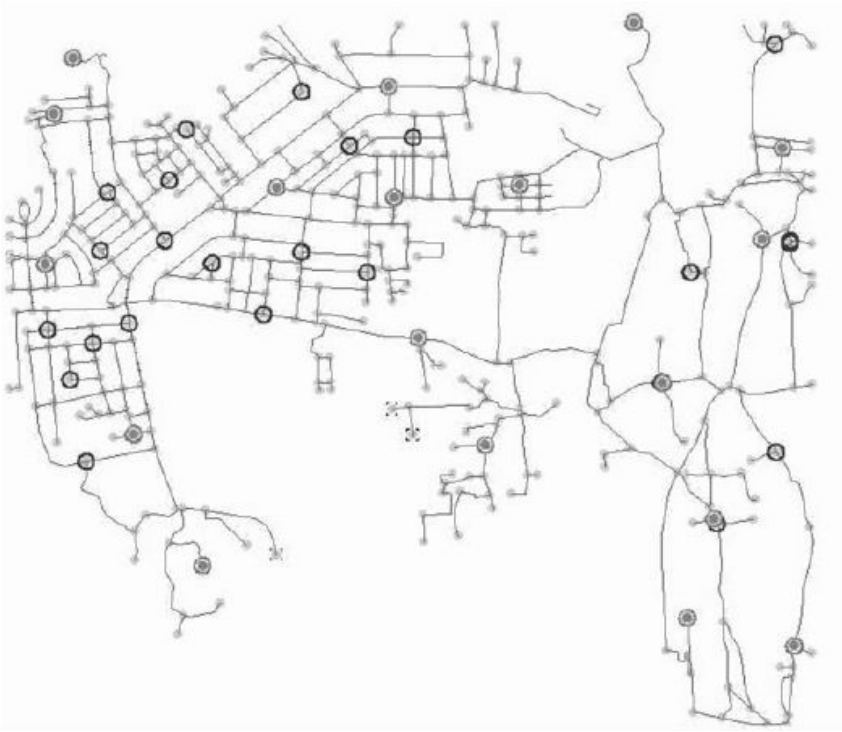
ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΤΜΗΜΑ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ ΚΑΔΩΝ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΟ ΔΗΜΟ ΗΛΙΟΥΠΟΛΗΣ



ΔΙΑΜΑΝΤΙΔΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΚΟΥΤΣΟΠΟΥΛΟΣ ΚΩΣΤΗΣ

ΑΘΗΝΑ 2008

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ 4
ABSTRACT 5
ΠΡΟΛΟΓΟΣ 6
ΕΙΣΑΓΩΓΗ 7

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ

1.1 ΓΕΝΙΚΑ 9
1.2 ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΑΝΑ ΤΟΝ ΚΟΣΜΟ 10
1.3 ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ 13

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ ΚΑΔΩΝ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ 17
2.2 ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ ΚΑΔΩΝ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ ΣΤΗΝ ΤΑΪΒΑΝ 18
2.3 ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΣΤΟΧΩΝ 18
2.4 ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΩΝ 19
2.5 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΠΙΛΥΣΗΣ 21
2.6 ΣΕΝΑΡΙΑ ΕΠΙΔΕΙΞΗΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ 24
2.7 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ 28

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ

3.1 ΟΡΙΣΜΟΙ 29
3.2 ΤΑ ΜΕΡΗ ΕΝΟΣ ΓΣΠ 29
3.2.1 Τεχνικός εξοπλισμός (Hardware) 29
3.2.2 Λογισμικό (Software) 30
3.2.3 Διαθέσιμα (Resourceware) 31
3.3 ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΤΑ ΓΣΠ 31
3.4 ΟΙ ΤΡΕΙΣ ΟΨΕΙΣ ΕΝΟΣ ΓΣΠ 33
3.5 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΩΝ ΓΣΠ 34

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΜΕΘΟΔΟΙ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΕΩΝ – ΚΑΤΑΝΟΜΩΝ

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ 35
4.2 ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΟΥ WEBER 36
4.3 ΜΟΝΤΕΛΑ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΕΩΝ – ΚΑΤΑΝΟΜΩΝ 37
4.3.1 Το μοντέλο p-διάμεσος 38
4.3.2 Το μοντέλο σύνολο – κάλυψης 41
4.3.3 Το μοντέλο μέγιστης – κάλυψης 41
4.4 ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΕΩΝ – ΚΑΤΑΝΟΜΩΝ 42

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΕΦΑΡΜΟΓΗ: Χωροθέτηση κάδων ανακύκλωσης στον δήμο Ηλιούπολης

5.1 ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ 45
5.2 ΥΠΑΡΧΟΥΣΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ 45
5.3 ΔΙΑΘΕΣΙΜΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ 46
5.4 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ-ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ 50
5.5 ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ 52
5.6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ 61

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ 62

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 64

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εποχή μας, η κατανάλωση αγαθών αυξάνεται ραγδαία και παράλληλα αυξάνεται και ο όγκος των απορριμμάτων που παράγουμε. Η ανακύκλωση είναι το λιγότερο που μπορεί κάθε πολίτης να κάνει για τη μικρότερη επιβάρυνση του περιβάλλοντος με απορρίμματα. Γι' αυτό και από το 2003 η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει υποχρεώσει όλα τα κράτη μέλη της να αρχίσουν προγράμματα ανακύκλωσης σε επίπεδο δήμων. Θέμα της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας αποτελεί η χωροθέτηση των κάδων ανακύκλωσης με τη χρήση μεθόδων χωροθετήσεων-κατανομών. Η περιοχή που επιλέχτηκε για την πραγματοποίηση της εφαρμογής είναι ο Δήμος Ηλιούπολης του νομού Αττικής, στον οποίον ακόμα δεν έχουν τοποθετηθεί κάδοι, υπάρχει όμως έτοιμη πρόταση από το Γραφείο Καθαριότητας. Στη συγκεκριμένη διπλωματική γίνεται μια επίδειξη διαφορετικών σεναρίων για την επιλογή της ιδανικής λύσης, μέσω της χρήσης μεθόδων χωροθετήσεων - κατανομών. Το βασικό εργαλείο που χρησιμοποιείται σε αυτή τη μελέτη είναι ένα Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών (ArcGIS).

ABSTRACT

In the age we live, goods consumption increases rapidly; so does the production of waste. Recycling is the least that every citizen can do to lessen the environmental burden because of the extra waste. That is why since 2003, the European Union has obliged all member states to start recycling programmes at municipal level. The subject of this diploma thesis is the allocation of recycling bins using location-allocation methods. The region chosen for application is the Municipality of Ilioupolis in the prefecture of Attica, where no bins have yet been placed. However there is a proposal prepared by the Bureau of Sanitation. In this thesis, the results of different cases are presented in an effort to find the ideal solution, by use of location-allocation methods. The main tool used in this study is a Geographical Information System (ArcGIS).

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία ανατέθηκε τον Μάρτιο του 2008 από τον καθηγητή κ. Κουτσόπουλο Κ. του ΕΜΠ. Έλαβε χώρα στο εργαστήριο Γεωγραφίας και Ανάλυσης Χώρου του Τομέα Γεωγραφίας και Περιφερειακού Σχεδιασμού της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του ΕΜΠ.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή κ. Κουτσόπουλο Κ., υπεύθυνο της διπλωματικής μου εργασίας, για την ανάθεσή της και την επιστημονική υποστήριξή του. Επίσης ευχαριστώ θερμά τον Δρ. Θ. Χατζηχρήστο για την πολύτιμη βοήθειά του στην επιλογή του θέματος αλλά και στην εκπόνηση της εργασίας, με τη συμπαράστασή του σε επιστημονικά και γνωστικά θέματα. Τέλος ευχαριστώ την οικογένεια και τους φίλους μου για την υποστήριξή τους.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην εποχή μας, η κατανάλωση αγαθών αυξάνεται ραγδαία και παράλληλα αυξάνεται και ο όγκος των απορριμμάτων που παράγουμε. Η ανακύκλωση είναι το λιγότερο που μπορεί κάθε πολίτης να κάνει για τη μικρότερη επιβάρυνση του περιβάλλοντος με απορρίμματα. Γι' αυτό και από το 2003 η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει υποχρεώσει όλα τα κράτη μέλη της να αρχίσουν προγράμματα ανακύκλωσης σε επίπεδο δήμων. Θέμα της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας αποτελεί η χωροθέτηση κάδων ανακύκλωσης σε μια περιοχή με τη χρήση μεθόδων χωροθετήσεων-κατανομών.

Σύμφωνα με τις ευρωπαϊκές οδηγίες, κάθε δήμος θα πρέπει να αρχίσει προγράμματα ανακύκλωσης. Συνεπώς θα πρέπει να υπάρξει μια μέθοδος χωροθέτησης των κάδων ανακύκλωσης για την καλύτερη και ευκολότερη πρόσβαση στα σημεία ανακύκλωσης από τους εκάστοτε δημότες. Έτσι, σε συνδυασμό με πληροφόρηση, θα υπάρχει και μεγαλύτερο ενδιαφέρον από την πλευρά των πολιτών για την ανακύκλωση. Στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία προτείνεται μια μέθοδος χωροθέτησης που θα μπορούσε να αποτελέσει πρότυπο στις περιπτώσεις όπου διατίθενται τα ίδια η ανάλογα στοιχεία. Επίσης προτείνονται κάποιες κατευθύνσεις σε περίπτωση που διατίθενται περισσότερα στοιχεία ή τα ζητούμενα αποτελέσματα της χωροθέτησης είναι διαφορετικά.

Στη συγκεκριμένη μελέτη, για την επίλυση του προβλήματος χωροθέτησης των κάδων ανακύκλωσης στο δήμο Ηλιούπολης, χρησιμοποιούνται οι μέθοδοι χωροθετήσεων-κατανομών p-median (p-διάμεσος) και μέγιστης-κάλυψης, με τη βοήθεια ενός γεωγραφικού συστήματος πληροφοριών και χρήση του πακέτου λογισμικού ArcGIS. Το σύστημα αυτό που δημιουργήθηκε μας επιτρέπει τη μελέτη, επεξεργασία και ανάλυση των πληροφοριών που αφορούν την περιοχή μελέτης, καθώς και την εύκολη απεικόνιση των αποτελεσμάτων αυτής της επεξεργασίας. Το λογισμικό ARC/INFO χρησιμοποιήθηκε για την υλοποίηση της μεθόδου χωροθετήσεων-κατανομών.

Η περιοχή μελέτης η οποία επιλέχθηκε για την εφαρμογή της μεθόδου είναι ο δήμος Ηλιούπολης, στον οποίον δεν έχουν τοποθετηθεί ακόμη οι κάδοι ανακύκλωσης. Ο δήμος Ηλιούπολης έχει εκπονήσει ήδη τη μελέτη για την χωροθέτηση των κάδων και θα υπάρχει μια ενδιαφέρουσα σύγκριση των αποτελεσμάτων της, με τη μέθοδο που αναπτύσσεται στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία. Γενικότερα στον Ελλαδικό χώρο δεν έχει δοθεί ιδιαίτερη σημασία στην ανακύκλωση και συνεπώς στη χωροθέτηση των κάδων, γι' αυτό και δεν υπάρχουν πρότυπες μελέτες. Συνήθως οι μελέτες που εκπονούνται στηρίζονται σε εμπειρικούς κανόνες και κριτήρια, καθώς και στην ικανότητα του εκάστοτε μελετητή. Ανά τον κόσμο υπάρχουν τα πρότυπα της Γερμανίας και της Ελβετίας, καθώς και το πρόγραμμα της Νέας Υόρκης στα οποία η χωροθέτηση δεν έχει νόημα καθώς κάθε σπίτι έχει τους δικούς του κάδους. Σιγά σιγά όμως σε όλες τις χώρες συνειδητοποιείται η σημαντικότητα της ανακύκλωσης. Έτσι στην Ταϊβάν, μετά την επιτυχία των προσφάτων προγραμμάτων ανακύκλωσης, πραγματοποιήθηκε μια μελέτη για την χωροθέτηση των κάδων ανακύκλωσης ώστε να καλύπτουν καλύτερα τις

ανάγκες του πληθυσμού άλλα και να είναι οικονομικότερη η συλλογή και μεταφορά των ανακυκλώσιμων. Η μέθοδος η οποία χρησιμοποιήθηκε παρουσιάζεται στο δεύτερο κεφάλαιο της εργασίας αυτής.

Η δομή που ακολουθείται στη διπλωματική εργασία είναι η εξής : Αρχικά δίνονται αναλυτικές πληροφορίες σχετικά με την ανακύκλωση, καθώς και σχετικά με το τι συμβαίνει σε μερικές χώρες ανά τον κόσμο. Στη συνέχεια παρουσιάζεται μια πρότυπη μέθοδος χωροθέτησης των κάδων ανακύκλωσης που εφαρμόστηκε στην Καοσιούνγκ, πόλη της Ταϊβάν. Το επόμενο κεφάλαιο αναφέρεται στα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Η προσέγγισή τους γίνεται μέσα από την ανάλυση ορισμών, τον τρόπο μετάβασης από την πραγματικότητα σε ένα ΓΣΠ και τις εφαρμογές τους. Στο τέταρτο κεφάλαιο αναλύονται θεωρητικά μερικές μέθοδοι χωροθετήσεων-κατανομών. Το πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζει την περιοχή μελέτης, τα δεδομένα τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για την εφαρμογή, καθώς και τα αποτελέσματα της εφαρμογής. Το τελευταίο κεφάλαιο περιέχει τα συμπεράσματα στα οποία καταλήγει η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ

1.1 ΓΕΝΙΚΑ

Ένα από τα σημαντικότερα και διαρκώς οξυνόμενα προβλήματα που έχουν να αντιμετωπίσουν οι σημερινές κοινωνίες είναι, τα απορρίμματα και η πολιτική της διαχείρισής τους. Οι διαστάσεις του προβλήματος αυτού έχουν μεγεθυνθεί τις τελευταίες δεκαετίες διότι, έχουν αλλάξει τα πρότυπα των κοινωνιών, με επακόλουθα τον συνεχώς αυξανόμενο καταναλωτισμό, την αλματώδη αύξηση των υλικών συσκευασίας και την αλόγιστη χρήση τοξικών ουσιών. Κυρίαρχη δε τάση είναι, ότι η αυξανόμενη παραγωγή και κατανάλωση αγαθών υποδηλώνουν υψηλό βιοτικό επίπεδο, αγνοώντας παντελώς την περιβαλλοντική διάσταση του θέματος, η οποία συμπεριλαμβάνει τόσο ότι αφορά τη ρύπανση εδάφους, νερού, αέρα, όσο και τις καταναλούμενες ποσότητες πρώτων υλών και ενέργειας.

Βάσει λοιπόν, της προαναφερόμενης επικρατούσας λογικής, ο άνθρωπος έχει μόνο μία παθητική μη ενεργή θέση, αυτή του καταναλωτή, χωρίς να αντιλαμβάνεται και το επακόλουθο πρόβλημα των απορριμμάτων, διότι ποτέ, τουλάχιστον μέχρι πρότινος, δεν είχε ενημερωθεί για το πώς παράγονται αυτά τα απορρίμματα, με συνέπεια, το πρόβλημα να διογκωθεί και εξ αιτίας αυτού να δημιουργηθούν νέα δεδομένα, αντιλήψεις, νοοτροπίες. Τα δεδομένα αυτά, έθεσαν τα θεμέλια, για την αντιμετώπιση του προβλήματος σε όλα τα στάδια παραγωγής απορριμμάτων, δηλαδή τη λήψη αποφάσεων για την περιβαλλοντικά και κοινωνικά ορθολογική διαχείρισή τους αλλά και για την ταυτόχρονη ενημέρωση και ενεργό συμμετοχή των πολιτών που θα αποφέρει την αφύπνιση συνειδήσεων, την αρμονία του ανθρώπου με το περιβάλλον και τελικά τη βελτίωση αυτής της ίδιας της ποιότητας ζωής μας.

Η φύση δεν παράγει απορρίμματα. Στα φυσικά οικοσυστήματα αυτό που θεωρείται απόβλητο από ένα οργανισμό, αποτελεί χρήσιμη πρώτη ύλη για κάποιον άλλο και έτσι, τίποτα δεν χάνεται και συνεχίζεται αρμονικά ο αέναος κύκλος της ζωής. Αν η φύση δεν έκανε ανακύκλωση και παρήγαγε σκουπίδια όπως παράγει ο άνθρωπος, δε θα υπήρχε σήμερα ζωή στον πλανήτη.

Ανακύκλωση απορριμμάτων ονομάζουμε την επαναφορά των χρήσιμων υλικών στο φυσικό και οικονομικό κύκλο. Περιλαμβάνει όλα τα μέτρα που έχουν σκοπό την ανάκτηση αυτών των υλικών και την προώθηση τους για την παραγωγή νέων προϊόντων.

Εάν κατανοούμε, ότι τα σκουπίδια δεν είναι άχρηστα υλικά, αλλά χρήσιμες πρώτες ύλες για τις κατάλληλες βιομηχανίες, τότε θα συνειδητοποιήσουμε πόσο λάθος είναι η κατάληξη αυτών των υλικών στις χωματερές, με περιβαλλοντικό αλλά και οικονομικό κόστος. Αν όλοι οι κάτοικοι της Ελλάδας ανακυκλώναμε τα αλουμινένια κουτάκια που αγοράζουμε *(κουτάκια*

αναψυκτικών, μπύρας, κ.α.) οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα στην Ελλάδα μπορεί να μειώνονταν κατά περίπου 235 χιλιάδες τόνους ετησίως.

Τα θετικά αποτελέσματα της ανακύκλωσης λοιπόν είναι:

Η εξοικονόμηση ενέργειας: Η παραγωγή προϊόντων από ανακυκλωμένο υλικό απαιτεί λιγότερη ενέργεια από ότι η παραγωγή τους από πρώτες ύλες. Η απαιτούμενη ενέργεια για την παραγωγή ενός προϊόντος από πρώτη ύλη είναι πολλαπλάσια από ότι όταν αυτό παράγεται από παλιό υλικό π.χ. στο γυαλί γίνεται οικονομία ενέργειας 30% ενώ στο αλουμίνιο μπορεί να φτάσει μέχρι 95% . Η οικονομία αυτή γίνεται πιο σημαντική με το δεδομένο ότι οι πρώτες ύλες εισάγονται από το εξωτερικό. Η ενέργεια που μπορεί να εξοικονομηθεί με την ανακύκλωση των υλικών συσκευασίας και χάρτου αντιστοιχεί στην ενέργεια που καταναλώνει η πόλη της Αθήνας σε περίπου τέσσερις μήνες.

Η φόρτιση του περιβάλλοντος με μικρότερες ποσότητες απορριμμάτων: εφόσον ένα μέρος του βάρος των οικιακών απορριμμάτων αποτελεί ανακυκλώσιμα υλικά. Για κάθε τόνο απορριμμάτων που αποτρέπουμε από τις χωματερές και ανακυκλώνεται ή κομποστοποιείται, αποφεύγεται η έκλυση 260-470 κιλών ισοδύναμου διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα.

1.2 ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΑΝΑ ΤΟΝ ΚΟΣΜΟ

ΕΛΒΕΤΙΑ

Η Ελβετία είναι υπερήφανη για τις προσπάθειες ανακύκλωσής της και δικαιολογημένα. Το γυαλί και το χαρτί είναι μερικά από τα πράγματα που ο μέσος Ελβετός αρνείται να πετάξει στα σκουπίδια. Υπάρχουν κάδοι συλλογής μπουκαλιών σε κάθε μεγάλο μαγαζί, με χωριστές θήκες για το λευκό, το πράσινο και το καφέ γυαλί. Σε κάθε πόλη γίνεται δωρεάν συλλογή χαρτιού μια φορά το μήνα και αυτό δεν σημαίνει μόνο τις παλαιές εφημερίδες. Οι περισσότεροι πολίτες ανακυκλώνουν οτιδήποτε φτιαγμένο από χαρτόνι ή χαρτί, από τα πακέτα δημητριακών μέχρι τους παλαιούς τηλεφωνικούς καταλόγους. Κατόπιν υπάρχουν τα πράσινα απόβλητα. Εάν έχετε κήπο, όλα τα απορρίμματα μπορούν να τοποθετηθούν στο δρόμο κάθε δύο εβδομάδες και θα συλλεχθούν. Το αλουμίνιο και ο κασσίτερος μπορούν να συλλεχθούν σε τοπικά σημεία, οι μπαταρίες ανακυκλώνονται στα super-markets και το παλαιό πετρέλαιο ή άλλες χημικές ουσίες ανακυκλώνονται σε ειδικούς χώρους-αποθήκες. Τα πλαστικά μπουκάλια από PET είναι τα πιο κοινά μπουκάλια ποτών στην Ελβετία και το 80% τους ανακυκλώνονται - πολύ ψηλότερα από τον ευρωπαϊκό μέσο όρο - 20 ως 40%. Αλλά οι Ελβετοί δεν ανακυκλώνουν μόνο επειδή ενδιαφέρονται για το περιβάλλον. Υπάρχει ένα ισχυρό οικονομικό κίνητρο. Η ανακύκλωση είναι δωρεάν, αλλά στα περισσότερα μέρη της Ελβετίας κάθε τσάντα σκουπιδιών πρέπει να έχει μια αυτοκόλλητη ετικέτα πάνω της και κάθε μια κοστίζει τουλάχιστον ένα ευρώ. Έτσι όσο λιγότερα απορρίμματα έχει ο κάθε πολίτης, τόσο λιγότερο πληρώνει. Αν τα απορρίμματα δεν έχουν αυτοκόλλητη ετικέτα παραμένουν έξω από το σπίτι μέχρι να σαπίσουν.

Η.Π.Α.

Οι προσπάθειες να βελτιωθούν τα ποσοστά ανακύκλωσης και να μειωθούν τα οικογενειακά και τα εμπορικά απόβλητα καθοδηγούνται από το Γραφείο Προστασίας του Αμερικανικού Περιβάλλοντος. Σήμερα, οι ΗΠΑ ανακυκλώνουν περίπου το 28% των αποβλήτων τους, ένα ποσοστό που έχει διπλασιαστεί σχεδόν κατά τη διάρκεια των προηγούμενων 15 ετών. Η ανακύκλωση των συγκεκριμένων υλικών έχει αυξηθεί πιο δραστικά: 42% όλου του χαρτιού, 40% όλων των πλαστικών μπουκαλιών μη αλκοολούχων ποτών, 55% όλων των αλουμινένιων συσκευασιών μπύρας και μη αλκοολούχων ποτών, 57% των συσκευασιών από χάλυβα και 52% όλων των μεγάλων ηλεκτρικών συσκευών ανακυκλώνονται. Είκοσι χρόνια πριν, υπήρχε μόνο ένα πρόγραμμα ανακύκλωσης στους δρόμους των ΗΠΑ. Μέχρι το 1998 δημιουργήθηκαν 9.000 προγράμματα ανακύκλωσης και 12.000 κέντρα ανακύκλωσης. Περίπου 480 εγκαταστάσεις αποκατάστασης υλικών έχουν δημιουργηθεί για να επεξεργαστούν τα συλλεχθέντα υλικά. Το 1999, η ανακύκλωση και η κομποστοποίηση απέτρεψαν περίπου 64 εκατομμύρια τόνους απορριμμάτων από το να καταλήξουν στις χωματερές και τους αποτεφρωτήρες. Τα ποσοστά ανακύκλωσης διαφέρουν από το πολιτεία σε πολιτεία. Τα χαμηλότερα ποσοστά ανακύκλωσης εμφανίζονται στην Αλάσκα, το Γουαϊόμινγκ και τη Μοντάνα με τιμές κάτω του 9%, ενώ στη Νέα Υόρκη, τη Βιρτζίνια και πέντε άλλες πολιτείες άνω του 40% των απορριμμάτων ανακυκλώνονται. Ειδικά δε το παράδειγμα της Νέας Υόρκης είναι υποδειγματικό. Εκεί, κάθε κτίριο της πόλης είναι υποχρεωμένο από το νόμο να ανακυκλώνει, συμπεριλαμβανομένων των κατοικιών, δημοσίων υπηρεσιών, σχολείων, ιδρυμάτων και επιχειρήσεων.

