



Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας  
Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ

Επιβλέπουσα: Ε. Ναθαναήλ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

με θέμα:

Διερεύνηση συστημάτων συλλογής αστικών αποβλήτων: Η περίπτωση του Δήμου Περιστερίου

Επιβλέπουσα: Ε. Ναθαναήλ

Φοιτήτρια: Ε. Καρακίτσου

ΒΟΛΟΣ, ΙΟΥΛΙΟΣ 2015

## Περίληψη

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται το σύστημα διαχείρισης στερεών αποβλήτων στον Δήμο Περιστερίου, αναλύοντας παραμέτρους-κόστη που επηρεάζουν ένα τέτοιο σύστημα όπως η κοστολόγηση ανθρώπινου δυναμικού, των καυσίμων κτλ. . Επίσης παρουσιάζονται και αναλύονται ακροθιγώς μια σειρά αλγορίθμων που χρησιμοποιούνται για την εύρεση συντομότερης διαδρομής. Επίσης αναπτύσσονται εφαρμογές μεθοδολογίας για βελτιστοποιήσεις σε Συστήματα Διαχείρισης Στερεών Αστικών Αποβλήτων. Η παρουσίαση των παραπάνω επιχειρεί να κάνει κατανοητή στον αναγνώστη την αναγκαιότητα που έχει διαμορφωθεί για την μελέτη , ανάπτυξη και εφαρμογή τέτοιων συστημάτων βελτιστοποίησης.

**Λέξεις Κλειδιά:** σύστημα διαχείρισης αποβλήτων, αστικά, βελτιστοποίηση, συντομότερη διαδρομή, αλγόριθμοι.

## Abstract

This paper presents solid waste management system in the Municipality of Peristeri, analyzing parameters-costs affecting such a system such as costing manpower, fuel, etc... Also presented and briefly discussed a series of algorithms that are used to find the shortest route. Also developed methodology and models for optimizations in Urban Solid Waste Management Systems. The presentation of these attempts to make the reader understandable the necessity that has been formed for the study, development and implementation of such optimization systems.

**Keywords:** Waste management system optimization, urban, shortest path algorithms.

## Ευχαριστίες

*Στην καθηγήτριά μου κα Ναθαναήλ για την υποστήριξη και συμβολή της στην ολοκλήρωση της εργασίας αυτής καθώς και σε όλους τους φίλους και συνεργάτες που στάθηκαν ο καθένας με τον τρόπο του, θετικές επιρροές για την επίτευξη της εργασίας, θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες.*

*Η εργασία αφιερώνεται σε όλους όσους αποτέλεσαν ορμητήριό μου.*

## Πίνακας περιεχομένων

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	6
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	7
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	8
1.1. Γενικά.....	8
1.2. Ορισμοί και έννοιες.....	8
1.3. Στόχος και δομή της εργασίας.....	10
2. ΤΑ ΑΣΤΙΚΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ.....	12
2.1. Κατηγορίες αστικών αποβλήτων.....	12
2.2. Η ανάγκη για διαχείριση των αποβλήτων.....	14
2.3. Το Ευρωπαϊκό πλαίσιο διαχείρισης.....	17
2.3.1 Ευρωπαϊκή πολιτική.....	17
2.3.2 Βέλτιστες πρακτικές.....	20
2.4. Το Ελληνικό πλαίσιο διαχείρισης.....	22
2.4.1. Η Διαχείριση Στερεών Απόβλητων στην Ελλάδα.....	22
2.4.2. Ρόλοι φορέων.....	25
2.4.3. Μελέτες διαχείρισης αποβλήτων στην Ελλάδα.....	26
3. ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΣΤΕΡΕΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΣΤΟΝ ΔΗΜΟ ΠΕΡΙΣΤΕΡΙΟΥ-ΠΟΣΟΤΙΚΑ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΚΟΣΤΟΥΣ.....	28
3.1. Γενικά.....	28
3.2. Ο Δήμος Περιστερίου.....	28
3.3. Σύστημα Καθαριότητας Δήμου Περιστερίου.....	29
3.4. Συλλογή στοιχείων.....	32
3.4.1. Απορρίμματα του Δήμου Περιστερίου.....	32
3.4.2. Κοστολόγηση συλλογής ΑΣΑ του Δήμου Περιστερίου.....	33
3.4.3 Κόστος αγοράς οχήματος.....	34
3.4.4. Κόστος ασφάλισης οχήματος.....	34
3.4.5. Κόστος συντήρησης οχήματος.....	35
3.4.6. Κοστολόγηση Καυσίμων.....	35
3.4.7. Κοστολόγηση Ανθρώπινου Δυναμικού.....	37
3.4.8.Συνολικό κόστος αποκομιδής ΑΣΑ στο Δήμο Περιστερίου.....	39
3.5. Περιγραφή του Δρομολογίου.....	40
3.6. Σημεία Τοποθέτησης Κάδων.....	41
4. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΕΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ.....	42

4.1 Προβλήματα βελτιστοποίησης .....	42
4.2. Βελτιστοποίηση διαδρομών και η συμβολή των Γράφων.....	43
4.3. Το πρόβλημα της συντομότερης διαδρομής.....	44
4.4. Κατηγορίες αλγορίθμων επίλυσης προβλημάτων εύρεσης συντομότερης διαδρομής. .....	45
4.5. Συνηθέστεροι αλγόριθμοι επίλυσης προβλημάτων εύρεσης συντομότερης διαδρομής.....	48
4.5.1. Ο αλγόριθμος του Dijkstra .....	48
4.5.2. Ο αλγόριθμος A* (A STAR) .....	49
4.5.3. Ο αλγόριθμος Bellman-Ford .....	50
4.5.4. Ο αλγόριθμος της Αποικίας των Μυρμηγκιών (Ant Colony Optimization - ACO).....	50
4.6. Το πρόβλημα της Χωροθέτησης – ανάθεσης (Location/Allocation).....	55
4.6.1. Γενικά.....	55
4.6.2. Ο αλγόριθμος P-MEDIAN. ....	55
5. ΜΕΛΕΤΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΣΤΗΝ ΑΣΤΙΚΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ.....	58
5.1 Εφαρμογή μεθόδων βελτιστοποίησης του ΣΔΑ στην Αθήνα. ....	58
5.2. Εφαρμογή μεθόδων βελτιστοποίησης στο ΣΔΑ της Ναρντώ στην Ιταλία.....	59
5.3. Εφαρμογή μεθόδων βελτιστοποίησης στο ΣΔΑ της Μορέλια στο Μεξικό. ....	63
5.4. Εφαρμογή μεθόδων βελτιστοποίησης στο ΣΔΑ στην Βαρκελώνη της Ισπανίας. ....	67
6. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	72
6.1. Διατύπωση προβλήματος βελτιστοποίησης στον Δήμο Περιστερίου. ....	72
6.2. Γενικές αρχές και προτάσεις.....	75
6.3. Επίλογος.....	76
7. ΑΝΑΦΟΡΕΣ.....	77
8. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ .....	82
8.1 Ανάπτυξη της § 4.2.....	82
4.2.1. Η θεωρία των Γραφημάτων.....	82
4.2.2. Τύποι Γράφων .....	85
4.2.3. Ιδιότητες Γράφων .....	89
4.2.4. Μοντελοποίηση προβλημάτων γραφών .....	92
4.2.5. Προβλήματα Γράφων .....	94
4.2.6. Το πρόβλημα της διάσχισης.....	95
4.2.7. Το πρόβλημα της μεταβατικής κλειστότητας .....	95
4.2.8. Το πρόβλημα του πλανόδιου πωλητή (Traveling Salesman Problem – TSP).....	96

8.2 Χάρτης υφιστάμενων υποπεριφερειών Δ. Περιστερίου .....	98
8.3 Χάρτης Οικοδομικών Τετραγώνων από Ε.Σ.Υ .....	99

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Η διπλή γέφυρα.....	52
Εικόνα 2: Γέφυρες άνισου μήκους.....	52
Εικόνα 3: Οι Επτά Γέφυρες του Koenigsberg.....	82
Εικόνα 4: Χάρτης του Κένιγκσμπερκ και ο αντίστοιχος γράφος.....	83
Εικόνα 5: Μη κατευθυνόμενο και κατευθυνόμενο γράφημα.....	85
Εικόνα 6: Κατευθυνόμενος γράφος.....	86
Εικόνα 7: Κανονικός γράφος .....	87
Εικόνα 8: Σταθμισμένος γράφος.....	88
Εικόνα 9: Διμερής γράφος.....	88
Εικόνα 10: Παράδειγμα Αναπαράστασης μη-Κατευθυνόμενου Γράφου σε Δομή Λίστας και Πίνακα .....	92
Εικόνα 11: Παράδειγμα Αναπαράστασης Κατευθυνόμενου Γράφου σε Δομή Λίστας και Πίνακα .....	92
Εικόνα 12: Το πρώτο μοντέλο: Το Πρόβλημα των Επτά Γεφυρών του Koenigsberg.....	93
Εικόνα 13: Ο Υπόγειος Σιδηρόδρομος του Λονδίνου .....	94
Εικόνα 14: Αναπαράσταση Μορίων Μεθανόλης και Αιθανόλης με τη βοήθεια Γράφου .....	94
Εικόνα 15: Ο Γράφος G.....	96
Εικόνα 16: Δίκτυο Πόλεων στις ΗΠΑ.....	97

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Κατηγοριοποίηση ΑΣΑ .....	12
Πίνακας 2: Επικίνδυνες ουσίες που περιέχονται στα Αστικά Απόβλητα.....	13
Πίνακας 3:Ταξινόμηση Αποβλήτων Με βάση τον Ευρωπαϊκό Κατάλογο Αποβλήτων.....	18
Πίνακας 4: Μόνιμος πληθυσμός στις 10 μεγαλύτερες πόλεις της Ελλάδας .....	29
Πίνακας 5: Παραγωγή οικιακών αποβλήτων έτους 2013 στον Δ.Περιστερίου .....	33
Πίνακας 6: Παράμετροι συνολικού κόστους Α/Φ οχήματος .....	34
Πίνακας 7: Τιμή Πετρελαίου 2013.....	36
Πίνακας 8: Ημερήσιο κόστος δρομολογίων ενός απορριμματοφόρου.....	40
Πίνακας 9:Συγκριτικά αποτελέσματα εμπειρικών δεδομένων & αλγορίθμου AM .....	59
Πίνακας 10: Αποτελέσματα ευρετικής εφαρμογής στα σημεία συλλογής στην Ναρντώ .....	62
Πίνακας 11: Αποτελέσματα ευρετικής εφαρμογής στους κάδους απόρριψης, στην Ναρντώ .....	63
Πίνακας 12: Αποτελέσματα έρευνας στην Μορέλια: ποσοστό ανεκτών αποβλήτων.....	65
Πίνακας 13: Παρουσίαση Αποτελεσμάτων Περιβαλλοντικής Εργασίας στην Βαρκελώνη ....	70



## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1.1. Γενικά

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών 2013-2015 του τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Πιο συγκεκριμένα πρόκειται για την Διπλωματική εργασία με θέμα: **«Διερεύνηση συστημάτων συλλογής αστικών αποβλήτων: Η περίπτωση του Δήμου Περιστερίου»** με επιβλέπουσα την κα. Ε. Ναθαναήλ.

### 1.2. Ορισμοί και έννοιες

Με τον όρο Στερεά Απόβλητα (ΣΑ), προσδιορίζονται «τα στερεά ή ημιστερεά υλικά, τα οποία κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες, δεν έχουν αρκετή αξία ή χρησιμότητα για τον κάτοχό τους ώστε αυτός να συνεχίσει να υφίσταται τη δαπάνη, τη μέριμνα ή το βάρος της διατήρησής τους» (Παναγιωτακόπουλος, 2002).

Τα απόβλητα δεν είναι δυνατό να εξαφανισθούν, ωστόσο μπορούν να μετατρέπονται μέσω φυσικών ή τεχνικών μεθόδων, σε κάποια άλλη, στερεά, αέρια ή υγρή τελική μορφή, η οποία θα πρέπει να είναι τέτοια, ώστε να μην προκαλείται ρύπανση στο περιβάλλον.

Μια μεγάλη κατηγορία των ΣΑ είναι τα Αστικά Στερεά Απόβλητα (ΑΣΑ), στα οποία και επικεντρώνεται η παρούσα εργασία. Ως ΑΣΑ ορίζονται «τα στερεά απόβλητα που παράγονται από τις δραστηριότητες των νοικοκυριών (οικιακά στερεά απόβλητα), των εμπορικών δραστηριοτήτων (εμπορικά στερεά απόβλητα), των καθαρισμών οδών και άλλων κοινόχρηστων χώρων, καθώς και άλλα στερεά απόβλητα (από ιδρύματα, επιχειρήσεις, κλπ) τα οποία μπορεί από τη φύση τους ή τη σύνθεσή τους να εξομοιωθούν με τα οικιακά στερεά απόβλητα. Τα ΑΣΑ, αναφέρονται και ως δημοτικά στερεά απόβλητα (Παναγιωτακόπουλος, 2002).

Η αύξηση του πληθυσμού προκάλεσε την ανάγκη για διαχείριση των παραγόμενων αποβλήτων και οδήγησε στην ανάπτυξη Συστημάτων Διαχείρισης Αστικών Αποβλήτων (Solid Waste System ) και κατέπεκταση στην μελέτη και ανάπτυξη μεθόδων βελτιστοποιήσεων τέτοιων συστημάτων. Με την χρήση αυτών των μεθόδων, επιτεύχθηκαν στόχοι βελτίωσης του συνολικού κόστους ενός συστήματος διαχείρισης Αστικών Αποβλήτων (είτε μέσω της μείωσης κόστους καυσίμων ή/και κόστους προσωπικού κλπ).

Η διαχείριση των αποβλήτων αποτελεί ένα σύνολο δραστηριοτήτων που περιλαμβάνουν τα ακόλουθα:

1. Την συλλογή, μεταφορά, επεξεργασία και διάθεση των αποβλήτων.
2. Τον έλεγχο, την παρακολούθηση και τη ρύθμιση της παραγωγής, συλλογής, μεταφοράς, επεξεργασίας και διάθεσης των αποβλήτων και
3. Την πρόληψη της παραγωγής αποβλήτων μέσω της σε διαδικασία τροποποίησης, την επαναχρησιμοποίηση και την ανακύκλωση.

Ο όρος συνήθως αναφέρεται σε όλα τα είδη των αποβλήτων, τα οποία παράγονται από πρώτες ύλες, από την επεξεργασία των πρώτων υλών σε ενδιάμεσα και τελικά προϊόντα, από την κατανάλωση των τελικών προϊόντων, ή από άλλες ανθρώπινες δραστηριότητες συμπεριλαμβανομένων των δημοτικών αποβλήτων (κατοικιών, οργανισμών - φορέων, εμπορικών καταστημάτων), των αποβλήτων από καθαρισμό Κοινόχρηστων Χώρων και ειδικών κατηγοριών (υγειονομικής περίθαλψης, τα επικίνδυνα οικιακά απόβλητα, τη λυματολάσπη). Η διαχείριση των αποβλήτων έχει ως στόχο να μειώσει την επίδραση των αποβλήτων στην υγεία, στο περιβάλλον ή στην αισθητική τοπίου.

Στα ζητήματα που σχετίζονται με τη διαχείριση των αποβλήτων περιλαμβάνονται τα εξής:

- Δημιουργία αποβλήτων
- Ελαχιστοποίηση αποβλήτων
- Διάθεση αποβλήτων
- Μεταφορά αποβλήτων
- Επεξεργασία αποβλήτων
- Ανακύκλωση και επαναχρησιμοποίησή τους
- Αποθήκευση, συλλογή, μεταφορά,
- Εξυγίανση
- Υγειονομική ταφή
- Περιβαλλοντικά ζητήματα
- Οικονομική και μάρκετινγκ
- Πολιτική και ρυθμίσεις
- Εκπαίδευση και κατάρτιση
- Σχεδιασμός και υλοποίηση

Οι πρακτικές διαχείρισης των αποβλήτων δεν είναι ομοιόμορφες μεταξύ των χωρών (αναπτυγμένων και αναπτυσσόμενων χώρων), μεταξύ περιοχών (αστικών και αγροτικών περιοχών) και μεταξύ τομέων (οικιακού και βιομηχανικού τομέα) ([https://en.wikipedia.org/wiki/Waste\\_management](https://en.wikipedia.org/wiki/Waste_management)).

### 1.3. Στόχος και δομή της εργασίας

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η ενδελεχής καταγραφή και παρουσίαση μεθοδολογιών και συστημάτων βελτιστοποίησης της μεταφοράς των αστικών στερεών αποβλήτων, μέσα από την διερεύνηση της σχετικής επιστημονικής βιβλιογραφίας και εφαρμοσμένων συστημάτων συλλογής αστικών αποβλήτων. Σαν επέκταση του στόχου αυτού, γίνεται ανάλυση του υφιστάμενου Συστήματος Καθαριότητας στον Δήμο Περιστερίου του Νομού Αττικής, και θέτονται οι αρχές βελτιστοποίησής του.

Η εργασία δομείται από 9 κεφάλαια. Συγκεκριμένα στο κεφάλαιο 1 αναφέρεται ο σκοπός και η διάρθρωση της εργασίας.

Στο κεφάλαιο 2 αναλύεται το πρόβλημα συνεχούς αύξησης της παραγωγής αποβλήτων από τον άνθρωπο καθώς και ο ρόλος και η νομοθεσία της Ευρωπαϊκής Ένωσης και της Ελλάδας στο θέμα των Αστικών Στερεών Αποβλήτων.

Στο κεφάλαιο 3 αναλύεται το Σύστημα Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων του δήμου Περιστερίου ως προς τα ποσοτικά και οικονομικά στοιχεία των παραμέτρων κόστους.

Επιχειρείται η καταγραφή των διαδικασιών του συστήματος Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων, δηλαδή της:

- ⎵ συλλογής οικιακών αποβλήτων και ανακυκλώσιμων,
- ⎵ μεταφοράς,
- ⎵ μεταφόρτωσης,
- ⎵ προσωρινής αποθήκευσης,
- ⎵ αξιοποίησης-ανακύκλωσης και
- ⎵ τελικής διάθεσης των στερεών αποβλήτων.

Στα επόμενα κεφάλαια της εργασίας παρουσιάζεται το μεθοδολογικό πλαίσιο βελτιστοποίησης Διαχείρισης Στερεών Αστικών Αποβλήτων.

Πιο συγκεκριμένα στο κεφάλαιο 4 δίδονται στοιχεία για την Θεωρία των Γράφων, την ανάπτυξή της και αναλύονται γνωστά προβλήματα συντομότερης διαδρομής η λογική των οποίων στηρίζεται στην εν λόγω θεωρία. Λεπτομερής ανάλυση του κεφαλαίου αυτού έχει τοποθετηθεί στο Παράρτημα.

Στο κεφάλαιο 5 αναπτύσσονται εφαρμογές μεθοδολογιών για την εύρεση της συντομότερης διαδρομής καθώς επίσης και μεθοδολογία για βέλτιστη κατανομή/χωροθέτηση. Μελέτες εφαρμογής μεθοδολογιών βελτιστοποιήσεων, παρουσιάζονται στο κεφάλαιο 6 όπου και γίνονται κατανοητά τα οφέλη από την εκπόνηση τέτοιων μελετών Εφαρμογής. Στο κεφάλαιο 7 αναφέρονται τα συμπεράσματα και παροτρύνεται η εφαρμογή μεθοδολογιών βελτιστοποίησης στη Διαχείριση Στερεών Αστικών Αποβλήτων στον Δήμο Περιστερίου.

## 2. ΤΑ ΑΣΤΙΚΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ

### 2.1. Κατηγορίες αστικών αποβλήτων

Τα απόβλητα κατηγοριοποιούνται βάσει διαφόρων κριτηρίων όπως είναι: η προέλευσή τους, η φύση τους, η χημική τους σύνθεση, οι επικίνδυνες ιδιότητες τους ή η προτεινόμενη μέθοδος απόρριψής τους. Στον παρακάτω Πίνακα 1, παρουσιάζονται τα ΑΣΑ με βάση την πηγή προέλευσης και τον τύπο τους.

*Πίνακας 1: Κατηγοριοποίηση ΑΣΑ*

*(Πηγή: Παναγιωτακόπουλος, 2002)*

<b>ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ</b>	<b>ΣΥΝΗΘΕΙΣ ΑΙΤΙΟΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ</b>	<b>ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ ΚΑΙ ΤΥΠΟΙ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ</b>
ΟΙΚΙΑΚΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ	Κατοικίες, πολυκατοικίες	Τροφικά Υπολείμματα, Ζυμώσιμα, Χαρτιά, Χαρτόνια, Πλαστικά, Υφάσματα, Δέρματα, Ξύλα, Απόβλητα Κήπων, Γυαλιά, Μέταλλα, Τέφρα, Ογκώδη Αντικείμενα, Επικίνδυνα/τοξικά οικιακά απόβλητα, Ηλεκτρικά είδη/συσσκευές, κτλ.
ΕΜΠΟΡΙΚΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ	Καταστήματα, εστιατόρια, γραφεία, ξενοδοχεία, τυπογραφεία, συνεργεία, μικρές βιοτεχνίες, ελαφρά βιομηχανία κτλ.	Χαρτιά, Χαρτόνια, Πλαστικά, Ξύλα, Τροφικά υπολείμματα, Γυαλιά, Μέταλλα, Ειδικά Απόβλητα (ηλεκτρικές συσκευές, άλλες συσκευές, επικίνδυνα/τοξικά απόβλητα, κτλ.
ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΙΔΡΥΜΑΤΩΝ	Σχολεία, νοσοκομεία, διοικητήρια κτλ.	Χαρτιά, Χαρτόνια, Πλαστικά, Ξύλα, Τροφικά υπολείμματα, Γυαλιά, Μέταλλα, Ειδικά Απόβλητα (ηλεκτρικές συσκευές, άλλες συσκευές, επικίνδυνα/τοξικά απόβλητα, κτλ.
ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΚΑΤΕΔΑΦΙΣΕΩΝ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ	Κατεδαφίσεις, κατασκευές κτιρίων, έργων υποδομής κτλ.	Ξύλα, Σκυρόδεμα, Τούβλα, Καλώδια, Μέταλλα, Χώμα, Πέτρες, κτλ.
ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΚΑΘΑΡΙΣΜΩΝ ΚΟΙΝΟΧΡΗΣΤΩΝ ΧΩΡΩΝ (Κ/Χ)	Καθαρισμός οδών, πάρκων, παραλιών, χώρων αναψυχής κτλ.	Σκουπίδια, Ξύλα, Κλαδιά κτλ.

ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΕΓΚΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ	Καύση αποβλήτων, βιολογικοί καθαρισμοί, σηπτικές δεξαμενές κτλ.	Τέφρα, Ιλύς (λυματολάσπη)
--	---	---------------------------

Στον Πίνακα 1 δεν περιλαμβάνονται επικίνδυνες ουσίες που συχνά περιέχονται στα ΑΣΑ και καταλήγουν στους χώρους διάθεσης. Η κατηγοριοποίηση των επικίνδυνων ουσιών περιγράφεται στον παρακάτω Πίνακα 2:

*Πίνακας 2: Επικίνδυνες ουσίες που περιέχονται στα Αστικά Απόβλητα*

*(Πηγή: [www.eedsa.gr](http://www.eedsa.gr)).*

ΕΙΔΟΣ	ΠΡΟΪΟΝ
ΥΔΡΑΡΓΥΡΟΣ	Μπαταρίες, Ηλεκτρικός Εξοπλισμός, Θερμόμετρα, Βαρόμετρα, Λαμπτήρες φθορίου, Λυχνίες Υδραργύρου.
ΜΟΛΥΒΔΟΣ	Λαμπτήρες, Γυαλί, Χρώματα, Κράματα.
ΚΑΔΜΙΟ	Επαναφορτιζόμενες μπαταρίες.
ΧΡΩΜΙΟ	Δέρματα.
ΒΡΕΜΙΟ	Πυρανθεκτικά υλικά, Πλαστικά, Υφάσματα, Ηλεκτρικός Εξοπλισμός.

Η ίδια η φύση έχει προβλέψει ένα αυτόνομο σύστημα διαχείρισης των αποβλήτων. Ότι προέρχεται από την φύση εύκολα διασπάται με τις φυσικές βιολογικές οδούς. Τα παραγόμενα απόβλητα των αρχαίων ήταν κατεξοχήν από φυσικά υλικά και η ταφή τους οδηγούσε στην απορρόφησή τους. Κατά τον εκπολιτισμό του ανθρώπου και την οργάνωση ομάδων - κοινωνιών με ολοένα και περισσότερα μέλη, προέκυψε αναπόφευκτα η ανάγκη για συστηματική διαχείριση των παραγόμενων αποβλήτων των κοινωνιών αυτών με τα διατιθέμενα μέσα της εποχής. Έτσι επινοήθηκαν διαφορετικοί τρόποι για την διαχείριση των αποβλήτων με συνηθέστερες μορφές διαχείρισης αποβλήτων ανά τους αιώνες την καύση και την ταφή. Οι άνθρωποι είχαν συνειδητοποιήσει ότι τα απόβλητα έπρεπε να απομακρύνονται από τις κατοικημένες περιοχές και πως με την αποικοδόμηση τους, τα απόβλητα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για διάφορους σκοπούς. Όμως η εξέλιξη του ανθρώπου επέβαλλε νέους τύπους αποβλήτων που δεν ήταν πλέον δυνατόν η φυσική αποικοδόμησή τους.

Με το πέρασμα των αιώνων ο άνθρωπος άρχισε να ταυτίζει την κατανάλωση με την ευτυχία και την ευμάρεια. Με την εκτόξευση της τεχνολογίας μετά τον Β΄ Παγκόσμιο Πόλεμο επινοήθηκαν και παρήχθησαν νέοι τύποι χρησιμοποιούμενων υλικών όπως το πλαστικό, ένα υλικό άγνωστο ως προς τον τρόπο αποικοδόμησης του. Βρέθηκαν νέες μορφές ενέργειας και αυξήθηκε πάρα πολύ η κατανάλωση προϊόντων.

Η άνοδος του βιοτικού επιπέδου, οδήγησε γρήγορα στην υπερκατανάλωση προϊόντων. Η υπερκατανάλωση έχει συμβάλλει στην αυξημένη χρησιμοποίηση προϊόντων από τον καταναλωτή και ως αποτέλεσμα, στον αυξημένο ρυθμό δημιουργίας αποβλήτων.

## 2.2. Η ανάγκη για διαχείριση των αποβλήτων

Σε έκθεση του οργανισμού Ηνωμένων Εθνών (United Nations) αναφέρεται ότι 54% του παγκόσμιου πληθυσμού ζει σε αστικές περιοχές, ποσοστό το οποίο αναμένεται να αυξηθεί στο 66% μέχρι το 2050. Οι προβλέψεις δείχνουν ότι η αστικοποίηση σε συνδυασμό με τη γενική αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού θα μπορούσε να προσθέσει άλλα 2,5 δισεκατομμύρια ανθρώπων σε αστικούς πληθυσμούς από το 2050, με σχεδόν το 90% της αύξησης συγκέντρωσης στην Ασία και την Αφρική (<http://www.un.org/en/development/desa/news/population/worldurbanization-prospects-2014.html>).

Εκτός της συνεχούς αύξησης του πληθυσμού, η υλική ευδαιμονία του ανθρώπου και η αλλαγή στον τρόπο ζωής και κατανάλωσης, στρέφεται ενάντια στο περιβάλλον. Αυτό οφείλεται στην ταχύτατη ελάττωση της διαθεσιμότητας των φυσικών πόρων, στην μεγάλη σπατάλη ενέργειας και στην αλλαγή χρήσης της γης. Η μεγάλη εμφάνιση ρύπων σε έδαφος, αέρα και νερό καθώς και η εμφάνιση όλο και πιο σύνθετων αποβλήτων, έχουν συμβάλλει στην μόλυνση του περιβάλλοντος, η οποία παρατηρείται κατά κύριο λόγο στις βιομηχανικές κοινωνίες. Το μεγαλύτερο ποσοστό των αποβλήτων στις βιομηχανικά αναπτυγμένες χώρες, προέρχεται από τα υλικά συσκευασίας, ενώ στις αναπτυσσόμενες χώρες, τα απόβλητα είναι κατά κύριο λόγο οργανικά υπολείμματα.

Όλα τα απόβλητα προέρχονται από υλικά τα οποία διακρίνονται σε μη βιοαποικοδομήσιμα ή βιοαποικοδομήσιμα ανάλογα με τον τρόπο αποικοδόμησης τους. Βιοαποικοδομήσιμα χαρακτηρίζονται τα υλικά που διασπώνται μέσω των φυσικών διαδρομών και διαδικασιών σε απλά συστατικά, τα οποία ανοργανοποιούνται στο έδαφος και επαναχρησιμοποιούνται. Τα μη βιοαποικοδομήσιμα ή μη

βιολογικά διασπώμενα, δεν επιδέχονται φυσική διάσπαση, παραμένουν για μεγάλο διάστημα αναλλοίωτα στο περιβάλλον, με αποτέλεσμα την ρύπανσή του (Καψανάκη – Γκότση, 1997).

Η διαδικασία αποδόμησης των αποβλήτων δεν θα απασχολούσε την κοινωνία, αν δεν είχε μεγάλη επίδραση στο περιβάλλον και στην υγεία τόσο του ανθρώπου, όσο και όλων των έμβιων οργανισμών. Λόγω των μη βιολογικά αποδομώμενων αποβλήτων, το περιβάλλον ρυπαίνεται ανεπανόρθωτα, με δυσμενείς επιπτώσεις στην υγεία και την ποιότητα ζωής του σύγχρονου ανθρώπου. Αναμφισβήτητα, το πρόβλημα της διαχείρισης των αποβλήτων αποτελεί, ένα από τα τρία σημαντικότερα περιβαλλοντικά προβλήματα παγκοσμίως, μαζί με την έλλειψη νερού και τις κλιματικές αλλαγές (φαινόμενο του θερμοκηπίου). Το πρόβλημα παραμένει δυστυχώς χωρίς λύση και κληρονομείται από γενιά σε γενιά. Η τελευταία τάση της επιστήμης, είναι να επιλέγονται τρόποι αποικοδόμησης των αποβλήτων, που να μην συμβάλλουν στην κλιματική αλλαγή.

Το πρόβλημα της αλλαγής διαχείρισης των αποβλήτων είναι κοινωνικό και όχι τεχνικό. Τεχνικά φαίνεται πως υπάρχουν τρόποι. Είναι θέμα οικονομίας, κοινωνίας και κατανάλωσης (Καψανάκη – Γκότση, 1997).

Οι επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία είναι εξίσου σημαντικές και οφείλονται κυρίως στο οργανικό ποσοστό των Αστικών στερεών αποβλήτων (ΑΣΑ), το οποίο είναι σημαντικά μεγάλο.

Χωρίς κατάλληλο χειρισμό, τα οργανικά απόβλητα γίνονται χώροι αναπαραγωγής και συντήρησης για έντομα και τρωκτικά. Η συνήθεια διατροφής χοίρων με ανεπεξέργαστα απόβλητα, που παλαιότερα ήταν πολύ διαδεδομένη, έχει αποδειχθεί πως σχετίζεται με την μετάδοση της τριχινίασης στον άνθρωπο. Μελέτες έχουν δείξει ότι ένα μεγάλο ποσοστό εργαζόμενων που χειρίζονται τα απόβλητα, καθώς και οι άνθρωποι που ζουν κοντά σε περιοχές διάθεσης αποβλήτων έχουν αποικιστεί στο γαστρεντερικό τους σύστημα από παθογόνα βακτήρια και παράσιτα, όπως πρωτόζωα και έλμινθες (σκώληκες). Τα μολυσμένα έντομα και τα τρωκτικά είναι δυνατό να μεταδώσουν παθογόνους μικροοργανισμούς στον άνθρωπο και τα ζώα, όπως το πλασμώδιο της ελονοσίας, τη λείσμανια, την αμοιβάδα, την σαλμονέλλα και διάφορους ιούς, όπως του κίτρινου πυρετού καθώς και αρκετούς νευροτρόπους ιούς, που είναι εξαιρετικά επικίνδυνοι για τον άνθρωπο και τα ζώα. Η επικινδυνότητα των νευροτρόπων ιών οφείλεται στο γεγονός ότι, είναι δυνατό να προκαλέσουν θανατηφόρες μορφές εγκεφαλίτιδας και μηνιγγίτιδας (Γιαμαρέλλου, 2005).

Η διαχείριση των Αστικών Στερεών Αποβλήτων αποτελεί ίσως, τον κρισιμότερο τομέα της διαχείρισης περιβάλλοντος. Η καθυστέρηση στα θέματα διαχείρισης των στερεών αποβλήτων σε συνδυασμό με την καταναλωτική έκρηξη, την διάγκωση των αστικών κέντρων και την ανάπτυξη της βιομηχανικής παραγωγής, έχουν δημιουργήσει ένα οξύ περιβαλλοντικό πρόβλημα. Βασικό χαρακτηριστικό



της εξέλιξης των συστημάτων διαχείρισης αστικών στερεών αποβλήτων, είναι η σχετικά μικρή συμμετοχή και η ελλιπής πληροφόρηση του πολίτη. Ταυτόχρονα, όμως υπάρχει και υποτίμηση του προβλήματος από τους κοινωνικούς φορείς και την Αυτοδιοίκηση. Η εξέλιξη των συστημάτων διαχείρισης αποβλήτων, έδειξε ότι η ορθολογική αντιμετώπιση του προβλήματος της διαχείρισης στερεών αποβλήτων, απαιτεί ολοκληρωμένο σχεδιασμό (συλλογή οικιακών αποβλήτων και ανακυκλώσιμων, μεταφορά, μεταφόρτωση, προσωρινή αποθήκευση, αξιοποίηση-ανακύκλωση και τελική διάθεση των στερεών αποβλήτων), στον οποίο, να λαμβάνονται υπόψη βασικά κριτήρια, που χαρακτηρίζουν μια ευρύτερη περιοχή, όπως κοινωνικά, χωροταξικά, περιβαλλοντικά και οικονομικά. Εξετάζεται κατά προτεραιότητα, η πρόληψη και αν είναι δυνατό η μείωση των αποβλήτων, η ενδεχόμενη αξιοποίηση τους και τέλος η περιβαλλοντικά αποδεκτή και ασφαλής τελική διάθεσή τους (Παναγιωτακόπουλος 2002).

Αναμένεται παγκόσμια ο αστικός πληθυσμός να ξεπεράσει τα έξι δισεκατομμύρια από το 2045 (<http://www.un.org/en/development/desa/news/population/worldurbanization-prospects-2014.html>).

Μεγάλο μέρος των αναμενόμενων αυξήσεων αστικής ανάπτυξης θα λάβει χώρα σε αναπτυσσόμενες χώρες, κυρίως της Αφρικής. Ως εκ τούτου, οι χώρες αυτές θα αντιμετωπίσουν πολλές προκλήσεις προκειμένου να ανταποκριθούν στις ανάγκες των αυξανόμενων αστικών πληθυσμών τους, συμπεριλαμβανομένης της στέγασης, των υποδομών, των μεταφορών, της ενέργειας και της απασχόλησης, καθώς και για τις βασικές υπηρεσίες όπως η εκπαίδευση και η υγειονομική περίθαλψη. Σε έκθεση των Ηνωμένων Εθνών επισημαίνεται ότι ένα επιτυχημένο πρόγραμμα για τον αστικό σχεδιασμό θα απαιτήσει να δοθεί προσοχή σε αστικούς οικισμούς όλων των μεγεθών. Με σωστή διαχείριση, οι πόλεις προσφέρουν σημαντικές ευκαιρίες για την οικονομική ανάπτυξη και την επέκταση της πρόσβασης σε βασικές υπηρεσίες, συμπεριλαμβανομένης της υγειονομικής περίθαλψης και της εκπαίδευσης, για ένα μεγάλο αριθμό ανθρώπων. Η παροχή μέσων μαζικής μεταφοράς, καθώς και η στέγαση, ηλεκτρικό ρεύμα, νερό και αποχέτευση για μια πυκνοκατοικημένη αστική περιοχή είναι συνήθως φθηνότερη και λιγότερο επιβλαβής για το περιβάλλον από την παροχή ανάλογου επιπέδου υπηρεσιών σε διάσπαρτο αγροτικό πληθυσμό (<http://www.un.org/en/development/desa/news/population/worldurbanization-prospects-2014.html>).

