναλήφθηκε το πείραμα με έναν αρκετά μεγάλο αριθμό απορριμματοφόρων Διάγραμμα 6. Παρατηρήθηκε ότι η μορφή της καμπύλης είναι όμοια και επομένως συμπεραίνεται ότι ο αριθμός των απορριμματοφόρων έχει μικρή επίπτωση στην απόσταση που διανύουν οι κάτοικοι για να διαθέσουν τα απορρίμματά τους σε σχέση με την χωρητικότητα των κάδων και του δικτύου των κάδων που έχει επιλεγεί.



Διάγραμμα 6 Απόσταση Δημοτών - Σύστημα Διαχείρισης Απορριμμάτων  
Types of Bins = 1, NR of NONRec Trucks = 30

Παρατηρείται επομένως αρκετά μεγάλη ομοιότητα ανάμεσα στα Διάγραμμα 2 και το Διάγραμμα 6. Σε όλες τις τιμές παρατηρείται μία μικρή μείωση της απόστασης που διανύουν οι δημότες και μία μείωση στο «θόρυβο». Κάτι τέτοιο παρουσιάζεται δεδομένου ότι όταν σε ένα σύστημα, ο αριθμός των απορριμματοφόρων δεν είναι αρκετός για να αδειάσει τους κάδους, ορισμένοι κάδοι παραμένουν γεμάτοι ή και ξεχειλισμένοι. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι δημότες την επόμενη μέρα να κατευθύνονται σε γεμάτους κάδους, και να αναγκάζονται να μετακινηθούν σε έναν άλλον κάδο. Αυτό τους οδηγεί να διανύσουν μεγαλύτερη απόσταση. Στην παρακάτω ανάλυση πληρότητας κάδων συστήματος (Κεφ. 6.1.2) περιγράφεται αναλυτικότερα η επίδραση του αριθμού των απορριμματοφόρων στο σύστημα.

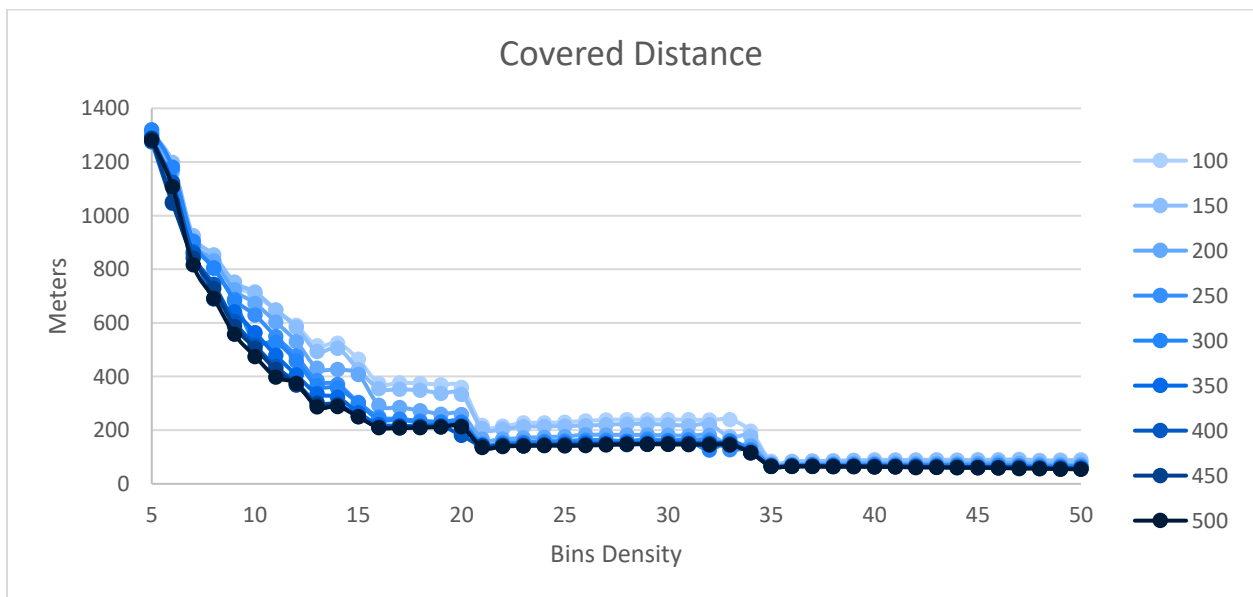
Types of Bins = 2

Οι τιμές των μεταβλητών σε αυτή τη πειραματική διαδικασία είναι (Πίνακας 11):

Πίνακας 11 Τιμές Μεταβλητών και Βήματα για Types of Bins = 2

Όνομα Μεταβλητής	Types of Bins		Τελική Τιμή
	Αρχική Τιμή	Βήμα	
Bins Density (Πυκνότητα Δικτύου)	5	1	50
NR of NON REC Trucks (Αριθμός απορριμματοφόρων Μη ανακυκλώσιμων απορριμμάτων)	3		15
NR of REC Trucks (Αριθμός απορριμματοφόρων Σύμμεικτων απορριμμάτων)	3		
Bins Capacity (Χωρητικότητα κάδων)	100	50	500

Στο δεύτερο πείραμα το σύστημα διαχείρισης απορριμμάτων περιέχει 2 τύπους κάδων σε κάθε Bins Spot, έναν για Μη ανακυκλώσιμα και έναν για Ανακυκλώσιμα. Από τα αποτελέσματα του πειράματος δεν παρατηρούνται μεγάλες διαφορές στην πορεία των καμπυλών και θα εξηγηθούν αναλυτικότερα στη πορεία. Τα αποτελέσματα από την προσομοίωση παρατηρούνται στη συνέχεια.



Διάγραμμα 7 Απόσταση Δημοτών - Σύστημα Διαχείρισης Απορριμμάτων  
Types of Bins = 2, NR of NONRec Trucks = 3, NR of REC Trucks = 3

Στο παραπάνω διάγραμμα (Διάγραμμα 7) παρατηρείται η ίδια μορφή καμπύλης με το σύστημα διαχείρισης απορριμμάτων, που προσφέρει έναν τύπο κάδων πράγμα λογικό για τους προαναφερθέντες λόγους. Επίσης, παρατηρείται ότι για Bins Density > 21, οι διαφορές στις χωρητικότητες του κάδου επιδρούν ελάχιστα στην απόσταση που διανύουν οι κάτοικοι και για πυκνότητα δικτύου (Bins Density) > 35 δεν επιδρά σχεδόν καθόλου. Αυτό συμβαίνει, καθώς η χωρητικότητα του συστήματος μετά από αυτά τα σημεία είναι αρκετά μεγάλη και συγκεκριμένα είναι η διπλάσια από τα αντίστοιχα σημεία της περίπτωσης του ενός τύπου κάδου ανά σημείο.

Πλέον, σε κάθε σημείο υπάρχουν 2 διαφορετικοί κάδοι όπου ο κάθε δημότης διαθέτει τα Ανακυκλώσιμα και τα Μη ανακυκλώσιμα απορρίμματά του. Σε αυτή την περίπτωση ο κάθε δημότης διαθέτει δυο ξεχωριστές «σακούλες» με απορρίμματα, τις οποίες και τοποθετεί σε ξεχωριστούς κάδους. Στο πείραμα ορίστηκε ως ποσοστό ανακύκλωσης  $R = 40\%$ , δηλαδή από τα ανακυκλώσιμα απορρίμματα, μόνο το 40% της κάθε κατηγορίας απορριμμάτων καταλήγει στον σωστό κάδο (στην προκειμένη περίπτωση, Types of bins = 2, το 40% των ανακυκλώσιμων καταλήγει στον κάδο ανακυκλώσιμων απορριμμάτων) και Purity κάδων 50% δηλαδή στον κάδο το 50% αποτελεί ανακυκλώσιμα υλικά, ενώ το υπόλοιπο 50% αντιστοιχεί σε μη ανακυκλώσιμα υλικά που θα πρέπει να οδηγηθούν προς ταφή. Επειδή το κάθε σημείο κάδου (Bins spot) στο χάρτη αντιστοιχεί πλέον σε διπλάσια συνολική χωρητικότητα, οι κάδοι γεμίζουν με μικρότερη ταχύτητα σε σχέση με τη περίπτωση του ενός κάδου ανά σημείο. Προκύπτει πώς, είναι λιγότερο πιθανό ο δημότης να συναντήσει γεμάτο κάδο και να χρειαστεί να μετακινηθεί σε άλλον με αποτέλεσμα τη μείωση της απόστασης που θα διανύσει για την διάθεση των απορριμμάτων του.

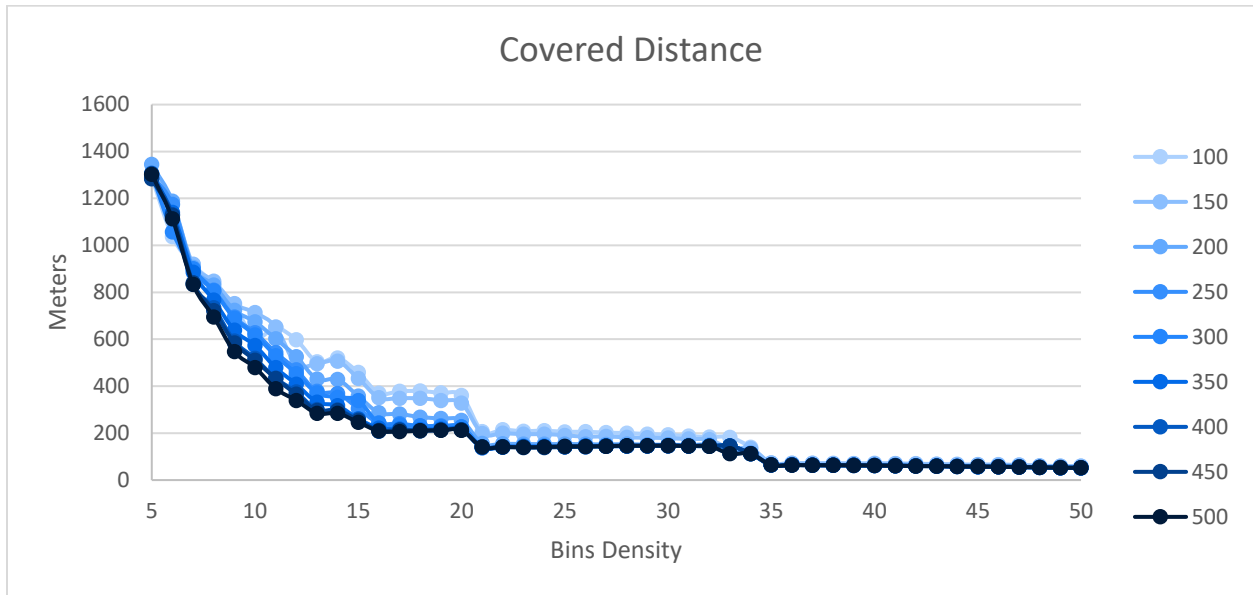
Ταυτόχρονα, σε σύγκριση με την περίπτωση του ενός τύπου κάδου σε κάθε σημείο (Διάγραμμα 2), στο εύρος τιμών πυκνότητας δικτύου (Bins Density) από 7 μέχρι 13, η χωρητικότητα των κάδων επιδρά περισσότερο, πράγμα αναμενόμενο, καθώς η συνολική χωρητικότητα του συστήματος δεν είναι τόσο χαμηλή όσο ήταν στην περίπτωση του ενός κάδου. Στην πρώτη περίπτωση, ήταν αρκετά πιθανό ο δημότης να κατευθυνθεί σε έναν κάδο ο οποίος είναι ξεχειλισμένος και να απορρίψει τα απορρίμματα του χωρίς να κατευθυνθεί σε έναν άλλον κάδο μειώνοντας έτσι την απόσταση που διένυσε.

Τέλος, στα σημεία Bins Density 13 και 14, παρατηρείται ανοδική πορεία στην απόσταση που διανύουν οι δημότες (για μικρές χωρητικότητες). Κάτι τέτοιο απαιτεί περαιτέρω διερεύνηση και πιθανότατα οφείλεται είτε σε κάποιο σφάλμα στον αλγόριθμο, είτε η μεταβλητή `peoples_radius`<sup>7</sup> λαμβάνει μία μεγαλύτερη τιμή με αποτέλεσμα οι δημότες να κατευθύνονται σε πιο απομακρυσμένους κάδους. Στη συνέχεια, επαναλήφθηκε η διαδικασία για μεγάλο αριθμό απορριμματοφόρων για τη μελέτη της επίδρασης του αριθμού των απορριμματοφόρων στην απόσταση που διανύουν οι δημότες. Για ακόμα

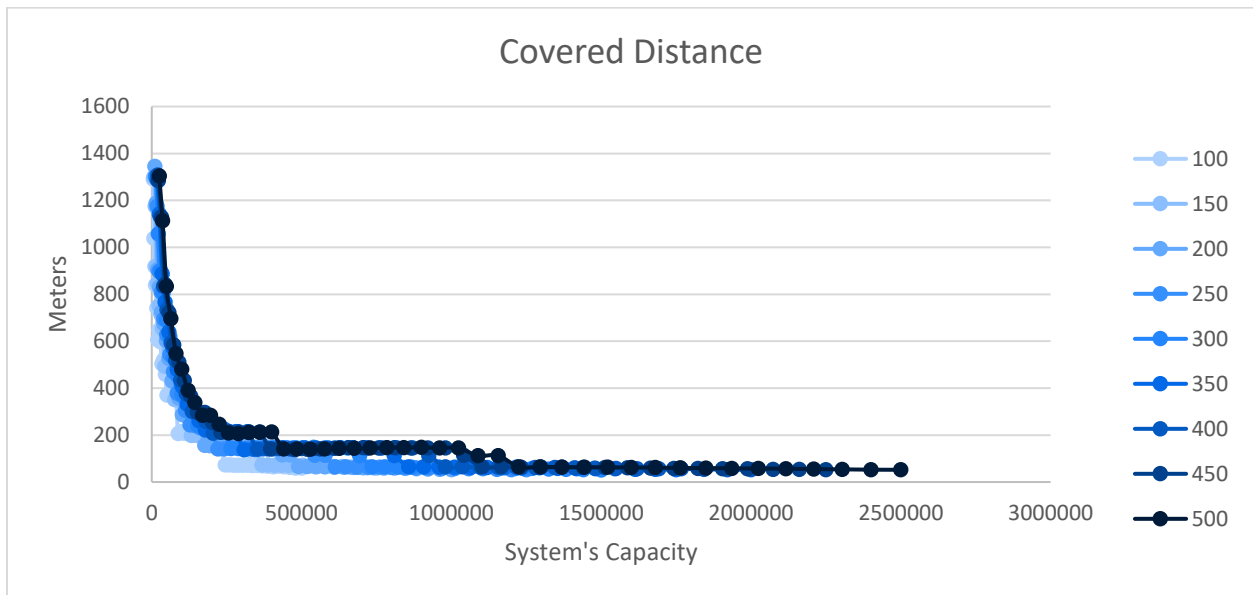
---

<sup>7</sup> Η παράμετρος `peoples_radius` αντιστοιχεί στην ακτίνα μέσα στην οποία οι δημότες αναζητούν κάδους ώστε να απορρίψουν τα απορρίμματα τους. Προτιμήθηκε να μην χρησιμοποιείται μία συγκεκριμένη τιμή ακτίνας καθώς σε αυτή τη περίπτωση εάν οι δημότες δεν είχαν κάδους σε αυτή την ακτίνα δεν θα μπορούσε να τρέξει η προσομοίωση. Η παράμετρος αυτή υπολογίζεται ως εξής: κατά το set up του αλγορίθμου, υπολογίζεται η απόσταση του καντινότερου κάδου από τον κάθε δημότη για το δεδομένο σύστημα. Από αυτές τις αποστάσεις λαμβάνεται αυτή με τη μέγιστη τιμή και προστίθεται το μισό αυτής. Έτσι είναι σίγουρο ότι για δεδομένο σύστημα, όλοι οι δημότες έχουν τουλάχιστον ένα σημείο που μπορούν να διαθέσουν τα απορρίμματα τους, εντός της ακτίνας τους.

μία φορά φάνηκε πολύ μικρή συσχέτιση στα δύο μεγέθη (αριθμός απορριμματοφόρων – απόσταση που διανύουν οι κάτοικοι ).

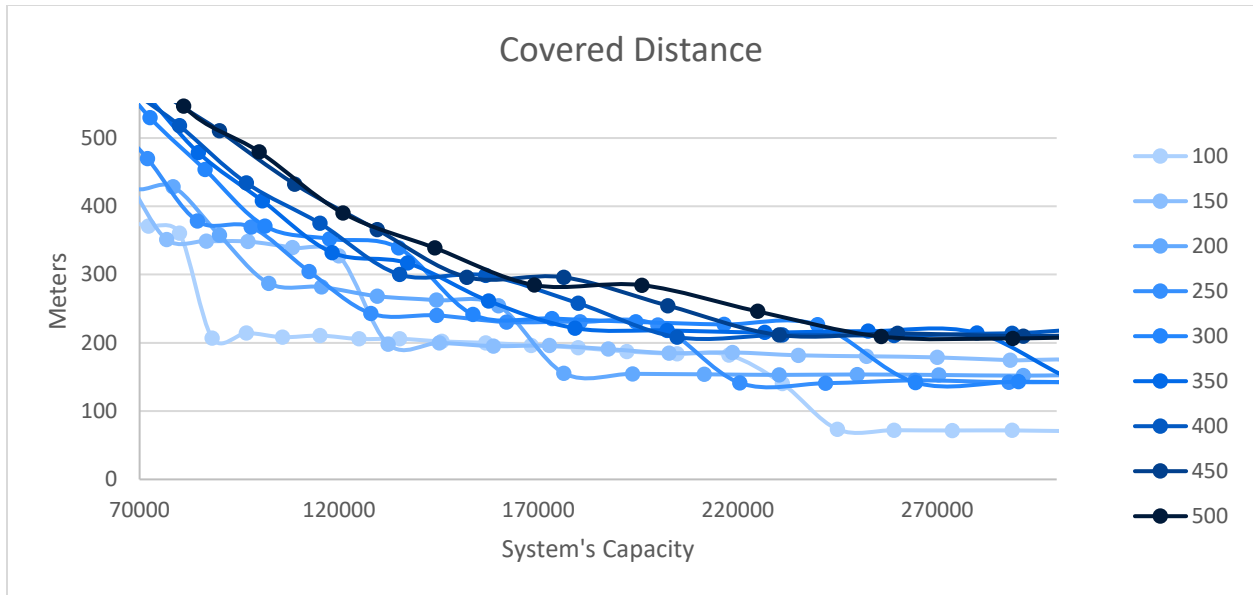


Διάγραμμα 8 Απόσταση Δημοτών - Σύστημα Διαχείρισης Απορριμμάτων  
Types of Bins = 2, NR of NONRec Trucks = 15, NR of REC Trucks = 15



Διάγραμμα 9 Απόσταση Δημοτών – Συνολική Χωρητικότητα Συστήματος  
Types of Bins = 2, NR of NONRec Trucks = 15, NR of REC Trucks = 15

Αντιστοίχως, παρακάτω φαίνεται το Διάγραμμα 9 μέσω της διανυόμενης απόστασης από τους δημότες συναρτήσει της συνολικής χωρητικότητας συστήματος.



Διάγραμμα 10 Μεγέθυνση Διαγράμματος 7 για  $70tn < System's Capacity < 300tn$

Στο Διάγραμμα 10 παρατηρούνται λιγότερα σημεία σε σχέση με τη περίπτωση ενός τύπου κάδου, καθώς μελετάται συγκεκριμένο διάστημα συνολικής χωρητικότητας ( $70-300tn$ ) αλλά για τις ίδιες τιμές πυκνότητας δικτύου (*Bins Density*). Κάτι τέτοιο είναι αναμενόμενο καθώς σε κάθε τιμή πυκνότητας δικτύου κάδων (*Bins Density*), παρέχεται στους κατοίκους η διπλάσια χωρητικότητα, άρα σε συγκεκριμένο διάστημα συνολικής χωρητικότητας υπάρχουν περίπου τα μισά σημεία. Ταυτόχρονα, διακρίνεται πιο απότομη μείωση των τιμών σε σχέση με την πρώτη περίπτωση Διάγραμμα 5, πράγμα λογικό καθώς στο Διάγραμμα 10 το εύρος συνολικής χωρητικότητας που απεικονίζεται, αντιστοιχεί σε μικρότερες τιμές *Bins Density* και σε άλλο διάστημα πυκνότητας δικτύου κάδων (*Bins Density*). Για παράδειγμα, για κάδους χωρητικότητας 250kg και για έναν τύπο κάδων σε κάθε σημείο, το εύρος χωρητικότητας συστήματος από 70tn – 300tn αντιστοιχεί για **Bins Density 17 – 34**, ενώ στη περίπτωση δύο τύπων κάδων αντιστοιχεί για **Bins Density 12 – 24**.