ΔΑΝΙΑ

Τα απορρίμματα δεν είναι μόνο απορρίμματα. Αυτή είναι η ελλοχεύουσα φιλοσοφία σε μια από πιο πράσινες χώρες της Ευρώπης. Για δεκαετίες, η δανική πολιτική για το περιβάλλον ήταν να θεωρηθούν τα απόβλητα ως πόροι. Σκληρά πρότυπα έχουν καθοριστεί από διαδοχικές κυβερνήσεις, αλλά εξαρτάται από τις τοπικές αρχές να συλλεχθούν οποιαδήποτε οικογενειακά απορρίμματα παραχθούν. Σχεδόν 10.000 Δανοί εργάζονται στην επιχείρηση της συλλογής των απορριμμάτων - περισσότερο από το 0.1% ολόκληρου του πληθυσμού. Η πίεση για μια πιο πράσινη Δανία έχει αποφέρει στη χώρα ένα σημαντικότατο ρεκόρ. Τα κυβερνητικά στοιχεία για το 2003 δείχνουν ότι το 31% όλων των οικιακών απορριμμάτων ανακυκλώθηκε, ενώ το 62% αποτεφρώθηκε. Το υπόλοιπο 6% κατέληξε σε χωματερές. Εντούτοις, συχνά ο συνολικός αριθμός απορριμμάτων δεν είναι αρκετά μεγάλος ώστε η Δανία να έχει δικό της εργοστάσιο ανακύκλωσης. Το πλαστικό , τα ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά προϊόντα και οι μπαταρίες καθώς και τα μέταλλα στέλνονται στο εξωτερικό για ανακύκλωση. Η κυβέρνηση στοχεύει επίσης στο να περιορίσει τον αριθμό απορριμμάτων ενθαρρύνοντας τη βιομηχανία να προάγει τα προϊόντα που αφήνουν ελάχιστα απορρίμματα μετά τη χρήση.

ΓΕΡΜΑΝΙΑ

Οι Γερμανοί θεωρούνται παγκόσμιοι πρωτοπόροι στα περιβαλλοντικά θέματα. Είναι κοινώς αποδεκτό το γεγονός ότι Γερμανοί θεωρούν τα περιβαλλοντικά ζητήματα σοβαρά. Ο διαχωρισμός των οικιακών σκουπιδιών όμως είναι μια περίπλοκη υπόθεση. Υπάρχουν τουλάχιστον πέντε τύποι κάδων σκουπιδιών στις αυλές των σπιτιών και στα διαμερίσματα. Οι κάδοι είναι κωδικοποιημένοι διά χρώματος. Ένας κίτρινος κάδος για τις συσκευασίες (παλαιά χαρτοκιβώτια γάλακτος κ.λ.π.), ένας μπλε κάδος για το χαρτί και το χαρτόνι, κάδοι για το γυαλί (που χωρίζονται σε αυτούς για το διάφανο, το καφέ και πράσινο γυαλί) ένας βίο-κάδος που προορίζεται για τα υπολείμματα τροφίμων και φυτικά απορρίμματα. Τέλος, υπάρχει ένας μαύρος κάδος για τα υπόλοιπα. Θεωρητικά, οι πολίτες είναι υποχρεωμένοι βάσει του γερμανικού νόμου να πηγαίνουν οποιαδήποτε ειδικά σκουπίδια, όπως μπαταρίες ή χημικές ουσίες, σε ένα κέντρο ανακύκλωσης. Εάν δεν γίνει αυτό, θα μπορούσε να θεωρηθεί διοικητική παράβαση, αν και στην πράξη οι κυρώσεις είναι σπάνιες. Ο διαχωρισμός των σκουπιδιών δεν είναι υποχρεωτικός για τους πολίτες, αλλά σύμφωνα με τις έρευνες, περίπου το 90% των Γερμανών είναι πρόθυμοι να ταξινομήσουν τα σκουπίδια τους.

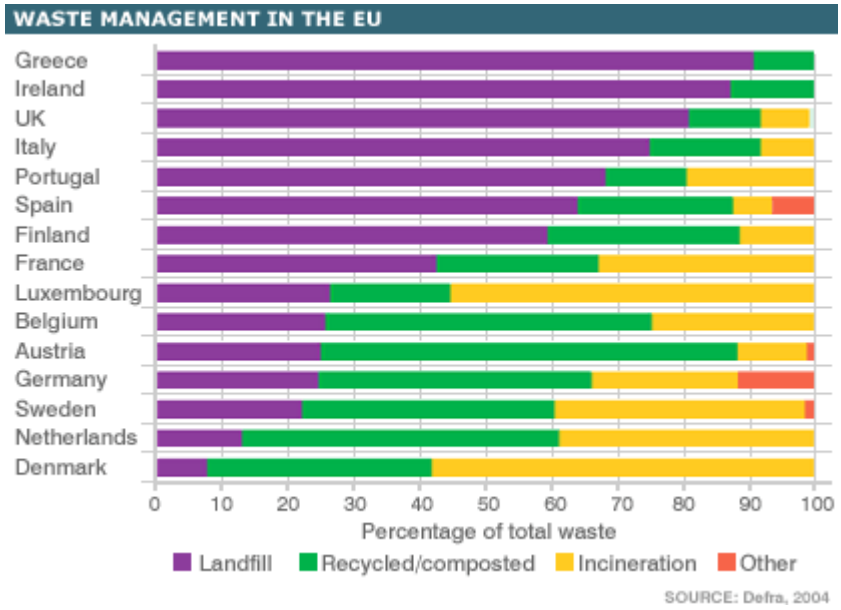
ΙΤΑΛΙΑ

Οι κανονισμοί διάθεσης απορριμμάτων στην Ιταλία ποικίλλουν από περιοχή σε περιοχή. Στη Ρώμη πρόσφατα οι νόμοι έγιναν αυστηρότεροι. Οι πολίτες που δεν διαχωρίζουν τα σκουπίδια τους μπορεί να τιμωρηθούν με πρόστιμο μέχρι 619 ευρώ εάν έχουν ένα κάδο ανακύκλωσης μέσα σε 500 μέτρα από την μπροστινή τους πόρτα. Οι Ρωμαίοι υποστηρίζουν ότι είναι δύσκολο να βρεθεί ένας κάδος ανακύκλωσης και ακόμα δυσκολότερο να βρεθεί ένας που να μην είναι γεμάτος. Οι δρόμοι του ιστορικού κέντρου της Ρώμης δεν έχουν σχεδόν κανέναν κάδο ανακύκλωσης ακόμα. Στη νότια Ιταλία οι τοπικοί πολιτικοί υποστηρίζουν ότι η βιομηχανία των απορριμμάτων ελέγχεται από το οργανωμένο έγκλημα. Πέρυσι η Ευρωπαϊκή Επιτροπή έλαβε μέτρα εναντίον της Ιταλίας, για 28 παραβιάσεις των νόμων της ΕΕ σχετικά με το περιβάλλον. Ισχυρίστηκε δε ότι η Ιταλία αρνείται στους πολίτες της την ίδια ποιότητα ζωής που απολαμβάνουν οι πολίτες σε άλλες χώρες της ΕΕ.

ΣΕΝΕΓΑΛΗ

Η ανακύκλωση στη Σενεγάλη δεν γίνεται σε μια βιομηχανική κλίμακα, αλλά είναι μέρος της καθημερινής ζωής για πολλούς πολυμήχανους σενεγαλέζους. Τα πάντα ανακυκλώνονται, από τις πλαστικές σακούλες μέχρι τα σχολικά βιβλία ,τα δοχεία τροφίμων, τα μπουκάλια του μεταλλικού νερού, ακόμη και οι φλούδες των φρούτων. Η φλούδα λέγεται ότι συλλέγεται για τη δημιουργία φτηνών αρωμάτων. Τα δοχεία ντοματών γίνονται ποτήρια στις αγροτικές περιοχές , οι παλαιές εφημερίδες και τα διοικητικά έγγραφα χρησιμοποιούνται για να τυλίξουν το ψωμί, τα φρούτα ή τους ξηρούς καρπούς. Μερικοί καλλιτέχνες χρησιμοποιούν τα μεταλλικά απορρίμματα για να δημιουργήσουν οτιδήποτε από καρέκλες, μέχρι εργαλεία κουζίνας και παιδικά παιχνίδια. Οι πλαστικές τσάντες χρησιμοποιούνται για να φτιάχνονται παπούτσια. Τελευταία, κάποιοι έξυπνοι πολίτες έχουν αρχίσει να μαζεύουν όλα τα

μεταλλικά απορρίμματα που μπορούν να βρουν για να τα στείλουν πίσω στα εργοστάσια στην Ευρώπη.



Πίνακας 1.2 : Διαχείριση Απορριμμάτων στην ΕΕ

1.3 ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Τρία εκατομμύρια τόνοι οικιακών απορριμμάτων παράγονται ετησίως στην Ελλάδα. Τα απορρίμματα αυτά αρκούν για να καλύψουν με τον όγκο τους την εθνική οδό από το Ναύπλιο ως την Αλεξανδρούπολη, με ένα στρώμα ύψους ενός μέτρου. Αν σε αυτά προσθέσουμε και τις χιλιάδες τόνους βιομηχανικών και νοσοκομειακών αποβλήτων, καθώς και τις ακόμη μεγαλύτερες ποσότητες των αδρανών υλικών που καταλήγουν στις χωματερές, εύκολα καταλαβαίνει κανείς γιατί η διαχείριση των απορριμμάτων έχει εξελιχθεί σε εφιάλτη της τοπικής αυτοδιοίκησης. Η έλλειψη οργάνωσης και υποδομής στο τοπικό επίπεδο έχει ως αποτέλεσμα την απευθείας πολλές φορές απόρριψη των σκουπιδιών σε χαράδρες, σε ποτάμια, στη θάλασσα ή στον πιο πρόχειρο δημόσιο ή απερίφρακτο χώρο. Μια πρώτη απόπειρα καταγραφής αναφέρει σχεδόν 3.000 χωματερές σε ολόκληρη τη χώρα, το 70% των οποίων είναι τελείως ανεξέλεγκτες, δεν πληρούν ούτε τις στοιχειώδεις προδιαγραφές και οι οποίες, παρόλα αυτά, δέχονται πάνω από ένα εκατομμύριο τόνους απορριμμάτων το χρόνο.

Η διαπίστωση των παραπάνω αδιεξόδων φαίνεται να έχει γίνει πλέον κοινή συνείδηση και από πολλές πλευρές υπάρχει πίεση για άμεσες και αποτελεσματικές λύσεις. Η ανακύκλωση, έχει περάσει πλέον στη συνείδηση των περισσότερων πολιτών ως μια θετική διέξοδος για τη διαχείριση των απορριμμάτων. Δυστυχώς όμως στην Ελλάδα, η μέθοδος αυτή έχει σχεδόν ταυτιστεί με την απλή συλλογή του χαρτιού και του αλουμινίου από τα

αναψυκτικά, και οι περισσότερες προσπάθειες έμειναν στο στάδιο των πιλοτικών προγραμμάτων, τόσο από τους δήμους, όσο και από τους ιδιώτες. Απουσίασαν οι ολοκληρωμένες θεωρήσεις και κυρίως η εξασφάλιση της αγοράς για την προώθηση των πρώτων υλών από τα χρησιμοποιούμενα προϊόντα.

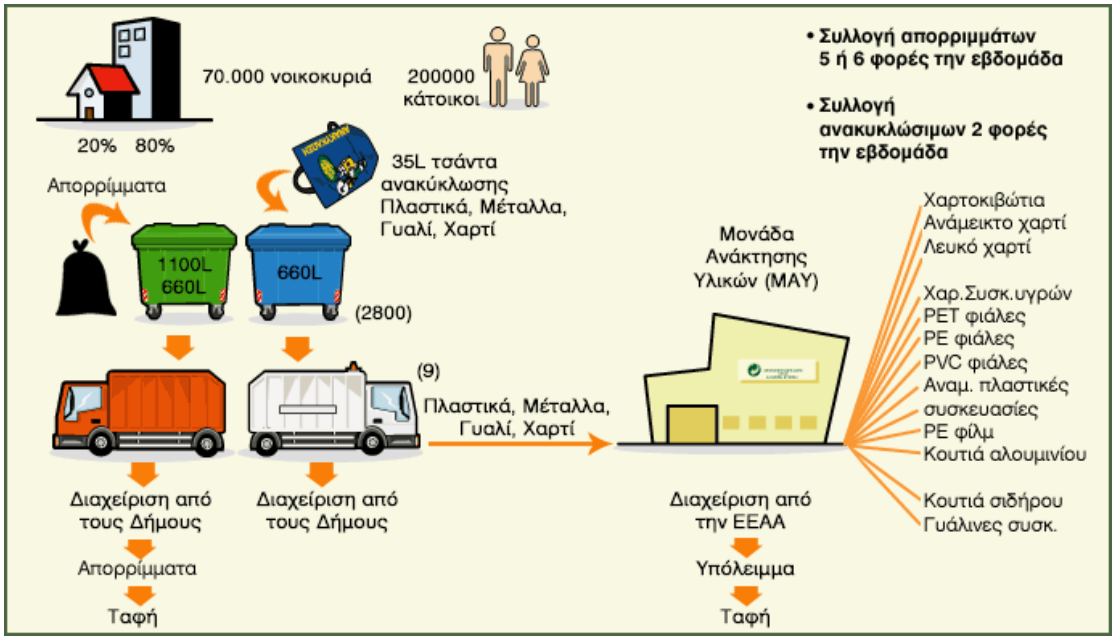
Για πολλά υλικά, όπως για παράδειγμα το γυαλί, η απορρόφησή του από τις δύο υπάρχουσες βιομηχανίες είναι προβληματική, και το κόστος μεταφοράς του τεράστιο, ιδιαίτερα από την περιφέρεια. Σε ότι αφορά στο χαρτί, παρά τα σχετικά ικανοποιητικά (με δεδομένη την έλλειψη ολοκληρωμένου σχεδιασμού) ποσοστά συλλογής τόσο από ιδιώτες όσο και από ποικίλους φορές, η τιμή της αγοράς από τις χαρτοβιομηχανίες έχει μεγάλες διακυμάνσεις, οι απαιτήσεις για την ποιότητα της χαρτομάζας συχνά δεν μπορούν να ικανοποιηθούν και εν τέλει το κόστος από την όλη επιχείρηση είναι συνήθως τόσο υψηλό, που καθιστά προβληματική την οικονομική βιωσιμότητα των φορέων διαχείρισης. Οι περισσότεροι, ύστερα από ένα πρώτο διάστημα ευφορίας, συνήθως εγκαταλείπουν την προσπάθεια. Στην περίπτωση τέλος του αλουμινίου τα πράγματα είναι κάπως καλύτερα. Σ' αυτό συνέβαλε σημαντικά η εμπλοκή των εταιρειών εμφιάλωσης καθώς και η εισαγωγή κάποιων κανόνων στην κατασκευή και τη σύνθεση των συσκευασιών.

Παρόλα αυτά, υπό τις οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, το 2003 ο νόμος 2939/01 υποχρέωσε πλέον όλες τις επιχειρήσεις που εισάγουν, παράγουν και διαθέτουν στην εγχώρια αγορά συσκευασμένα προϊόντα να μεριμνούν για τη συλλογή και ανακύκλωση των συσκευασιών τους. Σύμφωνα με την Οδηγία 2004, η οποία αναθεωρεί την οδηγία 94/62/ΕΚ για τις συσκευασίες και τα απορρίμματα συσκευασίας, στόχοι, μέχρι τις 31/12/2011, είναι:

- ανάκτηση ή αποτέφρωση με ανάκτηση ενέργειας τουλάχιστον σε ποσοστό 60% κατά βάρος του συνόλου των απορριμμάτων συσκευασίας, καθώς και
- ανακύκλωση της τάξης του 55-80%, με
    - 60% κ.β. γυαλί,
    - 60% κ.β. χαρτί και χαρτόνι,
    - 50% κ.β. μέταλλα
    - 22,5% κ.β. πλαστικά,
    - 15% κ.β. ξύλο.

Έτσι δημιουργήθηκε η ΕΕΑΑ (Ελληνική Εταιρία Αξιοποίησης Ανακύκλωσης). Η ΕΕΑΑ, στο πλαίσιο εφαρμογής του επιχειρησιακού σχεδίου της, μέχρι σήμερα έχει αναπτύξει και λειτουργεί έργα ανακύκλωσης στην Αθήνα, την Πάτρα τη Ζάκυνθο καθώς και σε άλλες πόλεις της Ελλάδας. Στο πρόγραμμα ανακύκλωσης που λειτουργεί στην Αθήνα συμμετέχουν οι Δήμοι Αμαρουσίου, Βριλησσίων, Μελισσίων, Πεύκης, Φιλοθέης, Χαλανδρίου, Κηφισιάς, Λυκόβρυσης, Ν. Ερυθραίας, Αγ. Στεφάνου καθώς και οι Κοινότητες Άνοιξης, Διονύσου, Δροσιάς και Ν. Πεντέλης.

ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΕΡΓΟΥ ΑΜΑΡΟΥΣΙΟΥ



ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ
Υλικά που ανακτήθηκαν το 2006

Α/Α	ΚΑΤ.ΥΛΙΚΟΥ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ (σε τόνους)
1	χάρτινη συσκευασία	3.958
2	χάρτινη συσκευασία υγρών	86
3	φιάλες PET	212
4	Ανάμικτες πλαστικές συσκευασίες	62
5	Κουτιά Αλουμινίου	37
6	FILM PE	108
7	Φιάλες PE	223
8	Σιδήρ. Συσκευασίες	313
9	Γυαλί	646
10	Εντυπο χαρτί	5.014
	ΣΥΝΟΛΟ	**10.659**

Στο πρόγραμμα έχει ήδη ενταχθεί και ο δήμος της Ηλιούπολης και αναμένεται να τοποθετηθούν σύντομα κάδοι ανακύκλωσης στο δήμο σύμφωνα με τη μελέτη του Γραφείου Καθαριότητας. Περισσότερα στοιχεία αναφέρονται σε παρακάτω κεφάλαιο σχετικά με την περιοχή μελέτης.

Αφού είδαμε τη σημασία της ανακύκλωσης, θα δούμε παρακάτω και τη σημασία μιας σωστής χωροθέτησης κάδων ανακύκλωσης, για την επιτυχία ενός προγράμματος ανακύκλωσης. Επίσης θα αναλύσουμε ένα εξαιρετικό μοντέλο επίλυσης του προβλήματος χωροθέτησης των κάδων ανακύκλωσης που εφαρμόστηκε στην Ταϊβάν.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ ΚΑΔΩΝ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι επιστημονικές μελέτες που εκπονούνται με θέματα όπως της χωροθέτησης των κάδων ανακύκλωσης σε μια περιοχή είναι αρκετά επίπονες και μερικές φορές ακριβές. Το ερώτημα που τίθεται λοιπόν εδώ είναι αν είναι ανταποδοτικές ανάλογα με την αξία τους. Για να απαντήσουμε σε αυτό το ερώτημα θα προσπαθήσουμε να δούμε τους λόγους για τους οποίους είναι αναγκαία μια μελέτη χωροθέτησης κάδων ανακύκλωσης.

Σε ιδανικές περιπτώσεις όπου ο λαός έχει οικολογική συνείδηση και η ανακύκλωση είναι μέρος της καθημερινότητάς του η χωροθέτηση φαίνεται να μην είναι αναγκαία. Όμως ακόμα και σε αυτές τις περιπτώσεις και εκτός κι αν ο κάθε κάτοικος έχει έναν κάδο έξω από το σπίτι του, η διευκόλυνση για τους κατοίκους στο να αφήσουν τα ανακυκλώσιμα στα σημεία συλλογής, το οποίο επιτυγχάνεται με την ελαχιστοποίηση της πιθανής απόστασης περπατήματος μέσω μιας καλής χωροθέτησης, είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας για την επιτυχία ενός προγράμματος ανακύκλωσης. Συνεπώς μια σωστή χωροθέτηση αποτρέπει τις περιπτώσεις κάτοικοι να μην ανακυκλώνουν λόγω της μεγάλης απόστασης που τους χωρίζει από τον κοντινότερο χώρο συλλογής ανακυκλώσιμων.

Όμως και για το κράτος μια σωστή χωροθέτηση είναι ένας πολύ καλός τρόπος για την ελαχιστοποίηση του κόστους λειτουργίας του δικτύου ανακύκλωσης με την επιλογή του ιδανικού αριθμού κάδων, αλλά και την κατάλληλη χωροθέτησή τους ώστε να διευκολύνονται τα δρομολόγια των οχημάτων συλλογής ανακυκλώσιμων.

Σύμφωνα λοιπόν με όλα τα παραπάνω και λαμβάνοντας υπόψη τα θετικά αποτελέσματα της ανακύκλωσης όπως αναλύθηκαν στο πρώτο κεφάλαιο καταλαβαίνουμε ότι όσο καλύτερη είναι η χωροθέτηση, τόσο μεγαλύτερα τα οφέλη από το μεγαλύτερο ποσοστό ανακύκλωσης καθώς και από την οικονομικότερη λειτουργία του προγράμματος.

Στη συνέχεια του κεφαλαίου αναλύεται μια ιδανική μέθοδος χωροθέτησης κάδων ανακύκλωσης, στην οποία υπάρχουν ικανοί και σημαντικοί στόχοι και οι κατάλληλοι περιορισμοί ώστε να την κάνουν εφαρμόσιμη σε έναν πολύ μεγάλο αριθμό περιπτώσεων.

2.2 ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ ΚΑΔΩΝ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ ΣΤΗΝ ΤΑΪΒΑΝ

Η έρευνα η οποία εκπονήθηκε στην Ταϊβάν από τους μελετητές NI-BIN CHANG και Y. L. WEI είχε ως στόχο την αξιολόγηση της βέλτιστης σχέσης αλληλεξάρτησης μεταξύ του αριθμού και του μεγέθους των σταθμών μεταφόρτωσης απορριμμάτων ανακύκλωσης, του πληθυσμού που καλύπτεται από το δίκτυο υπηρεσιών, της μέσης απόστασης περπατήματος από τους σταθμούς και της μέσης απόστασης που διανύεται από τα οχήματα συλλογής. Παρουσιάζει δε, τη χρήση του μη γραμμικού μικτού προτύπου μοντέλου προγραμματισμού πολλών στόχων που χρησιμοποιείται για να επιτύχει τον παραπάνω στόχο, που επιλύεται με τη χρήση γενετικών αλγορίθμων (GA) σε μια πλατφόρμα ενός γεωγραφικού συστήματος πληροφοριών. Η περιπτωσιολογική μελέτη παρουσιάζει τις δυνατότητες ενός τέτοιου μοντέλου με την εφαρμογή του στην πόλη Καοσιούνγκ της Ταϊβάν.