Για την προστασία του πληθυσμού διαμορφώθηκε ένα παγκόσμιο κλίμα ευαισθητοποίησης σε περιβαλλοντικά θέματα που οδήγησε στην θεσμοθέτηση και λήψη μέτρων για την προστασία της περιβαλλοντικής ισορροπίας.

## 2.3. Το Ευρωπαϊκό πλαίσιο διαχείρισης

### 2.3.1 Ευρωπαϊκή πολιτική

Η προστασία του περιβάλλοντος θεωρείται ένας από τους κυρίους στόχους της ευρωπαϊκής πολιτικής. Το 1986, ένα κεφάλαιο αποκλειστικά για το περιβάλλον ενσωματώθηκε στη Συνθήκη όπου αναφερόταν κυρίως στον περιορισμό της ρύπανσης, μέσω της θέσπισης ελάχιστων πρότυπων, ιδιαίτερα σε θέματα διαχείρισης των αποβλήτων και ρύπανσης των υδάτων και του αέρα. Το 1987 η Ενιαία Ευρωπαϊκή νομική βάση έθεσε τρεις στόχους:

- 1) προστασία του περιβάλλοντος,
- 2) προστασία της υγείας του ανθρώπου
- 3) συνετή και ορθολογική χρησιμοποίηση των φυσικών πόρων

Η στρατηγική της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τη διαχείριση των αποβλήτων στον τομέα της επιλογής συστήματος χειρισμού, θέτει τις ιεραρχημένες παρακάτω προτεραιότητες :

- Πρόληψη της παραγωγής αποβλήτων.
- Ελαχιστοποίηση και έλεγχος της μεταφοράς των αποβλήτων.
- Προώθηση διαφορετικών μορφών ανάκτησης, όπως είναι η ανακύκλωση ή η ανάκτηση ενέργειας.
- Ελαχιστοποίηση και βελτιστοποίηση των τελικών καταλοίπων με καύση ή με την δημιουργία Χ.Υ.Τ.Α / Χ.Υ.Τ.Υ (Χώροι Υγειονομικής Ταφής Αποβλήτων / Υπολειμμάτων)
- Αποκατάσταση μολυσμένων περιοχών και Χώρων Ανεξέλεγκτης Διάθεσης Αποβλήτων (Χ.Α.Δ.Α).

Το Νοέμβριο του 1993 υπογράφει η Συνθήκη για την Ευρωπαϊκή Ένωση στο Μάαστριχτ της Ολλανδίας. Η Συνθήκη καθόρισε ότι η ευρωπαϊκή περιβαλλοντική πολιτική, πρέπει να βασίζεται στην αρχή της «πρόληψης» και εισήγαγε τυπικά την έννοια της «βιώσιμης ανάπτυξης», στο δίκαιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Ο ορισμός της δίνεται ως εξής: «Βιώσιμη ανάπτυξη είναι η ανάπτυξη, η οποία ικανοποιεί τις ανάγκες του παρόντος, χωρίς να θέτει σε κίνδυνο την ικανότητα των μελλοντικών γενεών, να ικανοποιήσουν τις δικές τους ανάγκες» (<http://ec.europa.eu/environment/eussd/index.htm>).

Η βιώσιμη ανάπτυξη συνδέεται άμεσα με το περιβάλλον και θέτει ως αναγκαία την σφαιρική εξέταση των δράσεων και ενεργειών του ανθρώπου, που επηρεάζουν το περιβάλλον.

Πολλαπλές πολιτικές και στόχοι όσον αφορά στα απόβλητα έχουν τεθεί σε ευρωπαϊκό επίπεδο και περιλαμβάνουν τις ελάχιστες απαιτήσεις για τη διαχείριση ορισμένων τύπων αποβλήτων. Οι μεγαλύτεροι στόχοι για τα αστικά απόβλητα

είναι στόχοι υγειονομικής ταφής μέσω οδηγίας για την υγειονομική ταφή των βιοαποδομήσιμων αστικών αποβλήτων, στόχοι ανακύκλωσης συσκευασιών με οδηγία για τα απόβλητα τους και στόχο μέσω οδηγίας πλαίσιο για την ανακύκλωση οικιακών και παρόμοιων αποβλήτων (<http://www.eea.europa.eu/soer-2015/countries-comparison/waste>).

Στην συνέχεια παρατίθεται ο Πίνακας 3 με την κατηγοριοποίηση των ΑΣΑ με βάση τον Ευρωπαϊκό Κατάλογο Αποβλήτων, όπου τα δημοτικά απόβλητα ταξινομούνται με τον κωδικό 20.

*Πίνακας 3: Ταξινόμηση Αποβλήτων Με βάση τον Ευρωπαϊκό Κατάλογο Αποβλήτων*

(Πηγή: <http://www.eedsa.gr/Contents.aspx?CatId=94>).

<b>ΚΩΔΙΚΟΣ</b>	<b>ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ</b>
20 01	χωριστά συλλεγόμενα μέρη (εκτός από το σημείο 15 01)
20 01 01	χαρτιά και χαρτόνια
20 01 02	γυαλιά
20 01 08	βιοαποικοδομήσιμα απόβλητα κουζίνας και χώρων διαίτησης
20 01 10	ρούχα
20 01 11	υφάσματα
20 01 17*	φωτογραφικά χημικά
20 01 19*	ζιζανιοκτόνα
20 01 21	σωλήνες φθορισμού και άλλα απόβλητα περιέχοντα υδράργυρο
20 01 22	αεροζόλ
20 01 23	απορριπτόμενος εξοπλισμός που περιέχει χλωροφθοράνθρακες
20 01 31*	κυτταροτοξικές και κυτταροστατικές φαρμακευτικές ουσίες
20 01 32	φάρμακα άλλα από τα αναφερόμενα στο σημείο 20 01 31

20 01 33*	μπαταρίες και συσσωρευτές που περιλαμβάνονται στα σημεία 16 06 01, 16 06 02 ή 16 06 03 και μεικτές μπαταρίες και συσσωρευτές που περιέχουν τις εν λόγω μπαταρίες
20 01 34	μπαταρίες και συσσωρευτές άλλα από τα αναφερόμενα στο σημείο 20 01 33
20 01 35*	απορριπτόμενος ηλεκτρικός και ηλεκτρονικός εξοπλισμός άλλος από τον αναφερόμενο στα σημεία 20 01 21 και 20 01 23 που περιέχει επικίνδυνα συστατικά στοιχεία
20 01 36	απορριπτόμενος ηλεκτρικός και ηλεκτρονικός εξοπλισμός άλλος από τον αναφερόμενο στα σημεία 20 01 21, 20 01 23 και 20 01 35
20 01 37*	ξύλο που περιέχει επικίνδυνες ουσίες
20 01 38	ξύλο εκτός εκείνων που περιλαμβάνονται στο σημείο 20 01 37
20 01 39	πλαστικά
20 01 40	μέταλλα
20 01 41	απόβλητα από τον καθαρισμό καμινάδων
20 01 99	άλλα μέρη μη προδιαγραφόμενα άλλως
20 02	απόβλητα κήπων και πάρκων (περιλαμβάνονται απόβλητα νεκροταφείων)
20 02 01	βιοαποικοδομήσιμα απόβλητα
20 02 02	χώματα και πέτρες
20 02 03	άλλα μη βιοαποικοδομήσιμα απόβλητα
20 03	άλλα δημοτικά απόβλητα
20 03 01	ανάμεικτα δημοτικά απόβλητα
20 03 02	απόβλητα από αγορές
20 03 03	υπολείμματα από τον καθαρισμό δρόμων
20 03 04	λάσπη σηπτικής δεξαμενής

20 03 06	απόβλητα από τον καθαρισμό λυμάτων
20 03 07	ογκώδη απόβλητα
20 03 99	δημοτικά απόβλητα με προδιαγραφόμενα άλλως

Συνολικά η παραγωγή αστικών αποβλήτων στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης μειώθηκε κατά 1% σε απόλυτους όρους και κατά 4% κατά κεφαλήν από το 2004 έως το 2012. Ωστόσο, δεν υπήρξε ομοιόμορφη τάση σε όλες τις χώρες, με την αύξηση των δημοτικών αποβλήτων ανά κάτοικο σε 15 - και σε μείωση 20 - από τις 36 χώρες για τις οποίες υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία. Στην Ελλάδα τα κιλά ανά κάτοικο αυξήθηκαν από 432 το 2004 σε 503 το 2012.

Το 2012, η παραγωγή αστικών αποβλήτων ανά κάτοικο ήταν υψηλότερη στην Ελβετία (694 κιλά/κεφαλή), την Δανία (668 κιλά/κεφαλή) και την Κύπρο (663 κιλά/κεφαλή), και το χαμηλότερο στη Ρουμανία (271 κιλά/κεφαλή) και την Αλβανία (262 κιλά/κεφαλή). Αυτό αντικατοπτρίζει τις διαφορές στα δεδομένα, οικονομικού πλούτου μεταξύ των χωρών (πλουσιότερες χώρες συνήθως έχουν μεγαλύτερη παραγωγή δημοτικών αποβλήτων ανά κάτοικο), και η πρόσφατη οικονομική ύφεση. Η οδηγία πλαίσιο για τα απόβλητα θέτει ως στόχο το 50% των αστικών αποβλήτων (με μεγαλύτερη ακρίβεια ο στόχος ισχύει και για συγκεκριμένους τύπους οικιακά και παρόμοια απόβλητα) να ανακυκλώνονται μέχρι το 2020 σε διάφορες χώρες (εκτός από την Τουρκία και την Ελβετία). Μία από τις επιτυχίες της περιβαλλοντικής πολιτικής στην Ευρώπη είναι μέχρι στιγμής η αύξηση των ποσοστών των δημοτικών ανακύκλωσης απορριμμάτων (που καλύπτουν την ανακύκλωση υλικών, κομποστοποίηση και την πέψη των βιο-αποβλήτων). Οι χώρες κατάφεραν να επιτύχουν αύξηση στο μέσο ποσοστό ανακύκλωσης κατά 7 ποσοστιαίες μονάδες (29% το 2012, έναντι 22% το 2004). Η Ελλάδα ενώ σημείωσε σημαντική αύξηση από 10 μονάδες το 2004 στις 17 μονάδες το 2012 στα ποσοστά ανακύκλωσης, παραμένει σε σημαντικά μικρά επίπεδα σε σύγκριση με τις πρωταθλήτριες σε ανακύκλωση χώρες όπως Γερμανία από 56/2004 σε 64/2012, και Αυστρία από 60/2004 σε 59/2012 (<http://www.eea.europa.eu/soer-2015/countries-comparison/waste>).

### 2.3.2 Βέλτιστες πρακτικές

Το πρόβλημα της ανακύκλωσης οδήγησε τους αρμόδιους φορείς σε πολλές πόλεις παγκοσμίως στη μελέτη και ανάπτυξη νέων πρακτικών σχετικά με την διαχείριση αστικών αποβλήτων.

Από το 2003 υλοποιείται και λειτουργεί καθημερινά στη Ζυρίχη το σύστημα των Cargotram. Ο εμπνευστής του ήταν ο κ Neuhold, Διευθύνων Σύμβουλος της "Entsorgung und Recycling Zürich" (ERZ). Πρόκειται για τον δημοτικό-δημόσιο φορέα που είναι αρμόδιος της εταιρείας για τη διάθεση των αποβλήτων και ανακύκλωσης της Ζυρίχης.

Η λογική των Cargotram είναι η τοποθέτηση κλειστών κάδων μεγάλου μεγέθους (containers) κοντά σε στάσεις του τραμ, προκειμένου οι πολίτες να καταφθάσουν σε αυτά για την ανακύκλωση ογκωδών αντικειμένων και ηλεκτρικών-ηλεκτρονικών συσκευών κάνοντας χρήση των Μέσων Μαζικής Μεταφοράς (MMM). Τα Cargotram αποτελούν ουσιαστικά μέρος των σταθμών τραμ και κάθε τέσσερις εβδομάδες οι κάδοι ανακύκλωσης μεταφέρονται στα εργοστάσια διαλογής μέσω φορτάμαξας.

Οι χώροι είναι προσβάσιμοι από πεζούς, ποδηλατιστές και επιβάτες Μέσων Μαζικής Μεταφοράς καθημερινά 15:00-19:00. Δεν είναι δυνατή η πρόσβασή τους από ΙΧ οχήματα. Το σημείο για την ανακύκλωση για τους πολίτες που επιθυμούν να κάνουν χρήση των ΙΧ οχημάτων τους για την μεταφορά τους, βρίσκεται μακριά, έξω από την πόλη, με σκοπό την ενθάρρυνση των πολιτών για χρήση φιλικών προς το περιβάλλον μετακινήσεων.

Το έργο γίνεται σε συνεργασία της δημοτικής εταιρείας αποβλήτων και ανακύκλωσης και της δημόσιας υπηρεσίας μεταφορών της Ζυρίχης (Abel-Karrer, 2005).

Ένα άλλο παράδειγμα βέλτιστης πρακτικής βρίσκεται στην Λιέγη και πρόκειται για το Εργοστάσιο Καύσης και Επεξεργασίας Αποβλήτων που εξυπηρετεί 72 δήμους. Τα οικιακά απόβλητα που συλλέγονται από περίπου 28 δήμους, που βρίσκονται στην νότιο τμήμα της Λιέγης, από τον κεντρικό σταθμό μεταφοράς Ivoz- Ramet (περίπου 20 χιλιόμετρα στο νότιο τμήμα της Λιέγης), μεταφέρονται με φορτηγίδες στο Meuse όπου βρίσκεται και το εργοστάσιο Καύσης και Επεξεργασίας Αποβλήτων που διαχειρίζεται η Ένωση Δήμων. Φορτηγά από τους δήμους παραδίδουν τα συλλεγόμενα απόβλητα στο σταθμό, Ivoz- Ramet σε μια σκεπαστή προβλήτα, από την οποία κάθε δύο ημέρες μία φορτηγίδα με απόβλητα μεταφέρεται στο Meuse, το οποίο συνδέεται άμεσα με το εργοστάσιο Καύσης. Ένα παρόμοιο έργο πρόκειται να υλοποιηθεί και στις Βρυξέλλες.

Τα κύρια συμπεράσματα του εν λόγω σχεδίου είναι πολύ θετικά. Οι εσωτερικές πλωτές μεταφορές, συμβάλλουν στη βελτίωση της ποιότητας της ζωής στις αστικές περιοχές με τη μείωση του αριθμού των διελεύσεων των απορριμματοφόρων φορτηγών/οχημάτων από το κέντρο της πόλης της Λιέγης, κατά την μεταφορά τους από και προς το εργοστάσιο Καύσης και Επεξεργασίας Αποβλήτων. Με αυτόν τον τρόπο χρήσης των πλωτών μεταφορών, μειώθηκαν τα Απορριμματοφόρα Φορτηγά Οχήματα που διέρχονταν το κέντρο της πόλης, κατά σαράντα (40) ημερησίως. Κατά τις εσωτερικές πλωτές μεταφορές υπολογίστηκε

πως εκπέμπονται 2,6 φορές λιγότεροι αέριοι ρύποι από ότι στις οδικές μεταφορές ανά μεταφερόμενο τόνο (Abel-Karrer, 2005).

## 2.4. Το Ελληνικό πλαίσιο διαχείρισης

Η Διαχείριση των Στερεών Αστικών Αποβλήτων αποτελεί ένα δυσεπίλυτο και πολυσύνθετο πρόβλημα το οποίο. Το ελληνικό πλαίσιο διαχείρισης αποβλήτων διαμορφώνεται σύμφωνα με τις επικαιροποιημένες αρχές της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Σύμφωνα με αυτές αρχές: ένα ολοκληρωμένο σύστημα διαχείρισης αστικών αποβλήτων, περιλαμβάνει την εφαρμογή προγραμμάτων για τη βελτιστοποίηση του συστήματος συλλογής, τον περιορισμό της παραγωγής αποβλήτων, την διαλογή στην πηγή, την ανακύκλωση των διαχωρισθέντων υλικών, την εφαρμογή συστημάτων μεταφόρτωσης για την αύξηση της οικονομικής αποδοτικότητας του συστήματος, τη χρήση μεθόδων επεξεργασίας με στόχο την ενεργειακή αξιοποίηση ή την επαναχρησιμοποίηση των υλικών και τη διάθεση του τελικού υπολείμματος σε σύγχρονους χώρους υγειονομικής ταφής υπολειμμάτων (ΧΥΤΥ) (<http://www.eedsa.gr/Contents.aspx?CatId=96>).

Οι Ελληνικοί φορείς τα τελευταία χρόνια προσπαθούν να βελτιώσουν την ικανότητα των συστημάτων διαχείρισης αστικών αποβλήτων, μέσα από την θέσπιση νόμων αλλά και την σταδιακή διαμόρφωση συμπεριφορών και εξοικείωσης των πολιτών στα θέματα ανακύκλωσης.

### 2.4.1. Η Διαχείριση Στερεών Απόβλητων στην Ελλάδα.

Η πρώτη νομοθετική ρύθμιση σχετικά με την διαχείριση αποβλήτων συναντάται σε Φύλλο Εφημερίδας της Κυβερνήσεως το 1964 (ΦΕΚ 63/Β/14-2-64).

Παρατίθενται παρακάτω οι ακριβείς αρχικοί ορισμοί σύμφωνα με την Υπουργική Απόφαση του 1964

*«...1. Ο όρος «Απορρίμματα» περιλαμβάνει άπαντα τα καθ' οιονδήποτε τρόπον απορριπτόμενα στερεά υλικά ή ημίρρευστα τοιαύτα, έχοντα μάλλον στερεάν σύστασιν, ώστε να μη δύνανται να ρεύσουν ευχερώς άνευ προσθήκης ύδατος ή ετέρου υγρού.*

*2. Ως «Οικιακά απορρίμματα» θεωρούνται τα εκ των κατοικιών συνήθη προϊόντα οικιακής καθαριότητας, τα υπολείμματα τροφών, τα υλικά εκ συσκευασίας τροφών και κατ' επέκτασιν τα απορρίμματα ετέρας προελεύσεως τα έχοντα παρόμοια εν γένει προς τ' ανωτέρω χαρακτηριστικά.*

3. Δια του όρου «Χώρος» νοείται οιασδήποτε κλειστός ή ανοικτός χώρος ως οικοδομαί εν γένει, αυλαί, οικόπεδα, οδοί, πλατείες, άλση, τόποι συγκεντρώσεως ή αναψυχής του κοινού, κ.λπ. ...»

4. Η «Συλλογή απορριμμάτων» περιλαμβάνει απάσας τας εργασίας τας αφορώσας εις την τήρησιν καθαριότητος, την προσωρινήν διαφύλαξιν αυτών και την προσκόμισίν των προς αποκομιδήν.

5. Η «Αποκομιδή απορριμμάτων» περιλαμβάνει απάσας τας εργασίας τας αφορώσας εις την περισυλλογήν των απορριμμάτων εκ των καθοριζομένων προς τούτο θέσεων προσκομίσεως, την μεταφοράν και την εναπόθεσιν αυτών εις τους τόπους διαθέσεως.

6. Η «Διάθεσις απορριμμάτων» περιλαμβάνει απάσας τας εργασίας δια την δημόσιαν υγείαν. Ενδεχομένως δύναται αύτη να αποβλέπη και εις την αξιοποίησίν των (ΦΕΚ 63/Β/14-2-64).

Με την εξέλιξη όμως της νομοθεσίας προέκυψαν νέοι ορισμοί και έννοιες που ουσιαστικά οι όροι περιγράφουν ένα σύστημα ποιότητας στον τομέα αυτό.

Σήμερα οι ορισμοί αυτοί έχουν εμπλουτιστεί σύμφωνα με το ΦΕΚ 1909/2003 και περιλαμβάνουν την Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων (ΦΕΚ 1909/Β/22-12-2003)<sup>1</sup>.

Η Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων περιλαμβάνει:

- την προσωρινή αποθήκευση αποβλήτων κατά την οποία τα απόβλητα τοποθετούνται σε ορισμένο και κατάλληλο χώρο (κάδους) μέχρι να συλλεχθούν
- τη συλλογή τους, η οποία περιλαμβάνει τη συγκέντρωση, το διαχωρισμό σε κατηγορίες υλικών σύμφωνα με τις φυσικές και χημικές ιδιότητες τους, και την ανάμειξη των αποβλήτων για τη μεταφορά τους.
- τη μεταφορά τους, η οποία περιλαμβάνει το σύνολο των εργασιών μετακίνησης των αποβλήτων, από τα μέσα συλλογής στους χώρους διάθεσης, αξιοποίησης ή μεταφόρτωσης.
- την κατά περίπτωση μεταφόρτωσή τους η οποία αφορά τις εργασίες μετακίνησης των αποβλήτων, από τα μέσα συλλογής, σε άλλα μέσα μεταφοράς.
- την επεξεργασία τους με την ανακύκλωσή τους ή και την ανάκτηση ενέργειας από αυτά

---

<sup>1</sup> [http://www.et.gr/idocs-nph/search/pdfViewerForm.html?args=5C7QrtC22wFalhF2BrTT7HdtvSoClrL88Y71z4OJk5dp6k5uE6xNduJInJ48\\_97uHrMts-zFzeyCiBSOOpYnTy36MacmUFCx2ppFvBej56Mmc8Odb8ZfRjQZnsIAdk8Lv\\_e6czmhEembNmZCMxLMtWNkJdIfSXnRS\\_Bnxd8BuSriYFB8PK2wrpmEcukcInO9](http://www.et.gr/idocs-nph/search/pdfViewerForm.html?args=5C7QrtC22wFalhF2BrTT7HdtvSoClrL88Y71z4OJk5dp6k5uE6xNduJInJ48_97uHrMts-zFzeyCiBSOOpYnTy36MacmUFCx2ppFvBej56Mmc8Odb8ZfRjQZnsIAdk8Lv_e6czmhEembNmZCMxLMtWNkJdIfSXnRS_Bnxd8BuSriYFB8PK2wrpmEcukcInO9)



- την τελική διάθεση τους σε Χ.Υ.Τ.Α ή Χ.Υ.Τ.Υ (Χώροι Υγειονομικής Ταφής Αποβλήτων / Υπολειμμάτων)

Το Ελληνικό θεσμικό πλαίσιο, σε εφαρμογή των βασικών αρχών διαχείρισης των αστικών στερεών αποβλήτων (ελαχιστοποίηση, ανακύκλωση και ανάκτηση φυσικών πόρων από τα απόβλητα), θεσπίζει μέτρα και θέτει συγκεκριμένους στόχους για την ανακύκλωση και την ανάκτηση των αποβλήτων συσκευασίας και άλλων προϊόντων στη χώρα.

Ήδη από το 1996 έχουν διαμορφωθεί οι βασικές αρχές της εθνικής πολιτικής και στρατηγικής ως προς τη διαχείριση των Αστικών στερεών αποβλήτων, συμπεριλαμβανομένων και ποσοτικών διαχρονικών στόχων για ανάκτηση υλικών (Παναγιωτακόπουλος 2002).

Το 2012 ψηφίζεται το νομικό πλαίσιο και σηματοδοτείται με τη θέση σε ισχύ του Νόμου 4042/2012 που ενσωματώνει την οδηγία-πλαίσιο για τα απόβλητα 2008/98/ΕΚ. Ο νόμος ενοποιεί και εκσυγχρονίζει τη νομοθεσία διαχείρισης όλων των ρευμάτων αποβλήτων, αποσαφηνίζοντας κάποιες σημαντικές έννοιες και διατάξεις, όπως τον ορισμό και τον αποχαρακτηρισμό του αποβλήτου, δίνει μεγαλύτερη έμφαση στην αρχή «ο ρυπαίνων πληρώνει» και στη «διευρυμένη ευθύνη του παραγωγού» και θέτει σαφέστερες απαιτήσεις για όλον τον κύκλο διαχείρισης των αποβλήτων, αποσκοπώντας στην ενθάρρυνση της πρόληψης παραγωγής και της προετοιμασίας για επαναχρησιμοποίηση των αποβλήτων, στη σημαντική ώθηση της ανακύκλωσης και εν γένει της ανάκτησης των αποβλήτων, στη λογική της προώθησης της κυκλικής οικονομίας και της αποδοτικότερης διαχείρισης των πόρων δίνοντας έμφαση στην συνειδητοποίηση του «δεν απορρίπτουμε, ανακυκλώνουμε». Μέσα στο ευρύτερο πλαίσιο πολιτικής και δράσεων του ΥΠΕΚΑ ανήκει και η αντιμετώπιση διαχρονικών προβλημάτων στη διαχείριση αποβλήτων, με αιχμή την ολοκλήρωση του προγράμματος εξάλειψης της ανεξέλεγκτης διάθεσης αστικών αποβλήτων σε ΧΑΔΑ και την αντιμετώπιση προβληματικής λειτουργίας εγκαταστάσεων διαχείρισης αποβλήτων, πρακτικές που αφενός οδηγούν σε υποθέσεις καταγγελίας ενώπιον του ΔΕΕ αφετέρου, και κυρίως, στερούν από την ανάπτυξη της χώρας φυσικούς και οικονομικούς πόρους. Για την εφαρμογή της Οδηγίας 2008/98/ΕΚ και του Νόμου 4042/2012, ο προγραμματισμός του ΥΠΕΚΑ προβλέπει:

- Κατάρτιση του Εθνικού Στρατηγικού Προγράμματος Πρόληψης Παραγωγής Αποβλήτων
- Αναθεώρηση του Εθνικού Σχεδίου Διαχείρισης Αποβλήτων, που λειτουργεί ως στρατηγικός σχεδιασμός για το σύνολο των ρευμάτων αποβλήτων και κατάρτιση Ειδικών Εθνικών Σχεδίων Διαχείρισης Αποβλήτων για ειδικά ρεύματα σε εθνική κλίμακα.

- Προσαρμογή των Περιφερειακών Σχεδίων Διαχείρισης Αποβλήτων στη στοχοθεσία και κατευθύνσεις της οδηγίας 2008/98/ΕΚ, του ν.4042/2012 και του αναθεωρημένου εθνικού σχεδιασμού. Τα αναθεωρημένα Περιφερειακά Σχέδια περιλαμβάνουν την εκτίμηση των αναγκών για νέα προγράμματα συλλογής, ολοκληρωμένη κοστολόγηση των υπηρεσιών διαχείρισης αποβλήτων, σχεδιασμό πρόσθετων υποδομών και προγραμμάτων διαχείρισης αποβλήτων, καθώς και τις σχετικώς απαιτούμενες επενδύσεις (ΦΕΚ 24/Α/13-2-2012)<sup>2</sup>.

### 2.4.2. Ρόλοι φορέων

Τόσο από το Σύνταγμα της Ελλάδας (άρθρα 101,102) όσο και από το Πρόγραμμα «Καλλικράτης», γίνεται κατανοητός ο διαχωρισμός στις σχέσεις μεταξύ Περιφέρειας και Οργανισμών Τοπικής Αυτοδιοίκησης. Η Περιφερειακή Αυτοδιοίκηση, έχει ως προορισμό την οικονομική, κοινωνική και πολιτιστική ανάπτυξη της περιφέρειας της, δηλαδή του Νομού. Οι Περιφερειακές Αυτοδιοικήσεις δεν ασκούν εποπτεία στους Οργανισμούς Τοπικής Αυτοδιοίκησης και δεν θίγουν τις αρμοδιότητές τους. Μεταξύ των δυο βαθμίδων αυτοδιοίκησης δεν υφίσταται ιεραρχική σχέση (ΦΕΚ 87/Α/7-6/2010).

Στις αρμοδιότητες της Περιφερειακή Αυτοδιοίκησης περιλαμβάνονται:

- ο σχεδιασμός της διαχείρισης στερεών αποβλήτων,
- η αδειοδότηση των εγκαταστάσεων και δραστηριοτήτων,
- ο έλεγχος της λειτουργίας τους

Η Τοπική Αυτοδιοίκηση είναι εκείνη που έχει την ευθύνη της υλοποίησης των διαχειριστικών σχεδίων της Περιφέρειας τους, εφαρμόζοντας τα ενδεικνυόμενα συστήματα ([www.eedsa.gr](http://www.eedsa.gr)).

Οι Οργανισμοί Τοπικής Αυτοδιοίκησης έχουν υποχρέωση να δραστηριοποιηθούν στη διαχείριση των αποβλήτων τους, υιοθετώντας ευέλικτες και αποτελεσματικές λύσεις. Βασική αρμοδιότητα και υποχρέωση της Τοπικής Αυτοδιοίκησης είναι η διαχείριση των αστικών στερεών αποβλήτων, με δραστηριότητες όπως:

- η συλλογή,
- η μεταφορά,
- η μεταφόρτωση,
- η προσωρινή αποθήκευση των απόβλητων

---

<sup>2</sup> [www.ypeka.gr](http://www.ypeka.gr)

- η αξιοποίηση και η διάθεση των αποβλήτων.

Συμπερασματικά, οι Οργανισμοί Τοπικής Αυτοδιοίκησης, μεμονωμένα ή με την μορφή Φορέων Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων (ΦΟ.Δ.Σ.Α) :

- Εκπονούν διαχειριστικά σχέδια.
- Υλοποιούν έργα διαχείρισης στερεών αποβλήτων
- Λειτουργούν εγκαταστάσεις.
- Υλοποιούν έργα αποκατάστασης και μετέπειτα φροντίδας των ΧΥΤΑ.
- Διαμορφώνουν και τηρούν οργανογράμματα.
- Εφαρμόζουν τιμολογιακή πολιτική.
- Συνυπάρχουν με άλλους διαχειριστές στερεών αποβλήτων ([www.eedsa.gr](http://www.eedsa.gr)).

### 2.4.3. Μελέτες διαχείρισης αποβλήτων στην Ελλάδα

Βασικά σημεία μιας μελέτης διαχείρισης αποβλήτων, σε οποιοδήποτε γεωγραφικό ή διοικητικό επίπεδο είναι:

- 1) Η εξέταση εναλλακτικών σχεδίων διαχείρισης και η τεκμηρίωση των όποιων επιλογών γίνουν σε όλα τα επίπεδα (συλλογή οικιακών αποβλήτων και ανακυκλώσιμων, μεταφορά, μεταφόρτωση, προσωρινή αποθήκευση, αξιοποίηση- ανακύκλωση, τελική διάθεση των στερεών αποβλήτων).
- 2) Ο καθορισμός των απαιτούμενων εγκαταστάσεων και εξοπλισμού
- 3) Ο εντοπισμός χώρων, όπου θα χωροθετηθούν τυχόν πρόσθετες εγκαταστάσεις
- 4) Ο καθορισμός στόχων σχετικών με τη διαχείριση των αποβλήτων (για τη μείωση, την ανακύκλωση των στερεών αποβλήτων κλπ)

Μια σωστή και πλήρης μελέτη διαχείρισης αποβλήτων πρέπει να λάβει υπόψη της και την κοινωνική διάσταση της διαχείρισης και να προτείνει ένα ευέλικτο σύστημα, που να συγκεντρώνει την κοινωνική συναίνεση. Στο σχεδιασμό της διαχείρισης αποβλήτων, λαμβάνονται υπόψη οι ποσότητες και η σύσταση των αποβλήτων, η κατανομή του πληθυσμού, η υφιστάμενη οργάνωση αποκομιδής, η διάθεση των αποβλήτων, το οδικό κιλά/κεφαλή δίκτυο κιλά/κεφαλή, και οι τυχόν προηγούμενες σχετικές μελέτες (Παναγιωτακόπουλος, 2002).

Σημαντικό ρόλο στη συγκρότηση του διαχειριστικού σχεδίου αποβλήτων παίζουν η διοικητική διαίρεση του νομού/περιφέρειας και οι κοινωνικοοικονομικές τάσεις ανάπτυξης. Το επόμενο στάδιο του σχεδιασμού είναι η διαμόρφωση εναλλακτικών σεναρίων ομαδοποίησης των Οργανισμών Τοπικής Αυτοδιοίκησης

προκειμένου να βελτιστοποιηθεί, από απόψεως μεταφοράς, η διαχείριση των στερεών αποβλήτων. Ο παραπάνω σχεδιασμός καλύπτει το σύνολο του Νομού/Περιφέρειας και προσδιορίζει τις ομάδες των Οργανισμών Τοπικής Αυτοδιοίκησης που μπορούν να εφαρμόσουν σύστημα ενιαίας διαχείρισης των αποβλήτων (Παναγιωτακόπουλος 2002).

Στη συνέχεια γίνεται η επιλογή μεθόδου, η οποία πλέον αφορά, τις ενότητες που έχουν προκύψει (εάν αποδειχθεί πιο συμφέρουσα η ενιαία διαχείριση σε επίπεδο Νομού/Περιφέρειας, τότε η επιλογή μεθόδου γίνεται σαν να αποτελεί ο Νομός μία ενιαία διαχειριστική ενότητα). Ακολουθεί η επιλογή του χώρου ή των χώρων επεξεργασίας και διάθεσης και η διαμόρφωση εναλλακτικών σεναρίων χωροθέτησης και αποκομιδής βάσει κριτηρίων, τα οποία είναι τα εξής:

- Γεωλογικά
- Χωροταξικά - πολεοδομικά
- Περιβαλλοντικά
- Τεχνικά
- Οικονομικά

Ο σχεδιασμός στην Ελλάδα ξεκίνησε από το Νομαρχιακό επίπεδο. Κατά τη διάρκεια της εφαρμογής του κρίθηκε, όμως, αναποτελεσματικός και προωθήθηκε η προσαρμογή του σε Περιφερειακό επίπεδο. Οι Περιφερειακοί σχεδιασμοί που προέκυψαν αντλούν τις καταβολές τους από τους Νομαρχιακούς ([www.ypeka.gr](http://www.ypeka.gr)).

Για την επίσπευση και επίλυση προβλημάτων που παρουσιάζουν οι Οργανισμοί Τοπικής Αυτοδιοίκησης για την εναρμόνιση με την νομοθεσία που αφορά στη Διαχείριση Αστικών Απόβλητων δημιουργήθηκαν οι Συμπράξεις Δημοσίου – Ιδιωτικού Τομέα (ΣΔΙΤ), οι οποίες είναι συμβάσεις, κατά κανόνα μακροχρόνιες, που συνάπτονται μεταξύ ενός δημόσιου και ενός ιδιωτικού φορέα, με σκοπό την εκτέλεση έργων ή/και την παροχή υπηρεσιών. Ήδη έχουν προκηρυχθεί διαγωνισμοί για ΣΔΙΤ προκειμένου οι ανάδοχοι να υλοποιήσουν έργα που σχετίζονται με την ΔΣΑ όπως τη μελέτη, χρηματοδότηση κατασκευή, συντήρηση και λειτουργία μονάδων ολοκληρωμένης διαχείρισης απορριμμάτων. Οι συμβάσεις είναι μακροχρόνιες και χρηματοδοτούνται από δημόσια χρηματοδοτικά προγράμματα. Ενδεικτικά αναφέρεται η ολοκληρωμένη διαδικασία διαγωνισμού του Δ. Κερκύρας, όπου οι επιλεγέντες ανάδοχοι θα αναλάβουν τη μελέτη, χρηματοδότηση κατασκευή, συντήρηση και λειτουργία της μονάδας ολοκληρωμένης διαχείρισης απορριμμάτων της Κέρκυρας, για διάστημα 27 ετών. Το έργο θα διαχειρίζεται περίπου 87 χιλ. τόνους απορριμμάτων ετησίως ([www.sdit.mnec.gr](http://www.sdit.mnec.gr)).