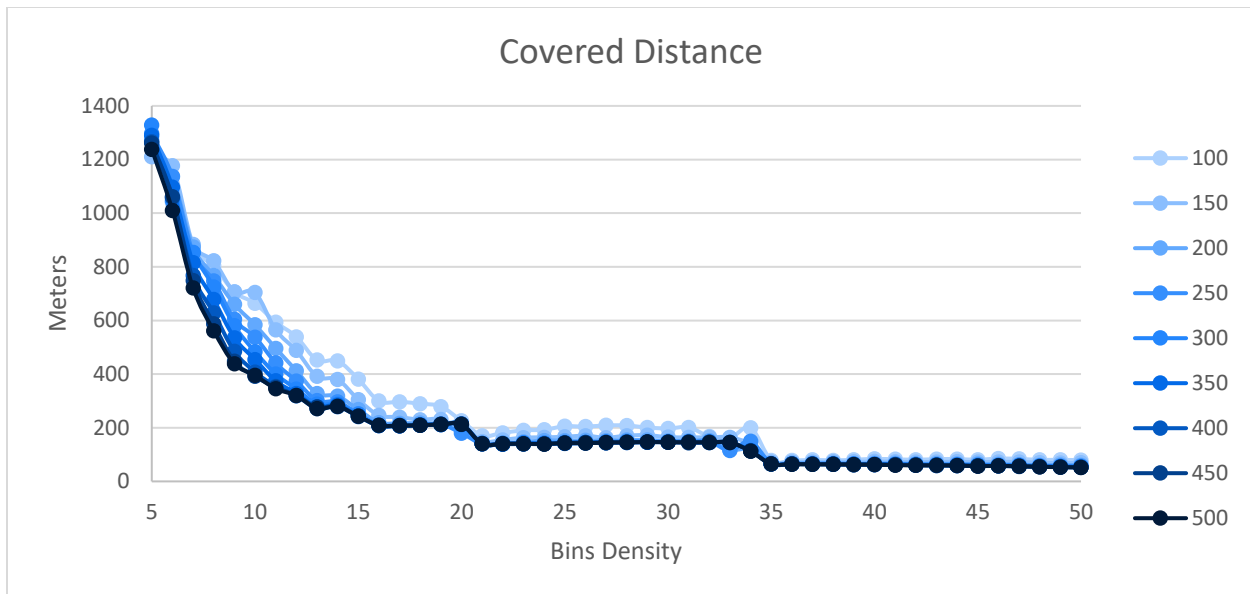
Types of bins = 3

Οι τιμές των μεταβλητών για απεικονίζονται στο παρακάτω πίνακα (Πίνακας 12):

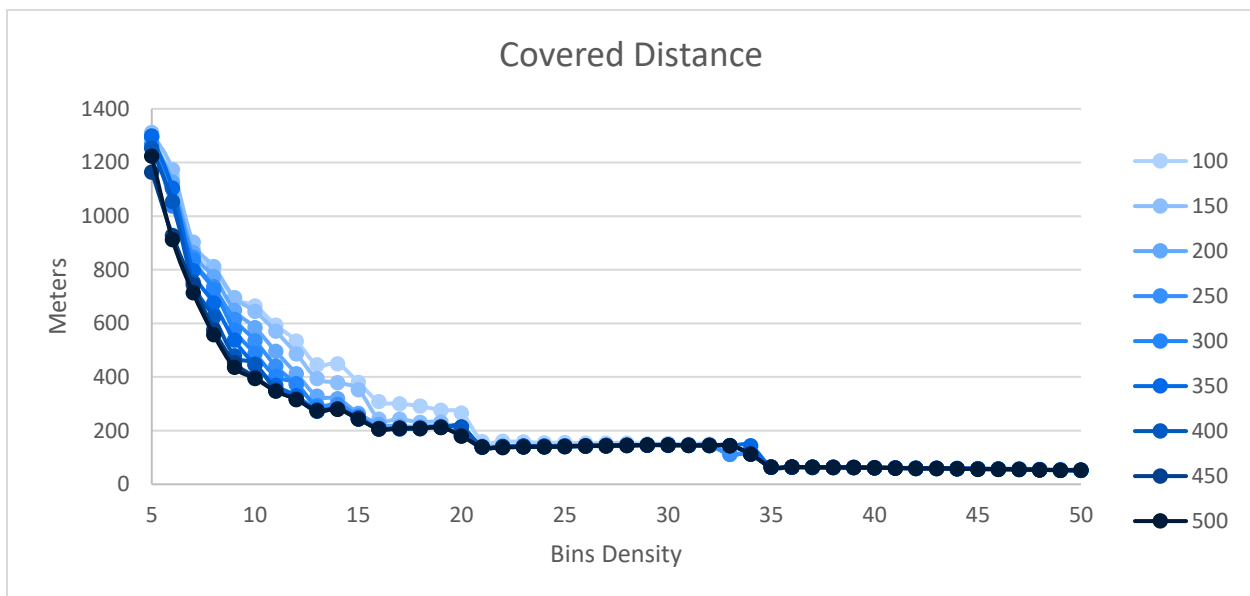
Πίνακας 12 Τιμές Μεταβλητών και Βήματα για Types of Bins = 3

Όνομα Μεταβλητής	Types of Bins	3	Τελική Τιμή
	Αρχική Τιμή	Βήμα	
Bins Density (Πυκνότητα Δικτύου)	5	1	50
NR of NON REC Trucks (Αριθμός απορριμματοφόρων Μη ανακυκλώσιμων απορριμμάτων)	3		15
NR of REC Trucks (Αριθμός απορριμματοφόρων Σύμμεικτων απορριμμάτων)	3		15
NR of BIO Trucks (Αριθμός απορριμματοφόρων Σύμμεικτων απορριμμάτων)	3		15
Bins Capacity (Χωρητικότητα κάδων)	100	50	500

Παρακάτω απεικονίζεται το τρίτο σενάριο που μελετήθηκε, όπου το κάθε Bins Spot αποτελείται από τρεις τύπους κάδων. Σε αυτήν τη περίπτωση παρέχονται στους δημότες τρεις κάδοι, όπου μπορούν να διαθέσουν Μη ανακυκλώσιμα, Ανακυκλώσιμα και Βιοαπόβλητα. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν είναι παρόμοια με τις παραπάνω περιπτώσεις. Παρατηρείται μείωση του «θορύβου» με την αύξηση του αριθμού των απορριμματοφόρων (Bins Density = 12) και μικρή μείωση της απόστασης που διανύουν οι δημότες στο εύρος Bins Density 21-33 για χωρητικότητες κάδων κάτω των 500kg.



Διάγραμμα 11 Απόσταση Δημοτών - Σύστημα Διαχείρισης Απορριμμάτων  
Types of Bins = 3, NR of NONRec Trucks = 3, NR of REC Trucks = 3, NR of BIO Trucks = 3



Διάγραμμα 12 Απόσταση Δημοτών - Σύστημα Διαχείρισης Απορριμμάτων  
Types of Bins = 3, NR of NONRec Trucks = 15, NR of REC Trucks = 15, NR of BIO Trucks = 15

Η μείωση που παρατηρείται στο διάστημα Bins Density = 20-33 ανάμεσα στα Διάγραμμα 11 και Διάγραμμα 12 διακρίνεται μόνο στους κάδους μικρής χωρητικότητας. Αυτό διακρίνεται γιατί ο αριθμός των απορριματοφόρων αρχικά, δεν καλύπτει το σύστημα για αυτό το εύρος πυκνότητας κάδων, και για αυτόν τον λόγο με μεγαλύτερο στόλο απορριματοφόρων η απόσταση, που διανύουν οι κάτοικοι μειώνεται. Παρατηρείται, επιπλέον, ότι κάτι τέτοιο δεν ισχύει για του κάδους μεγαλύτερης χωρητικότητας, παρ' όλο που η πυκνότητα των κάδων (Bins Density) και ο αριθμός των

απορριματοφόρων είναι ίδιος, που σημαίνει ότι πάλι τα απορριματοφόρα δεν καλύπτουν το υπάρχον σύστημα. Παρ' όλα αυτά, επειδή οι κάδοι είναι μεγαλύτερης χωρητικότητας, δεν προλαβαίνουν να γεμίσουν τελείως, δημιουργείται μία «ανεκτικότητα» στο σύστημα ώστε να χρησιμοποιούνται λιγότερα απορριματοφόρα. Τα παραπάνω εξηγούνται εκτενέστερα στην επόμενη ενότητα (Κεφ. 6.1.2), που αναφέρεται στην πληρότητα των κάδων του συστήματος για καθεμία από τις παραπάνω περιπτώσεις.

Πραγματοποιήθηκε η διεξαγωγή αποτελεσμάτων και για τις περιπτώσεις τεσσάρων και έξι τύπων κάδων στο σύστημα, επιλέχθηκε να μην παρουσιαστούν λόγω της ομοιότητας με τα παραπάνω διαγράμματα, αλλά έγινε η χρήση τους για την διεξαγωγή συμπερασμάτων και αποτελεσμάτων για την High Level Analysis.

### 6.1.2 Πληρότητα των κάδων σε σχέση με τις δομές που παρέχει ο Δήμος

Όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, οι δείκτες που μελετήθηκαν είναι: Α) Το ποσοστό των κάδων του συστήματος που έχει πληρότητα κάτω του 80%, Β) έχει πληρότητα από 80-100% και Γ) έχει το ποσοστό κάδων με απορρίμματα περισσότερα από τη χωρητικότητά τους. Αξίζει να επισημανθεί ότι τα διαγράμματα αφορούν την πληρότητα των κάδων **μετά** την αποκομιδή των απορριμμάτων από τα απορριματοφόρα.

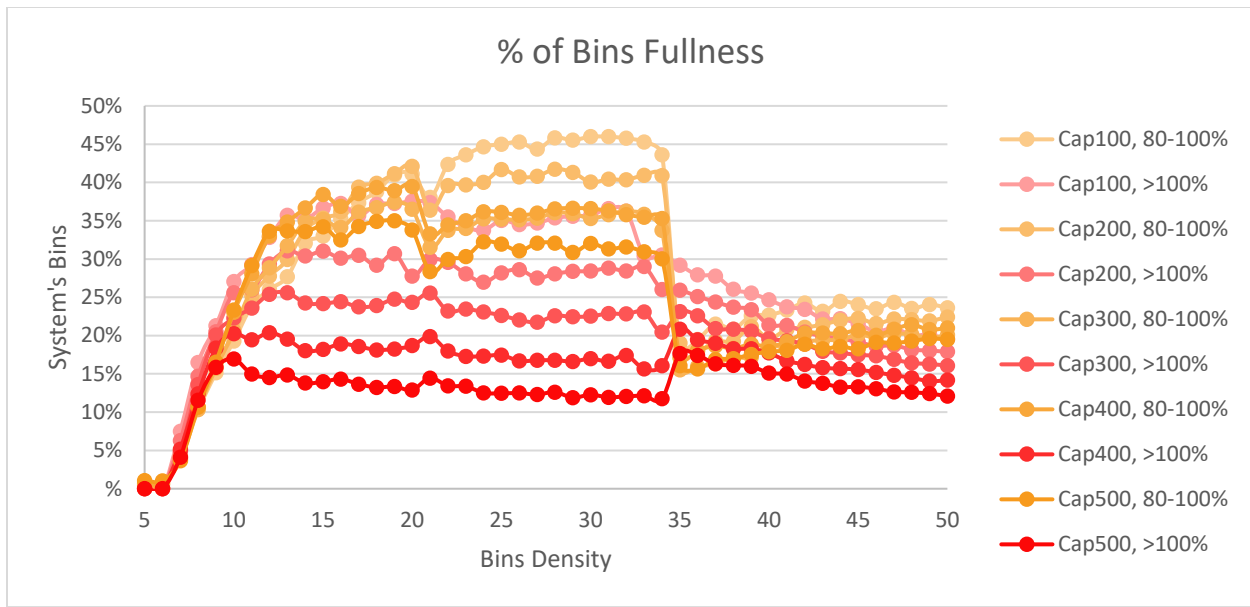
Σε πρώτο στάδιο μελετήθηκε το προφίλ ενός Δήμου που παρέχει έναν τύπο κάδων στους δημότες της σε κάθε σημείο (*Types of Bins = 1*). Οι τιμές των μεταβλητών του πειράματος φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 13 Τιμές Μεταβλητών Πειράματος, *Types of Bins = 1*

Όνομα Μεταβλητής	Types of Bins	1	Τελική Τιμή
	Αρχική Τιμή	Βήμα	
Bins Density <sup>8</sup> (Πυκνότητα Δικτύου)	5	1	50
NR of NON REC Trucks (Αριθμός απορριματοφόρων μη ανακυκλώσιμων απορριμμάτων)	1	1	15
Bins Capacity (Χωρητικότητα κάδων)	100	100	500

Οι δείκτες που αναφέρθηκαν παραπάνω (Α Β Γ) είναι συμπληρωματικοί καθώς το άθροισμα τους ισούται με 100%, έτσι επιλέχθηκε να εμφανιστούν μόνο οι τιμές για τους δείκτες Β και Γ που είναι και πιο κρίσιμοι.

<sup>8</sup> Στις επόμενες σελίδες φαίνεται ότι για ορισμένες τιμές των NR of Trucks, η αρχική τιμή της μεταβλητής Bins Density ξεκινάει από τη τιμή 25 μέχρι 50, βήματος 1, δεδομένου ότι δεν υπάρχει λόγος προσομοίωσης μικρότερων τιμών της μεταβλητής αφού τα αποτελέσματα είναι γνωστά.



Διάγραμμα 13 Ποσοστό κάδων συστήματος για πληρότητες κάδων 80-100% και >100%  
NR OF TRUCKS: NON RECYCLING = 1

Στο Διάγραμμα 13 παρατηρείται το ποσοστό των κάδων του συστήματος με πληρότητα από 80%- 100% (πορτοκαλί χρώμα), καθώς και το ποσοστό των ξεχειλισμένων κάδων (κόκκινο χρώμα). Στο υπόμνημα του διαγράμματος απεικονίζεται ο χρωματισμός των γραμμών σε σχέση με τη χωρητικότητα των κάδων. Όσο πιο σκουρόχρωμη είναι η καμπύλη, τόσο μεγαλύτερης χωρητικότητας κάδοι υπάρχουν στο σύστημα. Επίσης, παρατηρείται ότι για Bins Density < 6 οι κάδοι, μετά την συλλογή από τα απορριμματοφόρα, είναι πληρότητας από 0-80%. Αντιθέτως, με την αύξηση της πυκνότητας του δικτύου, οι κάδοι πληρότητας 80-100% και άνω του 100% αυξάνονται απότομα. Κάτι τέτοιο συμβαίνει καθώς για μεγαλύτερο αριθμό κάδων, ο αριθμός των απορριμματοφόρων δεν αρκεί για τη συλλογή των απορριμμάτων από τους κάδους.

Όπως προαναφέρθηκε τα απορριμματοφόρα θεωρήθηκε ότι λειτουργούν επί 8ωρης βάσης. Όταν το σύστημα των κάδων αυξηθεί, απαιτείται μεγαλύτερος χρόνος μετακινήσεων από τα απορριμματοφόρα για την ολοκληρωμένη διαλογή των απορριμμάτων από τους κάδους. Σε περίπτωση που περάσουν οι 8 ώρες λειτουργίας, τα απορριμματοφόρα σταματούν τη λειτουργία τους, ενώ στο σύστημα πλέον υπάρχουν κάδοι οι οποίοι δεν άδειασαν σε αυτό το χρονικό διάστημα. Κατά αυτόν τον τρόπο ορισμένοι κάδοι παραμένουν «γεμάτοι» ή ξεχειλισμένοι, με αποτέλεσμα οι κάτοικοι να δυσανασχετούν και να απαιτείται μεγαλύτερος αριθμός απορριμματοφόρων.<sup>9</sup>

Εστιάζοντας στην επίδραση της χωρητικότητας των κάδων στην πληρότητα των κάδων του συστήματος, διακρίνεται ότι για ίδια τιμή πυκνότητας δικτύου (Bins Density), με αύξηση της χωρητικότητας των

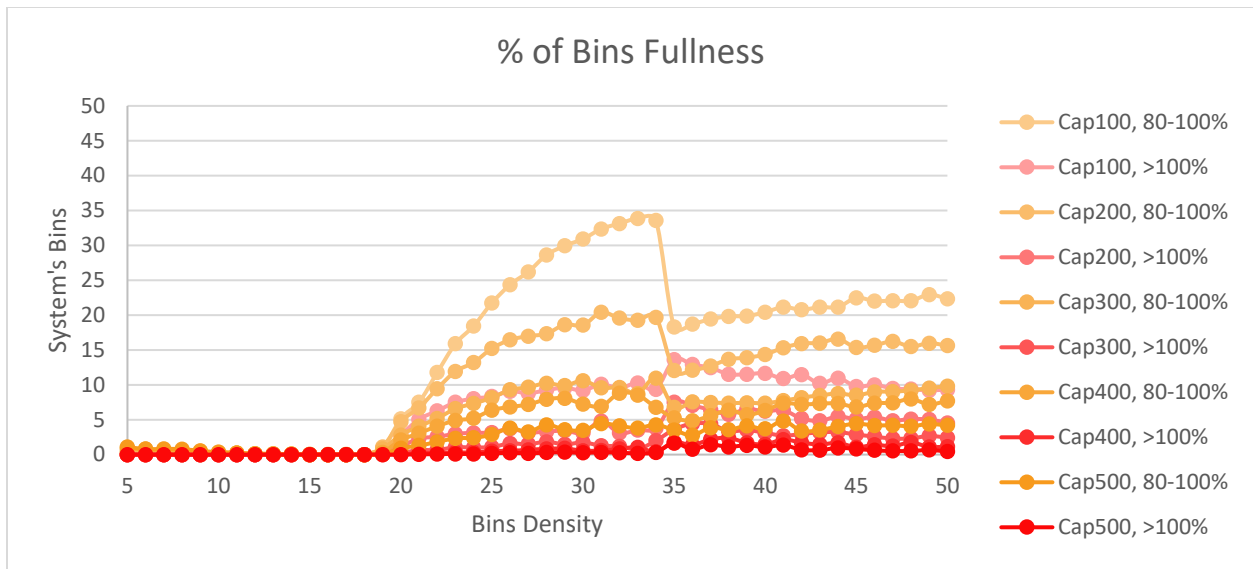
<sup>9</sup> Θεωρητικά υπάρχουν και άλλες λύσεις, όπως για παράδειγμα τα απορριμματοφόρα να έχουν μεγαλύτερο χώρο αποθήκευσης ή να υπάρχουν περισσότερα δρομολόγια από ένα. Παρ' όλα αυτά, για την εν λόγω μελέτη έχουν θεωρηθεί ορισμένες τιμές για αυτές τις παραμέτρους ώστε να αποτυπωθεί η μεθοδολογία. Φυσικά σε έναν αναλυτικό σχεδιασμό οι επιλογές είναι περισσότερες και ενδέχεται κάποιος μελετητής να θέσει άλλες σχεδιαστικές παραμέτρους.

κάδων, το ποσοστό των κάδων με πληρότητα 80-100% και των ξεχειλισμένων μειώνονται πράγμα αναμενόμενο, καθώς οι κάδοι γεμίζουν δυσκολότερα.

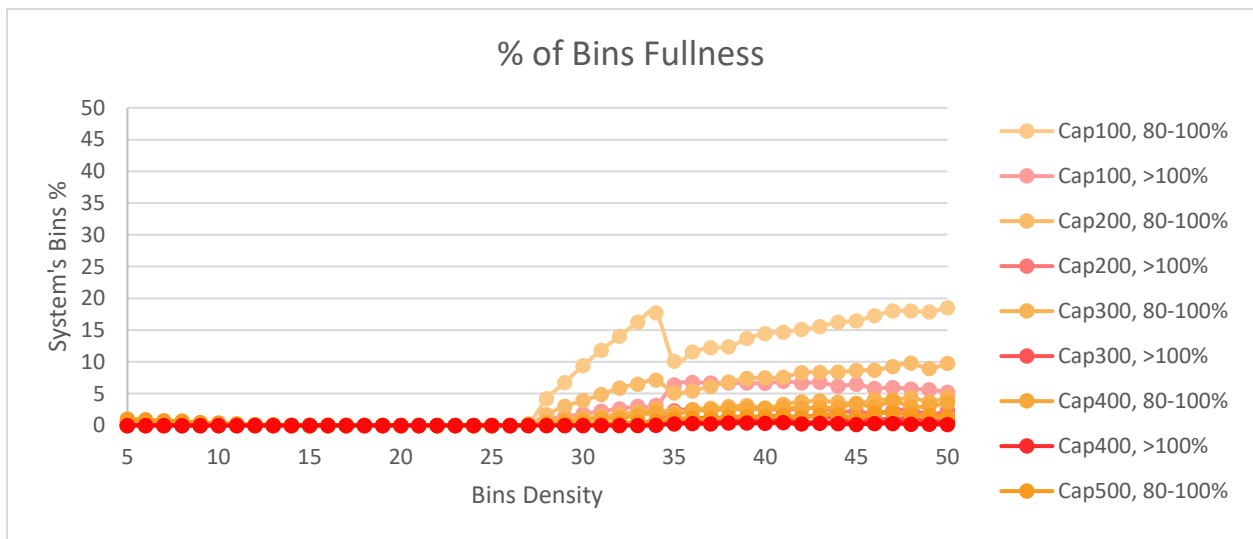
Ταυτόχρονα, για Bins Density = 35 παρατηρείται στο σύστημα πολύ απότομη μείωση των ποσοστών των κάδων που είναι γεμάτοι στο 80-100% της χωρητικότητάς τους. Κάτι τέτοιο οφείλεται στον υπολογισμό της ακτίνας την οποία καλύπτουν οι κάτοικοι για να απορρίψουν τα απορρίμματα τους (*peoples radius*). Σε αυτήν τη πυκνότητα δικτύου, η ακτίνα μειώνεται με αποτέλεσμα ο δημότης πλέον να έχει λιγότερους κάδους εντός της ακτίνας αυτής, παρ' όλο που οι κάδοι έχουν αυξηθεί. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να υπάρχουν ξεχωριστοί δημότες στην ακτίνα των οποίων βρίσκονται οι ίδιοι κάδοι. Ο συνδυασμός που περιγράφηκε, λίγων επιλογών κάδων των δημοτών σε συνεργασία με ίδιους κάδους στους δημότες, έχει ως αποτέλεσμα οι κάδοι να ξεχειλίζουν. Το ίδιο φαινόμενο παρατηρείται και για Bins Density = 21 αλλά σε πολύ μικρότερο βαθμό. Διακρίνεται επιπλέον ότι η αύξηση των ξεχειλισμένων κάδων είναι μικρότερη σε σχέση με τη μείωση που υφίστανται οι κάδοι πληρότητας 80-100% και έτσι συμπεραίνεται ότι ο αριθμός των κάδων με πληρότητα 0-80% αυξάνεται. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε περαιτέρω διερεύνηση του συστήματος και παρατηρήθηκε ότι για αυτές τις τιμές πυκνότητας κάδων υπάρχουν πολλοί κάδοι, οι οποίοι δεν βρίσκονται εντός της ακτίνας δημοτών με αποτέλεσμα να παραμένουν άδεια και ανεκμετάλλευτοι. Το ίδιο φαινόμενο παρατηρείται σε όλα τα διαγράμματα για πυκνότητα κάδων = 35, πράγμα το οποίο μεταφράζεται πιθανότατα σε αστοχία της δημιουργίας του αλγορίθμου ή της μεθόδου.

Αξίζει να σημειωθεί ότι σε ένα ρεαλιστικό σενάριο μελέτης Δήμου, η πυκνότητα των κάδων του συστήματος δεν είναι σταθερή σε όλο το χώρο. Αντιθέτως, σε περιοχές που υπάρχει μεγαλύτερη ανάγκη τοποθετούνται περισσότεροι, ενώ αν κάποιος κάδος δεν χρησιμοποιούνται θα μετακινηθούν σε χώρους που χρειάζονται. Παρ' όλα αυτά όπως έχει σημειωθεί ξανά, η παρούσα διπλωματική εργασία εστιάζει στη μεθοδολογία και σε μία πρώτη προσπάθεια απεικόνισης ενός συστήματος διαχείρισης Δήμων.