2.3 ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΣΤΟΧΩΝ

Γενικά, τρεις στόχοι πρέπει να εξεταστούν για την τοποθέτηση των σταθμών μεταφόρτωσης ανακύκλωσης και τον καθορισμό της πορείας των οχημάτων συλλογής: Η μεγιστοποίηση του πληθυσμού που εξυπηρετείται από τους σταθμούς μεταφόρτωσης, η ελαχιστοποίηση της συνολικής απόστασης περπατήματος από τα νοικοκυριά στους σταθμούς και η ελαχιστοποίηση της συνολικής οδηγούμενης απόστασης από τα οχήματα συλλογής. Αυτοί οι στόχοι περιγράφονται παρακάτω:

1. Μεγιστοποίηση του πληθυσμού που εξυπηρετείται από τους σταθμούς μεταφόρτωσης: Αυτό εξαρτάται από την πυκνότητα του πληθυσμού στην περιοχή. Έτσι ο πρώτος στόχος είναι η μεγιστοποίηση του ποσοστού εξυπηρέτησης, που βασίζεται στον συνολικό αριθμό κατοίκων στην υπό εξυπηρέτηση περιοχή. Ο στόχος αυτός μπορεί να εκφραστεί μαθηματικά ως εξής:

$$\max \sum_{k=1}^{K'} \sum_{i=1}^{N'} C_i P_{ik}$$

όπου C_i είναι ο αντιπροσωπευτικός αριθμός κατοίκων κατανεμημένων στον κόμβο i του δικτύου συλλογής, P_{ik} είναι η δυαδική μεταβλητή ακέραιου αριθμού, για την επιλογή του κόμβου k ως σταθμού μεταφόρτωσης, για τους κατοίκους που ζουν γύρω από τον κόμβο i και είναι ίσος με 1 αν ο κόμβος i εξυπηρετείται από τον κάδο του σταθμού στον κόμβο k, αλλιώς είναι ίσος με 0. N' είναι ο συνολικός αριθμός των κόμβων του δικτύου και K' είναι ο αριθμός των υποψηφίων κόμβων του δικτύου που θα μπορούσαν να επιλεγούν για σταθμοί μεταφόρτωσης.

2. Ελαχιστοποίηση της συνολικής απόστασης περπατήματος από τα νοικοκυριά στους σταθμούς: Παρότι η εισαγωγή της οικολογικής συνείδησης στην καθημερινή ζωή είναι ένας παράγοντας κλειδί, η διευκόλυνση για τους κατοίκους στο να αφήσουν τα ανακυκλώσιμα στα

σημεία συλλογής, το οποίο επιτυγχάνεται με την ελαχιστοποίηση της πιθανής απόστασης περπατήματος, είναι ένας επίσης πολύ σημαντικός παράγοντας για την επιτυχία ενός προγράμματος ανακύκλωσης. Έτσι ο δεύτερος στόχος μπορεί να περιγραφεί μαθηματικά ως εξής:

$$\min \sum_{k=1}^{K'} \sum_{i=1}^{N'} d_{ik} P_{ik}$$

όπου d_{ik} είναι η απόσταση από τον κόμβο i στον κόμβο k και τα υπόλοιπα στοιχεία όμοια με του πρώτου στόχου.

3. Ελαχιστοποίηση της συνολικής οδηγούμενης απόστασης από τα οχήματα συλλογής: Η κατανομή των σταθμών εξαρτάται και από την αποτελεσματικότητα της δρομολόγησης των οχημάτων συλλογής. Ωστόσο, ο χρόνος συλλογής είναι ίσος με το άθροισμα του χρόνου ταξιδιού και του χρόνου λήψης των απορριμμάτων στους κόμβους συλλογής. Για τη διευκόλυνση της εφαρμογής ο τρίτος στόχος είναι η ελαχιστοποίηση μόνο της διανυόμενης απόστασης. Μαθηματικά εκφράζεται ως εξής:

$$\min \sum_{t=1}^{M'-1} \sum_{k=1}^{K'} \left[\sum_{j=1}^{K'/k} O_{kt} (x_k - x_j)^2 + \sum_{j=1}^{K'/k} O_{kt} (Y_k - Y_j)^2 \right]^{1/2}$$

όπου O_{kt} είναι η δυαδική μεταβλητή ακέραιου αριθμού για την περιγραφή της σειράς επίσκεψης του κόμβου k από το όχημα συλλογής, και είναι ίση με 1 αν ο κόμβος k συλλέγεται με τη σειρά t, αλλιώς είναι 0. Τα (X_k, Y_k) και (X_j, Y_j) είναι οι συντεταγμένες των κόμβων k και j .

2.4 ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΩΝ

Το βασικό σύνολο των περιορισμών περιέχει συνθήκες επιλογής κόμβων, περιορισμό χωρητικότητας, όριο απόστασης περπατήματος, προγραμματισμό και δρομολόγηση και ακέραιους περιορισμούς. Η διαμόρφωση των προτεινόμενων περιορισμών αναφέρεται αναλυτικά:

1. Περιορισμός ανώτατου ορίου: Ο περιορισμός αυτός εξασφαλίζει ότι ένας περιορισμένος αριθμός κάδων (σταθμών μεταφόρτωσης) μπορεί να τοποθετηθεί στο δίκτυο. Το ανώτατο όριο μπορεί να καθοριστεί εξαιτίας οικονομικών, περιβαλλοντικών, κοινωνικών, ακόμα και πολιτικών παραγόντων.

$$\sum_{k=1}^{K'} S_k \leq M'$$

όπου S_k είναι η δυαδική μεταβλητή ακεραίου αριθμού για την επιλογή του κόμβου k ως υποψηφίου χώρου για τη δημιουργία σταθμού μεταφόρτωσης και είναι ίση με 1 αν ο κόμβος k επιλεγεί ως σταθμός μεταφόρτωσης, αλλιώς

είναι 0. M' είναι το επιλεγμένο ανώτατο όριο του αριθμού των σταθμών μεταφόρτωσης. Ο περιορισμός αυτός εξασφαλίζει ότι θα επιλεγούν το πολύ M' σταθμοί από τις K' υποψήφιες θέσεις του δικτύου.

2. Περιορισμός αποδοτικότητας υπηρεσίας: Αυτός ο περιορισμός μπορεί να αποτρέψει πιθανή επικάλυψη των περιοχών παροχής υπηρεσιών μεταξύ του κάθε σταθμού μεταφόρτωσης.

$$\sum_{k=1}^{K'} P_{ik} \leq 1 \qquad \forall i \in N$$

$$S_k - P_{ik} \geq 0 \qquad \forall i \in N; \ \forall k \in K$$

όπου η πρώτη εξίσωση εξασφαλίζει ότι το πολύ ένας σταθμός μπορεί να τοποθετηθεί στον κόμβο k για την εξυπηρέτηση των κατοίκων γύρω από τον κόμβο i. Η δεύτερη εξίσωση εξασφαλίζει ότι αν κάποιος κόμβος i εξυπηρετείται από τον σταθμό μεταφόρτωσης στον κόμβο k, τότε ο κόμβος k θα πρέπει να επιλεγεί ως υποψήφια θέση για τον σταθμό.

3. Περιορισμός χωρητικότητας: Αυτός ο περιορισμός περιορίζει τα συνολικά ανακυκλώσιμα που μπορούν να συλλεχθούν στον κόμβο k, σε περίπτωση που επιλεγεί ως υποψήφιος, και δεν πρέπει να ξεπερνούν τη χωρητικότητα που παρέχεται από τους κάδους ανακύκλωσης. Αυτός ο περιορισμός εκφράζεται ως εξής:

$$\sum_{i=1}^{N'} Q_i P_{ik} \leq C_a \qquad \forall k \in K$$

όπου Q_i είναι το ανώτατο όριο των ανακυκλώσιμων που μπορούν να συλλεχθούν στον κόμβο i και C_a είναι η μέγιστη χωρητικότητα των κάδων που έχουν τοποθετηθεί σε κάθε κόμβο.

4. Περιορισμός προγραμματισμού και δρομολόγησης: Αυτός ο περιορισμός, συνδυασμένος με τον τρίτο, περιγράφει ότι κάθε κόμβος που επιλέγεται για τη δημιουργία σταθμού μεταφόρτωσης πρέπει να επισκέπτεται μια φορά στη διαδρομή του οχήματος συλλογής.

$$S_k - \sum_{t=1}^{M'} O_{kt} = 0 \qquad \forall k \in K$$

$$\sum_{k=1}^{K'} O_{kt} = 1 \qquad \forall t \in M'$$

Η πρώτη εξίσωση εξασφαλίζει ότι αφού ο σταθμός στον κόμβο k έχει οριστεί να εξυπηρετεί τους κατοίκους, ο κόμβος k θα πρέπει να συμπεριλαμβάνεται στο πρόγραμμα δρομολόγησης του οχήματος. Η δεύτερη εξίσωση εξασφαλίζει ότι οποιοδήποτε ζευγάρι σταθμών δε μπορεί να έχει την ίδια σειρά δρομολόγησης t στην διαδικασία συλλογής.

5. Περιορισμός περιοχής εξυπηρέτησης: Αυτός ο περιορισμός εγγυάται ότι η ακτίνα εξυπηρέτησης κάθε σταθμού μεταφόρτωσης ανακύκλωσης, μπορεί να περιοριστεί εντός μιας καθορισμένης απόστασης. Χωρίς αυτόν τον περιορισμό το αποτέλεσμα θα ήταν πολλοί συγκεντρωμένοι σταθμοί, χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η αρχή της ισότητας.

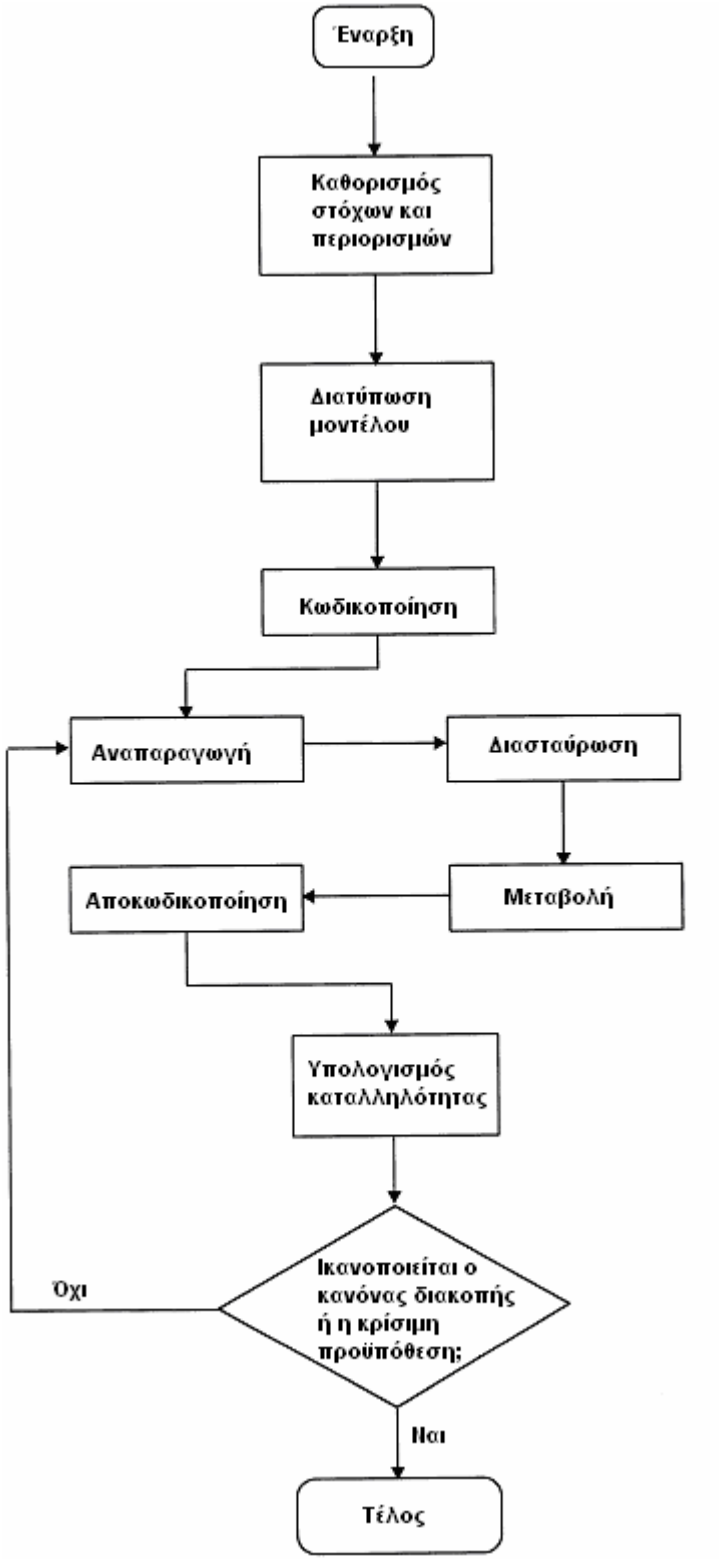
$$P_{ik} d_{ik} \le r_k \qquad \forall i \in N, \forall k \in K$$
$$a \le r_k \le b \qquad \forall k \in K$$

όπου r_k είναι η ακτίνα της περιοχής εξυπηρέτησης των κάδων στον κόμβο k, και a και b είναι το ανώτατο και κατώτατο όριο της ακτίνας εξυπηρέτησης.

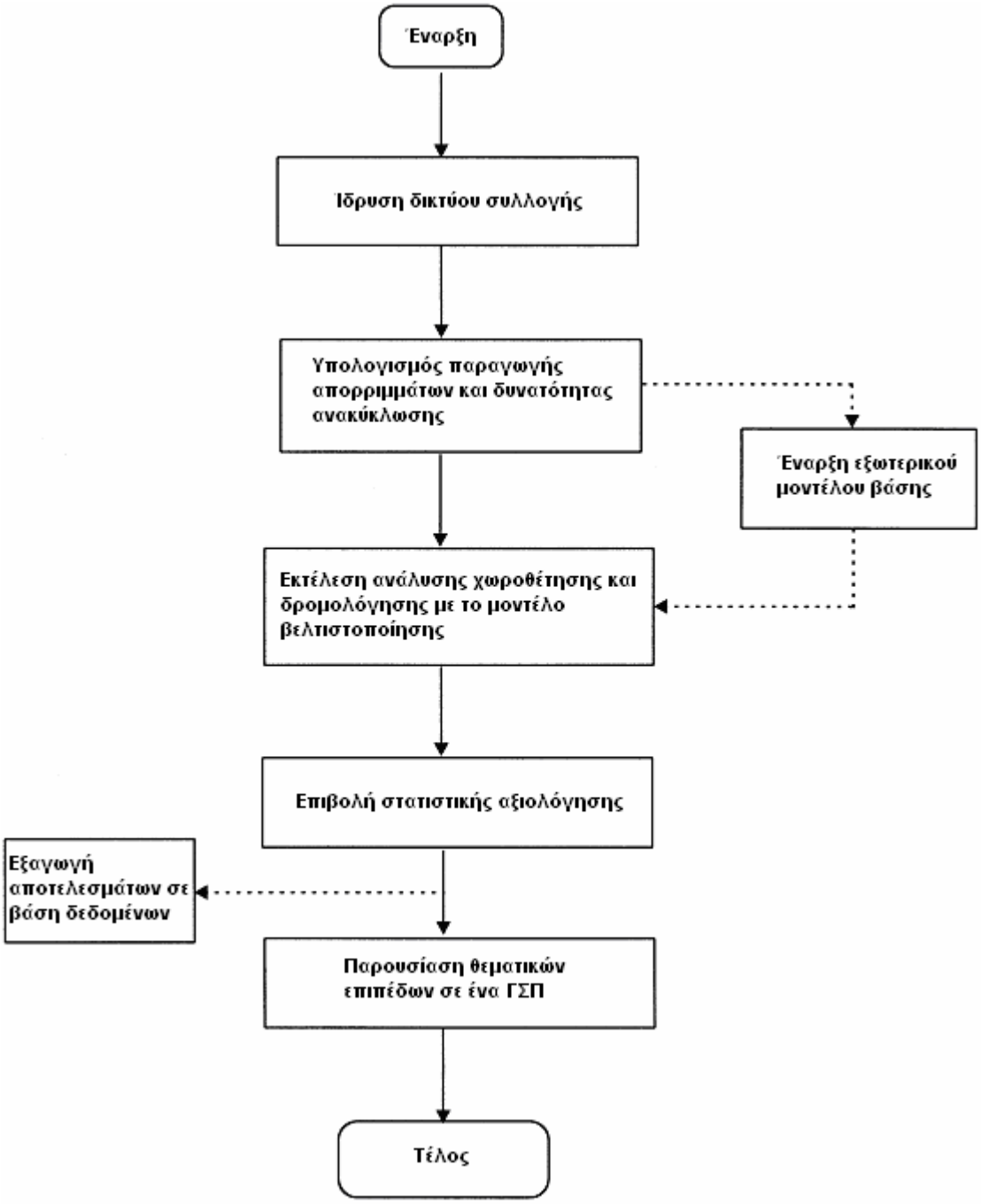
6. Περιορισμός ακεραίων και μη αρνητικών: Όλες οι μεταβλητές απόφασης πρέπει να είναι μη αρνητικοί και ακέραιοι αριθμοί.

2.5 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΠΙΛΥΣΗΣ

Στη διαδικασία επίλυσης χρησιμοποιήθηκε ένας γενετικός αλγόριθμος. Οι γενετικοί αλγόριθμοι οι οποίοι χρησιμοποιούνται ευρέως τα τελευταία χρόνια στον περιβαλλοντικό σχεδιασμό και τη διαχείριση περιβάλλοντος, έχουν το πλεονέκτημα ότι είναι ιδανικοί για σφαιρικές λύσεις σε μη γραμμικά προβλήματα. Οι αλγόριθμοι αυτοί εφαρμόζονται σε περιβάλλον ενός γεωγραφικού συστήματος πληροφοριών και συγκεκριμένα με τη χρήση του λογισμικού ARC/INFO που μπορεί να εκμεταλλευθεί εξωγενείς βάσεις δεδομένων ώστε να υπολογίσει ρεαλιστικές πυκνότητες κατοίκων, ρυθμούς παραγωγής απορριμμάτων, κατανομή απορριμμάτων και ικανότητα ανακύκλωσης. Παρακάτω βλέπουμε τα διαγράμματα της αναλυτικής διαδικασίας του γενετικού αλγόριθμου, καθώς και το πλαίσιο τοποθέτησης των κάδων ανακύκλωσης



Σχήμα 2.1 : Η αναλυτική μέθοδος του γενετικού αλγόριθμου



Σχήμα 2.2 : Το αναλυτικό πλαίσιο του ΓΣΠ για την χωροθέτηση των σταθμών

2.6 ΣΕΝΑΡΙΑ ΕΠΙΔΕΙΞΗΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Δημιουργήθηκαν τέσσερα σενάρια για λόγους επίδειξης. Τα σενάρια 1-3 συγκεκριμένα εξετάζουν τις στρατηγικές ιδανικής χωροθέτησης, με δεδομένα την ακτίνα εξυπηρέτησης, την χωρητικότητα κάθε κάδου και τον μέγιστο αριθμό σταθμών μεταφόρτωσης και με χρήση της προϋπόθεσης ισότητας. Το σενάριο 4 σχεδιάστηκε για να παράγει τις ιδανικές στρατηγικές χωροθέτησης των κάδων, χωρίς τη χρήση της προϋπόθεσης ισότητας, δηλαδή έχουμε επικάλυψη των περιοχών εξυπηρέτησης (crossover). Επίσης δημιουργήθηκαν πέντε δείκτες για τη σύγκριση των αποτελεσμάτων σε κάθε περίπτωση οι οποίοι φαίνονται παρακάτω:

$$\text{Ποσοστό εξυπηρέτησης} = \frac{\text{πληθυσμός που εξυπηρετείται απο τους σταθμούς}}{\text{συνολικός πληθυσμός της περιοχής}}$$

(service ratio)

$$\text{Ποσοστό χρήσης} = \frac{\text{ανακυκλώσιμα που συλλέχθηκαν στους σταθμούς}}{\text{συνολική χωρητικότητα των σταθμών της περιοχής}}$$

(utilization rate)

$$\text{Μέση απόσταση περπατήματος} = \frac{\text{συνολική απόσταση εξυπηρέτησης μεταξύ των κόμβων i και k}}{\text{συνολικός αριθμός σταθμών στην περιοχή}}$$

(average walking distance)

$$\text{Ποσοστό ανακύκλωσης} = \frac{\text{ανακυκλώσιμα που συλλέχθηκαν απο τους σταθμούς}}{\text{συνολικά ανακυκλώσιμα της περιοχής}}$$

(recycling rate)

$$\text{Ποσοστό δρομολόγησης} = \frac{\text{διανυόμενη απόσταση οχήματος συλλογής}}{\text{συνολική απόσταση του δικτύου της περιοχής}}$$

(routing ratio)

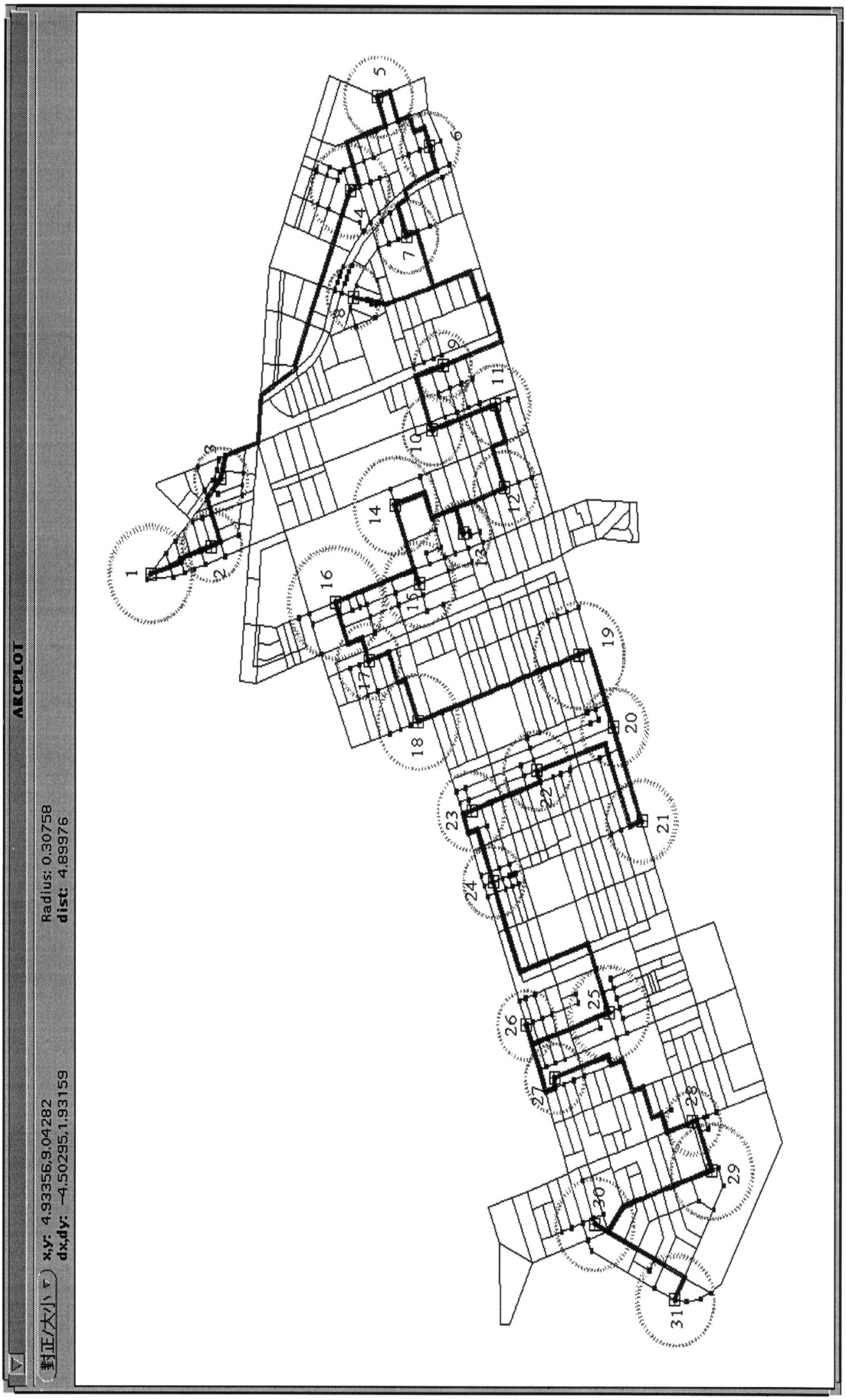
Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι πίνακες των αποτελεσμάτων του κάθε σεναρίου, καθώς και το αποτέλεσμα της χωροθέτησης-κατανομής των κάδων στο τέταρτο σενάριο με ποσοστό επικάλυψης 0,7%.