### **3. ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΣΤΕΡΕΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΣΤΟΝ ΔΗΜΟ ΠΕΡΙΣΤΕΡΙΟΥ-ΠΟΣΟΤΙΚΑ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΚΟΣΤΟΥΣ**

#### **3.1. Γενικά**

Στο προηγούμενο κεφάλαιο αναπτύχθηκε το πρόβλημα που έχει διαμορφωθεί με την πάροδο των ετών, από την αύξηση παραγωγής αποβλήτων σε αστικές περιοχές. Αναπτύχθηκαν επίσης τα πλαίσια Διαχείρισης Αποβλήτων σε Ευρωπαϊκή Ένωση και Ελλάδα, τα στάδια διαμόρφωσης τους καθώς και βέλτιστες πρακτικές συστημάτων διαχείρισης αποβλήτων που προέκυψαν από την εφαρμογή καινοτομιών. Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται προσπάθεια να αναπτυχθεί το σύστημα Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων του Δήμου Περιστερίου και να καταγραφούν ποσοτικά και οικονομικά στοιχεία που αφορούν στην διαχείριση αποβλήτων. Τα στοιχεία αυτά αποτελούν συνήθεις παραμέτρους κοστολόγησης σε εφαρμογές βελτιστοποιήσεων διαδρομών συστημάτων Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων. Σκοπός του κεφαλαίου αυτού είναι η εξοικείωση του αναγνώστη με βασικές παραμέτρους κόστους διαχείρισης ΑΣΑ, στις οποίες αναφέρονται η επιστημονική βιβλιογραφία και τα εφαρμοσμένα συστήματα συλλογής αστικών αποβλήτων που αναπτύσσονται σε επόμενα κεφάλαια. Στο κεφάλαιο 7 θα διατυπωθούν προβλήματα βελτιστοποίησης που για την εφαρμογή τους απαιτείται ο υπολογισμός παραμέτρων κόστους κάποιες από τις οποίες προσδιορίζονται μέσω στοιχείων του παρόντος κεφαλαίου όπως πληθυσμιακά στοιχεία, στοιχεία χωρητικότητας κάδων και οχημάτων, στοιχεία για τα παραγόμενα απόβλητα, στοιχεία κόστους κτλ.

#### **3.2. Ο Δήμος Περιστερίου**

Το Περιστέρι είναι ο 4ος Δήμος της χώρας και ο μητροπολιτικός Δήμος της Δυτικής Αθήνας. Συνορεύει με τους Δήμους Ιλίου (βόρεια), Αθηναίων (ανατολικά), Αιγάλεω (νότια), Χαϊδαρίου (δυτικά) και Πετρούπολης (βορειοδυτικά).

Η επίσημη απογραφή της Στατιστικής Υπηρεσίας το 2011 εκτιμά τον πληθυσμό σε 139.981 δημότες.

Πίνακας 4: Μόνιμος πληθυσμός στις 10 μεγαλύτερες πόλεις της Ελλάδας

(Πηγή: [www.statistics.gr](http://www.statistics.gr)).

ΔΗΜΟΣ	ΣΥΝΟΛΟ
ΑΘΗΝΑΙΩΝ	664.046
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ	325.182
ΠΑΤΡΕΩΝ	213.984
ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	173.993
ΠΕΙΡΑΙΩΣ	163.688
ΛΑΡΙΣΑΙΩΝ	162.591
ΒΟΛΟΥ	144.449
ΠΕΡΙΣΤΕΡΙΟΥ	139.981
ΡΟΔΟΥ	115.490
ΙΩΑΝΝΙΤΩΝ	112.486

Διαθέτει συνολική έκταση 1.100 Ha από τα οποία η νομοθετημένη έκταση καλύπτει τα 977 Ha. Η έκταση αυτή παρουσιάζει εικόνα αδιάκοπης πυκνοδόμησης με μόνη εξαίρεση το σημερινό Δημοτικό άλσος (κοντά στο Εκθεσιακό Κέντρο) έκτασης 8,5 Ha.

Με την αναθεώρηση του Γενικού Πολεοδομικού Σχεδίου, προβλέπεται η επέκταση των ορίων του Δήμου κατά 2.000 στρέμματα, η χωροθέτηση δημοτικών διαμερισμάτων, η επέκταση προστασίας Ποικίλου Όρους, η καθιέρωση τουριστικής και εμπορικής ζώνης (<http://peristeri.gr/index.php/leftmenu-81/leftmenu-83>).

### 3.3. Σύστημα Καθαριότητας Δήμου Περιστερίου

Ο Δήμος Περιστερίου για την Διαχείριση των οικιακών αποβλήτων, έχει οργανώσει το Σύστημα Καθαριότητας κατά τέτοιο τρόπο, ώστε ολόκληρη η έκταση του, να είναι χωρισμένη σε 4 μεγάλες περιφέρειες. Κάθε μία από αυτές είναι χωρισμένη σε 5 μικρότερες υποπεριφέρειες με παραπλήσια μεταξύ τους έκταση. Όμως πρέπει να σημειωθεί, ότι οι 20 υποπεριφέρειες δεν είναι εδαφικά ισοδύναμες, δηλαδή δεν έχουν ίση έκταση μεταξύ τους.

Η ανομοιομορφία αυτή οφείλεται στο γεγονός ότι, τα διάφορα τμήματα της πόλης δεν έχουν ίδια κατανομή και πυκνότητα πληθυσμού. Αυτό έχει ως συνέπεια, να υπάρχει διαφορετικός όγκος αποβλήτων (τόσο οικιακών όσο και ανακύκλωσης) σε καθημερινή βάση.

Πρέπει να αναφερθεί ότι στο γεωγραφικό κέντρο βρίσκεται το Δημαρχείο, μία εκ των τριών στάσεων ΜΕΤΡΟ που υπάρχουν στον Δήμο Περιστερίου, τις δύο μεγαλύτερες πλατείες του Δήμου, οι οποίες είναι η πλατεία Δημοκρατίας και η πλατεία 28<sup>ης</sup> Οκτωβρίου (γνωστή ως Πλατεία Μπουρναζίου). Επίσης στο κέντρο υπάρχει και η πεζοδρομημένη οδός Εθν. Αντιστάσεως που φιλοξενεί το μεγαλύτερο μέρος των εμπορικών καταστημάτων. Η περιοχή αυτή, γύρω από τις προαναφερθείσες πλατείες αποτελεί και το Εμπορικό Κέντρο του Περιστερίου, και την πολυπληθέστερη περιοχή της πόλης. Υπάρχει σαφής διαφορά στην πυκνότητα του πληθυσμού, ανάμεσα στο προηγούμενο τμήμα και στα υπόλοιπα τμήματα του Δήμου, αφού σε αυτήν την έκταση υπάρχουν σχεδόν αποκλειστικά πολυώροφα κτίρια και ελάχιστες μονοκατοικίες. Αντίθετα στα άλλα τμήματα υπάρχει μικρότερο ποσοστό πολυκατοικιών και ταυτόχρονα υψηλότερο ποσοστό μονοκατοικιών ή κτισμάτων με δύο ή τρεις ορόφους (οικογενειακές πολυκατοικίες). Οι παραπάνω πληθυσμιακές διαφορές έχουν ως αντίκτυπο την οριοθέτηση των περιφερειών σε ό,τι αφορά το Σύστημα Καθαριότητας, σε άνισες εκτάσεις, ώστε να είναι δυνατή η εξυπηρέτηση του συνόλου των πολιτών.

Τα δρομολόγια για τα οικιακά απόβλητα εκτελούνται καθημερινά σε συγκεκριμένες ώρες, που έχουν θεσπιστεί από την διοίκηση του σταθμού των οχημάτων, σε συνεργασία με το διοικητικό προσωπικό του Τομέα Καθαριότητας του Δήμου. Χρησιμοποιούνται 20 απορριμματοφόρα (Α/Φ) οχήματα τύπου πρέσας για την συμπίεση των οικιακών αποβλήτων, ώστε να μειωθεί ο όγκος τους μέσα στο όχημα και έτσι να αποθηκεύονται περισσότερα απόβλητα σε κάθε δρομολόγιο (η πυκνότητα του οικιστικού ιστού των μεγάλων πόλεων επιβάλλει τη χρήση απορριμματοφόρων περιορισμένης χωρητικότητας τυπικά 12 - 16 m<sup>3</sup> με μέσο ωφέλιμο φορτίο της τάξης των 5,5 τόνων). Συνολικά τα Α/Φ εξυπηρετούν 260-280 στάσεις συλλογής αποβλήτων. Το πλήρωμα των οχημάτων απαρτίζεται από 3 μέλη. Έναν οδηγό και δύο καθαριστές. Συνήθως, το κάθε πλήρωμα εργάζεται σε μια συγκεκριμένη περιφέρεια (ανά μια ημέρα σε κάθε υποπεριφέρειά της) και δεν τοποθετείται σε άλλες. Με την στρατηγική αυτή, γίνεται προσπάθεια εκμετάλλευσης της εμπειρίας που αποκτούν οι εργαζόμενοι καθαριστές, όταν εκτελούν συνέχεια το ίδιο δρομολόγιο. Αυτό, θεωρητικά, θα μπορούσε να οδηγήσει σε ταχύτερα, πληρέστερα και αποτελεσματικότερα δρομολόγια. Αξιοσημείωτο όμως είναι, ότι τα δρομολόγια έχουν σχεδιαστεί από την αρμόδια υπηρεσία του Δήμου, έτσι ώστε να μαζεύουν ένα συγκεκριμένο συνολικό βάρος αποβλήτων καθημερινά, το οποίο, έχει προσδιοριστεί κυρίως από την εμπειρία που έχει συγκεντρωθεί, εδώ και ορισμένες δεκαετίες, από την συλλογή των αποβλήτων στο Δήμο. Δεν έχουν γίνει δηλαδή, εμπειριστατωμένες μελέτες, οι

οποιες θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε χρήσιμα συμπεράσματα σε ό,τι αφορά την συχνότητα των δρομολογίων, τη μεγιστοποίηση της πληρότητας (στο βαθμό που είναι εφικτό) του απορριματοφόρου οχήματος, την σωστή χωροθέτηση των κάδων προσωρινής αποθήκευσης και τον σχεδιασμό των δρομολογίων.

Σε ό,τι αφορά την περιγραφή της εφοδιαστικής αλυσίδας αποβλήτων, θα πρέπει να σημειωθεί ότι η διαδικασία εκτέλεσης ενός δρομολογίου συλλογής οικιακών αποβλήτων περιλαμβάνει τα εξής:

1) Τα απορριματοφόρα οχήματα ξεκινούν με τα πληρώματα τους, τις πρώτες πρωινές ώρες, έτσι ώστε να μην εμποδίζονται από τον αυξημένο κυκλοφοριακό φόρτο, που αναπτύσσεται αργότερα, αλλά και να μην εμποδίζουν και καθυστερούν και τα ίδια, την καθημερινή κίνηση των πολιτών.

2) Η εκκίνηση γίνεται από τον Σταθμό των Απορριματοφόρων Οχημάτων και στην συνέχεια κάθε πλήρωμα με το αντίστοιχο όχημα κατευθύνεται προς την περιφέρεια ευθύνης του.

3) Φτάνοντας στην περιοχή ευθύνης του, το πλήρωμα ξεκινά την εκκαθάριση όλων των μικρών και μεγάλων κάδων, μέχρι να ολοκληρώσει όλα τα σημεία προσωρινής αποθήκευσης, που ανήκουν στην υποπεριφέρεια αυτή. Χρησιμοποιούνται οχήματα χωρητικότητας 16m<sup>3</sup>, τα οποία είναι τύπου πρέσας συμπίεσης, για την μείωση του όγκου των συλλεχθέντων αποβλήτων. Τα στοιχεία του Δήμου δείχνουν ότι συνήθως γίνεται συμπίεση της τάξεως 1:3 έως 1:5. Οι κάδοι προσωρινής αποθήκευσης οικιακών αποβλήτων είναι στη συντριπτική τους πλειοψηφία τριών τύπων:

A/ Μεγάλοι κάδοι με χωρητικότητα 1,1m<sup>3</sup>

B/ Μικροί κάδοι με χωρητικότητα 0,24 m<sup>3</sup>.

Γ/ Υπόγειοι κάδοι με χωρητικότητα 3,3 m<sup>3</sup>.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι δεν υπάρχει μια συγκεκριμένη αναλογία μικρών-μεγάλων κάδων. Δεδομένο είναι ότι οι μεγάλοι υπερτερούν σε αριθμό κατά πολύ ενώ υπάρχουν 5 (πέντε) υπόγειοι

4) Μετά τη λήψη των οικιακών αποβλήτων από το τελευταίο σημείο προσωρινής αποθήκευσης, ακολουθεί η μεταφορά τους στον ΧΥΤΑ Λιοσίων.

Το γεγονός αυτό συνεπιφέρει αρκετή χρονική καθυστέρηση, δεδομένου ότι στον ΧΥΤΑ Λιοσίων συσσωρεύονται πολλά απορριματοφόρα οχήματα.

5) Όταν το όχημα φτάσει στον ΧΥΤΑ Λιοσίων, πραγματοποιείται ζύγιση για τον προσδιορισμό του βάρους των μεταφερομένων αποβλήτων. Αξίζει να σημειωθεί ότι ο χρόνος αναμονής στον ΧΥΤΑ Λιοσίων πολλές φορές ξεπερνά τα 2 ώρες. Το γεγονός οφείλεται στην ταυτόχρονη ζήτηση που έχει ο χώρος από δεκάδες απορριματοφόρα οχήματα από πολλούς δήμους της Αττικής.



- 6) Πραγματοποιείται η εκφόρτωση του οχήματος.
- 7) Το πλήρωμα επιστρέφει με το απορριματοφόρο στον Σταθμό των Οχημάτων. Στο σημείο αυτό είναι σκόπιμη η παρουσίαση στον Πίνακα 5 των ποσοτήτων των οικιακών αποβλήτων, που συλλέχθηκαν κατά το έτος 2013. Τα στοιχεία αυτά χορηγήθηκαν από τον Δήμο Περιστερίου (Υπηρεσία Σταθμού Οχημάτων).

Προκειμένου να υπολογίσουμε το ημερήσιο κόστος ενός οχήματος ελήφθησαν παραδοχές που προέκυψαν από εμπειρικά δεδομένα των υπαλλήλων αλλά και της εταιρείας ΚΑΟΥΣΗΣ ΑΕ που αποτελεί έναν από τους κύριους προμηθευτές απορριματοφόρων οχημάτων του Δ. Περιστερίου και των Σημειώσεων στο μάθημα «ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ» του Αριστοτέλειου Πανεπιστήμιου Θεσσαλονίκης. Οι υπολογισμοί αφορούν σε ένα τυχαίο δρομολόγιο 24km που το απορριματοφόρο θα οδηγηθεί στον ΧΥΤΑ Λιοσίων.

### 3.4. Συλλογή στοιχείων

#### 3.4.1. Απορρίμματα του Δήμου Περιστερίου

Κάθε Σύστημα Διαχείρισης, όπως το Σύστημα Καθαρισμού, προκειμένου να μπορεί να αξιολογηθεί σωστά, ώστε να οδηγηθεί σε κατάλληλες τροποποιήσεις βελτίωσης, θα πρέπει να έχει μελετηθεί διεξοδικά με βάση την κοστολόγηση των παραμέτρων εκείνων, οι οποίες επηρεάζουν τη λειτουργία του. Γενικότερη απαίτηση όλων των πολιτών, αποτελεί η ανάπτυξη ενός όσο το δυνατό αποτελεσματικότερου, αλλά και οικονομικότερου Συστήματος Καθαριότητας. Στην ενότητα αυτή, θα αναλυθούν τα στοιχεία που έχουν συλλεχθεί από τον Δήμο Περιστερίου, αλλά και από άλλους φορείς και που άπτονται, τόσο του σταθερού, όσο και του μεταβλητού κόστους του υπάρχοντος συστήματος.

Μελετάται η τυχαία περίπτωση με καταληκτική μετακίνηση ενός απορριματοφόρου στον ΧΥΤΑ Λιοσίων, όπου υπάρχει πάντα μια σημαντική χρονική καθυστέρηση, λόγω του μεγάλου όγκου εργασίας που καλείται να εξυπηρετήσει ο ΧΥΤΑ Λιοσίων. Υπάρχουν πολλές περιοχές που μεταφέρουν τα απόβλητά τους στον συγκεκριμένο ΧΥΤΑ, με άμεσο αποτέλεσμα να παρουσιάζεται, σχεδόν πάντα, συμφόρηση οχημάτων, που αναμένουν να παραδώσουν τα μεταφερόμενα απόβλητα. Η χρονική αυτή καθυστέρηση οδηγεί στη χρέωση υπερωριών τις οποίες καλείται να πληρώσει ο Δήμος.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα στοιχεία συλλογής οικιακών αποβλήτων για το έτος 2013 στον Δήμο Περιστερίου.

*Πίνακας 5: Παραγωγή οικιακών αποβλήτων έτους 2013 στον Δ.Περιστερίου  
(Πηγή: Δ. Περιστερίου).*

<b>Μήνας/ Έτος</b>	<b>Τόνοι/Μήνα</b>
1/2013	3.745,477
2/2013	3.245,370
3/2013	3.927,400
4/2013	4.590,139
5/2013	3.818,786
6/2013	3.896,476
7/2013	3.548,122
8/2013	3.142,612
9/2013	4.048,920
10/2013	4.124,363
11/2013	4.353,621
12/2013	4.845,276

Είναι σαφής η μείωση του βάρους των συλλεχθέντων αποβλήτων, κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, κυρίως τον Αύγουστο, αφού το μήνα αυτό ο αριθμός των κατοίκων μειώνεται αισθητά λόγω διακοπών, καθώς επίσης και κατά το μήνα Φεβρουάριο, αφού αυτός αριθμητικά, έχει λιγότερες ημέρες, σε σχέση με τους άλλους μήνες.

### **3.4.2. Κοστολόγηση συλλογής ΑΣΑ του Δήμου Περιστερίου**

Στον Δήμο Περιστερίου υπάρχουν 30 και χρησιμοποιούνται 20 απορριμματοφόρα οχήματα για τη διεξαγωγή της συλλογής των οικιακών αποβλήτων και 5 για την ανακύκλωση. Η πυκνότητα του οικιστικού ιστού των μεγάλων πόλεων επιβάλλει τη χρήση απορριμματοφόρων περιορισμένης χωρητικότητας τυπικά 12 - 16 m<sup>3</sup> με μέσο ωφέλιμο φορτίο της τάξης των 5,5 τόνων.

Το συνολικό κόστος για κάθε απορριμματοφόρο όχημα προκύπτει από τις παραμέτρους του επόμενου Πίνακα:

Πίνακας 6: Παράμετροι συνολικού κόστους Α/Φ οχήματος  
(Πηγή: Μουσιόπουλος - Καραγιαννίδης, 2002)

<b>ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΣΥΝΟΛΙΚΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ</b>
ΚΟΣΤΟΣ ΑΓΟΡΑΣ ΟΧΗΜΑΤΟΣ
ΚΟΣΤΟΣ ΑΣΦΑΛΙΣΗΣ
ΚΟΣΤΟΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ
ΚΟΣΤΟΣ ΚΑΥΣΙΜΩΝ
ΚΟΣΤΟΣ ΕΡΓΑΖΟΜΕΝΩΝ

Στις παραγράφους που ακολουθούν γίνεται η ανάλυση των παραπάνω παραμέτρων κοστολόγησης.

### 3.4.3 Κόστος αγοράς οχήματος.

Σε ό,τι αφορά την αγορά ενός τέτοιου οχήματος, τα στοιχεία του Δήμου προσδιορίζουν ότι, κατά μέσο όρο, η τιμή αγοράς ενός απορριμματοφόρου κυμαίνεται στο ποσό των 200.000€

Η απόσβεση θα πρέπει να ολοκληρωθεί σε 7 έτη (Μουσιόπουλος - Καραγιαννίδης, 2002). Επομένως η αντιστοιχισή της τιμής αγοράς του οχήματος, ανά ημέρα λειτουργίας του, θα προκύψει με απλή αναγωγή σε ημερήσιο κόστος απόσβεσης ως εξής:

$$\text{ΗΜΕΡΗΣΙΟ ΚΟΣΤΟΣ ΟΧΗΜΑΤΟΣ} = \text{ΤΙΜΗ ΑΓΟΡΑΣ} / (\text{ΕΤΗ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ} \times 300)$$

Από τον παραπάνω τύπο προκύπτει ότι για θεωρούμενο έτος με 300 εργάσιμες ημέρες και τιμή αγοράς 200.000€ και χρόνο απόσβεσης 7 έτη :

(Θεωρήθηκε πως ένα έτος έχει 300 εργάσιμες ημέρες) (Μουσιόπουλος Ν.- Καραγιαννίδης Α., 2002). Συγκεκριμένα, το ημερήσιο κόστος του οχήματος προέκυψε ως 95,24€.

### 3.4.4. Κόστος ασφάλισης οχήματος.

Επιπλέον, κάθε τέτοιο όχημα, έχει και μια σειρά από κόστη, που έχουν να κάνουν με την ασφάλιση, την συντήρηση, τα ανταλλακτικά και την επιδιόρθωση των βλαβών, οι οποίες ανεβαίνουν σημαντικά, με το πέρασμα των χρόνων λειτουργίας και χρήσης του απορριμματοφόρου.

Πιο συγκεκριμένα τα στοιχεία που προσκομίστηκαν από τον Δήμο Περιστερίου, αναφέρουν ότι για την ασφάλιση ενός απορριμματοφόρου των 16m<sup>3</sup>, το κόστος ανέρχεται γύρω στις 2.500€ ετησίως.

Το ημερήσιο κόστος της ασφάλισης του οχήματος προκύπτει ως εξής:

$$\text{ΗΜΕΡΗΣΙΟ ΚΟΣΤΟΣ} = \text{ΕΤΗΣΙΟ ΚΟΣΤΟΣ} / 300$$

και συγκεκριμένα ανέρχεται στο ποσό των 8,33€ .

### 3.4.5. Κόστος συντήρησης οχήματος

Σε ό,τι αφορά τη συντήρηση των απορριμματοφόρων οχημάτων, τα στοιχεία που προέκυψαν από το Δήμο, δείχνουν ότι συνολικά για τα 35 οχήματα (τόσο του οικιακού, όσο και του ανακυκλώσιμου απορρίμματος) δαπανάται ετησίως, το ποσό των 520.000,00€. Επομένως, το αντίστοιχο ημερήσιο κόστος ανά όχημα θα προκύψει ως εξής:

$$\text{ΗΜΕΡΗΣΙΟ ΚΟΣΤΟΣ ΑΝΑ ΟΧΗΜΑ} = \text{ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΕΤΗΣΙΟ ΚΟΣΤΟΣ} / (35 \times 300)$$

Πιο συγκεκριμένα το παραπάνω κόστος ανέρχεται στο ποσό των 49,52€ ανά ημέρα.

### 3.4.6. Κοστολόγηση Καυσίμων

Τα καταναλισκόμενα καύσιμα, είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας για την κοστολόγηση ενός δρομολογίου καθαρισμού, καθώς είναι ένα μεταβλητό κόστος, το οποίο παίζει ιδιαίτερο ρόλο στην αξιολόγηση του δρομολογίου. Στο σημείο αυτό θα πρέπει να τονιστεί ιδιαίτέρως, το γεγονός της αστάθμητης και συνεχούς μεταβολής της τιμής του πετρελαίου, όπως φαίνεται από τον παρακάτω πίνακα, ο οποίος δείχνει τις τιμές πετρελαίου, σύμφωνα με το ΕΒΔΟΜΑΔΙΑΙΟ ΔΕΛΤΙΟ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ ΤΙΜΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ του Υπουργείου Ανάπτυξης και Ανταγωνιστικότητας.

### Πίνακας 7: Τιμή Πετρελαίου 2013

(Πηγή: [www.fuelprices.gr](http://www.fuelprices.gr))

ΜΗΝΑΣ	€/lt
Ιανουάριος	1,412
Φεβρουάριος	1,421
Μάρτιος	1,442
Απρίλιος	1,414
Μάιος	1,357
Ιούνιος	1,370
Ιούλιος	1,367
Αύγουστος	1,395
Σεπτέμβριος	1,419
Οκτώβριος	1,390
Νοέμβριος	1,372
Δεκέμβριος	1,378

Από τις παραπάνω τιμές προκύπτει μέση τιμή 1,395 €/lt.

Επιπλέον στο σημείο αυτό πρέπει να τονιστεί ότι για την κατανάλωση καυσίμου παίζει πολύ σημαντικό ρόλο το αν το όχημα εκτελεί δρομολόγιο πόλης ή αν εκτελεί δρομολόγιο σε επαρχιακή περιοχή. Στην παρούσα περίπτωση η αναφορά γίνεται σε δρομολόγιο πόλης. Βαρυσημαντος παράγοντας για την κατανάλωση καυσίμου είναι η ταχύτητα με την οποία κινείται το όχημα, καθώς επίσης και οι στροφές με τις οποίες λειτουργεί ο κινητήρας του. Όλα αυτά βέβαια έχουν άμεση σχέση και με την εμπειρία του οδηγού. Για το λόγο αυτό καλό είναι ο κάθε οδηγός να παραμένει σταθερός σε ένα συγκεκριμένο όχημα και ένα συγκεκριμένο δρομολόγιο.

Προκειμένου να υπολογιστεί το ημερήσιο κόστος ενός οχήματος ελήφθησαν παραδοχές που προέκυψαν από εμπειρικά δεδομένα των υπαλλήλων αλλά και της εταιρείας ΚΑΟΥΣΗΣ ΑΕ που αποτελεί έναν από τους κύριους προμηθευτές απορριμματοφόρων οχημάτων του Δ. Περιστερίου. Οι υπολογισμοί αφορούν σε ένα δρομολόγιο 24km που το απορριμματοφόρο θα οδηγηθεί στον ΧΥΤΑ Λιοσίων. Έτσι σύμφωνα με τα εμπειρικά δεδομένα και τις παραδοχές προκύπτει ότι η ποσότητα πετρελαίου που καταναλώνεται για διάρκεια των 3,5 ωρών (ένα τυχαίο δρομολόγιο) και για διαδρομή 24km είναι 43,1 lt πετρελαίου.

Η προαναφερθείσα τιμή όγκου πετρελαίου, θα πρέπει να διαιρεθεί με την συνολική απόσταση, προκειμένου να αναχθεί σε λίτρα ανά χιλιόμετρο. Δηλαδή θα ισχύει:

ΟΓΚΟΣ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ ΑΝΑ Km = ΣΥΝΟΛΙΚΟΣ ΟΓΚΟΣ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ / ΧΙΛΙΟΜΕΤΡΑ ΔΡΟΜΟΛΟΓΙΟΥ

και υπολογίστηκε στην τιμή 1,796 lt/km.

Επίσης για την περίπτωση που το όχημα είναι ακίνητο, κατά τη διάρκεια που το όχημα έμεινε ακινητοποιημένο μαζεύοντας και αδειάζοντας τους κάδους υπολογίζεται εμπειρικά στα 25min (που αντιστοιχεί στο προηγούμενο δρομολόγιο των 3.5 h ), υπολογίζεται από εμπειρικά δεδομένα στα 2.75 lt

Συνολικά, αν αθροιστούν οι δύο όγκοι κατανάλωσης που προέκυψαν αντίστοιχα για το στάδιο της κινούμενης και το στάδιο της ακίνητης κατάστασης προκύπτει ο συνολικός όγκος καταναλισκόμενος πετρελαίου για ένα δρομολόγιο 4 ωρών (με κίνηση και στάσεις) που θα διανυθούν περίπου 24 km περίπου ήταν 43,1 lt + 2,75 lt = 45,84 lt. Αν αυτός αναχθεί ανά km δρομολογίου τότε προκύπτει:

ΟΓΚΟΣ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ ΑΝΑ Km = ΣΥΝΟΛΙΚΟΣ ΟΓΚΟΣ /ΧΙΛΙΟΜΕΤΡΑ ΔΡΟΜΟΛΟΓΙΟΥ

Συνεπώς η τιμή προσδιορίστηκε ως 1,91 lt/ km

Η διαδικασία επαλήθευσης του προαναφερθέντος αποτελέσματος με πραγματικά δεδομένα, θα μπορούσε να αποτελέσει αντικείμενο για επιπλέον μελέτη.

Από την εμπειρία των υπαλλήλων υπολογίζεται ότι ένα τυχαίο απορριμματοφόρο όχημα σε 6 μήνες διανύει 5068 km και αντίστοιχα τα διανυθέντα χιλιόμετρα ανά μήνα είναι 844,66 km.

Έτσι το ημερήσιο κόστος καυσίμων για ένα τυχαίο δρομολόγιο καθαρισμού και σύμφωνα με εμπειρικά δεδομένα προκύπτει ως εξής:

Με τις παραπάνω αναφερόμενες παραμέτρους το ημερήσιο κόστος καυσίμων υπολογίστηκε στην τιμή 64,00 €. Το κόστος αυτό θα χρησιμοποιηθεί στην συνέχεια για τον προσδιορισμό του συνολικού ημερησίου κόστους του δρομολογίου, το οποίο θα περιλαμβάνει όλα τα σταθερά και μεταβλητά κόστη.

### 3.4.7. Κοστολόγηση Ανθρώπινου Δυναμικού

Στην ενότητα αυτή θα αναφερθεί, η κοστολόγηση του ανθρώπινου δυναμικού, που απαρτίζει το πλήρωμα ενός απορριμματοφόρου οχήματος και αποτελεί την πιο σημαντική, από οικονομικής άποψης, παράμετρο της γενικής κοστολόγησης

του δρομολογίου. Λόγω της φύσης της εργασίας, το ωράριο εργασίας των εργαζομένων έχει νομοθετηθεί σε 6 ώρες.

Πρώτα απ' όλα θα πρέπει να σημειωθεί ότι, το κόστος των εργαζομένων, διαφέρει ανάλογα με το αν πρόκειται για μόνιμο ή συμβασιούχο υπάλληλο. Παλαιότερα με βάση τα στοιχεία του Δήμου, το σύνολο των εργαζομένων που απασχολούνταν στον τομέα της Καθαριότητας αποτελούσαν κατά 35% (τα δύο τρίτα δηλαδή) οι συμβασιούχους υπαλλήλους και κατά 65% από μόνιμους. Πλέον όμως στο τμήμα καθαριότητας εργάζονται μόνο μόνιμοι υπάλληλοι.

Σε ό,τι αφορά τους μόνιμους εργαζόμενους, τα στοιχεία που συλλέχθηκαν από το Δήμο δείχνουν ότι, ο μηνιαίος μισθός του μόνιμου υπαλλήλου στον τομέα της Καθαριότητας ανέρχεται στο ποσό των 1.000€ μηνιαίως. Σε ετήσιο επίπεδο, ο μισθός αυτός πολλαπλασιάζεται επί 12, οπότε οδηγεί στο ποσό που προσεγγίζει τα 12.000 €.

Δεδομένου ότι μελετάται η τυχαία περίπτωση μετακίνησης ενός απορριμματοφόρου στον ΧΥΤΑ Λιοσίων, υπάρχει μια σημαντική χρονική καθυστέρηση, που οδηγεί στη χρέωση υπερωριών τις οποίες καλείται να πληρώσει ο Δήμος. Έτσι, σε ετήσια βάση, κάθε εργαζόμενος εισπράττει, λόγω υπερωριών, ένα ποσό που προσεγγίζει τις 1.500€. Επιπρόσθετα, η ασφάλιση των εργαζομένων κοστολογείται στο ποσό των 6.000€ ετησίως. Συνολικά, το κόστος για ένα μόνιμο υπάλληλο που εργάζεται στον τομέα της Καθαριότητας ανέρχεται στα 19.500€.

Για έναν συμβασιούχο εργαζόμενο, το ετήσιο κόστος είναι αρκετά μικρότερο. Ο μηνιαίος μισθός του ανέρχεται στο ποσό των 600€ και η τιμή αυτή πολλαπλασιάζεται επί 12, για να οδηγήσει σε ετήσιο ποσό, που προσεγγίζει τα 7.200 €. Αντίστοιχα, η ετήσια ασφάλιση του συμβασιούχου εργαζομένου ανέρχεται σε 4.000€. Οι αντίστοιχες υπερωρίες που ανακύπτουν, λόγω των προαναφερθέντων αιτιών στον ΧΥΤΑ Λιοσίων, κοστολογούνται στο ποσό των 800 € ετησίως. Συνολικά, για ένα συμβασιούχο υπάλληλο οι ετήσιες αποδοχές κοστολογούνται στις 12.000€.

Με βάση τις ετήσιες αποδοχές κάθε εργαζομένου, επιχειρήθηκε ο προσδιορισμός του ημερησίου κόστους για κάθε μία από τις δύο κατηγορίες υπαλλήλων, αλλά και το συνολικό ημερήσιο κόστος του πληρώματος ενός απορριμματοφόρου οχήματος, όταν σε αυτό απασχολούνται μόνιμοι και συμβασιούχοι εργαζόμενοι σε αναλογία 1:2. Πιο συγκεκριμένα το ημερήσιο κόστος προκύπτει ως εξής:

**ΗΜΕΡΗΣΙΟ ΚΟΣΤΟΣ = ΕΤΗΣΙΟ ΚΟΣΤΟΣ / ΗΜΕΡΕΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ**

Τελικά, προσδιορίστηκε για τους μόνιμους υπαλλήλους το ποσό των 65,00€ ημερησίως και για τους συμβασιούχους το ποσό των 40,00€ αντίστοιχα.

**ΗΜΕΡΗΣΙΟ ΚΟΣΤΟΣ ΔΡΟΜΟΛΟΓΙΟΥ = 3 x ΗΜΕΡΗΣΙΟ ΚΟΣΤΟΣ ΜΟΝΙΜΟΥ**

Η προσδιορισθείσα τιμή του ανέρχεται στα 195,00 € ημερησίως.

Η παραπάνω υπολογισθείσα παράμετρος των συμβασιούχου αναφέρεται ως πιθανή παράμετρος βελτιστοποίησης για την καλύτερη κατανόηση της δυνατότητας που μας δίνουν τα συστήματα βελτιστοποιήσεων.

Στην παρούσα εργασία δεν θα λάβουμε υπόψιν αυτή την παράμετρο - ημερήσιο κόστος συμβασιούχου - αφού αν και εκ πρώτης όψεως μία αλλαγή στην ομάδα των εργαζομένων σε ένα συνεργείο από 3 τρεις μόνιμους που εργάζονται πλέον, σε 1 μόνιμο και 2 συμβασιούχους ακροθιγώς φαίνεται οικονομικότερη μπορεί να αποδειχθεί κατά πολύ ζημιογόνα αφού το ανειδίκευτο προσωπικό δεν προλαβαίνει να προσαρμοστεί και έχει αυξημένη πιθανότητα για έκθεση σε εργατικό ατύχημα. Στην Εργασία υπάρχουν δύο κατηγορίες κινδύνων που σχετίζονται με την υγεία. Από τη μία πλευρά τα επαγγελματικά νοσήματα (occupational diseases) που είναι συνήθως χρόνιας έκφρασης και από την άλλη τα εργατικά ατυχήματα (labour accidents), με συνηθισμένο χαρακτηριστικό την οξεία και βίαιη εμφάνιση τους, με ισχυρό τον παράγοντα του απρόβλεπτου. Και οι δύο αυτές κατηγορίες κινδύνων είναι αυξημένες στους εργαζόμενους των πληρωμάτων των αποβλήτων και ο χρόνος που απαιτείται για την προληπτική κατάρτιση των εργαζομένων, θα πρέπει να ληφθεί υπόψιν σε βελτιστοποίηση βάσει της παραμέτρου συμβασιούχου-μόνιμου προσωπικού (Κωνσταντινίδης, 2001) (Πλαϊτής, 2009) ([www.elinyae.gr](http://www.elinyae.gr)).

Μία βελτιστοποίηση βάσει πολιτικό-κοινωνικών παραμέτρων σχετικά με τις θέσεις εργασίας σχετικές με την διαχείριση αποβλήτων μπορεί να αποτελέσει αντικείμενο ευρύτερης μελέτης.