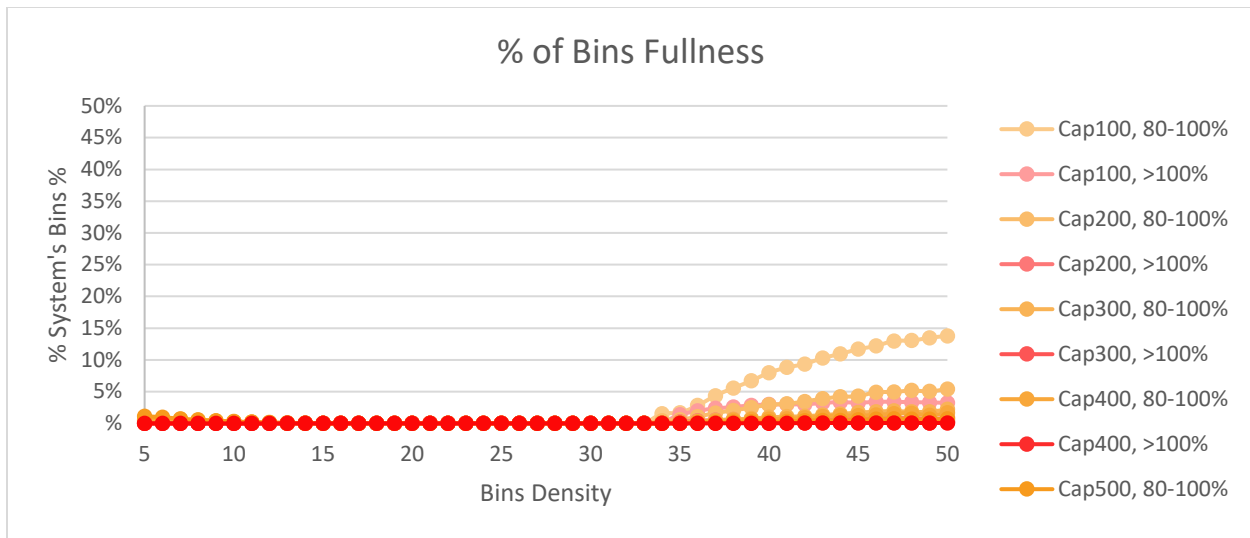
Στη συνέχεια, το πείραμα επαναλήφθηκε για μεγαλύτερο αριθμό απορριμματοφόρων:



Διάγραμμα 14 Ποσοστό κάδων συστήματος για πληρότητες κάδων 80-100% και >100%  
NR OF TRUCKS: NON RECYCLING = 3



Διάγραμμα 15 Ποσοστό κάδων συστήματος για πληρότητες κάδων 80-100% και >100%  
NR OF TRUCKS: NON RECYCLING = 5



Διάγραμμα 16 Ποσοστό κάδων συστήματος για πληρότητες κάδων 80-100% και >100%  
NR OF TRUCKS: NON RECYCLING = 7

Από τα παραπάνω διαγράμματα (Διάγραμμα 14, Διάγραμμα 15, Διάγραμμα 16) επιβεβαιώνεται ότι η αύξηση του αριθμού των απορριμματοφόρων μεταβάλλει το κρίσιμο σημείο όπου η πληρότητα των κάδων στο σύστημα για τους κάδους πληρότητας 80-100% και τους ξεχειλισμένους (>100%) δεν ισούται με 0. Ακόμα όσο αυξάνεται ο αριθμός των απορριμματοφόρων, η μορφή των καμπυλών εξομαλύνεται χωρίς να έχει μεγάλες και αποτόμες αυξομειώσεις. Κάτι τέτοιο ερμηνεύεται διότι όταν ο αριθμός των απορριμματοφόρων στο σύστημα διαχείρισης δεν επαρκεί για τη συλλογή των απορριμμάτων από όλους τους κάδους, ο παράγοντας της τυχαιότητας αυξάνεται δημιουργώντας μεγάλο σφάλμα στις μετρήσεις. Επειδή η μορφή των διαγραμμάτων ήταν ίδια, ορισμένα διαγράμματα δεν περιλήφθηκαν στα αποτελέσματα. Ταυτόχρονα, παρατηρώντας ότι, όσο αυξάνεται ο αριθμός των απορριμματοφόρων, το κρίσιμο σημείο μετατοπίζεται προς τα δεξιά, και συνεπώς δεν υπήρχε λόγος προσομοίωσης μικρότερων τιμών Bins Density για μεγαλύτερο αριθμό απορριμματοφόρων. Έτσι, επιλέχθηκε αρχική τιμή Bins Density = 25 για την προσομοίωση συστήματος με μεγαλύτερο αριθμό απορριμματοφόρων, καθώς όπως επιβεβαιώνεται και από τα παραπάνω πειράματα, για μικρότερες τιμές του Bins Density, το ποσοστό των κάδων με πληρότητα άνω του 80% θα είναι 0.

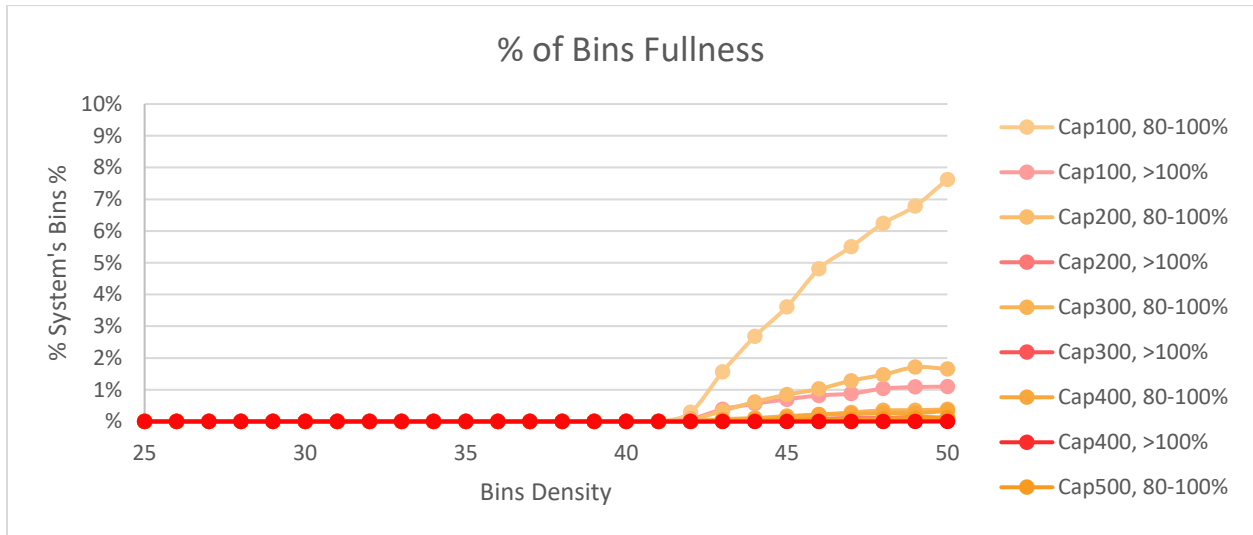
Επισημάνεται ότι τα αποτελέσματα των διαγραμμάτων αναφέρονται στη φάση μετά την αποκομιδή των απορριμμάτων από τους κάδους. Για να είναι πληρέστερη η μελέτη πρέπει να απεικονιστεί και η κατάσταση των κάδων πριν την αποκομιδή των απορριμμάτων. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η περίπτωση του ενός απορριμματοφόρου (Διάγραμμα 13), όπου για σύστημα πυκνότητας κάδων Bins Density = 6, το απορριμματοφόρο μπορεί να συλλέξει τα απορρίμματα από όλους τους κάδους του συστήματος. Παρ' όλα αυτά, η συνολική χωρητικότητα του συστήματος σε μία τέτοια περίπτωση είναι μικρότερη από την παραγόμενη ποσότητα των απορριμμάτων των δημοτών αφού:

$$Total Capacity_{system} = Bins Density^2 * Bins Capacity = 6 * 6 * 300 \Leftrightarrow$$

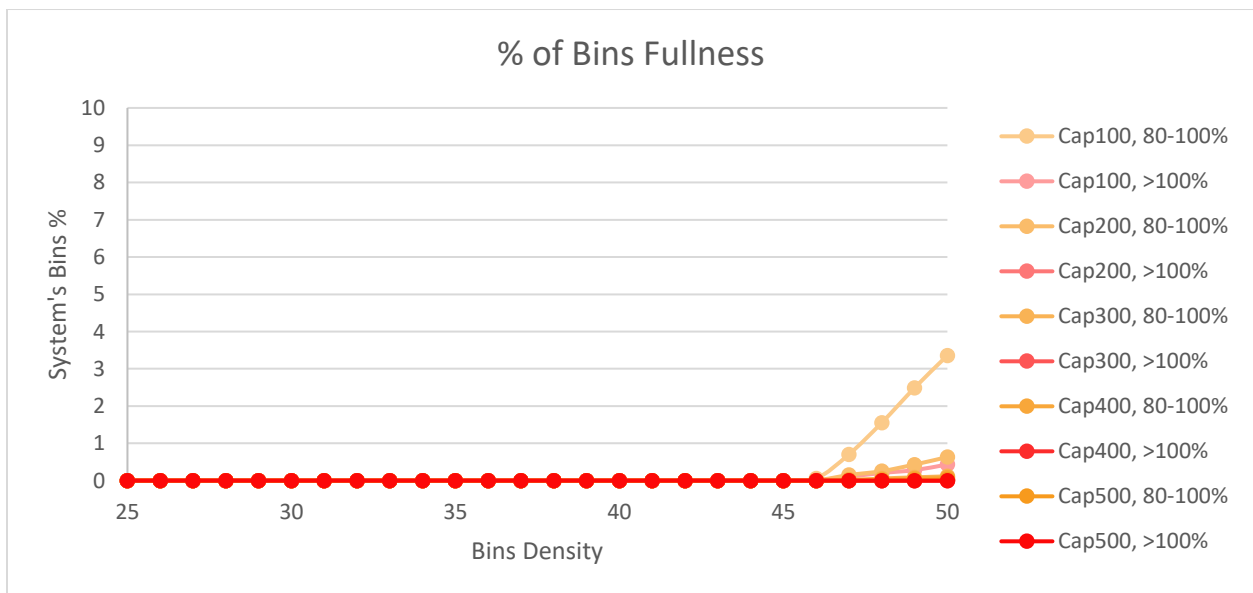
$$Total Capacity_{system} = 10,8tn \ll Producted_{Residents} = 72tn$$

Συμπεραίνεται ότι πριν τη συλλογή των απορριμμάτων, σχεδόν όλοι οι κάδοι του Δήμου είναι ξεχειλισμένοι, αφού η παραγόμενη ποσότητα είναι αρκετές φορές μεγαλύτερη από αυτήν που αντέχει το σύστημα. Επομένως, παρ'όλο που το ένα απορριμματοφόρο μπορεί να διαχειριστεί το σύστημα, το σύστημα αυτό δεν είναι αποδοτικό και δεν θα πρέπει να είναι αποδεκτό.

Η προκειμένη ανάλυση εστιάζει περισσότερο στην απόδοση των απορριμματοφόρων και για αυτόν το λόγο δεν συμπεριλήφθηκε η εικόνα του Δήμου πριν την συλλογή των απορριμμάτων. Όμως, όπως έχει αναφερθεί, ο αλγόριθμος δίνει οπτική δυνατότητα στο χρήστη να αναγνωρίζει την κατάσταση των κάδων πριν από την αποκομιδή των απορριμμάτων από τα απορριμματοφόρα.

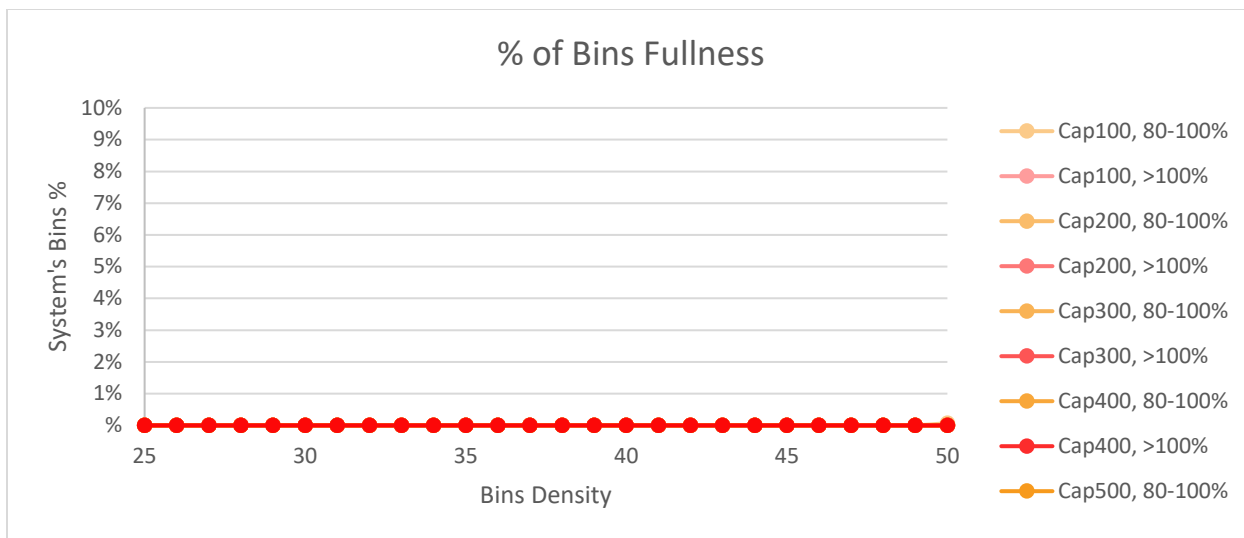


Διάγραμμα 17 Ποσοστό κάδων συστήματος για πληρότητες κάδων 80-100% και >100%  
NR OF TRUCKS: NON RECYCLING = 10



Διάγραμμα 18 Ποσοστό κάδων συστήματος για πληρότητες κάδων 80-100% και >100%  
NR OF TRUCKS: NON RECYCLING = 12

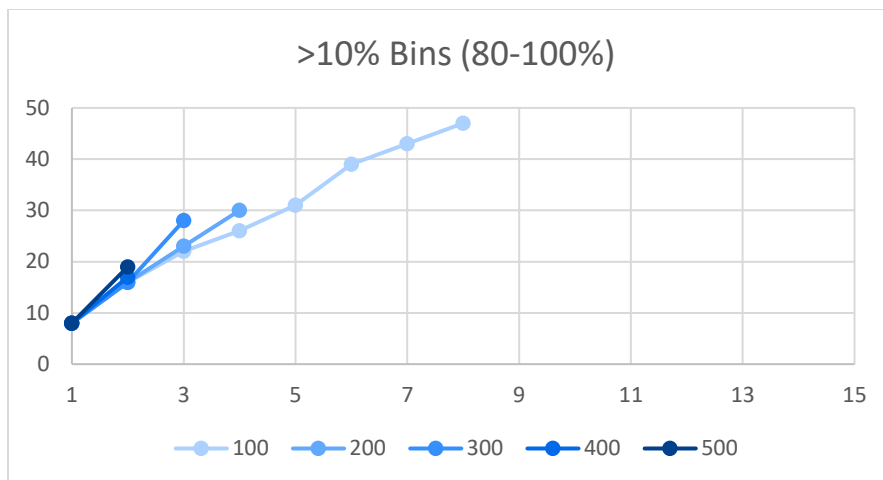




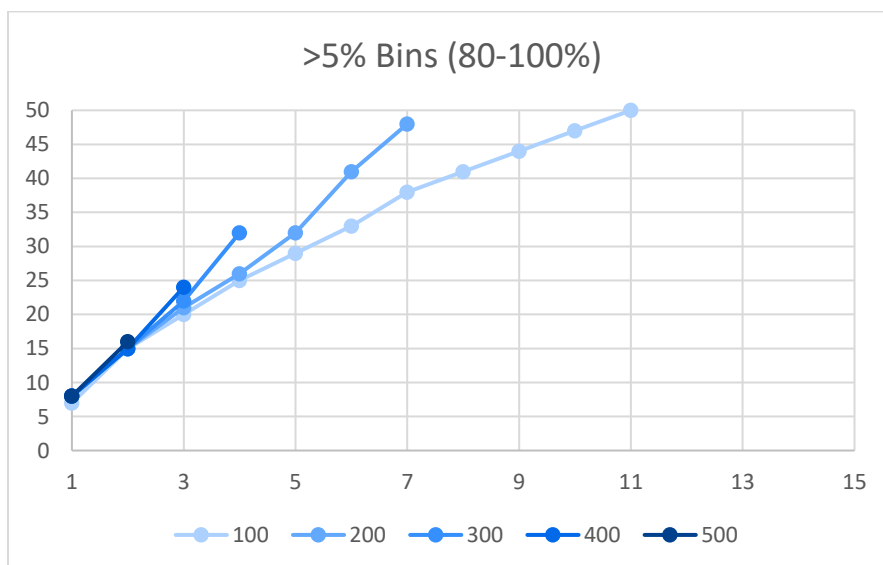
Διάγραμμα 19 Ποσοστό κάδων συστήματος για πληρότητες κάδων 80-100% και >100%  
NR OF TRUCKS: NON RECYCLING = 14

Στη συνέχεια απεικονίζονται συγκεντρωτικά διαγράμματα αριθμού απορριμματοφόρων συναρτήσει του συστήματος των κάδων που «αντέχουν» τα απορριμματοφόρα να αδειάσουν *Διάγραμμα 20*. Ο οριζόντιος κάθετος άξονας δείχνει τον αριθμό των απορριμματοφόρων, ο κατακόρυφος κάθετος άξονας τον αριθμό της πυκνότητας δικτύου (*Bins Density*), ενώ στον τίτλο του κάθε διαγράμματος φαίνεται το **όριο ανοχής**. Παρατηρούμε ότι τα όρια ανοχής για τους κάδους με πληρότητα 80-100% είναι 10%, 5% και 2% αντίστοιχα. Τα σημεία που υπάρχουν στο διάγραμμα αναφέρονται σε ποια τιμή του *Bins Density*, για ποιον αριθμό απορριμματοφόρων και για ποιον αριθμό χωρητικότητας, ξεπεράστηκε το όριο των 10% των κάδων του συστήματος να έχουν πληρότητα 80-100%. Αυτό σημαίνει ότι για συγκεκριμένο αριθμό απορριμματοφόρων και χωρητικότητας κάδων, η αύξηση της πυκνότητας του δικτύου (*Bins Density*), επιφέρει ότι πάνω από το 10% των κάδων του συστήματος θα έχουν πληρότητα 80-100%. Το ίδιο παρατηρείται και στο *Διάγραμμα 23* όπου πλέον μετράται το όριο ανεκτικότητας για τους ξεχειλισμένους κάδους αντίστοιχα 5%, 2% και 1%.

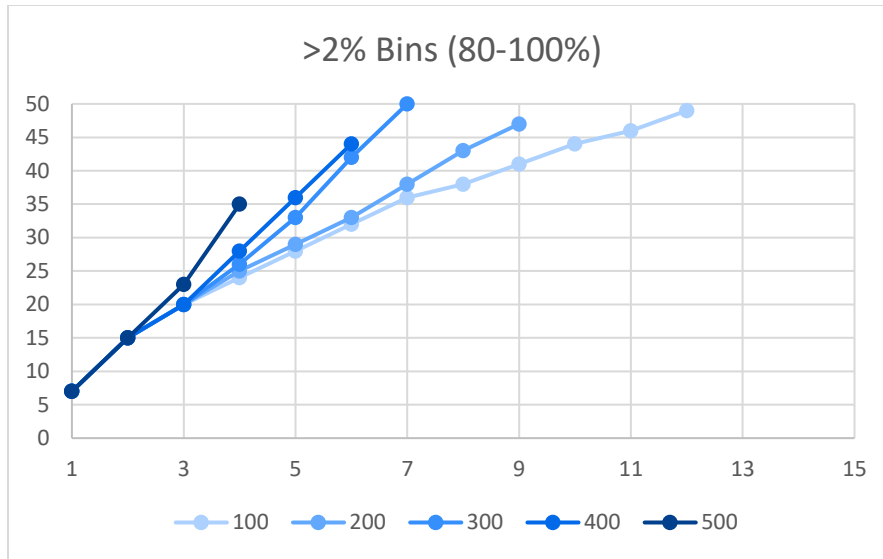
Είναι σαφές ότι τα όρια για τους ξεχειλισμένους κάδους είναι πιο αυστηρά σε σχέση με τα όρια στην πληρότητα 80-100%. Επιπλέον από τα διαγράμματα παρατηρείται ότι όσο πιο αυστηρά είναι τα όρια ανεκτικότητας για την πληρότητα των κάδων, τόσο πιο δύσκολο είναι να επιτευχθούν και απαιτείται μεγαλύτερος αριθμός απορριμματοφόρων.



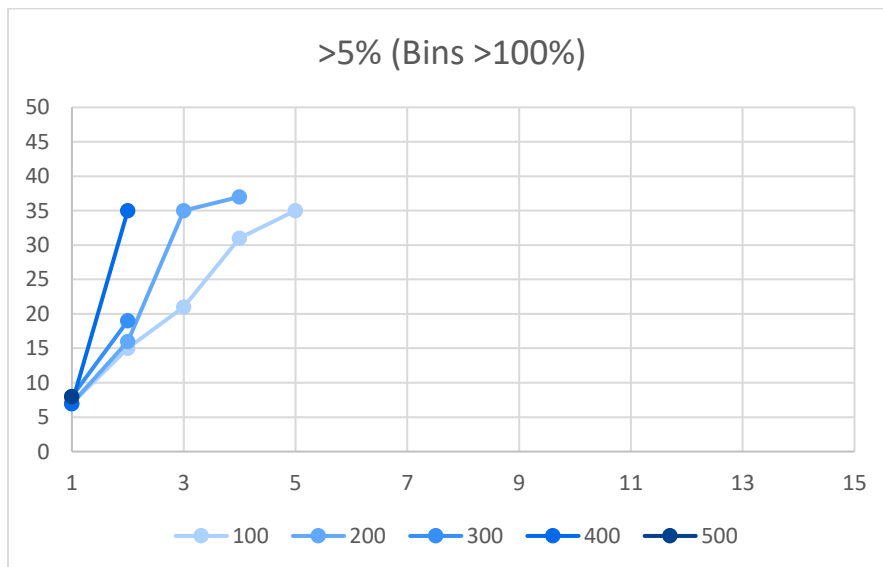
Διάγραμμα 20 Όριο ανοχής πυκνότητας και χωρητικότητας συστήματος σε σχέση με τον αριθμό απορριμματοφόρων, Σημεία που παρατηρείται οι κάδοι με πληρότητα 80-100% να αποτελούν άνω του 10% των κάδων του συστήματος



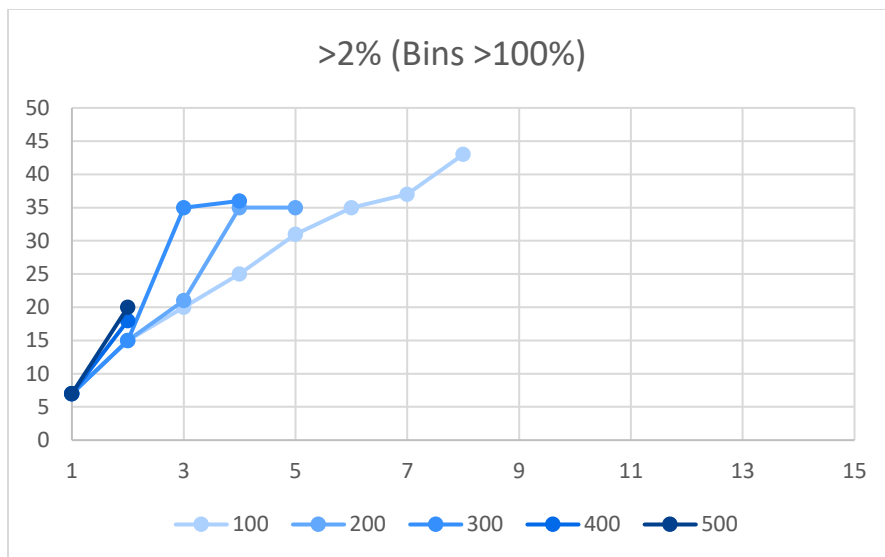
Διάγραμμα 21 Όριο ανοχής πυκνότητας και χωρητικότητας συστήματος σε σχέση με τον αριθμό απορριμματοφόρων, Σημεία που παρατηρείται οι κάδοι με πληρότητα 80-100% να αποτελούν άνω του 5% των κάδων του συστήματος



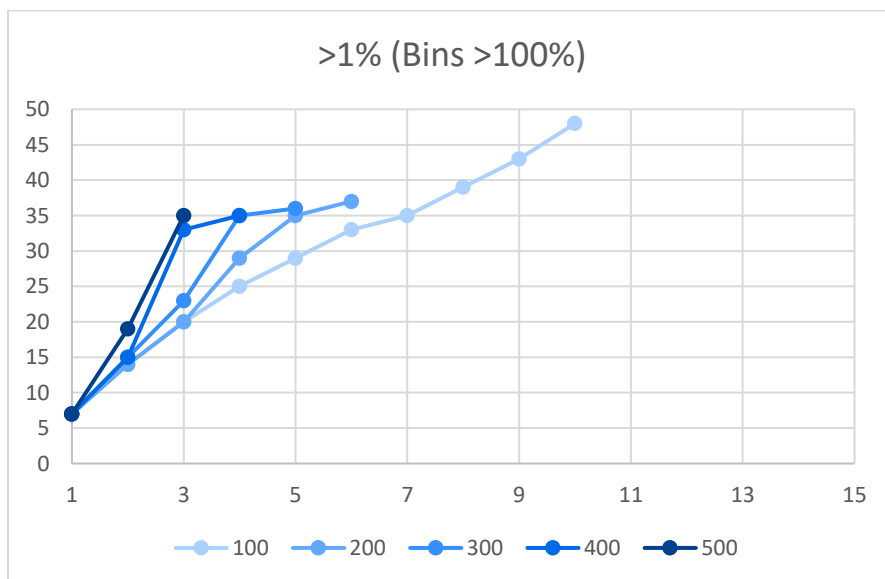
Διάγραμμα 22 Όριο ανοχής πυκνότητας και χωρητικότητας συστήματος σε σχέση με τον αριθμό απορριμματοφόρων, Σημεία που παρατηρείται οι κάδοι με πληρότητα 80-100% να αποτελούν άνω του 2% των κάδων του συστήματος