Πίνακας 1 :Αναλυτικά αποτελέσματα Σεναρίου 1				
	Ακτίνα εξυπηρέτησης: 100-200 μέτρα Χωρητικότητα κάδου: 1250 κιλά Μέγιστος αριθμός κέντρων (N)			
Προϋπόθεση	5	10	30	50
Πληθυσμός που εξυπηρετείται	4958	13891	56780	65413
Ποσοστό εξυπηρέτησης (%)	3,78	10,58	43,24	49,82
Συλλεγμένα Ανακυκλώσιμα (κιλά)	2633	6876	26749	32744
Ποσοστό ανακύκλωσης (%)	4,45	11,63	45,27	55,42
Ποσοστό χρήσης (%)	42,13	55,01	71,32	52,39
Μέση απόσταση περπατήματος (μέτρα)	66,92	81,44	85,06	81,18
Διανυόμενη απόσταση οχήματος συλλογής (μέτρα)	5208	7357	12595	16439
Ποσοστό δρομολόγησης (%)	4,79	6,67	11,58	15,12

Πίνακας 2 :Αναλυτικά αποτελέσματα Σεναρίου 2				
	Ακτίνα εξυπηρέτησης: 50-250 μέτρα Χωρητικότητα κάδου: 2000 κιλά Μέγιστος αριθμός κέντρων (N)			
Προϋπόθεση	5	10	30	50
Πληθυσμός που εξυπηρετείται	8757	15914	63667	76154
Ποσοστό εξυπηρέτησης (%)	6,67	12,12	48,49	58,00
Συλλεγμένα Ανακυκλώσιμα (κιλά)	5091	6976	34113	39410
Ποσοστό ανακύκλωσης (%)	8,61	11,81	57,74	66,70
Ποσοστό χρήσης (%)	50,91	44,88	56,85	39,41
Μέση απόσταση περπατήματος (μέτρα)	91,88	57,46	102,13	77,90
Διανυόμενη απόσταση οχήματος συλλογής (μέτρα)	5695	6881	13216	18998
Ποσοστό δρομολόγησης (%)	5,24	6,33	12,15	17,47

Πίνακας 3 :Αναλυτικά αποτελέσματα Σεναρίου 3				
	Ακτίνα εξυπηρέτησης: 100-300 μέτρα Χωρητικότητα κάδου: 1250 κιλά Μέγιστος αριθμός κέντρων (N)			
Προϋπόθεση	5	10	30	50
Πληθυσμός που εξυπηρετείται	5215	18927	58899	87124
Ποσοστό εξυπηρέτησης (%)	3,97	14,41	44,86	66,35
Συλλεγμένα Ανακυκλώσιμα (κιλά)	2737	8914	27604	41538
Ποσοστό ανακύκλωσης (%)	4,63	15,09	46,72	70,30
Ποσοστό χρήσης (%)	43,79	71,31	73,61	66,46
Μέση απόσταση περπατήματος (μέτρα)	69,94	83,02	107,94	90,49
Διανυόμενη απόσταση οχήματος συλλογής (μέτρα)	3159	7526	13790	16311
Ποσοστό δρομολόγησης (%)	2,90	6,92	12,68	15,00

Πίνακας 4 :Αναλυτικά αποτελέσματα Σεναρίου 4			
Ακτίνα εξυπηρέτησης: 100-200 μέτρα Χωρητικότητα κάδου: 1250 κιλά Μέγιστος αριθμός κέντρων: 50 Ποσοστό επικάλυψης			
Προϋπόθεση	0,6	0,7	0,8
Βέλτιστος αριθμός κέντρων	26	31	37
Πληθυσμός που εξυπηρετείται	42277	53721	63404
Ποσοστό εξυπηρέτησης (%)	32,20	40,91	48,29
Συλλεγμένα Ανακυκλώσιμα (κιλά)	21343	27067	32166
Ποσοστό ανακύκλωσης (%)	36,12	45,81	54,36
Ποσοστό χρήσης (%)	65,67	69,85	69,44
Μέση απόσταση περπατήματος (μέτρα)	79,83	87,25	82,69
Διανυόμενη απόσταση οχήματος συλλογής (μέτρα)	10228	11548	15188
Ποσοστό δρομολόγησης (%)	9,40	10,62	13,97



Σχήμα 2.3: Αποτελέσματα χωροθέτησης - σενάριο 4

2.7 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στο μοντέλο το οποίο αναλύθηκε παραπάνω, χρησιμοποιείται μια μέθοδος προσέγγισης του προβλήματος από πολλές οπτικές και ορίστηκαν κριτήρια τα οποία την καθιστούν εφαρμόσιμη σε έναν μεγάλο αριθμό περιπτώσεων. Συγκεκριμένα η χρήση ενός γενετικού αλγορίθμου σε συνδυασμό με τις δυνατότητες που προσφέρει το Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών το οποίο χρησιμοποιήθηκε απέφεραν πολύ καλά αποτελέσματα, καθιστώντας το παραπάνω μοντέλο, πρότυπο για την επίλυση τέτοιου είδους προβλημάτων.

Στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία, δεν ήταν δυνατόν να πραγματοποιηθεί μια μελέτη τέτοιου επιπέδου. Έτσι έγινε επιλογή άλλων κριτηρίων σύγκρισης τα οποία περιγράφονται σε παρακάτω κεφάλαιο. Παρακάτω περιγράφονται αναλυτικά τα ΓΣΠ καθώς και οι μέθοδοι χωροθετήσεων-κατανομών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ

3.1 ΟΡΙΣΜΟΙ

Ως Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών (ΓΣΠ) ορίζεται ένα σύνολο εργαλείων για τη συλλογή, την διαχείριση και την απεικόνιση χωρικών δεδομένων, που υποστηρίζει τη διαδικασία του σχεδιασμού παρέχοντας τη δυνατότητα στο χρήστη, να αναλύει γεωγραφικές πληροφορίες για κάποιο συγκεκριμένο σκοπό σύμφωνα με το δικό του μοντέλο λήψης αποφάσεων. Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών μας επιτρέπουν να δούμε, να καταλάβουμε, να εξετάσουμε και να απεικονίσουμε πληροφορίες με πολλούς τρόπους οι οποίοι αποκαλύπτουν σχέσεις, μοτίβα και τάσεις με τη μορφή χαρτών, αναφορών και πινάκων. Επίσης μας βοηθούν να απαντήσουμε σε ερωτήσεις και να λύσουμε προβλήματα με το να διαχειρίζονται τα στοιχεία με έναν γρήγορα κατανοητό και εύκολα κοινοποιήσιμο τρόπο.

Οι παραπάνω ορισμοί δεν είναι και οι μοναδικοί. Υπάρχουν τόσοι πολλοί όσες και οι χρήσεις ή οι επιστήμες που αναμιγνύονται με τα ΓΣΠ: γεωγραφία , αστικός σχεδιασμός , αρχιτεκτονική του τοπίου, περιβαλλοντικές επιστήμες και άλλα. Επίσης ένα Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών προσφέρει εργαλεία που επαγγελματίες σε αυτούς τους τομείς χρησιμοποιούν για να βελτιώσουν τον τρόπο εργασίας τους. Όπως τα τηλέφωνα, οι υπολογιστές και οι επεξεργαστές κειμένων είναι εργαλεία για να κάνουν την εργασία πιο εύκολη, πιο γρήγορη και πιο ουσιαστική, έτσι και τα ΓΣΠ χορηγούν τα εργαλεία σε επαγγελματίες για να βελτιώσουν την αποτελεσματικότητα της εργασίας τους με γεωγραφικά ή με περιγραφικά δεδομένα.

3.2 ΤΑ ΜΕΡΗ ΕΝΟΣ ΓΣΠ

Τα ΓΣΠ έχουν τρία βασικά συστατικά, τα οποία είναι ο απαραίτητος τεχνικός εξοπλισμός (Hardware) , το λογισμικό (Software) και τα διαθέσιμα (Resourceware) .

3.2.1 ΤΕΧΝΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ (HARDWARE)

Ο τεχνικός εξοπλισμός αποτελείται από τρία μέρη: την κεντρική μονάδα (CPU), τα περιφερειακά και το τερματικό (DVU). Η κεντρική μονάδα επεξεργασίας ενός ΓΣΠ δε διαφέρει σε τίποτα από αυτήν οποιουδήποτε άλλου γενικής χρήσης συστήματος πληροφοριών ενώ τα πιο γνωστά λειτουργικά συστήματα (UNIX , WINDOWS 98, WINDOWS NT) χρησιμοποιούνται και από τα διάφορα πακέτα ΓΣΠ. Τα περιφερειακά διαφοροποιούνται σε αυτά της εισόδου, που επιτρέπουν την είσοδο των στοιχείων (ψηφιοποιητές σαρωτές κ.α.), της εξόδου που συμμετέχουν στην

παρουσίαση των στοιχείων (σχεδιαστές) και της διαχείρισης που βοηθούν στην αποθήκευση και διαχείριση των στοιχείων (disk drives).

3.2.2 ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ (SOFTWARE)

Το λογισμικό ενός ΓΣΠ περιλαμβάνει έξι βασικά "υποσυστήματα" για:

1. Εισαγωγή δεδομένων και έλεγχο-επαλήθευσή τους, που καλύπτει τις ανάγκες μετασχηματισμού των στοιχείων από την αρχική τους μορφή (χάρτες, τηλεσκοπικά προϊόντα κλπ) σε αναγνωρίσιμη ψηφιακή μορφή.

2. Διαχείριση της γεωγραφικής βάσης δεδομένων, που αναφέρεται στον τρόπο που δομούνται και οργανώνονται τα χωρικά και μη-χωρικά δεδομένα.

3. Εξαγωγή πληροφοριών και παρουσίαση , που εστιάζεται στην παρουσίαση στοιχείων και αποτελεσμάτων των αναλυτικών διαδικασιών.

4. Μετασχηματισμό των δεδομένων, που στοχεύουν στο συντονισμό και την ανάλυση των στοιχείων.

5. Αναζήτηση, που βοηθούν το χρήστη να επικοινωνεί με τον Η/Υ αναζητώντας λύση μέσα από μια σειρά ερωτήσεων.

6. Εργαλεία χωρικής ανάλυσης, αναγκαία για την κάλυψη των αναγκών για εμπειρικές εφαρμογές, που ουσιαστικά αναφέρονται στην ανάλυση χώρου.

Γενικά τα ΓΣΠ θα μπορούσαν να παραλληλισθούν με μια εργαλειοθήκη. Μερικά από τα εργαλεία ή συνδυασμοί τους μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να επιλύσουν αρκετά χωρικά προβλήματα. Σύμφωνα με τον P.Burrough τα κυριότερα χωρικά προβλήματα που επιλύει ένα ΓΣΠ είναι τα εξής:

- Τι είναι στην θέση Α;
- Πού είναι τα Χ1, Χ2;
- Πού είναι το Α σε σχέση με το Β;
- Πόσο μεγάλο είναι το Α (εμβαδόν, περίμετρος);
- Ποιο είναι το αποτέλεσμα της αλληλεπίθεσης μεταξύ δύο ή περισσοτέρων επιπέδων (overlay);
- Πόσες εμφανίσεις τύπου Α βρίσκονται σε απόσταση Ρ από το Β;
- Προσδιορισμός της ζώνης σε απόσταση Ρ από το Α (buffering)

Τα κυριότερα εργαλεία που είναι ενσωματωμένα στα περισσότερα ΓΣΠ σήμερα παραμένουν η αλληλεπίθεση και η δημιουργία ζώνης. Σε κάποιες εξαιρέσεις υπάρχουν περισσότερα και πιο ευέλικτα εργαλεία. Πάντως όλες οι εργαλειοθήκες έχουν περιορισμένο αριθμό εργαλείων και σίγουρα όχι πλήρες.

3.2.3 ΔΙΑΘΕΣΙΜΑ (RESOURCEWARE)

Τα διαθέσιμα παίζουν καθοριστικό ρόλο στην εγγύηση ότι οι διαδικασίες των ΓΣΠ είναι οι πλέον κατάλληλες και αποδοτικές. Η αγορά ενός υπολογιστικού συστήματος με το αναγκαίο λογισμικό δεν εξασφαλίζει καμία επιτυχία σε οποιαδήποτε περίπτωση εάν δεν υπάρχουν τα κατάλληλα στοιχεία .

3.3 ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΤΑ ΓΣΠ

Ο πραγματικός κόσμος παριστάνεται σε ένα ΓΣΠ από έναν αριθμό λογικών επιπέδων, για παράδειγμα κάθε επίπεδο αντιπροσωπεύει και μια οντότητα (κατοικίες, δρόμοι, έδαφος κλπ). Η αντίληψη της πραγματικότητας γενικεύεται με δυο κυρίως μοντέλα:

- Τα διανυσματικά μοντέλα (vector)
- Τα μοντέλα μορφής καννάβου (raster)

Στη διανυσματική δομή δεδομένων (vector data structure) η βασική λογική μονάδα αντιστοιχεί σε μια γραμμή η οποία μπορεί να αναπαριστά μια ισοϋψή καμπύλη, ένα ποταμό, ένα δρόμο, το όριο μιας επιφάνειας ή ένα γραμμικό τμήμα των παραπάνω. Ένα διανυσματικό σύστημα, απεικονίζει τα δεδομένα ως σύνολα χωρικών αρχετύπων. Στα διδιάστατα μοντέλα τα χωρικά αρχέτυπα είναι σημεία, γραμμές και πολύγωνα, ενώ στα τρισδιάστατα χρησιμοποιούνται επιπλέον οι επιφάνειες και οι όγκοι. Φυσικά, ποια χωρικά αρχέτυπα χρησιμοποιούνται κάθε φορά εξαρτάται από την κλίμακα παρατήρησης ή το επίπεδο γενίκευσης. Σε μικρή κλίμακα, οι πόλεις αναπαρίστανται από σημεία, ενώ οι ποταμοί και οι δρόμοι αναπαρίστανται από γραμμές. Όμως καθώς αυξάνεται η κλίμακα παρατήρησης, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και η επιφανειακή διάσταση των φαινομένων. Επομένως, σε μεγαλύτερες κλίμακες, η πόλη αναπαρίσταται από ένα πολύπλοκο σύνολο χωρικών αρχετύπων που ορίζουν τα όρια των κτιρίων, τους δρόμους, τα πάρκα και άλλα φυσικά και τεχνητά φαινόμενα από τα οποία αποτελείται.

Οι γραμμές ή τα τόξα είναι σειρές διατεταγμένων σημείων των οποίων καταγράφονται οι συντεταγμένες. Οι επιφάνειες ή τα πολύγωνα αποθηκεύονται επίσης ως διατεταγμένες σειρές σημείων, όμως το αρχικό και τελικό σημείο ταυτίζονται, έτσι ώστε να ορίζεται ένα κλειστό σχήμα. Τα σημεία σε μια διανυσματική δομή δεδομένων περιγράφονται ως γραμμές μηδενικού μήκους.

Η κανονικοποιημένη δομή δεδομένων (raster data structure) αντιλαμβάνεται το χώρο ως μωσαϊκή διαίρεση φατνιών-ψηφίδων (tessellation of cells), δηλαδή τοποθετεί και αποθηκεύει τα δεδομένα χρησιμοποιώντας ένα πίνακα ή ένα κάνναβο φατνίων. Συνήθως αναφερόμαστε σε ένα φατνίο με τον όρο εικονοστοιχείο (pixel).

Η κατηγορία των κανονικοποιημένων χωρικών δομών δεν περιλαμβάνει μόνο τις δομές που βασίζονται σε ένα ορθογωνικό ή τετραγωνικό πλέγμα. Στην πραγματικότητα αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει κάθε συνεχώς

επαναλαμβανόμενο πρότυπο ενός κανονικού πολυγώνου ή πολυέδρου. Ο όρος που χρησιμοποιείται στη για αυτό το σκοπό είναι κανονική μωσαϊκή διαίρεση (regular tessellation). Πιο συγκεκριμένα, οι τρεις τύποι κανονικών διαιρέσεων που χρησιμοποιούνται στα χωρικά μοντέλα δεδομένων είναι οι τετραγωνικές, οι τριγωνικές και οι εξαγωνικές. Κάθε μια από αυτές έχει διαφορετικά λειτουργικά χαρακτηριστικά που βασίζονται στη διαφορετική γεωμετρία των στοιχειωδών πολυγώνων.

Είναι ιδιαίτερα σημαντικό ότι κάθε πραγματική κατάσταση μπορεί να αναπαρασταθεί και με τις δυο δομές raster και vector. Καθένα από αυτά τα συστήματα έχει τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματά του:

Τα πλεονεκτήματα της κανονικοποιημένης χωρικής δομής (raster) είναι η απλή δομή των δεδομένων της, η συμβατότητά της με τηλεπισκοπικά δεδομένα ή δεδομένα από σάρωση και οι απλές διαδικασίες χωρικής ανάλυσης. Παρόλα αυτά απαιτεί περισσότερο χώρο αποθήκευσης, η ποιότητα του γραφικού προϊόντος της εξαρτάται από το μέγεθος του pixel και οι προβολικοί μετασχηματισμοί και η αναπαράσταση των τοπολογικών σχέσεων είναι πιο δύσκολα.

Η διανυσματική χωρική δομή από την άλλη απαιτεί λιγότερο χώρο αποθήκευσης, το γραφικό προϊόν της μοιάζει περισσότερο με τους αναλογικούς χάρτες και οι τοπολογικές σχέσεις διατηρούνται με ευκολία. Όμως η δομή των δεδομένων είναι πιο περίπλοκη, κάποιες διαδικασίες ανάλυσης γίνονται με περισσότερη δυσκολία, η επίθεση πολλών χαρτών σε διανυσματική μορφή είναι χρονοβόρα ενώ η δομή αυτή δεν είναι τόσο συμβατή με τηλεπισκοπικά δεδομένα.

Αν και πριν από μερικά χρόνια η επιλογή ενός από τα δυο μοντέλα υπαγόρευε και την αγορά αντίστοιχου λογισμικού, η σύγχρονη τάση είναι το λογισμικό να συνδυάζει και τα δυο μοντέλα καθώς και λειτουργίες μετασχηματισμού από το ένα στο άλλο.

3.4 ΟΙ ΤΡΕΙΣ ΟΨΕΙΣ ΕΝΟΣ ΓΣΠ

Ένα ΓΣΠ συχνά θεωρείται ότι είναι ένας χάρτης. Ο χάρτης, εντούτοις, είναι μόνο ένας τρόπος που μπορεί κανείς να εργαστεί με τα γεωγραφικά στοιχεία σε ένα ΓΣΠ και μόνο ένας τύπος προϊόντος που παράγεται από ένα ΓΣΠ. Ένα ΓΣΠ μπορεί να παρέχει πολύ περισσότερες δυνατότητες επίλυσης ενός προβλήματος από τη χρήση ενός απλού προγράμματος χαρτογράφησης ή την πρόσθεση δεδομένων σε ένα διαδικτυακό εργαλείο χαρτογράφησης.

Ένα ΓΣΠ έχει τρεις όψεις:

1. Η βάση δεδομένων: Ένα ΓΣΠ είναι μια μοναδική βάση δεδομένων του κόσμου (χώρου) – μια γεωγραφική βάση δεδομένων (geodatabase). Ουσιαστικά ένα ΓΣΠ είναι βασισμένο σε μια δομημένη βάση δεδομένων που περιγράφει τον κόσμο με γεωγραφικούς όρους.

2. Ο χάρτης: Ένα ΓΣΠ είναι ένα σύνολο ευφυών χαρτών και άλλων όψεων, που παρουσιάζουν τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα και τις σχέσεις μεταξύ των χαρακτηριστικών γνωρισμάτων της επιφάνειας της γης. Οι χάρτες των υποκείμενων γεωγραφικών πληροφοριών , μπορούν να κατασκευαστούν και να χρησιμοποιηθούν ως “παράθυρα στη βάση δεδομένων” που θα υποστηρίξουν την έρευνα, την ανάλυση και την επιμέλεια των πληροφοριών.

3. Το μοντέλο: Ένα ΓΣΠ είναι ένα σύνολο εργαλείων μετασχηματισμού πληροφοριών που αντλούν τα νέα γεωγραφικά σύνολα δεδομένων από τα υπάρχοντα σύνολα δεδομένων. Αυτές οι λειτουργίες επεξεργασίας γεωγραφικών δεδομένων παίρνουν πληροφορίες από υπάρχουσες βάσεις δεδομένων, εφαρμόζουν αναλυτικές μεθόδους και καταγράφουν τα αποτελέσματα σε νέα παραγόμενα σύνολα δεδομένων. Με το συνδυασμό των δεδομένων και την εφαρμογή μερικών αναλυτικών κανόνων, μπορούμε να δημιουργήσουμε ένα πρότυπο που βοηθά στην απάντηση των ερωτήσεων που έχουμε θέσει.

Μαζί, αυτές οι τρεις όψεις είναι κρίσιμα μέρη ενός ΓΣΠ και χρησιμοποιούνται σε ποικίλα επίπεδα σε όλες τις εφαρμογές του.