### **3.4.8.Συνολικό κόστος αποκομιδής ΑΣΑ στο Δήμο Περιστερίου**

Σε συνέχεια της οικονομικής ανάλυσης των παραμέτρων που προηγήθηκε, ακολουθεί η άθροιση όλων των προαναφερθέντων ημερησίων κοστών, ώστε να εξαχθεί το συνολικό κόστος των ημερησίων δρομολογίων ενός απορριμματοφόρου οχήματος, το οποίο ανέρχεται στο ποσό των 412,09 €.

Συγκεντρωτικά, τα κόστη που αφορούν το απορριμματοφόρο όχημα, καταγράφηκαν παρακάτω:



Πίνακας 8: Ημερήσιο κόστος δρομολογίων ενός απορριμματοφόρου

<b>ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΣΥΝΟΛΙΚΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ</b>	<b>ΗΜΕΡΗΣΙΟ ΚΟΣΤΟΣ (€)</b>
ΚΟΣΤΟΣ ΑΓΟΡΑΣ ΟΧΗΜΑΤΟΣ	95,24
ΚΟΣΤΟΣ ΑΣΦΑΛΙΣΗΣ	8,33
ΚΟΣΤΟΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ	49,52
ΚΟΣΤΟΣ ΚΑΥΣΙΜΩΝ	64,00
ΚΟΣΤΟΣ ΕΡΓΑΖΟΜΕΝΩΝ	195,00
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>412,09</b>

### 3.5. Περιγραφή του Δρομολογίου

Προκειμένου να καταστεί εφικτή η μελέτη του συστήματος κρίνεται απαραίτητη η καταγραφή της ακριβούς διαδικασίας ενός τυχαίου δρομολογίου.

Η διάρκεια ενός δρομολογίου ξεκινά από την στιγμή που αναχωρεί από τον Σταθμό Οχημάτων, κατευθυνόμενο προς το πρώτο σημείο συλλογής αποβλήτων μίας υποπεριφέρειας και καταλήγει έως και τη χρονική στιγμή που επιστρέφει στο Σταθμό και διαρκεί 6 ώρες περίπου όσο και το ωράριο των εργαζομένων. Στην διάρκεια ενός δρομολογίου περιλαμβάνεται και ο νεκρός χρόνος, δηλαδή ο χρόνος που πέρασε κατά τη διάρκεια των μετακινήσεων του απορριμματοφόρου από το ένα σημείο συλλογής στο επόμενο και την μεταφορά, αναμονή στον ΧΥΤΑ Λιοσίων και την επιστροφή στον Σταθμό Οχημάτων. Επίσης, στον συνολικό χρόνο πρέπει να ληφθεί υπόψη η διαδικασία λήψης-εκκαθάρισης των κάδων προσωρινής αποθήκευσης αποβλήτων. Η συνολική διαδικασία, έχει χωριστεί σε 6 επιμέρους στάδια, τα εξής:

A/Μετακίνηση εργαζομένου στον κάδο αποβλήτων. Εδώ ο χρόνος προσδιορίζεται από τη στιγμή, που το όχημα σταματά σε ένα σημείο συλλογής κάδων, ως την στιγμή που ο εργαζόμενος φτάσει στον κάδο.

B/ Μετακίνηση κάδου στο απορριμματοφόρο. Εδώ ο χρόνος προσδιορίζεται από την στιγμή που ο υπάλληλος ξεκινά την μετακίνηση του κάδου, ως την στιγμή που ο κάδος τοποθετείται στις σιαγόνες του οχήματος.

Γ/ Ανύψωση κάδου.

Δ/ Ανακίνηση-άδειασμα κάδου.

Ε/ Κατέβασμα κάδου.

ΣΤ/ Μετακίνηση άδειου κάδου και επανατοποθέτηση. Να σημειωθεί ότι σε αρκετές περιπτώσεις η επανατοποθέτηση του άδειου κάδου δε γίνεται ακριβώς στο ίδιο σημείο που βρισκόταν αρχικά, αλλά σε ελαφρά διαφορετικό.

Να σημειωθεί ότι, οι χρόνοι ανύψωσης και κατεβάσματος των κάδων, είναι σταθεροί για κάθε όχημα, αφού πρόκειται για συγκεκριμένη μηχανική κίνηση του συστήματος φόρτωσης-εκφόρτωσης του απορριμματοφόρου.

Η άθροιση των επιμέρους χρόνων των 6 σταδίων, δίνει τον συνολικό χρόνο λήψης –εκκαθάρισης του κάθε κάδου.

### 3.6. Σημεία Τοποθέτησης Κάδων

Συνολικά τα Α/Φ οχήματα πραγματοποιούν καθημερινά 260-280 στάσεις και σε κάθε δρομολόγιο αντιστοιχούν συγκεκριμένα σημεία συλλογής (στάσεις). Η διαδικασία για καταγραφή των σημείων συλλογής και της χωροθέτησης των κάδων βρίσκεται σε εξέλιξη. Οι στάσεις ποικίλλουν από δρομολόγιο σε δρομολόγιο και από περιφέρεια σε περιφέρεια. Τα σημεία έχουν προσδιοριστεί βάσει της εμπειρίας προσεγγιστικά και σύμφωνα με την ποσότητα αποβλήτων που συλλέγονται σε κάθε δρομολόγιο. Στον δήμο Περιστερίου σύμφωνα με εμπειρικά στοιχεία εργαζομένων κάθε δρομολόγιο περιλαμβάνει κατά μέσο όρο 26 στάσεις. Οι στάσεις δεν ισαπέχουν μεταξύ τους και οι ποσότητες συλλογής από σημείο σε σημείο διαφέρουν σημαντικά. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην κατανομή του πληθυσμού ανά οικοδομικό τετράγωνο όπως επίσης και στις χρήσεις γης της κάθε περιοχής.

Οι τύποι κάδοι που χρησιμοποιούνται ποικίλλουν ανάλογα με την χωρητικότητά τους. Υπάρχουν κάδοι με χωρητικότητα 1,1m<sup>3</sup> και μικρότεροι κάδοι με χωρητικότητα 0,24m<sup>3</sup>. Σε πολλές στάσεις (σημεία συλλογής) υπάρχουν 2 ή και περισσότεροι κάδοι. Οι κάδοι δεν έχουν οριοθετημένες θέσεις και η επανατοποθέτησή τους από το προσωπικό γίνεται προσεγγιστικά. Το σημείο συλλογής κατά την διάρκεια της μελέτης λαμβάνεται ως μία στάση.

Για την διευκόλυνση της περιοχής του εμπορικού κέντρου έχουν κατασκευαστεί υπόγειοι κάδοι μεγάλης χωρητικότητας 3,3 μ<sup>3</sup>.

Προκειμένου να μελετηθεί ένα σύστημα πρέπει να γίνεται και προσεγγιστικός προσδιορισμός του ποσοστού πληρότητας κάθε κάδου.

## 4. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΕΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ .

### 4.1 Προβλήματα βελτιστοποίησης

Το πρόβλημα της βελτιστοποίησης ενός Συστήματος Διαχείρισης Αποβλήτων - όπως το ΣΔΑ Περιστερίου που αναλύθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο-, ανήκει στην κατηγορία βελτιστοποιήσεων. Τα προβλήματα αυτά, στηρίζονται στην εύρεση της «συντομότερης» διαδρομής από ένα σημείο σε ένα άλλο υπό περιορισμούς, με σκοπό την βελτιστοποίηση της διαδρομής και των επιπτώσεων αυτής. Στο κεφάλαιο 4 προσεγγίζονται μεθοδολογίες βελτιστοποιήσεων διαδρομών μέσω της επιστημονικής βιβλιογραφίας.

Οι επιπτώσεις που προκαλούνται από τη διαχείριση των ΑΣΑ είναι οικονομικής, ενεργειακής, περιβαλλοντικής, κοινωνικής και πολιτικής φύσης. Η βελτιστοποίηση των διαδικασιών προσβλέπει στη μείωση των αρνητικών επιπτώσεων που συνεπάγονται από τη λειτουργία τους.

Ανάλογα με την επιθυμητή βελτιστοποίηση ενός συστήματος οι στόχοι μπορεί να θέτονται βάσει :

- Οικονομικών παραμέτρων (πχ, σχέση κόστους διάθεσης αποβλήτων και οφέλους από την πιθανή ανάκτηση πρώτων υλών μέσω ενός προγράμματος ανακύκλωσης),
- Ενεργειακών παραμέτρων (πχ. σχέση απαιτήσεων σε ενέργεια για τη μεταφορά, επεξεργασία και διάθεση αποβλήτων και οφέλους από την τυχόν ενεργειακή επεξεργασία αποβλήτων),
- Περιβαλλοντικών παραμέτρων (πχ. ρύπανση ατμοσφαιρικού, υδάτινου και χερσαίου περιβάλλοντος ανάλογα με τον τρόπο διάθεσης αποβλήτων, πρόκληση πυρκαγιών λόγω ανεξέλεγκτης απόθεσης αποβλήτων) και
- Πολιτικό-κοινωνικών παραμέτρων (πχ. ανισομερής επιβάρυνση και όχληση του πληθυσμού από συγκεκριμένες επιλογές κατά τη διαχείριση αποβλήτων, με τις ασθενέστερες κοινωνικές τάξεις συνήθως να μειονεκτούν, θέσεις εργασίας σχετικές με την διαχείριση αποβλήτων (Μουσιόπουλος - Καραγιαννίδης, 2002).

Ανάλογα με το πρόβλημα που τίθεται προς βελτιστοποίηση θέτονται συγκεκριμένοι περιορισμοί. Ενδεικτικό παράδειγμα «περιορισμών» είναι η απαίτηση η βέλτιστη διαδρομή να διέρχεται από ένα σύνολο προκαθορισμένων σημείων (πχ στάσεις συλλογής αποβλήτων) ή, η ολοκλήρωση της διαδρομής να αφορά σε χρονικούς περιορισμούς (πχ εντός του ωραρίου εργασίας) ή να υπόκειται σε χωρικούς (πχ η διέλευση από συγκεκριμένα οικοδομικά τετράγωνα).

## 4.2. Βελτιστοποίηση διαδρομών και η συμβολή των Γράφων

Η βελτιστοποίηση διαχείρισης αποβλήτων μπορεί να ενταχθεί στην περίπτωση Κυκλικής Δρομολόγησης από ένα Μοναδικό όχημα, ευρέως γνωστό ως Πρόβλημα του Πλανόδιου Πωλητή –ΠΠΠ (Traveling Salesman Problem – TSP) (βλ. παράρτημα), θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί στην περίπτωση που ένα απορριμματοφόρο όχημα απαιτείται να ελαχιστοποιήσει την συνολική απόσταση διαδρομής που απαιτείται να καλύψει, επισκεπτόμενο μόνο μία φορά όλους τους κάδους (στάσεις) που πρέπει να καλύψει. Στο παραδοσιακό πρόβλημα ΠΠΠ το κόστος διαδρομής (απόσταση) μεταξύ δύο κάδων αποβλήτων δεν εξαρτάται από την κατεύθυνση της διαδρομής. Ο πίνακας που διαμορφώνεται με το κόστος των αποστάσεων που λαμβάνονται ως παράμετροι για την επίλυση του προβλήματος, είναι συμμετρικός. Στην περίπτωση όμως, που τροποποιούνται οι αποστάσεις πχ μεσολαβεί ένας μονόδρομος μεταξύ δύο κάδων, τότε ο πίνακας που θα διαμορφωθεί από το κόστος διαδρομής θα είναι ασύμμετρος. Αντίστοιχα το ΠΠΠ μετατρέπεται σε Ασύμμετρο Πρόβλημα Πλανόδιου Πωλητή (ΑΠΠΠ) λόγω των περιορισμών στο οδικό δίκτυο. Παράλληλα οι ανάγκες προς βελτιστοποίηση οδήγησαν στην δημιουργία του Πιθανολογικού Προβλήματος Πλανόδιου Πωλητή (ΠΠΠΠ) που όπως όπως φαίνεται και από την ονομασία του, λαμβάνει υπόψιν και τις πιθανότητες όπως παραδείγματος χάριν για την βελτιστοποίηση ενός δρομολογίου απορριμματοφόρου που πρόκειται να εξυπηρετήσει συγκεκριμένους κάδους αποβλήτων που όμως δεν γνωρίζουμε την πληρότητά τους. Επίσης το πρόβλημα την αποκομιδής και μεταφοράς αποβλήτων σε αστικό περιβάλλον έχει μοντελοποιηθεί και είναι γνωστό ως το Πρόβλημα Δρομολόγησης Οχημάτων-ΠΔΟ (Vehicle Routing Problem VRP και στο οποίο ένα σύνολο απορριμματοφόρων οχημάτων πρέπει να εξυπηρετήσει ένα συγκεκριμένο αριθμό κάδων ελαχιστοποιώντας το κόστος υπό συγκεκριμένους περιορισμούς. Το πρόβλημα διαμορφώνεται σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά των οχημάτων και των απαιτούμενων περιορισμών που τίθενται. Για την επίλυση Χρονικά εξαρτώμενων ΠΔΟ οι Donati, A.V., Montemanni, R., Casagrande, N., Rizoli, A.E. and Gambardella, L.M. παρουσιάζουν τον Αλγόριθμο της Αποικίας Μυρμηγκιών ως βέλτιστο να καθοδηγήσει έναν στόλο οχημάτων σταθερής χωρητικότητας όπου η διαδρομή του κάθε οχήματος εξαρτάται από χρόνο που είναι συγκεκριμένος στην αρχή της διαδρομής. Ωστόσο, ο κατανομές ταχύτητας από τις οποίες προκύπτει ο χρόνος διαδρομής θεωρούνται γνωστές κατά την αρχή της βελτιστοποίησης (Donati et al., 2003).

### 4.3. Το πρόβλημα της συντομότερης διαδρομής

Το πρόβλημα της συντομότερης διαδρομής (Shortest Path Problem - SPP) αποτελεί ένα κλασικό και συνδυαστικό πρόβλημα, το οποίο προκύπτει σε διάφορες περιπτώσεις.

Ένα μονοπάτι ορίζεται ως μια ακολουθία από κόμβους:

$$P = (v_1, v_2, \dots, v_n) \in V \times V \times \dots \times V$$

με τον κόμβο  $v_i$  να είναι γειτονικός του  $v_{i+1}$  για  $1 \leq i < n$ . Ένα τέτοιο μονοπάτι  $P$  θεωρείται ότι έχει μήκος  $n$  από τον κόμβο  $v_1$  έως τον  $v_n$ .

Έστω  $e_{i,j}$  μια ακμή με άκρα τους κόμβους  $v_i$  και  $v_j$  δοσμένης μιας συνάρτησης βάρους  $f : E \rightarrow R$ , και ενός μη κατευθυνόμενου γράφου. Το συντομότερο μονοπάτι από τον  $v$  έως τον  $v'$  είναι το μονοπάτι  $P = (v_1, v_2, \dots, v_n)$  (με  $v_1 = v$  και  $v_n = v'$ ) όπου για όλα τα πιθανά  $n$  το άθροισμα  $\sum f(e_{i,i+1})$ :  $i = 1$  έως  $n-1$  ελαχιστοποιείται. Όταν το βάρος κάθε ακμής θεωρείται μονάδα, το πρόβλημα είναι ισοδύναμο με το να βρεθεί το μονοπάτι με τις λιγότερες ακμές (Τσατσάνης, 2014).

Έχοντας έναν δεδομένο αρχικό κόμβο, πρέπει να μεταβούμε σε έναν άλλο, επίσης δεδομένο κόμβο, επιλέγοντας το μονοπάτι που θα φέρει το ελάχιστο αθροιστικό κόστος επί των ακμών του γράφου, οι οποίοι οδηγούν από τον κόμβο προέλευσης στον κόμβο προορισμού.

Η εύρεση αυτού του μονοπατιού ορίζεται ως ένα πρόβλημα δρομολόγησης. Το μονοπάτι αυτό χαρακτηρίζεται ως το συντομότερο εάν έχει το μικρότερο μήκος από όλες τις διαδρομές με τους ίδιους κόμβους προέλευσης και κατάληξης. Το μήκος του συντομότερου μονοπατιού ονομάζεται επίσης και συντομότερη απόσταση. Το πρόβλημα του συντομότερου μονοπατιού αφορά στον υπολογισμό της συντομότερης απόστασης μεταξύ επιλεγμένων ζευγών κόμβων. Πρέπει να σημειωθεί πως εδώ λαμβάνουμε υπόψη την καλύτερη περίπτωση προβλήματος διαδρομής. Κι αυτό γιατί κάθε φορά που αναφερόμαστε σε ένα μονοπάτι (ή σε ένα κύκλο) σε σχέση με το πρόβλημα του συντομότερου μονοπατιού, υποθέτουμε εκ των προτέρων πως το μονοπάτι είναι εμπρόσθιο.

Το πεδίο εφαρμογής του προβλήματος του συντομότερου μονοπατιού είναι ιδιαίτερα ευρύ και για αυτό τον λόγο έχουν προταθεί διάφοροι αλγόριθμοι, ορισμένοι εκ των οποίων πολύ σημαντικοί, που επιλύουν το SPP σε διάφορες περιπτώσεις. Διακρίνονται τέσσερις υπο-περιπτώσεις του προβλήματος εύρεσης συντομότερης διαδρομής.

- Το πρόβλημα εύρεσης συντομότερης διαδρομής μεταξύ ενός κόμβου αφετηρίας και ενός κόμβου προορισμού σε ένα γράφο (single-pair shortest path problem),

- Το πρόβλημα εύρεσης συντομότερης διαδρομής μεταξύ ενός κόμβου αφετηρίας και όλων των υπόλοιπων κόμβων του γράφου (single- source shortest path problem),
- Το πρόβλημα εύρεσης συντομότερης διαδρομής μεταξύ ενός κόμβου προορισμού και των υπόλοιπων κόμβων του γράφου (single- destination shortest path problem),
- Το πρόβλημα εύρεσης συντομότερης διαδρομής μεταξύ του συνόλου των ζευγών κόμβων που περιλαμβάνει ο γράφος (all- pairs shortest path problem).

#### 4.4. Κατηγορίες αλγορίθμων επίλυσης προβλημάτων εύρεσης συντομότερης διαδρομής.

Προκειμένου να επιλυθούν προβλήματα γράφων όπως αυτά που περιγράφησαν προηγουμένως, έχουν δημιουργηθεί αλγόριθμοι επίλυσης. Η αρχή των αλγορίθμων αυτών στηρίζεται στην μαθηματική επιστήμη.

Ανάλογα με τις ιδιαιτερότητες και τις απαιτήσεις του εκάστοτε προβλήματος, εφαρμόζεται κατά περίπτωση ο αλγόριθμος που εξασφαλίζει την αποδοτικότερη διαχείρισή του. Αυτός είναι άλλωστε και ο λόγος που οι αλγόριθμοι διάσχισης γράφων εμφανίζονται διαφοροποιημένοι ως προς τα δεδομένα που κάθε φορά επεξεργάζονται και ως προς τις διαδικασίες επεξεργασίας των δεδομένων αυτών. Με την έννοια του αλγόριθμου, εννοείται μια ορθά ορισμένη υπολογιστική διαδικασία, η οποία περιλαμβάνει μια τιμή ή ένα σύνολο τιμών ως δεδομένα εισόδου (input) από την επεξεργασία των οποίων προκύπτει κάποιο αποτέλεσμα (output). Ένας αλγόριθμος δηλαδή, συνίσταται στην ακριβή διατύπωση μιας σειράς βημάτων η εκτέλεση των οποίων οδηγεί στην εξαγωγή κάποιου αποτελέσματος. Σύμφωνα με τους Aldous and Wilson, ένας αλγόριθμος αποτελείται από τέσσερα βασικά τμήματα: τα δεδομένα εισόδου (input data), μια λίστα που περιλαμβάνει διαδικασίες επεξεργασίας των δεδομένων εισόδου (ordered list of instructions), μια εντολή λήξης των διαδικασιών επεξεργασίας των δεδομένων (stop instruction) και τα δεδομένα εξόδου (output data). Ο αλγόριθμος συνιστά τη βάση για την επίλυση οποιουδήποτε προβλήματος σε υπολογιστικό περιβάλλον. Ουσιαστικά, περιλαμβάνει το σχεδιασμό της διαδικασίας επίλυσης ενός προβλήματος μέσα από το σαφή και ακριβή καθορισμό επιμέρους βημάτων που σχετίζονται με τη διαχείριση και την επεξεργασία των δεδομένων. Ο αλγόριθμος εκφράζεται είτε σε γλώσσα κατανοητή από τον άνθρωπο και μη – κατανοητή από τον υπολογιστή, είτε με τη βοήθεια ψευδοκώδικα. Η εισαγωγή και η λειτουργία του σε υπολογιστικό περιβάλλον προϋποθέτει τη «μετάφραση» των επιμέρους βημάτων του αλγόριθμου σε μια γλώσσα προγραμματισμού, η οποία είναι κατανοητή από τον υπολογιστή (Cormen et al., 2001).

Οι βασικές κατηγορίες των αλγορίθμων, βάσει του αν είναι ακριβείς ή προσεγγιστικοί και βάσει του χρόνου επίλυσης, είναι οι: Ακριβείς, Ευρετικοί Αλγόριθμοι, Αλγόριθμοι Τοπικής Αναζήτησης και οι Μεθευρετικοί Αλγόριθμοι.

**Οι ακριβείς** μέθοδοι εύρεσης της βέλτιστης διαδρομής ελέγχουν συστηματικά όλες τις πιθανές διαδρομές και τελικά επιλέγεται η βέλτιστη. Έτσι, οι μέθοδοι αυτές εξασφαλίζουν ότι το απόλυτα βέλτιστο έχει βρεθεί, γι' αυτό άλλωστε ονομάζονται και ακριβείς. Οι ακριβείς αλγόριθμοι είναι οι μόνοι που εξασφαλίζουν την απόλυτα βέλτιστη λύση ενός προβλήματος συνδυαστικής. Όμως, τα μειονεκτήματά τους είναι η ραγδαία αύξηση του χρόνου επίλυσης με την αύξηση του μεγέθους του προβλήματος.

**Οι ευρετικοί** αλγόριθμοι έρχονται να καλύψουν το μειονέκτημα της ραγδαίας αύξησης του χρόνου επίλυσης των ακριβών αλγορίθμων, θυσιάζοντας, όμως, την απόλυτη βελτιστοποίηση. Αυτοί οι αλγόριθμοι επιδιώκουν να βρουν μία προσέγγιση του βέλτιστου μέσα σε λογικά μικρό χρονικό διάστημα. Μία λύση αυτής της κατηγορίας αλγορίθμων, για να γίνει αποδεκτή, πρέπει να ικανοποιεί κάποια κριτήρια, όπως η ποιότητα της λύσης (απόκλιση από τη βέλτιστη), η ευκολία απόκτησής της και η λογική στην οποία στηρίζονται οι κανόνες για να μας οδηγήσουν στη λύση.

Κατηγορίες ευρετικών αλγορίθμων είναι οι Αλγόριθμοι Απληστίας (Greedy Algorithms), οι Προσεγγιστικοί Αλγόριθμοι (Approximation Algorithms) και οι Αλγόριθμοι Τοπικής Αναζήτησης (Local Search Algorithms).

**Οι μεθευρετικοί** αλγόριθμοι, όπως και οι ευρετικοί, είναι μέθοδοι επίλυσης και δίνουν προσεγγίσεις στη βέλτιστη λύση. Τα χαρακτηριστικά των μεθευρετικών αλγορίθμων είναι τα εξής: Μοντελοποιούν ένα φαινόμενο που υπάρχει στη φύση, μπορούν να μεταφερθούν εύκολα σε παράλληλη μορφή και είναι προσαρμοστικοί αλγόριθμοι.

Κάποιες από αυτές τις μεθόδους επίλυσης και προσέγγισης στη βέλτιστη λύση είναι: Προσομοιωμένη Ανόπτηση (Simulated Annealing), Περιορισμένη Αναζήτηση (Tabu Search), Γενετικοί και Εξελικτικοί Αλγόριθμοι (Genetic and Evolutionary Algorithms), Νευρωνικά Δίκτυα (Neural Nets), Βελτιστοποίησης Αποικίας Μυρμηγκιών (Ant Colony Optimization) κ.ά. Τα τελευταία χρόνια, για την επίλυση των προβλημάτων της συνδυαστικής βελτιστοποίησης χρησιμοποιούνται αλγόριθμοι που ανήκουν σε αυτήν την κατηγορία

**Οι βιομιμητικοί** αλγόριθμοι. Για τις πιο απλές κατασκευές, όπως είναι ένα ξυλουργικό εργαλείο, μέχρι τις πιο σύνθετες μηχανικές, όπως το αεροπλάνο, ο άνθρωπος έχει αντιγράψει τη φύση σε αμέτρητες εφαρμογές της καθημερινότητάς του. Και καθώς η φύση δεν κάνει λάθη, η σωστή παρατήρηση και προσαρμογή μπορεί να υλοποιήσει πολλά σενάρια επιστημονικής φαντασίας. Κά-

ποια από αυτά βρίσκονται ήδη στα χέρια μας, κάποια άλλα σε εργαστήρια. Αντιλαμβανόμενοι οι επιστήμονες την εμφανή ανωτερότητα των φυσικών μηχανισμών έναντι κάθε είδους τεχνητών, επιδόθηκαν στην παρατήρηση και στην προσπάθεια μίμησης των μηχανισμών αυτών. Η προσπάθεια αυτή, που προϋποθέτει τη συνεργασία βιολόγων και μηχανικών, είχε ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός νέου, και τα τελευταία χρόνια ταχύτατα αναπτυσσόμενου κλάδου της επιστήμης, τη βιομηχανική. Έτσι, μπορούμε σήμερα να παρατηρήσουμε ψάρια με τέλεια υδροδυναμικά σχήματα να αξιοποιούν ενστικτωδώς τις βέλτιστες κινήσεις για να επιτύχουν υψηλότερους πρωσοτικούς βαθμούς απόδοσης, πουλιά να επιτυγχάνουν ταχύτητες κίνησης αναλογικά μεγαλύτερες από αυτές των υπερηχητικών αεροσκαφών ή με ικανότητα περιστροφής (roll rate) έως και επτά φορές μεγαλύτερη από αυτή των ακροβατικών αεροσκαφών, αράχνες να κατασκευάζουν ιστούς ανθεκτικότερους από τα περισσότερα σύγχρονα ανθρώπινα προηγμένα υλικά και άλλα πολλά.

**Οι Γενετικοί** αλγόριθμοι. Το μέγεθος ενός προβλήματος σε αρκετές περιπτώσεις καθιστά απαγορευτική τη χρήση κλασικών μεθόδων ώστε να μπορέσει να επιλυθεί. Σε αυτές τις περιπτώσεις βρίσκουν εφαρμογή αλγόριθμοι, οι οποίοι αν και δεν εγγυώνται ότι θα βρουν τη βέλτιστη λύση, είναι ικανοί να βρουν μία αρκετά καλή λύση σε εύλογο χρονικό διάστημα. Μία κατηγορία τέτοιων αλγορίθμων είναι οι Γενετικοί Αλγόριθμοι (Genetic Algorithms). Τα τελευταία τριάντα χρόνια, έχει παρατηρηθεί ένα συνεχώς αυξανόμενο ενδιαφέρον για ανάπτυξη μεθόδων επίλυσης προβλημάτων βασιζομένων στις αρχές της Γενετικής Εξέλιξης και της Κληρονομικότητας. Τα μειονεκτήματα των κλασικών μεθόδων αναζήτησης και βελτιστοποίησης, καθώς και η συνεχώς αυξανόμενη ανάγκη για παραγωγή λογισμικού που να μπορεί να εκμεταλλεύεται πιο αποδοτικά τις τεράστιες δυνατότητες των σημερινών υπολογιστών και των στατιστικών δεδομένων, τα οποία υπάρχουν στη διάθεσή μας, ήταν η βασική αιτία που ώθησε τους επιστήμονες σ' αυτήν την αναζήτηση. Έτσι, ο βασικός μηχανισμός των γενετικών αλγορίθμων είναι εμπνευσμένος από τη βιολογία και ειδικότερα από τη Δαρβινική θεωρία της εξέλιξης της φύσης.

Οι γενετικοί αλγόριθμοι ανήκουν στον κλάδο της επιστήμης υπολογιστών. Είναι ιδιαίτερα χρήσιμοι σε προβλήματα, τα οποία περιέχουν πολλές παραμέτρους και δεν υπάρχει αναλυτική μέθοδος ικανή να βρει τον βέλτιστο συνδυασμό τιμών για τις μεταβλητές. Εκεί οι γενετικοί αλγόριθμοι εκτελούν μία αναζήτηση στον χώρο των υποψηφίων λύσεων με στόχο την εύρεση αποδεκτών, σύμφωνα με κάποιο κριτήριο, λύσεων.

Αυτού του είδους οι μέθοδοι λειτουργούν διατηρώντας έναν πληθυσμό κωδικοποιημένων πιθανών λύσεων και εφαρμόζοντας πάνω σ' αυτόν διάφορες διαδικασίες επιλογής του καλύτερου ατόμου, καθώς και διάφορους γενετικούς τελεστές. Οι τελεστές αυτοί αντιγράφουν τον τρόπο με τον οποίο αναπαράγονται



και μεταλλάσσονται τα χρωμοσώματα των κυττάρων των ζωντανών οργανισμών. Έτσι, περνώντας από γενιά σε γενιά, τα συστήματα αυτά δημιουργούν συνεχώς νέους πληθυσμούς πιθανών λύσεων, χρησιμοποιώντας τόσο κομμάτια και στοιχεία από την προηγούμενη γενιά, όσο και εντελώς καινούρια κομμάτια, που δοκιμάζονται για τυχόν καλή απόδοσή τους. Επανειλημμένες δοκιμές και πειράματα έχουν δείξει ότι μία «φυσική» αναπαράσταση των πιθανών λύσεων για ένα δεδομένο πρόβλημα, σε συνδυασμό με την εφαρμογή σε αυτή μιας οικογένειας γενετικών τελεστών, αποτελεί πολύ χρήσιμο εργαλείο στην προσπάθεια προσέγγισης των πραγματικών λύσεων σε μία πολύ μεγάλη ποικιλία προβλημάτων και εφαρμογών. Αυτό το γεγονός μετατρέπει αυτήν την προσέγγιση «φυσικού μοντέλου» σε μία πολλά υποσχόμενη κατεύθυνση, όσον αφορά την επίλυση προβλημάτων γενικότερα (Cormen et al., 2001, Παπαδόπουλος, 2012).

## 4.5. Συνηθέστεροι αλγόριθμοι επίλυσης προβλημάτων εύρεσης συντομότερης διαδρομής.

### 4.5.1. Ο αλγόριθμος του Dijkstra

Η πρωτότυπη μέθοδος τοποθέτησης ετικετών, η οποία δημοσιεύτηκε πρώτα από τον Dijkstra (1959) αλλά ανακαλύφθηκε ανεξάρτητα και από αρκετούς άλλους ερευνητές. Κάθε ακμή ενός γράφου χαρακτηρίζεται από έναν αριθμό ο οποίος αναφέρεται ως ετικέτα. Η ετικέτα μπαίνει στις ακμές (ή κόμβους) του μέσω μίας μεθόδου η οποία είναι γνωστή ως labelling method.

Ο αλγόριθμος του Dijkstra επιλύει το πρόβλημα εύρεσης συντομότερης διαδρομής σε ένα γράφο από έναν κόμβο αφετηρίας προς έναν ή περισσότερους κόμβους προορισμού (single- source shortest path problem) σε ένα σταθμισμένο κατευθυνόμενο γράφο  $G(V, E)$  ο οποίος δεν περιλαμβάνει ακμές με αρνητικά βάρη,  $w(u, v) \geq 0$  για κάθε ακμή  $(u, v)$  που ανήκει στο σύνολο των ακμών  $E$  του γράφου. Επιπρόσθετα, επιλύει το πρόβλημα εύρεσης συντομότερης διαδρομής από έναν κόμβο προορισμού προς τους υπόλοιπους κόμβους του γράφου (single- destination shortest path problem), καθώς η αντιστροφή της κατεύθυνσης των ακμών του γράφου ανάγει την επίλυση του προβλήματος στην περίπτωση που αφορά την εύρεση συντομότερου μονοπατιού από έναν κόμβο αφετηρίας προς τους υπόλοιπους κόμβους του γράφου.

Ο αλγόριθμος, με δεδομένο έναν κόμβο αναφοράς, αναζητεί το ελάχιστο κόστος για τη μετάβαση από τον αρχικό κόμβο σε κάθε κόμβο του γράφου. Αρχικά, αναθέτει άπειρο κόστος μετάβασης προς όλους τους κόμβους του γράφου και στη συνέχεια δημιουργεί δύο υποσύνολα στα οποία κατανέμονται οι κόμβοι. Το

πρώτο περιλαμβάνει τους κόμβους που ανακαλύπτονται διαδοχικά κατά την επίλυση και το οποίο αρχικά είναι κενό. Το δεύτερο αφορά γειτονικούς κόμβους των κόμβων που ανήκουν στο πρώτο σύνολο, οι οποίοι όμως δεν έχουν προσπελαθεί ακόμη. Παράλληλα, μια τρέχουσα μεταβλητή, φιλοξενεί τον κόμβο που ανήκει στο δεύτερο υποσύνολο με το ελάχιστο συσσωρευμένο κόστος. Η διαδικασία ολοκληρώνεται όταν προσπελαθούν όλοι οι κόμβοι του γράφου.

Αναλυτικότερα, ο αλγόριθμος, κρατά ένα σύνολο κόμβων  $S$  για τους οποίους έχουν προσδιοριστεί τα ελάχιστα συσσωρευμένα κόστη μετάβασης από έναν κόμβο αφετηρίας  $s$ . Μέσα από μια επαναληπτική διαδικασία, επιλέγει κάθε φορά έναν κόμβο  $u$ , ο οποίος ανήκει στο συντομότερο μονοπάτι που ξεκινά από τον κόμβο αφετηρίας και τον προσθέτει στο σύνολο  $S$ . (Cormen et al., 2001, Στεφανάκης, 2003).

Η πολυπλοκότητα του αλγόριθμου του Dijkstra για ένα γράφο  $G(V, E)$  είναι ίση με  $O(V^2)$ . Είναι προφανές ότι όσο το πλήθος των ακμών του γράφου αυξάνεται, η πολυπλοκότητα του αλγόριθμου είναι απαγορευτική. Για τις περιπτώσεις αυτές, έχουν προταθεί αλγόριθμοι εύρεσης βέλτιστων διαδρομών που αξιοποιούν τις αρχές της τεχνητής νοημοσύνης. Ο πιο γνωστός αλγόριθμος αυτής της κατηγορίας, είναι ο  $A^*$ , τα χαρακτηριστικά του οποίου περιγράφονται στο εδάφιο που ακολουθεί.

#### 4.5.2. Ο αλγόριθμος $A^*$ (A STAR)

Ο αλγόριθμος  $A^*$  εφαρμόζεται για την επίλυση προβλημάτων εύρεσης συντομότερης διαδρομής από έναν κόμβο αφετηρίας προς έναν κόμβο προορισμού (single-pair shortest path problem). Η λογική βάσει της οποίας δομείται, είναι περίπου όμοια με τη λογική δόμησης του αλγόριθμου του Dijkstra. Σε αντίθεση όμως με τον αλγόριθμο του Dijkstra, χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις μεγάλων γράφων όπου η πολυπλοκότητα του αλγόριθμου του Dijkstra καθίσταται απαγορευτική. Ο αλγόριθμος  $A^*$  αξιοποιεί τεχνικές της τεχνητής νοημοσύνης, προκειμένου να αυξηθεί η ταχύτητα αναζήτησης στους γράφους μέσα από την εφαρμογή ευρετικών κανόνων (heuristics).

Αρχικά, εκτιμάται το κόστος μετάβασης από τον κόμβο αφετηρίας στον κόμβο προορισμού. Πρόκειται για μια ενδεικτική και όχι για μια ακριβή εκτίμηση. Στη συνέχεια, υπολογίζονται αναδρομικά τα κόστη μετάβασης στους γειτονικούς κόμβους του αρχικού κόμβου και αποκλείονται εξ αρχής μονοπάτια που έχουν μεγαλύτερο κόστος σε σχέση με αυτό που είχε αρχικά εκτιμηθεί.