Διάγραμμα 23 Όριο ανοχής πυκνότητας και χωρητικότητας συστήματος σε σχέση με τον αριθμό απορριμματοφόρων, Σημεία που παρατηρείται οι κάδοι με πληρότητα >100% να αποτελούν άνω του 5% των κάδων του συστήματος



Διάγραμμα 24 Όριο ανοχής πυκνότητας και χωρητικότητας συστήματος σε σχέση με τον αριθμό απορριμματοφόρων, Σημεία που παρατηρείται οι κάδοι με πληρότητα >100% να αποτελούν άνω του 2% των κάδων του συστήματος



Διάγραμμα 25 Όριο ανοχής πυκνότητας και χωρητικότητας συστήματος σε σχέση με τον αριθμό απορριμματοφόρων, Σημεία που παρατηρείται οι κάδοι με πληρότητα >100% να αποτελούν άνω του 1% των κάδων του συστήματος

Τύποι κάδων Δήμου (Types of Bins)= 2

Οι τιμές και τα βήματα των σχεδιαστικών μεταβλητών του συστήματος παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 14):

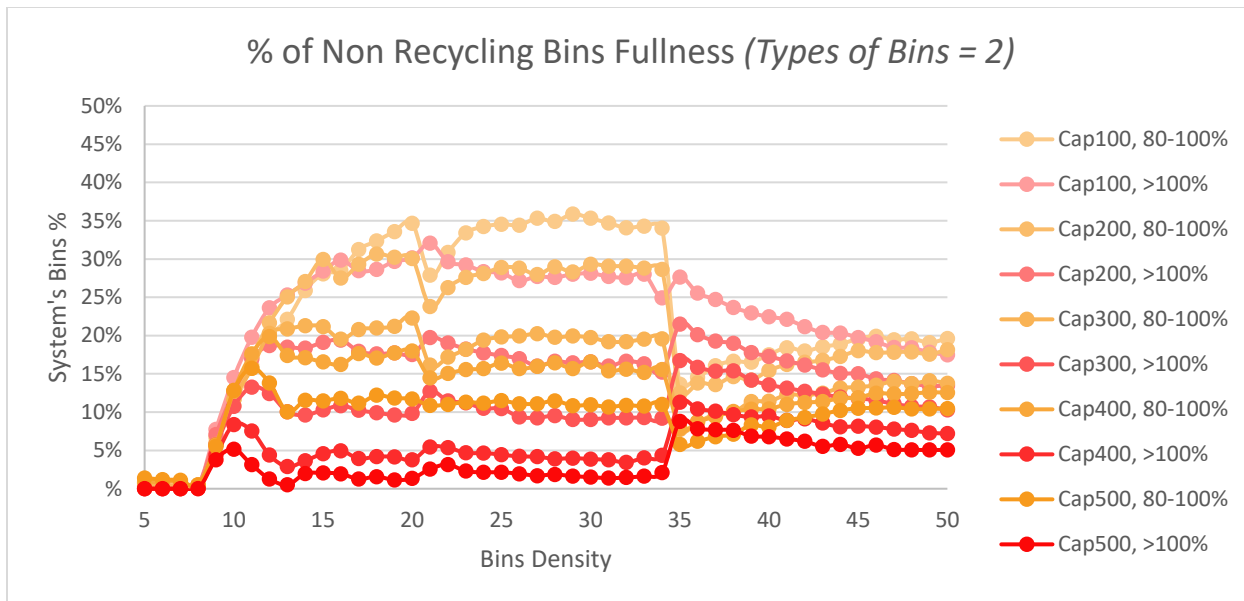
Πίνακας 14 Τιμές Μεταβλητών Πειράματος, Types of Bins = 2

Όνομα Μεταβλητής	Types of Bins	2	Τελική Τιμή
	Αρχική Τιμή	Βήμα	
Bins Density <sup>10</sup> (Πυκνότητα Δικτύου)	5	1	50
NR of NON REC Trucks (Αριθμός απορριμματοφόρων Μη ανακυκλώσιμων απορριμμάτων)	1	1	10
NR of REC Trucks (Αριθμός απορριμματοφόρων Ανακυκλώσιμων απορριμμάτων)	1	1	10
Bins Capacity (Χωρητικότητα κάδων)	100	100	500

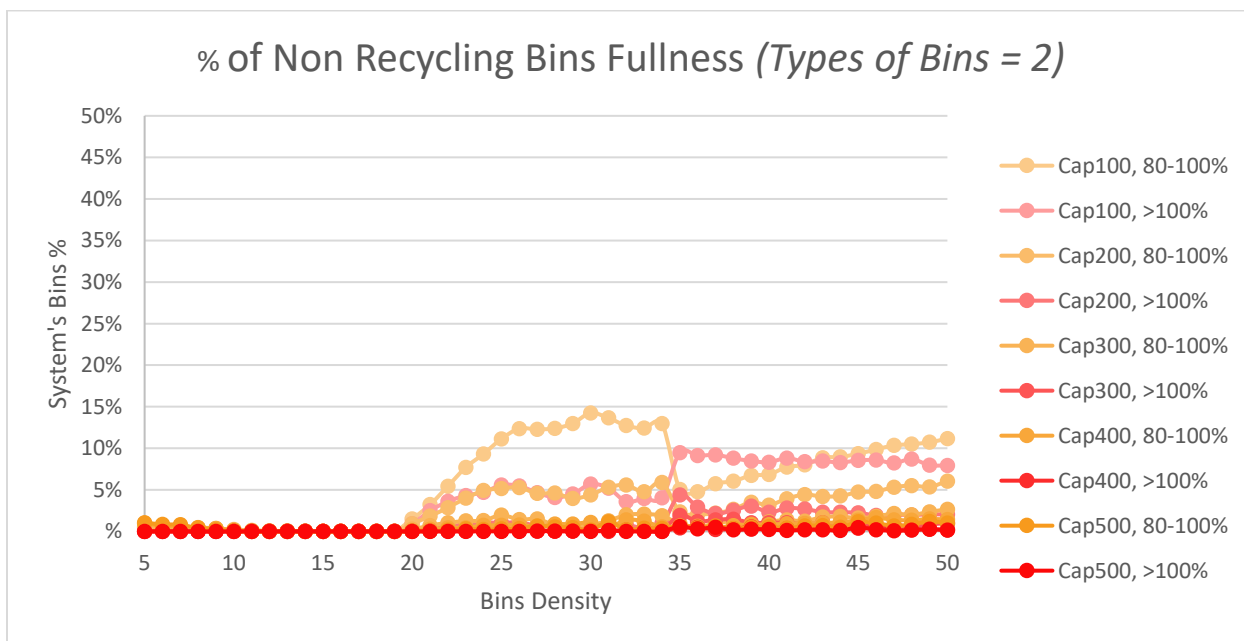
Η παραπάνω διαδικασία επαναλήφθηκε για 2 τύπους κάδων ανά σημείο κάδων (**Bins Spot**), Μη ανακυκλώσιμων και Ανακυκλώσιμων. Σε αυτήν τη περίπτωση στο σύστημα υπάρχουν 2 κάδοι σε κάθε σημείο και θα πρέπει να μελετηθεί η χωρητικότητα για κάθε είδος κάδου ξεχωριστά. Ταυτόχρονα, επειδή τα απορριμματοφόρα διακρίνονται ανάλογα με τον τύπο απορριμμάτων που συλλέγουν, επαναλαμβάνεται η παραπάνω διαδικασία με την μεταβολή του αριθμού των απορριμματοφόρων και για τα δύο είδη ξεχωριστά.

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τη μελέτη των κάδων και των απορριμματοφόρων για τα **Μη ανακυκλώσιμα απορρίμματα** είναι τα εξής:

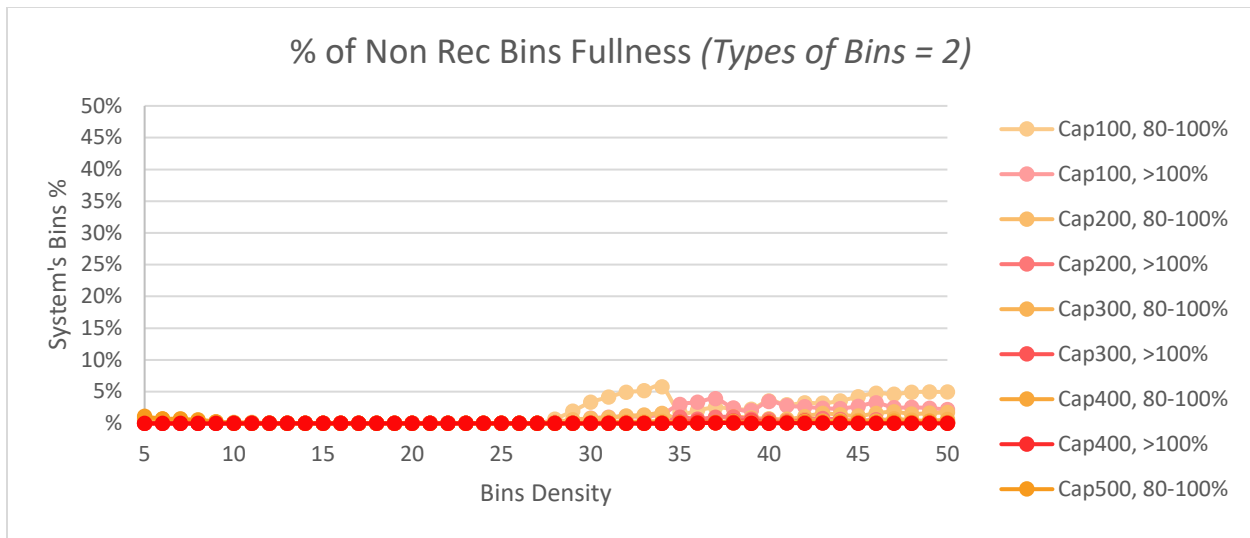
<sup>10</sup> Στις επόμενες σελίδες φαίνεται ότι για ορισμένες τιμές των NR of Trucks, η αρχική τιμή της μεταβλητής Bins Density ξεκινάει από τη τιμή 25 μέχρι 50, βήματος 1, καθώς δεν υπάρχει λόγος προσομοίωσης μικρότερων τιμών της μεταβλητής αφού τα αποτελέσματα είναι γνωστά. Ταυτόχρονα, έχει ξεχωριστή μελέτη των κάδων Μη ανακυκλώσιμων απορριμμάτων και Σύμμεικτων απορριμμάτων.



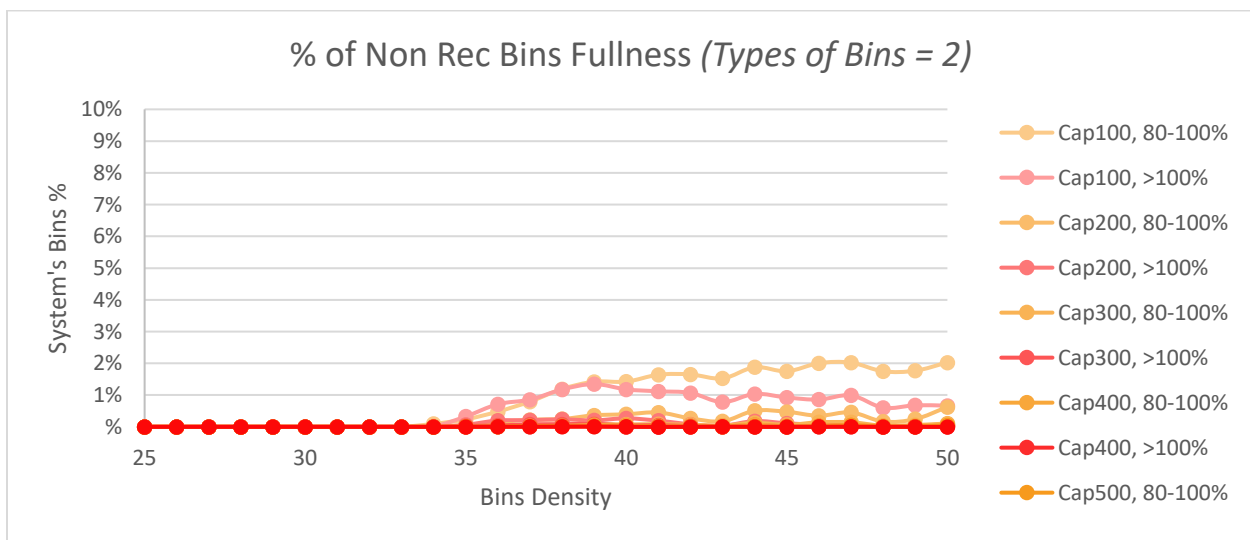
Διάγραμμα 26 Ποσοστό μη ανακυκλώσιμων κάδων συστήματος για πληρότητες κάδων 80-100% και >100%  
 NR OF TRUCKS: NON RECYCLING = 1  
 Types of Bins = 2



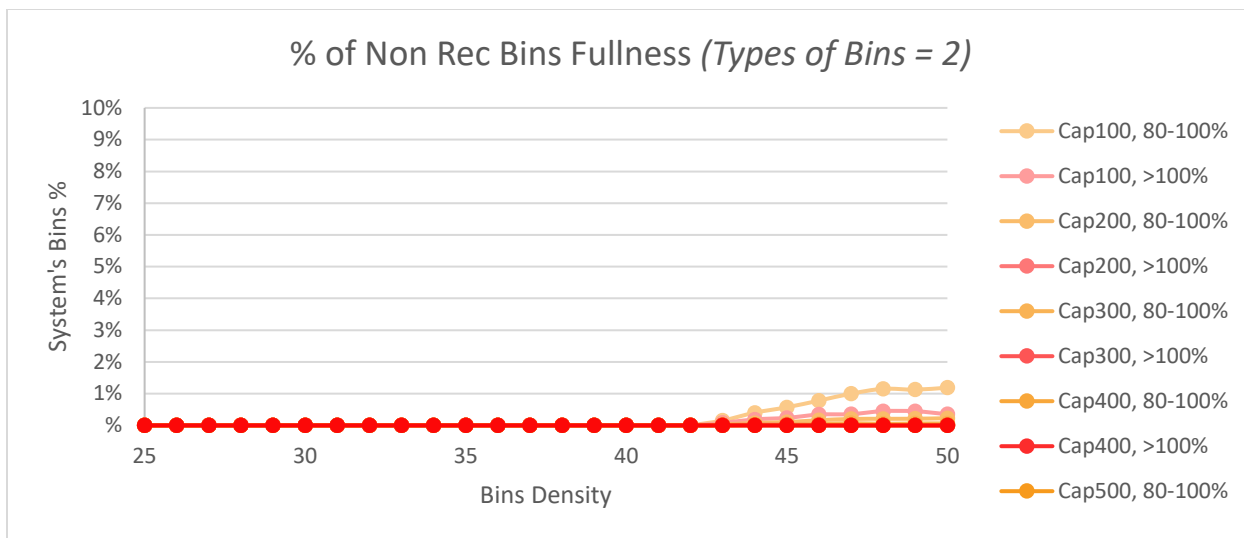
Διάγραμμα 27 Ποσοστό μη ανακυκλώσιμων κάδων συστήματος για πληρότητες κάδων 80-100% και >100%  
 NR OF TRUCKS: NON RECYCLING = 3  
 Types of Bins = 2



Διάγραμμα 28 Ποσοστό μη ανακυκλώσιμων κάδων συστήματος για πληρότητες κάδων 80-100% και >100%  
 NR OF TRUCKS: NON RECYCLING = 5  
 Types of Bins = 2



Διάγραμμα 29 Ποσοστό μη ανακυκλώσιμων κάδων συστήματος για πληρότητες κάδων 80-100% και >100%  
 NR OF TRUCKS: NON RECYCLING = 7  
 Types of Bins = 2



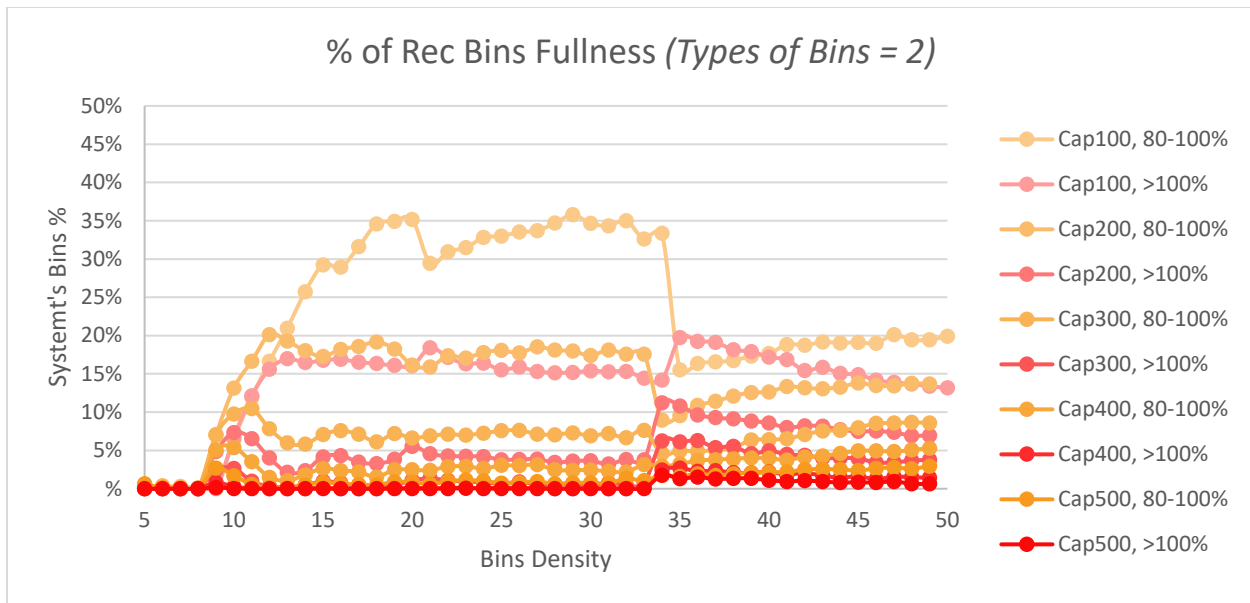
Διάγραμμα 30 Ποσοστό μη ανακυκλώσιμων κάδων συστήματος για πληρότητες κάδων 80-100% και >100%  
 NR OF TRUCKS: NON RECYCLING = 10  
 Types of Bins = 2

Από τα παραπάνω διαγράμματα (Διάγραμμα 26, Διάγραμμα 27, Διάγραμμα 28, Διάγραμμα 29, Διάγραμμα 30) παρατηρήθηκε παρόμοια συμπεριφορά με την περίπτωση συστήματος διαχείρισης απορριμμάτων με έναν τύπο κάδου σε κάθε σημείο. Στα διαγράμματα παρατηρείται μία γενικότερη μείωση των ποσοστών των κάδων με πληρότητα 80-100% και >100%, το οποίο αποτελεί μία αναμενόμενη συμπεριφορά καθώς τα Μη ανακυκλώσιμα απορρίμματα που τοποθετούνται από τους δημότες στους κάδους είναι λιγότερα με αποτέλεσμα οι κάδοι να είναι λιγότερο γεμάτοι.

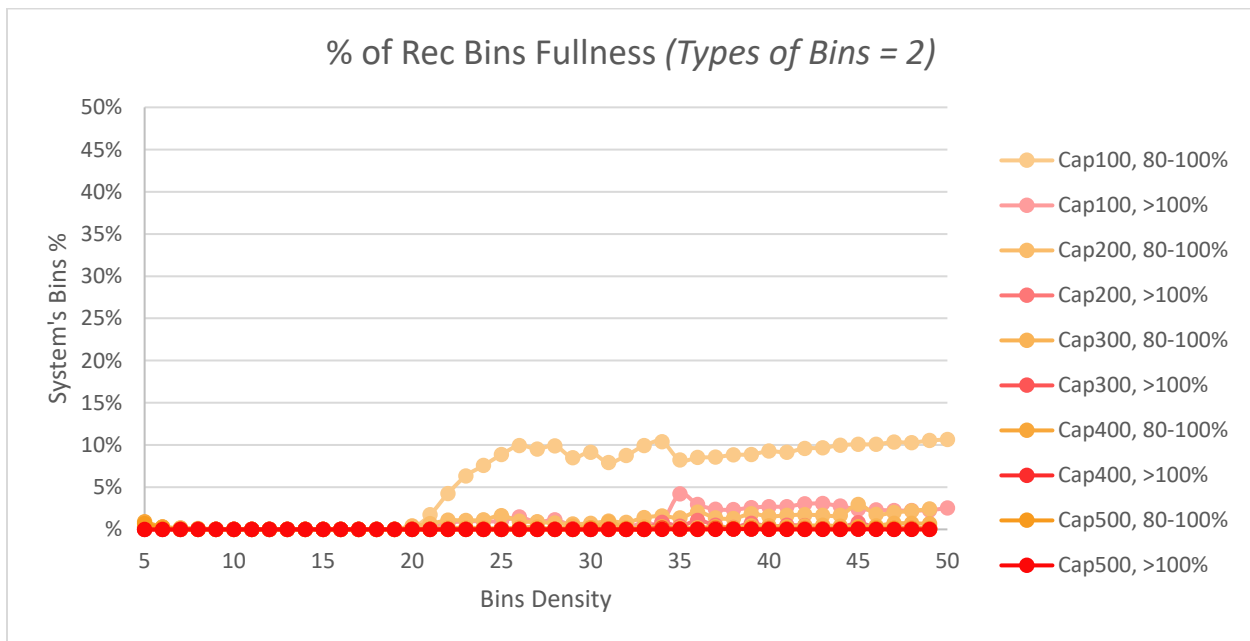
Ταυτόχρονα, επειδή οι κάδοι δεν είναι εξίσου γεμάτοι με την περίπτωση του ενός κάδου ανά σημείο (*Bins Spot*), απαιτούνται λιγότερα απορριμματοφόρα για δεδομένη πυκνότητα δικτύου κάδων. Έτσι παρατηρείται μετατόπιση του κρίσιμου σημείου σε μεγαλύτερες τιμές πυκνότητας δικτύου (*Bins Density*) για δεδομένο αριθμό απορριμματοφόρων. Για παράδειγμα, στην περίπτωση των τριών απορριμματοφόρων στη περίπτωση του ενός τύπου κάδου ανά σημείο (Διάγραμμα 14 Ποσοστό κάδων συστήματος για πληρότητες κάδων 80-100% και >100% NR OF TRUCKS: NON RECYCLING = 3) το κρίσιμο σημείο διακρίνεται για *Bins Density* = 19 ενώ στην περίπτωση δύο τύπων κάδων για *Bins Density* = 20. Επομένως, σε ένα υποθετικό σενάριο ενός Δήμου που διαθέτει ένα σύστημα διαχείρισης απορριμμάτων πυκνότητας κάδων 20 (*Bins Density* = 20), στη περίπτωση του ενός τύπου κάδου απαιτούνται 4 απορριμματοφόρα ώστε να έχει ένα καλό σύστημα συλλογής απορριμμάτων. Εάν σε μελλοντικό σχεδιασμό του Δήμου, αποφασιστεί η τοποθέτηση ενός παραπάνω τύπου κάδου, έχει την ευελιξία, χωρίς επιπτώσεις στην πληρότητα των κάδων του συστήματος, να μετατρέψει το ένα απορριμματοφόρο σε συλλογή μόνο Ανακυκλώσιμων.