3.5 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΩΝ ΓΣΠ

Η χρήση των ΓΣΠ γίνεται σε ένα μεγάλο πλήθος εφαρμογών, που έχουν σχέση με την ανάλυση και τον σχεδιασμό του χώρου. Παρακάτω αναφέρονται μερικά επιστημονικά πεδία στα οποία τα ΓΣΠ μπορούν να συμβάλλουν ως ολοκληρωμένα εργαλεία χωρικής ανάλυσης και σχεδιασμού:

- Ψηφιακή φωτογραμμετρία
- Κτηματολόγιο
- Σχεδιασμός και διαχείριση χρήσεων γης
- Μελέτες περιβαλλοντικών επιπτώσεων
- Χαρτογράφηση και διαχείριση φυσικών πόρων
- Περιφερειακός και χωροταξικός σχεδιασμός
- Συγκοινωνίες – Μεταφορές
- Ανάλυση αγοράς
- Πυροσβεστική, Δασική υπηρεσία, Αστυνομία
- Εκπαίδευση και Υγεία – Πρόνοια
- Φορολογία
- Δίκτυα διανομών Πωλήσεων και Χωροθετήσεις κατανομών
- Αγορά εργασίας
- Χωροθετήσεις Κέντρων Εξυπηρέτησης Πολιτών (όπως εφαρμόζονται στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία)

Τα παραπάνω πεδία εφαρμογών αποδεικνύουν το μεγάλο φάσμα δυνατοτήτων ανάπτυξης των ΓΣΠ. Τα ΓΣΠ μπορούν να συμβάλλουν στην αστική και περιφερειακή ανάπτυξη, αλλά και να δημιουργήσουν τις προϋποθέσεις για τις διαδικασίες λήψης αποφάσεων, μέσω μιας ενιαίας καταγραφής, οργάνωσης, διαχείρισης και ανάλυσης των διαφόρων οικονομικο-κοινωνικών δεδομένων. Τόσο στο Δημόσιο, όσο και στον Ιδιωτικό τομέα, οι εφαρμογές των ΓΣΠ είναι σημαντικές, σε συγκεκριμένα αντικείμενα ενδιαφέροντος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΜΕΘΟΔΟΙ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΕΩΝ – ΚΑΤΑΝΟΜΩΝ

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Για πολλούς αιώνες η θέση ήταν μια μεταβλητή που την αγνοούσαν συστηματικά τόσο οι φυσικές όσο και οι κοινωνικές επιστήμες. Μόλις εδώ και λίγα χρόνια έχει δημιουργηθεί ένας αρκετά μεγάλος αριθμός αποτελεσματικών μεθόδων και διαδικασιών επίλυσης χωροθετικών προβλημάτων, που να δικαιολογεί την εισαγωγή των μεθόδων αυτών στην ομάδα των βασικών γεωγραφικών μεθόδων και εργαλείων χωρικής ανάλυσης. Τα τελευταία 20 χρόνια αναγνωρίστηκε ότι η θέση έχει επιπτώσεις στα αναπτυξιακά προγράμματα και έργα. Πιο συγκεκριμένα αναγνωρίστηκε ότι η θέση ή κάτι που χωροθετείται έχει επιπτώσεις:

- **Στο Κόστος:** Διαφορετικές θέσεις για ένα κέντρο παραγωγής ή παροχής υπηρεσιών αντιπροσωπεύουν διαφορετικό κόστος κατασκευής και λειτουργίας.

- **Στην Αποδοτικότητα:** Η θέση ενός κέντρου επιδρά στην αποδοτικότητα των προγραμμάτων που απαιτούν τη δημιουργία τους.

- **Στη Χρήση:** Η θέση ενός κέντρου επιδρά στο βαθμό χρήσης από τους κατοίκους της περιοχής που για την εξυπηρέτησή τους έχει σχεδιαστεί.

- **Στα Άλλα Κέντρα:** Η θέση ενός κέντρου επιδρά θετικά ή αρνητικά στο κόστος, την αποδοτικότητα και τη χρήση των άλλων κέντρων.

Οι ασχολούμενοι με τον περιφερειακό σχεδιασμό, επομένως πρέπει να αναλύουν αυτές τις χωρικές συσχετίσεις, ώστε να μπορούν να εκτιμούν πως μια χωρική απόφαση θα επιδράσει στις επόμενες φάσεις της αναπτυξιακής διαδικασίας. Στην προσπάθεια, λοιπόν, για μια χωρική προσέγγιση στα προβλήματα της περιφερειακής ανάπτυξης υπάρχει ανάγκη για ένα αναλυτικό σύστημα που να έχει τη δυνατότητα να δίνει απαντήσεις τόσο σε περιγραφικές-αναλυτικές όσο και κανονιστικές ερωτήσεις. Ένα τέτοιο σύστημα δηλαδή πρέπει να μπορεί να αντιμετωπίζει θέματα που σχετίζονται με :

- **Σωστές αναφορές και εκτιμήσεις** για το περιεχόμενο των περιφερειών.

- **Την επίδραση της θέσης** και των χωρικών αλληλεπιδράσεων στις τιμές των στοιχείων που μετρούνται σε διαφορετικά σημεία του χώρου.

- **Βέλτιστη χωροθέτηση** ενός συνόλου αντικειμένων ώστε μια ορισμένη μεταβλητή ή μεταβλητές να αποκτήσουν μια μέγιστη ή ελάχιστη τιμή.

Τέτοια αναλυτικά συστήματα, όμως έχουν ανάγκη να συγκεντρώνουν και να συνδυάζουν στοιχεία από τρεις διαφορετικές ερευνητικές περιοχές :

- **Θεωρία χωροθετήσεων**, που παραδοσιακά ασχολείται με ερωτήματα βελτιστοποίησης της χωρικής οργάνωσης καθώς και αποδοτικά χωρικά πρότυπα για την παροχή υπηρεσιών.

- **Θεωρία περιφερειακής ανάπτυξης**, που έχει προχωρήσει από το αρχικό ενδιαφέρον της σχετικά με τα ερωτήματα περιφερειακής ανάπτυξης και παραγωγής, σε θέματα περιφερειακών ανισοτήτων, αστικών-αγροτικών δεσμών και προβλήματα στις μη-αναπτυγμένες περιοχές.

- **Χωρική ανάλυση**, που εστιάζεται στην ανάπτυξη μεθόδων για την αξιολόγηση υπαρχόντων και προτεινόμενων προτύπων χωρικής οργάνωσης.

4.2 ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΟΥ WEBER

Το βασικό μοντέλο της θεωρίας χωροθέτησης πάνω στο οποίο στηρίζεται η μέθοδος των χωροθετήσεων-κατανομών ανήκει στον Weber. Το μοντέλο αποσκοπεί για ένα χωρικό σύστημα ζήτησης και προσφοράς, να βρει εκείνο το σημείο στο χώρο που θα τοποθετηθεί το κέντρο προσφοράς, έτσι ώστε η απαιτούμενη ενέργεια σε αυτή τη διαδικασία παροχής αγαθών να ελαχιστοποιείται.

Στην περίπτωση ενός κέντρου υπηρεσιών, το πρόβλημα σύμφωνα με το μοντέλο του Weber θα μπορούσε να διατυπωθεί ως εξής: αν δοθεί ένα σύνολο από χρήστες μιας υπηρεσίας, που οι θέσεις τους είναι γνωστές στο χώρο, να βρεθεί η θέση του κέντρου αυτής της υπηρεσίας, για αυτούς τους χρήστες, έτσι ώστε το συνολικό κόστος προσιτότητας να είναι το ελάχιστο δυνατό. Το συνολικό κόστος είναι το άθροισμα του κόστους που καταβάλλεται από κάθε ένα χρήστη. Το κόστος αυτό μπορεί να εκφραστεί σε χρόνο, χρήμα ή απόσταση, που είναι και ο συνηθέστερος τρόπος μέτρησής του. Σε όλες όμως τις περιπτώσεις το κόστος προσιτότητας για κάθε επίσκεψη και για κάθε μονάδα απόστασης είναι γνωστό.

4.3 ΜΟΝΤΕΛΑ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΕΩΝ ΚΑΤΑΝΟΜΩΝ

Όταν το ενδιαφέρον μας, σε αντίθεση με την αρχική θεώρηση του Weber , στρέφεται, όχι στη χωροθέτηση ενός κέντρου, αλλά στη σύγχρονη χωροθέτηση πολλών μαζί κέντρων, τότε μιλάμε για το πρόβλημα των χωροθετήσεων – κατανομών. Συγκεκριμένα, επειδή για κάθε κέντρο παροχής μιας ορισμένης υπηρεσίας, υπάρχει μια δοσμένη και καθορισμένη ζώνη επιρροής και ένα ανώτατο όριο χωρητικότητας, η κατανεμημένη στο χώρο ζήτηση για αυτή την υπηρεσία δε μπορεί να καλυφθεί από ένα και μόνο κέντρο, αλλά από περισσότερα, δηλαδή από ένα σύστημα τέτοιων κέντρων. Σαν αποτέλεσμα, ο συνδυασμός των θέσεων που πρέπει να χωροθετηθούν τα κέντρα και ο συσχετιζόμενος συνδυασμός των περιοχών που πρέπει να αποτελέσουν τις περιοχές εξυπηρέτησης των κέντρων, πρέπει να καθοριστούν ταυτόχρονα, και ο καθορισμός αυτός οφείλει σε γενικές γραμμές να γίνει κάτω από τον περιορισμό ότι η συνολική ζήτηση θα καλυφθεί. Επομένως δυο είναι τα βασικά ερωτήματα που πρέπει ταυτόχρονα να απαντηθούν, πρώτο: ποιος είναι ο βέλτιστος αριθμός κέντρων που πρέπει να χωροθετηθούν; και δεύτερο: ποια πρέπει να είναι η περιοχή εξυπηρέτησης για κάθε ένα από αυτά τα κέντρα;

Στη γενική της μορφή αυτή η μεθοδολογία των χωροθετήσεων – κατανομών μπορεί να τεθεί ως εξής: Έχοντας ένα χωρικό σύστημα ζήτησης, να χωροθετηθούν σε αυτό το χώρο (location), κέντρα εξυπηρέτησης και να περιφερειοποιηθεί (allocation) ο χώρος ως προς τα κέντρα αυτά, δηλαδή να αποφασιστεί ποια μέρη του χωρικού συστήματος θα εξυπηρετούνται και από ποια κέντρα κατά τον καλύτερο δυνατό τρόπο. Η γενικευμένη έκφραση *καλύτερος δυνατός τρόπος*, γενικά ερμηνεύεται σαν προσπάθεια βελτιστοποίησης κάποιας αντικειμενικής συνάρτησης (μεγιστοποίηση κάποιου κέρδους ή ελαχιστοποίηση κάποιου κόστους).

Παρακάτω αναλύονται μερικά μοντέλα που έχουν πρακτική εφαρμογή. Παρουσιάζεται το μοντέλο p-διάμεσος (p-median), που δίνει έμφαση στο ερώτημα της οριοθέτησης των περιοχών εξυπηρέτησης και έμμεσα απαντά στο ερώτημα για τα κέντρα παροχής υπηρεσιών, το μοντέλο σύνολο-κάλυψης (set-covering), που δίνει έμφαση στο ερώτημα για το βέλτιστο αριθμό κέντρων παροχής υπηρεσιών και έμμεσα για τις περιοχές εξυπηρέτησης και το μοντέλο μέγιστης-κάλυψης (maximal-covering), που δίνει έμφαση τόσο στον αριθμό των κέντρων, όσο και στις περιοχές εξυπηρέτησης.

4.3.1 ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ p-ΔΙΑΜΕΣΟΣ

Το πρόβλημα το οποίο καλείται να λύσει το μοντέλο αυτό θα μπορούσε να εκφραστεί απλά ως εξής: Σε δοσμένο δίκτυο n κόμβων ζητείται η τοποθέτηση p κέντρων εξυπηρέτησης και η κατανομή των υπολοίπων n-p στα κέντρα αυτά, ώστε η συνολική απόσταση μετακίνησης των πληθυσμών των κόμβων προς τα πλησιέστερα προς αυτούς κέντρα να είναι η ελάχιστη δυνατή. Μιας και τα κέντρα δεν διακρίνονται ως προς το μέγεθος ή την ειδικότητά τους, υποθέτουμε ότι ο κάθε χρήστης θα πάει στο πλησιέστερο κέντρο. Το μοντέλο αυτό μαθηματικά μπορεί να εκφραστεί ως εξής:

$$\min F(Y,X) = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} w_i d_{ij} a_{ij}$$

Κάτω από τις οριακές συνθήκες:

$$\sum_{j=1}^{n} a_{ij} = 1 \qquad \text{για} \qquad i = 1,\ldots,n$$

$$\alpha_{ij} = 0 \text{ αν } j \in L \; 0 < a_{ij} < y_i \qquad \text{για} \qquad i = 1,\ldots,n \qquad \text{και} \qquad j = 1,\ldots,n$$

$$a_{ij} = \varepsilon\{0,1\} \qquad \text{για} \qquad j = 1,\ldots,n$$

$$\sum_{j=1}^{n} a_j = p \qquad (4.3.1)$$

Το μοντέλο p-διάμεσος όπως αναπτύχθηκε παραπάνω, είναι μια από τις πολλές εκφράσεις του μοντέλου αυτού. Διαφορετικοί περιορισμοί ή αντικειμενικές συναρτήσεις, δίνουν διαφορετικές εκφράσεις στο μοντέλο, που μπορούν να βοηθήσουν στην επίλυση προβλημάτων χωροθετήσεων-κατανομών. Μερικοί από τους περιορισμούς αυτούς είναι:

Περιορισμός Μέγιστου Κόστους: Η εφαρμογή του μοντέλου p-διάμεσος, όπως διατυπώθηκε στα προηγούμενα, μπορεί να δημιουργήσει μια χωρική διάταξη κέντρων, όπου για μερικούς χρήστες η προσιτότητα να μην είναι ικανοποιητικού επιπέδου, καθώς σε αυτό το μοντέλο η έμφαση δίνεται στο μέσο χρόνο ταξιδιού προς το κέντρο παροχής υπηρεσιών ή στο μέσο χρόνο ανταπόκρισης στη ζήτηση από κάποιο κινητό κέντρο παροχής. Επομένως καμία μέριμνα δεν υπάρχει για τους ακραίους χρόνους ταξιδιού ή ανταπόκρισης και είναι δυνατό ορισμένες λύσεις να αφήνουν μερικά σημεία ζήτησης να έχουν υπερβολικούς χρόνους από τα πλησιέστερα κέντρα. Η λύση του προβλήματος αυτού μπορεί να επιτευχθεί θέτοντας ένα κατώφλι στο μέγιστο κόστος προσιτότητας, με την εισαγωγή του εξής περιορισμού:

$$\sum_{j \in N_j}^{n} a_{ij} = 1 \qquad \text{για} \qquad j = 1,\ldots,m$$

Έτσι ώστε για το σύνολο των πιθανών θέσεων N_j, το κόστος προσιτότητας είναι ίσο η λιγότερο ενός δοσμένου κατωφλιού t_i που δίνεται από τη σχέση:

$$N_j = \{ j : t_{ij} \leq \overline{t} \}$$

Περιορισμός Χωρητικότητας: Η δημιουργία ενός κέντρου παροχής υπηρεσίας που εξυπηρετεί ένα μικρό αριθμό από χρήστες, έχει συνήθως σαν αποτέλεσμα την μη αποτελεσματική χρήση του κέντρου και την ελάχιστη απόδοση της υπηρεσίας των υπαλλήλων που ασχολούνται σε αυτό, γιατί η ζήτηση είναι ελάχιστη. Αυτό βέβαια σημαίνει ότι σε πολλές περιπτώσεις περιορισμοί σχετικά με την ελάχιστη ζήτηση που ένα κέντρο πρέπει να εξυπηρετεί, είναι αναγκαίοι. Από την άλλη μεριά, περιορισμοί που απορρέουν, για παράδειγμα από την έλλειψη μεγάλων εκτάσεων για την εγκατάσταση μεγάλων κέντρων παροχής υπηρεσιών ή ακόμη από την επιθυμία για τη δημιουργία μικρού ή μεσαίου μεγέθους κέντρων, δημιουργεί την ανάγκη για περιορισμούς, που να αναφέρονται στη μέγιστη χωρητικότητα. Τέτοιοι περιορισμοί μπορούν να ενσωματωθούν στα μοντέλα p-διάμεσος με την εξής μορφή:

$$\underline{n}_j a_j \leq \sum_{i=1}^{n} a_{ij} n_i \leq \overline{n}_j a_j \qquad \text{για} \qquad i = 1, \ldots, n$$

όπου: $\overline{n}_j =$ Ελάχιστη Χωρητικότητα κέντρου θέσης j.

$\underline{n}_j =$ Μέγιστη χωρητικότητα κέντρου θέσης j.

Περιορισμοί Προϋπολογισμού: Ο τρόπος προσδιορισμού του προβλήματος p-διάμεσος έμμεσα προϋποθέτει ότι το κόστος ενός κέντρου παροχής υπηρεσιών σχετίζεται πολύ λίγο ή καθόλου με τη θέση που είναι χωροθετημένο, με αποτέλεσμα να έχουμε έναν περιορισμό συνολικού προϋπολογισμού. Όταν όμως το κόστος ενός κέντρου διαφέρει από θέση σε θέση, τότε ο προϋπολογισμός δημιουργίας του συστήματος των p-κέντρων θα διαφέρει ανάλογα με το χωρικό πρότυπο αυτού του συστήματος. Σε μια τέτοια περίπτωση, είναι πιο ρεαλιστικό να θεωρήσουμε ότι ο προϋπολογισμός είναι γνωστός και να ερευνούμε για τον αριθμό των κέντρων, που μπορούν να δημιουργηθούν με τον δοσμένο αυτό προϋπολογισμό. Ένας τέτοιος τρόπος διατύπωσης του προβλήματος p-διάμεσος επιτυγχάνεται αν αντικαταστήσουμε τον περιορισμό (4.3.1) με έναν από τους παρακάτω περιορισμούς:

$$\sum_{j=1}^{n} f_j a_{jj} + \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} w_i a_j a_{ij} \leq B$$

ή $$\sum_{j=1}^{n} f\, a_{jj} \leq B$$

όπου: $f_j =$ Κόστος κατασκευής κέντρου στη θέση j.

$B =$ Υπάρχουσα χρηματοδότηση

4.3.1.1 Μοντέλο p-κέντρα (p-centers)

Εκτός από το μοντέλο p-διάμεσος που έχει σαν στόχο την ελαχιστοποίηση κάποιου συνολικού κόστους (χρήμα, απόσταση, χρόνος κλπ.) υπάρχει και μια άλλη κατηγορία μοντέλων που ονομάζεται p-centers και έχει σαν στόχο ή την ελαχιστοποίηση των μέγιστων αποστάσεων ή την μεγιστοποίηση των ελάχιστων αποστάσεων που πρέπει να καλυφθούν από τους χρήστες. Στην περίπτωση που επιδιώκεται η ελαχιστοποίηση των μέγιστων αποστάσεων το κριτήριο ονομάζεται minmax και η αντικειμενική συνάρτηση δίνεται από τη σχέση:

$$\min Z = \max a_{ij} w_i d_{ij}, i = 1,...,n, j \in L$$

Όπου:

$$a_{jj} = \begin{matrix} 1 \text{ αν ο j κόμβος είναι κέντρο} \\ 0 \text{ διαφορετικά} \end{matrix}$$

$$a_{ij} = \begin{matrix} 1 \text{ αν ο πληθυσμός του i κόμβου εξυπηρέτησης εξυπηρετείται απο το j κέντρο} \\ 0 \text{ αν δεν εξυπηρετείται} \end{matrix}$$

$$a_{ij} = 0 \text{ αν j} \in L$$

και

$$\sum a_{jj} = p$$

Το minimax κριτήριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για χωροθέτηση υπηρεσιών που καλύπτουν επείγοντα περιστατικά όταν είναι γνωστός ο αριθμός p των προς χωροθέτηση κέντρων. Τέτοιου είδους υπηρεσίες είναι οι Σταθμοί Πρώτων Βοηθειών, οι Σταθμοί Πυροσβεστικής Υπηρεσίας, οι Σταθμοί Άμεσης Δράσης κλπ.

Εκτός όμως από το προηγούμενο είδος χρήσεων τις οποίες κάθε χρήστης τις επιθυμεί να είναι όσο το δυνατόν κοντά του, υπάρχουν και άλλες τις οποίες τις επιθυμεί να είναι όσο το δυνατόν μακριά του. Τέτοιου είδους χρήσεις μπορεί να είναι οι χώροι αποθήκευσης σκουπιδιών, αποθήκες επικίνδυνων υλών, ρυπαίνουσες η οχλούσες βιομηχανίες κλπ. Σε αυτή την περίπτωση αντικειμενικός στόχος είναι η μεγιστοποίηση των ελάχιστων αποστάσεων των κέντρων από τους χρήστες και το κριτήριο ονομάζεται maxmin. Η αντικειμενική συνάρτηση που εκφράζει το προηγούμενο κριτήριο είναι η:

$$\max Z = \min a_{ij} w_i d_{ij} \;\; N_j = \{ j : t_{ij} \le \overline{t}_j \}$$

4.3.2 ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΣΥΝΟΛΟ-ΚΑΛΥΨΗΣ

Το μοντέλο αυτό αναφέρεται στη βιβλιογραφία σαν μοντέλο σύνολο-κάλυψης, γιατί δημιουργεί για όλα τα σημεία ζήτησης ένα σύνολο από κέντρα παροχής, που είναι χωροθετημένα μέσα σε ένα όριο απόστασης/χρόνου από κάθε σημείο ζήτησης έτσι ώστε να τα καλύπτουν όλα. Δηλαδή ενώ στο πρόβλημα p-διάμεσος οι ευκαιρίες για προσιτότητα κάθε χρήστη του συστήματος μεγιστοποιείται με βάση οικονομικούς περιορισμούς, το αντίθετο συμβαίνει στο μοντέλο σύνολο-κάλυψης, όπου το οικονομικό κόστος ελαχιστοποιείται με βάση περιορισμούς προσιτότητας. Το πρόβλημα μπορεί να διατυπωθεί ως εξής: να βρεθεί ο ελάχιστος αριθμός κέντρων παροχής υπηρεσιών και οι θέσεις τους στο χώρο έτσι ώστε για κάθε σημείο ζήτησης να υπάρχει ένα κέντρο μέσα σε απόσταση t μονάδων απόστασης ή χρόνου. Η μαθηματική του έκφραση είναι η:

$$\min F(y) = \sum_{j=1}^{n} a_i$$

Κάτω από τις οριακές συνθήκες:

$$\sum_{j \in N_j}^{n} a_i \geq 1 \qquad \text{για} \qquad i = 1,...,m$$

$$y_j \in \{0,1\} \qquad \text{για} \qquad j = 1,...,n$$

$$N_j = \{ j : t_{ij} \leq \overline{t}_j \}$$

4.3.3 ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΜΕΓΙΣΤΗΣ-ΚΑΛΥΨΗΣ

Τα μοντέλα p-διάμεσος και σύνολο-κάλυψης ήταν πραγματικά οριακοί σταθμοί στην ανάπτυξη των χωροθετικών μοντέλων. Οι προσπάθειες, όμως, συνεχίστηκαν και ένα καινούριο μοντέλο, που υποσχόταν μεγαλύτερη χρησιμότητα από τα δυο προηγούμενα, εμφανίστηκε. Το μοντέλο μέγιστης-κάλυψης γεννήθηκε επειδή το μοντέλο σύνολο κάλυψης , για ορισμένες τιμές κατωφλιών προσιτότητας έδινε λύσεις που ήταν πέρα από τα διαθέσιμα, δηλαδή, περισσότερα κέντρα από ότι μπορούμε να δημιουργήσουμε. Η εκλογή επομένως είναι να αυξήσουμε την τιμή του κατωφλιού, για παράδειγμα ελλατώνοντας την προσιτότητα του συστήματος ή να εγκαταλείψουμε τον περιορισμό κάλυψης ολόκληρης της ζήτησης. Αν η τελευταία εναλλακτική λύση αποφασιστεί, τότε μιλάμε για το μοντέλο της μέγιστης κάλυψης, που μπορεί να εκφραστεί ως εξής: να χωροθετηθούν p-κέντρα προσφοράς υπηρεσιών σε θέσεις ενός δικτύου έτσι ώστε το μέγιστο μέρος του πληθυσμού να βρίσκεται μέσα σε ορισμένο όριο απόστασης/χρόνου. Μαθηματικά το μοντέλο μπορεί να εκφραστεί ως εξής:

$$\max F(X,Y) = \sum_{j=1}^{n} \sum_{i=1}^{n} n_{ij} x_{ij}$$

Κάτω από τις οριακές συνθήκες:

$\sum_{j=1}^{n} a_{ij} \leq 1$ για $i = 1,...,m$

$0 \leq a_{ij} \leq y$ για $i = 1,...,m$ και $j = 1,...,n$

$y_i \in \{0,1\}$ για $j = 1,...,n$

$\sum_{j=1}^{n} a_j = p$

Όπου:

$w_{ij} = w$ αν $t_{ij} = \overline{t_i}$

Γενικά μπορούμε να πούμε ότι το πρόβλημα p-διάμεσος ελαχιστοποιεί το γινόμενο του πληθυσμού και του χρόνου ταξιδιού, για ένα δοσμένο αριθμό p-κέντρων. Το μοντέλο σύνολο-κάλυψης αγνοεί τον πληθυσμό και βρίσκει τον ελάχιστο αριθμό των κέντρων, που είναι αναγκαία για να καλύψουν τη ζήτηση μέσα σε ένα ορισμένο όριο απόστασης χρόνου. Το μοντέλο μέγιστης-κάλυψης επαναφέρει τη σπουδαιότητα του πληθυσμού ενώ συγχρόνως χρησιμοποιεί το όριο απόστασης/χρόνου. Τα κέντρα δηλαδή, χωροθετούνται έτσι ώστε να καλύπτουν όσο γίνεται μεγαλύτερο ποσοστό πληθυσμού. Ένα μεγάλο πλεονέκτημα του μοντέλου μέγιστης κάλυψης είναι ότι μπορεί να δείξει το μέγιστο όριο κάλυψης της ζήτησης, που αναμένεται από έναν αριθμό κέντρων μικρότερο από τον αναγκαίο για την κάλυψη όλης της ζήτησης.