Αναλυτικότερα, ο αλγόριθμος χρησιμοποιεί μια συνάρτηση  $f(u, d)$  εκτίμησης του κόστους μετάβασης από τον κόμβο αφετηρίας στον κόμβο προορισμού

προκειμένου να εκτιμηθεί ένα αρχικό κόστος, στη βάση του οποίου πρόκειται να ελεγχθούν τα κόστη των μονοπατιών που ανακαλύπτονται στη συνέχεια.

Η πολυπλοκότητα του αλγόριθμου  $A^*$  εξαρτάται από τους ευρετικούς κανόνες που χρησιμοποιούνται κατά περίπτωση. Έτσι, εάν η συνάρτηση εκτίμησης που χρησιμοποιεί ο αλγόριθμος είναι η  $f(x)$  τότε η πολυπλοκότητα του αλγόριθμου ορίζεται ως εξής:

$$|f(x) - f^*(x)| = O(\log f^*(x))$$

Όπου  $f^*$  είναι ο βέλτιστος ευρετικός κανόνας που χρησιμοποιεί ο αλγόριθμος για την εύρεση της συντομότερης διαδρομής σε ένα γράφο. Ο αλγόριθμος  $A^*$  είναι κατά κανόνα ταχύτερος από τον αλγόριθμο του Dijkstra (Chawla, 2003).

### 4.5.3. Ο αλγόριθμος Bellman-Ford

Ο αλγόριθμος Bellman-Ford εφαρμόζεται κατά κύριο λόγο σε σταθμισμένους κατευθυνόμενους γράφους, για την επίλυση του προβλήματος εύρεσης συντομότερης διαδρομής από έναν κόμβο αφετηρίας προς έναν κόμβο προορισμού (single-source shortest path), στην περίπτωση που ένας γράφος περιλαμβάνει ακμές που έχουν θετικά και αρνητικά βάρη. Ο αλγόριθμος επιστρέφει μια λογική τιμή (boolean value), η οποία υποδεικνύει εάν υφίσταται ή όχι ένας αρνητικού βάρους κύκλος στο γράφο που είναι προσβάσιμος από τον κόμβο αφετηρίας. Η ύπαρξη ενός τέτοιου κύκλου στο γράφο σημαίνει ότι το πρόβλημα που εξετάζεται δεν έχει λύση. Εάν δεν υπάρχει κύκλος αρνητικού βάρους, τότε ο αλγόριθμος δίνει ως αποτέλεσμα τις συντομότερες διαδρομές που υφίστανται μεταξύ των κόμβων του γράφου και τα κόστη διάσχισής τους. Η πολυπλοκότητα του αλγόριθμου Bellman-Ford σε ένα γράφο με  $V$  κόμβους και  $E$  ακμές είναι ίση με  $O(V, E)$  (Στεφανάκης, 2003).

### 4.5.4. Ο αλγόριθμος της Αποικίας των Μυρμηγκιών (Ant Colony Optimization - ACO)

Η θεωρία της βελτιστοποίησης μέσω της εφαρμογής της μελέτης της συμπεριφοράς της κοινωνίας των μυρμηγκιών (Ant Colony Optimization-ACO) εισήχθη στις αρχές της δεκαετίας του '90 από το Marco Dorigo και τους συνεργάτες του, σαν μια ευρετική προσπάθεια επίλυσης δύσκολων συνδυαστικών προβλημάτων. Ανήκει λοιπόν, στην κατηγορία των ευρετικών και μεταευρετικών αλγορίθμων, οι οποίοι όπως έχει ήδη αναλυθεί, είναι προσεγγιστικοί αλγόριθμοι που χρησιμοποιούνται για να λαμβάνονται αρκετά καλές λύσεις σε δύσκολα συνδυαστικά προβλήματα και ταυτόχρονα σε λογικό υπολογιστικό χρόνο. Νωρίτερα

κατά τη διάρκεια των δεκαετιών '40 και '50 ο Γάλλος εντομολόγος Pierre-Paul Grasse παρατήρησε ότι μερικά είδη τερμιτών αντιδρούσαν σε «σημαντικά ερεθίσματα» όπως τα αποκαλούσε. Παρατήρησε λοιπόν, ότι αυτά τα ερεθίσματα αποτελούσαν αιτίες αντίδρασης ταυτόχρονα από τον μυρμήγκι που τις δημιουργούσε αλλά και από τα άλλα μυρμήγκια της αποικίας.

Τα μυρμήγκια ακολουθούν συγκεκριμένη στρατηγική εντοπισμού της τροφής τους και αυτή περιλαμβάνει την έρευνα του χώρο που περιβάλλει τη φωλιά τους αρχικά με τυχαίο τρόπο. Όταν κάποιο από αυτά βρει μια πηγή τροφής, αρχικά αξιολογεί την ποσότητα και την ποιότητα της και πηγαίνοντας πίσω στην φωλιά παίρνει μια ποσότητα από αυτήν.

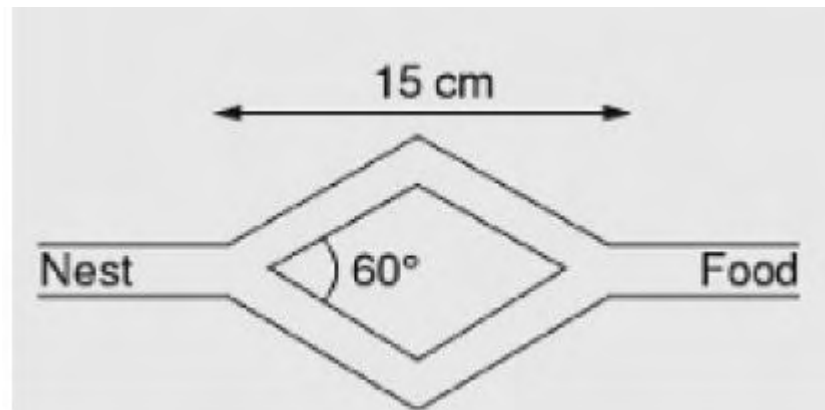
Επιστρέφοντας προς την πηγή και ακολουθώντας το δρόμο προς αυτήν, αποθέτει σε ίχνη, μια χημική ουσία που λέγεται φερομόνη. Η ποσότητα της χημικής αυτής ουσίας εξαρτάται από την αξιολόγηση –reviews την κοινωνίας των μυρμηγκιών- της ποσότητας και της ποιότητας της τροφής. Τα άλλα μυρμήγκια της αποικίας τείνουν να ακολουθούν τα μονοπάτια εκείνα τα οποία έχουν τη μεγαλύτερη συγκέντρωση φερομόνης. Μέσω αυτού του μηχανισμού, τα μυρμήγκια καταφέρνουν να προμηθεύουν την φωλιά τους με τροφή με έναν πολύ αποτελεσματικό τρόπο. Η ύπαρξη αυτού του τρόπου επικοινωνίας συνοψίζει την λειτουργία των αποικιών και είναι και ο λόγος για τον οποίο η προσοχή των ερευνητών έχει στραφεί προς την συμπεριφορά των εντόμων αυτών.

Για να κατανοήσουν οι ερευνητές πλήρως τον τρόπο λειτουργίας των αποικιών προχώρησαν σε σειρές πειραμάτων οι οποίες είχαν σκοπό την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των μυρμηγκιών αλλά και την πλήρη κατανόηση του μηχανισμού.

Ο Deneubourg μελέτησε διεξοδικά την απόθεση φερομόνης και την επακόλουθη συμπεριφορά. Σε ένα πείραμα που ονομάστηκε «το πείραμα της διπλής γέφυρας» ("the double bridge experiment"), η φωλιά μιας αποικίας μυρμηγκιών είχε συνδεθεί με μια πηγή τροφής μέσω δυο γεφυρών ίσου μήκους όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:

*Εικόνα 1: Η διπλή γέφυρα*

*(Πηγή: Σαλίχου, 2012)*

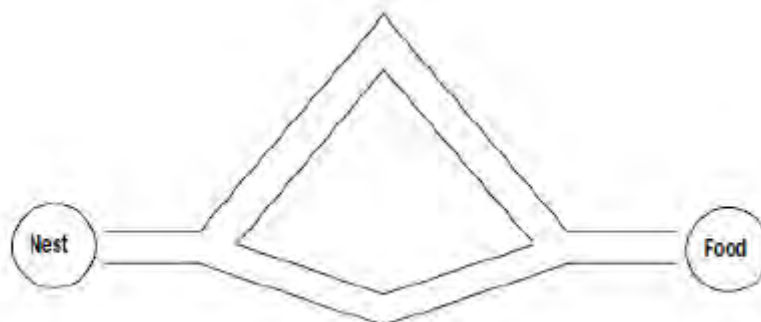


Αρχικά τα μυρμήγκια εξερευνούν την περιοχή γύρω από τη φωλιά τους και τελικά καταλήγουν να ανακαλύψουν αυτήν την πηγή τροφής. Στην αρχική τους επίσκεψη τα μυρμήγκια τυχαία επιλέγουν μια από τις δυο γέφυρες αφήνοντας φερομόνη στη διαδρομή τους. Λόγω τυχαίων διακυμάνσεων στο πλήθος των μυρμηγκιών που διασχίζουν την κάθε γέφυρα μια από τις δυο εμφανίζει μεγαλύτερη πυκνότητα σε φερομόνη και επιλέγεται από περισσότερα μυρμήγκια. Αυτό ακολούθως αυξάνει τη συγκέντρωση της φερομόνης στη γέφυρα και οδηγεί τελικά τα μυρμήγκια να τείνουν να επιλέγουν τη μια από τις δυο γέφυρες.

Στη συνέχεια ο Goss προχώρησε το πείραμα αυτήν τη φορά κατασκευάζοντας δυο γέφυρες με άνισα μήκη και μάλιστα έθεσε τη μια αρκετά μεγαλύτερη από την άλλη.

*Εικόνα 2: Γέφυρες άνισου μήκους*

*(Πηγή: Goss et al., 1989)*



Στην περίπτωση αυτή, οι αρχικές τυχαίες επιλογές είναι αρκετά λιγότερες από την προηγούμενη περίπτωση και γρήγορα τα μυρμήγκια επιλέγουν τη γέφυρα

με το μικρότερο μήκος, η οποία σταδιακά εμφανίζει μεγαλύτερα ποσά φερομόνης. Σε αυτό παίζει σπουδαίο ρόλο το γεγονός ότι, τα μυρμήγκια που επιλέγουν τη σύντομη διαδρομή, επιστρέφουν και ταχύτερα στην φωλιά τους. Επομένως, η σύντομη γέφυρα δέχεται μεγαλύτερες ποσότητες φερομόνης από ότι αυτή με το μεγαλύτερο μήκος στο ίδιο χρονικό διάστημα και κατ' επέκταση αυτό αυξάνει την πιθανότητα περισσότερα μυρμήγκια να επιλέξουν την πρώτη διαδρομή συγκριτικά με τη δεύτερη.

Θα μπορούσαμε να πούμε ότι η διαδικασία αυτή του πειράματος, πρέπει να ακολουθεί τους παρακάτω κανόνες:

1. Τοποθετείται σε ορισμένη απόσταση από τη φωλιά μια πηγή τροφής
2. Δημιουργούνται δυο γέφυρες οι οποίες είναι οι μόνες διέξοδοι προς αυτήν την πηγή τροφής για τα μυρμήγκια της αποικίας
3. Στο αρχικό στάδιο του αλγορίθμου δεν υπάρχει καμία δόση φερομόνης στα δυο αυτά μονοπάτια ώστε η επιλογή του μονοπατιού από τα μυρμήγκια αρχικά να γίνεται τυχαία, οπότε και η αρχική τιμή των πιθανοτήτων επιλογής του εκάστοτε μονοπατιού είναι ίδια και στις δυο γέφυρες

Στη συνέχεια, τα μυρμήγκια στο σημείο διασταύρωσης των δυο μονοπατιών, κάνουν την επιλογή τους ωθούμενα από τη φερομόνη που ανιχνεύουν στο κάθε μονοπάτι. Αυτή η επιλογή έχει «αυτοκαταλυτικό» αποτέλεσμα αφού στην πραγματικότητα αν ένα μυρμήγκι ακολουθήσει μια πορεία, τότε αυξάνει αυτόματα την πιθανότητα και κάποιο άλλο επόμενο μυρμήγκι να ακολουθήσει την ίδια πορεία.

Ωστόσο, ακόμα και αν η αρχική επιλογή κάποιων εκ των μυρμηγκιών δεν είναι σωστή, ο ίδιος ο μηχανισμός απόθεσης της φερομόνης και κυρίως το χαρακτηριστικό της ουσίας αυτής που είναι το γεγονός ότι με την πάροδο του χρόνου σταδιακά εξατμίζεται, τελικά και πάλι τα μυρμήγκια οδηγούνται στο να ακολουθούν το συντομότερο μονοπάτι.

Αυτό συμβαίνει γιατί όταν ένα μυρμήγκι διαλέξει το συντομότερο δρόμο τότε θα γυρίσει πιο γρήγορα στη φωλιά αφήνοντας περισσότερη φερομόνη η οποία τελικά θα αυξήσει την πιθανότητα επιλογής του συγκεκριμένου μονοπατιού από κάποιο επόμενο μυρμήγκι που θα την ανιχνεύσει. Τα επόμενα στη σειρά μυρμήγκια θα ακολουθήσουν με τον ίδιο τρόπο με μεγαλύτερη πιθανότητα το πιο σύντομο μονοπάτι προς την τροφή και στη συνέχεια πάλι πίσω στη φωλιά. Καθώς λοιπόν η διαδικασία αυτή ακολουθείται και συνεχίζεται, τελικά η φερομόνη στο σύντομο μονοπάτι αυξάνεται συνεχώς, ενώ το αντίθετο συμβαίνει στο μακρύτερο μονοπάτι, στο οποίο η φερομόνη εξατμίζεται τελικά και καταλήγει η πιθανότητα επιλογής του να είναι μηδενική στο τέλος του πειράματος (Goss et al., 1989).

Το υπολογιστικό μοντέλο που αναπτύχθηκε από τον Goss για να περιγράψει τη συμπεριφορά των 56 μυρμηγκιών για πείραμα με τις γέφυρες άνισου μήκους είναι το εξής :

*Υποθέτοντας ότι σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή,  $m_1$  είναι ο αριθμός των μυρμηγκιών που έχουν χρησιμοποιήσει τη γέφυρα 1 και  $m_2$  ο αριθμός των μυρμηγκιών που έχουν χρησιμοποιήσει τη γέφυρα 2, η πιθανότητα  $p_1$  για ένα μυρμηγκί να επιλέξει την πρώτη γέφυρα θα είναι:*

$$p = \frac{(m_1+k)^h}{(m_1+k)^h + (m_2+k)^h}$$

Όπου οι παράμετροι  $k$  και  $h$  συμπληρώνονται ανάλογα με τα δεδομένα του πειράματος.

Προφανώς  $P_1 = 1 - P_2$ . Η παράμετρος  $k$  ποσοτικοποιεί το βαθμό ελκυστικότητας μιας διαδρομής στην οποία δεν έχει εναποτεθεί φερομόνη. Όσο μεγαλύτερη είναι αυτή η τιμή τόσο μεγαλύτερη ποσότητα φερομόνης θα χρειαστεί ώστε η επιλογή ενός κλάδου να μην είναι πλέον τυχαία.

Η παράμετρος  $h$  ποσοτικοποιεί το βαθμό μη γραμμικότητας της συνάρτησης επιλογής. Όσο πιο μεγάλη είναι η τιμή του τόσο αυξάνεται η εξάρτηση από την αύξηση της φερομόνης στους δυο κλάδους αυξάνει κατά πολύ την πιθανότητα επιλογής ενός εκ των δυο κλάδων από το επόμενο μυρμηγκί.

Η λογική του αλγόριθμου γενικότερα ακολουθεί τα παρακάτω βήματα:

Βήμα 1ο: Απεικονίζουμε τον χώρο των λύσεων με τον αντίστοιχο γράφο

Βήμα 2ο: Αρχικοποίηση των παραμέτρων του αλγορίθμου

Βήμα 3ο: Δημιουργία λύσεων από την πορεία του μυρμηγκιών πρακτόρων

Βήμα 4ο: Αναπροσαρμόζουμε την τιμή της φερομόνης

Βήμα 5ο: Επιστρέφουμε στο βήμα 3 και επαναλαμβάνουμε μέχρι να ικανοποιηθεί ο στόχος ή να φθάσουμε σε λύση (Goss et al., 1989).

## 4.6. Το πρόβλημα της Χωροθέτησης – ανάθεσης (Location/Allocation)

### 4.6.1. Γενικά.

Εκτός από τις μεθοδολογίες εύρεσης συντομότερης διαδρομής έχουν αναπτυχθεί και μεθοδολογίες για την εύρεση της βέλτιστης Χωροθέτησης/Ανάθεσης.

Με τον όρο χωροθέτηση (location) (ή τοποθεσία ή θέση) εννοούμε το σημείο εγκατάστασης μιας ανθρώπινης δραστηριότητας, μια έννοια αφηρημένη σε σχέση με τον τόπο, που χρησιμοποιείται ιδίως σε συνδυασμό με τη γραμμική έννοια της απόστασης (Λεοντίδου, 2011).

Στην παρούσα ενότητα, η έννοια της χωροθέτησης/ κατανομής αφορά στην επιλογή μελλοντικών τοποθετήσεων εγκαταστάσεων, οι οποίες καλούνται να εξυπηρετήσουν συγκεκριμένη κατανομή πελατών.

### 4.6.2. Ο αλγόριθμος P-MEDIAN.

Ο αλγόριθμος χωροθέτησης-ανάθεσης  $p$ -median ανήκει στο ευρύτερο πεδίο των μαθηματικών μοντέλων της Θεωρίας Γραφημάτων και αποτελεί έναν από τους πιο συχνά απαντώμενους σε τέτοια ζητήματα αλγορίθμους, στον οποίο ο αριθμός των εγκαταστάσεων θεωρείται δεδομένος. (Goodchild, 1984). Ειδικά εφαρμόζεται στην περίπτωση χωροθέτησης- ανάθεσης δημοσίων κέντρων παροχής υπηρεσιών και μπορεί να του αποδοθούν και συγκεκριμένοι περιορισμοί, χιλιομετρικών αποστάσεων για παράδειγμα. Πρόκειται για μοντέλο χωροθέτησης- ανάθεσης καλείται να δώσει απάντηση σε ότι αφορά: το που θα χωροθετηθεί η κάθε μεμονωμένη εγκατάσταση και πως θα κατανομηθεί χωρικά το συνολικό δίκτυο των εγκαταστάσεων, ώστε να καλύπτει την απαιτούμενη ζήτηση, αλλά ταυτόχρονα να ικανοποιεί και τη βελτιστοποίηση συγκεκριμένων κριτηρίων. Τα μοντέλα αυτά χρησιμοποιούν ευρετικές (heuristic) μεθόδους και τεχνικές επίλυσης, με τις οποίες μπορούν να επιλυθούν μεγάλα και πολυσύνθετα προβλήματα σχετικά γρήγορα, οι οποίες μέθοδοι αναπτύσσονται ώστε να επιλύσουν τόσο τις συνεχείς όσο και τις διακριτές χωρικές εξισώσεις (Densham, 1991).

Η πρώτη αναφορά στο θέμα της χωροθέτησης- ανάθεσης είχε γίνει από τον Fermat (17ος αιώνας) και μετέπειτα ολοκληρώθηκε σαν σκέψη από τον Weber(αρχές 20ου αιώνα) και αφορούσε στη χωροθέτηση μιας θέσης εγκατάστασης σε συνεχή χώρο μέσω ευκλείδειων αποστάσεων, λαμβάνοντας υπόψη τη σταθμισμένη ζήτηση. Το 1962 ο Hakimi έκανε πρώτος την ολοκληρωμένη διατύπωση του μοντέλου  $p$ -median για τη χωροθέτηση και ανάθεση ` πολλών



θέσεων εγκαταστάσεων η οποία ταυτόχρονα λαμβάνει υπόψη τη σταθμισμένη ζήτηση, αλλά βασίζεται σε δίκτυο για την επίλυση του (Hakimi, 1962), θεωρία που πέρασαν στο τελικό επίπεδο της συνάρτησης γραμμικού προγραμματισμού που χρησιμοποιείται σήμερα οι Revelle και Swain το 1970 (Reese, 2005).

Μέσω της αντικειμενικής συνάρτησης του αλγόριθμου p-median διατυπώνεται η προσπάθεια εξεύρεσης ενός βελτιστοποιημένου δικτύου θέσεων για P-αριθμό υποψήφιας εγκαταστάσεων έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθεί ο συνολικός χρόνος μετακίνησης για να ικανοποιηθεί η ζήτηση, η οποία εξυπηρετείται από την κοντινότερη εγκατάσταση (Goodchild, 1984) στηριζόμενη όμως εξολοκλήρου σε αποστάσεις δικτύου, καθώς με αυτόν τον τρόπο γίνεται σαφέστερα πιο ρεαλιστική η μοντελοποίηση εφόσον βασίζεται στην απεικόνιση της πραγματικής κατάστασης και των εν δυνάμει χρόνων μετακίνησης (Alfonseca, 2007).

Η επίλυση του προβλήματος χωροθέτησης-κατανομής p-median δίνεται από την αντικειμενική συνάρτηση:

$$\min Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m W_i d_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

με περιορισμούς

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} = 1, \forall i \quad (2)$$

$$x_{ij} \leq y_j \quad \forall ij \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^m y_j = P \quad (4)$$

$$x_{ij} = 0 \text{ ή } 1 \quad \forall ij \quad (5)$$

$$y_j = 0 \text{ ή } 1 \quad \forall j \quad (6)$$

όπου:

Z = η αντικειμενική τιμή συνάρτησης που καλείται να ελαχιστοποιηθεί

n= ο αριθμός των σημείων ζήτησης

m= ο αριθμός των υποψήφιας σημείων-θέσεων εγκατάστασης

d<sub>ij</sub>= το πραγματικό κόστος διανυόμενης απόστασης από το σημείο i στην εγκατάσταση j

$w_i$  = η ζήτηση στο σημείο  $i$

$x_{ij}$  = παίρνει την τιμή 1 αν το σημείο  $i$  έχει ανατεθεί ως σημείο εγκατάστασης του  $j$ , και την τιμή 0 σε κάθε άλλη περίπτωση.

$y_j$  = παίρνει την τιμή 1 αν το σημείο  $j$  κατανέμεται ως εγκατάσταση και την τιμή 0 σε κάθε άλλη περίπτωση

$P$  = επιθυμητός αριθμός των εγκαταστάσεων προς χωροθέτηση ( $P$  σημεία κατανεμημένα στον εαυτό τους) (Alfonseca, 2007)

Η αντικειμενική συνάρτηση (1) ελαχιστοποιεί το άθροισμα των (σταθμισμένων) αποστάσεων μεταξύ των σημείων ζήτησης και των υποψήφιων σημείων εγκατάστασης. Οι περιορισμοί (2) εγγυώνται ότι κάθε σημείο ζήτησης αποδίδεται σε ακριβώς ένα σημείο εγκατάστασης. Ο περιορισμός (3) απαγορεύει σε ένα σημείο ζήτησης να ανατεθεί σε μια εγκατάσταση που δεν επελέγη ως σημείο εγκατάστασης. Ο συνολικός αριθμός των σημείων εγκατάστασης ορίζεται από την (4) και είναι ίσος προς  $P$ . Οι περιορισμοί (5), (6) διασφαλίζουν ότι οι τιμές των μεταβλητών  $x$  και  $y$  είναι 0 ή 1, δηλαδή την δυαδικότητά τους.

## 5. ΜΕΛΕΤΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΣΤΗΝ ΑΣΤΙΚΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ.

### 5.1 Εφαρμογή μεθόδων βελτιστοποίησης του ΣΔΑ στην Αθήνα.

Εφαρμογή του αλγόριθμου της αποικίας μυρμηγκιών για την βελτίωση υφιστάμενου δικτύου αποκομιδής και μεταφοράς αποβλήτων έγινε για μία συγκεκριμένη περιοχή στον Δήμο Αθηναίων (Καραδήμας - Λούμος, 2007).

Πιο συγκεκριμένα πρόκειται για μία περιοχή στα διοικητικά όρια του Δήμου - Αθηναίων, περίπου 0,45 Km<sup>2</sup> -περίπου 100 Οικοδομικά Τετράγωνα- με πληθυσμό περίπου 8.500 κατοίκους και ετήσια παραγωγή 3.800 tn αποβλήτων. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στην μελέτη προέρχονταν από τις Τεχνικές Υπηρεσίες του Δήμου Αθηναίων. Σημαντικό ρόλο στην εργασία έπαιξε το ήδη καταγεγραμμένο υπόβαθρο του δήμου σε GIS καθώς επίσης και το εφαρμοζόμενο Πιλοτικό Πρόγραμμα του Δήμου που διεξήχθη από το 1998 έως το 2000. Ένας από τους στόχους αυτού του προγράμματος ήταν η αποθήκευση δεδομένων σχετικά με την αποκομιδή και μεταφορά των αποβλήτων του Δήμου σε μια βάση δεδομένων με σκοπό την περαιτέρω επεξεργασία τους. Σε κάθε απορριμματοφόρο όχημα υπήρχε εγκατεστημένο ένα GPS (Global Positional System) και κάθε φορά που το όχημα προσέγγιζε ένα κάδο για συλλογή του περιεχομένου, αποστέλλονταν η θέση του οχήματος στην βάση δεδομένων που βρισκόταν στο αμαξοστάσιο. Έτσι η βάση δεδομένων εμπλουτίστηκε με καθημερινές πληροφορίες για κάθε επιμέρους όχημα ως προς τον χρόνο που διέθετε για να ολοκληρώσει την διαδρομή του, τα στάσεις, τα διαλείμματα, τον χρόνο και την απόσταση μεταξύ δύο κάδων, την μέση ταχύτητα κλπ. Με αυτά τα στοιχεία από την βάση δεδομένων καθώς και την συγκεκριμένη τοποθέτηση των κάδων σύμφωνα με εμπειρικά δεδομένα καθώς και την συγκεκριμένη χωρητικότητα των οχημάτων εφαρμόστηκε ο αλγόριθμος της αποικίας των μυρμηγκιών, και τα αποτελέσματα συγκρίθηκαν με τα εμπειρικά με σκοπό την ελαχιστοποίηση της συνολικής απόστασης. Ο αλγόριθμος έτρεξε 27.700 φορές εκ των οποίων 120 φορές ο αλγόριθμος δεν μπόρεσε να δώσει λύση λόγω αδιεξόδων. Το μειονέκτημα ήταν ότι για κάθε μία από τις 27.700 απαιτούνταν 15-20 λεπτά χρόνου. Ως εκ τούτου το πείραμα χρειάστηκε μήνες για να ολοκληρωθεί. Αν συνυπολογιστεί ότι μελετήθηκε μόνο μία περιοχή του Δήμου, γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι για μία ολοκληρωμένη μελέτη απαιτούνται εξελιγμένα συστήματα υπολογιστών...ή υπομονή. Τα συγκριτικά αποτελέσματα της μεθόδου παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 9: Συγκριτικά αποτελέσματα εμπειρικών δεδομένων & αλγορίθμου AM

(Πηγή: Καραδήμας - Λούμος, 2007)

Εμπειρικό Μοντέλο	Μέση Διαδρομή του ΣΑΜ	Βέλτιστη Διαδρομή του ΣΑΜ	Βελτίωση από Βέλτιστη Διαδρομή	Βελτίωση από Μέση Διαδρομή
(m)	(m)	(m)	(%)	(%)
9.850	8.820	7.328	25.6	10.45

Όπως δείχνουν τα αποτελέσματα οι βελτιώσεις στις διαδρομές μετά από μία τέτοια μελέτη είναι σημαντικές και ουσιώδεις. Σε μία μέση διαδρομή παρουσιάζεται βελτίωση της τάξης του 10,45% που αν μεταφραστεί σε οικονομικά και χρονικά δεδομένα είναι σημαντική. Τα ποσοστά βελτίωσης είναι πολύ σημαντικότερα στην βέλτιστη διαδρομή όπου αγγίζουν το 25%. Σε αυτή την περίπτωση η μετάφραση του ποσοστού σε οικονομικά και χρονικά μεγέθη είναι πολύ βασική.

## 5.2. Εφαρμογή μεθόδων βελτιστοποίησης στο ΣΔΑ της Ναρντώ στην Ιταλία.

Μία άλλη εφαρμογή αλγορίθμων βελτιστοποίησης έγινε για την πόλη Ναρντώ (Nardó) που βρίσκεται στα νοτιοανατολικά της Ιταλίας, σε περιοχή με συνολική έκταση 190,52 km<sup>2</sup>, με πληθυσμό το 2010 που αγγίζει τους 31.762 κατοίκους. Σε αυτή την εργασία, προτείνεται ένα σύστημα βελτιστοποίησης που μπορεί να βοηθήσει τους φορείς στην λήψη αποφάσεων για την επιλογή σημείων συλλογής των αποβλήτων, καθώς και την χωρητικότητα των κάδων που πρέπει να βρίσκονται σε κάθε θέση συλλογής (Ghiani et al., 2012).

Για την κατανόηση του αλγορίθμου βελτιστοποίησης εισήχθησαν οι παρακάτω συμβολισμοί:

$K$  = το σύνολο των διαφορετικών τύπων κάδων διαθέσιμων προς κατανομή σε σημεία συλλογής

$Q_k$  = Η χωρητικότητα ενός κάδου τύπου  $k \in K$

$l_k$  = Το γραμμικό μήκος ενός κάδου τύπου  $k \in K$

$b_k$  = ο συνολικός αριθμός κάδων τύπου  $k \in K$  που διατίθεται για τοποθέτηση

$q_i$  = Η ημερήσια παραγωγή που σχετίζονται με το σημείο  $i \in V_1$

$L_j$ = Το γραμμικό μήκος που σχετίζεται με πιθανά σημεία συλλογής  $j \in V_2$

Σημειώνεται ότι, η συνολική χωρητικότητα των κάδων δεν πρέπει να είναι μικρότερη από τη συνολική ημερήσια παραγωγή αποβλήτων  
Οι μεταβλητές του μοντέλου είναι οι εξής:

$z_j$ = Η δυαδική μεταβλητή που παίρνει την τιμή 1 αν επιλεγθεί ως πιθανό σημείο συλλογής  $j \in V_2$  και την τιμή 0 σε άλλη περίπτωση.

$x_{ij}$ = Η δυαδική μεταβλητή που παίρνει την τιμή 1 αν το σημείο ζήτησης  $i \in V_1$  έχει ανατεθεί στο σημείο συλλογής  $j \in V_2$  και την τιμή 0 σε άλλη περίπτωση.

$y_{kj}$ = Η ακέραια μεταβλητή που αντιπροσωπεύει τον αριθμό των κάδων ενός τύπου  $k \in K$  προς τοποθέτηση στο σημείο συλλογής  $j \in V_2$

Ο αλγόριθμος βελτιστοποίησης περιγράφεται με την συνάρτηση (a):

$$\text{Minimize } w = \sum_{j \in V_2} z_j \quad (7)$$

Με περιορισμούς

$$\sum_{i \in V_1} q_i x_{ij} \leq \sum_{k \in K} Q_k y_{kj}, \quad \forall j \in V_2 \quad (8)$$

$$\sum_{k \in K} l_k y_{kj} \leq L_j z_j, \quad \forall j \in V_2 \quad (9)$$

$$\sum_{h: d_{ij} + \delta < d_{ih}} x_{ih} \leq 1 - z_j, \quad \forall i \in V_1, \forall j \in V_2 \quad (10)$$

$$\sum_{j \in U_i} x_{ij} = 1, \quad \forall i \in V_1 \quad (11)$$

$$\sum_{j \in V_2} y_{kj} \leq b_k, \quad \forall k \in K \quad (12)$$

$$z_j \in \{0,1\}, \quad \forall j \in V_2 \quad (13)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\}, \quad \forall i \in V_1, \forall j \in V_2 \quad (14)$$

$$y_{kj} \geq 0, \text{ integer. } \forall j \in V_2, \forall k \in K \quad (15)$$

Ο περιορισμός (8) επιβάλλει το σύνολο των αποβλήτων που απευθύνονται στα σημεία συλλογής  $j \in V_2$  να είναι το πολύ ίσο με την συνολική χωρητικότητα των κάδων προς τοποθέτηση.

Ο περιορισμός (9) αποτρέπει κάθε πιθανό σημείο συλλογής  $j \in V_2$  να φιλοξενεί περισσότερους κάδους από την χωρητικότητά του, από άποψη μήκους.

Ο περιορισμός (10) αποτρέπει το σημείο ζήτησης  $i \in V_1$  να τοποθετείται σε ένα ενεργοποιημένο σημείο συλλογής, το οποίο δεν είναι κατ'ανάγκη το πιο κοντινό, όταν δεν τηρούνται οι επιθυμητές αποστάσεις  $D_i$ .

Στην πράξη, οι περιορισμοί αυτοί «δένουν» τις μεταβλητές  $x_{ij}$  και τις μεταβλητές  $Z_j$  κατά τέτοιο τρόπο ώστε οι πολίτες να εξυπηρετούνται από το χώρο συλλογής αποβλήτων πιο βρίσκεται πιο κοντά στο σπίτι τους. Αναγκάζουν την κατανομή του σημείου ζήτησης  $i \in V_1$  στην ενεργοποιημένη θέση συλλογής  $j \in V_2$  έτσι ώστε να ικανοποιείται η ανισότητα  $d_{ij} + \delta < d_{ih}$  για κάθε  $h \in V_2$  τέτοια ώστε  $h$  διαφορετικό του  $j$ , όπου το  $\delta$  είναι μία τιμή ανοχής.

Όταν  $Z_j = 1$  όλες οι μεταβλητές  $x_{ih}$  όπως και η ανισότητα  $d_{ij} + \delta < d_{ih}$  πάρουν την τιμή 0, τότε το σημείο ζήτησης  $i \in V_1$  τοποθετείται στο σημείο συλλογής  $j$ .

Από την άλλη πλευρά, όταν  $Z_j = 0$  ο περιορισμός (10) απορρίπτεται λόγω του περιορισμού (11).

Η έννοια του  $\delta$  δίνεται ακολούθως: Εάν ένα σημείο ζήτησης δεν μπορεί να τοποθετηθεί στο πιο κοντινό του ενεργοποιημένο σημείο συλλογής  $j$ , γιατί για παράδειγμα δεν ικανοποιείται η συνολική χωρητικότητα του σημείου συλλογής, εξακολουθεί να μπορεί να τοποθετηθεί σε ένα σημείο συλλογής  $j'$  για το οποίο ισχύει  $d_{ij'} \leq d_{ij} + \delta$ .

Ο περιορισμός (11) τοποθετεί κάθε σημείο ζήτησης  $i \in V_1$  σε ακριβώς ένα ενεργοποιημένο σημείο συλλογής εντός του απόστασης  $D_i$ .

Ο περιορισμός (12) εξασφαλίζει ότι ο αριθμός των κάδων κάθε τύπου που διατίθενται για την ενεργοποιημένο σημείο συλλογής είναι μικρότερος ή ίσος με τη μέγιστη διαθέσιμη ποσότητα. Τέλος, οι περιορισμοί (13) (14) (15) ορίζουν το πεδίο των μεταβλητών.

Στην συνέχεια παρατίθενται κάποια ποσοτικά στοιχεία της έρευνας.

Η περιοχή παράγει 15.133 τόνους αποβλήτων ετησίως, το οποίο ισοδυναμεί με 41,46 τόνους ανά ημέρα. Τίθεται ο περιορισμός ότι η ποσότητα των αποβλήτων που παράγονται είναι ομοιόμορφη ανά κάτοικο και λαμβάνεται ως 1.3 kg/ημέρα. Επίσης ο πληθυσμός ομαδοποιήθηκε σε 1163 κεντροειδή.