Επαναλήφθηκε η ίδια μεθοδολογία για τους κάδους συλλογής **ανακυκλώσιμων απορριμμάτων** και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στη συνέχεια:

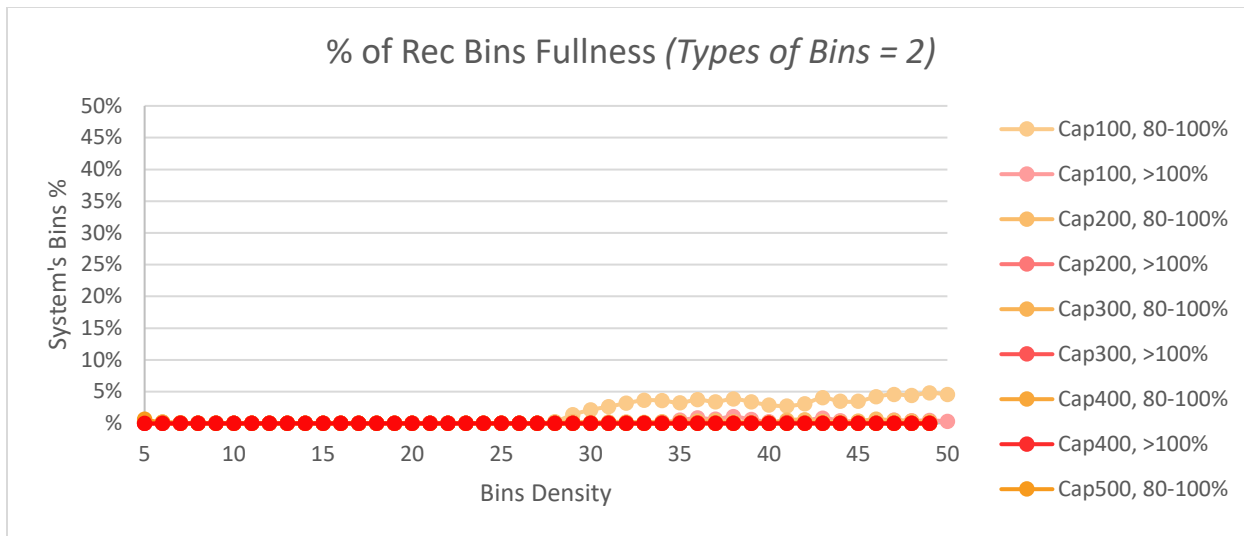




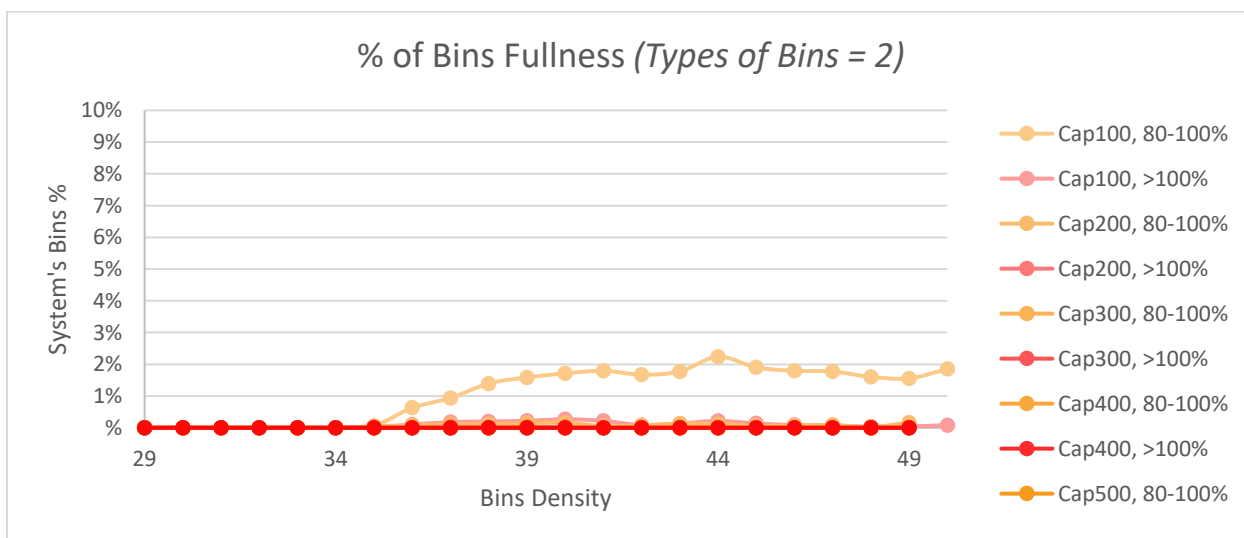
Διάγραμμα 31 Ποσοστό ανακυκλώσιμων κάδων συστήματος για πληρότητες κάδων 80-100% και >100%  
 NR OF TRUCKS: RECYCLING = 1  
 Types of Bins = 2



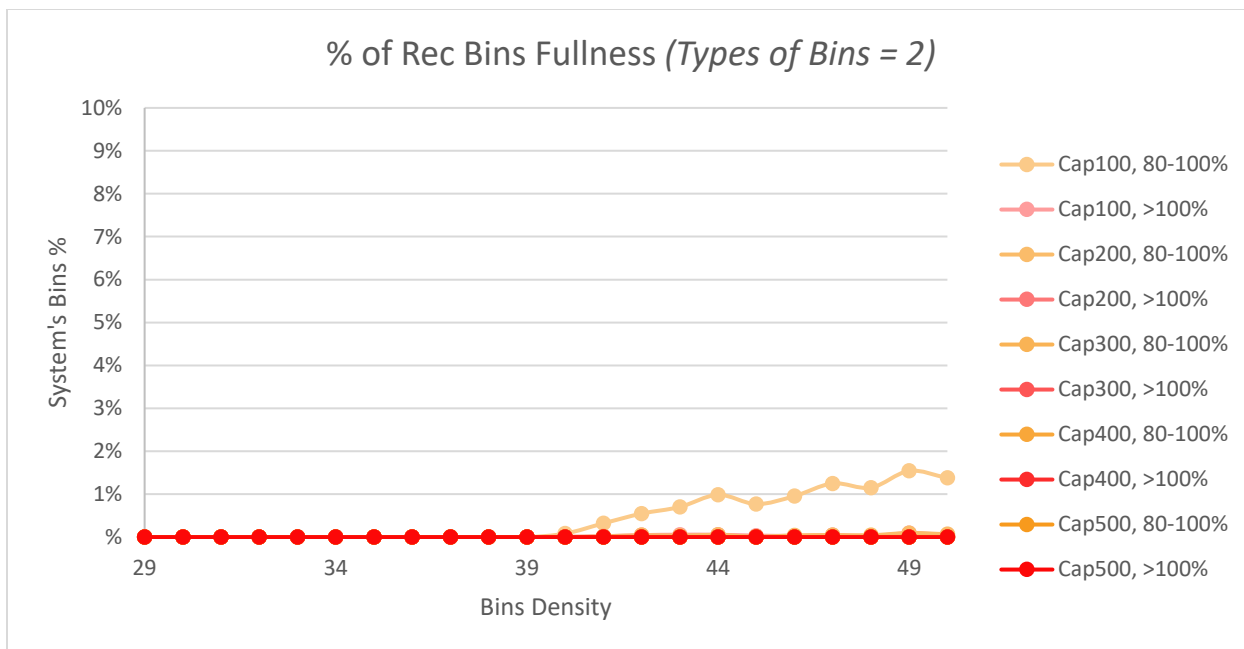
Διάγραμμα 32 Ποσοστό ανακυκλώσιμων κάδων συστήματος για πληρότητες κάδων 80-100% και >100%  
 NR OF TRUCKS: RECYCLING = 3  
 Types of Bins = 2



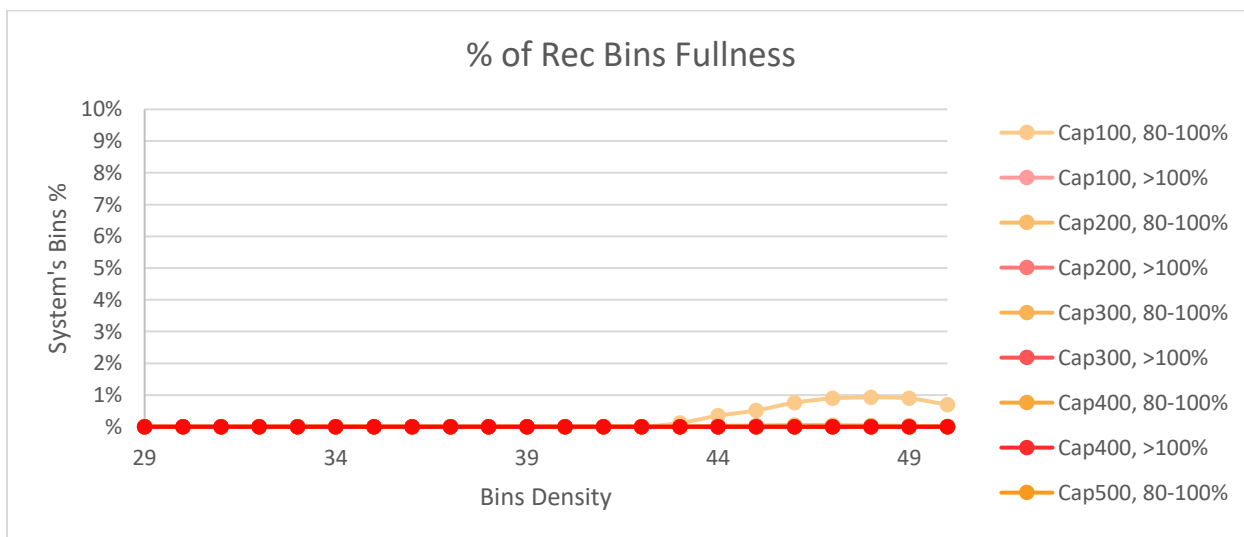
Διάγραμμα 33 Ποσοστό ανακυκλώσιμων κάδων συστήματος για πληρότητες κάδων 80-100% και >100%  
 NR OF TRUCKS: RECYCLING = 5  
 Types of Bins = 2



Διάγραμμα 34 Ποσοστό ανακυκλώσιμων κάδων συστήματος για πληρότητες κάδων 80-100% και >100%  
 NR OF TRUCKS: RECYCLING = 7  
 Types of Bins = 2



Διάγραμμα 35 Ποσοστό ανακυκλώσιμων κάδων συστήματος για πληρότητες κάδων 80-100% και >100%  
 NR OF TRUCKS: RECYCLING = 9  
 Types of Bins = 2

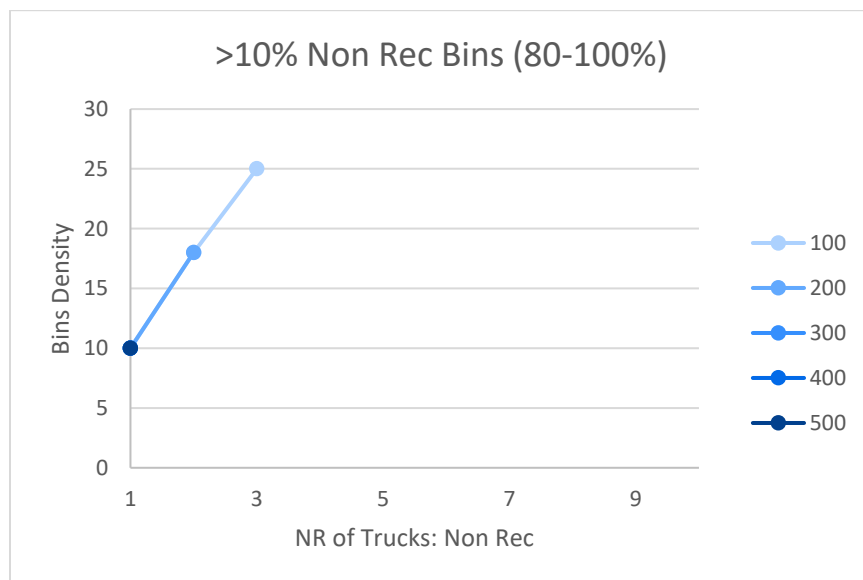


Διάγραμμα 36 Ποσοστό ανακυκλώσιμων κάδων συστήματος για πληρότητες κάδων 80-100% και >100%  
 NR OF TRUCKS: RECYCLING = 10  
 Types of Bins = 2

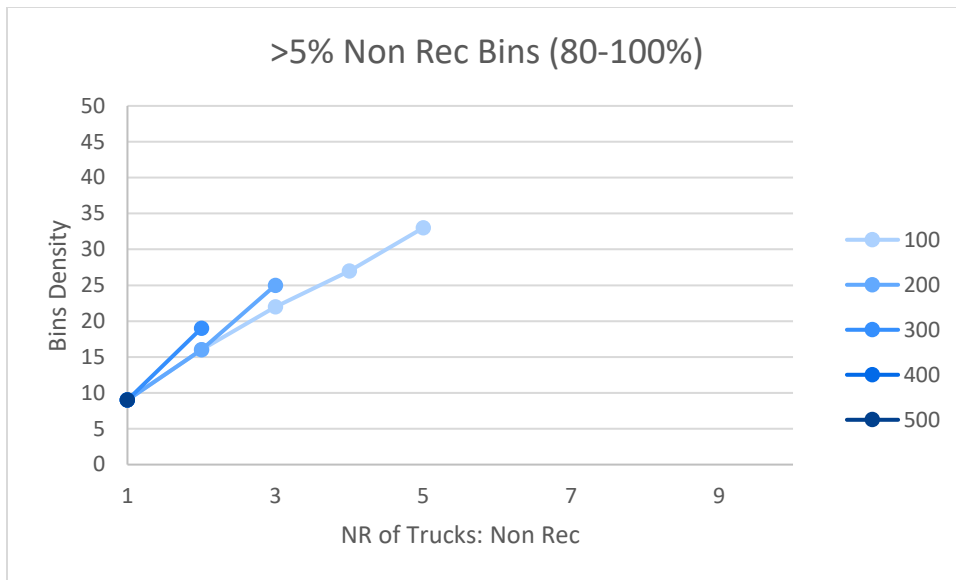
Όπως φαίνεται και στα διαγράμματα (Διάγραμμα 31, Διάγραμμα 32, Διάγραμμα 33, Διάγραμμα 34, Διάγραμμα 35, Διάγραμμα 36), στους κάδους ανακυκλώσιμων απορριμμάτων περιέχονται λιγότερα απορρίμματα. Κάτι τέτοιο επιβεβαιώνεται από τα διαγράμματα, καθώς οι τιμές εμφανίζονται ελαφρά μειωμένες

σχετικά με τα αντίστοιχα διαγράμματα στο σενάριο συλλογής μόνο Μη ανακυκλώσιμων απορριμμάτων. Διακρίνεται ότι τα κρίσιμα σημεία ανάμεσα στους κάδους και τα απορριμματοφόρα των μη ανακυκλώσιμων και ανακυκλώσιμων απορριμμάτων είναι σε παραπλήσιες τιμές. Κάτι τέτοιο συμβαίνει δεδομένου ότι τα απορριμματοφόρα λειτουργούν με τις ίδιες συνθήκες ανεξαρτήτως του είδους απορρίμματος που συλλέγουν αλλά και διότι η παραγωγή Μη ανακυκλώσιμων και Ανακυκλώσιμων απορριμμάτων βρίσκεται σε σχετικά κοντινά επίπεδα, λόγω των παραμέτρων που έχουν τεθεί (% σύσταση απορριμμάτων, R, Καθαρότητα).

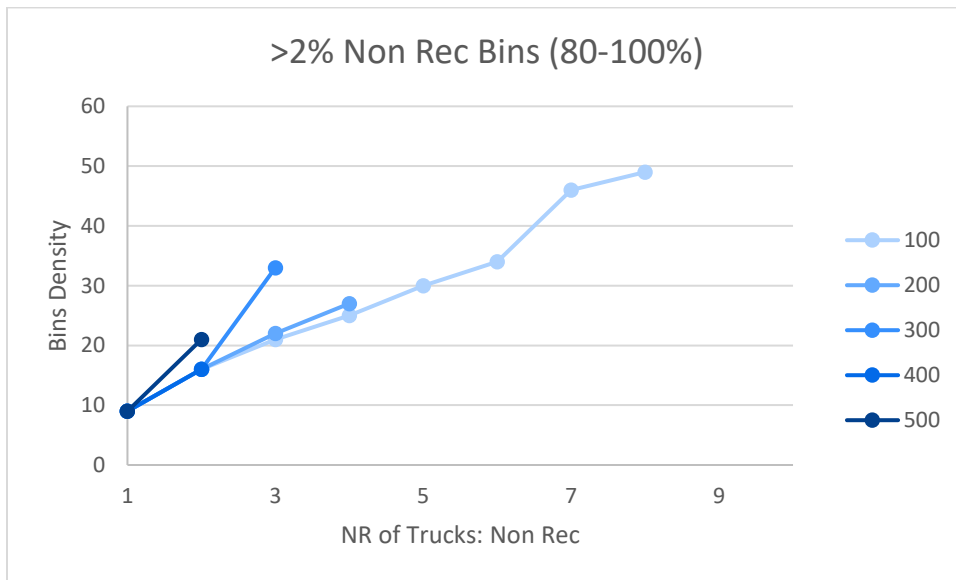
Στα διαγράμματα (Διάγραμμα 34, Διάγραμμα 35, Διάγραμμα 36) φαίνεται ότι το πείραμα διεξήχθη για πυκνότητα δικτύου κάδων **Bins Density** 29 -50. Επιλέχθηκε να μην συμπεριληφθούν οι προηγούμενες τιμές Bins Density, γιατί όπως φαίνεται και από το Διάγραμμα 33 δεν υπάρχει νόημα μελέτης καθώς ο στόλος των απορριμματοφόρων είναι αρκετός για τη διαχείριση μικρότερης πυκνότητας δικτύου κάδων. Παρακάτω διακρίνονται τα διαγράμματα ανοχής του συστήματος. Από τα διαγράμματα παρατηρείται ότι από δεδομένο σύστημα είναι εφικτή η συλλογή απορριμμάτων με μικρότερο αριθμό απορριμματοφόρων σε σχέση με την περίπτωση του ενός κάδου ανά σημείο κάδων (*Bins Spot*).



Διάγραμμα 37 Όριο ανοχής πυκνότητας και χωρητικότητας συστήματος σε σχέση με τον αριθμό απορριμματοφόρων, Σημεία που παρατηρείται οι κάδοι μη ανακυκλώσιμων, με πληρότητα 80-100% να αποτελούν άνω του 10% των κάδων του συστήματος. Types of Bins = 2

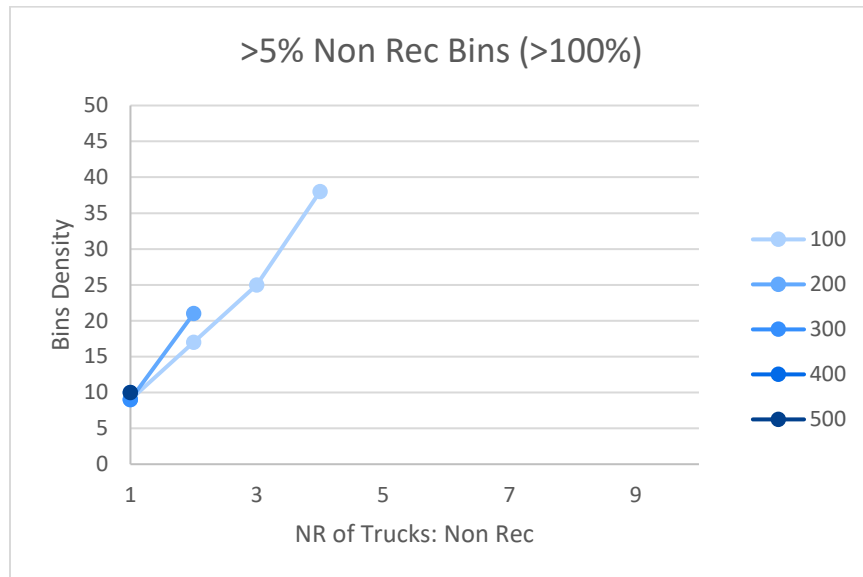


Διάγραμμα 38 Όριο ανοχής πυκνότητας και χωρητικότητας συστήματος σε σχέση με τον αριθμό απορριμματοφόρων, Σημεία που παρατηρείται οι κάδοι μη ανακυκλώσιμων, με πληρότητα 80-100% να αποτελούν άνω του 5% των κάδων του συστήματος. Types of Bins = 2

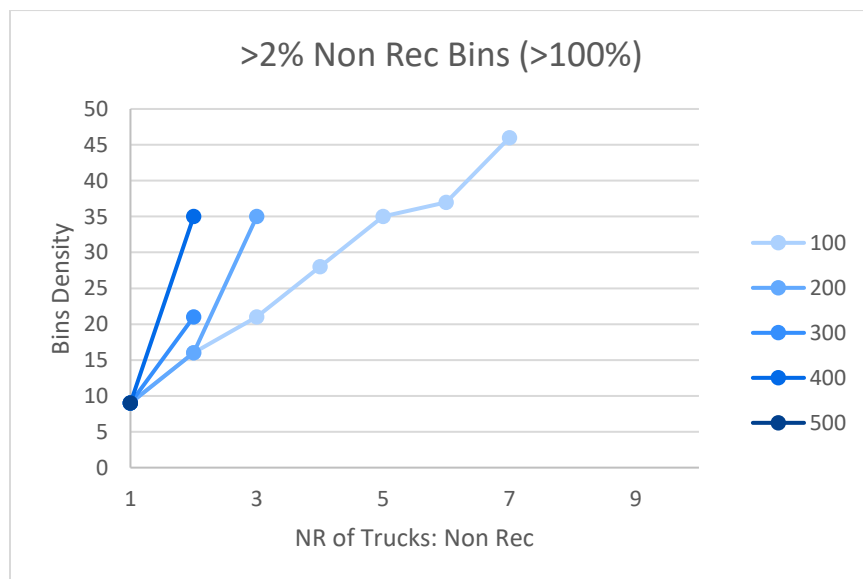


Διάγραμμα 39 Όριο ανοχής πυκνότητας και χωρητικότητας συστήματος σε σχέση με τον αριθμό απορριμματοφόρων, Σημεία που παρατηρείται οι κάδοι μη ανακυκλώσιμων, με πληρότητα 80-100% να αποτελούν άνω του 2% των κάδων του συστήματος. Types of Bins = 2