4.4 ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΕΩΝ – ΚΑΤΑΝΟΜΩΝ

Ακριβής Αριθμητική Λύση

Για μικρά προβλήματα χωροθέτησης, μια ακριβής λύση μπορεί να επιτευχθεί με τον υπολογισμό όλων των πιθανών λύσεων και την επιλογή της καλύτερης. Για παράδειγμα, σε ένα από πρόβλημα όπου τα σημεία ζήτησης πρέπει να εξυπηρετηθούν από δυο κέντρα προσφοράς, είναι φανερό ότι η βέλτιστη λύση, οποιαδήποτε κι αν είναι, θα δείξει μια ομάδα σημείων ζήτησης να πηγαίνει στο ένα κέντρο και τα υπόλοιπα στο δεύτερο. Αν κάποιος υπολογίσει όλους τους τρόπους, όπου τα σημεία ζήτησης συνδυάζονται σε δυο διαφορετικές ομάδες, η βέλτιστη λύση που θα βρεθεί θα είναι η ζητούμενη λύση. Το βασικό μειονέκτημα της προσέγγισης αυτής, είναι ο εξαιρετικά μεγάλος αριθμός συνδυασμών σημείων ζήτησης, που είναι δυνατός. Με πενήντα σημεία ζήτησης και πέντε κέντρα παροχής, ο αριθμός των διαφορετικών συνδυασμών ανέρχεται σε εκατομμύρια.

Κατά Προσέγγιση Στατιστικοί Αλγόριθμοι

Αυτές οι μέθοδοι είναι στατιστικές, με την έννοια ότι παίρνουμε δείγματα από ένα πλήθος λύσεων και χρησιμοποιούμε στατική θεωρία εκτίμησης, για να εκτιμήσουμε τη βεβαιότητα , όπου η βέλτιστη λύση που βρήκαμε είναι μεταξύ των δυνατών βέλτιστων λύσεων. Οι μέθοδοι αυτές τελευταία έχουν εγκαταλειφθεί γιατί άλλες μέθοδοι, που χρησιμοποιούν λιγότερο χρόνο στον ηλεκτρονικό υπολογιστή, δίνουν το ίδιο καλά ή καλύτερα αποτελέσματα.

Ακριβής Μαθηματικός Προγραμματισμός

Η προσέγγιση αυτή συνίσταται στο να δείξει ότι το ορισμένο πρόβλημα χωροθέτησης που μελετιέται, ανήκει σε μια κατηγορία προβλημάτων όπου μια γνωστή προσέγγιση επίλυσης υπάρχει. Δηλαδή προσπαθούμε να εκμεταλλευτούμε προσεγγίσεις, που έχουν με επιτυχία αναπτυχθεί και ελεγχθεί προηγούμενα, δείχνοντας ότι η δομή του προβλήματός μας έχει μια ισομορφική σχέση με ένα γνωστό και επιλύσιμο πρόβλημα. Για παράδειγμα, πολλά χωροθετικά προβλήματα μπορούν να διατυπωθούν με τη μορφή του γραμμικού προγραμματισμού (linear programming). Δηλαδή αφού μετασχηματίσουμε τα στοιχεία σε μια κατάλληλη μορφή και ορίσουμε τις οριακές συνθήκες, μια εφαρμογή του γραμμικού προγραμματισμού συνήθως μας δίνει λύσεις.

Κατά Προσέγγιση Προσομοίωση

Σε περιπτώσεις όπου η κατανομή της ζήτησης ορίζεται με πιθανότητες, έτσι δηλαδή που οι χρονικοί παράμετροι του συστήματος να είναι πολύ σπουδαίοι, τότε τα μοντέλα προσομοίωσης (simulation models) δημιουργούνται, που μιμούνται τα βασικά χαρακτηριστικά του συστήματος που μοντελοποιείται.

Αναλυτικότερα σε ένα δοσμένο σύστημα χωροθέτησης-κατανομής σε μια καθορισμένη χρονική περίοδο, θεωρείται ότι δίνονται ο αριθμός των κόμβων ζήτησης, τα χρονικά διαστήματα στα οποία η περίοδος είναι υποδιαιρεμένη, ο αριθμός των διαφορετικών μέσων μεταφοράς, οι πίνακες των ελαχίστων χρονοαποστάσεων των κόμβων για κάθε μέσο σε κάθε χρονικό διάστημα, το διάνυσμα που υποδηλώνει τους κόμβους οι οποίοι είναι κέντρα σε κάθε χρονικό διάστημα, ο αριθμός των εξυπηρετητών κάθε κατηγορίας που βρίσκονται σε κάθε κέντρο για κάθε χρονικό διάστημα και τέλος η κατανομή των κόμβων σε κάθε κέντρο. Το μοντέλο προσομοίωσης δημιουργεί τυχαία περιστατικά σε αρκετούς κόμβους ζήτησης, τα οποία για να εξυπηρετηθούν ταξιδεύουν στο κοντινότερο κέντρο. Στο τέλος αυτής της προσομοίωσης φαίνεται το ποσοστό των περιπτώσεων που καλύφθηκαν με επιτυχία.

Κατά προσέγγιση ευριστικοί αλγόριθμοι

Αυτές οι μέθοδοι καλύπτουν περιπτώσεις, όπου γνωστά και από προηγούμενα ελεγμένα μοντέλα και διαδικασίες που οδηγούν σε βέλτιστες χωροθετήσεις, είναι διαθέσιμα για χρήση έτσι ώστε ένας ερευνητής, ακολουθώντας μια σειρά από υπολογισμούς, είναι σε θέση να γνωρίζει ότι η επιθυμητή λύση έχει βρεθεί. Προφανώς η μέθοδος αυτή βασίζεται στη λογική των υπολογισμών και στην εκτεταμένη εμπειρία μας. Αντίθετα από τις αναλυτικές μεθόδους, δεν υπάρχει απόδειξη ότι η ευριστική μέθοδος θα βρει τη βέλτιστη λύση. Η δημοτικότητα των μεθόδων αυτών, όμως, είναι αποτέλεσμα της χρησιμότητάς τους σε περιστάσεις όπου δε υπάρχει ακριβής αναλυτική μέθοδος ή είναι υπερβολικά δαπανηρή.

Στην εργασία αυτή, χρησιμοποιείται το μοντέλο p-median καθώς και το μοντέλο μέγιστης-κάλυψης. Μέσω της εφαρμογής αυτών των μοντέλων και με τη χρήση διαφορετικών κριτηρίων κατασκευάσαμε διάφορα σενάρια, τα αποτελέσματα των οποίων συγκρίνονται και παρέχονται για επιλογή. Τα μοντέλα εφαρμόστηκαν με χρήση του λογισμικού ARC/INFO του πακέτου ArcGIS το οποίο επιλύει το πρόβλημα με έναν ευριστικό αλγόριθμο. Παρακάτω περιγράφεται η εφαρμογή αυτή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΕΦΑΡΜΟΓΗ: Χωροθέτηση κάδων ανακύκλωσης στο δήμο Ηλιούπολης

Σκοπός της εφαρμογής, είναι η βέλτιστη δυνατή χωροθέτηση των κάδων στην περιοχή του δήμου Ηλιούπολης με χρήση των διαθέσιμων δεδομένων και εφαρμογή των καταλλήλων κριτηρίων, με τη μέθοδο η οποία εκμεταλλεύεται καλύτερα τα παραπάνω.

5.1 ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η περιοχή η οποία επιλέχθηκε για την πραγματοποίηση της συγκεκριμένης μελέτης είναι ο δήμος Ηλιούπολης και συγκεκριμένα τα διοικητικά όρια του δήμου αυτού τα οποία ορίζονται όπως φαίνεται στο Χάρτη 1.

Ο βασικός λόγος ο οποίος επιλέχθηκε η συγκεκριμένη περιοχή είναι ότι ακόμα δεν έχουν τοποθετηθεί οι κάδοι ανακύκλωσης και η μελέτη θα κάνει μια πρόταση η οποία μπορεί να αξιοποιηθεί. Ωστόσο όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο ο δήμος Ηλιούπολης έχει ενταχθεί στο πρόγραμμα ανακύκλωσης της ΕΕΑΑ και υπάρχει μια πρόταση η οποία ετοιμάστηκε από το Γραφείο Καθαριότητας του δήμου.

Η ύπαρξη της πρότασης αυτής έδωσε το πρώτο πάτημα για τη θέσπιση κριτηρίων στη μελέτη της διπλωματικής αυτής (ειδικά δε στο μέγιστο κόστος λειτουργίας) . Στη συνέχεια όμως γίνονται και άλλες προτάσεις οι οποίες έχει ενδιαφέρον να συγκριθούν με την πρόταση του δήμου.

5.2 ΥΠΑΡΧΟΥΣΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

Στον δήμο Ηλιούπολης όπως έχει προαναφερθεί δεν υπάρχουν κάδοι ανακύκλωσης. Μέχρι στιγμής υπάρχει μόνο ένα κέντρο ανταποδοτικής ανακύκλωσης στην κεντρική πλατεία της πόλης το οποίο τοποθετήθηκε εκεί από ιδιωτική πρωτοβουλία.

Ο δήμος πρόσφατα εντάχθηκε στο πρόγραμμα ανακύκλωσης της ΕΕΑΑ. Σύμφωνα με τη σύμβαση που υπογράφτηκε με την ΕΕΑΑ, η εταιρεία αναλαμβάνει όλα τα έξοδα για τους κάδους και τα αναγκαία οχήματα συλλογής, ενώ ο δήμος είναι υποχρεωμένος να καλύπτει τα έξοδα λειτουργίας του προγράμματος (συλλογή ανακυκλώσιμων, συντήρηση κάδων) και αναλαμβάνει και την τοποθέτηση τους στην περιοχή. Ο εμπειρικός κανόνας ο οποίος ήταν το μόνο στοιχείο το οποίο δίνεται σχετικά με τον αριθμό των απαιτούμενων κάδων είναι, ένας κάδος ανά 75 κατοίκους. Ο δήμος θεώρησε αντιοικονομικό το αποτέλεσμα αυτού του κανόνα καθώς θα έπρεπε να τοποθετήσει και να αναλάβει τη λειτουργία 900 κάδων. Έτσι η πρόταση του στηρίχτηκε σε δυο κριτήρια:

- Τη διευκόλυνση της κυκλοφορίας και
- Την εκμετάλλευση των ελευθέρων χώρων γύρω από σχολεία και πλατείες

Με βάση αυτά τα κριτήρια λοιπόν δημιουργήθηκε η πρόταση που φαίνεται στον Χάρτη 3, όπου δημιουργούνται 47 κέντρα μεταφόρτωσης, και όπου στο καθένα θα υπάρχουν 3-4 κάδοι.

5.3 ΔΙΑΘΕΣΙΜΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Τα διαθέσιμα δεδομένα ήταν τα εξής:

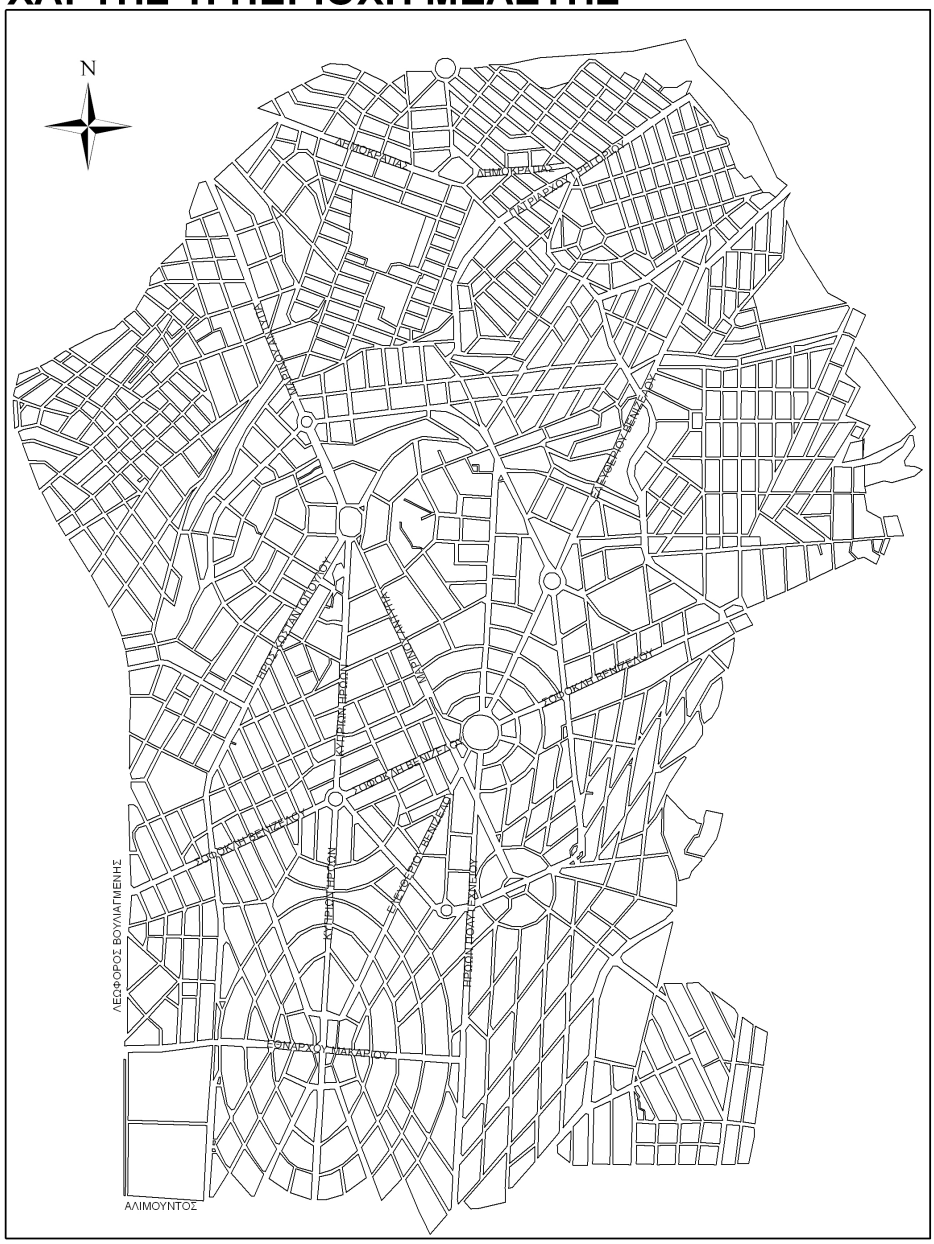
Αναλογικά δεδομένα

Χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από έναν αναλογικό χάρτη στον οποίον περιέχονταν τα σημεία στα οποία θα τοποθετηθούν οι σταθμοί μεταφόρτωσης σύμφωνα με την πρόταση του δήμου

Ψηφιακά δεδομένα

Χρησιμοποιήθηκε ένα ψηφιακό αρχείο μιας Γεωγραφικής Βάσης Δεδομένων με όλα τα οικοδομικά τετράγωνα του δήμου Ηλιούπολης με ακριβή γεωγραφικά στοιχεία καθώς και περιγραφικά χαρακτηριστικά με κύριο το οποίο και χρησιμοποιήθηκε, τον αριθμό κατοίκων σε κάθε οικοδομικό τετράγωνο (Χάρτης 2)

ΧΑΡΤΗΣ 1: ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

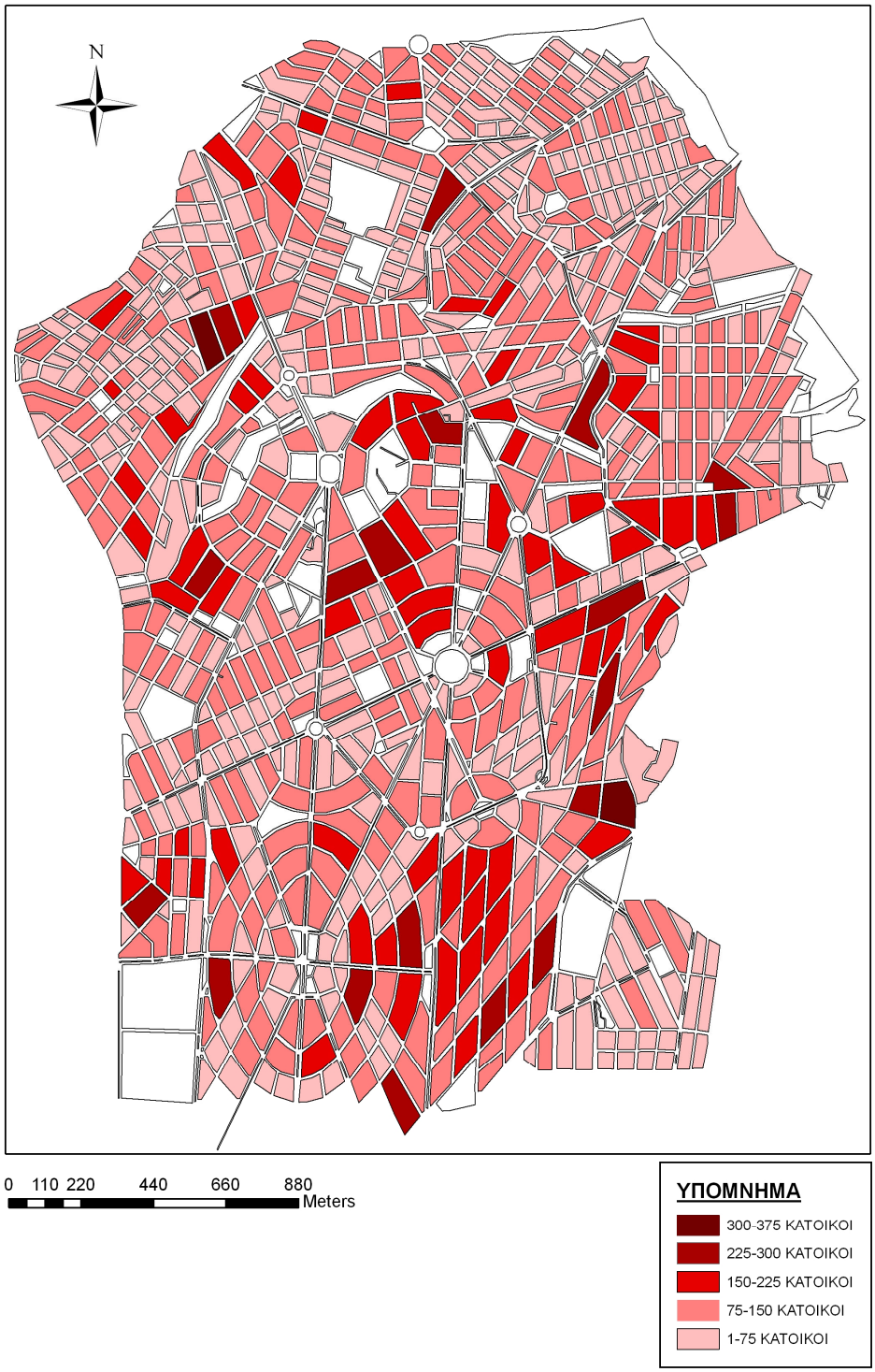


0 110 220 440 660 880 Meters

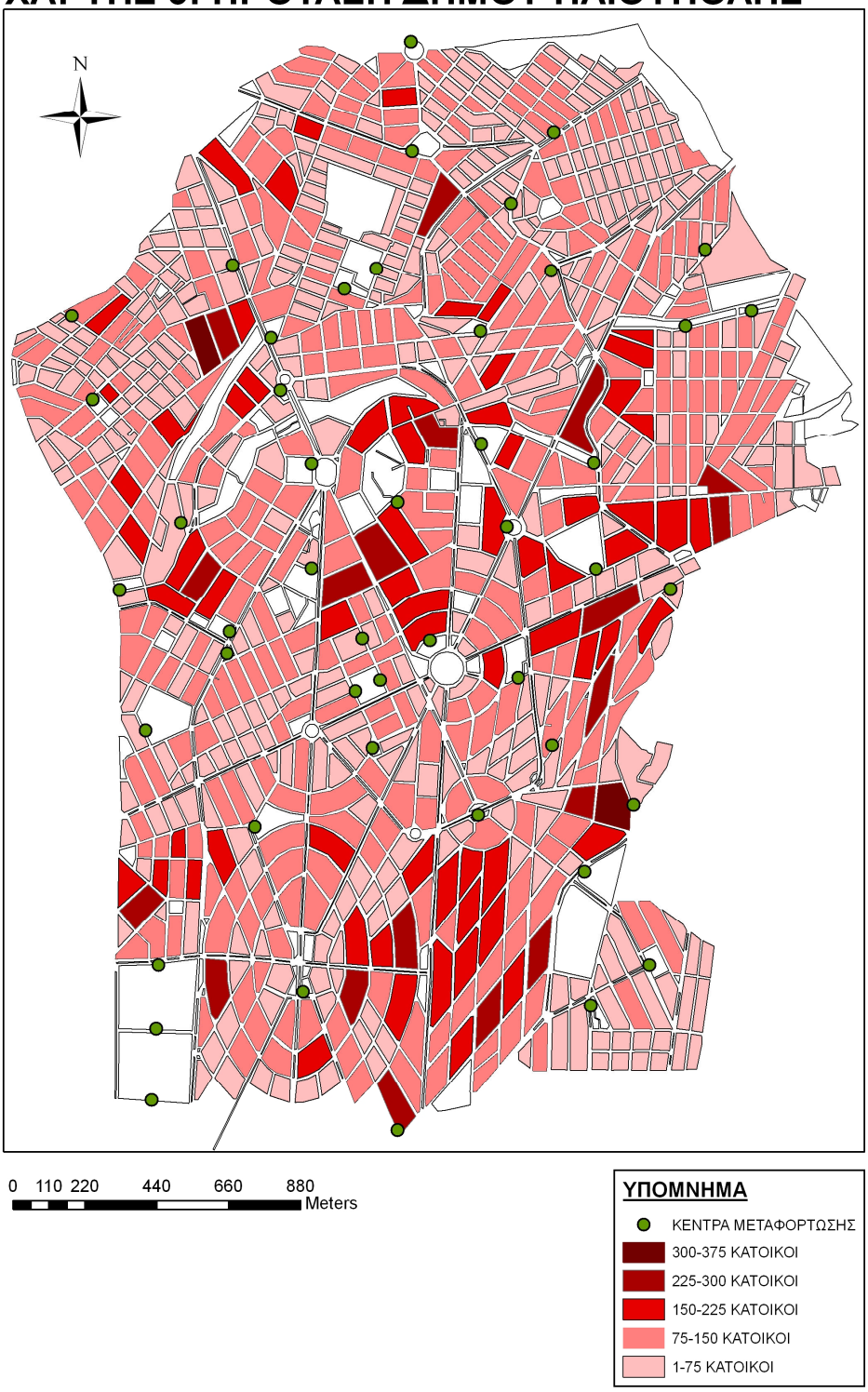
ΥΠΟΜΝΗΜΑ

ΟΡΙΑ ΟΙΚΟΔΟΜΙΚΩΝ ΤΕΤΡΑΓΩΝΩΝ

ΧΑΡΤΗΣ 2: ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΑΤΟΙΚΩΝ ΑΝΑ ΟΙΚΟΔΟΜΙΚΟ ΤΕΤΡΑΓΩΝΟ



ΧΑΡΤΗΣ 3: ΠΡΟΤΑΣΗ ΔΗΜΟΥ ΗΛΙΟΥΠΟΛΗΣ



5.4 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Όπως προαναφέρθηκε, χρησιμοποιούμε δυο μοντέλα χωροθετήσεων-κατανομών σε συνδυασμό με διάφορα κριτήρια και συγκρίνουμε τα αποτελέσματά τους. Τα κριτήρια που χρησιμοποιούνται για κάθε μοντέλο καθώς και οι στόχοι του κάθε μοντέλου είναι:

p-median: στόχος του μοντέλου είναι η ελαχιστοποίηση της μέσης απόστασης περπατήματος κάθε κατοίκου από το κοντινότερο κέντρο εξυπηρέτησης, δηλαδή η ελαχιστοποίηση του μέσου κοινωνικού κόστους εκφρασμένο σε μονάδες μήκους. Το κριτήριο της εφαρμογής του μοντέλου είναι ο αριθμός των προς χωροθέτηση κέντρων.