Στην περιοχή ήταν τοποθετημένοι 782 κάδοι τριών τύπων, σε 560 σημεία συλλογής. Οι κάδοι κατηγοριοποιήθηκαν ως ακολούθως:

K=1: Κάδοι τύπου 1 με χωρητικότητα 72 κιλών - Μετρήθηκαν 197 τεμάχια.

K=2: Κάδοι τύπου 2 με χωρητικότητα 154 κιλών - Μετρήθηκαν 180 τεμάχια.

K=3: Κάδοι τύπου 3 με χωρητικότητα 480 κιλών - Μετρήθηκαν 405 τεμάχια.

Η πολυπλοκότητα του μοντέλου βελτιστοποίησης που περιγράφηκε παραπάνω, καθιστά ιδιαίτερα χρονοβόρα την επίλυσή του μέσω γραμμικού προγραμματισμού. Η επίλυση τέτοιου είδους μοντέλων απαιτεί ειδικές τεχνικές ή την χρήση ευρετικών αλγορίθμων.

Εφαρμόζοντας ευρετικούς αλγορίθμους που επιλύουν τέτοιου είδους πολύπλοκα προβλήματα μαθηματικών εξετάστηκε το σενάριο για βελτιστοποίηση του αριθμού των σημείων συλλογής, με προτεινόμενη τοποθέτησή τους ανά 140 μέτρα και ανά 150 μέτρα και για ημερήσια κατά κεφαλήν παραγωγή αποβλήτων την υφιστάμενη των 1.3 kg, αλλά και μελλοντικών παραγωγών, 1.4 και 1.5 kg. Το ποσοστό μείωσης στον αριθμό των σημείων συλλογής που επετεύχθη κυμαίνεται από 57% έως 62% και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον επόμενο πίνακα.

*Πίνακας 10: Αποτελέσματα ευρετικής εφαρμογής στα σημεία συλλογής στην Ναρντώ*

*(Πηγή: Ghiani et al., 2012)*

<b>ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΚΑΔΩΝ (m)</b>	<b>ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΚΑΤΑ ΚΕΦΑΛΗΝ ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ (kg)</b>	<b>ΑΡΙΘΜΟΣ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ ΣΥΛΛΟΓΗΣ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ</b>	<b>ΑΡΙΘΜΟΣ ΝΕΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ ΣΥΛΛΟΓΗΣ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ</b>	<b>ΜΕΙΩΣΗ (%)</b>
140	1.3	560	221	-60.5
	1.4	560	237	-57.7
	1.5	560	239	-57.3
150	1.3	560	212	-62.1
	1.4	560	224	-60.0
	1.5	560	228	-59.3

Παρακάτω παρουσιάζεται η βελτιστοποίηση του αριθμού των κάδων. Το ποσοστό μείωσης κυμαίνεται μεταξύ 69% και 73%.

Πίνακας 11: Αποτελέσματα ευρετικής εφαρμογής στους κάδους απόρριψης, στην Ναρντώ

(Πηγή: Ghiani et al., 2012)

ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΚΑΔΩΝ (m)	ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΚΑΤΑ ΚΕΦΑΛΗΝ ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ (kg)	ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ			ΕΥΡΕΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗΣ			ΜΕΙΩΣΗ (%)
		K=1	K=2	K=3	K=1	K=2	K=3	
140	1,3	197	180	405	58	36	142	-71,8
	1,4	197	180	405	63	37	152	-69,9
	1,5	197	180	405	64	38	152	-69,6
150	1,3	197	180	405	52	32	143	-73,5
	1,4	197	180	405	45	36	153	-73,1
	1,5	197	180	405	50	36	155	-72,1

- K: το σύνολο των διαφορετικών τύπων κάδων διαθέσιμων προς κατανομή σε σημεία συλλογής

### 5.3. Εφαρμογή μεθόδων βελτιστοποίησης στο ΣΔΑ της Μορέλια στο Μεξικό.

Η έρευνα διεξήχθη στη Morelia, μια πόλη στο δυτικό Μεξικό με περίπου 729.279 κατοίκους. Καλύπτει μια έκταση 1.336 km<sup>2</sup> για την βελτίωση της διαχείρισης αστικών αποβλήτων της περιοχής (Delgado et al, 2015).

Στην Μορέλια, η συλλογή, επεξεργασία και διάθεση των ΑΣΑ συντονίζεται από τη δημοτική αρχή. Η υπηρεσία συλλογής διαιρείται σε δημοτικούς και ιδιωτικούς τρόπους συλλογής, οι οποίοι λειτουργούν από Δευτέρα έως Σάββατο και όλη την εβδομάδα. Τα στερεά αστικά απόβλητα συλλέγονται σε πλαστικά δοχεία και πλαστικές σακούλες που αποτίθενται εκτός των κατοικιών, και σε ορισμένες γειτονιές, σε προκαθορισμένα σημεία συλλογής, όπως γωνίες του δρόμου και η αποκομιδή τους γίνεται σύμφωνα με χρονοδιαγράμματα.



Τα στερεά αστικά απόβλητα που συνήθως δεν διαχωρίζονται, παρά μόνο σε λίγες περιοχές της πόλης, διακρίνονται σε : (i) ξηρό κλάσμα (χαρτί, χαρτόνι, ατσάλι και πλαστικό) και (ii) υγρά κλάσματα (τρόφιμα και απόβλητα κήπου). Πραγματοποιήθηκαν δύο εκστρατείες με σκοπό την συλλογή αστικών αποβλήτων από επιλεγμένες κατοικίες, βάσει συγκεκριμένων περιορισμών. Κατά τις εκστρατείες, ζητήθηκε από τις επιλεγμένες κατοικίες για μία εβδομάδα να αποθέτουν τα απόβλητά τους διαχωρισμένα σε ξηρά (χαρτί, χαρτόνι, ατσάλι και πλαστικό) και υγρά κλάσματα (τρόφιμα και απόβλητα κήπου) σε πλαστικές σακούλες που τους είχαν προμηθεύσει, και οι οποίες συλλέγονταν από μέλη της ομάδας εκστρατείας. Η πρώτη υλοποιήθηκε το 1998 και περιλάμβανε 229 κατοικίες και η δεύτερη το 2004, 269 κατοικίες/νοικοκυριά με σκοπό την ευαισθητοποίηση και εξοικείωση των κατοίκων με την ανακύκλωση. Επιπλέον σκοπός ήταν να κατηγοριοποιηθούν τα απόβλητα προκειμένου να προκύψουν κοινωνικο-οικονομικές πληροφορίες για τους κατοίκους. Οι κατοικίες του δείγματος επιλέχθηκαν σύμφωνα με το μηνιαίο εισόδημά τους. Οι κατηγορίες –περιορισμοί του τέθηκαν για τις τρεις κοινωνικο-οικονομικές τάξεις είναι:

(I) Χαμηλή εισοδηματική τάξη: Έως 1 κατώτατο μισθό μηνιαίως ανά νοικοκυριό (\$ 90,00 και \$ 115,00 δολάρια το 1998 και το 2004, αντίστοιχα).

(II) Μέση εισοδηματική τάξη: 1-2 κατώτατους μισθούς μηνιαία ανά νοικοκυριό (\$ 182.00 και \$ 230.00 δολάρια το 1998 και το 2004, αντίστοιχα).

(III) Ανώτερη εισοδηματική τάξη: 2-5 κατώτατους μισθούς μηνιαία ανά νοικοκυριό (\$ 450.00 και \$ 575.00 δολάρια το 1998 και το 2004, αντίστοιχα).

Για μία εβδομάδα καθημερινά, σε κάθε εκστρατεία, συλλέγονταν τα απόβλητα από τις επιλεγμένες κατοικίες αφού πρώτα είχαν διανεμηθεί στους συμμετέχοντες ειδικές σακούλες απορριμμάτων.

Οι μελετητές συγκέντρωσαν τα απόβλητα και μετά τον διαχωρισμό τους προσέδωσαν νέες στατιστικές πληροφορίες που αφορούσαν στα κοινωνικο-οικονομικά χαρακτηριστικά των τάξεων. Ως περιορισμοί -χωρίς αυτοί να είναι γνωστοί στους συμμετέχοντες- τέθηκαν από τους μελετητές ειδικές κατηγορίες των αποβλήτων με χαρακτηριστικά που ορίστηκαν από τους μελετητές βάσει κοινωνικο-οικονομικών κριτηρίων. Ορίστηκαν χαρακτηριστικά αποβλήτων που η κάθε εισοδηματική τάξη θα μπορούσε να παράξει ως «ανεκτά». Τα απόβλητα που δεν κατηγοριοποιούνταν στα χαρακτηριστικά αυτά, θεωρούνταν «μη ανεκτά».

Οι μελετητές χρησιμοποίησαν τον «Γενετικό Αλγόριθμο για την θέσπιση κανόνων Παραγωγής» -Genetic Algorithm for Rule-set Production (GARP)-, ενταγμένο σε ένα Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS), ο οποίος χρησιμοποιείται για να βρει περιοχές με κοινωνικο-οικονομικές συνθήκες που είναι αντιπροσωπευτικές της παραγωγής των ΑΣΑ.

Τα δεδομένα σχετικά με τα ΑΣΑ αναλύθηκαν χρησιμοποιώντας περιγραφική στατιστική και την Ανάλυση Πολλαπλών Μεταβλητών (Multivariable Analysis). Το πρόγραμμα ARC View 3.2 χρησιμοποιήθηκε για τη μετατροπή των ΑΣΑ δεδομένων και των κοινωνικο-οικονομικών μεταβλητών σε χωρικά δεδομένα.

Κοινωνικο-οικονομικά δεδομένα των επιλεγμένων μεταβλητών, κατηγοριοποιημένα ανά Βασικές Γεωστατιστικές Περιοχές, ελήφθησαν από την Εθνική Απογραφή Πληθυσμού του 2000.

Οι μελετητές επίσης μέσω του GARP δημιούργησαν ένα χωρικό μοντέλο για τον εντοπισμό περιοχών του Μεξικού με παρόμοιες κοινωνικο-οικονομικές συνθήκες με εκείνες του δείγματος.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι κοινωνικο-οικονομικές μεταβλητές, όπως το μηνιαίο εισόδημα και η εκπαίδευση συσχετίζονται με τα συστατικά των αποβλήτων που παράγονται. Επίσης μέσω του χωρικού μοντέλου που χρησιμοποιήθηκε στην μελέτη, ανακάλυψαν περιοχές με παρόμοια κοινωνικο-οικονομικές συνθήκες με εκείνες του δείγματος, αναμένεται να έχουν παρόμοια σύνθεση στα ΑΣΑ. Τα αποτελέσματά μπορεί να είναι χρήσιμα για την μείωση του κόστους διαχείρισης ΑΣΑ μέσω της βελτίωσης των υπηρεσιών συλλογής.

Παρακάτω αναφέρονται ενδεικτικά κάποια συγκριτικά ποσοστά που έδειξε η έρευνα.

*Πίνακας 12: Αποτελέσματα έρευνας στην Μορέλια: ποσοστό ανεκτών αποβλήτων*

*(Πηγή: Delgado et al, 2015)*

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΝΟΙΚΟΚΥΡΙΟΥ	ΤΥΠΟΣ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ: ΑΝΕΚΤΑ (%)	
	ΕΚΣΤΡΑΤΕΙΑ 1998	ΕΚΣΤΡΑΤΕΙΑ 2004
ΧΑΜΗΛΗ ΕΙΣΟΔΗΜΑΤΙΚΗ ΤΑΞΗ	50,80	70,40
ΜΕΣΑΙΑ ΕΙΣΟΔΗΜΑΤΙΚΗ ΤΑΞΗ	64,30	52,00
ΥΨΗΛΗ ΕΙΣΟΔΗΜΑΤΙΚΗ ΤΑΞΗ	66,00	64,00

Στην εκστρατεία του 1998 το 50,8% των αποβλήτων των κατοικιών της χαμηλής εισοδηματικής τάξης ήταν ανεκτά ενώ στην εκστρατεία του 2004 η χαμηλή εισοδηματική τάξη είχε ποσοστό ανεκτών αποβλήτων 72,4 %. Η αύξηση αυτή μπορεί να δώσει σημαντικές πληροφορίες καταγράφοντας τάσεις και πιθανών μελλοντικών σεναρίων.

Για την μεσαία τάξη όμως δεν ισχύει η ίδια αύξηση. Ενώ στην μελέτη του 1998 το 64,3% των νοικοκυριών είχε ποσοστό «ανεκτών» αποβλήτων της μεσαίας

εισοδηματικής τάξης, το 2004 το ποσοστό μειώθηκε σε 52,0%. Στην ανώτερη εισοδηματική τάξη το 1998, είχε ποσοστό «ανεκτών» το 66% των νοικοκυριών, ενώ το 2004 το 64%.

Τα παραπάνω στοιχεία μπορούν να αποτελέσουν στοιχεία για μία πιο ενδελεχή μελέτη των κοινωνικο-οικονομικών χαρακτηριστικών και να προβλεφθούν μελλοντικές ανάγκες.

Οι αναμενόμενες αυξήσεις του πληθυσμού είναι πιθανό να επηρεάσουν τις υπηρεσίες στην διαχείριση αστικών αποβλήτων. Η μοντελοποίηση μπορούν να βοηθήσουν τις τοπικές αρχές στην πρόβλεψη των μελλοντικών αναγκών. Μπορεί επίσης να παρέχει πληροφορίες σχετικά με τομείς στους οποίους η περιβαλλοντική εκπαίδευση πρέπει να βελτιωθεί προκειμένου να μειωθεί η παραγωγή των ΑΣΑ. Η μοντελοποίηση των στοιχείων δειγματοληψίας στην Μορέλια του Μεξικό, σχεδιάστηκε για την βελτίωση των στρατηγικών ευαισθητοποίησης και ενημέρωσης καθώς και για τον τρόπο συλλογής των ΑΣΑ (Delgado et al, 2015).

## 5.4. Εφαρμογή μεθόδων βελτιστοποίησης στο ΣΔΑ στην Βαρκελώνη της Ισπανίας.

Η ερευνητική εργασία που παρουσιάζεται στο παρόν εδάφιο διεξήχθη στην Μητροπολιτική περιοχή της Βαρκελώνης στην Ισπανία, που αποτελείται από 36 δήμους και έχει πυκνότητα πληθυσμού 4.900 κάτοικοι/km<sup>2</sup>. Σκοπός της εργασίας ήταν να προσδιοριστούν ποσοτικά οι πιθανές περιβαλλοντικές επιπτώσεις των τριών συστημάτων επιλεκτικής συλλογής αστικών αποβλήτων που εφαρμόζονται στην Βαρκελώνη (Iriarte et al., 2006).

Η περιοχή μελέτης θεωρείται ότι περιλαμβάνει κυρίως κτίρια μεγαλύτερα των 2 ορόφων με υφιστάμενες κατοικίες και εμπορικές συνοικίες.

Η πλειονότητα κλασμάτων των ΑΣΑ που παράγονται στην μελετώμενη περιοχή και θα αποτελέσουν το αντικείμενο την ανάλυσης είναι τα εξής:

- οργανικά (τροφιμίων και απόβλητα οικιακών κήπων),
- γυαλί,
- χαρτί,
- ειδών συσκευασίας (ελαφρύ πλαστικό συσκευασίας, μεταλλικά κουτιά και τούβλα) και
- άλλα μικρά απορρίμματα που ιδανικά δεν περιέχουν οργανική ύλη, χαρτί, γυαλί και συσκευασίας, π.χ., πάνες, ρούχα, υπολείμματα πιατικά και σκόνη).

Αυτά αποτελούν και τα κλάσματα αποβλήτων προς μελέτη. Αποκλείεται από τη μελέτη η συλλογή των ογκωδών απορριμμάτων, ειδικών αποβλήτων, τα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα, ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές συσκευές, κτλ.

Στο σενάριο που αναπτύσσεται, μελετάται η συμπεριφορά και ανταπόκριση από τους πολίτες σε Τρία Συστήματα Επιλεκτικής Συλλογής. Στα συστήματα αυτά, ο πολίτης διαχωρίζει και τοποθετεί τα ΑΣΑ χωρίς μεταξύ τους μίξη, στις κατηγορίες κλασμάτων που αναφέρθηκαν παραπάνω.

Πρόκειται για τα συστήματα συλλογής αποβλήτων:

- το σύστημα πολύ-συλλέκτες (Multi-container),
- από πόρτα σε πόρτα (Door to door) και τα
- κινητά συστήματα πεπιεσμένου αέρα (Mobile pneumatic).

Τα συστήματα έχουν εφαρμοστεί σε διάφορες γειτονιές της μελετώμενης περιοχής. Το κάθε από αυτά τα συστήματα περιλαμβάνει:

- Πολύ- συλλέκτες: Σε αυτό το σύστημα, οι πολίτες αποθέτουν κάθε διαχωρισμένο απόβλητο σε ειδικά δοχεία που βρίσκονται σε δύο περιοχές: Η πρώτη βρίσκεται σε μέγιστη απόσταση 50 μέτρων από τους πολίτες,

όπου βρίσκονται κάδοι για τα οργανικά και υπόλοιπα κλάσματα. Η δεύτερη περιοχή βρίσκεται σε μέγιστη απόσταση 300 m από τους πολίτες, με ομάδες κάδων για την ανακύκλωση των κλασμάτων γυαλιού, χαρτιού και ειδών συσκευασίας.

- Πόρτα-πόρτα: Σε αυτό το σύστημα δεν χρησιμοποιούνται μόνιμα χωροθετημένοι κάδοι για τη συλλογή των οργανικών, χαρτιού, ειδών συσκευασίας και υπολοίπων κλασμάτων. Οι πολίτες αφήνουν κάθε κλάσμα σε πλαστικές σακούλες έξω το σπίτι τους, διαχωρίζοντάς τα, και η συλλογή γίνεται βάσει προκαθορισμένου χρονοδιαγράμματος. Επιπλέον, το γυαλί συλλέγεται σε δοχεία που βρίσκονται σε μια μέγιστη απόσταση 300 μέτρων από τους πολίτες.
- Τα κινητά συστήματα πεπιεσμένου αέρα: χρησιμοποιούν ένα δίκτυο των αστικών σωλήνων, δεξαμενών και φορτηγών αναρρόφησης πεπιεσμένου αέρα. Οι πολίτες πετούν τα κλάσματα αποβλήτων στις πόρτες εισόδου που βρίσκονται στο δρόμο. Οι εν λόγω θύρες εισόδου συνδέονται με κάδους το περιεχόμενο των οποίων καταλήγει σε υπόγειες δεξαμενές. Ένα δίκτυο υπόγειων αγωγών διασυνδέει τις δεξαμενές και μεταφέρει τα απόβλητα στα σημεία αναρρόφησης που βρίσκονται στο δρόμο, και τα οποία είναι εύκολα προσβάσιμα από το φορτηγά. Για την συλλογή των κλασμάτων, τα φορτηγά είναι εξοπλισμένα με μία μονάδα αναρρόφησης πεπιεσμένου αέρα.

Τα πιο πάνω συστήματα συλλογής, από τη στιγμή που τα απόβλητα αποθηκεύονται στα προκαθορισμένα αστικά σημεία συλλογής μέχρι αυτά να μεταφερθούν στις εγκαταστάσεις ανακύκλωσης / διάθεσης, χωρίζονται επιπλέον σε τρία υποστάδια:

Υποστάδιο 1. Αποθήκευση και Υποδομές (Storage and infrastructure): Περιλαμβάνει τους παραγόμενους ρύπους για την Αποθήκευση των κλασμάτων αποβλήτων σε σημεία συλλογής στο δημόσιο αστικό χώρο. Επίσης περιλαμβάνει τους παραγόμενους ρύπους για τους κάδους και στην περίπτωση των συστημάτων πεπιεσμένου αέρα, παραγόμενους ρύπους για την αστική υποδομή για τις δεξαμενές και τους υπόγειους αγωγούς.

Υποστάδιο 2. Αστικές Υποδομές (Urban transport): Περιλαμβάνει τους παραγόμενους ρύπους για την φόρτωση και τις αστικές μεταφορές των κλασμάτων από τα σημεία συλλογής στα σημεία συγκέντρωσης και μεταφόρτωσης αποβλήτων. Θεωρείται ότι συμπεριλαμβάνονται οι παραγόμενοι ρύποι για τα Α/Φ οχήματα συλλογής και στην περίπτωση του συστήματος πεπιεσμένου αέρα, οι παραγόμενοι ρύποι των σωληνώσεων.

Υποστάδιο 3. Υπεραστικές μεταφορές (Inter-city): Περιλαμβάνει τους παραγόμενους ρύπους για τις υπεραστικές μεταφορές (συμπεριλαμβανομένης της εκφόρτωσης) των κλασμάτων από τα σημεία συγκέντρωσης και μεταφόρτωσης αποβλήτων στην ανακύκλωση, στις εγκαταστάσεις διαχωρισμού ή απόρριψης.

Ως καύσιμο κατανάλωσης για τον υπολογισμό εκπομπών ρύπων των Α/Φ οχημάτων, θεωρήθηκε το πετρέλαιο.

Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζονται συνοπτικά τα αποτελέσματα της έρευνας.

Πίνακας 13: Παρουσίαση Αποτελεσμάτων Περιβαλλοντικής Εργασίας στην Βαρκελώνη

(Πηγή: Gabarrell et al., 2006).

ΣΥΣΤΗΜΑ	ΥΠΟΣΤΑΔΙΟ	INPUTS		ΟΡΓΑΝΙΚΑ	ΧΑΡΤΙ	ΕΙΔΗ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑΣ	ΓΥΑΛΙ	ΛΟΙΠΑ	ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΕΣ ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΤΟΥ ΠΛΑΝΗΤΗ (CO <sub>2</sub> equiv./FU)
		ΚΥΡΙΟ	ΥΠΟ-ΣΥΣΤΑΤΙΚΟ						
MP	S&I	Containers	Steel (kg/FU)	140.0	140.0	140.0	122.0	140.0	845
		Inlet doors	Steel (kg/FU)	25	25,6	25,6	22,4	25,6	10
		Maintenance, water consumption (m3/FU)		0,9	0,9	0,9	0,8	0,9	
		Underground tanks	Concrete (kg/FU)	2120.0	2120	2120	1140.0a	2120	2.288
			Excavation (m3/FU)	10,4	10,4	10,4	5,7	10,4	
		Underground pipes	Steel (kg/FU)	542,1	292,5	199	NAb	187,2	6.893
			Outside coating of HDPE (kg/FU)	13,3	7,2	4,9	NA	4,6	
			Excavation (m3/FU)	104,2	56,2	38,2	NA	36	
		Suction points	Concrete (kg/FU)	44	22	22	NA	22	26
			Excavation (m3/FU)	0,1	0,1	0,1	NA	0,1	
		UT Transport by trucks	(GJ/FU)	4,4	4,9	5,4	2,3	1,7	1.235
		Pneumatic transport	(GJ/FU)	7,2	7,7	8,4	NA	2,7	1.703
		IT Trans by trucks	With ID: 0.01 km (GJ/FU)	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	
			With ID: 5 km (GJ/FU)	22	24,5	35,9	3	8,6	5.055
			With ID: 10 km (GJ/FU)	44,1	49	71,8	6	17,1	121
	With ID: 20 km (GJ/FU)	88,1	97,9	144	12,1	34,3	2.121		
	With ID: 30 km (GJ/FU)	132,2	146,9	215	18,1	51,4	27.625		
MC	S&I	Containers	HDPE (kg/FU)	70	180	180	90	900	3.245
		Maintenance, water consumption (m3/FU)		6	0,3	0,3	0,3	14	
		UT Trans by trucks	(GJ/FU)	11	14,1	14,1	2,3	5,7	2.655
		IT Trans by trucks	With ID: 0.01 km (GJ/FU)	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
			With ID: 5 km (GJ/FU)	12,2	18,1	27,2	3	6,3	4.272
			With ID: 10 km (GJ/FU)	24,5	36,3	54,4	6	12,7	8.850
			With ID: 20 km (GJ/FU)	49	72,5	109	12,1	25,4	15.170
	With ID: 30 km (GJ/FU)	73,4	108,8	163	18,1	38,1	22.195		
DD	S&I	Containers	HDPE (kg/FU)	192.6c	NA	NA	90	NA	580
		Maintenance, water consumption (m3/FU)		10,8	NA	NA	0,3	NA	

UT Transport by trucks	(GJ/FU)	16,5	24,5	26,9	2,3	8,6	5.220
IT Transport by trucks	With ID: 0.01 km (GJ/FU)	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
	With ID: 5 km (GJ/FU)	12,2	18,1	29,9	3	6,3	4.200
	With ID: 10 km (GJ/FU)	24,5	36,3	59,8	8,6	12,7	8.009
	With ID: 20 km (GJ/FU)	49	72,5	120	12,1	25,4	14.914
	With ID: 30 km (GJ/FU)	73,4	180,8	180	18,1	38,1	23.200

Τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν ότι το σύστημα πόρτα-πόρτα έχει υψηλότερη κατανάλωση ενέργειας στο υποστάδιο των αστικών μεταφορών κατά 67% περισσότερο από το σύστημα πολύ-συλλεκτών και 76% περισσότερο από το σύστημα πεπιεσμένου αέρα. Αυτό οφείλεται στις μακρύτερες διαδρομές συλλογής αποβλήτων που απαιτεί το σύστημα Πόρτα- Πόρτα (Iriarte et al., 2006).

Στο αστικό επίπεδο, το σύστημα πολύ-συλλεκτών έχει τη μικρότερη περιβαλλοντική επίδραση όλων των συστημάτων. Το κινητό σύστημα πεπιεσμένου αέρα έχει μεγαλύτερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την άποψη της παγκόσμιας θέρμανσης του πλανήτη, της υδρόβιας τοξικότητας και της επίγεια τοξικότητας. Σε αυτό το σύστημα, οι σωληνώσεις και οι μεταφορές έχουν τις μεγαλύτερες επιπτώσεις. Το σύστημα πόρτα-πόρτα έχει μεγαλύτερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την άποψη της τοξικότητας στον άνθρωπο και της εξάντλησης και καταστροφής του όζοντος. Μια συνολική αξιολόγηση των τριών υποσταδίων, με μια ανάλυση ευαισθησίας, έδειξε ότι το Κινητό Σύστημα Πεπιεσμένου Αέρα σε μια απόσταση στην πόλη των 20 χιλιομέτρων παρουσιάζει τις μεγαλύτερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις και την μεγαλύτερη ζήτηση ενέργειας. Τα αποτελέσματα επίσης δείχνουν ότι οι αποστάσεις στην πόλη από 11 χιλιόμετρα και άνω, συμβάλλουν περισσότερο στην υπερθέρμανση του πλανήτη και των επιπτώσεων ενεργειακής ζήτησης, σε όλα τα συστήματα (Iriarte et al., 2006).



## 6. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

### 6.1. Διατύπωση προβλήματος βελτιστοποίησης στον Δήμο Περιστερίου.

Πολλές μέθοδοι και αλγόριθμοι έχουν χρησιμοποιηθεί για την εύρεση της βέλτιστης διαδρομής σε διάφορες πτυχές της αποκομιδής στερεών αποβλήτων. Ο στόχος είναι για τις περισσότερες περιπτώσεις είναι να βρεθούν οι διαδρομές οχημάτων με το μικρότερο κόστος ώστε :

- A. Κάθε κάδος αποβλήτων να επισκέπτεται μόνο μία φορά από ένα μόνο όχημα.
- B. Για κάθε όχημα η συνολική απαίτηση να μην υπερβαίνει την χωρητικότητά του.
- Γ. Κάθε όχημα να αρχίζει και να ολοκληρώνει την διαδρομή του στο αμαξοστάσιο.
- Δ. Το συνολικό μήκος διαδρομής κάθε οχήματος να μην υπερβαίνει ένα προκαθορισμένο χρόνο.

Μία μεθοδολογία βελτιστοποίησης μπορεί να επιφέρει σημαντικές μειώσεις στο κόστος λειτουργίας και μεταφοράς αποβλήτων. Μπορεί να βοηθήσει στην κατανόηση των μελλοντικών απαιτήσεων αναλύοντας τις υφιστάμενες τάσεις. Μπορεί να κατηγοριοποιήσει χιλιάδες στατιστικούς συνδυασμούς, που προκύπτουν από τα δεδομένα του προβλήματος και τους περιορισμούς που τίθενται κάθε φορά, και να προτείνει την βέλτιστη μεθοδολογία.

Βάσει των στοιχείων του Δήμου Περιστερίου που αναλύθηκαν παραπάνω σε σχέση με την περισυλλογή των ΑΣΑ και των μεθοδολογιών και βέλτιστων πρακτικών που παρουσιάστηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια, η βελτιστοποίηση της διαχείρισης των ΑΣΑ στο Δήμο Περιστερίου μπορεί να διατυπωθεί ως εξής, βάσει του μοντέλου που αναπτύχθηκε (Γκορτζίλας, 2014).

Έστω ότι υπάρχουν  $i$  σημεία συλλογής ( $i=1,2,\dots,n$  με  $n \in \mathbb{V}$ ) που αναπαρίσταται με μία κορυφή σε γράφημα  $G=(\mathbb{V},\mathbb{E})$ , και  $e_{ij} \in \mathbb{E}$  η ακμή που ενώνει το σημείο συλλογής  $i$  και το σημείο  $j$ .

Σε κάθε ακμή υπάρχει ένα κόστος  $C_{ij}$ .

Έστω  $x_{ij}^k = 1$  Η δυαδική μεταβλητή που παίρνει την τιμή 1 αν το  $k$  όχημα επισκεφτεί το σημείο συλλογής  $j$  μετά το  $i$  και την τιμή 0 σε άλλη περίπτωση.

Έστω  $y_i^k = 1$  Η δυαδική μεταβλητή που παίρνει την τιμή 1 αν το  $k$  όχημα εξυπηρετήσει σημείο συλλογής το  $i$  και την τιμή 0 σε άλλη περίπτωση.

$q_i$  = Η ημερήσια ζήτηση που αντιστοιχεί σε κάθε σημείο συλλογής  $i$  (μέσω πληθυσμιακής κατανομής)

$m$  = το σύνολο του αριθμού των οχημάτων  $k$  ( $k=1,2,\dots,m$ )

$Q$  = Η χωρητικότητα κάθε  $k$  οχήματος

$l_{min}, l_{max}$  = το μήκος της μικρότερης και της μεγαλύτερης διαδρομής αντίστοιχα.

Δηλαδή να προσδιοριστεί:

$$\text{Minimize } \sum_{k=1}^m \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij}^k \quad (1)$$

$$\text{minimize } l_{max} - l_{min} \quad (2)$$

Με περιορισμούς ώστε να διασφαλίζονται (Raghavan -Wasil, 2008):

$$\sum_{i=1}^n q_i y_i^k \leq Q \quad (k = 1, \dots, m), \quad (3)$$

Να μην ξεπεραστεί η χωρητικότητα των οχημάτων (3)

$$\sum_{k=1}^m y_i^k = m \quad (i = 1) \quad (4)$$

$$\sum_{k=1}^m y_i^k = 1 \quad (i = 2, \dots, n), \quad (5)$$

Να διασφαλιστεί ότι τα οχήματα  $m$  θα επιστρέψουν στον Σταθμό Οχημάτων - με  $i=1$  συμβολίζεται ο Σταθμός Οχημάτων- (4) και μόνο ένα θα εξυπηρετήσει κάθε σημείο συλλογής  $i$  (5).

$$\sum_{i=1}^n x_{ij}^k = y_j^k \quad (j = 1, \dots, n ; k = 1, \dots, m), \quad (6)$$

$$\sum^n x_{ij}^k = y_i^k \quad (i = 1, \dots, n ; k = 1, \dots, m), \quad (7)$$

Να διασφαλιστεί αν ένα όχημα επισκεφτεί ένα σημείο συλλογής, το σημείο θα εξυπηρετηθεί από το εν λόγω όχημα που το επισκέφτηκε (6,7).

$$\sum_{i,j \in S} x_{ij}^k \leq |S| - 1 \quad (S \subset V; 2 \leq |S| \leq n - 2; k = 1, \dots, m), \quad (8)$$

Η έννοια του  $|S|$  δίνεται ακολούθως: Εάν ένα όχημα επισκεφτεί το πιο κοντινό του σημείο συλλογής και δεν μπορεί να ενεργοποιηθεί γιατί αυτό έχει ήδη εξυπηρετηθεί από άλλο όχημα, εξακολουθεί να μπορεί να τοποθετηθεί σε ένα σημείο συλλογής  $j'$  για το οποίο ισχύει  $e_{ij'} \leq e_{ij} + |S|$ . Πρόκειται για μία τιμή ανοχής και με αυτό τον τρόπο αποφεύγονται οι υποδιαδρομές (8).

$$x_{ij}^k \in \{0,1\} \quad (i, j = 1, \dots, n; i \neq j; k = 1, \dots, m), \quad (9)$$

$$y_i^k \in \{0,1\} \quad (i = 1, \dots, n; k = 1, \dots, m), \quad (10)$$

Να διασφαλιστεί ότι οι δυαδικές μεταβλητές παίρνουν τις τιμές 1 και 0 (9,10).

$$l_{max} \geq 0 \quad (11)$$

$$l_{min} \geq 0 \quad (12)$$

Το μήκος των διαδρομών να είναι μεγαλύτερο του μηδενός (11,12). Με τους περιορισμούς αυτούς μπορεί να εξαλειφθούν διαφορές στον φόρτο εργασίας των πληρωμάτων κάθε οχήματος, ελαχιστοποιώντας την διαφορά που μπορεί να έχουν τα μήκη διαδρομών των οχημάτων (2).

Με το ευρετικό μοντέλο που περιγράφεται παραπάνω μπορεί να επιχειρηθεί μια πρώτη προσέγγιση για την βελτιστοποίηση διαδρομών των οχημάτων και την καλύτερη διαχείριση του ανθρώπινου δυναμικού του συστήματος Διαχείρισης Αποβλήτων στον Δήμο Περιστερίου και να συγκριθεί με τα υφιστάμενα καταγεγραμμένα στοιχεία.

Από τις μεταβλητές που χρησιμοποιούνται στο προτεινόμενο μοντέλο, έχουν καταγραφεί στο κεφάλαιο 3 και στο Παράρτημα της εργασίας αυτής παράμετροι που εισέρχονται στην επίλυση του προβλήματος.

Αρχικά ο προσδιορισμός των πιθανών σημείων ζήτησης & συλλογής  $i$  μπορεί να βασιστεί στον χάρτη με τις 20 υφιστάμενες υποπεριφέρειες σε συνδυασμό με τον χάρτη από ΕΣΥ, αναγόμενους σε γράφους με κατάλληλο πρόγραμμα (GIS), προκειμένου να αποτυπωθούν ηλεκτρονικά τα πιθανά σημεία ζήτησης & συλλογής (με την ολοκλήρωση της καταγραφής της χωροθέτησης των κάδων που βρίσκεται σε εξέλιξη). Οι χωρητικότητες των σημείων ζήτησης  $q_i$  μπορούν να προβλεφθούν βάσει των πληθυσμιακών στοιχείων της ΕΣΥ (απογραφή 2011, σε απαιτούμενο περιβάλλον επεξεργασίας στοιχείων το GIS) σε συνδυασμό με τις παραγόμενες ποσότητες αποβλήτων που καταγράφονται στον Πίνακα 5 του κεφαλαίου 3. Από το ίδιο κεφάλαιο προκύπτει και η χωρητικότητα  $Q$  των οχημάτων ( $16 \text{ m}^3$  περίπου, ωφέλιμου φορτίου  $5,5 \text{ tn}$ ). Τέλος για των υπολογισμό των μηκών ελάχιστης και μέγιστης διαδρομής θα μπορούσαν να ληφθούν υπόψη η περιγραφή του δρομολογίου στην § 3.3 περιγραφή δρομολογίου (διαδρομή οχημάτων προς και από ΧΥΤΑ Λιοσίων).