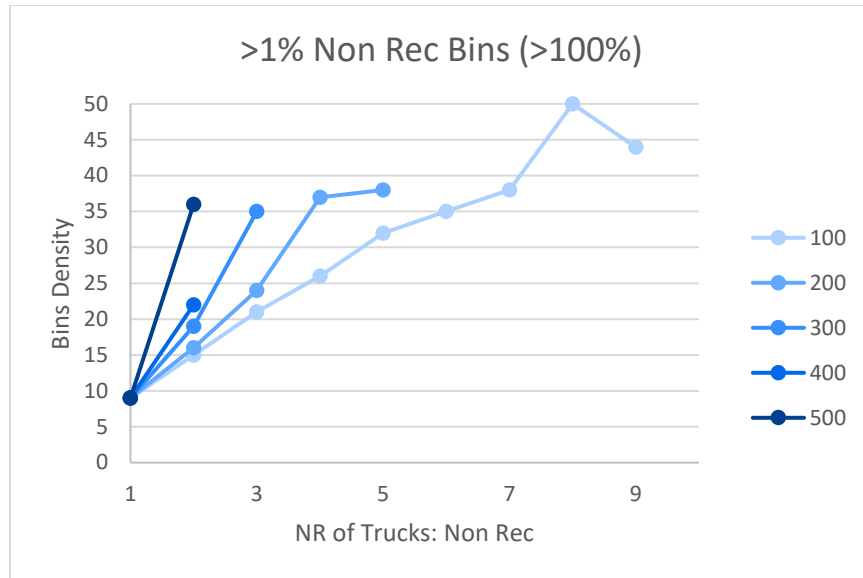
Τα διαγράμματα ανοχή συστήματος για τους κάδους όπου έχει ξεπεραστεί η διαθέσιμη χωρητικότητα φαίνονται στη συνέχεια:



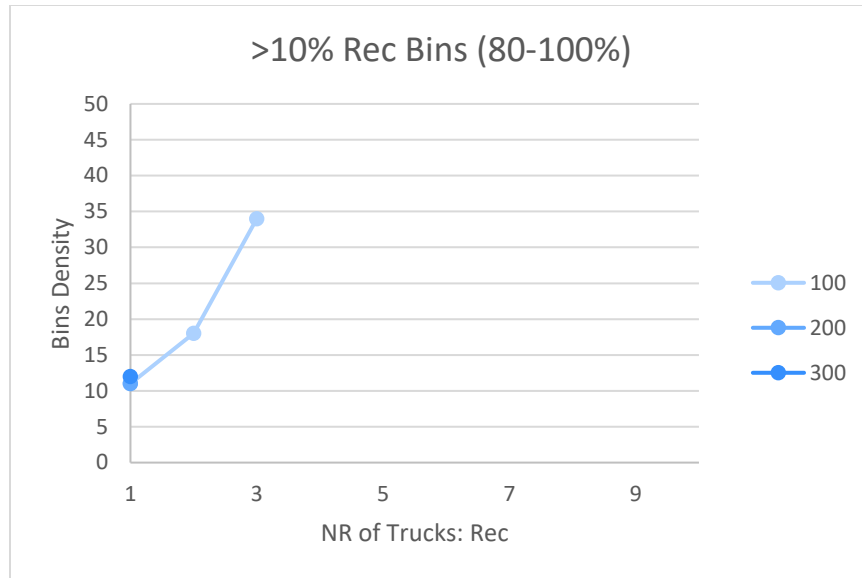
Διάγραμμα 40 Όριο ανοχής πυκνότητας και χωρητικότητας συστήματος σε σχέση με τον αριθμό απορριμματοφόρων, Σημεία που παρατηρείται οι κάδοι μη ανακυκλώσιμων με πληρότητα >100% να αποτελούν άνω του 5% των κάδων του συστήματος. Types of Bins = 2



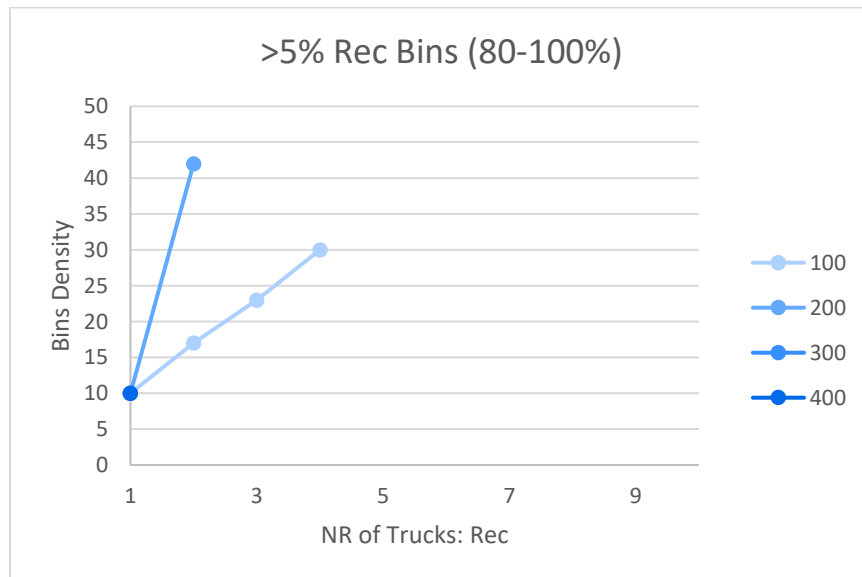
Διάγραμμα 41 Όριο ανοχής πυκνότητας και χωρητικότητας συστήματος σε σχέση με τον αριθμό απορριμματοφόρων, Σημεία που παρατηρείται οι κάδοι μη ανακυκλώσιμων με πληρότητα >100% να αποτελούν άνω του 2% των κάδων του συστήματος.. Types of Bins = 2



Διάγραμμα 42 Όριο ανοχής πυκνότητας και χωρητικότητας συστήματος σε σχέση με τον αριθμό απορριμματοφόρων, Σημεία που παρατηρείται οι κάδοι μη ανακυκλώσιμων με πληρότητα >100% να αποτελούν άνω του 1% των κάδων του συστήματος. Types of Bins = 2

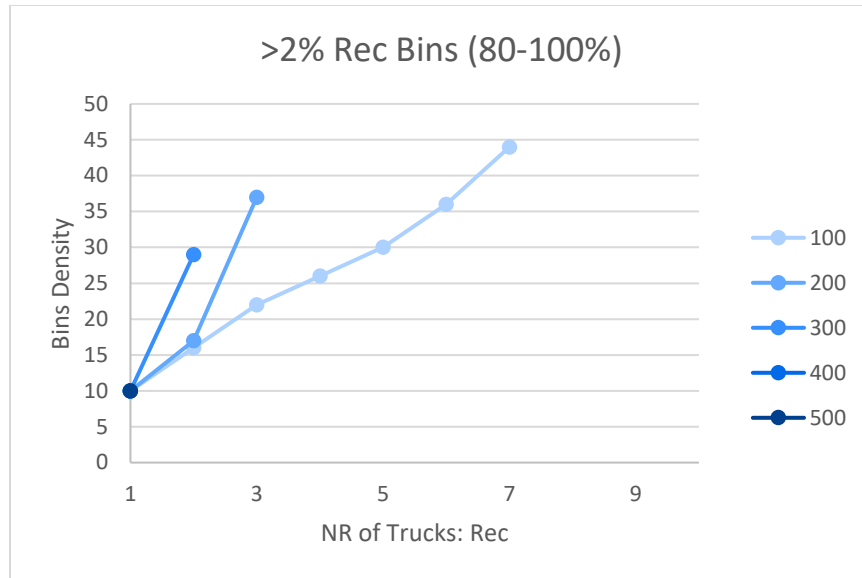


Διάγραμμα 43 Όριο ανοχής πυκνότητας και χωρητικότητας συστήματος σε σχέση με τον αριθμό απορριμματοφόρων, Σημεία που παρατηρείται οι κάδοι ανακυκλώσιμων, με πληρότητα 80-100% να αποτελούν άνω του 10% των κάδων του συστήματος. Types of Bins = 2

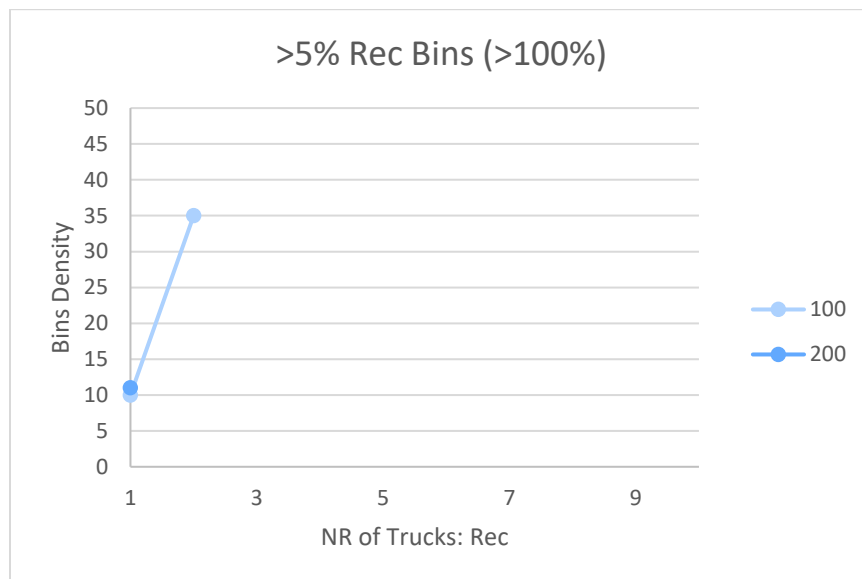


Διάγραμμα 44 Όριο ανοχής πυκνότητας και χωρητικότητας συστήματος σε σχέση με τον αριθμό απορριμματοφόρων, Σημεία που παρατηρείται οι κάδοι ανακυκλώσιμων, με πληρότητα 80-100% να αποτελούν άνω του 5% των κάδων του συστήματος. Types of Bins = 2

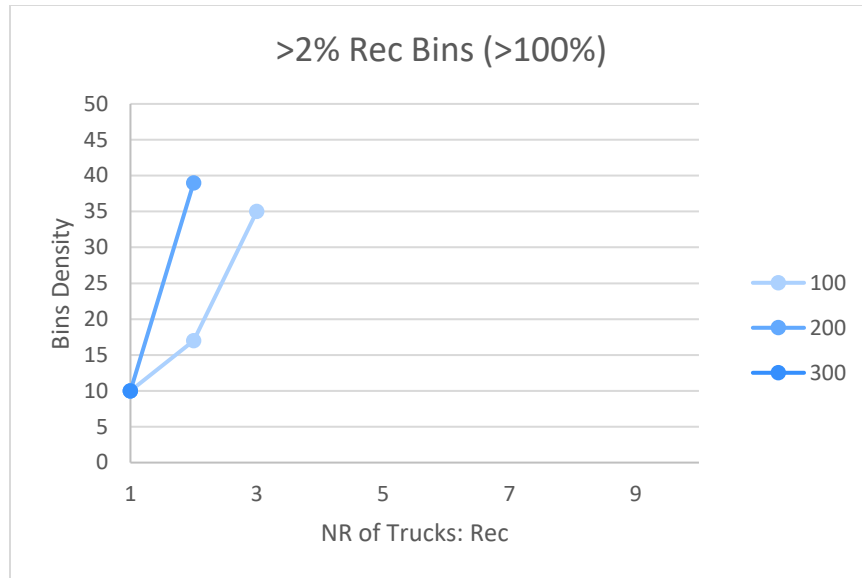




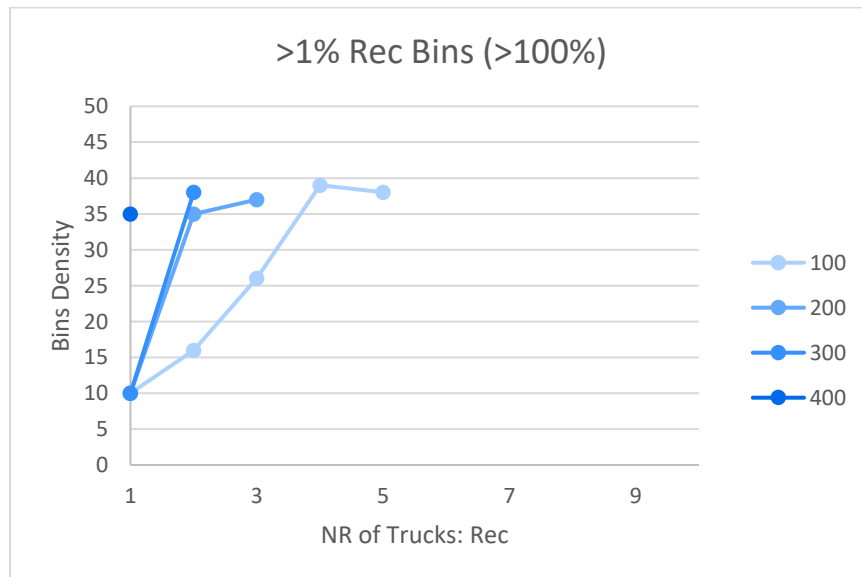
Διάγραμμα 45 Όριο ανοχής πυκνότητας και χωρητικότητας συστήματος σε σχέση με τον αριθμό απορριμματοφόρων, Σημεία που παρατηρείται οι κάδοι ανακυκλώσιμων, με πληρότητα 80-100% να αποτελούν άνω του 2% των κάδων του συστήματος. Types of Bins = 2



Διάγραμμα 46 Όριο ανοχής πυκνότητας και χωρητικότητας συστήματος σε σχέση με τον αριθμό απορριμματοφόρων, Σημεία που παρατηρείται οι κάδοι σύμμεικτων με πληρότητα >100% να αποτελούν άνω του 5% των κάδων του συστήματος. Types of Bins = 2



Διάγραμμα 47 Όριο ανοχής πυκνότητας και χωρητικότητας συστήματος σε σχέση με τον αριθμό απορριμματοφόρων, Σημεία που παρατηρείται οι κάδοι σύμμεικτων με πληρότητα >100% να αποτελούν άνω του 2% των κάδων του συστήματος. Types of Bins =2



Διάγραμμα 48 Όριο ανοχής πυκνότητας και χωρητικότητας συστήματος σε σχέση με τον αριθμό απορριμματοφόρων, Σημεία που παρατηρείται οι κάδοι σύμμεικτων με πληρότητα >100% να αποτελούν άνω του 1% των κάδων του συστήματος. Types of Bins =2

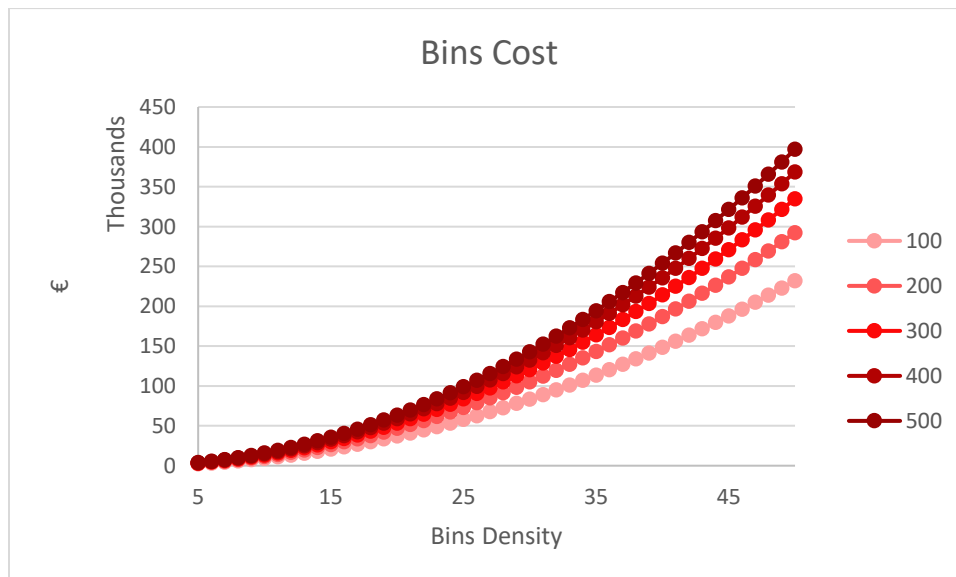
Από τα διαγράμματα ορίων ανοχής φαίνεται ότι τα απορριμματοφόρα για τη συλλογή των μη ανακυκλώσιμων υλικών με την περίπτωση των ανακυκλώσιμων υλικών παρουσιάζουν αρκετές ομοιότητες. Αξίζει να αναφερθεί ότι στο *Διάγραμμα 42* παρουσιάζεται ένα πρόβλημα στην περίπτωση των 9 απορριμματοφόρων και απαιτεί περαιτέρω διερεύνηση.

Η παραπάνω διαδικασία επαναλήφθηκε και για 3, 4 και 6 τύπους κάδων. Στην περίπτωση των τριών τύπων κάδων, μελετήθηκε μόνο η πληρότητα για τους κάδους των μη ανακυκλώσιμων και των βιοαποβλήτων, καθώς από τη φύση του αλγορίθμου, ο κάδος των ανακυκλώσιμων θα έχει τα ίδια αποτελέσματα με την περίπτωση των δύο κάδων, αφού η ποσότητα των ανακυκλώσιμων που καταλήγει στους κάδους ανακυκλώσεως είναι ίδια. Στην περίπτωση των τεσσάρων κάδων, μελετήθηκε η πληρότητα για τους κάδους συλλογής γυαλιού και μη ανακυκλώσιμων, καθώς εκεί αλλάζει μόνο η ποσότητα των απορριμμάτων που κατευθύνονται σε αυτούς του κάδους. Στην περίπτωση των τεσσάρων κάδων, η ποσότητα απορριμμάτων που κατευθύνεται στα βιοαπόβλητα και στα μη ανακυκλώσιμα απορρίμματα είναι ίδια. Αντίστοιχα, στην περίπτωση των 6 τύπων κάδων μελετήθηκε η πληρότητα των κάδων αλουμινίου, χαρτιού, πλαστικού, καθώς όλες οι υπόλοιπες ροές παραμένουν στα ίδια επίπεδα.

### 6.1.3 Οικονομική ανάλυση συστήματος διαχείρισης απορριμμάτων

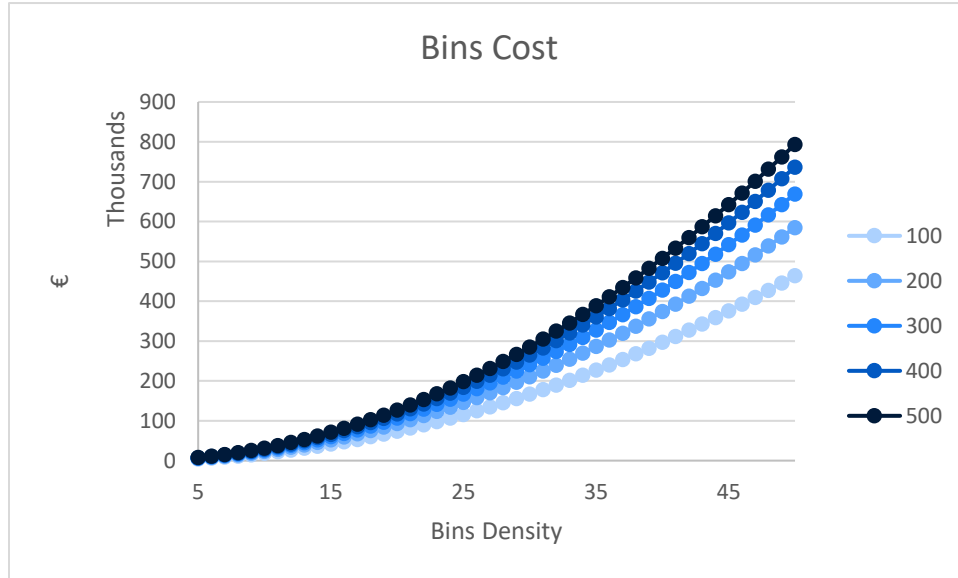
Το μοναδιαίο κόστος των κάδων συναρτήσει της χωρητικότητας του αναλύθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο (*Κεφ. 5.2.4 Σελ.58*). Το κόστος επένδυσης για την απόκτηση των κάδων του καθορίζεται όμως και από την ποσότητα των κάδων που διατίθενται στο σύστημα, δηλαδή από την πυκνότητα του δικτύου που παρέχεται στους δημότες. Επομένως, το συνολικό κόστος επένδυσης για τους κάδους στο σύστημα δίνεται από την παρακάτω εξίσωση και φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα:

$$\text{Bins Investment Cost} = \text{Types of Bins} * \text{Bin Cost}_{\text{unit}} * \text{Bins Density}^2$$



*Διάγραμμα 49 Συνολικό Κόστος Κάδων συστήματος (Types of Bins = 1)*

Αξίζει να αναφερθεί ότι το συγκεκριμένο διάγραμμα αντιστοιχεί για έναν τύπο κάδων σε κάθε σημείο (*Types of Bins = 1*). Στην περίπτωση που οι τύποι κάδων σε κάθε σημείο είναι περισσότεροι από έναν, τότε το κόστος πολλαπλασιάζεται αναλόγως με την ποσότητα των κάδων που περιέχονται σε κάθε σημείο. Για παράδειγμα στην περίπτωση δύο κάδων ανά σημείο το κόστος διαμορφώνεται ως εξής:



Διάγραμμα 50 Συνολικό Κόστος Κάδων συστήματος (*Types of Bins = 1*)

Υπενθυμίζεται ότι το μηνιαίο κόστος κεφαλαίου δίνεται:

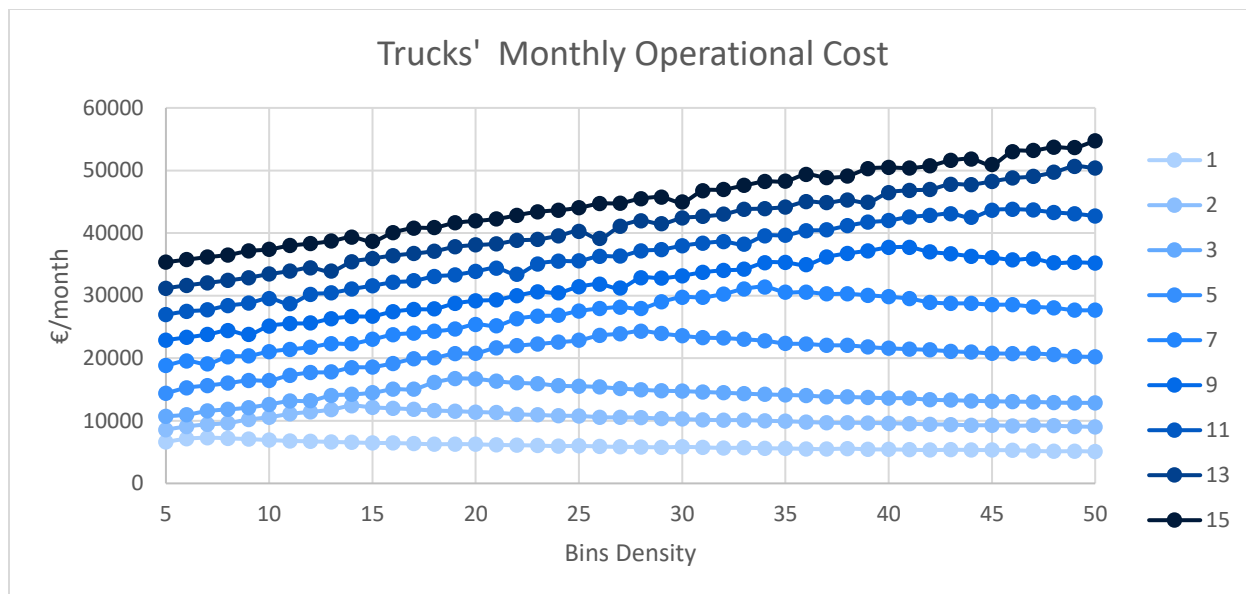
$$CapEx_{monthly} = \frac{Trucks\ Investment\ Cost}{Payback\ time_{truck} * 12} + \frac{Bins\ Investment\ Cost}{Payback\ time_{Bin} * 12}$$

και μηνιαίο λειτουργικό κόστος δίνεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$Cost\_per\_km_{trucks} = Gas\_per\_km_{trucks} * Gas\_cost$$

$$Operational_{Cost} = distance_{trucks} * (Cost_{per\_km_{trucks}} + C) + (NR_{trucks} * 2 * salary)_{each\ Month}$$

Στο Διάγραμμα 51 φαίνεται το λειτουργικό κόστος του Δήμου για έναν κάδο ανά σημείο συμπεριλαμβανομένου και του κόστους των μισθών των εργαζομένων (*Types of Bins = 1*) σε σχέση με τον αριθμό των απορριμματοφόρων και την πυκνότητα του δικτύου των κάδων στο Δήμο.