Μέγιστη-κάλυψη: στόχος του μοντέλου είναι η κάλυψη του μεγαλύτερου ποσοστού του προς εξυπηρέτηση πληθυσμού. Κριτήρια για την εφαρμογή της μεθόδου είναι η μέγιστη απόσταση εξυπηρέτησης του πληθυσμού από κάθε κέντρο εξυπηρέτησης και ο αριθμός των προς χωροθέτηση κέντρων.

Τα μεγέθη σύμφωνα με τα οποία θα συγκρίνουμε τα αποτελέσματα κάθε σεναρίου είναι:

- **Το κόστος λειτουργίας** του προγράμματος, το οποίο και θα θεωρήσουμε ευθέως ανάλογο με τον αριθμό των προς χωροθέτηση κέντρων p.
- **Η μέση απόσταση περπατήματος** $d\mu$ για κάθε κάτοικο από το κοντινότερο κέντρο εξυπηρέτησης.
- **Η μέγιστη απόσταση περπατήματος** $d_{\max}$ από το κοντινότερο κέντρο εξυπηρέτησης.
- **Το συνολικό κοινωνικό κόστος** που είναι ουσιαστικά το σύνολο των αποστάσεων που πρέπει να περπατήσει κάθε κάτοικος για να φτάσει στο κοντινότερο σε αυτόν κέντρο εξυπηρέτησης $\sum d$
- **Το ποσοστό του πληθυσμού που εξυπηρετείται** $N(\%)$

Όλα αυτά τα μεγέθη, εκτός του τελευταίου, εμφανίζονται και ποσοστιαία σε σύγκριση με τα μεγέθη της μελέτης του δήμου της Ηλιούπολης, για να διευκολύνεται η επιλογή των καταλλήλων στοιχείων.

Παρακάτω βλέπουμε τον πίνακα με τα μεγέθη της μελέτης του δήμου.

Μελέτη Δήμου Ηλιούπολης	
P	**47**
dμ (m)	**173**
dmax (m)	**564**
Σd (m)	**12.512.282**
N(%)	**100**

Στη συνέχεια θα δούμε μια σειρά από πίνακες που συνοψίζουν τα αποτελέσματα που προήλθαν από την επεξεργασία των δεδομένων με τις δύο μεθόδους, με χρήση διαφορετικών κριτηρίων. Έτσι με τη μέθοδο p-median που έχουμε το κριτήριο του αριθμού των κέντρων p, παίρνουμε περιπτώσεις για p= 47, 40, 35, 30, 25, 20. ενώ με τη μέθοδο μέγιστης-κάλυψης που έχουμε 2 κριτήρια, αυτό του αριθμού των κέντρων p και αυτό της μέγιστης απόστασης εξυπηρέτησης dmax, παίρνουμε περιπτώσεις για p= 47, 40, 35, 30, 25, 20 και dmax= 349m, 300m, 250m, 200m σε κάθε πιθανό συνδυασμό τους. Ο αριθμός κέντρων εξυπηρέτησης δεν ξεπέρασε τον αριθμό της μελέτης έτσι ώστε να μην ξεπεραστεί και ο προϋπολογισμός του προγράμματος ανακύκλωσης του δήμου.

Μέθοδος	p-median	Μέγιστη-κάλυψη	Μέγιστη-κάλυψη	Μέγιστη-κάλυψη	Μέγιστη-κάλυψη
p	47	47	47	47	47
p (%)	0	0	0	0	0
dμ (m)	132	172	157	140	127
dμ(%)	-24	-1	-9	-19	-27
dmax (m)	349	349	300	250	200
dmax (%)	-38	-38	-47	-56	-65
Σd (m)	8.661.131	11.105.100	11.219.092	9.227.279	8.333.797
Σd (%)	-31	-11	-10	-26	-33
N(%)	100	100	100	100	95

Μέθοδος	p-median	Μέγιστη-κάλυψη	Μέγιστη-κάλυψη	Μέγιστη-κάλυψη	Μέγιστη-κάλυψη
p	40	40	40	40	40
p (%)	-15	-15	-15	-15	-15
dμ (m)	141	183	164	148	130
dμ(%)	-18	6	-5	-14	-25
dmax (m)	349	349	300	250	200
dmax (%)	-38	-38	-47	-56	-65
Σd (m)	9.409.888	11.966.102	11.219.092	10.067.523	8.183.238
Σd (%)	-25	-4	-10	-20	-35
N(%)	100	100	100	100	91

Μέθοδος	p-median	Μέγιστη-κάλυψη	Μέγιστη-κάλυψη	Μέγιστη-κάλυψη	Μέγιστη-κάλυψη
p	35	35	35	35	35
p (%)	-26	-26	-26	-26	-26
dμ (m)	152	189	168	154	131
dμ(%)	-12	9	-3	-11	-24
dmax (m)	349	349	300	250	200
dmax (%)	-38	-38	-47	-56	-65
Σd (m)	10.117.345	12.629.105	11.654.087	10.372.092	7.661.957
Σd (%)	-19	1	-7	-17	-39
N(%)	100	100	100	99	85

Μέθοδος	p-median	Μέγιστη-κάλυψη	Μέγιστη-κάλυψη	Μέγιστη-κάλυψη	Μέγιστη-κάλυψη
p	30	30	30	30	30
p (%)	-36	-36	-36	-36	-36
dμ (m)	166	192	173	156	132
dμ(%)	-4	11	0	-10	-24
dmax (m)	461	349	300	250	200
dmax (%)	-18	-38	-47	-56	-65
Σd (m)	10.993.770	12.953.865	11.963.965	10.187.248	7.154.955
Σd (%)	-12	4	-4	-19	-43
N(%)	100	100	99	94	77

Μέθοδος	p-median	Μέγιστη-κάλυψη	Μέγιστη-κάλυψη	Μέγιστη-κάλυψη	Μέγιστη-κάλυψη
p	25	25	25	25	25
p (%)	-47	-47	-47	-47	-47
dμ (m)	182	195	186	160	131
dμ(%)	5	13	8	-8	-24
dmax (m)	542	349	300	250	200
dmax (%)	-4	-38	-47	-56	-65
Σd (m)	11.936.467	13.371.575	13.626.221	9.991.509	6.404.647
Σd (%)	-5	7	9	-20	-49
N(%)	100	100	98	88	69

Μέθοδος	p-median	Μέγιστη-κάλυψη	Μέγιστη-κάλυψη	Μέγιστη-κάλυψη	Μέγιστη-κάλυψη
p	20	20	20	20	20
p (%)	-57	-57	-57	-57	-57
dμ (m)	205	207	187	166	132
dμ(%)	18	20	8	-4	-24
dmax (m)	594	349	300	250	200
dmax (%)	5	-38	-47	-56	-65
Σd (m)	13.807.700	14.529.111	12.566.214	9.127.345	5.505.790
Σd (%)	10	16	0	-27	-56
N(%)	100	98	94	78	58

Τα στοιχεία των πινάκων αυτών προέρχονται από τα αρχεία εξόδου στατιστικών στοιχείων του λογισμικού ARC/INFO, όπου εφαρμόστηκαν οι μέθοδοι χωροθετήσεων κατανομών.

5.5 ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Ας σημειωθεί ότι στους πίνακες των αποτελεσμάτων βλέπουμε με ανοιχτό κίτρινο τα στοιχεία που αποτέλεσαν τα κριτήρια των μεθόδων στην εκάστοτε περίπτωση. Η σύγκριση των αποτελεσμάτων δε γίνεται με τον απόλυτο αριθμό τους , αλλά με την ποσοστιαία σύγκρισή τους με τα αποτελέσματα της μελέτης του δήμου Ηλιούπολης.

Αρχικά απορρίπτουμε τις περιπτώσεις όπου τα αποτελέσματα μας δίνουν μεγέθη μεγαλύτερα κατά 10% και πάνω από τα αποτελέσματα της μελέτης του δήμου, καθώς και τις περιπτώσεις όπου η κάλυψη του πληθυσμού είναι μικρότερη από 90%. Τα αποτελέσματα αυτά φαίνονται με κόκκινο στους πίνακες. Από τις περιπτώσεις που απομένουν βλέπουμε με μπλε χρώμα τα καλύτερα αποτελέσματα κάθε μεγέθους. Τέλος με πράσινο βλέπουμε τα καλύτερα αποτελέσματα κάθε μεγέθους με τον περιορισμό να καλύπτεται ο ολόκληρος ο πληθυσμός. Έτσι καταλήγουμε σε 6 σενάρια, ενώ οι υπόλοιπες περιπτώσεις περιέχουν ενδιάμεσα αποτελέσματα και δεν αναλύονται εδώ. Τα 6 σενάρια είναι τα εξής:

Σενάριο 1: Στο σενάριο αυτό χωροθετούνται 47 κέντρα μεταφόρτωσης με τη μέθοδο μέγιστης-κάλυψης με κριτήριο τη μέγιστη απόσταση εξυπηρέτησης ίση με 200 m. Είναι το σενάριο όπου έχουμε την μικρότερη μέση απόσταση περπατήματος, καθώς και τη μικρότερη μέγιστη απόσταση περπατήματος. Στο σενάριο αυτό έχουμε το ίδιο κόστος λειτουργίας με τη μελέτη του δήμου, αλλά το συνολικό κοινωνικό κόστος είναι μειωμένο κατά 33%. Παρόλα αυτά καλύπτεται το 95% του πληθυσμού του δήμου.

Σενάριο 2: Στο σενάριο αυτό χωροθετούνται 40 κέντρα μεταφόρτωσης με τη μέθοδο μέγιστης-κάλυψης με κριτήριο τη μέγιστη απόσταση εξυπηρέτησης ίση με 200 m. Είναι το σενάριο όπου έχουμε τη μικρότερη μέγιστη απόσταση περπατήματος ίδια με του σεναρίου 1 αλλά και το χαμηλότερο συνολικό κοινωνικό κόστος, κατά 35% μικρότερο από αυτό της μελέτης του δήμου. Το κόστος λειτουργίας και η μέση απόσταση περπατήματος σε αυτή την περίπτωση είναι κατά 15% και 65% αντίστοιχα χαμηλότερα από αυτά της μελέτης του δήμου. Το ποσοστό του πληθυσμού όμως που καλύπτεται είναι το 91%.

Σενάριο 3: Στο σενάριο αυτό χωροθετούνται 20 κέντρα μεταφόρτωσης με τη μέθοδο μέγιστης-κάλυψης με κριτήριο τη μέγιστη απόσταση εξυπηρέτησης ίση με 300 μέτρα. Είναι το σενάριο που έχουμε το χαμηλότερο κόστος λειτουργίας, μικρότερο κατά 57% σε σχέση με αυτό της μελέτης του δήμου. Η μέγιστη απόσταση περπατήματος είναι κατά 47% μικρότερη, ενώ το συνολικό κοινωνικό κόστος είναι ίδιο. Η μέση απόσταση περπατήματος είναι αυξημένη κατά 8% και καλύπτεται το 94% του πληθυσμού .

Σενάριο 4: Στο σενάριο αυτό χωροθετούνται 47 κέντρα μεταφόρτωσης με τη μέθοδο p-median. Από τις περιπτώσεις πλήρους κάλυψης του πληθυσμού εδώ έχουμε το χαμηλότερο συνολικό κοινωνικό κόστος μειωμένο κατά 31% και τη μικρότερη μέση απόσταση περπατήματος μειωμένη κατά 24% σε

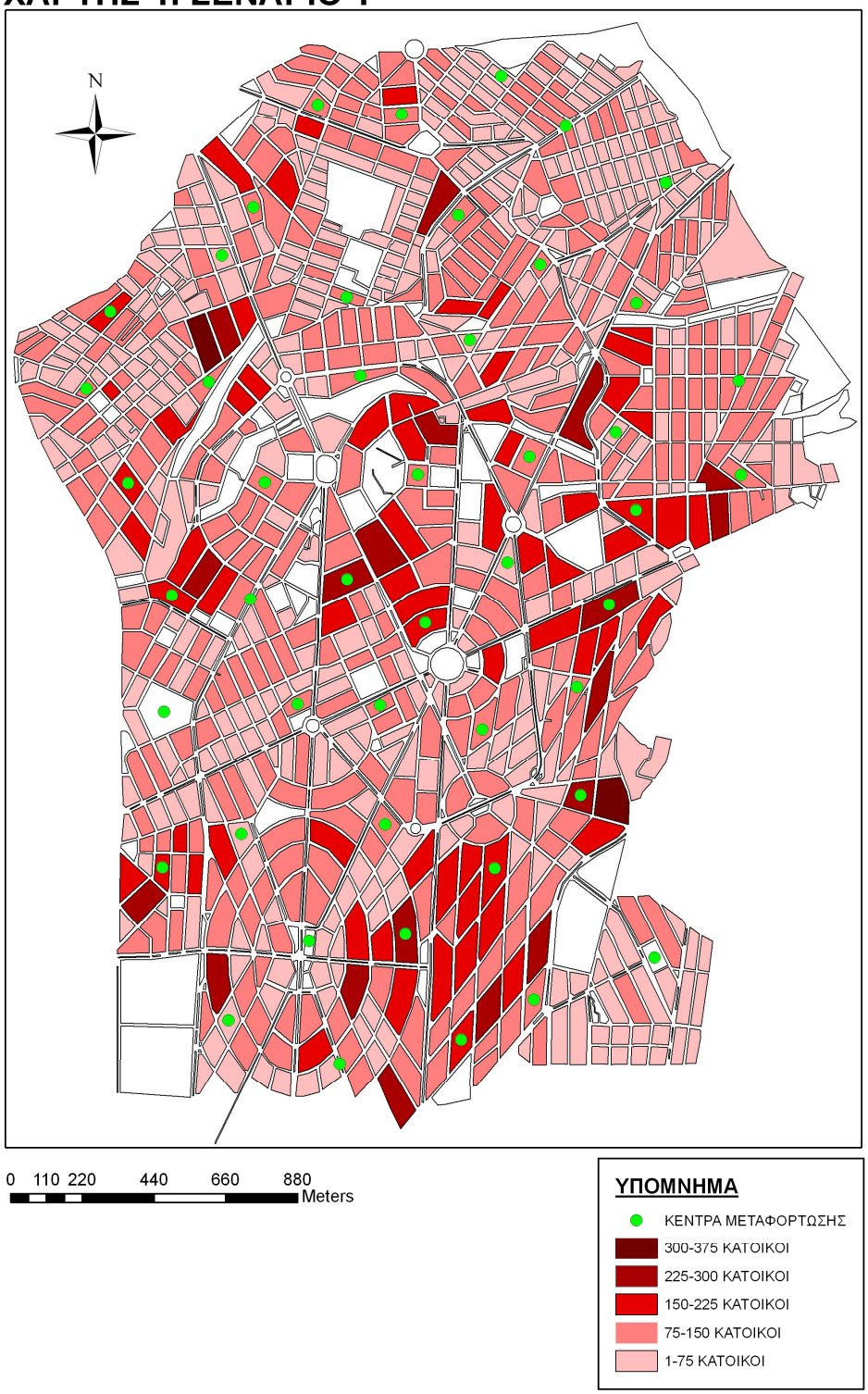
σχέση με τη μελέτη του δήμου. Η μέγιστη απόσταση περπατήματος είναι επίσης μειωμένη κατά 38% ενώ το κόστος λειτουργίας είναι το ίδιο.

Σενάριο 5: Στο σενάριο αυτό χωροθετούνται 25 κέντρα μεταφόρτωσης με τη μέθοδο p-median. Είναι η οικονομικότερη περίπτωση, με κόστος λειτουργίας μικρότερο κατά 47%, όπου έχουμε πλήρη κάλυψη του πληθυσμού του δήμου. Στα υπόλοιπα έχουμε μικρότερη μέγιστη απόσταση περπατήματος κατά 4% και χαμηλότερο συνολικό κοινωνικό κόστος κατά 5%. Η μέση απόσταση περπατήματος όμως είναι αυξημένη κατά 5%.

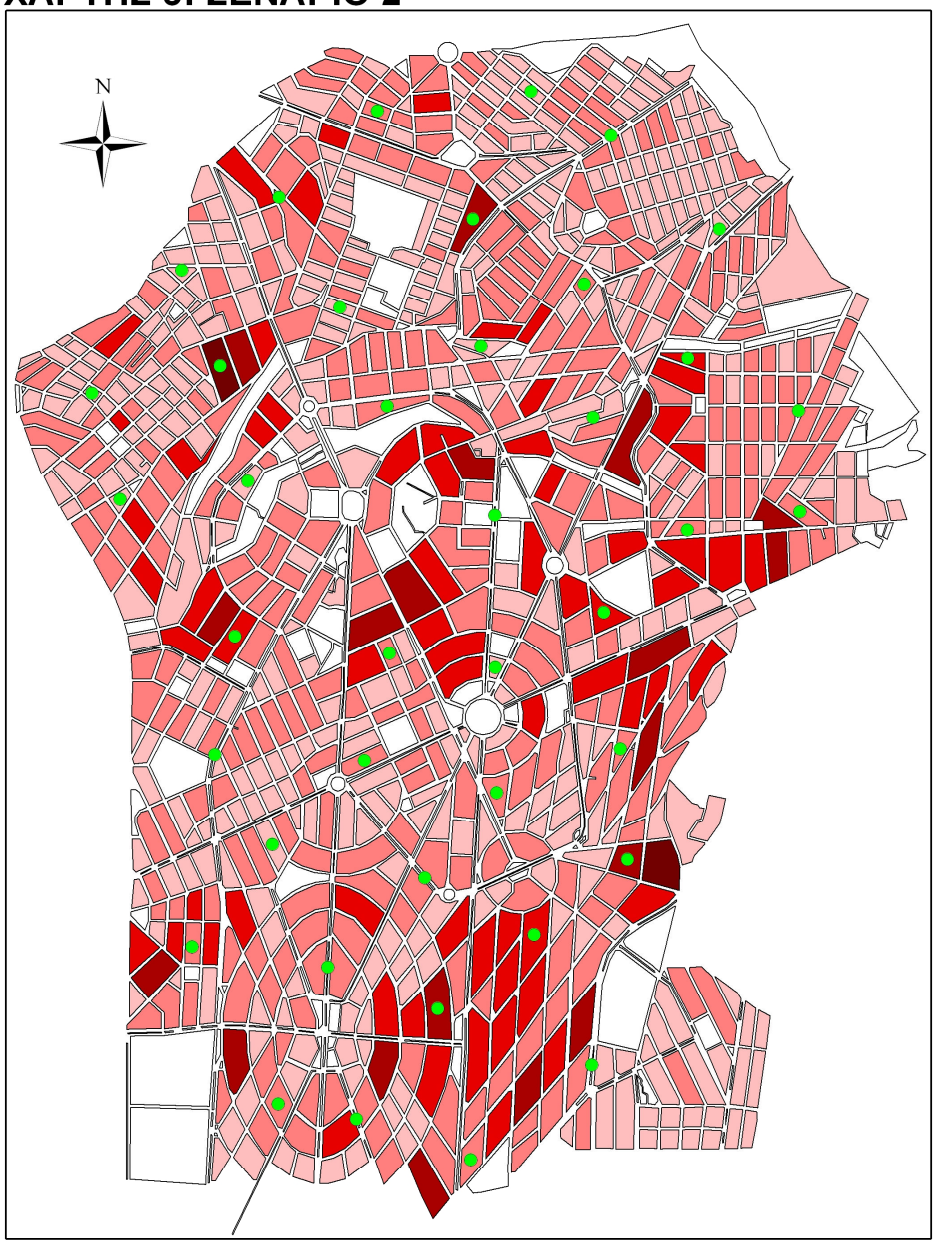
Σενάριο 6: Στο σενάριο αυτό χωροθετούνται 40 κέντρα μεταφόρτωσης με τη μέθοδο μέγιστης-κάλυψης, με κριτήριο τη μέγιστη απόσταση εξυπηρέτησης ίση με 250 μέτρα. Είναι το σενάριο όπου έχουμε τη μικρότερη μέγιστη απόσταση περπατήματος, μικρότερη κατά 56%, και παράλληλα καλύπτεται πλήρως ο πληθυσμός. Στα υπόλοιπα έχουμε μικρότερο κόστος λειτουργίας κατά 15%, μικρότερο συνολικό κοινωνικό κόστος κατά 20% και μικρότερη μέση απόσταση περπατήματος κατά 14% σε σχέση με τη μελέτη του δήμου.

Στη συνέχεια βλέπουμε την υλοποίηση των σεναρίων αυτών μέσα από τους κατάλληλους χάρτες.