Ένας ακόμη αλγόριθμος βελτιστοποίησης μπορεί να εφαρμοστεί στο ΣΔΑ του Δήμου Περιστερίου. Πρόκειται για τον αλγόριθμο που περιγράφεται αναλυτικά στην § 6.1. Εφαρμογή μεθόδων βελτιστοποίησης στο ΣΔΑ της Ναρντώ στην Ιταλία, για την βελτιστοποίηση του αριθμού των σημείων συλλογής και του αριθμού των κάδων και μπορεί να εφαρμοστεί με την ολοκλήρωση της αποτύπωσης του οδικού δικτύου του Δήμου σε ηλεκτρονική μορφή (μέσω GIS) και την ολοκλήρωση της διαδικασίας χωροθέτησης των κάδων.

## 6.2. Γενικές αρχές και προτάσεις

Σύμφωνα με τον Ν. 4240/2012 «*Ποινική προστασία του περιβάλλοντος – Εναρμόνιση με την Οδηγία 2008/99/ΕΚ – Πλαίσιο παραγωγής και διαχείρισης αποβλήτων – Εναρμόνιση με την Οδηγία 2008/98/ΕΚ – Ρύθμιση θεμάτων Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής.*» οι αρμόδιοι φορείς καλούνται να προβούν στην λήψη και εφαρμογή μέτρων με σκοπό την αφύπνιση και ευαισθητοποίηση του κοινού στα θέματα διαχείρισης αποβλήτων. Οι κατά τόπους Οργανισμοί Τοπικής Αυτοδιοίκησης προκειμένου να εναρμονιστούν στην ευρωπαϊκή οδηγία, θα πρέπει τους επόμενους μήνες να εκπονήσουν σχέδια διαχείρισης αποβλήτων τα οποία θα περιλαμβάνουν και μνεία για καμπάνιες ενημέρωσης και προτροπής των πολιτών σε θέματα ανακύκλωσης. Μέρος της εκστρατείας θα αποτελεί και η ενημέρωση και εξοικείωση του κοινού με τα Πράσινα Σημεία (ΠΣ) στα οποία οι πολίτες θα μπορούν να ανακυκλώσουν -και όχι να απορρίπτουν- τα απόβλητα. Τα σημεία δηλαδή που οι Δήμοι οφείλουν να προβλέψουν εντός των διοικητικών τους ορίων όπου οι κάτοικοι θα ανακυκλώνουν τα υλικά που μπορούν όπως γυαλί, ηλεκτρικά είδη, χαρτί κλπ. Η εφαρμογή των αλγορίθμων μπορεί συμβάλλει σημαντικά στην εκπόνηση των Τοπικών Σχεδίων Διαχείρισης Αποβλήτων όπως για παράδειγμα στην εύρεση των βέλτιστων Πράσινων Σημείων ([www.et.gr](http://www.et.gr)).

Τα Πράσινα Σημεία (ΠΣ), πρέπει να είναι προσεκτικά χωροθετημένα και σχεδιασμένα έτσι, ώστε να διευκολύνουν την πρόσβαση των κατοίκων. Για να θεωρηθεί επιτυχές ένα τέτοιο δίκτυο πρέπει να κερδίσει το κοινό και να μπορεί να το χρησιμοποιεί προς όφελος του πολύ εύκολα, οπότε ο χώρος που θα επιλεγεί για την καθεμία αντίστοιχη εγκατάσταση θεωρείται πολύ σημαντικός και παίζει πρωταρχικό ρόλο στη συνολική επιτυχία της μεθόδου και τελικής λειτουργίας του. Επίσης σύμφωνα με την νομοθεσία, τα ΠΣ δύναται να τοποθετηθούν σε κοινόχρηστους χώρους (ΚΧ). Ο αλγόριθμος p-median εντασσόμενος σε περιβάλλον Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS) μπορεί να χωροθετήσει τα απαιτούμενα Πράσινα Σημεία έχοντας ως δεδομένα τον πληθυσμό (πχ 1 σημείο ανά 10.000 κατοίκους) και τις χιλιομετρικές αποστάσεις μεταξύ των πιθανών σημείων (πχ μέγιστη απόσταση για αστικό περιβάλλον τα 3 χλμ) που θα μπορούσαν να είναι οι Κοινόχρηστοι Χώροι (βάση νομοθεσίας Χρήσεων Γης) στα διοικητικά όρια του κάθε Δήμου, με σταθμισμένη ζήτηση την πρόβλεψη πληθυσμού τους για μελλοντικό χρόνο (πχ το έτος 2041). Τα αποτελέσματα πιθανά πράσινα σημεία- αυτού του σεναρίου θα μπορούσαν να αποτελέσουν δεδομένα για την δημιουργία νέου σεναρίου μελέτης με χρήση του εν λόγω αλγορίθμου προκειμένου να «πυκνώσουν» τα σημεία αν οι καμπάνιες ενημέρωσης και ευαισθητοποίησης του κοινού επιτύχουν (Πραβιώτη - Σταθάκης, 2013).

### 6.3. Επίλογος

Στην παρούσα εργασία έγινε προσπάθεια για να αναλυθεί το πρόβλημα της αποκομιδής και μεταφοράς αποβλήτων, να συγκεντρωθούν δεδομένα και να παρουσιαστούν μέθοδοι βελτιστοποίησης για ουσιαστική βελτίωση στις διαδικασίες αποκομιδής και μεταφοράς αποβλήτων στο Δήμο Περιστερίου. Για την Εναρμόνιση με την Ευρωπαϊκή Οδηγία 2008/99/ΕΚ αλλά και λόγω των ευρωπαϊκών προγραμμάτων που δύναται να (συγ)χρηματοδοτήσουν την μελέτη και ανάπτυξη συστημάτων βελτιστοποίησης, η δυνατότητα υλοποίησης για βελτιστοποίηση είναι εφικτή και επιβεβλημένη. Προκειμένου να υλοποιηθούν βελτιστοποιήσεις όμως, απαιτείται πολιτική βούληση και λήψη αποφάσεων που θα οδηγήσουν στον εκσυγχρονισμό, την εύρεση βέλτιστων λύσεων και τελικά στην αναβάθμιση της ποιότητας ζωής των πολιτών.

## 7. ΑΝΑΦΟΡΕΣ

### ΔΙΕΘΝΕΙΣ

- Abel Heiko, Karrer Raphael, Deliverable D2.1: Best Urban Freight Solutions (BESTUFS) Best Practice Handbook Year, 2005.
- Goss, Aron, Deneubourg, and Pasteels. Self-organized shortcuts in the Argentine ant. *Naturwissenschaften*, volume 76, pages 579–581, Brussels, 1989.
- Aldous J-Wilson R, *Graphs and Applications: An Introductory Approach*, Springer Publications, London, 2000.
- Alfonseca Manuel, Cruz Marina, Dalhoum Abdel Latif Abu, Moh'd Al Zoubi, Ortega Alfonso, *A Genetic Algorithm for Solving the P-Median Problem*, University of Jordan, 2007.
- Chawla Sanjay, Shashi Shekhar, *Spatial Databases: A Tour*, Pearson Education Inc., Upper Saddle River, New Jersey, 2003.
- Cormen T, Leiserson C, Rivest R and Stein C, *Introduction to Algorithms*, The MIT Press, Massachusetts Institute of Technology, Massachusetts, 2001.
- Delgado Otoniel Buenrostro, Rodriguez Juan Manuel Ortega, Clemitshaw Kevin, Razo Carlos Gonzalez, Paniagua Ivan Hernandez, *Article, Use of genetic algorithms to improve the solid waste collection service in an urban area*, volume 41, pages 20-27, Mexico, 2015.
- Densham P., Rushton G. *Designing and implementing strategies for solving large Location-Allocation problems with heuristic methods*, Report 91-10, National Center for Geographic Information and Analysis, USA, 1991.
- Donati, A.V., Montemanni, R., N., Rizzoli, A.E. and Gambardella, L.M. **“Time dependent vehicle routing problem with a multi ant colony system”**, Technical Report TR-17-03, IDSIA, Galleria 2, Manno, 6928, Switzerland, 2003.
- Hakimi S.L., *On realizability of a set of integers as degrees of the vertices of a linear graph*, volume 10, pages 496-506, 1962.
- Iriarte Alfredo, Xavier Gabarrell, Joan Rieradevall *Modeling the problem of locating collection areas for urban waste management. An application to the metropolitan area of Barcelona* Original Research Article *Omega*, τόμος 34, Pages 617-629, Spain 2006.

- Ghiani Gianpaolo, Laganù Demetrio, Manni Emanuele, Triki Chefi, Article, Capacitated location of collection sites in an urban waste management system, volume 32, pages 1291-1296, Italy, 2012.
- Goodchild M., A Location-Allocation model for retail site selection, Volume 60, The University of Western Ontario, London, Canada, 1984.
- Raghavan S., and Wasil Edward, The Vehicle Routing Problem: Latest Advances and New Challenges, volume 43, pages 445–471, Springer US, 2008.
- Reese J., Methods for solving the P-median problem: an annotated bibliography, Dpt. of Mathematics, Trinity University, San Antonio, 2005.
- Sloggy G., Extensions of the pseudo-Boolean representation of the p-median problem, College of Creative Studies Mathematics, University of California, Santa Barbara, 2012.

## ΕΛΛΗΝΙΚΕΣ

- Γιαμαρέλλου, Λοιμώξεις και Αντιμικροβιακή Χημειοθεραπεία, Λίτσας, Αθήνα, 2005.
- Γκορτζίλας Δημήτριος, Μεταπτυχιακή εργασία, Νέες ευρετικές προσεγγίσεις για δρομολόγηση στόλου οχημάτων, Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα μηχανικών Η/Υ και πληροφορικής, Πάτρα, 2014.
- Καπούλας Ι. Διπλωματική Εργασία, Το πρόβλημα του κοντινότερου μονοπατιού, Πανεπιστήμιο Πατρών, τμήμα μαθηματικών, Πάτρα, 2010.
- Καραγιαννίδης Α., Ξηρογιαννοπούλου Α. και Τσομπανόγλου Γ., Full cost accounting as a tool for the financial assessment of Pay-As-You-Throw schemes: A case study for the Panorama municipality, Greece, Waste Management and Research, 28, pp 2801-2808.
- Καραδήμας Ν. Λούμος Β, Πρακτικά Συνεδρίου, Εντοπισμός βέλτιστων διαδρομών αποκομιδής αποβλήτων με την χρήση του αλγορίθμου της αποικίας μυρμηγκιών, Λέσβος, 2007.
- Καψανάκη – Γκότση, Εφαρμοσμένη Οικολογία, ΕΚΠΑ Σχολή Βιολογίας Τομέας Μικροβιολογίας, 1997.
- Κωνσταντινίδης Θ, Περιγραφική Επιδημιολογία των εργατικών ατυχημάτων στον ελληνικό πληθυσμό κατά την περίοδο 1956-1994, ΕΛΙΝΥΑΕ, Αθήνα, 2001.
- Λεοντίδου Λίλα, Αγεωγράφητος Χώρα, Προπομπός, 2011.
- Μουσιόπουλος Ν.- Καραγιαννίδης Α. Σημειώσεις στο μάθημα ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ, Θεσσαλονίκη, 2002.
- Παναγιωτακόπουλος Δ., Βιώσιμη Διαχείριση Αστικών Στερεών Αποβλήτων, Ζυγός, Θεσσαλονίκη, 2002.
- Παπαδόπουλος Δ., Διπλωματική εργασία, Αλγόριθμος βελτιστοποίησης σμήνους μελισσών για πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων εφοδιαστικής, Πολυτεχνείο Κρήτης, τμήμα μηχανικών παραγωγής και διοίκησης, Χανιά, 2012.
- Παπαδοπούλου Χ. Μεταπτυχιακή εργασία, Επεξεργασία και Αναπαραγωγή Βέλτιστων Διαδρομών σε Οδικά Δίκτυα, Μετσόβιο Πολυτεχνείο, τμήμα αγρονόμων τοπογράφων, Αθήνα, 2011.
- Παραστατίδης Σ., Εργασία στο μάθημα Οργάνωση και Διαχείριση Συστημάτων εμπορευματικών μεταφορών και συστημάτων logistics, Μελέτη περίπτωσης (CASE STUDY) της εταιρείας «Γ.Κ. ΡΙΖΑΚΟΣ Α.Β.Ε.Τ.Ε.»



Σχολή Πολιτικών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, Βόλος, 2012.

- Πλαϊτής Ε, Μεταπτυχιακή εργασία, Διερεύνηση της υποκειμενικής εκτίμησης επαγγελματικού κινδύνου εργαζομένων σε γενικό νοσοκομείο, Πανεπιστήμιο Κρήτης, ιατρική σχολή, Ηράκλειο, 2009.
- Πραβιώτη Σ. Σταθάκης Δ., Χωροθέτηση Πράσινων Σημείων ανακύκλωσης με τον αλγόριθμο P-MEDIAN ISBN 978-960-86818-6-6, Αθήνα, 2013.
- Σαλίχου Α, Μεταπτυχιακή εργασία, Η περίπτωση της βελτιστοποίησης με αποικίες μυρμηγκιών, Πανεπιστήμιο Πατρών, τμήμα διοίκησης επιχειρήσεων, Πάτρα, 2012.
- Σκαρδάσης Α. Πτυχιακή εργασία , Καθορισμός βέλτιστης διαδρομής πτήσης μη επανδρωμένου αεροσκάφους, ΤΕΙ Πειραιά, τμήμα αυτοματισμού, Αθήνα, 2012.
- Σουρή Μ. Μεταπτυχιακή εργασία, Το πρόβλημα των τεσσάρων χρωμάτων, Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο, Αθήνα, 2007.
- Στεφανάκης Εμμανουήλ, Βάσεις Γεωγραφικών Δεδομένων και Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα, 2003.
- Στυλιανού Ν. Μεταπτυχιακή εργασία, Προσεγγίζοντας το πρόβλημα του πλανόδιου πωλητή, Πανεπιστήμιο Πατρών, τμήμα μαθηματικών, Πάτρα, 2013.
- Σωτηρίου Κ. Μεταπτυχιακή εργασία , Ανάπτυξη υπηρεσίας trip planning, δρομολόγηση υπό περιορισμούς, εφαρμογή σε οδικό δίκτυο, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, τμήμα γεωγραφίας, Αθήνα, 2010.
- Τσατσάνης Α., Διπλωματική Εργασία, Εφαρμογή Βασικών Αλγορίθμων Εύρεσης Βέλτιστης Διαδρομής σε Δίκτυα Μεταφορών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τμήμα Η/Μ και Μ/Υ, Αθήνα, 2014.
- ΥΠΟΥΡΓΙΚΗ ΑΠΟΦΑΣΗ Η.Π. 50910/2727 Μέτρα και όροι για τη Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων. Εθνικός και Περιφερειακός Σχεδιασμός Διαχείρισης (ΦΕΚ 1909/Β/22-12-2003).
- ΥΠΟΥΡΓΙΚΗ ΑΠΟΦΑΣΗ Ν.4042/2012 «Ποινική Προστασία του περιβάλλοντος –Εναρμόνιση με την Οδηγία 2008/99/ΕΚ –Πλαίσιο παραγωγής και διαχείρισης αποβλήτων –Εναρμόνιση με την Οδηγία 2008/98/ΕΚ –Ρύθμιση θεμάτων Υπουργείου Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής» που ενσωματώνει στο εθνικό δίκαιο την οδηγία-πλαίσιο 2008/98/ΕΕ για τα απόβλητα (ΦΕΚ 24/Α/13-2-2012).
- ΥΠΟΥΡΓΙΚΗ ΑΠΟΦΑΣΗ: Αριθ. Ε1β/301/64 Περί συλλογής, αποκομιδής και διαθέσεως αποβλήτων (ΦΕΚ 63/Β/14-2-64).

## ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΕΣ ΔΙΕΥΘΥΝΣΕΙΣ

- [http://en.wikipedia.org/wiki/Travelling\\_salesman\\_problem](http://en.wikipedia.org/wiki/Travelling_salesman_problem)
- <http://www.ametro.gr>
- <http://www.eea.europa.eu/soer-2015/countries-comparison/waste>
- <http://ec.europa.eu/>
- <http://www.eedsa.gr/>
- <http://www.eedsa.gr/Contents.aspx?CatId=95>
- <http://www.elinyae.gr/el/index.jsp>
- [https://en.wikipedia.org/wiki/Waste\\_management](https://en.wikipedia.org/wiki/Waste_management)
- <http://www.este.civ.uth.gr/>
- <http://www.et.gr/>
- <http://www.fuelprices.gr/>
- <http://www.kaoussis.gr/>
- <http://www.peristeri.gr/index.php/leftmenu-81/leftmenu-83>
- <http://www.sdit.mnec.gr>
- <http://www.statistics.gr/portal/page/portal/ESYE>
- <http://www.un.org/en/development/desa/news/population/world-urbanization-prospects-2014.html>
- <http://www.ypeka.gr/>
-

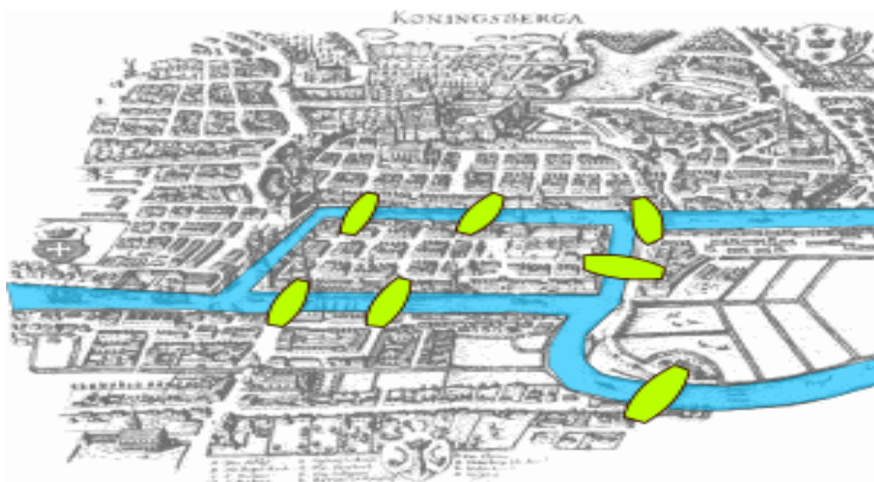
## 8. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

### 8.1 Ανάπτυξη της § 4.2

#### 4.2.1. Η θεωρία των Γραφημάτων

Προκειμένου να βελτιστοποιηθεί ένα σύστημα θα πρέπει αρχικά να αποτυπωθεί. Για την αποτύπωση χρησιμοποιείται η Θεωρία των Γραφημάτων ή Γράφων, που είναι ένας κλάδος των μαθηματικών με ευρεία εφαρμογή. Η ιστορία της θεωρίας γράφων ξεκινά με μια εργασία του Ελβετού Μαθηματικού Leonard Euler (1707-1783), η οποία εκδόθηκε το 1736 από την Ακαδημία Επιστημών στην Αγία Πετρούπολη. Η εργασία αφορούσε και επίλυσε το «πρόβλημα της γέφυρας του Κένιγκσμπερκ». Το πρόβλημα ήταν το εξής: Η πόλη αυτή Königsberg στην ανατολική Πρωσία (σημερινή επαρχία Kalinigrad στη Ρωσία) ήταν χτισμένη στη συμβολή δύο ποταμών και στα δύο νησιά που δημιουργήθηκαν από αυτούς. Συνολικά υπήρχαν επτά γέφυρες που συνέδεαν τα νησιά μεταξύ τους και με την υπόλοιπη πόλη.

*Εικόνα 3: Οι Επτά Γέφυρες του Königsberg  
(Πηγή: Καπούλας, 2010)*

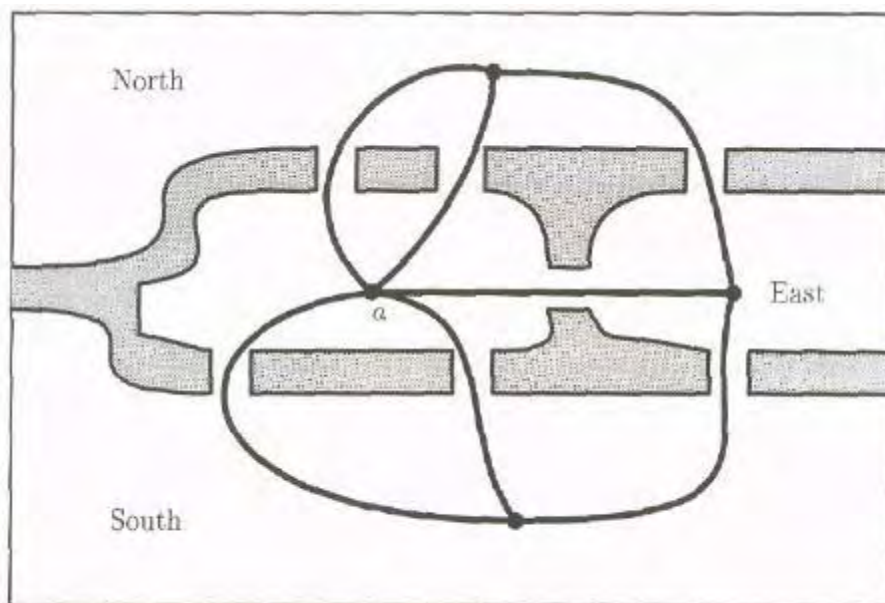


Προέκυψε λοιπόν το εξής ερώτημα:

«Μπορεί ένας κάτοικος της πόλης να ξεκινήσει από το σπίτι του, να διασχίσει ακριβώς μια φορά κάθε γέφυρα και να επιστρέψει στο σπίτι του;».

Ο Euler διαπίστωσε ότι το σχήμα των νησιών και των όχθων δεν είναι σημαντικά. Η επιλυσιμότητα εξαρτάται μόνο από τις ιδιότητες σύνδεσης. Παριστάνουμε τις δύο όχθες με σημεία και τις γέφυρες με γραμμές μεταξύ των αντίστοιχων σημείων. Έτσι παίρνουμε το γράφημα της παρακάτω εικόνας.

*Εικόνα 4: Χάρτης του Κένινγκσμπερκ και ο αντίστοιχος γράφος  
(Πηγή: Καπούλας, 2010)*



Θα πρέπει εδώ να αναφερθούν κάποιοι ορισμοί.

**Ορισμός 1:** Κάθε γραμμή σε ένα γράφημα καλείται **ακμή**.

**Ορισμός 2:** Κάθε σημείο σε ένα γράφημα καλείται **κορυφή**

**Ορισμός 3:** **Περίπατος** σε ένα γράφημα καλείται μια διαδοχή κορυφών και ακμών, όπου κάθε κορυφής έπεται μια ακμή εκτός της τελευταίας κορυφής.

**Ορισμός 4:** Όταν σε έναν περίπατο δεν επαναλαμβάνεται καμία ακμή κατά μήκος του, ενώ μπορεί να επαναλαμβάνεται κορυφή, τότε αυτός ο περίπατος καλείται **διαδρομή**.

**Ορισμός 5:** Μια διαδρομή που ξεκινά και καταλήγει στην ίδια κορυφή καλείται **κλειστή**.

Επιστρέφουμε στο πρόβλημα. Θέλουμε να βρούμε μια κλειστή διαδρομή, για παράδειγμα από την κορυφή *a*. Ξεκινώντας φτιάχνουμε μια κλειστή διαδρομή χρησιμοποιώντας δυο από τις πέντε γέφυρες που συνδέονται με το *a*. Στη δεύτερη προσπάθειά μας χρησιμοποιούμε τέσσερις γέφυρες. Προσπαθούμε τώρα

να ξεκινήσουμε από το  $a$  περνώντας από την πέμπτη γέφυρα, αλλά διαπιστώνουμε ότι είναι αδύνατον να επιστρέψουμε στο  $a$  χωρίς να περάσουμε από κάποια γέφυρα για δεύτερη φορά. Αυτό δείχνει ότι το πρόβλημα είναι πράγματι αδύνατο. Ο Euler απέδειξε ακόμη περισσότερα στην εργασία του και έδωσε μια απαραίτητη συνθήκη έτσι ώστε ένα τυχαίο γράφημα να έχει μια κυκλική διαδρομή, όπως η προαναφερθείσα (Καπούλας, 2010).

Έχουμε ήδη χρησιμοποιήσει τον όρο γράφημα χωρίς όμως να διατυπώσουμε τον μαθηματικό ορισμό του. Είναι ουσιαστικό στο σημείο αυτό να δώσουμε κάποιους βασικούς ορισμούς της θεωρίας γραφημάτων.

**Ορισμός 6:** Καλούμε **γράφημα  $G$**  ένα ζεύγος  $(V, E)$  που αποτελείται από ένα πεπερασμένο σύνολο  $V \neq \emptyset$  και ένα σύνολο  $E$ . Τα στοιχεία του πρώτου συνόλου είναι κορυφές και το δεύτερου συνόλου ακμές.

**Ορισμός 7:** Ένα γράφημα καλείται **συνεκτικό** αν για κάθε ζεύγος κορυφών υπάρχει τουλάχιστον ένας περίπατος μεταξύ τους.

**Ορισμός 8:** Ένα γράφημα καλείται **πλήρες** όταν όλες οι κορυφές συνδέονται μεταξύ τους.

**Ορισμός 9:** Ένα γράφημα καλείται **διμερές** όταν το σύνολο των κορυφών του μπορεί να χωριστεί σε δυο υποσύνολα με την ιδιότητα τα στοιχεία ενός υποσυνόλου να μην συνδέονται μεταξύ τους, ενώ μπορεί να συνδέονται με στοιχεία του άλλου υποσυνόλου.

**Ορισμός 10:** Ας θεωρήσουμε τα δυο υποσύνολα του συνόλου των κορυφών ενός διμερούς γραφήματος,  $V_1$  και  $V_2$ . Αν κάθε στοιχείο (κορυφή) του ενός συνδέεται με κάθε στοιχείο (κορυφή) του άλλου, τότε το γράφημα καλείται **πλήρες διμερές**.

**Ορισμός 11:** Αν σε ένα γράφημα καθορίζεται η φορά (κατεύθυνση) των ακμών, τότε το γράφημα καλείται **κατευθυνόμενο**.

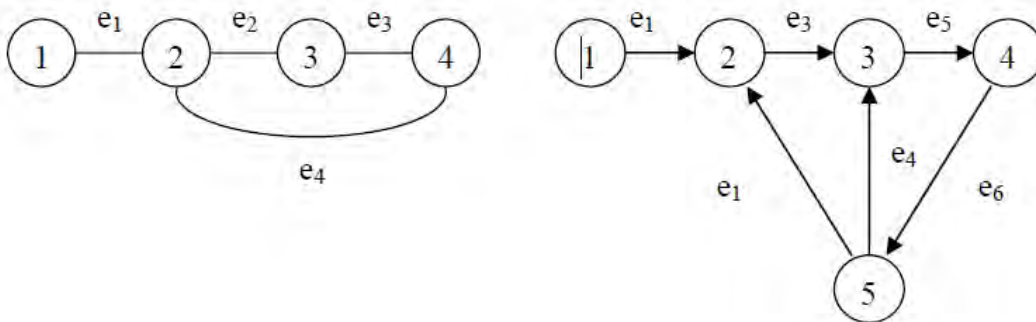
Είδαμε τον ορισμό του περιπάτου σε ένα γράφημα (Ορισμός 3).

**Ορισμός 12:** Αν σε έναν περίπατο δεν επαναλαμβάνεται καμία κορυφή και καμία ακμή, τότε ο περίπατος καλείται **μονοπάτι**.

**Ορισμός 13:** Ένα κλειστό μονοπάτι καλείται **κύκλος**.

Εικόνα 5: Μη κατευθυνόμενο και κατευθυνόμενο γράφημα

(Πηγή: Καπούλας, 2010)



#### 4.2.2. Τύποι Γράφων

Οι γράφοι εμφανίζονται διαφοροποιημένοι μεταξύ τους, ανάλογα με την ιδιαίτερη δομή και τα χαρακτηριστικά τους. Ως εκ τούτου, ταξινομούνται σε επιμέρους κατηγορίες στη βάση ενός αριθμού κριτηρίων που τίθενται κατά περίπτωση, όπως για παράδειγμα η ανάθεση ή μη φοράς στις ακμές του γράφου, η συνδεσιμότητα του γράφου, η ανάθεση βαρών στις ακμές του γράφου κ.λπ.

Ανάλογα με τη δομή και τα χαρακτηριστικά τους, οι γράφοι υιοθετούνται για τη μοντελοποίηση διαφορετικής φύσεως προβλημάτων. Ένας κατευθυνόμενος γράφος για παράδειγμα, συνιστά την καταλληλότερη δομή για τη μοντελοποίηση δικτύων ενώ ένας απλός μη κατευθυνόμενος γράφος, αποτελεί κατάλληλη δομή για την αναπαράσταση των χημικών δεσμών που υφίστανται μεταξύ των ατόμων ενός μορίου. Κάθε κατηγορία γράφων χαρακτηρίζεται από την ιδιαίτερη διαγραμματική αναπαράσταση των γράφων που ανήκουν σ'αυτή, τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά και τις ιδιότητες των δομικών στοιχείων των γράφων και τους κανόνες που τίθενται από τα μαθηματικά και χαρακτηρίζουν τους γράφους κάθε κατηγορίας.

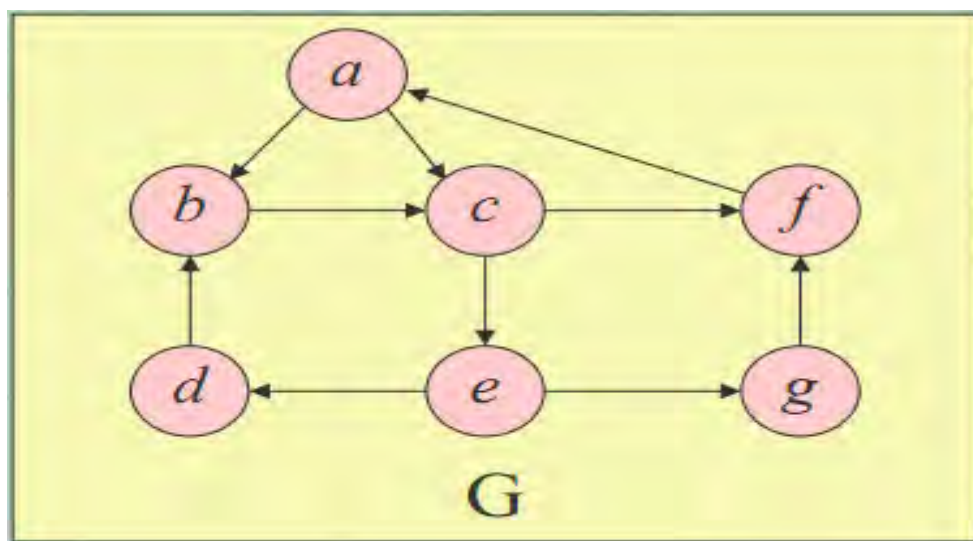
Στη συνέχεια, παρουσιάζονται οι βασικότερες κατηγορίες στις οποίες ταξινομούνται οι γράφοι ανάλογα με τη δομή και τα χαρακτηριστικά τους (Παπαδοπούλου, 2011).

**Απλοί Γράφοι (Simple Graphs):** Ένας απλός γράφος  $G = (V, E)$  ορίζεται ως ένα διάγραμμα αποτελούμενο από κόμβους και ακμές, ενώ μεταξύ δύο κόμβων του γράφου υφίσταται μία και μόνο μία ακμή. Ένας απλός γράφος δεν περιλαμβάνει κυκλικές ακμές.

**Κατευθυνόμενοι Γράφοι (Directed Graphs):** Ένας γράφος ορίζεται ως κατευθυνόμενος γράφος  $G = (V, A)$  όταν οι ακμές που συνδέουν τους κόμβους του είναι προσανατολισμένες προς μια κατεύθυνση (φορά), οπότε και αυτές με τη σειρά τους χαρακτηρίζονται ως κατευθυνόμενες ακμές (directed edges) ή τόξα (arcs). Ένα τόξο  $a = (x, y)$  που ανήκει σε έναν κατευθυνόμενο γράφο, έχει κατεύθυνση από τον κόμβο  $x$  προς τον κόμβο  $y$ . Ο κόμβος  $y$  καλείται άμεσος διάδοχος (direct successor) του  $x$  και ο κόμβος  $x$  άμεσος προκάτοχος (direct predecessor) του κόμβου  $y$ .

Εικόνα 6: Κατευθυνόμενος γράφος

(Πηγή: Παπαδοπούλου, 2011)



**Μεικτοί Γράφοι (Mixed Graphs):** Μεικτός καλείται ένας γράφος  $G = (V, E, A)$  ο οποίος είναι δυνατό να περιλαμβάνει ταυτόχρονα κατευθυνόμενες και μη κατευθυνόμενες ακμές. Οι γράφοι αυτού του είδους συνιστούν ειδική περίπτωση γράφου

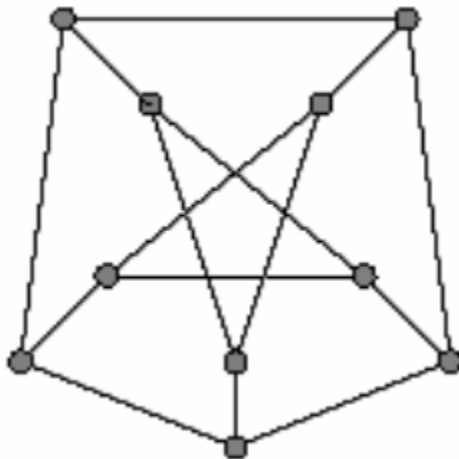
**Συνδεδεμένοι Γράφοι (Connected Graphs) και μη Συνδεδεμένοι Γράφοι:** Ως συνδεδεμένος χαρακτηρίζεται ένας γράφος, στον οποίο υπάρχουν ένα ή περισσότερα μονοπάτια μέσω των οποίων συνδέονται δύο οποιοδήποτε κόμβοι του γράφου. Ως μη συνδεδεμένος χαρακτηρίζεται ένας γράφος, στον οποίο δεν υφίσταται απαραίτητα σύνδεση μεταξύ του συνόλου των κόμβων που περιλαμβάνονται στο γράφο. Σε ένα μη συνδεδεμένο γράφο, δύο κόμβοι  $u$  και  $v$  ονομάζονται συνδεδεμένοι εάν υφίσταται στο γράφο μονοπάτι μέσω του οποίου συνδέονται οι δύο κόμβοι. Η αφαίρεση κόμβων ή ακμών δύναται να καταστήσει ένα συνδεδεμένο γράφο, μη συνδεδεμένο. Ένας γράφος είναι ισχυρά συνδεδεμένος (strongly connected

graph) όταν, δύο οποιοδήποτε κόμβοι του συνδέονται μέσω ενός μονοπατιού είτε αυτό κατευθύνεται από τον κόμβο  $u$  στον κόμβο  $v$  είτε έχει αντίστροφη κατεύθυνση από τον  $v$  στον  $u$ . Στην περίπτωση που οι κατευθυνόμενες ακμές ενός μη συνδεδεμένου γράφου αντικατασταθούν με μη κατευθυνόμενες ακμές, ένας γράφος που πριν την αντικατάσταση ήταν μη συνδεδεμένος δύναται να καταστεί συνδεδεμένος αλλά όχι ισχυρά συνδεδεμένος γράφος

**Κανονικοί Γράφοι (Regular Graphs):** Ένας γράφος ορίζεται ως κανονικός όταν όλοι οι κόμβοι του έχουν ίσο αριθμό γειτονικών κόμβων. Στην περίπτωση αυτή, όλοι οι κόμβοι του γράφου έχουν ακριβώς τον ίδιο βαθμό. Οι σύγχρονες μέθοδοι προγραμματισμού βασισμένοι στην μαθηματική ανάλυση, δίνουν την δυνατότητα βελτιστοποίησης ενός τέτοιου συστήματος.

*Εικόνα 7: Κανονικός γράφος*

*(Πηγή: Παπαδοπούλου, 2011)*

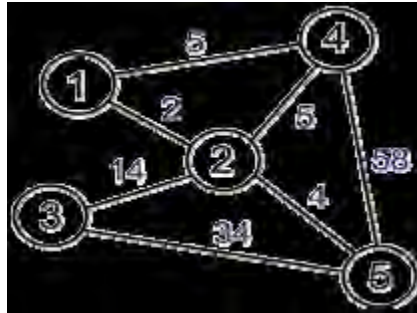


**Πλήρεις Γράφοι (Complete Graphs):** Καλούνται οι γράφοι όπου μεταξύ κάθε ζεύγους κόμβων υφίσταται οπωσδήποτε μια σύνδεση. Οι γράφοι αυτής της κατηγορίας, περιλαμβάνουν το μέγιστο δυνατό αριθμό ακμών.