Διάγραμμα 51 Μηνιαίο λειτουργικό κόστος συστήματος. Types of Bins = 1, Bins Capacity = 300

Στο πείραμα θεωρήθηκε ως παράμετρος η χωρητικότητα των κάδων και όχι ως μεταβλητή. Συγκεκριμένα, έγινε μελέτη του κόστους λειτουργίας σε σχέση με τον αριθμό των απορριματοφόρων και της πυκνότητας του δικτύου των κάδων. Στην εν λόγω μελέτη θεωρήθηκε 300kg η χωρητικότητα των κάδων (*Bins capacity = 300*) καθώς φάνηκε ότι το λειτουργικό κόστος των απορριματοφόρων δεν εξαρτάται σημαντικά από τη χωρητικότητα των κάδων.

Από το Διάγραμμα 51 παρατηρείται ότι με την αύξηση την πυκνότητα του δικτύου, αυξάνεται και το λειτουργικό κόστος. Κάτι τέτοιο προκύπτει μέχρι ένα κρίσιμο σημείο όπου μετά από αυτό, αυξάνοντας τη πυκνότητα του δικτύου του συστήματος παρατηρείται μείωση του λειτουργικού κόστους. Θεωρητικά, αναμένεται η αύξηση του αριθμού των κάδων να επιφέρει αύξηση του λειτουργικού κόστους, καθώς τα απορριματοφόρα καλύπτουν μεγαλύτερη απόσταση, συνεπώς και περισσότερα έξοδα μετακίνησης και θα απαιτείται περισσότερος χρόνος φόρτωσης-εκφόρτωσης. Παρ' όλα αυτά, παρατηρείται ένα κρίσιμο σημείο.

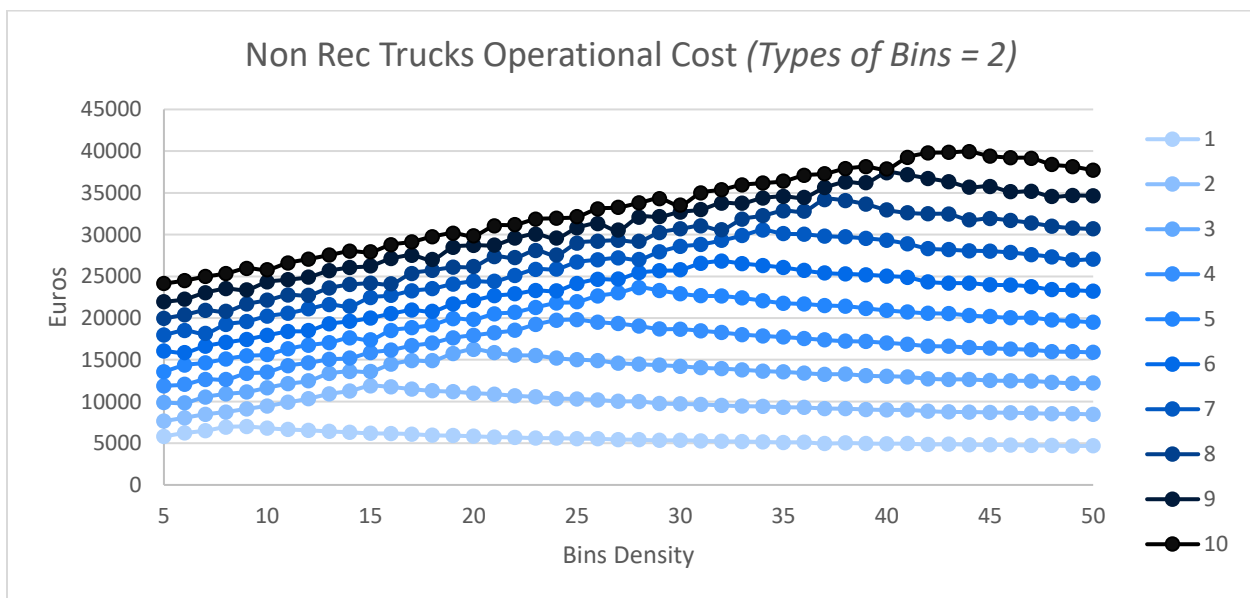
Αυτή η συμπεριφορά παρατηρείται καθώς τα απορριματοφόρα έχουν δύο συνθήκες λειτουργίας. Η πρώτη αναφέρεται στο χρόνο συλλογής των απορριμμάτων που έχει καθοριστεί και στο πείραμα που εκτελέστηκε αντιστοιχεί σε 8 ώρες. Για την μετακίνηση σε κάθε Patch καθώς επίσης και για τη φόρτωση-εκφόρτωση των απορριμμάτων, τα απορριματοφόρα απαιτούν χρόνο ο οποίος βέβαια είναι περιορισμένος. Η δεύτερη συνθήκη αναφέρεται στο δρομολόγιο που καλείται να ακολουθήσει το κάθε απορριματοφόρο. Το κάθε απορριματοφόρο είναι υπεύθυνο για έναν συγκεκριμένο αριθμό κάδων όπου μόνο όταν αυτοί οι κάδοι αδειάσουν τότε το απορριματοφόρο επιστρέφει στη βάση (*Σημείο Μεταφόρτωσης Απορριμμάτων -SMA*) και σταματά τη λειτουργία του.

Στο διάστημα όπου το λειτουργικό κόστος αυξάνεται, υπερνικά η συνθήκη που αναφέρεται στα δρομολόγια, δηλαδή τα απορριματοφόρα έχουν τελειώσει με την αποκομιδή των σκουπιδιών από τους κάδους, χωρίς να έχει καλυφθεί το 8ωρο λειτουργίας και επομένως τα απορριματοφόρα, υπολειτουργούν. Αυξάνοντας την πυκνότητα του δικτύου, επομένως και τον αριθμό των κάδων στο

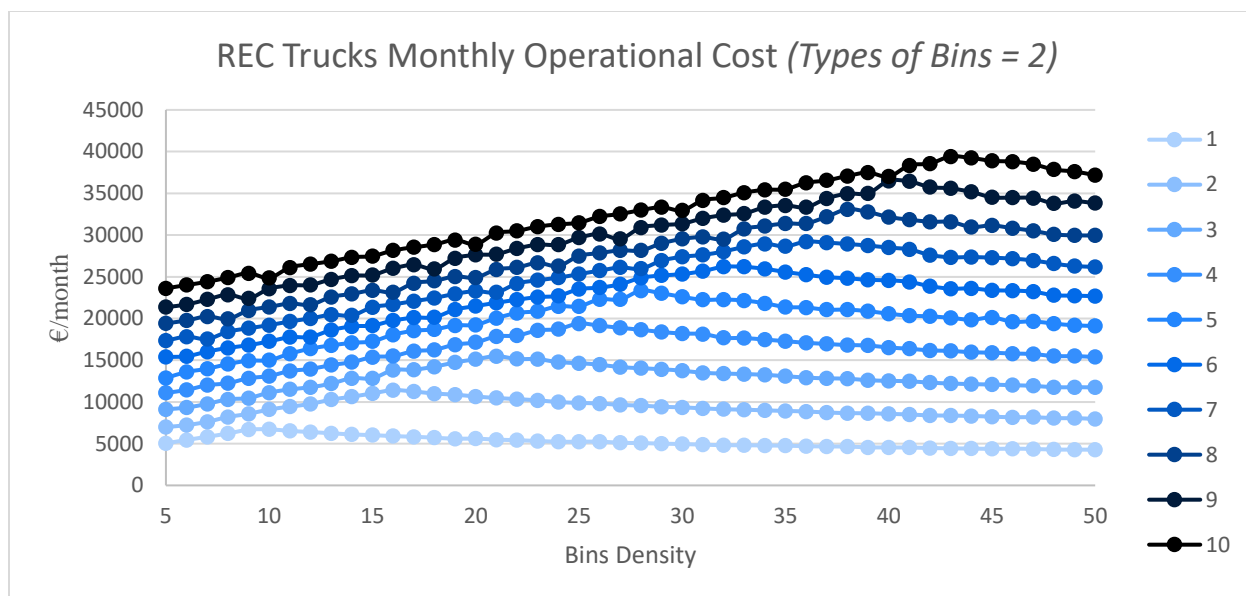
σύστημα, το κάθε απορριμματοφόρο εφόσον είχε χρόνο λειτουργίας στην προηγούμενη πυκνότητα δικτύου, δαπανά τον χρόνο αυτό για να κατευθυνθεί προς άλλους κάδους, αυτό συνεπάγεται με περισσότερη απόσταση συνεπώς και περισσότερα έξοδα. Αφού ξεπεραστεί αυτό το σημείο, ο χρόνος αποτελεί τον περιοριστικό παράγοντα, και η περαιτέρω αύξηση του δικτύου, μικραίνει τις αποστάσεις μεταξύ των κάδων, μειώνοντας το κόστος λειτουργίας, αλλά ο χρόνος παραμένει ο περιοριστικός παράγοντας.

Αξίζει να αναφερθεί, ότι τα κρίσιμα σημεία μεταβάλλονται ανάλογα με τις εφαρμοζόμενες παραμέτρους. Για παράδειγμα, η μείωση του χρόνου μεταφοράς των απορριμματοφόρων σε κάθε Patch, προκαλούν δεξιά μετατόπιση των κρίσιμων σημείων. Αντίστοιχα, η αύξηση του απαιτούμενου χρόνου για φόρτωση-εκφόρτωση, προκαλούν μετατόπιση των σημείων προς τα αριστερά.

Ακολουθώντας την ίδια πειραματική διαδικασία στην περίπτωση των δύο κάδων ανά σημείο κάδων (*Bins spot*) μελετήθηκαν ξεχωριστά τα απορριμματοφόρα για την αποκομιδή των μη ανακυκλώσιμων υλικών και των ανακυκλώσιμων. Για τον υπολογισμό των συνολικών λειτουργικών αποτελεσμάτων, επιλέγεται ο αριθμός των απορριμματοφόρων που υπάρχουν (πχ 3 απορριμματοφόρα για Μη ανακυκλώσιμα απορρίμματα και 2 για τα Ανακυκλώσιμα), και καθορίζονται τα λειτουργικά έξοδα με την βοήθεια των διαγραμμάτων και τέλος προστίθενται οι τιμές των λειτουργικών κόστων. Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που λήφθηκαν με την ίδια ακριβώς μεθοδολογία που ακολουθήθηκε παραπάνω.



Διάγραμμα 52 Μηνιαίο λειτουργικό κόστος απορριμματοφόρων συλλογής μη ανακυκλώσιμων απορριμμάτων. *Types of Bins = 2, Bins Capacity = 300*



Διάγραμμα 53 Μηνιαίο λειτουργικό κόστος απορριματοφόρων συλλογής σύμμεικτων απορριμμάτων.  
Types of Bins = 2, Bins Capacity = 300

Από τα παραπάνω διαγράμματα εξάγεται ότι το λειτουργικό κόστος των δύο τύπων απορριματοφόρων δεν διαφέρει ιδιαίτερα. Παρατηρείται επομένως, ότι το κόστος λειτουργίας των απορριματοφόρων δεν εξαρτάται από τον τύπο απορρίμματος που συλλέγεται. Αντιθέτως, εξαρτάται κυρίως από τη πυκνότητα του δικτύου και από το μέγεθος του Δήμου, αφού μεταβάλλονται οι αποστάσεις και συνεπώς τα έξοδα καυσίμων και ο χρόνος μεταφοράς.

Ταυτόχρονα, παρατηρείται παρόμοια συμπεριφορά στις καμπύλες σε σχέση με την περίπτωση του ενός τύπου κάδων ανά σημείο. Τα κρίσιμα σημεία φαίνεται ότι είναι ίδια ανάμεσα στα διαγράμματα για τον έναν κάδο ανά σημείο και στο σενάριο των δύο κάδων ανά σημείο (Διάγραμμα 51 Διάγραμμα 52). Επιβεβαιώνεται ότι τα κρίσιμα σημεία δεν εξαρτώνται από την ποσότητα των απορριμμάτων στους κάδους, αλλά από τις παραμέτρους που έχουν τεθεί και περιγράφουν τη λειτουργία των απορριματοφόρων (χρόνος αναπόρτισης, χρόνος φόρτωσης-εκφόρτωσης, χωρητικότητα απορριματοφόρων).

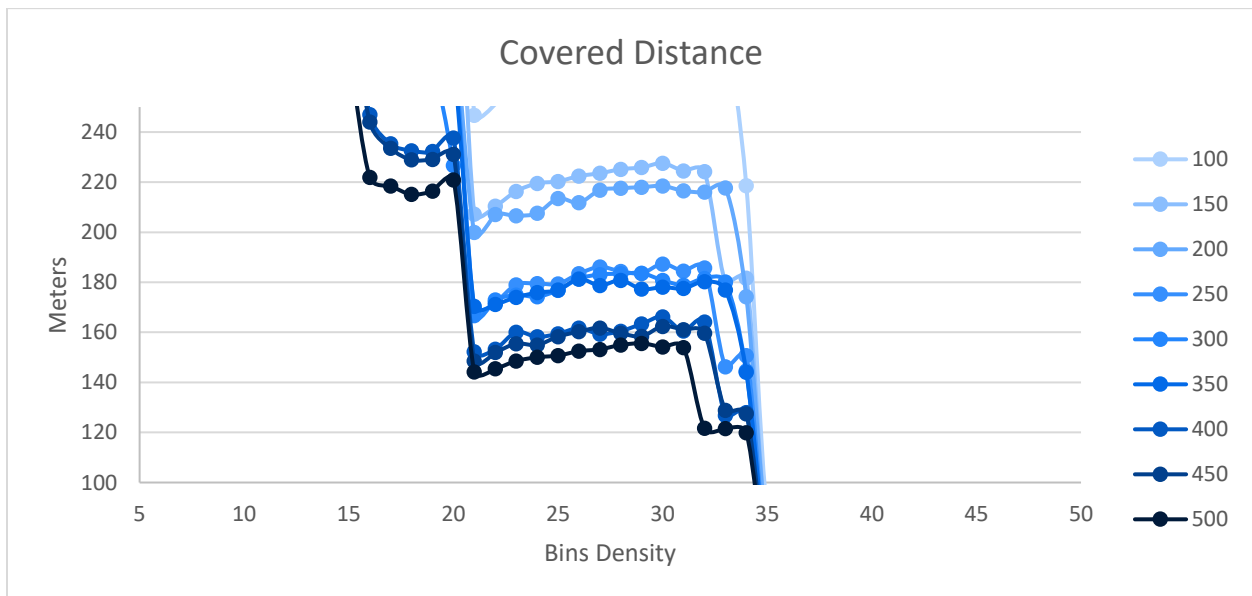
Η ίδια διαδικασία επαναλήφθηκε στην Low Level Analysis και προέκυψαν αποτελέσματα για τον συγκεκριμένο Δήμο που μελετήθηκε για Types of bins = 3, 4 και 6. Επιλέχθηκε τα αποτελέσματα των μετρήσεων αυτών να μην συμπεριληφθούν στο κείμενο της παρούσας εργασίας, αφού τα αποτελέσματα μοιάζουν πολύ με τα παραπάνω, η λογική παραμένει ίδια, και δεν προσφέρουν κάποια περαιτέρω ερευνητική ουσία. Παρ' όλα αυτά, τα αποτελέσματα προέκυψαν έτσι ώστε να είναι εφικτή η ανάλυση στο High Level Επίπεδο.

#### 6.1.4 Ανάλυση αποτελεσμάτων

Για να επιλεγούν οι κατάλληλες λύσεις για την παραπάνω ανάλυση, πρέπει να τεθούν ορισμένες παραδοχές για το πότε ένα σύστημα θεωρείται αποδεκτό. Τα κριτήρια που τέθηκαν είναι τα εξής:

1. Η συνολική χωρητικότητα του δικτύου να είναι μεγαλύτερη από μιάμιση φορά της ημερήσιας παραγωγής των απορριμμάτων, και να είναι μικρότερη από 560tn
2. Οι κάτοικοι να μην διανύουν απόσταση για να απορρίψουν τα σκουπίδια τους περισσότερο από 250 m και λιγότερο από 100. Το κάτω όριο τέθηκε γιατί τότε θεωρείται ότι το σύστημα είναι πάρα πολύ πυκνό καθώς γίνεται κατάχρηση πόρων για την απόκτηση κάδων και επιπλέον γιατί παρατηρήθηκε ότι ο αλγόριθμος δεν λειτουργούσε τόσο καλά για μικρότερη απόσταση
3. Το σύστημα, μετά την αποκομιδή των απορριμμάτων από τα απορριμματοφόρα, να μην έχει ξεχειλισμένους κάδους (>100% της χωρητικότητας τους), σε περίπτωση που κάποιοι κάδοι παραμένουν γεμάτοι, δεν αποτελεί πρόβλημα της προσομοίωσης.
4. Θα επιλέγεται πάντα η όσο το δυνατόν φθηνότερη λύση για παρεμφερή αποτελέσματα.

Για τον έναν τύπο κάδων οι περιορισμοί για την απόσταση των κατοίκων φαίνονται στο παρακάτω διάγραμμα:



Διάγραμμα 54 Μεγέθυνση Διάγραμμα 6 στα όρια που τέθηκαν για να είναι αποδεκτό το σύστημα

Οι λύσεις που είναι αποδεκτές για τις δομές του Δήμου φαίνεται να είναι στο διάστημα 15-34. Όμως, θα πρέπει η συνολική χωρητικότητα των κάδων να είναι και μεγαλύτερη από μιάμιση φορά της ημερήσιας παραγωγής απορριμμάτων και ταυτόχρονα μικρότερη από 560tn. Από το διάγραμμα φαίνεται ότι οι καλύτερες λύσεις είναι για Bins Density = 21. Για Bins Density 21 απορρίπτονται οι περιπτώσεις των κάδων χωρητικότητας 100 και 200. Θεωρήθηκε η βέλτιστη λύση για Bins Density 21 και χωρητικότητας κάδου 300.



Από τα διαγράμματα πληρότητας κάδων και τα διαγράμματα ανοχής, φαίνεται ότι για σύστημα πυκνότητας κάδων 21 και χωρητικότητας 300, η επιλογή για να μην υπάρχουν ξεχειλισμένοι κάδοι μετά την αποκομιδή είναι για 4 απορριμματοφόρα (Διάγραμμα 25). Επομένως οι σχεδιαστικές επιλογές του συστήματος για έναν τύπο κάδων είναι:

Πυκνότητα Δικτύου κάδων	21
Χωρητικότητα κάδων	300
Αριθμός απορριμματοφόρων	4

Πραγματοποιήθηκε έλεγχος στον αλγόριθμο για να ελεγχθεί εάν οι ξεχειλισμένοι κάδοι πριν από την αποκομιδή των απορριμμάτων είναι σημαντικό ποσοστό. Από την προσομοίωση επαληθεύτηκε ότι πρόκειται για αποδεκτή λύση, καθώς δεν φαίνεται το σύστημα να έχει μεγάλο αριθμό ξεχειλισμένων κάδων πριν από την αποκομιδή των απορριμματοφόρων.

Οι παραπάνω λύσεις μεταφράζονται σε λειτουργικό κόστος και κόστος κεφαλαίου ως εξής (υπενθυμίζεται ότι έχει γίνει η θεώρηση πως ο χρόνος αποπληρωμής των απορριμματοφόρων και των κάδων είναι 5 έτη):

Κόστος Κεφαλαίου   Capital Expenses (ανά μήνα)	4317 €/month
Λειτουργικό Κόστος   Operational Expenses (ανά μήνα)	19445 €/month

Πραγματοποιήθηκε η ίδια μεθοδολογία για 2,3,4 και 6 τύπους απορριμμάτων και τα αποτελέσματα δομών δήμων για κάθε περίπτωση είναι τα εξής:

Πίνακας 15 Αποτελέσματα προσομοίωσης του προς μελέτη Δήμου

	Τύποι Κάδων					
	1	2	3	4	6	
<b>Πυκνότητα Δικτύου</b>	21	21	20	21	21	
<b>Χωρητικότητα Κάδων</b>	300	200	300	200	200	
<b>Συνολικός αριθμός απορριμματοφόρων</b> (Non Rec, Rec, Bio, Glass, Al, Pap, Plastic)	4	8 (4,4)	10 (3,4,3)	11 (3,3,3,2)	12 (3,-,3,2,1,2,1)	
<b>Διανυόμενη Αποσταση Κατοίκων (m)</b>	167	155	181	143	139	
<b>Κόστος Κεφαλαίου (€/μήνα)</b>	4.317	9.246	11.011	13.439	15.157	
<b>Λειτουργικό Κόστος (€/μήνα)</b>	19.445	36.089	45.243	60.560	61.177	
<b>Παραγωγή Απορριμμάτων (tn/ημέρα)</b>	<b>Μη ανακυκλώσιμα</b>	72	45,5	22,46	22,46	22,47
	<b>Ανακυκλώσιμα</b>		26,5	26,50	23,04	
	<b>Βιοαπόβλητα</b>			23,04	23,04	23,04
	<b>Γυαλί</b>				3,46	3,46
	<b>Χαρτί</b>					11,52
	<b>Αλουμίνιο</b>					1,72
	<b>Πλαστικό</b>					9,79

Αξίζει να σημειωθεί ότι θα μπορούσε και η μεθοδολογία να πάει και αντίστροφα, δηλαδή, γνωρίζοντας τα διαθέσιμα κεφάλαια του Δήμου, να υπολογίζονται οι διαθέσιμες επιλογές του. Από εκεί, να επιλέγεται το καλύτερο σύστημα με βάση τα διαθέσιμα χρήματα του Δήμου (*Τύποι κάδων, πυκνότητα δικτύου, χωρητικότητα κάδων και αριθμός απορριμματοφόρων*).

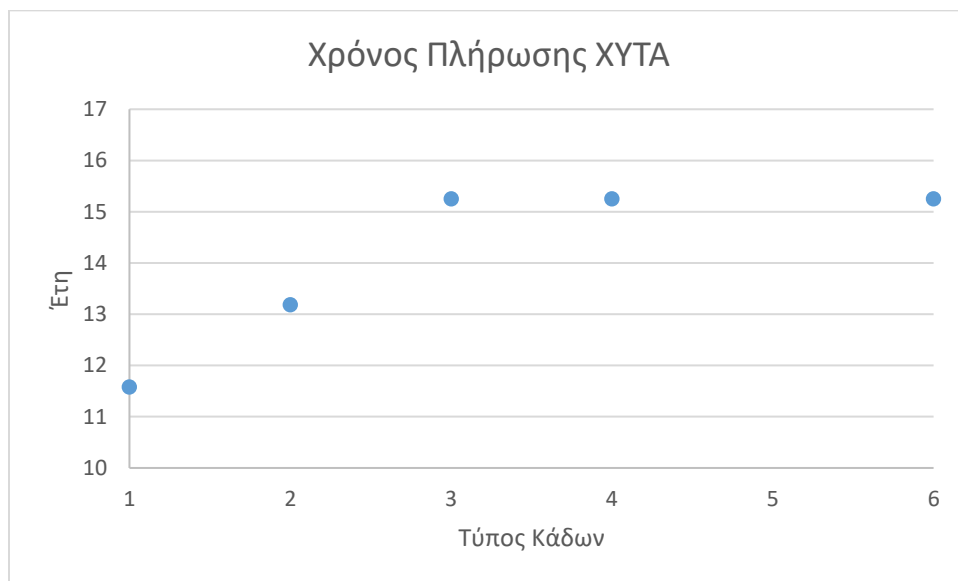
Τέλος, τα αποτελέσματα του παραπάνω πίνακα χρησιμοποιήθηκαν στο High Level Analysis έτσι ώστε να προκύψουν οι περιβαλλοντικοί και οι οικονομικοί δείκτες που υπολογίζονται. Τα αποτελέσματα απεικονίζονται στο επόμενο υποκεφάλαιο.