ΧΑΡΤΗΣ 4: ΣΕΝΑΡΙΟ 1



ΧΑΡΤΗΣ 5: ΣΕΝΑΡΙΟ 2

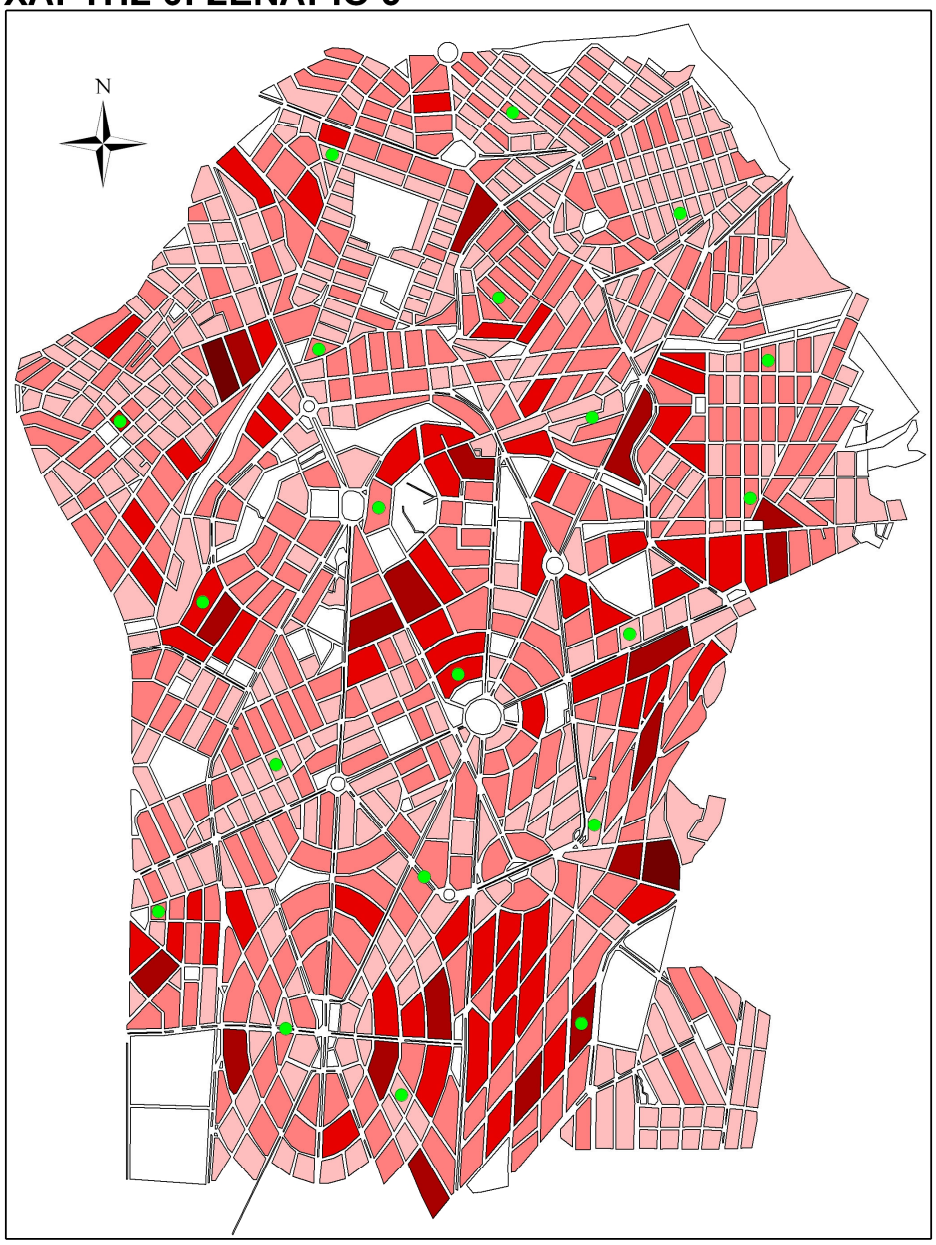


0 110 220 440 660 880
Meters

ΥΠΟΜΝΗΜΑ

- ΚΕΝΤΡΑ ΜΕΤΑΦΟΡΤΩΣΗΣ
- 300-375 ΚΑΤΟΙΚΟΙ
- 225-300 ΚΑΤΟΙΚΟΙ
- 150-225 ΚΑΤΟΙΚΟΙ
- 75-150 ΚΑΤΟΙΚΟΙ
- 1-75 ΚΑΤΟΙΚΟΙ

ΧΑΡΤΗΣ 6: ΣΕΝΑΡΙΟ 3

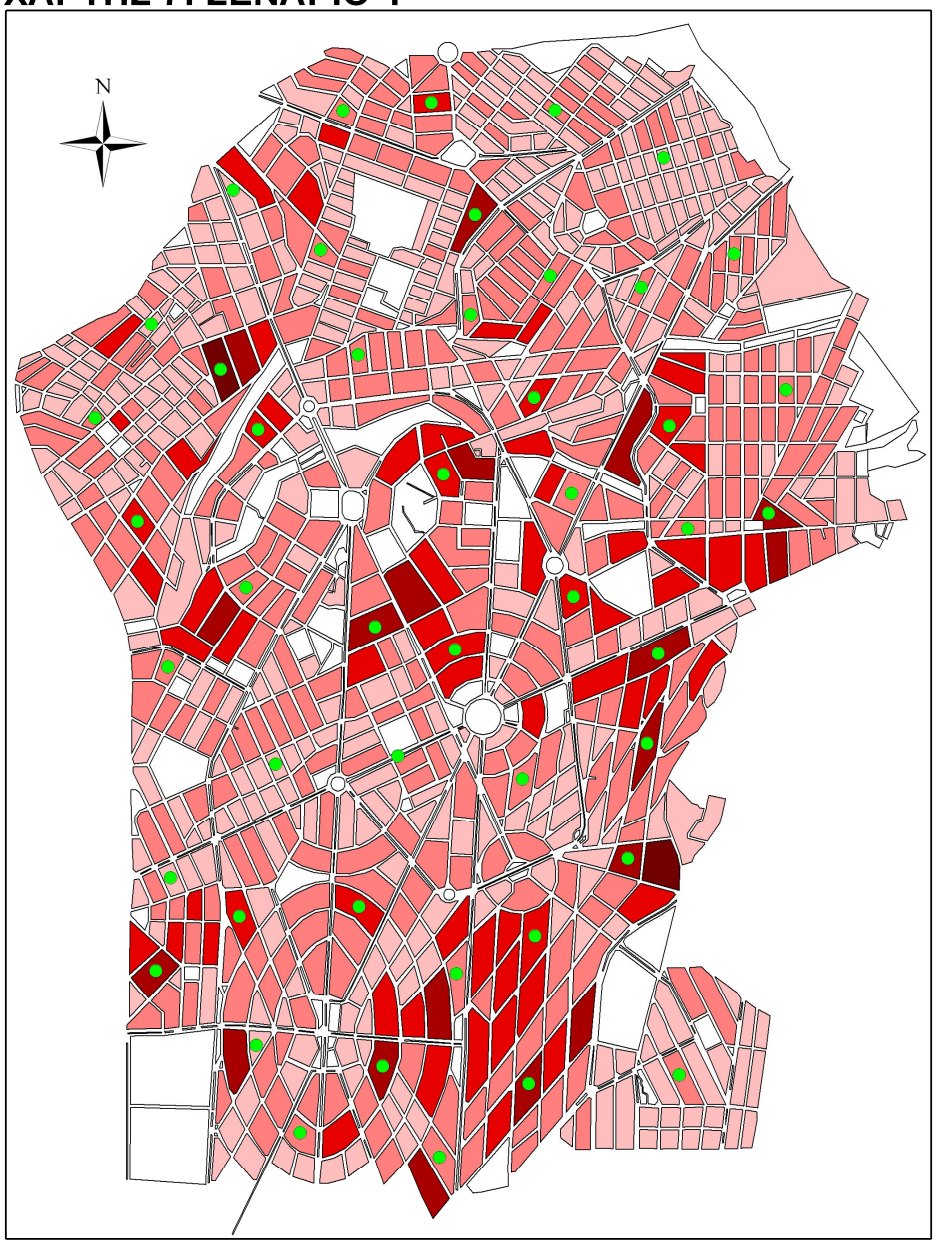


0 110 220 440 660 880
Meters

ΥΠΟΜΝΗΜΑ

- ΚΕΝΤΡΑ ΜΕΤΑΦΟΡΤΩΣΗΣ
- 300-375 ΚΑΤΟΙΚΟΙ
- 225-300 ΚΑΤΟΙΚΟΙ
- 150-225 ΚΑΤΟΙΚΟΙ
- 75-150 ΚΑΤΟΙΚΟΙ
- 1-75 ΚΑΤΟΙΚΟΙ

ΧΑΡΤΗΣ 7: ΣΕΝΑΡΙΟ 4

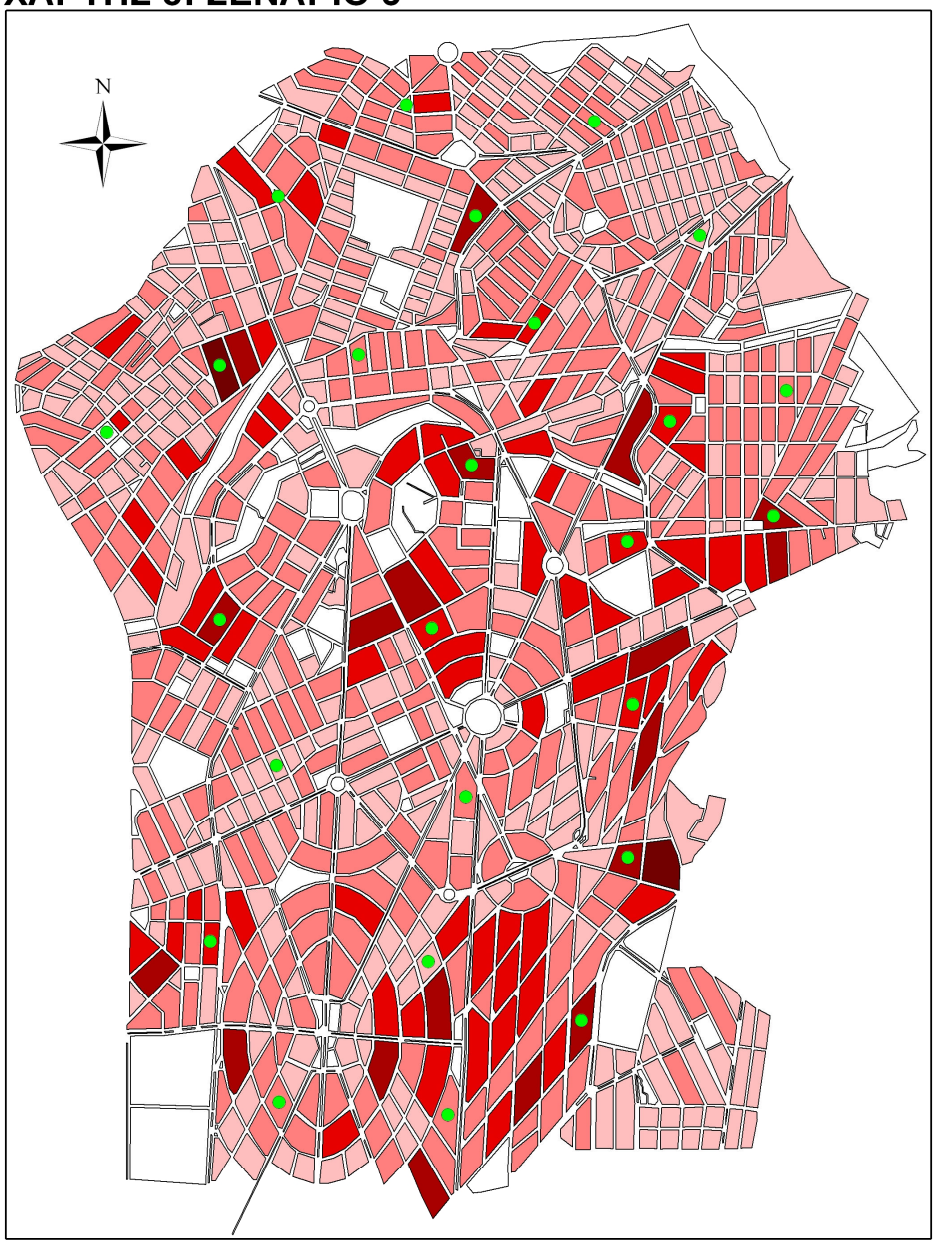


0 110 220 440 660 880
Meters

ΥΠΟΜΝΗΜΑ

- ΚΕΝΤΡΑ ΜΕΤΑΦΟΡΤΩΣΗΣ
- 300-375 ΚΑΤΟΙΚΟΙ
- 225-300 ΚΑΤΟΙΚΟΙ
- 150-225 ΚΑΤΟΙΚΟΙ
- 75-150 ΚΑΤΟΙΚΟΙ
- 1-75 ΚΑΤΟΙΚΟΙ

ΧΑΡΤΗΣ 8: ΣΕΝΑΡΙΟ 5



0 110 220 440 660 880
Meters

ΥΠΟΜΝΗΜΑ

- ΚΕΝΤΡΑ ΜΕΤΑΦΟΡΤΩΣΗΣ
- 300-375 ΚΑΤΟΙΚΟΙ
- 225-300 ΚΑΤΟΙΚΟΙ
- 150-225 ΚΑΤΟΙΚΟΙ
- 75-150 ΚΑΤΟΙΚΟΙ
- 1-75 ΚΑΤΟΙΚΟΙ

ΧΑΡΤΗΣ 9: ΣΕΝΑΡΙΟ 6

0 110 220 440 660 880
Meters

ΥΠΟΜΝΗΜΑ

- ΚΕΝΤΡΑ ΜΕΤΑΦΟΡΤΩΣΗΣ
- 300-375 ΚΑΤΟΙΚΟΙ
- 225-300 ΚΑΤΟΙΚΟΙ
- 150-225 ΚΑΤΟΙΚΟΙ
- 75-150 ΚΑΤΟΙΚΟΙ
- 1-75 ΚΑΤΟΙΚΟΙ

5.6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Παρατηρούμε από την ανάλυση των αποτελεσμάτων που έγινε παραπάνω ότι δεν υπάρχει μια ιδανική λύση η οποία να μαζεύει τα καλύτερα αποτελέσματα στα μεγέθη σύγκρισης των αποτελεσμάτων μας. Συνεπώς φαίνεται ότι το σενάριο το οποίο θα επιλέξουμε, εξαρτάται από το που θα εστιάσουμε την προσοχή μας και τι είμαστε διατεθειμένοι να χάσουμε ώστε να κερδίσουμε αυτό που μας ενδιαφέρει περισσότερο. Τα 6 σενάρια που παρουσιάζονται παραπάνω καλύπτουν σφαιρικά τις περιπτώσεις όπου μπορεί να μας ενδιαφέρουν περισσότερο διαφορετικά μεγέθη. Το σίγουρο είναι ότι τα σενάρια αυτά έχουν ως αποτέλεσμα πολύ βελτιωμένες λύσεις του προβλήματος της χωροθέτησης των κάδων ανακύκλωσης στο δήμο Ηλιούπολης, σε σχέση με τη λύση που προτείνει ο δήμος. Εάν τελικά όμως μας ζητούνταν να επιλέξουμε ένα από τα σενάρια, τότε η πιο πιθανή επιλογή θα ήταν το σενάριο 6, καθώς είναι το σενάριο στο οποίο έχουμε πλήρη κάλυψη του πληθυσμού, αλλά και σημαντικές μειώσεις σε όλα τα μεγέθη σύγκρισης. Μπορεί τα μεγέθη σύγκρισης να μην είναι τόσο μικρά όσο στα προηγούμενα σενάρια, αλλά είναι το μοναδικό σενάριο στο οποίο έχουμε βελτίωση σε όλες τις παραμέτρους επιλογής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας ήταν η χωροθέτηση των κάδων ανακύκλωσης στην περιοχή του δήμου Ηλιούπολης. Μέσα από τη χρήση των μοντέλων χωροθετήσεων-κατανομών προσπαθήσαμε να δώσουμε κάποιες επιλογές για την βέλτιστη λύση του προβλήματος αυτού, ανάλογα με την παράμετρο που ενδιαφέρει περισσότερο αυτόν που κάνει την τελική επιλογή.

Τα στοιχεία που είχαμε στη διάθεση μας, ήταν μια βάση δεδομένων με τα γεωγραφικά χαρακτηριστικά του δήμου Ηλιούπολης, δηλαδή το μέγεθος, σχήμα και θέση των οικοδομικών τετραγώνων και των δρόμων της, καθώς και κάποια περιγραφικά χαρακτηριστικά ανά τετράγωνο με σημαντικότερο τον αριθμό των κατοίκων που ζουν σε κάθε τετράγωνο. Επίσης υπήρχε ένας χάρτης του δήμου σε αναλογική μορφή με σημειωμένα τα σημεία όπου η μελέτη του δήμου προτείνει να τοποθετηθούν οι σταθμοί μεταφόρτωσης ανακύκλωσης. Γύρω από τα στοιχεία αυτής της μελέτης, δομήθηκαν τα σενάρια για τη λύση του προβλήματος, σε μια προσπάθεια να βελτιωθεί η λύση που προτείνεται από διάφορες σκοπιές.

Για την επεξεργασία των στοιχείων αυτών δουλέψαμε με ένα πακέτο λογισμικού που εκμεταλλεύεται τη βάση γεωγραφικών στοιχείων που διαθέταμε (ArcGIS). Συγκεκριμένα εφαρμόσαμε τις μεθόδους χωροθετήσεων-κατανομών p-median και μέγιστης-κάλυψης στα δεδομένα που είχαμε στη διάθεση μας, με κριτήρια που καθοδηγήθηκαν από την πρόταση του δήμου Ηλιούπολης. Για τη σύγκριση των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκαν κάποια μεγέθη και για τη διευκόλυνσή μας τα ποσοστά διαφοροποίησης αυτών των μεγεθών από τα μεγέθη που προκύπτουν από την ανάλυση της μελέτης του δήμου. Μετά την ανάλυση των αποτελεσμάτων της εφαρμογής των μεθόδων καταλήξαμε σε 6 σενάρια-λύσεις ικανά να καλύψουν κάθε περίπτωση όπου μας ενδιαφέρουν διαφορετικά μεγέθη. Έτσι είναι στο χέρι αυτού που κάνει την τελική επιλογή, να επιλέξει και ποιο μέγεθος θεωρεί πιο σημαντικό για την επιτυχία του προγράμματος ανακύκλωσης στο δήμο, αλλά και ποιο ενδιαφέρει περισσότερο τον ίδιο, για οποιονδήποτε λόγο.

Για να έχουμε όμως τη μεγαλύτερη επιτυχία του προγράμματος, θα πρέπει να λάβουμε υπόψη, ότι η ανακύκλωση δεν έχει θέση στην καθημερινότητα του μέσου Έλληνα και ότι το πρόγραμμα για το οποίο γίνεται η μελέτη είναι καινούριο και δεν έχει υπάρξει ενημέρωση ούτε χρόνος προσαρμογής των πολιτών. Εκτός λοιπόν από μια καλή επιλογή λύσης, η οποία θα εξασφαλίζει την ομαλή λειτουργία του προγράμματος, θα πρέπει να υπάρξει και σοβαρή και καλή ενημέρωση των πολιτών για αυτό, καθώς και γενικότερα για τα θέματα της ανακύκλωσης ώστε να υπάρξει ευαισθητοποίηση για το θέμα και να έχουμε το βέλτιστο αποτέλεσμα.

Βλέποντας τα αποτελέσματα της μελέτης αυτής, θα πρέπει να αναφέρουμε ότι σε περίπτωση που είχαμε περισσότερα στοιχεία θα μπορούσαμε να έχουμε επεκτείνει τη μελέτη μας και σε άλλους τομείς οι οποίοι δεν είναι ζητούμενα αυτής της διπλωματικής. Έτσι εάν είχαμε στοιχεία σχετικά με την αναμενόμενη ανταπόκριση των κατοίκων στο πρόγραμμα, τα οποία θα προέρχονταν από την παρατήρηση των αποτελεσμάτων των προγραμμάτων που εφαρμόζονται ήδη σε άλλους δήμους, θα μπορούσαμε να βγάλουμε συμπεράσματα σχετικά με τη συχνότητα συλλογής των ανακυκλώσιμων από τους κάδους. Επίσης αν είχαμε το δίκτυο των δρόμων και στοιχεία για τον προϋπολογισμό του προγράμματος θα μπορούσαμε να προτείνουμε και λύσεις σχετικά με τα δρομολόγια που θα μπορούσαν να ακολουθούν τα οχήματα συλλογής των ανακυκλώσιμων. Τέλος θα μπορούσαμε να εφαρμόσουμε μια μέθοδο όπως αυτή που αναλύεται στο δεύτερο κεφάλαιο της εργασίας αυτής, αντί να χρησιμοποιήσουμε τις έτοιμες μεθόδους χωροθετήσεων-κατανομών που παρέχονται από το πακέτο του λογισμικού ArcGIS, κάτι το οποίο θα είχε πιο καλά αποτελέσματα, όμως θα χρειαζόμασταν περισσότερα δεδομένα και σίγουρα μεγαλύτερο κόπο.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Αραβαντινός Α., 1997, **Πολεοδομικός Σχεδιασμός για μια βιώσιμη ανάπτυξη του αστικού χώρου**, Συμμετρία

Κάβουρας Μ., 2003, **Αρχές Γεωπληροφορικής και Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών,** ΕΜΠ

NI-BIN CHANG and Y. L. WEI, 1999, **Strategic Planning of Recycling Drop-Off Stations and Collection Network by Multiobjective Programming,** Department of Environmental Engineering ,National Cheng-Kung University, Tainan, Taiwan

Burrough P., 1986, **Principles of GIS for Land Resources Assessment,** Claredon Press, London, Oxford

Carver J.S., 1992 Integrating Multi-Criteria Evaluation with GIS, **International Journal of GIS**, Vol. 5, N.3

Fotheringham A.S., 1991, GIS and Spatial Analysis: an NCGIA Research Initiative, **Environment and Planning A.,** Vol. 23

Fotheringham A.S., 1993, On the Future of Spatial Analysis, **Environment and Planning A.,** Anniversary Issue

Goodchild M., 1992, An Overview and Definition of GIS, **In Principles and Applications of GIS: Theory and Practice**, Taylor & Francis

Huxhold W., 1992, **An Introduction to Urban GIS**, Oxford University Press

Κουτσόπουλος Κ., 2000, **Γεωγραφία: Μεθοδολογια και μέθοδοι ανάλυσης χώρου**, Συμμετρία

Κουτσόπουλος Κ., 2002, **Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών και Ανάλυσης Χώρου**, Παπασωτηρίου

Κουτσόπουλος Κ. και Ανδρουλακάκης Ν., 2003, **Εφαρμογές Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών με Χρήση του Λογισμικού ArcGIS**, Παπασωτηρίου

Openshaw S., 1992, Developing Appropriate Spatial Analysis Methods for GIS, **In Geographical Information Systems: Principles and Applications**, edited by Macquire D.J., Goodchild M. and Rhind D.W., Longman, London

Tomlin D., 1990, **Geographic Information Systems and Cartography Modeling**, Prentice Hall

Χατζηχρήστος Θ., 1999, Διδακτορική διατριβή, **Προσδιορισμός Οικοπεριφερειών με τη χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών και Υπολογιστικής Νοημοσύνης**, ΕΜΠ

Πηγές στο Διαδίκτυο:

http://www.gis.com/

http://www.ert.gr/nature/anakiklosi/index.php

http://news.bbc.co.uk/2/hi/europe/4620041.stm

http://www.herrco.gr/web/default.fds?lang=1

http://www.ulac.gr/med-cartesio/index-gr.html

http://00357.info/com/index2/anakyklosi/default.asp