**Σταθμισμένοι Γράφοι (Weighted Graphs):** Ένας σταθμισμένος γράφος, είναι ένας γράφος στις ακμές του οποίου ανατίθενται βάρη. Τα βάρη αυτά μπορεί να αναπαριστούν το κόστος μιας διαδρομής, το μήκος της, το χρόνο που απαιτείται για τη συνολική διάσχιση της συγκεκριμένης διαδρομής κ.λπ.



Εικόνα 8: Σταθμισμένος γράφος  
(Πηγή: Παπαδοπούλου, 2011)



**Επίπεδοι (Planar Graphs) και μη Επίπεδοι Γράφοι:** Ένας γράφος καλείται επίπεδος όταν μπορεί να σχεδιαστεί στο επίπεδο χωρίς να διασταυρώνονται οι πλευρές του. Δύο οποιοσδήποτε ακμές ενός επίπεδου γράφου συναντώνται μόνο σε προσκείμενους ή τερματικούς κόμβους. Στην περίπτωση που οι ακμές και οι κόμβοι του γράφου κείνται στο χώρο, ο γράφος καλείται μη επίπεδος. Στις τομές των ακμών ενός μη επίπεδου γράφου δεν παρεμβάλλεται κόμβος].

**Διμερείς Γράφοι (Bipartite Graphs):** Ένας γράφος καλείται διμερής όταν οι κορυφές του μπορούν να διαιρεθούν σε δύο σύνολα έτσι ώστε κάθε στοιχείο του ενός να συνδέεται με κάποιο στοιχείο του άλλου. Δύο στοιχεία που ανήκουν στο ίδιο σύνολο δε συνδέονται μεταξύ τους.

**Κυκλικοί Γράφοι (Cycle Graphs):** Ένας γράφος καλείται κυκλικός όταν αποτελείται από έναν κύκλο, δηλαδή έναν κόμβο και μια κυκλική ακμή όπου η αρχή και το πέρας της είναι ο μοναδικός κόμβος του γράφου. Επίσης, ένας κυκλικός κόμβος ορίζεται και ως μια κλειστή «αλυσίδα» ακμών που συνδέονται μεταξύ τους, ενώ ο κόμβος αφετηρίας της πρώτης ακμής είναι ο ίδιος με τον κόμβο πέρατος της τελευταίας ακμής.

Εικόνα 9: Διμερής γράφος  
(Πηγή: Παπαδοπούλου, 2011)



### 4.2.3. Ιδιότητες Γράφων

Οι ιδιότητες των γράφων απορρέουν κατά βάση από τη δομή και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά κάθε κατηγορίας στην οποία εντάσσονται. Κάθε κατηγορία γράφων χαρακτηρίζεται από ένα πλήθος ιδιοτήτων που αφορούν αποκλειστικά τους γράφους της εκάστοτε κατηγορίας, ενώ ορισμένες βασικές ιδιότητες αφορούν το σύνολο των γράφων ανεξαρτήτως κατηγορίας.

Οι βασικές ιδιότητες που χαρακτηρίζουν κάθε γράφο είναι αυτές που σχετίζονται με το βαθμό του γράφου και των δομικών του στοιχείων, το μέγεθος του γράφου και τις σχέσεις γειτνίασης που αναπτύσσονται μεταξύ των κόμβων και των ακμών του.

Ο βαθμός ενός κόμβου ορίζεται ίσος με το πλήθος των ακμών που συνδέονται με αυτόν τον κόμβο, ενώ ο βαθμός ενός γράφου αντίστοιχα ορίζεται ίσος με το συνολικό αριθμό των κόμβων που περιλαμβάνει και συμβολίζεται με  $|V|$ . Το μέγεθος ενός γράφου ορίζεται ίσο με τον αριθμό των ακμών του και συμβολίζεται με  $|E|$ . Ο βαθμός ενός κόμβου που είναι το πέρας μιας τυφλής ακμής είναι πάντα ίσος με ένα. Ίσος με ένα είναι επίσης και ο βαθμός των δύο κόμβων που ορίζουν μια αιωρούμενη ακμή. Σε κάθε γράφο, το άθροισμα των βαθμών των κόμβων του ισούται με το διπλάσιο του αριθμού των ακμών του. Οι ιδιότητες που αφορούν σχέσεις γειτνίασης σε γράφους, σχετίζονται με τις σχέσεις γειτνίασης που αναπτύσσονται μεταξύ των δομικών στοιχείων των γράφων. Έτσι, δύο ακμές που συνδέονται με τον ίδιο κόμβο καλούνται γειτονικές ακμές (adjacent edges), ενώ δύο κόμβοι που συνδέονται με μια κοινή ακμή καλούνται γειτονικοί κόμβοι (adjacent nodes). Μία ακολουθία γειτονικών ακμών σε ένα γράφο, κάθε μια από τις οποίες έχει έναν κοινό κόμβο με την ακμή που προηγείται, ορίζει ένα μονοπάτι (path) που συνδέει δύο οποιουσδήποτε κόμβους του γράφου. Κάθε ακμή που ανήκει σε ένα σταθμισμένο γράφο χαρακτηρίζεται από το βάρος που της αντιστοιχεί και το οποίο ανάλογα με την περίπτωση μπορεί να συμβολίζει το κόστος διάσχισής της, το μήκος της ή οποιοδήποτε άλλο μέγεθος απαιτεί η εκάστοτε εφαρμογή. Το συνολικό βάρος ενός σταθμισμένου γράφου ισούται με το άθροισμα των βαρών του συνόλου των ακμών του γράφου.

Επιπρόσθετα, από έναν ή περισσότερους υπάρχοντες γράφους δύναται να προκύψει ένας νέος γράφος μέσα από την πρόσθεση ή την αφαίρεση κόμβων ή ακμών, τη συγχώνευση κόμβων ή τη σύνδεση κόμβων που ανήκουν σε διαφορετικούς γράφους. Οι διαδικασίες δημιουργίας ενός νέου γράφου από έναν ή περισσότερους υφιστάμενους γράφους συνιστούν στοιχειώδεις λειτουργίες οι βασικότερες των οποίων κατηγοριοποιούνται ως ακολούθως:

- Στοιχειώδεις (elementary) λειτουργίες: Αφορούν στη δημιουργία ενός νέου γράφου από έναν ήδη υπάρχοντα γράφο μέσω μιας απλής τοπικής

αλλαγής όπως η πρόσθεση ή διαγραφή κόμβου ή ακμής, η συγχώνευση κόμβων κ.λπ.

- «Μοναδιαίες» (unary) λειτουργίες: Αφορούν στη δημιουργία ενός νέου γράφου, γραμμικού, συμπληρωματικού κ.α. από ήδη υπάρχοντα γράφο.
- Δυαδικές (binary) λειτουργίες: Αφορούν στη δημιουργία ενός νέου γράφου από δύο προϋπάρχοντες αρχικούς γράφους.

Τέλος, έχει αποδειχθεί ότι για έναν επίπεδο γράφο, το σύνολο των πιθανών αναπαραστάσεων του απαρτίζεται από το ίδιο πλήθος πολυγώνων. Συνεπώς, εάν ένας επίπεδος γράφος αποτελείται από  $\kappa$  κόμβους,  $\sigma$  ακμές και  $\pi$  πολύγωνα ισχύει η σχέση:

$$\pi - \sigma + \kappa = 2$$

Η παραπάνω σχέση είναι γνωστή ως κριτήριο του Euler και αποτελεί έναν απλό έλεγχο για τη μη-επιπεδότητα ενός γράφου. Συνιστά ικανή αλλά όχι αναγκαία συνθήκη για την επιπεδότητα, δηλαδή κάποιος γράφος που δεν ικανοποιεί το κριτήριο είναι γράφος μη-επίπεδος. Ωστόσο, ένας γράφος που ικανοποιεί το κριτήριο του Euler δεν είναι απαραίτητα επίπεδος. Η γενικευμένη μορφή του κριτηρίου του Euler, προκειμένου να ισχύει και για μη-συνδεδεμένους γράφους είναι η ακόλουθη:

$$\pi - \sigma + \kappa - \mu = 1$$

όπου  $\mu$ , ο αριθμός των συστατικών μερών που απαρτίζουν ένα μη-συνδεδεμένο γράφο (Παπαδοπούλου, Αθήνα 2011).

Η αναπαράσταση των γράφων στον υπολογιστή απαιτεί την εφαρμογή ειδικών δομών δεδομένων, κάθε μια από τις οποίες χαρακτηρίζεται από τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά της. Όπως αναφέρεται και στη συνέχεια του παρόντος εδαφίου, ανάλογα με το πρόβλημα που τίθεται κάθε φορά προς επίλυση, εφαρμόζεται η αντίστοιχη δομή δεδομένων που εξασφαλίζει είτε την ταχύτερη επίλυση του προβλήματος είτε την εξοικονόμηση χώρου μνήμης που απαιτείται για την αποθήκευση του γράφου.

Οι δομές που χρησιμοποιούνται συνήθως για την αποθήκευση γράφων, είναι οι συνδεδεμένες λίστες ή λίστες γειτνίασης, οι δυδιάστατοι πίνακες και ορισμένες δομές δεδομένων που προκύπτουν ως συνδυασμός των δύο προαναφερθεισών δομών. Η δομή που κάθε φορά υιοθετείται για την αναπαράσταση ενός γράφου εξαρτάται, τόσο από τη δομή του γράφου όσο και από τον αλγόριθμο που εφαρμόζεται για το χειρισμό του γράφου.

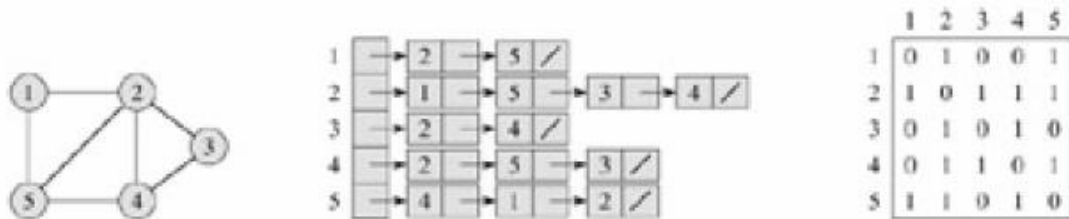
Η συνδεδεμένη λίστα ή λίστα γειτνίασης (adjacency list), εφαρμόζεται συνήθως για την αποθήκευση αραιών και σχετικά μικρών γράφων (sparse graphs) όπου ο αριθμός των ακμών τους  $|E|$  είναι κατά πολύ μικρότερος από τον αριθμό του τετραγώνου των κόμβων τους  $|V|^2$ . Σε κάθε κόμβο του γράφου, αντιστοιχεί μια

λίστα η οποία περιλαμβάνει το σύνολο των κόμβων προς τους οποίους υπάρχει δυνατότητα άμεσης πρόσβασης από τον αρχικό κόμβο. Η λίστα ενός κόμβου ο οποίος ανήκει σε μη-κατευθυνόμενο γράφο περιλαμβάνει όλους τους κόμβους-γείτονες του αρχικού. Στην περίπτωση ενός κατευθυνόμενου γράφου με βάρη, η λίστα ενός κόμβου περιλαμβάνει το σύνολο των γειτονικών του κόμβων, που είναι προσβάσιμοι από τον αρχικό, συνοδευόμενων από το βάρος που αντιστοιχεί στην εκάστοτε παρεμβαλλόμενη ακμή. Η συνδεδεμένη λίστα ως δομή έχει μικρότερες απαιτήσεις μνήμης σε σχέση με τον πίνακα γειτνίασης, καθώς για ένα γράφο με  $K$  κόμβους και  $A$  ακμές οι απαιτήσεις σε χωρητικότητα είναι ίσες με  $K+A$ , ενώ συνιστά καταλληλότερη δομή για την απάντηση ερωτημάτων που σχετίζονται με την απαρίθμηση κόμβων του γράφου, όπως για παράδειγμα το ερώτημα: Βρες το σύνολο των γειτονικών κόμβων ενός κόμβου  $u$ . Ο δυδιάστατος πίνακας συνιστά την απλούστερη δομή που χρησιμοποιείται για την αναπαράσταση ενός γράφου. Οι γραμμές και οι στήλες του πίνακα περιλαμβάνουν τους κόμβους του γράφου, κάθε κόμβος δηλαδή περιγράφεται από μια γραμμή και μια στήλη. Στην περίπτωση ενός μη-κατευθυνόμενου γράφου, τα κελιά του πίνακα παίρνουν τιμές 1 ή 0, ανάλογα με το εάν υφίσταται ή όχι σύνδεση μεταξύ δύο κόμβων, του κόμβου γραμμής και του κόμβου στήλης. Ο πίνακας στην περίπτωση αυτή είναι συμμετρικός ως προς τα στοιχεία που περιλαμβάνονται στην κύρια διαγώνιο και είναι ίσα με 1. Η ίδια λογική ακολουθείται και κατά τη διαδικασία αναπαράστασης ενός κατευθυνόμενου γράφου, με τη διαφορά ότι στους κόμβους που περιλαμβάνονται στις γραμμές του πίνακα ανατίθεται ο ρόλος «από»-προέλευση, ενώ στους κόμβους που περιλαμβάνονται στις στήλες του πίνακα ανατίθεται ο ρόλος «προς»-προορισμός. Στην περίπτωση αναπαράστασης σταθμισμένου γράφου με δυσδιάστατο πίνακα, τα πεδία του πίνακα περιλαμβάνουν τα βάρη των αντίστοιχων ακμών, ενώ στην περίπτωση που μεταξύ δύο κόμβων δεν υφίσταται ακμή, στο αντίστοιχο κελί του πίνακα ανατίθεται τιμή ίση με το άπειρο ( $\infty$ ). Ο δυσδιάστατος. Τέλος, όταν ο γράφος δεν έχει βάρη, ο πίνακας ως δομή παρέχει ένα επιπλέον πλεονέκτημα που συνίσταται στο γεγονός ότι για κάθε είσοδο στον πίνακα απαιτείται μόνο ένα bit για την αναπαράστασή της πίνακας εφαρμόζεται συνήθως για την αναπαράσταση πυκνών γράφων όπου ο αριθμός των ακμών  $|E|$  του γράφου είναι περίπου ίσος με τον αριθμό του τετραγώνου των κόμβων του  $|V|^2$ . Επιπρόσθετα, όταν απαιτείται γρήγορη απάντηση σε ερωτήματα του τύπου εάν υπάρχει μια ακμή που να συνδέει δύο οποιουσδήποτε κόμβους ενός γράφου, ο πίνακας προτιμάται ως δομή καθώς συνεπάγεται ταχύτερη προσπέλαση των στοιχείων που βρίσκονται αποθηκευμένα σε αυτόν, σε αντίθεση με τη λίστα, η οποία πρέπει να προσπελάσει τα αποθηκευμένα στοιχεία ένα προς ένα προκειμένου να δοθεί απάντηση στο ερώτημα που έχει τεθεί. Ωστόσο, ο πίνακας έχει μεγαλύτερες απαιτήσεις

διαθέσιμης μνήμης οι οποίες για ένα γράφο που περιλαμβάνει  $K$  κόμβους μεταφράζονται σε απαιτήσεις χωρητικότητας ίσες με  $K^2$ . (Παπαδοπούλου, Αθήνα 2011)

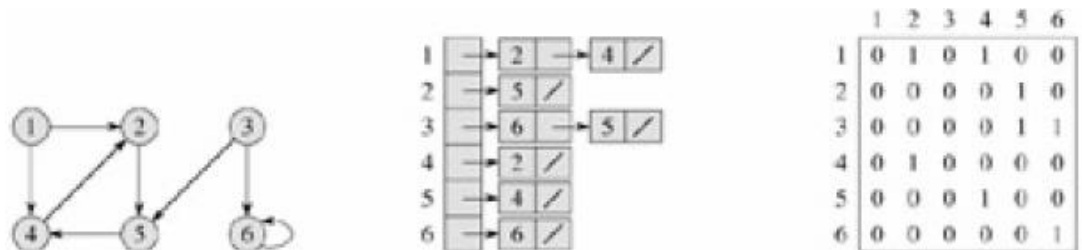
Εικόνα 10: Παράδειγμα Αναπαράστασης μη-Κατευθυνόμενου Γράφου σε Δομή Λίστας και Πίνακα

(Πηγή: Παπαδοπούλου, 2011)



Εικόνα 11: Παράδειγμα Αναπαράστασης Κατευθυνόμενου Γράφου σε Δομή Λίστας και Πίνακα

(Πηγή: Παπαδοπούλου, 2011)



#### 4.2.4. Μοντελοποίηση προβλημάτων γράφων

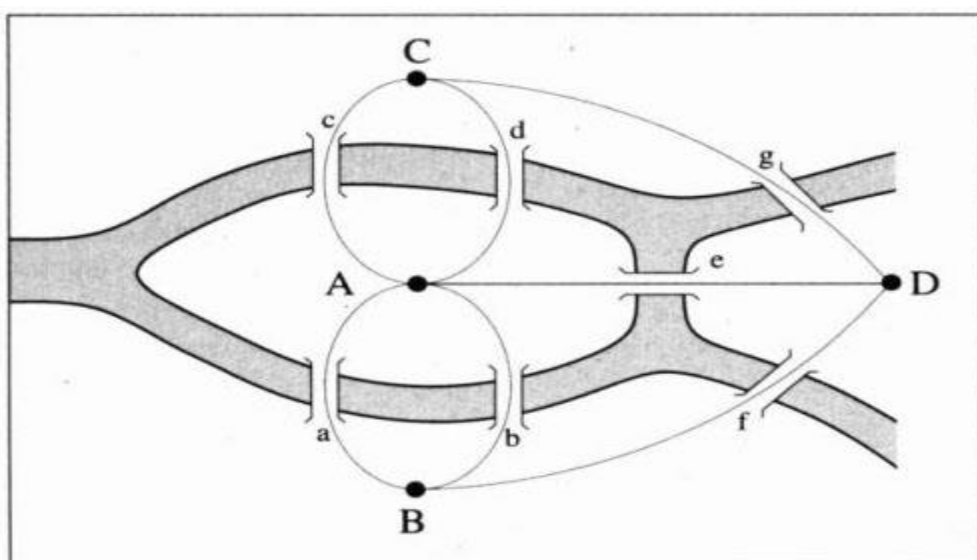
Όπως έχει ήδη αναφερθεί σε προηγούμενη παράγραφο, παρά το γεγονός ότι τα θεμέλια της θεωρίας των γράφων τέθηκαν από τα μαθηματικά, οι βασικές αρχές της υιοθετούνται από διάφορα επιστημονικά πεδία προκειμένου να αναλυθούν και να ερευνηθούν προβλήματα, η επίλυση των οποίων απαιτεί τη μοντελοποίησή τους με τη βοήθεια γράφων. Οι βασικές κατηγορίες προβλημάτων η επίλυση των οποίων ανάγεται σε επίλυση γράφου, αφορούν προβλήματα όπου απαιτούνται επιλύσεις δικτύων και προβλήματα που σχετίζονται με τη μοντελοποίηση και διαγραμματική αναπαράσταση συστημάτων, αποτελούμενων από στοιχεία μεταξύ των οποίων υφίστανται κάποιου είδους σχέσεις αλληλεπίδρασης. Τα αντικείμενα αναπαρίστανται ως κόμβοι, ενώ οι συνδέσεις που υφίστανται μεταξύ τους ως ακμές.

Στο παρόν εδάφιο παρουσιάζονται ορισμένες περιπτώσεις προβλημάτων, τα οποία αναπαρίστανται διαγραμματικά ως γράφοι και η αναζήτηση των λύσεων τους ανάγεται στην επίλυση γράφου μέσα από την αξιοποίηση των βασικών αρχών της θεωρίας των γράφων.

Το πρώτο ιστορικά πρόβλημα που παραπέμπει σε μοντελοποίηση δικτύου και επίλυση γράφου είναι αυτό που αφορούσε την περιστοιχιζόμενη από ποτάμια ύδατα πόλη του Königsberg, η οποία συνδεόταν μέσω επτά γεφυρών με την υπόλοιπη ενδοχώρα.

*Εικόνα 12: Το πρώτο μοντέλο: Το Πρόβλημα των Επτά Γεφυρών του Königsberg*

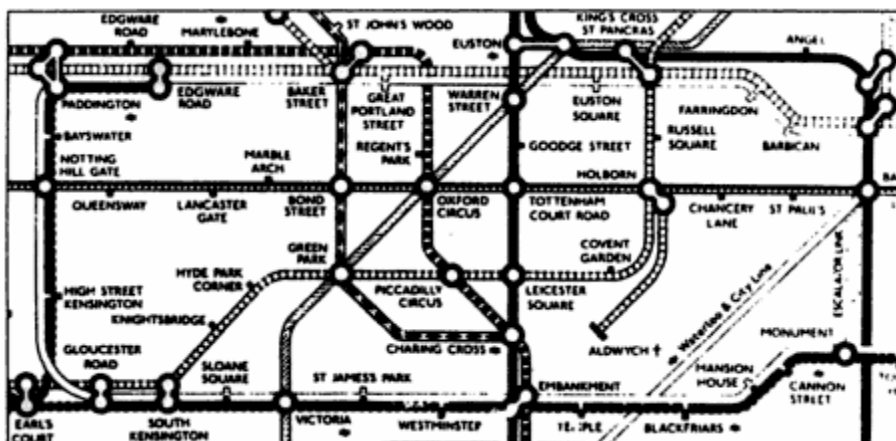
*(Πηγή: Στυλιανού, 2013)*



Η αναζήτηση της βέλτιστης διαδρομής που υφίσταται μεταξύ δύο σταθμών ενός υπόγειου σιδηρόδρομου ανάγεται σε επίλυση δικτύου που αναπαρίστανται ως γράφος. Η βέλτιστη διαδρομή αφορά συνήθως στη συντομότερη διαδρομή μεταξύ δύο σταθμών, σύμφωνα με κριτήρια που τίθενται ανά περίπτωση και μπορεί να αφορούν, τη γεωμετρική απόσταση μεταξύ των δύο σταθμών ή το χρόνο που απαιτείται για τη διάνυση της συγκεκριμένης διαδρομής. Στην εικόνα που ακολουθεί, παρουσιάζεται ο υπόγειος σιδηρόδρομος του Λονδίνου που έχει μοντελοποιηθεί ως γράφος αποτελούμενος από τους κόμβους- σταθμούς και τις ακμές- διαδρομές μεταξύ των σταθμών.

Εικόνα 13: Ο Υπόγειος Σιδηρόδρομος του Λονδίνου

(Πηγή: Στυλιανού, 2013)



Το επόμενο παράδειγμα προέρχεται από το χώρο της χημείας και τη διαγραμματική αναπαράσταση με τη μορφή γράφου της μοριακής δομής των αλκανίων, όπου τα άτομα του άνθρακα και του υδρογόνου αναπαρίστανται ως κόμβοι του γράφου ενώ οι χημικοί δεσμοί που υφίστανται μεταξύ των ατόμων αναπαρίστανται ως ακμές του γράφου. Η αναπαράσταση των μορίων με αυτόν τον τρόπο βοηθά στη μελέτη της δομής των μορίων, των χημικών δεσμών μεταξύ των ατόμων και της χημικής συμπεριφοράς των μορίων ως αποτέλεσμα της συγκεκριμένης χημικής δομής.

Εικόνα 14: Αναπαράσταση Μορίων Μεθανόλης και Αιθανόλης με τη βοήθεια Γράφου

(Πηγή: Στυλιανού, 2013)



#### 4.2.5. Προβλήματα Γράφων

Οι γράφοι υιοθετούνται ως δομή για τη γραφική αναπαράσταση προβλημάτων, τα οποία αφορούν σε διακριτά αντικείμενα και στις σχέσεις που υφίστανται μεταξύ τους. Τέτοιου είδους προβλήματα είναι δυνατό να αναπαρασταθούν γραφικά ως κάποιος μορφής δίκτυα. Το γνωστικό υπόβαθρο και οι βασικές αρχές της θεωρίας των γράφων συνιστούν τα πλέον κατάλληλα μαθηματικά εργαλεία για την επίλυση προβλημάτων αυτής της κατηγορίας, που μπορεί να αναφέρονται σε διαφορετικά επιστημονικά πεδία.

Το παρόν εδάφιο εστιάζει στην παρουσίαση συνήθων προβλημάτων, για την αναπαράσταση των οποίων έχουν υιοθετηθεί ως γραφικό υπόβαθρο οι γράφοι, ενώ για τη διαδικασία επίλυσής τους έχουν αναπτυχθεί αποτελεσματικοί αλγόριθμοι οι οποίοι περιγράφονται στη συνέχεια. Τα προβλήματα που περιγράφονται στο εδάφιο αυτό αφορούν κατά βάση δίκτυα υφιστάμενα στο χώρο τα οποία μοντελοποιούνται ως γράφοι.

#### 4.2.6. Το πρόβλημα της διάσχισης

Το πρόβλημα της διάσχισης ενός γράφου (graph traversal) αφορά στην επίσκεψη των κόμβων του μέσω των ακμών που τους συνδέουν. Ουσιαστικά, περιλαμβάνει την αναζήτηση μονοπατιών μέσω των οποίων καθίσταται δυνατή η πρόσβαση σε έναν κόμβο προορισμού από έναν κόμβο αφητηρίας, διαμέσου άλλων κόμβων του γράφου ή την εύρεση μονοπατιών που διέρχονται από δύο ή περισσότερους κόμβους του γράφου. Τα περισσότερα γεωγραφικά προβλήματα γράφων συνιστούν ειδικές περιπτώσεις του προβλήματος διάσχισης γράφου και η επίλυσή τους ανάγεται στο πρόβλημα της διάσχισης γράφου στη βάση κάποιων κριτηρίων που τίθενται κατά περίπτωση

#### 4.2.7. Το πρόβλημα της μεταβατικής κλειστότητας

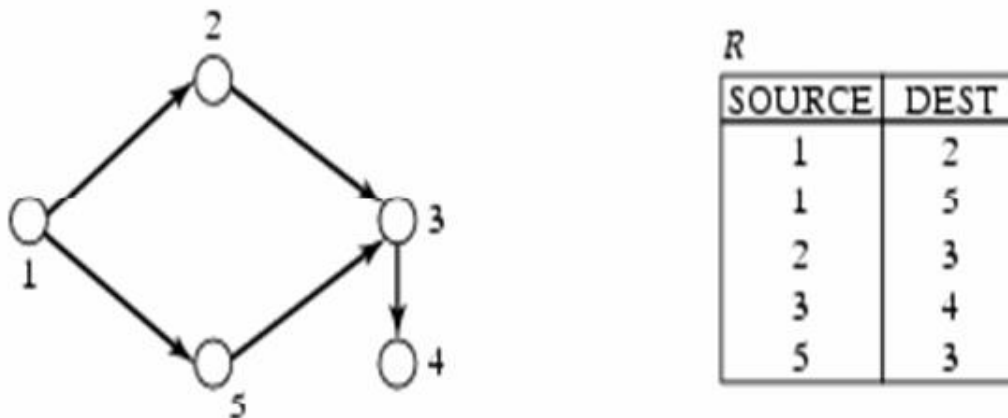
Ο προσδιορισμός της μεταβατικής κλειστότητας (transitive closure) ενός γράφου συνιστά ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα γράφων, η επίλυση του οποίου δεν είναι δυνατή μόνο με την υιοθέτηση τεχνικών της σχεσιακής άλγεβρας. Αποτελεί τη βάση επάνω στην οποία στηρίζονται διάφορα άλλα προβλήματα που σχετίζονται με την ανάλυση δικτύων όπως το πρόβλημα εύρεσης συντομότερης διαδρομής, ο προσδιορισμός της συνδεσιμότητας γράφου κ.λπ. Η μεταβατική κλειστότητα  $G^*$  ενός γράφου  $G (V, E)$  ορίζεται ως ένας γράφος που έχει ίσο αριθμό κόμβων με το γράφο  $G$  και κάθε ακμή του αντιστοιχεί σε ένα μονοπάτι του γράφου  $G$ . Συνεπώς, κάθε ακμή του γράφου  $G^*$  ανήκει στο σύνολο των ακμών του  $E^*$ , αν και μόνο αν αντιστοιχεί σε ένα μονοπάτι που συνδέει δύο κόμβους του γράφου  $G$ . Ως εκ τούτου, η εύρεση της μεταβατικής κλειστότητας ενός γράφου ανάγεται στην αναζήτηση μονοπατιών στον αρχικό γράφο και στην παραγωγή ενός νέου γράφου, οι ακμές του οποίου αποτελούνται από το σύνολο των ακμών του αρχικού γράφου συν τις νέες ακμές που προκύπτουν από την άμεση σύνδεση κόμβων, οι οποίοι στον αρχικό γράφο



συνδέονται μέσω μονοπατιών. Στο σχήμα που ακολουθεί, παρουσιάζεται η μεταβατική κλειστότητα  $G^*$  ενός γράφου  $G$ . Οι γραφικές αναπαραστάσεις των γράφων συνοδεύονται από δύο πίνακες, οι οποίοι περιλαμβάνουν τους κόμβους προέλευσης και τους κόμβους προορισμού κάθε ακμής. Είναι προφανές ότι η μεταβατική κλειστότητα περιλαμβάνει μεγαλύτερο πλήθος ακμών σε σχέση με τον αρχικό γράφο καθώς έχουν προστεθεί οι ακμές που προκύπτουν από την άμεση σύνδεση κόμβων που στον αρχικό γράφο συνδέονται μέσω μονοπατιών (Shekhar - Chawla, 2003).

Εικόνα 15: Ο Γράφος  $G$

(Πηγή: Shekhar - Chawla, 2003)



#### 4.2.8. Το πρόβλημα του πλανόδιου πωλητή (Traveling Salesman Problem – TSP)

Το πρόβλημα του πλανόδιου πωλητή (Traveling Salesman Problem – TSP) περιλαμβάνει την εύρεση της (σχεδόν) μικρότερης διαδρομής –βέλτιστης- που ενώνει ένα αριθμό περιοχών -πιθανόν εκατοντάδες- όπως δηλαδή κάνει ένας περιπλανώμενος πωλητής που επισκέπτεται διάφορες πόλεις με σκοπό να πουλήσει τα προϊόντα του. Αν ένας πωλητής, ξεκινάει από την πόλη του, και θέλει να επισκεφτεί ακριβώς μία φορά κάθε πόλη από μια λίστα πόλεων και να επιστρέψει πάλι στην πόλη του, είναι εύλογο για αυτόν να επιλέξει την σειρά με την οποία θα επισκεφτεί τις πόλεις έτσι ώστε η συνολική απόσταση την οποία θα διανύσει κατά την περιοδεία του να είναι όσο το λιγότερο μικρή. Έστω ότι γνωρίζει, για κάθε ζεύγος πόλεων, την απόσταση από την μια πόλη στην άλλη. Τότε έχει όλα τα δεδομένα που του χρειάζονται για να βρει την ελάχιστη διαδρομή, αλλά δεν είναι καθόλου προφανές γι' αυτόν πώς να χρησιμοποιήσει τα δεδομένα αυτά προκειμένου να πάρει την απάντηση που ζητά.

Το δίκτυο των πόλεων αναπαρίσταται με ένα γράφο, οι κόμβοι του οποίου αναπαριστούν τις πόλεις ενώ οι ακμές του το οδικό δίκτυο που συνδέει τις πόλεις

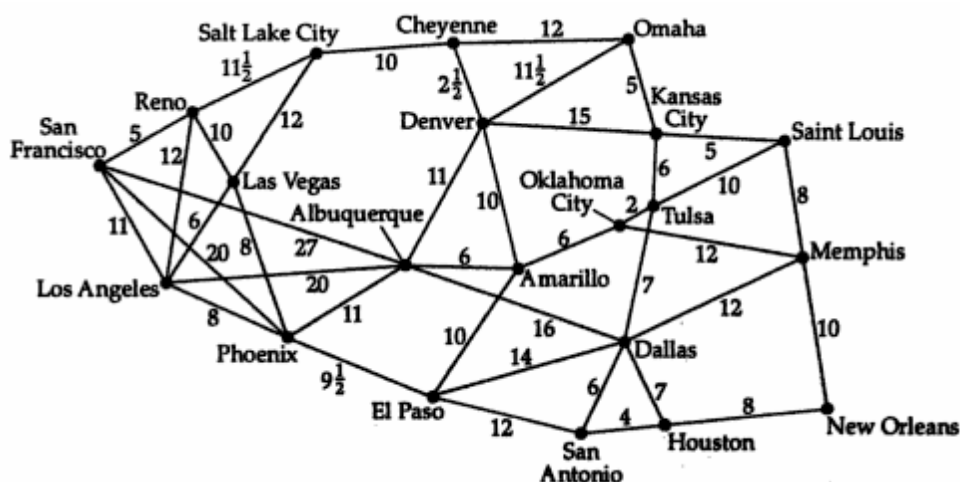
αυτές. Για την επίλυση του συγκεκριμένου προβλήματος, έχουν προταθεί διάφοροι αλγόριθμοι οι οποίοι ως ένα βαθμό επιλύουν ικανοποιητικά το πρόβλημα. Ωστόσο, η πολυπλοκότητα επίλυσης του προβλήματος, ιδιαίτερα όταν αυτό αφορά μεγάλους γράφους, είναι μη- πολυωνυμική καθώς η μόνη μέθοδος που εγγυάται τη λύση του προβλήματος συνίσταται στον εξαντλητικό υπολογισμό του κόστους (exhaustion method) του συνόλου των πιθανών διαδρομών και στην επιλογή της συντομότερης. Αυτό όμως καθίσταται εξαιρετικά πολύπλοκο για μεγάλους γράφους, διότι αυξάνεται πολύ ο χρόνος επεξεργασίας των δεδομένων. Συνεπώς, δεν υφίσταται μια συγκεκριμένη ενιαία μέθοδος που να λύνει οποιαδήποτε περίπτωση του προβλήματος του πλανόδιου πωλητή. Υπάρχουν μόνο ad hoc διαδικασίες που βασίζονται σε ευρετικούς κανόνες οι οποίες όμως λύνουν προσεγγιστικά το πρόβλημα καθώς δε δίνουν τη βέλτιστη λύση .

Μια ευρετική λύση του προβλήματος θα μπορούσε να διατυπωθεί ως ακολούθως: Έστω ένας κόμβος  $v$ , ο οποίος επιλέγεται ως κόμβος εκκίνησης και ονομάζεται κόμβος  $v$ . Εν συνεχεία, αναζητείται κατά προτεραιότητα η ακμή  $(v, u)$  από τον κόμβο  $v$  η οποία δεν έχει διαπεραστεί και έχει το ελάχιστο κόστος διάσχισης. Αφού, επισημανθεί ως διαπερασμένη, ο κόμβος  $u$  μετονομάζεται σε κόμβο  $v$  και η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρις ότου προσπελαθούν όλοι οι κόμβοι και ο αλγόριθμος επιστρέψει στο αρχικό σημείο εκκίνησης.

Στο σχήμα που ακολουθεί, παρουσιάζεται διαγραμματικά ένα δίκτυο πόλεων στις ΗΠΑ, το οποίο έχει μοντελοποιηθεί ως ένας σταθμισμένος γράφος και συνιστά μια περίπτωση δικτύου για την εφαρμογή αλγορίθμων επίλυσης του προβλήματος του πλανόδιου πωλητή (Στυλιανού, 2013) (Aldous –Wilson, 2000).

*Εικόνα 16: Δίκτυο Πόλεων στις ΗΠΑ*

*(Πηγή: Aldous –Wilson, 2000)*



## 8.2 Χάρτης υφιστάμενων υποπεριφερειών Δ. Περιστερίου

### 8.3 Χάρτης Οικοδομικών Τετραγώνων από Ε.Σ.Υ