## 6.2 Αποτελέσματα High Level Analysis

### 6.2.1 Επιπτώσεις Δήμου στο σύστημα και οικονομική μελέτη

Χρησιμοποιήθηκε το High Level Analysis και έγινε η υπόθεση ότι υπάρχει μόνον ένας Δήμος στο σύστημα (ο Δήμος που μελετήθηκε παραπάνω), ενώ τα αποτελέσματα που προέρχονται από τον Πίνακα 15 αποτελούν είσοδο στον High Level Αλγόριθμο . Με την χρήση του High Level Analysis, υπολογίστηκε ο χρόνος πλήρωσης του ΧΥΤΑ και οι περιβαλλοντικοί δείκτες που έχουν προταθεί. Υπενθυμίζεται ότι η καθαρότητα των ροών (*Purity*) για τον προς μελέτη Δήμο είναι 50%, δηλαδή για καθεμία από τις συλλεγόμενες ροές, το 50% αποτελεί χρήσιμα υλικά, ενώ το υπόλοιπο 50% οδηγείται προς ταφή στον χώρο υγειονομικής ταφής.

Παρακάτω φαίνεται ο χρόνος πλήρωσης του χώρου υγειονομικής ταφής για τους διάφορους τύπους κάδων στο σύστημα:

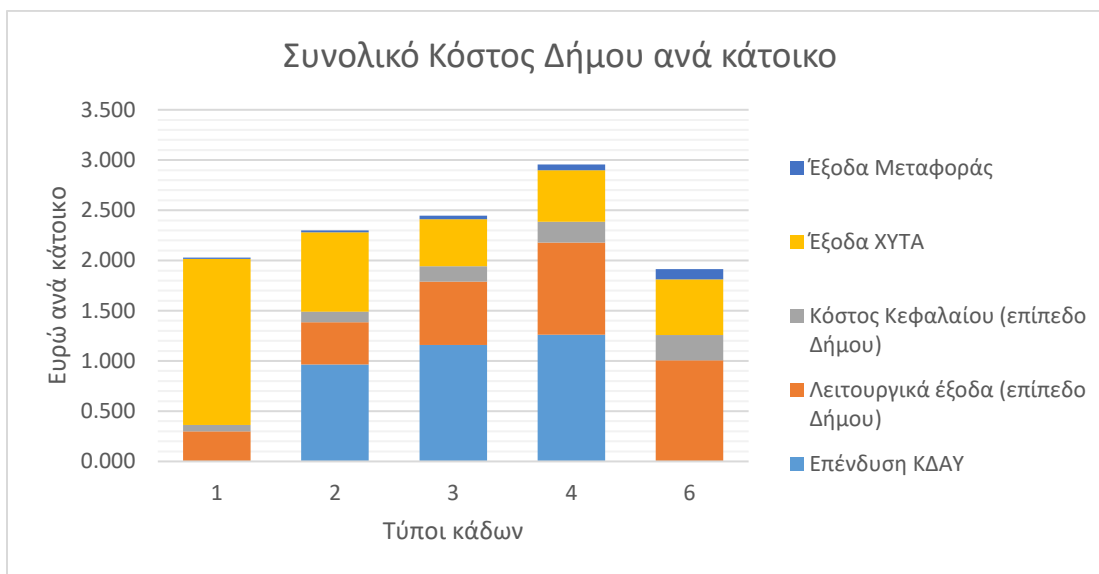


Διάγραμμα 55 Χρόνος πλήρωσης ΧΥΤΑ σε σχέση με τον τύπο κάδων του δήμου

Από το παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται ότι η περίπτωση του ενός κάδου αντιστοιχεί στην χειρότερη περίπτωση, καθώς η διάρκεια ζωής του χώρου υγειονομικής ταφής είναι η μικρότερη, αφού όλα τα απορρίμματα οδηγούνται στον ΧΥΤΑ. Στην περίπτωση των 2 τύπων κάδων παρατηρείται μία αύξηση του χρόνου ζωής του χώρου υγειονομικής ταφής, γιατί από τον Δήμο πλέον υπάρχουν δύο ρεύματα απορριμμάτων, ένα για μη ανακυκλώσιμα που οδηγείται κατευθείαν στον ΧΥΤΑ, και έναν με ανακυκλώσιμα που οδηγείται στο κέντρο διαλογής ανακυκλώσιμων υλικών (ΚΔΑΥ) και έπειτα στις εταιρείες ανακύκλωσης. Έτσι, υπάρχει ποσοστό απορριμμάτων που ανακυκλώνεται, αυξάνοντας έτσι τη διάρκεια ζωής του ΧΥΤΑ. Παρόμοια συμπεριφορά παρατηρείται και για τρεις ροές απορριμμάτων, καθώς σε αυτήν την περίπτωση, προϊόν που συμπεριλαμβανόταν στα μη ανακυκλώσιμα, πλέον ανήκει σε αυτόνομη ροή απορριμμάτων (Βιοαπόβλητα) και οδηγείται για ανακύκλωση. Στις περιπτώσεις τεσσάρων

και έξι ροών απορριμμάτων παρατηρείται ότι η διάρκεια ζωής του ΧΥΤΑ είναι ίδια με αυτήν της περίπτωσης των τριών ροών. Κάτι τέτοιο παρατηρείται γιατί ο συντελεστής καθαρότητας των ροών (*Low Level Analysis "Purity"*) και ο συντελεστής ανακύκλωσης (*Low Level Analysis "R"*) έχει θεωρηθεί ότι παραμένει σταθερός, επομένως, όσα απορρίμματα κατευθύνονται σε σωστές ροές απορριμμάτων στην περίπτωση των τριών κάδων, κατευθύνονται και στις περιπτώσεις των τεσσάρων και έξι κάδων.

Στη συνέχεια αποτυπώνεται οικονομική ανάλυση για το συνολικό κόστος του Δήμου ανά κάτοικο για το εκάστοτε σύστημα διαχείρισης και για τις διαφορετικές δομές Δήμου.



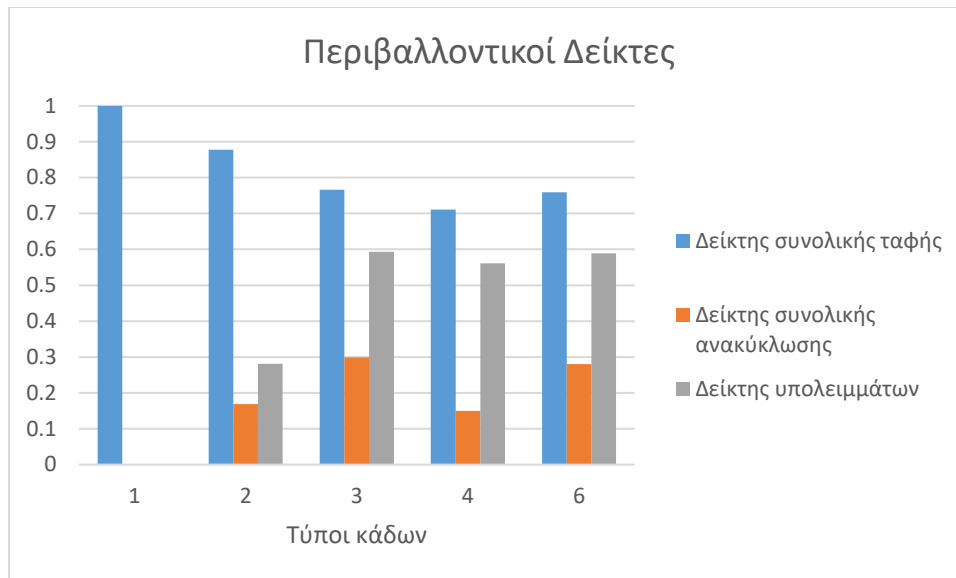
Διάγραμμα 56 Κόστος διαχείρισης απορριμμάτων του Δήμου ανά κάτοικο



Διάγραμμα 57 Δημοτικά τέλη για την διατήρηση του συστήματος διαχείρισης απορριμμάτων

Από τα διαγράμματα παρατηρείται ότι το συνολικό κόστος του Δήμου για την περίπτωση του ενός τύπου κάδου είναι χαμηλό αλλά το ποσοστό κόστους που αναφέρεται στα έξοδα του Δήμου στον ΧΥΤΑ είναι το μεγαλύτερο. Κάτι τέτοιο αποτυπώνεται καθώς ο Δήμος προωθεί όλα τα απορρίμματα στο χώρο υγειονομικής ταφής, με αποτέλεσμα το κόστος για τον ΧΥΤΑ να είναι το υψηλότερο. Για δύο διαφορετικές ροές απορριμμάτων (ανακυκλώσιμα και μη ανακυκλώσιμα) απαιτείται από τον Δήμο να συμμετέχει στην επένδυση ενός κέντρου διαλογής απορριμμάτων στο οποίο τροφοδοτεί τα ανακυκλώσιμα απορρίμματα για να διαχωρίζονται σε επιμέρους κατηγορίες. Φαίνεται λοιπόν ότι το συνολικό κόστος είναι μεγαλύτερο καθώς σε αυτήν την περίπτωση ο Δήμος συμμετέχει στην επένδυση του ΚΔΑΥ. Σε αντίθεση με τη μείωση του συνολικού κόστους, παρατηρείται αύξηση στα δημοτικά τέλη του δημότη. Κάτι τέτοιο οφείλεται στο γεγονός ότι για αυτήν την καθαρότητα ροής ανακυκλώσιμων που προσφέρεται στο κέντρο διαλογής ανακυκλώσιμων υλικών, το κέντρο διαλογής ανακυκλώσιμων υλικών έχει ζημία επομένως όταν προστίθενται τα κέρδη από το ΚΔΑΥ, το συνολικό κόστος αυξάνεται, με αποτέλεσμα να χρεώνεται περισσότερα ο δημότης. Στην περίπτωση των τριών ροών, φαίνεται το συνολικό κόστος να αυξάνεται λόγω μεγαλύτερου κόστους για τη συντήρηση του λειτουργικού κόστους εντός του Δήμου, για την επένδυση του συστήματος διαχείρισης απορριμμάτων του Δήμου και για τη μεταφορά των ροών που συλλέχθηκαν. Παρόμοια συμπεριφορά παρατηρείται και στην περίπτωση των τεσσάρων κάδων. Αντιθέτως, στην περίπτωση των έξι κάδων, το συνολικό κόστος έχει μειωθεί αρκετά καθώς πλέον δεν απαιτείται ο δήμος να επενδύσει στη δημιουργία κέντρου διαλογής ανακυκλώσιμων υλικών αφού σε αυτό το σενάριο, υπάρχουν ξεχωριστές ροές ανακυκλώσιμων απορριμμάτων (*γυαλί, αλουμίνιο, πλαστικό, χαρτί*). Ταυτόχρονα, παρατηρείται τα έξοδα μεταφοράς να είναι περισσότερα λόγω του μεγαλύτερου αριθμού ροών. Παράλληλα με τη χρήση του μοντέλου αποδεικνύεται ότι η χρήση πολλών διαφορετικών ρευμάτων θα ωφελήσει και τον ίδιο τον δημότη υπό την προϋπόθεση οι εταιρείες ανακύκλωσης να πληρώνουν αντίτιμο για την απόκτηση των ανακυκλωμένων υλικών. Φυσικά, με αλλαγή της συμπεριφοράς των δημοτών (*R και Purity*) ενδέχεται να υπάρχει μείωση του συνολικού κόστους και κατά συνέπεια μείωση των δημοτικών τελών.

Στη συνέχεια αποτυπώνονται οι περιβαλλοντικοί δείκτες που έχουν προταθεί δείκτης συνολικής ταφής (*Buried Index*), δείκτης ανακύκλωσης (*Recycling Index*) και δείκτης υπολειμμάτων (*Residue Index*).



Διάγραμμα 58 High Level Analysis, περιβαλλοντικοί δείκτες προς μελέτη δήμου

Παρατηρείται ότι στην περίπτωση του πρώτου τύπου κάδων, δεν υφίσταται δείκτης ανακύκλωσης και δείκτης υπολειμμάτων, καθώς όλα τα απορρίμματα οδηγούνται προς τον χώρο υγειονομικής ταφής. Ταυτόχρονα, φαίνεται ότι ο δείκτης συνολικής ταφής έχει την τιμή 1, σημαίνει ότι όλα τα απορρίμματα που παράγονται στο σύστημα οδηγούνται προς ταφή και αποτελεί τη χειρότερη περίπτωση του συστήματος. Αντίστοιχα, για δύο τύπους κάδων, παρατηρείται ανακύκλωση υλικών συνεπώς και αύξηση της διάρκειας ζωής των προϊόντων και μείωση του δείκτη συνολικής ταφής. Αντίστοιχα στην περίπτωση των τριών τύπων κάδων διακρίνεται η καλύτερη τιμή του δείκτη συνολικής ταφής καθώς σε αυτή τη περίπτωση έχουν δημιουργηθεί τρία ρεύματα ανακυκλώσιμων. Στις περιπτώσεις των τεσσάρων και έξι κάδων, το ποσοστό συνολικής ταφής παραμένει σταθερό, καθώς οι συντελεστές καθαρότητας και ανακύκλωσης είναι ίδιοι. Ο συντελεστής ανακύκλωσης για την περίπτωση των τριών και έξι τύπων κάδων έχει παρόμοιες τιμές καθώς ίδια ποσότητα ανακυκλώνεται σε σχέση με τα ανακυκλώσιμα. Στην περίπτωση των τεσσάρων κάδων παρατηρείται μειωμένη τιμή του δείκτη ανακύκλωσης και απαιτεί περαιτέρω διερεύνηση. Ενδεχομένως να δημιουργείται αυτή η ανομοιομορφία του δείκτη λόγω της ιδιομορφίας των τιμών καθαρότητας (*Purity*) και ποσοστού ανακύκλωσης (*R*). Τέλος, υπενθυμίζεται ότι ο δείκτης υπολείμματος υπολογίζει το ποσοστό απορριμμάτων που προέρχεται μετά από επεξεργασία ή διαχωρισμό σε σχέση με τα συνολικά απορρίμματα που οδηγούνται προς ταφή. Ο δείκτης υπολείμματος στην περίπτωση των δύο τύπων κάδων είναι ο χαμηλότερος καθώς υπάρχουν δύο τύποι ροής απορριμμάτων επομένως υπολογίζονται τα απορρίμματα κατόπιν επεξεργασίας από το ΚΔΑΥ και από τις εταιρείες ανακυκλώσης. Στην περίπτωση των τριών τύπων κάδων, ο συντελεστής λαμβάνει τη μεγαλύτερη τιμή και φαίνεται να ισούται περίπου με την τιμή των τεσσάρων και έξι τύπων κάδων, πράγμα λογικό καθώς τα ποσοστά ανακύκλωσης και καθαρότητας των δημοτών παραμένουν σταθερά

## Κεφάλαιο 7: Συμπεράσματα και μελλοντική έρευνα

Από το πείραμα που διεξάχθηκε κατά τη παρούσα διπλωματική εργασία, φαίνεται ότι από τα θεωρητικά μοντέλα που δημιουργήθηκαν μπορούν να προκύψουν σημαντικά συμπεράσματα και σίγουρα μπορούν να αποτελέσουν μία σημαντική πρώτη βάση για μελλοντική ανάπτυξη και έρευνα.

Σε πρώτο στάδιο, επαληθεύτηκε ότι η χρήση Agent Based Modelling μπορεί να αποτυπώσει συμπεριφορές ενδιαφερόμενων μελών στο πλαίσιο της διαχείρισης απορριμμάτων με καθορισμό των κατάλληλων παραμέτρων.

Από τη χρήση των μοντέλων παρατηρήθηκε ότι η αύξηση των δομών στο σύστημα διαχείρισης απορριμμάτων εντός του Δήμου επιφέρει αύξηση στην ικανοποίηση των δημοτών, ενώ ταυτόχρονα οι δείκτες που προτάθηκαν για τη μέτρηση αυτής της ικανοποίησης φαίνεται να το επιβεβαιώνουν. Πέρα από την ικανοποίηση των δημοτών, από το μοντέλο επιβεβαιώνεται ότι η αύξηση των δομών στο σύστημα διαχείρισης επιδρά στην αύξηση του λειτουργικού κόστους και του κόστους κεφαλαίου, ενώ ταυτόχρονα με τη χρήση του Low Level Αλγορίθμου παρέχεται μία ποιοτική εικόνα των κοστών αυτών.

Το πείραμα που διεξήχθη με τη βοήθεια του High Level Analysis φαίνεται να επιβεβαιώνει ότι η ύπαρξη διαφορετικών ροών ανακυκλώσιμων απορριμμάτων επιφέρει θετικότερα αποτελέσματα στο κόστος του Δήμου και των πολιτών από την περίπτωση μαζικής συλλογής των ανακυκλώσιμων απορριμμάτων σε έναν κάδο (μπλε) και στη συνέχεια στο διαχωρισμό αυτών. Φυσικά το συμπέρασμα αυτό προήλθε με συγκεκριμένες τιμές παραμέτρων. Για εκτενέστερη μελέτη μπορούν να μεταβληθούν οι παράμετροι και οι συνθήκες του συστήματος μελλοντικά. Παράλληλα, με το σύμπλεγμα δεικτών που προτάθηκε, η χρήση μόνο ενός τύπου κάδου αποδείχτηκε ως η χειρότερη από περιβαλλοντικής πλευράς, ενώ στις περιπτώσεις όπου οι δομές Δήμου παρέχουν τρεις, τέσσερις ή έξι τύπους κάδων, δεν παρατηρούνται σημαντικές διαφορές στους περιβαλλοντικούς δείκτες, για δεδομένη περιβαλλοντική συνείδηση δημοτών.

Ταυτόχρονα, από το πείραμα που διεξήχθη επιβεβαιώνεται ότι οι αλγόριθμοι που δημιουργήθηκαν λειτουργούν ομαλά και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την μελέτη επιπτώσεων σε περιβαλλοντικό, οικονομικό και κοινωνικό επίπεδο, εστιάζοντας σε διαφορετικές σχεδιαστικές παραμέτρους.

Το σύστημα που πραγματοποιήθηκε αποτελεί ένα αρχικό βήμα προς την κατεύθυνση της μοντελοποίησης με τη χρήση πολυφορικών συστημάτων (Agent Based Modelling) για την αξιολόγηση και προτυποποίηση σεναρίων στο σύστημα διαχείρισης απορριμμάτων και για αυτόν ακριβώς τον λόγο παρέχεται εύφορο έδαφος για την περαιτέρω ανάπτυξή του.

Κατά τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας προέκυψαν πολλές ιδέες για το πώς μπορεί να αλλάξει το προτεινόμενο σύστημα και οι αλγόριθμοι σε μία πιο εξελιγμένη και πληρέστερη μορφή. Μία σκέψη για εξέλιξη της υπάρχουσας έρευνας είναι η προσθήκη ανταγωνιστών εταιρειών στο High Level Analysis. Με αυτόν τον τρόπο είναι εφικτή η εφαρμογή μοντέλων θεωρίας παιγνίων στον αλγόριθμο με σκοπό την διεξαγωγή περιβαλλοντικών και οικονομικών αποτελεσμάτων, μελετώντας το πλαίσιο ανταγωνισμού και της αγοράς μεταξύ των εταιρειών και των Δήμων. Σε μία πιο ανεπτυγμένη μορφή του μοντέλου μπορεί να προστεθεί δυναμική συμπεριφορά, για παράδειγμα, καθώς τρέχει η προσομοίωση

να είναι εφικτή η αλλαγή της συμπεριφοράς του δημότη αναλόγως των συνθηκών του περιβάλλοντος που επικρατούν. Τέλος, το ίδιο μοντέλο θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για τη μελέτη διαφορετικών σχεδιαστικών μεταβλητών και για την εξαγωγή διαφορετικών δεικτών.



## Κεφάλαιο 8: Βιβλιογραφία

- [1] Gidarakos, E., Havas, G., & Ntzamilis, P. (2006). Municipal solid waste composition determination supporting the integrated solid waste management system in the island of Crete. *Waste Management*, 26(6), 668–679.
- [2] Holland, J. H. (2006). Studying Complex Adaptive Systems. *Journal of Systems Science and Complexity*, 19(1), 1–8
- [3] Lu, M., Cheung, C. M., Li, H., & Hsu, S.-C. (2016). Understanding the relationship between safety investment and safety performance of construction projects through agent-based modeling. *Accident Analysis & Prevention*, 94, 8–17
- [4] Macal, C. M., & North, M. J. (2008). Agent-based modeling and simulation: ABMS examples. 2008 Winter Simulation Conference
- [5] Wilensky, U., & Rand, W. (2015). An introduction to agent-based modeling: modeling natural, social, and engineered complex systems with NetLogo. Cambridge, MA: The MIT Press.
- [6] S. Tisue and U. Wilensky, “*NetLogo: A simple environment for modeling complexity*”, in International Conference on Complex Systems, 2004.
- [7] Ευρωπαϊκή Επιτροπή «Ανακοίνωση της επιτροπής προς το Ευρωπαϊκό κοινοβούλιο, το συμβούλιο, την Ευρωπαϊκή οικονομική και κοινωνική επιτροπή και την επιτροπή περιφερειών σχετικά με το πλαίσιο παρακολούθησης για την κυκλική οικονομία», 16.1.2016
- [8] European Commission - Press Release, “*Closing the loop: Commission adopts ambitious new Circular Economy Package to boost competitiveness, create jobs and generate sustainable growth*”, 2.12.2015
- [9] Eurostat news release, “*Circular economy in the EU record recycling rates and use of recycled materials in the EU*”, 4.3.2019
- [10] European Commission “*Implementation of the Circular Economy Action Plan*” (<https://ec.europa.eu/environment/circular-economy/>)
- [11] «Εθνικό Σχέδιο Διαχείρισης Αποβλήτων», Ιούνιος 2015
- [12] «Κατάλογος αποβλήτων σύμφωνα με το Παράρτημα της απόφασης 2000/532/EK, όπως έχει τροποποιηθεί με τις Αποφάσεις 2001/118/EK, 2001/119//EK και 2001/573/EK της Επιτροπής Ε.Κ.»
- [13] «Τοπικό Σχέδιο Διαχείρισης Απορριμμάτων Δήμου Δάφνης- Υμηττού», 2017
- [14] (Άρθρο Καθημερινής: Καραμανώλη, «*Ουραγός της ανακύκλωσης στην Ελλάδα των χωματερών*», 2018)
- [15] Υλικό Ευρωπαϊκής Επιτροπής «*Η κυκλική οικονομία Συνδέοντας, δημιουργώντας και διατηρώντας την αξία*», ISBN 978-92-79-37809-6
- [16] Antti Kangasrääsiö “*Feasibility of Agent-Based Modeling and Simulation in Modeling Waste Value Chains*”, 27.10.2012